

# 固增水电站有压引水隧洞支洞封堵防渗施工技术

王军红

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610213)

**摘要:**固增水电站建设采用 EPC 总承包模式,其中引水隧洞全长 11.06 km,在隧洞出口末端设置调压室。鉴于引水隧洞围岩风化破碎严重且地下水丰富,围岩以 IV、V 类岩体为主,导致施工支洞采用混凝土封堵后渗透性强,对其结构安全及稳定破坏性大。通过研究与分析,最终决定采用有效的防渗施工技术进行处理并达到了设计要求的防渗标准,所取得的经验可为类似工程借鉴。

**关键词:**固增水电站;预固结灌浆;有压引水隧洞;帷幕灌浆;遇水膨胀止水条;橡胶止水;环氧灌浆;防渗施工技术

**中图分类号:**TV7;TV52;TV554

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)05-0009-04

## Construction Technology of Sealing and Anti-seepage for the Adits of the Pressuried Headrace Tunnel

WANG Junhong

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** The construction of Guzeng Hydropower Station adopts EPC general contracting mode, of which the total length of the headrace tunnel is 11.06 km, and there is a surge chamber at the end of the outlet. The surrounding rock of the headrace tunnel is mainly composed of Class IV. and V., in view of that the surrounding rock is severe weathering, broken and abundant with groundwater, resulting in that the adits have strong permeability after being sealed with concrete, which has great damage to the stability of the safety structure. Through technical research and analysis, it was finally decided to adopt effective anti-seepage construction technology and meet the anti-seepage standards required by the design, and the experience gained can provide reference for similar projects.

**Key words:** Guzeng Hydropower Station; Pre-consolidated grouting; Curtain grouting; Water expansion stopping strip; Rubber water-stopping; Epoxy grouting; Anti-seepage construction technology

### 1 概述

固增水电站位于四川省凉山彝族自治州木里藏族自治县固增苗族自治乡,属于多民族居住区,电站采用引水式发电,主要建筑物等级为Ⅲ级,引水隧洞布置于木里河左岸,全长 11.06 km,纵坡降  $i=2.086\%$ ,隧洞衬砌后的净断面尺寸为  $6.1\text{ m}\times 7.8\text{ m}$ ;隧洞位于高山峡谷地貌区,地形高差悬殊,沿线沟谷深切,多呈不对称的“U”和“V”型谷,植被较发育,洞轴线垂直埋深为  $60\sim 760\text{ m}$ ;隧洞处于前山背斜和甲沟向斜 NW 末端,向斜地下水储量丰富;规模较大的断层有 4 条,分别为基洼断层、撒洼断层、索根断层和曼念吉冈断层,断层破碎带一般宽约  $20\sim 40\text{ m}$ ,其中撒洼、索

根断层宽达  $50\sim 100\text{ m}$ ,由碎裂岩、糜棱岩、角砾岩、少量断层泥、裂隙密集带等组成,断层均为非活动性断层。地质调查显示:岩体中小断层、层间错动带较为发育,小断层破碎带的宽度一般为  $0.5\sim 2\text{ m}$ ;地层中揉皱、挠曲等小褶皱现象普遍,岩层产状变化较大,节理较为发育。施工期间共设置了 6 条施工支洞辅助主洞掘进,衬砌后的施工支洞与引水隧洞相接部位采用混凝土封堵。根据水压力的不同,封堵段长度不等,其中 2 号、4 号、6 号支洞封堵段设置了  $2.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}$  进人门供运行检修用。充水后隧洞内水压力较大,其中 6 号支洞三岔口处的压力达  $0.4\text{ MPa}$ 。因隧洞地质条件差而对支洞封堵段的施工防渗要求高。支洞与主洞三岔口封堵段平面图见图 1。

收稿日期:2023-05-10

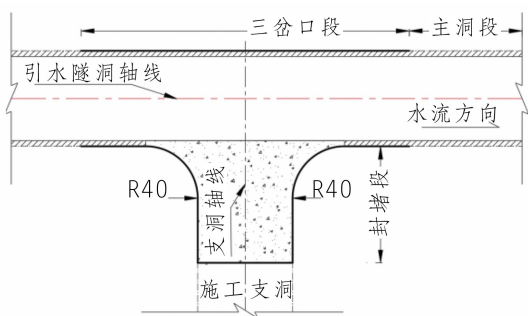


图1 支洞与主洞三岔口封堵段平面图

## 2 渗水原因分析

施工支洞与引水隧洞相交三岔口段开挖揭露的岩性主要为炭质板岩、少量砂岩和粉质岩,裂隙较多且发育,受爆破开挖影响造成裂隙扩大,渗水严重。此处的渗水由三部分组成:(1)山体中的岩石裂隙贯穿地表形成渗水通道,渗水主要受降雨补给;(2)引水隧洞过水充压导致混凝土产生裂缝并与岩体渗水通道相接贯通形成贯穿性渗水通道,渗水受洞内充水补给;(3)因混凝土施工缝防渗不当形成贯穿性渗水通道并受洞内充水补给。山体中的岩石裂隙与混凝土施工缝的渗水因隧洞埋深较大、渗径较长、开挖支洞形成的临空面渗径较短、渗水击穿支洞封堵段防渗体系后流出,其余直接从施工缝面渗出。分析得知:上述渗水均在支洞封堵段产生渗透破坏,进而影响到隧洞整体结构的稳定和使用安全,必须通过有效的防渗施工技术解决渗透破坏问题。

## 3 所采用的防渗施工技术

### 3.1 预固结灌浆

控制开挖爆破震动以降低扰动周边岩体完整性的程度,控制裂隙发育,减少渗水通道。鉴于支洞封堵段岩体主要为Ⅳ、Ⅴ类围岩,对于三岔口的开挖采用光面、短进尺、弱爆破<sup>[1]</sup>技术,Ⅰ16型钢及锚喷支护;在主洞临近三岔口开挖前施工锁口锚杆。由于开挖断面较大、装药量大,对于主洞距三岔口30 m范围内的开挖采用中导洞短进尺施工方法,并对其周边采用扩挖弱爆破方式以减少爆破对围岩的扰动。封堵段的长度为21~35 m。由于封堵段混凝土浇筑完成后不具备设计要求的固结灌浆施工条件,最终选择在混凝土浇筑前采用预固结灌浆的方式以达到设计灌浆的目的。

预固结灌浆的目的是为帷幕灌浆做准备:引水隧洞三岔口衬砌完成后,必须按照设计的要求

进行回填灌浆并需检查验收合格。在主洞内按设计要求完成固结灌浆并需检查验收合格。封堵段初期为锚喷支护,选择0.5 MPa的低压浓浆预固结灌浆<sup>[2]</sup>。预固结灌浆提高了支洞开挖轮廓范围岩体的完整性和岩体强度,为深孔帷幕灌浆提供了盖重,防止了高压灌浆冒浆、漏浆等情况的出现。

### 3.2 防渗帷幕灌浆

帷幕防渗灌浆的目的主要是解决三岔口处的岩体受爆破震动或自然发育产生的深层裂隙渗水,系进一步提高防渗体系的施工技术手段。对于施工支洞三岔口直段全断面采用了一排帷幕灌浆以阻断渗水通道,孔间距为1.5 m,孔深9 m,孔向与支洞轴线的夹角为45°,孔口距封堵混凝土末端的距离为1.5 m,施工顺序为Ⅰ→Ⅲ→Ⅱ→Ⅲ,共分Ⅲ序,开灌压力为0.5 MPa,结束压力为3 MPa。28 d后进行简易压水检查,对不合格区域实施补灌并需满足相关规范要求。帷幕灌浆为引水隧洞衬砌后进行的回填、固结和支洞段预固结灌浆的高压补强灌浆,通过灌浆加强三岔口混凝土封堵段的岩体完整性,提高防渗体系的强度,降低第一部分和第二部分的渗透破坏<sup>[3]</sup>。

### 3.3 封堵段混凝土浇筑

(1)基础缝面的处理。待引水隧洞施工任务完成或支洞无车辆通行干扰时开始清理基础,清除施工期间底板的浮渣和保护层,露出新鲜岩石,剔除倒角及松动形成的块体,必需用高压风管将其清理至无积水、无积渣,严禁水洗或外来水入仓,及时浇筑C25垫层混凝土进行封闭,且垫层混凝土收仓线低于设计衬砌混凝土结构线2 cm、靠河侧形成2%的坡比以便于冲洗仓面;对于封堵混凝土与开挖支护的接触区域,除需清除松动的块体外,还需采用高压风清除灰尘与杂物以保证所浇筑的混凝土结合良好;待混凝土施工缝面初凝后,采用高压水枪冲掉乳皮、微露小石成毛面,将钢筋、止水等预埋件除锈清洗干净以防止油渍等污染。

#### (2)安装止水。

①无进人门支洞的封堵:在每道施工缝面安装651型橡胶止水,保护层厚50 cm,纵横止水接头采用硫化连接并确保连接牢靠,与引水隧洞衬砌混凝土预留止水连接形成闭合,止水迎水面贴

2 cm×2 cm 的吸水膨胀止水条<sup>[4]</sup>,止水条在现浇块和后浇块内各埋设一半并固定牢靠,以防止混凝土浇筑时造成止水移位。

②有进人门支洞的封堵:封堵段断面为 2.5 m×2.5 m 的检修廊道,主洞侧设封堵金属闸门。鉴于闸门安装后浇筑的二期混凝土造成施工缝面较多,运行时受主洞有压水长期侵蚀导致其易漏水,为提高施工质量、防止漏水,在二期混凝土内预埋了 651 型橡胶止水,在先浇混凝土内埋设一半,预留二期混凝土浇筑时埋设另一半。人工凿毛二期混凝土施工缝面并刻槽 1 cm×2 cm (深×宽),安装 2 cm×2 cm 的吸水膨胀止水条;在预埋门槛部位焊接 5 cm×5 cm 的角钢,涂刷防锈漆,安装吸水膨胀止水条以阻断施工缝面的渗水通道。一、二期混凝土及预埋门槛止水布置情况见图 2。

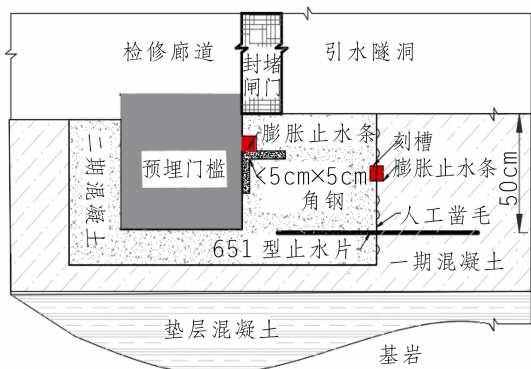


图 2 一、二期混凝土及预埋门槛止水布置截面图

(3)混凝土浇筑。支洞封堵段的断面尺寸为 6.1 m×7.8 m,浇筑 C25W4F50 二级配混凝土,封堵段长度为 21~35 m,符合相关规范要求。鉴于大体积混凝土施工时的水化热易产生裂缝,因此,控制温度裂缝和振捣密实度是施工中的重点。

一期混凝土浇筑时采取的控制温度裂缝措施:①混凝土浇筑选择在低温时进行以降低浇筑温度;②通过配合比优化以提高粉煤灰的用量,减少水泥用量或使用低热水泥以降低水化热;③对于混凝土的分仓分段,考虑到温控和减少施工缝,防渗采用 2 m 一段,升层分两次封闭完成并控制混凝土浇筑的单仓方量;④预埋灌浆管路,铺设 Φ50 mm PVC 冷却水管<sup>[5]</sup>,通入冷水以加快混凝土凝固水化热的散热;⑤延长混凝土浇筑块的间歇期,对施工缝面进行洒水养护、降温。

控制二期混凝土浇筑密实度采取的措施:①选用二级配高流态混凝土浇筑,严格控制下料高度不大于 1 m,防止骨料分离及振捣不密实;②止水部位混凝土浇筑前必须清理干净,采用 Φ50 mm 软轴振捣密实,振捣过程中严禁碰撞止水;③混凝土浇筑前对模板涂刷脱模剂,浇筑过程中在模板外侧用锤子敲击以促进混凝土模板面的排气;④对于迎水面混凝土施工缝必须打磨干净,涂刷环氧胶泥,厚度为 2 mm,宽度为 20 cm 以防止其渗漏。

### 3.4 封闭灌浆

(1)回填灌浆:按照设计要求的间排距 3 m×3 m 埋设回填灌浆管,造孔打穿垫层混凝土或喷射混凝土,入岩深度为 15 cm。埋管选用 Φ48 mm 钢管,对入岩段管壁布设梅花型渗浆通道,将埋管引出封堵混凝土结构外以便于灌浆。待封堵混凝土强度达到设计强度的 70% 时进行回填灌浆,压力为 0.3 MPa,分两序进行:一序孔灌注水灰比为 0.5:1 的水泥浆,二序孔灌注水灰比为 1:1 的水泥浆。采用注浆法进行质量检查,单孔注入水灰比为 2:1 的水泥浆,与灌浆压力相等且在 10 min 内注入量不大于 10 L 即为合格。

(2)帷幕灌浆:①对于无检修门的封堵段,在封堵廊道内施工一环帷幕灌浆,孔间距为 1.5 m,孔深 6 m,孔向垂直洞壁混凝土面;②对于有进人门的封堵段,在封堵端头按上述 3.2 中的方法施工一环帷幕灌浆孔。

### 3.5 充水检查及处理

(1)充水检查:待混凝土强度达到凝期后进行静水与动水充水试验。静水试验时关闭引水隧洞末端的调压室闸门,按照设计要求充水灌满并保压 7 d,检查并记录支洞封堵段的漏水情况和压力表读数;动水试验时打开调压室闸门并保持引水隧洞过水 7 d,同样观察渗水部位及压力表读数,对于渗水情况需联合设计、监理和业主进行技术分析,制定处理方案。

(2)处理:对渗水部位采取化学灌浆<sup>[6]</sup>,安装灌浆嘴,采用化学材料 A:B=5:1 的重量比配制的浆液,灌浆压力为 0.2~0.4 MPa。清除裂缝或渗水表面的脏物,用毛刷蘸酒精、丙酮等有机溶剂将裂缝两侧 30~50 mm 范围擦洗干净并保持干燥。在灌浆嘴位于裂缝交叉处、较宽处、端部裂

缝贯穿处理设灌浆孔,灌浆孔采用斜孔布置,灌浆孔的位置应使孔和漏水裂缝空隙相交并将其设在漏水量最大处。灌浆嘴的埋设距短缝的距离为300~500 mm,长缝为500~800 mm。对于注浆嘴的底部抹一层厚约2 mm的结构胶将进浆孔骑缝粘贴在预定位置上。通过灌浆嘴施压将浆液注入裂缝、挤走裂缝中的渗水并使其扩散、凝固以达到防水、堵漏、补强的目的并将缝隙完全填满,再沿裂缝抹一层厚约1~2 mm的结构胶封缝。抹胶时,应排除气孔和气泡,将胶刮平整,裂缝封闭后进行压气试漏以检查其密封效果。采用单孔灌浆或分区群孔灌浆的方式,封孔砂浆配合比采用水:灰:砂=0.3:1:1,膨胀剂的掺量为水泥用量的3%~3.5%。待缝内浆液达到初凝而不外流并经检查无漏水现象时可敲下灌浆嘴,再用环氧胶泥封闭,使用水泥砂浆等材料将孔补平抹光、打磨平整后刮2 mm厚的环氧胶泥并需保证处理后的结构面美观。

#### 4 结 语

固增水电站引水隧洞长约11.06 km,共设置辅助施工支洞6条。施工方案中三岔口处的围岩较差,支洞封堵后的渗透破坏严重影响其结构安

(上接第3页)

(规模、性质及位置等)、地下水赋存情况(水量及水压等),及时反馈信息用以指导施工,并用超前探孔进行验证,据此进行涌水、突泥危险性判别。

(2)当探水(泥)孔穿越断层且段落范围内突涌水风险高时,对该段落范围内采用超前周边预注浆设计;当该段落为灰岩等可溶岩和含炭质板岩(非可溶岩)接触带时,段落范围内突涌水风险高,针对该段落范围采用超前帷幕预注浆设计。

(3)设置自动化智能控制系统,用以自动监控隧道内地下水及水仓内的水位变化,根据不同的水位发出控制信号自动控制泵组启停以实现智能化抽排,合理降耗。

#### 4 结 语

长距离大坡度铁路隧道反坡排水是该工程施工的重点,直接关系到隧道建设的安全生产和施工进度。通过对排水管管径进行计算、优化水泵选型、合理设计泵站洞室、确定反坡排水的技术参数、确定总体反坡排水方案并将其成功地应用于

全稳定和使用寿命。通过充分发挥EPC总承包模式的团队合作精神,施工单位与设计单位紧密合作,根据现场出现的实际问题,能够及时组织查看、讨论分析、共同拟定切合实际的处理方案。通过施工方案的实施,最终解决了封堵段的渗透破坏问题,所采用的有压引水隧洞支洞封堵防渗施工技术可为今后类似工程施工时借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 李剑峰,岳纪强.浅埋铁路隧道弱爆破施工技术与管理[J].四川建材,2021,47(1):132-133.
- [2] 张坤.浅埋大倾角不良地质长斜井开挖处理施工技术[J].水利科学与寒区工程,2022,5(3):72-74.
- [3] 蔡胜,李杨,刘学金,等.吸水膨胀橡胶研究进展[J].广东化工,2019,46(11):128-129.
- [4] 向明.BW-II型膨胀止水条在堤防加固涵闸施工中的应用[J].黑龙江水利科技,2021,49(8):191-193.
- [5] 郭斌,贺俊,汪宾舟,等.某混凝土拱坝冷却水管空间排布优化研究[J].甘肃水利水电技术,2020,56(3):46-48.
- [6] 魏涛,张健.水泥环氧复合灌浆技术研究及应用[J].长江科学院院报,2021,38(12):1-5,11.

#### 作者简介:

王军红(1985-),男,甘肃定西人,项目副总工程师,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

该隧道施工,顺利地完成了施工任务<sup>[5]</sup>,所取得的经验值得类似隧道工程参考借鉴,以提高反坡排水施工的技术水平。

#### 参考文献:

- [1] 汪晓勤.长大富水隧道大坡度辅助导坑反坡排水施工技术[J].交通建设,2018,9(8):235-236.
- [2] 郜现磊.营盘山隧道斜井工区涌水处治方案研究[J].工程技术研究,2022,7(9):46-48.
- [3] 韩超.特长隧道涌水综合反坡排水施工技术[J].工程建设与设计,2020,27(32):106-107.
- [4] 唐明秀,何小江,唐志.大坡度长隧道斜井反坡排水施工技术[J].云南水力发电,2021,37(6):77-80.
- [5] 张栋.长大富水隧道反坡排水施工技术研究[J].价值工程,2012,29(22):68-70.

#### 作者简介:

张 铎(1991-),男,陕西安康人,二级项目经理,工程师,学士,从事建设工程项目管理;

孙慕楠(1995-),男,天津宝坻人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与质量管理工作。

(责任编辑:李燕辉)