

单线大坡度铁路隧道反坡排水施工技术

张 铎, 孙慕楠

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要: 目前我国的基础设施建设正处于快速发展阶段, 特长高速铁路的建设逐步向偏远地区、复杂地层延伸, 导致穿越埋深较大并存有高压富水的隧道日益增多。为加快施工进度, 满足施工场地、通风、排水、弃渣等需要, 常常结合地形、地质条件采用增设斜井或横洞等辅助坑道的方式将整条隧道划分为独立区域进行施工。由于隧道埋深较大, 导致辅助坑道的坡度亦设计的较大, 从而给隧道内的反坡排水带来较大难度。笔者总结了某铁路单线大坡度隧道反坡排水采用的施工技术: 布置了相应的泵站, 通过排水管路分级接力抽排的方式, 有效地解决了隧道反坡排水的难题, 所取得的经验可为今后类似工程提供借鉴。

关键词: 铁路隧道; 高压富水; 大坡度; 反坡排水; 泵站; 施工技术

中图分类号: [U25]; U21; U215; U212

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)05-0001-03

Construction Technology of Reverse Slope Drainage of Single-line Tunnel with Large Slope

ZHANG Duo, SUN Munan

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

Abstract: At present, China's infrastructure construction is in a stage of rapid development. The construction of ultra-long high-speed railways is gradually extending to remote areas and complex strata, resulting in going through more and more tunnels with large buried depth and high pressure rich water. In order to speed up the construction progress and meet the needs of the construction site, ventilation, drainage and slag abandonment, etc., the whole tunnel is often divided into independent areas by adding auxiliary adits such as inclined shafts or transverse adits in combination with the topography and geological conditions. Due to the large buried depth of the tunnel, the slope design of the auxiliary adits is larger, which brings greater difficulty to the reverse slope drainage in the tunnel. This paper summarizes the construction technology of reverse slope drainage of a single-line railway tunnel with large slope; setting up the corresponding pump station, and by means of hierarchical relay drainage of drainage pipe, the problem of tunnel reverse slope drainage is effectively solved, providing experience for similar projects in the future.

Key words: Railway tunnel; High pressure rich water; Large slope; Reverse slope drainage; Pumping station; Construction Technology

1 概述

某铁路隧道为双洞单线隧道, 其线间距为 30~50 m, 左线正洞长度为 17.77 km, 右线正洞长度为 17.76 km, 最大埋深 563 m, 为特长山岭隧道。为加快该隧道的施工进度, 共计设计了 4 座辅助坑道且均为反坡, 包括 3 座斜井和 1 座横洞, 总长度为 4 337 m。其中横洞的总长度为 599 m, 最大坡度为 10%; 3 座斜井的长度分别为 167 m, 1 929 m 和 1 642 m, 最大坡度达到 10.77%, 隧址区处年平均降雨量约为 600 mm, 隧址区岩

溶现象多有发生且发育多条褶皱及断层, 岩体受其影响而破碎, 易伴随高压富水情况发生, 严重影响施工安全及施工进度, 制约工期^[1]。

针对该工程辅助坑道距离长、坡度大的特点, 采用反坡排水技术的处理难度与处理成本相对较高。本文阐述了该工程合理优化水泵型号、动态调整泵站位置、有效解决大坡度隧道反坡排水施工技术存在的难题的过程, 为隧道掘进安全、快速施工提供了有利保障。

2 大坡度铁路隧道反坡排水施工技术

2.1 反坡排水的定义

收稿日期: 2023-05-10

在隧道掘进过程中,坡度呈现出向下的发展现象,施工用水以及围岩内部的渗(涌)水全部汇集至掌子面积聚,围岩长期受水浸泡将会影响到其稳定及人员的安全。而采用机械抽排的方式可以将掌子面方向的积水通过排水管道及时抽排至洞外,进而保证反坡隧道正常施工。

鉴于该铁路隧道涌水量巨大,针对隧道地下水处置采取的总体原则为“防排结合、适量排放”^[2]。若全部按污水加以处理,其处理难度与处理成本较高;同时,受地质构造影响,不同区段的涌水量差异很大,其部分为贫水段,部分为强富水段,巨大的涌水量波动将给废水处理设施的运行带来了极大的困难,并易引发局部环境污染事件或纠纷。因此,在隧道施工过程中有必要进行清污分流,从源头减少隧道施工废水的产生,以降低其对环境的影响。

2.2 反坡隧道中辅助坑道的清污分流

反坡隧道中辅助坑道的清污分流分别采用清水沟、污水沟收集清水与污水。反坡排水隧道的清水沟设置在辅助坑道两侧,水沟的断面尺寸不小于 $30\text{ cm}\times 25\text{ cm}$,用于收集本段及上游的清水。污水沟设置在辅助坑道单侧,为半圆槽水沟,其直径不小于 15 cm 并设置了一定坡度(不小于 2%),上游的施工废水及路面的泥浆废水均通过污水沟进行收集,其半圆槽水沟与邻侧水沟的间距不小于 10 cm 。

该工程在辅助坑道单侧边墙处设置了多级清、污泵站用于接力抽排,清、污泵站分别采用排水管道串联布置。对于掌子面、初支段及二衬侧沟未完成段、洞内施工路面的散排水等积水采用移动式潜水泵将其抽至就近的污水泵站或临时集水坑内;对于衬砌完成洞段的隧道渗(涌)水经隧道内侧沟自然汇集到清水泵站内或临时集水坑内。清、污水分别由相应的泵站逐级抽排至设置在洞外的清、污集水箱内,其中污水需经污水处理站处理后排放并需满足绿色施工要求^[3]。

2.3 反坡排水的施工

在辅助坑道掘进过程中,分段开挖反坡排水沟,在每一个对应的位置设置清、污固定泵站,所设置的移动潜水泵随掌子面移动,直接将掌子面的积水抽至邻近的固定污水泵站内,由所设置的固定泵站往上一级固定泵站抽水,如此接力,分级

抽水,最终将水排到设置在洞口的污水处理站,待其处理至符合水质要求后排放。

(1)水泵的配置。反坡段水泵类型的选择需根据水质情况、排水量需求、排水扬程以及管理维修等多个方面加以考虑。

排水量需求以及排水扬程是选择水泵类型的重要条件之一。根据该工程前期地质情况调查以及现场超前地质预报,水泵的选择要以最大排水量的需求为依据;同时,在最大排水量需求的基础上需选择 15% 的安全系数以防止隧道内的突发涌水难以及时排出洞外。水泵按“工作泵+备用泵+检修泵”成套配置^[4],以防止因水泵损坏影响到隧道内的正常施工。

由于该工程排水量需求较大,且因排水水质较差,故水泵的选型直接关系到水泵的使用寿命以及维护维修成本。对于掌子面的临时排水,可以选择潜水泵,其体积小,通污能力强且材质一般为铸铁、球铁,但其排水能力与效率低,长时间使用磨损快。因泵站内水流量较大,水泵可选择单级双吸耐磨离心泵,其转速较低,壳体为铸钢,过流部件为耐磨不锈钢材质,从而大大增加了易损件的使用寿命,降低了维护维修成本。

(2)泵站的设计。由于该工程属于单线隧道,受空间限制影响,为避免隧道内交通运输的干扰,在辅助坑道内边墙单侧修建了临时泵站。待辅助坑道开挖至泵站洞室边线位置后,预留出泵站洞室边廓线,在交叉口位置搭设永久门型钢拱架(门架采用 $I20$ 型钢),将辅助坑道拱架支撑在门架上。待辅助坑道继续向前掘进支护 30 m 后,方可开挖泵站洞室并及时完成初期锁口支护。

该泵站内水仓的容量须根据排水量以及水泵的型号确定,并应满足单台水泵 15 min 内的水量抽排能力。水仓建立后,在水仓旁配置一个小型沉淀池用于处理后的清、污水流入水仓内,通过水泵将其分级抽排到洞外。隧道贯通且达到顺坡排水要求后,采用 $C20$ 片石混凝土将泵站回填。

辅助坑道泵站的洞室根据围岩情况其开挖断面尺寸不同:Ⅳ类围岩的开挖断面为 $6.46\text{ m}\times 5.43\text{ m}$ (宽 \times 高),Ⅴ类围岩的开挖断面为 $6.5\text{ m}\times 5.5\text{ m}$ (宽 \times 高)。Ⅳ类围岩的初期支护厚度为 23 cm ;Ⅴ类围岩的初期支护厚度为 25 cm 。

(3)在掌子面修建临时集水坑。当掌子面涌

水量较小时,开挖微型集水坑用于收集污水并统一抽排。当掌子面涌水量较大时,采用 10 mm 厚不锈钢板或其他材料(不透水、不锈蚀)配合 L10 mm 角钢焊接制作临时集水仓,集水仓的尺寸为 1 m(长)×1 m(宽)×1 m(高),布置在距掌子面 10 m 范围内,沿隧道边墙放设,可跟随掌子面进行移动。通过潜水泵将水抽入集水仓内,以避免其大面积浸泡墙脚。随后通过 $\Phi 100$ mm 软管将其抽排到邻近掌子面的固定污水泵站内,统一分级排出洞外。

由于临时集水仓在清淤过程中不能保证连续抽水,因此,在现场的每个掌子面配置了 2 座集水仓。

(4)洞口集水仓。在辅助坑道洞口处均设置了一座清、污集水仓,用于收集洞内排出的清、污水,该集水仓采用 10 mm 厚不锈钢钢板配合 L75 mm×75 mm×10 mm 角钢焊接制作。其中清水仓连接 $\Phi 350$ mm 管道,可将其直接排放至自然渠沟;污水仓连接 2 个 $\Phi 300$ mm 管道,将污水排放至污水处理设备中,并将处理达标后的污水排放至自然沟渠。

(5)排水管道的布置。根据洞内涌水量情况选配水泵的性能,合理选择排水管道。管材的标准长度为 9 m 且均为焊接钢管,采用法兰连接。除此之外,每个工作面额外配置 1 套 $\Phi 100$ mm,长 50 m 的消防软管以配合临时水仓及水泵的使用。

为保证辅助坑道与正洞交叉口处的机械设备能够正常通行,同时不影响隧洞内的正常排水,在交叉口仰拱部位设置了钢栈桥,将排水管道敷设在钢栈桥内,待隧道贯通后进行回填处理。

为减少水流对管道的冲击、保证管道的使用性能,按照管道长度每 45 m 设置了一个伸缩节(补偿器);同时,为防止反坡排水过程中水倒流,在其相应位置设置了单向阀。

为方便排水管道清淤的施工,在施工现场配置了直径为 300 mm 的软管作为备用污水管道,该软管随掌子面延伸。在排水管道清淤过程中,可接通软管作为临时排水管道进行施工。

①排水管道壁厚的计算。参照《工业金属管道设计规范》GB50316—2015 中的计算公式,按照直管的壁厚小于管子外径的 1/6 时进行计算后

得到管径为 350 mm 的焊接钢管,其设计管壁厚度为 4 mm;对于管径为 300 mm 的焊接钢管,其设计管壁厚度为 3.5 mm;管径为 100 mm 及以上的焊接钢管,其设计管壁厚度为 3 mm。

②排水管道的安装。将排水管道布设在辅助坑道单侧边墙处,上下分级布设。为方便隧道拱脚处排水沟的作业,在水管距隧道底板 50 cm 左右处架空安设。

当供水管道铺至距工作面 50 m 左右时,采用橡胶水管将其连接到开挖台车的分水器上,水管与台车之间采用专用胶皮管连接。供水管随着隧道的开挖方向不断向前延伸。

由于 $\Phi 300$ mm 和 $\Phi 350$ mm 的排水管加上水的重量导致其整体较重,考虑到水泵启停造成的动载荷,最终选用结构强度高的型钢托架对管道进行支撑。该方案选用 L75 mm×75 mm×10 mm 角钢焊制托架,采用膨胀螺栓将其安装在衬砌混凝土上,沿隧道纵向每 6 m 布设一个。

(6)排水设施的供电。为确保洞内排水的正常施工,使其不因电路问题导致抽排水工作间断,按照“双电源、双回路”的原则设置独立的供电系统并配备应急供电设备,装设专用电表独立计量抽水用的电量,杜绝其它一切与反坡排水无关的用电设备接入反坡排水专线。

供电线路一:因该工程排水供电线路较长,最终采取 10 kV 高压进洞供电方案。在洞口设置高压开关柜,将高压电缆悬吊于洞壁支架上,在水泵泵站旁安装箱式变压器,将电压降低为 380 V 后为水泵供电。

供电线路二:各工区配设相应数量的柴油发电机,在隧道洞口设置 380 V 变 10 kV 升压变压器和电源切换柜,并使多台发电机自动同步。将发电机组和主电源共同接入排水用电系统,通过自动化控制进行主电源和备用电源的相互切换。

在反坡排水施工过程中,必须加强施工供电线路的维护、管理和检修,配置自发电及备用供电系统,避免因停电或供电线路出现故障时造成洞内排水的中断。

3 预防突泥涌水的措施

(1)因该隧道围岩地质条件复杂,需综合超前地质预报手段探测掌子面前方岩溶的发育情况

(下转第 12 页)

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^[5],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)