# 金沙江上游　旭龙水电站

# 环 境 影 响 报 告 书

（征求意见稿）

建设单位：国电金沙江旭龙水电开发有限公司

编制单位：长 江 水 资 源 保 护 科 学 研 究 所

二〇一九年九月

# 目 录


**概述.....1**

**1 总则.....4**

1.1 编制目的.....4

1.2 编制依据.....5

1.3 评价原则.....11

1.4 评价因子筛选与评价重点.....12

1.5 评价标准.....14

1.6 评价工作等级.....16

1.7 评价范围.....17

1.8 评价水平年.....20

1.9 环境敏感对象.....20

1.10 环境保护目标.....22

1.11 评价工作程序.....24

**2 工程概况.....26**

2.1 金沙江流域上游水电规划概况.....26

2.2 工程地理位置.....42

2.3 工程特性.....43

2.4 工程项目组成.....48

2.5 枢纽布置及主要建筑物.....49

2.6 工程施工.....51

2.7 初期蓄水及电站运行.....86

**3 工程分析.....91**

3.1 工程建设与相关政策符合性分析.....91

3.2 工程建设与相关规划协调性和符合性分析.....98

3.3 工程方案环境合理性分析.....104

3.4 环境影响源分析.....114

3.5 工程分析结论.....122

**4 环境现状 .....128**
4.1 流域概况.....128
4.2 自然环境.....130
4.3 生态环境.....147
4.4 社会环境.....265
4.5 生态敏感区.....273
4.6 环境质量现状评价.....279
4.7 主要环境问题.....302
**5 环境影响预测与评价 .....304**
5.1 水文情势影响分析.....304
5.2 泥沙情势影响与评价.....356
5.3 水温影响预测与评价.....359
5.4 水质影响预测与评价.....380
5.5 坝下溶解性气体过饱和影响.....391
5.6 地下水影响预测与评价.....418
5.7 环境空气影响评价.....428
5.8 声环境影响评价.....431
5.9 生态环境影响评价.....438
5.10 对局地气候的影响.....474
5.11 环境地质影响评价.....491
5.12 社会环境影响评价.....503
5.13 固体废弃物的影响.....514
**6 环境保护措施 .....516**
6.1 设计原则.....516
6.2 设计任务.....516
6.3 地表水环境保护措施.....517
6.4 地下水影响减缓措施.....556
6.5 陆生生态保护.....558
6.6 水生生态保护.....572

6.7 环境空气保护.....650
6.8 声环境保护.....653
6.9 固体废弃物处理.....655
6.10 泄洪雾化影响减缓措施.....660
6.11 社会环境保护.....661
**7 环境风险与应急措施.....671**
7.1 环境风险评价目的.....671
7.2 风险识别.....671
7.3 环境风险潜势初判.....673
7.4 环境风险评价等级.....674
7.5 风险评价及防范措施.....675
7.6 生态风险分析及应急措施.....682
7.7 社会风险分析及应急措施.....683
**8 环境管理、监测与监理.....685**
8.1 环境管理规划.....685
8.2 环境监测.....688
8.3 环境监理.....701
**9 环境保护措施分期实施计划.....705**
9.1 环境保护措施项目.....705
9.2 环保措施施工条件.....708
9.3 环保措施实施方法.....708
9.4 环保措施实施进度计划.....711
**10 环境保护费用概算及经济损益分析.....716**
10.1 环境保护投资概算.....716
10.2 环境影响经济损益分析.....722
**11 评价结论.....724**

# 概述

## 一、项目由来

金沙江为长江上游河段，发源于青藏高原唐古拉山脉主峰格拉丹东雪山西南侧。金沙江全长 3479km，天然落差 5100m，流域面积 47.32 万 $km^2$，多年平均流量 4920$m^3/s$，多年平均径流量 1550 亿 $m^3$，是全国水能资源最富集的河流，为国家能源规划战略布局中最大的水电基地，水能资源蕴藏量达 1.124 亿 kW，约占全国的 16.7%。

金沙江上游水电规划河段为金沙江干流青海玉树巴塘河口～云南迪庆奔子栏河段，河段长约 772km，天然落差 1516m，河道平均坡降 1.96‰。主要支流左岸有赠曲、欧曲、降曲，右岸有藏曲、热曲、董曲等。

2003 年国家发展和改革委员会批准立项开展金沙江上游水电规划，2011 年 9 月，《金沙江上游水电规划环境影响报告书》通过环境保护部审查。2012 年 7 月《金沙江上游水电规划报告》取得国家发展和改革委员会的批复。2012 年 12 月，国务院批复了《长江流域综合规划（2012-2030 年）》（国函〔2012〕220 号）。根据批复的《长江流域综合规划（2012-2030 年）》，《金沙江上游河段水电规划报告》，金沙江上游河段的开发保护任务为以发电为主，保护生态环境和民族文化，促进地区经济社会发展和移民脱贫致富。规划推荐以岗托为龙头水库的“一库十三级”的梯级布局和资源规划方案，即西绒、晒拉、果通、岗托、岩比、波罗、叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙、昌波、旭龙、奔子栏，同时采纳规划环评的建议推荐岗托、叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙和旭龙 6 个梯级为近期重点开发的梯级。近期工程中的叶巴滩、拉哇、苏洼龙 3 级已纳入国务院关于“支持西藏经济社会发展若干政策和重大项目”(国办函(2010)62 号)，应抓紧开展其前期工作，积极推进。

2004 年 5 月，长江设计公司分两阶段开展金沙江旭龙水电站预可行性研究阶段勘测设计工作。2012 年 11 月，水电水利规划设计总院在北京对《金沙江旭龙水电站预可行性研究报告》进行了预审。2016 年 8 月形成《金沙江旭龙水电站预可行性研究报告》（送审稿）。2017 年 8 月通过了水电水利规划设计总院的审查。长江设计公司相继于 2017 年 10 月完成了正常蓄水位选择专题、坝址比选

及枢纽布置格局专题，于 2018 年 1 月完成了施工总布置规划专题，2018 年 10 月完成装机容量选择专题等一系列成果。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 1 号）等的相关规定要求，旭龙水电站工程需编制环境影响报告书，并在开工建设前将环境影响报告书报有审批全的环境保护主管部门审批。2018 年 5 月，国电金沙江旭龙水电开发有限公司委托长江水资源保护科学研究所（以下简称“长江水保所”）所开展旭龙水电站工程环境影响评价工作。

## 二、建设项目特点

旭龙水电站位于云南省德钦县与四川省得荣县交界的金沙江干流上游河段，是金沙江上游水电规划“一库十三级”中的 12 个梯级，也是近期重点开发的最下游梯级。坝址左侧为四川省得荣县，右侧为云南省德钦县，推荐坝址距下游奔子栏镇 72.8km，距上游昌波坝址 75.5km。旭龙水电站为一等大（1）型工程，水库正常蓄水位 2302m，总库容约 8.47 亿 $m^3$，死水位 2297m，电站装机容量 2400MW，多年平均年发电量约 103.19 亿 kWh。枢纽工程由拱坝、泄水建筑物及引水发电系统等组成。是金沙江上游河段水电规划推荐的近期重点工程之一。

## 三、环境影响评价的工作过程

自 2011 年开始，长江水保所开始介入旭龙水电站环评工作，配合长江设计公司，负责并完成了预可研阶段的环境影响评价和水土保持工作，以及可研阶段的正常蓄水位比选、坝址比选、施工总布置规划等专题的论证工作。

正式接受建设单位委托后，长江水保所在前期工作的基础上，组织专业技术人员多次对旭龙水电站工程施工区、库区、坝下游及移民安置区进行现场查勘及污染源调查。委托相关资质单位开展环境现状监测工作。为保证环境影响评价工作的准确性、客观性、科学性，作为环境影响报告书的技术支撑，长江水保所组织国内知名科研单位及高校，共同开展了相关专题研究工作，委托四川大学开展了水温、气体过饱和影响研究；委托水利部中科院水工程生态研究所开展水生生态调查与评价专题研究；委托西南林业大学、武汉市伊美净科技发展有限公司开展陆生生态调查与评价工作。为满足工作需要，还开展了栖息地保护规划、鱼类增殖站设计、过鱼设施设计、地下水、对少数民族文化及风俗的影响、施工环境影响等专题研究。

在专题研究过程中，长江水保所专程拜访云南省、四川省、西藏自治区生态环境厅，以及云南省迪庆州、四川省甘孜州生态环境局的相关部门，汇报了工作进展，听取环境保护主管部门的意见。

为保证环评工作的顺利开展，长江水保所于 2018 年 3 月就已编制完成《金沙江上游旭龙水电站环境影响评价工作大纲》并组织专家咨询。同年 5 月 23 日，建设单位在工程涉及的云南省迪庆州德钦县，四川省甘孜州巴塘县、得荣县，西藏自治区昌芒康县以及工程施工涉及乡镇，进行了第一次环境影响评价信息公示。同 11 月编制完成《金沙江上游旭龙水电站环境影响评价重要技术问题咨询报告》，再次组织专家咨询。根据两次咨询意见，并针对金沙江上游白格堰塞湖泄洪影响，又开展了相关的补充调查与监测工作。

在上述工作的基础上，根据现状调查、环境现状监测以及各项专题研究的成果，结合工程建设内容，长江水保所进行了全面深入的工程分析和环境影响评价，针对工程建设可能产生的影响，提出了环境保护对策措施，制定了环境监测与管理计划，估算了环境保护投资并进行经济损益分析，形成了《金沙江上游旭龙水电站环境影响报告书》（征求意见稿）。

## 四、环境影响评价的主要结论

旭龙水电站工程符合国家“可持续发展”和“西电东送”战略，对实现全国能源平衡，缓解东、中部地区电力供需矛盾具有战略意义。工程建设在合理开发利用金沙江水能资源，完善上游河段治理开发的梯级衔接中具有重要作用，成为综合治理开发金沙江的重要组成部分。

旭龙水电站建设在取得巨大综合利用效益的同时，也对环境带来一定不利影响，主要表现在：工程建成后，将进一步加剧金沙江上游原有的鱼类阻隔影响，使鱼类生境片段化，将降低鱼类种群间遗传基因交流的机会，削弱种群生存力。工程施工和移民迁建，使当地植被受到损坏，在短期内将加剧工程区的水土流失；工程施工将产生废水、废气、废渣、噪声等，对周围环境将产生一定不利影响；水库淹没造成耕地资源损失，土地承载压力加大。

工程以有利影响为主，除耕地淹没损失为不可逆影响外，其他不利影响均可采取措施予以减缓或消除。项目实施不存在重大环境制约因素，从环境保护角度分析，工程建设可行。

# 1 总则

## 1.1编制目的

金沙江旭龙水电站工程具有规模大、涉及范围广、施工建设周期长的特点。项目建设区位于川、滇、藏三省交界区域，区域植被覆盖率较低，生态环境脆弱。工程施工、水库淹没、移民安置将对区域生态环境产生影响。

根据《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ 2.1-2016）及不断提高的建设项目环境保护要求，结合本工程特性及工程所在地区的环境特点，确定环境影响评价的主要目的如下：

（1）调查了解本工程库区、施工区、坝下游区环境现状及其发展趋势，存在的主要环境问题和环境保护敏感目标；

（2）根据工程的施工和运行情况，预测评价工程施工、运行以及移民安置对施工区、库区、坝下游区及移民安置区环境的影响；

（3）针对工程建设对区域环境的不利影响，在充分考虑《金沙江上游水电规划环境影响报告书》及审查意见（环审[2011]243 号）要求的基础上，制定可行的政策和减缓措施，协调工程建设与环境保护的关系，使工程兴建不致降低所在地区及其周围区域的环境质量，保证工程顺利施工和正常运行，使工程建设既能促进区域社会经济的持续发展，又能保护与改善项目区生态环境，实现水资源的持续利用和环境建设的协调发展；

（4）分析工程在施工期和运行期施工区、库区、坝下游区环境的总体变化趋势，从环境方面论证工程兴建的可行性，从而为工程的环境管理和项目决策提供科学依据。

（5）拟定环境监测和环境管理方案，掌握工程建设与运行过程中实际发生的环境影响，并及时做出反馈，对环境保护措施进行充实、完善和细化，增强措施的针对性和可操作性。

（6）进行环境保护投资估算，将环保投资纳入工程总投资，落实工程环境保护工作费用，为环保措施的顺利实施提供资金保证。

## 1.2编制依据

### 1.2.1 法律

（1）《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月施行）；

（2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月修订）；

（3）《中华人民共和国水法》（2016 年 7 月修订）；

（4）《中华人民共和国防洪法》（2016 年 7 月修订）；

（5）《中华人民共和国水土保持法》（2011 年 3 月施行）；

（6）《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月施行）；

（7）《中华人民共和国大气污染防治法》（2018 年 10 月修正）；

（8）《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018 年 12 月修订）；

（9）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2016 年 11 月修订）；

（10）《中华人民共和国土地管理法》（2004 年 8 月施行）；

（11）《中华人民共和国传染病防治法》（2013 年 6 月修订）；

（12）《中华人民共和国野生动物保护法》（2018 年 10 月修订）；

（13）《中华人民共和国渔业法》（2013 年 12 月修订）；

（14）《中华人民共和国农业法》（2013 年 1 月施行）；

（15）《中华人民共和国森林法》（2009 年 8 月修改）。

### 1.2.2 行政法规

（1）《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月国务院令发布，2017 年 7 月修订）；

（2）《中华人民共和国河道管理条例》（2017 年 3 月修订）；

（3）《土地复垦规定》（2011 年 3 月施行）；

（4）《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》（1993 年 9 月国务院批准，2013 年 12 月修订）；

（5）《中华人民共和国陆生野生动物保护实施条例》（1992 年 2 月国务院批

准，2016 年 2 月修订）；

（6）《中华人民共和国野生植物保护条例》（1997 年 1 月国务院批准，2017 年 10 月修订）；

（7）《中华人民共和国自然保护区条例》（1994 年 10 月国务院批准，2017 年 10 月修正）；

（8）《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令 第 4 号，2019 年 1 月施行）；

（9）《建设项目环境影响评价分类管理目录》（2018 年 4 月）；

（10《全国生态环境保护纲要》（国务院 2000 年 12 月）；

（11《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》（国发[2005]39 号）；

（12《全国重要江河湖泊水功能区划（2011~2030）》（国函[2011]167 号）；

（13《国家重点保护野生动物名录》（2003 年 2 月）；

（14《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》（中办、国办 2017 年 2 月）；

（15）生态保护红线管理办法(暂行)》(征求意见稿)，2018 年 5 月；

### 1.2.3 地方法规

（1）《四川省〈中华人民共和国水土保持法〉实施办法》(2012 年 9 月修正)

（2）《四川省重点保护野生动物名录》（1990 年 3 月）；

（3）《四川省地面水水域环境功能划类管理规定》（川府发[1992]5 号）；

（4）《四川省基本农田保护实施细则》（1996 年 2 月）；

（5）四川省人民政府“关于公布《四川省新增重点保护野生动物名录》的通知”（川府发[2000]37 号）；

（6）《四川省天然林保护条例》（1999 年 1 月）；

（7）《四川省环境保护条例》（2018 年 1 月 1 日）；

（8）《四川省〈中华人民共和国野生动物保护法〉实施办法》（2012 年修订）；

（9）《四川省〈中华人民共和国渔业法〉实施办法》（2016 年 11 月 30 日）

（10）《云南省第一批省级重点保护野生植物名录》（1989 年 6 月）；

（11）《云南省珍稀保护动物名录》（1989 年 9 月）；

（12）《云南省陆生野生动物保护条例》（2014 年 7 月 27 日）；

（13）《云南省环境保护条例》（2004 年 6 月 29 日）；

（14）《云南省建设项目环境保护管理规定》（2002 年 1 月 1 日）；

（15）《云南省土地管理条例》（2015 年 9 月 25 日）；

（16）《云南省地表水环境功能区划（复审）》（2001 年 6 月）；

（17）《云南省森林条例》（2003 年 2 月 1 日施行）；

（18）《云南省水土保持条例》（2014 年 10 月 1 日施行）；

（19）《云南省基本农田保护条例（修订）》（2015 年 9 月 25 日施行）；

（20）《西藏自治区环境保护条例》(2013 年 7 月修正)；

（21）《西藏自治区实施<中华人民共和国野生动物保护法>办法》(2002 年 1 月修改)；

（22）西藏自治区实施《宗教事务条例办法》(试行)(2007 年 1 月)；

（23）《西藏自治区实施<中华人民共和国水土保持法>办法》(2013 年 7 月修订)；

（24）《西藏自治区文物保护管理条例（修正）》（1996 年 7 月）。

### 1.2.4 规范性文件

（1）《国务院关于印发青藏高原区域生态建设与环境保护规划(2011-2030 年)的通知》（国发[2011]10 号）

（2）《关于西部大开发中加强建设项目环境保护管理的若干意见》（环发[2001]4 号）；

（3）《关于加强水电建设环境保护工作的通知》（环发[2005]13 号）；

（4）《关于印发水电水利建设项目水环境与水生生态保护技术政策研讨会会议纪要的函》（环办函[2006]11 号）；

（5）《关于印发水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)的函》(环评函[2006]4 号，原国家环保总局) ；

（6）《长江流域综合规划（2012~2030 年）》（国函[2012]220 号）；

（7）《国务院关于印发全国主体功能区规划的通知》（国发[2010]46 号）；

（8）《国务院关于水污染防治行动计划的通知》（国发[2015]17 号）；

（9）《全国生态功能区划（修编版）》（环保部 2015 年第 61 号公告，2015 年 11 月）；

（10）《关于加强西部地区环境影响评价工作的通知》（环发[2011]150 号，环境保护部）；

（11）《关于进一步加强水电建设环境保护工作的通知》（环办[2012]4 号文）；

（12）《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号）；

（13）《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》（环发[2012]98 号）；

（14）《关于进一步加强水生生物资源保护严格环境影响评价管理的通知》（环发[2013]86 号）；

（15）《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》（环办[2013]103 号）；

（16）国家发展改革委关于加强流域水电管理有关问题的通知（环办[2014]48 号）；

（17）《关于深化落实水电开发生态环境保护措施的通知》（发改能源【2016】280 号）；

（18）《关于加强规划环境影响评价与建设项目环境影响评价联动工作的意见》（环发【2015】178 号）；

（19）《全国生态保护“十三五”规划纲要》(环境保护部，2016 年 10 月)

（20）《水电发展“十三五”规划》(国家能源局，2016 年 11 月)

（21）《长江上游、黄河上中游地区天然林资源保护工程二期实施方案》

（22）《川西藏区生态保护与建设规划(2013~2020)》

（23）《关于进一步加强建设项目环境影响评价工作管理的通知》（四川省环境保护局，川环发[2001]248 号）；

（24）《四川省突发公共事件总体应急预案》（2006 年 1 月）；

（25）《四川生态省建设规划纲要(2006-2020 年)》（四川省人民政府，2006 年 9 月）；

（26）《四川省生态功能区区划》（四川省人民政府，2013 年 2 月）；

（27）《四川省主体功能区规划》（四川省人民政府，2013 年 4 月）；

（28）《四川省人民政府关于印发四川省生态保护红线方案的通知》（川府发【2018】24 号）

（29）《云南省人民政府突发公共事件总体应急预案》（2004 年 11 月）；

（30）《云南省主体功能区规划》（2014 年 1 月）；

（31）《云南省生态功能区划》（2010 年 5 月）；

（32）《云南省人民政府关于发布云南省生态保护红线的通知》（云政发【2018】32 号）

（33）《西藏生态安全屏障保护与建设规划（2008~2030）》；

（34）《西藏自治区主体功能区划》（藏政发【2014】108 号）；

（35）《西藏自治区生态功能区划》（西藏自治区人民政府，2013 年 8 月）等。

### 1.2.5 技术导则及规范

（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；

（2）《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；

（3）《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）；

（4）《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）；

（5）《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；

（6）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）；

（7）《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ964-2018）；

（8）《环境影响评价技术导则 水利水电工程》（HJ/T88-2003）；

（9）《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）；

（10）《水电水利工程环境保护设计规范》（DL/T5402-2007）；

（11）《地下水环境监测技术规范》（HJ/T 164-2004）；

（12）《环境监测技术规范》（原国家环保总局，1986 年）；

（13）《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91-2002）；

（14）《水域纳污能力计算规程》（GB/T25173-2010）；

（15）《水电工程环境保护专项投资编制细则》（NB/T 35033-2014）；

（16）《水电工程设计概算编制规定（2013 年版）》、《水电工程费用构成及概

（估）算费用标准（2013 年版）》（可再生定额[2014]54 号）；

（17）《水电工程投资估算编制有关规定（试行）》（可再生定额[2011]36 号）；

（18）《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2007）；

（19）《水电工程水温计算规范》（NB/T 35094-2017）；

（20）《水电工程鱼类增殖放流站设计规范》（NB/T 35037-2014 ）；

（21）《水电工程过鱼设施设计规范》（NB/T 35054-2015）；

（22）《水电工程生态流量计算规范》（NB/T 35091-2016）；

（23）《水电水利工程水文计算规范》（DL/T 5431-2009）；

（24）《水电工程建设征地移民安置规划设计规范》(DL/T 5064-2007)

等。

## 1.2.6 环境质量标准和污染物排放标准

### 1.2.6.1 环境质量标准

（1）《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；

（2）《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）；

（3）《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）；

（4）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；

（5）《声环境质量标准》（GB3096-2008）；

（6）《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018)；《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)等。

### 1.2.6.2 污染物排放标准

（1）《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；

（2）《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；

（3）《工业企业环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；

（4）《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014）；

（5）《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制排放标准》（GB18599-2001）；

（6）《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）等。

### 1.2.7 技术报告及相关文件

（1）《金沙江上游水电规划报告》；

（2）《金沙江上游水电规划环境影响报告书》；

（3）“关于《金沙江上游水电规划环境影响报告书》的审查意见”，环审[2011]243 号；

（4）《金沙江上游旭龙水电站预可行性研究报告》及审查意见；

（5）《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段坝址比选报告》；

（6）《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段正常蓄水位选择专题报告》；

（7）《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段施工总布置规划专题报告》；

（8）《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段勘测设计工作大纲》；

（9）《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段勘察设计科研工作大纲》；

（10）《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段施工总布置规划专题报告（审定稿）》等。

## 1.3评价原则

（1）生态优先、整体协调原则

环境影响分析及措施制定与流域水资源综合利用规划、金沙江上游水电规划及其环境影响评价、区域相关政策及行业发展规划协调一致并紧密结合，落实“开发干流保护支流”原则；同时，与区域珍稀保护动植物等环境敏感对象的保护要求紧密协调，切实做到生态优先。

（2）早期介入、预防为主原则

在本工程可行性研究设计工作启动开始，环境影响评价即介入其中，在方案设计、比选及施工布置、进度计划和运行方式等拟定过程中，将环境影响作为重要比选条件，贯彻预防为主的环境保护指导思想，尽可能避让重要环境敏感对象，优选出环境影响相对较小的主体工程方案。同时，在拟定环境保护措施时，在主体工程设计时即考虑与环保措施的衔接，如生态流量保障及过鱼措施，优先考虑预防性措施，做到从源头和过程控制，以最大限度地减少不利环境影响的发生。

（3）全面分析、突出重点原则

对评价范围内的环境影响进行全面评价，并对区域重点、敏感的环境问题，对主要受影响的环境因子，如水文情势、水环境和生态等方面给予足够重视，在设计深度允许的条件下，充分论证重要、敏感的环境问题。

（4）可操作性和针对性原则

针对不利环境影响提出的环境保护措施应与本工程项目特点以及工程地区的社会、经济和自然条件相适应，具有针对性和可操作性。

## 1.4评价因子筛选与评价重点

### 1.4.1 评价因子筛选

结合旭龙水电站建设和运行的实际环境影响特征以及环境保护相关要求，确定本项目评价因子，详见表 1.4-1。

**表 1.4-1　旭龙水电站环境影响评价因子汇总表**

| 环境要素 | 评价时段 | | 评价因子 |
|---|---|---|---|
| 地表水环境 | 现状评价 | | 水文：流量、水位 |
| | | | 泥沙：含沙量、输沙量 |
| | | | 水温：水温、沿程增温率 |
| | | | 水质：反应河流水质情况的基本指标 |
| | 预测评价 | 施工期 | 水文：流量 |
| | | | 水质：废水流量、pH、SS、COD、石油类等 |
| | | 运行期 | 水文：流量、水位、沿程水文情势变化、径流分配 |
| | | | 泥沙：水库泥沙淤积量 |
| | | | 水温：库区水温结构与分布、下泄水温、沿程水温 |
| | | | 溶解性气体过饱和 |
| | | | 水质：SS、$BOD_5$、COD、氨氮、TP、TN |
| 地下水环境 | 现状评价 | | 地下水赋存条件、水位、径流补排条件 |
| | 预测评价 | 施工期 | 施工隧洞、地下厂房周边水位变化情况 |
| | | 运行期 | 水库浸没范围与面积 |
| 声环境 | 现状评价 | | 昼间与夜间等效连续 A 声级（Leq） |
| | 预测评价 | 施工期 | 噪声源强与衰减量、环境敏感对象等效连续 A 声级（Leq） |
| 环境空气 | 现状评价 | | TSP、$PM_{10}$、$NO_2$、$SO_2$ |
| | 预测评价 | 施工期 | 颗粒物 |

| 环境要素 | 评价时段 | | 评价因子 |
|---|---|---|---|
| 生活垃圾 | 预测评价 | 施工期 | 生活垃圾产生量 |
| 生态环境 | 现状评价 | | 自然条件：地形地貌、气候气象 |
| | | | 陆生生态：植被类型、珍稀动植物及其重要栖息生境、景观生态体系 |
| | | | 水生生态：水生生境、饵料生物、鱼类及其“三场” |
| | 预测评价 | 施工期 | 陆生生态：施工占地区植被类型与面积、珍稀动植物及其重要栖息生境 |
| | | | 水生生态：水生生境、饵料生物、鱼类资源 |
| | | 运行期 | 陆生生态：植被类型与覆盖度、珍稀动植物及其重要栖息生境、景观生态体系 |
| | | | 水生生态：水生生境、饵料生物、鱼类及其“三场” |
| 社会环境（含移民安置） | 现状评价 | | 人口、经济、水资源、土地资源、交通等基础设施、人群健康、民俗文化与宗教设施、旅游资源、文化教育等 |
| | 预测评价 | 施工期 | 土地利用、交通状况、民俗文化与宗教设施，集中安置点专项设施建设施工环境影响 |
| | | 运行期 | 水资源、土地资源民俗文化与宗教设施，集中安置点运行期生活污水、生活垃圾排放环境影响 |
| 环境风险 | 施工期 | | 油库事故风险、爆破事故风险、施工危险品运输事故风险、河流水质污染风险 |
| | 运行期 | | 羊拉铜矿调节池、外来物种入侵风险 |

## 1.4.2 评价重点

根据评价因子筛选结果，结合环境敏感对象及环境保护目标，拟定旭龙水电站环境影响评价重点内容，详见表 1.4-2。

**表 1.4-2 旭龙水电站环境影响评价重点内容一览表**

| 环境要素 | | 评价重点内容 |
|---|---|---|
| 水环境影响 | 施工期 | 导流洞封堵及水库初期蓄水对下游水文情势的影响 |
| | 运行期 | 电站日调节运行对下游水文情势的影响 |
| | | 运行期对库区坝前垂向水温及下泄水温的影响；泄洪产生的溶解性气体过饱和影响 |
| 生态环境影响 | 施工期 | 工程施工对陆生植物、植被、水土流失的影响 |
| | 运行期 | 水库淹没及工程占地对植被、陆生生物多样性及景观生态的影响 |
| | | 库区消落带对景观及生态的影响 |
| | | 大坝阻隔和水文特征改变对鱼类及其重要生境的影响 |
| | | 电站运行下泄水温变化及气体过饱和对鱼类的影响 |
| 环境地质影响 | 运行期 | 水库形成、电站运行、泄洪雾化对库岸稳定 |

| | |
|---|---|
| 环境风险分析 | 水环境和生态风险 |

# 1.5评价标准

## 1.5.1 环境质量标准

根据四川省、云南省和西藏自治区三省区生态环境厅对旭龙水电站环境影响评价标准的确认函及有关规范、标准等，结合工程区域环境特征，本工程环境影响评价执行以下标准：

（1）环境空气质量标准：施工区及周边区域执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

（2）地表水环境质量标准：金沙江干流执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）II 类水标准。施工总布置区所在的拿荣～茂顶长约 14.5km 的金沙江河段两岸支沟，执行 II 类水标准。

（3）声环境质量标准：施工区及周边区域执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）的 2 类标准，交通干线两侧 35m 范围内执行 4a 类标准。

（4）地下水环境质量标准：执行《地下水环境质量标准》（GB/T14848-93）III类水标准。

主要环境因子的环境质量标准见表 1.5-1。

**表 1.5-1 环境质量标准一览表**

| 地表水 | | |
|---|---|---|
| 项目 | 《地表水环境质量标准》II 类（mg/L） | |
| pH | 6～9 | |
| 溶解氧 | ≥6 | |
| 高锰酸盐指数 | ≤4 | |
| 化学需氧量 | ≤15 | |
| $BOD_5$ | ≤3 | |
| 氨氮 | ≤0.5 | |
| 总磷 | ≤0.1（湖库 0.025） | |
| 石油类 | ≤0.05 | |
| 粪大肠菌群 | ≤2000 | |
| 声环境 | | |
| 时段 | 《声环境质量标准》2 类（dB） | 《声环境质量标准》4a 类（dB） |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 昼间 | $L_{Aeq}$：60 | $L_{Aeq}$：70 | |
| 夜间 | $L_{Aeq}$：50 | $L_{Aeq}$：55 | |
| 地下水 | | 环境空气 | |
| 《地下水环境质量标准》III类（mg/L） | | 《环境空气质量标准》二级（日均）（ug/m³） | |
| 项目 | 标准值 | 项目 | 标准值 |
| pH | 6.5～8.5 | TSP | 300 |
| 氨氮 | ≤0.50 | $PM_{10}$ | 150 |
| 硝酸盐 | ≤20.0 | $SO_2$ | 150 |
| 亚硝酸盐 | ≤1.00 | $NO_2$ | 80 |
| 总硬度 | ≤450 | | |
| 溶解性总固体 | ≤1000 | | |
| 耗氧量 | ≤3.0 | | |

## 1.5.2 污染物排放标准

大气污染物排放标准：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准，无组织排放执行无组织排放监控浓度限值。

水污染物排放标准：干、支流江段禁排。

噪声标准：执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

固体废物：生活垃圾执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014），一般工业固体废物执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制排放标准》（GB18599-2001）相关标准。

污染物排放执行标准见表 1.5-2。

**表 1.5-2　　污染物排放执行标准**

| 环境空气 | | 声环境 | |
|---|---|---|---|
| 《大气污染物综合排放标准》二级标准（mg/m³） | | 《建筑施工场界环境噪声排放标准》dB（A） | |
| 项目 | 标准值 | 时段 | 标准值 |
| TSP | 1.0 | 昼间 | 70 |
| $PM_{10}$ | 1.0 | 夜间 | 55 |
| $SO_2$ | 0.4 | | |
| $NO_2$ | 0.12 | | |

## 1.6评价工作等级

### 1.6.1 水环境

#### 1.6.1.1 地表水环境

依据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），旭龙水电站属于水文要素影响型建设项目。依据水文要素影响型建设项目评价等级判定原则：按照径流-库容法，$\alpha$=37.66＞20，为混合型，据此评价等级为三级；兴利库容与年径流量百分比 β=0.26＜2，电站具有日调节能力，据此评级等级为三级；电站与上游叶巴滩、拉哇、巴塘等梯级联合调度后，水量利用系数 90.26%，γ＞30，据此评价等级为一级；工程为拦河筑坝的方式，占用过水断面宽度达 100%，R＞10，据此评价等级为一级。综上，本工程水环境评价等级为一级。

#### 1.6.1.2 地下水环境

根据《环境影响评价技术导则-地下水环境》（HJ610-2016）附录 A，旭龙水电站属于水利工程中的水库类，其库容>1000 万 $m^3$，故地下水环境影响评价项目类别为III类。

旭龙水电站工程不涉及集中式饮用水水源地、特殊地下水资源保护区（矿泉水、温泉），也不存在因水文地质条件变化而诱发地面沉降、岩溶塌陷等地质灾害，地下水环境敏感程度为不敏感。

综上，根据《环境影响评价技术导则-地下水环境》（HJ610-2016），确定地下水环境影响评价等级为三级。

### 1.6.2 环境空气

旭龙水电站对大气环境的影响主要集中在施工期，废气及扬尘来自机械燃油、施工爆破、开挖以及交通运输等。本工程地处山区，根据工程规模，采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ/T2.2-2008）推荐的估算模式进行估算，工程施工过程中和建成运行后各种污染物最大地面质量浓度占标率 Pmax＜10%。

根据《环境影响评价技术导则大气环境》评价等级分级原则，确定工程施工

大气环境影响评价等级为三级。

### 1.6.3 声环境

旭龙水电站对声环境的影响主要集中在施工期。工程区适用《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 2 类、4 类标准区域，施工噪声导致周边区域噪声级别有一定的增加。

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009）评价等级分级原则，本工程声环境评价等级确定为二级。

### 1.6.4 生态环境

旭龙水电站工程所在区域地处干热河谷地区，区域生态系统脆弱。水电站枢纽占地和水库淹没总面积为 20.83km²，大于 20 km²。回水长度约 63.29km，小于 100km。工程影响范围内不涉及生态敏感区，按照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）生态影响评价工作等级划分表，生态影响评价工作等级为二级。由于拦河闸坝建设明显改变水文情势，对河段水生生物及其生境产生影响，评价工作等级应上调一级的要求，依据导则要求评价工作等级上调一级。

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）评价等级分级原则，确定本工程陆生生态评价、水生生物评价工作等级均为一级。

## 1.7评价范围

### 1.7.1 水环境

#### 1.7.1.1 地表水

按照《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），评价范围考虑的要素包括水温、径流、流速、水深、水环境敏感目标等。结合旭龙水电站特征，电站为日调节电站，电站非恒定流下泄可能导致下游水深、流速变化，电站建设导致部分月份下泄水温变化。因此，本次评价范围确定需要考虑的要素包括水温、

水深、流速等。

（1）水温影响要素

按照密度弗洛德数法判断，旭龙水电站坝前水温结构为过渡型，工程建设对水温存在季节性的影响。经计算，考虑上游梯级联合调度，电站 5 月份下泄水温最大温差为-3.9℃，其中旭龙水库贡献-0.9℃。按照《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）要求，水温要素影响评价范围为建设项目形成水温分层水域，以及下游未恢复到天然（或建设项目建设前）水温的水域。因此，按照水温要素的评价范围确定原则，考虑上游昌波电站，以及坝下游水温恢复至项目建设前的水温所需的河段长度，确定评价范围为旭龙水电站坝址至石鼓断面，长约 287km。

（2）水深、流速要素

按照《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），评价范围内相对项目建设前日均或潮均流速及水深、或高（累积频率 5%）低（累积频率 90%）水位（潮位）变化幅度超过 5%的水域。电站非恒定流下泄，对比苏洼龙建设前后，下游水深、流速变化情况，评价范围为：库区旭龙坝址至昌波坝址长约 75.5km 河段；坝下游至奔子栏水文站，长约 75km 河段；总长约 150.5km。

综上，水环境评价范围为昌波坝址至石鼓断面，总长约 362.5km 的河段，以昌波坝址至奔子栏水文站长约 150.5km 河长为重点评价河段。

#### 1.7.1.2 地下水

根据《环境影响评价技术导则地下水环境》（HJ610-2016）要求，评价范围应包括与建设有关的环境保护目标及敏感区域，必要时扩展至完整的水文地质单元，经调查和评价确定以水库回水线向两侧岸坡扩展至分水岭，作为调查和评价区的范围，其面积为：355.65km$^2$。

### 1.7.2 环境空气

工程区为高山峡谷地形，环境空气影响时段为施工区，结合污染物以施工粉尘与扬尘为主，易于沉降的特点，确定环境空气的评价范围为施工封闭管理区及管理区边界外 500m 范围，主要施工道路两侧 200m 范围。重点是 1#、2#、3#和

现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站）、茂顶河弃渣场周边的茂顶村居民点。

### 1.7.3 声环境

声环境评价范围为施工封闭管理区及管理区边界外 200m 内范围；重点是 1#、2#、3#、现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站）、茂顶河弃渣场周边的茂顶村居民点。

### 1.7.4 生态环境

#### 1.7.4.1 陆生生态

陆生生态评价范围为旭龙水电站库尾至坝下两侧河段有施工区分布的金沙江河段，河段上下游各扩展1km，河段两侧外扩至第一道山脊线所形成的陆域空间范围，包含丹达曲和麦曲河淹没范围（丹达曲淹没长度2.6km，麦曲河淹没长度0.13km）。海拔高程为河床2020m至两侧山脊线（3500m～5180m）。工程直接影响区域为水库淹没区、工程永久和临时占地区域。陆生生态评价范围总面积为433.03km$^2$。

#### 1.7.4.2 水生生态

水生生态调查评价范围为干流苏洼龙坝址至至虎跳峡硕多岗河汇口，支流包括麦曲、丹达曲、定曲和冈曲。

### 1.7.5 社会环境

工程占地、水库淹没及移民安置涉及的四川省甘孜州得荣县、巴塘县，云南省迪庆州德钦县，西藏自治区芒康县，重点为工程施工建设区及移民安置区所在的乡镇。

## 1.8评价水平年

### 1.8.1 现状评价水平年

本工程环境现状评价水平年为2012年~2019年，并注重对历史资料的利用。

### 1.8.2 预测评价水平年

施工期：施工高峰年。

运行期：工程竣工后的第三年。

## 1.9环境敏感对象

旭龙水不涉及自然保护区、风景名胜区、饮用水源保护区、珍稀动植物集中分布区等环境敏感区域，区域环境敏感对象主要情况及其与工程的关系见表1.9-1和附图6。

表 1.9-1　　旭龙水电站环境敏感对象一览表

| 环境要素 | 环境保护敏感对象 | 规模及特征 | 与工程的位置关系 | 主要影响源 | 可能造成的影响 | 保护要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水环境 | 库区金沙江干流 | 本工程坝址至麦曲河口约62.8km河段；旭龙坝址处多年平均流量990m³/s，水环境功能区划为II类 | 本工程库区 | 水库蓄水 | 蓄水导致库区河段水文情势发生变化，可能引起水体富营养化 | 保障库区水质满足水功能要求 |
| | 库区金沙江主要支流 | 丹达河、麦曲河流域出口多年平均流量分别为20 m³/s、32 m³/s，各支流水环境功能区划为II类 | 库区支流 | | | |
| | 坝下金沙江干流 | 本工程坝址至奔子栏水文站河段长度约75km，奔子栏水文站多年平均流量1100 m³/s，水环境功能区划为II类 | 本工程坝下 | 水库蓄水及与上、下游梯级电站联合运行 | 导流洞封堵和初期蓄水导致下游水文情势变化，旭龙水电站与上、下游梯级电站联合运行引起下游水文情势发生变化 | 保障下游基本生态需水，保障下游鱼类产卵集中区域生境需求 |

| 环境要素 | 环境保护敏感对象 | 规模及特征 | 与工程的位置关系 | 主要影响源 | 可能造成的影响 | 保护要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 水库联合运行，导致下游水温发生变化 | |
| | 地下水 | 评价范围无重要价值泉眼以及特殊地下水资源保护区，地下水水质良好 | 本工程枢纽工程施工区及水库浸没区 | 洞室开挖及水库蓄水 | 洞室施工可能引起地下水水位下降，水库蓄水可能引起工程区域地下水位抬升，地下水水质发生变化 | 保护区域地下水水位、水质不因工程建设产生不利影响。 |

续表 1.9-1　　旭龙水电站环境敏感对象一览表

| 环境要素 | 环境保护敏感对象 | 规模及特征 | 与工程的位置关系 | 主要影响源 | 可能造成的影响 | 保护要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 陆生生态环境 | 金荞麦 | 国家 II 级重点保护野生植物 | 7 处位于施工区或淹没区，2 处位于工程直接影响区外 | 工程占地、水库淹没影响 | 减少野生金荞麦植物个体数量 | 保障植物多样性 |
| | 金雕、胡兀鹫和雉鹑等 3 种 | 国家I级重点保护野生动物 | 雉鹑在工程间接影响区，其余两种在直接影响区和间接影响区均有分布 | 工程占地、水库淹没、施工活动干扰 | 改变评价区动物分布格局 | 保障动物多样性 |
| | 高山兀鹫、黑鸢、雀鹰、普通鵟、红隼、灰背隼、血雉、红腹角雉、藏马鸡、白腹锦鸡、灰林鸮、猕猴、黑熊、青鼬、小熊猫、斑羚、鬣羚和岩羊等 18 种 | 国家II级重点保护野生动物 | 直接影响区和间接影响区均有分布 | 工程占地、水库淹没、施工活动干扰 | 改变评价区动物分布格局 | 保障动物多样性 |
| | 赤麻鸭、赤狐、黄鼬、豹猫、毛冠鹿等 5 种 | 省级/自治区重点保护野生动物 | 除赤麻鸭在直接影响区有分布，其余境内分布在间接影响区 | 工程占地、水库淹没、施工活动干扰 | 改变评价区动物分布格局 | 保障动物多样性 |
| | 细瘦卷柏、独尾草、灰毛菀、小叶灰毛菀、川滇野丁香、胶粘香茶菜、错枝榄仁等 22 种 | 中国特有植物 | 错枝榄仁属于狭域分布种，其余种类分布广泛 | 工程占地、水库淹没 | 减少植物个体数量 | 保障植物多样性 |
| | 乡城齿蟾、圆疣蟾蜍、西藏蟾蜍、华西雨蛙、昭觉林蛙等 18 种 | 中国特有动物 | 评价区均有分布 | 工程占地、水库淹没 | 改变动物分布格局 | 保障动物多样性 |
| | 生态公益林 | 国家级和省级公益林 | 工程直接影响区面积 747.59 $hm^2$ | 工程占地、水库淹没 | 生态公益林面积减少，资源量下降 | 保障公益林面积和资源量稳定 |

续表 1.9-1　旭龙水电站环境敏感对象一览表

| 环境要素 | 环境保护敏感对象 | 规模及特征 | 与工程的位置关系 | 主要影响源 | 可能造成的影响 | 保护要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水生生态环境 | 长丝裂腹鱼 | 珍稀保护与特有鱼类 | | 大坝阻隔、蓄水影响 | 大坝阻隔影响基因交流，库区蓄水及电站运行造成水文情势、水生生境发生变化 | 保护鱼类种群多样性、稳定性 |
| | 黄石爬鮡 | 珍稀保护与特有鱼类、濒危鱼类 | | 大坝阻隔、蓄水影响 | 大坝阻隔影响基因交流，库区蓄水及电站运行造成水文情势、水生生境发生变化 | 保护鱼类种群多样性、稳定性 |
| | 安氏高原鳅、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、中华金沙鳅 | 长江上游特有鱼类 | | 大坝阻隔、蓄水影响 | 大坝阻隔影响基因交流，库区蓄水及电站运行造成水文情势、水生生境发生变化 | 保护鱼类种群多样性、稳定性 |
| 声环境和环境空气 | 茂顶村 | 19 户居民 | 茂顶河弃渣场附近 | 工程施工 | 受施工噪声和粉尘影响 | 保护施工区周边居民点大气环境质量满足环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准、声环境质量满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)2 类标准 |

## 1.10　环境保护目标

### 1.10.1 预防保护目标

（1）优化施工布置、施工工艺、施工程序及施工管理，尽量减少对环境敏感对象的影响。

（2）控制施工占地，减少对工程地区现有林地、耕地的占压和破坏；加强施工管理，减轻工程活动对区域动、植物造成的不利影响，维护工程及其周边区域的生态完整性和生物多样性。

（3）对施工区内珍稀保护植物的分布情况进行调查，以保护工程影响区的生物多样性、生态系统的完整性、稳定性，降低对珍稀物种的影响和破坏。

（4）维护工程区域水环境、环境空气及声环境质量，重点做好施工期的环境保护工作。加强施工期管理，强化施工期各类污染物产生与排放的控制，防止

施工扬尘、噪声对工程区周围环境以及当地居民正常生活产生影响。

（5）保护工程区域水生生态系统，防治施工污染对水生生境的影响，结合工程特征及上、下游梯级电站运行调度方式，对水生生态保护措施体系进行措施规划和设计。

（6）蓄水初期合理调度，泄放合适的生态流量，保障下游生态环境用水需求。

（7）运行期合理调度，保障坝下游基础设施、建筑物和群众生命、财产安全，维护坝下水生生态系统的健康稳定。

（8）加强施工人员宣传教育，增强其对藏区社会经济、宗教文化的了解和认知，尊重藏族同胞的生活方式和宗教信仰，构建和谐的工程建设氛围。

### 1.10.2 污染控制目标

（1）维护工程河段现有II类水域功能，施工期生产废水和生活污水处理后回用或综合利用不外排，减免工程施工对区域水环境的不利影响。

（2）维护施工区及其周边区域的环境空气质量，使周边居民点环境空气质量达到《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准。

（3）维护工程河段及其周边区域的声环境质量，各施工工区边界噪声达到《建筑施工场界噪声限值》(GB16297-1996)相应标准，确保评价范围内各居民点的声环境分别达到《声环境质量标准》(GB3096-2008)2 类标准。

### 1.10.3 恢复治理目标

（1）陆生生态恢复保护目标：通过植被恢复措施、施工期环境保护措施以及施工管理，尽可能减少工程建设对动植物种类、分布、数量或面积的影响，维持生态系统结构和功能完整性。

（2）水生生态保护目标：结合金沙江上游水电规划及批复要求，协调上、下游梯级完善流域增殖放流和生态流量保障方案，尽可能降低工程建设对鱼类的影响；同时采取鱼类栖息地保护、过鱼、水温缓解、强化渔政管理和进行水生态监测等措施，确保水生生物多样性不出现明显的降低，进而保护受影响河段的鱼

类资源。

（3）移民安置区保护目标：采用工程及植物措施防治移民安置区水土流失与植被破坏，尊重移民意愿，为移民营造良好的生产、生活环境。

## 1.11 评价工作程序

按照《建设项目环境保护管理条例》和《环境影响评价技术导则》的要求，本工程环境影响评价程序如图 1.11-1。

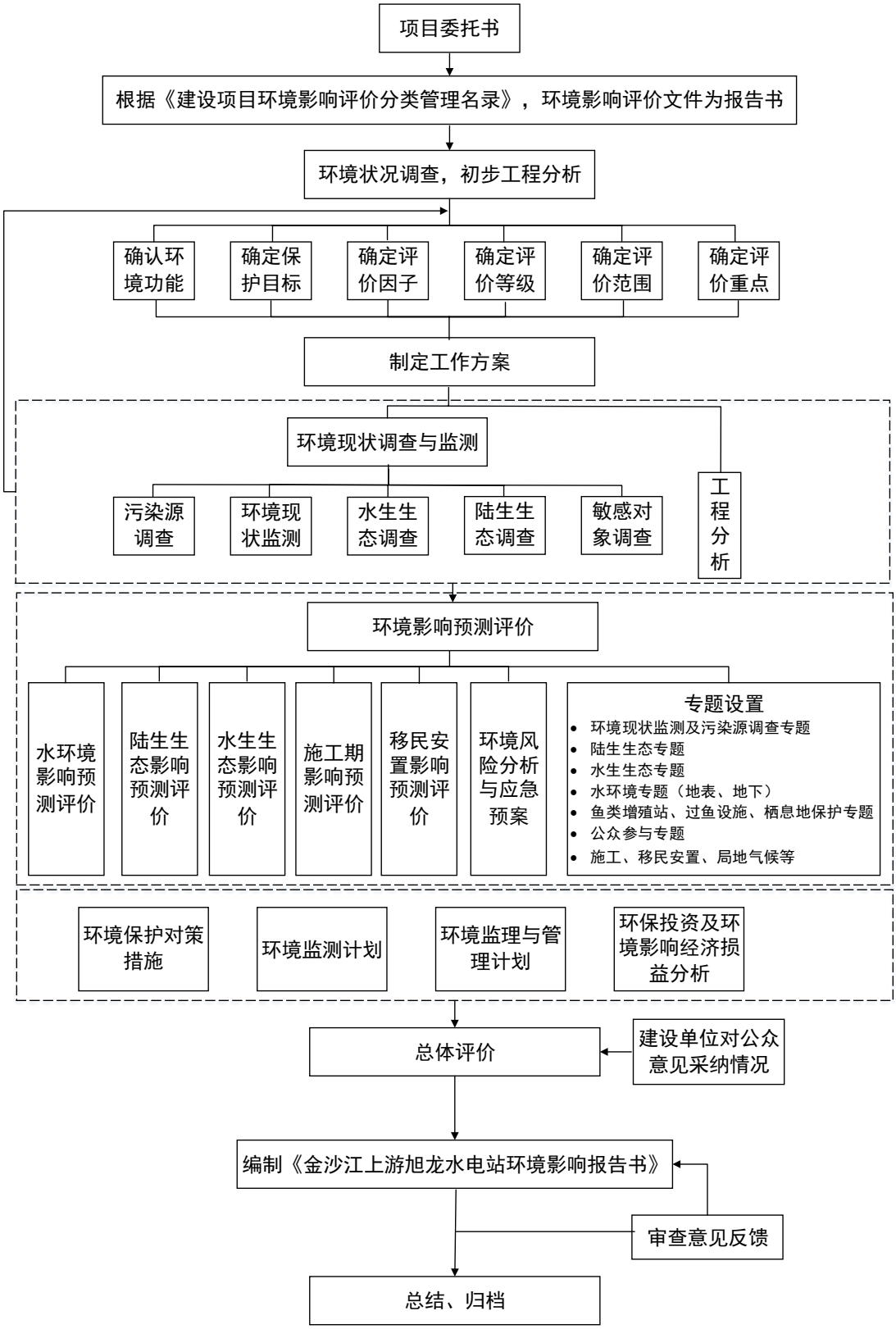



图 1.11-1 金沙江上游旭龙水电站环境影响评价程序框图

# 2 工程概况

## 2.1金沙江流域上游水电规划概况

### 2.1.1 金沙江上游水电规划及开发现状

#### 2.1.1.1 河段规划

建国以来，有关省区和部门为开发治理金沙江，开展了大量的地形测量、地质勘探、调查、科研、规划、设计等工作，积累了丰富的基础资料和宝贵的科研设计成果，为金沙江的开发建设奠定了坚实的基础。

二十世纪 50 年代，长江水利委员会（以下简称长江委）在开展长江流域规划的同时，在有关单位的配合下，着手进行长江重要江段金沙江流域规划工作，1959 年完成了《长江流域综合利用规划要点报告》。1960 年 12 月提出了《金沙江流域规划意见书》。

二十世纪 60 年代，为配合当时三线建设的需要，长江委对虎跳峡等枢纽进行了规划工作及枢纽方案比较，提出了《虎跳峡低坝（正常蓄水位 1815m）顺江引水式方案的初步设计报告》。

1985 年，长江委为配合长江流域综合利用规划的编制，对局部河段进行了补充查勘规划，完成了金沙江干流梯级的规划设计布局，并纳入到 1990 年的《长江流域综合利用规划简要报告（1990 年修订）》（以下简称《简要报告》）中，《简要报告》已经国务院国发[1990]56 号文批准。《简要报告》对河流的开发任务、开发方式、梯级开发方案以及流域的重点治理问题提出了规划意见，并对上游河段的梯级开发方案提出了轮廓性建议，即东就拉（3530m）——晒拉（3440m）——俄南（3360m）——白立（3210m）——降曲河口（3010m）——巴塘（2720m）——王大龙（2520m）——日冕（2300m）——拖顶（2100m）。

2003 年以来，长江委按照可持续发展、西部大开发战略和新时期治水思路的要求，于 2009 年 3 月编制了《金沙江干流综合规划报告》（以下简称《综合规划报告》），确定金沙江干流治理开发的任务是：发电、供水灌溉、防洪、航运、水资源保护、水土保持、旅游等。其中发电、供水灌溉和防洪为主要任务。金沙

江上游梯级规划布局为东就拉（西绒，3515m）——晒拉（3447m）——果通（3366m）——俄南（岗托，3215m）——白立（岩比，3030m）——波罗（2989m）——降曲河口（叶巴滩，2889m）——拉哇（2698m）——巴塘（2545m）——苏洼龙（王大龙，2475m）——日冕（旭龙）（2350m）等 11 级。

国家发展改革委 2003 年立项开展金沙江上游河段水电规划，按照水电前期工作管理有关规定，成都勘测设计研究院承担了该河段水电规划工作，2011 年 10 月提出了《金沙江上游水电规划报告（送审稿）》。金沙江上游水电规划河段范围上自青海玉树的巴塘河口，下至云南迪庆的奔子栏，全长 772km，天然落差 1516m，河道平均比降 1.96‰，年径流量约 350 亿 $m^3$。规划报告提出金沙江上游河段开发与保护任务是以发电为主，保护生态环境和民族文化，促进地区经济社会发展和移民脱贫致富。规划以岗托、波罗、叶巴滩、拉哇、旭龙等形成主要梯级格局的 13 级开发方案。梯级电站自上而下依次为：西绒（3515m）、晒拉（3447m）、果通（3366m）、岗托（3215m）、岩比（3030m）、波罗（2989m）、叶巴滩（2889m）、拉哇（2698m）、巴塘（2545m）、苏洼龙（2475m）、昌波（2385m）、旭龙（2302m）、奔子栏（2148m）。规划方案利用落差 1372m，装机容量 13920 MW ，年发电量 642 亿 kW·h 。2011 年 11 月，国家发展改革委在北京召开了金沙江上游水电规划报告审查会，审查“同意以岗托为龙头水库的 13 级电站作为流域梯级布局及资源规划方案”，“同意岗托、叶巴滩、拉哇、苏洼龙、巴塘、旭龙等 6 个电站列为近期工程”。 2012 年 7 月，《金沙江上游水电规划报告》已由国家发展改革委发改办能源[2012]2008 号文批准。

2012 年 12 月，《长江流域综合规划（2012～2030 年）》由国务院以国函〔2012〕220 号文批复，并要求认真组织实施。《长江流域综合规划（2012～2030 年）》提出金沙江上游河段的开发方案为西绒（东就拉）—晒拉—果通—岗托（俄南）—岩比（白丘）—波罗—叶巴滩（降曲河口）—拉哇—巴塘—苏洼龙（王大龙）—昌波—旭龙—奔子栏等 13 级；并提出“下阶段应在协调好开发与保护关系的前提下，进一步研究落实梯级电站建设方案。结合云南省、四川省经济社会发展需要，综合考虑滇中引水、虎跳峡河段开发方式、生态环境保护要求，进一步论证奔子栏梯级的可行性。”

#### 2.1.1.2 金沙江上游水电开发现状

金沙江是我国十三大水电基地中最大的一个，其水能富集程度堪称世界之最，是“西电东送”的重要能源基地。金沙江上游13个梯级电站总装机容量13920MW，占河段可开发量的91%。岗托、叶巴滩、拉哇、苏洼龙、巴塘、旭龙电站为金沙江上游一期工程，截至目前叶巴滩、苏洼龙水电站目前进入实施阶段，巴塘、拉哇水电站目前已核准。

表 2.1-1　金沙江上游水电规划各梯级主要技术经济指标表

| 梯级名称 | | 单位 | 西绒 | 晒拉 | 果通 | 岗托(高) | 岩比 | 波罗(高) | 叶巴滩 | 拉哇 | 巴塘 | 苏洼龙(高) | 昌波 | 旭龙 | 奔子栏 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 建设地点 | | | 青、川 | 青、川 | 青、川 | 川、藏 | 川、藏 | 川、藏 | 川、藏 | 川、藏 | 川、藏 | 川、藏 | 川、藏 | 川、滇 | 川、滇 | - |
| 坝址控制流域面积 | | $km^2$ | 141873 | 142204 | 142593 | 147451 | 149581 | 160519 | 173484 | 176027 | 176436 | 183825 | 184436 | 189872 | 203206 | - |
| 坝址多年平均流量 | | $m^3/s$ | 440 | 444 | 448 | 503 | 527 | 659 | 815 | 845 | 850 | 928 | 934 | 984 | 1110 | - |
| 正常蓄水位 | | m | 3515 | 3447 | 3366 | 3215 | 3030 | 2989 | 2889 | 2698 | 2545 | 2475 | 2385 | 2302 | 2148 | - |
| 利用落差 | | m | 68 | 81 | 33 | 185 | 41 | 100 | 191 | 153 | 60 | 90 | 83 | 154 | 133 | 1372 |
| 正常蓄水位以下库容 | | 亿$m^3$ | 2.34 | 2.33 | 0.75 | 54.11 | 1.552 | 8.37 | 12.16 | 15.58 | 1.36 | 6.38 | 0.12 | 7.08 | 15.82 | 126.95 |
| 调节库容 | | 亿$m^3$ | 0.51 | 0.36 | 0.21 | 32.25 | 0.377 | 0.99 | 8.64 | 9.06 | 0.26 | 0.84 | 0.07 | 0.74 | 10.07 | 64.39 |
| 调节性能 | | | 日调节 | 日调节 | 日调节 | 年调节 | 日调节 | 日调节 | 季调节 | 季调节 | 日调节 | 日调节 | 日调节 | 日调节 | 季调节 | - |
| 开发方式 | | | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 坝式 | 混合式 | 坝式 | 坝式 | - |
| 最大坝高 | | m | 90 | 103 | 53 | 229 | 52 | 128 | 240 | 227 | 71 | 108 | 38 | 217 | 184 | - |
| 坝型 | | | 面板 | 面板 | 闸坝 | 面板 | 面板 | 面板 | 面板 | 面板 | 面板 | 沥心墙 | 闸坝 | 拱坝 | 面板 | - |
| 装机容量 | | 万kW | 32 | 38 | 14 | 110 | 30 | 96 | 198 | 168 | 74 | 116 | 106 | 222 | 188 | 1392 |
| 枯水年枯期平均出力 | 单独 | 万kW | 3.89 | 4.77 | 1.80 | 37.70 | 2.95 | 11.03 | 34.76 | 29.11 | 9.25 | 15.57 | 11.29 | 27.94 | 30.30 | 220.35 |
| | 联合 | 万kW | 3.89 | 4.77 | 1.80 | 37.70 | 8.88 | 26.56 | 61.76 | 55.71 | 23.45 | 37.45 | 31.38 | 65.91 | 59.50 | 418.77 |

| 梯级名称 | | 单位 | 西绒 | 晒拉 | 果通 | 岗托(高) | 岩比 | 波罗(高) | 叶巴滩 | 拉哇 | 巴塘 | 苏洼龙(高) | 昌波 | 旭龙 | 奔子栏 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 年发电量 | 单独 | 亿kW.h | 14.712 | 17.740 | 6.609 | 53.907 | 12.012 | 39.497 | 83.786 | 70.301 | 30.191 | 49.572 | 43.47 | 92.824 | 79.415 | 594.031 |
| | 联合 | 亿kW.h | 14.712 | 17.740 | 6.609 | 53.91 | 13.46 | 43.60 | 90.88 | 76.34 | 33.35 | 55.20 | 48.47 | 102.05 | 85.96 | 642.289 |
| 其中：平、枯期电量 | 单独 | 亿kW.h | 3.970 | 4.882 | 1.845 | 23.418 | 2.983 | 10.163 | 24.780 | 20.713 | 7.899 | 13.470 | 10.91 | 25.064 | 24.144 | 174.240 |
| | 联合 | 亿kW.h | 3.970 | 4.882 | 1.845 | 23.418 | 5.674 | 17.202 | 37.473 | 32.933 | 14.235 | 23.230 | 19.87 | 42.005 | 37.810 | 264.548 |
| 装机年利用小时数 | 单独 | h | 4597 | 4668 | 4721 | 4901 | 4004 | 4114 | 4232 | 4185 | 4080 | 4273 | 4101 | 4181 | 4224 | 4267 |
| | 联合 | h | 4597 | 4668 | 4721 | 4901 | 4488 | 4542 | 4590 | 4544 | 4507 | 4759 | 4573 | 4597 | 4572 | 4614 |
| 工程静态总投资 | | 亿元 | 56.096 | 57.667 | 25.213 | 190.833 | 77.683 | 118.457 | 170.052 | 147.702 | 84.197 | 119.802 | 152.800 | 169.415 | 173.613 | 1543.551 |
| 单位千瓦投资 | | 元/kW | 17530 | 15175 | 18009 | 17350 | 25894 | 12339 | 8589 | 8792 | 11378 | 10328 | 14415 | 7631 | 9235 | 11089 |
| 单位电能投资 | | 元/kW.h | 3.81 | 3.25 | 3.81 | 3.54 | 5.77 | 2.72 | 1.87 | 1.93 | 2.52 | 2.17 | 3.15 | 1.66 | 2.02 | 2.40 |

说明：1) 本计算成果均采用长系列月径流(1953 年6 月-2003 年5 月)进行调节计算；

2) 本成果未考虑南水北调；

3) 昌波坝址生态流量采用多年平均流量的5%，即46.7$m^3$/s。

## 2.1.2 水电规划环评主要结论

2011 年 7 月下旬，原国家环境保护部会同国家发展改革委在北京市主持召开了规划环评报告书审查会，后以环审【2011】243 号文印发了审查意见。

### 2.1.2.1 规划环评报告书结论

（1）主要有利影响

金沙江上游水电规划实施带来的有利影响主要表现在发电效益、社会效益和环境效益三个方面。

1）资源规划推荐方案梯级电站建成后装机容量 1392 万 kW，枯水年枯期平均出力 418.77 万 kW，年发电量 642.29 亿 kW·h，单位千瓦/电能投资指标相对较优。规划方案的实施是国家“西电东送”能源战略的重要组成部分，将有力推动国民经济的发展。

2）方案实施将极大地促进区域产业结构的优化和升级，带动基础设施建设，改变地区原有的“粗放型”经济增长方式。电力工业将逐步成为金沙江上游地区的支柱产业，工业生产方式也将从劳动密集型逐步转向资本密集型，社会保障与文明程度将得到提高，民族地区经济迅速发展，有利于藏区脱贫致富和社会-经济-环境的稳定和谐进步。

3）梯级电站建成发电将显著减少 $CO_2$、$SO_2$、烟尘和废渣等国家控制性污染物的排放，减少生物质能源消耗，有助于我国“应对气候变化国家方案”拟定目标的实现。

（2）主要不利影响

规划方案实施带来的不利环境影响主要由大坝阻隔、水库蓄水运行及移民安置所致。

梯级开发后对水生生态的主要影响是鱼类适生生境缩小。若资源规划方案全部实施，保留天然河段的长度仅占规划河段总长的 9.46%，规划河段干流的 5 处鱼类重要栖息地中有 3 处将遭受严重影响，将造成本河段珍稀特有鱼类资源显著减少，不利于水生生物多样性保护。大坝阻隔将使规划河段水生生境破碎化，限制鱼类基因交流，削弱种群的生存力。

梯级电站联合调度运行将使库区及下游河段流量、水位、水温发生显著变化，

对鱼类生境的稳定性以及鱼卵、鱼苗存活产生不利影响，尤其是低温水下泄，将影响鱼类繁殖，不利于鱼类生长。

梯级水库蓄水后，将淹没正常蓄水位以下的耕地、植被、居民点与道路等设施。此外，梯级电站施工活动将对施工区及周围环境产生短期不利影响，移民生产开发和生活安置将给安置区社会和环境造成一定压力。

推荐规划方案存在的突出环境问题有：西绒、晒拉、果通、奔子栏梯级涉及自然保护区，与保护区相关法规要求不符；晒拉水库的形成将影响国家I级重点保护动物白唇鹿冬季结冰期过江交流活动；晒拉、岗托、岩比、波罗梯级将淹没3处鱼类重要栖息地。

（3）综合评价结论

金沙江干流是我国水能资源富矿，总装机规模约7500万kW以上，是国家规划的13个能源基地之一，在我国能源资源建设中具有重要的战略地位，加快金沙江水电开发步伐，是我国能源安全的客观需要，对我国的可持续发展意义十分重大。

金沙江上游水电规划遵循国家“西部大开发”、“西电东送”、“藏电外送”，以及青海、西藏、四川、云南四省（区）水电发展战略需要，以有利于规划河段水能资源开发与地方经济社会、生态环境和谐协调发展，合理分配和利用水能资源为主要目标。

金沙江上游水电规划的开发与保护任务是“以发电为主，保护生态环境和民族文化，促进地区经济社会发展和移民脱贫致富”。规划实施将极大地推动区域产业结构的优化和升级，改变地区原有的“粗放型”经济增长方式，促进民族地区的经济发展和脱贫致富；显著改善区域能源生产和消费结构，减少$CO_2$、$SO_2$、烟尘和废渣等国家控制性污染物的排放，有力推动流域社会、环境、经济的可持续发展。

遵循“生态优先、统筹考虑、适度开发、确保底线”的指导方针，规划环评推荐将完全不涉及自然保护区，生态、社会环境影响较小，经济指标较好，开发建设条件较优的叶巴滩、拉哇、苏洼龙、岗托、波罗、巴塘、昌波、旭龙8个梯级作为本次规划的实施方案。其中，昌波梯级为规避王大龙巨型堆积体对工程安全的影响而采用混合式开发，须在深入开展论证工作，确保工程安全，保障减水河段各类用水要求的前提下方可开工建设；波罗梯级位于鱼类资源丰富的河段，工

程建设将对该河段鱼类栖息地产生较大影响，须在深入研究替代生境有效性，采取切实可行的生态环境影响减缓措施的前提下方可开工建设。

西绒、晒拉、果通、奔子栏、岩比 5 个梯级由于涉及敏感生态问题暂不纳入实施方案，未来应根据国家能源发展战略要求，在充分论证其开发必要性和环境合理性的前提下确定是否开发。推荐实施方案避让了金沙江上游河段沿岸所有的自然保护区，完全保留了规划河段 5 个产卵场中的奔达、洛须、玛曲汇口 3 个产卵场，部分保留了岗托附近的产卵场，以支流为替代生境实现了波罗乡附近产卵场的生态功能。

针对规划实施可能产生的不利环境影响，规划环评拟定了以预防规避措施为主，最小化、减量化及修复补救措施为辅的环保措施体系，其中重点针对水生生态影响制定了以“洛须保留河段+支流赠曲下游河段+支流藏曲下游河段+巴塘保留河段+支流定曲下游河段”为鱼类保护河段，同时暂不将晒拉、岩比梯级纳入实施方案的综合保护方案，对金沙江上游珍稀特有鱼类的保护具有重要意义。从环境保护的角度分析，推荐的实施方案不存在制约性环境因素。

#### 2.1.2.2 规划环评主要审查意见

（1）同意将岗托、叶巴滩、拉哇、苏洼龙、巴塘、旭龙等 6 个梯级列入本轮规划的实施方案。在方案实施过程中，应切实落实《报告书》提出的各项生态环境保护对策措施，统筹干支流水电开发与生态环境保护的关系。

（2）建议对波罗、昌波 2 个梯级继续深入论证，提出有效可行的生态环境影响减缓措施，充分论证可行后实施。

（3）同意规划环评报告书提出的将西绒、晒拉、果通、岩比、奔子栏等 5 个梯级不列入本轮规划的实施方案。

（4）建议金沙江上游水电规划根据规划环评的研究成果和结论，进一步完善生态流量、生态监测和生物多样性保护等对策措施，落实环境保护的相关要求。

（5）建议在规划实施过程中，应根据对流域生态环境的监测监控结果，适时进行环境影响跟踪评价，进一步提出规划实施方案的优化建议，进一步完善生态环境保护的对策措施，并在规划实施过程中落实。

金沙江上游水电规划中所包含的近期建设项目，在开展环境影响评价时，应遵循规划环评报告书提出的主要结论和生态环境保护的对策措施。在明确建设项

目生态环境保护目标的基础上，加强受水电开发项目影响的生态环境现状调查。重点评价项目实施产生的生态、社会等影响，深入评价对生态环境敏感区域的影响方式、范围、历时和程度。切实落实过鱼设施、鱼类增殖放流、生态流量等保护措施。

## 2.1.3 规划环评环保要求落实情况简述

根据《金沙江上游水电规划环评报告》及批复要求，过鱼设施、鱼类增殖放流、生态流量以及栖息地保护等措施是在项目具体实施过程中需要重点关注和落实的。本节针对上述几项措施落实情况进行简要回顾。

截至目前，《金沙江上游水电规划》中确定的先期开发的 6 个梯级中，岗拖正开展预可行性研究工作，叶巴滩、苏洼龙已开始实施，巴塘、拉哇项目已核准。

### 2.1.3.1 生态流量及其保障措施

（1） 叶巴滩水电站

根据《金沙江上游叶巴滩水电站环境影响报告书》及批复（环审[2016]56号），叶巴滩水电站下泄生态流量不低于132$m^3/s$；在鱼类产卵期3月至4月、8月至9月下泄流量分别不低于272 $m^3/s$和405 $m^3/s$，期间每月各进行一次为期10天的生态调度过程，期间电站不进行日内调峰，按不低于上游来流量泄流。初期蓄水通过导流洞和导流底孔下泄生态流量,运行期正常工况下通过机组发电下泄生态流量，机组停运等情况下通过生态机组下泄生态流量。生态机组布置在坝址右岸的地下厂房，通过动能、机电、水工等专业综合比较，推荐安装1台混流式机组，装机容量200MW，设计引用流量135$m^3/s$。正常运行工况下，生态机组常年带基荷运行，不间断下泄流量，最小下泄流量为132$m^3/s$，可满足下游生态用水需求。在汛期生态机组检修期间，通过坝身泄洪设施满足下游生态用水需求；为进一步提高下泄生态流量保障程度，结合叶巴滩水电站枢纽工程布置，在右岸布置了生态旁通管。生态旁通管全长117m，管径2.5m，生态旁通管进口设置旁通阀门室，内布设消能阀。

（2） 拉哇水电站

由于巴塘电站死水位与拉哇坝址衔接，坝下不存在减脱水河段。且巴塘电站水库具有日调节能力，调节库容0.21亿$m^3$，其中生态反调节库容0.125亿$m^3$。运

行期，拉哇电站生态供水可不提具体流量要求，只需保障巴塘电站的生态反调节库容即可。

初期蓄水期间，为满足巴塘电站生态调度要求，初期蓄水期拉哇应保障一定的生态流量下泄，由于初期蓄水期拉哇拟采取生态供水旁通洞和放空洞控制泄流，从节约工程投资和方便管理的角度，下泄流量取巴塘电站生态流量扣除巴塘库区区间汇水的流量。初期蓄水期的生态流量下泄需求见表 2.1-2。

**表 2.1-2　拉哇电站初期蓄水期生态流量泄放需求**

| 项目 | | 叶巴滩 | 拉哇 | 巴塘 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 坝址以上控制流域面积(万 $km^2$) | | 17.35 | 17.60 | 17.64 | |
| 多年平均流量($m^3/s$) | | 839 | 849 | 853 | |
| 非鱼类产卵期生态流量($m^3/s$) | | 132 | 134 | 138 | |
| 鱼类产卵期生态流量($m^3/s$) | 3 月至 4 月(主要裂腹鱼类繁殖期) | 272 | 276 | 277 | 与上、下游电站相协调，每年 3~4 月及 8~9 月鱼类产卵期，每月分别进行一次至少持续 10 天的不蓄水 |
| | 8 月至 9 月(软刺裸裂尻鱼繁殖期) | **405** | **411** | **413** | |

备注：表中叶巴滩、巴塘下泄生态流量为相应电站环境影响报告书论证并经批复确认的生态流量。

（3） 巴塘水电站

根据《金沙江上游巴塘水电站环境影响报告书》及其批复（环审[2017]28号），水电站在初期蓄水及运行期，下泄生态流量不低于138 m³/s，在3月至5月、8月至9月，水电站对上游梯级电站进行反调节，日内不调峰。其中，在鱼类集中产卵的3月至4月和8月至9月，分别下泄生态流量不低于277 m³/s和413 m³/s，且每月开展一次至少持续10天的生态调度；生态调度期间，与上游电站联合调度，按上游来流量下泄生态流量。

鱼类产卵期，根据上游梯级的调度规则，在鱼类产卵期3月～4月和8月～9月，上游来水量大于单台机45%出力的泄放流量（即231.5m³/s），因此在鱼类产卵期通过机组泄流。 其他时段，当上游来流量大于单台机45%出力的泄放流量要求时（即231.5m³/s），通过机组泄放；当上游来流量小于单台机45%出力的流量（231.5m³/s）要求时，首先动用调节库容，满足单台机45%出力的流量要求，通过发电运行方式泄放流量；当调节库容不足时，通过生态放水洞泄放138m³/s流量。在巴塘电站停机不发电等运行工况下，设计采用永久生态放水洞泄放生态流量。生态放水洞与导流洞、泄洪洞相结合布置，即与泄洪洞共用进水口，出口则

由导流洞出口后期改建而成，洞长30.8m，最大泄流能力175 $m^3/s$。

（4） 苏洼龙水电站

根据《金沙江上游苏洼龙水电站环境影响报告书》及其批复（环审[2015]77号），工程下泄生态流量不低于 152 $m^3/s$，初期蓄水通过导流洞和泄洪设施下泄生态流量,运行期正常工况下通过机组发电下泄生态流量，机组停运等情况下通过生态泄放洞下泄生态流量。生态泄放洞由廊道式进口，由进水塔、有压隧洞、工作闸门及出口平底坎组成，布置在左岸地面厂房左侧。

### 2.1.3.2 栖息地保护

根据《金沙江上游叶巴滩水电站环境影响报告书（报批稿）》及其批复（环审[2016]56 号），叶巴滩水电站鱼类栖息地保护主要保护库尾右岸一级支流藏区，即规划环评中提出的“支流藏曲下游河段”，其中藏曲下游河段位于叶巴滩水电站库尾以上，长度为 50km。另，报告书提出，根据电站运行期降曲鱼类交流和迁移情况，具体落实降曲生态保护措施。




图 2.1-1 叶巴滩水电站藏曲下游河段栖息地保护范围示意图

（2）拉哇水电站

根据《金沙江上游拉哇水电站环境影响报告书（报批稿）》及其批复（环审[2017]162 号），将斜曲作为拉哇水电站库区保护支流。重点保护下游河口以上 40km 河段，尤其是马古西寺至则达约 12km 河段。斜曲未纳入金沙江上游栖息地保护河段规划。




图 2.1-2 拉哇水电站栖息地保护范围示意图

（3）巴塘水电站

依据《金沙江上游巴塘水电站环境影响报告书（报批稿）》及其批复文件（环审[2017]28号），将巴塘水电站坝址至苏洼龙库尾以上 12km 保留河段，支流巴楚河河口以上 11km 河段划为鱼类栖息地。




图 2.1-3　巴塘水电站栖息地保护范围示意图

（4）苏洼龙水电站

依据《金沙江上游苏洼龙水电站环境影响报告书（报批稿）》及其批复文件（环审[2015]77 号），将苏洼龙库尾至巴塘坝址 12 公里的规划保留河段作为干流栖息地进行保

护，将玛曲规划的巴塘电站厂址至河口 11 公里河段、西曲上的西曲二级电站厂址至河口 23 公里河段作为支流栖息地进行保护，不再开发。




图 2.1-4 苏洼龙水电站栖息地保护范围示意图

### 2.1.3.3 过鱼设施

（1）叶巴滩水电站

叶巴滩水电站采用集运鱼过鱼系统进行过鱼。在生态电站尾水出口设置集鱼槽，通过集鱼槽进鱼口制造诱鱼水流，当集鱼槽内的鱼类达到一定数量后，启动拖拽格网，将鱼类驱赶进入集鱼通道末端的提升舱。提升舱通过升鱼机竖井提升至下游转运平台处，将鱼转移至集鱼箱而后集鱼箱通过过道索道过坝到达库区码头的上游转运平台，再沿滑道下行至库区码头的钢质趸船上，之后再将集鱼箱吊装至运鱼船，由运鱼船运输至放流地点通过放鱼溜槽放流。

（2）拉哇水电站

拉哇水电站采用升鱼机系统过鱼型式。通过坝下集鱼槽集鱼，通过提升转运系统（包括下游转运平台、隧洞轨道、中间转运平台+自行式轨道小车、上游转运平台、提升箱、运鱼箱等），将与转运至上游转运平台，在上游码头处将运鱼箱吊装至运鱼船，由运鱼船运输至放流地点，通过放鱼溜槽放流。

（3）巴塘水电站

巴塘水电站采用鱼道方案进行过鱼。鱼道首先利用巴楚河 2.1km 的天然河道，然后采用明渠+隧洞布置。在巴楚河河口附近设置拦鱼导鱼设施，将鱼拦导至巴楚河内，鱼顺巴楚河上溯至鱼道进口，后经鱼道上溯入库区。鱼道全长 4.16km，其中巴楚河天然河道

段鱼道长约 2.1km，平均坡降 4.1‰；技术性鱼道 2.06km，由明渠段和隧洞段组成，其中人工明渠段全长 1476.09m（进口明渠和出口明渠总和），隧洞段全长 583.91m，综合坡比 2.64%。鱼道整体爬升高度 55m 左右。




图 2.1-5　巴塘水电站鱼道方案总体布置图

（4）苏洼龙水电站

苏洼龙水电站采用升鱼机进行过鱼。坝下鱼类在电站尾水的吸引下，通过诱鱼口进入升鱼机集鱼箱，集鱼箱由轨道绕坝运至停靠在坝上码头的转运鱼船，最后由转运鱼船运至库区支流汇口及库尾河段放流。

### 2.1.3.4 增殖放流站

（1）叶巴滩鱼类增殖放流站

金沙江上游规划环评阶段，根据整个金沙江上游鱼类资源分布特点，对鱼类增殖放流方案进行了规划布局。方案拟在规划河段的洛须、波罗和巴塘段共修建 3 个鱼类人工增殖放流站，各河段增殖站预选了不同关注的种类，计划开展保育、放流、交换、生产等工作。根据金沙江上游水电规划环评审查意见，叶巴滩、拉哇水电站为规划的先期实施电站，波罗需在继续深入论证、提出有效可行的生态环境影响减缓措施，并充分论证可行后方可实施。为统筹兼顾三个梯级电站的鱼类增殖放流工作，将规划环评提出的波罗河段鱼类增殖站建设于叶巴滩水电站。叶巴滩增殖站增殖放流对象主要为：长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、黄石爬鮡、青石爬鮡、中华鮡、姚氏高原鳅、裸腹叶须鱼、软刺裸裂尻鱼 9

种鱼类。放流规模未 86 万尾/年。

增殖站拟分二期建设，一期工程主要放流叶巴滩及拉哇电站影响河段的鱼类，二期工程放流波罗电站影响河段鱼类及远期繁殖成功后的鱼类。

（2）苏洼龙鱼类增殖放流站

根据金沙江上游水电规划环评，拟在巴塘河段设置鱼类增殖放流站，承担巴塘、苏洼龙、旭龙电站增殖放流任务。后期由于项目推进进度原因，苏洼龙电站推进进度先于巴塘电站，因此，将规划环评提出的波罗河段鱼类增殖站建设于苏洼龙水电站。放流对象包括长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、青石爬鮡、黄石爬鮡等 7 种鱼类，放流规模未 60 万尾/年。

### 2.1.4 规划环评对本工程的环境保护要求

（1）梯级开发对鱼类的主要影响是导致鱼类栖息地的丧失，就地保护是减免这种不利影响最主要的解决措施。根据金沙江上游水电规划环评的分析，金沙江上游整个规划河段干流有 5 处集中的产卵场和索饵场，若晒拉、岗托、岩比、波罗梯级全部建设，则奔达乡附近河段、岗托坝址附近河段、赠曲河口至波罗乡附近河段的产卵和索饵场将遭受严重影响，只有洛须宽谷河段和玛曲汇口河段的 2 处产卵场得以保留。《金沙江上游规划环境影响报告书》提出“结合保留河段分布情况，制订以‘洛须保留河段+支流赠曲下游河段+支流藏曲下游河段+巴塘保留河段+支流定曲下游河段’为鱼类保护河段，同时暂不将晒拉、岩比梯级纳入实施方案的综合保护方案”。

（2）为消减大坝对鱼类产生的阻隔影响，金沙江上游水电规划环评提出人工增殖放流、渔政管理、水生生态科学研究规划、过鱼设施等保护措施。其中，人工增殖放流措施考虑到流域的实际情况，拟在金沙江上游规划河段的洛须、波罗和巴塘段分别修建 3 个鱼类人工增殖放流站，主要任务是服务于临近河段，负责整个河段鱼类种质交换。其中巴塘段增殖放流站服务于巴塘以下梯级，维持巴塘保留段鱼类种群数量，同时兼顾巴塘以下河段鱼类增殖保护。

## 2.2工程地理位置

旭龙水电站地处东经 99°02'～99°11'，北纬 28°35'～29°27'，位于云南省德钦县与四川

省得荣县交界的金沙江干流上游河段，下游距奔子栏镇 72.8km，上游距昌波坝址 75.5km，东南距得荣县直线距离约 16km，东距甘孜州 310km，南距“香格里拉”和虎跳峡分别约 156km 和 247km，东北距成都直线距离约 520km，东南距昆明直线距离约 540km。

## 2.3工程特性

### 2.3.1 工程开发任务

根据金沙江流域规划及本河段经济社会对水电站工程开发的要求，结合本工程所能发挥的作用和开发条件，确定旭龙水电站的开发任务为：以发电为主，并促进地区经济社会发展。

### 2.3.2 工程规模和主要特性

旭龙水电站水库总库容 8.47 亿 $m^3$，电站总装机容量 2400MW，最大坝高 213m。根据《防洪标准》GB50201-2014 和《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》DL5180-2003 的有关规定，本工程为一等大（1）型工程，挡、泄水建筑物为 1 级建筑物，引水发电建筑物等主要永久性水工建筑物为 1 级建筑物，次要建筑物为 3 级建筑物；主要永久性水工建筑物结构安全级别为I级，次要建筑物结构安全级别为II级。电站主要工程特性见表 2.3-1。

表 2.3-1　　旭龙水电站工程特性表

| 序号及名称 | 单位 | 数量或类型 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 一、水文 | | | |
| 1.流域面积 | | | |
| 全流域 | 万 $km^2$ | 47.32 | |
| 坝址以上 | 万 $km^2$ | 18.95 | |
| 2.利用的水文系列 | 年 | 66 | |
| 3.多年平均年径流量 | 亿 $m^3$ | 313 | |
| 4.代表性流量 | | | |
| 多年平均流量 | $m^3/s$ | 990 | |
| 设计洪水流量 | $m^3/s$ | 9970 | P=0.10% |
| 校核洪水流量 | $m^3/s$ | 11300 | P=0.02% |
| 施工导流流量 | $m^3/s$ | 6420 | P=5.00% |
| | $m^3/s$ | 7930 | P=1.00% |
| 5.洪水 | | | |

| 序号及名称 | 单位 | 数量或类型 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 设计洪水洪量（3d） | 亿 $m^3$ | 24.2 | |
| 校核洪水洪量（3d） | 亿 $m^3$ | 27.6 | |
| 6.泥沙 | | | |
| 多年平均悬移质年输沙量 | 万 t | 1890 | |
| 多年平均含沙量 | $kg/m^3$ | 0.598 | |
| 二、水库 | | | |
| 1.特征水位 | | | |
| 校核洪水位 | m | 2305.89 | 5000 年一遇 |
| 设计洪水位 | m | 2303.42 | 1000 年一遇 |
| 正常蓄水位 | m | 2302 | |
| 死水位 | m | 2297 | |
| 2.正常蓄水位时水库面积 | $km^2$ | 16.51 | |
| 3.回水长度 | km | 62.25～62.36 | 5 年、20 年、50 年一遇回水 |
| 4.水库容积 | | | |
| 总库容 | 亿 $m^3$ | 8.47 | 校核洪水位以下 |
| 正常蓄水位以下库容 | 亿 $m^3$ | 7.81 | |
| 调节库容 | 亿 $m^3$ | 0.8 | 正常蓄水位至死水位 |
| 死库容 | 亿 $m^3$ | 7.01 | 死水位以下 |
| 5.库容系数 | % | 0.26 | 调节库容/平均年径流量 |
| 6.调节性能 | | 日调节 | |
| 7.水量利用系数 | % | 92.27 | 与岗托、叶巴滩、拉哇等联合运行 |
| 三、下泄流量及相应下游水位 | | | |
| 1.设计洪水位时最大泄量 | $m^3/s$ | 9800 | 1000 年一遇 |
| 相应下游水位 | m | 2163.17 | 厂址处 |
| 2.校核洪水位时最大泄量 | $m^3/s$ | 11138 | 5000 年一遇 |
| 相应下游水位 | m | 2164.73 | 厂址处 |
| 3.装机容量发电最大引用流量 | $m^3/s$ | 1856.4 | |
| 相应下游水位 | m | 2151.49 | 厂址处 |
| 4.生态流量 | $m^3/s$ | 180/280 | |
| 四、工程效益指标 | | | |
| 1.发电效益 | | | |
| 装机容量 | MW | 2400 | |
| 保证出力（P=95%） | MW | 408/609 | 与叶巴滩、拉哇等联合运行/与岗托、叶巴滩、拉哇等联合运行 |
| 多年平均发电量 | 亿 kW ħ | 98.86/103.19 | |
| 装机年利用小时数 | h | 4119/4300 | |
| 五、建设征地和移民安置 | | | 略 |
| 六、主要建筑物及设备 | | | |
| 1.挡水建筑物 | | | |
| 型式 | | 混凝土双曲拱坝 | |
| 地基特性 | | 花岗岩、混合岩、片岩 | |

| 序号及名称 | 单位 | 数量或类型 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 地震基本烈度/设防烈度 | | 8 月 9 日 | |
| 坝顶高程 | m | 2308 | |
| 最大坝高 | m | 213 | |
| 顶拱宽度及上游面弧长 | m，m | 12,482.90 | |
| 坝体方量 | 万 $m^3$ | 210.9 | |
| 2.泄水消能建筑物 | | | |
| 2.1 泄洪表孔 | | | |
| 堰顶高程 | m | 2287 | |
| 孔数、尺寸 | 孔，m×m | 3,12×15 | 宽×高 |
| 单宽流量 | $m^3/s/m$ | 135.61 | 设计洪水 |
| 消能方式 | | 挑流 | |
| 工作闸门型式 | | 弧形闸门 | |
| 工作闸门数量、尺寸 | 扇，m×m | 3,12×16.47 | |
| 启闭机型式 | | 液压启闭机 | |
| 启闭机数量、容量 | 套，kN | 3,2×2600 | |
| 设计泄洪流量 | $m^3/s$ | 4882 | |
| 校核泄洪流量 | $m^3/s$ | 6142 | |
| 2.2 泄洪中孔 | | | |
| 进口底板高程 | m | 2220 | |
| 孔口数量、尺寸 | 孔，m×m | 4,7×5 | 宽×高 |
| 单宽流量 | $m^3/s/m$ | 175.64 | 设计洪水 |
| 消能方式 | | 挑流 | |
| 工作闸门型式 | | 弧形闸门 | |
| 工作闸门数量、尺寸 | 扇，m×m | 4,7×5 | |
| 启闭机型式 | | 液压启闭机 | |
| 启闭机数量、容量 | 套，kN | 4,3600/1000 | 启门力/下压力 |
| 设计泄洪流量 | $m^3/s$ | 4918 | |
| 校核泄洪流量 | $m^3/s$ | 4996 | |
| 2.3 水垫塘及二道坝 | | | |
| 水垫塘尺寸 | m×m | 60×280 | 底板，宽×长 |
| 二道坝型式及坝顶高程 | m | 重力坝，2153 | |
| 最大坝高 | m | 54 | |
| 3.引水发电建筑物 | | | |
| 3.1 引水洞 | | | |
| 地基或围岩特性 | | 混合岩、花岗岩 | |
| 进水口个数及型式 | 个 | 4，岸塔式 | |
| 单机额定流量 | $m^3/s$ | 464.1 | |
| 进水口底板高程 | m | 2269 | |
| 进水口快速门型式 | | 平面定轮闸门 | |
| 进水口快速门数量、尺寸 | 扇，m×m | 4，8.4×11.6 | |
| 快速门启闭机型式 | | 液压启闭机 | |
| 快速门启闭机数量、容量 | 套，kN | 4，2500/4500 | 启门力/持住力 |
| 进水口检修门型式 | | 平面滑动闸门 | |
| 进水口检修门数量、尺寸 | 扇，m×m | 1，8.4×12.05 | |
| 检修门启闭机型式 | | 门式启闭机 | |

| 序号及名称 | 单位 | 数量或类型 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 检修门启闭机数量、容量 | 套，kN | 1，2×1000/800 | 主钩/回转吊 |
| 隧洞条数 | 条 | 4 | |
| 最大洞长 | m | 545.64 | |
| 断面型式 | | 圆形 | |
| 断面直径 | m | 10.8 | 内径 |
| 衬砌型式 | | 钢筋混凝土 | |
| 3.2 电站厂房 | | | |
| 型式 | | 地下 | |
| 围岩特性 | | 花岗岩 | |
| 主厂房开挖尺寸（长×宽×高） | m×m×m | 200×29.9×78.1 | |
| 水轮机安装高程 | m | 2132 | |
| 3.3 调压室 | | | |
| 围岩特性 | | 花岗岩、片岩 | |
| 底坎高程 | m | 2110.4 | |
| 个数 | 个 | 2 | |
| 高度 | m | 86.6 | |
| 平面尺寸 | m×m | 147.1×24 | |
| 衬砌型式 | | 钢筋混凝土 | |
| 调压室检修门型式 | | 平面滑动闸门 | |
| 调压室检修门数量、尺寸 | 扇，m×m | 2，10.2×17.6 | |
| 检修门启闭机型式 | | 桥式启闭机 | |
| 检修门启闭机数量、容量 | 套，kN | 1，2×2000 | |
| 3.4 尾水洞 | | | |
| 地基或围岩特性 | | 花岗岩、片岩 | |
| 隧洞条数 | 条 | 4 月 2 日 | 支洞/主洞 |
| 断面型式 | | 城门洞 | |
| 断面直径 | m | 10.2×17.6/12.5×17.6 | 支洞/主洞（宽×高） |
| 最大洞长 | m | 85.79/346.39 | 支洞/主洞 |
| 衬砌型式 | | 钢筋混凝土 | |
| 出口底坎高程 | m | 2126 | |
| 尾水检修门型式 | | 平面滑动闸门 | |
| 尾水检修门数量、尺寸 | 扇，m×m | 4，6×17.6 | |
| 检修门启闭机型式 | | 门式启闭机 | |
| 检修门启闭机数量、容量 | 套，kN | 1，2×1250 | |
| 5.渗控工程 | | | |
| 防渗线路长度 | m | 1284 | |
| 防渗帷幕面积 | 万 m2 | 24 | |
| 6.地面开关站 | | | |
| 面积 | m×m | 170×17.5 | 长×宽 |
| 7.过鱼设施 | | | |
| 设施型式 | | 升鱼机系统 | |
| 运鱼方式 | | 索道运输 | |
| 8.主要机电设备 | | | |

| 序号及名称 | 单位 | 数量或类型 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 8.1 水轮机 | | | |
| 台数 | 台 | 4 | |
| 型号 | | HL（174）-LJ-720 | |
| 额定转速 | r/min | 111.1 | |
| 转轮直径 | m | 7.2 | |
| 最大水头 | m | 157.1 | |
| 最小水头 | m | 132.1 | |
| 加权平均水头 | m | 148.25/148.56 | |
| 额定水头 | m | 144 | |
| 额定流量 | $m^3/s$ | 464.1 | |
| 8.2 发电机 | | | |
| 台数 | 台 | 4 | |
| 型号 | | SF600-54/1570 | |
| 单机功率 | MW | 600 | |
| 发电机功率因数 | | 0.9 | |
| 发电机额定电压 | kV | 20 | |
| 500kV 主变压器 | 台 | 13 | |
| 9.输电电压 | kV | 500 | |
| 出线回路数 | 回 | 3 | |
| 七、施工 | | | |
| 1.主体工程数量 | | | |
| 明挖土、石方 | 万 $m^3$ | 1135.41 | |
| 洞挖土、石方 | 万 $m^3$ | 243.4 | |
| 填筑土、石方 | 万 $m^3$ | 174.03 | |
| 混凝土 | 万 $m^3$ | 373.36 | |
| 钢筋 | t | 104927 | |
| 金属结构安装 | 万 t | 32.41 | |
| 帷幕灌浆 | 万 m | 48.83 | |
| 固结灌浆 | 万 m | 6.1 | |
| 2.施工临时房屋 | 万 m2 | 33.9 | |
| 3.施工供电 | MW | | |
| 4.对外交通 | | 58 | |
| 公路距离 | km | 201.6 | |
| 运量 | 万 t | | |
| 5.施工导流 | | 一次拦断河床、隧洞导流 | |
| 导流方式 | | 6420 | P=5% |
| 初期导流标准 | $m^3/s$ | 7930 | P=1% |
| 中期导流标准 | $m^3/s$ | 8560(设计) | P=0.5% |
| 后期导流标准 | $m^3/s$ | 9370(校核) | P=0.2% |
| 上游土石围堰高度 | m | 50 | |
| 下游土石围堰高度 | m | 20 | |
| 导流隧洞断面尺寸 | m | 14×17 和 12×16 | |
| 6.施工用地 | $km^2$ | 5.57 | |
| 7.施工工期 | | | |
| 工程筹建期 | mon | 24 | |
| 第一台机组投产工期 | mon | 96 | |
| 总工期 | mon | 98 | |

| 序号及名称 | 单位 | 数量或类型 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 八、经济指标 | | | 略 |

## 2.4工程项目组成

旭龙水电站工程由永久工程、临时工程、水库淹没处理与移民安置工程、环境保护工程等项目组成，详见表 2.4-1。

表 2.4-1　　旭龙水电站工程项目组成表

| 工程项目 | | 工程组成 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 永久工程 | 挡水建筑物 | 混凝土双曲拱坝 | 1 级建筑物 |
| | 泄洪消能建筑物 | 坝身设 3 个表孔和 4 个中孔，坝下挑、跌流＋天然水垫塘。 | |
| | 引水发电建筑物 | 进水口、引水隧洞、地下厂房、母线洞、主变洞、交通电缆竖井、通风洞、尾水隧洞、尾水调压室、尾水平台、地面开关站（含出线场）、交通洞及厂外排水系统等。 | 1 级建筑物 |
| 临时工程 | 导流工程 | 左岸 2 条导流洞和上下游土石围堰 | 4 级建筑物 |
| | 场内交通工程 | 主要施工道路总长 43.52km，其中左岸 18.52km，右岸 25.0km，坝下游新建旭龙大桥。 | |
| | 施工企业 | 2 处砂石料加工系统、2 处混凝土拌和系统、1 处机械汽车修配保养厂、1 处金属结构拼装厂、1 处综合加工厂。 | |
| | 其它 | 主体工程设 7 处弃渣场；3 处施工营地、1 处现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站）。 | |
| 水库淹没处理与移民安置工程 | 农村移民安置 | 后靠安置和集中安置点工程 | |
| | 专项设施复建 | 交通设施工程复建、输变电工程复建、通信线路工程复建 | |
| 环境保护工程 | | 包括鱼类增殖放流站、过鱼设施、栖息地保护规划、珍稀植物种质资源园、污废水处理工程、热解站、环境空气保护工程、声环境保护工程等。 | |

## 2.5枢纽布置及主要建筑物

旭龙水电站枢纽布置方案为：河床布置混凝土双曲拱坝，坝身布置泄洪孔和生态泄水孔，坝下游布置混凝土水垫塘，右岸布置引水发电建筑物与过鱼设施，左岸布置导流洞。枢纽布置图详见图 2.5-1

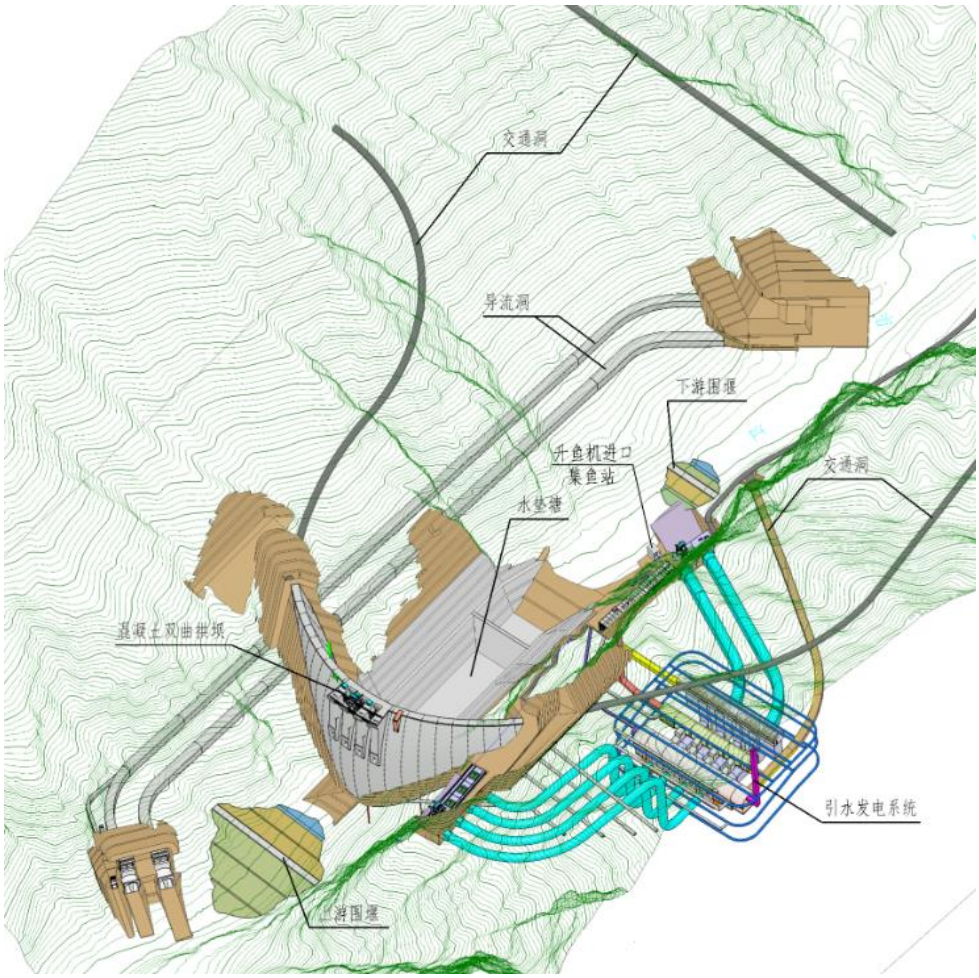



图 2.5-1 旭龙水电站枢纽布置图

### 2.5.1 挡水建筑物

混凝土双曲拱坝采用抛物线型，坝顶高程 2308m，建基面高程 2095m，最大坝高 213m。坝顶高程处河谷宽 357m。坝顶下游弦长 411.8m，弦高比 1.93；中心线弧长 473.9m，弧高比 2.22；拱冠处坝底厚度 46.2m，厚高比 0.217；顶拱中心角 85.5°，最大中心角 93.5°。

## 2.5.2 泄水建筑物

泄水建筑物布置在坝身，为 3 个泄洪表孔+4 个泄洪中孔。

泄洪表孔为开敞式溢流堰形式，孔口尺寸 12.0m×15.0m，跨横缝布置。表孔堰面采用 WES 曲线，堰顶高程 2287.00m。每个表孔设一道事故检修门和一扇弧形工作门，事故检修门由坝顶门机启闭，弧形工作门由设在坝顶上的液压启闭机启闭。

泄洪中孔采用有压管型式，共 4 孔，布置在坝段中部。中孔的进口底板高程为 2220.00m，出口断面尺寸为 7.0m×5.0m。中孔进口段布置事故检修门，事故检修门由坝顶门机启闭。出口布置弧形工作门，由设在闸墩上的液压启闭机启闭。

坝下游设混凝土水垫塘，水垫塘 280m×60m（长×宽），水垫塘底板混凝土厚 3m，底板顶高程 2108m。两岸边坡护坡混凝土板在高程 2153m 以下厚 3m，高程 2153m~2183m 厚 2m，高程 2183m~2213m 厚 1.5m，高程 2213m~2242m 厚 0.5m。二道坝坝顶高程 2153.00m。

## 2.5.3 引水发电建筑物

引水发电建筑物采用地下厂房、集中布置在右岸，安装 4 台单机容量为 600MW 的混流式水轮发电机组，装机容量为 2400MW。

电站进水口采用岸塔式，位于右坝肩上游，距坝顶轴线最小距离约 65m，单塔长度 30.0m，塔顶高程 2308.0m，建基面高程 2260.0m，进水塔尺寸为 120.0m×26m×48.0m。

引水隧洞采用一机一洞，共 4 条，长约 406.72m～545.63m，洞径 10.8m～8.4m。由上平段、上弯段、斜井段、下弯段及下平段等组成，不设调压室。

主厂房、主变洞和尾水调压室等三大洞室平行布置，主厂房与主变洞洞间岩体厚度为 34.8m、主变洞与尾水调压室洞间岩体厚度为 30.5m。主厂房开挖尺寸 200m×27.7m（29.9m）×78.1m。主变洞开挖尺寸 171.2m×17.5m×23m，由母线洞、电缆廊道和进厂交通洞与主厂房相连。主变洞左端设交通电缆竖井和廊道，与高程 2310.0m 地面开关站相接，地面开关站占地 170.0m×17.5m（长×宽）。

尾水调压室为阻抗式、长廊型，调压室前尾水隧洞为一机一洞、调压室后为两机一洞布置，调压室开挖尺寸为 147.1m×24m×86.6m，调压室间岩体厚度为 23.4m。尾水支洞断面尺寸 10.2m×17.6m（宽×高），尾水支洞长度为 49.5~50.49m；尾水主洞断面尺寸

12.5m×17.6m（宽×高），洞长分别为 270.37m、346.39m。

尾水出口布置在大坝轴线下游约 570m 处，尾水塔与尾水洞轴线夹角为 74°，紧贴边坡呈一字形排列，出口底板顶高程 2126.0m，塔顶高程 2167m，尾水塔尺寸为 64m×20m×45m。右侧与进厂公路相接。

### 2.5.4 导流建筑物

采用河床一次断流、围堰全年挡水、左岸隧洞泄流的施工导流方案；后期利用坝身中孔导流。导流隧洞 2 条，分高低洞布置，进口高程分别为 2146m 和 2151m，出口高程均为 2143m，上游围堰顶高程 2192m，下游围堰顶高程 2160m。

### 2.5.5 过鱼建筑物

过鱼设施采用升鱼机方案，由集鱼系统、提升运输系统、放流系统和控制监测系统四大部分组成。本工程诱鱼方式为水流诱鱼，利用补水系统从坝上引水，具体流程为开启补水系统，根据坝下水位调节补水流量，为进鱼口提供强化水流，以达到诱鱼要求；当鱼类被升鱼机水流吸引进入集鱼通道后，通过一定的区域设施将鱼类驱赶进入集鱼箱；鱼类进入集鱼箱后，采用提升运输系统将集鱼箱提升并运输过坝；集鱼箱运输过坝后，将集鱼箱中的鱼类通过放流设施放流至上游，完成整个过鱼流程。

## 2.6工程施工

### 2.6.1 施工总布置

根据场地条件、场内外交通、导流程序、枢纽布置，共规划四个施工区：左岸上游施工区、左岸下游施工区、右岸上游施工区和右岸下游施工区。施工临时设施总占地面积为 137.69 万 $m^2$，其中左岸占地面积为 43.14 万 $m^2$，右岸占地面积为 94.55 万 $m^2$。

（1）左岸上游施工区

本施工区内主要布置有两个存弃渣场和徐龙人工骨料场。

左岸上游 1#存弃渣场：位于坝址左岸上游 3km 处，存弃渣场顶高程 2210m～2240m，占地面积 20 万 m²。

左岸上游 2#存弃渣场：位于坝址左岸上游 1.5km 处，存弃渣场顶部高程 2200m～2215m，占地面积 4.5 万 m²。

徐龙人工骨料场开采区：徐龙料场位于坝址上游左岸，距坝址直线距离 0.6km，料场开采区面积 10.80 万 m²。

（2）左岸下游施工区

本施工区内主要布置有左岸炸药库、徐龙冲沟临时弃渣场、表土堆场。

左岸炸药库：位于徐龙冲沟右岸，在徐龙冲沟沟口上游 0.7km 处，场地高程 2355m～2375m，占地面积 0.35 万 m²，供左岸施工所需炸药的存放。

徐龙冲沟临时弃渣场：位于坝址下游 1.2km 处的徐龙冲沟内，其距徐龙冲沟沟口 1.2km，与徐龙冲沟泥石流防治工程结合布置，弃渣场顶部高程 2424m，弃渣场容量 71 万 m³，占地面积 12.39 万 m²。

表土堆场布置于左岸下游 4.4km 处（地方已建宗绒大桥左岸桥头处），堆场顶部高程 2170m，占地面积 1.7 万 m²。

（3）右岸上游施工区

本施工区内主要布置有弃渣场、机械停放场、截流备料场、1#施工营地和施工人员垃圾热解站。

右岸上游 1#弃渣场：右岸上游 1#弃渣场位于坝址上游 5.7km 处，弃渣场顶部高程 2270m，占地面积 7.2 万 m²，弃渣场容量约 130 万 m³。

右岸上游 2#弃渣场：右岸上游 2#弃渣场位于坝址上游 4.3km 处，弃渣场顶部高程 2210m～2220m，占地面积 3.6 万 m²，弃渣场容量约 30 万 m³。

右岸上游 3#弃渣场：右岸上游 3#弃渣场位于坝址上游 2.2km 处，弃渣场顶部高程 2186m，占地面积 1.7 万 m²，弃渣场容量约 11 万 m³。

截流备料场：位于坝址上游 0.6km 处（上游 3#索桥附近），规划顶高程 2180m，占地面积 1.2 万 m²。

1#施工营地：位于坝址上游 5.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m～2220m，占地面积 1.2 万 m²。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。

汽车维修保养停放厂：位于坝址上游 4.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m，占地面积 1.2 万 m²，主要为施工机械停放场地。

垃圾热解站：位于格亚顶沟口（坝址上游 3.8km 处），占地面积 0.14 万 $m^2$，场地高程 2244m～2250m，分为主厂房、副厂房、管理用房和其它辅助区。

（4）右岸下游施工区

本施工区是施工附属企业及施工营地的主要布置区域。施工区内主要布置有低混凝土拌和系统、高混凝土拌和系统、洒茂顶砂石加工系统、施工水厂、高位水池、大坝综合加工及金结拼装厂、施工变电站、油库、加油站、电站综合加工厂、综合仓库、机械修配停放场、2#施工营地、3#施工营地、机电安装基地、机电设备仓库、右岸炸药库、茂顶河弃渣场、徐龙人工骨料开采区。

右岸利用料砂石加工系统：利用料加工系统承担工程前期导流洞、旁通洞、水垫塘、二道坝等部位混凝土所需混凝土粗、细骨料的生产任务，位于 2#路靠江侧，在坝址下游 1.6km 处，高程 2165m～2170m，占地面积约 5 万 $m^2$（后期作为机电设备仓库、2#施工营地的场地）。

右岸低混凝土系统：位于 2#路靠江侧，在坝址下游 1.5km 处，高程 2165m～2170m，占地面积约 1.4 万 $m^2$。主要负责导流洞进出口及洞身衬砌混凝土，厂房混凝土的生产任务。

右岸高混凝土系统：位于坝址下游 8#公路靠江侧，距坝址直线距离约 1.5km，位于洒茂顶砂石加工系统上游侧，高程 2275m～2295m，占地面积 2.0 万 $m^2$。主要负责缆机供料平台所需混凝土的生产任务。

洒茂顶砂石加工系统：场地内含施工所需的办公、机修等建筑设施及净料堆场，位于坝址下游 8#公路靠江侧，距坝址直线距离约 1.7km，紧邻高混凝土拌和系统，高程 2280m～2330m，占地面积 11.1 万 $m^2$。主要负责低混凝土系统和高混凝土系统所需的混凝土骨料生产任务。

施工水厂：水厂规模为 3.5 万 $m^3/d$，位于坝址下游 8#路靠山侧，距坝址直线距离约 2.5km，高程 2287m，占地面积 1.3 万 $m^2$。主要负责整个施工区的生产及生活用水。

高位水池：位于坝址下游 1.8km 处，场地高程 2370m，占地面积约 0.1 万 $m^2$。

大坝综合加工及金结拼装厂：内含钢管加工、综合加工车间及场地，位于坝址下游 3.0km 处，场地高程 2255m～2265m，占地面积约 1.2 万 $m^2$。主要承担大坝的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。

施工变电站：为节省用地均采用紧凑型布置。施工变电站规模为 2×16MVA（总降压变电站），距坝址下游直线距离约 2.4km，高程 2290m，占地面积 0.3 万 $m^2$。

油库及加油站：位于坝址下游 2#路靠山侧，距离坝址约 2.5km；场地高程 2180m～2185m；油库 0.3 万 m²，加油站 0.2 万 m²，占地面积共 0.5 万 m²。

电站综合加工厂：位于下游索桥两侧，紧邻 2#公路，至坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积共 1.5 万 m²。主要承担电站厂房的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。

综合仓库：位于下游索桥附近，距坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积约 1.5 万 m²。主要作为水电站施工期间施工物资仓储设施。

机械修配厂：位于综合仓库下游侧，距坝址约 1.0km，场地高程 2180m，占地面积约 1.2 万 m²，主要为施工机械修理保养场地。

2#施工营地：布置于坝址下游 1.7km 处，场地高程 2175m，占地面积 1.5 万 m²。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。

3#施工营地：位于 2#路靠江侧，在坝址下游 3.7km 处，场地高程 2165m，占地面积 3.4 万 m²。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。

现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站）：位于 2#道路旁，距坝址约 4.0km，场地高程 2180m～2200m，总占地面积约 11.1 万 m²。主要为建设期业主、设计、监理等管理人员的办公生活区。鱼类增殖放流站结合现场建设管理营地进行布置，便于施工期和运行期鱼类增殖放流站的运行管理和维护。

机电安装基地（含临时机电仓库）：内含施工所需的办公、机修等建筑设施，位于坝址下游 2#公路靠江侧，距离坝址直线距离约 4.7km，场地高程 2155m～2175m，占地面积 5.5 万 m²。

机电设备仓库：布置于坝址下游 1.5km，场地高程 2190m～2225m，占地面积约 1.5 万 m²，主要储存发电站所需的机电设备。

右岸炸药库：位于茂顶河左岸，距茂顶河河口上游约 2.2km，场地高程 2430m，占地面积 0.3 万 m²，供右岸施工炸药存放。

茂顶河弃渣场：是坝区最大的弃渣场，与茂顶河泥石流治理工程挡渣坝及排导槽结合布置，堆渣至高程 2390m，其弃渣容量约 1550 万 m³，占地面积约 33.31 万 m²。

施工区分区布置及其占地面积汇总见表 2.6-1。

**表 2.6-1　主要施工场地一览表**

| 序号 | 项目 | 规模 | 占地面积（万 $m^2$） | | | 场地高程（m） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 左岸 | 右岸 | 合计 | | |
| 一 | 砂石混凝土系统 | | | | | | |
| 1 | 大坝砂石加工系统 | | | 11.1 | 11.1 | 2280～2330 | |
| | 前期利用料砂石加工系统 | | | （5） | （5） | 2165～2170 | 后期作为机电设备仓库、2#施工营地 |
| 2 | 右岸低混凝土系统 | 1 座 4×3.0$m^3$ | | 2.5 | 2.5 | 2165～2170 | |
| | 右岸高混凝土系统 | 2 座 4×3.0$m^3$ | | 2.0 | 2.0 | 2275～2295 | |
| 二 | 施工供水供电通信 | | | | | | |
| 1 | 施工水厂 | 生产用水 2.8 万 $m^3$/日，生活用水 0.3 万 $m^3$/日 | | 1.3 | 1.3 | 2287 | |
| 2 | 高位水池 | | | 0.1 | 0.1 | 2370 | |
| 3 | 供电 | 110kV 变电站 | | 0.3 | 0.3 | 2290 | |
| 4 | 通信 | 600 门程控电话，1000 个对讲机 | | | | | |
| 三 | 综合加工厂 | | | | | | |
| 1 | 大坝综合加工及金结拼装厂 | | | 1.2 | 1.2 | 2255～2265 | |
| 2 | 电站综合加工厂 | | | 1.5 | 1.5 | 2170 | |
| 四 | 机组安装 | 满足 2 台机组同时安装需要 | | | | | |
| 1 | 机电安装基地 | | | 5.5 | 5.5 | 2155～2175 | |
| 2 | 机电设备仓库 | | | 1.5 | 1.5 | 2190～2225 | |
| 五 | 机械保养维护 | | | | | | |
| 1 | 机械修配厂 | | | 1.2 | 1.2 | 2180 | |
| 2 | 机械设备停放场 | | | 1.2 | 1.2 | 2200 | |
| 六 | 仓库 | | | | | | |
| 1 | 综合仓库 | | | 1.5 | 1.5 | 2170 | |
| 2 | 油库及加油站 | 建筑面积 0.05 万 m2 | | 0.5 | 0.5 | 2190～2220 | |
| 3 | 左岸炸药库 | | 0.35 | | 0.35 | 2325～2355 | |

| 序号 | 项目 | 规模 | 占地面积（万 $m^2$） | | | 场地高程（m） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 左岸 | 右岸 | 合计 | | |
| 4 | 右岸炸药库 | | | 0.3 | 0.3 | 2430 | |
| 七 | 办公生活系统 | | | | | | |
| 1 | 1#施工营地 | | | 1.2 | 1.2 | 2210～2220 | |
| 2 | 2#施工营地 | | | 1.5 | 1.5 | 2175 | |
| 3 | 3#施工营地 | | | 3.4 | 3.4 | 2165 | |
| 4 | 现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站） | | | 11.1 | 11.1 | 2180～2200 | |
| 八 | 施工人员垃圾热解站 | | | 0.14 | 0.14 | 2244～2250 | |
| 九 | 弃渣场及利用料堆场 | | | | | | |
| 1 | 左岸上游 1#存弃渣场 | 存弃渣容量 110 万 $m^3$ | 13.8 | | 13.8 | 2210～2240 | |
| 2 | 左岸上游 2#存弃渣场 | 存弃渣容量 29 万 $m^3$ | 4.1 | | 4.1 | 2200～2215 | |
| 3 | 右岸上游 1#弃渣场 | 弃渣容量 120 万 $m^3$ | | 8.2 | 8.2 | 2270 | |
| 4 | 右岸上游 2#弃渣场 | 弃渣容量 20 万 $m^3$ | | 3.3 | 3.3 | 2210～2220 | |
| 5 | 右岸上游 3#弃渣场 | 弃渣容量 11 万 $m^3$ | | 1.7 | 1.7 | 2186 | |
| 6 | 徐龙冲沟临时弃渣场 | 弃渣容量 71 万 $m^3$ | 12.39 | | 12.39 | 2424 | |
| 7 | 截流备料场 | 备料场容量 3 万 $m^3$ | | 1.2 | 1.2 | 2180 | |
| 8 | 茂顶河弃渣场 | 弃渣容量 1550 万 $m^3$ | | 33.31 | 33.31 | 2390 | |
| 9 | 表土堆场 | 堆存容量 8 万 $m^3$ | 1.7 | | 1.7 | 2170 | |
| 十 | 徐龙人工骨料场 | | 10.8 | | 10.8 | | |
| 合计 | | | 43.14 | 94.55 | 137.69 | | |

## 2.6.2 施工交通

（1）对外交通运输

1）对外交通现状

旭龙水电站位于金沙江上游河段，在四川省得荣县徐龙乡和曲雅贡乡与云南省德钦县羊拉乡和奔子栏镇之间的金沙江界河上，下距奔子栏镇约 72.8km，上距昌波梯级约

75.5km。该电站南距著名的风景旅游胜地“香格里拉”和虎跳峡分别约 156km 和 247km。

坝址右岸有羊拉公路通过，羊拉公路南接得荣公路和 G214 国道，北至羊拉乡和羊拉铜矿，公路已经多次改建，现标准为三级公路、路基宽度约为 7.5m、沥青混凝土路面。得荣公路（二得公路）连接得荣县和 G214 国道，标准为三级公路、路基宽度约 8m、沥青路面。G214 国道通往香格里拉、丽江、大理，香格里拉～德钦段原标准为四级公路，经多年整修大部分达到二级公路。G214 国道至大理其他段公路标准已达到二级标准，大理-丽江-香格里拉高速已修建完成，正准备通车；公路交通比较方便。

大理～丽江铁路 164km，2009 年通车。丽江～香格里拉铁路 139km，预计 2020 年通车。附近的机场有大理，丽江、香格里拉机场。长江上游距离坝址最近的港口位于水富县，距丽江公路里程约 1081km。

2）外来物质运输量及来源

对外交通运输总量约 201.56 万 t，主要为水泥、粉煤灰、钢材、木材、炸药、油料、建材、生活物质、机电设备、施工机械等。其中水泥、粉煤灰需用量为 114.38 万 t，占总运量的 56.75％。

工程所需水泥主要为 42.5 级中热硅酸盐水泥，总需求量约 85.79 万 t，高峰年需求量约 29.31 万 t。华新水泥（迪庆）有限公司所产水泥运距最近，运费最低，水泥质量经初步取样试验可满足本工程要求。考虑作为本工程主要的水泥供应厂家，云南红塔滇西（大理）水泥股份有限公司和云南省丽江、云南永保水泥有限责任公司作为备选水泥厂家。水泥运输选择全公路运输方案，运输设备采用 35t 汽卸式水泥罐车。粉煤灰现阶段按宣威、曲靖各占 50%考虑。工程所需粉煤灰总量约 28.6 万 t，高峰年最大需求量约 9.77 万 t。云南昆明二电厂具备II级灰生产能力，宣威发电粉煤灰开发有限公司、国投曲靖发电有限公司具备 I 级灰生产能力，推荐这三个厂家作为水电站粉煤灰材料主供厂家，其余厂家作为备用供应来源。本工程所需钢材约 12.74 万 t，高峰年用量约 4.35 万 t。拟选择攀枝花钢铁（集团）公司和昆明钢铁集团股份有限公司作为主要供应商，其它钢铁生产企业作为备选。

3）重大件运输

①重大件运输特性

主要重大件包括水轮发电机组、变压器、厂房桥机梁、钢管（基坑里衬、蜗壳、尾水里衬、压力钢管）、闸门及启闭机、大型施工机械等。

②重大件运输方案。

水轮机转轮、转子中心体、上机架中心体、下机架中心体以及推力头等大件运输尺寸较大，不可能由铁路运输，采用分瓣公路运输，工地现场组装的方式进行运输。可先由长江水运至宜宾水富码头，利用水富重件码头，沿国道 G040、G213 经大关、昭通、寻甸至昆明，沿昆大高速至大理，沿 G214、得荣公路经丽江、香格里拉、子庚乡（奔子栏对岸）至进场公路（羊拉公路），沿进场公路至电站现场。

变压器和部分金属结构、机电设备、大型施工机械，先由铁路运输至丽江火车站，再中转公路运输至坝址。如香格里拉至丽江铁路通车，可运至香格里拉再转公路至坝址。

在丽江火车站转公路运输至进场公路，需要跨越金沙江、小中甸河、冈曲河，这些大桥设计荷载约为挂车-120，单相变压器重约 150t 需整体运输,需要对这些桥梁进行加固或采用摆渡方案，沿线经过的其他桥涵、弯道等无法满足重大件运输车辆通行要求的也需要采取临时加固或改造措施。

4） 物资运输中转站设置

工程施工所需物资主要由公路运输，部分钢材、粉煤灰和永久机电设备由铁路转公路运输，需设置外来物资转运站，现阶段规划丽江火车站作为专用物资转运站。目前，丽香（丽江～香格里拉）铁路已开工建设，通车后可选择香格里拉作为专用物资中转站。

5）对外交通规划

本工程对外交通运输仅有公路，坝址（羊拉公路 58km）→曲宗桥（得荣公路 29km）→贺龙桥（G214 公路 69km）→香格里拉（G214 公路 304km ）→大理。坝址至大理全程约 460km，坝址至丽江公路长约 327km，坝址至四川得荣县公路里程约 105 km，至云南德钦县公路里程约 138 km。

坝址对外交通工程为沿金沙江右岸改扩建羊拉公路约 58km。

（2）场内交通运输

1）现有交通条件

坝址右岸有羊拉公路通过，羊拉公路南接得荣公路和 G214 国道，北至羊拉乡和羊拉铜矿，公路已经多次改建，现标准为三级公路，路基宽度约为 7.5m，沥青混凝土路面，可供前期设备进场和筹建期施工之用。

2）主要交通线路布置

根据对外交通条件、施工区地形等条件，场内外交通运输主要采用公路运输。

场内交通公路布置综合考虑对外交通公路、地形、施工期场内各主要施工区交通要求及过坝运输的要求，重点围绕人工骨料开采、主体工程开挖渣料和混凝土运输通道进行布

置。

场内主要公路长度共计约 43.52km。施工期左岸以沿江公路（1#公路和 13#公路）、至左坝头的 3#公路、至缆机平台的 5#公路构成上、中、下三层主干路网，左岸施工道路全长约 18.52km；右岸以羊拉公路经改扩建后的 2#公路（含 2-1#路）、新建的 4#公路、6#公路、8#公路及 10#公路等主干道构成连通坝址上下游的上、中、下三层路网，右岸施工道路全长约 25.00km；坝址上、下游地方交通前期由 2-1#公路（临时过坝交通隧道）联系，后期由场内道路（2#公路、4#公路、8#公路和地方过坝交通洞）沟通坝址上、下游地方交通。坝下游采用永久过江公路大桥沟通两岸交通。

①左岸主要交通公路

1#公路（左岸下游沿江公路）：起点在下游索桥处，起点高程 2170m，经导流洞出口、下游围堰，终点至左岸基坑处，终点高程 2170m，公路全长约 0.76km。主要承担导流洞出口施工，下游土石围堰填筑，坝肩及基坑开挖，后期下游围堰拆除等施工任务。

3#公路（左岸上坝公路）：起点在旭龙大桥左桥头，起点高程 2170m，终点至左岸坝顶，终点高程 2308m，线路为回头弯型隧洞，公路全长约 2.71km。本公路为经左岸下游至左坝头、缆机平台、左岸炸药库等部位的唯一主干道，主要承担坝肩开挖、弃渣等任务，工程建成后作为永久上坝公路。

5#公路（左岸上缆机公路）：起点在徐龙冲沟右侧接 7#公路，起点高程 2305m，终点至左岸缆机平台处，终点高程 2383m，公路全长约 1.35km。主要承担缆机平台及以上坝肩开挖、弃渣及缆机安装等任务。

7#公路（左岸炸药库公路）：起点在徐龙冲沟右侧接 9#公路，起点高程 2295m，终点至左岸炸药库，终点高程 2320m，公路全长约 0.45km。主要承担左岸炸药运输任务。

9#公路（左岸高线连接公路）：起点在徐龙冲沟右侧接 7#公路，起点高程 2295m，终点接 3#公路回头弯终点处，终点高程 2268m，公路全长约 0.66km。主要任务为连接上坝公路与上缆机公路。

11#公路（左岸上游沿江公路）：起点在大坝基坑上游侧，起点高程 2185m，经上游围堰堰顶、导流洞进口、徐龙骨料场、上游 3#索桥、上游 2#索桥，终点至左岸上游 1#存弃渣场，终点高程 2190，公路全长约 2.1km。主要承担导流洞进口施工，上游围堰填筑，沟通左岸上游 2#存弃渣场的任务。

13#公路（徐龙冲沟临时弃渣场道路）：起点在徐龙冲沟桥桥头，起点高程 2310m，终点至徐龙冲沟临时弃渣场，终点高程 2335m，公路全长约 0.5km，主要任务为至徐龙冲沟

临时弃渣场的弃渣运输。

左岸滑坡群及徐龙冲沟泥石流监测网维护道路：起点位于坝址左岸下游徐龙村，经下游宗绒村，终点至地方在建金沙江大桥桥头，该道路为施工便道，由地方道路改建形成，道路总长度约 8.6km。

②右岸主要交通公路

2#公路（右岸沿江公路）：此公路为地方现有道路，基本平行于金沙江，现已改建成沥青混凝土路面，前期施工可直接利用，是永久对外交通公路的组成部分；施工期根据机组重大件的运输要求，从起点处至厂房进厂交通洞进口处段的道路需进行拓宽，改扩建至路面 7.5m，路基 8.5m；该道路位于坝址上游段需根据施工期控制水位要求对路面进行相应的抬高，以满足施工需要。起点在茂顶河出口附近接进场公路，经现场建设管理营地、3#施工营地、低混凝土系统、机电设备仓库、下游钢索桥、截流备料场、机械停放场，终点至右岸上游 1#弃渣场，公路全长约 12.0km。本公路为右岸非常重要的施工主干道，主要承担：a.外来物资及重大件设备运输；b.河床截流及上下游围堰填筑；c.大坝、水垫塘及二道坝的开挖、弃渣及混凝土浇筑运输；d.尾水出口、主厂房及附属洞室的开挖、弃渣及混凝土浇筑运输；e.连通施工营地与主体施工区；f.下游围堰拆除弃渣运输。

2-1#公路（临时过坝公路）：起点在二道坝附近接 2#公路，起点高程 2164m，向上游穿过坝肩，经上游围堰堰顶，终点接 2#公路，终点高程 2182m，公路全长约 0.83km。主要作用为坝肩及基坑开挖导致 2#公路中断之后，保证右岸地方过坝交通以及右岸上下游施工交通。

4#公路（右岸砂石系统连接公路）：起点在低混凝土系统附近接 2#公路，起点高程 2180m，终点至施工水厂与 6#公路、8#公路形成交叉口，终点高程 2290m，公路全长约 1.77km。主要承担洒茂顶砂石加工系统至低混凝土系统的混凝土骨料运输任务，工程建成后作为永久上坝公路。

6#公路（茂顶河弃渣场公路）：起点在砂石加工系统附近接 4#公路，起点高程 2290m，经大坝综合加工及金结拼装厂，终点至茂顶河弃渣场泥石流挡渣坝坝顶处，终点高程 2350m，公路全长约 2.78km。主要承担至茂顶河弃渣场的弃渣运输任务。

6-1#公路（茂顶河地方改建公路）：起点在茂顶河治理工程处接 6#公路，起点高程 2350m，终点在大坝综合加工厂附近接 6#公路，终点高程 2285m，公路全长约 1.5km。主要便于施工期及工程建成后，茂顶村地方车辆出行。

8#公路（右岸上坝公路）：起点在砂石加工系统附近接 4#及 6#公路，起点高程 2290m，

经砂石加工系统、高混凝土系统，终点至右岸大坝坝顶处，终点高程 2308m，公路全长约 2.31km。主要承担大坝坝肩开挖弃渣，至缆机供料平台的混凝土运输任务，工程建成后作为永久上坝公路。

8-1#公路（缆机取料平台回路）：起点接 8#公路，起点高程 2304m，终点至右岸缆机取料平台，终点高程 2308m，公路采用隧洞的型式，全长约 0.65km。主要任务为形成缆机取料平台混凝土运输回路。

10#公路（右岸上缆机公路）：起点在砂石加工系统附近接 8#公路，起点高程 2326m，终点至右岸缆机开挖平台，终点高程 2383m，公路全长约 1.7km。主要承担缆机平台开挖、弃渣及缆机安装等任务。

12#公路（厂房进水口施工公路）：起点 8-1#公路，起点高程 2307m，终点至厂房进水口处，终点高程 2262.8m，公路全长约 0.54km。主要承担厂房进水口开挖、弃渣、混凝土浇筑、金属结构及机电设备的运输任务。

14#公路（右岸炸药库公路）：本线路主要利用地方低等级公路进行改扩建形成，道路起点在茂顶河泥石流挡渣坝坝顶处接 6#公路，起点高程 2350m，终点至右岸炸药库，终点高程 2430m，公路全长约 1.51km。主要承担右岸炸药运输任务。

③两岸交通联系

在坝址下游新建一座跨金沙江大桥（旭龙大桥），联系两岸交通。桥址位于坝轴线下游约 1.2km，桥面高程 2170m，主跨约 150m，桥面宽度 12m，桥梁等级为公路II级，验算荷载挂-200。

徐龙冲沟桥位于徐龙冲沟沟口上游 600m 处，桥面高程 2310m，主跨约 110m，桥面宽度 8m，桥梁等级为公路II级，其主要任务为联系业主营地与施工区之间的交通。

为便于初期左岸徐龙大桥、施工道路、坝肩开挖、导流洞施工及开挖弃渣运输，拟在坝址上游新建两座临时索桥，坝址下游新建一座临时索桥。上游 1#索桥位于坝址上游 5.6km 处，上游 2#索桥位于导流洞进口上游 0.3km 处，下游索桥位于坝址下游约 1.0km 处（旭龙大桥附近），桥面高程衔接相应的道路高程，设计荷载为汽-60，单车道，桥面宽度 5m。上游 1#索桥长约 220m，上游 2#索桥长约 160m，下游索桥长约 150m。

## 表 2.6-2　　场内施工交通道路一览表

| 位置 | 道路名称 | 起点 | 起点高程（m） | 终点 | 终点高程（m） | 线路长度（km） | | | 其中 | | 路面/路基宽度（m） | 路面结构 | 道路等级 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 全长 | 永久 | 临时 | 桥梁（m） | 隧道（m） | | | |
| 左岸 | 1#公路（左岸下游沿江公路） | 下游索道桥处 | 2170 | 左岸基坑处 | 2170 | 0.76 | | 0.76 | | | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 3#公路（左岸上坝公路） | 旭龙大桥 | 2170 | 左岸坝顶 | 2308 | 2.93 | 2.93 | | | 2930 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 5#公路（左岸上缆机公路） | 徐龙冲沟右侧接 7#公路 | 2305 | 左岸缆机平台 | 2383 | 1.35 | | 1.35 | | 1350 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 7#（左岸炸药库公路） | 徐龙冲沟右侧接 9#公路 | 2295 | 徐龙冲沟临时弃渣场 | 2320 | 0.45 | | 0.45 | | | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 9#公路（左岸高线连接公路） | 徐龙冲沟右侧接 7#公路 | 2295 | 接 3#公路回头弯终点处 | 2268 | 0.66 | | 0.66 | | 660 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 11#公路（左岸上游沿江公路） | 大坝坝肩上游处 | 2185 | 左岸上游 1#存弃渣场 | 2190 | 2.1 | | 2.1 | | | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 13#公路（徐龙冲沟临时弃渣场道路） | 徐龙冲沟桥 | 2310 | 徐龙冲沟临时弃渣场 | 2335 | 0.5 | | 0.5 | | | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 左岸滑坡群及徐龙冲沟泥石流监测网维护道路 | 徐龙村 | | 地方在建金沙江大桥 | | 8.6 | 8.6 | | | | 4.0/5.0 | 混凝土 | 施工便道 |
| 小计 | | | | | | 17.35 | 11.53 | 5.82 | | 4940 | | | |
| 右岸 | 2#路（右岸沿江公路） | 茂顶河处接进场公路 | | 右岸上游 1#弃渣场 | | 12.0 | 12.0 | | | | 8.0/9.0 | 沥青混凝土 | 场内二级 |
| | 2-1#路（临时过坝交通） | 2#公路坝下游侧 | 2164 | 2#公路坝上游侧 | 2182 | 0.83 | | 0.83 | | 600 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 4#路（右岸砂石系统连接公路） | 低砼系统附近接 2#路 | 2180 | 砂石系统附近接 6#、8#路 | 2290 | 1.77 | 1.77 | | | | 8.0/9.0 | 混凝土 | 场内二级 |
| | 6#路（茂顶河弃渣场公路） | 砂石系统附近接 4# | 2290 | 茂顶河弃渣场 | 2350 | 2.78 | 1.3 | 1.48 | | | 8.0/9.0 | 混凝土 | 场内二 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 路 | | | | | | | | | | | 级 |
| | 6-1#路（茂顶河地方改建公路） | 茂顶河治理工程接6#路 | 2350 | 大坝综合加工厂接6#路 | 2285 | 1.5 | 1.5 | | | 1500 | 6.5/7.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 8#公路（右岸上坝公路） | 砂石系统附近接 4#路 | 2290 | 右岸坝顶 | 2308 | 2.31 | 2.31 | | | 1075 | 8.0/9.0 | 混凝土 | 场内二级 |
| | 8-1#路（缆机取料平台回路） | 8#路 | 2304 | 右岸缆机取料平台 | 2308 | 0.65 | | 0.65 | | 650 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 10#路（右岸上缆机公路） | 砂石系统附近接 8#路 | 2326 | 右岸缆机平台 | 2383 | 1.7 | | 1.7 | | 1700 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 12#路（厂房进水口施工公路） | 8-1#路 | 2305 | 厂房进水口 | 2262.8 | 0.54 | | 0.54 | | 540 | 7.5/8.5 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 14#（右岸炸药库公路） | 泥石流挡渣坝 | 2350 | 右岸炸药库 | 2430 | 1.51 | | 1.51 | | | 5.0/6.0 | 混凝土 | 场内三级 |
| | 地方过坝公路 | 8#路 | | 坝址上游接羊拉公路 | | 4.12 | 2.2 | 1.92 | | 2200 | 6.5/7.5 | 混凝土 | |
| 小计 | | | | | | 29.7 | 21.08 | 8.62 | | 8265 | | | |
| 合计 | | | | | | 47.05 | 32.61 | 14.44 | | 13205 | | | |
| 主要构筑物 | 旭龙大桥 | 坝址下游 1.2km | | | 2170 | 0.17 | 0.17 | | 170 | | 9.0/12.0 | 混凝土 | 公路-II级 |
| | 徐龙冲沟桥 | 徐龙冲沟沟口上游 0.6km | | | 2310 | 0.11 | | 0.11 | 110 | | 5.0 | | |
| | 上游 1#索道桥 | 坝址上游 2.0km | | | 2190 | 0.19 | | 0.19 | 190 | | 5.0 | | |
| | 上游 2#索道桥 | 坝址上游 0.5km | | | 2190 | 0.18 | | 0.18 | 180 | | 5.0 | | |
| | 下游索道桥 | 坝址下游 1.0km | | | 2170 | 0.20 | | 0.20 | 200 | | 5.0 | | |

（表注：表中未包括施工支洞、营地和施工企业内的道路等）

## 2.6.3 料场规划

（1）混凝土骨料料源

旭龙水电站工程混凝土粗细骨料共需原岩 445.8 万 m³，其中，花岗岩开挖利用 90 万 m³，从料场开采 355.8 万 m³。

徐龙料场位于坝址上游左岸，距坝址直线距离 0.6km，没有公路与坝址相连。距左岸导流洞进口约 0.3km，距 2#和 5#危岩体约 0.5km 和 0.6km。料场为一顺江发育的单面山体，属高中山地貌。金沙江流向 SE140°，枯季江水位 2160m 左右；高程 2170～2190m 为江边一级阶地，宽度 20～80m；高程 2190～2400 为陡崖，坡度 65°～80°；其上为地形坡度 35°左右的斜坡，局部高 20m 左右的陡坎，直至山顶，山顶高程 3900m 左右。料场有用层岩性主要为花岗岩，质量符合混凝土用人工粗细骨料质量指标要求。剥离层风化、卸荷岩体及中下部表面的混合岩，平均厚度约 10m～15m，材料层平均厚度为 100m～160m，平均厚度为 150m。在料场规定范围内剥离层方量为 294.2 万 m³，有用层储量为 1130 万 m³，剥采比 0.26:1。

（2）围堰填筑石渣料、混合料及块石料

本工程各建筑物开挖料主要由斜长角闪片岩、混合岩和花岗岩组成。其中除花岗岩利用作为混凝土粗骨料外，剩余开挖石料均可作为围堰填筑料。

下坝址砼拱坝方案建筑物岩石开挖料总量约 1179 万 m³，除去可作为骨料的花岗岩开挖利用料 92 万 m³外，还剩余量 1087 万 m³。根据施工进度安排，截流前大坝和导流洞的石方开挖量约 410 万 m³，开挖量满足围堰填筑料用量要求，其中反滤料利用徐龙石料场开采料在砼骨料加工系统制备。围堰填筑所需的石渣料、块石料及混合料均利用开挖料，尽量利用开挖料直接上堰填筑。

## 2.6.4 土石方平衡及渣场规划

（1）土石方平衡

金沙江上游旭龙水电站主体及临时工程（含导流工程和场内交通工程）土石方开挖总量 1618.69 万 m³（自然方，下同），围堰及沟水处理等土石方填筑 177.87 万 m³（填筑方，下同）。根据土石方平衡成果，本工程洞挖开挖料有 131 万 m³（自然方，下同）可用于混

凝土骨料，规划利用 90 万 m³。工程填筑利用开挖料 168.27 万 m³，其中直接利用量为 41.61 万 m³，间接利用量为 126.66 万 m³。另有 10.03 万 m³填筑料由砂石加工系统加工。弃渣总量 1842.03 万 m³（松方，含徐龙石料场剥离料）。砂石料加工除利用开挖料 90 万 m³外，还需从采石场补充 355.80 万 m³。土石方平衡规划见表 2.5-3。

（2）渣场规划

本工程共规划了 7 个弃渣场、1 个备料场和 1 个表土堆存场，分别为左岸上游 1#存弃渣场、左岸上游 2#存弃渣场、徐龙冲沟弃渣场、右岸上游 1#弃渣场、右岸上游 2#弃渣场、右岸上游 3#弃渣场、茂顶河弃渣场、截流备料场和左岸表土堆场。

左岸上游 1#存弃渣场位于坝址上游 3km 处，利用较为平缓的阶地贴坡堆砌，存弃渣坡比 1:2，每 10m 高程设置一道宽 2m 的马道，存弃渣顶部高程 2210m～2240m，占地面积 13.8 万 m²，存弃渣场容量约 110 万 m³，主要堆弃大坝和导流洞的部分开挖弃渣，上游侧兼作开挖利用混凝土骨料堆场，下游侧兼作围堰备料场和填筑利用料堆场。

左岸上游 2#存弃渣场位于坝址上游约 1.5km 处，利用较为平缓的阶地贴坡堆砌，存弃渣坡比 1:2，每 10m 高程设置一道宽 2m 的马道，存弃渣场顶部高程 2200m～2215m，占地面积 4.1 万 m²，存弃渣场总容量为 29 万 m³，主要用于徐龙人工骨料场剥离料弃渣。

徐龙冲沟弃渣场徐龙冲沟临时弃渣场位于坝址下游 1.4km 处的徐龙冲沟内，其距徐龙冲沟沟口 1.2km，规划弃渣顶高程 2424m，占地面积 12.39 万 m²，渣场容量约 71 万 m³，与徐龙冲沟泥石流防治工程结合布置。主要用于临时堆存大坝（含缆机平台）和左岸场内道路的开挖弃渣，待左岸场内高线道路与低线道路连通之后，将弃渣转运至茂顶河弃渣场。

右岸上游 1#弃渣场位于坝址上游 5.7km 处，弃渣坡比 1:2，每 10m 高程设置一道宽 2m 的马道，弃渣场顶部高程 2290m，占地面积 8.2 万 m²，弃渣场容量约 120 万 m³，主要堆弃电站厂房开挖弃渣。

右岸上游 2#弃渣场位于坝址上游 4.3km 处，弃渣坡比 1:2，每 10m 高程设置一道宽 2m 的马道，弃渣场顶部高程 2210m～2220m，占地面积 3.3 万 m²，弃渣场容量约 20 万 m³，主要堆弃场内道路等前期项目的开挖弃渣。

右岸上游 3#弃渣场位于坝址上游 2.2km 处，弃渣坡比 1:2，每 10m 高程设置一道宽 2m 的马道，弃渣场顶部高程 2186m，占地面积 1.7 万 m²，弃渣场容量约 11 万 m³，主要堆弃场内道路等前期项目的开挖弃渣。

茂顶河弃渣场位于右岸下游茂顶河冲沟内，距大坝约 5.0km。规划弃渣至高程 2390m，总占地面积约 33.31 万 m²，渣场容量约 1550 万 m³，与茂顶河泥石流治理工程挡渣坝及排

导槽结合布置。该渣场主要容纳来自导流洞、大坝、水垫塘、电站厂房、右岸缆机平台、右岸场内道路开挖以及徐龙料场剥离料的开挖弃渣。

截流备料场位于坝址上游 0.6km 处（上游 2#索桥附近），利用较为平缓的阶地贴坡堆砌，规划顶高程 2180m，占地面积 1.2 万 m²，备料场容量约 3.0 万 m³，主要储备大江截流时的填筑料。

左岸表土堆场：位于坝址下游 4.4km 处（地方已建宗绒大桥左岸桥头处），堆场顶部高程 2170m，占地面积 1.7 万 m²，用于堆存工程所需的表土。

旭龙水电站弃渣场规划见下表。

**表 2.6-3　旭龙水电站存弃渣场规划表**

| 弃渣位置 | | 弃渣场名称 | 占地面积（万 m²） | 存弃渣高程（m） | 存弃渣容量（松方，万 m³） | 实际存弃渣量（自然方，万 m³） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 左岸 | 坝址上游 3.0km | 左岸上游 1#存弃渣场 | 13.8 | 2210～2240 | 110 | 84.6 |
| | 坝址上游 1.5km | 左岸上游 2#存弃渣场 | 4.1 | 2200～2215 | 29 | 22.3 |
| | 坝址下游 1.4km | 徐龙冲沟临时弃渣场 | 12.39 | 2424 | 71 | 50.6 |
| | 坝址下游 4.4km | 左岸表土堆场 | 1.7 | 2170 | 8 | 6.1 |
| 右岸 | 坝址上游 5.7km | 右岸上游 1#弃渣场 | 8.2 | 2290 | 120 | 92.3 |
| | 坝址上游 4.3km | 右岸上游 2#弃渣场 | 3.3 | 2210～2220 | 20 | 15.4 |
| | 坝址上游 2.5km | 右岸上游 3#弃渣场 | 1.7 | 2186 | 11 | 8.5 |
| | 坝址上游 0.6km | 截流备料场 | 1.2 | 2180 | 3 | 2.3 |
| | 坝址下游 4.2km | 茂顶河弃渣场 | 33.31 | 2390 | 1550 | 1249.25 |
| 合　计 | | | 79.7 | | 1922 | 1531.35 |

表 2.6-4　土石方平衡表　　单位：万 $m^3$

| 填筑与弃料 | | | 左岸场内道路 | | | 右岸场内道路 | | | 导流洞进出口围堰 | 上游围堰 | | | | 下游围堰 | | | | 大坝 | 高位边坡 | 茂顶河泥石流防治 | | | 徐龙冲沟防护 | | 混凝土骨料 | | 弃渣场 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 土方 | 石方 | 片石 | 土方 | 石方 | 片石 | 石渣混合料 | 戗堤与石渣料 | 块石料 | 砂砾石料 | 碎石料 | 石渣料 | 块石料 | 砂砾石料 | 碎石料 | 任意料 | 碎石垫层 | 石渣料 | 块石料 | 砂砾石 | 土石料 | 块石 | | | 左岸上游1#弃渣场 | | 左岸上游2#弃渣场 | | 徐龙冲沟 | | 右岸1#弃渣场 | 右岸2#弃渣场 | 右岸3#弃渣场 | 截流备料场 | 右岸茂顶河弃渣场 | |
| | | 压实方 | 3.95 | 0.43 | 17.77 | 9.12 | 2.06 | 12.78 | 3.30 | 72.00 | 1.12 | 4.78 | 0.12 | 9.07 | 0.54 | 0.89 | 0.05 | 11.59 | 0.10 | 62.70 | 3.186 | 4.09 | 1.11 | 3.21 | | | 22.48 | 196.67 | 17.18 | 11.59 | 69.01 | 4.31 | 119.60 | 19.50 | 10.65 | 2.99 | 1583.61 | 65.72 |
| | | 自然方 | 4.49 | 0.33 | 12.97 | 10.36 | 1.58 | 9.33 | 2.54 | 55.39 | 0.82 | 4.78 | 0.12 | 6.98 | 0.40 | 0.89 | 0.05 | 8.92 | 0.10 | 48.23 | 2.33 | 4.09 | 1.26 | 2.35 | 90 | 351.21 | 17.29 | 151.28 | 14.29 | 8.92 | 53.68 | 3.61 | 92.00 | 15.00 | 8.35 | 2.30 | 1295.04 | 50.55 |
| | | | 直接利用 | 直接利用 | 直接利用 | 直接利用 | 直接利用 | 直接利用 | 直接利用 | 转运利用 | 转运利用 | 砂石系统 | 砂石系统 | 转运利用 | 转运利用 | 砂石系统 | 砂石系统 | 转运利用 | 砂石系统 | 转运利用 | 转运利用 | 砂石系统 | 转运利用 | 转运利用 | 转运利用 | 料场开采 | 弃渣 | 备料 | 弃渣 | 备料 | 弃渣 | 备料 | 弃渣 | 弃渣 | 弃渣 | 备料 | 弃渣 | 备料 |
| 场内道路 | 左岸道路 | 土方明挖 | 11.12 | 4.49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4.64 | | 1.99 | | | | | | | |
| | | 石方明挖 | 38.39 | | 0.33 | 12.97 | | | | | | | | | | | | 8.92 | | | | | | 2.35 | | | | | 8.64 | 8.92 | 5.18 | 2.35 | | | | | | |
| | | 石方洞挖 | 39.57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.00 | | 1.00 | | 36.57 | | | | | | | |
| | 右岸岸道路 | 土方明挖 | 12.61 | | | | 10.36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.67 | | 1.57 | |
| | | 石方明挖 | 36.49 | | | | | 1.58 | 9.33 | | | | | | | | | | | | 5.00 | 2.33 | | | | | | | | | | | | | | 7.67 | | 10.58 | 7.33 |
| | | 石方洞挖 | 46.54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 30.00 | | | | | | | | | | | | | 6.00 | | | 10.54 | 30.00 |
| 施工支洞 | | 土石方明挖 | 0.52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.41 | | | | | | | | | | 0.11 | |
| | | 石方洞挖 | 29.84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.88 | | | | 9.38 | | | | | | 11.58 | |
| 导流洞及旁通洞 | | 土方明挖 | 10.60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10.6 | |
| | | 石方明挖 | 105.60 | | | | | | 2.54 | 7.39 | 0.82 | | | 2.48 | 0.40 | | | | | | | | | | | | 6.0 | 8.8 | | | | | | | | 2.30 | 85.98 | |
| | | 石方洞挖 | 84.75 | | | | | | | 48.00 | | | | 4.50 | | | | | | | | | | | 13.00 | | | 65.5 | | | | | | | | | 19.25 | |
| 围堰工程 | | 河床围堰清基 | 1.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.40 | |
| | | 下游围堰拆除 | 10.56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10.56 | |
| | | 导流洞 | 5.21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.212 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 围堰拆除 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 大坝(含缆机平台） | 土方明挖 | 19.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19.05 | |
| | 石方明挖 | 358.96 | | | | | | | | | | | | | | | | | 13.23 | | | | | | | | | | | | | | 92.00 | 9.00 | | | 244.73 | 13.23 |
| 水垫塘 | 土方明挖 | 51.95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 51.95 | |
| | 石方明挖 | 158.68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 158.68 | |
| 缺陷处理 | 石方槽挖 | 3.82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.82 | |
| | 石方明挖 | 8.90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.90 | |
| 引水发电系统 | 土方明挖 | 25.68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25.68 | |
| | 石方明挖 | 177.11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 177.11 | |
| | 石方洞挖 | 136.75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 77.00 | | | 77.00 | | | | | | | | | | | 59.75 | |
| 3#堆积体 | 土方明挖 | 68.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 68.00 | |
| 渗控系统 | 石方洞挖 | 9.51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.51 | |
| 高位边坡治理 | 土方明挖 | 2.72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.72 | |
| | 石方明挖 | 121.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 121.03 | |
| 过鱼设施 | 土方明挖 | 0.17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.17 | |
| | 石方明挖 | 1.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.05 | |
| 茂顶河泥石流沟治理 | 土方明挖 | 16.77 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 16.77 | |
| | 石方明挖 | 23.52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 23.52 | |
| 徐龙冲沟治理 | 土方明挖 | 1.82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.26 | | | | | | | | | | 0.56 | 1.26 | | | | | |
| 徐龙料场 | 剥离料 | 135.23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 135.23 | |
| | 有用料开采 | 361.24 | | | | | | | | | | 4.78 | 0.12 | | | 0.89 | 0.05 | | 0.10 | | | 4.09 | | | | 351.21 | | | | | | | | | | | | |

## 2.6.5 施工导流

### 2.6.5.1 导流方式

旭龙水电站推荐采用河床一次性拦断、围堰全年挡水、导流隧洞泄流的导流方式。

### 2.6.5.2 导流建筑物级别

旭龙水电站正常蓄水位 2302m，死水位 2297m，装机容量为 2400MW。电站属I等大（1）型工程，相应主要建筑物大坝、泄洪建筑物和引水发电建筑物为 1 级建筑物。根据《水电工程施工组织设计规范》（DL/T5397-2007）及《水电工程施工导流设计规范》（NB/T35041-2014）规定，综合各方面因素，确定上、下游土石围堰及导流隧洞为 4 级建筑物。导流隧洞进出口围堰为 5 级建筑物。

### 2.6.5.3 导流方案

（1）初期导流方案

初期导流采用“高低、大小洞”方案在左岸布置 2 条导流隧洞，1#导流隧洞靠河床侧，洞线短，为“低洞、大洞”，2#导流隧洞靠山体侧，为“高洞、小洞”；1#和 2#导流隧洞进口高程分别为 2146m 和 2151m，出口高程均为 2143m，隧洞采用城门洞型，过流断面分别为 14m×17m 和 12m×16m，洞长分别为 1313.18m 和 1446.77m。

上、下游围堰均采用全年挡水土石围堰，挡水标准为 20 年一遇，最大瞬时流量为 6420m³/s，上游围堰堰顶高程为 2192.0m，最大堰高 50m。上、下游围堰防渗均采用混凝土防渗墙上接复合土工膜心墙方案。

（2）中期导流方案

当大坝浇筑高程超过上游土石围堰顶高程后，由坝体临时断面挡水度汛，第 7 年和第 8 年坝体施工期临时度汛标准为 100 年一遇洪水，相应最大瞬时流量 7930m³/s，由高、低导流隧洞联合泄流。

（3）后期导流方案

导流隧洞下闸后，为保证向下游供水达到生态景观要求流量 180m³/s，须控制高导流隧洞、低导流隧洞和旁通洞的下闸顺序和下闸时间。第 8 年 11 月初高

导流隧洞下闸，打通高导流隧洞与旁通洞之间的洞壁，调试旁通洞内弧门和启闭设施，期间低导流隧洞泄流；第 8 年 11 月下旬，旁通洞洞内弧门具备下闸挡水条件后，提起旁通洞进口平板闸门，低导流隧洞下闸，旁通洞泄流。待水位上升至中孔，且泄流量为 180m³/s（水位 2222.95m）时，旁通洞洞内弧门下闸，操作水深 71.95m。

低导流隧洞、高导流隧洞、旁通洞下闸后，导流隧洞封堵，利用中孔导流，闸门挡水水头分别为 85.82m、80.82m 和 80.82m。

## 2.6.6 施工企业布置

### 2.6.6.1 砂石加工系统

（1）洒茂顶砂石加工系统

洒茂顶砂石加工系统承担旭龙大坝工程混凝土所需粗细骨料生产任务，同时承担约 76.32 万 m³非大坝混凝土骨料的生产。根据料源选择成果：大坝骨料料源采用徐龙料场花岗岩料源。大坝工程混凝土总量约 228.0 万 m³，考虑超挖和施工损耗 9.12 万 m³，合计 237.12 万 m³，以三级配混凝土为主，共需生产成品骨料约 689.6 万 t。

按砂石加工系统日采用两班制生产，计 14 小时，每月工作 25 天，每月工作 350 小时，系统设计成品生产能力 780t/h，设计处理能力 1000t/h。可满足混凝土高峰月浇筑强度 12.0 万 m³/月的要求。系统分台阶分区布置，高程 2330～2285m，占地面积为 10.2 万 m²。

系统生产所需毛料从徐龙料场开采并在料场竖井内粗碎加工后，采用胶带机经上游围堰堰顶跨江运输至加工系统。成品料采用胶带机运输至高线混凝土生产系统，采用胶带机或汽车运输至低线混凝土生产系统。洒茂顶砂石加工系统包括汽车受料坑、半成品堆场、予筛分车间、筛分车间、检查筛分车间、粗碎车间、中、细碎车间、制砂车间、成品堆场、水处理系统、变配电系统等。

洒茂顶砂石加工系统主要技术指标表见表 2.6-5。

表 2.6-5　洒茂顶砂石加工系统主要技术指标表

| 序号 | 项　　目 | 单位 | 指标 |
|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 混凝土设计强度 | | 万 m³/月 | 12.0 |
| 2 | 成品设计生产能力 | 粗骨料 | t/h | 530.4 |
| | | 砂 | t/h | 249.6 |
| 3 | 设计处理量 | 粗碎车间 | t/h | 1000 |
| | | 第一筛分车间 | t/h | 930 |
| | | 中碎车间 | t/h | 570 |
| | | 第二筛分车间 | t/h | 790 |
| | | 第三筛分车间 | t/h | 410 |
| | | 立轴制砂车间 | t/h | 380 |
| | | 第四筛分车间 | t/h | 420 |
| | | 棒磨制砂车间 | t/h | 54 |
| 4 | 堆场容量 | 半成品堆 | 万 m³ | 3.4 |
| | | 三筛调节料仓 | 万 m³ | 0.2 |
| | | 制砂原料料仓 | 万 m³ | 0.2 |
| | | 成品堆场 粗骨料 | 万 m³ | 7.6 |
| | | 成品堆场 砂 | 万 m³ | 3.6 |
| 5 | 耗水量（生产用水） | | t/h | 850 |
| 6 | 系统安装功率 | | kW | 9800 |
| 7 | 工作制度 | | 每天 14 小时两班 | |
| 8 | 定员 | | 人 | 220 |
| 9 | 系统建筑面积 | | m² | 3500 |
| 10 | 系统占地面积 | | 万 m² | 10.2 |

（2）前期利用料砂石加工系统

前期砂石加工系统承担工程前期导流洞、旁通洞、水垫塘、二道坝、电站厂房等部位约 92.82 万 m³混凝土所需混凝土粗、细骨料的生产任务，计入施工损耗、地质缺陷处理等混凝土量约 94.68 万 m³，考虑整个旭龙水电站附属工程及场内道路混凝土量约 12.0 万 m³，合计 106.68 万 m³，以二、三级配为主，共需生产成品骨料约 234.69 万 t。

系统规模按低线混凝土系统月混凝土强度 6.0 万 m³设计。系统设计成品生产能力 400t/h，设计毛料处理能力 480t/h，二班制生产。前期砂石料加工系统设置在距坝轴线右岸下游 1700～2100m，高程 2165～2170m 的台地上，紧邻上游侧的右岸低线混凝土系统。系统占地面积为 4.1 万 m²。

系统生产所需毛料从备料场、建筑物的开挖料区开采后，采用汽车运输至加工系统，运距分别约为 5.4km 及 2.4km。成品料采用胶带机运输至低线混凝土系统。前期砂石加工系统包括汽车受料坑、半成品堆场、予筛分车间、筛分车间、

检查筛分车间、粗碎车间、中、细碎车间、制砂车间、成品堆场、水处理系统、变配电系统等。

前期砂石加工系统主要技术指标见表 2.6-6。

**表 2.6-6　　前期砂石加工系统主要技术指标表**

| 序号 | 项　　目 | | | 单位 | 指标 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 混凝土设计强度 | | | 万 m³/月 | 6.0 |
| 2 | 成品设计生产能力 | 粗骨料 | | t/h | 248 |
| | | 砂 | | t/h | 130 |
| 3 | 设计处理量 | 粗碎车间 | | t/h | 500 |
| | | 一筛车间 | | t/h | 500 |
| | | 中碎车间 | | t/h | 470 |
| | | 二筛车间 | | t/h | 580 |
| | | 三筛车间 | | t/h | 330 |
| | | 细碎车间 | | t/h | 330 |
| | | 棒磨车间 | | t/h | 28 |
| 4 | 堆场容量 | 半成品堆 | | 万 m³ | 0.76 |
| | | 细碎调节料仓 | | 万 m³ | 0.25 |
| | | 棒磨调节料仓 | | 万 m³ | 0.1 |
| | | 成品堆场 | 粗骨料 | 万 m³ | 3.37 |
| | | | 砂 | 万 m³ | 2.3 |
| 5 | 耗水量（生产用水） | | | t/h | 460 |
| 6 | 系统安装功率 | | | kW | 5200 |
| 7 | 工作制度 | | | 每天 14 小时两班 | |
| 8 | 定员 | | | 人 | 180 |
| 9 | 系统占地面积 | | | 万 m² | 4.1 |

## 2.6.6.2 混凝土生产系统

（1）高线混凝土生产系统

系统主要承担大坝 237.12 万 m³（含超挖和施工损耗 9.12 万 m³）混凝土与非大坝 67.2 万 m³混凝土的供应任务。高线混凝土生产系统设置在右岸距坝轴线下游 1700～1880m，高程 2275～2295m 的平台上。主要承担大坝混凝土的生产任务。

系统配置二座 4×3m³自落式拌和楼，其常态混凝土总生产能力 480m³/h，可满足混凝土浇筑高峰期 12.0 万 m³/月的常态混凝土生产需要。预冷混凝土总生产能力 360m³/h，可满足 12.0 万 m³/月的预冷混凝土生产需要。

混凝土生产所需骨料直接从系统下游侧相邻的洒茂顶砂石加工系统成品调

节堆场取料，经胶带机运输至高线混凝土生产系统。拌和楼混凝土出料采用汽车运输。大坝混凝土经 8 号公路与缆机受料平台连接，混凝土运距约 1700m。非大坝混凝土运距 4100m。

系统设置拌和楼、胶凝材料库、空压站、外加剂车间、一次风冷骨料仓、预冷设施、污水处理设施、供水、变配电系统、试验室、调度楼及其它辅助设施。系统配置制冷系统，可生产 7℃低温混凝土。

高线混凝土系统与洒茂顶砂石加工系统共用粗、细骨料调节料仓。

高线混凝土生产系统主要技术指标见表 2.6-7。

**表 2.6-7　高线混凝土生产系统主要技术指标表**

| 序号 | 项　　目 | | 单 位 | 指　标 | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 拌和楼生产能力 | 常态混凝土 | m³/h | 480 | |
| | | 预冷混凝土 | m³/h | 360 | |
| 2 | 胶凝材料仓库容量 | 水泥 | t | 9600 | |
| | | 粉煤灰 | t | 5100 | |
| 3 | 空压机房容量 | | m³/min | 260 | |
| 4 | 电机容量 | | kW | 11000 | |
| 5 | 总制冷量 | | 万 kcal/h | 1100 | |
| 6 | 占地面积 | | 万 m² | 2.2 | 不含骨料调节堆场 |

（2）低线混凝土生产系统

低线混凝土生产系统设置在右岸距坝轴线下游 1300～1500m，高程 2172～2175m 的平台上。主要承担厂房、水垫塘、二道坝 106.68 万 m³混凝土的生产任务。

低线混凝土系统配置一座 4×3.0m³自落式拌和楼，常态混凝土生产能力 240m³/h，可满足 6.0 万 m³/月的常态混凝土生产需要。预冷混凝土总生产能力 180m³/h，可满足 5.5 万 m³/月的预冷混凝土生产需要。

混凝土生产所需骨料前期由前期砂石加工系统，后期由洒茂顶人工骨料加工系统提供，经胶带机或汽车运输至低线混凝土生产系统。拌和楼混凝土出料采用汽车运输。

系统设置拌和楼、胶凝材料库、空压站、外加剂车间、风冷骨料仓、预冷设

施、污水处理设施、供水、变配电系统、试验室、调度楼及其它辅助设施。系统配置制冷系统，可生产 12℃低温混凝土。

低线混凝土系统与前期砂石加工系统共用粗、细骨料调节料仓。

低混线凝土生产系统主要技术指标见表 2.6-8。

**表 2.6-8 低线混凝土生产系统主要技术指标表**

| 序号 | 项　　目 | | 单 位 | 指　标 | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 拌和楼生产能力 | 常态混凝土 | $m^3/h$ | 240 | |
| | | 预冷混凝土 | $m^3/h$ | 180 | |
| 2 | 粗、细骨料调节料仓 | | 万 $m^3$ | 5.67 | |
| 3 | 胶凝材料仓库容量 | 水泥 | t | 6400 | |
| | | 粉煤灰 | t | 2400 | |
| 4 | 空压机房容量 | | $m^3/min$ | 140 | |
| 4 | 电机容量 | | kW | 6000 | |
| 5 | 总制冷量 | | 万 kcal/h | 550 | |
| 6 | 占地面积 | | 万 $m^2$ | 1.32 | 不含骨料调节堆场 |

## 2.6.6.3 综合加工、机械修配系统

（1）综合加工厂

旭龙水电站综合加工企业包括钢筋加工厂、预制构件厂和木材加工厂，分二班作业。

旭龙水电站综合加工企业包括钢筋加工厂、预制构件厂和木材加工厂，分二班作业。其中，钢筋加工厂加工总量约 15.6 万 t，每班加工量 60t；木材加工厂，加工总量 3.1 万 $m^3$，每班加工量 25$m^3$；预制构件厂加工总量 0.34 万 $m^3$，每班加工量 10$m^3$。综合加工厂总占地面积 2.7 万 $m^2$，其中，大坝综合加工及金结拼装厂位于坝址下游 3.0km 处，场地高程 2255m～2265m，占地面积约 1.2 万 $m^2$。主要承担大坝的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。电站综合加工厂位于下游索桥两侧，紧邻 2#公路，至坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积共 1.5 万 $m^2$。主要承担电站厂房的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。

综合加工厂主要技术经济指标见表 2.6-9。

表 2.6-9　综合加工厂主要技术经济指标表

| 项目 | 钢筋加工厂 | 木材加工厂 | 预制构件厂 |
|---|---|---|---|
| 加工总量 | 15.6 万 t | 3.1 万 $m^3$ | 0.35 万 $m^3$ |
| 最高年加工量 | 2.96 万 t | 0.66 万 $m^3$ | 0.2 万 $m^3$ |
| 班产量 | 60t | 25$m^3$ | 10$m^3$ |
| 作业班制 | 2 | 2 | 2 |
| 主要机械设备（台） | 96 | 30 | 10 |
| 建筑面积（$m^2$） | 2800 | 1500 | 200 |
| 占地面积（$m^2$） | 15000 | 9000 | 3000 |

（2）机械修配厂

根据施工总进度安排，旭龙水电站施工总工期 8 年 2 个月，各种大型施工机械及施工辅助机械设备的使用数量很大，在日常作业过程中都需要维修保养。

根据相关设计规范以及国内水电工程机械修配厂的统计资料进行类比计算，机械修配厂位于右岸，坝址下游约 1.0km，场地高程 2180m，建筑面积 0.25 万 $m^2$，占地面积约 1.2 万 $m^2$。

（3）汽车维修、保养停放场

本工程汽车维修保养停放厂集中设置，经计算，高峰期需各类施工机械合计约 369 台，汽车约 95 辆，汽车维修保养停放厂设置于右岸上游沿江阶地，距离坝址约 4.5km，建筑面积 0.18 万 $m^2$，占地面积约 1.2 万 $m^2$。主要占地指标见表 2.6-10。

表 2.6-10 修理保养系统主要技术指标表

| 项　目 | 汽车修理厂 | 汽车保养厂 | 停放场 | 合计 |
|---|---|---|---|---|
| 建筑面积（$m^2$） | 520 | 358 | 937 | 1815 |
| 占地面积（$m^2$） | 1559 | 1075 | 9366 | 12000 |

汽车维修保养停放厂位于右岸，坝址上游 4.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m，占地面积 1.2 万 $m^2$。

## 2.6.6.4 金属结构加工及机电设备拼装厂

（1）金属结构拼装厂

本工程闸门、钢管等金属结构等尺寸较大、对外交通运输困难，均需在工程区内设置金属结构制造厂、拼装场。现场金属结构制造厂需要不少大型、重型设备，为避免重复投资、保证制造质量，便于管理，主体工程金属结构制造及拼装场尽量集中设置。

大坝综合加工及金结拼装厂：内含钢管加工、综合加工车间及场地，位于坝址下游 3.0km 处，场地高程 2255m～2265m，占地面积约 1.2 万 m²。

（2）机电设备拼装厂

受运输条件限制，本工程水轮机的转轮等大型部件拟采取现场组焊方案，因此必须在工地设置转轮拼装厂。其需要组焊的部件包括分瓣上冠、分瓣下环、叶片散件等，现场组焊主要包括焊接、退火、打磨、抛光、探伤检查等工艺流程，因此必须在施工区设置机电安装基地。

由于机组重大件从右岸进场，机电安装基地（含临时机电仓库）选择布置在右岸下游 4.7km 处的缓坡地上，位于进场公路与 2#公路接点附近，建筑面积 2.2 万 m²，占地面积 5.5 万 m²。

永久机电设备仓库布置在坝址右岸下游 1.5km 处的阶地上，建筑面积 0.6 万 m²，占地面积 1.5 万 m²，用于存放电站运行期间所需的机电零件设备。

### 2.6.6.5 施工仓储系统

旭龙水电站施工物资主要来自云南省及四川省内，物资供应比较有保证，且工区所在地地形陡峻，可利用场地面积有限，施工区内仓储设施规模不宜过大，取相关规范推荐值得下限。施工区内需存储的物资主要包括水泥、粉煤灰、钢筋、钢材、火工材料、油料和机电设备。

根据施工物资高峰期存储规模需求量，规划施工物资施工区存储量和仓库面积，具体见下表。

**表 2.6-11 旭龙水电站仓储系统一览表**

| 施工物资 | 高峰年需要量（万 t） | 储备天数（天） | 存储数量（t） | 存储方式 | 仓库面积（m²） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水泥 | 38.4 | 10 | 13000 | 楼罐 | | 混凝土生产系统内布置 |
| 粉煤灰 | 12.0 | 10 | 4000 | 楼罐 | | 混凝土生产系统内布置 |
| 钢筋、钢材 | 3.0 | 60 | 6000 | 料棚、露天 | 2500 | 各建筑物标段综合加工厂内 |
| 木材 | 0.66 | 30 | 500 | 露天 | 800 | 各建筑物标段综合加工厂内 |
| 火工材料 | 0.3 | 15 | 300 | 仓库 | 800 | 工区专用爆破器材仓库 |

| 施工物资 | 高峰年需要量（万 t） | 储备天数（天） | 存储数量（t） | 存储方式 | 仓库面积（$m^2$） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 油料 | 6.0 | 15 | 3000 | 油罐 | 1500 | 工区专用油库 |
| 机电设备 | 2.0 | | | 仓库 | 6000 | 机电设备仓库 |

### 2.6.6.6 施工供水、供电及通讯系统

（1）施工供水

供水系统的生产水供水对象有：大坝浇筑养护用水、混凝土拌和系统和土石方开挖、施工企业、公用设施及消防用水等。生活水供水对象有：右岸施工营地用水等。

1）供水规模

根据各用户对水质的不同要求，施工期供水分为生活用水和生产用水，总用水量 40300$m^3$/d。右岸施工营地生活用水的规模为 5000 $m^3$/d。

施工期在左岸设置净水站一座，设计规模 500 $m^3$/d；右岸设生产水厂一座，设计规模 40000 $m^3$/d。

2）水源

采用金沙江为水源。

3）供水水质和水压

供水水质：生产水 SS≤20mg/L；生活水水质满足《生活饮用水卫生标准》GB 5749-2006 的要求，主要控制性指标浑浊度≤1NTU。

水压要求 0.2～0.3Mpa。

4）系统布置及给水工艺组成

取水泵站在旭龙大桥与加油站之间金沙江右岸选址，泵站形式采用圆筒深井泵站。取水规模 40000$m^3$/d，自用水系数 1.1，泵站形式采用圆筒深井泵站，直径 12m，泵房及栈桥平台按二十年一遇洪水位设计。筒体高度 15.5m，上部框架结构高度 6m，泵站内布置 3 台水泵（Q=916$m^3$/h，H=153m，N=630kW），二用一备。采用一根 D720×9mm 钢管加压送至水厂。

施工水厂位于坝址下游 6#路靠山侧，距坝址直线距离约 2.5km，高程 2287m，占地面积 2.0 万 $m^2$。主要负责整个施工区的生产及右岸生活用水。生产用水采用加压供水，生活用水由水厂自流至用户。

净水厂由配水井、全自动高效沉淀装置、无阀滤池、加药消毒间、生活水清水池、生产水清水池、加压泵房与生产辅助建筑物组成。

生产用水通过全自动高效沉淀装置（650m³ /h，3 套）处理后，进入生产水清水池，生产水清水池调节容积 6000m³。低混凝土系统、汽车修配厂、大坝系统及其他低区公共用水设施由生产水清水池自流供水。高凝土系统、砂石系统采用加压供水。在右岸水厂上游 0.5km，布置高位生产水池，水池布置高程 2370m，调节容积 3000m³。

生活用水采用生产水作为水源，通过水泵提升至 230m³/h 无阀滤池，然后进行消毒处理，达到《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）的要求后进入生活水清水池，生活水清水池调节容积 800m³，生活用水全部由生活水清水池自流至用水点。

加压泵房内设置生产水水泵 3 台 （Q=510m³/h，H=91m，N=200kW），两用一备。生产水清水池至无阀滤池加压泵二台（Q=112.5m³/h，H=20m，N=11kW），两用一备。

生产水配水管管径 DN400mm，管道总长度为 2845m，供水接口共计 16 个。生活水配水管管径 DN150mm～DN200mm，管道总长 2530m。供水接口共计 5 个。

5）施工供水主要工程量

施工供水主要工程项目见表 2.6-12。

**表 2.6-12　右岸施工水厂供水系统主要工程项目一览表**

| 序号 | 项目名称 | 规模、规格 | 单位 | 数量 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 一 | 深井取水泵站 | 取水量：40000m³/d | 座 | 1 | |
| 二 | 净水厂 | 生产水：35000m³/d<br>生活水：5000m³/d | 座 | 1 | 分质制水 |
| 三 | 输配水工程 | | | | |
| 1 | 生产水高位水池 | V=3000m³ | 座 | 1 | 高程 2370m |
| 2 | 钢管 | DN150mm～400mm | t | 310 | |
| 3 | 供水接口 | | 个 | 21 | 阀门+阀门井 |

（2）施工供电

1）用电负荷及用电量

根据旭龙水电站施工总布置、施工总进度计划安排，土石方和混凝土工程施

工强度及各电力用户特征，施工用电高峰负荷发生在第 4 年至第 6 年。主要施工用电设备有土石方施工的空压机、钻机及通风设备等；混凝土浇筑的缆机、门塔式起重机、混凝土泵及振捣设备等；砂石混凝土生产系统的破碎机、筛分机、皮带输送机、拌和楼、空压机、制冷压缩机、鼓风机及水泵等；供水系统的水泵等；金结机电安装及三材加工、施工场地照明，以及办公生活用电等。

施工用电设备总装机容量约 80700kW，参照施工组织设计各专业在预可研阶段提供的资料初步计算，电站施工用电最大负荷约 33900kW。按年最大负荷利用 3800 小时计算，最大年用电量约 1.29 亿 kW·h。

2）施工供电方案

旭龙水电站施工用电计算负荷约为 33900kW/37700kVA，拟在右岸施工区用电负荷中心，临近右岸砂石及混凝土系统附近，建设 110/10kV 施工变电站 1 座供工区施工用电，规模为 2×25MVA，高峰负荷下变压器总负载率约 75.4%。

根据施工用电负荷等级及容量要求，结合旭龙水电站施工区周边的电源现况及电网规划，拟由地方电网引接 2 回 110kV 线路作为施工主供电源。1 回 110kV 电源 T 接自云南迪庆州德钦县里农变至瓦卡变 110kV 线路，另 1 回 110kV 电源引自四川得荣县 110kV 得荣变电站。

为保证安全施工，施工供电系统应确保地下洞室施工的排水及照明、基坑排水、混凝土泵及部分混凝土振捣设备、拌和楼搅拌机清罐负荷、氨制冷系统事故用电负荷，以及消防水泵、部分通信设备及医疗设备用电负荷。对于上述用电负荷，应按实际容量需要配置用于应急供电的柴油发电机组。

在工程筹建期 110kV 施工变电站尚未建成投运前，可由施工区右岸附近的格亚顶水电站或茂顶河水电站提供 10kV 电源。

3）施工配电网络

根据施工区用电负荷的分布情况及地形地貌，110kV 施工变电站 10kV 出线间隔共计 16 回，其中出线 13 回并备用 3 回。施工供电网络 10kV 主干线路按单回线路统计总长度约 40km。施工变电站总占地面积约 0.3 万 $m^2$。

4）施工供电系统主要工程量

施工供电系统主要工程量见表 2.6-13。

表 2.6-13　施工供电系统主要工程量

| 序号 | 工程名称 | 建设规模 | 单位 | 数量 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 施工变电站 | 110/10kV,2×25MVA | 座 | 1 | |
| 2 | 施工变电所 | 10/0.4kV | MVA | 82 | 变压器安装总容量 |
| 3 | 110kV 线路 | | km | 60 | 以实际工程量为准 |
| 4 | 10kV 线路 | LGJ-185 | km | 36 | 单回线路长度，约数 |
| 5 | 10kV 线路 | LGJ-70 | km | 6 | 单回线路长度，约数 |
| 6 | 10kV 线路 | YJV22-10kV-3×240 | km | 6 | 单回线路长度，约数 |
| 7 | 柴油发电机组 | 0.4kV | MW | 3.2 | 安装总容量，约数 |

（3）施工通信

旭龙水电站坝址附近有公用通信网，现已具备有线和无线通话条件。施工通信可直接利用。

## 2.6.6.7 施工营地

施工营地主要作为施工期业主、设计、监理、各标段施工承包商以及其他与工程相关人员办公生活营区。

电站永久运行的管理人员的办公生活设施集中布置在业主营地内，规划布置时主要考虑交通便利、受施工噪音、粉尘影响小、环境优美、相对独立等因素，布置在右岸下游 4km，位于 2#道路旁，占地面积 11.1 万 m²。

由于旭龙水电站坝址地形陡峻，可利用场地面积有限，考虑将承包商施工营地根据地形地质条件，按照方便施工管理、受施工噪音、粉尘影响小的原则，在左右岸分散布置。因左岸场地条件较差，不适于布置施工营地，本工程施工营地主要布置在右岸。

1#施工营地：位于坝址上游 5.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m～2220m，占地面积 1.2 万 m²。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。

2#施工营地：布置于坝址下游 1.7km 处，场地高程 2175m，占地面积 1.5 万 m²。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。

3#施工营地：位于 2#路靠江侧，在坝址下游 3.7km 处，场地高程 2165m，占地面积 3.4 万 m²。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。

现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站）：位于 2#道路旁，距坝址约 4.0km，场地高程 2180m～2200m，总占地面积约 11.1 万 m²。主要为建设期业主、设计、监理等管理人员的办公生活区。鱼类增殖放流站结合现场建设管理营地进行布置，便于施工期和运行期鱼类增殖放流站的运行管理和维护。

## 2.6.7 主体工程施工

### 2.6.7.1 混凝土拱坝施工

首先进行岸坡开挖，待截流合拢后再及时进行基坑开挖。

两岸边坡开挖按照“自上而下”的顺序进行施工。截流前，进行右岸高程 2165m 以上和左岸高程 2260 以上部位的岸坡开挖；截流后，再进行右岸高程 2165m 以下及左岸高程 2260m 以下部位的岸坡开挖；基坑抽水后开挖剩余落渣和基坑开挖。

大坝基础在截流后围堰的保护下开挖施工，距坝趾 50m 范围（1∶2 的坡比向下游起坡）内的水垫塘基础与坝基开挖同时进行，水垫塘基础距坝趾 50m 范围以外的开挖工程待大坝基坑开挖完成后进行，既可避免水垫塘开挖对大坝混凝土浇筑的影响，又避免水垫塘基础开挖对大坝基础开挖的干扰影响，同时降低坝基开挖的平均开挖强度，确保大坝混凝土如期浇筑。

大坝混凝土浇筑先河床后两岸，跳仓浇筑。相邻坝块最大允许高差 12m，最高与最低坝块高差不超过 30m。

河床坝段采用有压重固结灌浆；两岸岸坡坝段在混凝土浇筑前采用无压重固结灌浆，不占用直线工期。

金结一期埋件与坝体混凝土施工同步进行。门槽二期混凝土与大坝混凝土浇筑交叉进行，错开 1～2 个浇筑层。

### 2.6.7.2 导流洞施工

根据导流建筑物的功能和特点，导流洞的施工程序为：施工支洞开挖和支护→导流洞施工。

由于导流隧洞开挖断面较大，拟分上、下两层进行钻爆开挖，上层高度 8 m，下层高度 11.4m（含 2m 保护层）。

导流洞开挖时，先进行 1#导流洞的开挖，待 1#导流洞各工作面掘进完成 30～50m 后，方可进行 2#导流洞的施工。

为确保导流隧洞施工不受汛期洪水影响，在进、出口处预留岩坎，形成挡水围堰，岩坎在导流洞通水前适当时间挖除。

衬砌混凝土施工为导流隧洞工程控制性工期项目，在具备条件时应尽早开工；进水塔混凝土施工待进口开挖和导流隧洞贯通后开始施工。

### 2.6.7.3 围堰施工

围堰的施工程序为：截流戗堤填筑→围堰防渗平台填筑→防渗墙施工→围堰加高培厚至设计高程→围堰拆除。

### 2.6.7.4 电站建筑物施工

根据施工总进度要求，以地下厂房为重点，合理安排各建筑物的施工程序和施工顺序。各洞室相应部位施工前，应完成该部位施工通道的开挖和支护工作。施工过程中，每开挖一层，应同时完成该层的喷锚支护施工。

1）引水洞

引水洞分两批间隔施工，即第一批为 1#、3#引水洞，第二批为 2#、4#引水洞。

引水洞上平段开挖在进口段开挖完成后施工，下平段开挖在 4#施工支洞完成后施工，上、下平洞开挖完成后进行竖井段开挖。

2）主厂房系统

主厂房自上而下分 8 层进行开挖及支护，分层高程范围及分层高度见下表。

**表 2.6-14 厂房开挖分层表**

| 分层序号 | 分层高程范围 | 分层高度（m） | 施工通道 |
|---|---|---|---|
| C1 | 2179.1～2169.6m | 9.5 | 2#施工支洞 |
| C2 | 2169.6～2159.4 m | 10.2 | 2#施工支洞 |
| C3 | 2159.4～2149.4m | 10.0 | 进厂交通洞 |
| C4 | 2149.4～2137.4m | 12.0 | 进厂交通洞 |
| C5 | 2137.4～2128.0m | 9.4 | 引水洞下平段、4#施工支洞 |
| C6 | 2128.0～2119.6m | 8.4 | 引水洞下平段、4#施工支洞 |
| C7 | 2119.6～2112.2m | 7.4 | 尾水洞、5#、6#施工支洞 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| C8 | 2112.2～2103.9m | 8.3 | 尾水洞、5#、6#施工支洞 |

3）主变洞及母线洞

当厂房进行顶拱支护施工时，平行作业进行主变洞开挖。主变洞自上而下分3层进行开挖及支护，分层高度10m左右，分层高程范围见下表。

**表 2.6-15　主变洞开挖分层表**

| 分层序号 | 分层高程范围 | 分层高度（m） | 施工通道 |
|---|---|---|---|
| B1 | 2170.1～2162.6m | 7.5 | 3#施工支洞 |
| B2 | 2162.6～2155.5m | 7.1 | 3#施工支洞 |
| B3 | 2155.5～2147.1m | 8.4 | 进厂交通洞 |

母线洞分两批间隔施工，第一批为1#、3#机组母线洞，第二批为2#、4#机组母线洞。

4）尾水调压室（井）

尾水调压井与主厂房同时施工。尾水调压室（高程2168.8m以上部分）分2层自上而下进行开挖及支护。尾水调压井（高程2168.8m以下部分）待其下部尾水洞开挖完成，5#、6#施工支洞形成后挖除。

5）尾水洞

尾水洞调压井上游侧段分两批开挖，第一批为1#、3#机组相应尾水洞段，第二批为2#、4#相应尾水洞段。尾水洞调压井下游侧洞段一批开挖，各洞开挖工作面之间间隔50～100m安全距离。

尾水洞上层开挖前，需完成5#施工支洞，开挖中下层前需完成6#施工支洞。

6）进水口、尾水洞出水口、变电站等明挖与上述洞室开挖同时进行。

7）各部位开挖结束后，可以适时开展混凝土浇筑施工。

主厂房混凝土施工程序：①主厂房开挖至岩锚梁下部，并留有一定的安全距离后，进行岩锚梁混凝土浇筑和桥机轨道安装。②主厂房开挖结束后，进行厂房混凝土浇筑及机电埋件安装。混凝土施工顺序：尾水管底板混凝土浇筑→底板固灌→肘管安装→肘管混凝土浇筑→锥管段一期混凝土浇筑→锥管安装→锥管二期混凝土浇筑→基础环、座环、蜗壳安装→蜗壳检测→蜗壳混凝土浇筑→水轮机层混凝土浇筑→发电机层混凝土浇筑→上下游边墙混凝土浇筑。

引水隧洞分两个平行工作面施工，分别是：下弯段→竖井段→上弯段→上平

段和下弯段→下平段。下平段在衬砌前先进行钢衬安装，利用钢衬作为模板分段衬砌。

尾水调压室混凝土施工程序：岩壁吊车梁施工（调压室开挖过程中进行）→底板混凝土施工→阻抗板及以下边墙混凝土施工→闸墩混凝土施工→启闭机排架混凝土施工。

### 2.6.8 施工强度和进度安排

（1）施工强度

本工程主要项目的高峰时段月平均施工强度如下：

土石方填筑 12.7 万 $m^3$/月；

土石方明挖 34.0 万 $m^3$/月；

石方洞挖 8.5 万 $m^3$/月；

混凝土浇筑 12.6 万 $m^3$/月。

（2）进度安排

施工控制性工期如下：

第 1 年 6 月初开始导流隧洞开挖，工程开工；

第 2 年 5 月开始主厂房洞挖；

第 2 年 11 月底低导流隧洞具备通水条件，12 月初截流；

第 2 年 12 月开始两岸坝肩开挖；

第 3 年 2 月底完成围堰防渗墙施工，5 月完成围堰填筑；

第 4 年 11 月开始主厂房混凝土浇筑，第 7 年 4 月首台机组土建交面，开始机电设备安装；

第 5 年 8 月完成拱坝基础开挖，9 月进行基础无盖重固结灌浆，10 月开始浇筑河床坝段基础混凝土；第 8 年 9 月底，河床坝段混凝土浇至高程 2308m；

第 8 年 11 月下旬至第 9 年 4 月，导流隧洞下闸封堵并在这个枯水期完成堵头施工；

第 9 年 5 月初水库开始蓄水，6 月初首批机组发电；

第 9 年 7 月底，完成全部机组安装调试，工程完工。

## 2.6.9 施工用地

本工程坝区施工用地包括：主体建筑物、施工生产和生活设施、弃渣场、混凝土骨料场和场内施工道路。

施工用地总面积（含库坝重叠区）约 5.57km$^2$。左岸施工用地面积 2.03km$^2$，其中永久用地面积 1.67km$^2$，临时用地面积 0.36km$^2$；右岸施工用地面积 3.54km$^2$，其中永久用地面积 2.43km$^2$，临时用地面积 1.11km$^2$。

表 2.6-16 旭龙水电站枢纽工程建设区征（占）地面积统计表

| 省 | 永久征地（km$^2$） | 库坝重叠区（永久）（km$^2$） | 临时用地（km$^2$） | 合计（km$^2$） |
|---|---|---|---|---|
| 云南 | 1.8 | 0.63 | 1.11 | 3.54 |
| 四川 | 1.06 | 0.61 | 0.36 | 2.03 |
| 合计 | 2.86 | 1.24 | 1.47 | 5.57 |

表 2.6-17 主要施工临时设施及占地汇总表

| 序号 | 项目 | 规模 | 占地面积（万 m²） | | | 场地高程（m） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 左岸 | 右岸 | 合计 | |
| 一 | 砂石混凝土系统 | | | | | |
| 1 | 洒茂顶砂石加工系统 | | | 11.1 | 11.1 | 2280～2330 |
| 2 | 右岸低混凝土系统 | 1 座 4×3.0m³ | | 2.5 | 2.5 | 2165～2170 |
| | 右岸高混凝土系统 | 2 座 4×3.0m³ | | 2.0 | 2.0 | 2275～2295 |
| 二 | 施工供水供电通信 | | | | | |
| 1 | 施工水厂 | 生产 2.8 万 m³/日，生活 0.3 万 m³/日 | | 1.3 | 1.3 | 2287 |
| 2 | 高位水池 | | | 0.1 | 0.1 | 2370 |
| 3 | 供电 | 110kV 变电站 | | 0.3 | 0.3 | 2290 |
| 4 | 通信 | 600 门程控电话，1000 个对讲机 | | | | |
| 三 | 综合加工厂 | | | | | |
| 1 | 大坝综合加工及金结拼装厂 | | | 1.2 | 1.2 | 2255～2265 |
| 2 | 电站综合加工厂 | | | 1.5 | 1.5 | 2170 |
| 四 | 机组安装 | 满足 2 台机组同时安装需要 | | | | |
| 1 | 机电安装基地 | | | 1.6 | 1.6 | 2165 |
| 2 | 机电设备仓库 | | | 1.5 | 1.5 | 2180～2200 |
| 五 | 机械修配停放场 | | | 1.2 | 1.2 | 2180 |
| 六 | 仓库 | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 综合仓库 | | | 1.5 | 1.5 | 2170 |
| 2 | 油库及加油站 | 建筑面积 0.05 万 $m^2$ | | 0.5 | 0.5 | 2190～2220 |
| 3 | 左岸炸药库 | | 0.35 | | 0.35 | 2325～2355 |
| 4 | 右岸炸药库 | | | 0.3 | 0.3 | 2430 |
| 七 | 办公生活系统 | | | | | |
| 1 | 业主及设计监理营地 | | | 5.0 | 5.0 | 2400～2470 |
| 2 | 1#施工营地 | | | 4.5 | 4.5 | 2175 |
| 3 | 2#施工营地 | | | 4.5 | 4.5 | 2190～2225 |
| 八 | 鱼类增殖放流站 | | | 1.5 | 1.5 | 2150～2165 |
| 九 | 弃渣场及利用料堆场 | | | | | |
| 1 | 左岸上游弃渣场 | 弃渣容量 21.0 万 $m^3$ | 3.5 | | 3.5 | 2200 |
| 2 | 徐龙冲沟弃渣场 | 弃渣容量 290.0 万 $m^3$ | 17.9 | | 17.9 | 2460 |
| 3 | 截流备料场 | 备料场容量 3.0 万 $m^3$ | | 1.2 | 1.2 | 2180 |
| 4 | 茂顶河弃渣场 | 弃渣容量 1400 万 $m^3$ | | 31.7 | 31.7 | 2360 |
| 十 | 徐龙人工骨料场 | | | 13.15 | 13.15 | |
| 合计 | | | 21.75 | 88.15 | 109.90 | |

## 2.7初期蓄水及电站运行

### 2.7.1 初期蓄水方案

根据施工进度安排，旭龙水电站从第 8 年 11 月初高导流隧洞下闸，打通旁通洞与高导流隧洞之间的洞壁，调试弧门和启闭设施，第 8 年 11 月下旬，旁通洞内弧门具备下闸条件。

第 8 年 11 月下旬开启旁通洞进口平板门，低导流隧洞下闸，由旁通洞泄流向下游供水，待水位上升至中孔满足向下游 191$m^3/s$ 要求时，旁通洞内弧门下闸，导流隧洞堵头施工，由中孔向下游供水。

第 9 年 4 月底导流隧洞堵头施工完成。第 9 年 5 月初水库开始蓄水，6 月初首批机组发电；第 9 年 7 月底，完成全部机组安装调试，工程完工。

旭龙水电站所在河段区域内暂无灌溉要求，下游无生产生活等取水设施及用

水需求，河段为不通航河段，施工期无航运要求，因此，旭龙水电站下游用水主要考虑下游河道生态用水。旭龙水电站初期蓄水期间，为满足河道生态和水环境功能的用水要求，避免初期蓄水对下游生态环境产生较大不利影响，应保证旭龙水电站坝后最小下泄流量不低于 191$m^3$/s。

旭龙水库正常蓄水位 2302m 以下的库容约 7.81 亿 $m^3$，按照《水电工程水利计算规范》（NB/T 10083-2018），水库初期蓄水设计来水频率采用 75%～80%，旭龙水库初期蓄水设计来水频率采用 75%。根据施工进度安排，水库开始蓄水时间为第 9 年 5 月初，初期蓄水代表年选择按 5 月来水量控制，无上游岗托、叶巴滩和拉哇调节时旭龙坝址 5 月份来水频率 75%的月平均流量为 573$m^3$/s。扣除生态流量后，可用于蓄水的流量为 382$m^3$/s，按此计算，蓄至正常蓄水位所需时间为 24 天。

### 2.7.2 上游在建电站苏洼龙水电站运行方式

（1）水库运行

苏洼龙水电站水库正常蓄水位 2475m，死水位 2471m，以发电为主要开发目标，电站调节性能为日调节，因此水库运行比较简单，主要根据电网日负荷需求进行日调节运行。同时为保证下游不出现因电站进行日调节运行而短暂断流的情况，按半台机组强迫基荷发电泄放生态流量。

在汛期水库一般情况下维持在高水位运行，以获得最大发电效益。当遇到汛期大水大沙时，水库可以临时降低到死水位运行，并尽可能与上游电站同步排沙，以利于水库排沙。

在非汛期根据电网日负荷需求进行日调节运行，水库在死水位到正常蓄水位之间运行。

（2）电站运行

水库在满足调度运行的同时，为保证下游电站的正常发电，还承担系统的日调节任务。枯水及平水期，为保证下游电站的正常发电运行和河流生态系统，电站拟定了发电基荷半台机运行的方式，即承担 150MW 基荷，常年下泄流量不低于 200.4$m^3$/s。

苏洼龙水电站枯水年、平水年各月典型日发电流量过程见表 2.7-1～表 2.7-2。

表 2.7-1　苏洼龙水电站枯水年各月典型日发电流量过程表

单位：$m^3/s$

| 月<br>小时 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 542.1 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 3 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 205.5 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 205.5 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 5 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 205.5 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 6 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 542.1 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 7 | 200.4 | 200.4 | 1244.5 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 542.1 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 8 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 9 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 741.9 | 204.2 | 311.1 |
| 10 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 11 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 928.5 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 12 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 620.7 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 13 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 620.7 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 14 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 620.7 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 15 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 620.7 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 16 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 620.7 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 17 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 237.5 | 928.5 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 204.2 | 311.1 |
| 18 | 1205.1 | 1204.0 | 1603.2 | 200.4 | 1603.2 | 237.5 | 620.7 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 1603.2 | 1205.3 |
| 19 | 1205.1 | 1204.0 | 1603.2 | 1231.0 | 1603.2 | 237.5 | 928.5 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 1603.2 | 1205.3 |
| 20 | 1205.1 | 1204.0 | 1603.2 | 1231.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1205.3 |
| 21 | 1205.1 | 1204.0 | 1603.2 | 1039.1 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1205.3 |
| 22 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 256.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 204.2 | 311.1 |
| 23 | 301.1 | 299.6 | 1603.2 | 200.4 | 206.7 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 809.0 | 200.4 | 311.1 |
| 24 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 206.7 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 741.9 | 200.4 | 200.4 |

表 2.7-2　　苏洼龙水电站平水年各月典型日发电流量过程表

单位：$m^3/s$

| 小时\月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 200.4 | 200.4 | 607.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 337.9 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 3 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 206.1 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 206.1 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 5 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 206.1 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 6 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 337.9 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 7 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 337.9 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 8 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 |
| 9 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 10 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 11 | 863.8 | 1205.8 | 1603.2 | 1603.2 | 1217.0 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1204.7 |
| 12 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 469.6 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 918.6 | 412.3 |
| 13 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 14 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 15 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 16 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 17 | 264.8 | 444.7 | 1603.2 | 740.7 | 469.6 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 918.6 | 412.3 |
| 18 | 1206.6 | 1205.8 | 1603.2 | 1603.2 | 1217.0 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1204.7 |
| 19 | 1206.6 | 1205.8 | 1603.2 | 1603.2 | 1217.0 | 356.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1204.7 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 1206.6 | 1205.8 | 1603.2 | 1603.2 | 1217.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1204.7 |
| 21 | 1206.6 | 1205.8 | 1603.2 | 1603.2 | 1217.0 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1204.7 |
| 22 | 264.8 | 444.7 | 1603.2 | 740.7 | 469.6 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 918.6 | 412.3 |
| 23 | 264.8 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |
| 24 | 201.1 | 200.4 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 | 200.4 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 200.4 | 200.4 |

### 2.7.3 旭龙水电站运行方式

（1）调度运行方式

1）日运行方式

电站主要承担基荷和腰荷，可根据电力系统需求进行适度调峰运行，并满足最小下泄流量 191m$^3$/s 的要求，水库水位在正常蓄水位 2302m 至死水位 2297m 之间波动，丰水时期尽量维持在高水位运行。

2）洪水调度方式

发生洪水时，当坝前水位达到正常蓄水位时，水库按“敞泄”方式操作，即当坝址洪水流量小于等于当时水库水位相应泄洪能力时，按坝址洪水流量下泄；当坝址洪水流量大于当时水库水位相应泄洪能力时，按泄流能力下泄。“敞泄”调度中，当坝址洪水流量小于等于电站设计标准洪峰流量时，按全部机组过水能力的三分之二参与泄洪；当坝址洪水流量大于电站设计标准洪峰流量且小于电站校核标准洪峰流量时，计入全部机组过水能力的二分之一参与泄洪；当坝址洪水流量大于电站校核标准洪峰流量或者水头超出机组允许运行水头范围时，则机组停止运行。

（2）多年运行特性

旭龙水电站装机容量 2400MW，装机 4 台，单机容量 600MW，单机额定流量 464.1m$^3$/s。与岗托、叶巴滩、拉哇等梯级联合运行，电站保证出力 609MW，多年平均年发电量 103.19 亿 kW·h，装机年利用小时数 4300h，水量利用率 92.27%。旭龙水电站主要动能参数见表 2.7-3。

表2.7-3　　旭龙水电站主要动能参数表

| 项目 | 单位 | 数值 |
|---|---|---|
| 多年平均流量 | m³/s | 990 |
| 多年平均径流量 | 亿 m³ | 313 |
| 校核洪水位 | m | 2305.89 |
| 设计洪水位 | m | 2303.42 |
| 正常蓄水位 | m | 2302 |
| 死水位 | m | 2297 |

| | | |
|---|---|---|
| 总库容（校核洪水位以下） | 亿 $m^3$ | 8.47 |
| 正常蓄水位以下库容 | 亿 $m^3$ | 7.81 |
| 死库容 | 亿 $m^3$ | 7.01 |
| 调节库容 | 亿 $m^3$ | 0.80 |
| 库容系数 | % | 0.26 |
| 装机容量 | MW | 2400 |
| 保证出力（P=95%） | MW | 408/609 |
| 多年平均发电量 | 亿 kW ħ | 98.86/103.19 |
| 汛期电量（6 月～10 月） | 亿 kW ħ | 69.22/63.52 |
| 平、枯水期电量 | 亿 kW ħ | 29.64/39.67 |
| 装机年利用小时数 | h | 4119/4300 |
| 水量利用率 | % | 88.58/92.27 |
| 加权平均水头 | m | 148.25/148.56 |
| 最大水头 | m | 157.1 |
| 最小水头 | m | 132.1 |
| 额定水头 | m | 144 |

注：表中“/”前后数据分别为与叶巴滩、拉哇联合运行和与岗托、叶巴滩、拉哇联合运行指标。

# 3 工程分析

## 3.1工程建设与相关政策符合性分析

### 3.1.1 与国家产业政策与能源发展规划的符合性分析

2007年6月，国务院在“关于印发应对气候变化国家方案的通知”(国发[2007]17号)中指出，“在保护生态基础上有序开发水电。把发展水电作为促进中国能源结构向清洁低碳化方向发展的重要措施。在做好环境保护和移民安置工作的前提下，合理开发和利用丰富的水力资源，加快水电开发步伐，重点加快西部水电建设，因地制宜开发小水电资源。”随后，国家发展和改革委员会为贯彻落实《可再生能源法》，于2007年8月印发了《可再生能源中长期发展规划》，明确了水电的重点发展方向，即“今后水电建设的重点是金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、黄河上游和怒江等重点流域。” 此外，水电也是国家发展和改革委员会发布的《产业结构调整指导目录(2011年本)》(2013年修订)中的鼓励类项目。

进入“十三五”时期，为推进我国能源结构优化升级，在《我国国民经济和社会发展十三五规划纲要》中明确了“统筹水电开发与生态保护，坚持生态优先，以重要流域龙头水电站建设为重点，科学开发西南水电资源”；同时，提出了统筹规划全国能源开发布局和重点，将西南地区作为国家五大综合能源基地之一进行重点建设。

国家《可再生能源发展“十三五”规划》中，提出在“十三五”期间，要积极推进大型水电基地建设。积极推进金沙江上游等水电基地开发，着力打造藏东南“西电东送”接续基地。金沙江上游拉哇、巴塘、旭龙等电站已明确列入“十三五”水电重点项目。

国家《水电发展“十三五”规划》中，将开工建设金沙江上游叶巴滩、巴塘、拉哇、旭龙等项目，努力打造金沙江上游等“西电东送”接续能源基地等工作内容，列入我国水电发展“十三五”期间的重点任务。

金沙江流域是我国能源发展规划的十三大水电基地之一，旭龙水电站是金沙江上游水电规划“一库十三级”方案的第12个梯级，电站装机容量2400MW，为I等

大（1）型工程，联合运行情况下，多年平均年发电量103.19亿kW.h，发电效益显著。

综上可见，旭龙水电站的建设符合国家产业政策和能源发展规划的相关要求。

## 3.1.2 与主体功能区划的符合性分析

### 3.1.2.1 与《全国主体功能区规划》的符合性

为确定不同区域的主体功能，明确开发方向，完善开发政策，控制开发强度，规划开发时序，逐步形成人口、经济、资源环境相协调的国土空间开发格局，《全国主体功能区规划》将国土空间划分为优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域。优化开发、重点开发和限制开发区域原则上以县级行政区为基本单元；禁止开发区域以自然或法定边界为基本单元，分布在其他类型主体功能区域之中。

《全国主体功能区规划》指出：能源与资源开发的布局，对构建国土空间开发战略格局至关重要。能源基地和矿产资源基地以及水功能区的布局，应服从和服务于主体功能区规划确定的所在区域的主体功能定位，符合该主体功能区的发展方向和开发原则。

能源开发布局提出“重点在能源资源富集的山西、鄂尔多斯盆地、西南、东北和新疆等地区建设能源基地”，其中西南地区“以水电开发为主，……，建成以水电为主体的综合性能源输出地”。

旭龙水电站是我国金沙江上游水电规划“一库十三级”的第12个梯级，与《全国主体功能区规划》的能源开发布局总体上相符合。根据《全国主体功能区规划》的要求，旭龙水电站工程区位于 “川滇森林及生物多样性生态功能区”，属于限制开发区的重点生态功能区。本区主要发展方向为生物多样性维护，其开发管制原则中提出：“开发矿产资源、发展适宜产业和建设基础设施，都要控制在尽可能小的空间范围之内，并做到天然草地、林地、水库水面、河流水面、湖泊水面等绿色生态空间面积不减少”、“加强县城和中心镇的道路、供排水、垃圾污水处理等基础设施建设。在条件适宜的地区，积极推广沼气、风能、太阳能、地热能等清洁能源，努力解决农村特别是山区、高原、草原和海岛地区农村的能源需求”。

旭龙水电站开发过程中，通过限定施工范围，减少土地和植被扰动，对征占

林地、草地进行补偿，针对工程建设可能带来的不利影响制定系统的生态保护和恢复措施，按照区域开发管制原则进行措施布局，最终达到主体功能规划的要求。因此，旭龙水电站的开发建设，与《全国主体功能区规划》基本相符。

同时，《全国主体功能区规划》第十章“能源与资源”中提出：“位于限制开发的重点生态功能区的能源基地和矿产资源基地建设，必须进行生态环境影响评估，尽可能减少对生态空间的占用，并同步修复生态环境”。 本次环评工作结合国内相关权威科研院所开展了陆生生态和水生生态的专题成果，对项目可能产生的不利生态影响进行了预测评价，提出了可行的生态保护与恢复措施，以满足主体功能区规划的要求。

#### 3.1.2.2 与《四川省主体功能区规划》的符合性

2013 年 4 月，四川省人民政府以“川府发[2013]16 号”文正式印发了《四川省主体功能区规划》。该规划基于四川省不同区域的资源环境承载能力、现有开发强度和未来发展潜力，以是否适宜或如何进行大规模高强度工业化城镇化开发为基准，将四川省国土空间划分为重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域。同时，规划对其中的“开发”进行了专门定义，即“特指大规模高强度的工业化城镇化开发。限制开发，特指限制大规模高强度的工业化城镇化开发，并不是限制所有的开发活动。对农产品主产区，要限制大规模高强度的工业化城镇化开发，但仍要鼓励农业开发；对重点生态功能区，要限制大规模高强度的工业化城镇化开发，但仍允许一定程度的能源和矿产资源开发。” 功能区规划提出在做好生态保护的前提下积极发展水电的总体要求，坚持生态优先、统筹考虑、适度开发的开发原则，水电能源规划在以金沙江、雅砻江、大渡河干流等“三江流域”为核心的地区建设水电基地，

旭龙水电站位于限制开发的重点生态功能区中的“川滇森林及生物多样性生态功能区”，该区的主体功能定位为：大熊猫、羚牛、金丝猴等重要珍稀生物的栖息地，国家乃至世界生物多样性保护重要区域，四川省重要的生物多样性、涵养水源、保持水土、维系生态平衡的主要区域，需重点保护原生森林、流域生态系统，加强造林绿化、小流域治理、矿山生态恢复、河流水生态恢复等生态工程。

根据四川省主体功能区划分区结果，旭龙水电站工程位于国家层面限制开发重点生态功能区，以保护和修复生态环境、提供生态产品为首要任务，因地制宜

开发利用优势特色资源，发展资源环境可承载的适宜产业。旭龙水电站所在的金沙江上游河段在做好生态保护的前提下，积极进行水电开发，拟定合理的开发方案，切实做到生态优先、统筹考虑、适度开发的原则，且水电为清洁能源，也是区域具有优势的资源，旭龙水电站建设对利用金沙江上游丰富的水能资源、维护区域生态环境具有积极的意义。同时，旭龙水电站拟选择得荣县境内定曲河作为替代生境，进行栖息地保护，通过采取一系列恢复水系连通的措施，进行河流生态修复。因此，旭龙水电站建设与四川省主体功能区规划基本相符合。

#### 3.1.2.3 与《云南省主体功能区规划》的符合性

2014 年 1 月，云南省人民政府以“云政发[2014]1 号”文正式印发了《云南省主体功能区规划》。该规划基于云南省不同区域的资源环境承载能力、现有开发强度和未来发展潜力，以是否适宜或如何进行大规模高强度工业化城镇化开发为基准，将云南省国土空间划分为重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域。

旭龙水电站工程位于滇西北森林及生物多样性生态功能区，该功能区禁止对野生动植物进行滥捕滥采，保持并恢复野生动植物物种和种群的平衡，实现野生动植物资源的有效保护和永续利用。保护自然生态系统与重要物种栖息地，防止生态建设导致栖息环境的改变。在重要流域及湖泊，加强水域生态环境保护建设，开展水域生态修复，根据各种水生野生动物濒危程度和生物学特性，加大渔业资源人工增殖放流力度。

旭龙水电站属于能源开发项目，虽然水库蓄水将淹没河谷区植被，但受影响植被以干热河谷稀树灌木草丛为主，作为区域“地带性”、“代表性”和“天然植被的顶级植物群落”的常绿阔叶林和针叶林主要分布于海拔 3000m 以上区域，该类型基本不受工程建设影响，作为区域生态环境质量的控制性组分未发生变化；同时工程在通过建设过鱼设施及鱼类增殖放流站，在一定程度上可使河流水生态得到一定程度的恢复。建设旭龙水电站不会影响区域主体功能定位，项目建设与云南省主体功能规划中的主体功能定位和管理要求总体相符。

#### 3.1.2.4 与《西藏自治区主体功能区规划》的符合性

2014 年 10 月，西藏自治区以“藏政发[2014]108 号”发布了《西藏自治区主体功能区规划》，本规划以全国主体功能区规划为指导，将西藏自治区国土空间

分为以下主体功能区：按开发方式，分为重点开发区域、限制开发区域、禁止开发区域；按开发内容分为城镇化地区、农产品主产区、重点生态功能区；按层级，分为国家和自治区两个层面。

旭龙水电站涉及西藏自治区昌都市属自治区层面藏东重点开发区域，该区域东连四川、北接青海、南与云南相通，是自治区连接川、滇、青的枢纽，重要的能源和矿产资源开发基地，重要的生态旅游发展区域，康巴特色文化产业发展中心。该区域的发展目标为：把昌都建设成为连接川、滇、青的交通枢纽、商贸中心、有色金属基地、“西电东送”的接续能源基地和“三江”流域生态旅游区，逐步扩大以县城和建制镇为中心的人口与经济聚集规模，辐射带动藏东区域加快发展。

旭龙水电站涉及的芒康县属自治区层面重点生态功能区，为限制开发区域，该区域为昌都市北部河流上游水源涵养区，其功能定位及发展方向为：加强山地森林生态系统生物多样性保护和河谷地区水土保持及山地灾害预防，重点发展生态旅游业，适度发展特色生态农林业，加强重点开发区域的综合开发能力建设，为生态旅游发展提供环境保障。

旭龙水电站建成后，水库淹没涉及对长江上游的水土保持、生态环境改善具有一定作用，水库形成后，水域面积 16.51km$^2$，库区将成为高山峡谷一处独特的水域景观，为当地发展生态旅游提供了有利契机。因此，在切实做好生态环境保护的前提下，建设旭龙水电站符合西藏自治区主体功能区规划的要求。

### 3.1.3 与生态功能区划的符合性分析

#### 3.1.3.1 与《全国生态功能区划（修编版）》的符合性

根据《全国生态功能区划（修编版）》，评价区涉及滇西北高原生物多样性保护与水源涵养重要区、川西北水源涵养与生物多样性保护重要区、藏东南生物多样性保护重要区。其中滇西北高原生物多样性保护与水源涵养重要区主要涉及评价区的云南省部分，川西北水源涵养与生物多样性保护重要区主要涉及评价区的四川省部分，藏东南生物多样性保护重要区主要涉及评价区的西藏芒康县。

滇西北高原生物多样性保护与水源涵养重要区生态保护定位为生物多样性和水源涵养功能，主要保护措施为加强封山育林，恢复自然植被；开展小流域生

态综合整治，防止地质灾害；提高水源涵养林等生态公益林的比例；调整农业结构，发展生态农业，继续实施退耕还林还草，适度发展牧业；在山区实施生态移民。川西北水源涵养与生物多样性保护重要区生态保护定位为生物多样性和水源涵养功能，主要保护措施为合理开发水电资源，强化水电开发与运行中的生态保护，严格控制支流小水电的无序开发。加大牧业生产设施建设力度，逐步改变牧业粗放经营和过度放牧，加强草地恢复，加大草地沙化和鼠虫害防治力度，严禁沼泽湿地疏干改造，退牧还沼，恢复湿地，加大天然草地、沼泽湿地和生物多样性的保护力度。发展生态旅游、观光旅游和科学考察服务的第三产业，开发具有地方特色的畜产品产业，走生态经济型发展道路。藏东南生物多样性保护重要区生态保护定位为生物多样性保护功能，生态保护主要措施：加强自然保护区建设与管理力度，禁止捕杀野生动物；加强河谷地带稳产高产农田建设和人工草场建设；加强谷地水土流失治理和退化生态系统的恢复与重建。

旭龙水电站工程不涉及自然保护区、风景名胜区等特殊或重要生态敏感区。工程建设与水库淹没对区域生态环境造成一定不利影响。工程在施工期间和运行期间将采取减少工程占地、严格控制施工范围、减少占用高生产力林地、保存施工区表土、临时用地及时复垦复绿、开展生态修复研究、严禁捕杀野生动物等生态保护措施，可有效减缓因工程建设带来的不利影响。本工程总体符合《全国生态功能区划（修编版）》的有关要求。

### 3.1.3.2 与《四川省生态功能区划》的符合性

根据《四川省生态功能区划》，全省生态功能区划划分为 3 个等级，其中一级区自然生态区 4 个，二级区生态亚区 13 个，三级区生态功能区 36 个。旭龙水电站属于金沙江上游林牧业与水源涵养生态功能区。该区主要的生态服务功能是牧业发展、水源涵养、土壤保持、沙漠化控制机生物多样性保护。该区生态保护与发展的方向是：保护森林和草原植被，保护生物多样性；巩固长江上游防护林建设、天然林保护和退耕还林成果，加强水土流失和山地灾害的治理；科学发展林业、牧业，加强草场基本建设，改良牧草，建立人工饲草基地，防止草场退化、沙化；规范和严格管理水电、矿产业。

旭龙水电站主体工程占地和水库蓄水淹没将占用一定面积的耕地和林草地，基本不占用高山草甸，工程建设后采取相应的耕地和林草地补偿措施后，对农牧

业的发展影响程度将有所降低。从工程影响的陆生动植物种类来看，为发现仅在评价区分布的狭域分布种，因此工程建设后不会影响评价区生物多样性。旭龙水库蓄水后，坝址区域抬升高度为 124m，坝址两侧山体高度多在 1000m 以上，水库建成后仍为“V”型河谷，基本不改变坝址附近高山峡谷景观类型。因此，旭龙水电站工程建设采取相应的环境保护措施后，基本与四川省生态功能区划相协调。

#### 3.1.3.3 与《云南省生态功能区划》的符合性

根据《云南省生态功能区划》，云南生态功能分为 5 个一级区、19 个二级区和 65 个三级区。旭龙水电站评价区云南部分属于怒山、云岭高山峡谷生物多样性生态功能区。该区主要的生态服务功能是三江并流地区生物多样性和高山峡谷景观保护。该区生态保护与发展的方向是：保护三江并流的自然景观，削减矿业开发、水电建设和旅游业带来的环境污染和景观破坏。该区域主要的生态环境问题是旅游带来的环境污染。

旭龙水电站工程不涉及三江并流，对三江并流自然遗产地水域景观不产生影响。电站建设过程与运行过程中产生的废污水全部处理达标后回用不外排，基本不会造成水域污染。因此，旭龙水电站工程建设采取相应的环境保护措施后，基本与云南省生态功能区划相协调。

#### 3.1.3.4 与《西藏自治区生态功能区划》的符合性

根据《西藏自治区生态功能区划》，旭龙水电站属于“芒康滇金丝猴生物多样保护与特色农林产业和生态旅游业生态功能区”，其生态功能定位：以滇金丝猴为特色的生物多样性保护，农林特色产业与生态旅游业。该区的开发政策是加强自然保护区和亚高山森林生态系统的管护。通过亚高山森林生态系统的保护，为滇金丝猴、黑熊、小熊猫、猕猴、雪豹、金猫、豹猫、毛冠鹿、苏门羚、藏马鸡、岩羊等的繁衍栖息创造条件，加强自然保护区的建设和管理，保护好生物多样性资源。在河谷区热量条件好，通过灌溉设施的改善，干暖河谷的热量与生物资源可以得到进一步的开发，在开发的同时要加强水土保持功能生态建设。

旭龙水电站工程不涉及芒康滇金丝猴国家级自然保护。旭龙水电站水库淹没涉及芒康县，主要为河流水面面积，工程淹没影响较小。因此，本工程与《西藏自治区生态功能区划》的有关要求不冲突。

## 3.2工程建设与相关规划协调性和符合性分析

### 3.2.1 与《“十三五”生态环境保护规划》的符合性分析

国家《“十三五”生态环境保护规划》提出，要强化生态空间管控，全面落实主体功能区规划。强化主体功能区在国土空间开发保护中的基础作用，推动形成主体功能区布局。根据《全国主体功能区规划》的要求，旭龙水电站工程区位于“川滇森林及生物多样性生态功能区”，属于限制开发区的重点生态功能区。《“十三五”生态环境保护规划》提出，限制开发的重点生态功能区开发强度要得到有效控制，形成环境友好型的产业结构，保持并提高生态产品供给能力，增强生态系统服务功能。旭龙水电站项目属于《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修订）中的鼓励类项目，符合国家产业政策和能源发展规划。项目建设符合四川、云南、西藏三省区主体功能区划和生态功能区划。电站建设过程中，采取了过鱼、栖息地保护、水土保持和植被恢复等生态保护措施。电站建成后服务于国家“西电东送”战略，替代东部地区火电装机。从全局的角度看，为国家提供了清洁能源，具备一定生态系统服务的功能。因此，旭龙水电站建设符合国家《“十三五”生态环境保护规划》。

### 3.2.2 与青藏高原区域生态建设与环境保护规划的符合性

旭龙水电站工程施工区涉及四川甘孜藏族自治州、云南迪庆藏族自治州，属于《青藏高原区域生态建设与环境保护规划(2011-2030 年)》川滇森林区森林及生物多样性生态功能区。该功能区重点保护区域丰富的生物多样性和珍稀野生动植物，继续实施天然林保护，巩固退耕还林成果，加强水土流失治理和地质灾害综合防治，加强河流两侧山体生态防护林建设，在保护生态的前提下合理有序开发水能资源。

该生态功能区存在的主要生态环境问题：目前区域生态系统有所退化，需要限制大范围高强度的工业化城镇化开发，以保持并提高生态产品供给能力。

该生态功能区的主要生态环境建设任务：需要加强生态保护与建设，恢复和提高水源涵养和生物多样性保护功能，继续强化天然林资源保护，巩固退耕还林成果，加强封山育林和扩大森林面积；加强水土流失治理，加强地质灾害防治；加强环境污染防治，加强流域水污染的治理、工业污染防治力度，继续实施主要污染物的总量控制制度，强化重点企业污染防治，重点防范流域重金属和化工污染，控制云南、四川和西藏交界处的矿产开发，冶金类工业污染，逐步控制农村面源污染，加大农村环境综合整治力度，加强农村环境污染防治，强化固体废物安全处置等；提高生态环境监管和科研能力；发展环境友好型产业，其中主要包括合理有序开发水能资源、加快传统农牧业生态转型，实施生态移民和传统能源的替代，促进生态旅游健康发展等工程任务。

旭龙水电站属于金沙江上游水电规划及规划环评推荐的环境可行梯级之一，属于青藏高原区域生态建设与环境保护规划中可以发展的环境友好型产业，工程符合流域和区域相关规划。旭龙水电站水库淹没、施工占地及移民安置过程将损坏或扰动部分植被和植物，对区域生态环境造成影响，但不会改变整个评价区生态系统的结构和稳定性。旭龙水电站建设过程中通过采取优化施工方案、采取生态恢复、动植物保护措施和水土保持措施等维持了区域生物多样性保护功能、恢复水源涵养、控制水土流失。在移民安置过程中，移民的生活能源由薪柴转变为使用沼气能、电力等清洁能源，对区域植被和植物资源的保护是有利的，并能有效的减少区域水土流失。

综上所述，旭龙水电站的建设符合青藏高原区域生态建设与环境保护规划的相关要求。

### 3.2.3 与长江流域综合规划的符合性分析

根据国务院批复的《长江流域综合规划（2012～2030 年）》（国函[2012]220 号），旭龙水电站位于金沙江上游河段 13 级开发方案中的第 12 个梯级，旭龙水电站开发方案已纳入长江流域综合规划，符合《长江流域综合规划》中关于水力发电规划的要求，电站开发任务主要以发电为主，并促进地区经济社会发展，符合《长江流域综合规划》的指导思想要求。

### 3.2.4 与水污染防治行动计划的符合性分析

为切实加大水污染防治力度，保障国家水安全，2015 年4 月国务院以国发[2015]17号文发布了《水污染防治行动计划》。该计划以改善水环境质量为核心，按照“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”原则，贯彻“安全、清洁、健康”方针，强化源头控制，水陆统筹、河海兼顾，对江河湖海实施分流域、分区域、分阶段科学治理，系统推进水污染防治、水生态保护和水资源管理。坚持政府市场协同，注重改革创新；坚持全面依法推进，实行最严格环保制度；坚持落实各方责任，严格考核问责；坚持全民参与，推动节水洁水人人有责，形成“政府统领、企业施治、市场驱动、公众参与”的水污染防治新机制，实现环境效益、经济效益与社会效益多赢，为建设“蓝天常在、青山常在、绿水常在”的美丽中国而奋斗。

计划到2020 年，全国水环境质量得到阶段性改善，污染严重水体较大幅度减少，饮用水安全保障水平持续提升，地下水超采得到严格控制，地下水污染加剧趋势得到初步遏制，近岸海域环境质量稳中趋好，京津冀、长三角、珠三角等区域水生态环境状况有所好转。到2030 年，力争全国水环境质量总体改善，水生态系统功能初步恢复。到本世纪中叶，生态环境质量全面改善，生态系统实现良性循环。

旭龙水电站为生态型建设项目，工程所处金沙江上游为II类水域，施工期污废水禁止外排，本工程施工期及运行期针对污废水均制定了有效的治理措施，加强施工监管，能够确保工程建设不会导致区域水环境质量下降。因此，本工程建设基本符合水污染防治行动计划的目标和要求。

### 3.2.5 与水电规划及规划环评的符合性分析

（1）水电规划

根据国家发展改革委发改办能源[2012]2008 号文批复的《金沙江上游水电规划报告》，金沙江上游按“一库十三级”方案开发，即西绒—晒拉—果通—岗托—岩比—波罗—叶巴滩—拉哇—巴塘—苏洼龙—昌波—旭龙—奔子栏，同意岗托、

波罗、叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙、昌波、旭龙等 8 个电站为规划实施方案；同意岗托、叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙、旭龙等 6 个电站为近期工程。因此，旭龙水电站建设是符合河段水电开发规划的。

（2）规划环评

《金沙江上游水电规划环境影响报告书》（环审[2011]243 号）审查意见提出了以下要求：同意岗托、波罗、叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙、昌波、旭龙 8 级实施方案；同意岗托、叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙、旭龙等 6 个电站为近期工程；在方案实施过程中，应切实落实各项生态环境保护对策措施，统筹干支流水电开发与生态环境保护的关系，进一步完善生态流量、生态监测和生物多样性保护等对策措施，落实环境保护相关要求；对流域生态环境监测结果适时进行环境影响跟踪评价，进一步完善生态环境保护对策措施；加强对受水电开发项目影响的生态环境现状调查，重点评价项目实施产生的生态、社会等影响，深入评价对生态环境敏感区的影响方式、范围、历时和程度，切实落实过鱼设施，鱼类增殖放流、生态流量等保护措施。

为此，旭龙水电站项目环境影响评价阶段，在水环境、水生生态、陆生生态、等方面，均充分考虑了金沙江上游规划环评及审查意见对旭龙水电站的相关要求。在水环境保护方面，采取了初期蓄水期间生态流量保障措施，运行期下游用水保障措施；在运行期间，库区水质采取了库周禁止发展污染企业、库周天然林保护、严格控制库周旅游业发展、限制库区投饵养殖数量、定期对库区漂浮物进行打捞等保护措施；为防止淹没于旭龙水电站水库内的树木、杂物及人畜粪便等对水体造成污染，水库蓄水前进行库底卫生清理；进行水环境科学研究等。在水生生态保护方面，旭龙水电站建设单位采取了鱼类栖息地保护、增殖放流、过鱼设施、生态调度和加强渔政管理等措施。在陆生生态保护方面，制定严格管理措施，根据干热河谷立地条件，选用乡土树种，分区制定修复措施。

本项目环评对规划环评阶段提出的相关要求均进行了研究和落实，相关措施总体满足规划环评的要求。

### 3.2.6 与长江上游天然林保护等相关规划的协调性分析

旭龙水电站所在的金沙江流域地处长江上游，工程涉及的云南省德钦县自实施天然林保护工程以来，通过全面管护天然林、禁止商品性采伐木材、建设公益林等措施，构筑起一道“长江上游生态屏障”。该区域自实施天然林保护工程以来，使长江上游野生动物数量明显增加。根据“天保工程”二期实施方案的主要任务，该区域需继续停止天然林商品性采伐；继续加强森林管护；加强公益林建设；实施中幼龄林抚育；保障和改善民生。

水库淹没及工程施工共占用林地 1657.72hm$^2$，占区域林地总面积的 0.13%，其中永久占用林地 1390.15h hm$^2$，临时占用林地 267.57hm$^2$。施工结束后对临时占地植被按占用植被类型及时进行恢复。永久占用林地占区域林地总面积的 0.12%，所占比例极低，不会影响到区域林地的总质量。施工期，提出了严禁施工用火，避免引起森林火灾，限制施工人员活动范围等相关管理措施和要求，结合工程水土保持植物恢复措施，可将工程施工对区域林业资源的影响降至最低，工程施工导致的少量林地的丧失不会影响区域作为长江上游生态屏障的重要地位。因此，工程建设与长江上游天然林保护相关规划及政策不矛盾。

### 3.2.7 与区域相关规划的符合性

**（1）与云南省、四川省国民经济和社会发展十三五规划的协调性**

《云南省国民经济和社会发展十三五规划》关于能源发展指出：“扩大云电云用,拓展西电东送,稳妥推进金沙江、澜沧江干流水电开发建设，争取怒江干流水电开发并做好后续工作。支持和服务好大中型水电开发建设，积极做好库区移民搬迁安置工作。协调有序发展新能源，提高电力系统调节能力。”根据《四川省国民经济和社会发展十三五规划纲要》，四川省十三五期间要大力推进国家优质清洁能源基地建设，重点抓好金沙江乌东德、白鹤滩、苏洼龙、叶巴滩、拉哇、巴塘、旭龙，大渡河双江口、猴子岩、长河坝、硬梁包、金川、丹巴、巴拉，雅砻江两河口、楞古、杨房沟、卡拉、孟底沟、牙根二级等“三江”流域大型水电站建设。

金沙江旭龙水电站施工区地处云南、四川两省交界的金沙江干流河段，不涉及云南白马雪山国家级自然保护区、四川下拥省级、四川太阳谷省级风景名胜区

等生态敏感区。水电站的建设开发，引入大量资金，工程设计中考虑了建设鱼类增殖放流站、过鱼设施等生态保护措施。水电工程建成后属无污染工程，可有效替代火电的污染。金沙江旭龙水电站以实现生态、经济、社会的综合效益为目标，与云南、四川的国民经济发展和社会发展计划在规划目标和实施方案上均是协调一致的。

**（2）与云南省、四川省环境保护十三五规划的协调性**

根据《云南省环境保护“十三五”规划纲要》（2016.11）关于水电提出如下要求：“落实《建设项目环境影响后评价管理办法》，对石化化工、水利水电、采掘等对环境有重大影响的行业项目组织开展后评价。”根据《四川省环境保护“十三五”规划纲要》，“金沙江流域开发的生态环境保护，注重出川断面水质维护，确保“一江清水永续”；加强金沙江干热河谷、川西高寒湿地等退化生态系统恢复示范；合理开发利用水资源，严控水电开发生态影响；加快发展清洁能源产业，强化水电、页岩气、风电、太阳能光伏发电等清洁能源开发的生态环境保护。”

金沙江旭龙水电站的建设，可以清洁的水电能源替代一部分火电，可使区域主要污染物排放总量减少。目前金沙江旭龙水电站区域由于社会经济相对落后，生态保护与建设投入不足，水电站建设后，可使地方政府财政收入增加，间接增加环境保护投入。与主体工程配套的鱼类增殖站等生态保护措施落实后，便于监管，可使生态保护的环境监管能力进一步加强。综上旭龙水电站工程的建设与实施实施满足环境保护的要求，与云南省、四川省的环境保护规划是协调一致的。

## 3.2.8 与生态保护红线的符合性分析

### 3.2.8.1 与《云南省生态保护红线》的符合性

2018 年 6 月 29 日，云南省以《云南省人民政府关于发布云南省生态保护红线的通知》（云政发[2018]32 号）印发了《云南省生态保护红线》。按照红线划分成果，旭龙水电站工程位于滇西北高山峡谷生物多样性维护与水源涵养生态保护红线，面积 3.54 万平方千米，重点保护物种有滇金丝猴、白眉长臂猿、云豹、雪豹、金雕、云南红豆杉、珙桐、澜沧黄杉、大果红杉、油麦吊云杉等珍稀动植物。

经与云南省迪庆藏族自治州环境保护局确认（迪环函〔2019〕9 号，详见附件 6-1），本工程建设征地范围不涉及云南省生态保护红线。工程建设征地范围与

云南省生态保护红线位置关系详见附图 17。项目建设符合云南省生态保护红线生态保护红线的管控要求。

#### 3.2.8.2 与《四川省生态保护红线》的符合性

2018 年 7 月 20 日，四川省人民政府以《四川省人民政府关于印发四川省生态保护红线方案的通知》（川府发[2016]24 号）印发了《四川省生态保护红线方案》，根据《四川省生态保护红线方案》，旭龙水电站工程所在区域属沙鲁里山生态多样性维护生态保护红线范围，该地区位于四川省西部边缘，属于川西北水源涵养与生物多样性保护的重要区域，行政区涉及新龙县、白玉县、理塘县、巴塘县、乡城县、稻城县、得荣县，总面积 3.22 万平方公里。

本区域内河流属金沙江水系，植被以高山高原草甸、高山灌丛及亚高山针叶林为主，代表性物种有白唇鹿、矮岩羊、金雕、雪豹、黑熊、藏马鸡等，生物多样性保护极为重要。保护重点包括保护森林、高寒湿地生态系统和野生动植物及其生境，保护冰川，维护生物多样性功能，加强草地植被保护，防治草场退化、沙化。

根据公示的四川省生态保护红线分布图以及四川省环境保护厅确认结果（详见附件 6-2），本工程不涉及生态保护红线范围。工程建设征地范围与四川省生态保护红线位置关系详见附图 17。

#### 3.2.8.3 与《西藏自治区生态保护红线》的符合性

2018 年 10 月 18 日，西藏自治区生态保护红线划定方案通过生态环境部、自然资源部牵头组织的技术审核。依据《西藏自治区生态保护红线划定方案（报批稿）》，经与西藏自治区生态环境厅核实，旭龙水电站征地范围不在生态保护红线范围内。详见附件 6-1。工程建设征地范围与西藏自治区生态保护红线位置关系详见附图 17。

## 3.3工程方案环境合理性分析

### 3.3.1 坝址选择的环境合理性分析

可行性可研阶段对上、下两个坝址进行了比选，两坝址相距约 1.2km。下坝

址左岸位于四川省得荣县徐龙乡，右岸位于云南省德钦县羊拉乡。上坝址位于下坝址上游约 1.2km 处，河道天然落差 10m，河势较顺直，局部稍有弯曲。两个坝址均不涉及环境敏感区，环境影响基本相近，但两个坝址在地质条件上稍有差异。

旭龙水电站上、下坝址方案对环境的共同影响主要表现为：工程实施对水环境、生态环境的影响，水库淹没与移民对环境的影响，工程施工对施工区水环境、声环境、环境空气的影响，工程建设和移民安置产生水土流失对环境的影响。经比较，上、下坝址方案在水环境、生态、淹没与移民方面影响差别不大。下坝址方案发电量较多，对社会经济的有利影响略大于上坝址方案；下坝址方案在施工环境、人群健康、水土流失等方面的影响要小于上坝址方案，环保投资小于上坝址方案。

总体来说，两方案对环境的影响性质相同，影响程度差异不显著，两者均不存在重大环境制约因素，从环境角度分析，两坝址建设均可行。从工程建设对区域项目区水土流失、施工期环境等主要环境因子的影响程度分析，下坝址综合优势略优于上坝址方案。

### 3.3.2 正常蓄水位选择的环境合理性分析

可研阶段拟定旭龙水电站正常蓄水位的比选范围为 2300m～2306m 之间，对 2300m、2302m、2304m、2306m 四个正常蓄水位方案进行综合分析比较。

从水库淹没指标分析，各比较方案淹没指标随着正常蓄水位抬高而增大，但淹没指标增加不大。库区淹没范围内没有城集镇、宗教寺庙、大型的基建设施等，不存在因淹没问题而产生的制约因素。由于四个正常蓄水位方案的淹没移民数量相对都很少，通过对淹没涉及 4 个县的环境容量调查和分析，移民基本都能得到妥善安置。四个正常蓄水位方案的主要实物指标量差别较小，相应的补偿投资差距也很小，其中低水位方案补偿投资费用较优，但两相邻水位方案间的投资补偿费用增幅较小。从建设征地移民安置角度，四个正常蓄水位方案差别较小，不对正常蓄水位方案选择产生制约影响。

从对生态环境的影响分析，旭龙水电站库区支流丹达曲的回水长度不超过 2.6km，对西藏芒康滇金丝猴自然保护区没有影响，其它支流中没有环境保护区；正常蓄水位水位越高，对生态完整性、鱼类影响相对略大；各方案建库后总体水质变化情况不大，随着正常蓄水位的抬高，库区流水河段长度逐渐减小；各方案

施工对环境的影响、对水土流失的影响差别不大。正常蓄水位 2302m 及以下方案均可，项目实施均不存在重大环境制约因素。工程推荐正常蓄水位 2302m 方案是合理的。

## 3.3.3 施工规划的环境合理性分析

### 3.3.3.1 料场选址环境合理性分析

本工程所需混凝土骨料 445.8 万 m³，除利用地下厂房及导流洞开挖料共计 90 万 m³外，其余 355.8 万 m³从徐龙料场开采。本工程料源优先考虑利用工程开挖料，较大程度地减少了料场开采对原有地貌和原生植被的破坏与扰动。徐龙料场位于坝址上游左岸，距坝址直线距离 0.6km，徐龙料场布置方案满足《爆破安全规程》中露天岩土爆破个别飞散物对人员的安全允许距离的要求，选址不涉及崩塌、滑坡危险区和泥石流易发区。经初步调查，占地范围内无珍稀保护植物分布。料场开采存在石渣下江风险，主体工程在料场开采过程中采取了改善爆破开挖方式、增设围挡、经常性清运等措施，可有效预防和减缓石渣下江风险。

综上所述，本工程料场规划优先考虑利用工程开挖料，规划的徐龙料场不涉及重大环境制约因素，料场布置也尽量靠近砂石加工系统，最大限度地减少砂石料运输产生的不利影响。因此，从环境保护角度，本工程料场布置基本合理。

### 3.3.3.2 渣场选址环境合理性分析

本工程共设置左岸上游 1#存弃渣场、左岸上游 2#存弃渣场、右岸上游 1#弃渣场、右岸上游 2#弃渣场、右岸上游 3#弃渣场、徐龙冲沟弃渣场和茂顶河弃渣场共计 7 处弃渣场，其选址环境合理性分析如下：

（1）左岸上游 1#存弃渣场

左岸上游 1#存弃渣场位于坝址上游 3km 处，利用较为平缓的阶地贴坡堆砌，存弃渣顶部高程 2210m～2240m，占地面积 13.8 万 m²，存弃渣场容量约 110 万 m³，蓄水前为坡地型弃渣场，蓄水后为库区型弃渣场。

据实地勘察，弃渣场周边无滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，弃渣活动在采取合适的拦挡、截排水措施后，也不会引发滑坡、泥石流等地质灾害。从渣场占地类型来看，渣场临时占地范围的被类型以灌草丛为主，无珍稀保护植物分

布，也未发现珍稀保护动物活动踪迹；该弃渣场占地不涉及基本农田或其他农用地；弃渣场周边无公共设施、工业企业、居民点等基础设施，弃渣活动不会影响重要基础设施、人民群众生命财产的安全；弃渣场远离大坝的导流洞、引水隧洞等建筑物进口，不影响电站取、泄水建筑物的功能；弃渣位于电站死水位以下，不会影响电站的防洪、发电效益；弃渣场虽涉及金沙江河道，但其规划弃渣高程为 2198m～2260m，高于场地所在河段 20 年一遇设计洪水位 2163.3m，不会影响河道行洪安全，也不存在在江河、湖泊、建成水库范围内弃渣的情况发生。

从环境影响角度分析，该弃渣场选址符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定，选址合理。

（2）左岸上游 2#存弃渣场

左岸上游 2#存弃渣场位于坝址左岸上游约 1.2～3.4km 的一缓坡地，蓄水前为坡地型弃渣场，蓄水后为库区型弃渣场。

据实地勘察，弃渣场周边无滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，弃渣活动在采取合适的拦挡、截排水措施后，也不会引发滑坡、泥石流等地质灾害。该弃渣场占地不涉及基本农田或其他农用地；弃渣场周边无公共设施、工业企业、居民点等基础设施，弃渣活动不会影响重要基础设施、人民群众生命财产的安全；弃渣场远离大坝的导流洞、引水隧洞等建筑物进口，不影响电站取、泄水建筑物的功能；弃渣位于电站死水位以下，不会影响电站的防洪、发电效益；弃渣场虽涉及金沙江河道，但其规划弃渣高程为 2175m～2240m，高于场地所在河段 20 年一遇设计洪水位 2163.3m，不会影响河道行洪安全，也不存在在江河、湖泊、建成水库范围内弃渣的情况发生。

从环境影响角度分析，该弃渣场选址符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定，选址合理。

（3）右岸上游 1#弃渣场

右岸上游 1#弃渣场位于坝址右岸上游约 5.7km 的一缓坡地，蓄水前为坡地型弃渣场，蓄水后为库区型弃渣场。

据实地勘察，弃渣场周边无滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，弃渣活动在采取合适的拦挡、截排水措施后，也不会引发滑坡、泥石流等地质灾害。该弃渣场占地不涉及基本农田或其他农用地；弃渣场周边无公共设施、工业企业、居民点等基础设施，弃渣活动不会影响重要基础设施、人民群众生命财产的安全；

弃渣场远离大坝的导流洞、引水隧洞等建筑物进口，不影响电站取、泄水建筑物的功能；弃渣位于电站死水位以下，不会影响电站的防洪、发电效益；弃渣场虽涉及金沙江河道，但其规划弃渣高程为 2210m～2240m，高于场地所在河段 20 年一遇设计洪水位 2163.3m，不会影响河道行洪安全，也不存在在江河、湖泊、建成水库范围内弃渣的情况发生。

从环境影响角度分析，该弃渣场选址符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定，选址合理。

（4）右岸上游 2#弃渣场

右岸上游 1#弃渣场位于坝址右岸上游约 4.3km 的一缓坡地，蓄水前为坡地型弃渣场，蓄水后为库区型弃渣场。

据实地勘察，弃渣场周边无滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，弃渣活动在采取合适的拦挡、截排水措施后，也不会引发滑坡、泥石流等地质灾害。该弃渣场占地不涉及基本农田或其他农用地；弃渣场周边无公共设施、工业企业、居民点等基础设施，弃渣活动不会影响重要基础设施、人民群众生命财产的安全；弃渣场远离大坝的导流洞、引水隧洞等建筑物进口，不影响电站取、泄水建筑物的功能；弃渣位于电站死水位以下，不会影响电站的防洪、发电效益；弃渣场虽涉及金沙江河道，但其规划弃渣高程为 2200m～2215m，高于场地所在河段 20 年一遇设计洪水位 2163.3m，不会影响河道行洪安全，也不存在在江河、湖泊、建成水库范围内弃渣的情况发生。

从环境影响角度分析，该弃渣场选址符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定，选址合理。

（5）右岸上游 3#弃渣场

右岸上游 3#弃渣场位于坝址上游 2.2km 处，弃渣场顶部高程 2186m，占地面积 1.7 万 $m^2$；弃渣场容量约 11 万 $m^3$；蓄水前为坡地型弃渣场，蓄水后为库区型弃渣场。

据实地勘察，弃渣场周边无滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，弃渣活动在采取合适的拦挡、截排水措施后，也不会引发滑坡、泥石流等地质灾害。该弃渣场占地不涉及基本农田或其他农用地；弃渣场周边无公共设施、工业企业、居民点等基础设施，弃渣活动不会影响重要基础设施、人民群众生命财产的安全；弃渣场远离大坝的导流洞、引水隧洞等建筑物进口，不影响电站取、泄水建筑物

的功能；弃渣位于电站死水位以下，不会影响电站的防洪、发电效益；弃渣场虽涉及金沙江河道，但其规划弃渣高程为 2186m，高于场地所在河段 20 年一遇设计洪水位 2163.3m，不会影响河道行洪安全，也不存在在江河、湖泊、建成水库范围内弃渣的情况发生。

从环境影响角度分析，该弃渣场选址符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定，选址合理。

（6）徐龙冲沟弃渣场

徐龙冲沟弃渣场位于坝址下游约 1.4km 的徐龙冲沟内一缓坡地上，属沟道型弃渣场。

据实地勘察，该弃渣场距离坝址施工区较近，弃渣运距合理；弃渣区域台面平缓，地形条件较好，适宜堆渣； 该弃渣场占地不涉及基本农田或其他农用地；弃渣场周边无公共设施、工业企业、居民点等基础设施，弃渣活动不会影响重要基础设施、人民群众生命财产的安全；弃渣场位于坝址下游，不影响电站取、泄水建筑物功能；该弃渣场唯一存在的选址方面的限制性因素为弃渣区域上游侧发育的泥石流，是不符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定。

一方面，坝址左岸无可供弃渣的场地有限，弃渣堆放困难；另一方面，该泥石流沟位于坝址施工区内，泥石流活动将会威胁电站施工人员及设备的安全，从施工安全及工程运行安全角度均需进行治理。因此，本工程通过先期对泥石流沟道进行治理，按照 1 级弃渣场设计标准布置了排导槽、拦渣坝等工程措施，首先将该沟道的泥石流活动控制在工程可控范围内，确保泥石流活动不再威胁施工安全及运行安全，然后再进行弃渣活动，并弃渣完成后对渣场进行综合防护。因此认为，徐龙冲沟弃渣场的实施既可较为经济地解决工程区弃渣困难的问题，又实现了对工程区泥石流沟的综合治理，该弃渣场的选址，在采取合适的泥石流综合治理和水土保持措施后，是可行的。

（7）茂顶河弃渣场

茂顶河弃渣场位于旭龙水电站坝址下游右岸约 5km 处的茂顶河主沟沟口处，最大堆渣高度约 210m，弃渣量达 943.73 万 $m^3$（自然方），属特大型弃渣场。

据施工及地质专业勘察，该弃渣场距离坝址较近，弃渣运距合理；弃渣区域呈两头小中间大形态，地形条件适合大量弃渣；弃渣场场区及周边地质条件稳定；

该弃渣场目前存在的主要地质问题为该沟道发育的泥石流，可能对弃渣场施工期和运行期构成威胁。

据现场查勘，该弃渣场占用少量基本农田，但主体工程设计已考虑后期复垦措施予以恢复；弃渣场未占用金沙江主河道，也不存在在江河、湖泊、建成水库范围内弃渣的情况发生；弃渣场周边无公共设施、工业企业等基础设施，渣场上游拦淤坝附近现有茂达顶村少量民房，位于征地红线内，工程施工期间搬迁；渣场下游茂顶河沟口右侧为斯木顶居民区，主体工程施工期间，该居民点也需要搬迁。弃渣场远离大坝的导流洞、引水隧洞等建筑物进口，不影响电站取、泄水建筑物的功能；弃渣不涉及金沙江河道，不会影响河道的行洪安全。

综上所述，该弃渣场存在选址方面的限制性因素是弃渣区域上游侧发育的泥石流，是不符合《生产建设项目水土保持技术标准》（GB50433-2018）的相关规定。

由于坝址施工区上下游 5km 范围内均无可供弃渣的场地，电站施工产生的大量弃渣的堆放极为困难；同时该泥石流沟位于坝址施工区内，泥石流的爆发将会威胁电站施工人员及设备的安全，需进行必要的治理。本工程规划前期通过对泥石流沟道进行治理，按照较高设计标准布置排导槽、拦淤坝、拦挡坝等工程措施，将泥石流对弃渣活动的破坏控制在工程措施可控范围内后再弃渣，可将弃渣困难和泥石流治理的矛盾统一起来，即可较为经济的解决工程区弃渣困难的问题，又实现了对工程区泥石流沟的综合治理。因此，在茂顶河泥石流沟弃渣，是鉴于工程区实际情况作出的无奈选择，在采取合适的泥石流治理措施后，是可行的。

#### 3.3.3.3 施工场地布置环境合理性分析

（1）施工工厂环境合理性分析

旭龙水电站工程施工工厂所在河段为高原峡谷地貌，两岸岸坡陡峻，用地非常紧张。工程施工布置时充分考虑利用荒地及水库淹没区等有限土地资源，尽量少占耕地。施工期，工程建设征地面积为 7.14km²，征地范围中永久占地面积 3.18km²，临时占地面积 3.96km²，其中耕地占 3.3%，林地 2.3%，未利用土地 92.8%，可见本工程占地充分利用了荒地资源。施工期间，工程实施封闭管理，周边居民点较少，且距施工工厂距离均在 200m 范围以外。综上所述，工程施工工厂布置基本合理。

（2）施工供水系统布置合理性分析

施工水厂规模为 3.1 万 m³/d，布置于茂顶河上游金沙江右岸岸坡坡麓，上距坝址约 3.3km，平面上呈带状，顺江长约 250m，宽 37～55m ，占地面积 1.0×10⁴m²，地面设计标高 2275m。主要负责整个施工区的生产及生活用水。

施工水厂占地区无植被或农田，亦不涉及环境敏感目标。地质勘探及现场调查所见，施工水厂场地所处岸坡坡麓第四系堆积体厚度较大，雨季特别是强降雨时堆积体前缘坍塌、溜滑及坡面泥石流等破坏对场地建筑及人员安全产生威胁。考虑到工程区属金沙江干热河谷，强降雨几率较小，结合现场地形实际条件，在采取布设挡墙、疏排地表水等处理措施的基础上，施工水厂选址相对合理。

施工水厂取水口布置在砂石料加工系统上游约 150m 处，现场调查所见，取水口附近无污染源，布置基本合理。

（3）施工营地及业主营地选址合理性分析

根据施工布置，工程施工期设 3 处施工营地、1 处业主营地。其中 1#施工营地位于坝址上游 5.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m～2220m，占地面积 1.2 万 m²。地质勘探显示，该堆积体目前整体基本稳定，但前缘斜坡坡度较陡，局部有小范围坍塌、溜滑及坡面泥石流破坏现象，需尽快采取可行措施予以处理，以防在雨季特别是强降雨时，可能对施工营地人员及房屋安全构成威胁。2#施工营地位于坝址下游 1.7km 处，场地高程 2175m，占地面积 1.5 万 m²。地质勘探显示，施工营地所在场地后缘分布望龙 1#及 2#堆积体，在雨季特别是强降雨作用下，堆积体有发生坍塌、溜滑的可能。场地所处岸坡坡表沟槽较发育，在雨季特别是强降雨时可能形成坡面泥石流，对施工场地人员、设备及房屋安全不利。3#施工营地位于 2#路靠江侧，在坝址下游 3.7km 处，场地高程 2165m，占地面积 3.4 万 m²。现场调查，营地现状为草丛，所在区存在零星滚石、坠石问题外，无大的不良地质现象发育。

从环境角度分析，本工程 3 处施工营地、1 处业主营地所在区共同的特点是场地相对平缓，植被稀疏，以草丛为主，均不涉及环境敏感目标，地质条件一般，或多或少存在坡面泥石流、坍塌、溜滑、滚石等地质问题。现场查勘可知，施工营地选择受地形条件制约较大，考虑到工程区属金沙江干热河谷，强降雨几率较小，结合现场地形实际条件分析，在对营地场址区采取布设挡墙、疏排地表水、清坡等措施予以处理的基础上，4 处营地选址相对合理。

（4）场内交通布置环境合理性分析

旭龙水电站工程位于高山峡谷区域，采用道路连接各工作面，为减少道路总长，同时亦为缩短运距，将高程相近的工作面划分为一层，同一层工作面用一条道路连接，临近层间道路相互连接，各工作面以此方式构成网络。同时在满足行车要求的前提下，提高每层道路的纵坡，用最短距离连接相邻层，以达到道路总长最短的目的。

枢纽工程场内永久和临时干支线交通工程 18 条、跨江桥梁 5 座（徐龙大桥、徐龙冲沟桥、上游 1#索道桥、上游 2#索道桥及下游索道桥）。场内交通总长度为 39.3km，其中桥梁 0.85km，隧道 13.21km，桥梁隧洞长度占场内交通路总长度约 35.8%，减少了对地表植被的破坏，有利于保护生态。场内交通布置基本合理。

（5）加油站和炸药库布置环境合理性分析

1）加油站

本工程设有 1 处加油站，加油站及油库位于右岸下游，上距坝址约 2.3km，属五级加油站。场址平面上呈近长方形，占地面积 0.5 万 m²；其中，加油站占地面积 0.2 万 m²；油库占地面积 0.3 万 m²；地面设计标高 2170～2180m。

根据《石油库设计规范》(GB50074-2002)要求，五级加油站与居住区及公共建筑物的距离不得小于 50m。本工程加油站周围无其他居民点或施工营地，符合石油库设计规范要求。加油站与附近金沙江距离最近约 100m，高差约 50m，且有右岸 2 号公路相隔，减少了事故情况下油料泄漏大量进入金沙江的可能。

地质调查表明，加油站及油库所在的洒茂顶堆积体前缘斜坡坡度较陡，局部有小范围坍塌、溜滑及坡面泥石流等破坏现象发育，在雨季特别是强降雨时，对建筑场地人员及房屋安全不利。

从环境保护角度分析，加油站及油库施工开挖时，需采取相应的处理措施，并对洒茂顶堆积体进行进一步勘探。在对场地区加固的基础上，本工程加油站及油库布置相对合理。

2）炸药库

根据工程建设要求及地形限制，旭龙工程区共建 2 个炸药库房，分别在左、右岸设置一个，其存炸药储备规模分别为 140 吨、100 吨，为洞室式炸药库。

①左岸炸药库

左岸炸药库布置在徐龙冲沟附近上部较为平缓坡地，炸药库场地高程2355m～2375m，按炸药库远离生产（生活）区域、民房村庄、重要道路、桥梁、河流，避开无关人员和货流通过仓库区等原则，左岸炸药库距左岸徐龙冲沟大桥约80m、距下游钢索桥约660m、距左岸导流洞出口660m、距金沙金江最小直线距离约670m。炸药库附近重点保护对象的外部安全距离可以满足规范要求。

据地质勘探及现场调查，左岸炸药库所在斜坡现状稳定，无规模较大的危岩发育，主要灾害形式为间歇性小块体崩塌，由于其处于泥石流流通区范围内，遭受泥石流灾害危险性中等。

②右岸炸药库

右岸炸药库位于茂顶河左岸，距茂顶河河口上游约2.2km，场地高程2430m，占地面积0.3万m²。按炸药库远离生产（生活）区域、民房村庄、重要道路、桥梁、河流，避开无关人员和货流通过仓库区等原则，右岸炸药库距4#拦渣坝附近村庄约1150m，距茂顶河弃渣场1000m，距金沙金江最小直线距离约1.5km。炸药库库区附近重点保护对象的外部安全距离可以满足规范要求。

据地质勘探及现场调查，炸药库所在场地后缘山坡地形高陡，整体稳定，但存在零星滚石、坠石问题，此外，场地所处山坡小型冲沟发育，在雨季可能形成坡面泥石流，对房屋安全不利。

③分析结论

从环境保护角度分析，考虑到工程区地形、地质实际条件，炸药库施工时需采取设置挡墙、清坡、弹性网护坡等防护措施，同时需做好疏排地表水的措施，对后缘山坡上发育规模较大的块体应加以锚固，难以锚固的应予以清除。在落实上述措施的基础上，2处炸药库选址相对合理。

#### 3.3.3.4 鱼类增殖放流站选址的环境合理性分析

金沙江上游旭龙水电站鱼类增殖站应结合规划河段电站建设时序和上下游梯级统筹考虑。根据《金沙江上游水电规划环境影响报告书》，拟在金沙江上游规划河段的洛须、波罗和巴塘段分别修建3个鱼类人工增殖放流站，主要任务是服务于临近河段，负责整个河段鱼类种质交换。其中巴塘段增殖放流站服务于巴塘以下梯级，维持巴塘保留段鱼类种群数量，同时兼顾巴塘以下河段鱼类增殖保护。根据规划环评审查意见，“同意将岗托、叶巴滩、拉哇、苏洼龙、巴塘、旭龙

等 6 个梯级列入本轮规划的实施方案”。旭龙水电站为本来规划最后一个梯级，为加强金沙江上游鱼类保护，避免不同业主在管理协调的困难，旭龙水电站现阶段初拟在业主营地近河段设置一增殖放流站，占地面积约 15000m²。

鱼类增殖站站址位于旭龙坝址下游右岸缓坡地，地处金沙江边，站址不受水库淹没及洪水影响，植被特征为干热河谷灌草丛。站址紧邻业建设管理营地布置，有公路通过，交通便利，管理方便。站址可利用水源为金沙江水，全年水量、水质可满足鱼类增殖站用水要求。

该站址可利用面积满足鱼类增殖站建设要求，地势较平缓，场地平整工程量较小，地质结构稳定也满足增殖站建设要求。结合鱼类增殖站的选址要求以及《金沙江上游水电规划环境影响报告书》的统筹规划，该鱼类增殖站建设方案合理。

## 3.4环境影响源分析

### 3.4.1 施工期影响源分析

#### 3.4.1.1 水环境

旭龙水电站工程施工期对水环境的影响主要为生产废水和生活污水。其中生产废水影响源主要为基坑废水、砂石料加工系统废水、混凝土拌和系统废水、施工机械冲洗废水等。

（1）基坑废水

工程基坑排水包括初期排水和经常性排水。基坑初期排水包括围堰闭气后基坑积水、基础和堰体渗水等。本工程基坑抽水时下游水位约为 2144.76m，按此水位计算基坑积水约 26.5 万 m³。初期排水总量用 2 倍基坑积水估算。按 6 天排干计算，基坑水位平均下降速度 1.0m/天，初期排水强度约 3680m³/h。基坑经常性排水包括降水、基础和围堰渗水、施工弃水等，根据坝址水文气象资料，坝址区最大日降水量为 62.2mm，按一天排干计算，最大排水强度约为 2000m³/h。

初期排水水质与河流水质基本相似，经常性排水包括降水、基础和围堰渗水、施工弃水等，污染物主要是 SS，其浓度约为 500mg/L。基坑排水若不经处理直接排放，将对施工江段水质产生不利影响。

（2）砂石加工系统废水

根据施工布置，工程施工共布设 2 个砂石料加工系统。其中，洒茂顶砂石加工系统设计处理能力为 1000t/h，成品料生产能力为 780t/h。前期利用料砂石加工系统设计处理能力为 480t/h，成品料生产能力为 400t/h。根据施工组织设计，两处砂石加工系统用水量分别约为 850m³/h 和 460t/h，其产生的废水量按用水量的 80%计算，则砂石系统产生的废水量分别为 680m³/h 和 368m³/h，均为两班制生产。

砂石骨料经过筛分后进行冲洗，废水中主要含颗粒细小的石粉，悬浮物浓度较高。根据本工程砂石料料源特征以及以往工程的实测结果，估计 SS 浓度在 50000mg/L 左右。砂石料加工废水如不经处理，直接排入金沙江，将造成岸边局部水域悬浮物浓度增大。因此，本工程考虑将废水处理后回用于生产，不外排。

废水经处理后均回用于本系统，考虑砂石料自身带走以及渗漏、蒸发等因素损耗 20%，废水处理系统渗漏蒸发 20%。砂石料加工系统用水计算过程详见表 3.4-1，砂石料加工系统水量平衡见图 3.4-1 和图 3.4-2。

**表 3.4-1　砂石料加工系统用水计算表**

| 砂石料加工系统名称 | 设计成品料处理能力 | 设计用水量 | 产生废水量 | 加工系统蒸发耗散 | 废水处理蒸发耗散 | 回用水量 | 需补充水量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | （t/h） | （m³/h） | （m³/h） | （m³/h） | （m³/h） | （m³/h） | （m³/h） |
| 洒茂顶砂石加工系统 | 780 | 850 | 680 | 170 | 136 | 544 | 306 |
| 前期利用料砂石加工系统 | 400 | 460 | 368 | 92 | 74 | 294 | 166 |

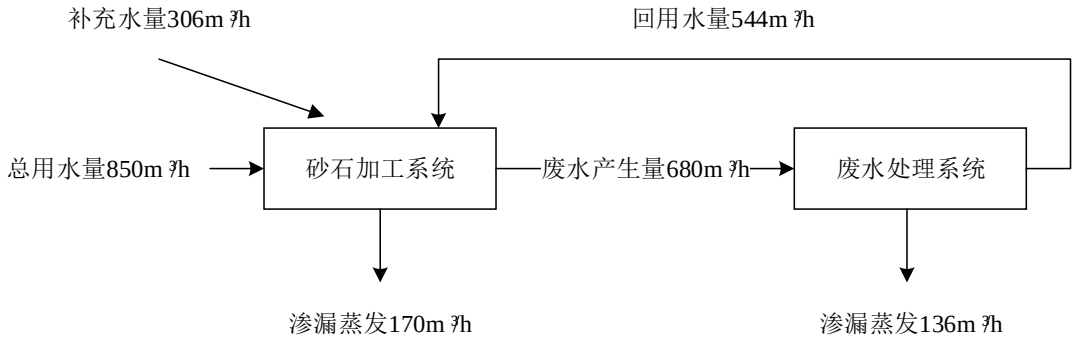



**图 3.4-1　洒茂顶砂石加工系统水量平衡图**

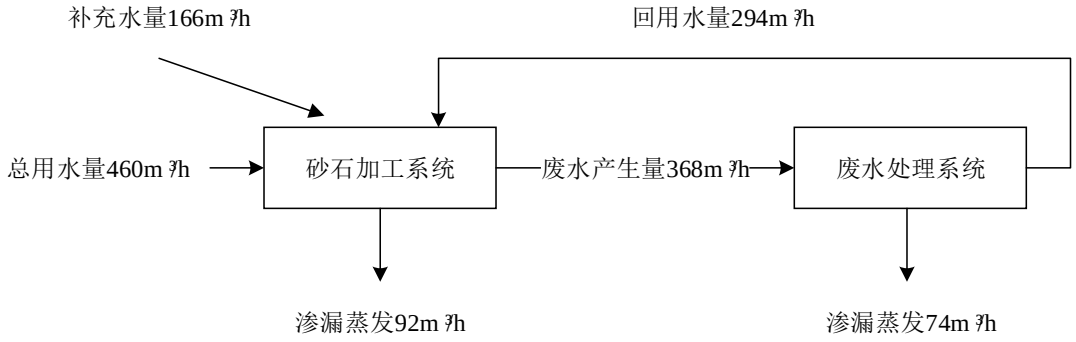



**图 3.4-2　前期利用料砂石加工系统水量平衡图**

（3）混凝土拌和系统碱性冲洗废水

混凝土系统废水主要来源于混凝土转筒、料罐、搅拌机及地面冲洗废水，废水呈碱性，排放方式为间歇式。废水量主要决定于拌和楼的规模和数量。废水 pH 一般大于 10，并含有较多悬浮物，其浓度为 5000mg/L 左右。

本工程混凝土生产系统主要为右岸高混凝土生产系统和右岸低混凝土生产系统，混凝土拌和系统均为三班制生产。高混凝土系统配置二座 4×3m³自落式拌和楼，其常态混凝土总生产能力 480m³/h，可满足 10.0 万 m³/月的常态混凝土生产需要。预冷混凝土总生产能力 300m³/h，可满足 10.0 万 m³/月的预冷混凝土生产需要。低混凝土系统配置一座 4×3.0m³自落式拌和楼，常态混凝土生产能力 240m³/h，可满足 5.3 万 m³/月的常态混凝土生产需要。预冷混凝土总生产能力 180m³/h，可满足 4.6 万 m³/月的预冷混凝土生产需要。混凝土系统冲洗废水主要在对拌和系统进行清洗过程中产生的，高混凝土系统和低混凝土系统产生的废水量分别为 96m³/d 和 48m³/d。

（4）机械冲洗维修废水

施工期在枢纽工程区右岸坝址上游 4.5km 处沿江阶地设置汽车维修保养停放场 1 个，汽车的保养、修理过程中会有含石油类的污水产生。工程施工高峰期需各类施工机械合计约 369 台，汽车约 95 辆。按照施工车辆每 4 天保养冲洗一次、施工机械每周保养一次，平均冲洗废水以 0.6m³/台•次计算，本工程因冲洗保养所有机械产生的含油废水约为 278.4m³/次。

（5）生活污水

生活污水主要来源于 3 个施工营地和现场建设管理营地。生活污水中主要污染物来源于排泄物、食物残渣、洗涤剂等，根据其它工程经验，生活污水污染物

指标：COD 浓度一般为 400mg/L，BOD5 浓度在 200mg/L 左右，NH3-N 浓度一般为 35mg/L。

根据施工规划，参照《城市居民生活用水量标准》(GB/T50331-2002)和《水电水利工程施工压缩空气、供水、供电系统设计导则》(DL/T5124-2001)中第四类第五区用水量标准，施工人员生活用水量取 120L/人•d。废水产生量为用水量的 80%。

各施工生活区生活污水产生情况见表 3.4-2。

**表 3.4-2　各施工生活区生活污水产生量统计表**

| 污染源位置 | 高峰人数<br>(人) | 高峰日用水量<br>（$m^3/d$） | 高峰日污水量<br>（$m^3/d$） |
|---|---|---|---|
| 1#施工营地 | 967 | 116 | 93 |
| 2#施工营地 | 1208 | 145 | 116 |
| 3#施工营地 | 2740 | 329 | 263 |
| 现场建设管理营地 | 350 | 42 | 34 |
| 合计 | 5265 | 632 | 505 |

### 3.4.1.2　声环境

旭龙水电站工程施工期间噪声主要来源于：固定、连续式的钻孔和施工机械设备产生的噪声；短时、定时的爆破噪声；运输车辆产生的移动噪声。下面从施工机械及辅助企业噪声、交通噪声和爆破噪声源三个方面对生源产生的影响进行分析。

1、施工机械及辅助企业噪声

（1）砂石料加工系统

砂石加工系统生产工序包括粗碎、中碎、细碎、制沙、筛分、洗泥生产。砂石料加工系统为连续点声源，参照类似工程砂石加工设备噪声实测资料，所有设备同时运行声源叠加后作为砂石加工厂的源强，本工程砂石料加工系统噪声值在在 95～115dB 之间。

根据施工规划，洒茂顶砂石加工系统和前期利用料砂石加工系统附近 200m 范围内无敏感点分布。

（2）混凝土拌和系统

混凝土拌和系统主要机械设备包括混凝土拌和楼、圆筒振动筛、螺旋洗砂机、

空压机等。混凝土拌和系统噪声源主要来自于混凝土拌和楼的拌和作业，骨料的制冷系统、冲洗、脱水、运输过程中都将产生噪声污染。混凝土生产系统为连续点声源，参照类似工程混凝土生产设备噪声实测资料，所有设备同时运行声源叠加后作为混凝土生产系统噪声的源强，1m 处声强级约为 90～110dB(A)。

根据施工规划，右岸高混凝土生产系统和右岸低混凝土生产系统附近 200m 范围内无敏感点分布。

（3）施工工厂

旭龙水电站施工工厂施工区机械加工厂有小型预制板厂、钢管厂、木材加工厂、钢筋加工厂等，噪声监测成果见表 4.2-3。施工工厂作业期间噪声在 55～95dB 之间。

根据施工规划，各施工工厂附近 200m 范围内无敏感点分布。

**表 3.4-3　施工工厂工厂噪声实测值**

| 施工区域 | 噪声源 | 测试点位置 | 噪声级（dB） |
|---|---|---|---|
| 机械加工厂 | 小型预制板厂 | 厂外 1m，1min | 55～65 |
| | 钢管厂 | 正门外 1m，1min | 78～95 |
| | 木材加工厂 | 距主声源 10m，10s | 88～89 |
| | 钢筋加工厂 | 距主声源 10m，10s | 90～91 |

（4）弃渣场

弃渣场噪声主要来自弃土场区的机械作业噪声以及运输车辆交通噪声。弃渣场作业期间，噪声一般在 85～95dB 之间。

根据施工规划，洒茂顶村距茂顶河弃渣场渣顶直线距离约 242m，弃渣场堆渣过程中机械噪声可能对洒茂顶村造成不利影响。

2、交通噪声

本工程的交通噪声主要来源于车辆运输。交通噪声属于流动声源，其源强大小与车流量、车速以及路况等因素有关。施工区主要来往车辆为载重量 10t～20t 级自卸汽车，以大型车为主，公路设计时速为 20 或 30km/h，交通运输噪声在 85～94dB 之间。

3、爆破噪声

本工程的爆破噪声主要为隧洞施工爆破噪声和石料场的开采爆破噪声。爆破噪声与爆破方式、单响装药量等有关。爆破噪声具有间歇性，相对于连续作业的固定声源和流动声源，其影响时间段短。根据以往工程露天爆破实测资料，爆破

噪声值一般在 90～140dB(A)之间。施工爆破噪声源强较大、影响范围广。

#### 3.4.1.3 环境空气

旭龙水电站施工期对环境空气质量产生影响的污染源主要有燃油机械设备、炸药爆破作业、砂石加工系统、交通运输系统、施工作业面等，排放的主要污染物为粉尘、废气和扬尘。

1、机械燃油废气

施工废气主要为各类施工机械燃油产生，主要的污染物为 NO2 等废气。机械燃油废气属于连续、无组织排放源，污染物呈面源分布。根据《环境保护使用数据手册》，柴油发动机大气污染物排放系数 NOx 为 21.9g/L，CO 为 33.3g/L。根据美国国家环保局推荐使用的计算道路尾气扩散的法规模型中提供的 NOx 和 NO2 的转换系数，NOx 和 NO2 的转换系数取 0.075。旭龙水电站施工期间油料用量为 16.8 万 t，产生 NO2328t，产生 CO6657t。

2、爆破及边坡开挖粉尘、废气

炸药爆破时会产生粉尘和 NO2 等污染物，污染源主要集中在导流洞爆破施工和石料厂开采爆破施工部分。爆破属于瞬间源，其粉尘、废气的影响范围主要集中在爆破源附近。

在未采取防尘措施前提下，坝基开挖爆破粉尘的排放系数为 200kg/t 炸药，NO2 的排放系数为 15.27kg/t 炸药，CO 的排放系数为 41.75kg/t 炸药。

旭龙水电站施工期间炸药用量为 1.19 万 t，施工爆破及开挖产生产生粉尘总量 2380t，NO2 总 182t，CO 总量为 497t。

3、砂石加工系统粉尘

砂石加工系统排放的污染物主要是粉尘，在粗碎、中碎、细碎、筛分的运输过程中均会产生粉尘污染。工程共规划 2 处砂石加工系统，分别为洒茂顶砂石加工系统，生产能力为 780t/h。前期利用料砂石加工系统，生产能力为 400t/h。

根据《三废处理工程技术手册(废气卷)》，砂石料加工系统湿法生产系统粉尘排放强度为 0.05kg/t 产品，洒茂顶砂石加工系统粉尘排放强度为 39kg/h，前期利用料砂石加工系统粉尘排放强度为 20kg/h。在生产过程中采取定时洒水降尘措施后，颗粒物的去除量可达 94%，飘散的粉尘量较少，可控制在 6%以下，则洒茂顶砂石加工系统粉尘排放强度为 2.34kg/h，前期利用料砂石加工系统粉尘排放

强度为 1.2kg/h。粉尘排放速率见下表。

**表 3.4-4　施工作业面粉尘排放速率一览表**

| 石料加工系统 | 占地面积 (万 m²) | 生产能力 (t/h) | 粉尘产生量(kg/h) | 粉尘排放速率 (mg/s·m²) | 粉尘可控排放量(kg/h) | 粉尘可控排放速率 (mg/s·m²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 洒茂顶砂石加工系统 | 11.1 | 780 | 39 | 0.0976 | 2.34 | 0.0059 |
| 前期利用料砂石加工系统 | 5 | 400 | 20 | 0.1111 | 1.2 | 0.0067 |

4、交通扬尘

交通扬尘主要来源于施工车辆行驶。根据有关资料，施工过程中车辆行驶产生的扬尘约占施工总扬尘量的 60%以上。一般情况车辆行驶产生的扬尘在同样路面清洁程度下，车速越快，扬尘量越大；而在同样车速下，路面越脏扬尘量越大。各路段粉尘排放速率见表 4.2-5。根据施工规划，洒茂顶村距离 6#公路水平距离 113m，高差 95m，其余施工道路 200m 范围内无其他敏感目标。

**表 3.4-5　各路段粉尘可控排放速率一览表**

| 施工道路 | 路面材料 | 路面\路基宽度（m） | 最大年运输量（万 t） | 单向高峰行车密度(辆/h) | | 设计行车速度（km/h） | 粉尘排放量 (kg/km·h) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 昼 | 夜 | | 昼 | 夜 |
| 6#公路 | 混凝土 | 8.0/9.0 | 951.22 | 38 | 19 | 30 | 29.62 | 14.81 |

5、施工作业面扬尘

施工作业面扬尘主要产生于裸露地面如渣场、开挖面等，在干燥的天气情况下，特别在大风时容易产生扬尘。粉尘产生量与施工方法、作业面大小、施工机械、施工方法、天气状况及洒水频率等有关。根据相关文献，本工程施工作业面扬尘排放量参照建筑工地施工粉尘排放速率为 19.44×10-5kg/s.m²，采取降尘措施后粉尘可控排放速率为 $1.17\times10^{-5}$kg/s.m²。

### 3.4.1.4　固体废物

施工区固体废弃物主要包括生活垃圾、建筑垃圾和辅助企业生产垃圾等。

（1）生活垃圾

1）生活垃圾成分及特性

生活垃圾成分受生活水平、生活习惯和能源结构等因素的影响，水电站施工区生活垃圾成分有其自身的特点。生活垃圾以厨余为主，此外草木、塑料包装袋、

纸类、砖渣相对含量较高。

2）生活垃圾产生量

施工期间，施工区高峰人数约 5265 人，工程总工期为 98 个月，按照每人每天产生 0.6kg 垃圾计算，则施工期日均垃圾产生量 3.2t，工程施工期共产生生活垃圾约 9287t。

（2）建筑垃圾和辅助企业生产垃圾

建筑垃圾主要是工程弃渣、临时工程拆除和地面清理产生的砖瓦、混凝土块等。建筑垃圾除部分回收利用外，其它如不妥善处置，会对周围环境产生环境污染。

施工辅助企业生产过程中产生一定数量的废弃物，如报废的施工机械和车辆、废旧钢材、钢管、油桶、包装袋、木材等。

#### 3.4.1.5 社会环境

施工期间对社会经济的影响主要来源于工程建设对人力、材料等资源的需求，工程资金的投入，基础设施的建设以及施工占地等方面。具体体现在工程建设需要的大量人力，一定程度上可解决当地人员就业问题；需要大量的物资，将成为当地经济强有力的推动力，刺激当地经济的发展；工程巨大资金的投入对区域经济发展有巨大推动作用；施工占地可在短时间内影响农业经济的增长，施工期间大量工程物资的运输对当地交通造成一定的压力，但这部分影响只是暂时的。

集中安置与分散安置建房过程总将产生少量的施工“三废”与噪声排放，同时也将对局部区域生态环境产生一定不利影响。搬迁安置后环境影响源主要来自移民生活污水和生活垃圾排放。

交通设施复建主要对建设区的陆生生态带来影响并新增水土流失，同时建成后的交通噪声将对沿线居民造成一定影响。

### 3.4.2 初期蓄水及运行期影响源分析

#### 3.4.2.1 水库蓄水和电站运行

旭龙水电站正常蓄水位 2302m，正常蓄水位以下库容 7.81 亿 $m^3$，死水位 2297m 时，死库容 7.01 亿 $m^3$，调节库容 0.80 亿 $m^3$，具有日调节性能。正常蓄水位时旭龙水电站水库面积 16.51$km^2$，干流回水长度 63.29km，主要支流丹达河

回水长 2.0km，麦曲河回水长 147m。

旭龙水电站按日调节运行，库水位在正常蓄水位 2302m 至死水位 2297m 之间变化，最大水位变幅 5m。水库蓄水后，库内流速减缓，水温可能出现季节性分层，电站发电和水库蓄水运行也将对下游水文和泥沙情势产生影响，水库泄洪时将产生气体过饱和影响及泄洪雾化现象。

此外，大坝阻隔、水位壅高、下游水文情势和水温改变、泄洪期间的气体过饱和现象等均将对原生存于该河段的水生生物特别是鱼类将造成一定影响；水库蓄水后，库区还可能出现水库浸没、塌岸等环境地质问题。

#### 3.4.2.2 电站发电

旭龙水电站总装机容量 2400MW，联合运行时多年平均年发电量 103.19 亿 kW.h，将为区域经济社会发展提供优质清洁能源。

#### 3.4.2.3 机组检修

为避免水轮发电机组漏油对河流水体水质的污染，生产厂家配有一套小型集油装置，漏油在集油箱中到一定容积后由油泵自动抽回回收，对河流水质不会造成影响。

#### 3.4.2.4 电厂生活污水和生活垃圾

旭龙水电站电厂运行后的职工人数约 350 人，估算生活污水产生量为 33.6$m^3$/d，生活垃圾产生 0.21t/d；运行期垃圾还有库区打捞的漂浮物。

## 3.5工程分析结论

旭龙水电站为非污染类生态影响建设项目，根据项目施工、运行、移民安置等工程特点，结合区域环境现状，工程分析结论如下：

（1）工程方案

金沙江上游是我国规划开发的重要水电基地，是“西电东送”战略的重要组成部分。旭龙水电站列为“十三五”规划积极推进项目，属《产业结构调整指导目录(2011年本，2013年修正)》中鼓励类项目，属于国家重点推进的西南地区大型水电站，符合国家产业政策和能源发展规划的相关要求。旭龙水电站为一等大（1）

型工程，建设方案符合《长江流域综合规划（2012～2030年）》、《金沙江上游水电规划报告》及规划环境影响评价相关要求。

旭龙水电站在规划设计各阶段，对坝址、坝型、正常蓄水位、施工布置、交通运输等均做了多方案优化和比选，充分考虑了环境影响，工程在环境保护方面无重大环境制约因素，工程建设环境合理可行。

（2）工程施工

施工期工程开挖、弃渣、占地、“三废”及噪声排放等施工活动，将扰动原地貌、损坏土地和植被，带来水质、噪声、大气等污染和新增水土流失，对施工区生态环境产生一定影响。

（3）工程运行

工程运行期间，库区与坝下水文与泥沙、水温、水生生境等将发生显著变化，对工程江段生态系统及陆生、水生动植物及其生境产生影响。

（4）移民安置

移民安置与专项设施复建主要对区域的自然生态、水土流失、生产及生活水平等带来一定影响，集中安置移民的生活污水排放和生活垃圾可能污染周围环境。

表 3.5-1　旭龙水电站环境影响源分析表

| 活动时期 | 环境要素 | 影响源及源强 | 主要污染物及浓度、影响 | 处理工艺及效果 | 影响对象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 施工期 | 地表水环境 | 砂石骨料加工废水，共 2 处，高峰期废水量约 1048$m^3$/h。 | SS: 50000mg/L | 主体工程设计仅考虑简单的沉淀处理，不符合环保有关规定，需补充相关废污水处理措施 | 临近区域地表水质 |
| | | 混凝土拌和系统冲洗废水，集中 2 处，高峰期废水量约 144$m^3$/d。 | SS:5000mg/L；pH:≥10 | | |
| | | 施工生活污水，共 4 处，总污水量约 505$m^3$/d。 | COD:400mg/L； | | |
| | | | $BOD_5$:200mg/L； | | |
| | | | SS：200mg/L | | |
| | | | $NH_3$-N：40 mg/L | | |
| | | 机修系统含油污水，约 278.4$m^3$/h，共 1 处。 | COD:25～200mg/L | | |
| | | | 悬浮物:500～4000mg/L | | |
| | | | 石油类：10～30mg/L | | |
| | | 基坑废水及洞室排水。基坑废水初期排水强度为 3680$m^3$/h，经常性排水强度约 2000$m^3$/h。 | 经常性排水含 SS 约 500mg/L | 直接抽排，不能满足环保要求 | 临近区域地表水质 |

续表 3.5-1　旭龙水电站环境影响源分析表

| 活动时期 | 环境要素 | 影响源及源强 | 主要污染物及浓度、影响 | 处理工艺及效果 | 影响对象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 施工期 | 地下水环境 | 工程区地下洞室总长度约 10.2km；施工交通隧洞长约 32km | 地下洞室开挖可能对开挖区及周边地下水流场、水位、水量等产生影响 | 洞室开挖支护、防渗处理及排水 | 洞室开挖区及周边地下水量 |
| | 大气环境 | 爆破粉尘：炸药总用量 1.0 万 t。 | TSP、CO、NOx 等 | 湿法作业、洒水降尘、安装尾气净化器、施工人员加强个人防护 | 周围环境空气 |
| | | 砂石骨料加工：成品料高峰生产能力为 1410t/h，共 2 处 | TSP | | |
| | | 施工作业面扬尘 | TSP：0.002mg/s.m$^2$ | | |
| | | 交通扬尘：施工营地沿线交通干线高峰期车流量 38 辆/h | TSP、CO、NOx | | |
| | 声环境 | 砂石骨料加工系统噪声：成品料高峰生产能力为 1410t/h。 | 1m 处声强级约为 90~110dB(A) | 禁止夜间爆破、降低夜间施工强度、禁止大声鸣笛、限制车速、道路维护等措施。 | 周围声 |
| | | 交通噪声：交通干线高峰期车流量 38 辆/h | 约 83 dB(A) | | 环境 |
| | | 振动机械：振捣机械、鼓风机械、拌和机械、挖掘机械 | 85～90dB(A) | | |
| | | 爆破噪声：炸药总用量 1.00 万 t | 130~140dB(A)，瞬时间断噪声 | | |

续表 3.5-1　旭龙水电站环境影响源分析表

| 活动时期 | 环境要素 | 影响源及源强 | 主要污染物及浓度、影响 | 处理工艺及效果 | 影响对象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 施工期 | 固体废弃物 | 工程弃渣 1531.35 万 $m^3$(松方)，渣场占地 79.7$hm^2$。 | 产生弃渣 1531.35$m^3$，产生水土流失 | 指定渣场集中堆放，工程防护。 | 生态环境、人群健康和 |
| | | 施工生活区：施工高峰人数 5265 人，施工期产生 3.2t/d 的生活垃圾 | 生活垃圾及臭气带来蚊虫和细菌。 | 设置垃圾桶和垃圾清运车，收集并清运奔子栏生活垃圾填埋场 | 景观等 |
| | | 建筑垃圾及施工辅助企业产生垃圾 | 砖瓦、混凝土块、弃土、废旧钢材、油桶、包装袋、木材等。 | 分类集中收集，定时清运。危险废物交由资质单位处理 | |
| | 生态环境 | 枢纽工程施工占地：永久占地 286$hm^2$，临时占地 147$hm^2$。 | 占压和扰动地表面积，损坏植被 | 施工临时设施拆除，部分迹地平整；临时占用耕地复耕；施工营地、业主营地绿化；加强施工管理；合理安排施工时间等。 | 工区及其周边生态系统 |
| | | 水库淹没占地：1603.59$hm^2$ | 淹没植被 | | |
| | | 工程开挖：弃渣 1531.35 万 $m^3$(松方)。 | | | |
| | 社会环境 | 工程建设资金投入 | 促进地方经济发展与就业 | 效益显著 | 地方经济 |

## 续表 3.5-1　旭龙水电站环境影响源分析表

| 活动时期 | 环境要素 | 影响源及源强 | 主要污染物及浓度、影响 | 处理工艺及效果 | 影响对象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 运行期 | 地表水环境 | 水库正常蓄水位以下库容7.81亿$m^3$，调节库容0.80亿$m^3$，具有日调节性能；水库面积16.51$km^2$，干流回水长度63.29km | 库区及坝下水文与泥沙情势 | | 水文及泥沙情势 |
| | | 水库调蓄，低温水 | 库区水温结构变化及低温水下泄影响 | 抬高取水口高程 | 坝下河道水温及水生生态 |
| | | 泄洪时坝下气体过饱和 | 遭遇5年一遇以上洪水时泄洪，通过3个表孔、4个中孔泄洪 | 坝后设置水垫塘 | 坝下河段水生生态，特别是鱼类 |
| | | 电站职工350人，生活污水日产生量约33.6$m^3$/d | $BOD_5$：200mg/L | 沿用施工期业主营地污水处理系统，电厂统一处理 | 临近区域地表水质 |
| | | | COD：400mg/L | | |
| | 地下水环境 | 水库渗漏与浸没 | 水库蓄水后可能造成库周地下水上升 | | 库周区域地下水位 |
| | 声环境 | 机电设备运行 | 80dB(A) | 厂房封闭，厂区实行少人管理，对周围及员工影响小 | 场界达标，影响对象位于厂内 |
| | 固体废弃物 | 电厂职工350人，生活垃圾日产生量约0.21t/d | 垃圾及臭气带来蚊虫和细菌 | 收集并清运生活垃圾至奔子栏乡生活垃圾填埋场 | 人群健康及景观 |
| | 生态环境 | 初期蓄水，下游水文情势变化 | 影响下游生态环境用水 | 初期蓄水期间分别通过导流洞、生态供水旁通洞、放空洞向下游供水 | 下游河道用水 |
| | | 工程永久占地和水库淹没总面积2219.55$hm^2$，其中耕地24.46$hm^2$，草地30.54$hm^2$，林地282.04$hm^2$ | 淹没陆生植被，影响部分陆生动植物个体及其生境；土地资源减少，改变土地利用结构与生产水平 | 受影响土地及居民进行生产安置与搬迁安置 | 生态环境与土地利用 |
| | | 水库蓄水，大坝阻隔 | 影响鱼类迁徙，改变原有流水生境 | 采取定曲河栖息地保护、集运过鱼系统过鱼、鱼类增殖放流保护鱼类资源 | 工程河段鱼类资源 |
| | 其它 | 泄洪雾化 | 遭遇5年一遇以上洪水时泄洪，通过3个表孔、4个中孔泄洪 | 坝下边坡防护 | 坝下边坡稳定 |

# 4 环境现状

## 4.1流域概况

旭龙水电站位于金沙江干流上游河段。金沙江是长江上游河段的重要组成部分，流域（含沱沱河、通天河）位于我国青藏高原、云贵高原和四川盆地的西部边缘，跨越青海、西藏、四川、云南、贵州五省（区）。流域面积约 50 万 $km^2$，占长江流域总面积的 27.8%；河流全长约 3500km，为长江全长的 55.5%；落差约 5100m，占长江干流落差的 95%。

金沙江流域内资源丰富，特别是水能资源最为丰富，巴塘河口至石鼓为金沙江上段，区间流域面积 7.65 万 $km^2$，河段长 984km，河道平均比降 1.75‰，干流水能蕴藏量约 13060MW；石鼓至攀枝花为金沙江中段，区间流域面积 4.5 万 $km^2$，河段长约 564km，河道平均比降为 1.48‰，干流水能蕴藏量为 13220MW；攀枝花至宜宾为金沙江下段，区间流域面积 21.4 万 $km^2$，河段长 783km，河道平均比降 0.93‰，干流水能蕴藏量为 29080MW。

金沙江上游地区位于青藏高原东南部，地势由西北向东南倾斜，一般山岭海拔 4500～5500m，河谷深切，呈现高原－高山峡谷地貌景观。气温北低南高，降水量北多南少，气候受地形高差及纬度影响显著，海拔 3800～4200m 以上为亚寒带气候，海拔 2500m 以下河谷地带具有亚热带气候特征。暴雨中心位于石鼓以下，呈多中心分散状。

金沙江上游河段因海拔较高，人口分布少，社会经济落后，基本无工业企业，故河段水体污染源简单，污染负荷低，主要是生活污染源和地表径流带来的面污染源。据水环境现状监测，规划河段水质总体状况良好，但受雨季水土流失和地表径流影响，巴塘河河口～四川省石渠县真达乡河段丰、枯水期总磷和总氮超过地表水Ⅰ类水质标准，但达到地表水Ⅱ类水质标准；真达乡以下河段仅丰水期总磷和总氮超过地表水Ⅱ类水质标准；局部河段水质不能完全满足相应的水质标准。

根据中国植被区划，金沙江上游区域属于青藏高原高寒植被区，其中四川省洛须镇以北及青海省玉树州境内金沙江沿河地区，属于高原东部高寒灌丛、草甸亚区，由以高山灌丛和高山草甸为主体的、较为简单的植被类型构成；而南部则

属于高原东南部山地寒温性针叶林亚区，由以亚高山针叶林为主体的、较为复杂的植被类型构成，植物种类科属较多，高大木本植物数量显著增加，垂直带谱较完整，为青藏高原东缘高山峡谷地区典型的山地植被垂直带谱之一。金沙江上游河段河谷区以灌丛、荒草地和裸岩分布为主。

该区域动物物种组成、区系成分等具有显著的金沙江上游地域性特征。其区系组成主要由古北界和东洋界构成，古北界物种分布于巴塘和芒康以北地区，东洋界物种主要分布于巴塘、芒康及以南区域。河谷区由于人类活动较频繁，基本无大型野生动物分布。

该区域鸟类丰富多样，是我国鸟类特产种的重要分布地区。分布于河谷区灌丛、村庄农耕地及河流湿地的有国家Ⅱ级保护鸟类鸢、普通鵟、红隼，以及四川省省级保护鸟类白喉针尾金丝燕、普通燕鸥等。

该区域土地利用类型以牧草地和林地为主，其次为未利用地，耕地较集中分布于石渠县洛须镇附近，以及白玉县河坡乡赠曲沿岸。区域水土流失强度以轻度和中度流失为主，流失类型主要是水力侵蚀和冻融侵蚀。水土流失危害对当地社会经济影响较大。

受山区峡谷急流型水生生态系统条件限制，金沙江上游河段水体初级生产力不高，浮游植物、水生植物种类和生物量少。在该生境条件下，鱼类饵料生物的组成以着生藻类和底栖动物为主，鱼类资源量少，对金沙江上游河流环境的依赖性高；所有鱼类可以在本江段完成生活史，鱼类“三场”较分散；干流汪布堆乡至巴塘县河段，以及藏曲、玛曲等较大的支流鱼类资源相对较丰富。据调查，上游河段未发现国家级珍稀保护鱼类。

区域社会经济结构以农牧业为主，工业发展水平较低，属经济欠发达地区。区域人口构成以藏族为主，民俗文化以藏族康巴文化为核心，几乎全民信教，藏传佛教在该地区的影响较大。社会经济发展主要是依托当地资源优势，以结合国家西部大开发，发展农牧业、地方特色产业和脱贫为主攻方向。其中，地方特色产业主要包括旅游业、生物产业和水电业。

## 4.2自然环境

### 4.2.1 地形地貌

（1）库区地形地貌

水库区地处川滇山地，为具有强烈构造侵蚀作用为主的高山地貌。主要山脉、水系近于南北向展布，其发育明显为区域构造所控制。区内地势陡峻，沟壑纵横，总体具有中部河谷一带低，河谷东、西两侧高之特征，山顶高程达 3500m～5180m，河谷切割深度一般 1000m～2800m。金沙江为本区域内最低侵蚀基准面，江面高程 2080m～2350m。河床平均纵坡降约为 2.6‰。

金沙江大体上呈 170°自北而南流经库区，总体较为顺直，局部时有弯曲。水库区江面狭窄，水流湍急，河谷陡峻。金沙江水面宽度一般在 100m 以内，最窄处不到 30m。两岸地形坡度 40°～60°，多处分布悬崖峭壁。

金沙江河谷深切，河谷两岸阶地发育较少，仅在库尾局部地段有不连续的侵蚀阶地和基座阶地分布。水库区，不连续地发育了四级基座阶地或侵蚀阶地，但面积狭小，分布零散。Ⅰ、Ⅱ级阶地通常为堆积阶地，Ⅲ级阶地为通常为基座阶地，而Ⅳ级阶地通常为侵蚀阶地，详见表 4.2-1。

**表 4.2-1　　库坝区阶地分布情况表**

| 阶数 | 类型 | 高度（m） | | 组成物质特征 | 分布情况 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 相对 | 绝对 | | |
| Ⅰ | 堆积 | 10～15 | 2205 | 砂砾层，粒径 5cm～10cm，砾石成分为灰岩、花岗岩及片岩 | 曾大同 |
| Ⅱ | 堆积 | 20 | 2222 | 砂砾层，粒径 5cm～10cm，砾石成分为灰岩、花岗岩及片岩 | 曾大同 |

区内主要支流均呈近东西向发育，规模较大的支流左岸有曾大同沟、娘尼沟，右岸有格亚顶冲沟、中岩河。沟床纵比降大，最大回水长度不超过 2.5km。

（2）坝址区地形地貌

旭龙坝址河段金沙江河势较顺直，自 NW40°流入，往 SE40°流出。金沙江枯水期水位约 2150m，相应江面宽 60m～80m，水深约 10m。

坝址区河谷为深切的峡谷地形，横断面为典型的“V”型谷，河谷两岸地形对

称性较好，两侧为高耸的走向与金沙江流向基本一致的多级山脊，第一级山脊高程在 4000m 以上。金沙江两岸岸坡陡峻，高程 2150m～2500m 段两岸岸坡坡角一般 50°～60°，局部近直立；高程 2500m 以上两岸岸坡变缓，坡角一般 30°～40°，局部较陡。右岸坝轴线上、下游分布两级缓平台，高程分别为 2190m～2220m、2310m～2380m，宽约 20m，呈带状展布。正常蓄水位高程 2302m 处河谷宽 320m，以河床基岩面起算的河谷宽高比为 1.82。

施工区河段金沙江大体上呈 170°自北向南流经本区，平面上呈微波状。金沙江江面狭窄，水流湍急，江水面宽度一般在 100m 以内，枯水期水位约 2150m，相应江面宽 60m～80m，水深约 10m。根据两岸地形地质条件，可将施工区金沙江河段大致分为三段，即施工区上游段、坝址段和施工区下游段，见下图。

施工区上游段为格亚顶电站至该遗日冲沟河段，该段河谷两岸地形不对称，左岸平均地形坡度一般 30°～40°，局部较陡；右岸高程 2400～2500m 以下地势陡峭，岸坡平均坡度一般 40°～50°，陡崖、陡坎地形发育，高程 2400～2500m 以上地形转缓，平均坡度一般 30°～40°。

该遗日冲沟至旭龙冲沟为坝址段。坝址段为深切的峡谷地形，横断面为典型的“V”形，河谷两岸地形对称性较好，高程 2500m 以下两岸地势陡峻，岸坡平均坡度一般 50°～60°，陡崖、陡坎地形发育；高程 2500m 以上两岸岸坡变缓，坡角一般 30°～40°，局部较陡。右岸坝轴线上、下游分布两级缓平台，高程分别为 2190m～2220m、2310m～2380m，宽约 20m，呈带状展布。地形地貌见图 4.1-1。

旭龙冲沟至茂顶电站为施工区下游段。下游段两岸以第四系岸坡为主，地势稍缓，岸坡自然平均坡度一般 30°～45°，局部较陡。在滑坡及泥石流堆积作用下，坡麓多处可见缓坡平台，如洒茂顶、茂顶河口、宗绒、得绒桐等地。




图 4.2-1　旭龙水电站坝址地形地貌

## 4.2.2 地质

### 4.2.2.1 区域地质

工程区处于怒江、澜沧江、金沙江三江地区，是印度与欧亚板块两大板块之间的特提斯－喜马拉雅构造域东段，是挤压、褶皱最强烈的地带，也是松潘－甘孜褶皱系、唐古拉－昌都－兰坪－思茅褶皱系的交接部位。区域构造复杂，构造基本特征以断裂构造为主，以南北向深大断裂为主体构成川滇南北向构造带。

工程区位于一级构造单元的唐古拉－昌都－兰坪－思茅褶皱系和松潘－甘孜褶皱系交接地带的西侧，二级构造单元昌都－云岭褶皱带系的金沙江褶皱束三级构造单元内。所在的三级大地构造单元金沙江褶皱束，出露的主要地层为中元古界的各种片岩、板岩、千枚岩、石英岩和变质中基性火山岩等组成，为一套复陆屑建造组合。

根据《中国地震动峰值加速度区划图》（GB18306～2015）及地震专题研究成果，旭龙库坝区在 50 年超越概率 10％条件下的基岩地震动峰值加速度为

0.176g，相应的地震基本烈度为VIII度，地震动反应谱特征周期为 0.4s。

#### 4.2.2.2 工程区地质

（1）库区地质

1）地层岩性

据《四川省岩石地层》、《云南省岩石地层》划分方案，测区地层区划属华南地层大区，以金沙江结合带为界，可划分为两个地层区：东部为巴颜喀拉地层区中玉树～中甸地层分区内的中咱～石鼓小区；西部为羌北～昌都～思茅地层区中西金乌兰～金沙江地层分区内的奔子栏～江达小区。库区第四系地层广泛分布，但分布高程一般较低，主要分布在金沙江河床及较低岸坡一带。成因类型有冲积、冲洪积、坡洪积、崩坡积、泥石流堆积及滑坡堆积等，以冲洪积与崩坡积分布最广。组成物质主要有卵砾石、砂砾石、漂石、块石、碎石及角砾等。从整个库区来看，主要分布于格亚顶～拿荣、木拥桥～曾大同等地段。

2）岩溶与水文地质

库区碳酸盐岩以泥盆系、三叠系上统地层为主，中元古界次之。由于地处高寒少雨地带且为金沙江及其支流等强烈切割，岩溶基本不发育，岩溶现象多为沿断层、裂隙及部分层面形成的溶沟、溶缝等，溶蚀裂隙宽度一般为 1～5mm，极少有 1cm 以上者。通常在海拔 4000m 以上地区才可见到岩溶现象。其他岩溶形态如洼地、漏斗、落水洞、较大规模的溶洞等均未发现。

按照含水介质的类型，可将地下水分为孔隙潜水和基岩裂隙水。孔隙潜水赋存于第四系松散堆积物中，主要由大气降水补给。由于堆积物多以粗粒土为主，加之结构松散、孔隙率大，因而透水性强，一般沿堆积物之间孔隙或沿基岩接触面向河流或沟谷排泄。

基岩裂隙水赋存于岩体裂隙中，以大气降水渗入补给为主，局部存在裂隙承压水及上层滞水。受地形影响，地下水径流短，水力坡降大，多在坡脚、沟底及阻水断层附近以下降泉形式出露，直接排入金沙江或排入冲沟再汇入金沙江。

（2）坝址区地质

坝址区地表基岩广布，第四系覆盖层分布范围小。

基岩从老至新有中元古界雄松群三段（$Pt_2x^3$）斜长角闪片岩和混合岩，以及三叠纪印支期侵入的花岗岩（$\gamma_5^1$）。各岩性分布图见图 4.2-2。

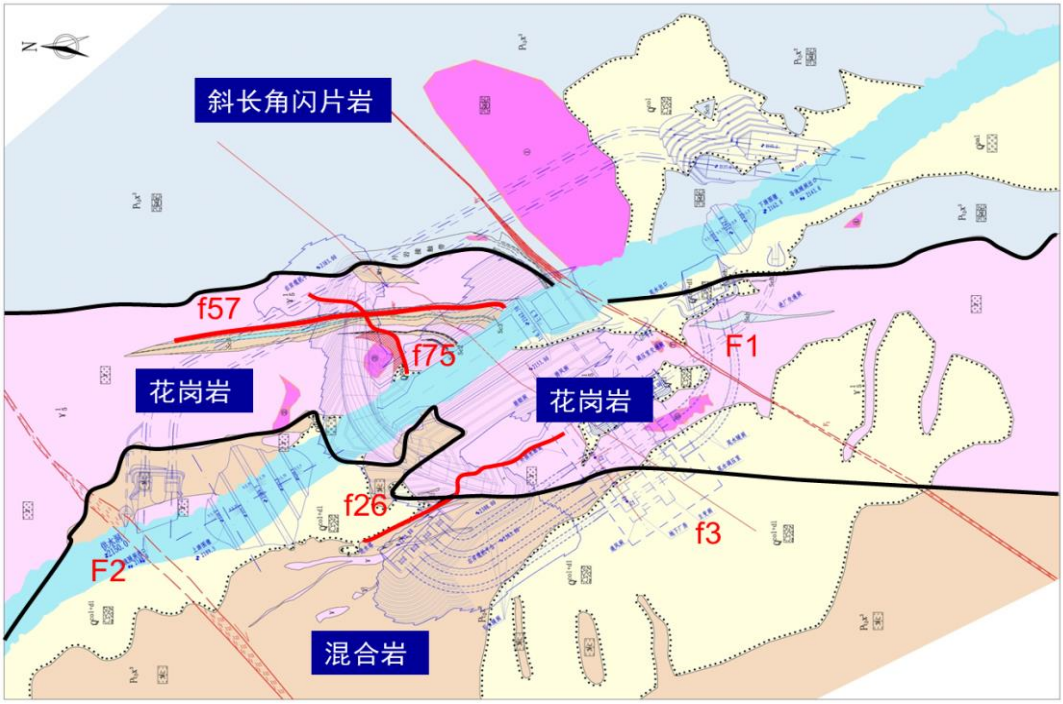



图 4.2-2　　坝址区主要岩性分布图

坝址区斜长角闪片岩岩石片理一般不发育，局部片理较发育，片理间距仅1mm～2mm，片理面一般呈紧密接触。片理走向 340°～360°、倾向 SW（右岸）、倾角 60°～80°，花岗岩体与其接触界面的产状和片理方向基本一致，产状较稳定，在空间上的延展具较好的连续性。接触面焊合较好，未发现软弱带分布。岩石总体呈较坚硬状。地表斜长角闪片岩主要分布在左岸坝轴线下游。

坝址区的混合岩总体可初步分为两类：其一，脉体形态以网状和细条带状为主；其二，脉体形态以条带状和角砾状为主。混合岩分布在坝轴线右岸上游，其边界总体产状为南北向，中陡倾西，在与花岗岩体交界部位，局部有少量透镜状、条带状混合岩穿插分布，连续性较差。

印支期花岗岩（$\gamma_5^1$）呈灰白色或浅灰色，主要出露在坝轴线附近，是建坝的主体岩石。跨两岸呈南北向带状分布，带宽 500m 左右，其边界部位常夹混合岩及斜长角闪片岩。

### 4.2.3 气候气象

金沙江流域基本上属高原气候区。由于其跨越了 14 个经度、15 个纬度，海拔高度相差超过 4000m。故自北向南又可分为高原亚寒带亚干旱气候区、高原亚寒带湿润气候区、高原温带湿润气候区，华弹以下则属暖温带气候区。

据得荣气象站资料统计多年月平均气温 14.5℃，极端最高气温 35.7℃，极端最低气温-8.6～-30.6℃。垂直高差相差近 1000m，温差均在 7.0℃以上。河流两岸的雪山上长年冰天雪地，峡谷中热浪滚滚，为典型的“一山有四季，十里不同天”。

在金沙江上中游约有 30 万 $km^2$ 的地区，年降水均值小于 800mm，其中小于 400mm 的干旱地区约 7 万 $km^2$。流域内水面蒸发量（E601）在 1600～2000mm 之间。流域内多年平均风速一般不超过 5m/s，历年最大风速一般在 20m/s 左右，部分地区峡谷内的穿堂风，最大瞬时风速已超过 40m/s。

根据得荣站 1960～2013 年降水量资料统计，多年平均降水量 339.4mm，最大月降水量为 245.3mm，最大日降水量为 46.1mm，大于 10mm 的多年平均年雨天为 10.8d。

**表 4.2-2　得荣站 1960～2013 年降水特征值统计表　　降水量：** 0.1mm

| 月份 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 多年最大月降水量 | 71 | 136 | 370 | 320 | 678 | 1063 | 2453 | 1937 | 1192 | 500 | 418 | 62 | 2453 |
| 多年最小月降水量 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 146 | 264 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 多年最大日降水量 | 60 | 83 | 134 | 154 | 261 | 339 | 461 | 418 | 290 | 247 | 235 | 62 | 461 |
| 多年平均降水量 | 8 | 19 | 38 | 72 | 142 | 391 | 1147 | 1043 | 390 | 115 | 35 | 6 | 3394 |
| ＞10mm 的平均雨天数 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.3 | 1.1 | 4.3 | 3.5 | 1.1 | 0.3 | 0.1 | 0 | 10.8 |

为了工程建设的需要，长江委上游水文局于 2009 年在旭龙坝址处设立了专用气象站，主要观测项目有降雨、蒸发、气温、相对湿度、气压、风速、风向等，成果见下表。

**表 4.2-3　旭龙水电站专用气象站 2012 年 1～7 月特征值统计表**

| 月份 | | | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 七 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 降水量（mm） | 平均降水量 | 月降水量 | 7.2 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| | 最大月降水量 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | 最小月降水量 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | 最大日降水量 | 月最大日降水量 | 3.6 | 0.7 | | | | | 0.1 |
| | | 日期 | 13 | 12 | | | | | 16 |
| 气温（℃） | 平均气温 | 月平均气温 | 8.3 | 11.7 | 13.6 | 17.8 | 24.0 | 24.5 | 24 |
| | 最高平均气温 | | | | | | | | |
| | 最低平均气温 | | | | | | | | |
| | 极端最高气温 | 月最高气温 | 18.1 | 24.9 | 27.7 | 29.1 | 35.7 | 34.5 | 35.5 |
| | 极端最低气温 | 月最低气温 | 0.2 | 2.8 | 4.0 | 9.9 | 11.4 | 15.1 | 16.5 |
| 风 | 平均风速 | | 2.4 | 2.8 | 3 | 3.3 | 3.6 | 3.0 | 2.2 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| （m） | 最大风速 | 极大风速 | 15.6 | 23.1 | 20.3 | 17.7 | 15.5 | 20.6 | 18.6 |
| | 风向 | 极大风速风向 | SSW | NE | S | SSW | SSW | NNE | NE |
| | 日期 | | 3 | 18 | 9 | 16 | 27 | 14 | 12 |
| | 年份 | | 2012 | 2012 | 2012 | 2012 | 2012 | 2012 | 2012 |
| | 最多风向 | | SW | SW | SSW | SSW | SSW | SSW | SSW |
| | 频率（%） | | 29 | 31 | 30 | 35 | 39 | 41 | 31 |
| | 大风日数（≥8 级） | 大风日数（极大风速≥8 级） | 26 | 29 | 31 | 28 | 31 | 29 | 23 |
| 多年平均相对湿度（%） | | 月平均相对湿度（%） | 34 | 28 | 29 | 29 | 24 | 42 | 56 |
| 多年平均日照百分数（%） | | 月平均日照百分数（%） | | | | | | | |

## 4.2.4 水文

### 4.2.4.1 水系

（1）库区河段

旭龙水电站库区河段发育大小冲沟数十条，这些溪、沟一般都具有切割深、沟谷狭窄、沟床纵比降大的特点，且流向多与金沙江呈近垂直方向。其中规模最大的冲沟为丹达河和麦曲河。旭龙库区主要支流（沟）见下表。

表 4.2-4　　旭龙库区主要支流（沟）一览表

| 支沟名称 | 岸别 | 沟口距坝里程（km） | 长度（km） | 总体流向（°） | 回水长度（km） |
|---|---|---|---|---|---|
| 格亚顶冲沟 | 右 | 3.7 | <8 | 101 | 0.7 |
| 本近农冲沟 | 左 | 24.6 | <8 | 129 | 0.6 |
| 丹达河 | 右 | 29 | ＞20 | 72 | 2.5 |
| 热思用冲沟 | 左 | 41.4 | <8 | 94 | 0.3 |
| 南木冲沟 | 右 | 41.8 | <8 | 54 | 0.3 |
| 奔尕丁冲沟 | 右 | 47.2 | <8 | 109 | 0.1 |
| 麦曲河 | 左 | 62.6 | ＞20 | 234 | 0.1 |

（2）坝下游河段

旭龙水电站坝下游河段主要分布有定曲河（松麦河）、瓮水河、支巴洛河等支流，其中定曲河距离旭龙水电站坝址约 55km。

### 4.2.4.2 径流

（1）坝址径流推求依据站概况

旭龙水电站坝址处无水文观测资料，坝址距上游巴塘水文站约 137km，距下游奔子栏水文站约 70km，坝址至奔子栏区间有较大支流定曲河加入，其支流于 1987 年设立古学水文站（控制面积为 12160km$^2$），坝址至奔子栏未控区间面积为 1160km$^2$。

巴塘、奔子栏站 1953～2015 年与古学站 1987-2015 年径流系列统计成果见表 4.2-5。

**表 4.2-5　巴塘、奔子栏与古学站多年平均流量成果表　　单位：m$^3$/s**

| 站名 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 巴塘 | 252 | 230 | 237 | 355 | 619 | 1280 | 2130 | 2040 | 1900 | 1100 | 545 | 320 | 920 |
| 奔子栏 | 353 | 322 | 326 | 446 | 735 | 1430 | 2530 | 2620 | 2370 | 1370 | 718 | 452 | 1140 |
| 古学 | 62.4 | 56.2 | 54.0 | 58.5 | 76.1 | 127 | 300 | 372 | 325 | 171 | 104 | 76.8 | 149 |

巴塘站多年平均流量为 920m$^3$/s，折合径流量为 290 亿 m$^3$；奔子栏站多年平均流量为 1140m$^3$/s，折合径流量为 360 亿 m$^3$；古学站多年平均流量为 149m$^3$/s，折合径流量为 47.0 亿 m$^3$。

根据巴塘、奔子栏站 1953～2015 年径流系列，古学站 1987～2015 年径流系列分别进行频率分析，成果见表 4.2-6。

**表 4.2-6　　巴塘、奔子栏与古学站年设计径流成果表**

| **站名** | **均值** | **Cv** | **Cs/Cv** | **各频率下的设计值（m$^3$/s）** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **10%** | **50%** | **75%** | **90%** |
| 巴塘 | 920 | 0.23 | 2 | 1200 | 904 | 770 | 661 |
| 奔子栏 | 1140 | 0.20 | 2 | 1440 | 1130 | 980 | 860 |
| 古学 | 149 | 0.25 | 2 | 198 | 145 | 122 | 104 |

（2）坝址径流

旭龙坝址推求将奔子栏站扣除古学流量和面积，再采用与巴塘水文站面积内插推求坝址径流的方法，得到旭龙坝址 1953～2015 年径流系列，多年平均流量 990m$^3$/s，多年平均径流量 313 亿 m3，见表 4.2-7。

**表 4.2-7　　金沙江旭龙水电站坝址径流年内分配表**

| 项目 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 平均流量（$m^3/s$） | 284 | 259 | 266 | 383 | 655 | 1330 | 2260 | 2210 | 2050 | 1180 | 597 | 363 | 990 |
| 径流量（亿 $m^3$） | 7.60 | 6.33 | 7.11 | 9.92 | 17.53 | 34.38 | 60.52 | 59.29 | 53.01 | 31.57 | 15.48 | 9.72 | 313 |
| 百分比（%） | 2.4 | 2.0 | 2.3 | 3.2 | 5.6 | 11.0 | 19.4 | 19.0 | 17.0 | 10.1 | 5.0 | 3.1 | 100 |

径流的年际变化较大，系列中以2005年最大，年平均流量1370$m^3/s$，径流量432亿$m^3$；以1994年最小，年平均流量626$m^3/s$，径流量198亿$m^3$，极值比为2.19。

径流年内分配不均，主要集中在汛期6～10月，枯期径流平稳。由于6～10月为汛期，降雨量大部分集中在此期间，同时气温在全年中也为最高，冰雪融水主要集中于这段时期，径流量约占全年的76.5%。枯期12～4月的各月相差较小，径流平稳，各月径流占全年比例均在2%～4%之间。

（3）年径流频率分析

旭龙水电站坝址年径流频率分析采用坝址1953～2015年径流系列，频率曲线采用P-Ⅲ型，矩法计算参数初值，适线法确定参数。旭龙水电站坝址年径流频率分析成果见表4.2-8。

坝址10%设计年平均流量为1260$m^3/s$，折合径流量398亿$m^3$，50%设计年平均流量为975$m^3/s$，折合径流量308亿$m^3$，90%设计年平均流量为735$m^3/s$，折合径流量232亿$m^3$。

**表4.2-8　　旭龙水电站坝址年径流频率计算成果表**

| 资料系列年限 | 均值 | Cv | Cs/Cv | 各频率下的设计值（$m^3/s$） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 10% | 20% | 50% | 75% | 90% |
| 1953～2015 | 990 | 0.21 | 2.0 | 1260 | 1160 | 975 | 843 | 735 |

### 4.2.4.3 洪水

金沙江流域的洪水由暴雨、冰雪融水或二者共同形成。在岗拖、雅砻江甘孜以北高原地区，基本上属于无暴雨区。本流域的洪水一般发生在6～10月，尤以7～9月最为集中，洪水组成中有相当部分来源于冰雪融水，因此洪水的涨落较平缓，历时较长，一般较大洪水过程可达10d以上。

旭龙坝址设计洪水计算，选用巴塘、奔子栏两站作为设计依据站。依据巴塘、

奔子栏两个水文站的设计洪峰、洪量，按面积比内插方法计算。旭龙坝址设计洪水成果、坝址分期洪水设计成果、坝址水位流量关系、水位库容曲线、见表 4.2-9。

**表 4.2-9　坝址设计洪水成果表　　单位：洪峰，$m^3/s$；洪量，亿 $m^3$**

| 时段 | 设计值 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.01% | 0.02% | 0.10% | 0.20% | 0.50% | 1.00% | 2.0% | 5.00% | 10% | 20% |
| Qm | 11900 | 11300 | 9970 | 9370 | 8560 | 7930 | 7290 | 6420 | 5720 | 4970 |
| W1d | 10.1 | 9.58 | 8.42 | 7.91 | 7.22 | 6.70 | 6.16 | 5.42 | 4.83 | 4.20 |
| W3d | 29.0 | 27.6 | 24.2 | 22.8 | 20.8 | 19.3 | 17.73 | 15.6 | 13.9 | 12.1 |
| W7d | 63.5 | 60.4 | 53.1 | 49.9 | 45.6 | 42.2 | 38.82 | 34.2 | 30.4 | 26.5 |
| W15d | 122 | 116 | 102 | 96.2 | 87.9 | 81.4 | 74.87 | 65.9 | 58.7 | 51.1 |

#### 4.2.4.4 泥沙

（1）流域产沙概况

金沙江流域的产沙在地区上存在较大差别，总体上是自上游向下游递增，且增长速度大于径流增长速度。直门达以上地区多年平均年输沙模数为 72.2t/$km^2$·a，为金沙江流域水土流失最小地区。直门达～石鼓区间多原始森林及大片国家自然保护区，植被较好。直门达（1963～2014 年）、巴塘（1963～2015 年）、石鼓（1963～2015 年）三站资料统计，其多年平均输沙量分别为 995 万 t、1620 万 t、2590 万 t，相应直门达至巴塘区间、巴塘至石鼓区间多年平均输沙量为 625 万 t、970 万 t，两个区间多年平均年产沙模数分别为 147t/$km^2$、284t/$km^2$，属轻度水土流失地区。直门达～石鼓区间与直门达上游流域相比输沙量增大的原因，主要是产水量增加所致。直门达至石鼓输沙量比较见表 4.1-10。

**表 4.2-10　　金沙江流域各区域产水、产沙特征值表**

| 站名 | 集水面积（$km^2$） | 年径流量（亿 $m^3$） | 年输沙量（万 t） | 年含沙量（$kg/m^3$） | 年输沙模数（t/$km^2$ a） |
|---|---|---|---|---|---|
| 直门达 | 137732 | 137 | 995 | 0.73 | 72.2 |
| 巴塘 | 180055 | 287 | 1620 | 0.56 | 89.9 |
| 石鼓 | 214184 | 419 | 2590 | 0.62 | 121 |

注：巴塘、石鼓站资料系列为 1963～2015 年，直门达站资料系列为 1963～2014 年

（2）坝址悬移质

坝址多年平均输沙量及年内分配见表 4.2-11。旭龙坝址多年平均悬移质年输沙量为 1890 万 t，多年平均含沙量为 0.598kg/$m^3$。输沙量年际变化较大，年最大

输沙量为 4240 万 t（2005 年），最小年输沙量为 376 万 t（1973 年），最大最小输沙量比为 11.3，最大与平均输沙量比为 2.2。坝址悬移质输沙量基本上集中在汛期 5～10 月，多年平均 6 个月的输沙量占年输沙量的 99.10%，6 个月中又主要集中在 6～9 月，4 个月的输沙量占年输沙量的比均在 94.0%。枯水期 11～4 月 6 个月的沙量仅占年沙量 0.93%。

表4.2-11　　金沙江旭龙坝址输沙量年内分配表

| 站名＼月份 | | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 旭龙坝址 | 万 t | 0.540 | 0.502 | 0.608 | 5.82 | 30.6 | 201 | 667 | 573 | 337 | 65.8 | 9.16 | 1.02 | 1890 |
| | % | 0.029 | 0.027 | 0.032 | 0.308 | 1.62 | 10.6 | 35.3 | 30.3 | 17.8 | 3.48 | 0.485 | 0.054 | 100 |

旭龙坝址多年平均悬移质级配见图 4.2-3 和表 4.2-12（石鼓站 1963-1964、1978、1980-1995 年悬移质颗粒级配成果进行算术平均）。其中，多年平均中数粒径 0.031mm，平均粒径 0.080mm，最大粒径 1.32mm（1995 年）。

表4.2-12　　旭龙水电站坝址悬移质颗粒级配成果表

| 粒径级（mm） | 0.005 | 0.01 | 0.025 | 0.05 | 0.1 | 0.25 | 0.5 | 1 | 中数粒径 | 平均粒径 | 最大粒径 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 小于某粒径沙重百分数（%） | 20.7 | 30.2 | 45.5 | 60.0 | 75.0 | 89.7 | 99.5 | 100 | 0.031 | 0.080 | 1.32 |

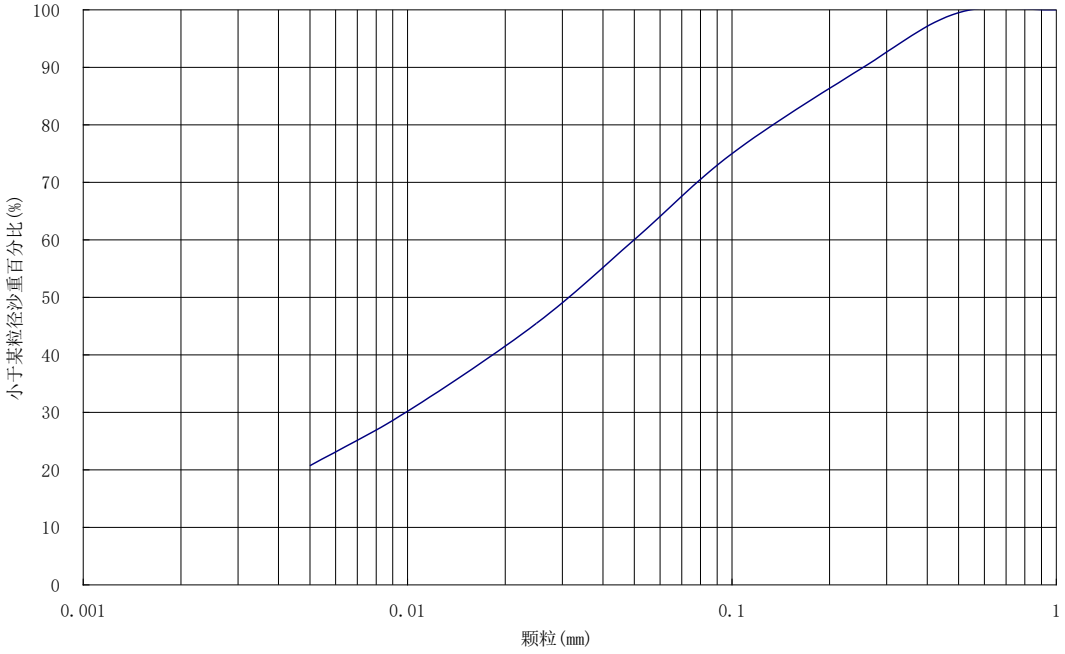



图 4.2-3　　旭龙坝址悬移质颗粒级配曲线图

（3）坝址推移质

旭龙坝址多年平均推移质泥沙量为 189 万 t。

#### 4.2.4.5 水温

收集到巴塘和石鼓水文站多年（1960~2009 年）实测长系列水温资料，根据水温观测资料统计，多年逐月平均水温见下表。干流水温 7、8 月份最高，12~1 月份最低。天然河道从上至下呈沿程递增趋势，平均增温率达 0.62℃/100km。

表 4.2-13　巴塘和石鼓水文站多年平均逐月实测水温统计表　单位：℃

| 地点 | 距巴塘（km） | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 巴塘 | 0 | 1.9 | 3.5 | 6.4 | 9.5 | 12.4 | 14.3 | 15.6 | 15.6 | 13.6 | 9.9 | 4.9 | 2.2 |
| 石鼓 | 463.1 | 5.4 | 7.2 | 9.9 | 12.5 | 14.9 | 16.7 | 17.4 | 17.2 | 15.7 | 12.8 | 8.8 | 5.9 |

定曲河天然河道水温采用上游濯桑水文站资料统计计算得到。坝址天然河道水温统计成果见下表，多年平均水温为 10.4℃。

表 4.2-14　定曲河天然河道水温统计表

| 月 份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然河道水温(℃) | 4.5 | 4.5 | 5.9 | 10.2 | 14.4 | 15.7 | 17.2 | 16.3 | 14.2 | 9.7 | 7.5 | 5 |

### 4.2.5 地下水

#### 4.2.5.1 地下水类型

根据地层岩性特征及地下水的赋存条件，可将研究区内地下水类型分为孔隙水，裂隙水、岩溶水三大类。

（1）孔隙水

区内第四系松散沉积物主要包括冲积或洪冲积的碎块石或漂卵石夹砾砂和残坡积或崩、滑坡积成因的碎石土、碎块石、砾质土等。冲积或冲洪积物主要呈带状分布在金沙江及两侧支流的河床及冲沟中，残坡积或崩、滑坡积物主要分布在金沙江两岸的崩、滑坡体中。区内第四系堆积物厚度不大但结构松散、孔隙率大、透水性强，孔隙分布连续均匀，多构成具有统一水力联系、水量分布均匀的含水系统，如河床及漫滩部位第四系覆盖层为碎块石或漂卵石夹砾砂冲积层。

由于区内第四系分布面积较小且主要位于金沙江两侧，地下水开发利用难度

大，不具备集中供水的条件，目前也未开发利用和规划。

（2）裂隙水

据工程可行性研究阶段地质调查成果，区内以高程 2500m 为界，以上缓坡地带岩体风化特征表现为全、强弱、微新各风化带均有分布；以下陡峻岸坡地带则缺失全强风化带，岩体多呈弱风化下带至微风化状，且弱风化岩体呈不规则断续分布，范围较小，厚一般 2～23m 不等。从岩性上看，花岗岩一般呈微风化状，局部见 2~10m 的弱风化下带；混合岩和斜长角闪片岩的抗风化能力较花岗岩稍差，多呈弱风化状，缓坡地带偶可见强风化状岩体分布。在断裂带附近，由于岩体破碎，风化作用相对剧烈，沿断裂带岩体具囊状风化特征，断裂带构造岩多呈弱风化状，全强风化带主要沿主断面分布。

库区岸坡主要为岩质岸坡，岩坡岩体裂隙发育，加上两岸地形陡峭，在重力作用下，岸坡岩体普遍发育卸荷拉裂现象，其中以岩浆岩中卸荷拉裂现象最为明显。岸坡岩体卸荷裂隙多追踪早期结构面产生张开，张开宽度一般数 cm 至数十 cm（图 3-3-1），裂缝发育深度一般 10～20m。根据坝址区勘探成果，高程 2300m 以上边坡顶部表层见明显的强卸荷现象，主要表现为局部突出山嘴拉开，形成宽度数 cm 至十几 cm 的垂直张开裂缝，可见铅直深度达 10～20m；2300m 高程以下岩体卸荷总体以弱卸荷特征为主。

岩体中的卸荷裂隙、构造裂隙和风化裂隙构成的裂隙网络构成区内地下水运移的主要通道，由于裂隙发育程度受构造作用、岩性及风化程度等综合控制，裂隙发育往往具有方向性，因此裂隙含水介质一般具有强烈的不均匀性。基岩裂隙率较低，裂隙在岩石中所占的空间很小，连通性较差，一般不容易形成具有统一水力联系、水量分布均匀的含水层。裂隙局部发育地段，可形成带状裂隙含水系统。若干带状裂隙含水系统可能相互连通，构成网状含水系统。总体上，区内裂隙含水层的赋水条件较差，水量较贫乏，地下水埋藏深度大，不具有集中供水功能，目前也未开发利用和规划。

（3）岩溶水

岩溶水主要赋存于泥盆系碳酸盐岩地层中，由于库区地处高寒少雨地带且为金沙江及其支流等强烈切割，岩溶不发育，岩溶现象多为沿断层、裂隙及部分层面形成的溶蚀裂隙，溶蚀裂隙宽度一般为 1mm～5mm，极少有 1cm 以上者，为弱岩溶含水层。泥盆系碳酸盐岩地层出露面积小，主要分布于库外日龙乡一带，

库内没有分布。

#### 4.2.5.2 岩体透水性

区域内各时代地层分布齐全，自元古界至第四系均有出露。各时代地层的沉积相、变质作用和岩浆侵入差别较大，岩相性变化复杂。在河谷地区，出露各时代以浅变质为主的石灰岩、片岩、砂岩、火山岩等岩层，伴有多期侵入岩和玄武岩。

区域上碳酸盐岩以泥盆系、上三叠统地层为主，中元古界次之，岩溶现象多为沿断层、裂隙及部分层面形成的溶蚀裂隙，溶蚀裂隙宽度一般为 1mm～5mm，属含水层；其中泥盆系下统（D1g）板岩及石英砂岩，岩层渗透系数较小，属相对隔水层。

库区内以碎屑岩、岩浆岩为主，主要出露雄松群、金沙江蛇绿岩群及歪古村组，该类岩性总体上含水性较差，仅在裂隙发育的地带赋存裂隙水，为风化裂隙含水层；下部未风化基岩岩层渗透系数较小，基本不透水，为相对隔水层。

第四系则分布有冰川、冰水堆积和冲洪积等成因的沉积物，成份以砾石、块石为主，含水性受岩性的控制，赋水程度取决于堆积物位置的高低和切割破坏的情况，一般砂砾石和块石属含水层。

#### 4.2.5.3 地下水补给、径流和排泄

本区河谷深切，地形险峻，一般高程大于 3000m，江水面与两岸山顶相对高差在 2000m 以上，大气降水及冰雪融水为本区地下水的补给源，大气降雨及冰雪融水入渗进入含水层后在地形的控制下由两岸山体向金沙江河谷径流和排泄。由前述可知，与本工程有关的地下水类型主要为裂隙水和孔隙水，下面分别介绍孔隙水、裂隙水的补径排规律。

（1）孔隙水

松散堆积孔隙水含水层分布于近地表，主要接受降水补给。孔隙含水介质相对较均匀，一般具有统一的水力联系，受降水影响大，径流季节性特征明显，地下水接受补给后，通过岩土体中的孔隙就近往金沙江及其支流排泄。

（2）裂隙水

裂隙含水层是研究区内最主要的含水层，广泛分布于金沙江两侧，含水层主要接受冰雪融水、大气降水的垂直渗入补给，沿构造裂隙、风化裂隙及卸荷裂隙

等运移，受地形条件控制主要由山体往金沙江及其支流方向径流与排泄，由于岩层中裂隙发育程度不均匀，裂隙含水介质的非均质各向异性强烈，裂隙含水层一般不构成统一的含水系统，主要在地形切割下就近排泄于冲沟后汇入金沙江，仅局部地段以侵蚀下降泉或接触下降泉的形式排泄，泉水流量一般<10L/s，地下水化学类型主要为 $HCO_3$-Ca 型水及 $HCO_3$-Ca·Mg 型水。

#### 4.2.5.4 地下流场特征

根据野外实际水位调查和本工程地质勘查钻孔获得的钻孔稳定水位及埋深数据分析得到，旭龙水电站坝址区水位埋深随远离库岸距离的增加而变深。地下水位均高于江水位（2142m），进一步表明了地下水向金沙江径流排泄的特征。

表 4.2-15　调查地下水位埋深统计表

| 钻孔编号 | 取样位置 | | 孔口高程 | 稳定水位 | 地下水位埋深 | 地下水位观测时间 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | X | Y | | | | |
| XZK01 | 3181150.66 | 512331.79 | 2178.93 | 2146.53 | 32.40 | 2004.11.13 |
| XZK02 | 3181176.60 | 512373.54 | 2146.42 | 2142.64 | 3.78 | 2004.12.18 |
| XZK04 | 3181071.50 | 512359.62 | 2209.50 | 2061.90 | 147.60 | 2005.07.05 |
| XZK06 | 3180997.71 | 512306.40 | 2336.11 | 2188.91 | 147.20 | 2005.10.18 |
| XZK07 | 3181047.03 | 512268.88 | 2316.58 | 2282.98 | 33.60 | 2006.01.04 |
| XZK09 | 3181205.72 | 512462.31 | 2188.25 | 2146.47 | 41.78 | 2006.10.14 |
| XZK10 | 3181205.44 | 512514.56 | 2191.67 | 2147.35 | 44.32 | 2006.11.17 |
| XZK13 | 3181595.19 | 512144.82 | 2151.60 | 2151.16 | 0.44 | 2006.04.03 |
| XZK14 | 3180983.01 | 512218.58 | 2381.40 | 2181.12 | 200.28 | 2008.04.24 |
| XZK16 | 3181212.57 | 512662.24 | 2420.33 | 2270.48 | 149.85 | 2009.05.04 |
| XZK17 | 3181266.99 | 512782.28 | 2520.63 | 2284.48 | 236.15 | 2008.11.25 |
| XZK18 | 3181163.39 | 512600.84 | 2343.09 | 2170.29 | 172.80 | 2008.9.18 |
| XZK22 | 3181079.00 | 512103.49 | 2411.63 | 2185.68 | 225.95 | 2008.09.24 |
| XZK23 | 3180668.58 | 512306.65 | 2500.55 | 2172.15 | 328.40 | 2009.03.09 |
| XZK26 | 3180884.82 | 512801.23 | 2253.91 | 2150.61 | 103.30 | 2008.08.03 |
| XZK29 | 3180916.67 | 512531.97 | 2149.12 | 2145.87 | 3.25 | 2009.04.13 |
| XZK38 | 3181367.55 | 512190.67 | 2179.85 | 2149.15 | 30.70 | 2012.10.14 |
| XZK40 | 3181284.21 | 512253.80 | 2180.60 | 2146.44 | 34.16 | 2013.03.23 |
| XZK42 | 3181360.10 | 512352.17 | 2185.84 | 2156.44 | 29.40 | 2013.01.27 |
| XZK43 | 3181234.992 | 512275.945 | 2181.939 | 2145.34 | 36.60 | 2013.04.26 |
| XZK44 | 3181154.925 | 512246.475 | 2244.835 | 2148.13 | 96.70 | 2013.5.26 |
| XZK45 | 3181315.785 | 512377.67 | 2188.890 | 2148.94 | 39.95 | 2013.05.21 |
| XZK46 | 3181330.044 | 512463.877 | 2269.216 | 2149.22 | 120.00 | 2013.06.25 |
| XZK47 | 3181402.307 | 512435.54 | 2264.756 | 2156.16 | 108.60 | 2013.08.15 |
| XZK48 | 3180924.72 | 512519.615 | 2150.535 | 2145.34 | 5.20 | 2013.05.18 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| XZK49 | 3181204.399 | 512297.094 | 2182.113 | 2145.51 | 36.60 | 2013.05.20 |
| XZK50 | 3181171.08 | 512282.76 | 2207.905 | 2138.11 | 69.80 | 2013.05.26 |
| XZK52 | 3181121.628 | 512274.213 | 2236.766 | 2148.57 | 88.20 | 2013.06.24 |
| XZK54 | 3181198.593 | 512155.05 | 2306.575 | 2176.78 | 129.80 | 2013.7.18 |
| XZK55 | 3181570.676 | 512230.784 | 2177.605 | 2156.40 | 21.20 | 2013.7.28 |

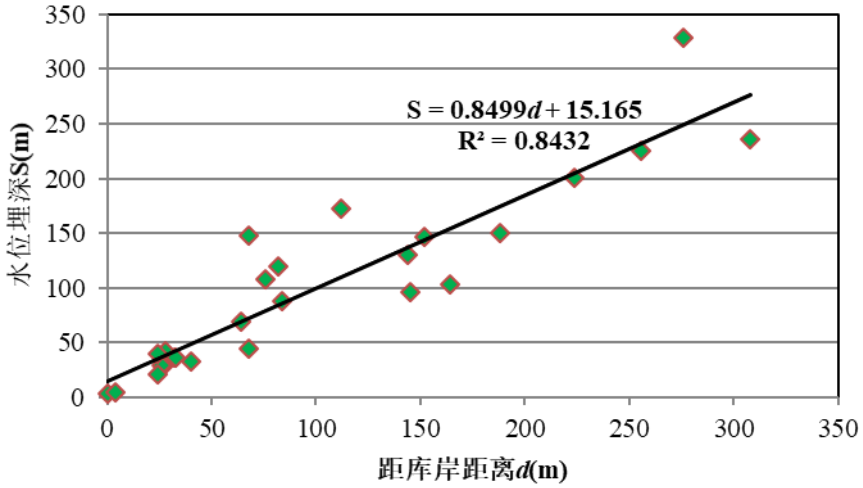



图 4.2-4　坝址区水位埋深 S 与距库岸距离 d 关系图

## 4.2.6 土壤

区域土壤有如下特征：

（1）土壤概化作用强，褐土十分发育

区域处于横断山脉深切河谷，由于西南季风受高大山体的阻挡，气流下沉产生焚风作用，谷底干热，表层有机质含量较低；加之干湿交替的气候和强烈的蒸发与日照，在成土作用活跃期间，使成土母质中大量的碳酸钙在反复的淋溶-淀积过程中积累起来，形成了石灰反应清冽的褐土和灰褐土。褐土也是土壤垂直带谱中的基带土壤。

（2）地势陡峻，土壤幼年性特征明显

金沙江河谷北高南低，土壤处于起伏不平的斜面基底上，在暴雨和重力侵蚀频繁而强烈的作用下，水土流失较严重，造成土壤系统的不稳定，表现为土壤粗骨性强、细土物质少、土层浅薄、多岩石碎屑和砾石的幼年土壤特征。

（3）土壤有机质丰富，但分解缓慢

本区干季气温较低，土壤水分少，微生物活动缓慢；湿季虽然水、热充足，但时间短暂。加之本区植被多由硬叶、富含树脂等木质素、纤维素、单宁成分高

的植物组成，因此，虽然有足够的有机质补给，但分解缓慢，这些枯枝落叶多成未分解或半分解状积累于地表，未得到充分的分解。

区内土壤具有明显的垂直地带性分布规律，自海拔 3500m 的高山地带至金沙江河谷，依次分布着山地褐土（海拔 2200m 以下）—山地棕褐土（海拔 2200～3000m）—山地棕壤（海拔 3000～3500m）—山地灰棕壤和山地灰土（海拔 3500～4100m）—高山灌丛草甸土和高山草甸土（海拔 4100～4500m）。

1）山地褐土

发育于干旱河谷灌丛植被下的土壤，其特点为全剖面呈碱性反应，pH 值 7.5～8.5，有碳酸钙聚积。

2）山地棕褐土

其分布海拔较山地褐土高，且分布高度范围大，常与山地褐土、山地棕壤交错成复区，较山地褐土的环境湿润，但土壤仍较干燥，呈中性或微碱性反应，在一定深度出现钙积层，质地较粘重。

3）山地棕壤

在湿润山地暖温带和温带生物气候条件下形成的土壤类型，为主要森林土壤。土壤中腐殖质含量高，近中性和微酸性反应，质地为壤土，肥力很高。

4）山地灰棕壤和山地灰化土

位于棕土壤带智商，气候湿冷，土壤中灰化作用明显。剖面中，腐殖质层有机质含量很高，但下层急剧减少，紧接淋溶层有灰化作用，酸性反应，pH 值 4.5～5.0，淋溶层下有棕色淀积层，质地年终，有棱块状结构发育为其特征。山地灰化土是山地寒温带范围内，发育于湿润的亚高山针叶林下的代表性土壤类型。土壤呈强酸性反应，pH 值 3.7～4.5，有机质含量少，肥力低。

5）高山灌丛草甸土与高山草甸土

高山灌丛草甸土是森林上线的高山灌丛草甸植被下发育的土壤。腐殖质层较厚，土壤呈黄或棕黄色，可分为酸性和石灰型两类。

高山草甸土是高原牧场的主要土壤类型。其特征是土壤中草根盘结层发达而密实，厚度超过 20cm，发育程度低，土层浅薄、质地砂壤至轻壤土，多砾石，粉粒状或碎屑状结构。该土壤也分为酸性和石灰性两类。在半湿润气候地区常成复区分布。酸性高山草甸土躲在阴坡或低洼潮湿地；石灰性高山草甸土多分布在阳坡，草根盘结密实，土体较干燥。

除上述土壤外，在得荣、德钦等云南松林，高山栎类为主的硬叶常绿阔叶林河谷区，还分布有少量的山地红壤、山地红棕壤。

## 4.3生态环境

### 4.3.1 陆生生态

#### 4.3.1.1 调查范围、内容和方法

（1）调查范围

调查范围与评价范围相同，为旭龙水电站库尾至坝下两侧有施工区分布的金沙江河段，河段上下两侧各扩展 1km，同时向两侧外扩至第一道山脊线所形成的陆域空间范围。重点调查枢纽工程区和水库淹没区。

（2）调查内容

1）陆生植物

调查评价范围内植物区系、植被类型、植被分布特征，主要植物群系的群落结构、建群种，主要植被类型的生物量。重点调查重点保护野生植物、特有植物、古树名木的种类、分布以及数量等内容。

2）陆生脊椎动物

调查评价范围陆生动物区系、种类（两栖动物、爬行动物、鸟类和哺乳动物）、和分布面积。重点调查国家和省/自治区重点保护野生动物种类、数量、基本生物学特征、分布状况及其栖息环境、繁殖和迁徙规律等。

3）景观生态、生物量和生物生产力

采用 GPS、RS 和 GIS 相结合的空间信息技术，进行地面类型的数字化判读，获得景观类型面积和景观斑块数据，采用景观优势度评价方法，进行景观生态体系的定量评价。

生物量和生产力调查，依据野外 GPS 定点的植物群落数据，结合遥感影像解译成果，获得评价范围各植物类型面积，然后参考区域内各植被类型的生物量和平均净生产力文献资料，如《我国森林植被的生物量和净生产量》（方精云等，1996），计算出各植被类型的生物量、自然体系总生物量和生产力。

（2）调查方法

1）基础资料收集

收集整理评价范围现有生物多样性资料，包括德钦县、得荣县、巴塘县林业、环保、国土等部门提供的土地利用现状、林地利用现状、农田利用现状等资料。

2）现场调查

①陆生植物

现场调查采取样线调查与样方调查相结合的方法。

A.样线调查

样线调查以枢纽工程区为中心，按不同方向沿山路、丘陵、河谷选择几条具有代表性的线路，向四周辐射调查（库区和坝下游区），同时对回水末端与支流两岸生境进行调查。

B.样方调查

样方调查布点遵循代表性、整体性、可行性、随机性原则。乔木群落样方面积为 20m×20m，灌木样方为 5m×5m，草本样方为 1m×1m，记录样方内的所有种类。样方调查通常与 GPS 定位技术相结合，通过 GPS 仪器记录样点的海拔、经纬度。陆生生态调查时间包括 2018 年 3~4 月（干季），7~8 月（湿季），2019 年 3 月（干季）三次，共布设 41 个样方，其中乔木群落样方 4 个，灌木群落样方 23 个，草本群落样方 14 个，涵盖了评价范围主要植被类型。陆生生态评价范围植物样方分布情况见表 4.3-1。

**表 4.3-1　评价范围陆生植物样方分布情况一览表**

| 样方分布 | | 样方数量 |
|---|---|---|
| 金沙江左右岸 | 左岸 | 20 |
| | 右岸 | 21 |
| 坝址上下游 | 上游 | 12 |
| | 下游 | 30 |
| 样方内容 | 乔木样方 | 4 |
| | 灌木样方 | 23 |
| | 草本样方 | 14 |

②陆生动物

A. 实地调查

2018 年 3~4 月（干季），7~8 月（湿季），2019 年 3 月（干季）对评价范围进行了 3 次实地调查，主要方法有样线法、样方法、样点法、红外相机自动拍摄

法和铗日法。动物调查样线设置见下表。根据动物物种资源调查科学性原则、可操作性原则、保护性原则以及安全性原则，不同的陆生脊椎动物采用了不同的调查方法。

两栖动物、爬行动物主要以样线法为主，辅以样方法对评价范围两栖、爬行动物动物类群进行调查。根据两栖爬行动物分布于生境因素的关系如海拔梯度、植被类型、水域状态等设置样线，样线尽可能涵盖不同生态系统类型。在湿地或灌丛生态系统中，采用长样线，长度 500~1000m，在森林生态系统中，采用多条短样线，长度 20~100m 之间，每个观测样地选择至少 7 条样线，短样线可以适当增加。样方法是在样地随机或均匀的设置一定数量的样方，一个样地内至少设置 7 个样方。样方尽量涵盖样地内的不同类型的生境，样方面积一般在 5m×5m、10m×10m 或 20m×20m。记录样方内见到的所有两栖爬行动物种类和个体数量。

鸟类主要采用样线法与样点法，根据生境类型及其面积的大小设计样线或样点，抽样强度高于 2%。样线法是沿着预先设计的一定路线，观测者沿着固定的线路行走，并记录沿途所见到的所有鸟类，一般样线长度在 1km~3km 为宜。样点法是变形的样线法，即观测者行走速度为 0，适合于崎岖的山地以及片段化的生境。样点法是以一个中心点为圆心，调查周围能见距离内的鸟类数量与种类。

兽类的调查方法主要为样线法、红外相机自动拍摄法和铗日法。调查时统计样线两边的兽类足迹、卧迹、粪便、叫声及活体的活动情况等；植被较为茂盛区域，可对区域内数量稀少、活动规律特殊、在野外很难见到实体的兽类等采用红外相机触发法进行调查；小型兽类采用铗日法或者陷阱法调查动物种类和个体数量。

**表 4.3-2　评价范围陆生动物样线分布情况一览表**

| 样线编号 | 地点 | 起点坐标 | 终点坐标 | 海拔/m | 样线长度（km） | 生境照片 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 徐龙乡 | 99°7'54.81"东，28°43'44.91"北 | 99°8'34.86"东，28°44'33.16"北 | 2201-2302 | 2.2 |  |
| 2 | 坝下茂达水 | 99°7'52.80"东，28°42'52.85"北 | 99°6'48.82"东，28°42'36.59"北 | 2174-2399 | 3 |  |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 坝址右岸 | 99°7'55.20"东，28°44'1.99"北 | 99°7'38.33"东，28°43'39.82"北 | 2200-2342 | 2.19 |  |
| 4 | 库区贡波乡 | 99°7'52.99"东，28°56'46.99"北 | 99°8'21.44"东，28°56'34.64"北 | 2470-2283 | 2.37 |  |
| 5 | 库尾 | 99°5'47.92"东，29°16'33.23"北 | 99°6'24.75"东，29°15'46.41"北 | 2446-2387 | 2.98 |  |

B. 访问调查

通过对评价范围及其周边地区有野外经验的农民访问和座谈，与当地林业部门的相关人员进行交谈，了解当地野生动物的种类、分布及数量情况。

C. 查阅相关资料

查阅当地的有关科学研究和野外调查资料。比照相应的地理纬度和海拔高度，对照相关的研究资料，核查和收集当地及相邻地区的动物资源资料。

综合实地调查、访问调查和资料汇总，通过分析归纳和总结，从而得出项目现场及实施地和周边地区的动物物种、种群数量和分布资料，为评价和保护当地动物提供科学的依据。

### 4.3.1.2 生态系统现状

（1）生态系统类型

评价范围生态系统现状包括森林生态系统、灌丛生态系统、湿地生态系统、农业生态系统和城镇/村落生态系统 5 类。评价范围生态系统以灌丛生态系统为主，主要分布在两岸山坡海拔 3500m 以下区域；森林生态系统主要分布于 3500m 以上区域；湿地生态系统主要分布在金沙江干支流两侧河谷区域；农业生态系统主要集中在岸边及海拔 3000m 以下的缓坡地带；城镇/村落生态系统集中在金沙江边及两岸山坡零散分布。

（2）生态系统结构

生态系统结构主要包括组分结构、时空结构和营养结构三个方面。

1）组分结构

评价范围 5 类生态系统中，各生态系统面积和比例见下表，以灌丛生态系统面积分布最大。

**表 4.3-3　评价范围各生态系统面积一览表**

| 生态系统类型 | 森林生态系统 | 灌丛生态系统 | 湿地生态系统 | 农业生态系统 | 城镇/村落生态系统 | 总计 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 面积（$hm^2$） | 1811.48 | 38903.13 | 617.85 | 869.69 | 1101.38 | 43303.52 |
| 所占百分比（%） | 4.18 | 89.84 | 1.43 | 2.01 | 2.54 | 100.00 |

2）时空结构

从水平结构来看，从坝址至回水末端的河谷地带植被较为单一，即以灌丛生态系统为主，零星分布有农田生态系统。

从垂直结构来看，从河谷到山顶，随着海拔依次升高，生态系统由湿地生态系统逐渐变为灌丛生态系统，到 3500m 以上区域主要为森林生态系统。农业生态系统、城镇/村落生态系统分散分布在 3000m 以下缓坡地带。

从时空分布格局来看，评价范围受到一定程度的人类干扰，生态系统基本处于半自然状态，生态系统的时空分布格局的影响因子中人类活动起到了决定性的作用。

3）营养结构

评价范围生产者为植物类群，森林生态系统、灌丛生态系统及农业生态系统为主要的产品提供来源，消费者为城镇/村落生态系统中的人类及其他生态系统中的动物及异养生物。评价范围生态系统总体处于半自然状态，食物链相对较短，食物网较为简单。

（3）生态系统服务功能

根据《全国生态功能区划》（环境保护部，2015），评价范围属于滇西北高原生物多样性保护与水源涵养重要区、川西北水源涵养与生物多样性保护重要区、藏东南生物多样性保护重要区，三区的主要功能为生物多样性保护、水源涵养。

根据《四川省生态功能区区划》（2013 年 2 月），旭龙水电站评价范围四川部分属于金沙江上游牧业与水源涵养生态功能区。生态系统服务功能为牧业发展，水源涵养，土壤保持，沙漠化控制，生物多样性保护。

根据《云南省生态功能区区划》（2010 年 5 月），旭龙水电站评价范围云南部分属于怒江、云岭高山峡谷生物多样性生态功能区。主要生态系统服务功能为

三江并流地区生物多样性和高山峡谷景观保护。

根据《西藏自治区生态功能区区划》（2013 年 8 月），旭龙水电站评价范围西藏部分属于芒康金丝猴生物多样性保护与特色农林产业和生态旅游业生态功能区，主要生态功能定位为以金丝猴为特色的生物多样性保护、特色农林产业和生态旅游。

结合现场调查结果，评价范围生态系统保水保土功能弱，地表干旱缺水问题突出、土壤坡面侵蚀和沟蚀严重、崩塌和滑坡等泥石流灾害频发、容易诱发水土流失。因此，评价范围生态系统服务功能主要为生物多样性保护、水源涵养和水土保持。

#### 4.3.1.3 植被和植物多样性

（1）植物区系

根据《中国种子植物区系地理》（吴征镒等，2011 年），评价区属于东亚植物区—中国-喜马拉雅植物亚区—横断山脉地区—三江峡谷亚地区。

通过对旭龙水电站评价区现场考察采集的植物标本鉴定，以及对历年积累的植物区系资料系统的整理，蕨类植物分类按照秦仁昌分类系统（1978 年）、裸子植物按照郑万钧分类系统（1978 年）、被子植物科按照恩格勒植物分类系统（1934 年），得出评价区维管束植物共有 113 科 367 属 755 种（含种下分类等级，下同），包括蕨类植物 11 科 18 属 34 种；种子植物 102 科 349 属 721 种（其中，裸子植物 3 科 8 属 12 种，被子植物 99 科 341 属 709 种）。评价区维管束植物总科数占全国总科数 26.90%、云南省的 37.79%、四川省的 45.38%、西藏自治区的 53.30%；评价区维管束植物总属数占全国总属数 10.66%、云南省的 17.13%、四川省的 22.26%、西藏自治区的 28.27%；评价区维管束植物总种数占全国总属数 2.41%、云南省的 4.55%、四川省的 7.00%、西藏自治区的 12.75%（详见表 4.3-4）。

**表 4.3-4 评价范围维管植物统计表**

| 项目 | 蕨类植物 | | | 种子植物 | | | | | | 维管束植物 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 裸子植物 | | | 被子植物 | | | | | |
| | 科 | 属 | 种 | 科 | 属 | 种 | 科 | 属 | 种 | 科 | 属 | 种 |
| 评价区 | 11 | 18 | 34 | 3 | 8 | 12 | 99 | 341 | 709 | 113 | 367 | 755 |
| 云南省 | 59 | 158 | 1500 | 10 | 32 | 81 | 230 | 1953 | 15000 | 299 | 2143 | 16581 |
| 四川省 | 52 | 128 | 730 | 9 | 28 | 101 | 188 | 1493 | 9953 | 249 | 1649 | 10784 |
| 西藏自治区 | 45 | 127 | 432 | 7 | 16 | 56 | 160 | 1155 | 5435 | 212 | 1298 | 5923 |
| 全国 | 63 | 224 | 2600 | 11 | 36 | 190 | 346 | 3184 | 28500 | 420 | 3444 | 31290 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 评价区占云南比例（%） | 18.64 | 11.39 | 2.27 | 30.00 | 25.00 | 14.81 | 43.04 | 17.46 | 4.73 | 37.79 | 17.13 | 4.55 |
| 评价区占四川比例（%） | 21.15 | 14.06 | 4.66 | 33.33 | 28.57 | 11.88 | 52.66 | 22.84 | 7.12 | 45.38 | 22.26 | 7.00 |
| 评价区占西藏比例（%） | 24.44 | 14.17 | 7.87 | 42.86 | 50.00 | 21.43 | 61.88 | 29.52 | 13.05 | 53.30 | 28.27 | 12.75 |
| 评价区占全国比例（%） | 17.46 | 8.04 | 1.31 | 27.27 | 22.22 | 6.32 | 28.61 | 10.71 | 2.49 | 26.90 | 10.66 | 2.41 |

评价区维管植物共有 113 科 367 属 755 种，其中野生或逸为野生的维管植物有 109 科 352 属 738 种，野生蕨类植物有 11 科 18 属 34 种，野生裸子植物有 2 科 6 属 10 种，野生被子植物有 96 科 328 属 694 种。评价区野生维管植物科属种分别占评价区维管植物科属种的 96.46%、95.91%和 97.75%，野生维管植物在评价区内所占比重较大。

评价区野生维管束植物中蕨类植物属按照《中国植物志》（第一卷）陆树刚关于中国蕨类植物属的分布区类型（2004 年），种子植物属按照吴征镒关于中国种子植物属的分布区类型系统（1993 年），将评价区野生维管束植物 352 属划分为 14 个分布区类型。评价区种子植物区系属的地理成分以温带成分为主，达到 174 属，占评价区总属数的 61.48%，表明旭龙水电站评价区属于青藏高原东缘的范畴，区系特征具有较为突出的温带性质；热带成分有 92 属，占评价区总属数的 32.51%，显示出评价区地处中低纬度，受干热河谷气候控制区系特征具有一定的亚热带性质；此外，中亚、泛地中海成分仅 14 属，所占比例仅 4.95%。

（2）植被类型

根据《中国植被》的分区系统，并参考《云南植被》、《四川植被》、《西藏植被》的植被分类原则及系统，以及野外调查成果，评价范围自然植被包括 3 个植被型组，4 个植被型，32 个群系：由于海拔跨度不大，干热河谷又是评价范围分布最广的生境类型，因此灌丛群落种类极为丰富，灌草丛分布于公路侧、撂荒农地；针叶林和阔叶林在评价范围主要分布于海拔 3000m 以上的较高海拔段，针叶林和阔叶林面积很小。人工植被包括农作物和经济果木林两类，分布于河谷两侧较平缓的阶地上。评价范围主要植被类型及其分布见下表 4.3-5。

**表 4.3-5 评价范围主要植被类型及分布情况表**

| 植被型组 | 植被型 | 群系中文名 | 群系拉丁名 | 直接影响区 | 间接影响区 |
|---|---|---|---|---|---|
| 自然植被 | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 针叶林 | I. 寒温性针叶林 | 1. 高山松林 | Form. Pinus densata | | √ |
| | | 2. 川西云杉、鳞皮冷杉林 | Form. Picea balfouriana+Abies squamata | | √ |
| 阔叶林 | II. 落叶阔叶林 | 3. 山杨、白桦林 | Form. Populus davidiana+ Betula platyphylla | | √ |
| 灌丛和灌草丛 | III. 灌丛 | 4. 矮高山栎灌丛 | Form. Quercus monimotricha | | √ |
| | | 5. 清香木灌丛 | Form. Pistacia weinmannifolia | √ | √ |
| | | 6. 马桑灌丛 | Form. Coriaria nepalensis | √ | √ |
| | | 7. 西南仙人掌灌丛 | Form. Opuntia monacantha | √ | √ |
| | | 8. 小鞍叶羊蹄甲灌丛 | Form. Bauhinia brachycarpa var. microphylla | √ | √ |
| | | 9. 小叶荆灌丛 | Form. Vitex negundo var. microphylla | √ | √ |
| | | 10. 小叶荆+白刺花灌丛 | Form. Vitex negundo var. microphylla+Sophora davidii | √ | √ |
| | | 11. 白刺花灌丛 | Form. Sophora davidii | √ | √ |
| | | 12. 冬麻豆灌丛 | Form. Salweenia wardii | √ | √ |
| | | 13. 刺铁线莲+小叶荆灌丛 | Form. Clematis delavayi var. spinescens+Vitex negundo var. microphylla | √ | √ |
| | | 14. 灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛 | Form. Indigofera calcicola+Rabdosia glutinosus | √ | √ |
| | | 15. 小叶灰毛莸+胶粘香茶菜灌丛 | Form. Caryopteris forrestii var. minor+Rabdosia glutinosus | √ | √ |
| | | 16. 两头毛灌丛 | Form. Incarvillea arguta | √ | √ |
| | | 17. 戟叶酸模灌丛 | Form. Rumex hastatus | √ | √ |
| | | 18. 窄叶鲜卑花灌丛 | Form. Sibiraea angustata | | √ |
| | | 19. 川滇蔷薇灌丛 | Form. Rosa soulieana | √ | √ |
| | | 20. 西南蔷薇灌丛 | Form. Rosa murielae | | √ |
| | | 21. 野迎春灌丛 | Form. Jasminum mesnyi | | √ |
| | IV. 灌草丛 | 22. 拟金茅+黄茅灌草丛 | Form. Eulaliopsis binate+ Heteropogon contortus | √ | √ |
| | | 23. 垫状卷柏灌草丛 | Form. Selaginella pulvinata | √ | √ |
| | | 24. 独尾草灌草丛 | Form. Eremurus chinensis | √ | √ |
| | | 25. 蜈蚣草灌草丛 | Form. Pteris vittata | √ | √ |
| | | 26. 狗尾草灌草丛 | Form. Setaria viridis | √ | √ |
| | | 27. 问荆灌草丛 | Form. Equisetum arvense | √ | √ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 28. 中华山蓼灌草丛 | Form. Oxyria sinensis | √ | √ |
| | | 29. 虎尾草灌草丛 | Form. Chloris virgata | √ | √ |
| | | 30. 疏花婆婆纳灌草丛 | Form. Veronica laxa | √ | √ |
| | | 31. 白草灌草丛 | Form. Pennisetum flaccidum | √ | √ |
| | | 32. 狭穗针茅灌草丛 | Form. Stipa regeliana | √ | √ |
| 人工植被 | | | | | |
| | 经济果木 | 核桃 | Juglans regia | √ | √ |
| | | 石榴 | Punica granatum | √ | √ |
| | | 桃 | Amygdalus persica | √ | √ |
| | 农作物 | 青稞（Hordeum vulgare var. coeleste）、玉米（Zea mays） | | √ | √ |

注：直接影响区为工程占地和水库淹没区，评价范围内直接影响区以外的区域为间接影响区。

（3）植被分布特点

1）水平分布

评价范围为高山峡谷地形，南北长约 68km，东西宽约 7km，由于河谷深切、山峦叠嶂，植被南北方向、东西方向水平分布差异均不明显。

2）垂直分布

评价范围植被垂直带谱较为明显，分述如下：

海拔 2020m~2500m（2600m）这一海拔段坡度较陡，范围较窄，属评价范围最低海拔的河谷段，也是评价范围人类干扰最为强烈的地方，这一区段内较陡峭，无人居住、也无农田分布的河段，为干热河谷灌丛分布的下限，视河段生境的不同可见小叶荆+白刺花灌丛、西南仙人掌灌丛、刺铁线莲+小叶荆灌丛灌丛等灌丛类型及其群丛；在这一区域的河谷平缓地段、河滩阶地，多为人类活动改造下形成的乡村聚居点和农田人工植被，以及居民点周围的经济果木林。同时，这一区段也是评价范围坝址及淹没区所在海拔区段，公路两侧可见戟叶酸模灌丛、两头毛灌丛等次生植被类型。

海拔 2500m~2800m（2900m），是干热河谷灌丛的集中分布区。这一区段人类活动干扰明显下降，在人类活动很弱的条件下使干热河谷灌丛连续成片分布成为可能，这一区域以小叶荆灌丛及其群丛为绝对优势，在地势较平缓海拔较低地段（2600m 以下）地段小叶荆灌丛盖度较高，植株生长良好，盖度可达 1m 以上，群落盖度可达 40%；随着海拔升高，小叶荆群落的盖度逐渐降低，小叶荆的生长高度降至 0.5m 左右，小叶荆在群落中的优势地位明显下降，其他灌木种类如小

鞍叶羊蹄甲、小叶灰毛莸、皱叶醉鱼草、香茶菜等灌木种类逐渐渗入群落中，甚至部分物种与小叶荆成为共优种，形成不同的群丛，这也增加了评价范围植物群落种类的多样性。除白刺花群落及其群丛外，这一海拔段还可见小鞍叶羊蹄甲灌丛，灰岩木蓝+胶粘香茶灌丛等。在部分坡度陡峭河谷山坡，由于土壤侵蚀严重导致土壤贫瘠、干燥，地表植被盖度极低，灌木稀少而低矮，以小鞍叶羊蹄甲等稀疏可见。坡度平缓地段仍可见农田等人工植被。

海拔 2700~3000m，这一区段是干热河谷灌丛和人工植被分布上限，高山栎类灌丛的分布下限，以灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛、小鞍叶羊蹄甲灌丛为优势，坡度平缓地段可见窄叶鲜卑花灌丛及人工植被，矮高山栎类灌丛零星分布于这一区域。

在海拔 2900~3100m 是评价范围的高海拔地段，这一区段主要是针叶林植被分布地段分布的下限，矮高山栎类灌丛植被为优势，其间阳坡高山松林，山杨、白桦林呈片状、块状零星分布，川西云杉、鳞皮冷杉林零星分布于这一区域阴坡。

海拔 3100m 以上，主要为针叶林分布，阳坡以高山松为主，半阳坡、阴坡以川西云杉、鳞皮冷杉林为主。在局部阳坡、山脊等处仍然有很小面积川滇高山栎灌丛及高山栎类矮林延伸。

评价范围植被垂直分布总体情况见下表 4.3-6。

**表 4.3-6　旭龙水电站评价范围植被垂直分布表**

| 序号 | 海拔高程(m) | 主要植被类型 | 原生植被优势种 | 次生植被优势种 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2020~2500 | 灌丛、农田 | 小叶荆、白刺花、绢毛蔷薇、胶粘香茶菜、小叶灰毛莸、西南仙人掌、清香木、垫状卷柏 | 农作物、经济林木 |
| 2 | 2500~2800 | 灌丛 | 小鞍叶羊蹄甲、灰岩木蓝、胶粘香茶菜、垫状卷柏 | 农作物、经济林木 |
| 3 | 2700~3000 | 灌丛 | 小鞍叶羊蹄甲、灰岩木蓝、胶粘香茶菜、窄叶鲜卑花 | 农作物、经济林木 |
| 4 | 2900~3100 | 针叶林、栎灌丛 | 高山松、矮高山栎、川西云杉、鳞皮冷杉 | / |
| 5 | 3100以上 | 针叶林、栎灌丛 | 矮高山栎、高山松、川西云杉、鳞皮冷杉 | / |

（4）主要植被类型概述

1）高山松林（Form. *Pinus densata*）

高山松林在评价范围河段见于金沙江两岸山体上部，一般分布在海拔 3000m

以上的山地半阳坡，其下界接干热河谷灌丛。

原生高山松林中树木高可达 15m 以上，胸径 40cm 左右，但现存的不多；次生高山松林乔木层，高度一般在 15m 以下，胸径不足 20cm；评价范围多见次生性质的群落类型，乔木层郁闭度 0.4，层均高 6m；优势种为高山松（*Pinus densata*），盖度 40%，高 5~7m；主要伴生种有川滇高山栎（*Quercus aquifolioide*s）、白桦（*Betula platyphylla*）、落叶松（*Larix potaninii* var. *macrocarpa*）等。

灌木层盖度 40%，层均高 1.2m；优势种为矮高山栎（*Quercus monimotricha*），盖度 30%，高 0.8~1.5m；主要伴生种有川滇高山栎（*Quercus aquifolioides*）、云南锦鸡儿（*Caragana franchetiana*）、毛叶南烛（*Lyonia villo*sa）、乌鸦果（*Vaccinium fragile*）、亮叶杜鹃（*Rhododendron vernicosum*）等组成。

草本层盖度较低，不足 20%，高 0.1~0.5m。无明显优势种，主要种类有黄腺香青（*Anaphalis aureo-punctata*）、糙野青茅（*Deyeuxia scabrescens*）、细叶早熟禾（*Poa angustifolia*）、戟叶火绒草（*Leontopodium dedekensii*）、腋花马先蒿（*Pedicularis axillaris*）、甘西鼠尾草（*Salvia przewalskii*）等。

样方点位：徐龙乡山脊（N：28°44'16.65"，E：99° 9'39.40"，H：3240m）、（E：99° 9'39.40"； N:28°44'16.65"，H：3435m）

2）川西云杉、鳞皮冷杉（Form. *Picea likiangensis* var. *rubescens* +*Abies squamata*）

川西云杉与鳞皮冷杉混交林，生于海拔（3000）3300~3900m 的阴坡。

乔木层郁闭度 0.7，优势种以川西云杉、鳞皮冷杉为主，树高 20 m 以上，郁闭度为 0.6~0.8，胸径 20~32cm。常有黄果冷杉（*Abies ernestii*）、大果圆柏（*Juniperus tibetica*）及少量白桦等混生林中。

除人为砍伐较多的情况外，灌木较稀疏，常呈团状分布，层盖度 25%左右，层均高 1.5m。在不同地段灌木种类差别较大，常见亮叶杜鹃、金露梅（*Potentilla fruticosa*）、银露梅（*Potentilla glabra*）、细枝绣线菊（*Spiraea myrtilloides*）、直穗小檗（*Berberis dasystachya*）、刺红珠（*Berberis dictyophylla*）等。

草本层盖度低，约 10%，层均高 0.2m。无明显优势种，常见有类叶升麻（*Actaea asiatica*）、金冠鳞毛蕨（*Dryopteris chrysocoma*）、三角叶蟹甲草（*Parasenecio deltophyllus*）、红毛虎耳草(*Saxifraga rufescens*)、维氏马先蒿（*Pedicularis vialii*)、灰叶堇菜（*Viola delavayi*）、露珠草（*Circaea imaicola*)等。

样方点位：贝吾（N：28℃57'31.69"；E：99℃5'58.40"，H：3336m）。

3）山杨、白桦林（Form. *Populus davidiana*+ *Betula platyphylla*）

山杨、白桦林主要分布在评价河段山体上部的凹地、阴坡或半阴坡等局部山坡，分布海拔 2900m 以上；在河谷两侧山体中上部断续出现，呈小片状分布。

评价范围所见多为幼林，植株密度较大，乔木层郁闭度 0.8，层均高 7m。优势种为山杨（*Populus davidiana*）、白桦（*Betula platyphylla*），树高 5~10m，胸径 5~11cm，盖度 70%。常见伴生种有糙皮桦（*Betula utilis*）、川西云杉、鳞皮冷杉、高山松等。

灌木层层盖度 15%，层均高 1m；优势种为矮高山栎，盖度 10%，高 0.8~1.2m；常见伴生种有美丽马醉木（*Pieris formosa*）、红棕杜鹃（*Rhododendron rubiginosum*）、锈红杜鹃（*Rhododendron complexum*）、美丽小檗等。

草本层层盖度 10%，层均高 0.2m；优势种不明显，主要有藏滇羊茅（*Festuca vierhapperi*）、丽江剪股颖（*Agrostis schneideri*）、细叶早熟禾（*Poa pratensis subsp. Angustifolia*），弯齿黄耆（*Astragalus camptodontus*）等。

样方点位：徐龙乡山脊处（N：28℃57'31.69"；E：99℃5'58.40"，H：3789m）

4）矮高山栎灌丛（Form. *Quercus monimotricha*）

矮高山栎灌丛分布在海拔 2800~3100m 较陡阳坡或半阳坡。矮高山栎灌丛下接干热河谷灌丛或与高山松、云冷杉林斑块镶嵌分布，在阳性缓坡可见成片分布。

群落外貌黄绿色，林冠整齐。矮高山栎灌丛是比较稳定的群落，在灌丛中偶见高山松植株，但其更新幼苗极少。灌木层盖度 40%左右，在植株生长密集地段盖度可达 70%，层均高 1.5m；矮高山栎灌丛灌木层物种组成简单，矮高山栎占绝对优势，此外，腋花杜鹃（*Rhododendron racemosum*）、云南绣线菊（*Spiraea yunnanensis*）、黄背栎（*Quercus pannosa*）、灰背栎（*Quercus senescens*）、南烛（*Vaccinium bracteatum*）等在不同地段丰富度不同。

草本层盖度一般在 40%左右，层均高 0.3m；优势种不明显，以羊茅（*Festuca ovina*）、早熟禾（*Poa annua*）、莎草（*Cyperaceae* sp.）、钉柱委陵菜（*Potentilla saundersiana*）、华西委陵菜（*Potentilla potaninii*）为常见。

样方点位：贡波乡山坡（N：28℃59'9.91"，E：99°9'14.61"，H：3842m）；宗荣村山脊（N：28℃43'40.81"，E：99℃10'13.69"，H：3494m）。

5）清香木灌丛（Form. *Pistacia weinmannifolia*）

评价范围清香木灌丛，零星分布于河谷两侧的滩地上，受水库淹没影响较为严重。

灌木层盖度约 40%，层均高 4m。优势种为清香木（*Pistacia weinmannifolia*），盖度 35%，高 3~5m，伴生种有小叶荆（*Vitex microphylla*）、小鞍叶羊蹄甲（*Bauhinia brachycarpa*）、华西小石积（*Osteomeles schwerinae*）、卵果蔷薇（*Rosa helenae*）、沙针（*Osyris wightiana*）、绣线菊（*Spiraea japonica*）、西南蔷薇（*Rosa muirielae*）等。

草本层盖度 20%，层均高 0.5m。优势种不明显，以阿穆尔莎草（*Cyperus amuricus*）、艾蒿（*Artemisia argyi*）、铃铛草、黄茅（Heteropogon contortus）、茅叶荩草（*Arthraxon prionodes*）、细瘦卷柏（*Selaginella vardei*）等较为常见。

样方点位：羊拉乡金沙江岸边（N：28°56'41.24"，E：99°7'37.85"，H：2248m）。

6）马桑灌丛（Form. *Coriaria nepalensis*）

评价范围马桑灌丛，主要见于徐龙弃渣场附近沟谷中。不受水库淹没影响。

灌木层盖度约 60%，层均高 2m。优势种为马桑（*Coriaria nepalensis*），盖度 45%，高 1~4m，伴生种有水麻（*Debregeasia orientalis*）、卧生水柏枝（*Myricaria rosea*）、小叶荆、卵果蔷薇、西南蔷薇等。

草本层盖度 10%，层均高 0.5m。优势种不明显，以阿穆尔莎草、黄茅（*Heteropogon contortus*）、鞭叶铁线蕨（*Adiantum caudatum*）、扇叶铁线蕨（*Adiantum flabellulatum*）等较为常见。

样方点位：徐龙弃渣场附近沟谷（N：28°44'26.78"，E：99°8'28.14"，H：2335m）。

7）西南仙人掌灌丛（Form. *Opuntia monacantha*）

评价范围的西南仙人掌灌丛分布海拔 2199~2244m。

灌木层盖度约 10%，层均高 2m。优势种为常见西南仙人掌（*Opuntia monacantha*）、盖度 8%，高 1.2~3m。伴生种少，常见有多花胡枝子、华西小石积、清香木、小叶杭子梢等。

草本层盖度 10%，层均高 1m。优势种不明显，以艾蒿（*Artemisia argyi*）、千针苋（*Acroglochin persicarioides*）、狗尾草、鬼针草（*Bidens pilosa*）、阿穆尔莎草、铃铛草、缺刻千里光、多枝滇紫草（*Onosma multiramosum*）、马尔康糙果芹（*Trachyspermum triradiatum*）、小野荞麦、茅叶荩草、独尾草（*Eremurus chinensis*）、丛毛羊胡子草（*Eriophorum comosum*）、纤、垫状卷柏（*Selaginella pulvinata*）等

较为常见。

样方点位：旭龙坝址左侧山坡（N：28 °44'48.73"，E：99 °7'37.40"，H：2189m）。

8）小鞍叶羊蹄甲灌丛（Form. *Bauhinia brachycarpa* var. *microphylla*）

评价范围的小鞍叶羊蹄甲灌丛分布海拔 2186~3000m，多分布在金沙江右侧山坡。

灌木层盖度约 12%，层均高约为 1m。优势种为小鞍叶羊蹄甲，盖度 8%，高 0.5~1.2m,，伴生种常见如华西小石积、灰毛荛、小叶荆、灰岩木蓝（*Indigofera calcicola*）、折叶白前（*Cynanchum forrestii* var. *conduplicatum*）等。

草本层盖度 20%，层均高 0.1m。优势种为垫状卷柏，盖度 15%，高 0.08~0.15m，伴生种有中华草沙蚕（*Tripogon chinensis*）、雪白粉背蕨、茅叶荩草、独尾草、小野荞麦、短穗冠芒草等。

样方点位：坝址右侧山坡（N：28 °44'36.89"，E：99 °7'12.50"，H：2736m）。

9）小叶荆灌丛（Form. *Vitex negundo* var. *microphylla*）

评价范围的小叶荆灌丛分布广泛，分布海拔2216~2532m。

灌木层盖度约30%，层均高1.5m。优势种为小叶荆，盖度15%，高1~1.6m，伴生种常见小鞍叶羊蹄甲、错枝榄仁（*Terminalia intricata*）、小叶杭子梢（*Campylotropis wilsonii*）、川滇野丁香（*Leptodermis pilosa*）等。

草本层盖度5%，优势种为垫状卷柏，盖度3%，高0.1m；伴生种有细瘦卷柏、茅叶荩草、芸香草等

样方点位：茂顶砂石系统（N：28°43′54.91″，E：99°07′44.89″，H：2285m）。

10）小叶荆+白刺花灌丛（Form. *Vitex negundo* var. *microphylla*+ *Sophora davidii*）

评价范围的小叶荆+白刺花灌丛分布海拔 2100~2231m。

灌木层盖度 15%，层均高 1.5m。优势种为小叶荆、白刺花；盖度分比为 7%，6%；高 1~1.5m；伴生种常见小鞍叶羊蹄甲、灰岩木蓝、折叶白前、华西小石积、圆锥山蚂蝗（*Desmodium elegans*）、西南蔷薇（*Rosa murielae*）、对节刺（*Horaninovia ulicina*）等。

草本层盖度 1%，高可达 100cm。优势种不明显，以小野荞麦、德钦画眉草、短穗冠芒草、灰苞蒿（*Artemisia roxburghiana*）、头花香薷（*Elsholtzia capituligera*）、芸香草、、黄茅等较为常见。

样方点位：现场建设管理营地（鱼类增殖放流站）附近（N：28°43'59.42"，E：99°7'59.24"，H：2164m）。

11）白刺花灌丛（Form. *Sophora davidii*）

评价区白刺花常与小叶荆、小鞍叶羊蹄甲等伴生，分布在海拔 2100~2300m 左右。

灌木层盖度 90%，层均高 2.0m，优势种为白刺花，盖度 55%，高 1.5~2.0m，伴生种主要有小鞍叶羊蹄甲、灰岩木蓝等。草本层盖度 15%，高度 0.1~0.6m，优势种为羊茅和莎草属（Cyperus sp.），伴生种有牛筋草、黄苞南星、折叶白前、垫状卷柏、鼠麴草、西藏珊瑚苣苔等。

样方点位：右岸炸药库附近（N：28°42'19.12"，E：99°6'28.17"；H：_2470m_）。

12）冬麻豆灌丛（Form. *Salweenia wardii*）

评价区冬麻豆灌丛零星分布，植被覆盖度较低。

灌木层盖度 50%，层均高 1.5m，优势种为冬麻豆（*Salweenia wardii*），盖度 40%，高约 1.4m，伴生种主要有小叶荆等。草本层主要为禾本科植物，盖度 15%，优势种不明显，主要有狭穗针茅（*Stipa regeliana*）、野青茅、矛叶荩草、矮羊茅（*Festuca coelestis*）、拟金茅等。

样方点位：表土堆放场附近（N：28°42'44.76"，E：99°8'5.52"；H：2210m）。

13）刺铁线莲+小叶荆灌丛（Form. *Clematis delavayi* var. *spinescens*+ *Vitex negundo* var. *microphylla*）

该群落在评价范围成块状分布，出现在低海拔（2200-2402m）区域，群落外貌上看，较为整齐。

灌木层盖度约 10%，层均高 1.2m，优势种为刺铁线莲（*Clematis delavayi* var. *spinescens*）、小叶荆；盖度分别为 4%，3%；伴生种有小叶杭子梢、华西小石积、白刺花、错枝榄仁、川康栒子（*Cotoneaster ambiguus*）、多刺天门冬（*Asparagus myriacanthus*）等。

草本层盖度约 12%，高度 0.03-0.4m 不等，无明显优势种，常见种类有垫状卷柏、茅叶荩草、芸香草、独尾草、白边卷柏、西南菅草（*Themeda hookeri*）、等。

样方点位：徐龙渣厂附近（N：28°44'16.98"，E：99°8'2.84"，H：2203m）。

14）灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛（Form. *Indigofera calcicola*+ *Isodon glutinosus*）

评价范围灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛占据海拔 2300-2960m 段的区域，生于多石砾、土层薄，坡陡的生境。群落外貌分层比较明显，较高的依然是小叶荆，平均高度 1.3m 左右，其次是皱叶腺花醉鱼草、小叶野丁香等，平均高度在 0.8m 左右，但是数量极少，盖度很低。而群落中的优势种胶粘香茶菜和灰岩木蓝则很矮，但是盖度很高。

灌木层盖度约 25%，层均高 1.2m；优势种为灰岩木蓝、胶粘香茶菜，盖度分别为 10%，10%；高 0.6~1.2m；伴生种有皱叶醉鱼草、小叶荆、小叶灰毛莸、架棚、头花香薷、怒江蒿、小叶野丁香、革叶荛花（*Wikstroemia scytophylla*）等。

草本层盖度约 25%，层均高 0.3m，优势种为德钦画眉草，盖度 10%，高 0.1~0.5m，伴生种有石胆草、短穗冠芒草、粗毛狗娃花、白草、三角金毛裸蕨、、猪毛菜（*Salsola collina*）、巴塘报春（*Primula bathangensis*）、钝瓣景天（*Sedum obtusipetalum*）、纺锤根蝇子草（*Silene napuligera*）、康定翠雀花（*Delphinium tatsienense*）、雪白粉背蕨、茅叶苋草、丛毛羊胡子草、中华草沙蚕等。

样方点位：尼吕附近山坡（N：28°57'31.75"，E：99 °6'46.17"，H：2836m）。

15）小叶灰毛莸+胶粘香茶菜灌丛（Form. *Caryopteris forrestii* var. *minor*+ *Rabdosia glutinosa*）

该群落在评价范围成块状分布，出现在海拔 2200~2400m 区域，群落外貌较为整齐。

灌木层盖度约 15%，层均高 1.5m；优势种为小叶灰毛莸、胶粘香茶菜；盖度分别为 6%，5%；高 0.5~1.2m；常见伴生种有灰岩木蓝、小叶鹅绒藤（*Cynanchum anthonyanum*）。

草本层盖度约 15%，层均高 0.3m；优势种不明显，常见伴生种有康定翠雀花（*Delphinium tatsienense*）、滇韭（*Allium mairei*）、卷叶黄精（*Polygonatum cirrhifolium*）、岷江景天（*Sedum balfouri*）、独尾草、细柄草、德钦画眉草、粗毛狗娃花、白草等。

样方点位：旭龙弃渣厂附近（N：28 °44'26.43"，E：99 °8'25.69"，H：2338m）。

16）两头毛灌丛（Form. *Incarvillea arguta*）

该灌丛主要分布于道路两侧，人为干扰较大区域，评价范围最高分布海拔可达 2900m。

灌木层盖度约 15%，层均高 1.2m；优势种为两头毛（*Incarvillea arguta*），盖

度 10%，高 1~1.5m；常见伴生种有戟叶酸模（*Rumex hastatus*）、小鞍叶羊蹄甲、小叶荆、胶粘香茶菜等。

草本层盖度约 10%，层均高 0.4m；无明显优势种，常见伴生种有平车前（*Plantago depressa*）、鬼针草、缺刻千里光、尼泊尔酸模（*Rumex nepalensis*）、问荆、扇叶铁线蕨、白花车轴草、细五爪金、石胆草、芸香草等。

样方点位：贡波乡附近山坡（N：28°44'26.43"，E：99° 8'25.69"，H：2338m）。

17）戟叶酸模灌丛（Form. *Rumex hastatus*）

评价范围该灌丛主要分布于山沟或路边，多分布在海拔 2400m 以下。

灌木层盖度约 15%，层均高 1.2m；优势种为戟叶酸模，盖度 10%，高 1~1.5m；常见伴生种有小叶荆、小鞍叶羊蹄甲等。

草本层盖度约 8%，层均高 0.1m；无明显优势种，常见伴生种有蒲公英（*Taraxacum mongolicum*）、鼠麴草（*Gnaphalium affine*）、鬼针草、白花车轴草、狗尾草等。

样方点位：茂顶弃渣场（N：28°42'32.26"，E：99° 7'2.17"，H：2309m）。

18）窄叶鲜卑花灌丛（Form. *Sibiraea angustata*）

该灌丛分布海拔较高，多分布在海拔 2800-3100m 左右较为平缓的山坡阳面或半阳面，上接矮高山栎灌丛或高山松林，下接干热河谷灌丛，如小叶荆灌丛，灰岩木蓝、胶粘香茶菜灌丛、西南仙人掌灌丛等。

灌木层盖度约 25%，层均高 1.5m；优势种为窄叶鲜卑花（*Sibiraea angustata*），盖度 15%，高 1.2~1.5m；常见伴生种有尖瓣瑞香（*Daphne acutiloba*）、绢毛蔷薇、西南蔷薇、美丽小檗等。

草本层盖度约 80%，层均高 0.5m；优势种为藏滇羊茅（*Festuca vierhapperi*），盖度 50%，高 0.3~0.5m；伴生种有羊茅、早熟禾、莎草（*Cyperaceae* sp.）等。

样方点位：张仁村附近山坡（N：28 °44'4.55"，E：99 °9'9.45"，H：3031m）。

19）川滇蔷薇灌丛（Form. *Rosa soulieana*）

评价区内该灌丛主要分布于山沟或路边，多分布在海拔 3000m 以下。

灌木层层盖度 85% 层均高 1.5m；优势种为川滇蔷薇（*Rosa soulieana*），盖度 65%，伴生种有白刺花、毛葡萄、具鳞水柏枝（*Myricaria squamosa*）、狭落鬼吹箫（*Leycesteria formosa* var. *stenosepala*）、马桑、错枝榄仁（*Terminalia franchetii* var. *intricata*）等。

草本层层盖度 30%，层均高 0.5m；优势种常不明显，伴生种有匙叶千里光（*Senecio spathiphyllus*）、早熟禾、西藏珊瑚苣苔（*Corallodiscus lanuginosa*）、蔓出卷柏（*Selaginella davidii*）、细瘦卷柏、垫状卷柏、中华山蓼（*Oxyria sinensis*）、鼠麴草等。

样方点位：徐龙冲沟（N:28°44'17.02"，E:99°8'5.73"，H：2233m）；14#公路附近（N:28°42'18.30"，E:99°6'28.58"，H：2458m）。

20）西南蔷薇灌丛（Form. *Rosa murielae*）

评价区内该灌丛主要分布于山坡或路边，分布海拔较高，多在海拔 2900m 以上。

灌木层层盖度 75%，层均高 1.5m；优势种为西南蔷薇（*Rosa murielae*），盖度 45%，高 1.2~2m；伴生种少，主要有小蓝雪花（*Ceratostigma minus*）、革叶荛花（*Wikstroemia scytophylla*）等。

草本层层盖度 10% 层均高 0.5m；优势种为藏滇羊茅，盖度 5%，高 0.3~0.5m；伴生种有白草（*Pennisetum flaccidum*）、羊茅、狭穗针茅（*Stipa regeliana*）等。

样方点位：羊拉公路旁（N: 28°58'6.96"，E: 99°5'5.16"，H：3017m）。

21）野迎春灌丛（Form. *Jasminum mesnyi*）

评价区内该灌丛主要分布于向阳山坡，多在海拔 2300m~2800m 中间。灌木层 层盖度 75%，层均高 0.4m；优势种为野迎春（*Jasminum mesnyi*），盖度 65%，高 0.3~0.5m；常见伴生种有灰岩木蓝、胶粘香茶菜等。

草本层层盖度 90%，层均高 0.5m；优势种为独尾草，盖度 40%，高 0.4~0.6m；伴生种有粗根韭（*Allium fasciculatum*）、蒺藜（*Tribulus terrestris*）、硬秆子草、剪股颖（*Agrostis matsumurae*）等。

样方点位：羊拉公路旁（N: 28°54'45.49"，E: 99°7'19.48"，H：2490m）。

22）拟金茅+黄茅灌草丛（Form. *Eulaliopsis binata+Heteropogon contortus*）

该群落在评价范围分布较少，主要分布于撂荒地，常以拟金茅、黄茅两种构成优势或各为优势而镶嵌分布。

草本层盖度约 80%，层均高 0.7m；优势种为拟金茅（*Eulaliopsis binata*）、黄茅，盖度分别为 40%，35%；高均在 0.6~0.8m 之间。伴生种常见有芸香草、小菅草、细柄草、硬秆子草等。

样方点位：徐龙弃渣场（N：28°44'32.82"，E：99° 8'32.89"，H：2380m）。

23）垫状卷柏灌草丛（Form. *Selaginella pulvinata*）

该群落主要分布在评价范围海拔 3000m 以下，石灰岩峭壁或缓坡上，群落外观呈垫状，结构简单。

草本层盖度约 50%，层均高 0.1m；优势种为垫状卷柏，盖 35%，高 0.1m 左右，伴生种有细瘦卷柏、芸香草、硬秆子草、中华草沙蚕、狗尾草等。

样方点位：回水末端附近山坡（N：29°16'7.53"，E：99° 5'46.04"，H：2401m）。

24）狗尾草灌草丛（Form. *Setaria viridis*）

该群落零星分布于评价范围海拔 4000m 以下山坡、路旁，常与其他群落镶嵌分布，群落外观整齐，结构简单。

草本层盖度约 60%，层均高 0.2m；优势种为狗尾草，盖度 40%，高 0.1~0.2，伴生种有芸香草、硬秆子草、苞子草（*Themeda caudata*）、西南菅草等。

样方点位：右岸高混凝土系统（N：28°43'55.05"，E：99° 7'46.80"，H：2311m）。

25）独尾草灌草丛（Form. *Eremurus chinensis*）

该群落在评价区内海拔 2800m 以下的山坡上分布普遍。

草本层 层盖度 85%，层均高 0.5m；优势种为独尾草（*Eremurus chinensis*），盖度 40%，高 0.4~0.6m，伴生种有西藏珊瑚苣苔（*Corallodiscus lanuginosa*）、垫状卷柏、细瘦卷柏、蔓出卷柏、白草、石莲（*Echeveria peacockii*）、折叶白前等。

样方点位：徐龙冲沟右侧山坡（N：28°44'16.70"，E：99° 8'7.44"，H：2248m）。

26）蜈蚣草灌草丛（Form. *Pteris vittata*）

该群落在评价区内零星分布在有水流经过的，相对湿润的向阳山坡。

层盖度 90%层均高 0.3m；优势种为蜈蚣草（*Pteris vittata*），盖度 80%，高 0.2~0.5m，伴生种有蒿（*Artemisia* sp.）、酢浆草、黄苞南星（*Arisaema flavum*）、羽裂黄鹌菜（*Youngia paleacea*）、蒺藜等。

样方点位：右岸高混凝土系统（N：28°43'55.05"，E：99°7'46.80"，H：2311m）；左岸上游 2#存弃渣场对岸（N：28°46'8.44"，E：99°4'44.18"，H：2215m）。

27）问荆灌草丛（Form. *Equisetum arvense*）

该群落在评价区内零星分布，主要在山脚近河滩沙地。

草本层盖度 75%，层均高 0.3m，优势种为问荆，盖度 50%，高 0.2~0.4m，伴生种主要有瓶尔小草（*Ophioglossum vulgatum*）、阿尔穆莎草等。

样方点位：右岸炸药库附近（N：28°42'20.83"，E：99° 6'16.53"，H：2620m）。

28）中华山蓼灌草丛（Form. *Oxyria sinensis*）

该群落在评价区内主要在山坡谷地有少量分布。

草本层盖度 85%，高 0.2m，优势种为中华山蓼（*Oxyria sinensis*），盖度 80%，高 0.2~0.3m，伴生种主要有芸香草（*Cymbopogon distans*）、蒿属（*Artemisia* sp.）。

样方点位：右岸表土堆放场上游（N：28°58'7.06"，E：99° 4'59.68"，H：2950m）。

29）虎尾草灌草丛（Form. *Chloris virgata*）

该群落在评价区内河谷滩地有零星分布。

草本层盖度 95%，高 0.2m，优势种为虎尾草，盖度 90%，高 0.2~0.3m，伴生种主要有蒺藜（*Tribulus terrestris*）、刺花莲子草（*Alternanthera pungens*）。

样方点位：茂顶砂石系统（N：28°43'47.28"，E：99°7'43.32"，H：2333m）。

30）疏花婆婆纳灌草丛（Form. *Veronica laxa*）

该群落在评价区内零星分布。

草本层盖度 75%，高 0.2m，优势种为疏花婆婆纳（*Veronica laxa*），盖度 65%，高 0.2~0.3m，伴生种主要有糙野青茅（*Deyeuxia scabrescens*）、细叶早熟禾（*Poa pratensis* subsp. *angustifolia*）等。

样方点位：6-1#路附近（N：28°43'47.28"，E：99°7'43.32"，H：2333m）。

31）白草灌草丛（Form. *Pennisetum flaccidum*）

该群落在评价区内零星分布。

草本层盖度 80%，高 0.5m，优势种为白草，盖度 60%，高 0.4~0.7m，伴生种主要有西南菅草、细瘦卷柏、丛毛羊胡子草等。

样方点位：右岸炸药库坡上（N：28°42'26.83"，E：99° 6'28.20"，H：2557m）。

32）狭穗针茅灌草丛（Form. *Stipa regeliana*）

该群落在评价区内零星分布。

草本层盖度 60%，高 0.4m，优势种为狭穗针茅，盖度 25%，高 0.3~0.4m，伴生种主要有矛叶荩草、雪白粉背蕨（*Aleuritopteris niphobola*）、垫状卷柏等。

样方点位：3#路附近（N：28°44'17.21"，E：99° 8'0.84"，H：2181m）。

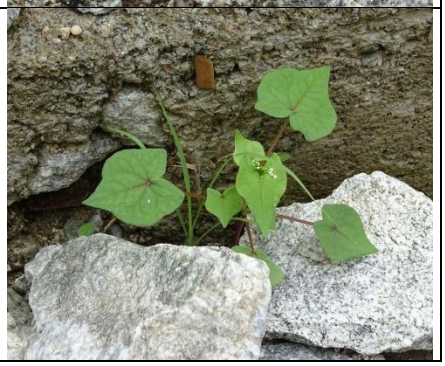
（5）重点保护野生植物和古树名木

1）重点保护野生植物

根据 2018 年 3 月~4 月（旱季）、2018 年 7 月~8 月（雨季）两次调查结果，重点调查枢纽工程区和水库淹没区，同时选取坝址上游非淹没区和坝址下游进行

抽样调查。2018 年 7 月~8 月在调查区域发现有 9 处野生金荞麦（*Fagopyrum dibotrys*）分布，其中 5 处位于施工区，2 处位于淹没区，另外 2 处不在直接影响区。金荞麦属于国家 II 级重点保护野生植物，调查区域内 9 处金荞麦的分布情况详见下表 4.3-7。

**表 4.3-7　评价范围重点保护野生植物金荞麦分布情况一览表**

| 序号 | 调查点位 | 分布面积（m×m） | 与工程的位置关系 | 现场照片 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 28°45'21.87"N<br>99°7'4.56"E<br>H：2163m | 0.2×0.2 | 位于 2#施工营地对岸，直线距离约 130m，在水库淹没区内 |  |
| 2 | 28°45'25.78"N<br>99°7'2.30"E<br>H：2214m | 1×1 | 位于 2#施工营地对岸，直线距离约 135m，在水库淹没区内 |  |
| 3 | 28°42'18.91"N<br>99°6'28.71"E<br>H：2482m | 0.2×0.2 | 位于 14#施工道路附近，在枢纽工程征地范围内 |  |
| 4 | 28°44'46.26"N<br>99°7'33.84"E<br>H：2201m | 0.2×0.2 | 位于坝址右岸，在枢纽工程征地范围内 |  |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 28°44'46.21"N<br>99°7'33.82"E<br>H：2203m | 0.2×0.2 | 位于坝址右岸，在枢纽工程征地范围内 |  |
| 6 | 28°44'45.08"N<br>99°7'33.51"E<br>H：2221m | 0.3×0.3 | 位于坝址右岸，在枢纽工程征地范围内 |  |
| 7 | 28°44'44.33"N<br>99°7'34.25"E<br>H：2219m | 0.4×0.4 | 位于坝址右岸，在枢纽工程征地范围内 |  |
| 8 | 28°43'32.49"N<br>99°7'36.91"E<br>H：2355m | 0.3×0.3 | 位于坝址下游，距离110v 变电站约 100m，不在枢纽工程征地范围内。 |  |
| 9 | 28°57'27.95"N<br>99°6'46.38"E<br>H：2820m | 0.4×0.4 | 坝址上游，淹没线以上，不在枢纽工程征地范围内 |  |

另外，根据《云南省第一批省级重点保护野生植物名录修订》（周彬，2010）、《四川省珍稀濒危植物及其保护》（张桥英，2002）、《西藏珍稀濒危植物的现状与保护对策》（吕永磊，2008）、《中国珍稀濒危植物图鉴》等文献资料，

评价区可能分布有国家 I 级重点保护野生植物云南红豆杉（同为云南省级重点保护野生植物）、独叶草（*Kingdonia uniflora*），国家二级保护野生植物金荞麦（Fagopyrum *dibotrys*）、山茛菪（*Anisodus tanguticus*）、冬虫夏草（*Ophiocordyceps Sinensis*）、松口蘑（*Tricholoma matsutake*）、胡黄连（*Neopicrorhiza scrophulariiflora*）、金铁锁（*Psammosilene tunicoides*）、澜沧黄杉（*Pseudotsuga forrestii*）、十齿花（*Dipentodon sinicus*）、水青树（*Tetracentron sinense*）、四川狼尾草（*Pennisetum sichuanense*）、香果树（*Emmenopterys henryi*）、油麦吊云杉（*Picea brachytyla var. complanata*）。调查组于 2018 年 7~8 月现场调查时发现国家二级重点保护野生植物金荞麦 9 处，未发现其他保护野生植物。

根据已有的文献资料和现场调查情况，2018 年 7 月 26 日，项目组成员就旭龙电站评价区内珍稀、保护植物的情况向昆明植物研究所相关研究人员进行了复核与探讨。昆明植物所相关人员在了解了项目相关地理位置情况后，认为本区域出现珍稀、保护植物以及区域特有植物的可能性较小，认同本报告给出的山茛菪、松口蘑等保护植物在直接影响区分布概率很小的结论；同时提醒应注意罂粟莲花、虎榛子两种保护植物的在区域内有无分布。结合与龚洵研究员的沟通结果，项目组又于 2018 年 8 月、2019 年 3 月对评价区进行了现场调查，未发现罂粟莲花和虎榛子等植物。根据《中国植物志》：罂粟莲花，产云南西北部（洱源、丽江、中甸）和四川西南部（木里、稻城）。生长在海拔 1750-3000m 间山地草坡或云南松林中草地。虎榛子，产于辽宁西部、内蒙古、河北、山西、陕西、甘肃及四川北部。常见于海拔 800-2400m 的山坡，为黄土高原的优势灌木，也见于杂木林及油松林下。调查组于 2019 年 3 月，再次进行补充调查，未发现山茛菪、松口蘑、云南红豆杉、胡黄连、金铁锁、澜沧黄杉、十齿花、水青树、四川狼尾草、香果树、油麦吊云杉、罂粟莲花和虎榛子保护野生植物种类。

另外，在旭龙水电站村落附近发现有人工栽培的云南红豆杉。根据《中国植物志》，云南红豆杉产于云南西北部及西部（镇康、景东），四川西南部与西藏东南部，生于海拔 2000-3500m 高山地带。

2）古树

根据实地调查、资料收集和访问调查，在评价范围内未发现挂牌古树。

（6）特有植物

根据《中国生物多样性红色名录—高等植物卷》、《中国特有种子植物的多样性及其地理分布》以及现场调查，未发现当地特有植物、横断山特有植物。在评价范围内分布有中国特有植物 22 种，分别细瘦卷柏、小叶鹅绒藤、独尾草、雪白粉背蕨、华西小石积、灰毛菀、小叶灰毛菀、川滇野丁香、胶粘香茶菜、刺铁线莲、错枝榄仁、白刺花、小蓝雪花、多枝滇紫草、凹叶雀梅藤、革叶荛花、多刺天门冬、岷江景天、西南蔷薇、川滇蔷薇、灰岩木蓝和冬麻豆，除错枝榄仁红色名录等级为近危，冬麻豆红色名录等级为濒危，其余植物种类红色名录等级为无危。错枝榄仁分布范围较狭窄，主要分布在云南西北部和四川西南部乡城等地，在徐龙冲沟施工区附近发现有 1 株错枝榄仁，28°44'15.70"N，99°8'10.54"E。H：2281m；冬麻豆分布范围较广，在四川西部、西藏东部均有分布。



错枝榄仁（徐龙冲沟施工区）

此外，评价区内还发现了折叶白前（*Cynanchum forrestii var. conduplicatum*），此种为大理白前新变种（汪健，杜凡，西北植物学报，2012 年），推测为大理白前（*Cynanchum forrestii*）在干旱河谷特定环境下演变而成，目前分布区域仅发现为云南德钦县、四川得荣县，分布海拔 2100~2700m。



右岸下游



右岸上游

**28°44'0.32"N、99° 7'57.74"E；H：2174m**



右岸上游

**28°42'18.56"N、99° 6'27.25"E；H：2480m**

**28°47'46.70"N、99° 6'30.18"E；H：2244m**



右岸下游

**28°43'50.25"N、99°7'43.75"E；H：2331m**

（7）生态公益林

根据旭龙水电站征地范围内生态公益林初步复核结果：旭龙水电站征地范围内占用国家级和省级生态公益林合计 747.59hm$^2$，其中四川省 245.72hm$^2$，云南省 501.87hm$^2$。

（8）基本农田

根据旭龙水电站征地范围内基本农田初步复核结果：旭龙水电站征地区范围内不涉及基本农田。

（9）干热河谷植被

干热河谷植被具有典型的旱生植物特征，植被群落外貌为热带常绿肉质多刺灌丛、空间成层结构中无明显乔木层，灌木层与草本层明显，灌木层是低伏灌木，草本层地面覆盖度最高，植被形态在干热生境中出现变异，适应旱生形态显著。评价范围地处金沙江干热河谷地带，干热河谷植被主要分布在海拔 2020~2800m 河谷区域，分布面积约 3.98 万 hm$^2$，代表性的植被类型以戟叶酸模灌丛、清香木灌丛、西南仙人掌灌丛、小叶荆灌丛、垫状卷柏灌草丛等适宜在干热环境下生长的种类为主，群落覆盖率较低，结构简单，伴生种类较少。草本类植物常以禾本科黄茅、拟金茅等为主，戟叶酸模、清香木、峨眉蔷薇、小叶荆等常见灌木常呈团簇状分布于草本植物中，呈现出干热河谷特有的稀树灌木草丛的特征。

金沙江干热河谷植被成因与气候、地形、以及人为活动造成的植被破坏和水土流失等因素有关。干热河谷植被生物多样性程度低，生物生产量低，层次结构单一，土壤瘠薄，抗逆性弱易退化，一旦遭受破坏，恢复起来非常困难。

（10）外来入侵植物

评价范围内受人为干扰较为严重，主要外来入侵植物为曼陀罗（*Datura stramonium*）。曼陀罗目前不属于中国外来入侵物种名单的一、二、三、四批，但根据徐梅根等编写的《外来物种入侵——生物安全遗传资源》（科学出版社，2004）一书，将曼陀罗列入中国 100 种主要外来入侵物种名录。曼陀罗原产地为墨西哥，国内主要分布大连、北京、上海、南京等有栽培，新疆阿尔泰地区、河北、山东、河南、湖北、江苏等省区有野生。曼陀罗主要依靠种子繁殖，为早地、果园和苗圃杂草，或入侵林绿、路旁和草地，全株含生物碱，对人、家畜、鱼类和鸟类有强烈的毒性，其中果实和种子毒性较大。曼陀罗的化感作用对蔬菜和作物的种子萌发、幼苗生长有明显的抑制作用。评价区内曼陀罗主要分布在路边，田埂等受人为干扰严重的地方。



坝址左岸（N28°44'52.54"，E99° 7'46.77"，海拔 2446m）



坝址右岸（N28°44'36.67，E99° 7'40.02"，海拔 2240m）

评价区内曼陀罗（*Datura stramonium*）

#### 4.3.1.4 动物多样性

（1）动物区系

根据《中国动物地理》（张荣祖，2011）的中国动物地理区划，评价范围动物区划属于东洋界——西南区——西南山地亚区——三江横断省——热带亚热带山地森林动物群。

根据实地调查结果，并查阅《中国动物志（两栖纲）》（科学出版社，2009 年）、《中国爬行动物图鉴》（中国野生动物保护协会，2002 年）、《中国两栖纲和爬行纲动物校正名录》（赵尔宓，张学文等，2000 年）、《中国鸟类图鉴》（钱艳文，1995 年）、《中国鸟类分类与分布名录（第二版）》（郑光美，2011 年）、《中国野生哺乳动物》（盛和林、大泰司纪之等，1999 年）、《中国脊椎动物大全》（刘明玉，

解玉浩等，2000 年)、《中国哺乳动物种和亚种分类名录和分布大全》（王应详，2003)、《云南省德钦县兽类区系调查》（师蕾，2013)、《滇西北中甸的两栖爬行动物》(潘晓斌，2002)、《四川西南与云南西北地区鸟类的分类学研究》(郑作新，1963）以及关于本地区脊椎动物类的其他文献资料，对评价范围动物资源现状得出综合结论。

评价范围陆生动物有 21 目、64 科、147 种。从陆生动物区系成分看，以东洋种略多，有 70 种，占评价范围总种数的 47.62%。评价范围动物的种类组成、区系和保护动物数量详见表 4.3-8。

**表 4.3-8　评价范围陆生脊椎动物数量**

| 种类组成 | | | | 动物区系 | | | 保护动物 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 纲 | 目 | 科 | 种 | 东洋种 | 古北种 | 广布种 | 国家I级 | 国家II级 | 云南省级 | 四川省级 | 西藏自治区级 |
| 两栖纲 | 1 | 4 | 7 | 7 | 0 | 0 | — | — | — | — | — |
| 爬行纲 | 1 | 5 | 16 | 15 | 0 | 1 | — | — | — | — | — |
| 鸟纲 | 11 | 36 | 93 | 27 | 16 | 50 | 2 | 11 | — | — | 14 |
| 哺乳纲 | 8 | 19 | 28 | 19 | 2 | 7 | — | 5 | 1 | 3 | 9 |
| 合计 | 21 | 64 | 144 | 68 | 18 | 58 | 2 | 16 | 1 | 3 | 23 |

（2）两栖动物

1）种类组成

评价范围两栖动物有 1 目 4 科 7 种。其中蛙科种类最多，共有 3 种，占两栖动物种数的 42.76%。评价范围未发现国家重点保护和云南省、四川省、西藏自治区级重点保护野生两栖动物。

评价范围两栖动物中，优势种有华西雨蛙（*Hyla. annenctans*）、西藏蟾蜍（*Bufo tibetanus*），它们适应能力强，据现场调查和查阅发表的评价范围及其附近地区的相关文献，这些种类主要分布在评价范围农田附近及林缘灌丛。

2）区系组成

按区系类型划分，评价范围两栖动物均为东洋种，东洋界成分占绝对优势，这与评价范围地处东洋界的地理位置一致。

3）生态类型

根据生活习性的不同，评价范围两栖动物可分为以下 3 种生态类型：

静水型（在静水或缓流中觅食）：胫腺侧褶蛙（*Pelophylax shuchinae*）和腹斑倭蛙（*Nanorana ventripunctata*）2 种。主要在评价范围麦曲河、丹达曲等水流速较缓的河流活动，与人类活动关系较密切。

陆栖型（在陆地上活动觅食）：乡城齿蟾（*Oreolalax xiangchengensis*）、圆疣蟾蜍（*Bufo ailaoanus*）、西藏蟾蜍、昭觉林蛙（*Rana chaochiaoensis*）4 种。它们主要是在评价区金沙江及其支流等较潮湿的陆地上活动。

树栖型（在树上活动觅食，离水源较近的林子）：如华西雨蛙，主要在评价区离水域不远的树上生活。

（3）爬行动物

1）种类组成

评价范围爬行动物共有 1 目 5 科 16 种。其中游蛇科的种类最多，有 6 种，占 37.5%；其次为鬣蜥科，有 4 种，占 25.00％。评价范围中未发现国家重点保护和云南省、四川省、西藏自治区级重点保护野生爬行动物分布。

2）区系类型

按照爬行动物的区系类型，评价范围爬行动物分为2种区系类型：东洋种15种，占93.75％；广布种1种，占6.25％。评价范围爬行动物以东洋界成分占绝对优势，这与评价范围地处东洋界的地理位置一致。

3）生态类型

根据评价范围爬行动物生活习性的不同，可以分为以下3种生态类型：

住宅型（在住宅区的建筑物中筑巢、繁殖、活动的爬行动物）：有多疣壁虎（*Gekko japonicus*）1种。主要在评价区内鱼波村、茂顶村等村落附近活动。

灌丛石隙型（经常活动在灌丛下面，路边石缝中的爬行动物）：包括变色树蜥（*Calotes versicolor*）、草绿攀蜥（*Japalura yunnanensis*）、棕背树蜥（*Calotes emma*）、丽纹攀蜥（*Japalura splendida*）、康定滑蜥（*Scincella potanini*）、铜蜓蜥（*Sphenomorphusindicus*）、高原蝮（*Gloydius strauchii*）共7种。它们主要在金沙江两岸山地灌丛中，如弃渣场附近活动，与人类活动关系较密切。

林栖傍水型（在山谷间有溪流的山坡上活动）：紫灰锦蛇（*Elapheporphyracea*）、黑眉晨蛇（*Orthriophis taeniurus*）、缅甸颈槽蛇（*Rhabdophis leonardi*）、红脖颈槽蛇（*Rhabdophissubminiatus*）、黑头剑蛇（*Sibynophischinensis*）、棕网腹链蛇（*Amphiesma johannis*）、山烙铁头（*Ovophis monticola*）和乡城原矛头蝮（*Protobothrops xiangchengensis*）共8种。它们主要在评价范围内麦曲河、丹达曲等水域附近或两岸山谷溪流附近潮湿的林地内活动。

（4）鸟类

1）种类组成

评价范围共分布鸟类有 94 种，隶属于 11 目 36 科，其中以雀形目鸟类最多，共 65 种，占 69.15%。评价范围分布有国家I级重点保护野生鸟类 3 种，金雕（*Aquila chrysaetos*）、胡兀鹫（*Cypaetus barbatus*）和雉鹑（*Tetraophasis obscurus*）；国家II级重点保护野生鸟类 11 种，即高山兀鹫（*Gyps himalayensis*）、黑鸢（*Milvus migrans*）、雀鹰（*Accipiternisus*）、普通鵟（*Buteobuteo*）、红隼（*Falcotinnunculus*）、灰背隼（*Falco columbarius*）、血雉（*Ithaginis cruentus*）、红腹角雉（*Tragopan temminckii*）、藏马鸡（*Crossoptilon harmani*）、白腹锦鸡（*Chrysolophus amherstiae*）和灰林鸮（*Strix aluco*）。分布有西藏自治区级重点保护野生鸟类 14 种，其中 13 种同时为国家级重点保护野生鸟类，还有 1 种为赤麻鸭（*Tadorna ferruginea*），未发现云南省、四川省重点保护野生鸟类分布。

2）区系类型

评价范围分布的94种鸟类中，东洋种有28种，占28.72%；广布种有50种，占53.19%；古北种有16种，占17.21%。评价范围鸟类东洋界成分占优势，这与评价范围地处东洋界的地理位置一致。

3）居留型

根据鸟类迁徙的行为，可将评价范围鸟类分成以下4种居留型。

留鸟（长期栖居在生殖地域，不作周期性迁徙的鸟类）：共64种，占评价范围所有鸟类种数的68.09%，在评价范围占的比例最大，主要包括鸡形目、鸽形目、和雀形目中的一些种类等；

冬侯鸟（冬季在某个地区生活，春季飞到较远而且较冷的地区繁殖，秋季又飞回原地区的鸟）：共7种，占评价范围鸟类种数的7.45%，种类较少，主要有雁形目个别种类和少数雀形目种类；

夏侯鸟（夏候鸟是指春季或夏季在某个地区繁殖、秋季飞到较暖的地区去过冬、第二年春季再飞回原地区的鸟）：共21种，占评价范围鸟类种数的22.34%，主要包括雀形目部分种类；

旅鸟（指迁徙中途经某地区，而又不在该地区繁殖或越冬）：共2种，占评价范围鸟类种数的2.15%，主要包括少数雀形目种类。

总体来看，在评价范围繁殖（包括留鸟和夏候鸟）的鸟类有 85 种，比例达到 90.43%，所占比例较大，说明评价范围大部分鸟类都在评价范围繁殖。

4）生态类型

按生活习性的不同，可以将评价范围94种鸟类分为以下6种生态类型：

**涉禽**（嘴，颈和脚都比较长，脚趾也很长，适于涉水行进，不会游泳，常用长嘴插入水底或地面取食）：评价范围有白鹭（*Egretta garzetta*）和苍鹭（*Ardea cinerea*），共 2 种。主要分布于评价范围金沙江沿岸滩涂、沼泽或农田等生境，为迁徙鸟类。

**游禽**（脚向后伸，趾间有蹼，有扁阔的或尖嘴，善于游泳、潜水和在水中掏取食物）：评价范围有赤麻鸭（*Tadorna ferruginea*）、普通秋沙鸭（*Mergus squamatus*）和凤头潜鸭（*Aythya fuligula*）3种，主要活动于评价范围麦曲河等河流水域。

**陆禽**（体格结实，嘴坚硬，脚强而有力，适于挖土，多在地面活动觅食）：评价范围有鸡形目和鸽形目部分种类，如血雉、雉鹑、红腹角雉、藏马鸡、白腹锦鸡、环颈雉（*Phasianus colchicus*）、岩鸽（*Columba rupestris*）、山斑鸠（*Streptopelia orientalis*）、雪鸽（*Columba leuconota*）、火斑鸠（*Oenopopelia tranquebarica*）等 10 种。雉鹑、红腹角雉、藏马鸡、血雉、白腹锦鸡主要分布于评价范围金沙江两岸山顶植被较为丰富的林地生境；鸽形目种类分布范围较广，金沙江河谷两侧坡地农田、灌丛灌草丛生境至评价范围外缘林地均有分布。

**猛禽**（具有弯曲如钩的锐利嘴和爪，翅膀强大有力，能在天空翱翔或滑翔，捕食空中或地下活的猎物）：评价范围分布有金雕、高山兀鹫、胡兀鹫、黑鸢、雀鹰、普通鵟、红隼、灰背隼和灰林鸮等，共 9 种。其中隼形目种类飞翔能力强，活动范围广泛，河谷农田、灌丛灌草丛生境至评价范围外缘林地均有分布，鸮形目种类主要活动于金沙江两岸山顶植被较好的林地区域及林缘地带。

**攀禽**（嘴、脚和尾的构造都很特殊，善于在树上攀缘）：评价范围分布有大杜鹃（*Cuculus canorus*）、白腰雨燕（*Apus pacificus*）、戴胜（*Upupa epops*）、蚁䴕（*Jynx torquilla*）和大斑啄木鸟（*Dendrocopos major*）等 5 种。鹃形目和䴕形目种类多分布于金沙江两岸及评价范围外缘植被丰富的林地生境，雨燕目种类主要分布于评价范围陡峭崖壁河谷及支沟、支流，戴胜目种类分布广泛，各生境均有分布。

**鸣禽**（鸣管和鸣肌特别发达，一般体形较小，体态轻捷，活泼灵巧，善于鸣叫和歌唱，且巧于筑巢）：评价范围分布的雀形目种类，共 65 种。其种类较多，各类群主要栖息生境各有不同，但总体上主要集中分布于评价范围河谷及其支流

两岸、村落或评价范围外缘植被较为丰富的灌丛或林地生境。

（5）兽类

1）种类组成

根据实地调查及相关资料，评价范围兽类共有 8 目 19 科 30 种。评价范围未发现国家I级重点保护野生兽类；国家II级重点保护野生兽类 7 种，即猕猴（*Macaca mulatta*）、黑熊（*Ursus thibetanus*）、青鼬（*Martes flavigula*）、小熊猫（*Ailurus fulgens*）、斑羚（*Naemorhedus goral*）、鬣羚（*Capricornis umatraensis*）和岩羊（*Pseudois nayaur*）。另外，分布有 11 种省级（自治区级）重点保护野生兽类，包括 7 种国家级重点保护野生动物和赤狐（*Vulpes vulpes*）、黄鼬（*Mustela sibirica*）、豹猫（*Prionailurus bengalensis*）、毛冠鹿（*Elaphodus cephalophus*）。

2）区系类型

评价范围的兽类中，有东洋种 20 种，占评价范围兽类总种数的 66.67%；古北种 2 种，占总种数的 6.67%；广布种 8 种，占总种数的 26.66%。评价范围兽类东洋界成分占优势，这与评价范围地处东洋界的地理位置一致。

3）生态类型

评价范围 30 种兽类按其生活习性，可分为以下 4 类生态类型：

**穴居型**（主要在地面活动觅食，栖息、避敌于洞穴中，有的也在地下寻找食物）：包括长尾鼩鼱（*Scaptonyx fusicaudatus*）、大长尾鼩鼱（*Episoriculus leucops*）、黄鼬（*Martes flavigula*）、青鼬（*Martes flavigula*）、鼬獾（*Melogale moschata*）、德钦绒鼠（*Eothenomys wardi*）、中华姬鼠（*Apodemus draco*）、大耳姬鼠（*Apodemus latronum*）、高山姬鼠（*Apodemus chevrieri*）、豪猪（*Hystrix brachyura*）、高原兔（*Lepus oiostolus*）、川西鼠兔（*Ochotona gloveri*）和灰鼠兔（*Ochotona roylei*）等共 13 种。主要分布于金沙江两岸山顶外缘植被丰富的林地；鼬科种类主要分布在评价范围林地、灌丛等生境；啮齿目鼠科种类分布广泛，评价范围各生境均有分布。

**岩洞栖息型**（在岩洞中倒挂栖息的小型兽类）：只有托氏菊头蝠（*Rhinolophus thomasi*）1 种。主要分布于金沙江两岸山体洞穴或鱼波村等村落居民区等区域。

**树栖型**（主要在树上栖息、觅食的兽类）：包括中缅树鼩（*Tupaiidae belangeri*）、豹猫、赤腹松鼠（*Callosciurus erythraeus*）、隐纹花松鼠（*Tamiops swinhoei*）、珀氏长吻松鼠（*Dremomys pernyi*）、红白鼯鼠（*Petaurista alborufus*）和灰头小鼯

鼠（*Petaurista caniceps*）共 7 种。主要分布于两岸山顶外缘植被丰富的林地生境，在河谷两岸植被较好的灌丛、村落亦有分布。

**陆栖型**（主要在地面活动）：包括猕猴、赤狐、黑熊、小熊猫、野猪（*Sus scrofa*）、斑羚、鬣羚、毛冠鹿和岩羊共 9 种。主要分布于噶金雪山自然保护区等植被丰富的林地及林缘灌丛生境，在村庄附近的灌丛中也有分布。

（6）重点保护野生动物

评价范围重点保护野生动物总计 23 种，其中国家I级重点保护野生动物 3 种，即金雕、胡兀鹫和雉鹑；国家Ⅱ级重点保护野生动物共 18 种，即高山兀鹫、黑鸢、雀鹰、普通鵟、红隼、灰背隼、血雉、红腹角雉、藏马鸡、白腹锦鸡、灰林鸮、猕猴、黑熊、青鼬、小熊猫、斑羚、鬣羚和岩羊；另外还有 5 种为省级（自治区级）重点保护野生动物。评价范围重点保护野生动物的生态学特征及分布区域详见下表。

根据《云南省德钦县兽类区系调查》（师蕾，2013）、《滇西北中甸的两栖爬行动物》（潘晓斌，2002）、《四川西南与云南西北地区鸟类的分类学研究》（郑作新，1963）以及关于本地区脊椎动物类的其他文献资料，项目所在区域还可能分布有黑鹳、黑颈鹤、雪豹等重点保护野生动物。根据相关资料，雪豹主要分布于白马雪山自然保护区，距离项目区距离较远；黑鹳、黑颈鹤等重点保护涉禽主要分布于沼泽地、湖泊及河滩地带，但项目所在区域无湖泊分布，金沙江水流湍急，滩涂较少，黑鹳、黑颈鹤等湿地鸟类在项目区分布的可能性较小，仅可能迁徙经过项目所在区域。另外据当地居民描述，评价范围基本未见过在金沙江及其沿岸活动的游禽、涉禽。

表 4.3-9　评价区重点保护野生动物名录

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 1. 金雕<br>*Aquila chrysaetos* | 留 | 古北种 | 大型猛禽，栖于崎岖干旱平原、岩崖山区及开阔原野，最高达到海拔4000m以上，筑巢于针叶林、针阔混交林或疏林内高大的红松、落叶松、杨树及柞树等乔木之上；捕食于雉类、鼠类及其他哺乳动物。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家I级、藏 II级 | | √ | √ | + | 资料 |
| 2. 胡兀鹫<br>*Cypaetus barbatus* | 留 | 广布种 | 栖息在海拔500～4000m山地裸岩地区。喜栖息于开阔地区，象草原、冻原、高地和石楠荒地等处。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家I级、藏 I级 | | √ | √ | + | 资料 |
| 3. 雉鹑<br>*Tetraophasis obscurus* | 留 | 东洋种 | 栖于海拔4000m左右的针叶林、灌丛及裸岩地带，结小群活动于近林线的高山草甸、碎石滩和杜鹃灌丛，繁殖期在每年的5-6月间，营巢多在峭壁岩石下的洞穴或灌木、杂草丛中的地面上。主要以植物为食。分布于金沙江两岸山顶林地。 | 国家I级、藏 I级 | | | √ | + | 资料 |
| 4. 高山兀鹫<br>*Gyps himalayensis* | 留 | 广布种 | 栖息于海拔2500～4500m的高山、草原及河谷地区，多单个或结成十几只小群翱翔，繁殖期为2～5月份，通常营巢于高原上的悬崖岩壁的凹处和边缘上主要以尸体、病弱的大型动物、旱獭、啮齿类或家畜等为食。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏 I级 | | √ | √ | + | 目击 |

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 5. 黑鸢<br>*Milvus migrans* | 留 | 广布种 | 栖息于开阔平原、草地、荒原和低山丘陵地带，也出现在2000m以上的高山森林和林缘地带；繁殖期4～7月，营巢于高大树上，主要以小鸟、鼠类、蛇、蛙、鱼、野兔、蜥蜴和昆虫等动物性食物为食。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏Ⅰ级 | | √ | √ | ++ | 资料 |
| 6. 雀鹰<br>*Accipiter nisus* | 留 | 广布种 | 分布于海拔区间700～2400m，小型猛禽，栖息于茂密的针叶林和常绿阔叶林以及开阔的林缘疏林地带， 冬季常到山脚和平原地带的小块丛林、竹园与河谷地带。以鸟、昆虫和鼠类等为食。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏 II级 | | √ | √ | + | 资料 |
| 7. 普通鵟<br>*Buteo buteo* | 冬 | 古北种 | 常见于开阔平原、荒漠、旷野、开垦的耕作区、林缘草地和村庄，分布海拔可达3600m。以森林鼠类为食，也吃蛙、蜥蜴、蛇、野兔、小鸟和大型昆虫等动物性食物，有时亦到村庄捕食鸡等家禽。繁殖期5~7月。通常营巢于林缘或森林中高大的树上，尤喜针叶树。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏Ⅰ级 | | √ | √ | ++ | 资料 |
| 8. 红隼<br>*Falco tinnunculus* | 留 | 广布种 | 栖息于山地森林、森林苔原、低山丘陵、草原、旷野、森林平原、山区植物稀疏的混合林、开垦耕地等。繁殖期 5～7月，以大型昆虫、小型鸟类、青蛙、蜥蜴以及小哺乳动物为食。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏Ⅰ级 | 附录II | √ | √ | ++ | 资料 |

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 9. 灰背隼<br>*Falco columbarius* | 留 | 广布种 | 栖息于开阔的低山丘陵、山脚平原、森林平原、海岸和森林苔原地带，繁殖期为5-7月份，通常营巢于树上或悬崖岩石上，主要以昆虫和鼠类等小型动物为食。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏II级 | 附录II | √ | √ | + | 资料 |
| 10. 血雉<br>*Ithaginis cruentus* | 留 | 广布种 | 陆禽，分布于海拔3200～4700m处，栖息于雪线附近的高山针叶林、混交林及杜鹃灌丛中，繁殖期为4月下旬至6月份，食物主要以植物为主。分布于金沙江两岸山顶林地。 | 国家II级、藏II级 | 附录II | | √ | + | 资料 |
| 11. 红腹角雉<br>*Tragopan temminckii* | 留 | 古北种 | 陆禽，栖息于海拔1000～3500m的山地森林、灌丛、竹林等不同植被类型，每年三月红腹角雉进入繁殖期，主要以乔木、灌木、竹、草本植物和蕨类的嫩芽、嫩叶、青叶、花、果实和种子等为食，兼食少量动物性食物。分布于金沙江两岸山顶林地。 | 国家II级、藏II级 | | | √ | + | 资料 |
| 12. 藏马鸡<br>*Crossoptilon harmani* | 留 | 古北种 | 陆禽，栖息于海拔2500～6000m的裸露岩石、稀疏及高山草甸地带，繁殖期5-7月，主要以植物的叶、芽、果实和种子等为食，也吃少量昆虫等动物性食物。分布于金沙江两岸山顶林地。 | 国家II级、藏II级 | | | √ | + | 资料 |

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 13. 白腹锦鸡<br>*Chrysolophus amherstiae* | 留 | 东洋种 | 栖息于海拔2000～4000m的山地，活动于多岩的荒芜山地、灌丛及矮竹间，4月下旬开始繁殖，筑巢于人畜罕至的山坡地面的倒木枯枝下或巨岩缝隙里，常以植物茎、叶、花、果实、种子和农作物为食。也吃部分昆虫等动物性食物。分布于金沙江两岸山顶林地。 | 国家II级、藏II级 | | | √ | + | 资料 |
| 14. 灰林鸮<br>*Strix aluco* | 留 | 广布种 | 猛禽，主要栖息于山地森林、荒野、林缘灌丛、疏林、高山和峭壁等，栖息地的海拔高度可达4000m左右。以各种鼠类为食，但食性很广，几乎包括所有能够捕到的动物。繁殖期为 4～7 月。猛禽，评价区活动范围广泛。 | 国家II级、藏II级 | 附录II | √ | √ | + | 资料 |
| 15. 猕猴<br>*Macaca mulatta* | — | 广布种 | 栖息于热带、亚热带及暖温带阔叶林，从低丘到3000～4000m高海拔，以树叶、嫩枝、野菜等为食，也吃小鸟、鸟蛋、各种昆虫，一般于11月至12月发情。次年3月至6月产仔。分布于噶金雪山自然保护区等区域。先场调查在贡波乡附近观测到。 | 国家II级、藏II级 | 附录II | | √ | ++ | 目击 |
| 16. 黑熊<br>*Ursus thibetanus* | — | 东洋种 | 栖息于海拔1000～4400m的森林中。夏季交配，怀孕期7个月，食性较杂，以植物叶、芽、果实、种子为食，有时也吃昆虫、鸟卵和小型兽类。分布于噶金雪山自然保护区，访问调查得知有人在山上采虫草时遇见。 | 国家II级、藏II级 | 附录I | | √ | + | 资料访问 |

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 17. 小熊猫<br>*Ailurus fulgens* | — | 东洋种 | 栖息于海拔1000m～3800m的阔叶林、针阔混交林或针叶林带的林下竹丛间，一般在早春3~4月间发情，妊娠期为117~122天，于5~7月产仔；喜食箭竹的竹笋、嫩枝和竹叶，各种野果、树叶、苔藓、以及捕食小鸟或鸟卵和其它小动物、昆虫等。分布于噶金雪山自然保护区等区域。 | 国家II级、藏II级 | 附录I | | √ | + | 资料 |
| 18. 青鼬<br>*Martes flavigula* | — | 广布种 | 栖息地海拔高度为3000m以下，活动于常绿阔叶叶林和针阔叶混交林区，6～7月发情。妊娠期（包括受精卵延迟着床期）9～10个月。次年5月产仔，主要食物包括鼠、獾、狸、鸟和鸟卵、鱼，以及植物的果实等。分布于评价区山顶林地。 | 国家II级、藏II级 | 附录III | | √ | + | 资料 |
| 19. 岩羊<br>*Pseudois nayaur* | — | 广布种 | 栖息在海拔2100～6300m之间的高山裸岩地带，冬季发情交配，次年6、7月产仔，以青草和各种灌丛枝叶为食。访问调查有居民在金沙江两岸坡地发现。 | 国家II级、藏II级 | 附录III | √ | √ | ++ | 资料访问 |
| 20. 斑羚<br>*Naemorhedus goral* | — | 广布种 | 栖息生境多样，从亚热带至北温带地区均有分布，可见于山地针叶林、山地针阔叶混交林和山地常绿阔叶林。分布于噶金雪山自然保护区等区域。 | 国家II级、藏II级 | 附录I | | √ | + | 资料 |

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 21. 鬣羚<br>*Capricornis umatraensis* | — | 东洋种 | 活动于针阔混交林、针叶林或多岩石的杂灌林。分布于噶金雪山自然保护区等区域。 | 国家II级、藏II级 | | | √ | + | 资料 |
| 22. 赤麻鸭<br>*Tadorna ferruginea* | — | 广布种 | 广泛繁殖于中国东北和西北，及至青藏高原海拔4600m，栖息于江河、湖泊、河口、水塘及其附近的草原、荒地、沼泽、沙滩、农田和平原疏林等各类生境中，繁殖期4～5月，以各种谷物、昆虫、甲壳动物、蛙、虾、水生植物为食。分布于麦曲河等水域。 | 藏II级 | | √ | √ | + | 资料 |
| 23. 赤狐<br>*Vulpes vulpes* | — | 广布种 | 栖息环境非常多样，如森林、草原、荒漠、高山、丘陵、平原及村庄附近，甚至于城郊，皆可栖息。每年的12-2月发情、交配，于次年3-4月间产仔于土穴或树洞里。主要以草地田鼠、鼠、松鼠、兔鼠类为食，也吃野禽、蛙、鱼、昆虫等，还吃各种野果和农作物。分布于噶金雪山自然保护区等区域。 | 川、藏I级 | | | √ | + | 资料访问 |
| 24. 黄鼬<br>*Mustela sibirica* | — | 广布种 | 栖息于森林缘、山地灌丛、高原草原、农耕地、河谷沼泽等地带。每年3-4月发情交配，通常5月产仔，主要以啮齿类动物为食，偶尔也吃其他小型哺乳动物。分布于噶金雪山自然保护区等区域。 | 藏I级 | 附录III | √ | √ | + | 资料 |
| 25. 豹猫<br>*Prionailurus bengalensis* | — | 广布种 | 栖息于山地林区、郊野灌丛和林缘村寨附近。分布的海拔高度可从低海拔海岸带一直分布到海拔3000m高山林区。主要以啮齿类、鸟类、鱼类、爬行类及小型哺乳动物为食。分布于噶金雪山自然保护区等区域。 | 川、藏II级 | 附录I | | √ | + | 资料 |

| 物种 | 居留型 | 区系 | 习性 | 保护级别 | CITES附录濒危等级 | 分布区域 | | 数量级 | 依据 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | | |
| 26. 毛冠鹿<br>*Elaphodus cephalophus* | — | 东洋种 | 栖居在山区的丘陵地带，繁茂的竹林、竹阔混交林及茅草坡等处，经常活动干海拔1000～4000m之间的山上，每年4～5月交配，多以种子植物以及蕨类和伞菌为食。分布于评价区山顶林地。 | 川、云 II级、藏 II级 | | | √ | + | 资料 |

备注：“+++”表示某动物种群在单位面积内其数量占所调查动物总数的 10%及以上，该种群为当地优势种；“++”表示某动物种群占调查总数的 1~10%之间，该动物种为当地普通种；“+”表示对某动物种群占调查总数的 1%及以下，该物种为当地稀有种。

（7）特有动物

根据《中国生物多样性红色名录》，评价区发现有中国特有动物 18 种，评价区内中国特有动物如表 4.3-10 所示。

**表 4.3-10　评价范围重点保护野生动物名录**

| 序号 | 中文名 | 生境 | 红色名录等级 | 分布 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 直接影响区 | 间接影响区 |
| 1. | 乡城齿蟾<br>*Oreolalax xiangchengensis* | 栖于海拔2000－3000m的高原水溪中。 | 无危（LC） | √ | √ |
| 2. | 圆疣蟾蜍<br>*Bufo tuberculatus* | 生活于海拔2600～2700m的河谷地区 | 近危（NT） | | √ |
| 3. | 西藏蟾蜍<br>*Bufo tibetanus* | 栖息于海拔2400—4300m的高原草地、农田及林缘的乱石或杂草丛中。 | 无危（LC） | √ | √ |
| 4. | 华西雨蛙<br>*Hyla. annenctans* | 栖息于海拔750-2400m稻田地区。 | 无危（LC） | √ | √ |
| 5. | 昭觉林蛙<br>*Rana chaochiaoensis* | 栖息于山岭地带近水域的 草间或树林内。在水中完成冬眠期，后进入森林进行陆地生活大量进食。 | 无危（LC） | √ | √ |
| 6. | 腹斑倭蛙<br>*Nanorana ventripunctata* | 多见于水坑、水塘以及湖泊等静水域。 | 无危（LC） | √ | √ |
| 7. | 草绿攀蜥<br>*Japalura flaviceps* | 栖息于海拔较高的山区 | 无危（LC） | √ | √ |
| 8. | 丽纹攀蜥<br>*Japalura splendida* | 多在农田边的草丛或灌丛中活动 | 无危（LC） | √ | √ |
| 9. | 康定滑蜥<br>*Scincella potanini* | 多见于高海拔地区、常发现于森林下溪旁杂草间及山坡碎石块下、或有稀疏灌丛杂草亦浅的潮湿地 | 无危（LC） | | √ |
| 10. | 棕网腹链蛇<br>*Amphiesma johannis* | 生活于山地林区 | 无危（LC） | | √ |
| 11. | 高原蝮<br>*Gloydius strauchii* | 生活于高山高原草原地区以及多出没于有乱石堆处。 | 近危（NT） | √ | √ |
| 12. | 乡城原矛头蝮<br>*Protobothrops xiangchengensis* | 栖息于山区森林中。 | 无危（LC） | | √ |
| 13. | 藏马鸡<br>*Crossoptilon harmani* | 栖息于海拔2500~6000m的裸露岩石、稀疏及高山草甸地带。 | 近危（NT） | | √ |
| 14. | 橙翅噪鹛<br>*Garrulax elliotii* | 结小群于开阔次生林及灌丛的林下植被及竹丛中取食。 | 无危（LC） | √ | √ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15. | 滇鸸<br>*Sitta yunnanensis* | 海拔1300-3200m中山和高山沟谷林、山坡针叶林或针阔混交林带。 | 易危（VU） | | √ |
| 16. | 红白鼯鼠<br>*Petaurista alborufus* | 栖息于海拔1000m左右山坡森林地带或石灰岩隐蔽处。 | 无危（LC） | √ | √ |
| 17. | 德钦绒鼠<br>*Eothenomys wardi* | 栖息于海拔800-3200m的山地、丘陵地带山麓作物地及山麓灌木丛，菜园、稻田环境中，偶尔亦进家屋。 | 近危（NT） | √ | √ |
| 18. | 川西鼠兔<br>*Ochotona gloveri* | 主要栖息于高山草原。 | 无危（LC） | √ | √ |

### 4.3.1.5 景观生态体系

（1）生物量

地面部分生物量的测定参照《中国森林生态系统的生物量和生产力》（冯宗炜等著）中的方法；乔木生物量有《四川森林》、《四川森林生态研究》等专著参考和实际测量所得。

森林采用区域生物量估算方法中的蓄积量推算法：

$$B = V_{total} \times E_F$$

式中，$V_{total}$ 为该中林型的木材蓄积量，$E_F$ 为木材转换为生物量的常数，一般取 0.52（Marland，1988）。

灌丛及灌草丛的生物量分为地上及地下部分进行测定。灌丛地上生物量用齐地面收割法收获各 5×5m 灌丛样方地上部分（干、枝、叶）生物量，野外实测称其鲜重，同时称一定数量的样品带回实验室，80℃恒温烘至恒重后称重，然后根据比例求出单位面积生物量。采用同样的方法获得每个5×5m灌草丛地上生物量。植被地下部分即根系统，由于根系处于地下，给实际工作带来了很大的困难，其测定方法也不尽一致，本评价中，利用实测的灌丛和灌草丛地上生物量，再根据发表文献中地下与地上部分生物量的比例系数推算该类型地下生物量，计算出总生物量。根据当地气候及水热条件，灌丛采用《中国主要灌丛植被碳储量》中灌丛植被地下生物量与地上生物量比值（R/S）为 1.17，灌草丛采用《中国草地植被生物里及其空间分布格局》中热性灌草丛类 R/S 值为 4.42。

通过以上方法，并对比金沙江上游、迪庆州等植被生物量相关文献资料可以

粗略的估算不同植被群系的生物量。

本次调查选取了 16 个群落类型进行生物量测定和估算，评价区主要植被类型的生物量见表 4.3-11。

**表 4.3-11　旭龙水电站评价区代表性植被类型生物量情况统计表**

| 群落类型 | 蓄积量（$m^3/hm^2$） | 平均生物量（$t/hm^2$） | 备注 |
|---|---|---|---|
| 乔木群落 | | | |
| 1. 高山松林 | 111.51 | 124.00 | 通过测量树高、胸径、株数的推算值 |
| 2. 川西云杉、鳞皮冷杉林 | 244.86 | 193.96 | 通过测量树高、胸径、株数的推算值 |
| 3. 山杨、白桦林 | 22.75 | 87.36 | 通过测量树高、胸径、株数的推算值 |
| 4. 矮高山栎灌丛 | —— | 17.33 | |
| 5. 清香木灌丛 | —— | 6.08 | 收割法实测 |
| 6. 小鞍叶羊蹄甲灌丛 | —— | 6.6 | 文献资料 |
| 7. 小叶荆灌丛 | —— | 5.32 | 文献资料 |
| 8. 白刺花灌丛 | —— | 5.78 | 文献资料 |
| 9. 戟叶酸模灌丛 | —— | 5.15 | 收割法实测 |
| 10. 野迎春灌丛 | —— | 4.28 | 文献资料 |
| 11. 拟金茅+黄茅灌草丛 | —— | 3.54 | 收割法实测 |
| 12. 垫状卷柏灌草丛 | —— | 3.88 | 收割法实测 |
| 13. 蜈蚣草灌草丛 | —— | 2.78 | 文献资料 |
| 14. 狗尾草灌草丛 | —— | 3.55 | 文献资料 |
| 15. 问荆灌草丛 | —— | 2.35 | 文献资料 |
| 16. 狭穗针茅灌草丛 | —— | 3.56 | 文献资料 |



2018.3.28，戟叶酸模是测生物量



2018.3.30，垫状卷柏实测生物量

根据现场调查和卫片解译，结合评价范围地表植被覆盖现状和植被立地情况，

将评价范围植被类型划分为 6 类。评价范围各植被类型生物量见表 4.3-12。

表 4.3-12　评价范围自然体系生物量一览表

| 生态类型 | 代表植物 | 面积（$hm^2$） | 占评价范围总面积（%） | 平均生物量（$t/hm^2$） | 生物量（万 t） | 占总生物量（%） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 针叶林 | 高山松 | 760.82 | 1.76 | 124.00 | 9.43 | 16.81 |
| | 川西云杉、鳞皮冷杉 | 670.25 | 1.55 | 193.96 | 13.00 | 23.17 |
| 阔叶林 | 山杨、白桦 | 380.41 | 0.88 | 87.36 | 3.32 | 5.92 |
| 灌丛 | 矮高山栎 | 8558.69 | 19.76 | 17.33 | 14.83 | 26.43 |
| | 小叶荆、灰岩木蓝、小鞍叶羊蹄甲等 | 22174.78 | 51.21 | 5.54 | 12.28 | 21.89 |
| 灌草丛 | 拟金茅、黄茅、垫状卷柏等 | 8169.66 | 18.87 | 3.28 | 2.68 | 4.78 |
| 农作物 | 青稞 | 869.69 | 2.01 | 5.79 | 0.50 | 0.90 |
| 河流水域 | 淡水藻类 | 617.85 | 1.43 | 0.92 | 0.05 | 0.10 |
| 总计 | | | 97.46 | —— | 56.11 | 100.00 |

1）表中未包括建设用地和其他用地面积 1101.38$hm^2$，占评价范围面积的 2.54%。

2）灌丛灌草丛植被类型为实测法获得，其余各植被类型查阅蓄积量资料换算值。同时参考：方精云，刘国华，徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报，1996，16（5）：497~508。

经计算，评价范围植被总生物量 $5.61\times10^5$t，灌丛总生物量最大，为 $2.71\times10^5$t 包含矮高山栎灌丛和其他灌丛，占评价范围总生物量的 48.32%。

（2）景观优势度

在卫星遥感图片解译的基础上，结合植被类型划分，确定评价范围景观类型，具体划分为林地、灌草地、耕地、水域、建设用地和其他用地 6 类。采用景观优势度计算方法，确定评价范围景观模地。景观优势度计算公式：

优势度值（$D_o$）=$\{(R_d+R_f)/2+L_p\}/2\times100$

密度（$R_d$）＝嵌块 i 的数目/嵌块总数×100

频度（$R_f$）＝嵌块 i 出现的样方数/总样方数×100

景观比例（$L_p$）=嵌块 i 的面积/样地总面积×100

6 类景观类型中优势度值最大的即为评价范围景观模地。

根据遥感解译和样方调查结果，得到各景观类型的密度、频度、景观比例和优势度计算结果，详见表 4.3-13。

表 4.3-13　评价范围景观优势度值计算表

| 斑块类型 | $R_d$（%） | $R_f$（%） | $L_p$（%） | $D_o$（%） |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 林地 | 10.75 | 8.93 | 4.18 | 7.01 |
| 灌草地 | 66.59 | 75.13 | 89.84 | 80.35 |
| 耕地 | 0.34 | 0.86 | 2.01 | 1.30 |
| 水域 | 1.42 | 1.45 | 1.43 | 1.43 |
| 建设用地 | 5.24 | 3.82 | 0.33 | 2.43 |
| 其他用地 | 15.67 | 11.81 | 2.21 | 7.98 |

从上表可以看出：评价范围建设前组成景观的各斑块类型中，灌草地的优势度 Do 最高，达 80.35%，其密度 66.59%，频度 75.31%，景观比例 89.84%，远高于其他斑块类型，说明灌草地是该地区的景观模地，是本区域内对景观具有控制作用的生态体系部分。由于干热河谷灌草丛占绝对优势，但其生产能力和抗干扰能力一般，因此评价范围景观生态体系生产能力及抗干扰能力为一般，系统调控环境质量能力也一般。另外，对生态环境质量干扰较大的建筑用地景观，其优势度为 2.43%。说明评价范围受到一定程度的人为干扰，但不是主导因素，评价范围仍是以原生性植被为主的景观生态体系。

（3）景观多样性

景观要素的多样性通过景观多样性指数与景观均匀度指数进行测度，景观破碎化程度通过斑块破碎度指数测度。

1）景观多样性指数反映了斑块数目的多少以及斑块之间的大小变化，计算公式为：

$$\Delta E = \sum(Eh_i - E_{qi}) \times W_i$$

式中：*H'*——景观多样性指数；

$P_i$——斑块类型 *i* 所占景观面积的比例；

*m*——斑块类型数量。

2）景观均匀度指数反映了景观中各类斑块类型的分布平均程度，计算公式为：

$$E' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{-\sum(P_i \times \ln P_i)}{\ln n}$$

式中：*E'*——景观均匀度指数；

*H'*——景观多样性指数；

$H_{max}$——景观多样性指数最大值；

$n$——景观中最大可能的斑块类型数。

当 $E'$趋于 1 时，景观斑块分布的均匀程度也趋于最大。

3）斑块破碎度指数的计算公式为：

$$F = \frac{N_P - 1}{N_C}$$

式中：$F$——破碎度指数；

$N_P$——被测区域中景观斑块总数量；

$N_C$——被测区域总面积与最小斑块面积的比值；

$n$——景观中最大可能的斑块类型数。

$F$ 值域为[0，1]，F 值越大，景观破碎化程度越大。

根据计算，评价区景观多样性指数为 0.1638。灌丛/灌草丛景观类型面积及斑块数量远高于其他景观类型。评价区景观均匀度指数不高，仅 0.0788，景观异质性较大。这与评价范围内各景观类型随海拔分布不同差异较大有关，其中灌丛、灌草丛主要集中分布于河谷至 2800m 的坡地；耕地及建设用地主要分布于河谷平缓地段、河滩阶地；林地主要分布于 2900m 以上，灌丛/灌草丛、林地及水域等景观类型分布集中。评价区景观破碎化指数为 0.000159，说明评价区景观破碎化程度较低。

#### 4.3.1.6 叶巴滩至旭龙河段两侧生态完整性变化趋势

目前紧邻旭龙水电站上游正在建设叶巴滩和苏洼龙两座水电站。为了比较两座水电站建设前后对金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧生态完整性变化，选择了 2011 年（叶巴滩、苏洼龙水电站均未开工建设）、2014 年（叶巴滩、苏洼龙水电站均未开工建设）和 2018（叶巴滩水电站开始施工、苏洼龙水电站截流）年 3 个时段的卫片，结合实际调查结果进行卫片解译，从植被类型、生物量和景观优势度 3 个方面来分析两个电站建设前后金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧生态完整性变化情况。

（1）植被类型

将 3 个时段的植被类型按照针叶林、阔叶林、灌丛及灌草丛和农作物进行卫片解译，2011 年、2014 年和 2018 年 3 个时段金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧

植被类型面积变化比较见表 4.3-14。

**表 4.3-14　3 个时段金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧植被类型面积变化表**

| 植被类型 | 2011 年 | | 2011-2014 年 | 2014-2018 年 |
|---|---|---|---|---|
| | 面积（万 $hm^2$） | 百分比（%） | 面积（$hm^2$） | 面积（$hm^2$） |
| 针叶林 | 12.57 | 26.54 | 449.9 | 784.15 |
| 阔叶林 | 5.02 | 10.59 | 106.1 | 204.51 |
| 灌丛及灌草丛 | 26.90 | 56.79 | -316.36 | -1876.56 |
| 农作物 | 1.72 | 3.63 | -879.42 | -596.22 |

从 2011 年至 2018 年，针叶林和阔叶林面积增加，这与区域重视天然林和生态公益林保护有关。金沙江流域是长江上游生态脆弱地区，是长江上游水土保持重点防治工程、天然林保护工程和退耕还林工程等生态建设工程的重点实施区。从 2011 年至 2018 年，灌丛及灌草丛和农作物面积减少，这与区域经济发展，叶巴滩至旭龙金沙江河段建设叶巴滩和苏洼龙两座电站有一定关系。

（2）生物量

根据每种植被类型的平均生物量，以及植被类型面积，得到每种植被类型的生物量，然后对比不同年份生物量的总体变化，得到 3 个时段金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧植被生物量对比表，详见表 4.3-15。

**表 4.3-15　　3 个时段金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧植被生物量对比表**

| 植被类型 | 2011 年 | | 2014 年 | | 2018 年 | | 生物量变化（万 t） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 生物量（万 t） | 比例% | 生物量（万 t） | 比例% | 生物量（万 t） | 比例% | 2011-2014 年 | 2014-2018 年 |
| 针叶林 | 1998.82 | 74.52 | 2005.97 | 74.58 | 2018.44 | 74.7 | 7.15 | 12.47 |
| 阔叶林 | 438.47 | 16.35 | 439.39 | 16.34 | 441.18 | 16.33 | 0.93 | 1.79 |
| 灌丛和灌草丛 | 234.52 | 8.74 | 234.24 | 8.71 | 232.61 | 8.61 | -0.28 | -1.64 |
| 农业植被 | 9.96 | 0.37 | 9.45 | 0.35 | 9.10 | 0.34 | -0.51 | -0.35 |
| 水域 | 0.64 | 0.02 | 0.63 | 0.02 | 0.63 | 0.02 | -0.01 | 0.00 |
| 合计 | 2682.40 | 100 | 2689.69 | 100 | 2701.96 | 100 | 7.28 | 12.27 |

由表 4.3-15 可知，从 2011 年到 2014 年，金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧植被总生物量增加了 7.28 万 t。天然植被中，针叶林和阔叶林的生物量分别增加了 7.15 万 t 和 0.93 万 t；农业植被生物量减少了 0.51 万 t；水域生物量减少了 0.01 万 t。从 2014 年到 2018 年，金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧植被总生物量增加了 12.27 万 t。天然植被中，针叶林和阔叶林的生物量分别增加了 12.47 万 t 和 1.79 万 t；农业植被生物量减少了 0.35 万 t；水域生物量减少了 28t。

总体而言，2011 年至 2018 年，金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧植被总生物量呈增加趋势，其中针叶林和阔叶林生物量增加明显，灌丛和灌草丛和农业植被因两座电站建设，生物量有所减少。

（3）景观优势度

将 2011 年、2014 年和 2018 年 3 个时段卫星影像按照林地、灌草地、耕地、水域和建设用地等景观类型进行解译，运用景观优势度计算公式，得到金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧各景观类型优势度值，详见下表。通过比较 3 个时段金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧各景观类型面积和斑块数目，2011 年至 2018 年期间，林地、灌草地、水域的面积呈减少趋势，耕地、建设用地面积呈增加趋势。2011 至 2018 年期间，灌草地的景观优势度、斑块面积和斑块数量均高于其他景观类型，区域优势景观类型未发生变化，仍为灌草地景观。

表 4.3-16　金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧 3 个时段各景观类型变化表

| 景观类型 | 2011 年 | | 2014 年 | | 2018 年 | | 2011-2014 年 | | 2014-2018 年 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 面积（万 $hm^2$） | 斑块数（万个） | 面积（万 $hm^2$） | 斑块数（万个） | 面积（万 $hm^2$） | 斑块数（万个） | 面积（万 $hm^2$） | 斑块数（万个） | 面积（万 $hm^2$） | 斑块数（万个） |
| 林地 | 17.59 | 15.70 | 17.65 | 18.92 | 17.75 | 19.49 | 0.06 | 3.22 | 0.10 | 0.57 |
| 灌草地 | 26.90 | 20.65 | 26.87 | 25.04 | 26.69 | 26.56 | -0.03 | 4.40 | -0.19 | 1.52 |
| 耕地 | 1.72 | 4.50 | 1.63 | 4.53 | 1.57 | 4.57 | -0.09 | 0.03 | -0.06 | 0.04 |
| 水域 | 0.70 | 0.34 | 0.69 | 0.75 | 0.68 | 0.77 | -0.01 | 0.40 | 0.00 | 0.02 |
| 建设用地及未利用地 | 0.46 | 1.95 | 0.54 | 3.00 | 0.69 | 4.15 | 0.08 | 1.05 | 0.15 | 1.15 |

表 4.3-17　金沙江上游叶巴滩至旭龙河段两侧 3 个时段各景观类型优势度变化表

| 景观类型 | 密度 Rd（%） | | | 频率 Rf（%） | | | 景观比例 Lp（%） | | | 景观优势度 Do（%） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 年 | 2014 年 | 2018 年 | 2011 年 | 2014 年 | 2018 年 | 2011 年 | 2014 年 | 2018 年 | 2011 年 | 2014 年 | 2018 年 |
| 林地 | 36.40 | 36.22 | 35.10 | 38.14 | 38.21 | 38.99 | 37.13 | 37.25 | 37.46 | 37.20 | 37.23 | 37.25 |
| 灌草地 | 47.86 | 47.95 | 47.83 | 57.87 | 57.49 | 57.28 | 56.79 | 56.72 | 56.33 | 54.83 | 54.72 | 54.44 |
| 耕地 | 10.44 | 8.67 | 8.23 | 4.34 | 4.36 | 4.35 | 3.63 | 3.44 | 3.32 | 5.51 | 4.98 | 4.80 |
| 水域 | 0.80 | 1.43 | 1.38 | 1.87 | 1.86 | 1.84 | 1.48 | 1.45 | 1.44 | 1.41 | 1.55 | 1.53 |
| 建设用地及未利用地 | 4.51 | 5.74 | 7.47 | 1.35 | 1.69 | 1.81 | 0.97 | 1.13 | 1.45 | 1.95 | 2.42 | 3.05 |

### 4.3.1.7 典型工程区陆生生态现状

（1）枢纽工程区生态现状

旭龙水电站坝址位于金沙江干热河谷地带，土地类型主要为裸岩和灌草地；植被覆盖率低，覆盖的植被类型主要为干热河谷灌丛，如西南仙人掌灌丛、清香木灌丛、小叶荆灌丛、小鞍叶羊蹄甲灌丛等；同时部分施工区域占用农田耕地等，如机械停放场。

陆生动物主要为陆栖型两栖类（如西藏蟾蜍等）；灌丛石隙型爬行类（如草绿攀蜥等）、林栖傍水型爬行类（如黑眉晨蛇等）；鸟类中的陆禽（如岩鸽、山斑鸠等）、傍水生活的鸣禽（如白顶溪鸲额、白鹡鸰等）以及黄臀鹎、灰眉岩鹀、黑喉石鹏、麻雀等常见鸟类；树栖型兽类（如赤腹松鼠等）、穴居型兽类（如黄鼬、豪猪等）。



坝址

1）砂石混凝土系统

茂顶砂石加工系统场地内含施工所需的办公、机修等建筑设施及净料堆场，位于坝址下游 8#公路靠江侧，距坝址直线距离约 1.7km，紧邻高混凝土拌和系统，高程 2280m～2330m。主要负责低混凝土系统和高混凝土系统所需的混凝土

骨料生产任务。占地面积 11.1hm$^2$，均为临时占地，主要植被类型为小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛。



大坝砂石加工系统

右岸低混凝土系统位于 2#路靠江侧，在坝址下游 1.5km 处，高程 2165m～2170m。主要负责导流洞进出口及洞身衬砌混凝土，厂房混凝土的生产任务。占地面积约 2.5hm$^2$，所占用区域为人工植被，种植木犀榄（*Olea europaea*）等苗木。



右岸低混凝土系统

右岸高混凝土系统位于坝址下游 8#公路靠江侧，距坝址直线距离约 1.5km，位于茂顶砂石加工系统上游侧，高程 2275m～2295m。主要负责缆机供料平台所需混凝土的生产任务。占地面积 2.0hm$^2$，现场调查发现，本区域为其他项目的料

场，大部分植被已被破坏，附近植被类型主要为小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛。



右岸高混凝土系统

2）施工供水供电通信设施

施工供水供电通信设施主要包括施工水厂、高位水池、以及供电设施即 110V 变电站。

水厂规模为 3.5 万 $m^3/d$，位于坝址下游 8#路靠山侧，距坝址直线距离约 2.5km，高程 2287m，占地面积 1.3$hm^2$。主要负责整个施工区的生产及生活用水。本区域立地条件较差，主要植被为小鞍叶羊蹄甲灌丛，盖度不及 50%。



施工水厂

高位水池位于坝址下游 1.8km 处，场地高程 2370m，占地面积约 0.1hm$^2$。主要植被为小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛。



高位水池

施工变电站总占地面积约 0.3hm$^2$，占用主要植被为小鞍叶羊蹄甲灌丛，同时

还分布有小叶荆、胶粘香茶菜等。

3）综合加工厂

综合加工厂主要包括大坝综合加工及金结拼装厂和电站综合加工厂，占地类型均为临时占地。

大坝综合加工及金结拼装厂：内含钢管加工、综合加工车间及场地，位于坝址下游 3.0km 处，场地高程 2255m～2265m，占地面积约 1.2hm$^2$。主要承担大坝的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。所占植被主要为小叶荆+白刺花灌丛。

电站综合加工厂位于下游索桥两侧，紧邻 2#公路，至坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积共 1.5hm$^2$。主要承担电站厂房的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。此处受人工干扰严重，为人工碎石地，植被稀疏。



电站综合加工厂

4）机组安装设施

机组安装设施主要包括机电安装基地和机电设备仓库，占地类型均为临时占地。

机电安装基地：机电安装基地（含临时机电仓库）布置在右岸下游 4.7km 处

的羊拉乡茂顶村茂顶河口位置，位于进场公路与 2#公路接点附近，场地高程2155~2175m，占地面积 5.5hm$^2$。所占植被主要为小叶荆+白刺花灌丛。

机电设备仓库布置在坝址右岸下游 1.5km 处的阶地上，建筑面积 0.6 万 m$^2$，占地面积 1.5hm$^2$，用于存放电站运行期间所需的机电零件设备。所在区域为其他项目的砂石加工系统所在区域附近，地面为碎石，植被稀少。



机电设备仓库

5）机械保养维护设施

机械保养维护设施主要包括机械修配厂和机械停放场，机械修配厂的占地类型为临时占地，机械停放场蓄水后淹没。

机械修配厂位于综合仓库下游侧，距坝址约 1.0km，场地高程 2180m，占地面积约 1.2hm$^2$，主要为施工机械修理保养场地。占地区域位于道路旁，受人为干扰严重，建有简易房屋，植被稀疏。



机械修配厂

机械停放厂（汽车维修保养停放厂）：位于坝址上游 4.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m，占地面积 1.2hm$^2$，主要为施工机械停放场地。占地区域主要植被为人工种植的青稞和蔬菜（大棚）。



机械停放场

6）仓库

仓库包括综合仓库、油库及加油站、左岸炸药库、右岸炸药库，均为临时占地，占地总面积 2.65hm$^2$。

综合仓库位于下游索桥附近，距坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积约 1.5 万 m$^2$。主要作为水电站施工期间施工物资仓储设施。所占植被主要为小叶荆+白刺花灌丛。



综合仓库

油库及加油站位于坝址下游 2#路靠山侧，至坝址约 2.5km；油库高程 2180m，加油站高程 2185m；油库 0.3hm$^2$，加油站 0.2hm$^2$，占地面积共 0.5hm$^2$。所占植被主要为灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛。

左岸炸药库位于徐龙冲沟右岸，在徐龙冲沟沟口上游 0.7km 处，场地高程 2355m～2375m，占地面积 0.35hm$^2$，供左岸施工所需炸药的存放。所占植被主要为西南仙人掌灌丛，常见植物种类为垫状卷柏、小叶荆、清香木。



左岸炸药库

右岸炸药库位于茂顶河左岸，距茂顶河河口上游约2.2km，场地高程2430m，占地面积0.3hm$^2$，供右岸施工炸药存放。所占植被主要为垫状卷柏灌草丛，常见植物种类为垫状卷柏、小叶荆、灰岩木蓝等。

7）办公生活系统

办公生活系统指施工营地，包括1#施工营地、2#施工营地、3#施工营地、现场建设管理营地（含鱼类增殖站），占地面积分别为 1.2hm$^2$、1.5hm$^2$、3.4hm$^2$、8.9hm$^2$，占地总面积为15hm$^2$。其中1#施工营地占地类型为建筑用地，主要为当地居民房屋庭院，未见典型植物群落，常见植物种类有蒲公英、戟叶酸模等；2#施工营地主要植被类型为清香木灌丛，常见植物种类有皱叶醉鱼草、西南仙人掌。3#施工营地主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。所占区域为人工植被，主要为种植青稞和玉米的农田。现场建设管理营地主要植被为人工种植的核桃、李，和蒲公英，水分充足的小片区域有蕨类植物的生长。



1#施工营地



2#施工营地



3#施工营地



现场设备管理营地（鱼类增殖放流站）

8）施工人员垃圾热解站

生活垃圾热解站位于格亚顶沟口（坝址右岸上游 3.8km 处），占地面积 0.14hm$^2$，场地高程 2244m～2250m，水库蓄水后将被淹没，分为主厂房、副厂房、管理用房和其它辅助区。占地类型为建筑用地，主要为当地居民房屋庭院，未见典型植物群落，常见植物种类有西南仙人掌、酢浆草等以及人工种植的核桃。



垃圾热解站

9）存弃渣场生态现状

枢纽工程区 9 处存弃渣场植被以灌丛和灌草丛为主，详见表 4.3-18。

**表 4.3-18　存弃渣场生态现状一览表**

| 弃渣场名称 | 植被现状 | 现场照片 |
|---|---|---|
| 左岸上游 1#存弃渣场 | 主要为小叶荆灌丛，同时零星分布有清香木 |  |
| 左岸上游 2#存弃渣场 | 主要为小叶荆灌丛，同时零星分布有清香木 |  |
| 右岸上游 3#弃渣场 | | |
| 徐龙冲沟临时弃渣场 | 以拟金茅+黄茅灌草丛为优势，同时分布有戟叶酸模灌丛 |  |

| | | |
|---|---|---|
| 表土堆场 | 以小鞍叶羊蹄甲为优势，同时分布有戟叶酸模灌丛 |  |
| 右岸上游 1#弃渣场 | 为岩石裸地，未见群落分布，散生有狗尾草、垫状卷柏等 |  |
| 右岸上游 2#弃渣场 | 主要植被类型为人工植被，以农田为主种植青稞、玉米等，同时种植有核桃、石榴等经济树种 |  |
| 截流备料场 | 位于路边，人为干扰较大，未见典型植物群落，常见植物有蒲公英、两头毛、戟叶酸模等 |  |
| 茂顶河弃渣场 | 受泥石流冲击严重，植被覆盖率低，不足5%，偶见戟叶酸模灌丛 |  |

10）徐龙人工骨料开采场

徐龙人工骨料开采场位于坝址左岸上游约 0.6km 处，料场开采区面积 10.20hm$^2$，徐料场开口顶高程 2510m，设计底高程 2220m，料场人工边坡高约 290m 占地面积约 10hm$^2$。占地区域植被主要小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛。



徐龙人工骨料开采场

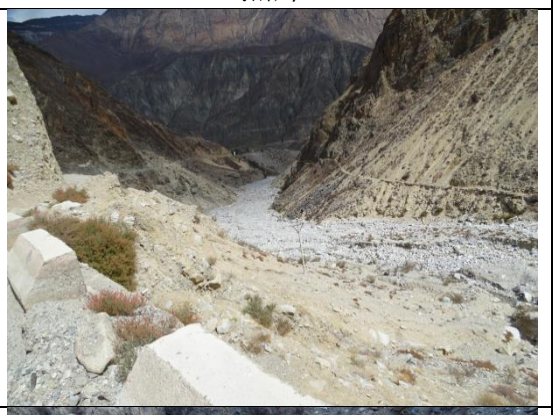
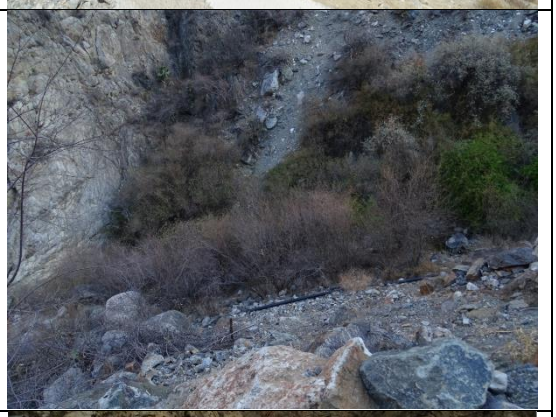
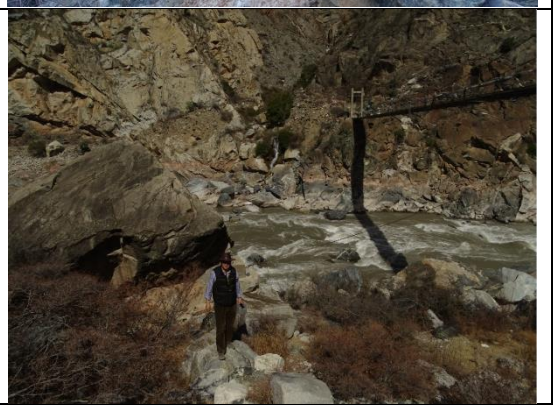
（2）淹没区生态现状

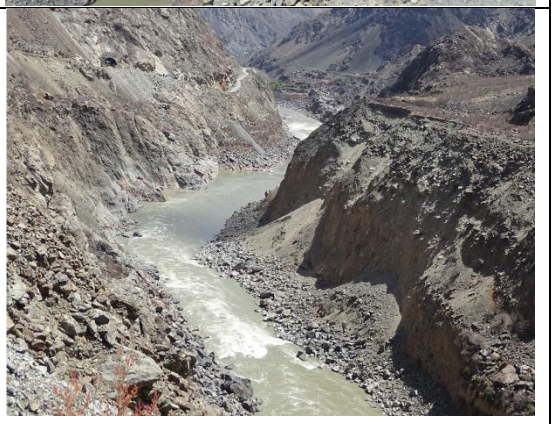
根据现场调查，旭龙水电站库区内植被以灌丛为主，在水平方向上差异不明显，在垂直分布上，植被呈现一定的成层分布，但由于旭龙水电站正常蓄水位为2302m，根据现场调查，评价范围 2302m 以下植被分层不明显。海拔 2302m 以下，较陡峭无人居住及农田分布的河段为干热河谷灌丛分布的下限，视河段生境的不同可见小叶荆+白刺花灌丛、西南仙人掌灌丛、刺铁线莲+小叶荆灌丛灌丛等灌丛类型及其群丛；在这一区域的河谷平缓地段、河滩阶地则多为人类活动改造下形成的乡村聚居点和农田人工植被，以及居民点周围的经济果木林。同时，这一区段也是评价范围坝址及淹没区所在海拔，公路两侧可见戟叶酸模灌丛、两头毛灌丛等次生植被类型。

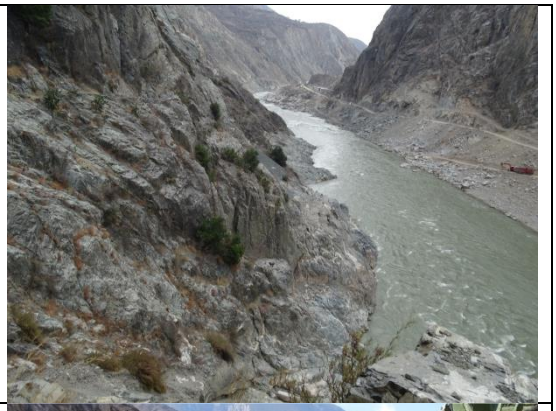
2018 年 10 月至 11 月，在旭龙坝址上游约 200km 的金沙江白玉县区段多次发生山体滑坡，金沙江洪峰沿河流方向从旭龙水电站拟建区域过境。通过 2018 年 4 月、2018 年 8 月对比 2019 年 3 月对旭龙电站淹没区及周边河滩地对比调结果，河滩地植被基本未发生变化。2018 年 4 月和 8 月两次调查，河滩地植被覆盖率较低，约 30%左右，主要植被类型为戟叶酸模灌丛、清香木灌丛、小叶荆灌

丛、拟金茅+黄茅灌草丛等，常见植物有仙人掌、蜈蚣草、垫状卷柏、刺铁线莲等。2019 年 3 月现场调查，在徐龙桥等河段有泥石流、洪流等造成山体石块滑落现象，植被覆盖率与前两次调查差异不大，常见植物仍然为戟叶酸模、清香木、仙人掌、黄茅、垫状卷柏等金沙江干热河谷区域常见的植物。

**表 4.3-19　白格堰塞湖前后典型区域植被状况表**

| 调查时间 | 调查位置 | 植被状况 | 照片 |
|---|---|---|---|
| 2018 年 3 月 | 茂顶河弃渣场附近 | 植被覆盖率较低，常见植物有戟叶酸模、蒲公英、茜草、阿拉伯婆婆纳等。 |  |
| 2018 年 3 月 | 徐荣桥左岸附近 | 植被覆盖率较低，常见植物有清香木、戟叶酸模、堇菜、酢浆草等。 |  |
| 2018 年 3 月 | 坝址右岸附近 | 植被覆盖率较低，常见植物有清香木、白刺花、垫状卷柏等。 |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2018 年 4 月 | 库尾上游 1km 处 | 植被覆盖率低，常见植物有栽叶酸模、清香木等 |  |
| | 库尾 | 植被覆盖率较低，常见植物有栽叶酸模、小叶荆、刺铁线莲等 |  |
| 2019 年 3 月 | 茂顶河弃渣场附近 | 植被覆盖率低，常见有栽叶酸模、小叶荆、清香木、蒲公英等。 |  |
| | 徐荣桥附近 | 植被覆盖率低，常见植物有两头毛、蜈蚣草、垫状卷柏、黄茅等。 |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 导流洞附近河滩地 | 植被覆盖率较低，常见有垫状卷柏、硬秆子草、芸香草等。 |  |
| | 库区河滩地 | 植被覆盖率较低，常见有西南仙人掌、垫状卷柏、白刺花等 |  |

## 4.3.2 水生生态

### 4.3.2.1 调查时间、范围和方法

（1）调查时间

本项目共开展了 4 次水生生态调查，其中 2012 年 10~11 月（枯水期）和 2013 年 5~6 月（丰水期）对评价区域开展了系统的水生生态调查，2016 年 5 月（丰水期）重点对支流麦曲河、丹达河鱼类及其生境进行了补充调查，2019 年 5~6 月（丰水期）再次对评价区进行了较为系统的补充调查。

（2）调查范围

1）2012 年~2013 年

2012 年~2013 年水生生态调查与评价范围为昌波坝址至奔子栏坝址之间长约 140km 的金沙江干支流，包括区间主要支流丹达曲、麦曲河。

根据控制性、代表性原则，水生生态调查监测在金沙江干流及主要支流布设 7 个断面。其中干流 5 个采样断面，从上游至下游依次为：（1）昌波坝址；（2）麦曲河汇口下；（3）库中（尼吕）；（4）旭龙坝址；（5）奔子栏。支流 2 个采样

断面，分别为：（6）麦曲河；（7）丹达曲。

鱼类资源调查以区域性调查为主，不设固定的调查监测断面。

各调查断面基本情况如下：

①昌波坝址：坐标：29°21'3.36"N　99°4'0.06"E，海拔 2399m。水温 15.8℃，




透明度 8cm，河面宽 150m，河道宽 170m，两岸分布有少量乔木林，也有较多的灌木。河水湍急，水质浑浊。

②麦曲河汇口下：坐标：29°13'39.96"N　99°6'54.6"E，海拔 2310m。河道宽 140m，透明度 10cm，水温 15.5℃，羊拉桥下水流湍急河道岸边分布大量巨石，两岸几乎无植被，只有少量灌木分布，两岸峭壁耸立水面宽 50m。




③库中（尼吕）：坐标：28°50'30.78"N　99°6'13.86"E，海拔 2216m。河道宽 280m，水流湍急，水面宽 120m，水温 16.8℃，底质以砂砾巨石为主，两岸为山体，植被较少，主要是以灌木为主，河道中间有一 200m 长 50m 宽的沙石滩。




④旭龙坝址：坐标：28°44'37.92"N　99°7'41.34"E，海拔 2172m。河道宽 125m，水面宽 85m，水流湍急，两岸为峭壁，植被较少，多为灌木。透明度 12cm，水温 16.4℃。浅滩巨石较多。




⑤奔子栏：坐标：28°14'9.12"N　99°18'17.58"E，海拔 2006m。河道宽 240m，水面宽 130m，水温 16.3℃，透明度 11cm，水流较急，两岸为村镇，有大面积的沙石滩裸露，植被主要以乔木为主。




⑥麦曲河：坐标：29°15'58.08"N　99°6'49.92"E，海拔 2373m。河道宽 150m，水温 16.3℃，透明度 60cm，河面宽 20m，水流湍急，两岸山坡分布少量灌木，河道有浅滩，多以小型石头为主。



⑦丹达曲：坐标：28°58'56.16"N　99°7'5.04"E，海拔 2547m。水面宽 20 米，水温 18.1℃，两岸几乎没有植被，水底石块较多，透明度为 30cm，河两岸为山谷。

2）2019 年

2019 年水生生态调查与评价范围进行扩大，干流向上扩延至苏洼龙坝址，向下延至至虎跳峡硕多岗河汇口，支流除麦曲、丹达曲外增加了定曲和冈曲。

根据控制性、代表性原则，水生生态调查监测在金沙江干流及主要支流布设 18 个断面。其中干流 10 个采样断面，从上游至下游依次为：①苏洼龙坝址；②昌波坝址；③麦曲河汇口下；④旭龙库中（尼吕）；⑤旭龙坝址；⑥奔子栏；⑦冈曲河口下；⑧其宗；⑨石鼓；⑩硕多岗河汇口下。支流 8 个采样断面，分别为：①麦曲河上；②麦曲河下；③丹达曲上；④丹达曲下；⑤定曲河上；⑥定曲河下；⑦冈曲上；⑧冈曲下。

鱼类资源调查以区域性调查为主，不设固定的调查监测断面。

各调查断面基本情况如下：

①苏洼龙：水温 10.6℃，pH8.4，电导率 777μs/cm，水色泥灰色，水深＞5m，流速 1.5 m/s， 透明度 10cm，水面宽 150m，礁石，卵石，淤沙底质，左岸礁石滩，细沙，淤泥，卵石，底质，右岸崩塌垂直河岸，左岸水毁路基段较多，两岸 45°碎石山体，稀疏草被，稀疏乔木，灌丛，样点在苏洼龙坝址以下。




②昌波：水温 11.3℃，pH8.9，电导率 984μs/cm， 泥黄色水色，水深＞5m，流速 1.5 m/s， 水面宽 120m， 透明度 10cm，淤沙卵石石块礁石底质，U 型河道， 两岸稀疏乔木、灌丛、茅草植被 ，碎石岩石山体，样点两岸河岸切削明显崩塌河岸较多。




③麦曲河汇口下： 水温 12℃， pH8.8，电导率 980μs/cm， 水色泥黄色，水深＞5m，流速 1.8 m/s，水面宽 90m， 透明度 10cm， 礁石、砾石底质，v 型河道，两岸 50-70°碎石山体，稀疏灌丛、草被，水体泥沙含量大。




④旭龙库中：水温 15℃， pH8.8， 电导率 590μs/cm， 透明度 20cm，泥黄色，流速 0.5-1.5 m/s，水深＞5 水面宽 70，石块，卵石，淤沙底质，u 型河谷，两岸 90°峭壁，稀疏灌木，茅草植被。




⑤旭龙：水温 12.4℃，pH8.9，电导率 882μs/cm，水色泥黄色，透明度 8cm，水深＞8m，水面宽 70m， 流速 1.8 m/s， 砾石卵石石块礁石底质，U 型河道，两岸垂直岩石山体，稀疏分布仙人掌植物，稀疏茅草、灌丛。




⑥奔子栏：水温 15.8 ℃，pH8.9 ，电导率 892 μs/cm ，水色泥黄， 水深＞5 m，流速 1.1 m/s， 水面宽 120m， 透明度 7cm，卵石淤沙底质，右岸卵石礁石细沙岸滩，左岸河岸冲刷下切，岸上卡瓦镇，右岸 45-70°岸坡，两岸 45-70°碎石山体，灌丛茅草植被，有人工栽培乔木林，右岸奔子栏镇。




⑦冈曲汇口下：水温 16℃，pH8.8，电导率 818μs/cm ，水色泥黄色 ，水深＞5m， 流速 1.5-1.8 m/s，水面宽 100 m，透明度 7cm， 礁石、石块、砾石底质，右岸 70-80°岩石山体，石缝稀疏灌丛，左岸 70°及下切河岸山体，稀疏灌丛茅草植被。




⑧其宗 ：水温 15.6℃， pH8.8，电导率 752μs/cm ，水色泥黄，水深＞5m，流速 0.6 m/s，水面宽 150-180m， 透明度 6cm，淤沙，礁石底质，右岸大片沙滩，形成沙坡，左岸碎石岸体，下切，两岸 45-80°岩石，碎石山体，植被好，茂密乔木林植被。




⑨石鼓：水温 16℃， pH8.8，电导率 762μs/cm ，水色泥黄色 水深＞3 m，流速 0.4 m/s， 水面宽 250m，透明度 8cm， 淤沙底质，左岸平坝，村庄农田，乔木林，草被 45°山体，乔木林植被，右岸公路，村庄农田，45°山体稀疏灌丛及




乔木林植被。

⑩硕多岗河汇口下：水温 16 ℃，pH8.8 ，电导率 700μs/cm， 水色泥黄色，水深＞8m， 流速 1.0 m/s，水面宽 250m，透明度 8cm，礁石石块淤沙底质，v 型河谷，两岸＞50°山体，乔木林，灌丛植被茂密。




⑪麦曲上： 水温 14.5℃， pH8.9，电导率 189μs/cm，水色无色，水深 0.5-1.0m， 流速 0.6 m/s， 水面宽 20-30m， 透明度见底 ，卵石，石块，砾石，细沙底质，两岸 45°碎石山体，乔木林，茂密灌丛植被，样点在中咱电站上。




⑫麦曲下：水温 15℃， pH8.9，电导率 212μs/cm， 水色浅黄绿，水深 1.0m，流速 0.8 m/s， 水面宽 20m， 透明度 60cm，卵石，砾石，礁石，淤泥沙底质，




两岸乔木林，农田，村庄，v 型河谷，岩石碎石山体，稀疏灌丛植被。

⑬单达曲上：水温 9.6℃， pH8.9，电导率 322μs/cm, 流速 0.6m/s,透明度 10cm, 水色泥红色 ,水深 0.5-1.0m, 水面宽 20m, 卵石淤沙底质， 两岸 30-40°碎石山,体乔木林、灌丛，草被植被。




⑭单达曲下：水温 14℃， pH8.9， 电导率 305μs/cm, 透明度 15cm，水深 0.5m， 水色：泥黄， 流速 0.4m/s，水面宽 40m， 卵石，石块，淤沙底质，石块卵石细沙心滩，U 型河谷，两岸碎石石块山体，稀疏茅草植被。




⑮定曲上：水温 16.5℃, pH8.8，电导率 274μs/cm，水色泥黄色， 水深 1.5m， 流速 1.8 m/s， 水面宽 15-20m， 透明度 10cm，石块、淤泥沙、礁石底质，v 型河道，河岸灌丛稀疏乔木植被，左岸平坝农田，右岸公路，两岸 60-70°




山体稀疏灌丛茅草植被。

⑯定曲下：水温 15.9℃， pH8.8 ，电导率 258μs/cm，水色浅绿，水深 2.0m，流速 1.0 m/s，水面宽 30-40 m，透明度 50cm， 石块、淤泥沙、礁石底质 ，v 型河道，60-70°碎石山体，稀疏茅草灌丛，河岸分布少量乔木。




⑰冈曲上：水温 12.9℃ pH8.9 电导率 252μs/cm 水色 无色 水深 0.8-1.5 流速 0.8-1.0 水面宽 10-20 透明度见底，卵石，礁石，砾石，粗砂底质，U 型河道，河道阶梯状跌水，比降明显，陡峭岩石茅草，灌丛植被，河岸少量乔木林，山顶乔木林




⑱冈曲下：水温 14.8℃， pH8.9 ，电导率 289μs/cm，水色无色透明，水深 1-1.5m， 流速 0.5 m/s，水面宽 20-30m， 透明度见底，卵石，礁石，砾石，淤沙，石块底质，U 型河道，两岸碎石山体，稀疏茅草灌丛植被，河岸少量乔木，




样点上有阶梯河道，样点为 1.5 米水潭，样点下为卵石淤沙浅滩。

（3）调查内容与方法

1）饵料生物

调查内容：浮游植物、着生藻类、浮游动物、底栖动物的种类组成和现存量。

调查方法：饵料生物的调查取样、室内分析等均按《内陆水域渔业自然资源调查手册》、《淡水浮游生物研究方法》等相关规定进行。

2）鱼类资源

调查内容：调查鱼类的种类、区系组成、生态习性、资源量、“三场”分布及其对环境的适应性。

调查方法：按《内陆水域渔业自然资源调查手册》进行鱼类资源调查。

①鱼类区系组成调查

根据鱼类区系研究方法，在不同河段设置站点，对调查范围内的鱼类资源进行全面调查。采取捕捞、市场调查和走访相结合的方法，采集鱼类标本、收集资料、做好记录，标本用福尔马林固定保存。通过对标本的分类鉴定，资料的分析整理，编制出鱼类种类组成名录。

②鱼类资源现状调查

鱼类资源量的调查采取社会捕捞渔获物统计分析结合现场调查取样进行。采用访问调查和统计表调查方法，调查资源量和渔获量。向沿江各市县渔业主管部门和渔政管理部门及渔民调查了解渔业资源现状以及鱼类资源管理中存在的问题。对渔获物资料进行整理分析，得出各工作站点主要捕捞对象及其在渔获物中所占比重，不同捕捞渔具渔获物的长度和重量组成，以判断鱼类资源状况。

③鱼类生物学调查

鱼类标本尽量现场鉴定，进行生物学基础数据测定，并取鳞片等作为鉴定年龄的材料。必要时检查性别，取性腺鉴别成熟度。部分标本用 5%的甲醛溶液固定保存。现场解剖获取食性和性腺样品，食性样品用甲醛溶液固定，性腺样品用波恩氏液固定。

④鱼类“三场”调查

走访沿江居民和主要捕捞人员，了解不同季节鱼类主要集中地和鱼类种群组成，结合鱼类生物学特性和水文学特征，分析鱼类“三场”分布情况，并通过有经

验的捕捞人员进行验证。

### 4.3.2.2 浮游植物

（1）种类

1）2012~2013 年调查结果

枯水期（2012 年 10~11 月）和丰水期（2013 年 5~6 月）对评价区域进行两次浮游植物调查，共检出浮游植物 7 门 55 属 125 种。其中硅藻门 99 种、占检出种类的 79.20%；绿藻门 13 种、占检出种类的 10.40%；蓝藻门 8 种、占检出种类的 6.40%；甲藻门 2 种、占检出种类的 1.60%；红藻门、裸藻门、金藻门各 1 种、占检出种类的 0.80%。

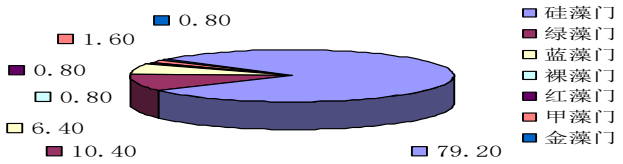



图 4.3-1　调查区域浮游植物种类组成（单位：%）

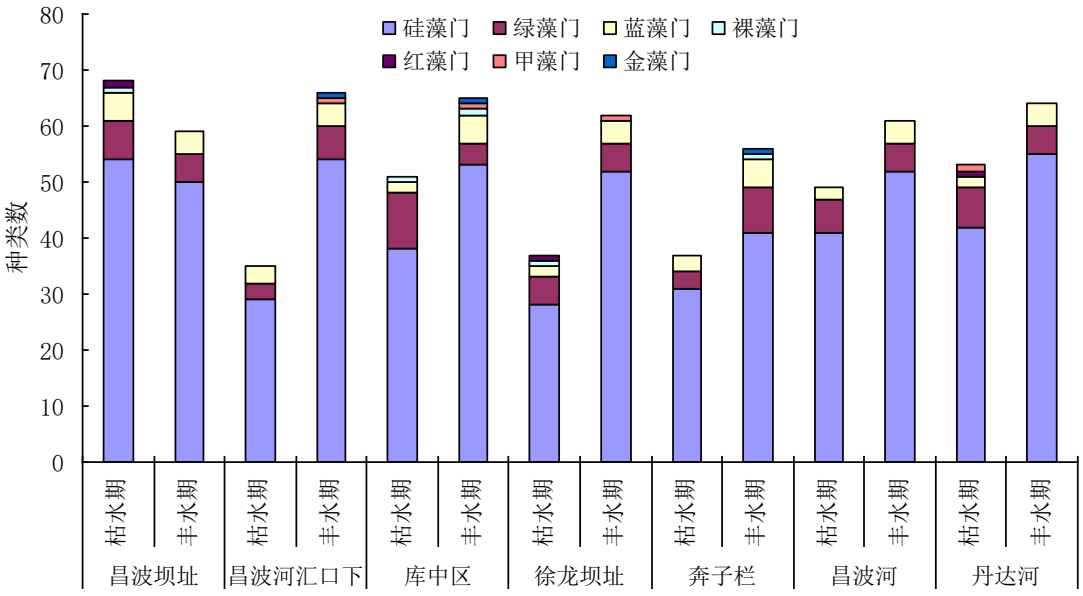



图 4.3-2　调查区域各断面浮游植物种类水平分布

枯水期对调查区域进行调查，共检出浮游植物 7 门 99 种。其中硅藻门 76 种、占检出种类的 76.77%；绿藻门 11 种、占检出种类的 11.11%；蓝藻门 7 种、占检出种类的 7.07%；甲藻门 2 种、占检出种类的 2.02%；红藻门、裸藻门、金藻门各 1 种、占检出种类的 1.01%。

丰水期对调查区域进行调查，共检出浮游植物 7 门 118 种。其中硅藻门 93 种、占检出种类的 78.81%；绿藻门 11 种、占检出种类的 9.32%；蓝藻门 9 种、占检出种类的 7.63%；甲藻门 2 种、占检出种类的 1.69%；裸藻门、红藻门、金藻门各 1 种、占检出种类的 0.85%。

调查区域干流共检出浮游植物 7 门 123 种。其中硅藻门 96 种、占检出种类的 78.05%；绿藻门 13 种、占检出种类的 10.57%；蓝藻门 9 种、占检出种类的 7.32%；甲藻门 2 种、占检出种类的 1.63%。；红藻门、裸藻门、金藻门各 1 种、占检出种类的 0.81%。其中枯水期检出浮游植物 93 种，丰水期检出浮游植物 115 种。

调查区域支流共检出浮游植物 5 门 85 种。其中硅藻门 71 种、占检出种类的 83.33%；绿藻门 8 种、占检出种类的 9.41%；蓝藻门 4 种、占检出种类的 4.71%；红藻门和甲藻门各 1 种、占检出种类的 1.18%。其中枯水期检出浮游植物 81 种，丰水期检出浮游植物 64 种。

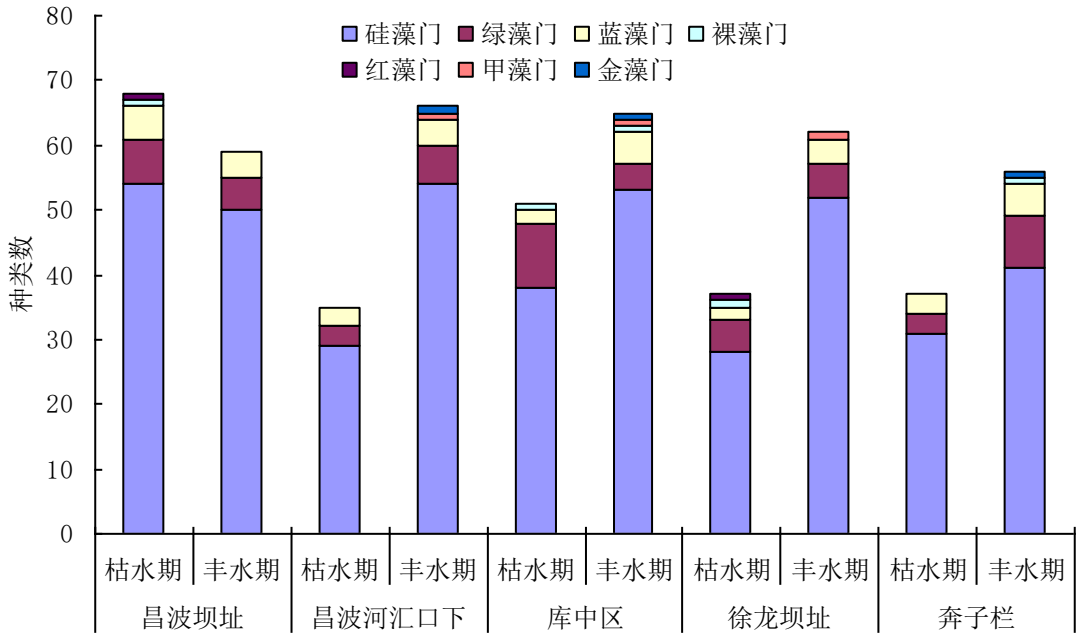



图 4.3-3　　调查区域干流各断面浮游植物种类水平分布

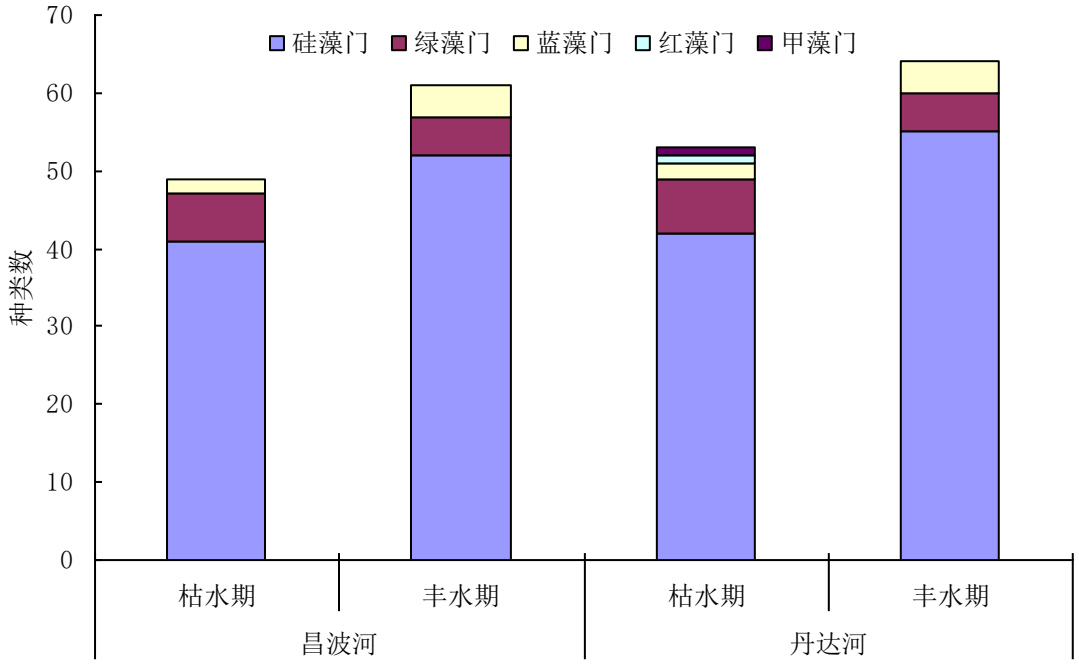



**图 4.3-4　　调查区域支流各断面浮游植物种类水平分布**

调查区域干流检出浮游植物种类比支流丰富，丰水期检出浮游植物种类数高于枯水期。干、支流浮游植物种类组成均以硅藻门为主，其次为绿藻门。评价区浮游植物优势种主要是硅藻门中的针杆藻、桥弯藻、脆杆藻、等片藻等。

**表 4.3-20　调查区域各断面浮游植物种类**

| 调查断面 | | | 硅藻门 | 绿藻门 | 蓝藻门 | 裸藻门 | 红藻门 | 甲藻门 | 金藻门 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 干流 | 昌波坝址 | 枯水期 | 54 | 7 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 68 |
| | | 丰水期 | 50 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59 |
| | 麦曲河汇口下 | 枯水期 | 29 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 |
| | | 丰水期 | 54 | 6 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 66 |
| | 库中区 | 枯水期 | 38 | 10 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 51 |
| | | 丰水期 | 53 | 4 | 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 65 |
| | 旭龙坝址 | 枯水期 | 28 | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 37 |
| | | 丰水期 | 52 | 5 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 62 |
| | 奔子栏 | 枯水期 | 31 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 |
| | | 丰水期 | 41 | 8 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 56 |
| 支流 | 麦曲河 | 枯水期 | 41 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 |
| | | 丰水期 | 52 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61 |
| | 丹达河 | 枯水期 | 42 | 7 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 53 |
| | | 丰水期 | 55 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 |

2）2019 年调查结果

2019 年 5 月对评价区进行的浮游植物调查共检出浮游植物 4 门 30 属 52 种。其中硅藻门 41 种、占检出种类的 78.85%；蓝藻门 6 种、占检出种类的 11.54%；

绿藻门 3 种、占检出种类的 5.77%；隐藻门 2 种、占检出种类的 3.85%。

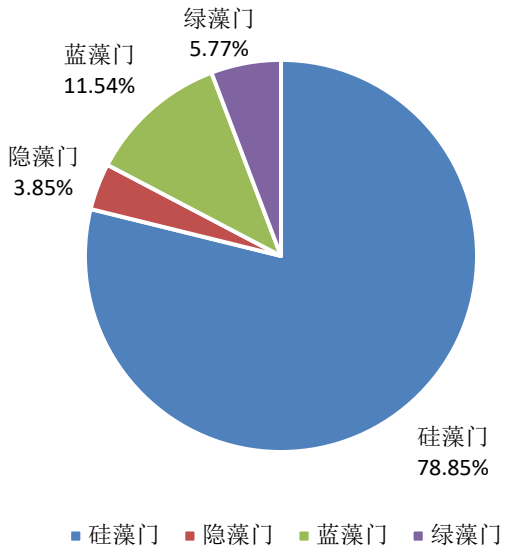



图 4.3-5　评价区浮游植物种类组成

评价区干流调查共检出浮游植物 3 门 39 种。其中，硅藻门 34 种、占检出种类的 87.18%；绿藻门 1 种、占检出种类的 2.56%；蓝藻门 4 种、占检出种类的 10.26%。其中，冈曲汇口下断面检出浮游植物种类最多，为 20 种；苏洼龙和旭龙库中断面检出浮游植物最少，为 13 种。

评价区支流调查共检出浮游植物 4 门 45 种。其中，硅藻门 34 种、占检出种类的 75.56%；绿藻门 3 种、占检出种类的 6.67%；蓝藻门 6 种、占检出种类的 13.33%；隐藻门 2 种、占检出种类的 4.44%。其中，定曲下断面检出浮游植物种类最多，为 33 种；麦曲下和丹达曲下断面检出浮游植物最少，为 20 种。可见，评价区支流检出浮游植物种类比干流丰富。

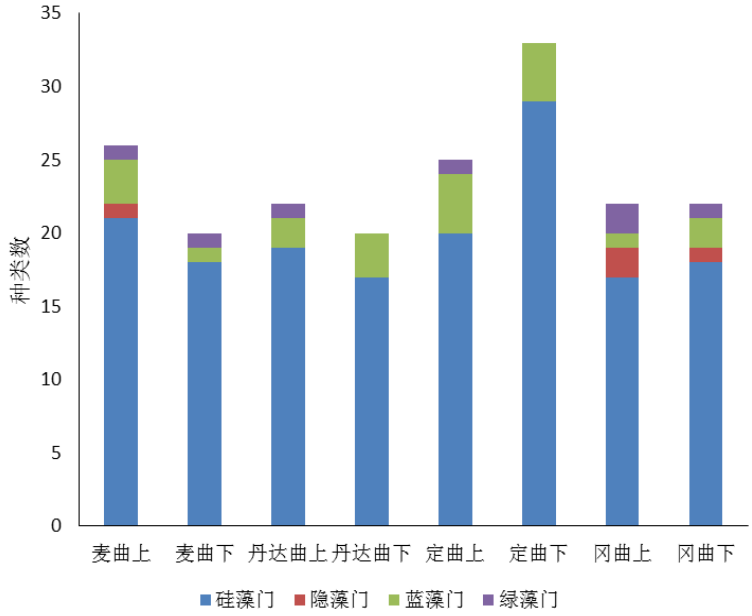



图 4.3-6　评价区干流各断面浮游植物种类水平分布

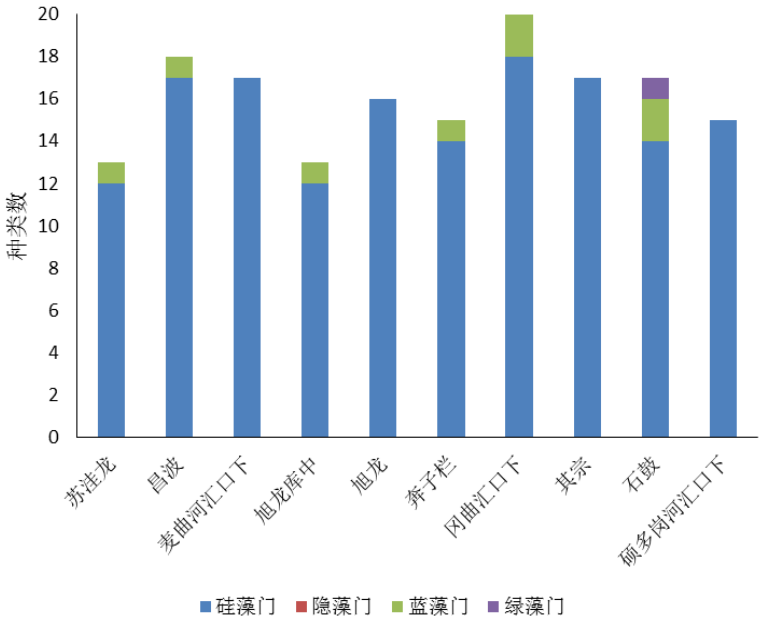



图 4.3-7　评价区支流各断面浮游植物种类水平分布

评价区浮游植物组成以硅藻门为主，其次为蓝藻门，再次为绿藻门，其它种类偶见。评价区浮游植物优势种有针杆藻、近缘桥弯藻、谷皮菱形藻、异极藻、曲壳藻、等片藻等。干、支流浮游植物种类组成也均以硅藻门为主，其次为蓝藻门。干流浮游植物优势种有尖针杆藻、肘状针杆藻、近缘桥弯藻、谷皮菱形藻、异极藻、曲壳藻、等片藻等。支流浮游植物优势种有尖针杆藻、近缘桥弯藻、菱形藻、异极藻、曲壳藻、等片藻等。

表 4.3-21　评价区各断面浮游植物种类

| 采样断面 | | 硅藻门 | 隐藻门 | 蓝藻门 | 绿藻门 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 干流 | 苏洼龙 | 12 | 0 | 1 | 0 | 13 |
| | 昌波 | 17 | 0 | 1 | 0 | 18 |
| | 麦曲河汇口下 | 17 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | 旭龙库中 | 12 | 0 | 1 | 0 | 13 |
| | 旭龙 | 16 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| | 奔子栏 | 14 | 0 | 1 | 0 | 15 |
| | 冈曲汇口下 | 18 | 0 | 2 | 0 | 20 |
| | 其宗 | 17 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | 石鼓 | 14 | 0 | 2 | 1 | 17 |
| | 硕多岗河汇口下 | 15 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 支流 | 麦曲上 | 21 | 1 | 3 | 1 | 26 |
| | 麦曲下 | 18 | 0 | 1 | 1 | 20 |
| | 丹达曲上 | 19 | 0 | 2 | 1 | 22 |
| | 丹达曲下 | 17 | 0 | 3 | 0 | 20 |
| | 定曲上 | 20 | 0 | 4 | 1 | 25 |
| | 定曲下 | 29 | 0 | 4 | 0 | 33 |
| | 冈曲上 | 17 | 2 | 1 | 2 | 22 |
| | 冈曲下 | 18 | 1 | 2 | 1 | 22 |

（2）现存量

1）2012~2013 年调查结果

①密度

调查区域浮游植物密度平均为 441554ind./L。其中硅藻门占 91.34%、绿藻门占 6.26%、蓝藻门占 2.10%、裸藻门占 0.17%、金藻门占 0.13%。

表 4.3-22　调查区域浮游植物密度组成　　单位:ind./L

| 浮游植物 | 干流 | | | 支流 | | | 调查水域 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 丰水期 | 枯水期 | 平均 | 丰水期 | 枯水期 | 平均 | 丰水期 | 枯水期 | 平均 |
| 硅藻门 | 554112 | 308048 | 431080 | 364000 | 303680 | 333840 | 499794 | 306800 | 403297 |
| 蓝藻门 | 12480 | 6864 | 9672 | 4160 | 12480 | 8320 | 10103 | 8469 | 9286 |
| 绿藻门 | 18304 | 34944 | 26624 | 29120 | 31200 | 30160 | 21394 | 33874 | 27634 |
| 裸藻门 | 1456 | 624 | 1040 | 0 | 0 | 0 | 1040 | 446 | 743 |
| 金藻门 | 1664 | 0 | 832 | 0 | 0 | 0 | 1189 | 0 | 594 |
| 合计 | 588016 | 350480 | 469248 | 397280 | 347360 | 372320 | 533520 | 349589 | 441554 |

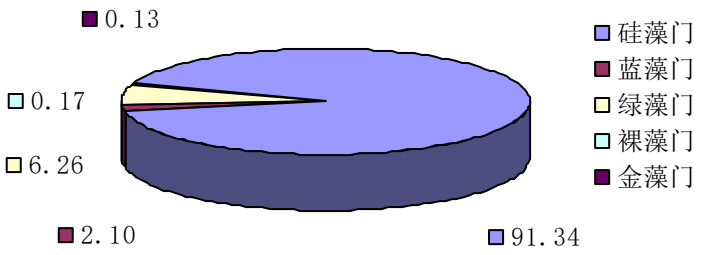



图 4.3-8　　调查区域浮游植物密度组成（单位：%）

调查区域丰水期浮游植物密度平均为 533520ind./L，枯水期浮游植物密度平均为 349589ind./L。调查区域干流浮游植物密度平均为 469248ind./L，丰水期干流浮游植物密度平均为 588016 ind./L，枯水期干流浮游植物密度平均为 350480 ind./L。支流浮游植物密度平均为 372320ind./L，丰水期支流浮游植物密度平均为 397280 ind./L，枯水期支流流浮游植物密度平均为 347360ind./L。

②生物量

调查区域浮游植物生物量平均 0.8908mg/L。其中硅藻门占 75.06%、绿藻门占 0.95%、蓝藻门占 23.15%、裸藻门占 0.21%、金藻门占 0.03%。

表 4.3-23　　调查区域浮游植物生物量组成　　单位：mg/L

| 浮游植物 | 干流 | | | 支流 | | | 调查水域 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 丰水期 | 枯水期 | 平均 | 丰水期 | 枯水期 | 平均 | 丰水期 | 枯水期 | 平均 |
| 硅藻门 | 0.6389 | 0.7256 | 0.6822 | 0.7373 | 0.5695 | 0.6534 | 0.6670 | 0.6810 | 0.6740 |
| 蓝藻门 | 0.2511 | 0.1595 | 0.2053 | 0.1664 | 0.2508 | 0.2086 | 0.2269 | 0.1856 | 0.2063 |
| 绿藻门 | 0.0059 | 0.0097 | 0.0078 | 0.0100 | 0.0104 | 0.0102 | 0.0071 | 0.0099 | 0.0085 |
| 裸藻门 | 0.0036 | 0.0016 | 0.0026 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0026 | 0.0011 | 0.0019 |
| 金藻门 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0003 |
| 合计 | 0.9003 | 0.8964 | 0.8983 | 0.9137 | 0.8308 | 0.8722 | 0.9041 | 0.8776 | 0.8909 |

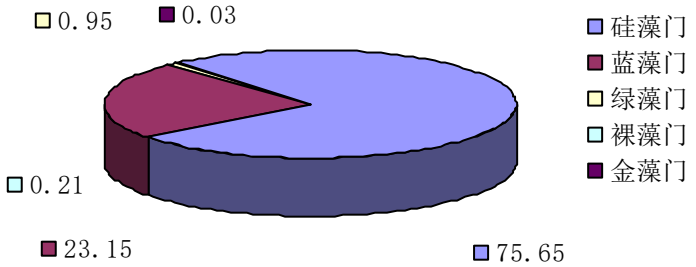



图 4.3-9　　调查区域浮游植物生物量组成（单位：%）

调查区域丰水期浮游植物生物量平均为 0.9041mg./L，枯水期浮游植物生物量平均为 0.8776mg/L。调查区域干流浮游植物生物量平均为 0.8722mg./L，丰水期干流浮游植物生物量平均为 0.9003 ind./L，枯水期干流浮游植物生物量平均为 0.8904ind./L。支流浮游植物生物量平均为 0.8722mg./L，丰水期支流浮游植物生

物量平均为 0.9173mg./L，枯水期支流浮游植物生物量平均为 0.8308mg/L。

2）2019 年调查结果

①密度

评价区浮游植物密度平均为 2845481ind./L。其中硅藻门占 94.25%、蓝藻门占 5.71%、隐藻门占 0.04%。

评价区干流浮游植物密度平均为 2816000ind./L，其中，硅藻门占 93.94%、蓝藻门占 6.06%。干流调查断面中，苏洼龙断面检出浮游植物密度最高（5173333ind./L），硕多岗河汇口下断面检出浮游植物密度最低（1706667ind./L）。

评价区支流浮游植物密度平均为 2882333ind./L，其中，硅藻门占 94.63%、蓝藻门占 5.29%、隐藻门占 0.08%。支流调查断面中，定曲上断面检出浮游植物密度最高（7306667ind./L），冈曲上断面检出浮游植物密度最低（498667ind./L）。

**表 4.3-24　评价区各断面浮游植物现存量**

| 浮游植物 | | | 硅藻门 | 蓝藻门 | 隐藻门 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 密度（ind./L） | 干流 | 苏洼龙 | 4106667 | 1066667 | 0 | 5173333 |
| | | 昌波 | 2986667 | 426667 | 0 | 3413333 |
| | | 麦曲河汇口下 | 2133333 | 0 | 0 | 2133333 |
| | | 旭龙库中 | 3040000 | 0 | 0 | 3040000 |
| | | 旭龙 | 3093333 | 0 | 0 | 3093333 |
| | | 奔子栏 | 2720000 | 0 | 0 | 2720000 |
| | | 冈曲汇口下 | 2453333 | 0 | 0 | 2453333 |
| | | 其宗 | 2133333 | 0 | 0 | 2133333 |
| | | 石鼓 | 2080000 | 213333 | 0 | 2293333 |
| | | 硕多岗河汇口下 | 1706667 | 0 | 0 | 1706667 |
| | 支流 | 麦曲上 | 1333333 | 57778 | 8889 | 1400000 |
| | | 麦曲下 | 1822222 | 44444 | 0 | 1866667 |
| | | 丹达曲上 | 5173333 | 213333 | 0 | 5386667 |
| | | 丹达曲下 | 2986667 | 0 | 0 | 2986667 |
| | | 定曲上 | 6933333 | 373333 | 0 | 7306667 |
| | | 定曲下 | 2506667 | 506667 | 0 | 3013333 |
| | | 冈曲上 | 488000 | 2667 | 8000 | 498667 |
| | | 冈曲下 | 576000 | 21333 | 2667 | 600000 |
| 生物量（mg/L） | 干流 | 苏洼龙 | 1.067 | 0.013 | 0.000 | 1.079 |
| | | 昌波 | 1.147 | 0.005 | 0.000 | 1.152 |
| | | 麦曲河汇口下 | 0.896 | 0.000 | 0.000 | 0.896 |
| | | 旭龙库中 | 0.624 | 0.000 | 0.000 | 0.624 |
| | | 旭龙 | 0.875 | 0.000 | 0.000 | 0.875 |
| | | 奔子栏 | 0.934 | 0.000 | 0.000 | 0.934 |
| | | 冈曲汇口下 | 0.603 | 0.000 | 0.000 | 0.603 |
| | | 其宗 | 0.614 | 0.000 | 0.000 | 0.614 |
| | | 石鼓 | 0.400 | 0.003 | 0.000 | 0.403 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 硕多岗河汇口下 | 0.352 | 0.000 | 0.000 | 0.352 |
| | 支流 | 麦曲上 | 0.197 | 0.001 | 0.001 | 0.199 |
| | | 麦曲下 | 0.431 | 0.001 | 0.000 | 0.432 |
| | | 丹达曲上 | 2.549 | 0.003 | 0.000 | 2.552 |
| | | 丹达曲下 | 1.184 | 0.000 | 0.000 | 1.184 |
| | | 定曲上 | 1.872 | 0.000 | 0.000 | 1.873 |
| | | 定曲下 | 0.499 | 0.020 | 0.000 | 0.519 |
| | | 冈曲上 | 0.106 | 0.000 | 0.005 | 0.111 |
| | | 冈曲下 | 0.122 | 0.000 | 0.004 | 0.126 |

表 4.3-25　评价区浮游植物密度组成　　单位:ind./L

| 浮游植物 | 干流 | | 支流 | | 调查 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平均 | % | 平均 | % | 平均 | % |
| 硅藻门 | 2645333 | 93.94 | 2727444 | 94.63 | 2681827 | 94.25 |
| 蓝藻门 | 170667 | 6.06 | 152444 | 5.29 | 162568 | 5.71 |
| 隐藻门 | 0 | 0.00 | 2444 | 0.08 | 1086 | 0.04 |
| 合计 | 2816000 | 100.00 | 2882333 | 100.00 | 2845481 | 100.00 |

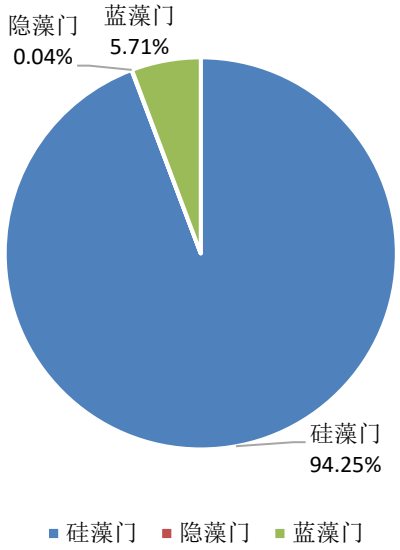



图 4.3-10　评价区浮游植物密度组成

②生物量

评价区浮游植物生物量平均为 0.807mg/L。其中，硅藻门占 99.63%、蓝藻门占 0.25%、隐藻门占 0.12%。

评价区干流浮游植物生物量平均为 0.753mg/L，其中，硅藻门占 99.73%、蓝藻门占 0.27%。干流调查断面中，昌波断面检出浮游植物生物量最高（1.152mg/L），硕多岗河汇口下断面检出浮游植物生物量最低（0.352mg/L）。

评价区支流浮游植物生物量平均为 0.874mg/L，其中，硅藻门占 99.54%、蓝藻门占 0.34%、隐藻门占 0.11%。支流调查断面中，丹达曲上断面检出浮游植物生物量最高（2.552mg/L），冈曲上断面检出浮游植物生物量最低（0.111mg/L）。

表 4.3-26　评价区浮游植物生物量组成　　单位:mg/L

| 浮游植物 | 干流 | | 支流 | | 调查 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平均 | % | 平均 | % | 平均 | % |
| 硅藻门 | 0.751 | 99.73 | 0.870 | 99.54 | 0.804 | 99.63 |
| 蓝藻门 | 0.002 | 0.27 | 0.003 | 0.34 | 0.002 | 0.25 |
| 隐藻门 | 0.000 | 0.00 | 0.001 | 0.11 | 0.001 | 0.12 |
| 合计 | 0.753 | 100.00 | 0.874 | 100.00 | 0.807 | 100.00 |

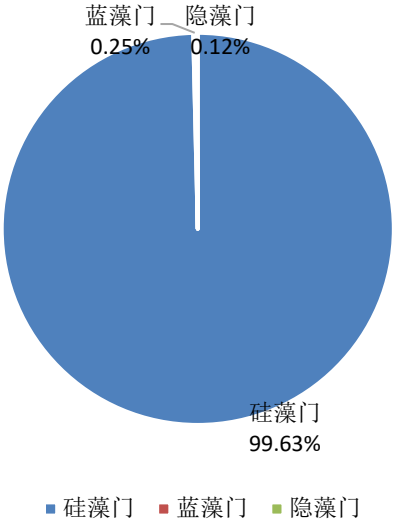



图 4.3-11　评价区浮游植物生物量组成

（3）浮游植物多样性指数

1）2012~2013 年调查结果

浮游植物生物多样性采用 Shannon-Wiener 指数公式计算，评价区各断面浮游植物生物多样性指数见下表。从各断面浮游植物的生物多样性指数看，除枯水期干流奔子栏断面浮游植物多样性指数小于 2.0 外，其他各断面浮游植物多样性指数均在 2.0~3.0 之间处于较高水平，说明评价区各断面浮游植物种类丰富且各种类数量分布相对均匀。

表 4.3-27　　调查区域浮游植物多样性指数

| 断面 | | | 种类组成 | 生物多样性指数 |
|---|---|---|---|---|
| 干流 | 昌波坝址 | 枯水期 | 68 | 2.89 |
| | | 丰水期 | 59 | 2.75 |
| | 麦曲河汇口下 | 枯水期 | 35 | 2.03 |
| | | 丰水期 | 66 | 2.55 |
| | 库中 | 枯水期 | 51 | 2.68 |
| | | 丰水期 | 65 | 2.85 |
| | 旭龙坝址 | 枯水期 | 37 | 2.13 |
| | | 丰水期 | 62 | 2.69 |
| | 奔子栏 | 枯水期 | 37 | 1.98 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 丰水期 | 56 | 2.33 |
| 支流 | 麦曲河 | 枯水期 | 49 | 2.17 |
| | | 丰水期 | 61 | 2.83 |
| | 丹达河 | 枯水期 | 53 | 2.21 |
| | | 丰水期 | 64 | 2.69 |
| 平均值 | | | 2.48 | |

2）2019 年调查结果

评价区各断面浮游植物生物多样性指数见下表。从各断面浮游植物的生物多样性指数看，除支流丹达曲下断面浮游植物多样性指数稍高于 2.0 外，其他各断面浮游植物多样性指数均在 1.0~2.0 之间处于较低水平，说明评价区各断面浮游植物种类贫乏且各种类数量分布不均匀。

**表 4.3-28　评价区浮游植物多样性指数**

| 干流 | | 支流 | |
|---|---|---|---|
| 采样断面 | 多样性指数 | 采样断面 | 多样性指数 |
| 苏洼龙 | 1.5910 | 麦曲上 | 1.5550 |
| 昌波 | 1.8520 | 麦曲下 | 1.1880 |
| 麦曲河汇口下 | 1.9050 | 丹达曲上 | 1.5870 |
| 旭龙库中 | 1.8480 | 丹达曲下 | 2.2380 |
| 旭龙 | 1.4190 | 定曲上 | 1.8400 |
| 奔子栏 | 1.7560 | 定曲下 | 1.6670 |
| 冈曲汇口下 | 1.8540 | 冈曲上 | 1.5580 |
| 其宗 | 1.7960 | 冈曲下 | 1.5260 |
| 石鼓 | 1.8590 | | |
| 硕多岗河汇口下 | 1.5230 | | |

（4）现状分析

2012-2013 年调查检出浮游植物 125 种，平均密度和平均生物量分别为 441554ind./L、0.8910mg/L，多样性指数在 1.98~2.89 之间，浮游植物物密度、现存量较低。主要因为评价区为高原急流生境开放性水体，浮游植物生长所需营养盐由上游干流、区间支流输入，受上游干流及区间支流影响较大。评价区干流工农业开发程度较低，输入水体的外源性营养盐有限，加上水流湍急，水体浑浊，透明度低，浮游植物现存量总体水平较低。浮游植物种类和现存量组成以硅藻门为主，其次为蓝藻门、绿藻门。

2019 年调查检出浮游植物 52 种，平均密度和平均生物量分别为 2845481ind./L、0.807mg/L，多样性指数在 1.188~2.238 之间。评价区浮游植物种

类组成以硅藻门占绝对优势，其次是蓝藻门，再者是绿藻门，其他种类极少。2019年调查干流断面水体透明度在6~10cm之间，水流湍急，流速多超过1.0m/s，而支流多数断面水体透明度大于50cm，水流较平缓，不超过1.0m/s，因此，支流更适合浮游植物的生长繁殖，支流各断面检出浮游植物种类高于干流各断面。2019年调查干流浮游植物密度和生物量的分布基本呈现从上游至下游逐渐降低的分布趋势，而支流各断面浮游植物密度和生物量的分布差异较大，丹达曲和定曲浮游植物密度和生物量较高，其他支流较低。评价区浮游植物密度和生物量组成较简单，以硅藻门占绝对优势，其次是蓝藻门，少量的隐藻门，未检出其他门类。

2019年调查检出浮游植物种类和多样性指数较2012-2013年调查明显降低，由于本次调查，特别是干流，多数采样断面水温较低，且水体浑浊，泥沙含量大，不利于浮游植物的生长繁殖，使得评价区浮游植物种类较少且种类分布不均匀。另外受调查次数、采样位置、采样时间、采样方法的影响，本次调查与历史调查采集到的浮游植物种类会有明显差异。2019年调查检出浮游植物密度较2012-2013年调查明显增加，但现存量却降低，分析原因除了与采样时不同的水生环境对浮游植物的影响之外，与检出浮游植物的个体大小也有密切关系，历史调查采集到的个体较大、细胞质量较重的浮游植物种类较多，使得2012-2013年调查采集到的浮游植物密度虽然比本次调查低，但生物量却比本次调查更高。

#### 4.3.2.3 着生藻类

（1）种类

2019年5月对评价区进行的着生藻调查共检出着生藻27属72种。优势种为微形曲壳藻（Achnanthes minutissima）、近缘桥弯藻（Cymbella affinis）、念珠等片藻（Diatoma moniliformis）、疑难等片藻（Diatoma problematica）、尖针杆藻（Synedra acus）等。

2019年5月干流调查共检出着生藻22属57种。优势种为微形曲壳藻（Achnanthes minutissima）、念珠等片藻（Diatoma moniliformis）、谷皮菱形藻（Nitzschia palea）、尖针杆藻（Synedra acus）等。其中，冈曲汇口下断面检出着生藻种类最多，为24种；旭龙断面检出着生藻最少，为11种。

2019年5月支流调查共检出着生藻16属39种。优势种为微形曲壳藻

（Achnanthes minutissima）、近缘桥弯藻（Cymbella affinis）、疑难等片藻（Diatoma problematica）、微小内丝藻（Encyanema minute）、分散菱形藻（Nitzschia dissipata）等。其中，定曲下断面检出着生藻种类最多，为 15 种；冈曲下断面检出着生藻最少，为 8 种。

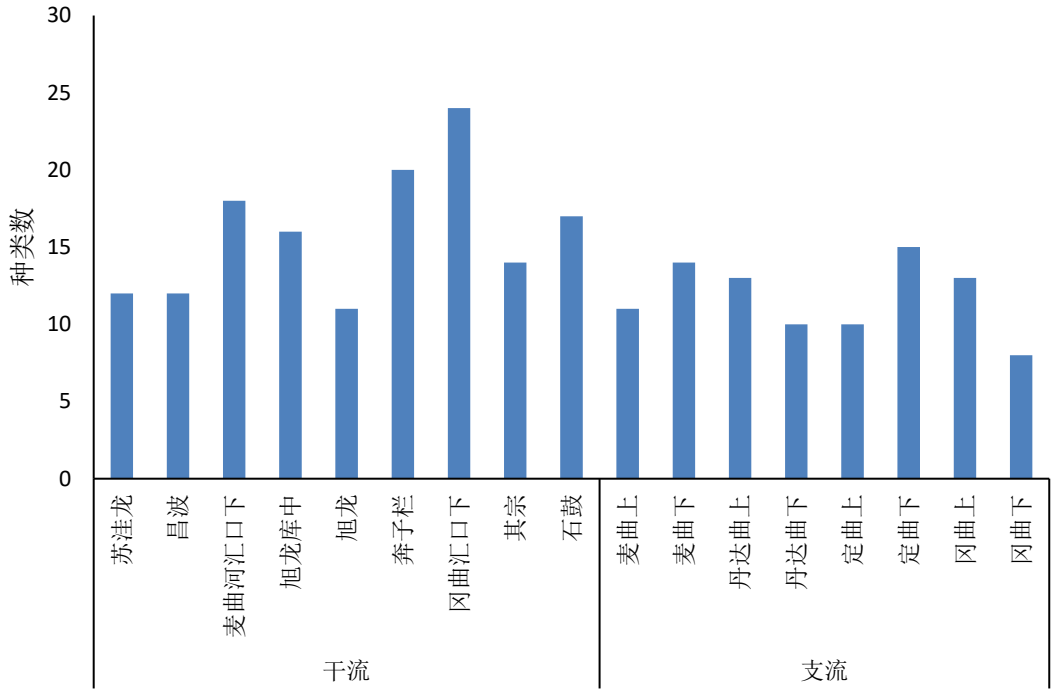



图 4.3-12　评价区各断面着生藻种类水平分布

（2）现存量

评价区着生藻密度平均为 14984256283cell/$m^2$。

评价区干流着生藻密度平均为 16514752316cell/$m^2$。干流调查断面中，其宗断面检出着生藻密度最高（105625000000cell/$m^2$），苏洼龙断面检出着生藻密度最低（160416667cell/$m^2$）。

评价区支流着生藻密度平均为 13262448247cell/$m^2$。支流调查断面中，冈曲上断面检出着生藻密度最高（28779617834cell/$m^2$），定曲上断面检出着生藻密度最低（5987261146cell/$m^2$）。

表 4.3-29　评价区各断面着生藻密度　　单位：cells/$m^2$

| 干流断面 | 密度 | 支流断面 | 密度 |
|---|---|---|---|
| 苏洼龙 | 160416667 | 麦曲上 | 13437500000 |
| 昌波 | 245833333 | 麦曲下 | 7781250000 |
| 麦曲河汇口下 | 637500000 | 丹达曲上 | 21687500000 |
| 旭龙库中 | 252500000 | 丹达曲下 | 11478377472 |
| 旭龙 | 162500000 | 定曲上 | 5987261146 |
| 奔子栏 | 8375000000 | 定曲下 | 6794055202 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 冈曲汇口下 | 25729166667 | 冈曲上 | 28779617834 |
| 其宗 | 105625000000 | 冈曲下 | 10154024320 |
| 石鼓 | 7444854174 | | |

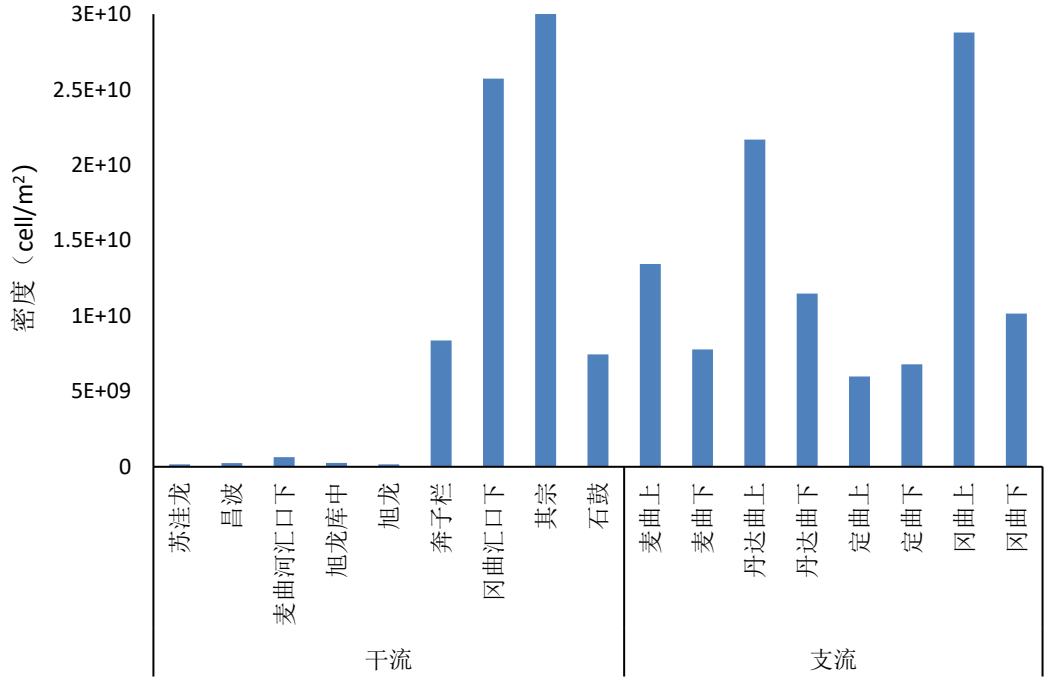



**图 4.3-13　评价区各断面着生藻密度水平分布**

（3）着生藻多样性指数

着生藻生物多样性采用 Shannon-Wiener 指数公式计算，评价区各断面着生藻生物多样性指数见下表。从各断面着生藻的生物多样性指数看，评价区干流的苏洼龙、旭龙库中、冈曲汇口下、石鼓断面以及支流的丹达曲上断面着生藻多样性指数在 2.0~2.5 之间，较高，说明以上断面着生藻种类较丰富且各种类数量分布较均匀。评价区支流的麦曲上、定曲上、冈曲上和冈曲下断面着生藻多样性指数在 0.5~1.0 之间，说明以上断面着生藻种类贫乏且各种类数量分布不均匀。总体上看，干流着生藻类多样性指数稍高于支流。

**表 4.3-30　评价区着生藻多样性指数及物种数**

| 干流断面 | 多样性指数 | 支流断面 | 多样性指数 |
|---|---|---|---|
| 苏洼龙 | 2.075 | 麦曲上 | 0.5926 |
| 昌波 | 1.752 | 麦曲下 | 1.842 |
| 麦曲河汇口下 | 1.871 | 丹达曲上 | 2.072 |
| 旭龙库中 | 2.348 | 丹达曲下 | 1.077 |
| 旭龙 | 1.826 | 定曲上 | 0.58 |
| 奔子栏 | 1.983 | 定曲下 | 1.764 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 冈曲汇口下 | 2.066 | 冈曲上 | 0.9035 |
| 其宗 | 1.476 | 冈曲下 | 0.574 |
| 石鼓 | 2.024 | | |

（4）现状分析

2019 年调查检出着生藻 72 种，平均密度为 14984256283cell/$m^2$，多样性指数在 0.574~2.348 之间。评价区干流检出着生藻种类、密度均比支流丰富。评价区干流上游的苏洼龙至旭龙段的着生藻密度显著低于干支流其他断面，该河段着生藻密度仅为干流下游河段的十分之一甚至百分之一。旭龙及以上河段水体温度（平均 12.2℃）普遍低于下游段（平均 15.9℃），且旭龙及以上河段河段流速湍急，在 1.5-1.8m/s 之间，对河道底质冲刷力强，底质附着腐殖质较少，而下游段流速逐渐减缓，在 0.4-1.1m/s 之间，特别是其宗和石鼓段，泥沙淤积，有利于着生藻类的生长繁殖，因此旭龙及以上河段着生藻密度显著低于下游河段。

### 4.3.2.4 浮游动物

（1）种类

1）2012~2013 年调查结果

通过枯水期（2012 年 10~11 月）和丰水期（2013 年 5~6 月）2 次调查，评价区共检出浮游动物 23 属 47 种，其种原生动物种类最高为 34 种、占总种数的 72.34%，其次为轮虫为 12 种、占总种数的 25.53%，桡足类种 1 种、占总种数的 2.13%，枝角类未检出。

**表 4.3-31　　调查区域浮游动物种类组成**

| 浮游动物 | 干流 | | | 支流 | | | 调查水域 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 枯水期 | 丰水期 | 合计 | 枯水期 | 丰水期 | 合计 | 枯水期 | 丰水期 | 合计 |
| 原生动物 | 22 | 23 | 31 | 13 | 17 | 22 | 26 | 27 | 34 |
| 轮虫 | 7 | 6 | 10 | 3 | 3 | 4 | 10 | 7 | 12 |
| 桡足类 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 合计 | 29 | 30 | 42 | 16 | 20 | 26 | 36 | 35 | 47 |

干流检出浮游动物 42 种，其中原生动物种类数最高 31 种、占干流总种数的 73.81%，其次为轮虫 10 种、占干流总种数的 23.81%，桡足类 1 种、占 2.38%。干流浮游动物种类在水平分布上由高到低依次是旭龙坝址>麦曲河汇口下>库中>昌波坝址>奔子栏。干流浮游动物种类在时间分布无明显差异，枯水期为 29 种、丰水期为 30 种。

支流麦曲河和丹达河共检出浮游动物 26 种，两条河之间的种类数差异较大，

麦曲河检出 21 种，丹达河检出 15 种。

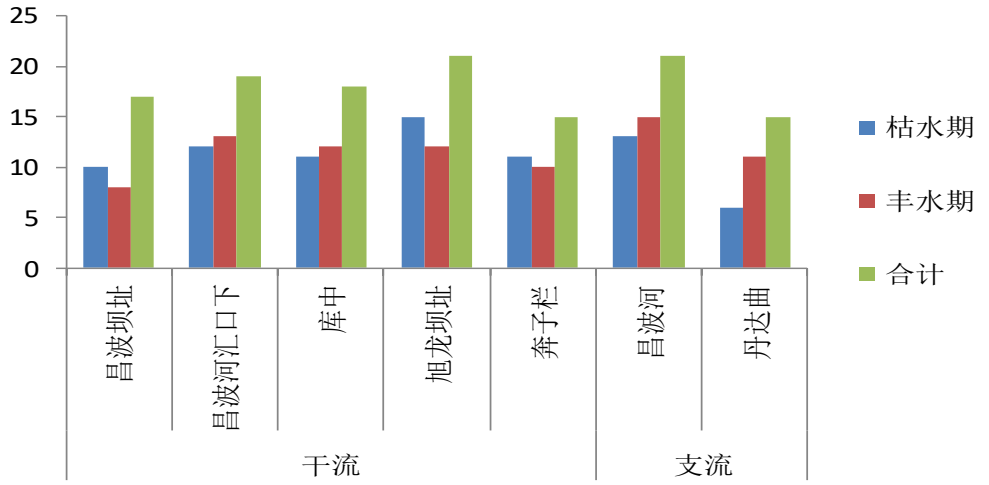



**图 4.3-14　评价区浮游动物种类时空分布**

评价区浮游动物种类组成以原生动物为主，轮虫为辅，桡足类偶见，枝角类未检出。评价区浮游动物优势种不明显，其常见种为褐砂虫（*Difflugia avellana*）、片口匣壳虫（*Centropyxis platystoma*）、圆匣壳虫（*C. orbicularis*）、巢居法帽虫（*Phryganella nidulus*）、鳞状叶轮虫（*Notholca squamula*）、转轮虫（*Rotaria rotatoria*）等。

2）2019 年调查结果

2019 年评价区共检出浮游动物 29 属 41 种（表 7.2-18、表 7.2-19），其种原生动物种类最高为 20 种、占总种数的 48.78%，其次为轮虫为 11 种、占总种数的 39.02%，桡足类种 1 种、占 2.44%，枝角类 4 种、占 9.76%。调查水域浮游动物常见种有：无棘匣壳虫、圆壳虫、旋轮虫、前翼轮虫、无节幼体等。

**表 4.3-32　调查水域浮游动物种类组成及百分比**

| 项目 | 干流 | | 支流 | | 调查水域 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 种类数（种） | 百分比（%） | 种类数（种） | 百分比（%） | 种类数（种） | 百分比（%） |
| 原生动物 | 14 | 50 | 16 | 48.48 | 20 | 48.78 |
| 轮虫 | 9 | 32.14 | 15 | 45.45 | 16 | 39.02 |
| 枝角类 | 1 | 3.57 | 0 | 0 | 1 | 2.44 |
| 桡足类 | 4 | 14.29 | 2 | 6.06 | 4 | 9.76 |
| 合计 | 28 | 100 | 33 | 99.99 | 41 | 100 |

2019 年干流检出浮游动物 28 种，原生动物 14 种、占干流总种类 50.00%，轮虫 9 种、占 32.14%，枝角类 1 种、占 3.57%，桡足类 4 种、占 14.29%。旭龙调查水域干流浮游动物种类由高到低依次是：硕多岗河汇口下>旭龙库中>昌波、石

鼓>旭龙、冈曲汇口下、其宗>奔子栏>苏洼龙、麦曲河汇口下。

支流检出浮游动物 33 种，原生动物 16 种、占干流总种类 48.48%，轮虫 15 种、占 45.45%，枝角类未检出，桡足类 2 种、占 6.06%。

麦曲检出浮游动物 12 种，其中原生动物 6 种、轮虫 4 种，枝角类未检出，桡足类 2 种。麦曲上浮游动物是 10 种、麦曲下是 6 种，上游高于下游。

丹达曲检出浮游动物 18 种，其中原生动物 9 种，轮虫 8 种，枝角类未检出，桡足类 1 种。丹达曲下检出 14 种，丹达曲上检出浮游动物 9 种，丹达曲下浮游动物种类高于上游。

定曲检出浮游动物 15 种，其中原生动物 5 种，轮虫 8 种，枝角类未检出，桡足类 2 种。定曲下检出 12 种、定曲上是 7 种，下游浮游动物种类高于上游。

冈曲检出浮游动物 22 种，其中原生动物 11 种，轮虫 9 种，枝角类未检出，桡足类 2 种。冈曲下 18 种、冈曲上 14 种，冈曲下游浮游动物种类高于上游。

下游支流冈曲浮游动物种类最丰富，其次是丹达曲，定曲，上游支流麦曲最少。

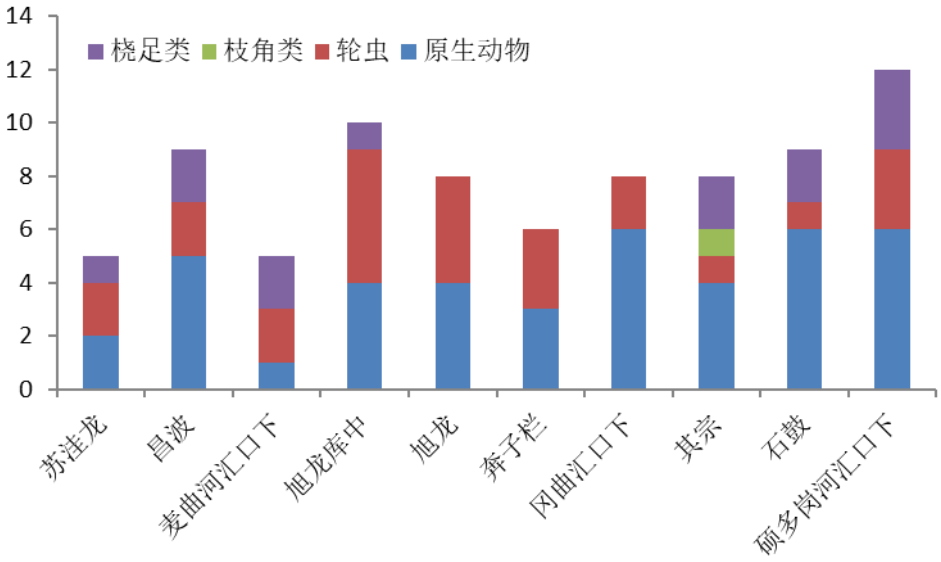



图 4.3-15　调查水域干流浮游动物种类水平分布

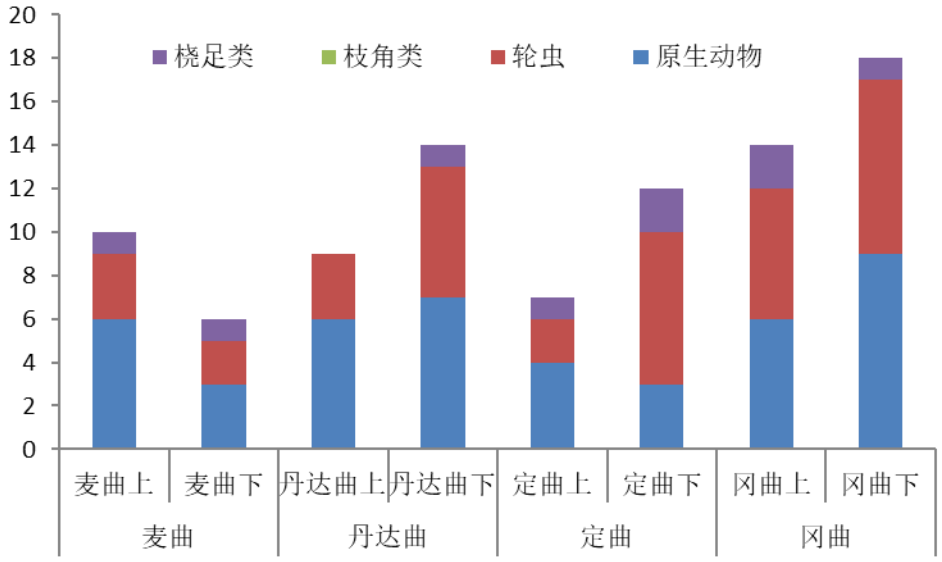



图 4.3-16　调查水域支流浮游动物种类组成

（2）现存量

1）2012~2013 年调查结果

调查水域在 2 次检测中定量样品仅有原生动物检出，密度在 100~800ind./L 之间（平均密度为 298ind./L），丰水期检出浮游动物平均密度为 351ind./L，枯水期平均密度为 245ind./L，丰水期明显大于枯水期。生物量在 0.005~0.04mg/L 之间（平均生物量为 0.0149mg/L），丰水期平均生物量为 0.0176mg/L，枯水期平均生物量为 0.0123mg/L，丰水期大于枯水期

干流浮游动物平均密度为 318ind./L，丰水期平均密度为 400ind./L，枯水期平均密度为 235ind./L。干流平均生物量 0.0159mg/L，丰水期平均生物量为 0.02mg/L，枯水期平均生物量为 0.0118mg/L。干流库中监测点输入的外源性营养盐丰富，丰、枯水期浮游动物密度和生物量最高；奔子栏位于交通要道，浮游动物密度和现存量较高；麦曲河汇口下由于流速急，透明度低，且两岸居民较少，浮游动物耐以生存的营养盐有限，现存量最低。

支流平均密度为 250ind./L，平均生物量为 0.0125mg/L。支流麦曲河和丹达曲浮游动物平均密度分别为 240ind./L、260ind./L，丹达曲平均密度略高于麦曲河。从时间分布上看，丰水期浮游动物密度明显高于枯水期。

评价区干流浮游动物平均密度和平均生物量略高于支流。浮游动物现存量的组成主要以原生动物为主，轮虫、枝角类和桡足类受水体流速、温度及透明度等环境因子的限制在定量样品中未检出。

表 4.3-33　评价区浮游动物密度、生物量组成

| 现存量 | 干流 | | | 支流 | | | 调查水域 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 枯水期 | 丰水期 | 平均 | 枯水期 | 丰水期 | 平均 | 枯水期 | 丰水期 | 平均 |
| 密度(ind./L) | 235 | 400 | 318 | 270 | 230 | 250 | 245 | 351 | 298 |
| 生物量(mg/L) | 0.0118 | 0.0200 | 0.0159 | 0.0135 | 0.0115 | 0.0125 | 0.0123 | 0.0176 | 0.0149 |

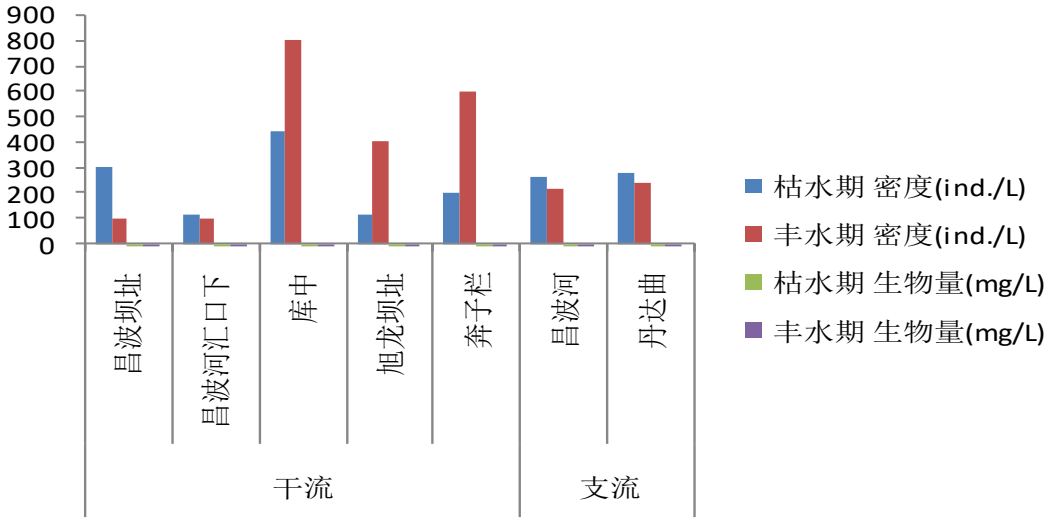



图 4.3-17　评价区各监测点浮游动物现存量

2）2019 年调查结果

①密度

2019 年旭龙调查水域浮游动物密度在 0~1333ind./L 之间，平均是 201.51ind./L。其中原生动物密度平均是 200ind./L、占调查水域浮游动物密度平均的 99.25%，轮虫密度平均是 1.48ind./L、占 0.74%，枝角类定量样品中未检出，桡足类 0.03ind./L、占 0.03%。

表 4.3-34　旭龙调查水域浮游动物密度组成

| 项目 | 干流 | | 支流 | | 调查水域 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 密度(ind./L) | 百分比（%） | 密度(ind./L) | 百分比（%） | 密度(ind./L) | 百分比（%） |
| 原生动物 | 66.67 | 99.97 | 366.67 | 99.09 | 200 | 99.25 |
| 轮虫 | 0.00 | 0.00 | 3.33 | 0.90 | 1.48 | 0.74 |
| 枝角类 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 桡足类 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.02 |
| 合计 | 66.69 | 100 | 370.04 | 100 | 201.51 | 100.00 |

干流浮游动物密度平均是 66.69ind./L，其中原生动物密度平均占绝对优势占 99.09%，桡足类密度平均占 0.03%，轮虫和枝角类在本次调查定量样品中未检出。干流浮游动物旭龙库中浮游动物密度是 667.03ind./L；昌波、麦曲河汇口下、其宗定量样品仅桡足类检出，各监测点密度均为 0.03ind./L；石鼓、硕多岗河汇口下在定量样品中也只检出桡足类，各为 0.05ind./L；苏洼龙、旭龙、奔子栏、冈曲汇口下在本次调查定量样品中未检出浮游动物。

调查水域 4 条支流密度平均为 370.04ind./L，其中原生动物密度平均是 366.67ind./L、占 99.09%，轮虫 3.33ind./L、占 0.90%，桡足类 0.04ind./L、占 0.01%，枝角类未检出。

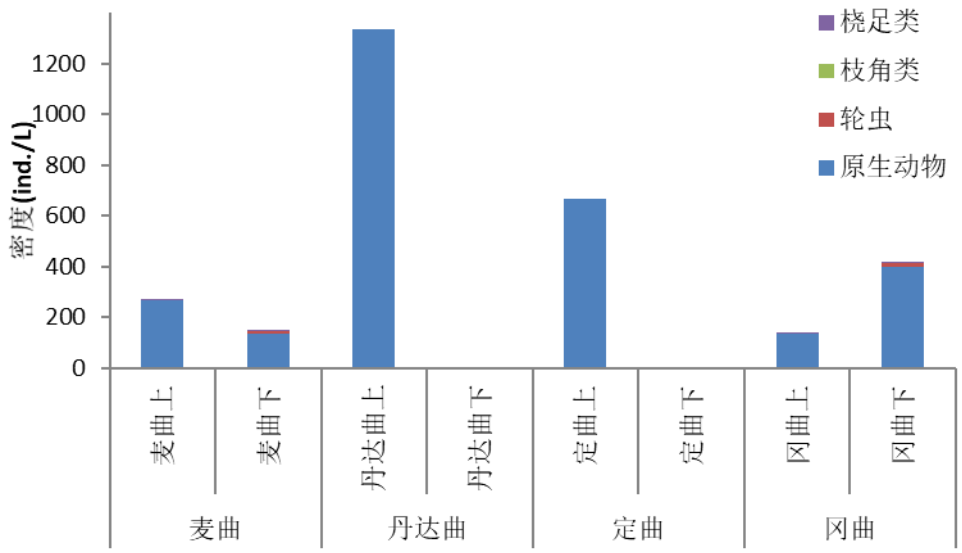



**图 4.3-18　调查水域各支流浮游动物密度组成**

麦曲浮游动物密度平均是 206.70ind./L，麦曲上浮游动物密度高于麦曲下。丹达曲浮游动物密度平均是 666.69ind./L，丹达曲上密度较高，丹达曲下仅桡足类检出。定曲浮游动物密度平均是 333.40ind./L，定曲上密度较高，定曲下仅桡足类检出。冈曲浮游动物密度平均是 273.38ind./L，冈曲下浮游动物密度高于冈曲上。

②生物量

旭龙调查水域生物量平均为 0.0093mg/L，其中原生动物生物量平均是 0.0083mg/L、占 89.19%，轮虫 0.0003mg/L、占 3.06%，桡足类 0.0007mg/L、占 7.76%，枝角类未检出。

**表 4.3-35　旭龙调查水域浮游动物生物量组成**

| 项目 | 干流 | | 支流 | | 调查水域 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 生物量（mg/L） | 百分比（%） | 生物量（mg/L） | 百分比（%） | 生物量（mg/L） | 百分比（%） |
| 原生动物 | 0.0011 | 68.96 | 0.0174 | 91.27 | 0.0083 | 89.19 |
| 轮虫 | 0.0000 | 0.00 | 0.0006 | 3.37 | 0.0003 | 3.06 |
| 枝角类 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 |
| 桡足类 | 0.0005 | 31.04 | 0.0010 | 5.36 | 0.0007 | 7.76 |
| 合计 | 0.0016 | 100 | 0.0191 | 100 | 0.0093 | 100.00 |

旭龙调查水域干流浮游动物生物量平均是 0.0016mg/L，其中原生动物占 68.96%，桡足类占 31.04%，轮虫和枝角类未检出。干流浮游动物生物量在水平

上分布上与密度相似，旭龙库中最高（0.0123mg/L），其次是硕多岗河汇口下（0.0016mg/L），依次是昌波（0.0015mg/L），麦曲河汇口下、其宗（各 0.0001mg/L），苏洼龙、旭龙、奔子栏、冈曲汇口下在定量样品中未检出。

4 条支流浮游动物生物量平均是 0.0191mg/L，其中原生动物占 91.27%，轮虫占 3.37%，桡足类占 5.36%，枝角类未检出。

麦曲浮游动物生物量平均是 0.0049mg/L，麦曲下游浮游动物生物量高于上游。丹达曲生物量平均是 0.0559mg/L，丹达曲上生物量高于下游。定曲生物量平均是 0.0103mg/L，定曲上游高于定曲下游。冈曲生物量平均是 0.0052mg/L，冈曲上、下游浮游动物生物量相似。

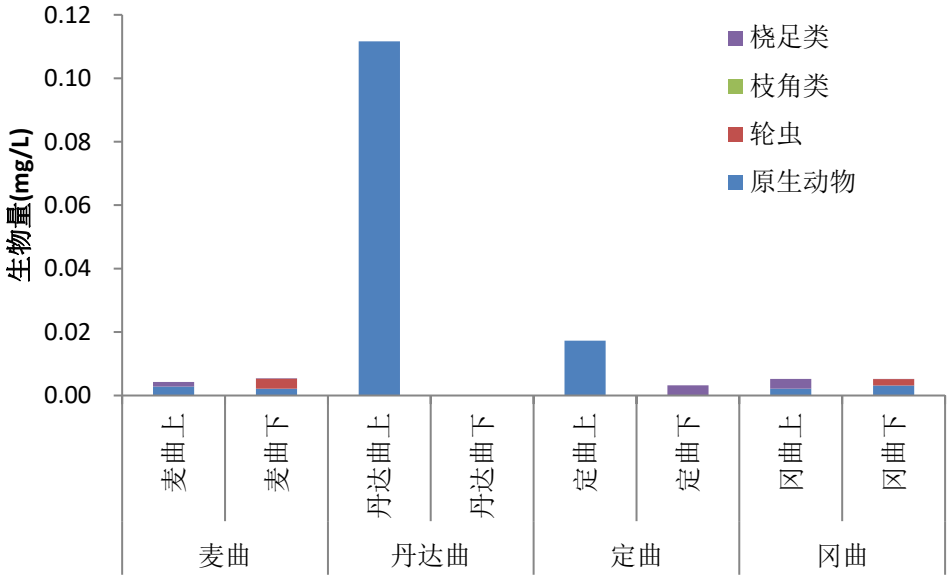



图 4.3-19　支流调查水域浮游动物生物量组成

（3）生物多样性

1）2012~2013 年调查结果

采用 Shannon-Wiener 生物多样性指数计算出各监测点的浮游动物多样性指数。评价区浮游动物多样性指数在 0~2 之间，浮游动物群落结构简单。多样性指数最高的为丰水期库中为 2，最低为丰水期昌波坝址、麦曲河汇口下，枯水期奔子栏在定量样品中仅检出 1 种，多样性指数为 0。

表 4.3-36　评价区各监测点浮游动物多样性指数

| 时段 | 干流 | | | | | 支流 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 昌波坝址 | 麦曲河汇口下 | 库中 | 旭龙坝址 | 奔子栏 | 麦曲河 | 丹达曲 |
| 枯水期 | 1 | 0.559 | 1.4395 | 0.6502 | 0 | 1.1451 | 1.4345 |
| 丰水期 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1.585 | 0.4395 | 0.8167 |

2）2019 年调查结果

2019 年调查区域干流调查定量样品检出浮游动物种类比较单一，多样性指数均为 0。支流冈曲下多样性指数最高 1.74，其次是麦曲上、丹达曲上多样性指数均为 1，麦曲下多样性指数是 0.44，丹达曲下、定曲上、定曲下、冈曲上多样性指数是 0。

**表 4.3-37　评价区各支流浮游动物多样性指数**

| 多样性指数 | 麦曲 | | 丹达曲 | | 定曲 | | 冈曲 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 麦曲上 | 麦曲下 | 丹达曲上 | 丹达曲下 | 定曲上 | 定曲下 | 冈曲上 | 冈曲下 |
| Shannon-Wiener | 1 | 0.44 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.74 |

（4）现状分析

2012 年~2013 年评价区检出浮游动物 47 种，平均密度和平均生物量分别为 298ind./L、0.0149mg/L，多样性指数在 0~2 之间。2019 年调查水域检出浮游动物 41 种，平均密度和平均生物量分别为 201.51ind./L、0.0093mg/L，定量样品检出浮游动物种类单一，多样性指数很低。2012~2013 年浮游动物种类、密度和生物量稍高于 2019 年，种类、生物量 3 次调查差异不大。3 次调查浮游动物种类、现存量和多样性较低主要因为评价区为高原急流生境开放性水体，浮游动物生长所需营养盐由上游干流、区间支流输入，受上游干流及区间支流影响较大。评价区干流工农业开发程度较低，输入水体的外源性营养盐有限，加上水流湍急，水体浑浊，透明度低，浮游动物现存量总体水平较低。浮游动物种类和现存量组成以原生动物为主，轮虫较少，枝角类和桡足类为偶见，表现为典型的急流生境浮游动物群落结构特点。

2012~2013 年评价区丰水期来水量大，从上游干流及支流带入的种类较多浮游动物种类丰富，所以丰水期浮游动物现存量高于枯水期。2019 年支流流量相对较小，流速相对干流缓慢，浮游动物种类、密度和生物量、多样性指数高于干流。

### 4.3.2.5 底栖动物

（1）种类

1）2012~2013 年调查结果

评价区底栖动物 16 种，其中节肢动物占 100%，优势种有二翼蜉、二尾蜉、细蜉、低头石蚕、短尾石蝇等。

干流共检出底栖动物 7 种。昌波坝址断面底质为沙质、碎石，底栖动物检出

3 种；麦曲河汇口下断面底质为块石、碎石，水流湍急，底栖动物检出 1 种；旭龙库中、坝址断面河道狭窄，水流急，底栖动物分别检出 3 种、1 种；奔子栏断面水流相对平缓，底质为沙质、卵石，底栖动物检出 2 种。旭龙梯级评价河段比降大，多处有连续跌水，底栖动物种类分布少。

支流共检出底栖动物 15 种。麦曲河底质为小型块石、卵石，水流急，底栖动物 14 种，主要为毛翅目、蜉蝣目、石蝇科生物等；丹达曲底质为块石，卵石，水流相对平缓，底栖动物 7 种，主要为蜉蝣目、毛翅目及摇蚊科生物等。

评价区底栖动物丰水期 10 种，枯水期 15 种，底栖动物种类分布枯水期整体高于丰水期。干流丰、枯水期底栖动物分别有 2、6 种，底栖动物种类季节差异较为明显；支流丰、枯水期底栖动物分别为 10、12 种，底栖动物种类季节差异不显著。

2）2019 年调查结果

评价区共有底栖动物 41 种，其中环节动物 2 种，占 4.88%，软体动物 1 种，占 2.44%，节肢动物 38 种，占 92.68%，优势种有哑口仙女虫、四节蜉、花翅蜉、似动蜉、高翔蜉、纯石蝇、朝大蚊、直突摇蚊、特围摇蚊、流水长跗摇蚊等。

干流共检出底栖动物 15 种，环节动物、节肢动物分别有 1、14 种，干流旭龙及以上河段为峡谷河段，水流湍急，底质以砾石、块石为主，底栖动物 6 种，麦曲汇口下河段底栖动物未检出，苏洼龙、旭龙库中、旭龙河段分别仅检出 1 种，昌波坝址河段底栖动物 6 种，种类分布相对较多。干流奔子栏以下段河谷开阔，水势较为平缓，底栖动物 12 种，其宗河段底栖动物种类 9 种，种类分布较多，其余河段种类分布在 1~2 种间。支流底栖动物共 36 种，麦曲底质为小型块石、卵石，水流急，底栖动物 26 种，主要为毛翅目、蜉蝣目、石蝇科生物等；丹达曲底质为块石，卵石，水流相对平缓，底栖动物 17 种，主要为蜉蝣目、毛翅目及摇蚊科生物等。定曲底质为卵石、块石，底栖动物 8 种，主要为蜉蝣目、摇蚊科生物；冈曲底质为卵石，砂石，底栖动物 20 种，主要为蜉蝣目、毛翅目及摇蚊科生物。

（2）现存量

1）2012~2013 年调查结果

评价区底栖动物平均密度 31ind./$m^2$，平均生物量 0.90g/$m^2$，密度、生物量组成中节肢动物均占 100%。

干流底栖动物平均密度、平均生物量分别为 1ind./$m^2$、0.02g/$m^2$，平均密度、平均生物量整体较低；支流底栖动物平均密度、平均生物量分别为 106ind./$m^2$、3.09g/$m^2$，其中麦曲河底栖动物密度、生物量分别为 115ind./$m^2$、3.57g/$m^2$，丹达曲密度、生物量分别为 97ind./$m^2$、2.62g/$m^2$，麦曲河底栖动物现存量稍高于丹达曲。

干流底栖动物数量较少，丰、枯水期现存量季节分布绝对值差异不大；支流丰水期底栖动物密度、生物量分别为 87ind./$m^2$、2.96g/$m^2$，枯水期分别为 125ind./$m^2$、3.22g/$m^2$，支流枯水期底栖动物现存量高于丰水期。

**表 4.3-38 底栖动物现存量 单位：ind./$m^2$、g/$m^2$**

| 现存量 | | 干流 | | | | | | | | | | 支流 | | | | 均值 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 昌波坝址 | | 麦曲河汇口下 | | 库中 | | 旭龙坝址 | | 奔子栏 | | 麦曲河 | | 丹达曲 | | 干流 | 支流 | 综合 |
| | | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | | | |
| 密度(ind./$m^2$) | 节肢动物 | | 2 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 56 | 174 | 118 | 75 | 1 | 106 | 31 |
| | 小计 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 56 | 174 | 118 | 75 | 1 | 106 | 31 |
| 生物量(g/$m^2$) | 节肢动物 | | 0.03 | | 0.04 | 0.03 | 0.02 | | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 2.44 | 4.70 | 3.48 | 1.75 | 0.02 | 3.09 | 0.90 |

2）2019 年调查结果

评价区底栖动物密度平均 232ind./ $m^2$，环节动物、软体动物、节肢动物分别为 11ind./$m^2$、1ind./ $m^2$、220ind./$m^2$。生物量 1.851g/$m^2$，环节动物、软体动物、节肢动物分别为 0.001g/$m^2$，0.017g/$m^2$，1.833g/$m^2$，密度、生物量组成中节肢动物所占比重较大，具体见表 4.3-39。

干流底栖动物密度、生物量平均分别为 7ind./$m^2$、0.052g/$m^2$，密度、生物量整体较低，旭龙及以上河段密度、生物量平均分别为 2ind./$m^2$、0.002g/$m^2$，奔子栏及以下河段底栖动物密度、生物量平均分别为 9ind./$m^2$、0.101g/$m^2$。支流底栖动物密度、生物量平均分别为 513ind./$m^2$、4.101g/$m^2$，其中麦曲底栖动物密度、生物量分别为 870ind./$m^2$、6.072g/$m^2$，底栖动物密度高于其他支流。

**表 4.3-39 底栖动物现存量 单位：ind./$m^2$、g/$m^2$**

| 现存量 | | 密度（ind./m2） | | | | 生物量（g/m2） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 环节动物 | 软体动物 | 节肢动物 | 合计 | 环节动物 | 软体动物 | 节肢动物 | 合计 |
| 干流 | 苏洼龙 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| | 昌波 | 1 | 0 | 4 | 5 | 0.001 | 0.000 | 0.006 | 0.007 |
| | 麦曲河汇口下 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 旭龙库中 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| | 旭龙 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| | 奔子栏 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.004 |
| | 冈曲河口下 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |

| 现存量 | | 密度（ind./m2） | | | | 生物量（g/m2） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 环节动物 | 软体动物 | 节肢动物 | 合计 | 环节动物 | 软体动物 | 节肢动物 | 合计 |
| | 其宗 | 0 | 1 | 21 | 22 | 0.000 | 0.304 | 0.187 | 0.491 |
| | 石鼓 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.003 |
| | 硕多岗河汇口下 | 0 | 0 | 13 | 13 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.006 |
| 支流 | 麦曲上 | 0 | 0 | 1310 | 1310 | 0.000 | 0.000 | 8.769 | 8.769 |
| | 麦曲下 | 0 | 0 | 430 | 430 | 0.000 | 0.000 | 3.374 | 3.374 |
| | 丹达曲上 | 0 | 0 | 680 | 680 | 0.000 | 0.000 | 13.798 | 13.798 |
| | 丹达曲下 | 160 | 0 | 500 | 660 | 0.011 | 0.000 | 0.637 | 0.648 |
| | 定曲上 | 2 | 0 | 38 | 40 | 0.001 | 0.000 | 0.229 | 0.230 |
| | 定曲下 | 0 | 0 | 32 | 32 | 0.000 | 0.000 | 0.067 | 0.067 |
| | 冈曲上 | 30 | 0 | 440 | 470 | 0.011 | 0.000 | 2.219 | 2.230 |
| | 冈曲下 | 0 | 0 | 480 | 480 | 0.000 | 0.000 | 3.689 | 3.689 |
| 均值 | 干流 | 1 | 1 | 5 | 7 | 0.001 | 0.030 | 0.021 | 0.052 |
| | 支流 | 24 | 0 | 489 | 513 | 0.003 | 0.000 | 4.098 | 4.101 |
| | 综合 | 11 | 1 | 220 | 232 | 0.001 | 0.017 | 1.833 | 1.851 |

（3）多样性指数

1）2012~2013 年调查结果

旭龙干流底栖动物分布匮乏，底栖动物 Shannon-Wiener 指数整体低；支流底栖动物种类分布较多，底栖动物多样性指数高，具体见表 4.3-40。

**表 4.3-40 底栖动物多样性指数**

| 断面 | 干流 | | | | | | | | | | 支流 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 昌波坝址 | | 麦曲河汇口下 | | 库中 | | 旭龙坝址 | | 奔子栏 | | 麦曲河 | | 丹达曲 | |
| | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 | 丰 | 枯 |
| 定量种数 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 | 11 | 6 | 3 |
| Shannon-Wiener 指数 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.79 | 3.1 | 2.43 | 1.42 |

2）2019 年调查结果

评价区干流底栖动物分布匮乏，底栖动物 Shannon-Wiener 指数整体低，昌波坝址、其宗河段底栖动物生物多样性指数相对较高；支流底栖动物种类分布较多，底栖动物生物多样性指数整体较高，麦曲、冈曲 Shannon-Wiener 指数均大于 2.0，高于丹达曲、定曲，具体见表 4.3-41。

**表 4.3-41 底栖动物多样性指数**

| 断面 | | Shannon-Wiener 指数 |
|---|---|---|
| 干流 | 苏洼龙 | 0.000 |
| | 昌波坝址 | 1.677 |
| | 麦曲汇口下 | 0.000 |

| 断面 | | Shannon-Wiener 指数 |
|---|---|---|
| | 旭龙库区 | 0.000 |
| | 旭龙坝址 | 0.000 |
| | 奔子栏 | 0.693 |
| | 冈曲河口下 | 0.000 |
| | 其宗 | 1.885 |
| | 石鼓 | 0.000 |
| | 硕多岗河汇口下 | 0.000 |
| 支流 | 麦曲上 | 2.179 |
| | 麦曲下 | 2.345 |
| | 丹达曲上 | 2.006 |
| | 丹达曲下 | 1.307 |
| | 定曲上 | 1.484 |
| | 定曲下 | 1.321 |
| | 冈曲上 | 2.483 |
| | 冈曲下 | 1.940 |

（4）现状评价

2019 年评价区底栖动物 41 种，其中环节动物 2 种，占 4.88%，软体动物 1 种，占 2.44%，节肢动物 38 种，占 92.68%，优势种有哑口仙女虫、四节蜉、花翅蜉、似动蜉、高翔蜉、纯石蝇、朝大蚊、直突摇蚊、特围摇蚊、流水长跗摇蚊等，底栖动物密度、生物量分别为 232ind./$m^2$、1.851g/$m^2$。

评价区底栖动物种类水平分布差异较为明显，干流底栖动物 15 种，种类分布较少，现存量低，其中旭龙及以上河段底栖动物仅 6 种，底栖动物密度、生物量分别为 2ind./$m^2$、0.002g/$m^2$，奔子栏及以下河段底栖动物分布相对较多，底栖动物密度、生物量分别为 9ind./$m^2$、0.101g/$m^2$。支流底栖动物 36 种，种类分布远高于干流。麦曲底栖动物 26 种，种类分布高于其他支流。

相对 2012~2013 年，由于评价范围扩大及部分监测站点选择差异，2019 年调查结果底栖动物种类、密度、生物量均有所增加，但干流旭龙及以上重点评价区段 2019 年调查结果与 2012~2013 年结果是基本相近的。

### 4.3.2.6 鱼类

（1）种类组成

现场调查主要采用雇请当地渔民捕捞，购买商业渔获物，请渔民在两次调查间隔期用固定液浸泡留存不同种类标本，对专兼业渔民及当地老住户进行走访问询及图片辨识等方式进行。调查渔具包括流刺网、定置刺网、地笼、电鱼机、拦网、钩钓等。室内工作参考相关资料对原始材料进行分析整理。

据《四川鱼类志》（1994）、《云南鱼类志》（1989-1990）、《西藏鱼类及其资源》（1995）、《横断山区鱼类》（1998）、《中国动物志·鲤形目（下卷）》（2000）、《中国动物志·鲇形目》（1999）、《中国条鳅志》(1989)、《中国动物志鲤形目》（中卷）（陈宜瑜等，1998）、《四川鱼类的区系研究》（刘成汉，1964），《金沙江鱼类及发展渔业雏议》（吴江，1989），《金沙江的鱼类区系》（吴江等，1990）等文献资料记载，包括调查水域在内的金沙江上游水域共有鱼类 21 种，分别为戴氏山鳅、圆腹高原鳅、拟硬刺高原鳅、安氏高原鳅、短尾高原鳅、斯氏高原鳅、东方高原鳅、唐古拉高原鳅、异尾高原鳅、修长高原鳅、细尾高原鳅、软刺裸裂尻鱼、小头高原鱼、长丝裂腹鱼、裸腹叶须鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、中甸叶须鱼、格咱叶须鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡。其中，其中东方高原鳅、圆腹高原鳅、唐古拉高原鳅、小头高原鱼、裸腹叶须鱼一般分布在海拔较高地区，记录多分布在拉哇坝址以上江段，本专题调查江段自昌波坝址至奔子栏干支流，无以上 5 种鱼类分布；格咱叶须鱼分布于格咱河，中甸叶须鱼分布在小中甸河（硕多岗河上游）、那亚河、碧塔海、属都海，且一般在海拔较高的支流中上游，不涉及本工程评价区，本工程对其无影响或影响较小。因此，涉及评价区有记录的鱼类应为 14 种，分别为戴氏山鳅、拟硬刺高原鳅、安氏高原鳅、短尾高原鳅、斯氏高原鳅、异尾高原鳅、修长高原鳅、细尾高原鳅、软刺裸裂尻鱼、长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡。

本项目调查在苏洼龙坝址至虎跳峡的金沙江干流及其间主要支流丹达曲、麦曲、定曲、冈曲，根据采集到种类及走访调查的结果，并依据《四川鱼类志》、《中国动物志 鲤形目(下卷) 》、《中国动物志 鲇形目》、《中国淡水鱼类检索》、《中国条鳅志》等文献检索，调查区段共有鱼类 16 种，其中外来种 5 种。16 种鱼分属 2 目 4 科 12 属。其中鲤形目 11 属 15 种，占种数的 93.75%；鲇形目 1 属 1 种，占种数的 6.25%。科一级水平上，依次是鲤科 8 属 10 种，占 62.5%；鳅科 2 属 4 种，占 25%；鮡科、平鳍鳅科各 1 属 1 种，各占 10%。

调查江段鱼类无“国家重点保护水生野生动物名录”及《中国濒危动物红皮书》种类。其中长丝裂腹鱼为四川省重点保护种，长丝裂腹鱼与黄石爬鮡 2 种为《中国物种红色名录》濒危种（EN），短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、中华金沙鳅、安氏高原鳅 8 种为长江中上游特有鱼类。

## 表 4.3-42　旭龙水电站调查水域鱼类名录及分布

| 种　　类 | 调查水域 | | | | | 金沙江上游记录种 | 关注类别 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 干流 | 支流 | | | | | 特有种 | 保护种 | 红色名录 |
| | | 麦曲 | 丹达曲 | 定曲 | 冈曲 | | | | |
| **I.鲤形目 CYPRINIFOMES** | | | | | | | | | |
| **1.鳅科 Cobitidae** | | | | | | | | | |
| **条鳅亚科 Nemacheilinae** | | | | | | | | | |
| **山鳅属 *Oreias* Sauvage** | | | | | | | | | |
| 戴氏山鳅 *O. dabryi* Sauvage | | | | | | ○ | 特 | | |
| **高原鳅属 *Triplophysa* Rendahl** | | | | | | | | | |
| 东方高原鳅 *T. orientalis* (Herzenstein) | | | | | | ○ | | | |
| 安氏高原鳅 *T. angeli* (Fang) | ★ | ★ | ☆ | ★ | ★ | ○ | 特 | | |
| 短尾高原鳅 *T. brevicauda* (Herzenstein) | | | | | | ○ | | | |
| 勃氏高原鳅 *T. bleekeri* (Sauvage *et* Dabry) | ★ | ☆ | | | | ○ | | | |
| 拟硬刺高原鳅 *T. pseudoscleroptera* (Zhu *et* Wu) | | | | | | ○ | | | |
| 圆腹高原鳅 *T. rotundiventris* (Wu *et* Chen) | | | | | | ○ | | | |
| 唐古拉高原鳅 *T. tanggulaensis* (Zhu) | | | | | | ○ | | | |
| 修长高原鳅 *T. leptosoma* (Zhu *et* Wu) | | | | | | ○ | | | |
| 细尾高原鳅 *T. stenura* (Herzenstein) | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ○ | | | |
| 斯氏高原鳅 *T. stoliczkae* (Steindachner) | | | | | | ○ | | | |
| **花鳅亚科 Cobitinae** | | | | | | | | | |
| **泥鳅属 *Misgurnus*** | | | | | | | | | |
| 泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor) △ | ★ | | | ☆ | ☆ | | | | |
| **2.鲤科 Cyprinidae** | | | | | | | | | |
| **鳑鲏亚科 Acheilognathinae** | | | | | | | | | |
| **鳑鲏属 *Rhoaeus* Agassiz** | | | | | | | | | |
| 高体鳑鲏 *Rhodeus ocellatus* (Kner) △ | ★ | | | | | | | | |
| **鮈亚科 Gobioninae** | | | | | | | | | |
| **棒花鱼属 *Abbottina* Jordan et Fowler** | | | | | | | | | |
| 棒花鱼 *Abbotina rivularis* (Basilewsky) △ | ★ | | | | | | | | |
| **麦穗鱼属 *Pseudorasbora* Bleeker** | | | | | | | | | |
| 麦穗鱼 *Pseudorasbora* parva △ | ★ | | | | | | | | |
| **鲃亚科 Barbinae** | | | | | | | | | |
| **鲈鲤属 *Percocypris*　Chu** | | | | | | | | | |
| 鲈鲤 *Percocypris pingi pingi*（Tchang） | ★ | | | | | | | | |
| **裂腹鱼亚科 Schizothoracinae** | | | | | | | | | |
| **裂腹鱼属 *Schizothorax* Heckel** | | | | | | | | | |
| 短须裂腹鱼 *S. (Schizothorax) wangchiachii* (Fang) | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ○ | 特 | | |
| 长丝裂腹鱼 *S. (Schizothorax) dolichonema* Herzenstein | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ○ | 特 | 省 | EN |
| 四川裂腹鱼 *S. (Racoma) kozlovi* Nikolsky | ★ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ○ | 特 | | |
| **叶须鱼属 *Ptychobarbus* Steindachner** | | | | | | | | | |
| 裸腹叶须鱼 P. *kaznakovi* (Nikolsky) | | | | | | ○ | | | VU |
| 中甸叶须鱼 *P.chungtienensis chungtienensis*（Tsao） | | | | | | ○ | 特 | | EN |
| 格咱叶须鱼 *P.chungtienensis gezaensi*（Huang *et* Chen） | | | | | | ○ | 特 | | |
| **裸裂尻鱼属 *Schizopygopsis* Steindachner** | | | | | | | | | |
| 软刺裸裂尻鱼 *S.malacanthus malacanthus* Herzenstein | ★ | ★ | ★ | ★ | ☆ | ○ | 特 | | |
| **裸鲤属 *Gymnocypris* Günther** | | | | | | | | | |
| 硬刺松潘裸鲤 *G. potanini firmispinatus* Wu *et* Wu | ★ | ★ | | ★ | ★ | ○ | 特 | | |
| **高原鱼属 *Herzensteinnia* Chu** | | | | | | | | | |
| 小头高原鱼 *H. microcephalus* (Herzenstein) | | | | | | ○ | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **鲤亚科 Cyprininae** | | | | | | | | | |
| **鲫属 *Carassius* Nilsson** | | | | | | | | | |
| 鲫 *Carassius auratus* (Linnaeus) △ | ★ | | | | | | | | |
| **3.平鳍鳅科 Homalopteridae** | | | | | | | | | |
| **平鳍鳅亚科 Homalopterinae** | | | | | | | | | |
| **金沙鳅属 *Jinshaia* Kottelat et Chu** | | | | | | | | | |
| 中华金沙鳅 *Jinshaia sinensis* (Sauvage et Dabry) | ★ | ★ | | ☆ | | ○ | | | |
| **II. 鲇形目 SILURIFORMES** | | | | | | | | | |
| **4.鮡科 Sisoridae** | | | | | | | | | |
| **石爬鮡属 *Euchiloglanis* Regan** | | | | | | | | | |
| 黄石爬鮡 *E. kishinouyei* Kimura | ★ | ★ | ☆ | ★ | ☆ | ○ | 特 | | EN |

注：“★”表示采集到的种类，“☆”表示调查访问存在种类，“特”表示金沙江中上游特有种类, “省”表示四川省野生动物保护名录（含新增名录）种类，“VU” “EN”、“CR”分别表示《中国物种红色名录》或(及)《中国濒危动物红皮书》易危、濒危、极危种。△表示外来种。

表 4.3-43 旭龙水电站调查区域鱼类分类构成

| 目 | 科 | 属 | | 种 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 数量 | 百分比(%) | 数量 | 百分比(%) |
| 鲤形目 | 鳅科 | 2 | 16.7 | 4 | 25 |
| | 鲤科 | 8 | 66.7 | 10 | 62.5 |
| | 平鳍鳅科 | 1 | 8.3 | 1 | 6.25 |
| 鲇形目 | 鮡科 | 1 | 8.3 | 1 | 6.25 |
| 总计 | 4 | 12 | 100.0 | 16 | 100.0 |

（2）鱼类区系

调查水域位于青藏高原东南边缘地带的横断山脉中部，属金沙江上游中段，两岸山脊走向与金沙江基本一致；沿江山体雄厚，高耸入云；山脊高程3500~5000m，江面狭窄，水流湍急，河谷陡峻。金沙江水面宽一般有60~100m，最窄处不到40m。该段江流所处地理位置、海拔及河流流态从根本上决定了其间鱼类的区系结构。

本次调查到的11种鱼类（5种外来种除外）分为3个类群：

1）青藏高原区系类群，由鲤科的裂腹鱼亚科与鳅科的条鳅亚科高原鳅属种类组成，也是该水域鱼类的主要特征类群。属于该类群的种类有短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、齐口裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、安氏高原鳅、勃氏高原鳅、细尾高原鳅等8种，占该水域鱼类的72.7%。

2）西南山地类群，该类群在本江段主要为鮡科石爬鮡属种类，此类群一般身体上有特化的吸附结构，适宜于南方山区激流中生活，是该水域的特征类群。属于该类群的仅2种，即黄石爬鮡、中华金沙鳅，占该水域鱼类种类的18.2%。

3）老第三纪原始类群，属于该类群的仅鲈鲤一种，占该水域鱼类种类的9.1%。

从历史资料和本次调查结果可以看出，虎跳峡是鱼类区系组成的分隔点，虎跳峡以上土著鱼类以裂腹鱼类和高原鳅类为主，属于青藏高原鱼类区系范围；而虎跳峡以下至梨园坝址江段，除有以上类群延续分布外，“江河平原类群”、“古第三纪类群”、“南方平原类群”及中印山区类群等鱼类逐渐增多，但尚未占据该江段鱼类生态位主体，说明该江段江段处于青藏高原鱼类与江河平原鱼类的交汇地带，虎跳峡江段的河势阻隔了江河平原（复合体）鱼类的上溯。

（3）珍稀濒危特有鱼类

1）国家级、省级保护鱼类

调查江段鱼类无国家级保护鱼类，也无西藏自治区保护鱼类，但属四川省保护鱼类一种：长丝裂腹鱼。

2）《中国濒危动物红皮书》、《中国物种红色名录》保护鱼类

调查江段无《中国濒危动物红皮书》的种类；列入《中国物种红色名录》的鱼类有 2 种：长丝裂腹鱼、黄石爬鮡，均为濒危种（EN）。

3）金沙江中上游特有鱼类

调查水域金沙江中上游特有鱼类 7 种，分别是短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡及安氏高原鳅。

据现场捕捞调查和走访渔民了解，上述 7 种鱼类在渔获物均有一定数量。其中短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼主要在干流分布，支流较少，且以小个体为主。软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、勃氏高原鳅主要分布在支流，干流较少，分布于缓流河段。黄石爬鮡以干流分布为主，支流有一定数量，整体资源量相对其他种类少。

（4）生态特征

调查江段金沙江水域流态以峡谷急流为主，属开放性急流型水生生态系统，其无机营养盐和有机碎屑主要由地表输入；浮游生物和水生维管束植物稀少，大量营养盐和有机碎屑随水流向下游，未转化为水体生产力；着生藻类和底栖动物构成该生境中水体生产力重要的饵料基础。

调查江段流速很大，大多河段流速在 1~3m/s，流态混乱，鲜有能适应水体上、中层生活的鱼类。该江段鱼类主要由适应水体底层多种环境的群体构成。这些鱼类的适应特点多样，或身体细长，具发达的触须和粘液层，无鳞，以适应急流底层的洞穴、石缝等环境生息，如高原鳅鱼类；或身体长形而稍侧扁，尾柄长，尾

鳍强健，触须发达，口部具有刮食构造，以快速的流动能力适应峡谷急流水体底层的多种环境，如裂腹鱼类和或体形较平扁、口下位、具吸盘或吸盘功能的构造，适应于吸附在急流水体底层的基质上活动，如黄石爬鮡。

1）栖息习性

根据鱼类的栖息特点，调查江段土著鱼类大致可分为以下 3 个类群。

①流水底栖类群

此类群主要或完全生活在江河流水水底环境中，体长形，略侧扁，游泳能力强，适应于急流峡谷或缓流宽谷水底环境中生活。其中一类主要以底栖无脊椎动物为食，也摄食少量硅藻、绿藻及植物碎屑，如四川裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤；另一类以刮取水底砾石等物体表面附着藻类为食，如短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼等。

② 洞隙类群

此类群主要生活在流水急流水底洞穴及砾石缝隙间中，以发达口须感知吸取水底低等无脊椎动物为食，包括勃氏高原鳅、安氏高原鳅、细尾高原鳅 3 种。

③急流底栖类群

此类群有特化的吸盘或类似吸盘的附着结构，适于附着在急流浅滩水底物体上生活，以水生昆虫及其幼虫等底栖动物与有机碎屑等为食，即黄石爬鮡。

2）食性

根据食性调查江段鱼类可划分为 4 类：

①以着生藻类为食的类群

由于该段大部分水域水流急，水温低，水质清瘦，浮游动植物及水生维管束植物稀少，该类群以河床有低温性着生藻类及有机碎屑为食的。该类群均为口下位，具有发达的触须及锋利的下颌或肥厚的唇，用以感触刮取吸摄食物，如短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼等。

②以底栖动物为食的类群

该类群是本江段鱼类食物类型中最大的类群，以摄食水生昆虫的成虫或幼虫为主，有的种类也摄食着生藻类和植物碎屑。摄取的食物，除少部分生长在深潭和缓流河段泥沙底质中的摇蚊科幼虫和寡毛类外，多数是急流的砾石河滩石缝间生长的毛翅目、鞘翅目、蜉游目、蜉蝣目昆虫的幼虫或稚虫，这一类群有四川裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤、勃氏高原鳅、安氏高原鳅、细尾高原鳅、黄石爬鮡等。

③杂食性鱼类

这些种类既摄食水生昆虫、虾类、软体动物等动物性饵料，也摄食藻类及植物的碎片、种子，有时还吞食其它鱼类的卵和幼苗，如戴氏山鳅、高原鳅、中华金沙鳅等以及外来鱼类鲫、泥鳅等。

④食鱼性鱼类

主要为凶猛性肉食性鱼类，本区域分布种类为鲈鲤。

3）繁殖习性

调查水域分布鱼类除中华金沙鳅产漂流性鱼卵外，多为产粘性卵类群。

短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、硬刺软刺裸裂尻鱼、松潘裸鲤等鱼类卵为粘沉性，产卵时要一定的水流刺激，繁殖需要一定的流水条件，产卵时要进行短距离的生殖洄游，需要底质砾石相对粗大、水流缓急交错的河床，水深水深约为 0.15～1.5m，适宜的流速约为 0.2～1.5m/s。鱼类产卵后，受精卵落入石砾缝中，在水流的不断冲动中顺利孵化。这些鱼类繁殖季节略有差别，短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼繁殖季节一般在每年 3~4 月，四川裂腹鱼则在 6 月前后。这类裂腹鱼繁殖水温上下限约为 11~16℃，性成熟年龄多在 3~4 龄，怀卵量约为 2~4 万粒。硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻鱼主要生活于宽谷河段，繁殖季节较晚，一般在 6~7 月。

生活于急流中黄石爬鮡，卵有弱粘性，也需在礁石、砾石堆中孵化，产卵场与裂腹鱼不同，多分布于干支流的峡谷、窄谷及水流较为湍急单一河道江段，产卵场位置相对稳定，繁殖季节在 5~7 月。

细尾高原鳅、勃氏高原鳅、安氏高原鳅等鳅科种类，其种群个体较多，散布于不同的河段、支流等各类水体，完成生活史所要求的环境范围不大，他们主要在沿岸带石砾及支流适宜的小环境中产粘性卵。如勃氏高原鳅 5~7 月繁殖，怀卵量多在 300~700 粒之间，这类鱼主要以繁殖规模来保证种群的延续。

中华金沙鳅广泛分布于金沙江中、下游及长江上游的干、支流，为典型产漂流性卵的激流型鱼类，产卵时间为 5-7 月，已知的产卵场主要位于金沙江中下游及长江上游。根据刘淑伟等调查，虎跳峡以上的虎龙蟠镇、黎明乡和巨甸镇江段产卵场是海拔最高、位于金沙江最上游的中华金沙鳅产卵场，产卵时间延迟到 8 月份。

（5）鱼类早期资源调查

本项目中的早期资源调查主要是针对产漂流性卵鱼类，这些鱼类一般需要较高的繁殖水温，一般在洪水季节，河水大幅上涨时产卵繁殖，受精卵顺水漂流，并在水流的刺激下孵化。

2019 年 7 月 3～23 日在石鼓(26°52′15″N，99°57′40″E，海拔 1802.7m)定点进行了鱼类早期资源监测。

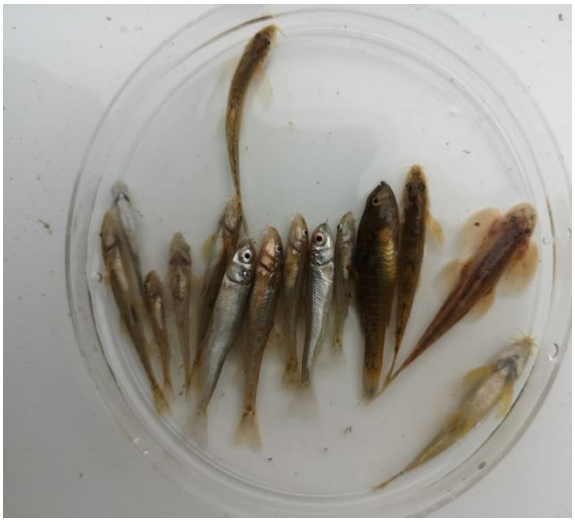





采用弶网调查鱼类早期资源



解剖镜观察鱼卵胚胎发育



采用弶网采集到的部分幼鱼、成鱼



采用弶网采集到的鱼卵

根据中国水文信息网（http://www.hydroinfo.gov.cn/）查询，3 日-23 日期间石鼓水位为 1821.11-1821.99-1820.88m，流量 2550-3460-2340$m^3/s$（7 月 10 日达到洪水最高水位 1821.99m，流量为 3460$m^3/s$）。卵汛期水温 17.8-18.7℃，网口流速 1.19-1.48m/s。21 天共采集到鱼卵 209 粒(含寡卵 8 个)，经培育鉴定均为中华金沙鳅；采集到鱼苗和幼鱼 105 尾，经鉴定有高体鳑鲏（成鱼）、棒花鱼、泥鳅、高原鳅、裂腹鱼、中华金沙鳅等。

1）产卵时间与频次

7 月 3 日—7 月 23 日历时 21 天，共监测到卵汛两次。第一次为 6—7 日，规模相对较小，产卵仅持续 2 天，发生在洪峰涨水期初期；第二次为 20 日—22 日,规模相对较大，产卵持续 3 天，发生在洪峰落水期后期。

2）产卵规模估算

本次采集在卵汛期每天上午 8 点至下午 5 点持续 9 小时，每次收集的卵粒数见下表：

表 4.3-44　2019 年 7 月石鼓鱼类早期资源调查情况

| 卵汛期 | 时间 | 水位（m） | 流量（$m^3/s$） | 水温（℃） | 卵粒数 | 网口流速（m/s） | 产卵规模（万个） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一次 | 7 月 6 日 | 1821.37 | 2770 | 17.8 | 61 | 1.48 | 92.7 |
| | 7 月 7 日 | 1821.46 | 2920 | 17.8 | 10 | | |
| 第二次 | 7 月 20 日 | 1820.99 | 2450 | 18.6 | 21 | 1.19 | 244.8 |
| | 7 月 21 日 | 1820.96 | 2420 | 18.7 | 40 | | |
| | 7 月 22 日 | 1820.88 | 2340 | 18.7 | 58 | | |

产卵规模估算分两个步骤：①鱼卵密度 d=n/（a×v×t），其中，n 为卵汛开始至结束所有批次采集到的鱼卵总数（ind.），a 为网口有效截流面积（$m^2$），v 为网口流速，取 3 次测量平均值（m/s），t 与 n 相对应，为卵汛开始至结束所有批

次总耗时间（s）；②产卵规模 m=q×d×c×t′，其中，m 为产卵总量（ind.），q 为江水径流量（$m^3/s$），d 为卵密度（$ind./m^3$），c 为断面系数，t′为卵汛持续总时间（s）。

两次卵汛产卵总量分别计为 m1 及 m2，江水径流量（q）取对应的日平均径流量，由于该江段水流湍急、紊乱，断面系数（c）计为 1，两次卵汛持续时间（t’）分别统计。经计算，m1= 92.7 (万个)、m2=244.8（万个）。因此，监测期内，中华金沙鳅产卵总量（M）=m1+m2=337.5(万个)

3）产卵场位置推算

产卵场位置估算按照 Yi et al（1988）的计算公式：L=VT，其中，L 为鱼卵（鱼苗）的漂流距离，V 为受精卵在采集江段的平均漂流速度，T 为胚胎发育所经历的时间。

经观察，采集到的 201 个中华金沙鳅鱼卵所处的发育期并不连续，而是仅分布于 16 个时期，并呈现 4 个波峰，即囊胚晚期、胚孔封闭期、尾鳍出现期和心脏搏动期期。由此可以推断，监测断面以上存在 4 个中华金沙鳅产卵场。

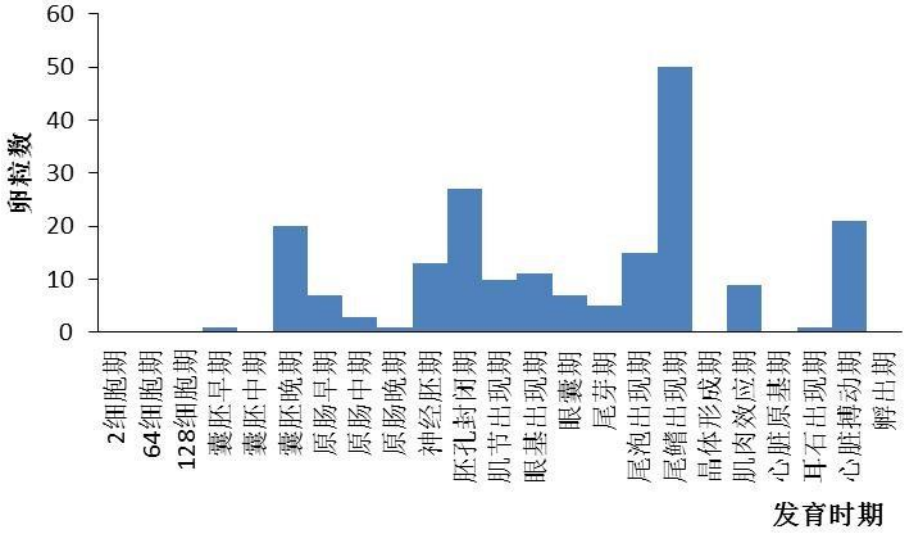



**图 4.3-20　处于不同发育期的卵粒数量**

胚胎发育时长参考 Wang（2008）对中华金沙鳅早期发育的研究。推测 4 个波峰发育期所经历的时间，囊胚晚期为 276min，胚孔封闭期为 513min、尾鳍出现期为 781min、心脏搏动期期为 1280 min。如采集江段卵的漂流速度平均按 1.4 m/s 计算，4 个产卵场距离采集地石鼓的距离分别为 23.4km、43.1km、65.6km 和 107.5 km。由此推断 4 个产卵场大致位置分别为云南省玉龙县黎明乡格子村、黎明乡、巨甸镇、其宗乡。

（6）鱼类重要生境

1）产粘沉性卵鱼类

①产卵场与索饵育幼场

旭龙梯级为金沙江上游规划梯级之一。金江上游鱼类全部适应流水生活，其产卵均需要在流水中进行，砾石或沙底、水清澈的流水河滩是大部分鱼类产卵的基本要求。根据《金沙江上游水电规划环境影响报告书》，金沙江上游干流鱼类产卵场和索饵场分布较为集中、规模较大的江段有 5 处：奔达乡附近河段、洛须宽谷河段、岗拖坝址附近河段、赠曲河口至波罗乡附近河段和玛曲汇口河段。支流主要有藏曲、赠曲、定曲、色曲、热曲下游等，详见表 4.3-45。与旭龙梯级最近的重要生境玛曲汇口，流域规划设有 12km 流水保护河段，位于巴塘坝址以下至苏洼龙库尾河段。该河段河势变得相对开阔，心滩、边滩较为发育，为产粘砾石卵的鱼类提供了较好的条件，产卵场分布较为集中，规模也较大，结合苏哇龙环评报告和巴塘电站环评阶段调查成果，旭龙坝上至拉哇坝址主要的鱼类产卵场分布在巴塘下游 12km 保留河段重要生境统计见表 4.3-46。

**表 4.3-45　金沙江上游规划河段重要鱼类栖息地**

| 重要鱼类栖息地 | | 涉及梯级 | 主要鱼类 |
|---|---|---|---|
| 干流 | 奔达 | 晒拉 | 鳅鮀鱼类 |
| | 洛须 | 上游果通梯级 | 裂腹鱼类 |
| | 岗托 | 岗托、岩比 | 裂腹鱼类、鳅鮀鱼类 |
| | 赠曲河口至波罗 | 波罗 | 裂腹鱼类、鳅鮀鱼类 |
| | 玛曲汇口 | 上游巴塘梯级 | 裂腹鱼类 |
| 支流 | 藏曲、赠曲、定曲、色曲、热曲下游 | 无 | 裂腹鱼类、鳅鮀鱼类 |

**表 4.3-46　金沙江上游玛曲汇口 12km 保留河段鱼类产卵场基本情况统计表**

| 位置 | 产卵场 | 主要产卵鱼类 | 环境条件 | 流速（m/s） | 底质 | 水深（m） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 巴塘坝下保留河段 | 巴楚河汇口（长度 2.8km） | 裂腹鱼类、高原鳅类 | 岸边浅滩 | 0.3～1.0 | 砾石、细沙 | <1.0 |
| | 巴楚河汇口下游 3.2km 处（长度 1.6km） | 裂腹鱼类、高原鳅类 | 岸边浅滩 | 0.3～1.0 | 卵石、小砾石、细沙 | <1.0 |
| | 巴楚河汇口下游 9.7km 处（长度 4km） | 裂腹鱼类、高原鳅类 | 连续长浅滩 | 0.3～1.0 | 卵石、小砾石、细沙 | <1.0 |

旭龙水电站库区金沙江流向总体为为 170°左右，大体自北向南流，总体较顺直，局部时有弯曲，尤其在库首 15km 范围内其流向摆动较为频繁。水库回水长约 64km。沿河岭谷属典型的侵蚀峡谷，高差悬殊，最大相对高差接近 3000m。

河谷及其支流，河道下切强烈，河谷狭窄，谷坡陡峻。干流河谷内阶地不发育，仅在局部地段零星分布有河流阶地，没有集中的大片卵石沙滩分布。因此，从流域层面分析，旭龙库区不属于流域层面产卵场与索饵育幼场分布集中、规模较大的主要江段。

评价区土著鱼类绝大部分为产粘沉性卵种类，它们对产卵环境要求不严苛。其中裂腹鱼类卵多沉性，需要砾石、沙砾底质，鱼类产卵后，受精卵落入石砾缝中，在河流流水的冲动中顺利孵化，有的裂腹鱼在河滩的掘沙砾成浅坑，产卵其中孵化。调查江段符合裂腹鱼产卵条件的水域较为普遍，它们的产卵场分布零散，河道中的心滩、卵石滩、分汊河道的洄水湾及支流汇口等均是裂腹鱼类比较理想的产卵场所。其中苏洼龙至王大龙峡谷河口长约 7km 的河段、奔子栏至冈曲汇口长约 16km 河段，两处相对集中的宽谷河段，水道较宽，既有水流较为湍急的狭窄岩基河道，水流平浅湍急的卵石长滩；也有水流平缓的细沙河湾、曲流；还有水深流急的单一河槽及水流平缓的深潭，两岸及河道间遍布深浅不一砾石滩，在产卵季节不同水位梯度都能形成适宜裂腹鱼类产卵环境，为调查江段裂腹鱼较为密集的产卵水域。





**苏洼龙—王大龙峡谷河口生境**





奔子栏—冈曲河口生境

其宗至虎跳峡江段，河谷开阔，河道分汊，心滩、边滩众多，也分布较多的产卵场，特别是硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻等多在水流较为平缓、沙砾较细小水域的产卵的鱼类，其产卵场分布较为密集。





其宗—虎跳峡生境

黄石爬鮡等鮡科鱼类卵有弱粘性，产卵底质多为礁石、砾石堆，产卵场与裂腹鱼不同，多分布于干、支流的峡谷、窄谷及水流较为湍急单一河道江段，产卵场位置相对稳定。干流旭龙－奔子栏、冈曲河口－其宗及支流麦曲、定曲、冈曲都有其产卵分布。

高原鳅等小型鱼类，它们对产卵场的要求更不严格，一般在干支流沿岸水深较浅、水流较缓区域等一些小生境即可完成产卵繁殖，因此其没有固定的、集中的产卵场。

②越冬场

调查水域鱼类主要的构成类群青藏高原类群裂腹鱼类和条鳅类及西南山地类群的鮡科类群等，大都为典型的低温适宜种类，长期的生态适应和演化，使其具有抵御低温水环境的能力，能在低温环境中顺利越冬。枯水期水量小，水位低，鱼类进入深水河槽或深潭中越冬，这些水域多为岩石、砾石、沙砾底质，冬季水体透明度高，着生藻类等底栖生物较为丰富，为其提供了适宜的越冬场所。这类鱼越冬迁移距离一般不长，因此，水位较深的主河道江段都是裂腹鱼类适宜越冬场所。

2）产漂流性卵鱼类产卵场

产漂流性卵鱼类繁殖需要湍急的水流条件，通常在汛期洪峰发生后在洪水刺激下产卵。这一类鱼卵比重略大于水，但产出后卵膜吸水膨胀，在水流的外力作用下，鱼卵悬浮在水层中顺水漂流。孵化出的早期仔鱼，仍然要顺水漂流，待身

体发育到具备较强的溯游能力后，才能游到浅水或缓流处停歇。

评价区产漂流性卵鱼类仅有中华金沙鳅，根据早期资源调查结果，其产卵场主要有两处：巨甸镇、黎明乡附近江段，其他江段也有该鱼类繁殖，但并不集中。因此相对于四大家鱼等典型产漂流性卵鱼类，该种类对产卵场的要求并不十分严格，一般流态比较复杂的江段均适合其产卵繁殖。

（7）渔业资源现状

1）渔业概况

旭龙水库干流长 63.95km，为河道型水库。库区干流大部分是高山峡谷区，人烟稀少，居民点较为分散，属强烈构造侵蚀作用为主的中高山地貌。主要山脉、水系近于南北向展布。山顶高程达 3500~5180m，切割深度一般 1000~2800m。

库区百姓属康巴藏族，几乎全民信教，神山、圣树和圣水是藏民族最为重要和关注的对象。因此，旭龙库区没有渔业，当地百姓不吃鱼，也无捕捞。库区河段鱼类资源基本保持原始状态。

奔子栏以下江段，由于沿江有公路相伴，交通便利，旅游业相对发达，虽无通常意义的专业渔民，但出现少数以渔业为主业的村民。捕鱼方式有单层刺网、多层刺网、自制小围网、抄网、垂钓，也有个别电捕。大部分渔钓者钓捕的渔获物主要是自己食用，少量渔获者将渔获物售卖给餐馆、旅游者、当地居民或村民，个别在家中暂养池中定点出售。捕鱼季节主要是 3 月至 10 月， 渔获物以短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼为主，有少量黄石爬鮡。

2）各江段渔获物组成分析

①2012~2013 年调查结果

a）库尾江段获渔获物

库尾江段干流共获渔获物 9 种 687 尾，渔获物组成与旭龙差别不大，主要经济鱼类也是短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼及黄石爬鮡 4 种。其中短须裂腹鱼占总重量的 41%，总尾数的 25.5%；长丝裂腹鱼占总重量的 23%，总尾数的 13.5%；四川裂腹鱼占总重量的 21.1%，总尾数的 10.5%；黄石爬鮡占总重量的 12%，总尾数的 38.5%。软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤及高原鳅合计仅占总重量的 2.9%，总尾数的 12%。

b）旭龙江段渔获物

旭龙附近干流调查共获得渔获物 582 尾，经鉴定共计 9 种，主要的鱼类是 4

种裂腹鱼：短须裂腹鱼占总重量的 37.7%，总尾数的 21.8%；长丝裂腹鱼占总重量的 21.7%，总尾数的 14.3%；四川裂腹鱼占总重量的 27.9%，总尾数的 14.8%；黄石爬鮡占总重量的 11.2%，总尾数的 32.6%。其他 5 种鱼类仅占总重量的 1.5%，总尾数的 16.4%。

**表 4.3-47　库尾江段渔获物组成**

| 种类 | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数 | 重量 |
| 短须裂腹鱼 | 13.5~31 | 24.5 | 40.0~368 | 238 | 25.5 | 41.0 |
| 长丝裂腹鱼 | 18~35 | 26.1 | 100~495.5 | 251.6 | 13.5 | 23.0 |
| 四川裂腹鱼 | 17~29.5 | 27 | 199~364.5 | 298.2 | 10.5 | 21.1 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 15.0~20.4 | 18.1 | 39.5~112.5 | 74.6 | 2.3 | 1.2 |
| 硬刺松潘裸鲤 | 13.5~24 | 18.4 | 37~200 | 93.7 | 1.7 | 1.1 |
| 黄石爬鮡 | 10.3~16.5 | 13.9 | 15.2~83.7 | 46.1 | 38.5 | 12.0 |
| 高原鳅＊ | 7.1~12.2 | 10.5 | 3.6~17.5 | 11 | 8 | 0.6 |

＊为细尾高原鳅、安氏高原鳅和勃氏高原鳅等高原鳅

**表 4.3-48　旭龙江段渔获物组成**

| 种 类 | 体长（cm） | | 体重（g） | | 比例(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数 | 重量 |
| 短须裂腹鱼 | 14.4－33.0 | 26.1 | 51.5-1500 | 297 | 21.8 | 37.7 |
| 长丝裂腹鱼 | 19.0－31.0 | 21.2 | 107－450 | 262 | 14.3 | 21.7 |
| 四川裂腹鱼 | 16.5－38.5 | 27.5 | 72－660 | 325 | 14.8 | 27.9 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 8.9－11.1 | 10.3 | 8.2－17.0 | 11.4 | 6.0 | 0.4 |
| 硬刺松潘裸鲤 | 11.9－20.3 | 15.8 | 21.7－80.5 | 44.6 | 2.2 | 0.6 |
| 黄石爬鮡 | 9.8－19.1 | 14 | 13.0－145.0 | 58.9 | 32.6 | 11.2 |
| 高原鳅＊ | 5.5－12.2 | 9.4 | 6. 5－16 | 10.4 | 8.2 | 0.5 |

＊为细尾高原鳅、安氏高原鳅和勃氏高原鳅等高原鳅

c）支流丹达曲渔获物

丹达曲渔获物调查主要在云南段老丹达曲电站以下至河口约 15 公里河段。由于新的丹达曲电站在建，造成该河段生境破坏严重，加上施工人员随意捕捞，鱼类资源较为贫乏。通过下刺网、放地笼，仅获得 2 尾软刺裸裂尻、3 尾长丝裂腹鱼及细尾高原鳅 5 尾。

根据《西藏自治区昌都地区嘎托河流域综合规划》（2014 修订稿）记载，丹达曲主要有细尾高原鳅、安氏高原鳅、软刺裸裂尻鱼、短须裂腹鱼、安氏高原鳅 5 种鱼，其调查的渔获物组成见表 4.3-49。

**表 4.3-49　丹达曲渔获物组成**

| 种类 | 重量(g) | 重量百分比(%) | 尾数 | 尾数百分比(%) | 尾均重(g) | 体长范围(mm) | 体重范围(g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 短须裂腹鱼 | 1747 | 50.62 | 13 | 19.12 | 134.4 | 128~319 | 38~371 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 四川裂腹鱼 | 492 | 14.26 | 5 | 7.35 | 98.3 | 152～233 | 63～169 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 986 | 28.57 | 16 | 23.53 | 61.6 | 129~226 | 29~134 |
| 细尾高原鳅 | 128 | 3.71 | 21 | 30.88 | 6.1 | 68~107 | 3~15 |
| 安氏高原鳅 | 98 | 2.84 | 13 | 19.12 | 7.5 | 73~114 | 4~18 |
| 总计 | 3451 | 100.00 | 68 | 100.00 | | | |

d）支流麦曲渔获物

麦曲河渔获物 9 种，共 741 尾。主要渔获物有短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼 3 种合计占总重量的 85.9%。其中短须裂腹鱼占总重量的 53.8％，总尾数的 21.2％；长丝裂腹鱼占总重量的 15.6％，总尾数的 11.3％；四川裂腹鱼占总重量的 16.5％，总尾数的 11.1％；与干流渔获物相比，黄石爬鮡的比重较少较多，仅占 3.6%，但高原鳅的比重明显增加，达到 6.77%，从尾数百分比看，高原鳅最多，达总尾数的 43.2%。另外，中华金沙鳅在以往的金沙江上游鱼类分布中没有记录，为这次调查新记录种。在评价区仅麦曲河捕获一尾。

**表 4.3-50　麦曲河渔获物组成**

| 种类 | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数 | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 17.5~33.5 | 23.5 | 84~572 | 210.5 | 21.2 | 53.8 |
| 长丝裂腹鱼 | 18~24.1 | 20.3 | 82~150 | 113.8 | 11.3 | 15.6 |
| 四川裂腹鱼 | 19.5~21 | 20.8 | 105~142 | 124 | 11.1 | 16.5 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 10~22 | 17.7 | 12~130 | 72 | 2.4 | 2.1 |
| 硬刺松潘裸鲤 | 13.5~18.4 | 15.5 | 19~69.5 | 44.2 | 3 | 1.6 |
| 黄石爬鮡 | 11.5~18 | 13 | 28~72 | 38.6 | 7.7 | 3.6 |
| 中华金沙鳅 | 10.5 | 10.5 | 20 | 20 | 0.1 | 0.03 |
| 高原鳅＊ | 7~14 | 11 | 3~22 | 13 | 43.2 | 6.77 |

＊为细尾高原鳅和安氏高原鳅

②2019 年调查结果

a）库尾昌波江段获渔获物

采用定置刺网在库尾昌波江段干流共获渔获物 72 尾 5702g，经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼及高原鳅，分别占尾数百分比的 33.33%、40.28%、25%、1.39%和重量百分比的 16.06%、56.56%、27.31%、0.07%。

**表 4.3-51　库尾昌波江段渔获物组成**

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 24 | 916 | 9～23.5 | 13.50 | 11～214 | 38.17 | 33.33 | 16.06 |
| 长丝裂腹鱼 | 29 | 3225 | 26.5～8.5 | 19.12 | 9～264 | 111.21 | 40.28 | 56.56 |
| 四川裂腹鱼 | 18 | 1557 | 30.5～9 | 16.78 | 8～422 | 86.50 | 25.00 | 27.31 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 高原鳅 | 1 | 4.00 | 7 | 7.00 | 4.00 | 4.00 | 1.39 | 0.07 |
| 合计 | 72 | 5702 | | | | | 100 | 100 |

b）因都坝江段获渔获物

采用定置刺网在库尾昌波江段干流共获渔获物 28 尾 10787g，经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、中华金沙鳅及黄石爬鮡，分别占尾数百分比的 75%、3.57%、14.29%、7.14%和重量百分比的 94.08%、2.22%、0.47%、3.24%。

**表 4.3-52　因都坝江段渔获物组成**

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 21 | 10148 | 17.5～43 | 29.82 | 191～1396 | 483.2 | 75.00 | 94.08 |
| 长丝裂腹鱼 | 1 | 239 | 17.5 | 12 | 239 | 239 | 3.57 | 2.22 |
| 中华金沙鳅 | 4 | 51 | 8～11 | 9.75 | 9～17 | 12.75 | 14.29 | 0.47 |
| 黄石爬鮡 | 2 | 349 | 21.5～22.5 | 22 | 164～185 | 174.5 | 7.14 | 3.24 |
| 合计 | 28 | 10787 | | | | | 100 | 100 |

c）奔子栏江段获渔获物

本江段渔获物主要从奔子栏老菜场采集，为当地百姓夜间私自捕捞所得。捕捞地点除奔子栏江段外还含定曲河劳动桥一带。调查期间统计渔获物 86 尾 16341.7g。经鉴定为短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻及黄石爬鮡，分别占尾数百分比的 46.51%、5.81%、12.79%、3.49%、31.4%和重量百分比的 62.55%、3.54%、24.01%、3.79%、6.13%。

**表 4.3-53　奔子栏江段渔获物组成**

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 40 | 10221 | 16.5～38 | 23.56 | 86～885 | 255.5 | 46.51 | 62.55 |
| 四川裂腹鱼 | 5 | 577.7 | 13.1～28 | 19.32 | 28.7～248 | 115.5 | 5.81 | 3.54 |
| 长丝裂腹鱼 | 11 | 3923 | 18.5～37 | 27.18 | 87～724 | 356.6 | 12.79 | 24.01 |
| 软刺裸裂尻 | 3 | 619 | 21～24.5 | 23.17 | 185～242 | 206.3 | 3.49 | 3.79 |
| 黄石爬鮡 | 27 | 1001 | 11～17.5 | 14.03 | 14～89 | 37.07 | 31.40 | 6.13 |
| 合计 | 86 | 16341.7 | | | | | 100 | 100 |

d）其宗江段获渔获物

本江段渔获物主要从沿江百姓钓鱼、哄鱼统计所得。哄鱼为当地百姓利用蚯蚓或昆虫无钩诱捕方式，渔获物主要是高原鳅。调查期间统计渔获物 49 尾 6943.2g。经鉴定为短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻及高原鳅，分别占尾数百分比的 28.57%、10.2%、8.16%、6.12%、46.94%和重量百分比的 83.61%、2.36%、3.96%、8.92%、1.16%。

表 4.3-54　其宗江段渔获物组成

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 14 | 5805 | 10.5～38 | 27.79 | 18～885 | 414.64 | 28.57 | 83.61 |
| 四川裂腹鱼 | 5 | 163.7 | 9.7～14.8 | 13.10 | 12.3～44.5 | 32.74 | 10.20 | 2.36 |
| 长丝裂腹鱼 | 4 | 275 | 9.3～23.5 | 14.80 | 11.7～198 | 68.75 | 8.16 | 3.96 |
| 软刺裸裂尻 | 3 | 619 | 21～24.5 | 23.17 | 192～242 | 206.33 | 6.12 | 8.92 |
| 高原鳅 | 23 | 80.5 | 5.4～8.5 | 6.736364 | 1～11 | 3.5 | 46.94 | 1.16 |
| 合计 | 49 | 6943.2 | | | | | 100 | 100 |

e）石鼓江段获渔获物

采样刺网和地笼在石鼓江段捕获渔获物 125 尾 5136g。经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻、高原鳅、鲫鱼、鲤鱼、鲶、高体鳑鲏、麦穗鱼、泥鳅及框鲤，分别占尾数百分比的 17.6%、9.6%、5.6%、8.8%、41.6%、4%、0.8%、0.8%、0.8%、8.8%、0.8%、0.8%和重量百分比的 26.95%、14.02%、16.18%、3.19%、3.86%、9.27%、2.78%、3.50%、0.04%、0.62%、0.31%、19.28%。

表 4.3-55 石鼓江段渔获物组成

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 22 | 1384 | 7.5～20.5 | 16 | 7～146 | 62.9 | 17.6 | 26.95 |
| 长丝裂腹鱼 | 12 | 720 | 10～24 | 15.42 | 14～162 | 60 | 9.6 | 14.02 |
| 四川裂腹鱼 | 7 | 831 | 16～32 | 19.71 | 50～442 | 138.5 | 5.6 | 16.18 |
| 软刺裸裂尻 | 11 | 164 | 7～13 | 10.86 | 4～27 | 14.9 | 8.8 | 3.19 |
| 高原鳅 | 52 | 198 | 6.5～9 | 7.57 | 3～9 | 4.51 | 41.6 | 3.86 |
| 鲫 | 5 | 476 | 9.5～22 | 13.63 | 24～278 | 95.2 | 4 | 9.27 |
| 鲤 | 1 | 143 | 16.5 | 16.5 | 143 | 143 | 0.8 | 2.78 |
| 鲶 | 1 | 180 | 26 | 26 | 180 | 180 | 0.8 | 3.50 |
| 高体鳑鲏 | 1 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 0.8 | 0.04 |
| 麦穗鱼 | 11 | 32 | 4～6.5 | 5.41 | 1～5 | 2.9 | 8.8 | 0.62 |
| 泥鳅 | 1 | 16 | 12 | 12 | 16 | 16 | 0.8 | 0.31 |
| 框鲤 | 1 | 990 | 30.5 | 30.5 | 990 | 990 | 0.8 | 19.28 |
| 合计 | 125 | 5136 | | | | | 100 | 100 |

f）支流丹达曲获渔获物

采用地笼在丹达曲采集到鱼类 13 尾、273g，经鉴定为短须裂腹鱼和高原鳅，分别占尾数百分比的 69.23%、30.77%和重量百分比的 96.7%、3.3%。

表 4.3-56　丹达曲渔获物组成

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 9 | 264 | 9.1～16 | 11.71667 | 14～65 | 29.33333 | 69.23 | 96.70 |
| 高原鳅 | 4 | 9 | 5.5～7.2 | 6.275 | 2～3 | 2.25 | 30.77 | 3.30 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 合计 | 13 | 273 | | | | | 100 | 100 |

g）支流麦曲获渔获物

采用撒网、地笼在麦曲河采集到鱼类 37 尾、2511g，经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻，分别占尾数百分比的 86.49%、10.81%、2.7%和重量百分比的 85.07%、14.74%、0.2%。

**表 4.3-57　麦曲渔获物组成**

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 32 | 2136 | 3.2～36 | 12.5 | 1～645 | 66.75 | 86.49 | 85.07 |
| 长丝裂腹鱼 | 4 | 370 | 11～26 | 15.95 | 17～264 | 92.5 | 10.81 | 14.74 |
| 软刺裸裂尻 | 1 | 5 | 6.8 | 6.8 | 5 | 5 | 2.70 | 0.20 |
| 合计 | 37 | 2511 | | | | | 100 | 100 |

h）支流定曲获渔获物

采用定置刺网、地笼在定曲河采集到鱼类 314 尾、16243.5g，经鉴定为短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡和高原鳅，它们分别占尾数百分比的 76.75%%、0.96%、4.78%、5.73%、2.55%、3.82%、5.41%和重量百分比的 70.5%、19.49%、1.98%、4.27%、1.02%、2.3%、0.44%。

**表 4.3-58　定曲渔获物组成**

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | | 体重(g) | | 百分比(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
| 短须裂腹鱼 | 241 | 11452 | 3.6～40 | 12.12 | 0.5～1084 | 47.52 | 76.75 | 70.50 |
| 四川裂腹鱼 | 3 | 3166 | 33～46.5 | 41.00 | 551～1412 | 1055.33 | 0.96 | 19.49 |
| 长丝裂腹鱼 | 15 | 322 | 4.5～14.5 | 10.49 | 2～14.5 | 21.47 | 4.78 | 1.98 |
| 软刺裸裂尻 | 18 | 694 | 7.9～20.5 | 14.09 | 7～108 | 38.56 | 5.73 | 4.27 |
| 硬刺松潘裸鲤 | 8 | 165 | 7.7～16.5 | 11.5 | 5.9～56 | 20.63 | 2.55 | 1.02 |
| 黄石爬鮡 | 12 | 373 | 11.5～17 | 13.63 | 24～68 | 31.08 | 3.82 | 2.30 |
| 高原鳅 | 17 | 71.5 | 3.7～12 | 6.60 | 1～10 | 4.21 | 5.41 | 0.44 |
| 合计 | 314 | 16243.5 | | | | | 100 | 100 |

i）支流冈曲获渔获物

采用地笼、鱼钓在冈曲采集到鱼类 17 尾、1627g，经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤、高原鳅，分别占尾数百分比的 35.29%、5.88%、29.41%、29.41 和重量百分比的 29.07%、57.34%、9.59%、4.0%。

**表 4.3-59　冈曲渔获物组成**

| 种类 | 尾数 | 重量(g) | 体长(cm) | 体重(g) | 百分比(%) |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | 范 围 | 平均 | 范 围 | 平均 | 尾数(%) | 重量(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 短须裂腹鱼 | 6 | 473 | 15～21 | 17.67 | 65～133 | 78.83 | 35.29 | 29.07 |
| 长丝裂腹鱼 | 1 | 933 | 39 | 39 | 933 | 933 | 5.88 | 57.34 |
| 硬刺松潘裸鲤 | 5 | 156 | 13～15 | 13.60 | 23～34 | 31.2 | 29.41 | 9.59 |
| 高原鳅 | 5 | 65 | 10.5～11 | 11.00 | 10～16 | 13 | 29.41 | 4.00 |
| 合计 | 17 | 1627 | | | | | 100 | 100 |

（8）评价区鱼类资源现状评价

评价区属金沙江上游，高山峡谷，河道深切，落差大，水流湍急，海拔高，水温低，生境特异性高，孕育了为数不多的特异性鱼类，金沙江上游段有鱼类 22 种，主要为裂腹鱼、鳅科、平鳍鳅科和鮡科鱼类，属典型的高原鱼类区系。调查江段有土著鱼类 11 种，鱼类区系构成较简单，除中华金沙鳅产漂游性卵外，其余鱼类多产粘沉性卵，适应高原急流生境鱼类，没有长距离洄游习性。评价区鱼类多为青藏高原特有鱼类，对高原高寒急流特异生境具有强的适应性，而这种特异性的生境条件，决定了这些鱼类生长发育缓慢、性成熟年龄长、仔幼鱼成活率低。评价区水体溶解氧丰富，营养盐贫乏，水温低，生物生产力低下，鱼类饵料基础差，不支持高的鱼类资源量。评价区鱼类资源具有较强的脆弱性，一旦遭受破坏，其恢复将较为困难。因此，评价区江段鱼类资源的保护需要引起高度重视。

评价区奔子栏以上为高山峡谷地区，人类活动稀少，交通闭塞。加上当地群众受宗教信仰，沿江几乎没有任何渔业活动。鱼类资源调查结果表明，评价区鱼类资源基本保持原始状态，也未受外来物种侵入，显示该江段所处的由青藏高原边缘向云贵高原过渡地理区位特征且未受外来物种侵入的鱼类群落特征。

奔子栏以下江段为宽谷河段，人口密度较上游大，加之旅游市场发达，交通便利，也有一定的渔业发展。宽谷河段外来鱼种入侵现象开始显现，尤其是其宗以下，外来物种如鲤鱼、鲫鱼、麦穗鱼等已形成一定的种群，本次调查在石鼓还捕获一尾从国外引进的养殖品种框鲤。对于外来物种入侵，必须引起足够重视。

## 4.4社会环境

### 4.4.1 行政区划及人口

旭龙水电站建设征地主要涉及云南省迪庆藏族自治州德钦县、四川省甘孜藏

族自治州得荣县和巴塘县，以及西藏自治区芒康县。

德钦县位于东经 98°35′6"~99°32′20"，北纬 27°33′4"~29°15′2"之间，地处云南省西北部横断山脉地段，青藏高原南缘滇、川、藏三省（区）结合部，北靠西藏芒康县、西连西藏左贡县、察隅县及云南省怒江贡山县，南接维西县，东临四川巴塘县、得荣县。县境国土面积 7273km$^2$，辖 6 乡 2 镇，42 个村民委员会（社区）。2018 年底德钦县总人口 6.8 万人，其中农业人口 5.30 万人，占总人口的 77.9%，少数民族 6.66 万人，占总人口的 98.0%。少数民族主要有藏族、傈僳族、纳西族、白族、回族、彝族、壮族、苗族、哈尼族、怒族、傣族、普米族等 12 种民族，多民族聚居、多宗教共融，藏族是县内的主要民族，信奉藏传佛教。

得荣县地处东经 99°07′~99°36′，北纬 28°09′~29°30′，位于四川省西南部，属金沙江干旱河谷区，北部与四川省甘孜州巴塘、乡城县相连，东南与云南省迪庆州香格里拉县相邻，西南与云南省迪庆州德钦县毗邻。全县面积 2916km$^2$，辖 1 镇 11 乡，127 个行政村（村民委员会），2 个居民委员会 245 个自然村。2018 年底得荣县总人口 2.60 万人，其中农业人口 2.23 万人，占总人口的 85.8%，少数民族 2.53 万人，占总人口的 97.3%。主要少数民族有藏族、彝族、回族等，其中藏族为县内的主要民族。

巴塘县地处北纬 28°46′-30°38′，东经 98°58′-99°45′，位于甘孜州西部，理塘县，南连得荣县，西隔金沙江与西藏芒康、盐井、贡觉县和云南省德钦县相望，北与白玉县交界。2018 年全县国土面积 7852km$^2$，辖 18 乡、1 镇。全县总人口 5.36 万人，其中农业人口 4.71 人，占总人口的 87.9%，少数民族 4.55 万人，占总人口的 96.7%。主要少数民族有藏族、彝族、回族等，其中藏族为县内的主要民族。

芒康县位于西藏自治区东南部，昌都市的最东部，地处川、滇、藏三省区交汇处，东经 98°00′-99°05′，北纬 28°37′-30°20′之间。东与四川省巴塘县，南与云南省德钦县毗邻，西与 左贡县接壤，北与贡觉、察雅县相接。县境国土面积 11431km$^2$，辖 2 镇 14 乡 60 个村民委员会。2018 年底芒康县总人口 9.45 万人，其中农业人口 8.25 万人，占总人口的 87.3%；少数民族 9.26 万人，占总人口的 9.26%。少数民族主要有藏族、汉族、纳西族、白族、土家族、苗族等民族，其中藏族占 98%。

### 4.4.2 社会经济

现状年德钦县全年生产总值 11.43 亿元，同比增长 18.5%；全社会固定资产投资完成 23.65 亿元，同比增长 45.3%；地方财政一般预算收入完成 7078 万元，同比增长 58.3%；农民人均纯收入实现 3372 元，同比增长 14.5%；城镇居民人均可支配收入达到 16992 元，同比增长 10.2%；单位生产总值能耗降低率达到 2%。

现状年得荣县全年生产总值 70269 万元，较上年增长 9.60%；地方财政一般预算收入 4965 万元，较上年增长 19.8%；全社会固定资产投资 13.3 亿元，较上年减少 23.61%；工业增加值 4007 万元，较上年增长 29.83%；全社会消费品零售总额 13493 万元，较上年增长 13.43%；城镇居民人均可支配收入 28000 元，较上年增长 8.7%；农牧民人均纯收入 9023 元，较上年增长 11.5%。

现状年巴塘县全县地区生产总产值完成 9.90 亿元，第一产业 2.88 亿元，第二产业 3.90 亿万元，第三产业 3.10 亿元，巴塘县农牧民人均可支配收入 8205 元。

现状年芒康县全年生产总值 185167 万元，同比增长 16.7%；一般公共财政预算收入完成 10013 万元，同比增长 30.68%；固定资产投资完成 27.5 亿元，同比增长 68.7%；农村居民可支配收入达到 8714 元（其中现金收入 6971 元），同比增长 16.5%；城镇居民可支配收入为 22515 元，同比增长 11%；社会消费品零售总额完成 38500 万元，同比增长 12.5%。

### 4.4.3 土地资源及其利用

德钦县土地面积 7273.01km$^2$，其中耕地面积 102.93km$^2$，占总土地面积的 1.42%；园地面积 32.92km$^2$，占总土地面积的 0.45%；林地面积 4502.22km$^2$，占总土地面积的 61.91%；牧草地面积 994.33km$^2$，占总土地面积的 13.67%；城镇及工矿企业用地 11.02km$^2$，占总土地面积的 0.15%；交通用地 10.64km$^2$，占总土地面积的 0.15%；水域 103.63km$^2$，占总土地面积的 1.42%；未利用地面积 1515.32km$^2$，占总土地面积的 20.83%。

得荣县土地总面积为 2916km$^2$，耕地面积 37.33km$^2$，占全县土地总面积的 1.3%；园地面积 0.27km$^2$，占全县土地总面积的 0.01%；林地面积为 1226.67km$^2$，占全县土地总面积的 42.8%；牧草地面积为 1394.67km$^2$，占全县土地总面积的

48.6%；居民点及工矿用地面积 2.73km$^2$，占全县土地总面积的 0.09%；交通用地面积 4.87km$^2$，占全县土地总面积的 0.17%；水域面积 19.73km$^2$，占全县土地总面积的 0.68%；未利用地面积 89.87km$^2$，占全县土地总面积的 3.08%。

巴塘县土地总面积为 7663km$^2$，耕地面积 66.35km$^2$，占全县土地总面积的 0.86%；园地面积 3.38km$^2$，占全县土地总面积的 0.04%；林地面积为 3581.30km$^2$，占全县土地总面积的 46.73%；牧草地面积为 3058.60km$^2$，占全县土地总面积的 39.91%；居民点及工矿用地面积 16.60km$^2$，占全县土地总面积的 0.22%；交通用地面积 8.93km$^2$，占全县土地总面积的 0.12%；水域面积 123.40km$^2$，占全县土地总面积的 1.61%；未利用地面积 804.74km$^2$，占全县土地总面积的 10.05%。

芒康县土地总面积为 11576km$^2$，耕地面积 90.00km$^2$，占全县土地总面积的 0.78%；园地面积 0.15km$^2$，占全县土地总面积的 0.00%；林地面积为 6149.41km$^2$，占全县土地总面积的 53.12%；牧草地面积为 4201.68km$^2$，占全县土地总面积的 36.30%；居民点及工矿用地面积 12.85km$^2$，占全县土地总面积的 0.11%；交通用地面积 7.15km$^2$，占全县土地总面积的 0.06%；水域面积 95.47km$^2$，占全县土地总面积的 0.82%；未利用地面积 1019.50km$^2$，占全县土地总面积的 8.81%。

旭龙水电站工程涉及得荣、德钦两县土地利用现状情况见表 4.4-1。

表 4.4-1　旭龙水电站工程涉及 4 县土地利用现状一览表

| 地区 | | 幅员面积 | 耕地 | 园地 | 林地 | 牧草地 | 居民点及工矿用地 | 交通用地 | 水域 | 未利用地 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 德钦县 | 面积（km$^2$） | 7273.01 | 102.93 | 32.92 | 4502.22 | 994.33 | 11.02 | 10.64 | 103.63 | 1515.32 |
| | 比例（%） | 100 | 1.42 | 0.45 | 61.91 | 13.67 | 0.15 | 0.15 | 1.42 | 20.83 |
| 得荣县 | 面积（km$^2$） | 2916 | 33.33 | 0.27 | 1226.67 | 1394.67 | 2.73 | 4.87 | 19.73 | 89.87 |
| | 比例（%） | 100 | 1.3 | 0.01 | 42.8 | 48.6 | 0.09 | 0.17 | 0.68 | 3.08 |
| 巴塘县 | 面积（km$^2$） | 7663 | 66.35 | 3.38 | 3581.30 | 3058.60 | 16.60 | 8.93 | 123.40 | 804.74 |
| | 比例（%） | 100 | 0.86 | 0.04 | 46.73 | 39.91 | 0.22 | 0.12 | 1.61 | 10.05 |
| 芒康县 | 面积（km$^2$） | 11576 | 90.00 | 0.15 | 6149.41 | 4201.68 | 12.85 | 7.15 | 95.47 | 1019.50 |
| | 比例（%） | 100 | 0.78 | 0.00 | 53.12 | 36.30 | 0.11 | 0.06 | 0.82 | 8.81 |

从 4 个县的土地利用现状可以看出，四个县土地利用现状均以林地和草地为主，林草地分别占总面积的 75.67%、91.4%、86.64%和 89.42%。林地，受人为影响，有林地丧失较多，保存较差，多为稀疏的灌木林地。

## 4.4.4 水资源及其利用

金沙江上游水电规划河段范围为青海玉树的巴塘河口～云南迪庆的奔子栏河段，河段长约 772km，天然落差 1516m，河道平均坡降 1.96‰。

工程江段库区主要支流有茂顶河、格亚顶河、丹达河、麦曲河 4 条小河。其中较大的支流两条，丹达河和麦曲河。

（1）丹达河

丹达河河口距旭龙坝址 28.6km，控制流域面积 1540km$^2$，河长 140.5km，流域多年平均降水量 600-1000mm，流域多年平均流量 32.55m$^3$/s，近河口河段河底平均坡降约 2.7%。丹达河上的丹达河水电站位于德钦县羊拉乡境内，由云南省发展和改革委员会于 2008 年 12 月 23 日以《云南省发展和改革委员会关于迪庆州德钦县丹达河水电站项目核准的批复》（云发改能源［2008］2428 号）文批复建设，引水式电站，设计装机 100MW，厂房设计尾水位为 2259.5m。电站 2009 年开工建设，已完成业主营地、建设单位营地建设，坝区砂石料加工系统、混凝土生产系统、缆机系统已经相继建成，导流隧洞、施工支洞已竣工。因多种原因，电站 2013 年已停建。

（2）麦曲河

麦曲河发源于沙鲁里山西麓，自北向南流经亚日贡乡，至中咱乡急转向西，再经昌波乡汇入金沙江。昌波河属金沙江左岸一级支流，发源于巴塘县境内海拔 5157m 的拉左拉，大致流向由北向南，河流全长约 100km，流域面积 1564km$^2$。麦曲河干流上起红日贡，下至河口，河口距旭龙坝址 61.85km，河道长 60km，落差 1240m，平均比降 20.7‰，为典型的山区河流。

目前麦曲河已建 3 座水电站，昌波二级水电站、纳交西水电站、中咱水电站。昌波二级水电站，2002 年建成，坝址多年平均流量 20m$^3$/s，装机 2×500kW，拦河坝址距河口约 7km；中咱电站建于 2013 年，装机 3*250kw，厂房距河口约 38km，拦河坝距河口约 41km，引水渠长 3km；纳交西水电站，1999 年建成，坝址多年平均流量 11.5m$^3$/s，装机 2×500kW，坝址距河口约 44km。引水渠长 1.5km。

（3）格亚顶河

格亚顶河位于坝址右岸上游 3.6km 处。格亚顶河上有 1 处水电站格亚顶水电站，在德钦县羊拉乡境内，为引水式电站，水头 520m，装机 2×5MW，厂房、

机组位于金沙江边，机组安装高程 2115m，已于 2006 年建成投产发电，原投资 8500 万元。旭龙水电站将淹没厂房、机组等设施。

（4）定曲河

定曲河是金沙江上段左岸一级支流，发源于理塘县沙鲁里山主峰格聂山西麓，自北向南流，经理塘、巴塘、乡城、得荣四县，在得荣县奔都桥左纳玛曲，于古学大桥与最大支流许曲河汇合，在古学以下汇入金沙江。定曲河流经得荣县城松麦镇，故又称松麦河，其河道全长约 226km，流域面积 12213km$^2$。

2004 年 12 月四川省内江水利电力建筑勘察设计研究院编制了《四川省定曲河干流乡城、得荣段水电规划报告》，规划提出的定曲河干流各梯级水电站开发任务是发电，兼有环境生态、灌溉等综合用水要求。同时报告推荐规划河段采用 8 级(乡城 3 级、得荣 5 级)开发，梯级电站自上而下依次为松多、正斗、水若、门扎、扎杂、得荣、奔都、古学，利用落差 1026m，总装机容量 273MW，保证出力 54.90MW，年发电量 13.65 亿 kW·h。2007 年 8 月广西电力工业勘察设计研究院对松多电站布置进行优化，松多水电站下游正斗、水若、门扎、扎杂、得荣、奔都和古学各梯级电站坝址位置、正常蓄水位维持规划设计成果，各梯级电站装机容量考虑上游松多水电站 “龙头”水库对天然径流的调节作用、上下游各梯级电站引用流量的匹配及充分利用水利资源等，适当的增加各梯级电站装机容量。

支流许曲河规划一库六级电站。据 2005 年 3 月省发展改革委、省水利厅以“川发改能源[2005]147 号”文下发《四川省许曲河干流乡城、得荣段水电规划报告(修订本)》审查批复意见，同意许曲河乡城、得荣段以“一库六级”进行开发，其中乡城境内从上至下规划有古瓦、娘拥、乡城、洞松、格龙五个梯级，乡城县五个梯级电站规划总装机容量 47.7 万 kW，保证出力 10.15/10.85 万 kW(单独/联合运行)，多年平均年发电量 23.26/23.69 亿 kW·h(单独/联合运行)，其中枯期电量 4.69/4.93 亿 kW·h(单独/联合运行)。得荣县河段规划一级去学电站，装机 120MW，年发电量 6.07 亿 kW·h，总投资 7.47 亿元。

支流玛曲据 2004 年 11 月四川省内江水利电力建筑勘察设计研究院编制完成的《四川省甘孜州玛曲水电规划报告》，规划了玛曲引水枢纽工程和指岛、且勇、通仁 3 座引水式电站。

目前，古学电站总装机容量为 90MW，2015 年 8 月投产发电，支流玛曲建

成通仁水电站和玛曲引水工程，支流许曲河建成娘拥、乡城等水电站。根据《四川省人民政府关于进一步加强和规范水电建设管理的意见》(川府发〔2016〕47号)，其他梯级因装机容量小于5万千万，已全部停止核准建设。

### 4.4.5 矿产资源极其开发利用

德钦县矿产资源主要有石棉矿、铅锌矿、铜矿和铁矿等。得荣县矿产资源丰富，目前已设置探矿点15宗，矿产主要有金、银、铜、铬、铅、锌、钴、铁、锰等。芒康县矿产资源主要有金、银、铅、砂、锡、锌、煤、盐、石油、硫磺、石膏、石墨等。

根据现场调查及有关资料，旭龙水电站工程征占地范围内未发现有可开发的重要矿产资源。

### 4.4.6 旅游资源

德钦县地处三江并流世界自然遗产核心地带，是三江并流自然遗产之魂。“三江并流”是国务院颁布的第二批重点风景名胜区，白马雪山保护区是国家级自然保护区。境内梅里雪山、白马雪山高山杜鹃林、澜沧江梅里大峡谷分别荣获“中国最美十大名山”、“中国最美十大森林”和“中国最美十大峡谷”称号。

得荣县自然景观则有四川省级风景名胜区下拥生态旅游景区、中国四十大景观之一金沙江第一湾（月亮湾）、莫木大峡谷、翁佳神山、嘎金雪山等。

芒康县旅游资源以茶马古道为主线，上盐井境内有被当地人称为文成公主的吐蕃时期摩崖雕塑，有古井田、天主教堂、雪山、大峡谷、曲孜卡温泉休闲中心、芒康滇金丝猴自然保护区、莽错风景区和尼果寺等。

根据现场调查及有关资料，旭龙水电站工程征占地范围内未发现重要旅游资源。

### 4.4.7 民族文化与宗教

### 4.4.8 文物古迹

德钦县内的文物古迹众多，主要有茶马古道古遗址、噶丹东竹寺、噶丹羊八景林寺、塔巴林寺、茨中天主教堂、壁画、岩画、石刻、雕刻、古墓葬等。

得荣县文物景点主要有省级文物保护单位龙绒寺，县级文物保护单位翁佳寺、烈士陵园，以及 1936 年红军路经得荣修建的红军桥等。自然景观则有四川省级风景名胜区下拥生态旅游景区、中国四十大景观之一金沙江第一湾（月亮湾）、莫木大峡谷、翁佳神山、嘎金雪山等。

芒康县文物古迹有维色寺、吉斯寺、盐井天主教堂、郎巴郎增寺等 4 处。

2013 年 3-4 月，云南省文物考古研究所对金沙江旭龙水电站（云南部分）工程影响区域（含水库淹没区、水库影响区和枢纽工程建设区）及其边缘地带的文物分布及埋藏状况，进行了考古调查、勘探。考古结果显示，在枢纽工程建设区内分布有茂顶河口藏文石刻群。茂顶河口藏文石刻群位于东仲村茂顶河电站机房北部，金沙江边羊拉公路两侧，南部 GPS 定位为：东经 99 07′31.2″，北纬 28 41′55.6″，海拔约 2206m。石刻均位于江边巨石或岩壁上，有近百幅，分布在东西宽约 60 m，南北长约 600 m 的狭长范围内。除了一幅为汉文，其它均为藏文石刻。茂顶河口藏文石刻群时代跨度大，数量众多，分布面积大，保存较好，具有较高的文物保护和宗教研究价值。石刻群在第三次全国文物普查中登记为不可移动文物。

经专家讨论研究，对调勘中发现的文物古迹，茂顶河口藏文石刻群具有较高的文物保护价值，处于电站下坝址施工临时征地范围内，工程目前所涉及的建设项目不会对此处文物古迹造成直接破坏或影响，文物部门暂不做进一步保护工作。但考虑到文物古迹施工场地附近，建设部门在施工过程中应注意保护，在修建施工便道、取土、炸石及修建附属设施时应避开此处文物古迹。

由于地下文物埋藏情况复杂，工程建设部门在施工中如发现重要文物，需及时与文物行政部门联系，以便妥善处理。

### 4.4.9 交通条件

（1）公路交通

坝址右岸有羊拉公路通过，羊拉公路南接得荣公路和G214国道，北至羊拉乡和羊拉铜矿，公路已经多次改建，现标准为三级公路、路基宽度约为7.5m、沥青混凝土路面。坝址左岸得荣公路（二得公路）连接得荣县和G214国道，标准为三级公路、路基宽度约8m、沥青路面。G214国道通往香格里拉、丽江、大理，香格里拉～德钦段原标准为四级公路，经多年整修大部分达到二级公路。G214国道至大理其他段公路标准已达到二级标准，大理-丽江-香格里拉高速已修建完成，正准备通车；公路交通比较方便。

（2）铁路交通

目前正在运营的距坝址最近的火车站是丽江火车站，距离坝址327km，较近的机场有香格里拉和丽江机场。大理～丽江铁路 164km，2009 年通车。丽江～香格里拉铁路139km，预计2020年通车。附近的机场有大理，丽江、香格里拉机场。

（3）水路交通

长江上游距离坝址最近的港口位于水富县，距丽江公路里程约 1081km。除水富至宜宾段为通航河段外，其余基本为不通航河段。水富至宜宾段为金沙江航道为IV级航道，宜宾以下进入长江航道，航道条件及维护较好。水富港有向家坝水电站专用大件码头，码头设有560t桅杆吊，以及1000t泊位一个。

## 4.5生态敏感区

经调查，旭龙水电站工程区周围20km范围内的生态敏感区主要有西藏芒康滇金丝猴国家级自然保护区、云南白马雪山国家级自然保护区、四川下拥省级自然保护区、四川得荣嘎金雪山州级自然保护区共4处。

（1）西藏芒康滇金丝猴国家级自然保护区

1）基本情况

西藏芒康滇金丝猴国家级自然保护区位于西藏芒康县，中国第二个滇金丝猴

国家级自然保护区。是中国滇金丝猴最重要的分布地之一，已发现滇金丝猴种群数量 700 余只（2013 年）。主要保护对象为国家一级保护动物滇金丝猴、斑尾榛鸡、马来熊、绿尾虹雉等珍稀濒危动物及其生态系统。西藏芒康滇金丝猴国家级自然保护区是中国山地生物物种多样性较丰富并具有典型代表性的地区之一，属野生动植物类型自然保护区。

西藏芒康滇金丝猴国家级自然保护区以红拉山为主，东西宽约 30km，南北长 96km，总面积 185300hm$^2$，共分为 2 个核心区、4 个缓冲区及 2 个实验区。核心区面积为 87090hm$^2$（其中朋波拉核心区面积 50740hm$^2$，与云南白马雪山国家级自然保护区的核心区相连；美德核心区面积 36350hm$^2$）占总面积的 47%，主要是滇金丝猴栖息地及原始针叶林分布区；缓冲区面积为 45770hm$^2$（其中日根缓冲区面积 18690hm$^2$；麻吉缓冲区面积 6460hm$^2$；门巴缓冲区面积 8220hm$^2$；小昌都-亚中缓冲区面积 12400hm$^2$），占总面积的 24.7%；试验区面积为 52440hm$^2$（其中盐井实验区面积 9620hm$^2$；徐中-普拉实验区面积 42820hm$^2$），占总面积的 28.3%。

2）主要保护对象

该自然保护区主要保护对象为国家一级保护动物滇金丝猴、斑尾榛鸡、马来熊、绿尾虹雉等珍惜濒危动物及其生态系统。

3）陆生动植物现状

保护区纬度高，山高谷深，山高谷深的地形使区内的原始森林保存比较完好。保护区立体气候明显，森林植被保存较好，森林覆盖率 70%～80%，森林类型有阔叶林、针阔混成林、高山草甸等，分布着云南红豆杉、油麦吊云杉、云杉、冷杉、红松、雪松、高山松、高山栋、高山柳、红柳、白柳、山杨、云松、高山草甸等珍贵林木。

保护区有维管束植物 79 科 235 属 447 种，其中蕨类植物 4 科 4 属 4 种；还有种子植物 231 属，其中裸子植物 4 科 7 属 14 种，被子植物 71 科 224 属 429 种。按资源用途分，区内有经济植物 69 科 130 属 157 种，其中药用植物 52 科 107 属 132 种。

名贵的药材主要有冬虫夏草、知母、贝母、大黄、胡黄连、红景天、当归、党参、三七等。名藏药珍珠七十丸、二十丸、常觉等饮誉藏东，驰名区内外。代表植物为红松、云南红豆杉。红松（PinuskoraiensisSieb．etZucc．）又名果松、海

松，是松科松属的常绿乔木，为中国重要的珍贵用材树种。云南红豆杉其它俗名：紫杉、神木，红豆杉属红豆杉科。云南红豆杉是中国 4 种红豆杉之一，是以云南为中心分布区的地方特有种。

自然保护区位于横断山脉中部。南北走向的山脉，由于地形、地貌的特殊性，造成气候、土壤和森林植被类型的多样性，为野生动物扩展提供了通道，使保护区内蕴育了众多的野生动植物资源，包括珍稀濒危物种滇金丝猴等。区内有脊椎动物 19 目 39 科 158 种，其中两栖爬行类 2 目 4 科 6 种；鸟类 11 目 21 科 95 种；哺乳动物 6 目 14 科 57 种。

保护区内除世界上濒临灭绝的同大熊猫一样的珍贵的灵长目类动物滇金丝猴外，已发现国家重点保护动物 60 种，其中有云豹、雪豹、斑尾榛鸡、绿尾虹雉等国家一类重点保护动物 12 种；及小熊猫、猞猁、马来熊、藏马鸡、鹦鹉、秃鹰等国家二类保护动物 48 种。区内其它珍贵动物还有苏门羚、林麝、岩羊、白腹锦鸡等。野生动物药材有麝香、鹿茸、牛黄、雪蛙等。芒康境内现有滇金丝猴 700 余只。

4）与工程区位关系

西藏芒康滇金丝猴自然保护区位于旭龙水电站库区右岸支流丹达河中上游，西藏芒康县境内。沿丹达河分布有门巴缓冲区，其沿河边界海拔高程约 2400m，主要保护对象针叶林分布海拔高程 3000m 以上。

旭龙水电站下坝址方案，保护区边界距坝址的直线距离约 19.61km，距丹达河口直线距离约 14.12km。旭龙水电站正常蓄水位 2302m 时，丹达河最大回水约 2.0km。丹达河在云南省境内河长为 18.7km，支流回水不涉及西藏昌都地区。

（2）白马雪山国家级自然保护区

1）基本情况

白马雪山国家级自然保护区位于云南省西北部迪庆藏族自治州德钦和维西县境内，附近的地貌形态十分复杂，与其它地区的地貌形态存在着巨大的差异；区地势北高南低，处在青藏高原向云贵高原过渡接触地带，保护区的自然地理环境及生物资源十分丰富，过渡色彩非常明显。

2）主要保护对象

白马雪山自然保护区是中国面积最大的滇金丝猴国家级自然保护区。主要保护对象为高山针叶林、山地植被垂直带自然景观和滇金丝猴。

3）陆生动植物现状

白马雪山国家级自然保护区属于寒温性森林生态系统类型，是中国低纬度高海拔地区生物资源保存比较完整而原始的高山针叶林区。按中国植被区系的分区，属中国———东喜马拉雅森林植物亚区、横断山脉地区，是世界上高山植物最丰富的区域。保护区已发现的种子植物有 142 科，587 属，1747 种（含亚种、变型和变种）。其中：裸子植物 6 科 14 属 29 种，被子植物 136 科 573 属 1718 种。

保护区内有国家重点保护珍稀植物 24 种，其中：一级保护植物 4 种，二级保护植物 9 种，三级保护植物 11 种；有省级重点保护植物 6 种。其中：二级保护植物 2 种，三级保护植物 4 种。

保护区植物区系的科、属、种繁多，并几乎包含了世界温带分布的所有木本属，如冷杉、云杉、松、槭、桦、栎、杜鹃等。其中冷杉属有长苞冷杉、急尖长苞冷杉、苍山冷杉、川滇冷杉、云南黄果冷杉和中甸冷杉 6 个种（含变种），同时荟萃于一个保护区内，实为难得。杜鹃花属已知有 47 种分布于保护区内，其中有 36 种为横断山特有成分，15 种的模式产地在保护区及其附近。

保护区有国家及省级保护植物 30 种，分属于 20 科。其中：蕨类植物 1 科 1 种，裸子植物 3 科 6 种，被子植物 16 科 23 种。有观赏植物 81 科 223 属 724 种。其中：蕨类植物 7 科 11 属 20 种，裸子植物 5 科 15 属 28 种，种子植物 69 科 154 属 568 种。有药用植物 110 科 242 属 386 种。其中：菌类 5 科 6 属 7 种，地衣类 2 科 2 属 2 种，苔藓植物 2 科 2 属 2 种，蕨类植物 6 科 8 属 8 种，种子植物 95 科 224 属 367 种。其它还有油料植物、淀粉植物、用材树种、香料植物、纤维植物、鞣料植物等与人类生活密切相关的各类植物资源。

根据中国动物地理区划，保护区动物属东洋界、西南区、三江纵谷亚区（横断山亚区）。

保护区内哺乳类 9 目 23 科 70 属 100 种。占中国哺乳类总种数的 16.8%，云南的 33.3%。主要的种类有滇金丝猴、雪豹、金钱豹、云豹、熊猴、猕猴、穿山甲、黑熊、棕熊、小熊猫、石貂、水獭、猞猁、高山麝、林麝、鬣羚、岩羊、长吻鼩鼱、白尾鼩鼱、蹼足鼩中缅树鼩等。保护区有 27 种珍稀保护动物。其中：国家I级保护动物有滇金丝猴、雪豹、金钱豹、云豹等 4 种；国家II级保护动物有猕猴、穿山甲、黑熊、藏马熊、豺、小熊猫、石貂、水獭、斑灵狸、大灵猫、小灵猫、金猫、猞猁、高山麝、林麝、黑麝、鬣羚、斑羚、矮岩羊、岩羊等 20 种；

云南省II级保护动物有狼、毛冠鹿等 2 种；另有豹猫虽没有列入我国保护动物名单，但为濒危野生动植物种国际贸易公约（CITES）规定的II类限量贸易保护物种。

保护区迄今为止共记录鸟类 246 种，隶属 17 目 43 科另 4 亚科，种数约占云南省记录鸟类种数的 30.7%。其中：留鸟 170 种占 69.1%，旅鸟和冬候鸟 27 种占 11.0%，夏候鸟和繁殖鸟 49 种占 19.9%。根据国务院 1988 年 11 月颁布的《中华人民共和国野生动物保护法》和 1989 年 1 月公布的《国家重点保护野生动物名录》所列的重点保护鸟类种类，在保护区所记录的鸟类中，属国家 I 级重点保护鸟类的有：黑鹳、黑颈鹤、金雕、胡兀鹫、拟兀鹫、斑尾榛鸡、四川雉鹑、黑颈长尾雉等 8 种；属国家 II 级重点保护鸟类的有黑鸢、苍鹰、松雀鹰、雀鹰、高山鹰雕、普通鵟、秃鹫、高山秃鹫、游隼、燕隼、灰背隼、红隼、淡腹雪鸡、血雉、红腹角雉、白马鸡、勺鸡、白腹锦鸡、灰鹤、楔尾绿鸠、大绯胸鹦鹉、灰林鸮、雕鸮、白腹黑啄木鸟等 24 种。

保护区主要的珍稀高山昆虫有：蝙蝠蛾科的德钦蝠蛾、白马蝠蛾、人支蝠蛾、草地蝠蛾、白纹蝠蛾、金沙蝠蛾、叶日蝠蛾、中支蝠蛾以及绢蝶科的爱珂绢蝶、巴裔绢蝶、珍珠绢蝶、元首绢蝶、君主绢蝶、黑缘小绢蝶、白马小绢蝶、四川绢蝶等。

4）与工程区位关系

云南白马雪山自然保护区（调整后）位于坝址下游右岸的云南省迪庆州德钦县和维西县境内，旭龙坝址距保护区边界直线距离约18.61km，工程淹没及施工均不涉及该保护区。

（3）四川下拥省级自然保护区

1）基本情况

四川下拥自然保护区属四川省甘孜州得荣县，于2004年4月25号，经四川省人民政府川府[2003]96号文件（详见附件8）批准为省级自然保护区。

四川省下拥自然保护区位于甘孜藏族自治州得荣县境内，地理位置为东经99º14′～99º27′，北纬28º12′～28º28′。行政区域涉及古学乡和子庚乡，保护区总面积23693hm$^2$，核心区主要位于保护区中上部，面积11599.83hm$^2$，占保护区总面积的48.96%；缓冲区位于核心区外围，面积7362.33hm$^2$，如金沙江沿岸古学乡以下至子庚乡一带，占保护区总面积的31.07%；实验区比较集中，主要是古学乡、

下拥村及下拥沟两岸，面积4730.9hm$^2$，占保护区总面积的19.97%。

2）主要保护对象

四川省下拥自然保护区属森林和野生动物类保护区，主要保护对象是珍稀野生动植物，主要保护动物是林麝、马麝、岩羊、豹、黑熊、马熊、猞猁、斑羚等、保护植物有四川红杉。

3）与工程区位关系

四川省下拥自然保护区（调整后）位于坝址下游左岸四川得荣县古学乡下拥村境内，旭龙坝址距保护区边界直线距离约 39.76km，工程淹没及施工均不涉及该保护区。

（4）得荣嘎金雪山州级自然保护区

1）地理位置与范围

该保护区隶属四川省甘孜州得荣县，于 2000 年经得荣县人民政府同意设立为噶金雪山县级自然保护区（得府函[2000]62 号）；于 2001 年 11 月经四川省甘孜藏族自治州人民政府甘府函[2001]76 号文件批准为州级自然保护区。该保护区位于得荣县定曲河西岸，地理位置为东经 99°07′～99°19′，北纬 28°40′～28°58′，总面积 300km$^2$，行政区域涉及茨巫、贡波、徐龙、日龙、斯闸和松麦乡等六乡（镇），保护区核心区为嘎金雪山山脊线（海拔约 3000m）以上区域，山顶海拔高程为 4920.7m。核心区面积 150km$^2$，缓冲区面积 80km$^2$，实验区面积 70km$^2$。

2）保护区类型及主要保护对象

保护区类型为野生动植物　森林生态，主要保护对象为大天鹅、绿尾虹雉、雪豹等珍稀动植物，以及森林和雪山景观。

3）与工程区位关系

得荣嘎金雪山州级自然保护区位于旭龙库区左岸，工程建设不涉及自然保护区，保护区边界距离淹没线约 1km，海拔高差约 770m。该保护区与旭龙水电站位置关系的详见附图 18 和附件 10。

# 4.6环境质量现状评价

## 4.6.1 地表水环境

### 4.6.1.1 水功能区划

按照 2011 年国务院批准的《全国重要江河湖泊水功能区划(2011～2030)》，旭龙水电站库、坝区均位于金沙江川藏滇缓冲区内，工程所在河段执行地表水II类水质标准。

### 4.6.1.2 污染源现状

2019 年，受评价单位委托，相关资质单位对金沙江旭龙水电站施工区、库区及坝下污染源开展了现场调查，调查范围包括工程涉及的 2 省（云南省/四川省）3 县（德钦县/巴塘县/得荣县）的 8 个乡镇。

（1）工业污染源

调查结果表明，旭龙水电站工程涉及的工业企业有羊拉矿山、丹达河水电站（建设中）和通吉格铜矿（前期筹备中），由于羊拉矿山的生产废水和生活污水不外排、生活垃圾全部送入垃圾处理池处理等，仅选矿工程产生少量的粉尘，为无组织排放，对外环境影响较小，故该工程所处江段基本无工业污染源分布。

（2）农业污染源

调查结果表明，工程涉及的 8 个乡镇农业种植施用化肥以氮肥和复合肥为主，经植物吸收后残留的农药和化肥，经雨水淋溶，由地表径流带入水体。工程区周围多为山区、半山区或峡谷区，受自然条件制约，农业生产方式相对落后，农业面源污染不大。

工程区各乡牲畜养殖方式均为散养或散、放养状态，牲畜排放的污染物都以自然削减的方式削减，不排入河道，所以对水体影响很小，详情见表 4.6-1 所示。

表 4.6-1 工程区各乡牲畜污染源现状（2019 年）

| 乡村名称 | 行政区划 | 污染物排放定额(L/头牛·天) | 污染物排放量(吨/年) | 排放方式 | 影响程度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 羊拉乡 1 号沟 | 云南省德钦县 | 8.32 | 2836.4 | 散排 | 很小 |
| 羊拉乡 2 号沟 | | 8.32 | - | | 很小 |
| 羊拉乡 3 号沟 | | 8.32 | 829 | | 很小 |
| 羊拉乡 4 号沟 | | 8.32 | 3674.5 | | 很小 |
| 奔子栏镇 | | 8.32 | 1761.3 | | 很小 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 昌波乡 | 四川省巴塘县 | 8.32 | 5493.6 | 散排 | 很小 |
| 中心绒乡 | | 8.32 | 3817.3 | | 很小 |
| 地巫乡 | | 8.32 | 8129.5 | | 很小 |
| 徐龙乡 | 四川省得荣县 | 8.32 | 2784.8 | 散排 | 很小 |
| 贡波乡 | | 8.32 | 2493.2 | | 很小 |
| 曲雅贡乡 | | 8.32 | 4120.9 | | 很小 |

（3）生活污染源

各乡排放的生活污水中污染物主要类型有：SS、COD、$BOD_5$、$NH_3$-N、阴离子表面活性剂和粪大肠菌群，排放方式无规律，排放时段不定，且各乡均无污水处理设施。大多数村庄没有污水管网，所以有约 85%的生活污水被土地吸收消纳，只有约 15%的生活污水流入到江河中，最终影响金沙江的水质。人均用水量以 40L/（人·d）计，则最终影响金沙江水质的各乡生活污水排放量及各污染物排放量如下表所示。

**表 4.6-2　工程区各乡排放的生活污水中污染物排放现状（2019 年）**

| 乡村名称 | | 行政区划 | 用水定额(L/人·天) | 污水排放量($m^3$/年) | 污染物排放量(吨/年) | | | | 排放去向 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | SS | COD | $BOD_5$ | $NH_3$-N | |
| 羊拉乡 | 1 号排污口 | 云南省德钦县 | 40 | 3114.18 | 1.40 | 1.71 | 1.09 | 0.09 | 甲功河 |
| | 2 号排污口 | | 40 | 453.3 | 0.20 | 0.25 | 0.16 | 0.01 | 格亚顶河 |
| | 3 号排污口 | | 40 | 2030.13 | 0.91 | 1.12 | 0.71 | 0.06 | 茂顶河 |
| | 4 号排污口 | | 40 | 2398.1 | 1.08 | 1.32 | 0.84 | 0.07 | 丹达河 |
| 奔子栏镇 | | | 40 | 2603.91 | 1.43 | 0.08 | 1.17 | 0.90 | 金沙江 |
| 昌波乡 | | 四川省巴塘县 | 40 | 3596.0 | 1.62 | 1.98 | 1.26 | 0.11 | 麦曲河 |
| 中心绒乡 | | | 40 | 4839.90 | 2.18 | 2.66 | 1.69 | 0.15 | 然丁沟 |
| 地巫乡 | | | 40 | 4447.89 | 2.00 | 2.45 | 1.56 | 0.13 | 地巫河 |
| 徐龙乡 | | 四川省得荣县 | 40 | 3260.91 | 1.47 | 1.79 | 1.14 | 0.10 | 徐龙冲沟 |
| 贡波乡 | | | 40 | 2590.77 | 1.17 | 1.42 | 0.91 | 0.08 | 贡波河 |
| 曲雅贡乡 | | | 40 | 3797.46 | 1.71 | 2.09 | 1.33 | 0.11 | 金沙江 |

## 4.6.1.3 水质现状监测与评价

（1）地表水水质现状监测

为了解工程影响河段水质现状，评价单位委托相关资质单位对旭龙水电站工程地表水环境进行了三次监测，监测时间为 2019 年 3 月（枯水期）、2019 年 4 月（平水期）和 2019 年 7 月（丰水期）。监测断面共 19 处，其中干流 9 处，分别为苏洼龙坝址下游 1km、麦曲汇口上游 500m、麦曲汇口下游 100m、里曲沟口、旭龙坝址、旭龙坝址下游 5km、定曲河口上游 500m、定曲河口下游 100m、巨甸镇红顶村等。支流布设监测断面 10 处，分别为：支流麦曲河纳交西电站尾水口、中咱乡下游 100m、麦曲河汇口上 100m，支流丹达曲汇口上游 3000m、汇口上游

100m，支流定曲河得荣县城上游 1km、得荣县城下游 500m、古学电站库尾断面、古学电站厂房尾水断面，支流瓷水河汇口上游 100m 等。监测断面设置见附图 26。

水质评价指标共 25 项，即：水温、pH、溶解氧、氨氮、总氮、总磷、石油类、COD、$BOD_5$、阴离子表面活性剂、高锰酸盐指数、粪大肠菌群、挥发酚、硫化物、氟化物、悬浮物、汞、砷、硒、铜、铅、锌、镉、铁、铬（六价）。

（2）地表水水质现状评价

采用单项水质参数评价，即选用标准指数法对地表水水质现状进行评价，公式如下：

单项水质参数 i 在 j 点的标准指数的计算公式：

$$S_{i,j} = C_{i,j} / C_{si}$$

式中：$S_{i,j}$——单项水质参数 $i$ 在 $j$ 点的标准指数；

$C_{i,j}$——污染物 $i$ 在监测点 $j$ 的浓度（mg/l）；

$C_{si}$——水质参数 $i$ 的地表水水质标准（mg/l）。

溶解氧（$DO$）标准指数的计算公式：

$$S_{DO,j} = |DO_f - DO_j| / (DO_f - DO_s) \ (DO_f \geq DO_s\text{时})$$

$$S_{DO,j} = 10 - 9 \times DO_j / DO_s \ (DO_f < DO_s\text{时})$$

式中：$S_{DO,j}$——单项水质参数 $DO$ 在 j 点的标准指数；

$DO_j$——水质参数 $DO$ 在 $j$ 点的浓度（mg/l）；

$DO_f$——饱和溶解氧浓度（mg/l），按下式计算：

$DO_f = 468 / (31.6 + T)$；

$DO_s$——溶解氧的地表水水质标准（mg/l）。

pH 值标准指数的计算公式：

$$S_{\mathrm{pH},j} = (7.0 - \mathrm{pH}_j) / (7.0 - \mathrm{pH}_{sd})（\mathrm{pH}_j \leq 7.0\text{时}）$$

$$S_{\mathrm{pH},j} = (7.0 - \mathrm{pH}_j) / (\mathrm{pH}_{su} - 7.0)（\mathrm{pH}_j > 7.0\text{时}）$$

式中：$S_{pH,j}$—— 单项水质参数 pH 在 $j$ 点的标准指数；

$pH_j$——水质参数 pH 在 $j$ 点的浓度；

$pH_{sd}$——地表水水质标准中规定的 pH 值下限；

$pH_{su}$——地表水水质标准中规定的 pH 值上限。

采用标准指数法对地表水水质进行评价，评价结果表明：

1）金沙江干流水质

金沙江干流现状水质良好。枯水期苏洼龙坝址下游 1km、麦曲河汇口上、旭龙坝下 5km、定曲河汇口下断面总氮为III类；平水期，定曲河汇口上游 500m 断面氨氮为III类，旭龙坝下 5km、定曲河汇口下断面总氮为III类；丰水期，里曲沟口总磷为III类，苏洼龙坝址下游 1km、旭龙坝址及坝下 5km、定曲河汇口上下断面总氮为III类。经分析评价，其他水质指标均达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅱ类水质标准，部分水质指标可达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅰ类水水质标准，现状水质情况较好。

2）支流水质

经对麦曲河、丹达曲、定曲河、瓮水河等支流监测结果分析，丹达曲、瓮水河水质较优，水质指标均达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅱ类水质标准，部分水质指标可达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅰ类水水质标准。麦曲河由于中咱、昌波等集镇排污影响，部分时段总磷、阴离子表面活性剂指标偶有出现为III类的情况。定曲河古学水电站厂房尾水断面，部分时段氨氮、总磷偶有出现III类的情况。其余指标均达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅱ类水质标准。

表 4.6-3　枯水期旭龙水电站地表水现状水质评价结果表

| 相　对位置 | 检测点位 | PH（无量纲） | 水温 | 悬浮物 | 氨氮 | 化学需氧量 | 五日生化需氧量 | 总磷 | 阴离子表面活性剂 | 高锰酸盐指数 | 溶解氧 | 总氮 | 石油类 | 挥发酚 | 硫化物 | 氟化物 | 六价铬 | 总氰化物 | 砷 | 硒 | 铜 | 铅 | 锌 | 镉 | 汞 | 粪大肠菌群（个/L） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金沙江干流 | 苏洼龙坝址下游 1km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 麦曲汇口上游 500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 金沙江干流 | 麦曲汇口下游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 里曲沟口 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 金沙江干流 | 旭龙坝址 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 旭龙坝址下游 5km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 金沙江干流 | 定曲河口上游 500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 定曲河口下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 金沙江干流 | 巨甸镇红顶村 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 支流麦曲河 | 纳交西电站尾水口 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流麦曲河 | 中咱乡下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 汇口上游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅳ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 支流丹达曲 | 汇口上游3000m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 汇口上游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流定曲河 | 得荣县城上游1km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 得荣县城下游500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 支流定曲河 | 古学水电站库尾断面 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 古学水电站厂房尾水断面 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流瓮水河 | 汇口上游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |

表 4.6-4　平水期旭龙水电站地表水现状水质评价结果表

| 相对位置 | 检测点位 | PH（无量纲） | 水温 | 悬浮物 | 氨氮 | 化学需氧量 | 五日生化需氧量 | 总磷 | 阴离子表面活性剂 | 高锰酸盐指数 | 溶解氧 | 总氮 | 石油类 | 挥发酚 | 硫化物 | 氟化物 | 六价铬 | 总氰化物 | 砷 | 硒 | 铜 | 铅 | 锌 | 镉 | 汞 | 粪大肠菌群（个/L） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金沙江干流 | 苏洼龙坝址下游 1km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 麦曲汇口上游 500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 金沙江干流 | 麦曲汇口下游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | 里曲沟口 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金沙江干流 | 旭龙坝址 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 旭龙坝址下游5km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 金沙江干流 | 定曲河口上游500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 定曲河口下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 金沙江干流 | 巨甸镇红顶村 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流麦曲河 | 纳交西电站尾水口 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流麦曲河 | 中咱乡下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 汇口上游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 汇口上游3000m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 支流丹达曲 | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 汇口上游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流定曲河 | 得荣县城上游 1km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 得荣县城下游 500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流定曲河 | 古学水电站库尾断面 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 古学水电站厂房尾水断面 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 支流瓮水河 | 汇口上游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

表 4.6-5　丰水期旭龙水电站地表水现状水质评价结果表

| 相　对位置 | 检测点位 | PH（无量纲） | 水温 | 悬浮物 | 氨氮 | 化学需氧量 | 五日生化需氧量 | 总磷 | 阴离子表面活性剂 | 高锰酸盐指数 | 溶解氧 | 总氮 | 石油类 | 挥发酚 | 硫化物 | 氟化物 | 六价铬 | 总氰化物 | 砷 | 硒 | 铜 | 铅 | 锌 | 镉 | 汞 | 粪大肠菌群（个/L） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 苏洼龙坝址下游 1km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金沙江干流 | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 麦曲汇口上游500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 金沙江干流 | 麦曲汇口下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 里曲沟口 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 金沙江干流 | 旭龙坝址 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 旭龙坝址下游5km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 金沙江干流 | 定曲河口上游500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 定曲河口下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 金沙江干流 | 巨甸镇红顶村 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 支流麦曲河 | 纳交西电站尾水口 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流麦曲河 | 中咱乡下游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 汇口上游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流丹达曲 | 汇口上游3000m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 汇口上游100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流定曲河 | 得荣县城上游1km | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 得荣县城下游500m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| 支流定曲河 | 古学水电站库尾断面 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | 古学水电站厂房尾水断面 | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 支流瓮水河 | 汇口上游 100m | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |
| | | Ⅰ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |

## 4.6.2 地下水环境

### 4.6.2.1 地下水开发利用现状

金沙江流域集水面积约 109026km$^2$，水能资源丰富，人均占有水资源量高，多年平均地下水资源量为 135 亿 m$^3$，地下水资源量为 153.28 亿 m$^3$，地下水资源供水量为 3.1260 亿 m$^3$，利用率为 2%。旭龙水电站工程评价范围目前没有开发利用地下水作为生活和饮用水的情况。

### 4.6.2.2 地下水监测方法及结果

地下水环境监测井（点）的部署采用控制性布点与功能性布点相结合的布设原则。监测井点主要布设在项目建设区、影响区及周围环境敏感点和现状环境水文地质问题比较突出的部位。据此，本次调查评价共设置了 5 个监测点，地下水 5 个：钻孔水 1 个、泉水 3 个、平硐水 1 个。

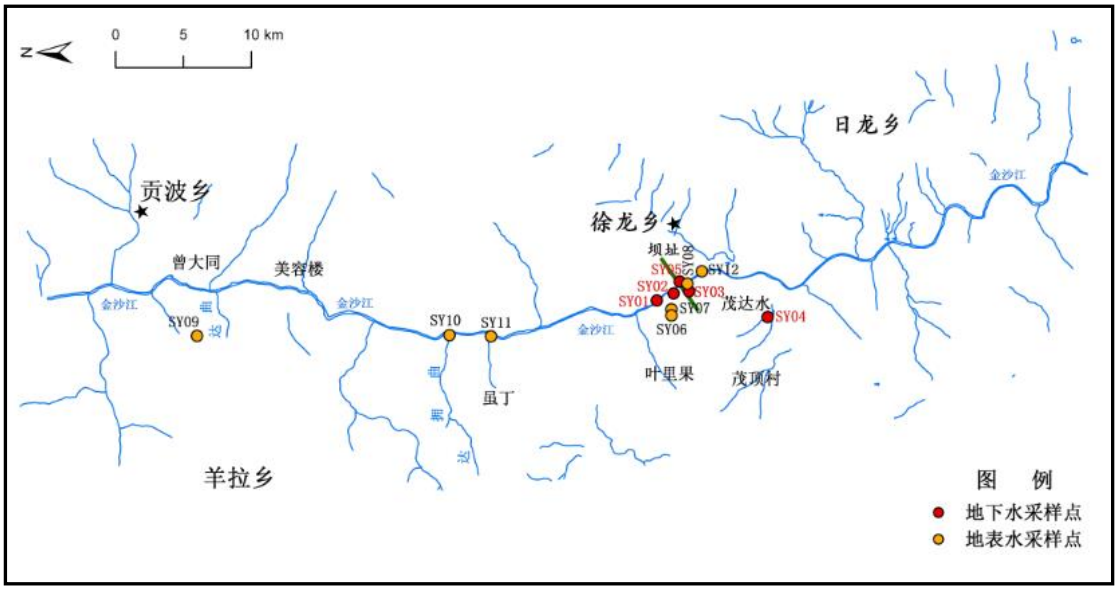



图 4.6-1 地下水和地表水样监测点位置图

表 4.6-6　水化学全分析成果汇总表（单位：mg/L）

| 取样编号 | 水样类型 | | 位置坐标 | | 取样高程 | 取样位置 | TDS | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Ca^{2+}$ | $K^+$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | X | Y | | | | | | | | | | |
| SY01 | 地下水 | 钻孔水 | 511757 | 3182222 | 2191m | 钻孔 XSZK1 | 248.235 | 5.340 | 20.967 | 146.50 | 35.75 | 2.333 | 5.169 | 13.68 |
| SY02 | | 泉水 | 512074 | 3181476 | 2190m | 断层 F2 | 214.864 | 3.299 | 16.426 | 128.17 | 33.59 | 3.107 | 5.523 | 5.343 |
| SY03 | | 泉水 | 512168 | 3180788 | 2215m | F-70 泉水点 | 235.320 | 3.552 | 27.392 | 128.16 | 31.55 | 2.798 | 7.908 | 9.496 |
| SY05 | | 平硐水 | 512660 | 3181200 | 2195m | XPD07 内 | 438.234 | 17.053 | 151.619 | 109.87 | 59.56 | 12.89 | 16.48 | 34.68 |
| SY04* | | 温泉水 | 511155 | 3177288 | 240m | 茂顶温泉 | 2208.465 | 123.232 | 39.910 | 1309.76 | 47.99 | 30.58 | 17.84 | 494.9 |

* ：SY04 茂顶温泉位于影响区外

对用于分析阴离子（$Cl^-$、$NO^-$、$SO^{2-}$、$F^-$、$Br^-$等）的样品进行密封避光保存，对用于分析阳离子（$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$、$Na^+$、$K^+$和其它金属元素）的样品，先用浓硝酸酸化，再密封保存。用Dionex公司生产的ICS1100测定阴离子；阳离子用感应耦合电浆放射光谱仪（ICP－OES）测定，测试结果见表4.6-7。

根据水化学全分析成果，分析水化学类型（舒卡列夫表达式）并研究区水化学类型Piper三线图。

表 4.6-7　常规离子毫克当量百分比及水化学类型表

| 取样编号 | 水样类型 | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^++K^+$ | 水化学类型 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SY01 | 钻孔水 | 79.89% | 14.53% | | 62.29% | 14.85% | 22.86% | $HCO_3$-Ca |
| SY02 | 泉水 | 81.72% | 13.31% | | 68.63% | 18.60% | 12.77% | $HCO_3$-Ca |
| SY03 | 泉水 | 74.85% | 20.33% | | 58.10% | 24.01% | 17.89% | $HCO_3$-Ca |
| SY04 | 温泉水 | 82.08% | | 13.27% | | | 85.24% | $HCO_3$-Na |
| SY05 | 平硐水 | 32.97% | 57.82% | | 48.20% | 21.99% | 29.81% | $SO_4$·$HCO_3$-Ca·Na |

注：1、舒卡列夫≥25%的参加命名，都是由大至小的顺序；2、≤10%未在表格中列出

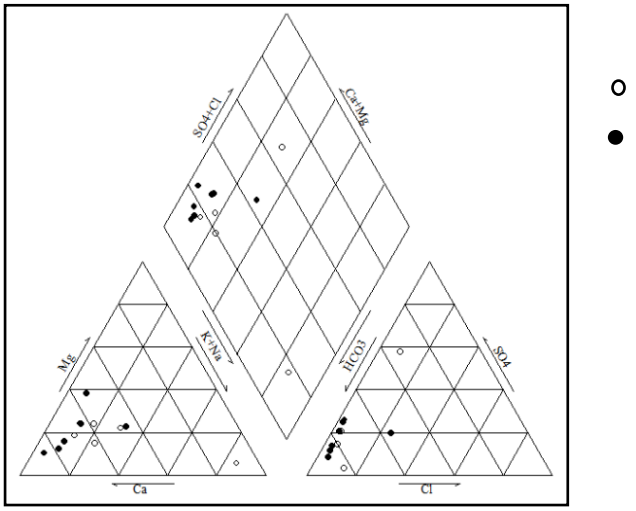



图 4.6-2　采集水样的 piper 三线图

通过Piper三线图可见：本区水样阳离子以$Ca^{2+}$为主，其次为$Mg^{2+}$，$Na^+$和$K^+$的含量较低，但茂顶温泉水的（K+Na）毫克当量数超过阳离子毫克当量数的50%；水样阴离子以$HCO_3^-$和$SO_4^{2-}$为主，$HCO_3^-$毫克当量均超过阴离子总毫克当量数的25%，$SO_4^{2-}$毫克当量超过阴离子总毫克当量数的25%的水样有2个，其中平硐水（SY05）的$SO_4^{2-}$毫克当量超过阴离子总毫克当量数的50%。

本次调查共采集地下水样5个，其中SY01取自坝址区混合岩体内钻孔水、SY02取自F2断层处经崩坡积物流出的泉水样、SY03取自XPD10平硐内下游支洞

30m处花岗岩裂隙水，这3个水样均为浅层裂隙水。$HCO_3^-$含量为128.16~146.5mg/L，$SO_4^{2-}$含量为16.43 ~27.39mg/L，$Cl^-$含量最低，为3.55~5.34mg/L；$Ca^{2+}$含量31.55~35.75mg/L，$Mg^{2+}$含量5.17~7.91mg/L，$Na^+$含量5.34~13.68mg/L，$K^+$含量为2.33~2.11mg/L，TDS在214.86~248.24mg/L之间，水化学类型为HCO3-Ca型水。总体上，这3个水样阳离子以$Ca^{2+}$为主，阴离子则以$HCO_3^-$为主，总矿化度较低，反映浅层裂隙水径流途径短，地下水循环更替快的特点。

SY04茂顶温泉取样点位于坝址下游右岸约2km茂达水支流上游约2km附近的溪沟中，平面上已位于旭龙水库影响范围以外，且泉口高程为2402m，高出正常蓄水位100m。泉水中含硫化氢气体，水温为45℃，水样中$HCO_3^-$含量最高，为1309.7mg/L，$Cl^-$含量为123.23mg/L，$SO_4^{2-}$含量为39.91mg/L；$Ca^{2+}$含量为47.99mg/L，$Mg^{2+}$含量为17.84mg/L，$Na^+$含量为494.9mg/L，$K^+$含量为30.58mg/L，TDS为2.21g/L，水化学类型为HCO3-Na型水。该温泉位于断层附近，水样的总矿化度高，反映出地下水径流途径长，泉点补给区高程较大，主要接受来自高山的冰雪融水和大气降水补给后，地下水通过断裂带裂隙入渗，往深部运移并向金沙江河谷径流，在茂顶村附近受沟谷切割出露成泉。根据茂顶温泉出露的平面和剖面位置及其补给来源分析，均在旭龙工程影响区以外，故未来工程建设不会对该温泉造成影响。

SY05为平硐水，该水样取自XPD07平硐内水平孔孔深168m深处，涌水量1.1L/min，标高2195m，出露点岩性为斜长角闪片岩。水样的水温24.5℃，阴离子中$SO_4^{2-}$含量最高，为151.62mg/L，$HCO_3^-$次之，为109.87mg/L，$Cl^-$含量为17.05mg/L；$Ca^{2+}$含量为59.56mg/L，$Mg^{2+}$含量为16.48mg/L，$Na^+$含量为34.68mg/L，$K^+$含量为12.89mg/L，TDS为438.23 mg/L，水化学类型为SO4·HCO3-Ca·Na型水。总体上阴离子以$SO_4^{2-}$和$HCO_3^-$为主，阳离子以$Ca^{2+}$、$Na^+$为主，反映出有一定深度的深循环裂隙水的特征。

总体上，区内地表水的水化学特征是：成分比较简单，阴离子以$HCO_3^-$为主、阳离子以$Ca^{2+}$为主的低矿化度HCO3-Ca型水。区内溪沟水大多接受区内地下水

的补给，由于不同岩性含水层中地下水化学组分特征不同，因此流经不同地层溪沟水化学特征也略有差别，美容楼附近的溪水中 $SO_4^{2-}$含量相对较高，出现HCO3·SO4-Ca 型水；金沙江流经范围广、地层岩性复杂，江水的水化学组分也相对复杂，为 $SO_4^{2-}$、$Cl^-$、$Na^+$含量相对较高的 HCO3-Ca·Na 型水。

### 4.6.2.3 地下水环境质量现状评价

（1）评价方法

根据《环境影响评价技术导则—地下水环境》（HJ610-2016）中有关地下水下水水质现状评价的要求：地下水水质现状评价应采用标准指数法进行评价。标准指数>1，表明该水质因子已超过了规定的水质标准，指数值越大，超标越严重。标准指数计算公式分为以下两种情况：

对于评价标准为定值的水质因子，其标准指数计算公式：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{si}}$$

式中：$P_i$—第i个水质因子的标准指数，无量纲；$C_i$—第i个水质因子的监测浓度值，mg/L；$C_{si}$—第i个水质因子的标准浓度值，mg/L。

对于评价标准为区间值的水质因子（如PH值），其标准指数计算公式：

$$P_{PH} = \frac{pH - 7.0}{pH_{su} - 7.0} \qquad (pH > 7.0)$$

$$P_{PH} = \frac{pH - 7.0}{7.0 - pH_{sd}} \qquad (pH \leq 7.0)$$

式中：$P_{PH}$—pH的标准指数，无量纲；pH—pH监测值；$pH_{su}$—标准中pH的上限值；$pH_{sd}$—标准pH的下限值。

（2）评价因子

本项目场地地下水执行GB/T14848-1993《地下水质量标准》III类水质标准。

按照以上标准，结合本建设项目地下水水质，本次评价地下水主要选取Al、As、Be、Cd、Cu、Fe、Mn、Pb、Se、氟化物、氯化物、亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐、作为评价因子，计算水质指标标准指数，结果详见下表。

（3）评价结果

根据水质检测和各指标的评价结果得出如下结论：

1）评估区现状条件下地下水质量一般

按III类地下水水质标准，有41.7%的水样所有检测项目达标，其余58.3%的水样中均存在Se、Al、Be、As等微量元素超标。除温泉水（SY04）外，所有水样氟化物、氯化物、亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐均未超标，反映了本区地下水受人类活动影响相对较弱的特点。

2）影响本区地下水质量的主要因素是天然背景

本区溪沟地表水与地下水联系密切，普遍接受地下水的补给，其水化学特征在一定程度上可以反映地下水化学的特征。区内地下水中超标元素主要为Se、Al以及Be，部分水样的As含量超标或接近标准值，这主要是受到区内岩石的化学成分影响，区内广泛分布变质岩和岩浆岩，岩石中Se、Al、Be、As等微量元素含量高，在水岩相互作用下，岩石中微量元素不断溶解进入地下水，导致这些元素的背景值超标，并且随着循环深度加大，水岩相互作用更强烈，超标元素的含量会更高，如茂顶温泉水的的Be、Pb、Se、F均超标严重，Be超标31倍、Pb超标2.1倍、Se超标5.4倍、F超标6.7倍。

总体而言，现状条件下本区地下水水质一般，大部分地下水存在 Se、Al、Be、As 等微量元素超标的情况，处理难度较大，加之区内地下水资源量比较贫乏，且开发利用难度大，因此无法满足集中供水水源地的开发利用条件。

表 4.6-8　地下水水质评价表

| 取样<br>编号 | Al | As | Be | Cd | Cu | Fe | Mn | Pb | Se | F | Cl | $NO_2$ | $NO_3$ | $SO_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 污染指数标准 | 0.1 | 0.05 | 0.0002 | 0.01 | 1 | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.01 | 1.0 | 250 | 0.02 | 20 | 250 |
| SY01 | 0.29 | 0.69 | 0.05 | 0.04 | - | - | 0.019 | 0.41 | - | 0.32 | 0.021 | - | - | 0.08 |
| SY02 | **1.46** | 0.85 | 0.05 | - | 0.0025 | 0.44 | 0.042 | 0.44 | 0.03 | 0.12 | 0.013 | - | 0.09 | 0.07 |
| SY03 | 0.17 | **1.44** | 0.1 | 0.03 | - | - | 0.004 | 0.34 | **1.82** | 0.17 | 0.014 | - | 0.08 | 0.11 |
| SY04 | 0.15 | 0.14 | **3.1** | 0.05 | - | 0.04 | 0.717 | **2.06** | **5.4** | **6.77** | 0.493 | - | - | 0.16 |
| SY05 | 0.23 | 0.15 | 0.05 | - | 0.0014 | 0.00 | 0.166 | 0.30 | 0.89 | 0.41 | 0.068 | - | - | 0.61 |

注：-代表未检出

## 4.6.3 环境空气

为了解旭龙水电站工程区所在区域环境空气质量现状，评价单位委托相关资质单位于2015年11月、2016年8月对工程区附近主要环境敏感点进行了噪声监测，共布设4点位，分别为格亚顶河沟口、茂顶河口斯木顶村、茂达水村和徐龙冲沟，监测点位设置见附图30。环境空气质量监测结果统计见表4.6-9、表4.6-10。

监测结果表明，4个监测点的环境空气环境质量满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）一级标准。

**表 4.6-9　旭龙水电站施工区环境空气质量监测结果统计表（2015 年 11 月）**

**单位：**mg/m $^3$

| 采样点 | 日期 | TSP 日均浓度 mg/m³ | $PM_{10}$ 日均浓度 mg/m³ | $NO_2$ 日均浓度 mg/m³ | $SO_2$ 日均浓度 mg/m³ |
|---|---|---|---|---|---|
| 格亚顶河沟口 | 11 月 21 日 | 0.039 | 0.012 | 0.0037 | 0.0002 |
| | 11 月 22 日 | 0.036 | 0.018 | 0.0033 | 0.0006 |
| | 11 月 23 日 | 0.05 | 0.022 | 0.0032 | 0.0004 |
| | 11 月 24 日 | 0.033 | 0.017 | 0.0033 | 0.0004 |
| | 11 月 25 日 | 0.036 | 0.019 | 0.0024 | 0.0002 |
| | 11 月 26 日 | 0.035 | 0.020 | 0.009 | ≤0.003 |
| | 11 月 27 日 | 0.041 | 0.022 | 0.010 | ≤0.003 |
| 茂顶河口斯木顶村 | 11 月 21 日 | 0.023 | 0.013 | 0.0024 | 0.0007 |
| | 11 月 22 日 | 0.025 | 0.012 | 0.003 | 0.0003 |
| | 11 月 23 日 | 0.031 | 0.016 | 0.0026 | 0.0006 |
| | 11 月 24 日 | 0.022 | 0.009 | 0.0025 | 0.0002 |
| | 11 月 25 日 | 0.022 | 0.006 | 0.0036 | 0.0003 |
| | 11 月 26 日 | 0.024 | 0.018 | 0.0026 | 0.0004 |
| | 11 月 27 日 | 0.021 | 0.01 | 0.0038 | 0.0003 |
| 茂达水村 | 11 月 21 日 | 0.022 | 0.012 | 0.0022 | 0.0004 |
| | 11 月 22 日 | 0.023 | 0.008 | 0.0022 | 0.0005 |
| | 11 月 23 日 | 0.019 | 0.013 | 0.0024 | 0.0006 |
| | 11 月 24 日 | 0.031 | 0.008 | 0.0025 | 0.0007 |
| | 11 月 25 日 | 0.028 | 0.008 | 0.0027 | 0.0006 |
| | 11 月 26 日 | 0.022 | 0.013 | 0.0022 | 0.0007 |
| | 11 月 27 日 | 0.032 | 0.012 | 0.0024 | 0.0003 |

| 采样点 | 日期 | TSP 日均浓度 mg/m³ | $PM_{10}$ 日均浓度 mg/m³ | $NO_2$ 日均浓度 mg/m³ | $SO_2$ 日均浓度 mg/m³ |
|---|---|---|---|---|---|
| 徐龙冲沟 | 11 月 21 日 | 0.03 | 0.018 | 0.0037 | 0.0003 |
| | 11 月 22 日 | 0.034 | 0.016 | 0.0027 | 0.0002 |
| | 11 月 23 日 | 0.024 | 0.011 | 0.0025 | 0.0004 |
| | 11 月 24 日 | 0.041 | 0.021 | 0.0022 | 0.0003 |
| | 11 月 25 日 | 0.031 | 0.016 | 0.0037 | 0.0004 |
| | 11 月 26 日 | 0.036 | 0.012 | 0.0032 | 0.0006 |
| | 11 月 27 日 | 0.03 | 0.013 | 0.0033 | 0.0002 |

表 4.6-10　旭龙水电站施工区环境空气质量监测结果统计表（2016 年 8 月）

单位：mg/m ³

| 采样点 | 日期 | 总悬浮颗粒物（TSP）日均浓度 mg/m³ | $PM_{10}$ 日均浓度 mg/m³ | $NO_2$ 日均浓度 mg/m³ | $SO_2$ 日均浓度 mg/m³ |
|---|---|---|---|---|---|
| 格亚顶河沟口 | 8月21日 | 0.025 | 0.014 | 0.0039 | 0.0002 |
| | 8月22日 | 0.032 | 0.017 | 0.0042 | 0.0005 |
| | 8月23日 | 0.027 | 0.019 | 0.0033 | 0.0007 |
| | 8月24日 | 0.033 | 0.015 | 0.0049 | 0.0007 |
| | 8月25日 | 0.023 | 0.016 | 0.0044 | 0.0009 |
| | 8月26日 | 0.024 | 0.017 | 0.0046 | 0.0005 |
| | 8月27日 | 0.032 | 0.021 | 0.0054 | 0.0007 |
| 茂顶河口斯木顶村 | 8月18日 | 0.025 | 0.012 | 0.0049 | 0.0005 |
| | 8月19日 | 0.029 | 0.019 | 0.0054 | 0.0009 |
| | 8月20日 | 0.028 | 0.015 | 0.0032 | 0.0009 |
| | 8月21日 | 0.032 | 0.016 | 0.0024 | 0.0005 |
| | 8月22日 | 0.026 | 0.009 | 0.0038 | 0.0007 |
| | 8月23日 | 0.024 | 0.020 | 0.0036 | 0.0009 |
| | 8月24日 | 0.031 | 0.013 | 0.0044 | 0.0005 |
| 茂达水村 | 8月14日 | 0.031 | 0.011 | 0.0043 | 0.0005 |
| | 8月15日 | 0.025 | 0.017 | 0.0026 | 0.0005 |
| | 8月16日 | 0.027 | 0.020 | 0.0032 | 0.0002 |
| | 8月17日 | 0.033 | 0.009 | 0.0022 | 0.0001 |
| | 8月18日 | 0.038 | 0.012 | 0.0038 | 0.0007 |
| | 8月19日 | 0.025 | 0.011 | 0.0031 | 0.0005 |
| | 8月20日 | 0.017 | 0.021 | 0.0036 | 0.0009 |
| 徐龙冲沟 | 8月11日 | 0.022 | 0.012 | 0.0031 | 0.0007 |
| | 8月12日 | 0.031 | 0.016 | 0.0025 | 0.0005 |
| | 8月13日 | 0.028 | 0.011 | 0.0039 | 0.0002 |
| | 8月14日 | 0.024 | 0.009 | 0.0043 | 0.0002 |
| | 8月15日 | 0.025 | 0.020 | 0.0031 | 0.0005 |
| | 8月16日 | 0.032 | 0.016 | 0.0041 | 0.0007 |
| | 8月17日 | 0.023 | 0.015 | 0.0036 | 0.0007 |

## 4.6.4 声环境

根据2015年11月、2016年2月、2016年8月对工程区对工程区的噪声进行了监测，共布设4个点位，分别为格亚顶河沟口、茂顶河口斯木顶村、茂达水村和徐龙冲沟，监测点位设置见附图30。声环境监测结果统计见表4.6-11~表4.6-13。

监测结果表明，工程施工区无大的噪声源，噪声背景值较低，声环境状况良好。监测结果表明：旭龙水电站工程区的声环境质量满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类标准。

表 4.6-11　旭龙水电站施工区噪声背景值监测结果统计表（2015 年 11 月）

单位：dB(A)

| 测点名称 | 日期 | 时段 | 测量结果（dB（A）） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Leq | L10 | L50 | L90 | SD |
| 格亚顶河沟口 | 11 月 21 日 | 昼 | 52.1 | 52.5 | 51.9 | 51.4 | 0.5 |
| | | 夜 | 54.0 | 54.5 | 53.9 | 53.2 | 0.5 |
| | 11 月 22 日 | 昼 | 52.4 | 53.0 | 52.1 | 51.5 | 0.7 |
| | | 夜 | 53.3 | 53.7 | 53.2 | 52.8 | 0.5 |
| | 11 月 23 日 | 昼 | 51.9 | 52.5 | 51.8 | 51.2 | 0.5 |
| | | 夜 | 52.9 | 53.5 | 52.8 | 52.1 | 0.5 |
| 茂顶河口斯木顶村 | 11 月 21 日 | 昼 | 47.6 | 48.0 | 47.5 | 47.1 | 0.4 |
| | | 夜 | 48.4 | 48.9 | 48.2 | 47.8 | 0.4 |
| | 11 月 22 日 | 昼 | 48.5 | 49.3 | 48.2 | 47.5 | 0.7 |
| | | 夜 | 48.7 | 49.1 | 48.6 | 48.0 | 0.4 |
| | 11 月 23 日 | 昼 | 48.7 | 49.3 | 48.5 | 47.9 | 0.7 |
| | | 夜 | 48.5 | 48.8 | 48.4 | 48.1 | 0.3 |
| 茂达水村 | 11 月 21 日 | 昼 | 42.6 | 44.6 | 41.9 | 40.7 | 1.6 |
| | | 夜 | 42.4 | 44.6 | 41.4 | 39.8 | 1.9 |
| | 11 月 22 日 | 昼 | 42.4 | 44.6 | 41.6 | 39.5 | 2.1 |
| | | 夜 | 43.0 | 45.6 | 42.2 | 40.5 | 1.9 |
| | 11 月 23 日 | 昼 | 43.4 | 45.8 | 41.5 | 39.2 | 2.8 |
| | | 夜 | 40.7 | 42.9 | 39.8 | 37.9 | 1.9 |
| 徐龙冲沟 | 11 月 21 日 | 昼 | 52.8 | 53.1 | 52.7 | 52.3 | 0.5 |
| | | 夜 | 53.6 | 53.9 | 53.4 | 53.0 | 0.6 |
| | 11 月 22 日 | 昼 | 48.4 | 51.8 | 46.0 | 43.1 | 3.3 |
| | | 夜 | 43.4 | 45.8 | 41.8 | 39.6 | 2.5 |
| | 11 月 23 日 | 昼 | 44.3 | 47.6 | 42.5 | 40.5 | 2.6 |
| | | 夜 | 40.4 | 42.6 | 39.6 | 38.2 | 1.7 |

表 4.6-12　旭龙水电站施工区噪声背景值监测结果统计表（2016 年 2 月）

单位：dB(A)

| 测点名称 | 日期 | 时段 | 测量结果（dB（A）） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Leq | L10 | L50 | L90 | SD |
| 格亚顶河沟口 | 2 月 24 日 | 昼 | 43.2 | 43.6 | 43.0 | 42.7 | 0.7 |
| | | 夜 | 38.5 | 42.1 | 41.3 | 40.7 | 0.7 |
| | 2 月 25 日 | 昼 | 42.1 | 43.4 | 41.9 | 40.9 | 1.0 |
| | | 夜 | 41.8 | 42.8 | 41.5 | 40.7 | 0.9 |
| | 2 月 26 日 | 昼 | 42.6 | 43.2 | 42.4 | 42.0 | 0.6 |
| | | 夜 | 41.3 | 42.0 | 41.3 | 40.6 | 0.6 |
| 茂顶河口斯木顶村 | 2 月 24 日 | 昼 | 43.9 | 44.9 | 43.9 | 42.9 | 0.8 |
| | | 夜 | 41.7 | 42.9 | 41.4 | 40.6 | 1.0 |
| | 2 月 25 日 | 昼 | 41.7 | 42.2 | 41.6 | 41.3 | 0.5 |
| | | 夜 | 41.2 | 42.0 | 41.1 | 40.5 | 0.7 |
| | 2 月 26 日 | 昼 | 42.6 | 43.1 | 42.6 | 42.2 | 0.4 |
| | | 夜 | 41.5 | 42.5 | 41.4 | 40.8 | 0.7 |
| 茂达水村 | 2 月 24 日 | 昼 | 43.2 | 44.1 | 43.2 | 42.3 | 0.7 |
| | | 夜 | 41.1 | 41.8 | 41.0 | 40.4 | 0.7 |
| | 2 月 25 日 | 昼 | 44.3 | 45.6 | 44.1 | 42.9 | 1.1 |
| | | 夜 | 41.8 | 42.7 | 41.7 | 41.0 | 0.8 |
| | 2 月 26 日 | 昼 | 41.1 | 41.8 | 41.0 | 40.5 | 0.6 |
| | | 夜 | 40.1 | 41.4 | 39.7 | 38.8 | 1.1 |
| 徐龙冲沟 | 2 月 24 日 | 昼 | 43.4 | 44.5 | 43.4 | 42.5 | 0.7 |
| | | 夜 | 42.5 | 43.4 | 42.5 | 41.6 | 1.3 |
| | 2 月 25 日 | 昼 | 43.8 | 44.8 | 43.6 | 42.7 | 0.9 |
| | | 夜 | 42.3 | 43.1 | 42.0 | 41.2 | 1.1 |
| | 2 月 26 日 | 昼 | 42.9 | 44.6 | 42.6 | 41.4 | 1.2 |
| | | 夜 | 42.4 | 43.3 | 42.4 | 41.6 | 0.6 |

表 4.6-13　旭龙水电站施工区噪声背景值监测结果统计表（2016 年 2 月）

单位：dB(A)

| 测点名称 | 日期 | 时段 | 测量结果（dB（A）） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Leq | L10 | L50 | L90 | SD |
| 格亚顶河沟口 | 8 月 10 日 | 昼 | 57.3 | 58.3 | 56.9 | 56.3 | 1.0 |
| | | 夜 | 54.0 | 54.9 | 53.6 | 53.0 | 0.8 |
| | 8 月 11 日 | 昼 | 58.4 | 58.9 | 58.3 | 57.6 | 0.7 |
| | | 夜 | 55.0 | 56.0 | 54.6 | 54.2 | 0.7 |
| | 8 月 12 日 | 昼 | 56.7 | 58.5 | 56.2 | 54.1 | 1.7 |
| | | 夜 | 54.3 | 56.6 | 53.3 | 51.8 | 1.8 |
| 茂顶河口斯木顶村 | 8 月 10 日 | 昼 | 57.7 | 58.8 | 57.2 | 54.6 | 1.7 |
| | | 夜 | 54.0 | 54.3 | 53.9 | 53.5 | 0.3 |
| | 8 月 11 日 | 昼 | 57.6 | 58.5 | 57.8 | 55.8 | 1.1 |
| | | 夜 | 55.6 | 56.8 | 55.8 | 53.3 | 1.5 |
| | 8 月 12 日 | 昼 | 56.5 | 58.1 | 56.0 | 53.8 | 2.0 |
| | | 夜 | 54.2 | 55.2 | 54.0 | 52.8 | 0.9 |

| 测点名称 | 日期 | 时段 | 测量结果（dB（A）） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Leq | L10 | L50 | L90 | SD |
| 茂达水村 | 8 月 10 日 | 昼 | 54.3 | 54.4 | 53.9 | 53.4 | 0.7 |
| | | 夜 | 53.6 | 53.9 | 53.4 | 53.0 | 0.5 |
| 茂达水村 | 8 月 11 日 | 昼 | 56.2 | 57.0 | 55.9 | 55.4 | 0.7 |
| | | 夜 | 54.8 | 55.6 | 54.5 | 53.1 | 0.1 |
| | 8 月 12 日 | 昼 | 54.5 | 55.0 | 54.4 | 53.7 | 0.7 |
| | | 夜 | 53.6 | 54.2 | 53.8 | 52.0 | 0.7 |
| 徐龙冲沟 | 8 月 10 日 | 昼 | 58.2 | 58.5 | 58.0 | 57.6 | 0.3 |
| | | 夜 | 54.1 | 54.7 | 53.9 | 53.6 | 0.4 |
| | 8 月 11 日 | 昼 | 58.7 | 59.2 | 58.8 | 57.8 | 0.6 |
| | | 夜 | 55.5 | 55.7 | 55.3 | 54.9 | 0.3 |
| | 8 月 12 日 | 昼 | 57.9 | 58.1 | 56.9 | 55.7 | 2.0 |
| | | 夜 | 54.1 | 54.4 | 53.7 | 53.0 | 1.2 |

## 4.7主要环境问题

（1）生态环境脆弱，生物多样性减少

工程所在区域自然条件较差，具有海拔高、气候寒冷、干旱等特点，洪灾、大风、雪灾等自然灾害频繁，不利于植被的恢复和生长，生态系统抵抗外界干扰的能力和自我调节能力较差，生态环境一旦遭受破坏难以恢复。

（2）植被覆盖度低，水土流失严重

项目区属金沙江干热河谷区，区内植被以自然灌木群丛和自然草坡为主，地表裸露较多，属金沙江上游水土流失最严重的地区之一。项目区耕地多为坡耕地，原生植被破坏较严重，植被覆盖状况较差。在自然和人为作用下，水土流失使土层变薄、粮食减产、水库淤积、水利效益衰减，加剧滑坡、泥石流等灾害频繁发生，使生态环境恶化，严重影响了当地经济的发展。

（3）社会经济落后，农村居民生活、生产用水较困难

旭龙水电站工程位于的金沙江上游河段是少数民族聚集区，属我国社会经济欠发达的边远地区，社会发展程度低，经济总量小，交通、农业、水利等基础设施落后，贫困面积大，文化教育水平低，制约了地区社会经济发展和社会环境建设。

库区居民生活用水和农业灌溉用水主要取自支沟山泉水，对金沙江干流没有直接取水要求。在一些无支沟分布或山泉水量少的地区，许多乡镇和农村居民通常居住在

高山、二半山地，居住分散，人畜饮水和农业灌溉用水极为困难，且直接饮用存在安全卫生隐患，严重制约了农村地区社会经济发展和居民生活质量的提高。

# 5 环境影响预测与评价

## 5.1水文情势影响分析

### 5.1.1 生态流量

参照《水电工程生态流量计算规范》（NB/T 35091-2016）、《环境影响评价技术导则　地面水》（征求意见稿），选用合适的方法进行计算。协调上、下游水电梯级的最小下泄流量，统筹考虑下游河道内、外用水量需求，确定敏感时段，确定最小下泄流量大小及过程。

#### 5.1.1.1 评价江段在建电站基本情况及径流特征参数介绍

（1）上游在建梯级苏洼龙下泄生态流量

根据《关于金沙江上游苏洼龙水电站环境影响报告书的批复》（环审[2015]77 号），工程下泄生态流量不低于 152 m³/s。

（2）河段径流特征

1）实测最小流量

旭龙水电站坝址多年平均流量 990 m³/s，旭龙水电站径流设计依据站为巴塘水文站、奔子栏水文站和古学水文站，其中巴塘水文站最大实测流量 5640$m^3$/s（1965 年 7 月 16 日），最小实测流量 141$m^3$/s（1985 年 1 月 18 日）；奔子栏水文站最大实测流量 6880$m^3$/s（2005 年 8 月 11 日），最小实测流量 249$m^3$/s（1994 年 12 月 29 日）；古学水文站最大实测流量 1040$m^3$/s（2005 年 8 月 10 日），最小实测流量 47.1$m^3$/s（2007 年 1 月 29 日）。

2）旭龙水电站坝址天然最小流量

根据 1953～2015 年旬径流资料统计，旭龙坝址天然情况下最小旬平均流量为 180$m^3$/s。

考虑叶巴滩和拉哇水电站调蓄后，最小旬平均流量为 268$m^3$/s；考虑岗托、叶巴滩和拉哇水电站调蓄后，最小旬平均流量为 333$m^3$/s。

3）苏洼龙至旭龙河段区间汇流情况

苏洼龙至旭龙坝址较大支流有麦曲河、丹达河。丹达河河口距旭龙坝址 28.6km，控制流域面积 1540km$^2$，多年平均流量 32 m$^3$/s；麦曲河河口距旭龙坝址 61.85km，控制流域面积 2565km$^2$，多年平均流量 20 m$^3$/s。根据上述两条河河口位置的丹达河水电站、昌波二级水电站设计成果以及丹达河、麦曲河年内降水分布情况，河口处枯期逐月径流量占年均径流量的 2~4%左右，据此估算，丹达河多年平均最枯月均流量约 3.8 m$^3$/s，麦曲河多年平均最枯月均流量约 2.8m$^3$/s。根据得荣站 1960～2013 年降水量资料统计，多年平均降水量 339.4mm，降雨量较少，属于干旱地区，考虑区间其他支沟汇流情况，旭龙坝址处最小日流量约 160 m$^3$/s。

4）相应保证率特征值

根据旭龙水电站坝址 1953～2015 年长系列径流资料，按照最枯月平均流量进行排频，取 P=90%保证率对应的值为 216 m$^3$/s，约占多年平均流量的 22%。

**表 5.1-1　旭龙水电站坝址断面径流特征参数统计表**

| 坝址径流特征参数 | | 流量（m$^3$/s） |
|---|---|---|
| 最小旬均流量 | 天然 | 180 |
| | 考虑上游调蓄 | 268/333 |
| 最小日流量推求 | | 160 |
| 设计依据站实测最小流量 | 巴塘水文站 | 141（1985.1.18） |
| | 奔子栏奔子栏水文站 | 249（1994.12.19） |
| 苏洼龙生态流量 | | 152 |

### 5.1.1.2 电站机组稳定过流能力

水库正常蓄水位 2302m 运行时，单台机组稳定运行最小流量为 261 m$^3$/s；当水库位于死水位 2297m 运行时，单台机组稳定运行最小流量为 230 m$^3$/s。

### 5.1.1.3 坝下游河道内外生态需水分析

（1）河道内需求分析

调查水域分布鱼类繁殖均为产粘性卵类群。长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼繁殖季节一般在每年 3～4 月，四川裂腹鱼则在 6 月前后。这类裂腹鱼繁殖水温上下限约为 10～16℃。硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻鱼主要生活于宽谷河段，繁殖季节较晚，一般在 6～

7 月。生活于急流中黄石爬鮡，繁殖季节在 5～7 月。按照电站调度运行方式，在丰水期，电站基本维持在高水位运行，不进行日内调节。因此，对于丰水期产卵的黄石爬鮡、硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻鱼等鱼类，基本不会因电站调度运行方式导致的水文情势改变而受影响。生态流量泄放重点考虑时段应该是 3～4 月。

（2）河道外需求分析

根据调查，坝下游至奔子栏河段基本无取水设施。根据《长江流域综合规划（2012～2030 年）》，奔子栏和石鼓断面的生态流量分别为 234$m^3$/s 和 298$m^3$/s；在 2016 年 8 月批复的《滇中引水工程环境影响报告书》中确定石鼓取水口断面生态流量 4 月下旬至 6 月为 411$m^3$/s，7 月至次年 4 月中旬为 300$m^3$/s。

### 5.1.1.4 生态流量计算

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）、《水电工程生态流量计算规范》（NB/T35091-2016），选择以下方法计算生态流量。

（1）Tennant 法

按照 Tennant 法计算方法，取多年平均流量 10%，计算得电站下泄生态流量 99$m^3$/s。

（2）Q95 法

Q95 法即 95%保证率最枯月平均流量，根据计算，坝址断面 95%保证率最枯月平均流量为 201 $m^3$/s。

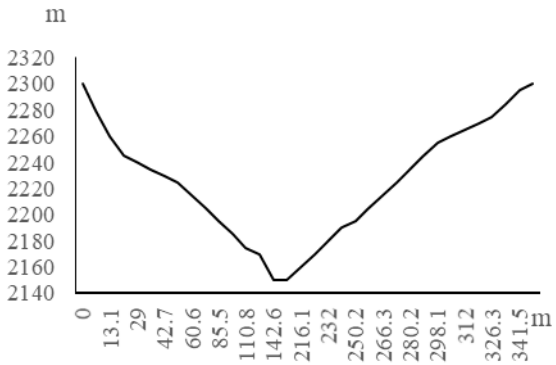
（3）R2-Cross 法

1）计算标准

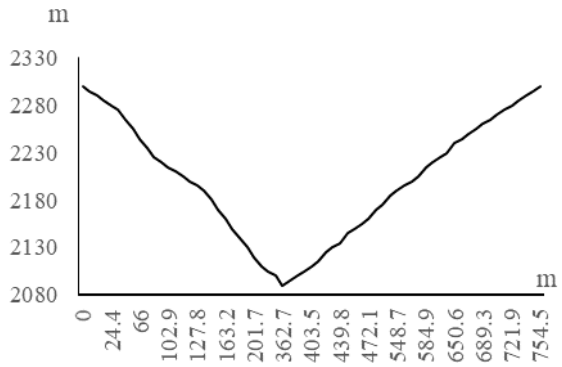
计算选择旭龙坝址、距离旭龙坝址 20km、38km、50km 以及 62km 断面，利用水力模拟预测水深、流速等水力参数，与生境适宜性标准相比较，计算适于指定水生物种的生境面积，据此确定适宜的河流流量。金沙江干流段河宽在 100～200m，为大型河流，R2-Cross 法原始的水力参数标准不适用，因此本报告根据该河段不同时期（一般用水期与鱼类产卵繁殖期）水生生物需求特点，设置特定的水力参数标准。根据评价江段鳅科鱼类、黄石爬鮡等鱼类习性，其对水域生境要求主要包括：河段平均水深一般用水期不小于 1.5m，鱼类产卵繁殖期不小于 2.0m；流速一般用水期不低于 0.6m/s，鱼类产卵繁殖期不小于 0.8 m/s；断面湿周率一般用水期不小于 55%，鱼类产卵繁殖期不小于 65%，各参数要求详见表 5.1-2。

表 5.1-2　影响河段 R2-Cross 法水力参数标准

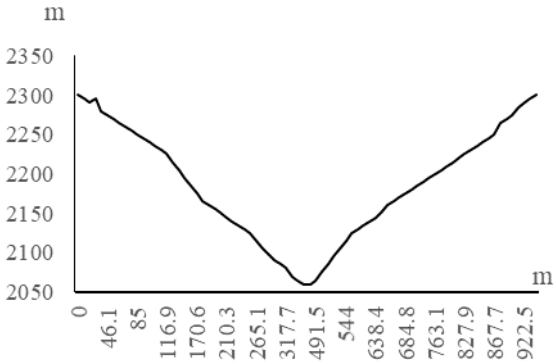
| 适用水期 | 平均水深(m) | 平均流速(m/s) | 湿周率(%) |
|---|---|---|---|
| 一般用水期 | ≥1.5 | ≥0.6 | ≥55 |
| 鱼类产卵繁殖期 | ≥2.0 | ≥0.8 | ≥65 |



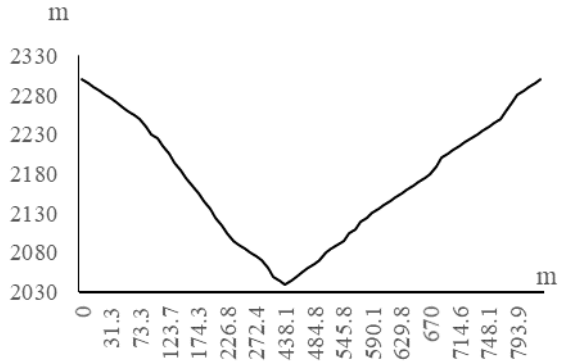

坝址断面




坝下游 20km 断面




坝下游 50km 断面




坝下游 62km 断面

图 5.1-1　计算断面形状示意图

2）计算结果

根据计算，不同断面对应的流量要求不一样，采用外包的原则，为满足各计算断面平均水深、平均流速以湿周率要求，一般用水期生态流量为 160 m³/s，鱼类产卵繁殖期生态流量为 280 m³/s。

表 5.1-3　R2-Cross 法计算结果统计表

| 断面名称 | 适用水期 | 满足平均水深要求对应流量（m³/s） | 满足平均流速要求对应流量（m³/s） | 满足湿周率要求对应流量（m³/s） |
|---|---|---|---|---|
| X1 | 一般用水期 | 76.1 | 43.7 | 58 |
| | 鱼类产卵繁殖期 | 160 | 113 | 67 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| X2 | 一般用水期 | 72 | 12 | 160 |
| | 鱼类产卵繁殖期 | 204 | 43 | 280 |
| X3 | 一般用水期 | 160 | 70 | 60 |
| | 鱼类产卵繁殖期 | 260 | 140 | 75 |
| X4 | 一般用水期 | 110 | 40 | 100 |
| | 鱼类产卵繁殖期 | 240 | 110 | 180 |

（4）生态水力学法

生态水力学法通过水生生物适应的水力生境确定合适的流量，属于生境模拟法。该法假设水深、流速、湿周、水面宽、过水断面的面积、水面面积、水温等参数是流量变化对物种数量和分布造成影响的主要水力生境参数；急流、缓流、浅滩及深潭是流量变化对物种变化造成影响的主要水力形态。该法适用于有珍稀鱼类分布的大中型河流的生态流量计算。

1）指标标准

生态水力学法的水力生境参数标准详见表 5.1-4。

**表 5.1-4　　生态水力学法的水力生境参数标准（大型河流）**

| 生境参数指标 | 标准 | |
|---|---|---|
| | 最低标准 | 累计河段长段的百分比 |
| 最大水深 | 鱼类体长的 2~3 倍 | 95% |
| 平均水深 | ≥0.3m | 95% |
| 平均速度 | ≥0.3m/s | 95% |
| 水面宽度 | ≥30m | 95% |
| 湿周率 | ≥50% | 95% |
| 过水断面面积 | ≥30m² | 95% |
| 水域水面面积 | ≥70% | |
| 水温 | 适合鱼类生存、繁殖 | |
| 生境形态指标 | 概念界定 | |
| 急流 | 平均流速≥1m/s | 段数无较大变化，急流、较急流段累计河段长度减少＜20 |
| 较急流 | 平均流速 0.5 ~ 1m/s | |
| 较缓流 | 平均流速 0.3 ~ 0.5m/s | |
| 缓流 | 平均流速≤0.3m/s | |
| 深潭 | 最大水深≥10m | |
| 浅滩 | 河岸边坡≤10°，5m 范围内水深小于 0.5m | 个数无较大变化 |

2）计算地形

本次计算地形采用旭龙坝址至奔子栏镇 75.0km 河段地形，共监测有 42 个大断面数据。

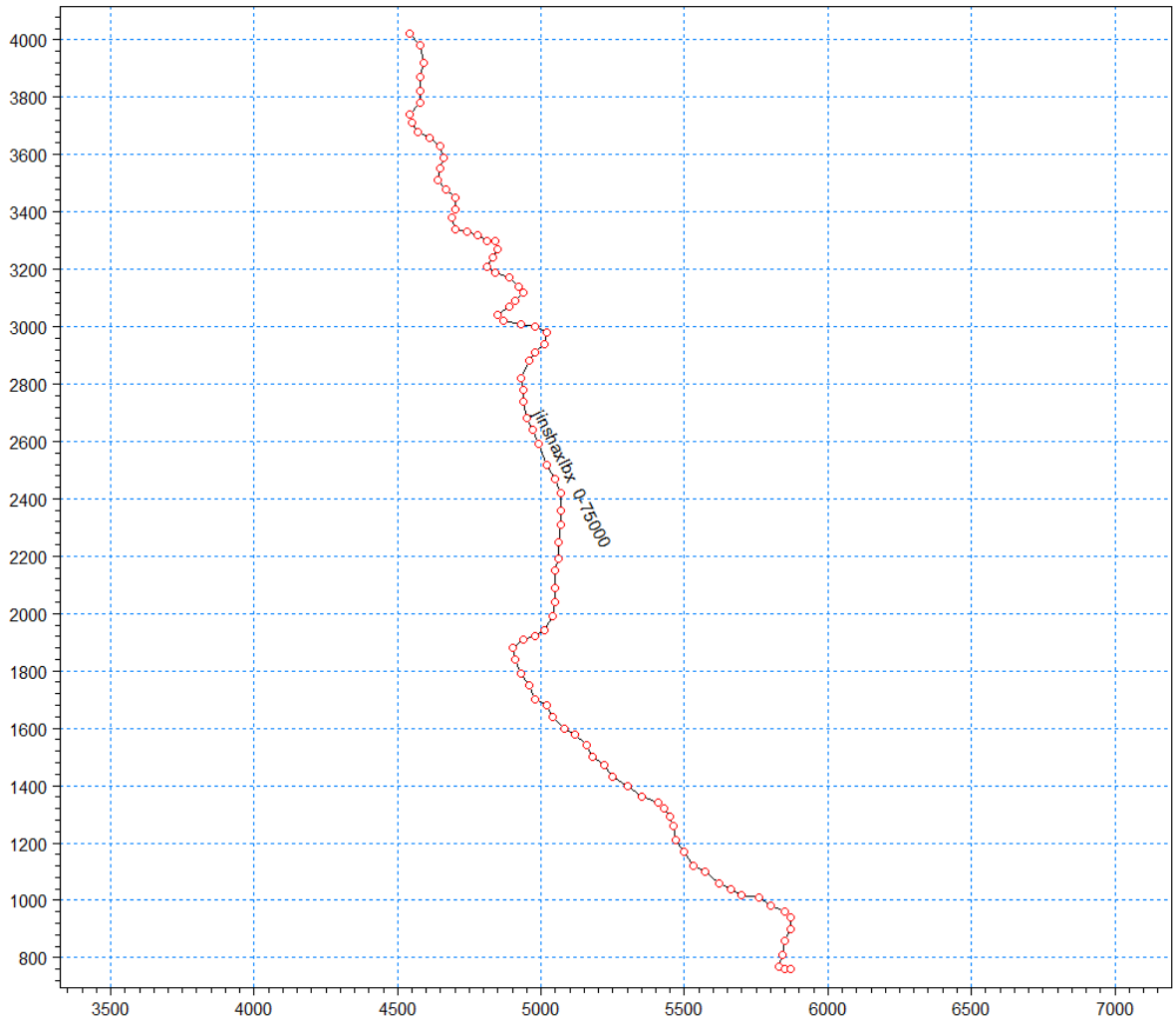



**图 5.1-2　计算河段测量断面示意图　单位：m**

3）计算结果

本次计算，流量从 160 m³/s 起，按 10m³/s 为步长递增，直至计算值每个指标均满足表 5.1-4 所列标准要求。通过计算，共设置 15 个流量情景，各断面在 160m³/s 时，最大水深、平均水深、平均流速、过水断面面积等指标均满足表 5.1-4 所列标准要求。而水面宽指标，当下泄流量达到 180 m³/s 时，才能满足水面宽≥30m，且累计河段长度不低于 95%的要求；湿周率指标，当下泄流量达到 250m³/s 时，才能满足湿周率≥50%的要求，且累计河段长度不低于 95%。据统计，当下泄流量达到 250m³/s 时，坝下游奔子栏水文站断面（分布有鱼类产卵场）不满足湿周率≥50%的要求，经进一步推算，当下泄流量达到 260m³/s 时，该断面湿周率大于 50%。计算结果统计详见表 5.1-5。

从坝下游河段流速沿程分布情况来看（详见图 5.1-3），坝下游急流、缓流去交替分布，其中 90%以上的河段为急流或较急流河段，有利于营造江段分布的裂腹鱼类和鮡科鱼类繁殖的友好生境条件。

从坝下游河段最大水深沿程分布情况来看（详见图 5.1-4），当下泄流量达到 260 $m^3/s$ 时，各断面最大水深在 2.36m~9.29m 之间；当下泄流量达到 300 $m^3/s$ 时，各断面最大水深在 2.42m~9.37m 之间。当电站按多年平均流量 990$m^3/s$ 下泄时，坝下游各断面最大水深在 4.47m~13.68m 之间。

本江段鱼类主要为裂腹鱼类和鮈科鱼类，产卵季节主要分布在 3~7 月，均为产粘沉性卵鱼类。其中长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼繁殖期为 3~4 月，对河道深潭要求相对较低；黄石爬鮈繁殖期为 5~7 月对河道深潭要求相对较高；软刺裸裂尻鱼繁殖期为 8-9 月，。结合本次计算结果，当下泄流量达到 260 $m^3/s$ 时，最大水深大于 5m 的断面占比为 57%，大于 8m 的断面占比为 24%。黄石爬鮈繁殖期正处于汛期，按照电站调度运行方式，汛期电站尽量维持在高水位运行，下泄流量应远大于 260$m^3/s$，江段相对能适应黄石爬鮈繁殖需求。

表 5.1-5　　生态水力学法计算结果统计表

| 计算情景设置 | 最大水深 | | | 平均水深 | | | 平均流速 | | | 过水断面面积 | | | 水面宽 | | | 湿周率 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 满足断面数（个） | 不满足断面数（个） | 满足率 | 满足断面数（个） | 不满足断面数（个） | 满足率 | 满足断面数（个） | 不满足断面数（个） | 满足率 | 满足断面数（个） | 不满足断面数（个） | 满足率 | 满足断面数（个） | 不满足断面数（个） | 满足率 | 满足断面数（个） | 不满足断面数（个） | 满足率 |
| 情景 1:160 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 39 | 3 | 93% | 37 | 5 | 88% |
| 情景 2:170 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 39 | 3 | 93% | 37 | 5 | 88% |
| 情景 3:180 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 37 | 5 | 88% |
| 情景 4:190 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 37 | 5 | 88% |
| 情景 5:200 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 37 | 5 | 88% |
| 情景 6:210 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 38 | 4 | 90% |
| 情景 7:220 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 38 | 4 | 90% |
| 情景 8:230 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 39 | 3 | 93% |
| 情景 9:240 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 39 | 3 | 93% |
| 情景 10:250 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 40 | 2 | 95% | 40 | 2 | 95% |
| 情景 11:260 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 41 | 1 | 98% | 40 | 2 | 95% |
| 情景 12:270 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 41 | 1 | 98% | 40 | 2 | 95% |
| 情景 13:280 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 41 | 1 | 98% | 41 | 1 | 98% |
| 情景 14:290 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 41 | 1 | 98% | 42 | 0 | 100% |
| 情景 15:300 | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 42 | 0 | 100% | 41 | 1 | 98% | 42 | 0 | 100% |

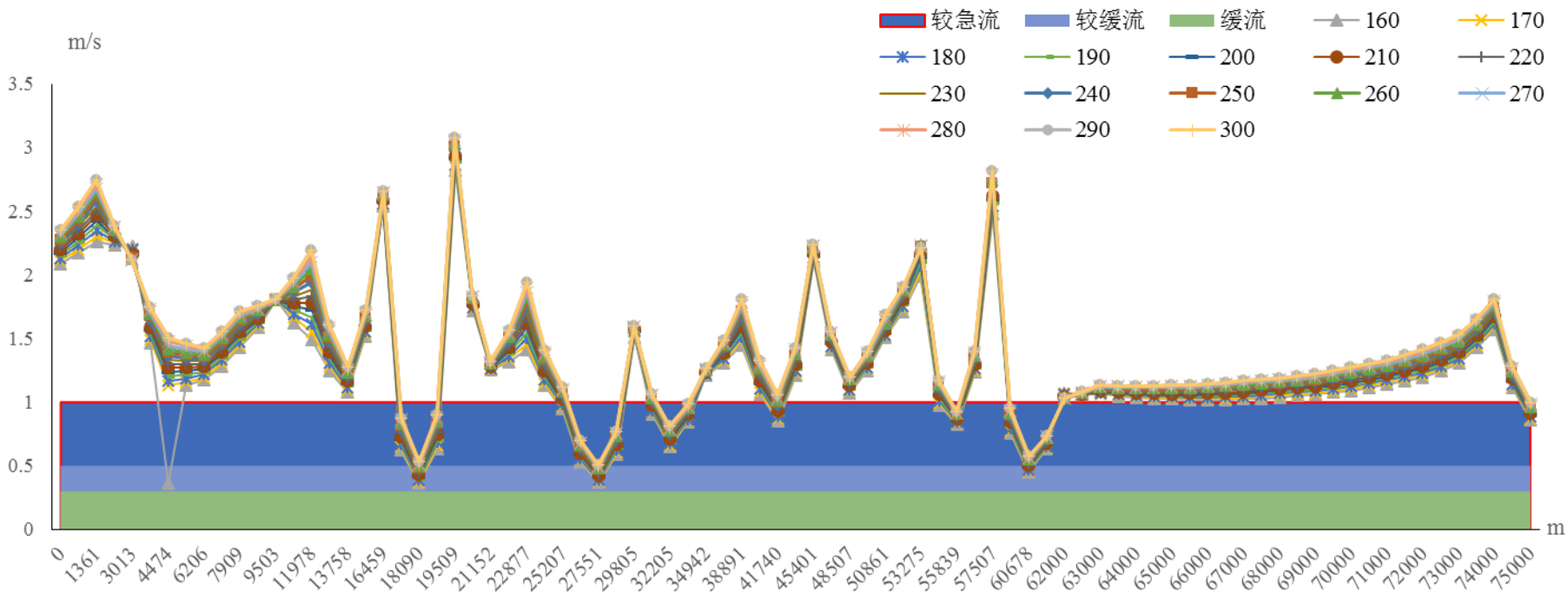



图 5.1-3 计算河段流速沿程分布示意图　　单位：m

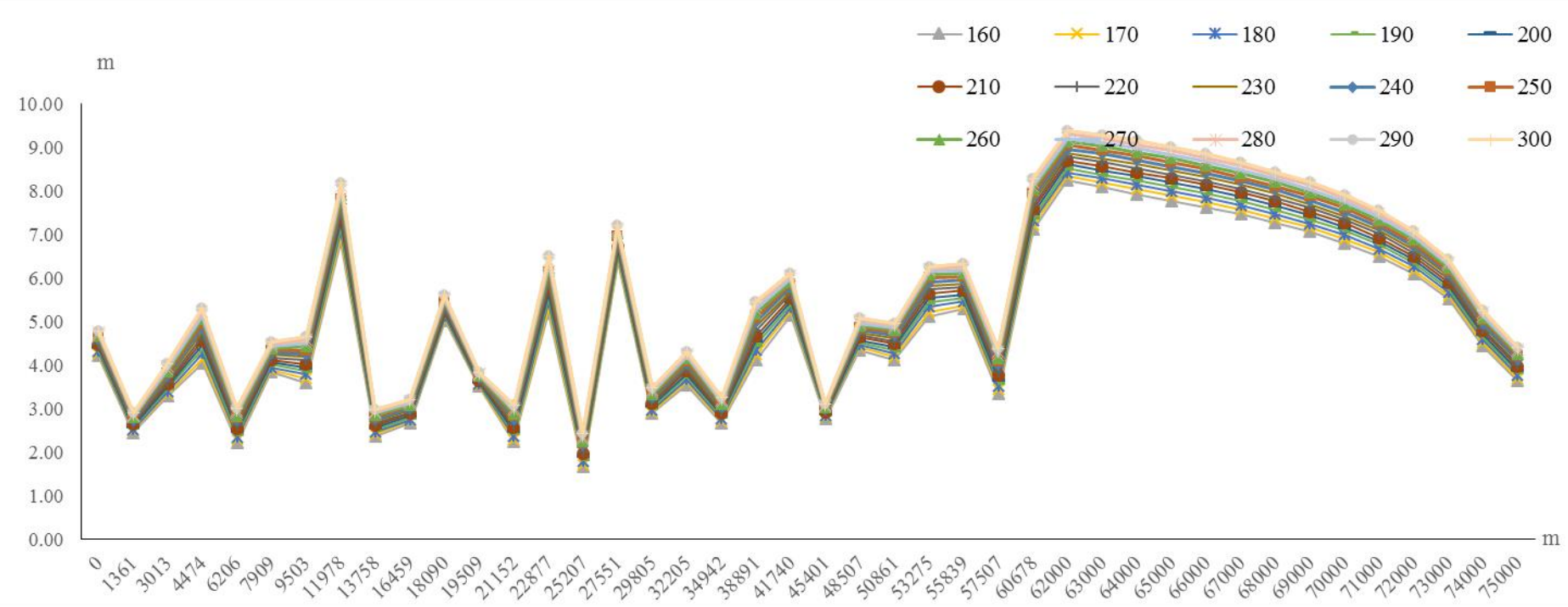



图 5.1-4 计算河段最大水深沿程分布示意图　　单位：m

（6）计算结果统计

各方法计算结果详见表 5.1-6。各方法计算结果占多年平均流量的 10%~28%。

**表 5.1-6　　计算结果统计表**

| 计算方法 | 计算结果（$m^3/s$） | 占多年平均流量比例 | 备注 |
|---|---|---|---|
| Tennant 法 | 99.8 | 10% | |
| Q95 法 | 200 | 20.3% | |
| R2-Cross 法 | 160 | 16% | 一般用水期，坝址实测最小流量，设为坝址处生态基流。 |
| | 280 | 28% | 鱼类产卵期 |
| 生态水力学法 | 180 | 18% | 一般用水期 |
| | 260 | 26% | 鱼类产卵期 |

### 5.1.1.5 生态流量大小及其过程确定

3-4 月为裂腹鱼类集中产卵时段，从天然径流特征来看，该时段径流过程较为平稳，流量从 260$m^3/s$ 左右逐渐增加，至 4 月中旬，流量增加至 360$m^3/s$ 左右，一般在 4 月底会有小洪峰出现，洪峰流量达到 890$m^3/s$ 左右；7~9 月为主汛期，洪峰流量较大。洪水过程一般持续 7~15 日左右，丰水年时洪水历时略长，枯水年时洪水历时稍短。

本工程评价河段涉及的鱼类主要以粘沉性卵鱼类为主，同时还需兼顾中华金沙鳅产卵需求。产粘沉性卵鱼类繁殖期需要相对稳定的水文过程，因此，考虑本工程涉及江段鱼类产卵孵化时间，结合江段天然径流的水文节律特点，3-4 月提出以下要求：在 3 月至 4 月每月分别进行 1 次至少持续 10d 的生态调度过程，期间旭龙电站结合上游苏洼龙泄流过程，保持坝下游河段的天然径流过程；其他时段，结合 3 月份天然来流情况以及各计算方法计算结果，电站按不小于 260$m^3/s$ 下泄，基本可满足下游河段用水需求。

4 月下旬至 6 月，滇中引水工程下泄生态流量 411$m^3/s$，为保障滇中引水工程生态流量下泄满足程度，旭龙水电站按不小于 280$m^3/s$ 下泄。

5-7 月，为黄石爬鮡集中产卵时段，该时段结合 4 月下旬至 6 月的要求，电站按不小于 280$m^3/s$ 下泄。

6-7 月，为中华金沙鳅集中产卵时段，该时段当上游发生洪水时，旭龙水电站可采用按来流下泄方式，不改变洪水过程。

表 5.1-7　旭龙水电站下游维持水生生态系统稳定需水过程说明表

| 时段 | | 推荐流量过程 |
|---|---|---|
| 时段划分 | 划分依据 | 流量过程 |
| 1-2 月 | 非鱼类集中产卵期，保障下游滇中引水 300m³/s | 不低于 180m³/s |
| 3 月至 4 月中旬 | 长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼等裂腹鱼类产卵期 | 在 3 月至 4 月每月分别进行 1 次至少持续 10d 的生态调度过程，期间旭龙电站结合上游苏洼龙泄流过程，保持坝下游河段的天然径流过程。 |
| | 其他时段，保障下游滇中引水 300m³/s | 下泄不低于 260m³/s |
| 4 月下旬至 6 月 | 保障下游滇中引水 411m³/s 的生态流量 | 下泄不低于 280m³/s，当上游发生洪水时，旭龙水电站可采用按来流下泄方式，不改变洪水过程 |
| | 黄石爬鮡产卵期（一般 5 月份开始产卵） | |
| 7 月 | 黄石爬鮡、中华金沙鳅产卵期 | |
| 8 月-12 月 | 非鱼类集中产卵期，保障下游滇中引水 300m³/s | 不低于 180m³/s |

### 5.1.1.6 合理性分析

（1）流量大小的协调

根据《关于金沙江上游苏洼龙水电站环境影响报告书的批复》（环审[2015]77号），工程下泄生态流量不低于 152 m³/s。旭龙水电站距离苏洼龙坝址 85.51km，区间汇入支流主要包括麦曲河、丹达曲。其中麦曲河多年平均流量 20m³/s，丹达曲多年平均流量 32 m³/s。根据上述两条河河口位置的丹达河水电站、昌波二级水电站设计成果，河口处枯期逐月径流量占年均径流量的 2~4%左右，据此估算，丹达河多年平均最枯月均流量约 3.8 m³/s，麦曲河多年平均最枯月均流量约 2.8m³/s。根据得荣站 1960～2013 年降水量资料统计，多年平均降水量 339.4mm，降雨量较少，属于干旱地区，区间汇流主要以上述两条支流为主，根据坝址实测径流测算，坝址实测最小径流约 160 m³/s，但考虑旭龙水电站调节能力以及上游来水情况，按 1953-2015 年长系列逐旬旬均来流考虑，电站下泄 180m³/s 的保证率达到 100%，但按日均流量，电站下泄 180m³/s 的保证率约为 98%。

报告书提出的一般用水期 180 m³/s、鱼类产卵期 280 m³/s 均大于上游苏洼龙最小下泄流量。因此，从流量大小上来看，旭龙水电站与上游苏洼龙电站之间是协调的。

根据《金沙江上游苏洼龙水电站环境影响报告书》，生态流量确定主要考虑了下游鱼类产卵繁殖需求，且主要考虑的对象包括长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、软

刺裸裂尻、黄石爬鮡等，与旭龙江段鱼类资源分布相似度较高。因此，旭龙水电站与上游苏洼龙水电站之间的生态流量确定是协调的。

（2）与下游的协调

旭龙水电站下泄生态流量确定，考虑的要素主要包括鱼类产卵繁殖需求以及下游滇中引水工程取水需求。根据《长江流域综合规划（2012～2030 年）》，奔子栏和石鼓断面的生态流量分别为 234$m^3$/s 和 298$m^3$/s；在 2016 年 8 月批复的《滇中引水工程环境影响报告书》中确定石鼓取水口断面生态流量 4 月下旬至 6 月为 411$m^3$/s，7 月至次年 4 月中旬为 300$m^3$/s。

旭龙水电站坝址距离石鼓断面约 270km，区间支流包括定曲河、瓮水河、支巴洛河等支流，区间多年平均汇水流量约 220 $m^3$/s。旭龙水电站 3 月至 9 月，下泄生态流量 280 $m^3$/s，远大于奔子栏要求的 234$m^3$/s，基本可满足石鼓取水口断面最小下泄流量需求；非鱼类产卵期，电站最小下泄 180 $m^3$/s，按区间实测最小的流量差值，下游奔子栏水位站断面流量最小不低于 220 $m^3$/s，同样可基本满足石鼓断面该时段取水口断面最小下泄流量要求。

### 5.1.2 水文情势预测思路及方法

目前，苏洼龙水电站已开工建设，为分析旭龙水电站成库后库区、坝下游水文情势的变化，通过分析旭龙水电站库区河道形态、重要支流汇集以及重要敏感水域水文情势分布情况，选择典型代表断面进行水文情势预测。

以上游苏洼龙水电站下泄过程为来流条件，以确定的生态流量及下泄过程，作为电站调度的约束条件，确定电站典型日调度过程，并以此作为水文情势预测的边界条件，分析库区及坝下游水文情势变化。

（1）评价范围

根据旭龙水电站环境影响评价工作需要，旭龙水电站库区水文情势评价范围拟定为麦曲河河口上游 1.2km 至旭龙坝址共计 63.5km 江段。旭龙水电站坝下水文情势评价范围拟定为旭龙坝址至奔子栏水文站共计 75.0km 江段。

（2）计算工况设置

根据金沙江上游梯级开发情况，拟定工况为：

根据金沙江上游梯级开发情况，拟定工况为：

工况一：考虑上游叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙联合调度，无旭龙水电站；

工况二：考虑上游叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙联合调度，有旭龙水电站。

（3）评价方法

旭龙电站主要承担基荷和腰荷，可根据电力系统需求进行适度调峰运行，水库汛期尽量维持在高水位运行，该时段电站调度基本按来流下泄，旭龙水电站调度原则与上游苏洼龙水电站基本一致。因此，本次评价结合江段鱼类产卵季节分布以及上游苏洼龙水电站调度运行原则，选择平水时段和枯水时段作为典型，进行预测评价。

假定建库前后同一设计频率下入库流量保持不变，建库后库区河段水文情势的变化主要取决于坝前雍水高度，坝下水文情势变化主要取决于旭龙坝址下泄流量。

本次评价库区首先采用对比分析法分析建库前后不同水期坝前水位的变化情况；其次，以建库前后水文计算的成果作为边界条件，通过建立一维水动力模型模拟库区各典型断面水位、流速、水深和水面宽的变化情况；坝下首先采用对比分析法分析坝址处出库流量与天然流量变化情况，然后通过建立一维水动力模型模拟坝下各典型断面水位、流速的变化情况。一维水动力模型计算原理如下：

针对梯级电站恒定流水文要素的预测评价，数学模型采用丹麦水力研究所开发的专业商用软件 MIKE11。其数学模型采用一维水流运动的控制方程圣维南方程，即：

连续方程：$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q_l$

运动方程：$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial Z}{\partial x}+g\frac{Q|Q|}{C^2AR}=\frac{Q}{A}q_l$

式中，$Q$ 为过水断面平均流量，$C$ 为谢才阻力系数，$R$ 为过水断面的水力半径，$g$ 为重力加速度，$Z$ 为水位。计算时采用流量模数 $K=AC\sqrt{R}$，且将谢才阻力系数转化为常用的糙率 $n$，$C=\frac{1}{n}R^{1/6}$。

库区上边界条件为恒定流，下边界条件建库前为旭龙坝址断面的水位流量关系，建库后为旭龙坝址处日水位过程；坝下上边界条件为出库流量，下边界条件为奔子栏水文站实测水位。

（4）计算条件

第一类代表性流量：代表 3～4 月枯水期的枯水典型日（长系列历时保证率 90%）；

第二类代表性流量：代表 11 月平水期典型日（长系列历时保证率 50%）；

**表 5.1-8　典型日旭龙水电站下泄流量过程**

| 时段 | 枯水典型日（保证率 90%） | | | | 平水期典型日（保证率 50%） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 入库流量（$m^3/s$） | 下泄流量（$m^3/s$） | 时段初坝前水位（m） | 电站尾水位（m） | 入库流量（$m^3/s$） | 下泄流量（$m^3/s$） | 时段初坝前水位（m） | 电站尾水位（m） |
| 1 | 217 | 230 | 2301.95 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.90 | 2146.57 |
| 2 | 217 | 230 | 2301.95 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.85 | 2146.57 |
| 3 | 217 | 230 | 2301.94 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.80 | 2146.57 |
| 4 | 217 | 230 | 2301.94 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.76 | 2146.57 |
| 5 | 217 | 230 | 2301.94 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.71 | 2146.57 |
| 6 | 217 | 230 | 2301.94 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.66 | 2146.57 |
| 7 | 217 | 230 | 2301.93 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.61 | 2146.57 |
| 8 | 217 | 230 | 2301.93 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.57 | 2146.57 |
| 9 | 217 | 230 | 2301.93 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.52 | 2146.57 |
| 10 | 217 | 410 | 2301.93 | 2146.30 | 239 | 890 | 2301.47 | 2148.46 |
| 11 | 217 | 410 | 2301.88 | 2146.30 | 1642 | 890 | 2301.33 | 2148.46 |
| 12 | 217 | 410 | 2301.84 | 2146.30 | 958 | 890 | 2301.49 | 2148.46 |
| 13 | 217 | 410 | 2301.80 | 2146.30 | 239 | 460 | 2301.51 | 2146.57 |
| 14 | 217 | 410 | 2301.76 | 2146.30 | 239 | 460 | 2301.46 | 2146.57 |
| 15 | 217 | 410 | 2301.72 | 2146.30 | 239 | 460 | 2301.41 | 2146.57 |
| 16 | 217 | 410 | 2301.67 | 2146.30 | 239 | 460 | 2301.36 | 2146.57 |
| 17 | 217 | 460 | 2301.63 | 2146.57 | 958 | 890 | 2301.31 | 2148.46 |
| 18 | 217 | 460 | 2301.58 | 2146.57 | 1642 | 890 | 2301.33 | 2148.46 |
| 19 | 1248 | 460 | 2301.53 | 2146.57 | 1642 | 890 | 2301.49 | 2148.46 |
| 20 | 1248 | 460 | 2301.70 | 2146.57 | 1642 | 890 | 2301.66 | 2148.46 |
| 21 | 1056 | 460 | 2301.87 | 2146.57 | 1642 | 890 | 2301.82 | 2148.46 |
| 22 | 217 | 410 | 2302.00 | 2146.30 | 958 | 890 | 2301.98 | 2148.46 |
| 23 | 217 | 230 | 2301.96 | 2145.21 | 239 | 460 | 2302.00 | 2146.57 |
| 24 | 217 | 230 | 2301.95 | 2145.21 | 239 | 460 | 2301.95 | 2146.57 |
| 最大 | | 460 | 2302.00 | 2146.57 | | 890 | 2302.00 | 2148.46 |
| 最小 | | 230 | 2301.53 | 2145.21 | | 460 | 2301.31 | 2146.57 |
| 变幅 | | 230 | 0.47 | 1.36 | | 430 | 0.68 | 1.89 |

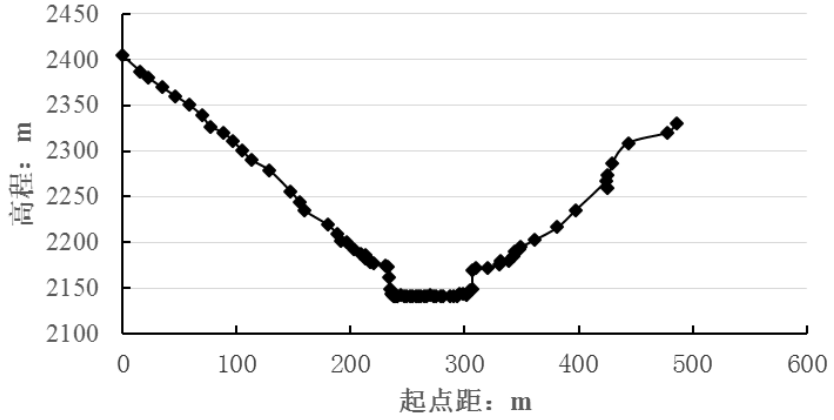
（4）典型断面选取

为分析预测旭龙水电站成库后库区及坝下水文情势的变化，根据本工程特性，结合水环境、水生态评价要求，库区从上至下游选取了 11 个具有代表性的断面进行水文情势影响预测。库区各代表断面特性及位置如下表所示。

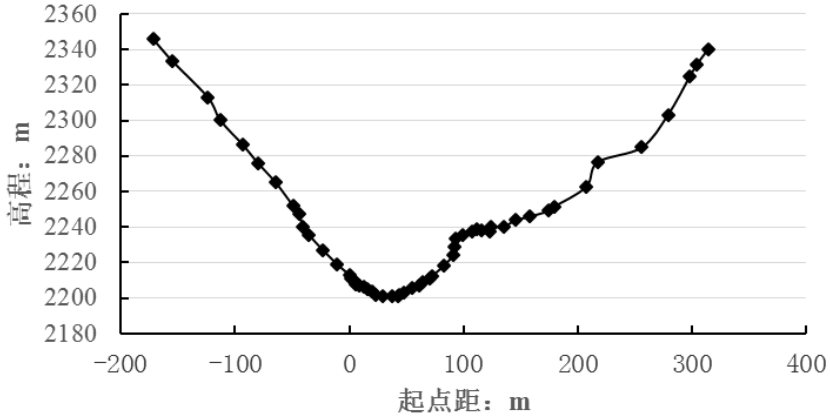
**表 5.1-9　旭龙水电站库区河段代表性断面**

| 断面名称 | 断面编号 | 距坝址距离（m） |
| --- | --- | --- |
| 麦曲河口 | #58 | 62825 |
| 羊拉登桥 | #54 | 57772 |
| 中心绒乡 | #52 | 54211 |
| 地巫乡 | #47 | 45572 |
| 中岩河口 | #41 | 34778 |
| 丹达河河口上 | #38 | 29333 |
| 丹达河河口下 | #37 | 28029 |
| 贡波乡 | #36 | 25950 |
| 唐吉格 | #28 | 15500 |
| 格亚顶河口 | #25 | 12251 |
| 坝前 | #17 | 0 |

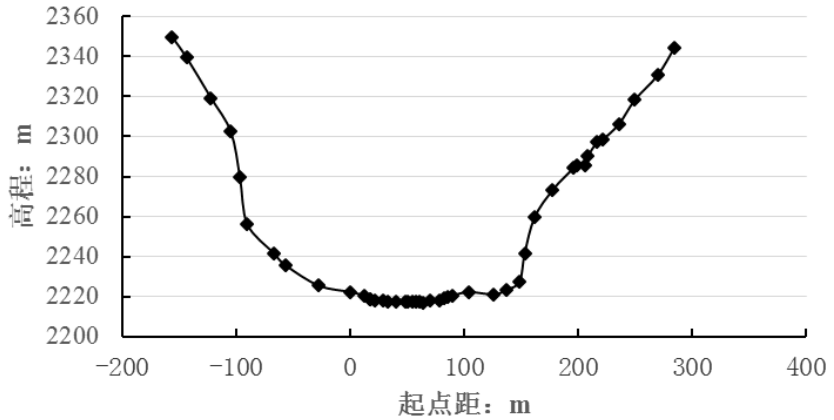
#17断面



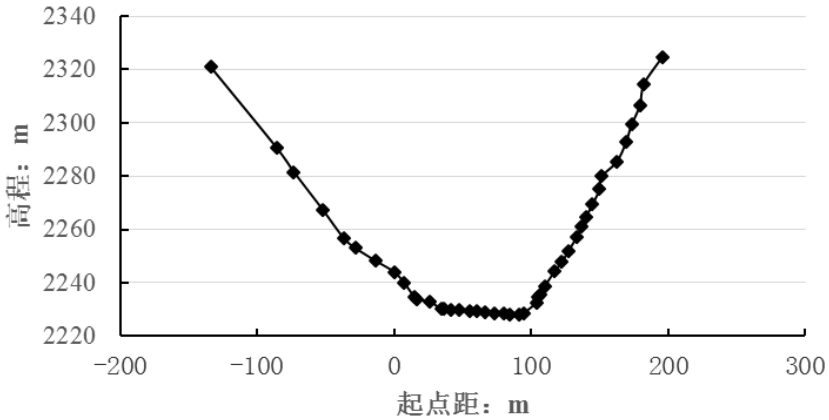

#25断面



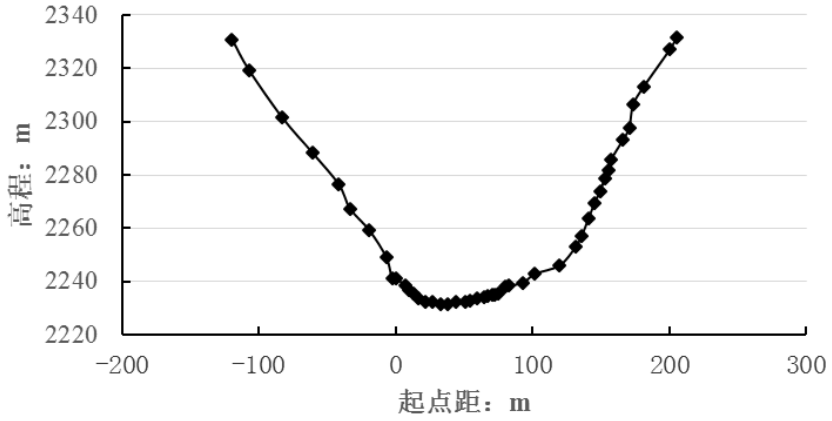

#28断面



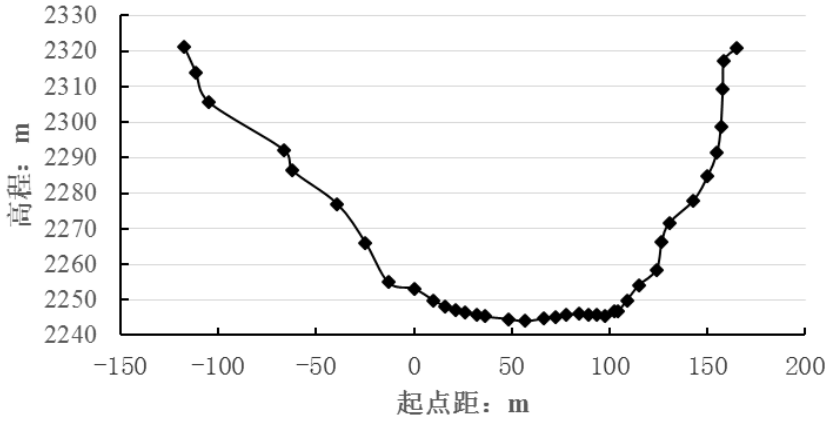

#36断面



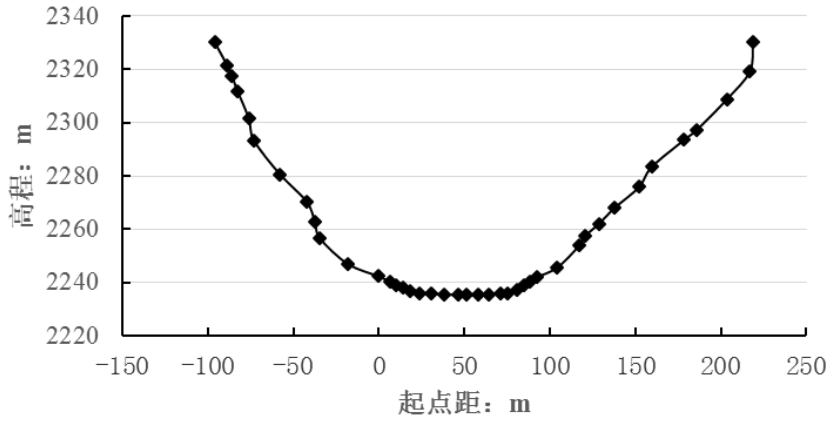
#37断面



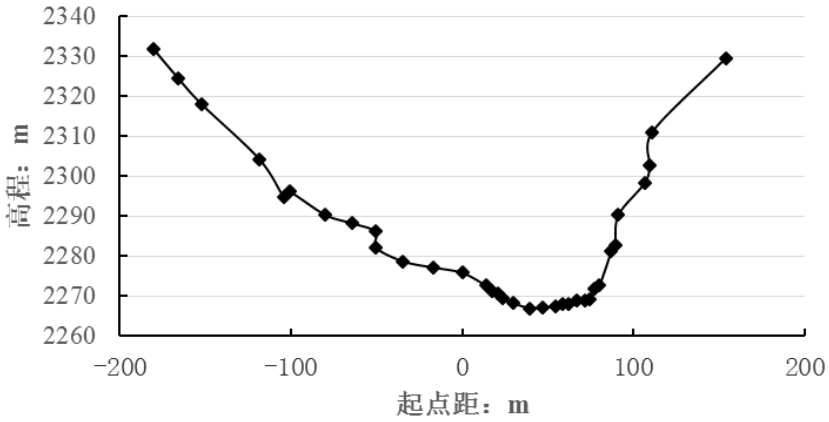

#41断面




#38断面




#47断面



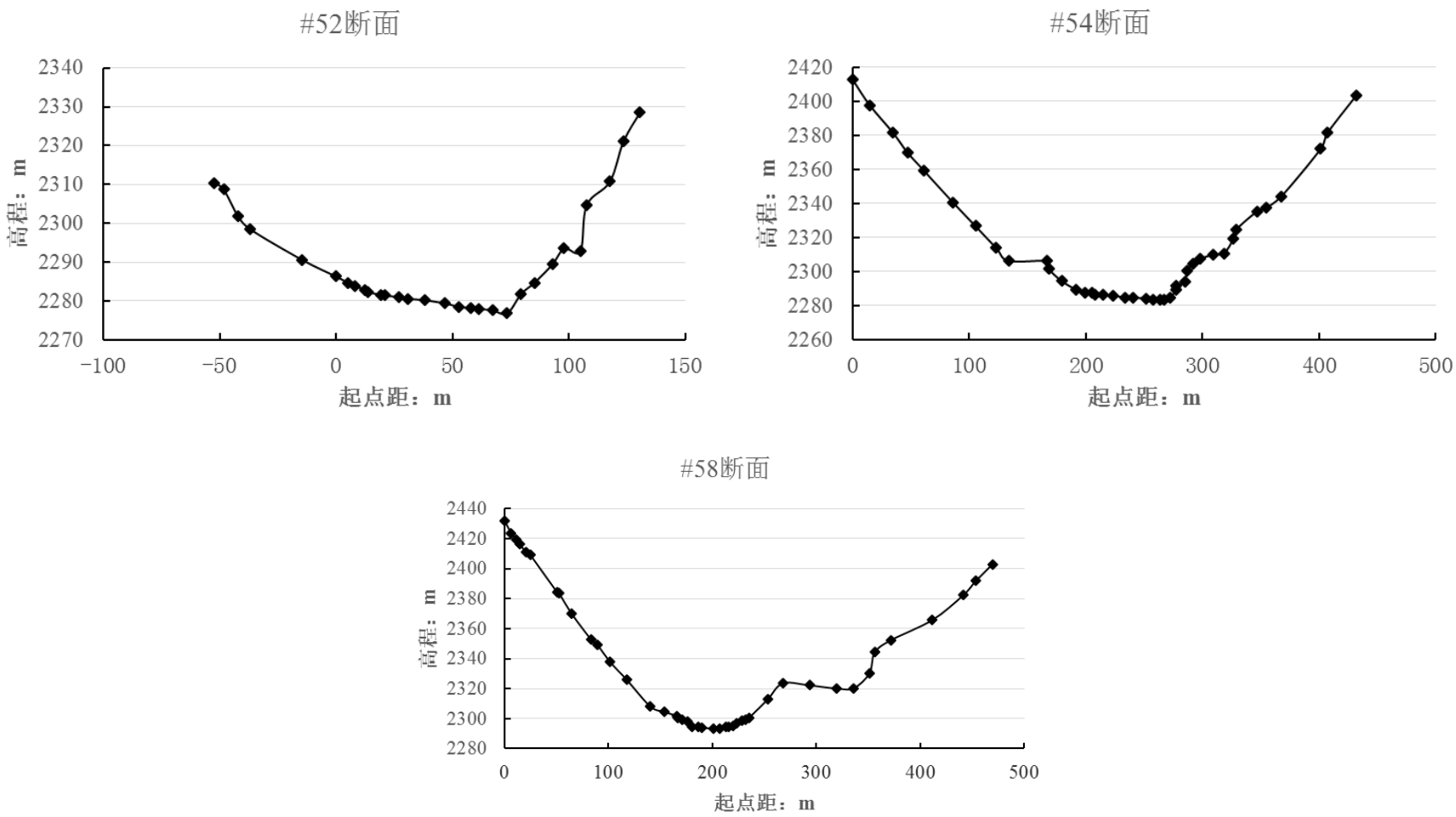



图 5.1-1 旭龙库区水文情势计算选取的典型大断面

## 5.1.3 施工截流及初期蓄水对水文情势的影响

### 5.1.3.1 施工截流期

（1）截流时段、标准及流量

截流时段选择在第2年12月上旬，戗堤顶高程控制采用当月10%洪峰流量，进占采用当月10%月平均流量，截流标准采用12月10%月平均流量447m$^3$/s。

具体截流流量标准见表5.1-10。

**表5.1-10　　截流流量标准**

| 项　　目 | | 流量标准 | 流量（m$^3$/s） | 相应上游水位（m） |
|---|---|---|---|---|
| 龙口 | 戗堤顶高程控制 | 12月～3月10%月最大瞬时流量 | 590 | 2157.97 |
| | 戗堤进占 | 12月10%月平均 | 447 | 2154.01 |

（2）截流方式

根据本工程坝址的地形、施工条件、截流条件及截流难度分析，立堵截流不需修建栈桥或浮桥，具施工简单、快速、施工准备工程量小和费用较低等优点。本工程截流终落差为10.0m，戗堤截流落差为7.35m，截流难度大；截流时左右岸均有施工条件，拟采用单戗双向进占立堵截流的方式。

（3）截流期下游供水

截流分流建筑物为左岸低导流隧洞，隧洞进口底板高程为2146.0m，出口高程为2143.0m，断面为14m×17m城门洞型，导流隧洞长度为1313.18m。

根据工程设计，基于1:80截流模型动床试验成果，截流戗堤布置方案采用顶宽20m水下宽戗堤方案。合拢后戗堤落差为7.35m。在龙口宽33m至17m阶段，堤头及龙中线戗堤范围最大流速分别为8.16m/s、9.38m/s。当口门宽度B=33m形成三角形断面后，导流洞分流比快速提升，最困难段B=25m时导流洞分流比已达64.7%，导流洞分流性能较好。随着截流龙口门宽度的缩小及合拢，龙口泄流逐渐过渡为导流洞泄流，直至完全由导流洞过流，截流期间保持泄流量在447m$^3$/s左右，下游不出现减脱水情况，对上下游水文情势基本无影响。

**表5.1-11　　进占各口门宽度时截流水力特性表**

| 龙口宽(m) | 50 | 40 | 33 | 25 | 17 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 水面宽（m） | 32.80 | 23.60 | 16.80 | 12.80 | 7.60 | 0 |
| 戗堤落差(m) | 0.12 | 0.97 | 3.36 | 4.66 | 5.90 | 7.35 |
| 龙口落差（m） | 0.16 | 1.07 | 3.63 | 4.35 | 5.04 | - |
| 戗堤堰前水位（m） | 2148.68 | 2149.09 | 2150.64 | 2151.85 | 2152.97 | 2153.35 |
| 导流洞分流量($m^3/s$) | 102 | 109 | 163 | 289 | 353 | 385 |
| 导流洞分流比（%） | 22.8 | 24.4 | 36.5 | 64.7 | 79.0 | 86.1 |
| 左堤头最大流速(m/s) | 0.36 | 5.67 | 8.16 | 7.50 | 7.40 | - |
| 右堤头最大流速(m/s) | 3.73 | 5.39 | 8.16 | 7.50 | 7.40 | - |
| 龙中线最大流速(m/s) | 3.83 | 5.67 | 9.38 | 8.28 | 8.84 | - |

### 5.1.3.2 初期蓄水

（1）导流洞下闸封堵期间

根据施工进度及导流程序安排，第 8 年 11 月初高导流隧洞下闸，闸门下闸流量标准为 11 月 10%月平均流量 Q=735$m^3/s$，相应上游水位为 2155.48m，进口水深为 4.48m。此时，由低导流洞向下游供水，根据低导流洞泄流能力计算结果，当上游水位为 2155.48m 时，低导流洞泄流量约 550 $m^3/s$；同时打通旁通洞与高导流隧洞之间的洞壁，调试弧门和启闭设施，第 8 年 11 月下旬，旁通洞内弧门具备下闸条件。

第 8 年 11 月下旬开启旁通洞进口平板门，低导流隧洞下闸，由旁通洞泄流向下游供水。低导流洞下闸流量标准同高导流洞，相应上游水位为 2156.39m，进口水深为 10.39m。此时段，通过旁通洞向下游供水，根据旁通洞泄流能力计算结果，当上游水位为 2156.39m 时，旁通洞泄流量约 91 $m^3/s$，可保证下游不断流，随着坝前水位的上升，旁通洞泄流能力不断增加。待水位上升至中孔满足向下游 180$m^3/s$ 要求时，旁通洞内弧门下闸，导流隧洞堵头施工，由中孔向下游供水。

第 9 年 4 月底导流隧洞堵头施工完成。

表 5.1-12　　低洞泄流能力表

| 水位（m） | 泄量（$m^3/s$） | 水位（m） | 泄量（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|
| 2151.00 | 220 | 2212.97 | 4731 |
| 2151.51 | 253 | 2221.37 | 5067 |
| 2152.01 | 286 | 2230.38 | 5403 |
| 2153.21 | 379 | 2232.88 | 5494 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2154.31 | 472 | 2235.39 | 5584 |
| 2155.51 | 578 | 2240.69 | 5765 |
| 2156.61 | 684 | 2251.60 | 6127 |
| 2157.91 | 808 | 2264.22 | 6517 |
| 2159.11 | 933 | 2277.53 | 6908 |
| 2160.31 | 1065 | 2292.04 | 7309 |
| 2161.42 | 1198 | 2307.46 | 7710 |
| 2162.32 | 1355 | 2323.47 | 8109 |
| 2163.42 | 1712 | 2340.39 | 8508 |
| 2165.32 | 1912 | 2361.71 | 8926 |
| 2167.72 | 2149 | 2381.63 | 9343 |
| 2170.52 | 2387 | 2402.95 | 9770 |
| 2173.83 | 2649 | 2425.17 | 10197 |
| 2177.53 | 2911 | 2436.38 | 10407 |
| 2181.83 | 3186 | 2447.89 | 10618 |
| 2186.54 | 3462 | 2471.62 | 11038 |
| 2192.15 | 3770 | 2499.75 | 11519 |
| 2198.35 | 4077 | 2514.26 | 11760 |
| 2205.36 | 4404 | | |

表 5.1-13　　旁通洞泄流能力表

| 水位（m） | 泄量（$m^3/s$） | 水位（m） | 泄量（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|
| 2151.00 | 0 | 2205.85 | 422 |
| 2151.40 | 6 | 2215.36 | 459 |
| 2152.00 | 17 | 2225.17 | 498 |
| 2152.90 | 31 | 2237.18 | 538 |
| 2153.90 | 48 | 2249.50 | 579 |
| 2155.00 | 67 | 2263.31 | 621 |
| 2156.21 | 88 | 2278.52 | 663 |
| 2157.81 | 111 | 2294.54 | 707 |
| 2159.71 | 136 | 2312.76 | 752 |
| 2161.81 | 162 | 2331.38 | 797 |
| 2164.01 | 190 | 2352.60 | 844 |
| 2168.52 | 219 | 2374.42 | 891 |
| 2173.12 | 250 | 2398.64 | 939 |
| 2177.83 | 282 | 2423.87 | 988 |
| 2183.53 | 315 | 2451.39 | 1038 |
| 2190.34 | 349 | 2480.12 | 1089 |
| 2197.45 | 385 | | |

（2）后期导流

两条导流隧洞和旁通洞均下闸后，中孔具备下泄 180m$^3$/s 能力，由中孔向下游供水。堵头施工期间上游来水由中孔全部敞泄。

第9年5月1日，中孔下闸控泄180m$^3$/s，5月24日水库蓄水至死水位2297m，5月26日水库水位蓄至正常蓄水位2302m；第9年6月初第一批机组开始发电。

表 5.1-14　天然来水流量下闸蓄水过程表

| 项目 | 蓄水时间 | 开始水位（m） | 结束水位（m） | 开始库容（亿m$^3$） | 结束库容（亿m$^3$） | 蓄水库容（亿m$^3$） | 蓄水天数（天） | 蓄水过程 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 低导流隧洞下闸旁通洞下泄 | 第 8 年 11 月 21 日～第 8 年 11 月 23 日 | 2156.39 | 2222.95 | 0.0018 | 0.603 | 0.601 | 2.25 | 水位蓄至中孔具备下泄 180m$^3$/s 能力 |
| 中孔下闸控泄 | 第 9 年 5 月 1 日～第 9 年 5 月 24 日 | 2225.12 | 2297 | 0.663 | 7.012 | 6.349 | 14.67 | 中孔控泄 180m$^3$/s，水库蓄水至死水位 2297m |
| | 第 9 年 5 月 24 日～第 9 年 5 月 26 日 | 2297 | 2302 | 7.012 | 7.813 | 0.801 | 2.92 | 中孔控泄 180m$^3$/s，水库蓄水至正常蓄水位 2302m |

## 5.1.4 运行期对水文情势的影响

### 5.1.4.1 库区水文情势变化

（1）水域形态变化

1）库区干流

旭龙水电站干流库区天然河道平均比降约 1.75‰，正常蓄水位以下库容 7.81 亿 m$^3$；调节库容 0.8 亿 m$^3$，库容系数为 0.25%。正常蓄水位 2302m 时，坝前壅水高 161.4m，水面宽度约 310m。电站坝址处多年平均入库流量 990m$^3$/s，水库形成后库区流速范围从坝前到库尾在 0.0m/s~2.71m/s 逐渐增加，最终在库尾接近天然河道流速。

2）库区支流

丹达曲支库区：按 5 年一遇洪水，丹达曲支库回水长度约 1.99km，最大水面宽 135m，平均水面宽 62m。丹达曲多年平均入库流量约 32.0m$^3$/s，回水淹没区流速范围从汇口到库尾在 0.05m/s～1.02m/s 逐渐增加。

麦曲支库区：麦曲河支库回水长度 127m，由于回水影响范围较小，对麦曲

河流域整体的水文情势影响较小，仅对河口区域水文情势影响显著。回水使得麦曲河河口区，河口区流速减缓，水深增加。

总体来看，旭龙水电站库区平面形态呈条带状，蓄水后改变了原河道滩多水急的河道形态，平均河宽由 54m 增加到 291m，水域面积、体积和过水面积较天然状况显著增大，水体流速明显减缓，库区河段水域环境从急流河道型转为缓流型。

（2）库区水位变化

旭龙库区原天然河道水面线库尾为 2300.6m 递减至坝址处为 2149.2m。水库蓄水后，正常蓄水位为 2302m，库区水位将有不同程度抬升，其中坝前水位比天然水位升了 152.8m。水库具有日调节性能，电站运行时水库水位在正常蓄水位 2302m 与死水位 2297m 之间变动，最大变幅为 5m。

（3）代表断面水力参数变化

采用 MIKE11 一维水力模型计算丰平枯典型日两种工况条件（旭龙建库前，旭龙建库后）的库区各代表性断面处的水力参数。从生态水力学角度选择水位、流速、水深和水面宽等水力参数进行重点分析。

1）水位变化分析

旭龙建库后，库区 8 个典型断面水位较建库前均有所增加。以平水典型日为例，旭龙电站建库前，库区各断面水位为 2237.6m～2299.3m；旭龙电站建库后，库区各断面水位为 2301.0m~2302.0m。旭龙水电站建成运行前，受上游苏洼龙电站调蓄影响，库区河段水位日变幅在 3.4m~6.6m 之间；电站建成运行后，库区河段水位日变幅为 0.7~1.0m。电站建成运行前，库区河段水位最大小时变幅为 3.0m~5.0m，电站建成运行后，最大小时变幅为 0.4m～0.84m。

不同典型日间，平水典型日建库前后水位日变幅、最大小时变幅的变化量大于枯水典型日。

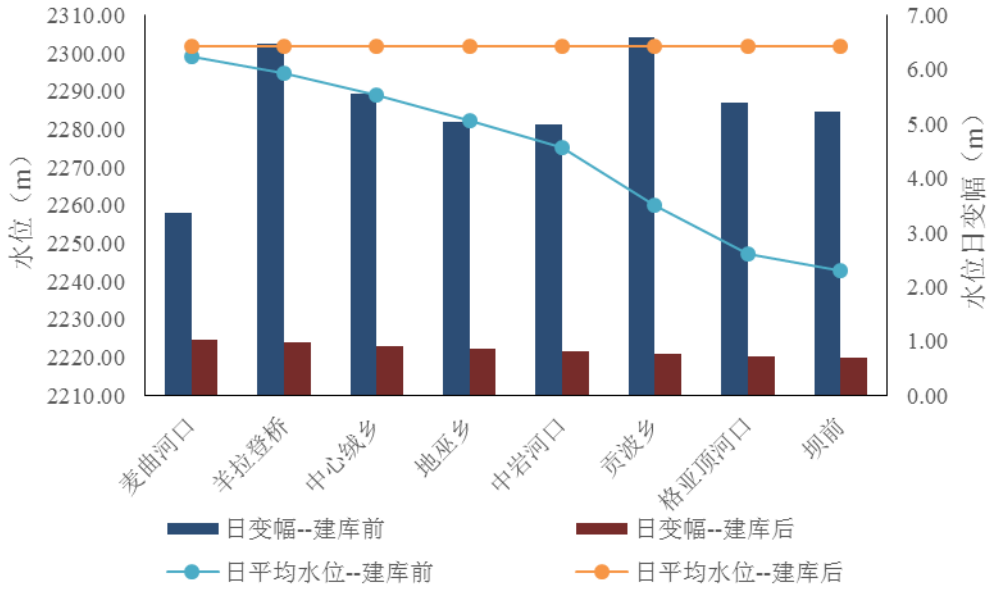



图 5.1-2 平水典型日建库前后库区日均水位及日变幅对比示意图

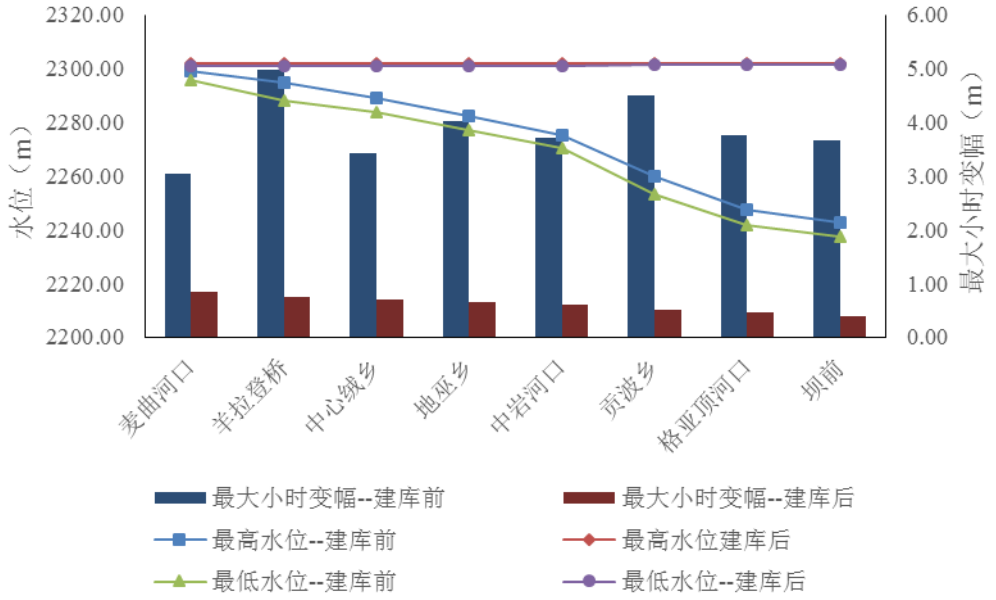



图 5.1-3 平水典型日建库前后库区水位小时变幅对比示意图

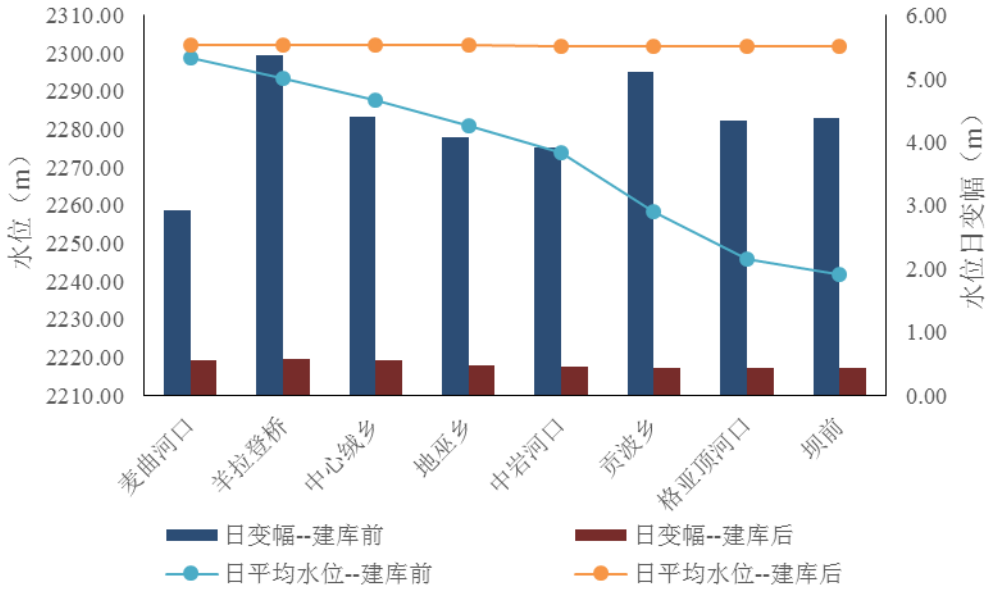



图 5.1-4 枯水典型日建库前后库区日均水位及日变幅对比示意图

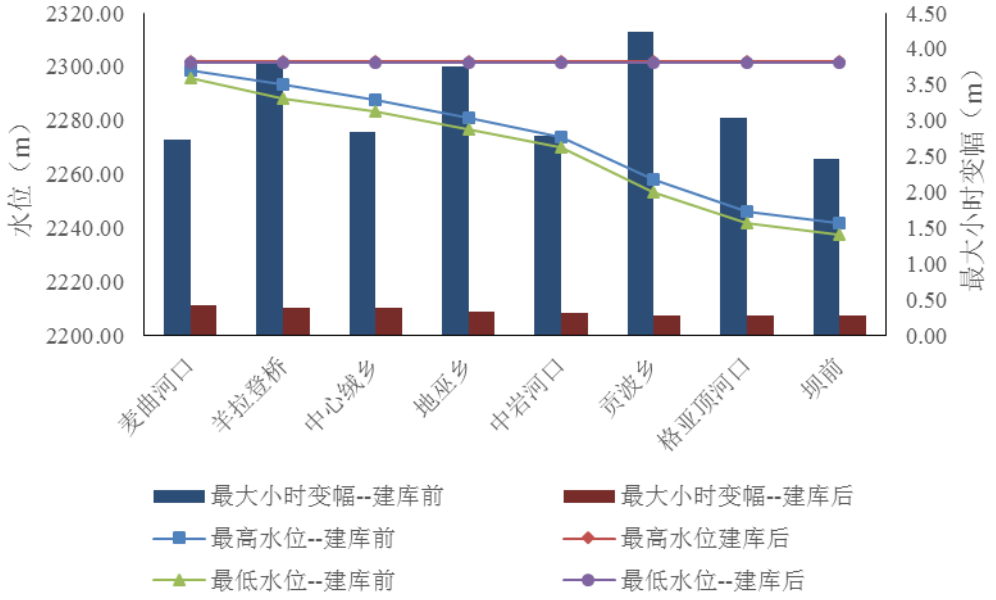



图 5.1-5 枯水典型日建库前后库区日均水位小时变幅对比示意图

2）流速变化分析

平水典型日。旭龙水电站建成运行前，库区各典型断面受上游苏洼龙电站调蓄影响，河段流速日内变幅基本都在 1m/s 左右，库区河段流速均在 0.8m/s 以上，呈急流或较急流。旭龙水电站建成运行后，库区河段流速减缓明显；在苏洼龙水电站调峰时段，库尾 11km 左右河段流速在 0.5m/s 以上，为较急流河段；在苏洼龙水电站非调峰时段，旭龙水电站全库段流速均小于 0.15m/s，呈缓流形态。

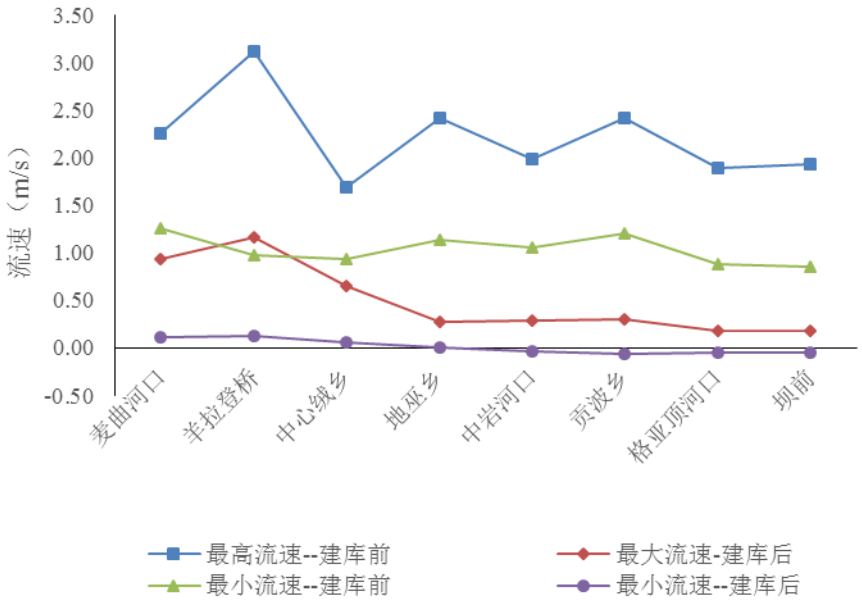



图 5.1-6 平水典型日建库前后库区河段沿程流速对比示意图

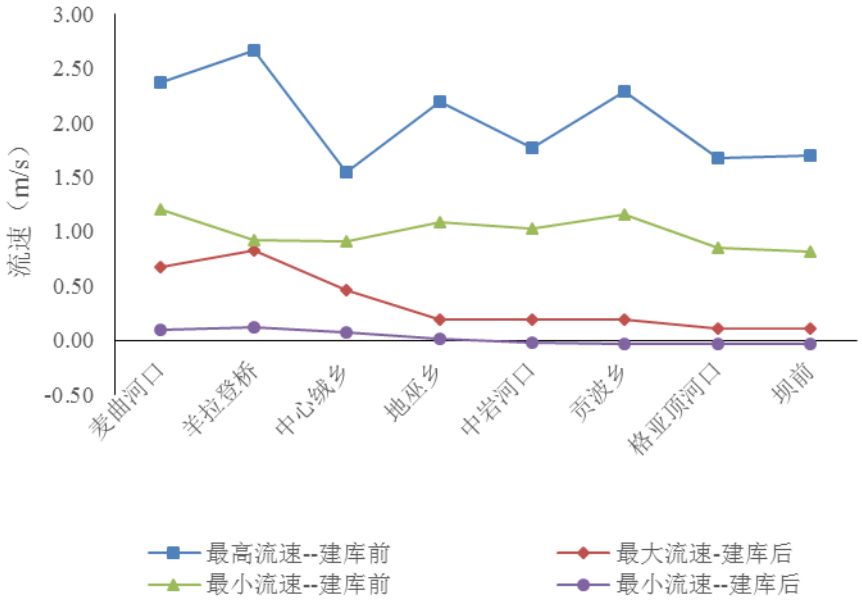
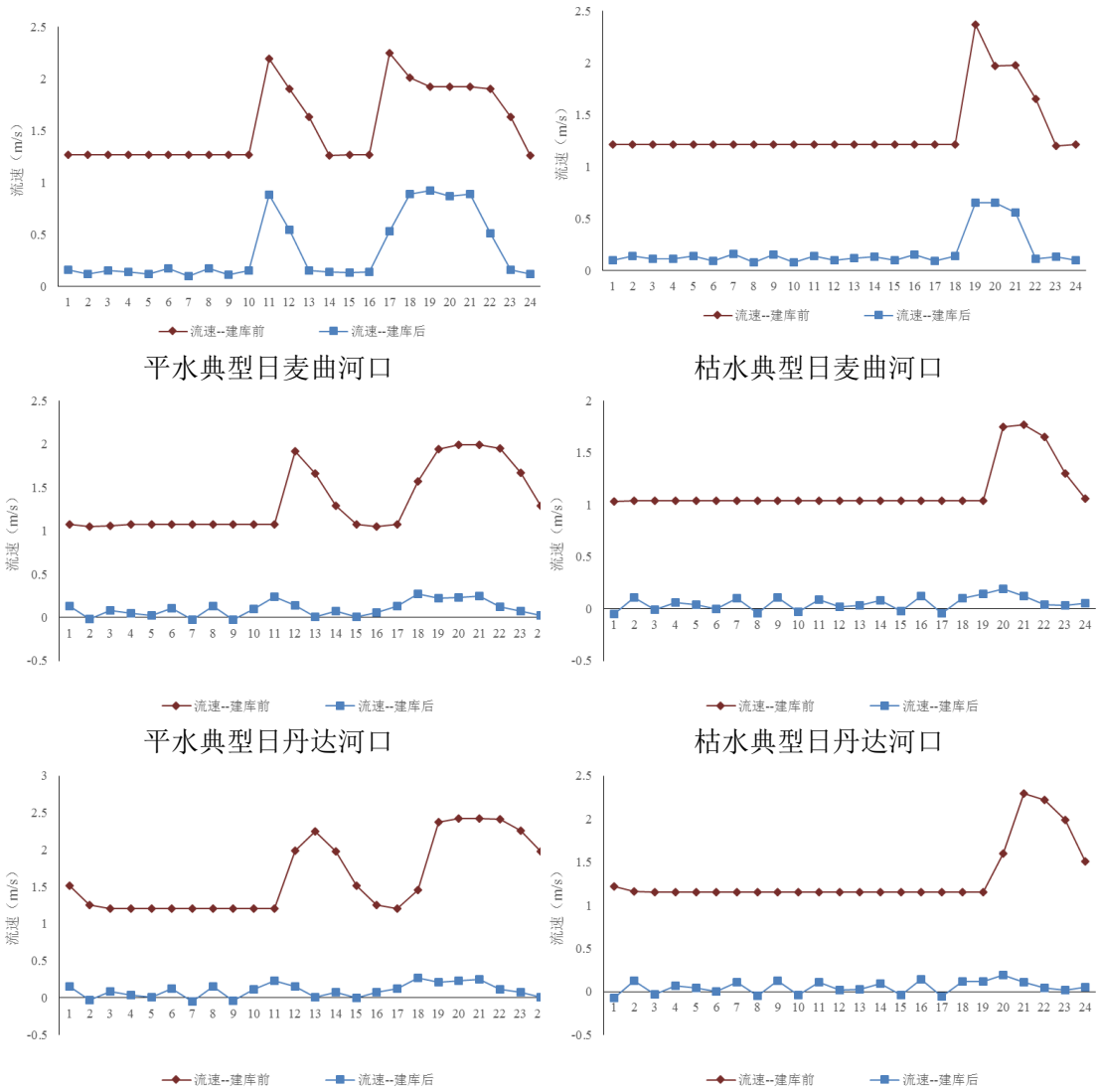



图 5.1-7 枯水典型日建库前后库区河段沿程流速对比示意图




平水典型日麦曲河口　　枯水典型日麦曲河口

平水典型日丹达河口　　枯水典型日丹达河口

平水典型日塘吉格　　枯水典型日塘吉格

**图 5.1-8 库区三处产卵场建库前后流速对比示意图**

3）水面宽

旭龙水电站建库前，受上游苏洼龙电站调蓄影响，库区河段各断面水面宽随着上游来流的变化呈现一定的变化趋势。平水典型日，麦曲河口位置水面宽在58.17m~96.78m 之间，丹达曲河口水面宽在 56.93m~93.82m 之间，塘吉格断面水面宽在 65.92m~144.55m。枯水典型日，上述断面水面宽变化幅度略小于平水典型日。

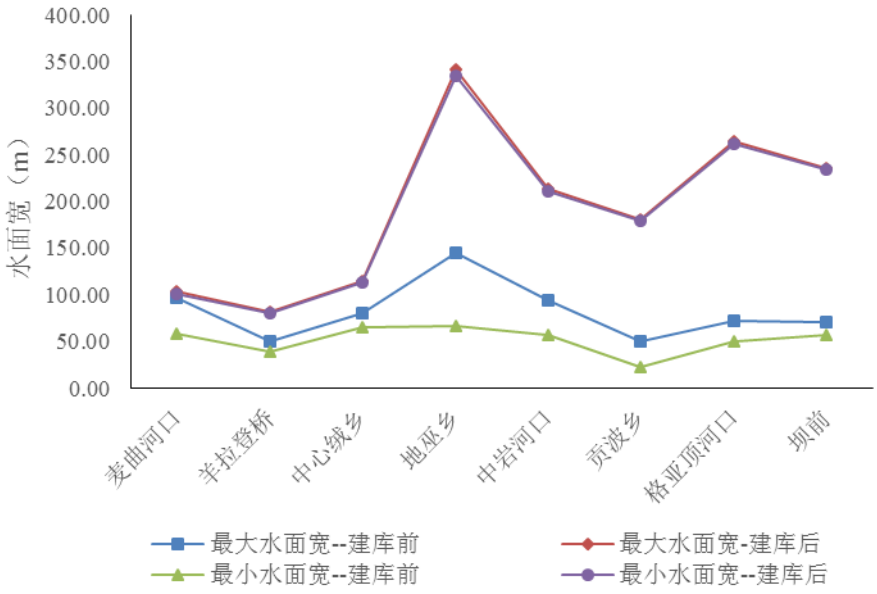



图 5.1-9 平水典型日建库前后库区河段沿程水面宽对比示意图

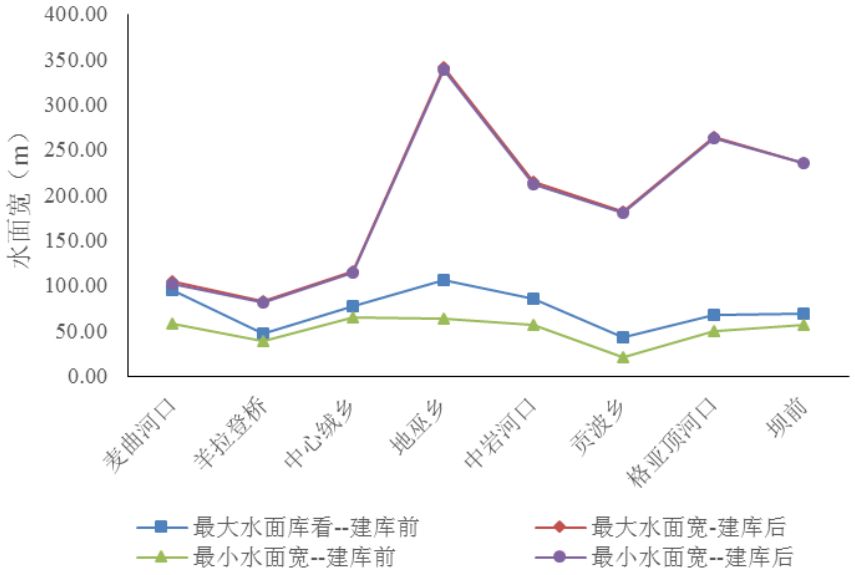
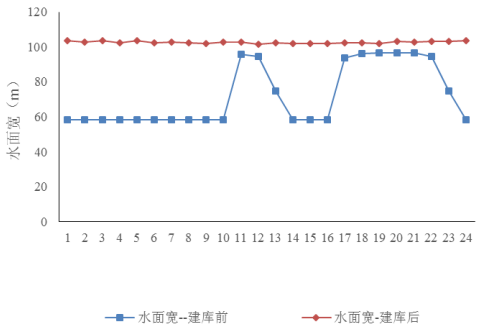
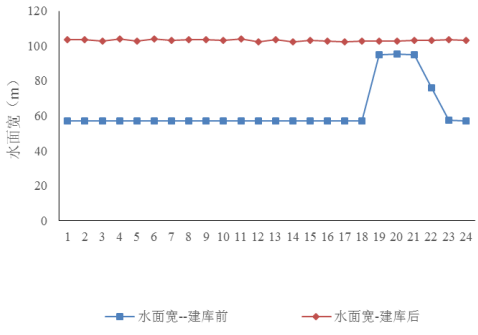


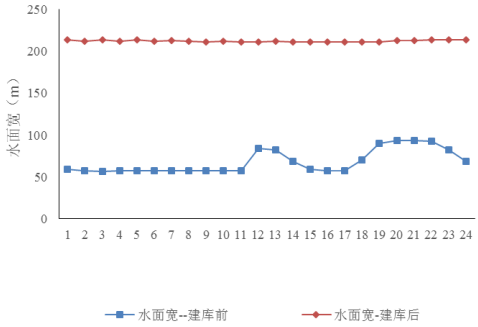

图 5.1-10 枯水典型日建库前后库区河段沿程水面宽对比示意图



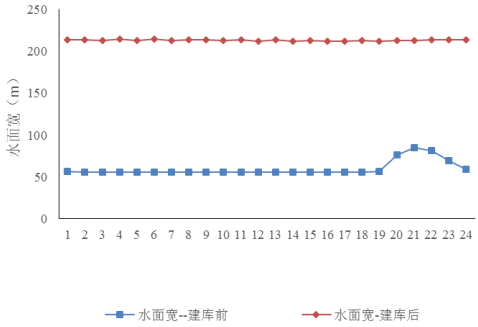

平水典型日麦曲河口



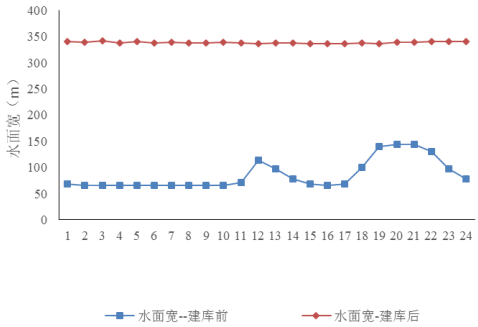

枯水典型日麦曲河口



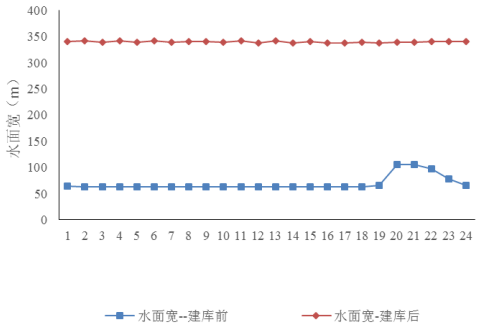

平水典型日丹达河口




枯水典型日丹达河口




平水典型日塘吉格




枯水典型日塘吉格

图 5.1-11 库区三处产卵场建库前后水面宽对比示意图

表 5.1-15　平水典型日旭龙水电站建库前后库区典型断面水力参数变化

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| 水位 | 最高水位 | 建库前 | 2299.27 | 2294.69 | 2289.13 | 2282.19 | 2275.22 | 2259.98 | 2247.28 | 2242.85 |
| | | 建库后 | 2302.03 | 2301.98 | 2301.97 | 2301.99 | 2301.99 | 2302.00 | 2302.00 | 2302.00 |
| | | 变化量 | 2.76 | 7.29 | 12.84 | 19.80 | 26.77 | 42.02 | 54.72 | 59.15 |
| | | 变化率 | 0.12% | 0.32% | 0.56% | 0.87% | 1.18% | 1.86% | 2.43% | 2.64% |
| | 最低水位 | 建库前 | 2295.90 | 2288.21 | 2283.58 | 2277.14 | 2270.23 | 2253.38 | 2241.88 | 2237.62 |
| | | 建库后 | 2301.00 | 2301.01 | 2301.06 | 2301.13 | 2301.18 | 2301.24 | 2301.28 | 2301.30 |
| | | 变化量 | 5.10 | 12.80 | 17.48 | 23.99 | 30.95 | 47.86 | 59.40 | 63.68 |
| | | 变化率 | 0.22% | 0.56% | 0.77% | 1.05% | 1.36% | 2.12% | 2.65% | 2.85% |
| | 日变幅 | 建库前 | 3.37 | 6.48 | 5.55 | 5.05 | 4.99 | 6.60 | 5.40 | 5.23 |
| | | 建库后 | 1.03 | 0.97 | 0.91 | 0.86 | 0.81 | 0.76 | 0.72 | 0.70 |
| | | 变化量 | -2.34 | -5.51 | -4.64 | -4.19 | -4.18 | -5.84 | -4.68 | -4.53 |
| | | 变化率 | -69.44% | -85.03% | -83.60% | -82.97% | -83.77% | -88.48% | -86.67% | -86.62% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 3.04 | 4.98 | 3.43 | 4.02 | 3.70 | 4.49 | 3.75 | 3.66 |
| | | 建库后 | 0.84 | 0.74 | 0.71 | 0.66 | 0.61 | 0.52 | 0.45 | 0.40 |
| | | 变化量 | -2.20 | -4.24 | -2.72 | -3.36 | -3.09 | -3.97 | -3.30 | -3.26 |
| | | 变化率 | -72.37% | -85.14% | -79.30% | -83.58% | -83.51% | -88.42% | -88.00% | -89.07% |
| | 日平均水位 | 建库前 | 2296.94 | 2290.11 | 2285.15 | 2278.62 | 2271.72 | 2255.46 | 2243.62 | 2239.38 |
| | | 建库后 | 2301.66 | 2301.65 | 2301.64 | 2301.64 | 2301.64 | 2301.64 | 2301.64 | 2301.64 |
| | | 变化量 | 4.73 | 11.53 | 16.49 | 23.02 | 29.92 | 46.18 | 58.01 | 62.26 |
| | | 变化率 | 0.21% | 0.50% | 0.72% | 1.01% | 1.32% | 2.05% | 2.59% | 2.78% |
| 流速 | 最大流速 | 建库前 | 2.25 | 3.12 | 1.69 | 2.41 | 1.99 | 2.42 | 1.89 | 1.93 |
| | | 建库后 | 0.94 | 1.16 | 0.65 | 0.27 | 0.29 | 0.30 | 0.18 | 0.18 |
| | | 变化量 | -1.31 | -1.96 | -1.04 | -2.14 | -1.70 | -2.12 | -1.71 | -1.75 |

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| | | 变化率 | -58.22% | -62.82% | -61.54% | -88.80% | -85.43% | -87.60% | -90.48% | -90.67% |
| | 最小流速 | 建库前 | 1.26 | 0.98 | 0.94 | 1.14 | 1.05 | 1.21 | 0.88 | 0.86 |
| | | 建库后 | 0.11 | 0.13 | 0.06 | 0.01 | -0.03 | -0.06 | -0.05 | -0.05 |
| | | 变化量 | -1.15 | -0.85 | -0.88 | -1.13 | -1.08 | -1.27 | -0.93 | -0.91 |
| | | 变化率 | -91.27% | -86.73% | -93.62% | -99.12% | -102.86% | -104.96% | -105.68% | -105.81% |
| | 日变幅 | 建库前 | 0.99 | 2.14 | 0.75 | 1.27 | 0.94 | 1.21 | 1.01 | 1.07 |
| | | 建库后 | 0.83 | 1.03 | 0.59 | 0.26 | 0.32 | 0.36 | 0.23 | 0.23 |
| | | 变化量 | -0.16 | -1.11 | -0.16 | -1.01 | -0.62 | -0.85 | -0.78 | -0.84 |
| | | 变化率 | -16.16% | -51.87% | -21.33% | -79.53% | -65.96% | -70.25% | -77.23% | -78.50% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 0.98 | 1.78 | 0.74 | 0.89 | 0.85 | 0.91 | 0.75 | 0.85 |
| | | 建库后 | 0.72 | 0.89 | 0.51 | 0.20 | 0.20 | 0.23 | 0.15 | 0.15 |
| | | 变化量 | -0.26 | -0.89 | -0.23 | -0.69 | -0.65 | -0.68 | -0.60 | -0.70 |
| | | 变化率 | -26.53% | -50.00% | -31.08% | -77.53% | -76.47% | -74.73% | -80.00% | -82.35% |
| | 日平均流速 | 建库前 | 1.53 | 1.60 | 1.16 | 1.53 | 1.34 | 1.65 | 1.22 | 1.23 |
| | | 建库后 | 0.33 | 0.42 | 0.24 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.05 | 0.05 |
| | | 变化量 | -1.20 | -1.18 | -0.93 | -1.44 | -1.25 | -1.55 | -1.17 | -1.17 |
| | | 变化率 | -78.19% | -73.90% | -79.68% | -93.76% | -93.01% | -94.34% | -95.64% | -95.79% |
| 水深 | 最大水深 | 建库前 | 4.53 | 12.31 | 7.10 | 7.12 | 6.14 | 8.68 | 9.32 | 5.90 |
| | | 建库后 | 6.76 | 18.00 | 17.55 | 20.28 | 25.83 | 38.72 | 48.48 | 52.40 |
| | | 变化量 | 2.23 | 5.69 | 10.45 | 13.16 | 19.69 | 30.04 | 39.16 | 46.50 |
| | | 变化率 | 49.23% | 46.22% | 147.18% | 184.83% | 320.68% | 346.08% | 420.17% | 788.14% |
| | 最小水深 | 建库前 | 1.94 | 7.34 | 2.57 | 4.07 | 2.34 | 3.77 | 5.25 | 1.78 |
| | | 建库后 | 5.92 | 17.23 | 16.81 | 19.65 | 25.25 | 38.23 | 47.97 | 51.86 |
| | | 变化量 | 3.98 | 9.89 | 14.24 | 15.58 | 22.91 | 34.46 | 42.72 | 50.08 |
| | | 变化率 | 205.15% | 134.74% | 554.09% | 382.80% | 979.06% | 914.06% | 813.71% | 2813.48% |

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| | 日变幅 | 建库前 | 2.59 | 4.97 | 4.53 | 3.05 | 3.80 | 4.91 | 4.07 | 4.12 |
| | | 建库后 | 0.84 | 0.77 | 0.74 | 0.63 | 0.58 | 0.49 | 0.51 | 0.54 |
| | | 变化量 | -1.75 | -4.20 | -3.79 | -2.42 | -3.22 | -4.42 | -3.56 | -3.58 |
| | | 变化率 | -67.57% | -84.51% | -83.66% | -79.34% | -84.74% | -90.02% | -87.47% | -86.89% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 2.31 | 3.78 | 2.80 | 2.61 | 2.80 | 3.33 | 2.81 | 2.90 |
| | | 建库后 | 0.68 | 0.59 | 0.58 | 0.48 | 0.44 | 0.34 | 0.31 | 0.31 |
| | | 变化量 | -1.63 | -3.19 | -2.22 | -2.13 | -2.36 | -2.99 | -2.50 | -2.59 |
| | | 变化率 | -70.56% | -84.39% | -79.29% | -81.61% | -84.29% | -89.79% | -88.97% | -89.31% |
| | 日平均水深 | 建库前 | 2.74 | 8.80 | 3.85 | 5.00 | 3.48 | 5.32 | 6.57 | 3.16 |
| | | 建库后 | 6.46 | 17.74 | 17.28 | 20.03 | 25.58 | 38.49 | 48.22 | 52.12 |
| | | 变化量 | 3.73 | 8.94 | 13.43 | 15.03 | 22.10 | 33.17 | 41.65 | 48.96 |
| | | 变化率 | 136.15% | 101.59% | 348.44% | 300.89% | 635.97% | 623.85% | 634.04% | 1546.87% |
| 水面宽 | 最大水面宽 | 建库前 | 96.78 | 49.76 | 80.15 | 144.55 | 93.82 | 50.65 | 72.37 | 71.21 |
| | | 建库后 | 103.64 | 82.03 | 115.23 | 340.86 | 213.64 | 181.24 | 264.30 | 235.67 |
| | | 变化量 | 6.86 | 32.27 | 35.08 | 196.31 | 119.82 | 130.59 | 191.93 | 164.46 |
| | | 变化率 | 7.09% | 64.85% | 43.77% | 135.81% | 127.71% | 257.83% | 265.21% | 230.95% |
| | 最小水面宽 | 建库前 | 58.17 | 38.44 | 64.95 | 65.92 | 56.93 | 22.00 | 50.46 | 56.65 |
| | | 建库后 | 101.07 | 80.54 | 112.74 | 335.16 | 210.39 | 178.65 | 261.95 | 233.75 |
| | | 变化量 | 42.90 | 42.10 | 47.79 | 269.24 | 153.46 | 156.65 | 211.49 | 177.10 |
| | | 变化率 | 73.75% | 109.52% | 73.58% | 408.43% | 269.56% | 712.05% | 419.12% | 312.62% |
| | 日变幅 | 建库前 | 38.61 | 11.32 | 15.20 | 78.63 | 36.89 | 28.65 | 21.91 | 14.56 |
| | | 建库后 | 2.57 | 1.49 | 2.49 | 5.70 | 3.25 | 2.59 | 2.35 | 1.92 |
| | | 变化量 | -36.04 | -9.83 | -12.71 | -72.93 | -33.64 | -26.06 | -19.56 | -12.64 |
| | | 变化率 | -93.34% | -86.84% | -83.62% | -92.75% | -91.19% | -90.96% | -89.27% | -86.81% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 37.74 | 8.61 | 9.40 | 42.75 | 27.15 | 19.39 | 15.15 | 10.24 |

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| | | 建库后 | 2.09 | 1.14 | 1.96 | 4.40 | 2.46 | 1.80 | 1.46 | 1.11 |
| | | 变化量 | -35.65 | -7.47 | -7.44 | -38.35 | -24.69 | -17.59 | -13.69 | -9.13 |
| | | 变化率 | -94.46% | -86.76% | -79.15% | -89.71% | -90.94% | -90.72% | -90.36% | -89.16% |
| | 日平均水面宽 | 建库前 | 71.55 | 41.76 | 69.26 | 85.40 | 67.95 | 31.02 | 57.54 | 61.54 |
| | | 建库后 | 102.73 | 81.52 | 114.34 | 338.55 | 212.21 | 180.00 | 263.11 | 234.67 |
| | | 变化量 | 31.18 | 39.76 | 45.07 | 253.14 | 144.26 | 148.98 | 205.58 | 173.14 |
| | | 变化率 | 43.59% | 95.21% | 65.08% | 296.41% | 212.30% | 480.23% | 357.29% | 281.35% |

表 5.1-16　枯水典型日旭龙水电站建库前后库区典型断面水力参数变化

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| 水位 | 最高水位 | 建库前 | 2298.70 | 2293.37 | 2287.84 | 2281.01 | 2274.01 | 2258.28 | 2246.00 | 2241.86 |
| | | 建库后 | 2302.13 | 2302.12 | 2302.10 | 2302.06 | 2302.05 | 2302.04 | 2302.03 | 2302.03 |
| | | 变化量 | 3.43 | 8.75 | 14.26 | 21.05 | 28.04 | 43.76 | 56.03 | 60.17 |
| | | 变化率 | 0.15% | 0.38% | 0.62% | 0.92% | 1.23% | 1.94% | 2.49% | 2.68% |
| | 最低水位 | 建库前 | 2295.77 | 2288.00 | 2283.43 | 2276.94 | 2270.10 | 2253.18 | 2241.67 | 2237.47 |
| | | 建库后 | 2301.58 | 2301.54 | 2301.55 | 2301.58 | 2301.60 | 2301.60 | 2301.59 | 2301.59 |
| | | 变化量 | 5.81 | 13.54 | 18.12 | 24.64 | 31.50 | 48.42 | 59.92 | 64.12 |
| | | 变化率 | 0.25% | 0.59% | 0.79% | 1.08% | 1.39% | 2.15% | 2.67% | 2.87% |
| | 日变幅 | 建库前 | 2.93 | 5.37 | 4.41 | 4.07 | 3.91 | 5.10 | 4.33 | 4.39 |
| | | 建库后 | 0.55 | 0.58 | 0.55 | 0.48 | 0.45 | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| | | 变化量 | -2.38 | -4.79 | -3.86 | -3.59 | -3.46 | -4.66 | -3.89 | -3.95 |
| | | 变化率 | -81.23% | -89.20% | -87.53% | -88.21% | -88.49% | -91.37% | -89.84% | -89.98% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 2.73 | 3.79 | 2.84 | 3.76 | 2.78 | 4.24 | 3.04 | 2.46 |
| | | 建库后 | 0.42 | 0.39 | 0.38 | 0.34 | 0.31 | 0.28 | 0.27 | 0.27 |
| | | 变化量 | -2.31 | -3.40 | -2.46 | -3.42 | -2.47 | -3.96 | -2.77 | -2.19 |
| | | 变化率 | -84.62% | -89.71% | -86.62% | -90.96% | -88.85% | -93.40% | -91.12% | -89.02% |
| | 日平均水位 | 建库前 | 2296.16 | 2288.67 | 2283.96 | 2277.46 | 2270.62 | 2253.93 | 2242.34 | 2238.16 |
| | | 建库后 | 2301.85 | 2301.85 | 2301.85 | 2301.85 | 2301.85 | 2301.85 | 2301.85 | 2301.85 |
| | | 变化量 | 5.69 | 13.17 | 17.89 | 24.38 | 31.23 | 47.91 | 59.50 | 63.68 |
| | | 变化率 | 0.25% | 0.58% | 0.78% | 1.07% | 1.38% | 2.13% | 2.65% | 2.85% |
| 流速 | 最大流速 | 建库前 | 2.37 | 2.66 | 1.54 | 2.19 | 1.77 | 2.29 | 1.68 | 1.70 |
| | | 建库后 | 0.67 | 0.82 | 0.46 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.11 | 0.11 |
| | | 变化量 | -1.70 | -1.84 | -1.08 | -2.00 | -1.58 | -2.10 | -1.57 | -1.59 |
| | | 变化率 | -71.73% | -69.17% | -70.13% | -91.32% | -89.27% | -91.70% | -93.45% | -93.53% |

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| | 最小流速 | 建库前 | 1.20 | 0.92 | 0.91 | 1.08 | 1.03 | 1.15 | 0.85 | 0.81 |
| | | 建库后 | 0.10 | 0.12 | 0.07 | 0.01 | -0.02 | -0.03 | -0.03 | -0.03 |
| | | 变化量 | -1.10 | -0.80 | -0.84 | -1.07 | -1.05 | -1.18 | -0.88 | -0.84 |
| | | 变化率 | -91.67% | -86.96% | -92.31% | -99.07% | -101.94% | -102.61% | -103.53% | -103.70% |
| | 日变幅 | 建库前 | 1.17 | 1.74 | 0.63 | 1.11 | 0.74 | 1.14 | 0.83 | 0.89 |
| | | 建库后 | 0.57 | 0.70 | 0.39 | 0.18 | 0.21 | 0.22 | 0.14 | 0.14 |
| | | 变化量 | -0.60 | -1.04 | -0.24 | -0.93 | -0.53 | -0.92 | -0.69 | -0.75 |
| | | 变化率 | -51.28% | -59.77% | -38.10% | -83.78% | -71.62% | -80.70% | -83.13% | -84.27% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 1.16 | 1.35 | 0.57 | 0.93 | 0.71 | 0.69 | 0.74 | 0.74 |
| | | 建库后 | 0.51 | 0.63 | 0.35 | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.11 | 0.11 |
| | | 变化量 | -0.65 | -0.72 | -0.22 | -0.81 | -0.60 | -0.55 | -0.63 | -0.63 |
| | | 变化率 | -56.03% | -53.33% | -38.60% | -87.10% | -84.51% | -79.71% | -85.14% | -85.14% |
| | 日平均流速 | 建库前 | 1.33 | 1.13 | 1.00 | 1.23 | 1.13 | 1.32 | 0.98 | 0.96 |
| | | 建库后 | 0.18 | 0.22 | 0.13 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 |
| | | 变化量 | -1.15 | -0.91 | -0.87 | -1.17 | -1.08 | -1.27 | -0.95 | -0.93 |
| | | 变化率 | -86.51% | -80.33% | -87.01% | -95.66% | -95.20% | -95.85% | -96.70% | -96.79% |
| 水深 | 最大水深 | 建库前 | 4.07 | 11.30 | 6.05 | 6.57 | 5.22 | 7.42 | 8.36 | 5.12 |
| | | 建库后 | 6.84 | 18.11 | 17.65 | 20.34 | 25.88 | 38.75 | 48.51 | 52.43 |
| | | 变化量 | 2.77 | 6.81 | 11.60 | 13.77 | 20.66 | 31.33 | 40.15 | 47.31 |
| | | 变化率 | 68.06% | 60.27% | 191.74% | 209.59% | 395.79% | 422.24% | 480.26% | 924.02% |
| | 最小水深 | 建库前 | 1.83 | 7.18 | 2.45 | 3.94 | 2.25 | 3.63 | 5.10 | 1.67 |
| | | 建库后 | 6.39 | 17.66 | 17.21 | 19.98 | 25.55 | 38.46 | 48.19 | 52.09 |
| | | 变化量 | 4.56 | 10.48 | 14.76 | 16.04 | 23.30 | 34.83 | 43.09 | 50.42 |
| | | 变化率 | 249.18% | 145.96% | 602.45% | 407.11% | 1035.56% | 959.50% | 844.90% | 3019.16% |
| | 日变幅 | 建库前 | 2.24 | 4.12 | 3.60 | 2.63 | 2.97 | 3.79 | 3.26 | 3.45 |

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| | | 建库后 | 0.45 | 0.45 | 0.44 | 0.36 | 0.33 | 0.29 | 0.32 | 0.34 |
| | | 变化量 | -1.79 | -3.67 | -3.16 | -2.27 | -2.64 | -3.50 | -2.94 | -3.11 |
| | | 变化率 | -79.91% | -89.08% | -87.78% | -86.31% | -88.89% | -92.35% | -90.18% | -90.14% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 2.06 | 2.87 | 2.36 | 2.42 | 2.09 | 3.16 | 2.26 | 1.96 |
| | | 建库后 | 0.34 | 0.30 | 0.30 | 0.25 | 0.22 | 0.17 | 0.19 | 0.21 |
| | | 变化量 | -1.72 | -2.57 | -2.06 | -2.17 | -1.87 | -2.99 | -2.07 | -1.75 |
| | | 变化率 | -83.50% | -89.55% | -87.29% | -89.67% | -89.47% | -94.62% | -91.59% | -89.29% |
| | 日平均水深 | 建库前 | 2.13 | 7.70 | 2.88 | 4.28 | 2.64 | 4.19 | 5.61 | 2.21 |
| | | 建库后 | 6.61 | 17.90 | 17.45 | 20.18 | 25.73 | 38.62 | 48.38 | 52.29 |
| | | 变化量 | 4.49 | 10.20 | 14.57 | 15.90 | 23.09 | 34.43 | 42.77 | 50.08 |
| | | 变化率 | 210.87% | 132.58% | 505.10% | 371.68% | 875.72% | 821.89% | 762.76% | 2264.22% |
| 水面宽 | 最大水面宽 | 建库前 | 95.35 | 47.44 | 76.62 | 106.22 | 84.89 | 43.28 | 67.18 | 68.45 |
| | | 建库后 | 103.89 | 82.25 | 115.58 | 341.35 | 213.86 | 181.38 | 264.42 | 235.76 |
| | | 变化量 | 8.54 | 34.81 | 38.96 | 235.13 | 128.97 | 138.10 | 197.24 | 167.31 |
| | | 变化率 | 8.96% | 73.38% | 50.85% | 221.36% | 151.93% | 319.09% | 293.60% | 244.43% |
| | 最小水面宽 | 建库前 | 57.16 | 38.07 | 64.56 | 63.51 | 56.03 | 21.17 | 49.62 | 56.26 |
| | | 建库后 | 102.50 | 81.36 | 114.09 | 338.17 | 212.07 | 179.88 | 262.97 | 234.55 |
| | | 变化量 | 45.34 | 43.29 | 49.53 | 274.66 | 156.04 | 158.71 | 213.35 | 178.29 |
| | | 变化率 | 79.32% | 113.71% | 76.72% | 432.47% | 278.49% | 749.69% | 429.97% | 316.90% |
| | 日变幅 | 建库前 | 38.19 | 9.37 | 12.06 | 42.71 | 28.86 | 22.11 | 17.56 | 12.19 |
| | | 建库后 | 1.39 | 0.89 | 1.49 | 3.18 | 1.79 | 1.50 | 1.45 | 1.21 |
| | | 变化量 | -36.80 | -8.48 | -10.57 | -39.53 | -27.07 | -20.61 | -16.11 | -10.98 |
| | | 变化率 | -96.36% | -90.50% | -87.65% | -92.55% | -93.80% | -93.22% | -91.74% | -90.07% |
| | 最大小时变幅 | 建库前 | 37.65 | 6.54 | 7.92 | 39.37 | 20.23 | 18.45 | 12.18 | 6.94 |
| | | 建库后 | 1.05 | 0.60 | 1.03 | 2.22 | 1.21 | 0.95 | 0.89 | 0.74 |

| 断面名称 | | | 麦曲河口 | 羊拉登桥 | 中心绒乡 | 地巫乡 | 中岩河口 | 贡波乡 | 格亚顶河口 | 坝前 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离 | | | 60825 | 55772 | 52211 | 43572 | 32778 | 23950 | 10251 | 0 |
| | | 变化量 | 82.14 | 51.77 | 60.10 | 314.19 | 183.11 | 179.32 | 229.46 | 189.27 |
| | | 变化率 | 1.76 | 2.04 | 1.64 | 5.25 | 3.72 | 8.43 | 5.22 | 4.07 |
| | 日平均水面宽 | 建库前 | 62.47 | 39.25 | 66.01 | 69.14 | 59.81 | 24.44 | 52.36 | 58.17 |
| | | 建库后 | 103.20 | 81.83 | 114.90 | 339.95 | 213.06 | 180.73 | 263.81 | 235.26 |
| | | 变化量 | 40.73 | 42.59 | 48.89 | 270.81 | 153.25 | 156.29 | 211.45 | 177.09 |
| | | 变化率 | 65.21% | 108.52% | 74.06% | 391.72% | 256.22% | 639.49% | 403.83% | 304.44% |

### 5.1.4.2 坝下游水文情势变化

（1）坝址下泄流量对比分析

按照工程日调节计算成果，枯水典型日，经旭龙水电站调蓄后，电站坝下游流量日内过程相对建库前有所坦化。枯水时段，旭龙、苏洼龙电站承担晚高峰调峰任务，主要承担腰荷。0 点至 18 点，建库后下泄流量均大于建库前，下泄流量由 217$m^3/s$ 增加到 410$m^3/s$，增幅为 5.99%~88.94%。调峰时段（18 点至 21 点），电站下泄流量由建库前的 1248 $m^3/s$ 减少到 460 $m^3/s$，相对建库前减少 63.14%。旭龙水电站建成运行后，坝下游流量变幅由建库前的 1031$m^3/s$ 减小至建库后的 230$m^3/s$。

平水典型日，旭龙水电站建成运行后，坝下游流量日内变化坦化趋势更加明显。平水时段，苏洼龙、旭龙水电站承担午间、晚间调峰任务，旭龙水电站在苏洼龙水电站调节的基础上，结合自身机组发电需求及调蓄能力，0 点至 10 点，旭龙水电站下泄流量由建库前的 239 $m^3/s$ 增加至建库后的 460 $m^3/s$，相对建库前增加 92.47%~272.38%；11 点至 12 点调峰时段，下泄流量由 1642 $m^3/s$ 减小至 890 $m^3/s$，减小 7.10%~45.80%；13 点至 16 点，下泄流量由 239 $m^3/s$ 增加值 460 $m^3/s$，增加 92.47%；17 点至 22 点，下泄流量由 1642 $m^3/s$ 减小至 890 $m^3/s$，减小 45.80%。

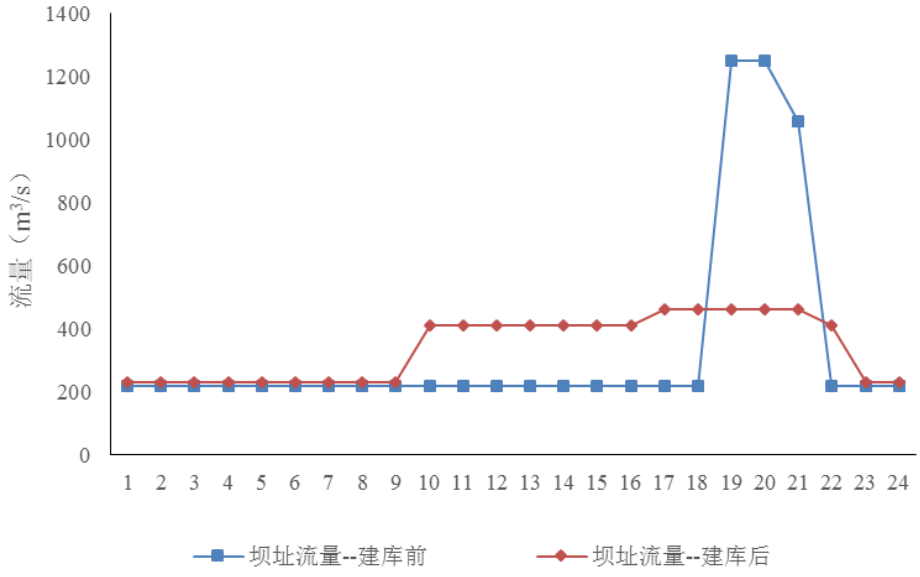



图 5.1-12 枯水典型日坝址处建库前后下泄流量对比示意图

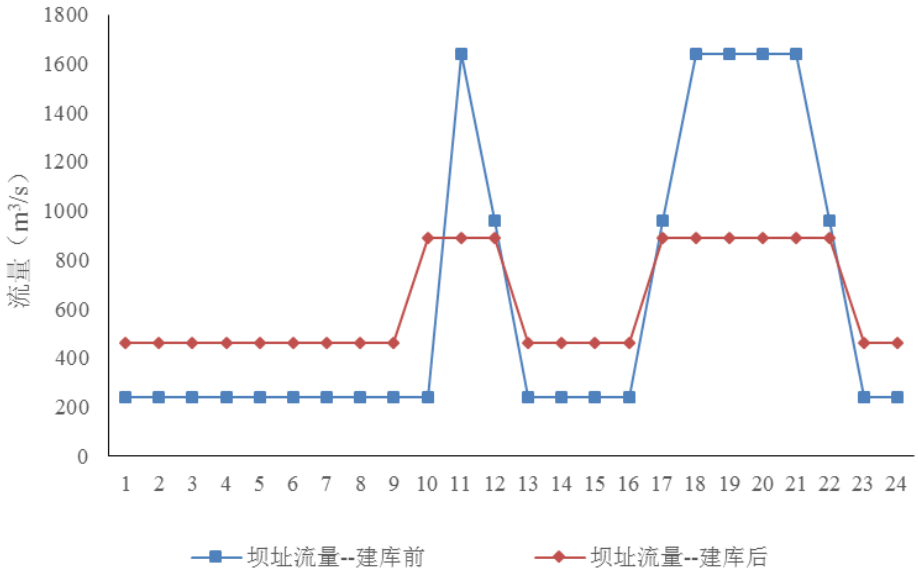



图 5.1-13 枯水典型日坝址处建库前后下泄流量对比示意图

（2）代表断面水力参数变化

采用 MIKE11 一维水力模型计算丰平枯典型日两种工况条件（旭龙建库前，旭龙建库后）的坝下游各代表性断面处的水力参数。本阶段选取电站坝址下、徐龙乡、茂顶河口、日龙乡、斯木达、曲雅贡乡、定曲河口和奔子栏水文站 8 个典型断面，对旭龙水电站建库前后的典型日水文情势进行分析。

根据模拟结果，受旭龙水电站调蓄影响，旭龙电站坝下游河段水位、流速等水力要素均呈现不同程度的变化。

1）水位变化分析

旭龙水电站建库后，对苏洼龙水电站下泄过程起到一定程度的坦化作用，因此下游水位变幅相对建库前均有所减小。经计算，坝下游日均水位建库前后差别不大，建库后日均水位相对建库前变化 0.5m 以内。平水典型日，坝址断面日变幅有建库前的 3.11m 减小至建库后的 1.03m；坝下游奔子栏水文站水位日变幅由建库前的 2.22m 降低至 0.71m，沿江水位日变幅均在 1.82m 以内。枯水典型日，坝址断面日变幅有建库前的 2.34m 减小至建库后的 0.66m；坝下游奔子栏水文站水位日变幅由建库前的 1.75m 降低至 0.43m，沿江水位日变幅均在 1.55m 以内。

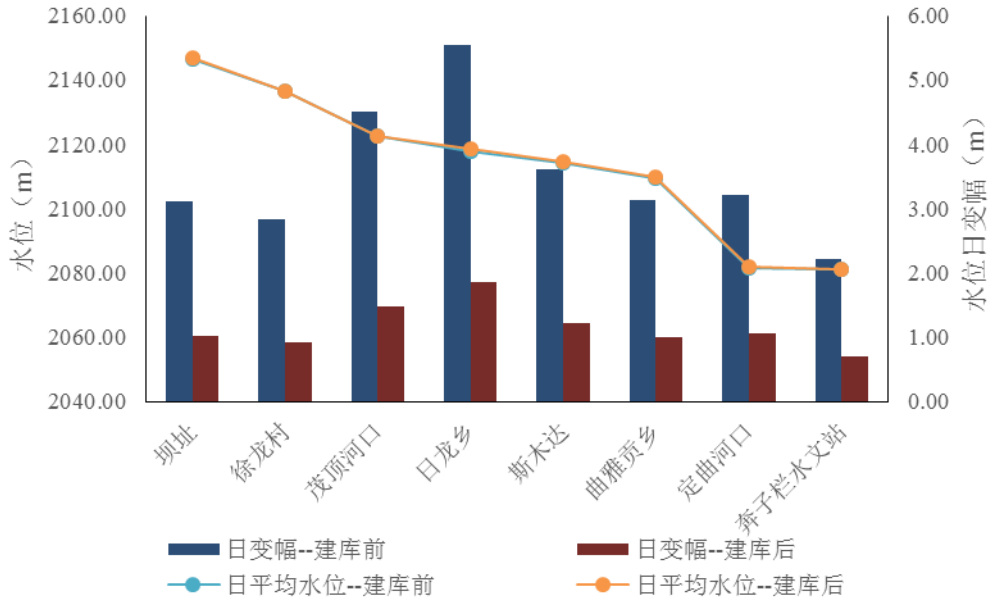



图 5.1-14 平水典型日建库前后坝下河段日均水位及日变幅对比示意图

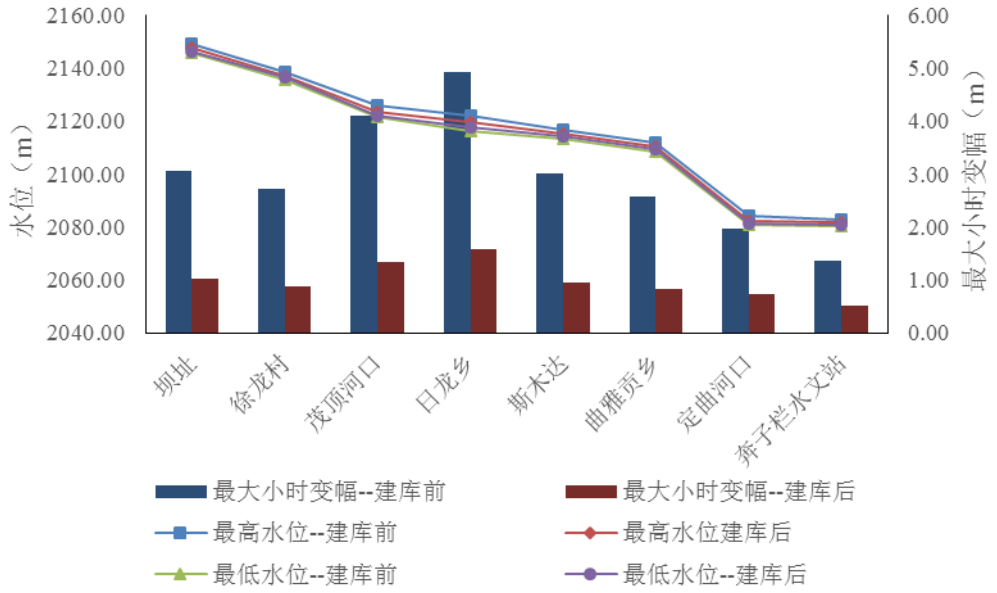



图 5.1-15 平水典型日建库前后坝下河段最大小时变幅对比示意图

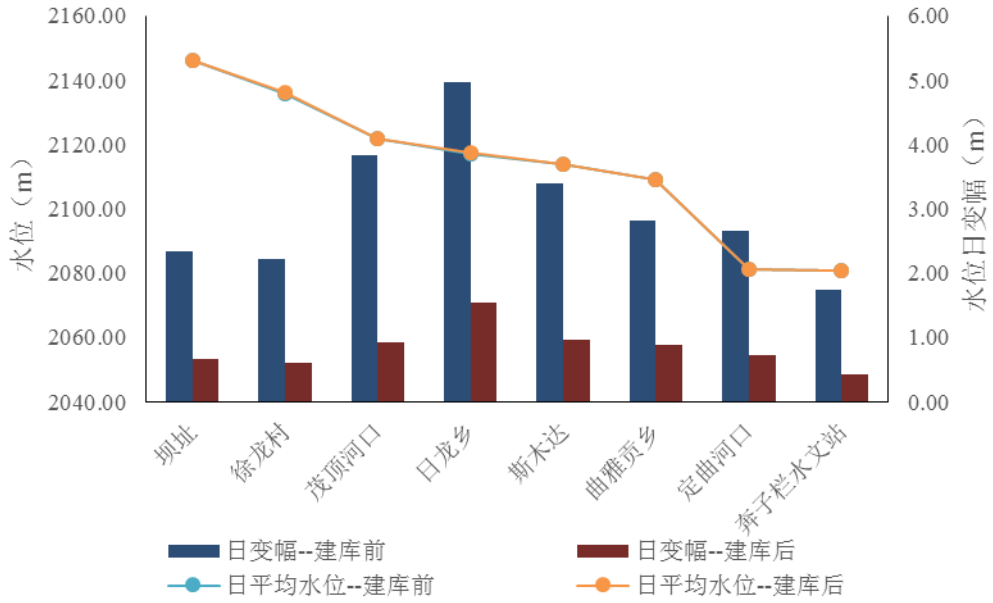



图 5.1-16 枯水典型日建库前后坝下河段日均水位及日变幅对比示意图

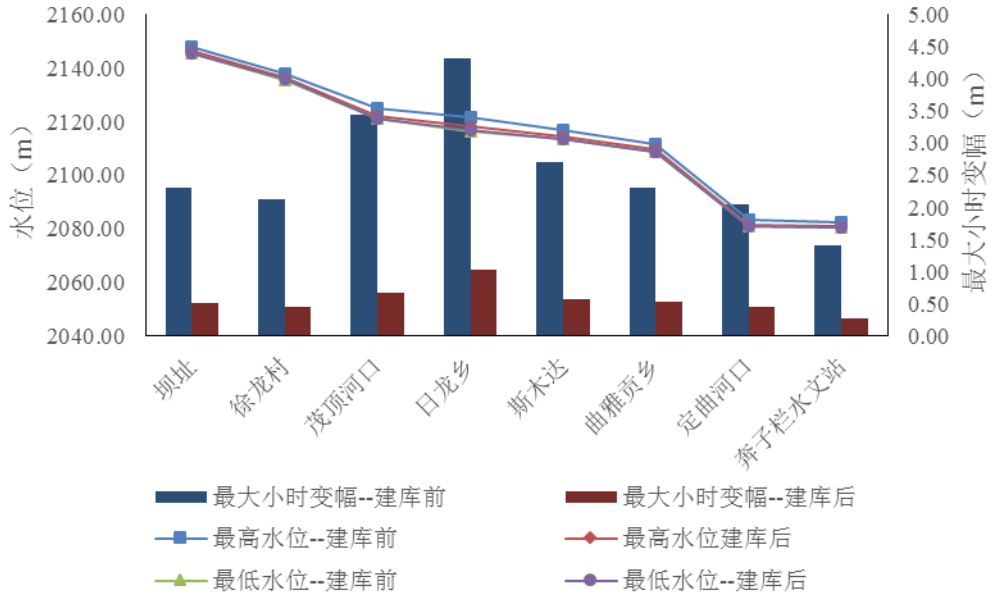



图 5.1-17 枯水典型日建库前后坝下河段最大小时变幅对比示意图

2）流速变化分析

旭龙电站坝下河段依然保持天然河道属性，河段依然为急流河段。根据计算，除定曲河口外，坝下河段流速基本在 1m/s 以上。定曲河口位置相对开阔，流速稍缓，但仍处于较急流状态。电站建成运行后，坝下河段最大流速略有减小，低流量状态下的流速相对建库前略有增加。

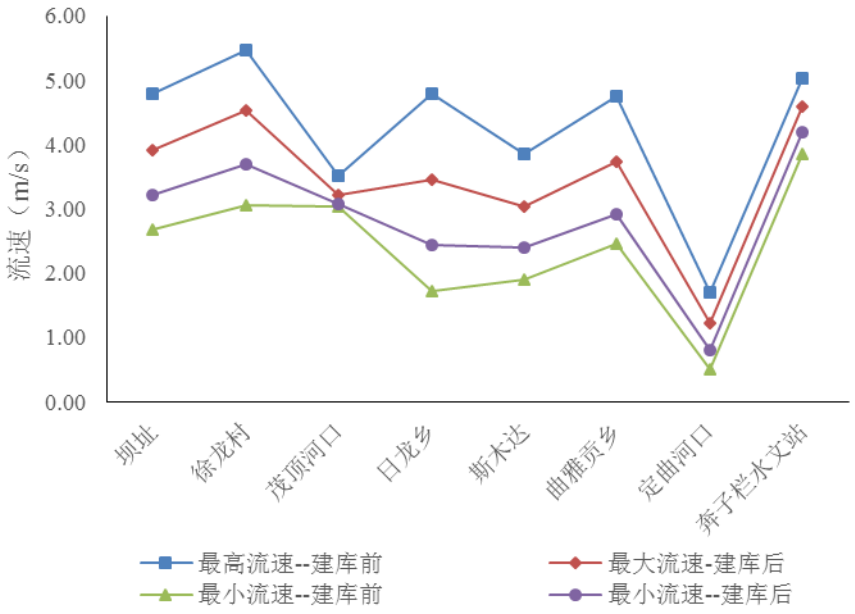



图 5.1-18 平水典型日建库前后坝下河段沿程流速对比示意图

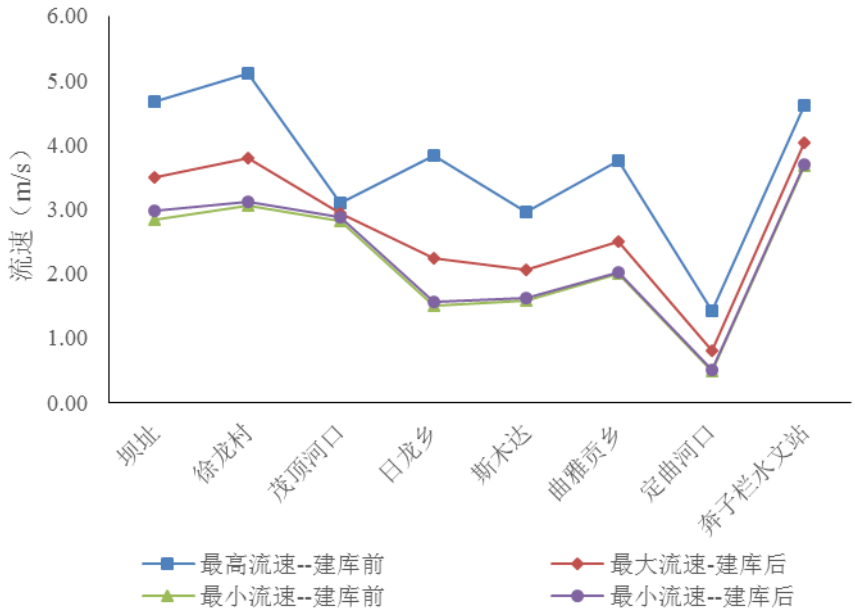



图 5.1-19 枯水典型日建库前后坝下河段沿程流速对比示意图

3）平均水深变化分析

根据计算，建库后坝下河段各断面最小水深较建库前均有所增加。旭龙水电站建成运行后，电站最小下泄流量大于苏洼龙单独运行最小下泄流量，电站最大下泄流量较苏洼龙单独运行期间有所减少，因此，出现最小水深增加，最大水深减小的情况。从不同时段水深变化幅度来看，平水期水深变化幅度相对枯水期较大；从坝下游各典型断面水深值来看，电站建库后，河段最小水深均大于 1.6m。奔子栏水文站断面水深由建库前的 2.47~3.78m 变为建库后的 2.49~2.81m。

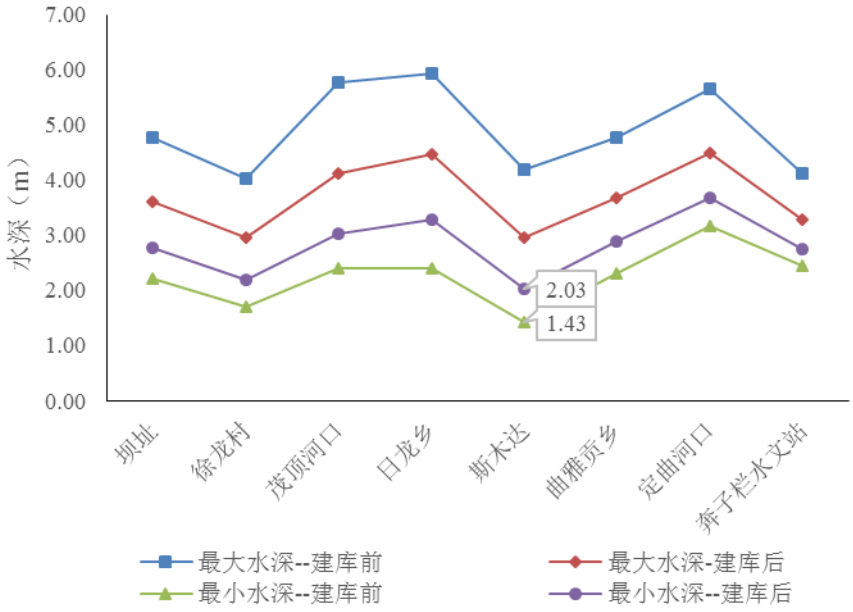



图 5.1-20 平水典型日建库前后坝下河段沿程水深对比示意图

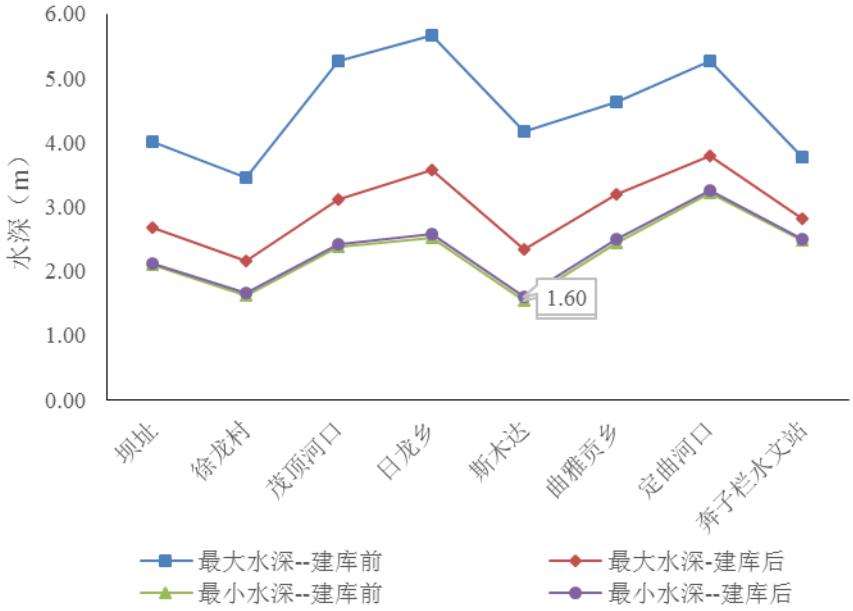



图 5.1-21 枯水典型日建库前后坝下河段沿程水深对比示意图

4）水面宽

坝下游河段水面宽度变化与水深变化趋势基本一致，总体呈现旭龙水电站建成运行后，相对苏洼龙水电站单独运行，下游河段最小水面宽增加，最大水面宽度减少的趋势。从不同时段水面宽度变化幅度来看，平水期水深变化幅度相对枯水期较大；从坝下游各典型断面水深值来看，电站建库后，河段最小水面宽均大

于 26.06m。奔子栏水文站断面水深由建库前的 32.56~35.69m 变为建库后的 32.61~33.37m。

表 5.1-17　平水典型日旭龙水电站建库前后坝下典型断面水力参数变化统计表

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| 水位 | 最高水位 | 建库前（m） | 2148.96 | 2138.62 | 2125.83 | 2121.93 | 2116.92 | 2111.77 | 2084.04 | 2082.74 |
| | | 建库后（m） | 2147.55 | 2137.30 | 2123.63 | 2119.62 | 2115.32 | 2110.40 | 2082.53 | 2081.63 |
| | | 变化量（m） | -1.41 | -1.32 | -2.20 | -2.31 | -1.60 | -1.37 | -1.51 | -1.11 |
| | | 变化率 | -0.07% | -0.06% | -0.10% | -0.11% | -0.08% | -0.06% | -0.07% | -0.05% |
| | 最低水位 | 建库前（m） | 2145.85 | 2135.79 | 2121.33 | 2116.39 | 2113.31 | 2108.63 | 2080.83 | 2080.52 |
| | | 建库后（m） | 2146.52 | 2136.38 | 2122.15 | 2117.76 | 2114.10 | 2109.39 | 2081.47 | 2080.92 |
| | | 变化量（m） | 0.67 | 0.59 | 0.82 | 1.37 | 0.79 | 0.76 | 0.64 | 0.40 |
| | | 变化率 | 0.03% | 0.03% | 0.04% | 0.06% | 0.04% | 0.04% | 0.03% | 0.02% |
| | 日变幅 | 建库前（m） | 3.11 | 2.83 | 4.50 | 5.54 | 3.61 | 3.14 | 3.21 | 2.22 |
| | | 建库后（m） | 1.03 | 0.92 | 1.48 | 1.86 | 1.22 | 1.01 | 1.06 | 0.71 |
| | | 变化量（m） | -2.08 | -1.91 | -3.02 | -3.68 | -2.39 | -2.13 | -2.15 | -1.51 |
| | | 变化率 | -66.88% | -67.49% | -67.11% | -66.43% | -66.20% | -67.83% | -66.98% | -68.02% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m） | 3.07 | 2.73 | 4.10 | 4.92 | 3.02 | 2.57 | 1.97 | 1.36 |
| | | 建库后（m） | 1.02 | 0.88 | 1.33 | 1.59 | 0.95 | 0.84 | 0.74 | 0.51 |
| | | 变化量（m） | -2.05 | -1.85 | -2.77 | -3.33 | -2.07 | -1.73 | -1.23 | -0.85 |
| | | 变化率 | -66.78% | -67.77% | -67.56% | -67.68% | -68.54% | -67.32% | -62.44% | -62.50% |
| | 日平均水位 | 建库前（m） | 2146.70 | 2136.56 | 2122.54 | 2117.96 | 2114.32 | 2109.52 | 2081.70 | 2081.11 |
| | | 建库后（m） | 2146.89 | 2136.71 | 2122.68 | 2118.44 | 2114.54 | 2109.77 | 2081.85 | 2081.17 |
| | | 变化量（m） | 0.20 | 0.15 | 0.14 | 0.48 | 0.22 | 0.24 | 0.15 | 0.06 |
| | | 变化率 | 0.01% | 0.01% | 0.01% | 0.02% | 0.01% | 0.01% | 0.01% | 0.00% |
| 流速 | 最大流速 | 建库前（m/s） | 4.78 | 5.47 | 3.52 | 4.79 | 3.85 | 4.74 | 1.71 | 5.02 |
| | | 建库后（m/s） | 3.92 | 4.53 | 3.22 | 3.46 | 3.04 | 3.74 | 1.22 | 4.59 |
| | | 变化量（m/s） | -0.86 | -0.94 | -0.30 | -1.33 | -0.81 | -1.00 | -0.49 | -0.43 |
| | | 变化率 | -17.99% | -17.18% | -8.52% | -27.77% | -21.04% | -21.10% | -28.65% | -8.57% |

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| | 最小流速 | 建库前（m/s） | 2.68 | 3.06 | 3.03 | 1.72 | 1.90 | 2.46 | 0.51 | 3.86 |
| | | 建库后（m/s） | 3.21 | 3.70 | 3.08 | 2.43 | 2.40 | 2.92 | 0.81 | 4.20 |
| | | 变化量（m/s） | 0.53 | 0.64 | 0.05 | 0.71 | 0.50 | 0.46 | 0.30 | 0.34 |
| | | 变化率 | 19.78% | 20.92% | 1.65% | 41.28% | 26.32% | 18.70% | 58.82% | 8.81% |
| | 日变幅 | 建库前（m/s） | 2.10 | 2.41 | 0.49 | 3.07 | 1.95 | 2.28 | 1.20 | 1.16 |
| | | 建库后（m/s） | 0.71 | 0.83 | 0.14 | 1.03 | 0.64 | 0.82 | 0.41 | 0.39 |
| | | 变化量（m/s） | -1.39 | -1.58 | -0.35 | -2.04 | -1.31 | -1.46 | -0.79 | -0.77 |
| | | 变化率 | -66.19% | -65.56% | -71.43% | -66.45% | -67.18% | -64.04% | -65.83% | -66.38% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m/s） | 2.00 | 2.35 | 0.41 | 2.82 | 1.70 | 1.83 | 0.73 | 0.76 |
| | | 建库后（m/s） | 0.70 | 0.80 | 0.12 | 0.91 | 0.55 | 0.57 | 0.27 | 0.29 |
| | | 变化量（m/s） | -1.30 | -1.55 | -0.29 | -1.91 | -1.15 | -1.26 | -0.46 | -0.47 |
| | | 变化率 | -65.00% | -65.96% | -70.73% | -67.73% | -67.65% | -68.85% | -63.01% | -61.84% |
| | 日平均流速 | 建库前（m/s） | 3.31 | 3.74 | 3.19 | 2.58 | 2.46 | 3.10 | 0.85 | 4.20 |
| | | 建库后（m/s） | 3.48 | 4.00 | 3.14 | 2.80 | 2.64 | 3.21 | 0.96 | 4.34 |
| | | 变化量（m/s） | 0.16 | 0.26 | -0.06 | 0.23 | 0.18 | 0.11 | 0.11 | 0.14 |
| | | 变化率 | 4.97% | 7.03% | -1.82% | 8.73% | 7.31% | 3.63% | 12.55% | 3.34% |
| 水深 | 最大水深 | 建库前（m） | 4.77 | 4.04 | 5.78 | 5.94 | 4.20 | 4.77 | 5.65 | 4.12 |
| | | 建库后（m） | 3.62 | 2.95 | 4.13 | 4.46 | 2.97 | 3.69 | 4.49 | 3.28 |
| | | 变化量（m） | -1.15 | -1.09 | -1.65 | -1.48 | -1.23 | -1.08 | -1.16 | -0.84 |
| | | 变化率 | -24.11% | -26.98% | -28.55% | -24.92% | -29.29% | -22.64% | -20.53% | -20.39% |
| | 最小水深 | 建库前（m） | 2.22 | 1.71 | 2.41 | 2.41 | 1.43 | 2.30 | 3.18 | 2.45 |
| | | 建库后（m） | 2.78 | 2.19 | 3.02 | 3.28 | 2.03 | 2.90 | 3.67 | 2.75 |
| | | 变化量（m） | 0.56 | 0.48 | 0.61 | 0.87 | 0.60 | 0.60 | 0.49 | 0.30 |
| | | 变化率 | 25.23% | 28.07% | 25.31% | 36.10% | 41.96% | 26.09% | 15.41% | 12.24% |
| | 日变幅 | 建库前（m） | 2.55 | 2.33 | 3.37 | 3.53 | 2.77 | 2.47 | 2.47 | 1.67 |

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| | | 建库后（m） | 0.84 | 0.76 | 1.11 | 1.18 | 0.94 | 0.79 | 0.82 | 0.53 |
| | | 变化量（m） | -1.71 | -1.57 | -2.26 | -2.35 | -1.83 | -1.68 | -1.65 | -1.14 |
| | | 变化率 | -67.06% | -67.38% | -67.06% | -66.57% | -66.06% | -68.02% | -66.80% | -68.26% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m） | 2.51 | 2.24 | 3.04 | 3.11 | 2.30 | 2.01 | 1.51 | 1.03 |
| | | 建库后（m） | 0.82 | 0.73 | 0.99 | 1.01 | 0.72 | 0.66 | 0.58 | 0.38 |
| | | 变化量（m） | -1.69 | -1.51 | -2.05 | -2.10 | -1.58 | -1.35 | -0.93 | -0.65 |
| | | 变化率 | -67.33% | -67.41% | -67.43% | -67.52% | -68.70% | -67.16% | -61.59% | -63.11% |
| | 日平均水深 | 建库前（m） | 2.91 | 2.34 | 3.32 | 3.41 | 2.21 | 3.00 | 3.85 | 2.89 |
| | | 建库后（m） | 3.08 | 2.47 | 3.42 | 3.71 | 2.37 | 3.19 | 3.96 | 2.94 |
| | | 变化量（m） | 0.17 | 0.12 | 0.10 | 0.30 | 0.16 | 0.19 | 0.11 | 0.05 |
| | | 变化率 | 5.76% | 5.17% | 3.12% | 8.82% | 7.47% | 6.34% | 2.97% | 1.67% |
| 水面宽 | 最大水面宽 | 建库前（m） | 49.02 | 50.24 | 39.96 | 60.80 | 54.95 | 54.71 | 64.77 | 36.48 |
| | | 建库后（m） | 45.91 | 46.09 | 33.13 | 45.71 | 49.16 | 50.17 | 59.59 | 34.50 |
| | | 变化量（m） | -3.11 | -4.15 | -6.83 | -15.09 | -5.79 | -4.54 | -5.18 | -1.98 |
| | | 变化率 | -6.34% | -8.26% | -17.09% | -24.82% | -10.54% | -8.30% | -8.00% | -5.43% |
| | 最小水面宽 | 建库前（m） | 42.15 | 41.36 | 26.00 | 24.70 | 41.92 | 44.30 | 53.73 | 32.53 |
| | | 建库后（m） | 43.64 | 43.21 | 28.54 | 33.63 | 44.78 | 46.82 | 55.96 | 33.24 |
| | | 变化量（m） | 1.49 | 1.85 | 2.54 | 8.93 | 2.86 | 2.52 | 2.23 | 0.71 |
| | | 变化率 | 3.53% | 4.47% | 9.77% | 36.15% | 6.82% | 5.69% | 4.15% | 2.18% |
| | 日变幅 | 建库前（m） | 6.87 | 8.88 | 13.96 | 36.10 | 13.03 | 10.41 | 11.04 | 3.95 |
| | | 建库后（m） | 2.27 | 2.88 | 4.59 | 12.08 | 4.38 | 3.35 | 3.63 | 1.26 |
| | | 变化量（m） | -4.60 | -6.00 | -9.37 | -24.02 | -8.65 | -7.06 | -7.41 | -2.69 |
| | | 变化率 | -66.96% | -67.57% | -67.12% | -66.54% | -66.39% | -67.82% | -67.12% | -68.10% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m） | 6.76 | 8.50 | 12.61 | 31.83 | 10.81 | 8.46 | 6.78 | 2.42 |
| | | 建库后（m） | 2.23 | 2.74 | 4.09 | 10.27 | 3.37 | 2.79 | 2.57 | 0.92 |

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| | | 变化量（m） | -4.53 | -5.76 | -8.52 | -21.56 | -7.44 | -5.67 | -4.21 | -1.50 |
| | | 变化率 | -67.01% | -67.76% | -67.57% | -67.73% | -68.83% | -67.02% | -62.09% | -61.98% |
| | 日平均水面宽 | 建库前（m） | 44.02 | 43.78 | 29.76 | 34.94 | 45.57 | 47.27 | 56.73 | 33.58 |
| | | 建库后（m） | 44.46 | 44.25 | 30.20 | 38.04 | 46.37 | 48.07 | 57.26 | 33.69 |
| | | 变化量（m） | 0.44 | 0.48 | 0.44 | 3.10 | 0.80 | 0.80 | 0.53 | 0.11 |
| | | 变化率 | 1.00% | 1.09% | 1.47% | 8.88% | 1.76% | 1.68% | 0.93% | 0.34% |

表 5.1-18　枯水典型日旭龙水电站建库前后坝下典型断面水力参数变化

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| 水位 | 最高水位 | 建库前（m） | 2148.03 | 2137.91 | 2125.14 | 2121.50 | 2116.87 | 2111.60 | 2083.54 | 2082.29 |
| | | 建库后（m） | 2146.39 | 2136.34 | 2122.28 | 2118.21 | 2114.50 | 2109.76 | 2081.64 | 2080.99 |
| | | 变化量（m） | -1.64 | -1.57 | -2.86 | -3.29 | -2.37 | -1.84 | -1.90 | -1.30 |
| | | 变化率 | -0.08% | -0.07% | -0.13% | -0.16% | -0.11% | -0.09% | -0.09% | -0.06% |
| | 最低水位 | 建库前（m） | 2145.69 | 2135.70 | 2121.30 | 2116.54 | 2113.47 | 2108.79 | 2080.88 | 2080.54 |
| | | 建库后（m） | 2145.73 | 2135.74 | 2121.35 | 2116.66 | 2113.54 | 2108.87 | 2080.92 | 2080.56 |
| | | 变化量（m） | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.12 | 0.07 | 0.08 | 0.04 | 0.02 |
| | | 变化率 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.01% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| | 日变幅 | 建库前（m） | 2.34 | 2.21 | 3.84 | 4.96 | 3.40 | 2.81 | 2.66 | 1.75 |
| | | 建库后（m） | 0.66 | 0.60 | 0.93 | 1.55 | 0.96 | 0.89 | 0.72 | 0.43 |
| | | 变化量（m） | -1.68 | -1.61 | -2.91 | -3.41 | -2.44 | -1.92 | -1.94 | -1.32 |
| | | 变化率 | -71.79% | -72.85% | -75.78% | -68.75% | -71.76% | -68.33% | -72.93% | -75.43% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m） | 2.31 | 2.13 | 3.45 | 4.31 | 2.70 | 2.31 | 2.05 | 1.42 |
| | | 建库后（m） | 0.52 | 0.46 | 0.67 | 1.04 | 0.58 | 0.53 | 0.45 | 0.27 |
| | | 变化量（m） | -1.79 | -1.67 | -2.78 | -3.27 | -2.12 | -1.78 | -1.60 | -1.15 |

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| | | 变化率 | -77.49% | -78.40% | -80.58% | -75.87% | -78.52% | -77.06% | -78.05% | -80.99% |
| | 日平均水位 | 建库前（m） | 2145.96 | 2135.95 | 2121.74 | 2117.14 | 2113.88 | 2109.15 | 2081.18 | 2080.74 |
| | | 建库后（m） | 2146.03 | 2136.01 | 2121.77 | 2117.38 | 2113.98 | 2109.28 | 2081.25 | 2080.76 |
| | | 变化量（m） | 0.07 | 0.06 | 0.03 | 0.23 | 0.10 | 0.13 | 0.07 | 0.02 |
| | | 变化率 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.01% | 0.00% | 0.01% | 0.00% | 0.00% |
| 流速 | 最大流速 | 建库前（m/s） | 4.68 | 5.11 | 3.09 | 3.83 | 2.96 | 3.76 | 1.42 | 4.61 |
| | | 建库后（m/s） | 3.50 | 3.79 | 2.94 | 2.25 | 2.06 | 2.49 | 0.80 | 4.03 |
| | | 变化量（m/s） | -1.18 | -1.32 | -0.15 | -1.58 | -0.90 | -1.27 | -0.62 | -0.58 |
| | | 变化率 | -25.21% | -25.83% | -4.85% | -41.25% | -30.41% | -33.78% | -43.66% | -12.58% |
| | 最小流速 | 建库前（m/s） | 2.84 | 3.06 | 2.81 | 1.51 | 1.58 | 2.00 | 0.48 | 3.67 |
| | | 建库后（m/s） | 2.97 | 3.11 | 2.88 | 1.56 | 1.62 | 2.02 | 0.50 | 3.69 |
| | | 变化量（m/s） | 0.13 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| | | 变化率 | 4.58% | 1.63% | 2.49% | 3.31% | 2.53% | 1.00% | 4.17% | 0.54% |
| | 日变幅 | 建库前（m/s） | 1.84 | 2.05 | 0.28 | 2.32 | 1.38 | 1.76 | 0.94 | 0.94 |
| | | 建库后（m/s） | 0.53 | 0.68 | 0.06 | 0.69 | 0.44 | 0.47 | 0.30 | 0.34 |
| | | 变化量（m/s） | -1.31 | -1.37 | -0.22 | -1.63 | -0.94 | -1.29 | -0.64 | -0.60 |
| | | 变化率 | -71.20% | -66.83% | -78.57% | -70.26% | -68.12% | -73.30% | -68.09% | -63.83% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m/s） | 1.71 | 2.00 | 0.16 | 2.10 | 1.19 | 1.23 | 0.66 | 0.76 |
| | | 建库后（m/s） | 0.43 | 0.53 | 0.04 | 0.48 | 0.30 | 0.24 | 0.19 | 0.22 |
| | | 变化量（m/s） | -1.28 | -1.47 | -0.12 | -1.62 | -0.89 | -0.99 | -0.47 | -0.54 |
| | | 变化率 | -74.85% | -73.50% | -75.00% | -77.14% | -74.79% | -80.49% | -71.21% | -71.05% |
| | 日平均流速 | 建库前（m/s） | 3.16 | 3.30 | 2.95 | 1.78 | 1.76 | 2.21 | 0.59 | 3.78 |
| | | 建库后（m/s） | 3.23 | 3.43 | 2.91 | 1.88 | 1.82 | 2.24 | 0.64 | 3.85 |
| | | 变化量（m/s） | 0.07 | 0.12 | -0.05 | 0.09 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.07 |
| | | 变化率 | 2.18% | 3.77% | -1.57% | 5.06% | 3.92% | 1.28% | 7.84% | 1.74% |

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| 水深 | 最大水深 | 建库前（m） | 4.01 | 3.45 | 5.26 | 5.66 | 4.17 | 4.64 | 5.26 | 3.78 |
| | | 建库后（m） | 2.67 | 2.16 | 3.12 | 3.57 | 2.34 | 3.19 | 3.80 | 2.81 |
| | | 变化量（m） | -1.34 | -1.29 | -2.14 | -2.09 | -1.83 | -1.45 | -1.46 | -0.97 |
| | | 变化率 | -33.42% | -37.39% | -40.68% | -36.93% | -43.88% | -31.25% | -27.76% | -25.66% |
| | 最小水深 | 建库前（m） | 2.10 | 1.63 | 2.38 | 2.51 | 1.55 | 2.43 | 3.22 | 2.47 |
| | | 建库后（m） | 2.13 | 1.66 | 2.42 | 2.58 | 1.60 | 2.49 | 3.25 | 2.49 |
| | | 变化量（m） | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.02 |
| | | 变化率 | 1.43% | 1.84% | 1.68% | 2.79% | 3.23% | 2.47% | 0.93% | 0.81% |
| | 日变幅 | 建库前（m） | 1.91 | 1.82 | 2.88 | 3.15 | 2.62 | 2.21 | 2.04 | 1.31 |
| | | 建库后（m） | 0.54 | 0.50 | 0.70 | 0.99 | 0.74 | 0.70 | 0.55 | 0.32 |
| | | 变化量（m） | -1.37 | -1.32 | -2.18 | -2.16 | -1.88 | -1.51 | -1.49 | -0.99 |
| | | 变化率 | -71.73% | -72.53% | -75.69% | -68.57% | -71.76% | -68.33% | -73.04% | -75.57% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m） | 1.88 | 1.75 | 2.57 | 2.73 | 2.05 | 1.81 | 1.59 | 1.07 |
| | | 建库后（m） | 0.42 | 0.38 | 0.50 | 0.66 | 0.44 | 0.41 | 0.34 | 0.20 |
| | | 变化量（m） | -1.46 | -1.37 | -2.07 | -2.07 | -1.61 | -1.40 | -1.25 | -0.87 |
| | | 变化率 | -77.66% | -78.29% | -80.54% | -75.82% | -78.54% | -77.35% | -78.62% | -81.31% |
| | 日平均水深 | 建库前（m） | 2.32 | 1.84 | 2.71 | 2.89 | 1.86 | 2.71 | 3.45 | 2.62 |
| | | 建库后（m） | 2.38 | 1.89 | 2.74 | 3.04 | 1.94 | 2.81 | 3.50 | 2.63 |
| | | 变化量（m） | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.15 | 0.08 | 0.10 | 0.05 | 0.02 |
| | | 变化率 | 2.45% | 2.63% | 0.99% | 5.11% | 4.19% | 3.74% | 1.44% | 0.67% |
| 水面宽 | 最大水面宽 | 建库前（m） | 46.97 | 48.00 | 37.82 | 57.98 | 54.78 | 54.16 | 63.06 | 35.69 |
| | | 建库后（m） | 43.35 | 43.08 | 28.95 | 36.54 | 46.22 | 48.06 | 56.53 | 33.37 |
| | | 变化量（m） | -3.62 | -4.92 | -8.87 | -21.44 | -8.56 | -6.10 | -6.53 | -2.32 |
| | | 变化率 | -7.71% | -10.25% | -23.45% | -36.98% | -15.63% | -11.26% | -10.36% | -6.50% |
| | 最小水面宽 | 建库前（m） | 41.81 | 41.07 | 25.89 | 25.68 | 42.50 | 44.84 | 53.92 | 32.56 |

| 断面名称 | | | 坝址 | 徐龙村 | 茂顶河口 | 日龙乡 | 斯木达 | 曲雅贡乡 | 定曲河口 | 奔子栏水文站 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距离坝址距离（m） | | | 0 | 2000 | 8000 | 14000 | 20900 | 26000 | 56000 | 62000 |
| | | 建库后（m） | 41.90 | 41.19 | 26.06 | 26.44 | 42.73 | 45.10 | 54.07 | 32.61 |
| | | 变化量（m） | 0.09 | 0.12 | 0.17 | 0.76 | 0.23 | 0.26 | 0.15 | 0.05 |
| | | 变化率 | 0.22% | 0.29% | 0.66% | 2.96% | 0.54% | 0.58% | 0.28% | 0.15% |
| | 日变幅 | 建库前（m） | 5.16 | 6.93 | 11.93 | 32.30 | 12.28 | 9.32 | 9.14 | 3.13 |
| | | 建库后（m） | 1.45 | 1.89 | 2.89 | 10.10 | 3.49 | 2.96 | 2.46 | 0.76 |
| | | 变化量（m） | -3.71 | -5.04 | -9.04 | -22.20 | -8.79 | -6.36 | -6.68 | -2.37 |
| | | 变化率 | -71.90% | -72.73% | -75.78% | -68.73% | -71.58% | -68.24% | -73.09% | -75.72% |
| | 最大小时变幅 | 建库前（m） | 5.08 | 6.63 | 10.63 | 27.90 | 9.63 | 7.62 | 7.13 | 2.55 |
| | | 建库后（m） | 1.14 | 1.43 | 2.07 | 6.74 | 2.06 | 1.75 | 1.54 | 0.48 |
| | | 变化量（m） | -3.94 | -5.20 | -8.56 | -21.16 | -7.57 | -5.87 | -5.59 | -2.07 |
| | | 变化率 | -77.56% | -78.43% | -80.53% | -75.84% | -78.61% | -77.03% | -78.40% | -81.18% |
| | 日平均水面宽 | 建库前（m） | 42.40 | 41.87 | 27.25 | 29.60 | 43.97 | 46.03 | 54.96 | 32.91 |
| | | 建库后（m） | 42.56 | 42.06 | 27.37 | 31.10 | 44.33 | 46.46 | 55.20 | 32.96 |
| | | 变化量（m） | 0.16 | 0.19 | 0.11 | 1.50 | 0.36 | 0.42 | 0.23 | 0.05 |
| | | 变化率 | 0.38% | 0.45% | 0.41% | 5.08% | 0.83% | 0.92% | 0.42% | 0.14% |

### 5.1.5 小结

运行期库区水文情势发生较大变化，正常蓄水位 2302m 时，坝前壅水高 161.4m，库区水面平均宽度约 310m，库区平均水深 49.6m。旭龙水库正常蓄水位 2302m 时，干流回水长度 63.29km。电站坝址处多年平均入库流量 990$m^3$/s，水库形成后库区流速范围从坝前到库尾在 0.0m/s~2.71m/s 逐渐增加，最终在库尾接近天然河道流速。库区河段过水面积较天然状况显著增大，水体流速明显减缓，库区河段水域环境从急流河道型转为缓流型。

运行期坝下水文情势发生较大变化，丰水典型日，由于建库前后下泄流量不变，故建库前后水文情势未发生变化。平水典型日，旭龙水电站建成运行前后，坝下游各水力参数总体呈变幅减小趋势，且最小水力参数总体呈增加趋势。奔子栏水文站断面水位日变幅由建库前的 1.75m 降低至建库后的 0.43m，河段依然为急流河段。

## 5.2泥沙情势影响与评价

（1）库区泥沙淤积总量

由于旭龙水电站壅水较高，坝前正常蓄水位较天然情况抬高 141～147m，改变了天然条件下的水流特性，降低了河道输沙能力，引起泥沙在库内大量落淤，电站在运行过程中库区泥沙淤积量较大。在苏洼龙、叶巴滩、巴塘等梯级建成运行 5 年后旭龙投入运行的情况下，随着水库运行时间的增加，淤积量差距逐渐增大。旭龙水电站运行 20 年末，库区泥沙淤积总量为 0.74 亿 $m^3$，其中悬移质预计量为 0.53 亿 $m^3$，推移质淤积量为 0.21 亿 $m^3$，推移质未运动至坝前。水库运行 50 年末，库区泥沙淤积总量为 1.90 亿 $m^3$，其中悬移质预计量为 1.37 亿 $m^3$，推移质淤积量为 0.53 亿 $m^3$。水库运行 100 年末，库区泥沙淤积总量为 4.11 亿 $m^3$，其中悬移质预计量为 3.06 亿 $m^3$，推移质淤积量为 1.05 亿 $m^3$。

表 5.2-1　旭龙水电站库区泥沙淤积量表

| 年份 | 悬移质淤积量（亿 $m^3$） | 推移质淤积量（亿 $m^3$） | 淤积总量（亿 $m^3$） |
|---|---|---|---|
| 10 年末 | 0.26 | 0.11 | 0.37 |
| 20 年末 | 0.53 | 0.21 | 0.74 |
| 30 年末 | 0.8 | 0.32 | 1.11 |
| 40 年末 | 1.08 | 0.42 | 1.5 |

| 年份 | 悬移质淤积量（亿 $m^3$） | 推移质淤积量（亿 $m^3$） | 淤积总量（亿 $m^3$） |
|---|---|---|---|
| 50 年末 | 1.37 | 0.53 | 1.9 |
| 60 年末 | 1.68 | 0.63 | 2.31 |
| 70 年末 | 2 | 0.74 | 2.73 |
| 80 年末 | 2.34 | 0.84 | 3.18 |
| 90 年末 | 2.69 | 0.95 | 3.64 |
| 100 年末 | 3.06 | 1.05 | 4.11 |

（2）库区泥沙淤积分布

在苏洼龙、叶巴滩、巴塘等梯级建成运行 5 年后旭龙投入运行的情况下，旭龙水电站各正常蓄水位方案库区泥沙淤积分布情况见表 5.2-2 和图 5.2-1。可以看出：库区泥沙淤积均为典型的三角洲淤积形态，正常蓄水位越低，三角洲向坝前发展的速度越快。以正常蓄水位 2302m 方案为例，水库运用初期（10 年末），距坝 19.7km 河段内悬移质淤积量为 0.05 亿 $m^3$，占悬移质泥沙淤积总量的 18.90%，推移质尚未运动到该河段；距坝 19.7km～59.35km 范围内悬移质淤积量 0.21 亿 $m^3$，推移质淤积量 0.10 亿 $m^3$，分别占库区悬移质、推移质淤积总量的 81.10%和 96.49%；距坝 59.35km～75.07km 范围内基本无悬沙落淤，推移质淤积量也较少，仅占总推移质淤积量的 3.51%。而当水库运用至 100 年，距坝 19.7km 河段内悬移质泥沙淤积量在库区总悬移质淤积量中所占的比重已增加至 41.42%，推移质泥沙基本未运动至坝前段；距坝 19.7km～59.35km 范围内悬移质淤积量 1.79 亿 $m^3$，推移质淤积量 1.04 亿 $m^3$，分别占库区悬移质、推移质淤积总量的 58.58%和 98.78%；库尾推移质泥沙淤积量所占比重降低至 1.21%。

**表 5.2-2　正常蓄水位 2302m 方案库区泥沙淤积分布表　单位：$10^8m^3$**

| 年份 | 距坝 0-19.7km | | 距坝 19.7-59.35km | | 距坝 59.35-75.07km | | 全河段 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 悬移质 | 推移质 | 悬移质 | 推移质 | 悬移质 | 推移质 | 悬沙 | 推移质 |
| 10 年末 | 0.05 | 0.00 | 0.21 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.11 |
| 20 年末 | 0.11 | 0.00 | 0.42 | 0.21 | 0.00 | 0.01 | 0.53 | 0.21 |
| 30 年末 | 0.17 | 0.00 | 0.63 | 0.31 | 0.00 | 0.01 | 0.80 | 0.32 |
| 40 年末 | 0.25 | 0.00 | 0.83 | 0.41 | 0.00 | 0.01 | 1.08 | 0.42 |
| 50 年末 | 0.34 | 0.00 | 1.03 | 0.52 | 0.00 | 0.01 | 1.37 | 0.53 |
| 60 年末 | 0.45 | 0.00 | 1.23 | 0.62 | 0.00 | 0.01 | 1.68 | 0.63 |
| 70 年末 | 0.58 | 0.00 | 1.42 | 0.73 | 0.00 | 0.01 | 2.00 | 0.74 |
| 80 年末 | 0.74 | 0.00 | 1.60 | 0.83 | 0.00 | 0.01 | 2.34 | 0.84 |
| 90 年末 | 0.95 | 0.00 | 1.74 | 0.93 | 0.00 | 0.01 | 2.69 | 0.95 |
| 100 年末 | 1.27 | 0.00 | 1.79 | 1.04 | 0.00 | 0.01 | 3.06 | 1.05 |

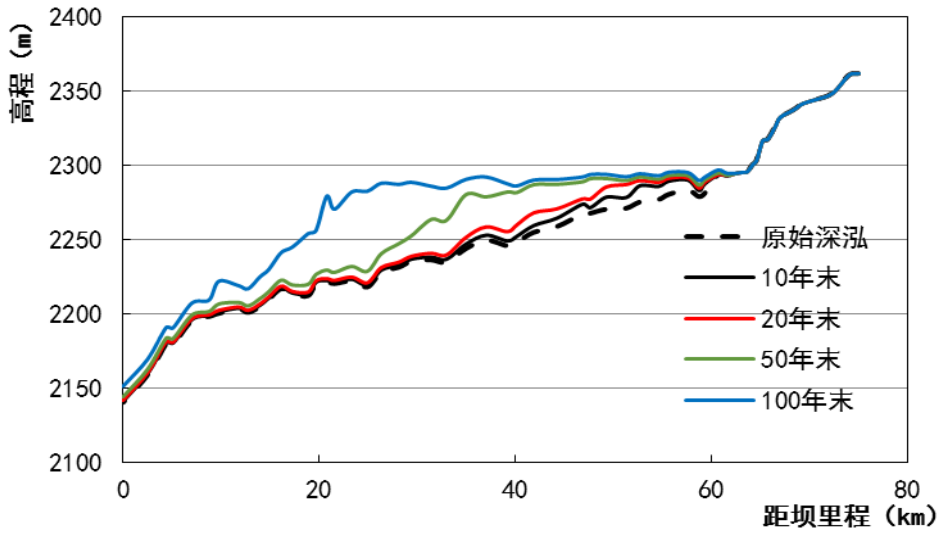



图 5.2-1　旭龙水电站库区纵剖面变化图

（3）库容损失及坝前泥沙淤积高程

水库蓄水运用后，库区泥沙淤积必将会引起水库库容的损失（见表 5.2-3）。同一正常蓄水位情况下，随着水库运行时间不断增加，剩余库容所占比例逐渐降低。水库运用 10 年末时，正常蓄水位 2302m 下库容保留 95.59%，调节库容保留 97.82%；50 年末时，正常蓄水位下库容保留 77.56%，调节库容保留 89.17%；100 年末，正常蓄水位下库容保留 51.92%，调节库容保留 75.02%。

表 5.2-3　　旭龙水电站各正常蓄水位方案库容变化成果表

| 年 份 | 正常蓄水位以下库容 | 调节库容 |
|---|---|---|
| 10 年 | 95.59% | 97.82% |
| 20 年 | 91.24% | 95.28% |
| 30 年 | 86.73% | 93.34% |
| 40 年 | 82.23% | 91.16% |
| 50 年 | 77.56% | 89.17% |
| 60 年 | 72.79% | 86.45% |
| 70 年 | 67.90% | 84.07% |
| 80 年 | 62.75% | 81.02% |
| 90 年 | 57.57% | 78.63% |
| 100 年 | 51.92% | 75.02% |

各正常蓄水位方案坝前平均淤积高程见表 5.2-4。由于正常蓄水位越高，三角洲向坝前发展的速度越慢，水库运行 100 年各方案三角洲洲顶均尚未推进至坝前，因而正常蓄水位越高，坝前平均淤积高程越低。水库运行 10 年末，坝前平均淤积高程为

2144.74m；水库运行 50 年末，坝前平均淤积分别为 2158.83m；水库运行 100 年末，坝前平均淤积高程为 2184.05m。

表5.2-4　　旭龙水电站坝前平均淤积高程成果表　　单位：m

| 年份 | 正常蓄水位 2300m | 正常蓄水位 2302m | 正常蓄水位 2304m | 正常蓄水位 2306m |
|---|---|---|---|---|
| 10 年 | 2144.80 | 2144.74 | 2144.74 | 2144.66 |
| 20 年 | 2147.94 | 2147.79 | 2147.76 | 2147.56 |
| 30 年 | 2151.28 | 2151.06 | 2150.96 | 2150.72 |
| 40 年 | 2155.04 | 2154.68 | 2154.47 | 2154.23 |
| 50 年 | 2159.27 | 2158.83 | 2158.42 | 2158.12 |
| 60 年 | 2164.13 | 2163.50 | 2162.88 | 2162.40 |
| 70 年 | 2169.65 | 2168.86 | 2167.95 | 2167.29 |
| 80 年 | 2175.15 | 2174.38 | 2173.46 | 2172.77 |
| 90 年 | 2179.94 | 2179.24 | 2178.26 | 2177.47 |
| 100 年 | 2184.95 | 2184.05 | 2183.04 | 2182.02 |

## 5.3水温影响预测与评价

### 5.3.1 水库水温结构判别

对于库内水温是否因滞留而分层，我国现行的水库环境影响评价中普遍采用库水 $\alpha$-$\beta$ 判别法和密度傅汝德数法来判别水库水温结构。

（1） $\alpha$-$\beta$ 判别法

$\alpha$-$\beta$ 判别法为《水利水电工程水文计算规范》中推荐方法。其判别指标为：

$$\alpha = \frac{w}{v}$$

$$\beta = \frac{w_f}{v}$$

式中：$w$－多年平均入库径流量($m^3$)；$w_f$－一次洪水总量($m^3$)；$v$－水库总库容($m^3$)；$\alpha$，$\beta$－判别指标。

当$\alpha$≤10 时，为水温稳定分层型；$\alpha$≥20 时，为混合型；10<$\alpha$<20 时，为过渡型。对于分层型水库，如果遇到 β>1 的洪水，将出现临时混合现象；但如果 β<0.5 时，洪水对水库水温的分布结构没有影响；0.5<β<1 的洪水的影响介于二者之间。

（2） 密度佛汝德数法

密度佛汝德数(1968 年美国 Norton 等提出)为《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南》中推荐的方法，该方法用密度佛汝德数作为标准，来判断水库分层特性，密度佛汝德数法是惯性力与密度差引起的浮力的比值，即：

$$F_r = \frac{u}{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_0} gH\right)^{1/2}}$$

其中，$u$ 为断面平均流速(m/s)，H 为平均水深(m)，$\Delta\rho$ 为水深 H 上的最大密度差(kg/m$^3$)，$\rho_0$ 为参考密度((kg/m$^3$)，g 为重力加速度(m/s$^2$)。

因为资料限制采用公式的另外一种形式，如下：

$$F_r = 320\frac{LQ}{HV}$$

式中：$F_r$—密度佛汝德数；

$L$ —水库长度(m)

$Q$ —入流量(m$^3$/s)；

$H$ — 平均水深(m)；

$V$ —蓄水体的体积(m$^3$)；

当$F_r$<0.1，水库为分层型；0.1<$F_r$<1.0 为过渡型；$F_r$>1.0 水库为混合型。

（3） 判别结果及分析

根据《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南》经验方法综合判定结果，旭龙水库为过渡型水库。

## 5.3.2 水温模型

根据研究河段的特点，拟采用宽度平均的立面二维水温模型预测旭龙电站的库区水温和下泄水温；考虑区间支流影响，采用一维河道水温数值模型对下游河道的水温沿程变化进行计算。同时，采用垂向一维水温模型预测上游苏洼龙电站联合运行下的库区水温和下泄水温。

（1）宽度平均的立面二维水库水温模型

CE-QUAL-W2 是由美国陆军工程兵团水道实验站（WES）开发的宽度平均的立面二维水动力学和水质模型。模型假定水库横向均匀，适用于长而相对较窄的、在纵向和垂向上存在温度变化的水体。

1）模型基本方程

方程基于以下假定：

a. 流体为不可压缩流体；

b. 满足 Boussinesq 假定：在密度变化不大的流体运动中，密度变化的影响只在重力项中考虑，而在控制方程的其他项中忽略其影响。

连续方程

$$\frac{\partial Bu}{\partial x}+\frac{\partial Bw}{\partial z}=qB$$

动量方程

x 向：

$$\frac{\partial UB}{\partial t}+\frac{\partial UUB}{\partial x}+\frac{\partial WUB}{\partial z}$$

$$=gB\sin\alpha+g\cos\alpha B\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{g\cos\alpha B}{\rho}\int_{\eta}^{z}\frac{\partial \rho}{\partial x}dz+\frac{1}{\rho}\frac{\partial B\tau_{xx}}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial B\tau_{xz}}{\partial z}+qBU_x$$

模型认为在纵向尺度远大于垂向尺度的情况下，垂向流速远小于纵向流速，假定垂向流速对时间和空间的偏导数和湍流剪应力偏导数均为小量，在忽略时变加速度项、位变加速项和湍流剪应力项后，将 z 方向动量方程简化为静水压力方程，这种假定对于有明显垂向加速度的流动不适用，如强降温导致的垂向对流等模拟不准确。

z 向：

$$0=g\cos\alpha-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}$$

状态方程：

$$\rho=f(T_w,\Phi_{\mathrm{TDS}},\Phi_{\mathrm{SS}})$$

自由水面方程：

$$B_\eta\frac{\partial \eta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\int_{\eta}^{h}Budz-\int_{\eta}^{h}qBdz$$

热输运方程：

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t}+\frac{\partial UB\Phi}{\partial x}+\frac{\partial WB\Phi}{\partial z}-\frac{\partial\left(BD_x\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right)}{\partial x}-\frac{\partial\left(BD_z\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right)}{\partial z}=q_\Phi B+S_\Phi B$$

式中，B 为水体宽度，m；u 为纵向流速，m/s；w 为垂向流速，m/s；q 为侧向单位体积净入库流量，1/s；η 为水位，m；α 为河道倾角，rad；ρ 为水体密度，kg/m$^3$；$\tau_{xx}$ 为控制体在 $x$ 面 $x$ 向的湍流剪应力，N/m$^2$；$\tau_{xz}$ 为控制体在 $z$ 面 $x$ 向的湍流剪应力，N/m$^2$；$u_x$ 为支流流速的 x 分量；f（$T_w$,$\Phi_{TDS}$,$\Phi_{SS}$）为密度函数，为水温、盐度、悬浮物浓度的函数。$B_\eta$ 为水面宽度，m；$D_x$ 为纵向离散系数，m$^2$/s；$D_z$ 为垂向离散系数，m$^2$/s；$q_\Phi$ 为单元控制体侧向热量（水质）出入流的速率，J/m$^3$/s（mg/L/s）；$S_\Phi$ 为源汇项，J/m$^3$/s（mg/L/s）。

2）水面热交换

热输运方程源项中考虑了水面热交换和河床热交换两部分。水面热交换主要由辐射、蒸发和传导三部分组成，由下式表达：

$$H_n=H_s+H_a-(H_e+H_c+H_{sr}+H_{ar}+H_{br})$$

式中，$H_n$为通过水体表面的热交换净热量，W/m$^2$；$H_s$为太阳短波辐射，W/m$^2$；$H_a$为大气长波辐射，W/m$^2$；$H_e$为蒸发热损失，W/m$^2$；$H_c$为热传导通量，W/m$^2$；$H_{sr}$为反射的太阳短波辐射，W/m$^2$；$H_{ar}$为反射的大气长波辐射，W/m$^2$；$H_{br}$为水面长波辐射，W/m$^2$。

a.蒸发热损失 $H_e$

水的蒸发过程需要吸收热量，蒸发热损失表达式为：

$$H_e = f(W)(e_s - e_a)$$

其中 $f(W)$ 为风函数：

$$f(W) = 9.2 + 0.46W^2$$

式中，W 为地面 2m 高处的风速，m/s；$e_s$ 为水面饱和蒸发压力，mmHg；$e_a$ 为大气蒸气压，mmHg。

b.热传导通量$H_c$

$$H_c = C_c f(W)(T_s - T_a)$$

式中，$C_c$ 为 Bowen 常数，取为 0.47mmHg/℃；$f(W)$ 是风函数，见公式 4.2-9。

c.反射的太阳短波辐射 $H_{sr}$

$$H_{sr} = H_s\gamma\left(1-0.0065C^2\right)$$

式中，$\gamma$ 是水面反射率，文中取 0.03；C 是云层覆盖率。进入水体中的太阳辐射按比尔定律(Beer’s Law)衰减：

$$H_s(z) = (1 - BETA)H_s e^{-EXH2Oz}$$

式中，$H_s(z)$为水深 z 米时的太阳辐射，W/m$^2$；BETA 为水面太阳辐射吸收系数；EXH20 为纯水中太阳辐射衰减系数，1/m；$H_s$ 为水面的太阳短波辐射，W/m$^2$。

d.大气长波返回辐射 $H_{ar}$

大气长波返回辐射可用Stefan-Boltzman定律计算：

$$H_{ar} = \gamma_a \sigma \varepsilon_a (273.15 + T_a)^4$$

式中，$T_a$ 是水面气温，℃；$\gamma_a$ 是长波反射率，取 0.03；$\sigma$ 是 Stefan-Boltzman 常数，为 5.67×10$^{-8}$W/m$^2$·K$^4$；$\varepsilon_a$ 为大气发射率，晴天情况下可用 Idso 及 Jackson 公式计算得到

$$\varepsilon_{ac} = 1 - 0.261 \exp\left(-0.74 \times 10^{-4} T_a^2\right)$$

在多云天气可用 Bolz 公式修正为：

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{ac} \cdot \left(1 + K \cdot C^2\right)$$

式中 K 取为 0.17。

e.水体长波的返回辐射 $H_{br}$

$$H_{br} = \varepsilon \sigma \left(T_s + 273.15\right)^4$$

式中，$\varepsilon$ 为水体的长波发射率，取 0.97；$T_s$ 为水面温度，℃。

本次计算中忽略了河床热交换。

3）数值求解方法

采用有限差分法对微分方程进行离散，采用 ULTIMATE 算法求解差分方程，水动力方程、温度与水质标量方程耦合求解。计算中先求解自由水面离散方程，得出自由水面高程，之后求解 u、w，再求解温度方程。根据新的水面高程更新计算网格往返计算。

4）模型主要参数设置

影响水库水温计算结果的参数较多，主要参数设定见 5.3-1。其中影响较大且需要率定的参数有垂向涡粘系数、风遮蔽系数和光遮蔽系数。垂向涡粘系数、风遮蔽系数直接影响水动力条件，从而影响热量输运，其他系数直接影响热量输运计算。

**表 5.3-1　CE-QUAL-W2 模型中水温计算主要参数**

| 系数 | 变量名 | 默认值 |
|---|---|---|
| 垂向涡粘系数 | Az | 选择计算公式 |
| 纵向涡粘系数 | Ax | $1m^2/s$ |
| 纵向扩散系数 | Dx | $1m^2/s$ |
| 谢齐系数 | CHEZY | $70m^{1/2}/s$ |
| 粗糙高度 | Z0 | 0.001m |
| 表面太阳辐射吸收系数 | BETA | 0.45 |
| 纯水中太阳辐射衰减系数 | EXH2O | 0.45/m |
| 河床热交换系数 | CBHE | $0.3W/(m^2\cdot℃)$ |
| 风遮蔽系数 | WSC | 0.0~2.0 |
| 动态光遮蔽系数 | Dynsh | 0.0~1.0 |

①垂向涡粘系数计算

由于纵向上对流输运占主导地位，紊动切应力的影响作用相对较小，因此计算紊动切应力时纵向紊动粘性系数取为常数。而垂向速度较小，水体的对流输运较弱，不宜采用简单的常数模型计算垂向涡粘系数。垂向涡粘系数采用 W2N 公式计算，为：

$$\begin{cases} \nu_t = \kappa\left(\frac{l_m^{\ 2}}{2}\right)\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\tau_{wy}e^{-2kz}+\tau_{ytributary}}{\rho\nu_t}\right)^2}\,e^{-CR_i} \\ l_m = H\left[0.14-0.08\left(1-\frac{z}{H}\right)^2-0.06\left(1-\frac{z}{H}\right)^4\right] \end{cases}$$

式中：$\nu_t$ 为垂向涡粘系数，$m^2/s$；$l_m$ 为混合长度，m；$\kappa$ 为范卡门常数；$u_*$ 为剪力速度，m/s；$\tau_{wy}$ 为因风而产生的横向剪应力，$N/m^2$；$k$ 为波数；$\tau_{ytributary}$ 为因支流入流而产生的横向剪应力，$N/m^2$；$\Delta z_{\max}$ 为垂向网格间距的最大值，m。$\nu$ 为分子粘度，$m^2/s$。

②风遮蔽系数取值

风遮蔽系数（Wind-sheltering coefficient，WSC）用于修正测点风速与库区实际风速的差异。以往的实例应用表明，在山区和/或植被茂盛的地区，风遮蔽系数取 0.5~0.9；而在地形开阔地区，风遮蔽系数取 1.0。而在最新的一些实例应用中，风遮蔽系数取值超过 1.0，以反映陡峭河岸的漏斗效应。

③动态光遮蔽系数取值

动态光遮蔽系数（Dynamic shading coefficient，Dynsh）用于考虑地形、植被对太

阳辐射的遮蔽作用。

（2）纵向一维水温模型

旭龙电站修建后，电站下泄水温较坝址天然水温存在一定的差异，水体与大气的热通量也将发生一定的变化，使得下游水温沿程变化规律与原天然情况也有所不同。河道纵向一维模型基于质量、能量守恒定律，并考虑水体内部、外界环境等因素的影响，对天然河道水温的模拟具有较高的精度。因此，本项目旭龙电站下游天然河段的水温模拟采用纵向一维水温模型。

纵向一维水温模型由河流水动力学方程和一维温度对流扩散方程组成。

$$Z_i - Z_{i+1} = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{A_{i+1}^{\ 2}} - \frac{1}{A_i^{\ 2}}\right) + \frac{\Delta s \times Q^2}{2}\left(\frac{1}{K_i^{\ 2}} + \frac{1}{K_{i+1}^{\ 2}}\right)$$

$$K_i = \frac{1}{n} R_i^{\frac{2}{3}} A_i$$

式中，$Z_i$、$Z_{i+1}$ 分别为流段上游、下游水位，m；Q 为流量，$m^3/s$；A 为过水断面面积，$m^2$；$K$ 为断面平均流量模数；$n$ 为糙率；R 为水力半径，m。由河流水动力学方程计算得到河道水面线。

忽略水体与河床之间热交换的河道水流一维温度对流—扩散方程为：

$$A\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (QT)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(AD_L \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{BS}{\rho C_p}$$

式中：$D_L$ 为纵向弥散系数，$m^2/s$；$\rho$ 为水的密度，$kg/m^3$；$C_p$ 为水的比热，cal/(kg·°C)；B 为河面宽度，m；$S$ 为单位表面积净热交换通量，$W/m^2$；表示水流与外界(太阳、空气、河道边界)之间热交换量以及水体机械能转换内能的换算通量。

（3）垂向一维水温模型

采用垂向一维水温模型开展苏洼龙水电站平水年与上游梯级联合运行下垂向水温和下泄水温预测。

1）热平衡方程

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{TQ_v}{A}\right) = \frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial z}\left(AD_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{B}{A}\left(u_i T_i - u_o T\right) + \frac{1}{\rho A C_p}\frac{\partial \left(A\varphi_z\right)}{\partial z}$$

式中：$T$ 为单元层温度，℃；$T_i$ 为入流温度，℃；A 为单元层水平面面积，$m^2$；B 为单元层平均宽度，m；$D_z$ 为垂向扩散系数，$m^2/s$；ρ($kg/m^3$)为水体密度，是温度的函数，$\rho = 1000 - 1.955\times10^{-2}\left(T - 4.0\right)^{1.68}$；$C_p$ 为水体比热，kJ/kg·℃；$\varphi_z$ 为太阳辐射通

量，W/m$^2$；$u_i$ 为入流速度，m/s；$u_o$ 为出流速度，m/s；$Q_v$ 为通过单元上边界的垂向流量，m$^3$/s。

2）水面热交换

水面热交换包括净太阳短波辐射、净长波辐射、蒸发和传导四个方面。通过水面进入水体的热通量为：

$$\varphi_n = \varphi_{sn} + \varphi_{an} - \varphi_{br} - \varphi_e - \varphi_c$$

3） 水库入流、出流流场的计算

当入流温度低于表层温度时，入流下沉进入水温相同的单元层。出流中心位置为出水口中心高程。

入流(或出流)的流动层厚度取决于入(出)流流速和分层区的垂向密度梯度，有：

$$\delta = 1.35\left(\frac{QL}{A}\frac{1}{\sqrt{g\dfrac{\Delta\rho}{\rho_0}}}\right)^{2/3}$$

式中：$\delta$ 为入(出)流流动区厚度的一半，m；Q 为入(出)流流量，m$^3$/s；$L$ 为入(出)流中心高程处水库长度，m；A 为入(出)流中心高程处的水平面面积，m2；$\Delta\rho$ 为入(出)流中心高程处的密度与其上下边界的密度差；$\rho_0$ 为入(出)流中心高程处的密度。

4） 风混合模型

风对加深混合层深度、加剧上层水体混合具有较大的影响。因此在求解热平衡方程后，再根据风速对垂向温度分布进行修正。

假定风的剪切应力是上层水体紊动的主要来源，风所引起的有效紊动动能为：

$$TKE = \int_{A_s} CW\tau \, dA$$

式中：$A_s$ 为水库表面面积，m$^2$/s；W 为风速，m/s；$\tau$ 为水气界面上的剪切应力，计算值为 $\tau = \rho_a C_d W^2$，其中 $\rho_a$ 为空气密度，Cd 为风应力系数，约为 0.0013；C 是动能转化为势能的有效系数，其计算公式为：$C = \dfrac{0.057R_i\left(29.5-\sqrt{R_i}\right)}{14.2+R_i}$，其中 $R_i$ 为理查森数，$R_i = \dfrac{\Delta\rho g h}{\rho_s U_*^2}$，$U_*$ 为摩阻速度，$U_* = \sqrt{\dfrac{\tau}{\rho}}$；Δρ 为混合层与下层水体的密度差；$\rho_s$ 为混合层温度；h 为混合层厚度。

5）下泄水温的计算

以坝前垂向各单元层的出流流量为权重，计算得到加权平均的水库下泄水温：

$$T_0 = \frac{\int_{-\delta}^{+\delta} u_0 B_z T dz}{Q_0}$$

式中：$T$、$T_0$分别为坝前水温、出流水温，℃；$Q_0$为出库流量，$m^3/s$；$u_0$为各层的出流流速，m/s；$B_z$为相应于一定高程的河宽，m；$\delta$为出流流动区域的半厚度，m。

### 5.3.3 水温预测工况

根据水库地形、调度运行特性、来流水温、库区气象、泄流孔口等边界条件，预测平水年工况下旭龙电站单独运行取水口底板高程（2264m）对库区、坝址处水温时空分布的影响。

考虑金沙江规划的旭龙以上梯级叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙水库均已核准，采用立面二维水温模型，预测旭龙电站与上游梯级联合运行平水年工况下、取水口底板高程（2264m）旭龙库区水温结构及下泄水温过程。

采用纵向一维水温模型，以旭龙电站联合运行下泄水温、出库流量等作为上游边界条件，考虑河道地形、区间汇流等影响，预测旭龙电站坝下研究河段的水温变化情况。

具体水温影响预测工况见 5.3-2。

**表 5.3-2　旭龙水库水温影响预测工况**

| 工况 | 水库运行方案 | 取水口底板高程 | 水文条件 | 入流水温 | 气象条件 | 数学模型 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 单独运行不同取水口底板高程 | 2264m | 典型平水年的天然入库流量 | 库尾入流水温采用实测或拟定的天然水温，包括干流及主要支流；下游河道入流水温预测采用水库下泄水温，并考虑主要支流入汇影响。 | 库周气象站的多年平均逐月气象过程 | 水库采用立面二维水温模型。 |
| 2 | 联合运行不同取水口底板高程 | 2264m | 梯级联合运行方案，典型平水年苏洼龙下泄流量 | 库尾入流水温采用上一级电站的下泄水温，包括支流的影响。下游河道入流水温预测采用电站下泄水温，并考虑主要支流入汇影响。 | 库周气象站的多年平均逐月气象过程 | 旭龙电站均采用立面二维水温模型，下游河道采用纵向一维水温模型 |

## 5.3.4 网格划分及预测条件

（1）网格划分

旭龙水电站库区回水总长为 64.6km，该水电站水库正常蓄水位为 2302m，相应库区最大水深达 161.4m，相应库容 8.29 亿 $m^3$。

计算网格单元在干流主流方向上尺寸为 500m，在水深方向上为 2m，在正常蓄水位下，旭龙水电站库区离散为 131×84 个矩形网格。

（2）计算条件的确定

1）气象

旭龙坝址与得荣气象站（2422m）地理位置和高程相近，因此选用得荣站的气象资料作为旭龙水电站的气象边界条件；距苏洼龙坝址最近的气象站是巴塘气象站，约 78km，因此苏洼龙坝址气象要素采用巴塘气象站（2589.1m）统计成果；下游河道采用气温按 0.6℃/100m 的气温直减率通过得荣气象站的气温进行修正。

2）水温

因缺乏旭龙电站坝址处的水温实测资料，现选取距坝址上游 137km 的巴塘站（1998~2007 年）和距坝址下游 326.1km 的石鼓站（1998~2007 年）系列逐月水温实测资料，以此来内插推求旭龙水电站坝址处和苏洼龙坝址处水温。

选取上游梯级叶巴滩+拉哇+巴塘电站联合运行叠梁门取水工况下的计算下泄水温为下游梯级的入流水温边界。

## 5.3.5 水温预测结果

### 5.3.5.1 旭龙水库单独运行水温影响预测

（1）库区水温预测分析

旭龙水电站在典型平水年、多年平均入库水温和多年平均气象条件下取水高程（2264m）的 1、4、7 和 10 月库区立面二维水温预测结果图如图 5.3-1~图 5.3-4 所示，均为各月 15 日计算值。由预测结果可知，旭龙水电站库区均呈季节性分层型水温结构特征。

1 月来流水温、气温和入库流量均较低，库区流速缓慢且均匀。坝前平均水温为 4.2℃，库底温度稳定在 4.0℃，库表比库底温度高 3.1℃；

4 月来流水温和气温等继续提升，库区水温随之提高。表层水温升高至 15.2℃，下层温度为 4.3℃，坝前平均水温为 6.3℃，于 2245~2295m 范围内出现较明显的温跃层，梯度为 0.2℃/m。

7 月的入流水温继续升高，其流量大幅增加（2241 m3/s），库区水体流速增大。坝前表层水温为 17.9℃，库底水温为 4.6℃，坝前平均水温为 9.7℃。于 2220~2242m 处出现明显的温跃层，梯度为 0.5℃/m。

10 月气温和太阳辐射快速下降，且干流的入流水温也下降，库区水温整体下降明显。坝前垂向平均水温为 9.7℃，底层水温稳定在 4.9℃，分层现象依然明显，于 2190~2200m 范围出现温跃层，梯度均为 0.6℃/m。

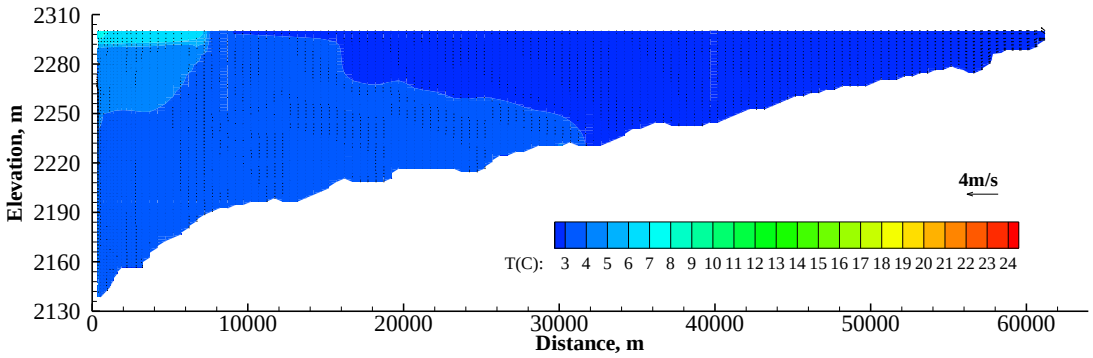



图 5.3-1 旭龙水电站平水年 1 月库区二维水温分布

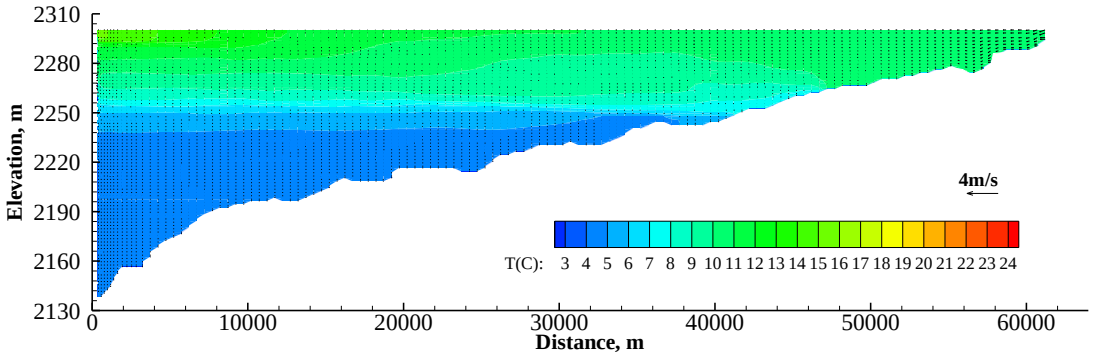



图 5.3-2 旭龙水电站平水年 4 月库区二维水温分布

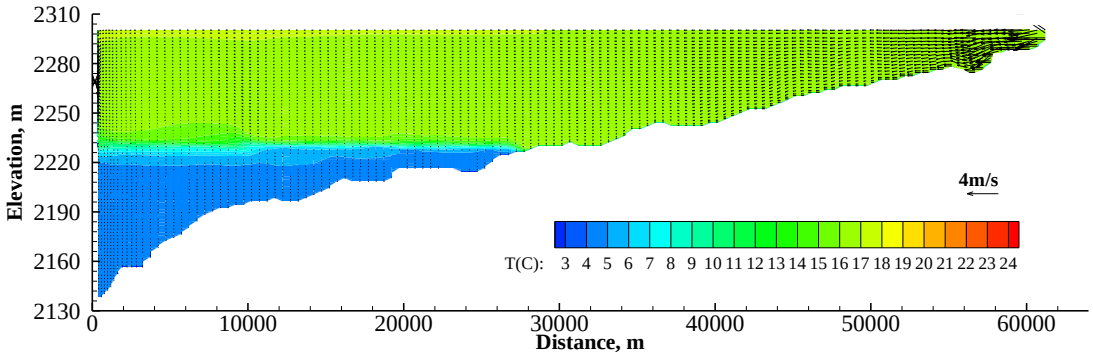



图 5.3-3 旭龙水电站平水年 7 月库区二维水温分布

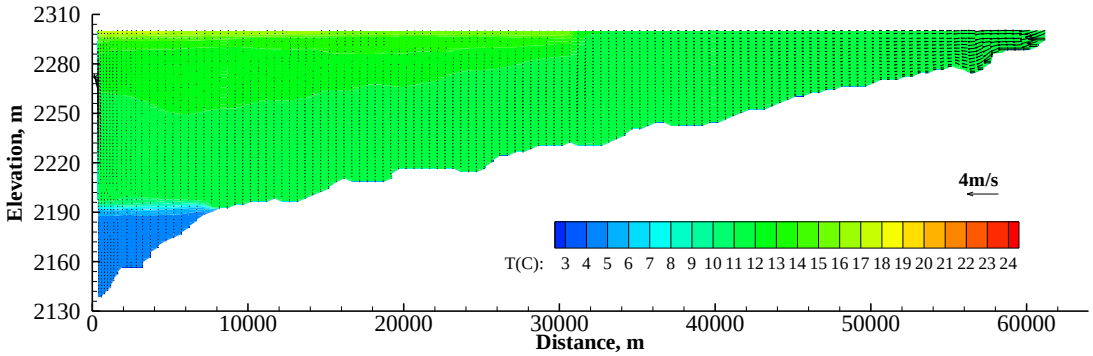



图 5.3-4 旭龙水电站平水年 10 月库区二维水温分布

（2）月均水温对比分析

旭龙单独运行平水年下泄水温与坝址现状水温对比分析如表 5.3-3、图 5.3-5 和图 5.3-6 所示。

与坝址现状年均水温相比，旭龙水库平水年年均下泄水温均有所改变，年均下泄水温较现状变化了 0.4℃。下泄水温过程在 2 月～6 月低于现状水温，在 8 月～翌年 1 月高于坝址现状水温。

升温期 2 月～5 月下泄水温较现状平均降低了 0.7℃，其中 3 月降幅最大，为 1.0℃。6~7 月流量大，库区水体中上部垂向掺混明显，来流向坝前推进迅速，下泄水温均与天然水温接近。降温期 8 月～次年 1 月旭龙下泄水温比现状平均上升了 1.1℃；其中 11 月升幅最大，为 2.0℃。

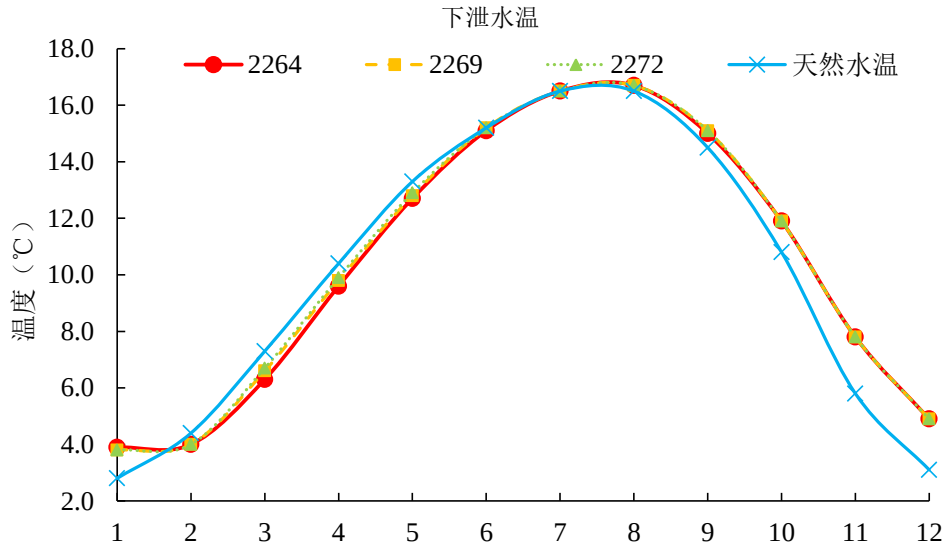



图 5.3-5　旭龙电站不同取水口底板高程下泄水温与坝址现状水温比较

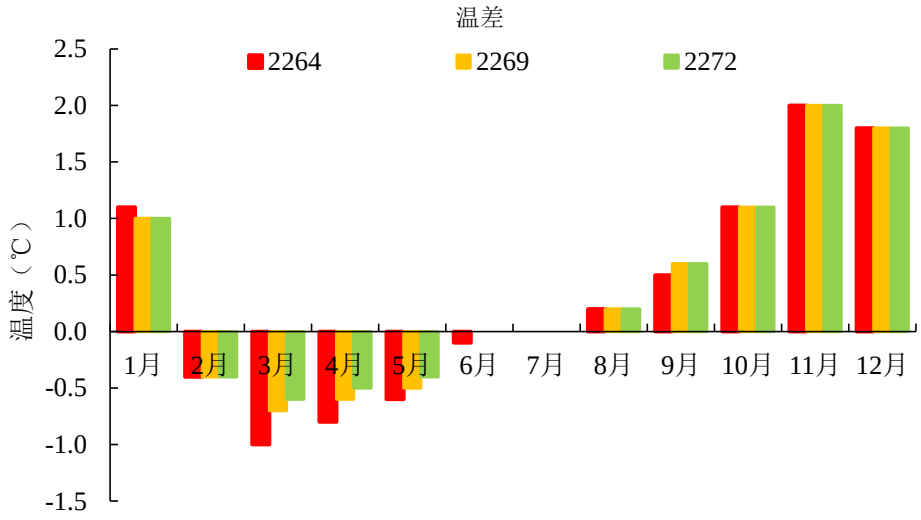



图 5.3-6　旭龙电站下泄水温与坝址现状水温温差比较

表 5.3-3　旭龙电站月均下泄水温与坝址现状水温比较（℃）

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 月均下泄水温 | 下泄水温与现状水温差 |
|---|---|---|---|---|
| 1 月 | 6 | 2.8 | 3.9 | 1.1 |
| 2 月 | 8.5 | 4.4 | 4.0 | -0.4 |
| 3 月 | 11.7 | 7.3 | 6.3 | -1.0 |
| 4 月 | 15.1 | 10.4 | 9.6 | -0.8 |
| 5 月 | 19.5 | 13.3 | 12.7 | -0.6 |
| 6 月 | 22.8 | 15.2 | 15.1 | -0.1 |
| 7 月 | 21.7 | 16.5 | 16.5 | 0.0 |
| 8 月 | 20.5 | 16.5 | 16.7 | 0.2 |

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 月均下泄水温 | 下泄水温与现状水温差 |
|---|---|---|---|---|
| 9 月 | 19.4 | 14.5 | 15.0 | 0.5 |
| 10 月 | 15.8 | 10.8 | 11.9 | 1.1 |
| 11 月 | 10.2 | 5.8 | 7.8 | 2.0 |
| 12 月 | 6.1 | 3.1 | 4.9 | 1.8 |
| 年均 | 14.8 | 10.0 | 10.4 | 0.4 |
| 最大值 | 22.8 | 16.5 | 16.7 | 2.0 |
| 最小值 | 6.0 | 2.8 | 3.9 | -1.0 |

### 5.3.5.2 旭龙水库联合运行水温影响预测

（1）库区水温对比分析

旭龙水电站在典型平水年、多年平均入库水温和多年平均气象条件下 1、5、7 和 10 月库区立面二维水温预测结果如图 5.3-7~图 5.3-10 显示了，均为各月 15 日计算值。5 月份坝前水温及流线分布如图 5.3-11 所示。平水年坝前垂向水温分布如图 5.3-12 所示。由水温预测结果可知，旭龙水电站库区呈季节性分层型水温结构特征。

1 月来流水温、气温和入库流量均较低，库区流速缓慢且均匀。坝前平均水温为 7.2℃，库底温度稳定在 6.3℃，库表温度为 8.5℃。

5 月来流水温和气温等继续提升，库区水温大幅升高。表层水温升高至 20.1℃、，下层温度为 5.5℃，坝前平均水温为 7.6℃，于 2215~2295 范围内出现较明显的温跃层，梯度为 0.2℃/m。

7 月的入流水温继续升高，其流量大幅增加（2245 $m^3/s$），库区水体流速增大。坝前表层水温为 20.7℃，库底水温为 5.7℃，坝前平均水温为 9.8℃。于表层 12m 范围内出现梯度为 0.5℃/m 的温跃层；在取水口下方，于 2208~2238m 处出现明显的温跃层，梯度为 0.3℃/m。

10 月气温和太阳辐射快速下降，且干流的入流水温也下降，库区水温整体下降明显。坝前垂向平均水温为 10.9℃，底层水温稳定在 6.0℃，分层现象依然明显，2183~2189m 范围出现温跃层，梯度均为 1.0℃/m。

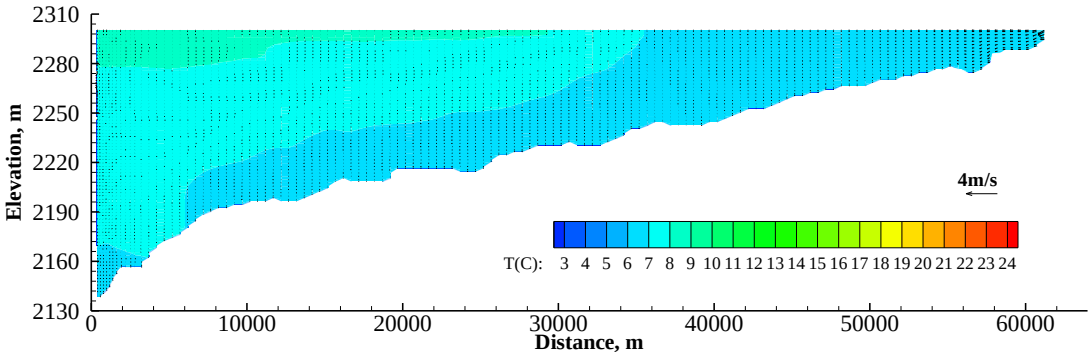



图 5.3-7 旭龙水电站平水年 1 月库区二维水温分布

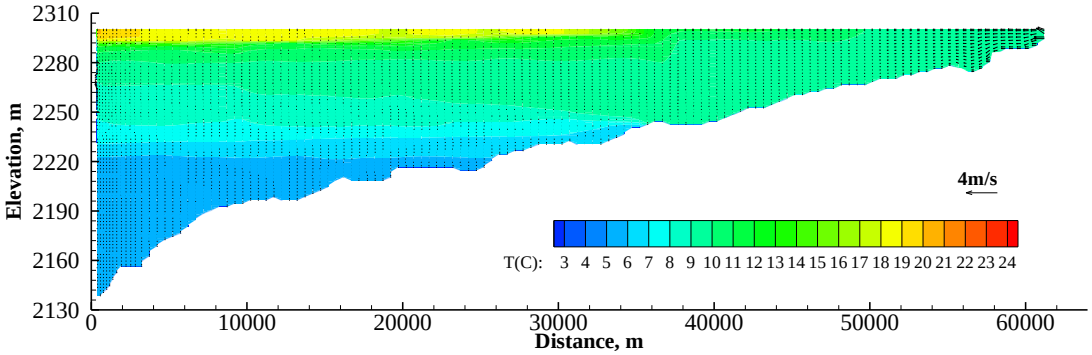



图 5.3-8 旭龙水电站平水年 5 月库区二维水温分布

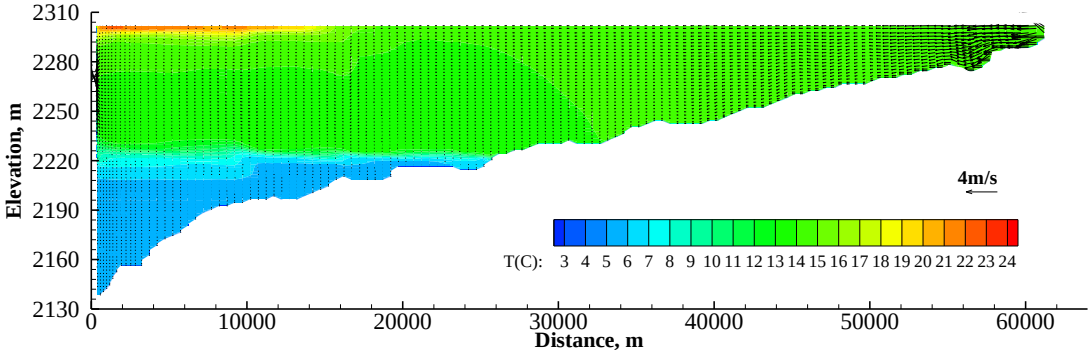



图 5.3-9 旭龙水电站平水年 7 月库区二维水温分布

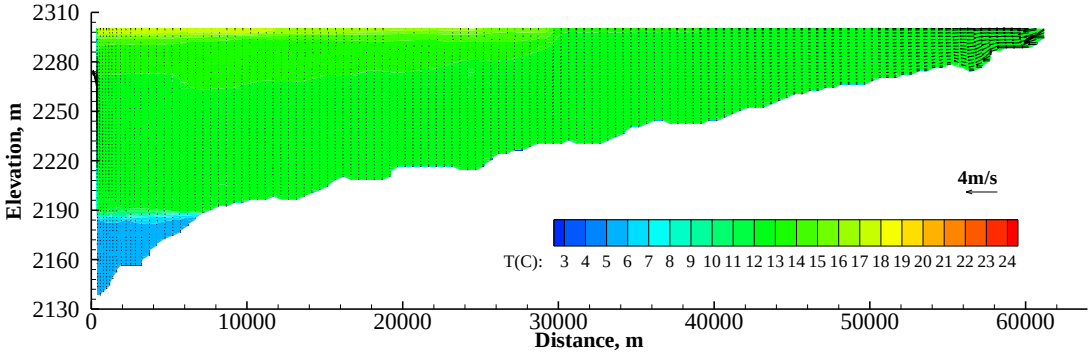



图 5.3-10 旭龙水电站平水年 10 月库区二维水温分布

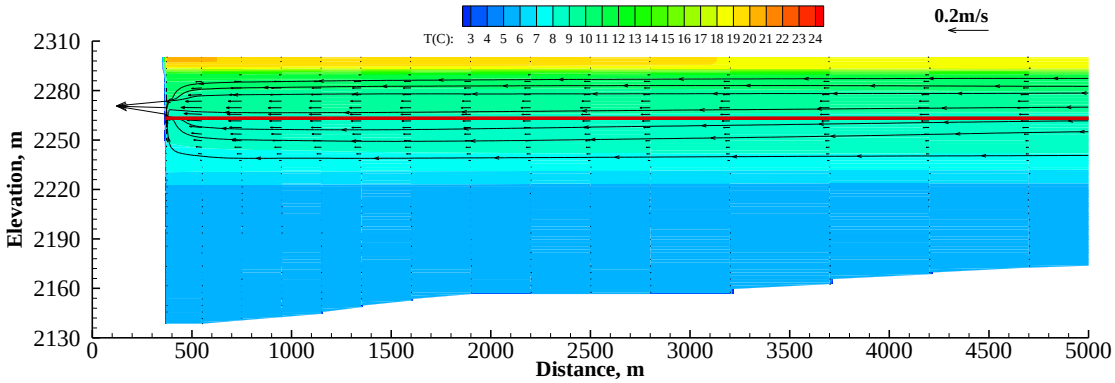



图 5.3-11　旭龙水库 5 月份坝前水温及流线分布对比

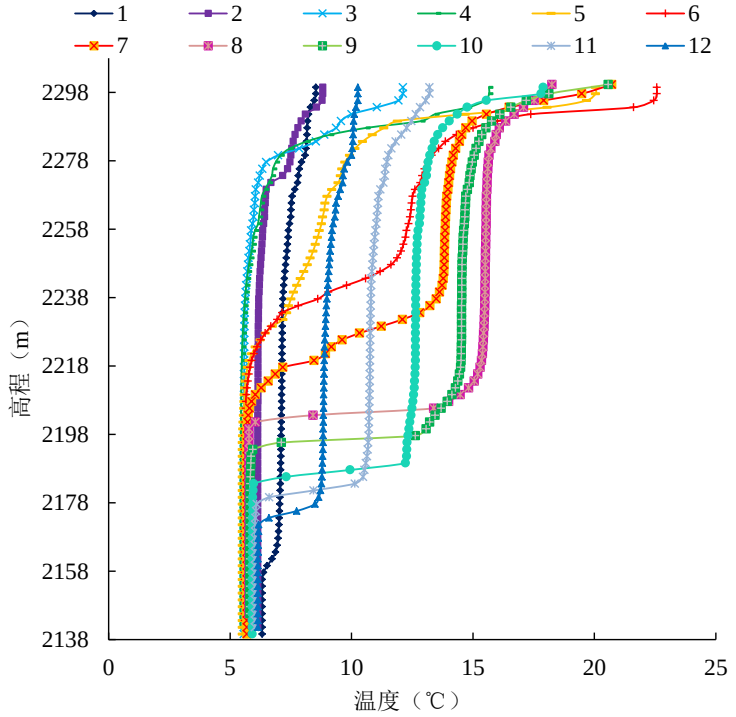



图 5.3-12　旭龙水库坝前垂向水温分布对比

（2）月均水温对比分析

旭龙联合运行平水年下泄水温与坝址现状水温对比分析如表 5.3-4、图 5.3-13 和图 5.3-14 所示。

与坝址现状年均水温相比，旭龙水库联合运行平水年年均下泄水温均所改变，年均下泄水温较现状变化了 0.6℃。下泄水温过程 3 月～8 月均低于现状水温，在 9 月～翌年 2 月均高于坝址现状水温。

升温期 3 月～8 月下泄水温较现状平均降低了 2.5℃，其中 5 月水温降幅最大，为 4.0℃。降温期 9 月～次年 2 月，旭龙下泄水温比现状平均上升了 3.5℃；其中 12 月升幅最大，为 6.3℃。

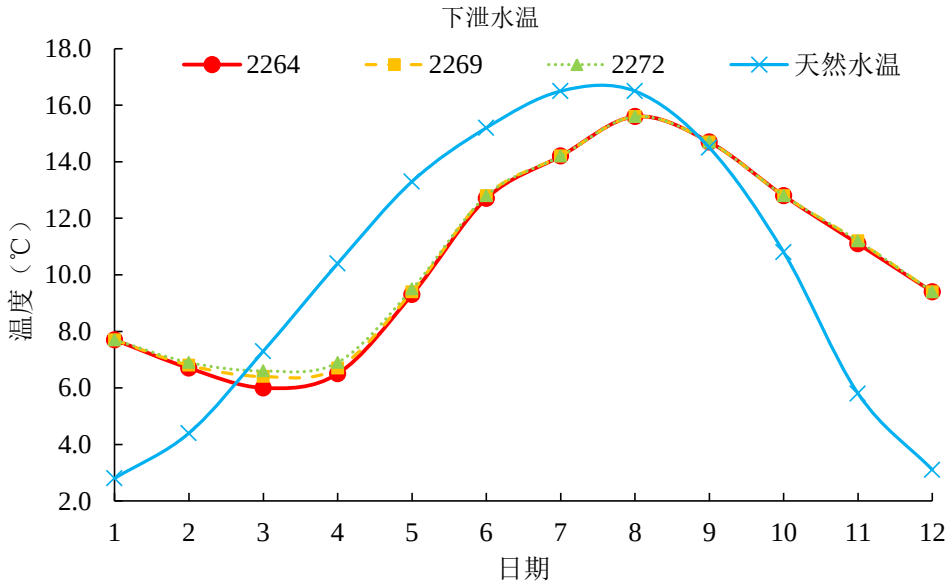



图 5.3-13　旭龙电站平水年下泄水温与坝址现状水温比较

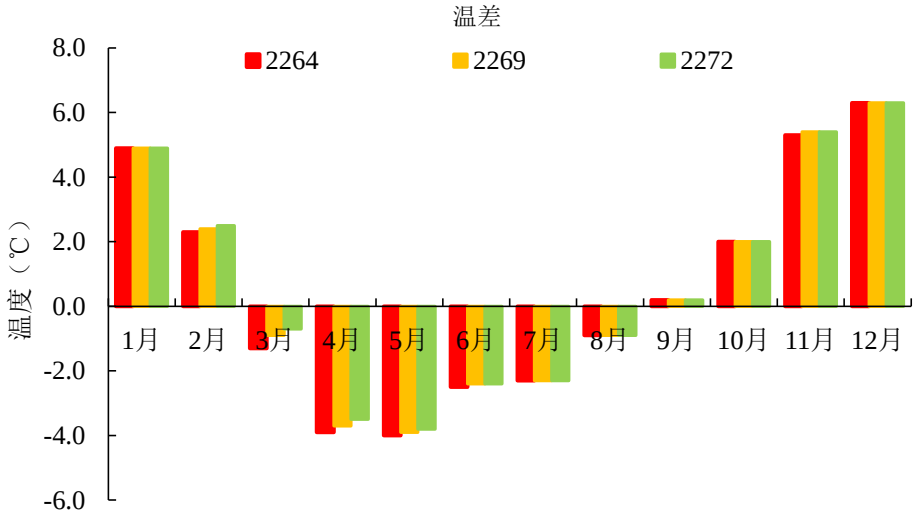



图 5.3-14 旭龙电站平水年下泄水温与坝址现状水温温差比较

表 5.3-4　旭龙电站下泄水温与坝址现状水温比较（℃）

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 月均下泄水温 | 月均下泄水温与现状水温差 |
|---|---|---|---|---|
| 1 月 | 6 | 2.8 | 7.7 | 4.9 |
| 2 月 | 8.5 | 4.4 | 6.7 | 2.3 |
| 3 月 | 11.7 | 7.3 | 6.0 | -1.3 |
| 4 月 | 15.1 | 10.4 | 6.5 | -3.9 |
| 5 月 | 19.5 | 13.3 | 9.3 | -4.0 |
| 6 月 | 22.8 | 15.2 | 12.7 | -2.5 |
| 7 月 | 21.7 | 16.5 | 14.2 | -2.3 |

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 月均下泄水温 | 月均下泄水温与现状水温差 |
|---|---|---|---|---|
| 8 月 | 20.5 | 16.5 | 15.6 | -0.9 |
| 9 月 | 19.4 | 14.5 | 14.7 | 0.2 |
| 10 月 | 15.8 | 10.8 | 12.8 | 2.0 |
| 11 月 | 10.2 | 5.8 | 11.1 | 5.3 |
| 12 月 | 6.1 | 3.1 | 9.4 | 6.3 |
| 年均 | 14.8 | 10.0 | 10.6 | 0.6 |
| 最大值 | 22.8 | 16.5 | 15.6 | 6.3 |
| 最小值 | 6.0 | 2.8 | 6.0 | -4.0 |

综上所述，单独运行和联合运行条件下对库区水温结构及下泄水温过程均有一定程度的改变，其中，联合运行条件下比单独运行水库下泄更低的低温水。考虑水温影响和电站运行需求，尤其是 3~5 月为金沙江上游省级保护鱼类如长丝裂腹鱼、青石爬鮡、黄石爬鮡、中华鮡和中甸叶须鱼等的生长繁殖期，此期间单独运行条件下水温最大降幅 1.0℃，联合运行条件下水温最大降幅 4.0℃，对鱼类的生长繁殖产生一定的影响。

#### 5.3.5.3 旭龙坝下河道水温影响预测

基于上述预测分析的结果，考虑奔子栏坝下附近分布有鱼类产卵场敏感区，故坝下河道水温仅以奔子栏水文站处水温变化为代表，分析旭龙建库后联合运行水温变化情况。

旭龙坝址与奔子栏水文站联合运行各典型年的沿程变化情况对比如表 5.2-5 和图 5.3-15 所示。其中天然情况年内水温差值在 0.3~0.7℃之间变化，呈沿程增温趋势。

（1）丰水年年内水温差值在-0.4~1.3℃之间变化，在 3~9 月沿程增温，平均升高 0.7℃， 11~翌年 1 月沿程降温，平均降低 0.2℃。

（2）平水年年内水温差值在-0.5~1.1℃之间变化，在 3~9 月沿程增温，平均升高 0.8℃， 10~翌年 1 月沿程降温，平均降低 0.3℃。

（3）枯水年年内水温差值在-0.6~1.2℃之间变化，在 3~9 月沿程增温，平均升高 0.8℃， 10~翌年 1 月沿程降温，平均降低 0.4℃。总体来看，联合运行各典型年沿程变化幅度较天然情况变化大。

旭龙坝址下游 3、5、9 和 12 月水温沿程变化图如图 5.3-16~图 5.3-19 所示。

联合运行工况下下泄水温较天然水温过程改变较大，且下泄流量大，水温恢复距离相对较短，假定工程运行后下游某断面水温与天然水温差异在 0.5℃以内认为旭龙下泄水温没有影响，则各典型年在旭龙坝址处仅在 9 月份水温得以恢复；若将影响标准扩大至 1.0℃以内，则各典型年在 3 月、8 月和 9 月水温得以恢复，总体恢复较慢。

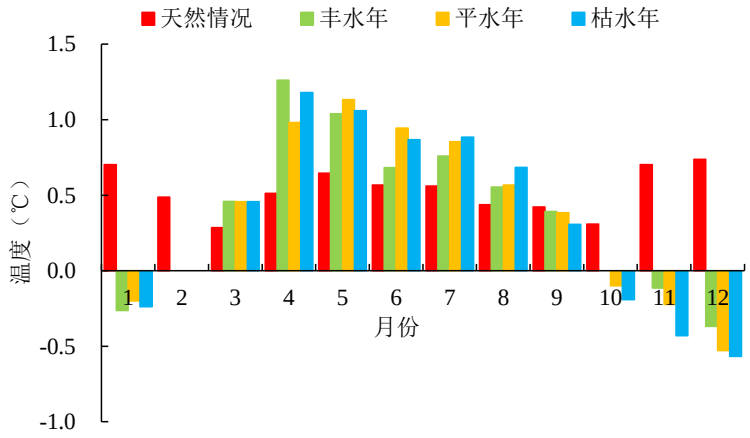



图 5.3-15　旭龙坝址与奔子栏水文站处联合运行各典型年月均水温沿程变化差值对比图

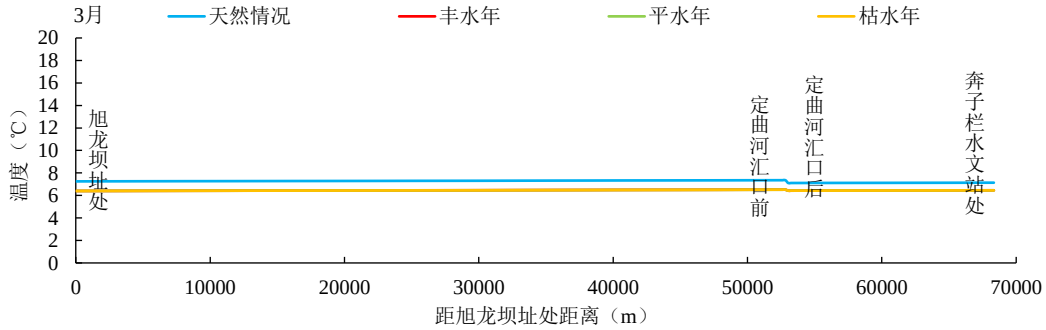



图 5.3-16　旭龙坝址下游各典型年 3 月水温沿程变化图

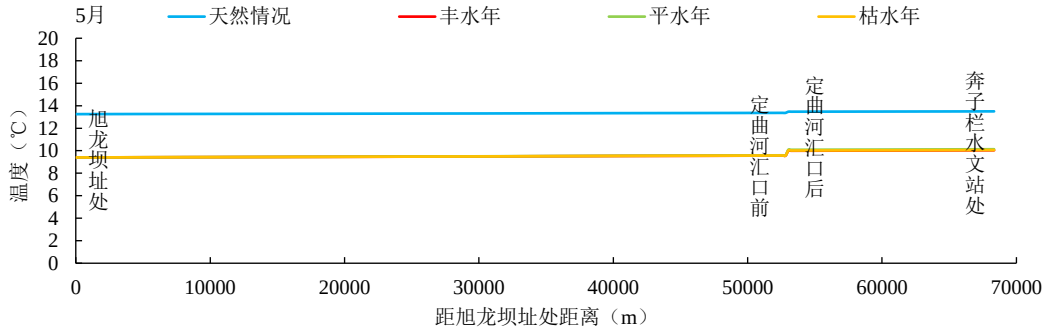



图 5.3-17　旭龙坝址下游各典型年 5 月水温沿程变化图

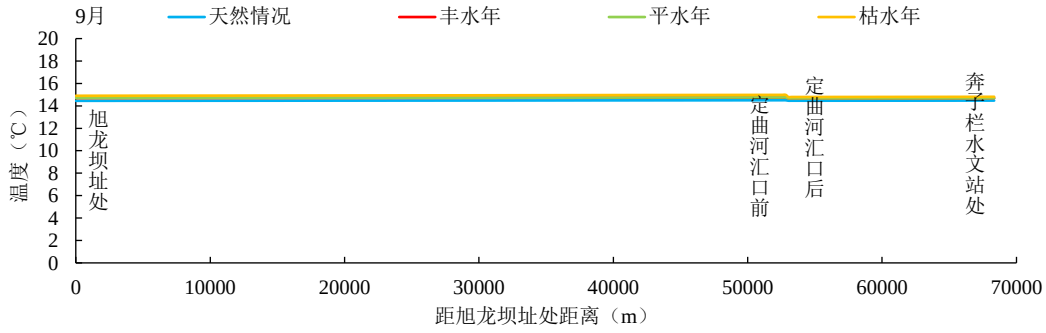



图 5.3-18　旭龙坝址下游各典型年 9 月水温沿程变化图

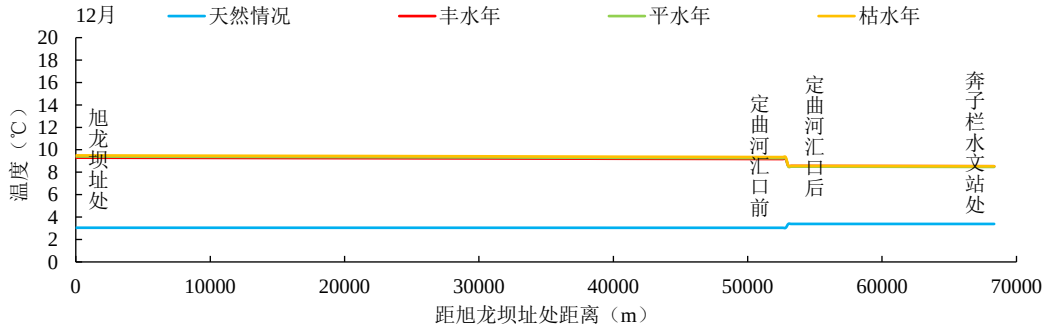



图 5.3-19　旭龙坝址下游各典型年 12 月水温沿程变化图

表 5.3-5　旭龙坝址与奔子栏水文站处联合运行各典型年的月均水温沿程变化比较（℃）

| 月份 | 天然情况 | | | 丰水年 | | | 平水年 | | | 枯水年 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 旭龙坝址 | 奔子栏水文站 | 差值 | 旭龙坝址 | 奔子栏水文站 | 差值 | 旭龙坝址 | 奔子栏水文站 | 差值 | 旭龙坝址 | 奔子栏水文站 | 差值 |
| 1 | 2.8 | 3.5 | 0.7 | 7.6 | 7.3 | -0.3 | 7.7 | 7.5 | -0.2 | 7.7 | 7.5 | -0.2 |
| 2 | 4.4 | 4.8 | 0.5 | 6.9 | 6.9 | 0.0 | 6.8 | 6.9 | 0.0 | 6.9 | 6.9 | 0.0 |
| 3 | 7.3 | 7.5 | 0.3 | 6.4 | 6.9 | 0.5 | 6.4 | 6.9 | 0.5 | 6.4 | 6.9 | 0.5 |
| 4 | 10.4 | 10.9 | 0.5 | 6.6 | 7.9 | 1.3 | 6.7 | 7.7 | 1.0 | 6.7 | 7.9 | 1.2 |
| 5 | 13.3 | 13.9 | 0.6 | 9.4 | 10.4 | 1.0 | 9.4 | 10.5 | 1.1 | 9.4 | 10.5 | 1.1 |
| 6 | 15.2 | 15.7 | 0.6 | 12.9 | 13.6 | 0.7 | 12.8 | 13.7 | 0.9 | 12.8 | 13.7 | 0.9 |
| 7 | 16.5 | 17.0 | 0.6 | 14.2 | 15.0 | 0.8 | 14.2 | 15.1 | 0.9 | 14.2 | 15.1 | 0.9 |
| 8 | 16.5 | 16.9 | 0.4 | 15.6 | 16.2 | 0.6 | 15.6 | 16.2 | 0.6 | 15.5 | 16.2 | 0.7 |
| 9 | 14.5 | 14.9 | 0.4 | 14.7 | 15.1 | 0.4 | 14.7 | 15.1 | 0.4 | 14.9 | 15.2 | 0.3 |
| 10 | 10.8 | 11.1 | 0.3 | 12.8 | 12.9 | 0.0 | 12.8 | 12.8 | -0.1 | 13.1 | 12.9 | -0.2 |
| 11 | 5.8 | 6.5 | 0.7 | 11.1 | 11.0 | -0.1 | 11.2 | 11.0 | -0.2 | 11.4 | 11.0 | -0.4 |
| 12 | 3.1 | 3.8 | 0.7 | 9.3 | 8.9 | -0.4 | 9.4 | 8.9 | -0.5 | 9.5 | 8.9 | -0.6 |
| 年均 | 10.0 | 10.5 | 0.5 | 10.6 | 11.0 | 0.4 | 10.6 | 11.0 | 0.4 | 10.7 | 11.0 | 0.3 |
| 最大值 | 16.5 | 17.0 | 0.7 | 15.6 | 16.2 | 1.3 | 15.6 | 16.2 | 1.1 | 15.5 | 16.2 | 1.2 |
| 最小值 | 2.8 | 3.5 | 0.3 | 6.4 | 6.9 | -0.4 | 6.4 | 6.9 | -0.5 | 6.4 | 6.9 | -0.6 |
| 年内变幅 | 13.7 | 13.6 | 0.5 | 9.2 | 9.3 | 1.6 | 9.2 | 9.3 | 1.7 | 9.1 | 9.3 | 1.7 |

## 5.4水质影响预测与评价

### 5.4.1 施工期水质影响预测

旭龙水电站枢纽工程建设期间将产生一定的污废水，主要包括砂石料冲洗废水、混凝土拌和楼冲洗废水、机械冲洗废水及生活污水等，由于工程所在江段执行Ⅱ类水质目标，所有污废水均考虑处理后回用，不排放。在正常工况下不会对附近金沙江水质带来不利影响，但在处理系统事故排放的情况下将对金沙江水质造成一定的影响。由于混凝土拌和罐冲洗废水量很小，本节不单独分析碱性废水事故排放情况下对金沙江水质的影响。

#### 5.4.1.1 生活污水事故排放对水质的影响

生活污水事故排放预测以排污量较大的 3#施工营地生活废水为代表，分析其事故排放对金沙江水体的影响。

（1）生活污水排放量预测

3#施工营地高峰施工人数约 2740 人，距金沙江直线距离约 130m，高程在 2255~2265m 之间。按照每人每天用水 120L，生活废水排放系数为 0.8 计算，3#施工营地高峰期产生生活废水量为 329m³/d。事故排放情况下，COD 浓度取 400mg/L。

（2）预测模型及参数拟定

1）预测因子

根据生活污水中特征污染物及金沙江水体水质现状情况，选择预测因子为 COD、$NH_3$-N。

2）预测模型

预测模型采用非持久污染物岸边排放二维稳态混合衰减模式预测。

$$c(x,y)=\exp(-K_1\frac{x}{86400u})\left\{c_h+\frac{c_pQ_p}{H(\pi M_y xu)^{1/2}}\left[\exp(-\frac{uy^2}{4M_yx})+\exp(-\frac{u(2B-y)^2}{4M_yx})\right]\right\} \quad (5.1\text{-}1)$$

$$M_y=(0.058H+0.0065B)(gHI)^{1/2} \quad (5.1\text{-}2)$$

式中：

$c(x,y)$—预测点污染物浓度，mg/L；

$x$—预测点$x$方向坐标值，m；

$y$—预测点离排放口的横向距离，m；

$K_1$—河流中污染物降解系数，1/d；

$c_p$—污水中污染物的浓度，mg/ L；

$Q_p$—污水流量，$m^3/s$；

$c_h$—河流上游污染物的浓度（本底浓度），mg/ L；

$H$—河流平均水深，m；

$M_y$—河流横向混合（弥散）系数，$m^2/s$；

$u$—河流流速，m/s；

$B$—河流平均宽度，m；

$\pi$—圆周率；

$g$—取 $9.8m^2/s$；

$I$—为河流比降。

3）参数拟定和计算结果

①计算条件

a）水文条件

考虑最不利情况，设计流量选取排放口所在金沙江江段 90%保证率下的最枯月平均流量。

以天然月径流序列为基础资料，进行最枯月平均流量的频率计算，根据计算，90%保证率下最枯月平均流量为 $466m^3/s$。

根据旭龙水电站回水计算结果以及各排污口所在断面河道地形，采用流量—面积法进行估算，90%保证率下，3#施工营地排污口所在断面流速约为 1.37m/s。

b）水质背景浓度

本次环境影响评价在坝址处设有一处水质现状监测断面，位于枢纽工程影响范围内，因此水质背景浓度采用坝址断面枯水期水质实测数据，COD 初始浓度为 14.1mg/L。

②$K_1$值的选取

工程所在金沙江水流湍急，参照金沙江同类工程（拉哇水电站）测定情况，COD 降解系数 $K_1$ 值取 5.2d-1。

根据预测，3#施工营地生活废水事故排放至金沙江后，横向影响范围主要在排污口处 4m 范围内。营地排污口所在断面岸边 COD 浓度增加量为 0.2mg/L。生活污水事故排放情况下，排污口在下游 50m 处全部自净到背景值，具体水质预测结果见表 5.1-1。

由于金沙江流量较大，水量充沛，生活污水量较小，因此，工程施工区生活污水排放产生的污染带范围有限，对金沙江水质影响甚微。

表5.4-　　3#施工营地排污口近岸水域COD浓度计算表　　单位：mg/L

| y(m) / x(m) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 14.3 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 10 | 14.3 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 15 | 14.2 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 20 | 14.2 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 25 | 14.2 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 30 | 14.2 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 35 | 14.2 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 40 | 14.2 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 45 | 14.2 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |
| 50 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |

### 5.4.1.2 砂石料冲洗废水事故排放对水质的影响

砂石料冲洗废水排放预测以排污量较大的洒茂顶砂石加工系统冲洗废水为代表，分析其事故排放对金沙江水体的影响。

（1）砂石料冲洗废水排放量预测

洒茂顶砂石加工系统设计处理能力为 1000t/h，成品料生产能力为 780t/h。砂石加工系统为两班制生产，设计用水量为 850m³/h，废水产生量为 680m³/h，事故排放下 SS 浓度为 50000mg/L。

（2）预测模型及参数拟定

1）预测因子

砂石料冲洗废水中主要污染物为 SS，因此预测因子也为 SS。

2）预测模型

砂石加工系统混合过程段采用导则推荐的持久性污染物岸边排放二维稳态混合模式，预测模式详见式 5.1-3。

$$c(x,y)=c_h+\frac{c_pQ_p}{H\sqrt{\pi M_y xu}}\left\{\exp\left(-\frac{uy^2}{4M_yx}\right)+\exp\left[-\frac{u(2B-y)^2}{4M_yx}\right]\right\} \quad (5.1\text{-}3)$$

式中：

$c(x,y)$—预测点污染物浓度，mg/L；

$x$—预测点 $x$ 方向坐标值，m；

$y$—预测点离排放口的横向距离，m；

$c_p$—污水中污染物的浓度，mg/ L；

$Q_p$—污水流量，$m^3/s$；

$c_h$—河流上游污染物的浓度（本底浓度），mg/ L；

$H$—河流平均水深，m；

$M_y$—河流横向混合（弥散）系数，$m^2/s$；

$u$—河流流速，m/s；

$B$—河流平均宽度，m；

$\pi$—圆周率；

3）计算条件及参数拟定

①计算条件

a）水文条件

考虑最不利情况，选取工程所在金沙江段 90%保证率最枯月均流量，并计算该水文条件下的水文要素，作为水质预测的水文条件。

b）水质背景浓度

本次环境影响评价在旭龙水电站坝址处设有 1 处水质现状监测断面，位于工程施工区范围内，因此水质本底条件采用该断面枯水期水质实测数据，SS 浓度为 9mg/L。

c）横向混合稀疏 My 的确定

采用导则推荐的适用于河流的泰勒法确定横向混合系数 $M_y$，即

$$M_y=(0.058H+0.0065B)(gHI)^{1/2}$$

（3）预测结果分析

枯水期砂石加工系统冲洗废水事故排放对金沙江水体中 SS 含量的影响见下表。

表5.4-　　枯水期砂石料冲洗废水事故排放对金沙江SS的影响　　单位：mg/L

| y(m) / x(m) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 798 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 15 | 465 | 43 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 50 | 259 | 124 | 20 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 100 | 185 | 129 | 46 | 14 | 9 | 9 | 9 |
| 500 | 88 | 82 | 67 | 48 | 32 | 20 | 14 |
| 1000 | 65 | 63 | 57 | 48 | 39 | 30 | 23 |
| 2000 | 48 | 48 | 46 | 42 | 38 | 33 | 29 |
| 5000 | 34 | 34 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 |
| 6000 | 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 30 | 30 |
| 7000 | 31 | 31 | 31 | 31 | 30 | 30 | 30 |
| 8000 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 29 |
| 9000 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |

从预测结果可以看出，在枯水期废水事故排放在金沙江中形成的污染带长度约为 9km，距离排放口越近，其 SS 浓度增量越大；随着向下游的延伸，增量逐渐减小。枯水期距离排放口 5m 处的 SS 增量最大约为 798mg/L。茂顶砂石加工废水故事排放金沙江干流至充分混合后，SS 浓度值为 29mg/L，约为河流本底值的 3.2 倍，SS 增量为 20mg/L，对河流水质影响较为显著。

综上，砂石加工系统废水事故排放时，将对下游河段水质产生明显影响，因此，在本工程废水处理及循环回用系统设计时，要充分考虑适用性和可靠性，同时加强系统运行期的维护工作，杜绝事故排放。

### 5.4.1.3 施工对取水口的影响

旭龙水电站施工评价范围内，金沙江干流无生活取水或集中式饮用水源地。

施工水厂位于坝址下游 8#路靠山侧，距坝址直线距离约 2.5km，高程 2287m，占地面积 1.3 万 m²。主要负责整个施工区的生产及生活用水。取水泵站位置选址在金沙江右岸岸边，洒茂顶砂石加工系统下游 300m。

根据本报告书对砂石料冲洗废水的预测，在正常工况下，砂石料冲洗废水均不外排入江，取水水质不会受其影响。在事故排放情况下，砂石料冲洗废水会通过附近的天然

冲沟排入金沙江。冲洗废水中主要污染物为 SS，取水口取水后，经过简单沉淀等基本处理即可去除，不会影响用水水质。施工期内除了加强管理，严防砂石加工系统事故排放，还要加强施工期的水质监测。

### 5.4.2 水库蓄水期水质影响预测

根据《水电工程建设征地移民安置规划设计规范》(DL/T5064-2007)的规定，蓄水前将对淹没区进行清库工作，建筑物全部予以拆除，对粪坑等一般污染源进行清理和消毒，林木进行砍伐并清理外运，故不存在大量植物在库内腐烂而导致水质恶化的可能。水库蓄水初期，残留的少量枯枝落叶等有机物将在水库内形成漂浮物，蓄积在耕地和林地土壤中的部分有机营养物质也将释放进入水体，故短期内库区水体中的 N、P 等有机物含量将明显增高，溶解氧降低，从而对库区水质造成一定影响。但由于库区范围基本无工业污染源分布，人口与耕地稀少，污染负荷极低，且随着电站日调节运行，水体交换次数不断增加，库区水质将逐步改善。

### 5.4.3 运行期水质影响预测

（1） 污染源预测分析

1）库周及上游污染源

旭龙工程周边涉及的工业企业有羊拉矿山、丹达河水电站（建设中）和通吉格铜矿（前期筹备中），由于羊拉矿山的生产废水和生活污水不外排、生活垃圾全部送入垃圾处理池处理等，仅选矿工程产生少量的粉尘无组织排放对外环境影响较小，故该工程所处江段基本无工业污染源分布。

农业生产方式相对落后，农业面源污染不大。

由于库区沿岸耕地资源较少，电站建成后，由于工程区周围多为山区、半山区或峡谷区，受自然条件制约可开垦的耕地资源有限，耕地数量会有所减少，而随着水库淹没减少的部分草场资源，牲畜放牧总量也难以增加。故总体上，旭龙水电站建库后库周农业面源污染负荷较现状将有所降低。库周人口规模小，根据迪庆州 2016 年国民经济和社会发展统计公报和甘孜州 2016 年国民经济和社会发展统计公报，人口自然增长率分别控制在 5‰和 7‰左右，至旭龙水电站建成后人口规模也不会发生较大变化。旭龙搬

迁安置移民采取后靠及异地分散建房安置，并结合安置点建设采取相应的生活污水处理措施，库周生活污水处理及综合利用率将得到一定程度提高，届时，库周及上游的生活污水污染负荷也将有所降低。

综上可见，旭龙水库建成后，库周及上游污染负荷不会发生显著变化，且随着移民安置点污水处理措施的实施，污染负荷将会有所降低。

2) 电站污染源

水电站本身属清洁能源，电站运行期间基本无生产废水排放。电站管理及维护人员少，业主营地生活污水沿用施工期成套污水处理设备及回用设施进行处理，均不外排，故不会对金沙江水质造成不利影响。

（2）库区水质预测分析

根据前文对库区污染源预测结果可知，旭龙水库建成后水污染负荷不会发生显著变化，其中库周因耕地面积减少、生活污水处理与综合利用率提高，水污染负荷将呈下降趋势。库区水质预测主要以库周分布的乡镇生活污染源为主。根据水质模型计算，建库后，水库整体水质没有发生较大变化，COD、TN、TP、$NH_3$-N 都在Ⅱ类水指标范围内。在最不利时段（枯水期），水库整体水质也在Ⅱ类水指标范围内。

综上所述，水库建成后，各项水质指标均在Ⅱ类水水质指标范围内，各项水质和建库前相差不大，水库水质达到Ⅱ类水要求。结合实地调查发现库区水质评价范围内无取水口等敏感水环境保护目标。因此，旭龙水电站建成后，对库区水环境影响不大。

（3）库区水体富营养化分析

旭龙库区富营养化预测评价选用湖库零维模型。湖库零维模型的基本计算公式如下：

$$\delta C / \delta t = (GP_1 - ADP_1)C$$
$$\delta P / \delta t = (F_1 \times P_1 - F_2 \times P) / V - Ap \times P$$
$$\delta N / \delta t = (F_1 \times N_1 - F_2 \times N) / V - An \times N$$
$$\delta M / \delta t = (F_1 \times M_1 - F_2 \times M) / V - Am \times M$$
$$\delta A / \delta t = (F_1 \times A_1 - F_2 \times A) / V - Aa \times A$$

其中：C(alga)，P(pHospHor)，N(nitrogen)，M(COD)，A(ammonia)

C 为藻类浓度(mg/L)；

P、N、M、A 分别为 TP、TN、COD、氨氮浓度(mg/L)；

$GP_1$ 为藻类增长率(l/d)，计算公式如下：

$$GP_1 = f(T)\cdot G(I)\cdot G(N)$$
$$f(T) = Kpot\cdot \exp(-2.3\cdot(|(T-Topt)/15|)$$
$$G(I) = I/(Ki+I)$$
$$G(N) = P/(Kp+P)\cdot N/(Kn+N)$$

其中：Kpot 为藻类最大增长率(1/d)；

Topt 为藻类最适合生长温度；

I 为光照强度；

$K_i$ 为光的半饱和常数；

Kp、Kn 分别为磷和氮的半饱和常数(mg/L)；

$ADP_1$ 为藻类的消亡率(1/d)；

Ap、An、Am、Aa 分别为 TP、TN、COD、氨氮的降解系数(1/d)；

$F_1$ 为入湖流量($m^3/s$)；

$F_2$ 为出湖流量($m^3/s$)；

$P_1$、$N_1$、$M_1$、$A_1$ 分别为 TP、TN、COD、氨氮的入湖浓度(mg/L)；

V 为湖泊体积($m^3$)。

$F_1$ 为入湖流量($m^3/s$)；

$F_2$ 为出湖流量($m^3/s$)；

$P_1$、$N_1$ 分别为 TP、TN 的入湖浓度(mg/L)；

V 为湖泊体积($m^3$)。

1）初始条件

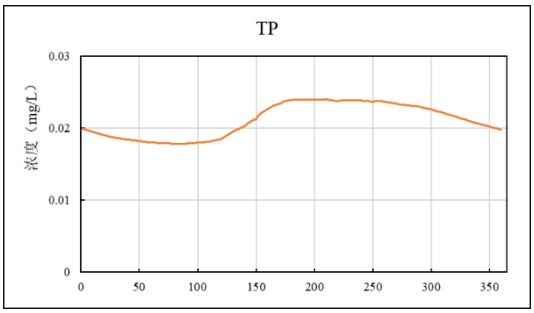
旭龙库区的水质预测因子的初始浓度根据现状实测值得到。

2）大气边界

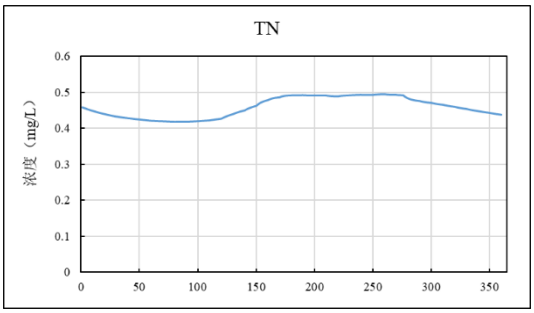
根据建设单位提供的巴塘站气象资料作为模型的大气边界条件。

3）预测结果

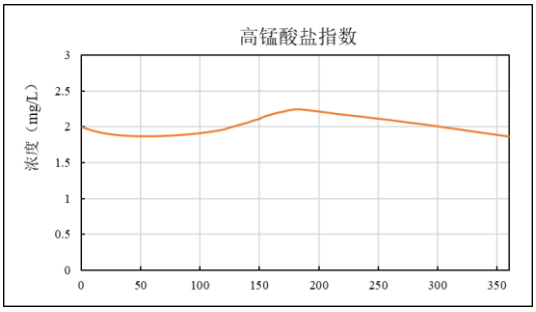
根据富营养化模型计算得到丰平枯水年的 TP、TN、Chla 以及高锰酸盐指数浓度的年内变化见图 5.4-1。



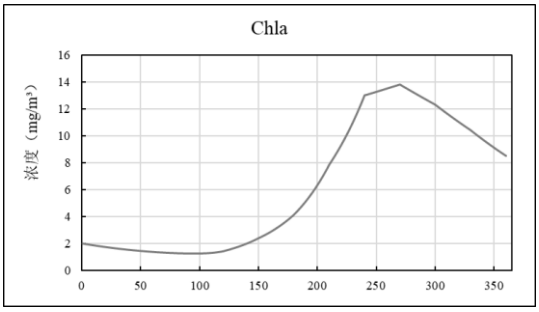

丰水年 TP 浓度年内变化示意图



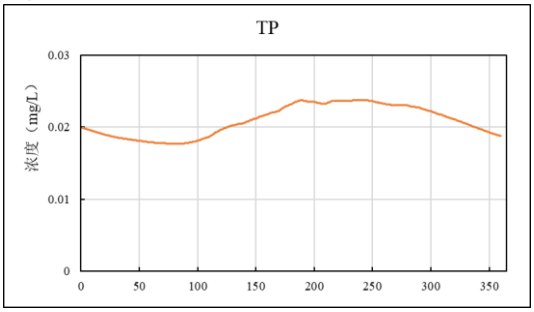

丰水年 TN 浓度年内变化示意图



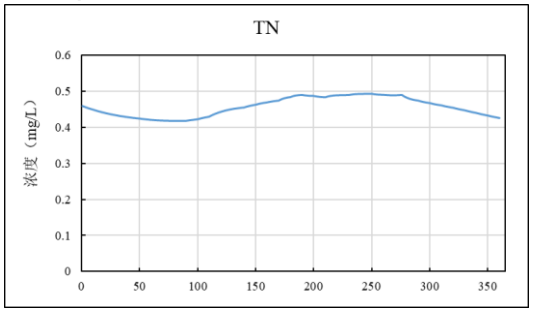

丰水年高锰酸盐指数浓度年内变化示意图



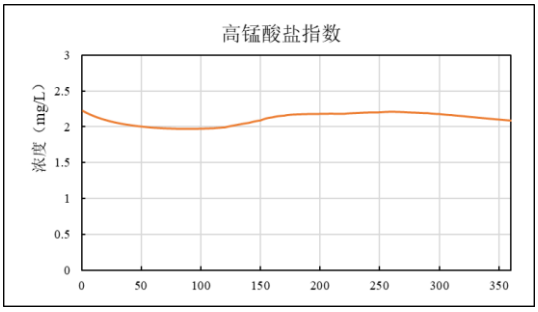

丰水年 Chla 浓度年内变化示意图



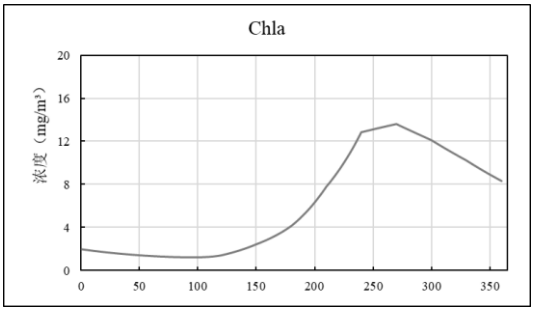

平水年 TP 浓度年内变化示意图



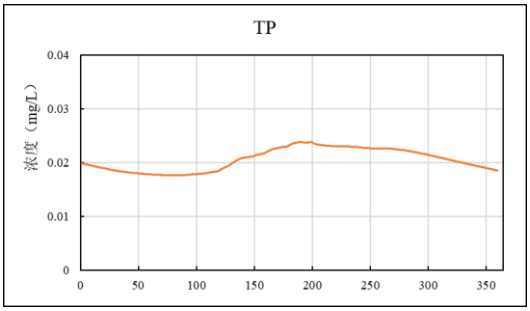

平水年 TN 浓度年内变化示意图



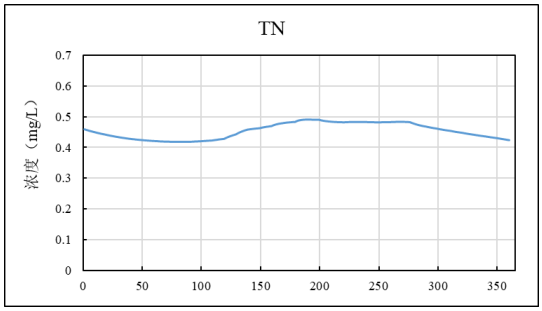

平水年高锰酸盐指数浓度年内变化示意图



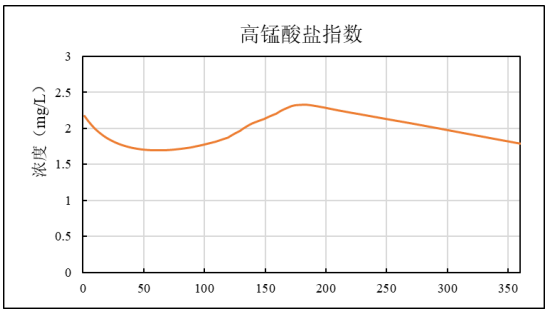

平水年 Chla 浓度年内变化示意图



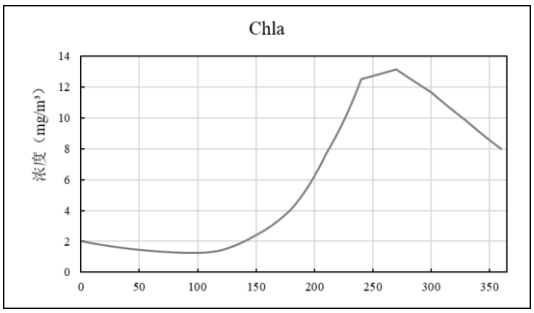

枯水年 TP 浓度年内变化示意图




枯水年 TN 浓度年内变化示意图




枯水年高锰酸盐指数浓度年内变化示意图




枯水年 Chla 浓度年内变化示意图

图 5.4-1　旭龙库区各典型年富营养化指标浓度年内变化示意图

4）水库富营养化评价

水库湖泊的富营养化发生的机制现在尚不清晰，但发生富营养化需具有三个必要条件：富足的氮、磷等营养物质，缓慢的水流流态和适宜的气候条件(水温、光照条件)。因此富营养化判别不能用单一指标来表示，应综合考虑各个影响因子才能真正表示富营养化的状态。与水质富营养化密切相关的指标很多，主要分为物理、化学和生物学指标。

目前，富营养化的评价标准很多。结合水质预测因子，本工程库区水质富营养化等级判别参照我国《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》的相关要求进行。

综合营养状态指数计算公式为：

$$TLI(\sum)=\sum Wj\cdot TLI(j)$$

式中：TLI(∑)—综合营养状态指数；

Wj—第 j 种参数的营养状态指数的相关权重。

TLI(j)—代表第 j 种参数的营养状态指数。

以 chla 作为基准参数，则第 j 种参数的归一化的相关权重计算公式为：

$$wj=\frac{r_{ij}^{\ 2}}{\sum_{j=1}^{m} r_{ij}^{\ 2}}$$

式中：$r_{ij}$—第 j 种参数与基准参数 chla 的相关系数；

m—评价参数的个数。

中国湖泊(水库)的 chla 与其它参数之间的相关关系 $r_{ij}$ 及 $r_{ij}^2$ 见下表。

表 5.4-1　中国湖泊(水库)部分参数与 chla 的相关关系 $r_{ij}$ 及 $r_{ij}^2$ 值

| 参数 | chla | TP | TN | SD | $COD_{Mn}$ |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_{ij}$ | 1 | 0.84 | 0.82 | -0.83 | 0.83 |
| $r_{ij}^2$ | 1 | 0.7056 | 0.6724 | 0.6889 | 0.6889 |

注：引自金相灿等著《中国湖泊环境》，表中 $r_{ij}$ 来源于中国 26 个主要湖泊调查数据的计算结果。

水库富营养化状况评价指标包括：叶绿素 a(chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸钾指数($COD_{Mn}$)，营养状态指数计算公式为：

TLI(chl)=10(2.5+1.086lnchl)

TLI(TP)=10(9.436+1.624lnTP)

TLI(TN)=10(5.453+1.694lnTN)

TLI(SD)=10(5.118-1.94lnSD)

$TLI(COD_{Mn})$=10(0.109+2.661lnCOD)

式中：叶绿素 a chl 单位为 $mg/m^3$；透明度 SD 单位为 m；其它指标单位均为 mg/L。

采用 0～100 的一系列连续数字对湖泊(水库)营养状态进行分级，见表 5.4-2。

**表 5.4-2　湖泊(水库)营养状态分级**

| TLI(∑) | 营养状态分级 |
|---|---|
| TLI(∑)＜30 | 贫营养(Oligotropher) |
| 30≤TLI(∑)≤50 | 中营养(Mesotropher) |
| TLI(∑)>50 | 富营养(Eutropher) |
| 0＜TLI(∑)≤60 | 轻度富营养(light eutropher) |
| 60＜TLI(∑)≤70 | 中度富营养(Middle eutropher) |
| TLI(∑)>70 | 重度富营养(Hyper eutropher) |

根据模型计算结果，在现状污染源情况下，旭龙库区营养状态呈现出季节性，一年中藻类总体呈现先上升后下降的趋势，但库区基本维持在贫营养和中营养水平；1-6 月为贫营养，7-12 月表现为中营养。总体来说，旭龙水电站建成后造成库区富营养化的可能性较小。水库建成后，水库蓄水后流速变缓，水体交换能力变差，需加强水质监测。

（4）水库下游水质预测分析

根据水质模型计算，建库后，库区下游整体水质没有发生较大变化，COD、TN、TP、$NH_3$-N 都在II类水指标范围内。在最不利时段（枯水期），库区下游整体水质也在II类水指标范围内。

根据丰平枯时期的水质预测分析，结合实地调查发现水库下游水质评价范围内无取水口等敏感水环境保护目标。因此，旭龙水电站建成后，对水库下游水环境影响不大。

## 5.5坝下溶解性气体过饱和影响

### 5.5.1 预测方法

根据旭龙电站泄洪过饱和 TDG 的产生和发展特点，分别建立泄洪过饱和 TDG 生成预测模型、过饱和 TDG 释放预测模型以及水流交汇区过饱和 TDG 混合模型。

#### 5.5.1.1 过饱和 TDG 生成预测数学模型

（1）过饱和 TDG 生成预测模型

泄洪洞（或溢洪洞等）出口一般距坝身较远，因此泄洪水流落水点处一般不设置特殊防护措施，而是让水舌直接淘刷河底基岩形成水垫达到消能目的。根据泄水过程分析，可以将泄水产生过饱和 TDG 的过程分为三个阶段，见图 5.5-1，即①泄流入水前空中 TDG 饱和度的变化、②水垫塘内高压掺气水流中气体的过溶过程、③流经水垫塘出口时，由于压力和水深突然减小导致的过饱和 TDG 的快速释放过程。

四川大学对泄水过程中过饱和 TDG 生成的第一阶段的分析认为，入水 TDG 均能恢复至 100%，因此 TDG 的生成着重考虑第二和第三阶段（Lu Jingying, 2018）。对第二阶段冲坑内高压掺气水流中气体的过溶过程与当地大气压 $P_0$、总溶解气体的平衡饱和度 $G_{eq}$、冲坑内平均压力 $\Delta P$、坑内滞留时间 $t_R$ 等相关，而第三阶段冲坑出口过饱和 TDG 的快速释放过程与冲坑出口流速 $v_2$ 和出口水深 $h_r$ 相关。

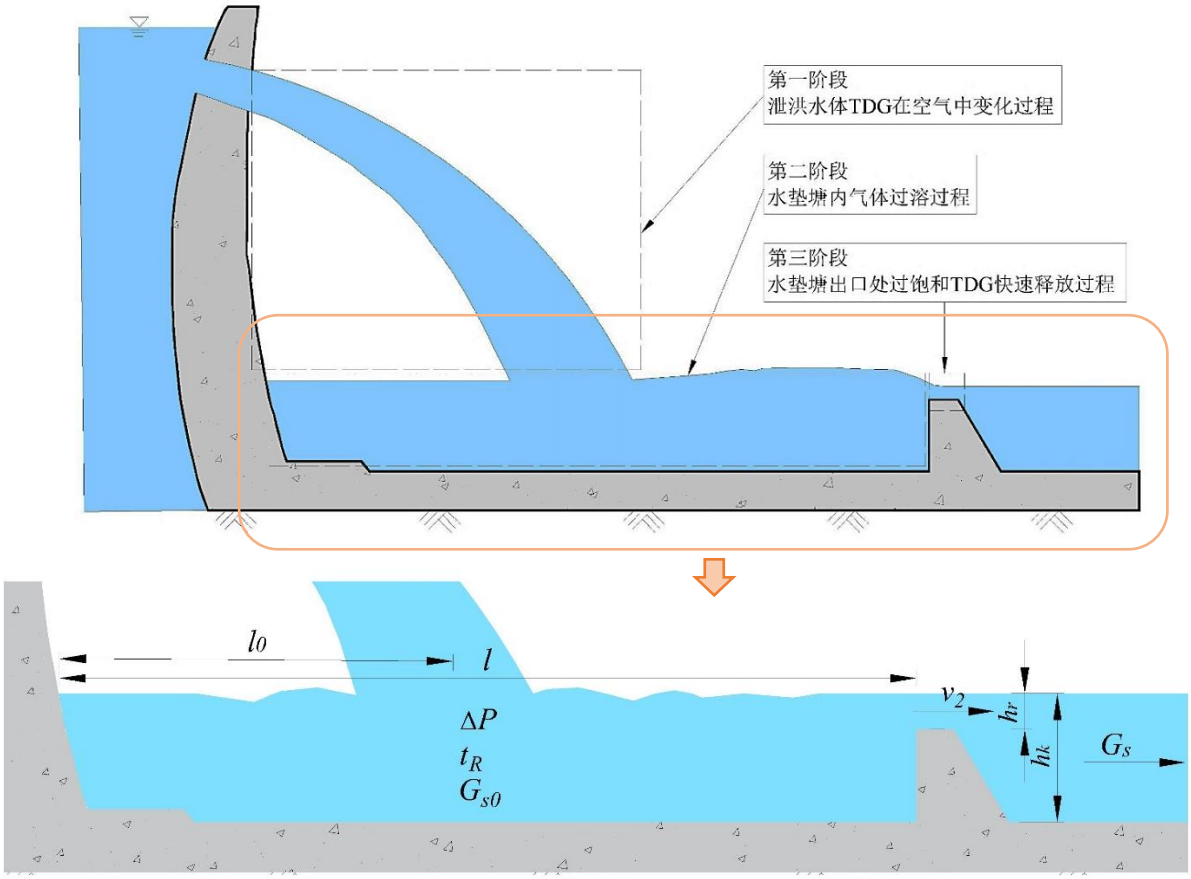



图 5.5-1　冲坑内过饱和 TDG 生成示意图

建立的过饱和 TDG 生成预测模型如下：

$$\begin{cases} G_s = G_{s0} - 0.91\cdot(G_{s0} - G_{eq})\cdot\exp\left[-0.03(\dfrac{h_r}{v_2})\right] \\ G_{s0} = 100\left\{1+\dfrac{\Delta P}{P_0}\left[1-\exp(-0.08t_R)\right]\right\} \\ t_R = 27.73\lambda^{0.49}\left(\dfrac{h_k}{g}\right)^{0.5}\left(\dfrac{l_0}{l}\right)^{-1.82} \end{cases}$$

式中，

$G_s$ 为冲坑下游 TDG 饱和度（%）；

$G_{s0}$ 为冲坑内部生成的 TDG 饱和度（%）；

$G_{eq}$ 为对应当地大气压的 TDG 平衡饱和度，取值为 100%；

$h_r$ 为冲坑下游水深（m）；

$v_2$ 为冲坑下游断面平均流速（m/s）；

$\Delta P$ 为冲坑内平均压力；

$P_0$ 为当地大气压（kPa）；

$t_R$ 水体在冲坑内部滞留时间（s）；

$\lambda$ 为冲坑出口断面处的无量纲数，可由 $\lambda = cot\,\beta \frac{v_2}{\sqrt{gh_k}}$ 计算而得；

$h_k$ 为冲坑水垫厚度（m）；

$l_0$ 为泄洪水流的挑距（m）；

$l$ 为泄洪建筑物出坎到冲坑底部距离（m）；

（2）模型验证与误差分析

1）模型验证

采用国内已建高坝工程原型观测资料对数学模型进行验证和参数率定。其中，各工程冲坑底部压强分别参照各工程泄洪消能设计成果及水力学模型试验研究成果确定。对泄水期间存在发电流量的，采用混合模式考虑发电尾水混入影响。模型计算结果与原型观测结果的对比见表 5.5-1 和图 5.5-2。

表 5.5-1　过饱和 TDG 模型验证结果表

| 编号 | 工况 | 泄洪建筑物 | 泄洪流量($m^3/s$) | 发电流量($m^3/s$) | 观测坝前饱和度(%) | 观测坝下饱和度(%) | 计算坝下饱和度(%) | 计算值-实测值(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 溪洛渡 | 底孔 | 5362 | 5928 | 100.0 | 119.0 | 116.5 | -2.5 |
| 2 | 大岗山（a） | 泄洪洞 | 1160 | 1148 | 108.0 | 117.0 | 116.5 | -0.5 |
| 3 | 大岗山（b） | 泄洪洞 | 416 | 1224 | 108.0 | 115.0 | 113.3 | -1.7 |
| 4 | 大岗山（c） | 泄洪洞 | 2390 | 312 | 108.0 | 123.0 | 122.5 | -0.5 |
| 5 | 二滩（a） | 中孔 | 2054 | 1815 | 107.0 | 123.3 | 127.0 | 3.7 |
| 6 | 二滩（b） | 中孔 | 2026 | 1732 | 107.0 | 122.8 | 126.1 | 3.3 |
| 7 | 漫湾（a） | 表孔 | 1810 | 1930 | 106.0 | 115.0 | 117.7 | 2.7 |
| 8 | 漫湾（b） | 泄洪洞 | 880 | 2034 | 105.0 | 121.0 | 124.0 | 3.0 |
| 9 | 紫坪铺（a） | 泄洪洞 | 170 | 0 | 100.0 | 107.3 | 114.5 | 7.3 |
| 10 | 紫坪铺（b） | 泄洪洞 | 170 | 0 | 100.0 | 115.2 | 114.5 | -0.6 |
| 11 | 紫坪铺（c） | 泄洪洞 | 193 | 0 | 100.0 | 112.0 | 114.4 | 2.5 |
| 12 | 紫坪铺（d） | 溢洪道 | 210 | 0 | 107.0 | 131.0 | 133.2 | 2.2 |
| 13 | 小湾 | 表孔 | 2097.0 | 1493.0 | 100.5 | 108.9 | 106.8 | -2.1 |

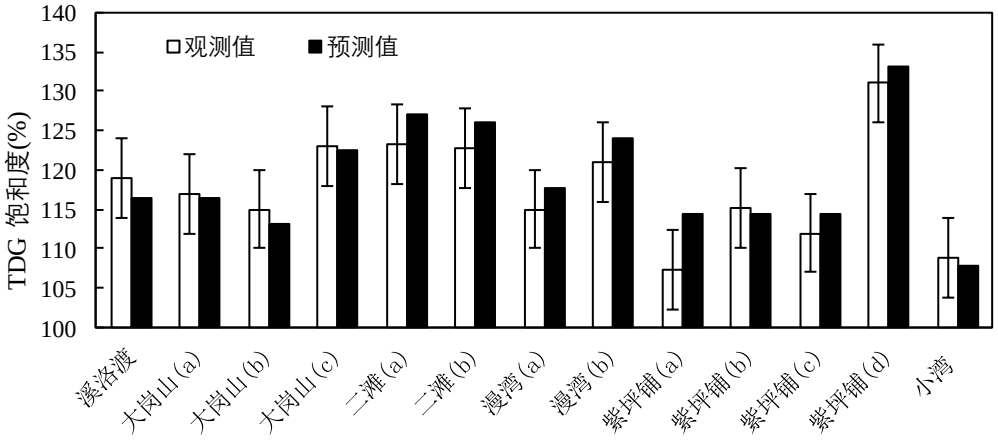



**图 5.5-2　TDG 饱和度计算与实测结果对比图**

由 TDG 的模型计算值与原型观测值比较可以看出，模型计算与原型观测结果得到的 TDG 饱和度值之差多小于 5%。在缺乏 TDG 生成预测模型以及在现有高坝泄流 TDG 过饱和研究水平情况下，分析认为依托机理实验和多个高坝工程的原型观测成果建立的高坝下游过饱和预测模型误差在可以接受的范围内，可以用于对旭龙水库坝下 TDG 过饱和的预测中。

2）误差分析

水垫塘内掺气浓度和气泡尺寸影响着是坝下 TDG 生成的主要因素。不同的泄洪方式会导致泄洪水体流态的不同，从而影响着掺气量的大小以及坝下水垫塘流场，进一步影响气泡尺寸。而目前国内外学者忽略了对泄洪方式、掺气浓度和气泡尺寸三者响应关系的研究，因此模型可能会为此存在一定误差。

由 TDG 生成的机理分析可以看出及生成模型的数学表达式可以看出，TDG 饱和度的生成与冲坑内动水压强分布及出口水深等物理要素密切相关，因此高坝泄流下游水垫塘内压强和水深等水动力学变量的计算误差将直接影响到对过饱和 TDG 的预测误差。目前，关于高水头、大流量泄流下游动水压强分布等的计算，一般采用相关设计规范中推荐的经验公式法或水工模型试验法。对于高坝大流量泄水消能的计算，单纯依靠经验公式方法常带来较大误差，目前一般采用经验公式和水工模型试验相结合的方法。因此为尽可能减小对高坝泄流 TDG 过饱和的预测误差，预测中应尽可能依托工程设计中的泄流消能研究成果，避免由于单纯依靠经验公式计算压强分布等所带来的误差。

### 5.5.1.2 过饱和 TDG 释放预测数学模型

针对研究河段，采用纵向一维过饱和 TDG 释放模型进行预测，模型中过饱和 TDG 释放系数根据四川大学原型观测结果进行确定。建立恒定流过饱和 TDG 输移释放模型。过饱和 TDG 释放的数学模型包括水动力学方程和 TDG 输移释放方程。

（1）水动力学方程

水动力学特性研究以河道纵向一维水面线的计算为基础，根据河段流量及大断面地形资料，采用逐段试算法，由下游逐步向上游推算得到各断面的水位及断面平均流速和水深等水动力学参数。水动力学方程如下：

$$i\mathrm{d}s=\mathrm{d}h+(\alpha+\xi)\mathrm{d}(\frac{v^2}{2g})+\frac{Q^2}{K^2}\mathrm{d}s$$

$$K=\frac{1}{\mathrm{n}}R^{\frac{2}{3}}A$$

式中：

$i$：河道底坡；

$s$：河道长（m）；

$Q$：断面流量（$m^3/s$）；

$V$：断面平均流速（m/s）；

$A$：过水断面面积（$m^2$）；

$h$：断面水深（m）；

$K$：断面平均流量模数（$m^{4/3}$）；

$n$：糙率；

$R$：为水力半径（m）。

（2）过饱和 TDG 输移扩散方程

过饱和 TDG 在下游水体的输移释放模型采用一维输移扩散方程，其中过饱和 TDG 释放采用美国陆军工程兵团提出的一阶动力学过程。方程表述为：

$$\frac{\partial(G-G_{eq})}{\partial t}+u\frac{\partial(G-G_{eq})}{\partial x}=-k_{\mathrm{TDG}}(G-G_{eq})$$

式中，

$G$：计算时刻的 TDG 饱和度(%)；

$G_{eq}$：TDG 平衡饱和度(%)；

$u$：断面平均流速（m/s）；

$t$：时间（s）；

$k_{\mathrm{TDG}}$：释放系数($s^{-1}$)。

#### 5.5.1.3 水流交汇区过饱和 TDG 混合模型

泄水产生的过饱和 TDG 在下游河道的输移释放过程中伴随支流或发电尾水的汇入，采用流量加权混合模型考虑支流/发电尾水的汇入影响，即：

$$G=\frac{G_m Q_m+\alpha G_b Q_b}{Q_m+\alpha Q_b}$$

其中

$G$ 为水流混合后的 TDG 饱和度(%)；

$Q_m$、$Q_b$ 分别为干流与支流/尾水流量($m^3/s$)；

$G_m$、$G_b$ 分别为混合前干流与支流/尾水的 TDG 饱和度(%)；

$\alpha$ 为掺混系数，干流与支流/尾水在横向上达到均匀混合需一定距离，预测中可根据支流/尾水与干流交汇情况确定系数，取值范围为$0\le\alpha\le1$。

### 5.5.2 预测工况

#### 5.5.2.1 旭龙水电站单独泄洪

目前关于气体过饱和 TDG 影响的研究和评价，主要是在满足工程防洪安全条件下，针对较经常发生的洪水进行的。根据旭龙水电站正常蓄水位专题研究报告，混凝土拱坝挡水建筑物按 1000 年一遇（P=0.1%）洪水设计，5000 年一遇（P=0.02%）洪水校核；泄水建筑物按 1000 年一遇（P=0.1%）洪水设计，5000 年一遇（P=0.02%）洪水校核；水垫塘及二道坝按 100 年一遇（P=1%）洪水设计；发电厂房按 200 年一遇（P=0.5%）洪水设计，1000 年一遇（P=0.1%）洪水校核。实际工程运行中，50 年一遇（P=2%）甚至 30 年一遇（P=3.3%）的非常洪水发生概率较小，低频率的洪水发生几率将进一步减小。为此，针对常遇洪水开展气体过饱和影响研究更具实际意义，根据现阶段设计成果，

确定针对两年一遇（P=50%）和五年一遇（P=20%）洪水开展过饱和 TDG 影响预测。

根据旭龙水电站的泄洪建筑物行洪能力，正常蓄水位下，表、中孔泄流能力相当，均可单独宣泄频率约 20%的常遇洪水。由于坝址五年一遇及两年一遇的洪水流量均小于电站设计标准洪峰流量，因此根据旭龙调度方式，发电流量为发电机组过水能力的三分之二。由此确定过饱和 TDG 生成预测工况，详见表 5.5-2。

表 5.5-2　旭龙水电站过饱和 TDG 预测工况统计表

| 工况编号 | 洪水条件 | 库水位(m) | 出库流量（$m^3/s$） | 发电流量（$m^3/s$） | 泄洪建筑物运行 | | 下游水位（m） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 表孔流量（$m^3/s$） | 中孔流量（$m^3/s$） | | |
| 1 | 两年一遇(P=50%) | 2302.0 | 3540.0 | 1144.5 | 2395.5 | 0 | 2157.31 | 2#表孔 |
| 2 | 两年一遇(P=50%) | 2302.0 | 3540.0 | 1144.5 | 2395.5 | 0 | 2157.31 | 1#表孔+2#表孔+3#表孔 |
| 3 | 两年一遇(P=50%) | 2302.0 | 3540.0 | 1144.5 | 736.4 | 1659.1 | 2157.31 | 2#中孔+2#表孔 |
| 4 | 两年一遇(P=50%) | 2302.0 | 3540.0 | 1144.5 | 736.4 | 1659.1 | 2157.31 | 2#中孔+3#表孔 |
| 5 | 五年一遇(P=20%) | 2302.0 | 4970.0 | 1144.5 | 3825.5 | 0 | 2159.17 | 1#表孔+2#表孔+3#表孔 |
| 6 | 五年一遇(P=20%) | 2302.0 | 4970.0 | 1144.5 | 846.3 | 2979.2 | 2159.17 | 1#中孔+4#中孔+3#表孔 |

### 5.5.2.2 旭龙水电站与上游梯级联合泄洪

参考旭龙单独泄洪情况下的工况设置，旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合泄洪运行条件下的预测仍针对两年一遇和五年一遇洪水开展。根据《金沙江旭龙水电站水力学模型实验报告》、《金沙江叶巴滩水电站水力学模型实验报告》、《金沙江拉哇电站水力学模型实验报告》、《金沙江巴塘水电站水力学模型实验报告》中关于两年一遇（P=50%）、五年一遇（P=20%）洪水的泄洪方案，确定的旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合泄洪运行条件下过饱和 TDG 预测工况详见表 5.5-3。

表 5.5-3　旭龙与上游各电站联合泄洪条件下过饱和 TDG 预测工况表

| 工况编号 | | | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 洪水条件 | | | 两年一遇（P=50%） | 两年一遇（P=50%） | 五年一遇（P=20%） | 五年一遇（P=20%） |
| 叶巴滩 | 库水位（m） | | 2889 | 2889 | 2889 | 2889 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1483 | 1483 | 1483 | 1483 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#~4#深孔 | 1#~4#深孔 | 3#表孔 2#3#深孔 | 3#表孔 2#3#深孔 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 1817 | 1817 | 2797 | 2797 |
| | 下游水位（m） | | 2732.6 | 2732.6 | 2733.1 | 2733.1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 拉哇 | 库水位（m） | | 2702 | 2702 | 2702 | 2702 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1541 | 1541 | 1541 | 1541 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#、2#溢洪洞局开 | 1#、2#溢洪洞局开 | 1#溢洪洞局开 | 1#溢洪洞局开 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2029 | 2029 | 3079 | 3079 |
| | 下游水位（m） | | 2544.62 | 2544.62 | 2546.48 | 2546.48 |
| 巴塘 | 库水位（m） | | 2545 | 2545 | 2545 | 2545 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1553.2 | 1553.2 | 1553.2 | 1553.2 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#、3#溢洪道 | 1#、3#溢洪道 | 1#、3#溢洪道 | 1#、3#溢洪道 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2016.8 | 2016.8 | 3066.8 | 3066.8 |
| | 下游水位（m） | | 2489.19 | 2489.19 | 2490.34 | 2490.34 |
| 苏洼龙 | 库水位（m） | | 2475 | 2475 | 2475 | 2475 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 溢洪道 | 溢洪道 | 溢洪道 | 溢洪道 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2096.8 | 2096.8 | 3186.8 | 3186.8 |
| | 下游水位（m） | | 2387.1 | 2387.1 | 2387.1 | 2387.1 |
| 旭龙 | 库水位（m） | | 2302.0 | 2302.0 | 2302.0 | 2302.0 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1144.5 | 1144.5 | 1144.5 | 1144.5 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1~3#表孔 | 2#中孔<br>3#表孔 | 1~3#表孔 | 1#4#中孔<br>3#表孔 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2395.5 | 2395.5 | 2395.5 | 2395.5 |
| | 下游水位（m） | | 2157.31 | 2157.31 | 2159.17 | 2159.17 |

## 5.5.3 预测结果分析

### 5.5.3.1 旭龙水电站单独泄洪

（1）过饱和 TDG 生成预测

经计算，旭龙水电站泄水建筑物泄水生成的 TDG 饱和度见表 5.5-4，发电尾水因并未掺气，因此饱和度认为是 100%。

预测结果显示，旭龙水电站采用 2#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 1）时，泄洪流量 2395.5$m^3/s$，发电流量为 1144.5$m^3/s$，泄洪生成的 TDG 饱和度为 141.4%，与发电尾水完全掺混后，TDG 饱和度降低至 128.0%；当采用 1#+2#+3#表孔宣泄两年一遇洪水（工况

2）时，总泄洪流量 2395.5m$^3$/s，泄洪产生的 TDG 饱和度为 137.6%，受发电尾水掺混影响后，水体 TDG 饱和度为 125.5%；当采用 2#中孔+2#表孔共同宣泄两年一遇（工况 3）时，总泄洪流量和发电流量分别为 2395.5 m$^3$/s 和 1144.5 m$^3$/s，泄洪所生成的 TDG 饱和度为 135.8%，与发电尾水掺混后 TDG 饱和度为 124.2%；当采用 2#中孔+3#表孔共同宣泄两年一遇（工况 4）时，泄洪流量 2395.5m$^3$/s，发电流量为 1144.5m$^3$/s，泄洪所产生的 TDG 饱和度为 135.5%，与发电尾水完全掺混后 TDG 饱和度可降低至 124.0%；当采用 1#+2#+3#表孔宣泄五年一遇洪水（工况 5）时，总泄洪流量 3825.5m$^3$/s，泄洪产生的 TDG 饱和度为 140.9%，TDG 饱和度受发电尾水掺混的影响可减缓至 131.5%；通过 1#中孔+4#中孔+3#表孔宣泄五年一遇的洪水（工况 6）时，总泄洪流量 3825.5m$^3$/s，发电流量为 1144.5 m$^3$/s，泄洪所生成的 TDG 饱和度为 139.5%，受发电尾水掺混的影响，TDG 饱和度降低为 130.4%。

宣泄两年一遇的洪水时，单孔泄洪（工况 1：2#表孔）所生成的 TDG 饱和度高于多孔泄洪（工况 2：1#+2#+3#表孔、工况 3：2#中孔+2#表孔和工况 4：2#中孔+3#表孔）所生成饱和度。分析认为，单孔泄洪中的单宽流量远大于多孔泄洪中的单宽流量，导致单孔表孔（工况 1：2#表孔）坝下压强高于多孔表孔（工况 2：1#+2#+3#表孔、工况 3：2#中孔+2#表孔和工况 4：2#中孔+3#表孔），从而造成前者的 TDG 饱和度高于后者。

在工况 3（2#中孔+2#表孔）和工况 4（2#中孔+3#表孔）中用于宣泄洪水的泄水建筑物孔数小于工况 2（1#+2#+3#表孔），所以工况 3 和工况 4 中的单宽流量（114.1m$^3$/s）大于工况 2（50.0m$^3$/s），但工况 3 和工况 4 所生成的 TDG 饱和度小于工况 2。分析认为，TDG 饱和度生成不仅受单宽流量的影响，也受水垫塘滞点深度的影响。在工况 3 和工况 4 中，由于中孔泄洪导致水垫塘内滞点深度远小于工况 2，从而前者 TDG 饱和度小于后者。

在工况 3（2#中孔+2#表孔）和工况 4（2#中孔+3#表孔）虽然泄洪孔数一致，但受泄洪表孔不同的影响，TDG 饱和度存在略微不同。2#表孔与 3#表孔的体型结构示意图见图 5.5-3。由于 2#表孔与 3#表孔出口挑坎角度存在差异，导致挑距不同，从而对坝下水体在水垫塘内的滞留时间有所影响，最终导致坝下生成 TDG 饱和度的区别。

对比而言，在同种泄洪建筑物宣泄洪水时，五年一遇的洪水（工况 5：1#2#3#表孔）所生成的 TDG 饱和度高于两年一遇洪水工况（工况 2：1#2#3#表孔），表明总泄洪流量的增加，造成冲坑内水深增加，携气水舌在消力池内承压增大，气体溶解量随之增加，

进而泄洪水流的 TDG 饱和度值增大。

表 5.5-4　旭龙水电站过饱和 TDG 生成预测结果表

| 工况编号 | 洪水重现期 | 泄洪建筑物开启情况 | 泄洪流量($m^3/s$) | 发电流量（$m^3/s$） | 坝下生成 TDG 饱和度(%) | 与发电尾水掺混后 TDG 饱和度(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | P=50% | 2#表孔 | 2395.5 | 1144.5 | 141.4 | 128.0 |
| 2 | P=50% | 1#2#3#表孔 | 2395.5 | 1144.5 | 137.6 | 125.5 |
| 3 | P=50% | 2#中孔+2#表孔 | 2395.5 | 1144.5 | 135.8 | 124.2 |
| 4 | P=50% | 2#中孔+3#表孔 | 2395.5 | 1144.5 | 135.5 | 124.0 |
| 5 | P=20% | 1#2#3#表孔 | 3825.5 | 1144.5 | 140.9 | 131.5 |
| 6 | P=20% | 1#4#中孔+3#表孔 | 3825.5 | 1144.5 | 139.5 | 130.4 |

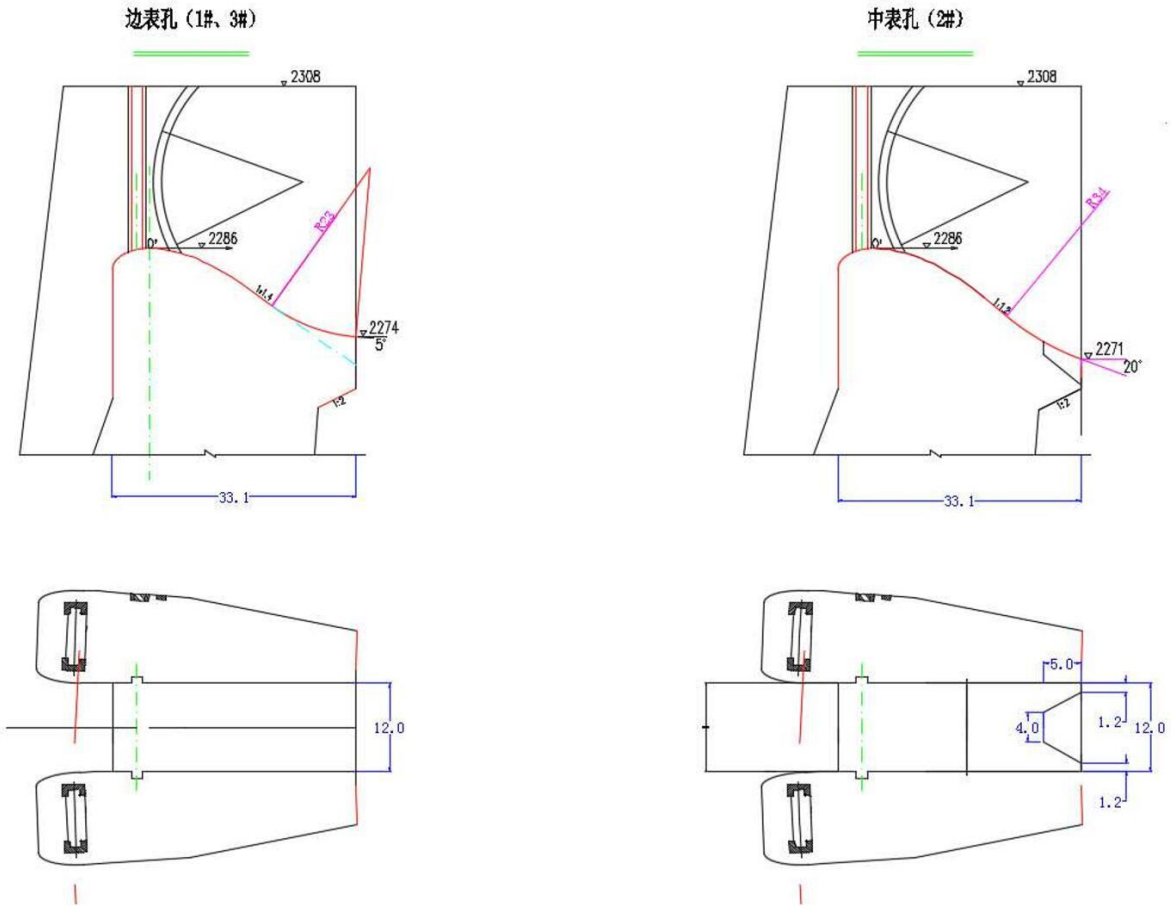



图 5.5-3 泄洪表孔体型示意图

（2）过饱和 TDG 释放预测

研究河段旭龙水电站坝址至奔子栏水文站间金沙江干流河段为天然河道，本节采用天然河道一维数学模型，对旭龙单独泄洪条件下，研究河段内过饱和 TDG 输移释放及沿程支流汇入的影响开展预测研究。

1）计算边界条件

上游流量边界条件采用对应工况下旭龙水电站的出库流量（泄水流量+发电流量），TDG 水平为各泄洪工况下泄水与发电尾水混合后的 TDG 饱和度（见表 5.5-4）。旭龙坝址至奔子栏库尾间主要有 1 条支流定曲汇入，支流边界条件见表 5.5-5。不考虑支流水电梯级泄洪产生的过饱和 TDG 影响，则定曲的 TDG 饱和度取为 100%。

**表 5.5-5 旭龙坝址至奔子栏水文站间支流特性表**

| 支流名称 | 距旭龙坝址距离(km) | 两年一遇洪水流量($m^3/s$) | 五年一遇洪水流量($m^3/s$) | TDG 饱和度(%) |
|---|---|---|---|---|
| 定曲 | 53 | 694 | 940 | 100 |

2）模型参数

采用 4.3.1 节天然河道纵向一维释放模型开展预测。模型参数主要为过饱和 TDG 释放释放系数$k_{TDG}$。针对过饱和 TDG 释放模型中释放系数$k_{TDG}$，美国陆军工程兵团提出了$k_{TDG}$的估算公式表述为：

$$k_{TDG}=\sqrt{\frac{D_m u}{H^3}}$$

式中，

$u$：断面平均流速(m/s)；

$H$：断面平均水深(m)；

$D_m$：TDG 的分子扩散系数($m^2/s$)。

式中$k_{TDG}$估算公式中采用分子扩散系数，忽略了紊动扩散的作用，应用于大江大河误差较大。四川大学根据对国内多个高坝工程过饱和 TDG 释放过程的原型观测研究对传质系数$k_{TDG}$的估算公式修正如下：

$$k_{TDG}=\sqrt{\frac{\varphi_{TDG} u}{H}}$$

式中，$\varphi_{TDG}$为考虑分子扩散、紊动扩散作用等的综合系数，量纲为[$s^{-1}$]，可由原型观测资料率定得到。

根据研究河段与各原型观测河段水深、流速等特征参数分析，旭龙电站下游为天然河道，本报告预测中综合系数$\phi_T$参考金沙江三堆子水文站至龙街渡口河段，并采用两河段的平均横断面面积比（约 2.9）修正得到，其值为 $1.81\times10^{-9}s^{-1}$。

表 5.5-6 旭龙下游河段与金沙江三堆子水文站至龙街渡口河段特性对比表

| 河名<br>项目 | 金沙江三堆子水文站至龙街渡口河段 | 旭龙电站下游金沙江河道 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 水面高程（m） | 902.8~995.7 | 2010.0~2142.2 | 采用相对的 TDG 饱和度避免了大气压强不同的影响 |
| 河床底质 | 砂卵石及碎块石为主 | 砂卵砾石为主 | |
| 河道类型 | “V”型 | “V”型 | 预测河段与观测河段类型相同 |
| 7~8 月平均水温（℃） | 19.7 | 16.5 | 对释放系数进行温度修正 |
| 平均水深（m） | 10.5 | 7.4~10.1 | |

四川大学研究发现水温越高，过饱和 TDG 释放速度越快（刘盛赟，2013；Shen X.，2014），并根据实验数据提出定量关系。考虑到类比河段水温与旭龙预测河段水温有一定差别，为此本报告中根据旭龙坝下河段沿程水温，对计算得到的释放系数加以修正。

$$k_{TDG,\ T} = k_{TDG,20} \times 1.062^{(T-20)}$$

式中：

$k_{TDG,20}$：20℃时过饱和 TDG 的释放系数(h-1)；

T：水温(℃)。

根据洪水资料统计结果巴塘河段洪水出现次数最大月为 7 月、8 月，因此利用旭龙电站建成后 8 月份下泄水温对 TDG 释放系数进行修正。旭龙坝下至奔子栏库尾河段水温变化见。

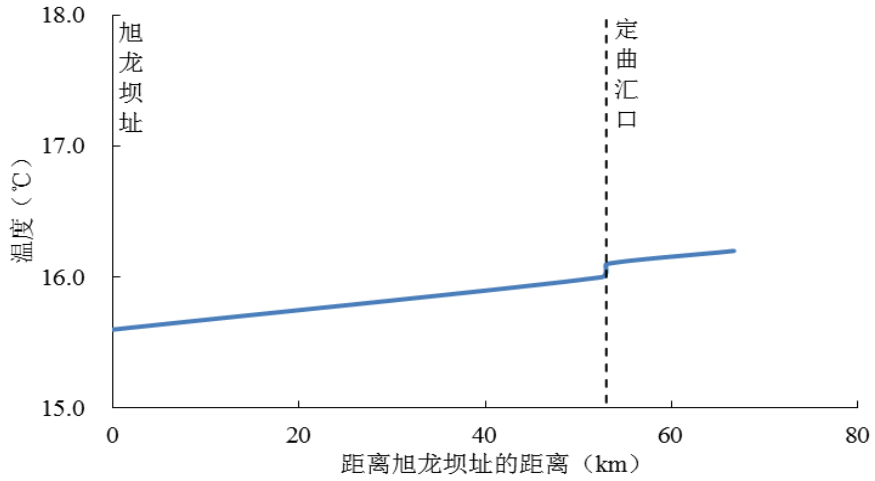



图 5.5-4 旭龙坝址下游水温变化图

3）预测结果分析

根据旭龙坝址下游河段实测大断面地形资料，采用一维恒定流模型，分别计算得到两年一遇和五年一遇流量下，旭龙坝址至奔子栏镇间金沙江干流河段沿程水面线变化，如图 5.5-5 所示，断面平均水深和平均流速的沿程变化分别如图 5.5-6 和图 5.5-7 所示。

两年一遇洪水情况下天然河道平均水深为 7.4m，最大水深为 10.8m，最小水深为 5.2m；流速平均值为 5.9m/s，最大断面流速为 8.2m/s，最小断面流速为 3.3m/s。五年一遇洪水天然河道平均水深为 8.7m，最大水深为 13.0m，最小水深为 6.2m；流速平均值为 6.5m/s，其中最大断面流速为 8.9m/s，最小断面流速为 3.6m/s。

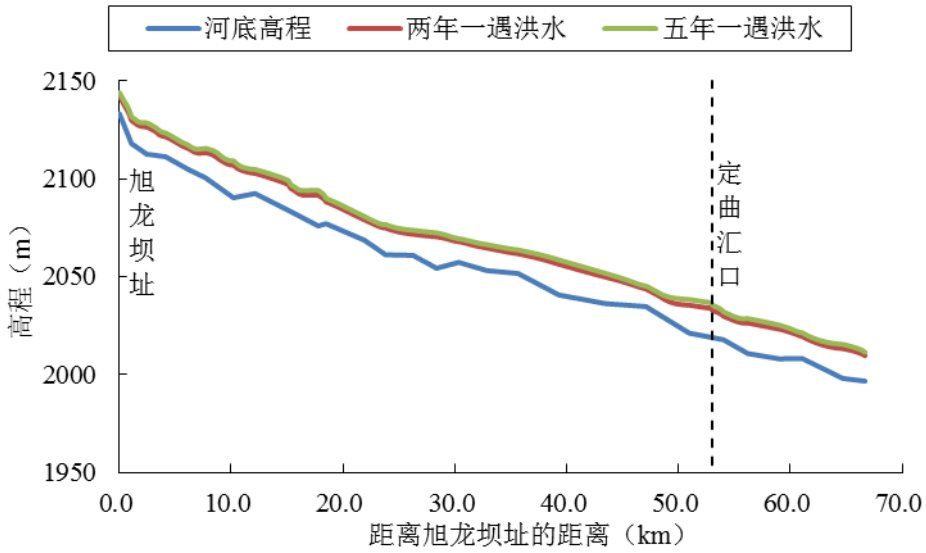



图 5.5-5 旭龙坝址下游水面线变化图

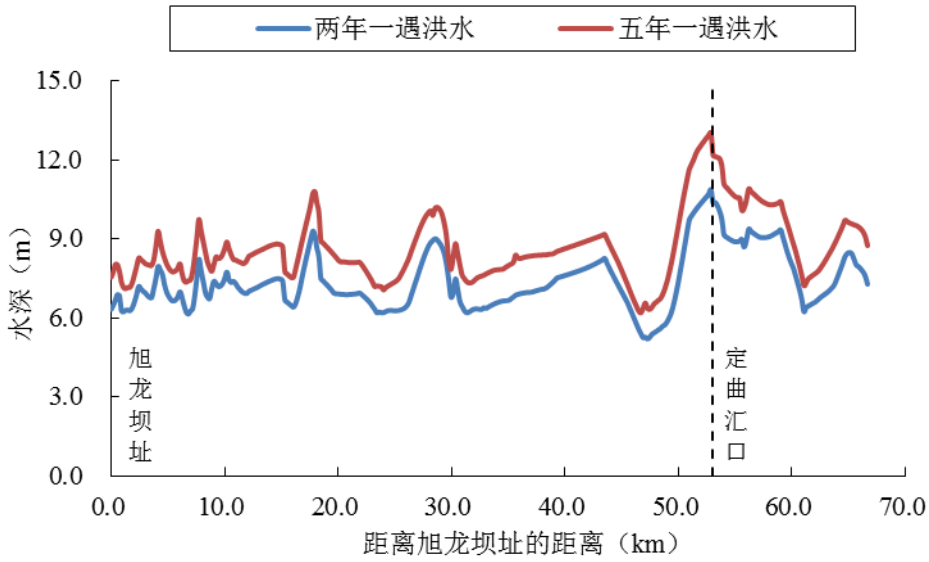



图 5.5-6 旭龙坝址下游水深沿程变化图

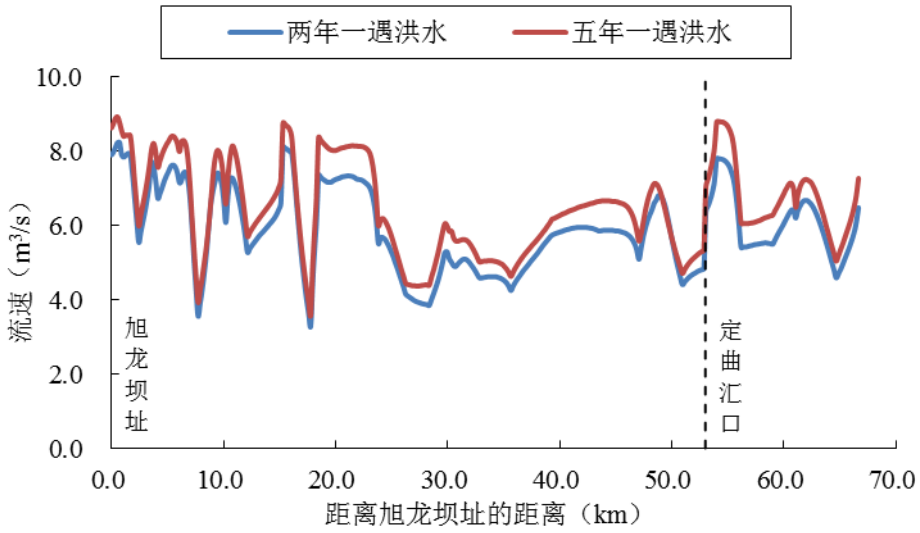



图 5.5-7 旭龙坝址下游流速沿程变化图

经计算，旭龙水电站两年一遇洪水和五年一遇洪水坝址下游天然河道的沿程释放系数，如图 5.5-8 所示。两年一遇洪水流量下过饱和 TDG 释放系数$k_T$平均值为 0.04h$^{-1}$，其中最大值为 0.05h$^{-1}$，最小值为 0.03h$^{-1}$。五年一遇洪水流量下过饱和 TDG 释放系数平均值为 0.04h$^{-1}$，其中最大值为 0.06h$^{-1}$，最小值为 0.03h$^{-1}$。两年一遇洪水流量条件下和五年一遇洪水流量条件下的释放系数变化规律基本一致。

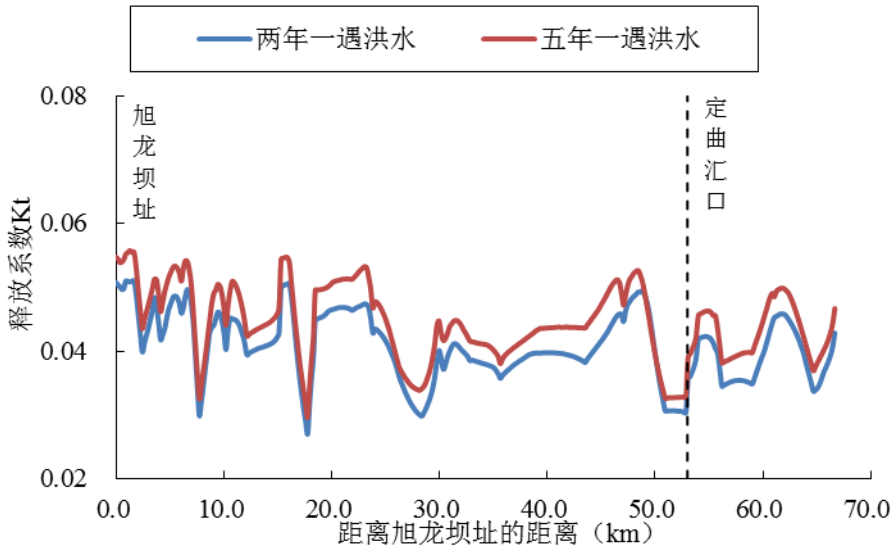



图 5.5-8 旭龙坝址下游河段释放系数$k_T$沿程变化图

采用建立的 TDG 释放模型，分别对旭龙水电站两年一遇和五年一遇洪水条件下过饱和 TDG 在旭龙至苏洼龙库尾河段的输移释放过程进行预测，结果见表

5.5-7 和图 5.5-9。

表 5.5-7　旭龙下游过饱和 TDG 输移释放预测结果表

| 断面序号 | 距旭龙坝址距离(km) | 过饱和 TDG 值（%） | | | | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 两年一遇 2#表孔泄洪 (工况 1) | 两年一遇 1#+2#+3#表孔泄洪 (工况 2) | 两年一遇 2#中孔+2#表孔泄洪 (工况 3) | 两年一遇 2#中孔+3#表孔泄洪 (工况 4) | 五年一遇 1#+2#+3#表孔 (工况 5) | 五年一遇 2#中孔+3#表孔泄洪 (工况 6) | |
| 1 | 0.0 | 128.0 | 125.5 | 124.2 | 124.0 | 131.5 | 130.4 | |
| 2 | 1.1 | 127.9 | 125.5 | 124.2 | 124.0 | 131.4 | 130.3 | |
| 3 | 2.8 | 127.9 | 125.4 | 124.1 | 123.9 | 131.3 | 130.2 | |
| 4 | 5.7 | 127.7 | 125.2 | 124.0 | 123.8 | 131.2 | 130.1 | |
| 5 | 6.6 | 127.7 | 125.2 | 123.9 | 123.7 | 131.1 | 130.0 | |
| 6 | 7.9 | 127.6 | 125.1 | 123.8 | 123.7 | 131.0 | 129.9 | |
| 7 | 13.5 | 127.3 | 124.9 | 123.6 | 123.4 | 130.7 | 129.5 | |
| 8 | 23.2 | 126.8 | 124.4 | 123.2 | 123.0 | 130.2 | 129.0 | |
| 9 | 37.0 | 126.0 | 123.7 | 122.5 | 122.3 | 129.3 | 128.0 | |
| 10 | 48.4 | 125.4 | 123.2 | 122.0 | 121.8 | 128.6 | 127.3 | |
| 11 | 49.8 | 125.4 | 123.1 | 121.9 | 121.7 | 128.5 | 127.2 | |
| 12 | 52.9 | 125.2 | 123.0 | 121.8 | 121.6 | 128.4 | 127.0 | 定曲汇入前断面 |
| 13 | 53.0 | 121.7 | 119.7 | 118.7 | 118.6 | 123.9 | 122.7 | 定曲汇入后断面 |
| 14 | 59.8 | 121.4 | 119.5 | 118.5 | 118.4 | 123.6 | 122.4 | |
| 15 | 66.7 | 121.1 | 119.2 | 118.3 | 118.1 | 123.3 | 122.1 | 奔子栏水文站断面 |

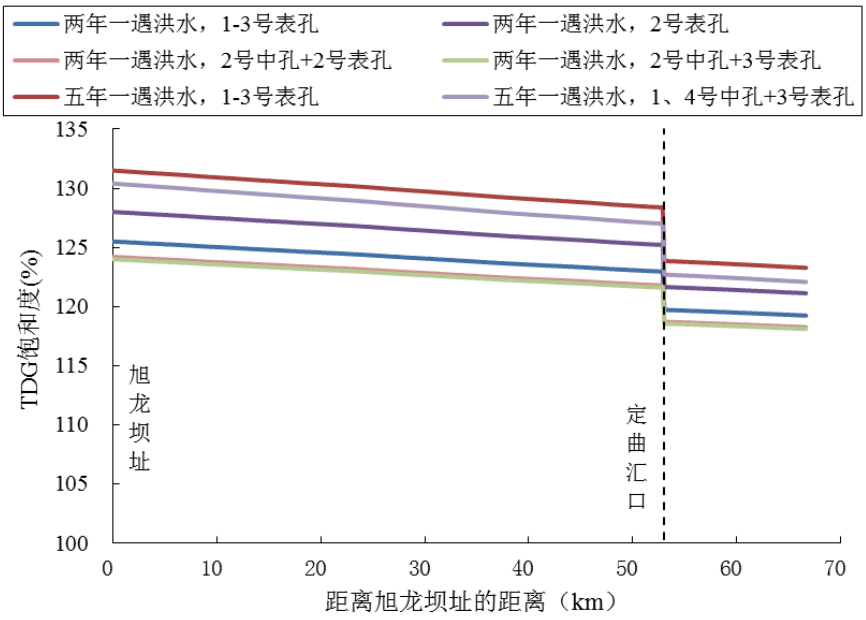



图 5.5-9　旭龙单独泄洪下研究河段 TDG 饱和度沿程变化图

预测结果显示，各工况下，泄水生成的过饱和 TDG 在下游河道内逐渐释放，

TDG 饱和度逐渐降低。

采用 2#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 1，泄洪流量为 2395.5m$^3$/s，出库流量为 3540 m$^3$/s），2#表孔泄洪水流 TDG 饱和度为 124.2%。坝下 55.0km 处左岸定曲汇入使金沙江干流内 TDG 饱和度降低 3.1%，由 121.8%降低至 118.7%。随着向下游输移释放，TDG 饱和度逐渐降低，至距离旭龙坝址 75.0km 的奔子栏水文站断面，TDG 饱和度降低为 118.3%。

采用 1#+2#+3##表孔宣泄两年一遇洪水（工况 2，泄洪流量为 2395.5m$^3$/s，出库流量为 3540m$^3$/s），表孔泄洪水流 TDG 饱和度为 122.5%。坝下 55.0km 处左岸定曲汇入使 TDG 饱和度由 123.0%降低至 119.7%。随着向下游输移释放，TDG 饱和度逐渐降低，至距离旭龙坝址 75.0km 的奔子栏水文站断面，TDG 饱和度降低为 119.2%。

采用 2#中孔+2#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 3，泄洪流量为 2395.5m$^3$/s，出库流量为 3540 m$^3$/s），泄洪水流 TDG 饱和度为 124.2%。坝下 55.0km 处左岸定曲汇入使金沙江干流内 TDG 饱和度降低 3.1%，由 121.8%降低至 118.7%。随着向下游输移释放，TDG 饱和度逐渐降低，至距离旭龙坝址 75.0km 的奔子栏水文站断面，TDG 饱和度降低为 118.3%。

采用 2#中孔+3#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 4，泄洪流量为 2395.5m$^3$/s，出库流量为 3540 m$^3$/s），泄洪水流 TDG 饱和度为 124.0%。坝下 55.0km 处左岸定曲汇入，未考虑支流梯级泄洪的影响，TDG 饱和度值为 100%，汇入后使金沙江干流内 TDG 饱和度降低 3.0%，由 121.6%降低至 118.6%。随着向下游输移释放，TDG 饱和度逐渐降低，至距离旭龙坝址 75.0km 的奔子栏水文站断面，TDG 饱和度降低为 118.1%。

采用 1#+2#+3##表孔宣泄五年一遇洪水（工况 5，泄洪流量为 3825.5m$^3$/s，出库流量为 4970m$^3$/s），表孔泄洪水流 TDG 饱和度为 131.5%。坝下 55.0km 处左岸定曲汇入使 TDG 饱和度降低至 123.9%。随着向下游输移释放，至奔子栏水文站（旭龙坝址下游 75.0km）TDG 饱和度降低为 123.3%。

采用 1#、4#中孔+3#表孔宣泄五年一遇洪水（工况 6，泄洪流量为 3825.5m$^3$/s，出库流量为 4970m$^3$/s），表孔泄洪水流 TDG 饱和度为 130.4%。坝下 55.0km 处左岸定曲汇入，后 TDG 饱和度降低至 122.7%。随着向下游输移释放，至距离旭龙坝址 75.0km 的奔子栏水文站断面，TDG 饱和度降低为 122.1%。

### 5.5.3.2 旭龙水电站与上游梯级联合泄洪

（1）过饱和 TDG 生成预测

在《金沙江上游苏洼龙水电站环境影响报告书》（中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司，2015 年 1 月）中未开展过饱和 TDG 影响的预测计算，仅分析认为“苏洼龙水电站泄洪建筑物主要为 5 孔开敞式溢洪道和 1 条兼有水库放空和排沙功能的泄洪洞，溢洪道采用底流消能，泄洪洞采用面流消能。根据苏洼龙不同频率洪水泄洪方式，苏洼龙电站主要使用溢洪道泄流，仅在千年一遇及以上洪水时才使用泄洪洞泄流，使用次数极少。因此基本不会产生气体过饱和现象。”在本报告中认为水流通过苏洼龙水电站，不改变其 TDG 饱和度。根据 5.5.3.1 节分析可知，在宣泄同等流量时，中孔泄洪生成的 TDG 饱和度低于表孔泄洪，表孔采用均摊泄洪生成的 TDG 饱和度也小于集中泄洪，因此在本节的影响预测中，将旭龙的泄洪工况优化为两年一遇洪水条件下采用 1#+2#+3#表孔泄洪（工况 7）和 2#中孔+3#表孔泄洪（工况 8），五年一遇洪水条件下采用 1#+2#+3#表孔泄洪（工况 9）和 1#、4#中孔+3#表孔泄洪（工况 10）。基于上述分析，本节对于叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙和旭龙联合泄洪条件下的过饱和 TDG 生成进行了分析。

旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合泄洪运行下，各工况的泄洪生成的 TDG 饱和度，生成结果见表 5.5-8。拉哇、巴塘和旭龙电站的尾水与泄洪水流的混合处理方法同上。

表 5.5-8 旭龙与叶巴滩等 4 梯级联合泄洪过饱和 TDG 生成预测结果表

| 工况编号 | | | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 洪水条件 | | | 两年一遇（P=50%） | 两年一遇（P=50%） | 五年一遇（P=20%） | 五年一遇（P=20%） |
| 叶巴滩 | 库水位（m） | | 2889 | 2889 | 2889 | 2889 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1483 | 1483 | 1483 | 1483 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#+2#+3#+4#深孔 | 1#+2#+3#+4#深孔 | 3#表孔 2#3#深孔 | 3#表孔 2#3#深孔 |
| | | 流量 | 1817 | 1817 | 2797 | 2797 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | （$m^3/s$） | | | | |
| | 下游水位（m） | | 2732.6 | 2732.6 | 2733.1 | 2733.1 |
| | 泄洪生成TDG 饱和度（%） | | 131.1 | 131.1 | 134.8 | 134.8 |
| | 发电尾水TDG 饱和度（%） | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 泄洪与尾水混合后TDG 饱和度（%） | | 116.6 | 116.6 | 123.3 | 123.3 |
| 拉哇 | 库水位（m） | | 2702 | 2702 | 2702 | 2702 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1541 | 1541 | 1541 | 1541 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#+2#溢洪洞局开 | 1#+2#溢洪洞局开 | 1#溢洪洞局开 | 1#溢洪洞局开 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2029 | 2029 | 3079 | 3079 |
| | 下游水位（m） | | 2544.62 | 2544.62 | 2546.48 | 2546.48 |
| | 泄洪生成TDG 饱和度（%） | | 137.9 | 137.9 | 145.1 | 145.1 |
| | 发电尾水TDG 饱和度（%） | | 114.3 | 114.3 | 120.2 | 120.2 |
| | 泄洪与尾水混合后TDG 饱和度（%） | | 127.7 | 127.7 | 136.8 | 136.8 |
| 巴塘 | 库水位（m） | | 2545 | 2545 | 2545 | 2545 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1553.2 | 1553.2 | 1553.2 | 1553.2 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#溢洪道+3#溢洪道 | 1#溢洪道+3#溢洪道 | 1#溢洪道+3#溢洪道 | 1#溢洪道+3#溢洪道 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2016.8 | 2016.8 | 3066.8 | 3066.8 |
| | 下游水位（m） | | 2489.19 | 2489.19 | 2490.34 | 2490.34 |
| | 泄洪生成TDG 饱和度（%） | | 119.7 | 119.7 | 125.3 | 125.3 |
| | 发电尾水TDG 饱和度（%） | | 126.3 | 126.3 | 135.2 | 135.2 |
| | 泄洪与尾水混合后TDG 饱和度（%） | | 122.6 | 122.6 | 128.6 | 128.6 |
| 苏洼 | 库水位（m） | | 2475 | 2475 | 2475 | 2475 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 龙 | 发电流量（$m^3/s$） | | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 | 1603.2 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 溢洪道 | 溢洪道 | 溢洪道 | 溢洪道 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2096.8 | 2096.8 | 3186.8 | 3186.8 |
| | 下游水位（m） | | 2387.1 | 2387.1 | 2387.1 | 2387.1 |
| | 泄洪生成TDG 饱和度（%） | | 117.7 | 117.7 | 122.7 | 122.7 |
| | 发电尾水TDG 饱和度（%） | | 117.7 | 117.7 | 122.7 | 122.7 |
| | 泄洪与尾水混合后TDG 饱和度（%） | | 117.7 | 117.7 | 122.7 | 122.7 |
| 旭龙 | 库水位（m） | | 2302.0 | 2302.0 | 2302.0 | 2302.0 |
| | 发电流量（$m^3/s$） | | 1144.5 | 1144.5 | 1144.5 | 1144.5 |
| | 泄洪建筑物 | 开启情况 | 1#2#3#表孔 | 2#中孔+3#表孔 | 1#2#3#表孔 | 1#4#中孔+3#表孔 |
| | | 流量（$m^3/s$） | 2395.5 | 2395.5 | 3825.5 | 3825.5 |
| | 下游水位（m） | | 2157.31 | 2157.31 | 2159.17 | 2157.31 |
| | 泄洪生成TDG 饱和度（%） | | 137.6 | 135.5 | 140.9 | 139.5 |
| | 发电尾水TDG 饱和度（%） | | 108.5 | 108.5 | 111.5 | 111.5 |
| | 泄洪与尾水混合后TDG 饱和度（%） | | 128.2 | 126.8 | 134.2 | 133.1 |

预测结果显示，叶巴滩采用 1#2#3#4#深孔宣泄两年一遇洪水（工况 7 和 8）时，单个深孔泄洪流量为 454.3$m^3/s$，泄水在水垫塘内产生的过饱和 TDG 经过二道坝后的饱和度为 131.1%，与生态机组发电尾水混合后 TDG 饱和度为 128.9%。当采用 3#表孔+2#3#深孔联合宣泄五年一遇洪水（工况 9 和 10）时，总泄洪流量 2797$m^3/s$，表孔泄洪流量为 677$m^3/s$，单个深孔泄洪流量为 1060$m^3/s$，泄洪水流 TDG 饱和度为 136.5%，生态机组发电尾水混合后 TDG 饱和度为 134.8%。

拉哇采用 1#2#溢洪洞局开宣泄两年一遇洪水（工况 7 和 8）时，单个溢洪洞泄洪流量为 1014.5$m^3/s$，泄水产生的过饱和 TDG 为 137.0%，与发电尾水混合以后 TDG 饱和度为 127.7%。当采用 1#溢洪洞局开宣泄五年一遇洪水（工况 9 和

10）时，单个溢洪洞泄洪流量为3079m$^3$/s，泄洪水流产生的TDG饱和度为142.6%，与发电尾水掺混以后TDG饱和度为136.8%。

巴塘采用1#3#溢洪道宣泄两年一遇洪水（工况7和8）时，泄洪流量为2016.8m$^3$/s，泄水在水垫塘内产生的过饱和TDG经过冲坑出口后的饱和度为119.7%，与发电尾水混合后TDG饱和度均为122.6%。用1#2#3#溢洪道宣泄五年一遇洪水（工况9和10）时，泄洪流量为3066.8m$^3$/s，泄水在水垫塘内产生的过饱和TDG经过冲坑出口后的饱和度为125.3%，与发电尾水混合后TDG饱和度为128.6%。

当旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合泄洪运行时，旭龙泄洪TDG与上游梯级泄洪TDG发生叠加影响。预测结果显示，联合泄洪条件下，当采用1#2#3#表孔宣泄两年一遇洪水（工况7）时，旭龙泄洪产生的TDG饱和度为138.1%，与尾水混合后TDG饱和度为137.6%；当采用2#中孔+3#表孔宣泄两年一遇洪水（工况8）时，总泄洪流量2395.5m$^3$/s，旭龙泄洪产生的TDG饱和度为135.5%，与尾水混合后TDG饱和度为126.8%；当采用1#2#3#表孔同时宣泄五年一遇洪水（工况9）时，总泄洪流量3825.5m$^3$/s，旭龙泄洪产生的TDG饱和度为140.9%，与尾水混合后TDG饱和度为134.1%；当采用1#4#中孔+3#表孔宣泄五年一遇洪水（工况10）时，总泄洪流量3825.5m$^3$/s，旭龙泄洪产生的TDG饱和度为139.5%，与尾水混合后TDG饱和度为133.1%。

与旭龙单独泄洪工况相比，由于坝前水体的已为过饱和状态，TDG饱和度大于100%，影响通过发电水流传递至下游，两年一遇2#表孔（工况7）联合泄洪情况下旭龙电站泄洪水流与发电水流混合后的出库TDG饱和度增加了2.7%，两年一遇1#2#3#表孔（工况8）联合泄洪情况下出库水流的TDG饱和度增加了2.9%，五年一遇1#2#3#表孔（工况9）联合泄洪情况下出库TDG饱和度增加了2.7%，五年一遇1#4#中孔+3#表孔（工况10）联合泄洪情况下出库TDG饱和度增加了2.7%，其具体对比结果见表5.5-9。

**表5.5-9 旭龙水电站单独泄洪与联合泄洪过饱和TDG生成预测结果对比表**

| 洪水重现期 | 泄洪建筑物开启情况 | 旭龙单独泄洪 | | | 旭龙联合泄洪 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 工况编号 | 坝前 TDG 饱和度(%) | 与发电尾水掺混后 TDG 饱和度(%) | 工况编号 | 坝前 TDG 饱和度(%) | 与发电尾水掺混后 TDG 饱和度(%) |
| P=50% | 1#2#3#表孔 | 2 | 100 | 125.5 | 7 | 108.5 | 128.2 |
| P=50% | 2#中孔+3#表孔 | 4 | 100 | 124.0 | 8 | 108.5 | 126.8 |
| P=20% | 1#2#3#表孔 | 5 | 100 | 131.5 | 9 | 111.5 | 134.2 |
| P=20% | 1#4#中孔+3#表孔 | 6 | 100 | 130.4 | 10 | 111.5 | 133.1 |

分析原因，由于上游梯级电站泄洪生成的 TDG 过饱和水流输移释放至旭龙坝前仍高于平衡态（100%），两年一遇和五年一遇洪水条件下对应坝前饱和度为 108.5%和 111.5%，影响将由发电尾水传递至下游。由于发电流量与出库流量相比，两年一遇和五年一遇洪水条件下分别为 0.32 和 0.23，其比例较低，因此与泄洪水流掺混后，旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合泄洪下，旭龙泄洪水流与尾水混合后的 TDG 饱和度略高于旭龙单独泄洪工况。

（2）过饱和 TDG 沿程释放过程预测

1）计算边界条件

入口来流为叶巴滩坝址断面的两年一遇和五年一遇洪水流量，分别为 3300m3/s 和 4280m3/s，TDG 水平为叶巴滩坝下生成的 TDG 饱和度，为 128.9%和 134.8%。

叶巴滩至苏洼龙库尾间有 5 条主要支流汇入，为斜曲、西曲、巴楚河、水磨沟和朗达河。苏洼龙坝址至旭龙坝址之间有一条支流汇入，为麦曲，旭龙坝址下游有 1 条支流汇入，为定曲。梯级电站之间支流汇入洪水流量之和与上下游梯级坝址处洪水流量差值并不一致，分析原因，梯级电站间洪水流量的变化，除支流汇入以外，还存在表面蒸发，地下渗流以及区间降雨等因素的影响。为保证流量平衡，区间各支流洪水流量和取上下游梯级对应洪水条件下的流量差，支流流量分配主要考虑集雨面积。定曲位于旭龙电站下游，该支流流量取对应洪水条件下的河口洪水流量值。不考虑支流水电梯级泄洪对过饱和 TDG 的影响，则支流的 TDG 饱和度取为 100%。.

2）模型参数

旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合泄洪条件下，叶巴滩至苏洼龙

库尾段间的河段除拉哇库区、巴塘库区，苏洼龙库区和旭龙库区外，其余皆为天然河道。各预测段内综合系数取值见表 5.5-10。

**表 5.5-10 不同研究河段综合系数$\phi_T$的取值和依据**

| 研究河段 | 综合系数$\phi_T$ | 系数选择依据 |
|---|---|---|
| 拉哇库区 | $3.10\times10^{-11}s^{-1}$ | 采用溪洛渡电站下游向家坝库区 |
| 巴塘库区 | $1.29\times10^{-10}s^{-1}$ | 采用大朝山库区的综合系数 |
| 苏洼龙库区 | $1.35\times10^{-11}s^{-1}$ | 与拉哇库区通过过流面积修正得到 |
| 旭龙库区（两年一遇洪水） | $1.59\times10^{-10}s^{-1}$ | 与金沙江三堆子水文站至龙街渡口河段通过过流面积修正得到 |
| 旭龙库区（五年一遇洪水） | $2.02\times10^{-10}s^{-1}$ | |
| 其余天然河道 | $1.81\times10^{-9}s^{-1}$ | 与金沙江三堆子水文站至龙街渡口河段通过过流面积修正得到 |

3）预测结果分析

根据研究河段实测大断面地形资料，采用一维恒定流模型，分别计算得到两年一遇和五年一遇流量下，研究河段沿程流速和水深变化。水面线计算成果如图 5.5-10 所示，断面平均水深的沿程变化分别如图 5.5-11 所示。

两年一遇洪水情况下叶巴滩至旭龙下游金沙江河段平均水深为 19.7m；苏洼龙库区平均水深为 40.6m；旭龙坝址下游金沙江河段平均水深为 7.4m。五年一遇洪水情况下叶巴滩至旭龙下游金沙江河段平均水深为 20.6m；苏洼龙库区平均水深为 41.5m；旭龙坝址下游金沙江河段平均水深为 8.7m。

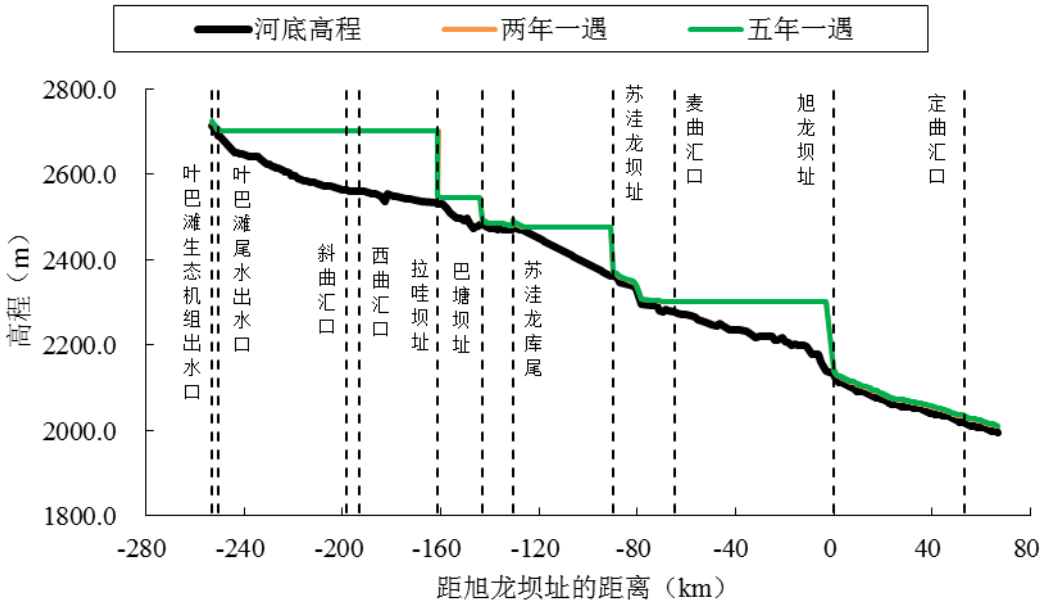



图 5.5-10 旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙联合泄洪下研究河段水面线变化图

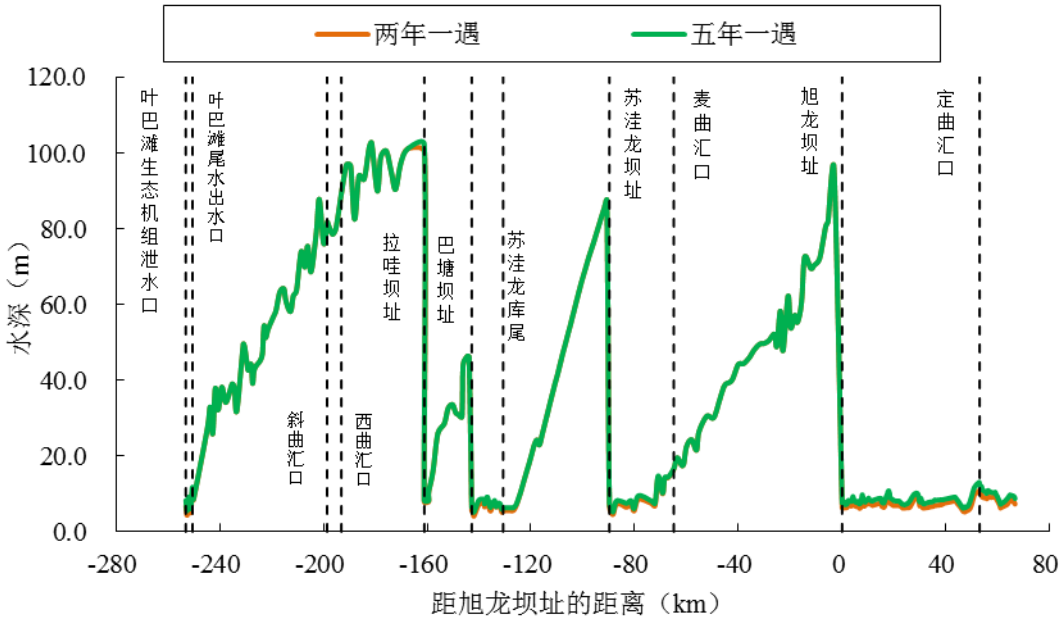



图 5.5-11 旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙联合泄洪下研究河段水深沿程变化图

经计算得到两年一遇和五年一遇流量工况下研究河段释放系数沿程变化，如图 5.5-12 所示。叶巴滩至旭龙坝址段过饱和 TDG 释放系数 $k_T$ 平均值为 0.04 $h^{-1}$，苏洼龙库区过饱和 TDG 释放系数 $k_T$ 平均值为 0.05 $h^{-1}$，旭龙坝址下游金沙江河段 $k_T$ 平均值为 0.12$h^{-1}$。

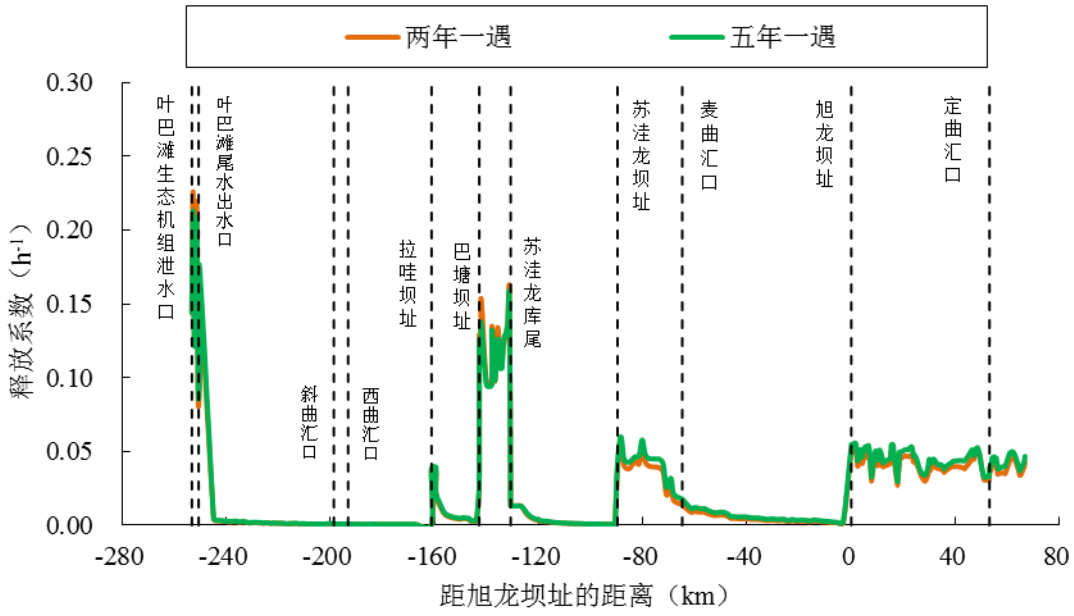



**图 5.5-12 旭龙与叶巴滩、巴塘联合泄洪下研究河段释放系数 $k_T$ 沿程变化图**

叶巴滩采用 1#~4#深孔宣泄两年一遇洪水（工况 4、5）时，单个深孔泄洪流量为 454.3m$^3$/s，泄水在水垫塘内产生的过饱和 TDG 经过二道坝后的饱和度为 131.1%。当采用 3#表孔与 2#、3#深孔联合宣泄五年一遇洪水（工况 6）时，总泄洪流量 2797m$^3$/s，泄洪水流 TDG 饱和度为 136.5%。采用 TDG 释放模型，分别对旭龙水电站三种工况下过饱和 TDG 在叶巴滩至旭龙电站下游金沙江河段的输移释放过程进行预测，计算河段内典型断面预测结果见表 5.5-11。沿程变化见图 5.5-13。

**表 5.5-11 旭龙与叶巴滩、巴塘联合泄洪下研究河段过饱和 TDG 输移释放预测表**

| 断面序号 | 距旭龙坝址距离（km） | TDG 饱和度（%） | | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 两年一遇叶巴滩 1#~4#深孔+拉哇 1#2#溢洪洞局开+巴塘 1#3#溢洪道局开+旭龙 1~3#表孔（工况 7） | 两年一遇叶巴滩 1#~4#深孔+拉哇 1#2#溢洪洞局开+巴塘 1#3#溢洪道局开+旭龙 2#中孔、3#表孔（工况 8） | 五年一遇叶巴滩 1#~4#深孔+拉哇 1#2#溢洪洞局开+巴塘 1#3#溢洪道局开+旭龙 1#2#3#表孔（工况 9） | 五年一遇叶巴滩 1#~4#深孔+拉哇 1#2#溢洪洞局开+巴塘 1#3#溢洪道局开+旭龙 1#4#中孔、3#表孔（工况 10） | |
| 1 | -253.1 | 131.1 | 131.1 | 134.8 | 134.8 | 叶巴滩机组出水口 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | -250.1 | 128.1 | 128.1 | 134.0 | 134.0 | 叶巴滩尾水入汇前 |
| 3 | -250.0 | 116.6 | 116.6 | 123.3 | 123.3 | 叶巴滩尾水入汇后 |
| 4 | -198.6 | 115.4 | 115.4 | 121.7 | 121.7 | 斜曲入汇前断面 |
| 5 | -198.5 | 115.3 | 115.3 | 121.7 | 121.7 | 斜曲入汇后断面 |
| 6 | -193.1 | 115.1 | 115.2 | 121.5 | 121.5 | 西曲入汇前断面 |
| 7 | -193.0 | 115.1 | 115.1 | 121.4 | 121.4 | 西曲入汇后断面 |
| 8 | -161.1 | 114.3 | 114.3 | 120.2 | 120.2 | 拉哇坝址 |
| 9 | -159.4 | 127.7 | 127.7 | 136.8 | 136.8 | 拉哇溢洪洞出口 |
| 10 | -142.8 | 126.3 | 126.3 | 135.2 | 135.2 | 巴塘坝前 |
| 11 | -142.7 | 119.7 | 119.7 | 125.3 | 125.3 | 巴塘溢洪道断面 |
| 12 | -142.2 | 122.6 | 122.6 | 128.6 | 128.6 | 巴塘尾水掺混断面 |
| 13 | -89.7 | 117.7 | 117.7 | 122.7 | 122.7 | 苏洼龙坝址断面 |
| 14 | 0 | 128.2 | 126.8 | 134.2 | 133.1 | 旭龙坝址断面 |
| 15 | 52.9 | 125.4 | 120.2 | 130.8 | 129.8 | 定曲汇入前断面 |
| 16 | 53.0 | 121.2 | 120.2 | 125.9 | 125.1 | 定曲汇入后断面 |
| 17 | 66.7 | 120.7 | 119.7 | 125.3 | 124.5 | 奔子栏水文站 |

注：距旭龙坝址的距离，“-”表示位于旭龙坝址上游

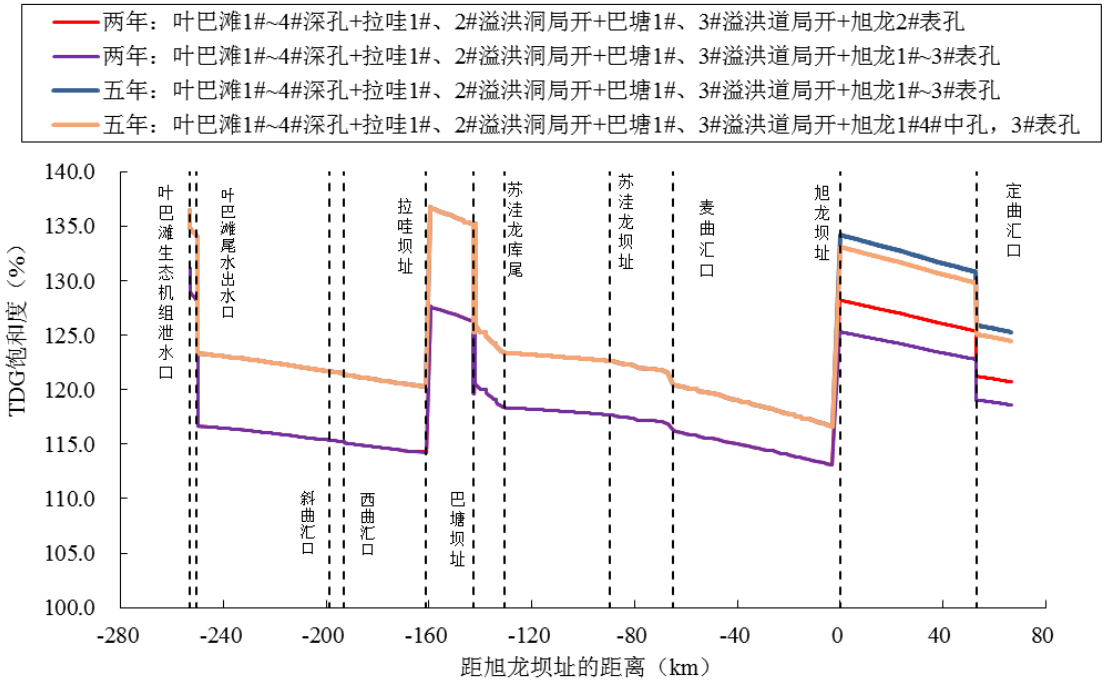



**图 5.5-13 旭龙与叶巴滩、巴塘联合泄洪下研究河段 TDG 饱和度沿程变化图**

采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞，巴塘 1#+3#溢洪道和旭龙 1#+2#+3#表孔联合宣泄两年一遇洪水（工况 7），上游四个梯级泄洪水流至旭龙坝前断面 TDG 饱和度为 113.1%，旭龙电站泄洪产生的过饱和 TDG 与尾水混

合后 TDG 饱和度为 128.2%，比旭龙单独运行时出库饱和度大 2.7%。TDG 释放至旭龙坝下 55km 定曲汇入前断面已恢复至 125.4%，受定曲掺混作用，TDG 饱和度降低为 121.2%，下降了 4.2%。在旭龙坝下 67km 处奔子栏水文站处，水流 TDG 饱和度已减缓至 120.7%。

采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞局开，巴塘 1#+3#溢洪道局开，旭龙 2#中孔+3#表孔联合宣泄两年一遇洪水（工况 8）。上游四个梯级泄洪水流至旭龙坝前水流 TDG 饱和度为 113.1%，旭龙电站泄洪水流与尾水掺混后产生的 TDG 饱和度为 126.8%，比旭龙单独运行时出库水流的 TDG 饱和度增大 2.8%，TDG 饱和度至定曲汇入前降低到 124.3%，汇入定曲后饱和度变为 120.3%，下降了 4.0%。至旭龙坝下 75.0km 奔子栏水文站，水流 TDG 饱和度降为 119.7%。

采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞局开，巴塘 1#+3#溢洪道局开，旭龙 1#+2#+3#表孔联合宣泄五年一遇洪水（工况 9），上游四个梯级泄洪水流至旭龙坝前 TDG 饱和度为 116.6%，旭龙电站泄洪水流与尾水掺混后的 TDG 饱和度为 134.2%，比旭龙单独运行时出库水流 TDG 饱和度大 2.7%，TDG 释放至旭龙坝下 55km 定曲汇入前断面已降低到 130.8%，定曲汇入后干流饱和度变为 125.9%，下降了 4.9%。至旭龙坝下 75.0km 奔子栏水文站断面，水流 TDG 饱和度降为 125.3%。

采用叶巴滩 1#2#3#4#深孔，拉哇 1#2#溢洪洞局开，巴塘 1#3#溢洪道局开，旭龙 1#4#中孔+3#表孔联合宣泄五年一遇洪水（工况 10），上游四个梯级泄洪水流至旭龙坝前 TDG 饱和度为 116.6%，旭龙电站出库水流 TDG 饱和度为 133.1%，比旭龙单独运行时出库水流的 TDG 饱和度大 2.7%，TDG 释放至旭龙坝下 55km 定曲汇入前断面已降低到 129.8%，定曲汇入后干流饱和度变为 125.1%，下降了 4.7%。至旭龙坝下 75.0km 奔子栏水文站断面，水流 TDG 饱和度降为 124.5%。

#### 5.5.3.3 小结

（1）旭龙水电站单独泄洪

旭龙水电站单独泄洪情况下，采用 2#表孔洞宣泄两年一遇洪水（工况 1），1#+2#+3#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 2），2#中孔+2#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 3），2#中孔+3#表孔宣泄两年一遇洪水（工况 4），采用 1#+2#+3#表孔宣泄五

年一遇洪水（工况 5），1#中孔+4#中孔+3#表孔宣泄五年一遇洪水（工况 6），泄洪水流的TDG饱和度分别为124.2%，122.5%，124.2%，124.0%，131.5%和130.4%。

过饱和 TDG 在输移释放过程中沿程逐渐降低，旭龙坝址下游约 55.0km 处有定曲汇入。由于支流的 TDG 饱和度为 100%，其汇入对干流过饱和 TDG 有一定稀释作用，稀释作用较为明显；至旭龙下游 75km 奔子栏水文站断面，6 个工况的TDG饱和度分别降低至118.3%，119.2%，118.3%，118.1%，123.3%和122.1%。

（2）旭龙水电站与上游梯级联合泄洪

采用数学模型对旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合宣泄两年一遇和五年一遇洪水条件下泄洪生成的过饱和 TDG 及其在叶巴滩至旭龙坝下金沙江间河段的释放过程开展了预测。

采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞，巴塘 1#+3#溢洪道和旭龙 1#+2#+3#表孔联合宣泄两年一遇洪水（工况 7），采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞局开，巴塘 1#+3#溢洪道局开，旭龙 2#中孔+3#表孔联合宣泄两年一遇洪水（工况 8），采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞局开，巴塘 1#+3#溢洪道局开，旭龙 1#+2#+3#表孔联合宣泄五年一遇洪水（工况 9），采用叶巴滩 1#+2#+3#+4#深孔，拉哇 1#+2#溢洪洞局开，巴塘 1#+3#溢洪道局开，旭龙 1#、4#中孔+3#表孔联合宣泄五年一遇洪水（工况 10）条件下叶巴滩等 4 个梯级泄洪生成的 TDG 过饱和水流至旭龙电站坝前，TDG 饱和度分别为 113.1%、113.1%、116.1%和 116.6%。旭龙电站泄洪水流与发电尾水混合后出库水流的 TDG 饱和度分别为 128.2%、126.8%、133.1%和 134.2%；与旭龙水电站单独泄洪工况相比，分别增大了 2.7%、2.8%、2.7%、2.7%。旭龙坝址下游 53km 处，金沙江左岸有定曲汇入，对干流 TDG 饱和度有一定的稀释作用，定曲汇入后，干流 TDG 饱和度分别下降了 4.2%、4.0%、4.9%和 4.7%；至旭龙坝址下游 75.0km 奔子栏水文站处，TDG 饱和度分别下降至 120.7%、119.7%、124.5%和 125.3%。

## 5.6地下水影响预测与评价

旭龙水电站工程为非污染建设项目，工程对地下水的影响主要为施工期基坑排水、硐室开挖引起坝址区地下水水位下降；水库正常蓄水后，库水位将整体抬

高，从而引起库岸两侧一定范围内地下水位雍高。坝址区在施工期和运行期会产生少量生活污水和生产废污水，但是考虑到本工程生产、生活废污水排放量小，且设计采取处理后达标排放或回用，因此，基本不会对地下水水质产生影响。地下水环境影响预测评价的重点为工程建设及水库蓄水对地下水流场的影响。

## 5.6.1 施工期地下水影响预测分析

旭龙水电站施工期对地下水的影响主要是地下工程施工可能造成地下水补给、径流和排泄条件变化，从而对地下水量及地下水位产生影响。

### 5.6.1.1 地下工程水文地质条件

旭龙水电站工程库区基岩广布，第四系覆盖层仅分布于金沙江河床及其支流冲沟中。出露的基岩主要包括古界雄松群（$Pt_2x$）、古生界金沙江蛇绿岩群（DTJ）变质岩，中-新生界碎屑岩（$T_3w$、$T_3sh$、$T_3wl$、$T_3m$、$E_2r$）以及不同期次的岩浆岩（$\gamma_5^1$、$T_3\delta o$、$P_3\gamma\delta$ 等），在地表浅层的岩体中发育大量构造裂隙、风化裂隙和卸荷裂隙，根据岩体完整程度垂向上自上而下可大致划分为：全风化带、强风化带、弱风化带、微风化带，随着深度增大岩体逐渐变得完整，裂隙数量及张开度均减少，岩体的渗透性逐渐变弱，故根据岩体裂隙发育程度及渗透性可将其分为上部基岩裂隙含水层和下部相对隔水层。由于裂隙发育程度受构造作用、岩性及风化程度等综合控制，裂隙发育往往具有方向性，因此裂隙含水介质具有强烈的不均匀性。

第四系松散沉积物主要包括冲积或洪冲积的碎块石或漂卵石夹砾砂和残坡积或崩、滑坡积成因的碎石土、碎块石、砾质土等，为孔隙含水层。孔隙含水层的分布范围有限，主要分布在金沙江河床及其支流冲沟中，覆盖于裂隙含水层之上。

### 5.6.1.2 地下水影响预测评价

旭龙水电站主体工程施工期将修建的主要地下工程包括导流洞以及基坑、地下厂房工程。

根据施工安排，本阶段对一期的左岸导流洞施工和二期的右岸地下厂房及大坝主体的开挖施工 2 种工况进行地下水流场的预测评价。

（1）一期导流洞施工

通过数值模拟预测得到一期施工时的地下水流场如下图。由图可知，导流隧洞在左岸开挖，基坑涌水来源于左岸山体，对右岸地下水流场基本没有影响；虽然导流洞的开挖尺寸较小，却仍会引起基坑左侧地下水位下降，在开挖区周围形成降落漏斗，在基坑附近地下水降深较大，远离基坑降深逐渐变小，地下水位降深与距基坑距离的关系如下图，根据其关系曲线可预测一期施工对地下水位的影响范围约为 1400m，一期施工时的基坑涌水量约为 2577.2$m^3$/d。

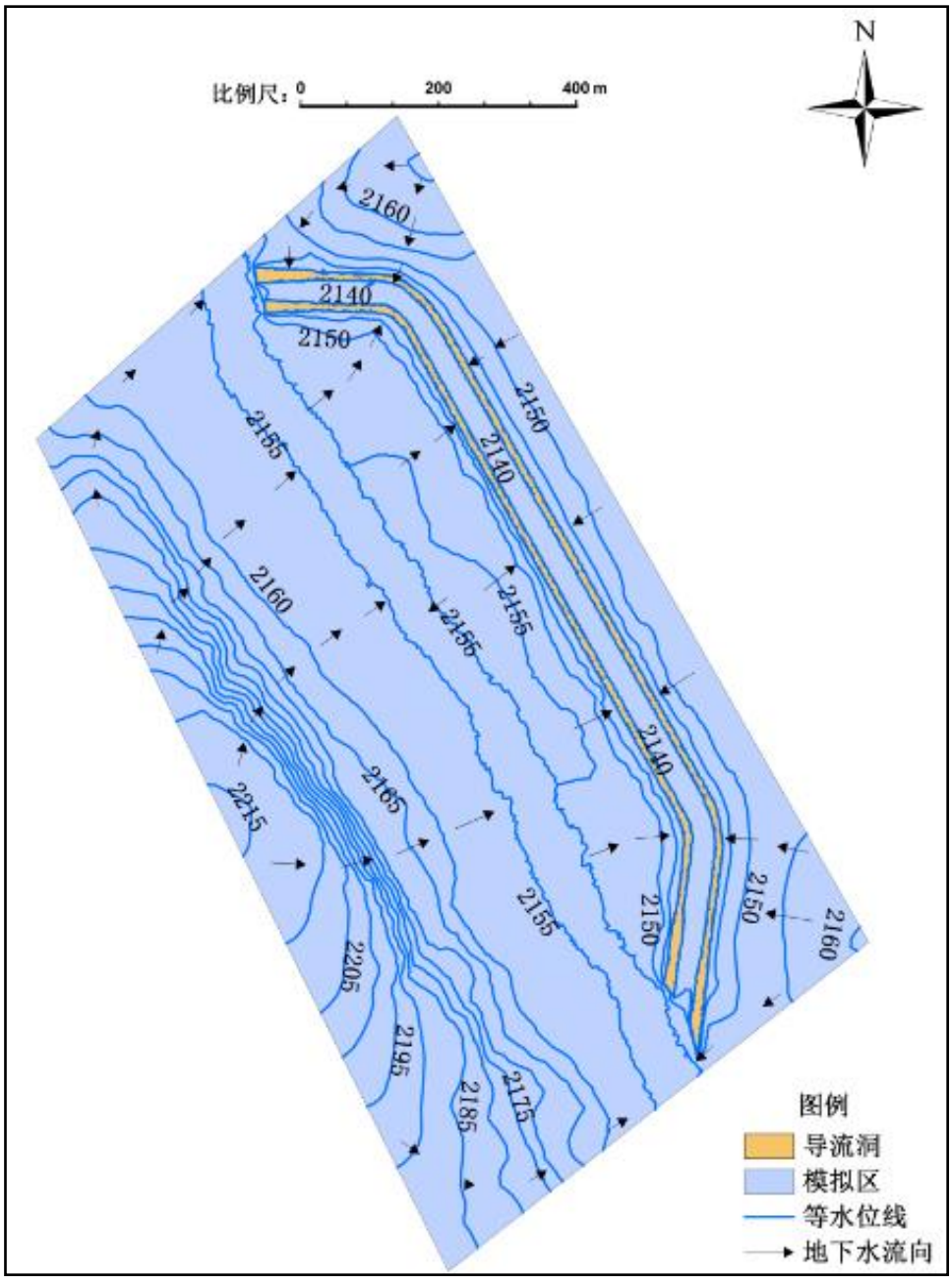



图 5.6-1 导流洞施工期平面流场图

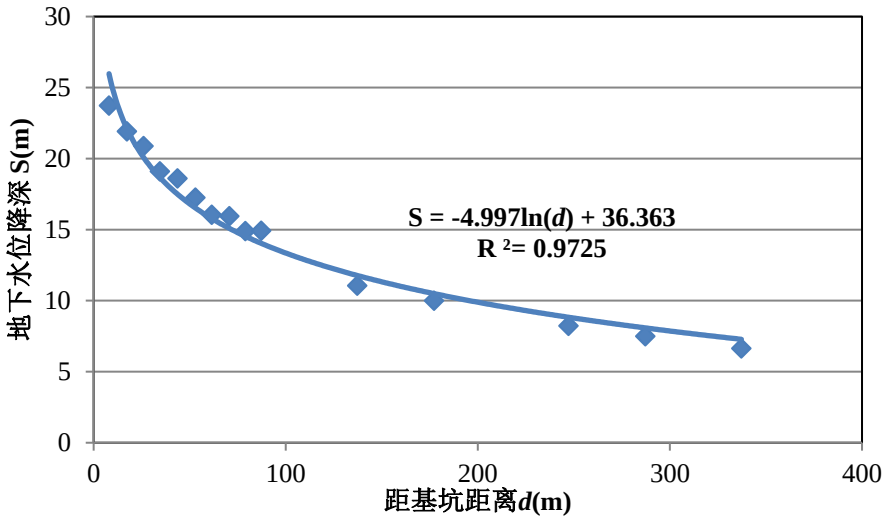



图 5.6-2 一期施工金沙江左岸不同位置的地下水降深图

（2）二期大坝基坑及地下厂房施工

通过数值模拟预测得到二期施工时的地下水流场如图 5.6-3。由图可知，二期基坑周围形成一个明显的降落漏斗，基坑四周由中心向外水力梯度逐渐变小。基坑开挖造成地下水位下降，离基坑越近，地下水水位下降越大，水力梯度越大，随着远离基坑水位降深逐渐变小，由图 5.6-4 可预测二期施工对地下水位的影响范围约为 1500m。根据模拟结果，二期施工的基坑涌水量为 24820$m^3$/d。

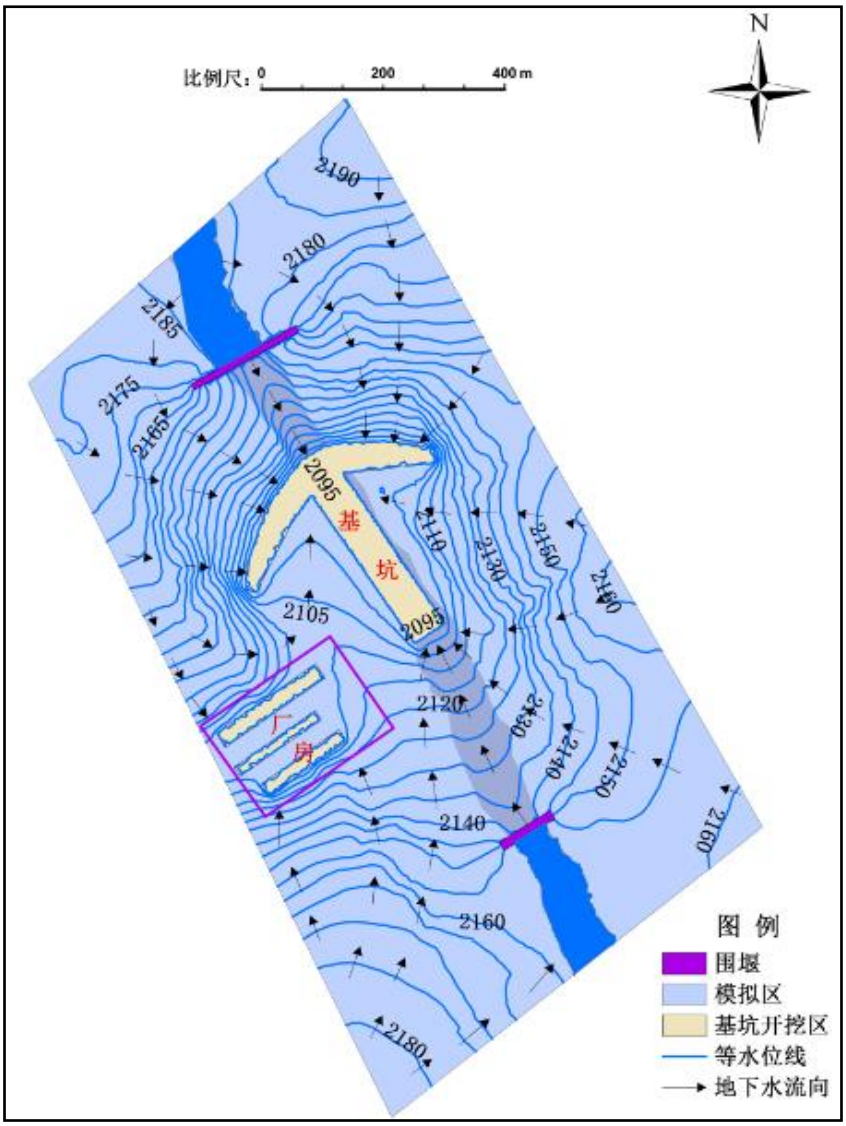



图 5.6-3 二期施工阶段平面流场图

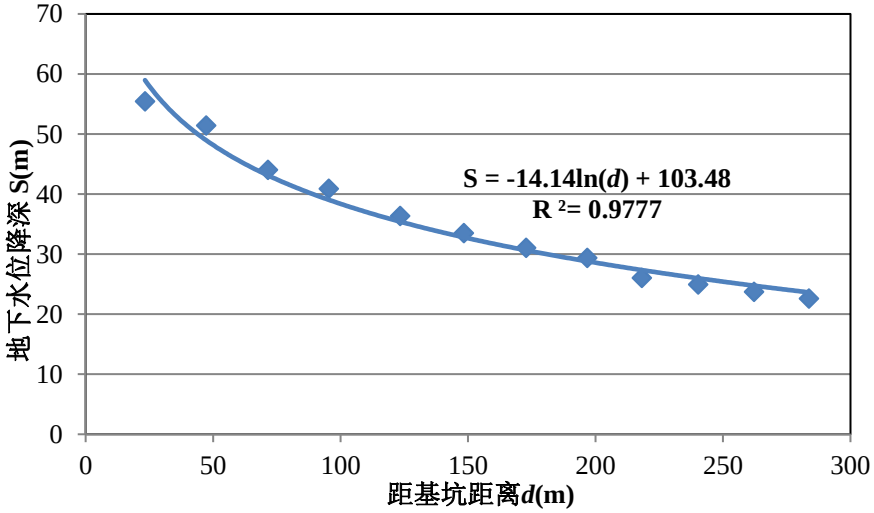



图 5.6-4 二期施工不同位置的地下水降深

## 5.6.2 运行期地下水影响预测分析

### 5.6.2.1 对库区地下水影响预测评价

考虑到水库运行后，坝区上游地下水位抬升幅度较大，会产生绕坝渗漏和坝基渗漏，因此，本次评价将模拟分析设置防渗帷幕和不设置防渗帷幕 2 种工况条件下的地下水流场及其渗漏量。

（1）不设置防渗帷幕坝址区地下水流场模拟

不设置防渗帷幕条件下正常蓄水后坝址区的地下水流场如图 5.6-5 所示。由图可知，大坝上游两侧地下水的补径排的总体规律没有发生显著变化，地下水接受补给后仍往金沙江排泄，但蓄水后坝前两侧地下水位大幅抬升，在坝肩两侧地下水流场发生急剧变化，在坝前、后两侧高水头差的作用下，地下水从坝肩两侧绕渗至大坝下游，根据模拟计算结果：坝下渗漏量为 3879.7$m^3$/d，左岸绕坝渗漏量为 6821.44$m^3$/d，右岸绕坝渗漏量为 5366.79$m^3$/d。

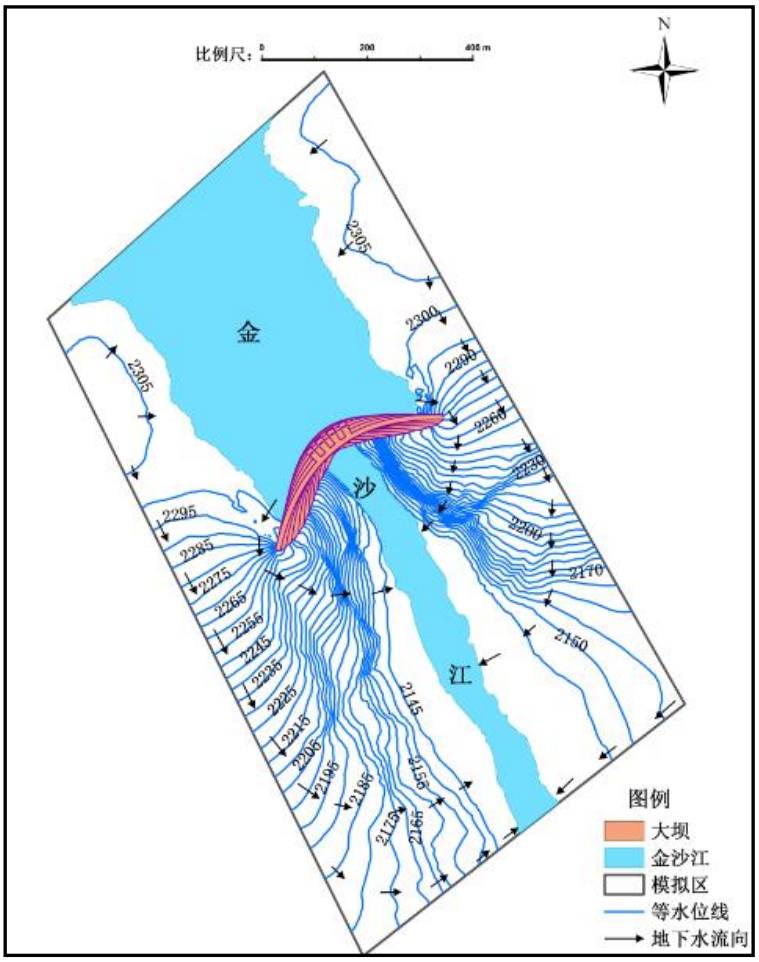



图 5.6-5 运行期坝址区地下水流场图（不设置防渗帷幕）

（2）设置防渗帷幕坝址区地下水流场模拟

设置防渗帷幕条件下水库蓄水后坝址区的地下水流场如图 5.6-6 所示。

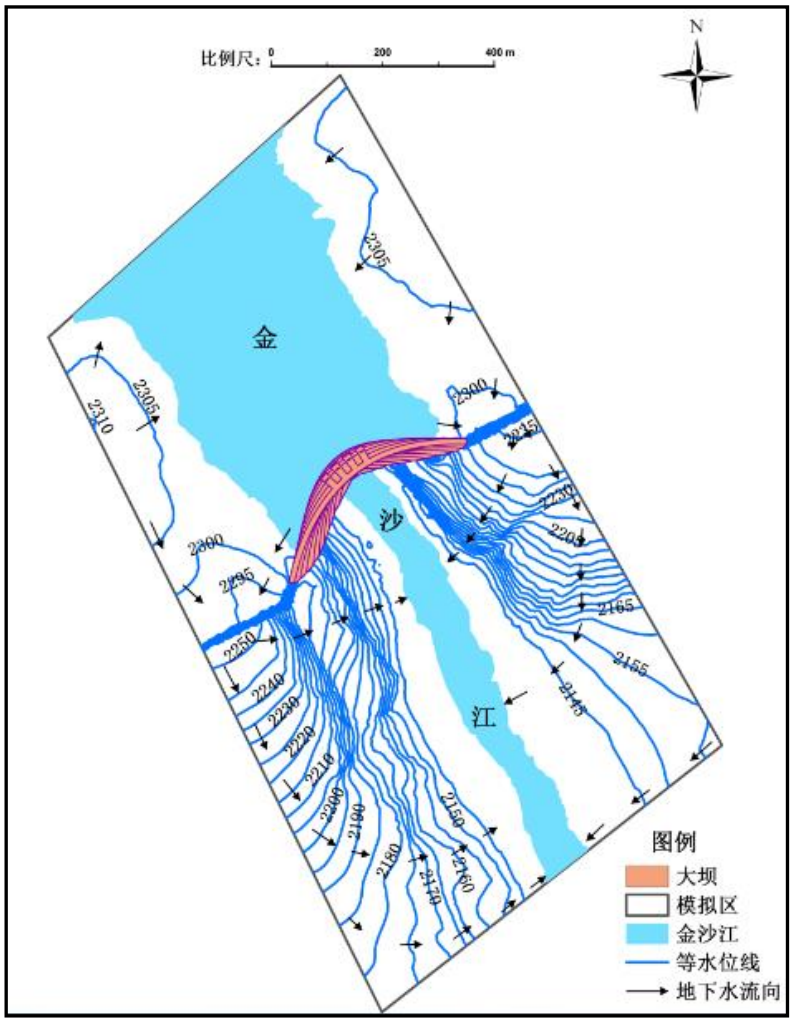



**图 5.6-6　运行期坝址区地下水流场图（设置防渗帷幕）**

水库蓄水后，大坝上游两侧地下水的补径排的总体规律没有发生太大变化，地下水接受补给后仍往金沙江排泄，但蓄水后坝前江水位抬升 160m，引起大坝上游两侧地下水位整体雍高，地下水雍高幅度随远离库区而减少，通过在模型中设计地下水观测孔（图 5.6-7），获得了距离江岸不同位置处的地下水位雍高值，如图 5.6-8～5.6-9 图所示。




图 5.6-7 坝址区水位观测孔布置图

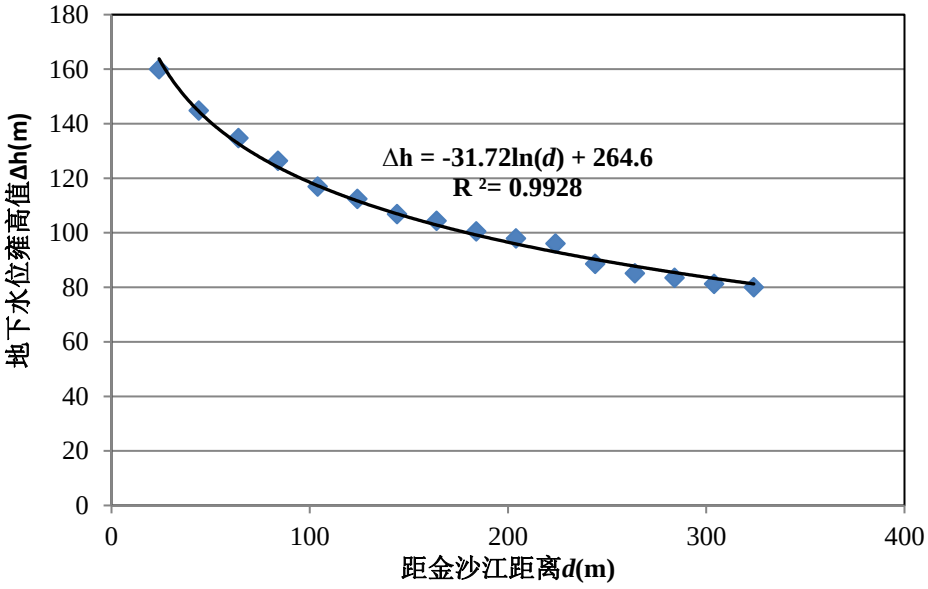



图 5.6-8右岸地下水位雍高值$\Delta h$变化趋势图

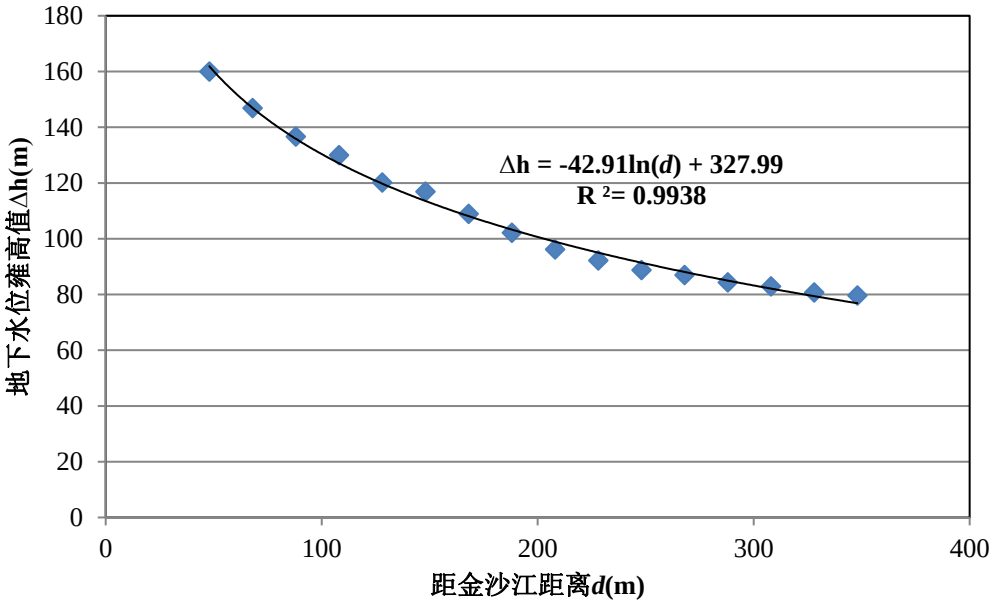



图 5.6-9　右岸地下水位雍高值$\Delta h$变化趋势图

根据地下水雍高幅度的衰减趋势，确定水库正常蓄水后右岸地下水位雍高的影响范围约为3500m，左岸地下水位雍高的影响范围约为2100m。

大坝下游金沙江水位基本保持不变，水库蓄水对下游两侧地下水流场的影响比较微弱，但是由于蓄水后坝前地下水位大幅抬升，导致坝前和坝后地下水位形成160m的水头差，地下水流场发生急剧变化，地下水流向从天然情况下沿垂直金沙江方向径流变为从坝基和两坝肩防渗帷幕下方绕渗至大坝下游，根据计算结果：坝下渗漏量约为1047.84m$^3$/d，左岸绕坝渗漏量约为1029.81m$^3$/d，右岸绕坝渗漏量约1493.34 m$^3$/d；在大坝附近因绕坝渗流会引起坝下局部地下水位抬升，这种影响随远离大坝的距离增加而减少，在距离大坝500m以外地下水位基本不受影响。

综上所述，按照工程防渗设计方案设置防渗帷幕后，绕坝渗漏量大幅减低，根据模拟结果：防渗条件下的绕坝渗漏量仅为无防渗帷幕条件下的 22%，防渗效果良好。

### 5.6.2.2 库区地下水环境影响评价

运行期库区地下水流场如图 5-2-10 所示。结果表明：水库正常蓄水后，对库区地下水流场的形态影响很小，不会改变库区地下水补给、运移及排泄的总体规律，但水库蓄水后两侧地下水水位会随着金沙江水位的抬升而相应雍高，雍高程度随远离江边而逐渐减小（如图 5-2-11 所示）。

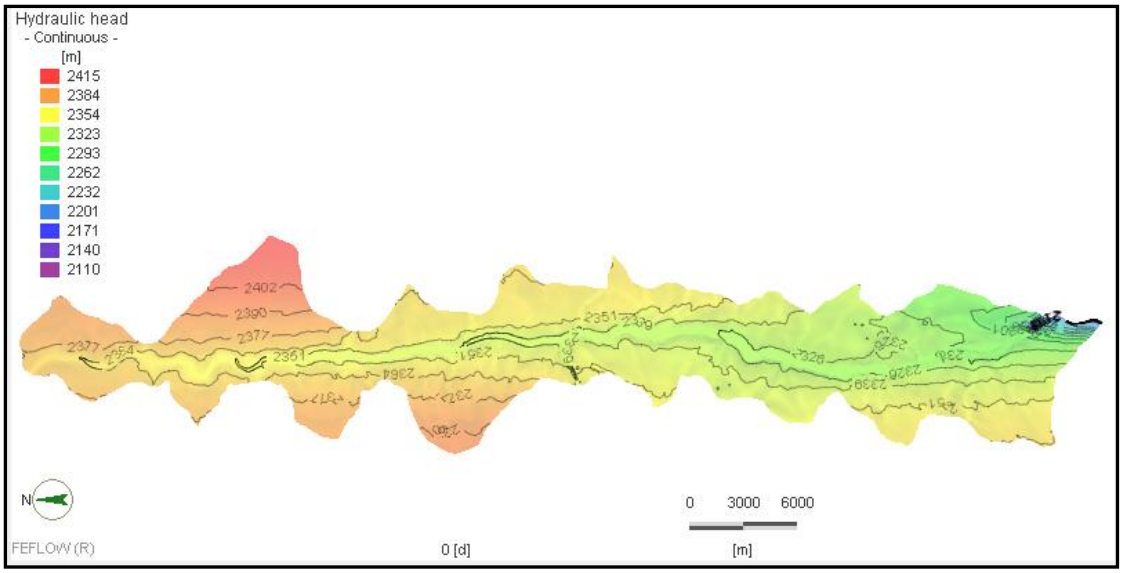



图 5.6-10　运行期库区地下水流场图

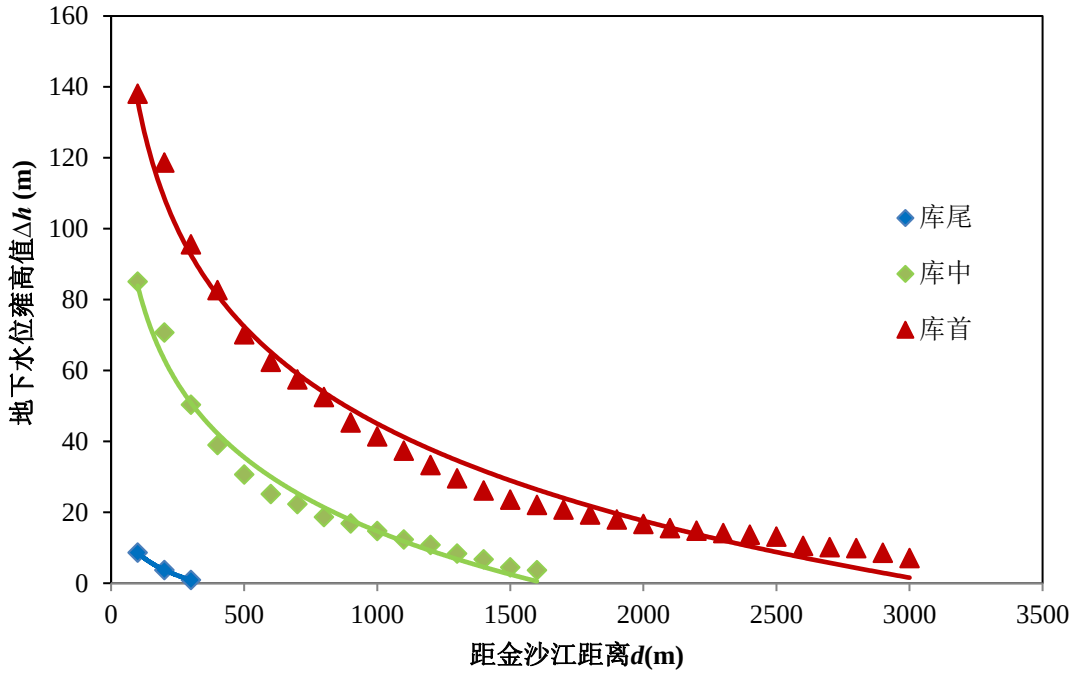



图 5.6-11　地下水位雍高值Δh趋势图

## 5.6.3 地下工程对陆生生态水源的影响

根据前述分析，旭龙水电站地下工程埋深大多在 120m 以上，地下工程大部分位于地下水位以上，洞室开挖大多处于微新岩体中，属弱透水层，所影响的地下水主要为基岩裂隙水，其分布存在较大的随机性，地下水的水力联系性差，施工对工程区地下水影响不大。同时，在工程施工过程中采取开挖与支护防渗相同

步推进的施工工艺，因此对裂隙水均可做到及时封堵，能够有效维持原有地下水水位和流场。根据目前工程区平洞勘探揭示，地下洞室施工过程中会产生渗水、滴水、线状流水，仅局部可能会发生涌水，但总体来说，地下工程施工不会造成地下水水位下降。区域植被生长水源来源于降水以及储存于覆盖层表面土壤中的水分，其生长水分主要受降水影响，深层地下水局部变化对其影响极弱。通过对前期勘探平洞上方植被生成情况类比调查，分析本工程地下洞室施工对洞顶植被影响轻微。

同时根据施工地下水防治预案，若发生突发性涌水，将及时进行封堵，可及时恢复裂隙地下水位和流场，不会对陆生生态水源造成不可逆的不利影响。但需注意的是，施工期需严格加强对地下水涌水观测，如遇涌水现象，需及时采取堵、排等措施，降低影响程度。

### 5.6.4 小结

综上，旭龙水电站地下洞室施工对区域地下水影响较小，局部洞身段可能产生涌水，但涌水量规模很小，因此在采取相关减缓措施的情况下对地下水水位和水量的影响较小。地下工程附近无居民点分布，工程建设不会对周边居民日常用水水源产生影响。另外，工程区地表植被依赖降水而非地下水，即使发生涌水的情况下，对顶部植被影响也较小。运行期库区不存在向邻谷渗漏的可能性，沿断层或断层影响带集中渗漏的可能性不大。

## 5.7环境空气影响评价

### 5.7.1 敏感目标

主体工程施工期间，施工布置周边 200m 范围内有洒茂顶村，其距离茂顶河弃渣场水平距离约 220m，高差约 100m，直线距离 242m。距 6#公路水平距离约 113m，高差约 95m，直线距离 148m。

表 5.7-1　　环境噪声敏感目标一览表

| 影响源分类 | 敏感目标 | 保护对象概况 | 与工程的关系 | 最近距离(m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平 | 高差 | 直线 |
| 弃渣场堆渣 | 洒茂顶村 | 评价范围内有 19 户，第一排有 7 户 | 最近距离茂顶河弃渣场渣顶约 120m | 220 | 100 | 242 |
| 6#公路 | | | 距离 6#公路约 113m | 113 | 95 | 148 |

注：“最近距离”为环境噪声敏感目标中最不利位置与噪声源的距离。

## 5.7.2 污染源强

工程环境空气污染源主要为砂石料加工系统扬尘、弃渣场和交通扬尘。

（1）施工作业面

根据相关文献，本工程施工作业面扬尘排放量参照建筑工地施工扬尘排放进行计算，洒茂顶砂石加工系统粉尘排放速率为 0.0976mg/s·m²，利用料砂石加工系统粉尘排放速率为 0.1111mg/s·m²，弃渣场和料场粉尘排放速率为 0.1944mg/s·m²。采取洒水降尘措施后，洒茂顶砂石加工系统粉尘排放速率为 0.0059mg/s.m²，利用料砂石加工系统粉尘排放速率为 0.0067mg/s.m²，弃渣场和料场粉尘排放速率为 0.0117mg/s.m²。

（2）交通运输

受场内交通影响，交通扬尘源强在完全干燥的情况下，可采用式 5.7-1 进行预测。

$$Q = 0.123(V/5)(W/6.8)^{0.85}(P/0.5)^{0.75} \qquad \text{（式 5.7-1）}$$

其中：Q——汽车行驶的扬尘，kg/km.辆；

V——汽车速度，km/h；

W——汽车载重量，t；

P——道路表面粉尘量，kg/m²。

根据上述公式，确定不同道路类型的粉尘排放因子，其敏感路段粉尘可控排放速率计算结果见下表。

表 5.7-2　　各路段粉尘可控排放速率一览表

| 施工道路 | 路面材料 | 路面\路基宽度（m） | 最大年运输量（万 t） | 单向高峰行车密度(辆/h) | 设计行车速度（km/h） | 粉尘排放量(kg/km ħ) |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | 昼 | 夜 | | 昼 | 夜 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6#公路 | 混凝土 | 8.0/9.0 | 813.32 | 38 | 19 | 30 | 29.62 | 14.81 |

## 5.7.3 环境空气影响预测

（1）施工作业面

施工作业面对大气环境产生影响的主要是砂石加工系统、料场和存弃渣场，主要污染物为粉尘。根据施工规划，旭龙水电站各砂石加工系统周边 200 范围内均没有环境敏感点，砂石加工系统对环境空气污染有限。洒茂顶村主要受茂顶河弃渣场弃渣影响。

弃渣场和料场为面源污染，大气环境评价为三级评价，采用导则推荐的 SCREEN3 估算模式进行贡献值预测。渣场、料场污染源排放按施工扰动区域占地 20m×20m 计。根据旭龙水电站专用气象站多年气象资料统计，施工区多年平均气温 14.5℃，多年月平均风速 2.9m/s，主导风向为 SSW。

**表 5.7-3　　施工作业面的粉尘预测结果**

| 敏感目标 | 大气影响源 | 距离（m） | 高差（m） | 不可控条件下贡献值（mg/m³） | 可控条件下贡献值（mg/ m³） |
|---|---|---|---|---|---|
| 洒茂顶村 | 茂顶河弃渣场 | 120 | 100 | 3.056 | 0.1833 |

（2）交通运输

扬尘量与汽车行驶速度成正比，与路面清洁程度成反比，在同样路面清洁条件下，车速越快，扬尘量越大。

运输车辆扬尘不会在大范围内平均分布，但在小空间内浓度较高。在道路局部地段积尘较多的地方，载重车辆经过时会掀起浓密的扬尘。根据其它工程现场实测情况，类似路面交通运输产生的扬尘影响范围一般在宽 10～50m、高 4～5m 的空间内，3min 后较大颗粒即沉降至地面，微细颗粒（所占比重较小）在空中停留时间较长。

根据对施工区场内交通与敏感保护目标的位置关系分析，洒茂顶村距 6#公路水平距离 113m，垂直高差达 95m，6#公路交通扬尘对洒茂顶村影响有限。

（3）环境敏感目标影响分析

经估算模式预测，各敏感目标 TSP 日均浓度叠加值均满足区域的环境空气

质量二级标准，工程施工对各敏感目标影响较小。

表 5.7-4　　TSP浓度预测结果　　单位：ug/m³

| 敏感目标 | 影响源 | 贡献值 | 背景值 | 预测值 | 执行标准 | 超标情况 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mg/m³ | mg/m³ | mg/m³ | mg/m³ | mg/m³ |
| 洒茂顶村 | 茂顶河弃渣场 | 0.183 | 0.032 | 0.215 | 0.300 | - |

# 5.8声环境影响评价

## 5.8.1 敏感目标

根据旭龙水电站施工总布置和实际调查结果，旭龙水电站施工区声环境敏感目标有 1 个，为洒茂顶村。受茂顶河弃渣场堆渣以及 6#公路（茂顶河弃渣场公路）交通噪声影响。声环境敏感目标与施工布置的关系见下表。

表 5.8-1　　环境噪声敏感目标一览表

| 影响源分类 | 敏感目标 | 保护对象概况 | 与工程的关系 | 最近距离(m) | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平 | 高差 | 直线 | |
| 弃渣场堆渣 | 洒茂顶村 | 评价范围内有 19 户，第一排有 7 户 | 最近距离茂顶河弃渣场渣顶约 220m | 220 | 100 | 242 | 工程施工期弃渣机械噪声 |
| 6#公路 | | | 距离 6#公路约 113m | 113 | 95 | 148 | 交通噪声 |

注：“最近距离”为环境噪声敏感目标中最不利位置与噪声源的距离。

## 5.8.2 预测方法及参数选择

### 5.8.2.1 预测公式

（1）固定噪声源预测公式

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ 2.4-2009），固定点源噪声预测采用以下公式：

$$L_{A(r)} = L_{A(r_0)} - 20\lg(r / r_0)$$　　（式 5.8-1）

式中：$L_{A(r)}$——距声源$r$（m）处的 A 声级，dB（A）；

$L_{A(r_0)}$——测点$r_0$处A声级，dB（A）；

$r$——测点与声源的距离，m。

建设项目声源在预测点产生的等效声级贡献值（$L_{eqg}$）计算公式：

$$Leqg = 10\lg(\frac{1}{T}\sum_i t_i 10^{0.1L_{Ai}}) \quad \text{（式 5.8-2）}$$

式中：$Leqg$——建设项目声源在预测点的等效声级贡献值，dB（A）；

$L_{Ai}$——i声源在预测点产生的A声级，dB（A）；

$T$——预测计算的时间段，s；

$t_i$——i声源在时段内的运行时间，s。

本次计算预测计算时间段与声源在时段内运行时间相等，即$T = t_i$。

预测点的预测等效声级（$L_{eq}$）计算公式：

$$Leq = 10\lg(10^{0.1Leqg} + 10^{0.1Leqb}) \quad \text{（式 5.8-3）}$$

式中：$Leq$——预测点的预测等效声级，dB（A）；

$Leqg$——建设项目声源在预测点的等效声级贡献值，dB（A）；

$Leqb$——预测点的背景值，dB（A）。

（2）流动噪声源预测公式

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ 2.4-2009）推荐的公路交通运输噪声预测基本模式：

$$L_{eq}(h)_i = \left(\overline{L_{OE}}\right)_i + 10\lg\left(\frac{N_i}{TV_i}\right) + 10\lg\left(\frac{7.5}{r}\right) + 10\lg\left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{\pi}\right) + \Delta L - 16 \quad \text{（式 5.8-4）}$$

式中：$Leq(h)_i$——第i类车的小时等效声级，dB（A）；

$(\overline{L_{0E}})_i$——第i类车速度为，km/h，水平距离为7.5m处的能量平均A声级，dB（A）；

$N_i$——昼间，夜间通过某个预测点的第i类车平均小时车流量，辆/h；

$r$——从车道中心线到预测点的距离，m；

$V_i$——第 i 类车的平均车速，km/h；

$T$——计算等效声级的时间，1h；

$\psi_1$、$\psi_2$——预测点到有限长路段两端的张角，弧度；

$\Delta L$——由其他因素引起的修正量，dB（A）。

施工区交通运输以大型车辆为主。大型车距行驶路面中心线 7.5m 处的平均辐射噪声级 Li 可按下式计算：

$$Li=38.5+24.6\lg V \qquad \text{（式 5.8-5）}$$

V——大型车辆平均行驶速度，km/h

用声能迭加求出预测点的噪声级：

$$L_{总}=10\lg(\sum_{i=1}^{n}10^{0.1L_i}) \qquad \text{（式 5.8-6）}$$

式中：L 总—— 预测声级，dB（A）；

Li—— 各迭加声级，dB（A）；

n—— n 个声压级。

（3）噪声综合预测

用声能迭加求出预测点的噪声级：

$$L_{eq}=10\lg(10^{0.1L_{eqg}}+10^{0.1L_{eqb}}) \qquad \text{（式 5.8-7）}$$

式中：Leg ——建设项目在预测点的等效声级贡献值，dB(A)；

Leq——预测点产生的 A 级，dB(A)；

Leb——预测点的背景值，dB(A)。

（4）爆破噪声

爆破噪声主要来自于石料场开采。

据《环境影响评价技术导则　声环境》（HJ/T2.4-2009）中的推荐模式，并考虑山谷反射、空气吸收及地面效应。预测公式如下：

$$L_A(r)=L_A(r_0)+L\Delta r-20\lg(r/r_0)-a\times(r-r_0) \qquad \text{（式 5.8-8）}$$

式中：$L_A(r)$——预测点的噪声 A 声压级（dB）；

$L_A(r_0)$——参照基准点的噪声 A 声压级（dB）；

$L\Delta r$——山谷反射的叠加值（dB），$L\Delta r$ 取 3dB；

$20\lg(r/r_0)$——几何发散衰减（dB）；

$r$——预测点到噪声源的距离（m）；

$r_0$——参照基准点到噪声源的距离（m）；

### 5.8.2.2 噪声源源强及相关参数的确定

（1）固定噪声源源强确定

固定噪声源源强均选择实测值中最大值，进行最不利情况预测。本工程的固定噪声源包括砂石料加工系统、弃渣场和综合加工厂等。三种固定噪声源在测试点 1m 处的源强分别为 110dB（A）、90dB（A）、105dB（A）。三种固定噪声源影响范围预测结果见表 5.8-2。

表 5.8-2　　固定噪声源影响预测结果

| 声源 | 源强 dB（A） | 与声源与面距离的噪声预测值 dB（A） | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10m | 20m | 50m | 100m | 150m | 200m | 300m | 400m | 500m | 600m |
| 砂石料加工系统 | 110 | 90.0 | 84.0 | 76.0 | 70.0 | 66.5 | 64.0 | 60.5 | 58.0 | 56.0 | 54.4 |
| 弃渣场 | 90 | 70 | 64 | 56 | 50 | 46.5 | 44.0 | 40.5 | 38.0 | 36.0 | 35.0 |
| 综合加工厂 | 105 | 85.0 | 79.0 | 71.0 | 65.0 | 61.5 | 59.0 | 55.5 | 53.0 | 51.0 | 49.4 |

（2）流动噪声源源强及相关参数的确定

以交通量最大的 6#道路为例，Vi、Ni 等相关参数参见下表。

表 5.8-3　　6#施工道路设计参数一览表

| 道路名称 | 等级 | 路面宽（m） | 路基宽（m） | 路面材料 | 设计时速（km/h） | 最大年运输量（万 t） | 单项高峰车流量（辆/h） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 昼间 | 夜间 |
| 6#公路 | 场内二级 | 8.0 | 9.0 | 混凝土 | 30 | 813.32 | 38 | 19 |

（3）爆破噪声

根据其他工程露天爆破实测资料，0.5kg 炸药在距爆破点 40m 处的最大噪声级约为 84dB。

## 5.8.3 预测结果分析

（1）敏感点噪声预测

洒茂顶村均受茂顶河弃渣场施工和 6#公路交通运输噪声叠加影响。固定噪声源与流动噪声源对声环境敏感目标的叠加影响预测采用 CadnaA 软件计算。结果表明，受弃渣场施工和流动噪声源影响，洒茂顶村昼间夜间噪声值均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）的 2 类标准昼间噪声限值。

**表 5.8-4　　声环境敏感点噪声预测结果**

| 敏感点 | 噪声源 | 时期 | 最大贡献值 dB（A） | 背景值 dB（A） | 叠加值 dB（A） | 标准值 dB（A） | 超标情况 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 洒茂顶村 | 茂顶河弃渣场、6#公路 | 昼间 | 40.0 | 43.4 | 45.0 | 60 | - |
| | | 夜间 | 37.1 | 43.0 | 44.0 | 50 | - |

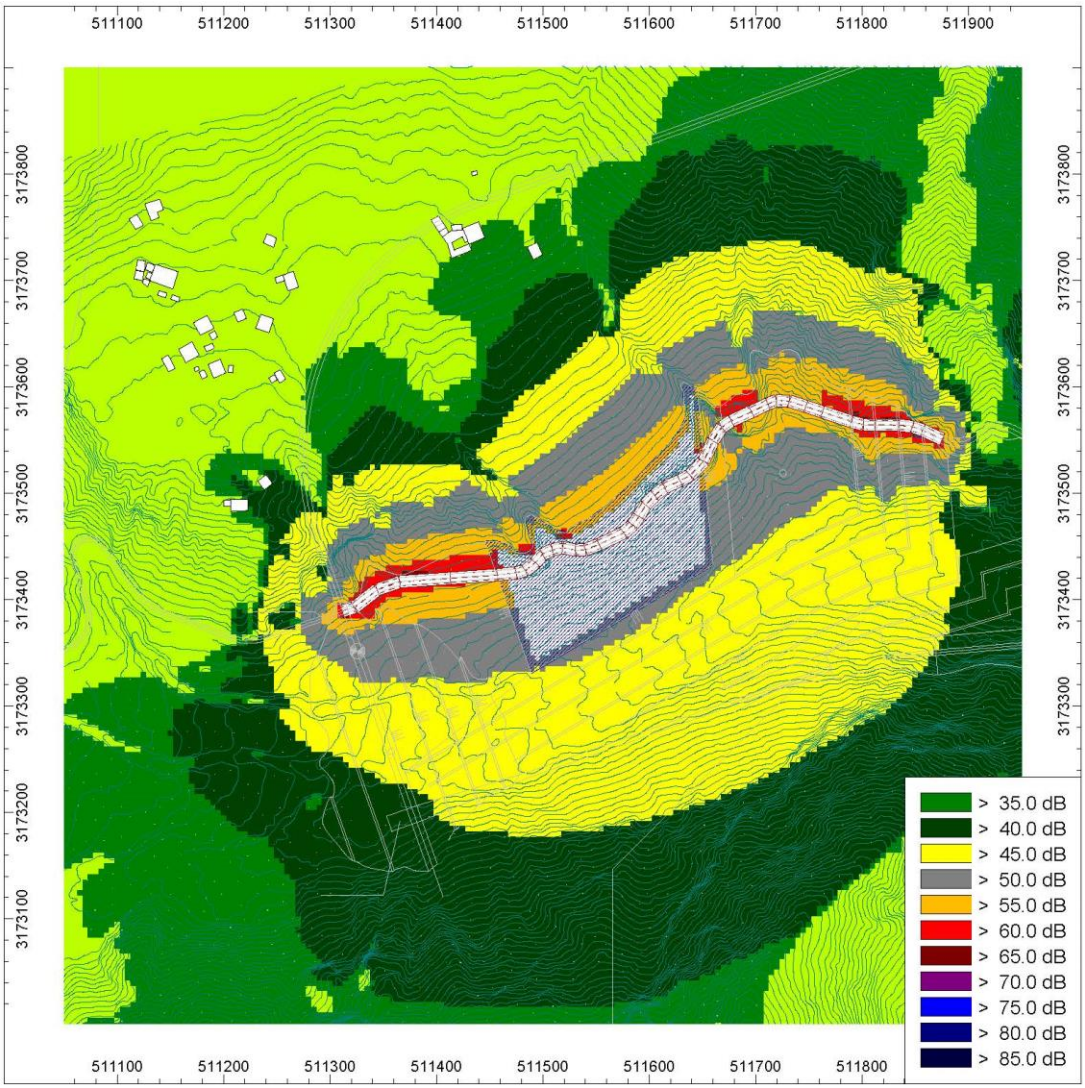



图 5.8-1　　洒茂顶村昼间噪声预测图

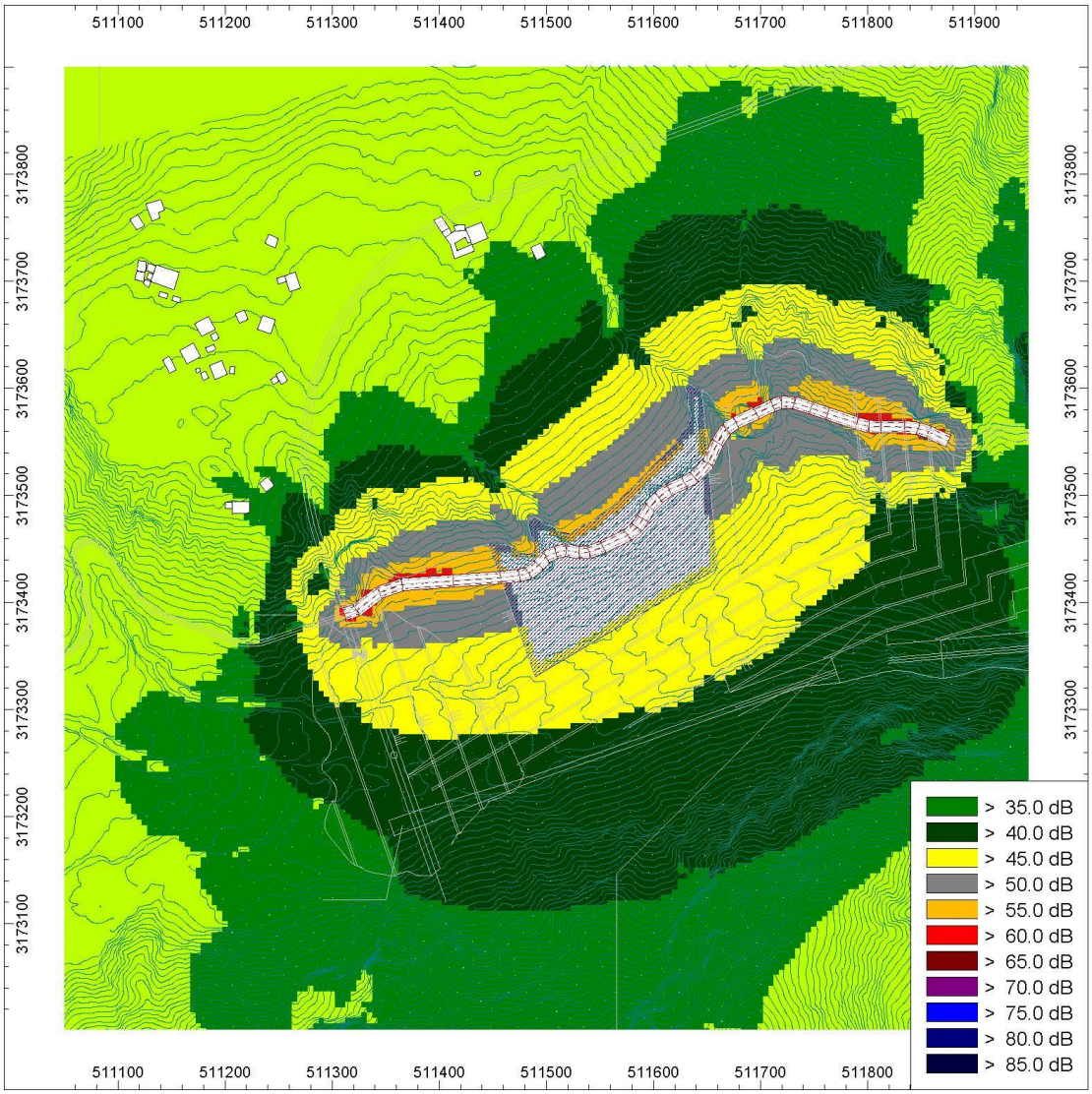



图 5.8-2　　洒茂顶村夜间噪声预测图

（2）爆破噪声

根据其他工程露天爆破实测资料，0.5kg 炸药在距爆破点 40m 处的最大噪声级约为 84dB，则徐龙料场开采爆破噪声影响范围详见下表。由于徐龙料场周围 1km 范围内均无敏感点，且爆破噪声属瞬时噪声，因此，徐龙料场开采爆破噪声对周边环境影响不大。

表 5.8-5　　爆破噪声影响范围预测结果

| 声源 | 源强 dB（A） | 与声源与面距离的噪声预测值 dB（A） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 100 m | 300 m | 500 m | 600 | 750 | 1000 |
| 爆破噪声 | 84 | 78.4 | 66.9 | 60.5 | 57.9 | 54.4 | 49.4 |

（3）场界噪声

根据本工程施工总布置情况，施工场界附近的噪声影响源主要为砂石加工系统、弃渣场、存料场等。根据施工作业特点，施工场界执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523－2011)，即 LAeq 昼间 70dB、夜间 55dB。根据施工规划，按距离场界 5m 处施工进行预测，计算结果详见下表。

表 5.8-6　　距施工边界最近的施工场界噪声预测结果

| 声源 | 背景值 | | 贡献值 | | 预测值 | | 执行标准 | | 超标值 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 昼间 | 夜间 | 昼间 | 夜间 | 昼间 | 夜间 | 昼间 | 夜间 | 昼间 | 夜间 |
| 弃渣场 | 43.4 | 43 | 76 | 76 | 76 | 76 | 70 | 55 | 6 | 21 |
| 存料场 | 43.4 | 43 | 76 | 76 | 76 | 76 | 70 | 55 | 6 | 21 |
| 砂石加工系统 | 43.4 | 43 | 96 | 96 | 96 | 96 | 70 | 55 | 26 | 41 |

根据预测结果可知，在最不利情况下，各施工作业昼间和夜间场界噪声值均超标。经计算，茂顶河弃渣场和存料场场界昼间噪声达标距离为 60m，夜间噪声达标距离为 100m，洒茂顶砂石加工系统场界昼间噪声达标距离为 100m，夜间噪声达标距离为 350m。

# 5.9生态环境影响评价

## 5.9.1 陆生生态影响预测与评价

### 5.9.1.1 对生态系统的影响

（1）对生态系统组成的影响

工程实施后，评价范围生态系统类型面积变化最大的是湿地生态系统，其面积增加了 1427.83hm$^2$；其次为灌丛生态系统，其面积减少 1357.86hm$^2$；农业生态系统、城镇/村落生态系统面积也有所减少。但整体来看，灌丛生态系统面积仍然占优势，对本区域内的生态系统起主导调控作用。

表 5.9-1　　工程实施前后评价范围生态系统类型变化表

| 生态系统类型 | 现状面积（hm$^2$） | 工程实施后面积（hm$^2$） | 工程实施前后变化量（hm$^2$） |
|---|---|---|---|
| 森林生态系统 | 1811.48 | 1811.48 | 0 |
| 灌丛生态系统 | 38903.13 | 37545.27 | -1357.86 |
| 湿地生态系统 | 617.85 | 2045.68 | 1427.83 |
| 农业生态系统 | 869.69 | 816.46 | -53.24 |
| 城镇/村落生态系统 | 1101.38 | 1084.65 | -16.73 |

（2）对生态系统结构的影响

1）组分结构

通过对比施工前后土地利用类型和生态系统类型变化可知，评价范围灌丛生态系统在工程建设前后均占优势，耕地有所减少，但减少的面积较小、变化的幅度较小。而由于水库淹没的影响，水域面积增加了 1427.83hm$^2$，相对原有水域面积增幅为 2.31%。因此，评价范围的生态系统组分结构发生了幅度较小的变化，表现为林地、草地、耕地等转变为建设用地和水域。

2）时空结构

工程实施后主要对垂直结构和时空分布格局产生影响。从垂直结构上，工程实施后，淹没 2302m 以下的灌丛生态系统，导致湿地生态系统、灌丛生态系统分布海拔的上移，但同时水库蓄水后，局地小气候发生改变，导致垂直结构上植物种类多样性程度增加，对淹没线上的生态系统垂直结构多样性为有利影响。从时空分布格局看，工程实施后，水库淹没线 2302m 以下的湿地生态系统和灌丛生态系统均被淹没，将导致水库淹没线附近灌丛生态系统向湿地生态系统演替。

（3）对生态系统服务功能的影响

1）水土保持功能

评价范围森林覆盖率低、土壤退化现象突出，且腐殖质层发育差、蓄水保水能力偏弱，土壤发育不良，水土流失现象严重。同时评价范围存在泥石流沟、滑坡体、危岩体等地质不稳定区域，容易诱发水土流失。另外，工程开挖边坡、施工迹地等亦会产生水土流失。本工程施工过程中防护措施主要为坡脚钢筋石笼拦挡、干砌石排水沟、斜坡防护工程等，生态恢复措施中对泥石流沟、滑坡体、危岩体以及开挖边坡、施工迹地均采取了水土流失防治措施，将改善水土流失现状，减缓本工程的水土流失影响，符合评价范围水土保持服务功能的要求。

2）生物多样性保护功能

评价范围生物多样性丰富度总体不高，评价范围生物多样性丰富度较高的区域为海拔 3100m 以上的森林生态系统。水库的正常蓄水位为 2302m，蓄水不会导致动植物物种的消失，主要为动植物分布格局的改变，其中植被分布格局和面积影响较大。通过工程结束后的植被恢复措施，植被面积将得到一定程度的恢复。总体而言，工程实施前后，评价范围植物种类不会发生明显变化，因此工程实施

不会对评价范围生物多样性产生明显影响，即符合评价范围生态系统生物多样性保护功能要求。

3）水源涵养功能

根据《中国生态系统格局、质量、服务与演变》（科学出版社，2017 年），生态系统水源涵养能力与降雨量、蒸散发、地表径流量和植被覆盖类型有关。在同一个区域，植被面积的变化与生态系统水源涵养能力呈正相关。旭龙水电站工程实施后，植被面积减少幅度为 3.3%，因此工程建设后生态系统的水源涵养功能有小幅减小，减小比例为 3.3%。

#### 5.9.1.2 对陆生植物的影响

（1）施工期对陆生植物的影响

1）主体工程区

主体工程区包括大坝坝肩、导流洞围堰等施工区。主体工程区，为典型的干热河谷植被，坝址左岸主要为西南仙人掌灌丛，主要植物种类有西南仙人掌、草沙蚕、黄茅、清香木等；坝址右岸主要为小鞍叶羊蹄甲灌丛，主要植物种类有小鞍叶羊蹄甲、小叶荆、垫状卷柏、雪白粉背蕨等。

施工占地会使这些植被遭到破坏，植被面积减少。主体工程施工区对周围植被的影响主要为施工占地和施工活动的影响。

施工活动对植物的影响主要是废水、废气、废渣等不利影响。废水对植物的影响主要是破坏了原有植被的生长环境，改变其生长环境，抑制植物的生长。废气主要来源于主体工程开挖、施工机械使用和施工车辆行驶过程中产生的扬尘。扬尘导致叶片对光能和 $CO_2$ 的吸收减少，抑制植物的光合作用，从而影响植物的正常生长；长期覆盖的植物，其正常生长、开花结果等都受到了一定程度的抑制，不利于植物的发育。但是施工车辆尾气属移动线源排放，污染物排放量相对较低，对植物的影响较小。废渣主要来源于基础开挖，废渣随意堆放不仅会破坏堆放处的植被和景观，而且可能导致局部区域的水土流失。

施工占地和施工活动都会对陆生植物和植被造成影响，但这些植被是干热河谷的典型植被，在金沙江两岸都有广泛的分布，因此对植被的影响较小，不会使植物种类减少。

2）砂石加工及混凝土拌和系统

砂石混凝土系统工程主要包括茂顶砂石加工系统、右岸低混凝土系统、右岸高混凝土系统。

茂顶砂石加工系统场地内含施工所需的办公、机修等建筑设施及净料堆场，位于坝址下游 8#公路靠江侧，距坝址直线距离约 1.7km，紧邻高混凝土拌和系统，高程 2280m～2330m。主要负责低混凝土系统和高混凝土系统所需的混凝土骨料生产任务。占地面积 11.1hm$^2$，均为临时占地，主要影响的植被类型为小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛，此地受人为非常干扰非常严重，部分植被被人为挖掘，土地裸露，总体来说对陆生植物、植被影响较小。

右岸低混凝土系统位于 2#路靠江侧，在坝址下游 1.5km 处，高程 2165m～2170m。主要负责导流洞进出口及洞身衬砌混凝土，厂房混凝土的生产任务。占地面积约 2.3hm$^2$，所占用区域为人工植被，种植木犀榄（Olea europaea）等苗木，工程占用对陆生植物、植被影响较小。

右岸高混凝土系统位于坝址下游 8#公路靠江侧，距坝址直线距离约 1.5km，位于茂顶砂石加工系统上游侧，高程 2275m～2295m。主要负责缆机供料平台所需混凝土的生产任务。占地面积 2.0hm$^2$，现场调查发现，本区域为其他项目的料场，大部分植被已被破坏，附近植被类型主要为小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛，受过度放牧影响，植被遭牛羊啃食严重，总体来说，本区域植被遭人为干扰严重，植被覆盖率低，植物种类为广泛分布的种类，工程占地对陆生植物、植被影响较小。

此外，砂石混凝土系统产生的扬尘覆盖植物叶片一定程度后，将降低植物光合作用，减慢植物生长速度，植株个体生物量降低。

3）施工供水供电通信设施

施工供水供电通信设施主要包括施工水厂、高位水池、以及供电设施即 110V 变电站，高位水池占地类型为临时占地，施工水厂、施工变电站后期改造后为电站永久运行的需要而保留，为永久占地。

水厂规模为 3.5 万 m$^3$/d，位于坝址下游 8#路靠山侧，距坝址直线距离约 2.5km，高程 2287m，占地面积 1.3hm$^2$。主要负责整个施工区的生产及生活用水。本区域立地条件较差，主要植被为小鞍叶羊蹄甲灌丛，盖度不及 50%，工程占用植被类型为区域广泛分布的植被，因此工程占用对陆生植物、植被影响较小。

高位水池位于坝址下游 1.8km 处，场地高程 2370m，占地面积约 0.1hm$^2$。主

要植被为小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛，工程占用植被类型为区域广泛分布的植被，因此工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

施工变电站总占地面积约 0.3hm$^2$，占用主要植被为小鞍叶羊蹄甲灌丛，同时还分布有小叶荆、胶粘香茶菜等，以上为评价范围广泛分布的植被类型，工程占用对陆生植物、植被影响较小。

4）综合加工厂

综合加工厂主要包括大坝综合加工及金结拼装厂和电站综合加工厂，占地类型均为临时占地。

大坝综合加工及金结拼装厂内含钢管加工、综合加工车间及场地，位于坝址下游 3.0km 处，场地高程 2255m～2265m，占地面积约 1.2hm$^2$。主要承担大坝的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。所占植被主要为小叶荆+白刺花灌丛，为评价范围广泛分布的植被类型，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

电站综合加工厂位于下游索桥两侧，紧邻 2#公路，至坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积共 1.5hm$^2$。主要承担电站厂房的钢筋加工、木材加工和预制构件生产及金属结构加工拼装任务。此处受人工干扰严重，为人工碎石地，植被稀疏，因而工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

5）机组安装设施

机组安装设施主要包括机电安装基地和机电设备仓库，占地类型均为临时占地。

机电安装基地机电安装基地（含临时机电仓库）布置在右岸下游 4.7km 处的羊拉乡茂顶村茂顶河口位置，位于进场公路与 2#公路接点附近，场地高程 2155~2175m，占地面积 5.5hm$^2$。所占植被主要为小叶荆+白刺花灌丛。为评价范围广泛分布的植被类型，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

机电设备仓库布置在坝址右岸下游 1.5km 处的阶地上，建筑面积 0.6 万 m$^2$，占地面积 1.5hm$^2$，用于存放电站运行期间所需的机电零件设备。所在区域为其他项目的砂石加工系统所在区域附近，地面为碎石，植被稀少。工程临时占用影响较小。

6）机械保养维护设施

机械保养维护设施主要包括机械修配厂和机械停放场，机械修配厂的占地类

型为临时占地，机械停放场蓄水后淹没。

机械修配厂位于综合仓库下游侧，距坝址约 1.0km，场地高程 2180m，占地面积约 1.2hm$^2$，主要为施工机械修理保养场地。除占用影响外，机械修配厂产生的含油废水也可能对植被的生长土壤造成污染，从而改变植物生长环境，抑制植物的生长，对植物的产生一定影响，但占地区域位于道路旁，受人为干扰严重，建有简易房屋，植被稀疏，工程临时占用影响较小。

机械停放厂（汽车维修保养停放厂）：位于坝址上游 4.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m，占地面积 1.2hm$^2$，主要为施工机械停放场地。占地区域主要植被为人工种植的青稞和蔬菜（大棚），此区域水库蓄水后将被淹没，工程占用影响较小。

7）仓库

仓库包括综合仓库、油库及加油站、左岸炸药库、右岸炸药库，均为临时占地，占地总面积 2.65hm$^2$。

综合仓库位于下游索桥附近，距坝址约 1.0km，场地高程 2170m，占地面积约 1.5 万 m$^2$。主要作为水电站施工期间施工物资仓储设施。所占植被主要为小叶荆+白刺花灌丛，为评价范围广泛分布的植被类型，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

油库及加油站位于坝址下游 2#路靠山侧，至坝址约 2.5km；油库高程 2180m，加油站高程 2185m；油库 0.3hm$^2$，加油站 0.2hm$^2$，占地面积共 0.5hm$^2$。所占植被主要为灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛，为评价范围广泛分布的植被类型，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

左岸炸药库位于徐龙冲沟右岸，在徐龙冲沟沟口上游 0.7km 处，场地高程 2355m～2375m，占地面积 0.35hm$^2$，供左岸施工所需炸药的存放。所占植被主要为西南仙人掌灌丛，常见植物种类为垫状卷柏、小叶荆、清香木，为评价范围广泛分布的植被类型和植物种类，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

右岸炸药库位于茂顶河左岸，距茂顶河河口上游约 2.2km，场地高程 2430m，占地面积 0.3hm$^2$，供右岸施工炸药存放。所占植被主要为垫状卷柏灌草丛，常见植物种类为垫状卷柏、小叶荆、灰岩木蓝等，为评价范围广泛分布的植被类型和植物种类，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

8）办公生活系统

办公生活系统包括 1#施工营地、2#施工营地、3#施工营地、现场建设管理营地（含鱼类增殖站），占地面积分别为 2.2hm$^2$、1.2hm$^2$、1.5hm$^2$、3.4hm$^2$、8.9hm$^2$，占地总面积为 15hm$^2$。

1#施工营地：位于坝址上游 5.5km 处（羊拉公路旁），场地高程 2210m～2220m，占地面积 1.2hm$^2$。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。占地类型为建筑用地，主要为当地居民房屋庭院，未见典型植物群落，常见植物种类有蒲公英、戟叶酸模等，工程占用对陆生植物、植被影响较小。

2#施工营地：位于坝址左岸上游 0.9km 至 1.9km 处的缓坡地上（11#公路旁），场地高程 2190m，占地面积 4.0hm$^2$。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。所占区域主要植被类型为清香木灌丛，常见植物种类有皱叶醉鱼草、西南仙人掌。清香木为常绿灌木或小乔木，四季常绿，耐干旱瘠薄，在微碱性、中性和微酸性土壤中均能生长，是干热河谷地区理想的造林绿化先锋树种，清香木的繁育能够很好地解决干热河谷地区乔木林营造困难的问题，对于减缓当地水土流失和生态修复起到积极有效的作用，评价区清香木分布广泛，但多以伴生种存在，偶见以优势种存在且主要分布在沟谷及沟底水热条件相对优越地区，受淹没影响较大，因此工程占用以及后期淹没对评价区的清香木灌丛有一定的影响，建议部分移栽。

3#施工营地：位于 2#路靠江侧，在坝址下游 3.7km 处，场地高程 2165m，占地面积 3.4hm$^2$。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。所占区域为人工植被，主要为种植青稞和玉米的农田，以及农田周边种植的木樨榄幼苗和核桃。工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

现场建设管理营地（含鱼类增殖）：距坝址约 4.0km，场地高程 2180m～2200m，占地面积约 5.8hm$^2$。主要为施工人员驻地，内含施工所需的办公、机修等建筑设施。营地所在区域为其他项目的砂石加工系统所在区域，已有施工临时道路建设，植被破坏严重，未见典型植物群落，常见植物种类有人工种植的核桃、李，和蒲公英，水分充足的小片区域有蕨类植物的生长，工程永久占地会减少植被面积，降低核桃、里等经济林木产量，对植物多样性影响不大。

10）施工人员生活垃圾热解站

生活垃圾热解站位于格亚顶沟口（坝址右岸上游 3.8km 处），占地面积 0.14hm$^2$，场地高程 2244m～2250m，水库蓄水后将被淹没，分为主厂房、副厂房、

管理用房和其它辅助区。占地类型为建筑用地，主要为当地居民房屋庭院，未见典型植物群落，常见植物种类有西南仙人掌、酢浆草等以及人工种植的核桃，工程占用对陆生植物、植被影响较小。

11）存弃渣场及利用料堆场

主要包括左岸上游 1#存弃渣场、左岸上游 2#存弃渣场、右岸上游 1#弃渣场、右岸上游 2#弃渣场、右岸上游 3#弃渣场、徐龙冲沟临时弃渣场、截流备料场、茂顶河弃渣场、右岸表土堆场，占地面积分别为 13.8hm$^2$、4.1hm$^2$、8.2hm$^2$、3.3hm$^2$、1.7hm$^2$、12.39hm$^2$、1.2hm$^2$、33.31hm$^2$、1.7hm$^2$，占地总面积为 83.9hm$^2$。其中左岸上游 1#存弃渣场、左岸上游 2#存弃渣场、右岸上游 1#弃渣场、右岸上游 2#弃渣场、右岸上游 3#弃渣场、截流备料场水库蓄水后将被淹没，为库区用地；徐龙冲沟临时弃渣场、茂顶河弃渣场、右岸表土堆场，为临时占地。9 处存弃渣场植被以灌丛和灌草丛为主，工程占地减少植物面积，降低植物生物量，对植被和植物多样性影响较小。

此外，大量的施工弃渣，施工时受雨水冲击容易造成水土流失，植物根系由于水土流失而被雨水冲刷，对植物生长造成不利影响。因弃渣场均设计了水土保持工程措施，在水保措施有效实施的情况下，弃渣产生的水土流失对陆生植被和植物影响很小。

12）徐龙人工骨料开采场

徐龙人工骨料开采场位于坝址左岸上游约 0.6km 处，料场开采区面积 10.20hm$^2$，徐料场开口顶高程 2510m，设计底高程 2220m，料场人工边坡高约 290m 占地面积约 10hm$^2$。占地区域植被主要小叶荆灌丛和小鞍叶羊蹄甲灌丛为评价范围广泛分布的植被类型，工程临时占用对陆生植物、植被影响较小。

13）场内交通工程

场内主要公路长度共计约 47.42km。场内交通工程对植被的影响主要为道路建设的直接开挖、车辆的碾压以及扬尘等的影响，由于本工程中场内交通沿途主要为评价范围常见的植物，因此对陆生植物、植被影响较小。

（2）运营期对陆生植物的影响

1）水库淹没对植物影响

水库蓄水前，将对水库淹没区内所有植被进行清理，处于淹没线以下的植被将被水淹没。水电站淹没面积为 1427.83hm$^2$，淹没灌丛 1127.02hm$^2$，灌草丛

230.84hm$^2$，农作物 53.24hm$^2$。受影响最大的植被为灌丛，常见的有小叶荆灌丛、西南仙人掌灌丛、清香木灌丛等，在评价范围受淹没影响的植物和植被均具有广泛分布，因此，不会造成物种和种群的消失，对植物多样性基本没有影响。

同时，水库蓄水后，库区出现局地小气候，空气湿度增加，土壤水源涵养能力提高，有利于库区两岸植被生长。

2）消落带对植物的影响

运营期，因旭龙水电站为日调节水电站，库区水位一天内在正常蓄水位和死水位变化，导致在金沙江河道两岸将形成周期性淹水区域，即消落带。消落带长约 63.29km，深度 3m。由于消落带水位日内周期性变化，消落带内植被淹没时间较短，基本对消落带内植物影响不大。但因为消落带内靠近库岸，库岸是水体有机质沉积的主要区域，容易造成消落带土壤营养结构改变。另外，库区水位周期性变化对消落带产生冲刷和淤积作用，造成消落带的地形、土壤结构发生改变，对消落带植被种类会产生一定影响。

#### 5.9.1.3 对陆生动物的影响

（1）施工期对陆生动物的影响

工程施工期对动物的影响主要有施工占用动物部分栖息地、施工噪声和震动对动物的驱赶等。因各类陆生动物的生态习性、适宜生境各有不同，工程施工的各种行为对其造成的影响各有不同，其主要影响分析如下。

1）对两栖动物的影响

根据调查结果，枢纽工程区两栖动物主要集中分布于该区域金沙江两岸的山沟、坑塘等生境。评价区两栖动物按生活习性来分，可分为有静水型、陆栖型、树栖型。

静水型两栖动物主要在静水或缓流中觅食，评价区分布有胫腺侧褶蛙和腹斑倭蛙，这两种两栖动物主要分布在溪流中水流速较缓的区域活动，在评价区内主要分布在金沙江河湾、支流汇合口等地，施工期对静水型两栖动物的基本不会产生影响。

陆栖型两栖动物主要在陆地上活动觅食，评价区分布有乡城齿蟾、圆疣蟾蜍、西藏蟾蜍和昭觉林蛙，主要分布在评价区的金沙江两侧较潮湿的河滩地山活动，施工期对陆栖型两栖动物的影响主要为工程施工占地和施工活动干扰影响，将造

成其栖息地侵占或驱赶其远离栖息地，造成施工区陆栖型两栖动物物种分布格局变化，施工区陆栖型两栖动物物种类和数量下降。

树栖型两栖动物主要在树上活动觅食，离水源较近的林子，评价区分布有 1 种，为华西雨蛙，主要在金沙江干流两侧的灌丛或乔木上，工程对其影响主要为施工占地影响。

总体而言，施工期两栖动物在施工占用栖息地或施工活动干扰影响，导致施工区两栖动物种类和数量下降，但不会影响评价区两栖动物种群规模和种群生存。

2）对爬行动物的影响

根据调查结果，枢纽工程区爬行类动物主要分布于金沙江两岸山地灌丛或麦曲河、丹达曲等水域附近潮湿的林地内活动。

灌丛石隙型爬行类主要有草绿攀蜥、棕背树蜥等种类，在金沙江两岸山地灌丛中活动，施工期施工营地、弃渣场等将占用其部分生境，施工活动干扰将迫使其远离栖息地，使得区域爬行动物分布格局有所变化。部分个体可能在弃渣或其他施工活动中躲避不及时，造成个体伤亡。

林栖傍水型主要有紫灰锦蛇、黑眉晨蛇等种类，在评价区内麦曲河、丹达曲等水域附近或两岸山谷溪流附近潮湿的林地内活动。施工区域分布较少，与两栖动物类似，由于工程施工时会将部分区域作为工程用地，因此工程施工对爬行动物的影响体现在其生境遭受侵占。爬行动物因受生境侵占及噪声、震动、人为活动等因素的干扰向其他适宜生境扩散。此外，由于工程施工造成该区域两栖动物数量的下降，在一定程度上会增加蛇类捕食难度，从而造成种内、种间竞争加剧。

3）对鸟类的影响

枢纽工程区鸟类相对两栖、爬行动物以及兽类种类和数量较多。不同鸟类栖息的主要生境不同，工程施工对其造成的影响亦不相同，主要影响分析如下：

对游禽、涉禽的影响：施工区域水流较急，底质为砾石，两岸植被较少，适宜水鸟生境较少，此类鸟类主要为迁徙季节迁徙经过枢纽工程区，或偶在工程枢纽区稍作停留（如白鹭为留鸟），且种群数量较少。工程施工活动会驱离其离开施工区域，间接地影响其觅食行为，但基本不会对其迁徙行为造成影响。

对猛禽的影响（包括隼形目、鸮形目种类）：根据现场调查，此类鸟主要在库区两岸的林地或灌丛筑巢、栖息，在评价区周边金沙江河谷内都有分布，且主要活动区域为河谷上方的高山裸岩、针阔混交林及部分林缘地区，偶尔盘旋于枢

纽工程区上空。工程临时或永久占地会侵占部分生境，工程施工活动亦会对其捕食造成一定干扰。但猛禽适应和反应能力较强，在施工期可以迅速远离工程区而栖息，如高山兀鹫和雀鹰属于捕食性禽类，其捕食和活动范围遍布整个河谷，擅长高空盘旋，躲避危险，环境适应能力较强。

对陆禽的影响（包括鸡形目、鸽形目种类）：血雉、红腹角雉、白腹锦鸡等多活动于评价区外缘植被较为丰富的林地或林缘灌丛生境，较少活动至评价范围，工程占地对其生境占用影响较小，且其警惕性较高，躲避速度快，能较大程度避开施工影响，不易受到施工作业的损伤；鸽形目种类分布范围较广，河谷两侧坡地农田、灌丛灌草丛生境至评价区外缘林地均有分布，工程施工会占用其部分生境。工程施工占地占用陆禽部分栖息地，工程施工噪声亦会对其正常栖息造成一定干扰，驱使其避开影响区域。另外，鸽形目鸟类一般将巢穴筑在坡地草丛或灌丛中，且海拔较低，工程施工会破坏其巢穴及其中的卵，在一定程度上会影响后代的繁殖。

对雨燕目种类的影响（白腰雨燕）：白腰雨燕筑巢与河谷或支流两侧的崖壁上并盘旋于上空捕食。工程占地会侵占其部分生境，且施工活动亦会对其造成一定干扰造成施工区这种鸟类种类和数量呈下降趋势。

对其他鸟类的影响（包括雀形目、佛法僧目、鸽形目、鴷形目及戴胜目种类）：此类鸟类主要分布于枢纽工程区植被相对较好的林地、灌丛生境，尤以村落及其周边区域最为集中，例如黄臀鹎、白鹡鸰、大山雀、北红尾鸲等在施工区域较常见，工程施工场地和弃渣场地临时或永久占地会导致其部分生境丧失，施工活动将驱离其向其他适宜生境扩散，从而造成种内、种间竞争加剧。

4）对兽类的影响

根据调查结果，枢纽工程区域各兽类的主要适宜生境存在一定差异，故工程施工对其造成的影响亦有不同，主要影响分析如下：

对树栖型兽类的影响（包括中缅树鼩、赤腹松鼠、隐纹花松鼠等）：此类兽类常见于枢纽工程区植被较丰富的村落或其他林地和灌丛生境。由于工程施工时，部分此类生境被作为弃渣场或其它临时场地，故将导致施工区内树栖型部分兽类生境减少，此类兽类外迁至其他适宜生境时将造成种内、种间竞争加剧。

对岩洞栖息型兽类的影响（包括托氏菊头蝠）：此类兽类主要分布于工程影响区村落，常见于各住宅屋檐、檐缝中。工程临时或永久占地将侵占部分村落，

造成其部分生境消失，但此类兽类活动能力强，受工程影响可外迁至其他适宜生境。

对食肉目和兔形目兽类的影响：此类兽类活动范围广泛，各生境均可见其活动痕迹，但主要栖息于植被较为丰富的林地和灌丛生境。受工程占地影响，其部分适宜生境被侵占，加上施工活动干扰，将驱离其迁往未受影响的生境。由于此类兽类迁移能力强，受其影响后能迅速迁往枢纽工程区未受影响或枢纽工程区以外适宜生境，故工程施工对此类兽类影响不大。

对鼠类的影响（包括鼠科所有种）：啮齿目鼠科种类在枢纽工程区分布范围广泛，但亦主要集中分布于村落及其周边区域。由于受工程建设占地影响，其部分生境遭受破坏。但随着大量施工人员的迁入，亦为鼠类提供了新的栖息环境，会导致褐家鼠、小家鼠等种群数量的增加，与此相应，主要以鼠类为食的黄鼬等种群数量会增加。因此工程施工对鼠类物种的影响很小，主要驱使其在枢纽工程区形成新的分布格局。

（2）运营期对陆生动物的影响

旭龙水电站开始蓄水之后，会导致部分动物栖息环境淹没，因各类陆生动物的生态习性、适宜生境各有不同，运行期对其造成的影响各有不同，其主要影响分析如下。

1）对两栖动物的影响

水库建成蓄水后，将使陆栖型两栖动物，如西藏蟾蜍等向海拔稍高处迁移，由于水面上升速度缓慢，淹没区内两栖动物种类能够及时躲避，水库蓄水基本不会影响两栖动物个体数量。水库建成后，将给静水型两栖动物，如胫腺侧褶蛙和腹斑倭蛙形成更丰富的静水或缓流水环境，对其种群的发展带来有利影响，蓄水后其种群数量出现一定的上升。

2）对爬行动物的影响

由于爬行动物生存对水的依赖较小，其生境范围广泛，库区蓄水对其造成的影响主要体现在驱使其向高处迁移，并且库区蓄水对其捕食对象（如昆虫、蛙类等）的种群数量不会造成太大影响，因此其种内、种间竞争压力亦不会有显著增加。水库建成后， 随着枢纽工程区植被逐渐恢复，爬行动物种类和数量将得到一定程度恢复。

3）对鸟类的影响

对游禽、涉禽的影响（包括鹳形目、雁形目种类）：此类鸟类主要为迁徙季节迁徙经过淹没区，或偶在淹没区稍作停留，如赤麻鸭（夏候鸟），苍鹭、普通秋沙鸭、凤头潜鸭（冬候鸟），且种群数量较少。水库蓄水后，由于水位上升，将造成库区岸滩、农田等生境减少、水域面积增加，对鸭类的栖息或迁徙产生一定的有利影响，将吸引其他水鸟来此栖息停留。

对猛禽的影响（包括隼形目种类，鸮形目除外）：此类鸟类主要在库区河谷两岸的坡地灌丛或崖壁筑巢、栖息，捕食时常盘旋于库区上空。水库蓄水后将淹没其部分生境，但由于其淹没生境比例很小，故对其造成的影响很小。

对鸡形目种类的影响（包括环颈雉、红腹角雉和藏马鸡等）：此类鸟类主要栖息生境为河谷两岸坡地灌丛灌草丛及评价范围外缘较为丰富的林地生境。水库蓄水淹没其生境所占比例很小，故此种影响很小。

对其他鸟类的影响（包括雀形目、佛法僧目、鹃形目、鴷形目及戴胜目种类）：此类鸟类主要分布于库区植被相对较好的林地、灌丛生境，尤以村落及其周边区域最为集中，库区蓄水后将导致其部分生境丧失，库区淹没将驱离其向其他适宜生境扩散，从而造成种内、种间竞争加剧。此外，对于喜栖息于河谷两岸坡地灌丛灌草丛生境的鸟类，如灰眉岩鹀等，水库淹没其两岸灌丛生境，将对这些鸟类分布产生不利影响。对于傍水型鸟类，如白顶溪鸲、红尾水鸲等，此种影响相对较小。

4）对兽类的影响

根据调查结果，库区各兽类的主要适宜生境存在一定差异，故水库蓄水对其造成的影响亦有不同，主要影响分析如下：

对树栖型兽类的影响（包括赤腹松鼠和中缅树鼩等）：此类兽类常见于库区植被较丰富的村落或其他林地和灌丛生境。工程运行蓄水后，将导致树栖型部分兽类生境丧失，故受影响的此类兽类外迁至其他适宜生境时，从而加剧种内、种间竞争。

对岩洞栖息型兽类的影响（包括翼手目种类）：此类兽类主要分布于库区村落，常见于各住宅屋檐、檐缝中。工程运行蓄水后将淹没部分村落，造成其部分生境消失。但此类兽类活动能力强，受蓄水淹没影响时可外迁至其他未淹没的村落或岩洞。

对食肉目和兔形目兽类的影响：此类兽类活动范围广泛，各生境均可见其活

动痕迹，但主要栖息于植被较为丰富的林地和灌丛生境。水库蓄水淹没影响，其部分适宜生境将被淹没消失，迫使其迁往未受影响的生境。由于此类兽类迁移能力强，受其影响后能迅速迁往淹没区外未受影响的适宜生境，故工程运行蓄水对此类兽类影响不大。

对鼠类的影响（包括鼠科所有种）：啮齿目鼠科种类在库区分布范围广泛，种群数量多，但亦主要集中分布于村落、集镇及其周边区域。由于库区蓄水淹没影响，其部分生境遭受消失，迫使其外迁至未被淹没的高海拔村落、集镇及其周边区域，并且造成库区鼠类种群数量和密度暂时性陡升，从而造成其种内、种间竞争加剧，但一段时间后方可形成新的平衡。

#### 5.9.1.4 对陆生生态保护目标的影响

（1）对重点保护野生植物的影响

根据施工区重点调查和坝址上下游抽样调查结果，评价区共发现国家级保护植物 1 种，为金荞麦，共发现 9 处分布区，其中工程直接影响区共 7 处，施工占地区域 5 处，淹没区 2 处。工程直接影响区的 7 处金荞麦，株高 25cm，生长在岩石缝隙中，植株较瘦弱矮小，均不属于金荞麦集中分布区域。电站的建设会对部分金荞麦个体造成影响，但基本不会对金荞麦种群规模造成影响。

根据文献资料，评价范围还分布有山莨菪、冬虫夏草和松口蘑 3 种重点保护野生植物，3 种重点保护野生植物分布海拔在 2800m 以上区域，高于水库淹没线 2302m，因此本工程建设对 3 种重点保护野生植物不会产生影响。

（2）对重点保护野生动物的影响

评价范围重点保护野生动物总计 26 种，其中国家I级重点保护野生动物 3 种，国家II级重点保护野生动物共 18 种，另外还有 5 种为省级（自治区级）重点保护野生动物。26 种重点保护野生动物分为鸟类和兽类两类。

1）对重点保护鸟类的影响

金雕、胡兀鹫、高山兀鹫、黑鸢、雀鹰、普通鵟、红隼、灰背隼、灰林鸮等 9 种国家重点保护鸟类为猛禽。工程施工对其影响主要为噪声干扰影响，导致觅食地减少。灰林鸮具有夜行性，施工区夜间灯光对其产生一定影响。猛禽善飞翔、活动范围广，评价区附近相似生境较多，工程对其影响有限。

红腹角雉、白腹锦鸡、藏马鸡、雉鹑、血雉、藏马鸡等 6 种重点保护鸟类为

陆禽，生活在远离工程区的高山-灌丛-草甸区域，受施工活动和施工噪声影响较小。

赤麻鸭为游禽，施工噪声惊扰其栖息环境，造成施工区附近水域活动频率下降。

2）对重点保护兽类的影响

猕猴、黑熊、小熊猫、青鼬、鬣羚、斑羚、赤狐、豹猫、毛冠鹿主要活动于金沙江两岸海拔较高的森林-草甸区域，施工区罕见，工程对其影响较小。岩羊会到金沙江边饮水，受施工影响，将转移至施工区上游、下游或支流地区饮水；黄鼬常活动于村落附近，施工人员增多、施工噪声会对其活动产生一定干扰。

工程对 26 种重点保护野生动物的影响情况见下表。

表 5.9-2　工程对重点保护野生动物的影响情况一览表

| 中文种名、拉丁文种名 | 居留型 | 区系 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 生境 | 分布区域 | | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | |
| 1. 金雕<br>*Aquila chrysaetos* | 留鸟 | 古北种 | 国家I级、藏II级 | | 栖于崎岖干旱平原、岩崖山区及开阔原野。 | √ | √ | 属于资料记载。施工会导致觅食地减少，同时会占用部分生境，其迁飞能力强，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 2. 胡兀鹫<br>*Cypaetus barbatus* | 留鸟 | 广布种 | 国家I级、藏I级 | | 栖息在海拔500～4000m 山地裸岩地区。 | √ | √ | 属于资料记载。施工会导致觅食地减少，同时会占用部分生境，其迁飞能力强，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 3. 高山兀鹫<br>*Gyps himalayensis* | 留鸟 | 广布种 | 国家II级、藏I级 | | 常在高山森林上部苔原森林地带或高原草地、荒漠和岩石地带活动 | √ | √ | 现场调查见于海拔 3000m 处上空，常见于评价区。施工会导致觅食地减少，同时会占用部分生境，其迁飞能力强，生境多样，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补，对其生殖也不会造成大的影响。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 4. 黑鸢<br>*Milvus migrans* | 留鸟 | 广布种 | 国家II级、藏I级 | | 栖息于开阔平原、草地、荒原和低山丘陵地带 | √ | √ | 常见于评价区。施工会导致觅食地减少，同时会占用部分生境，其迁飞能力强，生境多样，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补，对其生殖也不会造成大的影响。本工程建设对其影响总体较小。 |

| 中文种名、拉丁文种名 | 居留型 | 区系 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 生境 | 分布区域 | | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | |
| 5. 雀鹰<br>*Accipiter nisus* | 留鸟 | 广布种 | 国家II级、藏II级 | | 栖息于针叶林、混交林、阔叶林等山地森林和林缘地带 | √ | √ | 属于资料记载。主要栖息于山顶林地或林缘，施工区及淹没区林地非常少，故生境破坏小；施工会导致觅食地减少，其迁飞能力强，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 6. 普通鵟<br>*Buteo buteo* | 冬候鸟 | 古北种 | 国家II级、藏I级 | | 栖息于山地森林和林缘地带 | √ | √ | 属于资料记载。主要栖息于山顶林地或林缘，施工区及淹没区林地非常少，故生境破坏小；施工会导致觅食地减少，其迁飞能力强，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 7. 红隼<br>*Falco tinnunculus* | 留鸟 | 广布种 | 国家II级、藏I级 | | 栖息于山地森林、旷野、山区植物稀疏的混合林、河谷和农田地区。 | √ | √ | 常见于评价区。施工会导致觅食地减少，同时会占用部分生境，其迁飞能力强，生境多样，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补，对其生殖也不会造成大的影响。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 8. 灰背隼<br>*Falco columbarius* | 留鸟 | 广布种 | 国家II级、藏II级 | 附录II | 栖息于林缘、林中空地、山岩和有稀疏树木的开阔地方。 | √ | √ | 属于资料记载，施工会导致觅食地减少，同时会占用部分生境，但一般生活在 700～1800m 区间，故生境破坏小，同时迁飞能力强，可以在评价区之外的相邻区域找到替代生境得以弥补。本工程建设对其影响总体较小。 |
| 9. 灰林鸮<br>*Strix aluco* | | | 国家II级、藏II级 | 附录II | 栖息于山地阔叶林和混交林中，尤其喜欢河岸和沟谷森林地带 | √ | √ | 文献记载。主要分布于森林，评价区林地主要分布于山顶，偶尔活动至淹没区上空，飞行高度较高，施工区和淹没区对该动物几乎没有影响。 |

| 中文种名、拉丁文种名 | 居留型 | 区系 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 生境 | 分布区域 | | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | |
| 10. 雉鹑 *Tetraophasis obscurus* | 留鸟 | 东洋种 | 国家I级、藏I级 | 附录II | 海拔 3000～4500m 之间的高山针叶林上缘和林线以上的杜鹃灌丛地带。 | | √ | 资料记载，其海拔分布较高，主要分布于评价区外缘植被较丰富的林地、林缘灌丛生境，施工和蓄水对其生存觅食等基本无影响。 |
| 11. 血雉 *Ithaginis cruentus* | 留鸟 | 广布种 | 国家II级、藏II级 | | 栖息于雪线附近的高山针叶林、混交林及杜鹃灌丛中 | | √ | 资料记载，主要分布于评价区外缘植被较丰富的林地、林缘灌丛生境，评价区林地主要分布于金沙江两岸 3000m 以上，施工和蓄水对其生存觅食等基本无影响。 |
| 12. 红腹角雉 *Tragopan temminckii* | 留鸟 | 古北种 | 国家II级、藏II级 | | 栖息于海拔山地森林、灌丛、竹林等不同植被类型中 | | √ | 资料记载，主要分布于评价区外缘植被较丰富的林地、林缘灌丛生境，评价区林地主要分布于金沙江两岸 3000m 以上，施工和蓄水对其生存觅食等基本无影响。 |
| 13. 藏马鸡 *Crossoptilon harmani* | 留鸟 | 古北种 | 国家II级、藏II级 | | 栖息于海拔2500～5000m 之间的高山和压高山森林、灌丛和苔原草地。 | | √ | 资料记载，主要分布于评价区外缘植被较丰富的林地、林缘灌丛生境，评价区林地主要分布于金沙江两岸 3000m 以上，施工和蓄水对其生存觅食等基本无影响。 |
| 14. 白腹锦鸡 *Chrysolophus amherstiae* | 留鸟 | 东洋种 | 国家II级、藏II级 | 附录II | 栖息于海拔2000～4000m 的山地，活动于多岩的荒芜山地、灌丛及矮竹间。 | | √ | 资料记载，主要分布于评价区金沙江两岸林地及林缘，施工和蓄水对其生存觅食等基本无影响。 |

| 中文种名、拉丁文种名 | 居留型 | 区系 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 生境 | 分布区域 | | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | |
| 15. 猕猴<br>*Macaca mulatta* | — | 广布种 | 国家II级、藏II级 | 附录II | 栖息在石山峭壁、溪旁沟谷和江河岸边的密林中或疏林岩山上，群居。 | | √ | 主要分布于库区两岸的噶金雪山保护区等区域，在海拔 3500m 处林地调查到，施工区域较罕见，施工活动对其造成干扰较小。 |
| 16. 黑熊<br>*Ursus thibetanus* | — | 东洋种 | 国家II级、藏II级 | 附录I | 栖息于山地森林 | | √ | 经调查访问，文献记载，主要存在于云南德钦等地的森林，施工区罕见。 |
| 17. 小熊猫<br>*Ailurus fulgens* | — | 东洋种 | 国家II级、藏II级 | 附录I | 生活于海拔 3000m 以下的针阔混交林或常绿阔叶林中有竹丛的地方 | | √ | 调查访问，文献记载，主要分布在噶金雪山保护区、两岸林地等区域，施工区罕见，其行动敏捷，生存能力强，工程施工和蓄水不会对其种群数量产生大影响。 |
| 18. 青鼬<br>*Martes flavigula* | — | 东洋种 | 国家II级、藏II级 | 附录III | 活动于常绿阔叶叶林和针阔叶混交林区 | | √ | 调查访问，文献记载，主要分布在噶金雪山保护区、两岸林地等区域，施工区罕见，其行动敏捷，生存能力强，工程施工和蓄水不会对其种群数量产生大影响。 |
| 19. 岩羊<br>*Pseudois nayaur* | — | 广布种 | 国家II级、藏II级 | 附录III | 海拔 2100～6300m 之间的高山裸岩地带 | √ | √ | 调查访问，文献记载。分布于金沙江两岸裸岩地带，施工水库淹没会造成其栖息地的部分丧失，施工期噪声会驱赶其远离工程区域，但迁移能力较强，附近相似生境较多，可以向远离施工区的替代生境转移，故施工和蓄水对其影响总体较小。 |

| 中文种名、拉丁文种名 | 居留型 | 区系 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 生境 | 分布区域 | | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | |
| 20. 斑羚 *Naemorhedus goral* | — | 广布种 | 国家II级、藏II级 | 附录I | 栖息于远郊区县较高的山地森林 | | √ | 调查访问，文献记载。由于其栖息海拔较高，工程施工对其没有负面影响，相反的，水库蓄水运行期间，水位的抬高会更方便其饮水。 |
| 21. 鬣羚 *Capricornis umatraensis* | — | 东洋种 | 国家II级、藏II级 | | 栖息于海拔1000～4400m 针阔混交林、针叶林或多岩石的杂灌林 | | √ | 调查访问，文献记载。由于其栖息海拔较高，工程施工对其没有负面影响，相反的，水库蓄水运行期间，水位的抬高会更方便其饮水。 |
| 22. 赤麻鸭 *Tadorna ferruginea* | 夏 | 广布种 | 藏II级 | | 栖息于开阔草原、湖泊、农田等环境中 | √ | √ | 赤麻鸭为夏候鸟游禽，水库蓄水后水位上升，水域面积增加，库区水流变缓，适宜生境面积增加对其夏季栖息繁殖或迁徙产生一定的有利影响。 |
| 23. 赤狐 *Vulpes vulpes* | — | 广布种 | 川、藏I级 | | 栖息环境非常多样，如森林、草原、荒漠、高山及村庄附近 | | √ | 工程施工会导致其迁移远离施工区和淹没区。 |
| 24. 黄鼬 *Mustela sibirica* | — | 广布种 | 藏I级 | 附录III | 见于林缘、河谷、灌丛和草丘中、也常出没在村庄附近 | | √ | |
| 25. 豹猫 *Prionailurus bengalensis* | — | 广布种 | 川、藏II级 | 附录I | 栖息于山地林区、郊野灌丛和林缘村寨附近。 | | √ | |

| 中文种名、拉丁文种名 | 居留型 | 区系 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 生境 | 分布区域 | | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直接影响区 | 间接影响区 | |
| 26. 毛冠鹿 *Elaphodus cephalophus* | — | 东洋种 | 川、云II级、藏II级 | | 栖息于高山或丘陵地带的常绿阔叶林、针阔混交林、灌丛、采伐迹地和河谷灌丛 | | √ | |

（3）对特有植物的影响

评价范围分布的 22 种中国特有种，有错枝榄仁、冬麻豆、折叶白前等 3 种属于狭域分布物种。错枝榄仁主要分布在云南西北部和四川西南部（乡城），分布范围较为狭窄，但在评价区分布较为广泛。冬麻豆主要分布在产四川（西部）、西藏（东部），评价区内直接影响区和间接影响区均有分布。折叶白前分布区域迄今仅发现为云南德钦县、四川得荣县，金沙江上游干流及其支流干旱河谷两岸，海拔 2100~2700m。折叶白前在评价区内分布广泛，直接影响区和间接影响区都有分布。

（4）对特有野生动物的影响

1）对特有两栖类的影响

腹斑倭蛙为静水型两栖类，主要分布在金沙江河湾、支流汇合口等地，施工区域该类生境较少，对腹斑倭蛙基本不会产生影响。乡城齿蟾、圆疣蟾蜍、西藏蟾蜍和昭觉林蛙为陆栖型两栖类，主要分布于金沙江两侧较潮湿的河滩地山活动；华西雨蛙为树栖型两栖类，在金沙江干流两侧的灌丛或乔木上。施工期对陆栖型、树栖型两栖动物的影响主要为工程施工占地和施工活动干扰影响，将造成其栖息地侵占或驱赶其远离栖息地，造成施工区陆栖型两栖动物物种分布数量减少。

水库蓄水将淹没一部分陆栖型、树栖型两栖动物生境。但对于静水型腹斑倭蛙，水库形成后将形成大面积的水域，对其种群的发展带来有利影响，蓄水后其种群数量较施工期有一定程度上升。

2）对特有爬行类的影响

草绿攀蜥、丽纹攀蜥、康定滑蜥主要分布于金沙江两岸山地灌丛和灌草丛中活动，在评价区范围内较常见。工程对其影响主要是工程占地和施工噪声。评价区灌丛和灌草丛面积较大，占评价区总面积的 88.04%，适宜生境较多，且施工完成后，将恢复部分临时占地植被，对其影响仅限于施工期间。棕网腹链蛇、高原蝮、乡城原矛头蝮主要分布于评价区内麦曲河、丹达曲等水域附近或两岸山谷溪流附近潮湿的林地，施工区域分布几率较少，工程对其影响有限。

3）对特有鸟类的影响

藏马鸡主要活动于评价区外缘植被较为丰富的林地或林缘灌丛生境，评价区较罕见，工程占地对其生境占用影响较小，且其警惕性较高，躲避速度快，能较大程度避开施工影响，不易受到施工作业的损伤。橙翅噪鹛主要分布于枢纽工程区植被相对较好的林地、灌丛生境，工程对其影响主要是工程占地、施工噪声及人为活动的影响。

滇鸸主要活动于针叶林，评价区林地主要分布于海拔 2800m 以上，工程对其生境影响较小，仅施工噪声会惊扰其正常活动。鸟类对噪声比较敏感，施工噪声对栖息在施工区域及其邻近区域的鸟类产生一定的趋避作用。

4）对特有兽类的影响

红白鼯鼠为树栖型兽类，主要分布于两岸植被丰富的林地生境或在河谷两岸植被较好的灌丛、村落。工程施工时，部分此类生境被作为弃渣场，将破坏红白鼯鼠生境，使其外迁至其他适宜生境时将造成种内、种间竞争加剧。德钦绒鼠、川西鼠兔主要分布于高山草地，工程施工区基本不占用该类生境，工程对其影响有限。

（5）对生态公益林的影响

根据旭龙水电站征地范围内生态公益林初步复核结果：旭龙水电站征地范围内占用国家级和省级生态公益林合计 747.59hm$^2$，其中四川省 245.72hm$^2$，云南省 501.87hm$^2$。

本工程建设对区生态公益林的影响方式主要有工程占地、施工活动破坏影响，以及水库淹没影响。工程占地和水库淹没，将减少生态公益林面积，降低公益林资源量。另外，施工人员活动产生的弃渣、扬尘、废水等也会对生态公益林生长产生不利影响。评价范围内受影响的生态公益林植被类型为小叶荆灌丛、灰岩木蓝+胶粘香茶菜灌丛、小鞍叶羊蹄甲灌丛等。植被类型简单，群系结构及种类组成简单。

（6）对干热河谷植被的影响

评价区干热河谷植被主要分布在海拔 2800m 以下。施工期，施工占地和施工活动造成干热河谷植被面积减少、植物生物量降低，弃渣、骨料开采等施工活动扰动土壤，加重水土流失，将进一步破坏干热河谷植被生存环境。

运营期，水库淹没干热河谷面积约 667.6hm$^2$。根据局地气候影响结论，水库蓄水后使库区两岸月平均气温呈下降趋势，温度变化绝对值均小于 0.2℃，库区及周边相对湿度会有所上升，夏季水库西岸降水量呈减少趋势，而东岸降水量则呈增加趋势，但上述变化的程度及范围都十分有限，在该地区正常的年际气候波动范围内，因此水库建设对沿岸的干热河谷气候特征没有根本性的改变。从工程建成后干热河谷植被演替趋势来看，库区空气湿度增加，气温降低，喜旱植物个体数量会有所减少，水生植物及喜湿植物的数量会有所增加，干热河谷植物群落盖度和植被覆盖率呈增加趋势。

## 5.9.2 水生生态影响预测与评价

### 5.9.2.1 对饵料生物的影响

（1）对浮游植物的影响

旭龙电站正常蓄水位为2302m，库容系数0.26%，为日调节电站。旭龙电站建成后，库区由原来的急流生态环境变成河道型缓流水库生态环境，水深增加、水面扩大、透明度增大。淹没区植被、土壤内营养物质渗出，引起水中有机物质及矿物质增加，加上水体滞流时间延长和泥沙沉降，导致营养物质滞留和积累，水体初级生产力提高，上述条件的改变直接影响浮游植物的生长与繁殖。

旭龙电站水库采用日调节运行，旭龙电站建成后库区流速减缓，浮游植物种类和生物量会有所增加，硅藻门如针杆藻、桥弯藻等比例趋向增加；针杆藻、桥弯藻、舟形藻等成为常见种；蓝藻门种类亦会有所增加，如席藻、颤藻成为常见种或优势种。库湾及沿岸带水域增加的比例将大于库中水带。浮游植物种类尤其是大型浮游甲藻门等种类的增加，将引起浮游植物生物量明显变化。支流麦曲河和丹达河受库区水位的顶托，流速减缓，有利营养物质积累，浮游植物种类将有所增加，静水种类增加明显，浮游植物密度和生物量亦将有所上升。但是由于评价区所在河段干支流处于高海拔、高寒的地理气候条件下，且外源性营养输入较少，浮游植物种类和现存量增长有限，且旭龙电站调蓄能力不强，对河道水文情势影响不明显。因此，总体上看，旭龙库区及支流回水河段浮游植物种类、密度和生物量虽有增长，但增加幅度不会太大。

旭龙电站坝下近坝河段为库区来水，其浮游植物种类组成、密度和生物量特征库区近似。但随着下游支流汇入，河道受水库建设影响逐渐削弱，浮游植物种类组成、密度和生物量将逐渐恢复至天然河段状态。

（2）对着生藻类的影响

旭龙电站水库采用日调节运行，旭龙电站建成后库区流速减缓，水面面积增大，近岸浅水水域面积增加，在旭龙电站建设运行初期，库岸新被淹没，河道 底质附着营养基质贫乏，着生藻种类和密度将显著减少。随着库区的长期运行，泥沙及营养盐逐渐沉积附着，且水域面积增加，着生藻适宜的生存空间增加，着生藻种类和密度将逐渐增加，甚至高于工程建设前。

旭龙电站坝下近坝河段为库区来水，受坝下泄水的冲刷，近坝河段着生藻密度将

减少，但随着下游支流汇入，河道受水库建设影响逐渐削弱，着生藻种类、密度将逐渐恢复至天然河段状态。

（3）对浮游动物的影响

旭龙电站正常蓄水位为 2302m，20 年一遇洪水坝前水位抬高约 140m，回水长 63.29km，正常蓄水位水库面积 15.22km$^2$。旭龙电站建成后，库区由原来的急流生态环境变成河道型缓流水库生态环境，水深增加、水面扩大、透明度增大。淹没区植被、土壤内营养物质渗出，引起水中有机物质及矿物质增加，加上水体滞流时间延长和泥沙沉降，导致营养物质滞留和积累，水体初级生产力提高，上述条件的改变不仅直接影响浮游动物的生长与繁殖，而且通过浮游植物间接影响浮游动物。

旭龙电站水库采用日调节运行，旭龙电站建成后库区流速减缓，浮游动物种类和生物量会有所增加，纤毛虫如绿急游虫、大弹跳虫等比例趋向增加；龟甲轮虫、多肢轮虫、疣毛轮虫等静水敞水种类将出现且成为常见种；枝角类种类增加，如象鼻溞、短尾秀体溞成为常见种。库湾及沿岸带水域增加的比例将大于库中水带。浮游动物种类尤其是大型浮游甲壳类的增加，将引起浮游动物生物量明显增大。支流丹达河和麦曲河受库区水位的顶托，流速减缓，有利营养物质积累，浮游动物种类增加，静水种类尤其明显，浮游动物密度和生物量将上升。但是旭龙电站库区及支流回水地处高海拔地区，且运行后库区水质变化不大，浮游动物种类、现存量增加幅度不会太大。

旭龙调节性能为日调节，坝下一般情况下水位在死水位（2297 m）~正常蓄水位（2302m）之间运行，水位变幅 5m。受电站调度水位频繁涨落的影响，浮游动物群落结构与坝前相似，现存量少于坝前。旭龙水电站坝下支流定曲，受水电站建设影响较小，维持原河流群落结构特征。

（4）对底栖动物的影响

影响底栖动物的主要因子有流速、水位、水质等，其中流速、水质对底栖动物种类结构的影响最为明显。

旭龙梯级蓄水后，库区河段过水面积较天然状况显著增大，水体流速明显减缓，库区河段水域环境从急流河道型转为缓流型，污染负荷较蓄水前将有所降低。由于旭龙库区对苏洼龙梯级下泄尾水有一定的坦化作用，库区河段流速、水位日变幅较梯级运行前有所减少，底栖动物生存环境趋于稳定。

旭龙库区河段现存底栖动物以蜉蝣目、摇蚊科生物为主，种类分布少、现存量低。旭龙电站运行方式为日调节型，汛期 6~10 月电站按尽量减少弃水发电方式运用；非

汛期 11~次年 5 月，水库水位尽可能维持在较高水位运行，并承担调峰负荷。

旭龙梯级运行后，6~10 月间部分区域水体流速有所减缓，深水区域增加，预计库区河段现有底栖动物种类将基本保持，摇蚊科生物数量在深水区同比有一定幅度增加。11 月~次年 5 月期间，因水库水位尽可能维持在较高水位运行，库区大部分水域水体相对静止或有一定微流，预计坝前、库中水域水丝蚓、摇蚊科生物等耐氧型种类将成为优势种，钩虾及蜻蜓幼虫等种类在浅水区将有一定数量的分布，现有蜉蝣目等种类在库区大部份区域消失，分布范围将退缩至库尾上游近 20 公里的流水河段。整体看，旭龙电站蓄水后，库区河段底栖动物生存环境较蓄水前更趋稳定，底栖动物种类、密度、生物量较前均有所增加，其中摇蚊科生物密度、生物量增加尤为明显。

旭龙电站非汛期 11 月~次年 5 月运行期间，水库水体透明度较高，清水下泄有可能造成下游河道河床下切、归滩并槽，加之电站调峰运行易造成下游河道水位日内涨落剧烈，对底栖动物生存繁衍不利。预计电站运行后，非汛期坝下近坝河段底栖动物生物总量将有所下降。电站汛期 6~10 月运行期间，坝下河道水文情势与建坝前同期天然河道基本一致，底栖动物所受影响相对较小。考虑到下游梯级的坦化作用，旭龙梯级发电尾水对下游底栖动物影响程度、范围应较为有限，奔子栏以下河段受旭龙梯级运行影响小。

旭龙梯级坝上主要支流有丹达曲、麦曲。丹达曲现存底栖动物 17 种，以蜉蝣目、石蝇科、摇蚊科生物为主，其中下游河段主要种类为蜉蝣目、摇蚊科生物，旭龙梯级蓄水后，因库水上溯原因，丹达曲下游约 1.99km 河段将成为水库库湾。预计该库湾水域底栖动物将以水丝蚓、摇蚊科生物为主，现蜉蝣目等种类在此水域基本消失，底栖动物种类分布较前总体下降，但密度、生物量有大幅上升可能；旭龙梯级回水末端尖灭点在麦曲河口，蓄水对麦曲水文情势影响范围仅限于河口 100 余米河段，麦曲流域现有底栖动物种类、数量受蓄水影响程度极为有限；坝下主要支流定曲、冈曲水文情势基本不受旭龙梯级运行影响，梯级运行后现有底栖动物种类结构将得到维持。

#### 5.9.2.2 对鱼类的影响

（1）施工期对鱼类的影响

水电大坝主体工程施工在坝址河段进行，施工期时间长，规模大，施工人员较多，各种机械在水中作业，声、光、电等物理因素对施工江段鱼类栖息、生长、繁殖和迁移有不利影响；建设期进行建筑材料的清洗和基坑排水会造成坝址局部河段水体混浊，

透明度下降，水质下降，对鱼类，特别是仔幼鱼的栖息不利；大江截流后，由导流洞泄水，水位抬高，落差和流速增大，阻碍下游鱼类上溯；施工围堰排水施工将使围堰江段鱼类死亡或起捕；水库蓄水将导致坝下江段大幅度减水，甚至脱水，脱水江段鱼类可能搁浅死亡，如果蓄水处于鱼类繁殖期，会影响下游江段鱼类繁殖，或受精卵、仔幼鱼搁浅死亡等。此外，施工期施工人员多，施工人员下河捕捞和对水产品的需求，将会对大大增加对鱼类资源的利用，甚至导致酷渔滥捕。但只要加强管理和救护，就能有效缓解施工期对鱼类资源的不利影响。

（2）运行期对鱼类的影响

1）对鱼类的阻隔影响

电站的建设将使河流的连续性受到影响，对鱼类的上溯交流有很强的阻隔效应。调查水域分布的鱼类主要为产粘沉性卵鱼类，无长距离洄游性鱼类，阻隔于旭龙坝上的鱼类，由于库区流水生境大幅度萎缩，库区将以缓流、静水开阔水域生境为主，仅在库尾局部江段及麦曲河、丹达曲等支流保留了一定的流水生境，对流水生境依赖程度高的爬鳅类和部分裂腹鱼类等，种群数量会大幅度下降，仅在库尾流水江段及支流维持少量种群；而对部分高原鳅、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤等虽然也需要流水生境产卵、适用缓流净水生境的鱼类，库尾江段及支流提供了产卵繁殖条件，可能在库区形成优势种群。对于阻隔于坝下的鱼类而言，由于坝下奔子栏尚未建设，仍保留较长的流水江段，虽然电站泄水水文情势和水温状况对坝下江段鱼类繁殖有不利影响，对流水江段鱼类繁衍栖息生态功能有所削弱，但仍能维持流水河流生态功能，具有分布该河段鱼类完成生活史的基本条件，维持相应鱼类种群。若奔子栏建设运行，坝下为奔子栏库区，鱼类资源的演变和旭龙库区相似，奔子栏坝下流水江段进一步萎缩，鱼类完成生活史的空间进一步萎缩，但奔子栏坝下流水江段仍可维持该江段鱼类完成生活史的条件，维持一定的种群，但种群规模进一步缩小。

已有研究表明，由于水坝的阻隔，完整的河流环境被分割成不同的片段，鱼类生境的片段化和破碎化导致形成大小不同的异质种群，种群间基因不能交流，使各个种群将受到不同程度的影响。由于大坝的阻隔影响，评价区鱼类被分隔成坝上、坝下两个种群，种群数量较大的鱼类如短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼等，群体间将出现遗传分化；种群数量较少的物种如黄石爬鳅等将退出或失去此一分布区域，或丧失部分遗传多样性，危及物种长期生存。

2）水文情势变化对鱼类的影响

①库区河段

旭龙电站建成运营后，库区水流变缓、水深增加、急流生境萎缩，河流的水动力学过程发生了较大的变化，水库库尾区域接近原天然河流，具有河流水文水动力学特征，坝前水域水深、面阔，水流缓甚至是静水，呈现湖泊水动力学特征，为水库湖泊段，水库中间水域间于河流段和湖泊段，属于过渡段。

库区江段水文情势由“河流相”向“湖泊相”转化，相应的库区江段鱼类种类组成也将由“河流相”逐步演变成为“湖泊相”。对库区江段原来适应于底栖急流、砾石、洞穴、岩盘底质环境中生活繁衍的鱼类如裂腹鱼急流种、黄石爬鮡、部分高原鳅的种类，库区可能使其获得更大的越冬及索饵水域，但由于繁殖区域逐渐压缩至干流库尾上游流水江段及小金河的未淹没区，繁殖规模将会下降，最终将导致库区江段的资源量减少。而适应于缓流或静水环境生活的鱼类种类如软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤及部分可能适应缓流水域的高原鳅数量将上升，并可能成为库区的优势物种。库区水体容积及水域面积增大，水生生物及鱼类栖息、活动空间增大，长期而言，鱼类总资源量和渔获量可能会升高。类比二滩水库鱼类调查结果表明，建库后原有流水性鱼类多遗存于库尾段，因此，可以认为旭龙水库库尾河段及支流将成为流水性鱼类仅存的流水生境。

在昌波梯级建成前，旭龙库尾有 23.96km~21.94km 流水河段。旭龙建库后，库区 8 个典型断面水位较建库前均有所增加。以平水典型日为例，旭龙电站建库前，库区各断面水位为 2237.6m ~ 2299.3m；旭龙电站建库后，库区各断面水位为 2301.0m~2302.0m。旭龙水电站建成运行前，受上游苏洼龙电站调蓄影响，库区河段水位日变幅在 3.4m~6.6m 之间；电站建成运行后，库区河段水位日变幅为 0.7~1.0m。电站建成运行前，库区河段水位最大小时变幅为 3.0m~5.0m，电站建成运行后，最大小时变幅为 0.4m～0.84m。因此，旭龙电站运行后，库区河段水位变幅明显减少，对库区产粘沉性卵鱼类繁殖相对有利，库区流水性鱼类繁殖将主要集中在库尾流水河段及麦曲河、丹达曲等支流。

②坝下河段

按照工程日调节计算成果，枯水典型日，经旭龙水电站调蓄后，电站坝下游流量日内过程相对建库前有所坦化。枯水时段，旭龙、苏洼龙电站承担晚高峰调峰任务，主要承担腰荷。0 点至 18 点，建库后下泄流量均大于建库前，下泄流量由 217$m^3$/s 增加到 410$m^3$/s，增幅为 5.99%~88.94%。调峰时段（18 点至 21 点），电站下泄流量由建库前的 1248 $m^3$/s 减少到 460 $m^3$/s，相对建库前减少 63.14%。旭龙水电站建成运行后，

坝下游流量变幅由建库前的 1031$m^3$/s 减小至建库后的 230$m^3$/s。

对于产粘沉性鱼类而言，电站调峰运行的水位频繁波动对鱼类繁殖孵化均有较为明显的不利影响，有可能导致鱼类胚胎、仔稚鱼干枯死亡。评价江段鱼类主要产粘沉性卵，旭龙水电站建成运行前，坝下流水江段水位变化受上游苏洼龙电站调蓄影响，水位变幅较大。旭龙水电站建库后，对苏洼龙水电站下泄过程起到一定程度的坦化作用，因此下游水位变幅相对建库前均有所减小。经计算，坝下游日均水位建库前后差别不大，建库后日均水位相对建库前变化 0.5m 以内。平水典型日，坝址断面日变幅有建库前的 3.11m 减小至建库后的 1.03m；坝下游奔子栏水文站水位日变幅由建库前的 2.22m 降低至 0.71m，沿江水位日变幅均在 1.82m 以内。枯水典型日，坝址断面日变幅有建库前的 2.34m 减小至建库后的 0.66m；坝下游奔子栏水文站水位日变幅由建库前的 1.75m 降低至 0.43m，沿江水位日变幅均在 1.55m 以内。因此，旭龙电站运行的坦化作用，也有利于改善坝下流水江段作为产粘沉性卵鱼类繁殖功能的改善。

3）饵料生物基础变化对鱼类的影响

水库形成后，库区水深增加，水面变宽，流速减缓，营养物质滞留，透明度有所升高，水体生物生产力提高，有利于浮游生物的繁衍，浮游生物种类和现存量均会有所增加，有利于仔幼鱼育幼和缓流或静水性鱼类的生长，库区鱼类资源和渔产量将提高。水库形成后，透明度增加，水体营养负荷提高，有利于周丛生物的繁衍，为刮食性鱼类提供了丰富的饵料资源。底栖生物中原有流水性种类减少，静水或微流水的水蚯蚓、摇蚊幼虫种类和数量将会增加，静水、沙生的软体动物也可能会出现，对静水、缓流的底层鱼类生长有利，但流水性鱼类饵料资源会明显下降。随着库区饵料基础的变化，鱼类资源会发生相应的变化，库区鱼类组成将由原来的流水性鱼类为主向静缓流水鱼类转化，流水性鱼类生存空间将压缩至库尾以上流水河段和支流麦曲河、丹达曲等，种群数量会相应减少。

4）水温变化对鱼类的影响

旭龙水电站单独运行和联合运行条件下对库区水温结构及下泄水温过程均有一定程度的改变。其中，联合运行条件比单独运行条件下泄更低的低温水。考虑水温影响和电站运行需求，尤其是 3~5 月为长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、黄石爬鮡等珍稀特有鱼类繁殖期。

旭龙水电站为日调节电站，水温预测成果表明，无论丰水年、枯水年、平水年库区水温均呈混合型结构，电站泄水 3-8 月份较坝址天然水温偏低，5 月份偏低幅度最

大，9 月至来年 2 月份较天然水温偏高，12 月份偏高幅度最大。具体而言，丰水年 5 月份偏低 4.03℃，12 月份偏高 1.0℃；枯水年 5 月份偏低 3.94℃，12 月份偏高 1.0℃；平水年 4 月份偏低 4℃，12 月份偏高 6.3℃。

旭龙评价区河段鱼类产卵季节多在 3~7 月。裂腹鱼类在天然河段的繁殖水温约 11~15℃，据相关文献报道，短须裂腹繁殖在水温 11℃以上开始，四川裂腹鱼 13℃以上，而长丝裂腹鱼要到 15℃以上才开始。评价河段的鮡科鱼类繁殖期主要在 6~7 月，其繁殖也需要 15℃左右的水温。电站 3~8 月下泄水温偏低，达到鱼类产卵繁殖水温的时间推迟，从而导致鱼类繁殖期推迟。从下泄水温预测分析判断，受下泄低温水影响坝下江段鱼类繁殖可能推迟 1 个月左右，并导致当年鱼类生长期缩短。

5）气体过饱和对鱼类的影响

① 气体过饱和 TDG 分析预测

根据旭龙水电站水环境专题报告成果，采用数学模型对旭龙与叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙电站联合宣泄两年一遇和五年一遇洪水条件下进行预测。

预测结果显示，4 种不同工况条件下，叶巴滩等 4 个梯级泄洪生成的 TDG 过饱和水流至旭龙电站坝前，TDG 饱和度分别为 113.1%、113.1%、116.1%和 116.6%。旭龙电站泄洪水流与发电尾水混合后出库水流的 TDG 饱和度分别为 128.2%、126.8%、133.1%和 134.2%；旭龙坝址下游 53km 处，金沙江左岸有定曲汇入，对干流 TDG 饱和度有一定的稀释作用，定曲汇入后，干流 TDG 饱和度分别下降了 4.2%、4.0%、4.9%和 4.7%；至旭龙坝址下游 66.7km 奔子栏水文站处，TDG 饱和度分别下降至 120.7%、119.7%、124.5%和 125.3%，与旭龙电站坝前相比，4 种工况条件下 TDG 饱和度分别增加了 7.6%、6.6%、8.4%和 8.7%。

②过饱和 TDG 对鱼类的影响

a）TDG 过饱和风险的发生概率

过饱和 TDG 对鱼类的影响伴随电站泄洪发生，因此鱼类受过饱和 TDG 影响的发生风险与电站泄洪概率密切相关。根据旭龙坝下总溶解气体饱和度预测结果可以看出，各泄洪条件下，坝下均出现总溶解气体过饱和现象，且泄洪流量不同，坝下 TDG 过饱和程度和影响范围也各不相同。但从水库泄洪条件分析，旭龙水电站是以发电为主的大型水利水电工程，调节库容 0.8 亿 $m^3$，同时为保证发电、防洪等综合效益的发挥，金沙江干流上游各电站建成后将实行梯级联合调度，因此旭龙水电站每年泄洪几率将极小，且每次泄洪持续时间也会相当短。由此分析，电站泄洪产生的过饱和影响

发生频率极小，且仅局限在汛期极短的泄洪时段内。

b）TDG 过饱和对鱼类的影响

在我国目前的地表水环境质量标准中，尚未对水体总溶解气体饱和度进行限定。参照美国国家及其一些州的标准，暂按 110%的 TDG 饱和度作为评价过饱和 TDG 影响限值的指标判断，至旭龙坝址下游 66.7km 奔子栏水文站处，TDG 饱和度值均超过 110%，理论上坝下河段至奔子栏水文站处气体过饱和所带来影响存在。考虑到奔子栏水文站下游 16km 处有支流冈曲汇入，对金沙江干流 TDG 饱和度稀释作用较为明显，气体过饱和所带来的影响可以进一步减轻或消除。

自然条件下，鱼类能够通过探知气体过饱和来选择适宜的深度生存，从而减少气泡病的发生。旭龙坝址下游河段主要分布有长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、安氏高原鳅、勃氏高原鳅、黄石爬鮡等鱼类，均对河流底层的栖息环境较为适应，旭龙水电站建成后，坝址下游仍为天然河道，在水流、水深、营养物质等条件满足的情况下，鱼类可以到补偿深度以下栖息并回避过饱和 TDG 的影响。根据旭龙水电站两种泄洪工况下 TDG 饱和度预测结果推算，鱼类补偿深度要求在 5m 以内。结合坝下游河道水文资料分析，各泄水流量下的下游河道平均水深均能满足鱼类补偿深度要求。因此，旭龙水电站下游河道可以为鱼类提供在补偿深度以下的生存空间，只要鱼类在这一区域内生活，即可以避开 TDG 过饱和的影响。

c）金沙江上游鱼类对 TDG 过饱和气体的耐受性

国外关于鱼类对溶解气体过饱和环境的耐受性研究表明，长期在 TDG 过饱和环境中生存或间歇性的暴露于过饱和环境中的鱼类都有可能患气泡病或死亡。鱼类气泡病发病率与其在溶解气体过饱和水体中的滞留时间有关。不同鱼类甚至同一种鱼类在不同生活阶段对过饱和气体的耐受性并不相同。

由于我国关于总溶解气体过饱和及其对水生生物影响的研究刚刚起步，研究基础少，在我国目前的地面水环境标准中，尚未对水体总溶解气体饱和度上限进行明确规定。同时，缺乏金沙江旭龙下游河段鱼类对过饱和总溶解气体耐受性的相关研究资料，限制了旭龙水电站下游 TDG 过饱和对鱼类影响分析工作的开展。因此，未来大坝下泄水引起气体过饱和对土著鱼类的影响尚需进一步研究。

6）对鱼类重要生境的影响

梯级开发形成水库后，水深增加，流速变缓，原库区流水江段分布的鱼类产卵场与索饵场将会被淹没。根据《金沙江上游水电规划环境影响报告书》，旭龙梯级

开发不涉及金沙江上游 5 个主要的鱼类产卵场与索饵育幼场集中分的江段，因此，旭龙电站不会对流域层面鱼类重要生境造成影响。

①对苏洼龙至王大龙峡谷河口长约 7km 宽谷河段的影响

电站运行后，库区原河道中零散分布的适合裂腹鱼类产卵育肥的心滩、卵石滩、将被彻底淹没消失，旭龙库尾流水性鱼类繁殖空间将明显萎缩。王大龙峡谷河口距旭龙坝址约 75km，旭龙水库回水长度约 63km，中间是长约 12km 的王大龙峡谷河段，旭龙电站运行对王大龙峡谷以上宽谷河段基本无影响。但该宽谷河段距上游苏洼龙水电站坝址约 3km，受苏洼龙水电站日调峰运行的影响，该流水河段水位日变幅较大，水位的频繁涨落易导致产粘沉性卵鱼类受精卵、仔稚鱼的搁浅死亡，同时受电站下泄低温水的影响，该 7km 产卵场的功能发挥会受到严重削弱，旭龙库区土著鱼类繁殖将有可能主要依赖麦曲河、丹达曲等支流水域。不过裂腹鱼、高原鳅等鱼类对产卵条件要求并不严格，麦曲河、丹达曲等支流流水生境都可以满足上述鱼类繁殖需要，如果对库区这些支流加以保护，麦曲河、丹达曲等支流可以为产粘沉性卵鱼类提供一定的产卵繁殖条件，维持一定规模的土著鱼类种群。

②对奔子栏至冈曲汇口长约 16km 河段的影响

奔子栏至冈曲汇口长约 16km 河段河流较宽，既有水流较为湍急的狭窄岩基河道，水流平浅湍急的卵石长滩；也有水流平缓的细沙河湾、曲流；还有水深流急的单一河槽及水流平缓的深潭，两岸及河道间遍布深浅不一砾石滩。在鱼类产卵季节不同水位梯度都能形成适宜裂腹鱼类产卵环境，为调查江段裂腹鱼类较为密集的产卵水域之一。该河段上距旭龙坝址 66.7km，旭龙电站运行后，该河段的水文情势、水温等发生较大变化，将直接影响鱼类产卵繁殖，该产卵场的功能发挥将受到较大影响。

a）水位变化影响

旭龙水电站建库后，对苏洼龙水电站下泄过程起到一定程度的坦化作用，因此下游水位变幅相对建库前均有所减小。经计算，平水典型日，下游奔子栏水文站水位日变幅由建库前的 2.22m 降低至 0.71m；枯水典型日，坝下游奔子栏水文站水位日变幅由建库前的 1.75m 降低至 0.43m，河段依然为急流河段。裂腹鱼类多为产粘沉性卵，产卵场水位日水位的频繁涨落，易导致产粘沉性卵鱼类产卵场受精卵、仔稚鱼的搁浅死亡，对鱼类繁殖不利。旭龙电站运行后，对上游电站下泄过程起到一定程度的坦化作用，水位变幅相对建库前均有所减小。因此，仅从水位变化分析，

旭龙电站运行，河段依然为急流河段，但水位日变幅有较大降低，可以适当减轻对裂腹鱼类产卵的不利影响。

b）低温水影响

旭龙水电站为日调节电站，根据水温预测成果，无论丰水年、枯水年、平水年旭龙库区水温均呈混合型结构，电站下泄水 3-8 月份较坝址天然水温偏低，其中 5 月份偏低幅度最大，9 月至来年 2 月份较天然水温偏高，其中 12 月份偏高幅度最大。旭龙评价区河段鱼类产卵季节多在 3~7 月。电站 3~8 月下泄水温偏低，达到鱼类产卵繁殖水温时间推迟，从下泄水温预测分析判断，受下泄低温水影响坝下江段鱼类繁殖可能推迟 1 个月左右，并造成当年鱼类生长期缩短。

c）气体过饱和影响

根据水环境报告预测结果，4 种不同工况条件下，叶巴滩等 4 个梯级泄洪生成的 TDG 过饱和水流至旭龙电站坝前，TDG 饱和度分别为 113.1%、113.1%、116.1%和 116.6%。旭龙电站泄洪水流与发电尾水混合后出库水流的 TDG 饱和度分别为 128.2%、126.8%、133.1%和 134.2%；至旭龙坝址下游 66.7km 奔子栏水文站处，TDG 饱和度分别下降至 120.7%、119.7%、124.5%和 125.3%，与旭龙电站坝前相比，4 种工况条件下奔子栏的 TDG 饱和度分别增加了 7.6%、6.6%、8.4%和 8.7%。按 110%的 TDG 饱和度作为评价过饱和 TDG 影响限值的指标判断，TDG 饱和度值均超过 110%，该河段气体过饱和所带来的不利影响是有可能存在的。

水体气体过饱和会导致鱼类形成血栓，特别是仔幼鱼，主动回避能力弱，死亡率会大幅升高。该河段鱼类产卵期集中在 3～7 月，泄洪时间主要集中在 7～9 月，泄洪期间可能对幼鱼生长产生一定不利影响。旭龙水电站每年泄洪几率将极小，且每次泄洪持续时间也会相当短。由此分析，电站泄洪产生的过饱和影响发生频率极小，且仅局限在汛期极短的泄洪时段内。

③对其宗至虎跳峡江段的影响

其宗至虎跳峡江段，河谷开阔，河道分汊，心滩、边滩众多，也分布较多的产卵场，特别是硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻等多在水流较为平缓、沙砾较细小水域的产卵的鱼类，其产卵场分布较为密集。其宗与旭龙坝址相距约 160km，与奔子栏河段相比，旭龙电站运行对该宽谷河段的水文情势影响大为减弱。从奔子栏至其宗江段，期间又有冈曲、腊普河等多条较大支流汇入，所以气体过饱和现象将基本不存在。该河段河谷开阔，河水面宽度一般在 500～800m 之间，石鼓一带最宽处可达 2000m 左右，电站运行对于该河段的水位变化也大为减弱。对于该河段产卵场影响

主要是电站低温水下泄的影响，尤其是上游梯级开发后低温水的累计效应。由于低温水效应，裂腹鱼类生长期缩短，繁殖期推迟。另外，该河段的巨甸、黎明一带的中华金沙鳅产卵场是已知海拔最高、位于金沙江最上游的产卵场，根据曹文宣等研究，中华金沙鳅在金沙江干流产卵期间水温范围为 17.8～23.2℃，金沙江上游梯级开发后，低温累积效应对中华金沙鳅产卵场的影响还需要进行研究。

7）对珍稀特有鱼类的影响

电站运行后，由于水文情势和饵料基础等的变化，库区的鱼类组成将由流水性鱼类为主，逐渐转变成缓流水和静水鱼类为主。库区江段原来适应于激流环境产粘沉性卵的裂腹鱼类、黄石爬鮡等，尤其是黄石爬鮡对流水环境依赖程度高，有可能退缩至干流库尾上游或进入麦曲河、丹达曲等支流，在库区鱼类中种群数量将减少。中华金沙鳅为激流型、产漂流性卵鱼类，这一类型鱼卵发育需要保证一定的流水环境，在库区难以完成完整的生活史，有可能退出旭龙库区。软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤等需要在流水环境产卵，适应于缓流或静水环境生活的鱼类，水库形成后存在其繁殖条件，种类数量将上升，并可能成为库区的主要物种。部分高原鳅可能会衍生出适宜缓流生活的类群，种群有可能获得发展。

## 5.9.3 对景观生态体系的影响与评价

### 5.9.3.1 对生物量的影响

旭龙水电站工程建设完成后，评价范围的生态类型面积和生物量发生变化，具体变化情况见表 5.9-3。

表 5.9-3　工程建设完成后评价范围土地面积及生物量损失一览表

| 类型 | 代表植物 | 占用面积（$hm^2$） | 平均生物量（$t/hm^2$） | 生物量损失（t） |
|---|---|---|---|---|
| 针叶林 | 高山松 | 0.00 | 124.00 | 0.00 |
| 针叶林 | 川西云杉、鳞皮冷杉 | 0.00 | 193.96 | 0.00 |
| 阔叶林 | 山杨、白桦 | 0.00 | 87.36 | 0.00 |
| 灌丛 | 矮高山栎 | 0.00 | 17.33 | 0.00 |
| 灌丛 | 小叶荆、灰岩木蓝、小鞍叶羊蹄甲等 | 1127.02 | 5.54 | 6243.71 |
| 灌草丛 | 拟金茅、黄茅、垫状卷柏等 | 230.84 | 3.28 | 757.14 |
| 农作物 | 青稞 | 53.24 | 5.79 | 308.25 |
| 河流水域 | 淡水藻类 | 48.17 | 0.92 | 44.32 |
| 合计 | | 1459.27 | / | 7353.42 |

注：表中未包括建设用地和其他用地面积 1101.38$hm^2$，占评价范围面积的 2.54%。

工程永久征地及淹没将完全损毁原有的植被类型，植被生物量将发生变化，生物量总损失为 0.86 万 t，占枢纽工程区总生物量 56.1 万 t 的 1.31%，淹没损失的生物量较少。通过遥感卫片和典型样方生物量估算，灌丛损失生物量 6243.71t；灌草丛损失生物量 757.14t；农作物损失生物量 308.25t。随工程施工的结束，水库蓄水后，水域面积会增加，库区两侧出现局地小气候，区域空气湿度增加，有助于植物生长及生物量的增加。

### 5.9.3.2 对景观稳定性的影响

景观稳定状况包括两个特征，即：恢复稳定性和阻抗稳定性。恢复稳定性与高亚稳定元素（如植被）的数量和生产能力较为密切，阻抗稳定性与景观异质性关系紧密。

（1）对恢复稳定性的影响

景观恢复力稳定性是定性评价景观生态系统在受到外界干扰后自我恢复能力强弱，可以由生态系统中生物组分异质性的高低决定的。简单来说，生态系统组分越简单，在受到外界干扰后，越容易恢复到原来的面貌，即恢复力稳定性较强。相反，则恢复力稳定性越弱。

根据现场调查情况和相关资料，评价范围的自然生态系统结构较为简单，群落组成相对单一，因此恢复力稳定性较强。工程建成后，平均生产力有所下降，减少 0.09 t/（$hm^2$.a），由现状的 3.54 t/（$hm^2$.a）减少到 3.45 t/（$hm^2$.a），见下表。

工程实施后，因工程施工占地和水库淹没灌草地、耕地，导致评价范围生产力降低。但因变化程度很小，为 2.5%，生产力基本未发生明显变化。从工程实施前后各景观多样性程度来看，实施后评价区景观多样性将有所下降。因此，旭龙水电站工程实施后，评价区景观恢复稳定性有所下降。

表 5.9-4　工程实施后评价范围生产力变化情况表

| 生态类型变化 | | | 平均生产力[t/（$hm^2$.a）] |
|---|---|---|---|
| 类型 | 代表植物 | 面积（$hm^2$） | |
| 针叶林 | 高山松、川西云杉等 | 0 | 12.28 |
| 阔叶林 | 山杨、白桦 | 0 | 10.43 |
| 灌丛 | 矮高山栎 | 0 | 5.56 |
| | 小叶荆、灰岩木蓝、小鞍叶羊蹄甲等 | -1127.02 | 2.77 |
| 灌草丛 | 拟金茅、黄茅、垫状卷柏等 | -230.84 | 1.67 |
| 农作物 | 青稞 | -53.24 | 5.90 |
| 河流水域 | 淡水藻类 | -48.17 | 0.40 |
| 合计 | | -1459.27 | |
| 现状生产力[t/（$hm^2$.a）] | | | 3.54 |

| | |
|---|---|
| 实施后生产力[t/（$hm^2$.a）] | 3.45 |
| 平均生产力减少[t/（$hm^2$.a）] | 0.09 |
| 评价标准[t/（$hm^2$.a）] | 6.03 |

注：表中未包括建设用地和其他用地面积 1101.38$hm^2$，占评价范围面积的 2.54%。

（2）对抵抗稳定性的影响

自然生态系统的阻抗稳定性是由系统中生物组分异质性的高低决定的。异质性是指一个区域里（景观或生态系统）对一个种或更高级的生物组织的存在起决定作用的资源（或某种性质）在空间或时间上的变异程度（或强度）。由于异质性的组分具有不同的生态位，给动物物种和植物物种的栖息、移动以及抵御内外干扰提供了复杂和微妙的相应利用关系。另一方面，异质化程度高的自然系统，当某一斑块形成干扰源时，相邻的异质性组分就成为了干扰的阻断，从而达到增强生态体系抗御内外干扰的作用，有利于体系生态稳定性的提高。

从评价范围的斑块类型数目和面积分析，灌草地占评价范围的绝对优势，因此工程建设前，区域内的自然生态体系抵抗稳定性一般。工程实施后土地利用格局发生了变化。斑块类型未发生改变，水域及建设用地面积均增加；林地面积不变，耕地、其他未利用地的面积减少，但变化的幅度较小。

大坝主体工程区建设用地的斑块面积增加，库区水域的斑块面积增加，其它斑块类型均有所减少，增加的水域由自然的生态系统变为受人工调控的半自然生态系统。总体而言，工程建设后，评价范围内景观总斑块数量有所下降，对景观生态体系阻抗稳定性有一定影响，但影响程度不大。

### 5.9.3.3 对景观质量的影响

评价范围各类景观斑块的优势度值预测情况见表 5.9-5。

**表 5.9-5　工程实施前后评价范围主要斑块类型优势度值**

| 斑块类型 | $R_d$（%） | | $R_f$（%） | | $L_p$（%） | | $D_o$（%） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 实施前 | 实施后 | 实施前 | 实施后 | 实施前 | 实施后 | 实施前 | 实施后 |
| 林地 | 10.75 | 13.46 | 8.93 | 10.02 | 4.18 | 4.18 | 7.01 | 7.96 |
| 灌草地 | 66.59 | 63.86 | 75.13 | 74.36 | 89.84 | 86.70 | 80.35 | 77.91 |
| 耕地 | 0.34 | 0.32 | 0.86 | 0.95 | 2.01 | 1.89 | 1.30 | 1.26 |
| 水域 | 1.42 | 1.71 | 1.45 | 2.95 | 1.43 | 4.72 | 1.43 | 3.53 |
| 建设用地 | 5.24 | 6.80 | 3.82 | 4.57 | 0.33 | 0.88 | 2.43 | 3.28 |
| 其他用地 | 15.67 | 13.85 | 11.81 | 9.24 | 2.21 | 1.63 | 7.98 | 6.58 |

上表数据显示：工程建成后，土地利用格局发生了变化，其中水域斑块因水库淹没，其优势度值由蓄水前的 1..43%上升到 3.53%；灌草地受淹没影响，耕地优势度值从 80.35%降低到 77.91%;因大坝、厂房等建设,建设用地势度值从 2.43%升高到 3.28%;其他斑块变化幅度不大。作为模地的灌草地，优势度值仍然最高，占绝对优势，分布面积最大。由此可以判定工程建成后灌草地仍然是该地区的模地，对景观生态环境质量仍将具有关键性的调控能力,表明景观生态体系的生产能力和受干扰以后的恢复能力与之前相差不大。因此，工程实施和运行不会改变区域的模地地位，对评价范围景观生态体系质量影响不大。

## 5.10 对局地气候的影响

### 5.10.1 中尺度气象模式 WRF

WRF(Weather Research Forecast)模式系统是由美国研究、业务及大学的科学家共同参与开发研究的新一代中尺度预报模式和同化系统。WRF 模式系统的开发计划是 1997 年由美国国家大气研究中心(NCAR)中小尺度气象处、国家环境预报中心(NCEP)环境模拟中心、预报系统实验室(FSL)的预报研究处和奥克拉荷马大学的风暴分析预报中心四单位联合发起建立的，由国家自然科学基金和国家海洋大气局(NOAA)共同支持。

WRF 模式采用高度模块化和分层设计，分为驱动层、中间层和模式层，用户只需与模式层打交道。在模式层中，动力框架和物理过程都是可插拔，为用户采用各种不同的选择、比较模式性能和进行集合预报提供了极大的便利。它的软件设计和开发充分考虑适应可见的并行平台在大规模并行计算环境中的有效性,可在分布式内存和共享内存两种计算机上实现加工的并行运算,模式的耦合架构容易整合进入新地球系统模式框架中。WRF 模式重点考虑从云尺度到天气尺度等重要天气的预报，水平分辨率重点考虑 1～10km。因此，模式包含高分辨率非静力应用的优先级设计、大量的物理选择、与模式本身相协调的先进的资料同化系统。WRF 模式本身有两个求解内核，ARW(高级研究用 WRF)和 NMM(非静力中尺度 WRF)。WRF-ARW 包含了众多的物理参数化方案，可以合理的对大气和陆地等各个物理过程提供参数化。被广泛的

研究到大气科学的研究领域，本报告采用的也是 WRF-ARW。为方便起见，下文中均简称为 WRF。

## 5.10.2 模式计算的基本参数

模式取三重区域，模式区域范围图 5.10-1 所示，第一重范围：80.4～122.48 ºE，9.81～ 36.6615 ºN 第二重范围：97.29～101.651 ºE ，26.81～30.6575ºN； 第三重范围：98.66 ～99.596ºE ，28.27 ～29.4625 ºN。模式基本参数如表 5.10-1。

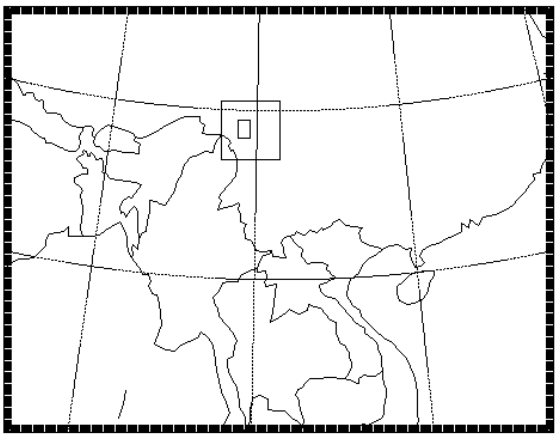


图 5.10-1 模式区域示意图

表 5.10-1 模式基本参数

| 项目 | 方案 |
|---|---|
| 区域 | 嵌套：三重；三重格距分别为： 9km，3km， 1km；一重中心：23.5℃N、101.5℃E; 三重格点数分别为：414×320，133×133，82×24； |
| 垂直层数 | 35 层（模式层顶 50hPa）； |
| 积云参数化 | Betts Miller Janjic（第 2，3 重不用积云参数化方案） |
| 边界层 | Mellor-Yamada-Janjic TKE scheme； |
| 辐射 | Dudhia 短波和 RRTM 长波； |
| 微物理过程 | Morrison (2 moments) |

模式为 2012 年 8 月 16 日发布的 3.4.1 版本。

## 5.10.3 模式的初始场和侧边界条件

本模拟中 WRF 模式采用 NCEP/NCAR 的再分析资料作为模式驱动的初始场和边界条件，该资料由美国环境中心和国家大气研究中心联合推出。资料的分辨率为 1°*1°。

间隔 6 小时，每天 4 个时次。再分析资料采用了当今最先进的全球资料同化系统和完善的数据库，对各种来源（地面、船舶、无线电探空、测风气球、飞机、卫星等）的观测资料进行质量控制和同化处理，获得了一套完整的再分析资料集，它不仅包含的要素多，范围广，而且延伸的时段长，是一个综合的数据集。能较好的再现大气的状态。所以本模拟用 NCEP/NCAR 的再分析资料作为初始场和边界条件，期望能对水库的气候进行较好的模拟。

## 5.10.4 模式检验

首先利用模拟所在区域的德钦气象站对应的气象观测资料对 WRF 模式的模拟结果进行了检验，分析计算了气温、降雨量、平均风速、相对湿度以及模拟偏差。

从表 5.11-2 中比较来看，WRF 模式的地面气温和相对湿度模拟结果与实际气象站的观测结果有着较好的一致性。对地面气温的模拟，各月份模拟值与观测值之差均小于 1 度，模拟地面气温与观测地面气温有很好的相关性。对地面相对湿度，各月份模拟值与观测值之差均小于 6.1%。对近地层风速，各月份模拟值与观测值的相对误差较大。

近地层风速误差产生的主要原因，一是 WRF 模式的模拟结果代表了一个网格内的平均态（本次模拟采用 1.0km×1.0km 网格），而德钦气象站是山区站，受地形影响较大，其观测值代表性受到限制，两者之间有一定差距；二是德钦气象站处于山面环山的特殊地形中，近地层风速受地形影响较大，受环境影响地面风速较小；三是模拟区域位于青藏高原东侧及横断山脉区域，气象观测站点稀少，模式初始场的资料完整性差，带来模拟结果的误差。

从各气象要素之间的相关性看来，地面气温和相对湿度数值模拟和观测值之间的相关性较好，对地面温度来说相关系数在 0.70 以上，对近地面湿度来说相关性略低，但大部分月份（除枯水年 2 月）相关性也在 0.6 以上。以上相关性均通过 0.05 的置信度检验。近地层风速的相关性相对较差，因此，在 WRF 模式的模拟中不采用近地层风速的模拟结果。

**表 5.10-2　模拟值与观测值之差（模拟值-观测值）**

| 年代 | 丰水年 | | | | 枯水年 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 月份 | 2 | 5 | 7 | 10 | 2 | 5 | 7 | 10 |
| 近地面温度（℃） | -0.27 | 0.3 | 0.31 | 0.42 | -0.96 | -0.37 | 0.71 | -0.03 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 近地面风速（m/s） | 0.1 | -0.64 | 0.54 | -0.49 | -0.81 | -0.16 | 0.73 | -0.63 |
| 近地面湿度（%） | -0.03 | 0.11 | -3.80 | -3.87 | -0.97 | -1.54 | -5.62 | -6.10 |

表 5.10-3　模拟值与观测值的相关系数

| 年代 | 丰水年 | | | | 枯水年 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 月份 | 2 | 5 | 7 | 10 | 2 | 5 | 7 | 10 |
| 近地面温度（℃） | 0.76 | 0.93 | 0.75 | 0.97 | 0.94 | 0.70 | 0.85 | 0.93 |
| 近地面风速（m/s） | 0.24 | 0.23 | 0.21 | 0.24 | 0.24 | 0.14 | 0.28 | 0.10 |
| 近地面湿度（%） | 0.92 | 0.69 | 0.60 | 0.84 | 0.56 | 0.65 | 0.79 | 0.76 |

## 5.10.5 工况设计

利用中尺度数值模拟系统 WRF 模式，通过修改模式下垫面参数，进行数值模拟敏感试验，对旭龙水电站及其上梯级电站即苏洼龙水电站建成前后的区域气候特征进行模拟，考虑 3 种工况下的模式预测，即：

（1）2 个电站均未建设。

（2）苏洼龙水电站建成后。

（3）旭龙水电站和苏洼龙水电站都建成后。

通过修改模式下垫面的状况，得到不同试验结果，比较不同方案的模拟结果可以得到不同工况下的水库气候效应，如工况（3）减去工况（1），即为 2 个梯级电站的气候效应，工况（3）减去工况（2），即为旭龙水电站的气候效应。

## 5.10.6 水位设计

在本报告的模拟中，各月蓄水水位正常蓄水位 2302m。在该水位下，正常蓄水位水库面积 22835.9 亩，回水长度为 63.29km，总库容 8.29 亿 $m^3$。

## 5.10.7 模拟的时间和模式区域地形

根据《金沙江旭龙水电站可行性研究报告》中对水电站径流的统计，选取丰水年 2005 年，枯水年 2002 年，每年又选取四季中的代表月份进行敏感试验，得到丰水和枯水年不同季节的气候影响。具体模拟时段为 2002 年 2 月、5 月、7 月和 10 月，

2005 年 2 月、5 月、7 月和 10 月。

WRF 模式是采用 3 重嵌套，第一重范围较大，基本包括了中国以南孟加拉湾区域以及大部分中国区域，这样模式能够包括影响云南气候的主要天气系统。第二重和第三重以旭龙水电站为中心。第三重的分辨率为 1km，范围约 81 公里（东西方向）*123 公里（南北方向）。图 5.10-2～图 5.10-4 为三重区域范围和地形高度。

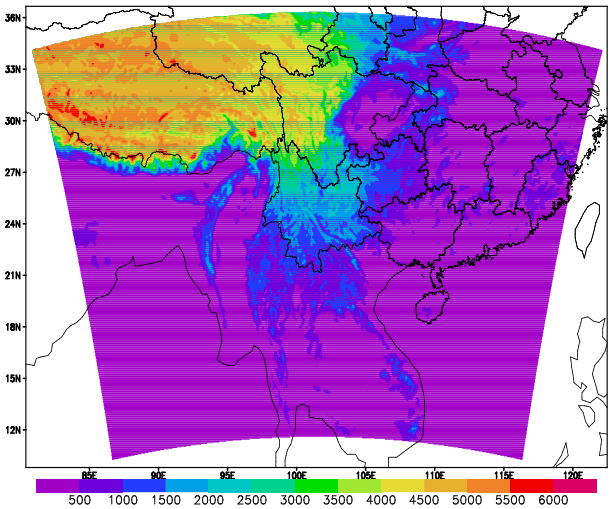



图 5.10-2 模式第一重模拟范围地形高度（单位：m）

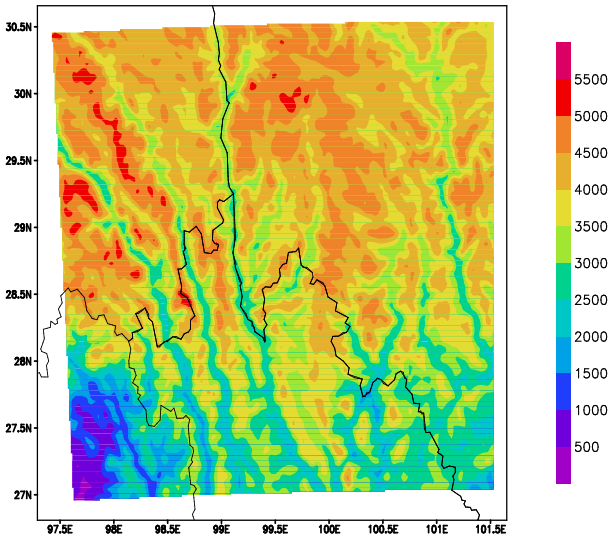



图 5.10-3 模式第二重模拟范围地形高度（单位：m）

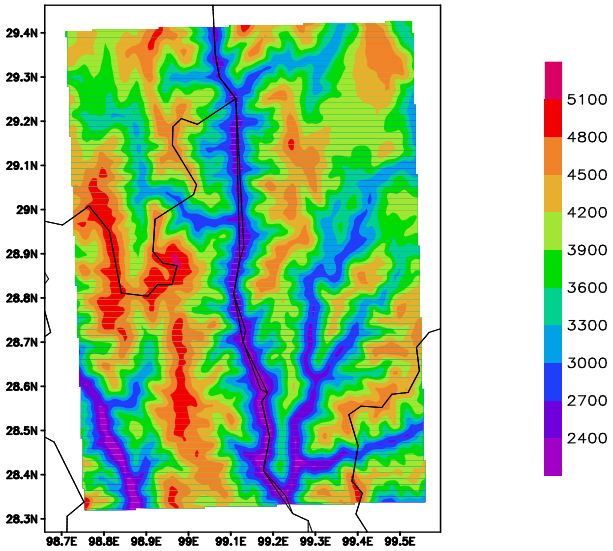
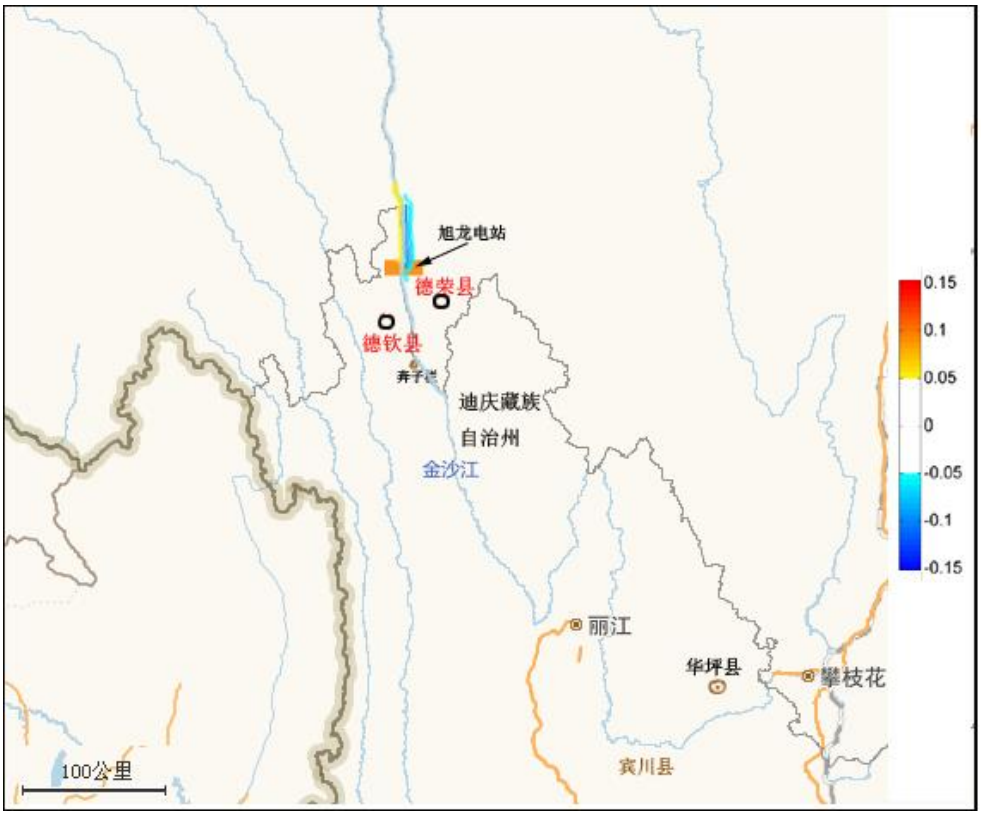



图 5.10-4　模式第三重模拟范围地形高度（单位：m）

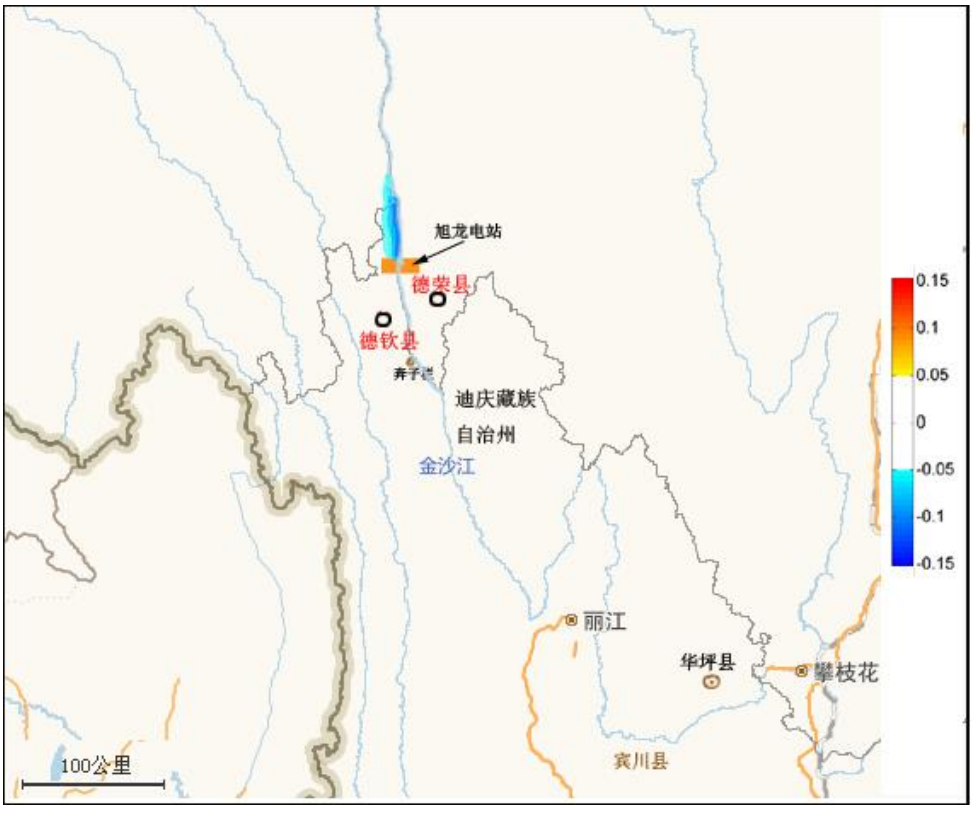
## 5.10.8 预测结果

（1）对月平均温度的影响

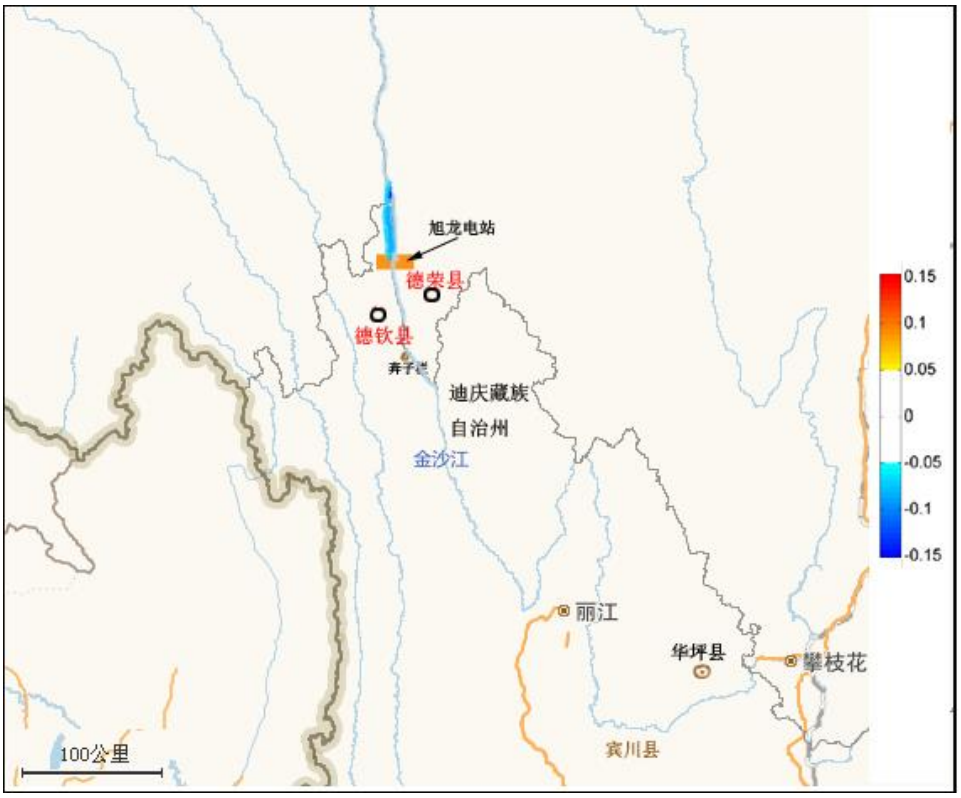
图 5.10-5 到图 5.10-6 分别为旭龙电站对丰水年、枯水年 2、5、7、10 各月月平均温度的影响。模拟结果表明在水库蓄水后在丰水年和枯水年的各个季节对库区附近近地面温度有一定的影响。但影响程度较小，温度变化的绝对值均小于 0.2 度。而且影响的范围仅限于水库库区附近。比较不同年和各个季节的变化发现，在不同年代不同季节，水库蓄水的影响程度和变化趋势都不完全相同，在丰水年的 2 月份，库区西岸气温略有上升，上升幅度约 0.04～0.06 度左右，库区东岸气温则呈现下降趋势，下降幅度约为 0.04～0.09 度左右；在丰水年的 5、7、10 月份，库区附近气温均呈下降趋势，下降幅度约为 0.01～0.12 度左右；枯水年则 4 个模拟月份的气温，在库区附近均呈下降趋势，下降幅度约为 0.01～0.18 度左右。由 4-9 到图 4-10 可见，气温下降幅度达到 0.10 度以上的并不多，丰水年仅有 2、5 月份的东岸气温下降幅度达到 0.10 度以上，枯水年仅有 2 月份气温下降幅度达到 0.10 度以上。总体而言，气温变化幅度极小，且局限于沿江地区。各月气温变化情况见表 5.10-4，从表中可见，各月平均温度西岸较东岸变化大，说明，西岸受水库影响比东岸大。


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15

（a）2 月


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15

（b）5 月




（c）7 月




（d）10 月

图 5.10-5 丰水年旭龙电站蓄水后对近地面温度的影响（单位：度）


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15

（a）2 月


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15

（b）5 月




（c）7 月




（d）10 月

图 5.10-6　枯水年旭龙电站蓄水后对近地面温度的影响（单位：度）

表 5.10-4　旭龙电站水库对近地面月平均温度的影响

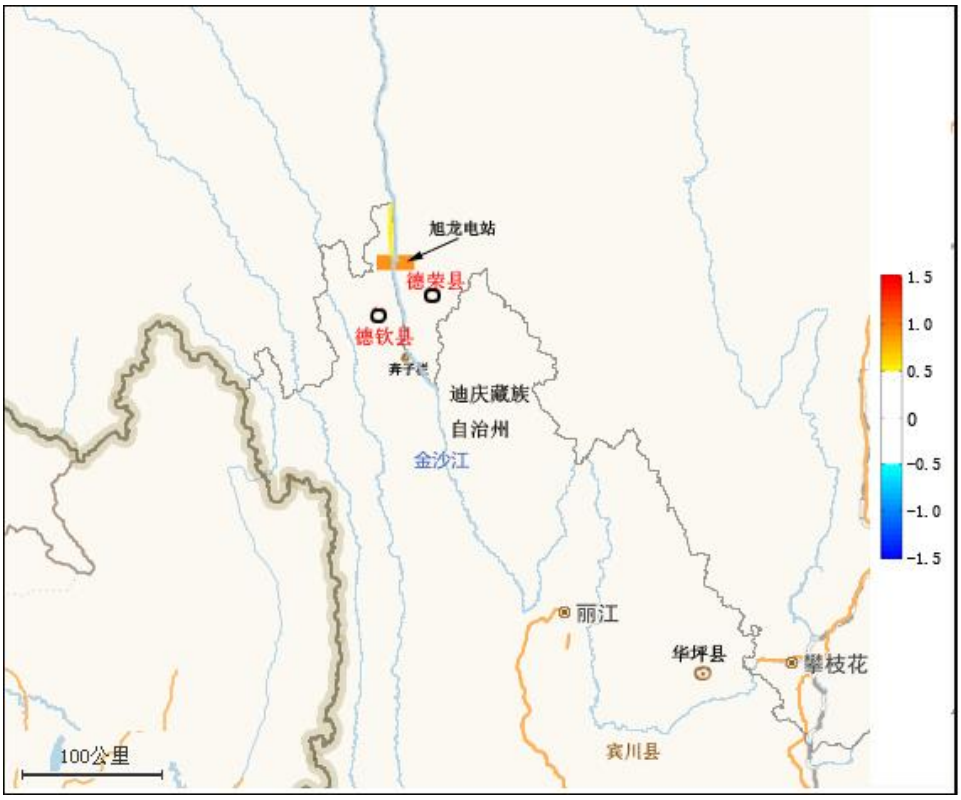
| 年 | 月 | 气温最大变化值（℃） | |
|---|---|---|---|
| | | 东岸 | 西岸 |
| 丰水年 | 2 | -0.095 | 0.056 |
| | 5 | -0.037 | -0.125 |
| | 7 | -0.017 | -0.088 |
| | 10 | -0.030 | -0.095 |
| 枯水年 | 2 | -0.114 | -0.184 |
| | 5 | -0.021 | -0.000 |
| | 7 | -0.003 | -0.072 |
| | 10 | -0.023 | -0.051 |

（2）对近地面相对湿度的影响

图 5.10-7 、图 5.10-8 分别丰水年、枯水年水库对 2、5、7、10 月份月平均近地面相对湿度的影响。模拟结果表明水库蓄水后在各个季节库区附近大多数地区的近地面相对湿度会增加。主要原因是因为水库蓄水后水面面积扩大，使得局地的蒸发量增加，但影响的程度都十分小，除丰水年 2 月份相对湿度增幅最大为 2.5%外，其余增幅均小于 1%，枯水年 2、5、7 月相对湿度增幅均小于 0.5%。因此，库区蓄水引起的湿度增加，无论是影响程度和影响范围都很小，可以忽略。



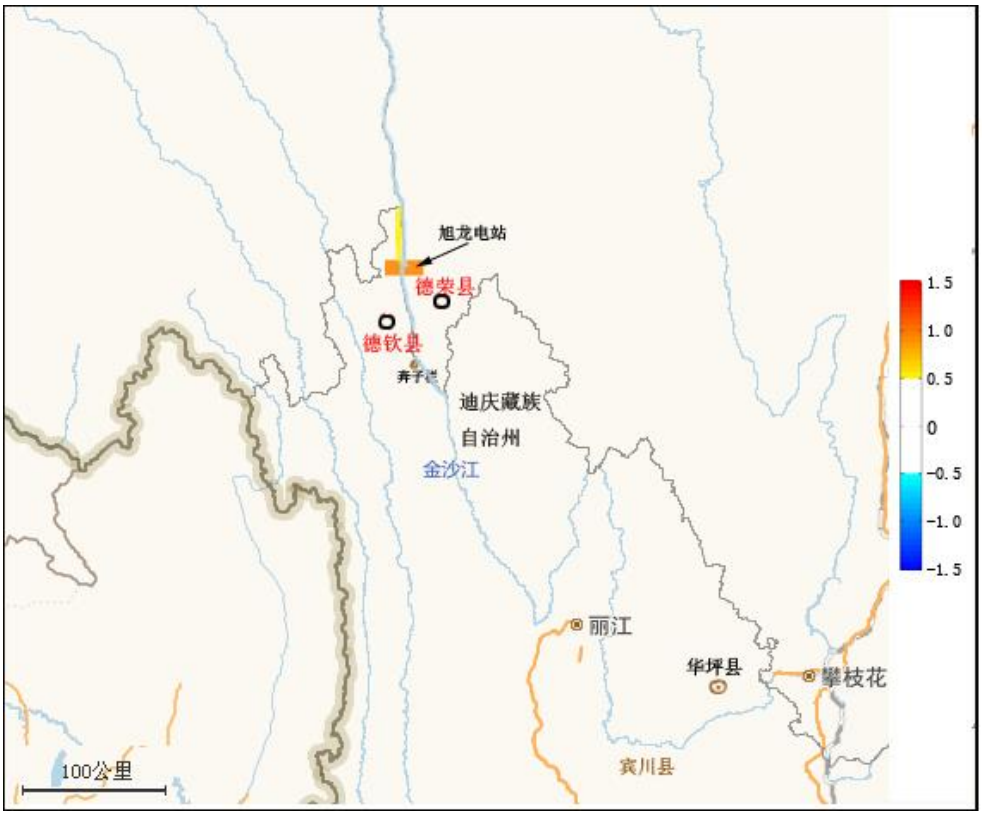

（a）2 月


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5

（c）7 月


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5

（b）5 月




（d）10

图 5.10-7　丰水年旭龙电站蓄水后对近地面相对湿度的影响（单位：%）




（a）2 月


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5

（c）7 月


旭龙电站
德荣县
德钦县
奔子栏
迪庆藏族
自治州
金沙江
丽江
华坪县
攀枝花
宾川县
100公里
1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5

（b）5 月




（d）10

**图 5.10-8 枯水年旭龙电站蓄水后对近地面相对湿度的影响（单位：%）**

（3）对降水的影响

模拟结果表明水库蓄水后在夏季对库区附近降水量有一定影响，从图 5.10-9 及图 5.10-10 可见，水库西岸 7 月降水量呈减少趋势，其中丰水年 7 月减少幅度不到 1.0 毫米，而枯水年 7 月减少幅度达 15 毫米，水库东岸 7 月降水量则呈增加趋势，其中丰水年 7 月增加幅度最大为 8.1 毫米，而枯水年 7 月增加幅度最大达 26.5 毫米，这可能跟西岸位于天气系统的背风坡，而东岸位于天气系统的迎风坡有关，库区水库蓄水后造成地面气温、湿度、高度等变化，使背风坡的焚风效应得到增强，减了降水或使得降水区域发生了变化，同时，在迎风坡激发了对对流性降水的扰动，局地对流活动加强，增加了降水。要注意的是，东岸降水量的增加幅度大于西岸降水量的下降幅度。由于干热河谷本来就干热少雨，因此，除 7 月份外，2、5、10 大部份月降水量的变化不超过 2 毫米。




图 5.10-9　丰水年 7 月旭龙电站水库对附近区域降水的影响




图 5.10-10　枯水年 7 月旭龙电站水库对附近区域降水的影响

（4）对风速的影响

WRF 模式模拟的近地层风速，模拟结果的相关性检验较差，因此，本报告不对近地层风速的模拟结果作出分析。从前述可知，近地层风速模拟结果产生误差主要是近地层风速受地形影响较大，通常条件下，风速随高度的增加而变大。随着高度增加，风速受地形影响越小，因此，可以采用 WRF 模式模拟的多层风速分析当地风速随高度变化的规律。

风速随高度的变化符合指数律，公式为：

$$V_z = V_{10}\left(\frac{Z}{Z_{10}}\right)^m$$

式中：$V_x$—Z 高度的风速；

$V_{10}$—地面 10m 高度处的风速；

$Z_{10}$—地面风测风高度，取 10m；

Z—距地面高度（≤1000m）m。

按指数律对 WRF 模式模拟的多层风速资料进行拟合，风速指数 m 见表 5.10-5。从模拟结果可见，当地风速随高度的增加速率较快，当地面 10 m 风速为 2.0 m/s 时，中性稳定度下 100m、200m、300m、500m、1000m 处的风速分别达到 4.3m/s、5.4m/s、6.1m/s、7.3m/s、9.1m/s。

**表 5.10-5　　风速指数 m 值**

| 大气稳定度 | 不稳定（B 类） | 中性（D 类） | 稳定（E 类） | 资料高度 |
|---|---|---|---|---|
| m 值 | 0.19 | 0.33 | 0.36 | 1000 以下 |

（4）小结

本章利用 WRF 模式对旭龙电站水库蓄水后的局地气候效应进行了研究。模拟区域范围 3800km×2900km，模拟时段选取丰水年和枯水年的 2、5、7、10 共 8 个月。通过模拟水库蓄水前后两种情况，比较两种情况的差异得到水库蓄水对区域气候的影响。综合比较来看，水库蓄水后对局地区域气候环境影响不明显，数值模拟结果总结如下：

模拟结果表明在水库蓄水后在丰水年和枯水年的各个季节对库区附近近地面温度有一定的影响。但气温变化幅度极小，温度变化的绝对值均小于 0.2 度，而且影响的范围仅限于水库库区附近。比较不同年和各个季节的变化发现，在不同年代不同季节，水库蓄水的影响程度和变化趋势都不完全相同，但绝大部份月份气温呈现下降趋

势。各月平均温度西岸较东岸变化大，说明，西岸受水库影响比东岸大。

水库蓄水后在各个季节库区附近大多数地区的近地面相对湿度会增加。主要原因是因为水库蓄水后水面面积扩大，使得局地的蒸发量增加，除丰水年 2 月份相对湿度增幅最大为 2.5%外，其余增幅均小于 1%，水库蓄水对近地面相对湿度影响的程度及范围都十分小，可以忽略。

水库蓄水后在夏季对库区附近降水量有一定影响，水库西岸降水量呈减少趋势，而水库东岸降水量则呈增加趋势，除 7 月份降水量变化相对较大（可达 10mm 数量级）外，2、5、10 月降水量的变化较小，不超过 2 毫米。

总体而言，水库蓄水对局地气候的影响程度在该地区自然的气候年际波动范围内。

## 5.11 环境地质影响评价

### 5.11.1 库岸稳定性分析

根据库区河谷地貌形态、不同地段的地层岩性、第四系堆积体的分布及岸坡稳定情况等进行库岸工程地质分段，库区河段可分为八段：坝址～格亚顶段（I）、格亚顶～虽丁段（II）、虽丁～木拥桥段（III）、木拥桥～美荣楼段（IV）、美荣楼～尼吕段（V）、尼吕～地巫河段（VI）、地巫河～羊拉登桥段（VII）、羊拉登桥～库尾麦曲河段（VIII）。

（1）坝址～格亚顶段（I）：岸坡长约 7.2km（左右岸合计，下同），临江山顶高程 3500～4000m，河谷狭窄，江面宽 70～85m，库岸坡角 50°～60°，局部呈陡崖状。库岸地层多，岩性较杂，出露地层主要有印支期花岗岩、晚三叠纪石英闪长岩、金沙江蛇绿岩群（DTJ）火成岩及雄松群云母片岩。库岸下部主要为花岗岩及石英闪长岩，构成块状结构岸坡。其他岩性在两侧岸坡均有分布，但云母片岩主要分布于左岸，片理面倾角 60°～75°，构成逆向坡。DTJ 地层分布于右岸，构成块状结构岸坡。该段岸坡主要以硬质岩为主，受岸坡高陡及结构面切割影响，局部存在小规模崩塌、掉块现象，第四系分布少且蓄水后全淹。岸坡总体稳定性好。

（2）格亚顶～虽丁段（II）：长约 12.8km，临江山顶高程 3500～4000m，河谷狭窄，江面宽 40～90m，库岸坡角 40°～70°，多处呈陡崖状。左岸基岩主要为雄松群云

母片岩，片理面倾角 40°～60°，倾向坡内，构成逆向坡；中上部小范围出露晚三叠纪石英闪长岩；右岸岩性较杂，中下部出露基岩为晚三叠纪石英闪长岩、金沙江蛇绿岩群（DTJ）火成岩、雄松群绢云石英千枚岩。中上部基岩为晚二叠纪石英闪长岩，其中千枚岩倾角 45°左右，倾向坡内，构成逆向坡，局部受构造影响形成顺向坡。受岸坡高陡及断裂切割影响，两岸中上部局部地段存在较严重的崩塌现象，坡底堆积大量块石；两岸中下部有一定土质岸坡分布，蓄水后可能存在变形失稳或塌岸。该段总体稳定性较差～差。

（3）虽丁～木拥桥段（III）：长约 16.1km，临江山顶高程 3500～4000m，河谷狭窄，江面宽 40～80m，库岸坡角 40°～70°，多处呈陡崖状，意大同地段高程 2220～2250 之间两岸地势相对开阔，缓坡段宽 150～200m。左岸基岩主要为雄松群云母片岩及 DTJ 块状岩，木拥桥地段为绢云石英片岩，片理面倾角 50°左右，多构成横向坡或逆向坡，局部为顺向坡。右岸中下部基岩为雄松群绢云石英千枚岩，为逆向坡；中上部为晚二叠纪石英闪长岩，局部有金沙江蛇绿岩群火成岩出露。金沙江河床两岸尤其是达拥曲沟口及意大同地段分布较广的冲洪积物或冲积、洪积与崩坡积的混合堆积物，但高程一般较低，蓄水后局部可能存在塌岸问题。该段总体稳定性好，局部土质岸坡段稳定性差。

（4）木拥桥～美荣楼段（IV）：长约 5.6km，临江山顶高程 4000～4500m，河谷相对宽缓，江面宽度变化较大，从 45～120m 不等。两岸地形不对称，左岸多为基岩陡坡，坡度 45°～75°，多处呈陡崖状，仅美荣楼地段高程 2270m 以下地形较缓。右岸地势较开阔，高程 2370m 以下以土质岸坡为主，物质组成为冲积与崩坡积的混合堆积，厚度 20～35m，坡度 20°～40°，局部可达 60°左右。两岸中下部基岩为雄松群绢云石英片岩，片理面倾角 45°左右，左岸为斜、顺向坡，右岸为逆向坡。中上部为晚三叠纪石英闪长岩及金沙江蛇绿岩群的火成岩。木拥桥右岸上、下游均有基岩出露，下游侧基岩高程较低，蓄水后全淹；上游侧基岩出露于扎日堆积体前缘，高程高于库水位。两岸基岩岸坡段工程地质条件总体较好，土质岸坡段较差。

（5）美荣楼～尼吕段（V）：长约 16.3km，临江山顶高程 4000～4500m，岸坡高陡，坡角 50°～75°，多处达 75°以上呈陡崖状，曾大同一带相对宽缓。两岸大致对称，河谷狭窄，江面宽 50～100m，总体呈南北流向。两岸以基岩为主，出露地层较简单，主要为金沙江蛇绿岩群（DTJ）的火成岩，局部见辉绿岩及晚二叠纪石英闪长岩出露，构成块状结构岸坡。受节理、裂隙等结构面切割影响，局部存在小规模的

崩塌、掉块现象。第四系堆积体较少，多为崩坡积及冲洪积成因，规模不大，分布于岸坡下部河床两岸附近，主要的崩坡堆积体有达曲 1#及 2#堆积体、尼吕堆积体，其中达曲 1#及尼吕堆积体前缘高于库水位。曾大同一带分布较广的冲洪积物，高程较低，蓄水后全淹。基岩岸坡段稳定性好，土质岸坡段稳定性较好。

（6）尼吕～地巫河段（VI）：长约 48.5km，临江山顶高程 3500～4000m，整个库段岸坡高陡，坡角 50°～75°，多处达 75°以上，局部呈陡崖状。两岸大致对称，河谷狭窄，仅冲沟沟口一带相对较开阔。江面宽 45～100m，总体呈南北流向，局部有较大拐弯。曾大同断层（$F_6$）走向与金沙江大致相同并顺河谷延伸，造成两岸岩性截然不同。左岸为金沙江蛇绿岩群（DTJ）的火成岩，零星有辉绿岩及晚二叠纪石英闪长岩出露；右岸下部为雄松群绢云石英千枚岩，倾角 40°～50°，构成逆向坡。中上部为三叠系歪古村组（$T_{3W}$）砾岩、含砾砂岩夹火山岩。第四系较少，仅在冲沟沟口、河床及岸坡地形较缓处有少量分布。库岸总体稳定性好～较好。

（7）地巫河～羊拉登桥段（VII）：长约 25. 5km，临江山顶高程 3500～4000m，整个库段岸坡高陡，坡角 50°～75°，多处达 75°以上，局部呈陡崖状。两岸大致对称，河床宽 90～200m，多处分布浅滩、沙丘，形成急流。江面宽 35～100m，总体呈南北流向，局部形成较大拐弯。两岸地层以雄松群绢云石英片岩为主，其中左岸中下部有金沙江蛇绿岩群（DTJ）的火成岩出露，右岸中上部有三叠系歪古村组（$T_{3W}$）砾岩、含砾砂岩夹火山岩出露。第四系较少，主要分布于冲沟沟口、岸坡下部河床及缓坡一带。基岩岸坡段稳定性好，土质岸坡段稳定性较好，局部较差。

（8）羊拉登桥～库尾麦曲河段（VIII）：长约 7.2km，临江山顶高程 4000～4500m，岸坡高陡，坡角 45°～65°，局部达 75°以上。河谷相对开阔，麦曲河口以下宽 150～200m，其以上宽仅 50～90m。江面宽 40～80m，总体呈南东流向。左岸中下部岩性为金沙江蛇绿岩群（DTJ）的火成岩，中上部为雄松群绢云石英片岩，倾角 40°～55°，构成横向坡。右岸为雄松群结晶灰岩、大理岩及火山岩，构成逆向坡及块状结构岸坡。第四系较少，主要分布于冲沟沟口、河床及缓坡部位，蓄水后可能出现塌岸问题。岸坡总体稳定性好～较好，土质岸坡段较差。

综上所述，旭龙水电站库岸整体稳定性较好，局部稳定性较差。

## 5.11.2 水库渗漏

金沙江是区内地表、地下水最低排泄区，坝后主要支流徐龙沟、茂顶河、库区内的主要支流格亚顶沟、中岩河、麦曲河均为长年有水的山区性河流，河床坡降大，源头高程都大于 3500m，其它一些小支流呈树枝状汇入库内河段。库区与邻谷间的分水岭雄厚，且分水岭地带 3000m 高程以下以不透水或弱透水岩体组成，金沙江西岸较大支流的源头高程都在 3000m 以上，因此水库的地形及岩性封闭条件较好，不会发生向邻谷渗漏。

贯通水库与下游的顺江断层有两条，即茂达水断层和曾大同断层，均位于右岸山体中，茂达水断层在茂顶河左岸发育一温泉，泉点高程 2402m，曾大同断层在下游茂顶河冲沟内的出露高程约为 2700m，均高于正常蓄水位 2302m，因此，库水不会沿断层向库外渗漏。

综上所述，水库封闭条件较好，库水不会向邻谷渗漏和库外集中渗漏，但是正常蓄水后，坝址上游裂隙岩体的地下水水位将大幅上升，坝址上、下游地下水水位差高达 160 多米，地下水将从坝基和两坝肩防渗帷幕下方绕渗至大坝下游，绕坝渗漏及坝基渗漏量为 3570.99$m^3$/d。

## 5.11.3 水库浸没

水库区为典型的高山峡谷型水库，岸坡地形较陡，坡度一般 40°～60°，两岸低高程阶地发育较少，库区人口数量少，农耕地面积很少。库岸两侧主要分布金沙江I、II两级阶地，阶面高程 2200~2230m，第四系堆积物多为碎石、块石夹土，水库蓄水至 2302m 后，这两级阶地均被淹没，不存在水库浸没问题。

## 5.11.4 固体径流与水库淤积

区地形起伏大、山高谷深，构造影响较强烈，外动力地质作用强烈，坡面松散物质较丰富，形成一系列的泥石流沟。区内泥石流类型主要为河谷型稀性泥石流，泥石流冲沟在金沙江边沟口迅速堆积，多在水边形成中小型堆积扇，导致江面变窄并形成险滩，蓄水后大部分泥石流堆积体将被淹没，不会对库岸稳定产生大的影响，但泥石

流冲沟的存在可能成为水库淤积的主要物源之一。

### 5.11.5 水库诱发地震

旭龙库区属高山峡谷地形，地形切割深度大。区内主要为变质岩、岩浆岩，少量可溶性岩分布在 4000m 高程以上，基岩大部分裸露，局部覆盖较薄的第四系松散堆积层或古老滑坡体。

据《金沙江旭龙水电站预可行性研究报告》,库区内发育有区域性曾大同断裂（F6），沿金沙江近南北向展布，断层规模较大，根据该断裂带的性状及上覆三级（或四级）阶地堆积物平稳覆盖的特征，判定其为非工程活动断裂，在库区内沿该断裂没有发生过 4.7 级以上地震，据此判定旭龙水库区不会发生构造型（断层破裂型）水库诱发强震。

库区岸坡主要为岩质岸坡，岩性主要为变质岩及岩浆岩，受构造影响，岩坡岩体裂隙发育，加上两岸地形陡峭，在重力作用下，岸坡岩体易向临空方向产生卸荷拉裂现象。

综合以上水库区地形地质条件，旭龙水电站建成后，存在地壳表层卸荷型（浅表应力局部调整型）水库诱发地震的可能。

综上所述：旭龙水电站工程建设基本上不会对地下水水质产生直接影响。工程建设虽然对地下水流场有一定改变，但地下水流速和流向变化不大，且评估区以基岩裂隙水为主，基岩岩性又主要为不溶或难溶岩，故也不会因流场的变化间接对地下水水质产生明显影响。

### 5.11.6 运行期泄洪雾化的影响分析

泄洪雾化是泄水建筑物泄洪时伴生雨、雾的一种现象。主要雾源来自于泄洪雾化-挑流水体高速落入下游河床，水体反弹，激溅四周，抛向空中的小块水滴形成泄洪雾化，其高度通常与水舌最大高度相近。升腾的水雾部分在附近区域下落，返回河床或落在近岸区域；部分在风力作用下向四周但主要是向下游方向和高处扩散，逐渐形成云雾。

旭龙水电站最大坝高 213m，坝身设有 3 个表孔和 4 个中孔。采用挑流泄洪方式，

具有“高水头，大流量，窄河谷”的特点。长江设计院联合天津大学开展了旭龙水电站下游泄洪消能雾化影响专题研究。

挑流泄洪雾化就是水舌在空中运动时，从水舌边缘逸出的水滴和水汽以及入水后由于喷溅作用从水面抛出大量水团、水块、水雾，受气流、地形等条件的影响而产生的雨雾现象。原型观测成果表明，空中水舌掺气扩散形成的雾化源不大，雾化源主要来自水舌落水附近水的喷溅。水舌入水时，与水面间形成强烈的激溅作用，激溅起来的水团或水滴可近似地看作弹性体在重力，浮力，空气阻力作用下以不同的出射角度、速度做抛射运动，这些高速溅起的水团或水滴在一定范围内产生强烈的“水舌风”或“溅水风”，水舌风又促进水团或水滴向更远处扩散，即向下游和两岸山坡扩散。根据雾化水流各区域的形态特征和形成降雨的强弱，将雾化水流分为两个区域，即强暴雨区和雾流扩散区。强暴雨区的范围为水舌入水点前后的暴雨区和溅雨区；雾流扩散区，包括雾流降雨区和雾化区，分区示意图如图 5.10-1 所示。

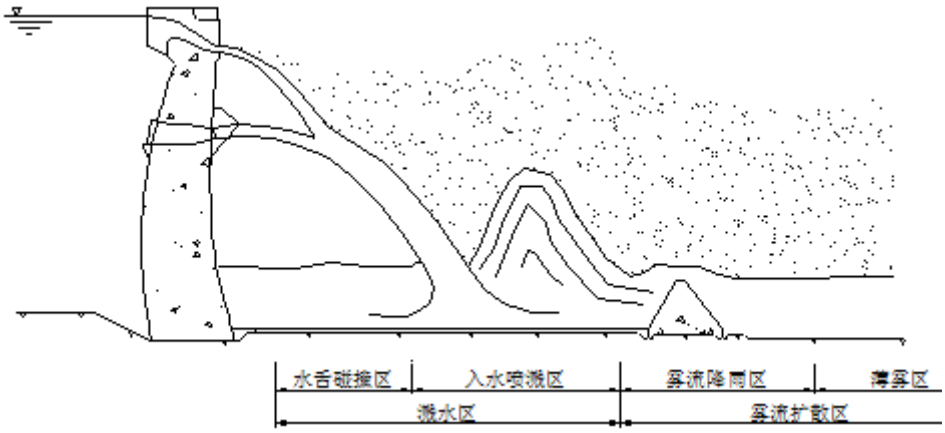



**图 5.11-1　　挑流泄洪雾化降雨分区示意图**

根据泄洪水流从出射到雾化这一运动过程中发生的力学行为，将其划分为挑流水舌空中运动、挑流水舌入水喷溅、雾流扩散等运动模式。

挑流水舌空间扩散方程如下：

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dx_1}{dt} &= x_4 \\
\frac{dx_2}{dt} &= x_5 \\
\frac{dx_3}{dt} &= x_6 \\
\frac{dx_4}{dt} &= -\frac{c_f \rho_a x_4 (x_4^2 + x_5^2)^{1+0.75n}}{\alpha_1 \rho_w g^{0.5n} q^{1+0.5n}} \\
\frac{dx_5}{dt} &= -\frac{c_f \rho_a x_5 (x_4^2 + x_5^2)^{1+0.75n}}{\alpha_1 \rho_w g^{0.5n} q^{1+0.5n}} + \frac{\rho_a g^{1-0.5n} (x_4^2 + x_5^2)^{0.75n}}{\alpha_1 \rho_w q^{0.5n}} - g \\
\frac{dx_6}{dt} &= -(x_4^2 + x_5^2)^{-0.5} [\frac{c_f \rho_a x_4^2 (x_4^2 + x_5^2)^{1+0.75n}}{\alpha_1 \rho_w g^{0.5n} q^{1+0.5n}} \\
&+ \frac{c_f \rho_a x_5^2 (x_4^2 + x_5^2)^{1+0.75n}}{\alpha_1 \rho_w g^{0.5n} q^{1+0.5n}} - \frac{\rho_a g^{1-0.5n} x_5 (x_4^2 + x_5^2)^{0.75n}}{\alpha_1 \rho_w q^{0.5n}} + g x_5 ] \\
x_1(0) = 0, x_2(0) &= z_0, x_3(0) = 0, x_4(0) = v_0 \cos\theta, x_5(0) = v_0 \sin\theta, x_6(0) = v_0
\end{aligned}\right\}$$

式中：$c_f$ 为空气阻力系数，$v$ 为水舌断面的平均流速，$q$ 为挑流水舌的单宽流量，$z_0$ 为鼻坎出口高程与下游水位之差，$\theta$ 为鼻坎挑角。

挑流水舌入水喷溅方程如下：

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dx_1}{dt} &= x_4 \\
\frac{dx_2}{dt} &= x_5 \\
\frac{dx_3}{dt} &= x_4 \\
\frac{dx_4}{dt} &= -c_f \frac{3}{4D} \frac{\rho_a}{\rho} \sqrt{\left(x_4 - v_{fx}\right)^2 + \left(x_5 - v_{fy}\right)^2 + \left(x_6 - v_{fz}\right)^2} \left(x_4 - v_{fx}\right) \\
\frac{dx_5}{dt} &= -c_f \frac{3}{4D} \frac{\rho_a}{\rho} \sqrt{\left(x_4 - v_{fx}\right)^2 + \left(x_5 - v_{fy}\right)^2 + \left(x_6 - v_{fz}\right)^2} \left(x_5 - v_{fy}\right) \\
\frac{dx_6}{dt} &= -c_f \frac{3}{4D} \frac{\rho_a}{\rho} \sqrt{\left(x_4 - v_{fx}\right)^2 + \left(x_5 - v_{fy}\right)^2 + \left(x_6 - v_{fz}\right)^2} \left(x_6 - v_{fz}\right) + \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \\
x_1(0) = 0, x_2(0) &= 0, x_3(0) = 0, x_4(0) = v_0' \cos\beta\cos\Phi, x_5(0) = v_0' \cos\beta\sin\Phi, x_6(0) = v_0' \sin\beta
\end{aligned}\right\}$$

式中：$\beta$ 为水滴出射角，$\Phi$ 为水滴的偏移角，$D$ 为水滴直径，$v_0'$ 为初始抛射速度。

挑流水舌入水喷溅公式如下：

$$C_m(x) = \int_0^\infty C(x,y)dy = e^{-k^2 x} \frac{2\varepsilon\omega c_1 + 4\varepsilon^2\gamma C_2}{4\varepsilon^2\gamma^2 - \omega^2}$$

式中：$C$ 为水雾浓度，$\omega$ 为水滴降速，$\varepsilon$ 为扩散系数。

降雨强度公式如下：

$$q(x)=\frac{[C_m(x)-C_m(x+\Delta x)]\cdot v_f}{2\Delta x}=-\frac{v_f}{2}\frac{dC_m}{dx}$$

旭龙水电站的泄洪雾化计算，以坝轴线与泄洪中心线的交点为坐标原点建立坐标系统，选取坝轴线上游-300m～下游 1900m，宽 1500m，高 600m 的范围作为泄洪雾化的预测计算区域，地形边界条件见图。应用蒙特卡罗方法计算单位时间内降落到边界小立方块内的雨滴量的数学期望作为该小区域的平均降雨强度。

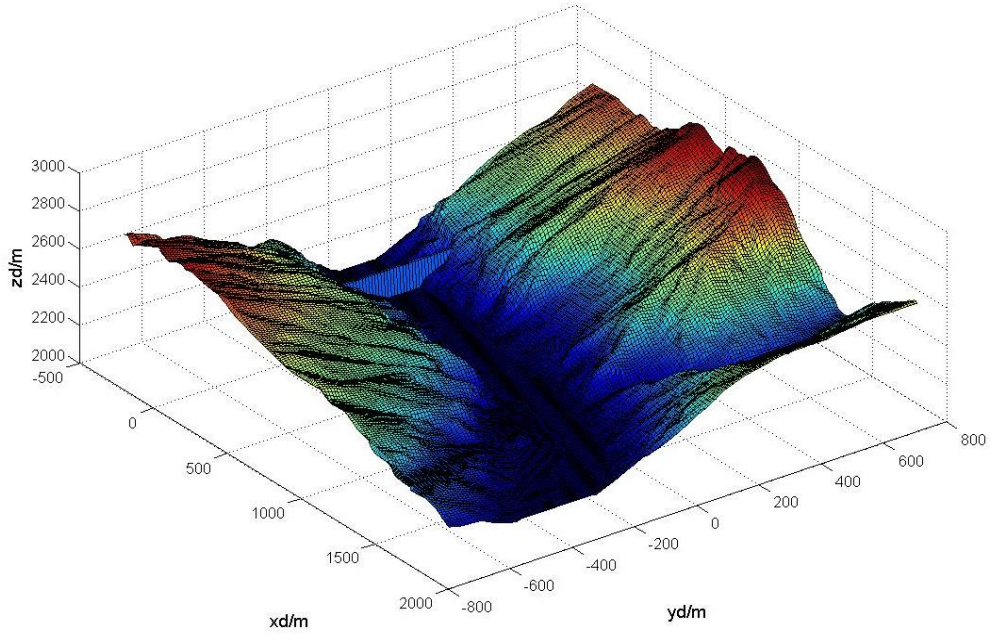



图 5.11-2　　泄洪雾化地形表面图

据调洪演算显示，旭龙水电站设计洪水（0.1%）坝前水位为 2302.47m，校核洪水（0.02%）坝前水位为 2304.87m。正常蓄水位下，表、中孔泄流能力相当，均可单独宣泄频率约 20%的常遇洪水。

基于金沙江旭龙水电站专用气象站 2012～2015 年特征值统计表，选取气象参数。不利风向包括风向 SSW、风速 11.1m/s；风向 NE、风速 11.1m/s；风向 S、风速 9.4m/s。因此，计算分别选取无自然风情况（WF）；风向 SSW、风速 11.1m/ s 工况（YFA）；风向 NE、风速 11.1m/s 工况（YFB）；风向 S、风速 9.4m/s 工况（YFC）；风向 NS34°，风速 11.1m/s 工况（YFD）。

根据雾化研究成果，校核洪水工况的泄洪雾化影响范围最大，选取 PMF 校核工况，对无风和 4 种不利风场的 5 种计算工况，进行新体形雾化范围预测计算。校核工况下为 3 表孔和 4 中孔全开。3 表孔下泄总流量为 6183$m^3$/s，4 个中孔下泄总流量为 4957$m^3$/s。计算组次见表所示。

表 5.11-1　　旭龙水电站泄洪雾化研究组次表

| 组次 | 运行情况 | 泄洪量（$m^3/s$） | 库水位（m） | 下游水位（m） | 表孔（3-12m×16m） | | 中孔（4-7m×5m） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 校核洪水（PMF） | 11140 | 2304.87 | 2167.47 | 6183 | 三孔全开 | 4957 | 四孔全开 |

计算工况如下：

（1）WF；

（2）YFA 风向 SSW，风速 11.1m/s；

（3）YFB 风向 NE，风速 11.1m/s；

（4）YFC 风向 S，风速 9.4m/s。

（5）YFD 风向 NW，风速 11.1m/s。

各工况泄洪雾化计算结果如下：

表 5.11-2　　校核工况旭龙水电站各风场作用下的泄流雾化范围计算结果表

| 编号 | 风场 | 风向 | 风速（m/s） | 雨强(mm/h) | 纵向范围(m) | | 左高程(m) | 右高程(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | WF | | | 40 | 76.00 | 653.25 | 2336 | 2324 |
| | | | | 60 | 81.51 | 612.23 | 2317 | 2320 |
| | | | | 100 | 88.11 | 584.77 | 2311 | 2297 |
| 2 | YFA | SSW | 11.1 | 40 | 67.22 | 627.87 | 2347 | 2317 |
| | | | | 60 | 77.48 | 607.51 | 2342 | 2291 |
| | | | | 100 | 84.96 | 535.32 | 2325 | 2256 |
| 3 | YFB | NE | 11.1 | 40 | 68.09 | 653.82 | 2316 | 2333 |
| | | | | 60 | 71.50 | 541.82 | 2311 | 2331 |
| | | | | 100 | 85.34 | 617.39 | 2282 | 2322 |
| 4 | YFC | S | 9.4 | 40 | 57.97 | 617.84 | 2345 | 2310 |
| | | | | 60 | 63.22 | 592.25 | 2335 | 2292 |
| | | | | 100 | 76.08 | 517.82 | 2312 | 2280 |
| 5 | YFD | NW | 11.1 | 40 | 88.00 | 718.19 | 2332 | 2323 |
| | | | | 60 | 89.27 | 690.36 | 2308 | 2320 |
| | | | | 100 | 93.70 | 660.66 | 2292 | 2294 |

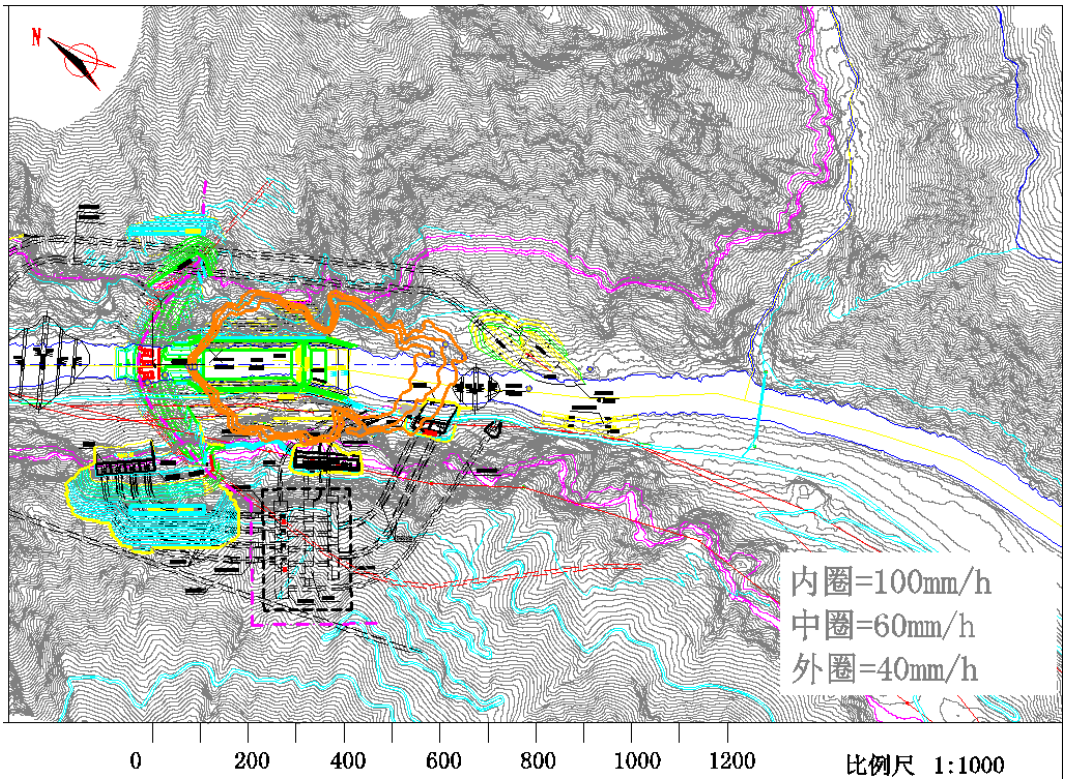



图 5.11-3　　WF 工况泄洪雾化范围图

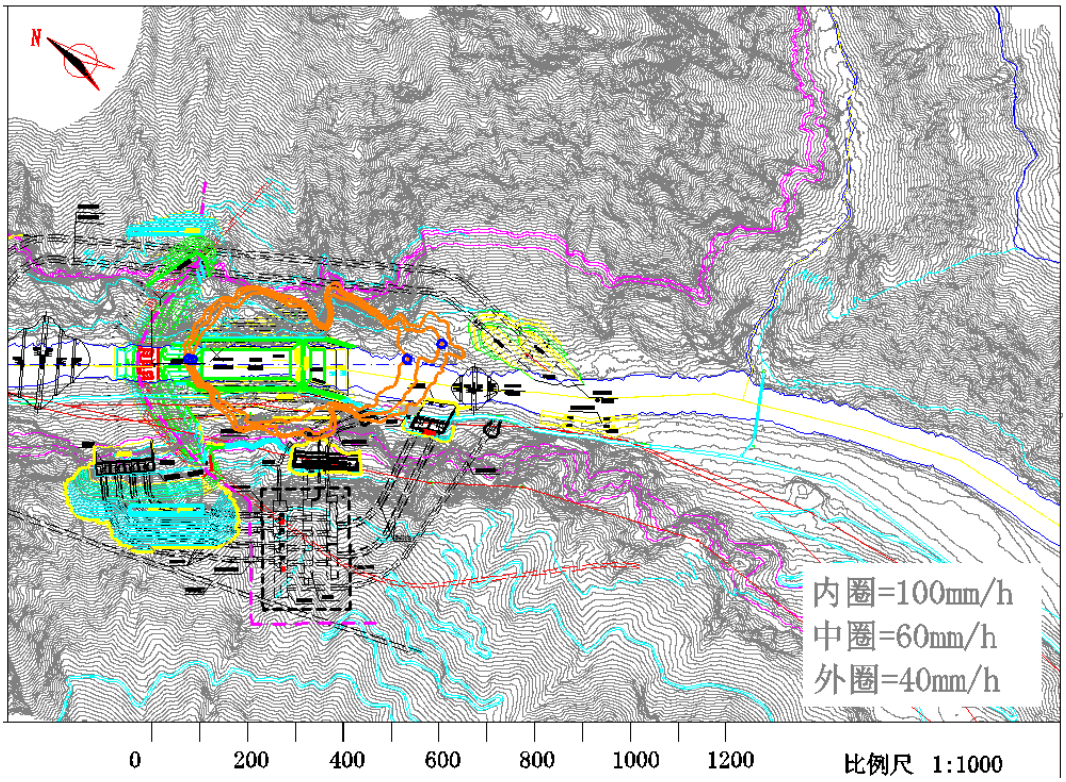



图 5.11-4　　YFA 工况泄洪雾化范围图

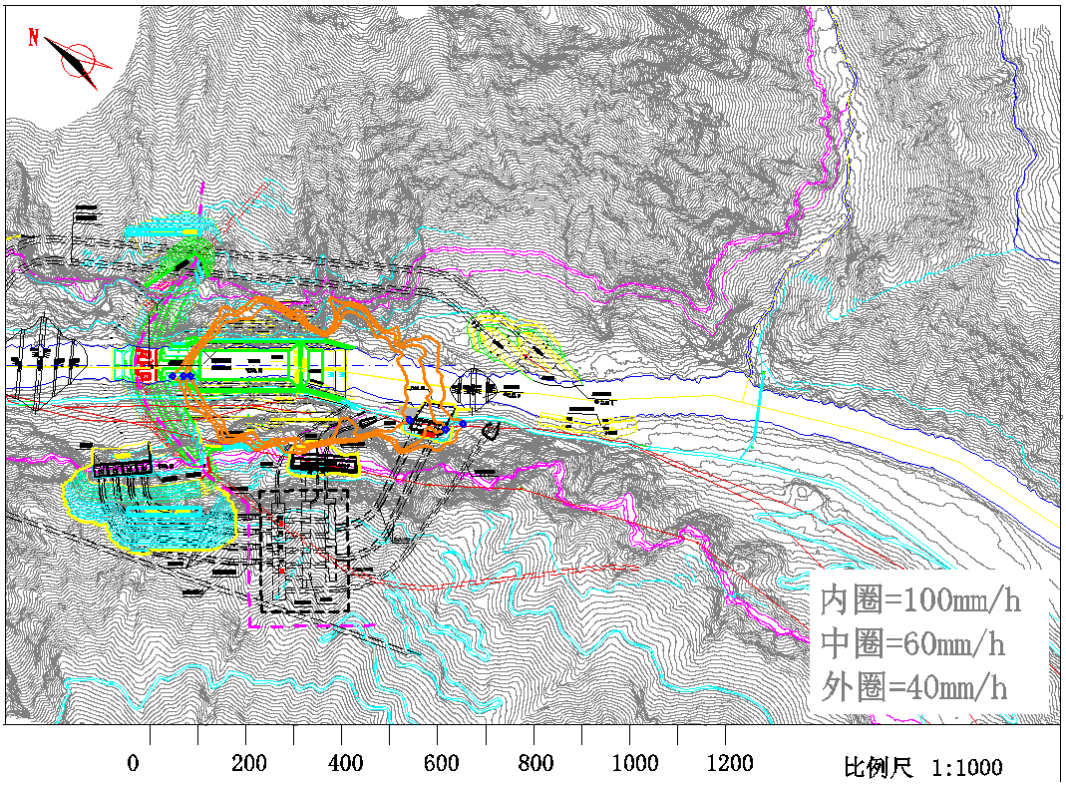



图 5.11-5　　YFB 工况泄洪雾化范围图

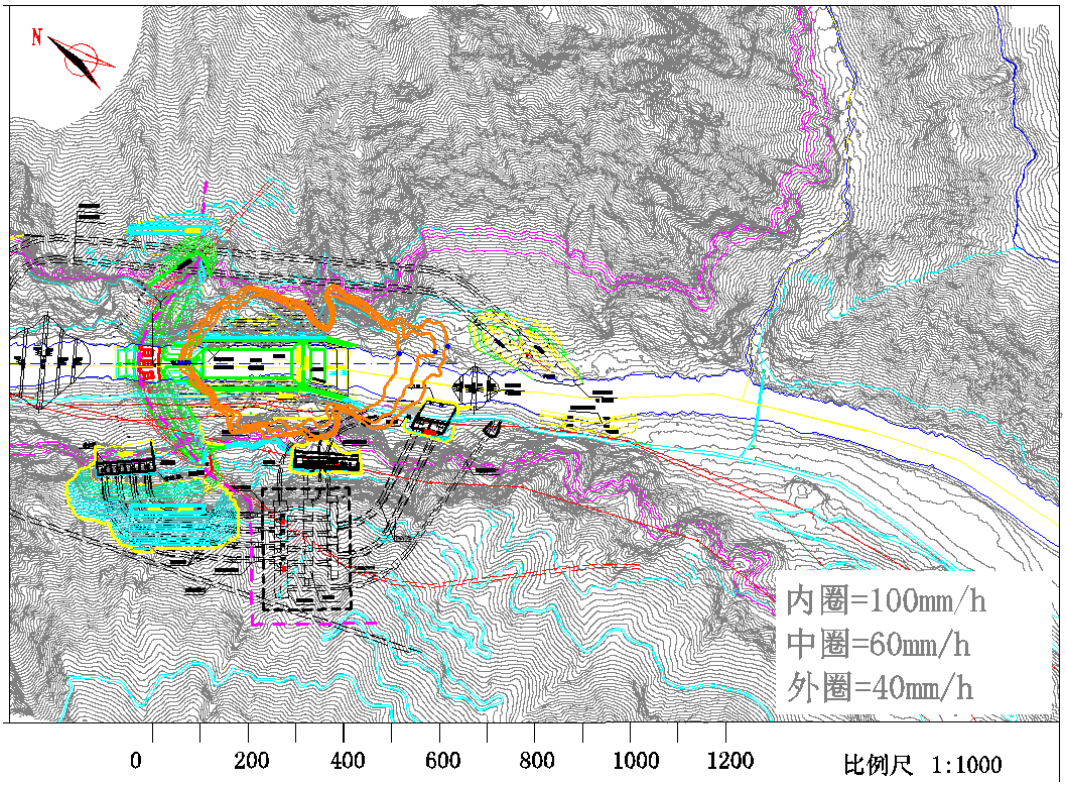



图 5.11-6　　YFC 工况泄洪雾化范围图

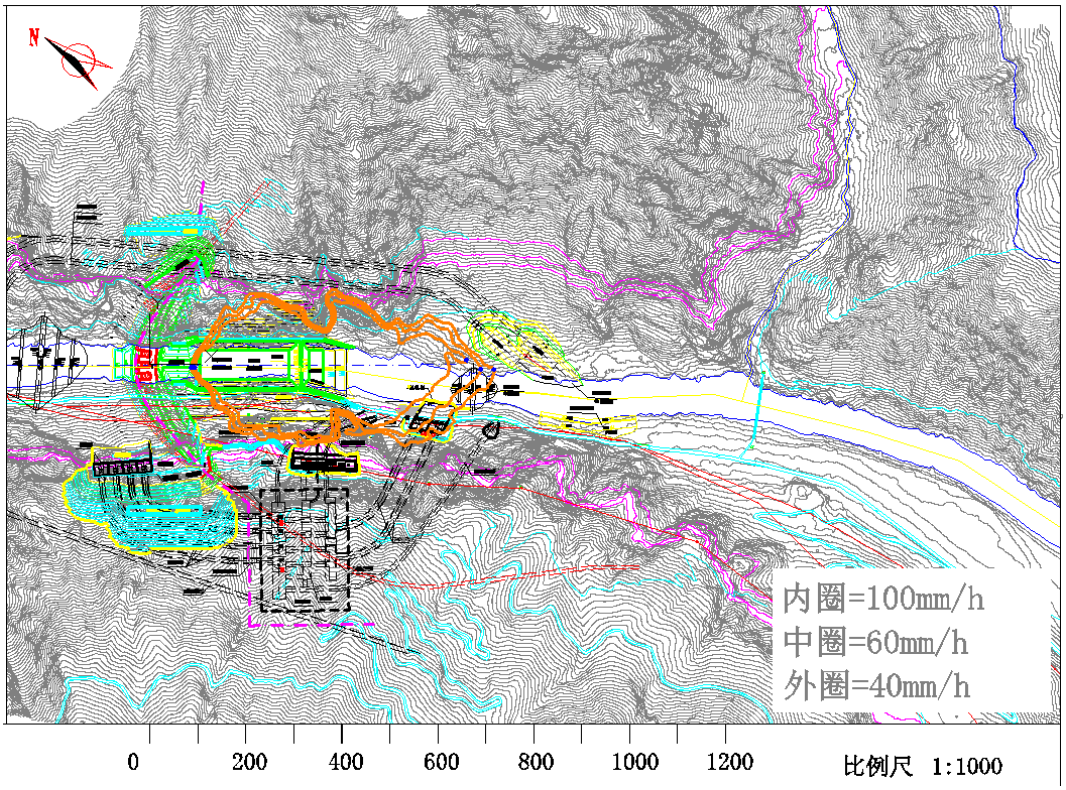



图 5.11-7　YFD 工况泄洪雾化范围图

计算结果显示：

（1）无风工况下，坝身泄洪雾化 100mm/h 纵向距坝轴线 88.11～584.77m，横向左最扩散至 2311.00m 高程以下，横向右扩散至 2297.00m 高程以下；40mm/h 的雨强等值线距坝轴线的纵向最大雾化范围为 76.00～653.25m，左岸最大高程 2336m，右岸最大高程 2324m。

（2）在最不利风速作用下坝身泄洪雾化 100mm/h 纵向距坝轴线 93.70～660.66m，横向左最扩散至 2292.00m 高程以下，横向右扩散至 2294.00m 高程以下；40mm/h 雨强线纵向范围最远距坝轴线 718.19m，横向左扩散至 2347 高程以下，横向右扩散至 2333.00m 高程以下，右岸尾水隧洞出口平台与进厂交通洞口应做好相应防护工作。

（3）在 100mm/h 雨强等值线内包络区，可能引起山体滑坡和建筑物的毁坏，因此要对此范围内两岸山体进行防护，设马道和排水沟，并避免将建筑物建在该范围内。

（4）在 40mm/h 雨强等值线包络区内，雾雨可能对工程造成危害，对建筑物应加以防护，两岸山体应采取喷混凝土护坡、设马道及排水沟等措施。

## 5.12 社会环境影响评价

### 5.12.1 对社会经济的影响

（1）施工期对社会经济的影响

工程区所处地区地理位置相对偏远，区域经济以农业为主，工业与商品流通业发展滞后，经济水平不高，然而随着工程的建设将为当地经济的发展带来新的发展契机。由于工程建设过程中将投入大量的建设资金，所需的水泥、土石料、钢材、木材等大量建筑材料部分可在当地就近解决，可为当地的企业带来一定的经济效益，促进地方建材、运输等行业的发展。

工程建设所需劳动力较多，给当地人员就业提供了便利。工程建设还将拉动商贸、餐饮、住宿和其他服务性行业的发展，第三产业的发展有利于地方农业产业结构的调整，从而使地方经济得到较大的发展。以施工人员每人每月平均消费 300 元计，施工高峰期人数 5265 人，施工期 98 个月，在工程施工期间，可使当地平均消费额每年增加施工期间可使当地消费额每年增加 1895 万元，施工期间共增加 15479 万元。

（2）运行期对社会经济的影响

旭龙水电站发电效益大，电站装机规模达 2400MW，联合运行情况下，年发电量 103.19 亿 kW ħ，是金沙江上游水电基地的重要组成部分，是“西电东送”的重要电源之一。优质的电能，对于改善我国的能源结构，缓解东、中部地区电力供需矛盾具有重大意义。旭龙水电站主要隶属藏族自治区，区内交通不便，旅游资源等开发利用程度低，库区经济以农业为主，属于我国西部贫困的少数民族地区。随着水电站的兴建，大量建设资金的投入、区内交通设施的改善，为库区的经济发展创造了良好的机遇。工程建成后，其巨大的发电效益，除可实施“西电东送”外，还可为当地的矿产资源开发提供大量廉价电源，从而促进矿产资源开发，变资源优势为经济优势；通过发电税收，还可增加地方政府的财政收入。

水库兴建有利于库区的生活、工业和农业用水，从而改善居民生活饮用水的卫生状况，有利于防止传染病的流行，有利于地区工农业的发展。

水库面积增大，可改善库区干热河谷气候，有利于库区植物的生长。水电是廉价、可再生的清洁能源，与火电相比，具有资源耗损小，不产生大气污染的优点。据测算该电站替代相同规模的火电后，每年可节约标煤 430 万 t，大量减少 $SO_2$、$CO_2$ 等燃

煤污染气体及烟尘的排放。在广大山区推广以电带柴，也能减少因砍伐树林而对当地生态环境的破坏。

因此，旭龙水电站的建设不仅能推动地方社会、经济的发展，改变库区贫困落后的状态，而且对长江流域的社会、经济可持续发展及实现我国西电东送的伟大战略目标具有重要意义。

### 5.12.2 对少数民族文化与宗教的影响

旭龙水电站库区地跨四川省甘孜藏族自治州、云南省迪庆藏族自治州，区内人口有 92%属少数民族，以藏族为主，藏族聚集区。藏族居民有特定的宗教信仰与风俗习惯，工程建设对少数民族生产生活习惯、局部的社会关系将产生一定影响。由于移民均在本县、本乡或邻乡内安置，搬迁到新址后，需要一段时间的适应。

工程建设后，可带动地方经济的发展，改善当地交通条件，大大提高社会资源的流动性；更重要的是在开发旅游业的同时，将会有更多的人力、物力和财力投入到民族文化的保护抢救、继承和发展中。

建议下阶段对库区存在的宗教寺庙进一步调查，制定详细的搬迁方案时，充分尊重少数民族宗教信仰。在移民搬迁问题上，对于集中安置点的选择，除了考虑场址的地质条件、土地承载力、用水排水等因素，还应慎重考虑藏区移民与原住民之间，由于归属不同教派，而产生矛盾的可能性。

### 5.12.3 对当地交通的影响

旭龙水电站的建设，将带动当地公路交通等基础设施的建设。移民安置规划中的专业项目复建包括等级公路复建、公路桥复建、过江大桥复建、库周交通复建等，交通复建方案结合了库区实际和行业规划，有利于库区经济发展，方便群众生活且经济合理。

旭龙水电站工程坝址右岸有羊拉公路通过，羊拉公路南接得荣公路和 G214 国道，北至羊拉乡和羊拉铜矿，公路已经多次改建，现标准为三级公路，路基宽度约为 7.5m，沥青混凝土路面。羊拉公路将作为设备进场道路，大型施工机械的碾压，将对该公路产生不利影响。

## 5.12.4 水库运行对下游河段安全保障的影响

旭龙水电站工程下游河段 20km 处，金沙江右岸是奔子栏镇的达日开发区，左岸为得荣县因都坝移民区；70km 处为奔子栏镇。电站建成运行后，电站日调节期间下泄不稳定流，可能对在河滩上作业游玩人员生命财产安全带来的不利影响。建设单位有责任采取有效的对策措施，对上述危险予以警示和预防。

## 5.12.5 对文物古迹的影响

根据云南省文物考古研究所调查，旭龙水电站枢纽工程建设区临时征地范围内，有羊拉乡茂顶河口藏文石刻群，位于茂顶河电站机房北部，金沙江边羊拉公路两侧，在旭龙水电站下坝址施工临时征地范围内，距茂顶河人工骨料开采场西北约 300 多 m 处。年代早的可能到明代或清代，晚的可能到近代。

经专家讨论研究，提出如下处理意见：茂顶河口藏文石刻群具有较高的文物保护价值，处于电站下坝址施工临时征地范围内，旭龙水电站工程目前所涉及的建设项目不会对此处文物古迹造成直接破坏或影响，文物部门暂不做进一步保护工作。但考虑到文物古迹在茂顶河改道隧道附近，在施工过程中应注意保护，在修建施工便道、取土、炸石及修建附属设施时应避开此处文物古迹。

根据四川省文物考古研究院、西藏自治区文物保护研究所调查，旭龙水电站建设征地范围四川省和西藏自治区境内不存在其它地面和地下文物古迹。

## 5.12.6 移民安置工程环境影响预测与评价

旭龙水电站移民安置工程主要包括农村移民安置以及专业项目迁复建对环境产生的影响。其中，农村移民安置包括生产和搬迁安置，专业项目主要包括交通工程、电力通信工程以及供水工程等。移民安置工程的建设及运行对移民安置区及其周边环境产生一定程度的影响。

### 5.12.6.1 农村移民安置环境影响

旭龙水电站移民安置活动主要包括农村搬迁安置、生产安置。农村移民安置活动对水环境的影响主要体现在搬迁安置点安置完成后居民生活污水对环境的影响，对生

态的影响主要体现在施工占地对陆生动植物的占压及惊扰影响，对声环境以及环境空气的影响主要体现在施工产生的机械噪音以及扬尘等引起，固体废物对环境的影响主要由安置点建成后居民生活垃圾导致。

（1）水环境

1）施工期

施工期移民安置对水环境的影响主要来自施工人员产生的生活污水、房屋建设和配套设施建设中产生的废水等。房屋建设和配套设施建设中排放的废水主要含 SS，且浓度较高，但由于其排放量极小，且安置点附近以冲沟为主，非雨季无水体存在，施工废水排放基本不会形成径流，对地表水体水质影响很小；施工期间，对地表水体可能产生影响的主要是施工人员生活污水，由于安置点施工人员总体较少，排放废污水量较小，且污水成分主要是易降解的有机物，为了保护居民周围水环境，施工前可先建设化粪池，安置点建设期间施工人员生活污水可利用化粪池进行处理。

2）运行期

据初步调查，旭龙水电站移民集中安置点人口规模均较小，根据同类型工程类比，其生活污水每日排放量不超过 60t，若其直接排放将影响安置点周边的水体及土壤，因此需进行处理后达标排放或回用。

（2）生态

1）陆生植物

旭龙水电站农村移民安置点建设过程中对陆生植物的影响主要有农村移民生产开发、居民点建设所占用耕地或林草地等。

①临时占地对植被的影响

移民安置点建设过程中，施工营地、弃渣场、料场等临时占地区域对植被的影响是暂时的，施工结束后通过水土保持植物措施及时绿化，恢复地表植被。

②永久占地对植被的影响

农村移民生产安置使部分林草地和荒地开发为农田；农村搬迁安置使安置点原有的旱地、林草地和荒地转变为建筑用地，使区域的土地利用方式发生改变，移民安置区植物资源的数量减少，从而使移民安置区生物量减少。由于生产安置和搬迁安置占用的植物种类，以农作物为主，少量的灌草种类和人工林种类，这些植物种类均为移民安置区周边很常见的种类，因此移民生产安置和搬迁安置活动不会改变区域植物种类。

③农村移民安置临时搬迁道路的修建对植被的影响

农村移民安置还承担修建库区临时搬迁道路的任务，临时道路占用的植被类型以荒草地为主，少量灌木林地。临时道路在移民安置完成后将进行植被恢复，因此临时道路对植物资源和生物量的影响仅限于移民安置期间，移民搬迁完毕后，通过植被恢复，影响将消失。

2）陆生动物

①对两栖和爬行类的影响

主要受影响的种类为灌丛石隙型爬行类的草绿攀蜥、棕背树蜥，陆栖型两栖动物的乡城齿蟾、圆疣蟾蜍、西藏蟾蜍和昭觉林蛙等种类，移民安置施工占地可能占用这些动物的栖息环境，土石方开挖可能伤害这些部分在灌丛下面，经常活动路边石缝中的爬行类。施工生产废水和生活污水移民安置区附近水域造成污染，从而对两栖和爬行类生活的水质。施工噪声对两栖和爬行类的驱赶作用。施工人员或移民对这些野生动物的捕杀亦会造成这些动物种类数量的减少。

②对鸟类的影响

黄臀鹎、白鹡鸰、大山雀、北红尾鸲等在移民安置区较常见，由于鸟类善飞翔，移民安置活动对其影响主要是施工占地对其生境的占用，施工噪声对鸟类的驱赶作用，但不会减少鸟类的数量。施工人员或移民对野生鸟类的捕杀，将造成鸟类资源的减少。

③对兽类的影响

主要受影响的兽类包括树栖型兽类（缅树鼩、赤腹松鼠、隐纹花松鼠等）、岩洞栖息型兽类（包括托氏菊头蝠）以及各种鼠类。这些兽类移动能力较强，移民安置活动主要是对这些兽类的栖息地占用和施工噪声的驱赶作用。另外，施工人员或移民对小型兽类的捕杀，将造成这些兽类资源的减少。

（3）环境空气

根据同类型工程分析，旭龙水电站农村移民安置对环境空气产生的不利影响主要在移民安置建设期，移民安置过程中的场地平整、边坡开挖，以及排除不稳定岩体或荷载等均需要采用爆破作业，爆破对环境空气产生的污染物有粉尘、$NO_2$、CO 等。移民安置建设施工活动中使用的主要机械设备和汽车大多以汽油或柴油为燃料，此类机械设备的运行过程中，将会排放 $NO_2$、$SO_2$ 等污染物质。需加强建设阶段居民环境空气保护工作。

安置完成后，农村移民安置点环境空气的影响主要是居民燃烧燃料所产生的烟气，

主要污染物为 CO、$SO_2$ 和烟尘等；原来分散居住的居民安置完成后变为集中安置，聚居点相对集中，空气质量将会有所下降，但影响只限于局部，影响很小。

（4）声环境

旭龙水电站农村安置点建设对声环境可能产生影响的噪声源主要是固定噪声源，包括安置点建筑及道路施工噪声。根据统计，安置点场内道路物料运输较少，仅对建筑施工噪声进行影响分析。

建筑施工噪声主要来自推土机、挖掘机、自卸汽车、混凝土搅拌机等施工机械。道路施工噪声主要来自推土机、挖掘机、轮式装载机、混凝土搅拌机、压路机等施工机械。主要施工机械的实测噪声值详见表 5.12-1。

**表 5.12-1　　几种主要施工机械噪声源实测值**

| 声源 | 测试点距离（m） | 噪声级 dB（A） |
|---|---|---|
| 推土机 | 5 | 86 |
| 挖掘机 | 5 | 84 |
| 自卸汽车 | 5 | 90 |
| 混凝土搅拌机 | 2 | 90 |
| 轮式装载机 | 5 | 90 |
| 压路机 | 5 | 86 |

1）施工噪声预测

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ/T2.4-2009），固定点源噪声预测采用以下公式：

$$L_{A(r)} = L_{Aw} - 20\lg(r/r_0)$$

式中：$L_{A(r)}$—距声源 r（m）处的 A 声功率级，dB；

$L_{Aw}$—测点 $r_0$ 处的 A 声功率级，dB；

$r$—测点与声源的距离，m。

根据上式，几种主要施工机械在不同距离处的噪声估算值见表 5.12-2。

**表 5.12-2　　主要施工机械在不同距离处的噪声估算值**

| 声源 | 源强 dB（A） | 距声源不同距离的噪声预测值 dB（A） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| 推土机 | 86 | 86.00 | 79.98 | 73.96 | 66.00 | 59.98 | 56.46 | 53.96 | 50.44 |
| 挖掘机 | 84 | 84.00 | 77.98 | 71.96 | 64.00 | 57.98 | 54.46 | 51.96 | 48.44 |
| 自卸汽车 | 90 | 90.00 | 83.98 | 77.96 | 70.00 | 63.98 | 60.46 | 57.96 | 54.44 |
| 混凝土搅拌机 | 90 | 82.04 | 76.02 | 70.00 | 62.04 | 56.02 | 52.50 | 50.00 | 46.48 |
| 轮式装载机 | 90 | 90.00 | 83.98 | 77.96 | 70.00 | 63.98 | 60.46 | 57.96 | 54.44 |
| 压路机 | 86 | 86.00 | 79.98 | 73.96 | 66.00 | 59.98 | 56.46 | 53.96 | 50.44 |

2）噪声综合预测

用声能迭加求出预测点的噪声级：

$$L_{总}=10\lg(\sum_{i=1}^{n}10^{0.1L_i})$$

式中：L 总—预测声级，dB（A）；

Li—各迭加声级，dB（A）；

n— n 个声压级。

考虑实际施工噪声为多台机械设备同时施工，噪声叠加，成为组合声级。建筑施工期间按推土机、挖掘机、自卸汽车、混凝土搅拌机各一台同时作业；道路施工的前期阶段按推土机、挖掘机和装载机各一台同时作业，铺路阶段按混凝土搅拌机、压路机各一台同时作业，各机械组合叠加计算结果见表 5.12-3。

**表 5.12-3　　主要施工机械施工噪声组合影响预测结果**

| 噪声源 | 施工机械 | 源强 dB（A） | 距声源不同距离的噪声预测值 dB（A） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| 建筑施工 | 推土机 | 86 | 92.58 | 86.55 | 80.53 | 72.58 | 66.55 | 63.03 | 59.21 | 57.01 |
| | 挖掘机 | 84 | | | | | | | | |
| 道路施工前期处理 | 推土机 | 86 | 92.17 | 86.15 | 80.13 | 72.17 | 66.15 | 62.63 | 58.93 | 56.61 |
| | 挖掘机 | 84 | | | | | | | | |
| | 轮式装载机 | 90 | | | | | | | | |
| 道路施工后期铺路 | 混凝土搅拌机 | 90 | 87.47 | 81.45 | 75.43 | 67.47 | 61.45 | 57.92 | 55.43 | 51.90 |
| | 压路机 | 86 | | | | | | | | |

3）影响预测

施工过程中需注意安置点附近的原有居民点，若 200m 内有居民居住，需注意调整施工时间及施工布置，如规定夜间禁止施工，施工布置尽量远离原居民点。

（5）固体废物

根据调查资料显示，四川和云南两省农村生活垃圾的来源主要包括 2 个方面：①家庭日常生活产生的垃圾；②各种农作物产生的垃圾。由于库区周边农村人口居住分散，且大多数的农村没有固定的垃圾堆放处和专门的垃圾收集、运输、填埋和处理系统，各类垃圾未得到统一集中处理。安置点建成后，居民生活、生产产生的有机垃圾（如厨余、秸秆、果藤和稻草等）随意丢弃，使农村生活垃圾数量明显增加。农药使用量大，大部分残留在土壤、水体、农作物和大气中，并通过食物链对人体健康造成危害。农药的大量使用还会造成生态平衡失调，物种多样性减少，破坏农村的生态系统。所以，农村生活垃圾的如果不进行较好的处理将影响新农村的面貌，对农民的生

活环境和健康也将造成直接威胁。

### 5.12.6.2 专项设施复建环境影响

旭龙水电站工程移民安置中的专项设施复建对环境影响的主要来源于交通工程。由于电力通信工程多为点状影响，且施工周期短，对环境影响不明显；安置点供水工程主要因为工程量较小，且为线形工程，其环境影响主要体现为生态影响；企业配套设施复建主要涵盖企业的提水泵站复建，因其占地面积小、工程量不大等特点，对环境影响不明显。

（1）水环境

1）施工期

复建交通工程施工对水环境的影响主要包括道路及跨河桥梁施工、混凝土拌和废水、施工生活污水等。

①跨河桥梁施工

公路沿线跨河桥梁，桥梁上部结构施工对河流水质的影响很小。桥梁下部钻孔设在岸边坡地上，不与水体发生直接关系。钻井过程中产生的钻渣，是对水体产生影响的最大潜在污染物。钻孔泥浆由水、粘土（或膨润土）和添加剂（如碳酸钠；羧基纤维素）组成，若随意排放，遇雨冲刷进入河道，将造成施工下游河道的淤塞及水质降低。另外，跨河桥梁桥墩基础、墩身，临时支撑等水下工程施工对水体水质产生影响，在做好临时防护措施的情况下对水体水质影响不大，但施工过程中会对河流水质造成短期扰动影响。

②混凝土拌和废水

公路施工将设置混凝土拌合楼或拌合站，施工中将产生大量碱性废水。根据同类公路施工类比分析，混凝土拌和冲洗废水中含有较高的 SS，其浓度可达 5000mg/L 左右，废水 pH 一般大于 10，因冲洗废水中悬浮物浓度含量较高，若直接排放，将会对周围土壤产生影响，如果流量较大，进入附近河流，将影响水体水质。

③施工生活污水

施工人员生活污水如果未经处理直接排放，将对道路附近水体水质造成一定影响。公路或桥梁施工，由于为线性工程，将修建若干施工营地，施工营地内施工人员的生活污水若直接排入附近水体，尤其是粪便污水若直接排入河流，将严重影响水体水质，造成有机物和氨氮等指标超标。建议施工营地采用旱厕或化粪池对生活污水进行处理，并定期清运，工程结束后覆土掩埋，降低对对周边水环境不利影响。

④施工机械冲洗废水

施工所用机械设备需定期保养冲洗，施工机械停放在施工场地内，冲洗会产生含油废水，主要污染物是石油类，任意排放将会影响周围土壤环境。

2）运行期

公路复建营运期间对水环境的污染主要表现在汽车尾气排放物、桥面滴油、轮胎摩擦微粒、尘埃等随桥面雨水径流进入桥梁所跨水体，对水质产生污染。

由于路面径流占河流全年径流量比重非常小，而且由于路面径流中 COD、SS 和油类的浓度含量并不高，桥面径流对河流的污染贡献微乎其微。

交通工程建成后部分公路除承担地方交通运输外，还承担旭龙水电站工程建设物资的辅助运输通道，包括水泥、粉煤灰、钢材、木材、火工材料、油料等物资运输其中有部分物资属危险物，一旦出现事故，危险物品进入水体，将可能威胁下游用水，应通过交通管理措施，避免类似事故发生。

（2）生态

根据调查，复建公路工程影响区内主要植被类型为灌丛及灌草丛和农业植被。路面建设、桥梁、涵洞等工程建设将使植被生境破坏，生物个体失去生长环境，影响的程度是不可逆的。临时用地主要有弃渣场、取土场、施工便道、施工营地等。这些施工临时占地将对植被产生直接影响，使群落的生物多样性降低。但影响只是临时的，工程建设对植被的损毁主要在施工期，工程完工后可通过施水土保持措施进行植被恢复。工程结束后，评价区植被总生物量将有所减少。由于受影响的植物种类为区域广泛分布类型，工程建设不会对植物物种产生大的影响。

施工期工程永久和临时占地缩小了野生动物的栖息空间，切断了部分陆生动物的活动范围，对陆生动物将产生一定的影响。施工期间，公路建设对两栖动物和爬行动物的影响较其它种类大，但由于它们可迁移到非施工区，因而不会对种群生存造成影响。施工期间，临时征地区域的鸟类和兽类将被迫离开原来的领域，邻近领域的鸟类和大型兽类由于受到施工噪声的惊吓，也将远离原来的活动区域，当临时征地区域的植被恢复后，部分鸟类有可能回到原来的活动领域。

道路施工过程中路基开挖、填筑、取土、弃土等活动会扰动地表植被，影响的植被类型主要为干热河谷稀树灌草丛和毛叶柿河滩灌丛等，对地表植被产生一定的影响，并且工程开挖过程中产生一定的水土流失，如不采取水土保持措施，水土流失持续时间将较长，因此应及时做好道路施工迹地的植被恢复措施。

（3）环境空气

公路施工对环境空气的影响主要是扬尘，即 TSP 污染。公路施工活动中产生的扬尘主要来自于灰土拌和扬尘以及施工机械车辆运输、作业扬尘。在路基、路面施工时灰土拌和、推铺产生的扬尘将影响周围区域环境空气质量；在集中灰土拌和站，灰土的运输、拌和所产生的灰尘会影响拌和站周围的环境空气的质量。筑路机械作业过程中产生的扬尘会影响施工现场及周围的空气环境质量。

1）施工运输扬尘

施工道路扬尘主要由运输施工材料引起，尤其是运输粉状物料时。运输扬尘的影响因素较多，主要跟车辆行驶速度、风速、路面集尘量和集尘湿度等有关。施工所需的土方、石料、沙料、水泥一般采用汽车运输，主要通过现有道路或利用、改造一些乡村道路或新建临时道路作为施工材料运输通道和施工便道。由于运输所利用的乡村道路等级不高，施工便道也多为无辅装的土路，路面含尘量很高，尤其遇到干旱少雨的季节，道路扬尘较为严重。筑路材料中粉状材料在运输中若遮盖不严，在运输过程中也会随风起尘，对运输道路两侧的居民产生影响，特别是干旱、大风天气，影响将更为显著。

2）施工现场扬尘

在施工过程中由于路面的初期开挖及填方过程中由于路面土壤的暴露，在有风天气产生的扬尘影响，随着施工进程的不同，其对环境空气的影响程度也不同。此外，根据同类工程预测及施工经验，爆破施工过程会产生大量 CO、NOx、$CO_2$ 等废气和粉尘，使附近空气质量明显下降，影响周边居民身体健康和动植物生长。

3）物料拌和扬尘

公路施工中，灰土、混凝土等物料在拌和过程中易起尘。物料拌和有路拌和站拌两种方式，其中路拌随施工点移动而移动，分布零散；站拌是工厂生产式的物料集中拌和，扬尘对环境空气的影响较为集中，便于管理，采取防尘措施后可有效地控制扬尘污染。

根据同类公路工程施工期对灰土拌和站 TSP 监测结果，施工过程中，采用路拌工艺施工时，路边 50m 处 TSP<1.00mg/$m^3$。储料场灰土拌和站附近相距 50m 下风向 TSP 浓度为 8.90mg/$m^3$；相距 100m 处浓度为 1.65mg/$m^3$；相距 150m 处已基本无影响。公路施工在混合土工序阶段，灰土运输车辆来往引起的扬尘是最严重的扬尘污染，在距路边下风向 50m 处 TSP 浓度>10mg/$m^3$，距路边 150m 处 TSP>4mg/$m^3$。

4）废气的影响

施工机械运行中排放的废气主要为 CO、NOx，其影响范围小，仅限于施工场地对施工人员的影响。作为短期行为的筑路施工污染，将随着施工期的结束而消失。施工期所带来的污染只要采取适当的措施，其影响可降至最低。

（4）声环境

1）噪声源

旭龙水电站移民安置区复建交通工程施工阶段的主要噪声源来自于固定、连续式的施工机械设备运行噪声。根据施工设备选型情况，主要施工机械、车辆及加工设备噪声源强（取值于《公路环境影响评价技术规范》，详见表 5.12-4。

**表 5.12-4　　施工主要机械噪声源强表**

| 序号 | 机械类型 | 型　号 | 测点距施工机械距离(m) | 最大声级 $L_{max}$(dB) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 轮式装载机 | ZL40 型 | 5 | 90 |
| 2 | 平地机 | PY160A 型 | 5 | 90 |
| 3 | 振动式压路机 | YZJ10B 型 | 5 | 86 |
| 4 | 双轮双振压路机 | CC21 型 | 5 | 81 |
| 5 | 三轮压路机 | | 5 | 81 |
| 6 | 轮胎压路机 | ZL16 型 | 5 | 76 |
| 7 | 推土机 | T140 型 | 5 | 86 |
| 8 | 轮胎式液压挖掘机 | W4－60C 型 | 5 | 84 |
| 9 | 锥形反转出料混凝土搅拌机 | JZC350 型 | 1 | 79 |

2）预测模式

施工机械噪声采用 5.14.1 节点声源预测模式。

3）预测结果和影响分析

根据表 5.12-4 中施工机械满负荷运行单机噪声值，采用上述公式，计算得到施工期主要施工机械满负荷运行时不同距离处的噪声影响预测结果，见表 5.12-5。

**表 5.12-5　　主要施工机械噪声预测结果　单位：dB（A）**

| 序号 | 距施工点距离<br>设备名称 | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 轮式装载机 | 90 | 84 | 78 | 72 | 69 | 66 | 65 | 61 | 58 | 55 |
| 2 | 平地机 | 90 | 84 | 78 | 72 | 69 | 66 | 65 | 61 | 58 | 55 |
| 3 | 振动式压路机 | 86 | 80 | 74 | 68 | 65 | 62 | 61 | 57 | 54 | 51 |
| 4 | 双轮双振压路机 | 81 | 75 | 69 | 63 | 60 | 57 | 55 | 52 | 49 | 46 |
| 5 | 三轮压路机 | 81 | 75 | 69 | 63 | 60 | 57 | 55 | 52 | 49 | 46 |
| 6 | 轮胎压路机 | 76 | 70 | 64 | 58 | 55 | 52 | 50 | 47 | 44 | 41 |
| 7 | 推土机 | 86 | 80 | 74 | 68 | 65 | 62 | 61 | 57 | 54 | 51 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 轮胎式液压挖掘机 | 84 | 78 | 72 | 66 | 63 | 60 | 59 | 55 | 52 | 49 |
| 9 | 锥形混凝土搅拌机 | 82 | 76 | 70 | 64 | 61 | 58 | 56 | 53 | 50 | 47 |

注：5m 处的噪声级为实测值。

单机施工机械噪声昼间最大在距声源 30m 以外基本可符合《建筑施工场界噪声限值》中土石方 75dB(A)的标准限值；夜间最大在 300m 以外可符合标准限值；多种施工机械同时作业时，影响距离将大于上述结果。

（5）固体废物

旭龙水电站交通工程固体废物主要包括建筑垃圾、生产废料及施工人员生活垃圾组成。工程施工期间将产生建筑垃圾、各种杂物及生产废料，任意堆放将影响区域环境及景观。

## 5.13 固体废弃物的影响

旭龙水电站施工期固体废弃物主要包括生活垃圾、建筑垃圾和辅助企业生产垃圾等。

（1）生活垃圾

生活垃圾主要集中产生于施工人员生活区，旭龙水电站施工阶段高峰期施工人数 5265 人，施工期为 98 个月，按照每人每天产生 0.6kg 垃圾计算，施工高峰期工每天产生垃圾量 3.2t，施工期共产生垃圾量 9287t。生活垃圾在处理过程中，主要污染物有大气污染物、污水、固体废物等。

电站运行期，坝区人员约 350 人，按照每人每天产生 0.6kg 垃圾计算，运行期间每年产生生活垃圾 76.7t。

污水包括垃圾渗滤液和其他废水。其中垃圾渗滤液主要来源于两部分，一是大气降水通过垃圾表面渗透进入垃圾体，二是垃圾本身所含的水分和垃圾中有机物被微生物分解所产生的水分，主要污染物为 BOD5、COD、氨氮。其他废水主要是管理区产生的生活污水，主要污染物为 BOD5、COD。污水若不经处理，直接排放，将污染附近水体水质。

大气污染物主要是垃圾填埋后分解的填埋气体和粉尘。垃圾填埋后，其中的有机物降解后会产生一定量的气体，主要成分为 CH4 和 CO2，约占填埋气的 95%～99%，

其对人体无害，但 CH4 若在空气中的体积占 5%～15%时容易引起爆炸。另外填埋气体中还含有少量的 NH3、H2S 等，NH3 和 H2S 气体虽然排放量不大，但其气味较难闻，且 H2S 对人身体有害。粉尘主要产生于车辆扬尘，覆土运输、装卸、压实过程中的扬尘，大风扬起路面及填埋作业面的扬尘等。

固体废物主要为垃圾渗滤液处理产生的污泥。这些污泥若不经处理直接外排，将会污染周围环境。

（2）建筑垃圾和辅助企业生产垃圾

建筑垃圾主要是弃渣、临时工程拆除和地面清理产生的砖瓦、混凝土块等。这些建筑垃圾的来源主要是场平、道路铺设和其它施工现场。建筑垃圾除部分回收利用外，其它如不妥善处置，会对周围环境产生环境污染。

施工辅助企业生产过程中产生一定数量的废弃物，如报废的施工机械和车辆、废旧钢材、钢管、油桶、包装袋、木材等。这些废弃物若露天堆放锈蚀、腐烂后不仅造成物资财产的损失，也会对周围土壤、水体等造成污染，故应加强管理、及时回收利用。特别是废铅、蓄电池等危险品，有腐蚀性，禁止露天堆放，避免其腐蚀后造成污染影响。

（3）运输环节

工程施工对外交通主要采用公路运输的方式。在运输建筑材料和渣土过程中，装载建筑材料及渣土的运输车辆在行驶中若无遮盖措施或防护不当，易导致物料沿途散落，不仅造成经济损失还影响道路卫生，因此，在建筑材料运输过程中，应采取遮盖措施，避免砂石、土料等沿途洒落。

固体废物对环境的影响主要在施工期，随着工程的建设完成，水土保持措施的逐步到位，其对环境的不利影响将逐渐消失。

# 6 环境保护措施

## 6.1设计原则

（1）预防为主原则：遵循国家有关环境保护的法律、法规要求，坚持“预防为主、全面规划、综合防治、因地制宜、加强管理、注重效益”的原则，合理布局，减少破坏。

（2）整体协调原则：环境保护措施制定与金沙江上游水电规划及其环境影响评价、区域相关政策及行业发展规划协调一致，紧密结合；各项措施与工程区的生态建设紧密协调、互为裨益，切实作到生态优先。

（3）生态优先原则：有效减免和控制施工“三废”及噪声排放对周围居民和施工人员的影响；控制和减小生态破坏，及时恢复治理。

（4）“三同时”原则：各项环保措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用，充分发挥作用和效益。

（5）技术经济可行原则：遵循环境保护应具有投资省、效益优、可操作性强的原则。

（6）适地适时原则：本工程各项环境保护措施应遵循因地而异，因时而异，永久措施与临时措施相结合的原则。

## 6.2设计任务

针对工程建设带来的不利环境影响，本工程环境保护措施设计的任务主要包括水环境保护措施、陆生生态保护措施、水生生态保护措施、社会环境保护措施以及施工期“三废”治理的环境保护措施。根据施工区地形条件，结合现场施工布置，采取的环保措施遵循上述设计原则和设计标准。

## 6.3地表水环境保护措施

### 6.3.1 施工期废污水处理措施

#### 6.3.1.1 基坑排水处理

（1）废水来源、特性及处理目标

基坑排水包括初期排水和经常性排水。其中初期排水包括基坑排水、堰体及岸边渗水、降雨等，水质与河流水质基本相似；经常性排水由基坑渗水、降雨汇水等组成，其主要污染物为SS等物质，其中SS浓度约500mg/L。

由于初期排水水质与河流水质基本相似，故可直接排放；考虑到经常性排水包含了大量的渗水及降水，并非真正意义的施工废水，且天然状况下也将直接汇入河道，故本工程基坑排水的处理目标为沉淀处理后尽量综合利用，剩余部分直接排入河道。

（2）处理方案

借鉴三峡等水电项目对基坑排水的处理经验，本工程拟采用向基坑集水区投加絮凝剂（聚丙烯酰胺），静置沉淀2h后抽出清水排放的处理措施，排放口位置应尽可能设置在靠近金沙江流速较大处，以满足水质保护要求，沉淀泥渣定时人工清除，运往附近渣场统一处理。

（3）运营管理和维护

基坑排水处理措施简单，主要注意定时清淤，其管理和维护工作纳入大坝施工统一安排，不另设机构和人员。

#### 6.3.1.2 砂石料冲洗废水处理

（1）废水来源、特性及设计目标

旭龙水电站工程施工期设置了2处砂石料加工系统，洒茂顶砂石加工系统和前期利用料砂石加工系统，废水量分别为680m³/h和368m³/h。砂石加工系统废水中的主要污染物为SS，浓度约为50000mg/L。

工程涉及金沙江河段水功能区划水质目标为Ⅱ类，禁止排放污废水，因此，洒茂顶砂石加工系统和利用料砂石加工系统废水经处理后需全部回用，实现零排放。由于砂石料冲洗用水本身并无特殊要求，而废水最终将回用于系统本身，根据砂石料系统工艺分析，砂石洗选机的冲洗废水中除SS外基本不产生其他污染物，因此只考虑SS

一项指标。根据《水电工程砂石加工系统设计规范》(DL/T5098-2010)中有关砂石加工系统回用水水质要求，确定本设计的处理目标为出水 SS 浓度≤100mg/L。

（2）处理工艺及设计参数

1）处理工艺比选

根据砂石料系统加工工艺的特点，本次针对砂石料废水设计时，重点考虑如何经济、高效地处置筛分过程中产生的大量含泥废水。

从节约占地、投资费用、运行费用和出水稳定等角度考虑，本次设计拟定了 2 个方案进行工艺及其技术经济比较。

方案一：采用自然沉淀法，处理工艺流程见下图。高悬浮物废水从筛分楼流出，进入预沉池，以除去大颗粒悬浮物，然后在沉淀池中进行自然沉淀，上清液回用。该处理方案的特点是工艺流程简单，基建技术要求不高，运行操作简单，运行费用少，但为达到较好的处理效果，沉淀池的规模需很大，此外系统的沉砂量较大，泥渣处理的压力较大，将给生产带来一定风险。

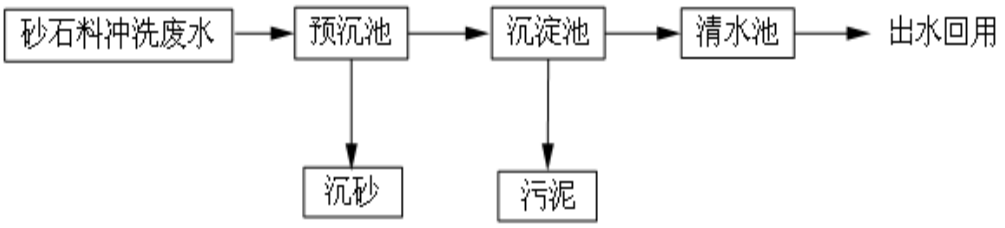



**图 6.3-1　自然沉淀法**

方案二：DH 高效（旋流）污水净化器

相对以往砂石料冲洗废水处理系统，DH 高效（旋流）污水净化器处理设备具有如下优点：

A、处理能力强，效率高，工艺流程短，运行稳定可靠。在废水处理中该净化器处理负荷 SS≤60000mg/L，减少了设备投资和占地面积，简化了工艺流程，操作维护更加简单可靠。

B、占地面积小。处理量为 200m³/h 的单台净化器，直径仅为 3.8m；200m³/h 废水处理系统整体布置不超过 400m²，紧凑布置可安排在 300m²以内，占地面积只有传统工艺的 1/6-1/8。

C、处理后的出水水质好，SS 浓度为 20～70mg/L，达到了国家一级排放标准，并可回用。

另外，该系统还具有废水处理系统自动化程度高、维护简单、定时排污并且排污

少等优点。

从 DH 高效（旋流）污水净化器处理设备的上述优点可以看出，使用该系统，不论是地形条件，还是处理水量及水质方面完全可以满足本工程的砂石料冲洗废水处理的要求。处理达标的废水全部用于生产回用，废水不外排。

砂石料冲洗废水处理系统的工艺流程见下图。

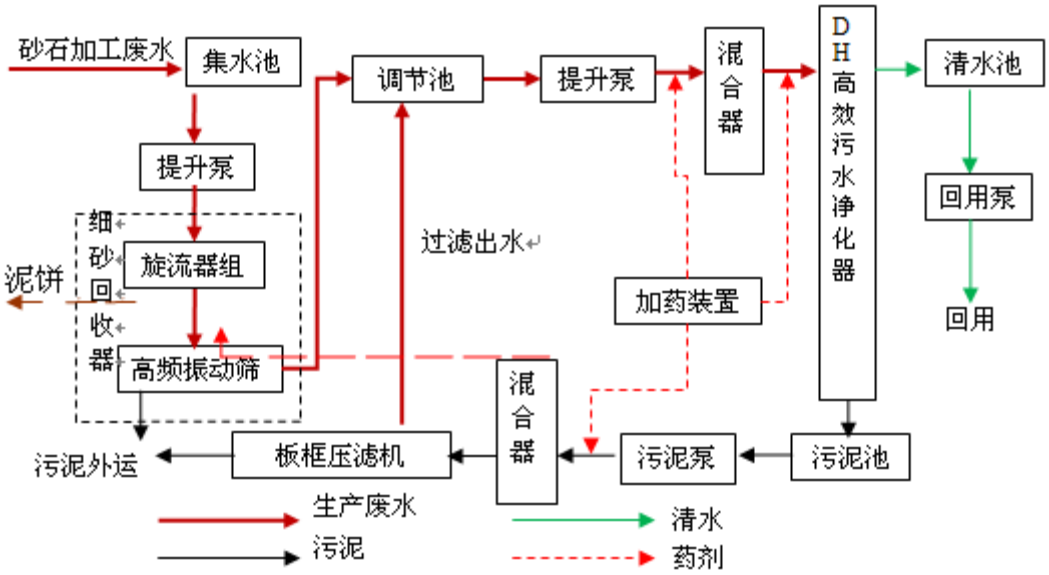



图 6.3-2　　DH 高效处理流程图

从维护管理和运行费用来看，方案二运行维护费用较高，方案一较方案二具有较大的优势；从占地面积、技术工艺来看，方案二工艺成熟，处理效果好，占地面积较方案一小；方案二采用机械设备，处理效率高、耐冲击负荷能力强、运行情况稳定，运行管理方便，处理效果好，出水可以满足 SS≤100mg/L，可直接回用于生产，高效净化器的污泥经脱水后可运送至弃渣场堆放，机械设备布置可不受地形条件限制，拆装灵活，重复利用率较高，且节省土建费用。

考虑本工程砂石料系统施工区用地较为紧张，地形条件特殊，为节约用地，提高废水处理效率，将方案二作为本阶段的推荐方案。

表 6.3-1　　废水处理方案技术经济比较表

| 项目 | | 方案一 | 方案二 | 结论 |
|---|---|---|---|---|
| 投资费用 | 土建工程量 | 大 | 较小 | 方案二优于方案一 |
| | 设备及仪表 | 少 | 较多 | 方案一优于方案二 |
| | 占地面积 | 大 | 小 | 方案二优于方案一 |
| | 总投资 | 低 | 高 | 方案一优于方案二 |
| | 维护管理 | 低 | 高 | 方案一优于方案二 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 运行费用 | 电耗 | 低 | 高 | 方案一优于方案二 |
| | 投药量 | 无 | 多 | 方案一优于方案二 |
| | 总运行费用 | 低 | 较高 | 方案一优于方案二 |
| 工艺效果 | 出水水质 | 不稳定 | 满足回用要求 | 方案二优于方案一 |
| | 耐冲击负荷 | 弱 | 强 | 方案二优于方案一 |
| | 运行稳定情况 | 差 | 好 | 方案二优于方案一 |
| 维护管理技术水平 | | 低 | 高 | 方案二优于方案一 |
| 处理负荷潜力 | | 小 | 大 | 方案二优于方案一 |

由于本工程砂石料系统施工区块用地较紧张，地形条件特殊，为节约用地，提高废水处理效率，将方案二作为本阶段的推荐方案。

2）工艺设计参数

工艺设计参数详见下表。

**表 6.3-2　　砂石料冲洗废水处理系统构筑物设计参数**

| 构筑物名称 | 主要工艺参数 |
|---|---|
| 集水池 | 设计停留时间 1h，清砂周期 7d |
| 调节池 | 设计停留时间 1h，清砂周期 7d |
| DH 高效旋流净化器 | 设计停留时间 1h，SS 去除率 99.9% |
| 污泥池 | 设计停留时间 1h |
| 清水池 | 设计停留时间 1h |

（4）主要构筑物尺寸及设备

砂石料废水处理系统主要构筑物尺寸详见表 6.3-3~表 6.3-6。

**表 6.3-3　　洒茂顶砂石料废水处理系统主要设备一览表**

| 构筑物名称 | 数量（座） | 尺寸（m） | 结构 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 集水池 | 1 | 18×18×3.3 | 钢砼 | |
| 调节池 | 1 | 18×18×3.3 | 钢砼 | |
| 污泥池 | 1 | 4×4×3.3 | 钢砼 | |
| 清水池 | 1 | 18×18×3.3 | 钢砼 | |
| 泵房 | 1 | 12×8×3 | 砖砌 | |
| 脱水车间 | 1 | 10×10×3 | 砖砌 | 内设板框压滤机、真空泵、空压机等配套设施 |

备注：水池超高均为 0.3m。

**表 6.3-4　　利用料砂石料废水处理系统主要设备一览表**

| 构筑物名称 | 数量（座） | 尺寸（m） | 结构 | 备注 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 集水池 | 1 | 11×11×3.3 | 钢砼 | |
| 调节池 | 1 | 11×11×3.3 | 钢砼 | |
| 污泥池 | 1 | 3×3×3.3 | 钢砼 | |
| 清水池 | 1 | 11×11×3.3 | 钢砼 | |
| 泵房 | 1 | 12×8×3 | 砖砌 | |
| 脱水车间 | 1 | 10×10×3 | 砖砌 | 内设板框压滤机、真空泵、空压机等配套设施 |

备注：水池超高均为 0.3m。

表 6.3-5　　洒茂顶砂石料废水处理系统主要设备一览表

| 设备名称 | 型号 | 数量（台） | 单台能力 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| DH 高效旋流净化器 | DH-SSQ-200 | 4 | 200m³/h | |
| 高效混凝混合器 | DH-HNQ-200 | 4 | 200m³/h | |
| 污泥混合器 | DH-HNQ-200 | 4 | 200m³/h | |
| 集水池提升泵 | 100ZM-36 | 3 | 400m³/h | 2 用 1 备 |
| 污水泵 | 100ZM-36 | 3 | 400m³/h | 2 用 1 备 |
| 污泥泵 | 100ZM-32 | 2 | 200m³/h | 1 用 1 备 |
| 清水回用泵 | SLW200-400（I） | 3 | 400m³/h | 2 用 1 备 |
| 板框压滤机 | XMZ500/1500-U | 4 | 滤室容积为 8.7m³ | |

表 6.3-6　　利用料砂石料废水处理系统主要设备一览表

| 设备名称 | 型号 | 数量（台） | 单台能力 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| DH 高效旋流净化器 | DH-SSQ-200 | 2 | 200m³/h | |
| 高效混凝混合器 | DH-HNQ-200 | 2 | 200m³/h | |
| 污泥混合器 | DH-HNQ-200 | 2 | 200m³/h | |
| 集水池提升泵 | 100ZM-36 | 2 | 400m³/h | 1 用 1 备 |
| 污水泵 | 100ZM-36 | 2 | 400m³/h | 1 用 1 备 |
| 污泥泵 | 100ZM-32 | 2 | 100m³/h | 1 用 1 备 |
| 清水回用泵 | SLW200-400（I） | 2 | 400m³/h | 1 用 1 备 |
| 板框压滤机 | XMZ500/1500-U | 2 | 滤室容积为 8.7m³ | |

（5）运行管理和维护

1) 按照“三同时”要求，为了保证废水处理站有效运行，建设单位应把废水处理站的建设与有效运行作为合同的条款之一纳入工程承包合同，进行达标验收。

2) 工程环境管理部门应定期对处理站的管理运行进行监督检查，掌握废水处理站运行情况，对不良情况提出口头和书面的整改意见。

3) 运行管理费应专款专用，特别是运渣费和管理费，以保证废水处理站的正常运行。

4) 由于废水处理工艺机械化和自动化程度较高，对管理人员有一定技术要求，

所以应组织废水处理站的管理维护人员在上岗前接受专项技术操作培训后，才能对电气仪表设备进行科学的操作与维护，并严格制订操作规程，以保证废水处理站的良好运行。

#### 6.3.1.3 混凝土系统废水处理

（1）废水来源、特性及处理目标

旭龙水电站建设期共规划两处混凝土拌和系统，高混凝土生产系统设置在右岸距坝轴线下游 1100～1300m，高程 2300～2315m 的平台上，低混凝土生产系统设置在右岸距坝轴线下游 1300～1500m，高程 2160～2170m 的平台上。两处混凝土拌和系统两班制进行生产，换班过程进行拌和系统进行冲洗产生废水，施工期间，高混凝土系统和低混凝土系统产生的废水量分别为 96m³/d 和 48m³/d，废水呈碱性，PH 值可达 9～12，固体悬浮物浓度可达 2000mg/L。

工程涉及金沙江河段为Ⅱ类水环境功能，施工废水经处理后全部回用于混凝土拌和系统，不排放。根据水电工程施工组织设计规范的有关规定："砂石加工、混凝土生产等产生的废水应进行适当处理后回收利用或排放，回收利用水的悬浮物含量不应超过 100mg/L"，故此，考虑混凝土生产系统的冲洗废水处理到 SS≤100mg/ L 后回用。

（2）处理工艺

根据混凝土拌和系统冲洗废水水量少、间断短时产生的特点，本工程混凝土拌和系统冲洗废水主要采用"中和沉淀法"进行处理，处理后的清水用于转筒和料罐冲洗或场地洒水降尘。沉淀池的污泥定期进行清掏，可用抓斗机抓取装运载斗车运输至渣场。

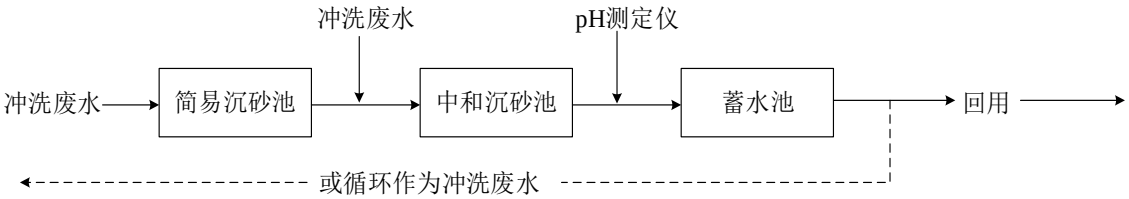



图 6.3-3　凝土拌和系统碱性废水处理工艺流程图

（3）主要构筑物尺寸及设备

混凝土生产系统废水处理系统主要构筑物为沉砂池。

表 6.3-7　　混凝土拌和系统废水处理系统主要构筑物工艺参数表

| 构筑物名称 | 主要工艺参数 |
|---|---|
| 简易沉沙池 | 设计去除率 80%，停留时间 1h，清泥周期 3d，人工清掏，内设排空管 |
| 中和沉沙池 | 设计去除率 80%，停留时间 1h，清泥周期 15d，人工清掏 |

| | |
|---|---|
| 蓄水池 | 停留时间 24h，清泥周期 30d，人工清掏 |

表 6.3-8　高混凝土拌和系统废水处理主要构筑物尺寸

| 构筑物名称 | 数量（座） | 尺寸（m） | 结构 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 简易沉沙池 | 2 | 8×4×3.3 | 钢砼 | 1 用 1 备 |
| 中和沉沙池 | 2 | 6×4×3.3 | 钢砼 | 1 用 1 备 |
| 蓄水池 | 2 | 6×4×3.3 | 钢砼 | 1 用 1 备 |

注：水池超高均为 0.3m。

表 6.3-9　低混凝土拌和系统废水处理主要构筑物尺寸

| 构筑物名称 | 数量（座） | 尺寸（m） | 结构 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 简易沉沙池 | 2 | 6×3×3.3 | 钢砼 | 1 用 1 备 |
| 中和沉沙池 | 2 | 4×3×3.3 | 钢砼 | 1 用 1 备 |
| 蓄水池 | 2 | 4×3×3.3 | 钢砼 | 1 用 1 备 |

注：水池超高均为 0.3m。

（4）运行管理与维护

由于混凝土冲洗废水量很小，处理构筑物简单，没有机械设备维护的问题，在运行过程中主要注意定时清渣。

### 6.3.1.4 含油废水处理

（1）污水特性及处理目标

工程施工机械及车辆约 369 台，规划机械修配停放场 1 处，位于综合仓库下游侧，距坝址约 1.0km，场地高程 2180m，占地面积约 1.2 万 m²。按照施工车辆每 4 天保养冲洗一次、施工机械每周保养一次，平均冲洗废水以 0.6m³/台•次计算，本工程因冲洗保养所有机械产生的含油废水约为 169.8m³/次，洗车污水石油类浓度一般为 40～100mg/L。

对修理系统含油废水进行油水分离，使其达到《污水综合排放标准》第二类污染物最高允许排放浓度一级标准，SS≤100mg/L，石油类≤5mg/L。机修废水处理后废水回用于汽车冲洗或场地洒水降尘，油渣（废油）作为危废，集中收集后委托具有资质的单位进行转运处理。

（2）处理工艺及设计参数

1）处理工艺

工程规划机械修配停放场 1 处，施工机械及车辆约 369 台。距坝址约 1.0km，场地高程 2180m，占地面积约 1.2 万 m²。经计算，本工程因冲洗保养所有机械产生的含

油废水约为 43m³/d，洗车污水石油类浓度一般为 40～100mg/L。由于修配系统含油废水含油量较低，推荐采用隔油池进行处理。即在机修车辆维修（冲洗）场周围布置集水沟，集水沟收集的废水经隔油板隔油后，进入沉淀池处理，隔除废水中的悬浮物后回用于洗车或场地洒水。隔油沉淀池产生的污泥运往弃渣场，废油统一收集后委托具有资质的单位进行转运处理。处理工艺详见下图。

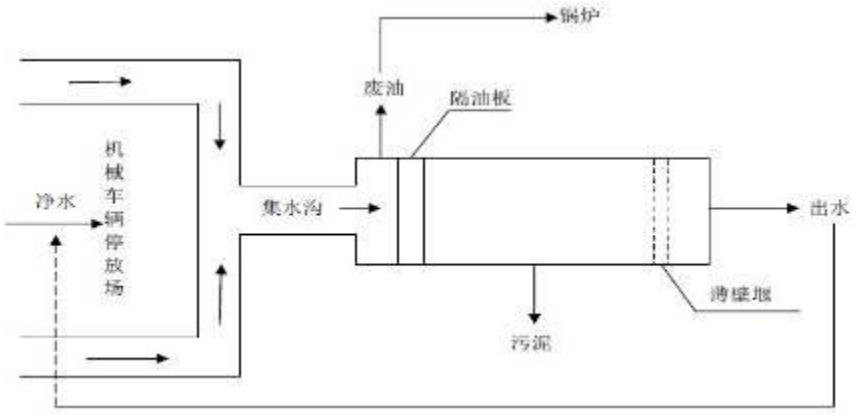



图 6.3-4　含油废水处理工艺流程图

2）工艺参数

隔油沉淀池设计去除率均为设计去除率 80%，停留时间 2h，清掏周期 10~15d。

3）主要建筑物

洗车废水处理系统主要构筑物尺寸为钢混隔油沉淀池 GC-2QF，有效容积为 9.6m³，净尺寸（长×宽×高）为 4.0m×1.2m×2.8m，数量 2 座。池体平、剖面图详见《小型排水构筑物图集（04S519）》。

表 6.3-10　含油废水废水处理主要构筑物尺寸

| 构筑物名称 | 数量（座） | 尺寸（m） | 结构 | 有效容积（m³） |
|---|---|---|---|---|
| 隔油池 | 2 | 4.0m×1.2m×2.8m | 钢砼 | 9.6 |
| 清水池 | 1 | 4.0m×2.0m×2.8m | 钢砼 | 20 |

备注：水池超高均为 0.3m。

4）运行管理及维护

本设备运行维护简单，在运行过程中主要注意废油及时收集和转运处理。

### 6.3.1.5 生活污水处理

（1）污水特性及处理目标

生活污水来源于 3 处施工营地（1#施工营地、2#施工营地、3#施工营地、）及现场建设管理营地，主要包括食堂废水、洗涤污水、淋浴污水、粪便污水等，生活污水

污染物指标：COD、NH3-N 浓度一般分别为 400mg/L、35mg/L。营地采用雨污分流排水体制，生活污水产生量见表 6.3-11。

工程施工现场人员主要集中在业主和施工营地，废水适宜集中处理。除了集中生活区外，施工人员在施工现场作业过程中将产生生活污水。各分散工作面如油库、炸药库、砂石加工系统、钢木加工厂等生活污水产生量很少，设置移动厕所收集处理生活污水，由吸粪车定期清运至处理系统进行处理。

**表 6.3-11　　生活污水处理系统设计进水水量一览表**

| 污染源位置 | 高峰人数<br>(人) | 高峰日用水量<br>（m³/d） | 高峰日污水量<br>（m³/d） |
|---|---|---|---|
| 1#施工营地 | 967 | 116 | 93 |
| 2#施工营地 | 1208 | 145 | 116 |
| 3#施工营地 | 2740 | 329 | 263 |
| 现场建设管理营地 | 350 | 42 | 34 |
| 合计 | 5265 | 632 | 505 |

考虑到金沙江河段为Ⅱ类水域，污水禁止排放，生活污水需经处理后全部回用，处理目标为满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GBT18920-2002）要求，综合用于施工营地冲厕及绿化浇灌等。

（2）处理工艺及设计参数

1）处理方案及工艺

目前国家环境保护部对大中型水电站推荐采用地埋式生活污水成套设备处理生活污水，其具有占地面积小、日处理量灵活、处理达标排放等优点。旭龙水电站生活营地也推荐采用地埋式成套生活污水处理设备处理各生活区生活污水。目前，国内市场上常用的生活污水处理成套设备的工艺主要采用一般性接触氧化法和 A/O 工艺。

a、一般性接触氧化法

接触氧化法工艺流程图详见下图。

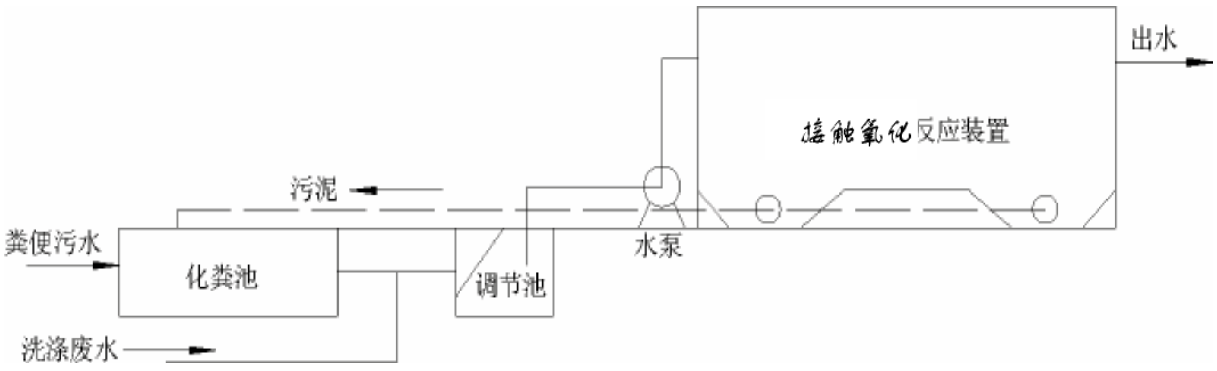


图 6.3-5　一般性接触氧化法工艺流程图

b、A/O 工艺

A/O 工艺流程详见下图。

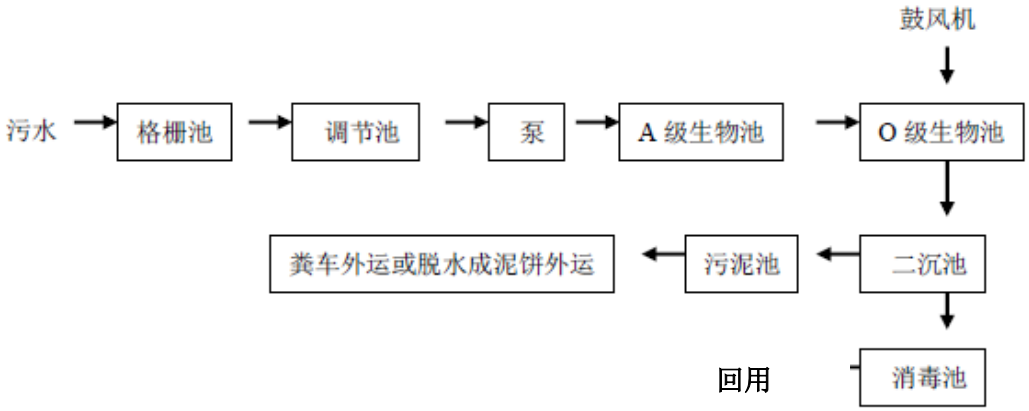



图 6.3-6　A/O 工艺流程图

采用 A/O 工艺的一体化生活污水处理设备有 WSZ-AO 型设备，该设备采用世界上先进的生物处理工艺，集去除 $BOD_5$、 COD、$NH_3$-N 于一身，是目前最高效的污水处理设备之一。WSZ-AO 系列污水处理设备是一种处理效果十分理想且管理方便的设备，系统主要包括（1）初沉池；（2）调节池；（3）A/O 级生物池；（4）二沉池；（5）污泥消化池；（6）消毒池（7）风机房、风机等。

WSZ-AO 系列污水处理设备工作原理：

其中工作原理是在 A 级，由于污水有机物浓度很高，微生物处于缺氧状态，此时微生物为兼性微生物，所以 A 级池不仅具有一定的有机物去除功能，减轻后续好氧池的有机负荷，再度降低，但仍有一定量的有机物及较高 $NH_3$-N 存在。为了使有机物得到进一步氧化分解，同时在碳化作用下于完成情况下硝化作用能顺利进行，在 O 级设置有机负荷较低的好氧生物接触氧化池。在 O 级池中主要存在好氧微生物及自氧型细菌（硝化菌）。其中好氧微生物将有机物分解成 $CO_2$ 和 $H_2O$；自养型细菌（硝化菌）利用有机物分解产生的无机碳或空气中的 CO2 作为营养源，将污水中的 $NH_3$-N 转化成 NO-2-N、NO-3-N，O 级池的出水部分回流到 A 级池，为 A 级池提供电子接受体，通过反硝化作用最终消除氮污染。

WSZ-AO 系列污水处理设备特点：

i）WSZ-AO 系列污水处理设备可埋入地表以下，地表可作为绿化或广场用地，因此该设备不占地表面积，不需盖房，更不需采暖保温。

ii）它能耐酸、碱、盐、汽油、煤油、耐老化、耐冲磨、能带锈防锈。设备一般

涂刷该涂料之后，防腐寿命可达 12 年以上。

iii 活性污泥池体积小，对水质适应性强，耐冲击性能好，出水水质稳定，不会产生污泥膨胀。比其它填料对有机物的去除率高，能提高空气的氧在水中的溶解度。

iv）污水经 WSZ-AO 系列污水处理设备后所产生的污泥量较少，一般仅需 90 天左右排一次泥。

c、方案比选

根据国内工程经验，同时考虑工程所在金沙江江段水功能区水质目标为 II 类水，禁止施工废水排入金沙江。经一般性接触氧化法工艺处理后，出水水质仅满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）二级排放标准，而 A/O 工艺处理后的出水水质达一级排放标准。因此，本报告推荐采用 A/O 处理工艺的成套生活污水处理设备，工艺流程图见下图。

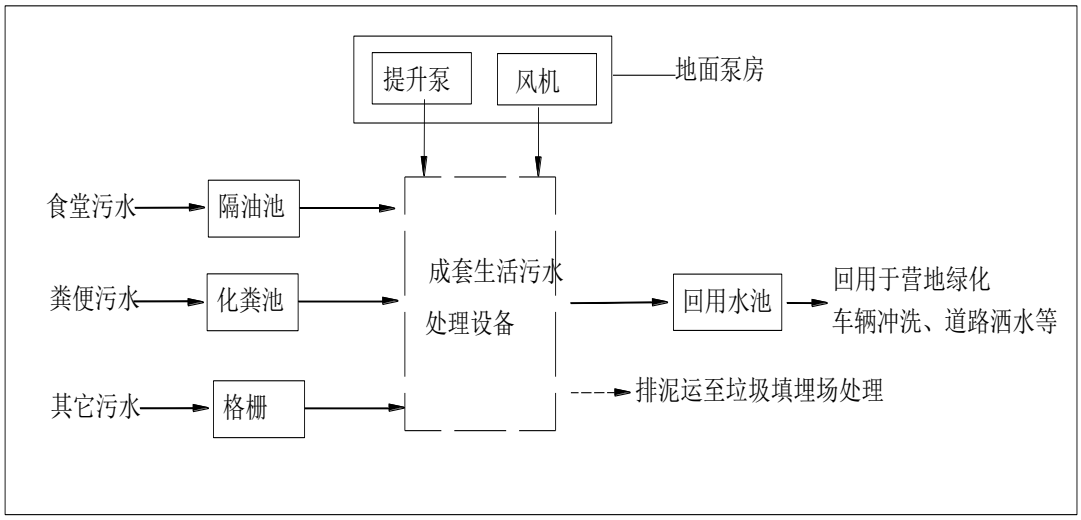



**图 6.3-7 生活污水处理工艺流程图**

生活污水处理设施主要构筑物设计参数见表 6.3-12 和表 6.3-13。

**表 6.3-12　　生活污水处理系统构筑物设计参数**

| 构筑物名称 | 主要工艺参数 |
|---|---|
| 隔油池 | 停留时间 10min，清除周期 7d |
| 化粪池 | 40L/人 d，停留时间 24h，清掏周期 180d |
| 调节池 | 停留时间 4h，进口处设置格栅网箱，清泥周期 30d |
| 回用水池 | 停留时间 24h，清掏周期 180d |

**表 6.3-13　　成套污水处理设施设计参数**

| 构筑物名称 | 主要工艺参数 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 初沉池(平式沉淀池) | 表面负荷 1.5m³/m²·h |
| A 级生物池 | 停留时间为 3h，填料比表面积为 200m²/m³ |
| O 级生物池 | 停留学时间为 5~6h，填料比表面积为 200m²/m³ |
| 二沉池 | 旋流式沉淀池，沉淀时间为 2.1h，表面负荷为 1.0m³/m²·h |
| 消毒池 | 旋流反应池，停留时间为 300 分钟 |
| 污泥池 | 储存 90d，抽吸外运 |

（3）污水处理主要构筑物及设备

考虑各污水在进成套污水处理设备以及污水处理站前设置一个污水调节沉淀池，使污水比较均匀的进入后续成套污水处理设备，同时提高整个系统的抗冲击性能并减小后续设备的设计规模。建设的调节沉淀池、回用水池，均以主体工程施工期规模设计参数进行设计，提前建好使用。

工程各营地的污水处理系统由化粪池、隔油池、调节沉淀池、地埋式成套污水处理设备等部分构成。其中地埋式成套污水处理设备包括缺氧池、好氧池、二沉池、污泥池、消毒池、风机房、电器自动控制等单元。

各营地生活污水处理系统主要构筑物尺寸见表 6.3-14。

**表 6.3-14　　各营地生活污水处理系统主要构筑物尺寸及型号**

| 施工生活区 | 构筑物名称 | 数量（座） | 单池尺寸（m） | | | 结构 | 处理能力（m³/h） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 长 | 宽 | 高 | | |
| 1#施工营地 | 13-100B11 化粪池 | 1 | 13.2 | 3.5 | 3 | 钢砼 | |
| | GG-2 隔油池 | 1 | 2 | 1 | 1.7 | 钢砼 | 1.6L/s |
| | 调节池 | 1 | 2 | 2 | 3.3 | 钢砼 | |
| | 地埋式污水处理设备 | 1 | 7.5 | 2.28 | 2.45 | 地埋式，上可停车 | 3m³/h |
| | 回用水池 | 1 | 4 | 4 | 3.3 | 钢砼 | |
| 2#施工营地 | 13-100B11 化粪池 | 2 | 13.2 | 3.5 | 3 | 钢砼 | |
| | GG-4 隔油池 | 1 | 3 | 1 | 2.45 | 钢砼 | 4.8L/s |
| | 调节池 | 1 | 3 | 3 | 3.3 | 钢砼 | |
| | 地埋式污水处理设备 | 1 | 17 | 2.76 | 2.45 | 地埋式，上可停车 | 10m³/h |
| | 回用水池 | 1 | 8 | 7 | 3.3 | 钢砼 | |
| 3#施工营地 | 13-100B11 化粪池 | 2 | 13.2 | 3.5 | 3 | 钢砼 | |
| | GG-4 隔油池 | 1 | 3 | 1 | 2.45 | 钢砼 | 4.8L/s |

| 施工生活区 | 构筑物名称 | 数量（座） | 单池尺寸（m） | | | 结构 | 处理能力（m³/h） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 长 | 宽 | 高 | | |
| | 调节池 | 1 | 3 | 3 | 3.3 | 钢砼 | |
| | 地埋式污水处理设备 | 1 | 14 | 2.76 | 2.45 | 地埋式，上可停车 | 7m³/h |
| | 回用水池 | 1 | 8 | 6 | 3.3 | 钢砼 | |
| 现场建设管理营地 | 12-75B11 化粪池 | 1 | 12 | 3 | 3 | 钢砼 | |
| | GG-1 隔油池 | 1 | 1.5 | 1 | 1.55 | 钢砼 | 1L/s |
| | 调节池 | 1 | 2 | 2 | 3.3 | 钢砼 | |
| | 地埋式污水处理设备 | 1 | 7.5 | 2.28 | 2.45 | 地埋式，上可停车 | 3m³/h |
| | 回用水池 | 1 | 4 | 4 | 3.3 | 钢砼 | |

注：水池超高均为 0.3m。

（4）运行管理及维护

生活污水处理自动化程度较高，需由设备厂家负责其技术管理培训。操作人员应严格按照操作技术规程，进行正确的操作和定期的维护。

## 6.3.2 运行期水质保护措施

（1）库周污染源控制

1）严格按照水域功能区水质目标进行管理。要求在水库周边禁止新建、改建、扩建对水质有污染的建设项目；禁止向库区排放污水。

2）保护库周植被，涵养水源，不得对库周随意砍伐。

3）重视水质监测，及时掌握区域水质状况。

4）建议加强对上游区生活污水治理的监管工作，以保证上游河段水质达到 II 类水标准要求。

5）水库库底清理工作的同时，建议根据当地相关规划和要求，加强库周农村生活污水处理的管理力度，加强库周农业面源污染的控制，保证废水、污水达标排放，满足地表水环境标准要求。

（2）库底卫生清理

根据《水电工程水库库底清理设计规范》(DL/T 5381-2007)的规定，为防止淹没于旭龙水电站水库内的树木、杂物及人畜粪便等对水体污染和对水库安全运行的影响，

在旭龙水库蓄水前必须对库底进行清理。根据现状调查结果，清理对象主要包括常规的粪坑、畜圈、宅基、坟墓、植物等。该项费用在水库淹没处理专项费中列支。

## 6.3.3 下游河道生态流量保障措施

### 6.3.3.1 施工截流

工程上游围堰规模较大，为保证围堰在一个枯水期内完建并挡水，河床截流宜尽早进行。截流时段选择在第 2 年 12 月上旬，截流标准采用 12 月 10 年一遇月平均流量 447$m^3$/s，采用单戗立堵截流方式。

导流隧洞共布置两条，位于大坝左岸，与厂房分两岸相对布置。导流隧洞按高低洞布置，高洞靠山体侧、低洞靠河床侧布置，高、低导流隧洞轴线平行。进口高程分别为 2146m 和 2151m，出口高程均为 2143m。导流隧洞洞身由进口直线段、进口圆弧段、洞身直线段、出口圆弧段及出口直线段组成，两条导流隧洞长度分别为 1313.18m（低）和 1446.77m（高），轴线间距 50m。低、高洞过流断面尺寸分别为 14m×17m 和 12m×16m（宽×高），过流断面面积分别为 221.55$m^2$（低）、179.91$m^2$（高），城门洞形，顶拱夹角 120°。

根据工程设计，截流标准采用 12 月 10%月平均流量 447$m^3$/s，相应上游水位为 2154.01m。截流时低导流隧洞分流，随着截流龙口门宽度的缩小及合拢，龙口泄流逐渐过渡为导流洞泄流，直至完全由导流洞过流，截流期间保持泄流量在 447$m^3$/s 左右，下游不出现减脱水情况。

截流后，通过高、低两个导流洞过流，两个导流洞联合能力详见表。导流洞过流期间，可满足下游生态流量泄放要求。

表 6.3-15　高、低导流隧洞联合泄流泄流能力表

| 流量($m^3$/s) | 0 | 220 | 472 | 808 | 1198 | 1512 | 1912 | 2381 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 库水位(m) | 2146.00 | 2151.00 | 2153.41 | 2156.01 | 2158.41 | 2160.11 | 2162.12 | 2164.05 |
| 流量($m^3$/s) | 3057 | 3549 | 4099 | 4608 | 5266 | 5862 | 6420 | 6514 |
| 库水位(m) | 2167.25 | 2168.69 | 2171.04 | 2173.72 | 2178.82 | 2184.17 | 2189.50 | 2190.41 |
| 流量($m^3$/s) | 7195 | 7290 | 7820 | 7930 | 7945 | 7963 | | |
| 库水位(m) | 2197.91 | 2199.10 | 2205.50 | 2207.00 | 2207.02 | 2207.22 | | |

### 6.3.3.2 导流洞转换期间

根据施工进度及导流程序安排，第 8 年 11 月初高导流隧洞下闸，闸门下闸流量标准为 11 月 10%月平均流量 Q=735$m^3$/s，相应上游水位为 2155.48m，进口水深为 4.48m。此时，由低导流洞向下游供水，根据低导流洞泄流能力计算结果，当上游水位为 2155.48m 时，低导流洞泄流量约 550 $m^3$/s；同时打通旁通洞与高导流隧洞之间的洞壁，调试弧门和启闭设施，第 8 年 11 月下旬，旁通洞内弧门具备下闸条件。

第 8 年 11 月下旬开启旁通洞进口平板门，低导流隧洞下闸，由旁通洞泄流向下游供水。低导流洞下闸流量标准同高导流洞，相应上游水位为 2156.39m，进口水深为 10.39m。此时段，通过旁通洞向下游供水，根据旁通洞泄流能力计算结果，当上游水位为 2156.39m 时，旁通洞泄流量约 91 $m^3$/s，可保证下游不断流，随着坝前水位的上升，旁通洞泄流能力不断增加，约 1.5 小时后，旁通洞下泄流量达到 180 $m^3$/s。待水位上升至中孔满足向下游 180$m^3$/s 要求时，旁通洞内弧门下闸，导流隧洞堵头施工，由中孔向下游供水。

**表 6.3-16　导流洞下闸封堵程序及下泄流量满足情况**

| 项目 \ 下闸程序 | | 第 8 年 11 月初 | 第 8 年 11 月下旬 | 第 8 年 11 月下旬 |
|---|---|---|---|---|
| 拟下闸导流隧洞 | | 高洞 | 低洞 | 旁通洞 |
| 进口底板高程（m） | | 2151.0 | 2146.0 | 2151.0 |
| 下闸条件 | 泄流条件 | 低洞 | 旁通洞和大坝中孔 | 大坝中孔 |
| | 下闸设计流量（$m^3$/s） | 735 | 735 | 按上游水位控制 |
| | 上游水位（m） | 2155.48 | 2156.39 | 2222.95 |
| | 下游水位（m） | 2145.54 | 2145.54 | / |
| | 操作水头（m） | 4.48 | 10.39 | 71.95 |
| | 时段初期泄流量（$m^3$/s） | 550 | 91 $m^3$/s，1.5 小时后达到 180 $m^3$/s | 当中孔泄流量大于 180 $m^3$/s 时，旁通洞下闸封堵 |

#### 6.3.3.3 初期蓄水期间

根据施工进度安排，水库开始蓄水时间为第 9 年 5 月初，初期蓄水代表年选择按 5 月来水量控制，无上游岗托、叶巴滩和拉哇调节时旭龙坝址 5 月份来水频率 75%的月平均流量为 573$m^3$/s。扣除生态流量后，可用于蓄水的流量为 382$m^3$/s，按此计算，5 月 24 日水库蓄水至死水位 2297m，5 月 26 日水库水位蓄至正常蓄水位 2302m，蓄至正常蓄水位所需时间为 24 天。第 9 年 6 月初第一批机组开始发电。

初期蓄水期间，通过中孔控泄，基本可满足最小下泄流量 180 $m^3$/s 的要求。

#### 6.3.3.4 运行期下游河道生态流量保障措施

根据工程设计资料，电站装机容量 2400MW，装机 4 台，单机容量 600MW，单机额定流量 464.1$m^3$/s，四台机组满发流量 1856.4 $m^3$/s。根据水库调度运行方式，丰水时期（6-9 月）尽量维持在高水位运行，电站基本不调峰。从坝址径流情况来看，6-9 月最小旬均流量为 430 $m^3$/s，远大于 280 $m^3$/s 最小下泄流量要求。3-5 月是裂腹鱼类及黄石爬鮡集中产卵繁殖时段，该时段电站主要承担基荷和腰荷，可根据电力系统需求进行适度调峰运行，水库水位在正常蓄水位 2302m 至死水位 2297m 之间波动，调节库容为 0.8 亿 $m^3$，3-5 月最小日发电流量 440$m^3$/s，大于 280 $m^3$/s。其他月份最小日发电流量 440$m^3$/s(大于 180$m^3$/s)。电站正常运行时，发电流量即可满足下游生态流量需求。

### 6.3.4 水温影响减缓措施

#### 6.3.4.1 水温影响减缓措施设计

根据水温影响预测结果表明，旭龙水库联合运行条件下，取水口高程为 2264m 时，库区水温呈季节性分层型水温结构特征。升温期 3 月～8 月下泄水温较现状平均降低了 2.5℃，其中 5 月水温降幅最大，为 4.0℃。评价江段鱼类产卵季节集中在 3~9 月，下泄低温水将对下游鱼类生长繁殖产生一定的影响。据此，本报告设计不同取水口高程，初步拟定 2269m 和 2272m 取水口高程，对比分析平水典型年不同取水口高程库区水温结构及下泄水温的变化情况。

首先通过对比分析，充分考虑下游鱼类产卵场等敏感区的需求（如长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼在天然河段的繁殖水温约 8~15℃，四川裂腹鱼繁殖水温为 13℃，以及鮡科鱼类繁殖期主要在 6~7 月，其繁殖也需要 13℃左右的水温），遴选出水温变化对下游敏感区影响最小的取水口底板高程工况，然后补充该工况下丰、枯典型年的水温预测，对比分析不同典型年水温变化情况以及水温累积影响，以便为水生生态保护等提供技术支撑。

**表 6.3-17　旭龙水库水温影响缓解措施工况设计**

| 工况 | 水库运行方案 | 取水口底板高程 | 水文条件 | 入流水温 | 气象条件 | 数学模型 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 联合运行不同取水口底板高程 | 2269m | 梯级联合运行方案，典型平水年苏洼龙下泄流量 | 库尾入流水温采用上一级电站的下泄水温，包括支流的影响。下游河道入流水温预测采用电站下泄水温，并考虑主要支流入汇影响。 | 库周气象站的多年平均逐月气象过程 | 旭龙电站均采用立面二维水温模型，下游河道采用纵向一维水温模型 |
| 2 | | 2272m | | | | |
| 3 | 联合运行 | 推荐取水口底板高程 | 梯级联合运行方案，典型丰水年苏洼龙下泄流量 | 库尾入流水温采用上一级电站的下泄水温，包括支流的影响。下游河道入流水温预测采用电站下泄水温，并考虑主要支流入汇影响。 | 库周气象站的多年平均逐月气象过程 | 旭龙电站均采用立面二维水温模型，下游河道采用纵向一维水温模型 |
| 4 | | | 梯级联合运行方案，典型枯水年苏洼龙下泄流量 | | | |

### 6.3.4.2 措施效果分析

本章节水温预测模型及其边界条件和网格划分等与水温影响预测与评价章节雷同，在此不再累赘。下述分析过程均考虑水温影响预测与评价章节中取水口底板高程为 2264m 的预测结果。

（1）旭龙水库联合运行不同取水高程水温影响预测

1）库区水温预测分析

旭龙水电站在典型平水年、多年平均入库水温和多年平均气象条件下不同取水高程（2269m 和 2272m）的 1、5、7 和 10 月库区立面二维水温预测结果如图 6.3-8~图 6.3-11 所示，均为各月 15 日计算值。1、5、7 和 10 月各月 15 日的坝前水温分布对比

如图 6.3-12。5 月份各工况坝前水温及流线分布对比如图 6.3-13 所示。平水年不同取水高程坝前垂向水温对比如图 6.3-14 所示。各取水方案旭龙水电站库区均呈季节性分层型水温结构特征。

1 月来流水温、气温和入库流量均较低，库区流速缓慢且均匀。2269m 取水工况坝前平均水温为 7.2℃，库底温度稳定在 6.3℃，库表温度为 8.2℃；2272m 取水工况坝前平均水温为 7.1℃，库底温度稳定在 6.3℃，库表温度为 8.1℃。

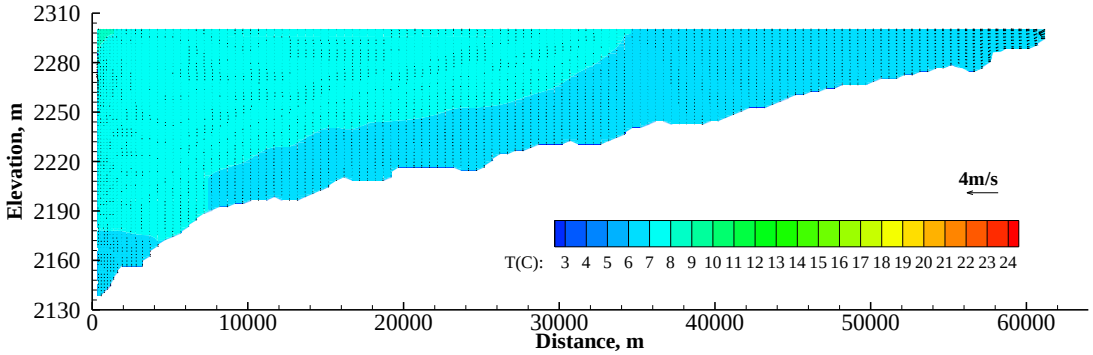
5 月来流水温和气温等继续提升，库区水温大幅升高。2269m 和 2272m 取水工况的表层水温分别升高至 20.1℃和 20.2℃，下层温度均为 5.5℃，坝前平均水温分别为 7.5℃和 7.4℃，2269m 工况在 2220~2295m、2272m 工况在 2223~2295m 范围内出现较明显的温跃层，梯度均为 0.2℃/m。不同工况库区水温和流场分布类似，但是可明显看出，随着取水口位置的升高，其主流区位置也随之升高，最大流速分布均在取水口底板高程上方 5m 左右，其中，2269m 和 2272m 已经基本可以取得表层水体，尤以 2272m 最为明显。

7 月的入流水温继续升高，其流量大幅增加（2245 $m^3/s$），库区水体流速增大。2269m 和 2272m 工况的坝前表层水温分别为 19.7 和 16.6℃，库底水温均为 5.7℃，坝前平均水温分别为 9.5℃和 9.3℃。由于取水高程升高，各工况温跃层位置和梯度有明显差异。对于表层温跃层而言，2269m 工况于表层 10m 内出现梯度为 0.5℃/m 的温跃层；2272m 工况于表层 8m 内出现梯度为 0.2℃/m 的温跃层。在取水口下方，2269m 工况在 2211~2242m 处出现温度梯度为 0.3℃/m 的温跃层；2272m 工况在 2215~2245m 范围内出现温跃层，梯度为 0.3℃/m。

10 月气温和太阳辐射快速下降，且干流的入流水温也下降，库区水温整体下降明显。2269m 和 2272m 工况坝前垂向平均水温分别为 10.6℃和 10.5℃，底层水温均稳定在 6.0℃，分层现象依然明显，2269m 工况在 2191~2199m、2272m 工况在 2193~2201m 范围内出现温跃层，梯度均为 1.0℃/m。

从坝前水温结果来看，各工况库底变化不大，主要差距在表层水温及温跃层位置的变化。对于表层水温而言，在升温期，流量和分层均加强，2264m，2269m 和 2272m 工况随着取水口高程的升高表层失温逐渐增加，温度逐渐降低，温跃层位置也有不同程度的提升。降温期流量减小，分层减弱，表层水温接近，底部温跃层位置有所差异。

2269m




2272m

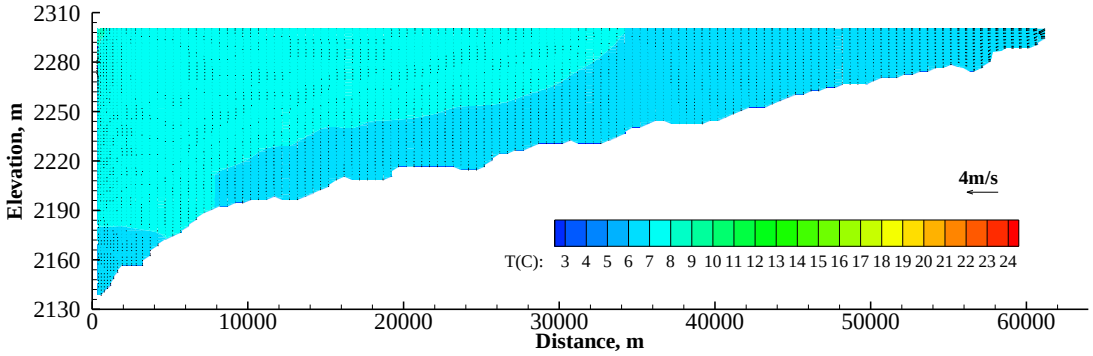
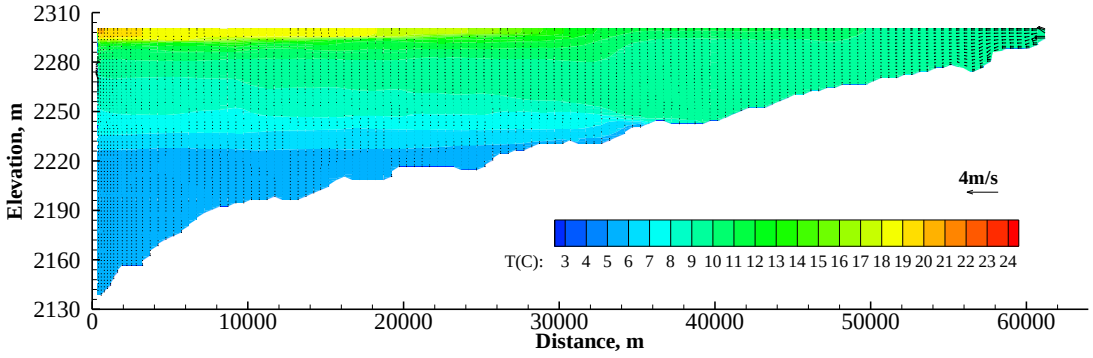



图 6.3-8 旭龙水电站平水年不同取水口底板高程 1 月库区二维水温分布

2269m




2272m

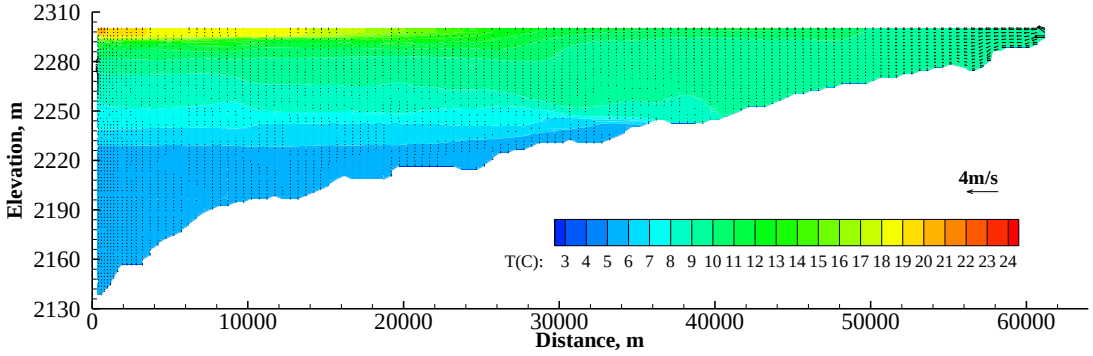
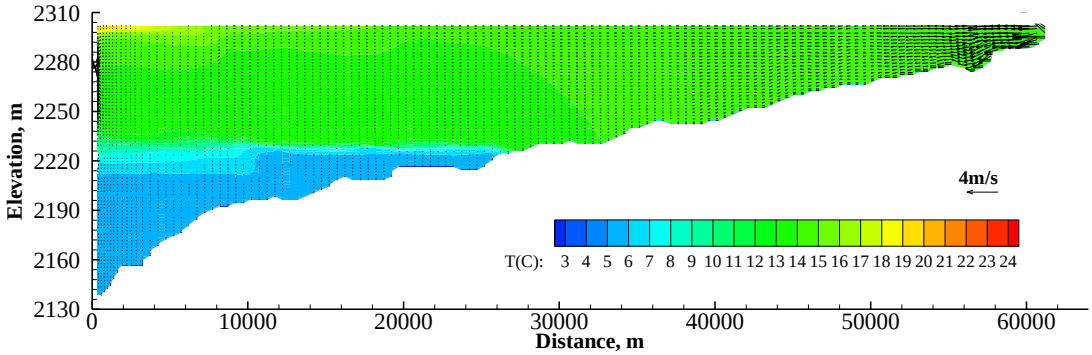



图 6.3-9 旭龙水电站平水年不同取水口底板高程 5 月库区二维水温分布

2269m




2272m

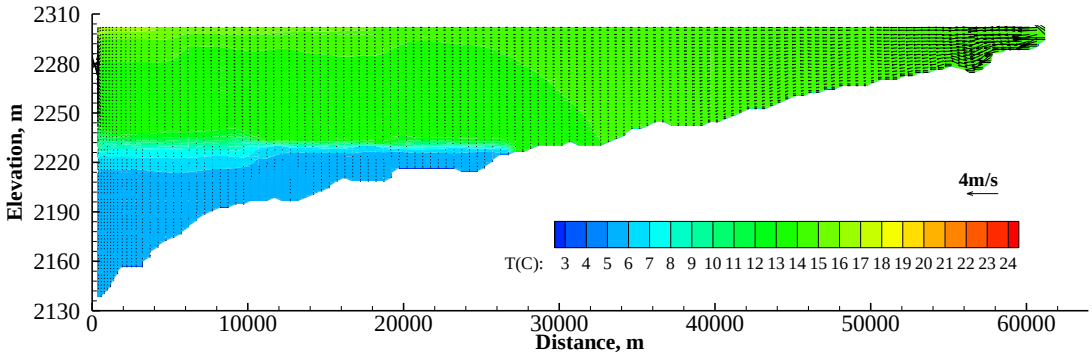
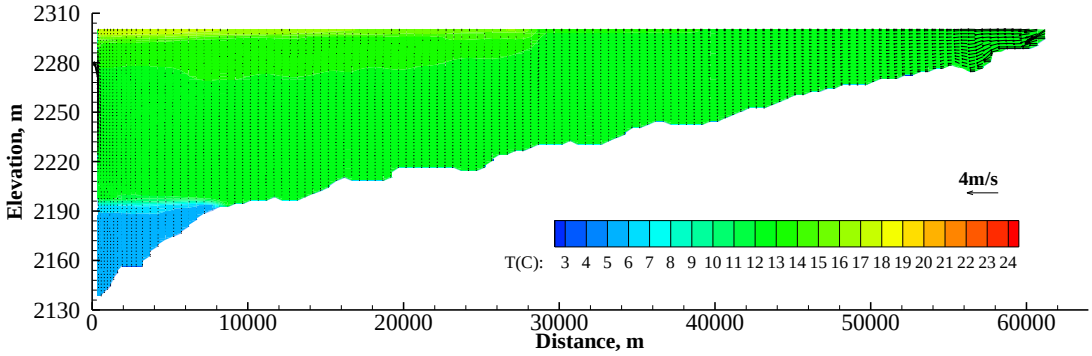



图 6.3-10 旭龙水电站平水年不同取水口底板高程 7 月库区二维水温分布

2269m




2272m

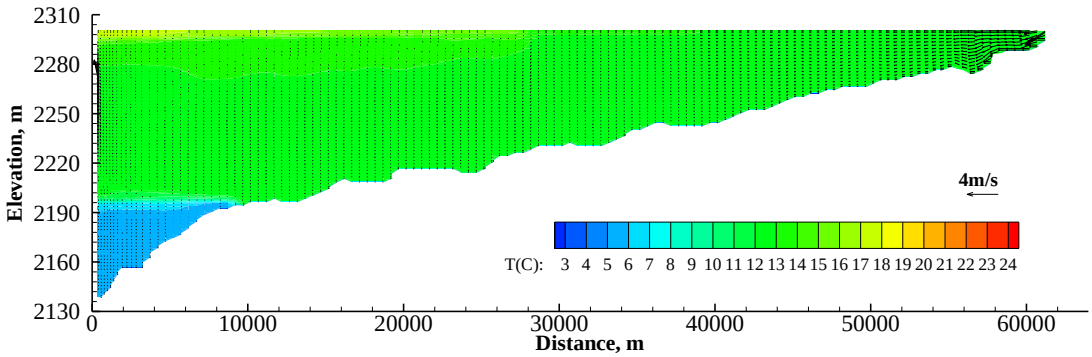



图 6.3-11 旭龙水电站平水年不同取水口底板高程 10 月库区二维水温分布

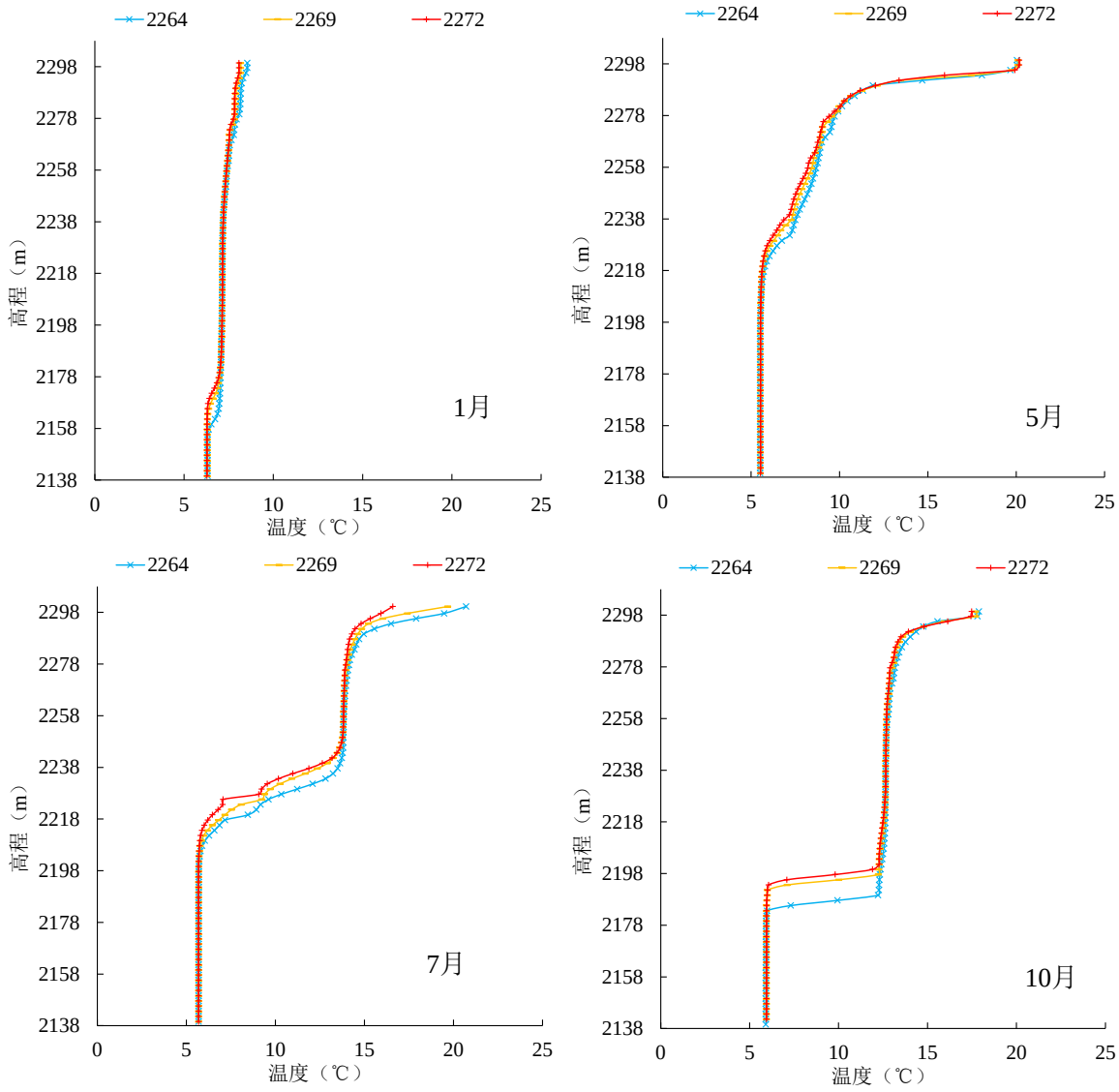
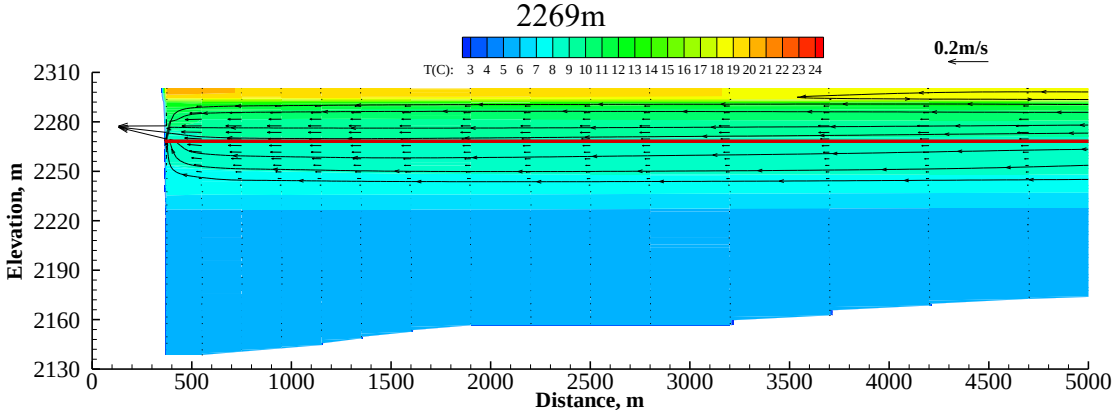



图 6.3-12　旭龙水库不同取水口底板高程坝前水温分布对比



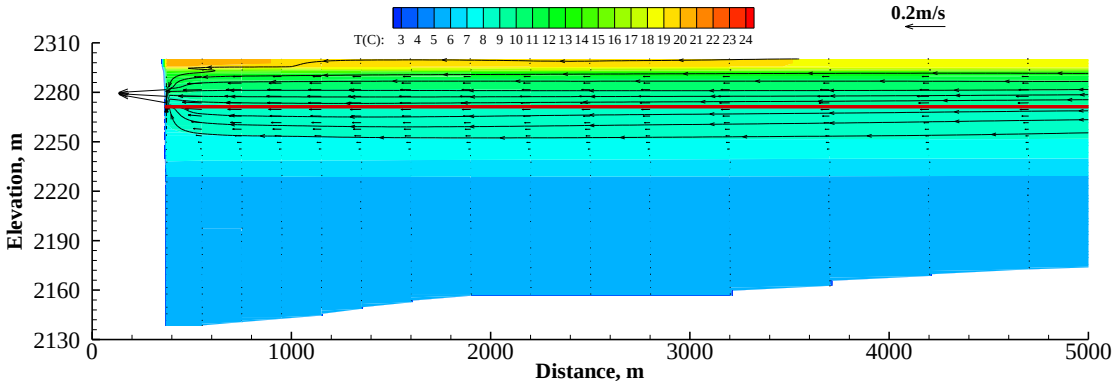
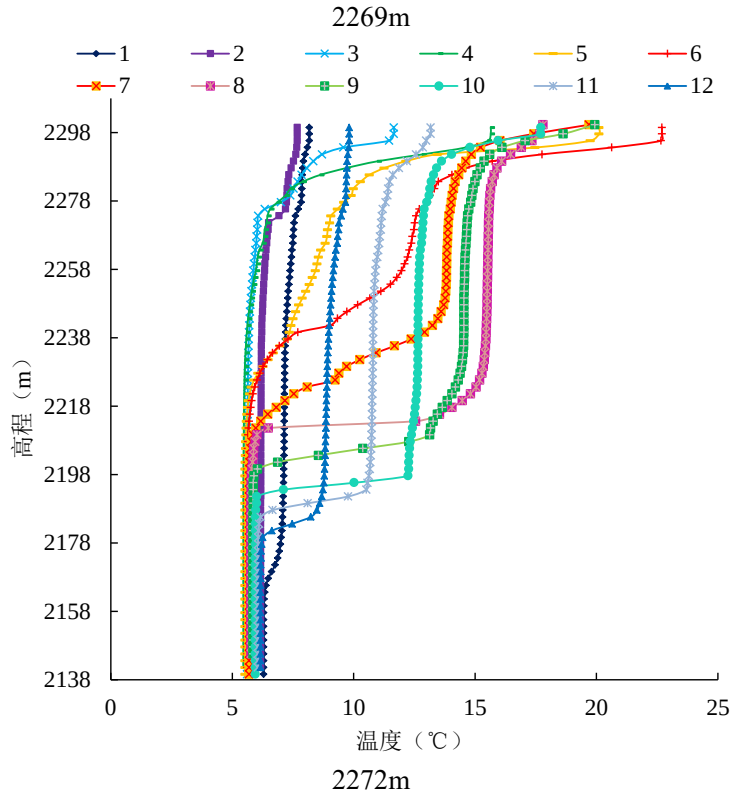



图 6.3-13　旭龙水库不同取水口底板高程 5 月份坝前水温及流线分布对比



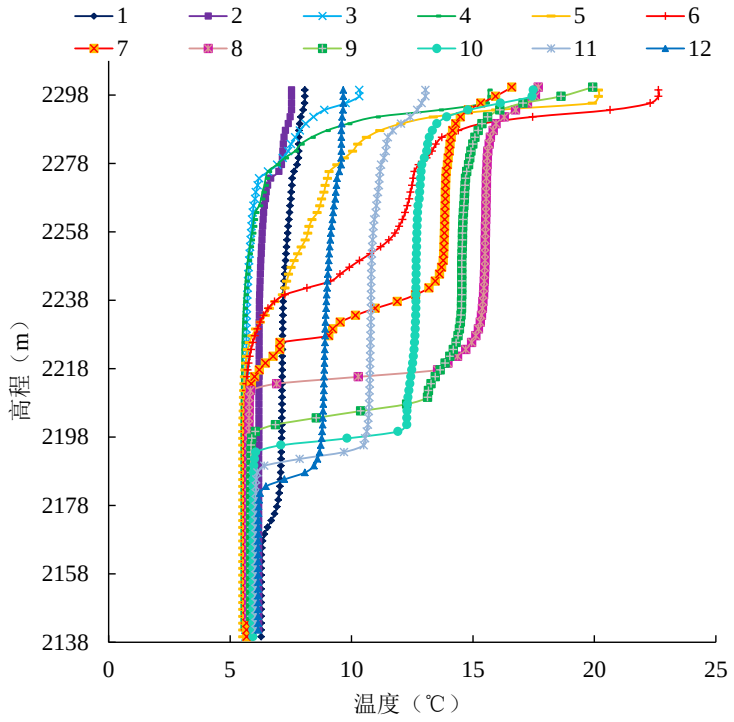



图 6.3-14　旭龙水库不同取水口底板高程坝前垂向水温分布对比

2）月均水温预测分析

旭龙联合运行平水年不同取水工况的下泄水温与坝址现状水温如表 6.3-18、图 6.3-15 和图 6.3-16 所示。

与坝址现状年均水温相比，旭龙水库联合运行平水年不同取水工况的年均下泄水温均有所改变， 2269m 和 2272m 年均下泄水温较现状分别变化了 0.6℃和 0.7℃。下泄水温过程 3 月～8 月均低于现状水温，在 9 月～翌年 2 月均高于坝址现状水温。

升温期 3 月～8 月下泄水温较现状平均降低了 2.4℃（2269m）和 2.3℃（2272m），由均值来看，2264m 工况低温水影响程度最大，是因为其取水口底板高程相对较低，较其余工况较难取得表层高温水体。各不同取水口底板高程工况均在 5 月降幅最大，分别下降了 4.0℃（2264m）、3.9℃（2269m）和 3.8℃（2272m）。其中 3 月份各工况下泄水温差别较大，分别下降了 1.3℃（2264m）、0.9℃（2269m）和 0.7℃（2272m），是因为 3 月份联合运行入流水温最低，库底水温降低，而气温和太阳辐射升高明显，库区表层水体温度升高，开始出现明显的温度分层现象，如图 6.3-17，取水口高程越高越易取得表层高温水体，表层失热明显，下泄水温升高。总体来看，取水高程提高，对于下泄低温水有一定的改善作用。降温期 8 月～次年 1 月， 2269m 工况旭龙下泄水温比现状上升了 3.5℃；2272m 工况上升了 3.6℃；均在 12 月升幅最大，为 6.3℃。

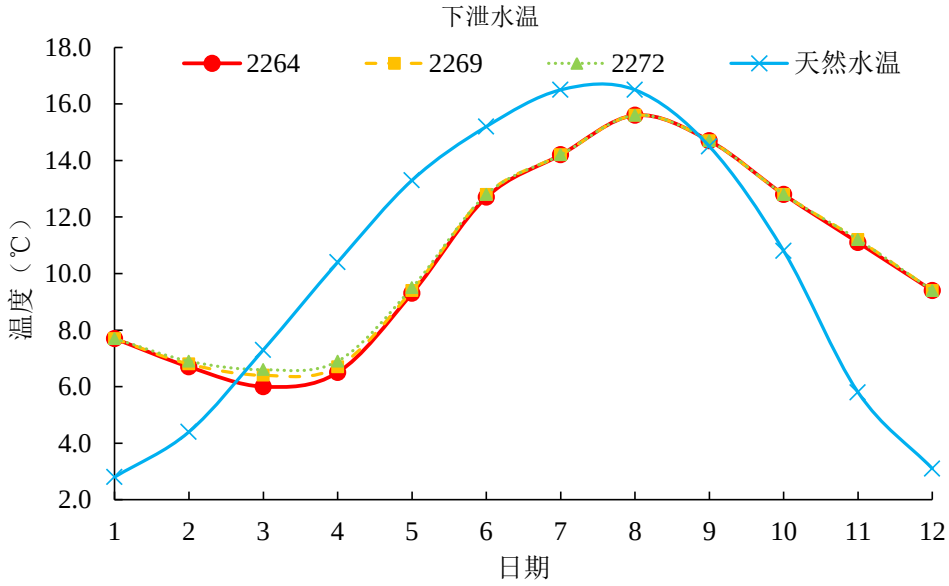



图 6.3-15　旭龙电站平水年不同取水口底高程下泄水温与坝址现状水温比较

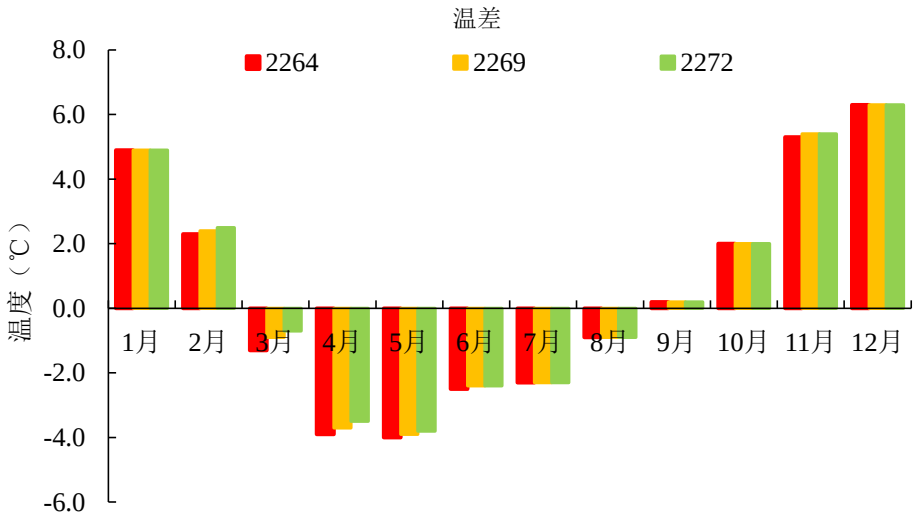



图 6.3-16　旭龙电站平水年不同取水口底高程下泄水温与坝址现状水温温差比较

表 6.3-18　旭龙电站不同取水口底高程月均下泄水温与坝址现状水温比较（℃）

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 2269m | 2272m | c-b | d-b |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | C | d | E | F |
| 1 月 | 6 | 2.8 | 7.7 | 7.7 | 4.9 | 4.9 |
| 2 月 | 8.5 | 4.4 | 6.8 | 6.9 | 2.4 | 2.5 |
| 3 月 | 11.7 | 7.3 | 6.4 | 6.6 | -0.9 | -0.7 |
| 4 月 | 15.1 | 10.4 | 6.7 | 6.9 | -3.7 | -3.5 |
| 5 月 | 19.5 | 13.3 | 9.4 | 9.5 | -3.9 | -3.8 |

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 2269m | 2272m | c-b | d-b |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 月 | 22.8 | 15.2 | 12.8 | 12.8 | -2.4 | -2.4 |
| 7 月 | 21.7 | 16.5 | 14.2 | 14.2 | -2.3 | -2.3 |
| 8 月 | 20.5 | 16.5 | 15.6 | 15.6 | -0.9 | -0.9 |
| 9 月 | 19.4 | 14.5 | 14.7 | 14.7 | 0.2 | 0.2 |
| 10 月 | 15.8 | 10.8 | 12.8 | 12.8 | 2.0 | 2.0 |
| 11 月 | 10.2 | 5.8 | 11.2 | 11.2 | 5.4 | 5.4 |
| 12 月 | 6.1 | 3.1 | 9.4 | 9.4 | 6.3 | 6.3 |
| 年均 | 14.8 | 10.0 | 10.6 | 10.7 | 0.6 | 0.7 |
| 最大值 | 22.8 | 16.5 | 15.6 | 15.6 | 6.3 | 6.3 |
| 最小值 | 6.0 | 2.8 | 6.4 | 6.6 | -3.9 | -3.8 |

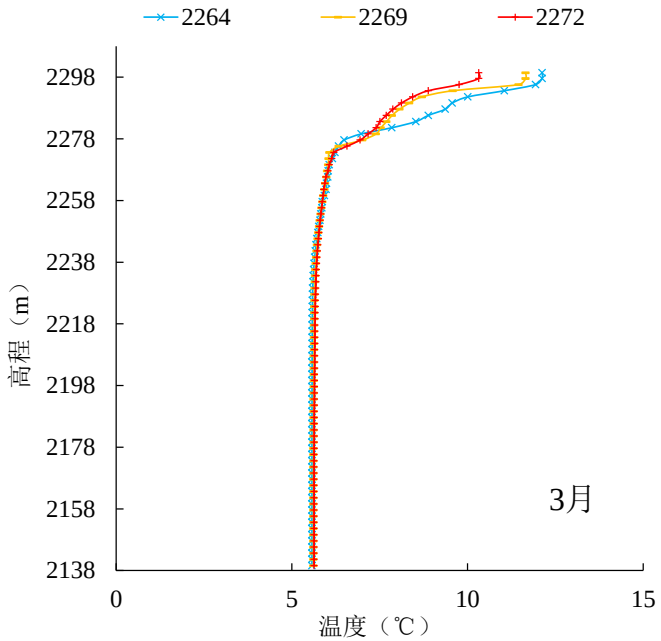



**图 6.3-17　旭龙电站平水年不同取水口底高程坝前 3 月垂向水温分布比较**

综上所述，联合运行条件下，取水口底板高程升高，对于库区水温结构及下泄水温过程均有一定程度的改变，其中，2269m 和 2272m 对于水库下泄低温水均有一定程度的改善。考虑水温影响和电站运行需求，尤其是 3~5 月为金沙江上游省级保护鱼类如长丝裂腹鱼、青石爬鮡、黄石爬鮡、中华鮡和中甸叶须鱼等的生长繁殖期，此期间 2269m 和 2272m 取水工况月均下泄水温较 2264m 取水工况分别平均提高了 0.3℃和 0.4℃，现拟推荐取水口底板高程 2269m 为旭龙水电站取水推荐方案。

（2）联合运行推荐方案（2269m）丰、枯典型年水温影响预测

1）丰水年

① 库区水温影响分析

旭龙水电站联合运行丰水年各月 15 日的坝前水温分布如图 6.3-18 所示。

丰水年旭龙水电站库区总体呈季节性分层型水温结构特征。

1 月来流水温、气温和入库流量均较低，库区流速缓慢且均匀，坝前平均水温为 7.4℃，库底温度稳定在 7.2℃，库表比库底温度高 0.9℃。

2 月入流水温、气温较 1 月份有所降低，受 1 月入流低温水的影响，坝前垂向断面上平均水温有所降低，平均为 6.5℃，库底水温为 6.2℃，库表水温为 7.8℃。

3 月气温和来流水温全年最低，且受 2 月份入流低温水的影响，坝前垂向断面平均温度全年最低，为 6.3℃，水面温度受气象条件影响有所升高，为 11.8℃，库底水温为 5.6℃，表、底层温差 6.2℃。

4 月来流水温和气温等继续提升，库区水温随之提高，表层水温升高至 15.6℃，下层温度为 5.5℃，坝前温差达 10.1℃，坝前平均水温为 6.5℃。表层 20m 内出现较明显斜温层，温度梯度为 0.4℃/m。

5 月入库水温和气温持续上升，入库流量加大（760$m^3/s$），库区水温大幅升高，表层 15m 内出现温度梯度为 0.7℃/m 的斜温层，坝前表层水温为 20.1℃，库底温度为 5.5℃，表底温差达到 14.6℃。

6 月的入流水温和流量继续增大（月均 2115$m^3/s$），库区温度升高明显。表层水温达到 22.0℃，库底水温为 5.6℃，表底层垂向温差达 16.4℃，垂向平均温度达 9.0℃。库区呈双温跃层结构，在表层 10m 内和 2220~2235m 范围内出现梯度分别为 0.7℃/m 和 0.2℃/m 的斜温层。

7 月的入流水温和气温继续升高，但其流量大幅增加（2954 $m^3/s$），库区水体流速增大，库区中上层水体掺混，坝前表层受 6 下旬流量增大（3200 $m^3/s$）和泄洪（1393$m^3/s$）表层失温影响，降低为 15.7℃，而库底水温为 5.7℃，坝前温差达 10.0℃，坝前平均水温为 10.7℃。在 2195~2215m 处出现明显的温跃层，梯度为 0.4℃/m。

8 月的月均气温和太阳辐射有所下降，但入库流量仍然很大（2397$m^3/s$），且受 7 月入流影响，在 2200m~2285m 水体掺混明显，基本保持温，坝前平均温度水温达为 12.4℃，表层水温为 20.5℃，库底水温为 5.6℃，表底温差达 14.9℃。在 2190~2200m 处出现明显的温跃层，梯度为 0.8℃/m。

9 月的气温、太阳辐射、入流水温较 8 月均略有下降，长、短波辐射均降低，入库流量仍然较大（2604m³/s），在 2185m~2300m 水体垂向掺混，表层水温达到 17.1℃，底部温度为 5.5℃，垂向平均温度为 12.6℃，坝前温差达 11.6℃。

10 月、11 月气温和太阳辐射快速下降，且干流的入流水温也下降，库区水温整体下降明显，坝前垂向平均水温分别为 12.1℃和 10.9℃，11 月表层水温降至 12.9℃，底层水温为 6.3℃，分层现象明显。

12 月受气象和入流水温影响，库区水温进一步降低，坝前平均水温降至 9.0℃，表层水温降至 9.5℃，底层水温为 8.8℃，坝前垂向温差缩小至 0.7℃。

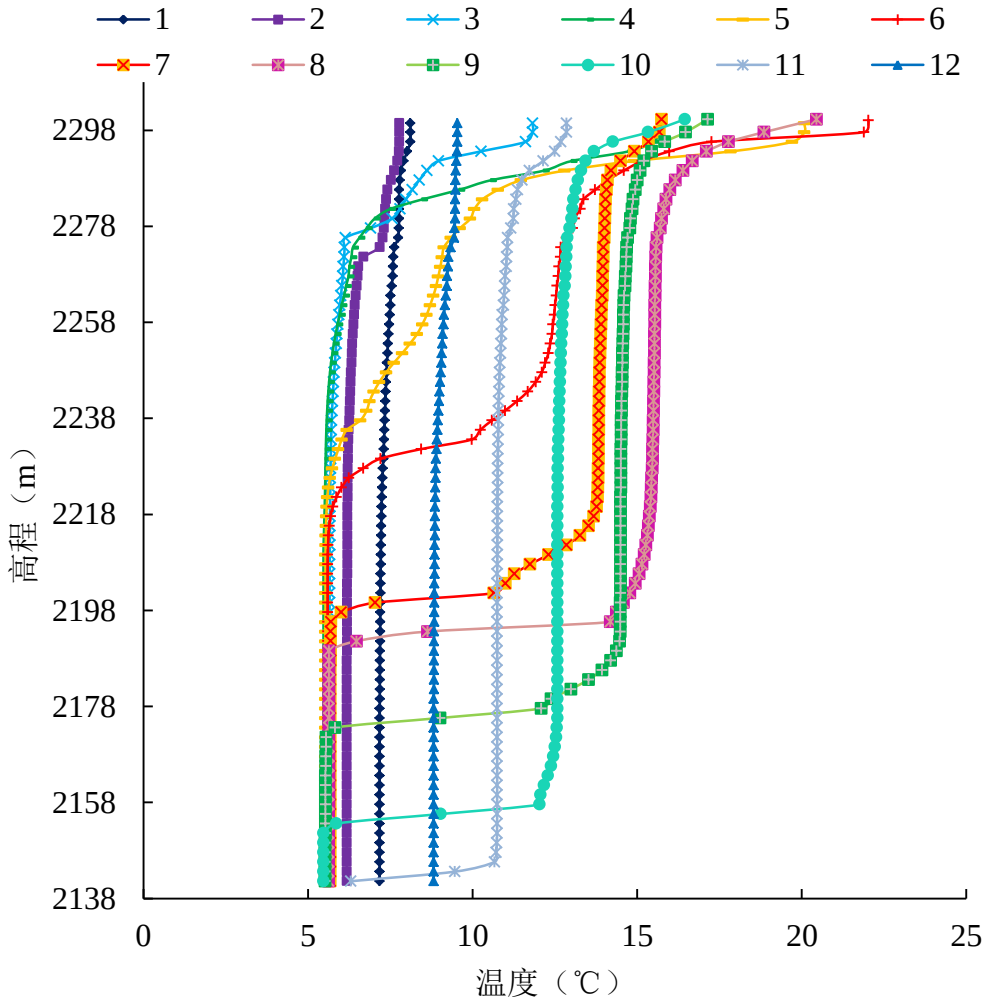



图 6.3-18　旭龙水库联合运行丰水年坝前水温分布

② 月均水温变化

旭龙水电站丰水年联合运行条件下的月均下泄水温、坝前表层水温、库底水温、坝址处天然水温及气温年内过程如

表 6.3-19 和图 6.3-19 所示。

就表层水温而言 2 月最低，为 7.8℃，6 月最高，为 22.0℃，年内变化 14.3℃。3~6 月库区水温受入流水温升高和升温期气象条件影响而有较大幅度增长，表层水温也由于长短波辐射的增强而升高。到 7~8 月期间流量开始增大，库区流动增大，水温垂向掺混，表层水温有所降低，8 月库区高温水推进至坝前，下泄水温达到最大值 15.6℃。9 月入库水温、气温、太阳辐射等均有所下降，水库进入降温期。10 月~12 月受来流水温持续降低和气象条件影响，库区水温降幅明显。

水库存在稳定的库底水温。库底水温在年内维持在 5.5℃~8.8℃，年内变化 3.3℃。

水库整体呈季节性分层型水温结构特征，平均垂向温差为 8.7℃。水库部分月份表层与底层之间温差较大，6 月温差最大，为 16.4℃。

与坝址天然水温相比，水库下泄水温过程有较大的变化。研究区域气温年均 14.8℃，入流水温年均 10.1℃。在 3~8 月期间存在下泄低温水，平均低 2.4℃，下泄低温水最明显的月份为 5 月，平均低 3.9℃。而在降温期 9 月~翌年 2 月下泄水温平均上升 3.5℃，12 月温升幅度最大，为 6.2℃，在此期间入库流量较小，库区流速平缓，水库蓄水后水面面积增大，库区整体从大气获得热量较建库前有所增加。水库年均下泄水温比建坝前升高 0.6℃。

**表 6.3-19 旭龙丰水年的月均下泄、表层、库底、坝址天然水温及气温　单位：**℃

| 月份 | 气温 | 表层水温 | 库底水温 | 表底温差 | 坝址天然水温 | 月均下泄水温 | 与坝址水温差值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | c | b-c | d | e | e-d |
| 1 | 6 | 8.1 | 7.2 | 0.9 | 2.8 | 7.6 | 4.8 |
| 2 | 8.5 | 7.8 | 6.2 | 1.6 | 4.4 | 6.9 | 2.5 |
| 3 | 11.7 | 11.8 | 5.6 | 6.2 | 7.3 | 6.4 | -0.9 |
| 4 | 15.1 | 15.6 | 5.5 | 10.2 | 10.4 | 6.6 | -3.8 |
| 5 | 19.5 | 20.1 | 5.5 | 14.6 | 13.3 | 9.4 | -3.9 |
| 6 | 22.8 | 22.0 | 5.6 | 16.4 | 15.2 | 12.9 | -2.3 |
| 7 | 21.7 | 15.7 | 5.7 | 10.1 | 16.5 | 14.2 | -2.3 |
| 8 | 20.5 | 20.5 | 5.6 | 14.8 | 16.5 | 15.6 | -0.9 |
| 9 | 19.4 | 17.1 | 5.5 | 11.6 | 14.5 | 14.7 | 0.2 |
| 10 | 15.8 | 16.5 | 5.5 | 11.0 | 10.8 | 12.8 | 2.0 |
| 11 | 10.2 | 12.9 | 6.3 | 6.6 | 5.8 | 11.1 | 5.3 |
| 12 | 6.1 | 9.5 | 8.8 | 0.7 | 3.1 | 9.3 | 6.2 |
| 年均 | 14.8 | 14.8 | 6.1 | 8.7 | 10.0 | 10.6 | 0.6 |

| 月份 | 气温 | 表层水温 | 库底水温 | 表底温差 | 坝址天然水温 | 月均下泄水温 | 与坝址水温差值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大值 | 22.8 | 22.0 | 8.8 | 16.4 | 16.5 | 15.6 | 6.2 |
| 最小值 | 6.0 | 7.8 | 5.5 | 0.7 | 2.8 | 6.4 | -3.9 |
| 年内变幅 | 16.8 | 14.3 | 3.3 | - | 13.7 | 9.2 | 10.1 |

注：表层水温和库底水温均为当月 15 日值，月均下泄水温为各月平均水温；坝址水温为推算值。

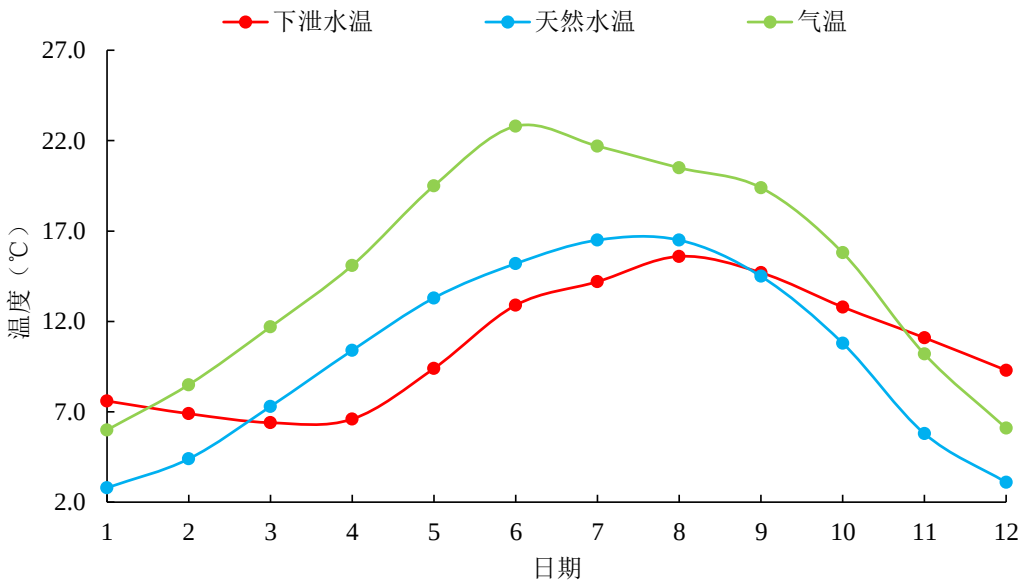



**图 6.3-19　旭龙水电站丰水年月均下泄、坝址处天然水温、表、底水温比较**

2）枯水年

① 库区水温影响分析

旭龙水电站联合运行枯水年各月 15 日的坝前水温分布如图 6.3-20 所示。

枯水年旭龙水电站库区总体呈季节性分层型水温结构特征。

1 月来流水温、气温和入库流量均较低，库区流速缓慢且均匀，坝前平均水温为 7.0℃，库底温度稳定在 6.2℃，库表比库底温度高 0.8℃。

2 月入流水温、气温较 1 月份有所降低，受 1 月入流低温水的影响，坝前垂向断面上平均水温有所降低，平均为 6.5℃，库底水温为 6.2℃，库表水温为 7.7℃。

3 月气温和来流水温全年最低，且受 2 月份入流低温水的影响，坝前垂向断面平均温度全年最低，为 6.2℃，水面温度受气象条件影响有所升高，为 11.7℃，库底水温为 5.6℃，表、底层温差 6.1℃。

4 月来流水温和气温等继续提升，库区水温随之提高，表层水温升高至 15.6℃，下层温度为 5.5℃，坝前温差达 10.1℃，坝前平均水温为 6.5℃。表层 15m 内出现较明显斜

温层，温度梯度为 0.5℃/m。

5 月入库水温和气温持续上升，入库流量加大（732m$^3$/s），库区水温大幅升高，表层 20m 内出现温度梯度为 0.5℃/m 的斜温层，坝前表层水温为 20.1℃，库底温度为 5.5℃，表底温差达到 14.6℃。

6 月的入流水温和流量继续增大（月均 1184m$^3$/s），库区温度升高明显。表层水温达到 22.5℃，库底水温为 5.6℃，表底层垂向温差达 16.9℃，垂向平均温度达 8.8℃。库区呈双温跃层结构，在表层 15m 内和 2230~2250m 范围内出现梯度分别为 0.6℃/m 和 0.3℃/m 的斜温层。

7 月的入流水温和气温继续升高，但其流量大幅增加（2071 m$^3$/s），库区水体流速增大，库区中上层水体掺混，坝前表层受泄洪（541 m$^3$/s）失温影响，降为 15.9℃，而库底水温为 5.7℃，坝前温差达 10.2℃，坝前平均水温为 9.7℃。在 2210~2230m 处出现明显的温跃层，梯度为 0.4℃/m。

8 月的月均气温和太阳辐射有所下降，但入库流量仍然很大（1160m$^3$/s），且受 7 月入流影响，在 2220m~2280m 水体掺混明显，基本保持温，同时坝前平均温度水温达全年最高，为 10.9℃，表层水温为 22.2℃，库底水温为 5.7℃，表底温差达 16.5℃。在 2213~2220m 处出现明显的温跃层，梯度为 1.2℃/m。

9 月的气温、太阳辐射、入流水温较 8 月均略有下降，长、短波辐射均降低，入库流量仍然较大（982m$^3$/s），在 2220m~2280m 水体垂向掺混，表层水温达到 21.2℃，底部温度为 5.8℃，垂向平均温度为 10.8℃，坝前温差达 15.4℃。

10 月、11 月气温和太阳辐射快速下降，且干流的入流水温也下降，库区水温整体下降明显，坝前垂向平均水温分别为 10.0℃和 9.1℃，11 月表层水温降至 13.4℃，底层水温为 6.0℃，分层现象明显。

12 月受气象和入流水温影响，库区水温进一步降低，坝前平均水温降至 8.0℃，表层水温降至 10.1℃，底层水温为 6.1℃，坝前垂向温差缩小至 4.0℃。

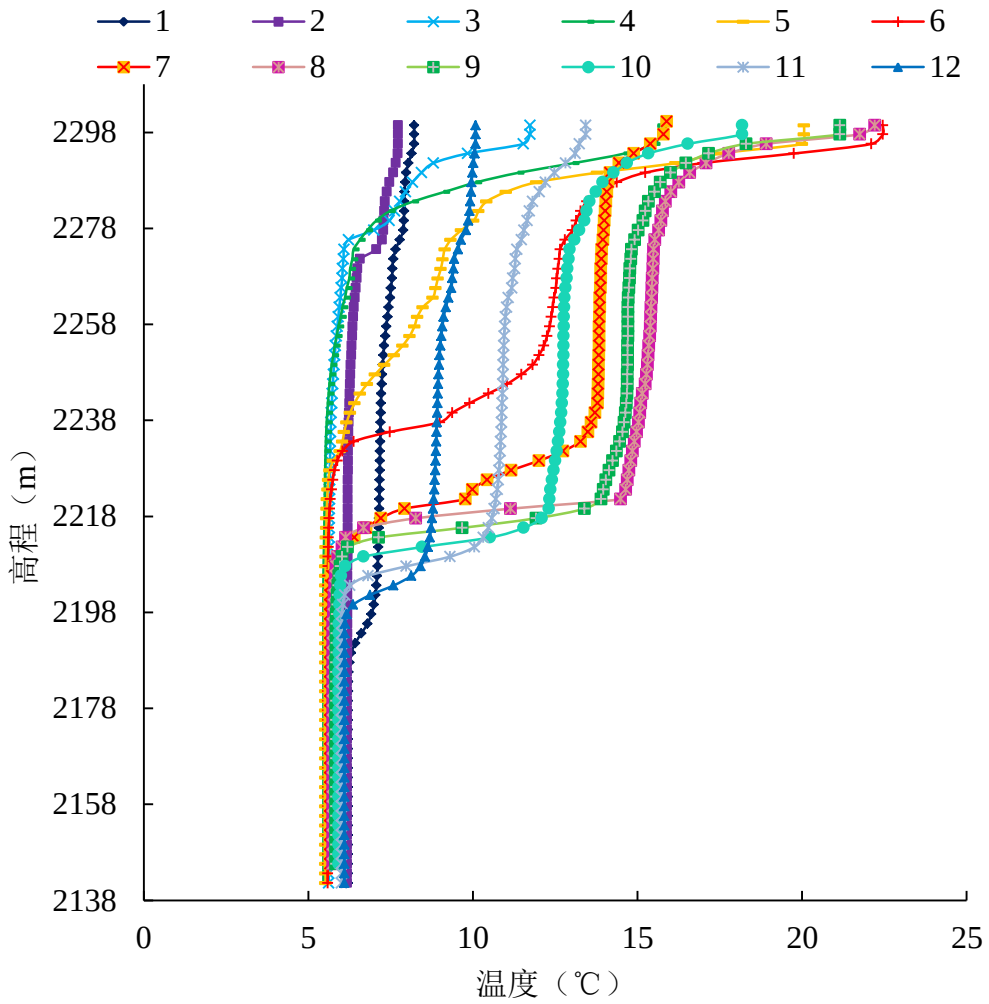



图 6.3-20　旭龙水库联合运行枯水年坝前水温分布

② 月均水温变化

旭龙水电站枯水年联合运行条件下的月均下泄水温、坝前表层水温、库底水温、坝址处天然水温及气温年内过程如表 6.3-20 和图 6.3-21 所示。

就表层水温而言 2 月最低，为 7.7℃，6 月最高，为 22.5℃，年内变化 14.7℃。3~6 月库区水温受入流水温升高和升温期气象条件影响而有较大幅度增长，表层水温也由于长短波辐射的增强而升高。到 7 月期间流量开始增大，库区流动增大，水温垂向掺混，表层水温有所降低，8 月库区高温水推进至坝前，下泄水温达到最大值 15.5℃。9 月入库水温、气温、太阳辐射等均有所下降，水库进入降温期。10 月~12 月受来流水温持续降低和气象条件影响，库区水温降幅明显。

水库存在稳定的库底水温。库底水温在年内维持在 5.5℃~6.2℃，年内变化 0.7℃。

水库整体呈季节性分层型水温结构特征，平均垂向温差为 9.7℃。水库部分月份表

层与底层之间温差较大，6 月温差最大，为 16.9℃。

与坝址天然水温相比，水库下泄水温过程有较大的变化。研究区域气温年均 14.8℃，入流水温年均 10.1℃。在 3~8 月期间存在下泄低温水，平均低 2.4℃，下泄低温水最明显的月份为 4 月，平均低 3.9℃。而在降温期 9 月~翌年 2 月下泄水温平均上升 3.7℃，12 月温升幅度最大，为 6.4℃，在此期间入库流量较小，库区流速平缓，水库蓄水后水面面积增大，库区整体从大气获得热量较建库前有所增加。水库年均下泄水温比建坝前升高 0.7℃。

**表 6.3-20 旭龙枯水年的月均下泄、表层、库底水温、坝址天然水温及气温**

**单位：**℃

| 月份 | 气温 | 表层水温 | 库底水温 | 表底温差 | 坝址天然水温 | 月均下泄水温 | 与坝址水温差值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | c | b-c | d | e | e-d |
| 1 | 6 | 8.2 | 6.2 | 2.0 | 2.8 | 7.7 | 4.9 |
| 2 | 8.5 | 7.7 | 6.2 | 1.5 | 4.4 | 6.9 | 2.5 |
| 3 | 11.7 | 11.7 | 5.6 | 6.1 | 7.3 | 6.4 | -0.9 |
| 4 | 15.1 | 15.6 | 5.5 | 10.2 | 10.4 | 6.7 | -3.7 |
| 5 | 19.5 | 20.1 | 5.5 | 14.5 | 13.3 | 9.4 | -3.9 |
| 6 | 22.8 | 22.5 | 5.6 | 16.9 | 15.2 | 12.8 | -2.4 |
| 7 | 21.7 | 15.9 | 5.7 | 10.2 | 16.5 | 14.2 | -2.3 |
| 8 | 20.5 | 22.2 | 5.7 | 16.5 | 16.5 | 15.5 | -1.0 |
| 9 | 19.4 | 21.2 | 5.8 | 15.3 | 14.5 | 14.9 | 0.4 |
| 10 | 15.8 | 18.2 | 5.9 | 12.3 | 10.8 | 13.1 | 2.3 |
| 11 | 10.2 | 13.4 | 6.0 | 7.4 | 5.8 | 11.4 | 5.6 |
| 12 | 6.1 | 10.1 | 6.1 | 4.0 | 3.1 | 9.5 | 6.4 |
| 年均 | 14.8 | 15.6 | 5.8 | 9.7 | 10.0 | 10.7 | 0.7 |
| 最大值 | 22.8 | 22.5 | 6.2 | 16.9 | 16.5 | 15.5 | 6.4 |
| 最小值 | 6.0 | 7.7 | 5.5 | 1.5 | 2.8 | 6.4 | -3.9 |
| 年内变幅 | 16.8 | 14.7 | 0.7 | - | 13.7 | 9.1 | 10.3 |

注：表层水温和库底水温均为当月 15 日值，月均下泄水温为各月平均水温；坝址水温为推算值。

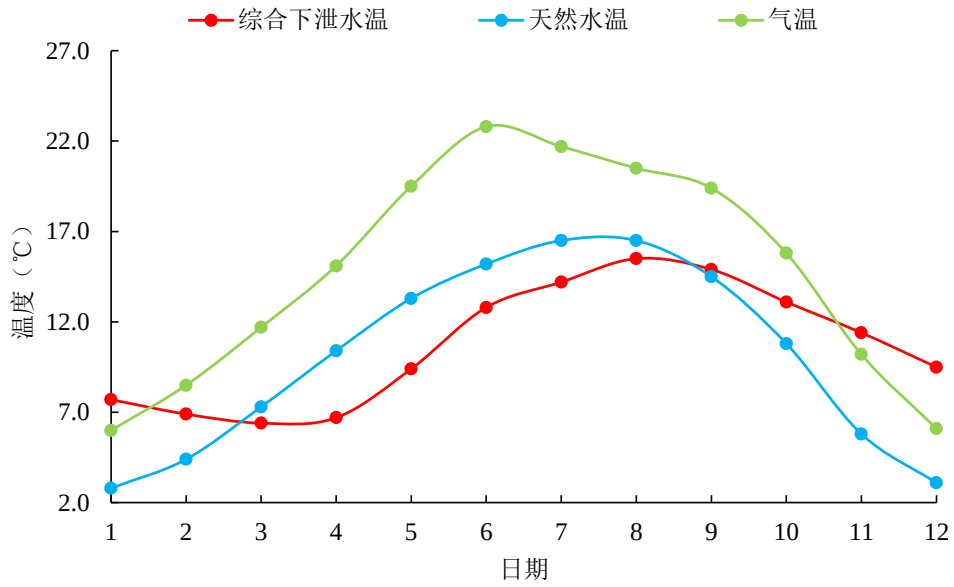



**图 6.3-21　旭龙水电站枯水年月均下泄水温、坝址处天然水温、表、底水温比较**

（3）联合运行推荐方案（2269m）不同典型年的对比及累积影响

1）不同典型年的对比分析

旭龙联合运行运行不同典型年的下泄水温与坝址现状水温如表 6.3-21、图 6.3-22 和图 6.3-23 所示。

与坝址现状年均水温相比，旭龙水库各典型年年均下泄水温均有所改变，平水年、丰水年和枯水年年均下泄水温较现状分别变化了 0.6℃、0.6℃和 0.7℃。各典型年下泄水温过程在 3 月～8 月均低于现状水温，在 9 月~翌年 2 月均高于坝址现状水温。

各典型年在 3 月～8 月下泄水温较现状平均降低了 2.4℃，由均值来看，各典型年差别不大；各典型年均在 4 月降幅最大，均下降了 3.9℃；降温期 9 月～次年 2 月旭龙下泄水温比现状平均上升 3.5℃（丰水年）、3.5℃（平水年）和 3.7℃（枯水年）；均在 12 月升幅最大，分别为 6.2℃（丰水年）、6.3℃（平水年）和 6.4℃（枯水年）。枯水年升幅较大是由于枯水年 9 月~翌年 2 月的平均流量最小为 544$m^3$/s，使得库区的热量调节作用相对增强，温升更明显。

旭龙电站联合运行各典型年水温延迟情况对比如表 6.3-22 所示。各方案水温延迟情况基本相同。天然水温最高水温出现的时段为 8 月上旬，丰水年出现在 8 月中旬，延迟 1 旬，平水年和枯水年出现在 8 月下旬，延迟 2 旬；各典型年最低水温均出现在 3 月下旬，较天然延迟 8 旬。各典型年升温期 12℃和 14℃出现的时段均相同，分别为 6 月上旬和 7 月中旬，较天然情况分别延迟 3 旬和 5 旬。降温期 14℃出现的时段较天然情况均

无延迟，于 9 月下旬出现；丰水年和平水年 12℃出现的时段为 10 月下旬，较天然情况延迟 2 旬，枯水年出现在 11 月上旬，较天然情况延迟 3 旬。

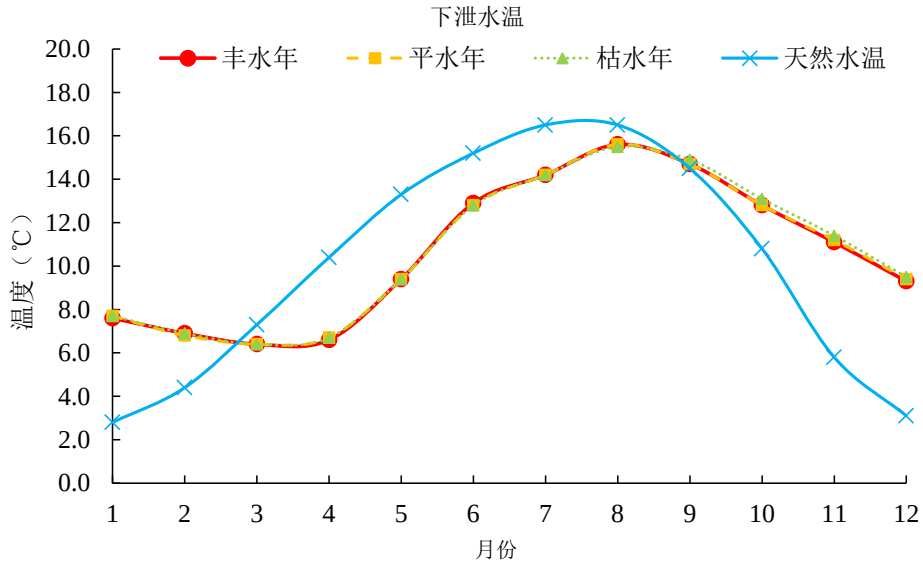



图 6.3-22　旭龙电站不同典型年下泄水温与坝址现状水温比较

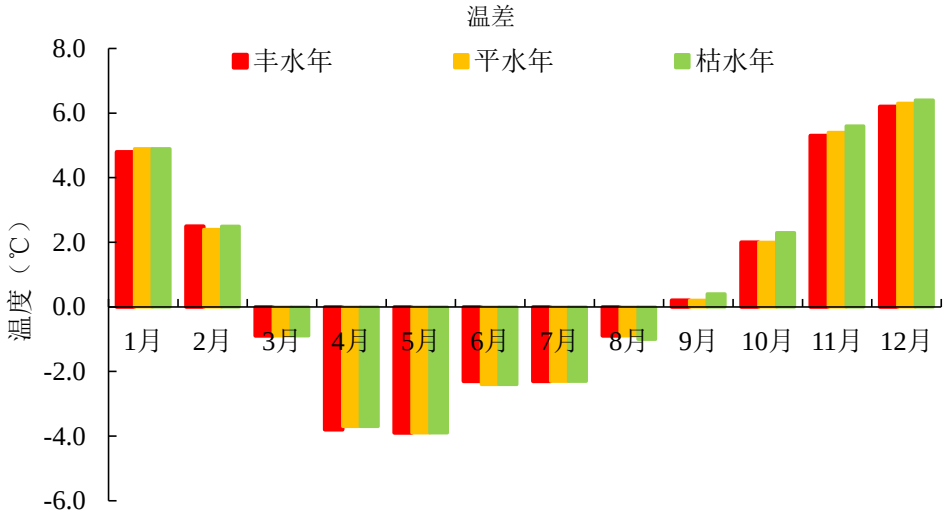



图 6.3-23　旭龙电站不同典型年下泄水温与坝址现状水温温差比较

表 6.3-21　旭龙电站不同典型年月均下泄水温与坝址现状水温比较（℃）

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 丰水年下泄 | 平水年下泄 | 枯水年下泄 | c-b | d-b | e-b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | c | d | e | g | h | i |
| 1 月 | 6 | 2.8 | 7.6 | 7.7 | 7.7 | 4.8 | 4.9 | 4.9 |
| 2 月 | 8.5 | 4.4 | 6.9 | 6.8 | 6.9 | 2.5 | 2.4 | 2.5 |

| 月份 | 气温 | 坝址现状水温 | 丰水年下泄 | 平水年下泄 | 枯水年下泄 | c-b | d-b | e-b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 月 | 11.7 | 7.3 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | -0.9 | -0.9 | -0.9 |
| 4 月 | 15.1 | 10.4 | 6.6 | 6.7 | 6.7 | -3.8 | -3.7 | -3.7 |
| 5 月 | 19.5 | 13.3 | 9.4 | 9.4 | 9.4 | -3.9 | -3.9 | -3.9 |
| 6 月 | 22.8 | 15.2 | 12.9 | 12.8 | 12.8 | -2.3 | -2.4 | -2.4 |
| 7 月 | 21.7 | 16.5 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | -2.3 | -2.3 | -2.3 |
| 8 月 | 20.5 | 16.5 | 15.6 | 15.6 | 15.5 | -0.9 | -0.9 | -1.0 |
| 9 月 | 19.4 | 14.5 | 14.7 | 14.7 | 14.9 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| 10 月 | 15.8 | 10.8 | 12.8 | 12.8 | 13.1 | 2.0 | 2.0 | 2.3 |
| 11 月 | 10.2 | 5.8 | 11.1 | 11.2 | 11.4 | 5.3 | 5.4 | 5.6 |
| 12 月 | 6.1 | 3.1 | 9.3 | 9.4 | 9.5 | 6.2 | 6.3 | 6.4 |
| 年均 | 14.8 | 10.0 | 10.6 | 10.6 | 10.7 | 0.6 | 0.6 | 0.7 |
| 最大值 | 22.8 | 16.5 | 15.6 | 15.6 | 15.5 | 6.2 | 6.3 | 6.4 |
| 最小值 | 6.0 | 2.8 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | -3.9 | -3.9 | -3.9 |

**表 6.3-22　旭龙电站不同典型年下泄水温延迟情况比较**

| 项目 | | 天然情况 | 丰水年 | 丰水年与天然情况差异 | 平水年 | 平水年与天然情况差异 | 枯水年 | 枯水年与天然情况差异 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最高水温出现时段 | | 8 月上旬 | 8 月中旬 | 1 旬 | 8 月下旬 | 2 旬 | 8 月下旬 | 2 旬 |
| 最低水温出现时段 | | 1 月上旬 | 3 月下旬 | 8 旬 | 3 月下旬 | 8 旬 | 3 月下旬 | 8 旬 |
| 升温期 | 12℃ | 5 月上旬 | 6 月上旬 | 3 旬 | 6 月上旬 | 3 旬 | 6 月上旬 | 3 旬 |
| | 14℃ | 5 月下旬 | 7 月中旬 | 5 旬 | 7 月中旬 | 5 旬 | 7 月中旬 | 5 旬 |
| 降温期 | 14℃ | 9 月下旬 | 9 月下旬 | 0 旬 | 9 月下旬 | 0 旬 | 9 月下旬 | 0 旬 |
| | 12℃ | 10 月上旬 | 10 月下旬 | 2 旬 | 10 月下旬 | 2 旬 | 11 月上旬 | 3 旬 |

2）水温累积影响

平水年旭龙水库与上游梯级下泄水温温差比较如表 6.3-23 和图 6.3-24 所示，可知上游梯级处低温水最明显的月份为 4 月，平均低 3.1℃；旭龙水电站下泄低温水最为明显的月份为 5 月，平均低 3.9℃，较上游梯级有所延迟；上游梯级和旭龙电站下泄高温水最为明显的月份均为 12 月，分别平均高 6.3℃和 5.7℃。为考虑梯级联合运行下旭龙水电站对水温影响的贡献，现用旭龙坝址处温差与上游梯级处温差相减，可知旭龙电站对于水温的贡献在-1.1℃~0.6℃，相较于坝址处温差（-3.9℃~6.3℃）较小，认为旭龙电站梯级联合运行下的水温影响，主要受上游的梯级水温累积作用，使得其水温幅度扩大。

**表 6.3-23　旭龙电站平水年下泄水温与上游梯级比较**

| 月份 | 坝址处现状水温 | 下泄水温 | 坝址处温差 | 上游梯级温差 | 旭龙水库贡献 |
|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | c（b-a） | d | c-d |
| 1 | 2.8 | 7.7 | 4.9 | 4.4 | 0.5 |
| 2 | 4.4 | 6.8 | 2.4 | 1.8 | 0.6 |
| 3 | 7.3 | 6.4 | -0.9 | -1.4 | 0.5 |
| 4 | 10.4 | 6.7 | -3.7 | -3.1 | -0.6 |
| 5 | 13.3 | 9.4 | -3.9 | -3.0 | -0.9 |
| 6 | 15.2 | 12.8 | -2.4 | -1.8 | -0.6 |
| 7 | 16.5 | 14.2 | -2.3 | -1.8 | -0.5 |
| 8 | 16.5 | 15.6 | -0.9 | -0.5 | -0.4 |
| 9 | 14.5 | 14.7 | 0.2 | 0.3 | -0.1 |
| 10 | 10.8 | 12.8 | 2 | 2.0 | 0.0 |
| 11 | 5.8 | 11.2 | 5.4 | 5.0 | 0.4 |
| 12 | 3.1 | 9.4 | 6.3 | 5.7 | 0.6 |
| 平均 | 10.1 | 10.6 | 0.6 | 0.6 | -0.1 |
| 最大值 | 16.5 | 15.6 | 6.3 | 5.7 | 0.6 |
| 最小值 | 2.8 | 6.4 | -3.9 | -3.1 | -1.1 |
| 年内变幅 | 13.7 | 9.2 | 10.2 | 8.8 | 1.7 |

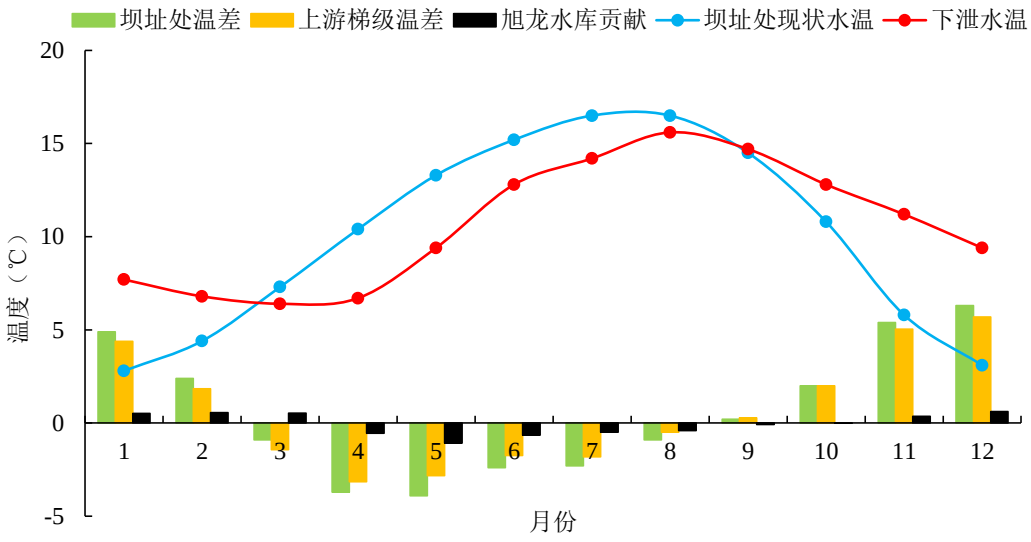



图 6.3-24　旭龙电站平水年下泄水温与上游梯级水温温差比较

## 6.3.5　气体过饱和影响减缓措施

通过对当前国内外相关研究成果的总结分析，水电工程中由泄水产生的总溶解气体过饱和问题的减缓措施可概括分为工程措施和运行措施。由于工程措施的实施与工程泄

流消能及水工建筑物的安全和稳定密切相关，因此对于水电工程的减缓措施，特别是高坝工程的的工程减缓措施，必须通过深入细致的模型试验及理论研究，在确保不影响工程泄流消能安全和河道行洪安全的前提下方可付诸实施。由于高坝工程的泄流消能安全问题是目前高坝设计中的难点问题之一，因此在与此相关联的高坝 TDG 过饱和影响的工程减缓措施目前尚未见文献研究报道。鉴于国内外在这一方面的研究水平和深度限制，旭龙电站坝下 TDG 过饱和减缓措施主要考虑运行调度方面的措施。主要提出以下几个方面的建议。

#### 6.3.5.1 泄洪发生频率控制

旭龙水电站泄洪时段主要在 6～9 月。从流域角度考虑，旭龙电站建成运行时，上游叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙等电站可能已建成运行，梯级库群对洪水起到较强的调控作用，泄洪频率将大大降低，泄洪时段将大大缩短。

本报告中梯级联合运行的预测结果表明，旭龙与上游叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙联合泄洪，将使过饱和 TDG 释放速率减慢，超标范围加大。因此，从减缓 TDG 过饱和影响，保护水生生物角度，建议统筹研究梯级水库的联合调度运行，在提高水量利用率的同时达到减小各梯级弃水，从而减小泄洪频率的目的。

#### 6.3.5.2 泄洪时间控制与泄洪过程优化

在深入开展研究河段鱼类产卵繁殖的生境需求研究基础上，对水库运行调度方案提出建议，使梯级泄洪时间尽可能避开鱼类对过饱和总溶解气体的敏感期，从而协调好泄洪、发电和生态需求三者之间的关系。

四川大学室内开展的岩原鲤幼鱼在过饱和 TDG 环境中间歇暴露实验初步表明，鱼类在受过饱和 TDG 胁迫一定时间后能在清水中逐渐恢复，因此探讨间歇泄水方式有利于受过饱和 TDG 胁迫后鱼类的再恢复，从而提高鱼类在 TDG 过饱和环境中的耐受时间。同时，由于过饱和 TDG 对鱼类的影响与鱼类在过饱和环境中的滞留时间有关，因此减小每次的泄洪持续时间也可以从一定程度上减轻过饱和 TDG 对鱼类的影响。但为了满足洪水总量的宣泄目标，确保行洪安全，建议在深化鱼类耐受性研究的基础上，深入开展间歇泄洪方式减缓过饱和 TDG 影响的模拟和实证研究，合理设计泄洪流量及泄洪的间歇时间。

#### 6.3.5.3 泄洪建筑物优选

根据预测结果，首先对比同种泄洪流量与不同泄洪建筑运用方式，两年一遇洪水条件下，工况 2 采用三个表孔均摊泄洪，工况 3 和工况 4 采用一个表孔加一个中孔泄洪，尽管工况 3 和工况 4 的单宽流量更大，泄洪生成的饱和为 124.2%和 124.0%，均低于工况 2 的 125.5%。五年一遇洪水条件下，工况 5 采用三个表孔均摊泄洪，工况 6 采用两个中孔和一个表孔均摊泄洪，工况 6 生成的 TDG 饱和度（130.4%）同样低于工况 5（131.5%）。对比工况 1（2#表孔）和工况 2（1#2#3#表孔），同样的泄洪建筑物宣泄同等流量时，采用均摊泄洪的工况 2 生成的 TDG 饱和度为 125.5%，显著小于采用集中泄洪生成的饱和度 128.0%。

由此可见泄洪方式优选有利于降低过饱和 TDG 的生成，因此在满足工程安全的前提下，建议旭龙电站泄洪调度中优选中孔泄洪；在同种泄洪建筑物泄洪的情况下，尽量启用多个泄洪孔共同承担泄洪流量，减小泄洪单宽流量，降低泄洪生成的 TDG 饱和度。

#### 6.3.5.4 泄洪流量与发电流量的比选

目前国内外研究认为发电尾水 TDG 饱和度与坝前 TDG 饱和度一致，而坝前水体 TDG 饱和度通常低于坝下生成的 TDG 饱和度，因此尽可能增大发电尾水流量有助于降低坝下下游河段 TDG 饱和度。建议在旭龙联合运行中，可分别在叶巴滩和拉哇水电站泄洪时，尽可能考虑发电机组满发以此降低坝下 TDG 饱和度。而对于巴塘水电站，由于上游拉哇水电站间河道较短，TDG 随流输移释放效果不明显，坝前 TDG 饱和度依旧较高，两年一遇和五年一遇的 TDG 饱和度分别为 127.7%和 136.8%，皆高于对应泄洪频率的巴塘泄洪所生成 TDG 饱和度。因此建议巴塘水电站尽可能的减小发电机组流量，增加泄洪流量，以此减缓坝下 TDG 的不利影响。

#### 6.3.5.5 运行期监测

鉴于国内外对高坝泄流下游 TDG 过饱和问题，特别是连续梯级累积影响问题缺乏深入系统的认识和研究，因此为及时了解金沙江上游各梯级电站建成后高坝泄流下游 TDG 过饱和状况及其对水生生物的影响，验证数学模型预测结果，为工程环境保护及提高我国在高坝泄流 TDG 过饱和领域的研究水平提供可靠数据和基础资料，有必要在电站泄洪期间开展泄洪的过饱和 TDG 生成预测，并对泄洪产生的过饱和 TDG 在各梯级库

区河段的释放过程开展原型观测研究。

综合分析认为，上述各项措施主要从优化水库调度运行方式等角度出发，对于泄洪消能安全、工程稳定及发电和防洪等效益不会产生负面影响，因此从技术角度分析具有可行性。

#### 6.3.5.6 干支流交汇区利用

根据四川大学对干支流交汇区 TDG 分布情况的研究表明，干支流交汇区存在一定的低饱和度区域。可通过顺坝导流、阻流桩阻流、鱼类躲避水深维护的工程辅助措施后，是 TDG 低饱和度区域空间显著增大，从而为鱼类躲避过饱和 TDG 的威胁创造良好的空间条件。因此，在不影响水生生态环境的前提下，可在定曲汇入金沙江区域适当设置顺坝导流、阻流桩阻流或鱼类躲避水深维护的工程以改善交汇区的水流水深条件和 TDG 饱和度条件，从而可以为干支流交汇区鱼类回避过饱和 TDG 不利影响提供足够的躲避空间。

### 6.3.6 电厂及业主营地废污水处理措施

旭龙水电站规划采用“无人值班，少人值守”的电站管理方式，职工总人数约350人，生活及办公污水排放量极少。运行期管理人员生活营地延用施工期业主营地，其生活污水处理装置也延用施工期生活污水处理及回用设施，可保证处理后实现“零排放”。处理设施需一名管理人员，运行费用计入电站的运行成本。

此外，电站机组在设计中考虑了集油装置，机组运行和例行检修油污均可收集，无油污直排入江。

### 6.3.7 科学研究

基于报告书预测及相关措施效果论证情况，为更好的营造良好的水生态环境，拟设以下研究课题：

（1） 旭龙水电站生态调度效果评估及优化研究

（2） 旭龙水电站库区库湾水质保护及富营养化控制研究

（3） 旭龙水电站水温影响及跟踪评估

## 6.4地下水影响减缓措施

### 6.4.1 坝址地下水环境保护措施

（1）大坝防渗漏工程措施

为阻截坝基渗漏通道，控制坝肩绕渗，降低渗流对坝基（肩）及水垫塘两岸边坡稳定产生的不利影响，确定对大坝坝基采用“防渗帷幕+幕后排水”的渗流控制方案。为提高水垫塘底板稳定安全度，对水垫塘基础采用封闭抽排方案。

根据《混凝土拱坝设计规范》（DL/T5346－2006）相关规定，并参照类似工程经验，帷幕设计防渗标准为：河床坝基、左岸近坝山体段与右岸厂房上游侧主帷幕灌后基岩透水率 q≤1Lu，厂房侧向（顺河向）主帷幕及水垫塘封闭帷幕灌后基岩透水率 q≤3Lu。

大坝防渗主帷幕沿坝体基础灌浆廊道布置，左岸帷幕出左坝肩后斜向上游山体内延伸约 200m；右岸帷幕出右坝肩后，先向下游偏转延伸约 100m，再垂直引水洞轴线向山体延伸约 200m，至地下厂房右边墙外一定距离后再顺交通隧道向下游方向延伸约 100m。整个防渗主帷幕线路全长约 1112m。

二道坝及两岸山体、水垫塘两侧基础廊道分别设置一道封闭帷幕，呈“∏”字型布置，水垫塘两侧封闭帷幕向上游与大坝主帷幕相接，共同形成“口”字形封闭区，通过封闭抽排降低水垫塘底板扬压力。水垫塘封闭帷幕全长约 800m。

（2）施工污染工程防范措施

大型的水利水电工程，施工时运营的机械设备较多，施工产生含油冲洗废水，含油废水一旦进入地下水中也会使地下水受到污染，使地下水水质发生变化，即使含油冲洗废水产生量小，但因其在自然条件下不易降解，进而对土壤和水体造成影响，因此，施工污、废水应回收集中处理达标后再排放。

施工过程中应尽可能降低对地下水环境的影响，可以采取以下措施：尽量选用低噪声或备有消声降噪设备的机械；施工过程中勤洒水，保持路面湿润，使工程区不得扬尘，避免扬尘对生活区环境的空气污染；加强施工现场的管理，水泥、石灰、油气等材料运送时，运输汽车应完整，不得超载，应尽量采取遮盖密闭措施；配备人员负责生活区和生产区的卫生清洁工作，定期将垃圾运至场外指定地点烧毁或掩埋，定期清扫、消毒，确保环境卫生。

### 6.4.2 库区地下水环境保护措施

工程兴建产生的水土流失可能对周边社会、经济和生态环境造成危害，为使工程建设过程中新增水土流失得到有效的控制，保护项目区生态环境，必须严格执行水土保持“三同时”制度，合理布设水土保持措施，有效控制因工程建设新增的水土流失，逐步恢复并改善区域生态环境。

工程修建大坝不仅将引起河流水沙情势的变化，此外水库淹没、移民安置，以及工程施工等都会对生态环境产生不同程度影响。因此不论是流域水资源综合利用规划的制定，还是在坝址区的规划、设计，施工进行及管理的各阶段中，均应充分考虑维护生态平衡与环境保护的要求。包括生态用水与环境用水的要求，水利水电工程建设应与经济、社会的可持续发展，以及生态环境良性循环协调。

水电工程地下水环境保护要建立健全的水库管理机构，坚持保护优先，重点治理的原则。以水库水污染防治为重点，采取经济，行政和法律等综合手段推进水环境保护能力建设和监管能力建设，防治严重水土水污染及重大水污染问题。加强施工区生活污水处理工程、沿岸乡镇生活污水处理工程的建设；同时建议水库蓄水之前，必须对淹没线以下的废弃物进行无毒无害化处理，以确保水库水质和水生生态环境，满足库区及下游地区生产、生活用水要求和水库水利枢纽设施的安全运行。

在旭龙水电站库区蓄水后，应对生活垃圾进行集中收集和处理，减少对库水的污染。在库区建立清漂设施，加强清理库区漂浮物工作。防止库区内漂流物堆积对大坝造成危害，以及漂流物堆积对库区生态环境造成危害，同时应对水库生态环境进行全面全过程跟踪监测，为库区水环境保护奠定基础性工作。

## 6.5陆生生态保护

### 6.5.1 保护原则

（1） 维护工程影响区域及周边生态环境，保护生物多样性。植被修复措施不仅考虑植被覆盖率，而且需要在利用当地原有物种的情况下，尽量使物种多样化，避免单一。

（2）优化工程布局，加强管理，节约用地，减少开挖，保护物种资源。

（3）工程开发建设过程中处理好与自然资源的关系，保持其结构的整体性和系统的完整性，尽量降低对周边的影响。

### 6.5.2 陆生植被

#### 6.5.2.1 减缓措施

（1）3#施工营地、右岸上游2#弃渣场和现场建设管理营地占用部分农田植被，施工布置时进一步进行方案比选和优化，减少对农田植被的占用。

（2）加强施工管理，及时处理处置施工废污水、废渣，重视洒水降尘，减小对周围植被的污染。

（3）对移民居住区、生产开发区，先规划，后迁移，避免对生产力高的林地造成损害。

#### 6.5.2.2 恢复与补偿措施

本工程对陆生生态的影响主要体现在对陆生植被的影响上。因此施工结束后，应结合水土保持植物措施，对各类施工迹地实施陆生生态修复措施。

（1）植被修复原则

1）维持并改善生态系统的原则：工程影响区范围内属于干热河谷地区，生态环境较为脆弱，植物群落较单一，因此，在植被修复过程中，保持原有生态系统多样性，同时应注意提高生态系统的阻抗力，改善区域脆弱的生态环境。

2）保护生物多样性的原则：植被修复措施不仅考虑植被覆盖率，而且需要在利用当地原有物种的情况下，尽量使物种多样化，避免单一。

（2）恢复植物的选择

1）生态适应性原则：植物生态习性必须与当地气候环境条件相适应。恢复时还需考虑适合工程区的植被区系。

2）本土植物优先原则：恢复乡土种对生态恢复很重要。乡土种在当地食物链中已经形成相对稳定的结构，与生境建立了和谐的关系，适应性强，有利于保护生物多样性和维持当地生态平衡，并且能体现当地的地域特点。

根据评价范围生态环境特点以及工程影响区的植被现状，选择区域乡土物种或者本地区常见栽培物种进行植被恢复：乔木——高山松、云南松、核桃、石榴、凤凰木等；灌木——云南沙棘、清香木、小叶荆、灰岩木蓝、皱叶醉鱼草、白刺花、小鞍叶羊蹄甲等；草本——藏滇羊茅、小画眉草、酢浆草、黄茅、拟金茅、草沙蚕等。

（3）植被恢复方案

评价范围生态恢复分区总体思路为：首先对工程区域的植被现状进行调查和分析，确定工程区域主要的植物群落类型以及主要特征；其次对工程区域扰动后立地条件进行分析，对工程区域立地条件（海拔高度、地形、坡度、坡向与部位、土壤条件、水文）分类；再次根据工程总布置和施工总布置确定工程建成运行后的功能要求；最后根据工程区域现状植被特征、各工程区域立地条件以及各工程

区域功能要求确定生态修复分区。对料场区、渣场区、施工营地区等临时占地的的植被恢复时，应先将施工前掘取的地表土进行铺放，保证这些区域土壤结构的恢复，从而保障植被恢复措施的有利进行。

根据以上分区思路，结合水保植物措施，本工程生态修复区主要为枢纽工程区，包括枢纽工程区、弃渣（存料）场区、表土堆放场区、料场区、场内交通工程区、施工生产生活区。根据不同恢复区的特点及植物现状，对每个恢复区实行不同的恢复方案。

表 6.5-1　植被恢复措施一览表

| 工程分区 | 名称 | 恢复措施 | 恢复物种组合 | 配置方式 | 苗木来源 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.　枢纽工程区 | 旭龙坝址 | 空隙地绿化；裸露边坡铺种草皮；种植行道树 | 乔木：石榴<br>灌木：清香木、小叶荆<br>草本：酢浆草 | 石榴种植行距 2m，株距 2m，每种栽植密度各为 1250 株/hm²。灌木采用株间混交，行距 1m，株距 1m，每种栽植密度 3750 株/hm²。草籽采用撒播，播种密度为 80kg/hm²。裸露边坡采取生态袋植被恢复 | 市场采购，清香木可利用淹没区内树种 |
| 2.　弃渣（存料）场区 | 和徐龙冲沟临时弃渣场、截流备料场 | 迹地恢复 | 灌木：灰岩木蓝<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 灌木株距 1.0m×1.0m，采取挖穴整地，穴径 0.5m，穴深 0.5m；林下撒播草种，草种选择藏滇羊茅、小画眉草混播，比例 1:1，撒播密度为 80kg/hm$^2$ | 市场采购 |
| | 左岸 1#、2#、右岸 1#、2#和 3#弃渣场，以及茂顶河弃渣场 | 堆渣坡面及顶面恢复 | 灌木：灰岩木蓝<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 灌木株距 1.0m×1.0m，顶面采取挖穴整地，穴径 0.5m，穴深 0.5m；坡面采取生态袋植被恢复，草种选择藏滇羊茅、小画眉草混播，比例 1:1，撒播密度为 80kg/hm$^2$ | 市场采购 |
| 3.　表土堆放场区 | 左岸表土堆场 | 迹地恢复 | 草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 撒播藏滇羊茅、小画眉草草籽，混播比例 1:1，撒播密度为 80kg/hm$^2$。 | 市场采购 |
| 4.　料场区 | 徐龙人工骨料开采 | 开采平台植被恢复、马道及开采边坡垂直防护 | 灌木：滇池海棠、小叶荆<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草<br>藤本:崖爬藤 | 小叶荆和滇池海棠株间混交，行距 2m，株距 2m，每种栽植密度各为 1250 株/hm²。草籽采用撒播，播种量为 80kg/hm²。对于开采边坡，垂直方向上每 10m 设置一条 2m 宽的马道，工程完工后马道外侧砌筑浆砌石植孔，其内覆土种植崖爬藤，株间距 0.3m | 市场采购 |
| 5.　施工生 | 施工营地 | 迹地恢复 | 乔木：云南松、响叶杨 | 乔木混交，株行距 3.0m×3.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.5m，穴 | 市场采购， |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 产生活区 | | | 灌木：清香木<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草混播 | 深 0.5m；灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本选播种量为 80kg/hm² | 清香木可利用淹没区内树种 |
| | 炸药库 | 迹地恢复 | 草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 采用植孔营养植被恢复法，植孔间隙为 0.5m×0.5m<br>撒播藏滇羊茅、小画眉草草籽，混播比例 1:1，撒播密度为 60kg/hm²。 | 市场采购 |
| | 综合仓库 | 迹地恢复 | 灌木：清香木<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本播种量为 80kg/hm²撒播密度为 80kg/hm² | 市场采购，清香木可利用淹没区内树种 |
| | 油库及加油站 | 迹地恢复 | 草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 采用植孔营养植被恢复法，植孔间隙为 0.5m×0.5m<br>撒播藏滇羊茅、小画眉草草籽，混播比例 1:1，撒播密度为 60kg/hm²。 | 市场采购 |
| | 茂顶砂石加工系统 | 空隙地绿化；裸露边坡铺种草皮；种植行道树 | 乔木：石榴<br>灌木：清香木、小叶荆<br>草本：酢浆草 | 石榴种植行距 2m，株距 2m，每种栽植密度各为 1250 株/hm²。灌木采用株间混交，行距 1m，株距 1m，每种栽植密度 3750 株/hm²。草籽采用撒播，播种密度为 80kg/hm²。边坡采取生态袋植被恢复 | 市场采购，清香木可利用淹没区内树种 |
| | 右岸高、低混凝土系统 | 空隙地绿化；裸露边坡铺种草皮；种植行道树 | 乔木：石榴树<br>灌木：清香木、小叶荆<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 石榴树种植行距 2m，株距 2m，每种栽植密度各为 1250 株/hm²。灌木采用株间混交，行距 1m，株距 1m，每种栽植密度 3750 株/hm²。草籽采用撒播，播种密度为 80kg/hm²。边坡采取生态袋植被恢复 | 市场采购，清香木可利用淹没区内树种 |
| | 施工水厂 | 空隙地绿化；裸露边坡铺种草皮 | 灌木：清香木<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本播种量为 80kg/hm²撒播密度为 80kg/hm²。边坡采取生态袋植被恢复 | 市场采购，清香木可利用淹没区内 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 树种 |
| | 110kV 变电站 | 空隙地绿化；裸露边坡铺种草皮 | 灌木：清香木<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本播种量为 80kg/hm²撒播密度为 80kg/hm$^2$。边坡采取生态袋植被恢复 | 市场采购，清香木可利用淹没区内树种 |
| | 高位水池 | 迹地恢复 | 草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 采用植孔营养植被恢复法，植孔间隙为 0.5m×0.5m<br>撒播藏滇羊茅、小画眉草草籽，混播比例 1:1，撒播密度为 60kg/hm$^2$。 | 市场采购 |
| | 大坝综合加工及金结拼装厂 | 迹地恢复 | 草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 撒播藏滇羊茅、小画眉草草籽，混播比例 1:1，撒播密度为 80kg/hm$^2$。 | 市场采购 |
| | 电站综合加工厂 | 迹地恢复 | 灌木：戟叶酸模<br>草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本播种量为 80kg/hm²撒播密度为 80kg/hm2。 | 市场采购 |
| | 机电安装基地 | 迹地恢复 | 灌木：清香木<br>草本：酢浆草 | 灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本播种量为 80kg/hm²撒播密度为 80kg/hm$^2$ | 市场采购，清香木可利用淹没区内树种 |
| | 机电设备仓库 | 迹地恢复 | 灌木：两头毛<br>草本：草沙蚕 | 灌木株行距 2.0m×2.0m，采取挖穴栽植，穴径 0.3m，穴深 0.3m；草本播种量为 80kg/hm² | 市场采购 |
| | 机械修配厂 | 迹地恢复 | 草本：藏滇羊茅、小画眉草 | 撒播藏滇羊茅、小画眉草草籽，混播比例 1:1，撒播密度为 80kg/hm$^2$ | 市场采购 |
| 6. 场内交通工程区 | 永久道路 | 道路绿化 | 乔木：云南松、核桃<br>灌木:小鞍叶羊蹄甲 | 行道树沿永久道路路基路肩两侧各种植一行，株距 3m，挖穴栽植，规格 50cm×50cm（穴径×穴深），云南松、核桃树采用一年生 | 市场采购 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 草本：酢浆草、藏滇羊茅 | 袋苗，栽植季节为雨季（7 月）；填筑边坡采用撒播灌草种籽的方式，灌木选择小鞍叶羊蹄甲，行距 1m，株距 1m，栽植密度 3750 株/$hm^2$；草种选择酢浆草，播种量为 60kg/$hm^2$。<br>在清除坡面浮渣的基础上，压埋下坡面植被恢复以撒播草种为主，草种选择藏滇羊茅，播种量为 60kg/$hm^2$ | |
| | 临时道路 | 填筑边坡绿化和施工迹地植被恢复 | 灌木:云南沙棘：藏滇羊茅 | 绿化采取撒播灌草方式，灌木种选择云南沙棘，播种量 20kg/$hm^2$；草本选择藏滇羊茅，播种量 60kg/$hm^2$ | |

针对干热河谷植被恢复困难特点，施工区主要植物恢复方式主要有生态袋植被恢复法、植孔营养植被恢复法。同时，在工程建成后应定期进行后期管理，开展浇水、施肥、补植等工作，确保植被恢复得到好的效果，植被恢复管护工作不得少于3年。

（4）其他植被恢复措施

1）做好临时占地区表土的保存工作。

临时占地区的耕地、林地进行表土剥离，应采取分层取土、分层堆放、分层回填措施，用于后期施工区植被恢复的表层土。

2）林地和耕地的补偿措施

枢纽工程区和水库淹没区占用的林地，应按照《中华人民共和国森林法》第十八条，建设单位缴纳相应的森林植被恢复费。枢纽工程区和水库淹没区占用的耕地，应按照《中华人民共和国土地管理法》第四十二条，开垦数量和质量相当的耕地，没有开垦条件的，应缴纳土地复垦费，专项用于土地复垦。

3）强化水土流失的综合治理

结合工程水土流失特点，分区域制定可行的水土保持措施，并与植被恢复措施相结合，减少水土流失损失。如对坝肩、渣场、料场等裸露面及陡峭处采取水泥柱框架结构或植被拉网加固措施，防止在雨水冲刷下裸露面水土流失严重，防止山体滑坡、泥石流的发生。

4）直接影响区乔木和灌木保护措施

施工占地区或水库淹没区内生长较好、分布面积较大的乔木和灌木，如库区的清香木，应采取树木迁地保护措施。可选择合适区域作为施工区域苗木培育基地，用作施工区域植被恢复的树种来源。

5）废水、废渣回用措施

工程区水土资源比较珍贵，应按水土保持要求做好挡护措施。施工废污水应循化利用，除回用于施工生产用水和场地洒水外，多余部分应收集用于场地绿化。本工程生活污水处理设施的沉淀污泥、化粪池沉渣处置满足相关标准后可用于施工恢复区域的表土改良。

6）外来物种保护措施

一方面对评价区已有的曼陀罗进行清除，可采用物理方法、化学方法或生物方法。另一方面，对工程机械、工程材料等的木质包装、来往车辆等进行检疫，

防止外来植物进入工程建设区域。

#### 6.5.2.3 管理措施

（1）宣传教育，遵纪守法

全面贯彻执行《中华人民共和国野生植物保护法》，对施工人员和移民进行环境教育、生物多样性保护教育及有关法律、法规的宣传教育。要让群众明确知道重点保护野生植物是受国家法律保护的，破坏生物多样性将要承担相应的法律责任。

（2）挂牌标记，明确告示

在人员活动较多和较集中的施工营地，以及植被较好的区域，设置生态保护警示牌，提醒人们依法保护生态环境和生物多样性。

（3）加强施工管理

施工过程中，加强施工人员的管理，禁止施工人员对植被滥砍滥伐，严格限制人员的活动范围，破坏沿线的生态环境。

（4）开展生态监测和管理

工程施工期前应对重点保护动植物种类进行重点调查，明确活动范围、主要生境和数量。一旦施工过程中发现重点保护动植物，应及时上报野生动植物主管部门，对其进行保护。

运行期主要监测生境的变化，植被的变化以及生态系统整体性变化。通过监测，加强对生态的管理，在工程管理机构，应设置生态环境管理人员，建立各种管理及报告制度，开展对工程影响区的环境教育，提高施工人员和管理人员环境意识。通过动态监测和完善管理，使生态向良性或有利方向发展。

### 6.5.3 陆生动物

#### 6.5.3.1 避免措施

（1）施工前开展陆生动物洞穴、窝巢的清查，避免施工占地或水库蓄水破坏洞穴、窝巢内的野生动物。

（2）做好施工期废水、废渣的处置措施。废水处理后不外排入金沙江，避免对水体水质污染，影响水体中两栖和爬行动物生存环境；施工废渣或建筑垃圾及时外运，避免长时间堆积，污染土壤环境，对土壤中陆生动物产生不利影响。

#### 6.5.3.2 减缓措施

（1）枢纽工程区中的弃渣场、料场、施工营地、施工道路等临时占地，通过工程比选，进行优化布置，减对动物生境的占用。

（2）根据实际情况安排施工时间和施工方式，做好爆破方式、数量、时间的计划，采用乳化炸药，进行无声爆破，减小爆破噪声对野生动物的惊扰。

（3）在水库清库前及施工场地场平前，应组织农林部门的专业技术人员对施工区和淹没区内的地面、灌丛、树林等仔细搜索，如发现洞穴、窝巢，应注意查看是否有野生动物幼崽、卵或鸟蛋。一旦发现，及时采取迁地保护措施，以减野生动物后代的损失，保证该区域某些动物的种群数量的相对恒定。

#### 6.5.3.3 恢复与补偿措施

（1）对于生境被占用的一些水塘等湿地里面生活的两栖动物，由于其迁移能力差，繁殖生存等各个方面不能离开水，所以可以请专业技术人员将这些两栖动物人为迁移至施工区和淹没区以外的合适生境，以最大程度的保护这些两栖动物的种群数量。

（2）在各主要施工洞口附近设置生态保护警示牌。警示牌上标明工程施工区范围，禁止越界施工占地或砍伐林木、禁止捕猎野生动物，减少占地造成的植被损失和对野生动物的伤害。

（3）由于工程修建和水库蓄水占用了野生动物的生境，其觅食范围也相应减小，工程完工后所占据的临时用地如弃渣场、料场、临时道路、施工生活营地等区域的植被恢复工作应尽快进行，以利于施工区陆生动物重新选择栖息环境。

（4）在植被覆盖率高的路段采用加密绿化带，防止噪声对动物的不利影响，有利于动物适应新的生境。

#### 6.5.3.4 管理措施

（1）加大野生动物保护宣传力度。通过各种途径，如设立宣传栏或发放宣传单，广泛宣传《中华人民共国野生动物保护法》、《中华人民共国水生野生动物保护条例》等政策法规，提高施工人员野生动物保护意识和责任感。在施工的过程中，设立野生动物保护相关的管理制度，严禁在施工区及其周围捕猎野生动物，特别是重点保护野生动物。

（2）加大破坏野生动物的惩罚力度。建设单位可联合当地公安、工商、林业等相关部门，在动物经常出入的地方要加强巡护，对故意猎捕野生动物的个人和组织依法惩罚，严厉打击捕捉、收购、贩卖国家重点保护野生动物的不法行为。

（3）工程的实施会使动物的分布格局发生一些改变，如一些与人类伴生的啮齿目鼠类、蚊虫种类数量将增加，导致库区野生动物食物链发生变化。应重视库区灭鼠、灭蚊工作，保护库区野生动物正常的食物链和生态环境。

（4）随着水库的蓄水，库区的水禽将增多，必须对水库加强管理，减少污染，保护水禽，以形成新的景观。

### 6.5.4 陆生保护目标保护措施

（1）金荞麦保护措施

金荞麦分布在寒温带到亚热带广大地区，耐旱耐寒，多生于生山谷湿地、山坡灌丛中，适应能力强，有较强的抗逆性和繁殖能力。由此可以看出金荞麦生性强健，移植和栽培相对比较容易。为减小旭龙水电站对金荞麦的影响，可在金荞麦果期（9-10月）采集种子，选择适宜生境进行播种繁殖，以保护其种质资源。具体保护方案如下：

1）播种时间

结合工程区域的特殊气候，宜在雨季来临前的5月底6月初进行播种。

2）播种地点

考虑相似生境原理，同时兼顾方便管理的原则，选择在现场建设管理营地内处设立金荞麦迁地保护地，迁地面积约10m*10m，共计0.01hm$^2$，详见附图24。

3）播种方法

条播，行距40～50cm，开沟播种，覆1～2cm，稍加镇压，播后浇水，出苗后注意松土除草和间苗，当苗高10～15cm定苗，株距20～25cm留壮苗1株。

4）田间管理

除草：苗期勤除杂草，松土2~3次。

追肥：在苗高50~60cm时进行1次追肥，也可在开花前追施，每亩用化肥15-20kg。

排水灌水：雨季及时排水，旱时可依据墒情适当浇水。

5）病虫害防治

①蚜虫：冬季清园，将枯枝落叶深理或烧毁；在发生期用 40%乐果乳剂 1500 倍液或 80％敌敌畏乳剂 1500 倍液进行喷杀。

②病毒病：选择无病株留种，也可对种子播前进行处理钝化病毒；防治介体，拔除病枝、清除田间杂草等以减少田间侵染来源。

（2）建立种质资源园

鉴于评价区分布的重点保护野生植物、珍稀濒危和特有植物种类多样，部分种类个体受工程施工或水库淹没影响，其种质资源量有所减少，故采取建立种质资源园的保护措施，保护受影响的重点保护野生植物、珍稀濒危和特有植物。考虑到旭龙水电站枢纽工程区建设用地少，将种质资源园亦选在建设管理营地内，与金荞麦迁地保护区合建。

1）保护对象

将金荞麦、错枝榄仁、冬麻豆、折叶白前、山茛菪、松口蘑、冬虫夏草等受工程影响的重点保护或珍稀濒危野生植物作为资源园主要保护对象，实行人工苗木抚育和种子资源保护，尽量减少工程影响。

2）园区分区规划

根据种质资源园的功能要求，将整个种质资源园分为苗木抚育区、科研教育区和温室建筑区三部分。

苗木抚育护区包括母本保存苗圃和幼苗繁育苗圃两块。科研教育区包括科研实验楼、植物信息管理中心、标本馆、种子库等。温室建筑区主要有生产温室、科研实验温室、检疫温室。其中苗木抚育区包括金荞麦迁地保护区 0.01$hm^2$。坝址下游工程附近发现的一株错枝榄仁，移栽到苗木抚育区的母本保存苗圃进行保护。

资源园选育的母本原则上为旭龙评价区采集的金荞麦、错枝榄仁等主要保护对象。幼苗来自于生产温室母本繁育后形成的幼苗。母本保存苗圃建设前需在科研实验温室前进行引种驯化和选育开发。

苗圃、标本馆、种子库、温室建筑建设需符合《植物园设计规范（征求意见稿）》（2017 年）、《园林苗圃规划设计规范》（DB41/T 1612-2018）《种子贮藏库建设标准》（NYJ T 08-2005）等标准或规范。

3）建设规模

根据现场建设管理营地施工布置，种质资源园的建设面积约 4hm$^2$。

（3）重点保护野生动物保护措施

对于重点保护野生动物，除了进行一般动物的避让、减缓等保护措施外，还要重点加强有关野生动物及国家、省级（自治区级）重点保护野生动物法律法规宣传工作，在主要的施工区和施工人员的生活区设立野生动物保护的宣传栏，包括重点保护野生动物图片、保护级别、保护意义及对捕杀野生保护动物的惩罚措施。针对本工程对重点保护野生动物所产生的影响建议采取的保护措施见下表。

**表 6.5-2　重点保护野生动物保护措施一览表**

| 中文种名、拉丁文种名 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|
| 1. 金雕 *Aquila chrysaetos* | 国家I级、藏II级 | | 水库蓄水前如发现其幼鸟，应采取保护措施；加强施工管理，严禁捕杀；施工迹地及时恢复，营造栖息生境。在鸟类繁殖期间，如发现成鸟和幼鸟，应及时上报并采取保护措施，控制施工机械、车辆和爆破噪声，车辆禁止鸣笛，地面爆破避开晨昏和中午时段。 |
| 2. 高山兀鹫 *Gyps himalayensis* | 国家II级、藏I级 | | |
| 3. 胡兀鹫 *Cypaetus barbatus* | 国家I级、藏I级 | | |
| 4. 黑鸢 *Milvus migrans* | 国家II级、藏I级 | | |
| 5. 雀鹰 *Accipiter nisus* | 国家II级、藏II级 | | |
| 6. 普通鵟 *Buteo buteo* | 国家II级、藏I级 | | |
| 7. 红隼 *Falco tinnunculus* | 国家II级、藏I级 | | |
| 8. 灰背隼 *Falco columbarius* | 国家II级、藏II级 | | |
| 9. 灰林鸮 *Strix aluco* | 国家II级、藏II级 | 附录II | |
| 10. 雉鹑 *Tetraophasis obscurus* | 国家I级、藏I级 | 附录II | 加强宣传教育和管理，严禁捕杀，控制施工机械、车辆和爆破噪声，车辆禁止鸣笛，地面爆破避开晨昏和中午时段。 |
| 11. 血雉 *Ithaginis cruentus* | 国家II级、藏II级 | 附录II | |
| 12. 红腹角雉 *Tragopan temminckii* | 国家II级、藏II级 | | |

| 中文种名、拉丁文种名 | 保护级别 | CITES 附录濒危等级 | 对保护动物的影响 |
|---|---|---|---|
| 13. 藏马鸡 *Crossoptilon harmani* | 国家II级、藏II级 | | |
| 14. 白腹锦鸡 *Chrysolophus amherstiae* | 国家II级、藏II级 | | |
| 15. 猕猴 *Macaca mulatta* | 国家II级、藏II级 | 附录II | 施工及蓄水期间加强管理，可采用驱赶措施，禁止捕杀。 |
| 16. 黑熊 *Ursus thibetanus* | 国家II级、藏II级 | 附录II | |
| 17. 小熊猫 *Ailurus fulgens* | 国家II级、藏II级 | 附录I | |
| 18. 青鼬 *Martes flavigula* | 国家II级、藏II级 | 附录I | |
| 19. 岩羊 *Pseudois nayaur* | 国家II级、藏II级 | 附录III | |
| 20. 斑羚 *Naemorhedus goral* | 国家II 级、藏II级 | 附录III | |
| 21. 鬣羚 *Capricornis umatraensis* | 国家II 级、藏II级 | 附录I | |
| 22. 赤麻鸭 *Tadorna ferruginea* | 藏II级 | | 严禁捕杀。在夏季繁殖期间，如发现成鸟和幼鸟，应及时上报并采取保护措施；施工区夜间停止施工，减少施工灯光影响；严格“三废”排放，杜绝污染其生境；控制施工机械、车辆和爆破噪声。 |
| 23. 赤狐 *Vulpes vulpes* | 川、藏I级 | | 加强宣传和管理措施，严禁捕杀，控制施工机械、车辆和爆破噪声，车辆禁止鸣笛，地面爆破避开晨昏和中午时段。 |
| 24. 黄鼬 *Mustela sibirica* | 藏I级 | | |
| 25. 豹猫 *Prionailurus bengalensis* | 川、藏II级 | 附录III | |
| 26. 毛冠鹿 *Elaphodus cephalophus* | 川、云II级、藏II级 | 附录I | |

（4）生态公益林保护措施

按照《国家级公益林管理办法》（林资发〔2013〕71 号）第九条，“严格控制勘查、开采矿藏和工程建设使用国家级公益林地。确需使用的，严格按照《建设项目使用林地审核审批管理办法》有关规定办理使用林地手续。…经审核审批同意使用的国家级公益林地，可按照本办法第十八条、第十九条的规定实行占补平衡，并按本办法第二十三条的规定报告国家林业局和财政部。”工程占用的国家级生态公益林，应履行国家级公益林占用审批手续，并实现国家级生态公益林的占补平衡。

工程占用的省级生态公益林，按照《中华人民共和国森林法》有关要求，建

设单位缴纳相应的森林植被恢复费。

### 6.5.5 科学研究

主要对各修复区开展针对性的植被群落特征调查，评价各类生态修复技术的实施效果，并为后续相关研究及生态修复措施的制定提供科学依据。主要研究课题有：

（1）旭龙水电站库区外来物种入侵控制研究

（2）旭龙水电站建设对干热河谷植被影响机理研究

（3）旭龙水电站库区干热河谷植被恢复模式研究

（4）旭龙水电站库区干热河谷植被恢复效果评价

## 6.6水生生态保护

### 6.6.1 旭龙水电站水生生态保护措施体系

#### 6.6.1.1 金沙江上游规划环评及批复意见相关要求

（1）规划环评相关要求

1）栖息地保护措施

梯级开发对鱼类的主要影响是导致鱼类栖息地的丧失，就地保护是减免该种不利影响最主要的解决措施。在水电规划中保留一定的流水河段是一种重要的预防性保护措施，即通过对流域或河段的划区保护，为鱼类提供足够的摄食场地、繁殖场所、生长空间和庇护场所，使鱼类种群数量不至于太低，并保证物种不从整个规划河段消失。结合保留河段分布情况，制定以“洛须保留河段+支流赠曲下游河段+支流藏曲下游河段+巴塘保留河段+支流定曲下游河段”为鱼类保护河段。

2）人工增殖放流措施

拟在规划河段的洛须、波罗和巴塘分别修建 3 个鱼类人工增殖放流站，其主要任务是服务于临近河段，维持洛须保留段鱼类种群数量，负责整个河段鱼类种

质交换。其中巴塘增殖放流站主要服务于巴塘以下梯级，维持巴塘保留段鱼类种群数量，同时兼顾巴塘以下河段鱼类增殖保护。

3）渔政管理措施

禁止天然捕捞是补偿水电开发对鱼类资源影响的重要措施。规划河段专业渔民极少，但一些兼业渔民，特别是临近地区的渔民也进行一些高强度的捕捞活动，包括使用电、毒、炸等手段。由于本河段地处偏远、交通不便等原因，渔政管理力所难及。梯级开发后，水陆交通得到改善，需加强渔政管理建设，完善渔政宣传、教育、管理、执法措施，有效保护规划河段的鱼类资源。

4）水生生态科学研究规划

开展人工驯养和养殖技术研究，研究野生亲本捕捞、运输的设施和适宜条件，研究驯养技术，实施人工繁殖及苗种培育技术，并进行放流苗种的标志或标记方法研究，为建立和长期维持人工种群提供理论和技术支持。开展梯级电站建设和运行对鱼类资源影响的累积效应研究。开展干支流流水江段的生态功能及微生境改造技术研究。

5）建设过鱼设施

根据规划环评推荐实施方案，8 个梯级电站中，坝高小于 60m 的大坝有 1 座，为昌波；60—120m 之间的大坝有 2 座，分别是巴塘和苏洼龙；120m 以上的大坝有 5 座，分别是岗托、波罗、叶巴滩、拉哇和旭龙。从提升的高度看，鱼道可能只适合于昌波梯级。对于坝高超过 60m 的大坝，理论上升鱼机和集运鱼船都是可行的过鱼设施，但根据国外的案例，集运鱼船运行效率低，主要过鱼对象是中上层鱼类，而规划江段的种类多为底层鱼类，因此集运鱼船的效果可能不佳。升鱼机在国外已有成功应用的案例，但升鱼机运载重量有限，效率不高，运输过程耗时较长，而规划江段主要过鱼对象对溶解氧要求较高，容易造成鱼类窒息死亡，能否取得良好效果尚不确定。因此，建议在梯级实施过程中参考国外已有或国内其他水系过鱼设施的经验，进一步研究合理有效的过鱼设施。

6）生态调度措施

根据珍稀特有鱼类及其他珍稀濒危动物的生物学特征和河流形态特征，进一步研究确定生态流量，并落实下泄保障措施。生态流量拟定应以确保鱼类重要栖息地水域生境能满足珍稀特有鱼类的繁殖、生长、发育要求为目标，在确定生态基流的同时，还应参照天然水文节律特点，尽可能优化电站调度运行方式，营造

鱼类繁殖的水文条件，切实起到鱼类就地保护的作用。

（2）规划环评审查意见相关要求

2011 年 7 月，《金沙江上游水电规划环境影响报告书》通过国家环保部会同国家发展和改革委员会组织的技术审查，2011 年 9 月，国家环保部印发了《关于金沙江上游水电规划环境影响报告书的审查意见》（环审[2011]243 号），要求在明确建设项目生态环境保护的基础上，加强受水电开发项目影响的生态环境现状调查，深入评价对生态环境敏感区域的影响方式、范围、历史和程度，切实落实过鱼设施、鱼类增殖放流、生态流量等保护措施。

#### 6.6.1.2 旭龙水电站水生生态保护措施体系

（1）总体思路

旭龙水电站建成后，原有河流生态系统的结构和功能将发生巨大变化，因此，水生生物保护技术和对策，必须与变化后的水域生态特点相适应。

水库的生态环境保护和生物资源的持续利用，实际上就是人类对水库生态系统的调控。人类对它的有效调控，有赖于对生态系统结构和功能特点、物质循环和能量流动规律的深刻认识，合理的生态调控能够获得好的生态效益，生态调控失度也可能带来生态灾难。以水库珍稀特有鱼类的保护为例，在水库蓄水初期，通过人工增殖放流，使保护鱼类以较大的初始种群，占据有利的生态位，使其种群的发展处于优势地位，能够获得事半功倍的效果；但水库生态系统发育到稳定期后，生物类群各自占有相对稳定的生态位，放流鱼类进入生态系统后会产生激烈的生存竞争，特别是凶猛性鱼类的抑制作用，会导致增殖放流成本的增加，甚至增殖放流失败。而对于凶猛性珍稀鱼类的增殖放流，维持适宜的种群大小，利用顶级生物的下行效应，有利于生态系统维持合理的种群结构和多样性；而任其种群的过度增长，会对其它鱼类种群造成威胁，导致种群结构的失衡，生物多样性下降。

因此，旭龙水电站评价范围内水生生物保护对策的实施，需要在长期而系统地研究水库生态特点的基础上，以长期动态生态监测为依托，从河流生态环境整体考虑，形成干流上下游、支流、干支流统筹保护、恢复以及改造的格局，对鱼类资源进行分段保护，对栖息地保护、建设过鱼设施、增殖放流等保护措施合理

规划和布局，结合生态调度、加强渔政管理等辅助措施，对水库实施系统生态管理，以维持良好的生态环境。

（2）保护对象的确定

理论上，所有受工程影响的鱼类均应为作为保护对象，但其涉及的工程量很大，投入的人、财、物也很高。同时，由于工程建设运行后，水域生态环境条件会发生很大的变化，并不一定所有原有鱼类均还有形成自然种群的条件。加上有些鱼类本身资源量和驯养繁殖技术等的限制，暂时缺乏保护的现实可能性。因此，需要根据实际情况，坚持统筹兼顾、突出重点的原则，合理确定保护对象和优先保护顺序。从重要性的角度考虑，通常按照一下顺序进行选择：列入国家级或省级保护动物名录的鱼类、列入濒危动物红皮书的鱼类、地域性特有鱼类、水域生态系统中的关键物种（如同类食性鱼类少，甚至唯一的种类）、重要经济鱼类；从受工程影响程度考虑，分布区域狭窄、抗逆能力差、生境受损程度高、与工程影响水域生态环境适应性强的鱼类优先选择；依鱼类资源现状考虑，可按濒危、易危、稀有、依赖保护、接近受协的顺序选择；从鱼类生活史考虑，生活史复杂、洄游距离长、繁殖条件要求高、生长繁育缓慢、性成熟年龄和繁殖周期、繁殖力低的鱼类优先考虑。

调查江段无国家 I、II 级保护鱼类，也无西藏自治区保护鱼类分布，但分布四川省省保护鱼类一种：长丝裂腹鱼。评价区无《中国濒危动物红皮书 鱼类》收录的鱼类，但有《中国物种红色名录》收录的 2 种：长丝裂腹鱼和黄石爬鮡，均为濒危（EN）级。调查水域长江上中游特有鱼类 8 种：勃氏高原鳅、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、中华金沙鳅。上述鱼类合计 8 种，建议都应列入保护鱼类保护对象。

（3）保护措施布局

针对水电梯级开发对鱼类影响的特点，鱼类资源保护采用就地保护和迁地保护两种方式，对其进行全面保护。就地保护是以保护物种原来的自然生态环境或对生活于自然环境的物种或种群加以保护的一种保护措施，其实质是以防止生境的破坏或退化来达到保护物种及其遗传特性的目的。迁地保护是对就地保护的一种补充措施，它包括异地移种、建立繁殖场和基因库等具体的保护方法。对于数量剧减或生存受到严重威胁的野生物种，迁地保护是使其免遭灭绝的重要保护措施。

根据《金沙江上游水电规划环境影响报告书》及其审查意见，针对旭龙水电站生态环境特点、水生生物资源状况以及鱼类生物学特性，鱼类保护主要采取施工期及蓄水初期鱼类保护、栖息地保护、鱼类增殖放流、建设过鱼设施、实施生态调度、加强渔政管理、开展科学研究等措施，详见表 6.6-1。

表 6.6-1　　旭龙水电站水生生态保护措施体系规划表

| 序号 | 措施名称 | 保护对象 | 主要作用 | 措施布局 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 施工期及蓄水初期鱼类保护 | 勃氏高原鳅、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、中华金沙鳅 | 通过宣传教育等措施，降低工程施工对鱼类的影响 | 加强宣传，建立和完善鱼类资源保护的规章制度，加强监管防止水体污染，建立鱼类及时救护机制 |
| 2 | 鱼类栖息地保护 | 勃氏高原鳅、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡 | 通过保护鱼类生境，达到保护鱼类资源的目的 | 坝下支流定曲河作为保护支流，通过已建梯级连通性恢复、生境修复、生态调度、强化管理等措施，为鱼类提供良好的栖息生境 |
| 3 | 鱼类增殖放流 | 短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼及硬刺松潘裸鲤等种类作为近期重点放流种类，黄石爬鮡作为中长期放流对象 | 通过补充鱼类种群数量，恢复鱼类资源 | 从强化管理的角度出发，推荐旭龙水电站单独建设鱼类增殖放流站，鱼类增殖放流站选址业主营地附近的茂顶村 |
| 4 | 过鱼设施 | 短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤作为主要过鱼对象 | 减轻阻隔影响，促进鱼类种群基因交流 | 采用升鱼机作为过鱼设施，由集鱼系统、提升运输系统、放流系统和控制监测系统组成 |
| 5 | 生态调度 | 短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤 | 优化水库调度，减缓日水位大幅波动对鱼类产卵繁殖影响 | 在 3~5 月鱼类繁殖期采取基荷发电方式，稳定下游产卵场的水位 |
| 6 | 科学研究 | 勃氏高原鳅、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、中华金沙鳅 | 开展科学研究，为有效保护鱼类资源提供科学依据 | 主要科研项目包括：库区特有鱼类驯养繁殖技术研究；旭龙水库鱼类种群变动趋势研究；升鱼机升鱼技术研究；旭龙库区主要鱼类游泳能力试验；旭龙鱼类种群遗传多样性研究 |
| 7 | 渔政管理 | 勃氏高原鳅、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、中华金沙鳅及其生境 | 加强管理，保护鱼类资源及重要生境 | 加强渔政队伍建设，严格执行禁渔期和禁渔区制度，加强渔业管理，控制生物入侵 |

## 6.6.2 施工期及蓄水初期鱼类保护措施

（1）加强宣传，制定生态环境保护手册，设置水生生物保护警示牌，增强施工人员的环保意识。

（2）建立和完善鱼类资源保护的规章，严禁施工人员下河捕捞。

（3）加强监管，严格按环保要求施工，生活污水和施工废水按环保要求达标排放，防止影响水生生物生境的污染事故发生。

（4）建立鱼类及时救护机制。对围堰内的鱼类及时进行捕捞、暂养或放归；需要进行水下爆破的，事先需对影响水域采用声、电或网具等手段驱赶鱼类，以免受到爆破的波及；下闸蓄水期合理安排，应避开鱼类主要繁殖栖，下游出现减、脱水情况时，应事先安排人员巡查，对搁浅的鱼类及时采取救护措施。

## 6.6.3 鱼类栖息地保护

原环境保护部、国家能源局于 2014 年印发《关于深化落实水电开发生态环境保护措施的通知》（环发[2014]65 号），针对水电工程栖息地保护措施提出了明确要求。“水电工程应结合栖息地生境本底、替代生境相似度和种群相似度，编制栖息地保护方案…并在水电开发同时落实栖息地保护措施”，“项目环评审批前，应配合地方政府相关部门制订栖息地保护规划方案，并请相关地方政府出具承诺性文件。”

为了响应国家相关政策要求，进一步保护工程江段鱼类资源，为鱼类提供足够的摄食场地、繁殖场、生长空间和庇护所，保证区域内保护对象完成生活史，维持其种群延续，本报告书中提出了支流栖息地保护方案。

### 6.6.3.1 保护支流比选

金沙江上游梯级电站开发后，流水生境大幅度萎缩，干流保留的流水河段和重要支流对保护开发水域对流水生境依赖程度搞的鱼类非常重要，需要采取有效的保护措施。旭龙水库回水至麦曲河河口，回水长 63.95km，库水面宽 200~2900m。库区大型支流有丹达曲、麦曲河，坝下大型支流有定曲、冈曲等。

**（1）丹达曲**

1）生境条件

丹达曲属金沙江上游右岸一级支流，位于东经 98°28′～99°07′，北纬 28°48′～29°52′之间。发源于西藏芒康县尼德附近山脉，河源海拔高程 5054 m。自河源起丹达曲自北向南偏东而下，流经西藏藏族自治区的芒康县、嘎托区及徐中区等县、

区后在布虚村附近进入云南境内，经德钦县的羊拉乡地界转东注入金沙江。丹达曲全长 144km，河道平均比降 15.5‰，径流面积 2608km$^2$。丹达曲水系较为发育。主流两侧的较大支流基本对称，左岸有隽曲河、井曲河、额曲河汇入，右岸有直龙海曲河、拉拉奇黑河及羊拉河汇入，水系近似呈树枝状分布。流域的东北面、东面及东南面皆与金沙江的干支流接壤，西面等区域与澜沧江毗邻。流域系高山狭谷地貌特征，其地势西北高、东南低。流域上游地区植被以高山草甸为主，草场发育，中、下游地区植被以灌木为主，有小面积森林分布，植被覆盖率较高。流域上游段河谷较宽阔，水流平缓；中、下游段河谷狭窄，水流湍急。尤以羊拉河汇口附近的河谷地势最为险峻，过水宽度约 6m，两岸峭壁相互对峙，丹达曲出口处的金沙江河段全是高山峡谷，多急流险滩，河床坡降大，河谷狭窄呈“V”字型河谷，在云南境内的河道天然落差为 401m。河水含沙量较小，属低沙河流，河床覆盖层多以沙卵石组成。

丹达曲流域地处横断山脉东侧，地跨多个气候带，为中亚热带至北温带之间的山地季风气候，立体气候明显，太阳辐射较强，在北方干冷气流和西南暖湿气流及南支西风干热气流影响下，形成该地区地域性四季不明显的气候特点：冬长夏短，春秋相连，仅有冷暖和干湿季之分，年平均气温 4.9℃，气温最高的 7 月份平均气温 11.9℃，最低的 1 月份平均气温-2.7℃。多年平均降水量 623.6mm，多年平均蒸发量 1331.7mm。该地区 11 月至次年 2 月，受南支西风气流控制，冬季干冷晴朗，降水量很少，仅占年降水量的 8.5%；2～4 月流域有一定的降雨和融雪水补给。6～10 月　　由于受西南季风控制及东南季风影响，空气湿润，气温升高，降雨集中，为流域的雨季或汛期，其降水量约占年降水量的 70%左右，尤以 7、8 两个月降水量最为集中，占全年降水量的 37.9%。流域径流以降水补给为主，径流年际变化不大，年径流 Cv 为 0.20 左右。丰水期 6～10 月径流量占年径流总量的 70.0%，其它月份占 30%，连续最大 4 个月径流量多出现在 7～10 月，尤以 8 月份的水量为最丰。最小径流多出现在 1～4 月，尤以 3 月份的水量最枯。 洪水由暴雨形成，多发生在 7～10 月，与暴雨发生时间对应，年最大洪水一般也多出现在每年 6～10 月主汛期。丹达曲属山区性河流，山高坡陡，地形起伏大，但由于流域面积相对较大且呈北西南东向的长条形，因此，洪水过程较为平缓，大洪水过程历时约 7 天。

流域上游地区植被以高山草甸为主，草场发育，中、下游地区植被以灌木为

主，有小面积森林分布，植被覆盖率较高；流域上游段河谷较宽阔，水流平缓；中、下游段河谷狭窄，水流湍急。丹达曲河水含沙量较小，属低沙河流，河床覆盖层多以沙卵石组成。

2）水生生物

①浮游植物

2016 年丹达曲上、下两个监测断面共检出浮游植物 3 门 25 种，其中硅藻门 20 种、占检出种类的 80.00%，蓝藻门 2 种、占检出种类的 8.00%，绿藻门 3 种、占检出种类的 12.00%；2016 年丹达曲浮游植物密度平均是 3783346ind./L，其中硅藻门占丹达曲总密度的 95.25%，隐藻门占 0.32%，蓝藻门占 4.43%。生物量平均是 2.8927mg/L，其中硅藻门占 96.34%，隐藻门占 3.13%，蓝藻门占 0.53%。

2019 年调查共检出浮游植物 14 属 27 种，其中硅藻门占丹达河浮游植物总数的 85.19%，蓝藻门占 11.11%，绿藻门占 3.70%； 2019 年丹达河浮游植物密度平均是 4186667ind./L，其中硅藻门占丹达河总密度的 97.45%，蓝藻门占 2.55%，其他门类未检出。生物量平均是 1.868mg/L，其中硅藻门占丹达河总生物量的 99.93%，蓝藻门占 0.07%，丹达河上游浮游植物密度和生物量均明显高于下游河段。

②着生藻类

丹达河上、下两个监测点 2019 年调查共检出着生藻 17 种。其中，丹达河上检出着生藻 13 种，丹达河下检出着生藻 10 种，上下游着生藻种类数差异不大，且着生藻种类相似度较高。着生藻密度平均是 16582938736cell/$m^2$。其中，丹达河上检出着生藻密度 21687500000cell/$m^2$，丹达河下密度 11478377472cell/$m^2$。丹达河上游着生藻密度高于下游河段。

③浮游动物

2016 年丹达曲上、下两个监测点共检出浮游动物 11 属 14 种，其中原生动物占丹达曲浮游动物总数的 57.14%，轮虫占 42.86%。丹达曲上、下浮游动物均为 7 种，该次监测丹达曲上、下两个监测点浮游动物种类相似度极低。丹达曲浮游动物密度平均是 2925.83ind./L，其中原生动物占丹达曲总密度的 98.60%，轮虫占 1.40%，枝角类和桡足类未检出。生物量平均是 0.0276mg/L，其中原生动物占 67.49%，轮虫占 32.51%。

2019 年丹达曲检出浮游动物 18 种，其中原生动物 9 种，轮虫 8 种，枝角类未检出，桡足类 1 种。丹达曲浮游动物密度平均是 666.69ind./L，丹达曲上密度较高，丹达曲下仅桡足类检出；丹达曲生物量平均是 0.0559mg/L，丹达曲上生物量高于下游。

④底栖动物

2016 年丹达曲底栖动物 11 种，全部为节肢动物，底栖动物平均密度 57ind./$m^2$、生物量 1.54g/$m^2$。丹达曲上游河段底质为碎石、泥沙，流速较缓，底栖动物 5 种，以摇蚊科生物为主，底栖动物密度 16ind./$m^2$、生物量 0.47g/$m^2$；下游河段底质为卵石、碎石，水流湍急，底栖动物 6 种，以蜉蝣目、毛翅目、積翅目生物为主，底栖动物密度 97ind./$m^2$、生物量 2.62g/$m^2$。

2019 年丹达曲上、下游监测点共检出底栖动物 17 种，环节动物、节肢动物分别有 1、6 种，主要种类由蜉蝣目、毛翅目、摇蚊等构成，上游河段底栖动物 11 种，下游底栖动物 6 种。丹达曲底栖动物密度为 670ind./$m^2$，其中环节动物 80ind./$m^2$，节肢动物 590ind./$m^2$，上、下游河段底栖动物密度分别为 680ind./$m^2$、660ind./$m^2$。生物量 7.223g/$m^2$，其中环节动物 0.006g/$m^2$，节肢动物 7.217g/$m^2$，上、下游生物量分别为 13.798g/$m^2$、0.648g/$m^2$，上游河段底栖动物生物量远高于下游。

3）鱼类资源

丹达河分布有鱼类 7 种，2016 年丹达曲渔获物调查主要在云南段老丹达曲电站以下至河口约 15 公里河段。由于新的丹达曲电站在建，造成该河段生境破坏严重，加上施工人员随意捕捞，鱼类资源较为贫乏。通过下刺网、放地笼，仅获得 2 尾软刺裸裂尻、3 尾长丝裂腹鱼及 5 尾细尾高原鳅。2019 年采用地笼在丹达曲采集到鱼类 13 尾、273g，经鉴定为短须裂腹鱼和高原鳅。

4）水电开发状况

丹达曲流域涉及西藏、云南两省（自治区），西藏自治区称嘎托河，已制定嘎托河（西藏）综合规划，综合规划环评于 2016 年获西藏环保厅批复。流域水电梯级规划萨麦、卡布、门巴三级开发方案，均为无坝引水的径流式电站，考虑该河段靠近萨麦，涉及芒康滇金丝猴国家级自然保护区，规划期内均不安排开发。

丹达曲云南境内段丹达曲水电站在建。电站装机容量 2×50MW，设计水头

360m，设计发电引用流量 33.5 立方米/秒。该电站就在河口段，旭龙水电站建成后将淹没该电站，目前已停建。

此外，丹达曲下游段已建仍在运行的丹达曲电站，该电站坝址距河口约 15 公里，引水渠长约 2 公里。




停建的丹达曲电站



老丹达曲电站拦河坝、发电厂址

**（2）麦曲河**

1）生境条件

麦曲河发源于沙鲁里山西麓，自北向南流经亚日贡乡，至中咱乡急转向西，再经昌波乡汇入金沙江。麦曲河属金沙江左岸一级支流，发源于巴塘县境内海拔 5157m 的拉左拉，大致流向由北向南，河流全长约 100km，流域面积 1564km$^2$。麦曲河干流上起红日贡，下至河口，河道长 60km，落差 1240m，平均比降 20.7‰，为典型的山区河流。

麦曲河中咱以上河段，两岸蜿蜒高山峻岭，沿岸山势陡峭，河谷狭窄，水流湍急。中咱以下至河口约 30 公里河段，除河口段外，河流相对较为平缓，河谷较开阔，沙质边滩、心滩较发育，河床底质多卵石、砾石、沙砾，岩基相对较少，

鱼类资源较为丰富，分布有裂腹鱼、高原鳅等鱼类产卵场、索饵场，也有部分小型鱼类在深水潭中越冬，但这些重要生境多规模不大，零散分布，鱼类迁移洄游主要是丰水期从金沙江干流上溯至麦曲河索饵繁殖，枯水期随着水量减少，水温下降，鱼类降河至金沙江干流深水区越冬，是金沙江鱼类上溯的主要河段。



麦曲河河口



麦曲河河口



边滩、心滩发育的生境



滩潭交替的激流生境



松甫曲与麦曲河交汇口



中咱附近缓流生境

从中咱往上，总体上看河谷更狭窄，河流比降增大，水流湍急，边滩、心滩少见，多为典型的峡谷激流单一河道，河床底质主要为岩基、砾石，但也有部分河段水流较为平缓，边滩、心滩发育，河床底质多为沙砾，如亚日贡乡河

段,鱼类种类以小型个体为主，主要为高原鳅、硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻鱼等。




**上游峡谷急流生境**

2）水生生物

①浮游植物

2016 年麦曲河上、下两个监测点共检出浮游植物 3 门 17 种，其中硅藻门 14 种、占检出种类的 82.35%，蓝藻门 2 种、占检出种类的 11.76%，绿藻门 1 种、占检出种类的 5.88%；麦曲河浮游植物植物密度平均是 2094268ind./L，其中硅藻门占麦曲河总密度的 99.51%，隐藻门占 0.49%。生物量平均是 2.3042mg/L，其中硅藻门占 99.73%，隐藻门占 0.27%。

2019 年调查麦曲共检出浮游植物 18 属 29 种，其中硅藻门占麦曲浮游植物总数的 79.31%，蓝藻门占 10.34%，绿藻门占 6.90%，隐藻门占 3.45%。麦曲 2019 年浮游植物密度平均是 1633333ind./L，其中硅藻门占麦曲总密度的 96.60%，蓝藻门占 3.13%，隐藻门占 0.27%。生物量平均是 0.315mg/L，其中硅藻门占麦曲总生物量的 99.70%，蓝藻门占 0.19%，隐藻门占 0.14%。麦曲上检出浮游植物密度 1400000ind./L，麦曲下密度 1866667ind./L；麦曲上检出浮游植物生物量 0.199mg/L，麦曲下生物量 0.432mg/L。麦曲下游浮游植物密度和生物量均高于上游河段。

②着生藻类

麦曲上、下两个监测点 2019 年调查共检出着生藻 19 种。其中，麦曲上检出着生藻 11 种，麦曲下检出着生藻 14 种，麦曲下游段着生藻种类数高于上游段。

着生藻密度平均是 10609375000cell/$m^2$。其中，麦曲上检出着生藻密度 13437500000cell/$m^2$，麦曲下密度 7781250000cell/$m^2$。麦曲上游着生藻密度显著高于下游河段。

③浮游动物

2016 年麦曲河上、下两个监测点共检出浮游动物 7 属 8 种，其中原生动物占麦曲河浮游动物总数的 50%，轮虫占 37.50%，桡足类占 5.56%。从表 2.2-1 看，麦曲河下浮游动物种类明显高于上游；麦曲河浮游动物密度平均是是 1096.77ind./L，其中原生动物占 97.26%，轮虫占 2.74%，桡足类仅占 0.01%。生物量平均是 0.0214mg/L，其中原生动物占 47.57%，轮虫占 47.09%，桡足类占 5.33%。

2019 年麦曲河检出浮游动物 12 种，其中原生动物 6 种、轮虫 4 种，枝角类未检出，桡足类 2 种。麦曲河上浮游动物是 10 种、麦曲河下是 6 种，上游高于下游；麦曲河浮游动物密度平均是 206.70ind./L，麦曲河上浮游动物密度高于麦曲河下。麦曲河浮游动物生物量平均是 0.0049mg/L，麦曲河下游浮游动物生物量高于上游。

④底栖动物

2016 年调查，麦曲河底栖动物 22 种，全部为节肢动物，优势种有扁蜉、二翼蜉、二尾蜉、纹石蛾、石蝇等，具体见表 2.3-1。底栖动物密度 111ind./$m^2$、生物量 2.39g/$m^2$。麦曲河上游流速相对平滑，底质为卵石、块石，底栖动物 13 种，其中蜉蝣目、毛翅目、積翅目等流水型种类 8 种，底栖动物密度、生物量分别为 106ind./$m^2$、生物量 1.21g/$m^2$；下游河段水流湍急，底质为卵石、块石，底栖动物 16 种，其中蜉蝣目、毛翅目、積翅目等流水型种类 10 种，底栖动物密度、生物量分别为 115ind./$m^2$、生物量 3.57g/$m^2$。麦曲河上、下游底栖动物种类组成差异不大，以蜉蝣目、毛翅目、積翅目等好氧型种类为主，显示麦曲河水质整体较好。

2019 年麦曲上、下游监测点共检出底栖动物 26 种，节肢动物占 100%，优势种有四节蜉、花翅蜉、蜉蝣、纯石蝇、长绿襇、特围摇蚊、流水长跗摇蚊等，麦曲上游河段底栖动物 23 种，下游底栖动物 13 种，上、下游河段底栖动物种类结构相近，但上游河段种数分布高于下游；麦曲底栖动物密度为 870ind./$m^2$，节肢动物占 100%，上、下游河段底栖动物密度分别为 1310ind./$m^2$、430ind./$m^2$；生物量 6.072g/$m^2$，上、下游河段底栖动物生物量分别为 8.769g/$m^2$、3.374g/$m^2$，上游河段底栖动物密度、生物量均高于下游。

3）鱼类资源现状

麦曲河共分布有鱼类 10 种。2016 年支流麦曲河渔获物调查到鱼类 10 种，共 741 尾。主要渔获物有短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼，3 种合计占总重量的 85.9%。另外，中华金沙鳅在以往的金沙江上游鱼类分布中没有记录，为当时调查新记录种。2019 年采用撒网、地笼在麦曲河采集到鱼类 37 尾、2511g，经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻，分别占尾数百分比的 86.49%、10.81%、2.7%和重量百分比的 85.07%、14.74%、0.2%。

4）水电开发情况

目前麦曲河已建 3 座水电站，分别为昌波二级水电站、纳交西水电站、中咱水电站。昌波二级水电站于 2002 年建成，坝址多年平均流量 20$m^3$/s，装机 2×500kW，拦河坝址距河口约 7km；中咱电站建于 2013 年，装机 3×250kw，厂房距河口约 38km，拦河坝距河口约 41km，引水渠长 3km；纳交西水电站于 1999 年建成，坝址多年平均流量 11.5$m^3$/s，装机 2×500kW，坝址距河口约 44km。引水渠长 1.5km。

（3）定曲河

1）生境条件

定曲河是金沙江上段左岸一级支流，发源于理塘县沙鲁里山主峰格聂山西麓，自北向南流，经理塘、巴塘、乡城、得荣四县，在得荣县奔都桥左纳玛依河，于古学大桥与最大支流许曲河汇合，在古学以下汇入金沙江。定曲河流经得荣县城松麦镇，故又称松麦河，其河道全长约 226km，流域面积 12213$km^2$。

定曲河流域地处横断山地与川西高原的交接地带，其地理位置介于东经 99°11′~100°11′、北纬 28°20′~30°08′之间。流域形状近似长方形，南北向最大距离约 200km，东西向最大距离约 96km。

定曲河流域气候属高原山地气候，气温较低，冬季长，无霜期短，降水较少，旱雨季分明，光照强度大，日照丰富。气温随地势呈明显的垂直分带。海拔 2600m 以下地带年平均气温 12~16℃，1 月均温 3~6℃，7 月均温 18~25℃，无霜期 190 天以上。海拔 2600~3900m 地带年平均气温 3~11℃，1 月均温 2~6℃，7 月均温 10~18℃，无霜期 50~160 天。海拔 3900m 以上地带年平均气温 0℃以下，1 月均温-12℃，7 月均温 11℃左右，无绝对无霜期。本流域年降水量偏少，多在

350~650mm 之间，由东北向西南逐渐减少。年日照在 2000~2600h 之间。

据本流域理塘、乡城、得荣三县气象局多年实测资料统计，定曲河干流多年平均气温 3~14.5℃，极端最高气温 24.4~36.3℃，极端最低气温-3.06~-8.9℃，气温由北向南逐渐递增。多年平均降水量 681.6~338.7mm，降雨由北向南呈递减趋势。降雨多集中 6~9 月，6~9 月占年雨量的 81~87%，多年平均蒸发量 1491.8~2323.8mm，蒸发量由北向南有所增加；多年平均风速 2.0~2.8m/s。

2）水生生物

①浮游植物

定曲上、下两个监测点 2019 年调查共检出浮游植物 21 属 37 种，其中硅藻门占定曲浮游植物总数的 83.78%，蓝藻门占 13.51%，绿藻门占 2.70%。从表 7.2-4 看，定曲上检出浮游植物 25 种，定曲下检出浮游植物 33 种，上下游浮游植物检出种类数有一定差异。浮游植物密度平均是 5160000ind./L，其中硅藻门占定曲总密度的 91.47%，蓝藻门占 8.53%。生物量平均是 1.196mg/L，其中硅藻门占定曲总生物量的 99.08%，蓝藻门占 0.84%。

②着生藻类

定曲上、下两个监测点 2019 年调查共检出着生藻 21 种。其中，定曲上检出着生藻 10 种，定曲下检出着生藻 15 种，定曲下游段着生藻种类数高于上游段。着生藻密度平均是 6390658174cell/$m^2$。其中，定曲上检出着生藻密度 5987261146cell/$m^2$，定曲下密度 6794055202cell/$m^2$。定曲下游着生藻密度高于上游河段。

③浮游动物

调查检出浮游动物 15 种，其中原生动物 5 种，轮虫 8 种，枝角类未检出，桡足类 2 种。定曲下检出 12 种、定曲上是 7 种，下游浮游动物种类高于上游。定曲浮游动物密度平均是 333.40ind./L，定曲上密度较高，定曲下仅桡足类检出。定曲生物量平均是 0.0103mg/L，定曲上游高于定曲下游。

④底栖动物

定曲河共检出底栖动物 8 种，环节动物、节肢动物分别有 1、7 种，优势种有四节蜉、直突摇蚊、多足摇蚊等。定曲上游底栖动物 6 种，下游底栖动物 5 种，上、下游河段底栖动物种数分布及种类结构相近。定曲底栖动物密度为 36ind./$m^2$，

其中环节动物 1ind./$m^2$，节肢动物 35ind./$m^2$；生物量 0.148g/$m^2$，其中环节动物 0.001g/$m^2$，节肢动物 0.147g/$m^2$，密度、生物量组成中节肢动物所占比重较大，上游河段底栖动物密度、生物量均高于下游。

3）鱼类资源现状

定曲分布有鱼类 10 种，除了中华金沙鳅、鲈鲤没有捕获外，干流其他鱼类在定曲河调查都有采到。本次渔获物调查采用定置刺网、地笼在定曲河干流采集到鱼类 313 尾、16236g，经鉴定为短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡和高原鳅。同时，在定曲河的主要支流玛曲、许曲进行了调查，发现定曲河流域鱼类资源相对丰厚，鱼类组成与河流生境均与干流相似度高。

4）水电开发现状

2004 年 12 月四川省内江水利电力建筑勘察设计研究院编制了《四川省定曲河干流乡城、得荣段水电规划报告》，规划提出的定曲河干流各梯级水电站开发任务是发电，兼有环境生态、灌溉等综合用水要求。同时报告推荐规划河段采用 8 级(乡城 3 级、得荣 5 级)开发，梯级电站自上而下依次为松多、正斗、水若、门扎、扎杂、得荣、奔都、古学，利用落差 1026m，总装机容量 273MW，保证出力 54.90MW，年发电量 13.65 亿 kW·h。2007 年 8 月广西电力工业勘察设计研究院对松多电站布置进行优化，松多水电站下游正斗、水若、门扎、扎杂、得荣、奔都和古学各梯级电站坝址位置、正常蓄水位维持规划设计成果，各梯级电站装机容量考虑上游松多水电站 “龙头”水库对天然径流的调节作用、上下游各梯级电站引用流量的匹配及充分利用水利资源等，适当的增加各梯级电站装机容量。

目前，定曲已建成鱼根水电站和古学水电站。





**古学水电站**

古学水电站采用闸坝引水式开发，坝址位于藏色桥上游约 1.52km 处，上距得荣县城 13km；厂址位于定曲河左岸卡日共村上游 350m 处一级阶地上，上距坝址公路里程约 15.6km。水库正常蓄水位 2270.00m，校核洪水位 2271.86m，总库容 32.28 万 $m^3$，死水位 2269.00m，调节库容 4.88 万 $m^3$，无调节能力。电站装机两台，总装机容量 90MW，是定曲河流域“一库八级”梯级开发的最后一级，2015 年 8 月建成投产。

鱼根电站位于县城附近，鱼根电站取水口位于得荣县城下游，滚水坝高度约 2m，引水渠约 2km，装机 0.8 万千瓦。





**鱼根水电站引水坝及发电厂房**

**（4）冈曲**

1）生境条件

岗曲又名交界河，发源于格咱乡冈波亚雪山西坡。上游称翁水河，流经翁水、永满，到纳格拉始称冈曲河，再经巴拉、水庄，至尼西乡上桥往南从左岸汇入金沙江。河长 98 公里，流域面积 2664 平方公里。多年平均流量 43.7 立方米/秒，水能理论蕴藏量达 62.95 万千瓦。格咱乡翁水村碧融峡谷始，至尼西乡上桥头村，为巴拉更宗大峡谷，长约 110 千米，相对高差约 3340 米，峡谷最狭窄的河面约在 2 米左右，最宽的地段约在 50 米，整个峡谷平均坡度约在 40 度到 60 度左右，局部地区坡度在 80 度到 90 度左右。汇口附近，河道平缓，河底多砾石滩。

2）水生生物

①浮游植物

冈曲上、下两个监测点 2019 年调查共检出浮游植物 17 属 26 种，其中硅藻

门占冈曲浮游植物总数的 76.92%，蓝藻门占 7.69%，绿藻门占 7.69%，隐藻门占 7.69%。从表 7.2-4 看，冈曲上检出浮游植物 22 种，冈曲下检出浮游植物 22 种，上下游浮游植物检出种类数一致，且浮游植物种类相似度较高。冈曲 2019 年浮游植物密度平均是 549333ind./L，其中硅藻门占冈曲总密度的 96.84%，蓝藻门占 2.18%，隐藻门占 0.97%。生物量平均是 0.118mg/L，其中硅藻门占冈曲总生物量的 96.61%，蓝藻门占 0.01%，隐藻门占 3.38%。从表 7.2-5 看，冈曲上检出浮游植物密度 498667ind./L，冈曲下密度 600000ind./L；冈曲上检出浮游植物生物量 0.111mg/L，冈曲下生物量 0.126mg/L。

②着生藻类

冈曲上、下两个监测点 2019 年调查共检出着生藻 16 种。其中，冈曲上检出着生藻 13 种，冈曲下检出着生藻 8 种，冈曲上游着生藻密度高于下游河段。着生藻密度平均是 19466821077cell/$m^2$。其中，冈曲上检出着生藻密度 28779617834cell/$m^2$，冈曲下密度 10154024320cell/$m^2$。冈曲上游着生藻密度高于下游河段。

③浮游动物

冈曲检出浮游动物 22 种，其中原生动物 11 种，轮虫 9 种，桡足类 2 种。冈曲下 18 种、冈曲上 14 种，冈曲下游浮游动物种类高于上游。冈曲浮游动物密度平均是 273.38ind./L，冈曲下浮游动物密度高于冈曲上。冈曲生物量平均是 0.0052mg/L，冈曲上、下游浮游动物生物量相似。

④底栖动物

冈曲上、下游监测点共检出底栖动物 20 种，环节动物、节肢动物分别有 1、19 种，优势种有四节蜉、花翅蜉、高翔蜉、纯石蝇、朝大蚊、直突摇蚊、特围摇蚊等。冈曲上游河段底栖动物 16 种，下游河段底栖动物 12 种。底栖动物密度为 475ind./$m^2$，其中环节动物 15ind./$m^2$、节肢动物 460ind./$m^2$；生物量为 2.960g/$m^2$，其中环节动物 0.001g/$m^2$，节肢动物 2.959g/$m^2$，密度、生物量组成中节肢动物所占比重较大，上游河段底栖动物密度、生物量均低于下游。

3）鱼类资源现状

冈曲分布有鱼类 9 种，本次渔获物调查采用地笼、鱼钓在冈曲采集到鱼类 17 尾、1627g，经鉴定为短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤、高原鳅，分别

占尾数百分比的35.29%、5.88%、29.41%、29.41和重量百分比的29.07%、57.34%、9.59%、4.0%。

4）水电开发现状

冈曲河长98公里，流域面积2664平方公里，多年平均流量43.7立方米/秒。沿岸居民以藏族为主，渔民极少，偶有彝族同胞垂钓。河流上游位于巴拉格宗景区内，生态环境良好。河流除下游建有小型引水电站格咱河电站外，基本处于未开发状态。格咱河电站由于2013年地震破坏，目前已废弃。



格咱河水电站拦河坝

**（5）保护支流选择**

丹达曲、麦曲河是旭龙水电站库区两大具有一定保护价值的支流，定曲、冈曲则是坝下距离较近的两大具有一定保护价值的支流。从上述四条支流调查情况分析，麦曲河、定曲鱼类资源相对丰富。另外定曲是最大的一条河流，也是金沙江上游水电规划纳入的鱼类重要栖息地保护支流。旭龙水电站作为金沙江上游水电规划近期实施工程最下游电站，距离定曲最近，有义务承担定曲栖息地保护责任。虽然已建有古学、鱼根两个水电站，但鱼类资源还是比较丰厚，定曲河势与金沙江干流很相似，礁岩质河床，深潭、跌水、砾石、沙滩相间，鱼类组成与河流生境均与干流相似度高，通过对已建古学、鱼根水电站进行生态环保改造，仍可作为鱼类重要栖息地加以保护。因此，建议将定曲作为栖息地保护支流进行保护。

### 6.6.3.2 保护总体思路

从目前的鱼类调查结果来看，定曲鱼类资源较为丰富，金沙江干流分布的 7 种特有鱼类在定曲干支流均有分布。古学水电站 2015 年 8 月开始运行，距今运行 4 年，结合定曲鱼类资源分布状况，可见古学水电站并未对定曲鱼类资源造成明显影响，其原因在于：一方面定曲分布的鱼类基本为产粘沉性卵鱼类，没有长距离洄游习性，定曲干流拦河枢纽不多，现存的流水河段能够满足分布于该支流鱼类完成生活史的条件，虽然金沙江干流上溯补充群体减少，但仍可维持一定的种群；另一方面，定曲干流古学等梯级每年均有敞泄检修工况，敞泄期间鱼类仍可上溯洄游，大坝对鱼类上溯并没有完全阻隔。此外，定曲沿岸居民基本上为藏族，没有捕鱼食用的习惯，特别是近年来河长制实施以及当地居民环保意识提高，鱼类资源得到有效保护，目前定曲鱼类资源维持良好状态。

根据调查，定曲河流域以许曲河和定曲河中下游鱼类资源量较大，而许曲河干流各规划电站前期工作开展较早，部分电站如去学水电站等已经开工建设，预留许曲河干流河段作为栖息地保护区域可行性不大，许曲河流域各支流多为季节性冲沟落差大，也不具备作为鱼类栖息地保护区域的条件。因此，定曲栖息地保护将以定曲干流生境保护为主。虽然定曲干流已编制水电规划并已获批复，但按四川省小水电限制性要求及长江流域小水电清理整顿政策，定曲规划水电站装机基本上不超过 5 万千瓦，相应水电站建设难以实施，目前干流得荣县境内仅建有古学、鱼根 2 座水电站，具有实施保护的有利条件。基于此，拟通过采取已建梯级连通性恢复、开展受损河道生境修复、实施生态调度、加强渔政管理等综合保护措施体系，促进定曲水生生境的良性恢复，为评价区鱼类资源提供适宜的产卵和栖息场所。

### 6.6.3.3 保护目标

结合《金沙江上游水电规划环境影响报告书》，调查水域分布有金沙江中上游特有鱼类 8 种，分别为：短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、中华金沙鳅、安氏高原鳅。这些鱼类中，除中华金沙鳅未有捕获外，其他 7 种鱼类在定曲流域都有分布和捕获，建议都列入保护

目标，即短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、安氏高原鳅。

### 6.6.3.4 保护范围

一般保护范围：定曲干流得荣段约 98km 河段。属于一般保护范围内河段，应严格限制新建拦河枢纽工程，限制除防洪工程以外的河道治理工程，全年禁止生产性渔业活动，禁止采砂等。

重点保护范围：定曲河干流得荣县境内古学水电站坝址以上河段。属于重点保护范围的河段，禁止新建拦河工程，限制除防洪工程以外的河道治理工程，全年禁止生产性渔业活动，禁止采砂等；对古学水电站、鱼根水电站等已建工程补建过鱼设施，恢复河流连通性；对受损河道按近自然化的原则进行生态修复。

### 6.6.3.5 保护措施

（1）连通性恢复

目前定曲河已建有两个电站，自上而下分别为鱼根水电站、古学水电站。鱼根水电站采用引水式开发，引水坝为混凝土滚水坝，坝长 45m，坝高 2m。古学水电站为引水式开发，首部枢纽由左、右岸挡水坝及河床段泄洪冲沙建筑物组成，根据古学电站运行调度方式，入库流量大于 275$m^3$/s 时，电站停止发电，泄洪（冲砂）闸闸门敞泄。

虽然定曲河已建有两个水电站，但依然拥有丰富的生境类型和多样性的鱼类资源，定曲河势与金沙江干流相似，深潭、跌水、砾石、沙滩相间，除中华金沙鳅、鲈鲤没有捕获外，干流其他鱼类在定曲河都有采集，定曲河鱼类组成与河流生境与金沙江干流相似度高。已建水电站对定曲河鱼类的影响主要是限制坝上、坝下鱼类群体交流，对裂腹鱼类等短距离洄游性鱼类造成一定阻隔影响。考虑到定曲古学等梯级敞泄期间鱼类仍可上溯洄游，大坝对鱼类上溯并没有完全阻隔，若通过对已建古学、鱼根水电站进行连通性改造，可进一步促进鱼类完成生活史和维持种群结构稳定。

1）过鱼对象

定曲河栖息地保护河段鱼类区系构成较简单，主要分为 2 个类群：

①青藏高原区系类群，由鲤科的裂腹鱼亚科与鳅科的条鳅亚科高原鳅属种类组成，也是该水域鱼类的主要特征类群。

②西南山地类群，该类群在本河段主要为鮡科石爬鮡属种类，此类群一般身体上有特化的吸附结构，适宜于南方山区激流中生活，是该水域的特征类群。

原则上栖息地保护河段分布的所有鱼类都是本工程的过鱼对象，实际过鱼设施设计时需要根据主要过鱼对象的特点及生态习性进行设计，综合考虑鱼类过鱼需求、过鱼有效性、过鱼价值，并结合鱼类资源量现状，优化和确定主要过鱼对象，主要包括短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、黄石爬鮡、安氏高原鳅。

2）过鱼季节

考虑到过鱼主要是为了解决鱼类短距离生殖洄游通道，建议将鱼类主要繁殖期作为主要过鱼时间。据调查，长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼繁殖季节一般在 3~4 月，四川裂腹鱼则在 6 月前后，硬刺松潘裸鲤、软刺裸裂尻鱼繁殖季节较晚集中在 6~7 月，生活于急流中黄石爬鮡繁殖季节在在 5~7 月。因此，建议 3~7 月为主要过鱼季节。

3）过坝个体规格分析

主要过鱼对象体长是设计鱼道或其他过鱼设施结构的重要依据，过鱼对象常见个体体长范围与最小性成熟年龄与规格详见下表，本工程拟定上行过鱼对象体长范围为 0.1～0.5m，下行过鱼对象体长范围为 0.05～0.15m。

**表 6.6-2　过鱼对象常见个体体长范围和最小性成熟年龄与规格**

| 种类 | 最小体长 m | 最大体长 m | 雌鱼最小性成熟年龄 | 雌鱼最小性成熟体长 m | 雄鱼最小性成熟年龄 | 雄鱼最小性成熟体长 m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.06 | -- | 4 | 0.26 | -- | 0.11 |
| 短须裂腹鱼 | 0.10 | 0.28 | 3-4 | 0.26 | 4-5 | 0.11 |
| 四川裂腹鱼 | -- | 0.46 | 5 | 0.35 | 3 | 0.23 |
| 软刺裸裂尻 | 0.05 | 0.18 | 4 | 0.09 | 3 | 0.14 |
| 硬刺松潘裸鲤 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 黄石爬鮡 | 0.09 | 0.19 | 6 | 0.12 | 5 | 0.11 |
| 安氏高原鳅 | 0.05 | 0.10 | 2 | 0.05 | 2 | 0.06 |

4）过鱼设施

①古学水电站

A、过鱼设施类型比选

过鱼设施的形式多种多样，这些形式都是为不同的工程、不同的过鱼种类设计，具有不同的特点，常见过鱼设施类型包括鱼道、仿自然通道、升鱼机、鱼闸、集运鱼系统等，常见过鱼设施优缺点比较详见下表。

**表 6.6-3　　常见过鱼设施优缺点比较**

| 方案 | 优点 | 缺点 | 主要应用范围 |
|---|---|---|---|
| 鱼道 | 消能效果好<br>结构稳定<br>占地小<br>连续过鱼 | 人工结构<br>不易改造 | 中低水头工程 |
| 仿自然通道 | 鱼类较易适应<br>连续过鱼<br>易于改造 | 消能效果差<br>结构不稳定<br>适应水位变动能力差<br>占地较大 | 低水头工程 |
| 升鱼机 | 占地小<br>适合高水头工程 | 不易集鱼<br>操作复杂<br>运行费用较高 | 中高水头工程 |
| 鱼闸 | 占地小<br>适合高水头工程 | 不易集鱼<br>操作复杂<br>运行费用较高 | 中高水头工程 |
| 集运鱼设施 | 工作灵活<br>适合高水头工程 | 操作复杂<br>运行费用较高 | 中高水头工程<br>增补过鱼设施 |

由于升鱼机、集运鱼系统和鱼闸一般适合中、高水头大坝，古学水电站属低水头闸坝，最大水头小于 10m，此 3 种方案由于过鱼不连续、过鱼效果不稳定、操作复杂、运行费用高等原因皆不适合本工程采用。鱼道和仿自然通道在低水头水利水电工程都有广泛的应用，在较短的距离能达到稳定且满足鱼类需求的流速和流态，鱼道和仿自然通道都具有可行性。但是由于仿自然通道所需空间大，而结合本工程所处地理位置考虑，枢纽渠部左岸岸坡陡峭，右岸是公路，所以不便布置仿自然通道。因此，本工程推荐过鱼设施采用鱼道形式。

B、鱼道布置方案比选

电站运行期，电站下游主要来水为电站下泄生态流量，为有效利用生态放流管出口水流对鱼类的诱导作用，将生态放流管接长至海漫的末端附近，结合水流、地形等条件，将鱼道进口布置在生态放流管出口附近。结合现场地形及建构筑物的影响，拟定右岸两种、左岸一种布置方案。

方案一：位于右岸，鱼道线路沿岸坡布置，与现有公路走向一致，从上游至

下游依次利用上游防护挡墙、坝右端头、护坦右边墙与岸坡之间的空间，及海漫和下游侧的的右边坡进行布置，需要开挖护坦边墙后回填的石渣，破坏现有部分护岸及路肩。出鱼口位于距坝 40m 的上游库岸边，基本不受输水系统进水口的影响；运行期，电站下游主要来水为电站下泄生态流量，考虑到生态放流管接的过长将影响过流能力，则将生态放流管接长至海漫的末端，将鱼道进口布置在生态放流管出口附近，受鱼道出口位置的限制，鱼道在海漫段处采用 S 型线路。

方案二：位于右岸，鱼道线路沿岸坡布置，与现有公路走向一致，布置方案基本同方案一。仅出鱼口上移，位于距坝 125m 的上游库岸边。

方案三：位于左岸，鱼道出口位于输水系统进水口的上游侧约 70m 的岸边，基本不受输水系统进水口的影响。受现有坝体及输水系统进水口的影响，鱼道线路较多弯折、线路不顺畅，鱼道线路的上游段沿着岸坡削坡成而成，进水口部位沿着周边现有的边坡坡脚深刻宽 2.6m、深 4m～6m 的深槽，同时，左岸山崖陡峭，实施难度较大。

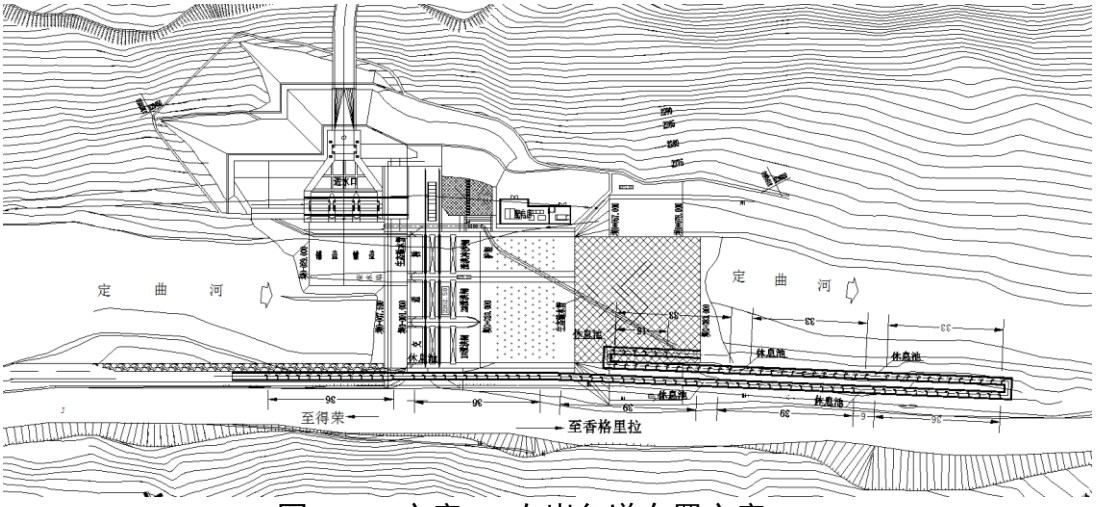



图 6.6-1 方案一 右岸鱼道布置方案 1

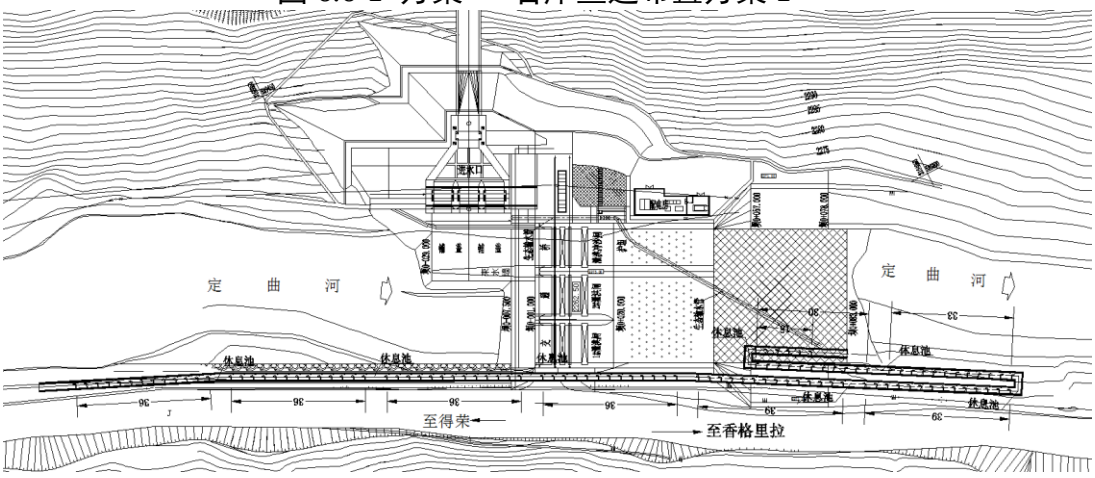


图 6.6-2 方案二 右岸鱼道布置方案 2

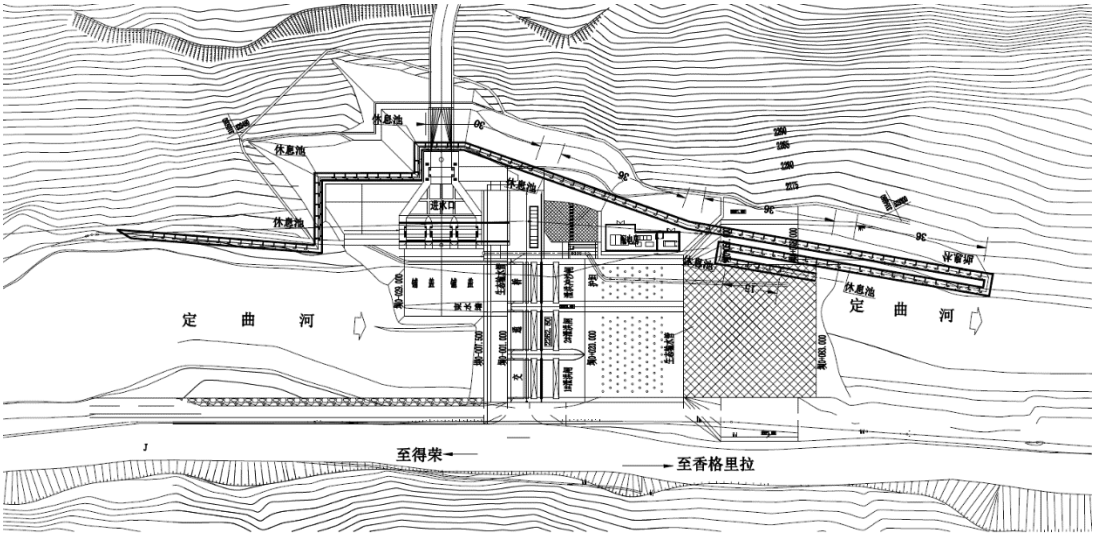



图 6.6-3 方案三 左岸鱼道布置方案

表 6.6-4 各方案土建主要工程量及土建投资表

| 项目 | 单位 | 数量 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 方案一 | 方案二 | 方案三 |
| 土石方开挖 | m³ | 29365 | 31515 | 26830 |
| 大坝混凝土槽挖 | m³ | 152 | 195 | 324 |
| 山坡坡脚刻槽 | m³ | - | - | 3456 |
| C25 混凝土 | m³ | 8477 | 8665 | 8393 |
| 钢筋 | t | 926.9 | 947.5 | 912.4 |
| 锚杆 L=4.5m | 根 | 3011 | 3232 | 3319 |
| 挂网喷 C25 混凝土厚 100 | ㎡ | 4517 | 4848 | 4979 |
| C25 混凝土板护坡 | m³ | 5421 | 6233 | 6289 |
| C35 混凝土 φ1m 灌注桩，L=10m | 根 | 193 | 197 | 176 |
| 土建投资 | 万元 | 2628.6 | 2763.1 | 2776.9 |

表 6.6-5 古学水电站鱼道布置方案对比

| 方案 | 优点 | 缺点 | 鱼道长度 |
|---|---|---|---|
| 一 | 1.右岸场地相对开阔，利于鱼道布置，鱼道线路较顺畅；<br>2. 出鱼口位于距坝 40m 的上游库岸边，基本不受输水系统进水口的影响 | 1.鱼道需要穿过现有挡水建筑物的右端头，所以鱼道穿过坝体处需要下挖 5.5～6.0m，对右坝头有一定影响；<br>2. 需要开挖护坦边墙后回填的石渣，破坏现有部分护岸及路肩 | 342m |
| 二 | 1.右岸场地相对开阔，利于鱼道布置，鱼道线路较顺畅；<br>2. 出鱼口位于距坝 125m 的上游库岸边，基本不受输水系统进水口的影响 | 1.鱼道需要穿过现有挡水建筑物的右端头，所以鱼道穿过坝体处需要下挖 7.5～8.0m，对整个大坝安全性影响较小；<br>2. 需要开挖护坦边墙后回填的石渣， | 350m |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 破坏现有部分护岸及路肩 | |
| 三 | 1.鱼道出口位于输水系统进水口的上游侧约 70m 的岸边，基本不受输水系统进水口的影响 | 1.鱼道线路无法穿越进水口建筑物，路沿进水口周边通过，同时需要穿过现有挡水建筑物的右端头，导致鱼道线路较多弯折、线路不顺畅；<br>2.鱼道线路的上游段沿着岸坡削坡成而成，进水口部位沿着周边现有的边坡坡脚和大坝左端头需刻刻宽 2.8m 宽的深槽，同时，左岸山崖陡峭，难度较大 | 360m |

综合比较，从工程难度、工程量以及安全性等方面考虑：

方案一：鱼道线路顺畅，设计施工难度、工程量相对较小，需开挖右坝头一定深度，布置条件最优。

方案二：基本同方案一，需开挖右坝头的深度大于方案一，布置条件较优。

方案三：鱼道线路不顺畅，左岸边坡陡峻且需沿坡脚深刻槽，设计施工难度、工程量相对较大，布置条件相对较长。

综上述所，方案一相对较优，所以将方案一作为鱼道布置方案。

C、鱼道运行水位

进口运行水位：坝址下游设计洪水位为 2268.91m，校核洪水位为 2270.73m。电站运行期，电站下游主要来水为电站下泄生态流量，下泄生态流量不低于 6.06$m^3$/s，根据现场实地勘察，运行期下泄生态流量时，下游水位约为 2262.50m。

出口运行水位：本工程水库正常蓄水位 2270.00m，死水位 2269.00m，鱼道出口设计水位范围选择电站的正常蓄水位和死水位之间；当极端洪水来临时，关闭鱼道挡洪闸门，鱼道不过鱼。

水头差：古学水电站正常蓄水位 2270.00m，死水位 2269.00m；坝址下游生态流量对应水位约为 2262.50m。所以，鱼道的最大设计水头差为 7.5m。

D、设计流速

a）鱼类克流能力分析

过鱼设施内部的的设计流速是过鱼设施成败的关键环节之一，通常是由过鱼对象的克流能力决定，同时参考天然河流的流速进行设置。国内关于鱼类克流能力的试验成果不多，但针对本工程的主要过鱼对象进行了一些试验研究。本河段主要过鱼对象的临界流速、突进泳速、感应流速测试结果分别见表 6.6-6、表 6.6-7、表 6.6-8。

表 6.6-6　目标鱼类临界泳速

| 鱼种 | 鱼全长<br>m | 水温<br>oC | 临界泳速<br>m/s |
|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.19~0.28 | 12.5~15.9 | 0.70~0.91 |
| 短须裂腹鱼 | 0.25~0.36 | 13.2~15.6 | 0.64~0.87 |
| 四川裂腹鱼 | 0.23~0.27 | 14.7~18.6 | 0.75~1.22 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 0.09~0.14 | 14.5~15.2 | 0.45~0.73 |
| 黄石爬鮡 | 0.14~0.22 | 13.5~19.9 | >1.7 m/s |
| 安氏高原鳅 | 0.10~0.12 | 14.4~15.7 | 0.33~0.66 |

表 6.6-7　目标鱼类突进泳速

| 鱼种 | 鱼全长(m) | 水温(oC) | 突进泳速(m/s) |
|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.21~0.30 | 12.9~14.4 | 1.05~1.46 |
| 短须裂腹鱼 | 0.26~0.32 | 12.8~15.2 | 1.08~1.42 |
| 齐口裂腹鱼 | 0.30~0.37 | 16.9~21.6 | 0.85~1.53 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 0.11~0.19 | 12.4~13.0 | 0.80~1.06 |
| 黄石爬鮡 | 0.14~0.22 | 13.5~19.9 | >1.7 m/s |
| 安氏高原鳅 | 0.09~0.15 | 14.5~15.0 | 0.63~1.06 |

表 6.6-8　目标鱼类感应流速

| 鱼种 | 鱼全长<br>m | 水温<br>oC | 感应流速<br>m/s |
|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.22~0.30 | 12.9~16.0 | 0.05~0.08 |
| 短须裂腹鱼 | 0.25~0.30 | 13.4~15.6 | 0.06~0.08 |
| 云南裂腹鱼 | 0.15~0.30 | 19.1~22.7 | 0.08~0.13 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 0.10~0.15 | 12.4~15.2 | 0.04~0.06 |
| 黄石爬鮡 | 0.16~0.19 | 16.7~19.9 | 0.09~0.47 |
| 安氏高原鳅 | 0.09~0.15 | 14.5~15.0 | 0.07 |

根据上述数据，目标鱼感应流速为 0.04m/s ~0.13m/s，临界游泳速度平均值为 0.72m/s，突进游泳速度平均为 1.16m/s。根据国内外研究成果，持续游泳速度

上限值在 80%临界速度附近，因此目标鱼的持续游泳速度和耐久游泳速度的分界值在 0.58m/s(0.72m/s×80%)附近，根据游泳速度区间划分，突进速度为爆发游泳速度的下限值，因此突进速度 1.16m/s 为耐久游泳速度和爆发游泳速度的分界值。爆发游泳速度上限值为 10 bl/s(即 10 倍体长每秒的流速)。

综上所述，根据目前掌握的鱼类游泳测试结果分析判断，目标鱼的感应流速为 0.04m/s～0.13m/s，持续速度 0m/s～0.58m/s，耐久速度 0.58m/s~1.16m/s，爆发速度 1.16m/s ~2.80 m/s。考虑到各种年龄规格的鱼类通过，建议突进游速值取 1.0m/s。

由于实验测试的鱼类游泳行为同鱼类在自然环境中的游动存在一定的差异，一方面表现在在水槽测试中，鱼类的身体摆动长度小于自然游动时的摆动长度；另一方面表现为鱼类在测试中不能自由的进行加速—滑行（burst-and-coast）的游泳方式。因此 Webb’s（1971）认为根据鱼类的尺寸，测试结果应增加 7.5-15%进行校正。本项目校正系数建议取 10%，因此，本鱼道过鱼孔口/竖缝流速建议取值为 1.1m/s。

b）进口诱鱼流速

鱼道进口一般采用一股流速较高的水流以吸引鱼类，但流速也不可过大，超过鱼类的突进游速将可能造成鱼类无法进入，因此最佳的进鱼口流速应选择在临界游速和突进游速之间。结合金沙江上游有关水电工程实验数据，此工程过鱼对象的临界游泳速度平均值为 0.72m/s，突进游泳速度平均为 1.0m/s，因此，建议鱼道进口诱鱼流速控制在 0.8 m/s～1.0m/s（测试值），校正后取值 0.88m/s～1.10m/s。

c）最小感应流速

鱼类进入鱼道后，若通道中水流流速过小，鱼类则容易找不到方向而不继续前进，因此，鱼道中的流速应大于鱼类的感应流速。同时，鱼类上溯通过整条鱼道，游出出口时，出口外的水流流速也应大于鱼类的感应流速，这样鱼类才能找到方向，继续上溯，最小感应流速取值 0.04m/s。

E、鱼道进出口设计

a）进口设计

鱼道的进口设计至关重要，进口能否为鱼类较快发觉和顺利进入，直接影响过鱼的效果，根据鱼类坝下上溯规律，鱼道进口一般选择在经常有水流下泄的地方，尽可能靠近鱼类能上溯到达的最前沿。

由于坝址下游长期仅有生态流量泄放，生态流量按不低于 6.06$m^3$/s 的泄放，水位较低，所以进口水位选择下游海漫底板高程+0.5m 作为下游水位，即水位为 2262.50m。所以，鱼道进口底板高程设置在 2262.00m。

进口为矩形结构，宽度为 2m，顶部高程满足下游防洪要求，进口设有闸门，可以通过闸门的开度控制进口水流流速。同时闸门兼顾鱼道检修时使用。

b）出口设计

本鱼道出口运行水位较稳定，绝大部分时间处在正常蓄水位 2270.00m～死水位 2269.00 之间，因此，鱼道出口底板高程设置在 2268.00m。

本鱼道出口设在进水口上游约 300m 处，此处距离发电进水口较远，上溯成功的鱼类不会被水流带入下游。出口为矩形结构，宽度为 2m，设有闸门，可以通过闸门的开度控制进口水流流速。同时闸门兼顾鱼道检修时使用。

F、鱼道内部结构设计

a）结构型式

鱼道由一级一级的水池组成，通过水池内的隔板起到消能减缓流速的目的。根据隔板形式的不同，鱼道又有不同的结构类型，目前常见的鱼道结构样式有丹尼尔式、溢流堰式和竖缝式 3 种，分别适应不同的鱼类、工程以及水文特征。三种鱼道的优缺点比较见下表。

**表 6.6-9 各种鱼道型式优缺点比较**

| 型式 | 优点 | 缺点 | 适用范围 |
|---|---|---|---|
| 丹尼尔式 | 消能效果好，鱼道体积较小；<br>鱼类可在任何水深中通过且途径不弯曲；<br>表层流速大，有利于鱼道进口诱鱼 | 鱼道内水流紊动剧烈，<br>气体饱和度高；<br>鱼道尺寸小，过鱼量少 | 适合水头差较小，和较小的河流和游泳能力较强的鱼类 |
| 溢流堰式 | 消能效果好；<br>鱼道内紊流不明显 | 不适应上下游水位变幅较大的地方；<br>易淤积 | 适合翻越障碍能力较强的鱼类（如鳟鱼、鲑鱼） |
| 垂直竖缝式 | 消能效果较好；<br>表层、底层鱼类都可适应；<br>适应水位变幅较大；<br>不易淤积 | 鱼道下泄流量较小时，诱鱼能力不强(需要补水系统) | 应用范围较广 |

古学鱼道的主要过鱼目的是沟通枢纽上下游阻隔群体之间的基因交流，避免种质资源退化，这样就要求能够兼顾更多种类，包括表层鱼类和底层鱼类。而垂

直竖缝式鱼道过鱼竖缝上下贯通，表层鱼类和底层鱼类均可以发现和通过，因此更利于上下游各种鱼类的交流。所以，综合考虑工程特性和鱼类的生态习性，鱼道形式建议采用垂直竖缝式。

竖缝式鱼道中也有许多不同的隔板设计样式，不同样式有不同的水力学特点和不同的适用对象，如单侧竖缝式、异侧竖缝式、双侧竖缝式等。

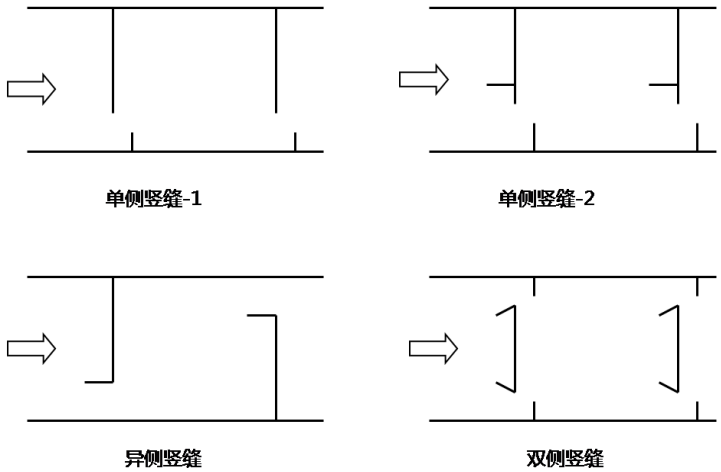



表 6.6-4 垂直竖缝式鱼道各种池室结构样式

异侧竖缝式和双侧竖缝式鱼道优点是消能效果较好，竖缝流速控制相对较好；但缺点是池室内流态复杂，缓流水体占比例较小，不利于鱼类在池室停留和休息。为满足更多小型鱼类以及游泳能力较差鱼类的上下游交流需求，不推荐异侧竖缝式和双侧竖缝式鱼道。单侧竖缝式鱼道消能效果和竖缝流速控制较异侧竖缝式和双侧竖缝式略差，但优点是结构简单，水流相对稳定；池室内有一部分流速相对较缓的水域，有利于鱼类在池室内休息。故推荐采用单侧垂直竖缝鱼道。两种单侧竖缝当中单侧竖缝式-2 池室内部能形成更强烈的回流，水流对冲更加强烈，消能效果较 1 具有一定优势。所以，推荐池室结构采用单侧竖缝式-2。

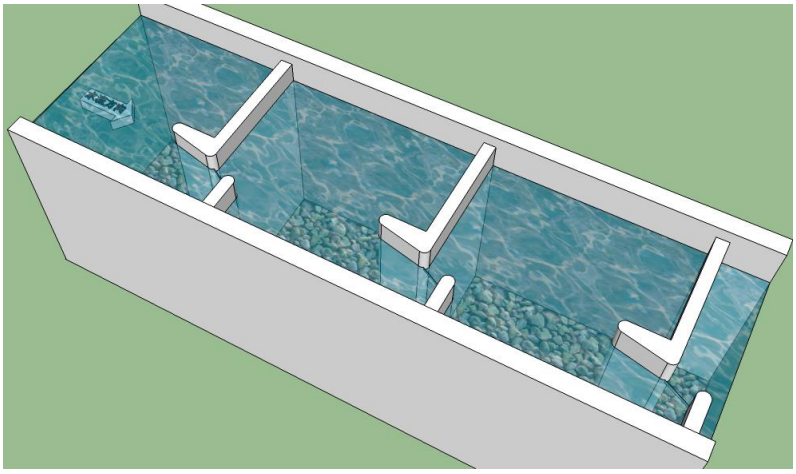


表 6.6-5 鱼道池室结构三维效果图

b）规模尺寸

**池室长度**：根据联合国粮农组织（FAO）对鱼道设计的标准规范，鱼道池室长度不应小于最大过鱼种类体长的 3 倍，因此，根据鱼类资源现状调查结果，综合考虑本鱼道的过鱼规模、过鱼对象、池室流态及鱼道总体长度，本鱼道池室长度取 3.0m。

**池室宽度**：根据联合国粮农组织（FAO）对鱼道设计的标准规范，鱼道池室宽不应小于最大过鱼种类体长的 2 倍，且考虑池室内的水力学特性，池室宽度与池室长度比例控制在 3:4~4:5 左右，但较宽的鱼道能够给鱼类更多的休息空间，由于本工程鱼道过鱼对象较多，但过鱼对象提醒都较小，鱼道场地布置有限，综合考虑，鱼道宽度取 2.0m。

**池室深度**：根据联合国粮农组织（FAO）对鱼道设计的标准规范，鱼道池室深度不应小于最大过鱼种类体高的 5 倍，即 1.5m。本工程鱼道需要兼顾表层鱼和底层鱼类，同时需要能够适应下游较大的水位变幅，因此，鱼道正常运行水深设计为 1.0m，靠近下游池室深度可适当加大，防止鱼道运行时因水流波动溢出。

**竖缝设计**：根据联合国粮农组织（FAO）对鱼道设计的标准规范，鱼道竖缝宽度不应小于最大过鱼种类体宽的 3 倍，所以综合考虑过鱼对象的体型以及鱼道的尺寸，同时兼顾鱼道消能要求，竖缝式鱼道竖缝宽度取 45cm。据竖缝式隔板的室内试验表明，竖缝的流速值，与射流角（水流与横隔板面的夹角）关系很大。射流角小，主流射向池室中间部分，消能充分，流速较小；射流角大，主流直冲下一块隔板的竖缝，流速较大。然而射流角过小，加剧了池室的横向水流，形成较强烈的回流和翻滚。本工程池室尺寸较大，所以射流角选择 45°。

**池间落差及底坡**：竖缝的流速 V，是由竖缝上下游水头差 Δh 来决定：Vmax ≈(2gDh)0.5；Vmax 为 1.1m/s，所以池间落差：Dh ≈ (Vmax)2 /2g =0.062m；鱼道底坡=Dh/L=0.062/3.0 =0.021≈ 1/50。

**池室数量**：鱼道进口底板高程设置在 2262.00m，鱼道出口底板高程设置在 2268.00m，鱼道进、出口底板高差 2268.00-2262.00=6.00m，鱼道底坡为 1:50。鱼道池室数量 N=ΔH/Dh =6.00×50/3= 100。

**鱼道流量计算**：对于圆弧处理的竖缝流量系数 Cd 取 0.85，竖缝 b2 跨度 0.45m；缝上水深(上游池室水位与竖缝顶的高差)H2 取上游正常蓄水位与竖缝顶的高差

为 1.0m。经计算，鱼道设计流量为 0.421 $m^3/s$。

**休息池：**本鱼道中原则上高程每提升 1m 左右设一个休息室，休息池无底坡，其长度至少为一般池室的 2 倍。另外，在鱼道的转角必须设置休息池，休息水池必须足够长，防止上游游程水流撞击对面墙壁的力量过大（尤其是方向 180°转弯的地方），或防止游程水流干扰下一个下游游程的水流（例如，抑制形成螺旋水流）。因此，建议将休息池布置在鱼道的转角上。

G、鱼道布置方案

拟在右岸修建鱼道，鱼道线路沿岸坡布置，与现有公路走向一致，从上游至下游依次利用上游防护挡墙、坝右端头、护坦右边墙与岸坡之间的空间，及海漫和下游侧的右边坡进行布置，需要开挖护坦边墙后回填的石渣，破坏现有部分护岸及路肩。出鱼口位于距坝 40m 的上游库岸边，基本不受输水系统进水口的影响；运行期，电站下游主要来水为电站下泄生态流量，考虑到生态放流管接的过长将影响过流能力，则将生态放流管接长至海漫的末端，将鱼道进口布置在生态放流管出口附近，受鱼道出口位置的限制，鱼道在海漫段处采用 S 型线路。鱼道有效全长为 342m，主要设计参数详见下表。

**表 6.6-10 古学水电站鱼道主要参数一览表**

| 项目 | 单位 | 指标 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 隔板样式 | | 垂直竖缝式 | |
| 池室长度 | m | 3.00 | 有效尺度 |
| 池室宽度 | m | 2.00 | 有效尺度 |
| 运行水深 | m | 1.00 | 正常运行水深 |
| 竖缝宽度 | m | 0.45 | 有效尺度 |
| 池间落差 | m | 0.062 | |
| 鱼道底坡 | | 1/50 | |
| 休息池长度 | m | 6.00 | 有效尺度 |
| 休息池数目 | 个 | 7 | |
| 池室总数 | 个 | 107 | |
| 鱼道全长 | m | 342 | 有效全长，不含弯道、闸门等特殊结构 |

②鱼根水电站

A、过鱼设施类型比选

鱼根水电站采用引水式开发，引水坝为混凝土滚水坝，坝长 45m，坝高 2m。目前针对低坝，国内外常用的过鱼设施类型为技术型鱼道（传统鱼道）和仿自然通道（生态鱼道）。仿自然鱼道也称“人造河流”，其原理是在工程合适位置模仿自然河流修建一条坡度平缓的水路供鱼类洄游通过，相较传统鱼道，生态鱼道具

有以下优势：

a) 近自然型鱼道由于构建了鱼类更为熟悉的水流流态，因而具有更高的过鱼效率。

b) 鱼类保护范围广，基本适用所有水生动物。

c) 能使上、下游的鱼类得到交换，基本能维持原有种群的完整性。

d) 使有机质、泥沙和其它水生生物能顺利的通过自然或人工障碍物，以满足下游鱼类育肥的需要，通过水流携沙使泥沙通过生态鱼道，以满足下游的冲刷平衡以及一些鱼类对悬沙或底沙的需求。

从过鱼效果、工程投资、操作难易程度等角度综合分析，鱼根水电站过鱼设施采用仿自然通道。

仿自然通道的类型主要可分为三大类型：①加糙坡道(底坡和底微斜坡)，②低坝的旁通过鱼水道，③过鱼副坝(鱼坡)。考虑到鱼根水电站滚水坝左右两岸均为公路，左侧还布置有电站引水渠，补建旁通鱼道较难实施，而对坝体进行改造相对更可行，因此，本次改造方案从加糙坡道和鱼坡两种生态鱼道类型中进行比选。

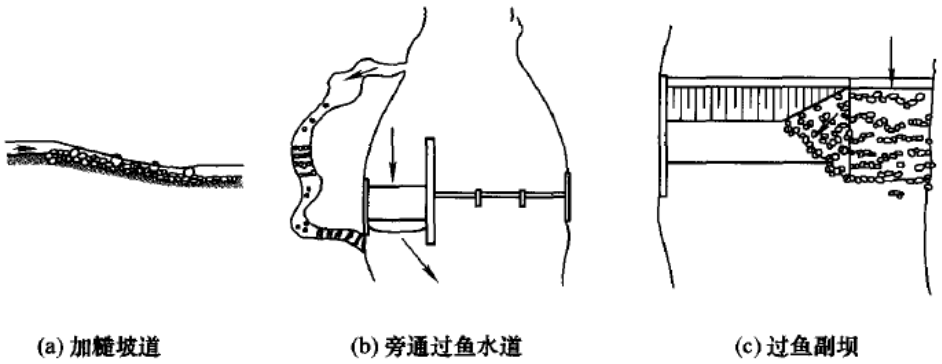



图 6.6-6　仿自然通道主要类型

加糙坡道运用的限制在于，对于已建闸坝工程，只有当不再需要控制上游水位时，才可以改建为加糙坡道式鱼道，这类鱼道占用了整个闸坝宽度。然而，出于发电、农业灌溉等综合利用的需要，只能在保持闸坝功能的前提下，选择一部分宽度设置过鱼通道，在此类情况下修建的近自然型鱼道，即为鱼坡。鱼根水电站挡水坝坝高仅 2.0m，适合采取加糙坡道的过鱼方式，但由于坝体有引水发电功能需求，考虑尽量不对其功能造成较大影响，经综合比较确定采用鱼坡结构式型。

B、鱼坡布置方案

在鱼根水电站挡水坝右岸布置鱼坡，坡水平投影长度 80.0m，坡道宽度为5.0m。下游鱼坡采用 1：30 加糙坡道，为 60.0cm 厚堆石结构，由直径 30.0cm 左右的块石回填，在填石中加入大蛮石(直径 100.0cm 以上)增加粗糙度，蛮石后形成的水池也为洄游的水生动物提供休息场所。填石基础采用 35cm 厚 C25 混凝土灌砌块石护底，减少枯水期水流下渗。为防冲刷和保持泄水水流与下游河床顺接，坡底接 7.0m 长 1.2m 厚大块石防冲槽，且以 1:50 斜坡与河床连接。

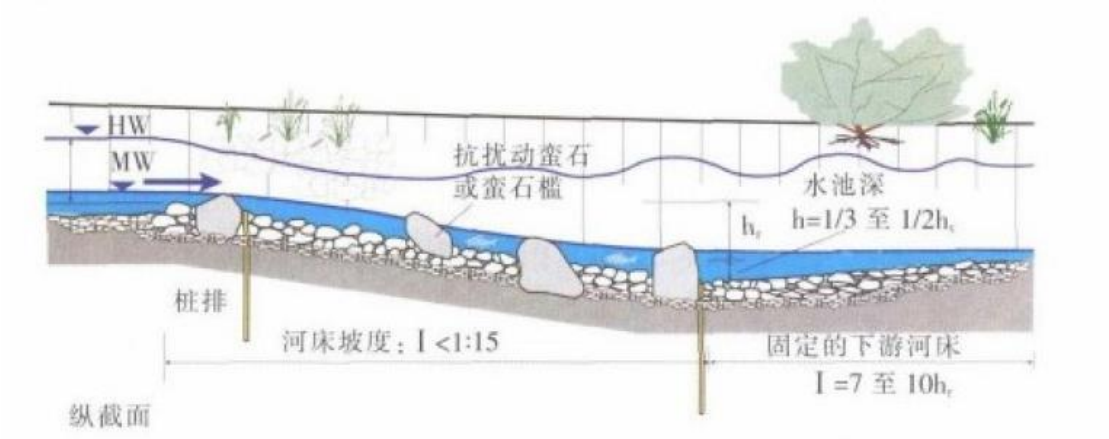



图 6.6-7　鱼根水电站鱼坡纵剖面示意图



图 6.6-8　鱼根水电站鱼坡布置方案

表6.6-11　鱼坡改造主要工程量初步统计表

| 项目名称 | 单位 | 工程量 |
|---|---|---|
| 坡道填石 | $m^3$ | 180 |
| 大蛮石 | $m^3$ | 40 |
| C25 混凝土灌砌块石 | $m^3$ | 50 |
| 河道清理 | $m^3$ | 2500 |

| | | |
|---|---|---|
| 绿植 | $m^2$ | 300 |
| 下游抛石防护 | $m^3$ | 60 |

（2）生境修复

定曲德荣县城以上国道 215 线及 549 线沿江而上修建，在定曲中上游相对宽谷河段，由于筑路等需要，建有多个挖沙场，挖沙对河流砾石沙滩、心滩破坏严重，对鱼类繁殖尤其对产粘性卵的裂腹鱼繁殖极为不利。对于保护河段的沙场，建议关闭并修复，修复方法可依据河道地形和河流冲淤特性，就地取材，按照河道原有形态进行近自然恢复。



**定曲中上游的定波、白松河段的挖沙场**

（3）生态调度

古学水电站须按环评批复要求泄放生态流量，在闸址处下泄不低于 6.06$m^3$/s 的生态流量，其中 5~9 月应下泄不低于 18.18$m^3$/s 的生态流量，并尽快落实生态流量在线监测设施，以满足下游河道生态、景观等用水需要。

在鱼类主要繁殖期 3~7 月，确保鱼道正常运行，保障繁殖期间鱼类进行短距离生殖洄游需要。同时，考虑到古水电站闸坝挡水较低（挡水水头约 7.5m），实施畅泄调度可以满足鱼类上下交流需求。建议电站在鱼类主要繁殖期实施 1~2 次畅泄生态调度措施，每次开闸畅泄调度持续时间 3~5 天，促进鱼类上下交流和繁殖洄游。





古学水电站敞泄（2019.5.19）

（4）管理措施

1）对于保护河段，严格限制涉水工程的建设，实施达标排放。定曲河流域目前没有大型工矿企业，主要污染源是沿岸乡镇生活废水。定曲河穿德荣县城，在城区约 3 公里河段两岸已被渠化，沿岸埋有多个排污口，县城生活污水直接排入定曲。一方面县城大量生活污水排入定曲，直接破坏了定曲河水质，给鱼类生长、繁殖带来极为不利，甚至引发鱼类个体死亡；另一方面，县城河段也是鱼类上溯的通道，定曲河鱼类重要生境多在县城以上江段，县城段的污染，也会障碍鱼类上溯产卵。因此，定曲县城河段的生活污水必须做到达标排放。

2）建立电站运行评价机制，严格落实环保考核措施。2015 年 8 月古学电站开始发电运行，但是电站并没有按照环保批复要求进行生态流量在线监测，也没有释放生态流量。定曲作为金沙江流域栖息地保护的重要支流，必须严格按照生态环保要求，建立电站的运行评价机制，监督落实企业环保考核措施。如鱼道的运行机制、鱼类繁殖期畅泄生态措施、生态流量在线监测等一系列方案的落实。

## 6.6.4 过鱼设施

### 6.6.4.1 过鱼设施的必要性

（1）维持河流生态系统的连通性、物种的遗传及生物多样性的需要

旭龙水电站属金沙江上游川滇河段水电规划推荐 2 级开发中的第 1 个梯级电站，其上游为昌波水电站，下游与奔子栏水电站相衔接。电站建成后，将对工程河段的鱼类造成阻隔影响，评价区鱼类可能分隔成坝上、坝下两个种群。旭龙

水电站工程河段不存在长距离洄游的鱼类，仅裂腹鱼类有一定的短距离洄游的倾向，鳅科鱼类与鮡科鱼类基本属于定居性鱼类。它们完成生命史所需空间相对较小，评价区干流江段及其支流还存在一定的繁衍栖息的条件，能够完成其生命过程，维持种群延续。阻隔影响主要是种群个体及其遗传交流受阻。已有研究表明，由于大坝的阻隔，完整的河流生态系统被分割成不同的片段，鱼类生境的片段化和破碎化导致形成大小不同的异质种群，种群间基因不能交流，使各个种群将受到不同程度的影响。如短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼等，群体间将出现遗传分化。为了减少大坝对河流生态系统尤其是鱼类种群的干扰，维持河流生态系统的连通性、维持河流的遗传及生物多样性，旭龙水电站工程有必要设置过鱼设施。

（2）满足法律法规及其他相关文件要求

1）《中华人民共和国水法》第三章第二十七条规定“在水生生物洄游通道修建永久性拦河闸坝，建设单位应当同时修建过鱼设施，或者经国务院授权的部门批准采取其他补救措施”。

2）《中华人民共和国渔业法》第四章第三十二条规定，“在鱼、虾、蟹洄游通道建闸、筑坝，对渔业资源有严重影响的，建设单位应当建造过鱼设施或者采取其他补救措施”。

3）根据《关于印发水电水利建设项目水环境与水生生态保护技术政策研讨会会议纪要的函》(环办函[2006]11 号)，会议纪要要求“在珍稀保护、特有、具有重要经济价值的鱼类洄游通道建闸、筑坝，须采取过鱼措施。对于拦河闸和水头较低的大坝，宜修建鱼道、鱼闸等永久性的过鱼建筑物；对于高坝大库，宜设置升鱼机，配备鱼泵、过鱼船，以及采取人工网捕过坝措施。同时应重视掌握各种鱼类生态习性和水电水利工程对鱼类影响的研究，加强过鱼措施实际效果的监测，并据此不断修改过鱼设施设计，调整改建过鱼设施，优化运行管理”。

4）《关于进一步加强水电建设环境保护工作的通知》(环办[2012]4 号)中明确提出：“要开展流域水电开发环境保护关键技术研究，积极开展干流和支流开发与保护生态补偿试点。进一步开展高寒地区生态影响和恢复措施、珍稀特有鱼类人工驯养繁殖、导鱼过鱼设施、河流与水库生境修复等研究”。

5）根据《水电工程过鱼设施规范》，“在河流上建设水电工程，应研究工程对鱼类造成的阻隔影响，并根据需要和相关条件设置过鱼设施”。

6）根据《金沙江上游水电规划环境影响报告书》及其审查意见(环审[2011]243号)，金沙江上游水电开发项目应“重点评价项目实施产生的生态、社会等影响，深入评价对生态环境敏感区域的影响方式、范围、历时和程度。切实落实过鱼设施、鱼类增殖放流、生态流量等保护措施”。

综上，为满足法律法规及其他相关文件要求，工程有必要修建过鱼设施。

### 6.6.4.2 过鱼目标分析

为更好开展旭龙水电站过鱼设施设计，长江勘测规划设计研究院联合水利部中国科学院水工程生态研究所、长江水利委员会长江科学院等单位对本工程江段鱼类生态习性特点、坝下流速流场等关键环节开展了大量的调研工作，分析了本江段鱼类的过鱼需求，筛选了过鱼对象，分析论证了过鱼季节、过鱼规模。在此基础上，开展了鱼类实验生态学研究，对主要过鱼对象开展了游泳能力实验，提出了过鱼水深、临界流速、突进泳速、感应流速等主要设计参数取值。由于影响过鱼措施效果的关键因素是集鱼地点的选择，长江设计院对可能的集鱼区域(尾水区域)的流场分布开展了物理模型和数值模拟研究。

（1）过鱼目标

1）阻隔影响分析

旭龙水电站为目前金沙江上游在建的最下游梯级，上距在建的苏洼龙水电站约 87km，上游昌波水电站未建情况下，存在 23.96km~21.94km 的自然流水河段，昌波电站建成后，旭龙库尾流水河段缩减至 4.48km~6.5km。坝下方面，旭龙水电站下距规划中的奔子栏水电站约 67km，奔子栏水电站建设前，坝下最近的拦河工程为在建的梨园水电站，坝下河段基本处于自然状态。

表 6.6-12　旭龙水电站不同运行阶段阻隔影响分析

| 运行阶段 | 区域 | 主要变化 | 阻隔影响 |
|---|---|---|---|
| 仅旭龙建成 | 坝上 | 水库生境发生变化，但库尾及以上基本可满足鱼类要求，鱼类生境适宜度略有降低 | 阻隔影响不显著 |
| | 坝下 | 坝下江段能够满足多数鱼类的生存和繁殖 | |
| 旭龙、奔子栏、昌波均建成 | 坝上 | 流水生境大幅萎缩，流水性鱼类种群下降严重 | 区间部分鱼类繁殖受到影响 |

2）过坝目的分析

根据旭龙水电站不同运行阶段阻隔影响，对不同阶段的过鱼目的进行了分析，见下表。

**表 6.6-13　过鱼目的分析表**

| 需求类别 | 鱼类特点 | | 过鱼目的分析 |
|---|---|---|---|
| 缓解生活史阻隔影响 | 裂腹鱼对产卵需求偏低<br>高原鳅、鮡科鱼类小区域既可完成生活史 | | 完成生活史需求不显著 |
| 改善生境适宜度 | 坝上生境适宜度低于坝下 | | 无改善生境适宜度需求 |
| 沟通基因交流 | 近期 | 阻隔后坝上区域相对较小，可能产生异质种群<br>坝下为天然江段，不存在种质资源风险 | 适当把部分坝下鱼类转移至坝上，可丰富坝上群体的种质资源 |
| | 远期（奔子栏建设后） | 坝上坝下基本为水库，生境变小，种类丰度下降 | 进行适量的上下交流 |

根据以上分析，旭龙水电站过鱼需求总体不高，主要过鱼目的为基因交流和保护鱼类种质资源，其中上下游梯级未建成前主要过鱼目的为适当把部分坝下鱼类转移至坝上，丰富坝上群体的种质资源；上下游梯级建成后，主要过鱼目的为沟通上下游鱼类基因交流。

3）下行过坝需求分析

对于下行过坝而言，有主动下行和被动下行之分。

主动下行是指鱼类有下行游泳行为并在坝前聚集，然而旭龙成库后，库区内水流趋于为静水，即使目标鱼有主动下行行为，也会因无明显下行流速而无法找到正确下行方向，因而可以认为库区内的鱼类分布是随机的，无法区分目标鱼中哪些鱼是主动需要下行的。另外，根据国外经验，鲑鱼幼鱼具有典型的下行洄游需求，但我国鱼类下行洄游研究相关极少，暂无法判断裂腹鱼类幼鱼是否有明显的下行行为和下行需求，在情况不明朗的条件下，建议暂不考虑此类情况的鱼类下行过坝问题。

被动下行是指在洪水季节，坝上各生活史阶段的个体均可能被水流挟带，被动通过水工建筑物。而被水流挟带到达坝下水域的个体或多或少均有一部分可以存活。在坝下水域生境条件适合的情况下，这部分个体可以继续生长发育并繁殖，达到补充坝下种群基因库的目的。在坝下水域生境条件不适合的情况下，转运至坝下的个体也无法对坝下群体基因库形成有效补充。

因此，从旭龙过鱼设施的保护目标分析，过鱼设施设计主要考虑辅助鱼类上行过坝，鱼类下行过坝主要目标为提高被动下行鱼类过坝时的存活率。

（2）过鱼对象

根据本工程江段鱼类资源、生态习性，从过鱼需求、过鱼有效性、保护价值和鱼类资源量等方面综合考虑，确定本工程过鱼对象见下表。

**表 6.6-14　过鱼对象及优先级**

| 优先级 | 种类 | 理由 |
|---|---|---|
| 主要过鱼对象 | 软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤 | 能够适应蓄水后的库区生境 |
| | 短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼 | 繁殖季节具有短距离上溯习性 |
| 兼顾过鱼对象 | 细尾高原鳅、勃氏高原鳅、安氏高原鳅、黄石爬鮡 | 定居鱼类 |

（3）过鱼季节

本工程过鱼的根本目的在于保持河流连通性，促进鱼类坝上及坝下间的交流。因此过鱼的季节应为主要过鱼对象以及兼顾对象的繁殖季节。根据文献调研，主要及次要过鱼对象的繁殖时间如所示。综合考虑，本阶段提出旭龙水电站的主要过鱼季节为 3~7 月，实际运行阶段可根据鱼类的繁殖行为做相应调整。

**表 6.6-15　旭龙水电站过鱼季节分析表**

| 优先级 | 种类 | 月份 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 主要 | 短须裂腹鱼 | | | | | | | | | | | | |
| | 长丝裂腹鱼 | | | | | | | | | | | | |
| | 四川裂腹鱼 | | | | | | | | | | | | |
| | 软刺裸裂尻鱼 | | | | | | | | | | | | |
| | 硬刺松潘裸鲤 | | | | | | | | | | | | |
| 兼顾 | 细尾高原鳅 | | | | | | | | | | | | |
| | 勃氏高原鳅 | | | | | | | | | | | | |
| | 安氏高原鳅 | | | | | | | | | | | | |
| | 黄石爬鮡 | | | | | | | | | | | | |

| 过鱼季节 | | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

注：

—主要繁殖季节　—次要繁殖季节　—过鱼季节

### 6.6.4.3 鱼类分布及进口选址分析

（1）鱼类游泳能力研究

本阶段针对过鱼措施设计，开展了鱼类实验生态学研究，针对主要过鱼对象开组了游泳能力实验和研究。试验测得鱼类感应流速、临界游速及突进游速见下表。

表 6.6-16　测试鱼类感应流速

| 鱼种 | 全长（m） | 测试水温（oC） | 感应流速（m/s） |
|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.22~0.30 | 12.9~16.0 | 0.05~0.08 |
| 短须裂腹鱼 | 0.25~0.30 | 13.4~15.6 | 0.06~0.08 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 0.10~0.15 | 12.4~15.2 | 0.04~0.06 |
| 安氏高原鳅 | 0.09~0.15 | 14.5~15.0 | 0.07 |

表 6.6-17　测试鱼类临界游速

| 鱼种 | 全长（m） | 测试水温（oC） | 临界游速（m/s） |
|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.19～0.28 | 12.5～15.9 | 0.70～0.91 |
| 短须裂腹鱼 | 0.25～0.36 | 13.2～15.6 | 0.64～0.87 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 0.09~0.14 | 13.3~15.2 | 0.45~0.73 |
| 安氏高原鳅 | 0.10~0.12 | 14.4~15.7 | 0.33~0.66 |

表 6.6-18　测试鱼类突进游速

| 鱼种 | 全长（m） | 测试水温（oC） | 突进游速（m/s） |
|---|---|---|---|
| 长丝裂腹鱼 | 0.21~0.30 | 12.9~15.0 | 1.05~1.46 |
| 短须裂腹鱼 | 0.26~0.30 | 12.8~15.2 | 1.08~1.42 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 0.11~0.19 | 12.4~13.0 | 0.80~1.06 |
| 安氏高原鳅 | 0.09~0.15 | 14.5~15.0 | 0.63~1.06 |

根据以上测试结果，对过鱼设施的流速设计建议值如下：

1）最大克流速度

采用半数忍耐速度对突进速度测试结果进行分析，长丝裂腹鱼为 1.22m/s，短须裂腹鱼为 1.17m/s，软刺裸裂尻鱼为 0.89m/s，安氏高原鳅为 0.80m/s，黄石爬鮡为 1.7m/s。采用 7.5%的试验调整系数后为 1.26~1.31m/s。该数值代表鱼类可以连续 20s 克服 1.26m/s 的均匀流速，当水流为非均匀流，或非恒定流时，鱼类能够克服的流速将超过 1.26m/s。

2）进口诱鱼流速

对于鱼类，一般最佳的诱鱼流速范围为临界游速和突进游速之间，其中流速越大、水流的影响范围越大。综合考虑，进口流速建议值范围为 0.43~1.26 m/s，最佳区间为 0.80~1.26m/s。

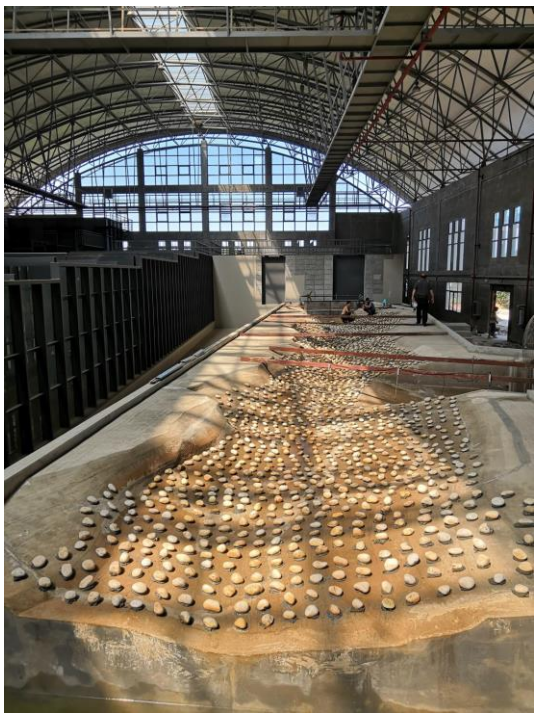
3）感应流速

过鱼设施出口或放流水域应保持有一定的流速，以便于鱼类寻找水流方向，避免迷失方向。因此，过鱼通道出口流速建议大于鱼的感应流速，且在持续游泳速度范围内，根据测试结果建议放流位置选择在流速＞0.19m/s 的水域。

（2）坝下流场研究

1) 研究方法

本研究建立了几何比尺 1：25 的模型，模型范围：长约 34m，最宽约 12m，高度约 1.7m。其中电站尾水管及集鱼系统等采用优质有机玻璃制作；上、下游河道地形采用水泥砂浆刮制。模型制作与安装精度按水工（常规）模型试验规程 SL155-2012 要求控制。1:25 集鱼系统水工整体模型见下图。



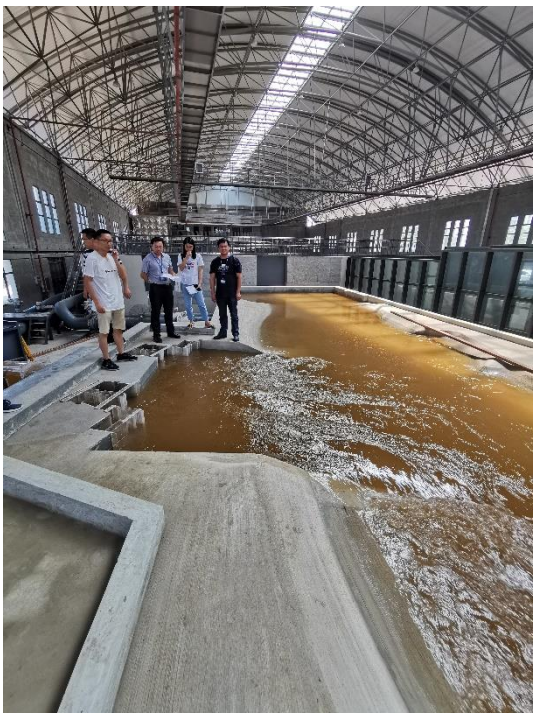
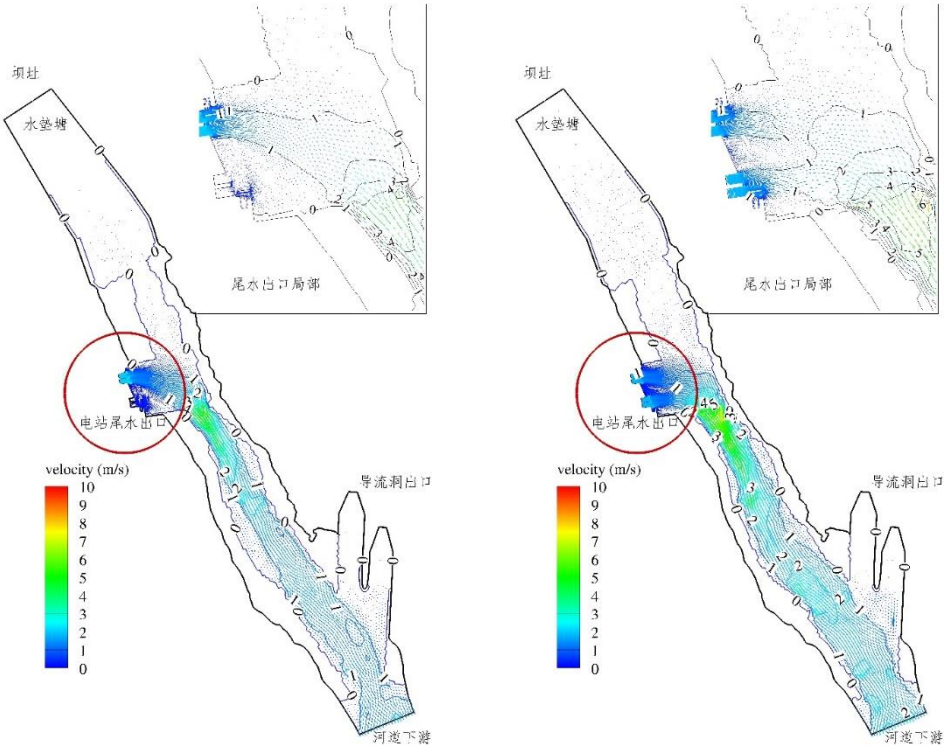


图 6.6-9　坝下水力学物理模型（比尺 1:25）

对电站不同运行方式（1 台机满发至 4 台机满发，电厂下泄流量 464.1m3/s~1816.4m3/s），机组运行等进行了组合进行试验研究。同时，开展了数值模拟研究。

2）研究结果

考虑电站 4 台机组发电、3 台机组发电、2 台机组发电、1 台机组发电。各工况河道流速分布见图 1.3~1.10。由图可见，4 台机组发电工况下，尾水出口与河道交接靠下游区域，受河道缩窄影响，流速较大，局部已超过 5m/s，缩窄断面以下河道的较宽，主河道流速在 2~4m/s 之间；3 台机组发电工况下，尾水出口与河道交接靠下游区域，受河道缩窄影响，流速偏大，缩窄断面以下河道的较宽，主河道流速在 2~3m/s 之间；2 台机组发电工况下，尾水出口与河道交接靠下游区域，受河道缩窄影响流速偏大，缩窄断面以下河道的较宽，主河道流速在 1~2m/s 之间。



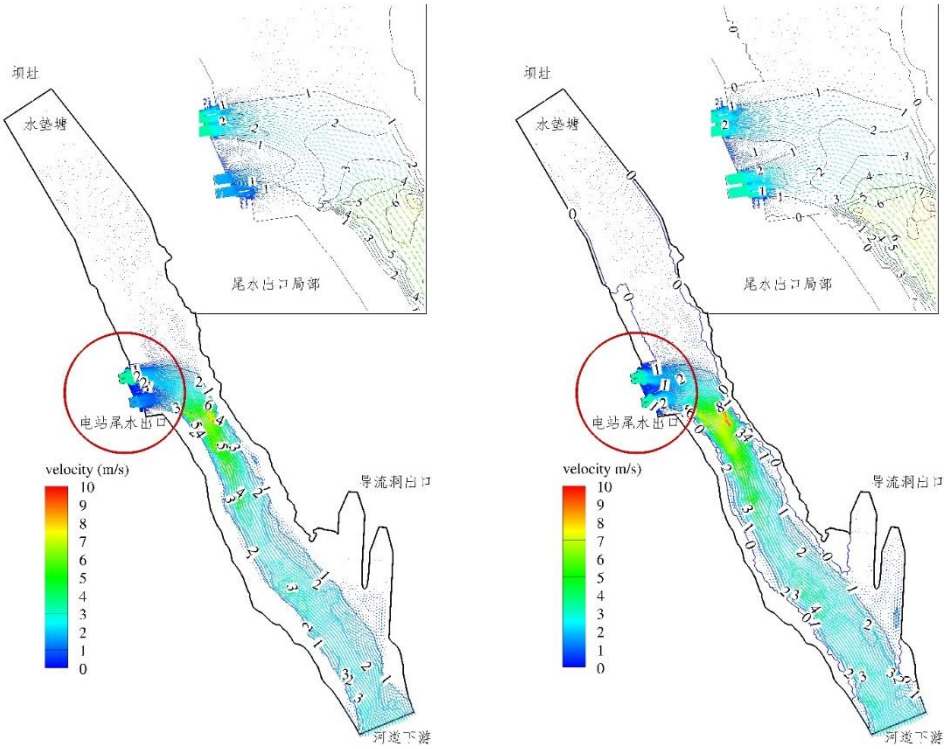
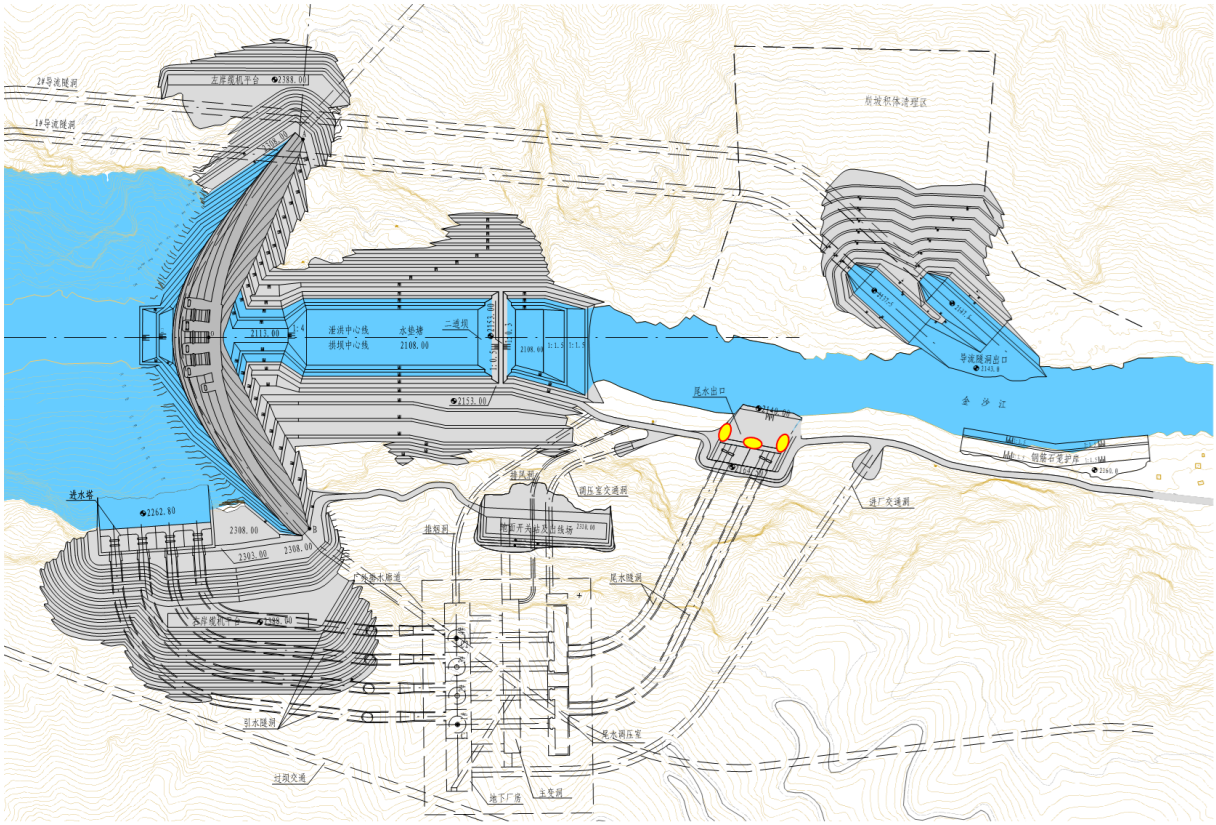



图 6.6-10　代表工况下坝下流速流场

3）坝下鱼类分布及上溯路径预测

对于喜流鱼类如裂腹鱼类等，在其繁殖季节，会逆水洄游至坝下泄水建筑物下方，旭龙水电站正常发电工况下，尾水渠内流速在 0.7~2.0m/s 左右，鱼类一般会被发电尾水吸引，由于尾水渠内流态紊乱，呈非均匀分布，局部存在流速低于鱼类突进流速的区域，因此鱼类基本可以上溯至尾水渠内。

当出现电站满发等大流量工况下，河道中心流速达到 5.0m/s 左右，但由于沿岸边及江底的摩阻效应，一般具有一定宽度及深度的缓流水域，此时鱼类会在邻近水域寻找合适流速庇护物，躲避在岸边的流速较缓的区域及江底的大石块后，并寻伺机继续上溯。在流态紊乱的河流中，鱼类更加会利用回流区进行休息并上溯，游泳模式也为“爆发—滑行”（Burst and Coast）,这也可以解释本河段天然平均流速即高达 3.5m/s 左右，但鱼类仍可以上溯并繁殖。当鱼类长时间顶流体力消耗较大时，会来到邻近的缓流区进行休息，所以发电的尾水洞口及两侧可能是喜流鱼类最密集的水域。此外，河道两岸的乱石后，江中大石块后，也可能是喜流鱼类相对密集的区域，其坝下可能密集分布区见下图所示。




注：黄色区域为的鱼类可能的密集分布水域

图 6.6-11　旭龙水电站坝下鱼类可能的密集分布区

4）集鱼设施选址建议

根据以上对鱼类游泳能力/坝下流场、坝下鱼类分布的分析，最佳的集鱼位置是在尾水渠内，具体地点为尾水洞口的两侧区域，集鱼设施布置在此处，将有利于提升集鱼效率。

### 6.6.4.4 过鱼方案比选

（1）设计水位

根据对旭龙水电站坝下及库区水位过程及频率的分析，旭龙水电站过鱼设施的运行水位见下表。

表 6.6-19　旭龙水电站过鱼设施设计运行水位

| 设计运行水位 | | 水位（m） | 变幅（m） | 最大水头（m） | 取值依据 |
|---|---|---|---|---|---|
| 下游 | 低水位 | 2145.58 | 7.86 | 156.42 | 3~7 月最小生态流量对应尾水位 |
| | 高水位 | 2153.44 | | | 主要过鱼季节 3~7 月 95%保证率高旬水位 |
| 上游 | 低水位 | 2297.00 | 5.00 | | 死水位 |
| | 高水位 | 2302.00 | | | 正常蓄水位 |

（2）过鱼方案初选

过鱼设施主要有鱼道、仿自然通道、升鱼机、鱼闸、集运鱼系统及捕捞过坝等不同型式，这些形式适应不同的工程、不同的过鱼种类， 不同过鱼设施方案都有在各方面具有不同的特点，针对不同工程适用性又有所不同。2006 年 1 月 9 日，环境保护部办公厅下发的《关于印发水电水利建设项目水环境与水生生态保护技术政策研讨会会议纪要的函》（环办函〔2006〕11 号）要求“对于拦河闸和水头较低的大坝，宜修建鱼道、鱼梯、鱼闸等永久性的过鱼建筑物；对于高坝大库，宜设置升鱼机，配备鱼泵、过鱼船，以及采取人工网捕过坝措施。

2014 年 5 月 10 日，环境保护部和国家能源局联合下发了《关于深化落实水电开发生态环境保护措施的通知》（环发〔2014〕65 号），提出：现阶段对水头较低的水电建设项目，原则上应重点研究采取仿自然通道措施；对水头中等的水电建设项目，原则上应重点研究采取鱼道或鱼道与仿自然通道组合方式；对水头较高的水电建设项目，应结合场地条件和枢纽布置特性，研究采取鱼道、升鱼机、集运鱼系统或不同组合方式的过鱼措施。以下对不同过鱼方式的优缺点及针对旭龙水电站的适用性进行了分析，见下表。

**表 6.6-20　过鱼设施方案优缺点及适用性分析**

| 过鱼方式 | 优点 | 缺点 | 适用性 |
|---|---|---|---|
| 鱼道 | ➢ 过鱼连续，过鱼量大<br>➢ 故障率低，运行较为稳定； | ➢ 鱼道长度长，布置难度大<br>➢ 工程量大，建设成本高 | 基本可行<br>建设难度极大 |
| 仿自然通道 | ➢ 适合多种鱼类通过<br>➢ 可恢复自然生境 | ➢ 坡度缓，通道宽，长度极长<br>➢ 适应水位变幅能力差 | 基本不可行<br>无法布置 |
| 升鱼机 | ➢ 鱼类过坝较轻松<br>➢ 适应库区水位变化 | ➢ 过鱼不连续<br>➢ 机械机构较为复杂<br>➢ 运行成本较高。 | 基本可行<br>厂房距大坝距离较远，存在一定难度 |
| 鱼闸 | ➢ 鱼类过坝轻松 | ➢ 过鱼不连续，操作复杂<br>➢ 耗水量大 | 基本不可行<br>闸室消能难度极大<br>近代鱼闸已很少采用 |
| 集运鱼船 | ➢ 鱼类过坝较轻松<br>➢ 适应各种水位变化<br>➢ 能够将鱼类运输至流水江段放流 | ➢ 过鱼不连续<br>➢ 机械机构复杂，易发故障<br>➢ 转运过程多，鱼类易受伤<br>➢ 运行成本较高。 | 基本不可行<br>坝下为不通航河段，无法采用集鱼船的集鱼方式 |

根据旭龙水电站特点，工程采用仿自然通道、鱼闸及集运鱼船方案基本不具备可行性，鱼道方案随布置难度极大，但仍存在可行性，升鱼机方案基本可行。

（2）比选方案

根据上述分析，对鱼道、升鱼机 2 种可行方案进行详细分析对比，2 种方案分述如下。

1）鱼道方案

根据鱼类的趋流特性，鱼类一般聚集在常泄水建筑物下方，因此鱼道进口布置在厂房尾水渠旁侧，为适应下游水位变化，设置 3 个进鱼口，鱼道进口段长约 250m，鱼道主体段沿右岸岸坡布置，在坡度相对较缓的局部区域进行折叠盘旋，局部采用排架结构，与道路交叉采用涵洞结构，共设 4 个穿路涵洞，由于旭龙水电站坝址区河谷为深切的峡谷地形，右坝肩极为陡峻，局部近直立，难以通过明渠穿越，因此右坝肩设 2 段过鱼隧洞，分别长 60m 和 775m，过鱼隧洞在进水塔上游侧出洞，接鱼道出口段，出口段全长 250m。鱼道坡度采用 1:50，鱼道总工作水头 156.42m，全长 8.55km，沿程在鱼道转角处设置鱼类休息池，休息池共 51 个。鱼道总体布置见下图。

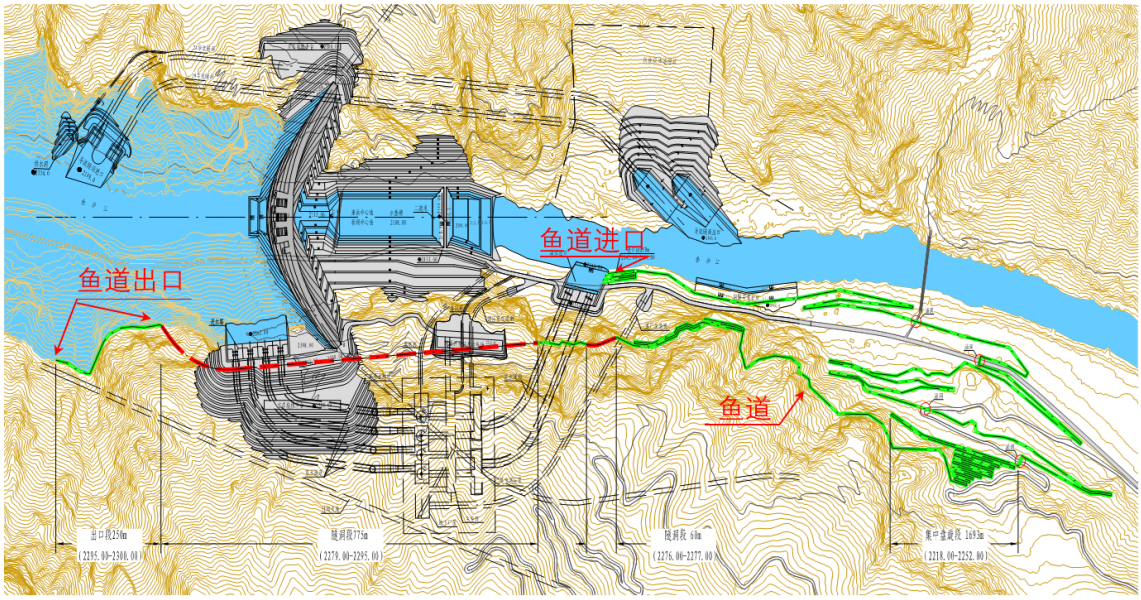



图 6.6-12　鱼道方案平面布置图

表 6.6-21　鱼道方案工程特性表

| 名称 | | 单位 | 数量或特征 |
|---|---|---|---|
| 布置 | 最大工作水头 | m | 156.42 |
| | 总长度 | m | 8055 |
| | 过鱼隧洞 | 个 | 2 |
| | | 总长度 | 835 |
| | 穿路涵洞 | 个 | 4 |
| | 休息池 | 个 | 51 |
| | 设计流速 | m/s | 1.1~1.4 |
| | 流量 | m3/s | 0.8~1.5 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 结构 | 隔板结构 | | 垂直竖缝式 |
| | 池室长度 | m | 2.5 |
| | 池室宽度 | m | 2.0 |
| | 竖缝宽度 | m | 0.3 |
| | 池底坡度 | | 1:50 |
| 进口 | 进口数量 | 个 | 3 |
| | 底板高程 | 1# | 2144.0 |
| | | 2# | 2146.5 |
| | | 3# | 2149.0 |
| 出口 | 出口数量 | 个 | 3 |
| | 底板高程 | 1# | 2295.0 |
| | | 2# | 2297.5 |
| | | 3# | 2300.0 |

2）升鱼机方案 1-索道运输

升鱼机方案整个系统包括尾水升鱼机、补水系统、索道系统、放流系统等组成。升鱼机过鱼流程为：①补水系统开启→②升鱼机诱鱼→③驱鱼格栅集鱼→④升鱼机提升→⑤在装载站将鱼类转运至索道系统→⑥运鱼箱通过索道运输过坝→⑦运鱼箱在索道卸载站卸载进入卸载池→⑧鱼类通过放流滑道滑入库区。

根据鱼类的趋流特性，鱼类一般聚集在常泄水建筑物下方，因此升鱼机进口布置在厂房尾水渠旁侧。因旭龙水电站挡水建筑物为拱坝，坝体布置提升设施困难，且尾水距离大坝较远，因此升鱼机直接提升过坝难以实现，只能采用索道过坝方案。索道装载站位于尾水平台，卸载站位于坝上进水塔上游 100m 处，通过放流滑道将鱼放流至库区。索道全长 960m，其中坝下段 680m，库区段 280m，索道总提升高度约 170m，中途设索道转向站一座。索道升鱼机方案布置见下图。

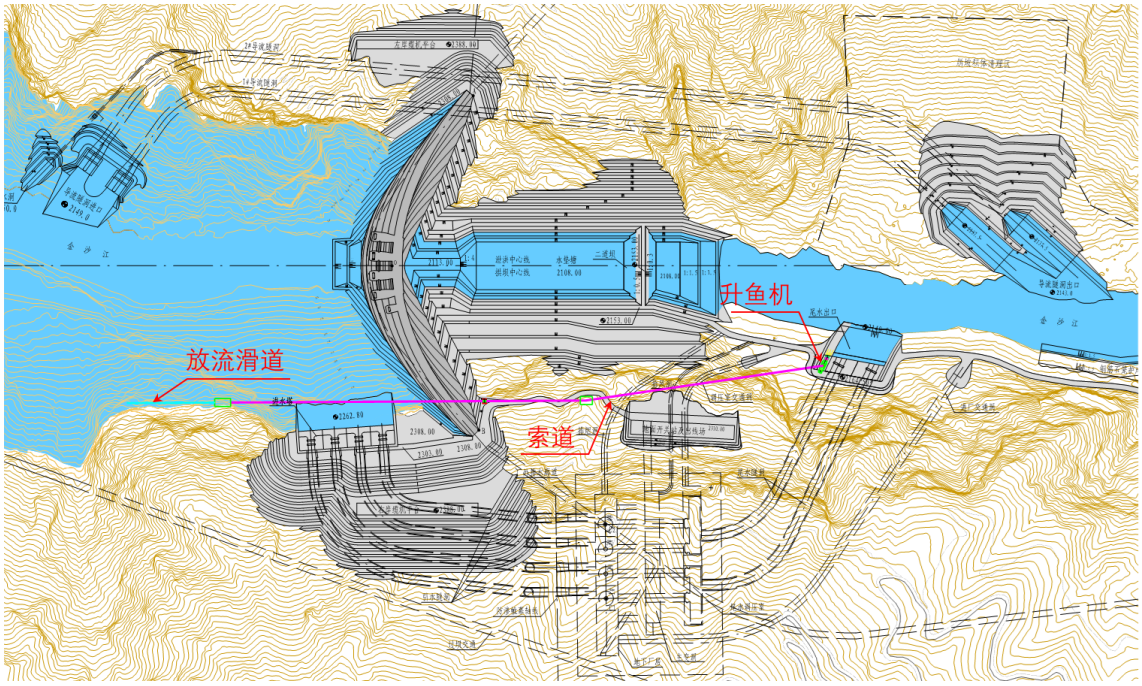



图 6.6-13　　升鱼机方案线路布置图

表 6.6-22　　升鱼机方案工程特性表

| 名称 | | 单位 | 数量或特征 |
|---|---|---|---|
| 集鱼系统 | 最大工作水头 | m | 156.42 |
| | 集鱼通道长度 | m | 20 |
| | 集鱼通道宽 | m | 2 |
| | 集鱼箱尺寸 | m | 2.0×2.0×1.5 |
| | 诱鱼流速 | m/s | 0.8~1.1 |
| | 补水流量 | m3/s | 0.8~1.5 |
| 索道系统 | 型式 | | 往复式 |
| | 最大提升高度 | m | 170 |
| | 索道全长 | m | 960 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 其中 | 坝下索道 | m | 680 |
| | | 库区索道 | m | 280 |
| | 索道转向站 | | 座 | 1 |
| 放流系统 | 放流方式 | | | 滑道 |
| | 滑道尺寸 | | m | U 型，0.5×0.5 |

（3）方案比选

1）运行效果分析

不同方案的进口、通过及出口效率分析见下表：

**表 6.6-23　不同方案进口效率分析表**

| 比较方案 | 进口效率分析 |
|---|---|
| 鱼道方案 | 优点：具有 3 个进鱼口<br>缺点：尾水渠水深超 20m，鱼道进口难以接底，不利于底层鱼类进入；<br>补水流量需求巨大； |
| 升鱼机+索道方案 | 优点：能够根据下游水位控制补水流量，保证诱鱼流速<br>缺点：水位高时，对补水流量要求较大； |

**表 6.6-24　不同方案通过效率分析表**

| 比较方案 | 通过效率分析 |
|---|---|
| 鱼道方案 | 优点：过鱼连续、稳定，无人为操作<br>缺点：鱼道长达 8.55km，鱼类长时间克流，易产生疲劳，增大折返率；<br>鱼类过坝时间较长；<br>鱼类需通过长距离隧洞，是否存在影响尚无定论。 |
| 升鱼机+索道方案 | 优点：鱼类过坝较为省力，过坝速度快。<br>缺点：运行复杂，中间须增加索道转向站；<br>运行易受大风等极端天气影响； |

**表 6.6-25　不同方案出口效率分析表**

| 比较方案 | 出口效率分析 |
|---|---|
| 鱼道方案 | 缺点：水位变化时需要切换出口。 |
| 升鱼机+索道方案 | 优点：适应库区水位变化。 |

2）限制因素分析

旭龙水电站坝址区河谷为深切的峡谷地形，横断面为典型的“V”型谷，鱼道方案的主要高程 2150m～2500m 段两岸岸坡坡角一般 50°～60°，两岸岸坡极为陡峻，局部近直立。




**图 6.6-14 坝址地形地貌**

坝址自然高边坡稳定问题十分突出。两岸岸坡高程 2300m 以上近直立边坡高 80m～150m，岩体卸荷较强烈，发育有连续的强卸荷带；高程 2300m 以下岸坡岩体卸荷带宽度一般 15m～35m，均呈弱卸荷特征，共发现 6 个较大的危岩体；边坡中下部随机分布不同规模潜在不稳定块体，有崩塌坠落可能。

同时，鱼道工程建设中会形成大量人工高边坡，部分边坡可能高达百米以上，虽然坝址区岩体均坚硬，断层发育规模一般不大，具备开挖形成高边坡的地质条件。但局部由于断层、裂隙与坡面组合会产生一些不稳定块体。另外，据地质调查，坝址区下游 5km 范围内共分布堆积体 4 处、滑坡 7 处、泥石流沟 2 条等不良工程地质体，环境地质问题较突出。其中 F2 冲沟及徐龙泥石流沟对鱼道布置可能存在一定限制。

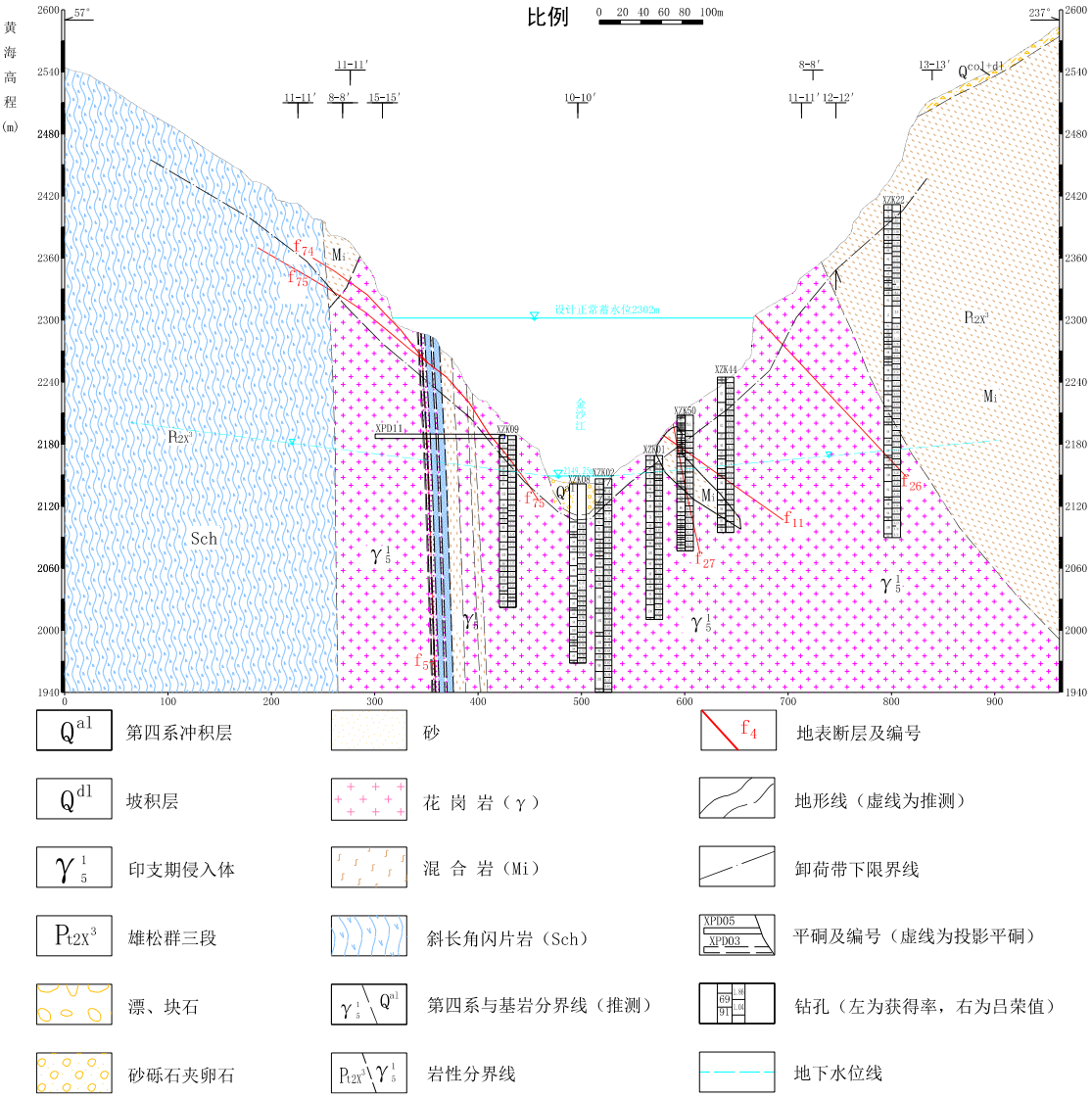



**图 6.6-15 下坝址中坝线大坝轴线(8-8′)工程地质剖面图**

综上所述，由于旭龙工程地形地质的限制，坝址区域两岸岸坡极为陡峻，局部近直立，若采用开敞式鱼道将涉及大量边坡开挖、支护及排架工程。同时，局部地形地质条件较差的部位存在局部块体稳定问题和高位边坡的稳定问题，需要进行特殊处理。若采用隧洞式鱼道，将存在鱼类通过长隧洞的不确定性问题。而集鱼系统和升鱼机采用集鱼+转运的方式，地形底质不构成限制性因素。

3）综合比选

旭龙水电站最大水头 156.42m，属于高坝，世界范围内尚无如此高水头差的鱼道工程先例，若采用鱼道方案，鱼类必须连续克服高流速，上溯通过 3129 块隔板才能到达坝上，很容易引起鱼类疲劳，且容易造成鱼类的折返。且两岸地形陡峭，地质条件存在边坡不稳定因素，鱼道形式实施困难。目前，最高的鱼道为伊泰普大坝（水头 120m）组合式鱼道，伊泰普组合式鱼道全长大约 10km，利用

了支流 6.7km 的贝拉维斯塔河作为鱼道的一部分。此外，伊泰普鱼道上下游水位变幅均较小，鱼道方案具有实施的可行性。根据报道, 巴拉那河历史记载有 19 种长距离洄游鱼类, 伊泰普鱼道的监测到其中的 17 种, 说明伊泰普鱼道吸引鱼类效果良好。但是, 鱼类上溯率随着五区段锐减, 在第五区段只采集到 2 种洄游鱼类, 并且只有第一区段资源量的 0.5%。由此可见，对于长距离鱼道，鱼类的疲劳和上溯困难区均具有累加效应，鱼类上溯通过的保证率较短鱼道大大降低。

旭龙坝址所在位置并无合适支流，无法采用伊泰普的仿自然+工程鱼道的形式，工程鱼道需依地形盘升建造，存在多处拐弯和折返，鱼类迷惑区和困难区将较多，鱼类上溯难度累计放大。且旭龙为日调节电站，上下游水位变动较多，长距离鱼道水流调稳所需时间又较长，进出口水位的频繁变动势必会造成池室间水头差频繁变动，不利鱼类上溯工况也会大幅增多。综上所述，鱼类能否通过水头如此之高的鱼道也具有较大的不确定性，因此不建议采用。

相较而言, 升鱼机不仅适用于高坝，而且作为上行过鱼设施的成功案例较多，效果相对较为稳定，应用升鱼机不存在显著的制约因素，综合考虑，推荐本工程采用升鱼机方案。

### 6.6.4.5 升鱼机设计

（1）功能组成及过鱼流程

本工程升鱼机系统由集鱼系统、提升运输系统、放流系统和控制监测系统四大部分组成。其中，集鱼系统的作用是将聚集在坝下需要洄游过坝的鱼类诱集并收集至集鱼箱中；提升运输系统的作用是将装有鱼类的集鱼箱从坝下沿大坝提升过大坝；放流系统的主要功能是将集鱼箱中鱼类放流至库区；控制监测系统的作用主要是对所有集鱼、补水、提升、运输、放流等不同过程进行控制和监控，同时可以对收集的鱼类进行分拣和监测。

升鱼机过鱼流程分为：①诱鱼→②集鱼→③提升运输→④放流。

诱鱼：本工程诱鱼方式为水流诱鱼，利用补水系统从坝上引水，具体流程为开启补水系统，根据坝下水位调节补水流量，为进鱼口提供强化水流，以达到诱鱼要求；集鱼：当鱼类被升鱼机水流吸引进入集鱼通道后，通过一定的区域设施将鱼类驱赶进入集鱼箱；提升运输：鱼类进入集鱼箱后，采用提升运输系统将集

鱼箱提升并运输过坝；放流：集鱼箱运输过坝后，将集鱼箱中的鱼类通过放流设施放流至上游，完成整个过鱼流程。

（2）总体布置

布置方面，升鱼机进鱼口位于尾水渠左侧，索道装载站位于尾水平台，卸载站位于坝上进水塔上游 100m 处，通过放流滑道将鱼放流至库区。索道全长 960m，其中坝下段 680m，库区段 280m，索道总提升高度约 170m，中途设索道转向站一座。索道升鱼机方案布置见图 6.6-16。

（3）集鱼系统设计

为保证过鱼设施的集鱼效果，进鱼口应邻近常泄水建筑物。旭龙水电站升鱼机布置在坝址下游电站尾水出口旁，利用鱼类对发电尾水的趋向性诱集鱼。其中集鱼系统布置在电站尾水塔左侧，全长 20.0m，宽 13m。进鱼口紧邻尾水洞，与尾水渠衔接。提升运输系统采用门机提升。分拣装载站设在尾水平台左侧。补水系统采用管道引水，取水点位于电站引水口下游侧，管道沿岸坡布置，接入集鱼系统补水调节池。

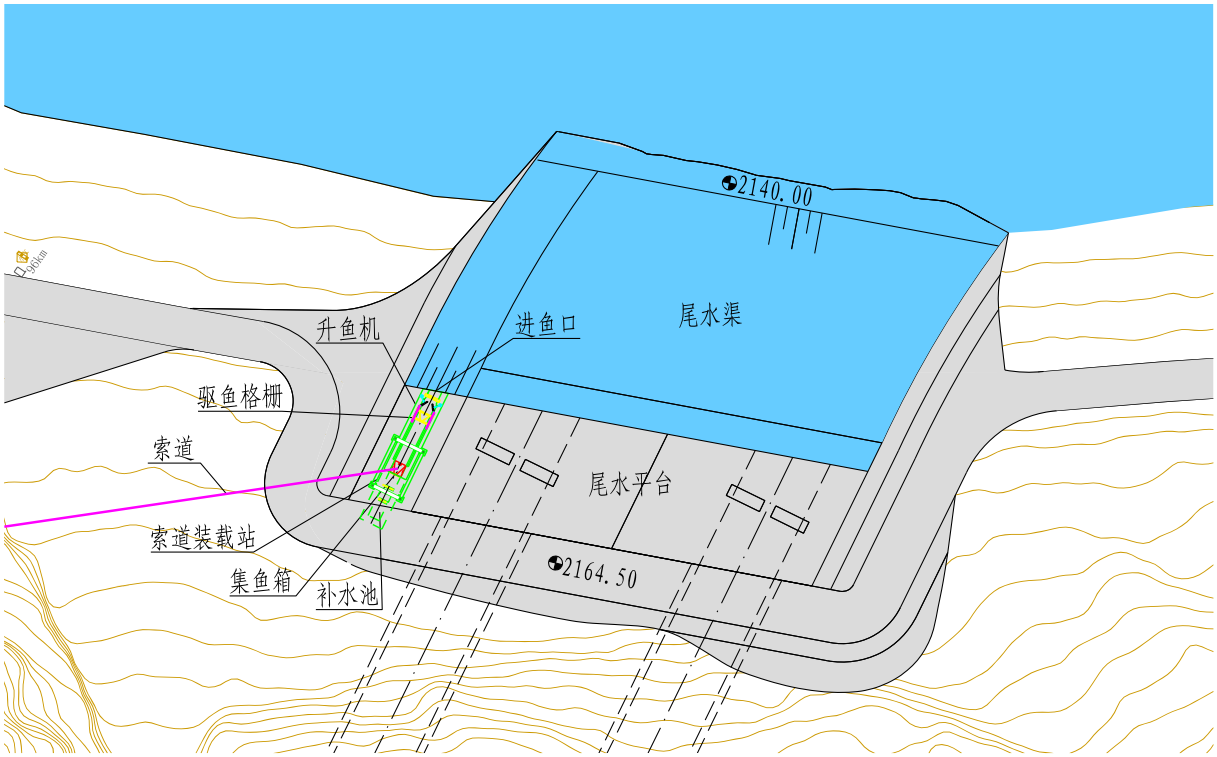



图 6.6-16 升鱼机方案集鱼系统布置图

集鱼系统主要由进鱼口、集鱼通道和集鱼池三大部分组成，其中进鱼口设有检修闸门和控流门，集鱼通道中设有驱鱼格栅、集鱼池中设有集鱼箱。其结构布置见下图。

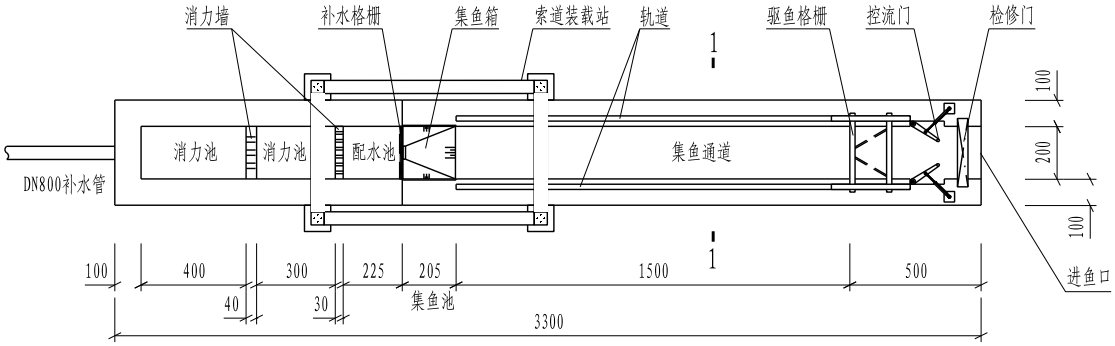



图 6.6-17 集鱼系统平面布置图

（4）提升运输系统设计

1）提升方式比选

①轨道提升型

轨道提升型一般提升箱(运鱼箱)沿坝体布置的轨道进行提升，一般应用在坝面较为规整的重力坝中应用。

②索道提升型

索道提升型一般提升箱(运鱼箱)沿布置的索道进行提升，其行进线路可以不为直线，一般应用在坝高较高且运输线路复杂的工程中。

旭龙水电站为高拱坝，布置垂直或斜面提升轨道均十分困难，因此推荐采用索道提升系统。

2）索道系统设计

索道采用往复式索道，由装载站、卸载站、支架、承载索、牵引索、驱动装置、锚固装置和张紧装置、电气设备等主要部分组成。索道全长 960m，其中坝下段 680m，库区段 280m，索道总提升高度约 170m，中途设索道转向站一座。索道系统纵剖面见下图。

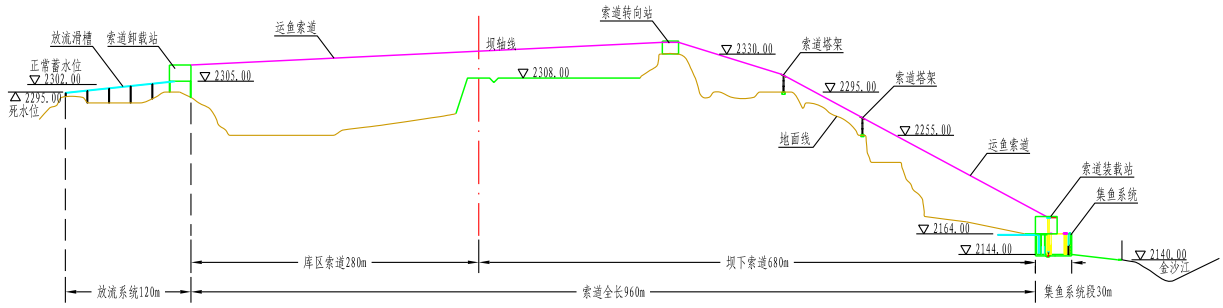



图 6.6-18　升鱼机提升运输系统整体剖面图

3）运鱼箱设计

集鱼箱长宽均为 2.0m，高 1.5m，上半部分为透水格栅，格栅间距为 3cm，

下半部分为不透水结构，集鱼箱底板呈一定角度倾斜，侧面的最低点，设有一个0.5×0.5m 的放鱼孔，放鱼孔设有闸门，详见下图。

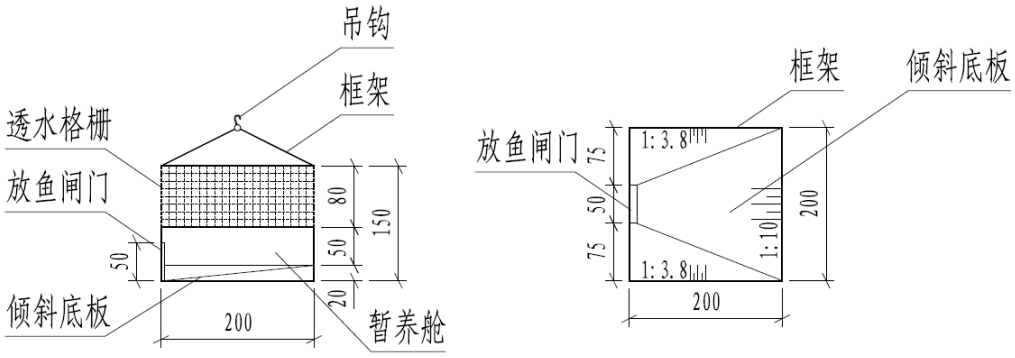



**图 6.6-19 集鱼箱设计（左：立视图，右：俯视图）**

（5）放流系统设计

放流系统主要包括适应池、放流滑槽、补水系统等组成。索道卸载站内设有鱼类放流前适应池，池为半径 1m，高 1m 的玻璃钢培养缸，当集鱼箱提升至坝顶卸载站后，开启集鱼箱的阀门，将鱼类通过放鱼孔泄放至卸载站内的适应池内，此时可根据需要对鱼类进行分拣和统计。统计后，在确认鱼类处于健康状态后，开启适应池与放流滑槽之间的闸门，水和鱼一起从闸门排出，在重力的作用下，和水一起沿螺旋放流滑槽流入库区。放流滑槽是宽 0.5m，高 0.5m 的螺旋 U 型玻璃钢定制渠道，放流滑槽表面光滑，并具有一定坡度，能够保证鱼类顺利滑至库区。放流槽上端设置有补水设施，放流时向槽内补水，保证槽表面湿润光滑，补水由水泵引自库区。

（6） 监测监控系统

集控室位于索道卸载站内，升鱼机各操作环节，包括控流门、区域格栅、补水控制阀、索道系统等均可在集控室集中操作。另外，为对集鱼和运输过程进行监测，在升鱼机各环节包括进鱼口、驱鱼格栅、集鱼通道、集鱼池、集鱼箱、装载站、索道节点、卸载站等重要部位均设置视频监控设施，监控终端位于集控室。

卸载站内设有鱼类监测室一座，内部有鱼类分拣，监测及救护设备，能够满足鱼类采样、分拣、统计以及救护功能。

## 6.6.4.6 运行管理

（1） 机构设置

旭龙水电站建成后需在电站管理机构中设置专门的集运鱼系统运行管理部门，配置专业技术人员，负责日常运行和管理，包括设备保养、观测统计、相关基础研究等，其主要职责包括：①制定过鱼设施运行方式和操作规程；②负责过鱼设施正常运行、管理和维护，做好日常观测、过鱼效果的统计和信息处理；③协调处理过鱼设施运行与工程枢纽的关系，确保过鱼季节的过鱼设施正常有效运行；④做好过鱼设施运行与鱼类特性的研究，协助做好科普宣传工作，提高生态保护意识。

（2）运行方式

根据前文分析，旭龙水电站升鱼机的主要过鱼季节为每年的 3 月~7 月，其间若遇电站大流量泄洪时段，升鱼机暂停运行。

在升鱼机建设完成之后，正式运行之前，需要对其进行试运行，试运行期暂定为 2~3 年，试运行应包括以下内容：设备调试、原形观测、优化和改进。

集运鱼正式运行阶段，应建立集运鱼系统运行台账，记录每天升鱼机作业情况、作业工况、设备运行情况及相关保养工作等。

升鱼机正式运行后，除以上常规监测外，还应对上溯鱼类库区行为进行标志跟踪监测，并对坝上坝下鱼类资源变化趋势进行调查和统计，以利于对升鱼机的鱼类保护效果进行客观评价。

（3）管理维护

升鱼机运行后，必须加强维护与保养。维护保养的内容主要有：1) 定期检查集鱼箱、防逃笼、集鱼池内部有无树枝等废弃物附着，防止堵塞；2) 定期检查集鱼箱、集鱼池内有无泥沙淤积情况，若有淤积情况应对进行清淤处理；3) 定期检查和维护集鱼系统、提升系统、分拣系统、装载系统、运鱼车、运鱼箱、运输放流船等各种机械及电气设备，保证随时可用；4) 设置专员，严禁在集鱼设施附近及放流区域附近捕鱼。

### 6.6.4.7 科研工作计划

（1）升鱼机补水诱鱼深化研究

目前，国内外升鱼机基本依靠补水诱鱼，补水来源有坝上引水和泵站抽水两种，旭龙水电站升鱼机最大水头 156.42m，采用坝上引水方式，不但浪费巨大的

水头，造成势能损失，而且需要进行分级消能。若采用泵站抽水补水，由于尾水渠水深超过 20m，在高水位运行时，补水量需求较大，会消耗大量的电能。因此，下阶段需要对升鱼机补水诱鱼系统开展专项深化研究，研究对鱼类有效，同时切实可行的补水方式。

（2）提升系统优化研究

目前推荐升鱼机方案采用索道运输，但由于地形条件限制，运输路线难以选择为直线，须设置转向站，下阶段需要对提升系统的布置和细部结构开展研究，优化提升系统型式及布置，减少索道系统对主体工程的干扰，同时增加提升运输系统的运行可靠性。

（3）辅助诱鱼设施研究

由于设计阶段时限，无法对每种鱼类的生物学、生态学、行为学习性开展详细研究，因此，下阶段应根据相关研究成果，必要时补充声、光、电、气、诱饵等辅助诱鱼措施，提高工程运行效果。

## 6.6.5 鱼类增殖放流

金沙江上游规划环评阶段，根据整个金沙江上游鱼类资源分布特点，对鱼类增殖放流方案进行了规划布局。方案拟在规划河段的洛须、波罗和巴塘段修建 3 个鱼类人工增殖放流站，各河段增殖放流站预选了不同放流对象，计划开展保育、放流、交换、生产等工作。其中，巴塘增殖放流站主要服务于巴塘以下梯级，维持巴塘保留段鱼类种群数量，同时兼顾巴塘以下河段鱼类增殖保护。巴塘、苏洼龙水电站同属华电金沙江上游水电开发有限公司，目前两个梯级环评报告书均已获批，苏洼龙水电站已开工建设。目前，苏哇龙鱼类增殖放流站是按苏洼龙、巴塘增殖放流需求建设的，鱼苗生产规模按照苏哇龙 50 万尾、巴塘 15 万尾设计，增殖放流站仅为旭龙水电站增殖放流站建设预留了扩建用地。根据金沙江上游水电规划环评相关要求以及旭龙水电站可研进度等情况，从强化管理的角度出发，推荐旭龙水电站单独建设鱼类增殖放流站。

### 6.6.5.1 增殖放流对象

增殖放流种类的确定，需要坚持统筹兼顾、突出重点的原则，在已确定的保

护对象中，依据保护鱼类资源状况、生物学特性、生态环境变化趋势、技术经济可行性等方面进行综合分析，远近结合，合理优化。实际操作中，增殖放流种类确定大致上和保护对象的确定需要考虑的因素相似，但需要注意以下问题：从技术层面上看，苗种繁育技术较为成熟，已经形成一定生产规模的种类优先考虑，金沙江上游鱼类基础生物学及人工驯养繁殖技术研究相对比较薄弱，不少鱼类的增殖放流受到技术限制，不宜采用人工驯养、繁殖的放流方式，可采用人工采捕卵苗、亲本放流，同时加强增殖放流技术研究，取得突破后再实施人工繁殖放流；对于适宜生境受损严重，已经无法在工程影响水域形成自然种群的鱼类，只能作为放养种类，不宜作为增殖放流对象；对于资源量非常稀少，卵苗、亲本采捕十分困难的种类，不易作为增殖放流对象，待资源有所恢复后，再实施增殖放流。

据调研，金沙江鱼类的人工驯养、繁殖的研究与实践已有初步成效，本江段主要保护对象中的短须裂腹鱼、四川裂腹鱼等裂腹鱼类人工繁殖已获成功，硬刺松潘裸鲤等繁殖实验也有相关报道，因此，对本河段保护对象中的长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤等的驯养繁殖都有可借鉴的驯养繁殖经验，成功的把握性比较大，可以作为重点优先增殖放流种类。因此，建议将短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼及硬刺松潘裸鲤等特有珍稀种类作为近期重点放流种类。鮡科鱼类中目前除雅鲁藏布江中上游分布的黑斑原鮡举行过人工繁殖试验外，可供借鉴的技术和经验不多，黄石爬鮡野外资源很少，人工驯养难度很大，需要首先开展人工驯养研究，因此，建议将黄石爬鮡作为中长期考虑对象。

### 6.6.5.2 放流标准

放流的幼鱼必须是由金沙江野生亲本人工繁殖的子一代。放流苗种必须是无伤残和病害、体格健壮。建议由国家渔业行政主管部门制定放流苗种种质技术规范。

### 6.6.5.3 放流数量和规格

（1）放流数量

增殖放流数量的多少一般与增殖放流的目标，放流水体自然环境、水文气候、

理化性质、饵料生物资源、鱼类资源现状和种群结构特点以及放流对象生物学特性、规格大小与质量、放流频次和时间等相关联，水利水电工程建设后实施的增殖放流保护措施，属补偿性放流，因此，增殖放流数量的确定还与工程建设和运行对鱼类资源的影响范围和程度紧密联系。由于增殖放流数量的确定需要考虑的因素较为复杂，不确定的因素较多，针对开放性的天然水体合理放流数量的确定很困难，至今没有统一的规范计算方法。根据调查江段渔业资源状况及建设运行后水域面积，初步确定年放流苗种 50 万尾。

（2）放流规格

放流苗种的个体大小对放流效果影响很大。放流苗种太小，抵抗风浪等自然环境影响的能力差，活动力弱，易被凶猛性鱼类捕食，因而存活率低，直接影响到放流效果。但放流苗种过大，则需要增加更多的经济投入。一般而言，放流鱼种应以鳞被形成期为标准，此阶段鱼种的眼、鳍、口和消化道功能已完全形成，已经从内源性营养转化为主动从外界摄取食物，并形成了自己固有的生活方式。同时，鳞被形成后体表皮肤的各种机能已趋于完善，皮肤分泌的粘液能够减小水体对鱼体的阻力，保证鱼体在水中的游动速度，使鱼类更高效的捕食和更好的躲避其它鱼类的捕食；皮肤分泌的粘液在体外形成保护膜，能有效抵御水体中各种细菌的侵入，保持机体的健康；粘液还能使鱼体周围水体中的悬浮物质加快沉淀，保持自身所处水体的稳定。此外，鳞被形成期大部分鱼类表皮细胞的色素已形成，并与其所处水体的背景相适应，使鱼类在水体环境中能够更好的隐藏自己，从而可以更有效的捕食和躲避其它鱼类的捕食。

渔业生产季节性较强，鱼类苗种买卖有其阶段、季节性，一般生产上销售分为“水花”、“夏花”、“冬片”。“水花”即未开口摄食的鱼苗；“夏花”即鳞片刚长齐的小规格鱼种；“冬片”即经过一年培育的大规格鱼种。其规格分别为 0.8－1.0cm、3cm、10－15cm。放流苗种规格的确定需要考虑苗种生产的实际。

在增殖放流实际操作中，规格的确定宜根据苗种生长、苗种来源、水域生态环境状况以及凶猛性鱼类资源等灵活掌握。一般放流苗种规格以当年可培育成的大小为准，不宜盲目追求大规格而越冬后放流，特别是本江段的裂腹鱼，为个体不大的冷水性鱼类，生长缓慢，培育成大规格时间会比较长。因此，结合苗种生产单位的实际，裂腹鱼放流规格以 3~6cm 的夏花鱼种为主，部分可培育至年底，规格达到 10cm 左右后再放流。

表 6.6-26　　旭龙电站放流苗种数量和规格　　单位：万尾

| 种类 | 3-6cm | 10cm |
|---|---|---|
| 短须裂腹鱼 | 10 | 5 |
| 长丝裂腹鱼 | 4 | 2 |
| 四川裂腹鱼 | 4 | 2 |
| 软刺裸裂尻鱼 | 1 | 0.5 |
| 软刺松潘裸鲤 | 1 | 0.5 |
| 合计 | 20 | 10 |

### 6.6.5.4 放流地点与放流周期

（1）放流地点、时间

1）放流前过度培育

鱼类在运输、放流过程中需进行消毒处理和过渡培育。

鱼类运输过程中对鱼体的影响主要是鱼体擦伤，因此，运输到达放流地点时应进行预防鱼体发生细菌性疾病，一般采用漂白粉液消毒。

放流鱼种从人工养殖水体进入天然水体需要一定的适应期，可以采用过渡培育，以便提高放流鱼种的成活率。过渡培育选择在库湾、水深 3～5m 的水域，设置鱼种网箱或围网进行过渡培育，过渡培育时间一般为 10～15 天。

2）放流地点

放流地点应选择交通方便，水流平缓，水域较开阔的库湾或河道回水湾，饵料生物相对丰富的水域。坝上建议在旭龙水库库尾干流河段及库区麦曲、丹达曲等主要支流河口投放；坝下可在奔子栏至冈曲汇口宽谷河段投放，如奔子栏水文站附近。

3）放流时间

放流的具体实施时间依据渔业生产安排，一般在每年的 3～4 月（2 龄鱼种）和 7～9 月（1 龄鱼种）进行放流。具体选择天气晴朗，气温相对较低的早上 9 点至 11 点放流为宜。

（2）放流周期

根据生物资源损害赔偿和补偿年限确定的原则，占用渔业水域的生物资源损害补偿，占用年限低于 3 年的，按 3 年补偿；占用年限 3~20 年的，按实际占用年限补偿；占用年限 20 年以上的，按不低于 20 年补偿。本项目鱼类放流周期暂按 20 年考虑，20 年以后根据鱼类资源的恢复情况决定继续或终止放流。

### 6.6.5.5 标志和遗传档案的建立

为了使人工增殖放流达到预期效果，必须进行放流效果的评价，即所有物种的人工增殖放流必须进行部分或全部标志或标记。

### 6.6.5.6 增殖放流站等别

根据《水电工程鱼类增殖放流站设计规范》（NB/T35037-2014），鱼类增殖放流站工程等别根据其放流规模、保护鱼种等级、工程任务划分为三等，等别按下表确定。旭龙水电站鱼类增殖放流站规模为 50 万尾/年，放流对象中长丝裂腹鱼为四川省级重点保护鱼类，经综合考虑，该增殖放流站的工程等别为二级。

表 6.6-27　　鱼类增殖放流站工程等别划分指标

| 工程等别 | 分类指标 | | | 对应水电工程等别 |
|---|---|---|---|---|
| | 鱼类增殖放流规模（万尾/年） | 鱼类保护等级 | 工程任务 | |
| 一 | ≥200 | 国家一级 | 繁育、放流、科研 | 三 |
| 二 | ≥50、＜200 | 省级 | 繁育、放流 | 四 |
| 三 | ＜50 | 其他濒危保护鱼类 | 暂养、放流 | 五 |

### 6.6.5.7 增殖放流站选址

（1）选址原则

①满足鱼类增殖放流站选址要求

根据鱼类增殖站工艺流程以及建设要求，鱼类增殖站选址应满足鱼类增殖站占地面积要求、水源条件较好（水质清洁、水源充足、给水和排水方便）、交通和用电方便、地质条件良好。

②避免产生新的环境保护问题，做到选址环境合理

鱼类增殖站作为一项环境保护工程，工程建设过程中应避免产生新的环境保护问题。在工程选址阶段，应充分考虑工程建设对区域环境影响，做到选址环境合理。

（2）站址选址确定

根据选址原则，鱼类增殖站站址位置选择主要从建设征地难易程度、施工用地面积、工程技术条件、水源条件、工程投资、运行管理和环境影响等方面进行比选。鱼类人工增殖放流站选址设在业主营地附近的茂顶村，取水方便，交通便

利。鱼类增殖放流站与业主营地布置在一起，形成一个完整的园区。建设催产孵化车间 1 栋、亲鱼培育车间 1 栋、鱼苗培育车间 1 栋、鱼种培育车间 1 栋以及其它相关配套等设施。

### 6.6.5.8 增殖放流站设计

（1）生产工艺流程

鱼类增殖放流站技术工作流程主要为：亲鱼收集购置、亲鱼驯养培育、人工催产和授精、人工孵化、苗种培育、放流、放流效果监测、调整生产规模和方式，详见下图。

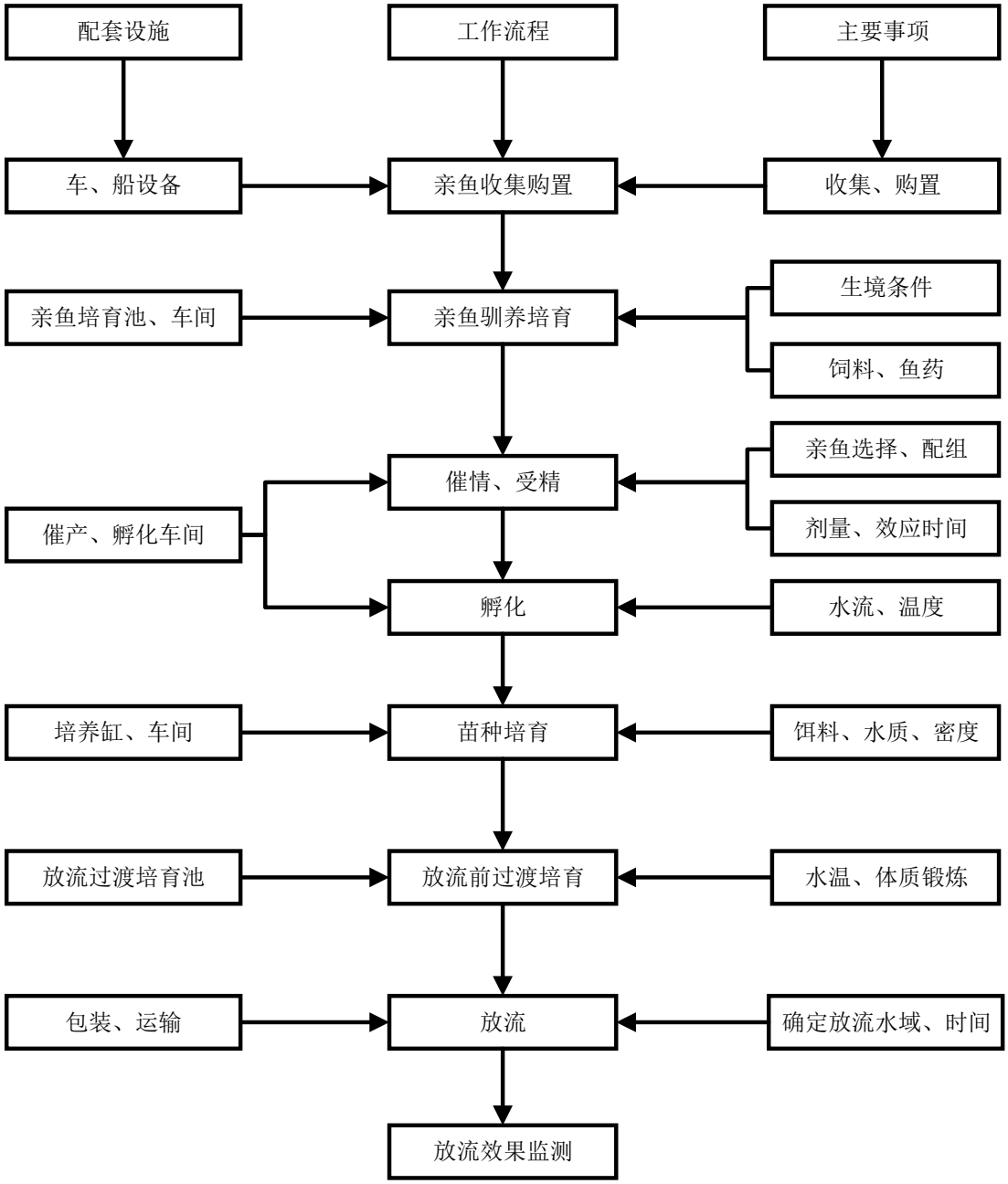



**图 6.6-20 鱼类增殖放流生产工艺流程图**

（2）养殖模式

本工程增殖放流对象主要为急流冷水性鱼类，因此静水养殖模式不适用。工程河段地表水执行II类水质标准，禁止新设排污口，区域冬季气候较为寒冷，因此，本工程从控制生产弃水产生量，适应严寒地区气候等方面考虑，选用循环水养殖模式。本鱼类增殖放流站拟在室外修建蓄水沉淀池，养殖用水由室外蓄水沉淀池直接供给。

（3）催产率、受精率、孵化率、幼鱼成活率

影响鱼类催产率的因素主要包括鱼类的种类、亲鱼的成熟度、催产时水温等

环境条件、催产方式、催产药物的种类和剂量等；影响鱼类受精率的因素主要包括雌雄亲鱼的比例、卵细胞的发育、精子的活力、水温等；影响鱼类孵化率的因素主要是水温、水体溶氧等环境条件；影响幼鱼培育成活率的主要因素包括水温、水体溶氧、食性转化期的开口饵料及驯食、养殖密度、病害防治等。本设计中的各参数依据相关的文献资料报道或借鉴相近种属的鱼类资料确定。根据鱼类繁育生物学特性，鱼类人工繁育初期一般催产率和受精率较低；孵化率和出膜率主要依赖管理，管理得当可以获得理想效果；苗种培育比较理想的成活率 70～80％。为此，本设计暂时设定各种鱼类的催产率 60％、受精率 70％；孵化率 85％、出苗率 80％；幼鱼成活率 42.19％(指由鱼苗培育到放流规格幼鱼三个阶段总成活率，每个阶段成活率 75%)。

（4）亲鱼数量

鱼类的种类不同，其平均怀卵量、平均产卵量也不同，而且产卵量受亲鱼成熟度和外界环境等条件的影响。据参考文献，本设计中采用的每尾亲鱼个体重和雌性亲鱼的平均产卵量见下表。根据近期增殖放流的数量、鱼类的平均产卵量、催产率、受精率、孵化率和幼鱼成活率，推算出达到放流规模所需要的各种成熟雌性亲鱼数量，然后将尾数取整数。自然产卵和受精雌雄亲鱼的性比为 1:1.5，如采用人工授精方法，雌雄亲鱼的性比可以 1—3：1，自然水域鱼类分布的性比一般为 1：1。本方案设计采用 1：1 的性比，推算所需亲鱼数量见下表，培育亲鱼数量为 3064 尾，需培育亲鱼总重量为 867.31kg。

亲鱼在一周年培育过程中有一定的死亡，人工催产、人工授精操作对亲鱼有一定的损伤而造成少量死亡，亲鱼使用一定年限后需更新。为此，每年需有一定亲鱼补充群体，本设计按亲鱼重量数量的 30％配备后备亲鱼。共需亲鱼 1127.50kg。

**表 6.6-28　　各种鱼类的绝对怀卵量、产卵量与所需亲鱼的数量**

| 放流鱼类 | 需生产受精卵量（万粒） | 受精率 | 产卵量（万粒） | 催产率 | 雌性亲鱼（尾） | 雄性亲鱼（尾） | 个体重（kg） | 雌性亲鱼重（kg） | 雄性亲鱼重（kg） | 小计（kg） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 短须裂腹鱼 | 74.07 | 0.70 | 1.00 | 0.60 | 176 | 176 | 1.00 | 176.37 | 176.37 | 352.73 |
| 四川裂腹鱼 | 34.86 | 0.70 | 1.00 | 0.60 | 83 | 83 | 1.00 | 83.00 | 83.00 | 165.99 |
| 长丝裂腹鱼 | 34.86 | 0.70 | 0.50 | 0.60 | 166 | 166 | 0.80 | 132.79 | 132.79 | 265.59 |

| 放流鱼类 | 需生产受精卵量（万粒） | 受精率 | 产卵量（万粒） | 催产率 | 雌性亲鱼（尾） | 雄性亲鱼（尾） | 个体重（kg） | 雌性亲鱼重（kg） | 雄性亲鱼重（kg） | 小计（kg） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 软刺裸裂尻鱼 | 8.71 | 0.70 | 0.05 | 0.60 | 415 | 415 | 0.05 | 20.75 | 20.75 | 41.50 |
| 软刺松潘裸鲤 | 8.71 | 0.70 | 0.03 | 0.60 | 692 | 692 | 0.03 | 20.75 | 20.75 | 41.50 |
| 合计 | 161.22 | | | | 1532 | 1532 | | 433.65 | 433.65 | 867.31 |

（5）主要建构筑物及设施

根据生产需求，本鱼类增殖放流站需建设蓄水池、催产孵化车间、亲鱼培育车间、鱼苗培育车间、鱼种培育车间、展示实验室和办公综合楼等。蓄水池建在高程 2195m 区域，催产孵化车间和鱼苗培育车间布置在高程 2185m 区域，两个养殖车间共用一套水处理系统，亲鱼养殖车间和苗种培育车间布置在综合楼南侧，相关建构筑物和养殖设施数量、规格详见下表。

站内交通主干道路宽 6m，环形通道宽 3m，各建筑物之间通道宽 3m。路两侧绿化带宽均为 1.5m，场地绿化率为 26%。

**表 6.6-29　鱼类增殖放流站主要建构筑物、设施规格**

| 鱼池名称 | 养殖水体规格 | | | 个数 | 面积（$m^2$） | 布置地点 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 长（m） | 宽（m） | 深（m） | | | |
| 催产池 | 1.5 | 1.5 | 1.3 | 2 | | 催产孵化车间 |
| 玻璃钢孵化槽 | 2 | 0.8 | 0.6 | 2 | 3.2 | 催产孵化车间 |
| 尤先科孵化槽 | 3.26 | 0.85 | 0.89 | 3 | 8.31 | 催产孵化车间 |
| 圆锥形孵化桶 | 0.43 | 0.43 | 1.1 | 6 | 3.48 | 催产孵化车间 |
| 圆形开口苗培养缸 | 0.5 | 0.5 | 1 | 24 | 18.84 | 催产孵化车间 |
| 圆形鱼苗培养缸 | 1 | 1 | 1 | 30 | 94.2 | 鱼苗培育车间 |
| 圆形鱼种培育缸 | 1.5 | 1.5 | 0.8 | 24 | 141.3 | 鱼种培育车间 |
| 亲鱼培育池 | 2 | 2 | 1.5 | 12 | 150.72 | 亲鱼培育车间 |
| 催产孵化车间 | 30 | 15 | | 1 | 450 | 循环水系统 1 |
| 鱼苗培育车间 | 30 | 14 | | 1 | 420 | |
| 鱼种培育车间 | 36 | 15 | | 1 | 540 | 循环水系统 2 |
| 亲鱼培育车间 | 42 | 14 | | 1 | 588 | 循环水系统 3 |
| 蓄水池 | 30 | 20 | 3 | 1 | 600 | 室外 |
| 综合楼 | 30 | 20 | | 1 | 600 | |

表 6.6-30　　鱼类增殖放流站需水量

| 序号 | 项目名称 | 养殖水体规格 | | | 个数 | 水体（$m^3$） | 使用时间（天） | 日需水量（$m^3/d$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 长（m） | 宽（m） | 水深（m） | | | | |
| 1 | 玻璃钢孵化槽 | 2 | 0.8 | 0.4 | 3 | 1.92 | 40 | 3 套室内循环水处理系统日补水为用水水体的 10%计 |
| 2 | 尤先科孵化槽 | 3.26 | 0.85 | 0.6 | 2 | 3.33 | 40 | |
| 3 | 孵化桶 | 0.43 | 0.43 | 1.15 | 6 | 0.43 | 30 | |
| 4 | 圆形开口苗培养缸 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 24 | 9.42 | 180 | |
| 5 | 圆形鱼苗培养缸 | 1 | 1 | 0.7 | 30 | 65.94 | 180 | |
| 6 | 鱼种培育缸 | 1.5 | 1.5 | 0.8 | 24 | 135.65 | 365 | |
| 7 | 圆形亲鱼培育池 | 2 | 2 | 1.5 | 12 | 226.08 | 365 | |
| | 小计 | 循环使用，日补充 10%的水量 | | | | 442.76 | 3 套系统内储水箱水体约 600m3 | 104 |
| 8 | 圆形催产池 | 1.5 | 1.5 | 0.8 | 2 | 11.30 | 40 | |
| | 小计 | | | | | 11.30 | | 2.26 |
| | 平均用水量（m3/s） | 按每个鱼池一天 24h 不间断的流水 | | | | | | 0.00121 |
| | 高峰用水量（m3/s） | 时变化系数取 1.5 | | | | | | 0.00181 |
| 9 | 蓄水池 | 20 | 15 | 2.5 | 1 | 750.00 | 365 | |

（6）实验办公设备购置

根据增殖放流工作的需求，需要购置的办公设备包括：办公桌椅 5 套、计算机 5 台、打印机 1 台、传真机 1 台、数码相机 1 台、摄像机 1 台、柜式空调 3 台、挂式空调 2 台、越野车 1 辆、运输车 1 辆、运输船 1 辆，实验设备包括：多参数水质分析仪 1 台、多功能水质分析仪 1 台、显微镜 1 台、解剖镜 2 台、电子天平 2 个、冰柜 1 台。

（7）总平面布置

根据审定的《金沙江上游旭龙水电站可行性研究阶段施工总布置规划专题报告》，鱼类增殖站布置在旭龙坝址下游右岸缓坡地，地处金沙江边，站址不受水库淹没及洪水影响，植被特征为干热河谷灌草丛。站址紧邻公路，交通便利，管理方便。站址可利用水源为金沙江水，全年水量、水质可满足鱼类增殖站用水要求。

鱼类增殖放流站主要分为办公生活区和生产区。其中，办公生活区由综合楼和户外休闲绿地组成，综合楼的主要功能为办公、监控、展示；生产区由亲鱼培

育车间、鱼苗培育车间、催产孵化车间、鱼种培育车间及蓄水池（带棚）组成。鱼类增殖放流站总占地面积约 1.5 万 m²。鱼类增殖站总平面布置方案见下图。



图 6.6-21　　鱼类增殖站总平面布置图

（8）建筑物设计

1）蓄水池

根据生产需要建设 1 个蓄水沉淀池，其功能为沉淀和蓄水。为保证增殖放流站的补充用水，同时汛期来水 SS 浓度较大，可经蓄水池沉淀后供给各养殖设施，规格为：长 20m，宽 15 米，深 3m，蓄水深 2.5m。蓄水池位于高程 2195 m 地块，蓄水池建于地面上，进行防冻处理，防止结冰。

进出水管道布设：进水管道从蓄水池顶部分别进水，高程为 2195m 加蓄水池总高度；蓄水池出水管道离池底 0.3m，2 个蓄水池出水管道用三通相连后对各养殖设施供水，各蓄水池出水管分别用蝶阀控制；蓄水池底设置排沙孔一个。

2）亲鱼培育车间

①亲鱼对养殖水体要求

亲鱼培育是鱼类繁殖的关键，性腺发育良好的雌雄亲鱼是鱼类人工繁殖的物质基础。亲鱼培育要求溶氧充足，水体环境稳定，采用全循环水及水温调控系统。

为满足亲鱼性腺发育的要求，通常采取人工模拟江河水流。为此，亲鱼培育

池设计成圆形池，进水管道口在亲鱼培养缸水面下 30cm，进水口水流沿培养缸壁切线进入。

亲鱼对水体条件要求较高，常规方式培育放养密度一般为 2250kg/hm$^2$，亲鱼培育放养密度主要由水体溶氧决定，如果采用循环水培育方式，则可以增加放养密度。圆形亲鱼培养缸日循环 10 次，以保证水质和水温的稳定。

②亲鱼培育缸

圆形亲鱼培养缸结构：玻璃钢，直径 4m，池深 1.5m，有效水深 1.2m，单池水面面积 12.56m$^2$，池底由四周向中心排水口倾斜，便于排水和排污。建设圆形亲鱼培养缸 12 个，总面积为 150.72m$^2$。

进出水管道布设：进水口设在培养缸顶部，采用管道阀门控制流速，进水口接入水面下 30cm，进水管管径 DN75。池底中心设圆形排水口 1 个，排水管管径 φ90mm，排水口上方设置拦鱼栅凹槽，用于安置拦鱼栅，凹槽深 50mm。排水管在培育缸外接三通，向上一端接接溢流管(可拆卸)，以调节水位，溢流管接支回水管后回流到循环水处理设备。三通另一端接球阀后接排污管，排污管回合到主排污管直接接中水处理处。

③培育车间

亲鱼培育车间 1 个，车间规格为 42m×14m，单独使用一套循环水处理系统，养殖水体日循环 10 次。考虑当地气候变化情况，采用热姆热泵控制水温，防止结冰，车间窗户需根据鱼类生长对光线的需求尽量减少规格和数量，一般以 4-6 扇窗户为宜。

3）催产孵化车间

催产孵化及开口苗培育车间 1 栋，长 30 m，宽 15m，面积 450m$^2$。布设高程 2185 m。车间内设催产池 2 个，配备 2 个孵化槽、3 个改进型尤先科孵化器、6 个孵化桶、24 个开口苗培育缸和循环水处理系统。车间内催产池所需用水由蓄水池直接供应；孵化设施和开口苗培养缸用水采用循环水系统供水。催产孵化车间和鱼苗培育车间共用一套循环水处理系统，配备热姆热泵温控设备。车间内窗户需根据鱼类生长对光线的需求尽量减少规格和数量，该车间设置 4 扇窗户为宜。

①催产池

催产池是性腺发育成熟的亲鱼注射催情激素后等待产卵的场所。亲鱼经激素

催情后需要一定的水流刺激，圆形催产池进水沿池壁冲入，池中心排水，池中水体可以沿池壁转动。中心排水口要求水能排出、鱼不能逃逸。

车间大门进口处沿中间道路两侧各设 1 个催产池，为直径各 3m 的圆形钢筋混凝土水泥池，池壁高为 1.3m，其中地面 1.3m。进水管用球阀控制，以控制流速，进水口水平切入，进水管采用 DN100 的 UPVC 管。催产池池底均匀向中心倾斜，一般中心较四周低 10～15cm。池底中心设圆形排水口 1 个，排水管采用 DN200 的 UPVC 管。排水口上方设置内 R200mm 拦鱼栅凹槽，用于安置拦鱼栅（拦鱼栅外径 R200mm），凹槽深 50mm。排水口在池壁外接控制球阀，球阀控制排水大小。

②玻璃钢孵化槽

玻璃钢孵化槽孵化未脱粘的粘性受精卵。玻璃钢孵化槽共设置 3 个，净尺寸为 2.0m×0.8m×0.6m，有效水深 0.4m，用于粘性卵孵化。每个孵化槽设置 6 个 0.48$m^2$ 孵化粘卵网片，每个网片可粘附孵化 1 万粒。

进出水管道布设：进水管设在孵化槽一端，进水用 DN20 的 PVC 管和球阀控制。出水在一端的底部接 DN32 的 PVC 管，球阀控制，球阀前 2cm 设置 1 个三通，上接 1 根 DN32 的 PVC 溢水管，溢水管高控制孵化槽水位，控制水位 0.4m；排水孔前 100mm 两边设置拦鱼苗槽，用于插拦鱼苗栅。

③尤先科孵化器

尤先科孵化器孵化沉性受精卵和脱粘后的粘性受精卵。将装有受精卵的孵化筛设置在孵化水槽中，水流从上往下喷淋，孵化水槽水体定时由划水板划动使脱粘的受精卵在孵化过程中不粘结、沉性受精卵不缺氧。每个尤先科孵化器设置 4 个 0.3$m^2$ 的孵化框，每个孵化框可以放置 1 万粒受精卵，每个尤先科孵化器每个繁殖季节可孵化 40 万粒。增殖站设置尤先科孵化器共设置 2 个，净尺寸为 3.26m×0.85m×0.89m，有效水深 0.6m。主要结构组成为：孵化筛，孵化水槽，轨道式划水板，三角水斗，复位重力砣，进水花洒，支架。整个设备外接 DN20 的进水管，设备安置地面需有地漏，经地漏接 DN100 的排水管。

④孵化桶

孵化桶共设置 6 个，直径 0.86m，高 1.15m，为孵化漂流性卵设备，近期无漂流性受精卵，可作为中远期放流鱼类繁殖技术试验用。孵化密度一般取 5 万粒/$m^3$～10 万粒/$m^3$。每个孵化桶水量一般为 250kg，可放卵 2.5 万粒。配备 6 个孵

化桶。

孵化桶孵化漂流性受精卵，要求孵化桶中的水体产生由下而上均匀的水流，使受精卵在孵化桶中均匀翻滚。出水处要求水能流出，而受精卵和刚孵化的鱼苗不能随着水流流出。孵化桶可用白铁皮、玻璃钢等材料制造，上面纱窗可用铜丝布、筛绢制成，规格为 46－55 目/吋。进出水：进水管为 φ20mm 的 PVC 管，从底部圆锥形顶端进水，进水量由球阀控制；出水经上部纱窗溢出。

⑤开口苗培育缸

室内鱼苗开口培育缸：苗种培育成活率的高低与开口摄食密切相关，只有适时开口摄食了饵料的鱼苗才能成活。鱼苗开口期的合理放养密度、饵料大小和密度、水质条件等直接影响鱼苗能否及时开口摄食。为了提高鱼苗培育的成活率一般采用鱼苗培养缸，培养缸为直径 1.0m 的玻璃钢圆形缸，缸深 1.0m，控制水位 0.7m。根据放流量宜设置 30 个培养缸。

进出水管道布设：进水管设在缸顶，进水管管径为 φ32mm 的 PVC 管，采用球阀控制流速。排水经培育缸中心鱼苗防逃器过滤网至底部排水管，排水管在培育缸外接三通，三通一端接水位控制溢流管，溢出的水经回水管到达循环水处理设；另一端接球阀后接排污管，排污管回合到主排污管直接接中水处理处。回水管和排污管管径为 φ110mm 的 PVC 管。

4）鱼苗培育车间

鱼苗培育车间 1 个，规格为 30m×14m，室内设计建设直径为 2m 的圆形鱼苗培养缸 30 个。鱼与催产孵化车间合用一套水处理系统。鱼苗车间窗户需根据鱼类生长对光线的需求尽量减少规格和数量，一般以 4-6 扇窗户为宜。

圆形玻璃钢培养缸：直径 2m，池深 1.0m，有效水深 0.7m，单池水面面积 3.14$m^2$，共 94.20$m^2$，池底由四周向中心排水口倾斜，便于排水和排污。

进出水管道布设：进水口设在培育池的上部，采用管道阀门控制流速，进水口水平接入，进水管管径 DN50。池底中心设圆形排水口 1 个，排水管管径 φ90mm，排水口上方设置 500mm×500mm 拦鱼栅凹槽，用于安置拦鱼栅，凹槽深 50mm。排水管在培育池外接三通，向上一端接接溢流管(可拆卸)，以调节水位，溢流管接支回水管后回流到循环水处理设备。三通另一端接球阀后排入集鱼池，集鱼池同鱼苗培育车间。集鱼池设置在两池相邻处，2 个圆形鱼苗培育池共用 1 个收集池，集鱼池规格为 1.2m×0.6m×0.6m，球阀后排水管需离集鱼池底 0.2m。

5）鱼种培育车间

建设鱼种培育车间 1 个，规格为 36m×15m，室内设计建设直径为 3m 的圆形鱼种培养缸 24 个。车间内供水管、回水管和排水管同鱼苗培育车间。鱼种车间窗户需根据鱼类生长对光线的需求尽量减少规格和数量，一般以 4-6 扇窗户为宜。单独一套循环水处理系统，配备热姆热泵温控设备，控制养殖水温。

圆形玻璃钢培养缸：直径 3m，池深 1.0m，有效水深 0.7m，单池水面面积 3.14m$^2$，共 100.48m$^2$，池底由四周向中心排水口倾斜，便于排水和排污。

进出水管道布设：进水口设在培育池的上部，采用管道阀门控制流速，进水口水平接入，进水管管径DN50。池底中心设圆形排水口1个，排水管管径φ90mm，排水口上方设置 500mm×500mm 拦鱼栅凹槽，用于安置拦鱼栅，凹槽深 50mm。排水管在培育池外接三通，向上一端接接溢流管(可拆卸)，以调节水位，溢流管接支回水管后回流到循环水处理设备。三通另一端接球阀后排入集鱼池，集鱼池同鱼苗培育车间。集鱼池设置在两池相邻处，2 个圆形鱼苗培育池共用 1 个收集池，集鱼池规格为 1.2m×0.6m×0.6m，球阀后排水管需离集鱼池底 0.2m。

6）展示厅、实验室和办公室楼

展示厅兼标本室：250m$^2$，设置在一楼；

实验室：6m×5m/间，2 间，设置在二楼；

办公室：6m×5m/间，5 间，设置在二楼；

工具室：6m×5m/间，1 间，设置在一楼；

饲料储藏室：6m×5m/间，1 间，设置在一楼。

（9）附属设施

1）输变电工程

由于鱼类增殖站采用工厂化养殖，放流站用电要求较高。建议直接从厂用变压器接引电源线，选用配电屏 1 个，架设站内 380V 输电线路一回，另自备一台柴油发电机。放流站主要用电需求来自：室内循环水处理系统和照明、站区照明、展示厅实验室和办公室楼用电。

室内循环水处理系统用电需求分析：水泵 3.0kw 的 4 台（平时用 2 台）和 4kw 的 2 台（平时用 1 台）、风机 1.5kw 的 2 台（平时用 1 台）、旋转式滤布过滤器 2kw、紫外线消毒器 2.5kw、热泵型冷水机 20kw 的 2 个（平时一般不用）。小计 40kw。在生产期间，必须能保证车间内循环水处理系统的持续运行。系统运

行的功率一般为 40kw，车间满负荷运转时，需满足最小峰值功率 60kw。

站区照明用电需求分析：每个车间照明 125w 的电灯 30－40 个，4 个车间照明约 30kw。

2）生活用自来水工程

站内生活用自来水系统与养殖用水系统相独立。可铺设干、支供水管道，与业主营地自来水系统相连接，满足生活用水的需要。

3）站区公路

铺修站内干线道路（宽 6m）、支线道路（宽 4m），路面为 0.2m 厚混凝土路面。道路两旁、房前屋后种植花木及草坪。

4）交通工具

配备双排客货两用汽车一辆，用于收集亲鱼、鱼种放流及饲料等的运输。

## 6.6.5.9 运行管理

（1）运行机制

鱼类增殖放流工作划分为两个部分，分别为技术攻关与生产操作。技术攻关项目可以采用项目招标方式，发包给有相当能力的单位执行；生产操作由增殖站内相关技术人员完成。

（2）苗种生产管理

目前放流对象中四川裂腹鱼、长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼繁殖技术还不成熟，可参照齐口裂腹鱼繁殖技术进行人工繁殖。但软刺裸裂尻鱼和硬刺松潘裸鲤的繁殖技术还不成功，文献资料中未见相关报道，需要开展这两种鱼类的繁殖技术研究。

1）亲鱼培育

亲鱼培育直接影响鱼类性腺的成熟度、催产率、鱼卵的受精率和孵化率以及鱼苗培育的成活率和生长速度，因此必须高度重视。

亲鱼体质应健壮、无病、无伤、无畸形。亲鱼投喂遵循：“秋季攻、春季冲，产后加强护理。”即秋季加强投喂，让亲鱼体内积累营养物质；春季（产卵前 1 个月）加强冲水，亲鱼在流水环境使体内沉积的营养物质转化为性腺物质。日投饲率在产卵期间为亲鱼体重的 1%，在产卵前 1 个月和产卵后 1 个月为亲鱼体重的

2%，其他时间为亲鱼体重的 3%，对初产亲鱼可适当加大投饲量，日投喂两次。具体根据亲鱼摄食和天气情况进行适当调整。亲鱼培养池的池水交换量控制在 4h 交换一次为宜。并及时清除残饵、粪便，保持鱼池清洁。每天早上坚持巡池，发现亲鱼在池塘不正常游动，应及时拉网检查，发现病鱼应及时治疗。

2）人工繁殖

挑选亲鱼：性成熟的雌鱼腹部膨大而柔软，生殖孔红肿外突；性成熟的雄鱼轻压腹部即有精液流出。每隔 5d～8d 进行一次成熟度鉴别，对已成熟的亲鱼应及时催产。

催产：催产激素有鱼类脑垂体（PG）、促黄体生长激素释放激素类似物（LRH-A）、鱼用绒毛膜促性腺激素（HCG）。一般雌鱼采用 2 次注射法，第一次注射总剂量的 20%，第二次 80%；雄鱼为雌鱼剂量的一半，在雌鱼注射第二次时注射。

授精：鱼类催产效应时间一般为 8～12h，具体因种类、繁殖季节有所不同，在预估计即将到效应时间前，要密切观察亲鱼活动情况，一旦发现亲鱼互相追逐，应立即捕捞亲鱼进行人工授精。采用人工挤压法采卵和挤精。操作时，一要严格避免阳光直射；二要擦干鱼体和器皿，防止水及排泄物进入受精用的器皿内。先采卵后挤精，快速搅拌均匀使精卵充分接触，然后清水冲洗 1 次～2 次，漂去破卵和污物，静置 30 min～60 min，待吸水膨胀后，经消毒放入孵化槽中孵化。

孵化：裂腹鱼卵为粘性卵，孵化时应避光，保持水流畅通，定期消毒，控制水霉菌着生，鱼卵发眼后，应及时拣出死卵。孵化时水交换量控制在 6 次/h 以上，保证溶氧充足，同时清除死卵，保持清洁卫生。鱼苗孵化出膜后应适时转移到鱼苗开口培育缸内进行培育。

3）鱼苗培育

当仔鱼肠道通畅（观察肛门前有黑色粪便）时，即开始投喂，开口饵料可以是轮虫和枝角类，使用全价配合饲料，饲料含蛋白质≥45%，开口料粒径为 0.3～0.5mm，随着鱼体的增大选择适口的饲料。每天投喂 3～4 次。池水交换量控制在每小时交换 1～2 次，及时清除残饵，保证池内清洁卫生。做好防病、治病工作。鱼苗达到 2.5～3.0cm 后应及时分级过筛，转入鱼种培育池中饲养。

4）鱼种培育

在鱼种放入鱼种培育池前 7～10 天，应对鱼种培育池带水彻底消毒。鱼种放养前 1 天，放 10 尾进行试水，确定水体毒性已消失后放鱼种。转池鱼种可能体

表受伤，需对鱼种进行消毒处理，鱼种阶段饲料投喂为 3～4 次/d，具体根据水温和鱼种摄食情况灵活掌握。池水交换根据水质状况进行确定。每天坚持巡池，发现异常及时处理，做好防病、治病工作。

### 6.6.5.10 科研计划

为保证鱼类增值站增殖放流任务顺利完成，并达到放流苗种在自然环境中较好的生存、繁衍的目的，需针对本鱼类增殖站增殖放流对象进行相应技术的科技攻关研究。科研项目主要包括几种裂腹鱼的野生亲鱼的采集与驯养技术、人工繁育技术、苗种培育技术、放流技术、病害防治技术等方面内容。可以结合实际情况，部分研究内容可由本鱼类增殖站单独完成，部分可与科研单位或高校合作完成，部分可完全委托科研单位或高校完成。但在各研究项目完成后，必须根据研究成果提出系列可以操作的规程，作为后续生产的依据。

（1）亲鱼采集与驯养技术

亲鱼采集的难点在于如何将采集到的亲鱼运输到增殖站，并保证一定的成活率。不同鱼类的采集地点不同，根据采集地的远近分为短距离运输和中长距离运输，若一些种类的亲鱼采集地距离增殖站比较远，就必须考虑中长距离运输。

目前，短距离亲鱼运输技术已基本成熟，长距离亲鱼运输技术还有待研究，特别是对于一些特有鱼类，由于其生物学特性比较特殊，对运输条件要求较高，因此需要研究相应的运输技术。长距离运输主要采用麻醉运输和活体运输维生系统。关于麻醉运输技术，研究内容主要包括麻醉剂种类的比选、给药方式、适合的浓度和剂量等；对于活体运输维生系统，还需要进行研发。

由于亲鱼自然生活水体环境和人工养殖水体环境有较大的差异，为保证野外采集的亲鱼能够在人工养殖条件下继续存活、生长，必须对其驯养技术进行研究。研究重点是亲鱼的人工驯养技术，此项研究内容主要包括人工养殖维生系统的设计开发、人工驯养条件下亲鱼的行为观察（摄食行为，生殖行为等）、亲鱼在不同环境条件下的存活与生长比较（不同水温、流速、光照条件对亲鱼生长和繁殖的影响）、人工控制条件下的饲养管理方法（食性驯化，配合饲料的开发）。

（2）人工繁殖技术

人工繁殖的成功是进行苗种放流的基础。调研国内现阶段鱼类增殖相关研究

的成果，在本鱼类增值站初期放流的几种鱼的繁殖技术还不成熟，需要开展相应的技术攻关。此项研究内容主要包括催产亲鱼的选择标准（体表特征的观察，体长、体重标准，成熟度等）、亲鱼的强化培育方法和人工诱导其性腺发育成熟、人工催产技术（催产针剂，剂型，处理方法等）、产后亲鱼的恢复培育与再催产效果。

目前，软刺裸裂尻鱼和硬刺松潘裸鲤的繁殖技术还不成功，需要对其进行繁殖生物学方面的研究。

（3）苗种培育技术

鱼类在早期生活史阶段死亡率较高，此项研究内容主要包括建立规范化苗种培育技术、早期发育阶段的营养需求及适口饵料的研制、活饵生产培育技术、饲养条件下的生长特征研究等。

（4）放流技术

为满足日后对苗种放流效果监测评价的需要，放流前需进行放流苗种标志技术的研究，该方面的研究可为建立标准化放流程序奠定基础。

为评估人工增殖放流效果，调整人工增殖放流计划，需要在苗种放流期间以及放流一段时间后进行相应监测。监测内容主要包括种群数量与遗传多样性变动两个方面。通过渔获物调查评价各放流鱼类种群数量的涨落，并通过鱼类早期资源调查获得放流鱼类自然繁殖状况的有关信息。通过渔获物调查所获得的 DNA 材料，进行种群遗传结构与遗传多样性分析。具体研究包括分子标记的筛选、自然种群的遗传多样性水平和遗传结构研究、人工增殖放流对种群遗传多样性的影响评价等。

（5）病害防治技术

各种鱼类在人工养殖条件下，必须做好病害的防治工作。因为在工厂化养殖条件下鱼群密度相对自然条件下密集，病害容易在鱼体间传染，造成鱼体发育不良，严重时还会造成大规模的鱼类死亡。因此除在日常工作中规范操作，针对可能发生的病害采取防范措施，防患于未然外，还需要对生产过程中发现的病害病理进行及时研究，并采取相应的诊治措施。此项研究内容主要包括人工驯养及苗种培育过程中有关病害种类及其预防、治疗方法，该项目内容的研究可以作为建立标准化养殖程序的一部分。

### 6.6.6 生态调度

水电站建成运行后，电站按日调节运行，坝下水文情势与原河流发生明显变化。日调节运行时，日内下泄流量有较大的变幅，从而引起下游河道水位和流量等的变化和波动，影响坝下土著鱼类的正常生活，特别是鱼类繁殖季节，影响坝下土著鱼类的产卵繁殖活动。因此，在鱼类繁殖季节需要通过生态调度，模拟繁殖季节天然径流过程，达到水文过程修复，形成适合鱼类繁殖的水文过程，保证鱼类顺利完成繁殖过程。本江段鱼类繁殖主要有两个时期，即 3~4 月和 5~7 月。

3~4 月繁殖的鱼类，多为产粘沉性卵的鱼类，虽然对流水条件有一定的需求，但影响最突出是水位的频繁、大幅度涨落对受精卵孵化成活率的影响，因此，该期间的调度应结合电站调度方式，在 3~4 月鱼类繁殖期采取基荷发电方式，以尽可能稳定下游产卵场的水位，确保受精卵顺利孵化，仔幼鱼正常发育。在生态调度实施前、实施中以及实施后，加强调查监测，并开展生态调度的水生生态学效益研究，制定并不断完善调度方案。

5~7 月丰水期繁殖的鱼类，多对水文过程要求比较高，该河段天然洪峰过程，对促进鱼类繁殖具有重大意义。按照苏洼龙及旭龙水电站运行调度原则，发生洪水时，当坝前水位达到正常蓄水位时，水库按来流下泄操作。因此，5~7 月当上游发生洪水时，旭龙水电站可采用按来流下泄方式，不改变洪水过程，以利于鱼类的繁殖。

### 6.6.7 科学研究

金沙江上游特殊的生态环境条件，表现强的生态脆弱性。该江段分布的鱼类种类不多，结构简单，生长缓慢，其资源一旦遭到破坏，恢复非常困难，且这些鱼类基础生物学的研究非常薄弱，预测工程对资源的影响非常困难。随着梯级电站的相继开发，工程开发对鱼类影响的积累效应愈来愈明显。因此，有必要及时开展相关研究，以有效保护和利用其鱼类资源。拟开展以下 5 个方面的研究工作：

（1）旭龙库区特有鱼类驯养繁殖技术研究；

（2）旭龙水库鱼类种群变动趋势研究；

（3）旭龙水电站升鱼机效果评价及优化研究；

（4）定曲河栖息地保护效果跟踪监测与评估研究；

（5）金沙江上游梯级电站开发后水温累计效应分析。

### 6.6.8 渔政管理

旭龙水电站地处高山峡谷地区，加之当地居民不食鱼类的宗教习俗，鱼类资源保护较好；但随着旭龙水电站的建设和运行，库区交通得到大力改善，外来人口增多，水产品需求增加，使该江段渔业捕捞压力增大。特别是在旭龙水库库尾的干支流河段，是水库蓄水后工程江段鱼类残存的重要栖息水域，也是鱼类增殖放流、水生生物监测与调查的重要水域，因此需强化渔政管理，有效保护鱼类资源。

（1）加强渔政队伍建设

建议当地渔政部门建立健全渔政管理机构，加强渔政队伍及其能力建设，提高渔政部门的执法能力和力度。加强鱼类资源保护宣传，严格执法，禁止禁渔区内任何渔业生产活动，特别是要禁止电鱼、炸鱼、毒鱼等违法捕鱼行为。

（2）严格执行禁渔期和禁渔区制度

结合四川、云南两省的禁渔要求，制定禁渔期和禁渔区，在鱼类集群产卵容易捕捞的时段和河段禁止捕鱼，以保护鱼类能够顺利完成生命过程。将鱼类重要栖息地划定为禁渔区，禁渔区内禁止任何形式的渔业活动；将鱼类易捕和重要时段设为禁渔期，禁渔期间整个水域均为禁渔区，特别是鱼类比较集中的河段。

（3）加强渔业管理

限制渔具、渔法、渔具类型及其规格，保证幼鱼不被捕起。某些渔法，如电鱼、炸鱼、毒鱼等，对鱼类资源的破坏是毁灭性的，必须严格禁止，以保护渔业资源的持续利用。同时应加强水污染防治工作，杜绝水污染事件的发生，保证鱼类良好的生活环境。

（4）控制生物入侵

旭龙水库形成后，水体规模明显增加，部分适应流水环境的土著物种退出库区河段，生态位出现较大空缺，此时如果适应静水环境的外来鱼类进入库区，即存在生物入侵风险。入侵物种大量繁殖，将进一步占用土著物种的生态空间，导

致土著物种种群规模进一步减小，对本地生物多样性产生危害。应严格管理，宣传普及防范外来物种知识，提高防范意识。

## 6.7环境空气保护

### 6.7.1 防治目标

削减施工环境空气污染物排放量，改善施工现场工作条件，保护施工生活区及外环境敏感区环境空气质量。大气环境敏感目标环境空气质量依照《环境空气质量标准》（GB3095-96）二级标准要求，TSP 控制目标为日均浓度小于 0.30 mg/m³。

### 6.7.2 防治措施

根据工程分析及影响预测结果，拟定本阶段的主要大气环境保护措施燃油及爆破废气削减、交通扬尘降尘治理、其它场地降尘处理等三个方面。其污染控制及环境保护措施如下：

（1）燃油废气削减

加强大型施工机械和车辆的管理。要求施工单位选用符合国家有关卫生标准的施工机械和运输工具。定期维修、保养机械设备，排污量大的车辆及燃油设备需配置尾气净化装置。承包商所有燃油机械和车辆尾气排放应执行《汽车大气污染物排放标准》（GB14761.1-14761.7-93），若其尾气不能达标排放，必须配置消烟除尘设备，同时施工机械使用优质燃料。严格执行《在用汽车报废标准》，推行强制更新报废制度，对于发动机耗油多、效率低、尾气排放严重超标的老、旧车辆，及时更新。

（2）开挖、爆破粉尘的消减与控制

施工单位必须选用符合国家有关卫生标准的施工机械和运输工具，使其排放的废气符合国家有关标准；凿裂、钻孔以及爆破提倡湿法作业，降低粉尘量。在开挖、爆破高度集中的大坝工区和料场区，采取自动喷淋和洒水车相结合的方式洒水车在非雨日进行洒水降尘。考虑到工程区气候干燥、蒸发量较大的气候特征，每日洒水次数应不低于 3 次；特别是在施工、爆破前后应增加洒水降尘频次，可

起到防止粉尘扬起和加速粉尘沉降的作用，以缩小粉尘影响的时间与范围。爆破工艺优先选择粉尘产生量较少的工艺进行，如：凿裂爆破、预裂爆破、光面爆破和缓冲爆破等爆破工艺，凿裂、钻孔、爆破采用湿法作业，降低粉尘产生量。钻孔要安装除尘装置或采用无尘钻机。

（3）交通扬尘降尘处理

旭龙水电站场内交通公路大部分采用混凝土路面，运输车辆产生的扬尘较泥结碎石路面大幅度减少，交通扬尘总体上不会造成严重污染。但施工期长期运行，施工车辆来往频繁，路面难免有散落渣土进而产生扬尘，因此，本工程拟定如下交通扬尘控制措施：

成立公路养护、维修、清扫专业队伍，及时清除路面洒落物体和浮土，保持道路清洁、运行状态良好。

在施工期对左岸和右岸施工区域各配备 1 台洒水车，特别针对 6#公路茂顶河弃渣场附近、15#公路左岸上游 1#存弃渣场附近、11#公路左岸上游 2#存弃渣场附近、13#公路徐龙冲沟弃渣场、2#公路右岸上游 1#弃渣场、2#公路右岸上游 2#弃渣场、施工营地及业主营地、对外公路斯木顶村，非雨日的早、中、晚来回洒水，减少扬尘，缩短粉尘污染的影响时段。

做好运输车辆的密封和车辆保洁，减少因弃渣、砂、土的外泄造成的扬尘污染。凡运送土石方、石灰、粉煤灰等道路材料的运货车，都应用蓬布或塑料布覆盖，或用编织袋分装堆码，避免一路扬尘。

同时，结合水土保持和生态修复措施，做好公路的绿化，使栽植的行道树等不但起到美化景观、生态修复的效果，也达到防尘隔离等效果。

（4）其它作业面降尘措施

1）选用低尘工艺。为减少砂石破碎过程中的粉尘，在皮带机机头位置和破碎设备出料口增设喷雾器进行喷洒降尘。各喷雾器的喷口直径不小于 2mm，扩散角大于 30～60°，既可润湿物料，减少粉尘产生量，同时可使扬尘尽快沉降。砂石骨料系统在半干法生产的过程中应注意喷雾器的正常运行，保证骨料得到有效的润湿。混凝土搅拌系统采用全封闭式、拌和楼设置袋式除尘器进行有效除尘。水泥运输采用封闭运输，可避免在运输过程中的扬尘污染，但需确保运输容器密闭良好。

2）做好洒水降尘工作。在各开挖面、平整作业面、弃渣场等各易起尘面、

点及时采取洒水降尘措施，特别是在非雨日应加强洒水降尘次数，以场地不起尘为标准。对于弃渣场，遇大风天气应采取相应的覆盖措施，防止沙尘造成不利影响。

3）加强个人防护。加强一线施工人员防尘劳动保护措施的实施，对处于产尘量较大的水泥拌和楼、砂石加工系统等施工区域现场作业人员，按照国家有关劳动保护的规定，发放防尘用品（如防尘口罩）。定期对施工人员进行身体检查，提高他们的健康意识，积极有效地强调施工人员的个人自我保护效用。按照国家有关劳动保护的规定，加强劳动保护。

4）施工区绿化。加强办公生活区和交通道路两侧的场地绿化，在满足其绿化功能的同时，应尽量选择吸尘作用较强的树种。办公区和道路绿化投资在水土保持报告中计列。

（5）地下洞室开挖

地下开挖作业必须保证通风、防尘和防有害气体的要求，设置足够的通风、排烟装置和水喷淋装置。洞室钻孔时，采用湿式作业，减少粉尘危害。配备通风机，采用压入式通风，向洞内输入新鲜风流，风袋随着开挖的推进而延伸，风筒均挂在离地面较高的侧强或顶拱上，排除洞内烟尘。配置监测气体浓度所必须的仪器仪表以及报警信号系统，设备及仪表应由具备鉴定资质的单位进行鉴定和矫正。按国家对劳动保护的有关要求，做好现场施工作业人员的劳动保护工作，配备足够的防护用品。严禁地下开挖中使用烧汽油或液化石油气的内燃机。工程各主要洞线洒水除尘，可大幅度降低洞内爆破粉尘的浓度。

### 6.7.3 措施效果分析

通过采取湿式爆破或新低尘爆破技术，采用无尘钻孔等工艺，爆破过程粉尘去除率可达 92%左右，对开挖、场地平整、弃渣场等作业面及作业点及时进行洒水降尘，对路面进行清扫并洒水是减小施工作业粉尘及交通运输扬尘的最有效的措施之一，根据三峡交通运输的监测资料，仅在采取路面洒水降尘、保证路面清扫干净等措施后，运输扬尘的去除率可达 90%。施工阶段在无雨日对汽车行驶路面勤洒水，每天 3～4 次，可以收到很好的降尘效果。

## 6.8声环境保护

### 6.8.1 防治目标

本工程征地红线内的居民点均将搬迁，搬迁居民点不作为防治对象。通过影响预测分析，本工程施工期间对敏感目标洒茂顶村的影响主要为弃渣场弃渣的机械噪声、弃渣场道路的交通运输噪声和人工骨料场开采的爆破噪声，需采取噪声防治措施，使洒茂顶村可以满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准，即昼间噪声限值不超过 60dB(A)，夜间噪声限值不超过 50dB(A)。

### 6.8.2 防治措施

根据施工区噪声污染源数量多且分散的特点，声环境保护措施主要从噪声源控制和敏感对象保护等多方面着手，最大限度减免施工噪声影响。此外，场内施工人员需采取使用耳塞、耳罩、防声头罩等个人防护措施。

（1）噪声源控制

1）大坝基坑开挖噪声控制

大坝基坑开挖的主要设备是挖掘机、推土机、装载机以及各种运输车辆，这些移动性机械设备为大坝基坑开挖的主要噪声源。

为减少大坝施工噪声的影响，应严格控制施工时间。爆破作业时间应避开夜间施工，以保障周围施工区及其居民点有良好的生活和工作环境。加强车辆及各种设备的维修保养，降低设备运行时的噪声。

2）混凝土拌和系统噪声控制

混凝土拌和系统由拌和楼、胶凝材料车间、空压站、外加剂车间及其它辅助设施、制冷系统组成。购买混凝土拌和系统设备时，应采购具有降噪功能的设备，混凝土拌和楼和骨料制冷系统采用全封闭进行。

空压站和拌和楼安装隔声窗和消声器，冷却塔塔体安装消声垫等措施降低拌和系统施工噪声。隔声窗选择 4mm+6mm 夹胶玻璃，设计隔声量≥30dB。消声器安装在空压站的进排气口和拌和楼的进排风系统处，设计消声量≥20dB。消声垫选用透水性能好的泡沫塑料垫。

现场施工人员，应按照劳动保护相关要求采取可靠的防护措施，如配带耳塞或耳罩、耳棉等。加强对施工人员的操作培训，减少突发事故和突发噪声的发生。

3）砂石料加工系统噪声控制

砂石料加工系统由振动筛、螺旋分级机、进料胶带机等组成。其中振动筛噪声突出，建议在生产工艺上采取聚氨酯筛网代替原有的金属筛网，并且采用耐磨橡胶内衬。对振动筛突出部分安装隔声罩，并在空洞处设置消声器。

4）交通噪声源强控制

交通噪声是对噪声影响贡献较大的一类影响源。为降低交通噪声对敏感点的影响，应采取以下措施：

加强道路交通管理，保证交通运行的通畅，合理控制交通流量。在弃渣场道路 6#公路临近洒茂顶村附近、2#公路临 1#施工营地、11#公路临 2#施工营地、2#公路临 3#施工营地及现场建设管理营地（含鱼类增殖放流站）附近道路两侧各设置限速标志 1 个，禁鸣标志 1 个，以交通噪声影响。

合理安排施工时间，禁止弃渣场夜间施工。需特殊情况进行施工时，施工车辆在经过施工营地及周边居民点时要尽量降低车速，夜间通行时禁鸣喇叭，以减少对附近居民的影响。

加强道路和车辆的维修保养，降低机动车辆行驶时的震动速度。施工单位必须选用符合国家有关环保标准的施工车辆，如运输车辆噪声符合《汽车定置噪声限值》（GB16170-1996）等。

5）爆破噪声源强控制

徐龙料场开采应严格控制爆破时间，爆破作业时间应避开深夜爆破，以保障施工区有良好的生活和工作环境。爆破前 15min 应鸣警笛，提示警戒。通过控制一次起爆的总导爆索量、总炸药量和起爆方式，降低振动及噪声，降低振动及噪声，控制爆破抛头方向，避免正面爆破噪声指向敏感点。采用先进的爆破技术，如采用微差松动爆破可降低噪声 3 dB～10 dB。

（2）传播途径控制

采取道旁绿化措施，从遮隔和减弱噪声的需要考虑，配植树木应选用常绿灌木与常绿乔木树种的组合，并要求有足够宽度的林带，以便形成较为浓密的“绿墙”，有效减少交通运输噪声的影响。

（3）敏感受体保护

在弃渣场道路临近洒茂顶村路段端设置限速和禁鸣标志 2 个。施工车辆在经过洒茂顶村居民点时要尽量降低车速，夜间通行时禁鸣喇叭，以减少对附近居民的影响。

对于强噪声源，如混凝土拌和、骨料破碎、砂石料筛分等作业区，尽量提高作业的自动化，实现远距离监视操作，即可减少工作人员，也可使作业人员远离强噪声源。必须处在高噪声环境中作业的施工人员应加强个人防护，采取佩戴耳塞、耳罩、防声头盔等个人防护用品的方式进行保护。

### 6.8.3 措施效果分析

从上面的噪声防治措施来看，主要采取的措施有建议弃渣场夜间禁止施工、采用先进的爆破技术、安装隔声窗和高噪声作业人员佩戴防护用品等。

采用先进的爆破技术，如采用微差松动爆破可降低噪声 3dB～10dB。安装隔声窗，在关窗条件下，降噪量≥35dB；在开窗通风条件下，降噪量≥15dB。佩戴不同类型的耳塞可使噪声衰减 15dB～30dB。见表 6.8-1。

表 6.8-1　　常用防护用品表

| 种类 | 重量（g） | 衰减（dB） | 说明 |
|---|---|---|---|
| 棉花 | 1-5 | 5-10 | 塞在耳内 |
| 棉花涂蜡 | 1-5 | 10-20 | 塞在耳内 |
| 伞形耳塞 | 1-5 | 15-30 | 塑料或人造棉胶 |

## 6.9固体废弃物处理

### 6.9.1 生活垃圾处理措施

#### 6.9.1.1 施工期生活垃圾处理

（1）生活垃圾产生量及特性

工程施工期 98 个月共需处理生活垃圾量约 9287t。生活垃圾成份可分为有机物和无机物，有机物主要有竹木、厨余、纸类、塑料、皮革、鞋类、织物等；无机物主要有废玻璃、废易拉罐、砖石、灰土等。

（2）方案比选

我国城市生活垃圾处置措施有卫生填埋、垃圾外运和焚烧法三种方案。结合本工程生活垃圾量和区域垃圾填埋场分布情况，推荐垃圾焚烧的方式。

1）卫生填埋法，施工区处于金沙江高山峡谷地区，土地资源极为紧张，沿线施工区内冲沟较发育，难以找到适合新建垃圾填埋场的场地，故不用此方法。

2）垃圾外运，据施工区周边县城及乡镇垃圾处置现状，本工程施工期生活垃圾可外运至羊拉乡垃圾填埋场和得荣县生活垃圾填埋场，其中羊拉乡生活垃圾卫生填埋场为德钦县“十二五”生态环境建设规划项目，为国家投资项目，建成处理能力 5.94t/d；得荣县生活垃圾卫生填埋场总库容 7.17 万方，处理能力 10 t/d。上述垃圾填埋场处理能力有限，且距离施工区较远，垃圾转运处理可行性不高。

3）热解法，是一种在有控制条件下，通过高温将垃圾中的有机成分和可燃成分燃烧完全，使生活垃圾变成惰性残余物，并对燃烧余热加以利用的处理方法。因本工程地处高山峡谷地区，区内人烟稀少，在满足卫生防护距离的条件下，可在工程建设征地范围内布置一座生活垃圾热解站，对本工程生活垃圾进行焚烧处理。与卫生填埋相比，生活垃圾焚烧具有占地小、一次性投资低，场地选择容易，处理时间短、减量化显著（减重一般达 70％～90％，减容达 90％）、无害化较彻底，以及回收垃圾焚烧余热优点，在垃圾处理中得到广泛的应用。因无其他较为合适的处理方式，本次推荐采取新建垃圾热解站的方式处理施工期生活垃圾。

（3）方案设计

1）热解站选址

通过地质勘查和卫生防护距离论证，本阶段推荐在坝址上游 3.8km 处格亚顶沟口修建垃圾热解站一座，占地面积 0.14 万 m²。垃圾热解站距离 1#施工营地、2#施工营地、3#施工营地运距分别约为 1.4km、7.9km 和 8.0km，厂址周围无居民点。目前该垃圾热解站有羊拉公路及施工道路连接各个施工营地，垃圾收集、运输快捷方便。

2）处理规模

垃圾热解站的规模按主体工程的施工人数考虑。旭龙水电站施工区高峰年施工人数为 5265 人，生活垃圾日产生量约 3.2t。考虑到本工程采用综合利用、垃圾简单分选和垃圾储存后，初估本工程最终的生活垃圾产量将减少约 20%，鉴于热解处理设施一次性投资高的特点，本工程处理规模定为 3t/d（250kg/h）。

3) 工艺流程

本垃圾热解站包括垃圾收运系统、垃圾储坑、喂料系统、热解炉、出灰系统、废气治理系统、自动控制系统等。垃圾热解站工艺流程见下图。

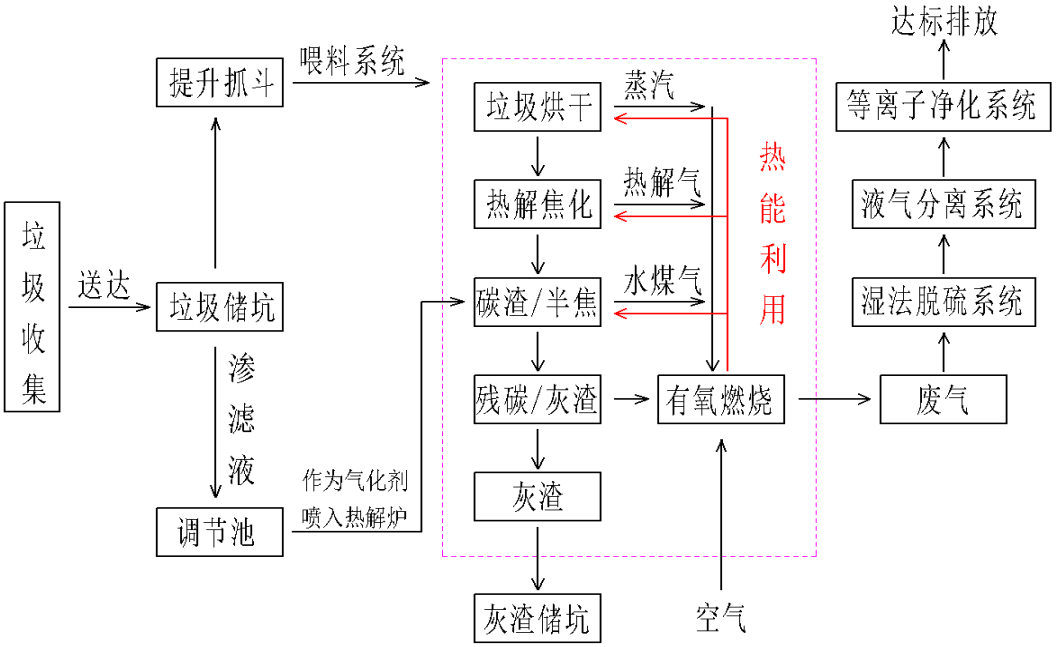



图6.9-1 垃圾热解处理工艺流程图

①垃圾收运系统

旭龙水电站施工期，在施工营地建立生活垃圾收运系统，生活垃圾做到一日一清。

②垃圾储坑

垃圾储坑储存量一般为处理站三到五天的处理量，以保证垃圾热解站稳定的原料供应。垃圾储坑采用钢筋混凝土结构，进行密封设计，在接收大厅设卸料密封门，在无垃圾倒入时密封门处于常闭状态。

垃圾储坑底部坡向渗滤液调节池，垃圾储存过程中产生的渗滤液，至调节池收集后泵入垃圾热解炉，作为无机碳的气化剂。

③喂料系统

喂料系统的功能是给垃圾热解炉供应垃圾、气化剂和空气，包括垃圾提升—给料系统、渗滤液泵入系统、臭气收集送风系统。

本项目工艺无需对垃圾进行预处理。垃圾提升主要采用抓斗式起重机从垃圾储坑中抓取垃圾，投送入喂料器料斗。喂料器包括料斗、溜槽和液压推进三部分，垃圾由给料器底部的液压系统推入炉芯，喂料器采用密封设计。

渗滤液泵入系统采用高压泵泵入到垃圾热解炉，垃圾热解后剩余的无机碳在高温条件下与垃圾渗滤液发生剧烈的还原反应，生成水煤气，既解决了垃圾渗滤液的处理问题，也提高了整个工艺的热效率。

臭气收集系统主要是为了解决垃圾储坑臭气逸散的问题，在垃圾储坑内部设置引风口，将垃圾储坑内臭气抽出并做为热解炉的给入风，使垃圾储坑处于微负压状态，防止臭气逸散。

④热解炉

无氧热解是一种化学分解缩聚过程，生活垃圾热解是在无氧条件下，利用高温使生活垃圾中有机高分子的化学键发生断裂，释放出各种挥发份的反应过程，其产物为碳化物、可燃气（H2、CO、CH4、C2H6 等）和可凝液体（焦油等）。

⑤出灰系统

出灰系统是连接炉体底部和灰渣堆场的螺旋输送机构，灰渣在输送管道内预冷后排入灰渣储坑。

⑥废气治理系统

废气治理系统包括脱硫除尘系统、除雾系统和等离子净化系统。

脱硫除尘系统采用湿式脱硫塔，用碳酸钠作为脱硫剂，在不锈钢脱硫塔中完成。Na2CO3 溶液通过循环泵泵入脱硫塔内从上往下喷淋，吸收塔内烟气中 SO2 生成 Na2SO3 和 Na2HSO3 的混合溶液，混合溶液输送至循环水处理池，在池内加入固体 Na2CO3 使 Na2SO3 结晶析出，再对其进行脱水分离，分离出的液体返回脱硫塔内循环使用，Na2SO3 晶体滤干后外售。该系统脱硫效率 80%，除尘效率 90%。

脱硫除尘后的烟气中含有的水分配套除雾塔去除后，再进入高压等离子净化系统去除烟气中含有的少量焦油等，净化达标后的废气经过 18m 高烟囱排放。

等离子净化系统去除原理：根据电场理论，正离子吸附于带负电的电晕极，负离子吸附于带正电的沉淀极，所有被电离的正负离子均充满电晕极与沉淀极之间的整个空间。当含焦油废气通过该电场时，吸附了负离子和电子的杂质在电场库伦力的作用下，移动到沉淀极后释放出所带电荷，并吸附于沉淀极上，从而达到净化气体的目的。当吸附于沉淀极上的杂质量增加到大于其附着力时，会自动向下流趟，从等离子净化系统底部排出，洁净气体则从等离子净化系统上部离开进入烟囱排放，去除效率 99%。

⑦电气控制系统

通过传感器收集温度等信号反馈系统运行状态，由位于控制室的操作台集中控制整套设备的运行，操作人员通过操作触摸式显示屏，启动控制按钮、变频调速旋钮，即可控制系统正常平稳运行。

（4）运行管理

1）生活垃圾收运管理

旭龙水电站施工期，在施工营地建立生活垃圾收运系统，生活垃圾做到一日一清。在施工办公生活区设置垃圾桶，收集生活垃圾。施工营地内按 50 人设置一个垃圾桶，施工期高峰人数 5265 人，需在施工人员聚集区周边设置 106 个垃圾桶。并且安排清洁工负责日常生活垃圾的清扫，并对其进行简单的筛选，配备垃圾车 1 辆，定期通过垃圾车集中转运至热解站处理。对各垃圾桶存放处经常喷洒灭害灵等药水，以防止蚊蝇等孳生，减免对施工人员的生活卫生产生不利影响。生活垃圾热解炉灰渣为一般工业固体废物，可定期用垃圾运输车运往就近的右岸上游 2#弃渣场深埋处理。

2）热解运行管理

鉴于工程垃圾热解站规模较小，运行管理较为简单，按照机构合理、人员精炼、方便生产、利于管理的原则，配备人员运营管理人员 2 名。设备安装调试期间，由设备提供方组织有经验的专家到现场讲课，实地指导设备安装、调试和操作，进行培训。操作人员上岗前，应通过安全教育、操作规程、生产前后环节的协作、联系和事故处理等各项考试，合格者方可上岗。

### 6.9.1.2 运行期生活垃圾处理

运行期生活垃圾初步考虑拟采取外运至奔子栏镇垃圾填埋场进行填埋。奔子栏垃圾填埋场总库容 5.35 万 $m^3$，使用年限 15 年。距离施工区约 75km，日处理垃圾 10t/d，2018 年建成投运，具备接纳本工程生活垃圾的能力。电站运行期间，建设管理营地每年产生生活垃圾 76.7t，在建设管理营地分散设置 10 个垃圾桶。在进场道路附近设置垃圾中转站，并配置一辆载重 1t 的垃圾运输车，定期清运垃圾。

### 6.9.2 生成废料及建筑垃圾处理

实现废物减量化，不仅可以减少运输费用，简化处理工艺，而且可以降低处理成本。对于工程废弃物中有用的下脚料，若金属、塑料等可回收物，由指定的物资回收部门定期回收利用。可回收废物包括报废的施工机械和车辆、废旧钢材、钢管、油桶、包装袋、木材等。废机油、隔油池废渣以及蓄电池等危险废物应统一收集，设置存储仓库，交由具有资质的单位处置。剩余一些无回收价值的一般固体废弃物，统一运送至弃渣场。

## 6.10 泄洪雾化影响减缓措施

坝体下游泄洪消能区一带的岸坡主要为花岗岩边坡，总体稳定，上部发育强卸荷带，坡表岩体松弛明显，并发育多个危岩块体，电站建设施工过程中及泄洪雾化将对岸坡产生扰动和影响，恶化其稳定性，因此，有必要根据雾化影响的强度和范围，对水垫塘、二道坝和下游河道一段范围的泄洪消能雾化影响区两岸稳定性较差的岸坡部位进行必要的处理和防护，以提高其稳定性。

根据相关工程经验并结合本工程特点，初拟雾化防护分区及主要处理措施如下：

水垫塘两岸边坡采用锚喷支护，并设地表及山体排水系统。

两岸边坡每级马道布置两排锚索，间距 5m，上排锚索 2000kN 每束，长 50m；下排锚索 1000kN 每束，长 30m。高程 2168m 以下 3φ32 锚桩支护，长 6m，间距 3m×3m。高程 2168m 以上边坡锚杆支护，布置 6 排，排间距 2.5m，锚杆间距 2m；顶部两排为锁口锚杆，φ28，长 9m；下部 4 排，φ25，长 6m。

两岸边坡高程 2168m 以下设 300cm 厚混凝土板护坡，高程 2168m 至 2213m 设 150cm 厚混凝土板护坡，高程 2213m 至 2273m 或开挖边坡坡顶设 50cm 厚混凝土板护坡，以上至坝顶高程附近挂网喷 12cm 厚混凝土。

排水采取坡面截、排水沟及坡面排水孔的地表排水系统与山体排水洞及洞内钻孔形成的排水幕的地下排水系统相结合的综合排水措施。坡面排水孔深为 1.5m，布置形式为 4m×4m，水垫塘边坡混凝土浇筑前沿墙背排水沟加钻孔深 3m 间距 3m 排水孔。山体排水洞左、右岸各布置 4 层排水洞，高程分别为 2257m，

2215m，2168m，2110m,排水洞断面为 2m×2.5m。

为减轻泄洪雾化对边坡稳定的影响，在两岸雾化影响范围内清挖表面植被、覆盖层和孤石后挂网喷 12cm 厚混凝土。

## 6.11 社会环境保护

### 6.11.1 交通影响减缓措施

旭龙水电工程区涉及的地方交通主要为G318线、G214线、G215线（巴塘竹巴笼至得荣二龙桥），大宗物资将以公路运输方式经G214线至工程区。工程施工对上述交通路段存在一定的影响，因此提出相应的减缓措施如下：

a) 工程应与地方交通部门配合，加强交通管理和调度，协调好工程物资运输与当地其他交通运输之间的关系，避免运输高峰重叠。

b) 对于本工程涉及地方交通，尤其对于G215线建议加强交通管制，并增设交通标志牌。

c) 工程车辆需加强维修和保养，避免机械事故造成道路堵塞。对于场内交通，需采用有顶盖的自卸汽车作为出渣车，做到公路无掉渣，并指派专人打扫施工公路，保持干净整洁。

### 6.11.2 民族文化和宗教的保护措施

本工程所在区域为藏民族聚居区，藏族人民在本区域进行生产生活的历史较为久远，在长期的社会发展过程中，形成了独特的民族文化，因此，工程建设全过程均需尊重和保护藏民族的宗教信仰、生活习俗和宗教设施。施工人员进场前需进行宣传教育与培训，发放宣传材料，提高施工人员素质，从法律及主观意识角度规范进驻施工人员的行为，使之尊重和保护藏族文化和藏民族的宗教信仰、生活习俗和宗教设施，避免与当地藏族同胞发生冲突，与工程区居民和谐相处。

对于处理工程涉及的白塔、嘛尼堆堆放处等宗教设施时，应充分尊重当

地群众意见。

## 6.11.3移民安置区环境保护措施

### 6.11.3.1 农村移民环境保护措施

（1）水环境保护措施

1）施工期

①生产废水

移民安置工程施工期产生的废水主要来自于机械冲洗废水及混凝土拌合碱性废水。根据生产废水的特性及出水标准要求，采取不同的处理方式进行处理后达标排放。

**进水浓度与出水指标**

i、进水水质

施工期冲洗机械设备时产生的含油废水，废水主要污染物为 SS 和石油类，其浓度一般为 SS≤3000mg/L，石油类≤30mg/L。

混凝土拌和加工每日产生的废水呈碱性，pH 值可达 9～12，废水具有悬浮物浓度高、水量小，间歇集中排放的特点，废水 SS 浓度约在 3500mg/L 左右。固体悬浮物颗粒较小，要达到处理目标的要求，需要添加絮凝剂。

ii、出水水质

施工期生产废水经处理后，达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准再回用。

**处理措施**

i、混凝土拌合废水处理

混凝土拌和冲洗废水中主要污染物为 SS，且废水呈碱性，pH 值在 9～12 之间。由于混凝土拌和冲洗废水产生量小，采用简易的沉淀池对每台班末的冲洗废水排入池内，采用中和工艺，对废水静置至 6h～8h 后，清水外排。在沉淀的基础上进一步采取了中和沉淀方案，以保证出水 pH 值达标，并且废水经过简易沉沙池初沉后再经中和沉淀池的沉淀静置，基本能够保证水质一级达标回用。

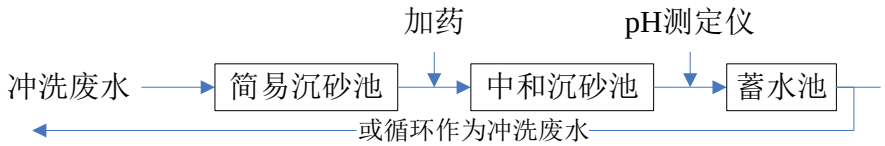



**图 6.11-1　混凝土冲洗废水处理工艺流程图**

ii、机械冲洗废水处理

机械冲洗废水通常采用隔油池工艺处理。废水由布设于机械维修场周围的排水沟（0.3m×0.3m）收集，经隔油池前端进行油水初级分离，下层含油乳化油的液体进入沉砂池进行沉淀。

隔油池排水沟断面为矩形，用混凝土衬砌，隔油池基体由开挖筑成，四壁及池底先铺防渗膜，再用砖砌，并以水泥砂浆抹面，最后内衬树脂防腐涂料。隔油池池底挡板由砖砌构成，池壁挡板为钢板，池壁预先埋槽钢。

②生活污水

施工期间，安置区施工人员人数一般在 50 ~100 人之间，施工周期约为 1~2 年。施工期产生的生活污水量较小，安置区可先建居民所需化粪池，将施工人员生活污水通过化粪池进行处理。

2）运行期

**①措施设计原则**

i、根据移民安置区排水去向及水环境敏感程度制定排放标准，选择适宜的处理处置方式及建设方法等，在保证综合效果的前提下，实现“三低”（低投资、低运行维护费用、低技术管理要求）。

ii、综合考虑，协调规划，在实现污染防治的设施建设目的的前提下，充分考虑设施使用的长期性、稳定性，并具备现代建设项目的特点，符合国家新农村建设的政策指导要求。

**②污水排放特点**

i、安置点污水与常规农村污水的性质相差不大，一般均值 $BOD_5$≤150mg/L，COD≤400mg/L，pH 值 6～9，SS≤170mg/L，色度（稀释倍数）≤100，水中基本上不含重金属和有毒有害物质，含一定量的氮和磷，水质波动大，可生化性好。

ii、生活污水水量特点：变化系数大，居民生活规律相近，导致农村污水排放量早晚比白天大，夜间排水量小，甚至可能断流，加之农村人口外出务工人员

较多，水量季节性变化明显，春节及重大节日期间排水量大，春、秋季排水量少，即污水排放呈不连续状态，具有变化幅度大的特点。

iii、排水体制特点：集中安置点通过埋设排水管网，设置雨水沟渠，使雨水和生活污水分流排放。雨水就近收集后直接排入现状冲沟或灌溉渠系；生活废水进入居民点生活污水处理系统。

**③农村生活污水处理方式**

小型农村移民集中安置点（人口规模在200人以下）生活污水可简单处理，结合当地情况尽量回用。200人以上的集中安置点在化粪池初步净化的基础上，采用生物、生态等组合工艺，处理移民安置点的生活污水。与分散处理模式相比，该模式服务范围和处理水量更大，系统的抗冲击能力更强、运行安全可靠、出水水质更优。

（2）生态保护措施

1）陆生植物保护措施

①避免损毁现有植被措施

i、加强土地开发利用管理，严格执行有关规定。对移民生产安置区土地整理前，应根据土地利用类型的具体情况和土地适宜性分析，如是宜农荒地还是宜林、宜牧荒地，合理开发利用；禁止毁林开荒、烧山开荒和在陡坡地上铲草皮、挖树根，禁止在 25°以上陡坡地和水土流失严重、政府规定禁止开垦的地区开荒种植农作物，最大限度地减少因开荒对植被的破坏。

ii、避免占压和破坏植被。移民搬迁安置点，合理选择施工弃渣场，避免对植被的占压或破坏。

iii、移民安置点生产安置区和搬迁安置点的选择应通过多方案比选，节约用地，降低工程建设对耕园地和林地的占用面积。

iv、加大生态环境教育宣传力度，增强当地农民的森林资源保护意识。搬迁安置点周边多为耕园地，在每个移民集中安置点设置宣传标示牌，防止施工人员对农田作物的破坏，并加强对施工人员的宣传教育。

②减少对陆生植物的不良影响

i、移民搬迁安置点建设应充分利用淹没区木材资源和原有旧料。对淹没区木材资源按原归属进行合理调配，尽可能减轻由于移民建房和生活能源的需要而对森林资源产生的压力。

ii、移民搬迁安置点占用的农田，应首先将表层 20cm～30cm 厚的土壤进行剥离，用于生产安置点土地整治中灌草地开垦为农田后的表层覆土，保护农田表层土中的有机质。

③生态恢复和补偿

i、搬迁安置点采取植物恢复措施。物种的选择以乡土树种为主，本着绿化和美化相结合的原则，乔灌草合理搭配。

ii、对安置点损毁的植被，进行生态修复和合理补偿。

2）陆生动物保护措施

①避免影响陆生动物栖息地

i、生活营地、施工场地、临时便道等临时占地应绕避评价区植被较好的区域，避免占用动物生境。施工中避免破坏动物栖息的洞穴、窝巢等。

ii、在集中安置点设置宣传标示牌，加强对野生动物的宣传教育，提高移民和施工人员对野生动物的保护意识。

②削减对陆生动物的不良影响

i、生产安置区和搬迁安置点的选择应通过多方案比选，节约用地，保护喜在耕园地和林草地中生活的动物生境。

ii、搬迁安置点施工机械和运输车辆采用减噪措施，降低施工噪声对附近动物的惊扰影响。

iii、移民安置点的生产废水和生活污水经处理达标后尽量回用，避免因水体污染等对动物生境造成破坏，影响动物的栖息繁衍。

③恢复和补偿陆生动物生境

修复和保护野生动物生境。生产安置和搬迁安置点的道路两旁种植一定数量的树木（灌丛），施工营地、弃渣场、料场、临时施工道路等临时占地通过水土保持植物措施及时进行绿化，逐渐恢复野生动物的栖息环境，减轻对野生动物活动的阻隔影响。

（3）环境空气保护措施

1）改进施工工艺

优化施工方法、施工技术等进行减粉降尘；优先采用湿式作业，最大限度地减少粉尘的产生量。

2）配置必要的除尘设备

施工运输车辆应选用符合国家有关标准的车辆，保证尾气达标排放，使用高品质的燃油、燃气，从源头解决车辆尾气排放问题。

3）除尘降尘防护措施

在开挖、灰土搅拌站等施工区域进行洒水，以加速粉尘沉降，缩小粉尘影响时间与范围，非雨日每天洒水 3～5 次；施工作业人员应加强劳动安全和卫生保护，在环境空气受影响大的区域，工作人员必须配戴防尘口罩等个人防护用品；对道路进行洒水降尘，以道路无明显扬尘为准，非雨日每天洒水不少于 5 次，确保扬尘削减到最低。

（4）运输防尘措施

在物资运输过程中注意防止空气污染；装载多尘物料时，应对物料适当加湿或用帆布覆盖，运送散装水泥车辆的储罐应保持良好密封状态，运送袋装水泥必须覆盖封闭，经常清洗运输车辆；在两侧分布有居民点的公路上行驶的车辆，车速不得超过 20km/h。

（4）声环境保护措施

1）噪声源控制

施工单位选用符合国家有关标准的施工机具和运输车辆，挖掘机、推土机、自卸汽车、混凝土搅拌机、装载机等施工机械尽量选用低噪声的施工机械，如固定机械设备加装减振机座，加强施工机械的维修保养，从源头上降低噪声源强。

施工运输车辆的喇叭选用指向性强的低噪声喇叭；施工运输车辆在通过居民区、学校时，应减缓车速，控制车流量，禁止鸣放高音喇叭。

施工单位应按照国家规定的建筑施工场界噪声标准，对施工现场定期检查，实施规范化管理，对发现的违章施工现象和群众投诉的热点、重点问题及时进行查处，同时积极做好环境保护法规政策的宣传教育，加强与施工单位的协调，使施工单位做到文明施工。

2）传播途径控制

受建筑及道路施工影响的敏感点在施工期间采取隔声屏措施，减轻噪声产生的影响。

3）劳动人员噪声防护

建设承包商可选择具有较强吸声、消声、隔音性能的建筑材料。施工营地窗户采用通风隔声窗，利用透明 PC 板制成的微穿孔板做吸声材料，吸声系数高，透光率高；微穿孔板谐振型空腔，吸声频带宽，对中、低频噪声有较好的吸声作

用；在关窗条件下，降噪量≥35dB；在开窗通风条件下，降噪量≥15dB；隔声窗框架采用铝合金型材，玻璃为 6mm 厚常规玻璃。

另外，对现场高噪声施工人员加强个人防护，可采取佩戴耳塞的方式，可使噪声衰减 15dB～30dB，可有效降低现场施工人员的噪声影响。

4）爆破噪声预防措施

在清除不稳定岩石时，部分区域需采取爆破。由于爆破噪声具有噪声值高但持续时间短的特点，可优化施工工艺降低爆破噪声强度，比如采取水草封堵及强防护措施（炮孔上覆盖砂袋及打湿草袋）。同时，可在爆破前告知爆破点周围 600m 内居民及施工人员，施工人员可采取耳塞等措施进行防护。

（5）固体废物处理与处置

1）弃渣的处置

为避免安置点建设中弃渣乱堆乱放，应设置弃渣场。工程施工中的弃渣必须全部运送到弃渣场堆放，不得随意堆弃，避免对河道及水质产生影响。

工程完工后，对弃渣场要进行覆土整治，并种植一些乔木、灌木、草皮等，使工程弃渣的水土流失量减少到最低。

2）生活垃圾处理

安置点建成后生活垃圾收集、清运、处理将纳入当地垃圾处理系统，居民点点内生活垃圾收集系统包括垃圾桶和垃圾收集点。在交通方便、人口相对集中的地方建造垃圾屋（台）作为垃圾收集点，布局数量原则上按 30－50 个农户建造一个，容积 4～5$m^3$。同时每 10～15 户再配置一个垃圾桶。

垃圾收集方式也是灵活多样。一是直接送，距离垃圾台不远的住户，将垃圾装袋后直接送到垃圾台；二是轮流收集，距离垃圾台较远的住户，相邻几户自由组合，轮流收集运送。

安置点可鼓励并倡导村民将生活垃圾分类处理，可回收的垃圾，如废铁、饮料瓶等可送到废品收购站；有机垃圾，如秸秆、玉米杆等，可还田沤肥。分类处理后，垃圾处理量可大大减少，从而减少生活垃圾的处理成本。

《国务院办公厅关于改善农村人居环境的指导意见》（国办发〔2014〕25 号）要求，“我国交通便利且转运距离较近的村庄，生活垃圾可按照“户分类、村收集、镇转运、县处理”的方式处理；其他村庄的生活垃圾可通过适当方式就近处理。”根据上述要求，移民集中安置点生活垃圾尽量采取安置点收集后统一运往乡镇进

行集中统一处理。

#### 6.11.3.2 专项设施复建环境保护措施

（1）水环境保护措施

1）施工人员生活污水处理措施

施工营地生活污水严禁直接排入自然受纳水体；施工应优先选择租用民房，施工人员生活污水可简单处理后做农肥，在施工营地四周开挖截水沟。

2）施工生产废水处理措施

施工期间将排放混凝土搅拌废水、砂石料冲洗废水等，主要以 pH、SS 为污染特征。发生数量依据施工单位水平和材料性质，一般排放量不大。将施工产生的 SS 污水引至临时沉淀池，经栅格过滤沉淀后可消除此类污染影响。混凝土搅拌废水在沉淀池中加酸进行中和沉淀后排放。在施工机械车辆检修、冲洗场所布设检修平台，平台周围布设集水沟，并布置隔油池对施工机械冲洗及维修产生的油污水进行收集处理。

3）管理措施

开展施工场所和施工营地的水环境保护教育，让施工人员了解水环境保护的重要性。

跨河桥梁下部结构施工时，施工尽量安排在枯水季进行，以减小对水质的污染；桥梁工地人员的生活垃圾集中收集，并联系环卫部门及时清运。桥梁施工中挖出的淤泥、渣土等不得抛入河流、沟渠，应指定地点填埋或送附近弃渣场处理。

加强施工管理和监理工作，定期检查施工机械，防止油料发生泄漏污染水体。施工材料如油料、化学品、粉煤灰等不宜堆放在地表水体附近，并应备有临时遮挡的帆布；采取必要的措施防止泥土和散体施工材料阻塞水渠或现有的灌溉沟渠及水管。

（1）生态环境保护措施

1）公路施工建设中应避开林地集中分布的区域，同时线路顺应地形起伏布设，减少开挖面及开挖量。

2）公路施工建设宜采用人工进行开挖，避免采用大型施工机械，以减轻公路建设对地表植被和地质结构的破坏。

3）在公路修筑过程首先应及时对上边坡中土质边坡段采取有效支护，防止崩塌、滑坡危害；其次施工中产生的废弃土石不应随意堆放在下边坡上，防止其形成泥石流和增加斜坡重量后引发新的地质灾害。

4）优化工区出渣方式，优化道路施工布置和减少道路开挖断面，采用半挖半填方式，从源头上减少地表破坏和扰动面积，减少损坏水土保持设施，以降低水土保持防治难度，减少水土保持防治工程量。

5）完善施工公路必要的排水系统及挡护设施，包括道路两侧排水；根据施工场地条件和水土保持要求，选用当地乡土树种进行造林绿化。同时由于乔、灌木恢复需要一定的生长周期，为此，在绿化方案设计时，应注重乔、灌、草结合，在水保方案的基础上，公路绿化植物中增加草本植物类型，以利于尽快恢复植被，减少区域内的水土流失。

6）施工公路建设中应高度重视水土保持工作。

（3）环境空气保护措施

1）在靠近公路沿线居民相对集中的居民点施工时，施工现场要设置高度不低于 2m 的硬质围挡，并保持施工场地清洁；施工现场应设专人负责保洁工作，及时洒水清扫，减少扬尘。每个施工段安排 1 名员工定期对施工场地洒水以减少扬尘的飞扬。

2）施工散料运输车辆应采用加盖蓬布和湿法相结合的方式，减少扬尘对大气的污染，物料堆放时加盖蓬布。

3）公路施工设置的储料场、混凝土搅拌站应远离公路沿线居民点和学校，布置在较为空旷的位置。

4）利用现有道路作为施工道路进行材料输运等，应做好施工路线选择、车速控制、并在沿线有居民点处采取适当洒水降尘措施，降低二次扬尘污染。

5）加强施工管理，提倡文明施工、集中施工、快速施工。工程开挖土方应集中堆放，及时回填，以缩小扬尘影响范围和影响时间。

（4）声环境保护措施

1）尽量采用低噪声机械，工程施工所用的施工机械设备应事先对其进行常规工作状态下的噪声测量，超过国家标准的机械应禁止其入场施工。施工过程中还应经常对设备进行维修保养，避免由于设备性能差而使噪声增强现象的发生。

2）合理安排好施工时间与施工场所，高噪声作业区应远离声环境敏感点布置，在敏感点附近路段施工时，如果敏感点监测不能满足相应的声环境质量标准，可以采取临时性的降噪措施，如设置临时降噪声屏障等措施来保护敏感目标。

3）根据《建筑施工场界噪声限值》要求，应合理确定工程施工场界，应尽量避免将施工营地设置在声环境敏感点附近。

4）应注意合理安排施工物料的运输时间，在途经村镇、学校时，应减速慢行、禁止鸣笛。加强对学校和集中村庄等路段的施工管理，合理制定施工计划。加强施工期噪声监测。

（5）固体废物处理与处置

施工期中固体废弃物多是沿着公路呈线性分布的，若堆放不当或处置不及时，将直接破坏公路沿线生态环境，因此应通过加强施工管理，及时清运、处置，减少和防止固体废物影响。

施工期固体废物主要包括土石方开挖，房屋拆迁、施工残土产生的建筑垃圾和施工人员生活垃圾。公路施工所产生弃渣需设置弃渣场，并采取防护措施。生活垃圾可收集后就近运至所在乡镇垃圾临时堆存场，后由乡镇统一集中处理。

工程竣工后，应及时清理施工现场，清除临时工程废弃物，恢复原有地貌。

# 7 环境风险与应急措施

## 7.1环境风险评价目的

根据环境保护部环发[2012]77 号文《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》的要求，参照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）和《外来物种环境风险评估技术导则》(HJ 624-2011)，通过风险调查、风险识别、风险事故分析和风险预测与评价等开展环境风险评价，为工程设计和环境管理提供资料和依据，以达到降低危险，减少危害的目的。

## 7.2风险识别

本工程建设对环境的影响主要为非污染生态影响，运行期基本无“三废”排放，相应环境风险主要为外源风险，本工程的施工与运行主要是增加风险发生概率或加剧风险危害。根据本工程施工特点、周围环境特点以及工程与周围环境之间的关系，存在的潜在事故风险和环境风险包括油库事故风险、爆破材料库事故风险、施工危险品运输事故风险、运行期库区水质污染风险和社会风险等。

### 7.2.1 油库和加油站

根据工程布置，在右岸下游洒茂顶施工工厂区附近设置一座加油站，周边500m内居民点分布，周围45m内无工矿企业分布。

油库和加油站位于坝址下游2#路靠山侧，至坝址约2.5km；油库高程2180m，加油站高程2170m；油库0.3万m²，加油站0.2万m²，占地面积共0.5万m²。主要建(构)筑物包括：油罐、加油站、管理室、消防系统、给排水系统及油污水处理系统等。

### 7.2.2 炸药库

旭龙水电站建设开挖量大，开挖强度高，炸药库是工程前期导流洞洞身开挖的必要设施，也是主体工程施工期地下厂房开挖的重要设施。因旭龙水电站左右岸分属四川和云南两个省份，故在左右岸各布置一座炸药库供两岸开挖炸药存放。左岸炸药库规划在徐龙冲沟内，炸药均采用乳化炸药，其存炸药储备规模分别为140吨、100吨。两座炸药库周围500m范围内均无居民点和施工营地分布。

### 7.2.3 水环境污染

本工程施工生产废水主要包括砂石加工系统冲洗废水、混凝土拌和系统冲洗废水、机械修配系统含油废水等，生活污水主要是施工生活区、业主营地的施工和管理人员产生的生活污水。本工程河段为Ⅱ类水域，正常情况下污水禁排，事故情况下废水若未经处理直接排放，将会对评价河段水质产生不良影响。此外，施工期运输危险品的车辆在过河时如发生交通事故，导致危险品泄露，将对水体水质造成影响。

另外，本工程库区右岸里农沟坐落有羊拉铜矿尾矿库及拦渣坝下游调节池，如若发生泄漏，将对水体水质造成影响。

### 7.2.4 传染病流行

随着移民搬迁安置及大量施工人员的进入，导致区内人员流动性增大，水库蓄水后鼠类迁徙引起库周局部地区鼠密度增高，这些因素均增加了区内传染病流行的风险。

## 7.3环境风险潜势初判

### 7.3.1 环境敏感程度（E）的判断

（1）大气环境

本项目施工期的油库和炸药库布置位置都远离生产生活区，油库和炸药库周边 5km 范围内内居民区、医疗卫生、文化教育、科研等机构，行政办公机构总人数少于 1 万人，同时，周边 500m 范围内人口总数小于 500 人，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）附录表 D.1，项目大气环境敏感程度为环境低度敏感区（E3）。

（2）地表水环境

由于本项目油库主要存储物质为汽油和柴油，距离河道直线距离相对较远，事故情况油库泄露物质一般无法进入河道，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）附录表 D.2~D.4，项目地表水环境敏感程度为环境低度敏感区（E3）。

（3）地下水环境

本项目工区不涉及地下水环境敏感区，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）附录表 D.5~D.7，项目地下水环境敏感程度为环境低度敏感区（E3）。

### 7.3.2 危害物质及工艺系统危害性（P）的确定

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018），危险物质及工艺系统危害性（P）应根据危险物质数量与临界量的比值（Q）和行业及生产工艺（M）确定。

（1）Q 值的确定

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）附录 C，Q 按下式计算：

$$Q=\frac{q_1}{Q_1}+\frac{q_2}{Q_2}+\ldots\frac{q_n}{Q_n}$$

式中：$q_1$、$q_2 \ldots q_n$——每一种危险物质的最大存量，t；

$Q_1$、$Q_2 \ldots Q_n$——每种危险物质的临界量，t。

当 Q＜1 时，该项目环境风险潜势为Ⅰ；当 Q≥1 时，将 Q 值划分为：（1）1≤Q 小于 10；（2）10≤Q 小于 100；（3）Q≥100。

考虑到本项目各工区之间距离相对较远，仅考虑单个工区的危险物质数量与临界量的比值（Q），计算结果为 0.3。

（2）M 值的确定

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）附录表 C.1，本项目主要涉及危险物质石油和炸药的使用和存贮，分值为 5 分，则项目 M=5。

（3）P 的确定

按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）附录表 C.2，根据本项目危险物质数量与临界量比值（Q）和行业及生产工艺（M），确定本项目危险物质及工艺系统危害性（P）的等级为轻度危害 P4。

### 7.3.3 风险潜势判断

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）表 2 划分依据，本项目大气环境、地表水和地下水风险潜势均为Ⅰ。

## 7.4环境风险评价等级

本项目施工期危险物质在事故情形下的环境影响途径主要为大气、地表水和地下水，风险潜势均为Ⅰ，运行期主要为供水安全风险及外来生物入侵的风险。根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）评价工作等级划分要求，确定本项目环境风险进行简要分析。

## 7.5风险评价及防范措施

### 7.5.1 事故可能性分析

（1）油库、加油站事故可能性分析

1）储罐、管道阀门和泵由于维护不当出现故障，造成油气的泄漏可能导致火灾甚至爆炸。

2）油品装卸作业时，若流速过大易产生静电，在雷电等条件下可能引发火灾燃烧。

3）由于加油站操作人员的工作失误导致原油外溢，遇到火源易引发火灾燃烧事故。

从已有水电工程施工情况看，发生加油站事故的案例极少，且水电施工管理较为严格，因此本工程加油站在施工期发生泄漏和爆炸的概率不大。

（2）炸药库事故可能性分析

1）管理人员违反规定，违章吸烟或未按有关规定操作造成火种，引燃炸药或触发雷管；

2）由于静电作用而造成炸药爆炸；

3）由于雷电条件引发电火花而引燃炸药。

炸药库设计中，委托专业设计单位根据有关规程规范进行设计，拟考虑的安全措施包括：各类消防设施；在库内设置避雷设施和各类防静设施；严格按照相关设计规范，设置库内各类建筑物的安全防护距离；设置事故报警系统；按照《水电水利工程爆破施工技术规范》、《爆破安全规程》等有关规范，制定严格操作规程。炸药库是整个工程施工中的安全、消防管理重点，管理严格，事故防范措施严密，根据以往水电工程施工情况，发生爆炸事故的概率很小。

（3）野外用火导致火灾事故风险可能性分析

本工程无野外用火项目内容。但由于近些年来国内部分电站在施工期间发生过较大的野外用火导致的火灾事故，且本工程位于干热河谷区、气候干燥，植被类型以稀树灌木草丛为主，为火灾的发生提供了很多隐患条件。因此，有必要对野外用火进行管理和防护。

（4）地质灾害风险分析

施工区地处川滇藏南北向构造带金沙江结合带中北部，地质条件十分复杂。区内构造运动垂直性升降差异大，金沙江及支流河谷深切，山体相对高差大，岸坡陡峻，加之河谷地带植被稀少，风化卸荷作用强烈，导致区段崩塌、滑坡、泥石流等环境地质灾害频发，具典型的西南地形地质环境特征。区内地质灾害主要表现形式有：崩塌、滑坡、泥石流及坡面滚石等。据地质调查资料，库段内发育具一定规模的滑坡体 19 处、崩塌堆积体 6 处、危岩体共 2 处、沟谷型泥石流沟 3 条。

施工区具一定规模的滑坡共 18 处，总体积约 5.046 亿 $m^3$，离施工区较近的滑坡体分别为：徐龙 1#滑坡、徐龙 2#滑坡、徐龙 3#滑坡、宗绒 1#滑坡、洒茂顶滑坡、宗绒 2#滑坡、宗绒 3#滑坡、察依卡 1#滑坡、察依卡 2#滑坡、察依卡 3#滑坡、堆绒通滑坡、茂顶滑坡、茂达水滑坡、斯木顶滑坡等 14 个滑坡体。

施工区具一定规模的崩塌堆积体共 7 处，总体积约 $840\times10^4m^3$。与施工区建筑相临的有 2 处，分别为望龙 1#堆积体、望龙 2#堆积体，总体积约 $382\times10^4m^3$。

施工区山高坡陡，坡面泥石流普遍发育，旭龙电站施工区大多建筑设施均面临其破坏威胁。从地表调查及分析来看，施工区坡面泥石流有汇水面积小、搬运距离短、一次泥石流过程总量有限、含水量较低、爆发持续时间短等特点。茂顶河流域 2012 年暴发的 20 年一遇的泥石流，其危险范围已接近电站渣场。50 年和 100 年一遇的茂顶河泥石流危险范围已到达电站渣场，对电站渣场的安全构成威胁。建议设计施工时，充分考虑极端气候对坡面泥石流的影响，采取切实可行的治理措施。

施工区滚石破坏现象普遍发育。金沙江及其支流两岸山高坡陡，自然地形坡度一般大于 30°，局部还分布陡坎、陡崖，为滚石活动提供了有利的地形条件。从施工布置来看和滚石发育情况看，坡面滚石对徐龙冲沟上游金沙江两岸建筑物安全具直接威胁，洒茂顶后缘坡面滚石对紧靠坡脚的建筑物安全具直接威胁。

本工程各施工布置区存在的工程地质问题主要为：崩塌、滑坡、泥石流及坡面滚石等，但均可通过工程措施进行处理，工程施工区因地址灾害发生风险事故的可能性较小。

（5）羊拉铜矿尾矿库溃坝及调节池泄漏风险分析

羊拉铜矿尾矿库坝底标高为 2475.00m，坝顶标高为 2500.00m，清基 3.0m，总坝高为 28.0m；尾矿库服务年限内共需库容 1175.99 万 $m^3$，实际可容纳 1293.55

万 $m^3$。

尾矿库坝下调节池库容 3137.0 $m^3$，调节池设置有防渗层，防渗层自上而下为 80mm 混凝土预制块、200mm 压实尾矿、土工布。调节池挡水坝为块石坝体，坝顶标高为 2401.0m，坝底标高为 2377.25m，坝高 23.75m，根据测算，旭龙水电站蓄水后，尾水调节池挡水坝坝底距离水面垂直高差月 75m，水平距离约 110m。挡水坝基础进行了团结灌浆处理，内坡设置土工膜。调节池收集库区渗透水及入库洪水，汛期通过加大调节池的回水量回送选矿厂使用，确保调节池均有足够的库容；枯期则通过调节池内的积水泵送至尾矿坝上对尾矿坝外坡进行喷洒以抑制扬尘，尾矿澄清水正常情况下不外排。

根据《迪庆州羊拉铜矿里农矿段采选工程项目环境影响报告书》，里农沟位于干热河谷地区，气候干燥，降雨量小，年降雨量在 200～400mm 以下，蒸发量大，年蒸发量为 2000mm 左右，沟谷内无长年流水，仅在大雨后才有短暂地表水活动。尾矿库及调节池中尾矿澄清水要及时循环使用，禁止出现尾矿水偷排现象。针对因暴雨、洪水、导致尾矿向库外溢出，甚至溃坝的风险，可能造成人员伤亡、财产损失和金沙江污染。报告书提出配备沙袋、砂土、稻草，保证运送抢险人员、抢险物资的汽车等应急救援设备及物资，严格执行《尾矿库安全管理规定》，暴雨、强烈地震等发生时，对尾矿库要进行特别检查。事故发生后，通过修筑、疏通防排水沟、用沙袋、稻草等迅速组织人员砌筑临时尾矿堤、及时疏散下游居住人员等相关措施进行疏散。

目前，项目已通过验收，相应环保设施运行正常，企业生产、生活废污水全部零排放。根据云南省环境保护厅云环验[2010]35 号文，要求提高环境保护法律法规意识，强化操作人员岗位培训，严格按规程运行环保设施并定期维护保养，确保环保设施长期稳定运行，杜绝事故排放，禁止偷排；矿坑废水和选厂生产废水全部回用于选矿工艺用水，不得外排。生活废水处理达标后可回用于绿化和道路抑尘，不得排入金沙江；加强尾矿库风险防范管理,落实责任追究制，防止溃坝、防止防渗层的破损,做好尾矿库截洪沟、尾矿坝、调节池、回水泵站、回水管道等设施的管护。尾矿库调节池应设置安全警戒水位和视频监控系统,避免出现池满外溢风险。因此，非正常排水出现的几率比较小，是在回水设施发生故障，同时尾矿库被装满的情况下才会发生。因此，当观测到可能发生非正常排水现象时，应该立刻停止生产（根据对选矿工艺进行分析，企业完全可以做到立刻停机停厂），

立即对故障设备进行抢修，企业可以保证做到没有水外排至金沙江。从已有环保措施实施情况、以及验收、环保督查情况看，羊拉铜矿尾水调节池发生溃坝、泄漏的可能性不大。

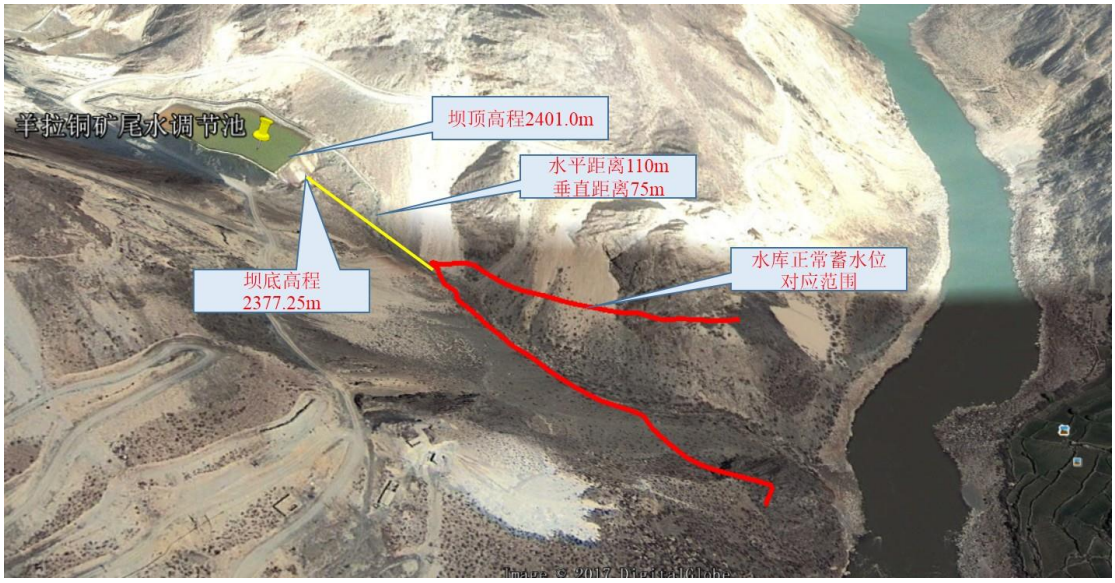



图 7.5-1 电站蓄水后与羊拉铜矿尾水调节池位置关系示意图

## 7.5.2 事故影响分析

（1）油库和加油站事故影响分析

1）居民点安全风险分析

根据《石油库设计规范》(GB50074-2002)要求，五级石油库与居住区之间需要有 50m 的安全距离，本工程加油站周边 400m 范围内无居住区，可见符合规范对安全的要求，且油品及其挥发的蒸汽本身属于低毒类物质，因此对附近居民点的人群生命安全不会产生急性毒害作用，在事故处理结束后一定时间内就会消除。

在油罐发生火灾燃烧事故后，对加油站下风向的环境空气会造成一定的影响，事故发生后到结束前这一时段内污染程度最大，但在火灾燃烧事故结束后短时间内火灾燃烧事故的环境风险影响可基本消除。

2）引发火灾风险分析

工程所在地属于干热河谷地区，植被稀疏，大部分是灌木和旱地，且加油站紧靠右岸 2#路，占地区附近一定范围内的灌草丛和旱地将会被清理。因此即使万一发生火灾、爆炸事故，引发大面积火灾的可能性也很小。

3）水质污染风险分析

加油站距离金沙江岸边约 90m，高差约 40m，中间有 1#公路相隔，距离相对较近，在发生事故情况下油料泄漏可能对金沙江水质造成一定的污染，主要污染物为石油类。

（2）炸药库事故影响分析

本工程 2 个炸药库周围 500m 内均无居民点和施工营地分布，即使万一发生爆炸事故，危险性也较小。各炸药库库周将设置围墙，并对占地范围内的植被进行清除，因此由于事故而引发周边火灾的可能性和影响均较小。

（3）羊拉铜矿尾矿库尾水调节池事故影响分析

根据已批复的《迪庆州羊拉铜矿里农矿段采选工程项目环境影响报告书》，项目废水非正常排放，不考虑叠加现状本底值时，Cu、Pb、Zn 贡献率分别为 0.0014%、0.13%、0.0064%。因此出现非正常排放时，工程所排废水对金沙江影响不大。

## 7.5.3 环境风险防范措施

### 7.5.3.1 油库和加油站环境风险防范措施

本阶段油库和加油站专项设计尚未开展，因此本次环评中对于其环境风险防范措施提出要求如下：

（1）制定严格的油库安全管理制度，规范油料运输、储存、使用。

（2）油库设立油库与地方消防部门的直通电话，可及时与消防部门取得联系。库内设消防专线电话，在消防泵值班室设多部专用接警录音电话（油库、站场至少各一部）。油库分区设置首要报警器，可对火灾事故进行及时报警。油库另配防爆无线对讲机多对，供生产及消防指挥等用。在油罐周围修建防火堤，且使用不透水材料进行加固，控制防火堤上的植被。同时设置事故油池，以收集漏油，并交专业部门处置。管道穿防火堤及围墙外均加套保护采用非燃烧材料填实。

（3）根据《石油库设计规范》（GB50074-2002）要求，油库区的作业人员须穿戴抗静电工作服和具有导电性能的工作鞋。油罐体采取防雷接地措施；地上或管沟敷设的输油管线做防雷防静电接地；库内的付油亭、泵棚或泵房及其他建筑

物分布按要求进行防雷设计。做好油库区的火源管理工作，油库区严禁烟火，并定期检查可能导致火灾的火源情况，如电线等；在油品装卸时、汽车加油时均应做好巡查工作，防止抽烟等情况的发生。

（4）各油库、加油站在消防泵房内设消防泵和固定式低倍数空气泡沫灭火系统，设置 1 座能满足一次灭火所需水量的半地上式消防水池，并设置的消防水收集池，减少消防含油水对附近水域及土壤的危害，收集后的消防水外运处置。

（5）油库区应配备一定的溢油控制应急设备和器材，防爆的抽油泵和贮油容器，挖沟用阻隔共计，应急修补的专用工具和器材等，溢油检漏专用仪器和设备等。

#### 7.5.3.2 爆破器材库环境风险防范措施

本阶段爆破器材库专项设计尚未开展，因此本次环评中对于其环境风险防范措施提出要求如下：

爆破器材库单库存药量严格按照规范要求。

库房间均布置相应的防护土堤，形成两个建筑物均有防护屏障的格局；库区设大门及围墙，围墙距各库房的距离均大于 15m，库区内设置岗哨；值班室设置在距离库房 250m 以外的适当位置。

炸药库及雷管库外均设室外消防栓，消防水池设在库区外山坡上，其水压和水量均应满足规范要求。

库房内按规范不设任何电气设备；器材库内供电线路采用电缆暗敷，库外供电线路采用架空敷设。

库房采用独立避雷针塔对库房进行防雷保护，确保库房避免遭受直接雷击。库房所有金属部位均进行等电位重复接地，以防库房产生静电。

#### 7.5.3.3 工程地质灾害风险防范措施

工程设计中已采取喷混凝土、系统锚杆加钢筋网进行支护等措施对局部存在地质问题的部位进行了防护。

#### 7.5.3.4 野外用火火灾风险防范措施

（1）未经监理允许，不允许对场地内的任何场地进行烧荒；在监理允许的情况下，野外用火应严格执行野外用火规定，三级风以下用火，应有专人监守，用火后彻底清理余火；进入防火戒严期（高火险期）停止一切野外用火等。

（2）野外生活用火（包括野外烧水、做饭、取暖、野味用火）主要有两种情况，一是对在野外生产作业人员必须的固定生活用火，有专人负责，选择靠近河流、道路等的安全地点，并在靠近草地或植被较好的一边开好防火线后再用火。用火完毕，必须清理余火，经反复检查，确无复燃可能后才能离去。

（3）加强野外吸烟的管理，主要是加强施工人员的防火意识，严格制度，防火期内绝对不准许野外吸烟。造成火灾事故者，由公安部门按有关规定追究刑事责任。

（4）在必要地段设置不准野外吸烟、野外用火等的标语牌。对其它如高压线脱落和意外火源，也要严加防范。

### 7.5.4 事故应急预案

本工程的建设必然伴随潜在的危害，如果防范措施水平高，则事故的概率必然会降低，但仍然存在发生事故的可能。一旦发生事故，需要采取上述工程应急防范措施，控制和减小事故危害。并需制订应急预案，实施相关措施。

本工程突发事故涉及云南省得钦县和四川省得荣县，根据《国家突发公共事件总体应急预案》、《云南省人民政府突发公共事件总体应急预案》、《四川省突发公共事件总体应急预案》相关要求和说明，本工程事故应急应纳入两省突发公共事件应急预案体系中，并据此确定本工程应急预案。

（1）应急计划区

本工程应急计划区包括：a、油库区；b、爆破器材库区；c、环境保护目标区，主要是周边居民点和水域；d、地质灾害影响区。

应急事件主要包括火灾、爆炸、油库溢油以及泥石流、滑坡事故等。

（2）应急组织机构、人员

1）应急领导机构

应急总领导机构为两省人民政府突发公共事件应急委员会，作为协调指挥机构，统一领导突发公共事件的应急处置工作。

应急领导机构由涉及各县区的分管环保的区/县长、环保局及其他相关各协作部门负责人组成。现场应急领导机构由建设单位分管环保的领导、环境保护管理办公室负责人、承包商单位分管环保的领导组成。

2）现场指挥

由应急领导机构指定现场指挥，火灾、爆炸式一般由消防队长担任现场指挥负责指挥应急反应行动的全过程；溢油事故应急行动由安全科科长负责指挥。

3）应急救援人员

应急救援人员包括：a、危险源控制组；b、伤员抢救组；c、医疗救护小组；d、消防组；e、安全疏散组；f、安全警戒组；g、物资供应组；h、环境监测组；i、专家咨询组；j、综合协调组；k、善后处理组。

4）报警、通讯联络方式

a、报警方式：在施工封闭管理区内设置专线报警电话，设置施工区火灾警报器；当地火警电话（119）。

b、应急通讯：应急领导机构与现场指挥通过对讲机、电话进行联系。

5）应急防护措施

危险源控制组和消防组对事故现场进行调查取证，对事故类型、发生时间、污染源、主要污染物、影响范围和成都等进行调查分析，形成初步意见，反馈现场指挥和应急领导机构。

安全警戒组在事故区域设置警戒标识，禁止无关人员进入。各小组协作，由专业人员负责，及时控制危险源，切断其传播途径，控制防火、防爆区域，对污染源及时进行处置，防止污染扩散，物资供应组及时提供所需各项物资和设备。

6）人员疏散、撤离组织计划

受灾区域内被围困人员由安全疏散组负责搜救；警戒区域内无关人员由建设单位配合安全疏散组实施紧急疏散。

## 7.6生态风险分析及应急措施

本工程在对鱼类资源、植被采取相应恢复措施时，均选择本区域原有适生的

特有鱼种、树种及草种，因此不存在当地物种演变及主动带来外来物种入侵的风险。但工程建设过程中，大量工程材料运输进场，在包装材料或填充物等中可能存在外来物种的种子、虫卵或幼虫等，一旦被引入，在没有天敌的情况下，将大量繁殖并造成生态破坏。因此，在施工过程中需加强对外来入侵物种危害性的宣传教育，提高对外来入侵物种的防范意识；加强对外来入侵物种识别、防治技术、风险评估技术、风险管理措施的培训，对于进口材料和机械等，应按规定严格进行检验检疫和消杀处理。

水库蓄水将淹没部分河谷灌草丛，使原来栖息于其中的中小型兽类，特别是小型啮齿动物和食虫类向较高海拔生境或食物丰富的人类聚居地附近迁移，造成迁入地的社鼠、大耳姬鼠等的种群数量在短时间内较大增加，形成较高密度区。这些啮齿动物常常会传播疫源性疾病，在它们向人类聚居地附近迁移的过程中，将增加疾病传播的风险。因此，旭龙水电站蓄水前应联合相关部门对评价区的主要野生动物疫病和主要疫源物种特别是鼠类进行调查，明确重点监控场所和环节，健全信息通报机制，并储备必要的应急物资。在旭龙水电站蓄水过程中及蓄水后需加强野生动物疫源疫病监测防控工作，建立鼠情监测预警系统和机制，定期监测鼠情密度和传染源情况，并通报有关部门，做好预测预报工作，在鼠情将要大发生时，提前采取紧急措施，严密防范突发野生动物疫情，确保居民和牲畜安全。

## 7.7社会风险分析及应急措施

根据旭龙水电站工程特性、建设征地区实物指标和移民补偿安置方案、区域社会经济构成和总体发展水平等综合分析，社会稳定风险影响主要因素有当地群众是否支持工程建设问题、征地拆迁补偿问题、民族风俗习惯问题、工程建设与当地基础设施建设协调问题和社会治安问题以及其他不可预见性问题等。

为避免社会稳定事件的发生，旭龙水电站施工期需加强对施工人员的宣传教育，避免因为宗教和风俗习惯的差异引发冲突；建设单位应与政府有关部门、当地居民及时交流信息，将有可能影响社会稳定和事关群众利益的问题尽可能圆满解决；积极稳妥地推进移民安置工作，尤其是认真做好移民个人实物的足额补偿，公平公正公开地解决好工程建设与居民的切身利益问题；同时在地方政府领导下，

协调组建专门机构，配备相应人员，落实风险职责和化解风险责任，以便妥善处理相关事务，切实做好维护社会稳定工作。

# 8 环境管理、监测与监理

## 8.1环境管理规划

### 8.1.1 环境管理基本原则

（1）预防为主、防治结合的原则

在施工和运行过程中，环境管理要预先采取防范措施，防止环境污染和生态破坏的行为发生，并把预防作为环境管理的重要原则。

（2）分级管理原则

工程建设和运行应接受各级环境保护行政主管部门的监督，而在内部则实行分级管理制，层层负责，责任明确。

（3）相对独立性原则

环境管理是工程管理的一部分，需要满足整个工程管理的要求。但同时环境管理又具有一定的独立性，必须依据我国的环境保护法律法规体系，从环境保护的角度对工程进行监督管理，协调工程建设与环境保护的关系。

（4）针对性原则

工程建设的不同时期和不同区域可能会出现不同的环境问题，应通过建立合理的环境管理结构和管理制度，有针对性地解决出现的问题。

### 8.1.2 环境管理目标

（1） 保证各项环境保护措施按照工程环境影响报告书及其批复、环境保护设计的要求实施，并保证各项环境保护设施正常、有效运行。

（2） 预防污染事故的发生，保证各类污染物达标排放、合理回用，使工程区及其附近的水环境、环境空气和声环境质量达到环境功能区划要求的标准。

（3） 水土流失和生态破坏得到有效控制，并通过采取措施恢复原有的水土保持功能和生态环境质量。

（4） 做好施工区卫生防疫工作，完善疫情管理体系，控制施工人群传染病发病率，避免传染病爆发和蔓延。

（5） 协调工程建设与环境保护的关系，保障工程建设的顺利进行，促进施工区环境美化，争创环保优秀工程。

### 8.1.3 环境管理体系

旭龙水电站工程环境管理分为外部管理和内部管理两大部分，并纳入整个旭龙水电站工程环境管理体系之中。

（1）外部管理

指国家及地方环境保护行政主管部门，依据国家相关法律、法规和政策，按照工程需达到的环境标准与要求，依法对各工程建设阶段进行不定期监督、检查及环境保护竣工验收等活动。

本工程外部环境管理体系由环境保护部、云南省环境保护厅、四川省环境保护厅、西藏自治区环境保护厅等各地方环境保护部门组成。

（2）内部管理

指建设单位、施工单位和工程运行管理单位执行国家和地方有关环境保护的法律、法规、政策，贯彻环境保护标准，落实环境保护措施，并对工程的建设过程和活动按环保要求进行管理。

内部管理分为工程施工期和运行期。工程施工期及运行期由建设单位负责组织实施，对工程环境保护措施进行优化、组织和实施，保证达到国家和地方对建设项目环境保护的要求。内部环境管理体系由建设单位和施工单位分级管理，分别成立专/兼职环境管理机构。

### 8.1.4 环境管理制度

（1）环境保护责任制

在环境保护管理体系中，建立环境保护责任制，明确各环境管理机构的环境保护责任。

（2）分级管理制度

建立由各参建单位分工负责的环境保护分级管理制度。在施工招标文件、承包合同中，明确污染防治和生态保护设施与措施条款，由各施工承包单位负责组织实施，环境监理联合工程建设监理进行日常监督检查，建设单位环境保护办公室负责定期检查，对检查中所发现的问题通报监理部门，由监理部门督促施工单位整改。

（3）监测和报告制度

环境监测是环境管理部门获取施工区环境质量信息的重要手段，是进行环境管理的主要依据。委托当地具备相应监测资质的单位，按环境监测计划要求对工程区域及周围的环境质量进行定期监测，实施监测成果月报、年报和环境保护工作季报、年报制度，并根据环境监测结果，适时优化调整环境保护措施。

（4）“三同时”验收制度

根据《建设项目环境保护“三同时”管理办法》，工程建设过程中的污染防治及其他公害的措施必须与建设项目同时设计、同时施工、同时投入运行。有关“三同时”项目必须按合同规定经有关部门验收合格后才能正式投入运行。防治污染的设施不得擅自拆除或闲置。

（5）制定突发事故的处理措施

工程施工期间，如发生污染事故及其它突发性环境事件，除应立即采取补救措施外，施工单位还要及时通报可能受到影响的地区和居民，并报建设单位环保部门与地方环境保护行政主管部门接受调查处理。同时，要调查事故原因、责任单位和责任人，对有关单位和个人给予行政或经济处罚，触犯国家有关法律者，移交司法部门处理。

（6）宣传、培训制度

为增强工程建设者(包括管理人员和施工人员)的环境保护意识，建设单位环境管理机构应经常采取广播、宣传栏、专题讲座等方法对工程参建人员进行环境保护宣传，提高环保意识，使其都能自觉地参与环境保护工作，让环境保护从单纯的行政干预和法律约束变成人们的自觉行为。

对环境保护专业技术人员应定期进行业务培训，同时组织考察学习，以提高其业务水平。

### 8.1.5 环境管理机构设置及其职责

建设单位须设立环境管理机构，负责确定其环保方针、审查项目环境目标和指标、审批环保项目立项和投资投入报告、审批环保项目实施方案和管理方案、检查环境管理业绩、培养职工环境保护意识等工作。

环境管理机构主要职责如下：

（1）宣传、贯彻、执行国家和地方有关环境保护的政策、法律、法规，熟悉相关技术标准，确定工程环境保护方针和环境保护目标，制定环境保护管理办法。

（2）负责落实环保经费，按照审批的设计文件要求和施工现场实际，按计划落实工程项目建设全过程的生态与环境保护工作，主要包括生态与环境工作计划的编制、监测项目与保护措施的落实、专题调查与研究、环境信息统计以及各阶段验收和专项验收等。

（3）协调处理并配合国家、地方各级环境保护行政主管部门环境保护监督检查，协调处理各有关部门的环保工作，指导、检查、考核各施工承包单位环境保护管理机构的建设运行及施工期和营运期环保设施的实施、运行情况等。

（4）及时处理施工和运行过程中出现的环境问题，建立建设单位内部、外部环境保护信息定期、不定期报送制度。

## 8.2环境监测

### 8.2.1 监测目的

对工程兴建过程中可能产生的环境问题进行定期监测，掌握工程影响范围内各环境因子的变化情况以及工程建设排放的污染物是否符合国家及地区所规定的排放标准，了解工程影响区生态变化情况，发现环境问题并及时提出对策措施，并根据需要调整环保措施；为施工区的环境建设、监督管理及工程竣工验收提供依据。

## 8.2.2 总体原则

（1） 与工程建设紧密结合的原则

监测的范围、对象和重点应结合工程施工、运行特点和周围环境敏感点的分布，及时反映工程施工和运行对周围环境敏感点的影响，以及环境变化对工程施工和运行的影响。

（2）针对性和代表性原则

根据环境现状和环境影响预测评价结果，选择对环境影响大的、有控制性和代表性的以及对评价范围环境影响起控制作用的主要因子进行监测，力求做到监测方案有针对性和代表性。

（3）经济性与可操作性原则

按照相关专业技术规范，监测项目、频次、时段和方法以满足本监测系统主要任务为前提，尽量利用附近现有监测机构、新建断面设置可操作性强，力求以较少的投入获得较完整的环境监测数据。

（4）统一规划、分步实施的原则

监测系统从总体考虑，统一规划，根据工程不同阶段的重点和要求，分期分步建立，逐步实施和完善。

## 8.2.3 施工期环境监测计划

### 8.2.3.1 水文情势监测

施工期应开展库区河段及坝址下游水文情势监测，监测内容包括库区河段水位、流速变化情况，围堰下游水位、流速变化情况等。具体观测要求见下表。

**表 8.2-1 施工期水文情势监测内容**

| 监测点位 | 监测参数 | 监 测 频 率 及 时 间 |
|---|---|---|
| 库尾(麦曲河入金沙江干流汇入口) | 水位、流速 | 施工期每月中旬监测 1 天，每天监测 2 次。 |
| 上游围堰上游 500 m 处 | | |
| 下游围堰下游 500 m 处 | | |

### 8.2.3.2 废污水监测

（1）生活污水

监测点布设：在右岸 1#施工营地、2#施工营地、3#施工营地生活污水处理末端各布设一个监测点。

监测项目：pH、SS、COD、BOD5、TP、TN、粪大肠菌群共 7 项。

监测频率及时间：施工期内，每季度监测 1 期，每期监测 2 天，每天监测 2 次。

监测方法：按《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91-2002）要求执行。

（2）生产废水

监测点布设：分别在右岸洒茂顶砂石料冲洗废水处理末端、高混凝土拌合系统和低混凝土拌合系统冲洗废水处理系统（包括洗车废水）末端各布设 1 个监测点。

监测项目：pH、SS、石油类共三项。

监测频率及时间：工程施工期内每季度监测 1 期，每期监测 2 天，每天监测 2 次。

监测方法：按《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91-2002）要求执行。

### 8.2.3.3 河流水质监测

（1）监测断面布设

为了解工程建设对河流水质的影响，在工程建设区的上、下游分别布设监测断面对河流水质进行监测。

（2）监测技术要求

水样采集按照《环境监测技术规范》的规定方法执行，样品分析按照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)规定及《环境监测技术规范》的选配方法执行。

监测项目、监测周期、监测时段及频率见下表。

表 8.2-2　河流水质监测技术要求一览表

| 河流 | 监测断面 | 监测项目 | 监测频率及时间 |
|---|---|---|---|
| 金沙江干流 | 坝址上游游约 10km 处两侧无施工区布置(背景断面) | SS、pH、DO、SS、$BOD_5$、高锰酸盐指数、石油类、总氮、总磷、粪大肠菌群， | 施工期每年丰、平、枯水期各监测1次，每次监测3d，每天采样不少于1h。 |
| | 工程施工区下游约 0.5km 处 | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | (控制断面) | 共10项 | |
| | 工程施工区下游约 5km 处(削减断面) | | |

### 8.2.3.4 地下水监测

（1） 监测点位布设

在满足《地下水监测规范》(SL183-2005)的基础上，选择能够反应工程建设前后整个工程区域地下水水位变化情况的具有代表性的点位进行监测。

根据旭龙水电站施工布置和地下水现状布点方案，确定地下水监测点，共布置 4 处，详见下图。

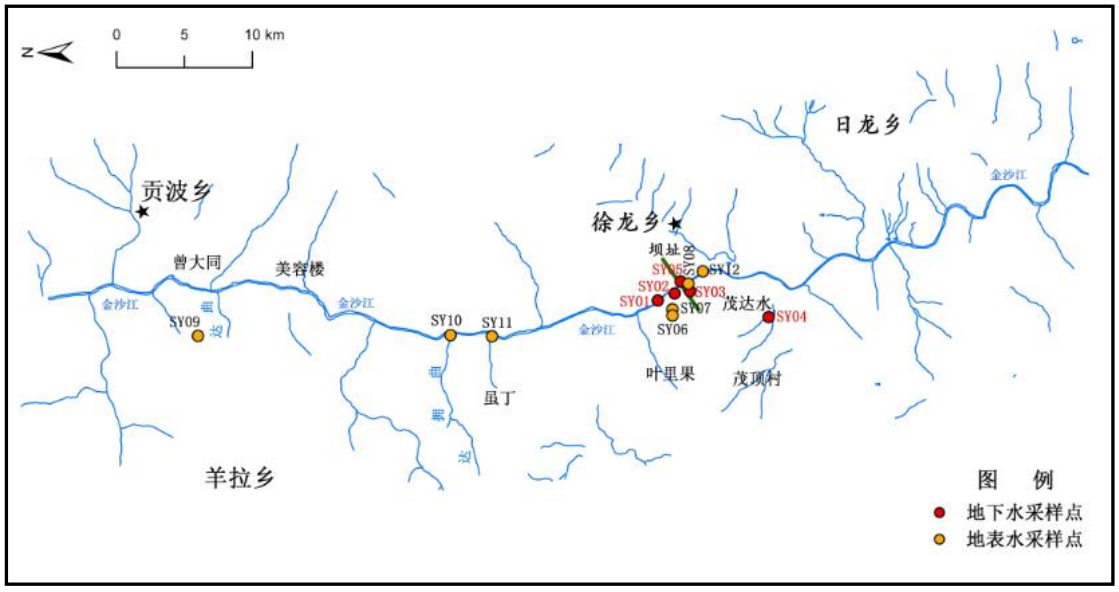



**图8.2-1 地下水和地表水样监测点位置图**

（2）监测技术要求

监测项目、监测周期、监测时段及频率见下表。

**表 8.2-3 施工期地下水监测技术要求一览表**

| 监测位置 | 监测点位编号 | 取样位置 | 监测项目 | 监测时段及频率要求 |
|---|---|---|---|---|
| 坝址区 | SY01 | 钻孔 XSZK1 | 观测地下水位，直至观测孔废止 | 施工期每季度观测一次 |
| | SY02 | 断层 F2 | | |
| | SY03 | F-70 泉水点 | | |
| | SY05 | XPD07 内 | | |
| | SY04 | 茂顶温泉 | | |

（3）监测方法

按照《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164-2004)以及《环境影响评价技术

导则　地下水环境》(HJ 610-2016)的有关规定执行。

#### 8.2.3.5 环境空气质量监测

（1）监测点布设：靠近低砼加工系统、茂顶河沟口斯木顶村居民点附近、3#施工营地附近、左岸上游弃渣场附近的位置分别布设 1 个监测点，共 4 个监测点。

（2）监测项目：二氧化硫、总悬浮颗粒物，共 2 项。

（3）监测频率：施工期每季度监测 1 次，每次监测 7 天。

（4）监测方法：按国家环境保护局《环境监测技术规范》（大气与废气部分）要求执行。

#### 8.2.3.6 声环境监测

（1）监测点布设：靠近茂顶河弃渣场附近、3#施工营地附近、低砼加工系统附近、洒茂顶隧道进洞口各布置 1 个噪声监测点。共 4 个监测点。

（2）监测频率：施工期内每季度监测 1 次，每次监测 2 天，昼间和夜间各监测 1 次。

（3）监测方法：功能区环境噪声监测按《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定执行。

### 8.2.4 运行期环境监测计划

#### 8.2.4.1 水文情势监测

旭龙水电站在初期蓄水及运行期，开展库区河段的水文情势观测，观测分丰、平、枯水期开展工作，监测内容包括库尾、库中、坝前、坝下尾水口附近等典型断面的水位、流速变化等。在鱼类繁殖季节，对于鱼类保护栖息地麦曲河结合水生生态调查同步开展水文情势观测工作。具体观测要求见下表。其中尾水出口下游约 500m 处设生态流量自动监测系统，测电站不同运行工况条件下，下游断面

流量、水位的沿程变化情况。

表 8.2-4　初期蓄水及运行期水文情势监测内容

| 监测点位 | 监测参数 | 监 测 频 率 及 时 间 |
|---|---|---|
| 库尾(麦曲河汇入口上游 2km 处) | 水位、流速 | 初期蓄水及运行期前三年每月监测 1 次，每次监测 2-3 天 |
| 库中(麦曲河汇口下游 500m 处) | | |
| 坝前 500 m 处 | | |
| 麦曲河支库库尾 | | |
| 生态放水孔 | 流量 | 生态流量监测系统需在电站蓄水前安装完成。生态放水期间实施实时观测 |
| 坝下尾水口下游 500m 处 | 水位、流量 | |

### 8.2.4.2 库区及坝下水质监测

（1）监测断面布设

运行期水质监测断面主要为工程区域的各控制性断面及边界断面，根据旭龙水电站水库形态及库周污染源特点，共设置 4 个监测断面。

（2）监测技术要求

监测项目、监测时段及频率见下表。

表 8.2-5　运行期库区及下游水质监测技术要求一览表

| 河流 | 监测断面 | 监测项目 | 监测频率及时间 |
|---|---|---|---|
| 金沙江干流 | 旭龙库尾断面 | SS、pH、DO、$BOD_5$、$COD_{Cr}$、高锰酸钾指数、TN、TP、石油类、粪大肠菌群、阴离子表面活性剂、$NH_3$-N、氟化物、氰化物、挥发酚、砷、汞、六价铬、叶绿素a和透明度 | 初期蓄水期间及运行后的前3年，每年各季度监测1次，每次连续监测3d。运行期开展长期监测，并根据验收及后评价需求适时进行监测方案调整。 |
| | 旭龙库中断面(丹达曲汇口下游500m处) | | |
| | 旭龙坝前断面 | | |
| 麦曲河支流 | 麦曲河支库库尾断面 | | |
| 丹达曲支流 | 丹达曲支流库尾断面 | | |

（3）监测方法

水质采样与样品分析方法均按照《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002)的相关规定执行。

### 8.2.4.3 生活污水水质监测

电站运行期污水产生于业主营地日常管理人员生活污水，其监测项目、监测方法及技术要求与施工期生活污水相同，详见下表。

表 8.2-6　运行期电站生活污水监测技术要求一览表

| 监测对象 | 监测点位及编号 | 监测项目 | 监测频率及时间 |
|---|---|---|---|
| 业主营地生活污水 | 业主营地污水处理系统的进、出水口 | $COD_{Cr}$、$BOD_5$、粪大肠菌群、TP、TN、阴离子表面活性剂、污水流量，同步调查运营管理人数 | 工程竣工后监测1次，连续监测3d；之后纳入电站日常管理例行监测 |

### 8.2.4.4 库区水温观测

（1）观测目的

通过监测库区水温情况，为研究水库热效应和水库水温结构变化以及对水环境、水生生态及鱼类的影响提供基础资料。

（2）断面布置

1）布设原则

能较好控制入库水温以及库区水温结构与沿程变化，并与水位、流量、泥沙等水文观测断面相结合，便于实施和管理。

2）观测断面及垂线布设

根据以上断面布设原则，在金沙江干流旭龙库尾与库中、坝前共布设 3 个水温观测断面，详见下表 8.2-7。其中，水库蓄水前，河道水温无分层现象，各断面均只在中泓处设置 1 条观测垂线；水库蓄水后，库尾断面也只在中泓处设 1 条观测垂线，库中和坝前断面则分别设左、中、右 3 条观测垂线。

（3）坝前水温在线连续观测技术要求

库区水温观测采取人工定期观测和在线连续观测相结合的方式。其中，坝前水温采用在线连续观测方式，与主体工程环境监测结合开展；蓄水前各断面及蓄水后的库尾和库中断面则采用人工定期观测的方式。水库水温观测应长期开展，后期根据验收及后评价要求适时调整监测方案。

1）人工定期观测技术要求

水库蓄水前的各断面以及水库蓄水后的库尾断面，均在中泓线水面下 0.5m 设 1 个观测点。水库蓄水后的库中断面各观测垂线，分别在水面下 0.5m 处测表层水温；以下每隔 2m 水深测一个水温值，直至等温层，在等温层处可加大测距；距底 0.5m 处测库底水温。当两个测点间温差超过 0.5℃时，在中间增加测点，相

邻测点之间温差控制在 0.5℃以内。水温观测周期为水库蓄水前 2 年和蓄水后 2 年进行连续观测。建设期和运行期按全年每天 4 段 4 次观测。

2）坝前水温在线监测系统技术要求

①布点要求

坝前水温在线监测系统包括进水塔垂向水温在线监测系统、坝面垂向水温在线监测系统。在线监测系统建设需与大坝工程建设同步。

根据旭龙水库水温预测结果，属于过渡型水库，高温季节将出现温跃层分布，故拟在水面下 0.5m 处测表层水温，距底 0.5m 处测库底水温；温跃层每隔 2～5m 水深测 1 个水温值，等温层每隔 4～8m 水深测 1 个水温值。

②在线水温观测设备要求

水温观测设备的观测精度应达到 0.1℃；因坝前壅水高达 160m，库底部压力大，故观测设备需具有相应的承压能力。

③数据采集频次及传输要求

坝前水温在线观测从水库蓄水后开始观测，坝前水温在线监测项目的观测周期暂定 10 年，为每 1 小时观测一次。系统设置 1 个数据接收终端，即大坝中控系统，同步接收观测数据。

旭龙水库水温观测周期和频次见下表。

**表 8.2-7　旭龙水电站库区水温观测技术要求一览表**

| 断面类别 | 监测断面及编号 | | 监测要求 | 监测频率及时间 |
|---|---|---|---|---|
| 入库断面 | YT1 | 金沙江干流主库区库尾断面 | 测中泓线水面下 0.5m处水温 | 水库蓄水前 2 年至水库蓄水后 2 年进行连续观测，分别在低温期(12 月～次年 2 月)、升温期(3 月～4 月)、高温期(5 月～9 月)和降温期(10 月～11 月)分别观测 1 次。 |
| 库中断面 | YT2 | 金沙江干流主库区丹达曲汇口下游500m断面 | 蓄水前测中泓线水面下 0.5m处水温；蓄水后分左、中、右 3 条垂线，分别测不同水深的水温垂向分布情况 | |
| 坝前断面 | YT3 | 旭龙水电站大坝进水塔及大坝坝面 | 蓄水前测中泓线水面下 0.5m处水温；蓄水后水面下 0.5m处测表层水温，距底 0.5m处测库底水温；温跃层每隔 2～5m水深测 1 个水温值，等温层每隔 4～8m水深测 1 个水温值。 | 水库蓄水后开始在线观测，每 1 小时记录一次水温，通过数据接收终端定期收集观测数据 |

#### 8.2.4.5 坝下溶解性气体监测

（1）监测点布设

在旭龙坝前、发电尾水出口、泄水建筑物水垫塘出口下游布设观测点，同时在坝址下游 10km、20km、定曲汇口上下游、奔子栏水文站以及定曲支流设置观测断面。库区断面设置观测垂线，测点分布视垂向水深而定，以能反映 TDG 垂向分布规律为准。

（2）监测技术要求

观测要素主要包括水温、DO、TDG、气压，同时记录泄洪建筑物运行情况，并注意监测鱼类气泡病发生状况。DO 的监测分析按照《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）规定的选配方法执行，我国目前尚缺乏关于过饱和 TDG 的监测技术规范，因此 TDG 的观测参照相应 TDG 测定仪的技术要求执行。

对旭龙电站不同表孔和中孔单独泄洪以及组合泄洪等泄洪工况进行监测。监测频次为每日两次或者昼间连续观测。

### 8.2.5 生态监测计划

#### 8.2.5.1 陆生生态监测

（1）监测目的

施工期主要对工程直接影响区陆生动植物资源进行详细的本底调查，重点加强对重点保护野生动物的调查，在施工过程中若发现有重点保护野生动物，及时上报相关主管部门，采取保护措施。

运营期主要监测生境的变化，植被的变化以及生态系统整体性变化。包括主要物种组成和数量。通过对陆生野生动植物的监测了解工程施工和建成运营对陆生生态的影响，掌握陆生生态修复及其它保护措施的实际效果，加强对生态的管理，使生态向良性或有利方向发展。

（2）监测内容

植被和植物监测：植被类型、植物种类、分布、面积、植被覆盖度；重点保护野生植物分布等。

动物监测：种类、分布、密度和季节动态变化；重点保护野生动物的种类、数量、栖息地、觅食地；迁徙鸟类种类和季节动态变化等。

（3）监测地点

选择坝址左右岸、鱼波村、库区拿荣村平地、路辰村、库区让丁村支流、格龙附近、库尾设置 8～10 个监测点。

（4）监测方法

1）遥感监测

利用 ArcGIS Engine 技术和 Visual Basic 开发平台，以基础地理信息、生态专业数据和属性信息为基础建立数据库，依托 GIS 的空间分析性能进行监测，得到生物丰度指数、植物盖度指数、景观多样性值和优势度值等，来判断植物和植被的变化。

2）植物监测

①陆生植被监测

在各点位根据陆生生物组成设置固定样线 2~3 条，根据各样线群落面积确定设置的样地数量，着重调查植物的垂直和水平分布、植物物种。重点监测干热河谷代表性植被类型、植物种类的数量、结构组成、物种分布变化情况，以及金荞麦迁地保护区恢复效果。此外，监测过程中应密切关注是否存在外来入侵种，及其种类、数量、入侵速度。

监测时间及频次：施工前筹备期调查 1 次；施工期间，以 2 年为 1 个监测周期，进行 3 期监测；水库蓄水前调查 1 次；蓄水后，以 2 年为 1 个监测周期，进行 3 期监测；每期监测在一个年度内分别进行雨季和旱季 2 次监测，物候观测则考虑春、夏、秋季各 1 期；重点关注的珍稀保护物种每年观测 1 次。

②植被恢复效果监测

监测点位：弃渣场、填筑料场和利用料堆场、临时施工道路等植被修复区。

监测内容：植被恢复初期，在各生态修复区设置 1~2 个 5m*5m 或 2m*2m 的小样方，对小样方内植物生长情况进行调查，包括植物成活率、萌发情况、幼树长势、植被覆盖率、植物种类变化等。

监测时间及频次：生态修复工程实施后，每 2 年调查 1 期，共调查 3 期。

3）动物监测

在监测点位设置固定样线 2~3 条，统计兽类、鸟类、两栖动物、爬行动物的物种出现率。同时采取民间访问和市场调查等方法了解野生动物的情况。

监测时间及频次：施工期监测 1 次，水库蓄水前调查 1 次；蓄水后，以 2 年为 1 个监测周期，进行 3 期监测；重点关注的岩羊等珍稀保护物种每年观测 1 次。

### 8.2.5.2 水生生态监测

（1）常规调查监测

1）调查目的

通过对浮游植物、浮游动物、着生藻类、底栖动物、鱼类种群动态、鱼类产卵场等进行监测，及时反映旭龙电站建设和运行后生态环境变化趋势，提出规避对策，为鱼类和水生生物多样性的保护及水质科学管理提供科学的依据。

2）调查范围与断面设置

调查范围为昌波坝址以下至奔子栏以上金沙江干支流，其中重点监测库区和重要支流。

根据旭龙水电站工程特性及对工程江段水生生物的影响情况，设昌波、库中区（尼吕）、旭龙坝址、奔子栏、石鼓、麦曲、定曲共 7 个断面，调查位置可根据具体情况适当前移或后靠，监测内容见下表。

表 8.2-8　　水生生态监测断面和监测内容

| 断面 | 水生生物监测 | 鱼类种群动态监测 | 鱼类产卵场监测 |
|---|---|---|---|
| 昌波 | ● | | |
| 库中 | ● | ● | |
| 旭龙坝址 | ● | | |
| 奔子栏 | ● | ● | ● |
| 石鼓 | ● | ● | ● |
| 麦曲 | ● | | |
| 定曲 | ● | ● | |

3）技术要求

①水生生态要素监测

浮游植物、浮游动物、着生藻类、底栖动物等水生生物的种类、分布、密度、生物量，及其与工程江段水化学(主要为 N、P 各种形式组分动态)、水温、流态及坝下水体中的溶解性气体等的变化关系。

②鱼类种群动态及群落组成变化监测

鱼类的种类组成、种群结构、资源量的时空分布及累积变化效应，重点监测珍稀保护及特有鱼类的种群动态及鱼类群落构成的变化趋势。

③鱼类产卵场监测

早期资源种类组成与比例、时空分布、早期资源量、水文要素(温度、流速、水位)、产卵场的分布与规模变化、繁殖时间和繁殖种群的规模。

4）调查方法

按《水库渔业资源调查规范》(SL167-96)和《内陆水域渔业自然资源调查规范》的规定执行。

5）时间和频率

在水库蓄水后（截流后）10 年内监测 5 年，即蓄水第 1、3、5、7、10 年进行监测。水化学要素，浮游植物、浮游动物、着生藻类、底栖动物在 4 月、10 月各监测一次。鱼类种群动态监测在 3~6 月、10~11 月进行，每月 20 天左右。鱼类产卵场监测在 3~7 月进行，年监测天数不少于 60 天。监测时段频次及要素构成还应随其它梯级电站的建设运转进程作相应调整。

（2）栖息地保护效果调查

1）调查范围

为研究旭龙水电站鱼类栖息地保护的效果，需对坝下支流定曲进行全面的跟踪调查和监测。

2）调查时间

调查时间为水库蓄水后 2 年开始，连续监测 5 年，每年 2 次。

3）技术要求

调查栖息地保护河段生态环境及其保护现状，调查鱼类区系、特点、种群资源量、分布及饵料生物的变化情况和鱼类生境变化情况；并与金沙江干流河段水生生态监测结果进行对比，进而评估栖息地保护河段的保护效果。

4）调查方法

按《水库渔业资源调查规范》(SL167-96)和《内陆水域渔业自然资源调查规范》的规定执行。

（3）过鱼效果观测

水库蓄水后应开展过鱼设施效果的观测评估，包括集鱼效果、转运鱼效果、

放鱼效果观测评估等。

1）集鱼效果观测

①观测评估在各种运行情况和水文情势条件下，鱼类是否都能聚集进入集鱼设施，分析集鱼种类和比例。

②观测评估集鱼设施进口的光、色、水流条件和影响鱼类寻找进口的其它因素。

③观测评估下游水位涨落、水文情势变化对进口水流条件和鱼类寻找进口的影响。

④记录最有利的进鱼条件、进口水流、水深、光色、进鱼量最大的时间和季节。

⑤进行标志投鱼试验，估算正常运行情况下的进鱼比例。

2）运鱼效果观测评估

运鱼效果观测评估包括运鱼能力的观测、鱼类损伤情况观测及运鱼系统与集鱼系统及放鱼系统之间的衔接程度观测。

3）放鱼效果观测评估

放鱼效果观测评估包括不同放鱼地点对鱼类上溯及后续生存影响的评估、不同鱼类其最佳放流生境的观测。

4）时间和频率

与常规调查监测时间和频率一致。

（4）增殖放流效果调查

1）调查范围

为调查旭龙水电站增殖放流对恢复鱼类资源的效果，需对本工程增殖放流河段进行全面的跟踪调查。

2）技术要求

通过标志放流技术的应用，对河段内鱼类区系及特点、种群数量、分布进行监测，了解鱼类增殖放流站增殖放流效果，并及时调整增殖放流方案。

3）调查方法

按《水库渔业资源调查规范》(SL167-96)和《内陆水域渔业自然资源调查规范》的规定执行。

4）时间和频率

与常规调查监测时间和频率一致。

## 8.3环境监理

### 8.3.1 监理目的

为保证工程环境保护措施(包括水保措施)得以全面落实和达到预期效果，本工程需实施环境监理，全面监督和检查各施工单位环境保护措施的实施和效果，及时处理和解决施工过程中出现的环境问题。使环境管理工作融入整个工程实施过程中，变事后管理为过程管理，变单纯的强制性管理为强制性和指导性相结合，从而使环境保护由被动治理污染和破坏变为主动预防和过程治理。工程环境监理与主体工程环境监理应保持连续性。

### 8.3.2 监理目标和任务

#### 8.3.2.1 环境监理目标

（1）按照工程建设单位的要求，建立健全工程建设环境保护监督管理体系与体制。

（2）依据已批准的有关文件和有关合同中环境保护内容与要求，严格按环境保护“三同时”制度，监督施工单位切实履行工程合同规定的环境保护条款，以及各项环境保护设施、措施的落实。

（3）及时掌握工程建设各阶段的环境状况与变化趋势。

（4）消除施工活动中的不良环境影响，保护区域环境和人群健康。

（5）确保竣工的工程是环境保护合格的工程。

#### 8.3.2.2 环境监理任务

（1）依照国家环境保护法律、法规及标准要求，以经过审批的工程环境影响报告书、环境保护设计及施工合同中环境保护相关条款为依据，监督、检查承包商或环保措施实施单位对工程区环保措施的费用、实施进度、质量及效果。

（2）指导、检查、督促各施工承包单位环境保护办公室的设立和正常运行。

（3）参与审核施工单位的施工组织设计，从环境保护角度提出优化施工方案和施工进度计划的意见；审核施工单位开工前提出的环境保护管理计划，并提出审核意见。

（4）审核施工单位提出的可能造成污染的施工材料、设备清单及各项环境保护指标。

（5）加强现场的监控，重点监督检查生产、生活废污水收集和处理系统、水土保持措施的施工质量、运行情况。对在监理过程中发现的环境问题，以书面形式通知责任单位进行限期处理改进。

（6）监督检查施工单位突发性污染事故和公共卫生事件的应急处理，以及相关的环境保护专项调查和科研项目等。

（7）监督、统计、分析施工单位的各项环境保护工作报表、资料。

（8）定期编制环境监理报告，协助建设单位工程竣工环境保护验收与总结。

### 8.3.3 监理内容

（1）依照国家环境保护法律、法规及标准要求，以经过审批的工程环境影响报告书、环境保护设计及施工合同中环境保护相关条款为依据，监督、检查承包商或环保措施实施单位对工程区环保措施的费用、实施进度、质量及效果。

（2）指导、检查、督促各施工承包单位环境保护办公室的设立和正常运行。

（3）根据实际情况，就承包商提出的施工组织设计、施工技术方案和施工进度计划提出清洁生产等环保方面的改进意见，以保证方案满足环保要求。

（4）审查承包商提出的环境保护措施的工艺流程、施工方法、设备清单及各项环保指标。

（5）加强现场的监控，重点监督检查施工废污水收集和处理系统、水土保持措施的施工质量、运行情况。对在监理过程中发现的环境问题，以书面形式通知责任单位进行限期处理改进。

（6）对承包商施工过程及施工结束后的现场，依据环境保护要求进行检查和质量评定。

### 8.3.4 监理工作制度

（1）工作记录制度

环境监理工程师每天根据工作情况做出工作记录(监理日志)，重点描述现场环境保护工作的巡视检查情况，当时发生的主要环境问题，问题发生的责任单位，分析产生问题的主要原因，以及监理工程师对问题的处理意见。

（2）报告制度

监理部每月向工程建设环保管理办公室提交一份环境监理月报，概述该月的环境监理工作情况，说明施工区的环境状况，指出主要的环境问题，提出处理意见，检查与监督处理结果。每半年提交阶段性评估报告，对半年的环境监理工作进行总结。

（3）函件来往制度

环境监理工程师与承包商双方需要办理的事宜都是通过函件进行传递或确认的。监理工程师在现场检查过程中发现的环境问题，都是通过下发问题通知单的形式，通知承包商需要采取的纠正或处理措施。

（4）环境例会制度

环境监理部定期会同工程建设环保管理办公室、设计单位、承包商环境保护管理办公室召开环境例会。通过环境例会，承包商对本标的环境保护工作进行回顾总结，监理工程师对该月各标的环境保护工作进行全面评议，肯定工作中的成绩，提出存在问题及整改要求。每次会议都需形成会议纪要。

### 8.3.5 管理机构与工作方式

根据工程规模和施工规划，结合主体工程施工规划要求，在工程现场设置专门的环境监理机构，环境监理部设置专职监理人员。根据本工程实际情况，旭龙水电站枢纽工程拟安排 7 名监理人员，其中总监 1 人（同时负责移民安置区总监工作），监理工程师 3 名，监理员 3 名；移民安置区安排监理人员 2 人，监理工程师 1 人，监理员 1 人。

环境监理人员常驻工地，对施工区环境保护工作进行动态管理。监理方式以

现场监督管理为主，并随时检查各项环境监测数据，发现问题后，立即要求承包商限期处理，并以公文函件确认。对于限期处理的环境问题，按期进行检查验收，将检查结果形成纪要下发承包商。

# 9 环境保护措施分期实施计划

## 9.1环境保护措施项目

旭龙水电站的环境保护措施可分为施工期环境保护措施、水生生态保护措施、陆生生态保护措施、水土保持措施、初期蓄水及运行期水环境保护措施、环境地质影响减缓措施、社会环境保护措施、移民安置区环境保护措施、环境监测等方面。各项措施内容详见表 9.1-1。

**表 9.1-1　旭龙水电站环境保护措施一览表**

| 措施分类 | 措施分类 | 措施内容 |
|---|---|---|
| 施工期环境保护措施 | 地表水环境保护措施 | 基坑排水处理：基坑集水区投加絮凝剂沉淀处理，上清液外排，沉淀泥渣运往渣场。 |
| | | 砂石料冲洗废水处理：洒茂顶砂石加工系统和利用料砂石加工系统废水采用 DH 高效旋流污水净化处理工艺，污泥脱水后运往弃渣场堆放，上清液回用生产 |
| | | 混凝土系统废水处理：采用中和沉淀法进行处理，处理后的清水用于转筒和料罐冲洗或场地洒水降尘，污泥定期清掏运至弃渣场。 |
| | | 含油废水处理：采用隔油沉淀池处理，废油交由有资质的单位进行转运处理，处理出水用于洗车或场地洒水。 |
| | | 生活污水处理：采用 A/O 处理工艺的成套生活污水处理设备，处理出水综合用于施工营地冲厕及绿化浇灌等。 |
| | 地下水影响减缓措施 | 对大坝坝基采用“防渗帷幕+幕后排水”的渗流控制方案，对水垫塘基础采用封闭抽排方案。 |
| | 环境空气保护措施 | 燃油废气消减：定期维修、保养机械设备，严格执行《在用汽车报废标准》，推行强制更新报废制度。 |
| | | 开挖、爆破粉尘的消减与控制：采用湿法作业、洒水降尘、钻孔安装除尘装置或采用无尘钻机。 |
| | | 交通扬尘降尘处理：公路养护、洒水降尘、运输车辆密封和保洁、公路绿化。 |
| | | 其它作业面降尘措施：自动喷淋+洒水车喷洒降尘、加强个人防护、施工区绿化。 |
| | | 地下洞室开挖降尘措施：设置通风、排烟装置和水喷淋装置、洒水除尘。 |
| | 声环境保护措施 | 大坝基坑开挖噪声：严格控制施工时间、爆破避开夜间作业，加强车辆和设备的维修保养 |
| | | 混凝土拌和系统噪声：采购具有降噪功能的设备，安装隔声窗和消声器 |

| 措施分类 | 措施分类 | 措施内容 |
| --- | --- | --- |
| | | 砂石料加工系统噪声：采取聚氨酯筛网代替原有的金属筛网，安装隔声罩和消声器 |
| | | 交通噪声源强：设置限速标志、夜间通行时禁鸣喇叭、加强道路和车辆的维修保养 |
| | | 爆破噪声源强：避开深夜爆破、爆破前提示警戒 |
| | | 传播途径控制：采取道旁绿化措施 |
| | | 敏感受体保护：安装隔声窗、设置限速和禁鸣标志、发放个人防护用品 |
| | 固体废弃物处理措施 | 生活垃圾：配备垃圾桶和垃圾车收集生活垃圾，后运至垃圾热解站处理。 |
| | | 建筑垃圾和辅助企业生产垃圾：回收利用，无回收价值的运至弃渣场。 |
| 水生生态保护措施 | 施工期及蓄水初期鱼类保护措施 | 宣传教育，设置水生生物保护警示牌。<br>加强施工管理，生活污水和施工废水达标排放。<br>建立鱼类及时救护机制，下闸蓄水避开鱼类繁殖期。 |
| | 鱼类栖息地保护 | 将定曲作为鱼类栖息地加以保护。<br>开展定曲古学水电站连通性恢复、生境修复、生态调度、加强渔政管理、开展环境监测。 |
| | 过鱼设施 | 采用升鱼机作为过鱼设施。<br>主要由集鱼系统、提升运输系统、放流系统和控制监测系统组成。 |
| | 鱼类增殖放流 | 旭龙水电站单独建设鱼类增殖放流站，放流规模为每年 50 万尾。<br>对放流鱼苗进行标记，建立回收及监测网络，评估增殖放流效果。 |
| | 科学研究 | 开展库区特有鱼类驯养繁殖技术研究、水库鱼类种群变动趋势研究等。 |
| | 渔政管理 | 加强渔政队伍建设，严格执行禁渔期和禁渔区制度。<br>限制渔具、渔法、渔具类型及其规格，加强水污染防治工作。<br>严格管理，控制生物入侵。 |
| 陆生生态保护措施 | 陆生动植物保护措施 | 优化施工布置，减少占地，加强施工管理，降低工程施工对陆生动植物的破坏。<br>宣传教育、设立陆生生物保护警示牌、加强野生动物救护。<br>结合水土保持与景观恢复对施工迹地进行植被恢复等。 |
| | 陆生保护目标保护措施 | 对金荞麦采取迁地保护措施。<br>在业主营地设立重点保护植物和狭域特有种的种质资源园。<br>加强对重点保护野生动物保护的宣传力度。 |
| 初期蓄水及运行期环境保护措施 | 运行期水质保护措施 | 蓄水前完成库底卫生清理。<br>保护库周植被，严格按水质目标进行管理，禁止向库区排放污水。 |
| | 下游河道生态流量保障措施 | 施工截流期间，通过导流洞过流。<br>导流洞转换期间，依次通过低导流洞、旁通洞泄流。<br>初期蓄水期间，通过中孔控泄。<br>运行期，通过机组过流。 |

| 措施分类 | 措施分类 | | 措施内容 |
|---|---|---|---|
| | 水温影响减缓措施 | | 抬高取水口底板高程，改善水库低温水下泄影响 |
| | 气体过饱和影响减缓措施 | | 控制泄洪发生频率，优化泄洪时间控制与泄洪过程，优选泄洪建筑物，合理分配泄洪流量与发电流量 |
| | 电厂及业主营地废污水处理措施 | | 营地生活污水沿用施工期生活污水处理及回用设施进行处理。<br>电站机组设置集油装置，收集油污。 |
| | 运行期生活垃圾 | | 集中收集，运至奔子栏垃圾填埋场处理。 |
| 环境地质影响减缓措施 | 泄洪雾化影响减缓措施 | | 对水垫塘、二道坝和影响区岸坡部位进行处理和防护 |
| 社会环境保护措施 | 交通影响减缓措施 | | 加强交通管理；增设警示牌；加强车辆维护和保养。 |
| | 民族文化和宗教保护措施 | | 加强施工人员宣传教育与培训，规范施工人员行为，与工程区居民和谐相处 |
| | 下游河段安全保障措施 | | 设立安全警示牌。<br>建立和维持电站运行情况通报机制，加强安全教育。 |
| | 移民安置区环境保护措施 | 农村移民安置 | 施工废水混凝土拌和废水采用中和沉淀池，采用隔油沉淀工艺处理机械冲洗废水。<br>采用化粪池处理生活污水<br>生活垃圾分类收集、分拣后用作农肥。 |
| | | 专项设施复建 | 施工期废水采用沉淀池沉淀后回用。<br>无雨日洒水降尘。<br>夜间禁止施工、加强宣传教育保护生态环境。 |
| 环境监测 | 施工期环境监测 | | 施工期水文情势监测。<br>施工期废污水监测。<br>施工期河流水质监测。<br>施工期地下水观测。<br>环境空气质量监测。<br>声环境监测。 |
| | 运行期环境监测 | | 初期蓄水及运行期水文情势监测。<br>库区及坝下水质监测。<br>生活污水水质监测。<br>库区水温观测。<br>坝下溶解性气体监测。 |
| | 生态监测计划 | | 陆生生态监测。<br>水生生态监测。 |

## 9.2环保措施施工条件

### 9.2.1 交通条件

环保工程实施区域包括项目建设区及直接影响区，上述地区均有场内交通公路贯通，进而与对外交通公路衔接，交通方便，具备实施条件。

### 9.2.2 施工辅助企业

本工程设有砂石骨料加工系统、混凝土拌和系统、机修保养系统、综合加工系统以及风、水、电等施工辅助设施，环保工程可依托上述施工企业满足相应施工要求。

### 9.2.3 材料供应

环保工程所需的石料、电、水、水泥、油料等均由主体工程一并提供，植物措施材料从当地农林部门购进。

## 9.3环保措施实施方法

### 9.3.1 工程措施

工程措施主要包括挡渣(墙)堤工程、截排水工程、土地整治、浆砌石护坡、环保专项措施等工程。

（1）挡(挡)渣堤(墙)

施工工艺包括基础开挖、墙身砌(浇)筑等。

拦渣堤基础土方开挖采用挖掘机配合人工开挖，石方开挖以手风钻或气腿钻为主，出渣采用手推车或拖拉机。

浆砌石挡土墙所需块石料从开挖料或弃石中人工捡集，人工修整并砌筑浆砌石，水泥砂浆由小型拌合机械现场拌制或从混凝土生产系统拌制后运至施工现场，

工序包括块石选取、石料修整、冲洗、拌浆、人工砌筑、勾缝等。

混凝土挡墙采用分段浇筑，由 3m$^3$ 搅拌车运送混凝土至浇筑点，由混凝土泵泵送入仓，平仓振捣，工序有模板制作、安装、拆除，凿毛、清洗、浇筑、养护等。土石方开挖料除部分用于回填外，大部分作为弃渣处理，就近运至规划的弃渣场。

（2）截排水沟

截排水工程主要包括截水沟、排水沟以及等措施，施工工艺有基础开挖、沟身砌(浇)筑、砂砾石垫层等。

沟槽开挖：一般采用人工开挖沟槽的方法。先挂线，使用镐锹挖槽，抛土并倒运至沟槽两边 0.5m 以外，同时修整底、边并拍实，规模较大且具备施工条件时采用人工配合机械开挖，开挖的土石方就近堆放并平整。

浆砌石截排水沟砌筑：浆砌石截排水沟沟身砌筑所需片石料可从开挖料中人工捡集，并辅以人工胶轮车或 10t 自卸汽车运输，采用人工修整并砌筑浆砌片石的方法，工序包括块石选取、石料修整、冲洗、拌浆、人工砌筑、勾缝等。

砂砾石垫层施工：主要用于马道排水沟的垫层，工序有摊铺、找平、压实和修坡等。

（3）土地整治

土地整治工程主要包括场地平整、覆土、土地整治等。

施工迹地施工结束之后，造林之前采用 74kW 推土机进行场地平整。然后采用 5t～10t 自卸汽车运输土料至施工现场，采用 74kW 推土机推土，首先推松、运送，然后卸除，最后拖平、空回，覆土土源来自前期剥离的表土层。需复耕的地块在覆土后，采用畜力全面整地的方法，人工施肥，畜力翻耕 0.2～0.3m，对作业带全面翻耕整地。

（4）浆(干)砌石护坡

浆(干)砌石护坡所需片石料可从开挖料中人工捡集，并辅以人工胶轮车或 10t 自卸汽车运输，采用人工修整并砌筑浆砌片石的方法，工序包括块石选取、石料修整、冲洗、拌浆、人工砌筑、勾缝等。

（5）环保专项措施

生产废水处理设施、生活污水处理设施、警示牌、鱼类增殖放流站、过鱼设

施等专项工程施工由专业单位按相关技术规程和施工规范实施。

### 9.3.2 植物措施

植物措施实施主要涉及栽植乔木、覆土、灌草绿化等内容。

（1） 覆土施工

造林之前用 74kW 推土机进行覆土平整，覆土土源来自项目区收集的表土，采用 10t 自卸汽车运输土料。

（2）撒播灌草采用人工撒播。

（3） 栽植乔木采用人工栽植。

### 9.3.3 临时措施

临时措施主要包括临时排水、临时挡护等措施。

（1）临时排水

临时排水主要指截排水沟。施工方法与施工工艺与截排水工程大致相同，只开挖不衬砌，沟壁和沟底夯实。

（2）临时挡护

主要为临时材料防护、表土挡护及覆盖，采用彩钢板、钢筋石笼和苫布进行挡护。材料购买后人工加工、砌筑、覆盖。

### 9.3.4 其他措施

本工程其它环保措施在实施过程中，施工单位应严格按照各项环保措施技术要求和技术规范进行施工，环保措施资金到位，并加强环境管理和施工监理的力度，使各项环保措施按设计要求实施，做到“三同时”。

环境监测承担单位应是具有国家质量技术监督部门确认的监测机构，以保证监测数据的可靠性和监测结果的科学性。

环境监理机构可委托具有相关资质和工作经验、技术力量较雄厚的单位承担。

## 9.4环保措施实施进度计划

旭龙水电站施工总工期为 8 年 2 个月（98 个月），其中施工准备期 1 年 6 个月（18 个月），主体工程施工期 6 年 6 个月（78 个月），工程完建期 2 个月；首台机组发电工期 8 年（96 个月）。工程筹建期 2 年未计入总工期。以上述施工进度为控制，同时结合各项环保措施的特点，按照“三同时”原则，制定环保措施进度计划，详见表 9.4-1。

表 9.4-1　旭龙水电站环境保护与水土保持措施实施进度计划

| 序号 | 项目及措施 | 实施进度 | | | | | | | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 筹建期 | 施工期 | | | | | | | | 运行期 | |
| | | | 第 1 年 | 第 2 年 | 第 3 年 | 第 4 年 | 第 5 年 | 第 6 年 | 第 7 年 | 第 8 年 | 第 9 年 | | |
| 一 | 施工期环境保护措施 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 地表水环境保护措施 | | | | | | | | | | | 各废水处理设施与相应生产设施同时建成投入使用 |
| 1.1 | 基坑排水处理 | | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | | |
| 1.2 | 砂石料冲洗废水处理 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | | |
| 1.3 | 混凝土系统废水处理 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | | |
| 1.4 | 含油废水处理 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | 运行期沿用该处理措施 |
| 1.5 | 生活污水处理 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | 运行期沿用该处理措施 |
| 2 | 地下水影响减缓措施 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | 地下工程施工全过程采取相应措施；运行后仍需观测 |
| 3 | 环境空气保护措施 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | | 筹建第 1 年完成措施建设和设备配置 |
| 4 | 声环境保护措施 | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | ——— | | |

| 序号 | 项目及措施 | 实施进度 | | | | | | | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 筹建期 | 施工期 | | | | | | | | 运行期 | |
| | | | 第 1 年 | 第 2 年 | 第 3 年 | 第 4 年 | 第 5 年 | 第 6 年 | 第 7 年 | 第 8 年 | 第 9 年 | |
| 5 | 固体废弃物处置措施 | | | | | | | | | | | 筹建期完成措施建设和设备配置；运行期沿用该处理措施 |
| 二 | 水生生态保护措施 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 施工期及蓄水初期鱼类保护措施 | | | | | | | | | | | 筹建第 1 年完成措施建设和设备配置 |
| 2 | 鱼类栖息地保护 | | | | | | | | | | | 工程截流后即开始实施 |
| 3 | 过鱼设施 | | | | | | | | | | | 与主体工程同步建成与运行 |
| 4 | 鱼类增殖放流 | | | | | | | | | | | 工程蓄水前建成并投入试运行 |
| 5 | 科学研究 | | | | | | | | | | | 立即着手开展相关工作 |
| 6 | 渔政管理 | | | | | | | | | | | 贯穿于工程建设与运行全过程 |
| 三 | 陆生生态保护措施 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 陆生动植物保护措施 | | | | | | | | | | | 贯穿于工程建设与运行全过程 |
| 2 | 重点保护植物保护措施 | | | | | | | | | | | 贯穿于工程建设与运行全过程 |

| 序号 | 项目及措施 | 实施进度 | | | | | | | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 筹建期 | 施工期 | | | | | | | | 运行期 | |
| | | | 第 1 年 | 第 2 年 | 第 3 年 | 第 4 年 | 第 5 年 | 第 6 年 | 第 7 年 | 第 8 年 | 第 9 年 | |
| 3 | 重点保护野生动物保护措施 | | | | | | | | | | | 工程开始蓄水后开展 |
| 四 | 初期蓄水及运行期水环境保护措施 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 库底卫生清理 | | | | | | | | | | | 分 2 期开展,分别在截流前和蓄水前完成 |
| 2 | 下游河道生态流量保障措施 | | | | | | | | | | | |
| 五 | 环境地质影响减缓措施 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 泄洪雾化影响减缓措施 | | | | | | | | | | | 试运行后开始加强观测 |
| 六 | 社会环境保护措施 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 交通影响减缓措施 | | | | | | | | | | | 贯穿于施工期全过程 |
| 2 | 民族文化和宗教保护措施 | | | | | | | | | | | 贯穿于施工期和移民安置全过程 |
| 3 | 下游河段安全保障措施 | | | | | | | | | | | 第一台机组发电之前完成措施建设和设备配置 |
| 七 | 移民安置环境保护措施 | | | | | | | | | | | |
| 八 | 环境监测 | | | | | | | | | | | |

| 序号 | 项目及措施 | 实施进度 | | | | | | | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 筹建期 | 施工期 | | | | | | | | 运行期 | |
| | | | 第 1 年 | 第 2 年 | 第 3 年 | 第 4 年 | 第 5 年 | 第 6 年 | 第 7 年 | 第 8 年 | 第 9 年 | |
| 1 | 施工期环境监测 | | | | | | | | | | | 贯穿于施工期全过程 |
| 2 | 运行期环境监测 | | | | | | | | | | | 初期蓄水后开始开展 |
| 3 | 生态监测 | | | | | | | | | | | 施工前、蓄水前及试运行后分别进行监测，未标示施工前本底监测进度 |

# 10环境保护费用概算及经济损益分析

## 10.1 环境保护投资概算

### 10.1.1编制依据

（1）可再生定额[2014]54 号颁布的《水电工程设计概算编制规定（2013 年版）》、《水电工程费用构成及概（估）算费用标准（2013 年版）》；

（2）可再生定额[2011]36 号文颁布的《水电工程投资估算编制有关规定（试行）；

（3）可再生定额[2016]25 号文发布的《关于建筑业营业税改征增值税后水电工程计价依据调整实施意见》；

（4）可再生定额[2008]5 号文颁布的《水电建筑工程概算定额（2007 年版）》；

（5）国家经济贸易委员会[2003]第 38 号文《水电设备安装工程概算定额》；

（6）水电规造价[2004]0028 号文《水电工程施工机械台时费定额》；

（7）国家计委、建设部计价格（2002）10 号文《工程勘察设计收费标准》（参照使用）；

（8）发改价格[2006]1352 号文《水利、水电、电力建设项目前期工作工程勘察收费暂行规定》。

### 10.1.2编制原则

（1） 环境保护作为工程建设的一项重要内容，其费用构成、估算依据、价格水平年与主体工程一致，价格水平年为 2019 年第 1 季度。

（2）主体工程本身具有环境保护措施费用列入主体工程概算，本概算不再重复计列。

（3） 实施管理费、技术培训费、监理费和基本预备费等项目采用投资×费率的方法计算，并按照实际需要进行调整。

（4） 本概算仅包括建设期环保费用和试运行期部分环保设施运行、监测、

管理及研究费用。

## 10.1.3 费用构成

环境保护投资分为枢纽建筑物环境保护工程费用、建设征地和移门安置环境保护工程费用、独立费用以及基本预备费 4 项。

枢纽建筑物环境保护工程费包括水环境保护工程费、大气环境保护工程费、声环境保护工程费、固体废物处置工程费、陆生生态保护工程费、水生生态保护工程费、环境监测工程费及其他费。

独立费用包括项目建设管理费、科研勘察设计费以及其他税费等。

## 10.1.4 基础价格

旭龙水电站环境保护措施中的建筑工程基础单价（包括人工预算单价、施工机械台时费、施工用风、水、电价格、主要材料单价等）均按照 2019 年第 1 季度价格水平，植物工程中的苗木、草籽等价格以工程所在地（主要为四川省得荣县和云南省德钦县）的市场实际价格为准。

### 10.1.4.1 人工预算单价

人工预算单价按《水电工程费用构成及概（估）算费用标准（2013 年版）》有关规定执行。云南省德钦县按规定属于六类边远地区，四川省得荣县属五类边远地区，人工预算单价取二者平均，人工预算单价汇总见表 10.1-1。

**表 10.1-1 人工预算单价汇总表 单位：元/工时**

| 定额人工等级 | 德钦县（六类地区） | 得荣县（五类地区） | 综合单价 |
|---|---|---|---|
| 高级熟练工 | 17.82 | 16.56 | 17.19 |
| 熟练工 | 13.55 | 12.51 | 13.03 |
| 半熟练工 | 10.87 | 9.97 | 10.42 |
| 普工 | 9.18 | 8.36 | 8.77 |

#### 10.1.4.2 施工机械台时费

施工机械台时费采用《水电工程施工机构台时费定额》（水电规造价[2004]028 号）计算。同时根据发布的《关于建筑业营业税改征增值税后水电工程计价依据调整实施意见》（可再生定额[2016]25 号）中有关规定：一类费用中基本折旧费除以 1.17 调整系数，设备修理费除以 1.11 调整系数，安装拆卸费不做调整。

#### 10.1.4.3 施工用水、用电、用风价格

环保工程采用主体工程施工的用水、用电、用风预算价格。

（1）施工用电预算价格

施工供电按照电网供电 95%和柴油发电机供电 5%计算，由云南省电网供电。经综合计算，施工用电预算价格为 0.73 元/kW•h。

（2）施工用水预算价格

施工用水预算价格本阶段按 1.18 元/$m^3$ 计算。

（3） 施工用风预算价格

施工用风采用电动空压机，考虑高程系数取 1.25，预算价格本阶段按 0.18 元/$m^3$ 计算。

### 10.1.5 工程措施与植物措施单价

工程措施与植物措施单价均由直接费、间接费、企业利润和税金组成，即：

工程措施或植物措施单价＝直接费+间接费+企业利润+税金

a) 直接费

直接费由基本直接费、其他直接费和现场经费组成。

1) 基本直接费

包括人工费、材料费和施工机械使用费。

人工费＝定额劳动量(工时)×人工预算单价(元/工时)×人工海拔调整系数

材料费＝定额材料用量×材料预算单价

机械使用费＝定额机械使用量(台时)×施工机械台时费(元/台时)×机械海拔

调整系数

2) 其他直接费

其他直接费＝直接费×其他直接费率

3) 现场经费

现场经费＝直接费×现场经费费率

b) 间接费

间接费＝直接费×间接费费率

c) 企业利润

企业利润＝(直接费+间接费)×企业利润率

d) 税金

企业利润＝(直接费+间接费+企业利润)×综合税率

工程措施与植物措施单价各项费率详见表 10.1-2。

表 10.1-2　工程及植物措施费率表　　单位：%

| 序号 | 费率名称 | 工程措施 | | | | | 植物措施 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 土方工程 | 石方工程 | 混凝土工程 | 基础处理工程 | 其它工程 | |
| 1 | 其它直接费率 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 |
| 2 | 现场经费 | | | | | | 4 |
| 3 | 间接费率 | 13.30 | 22.40 | 16.90 | 19.04 | 18.29 | 21.53 |
| 4 | 企业利润 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 5 | 税　率 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |

## 10.1.6 施工辅助措施费

临时防护措施投资＝临时防护措施单价×工程量。

其它施工辅助工程投资按工程措施投资、植物措施投资及临时防护措施投资之和的 3.0%计算。

## 10.1.7 环境保护投资

根据报告书推荐的环境保护措施方案，旭龙水电站环境保护专项投资共计 42472.50 万元，环境保护专项投资概算见表 10.1-3。

表 10.1-3　旭龙水电站环境保护专项投资概算表

| 序号 | 项目 | 单位 | 数量 | 单价(元) | 费用(万元) | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **枢纽建筑物费用** | | | | | **42472.50** | |
| 一 | **水环境保护工程** | | | | **9028.50** | |
| 1 | 生产废水处理 | | | | 8417.33 | |
| 1.1 | 砂石料加工系统废水处理 | 项 | 1 | | 8058 | |
| 1.1.1 | 洒茂顶砂石加工系统生产废水处理 | | | | 5227 | |
| 1.1.2 | 利用料砂石加工系统生产废水处理 | | | | 2831 | |
| 1.2 | 混凝土系统生产废水处理 | | | | 250.3 | |
| 1.2.1 | 高混凝土生产系统生产废水处理 | | | | 166.5 | |
| 1.2.2 | 低混凝土生产系统生产废水处理 | | | | 83.8 | |
| 1.3 | 含油废水处理 | 项 | 1 | | 59.05 | |
| 1.4 | 基坑排水处理 | 项 | 1 | | 50 | |
| 2 | 生活污水 | | | | 561 | |
| 2.1 | 1#施工营地生活污水处理 | 项 | 1 | | 115 | |
| 2.2 | 2#施工营地生活污水处理 | 项 | 1 | | 140 | |
| 2.3 | 3#施工营地生活污水处理 | 项 | 1 | | 229 | |
| 2.5 | 业主营地生活污水处理 | 项 | 1 | | 77 | |
| 3 | 库区水环境保护 | | | | 50 | |
| 3.1 | 打捞船 | 艘 | 1 | 500000 | 50 | 运行费计入电站运行费 |
| 二 | **陆生生态保护措施** | | | | **758** | |
| 1 | 陆生生物保护警示牌 | 个 | 20 | 2000 | 4 | |
| 2 | 宣传教育 | 年 | 9 | 60000 | 54 | |
| 3 | 植物移栽 | 项 | 1 | 5000000 | 500 | 估列 |
| 4 | 野生动物救护 | 项 | 1 | 2000000 | 200 | 估列 |
| 三 | **水生生态保护措施** | | | | **28074** | |
| 1 | 施工期及蓄水初期鱼类保护措施 | 项 | 1 | | 150 | 估列 |
| 2 | 鱼类栖息地保护 | 项 | 1 | | 8744 | |

| 序号 | 项目 | 单位 | 数量 | 单价(元) | 费用(万元) | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 过鱼设施 | 项 | 1 | | 10500 | |
| 4 | 鱼类增殖放流 | 项 | 1 | | 8000 | |
| 6 | 科学研究 | 项 | 1 | | 500 | |
| 7 | 渔政管理 | 年 | 9 | 200000 | 180 | |
| **四** | **环境空气保护措施** | | | | **775.2** | |
| 1 | 洒水车 | 台 | 2 | 250000 | 50 | |
| 2 | 运行费 | 月 | 98 | 20000 | 196 | |
| 3 | 人工清扫费 | 人月 | 1764 | 3000 | 529.2 | |
| **五** | **声环境保护工程** | | | | **6** | |
| 1 | 限速标志 | 个 | 6 | 5000 | 3 | |
| 2 | 禁鸣标志 | 个 | 6 | 5000 | 3 | |
| **六** | **固体废弃物处理工程** | 项 | 1 | | **922.8** | |
| 1 | 垃圾桶 | 个 | 106 | 600 | **6.36** | |
| 2 | 垃圾清运处理费 | t | 9287 | 50 | **46.44** | |
| 3 | 微型密封式垃圾车 | t | 1 | 200000 | **20** | |
| 4 | 垃圾热解站建设 | 项 | 1 | | 400 | |
| 5 | 垃圾热解站运行费 | 项 | 1 | | 450 | |
| **七** | **社会环境保护措施** | | | | **343** | |
| 1 | 人群健康保护措施 | 项 | 1 | | 300 | |
| 2 | 交通影响减缓措施 | | | | 15 | |
| 3 | 民族文化和宗教保护措施 | | | | 20 | |
| 4 | 下游安全预警措施 | | | | 8 | |
| **八** | **环境监测与调查** | | | | **2565** | |
| 1 | 施工期环境监测 | 项 | 1 | | 815 | |
| 2 | 运行期环境监测 | 项 | 1 | | 950 | |
| 3 | 生态监测 | 项 | 1 | | 800 | |
| **（二）建设征地与移民安置费用** | | | | | | |
| **合计** | | | | | **42472.50** | |

## 10.2 环境影响经济损益分析

本工程环境影响经济损益分析的目的是运用环境经济学原理，在考虑工程建设与生态环境、社会环境以及区域社会经济的持续、稳定、协调发展前提下，运用费用—效益分析方法对工程的环境效益和损失进行分析，从环保角度评判工程建设的合理性。

### 10.2.1 主要效益分析

（1）经济效益

旭龙水电站装机容量 2400MW，联合运行情况下，多年平均年发电量 103.19 亿 kW•h，保证出力 609MW。旭龙水电站的建坝条件、技术经济指标较好，可提供大量优质的电力电量，是我国能源资源优化配置——“西电东送”战略部署中的一个重要工程。按照电站测算的上网电价计算，工程建成发电后，预计每年可实现发电效益超 30 亿元。

（2）社会效益

随着旭龙水电站的建设，工程建设资金的投入等，将为区域经济发展创造良好的机遇，因本效益难以货币化，暂不计列。

建设期随着施工人员的大量进驻，施工人员的生活需求将主要由当地农产品及服务满足，这将促进当地农产品的生产和销售，同时消费需求的猛增将极大促进餐饮业、服务业、文化娱乐等第三产业的繁荣与发展。以施工人员每人每月平均消费 300 元计，施工高峰期人数 5265 人，施工期 98 个月，在工程施工期间，可使当地平均消费额每年增加施工期间可使当地消费额每年增加 1895 万元，施工期间共增加 15479 万元。

（3）环境效益

按照等效原则，采用替代法计算水电替代火电减少排污负荷所带来的环境经济效益。按替代相同规模的火电测算，旭龙水电站每年可节约标准煤 295 万 t，减排二氧化碳 735 万 t、二氧化硫 22.1 万 t 和氮氧化物 11.1 万 t，环保效益显著。按同等规模火电厂脱硫计算，每 kw 脱硫投资为 700 元左右，除去 1t 二氧化硫的

湿法和干法运行费分别为 2800 元、5600 元，按平均值 4200 元/t 计算，每年仅脱硫运行费可节约 92820 万元。减少的二氧化碳、氮氧化物排放量和节约煤炭资源等产生的间接效益，本报告暂不计列。

### 10.2.2 环境损失分析

以减缓工程对环境的不利影响或恢复、补偿环境效益所采取的保护和补偿措施费用作为反映工程影响损失大小的尺度，计算其损失值。采用“恢复费用法”，以减缓不利环境影响或达到恢复、补偿效果所需费用进行计算。

根据旭龙水电站工程及工程区域环境特点，为减缓、恢复或补偿不利环境影响所采取的环境保护措施主要包括以下内容：水环境保护措施、陆生生态保护措施、水生生态保护措施、环境空气保护措施、声环境保护措施、固体废弃物处置措施、社会环境保护措施、环境监测措施等。在进行技术经济分析或多方案比选基础上，提出了各项措施推荐方案及相应费用概算。旭龙水电站工程环境保护专项投资总费用为 42472.50 万元，作为本工程可货币化环境损失。

### 10.2.3 环境影响损益分析

根据以上分析，旭龙水电站工程具有较好的经济效益、社会效益和环境效益，为减免不利环境影响所采取的环保总费用为 42472.50 万元，在各项环保措施得到落实的情况下，其费用产生的环境效果较为明显，可较大程度地减免因工程产生的环境损失。因此从环境损益及环境经济角度分析，工程的建设是可行的。

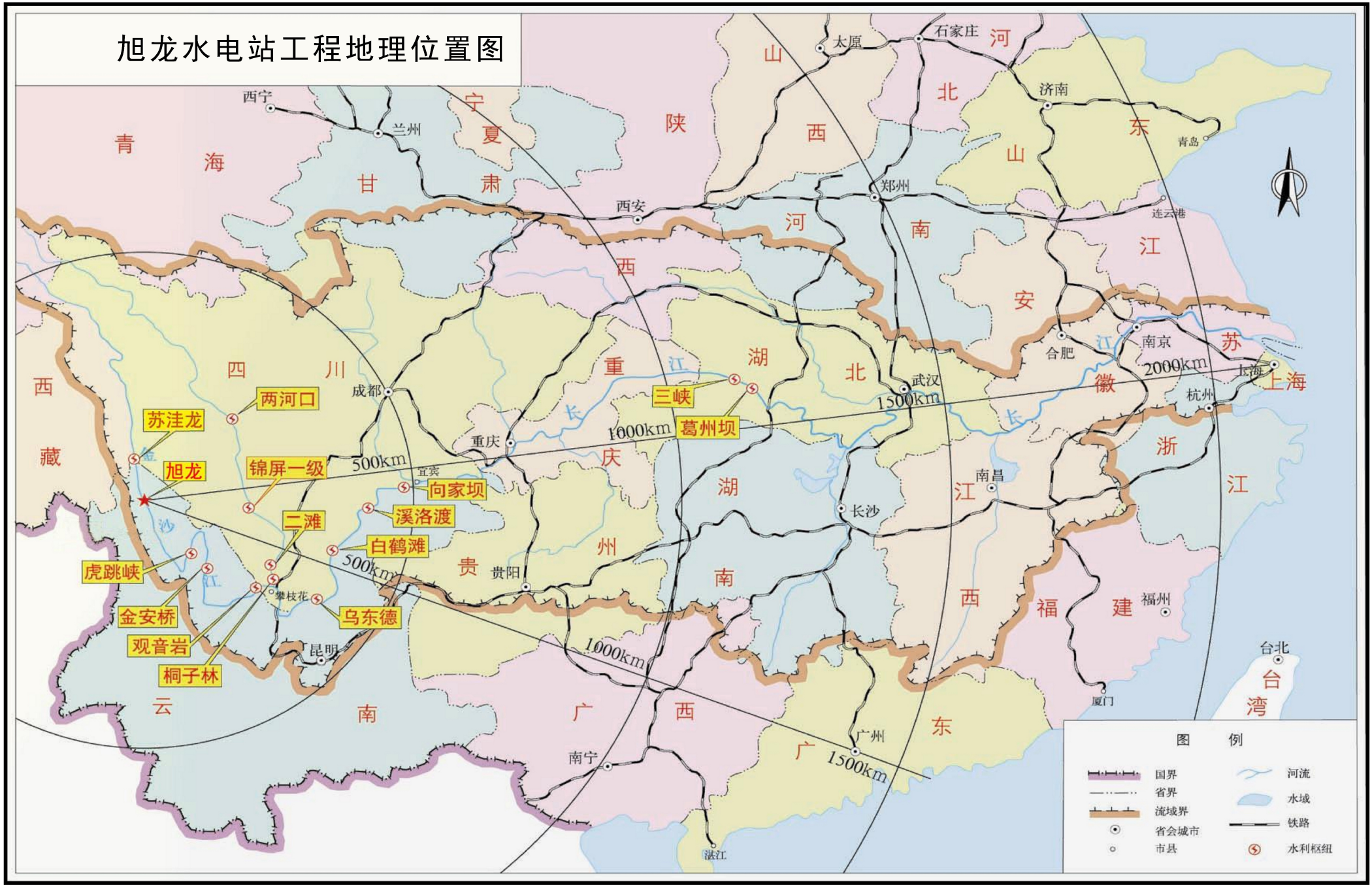
# 11评价结论

旭龙水电站工程符合国家“可持续发展”和“西电东送”战略，对实现全国能源平衡，缓解东、中部地区电力供需矛盾具有战略意义。工程建设在合理开发利用金沙江水能资源，完善上游河段治理开发的梯级衔接中具有重要作用，成为综合治理开发金沙江的重要组成部分。

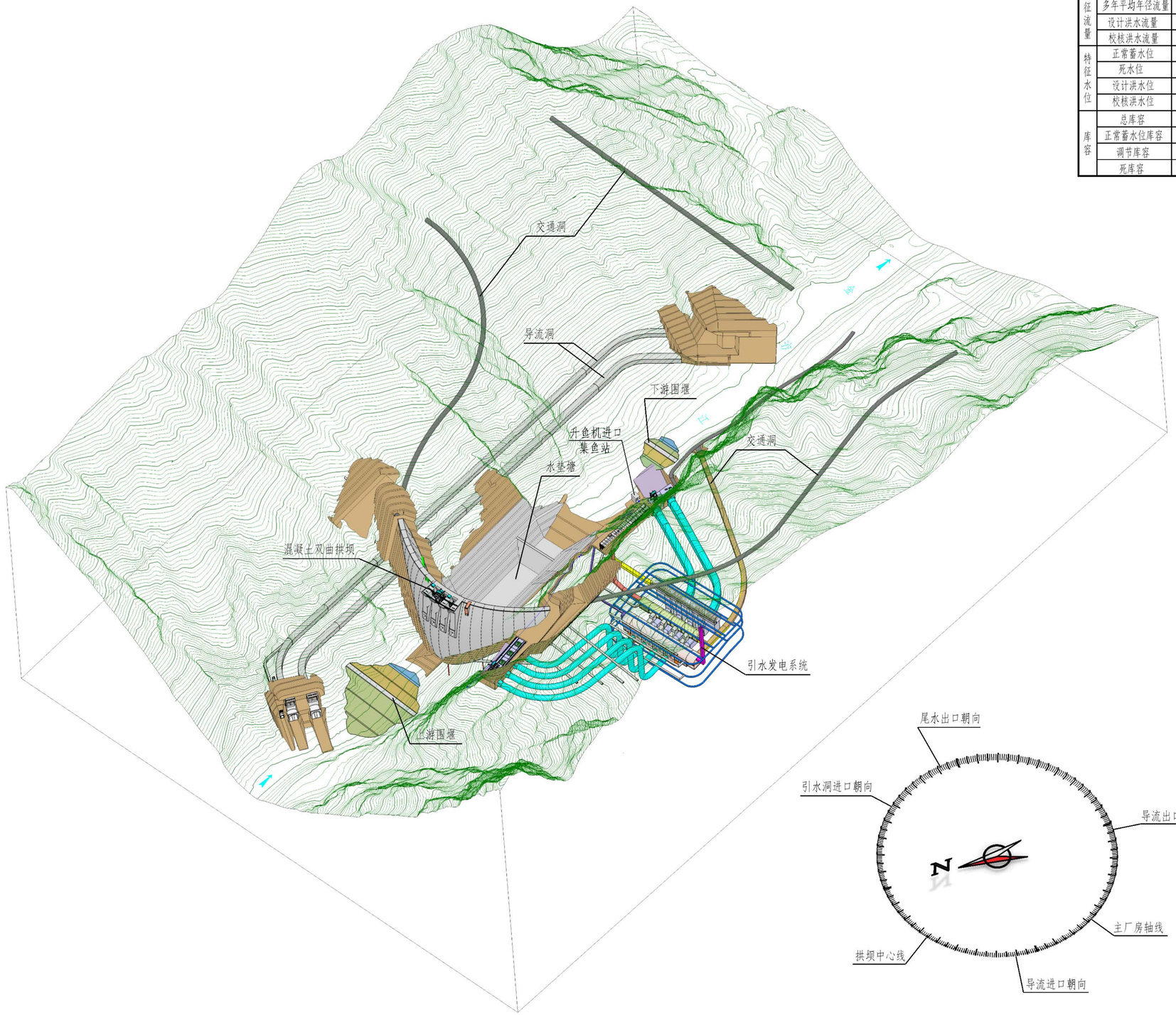
工程实施后，可缓解地区能源供需矛盾和煤炭运输压力，减轻华中、华南等地区的环境污染，不仅是中、东部地区国民经济发展的必然需要，而且对促进全国能源结构的优化调整也具有重要作用。同时工程建设可减少下游泥沙淤积，为库区区间通航创造条件，有利于地区经济和社会的可持续发展。水库蓄水后水面扩大，蒸发量加大，增加空气湿度，可改善库区干热河谷小气候，有利于库区生态与环境的改善。水库淹没区经济基础薄弱，人民生活水平较低，电站兴建后，通过搬迁和实行开发性移民政策等，可改善基础设施，带动相关产业的发展。

旭龙水电站建设在取得巨大综合利用效益的同时，也对环境带来一定不利影响，主要表现在：工程建成后，将进一步加剧金沙江上游原有的鱼类阻隔影响，使鱼类生境片段化，将降低鱼类种群间遗传基因交流的机会，削弱种群生存力。工程施工和移民迁建，使当地植被受到损坏，在短期内将加剧工程区的水土流失；工程施工将产生废水、废气、废渣、噪声等，对周围环境将产生一定不利影响；水库淹没造成耕地资源损失，土地承载压力加大。

工程以有利影响为主，除耕地淹没损失为不可逆影响外，其他不利影响均可采取措施予以减缓或消除。项目实施不存在重大环境制约因素，从环境保护角度分析，工程建设可行。


旭龙水电站工程地理位置图
太原
石家庄
济南
青岛
西宁
兰州
郑州
西安
连云港
南京
合肥
武汉
杭州
上海
南昌
长沙
贵阳
昆明
南宁
广州
福州
厦门
台北
湛江
成都
重庆
攀枝花
宜宾
青海
甘肃
宁夏
陕西
山西
河北
山东
河南
江苏
安徽
湖北
湖南
江西
浙江
福建
广东
广西
贵州
云南
四川
西藏
台湾
重庆
金沙江
长江
苏洼龙
两河口
旭龙
锦屏一级
二滩
向家坝
溪洛渡
白鹤滩
乌东德
虎跳峡
金安桥
观音岩
桐子林
三峡
葛州坝
500km
1000km
1500km
2000km
图 例
国界
省界
流域界
省会城市
市县
河流
水域
铁路
水利枢纽

# 旭龙水电站枢纽布置轴测图







工程主要特性表

| 项目名称 | | 单位 | 数量或特征 |
|---|---|---|---|
| 特征流量 | 控制流域面积 | $km^2$ | 189540 |
| | 多年平均年径流量 | 亿$m^3$ | 313 |
| | 设计洪水流量 | $m^3$ | 9970(P=0.1%) |
| | 校核洪水流量 | $m^3$ | 11300(P=%0.02) |
| 特征水位 | 正常蓄水位 | m | 2302.00 |
| | 死水位 | m | 2297.00 |
| | 设计洪水位 | m | 2303.42 |
| | 校核洪水位 | m | 2305.89 |
| 库容 | 总库容 | 亿$m^3$ | 8.47 |
| | 正常蓄水位库容 | 亿$m^3$ | 7.81 |
| | 调节库容 | 亿$m^3$ | 0.80 |
| | 死库容 | 亿$m^3$ | 7.01 |

| 项目名称 | | 单位 | 数量或特征 |
|---|---|---|---|
| 大坝 | 坝　型 | | 混凝土双曲拱坝 |
| | 坝顶高程 | m | 2308.00 |
| | 最大坝高 | m | 213 |
| | 坝顶弧长 | m | 482.9 |
| | 坝基防渗型式 | | 灌浆帷幕 |
| 泄洪消能 | 表　孔 | m×m | 3-12×15 |
| | 中　孔 | m×m | 4-7×5 |
| | 消能方式 | | 混凝土水垫塘 |
| 动能指标 | 装机容量 | MW | 2400 |
| | 保证出力 | MW | 609 |
| | 多年平均发电量 | 亿kW·h | 103.19 |
| | 年利用小时数 | h | 4300 |
| 电站 | 型　式 | | 引水式地下厂房 |
| | 主厂房尺寸 | m×m×m | 208×29.9×78.1 |

说明：

1．采用1956年黄海高程，坝址独立坐标系；图中高程以m计，结构尺寸以cm计。

2．本套图共2张，请相互参见。

**长江勘测规划设计研究有限责任公司**

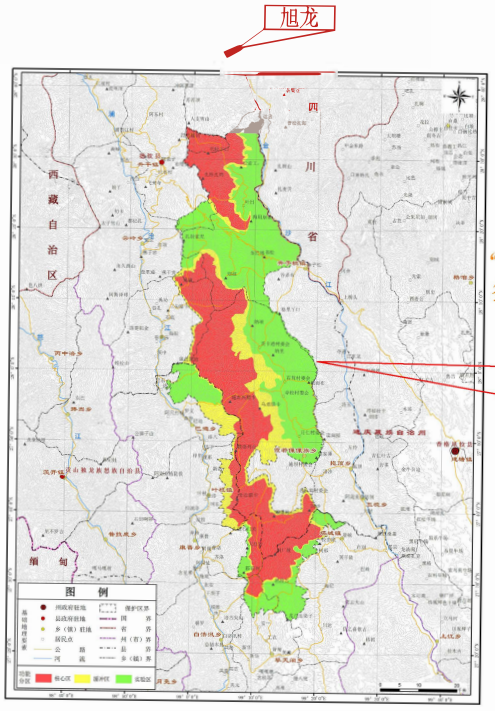
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 核准 | | | 可行性研究 | 设计 |
| 核定 | | | 水　工 | 部分 |
| 审查 | | | 金沙江上游旭龙水电站 | |
| 校核 | | | | |
| 设计 | | | 枢纽布置图（1/2） | |
| 制图 | | | | |
| 比例 | 如图 | | 日期 | 2019.06 |
| 设计证号 | A142000843 | | 图号 | 02 |

声明：未经授权，不得翻印（录）、传播或他用，对于侵权行为我公司将保留追究其法律责任的权利。

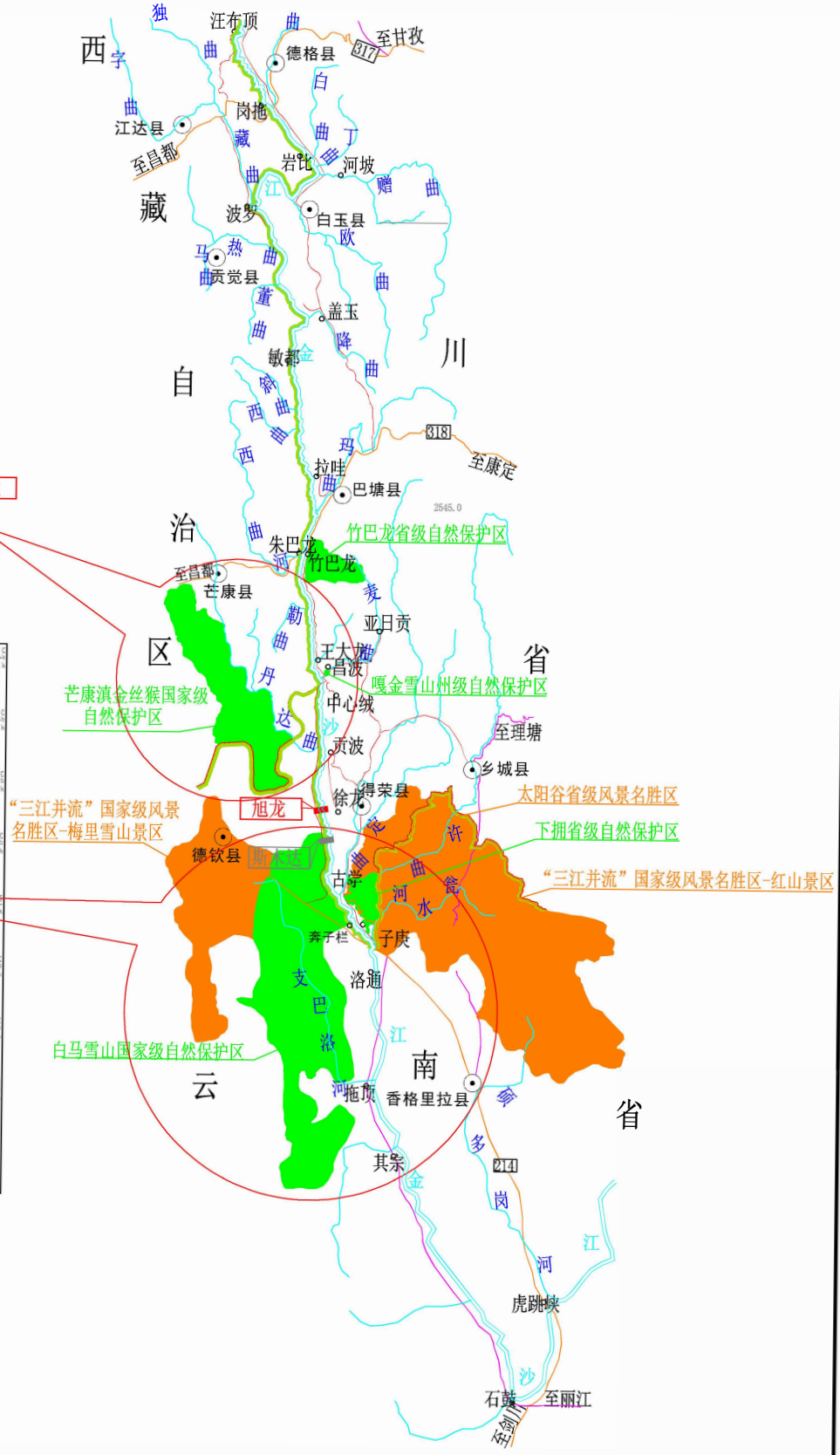
# 旭龙水电站工程环境敏感目标及外环境关系示意图




芒康滇金丝猴自然保护区功能分区图




白马雪山自然保护区功能分区图




## 图 例

- 省界线
- 国道及编号 318
- 省道
- 其他公路
- 初拟坝址
- 县城
- 乡镇所在地
- 河流
- 风景名胜区
- 自然保护区
- 核心区
- 缓冲区
- 实验区