

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.18.018

水平定向钻穿越南水北调总干渠关键技术研究

赵怀珠¹, 金鑫², 温高峰¹, 吴东昌¹, 焦广宇³, 闫雪峰³

(1. 浙江省第一水电建设集团股份有限公司, 浙江 杭州 310051; 2. 中国石油管道局工程有限公司 第四分公司, 河北 廊坊 065000; 3. 中国地质大学<武汉> 工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 河南省南水北调受水区南阳配套工程内乡供水工程的投资建设可从根本上解决内乡城区供水问题,改善城区及周边水生态环境和缓解地下水压力。该工程第二标段供水管道横跨南水北调总干渠,采用水平定向钻法进行铺设,主要穿越地层为含钙质结核微膨胀粉质黏土。管道为涂塑复合钢管,直径为1 040 mm,长723.901 m,渠底水平段埋深15.731 m。为确保南水北调总干渠的特殊安全性,严防渠底冒浆,该工程正式钻进前首先进行了沿原穿越轨迹反方向303 m长的试验孔钻进,同时结合泥浆配方优化、套管隔离浅表软弱地层、泄压钻孔、孔底钻具施工控制等技术,解决了岩屑堵塞、钻孔缩径卡钻等一系列问题,保证了该工程顺利实施。

关键词: 南水北调干渠; 微膨胀粉质黏土; 水平定向钻; 冒浆

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)18-0094-07

Research on Key Technology of Horizontal Directional Drilling across the Main Canal of South-to-North Water Diversion Project

ZHAO Huai-zhu¹, JIN Xin², WEN Gao-feng¹, WU Dong-chang¹, JIAO Guang-yu³,
YAN Xue-feng³

(1. Zhejiang First Hydropower Construction Group Co. Ltd., Hangzhou 310051, China; 2. The Fourth Branch of China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Co. Ltd., Langfang 065000, China; 3. Faculty of Engineering, China University of Geosciences <Wuhan>, Wuhan 430074, China)

Abstract: The investment and construction of Nanyang supporting Neixiang water supply project in the receiving area of South-to-North Water Diversion Project in Henan Province can fundamentally solve the problem of water supply in Neixiang County, improve the water ecological environment in the city and its surrounding areas, and alleviate the groundwater pressure. The water supply pipeline of the second bid section of the project crosses the main canal of the South-to-North Water Diversion Project and is laid by horizontal directional drilling method, mainly through the stratum of calcareous nodule micro-expansive silty clay. The pipeline is plastic-coated composite steel pipe with a diameter of 1 040 mm and a length of 723.901 m. The buried depth of the horizontal section at the bottom of the canal is 15.731 m. In order to ensure the special safety of the main canal of the South-to-North Water Diversion Project and

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(42002284)

通信作者: 闫雪峰 E-mail: cugyanxf@163.com

strictly prevent mud spillover at the bottom of the canal, a 303 m long test hole was drilled in the opposite direction of the original crossing track before the project was formally drilled. At the same time, combined with mud formulation optimization, casing isolation of shallow soft formation, pressure relief drilling technology, bottom hole drilling tool construction control and other technologies, a series of problems such as cuttings blocking, drilling direction compression and sticking are solved, which ensures the smooth implementation of the project.

Key words: main canal of South-to-North Water Diversion Project; micro-expansive silty clay; horizontal directional drilling; mud spillover

1 工程概况

随着城市规模的不断扩展,河南省内乡县人口增多,管网老化且存在水源不足、水压过低等问题,同时湍东区的发展进一步导致供水事业受到制约,城市拓展受到困扰。

河南省南水北调受水区南阳配套工程内乡供水工程可从根本上解决内乡县城供水问题,对于改善城区和周边水生态环境及地下水压力也具有重要意义,生态效益和社会效益显著。该供水工程输水设计流量为 $0.8\text{ m}^3/\text{s}$,供水工程起点位于邓州市赵集镇彭家村南,终点位于内乡县王店乡堰张村南,线路全长 27.16 km 。内乡供水工程输水管道线路需穿越南水北调总干渠,位置见图1。



图1 穿越位置处总干渠航拍

Fig.1 Aerial photos of the main canal of the South-to-North Water Diversion Project at the crossing location

该供水工程第二标段管道所横跨的南水北调总干渠属一级水源保护区,为加强水源保护,防止

突发污染事件,同时为减小对地面交通及已有设施的影响,采用水平定向钻施工法铺设管道。水平定向钻技术最早起源于石油钻井工程,经演变后,广泛运用于不允许或者不方便开挖条件下市政管道、油气管道等各种管线建设行业。我国对于水平定向钻技术的应用始于1993年。该技术采用安装于地表的钻孔设备,以一定的入射角度钻入地层形成导向孔,然后通过不同尺寸的扩孔器进行多级扩孔,将导向孔扩径至所需大小,并将产品管线回拖至孔内,完成管线穿越^[1]。近年来随着设备性能和施工技术的快速提高,水平定向钻进铺设管道在大口径、长距离输水工程中得到了广泛应用^[2-3]。

该穿越工程位于邓州市赵集镇北,入土点位于总干渠北侧,输水管道桩号Z0+723.901,距离总干渠防护网外约 275.494 m ,出土点位于总干渠南侧,输水管道桩号Z0+000,距离防护网外约 286.756 m ,管顶高程 121.765 m ,总干渠渠底高程 137.478 m ,净距 15.731 m 。工程场区附近无建筑物,以农田为主,场地宽阔,可以作为定向钻出土点及回拖的场地。

该工程穿越南水北调总干渠,为最大限度保护干渠安全,严防干渠渠底发生冒浆事故,南水北调水利监管部门对施工过程中的孔内泥浆压力提出了较为严格的控制要求。该工程穿越地层为粉质黏土层,呈硬塑~坚硬状,因具弱膨胀潜势而易缩径;同时该层局部含较多钙质结核,粒径较大,对施工影响较大。该水平定向钻穿越工程面临较大困难,对钻进工艺与技术措施具有较高的要求。

1.1 地质条件

本工程场地地层为黏土均一结构。地层岩性主要为第四系中更新统冲洪积层粉质黏土、第四系上更新统冲湖积层重粉质壤土,其中重粉质壤土层

下部含有钙质结核,粒径不均,含量不均,分布于地表,层厚0.6~1.2 m。穿越地层地质剖面见图2。

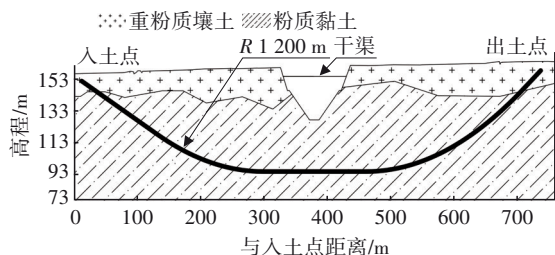


图2 穿越地层地质剖面

Fig.2 Geological profile of crossing strata

南水北调总干渠水平定向钻穿越的地层主要为微膨胀粉质黏土层,局部钙质结核富集,不成层,呈透镜体分布,钙质结核粒径不均,一般为1~3 cm,个别为6~8 cm,最大可达10 cm,含量为10%~20%。

1.2 轨迹设计

依照《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS 382:2014)、《水平定向钻进管线铺设工程技术规程》(DBJ/T 13—102—2019)、《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)等相关规范、标准,以及其他法律法规文件对水平定向钻穿总干渠正式钻孔与试验孔钻孔轨迹进行设计。

1.2.1 正式钻孔轨迹设计

根据管线布置,正式钻孔共分为5段,分别为入土直线段、入土曲线段、渠底水平段、出土曲线段以及出土直线段。穿越曲线参数:入土角度为 12° ,出土角度为 8° ,曲率半径为1 200 m,入土直线段长26.027 m,入土曲线段长249.494 m,出土直线段长119.372 m,出土曲线段长167.008 m,总干渠底水平段长162.000 m。渠底水平段管顶高程为121.765 m,总干渠渠底高程为137.478 m,净距为15.713 m,满足不小于 $15D$ (15.60 m)的要求。

1.2.2 试验孔钻孔轨迹设计

依照正式钻孔轨迹设计参照的相关规范、标准,以及其他法律法规文件,结合工程实际情况,对试验孔钻孔轨迹进行设计。

试验孔沿原穿越轴线反方向进行相同地质条件下的陆地钻进,调整后的穿越曲线参数:入土角度为 11° ,曲率半径为1 500 m。本次试验项目参照调整后的设计曲线,导向钻进至303 m达到设计曲线水平段时结束钻进,水平段埋深13 m。

1.3 主要施工设备

采用德威土行孙 DDW-3000 水平定向钻机施

工。采用 BW-1500/12 型泥浆泵。该工程导向设备采用美国 Vector Magnetics Paratrack2 地磁导向仪,其工作原理是由地球磁场确定两点之间的线方位,根据随钻导向传感器实时传送的地下钻头的磁方位角、俯仰角以及钻进距离等数据,由便携计算机准确地计算出地下钻头的深度、位置,从而能够准确获知当前地下钻头的深度、位置、钻头的俯仰角、钻进方位角和导向钻具面角,进而准确控制导向钻具跟踪预先设计的钻孔轨迹,实现定向穿越^[4]。

1.4 试验孔施工

由于南水北调等水利行业的控制指标与现行定向钻工艺规程或规范控制指标所考虑的影响因素存在一定差别,针对该工程项目,相关监管部门提出水利安全监管标准:泥浆压力表显示空载备压值+0.38~0.52 MPa 为施工限定安全范围值。为最大限度降低施工过程中的冒浆风险,确保总干渠水源安全,进行本次试钻施工,为后续水平定向钻穿越南水北调总干渠提供相关依据,优化方案参数。

试钻项目采用 DDW-3000 水平定向钻机施工,钻进距入土点 70 m 后,用钻机沿钻杆轨迹旋转推进 $\varnothing 406$ mm 套管(壁厚 11.9 mm)60 m,用于保护返浆通道,防止浅表层冒浆,维护后续导向孔作业。

试验孔施工钻具组合为:9-1/2"三牙轮铣齿钻头+1.75°7LZ168*7.0 型泥浆马达+6-5/8"无磁钻铤+API 标准 S135 内部加厚型钻杆。

施工过程中采用合理的泥浆配制方案,控制泥浆排量为 0.8~1.0 m³/min(泥浆马达额定工作参数值)。针对水利安全监管部门要求的施工限定安全范围值,设置 50、100、150、200、250 m 共 5 个点区间进行泥浆压力控制测试并记录。具体操作流程:

① 采用定向钻正常工艺钻进,返浆通畅状态下压力提高到满足有效进尺时,钻进 10 m,并记录控向、司钻、泥浆参数,同时观察地面是否冒浆。

② 按照控制压力即备压+0.38~0.52 MPa,钻进 10 m,并记录控向、司钻、泥浆参数,同时观察地面是否冒浆。

综合考虑缩短试验周期且满足试验数据对比分析,选取试验段测试钻进方案,具体见表1。其他长度正常采用定向钻工艺满足进尺需要钻进,通过采用两种方案钻进至试验项目结束,对各类资料进行分析,为后续正式钻孔施工提供相关钻进参数与施工工艺参考。

表1 试验孔钻进控制方案

Tab.1 Drilling control scheme of test hole

区间	进尺 1/m	钻进方案 1	进尺 2/m	钻进方案 2
1	50~60	正常工艺 钻进	60~70	控压钻进 (备压+0.38~ 0.52 MPa)
2	100~110		110~120	
3	150~160		160~170	
4	200~210		210~220	
5	250~260		260~270	

1.5 正式孔导向孔施工

试验孔施工顺利完成后,对试验孔施工相关数据进行分析,对相应技术方案进行优化,并用于导向孔主孔施工,在严格保证南水北调总干渠安全的前提下,成功实现导向孔的顺利贯通。

正式孔导向孔施工钻具组合为:9-1/2"牙轮铣齿钻头+1.75°螺杆马达+6-5/8"无磁钻铤+API标准S135内部加厚型 $\varnothing 140$ mm钻杆。

为保证测量数据的准确,避免外界磁场的干扰,在入土侧和出土侧各布置一个人工磁场,利用直流电流产生的稳定磁场来加强探头所处区域内的磁场,屏蔽外界其他不稳定磁场的干扰,使测量数据更为准确,保证定向钻的施工精度。

正式孔施工同样采用DDW-3000水平定向钻机施工。为最大限度减小浅表层冒浆风险,正式孔导向孔所采用60 m隔离套管分两次推进。当钻进距入土点40 m后,用钻机沿钻杆轨迹旋转推进约36 m的 $\varnothing 406$ mm套管,随后回拔钻杆对套管内部所切削的土体进行清洗;第二次继续钻进至距入土点65 m左右,继续旋转推进套管24 m,随后将所有套管内钻杆回拔再次清洗所切削的土体后正常钻进。

为减小孔内压力,提高施工安全性,增加导向孔洗孔工艺。当钻进至距入土点220 m处时,将钻头回拔至套管口,进行洗孔作业;随后再次钻进至距入土点410 m处时,再次回拔钻头抽到套管口,进行第二次洗孔作业。洗孔结束后,重新钻进。

最终历时23 d,南水北调总干渠水平定向钻正式孔导向孔顺利贯通。

1.6 正式孔扩孔施工

回拉扩孔施工过程中的关键技术是根据不同的土层、地下水位以及最终成孔直径正确选择回扩钻具和钻进速度,正确选配泥浆和确定泥浆的流量。穿越管道所需的钻孔最终扩孔直径根据敷设管道直径确定(见表2)。

表2 钻孔最终扩孔直径确定方案

Tab.2 Determination scheme of final reaming diameter

管道外径 D_1	最终扩孔直径 mm
<200	D_1+100
200 ~ 600	$D_1 \times (1.2 \sim 1.5)$
>600	$D_1+(300 \sim 400)$

本工程所铺设管道直径为1 040 mm,根据穿越扩孔的要求,扩孔直径应达到 $D_1+(300 \sim 400)$ (D_1 为管道外径),故选择最终扩孔直径为1 400 mm。通过前期导向孔施工总结,本次工程地质黏性较大,具有微膨胀性,并含钙质结核,不利于泥浆携带岩屑,且易造成泥浆通道堵塞。为防止孔内岩屑堆积、返浆不畅造成孔内压力增高与冒浆,严格保证所穿越南水北调总干渠安全,实现钻孔稳定与最佳成孔,本次施工选用最小扩孔级差进行扩孔,确定扩孔级差为100 mm,并根据每次扩孔后返浆情况,决定是否使用低一级扩孔器组合洗孔。

在扩孔过程中,扩孔扭矩控制在60 000 N·m以内,回拖力控制在1 470 kN以内,根据各地层抗压强度的不同变化灵活地控制扭矩,尽可能保证扩孔速度的均匀和泥浆排量、泥浆压力的均匀,保持井口返浆容量较大和流速基本不变,避免返浆倒灌入孔道内。

1.7 正式孔管道回拖

为了确保工程质量,本工程定向钻穿越管道全部焊接完成并验收合格后一次性完成回拖。根据水平定向钻管道穿越回拖力计算公式^[5-6],对水平定向钻机吨位进行核验。选取计算公式如下:

$$F_{\text{拉}} = \pi L f g \left[\frac{D^2}{4} \gamma_{\text{泥}} - 7.85 \delta (D - \delta) \right] + \pi D L k_{\text{黏}} g \quad (1)$$

式中: $F_{\text{拉}}$ 为管道回拖力,kN; L 为穿越长度,m; f 为摩擦系数,取0.1~0.3; g 为重力加速度,取9.81 m/s²; D 为管道外径,m; $\gamma_{\text{泥}}$ 为泥浆密度,t/m³; δ 为管道壁厚,m; $k_{\text{黏}}$ 为黏滞系数,取0.01~0.03。

根据式(1),在管段不充水时,计算所需管道回拖力为1 271 kN。根据国内外的经验,一般设计回拖力取值为计算值的1.5~3倍,本设计按照2倍考虑,则最大回拖力约为3 734 kN,本工程所采用DDW-3000水平定向钻机完全能够满足该工程需要。

管道发送采用管沟加滚轮配合的方式进行。回拖前向发送沟内灌水,使管道在发送沟内呈漂浮状态,以确保管线在回拖过程中防腐层不受损伤。

为减小回拖力,保护管道防腐层,实现管道顺利回拖,回拖钻具组合为 $\varnothing 1250$ mm筒式扩孔器+3 920 kN回拖万向节+U形环+ $\varnothing 1040$ mm穿越管道(涂塑复合钢管)。回拖钻具全部连接完成后应泵送泥浆冲洗,检查各泥浆喷嘴是否正常,合格后进行回拖施工^[7]。

回拖完成后,孔内管道四周有厚约10~20 cm的触变泥浆。实际施工中由于护壁不力或地质不良,管道四周的触变泥浆厚度往往大于理论值,存在一定的安全隐患。为防止穿越后空余孔中空隙造成地面塌陷或沉降,须通过注浆管进行管外钻进液置换与空隙充填,以确保南水北调渠道沉降符合安全规范要求。

2 工程难点分析

2.1 地层冒浆

2.1.1 浅表层套管隔离

该施工地区浅表层主要为杂填土和粉质黏土,含较多钙质结核,地层土层松散,冒浆可能性大。同时,土层黏土造浆性能强,黏土水化后导致泥浆黏度升高,流动性降低,钻屑堵塞钻孔的可能性增大,从而导致孔内憋压,孔内泥浆将地层压裂,地面就会发生冒浆。通过试验孔钻进,表明即使在较低监管压力范围内,入土点和出土点一定范围内的土体也可能发生压裂冒浆^[8]。对于该区段可以采用套管隔离的手段,一方面有效增大返浆通道,促使返浆通畅,另外也避免了钻屑在孔口淤积,造成孔口堵塞。这种方法对于预防冒浆的有效性也在试验钻孔和主孔中得到验证。因此,对于管道穿越工程建议对浅表地层的杂填土进行套管隔离。

采用套管为 $\varnothing 406$ mm无缝钢管,总长度60 m。

2.1.2 全程控制泥浆压力

本工程需穿过南水北调总干渠,一旦发生冒浆,将会对水体造成污染,后果不堪设想,因而与现行水平定向钻工艺规程或规范控制指标要求不同,南水北调渠首分局等相关监管部门提出了更为严格的水利安全监管标准:泥浆压力表显示空载备压值+0.38~0.52 MPa为施工限定安全范围值。

为保证干渠安全,严防穿越过程中干渠渠底发

生冒浆,在监管压力范围内实现管线贯通,本工程采取以下措施:

① 试验孔预钻

考虑此次穿越工程的特殊性,有针对性地沿原穿越轴线反方向进行相同地质条件下试验孔钻进,以及对导向孔主孔钻进参数与施工工艺进行优化。

② 泥浆压力监控

泥浆在钻孔内流动需要一定的泥浆压力。当钻孔内的泥浆压力过高并超出钻孔上覆地层所能承受的压力范围时,孔内泥浆会将地层压裂,产生贯通的裂缝,泥浆沿着贯通裂缝向上泄漏,地面就会发生冒浆,这也是导致地面冒浆的根本原因。因此需要根据Delft方程预测出合适的泥浆极限压力,并且在钻进工程中对泥浆压力进行监控,一旦压力超过预警值,马上停钻,并回拔钻杆进行洗孔。

③ 缓慢钻进且推抽钻杆

在施工过程中,钻速是个非常重要的参数。钻进、扩孔及回拖的速度过快或过慢,或者钻速与泵量的不匹配,都有可能导致钻孔内泥浆压力过大,从而造成冒浆。本次穿越地层为黏土层,应采用较低钻速,且每钻进一根钻杆,需要回拔一次进行洗孔,多次推拉钻杆,一方面充分破碎钻屑,另一方面降低抱钻卡钻的风险,保证钻孔通畅。

④ 合理控制泵量

为了快速返回携带出钻碎的土屑,防止土屑堆积在孔内造成淤积堵塞,使钻进后的孔路畅通,导向孔钻进的前半段应选用较大泵量;导向孔后半段由于泥浆从导向孔内返回入土点的难度加大,因此要适当控制泥浆泵量。钻进过程中要时刻注意返浆情况,如发现返浆量减少应及时停工,处理妥当后方可继续钻进。

⑤ 改进返浆口结构

将返浆口适当垫高,同时对孔口进行及时清理,使泥浆携带钻屑流向四周,防止钻屑在孔口淤积,造成孔口堵塞,返浆不畅,进而导致冒浆。

2.2 钻进扭矩过大

导向孔钻进原采用土层适用的无动力钻具+鸭掌钻头,实际钻进过程中,进尺至距入土点约70 m处时,切削困难,孔内钻具回转阻力明显增大,扭矩增大至35 000 N·m,考虑后续钻进无法保障一次性穿越出土,为提高施工安全性,回拔钻具,采用铣齿

三牙轮钻头+螺杆马达+无磁钻铤钻具组合进行导向孔钻进,在斜直段和直线段钻杆以较低转速回转钻进,在造斜段钻杆不回转,靠螺杆马达驱动钻头回转进行钻进,有效避免了钻进过程中扭矩过大。

2.3 钻孔憋压

为了避免在钻进导向孔、扩孔以及回拖阶段,发生钻孔憋压导致泥浆压力剧增而冒浆,影响总干渠的安全运行,导向孔实施前通过竖直钻探岩芯钻机在总干渠两侧靠近永久占地围栏处各设置 1 个泄压孔。泄压孔位置与定向钻轴线水平距离不宜超过 5 m,其深度与钻孔轨迹持平,孔径为 100 mm。当孔内压力异常增大时,孔内泥浆可通过泄压孔循环返回地表,以避免泥浆压力击穿总干渠底,造成干渠内冒浆。

2.4 特殊地层泥浆配方需优化

钻进至 10 m 时,通过现场每隔 2 h 对返浆进行性能测试,发现返浆性能与进浆相比变化很大,具体体现在马氏漏斗黏度显著增大,达到 120 s 以上,动切力与静切力也显著增大,滤失量减少。由此推断,地层黏土易水化,造浆能力较强,使得返浆性能较初始配制浆液性能发生了较大改变,地层黏土对泥浆性能的影响主要是黏度、静切力和动塑比,对密度、滤失量和 pH 的影响较小。地层黏土对泥浆性能的影响,致使泥浆黏度增大,流动性降低,大量钻屑淤积在孔口,阻碍返浆循环,进而易造成孔壁堵塞,发生冒浆。

经分析,认为施工在泥浆方面遇到的难点主要为水敏性微膨胀地层岩屑造浆能力强,对泥浆性能影响极大,应就如何减小地层黏土的扩散,抑制其对泥浆性能的影响,对泥浆配方进行优化。

考虑到地层造浆率较高,建议采用在清水中加入少量膨润土、配合添加剂的方法进行钻进,与切削下来的地层黏土钻屑在孔内混合搅拌成泥浆返回地面,优化后泥浆配方为膨润土 1%~2%+纯碱 0.1%+羧甲基纤维素(CMC)0.1%+聚丙烯酰胺(PAM)0.1%,该配方泥浆黏度相对较低,具有较好的流动性和一定的携带能力,可以将钻头切削下来的黏土块带出钻孔,而钙质结核则被钻杆挤向孔壁,有效避免了钻孔堵塞,保持返浆通畅,顺利完成了导向孔施工。表 3 为初浆与返浆性能参数对比。

现场每隔 2 h 对进浆和返浆进行一次性能测试,及时监控泥浆性能,对泥浆配方进行动态调整,

使其满足施工要求。

表 3 初浆与返浆性能参数比较

Tab.3 Comparison of performance parameters between primary slurry and return slurry

项目	初浆	返浆
马氏漏斗黏度/s	54	75
六速旋转黏度计转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	50,43,41,36, 30,29	65,60,58,54, 45,44
表观黏度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	25	32.5
塑性黏度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	7	5
滤失量/mL	14	13.6
动塑比/($\text{Pa} \cdot \text{mPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	2.628	5.621
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.086	1.086
静切力/Pa	10.731/14.308	17.885/19.418

对现场初浆、返浆性能进行实时监测,对泥浆配方中包括膨润土、清水以及添加剂在内的各种原料进行增减。由以上性能对比可以看出,地层孔壁具有一定造浆性,返浆包括黏度、动塑比等指标均明显大于初浆,因而为使循环出钻孔的泥浆满足性能要求,需要对其进行处理,去除大部分固相,并加入一定比例的清水适当降低其黏度等指标,满足孔内需求。

3 结论

依托河南省南水北调受水区南阳配套工程内乡供水工程第二标段水平定向钻穿越过程,分析了水平定向钻穿越南水北调总干渠这一特殊渠道时,在相关水利监管部门设定的泥浆压力控制指标的前提下,所采取的相应技术优化措施,同时对水平定向钻穿越含钙质结核粉质黏土地层时浅表地层易冒浆、钻进工艺、泥浆配方等一系列问题进行分析,并提出了相应的处理方法。

① 水平定向钻施工技术在南水北调受水区南阳配套工程内乡供水工程中的应用,克服了传统开挖直埋工序的低效率、大成本等弊端,同时加快了工程进度,保证了工程质量,减少了环境污染,社会影响较小,具有良好的经济效益和社会效益。

② 水平定向钻穿越南水北调总干渠过程中,为严守干渠水源安全,与规范控制指标要求不同,南水北调相关监管部门提出了比现行水平定向钻工艺规程更为严格的泥浆压力安全监管标准,即:泥浆压力表显示空载备压值+0.38~0.52 MPa 为施工限定安全范围值。通过本工程案例,证实水平定

向钻完全可以在满足此要求的前提下,依设计方案完成施工。试验孔预钻、泥浆压力监控、缓慢钻进且推抽钻杆、合理控制泵量以及改进返浆口结构等一系列工艺措施为安全施工提供了保障。

③ 水平定向钻施工过程中,套管隔离工艺对回填土浅表地层极易发生冒浆这一情况具有较好的预防效果。

④ 在穿越轴线关键位置布置泄压孔,可在孔内憋压、压力升高的情况下,为孔内泥浆提供循环通道,有效预防泥浆压力击穿地层而冒浆。

⑤ 在水平定向钻穿越南阳盆地含钙质结核粉质黏土地层过程中,需要重视此类地层的弱膨胀性、强造浆性以及钙质结核堵塞钻孔泥浆循环通道问题。所提出的泥浆配方与后期监测、动态调整各类配比,对此类地层具有较强适应性,可为类似地层水平定向钻穿越工程提供参考。

参考文献:

- [1] 柴义,陈晓霞,汪澜. 水平定向钻穿越中联合控向钻进导向孔施工技术[J]. 石油工程建设, 2010, 36(5): 35-38.
CHAI Yi, CHEN Xiaoxia, WANG Lan. Pilot hole construction technology of combined directional control drilling in horizontal directional drilling crossing [J]. Petroleum Engineering Construction, 2010, 36(5): 35-38(in Chinese).
- [2] 王洪培. 水平定向钻进管道铺设技术在南水北调配套工程中的应用[J]. 水科学与工程技术, 2014(5): 91-94.
WANG Hongpei. Application of horizontal directional drilling pipeline laying technology in the auxiliary projects of the South-North Water Diversion project [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2014(5): 91-94(in Chinese).
- [3] 杨善,曾聪,闫雪峰,等. 大直径水平定向钻低流速层流下岩屑运移规律[J]. 油气储运, 2018, 37(9): 1041-1047, 1076.
YANG Shan, ZENG Cong, YAN Xuefeng, et al. The migration law of cutting in the case of low-velocity during large-diameter horizontal directional drilling [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37(9): 1041-1047, 1076(in Chinese).
- [4] 董文娟. 非开挖水平定向钻进轨迹测量技术的研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2003.
DONG Wenjuan. Research on Trajectory Measurement Technology of Trenchless Horizontal Directional Drilling [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2003(in Chinese).
- [5] 杨先亢, 遆仲森, 马保松, 等. 水平定向钻管道穿越回拖力计算公式的比较分析[J]. 石油工程建设, 2011, 37(1): 1-5.
YANG Xiankang, TI Zhongsen, MA Baosong, et al. Comparative analysis of calculation formulas for backdrag force of horizontal directional drilling pipeline crossing [J]. Petroleum Engineering Construction, 2011, 37(1): 1-5(in Chinese).
- [6] 安金龙. 水平定向钻穿越回拖力的计算方法及其分析[J]. 江汉石油科技, 2007, 17(2): 53-58.
AN Jinlong. Calculation method and analysis of pull back force of horizontal directional drilling crossing [J]. Jianghan Petroleum Science and Technology, 2007, 17(2): 53-58 (in Chinese).
- [7] 董智杰. 复杂地層下水水平定向钻施工技术[J]. 水科学与工程技术, 2019(1): 80-83.
DONG Zhijie. Brief discussion on horizontal directional drilling construction technology under complicated stratum [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2019(1): 80-83(in Chinese).
- [8] 左雷彬, 冯亮, 马晓成, 等. 水平定向钻穿越冰水沉积层技术探索与实践[J]. 地质科技情报, 2016, 35(2): 121-125.
ZUO Leibin, FENG Liang, MA Xiaocheng, et al. Horizontal directional drilling of glaciofluvial deposit strata by crossing technology [J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(2): 121-125 (in Chinese).

作者简介:赵怀珠(1983—),男,河南周口人,大专学历,工程师,项目经理,一级建造师,主要从事土木工程、水利工程、市政工程等相关建设工作。

E-mail:233242380@qq.com

收稿日期:2021-06-22

修回日期:2021-07-14

(编辑:衣春敏)