

# 水平定向钻工艺在矿山生态修复工程中的应用分析

张吉祥, 杨 权, 钱志华

(1. 贵州省煤田地质局 142 队, 贵州 贵阳 550000; 2. 贵州西能铠达穿越工程有限公司, 贵州 贵阳 550000)

[摘要] 近年来, 随着我国对环境保护和安全生产的要求越来越严格, 许多不具备生产条件的矿山被依法关闭, 由于矿山开采遭到破坏的环境必然要进行生态修复, 把美好的生态环境归还当地人民群众。在废旧(弃)矿山生态修复施工中, 污染水的治理是关键工程之一, 净化后的水一般需要通过排水管道进行自然排泄。在地势低洼处进行生态修复施工后, 为了不形成内涝灾害, 使用水平定向钻工艺实施一条排水管道, 把水引到附近河流。本文以贵州省习水县良村镇劳荣煤矿生态修复工程为例, 使用水平定向钻工艺成功实施一条长约 580m 的重力流排水管道, 主要介绍了水平定向钻工艺在生态修复工程排水管道施工中的有效应用, 其中现场采取的相关技术措施为国内其他地区实施水平定向钻工程提供了宝贵的经验。

[关键词] 水平定向钻; 非开挖; 生态修复; 注浆充填; 管道铺设

[中图分类号] P624.8; X4 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2023)02-201-06

## 1 引言

本工程位于贵州省习水县良村镇良村村煤台组劳荣煤矿污水坑, 实施本工程的主要目的是排放现有污水以及在后续进行矿山生态修复后保留排水通道防止积水淹没新建农田。以污水坑西北角临时污水处理站前 80 m 处作为进水口, 往西穿越 Y297 公路和山体至梅溪河岸边 20 m 处作为出水口, 明挖修筑长 20 m 浆砌石梯形沟槽把水引至梅溪河。本工程采用施工工艺为非开挖水平定向钻铺管工艺, 该工艺不破坏路面, 不阻碍交通, 无震动, 施工速度快, 与传统开挖铺管方式相比具有独特优势, 定向钻穿越施工时从出水口向进水口钻孔, 有利于护壁泥浆返排(陈彦明, 2017; 青泉等, 2022)。本次设计排水管管径为 DN315 mm, 排水纵坡 6.08%, 管道材料采用 HDPE 给水管, 环刚度  $SN \geq 16 \text{ KN/m}^2$ , 在进水口与出水口分别设置检查井一个, 采用矩形直线混凝土污水检查井, 井

内设置格栅过滤装置。

## 2 排水管道设计

### 2.1 排水量的计算

本次设计排水量根据省煤田地质局水源队水工环地质调查数据获得。

### 2.2 排水管道水力计算

$$Q = A \times V$$

式中:

Q—排水干管设计流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

A—水流水断面面积,  $\text{m}^2$ ;

V—流速,  $\text{m}/\text{s}$ 。

水力计算采用谢才曼宁公式

$$V = 1/nR^{2/3} * S^{1/2}$$

式中:

V—流速,  $\text{m}/\text{s}$ ;

[收稿日期] 2023-01-24 [修回日期] 2023-04-17

[作者简介] 张吉祥(1989—), 男, 市政高级工程师, 大学本科, 从事水平定向钻、反井钻、工程地质勘察、地下管道检测等项目管理工作的。

R—水力半径;  
 S—水力坡降;  
 n—管材粗糙系数。

排水量按给水量的80%计,本次排水量计算中,日变化系数为1.7。根据排水量计算和水力计算,排水管道设计管径为DN200 mm DN400 mm。

### 2.3 纵断面设计

本次设计排水管的纵断面坡向与原始地面纵

坡基本一致,从高到低,水自东北向西南自然流动,排水管道设计流速控制在7.0 m/s左右。

### 2.4 平面布置

定线原则:定向钻穿越轴线应尽量避免开有民房、厂区、深桩基建筑物等,避开不良地质体,以免给穿越施工可靠性带来技术风险,同时考虑回拖便捷性,故出入土点选择和穿越轴线位置如下图所示(李彪,2022)。



图1 穿越轴线航摄图

Fig. 1 Aerial photo of crossing axis

### 2.5 设备选型

本定向钻穿越良村镇良村村煤台组污水塘西侧公路和山体1次。定向钻出入土点之间水平长为574.85 m,定向钻穿越实际长度为576.04 m。

本工程设置一台非开挖水平定向钻机,钻机设备的能力按实际穿越长度计算,根据公式:

$$F = f_h * W_f * L$$

其中:

F—计算回拖力;

L—穿越实际长度,取值576.04 m;

$f_h$ —摩擦系数,一般在0.1~0.3之间,取0.3;

$W_f$ —单位长度空管材所受的净浮力(KN/m),取5.8;

计算:回拖力  $F = 1\ 002.31\ \text{KN} = 100.23$  吨。

根据国内外经验,一般设计时取回拖力的值为计算回拖力的1.5~3倍,由于本工程地质条件较好,取1.5倍的安全系数,设计回拖力取值为不小

于150.3 t,考虑本次穿越地层岩性主要为中风化石灰岩和煤系地层(易垮塌),硬度在20~50 MPa左右,钻机要求的扭矩较大,取1.3倍的安全系数,故本次定向钻穿越选回拖力不小于195.4 t的非开挖水平定向钻机(贺达,2022)。

### 2.6 物探

在本工程初步设计阶段,对穿越轴线进行了详细的地球物理勘探工作,主要查明穿越轨迹上岩溶发育情况、地下水富存情况、煤系地层深度、地下管线分布等。

物探成果显示,存在两处异常位置,第一处异常位于穿越轴线146~316 m点位间,发育标高从浅部~深部,电阻率值小于65  $\Omega \cdot \text{m}$ ,第二处异常位于穿越轴线330~426 m点位间,发育标高从浅部~深部,电阻率值小于100  $\Omega \cdot \text{m}$ ,两处异常均发育于  $P_3l$ (二叠系上统龙潭组)、 $P_2q+m$ (二叠系中统茅口组+栖霞组)地层,推断为岩体节理裂隙发育或破碎富水影响范围。

由于本次施工在村庄附近,高压线和民用线附近产生的电磁场对采集结果不可避免的有一定的影响,物探具有多解性,应充分结合其它地质资料及揭露地质情况对物探成果进行进一步区分,以便更好地指导定向钻穿越工程的实施(李大龙,2022)。

在导向孔和扩孔钻进过程中,物探推测异常点均有相应反馈,异常点 1 涌水较大,异常点 2 也出现大量涌水情况。以上情况表明,物探能一定程度上定性反映地层情况,但无法对异常发育定量显示(张军伟,2014;赵海凤,2022)。

### 3 施工过程及异常情况

该工程使用非开挖水平定向钻工艺施工,施工准备阶段对入土点、出土点进行场地平整和复测,施工准备工作完毕后使用徐工 XZ-2200 非开挖水平定向钻机、雷克 DBW-2000 泥浆泵、KY-

100 地磁导向仪、金地指挥官 8 无线导向仪等相关设备进行定向钻导向孔施工作业,导向孔孔径约为 215.9 mm;待导向孔施工完毕后,卸下无磁钻铤和钻具,换上直径 350 mm、450 mm、550 mm 扩孔器进行扩孔、清孔和管道回拖作业,施工流程如下图 2 所示(王鹿,2021)。

钻杆断裂:2022 年 11 月 10 日完成导向孔施工,2022 年 11 月 18 日完成第一级扩孔(350 mm),2022 年 11 月 28 日,第三级扩孔(550 mm)至入土点剩余 150 m 时钻杆发生断裂事故,导致长度约 440 m 钻杆留在钻孔内,被迫停工。经多次尝试,于 2022 年 12 月 20 日把孔内钻杆全部抢救出来。后续严格按照扩孔分级重新进行扩孔和洗孔作业,2023 年 1 月 8 日,完成第三级扩孔(550 mm),2023 年 1 月 9 日,完成管道回拖。拖管前,根据项目部制定的专项方案,同时绑带一根 DN50 注浆 PE 管,但因绑扎不牢固,注浆管未能完成回拖,掉在孔内。

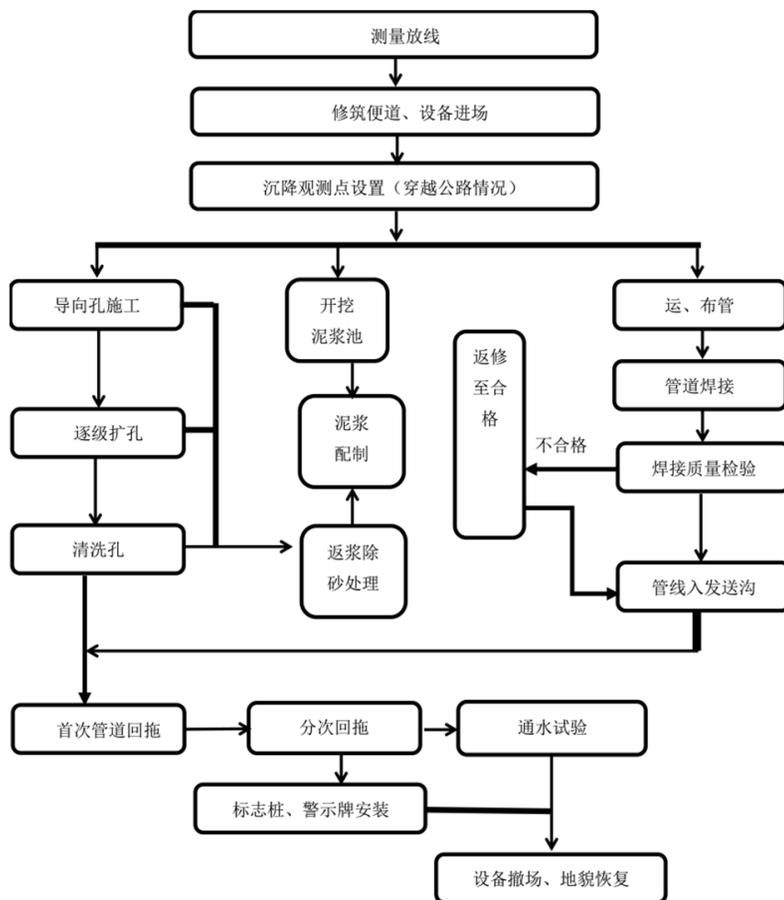


图 2 水平定向钻施工流程图

Fig. 2 Construction flow chart of horizontal directional drilling

注浆堵水:2023年1月13日—2023年1月28日,管道回拖完成后,在入土点管道与孔壁环形空间位置有老窖水流出。经过论证,决定采用注浆充填方案,进行堵水施工。至2023年2月10日,采用小型水平定向钻机从出土点位置往孔内送注浆管,共计完成198 m注浆管推进作业。至2023年2月18日,在入土点修筑封堵墙的前提下,水泥水玻璃双浆液堵水效果差,依然有大量污水从入土点孔壁流出。经过分析,水泥浆液流动性太强,无法有效封堵空隙,需要使用膨胀效果好的高分子堵漏材料(张莹辉,2021),至2023年2月22日,高分子堵漏材料使用效果良好,对煤矿老窖水成功进行了封堵(赵伟等,2021)。

#### 4 钻杆断裂处理措施

如上所述,2022年11月28日至2022年12月20日共计22天,先后使用了几种孔内钻杆抢救打捞方法。

(1)把钻机调至出土点,尝试从出土点拉拽孔

内断裂的钻杆;

(2)钻机在入土点位置,更换大直径钻头进行正向扩孔,计划扩孔长度150 m;

(3)使用另外一台小型钻机从出土点位置往孔内推送钻杆,同时循环泥浆透孔,然后再用220 t钻机在出土点位置拉拽钻杆。

项目部先尝试了第一种方法,反拉钻杆至第八根时钻机拉力和扭矩急剧增大,施工无法继续,该方案失败。然后尝试使用第二种方法,专门加工了一个正向扩孔钻头,但扩孔至120 m时无法继续向前,且孔轨迹已偏离原孔。

抢救钻杆经过两次失败后,项目部组织专家召开专项论证会,从穿越轨迹经过的地层上深入分析,判断本次穿越三层煤,钻杆断裂位置正好在煤层地段,煤层易垮塌,容易导致钻杆抱死情况(石逊等,2020)。造成钻杆断裂的另一个重要原因是泥浆配比参数不合理,泥浆粘度不够。经过论证,决定采用一台小钻机推送小钻杆( $\phi 83\text{mm}$ )进行透孔作业,同时循环泥浆使抱死位置松动,最终本方案成功实施,孔内断裂的钻杆全部打捞出来,打捞工艺如图3所述。

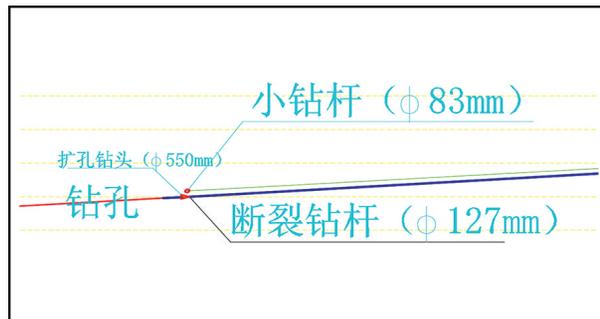


图3 钻杆打捞工艺示意图

Fig. 3 Schematic diagram of drill pipe fishing technology

钻杆打捞完成后,为防止再次发生钻杆断裂和卡钻,重新接350 mm、450 mm、550 mm扩孔钻头进行扩孔和洗孔,不得跳级扩孔,提高泥浆粘度至90~100 S,加强岩屑携带能力和护壁性能。

#### 5 注浆堵水

本项目在导向孔和扩孔过程中,均发现有大量煤矿老窖水从入土点钻孔流出,管道回拖完成后,在入土点管道与孔壁环形空间位置依然有老窖水流出,出水口位置土地被高含硫老窖水染黄,为了不对环境造成污染,决定采用注浆充填堵水方案(周生伟等,2022)。

注浆方法:注浆原材料采用水泥粉煤灰系列,堵漏的水:水泥:粉煤灰配合比为1:1:1,具体可根据注浆试验结果比较,调整优选设计配合比,得到最终最佳的施工配合比。注浆压力表上其最大标值不得高于0.5 MPa,注浆压力以孔口压力表指针摆动中值为准,注浆压力可根据现场施工试验结果比较作适当调整(王永宝等,2022)。注浆液加入速凝剂(水玻璃),使浆液快速凝固。

同时在在入土点修筑封堵墙,水泥水玻璃双浆液注入后,无法达到堵水效果,水泥浆太稀,浆液从入土点孔壁大量冒出,不能快速凝固,该方案失败。

鉴于以上情况,常规的注浆充填方法已不再

有效,需要制定更加具有针对性的堵水方案。经过咨询相关专家,推荐使用一种高分子聚合物堵水材料,该材料具有膨胀效果好、快速凝固、流变性强等特性(武书华,2015)。高分子聚合物堵水材料由单体A、单体B、交联剂、引发剂和无机填充材料在一定温度下恒温共聚而成,吸水膨胀

倍数为3~7倍,有较好韧性和变形能力,在钻井液中能够耐受150℃左右高温,适用于钻井过程中的孔隙、裂缝及破碎性漏失地层的高强度堵漏(李海龙,2021)。项目部采用该材料注浆后,堵水效果显著提高,注浆前后对比效果如图4所示。



图4 高分子材料注浆前后对比(左为堵水前,右为堵水后)

Fig. 4 Comparison of before and after grouting polymer materials (left is before water plugging, right is after water plugging)

## 6 结论及建议

(1)通过成功实施本工程,为国内外其他地区穿越煤系地层使用水平定向钻工艺提供了技术参考。

(2)在煤系地层水平定向钻施工过程中,合理调整泥浆参数尤为关键,导向孔和扩孔钻进时,泥浆马氏漏斗粘度达到90S~100S,可有效排渣。

(3)水平定向钻扩孔施工过程中,应严格执行方案要求,逐级扩孔,不得跳级。

(4)在岩溶发育地区实施水平定向钻工程,应高度重视物探技术的应用,物探成果能定性反映穿越轨迹上地质构造情况。

(5)在注浆堵水施工过程中,遇到裂隙发育地层,常规水泥浆堵水效果差,可考虑使用高分子聚合物堵水材料进行注浆充填。

(6)水平定向钻施工时发生钻杆断裂事故比较常见,如果钻杆或钻头抱死,反拉效果差,但采用小钻杆透孔技术后,断在孔内的钻杆成功打捞概率较高。

(7)在煤矿生态修复工程中使用水平定向钻技术,贵州省内尚属首次,但取得了巨大成功,建议在全国各地排水条件类似的矿山生态修复项

目中加以推广,可以有效节约投资成本和压缩工期。

### [参考文献]

- 陈彦明. 2017. 定向钻铺设市政雨水管施工中应注意的几个关键问题[J]. 中国标准化, 0(10): 180-182.
- 贺达. 2022. 水平定向钻施工在市政排水管道施工中的应用[J]. 建材发展导向, 2(20): 168-170.
- 李海龙. 2021. 沥青混凝土路面高分子聚合物注浆技术[J]. 交通世界, 10(7): 15-16.
- 李大龙. 2022. 高密度电法在河流穿越工程中的应用[J]. 全面腐蚀控制, 1(36): 80-83.
- 李彪, 王再斌. 2022. 市政工程PE排水管道水平定向钻施工技术[J]. 云南水力发电, 7(38): 50-53.
- 青泉, 冯旭晗, 张吉祥, 等. 2022. 超规范曲率半径下水平定向钻穿越芙蓉江施工技术[J]. 地质装备, 23(6): 33-37.
- 石逊, 刘江, 李红梅, 等. 2020. 水平分支注浆孔卡埋钻事故处理实践[J]. 钻探工程, 47(9): 33-38.
- 武书华, 张中华. 2015. 沥青混凝土路面高分子聚合物注浆技术研究[J]. 公路, 4(5): 80-84.
- 王鹿. 2021. 定向钻拉顶管技术在排水管网工程中的应用[J]. 技术与市场, 28(1): 78-80.
- 王永宝, 张毅, 窦江海. 2022. 定向注浆不同注浆压力下浆液扩散特性研究[J]. 山东煤炭科技, 12(5): 73-75.
- 张军伟. 2014. 高密度电法在龙江穿越选址勘察中的应用[J]. 中国新技术新产品, 0(5): 74.
- 赵伟, 张跃恒, 董振国, 等. 2021. 敏东一矿软岩区地下水注浆治理技术及应用研究[J]. 钻探工程, 48(6): 87-94.

张莹辉. 2021. 水平井堵剂及堵水工艺研究[J]. 石油化工应用, 10(5):9-12.  
周生伟, 孙平贺, 苏卫锋, 等. 2022. 玄武岩纤维堵漏体系在高海拔

非开挖钻进中的应用研究[J]. 钻探工程, 49(3):139-145.  
赵海凤. 2022. 水平定向钻技术在市政给排水管道项目中的应用研究[J]. 中国新技术新产品, 20(0):125-127.

## Application Analysis of Horizontal Directional Drilling Technology in the Mine Ecological Restoration Engineering

ZHANG Ji-xiang, YANG Quan, QIAN Zhi-hua

1. Team 142 of Guizhou Coalfield Geology Bureau, Guiyang 550000, Guizhou, China;
2. Guizhou Xineng kaida Crossing Engineering Co., Ltd., Guiyang 550000, Guizhou, China)

[ **Abstract** ] In recent years, as China's requirements for environmental protection and safety in production have become increasingly strict, many mines that do not have production conditions have been closed according to the law. Due to the destruction of the environment caused by mining, it is necessary to carry out ecological restoration and return the beautiful ecological environment to the local people. In the ecological restoration construction of waste mines, the treatment of contaminated water is one of the key projects, and the purified water generally needs to be naturally discharged through drainage pipes. After ecological restoration construction in low-lying areas, in order to avoid waterlogging disasters, a horizontal directional drilling process is usually used to lay a drainage pipeline to divert water to nearby rivers. Taking the ecological restoration project of Laorong coal mine in Liangcun Town, Xishui County, Guizhou Province as an example, it mainly introduces the effective application of horizontal directional drilling technology in the construction of drainage pipelines in the ecological restoration project. Successful implementation of a 580m long gravity flow drainage pipeline with horizontal Directional drilling technology, The relevant technical measures taken on site provide valuable experience for the implementation of horizontal directional drilling in other regions of China.

[ **Key Words** ] Horizontal directional drilling; Non - excavating; Ecological restoration; Grouting filling; Pipeline laying