

# 双江口水电站泄洪系统的关键技术问题及解决方案

张岩, 肖培伟, 邢丹

(国电大渡河流域水电开发有限公司, 四川 马尔康 624005)

**摘要:**泄洪系统的设计功能,与大坝、引水发电系统相比,受重视的程度仍然不够,进度上一般作为次要关键线路考虑,现场管理力量的配置也相对薄弱。鉴于双江口水电站泄洪系统工程规模大、设计标准高、施工难度大、质量控制严的情况,参建各方技术人员应经常深入现场,掌握高边坡、地下洞室开挖揭露的岩石地质条件及结构面特征,与原地勘资料对比分析,结合监测资料进行稳定性复核,为下一步施工制定更有针对性、更经济合理的设计方案。

**关键词:**泄洪系统;招标设计;关键技术;对策

**中图分类号:** [TM622];N945.2;TV551.1+6

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2017)02-0140-04

## 1 工程概况

双江口水电站是大渡河流域水电规划“3库22级”开发方案的第5级,位于四川省阿坝州马尔康市、金川县境内大渡河上源足木足河、绰斯甲河汇口以下约2 km河段。坝址处多年平均流量 $504 \text{ m}^3/\text{s}$ ,水库正常蓄水位2 500 m,总库容为28.97亿 $\text{m}^3$ ,具有年调节能力。

双江口水电站枢纽工程由拦河大坝、引水发电系统、泄洪建筑物等组成,其中泄洪系统布置格局为右岸布置1条洞式溢洪道、1条深孔泄洪洞和1条利用中期导流洞改建的泄洪放空洞,左岸布置1条利用后期导流洞改建的竖井泄洪洞<sup>[1]</sup>。

## 2 工程地质

### 2.1 地形地貌

泄洪系统区河流总体由 $S45^\circ \sim 60^\circ E$ 流入,折向近E流出,枯水期河水面宽33 m~93 m,正常蓄水位2 500 m高程对应谷宽595 m。河谷属高山深切曲流河谷,发育于花岗岩体中,两岸山体雄厚,谷坡陡峻,临河坡高1 000 m以上。自然坡度左岸 $35^\circ \sim 50^\circ$ 、右岸 $45^\circ \sim 60^\circ$ ,坡面基岩裸露,植被较发育。

### 2.2 地质条件

泄洪系统区内无区域性断裂切割,构造变形微弱,主要由一系列低序次、低级别的小断层、挤压破碎带和节理裂隙结构面组成。地层岩性主要为可尔因花岗岩杂岩体—燕山早期木足渡似斑状黑云钾长花岗岩( $\gamma_{KS}^2$ )和晚期可尔因二云二长花

岗岩( $\eta_{75}^3$ ),岩体中发育花岗细晶岩脉和花岗伟晶岩脉,洞室围岩级别以II、III级为主,湿抗压强度大多介于50~80 MPa之间。泄洪系统地处高地应力区,应力值随埋深有增大或分带现象,实测最大地应力高达38 MPa。

## 3 设计方案

### 3.1 总体布置

泄洪建筑物的布置型式、结构尺寸及泄流量指标详见表1。

### 3.2 体型结构

#### 3.2.1 洞式溢洪道

由进口段、无压洞段、明槽段和出口挑流鼻坎段组成,总长2 172 m;过流区采用 $C_{90}40$ 或 $C_{90}50$ 高强抗冲耐磨混凝土;进口洞脸边坡最大开挖高度约179 m,出口洞脸边坡最大开挖高度132 m。

#### 3.2.2 深孔泄洪洞

采取短有压进口接无压隧洞形式,由岸塔式进口、无压隧洞、挑流鼻坎组成,纵剖面采用一坡到底的直坡型式;无压隧洞全长2 022 m,过流区采用 $C_{90}40$ 或 $C_{90}50$ 高强抗冲耐磨混凝土;进口洞脸边坡最大开挖高度110 m,出口两侧边坡最大开挖高度100 m。

#### 3.2.3 竖井泄洪洞

由短有压进口、无压隧洞上平段、涡室、竖井、无压隧洞下平段及出口挑流鼻坎组成,下平段无压隧洞全长990 m;无压上平段过流区采用 $C_{90}35$ 抗冲耐磨混凝土,其余过流区采用 $C_{90}40$ 或 $C_{90}50$ 抗冲耐磨混凝土;进口边坡开挖高度约45 m,出

收稿日期:2017-03-29

表 1 泄洪建筑物工程特性表

泄洪建筑物	洞式溢洪道	深孔泄洪洞	竖井泄洪洞	放空洞
布置型式	实用堰进口 无压直坡隧洞 挑流消能	短有压进口 无压直坡隧洞 挑流消能	短有压进口 “旋流竖井”式 旋流竖井+挑流	长有压进口 “龙伸腰”式 挑流消能
进口高程 /m	2 478.00	2 440.00	2 475.00	2 380.00
出口高程 /m	2 348.70	2 304.93	2 264.16	2 273.15
工作门尺寸 (m×m)	16×22 (宽×高)	10×10 (宽×高)	9×7 (宽×高)	7×6.5 (宽×高)
洞身断面 (m×m)	16×21~24 (宽×高)	11×16 (宽×高)	18(漩涡直径) 12(竖井直径)	9×13.5 (宽×高)
最大泄流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	4 138 (校核洪水)	2 768 (校核洪水)	1 196 (校核洪水)	1 286 (2 460 m 水位)

口边坡与尾水出口边坡结合布置。

### 3.2.4 放空洞

采用有压隧洞接无压隧洞型式,由进口段、有压隧洞段、闸门竖井段、工作闸室段、无压隧洞段及出口段组成;有压隧洞总长 419 m,无压隧洞段总长 1 530 m;过流区采用 C<sub>90</sub>40 或 C<sub>90</sub>50 抗冲耐磨混凝土;进口竖井边坡最大开挖高度 75 m、出口两侧边坡最大开挖高度 115 m。

## 4 关键技术问题及解决方案

本工程坝址河谷狭窄、壅水水头高,泄洪最大水头约 250 m,最大泄洪流量为 8 102 m<sup>3</sup>/s,具有“高水头、大泄量、窄河谷”的设计特点,同时具有“高海拔、高寒、高应力”的地理环境特点,决定了工程本身仍有一些关键技术问题需要深入研究,并制定相应的对策措施。

### 4.1 右岸出口片区施工问题

右岸泄洪系统出口片区边坡陡峭、地形狭窄,明槽段、挑流鼻坎及出口段连成一片,洞脸及两侧边坡开挖高度在 100 m~130 m 之间,土石方开挖总量约 130 万方,混凝土浇筑总量约 16 万 m<sup>3</sup>,上、下施工作业面高差超过 200 m,存在明显的平面、立体交叉干扰,该部位施工通道布置难度大、工期要求紧,直接影响出口片区施工效率及场内交通总体规划布局。

招标阶段提出了该部位施工通道的设计标准及推荐方案,设计等级为场内三级,荷载等级为汽-40;结合现场地形条件及设计技术要求,推荐方案路线纵坡不超过 9%,最小平曲线半径 15 m,单车道路面宽度 4.5 m,满足《水电水利工程场内施工道路技术规范》(DL/T5243-2010)中场内三级公路其他技术参数要求,规划路线总长 2.9 km<sup>[2]</sup>,具体由承包人自行设计、施工。该施工通

道主线应满足通往泄洪出口建筑物、过坝交通 12 号隧道出口的要求,支线应满足至泄洪出口片区开口线高程的要求,存在突破设计技术标准和路基高边坡、高挡墙引起的施工难度、投资增加及部分部位不具备路线成型条件等风险。

因此,要充分利用承包人进场开展准备工作的有限时间,业主代表应组织参建各方测量、地质、施工等专业技术人员现场踏勘,结合现场地形、地质及施工条件,依据路线特征部位现场放样成果,对承包人自行设计施工通道的设计方案进行复核研究。依据现场实测放样成果及技术要求,督促承包人对道路总体设计方案进行优化调整,即充分利用规范关于“条件受限施工交通最大纵坡可增加 1%~2%”的要求,转弯路段横断面设计采用最大限度的超高、加宽方案,路基横坡较陡路段以高挡墙为主、路基横坡较缓路段以开挖为主,确保路线平、纵、横三要素满足设计要求。同时,研究沿河布置拦渣设施、提前施工机械便道至开挖工作面、落实洒水降尘措施,实施自上而下抛渣施工的可行性。最终,从安全、环保及经济的角度进行综合比选、并经专家咨询评审后,确定该部位的实施方案。

### 4.2 高地应力区岩爆防治

泄洪系统地处高地应力区,实测最大主应力变化于 20 MPa~30 MPa 之间,最大主应力达 38 MPa。《水力发电工程地质勘察规范》(GB50287-2006)根据围岩强度应力比(即为岩石饱和单轴抗压强度与最大主应力的比值)对岩爆等级进行划分,并提出不同等级岩爆的主要现象,依据该规范判定本工程岩爆分级以中等岩爆为主、局部为强烈岩爆。鉴于岩爆发生机理、控制因素及治理措施等暂无一致认同的观点和方法,因此,高地

应力区岩爆防治是本工程需要解决的关键技术问题。

受现场地形及布置条件限制,招标阶段泄洪系统的洞线选择、断面形状及支护方案并未针对岩爆影响进行专项设计,提出由承包人根据经验制定岩爆防治措施。施工准备阶段,委托设计单位开展高地应力区长、大洞室的岩爆防治措施专题研究,并组织有关技术人员开展高地应力区地下洞室施工的专题调研,作为本项目实施前的技术储备。

实施过程中,主要从预测预报、前期预防、优化开挖方案、加强支护等方面入手,控制和减小岩爆发生的概率。采用围岩强度应力比法、综合地质分析法,并利用微震监测技术对洞壁围岩微裂隙发展情况进行实时监控,预判岩爆发生的可能。针对强烈岩爆,采取高压喷水、打应力释放孔,降低围岩应力、改变围岩变形特征。开挖过程中,优先采用多臂钻钻孔,避免突发性岩爆引起的人身伤亡事故,采用光面爆破、浅孔多循环、严格控制单响最大药量及分部导洞开挖方案,减少围岩应力集中。充分利用开挖后6小时内岩爆发生概率较小的有利时机,加快实施柔性喷锚支护,优先采用径向锚杆、水胀式锚杆及钢纤维混凝土;强烈岩爆区柔性支护完成后,为避免再次出现塌方、掉块,洞室顶拱可铺设主动防护网进行被动临时防护<sup>[3]</sup>,能够取得较好的防护效果。

#### 4.3 高标号抗冲耐磨混凝土

本工程泄洪期间的最大下泄流速达46 m/s,高速水流的长期冲蚀、气蚀、磨蚀极易导致过流区混凝土出现破坏,后期修补难度大、造价高且质量难以保证,因此,高标号抗冲耐磨混凝土配合比设计是本工程要解决的关键技术问题。

可研阶段,结合泄洪系统运行条件及工况,开展了水力学模型试验及抗冲耐磨混凝土试验研究工作。针对高速水流气蚀破坏,采取适应水流流态的流线形设计,并增设掺气坎、补气洞等设施。针对高速水流的冲蚀、磨蚀破坏且骨料强度偏低,提出了抗冲耐磨混凝土的设计要求,如:进口及有压洞身段过流面采用C40高强混凝土,无压洞段、竖井及出口段过流面采用C50高强混凝土。

招标设计方案评审过程中,有关专家提出了延长混凝土龄期、采用硅粉混凝土及增设环氧涂

层等措施,确保配置混凝土的力学指标满足设计要求。结合泄洪系统工程招标、进场工作计划,将委托设计单位编制高标号抗冲磨混凝土研究试验大纲,利用料场开采料或前期洞控料、明挖料,现场取样进行抗冲磨混凝土的复核性试验。同时,委托国内相关科研单位开展高标号抗冲磨混凝土对比试验研究工作,充分利用当地骨料,通过采用新材料或新技术优化前期配合比试验研究成果。

#### 4.4 过流面混凝土质量控制

国内已建工程泄洪建筑物运行的实践表明,绝大部分泄洪建筑物的过流面混凝土出现不同程度的破坏,个别工程甚至由于过流面混凝土的严重破坏而影响正常运行,主要原因是过流面混凝土的表面质量缺陷及结构混凝土体型控制不达标引起混凝土表面冲蚀破坏加剧。

招标阶段,双江口针对过流面混凝土的质量控制提出相应技术要求,并强调了过流面混凝土表面质量及结构体型控制的重要性。过流面混凝土的表面质量问题主要表现在蜂窝、麻面、气泡、局部不密实、表面裂缝等缺陷上,结构体型控制问题主要表现在不平整、错台、线形不满足设计要求等方面。

实施过程中,针对过流面混凝土的质量控制应重点做好事前预防、事中管控、事后处理。事前预防,即:要求承包人制定过流面混凝土施工及表面保护专项方案,采用定型模板或滑膜施工,并使用合适的运输、入仓设备,预防过流面混凝土出现质量问题。实际过程即加强原材料、中间产品及混凝土拌合物的质量检测,加强钢筋、模板、浇筑、收面工序的过程控制,特别重视冬夏两季混凝土的浇筑温度控制及表面保温保湿<sup>[4]</sup>,保证混凝土的成型质量。事后控制,即遵循“边施工、边检查、边处理”的原则及时对过流面混凝土的质量缺陷处理,表面缺陷、不平整经打磨或凿毛后采用环氧砂浆或环氧胶泥抹面处理,局部不密实、表面裂缝经凿除表面混凝土后采用环氧砂浆或环氧胶泥块置换并灌注聚氨酯材料填充密实。

对于过流面混凝土的模板、浇筑、收面、缺陷处理等重要工序应定人、定工具、定设备,承包人严格落实“三检制”,监理实施全过程旁站监督,设计单位针对不同流速分区提出缺陷处理技术要求,由建设单位牵头成立过流面混凝土质量控制

QC 小组,严格执行“一仓一总结”。

4.5 泄洪雾化影响区边坡稳定

泄洪系统“水头高、泄量大、流速快”决定了运行期间水流掺气、散裂和水舌高速下落产生的激溅,形成雾化流,受上游大气来流、水舌风及下游地形条件的综合影响,在枢纽区附近形成密集雨雾。国内已建工程由于泄洪雾化影响导致河道边坡滑坡、塌方及由此改变水库运行方式的案例较多,因此,泄洪雾化引起的高边坡安全稳定是本工程的技术难题<sup>[5]</sup>。

可研阶段,设计单位委托中国水利水电科学研究院开展泄洪雾化影响专题研究,结合二滩水电站泄洪雾化原型观测资料,对泄洪雾化影响范围、降雨强度进行预测。结合可研阶段研究成果及设计边界条件,对雾化影响范围内高边坡的安全稳定进行复核计算,初步制定了加固、防护、排水等综合处治方案。

下一步,将针对泄洪雾化影响区主要边坡开展补充地勘工作,加深对雾化区边坡地质条件的认知,并结合泄洪雾化模型试验和原型观测资料,对初步设计方案进行进一步的深化和细化,结合现场地形、地质条件及影响程度,分区域确立雾化区边坡处治设计标准,补充雾化影响因素监测设计,制定有针对性的雾化区边坡处治方案。

5 结 语

泄洪系统的设计功能,与大坝、引水发电系统相比,受重视的程度仍然不够,进度上一般作为次要关键线路考虑,现场管理力量的配置也相对薄弱。鉴于双江口水电站泄洪系统工程规模大,设

计标准高、施工难度大、质量控制严的情况,参建各方技术人员应经常深入现场,掌握高边坡、地下洞室开挖揭露的岩石地质条件及结构面特征,与原地勘资料对比分析,结合监测资料进行稳定性复核,为下一步施工制定更有针对性、更经济合理的设计方案。

高边坡的安全稳定、地下洞室围岩的稳定以及高地应力区岩爆等均具有复杂和不确定性的特点,利用“智慧工程”的智能预警与智慧决策系统,应用信息化技术手段,能充分获取监测、试验信息,以指导施工,优化施工程序、确定施工时机、评价稳定状态、优化设计方案,为安全预警、现场组织及宏观决策提供依据。

参考文献:

- [1] 双江口水电站可行性研究报告[R]. 中国电建集团成都勘测设计研究院,2012.
- [2] 水电水利工程场内施工道路技术规范(DLT5243-2010).
- [3] 杨安林,赵桂连. 锦屏辅助洞工程岩爆特征和综合防治[J]. 人民长江,2009,40(8):47~48.
- [4] 陈叶文,段亚辉. 溪洛渡泄洪洞有压段圆形断面衬砌混凝土温控研究[J]. 中国农村水利水电,2009,(5):116~119.
- [5] 大渡河瀑布沟水电站溢洪道陡槽段雾化边坡稳定性研究[D]. 成都理工大学,2007,吕辉.

作者简介:

张 岩(1981-),男,辽宁锦州人,毕业于三峡大学水利水电工程专业,工程师,从事水电工程技术管理工作;  
 肖培伟(1980-),男,重庆人,毕业于四川大学水利水电工程专业,高级工程师,从事水电工程技术管理工作;  
 邢 丹(1984-),男,河南南阳人,毕业于武汉大学水利水电工程专业,工程师,从事水电工程技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

成都院《西南山区复杂岩土工程研究与实践》技术专著出版

日前,由成都院全国勘察设计大师李文纲等主编的技术著作——《西南山区复杂岩土工程研究与实践》,由中国水利水电出版社正式出版发行。该书以瀑布沟水电站汉源新城移民迁建工程为例,对西南山区复杂岩土工程的实践进行了系统总结和研究。介绍了汉源新城规划、选址、勘察设计研究的基本情况;从区域地质环境、场地工程地质条件入手,分别对汉源新城工程建设所涉及的岩质顺向斜坡、高切坡、滑坡、采空区、岩溶地基和特殊土等主要工程地质问题进行了系统、深入研究;对影响建设场地、建筑地段稳定性的滑坡等地质灾害,进行了稳定监测和成果分析,验证了岩土工程勘察设计和处理效果。

双江口水电站年度防洪度汛预案通过审查

4月11日,双江口水电站2017年防洪度汛方案及应急预案通过了四川省防汛抗旱指挥部办公室审查。2017年度是双江口水电站主体工程采用“全年围堰+导流洞”进行施工期导流和度汛的第一年。双江口分公司高度重视,一是建立隐患分级台账,明确责任单位和责任人。二是创造条件推动防汛重点项目。三是早布置、早谋划,公司于2016年底就启动《双江口水电站枢纽工区2017年度防洪度汛技术要求》、《双江口水电站溃堰洪水计算及影响分析报告》编写,并据此编制了双江口水电站枢纽工程2017年防洪度汛方案及应急预案。