

阳江抽水蓄能电站 2 号支洞封堵施工技术的研究与实施

李霞

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要: 鉴于抽水蓄能电站水头高、灌浆压力大, 因而对支洞堵头封堵的整体性、实体及灌浆施工质量要求非常高。阐述了阳江抽水蓄能电站如何通过采用“高流态混凝土+串筒联合”的施工技术措施, 解决了封堵混凝土骨料分离、混凝土流动性差及进入钢管底部浇筑不密实等问题; 通过智能控制通水冷却速度、温度及在线监测混凝土温度, 减少了混凝土裂缝的产生; 针对薄弱部位进行补强灌浆, 提高了质量保证率。一系列合理、系统性措施的实施, 确保了堵头的封堵质量, 为水道充水奠定了坚实的基础。

关键词: 阳江抽水蓄能电站; 支洞; 封堵; 施工技术

中图分类号: TV7; TV52; TV554

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)06-0072-04

Study and Implementation of Sealing Construction Technology for #2 Adit of Yangjiang Pumped Storage Power Station

LI Xia

(Sinohydro Bureau No. 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: The pumped storage power station has high water head and high grouting pressure, therefore, there are high requirements on the integrity, physicality and grouting construction quality of plug sealing. This article explains how the Yangjiang Pumped Storage Power Station solves the problems of sealing concrete aggregate separation, poor concrete fluidity and uncompact pouring at the bottom of the steel pipe by using high-flow concrete + cascade; through intelligent control of the cooling rate and temperature and online monitoring of the concrete temperature, the occurrence of concrete cracks are reduced; reinforcement grouting is carried out for weak parts to improve its quality guarantee rate. The implementation of a series of systematic measures ensures the sealing quality and lays a solid foundation for water filling in the waterway.

Key words: Yangjiang Pumped Storage Power Station; Adit; Sealing; Construction technology

1 概述

阳江抽水蓄能电站位于广东省阳春市与电白县交界处的八甲山区, 其开发任务以输水发电为主。电站上水库总库容为 2 836.5 万 m^3 , 正常蓄水位高程 773.7 m; 下水库总库容为 3 105 万 m^3 , 正常蓄水位高程 103.7 m。引水隧洞的最大静水压力高达 800 m 水头, 最大动水压力约为 1 108 m 水头。

抽水蓄能电站相比常规水电站最为突出的特点就是其超高的水头作用及水道检修。抽水蓄能电站水道的施工支洞设置有堵头, 由于其水头高, 灌浆压力大, 对堵头封堵的整体性、实体及灌浆施工质量要求非常高。因此, 如何快速、安全、优质、

高效地完成堵头的封堵施工就显得尤为重要。

由于该电站高压输水隧洞支洞封堵处的操作空间有限, 为避免混凝土振捣不均匀、不密实, 最终选用高流态混凝土浇筑以提高混凝土的流动性和密实性。在混凝土浇筑过程中安装了温度计并在线监测, 将其观测成果与数字模拟温度曲线进行对比, 继而及时调整混凝土的入仓温度及通水冷却; 合理确定灌浆参数与灌浆压力, 加强对薄弱环节的灌浆。笔者以阳江抽水蓄能电站 2 号施工支洞堵头封堵为例, 对支洞封堵施工技术的研究与实施情况进行了介绍。

2 2 号施工支洞的封堵

2 号施工支洞的堵头与引水中平洞 Y1+158.861 处相接, 高程为 351.512 m, 洞口侧终点

收稿日期: 2023-02-02

高程为 346.17 m, 总长度为 81.234 m。2 号施工支洞堵头混凝土施工共分 IV 期。2 号施工支洞堵头混凝土分仓剖面情况见图 1。

(1) I 期混凝土纵向长 27 m, 衬砌后的断面尺寸为 $5.9 \text{ m} \times 4.836 \text{ m} \sim 5.5 \text{ m} \times 4.436 \text{ m}$ (宽 \times 高), 为城门洞型, 底板、边墙混凝土的衬砌厚度为 $0.88 \sim 1.08 \text{ m}$, 顶拱厚 $0.88 \sim 2.58 \text{ m}$, 混凝土标号为 C25W10F50, 二级配, 外掺 MgO。I 期混凝土布置了回填、固结、帷幕与接触灌浆, 其中施工方案为固结灌浆 7 排, 入岩深度为 3 m; 帷幕灌浆 4 排, 入岩深度为 8 m, 化学灌浆 4 排, 入岩深度为 6 m; 在 I 期混凝土外侧布置了 2 排接缝化学灌浆, 入岩深度为 3 m。

(2) II 期混凝土布置于引水中平洞与 I 期堵头混凝土之间, 其为实堵段, 混凝土标号为

C25W10F50, 二级配, 外掺 MgO。在 II 期混凝土靠引水中平洞侧布置了 2 排固结灌浆孔, 入岩深度为 8 m; 在靠近 I 期混凝土侧布置了 2 排固结灌浆孔, 入岩深度为 3 m。

(3) III 期混凝土布置于 I 期堵头混凝土外侧, 衬砌后的断面为马蹄型 ($3 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$), 底板衬砌厚度为 1.4 m, 边墙衬砌厚度为 2.33 m, 顶拱衬砌厚度为 1.58 m, 混凝土标号为 C25W10F50, 二级配, 外掺 MgO。III 期混凝土共布置了 16 排固结灌浆孔, 入岩深度为 3 m。

(4) IV 期混凝土布置于 I 期堵头混凝土与进入人孔钢管之间, 为实堵段, 总长度为 26 m, 混凝土标号为 C25W10F50, 二级配, 外掺 MgO。IV 期混凝土与 I 期混凝土及进入钢管之间需要进行接触灌浆。

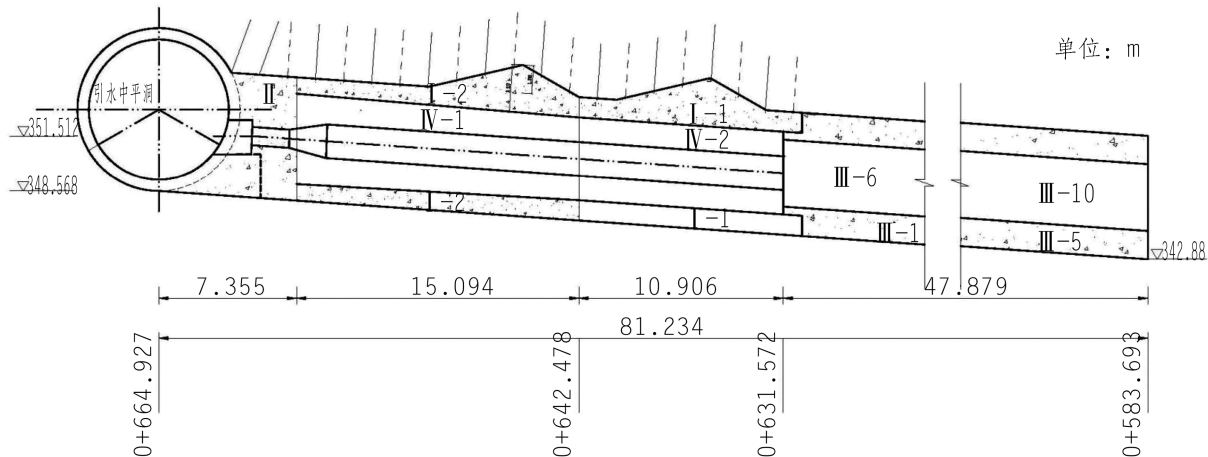


图 1 2 号施工支洞堵头混凝土分仓剖面图

3 2 号施工支洞封堵采用的施工方法

3.1 基础清理

首先检查其基础面是否存在欠挖。对于局部欠挖的部位采用风镐处理或挖掘机+液压油锤破碎处理, 敲除锐角岩石和倒角岩石, 由人工清、撬松动的石块, 人工配合装载机装自卸汽车出渣, 同时清理堵头段、喷混凝土, 避免形成渗漏通道。待施工断面满足设计要求后, 用高压水枪或高压风枪冲洗岩面以保持岩面清洁湿润、无积水、无松散石渣、灰尘、油污及杂质。

3.2 浇筑堵头 I 期混凝土

堵头 I 期混凝土浇筑纵向分 2 仓, 按照底板+边墙(部分)、剩余边墙+顶拱的顺序施工。

(1) 支撑系统的搭设。底板边墙设置 $\Phi 28$

mm 钢筋立柱支撑脚手架及模板系统, 立柱底部采用手风钻钻孔, 孔深 20 cm, 孔径 42 mm 并采用 M20 砂浆固定。

上部边顶拱部分采用“满堂脚手架+拉筋+组合定型钢模板”施工。脚手架搭设的横向间距为 60 cm、纵向间距为 60 cm, 步距为 120 cm, 并按相关规范要求设置剪刀撑; 边墙采用“满堂架+可调托撑+模板背楞支撑”; 对于顶拱开挖键槽的部位采用“满堂架+ $\Phi 22$ mm 钢筋拉杆固定”, 拉杆长 2.5 m, 入岩深度为 2 m, 外露 0.5 m、间排距为 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 。

(2) 测量放样。根据设计图纸测量放出准备立模分块桩号的边线, 将建筑物体型的控制点线放在明显地方, 确定钢筋绑扎和立模边线并作好

标记,在插筋上定出架立筋的点位并焊接加固架立筋。严格按放出的边线及高程点位进行后续工序的施工。

(3)钢筋绑扎。钢筋安装前,先依据施工详图所示的尺寸、位置进行精确的测量放样,然后按照测量点放线标点定点、定位安装。搭设骨架支撑钢筋,然后按主要受力钢筋和分布钢筋的布局走向按其顺序的先后将钢筋穿插成型。对于底层或前后左右相邻的先浇混凝土块露出的钢筋接头需要采用特制的扳手调直校正后方能进行新的钢筋安装。钢筋接头需按施工图纸规定采用焊接或绑扎搭接,其搭接长度必须符合设计和相关规范要求。主筋接头采用焊接,其焊接长度为:单面焊不小于 10 倍钢筋直径,双面焊不小于 5 倍钢筋直径,同一断面的钢筋接头不得超过 50%且接头布置在拉应力较小处,不同截面的接头应错开 50 cm。

(4)模板安装。堵头 I 期混凝土模板采用两层 4.5 mm 厚的竹胶板,模板背楞采用 5 cm×10 cm 方木,间距 0.15 m,方木与定型桁架采用铁丝固定牢固。两层模板拼装的接缝应错开 50 cm 以上,拼缝必须严密并贴双面胶。所有模板就位和安装后必须按相关规范要求精确校核其位置,使模板位置符合设计及规范要求,模板表面应光洁、平整。模板安装偏差的检查采用全站仪进行,预留孔洞结构的尺寸采用钢卷尺丈量检查。对于边墙部位,每隔 2~3 m 预留 30 cm×30 cm 振捣孔,以便于混凝土振捣。

(5)混凝土浇筑。混凝土采用 9 m³ 混凝土罐车运输至现场,HBT60 混凝土泵泵送入仓,两侧对称均匀下料以防止单侧受力集中,保证支撑结构的稳定性,采用插入式振捣棒振捣,将下料厚度控制在 50 cm 以内。混凝土浇筑期间其入仓强度不宜过高,控制底板部位混凝土的浇筑速度,避免模板整体上浮。对于边顶拱部位的混凝土可以按照正常速度浇筑,浇筑期间设专人旁站。

施工时建立了 BIM 三维仿真数字模拟,在混凝土浇筑过程中安装了温度计并在线监测的同时与数字模拟温度曲线进行了对比,以便及时调整混凝土的入仓温度及通水冷却^[1],控制通水冷却速度、温度及在线监测混凝土温度。

3.3 回填灌浆

回填灌浆利用顶拱预埋的固结灌浆孔进行。

回填灌浆孔采用 YT-28 气腿钻钻孔,孔径为 42 mm,孔深入岩 10 cm。回填灌浆在衬砌混凝土达到设计要求的强度后进行,共分为两个次序^[2],先施工顶拱两侧 I 序孔,再施工正顶拱 II 序孔,灌浆由低的一端向高的一端进行。回填灌浆的压力为 0.5 MPa,在灌浆孔口处安装压力表以控制灌浆压力。回填灌浆采用水灰比为 0.5:1 的水泥浆。对于空隙大的部位,如果使用水泥砂浆,其掺砂量不得大于水泥用量的 200%。回填灌浆在规定的压力下停止吸浆并继续灌注 10 min 即可结束。

3.4 固结灌浆

钻孔完成后应采用压力水对孔段的孔壁和裂隙以从孔底向孔外冲洗的方式进行冲洗,冲洗时间可至回水清净时止且其不大于 20 min。冲洗用的水压采用灌浆压力的 80%且不大于 1 MPa。选取 5%的灌浆孔在灌浆前进行单点法压水试验,压水用的压力为灌浆压力的 80%且不大于 1 MPa。固结灌浆采用纯压式、孔内卡塞、分段灌浆法,第 1 段卡塞设在衬砌混凝土与岩体结合的部位(骑缝卡塞),第 2 段卡塞深度为入岩 2~3 m。固结灌浆按照“环间分 2 序、环内分 2 序”的原则由低到高、由底部向顶拱的原则施灌,由两端向中间推进。固结灌浆采用五级水灰比:3:1、2:1、1:1、0.8:1、0.5:1(重量比),采用 3:1 的比例开灌。灌浆压力达到最大设计压力后,待其注入率不大于 0.3 L/min 后继续灌注 30 min 即可结束该孔的灌浆。

固结灌浆压力的控制原则:第 001 段灌浆时,PQ 值(压力×注入率)按照不大于 30 MPa·L/min 的要求控制灌浆压力的提升;第 002 段及以下灌浆时,PQ 值(压力×注入率)按照不大于 40 MPa·L/min 的要求控制灌浆压力的提升。

灌浆结束后及时进行验收,对于验收合格后的灌浆孔及时进行封孔施工。固结灌浆的封孔采用化学灌浆^[3],灌浆压力为 2~3 MPa。封孔完成后切除化学灌浆管,磨平孔口,要求其于混凝土表面齐平。

3.5 进入孔钢管的安装

进入孔钢管在钢管加工厂组圆并焊接成 10 m/节,进入孔钢管采用 12 t 随车吊运输至现场并卸车,由“人工+手拉葫芦”将其移动至安装位置。进入孔钢管的现场焊接采用剖口焊方式,进入孔

钢管的焊缝按二类焊缝进行质量控制。普通管节的安装质量控制要求为管节管口中心的最大偏差为20 mm;钢管安装后管口的圆度偏差不大于钢管内径的5%,且其最大不应大于40 mm;对于管口,至少测两对直径;控制环缝的间隙和错边量,其错边量应不超过钢管壁厚的10%,且其最大不应大于2 mm,将其间隙控制在0~4 mm。

焊接完成后进行超声波探伤检测,管节的安装质量采用全站仪及游标卡尺检查。

3.6 II~IV期混凝土施工

(1)准备工作。将I期混凝土进行凿毛处理^[4]并将灌浆渗漏的水泥浆液清理干净,预埋接触及接缝灌浆管(现场预埋管采用壁厚1 mm的铝管,配套同阀门使用)。经现场试验得知,壁厚1 mm的铝管能够满足灌浆要求。

(2)模板安装。堵头模板可根据分块端部的开挖断面采用木板现场拼装,将堵头模板的一端固定在进人孔钢管上,另一端与开挖面紧密接触,采用锚杆或插筋焊接拉筋进行固定。在堵头模板顶拱设一个宽60 cm,高度不小于40 cm的进人孔作为浇筑材料输送等进出仓面的施工通道,该进人孔待混凝土浇筑至顶拱时及时封闭。

(3)混凝土浇筑。混凝土采用泵送入仓、两侧对称均匀下料以防止其单侧受力集中,以保证进人孔钢管的稳定性。采用插入式振捣棒振捣,将两侧下料高差控制在50 cm以内。混凝土浇筑期间其入仓强度不宜过高;必须控制混凝土的浇筑速度,避免钢管整体上浮。混凝土浇筑期间设专人旁站,严格控制混凝土的浇筑速度、下料位置和振捣情况。采用“高流态混凝土+串筒”的方式施工,混凝土浇筑至钢管底部时敲击钢管以解决封堵混凝土骨料分离、混凝土流动性差及进人孔钢管底部浇筑不密实等问题。

3.7 接触与接缝灌浆

化学接缝灌浆按照“环间分两序、环内加密”的原则由低到高、由底部向顶拱的顺序施灌。化学接缝灌浆孔按设计要求深入岩体,采用全孔段灌浆压力为设计压力。接缝化学灌浆的总体施工程序为:由低到高、由底部向顶拱的原则施灌^[5]。在接缝混凝土预留的灌浆孔上采用YT-28气腿式钻机进行钻、扫孔施工,钻孔直径为42 mm。接触灌浆采用预埋灌浆管路施灌。

化学灌浆前,连接注浆管路并经现场施工技术人员检查合格后采用压缩空气将孔内的积水排除后开始注浆。开灌时,打开排气管阀,采用低压慢灌将孔内的空气及水完全排出,当浆液从排气管排出时浆液充填满孔段后可关闭排气阀门,逐级加压施灌。开始灌注时,采用低压大排量快速充填灌注孔,当回浆管返原浆后关闭回浆阀、提升压力,观察孔内的进浆量和压力装置。当灌浆压力不变、流量持续下降时,上升1个压力等级(1 MPa)继续灌注。当上升1个压力等级、流量无明显变化时,可再升1个压力等级。待化学灌浆压力达到设计压力且注入率为0.05 L/min后,继续灌注30 min或到达胶凝时间后可进行闭浆。

4 结语

阳江抽水蓄能电站2号施工支洞堵头于2021年6月15日开始施工,已于2021年10月30日完成,较常规施工方案节约工期近3.5个月,混凝土施工单元评定优良率为94.2%。通过采用“高流态混凝土+串筒控制通水”冷却速度、温度及在线监测混凝土温度,同时针对薄弱部位进行补强灌浆等施工措施,降低了堵头充水后的渗流量,提高了堵头运行的安全性,满足了抽水蓄能电站在高水头条件下对堵头封堵的整体性、实体及灌浆施工高质量的要求。笔者总结并形成了《高压输水隧洞支洞封堵混凝土施工工法》。该堵头封堵施工技术不仅适用于水电站支洞封堵混凝土工程施工,还适用于矿山工程、公路工程、铁路工程等封堵工程,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 齐宇. 响水洞抽水蓄能电站施工支洞封堵施工技术[D]. 《抽水蓄能电站工程建设文集》2015中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会会议论文集: 389-392.
- [2] 张秀军. 隧洞支洞封堵混凝土回填灌浆技术[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2007, 7(1): 31-33.
- [3] 史云吏. 清远抽水蓄能电站引水道3号施工支洞堵头施工[D]. 《抽水蓄能电站工程建设文集》2020中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会会议论文集: 420-424.
- [4] 陈建军 宋迎爽. 观音岩水电站小断面施工支洞封堵施工技术[J]. 四川水利, 2016, 37(3): 18-20.
- [5] 肖力群, 黄敏荣. 浅谈支洞封堵施工技术措施[J]. 中国新技术新产品, 2010, 18(14): 108-109.

作者简介:

李霞(1976-),女,山东博兴人,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)