

巴塘水电站引水系统边坡动态设计与施工

度晓军，古小梦

(华电金沙江上游水电开发有限公司巴塘分公司,四川 成都 610041)

摘 要:巴塘水电站左岸引水系统边坡高度超过 200 m,受雄松苏洼龙及巴塘断裂的影响,边坡岩体风化、卸荷强烈,岩体完整性差,地形地质条件复杂,施工难度较大。针对巴塘水电站左岸引水系统边坡高、岩体破碎,边坡开挖、支护难度较大等问题,建设单位联合各参建单位综合进行地质、监测和施工期稳定分析计算,决定对边坡采用动态设计施工方案。在施工过程中,优化施工方案和工艺流程,及时解决了锚索成孔难、支护缓慢等问题。不仅保障了引水发电系统边坡的施工安全、质量与进度,还使支护方式更加经济合理,对同类工程高边坡开挖支护有一定的借鉴作用。

关键词:巴塘水电站;引水系统;边坡设计;边坡监测;快速施工

中图分类号:[TM622];TV732;U416.1+4;TB21 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)04-0079-04

Dynamic Design and Construction of the Slope of Water Diversion System in Batang Hydropower Station

TUO Xiaojun, GU Xiaomeng

(Batang Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: The slope height of the diversion system on the left bank of Batang hydropower station is more than 200m. Due to the Xionsong Suwalong and Batang faults, rock mass of the slope is weathered and unloaded strongly, the integrity of the rock mass is poor, the terrain and geological conditions are complex, and all of these factors make construction difficult. Aiming at the problems of high slope, broken rock mass and difficult slope excavation and support in the left bank diversion system of Batang hydropower station, the client, together with all the construction related parties in this project, carries out comprehensive geological study, monitoring and stability analysis calculation during construction, and it is decided to adopt dynamic design and construction scheme of the slope. During construction, the construction scheme and procedure are optimized, and the difficulties facing in forming hole of anchor cable, the problem of slow support, etc., are solved in time. The dynamic design and construction scheme not only ensure the construction safety, quality and construction progress of the slope of water diversion and power generation system, but also make the support method more economical and reasonable, which provides a certain reference for excavation and support of high slope.

Key words: Batang Hydropower Station; water diversion system; slope design; slope monitoring; rapid construction

1 概 述

巴塘水电站引水发电系统位于象鼻山“鼻尖”端部,三面临空,边坡高度超过 200m。巴塘水电站枢纽区位于雄松苏洼龙及巴塘断裂夹持的三角形地带,断裂构造发育,地震烈度高,基本烈度为Ⅷ度;河谷两岸边坡岩体风化、卸荷强烈,尤其是金沙江左岸与巴楚河形成的条形山脊部位两侧岩体普遍存在倾倒变形现象,岩体完整性差。

引水发电系统边坡面临着地质条件复杂,开挖支护上下交叉干扰大,锚索成孔难,工期紧等难题。建设单位根据跟踪实际调查揭露的地质条件进行动态设计,采取分层错台开挖支护工艺、锚索跟管固壁造孔等技术措施,分析研究解决了进度慢、干扰大、成孔难等问题,快速进行边坡支护,使工程的顺利推进得到保障。

2 边坡动态设计

2.1 引水发电系统基本地质条件

收稿日期:2021-06-10

2.1.1 引水系统边坡

开挖将产生侧向人工高边坡,高度最高 217 m,位于引水明渠部位,由于引水系统开挖边坡规模大,开挖边坡产状将其分为:

- (1)引渠进口边坡,产状 $NW300^{\circ}SW\angle 63^{\circ}$;
- (2)进水口段边坡,产状 $NW344^{\circ}SW\angle 63^{\circ}$;
- (3)压力钢管段边坡,产状 $NW305^{\circ}SW\angle 63^{\circ}$;
- (4)厂房及安装边坡,产状 $NW274^{\circ}SW\angle 63^{\circ}$ 。引水系统区边坡分段平面见图 1。

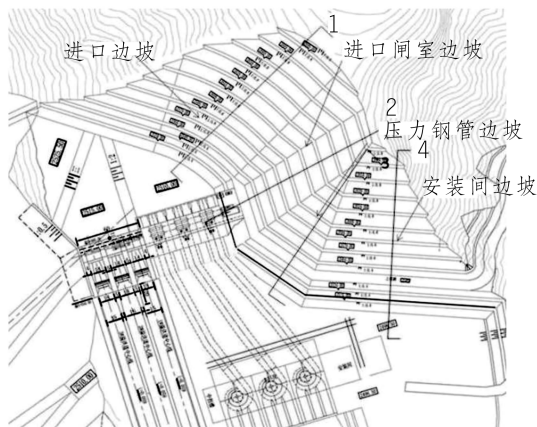


图 1 引水系统区边坡分段平面

2.1.2 优势结构面

厂房区边坡除发育有 f_4 、 f_5 、 f_{11} 、 f_{12} 、 f_{13} 等断层外,岩体中节理裂隙较发育。其优势结构面有 4 组,分别为:

- (1) $NE30^{\circ}\sim 83^{\circ}NW\angle 70^{\circ}\sim 90^{\circ}$;
- (2) $NE20^{\circ}\sim 90^{\circ}SE\angle 62^{\circ}\sim 90^{\circ}$;
- (3) $NW270^{\circ}\sim NE90^{\circ}NE(NW)\angle 0^{\circ}\sim 35^{\circ}$;
- (4) $NW345^{\circ}\sim NE30^{\circ}SW(NW)\angle 45^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。

2.1.3 结构面组合情况

从开挖边坡与各组结构面组合情况看,边坡不存在整体稳定或深层抗滑稳定问题,但浅层松弛,局部块体垮塌仍有可能发生。边坡中第一台阶底部的 f_{36} 规模较大,性状较差,会产生压缩变形,导致上部坡体拉裂变形,对边坡变形稳定不利。

2.2 系统支护设计

巴塘水电站工程规模为二等大(Ⅱ)型工程,挡水建筑物、泄水建筑物及引水发电建筑物等主要建筑物为Ⅱ级,次要建筑物为Ⅲ级。依据电力行业标准 DL/T5353—2006《水电水利工程边坡

设计规范》,引水发电系统边坡为 A 类枢纽工程区边坡,边坡设计级别为Ⅱ级。

坝址区两岸地形陡峻,受边坡风化、卸荷等地质条件的影响,边坡表层岩体破碎,多呈碎裂—散体结构,坝址右岸有雄松—苏洼龙断裂带经过,左岸有 f_{11} 断层(雄松—苏洼龙断裂的分支)通过,因此,边坡支护措施需重点研究。其中左岸引水系统边坡高超过 200 m,岩体破碎,边坡开挖、支护难度较大,尤其是锚索、锚筋桩、锚杆等施工是本工程的一个难点。

引水系统边坡岩体风化、卸荷及倾倒变形强烈,边坡中上部强风化、卸荷、变形岩体切脚开挖后自稳条件较差,易发生滑坡破坏。因此,拟定的边坡系统支护措施为全坡面进行挂网喷护。永久岩坡采用挂网喷混凝土(喷混凝土 C20,厚 15 cm,挂网 $\Phi 6.5@20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$)及锚杆($\Phi 25/\Phi 28$,长 4.5 m/6 m,间排距 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$)联合支护,弱风化部位马道下部设两排锁口锚杆($\Phi 28$,长 9 m,间排距 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$),强风化部位马道设两排锁口锚筋桩($3\Phi 28$,长 9 m,间排距 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$),局部采用系统锚索(1 000 kN 级,长 35 m/45 m)+网格梁进行支护。全坡面布置 $\Phi 100$ 排水孔,间排距 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$,孔深 5 m。

2.3 动态开挖支护设计

引水发电系统边坡原支护方案主要基于招标阶段的地质资料,进行全坡面挂网喷护,并根据岩体类别采取针对性的支护方案,Ⅳ级岩体为预应力锚索+锚筋桩+框格梁,Ⅲ级岩体为预应力锚索+锚筋桩。

由于引水发电系统边坡地质条件复杂,仅仅依靠前期的地勘资料,难以反应边坡的实际变形破坏趋势,为使治理方案更加具有针对性,在引水发电系统边坡开挖施工过程中,紧密结合地质、设计、施工、监测四个方面,采用了多专业协同的动态设计^[1]。随着边坡施工开挖的进行,设计工程师密切跟踪边坡施工现场条件变化,及时掌握边坡实际开挖揭露地质情况,以及边坡施工期安全监测系统^[2]反馈信息,适时对当前开挖边坡的稳定状态进行复核分析,并据此对边坡支护设计参数进行修正,同时,对下一级边坡开挖的稳定性进行预测^[3]。

根据实际揭露的地质情况,调整覆盖层和强

风化岩体区域开挖坡比,分别由 1∶0.75 调整至 1∶1.5 和 1∶0.8,同时在裂隙较发育的Ⅲ级岩体区域增加框格梁,以发挥预应力锚索的协同支护作用,对于局部变形较大或岩体破碎区域,采用了锚拉板支护措施。通过动态支护设计,相比于原设计方案,边坡安全性进一步提升,使施工及运行期边坡的安全得到了保障。此外,对于岩石条件较好的进水口段边坡,经过动态计算分析,取消掉部分预应力锚索及框格梁,也使边坡的支护措施更加经济合理。

3 快速支护施工

3.1 施工程序

引水发电系统边坡开挖后最大高度约 200 m,引水发电系统边坡各类锚杆总计 16 800 根,锚筋桩 4 042 束,预应力锚索 2 419 束,喷护混凝土 16 050 m³。各种支护工程量大,施工强度高,各工序之间相互制约、相互干扰大。为确保施工进度和边坡稳定,开挖施工安排时要从施工总体出发,兼顾支护施工,使整个工程项目施工均衡合理地进行,因此,开挖与支护施工布置是一个重点。

为使引水发电系统边坡开挖支护有序开展,根据本工程的特点、施工道路及现场条件,结合施工总进度计划,边坡开挖及支护工程施工顺序,按“自上而下、分区、分层开挖”的原则进行边坡开挖支护施工,边坡开挖采用预裂爆破,分层高度一般为 3 m,水平建基面以上预留 2~3.0 m 保护层。

3.2 优化施工方案及工艺

全面支护施工以前,开展锚索施工工艺试验,

选定合适的施工机具和施工工艺,确定优质快速的锚索钻孔成孔方法^[2],确保施工质量和工程进度。

3.2.1 现场进行技术分析和动态设计

(1)根据现场开挖揭示的地质情况,复核边坡失稳模式以及断裂破碎带的影响,复核锚索的深度及吨位,复核顺层边坡稳定性及支护方案;

(2)根据现场锚索张拉时锚墩沉降变形情况,复核调整锚墩尺寸,针对具体地基条件,设计相应的锚墩结构型式避免沉降变形。

3.2.2 调整施工思路和工序

左岸边坡岩体破碎,裂隙发育,施工进度缓慢,工期紧,任务重,而锚索支护又是边坡施工的控制性环节。为解决面临的问题,建设单位在前期锚索生产性试验的基础上,及时调整施工思路和工序,进一步完善跟管造孔、预灌浆固壁造孔以及锚固段预注浆等工艺试验^[4],并进行工效和成本对比分析,优化锚索施工方案,形成优质快速的锚索钻孔成孔方法。

3.2.3 左岸边坡无粘结预应力锚索工艺性试验成果^[5]

(1)工艺性试验选取了 Z-2651-5 号、Z-2651-6 号、Z-2651-32 号、Z-2651-34 号、Z-2633-40 号 5 束锚索,试验了三种造孔施工工艺:采用跟管到孔底,然后再拔管至孔底 10 m 位置处进行预注浆;采用跟管钻进至孔底 10~12 m 位置处,然后固壁循环进尺至设计孔深;全孔固壁循环进尺至设计深度,进行预注浆。

工艺试验情况分别见表 1、注浆情况见表 2:

表 1 工艺试验统计表

试验孔号	设计长度 /m	成孔工艺	跟管长度 /m	跟管拔管 /m	钻机型号	钻头	成孔时间 /d
Z-2651-32 号	45	方法①	42	13.5	YXZ-70 钻机	同心钻头	3.8
Z-2651-34 号	35	方法①	35	10.5	YXZ-70 钻机	同心钻头	2.1
Z-2651-5 号	45	方法②	34.5	1.5	履带钻车	偏心钻头	3.3
Z-2651-6 号	45	方法②	34.5	1.5	履带钻车	偏心钻头	3.2
Z-2633-40 号	35	方法③	/	/	YXZ-70 钻机	直钎钻头	6.5

表 2 注浆统计汇总表

试验孔号	固壁循环进尺		固壁注浆 /t	锚固段预注浆 /t	锚固段注浆 /t	张拉段注浆 /t	总耗灰 /t
	/m	/次					
Z-2651-32 号	3	1	1.0	9.5	7.4	2.1	19
Z-2651-34 号	/	/	/	2	0.5	0.7	3.2
Z-2651-5 号	10.5	2	1.5	5.1	1.0	0.7	8.3
Z-2651-6 号	10.5	2	1.5	3.4	0.8	0.5	6.2
Z-2633-40 号	35	8	20.36	1.16	5.67	2.3	29.5

(2)Z-2651-32 号、Z-2651-34 号采用跟管到孔底,然后再拔管至孔底 10 m 位置处进行

预注浆,Z-2651-5号、Z-2651-6号采用跟管钻进至孔底10 m位置处,然后固壁循环进尺至设计孔深。对比两种成孔工艺,功效和经济性无明显差别,锚索施工时根据现场情况选择其中一种成孔工艺。

(3)Z-2633-40号锚索采用全孔段固壁成孔,成孔耗时较长、耗浆量较大,成本高,锚索成孔不采用此工艺。

根据工艺试验结果,经评审最终确定了锚索造孔采用跟管到孔底再拔管和跟管钻进至一定深度固壁循环造孔两种方法,造孔设备选用HM90A型履带钻机。分层分区错台开挖支护,利用开挖平台作为支护作业平台,减少了钻机施工脚手架的搭设,加快了施工进度。

3.3 质量控制指标

3.3.1 浅层支护

边坡浅层支护采用系统锚杆+锚筋桩+挂网喷射混凝土。

锚杆类型为普通砂浆锚杆,锚杆型号选用Ⅲ级螺纹钢,锚杆水泥砂浆的强度等级不应低于30 MPa;锚筋桩采用3根Φ28锚筋焊接,锚筋桩长度12 m,相邻锚筋每隔150 cm点焊连接。喷射混凝土采用C20混凝土,厚度15~20 cm,主要采用干喷法施工,按照施工设计要求进行混凝土配置,喷射自上而下展开,喷射完成后等待终凝,终凝2 h后进行喷水养护,养护应不少于一周时间。挂网钢筋保护层厚度不小于30 mm;钢筋网搭接不少于200 mm。

3.3.2 深层支护

深层支护采用无粘结预应力锚索。

本工程采用无粘结预应力锚索,施工方法采用自上而下分级分层进行开挖,开挖与锚索施工进行流水作业,锚索采用HM-90A履带式锚固钻机进行施工。锚索为无粘结预应力锚索,锚固段长均为7 m,终孔孔径不小于120 mm,锚索造孔下倾角度为15度,孔斜偏差不得大于2%。

3.4 锚索施工质量控制

锚索锚固段注浆压力均达到设计要求的闭浆压力0.5 MPa和闭浆时间30 min。锚墩尺寸根据地基条件有针对性调整后,锚索在张拉过程中未发现锚墩明显沉降,伸长值和锚索测力计数值均表明锚索施工质量满足设计及规范要求。

4 边坡监测

引水发电系统边坡沿上下游方向间隔50 m左右共布置了6个监测断面。监测手段主要采用表面变形测点来监测边坡表面变形情况,用多点变位计来监测边坡深部位移情况,锚索测力计、锚筋桩应力计和锚杆应力计等设备,为边坡的动态设计和施工提供了很好的技术支撑。

左岸边坡多点变位计(孔深为51 m)孔口累计位移变化量在1.91~32.73 mm之间,月孔口位移最大变形速率为0.15 mm/d,量级不大;锚索测力计(1 500 kN)累计变化量在1 475.0~1 649.0 kN之间,累计损失率在-1.58%~6.35%之间,未出现大的突变、增长等现象。目前边坡整体处于稳定状态。

5 结语

巴塘水电站引水发电系统边坡受到复杂地质条件等客观因素的影响,增大了在工程建设过程中有效保证边坡的开挖支护进度与质量难度。但是,在施工过程中,建设单位通过系统分析,适时调整了制约工程进度的边坡支护方式与锚索支护施工方案,进一步完善锚索施工工艺试验,选定了合适的施工机具和施工工艺,确定优质快速的锚索钻孔成孔方法,及时解决了锚索成孔难、支护缓慢等问题。在保证施工安全质量进度的同时,使边坡的支护方式更加具有针对性、适应性、合理性、经济性。可为同类高边坡工程设计与施工借鉴。

参考文献:

- [1] 水电水利工程边坡设计规范 DL/T5353-2019[S].
- [2] 孔祥千. 中国水利发电工程施工卷第二篇土石方开挖[M]. 北京:中国电力出版社出版,2000.
- [3] 索丽生 刘宁. 水工设计手册(第2版)第11卷 水工安全监测[S]. 中国水利水电出版社,2011.
- [4] 吴国如 郭冬生 陈太为等. 水利水电工程施工技术全书第二卷土石方工程第三册一边坡处理施工技术[M]. 北京:中国电力出版社出版,2017.
- [5] 索丽生 刘宁. 水工设计手册(第2版)第10卷边坡工程与地质灾害防治[S]. 中国水利水电出版社,2011.

作者简介:

虞晓军(1976-),男,四川苍溪人,华电金沙江上游水电开发有限公司巴塘分公司总工程师,高级工程师,从事工程建设管理工作;

古小梦(1993-),男,四川泸县人,助理工程师,从事工程建设管理工作。

(责任编辑:卓政昌)