

两河口水电站灌浆平洞洞口封堵段综合灌浆措施的研究及应用

张加波, 敬玺

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要: 两河口水电站坝址区岩体以砂质板岩、粉砂质板岩为主, 属于薄层状地质构造, 其灌浆平洞洞口段受岸坡和灌浆平洞双重爆破开挖作用影响, 顺坡向卸荷裂隙和陡倾微细裂隙发育, 灌浆时易发生抬动、劈裂、串冒漏浆等特殊情况, 难以保证灌浆质量, 属于大坝防渗的关键部位和薄弱环节, 蓄水后若发生较大的渗漏问题将会造成难以弥补的损失, 且在高水头作用下的补灌处理工程施工难度大、作业环境差、工程投资多, 因此, 在施工过程中必须高度重视, 应立足一次处理到位。阐述了对两河口水电站灌浆平洞洞口封堵段综合灌浆措施进行的研究及应用。

关键词: 两河口水电站; 洞口段; 综合灌浆措施

中图分类号: TV7; TV52; TV554; TV543

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2023)03-0053-05

Research and Application of Comprehensive Grouting Measures for Sealing Section of Grouting Adit at Lianghekou Hydropower Station

ZHANG Jiabo, JING Xi

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: The rock mass in the dam site area of Lianghekou Hydropower Station is mainly sandy slate and silty slate, which is thin tectonics. The portal section of grouting adit is affected by the double blasting excavation of bank slope and grouting adit. Due to the development of unloading cracks and steep micro cracks along the slope, it is prone to special situations such as lifting, splitting, and leakage during grouting, making it difficult to ensure the quality of grouting. It is a key part and weak link of dam anti-seepage work. If a large leakage problem occurs after the impoundment, it will cause irreparable losses. Moreover, under the action of high water head, the implement of supplementary grouting is difficult, the working environment is poor, and the engineering investment is high. Therefore, great attention must be paid during the construction process and the grouting should be effective at one time. This article elaborates on the research and application of comprehensive grouting measures for the sealing section of the grouting adit at Lianghekou Hydropower Station.

Key words: Lianghekou Hydropower Station; portal section; comprehensive grouting measures

1 概述

两河口水电站拦河坝为砾石土心墙堆石坝, 坝高 295 m, 为目前国内已建成的第一高土石坝, 该坝自低向高设置了 6 层帷幕灌浆平洞, 平洞间的高差一般为 60 m。枢纽区河谷呈略显不对称的“V”型深切峡谷, 坝址区岩体为砂板岩, 河谷深切, 谷坡陡峻, 大坝两岸坝肩岸坡的开挖坡比为 1:0.9~1:1.3。

该工程所设置的灌浆平洞与岸坡相交处呈三角状, 洞口封堵段顶部倒三角岩盘薄, 抗抬能力

差, 采用高压灌浆易引起劈裂漏浆, 对灌浆质量不利; 而采用低压灌浆只能充填宽大裂隙, 浆液扩散范围受限; 普通水泥浆施灌对陡倾微细裂隙难以有效充填, 防渗效果难以保证。众所周知: 洞口封堵段属于大坝防渗的关键部位和薄弱环节, 如果发生较大的渗漏将直接影响到大坝长期安全运行, 且蓄水后高水头作用下的补灌处理工程施工难度大、作业环境差, 工程投资多。因此对其必须极为重视。

2 原设计灌浆方案

原设计灌浆方案中的左右岸灌浆平洞洞口封

收稿日期: 2023-03-30

堵段的灌浆施工内容及参数为:

(1)洞顶范围采用回填灌浆、洞周采用盖重固结灌浆、搭接帷幕灌浆与主帷幕灌浆。

①洞顶范围的回填灌浆每排布置2个或3个灌浆孔,孔深入岩10 cm,采用纯压式灌浆,设计灌浆压力为0.3 MPa。

②洞周的盖重固结灌浆(腰线以上)每排布置6个或7个灌浆孔,孔深入岩3~6 m,采用全孔一次循环式灌浆法,设计灌浆压力为1 MPa。

③搭接帷幕布置在平洞上游侧腰线以下及底板,每排布置6个或7个灌浆孔,孔深入岩12 m,自上而下分3段进行循环式灌浆,设计灌浆压力:Ⅰ序孔为0.8~2.5 MPa,Ⅱ序孔为1~3 MPa。

④主帷幕灌浆孔布置在平洞底板,设计帷幕的排距为1.5 m,孔距2 m,先施工下游排,后施工上游排,排内分三序施工,主要采用孔口封闭灌浆法。设计灌浆压力为0.8~5.5 MPa。



(2)洞口周边大坝基础固结灌浆和岸坡三角区帷幕灌浆。

①大坝基础固结灌浆布置在心墙盖板范围,钻孔垂直混凝土盖板,孔距2.5 m,孔深入岩8~20 m,设计灌浆压力为0.3~1.5 MPa。

②帷幕灌浆布置在两层平洞之间的岸坡三角区并与洞内帷幕衔接,以形成整体防渗体系,岸坡三角区布置3排主帷幕和2排辅帷幕,设计灌浆压力为0.3~4.5 MPa。

3 灌浆过程中针对特殊情况采取的处理措施

由于两河口水电站砂板岩地层复杂的地质条件,易发生抬动变形、串冒漏浆、劈裂返流、群孔效应等特殊现象,不利于保证施工质量和防渗效果。针对这些特殊情况采取了以下有针对性的处理措施。浅表层顺坡向裂隙发育与岸坡区域出露情况见图1。

(1)抬动变形。由于高陡边坡条件下岩石侧



图1 浅表层顺坡向裂隙发育与岸坡区域出露情况

向埋深浅、盖板厚度小、抗抬能力弱,加之其发育顺坡向卸荷裂隙面,导致受灌地层对灌浆压力异常敏感^[1]。在低高程水泥灌浆过程中,浅层段抬动较为频繁,个别孔段因抬动变形引起盖板混凝土出现错台或裂缝,对其进行分析后认为主要是由于灌浆压力与地层不匹配所致。最终采取了减小灌浆压力,调整灌浆时间等措施。

(2)串冒漏浆。岸坡与平洞双重爆破开挖作用导致洞口段岩石完整性差,卸荷裂隙发育;多种类型、不同压力的灌浆交替施工因岩盘厚度薄且存在临空面而导致岩体承压能力弱。受以上不利因素影响,灌浆过程中串浆、冒浆、漏浆等现象频

发,导致施工效率低,质量难以保证,最终采取了限流、限压、间歇、待凝及扫孔复灌等措施^[2]。

(3)劈裂返流。鉴于坝址区砂板岩以薄层状岩体为主,深孔段灌浆压力达4 MPa以上时容易出现高压灌浆劈裂并引起大吸浆,灌浆结束停泵后发现孔口有浆液返流现象。对其进行分析后认为是弹性岩体受压扩张、压力降低或解除后岩体出现回弹变形将已注入裂隙内尚未凝固的水泥浆液挤出孔口。为保证灌浆质量,对劈裂及返流孔段采取了延长屏浆时间和闭浆待凝等措施。

(4)群孔效应。洞口段灌浆施工过程中,由于

不同类型灌浆之间存在压力差而导致邻近灌注的孔与孔之间多次出现串浆、抬动等异常情况,此种条件下,极大程度地增加了同时抬动和劈裂的群孔效应。为降低群孔效应对原始地层的抬动破坏,确保灌浆施工质量,采取了增大相邻施工孔的间距(同序孔设计水平孔距为4 m,现场增大至8 m)和高差等缓解措施。

综上所述,由于原设计灌浆方案与现场实际施工条件不相符合,不能满足现场灌浆施工需要,经综合考虑后优化了原设计方案,采取灌浆综合措施调整了现场施工方案。阐述了对灌浆综合措施进行的研究。

4 灌浆综合措施研究

4.1 施工组织措施

(1)调整了原有施工顺序。经综合考虑施工布置、组织管理、资源配置、成本控制、工期计划等多种因素,了解到国内同类型水电工程一般采取的是将洞口封堵段与洞周盖板固结、帷幕灌浆同步施工的方式;但根据该工程特性,为降低群孔效应发生的概率,最终采取了提前施工洞口封堵段各类型灌浆、待其完成后再施工岸坡固结灌浆和帷幕灌浆,且将洞口段灌浆与下部盖板固结和帷幕灌浆单元的高差保持在15 m以上。

(2)择优选择施工班组。由于在洞口段灌浆过程中受复杂地质条件(主要为IV、V类围岩)引起的抬动变形、劈裂返流、串冒漏浆等异常情况影响,施工质量保证难度大且异常情况具有瞬发性,故要求班组成员之间一定要紧密配合、协同应对,操作人员必须能够及时发现并正确处理所遇到的突发情况,从而要求洞口段与岸坡灌浆施工均需择优选用技术水平高、实际操作经验丰富、执行能力较强的优秀施工班组。

(3)洞口段与岸坡抬动同步观测。该工程洞口段及岸坡固结、帷幕灌浆受砂板岩地层顺坡向裂隙影响,施工过程中易出现高抬低、高串低的现象,而超标准抬动变形会造成低高程已检查合格单元的浅表部发生劈裂抬动而影响到灌浆质量。为此,项目部安排专人对相邻2个高低单元抬动实施同步观测,任一抬动监测装置发现抬动变形时,负责灌浆压力操作的人员立即采取降压和限流措施至抬动值不再增大为止,并以该压力持续

灌注至结束标准。

4.2 施工技术措施

(1)在洞口预留二期混凝土盖板上增设加强固结灌浆孔。为避免洞口封堵段与岸坡盖板混凝土通仓浇筑后的不均匀变形和温度应力引起混凝土受拉开裂,采取了分期浇筑措施,即先浇筑盖板混凝土,再浇筑洞口衬砌混凝土(在盖板与洞口相交处预留门洞),以便于两期混凝土充分变形和散热,待心墙填筑至洞口之前3个月进行预留盖板二期混凝土的浇筑。

为保证二期混凝土与基岩紧密结合,提高洞口处的整体防渗效果,待预留门洞二期混凝土达到一定龄期后,在预留门洞周边布置了一环封闭状加强灌浆孔。

(2)动态调整压水及灌浆压力。①鉴于两岸坝肩浅表部岩体受长期风化及卸荷松弛、陡倾微细裂隙等综合影响,并经分析施工初期灌浆资料和现场抬动变形情况后,最终确定的岩体抗抬临界压力参考值为:距离岸坡0~2 m段灌浆压力为0.3 MPa,距离岸坡2~8 m段灌浆压力为0.5~0.7 MPa,孔深20 m以下深部孔段灌浆压力为4.5 MPa左右^[3]。②为减少洞口段灌浆施工对岸坡盖板的抬动影响,在其实施工过程中将距离建基面0~2 m范围的灌浆压力调整为0.3 MPa;2~8 m段的灌浆压力调整为0.7 MPa,孔深20 m以下深孔段灌浆压力为4.5 MPa,其余孔段根据抬动变形幅度动态调整灌浆压力。

(3)临界流量-压力灌浆法。①针对抬动敏感区域,在灌浆泵头上加装了分流装置,将入孔流量控制在30~40 L/min,注入率控制在5~10 L/min,以防止入孔流量过大造成能量快速累积引起的抬动。②根据不同深度的岩体卸荷程度和侧向埋深,在阶段性成果统计分析的基础上,对入岩20 m以上的灌浆压力采用0.1~0.5 MPa梯度分级升压^[4],出现抬动变形时立即采取降压和限流措施,并以抬动不再增大的临界压力作为设计灌浆压力。

(4)加大洞口段搭接帷幕的搭接范围。根据设计要求:岸坡三角区的帷幕距离其下层灌浆平洞洞口段上游侧洞壁的距离仅为2.5 m,岩盘厚度薄,而搭接区域三角区帷幕的灌浆压力为4.5~5.5 MPa,属于砂板岩地层的临界劈裂压力,故

导致上部三角区帷幕灌浆时多次引起洞口段搭接帷幕区域劈裂漏浆。为增强洞口段搭接帷幕区域的防渗效果,在原设计搭接帷幕上部增加了2排加密灌浆孔。

(5)在洞口段布置了化学灌浆孔。在洞口封堵段(封堵长度一般为12 m)外加5 m范围布置了环状化学灌浆孔,化学灌浆采用改性环氧树脂浆材,全孔一次纯压式灌浆法,入岩孔深为8 m,灌浆压力一般为2~2.5 MPa,利用高渗透性环氧树脂浆材对未被水泥浆液充填的微细裂隙进行补强灌浆处理^[5],弥补了洞口段因灌浆压力调整、串冒漏抬和未被水泥浆液充填的残余微细裂隙对整体防渗效果的影响。

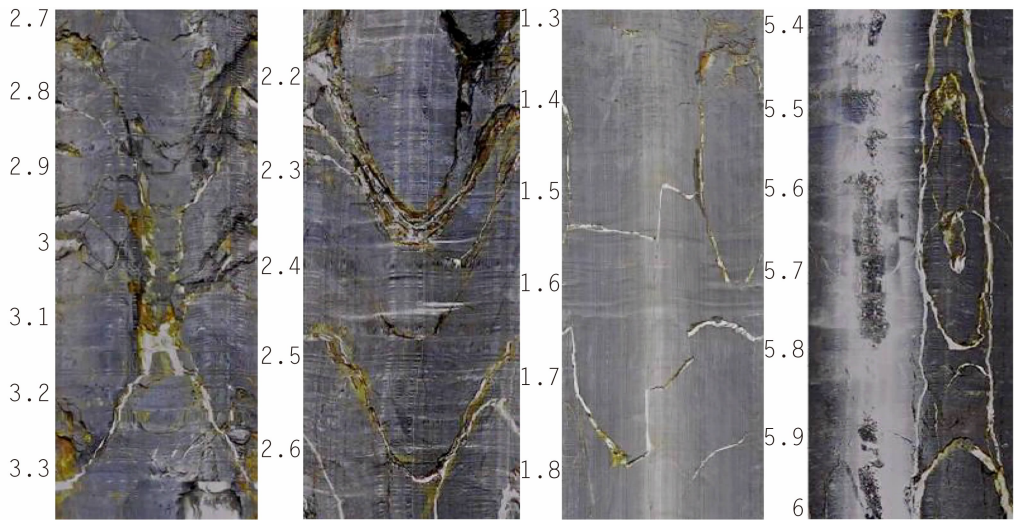


图2 环氧树脂灌浆材料对微细裂隙产生的充填效果

4.3 施工管理措施

(1)细化岗位职责。针对岸坡及洞口段抬动频繁、群孔效应明显、地层对压力敏感等特点,在采取综合灌浆技术和择优选定作业班组的基础上,各级管理人员也定员定岗,选用责任心和执行力强的三检人员,在压水灌浆过程中全程旁站,细化了岗位职责并将其悬挂在现场,所有钻孔、灌浆人员各负其责。

(2)做好工序细节管控。值班室配挂了设计文件、技术方案及相关会议纪要等技术文件以及灌浆记录仪管理办法、钻孔布置图和形象进度图、灌浆记录登记表、灌浆过程展示牌等,以便管理和操作人员能随时查阅和学习,避免施工时出现错误。

(3)建立信息反馈及处理机制。建立了网络

(6)心墙填筑后进行复核检查及二次补强。在洞口段封堵混凝土浇筑完成3个月且其外部心墙填筑至洞口高程30 m以上并形成良好的盖重条件后,在洞内施工锥形复核检查孔,其孔深以穿过两期混凝土缝面50 cm为宜,以检查洞口封堵混凝土与洞周衬砌混凝土、洞口封堵混凝土与心墙盖板混凝土之间的缝面是否充填密实,是否还存在层间渗水通道。

检查孔钻孔取芯完成后进行单点法压水试验和全景图像检测,复核检查结束后采用环氧树脂浆材进行化学灌浆加强处理,灌浆压力一般为2~2.5 MPa。环氧树脂灌浆材料对微细裂隙产生的充填效果见图2。

信息管理平台,所有孔段的施工情况、异常情况、验收过程均能及时上传至该平台,各级管理人员根据需要查阅和分析相关信息,自主决定是否需要进行复核,实现了灌浆施工全流程闭环管理和良性循环。

在后方资料室配备了专职资料整理和分析人员,能够快速完成资料整编和数据分析(灌浆成果与地质条件是否匹配、分序单耗递减情况是否符合一般规律、异常情况的处理措施是否合理、是否可能存在质量缺陷等),及时反馈异常情况,以便于管理人员及时调整和完善技术措施,确保整体防渗效果。

5 应用效果评价

两河口水电站砂板岩地层300 m级高土石

坝采用上述综合处理技术措施后,洞口段及洞周盖板固结、帷幕灌浆单元工程抬动和劈裂漏浆频次降低了 60% 以上,一次检查合格率从 78% 左右提升至 96% 以上,有效保证了洞口薄弱环节的防渗效果。

目前该电站已进入三期蓄水阶段,最低高程处的库水水头已超过 260 m,其基层灌浆平洞总

渗流量 $< 1 \text{ L/s}$,防渗效果达到了国内外已建坝高 200 m 级以上巨型水电工程的一流水平,库水位以下左右岸 10 个灌浆平洞洞口封堵段均无明显的渗水现象,说明所采取的综合处理技术措施达到了预期目的。260 m 水头压力条件下洞口及端头部位的整体干燥、无明显渗漏水情况见图 3。



图 3 260 m 水头压力条件下洞口及端头部位的整体干燥、无明显渗漏水情况

6 结 语

薄层状砂板岩防渗灌浆技术一直是大坝防渗灌浆施工的难题。因其低压渗性差、高压劈裂破坏严重的特性而导致其在施工过程中必须采取灵活多样的技术手段进行处理,进而要求现场施工技术及管理、决策层之间应有默契的信息传递途径,使信息反馈与决策内容执行程序达到良性循环,将所制定的组织、技术、管理等多项措施结合现场实际情况细化工作管理内容。该工程提出了“隐蔽工程、阳光作业”的工作制度并将其落实到现场实际工作中取得了预期的效果,解决了薄层砂板岩防渗施工的难题,所取得的经验对同类水电工程防渗帷幕灌浆施工具有较好的借鉴价值。

参考文献:

[1] 张来全,王宏刚,陈淑敏.两河口水电站大坝灌浆施工过程中

中盖板混凝土的抬动变形控制分析[J].中国勘察设计,2017,32(7):104-107.

[2] 丁加原,朱强,谢华.猴子岩水电站帷幕灌浆特殊情况处理[J].四川水力发电,2018,37(5):131-133,195.

[3] 朱先文,唐瑜,郜永勤.两河口水电站大坝岸坡三角区帷幕灌浆设计加强方案及效果研究[J].水电站设计,2021,37(2):13-14.

[4] 于习军,程少荣.水布垭大坝趾板基础防渗灌浆升压研究与实践[J].人民长江,2007,53(7):62-64.

[5] 陈伏牛,韩建东,赵彦辉.改性环氧树脂在两河口水电站帷幕灌浆中的应用[J].水利建设与管理,2019,39(7):45-49.

作者简介:

张加波(1987-),男,四川广元人,项目副经理,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

敬 玺(1987-),女,四川阆中人,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

华能吉鲁大安市 500 兆瓦风电项目全容量并网发电

2023 年 3 月 21 日 19 时,由水电五局承建的华能吉鲁大安市 500 兆瓦风电项目 C 标段 34 台风机全部并网发电。24 日,在华能龙沼镇升压站举行了电站投产发电仪式。该项目是吉林与山东两省按照“优势互补、互惠互利、共同发展”的原则合作开发、“吉电入鲁”配套外送风电基地项目之一,位于吉林省大安市南部的龙沼镇境内。项目总装机容量为 500 兆瓦,建设单机容量为 3.65 兆瓦的风电机组 69 台及单机容量为 5 兆瓦的风电机组 50 台,配套 1 座 220 千伏升压站,以 1 回 220 千瓦线路 T 接中电大安风电场——向阳变 220 千瓦线路接入国家电网,线路总长 21.5 千米。中水五局公司承建了其中 34 台、单机容量为 3.65 兆瓦的风力发电机组及高程 175 m 基场内线路铁塔施工任务。

(中国水电五局 供稿)