

# 旭龙水电站施工总布置优化研究

吴楠<sup>1</sup>, 喻文振<sup>2</sup>, 陈曦<sup>2</sup>

(1. 国家能源集团金沙江旭龙水电有限公司, 四川 甘孜 627950; 2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**水电工程多位于深山峡谷, 地形地质条件复杂, 施工场地狭小, 建设周期长, 不可控因素多等。可研阶段开展了施工总布置规划, 但项目实施过程中建设单位需要结合实际条件组织对施工布置方案优化调整, 形成最终的施工总布置方案。笔者总结了旭龙水电站在施工总布置优化方面开展工作, 可为类似工程建设提供参考借鉴。

**关键词:**施工总布置; 场内交通; 渣场; 施工场地; 优化研究

**中图分类号:** TV511; TU733

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-2184(2024)02-0103-05

## Optimization Study of the General Construction Layout of Xulong Hydropower Station

WU Nan<sup>1</sup>, YU Wenzhen<sup>2</sup>, CHEN Xi<sup>2</sup>

(1. China Energy Investment Group Jinsha River Xulong Hydropower Co., Ltd., Ganzi Sichuan 627950;

2. Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan Hubei 430010)

**Abstract:** Hydropower projects are mostly located in deep mountains and the gorges with complex terrain and geological conditions, small construction sites, long construction periods and many uncontrollable factors. Although the general layout was carried out in the feasibility study stage of the project, the construction unit should organize optimization and adjustment of the construction layout scheme in the implementation process according to the actual situation to form the final scheme. This study summarizes the work of general construction layout optimization of Xulong Hydropower Station, which can provide reference for the construction of similar projects.

**Keywords:** General construction layout; Construction site transportation; Slag yard; Construction site; Optimization study

## 0 引言

水电工程施工总布置规划是施工组织设计的关键内容。不同于土木工程施工总布置, 水电工程多分布在高山峡谷地区, 地形陡峭, 地质条件复杂, 施工用地紧凑, 对施工总布置形成挑战。目前, 关于水电工程施工总布置研究方面, 许多学者开展了各种各样的研究。潘少华等<sup>[1]</sup>详细介绍了巴基斯坦卡洛特水电站施工总布置总体规划, 分析了影响施工布置的关键要素、制约条件, 充分考虑了环评、社评要求; 杨波等<sup>[2]</sup>通过方案比选研究了西藏拉洛水利枢纽工程施工总布置规划, 确定了渣场、料场、场内交通等布置情况; 朱卫军等<sup>[3]</sup>考虑施工场地情况分析银盘水电站施工总布置特点, 采用分区规划、统筹考虑的策略进行施工场地布置; 此外, 朱卫军等<sup>[4]</sup>还基于施工期环境保

护、弃渣规划、防洪排水规划开展了彭水水电站施工总体布置设计; 刘科等<sup>[5]</sup>从施工工厂布置、施工营地规划、场内主要交通道路布置与规划的角度详细阐述了乌东德水电站施工布置情况, 分析了电站施工布置的难点和要点; 范雄安<sup>[6]</sup>详细介绍了叶巴滩水电站施工总布置特点, 通过及时调整料场、道路布置完善了施工总布置。从上述研究可以看出, 现有的水电工程施工总布置报道较少考虑施工总布置的优化研究。笔者以旭龙水电站为例, 通过不同阶段施工总布置对比, 详细分析旭龙水电站施工布置优化情况, 为类似的工程提供参考。

## 1 可研阶段规划方案

### 1.1 工程概况

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, 水库正常蓄水位

2 302.00 m,最大坝高 213 m,装机容量 2 400 MW。枢纽工程由混凝土双曲拱坝、泄水建筑物、右岸地下引水发电系统及过鱼设施等组成。该电站 2020 年 8 月通过可研审查,2022 年 6 月核准开工,2023 年 11 月截流,计划 2029 年投产发电。旭龙水电站可研阶段左岸施工占地面积约 31.65 万 m<sup>2</sup>,右岸施工占地面积约 104.15 万 m<sup>2</sup>,施工总占地面积约 140.8 万 m<sup>2</sup>。

### 1.2 场地条件及布置原则

旭龙水电站枢纽区两岸山体雄厚,边坡高陡,江水面与两岸山顶相对高差在 2 000 m 以上,边坡存在大量不稳定块体,库区沿线地质灾害频发,施工安全问题突出。坝址上游库区仅有几处沿河滩地可作为施工场地,坝址下游左岸四川侧设有施工场地和交通条件,坝址下游右岸云南侧地势相对开阔,有一条地方四级道路从工区通过。施工区分属两个省,两岸土地政策、地方诉求不同,

给现场施工管理带来较大难度。旭龙水电站施工场地分布见图 1。



图 1 旭龙水电站施工场地分布

结合现场条件,可研阶段主要按照施工总布置原则进行施工总布置方案规划,施工总布置原则见图 2。

### 1.3 施工布置规划方案

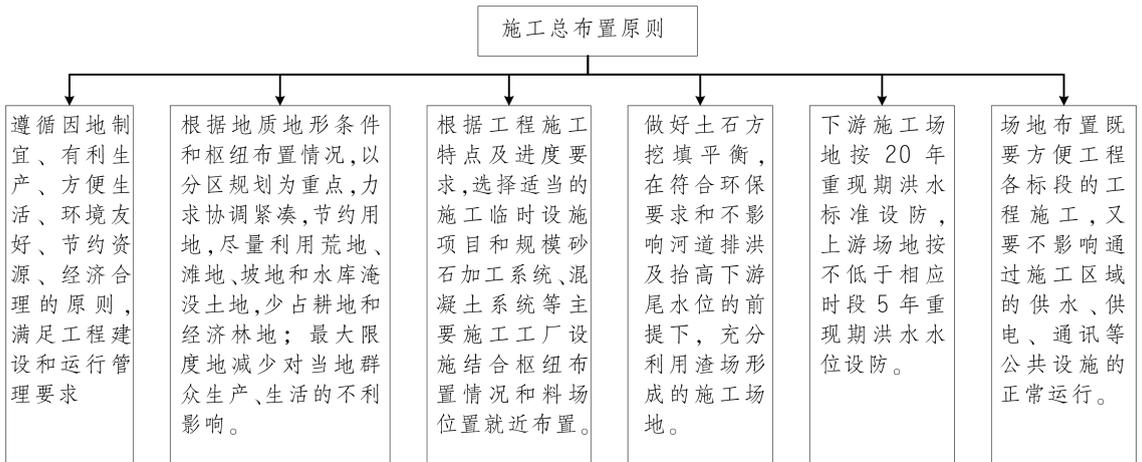


图 2 施工总布置原则

根据枢纽总布置格局,导流洞、料场布置在左岸,发电厂房等主要枢纽建筑物布置于右岸,左岸除布置有一个回用料渣场和表土堆场外,其余主要施工临时设施布置在坝址下游右岸 5 km 范围内地势开阔区域,施工工地面积总共 135.8 万 m<sup>2</sup>,其中左岸占地面积为 31.65 万 m<sup>2</sup>,右岸占地面积为 104.15 万 m<sup>2</sup>。旭龙水电站可研施工总布置图见图 3。

#### (1) 料源规划及料场布置

旭龙水电站填筑料全部利用开挖料,混凝土骨料利用开挖料 130 万 m<sup>3</sup>,不足部分从徐龙石料场开采补充。旭龙水电站规划 1 个人工骨料场,

位于坝址左岸上游约 700 m 处,提供花岗岩有用料约 350 万 m<sup>3</sup>,主要供应高线砂石系统。

#### (2) 砂石加工系统

旭龙水电站规划有两个砂石系统,低线砂石系统位于坝址右岸下游 1 km 处 2 170 m 低线场地,系统生产能力 345 t/h,主要供应低线混凝土系统;大坝砂石系统位于坝址右岸下游 1.5 km 处 2 300 m 高线场地,系统生产能力 1 080 t/h,主要供应高线混凝土系统。

#### (3) 混凝土系统

旭龙水电站规划有两个混凝土系统,低线混凝土系统位于低线砂石系统上游,配置 1 座 4×3 m<sup>3</sup>

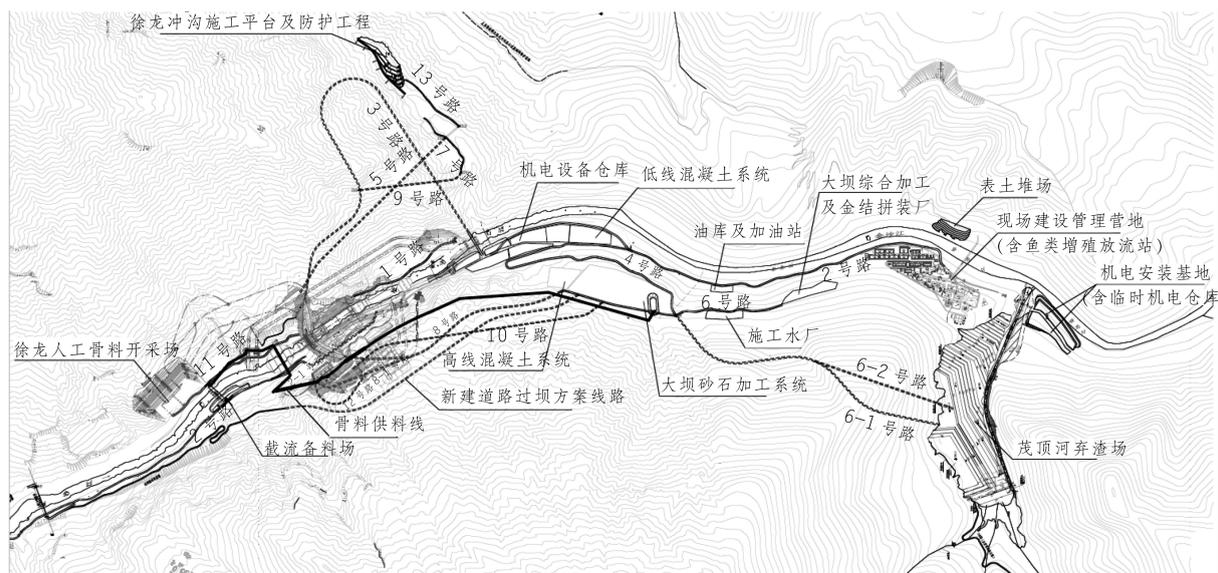


图 3 旭龙水电站可研施工总布置图

自落式拌和楼,预冷混凝土生产能力  $180 \text{ m}^3/\text{h}$ ,主要承担前期导流洞和水垫塘、引水发电系统混凝土生产任务;高线混凝土系统位于大坝砂石系统上游,配置 2 座  $4 \times 3 \text{ m}^3$  自落式拌和楼,预冷混凝土生产能力  $360 \text{ m}^3/\text{h}$ ,主要承担大坝混凝土生产任务。

#### (4) 场内道路

场内主要公路长度共计约  $35.76 \text{ km}$ ,其中隧道  $18.60 \text{ km}$ 。施工期左、右岸分别构成上、中、下三层主干路网,两岸交通由坝址上下游三座临时索道桥和一座永久大桥连接,坝址上、下游地方交通由右岸过坝道路连接。结合混凝土浇筑、基坑出渣以及大型设备运输需要,进场路、上坝路、出渣路面宽度按  $8 \text{ m}$ 、最大坡度按不超过  $6\%$  设计。

(5) 旭龙水电站两岸分属四川省和云南省,为满足属地管理需要,在两岸各设一个炸药库。

### 1.4 面临的问题

#### (1) 左岸道路是制约工程建设关键线路

坝址左岸四川境内没有道路连接,施工关键线路为跨江索道桥施工、导流洞及左岸道路施工、大江截流及边坡开挖、大坝混凝土浇筑及金结安装施工。左岸边坡开挖高度  $380 \text{ m}$ ,需要通过上坝隧洞、上缆机平台隧洞接施工便道到达边坡开口线,施工关键线路上的道路总长度  $4 \text{ km}$ ,其中隧洞  $3900 \text{ m}$ ,是制约边坡开挖的关键线路。

#### (2) 机电金结安装场地移民难度较大

机电金结安装场地位于坝址右岸下游  $4.7 \text{ km}$

处,占地面积约  $3.8 \text{ 万 m}^2$ ,场地内有大量民房需要拆迁,移民搬迁难度较大。

#### (3) 工区场地有限,弃渣场容量不足

旭龙水电站弃渣及备料总量约为  $1626 \text{ 万 m}^3$ ;需要弃渣及备料场容量为  $2061 \text{ 万 m}^3$ ,工程规划 8 处弃渣(存料)场,主弃渣场为茂顶河渣场,渣场容量约  $1670 \text{ 万 m}^3$ ,其余弃渣场容量有限,并且使用成本较高。同时受白格堰塞湖溃决影响,金沙江沿岸施工场地面积较前期规划大幅缩减。

#### (4) 砂石供料线路施工难度大,安全风险高

旭龙水电站人工骨料场位于坝址左岸上游,高线砂石加工和混凝土生产系统位于坝址右岸下游,半成品骨料采用胶带机运输,胶带机线路需要经上游围堰跨越金沙江,过江后提升  $220 \text{ m}$  从坝顶上部边坡穿越枢纽区,与大坝、电站进水口、开关站都存在空间交叉干扰,施工难度大,安全风险高。

## 2 施工布置优化

结合施工布置规划存在的一些突出问题,旭龙水电站工程开工后,建设单位组织各方现场查勘,对施工总布置方案进行了系统优化研究,目前场内施工总布置方案基本锁定,优化后施工用地面积  $118.9 \text{ 万 m}^2$ ,其中左岸占地面积为  $26.3 \text{ 万 m}^2$ ,右岸占地面积为  $87.6 \text{ 万 m}^2$ ,较可研阶段减少  $16.9 \text{ 万 m}^2$ ,优化后施工布局更加合理,减少了土地占用,降低了征地难度。

### 2.1 砂石系统及机电金结安装场地优化

旭龙水电站人工骨料场主要利用与坝址岩性

相同的花岗岩岩墙,枢纽区洞挖料主要包括上游混合岩、坝址花岗岩和下游斜长角闪岩,设计明确利用料只能用花岗岩,人工骨料和利用料岩性一致,基于以上特点在招标设计阶段对砂石加工系统方案进行了优化,低线砂石系统主要向前期导流洞供料,导流洞完工后拆除,作为后期机电金结制安场地,大坝及厂房主体工程和其他附属工程砂石料由高线砂石系统供料。调整后取消了施工占地  $3.8 \text{万 m}^2$ ,金结大件运输通道所需道路加宽减少  $3.5 \text{ km}$ 。

## 2.2 施工道路布置优化

招标设计阶段,结合施工场地布置优化对场内道路布置方案进行优化调整,场内道路总长度  $21.24 \text{ km}$ ,较可研阶段减少  $14.5 \text{ km}$ ,其中隧洞减少  $7.8 \text{ km}$ ,优化后的道路布局更加合理,工程量大幅缩减,投资成本更加节省。

### (1) 上坝及上缆机平台道路优化

考虑缆机平台和左岸副供料平台交通量不大,结合道路用途对上述道路坡比和宽度进行了优化,将最大坡比由  $6\%$  提高至  $9\%$ ,取消了左岸临时弃渣场及连接道路,左岸道路总长度减少约  $3.0 \text{ km}$ ,关键线路道路长度缩短  $1.2 \text{ km}$ ,直线工期减少超过  $12$  个月,为按期启动左岸坝顶以上开挖创造了有利条件。结合料场布置,5号路改走坝址上游,兼顾料场边坡开挖,减少了料场交通道路布置。可研阶段左岸上缆机平台道路布置见图4,优化后的左岸上缆机平台道路布置见图5。

### (2) 低线过坝道路优化

右岸坝顶高位自然边坡施工前,需要形成低



图4 可研阶段左岸上缆机平台道路布置

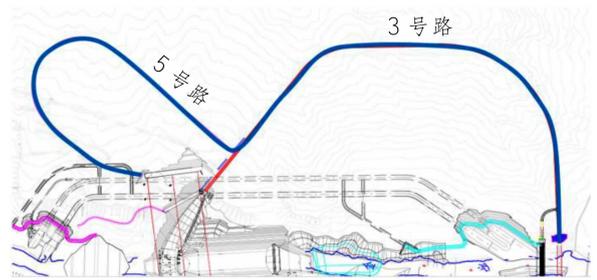


图5 优化后的左岸上缆机平台道路布置

线过坝交通洞,原设计方案从下游尾水出口上游进入,绕过坝肩到上游围堰出洞,由于尾水出口上部仍处于边坡开挖影响区域,为避免干扰,招标阶段将低线过坝交通洞进口向下游延伸至进厂交通洞,避开了边坡开挖影响区,保证了施工安全,加快了施工进度。低线过坝道路出口位置变化见图6。

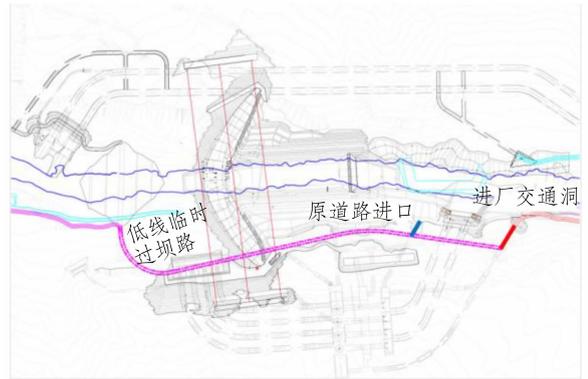


图6 低线过坝道路出口位置变化

### (3) 砂石骨料供料线路优化

考虑永久过坝道路形成后临时过坝道路交通量减少,砂石骨料供料线方案调整为借道低线过坝道路,通过出渣道路后在高线系统与原线路相接,调整后隧洞开挖减少  $400 \text{ m}$ ,供料线提升高度减少约  $90 \text{ m}$ ,即有利于避免与大坝边坡施工的干扰,也避免上部滚石对供料线安全运行的影响,供料线施工难度和安全风险降低,运行成本和能耗大幅减少。供料线走线比较图见图7。

(4) 考虑地方炸药管控问题,改集中建炸药库为承包人自购炸药,依托地方资源,解决炸药供应问题,为此优化工区内炸药库及连接道路。

## 2.3 渣场布置方案优化

招标设计阶段,现场除了开展施工总布置方案优化研究外,还对右岸缆机平台布置、导流洞进出口和茂顶河排导槽边坡开挖等方案进行了优化研究,优化后的弃渣量较可研阶段减少约  $400 \text{万 m}^3$ ,

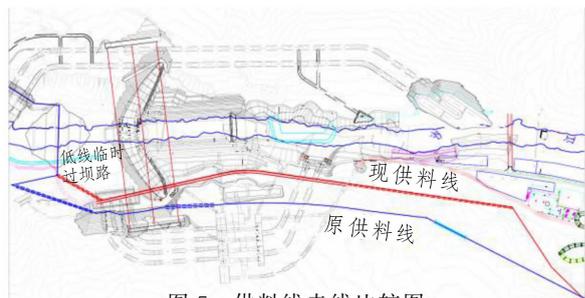


图7 供料线走线比较图

混凝土骨料利用料由可研阶段的130万 $m^3$ 增加到170万 $m^3$ ,同时考虑到前期渣料多用于场地回填,预计进入渣场渣料将大幅减少,为此设计院开展了不同渣量茂顶河渣场堆渣规划研究,通过比较论证,取消了茂顶河渣场顶部800m地方交通洞,并且渣场顶部形成8万 $m^2$ 施工场地,有效解决了现场施工场地不足难题。调整后的施工总布置图见图8。

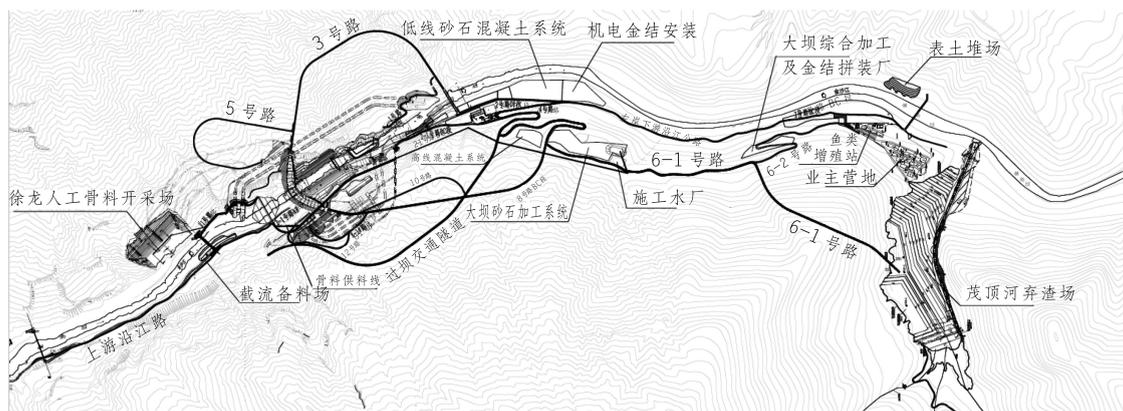


图8 调整后的施工总布置图

### 3 后续优化方向

(1)坝址上游弃渣场容量有限,同时水保防护代价大,后续将结合实际弃渣量对渣场使用方案进行动态优化研究,减少上游弃渣场的使用。

(2)进场道路局部路段边坡高陡破碎、道路安全风险突出,后续将研究在营地背后新增一条防汛通道,避开边坡危岩体,提高汛期物资运输保障率。

### 4 结论

旭龙水电站在工程建设过程中,对施工总布置方案开展了卓有成效的优化研究,取得以下经验成果:

(1)旭龙水电站前期最主要是解决左岸关键线路施工进度问题,通过专家咨询提出了道路优化的思路后,现场结合道路设计标准调整,对线路走线、弃渣方案等进行了一系列优化。

(2)水电工程首先要进行道路和附属设施施工,“五通一平”完成后施工布置调整的空间就很小了。旭龙水电站施工布置方案的优化调整主要集中在招标阶段,通过对施工规划和前期道路招标设计方案的审查,及早的确定了优化思路、锁定了优化成果。

(3)设计方案的调整会带来施工布置的变化,

施工场地的调整会对道路、渣场造成影响,渣场方案的变化也会带来场地和道路的调整,通过对方案进行综合的分析评估,及时做出调整和响应,保证工程建设顺利进行。

#### 参考文献:

- [1] 潘少华,杨学红,罗立哲.巴基斯坦卡洛特水电站施工总布置规划[J].水利水电快报,2020,41(3):1-5.
- [2] 杨波,徐文林,牛运华.西藏拉洛水利枢纽工程施工总布置规划[J].水利水电快报,2022,43(11):28-33.
- [3] 朱卫军,徐春子,李凸,等.银盘水电站施工总布置设计[J].人民长江,2008,39(4):43+76.
- [4] 朱卫军,何为,徐春子.彭水水电站施工总体布置设计[J].人民长江,2006,37(1):45-46+84.
- [5] 刘科,唐道初,刘利文,等.乌东德水电站工程施工布置与优化[J].中国水利,2017(增刊1):32-35+53.
- [6] 范雄安.叶巴滩水电站施工总布置的调整与优化[J].四川水力发电,2019,38(1):18-21.

#### 作者简介:

吴楠(1985-),男,四川南充人,高级工程师,硕士,从事水电工程施工技术与管理工作;

喻文振(1988-),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,主要从事水利水电工程施工组织设计方面的研究工作;

陈曦(1993-),男,湖北黄冈人,工程师,博士,主要从事水利水电工程施工组织设计方面的研究工作。

(编辑:廖益斌)