

岩石地层水平定向钻管道穿越施工关键技术研究

覃国友

南水北调(定安)水网发展有限公司 海南定安 571200

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21177

[摘要] 水平定向钻作为成熟的非开挖施工工艺,具有施工扰动小、地表破坏轻微、穿越精度高、工期可控性强等显著优势,已广泛应用于给排水、燃气、电力通信等地下管道穿越工程。本文以某新建给水管道工程为例,梳理钻孔轨迹控制、岩石钻进、分级扩孔、PE管道回拖等核心关键技术,结合玄武岩、软硬风化互层地层特性开展工艺与设备适配优化,明确各工序技术要点与控制标准,可为同类岩石地层给水管道水平定向钻穿越工程提供参考。

[关键词] 岩石地层;水平定向钻;给水管;钻孔轨迹;施工关键技术

引言:

随着我国城镇化建设、市政管网改造及全域供水工程持续推进,地下管线穿越道路、河道、山体及建成区的施工场景日益增多。在工程实践中,给水管线敷设区间难以避免遇到穿越玄武岩等类岩石的情况,此类地层岩体抗压强度高、岩层产状复杂、局部裂隙发育,与粉质黏土、砂土等松散地层工程特性差异显著。因此,依托实际岩石地层给水管道穿越工程,从轨迹设计、岩层钻进、分级扩孔、管道回拖及地层设备等环节优化施工体系,对提升岩石地层非开挖施工质量、防范施工风险具有重要意义。

1 工程概况

本工程新建给水管道约118km,其中拖拉管管道长度为8km,管径主要为DN50~DN500,管道材质为PE100级实壁管,压力等级1MPa,拖拉管深度范围2m~6m,主要分布在素填土层、粘土层、强风化玄武岩、中风化玄武岩。沿线地表水主要为母瑞河及沟渠,地下水为松散岩类孔隙水与基岩裂隙水,水力联系密切、雨季水位抬升明显。本工程牵引拖拉管共计31处,拖拉管最长段为325m,管径为DN350,该段入土角、出土角均设置为 15° ,管道连接采用电热熔连接。

2 施工重难点

一是穿越地层以素填土、粘土、粉质粘土、玄武岩风化岩为主,钻进阻力大,钻头磨损快;强风化层、粉质粘土层遇水易软化,孔壁易坍塌;二是软硬地层交替频繁,钻孔轨迹易偏斜,导向纠偏与精度控制难度大;三是PE管道柔性大、长距离回拖,易出现划伤、拉应力超标风险;四是雨季降雨

集中、台风影响,地下水位变化大,泥浆护壁与孔内排水要求高。

3 岩石地层水平定向钻管道穿越关键施工技术

3.1 钻孔轨迹控制

结合本工程粘土、粉质粘土、强风化及中风化玄武岩互层特点,钻孔轨迹是保障PE给水管精准就位、安全回拖的核心。轨迹规划严格遵循设计关于出入土角、埋深控制要求,避开河流、破碎带与地下管线,造斜段平滑过渡,严禁急弯^[1]。依据CECS 382:2014《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》第5.3.5条规定,管径400mm~800mm塑料管最小曲率半径不应小于250D,D为管道外径。同时结合施工经验,岩石地层钻进曲率半径适当增大,本工程取350D,规避钻杆弯折、管道变形风险。轨迹规划全程避开既有地下管线、构筑物及裂隙破碎带,水平段严格保持3m以上安全净距,埋深控制在2~6m设计范围内,对局部埋深不足、临近裂隙带区域提前采取注浆加固封堵裂隙。

本工程采用高精度地下导向仪全程跟踪监测,造斜段每0.5m监测1次,水平段每1m监测1次,施工过程中,以水平单向偏差 $\leq 10\text{cm}/100\text{m}$ 、垂直单向偏差 $\leq 8\text{cm}/100\text{m}$ 作为过程控制指标。针对小幅度偏差(水平 $< 5\text{cm}/100\text{m}$ 、垂直 $< 4\text{cm}/100\text{m}$),不进行大幅度调角,仅微调钻机推进速度、钻头倾角及钻压,单次角度调整控制在 $1\sim 2^{\circ}/\text{m}$,循序渐进修正轨迹,防止强行纠偏造成岩层崩落、钻杆损伤。若偏差超出允许范围,立即停钻分析岩层倾角与裂隙走向,重新校正导向仪器后再恢复钻进^[2]。按照行业验收标准,管道回拖后,

水平限差控制在 $\pm(0.1+0.05H)$ 、垂向限差控制在 $\pm(0.2+0.05H)$ （H 为管道最大埋深，单位：m）。本工程埋深 $H=6\text{m}$ 时，水平总偏差控制在 $\pm 0.4\text{m}$ 内、垂向总偏差控制在 $\pm 0.5\text{m}$ 内，满足规范验收要求。

3.2 岩石钻孔

根据软硬交错的地层情况，在施工过程中，按照平稳、缓慢的施工方式，根据土层、风化岩层和完整基岩的地质情况，灵活控制施工速度，使钻进过程保持均匀、稳定。在施工过程中，通过对孔内工况的持续监测，掌握钻进阻力、孔道形态等现场情况，并根据地层的实时变化，适时调整作业强度和推进速率，避免因强制作业而引起的孔壁扰动和孔道

移位等问题，确保钻进方向与预先设定的轨道相符。

泥浆体系是岩层钻孔施工的重要保障，现场依托泥浆实现钻具降温冷却、孔内废渣带出以及孔壁防护加固作用。泥浆在各阶段的配制如表 1，同时还需结合不同地层自身特性进一步调配泥浆性能，在硬度较高的基岩区域，重点保障泥浆废渣输送能力，及时带出破碎岩屑，避免碎屑堆积影响正常钻进；在土质层与风化岩层区域，侧重强化泥浆护壁效果，降低土体遇水软化松散、岩层碎裂脱落的概率，维持孔壁整体完整稳固。作业过程保持泥浆循环通畅，一旦察觉钻进阻力异常、行进受阻等情况，立即加大泥浆循环力度，充分清理孔内杂物，待孔内工况恢复稳定后再继续开展钻进作业。

表 1 不同阶段定向钻施工泥浆基本配方

阶段	基本配方	核心作用
钻导向孔阶段	7-8%预水化钠基膨润土+0.2-0.4%增粘剂+0.3%降滤失剂	携带泥沙、稳定孔壁
预扩孔阶段	7-8%预水化钠基膨润土+0.3-0.5%提粘剂+0.4%降滤失剂	稳固孔壁、强力携渣
扩孔回拖阶段	7-8%预水化钠基膨润土+0.3-0.5% 提粘剂+0.4%降滤失剂+2%-3%的润滑剂	护壁携砂、减少阻摩力和扭矩

岩层钻孔采取分段作业模式，合理划分单次钻进施工长度。岩石钻孔施工如图 1 所示。每完成一段钻孔施工后及时暂停作业，全面检查钻具连接部位、整机运行状态，做好设备养护与油脂加注工作。结合作业损耗情况检查机具使用状态，及时处置运行隐患，杜绝设备带病作业，以此降低机具故障概率。

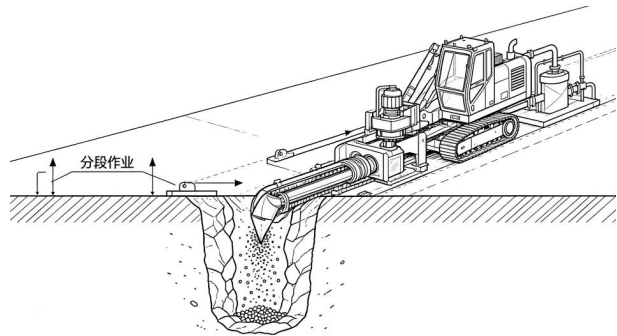


图 1 水平定向钻施工示意图

3.3 扩孔

本工程为给水 PE 管道，据（CECS 382:2014）第 5.5.1 条，以 DN350 管道（ $D_1 \approx 355\text{mm}$ ）为例，最终扩孔直径宜取 $D_1 \times (1.2 \sim 1.5) = 426 \sim 533\text{mm}$ ；又据第（CECS 382:2014）第 5.5.2 条，管径 $>250\text{mm}$ 宜多级扩孔，且本工程穿越段含中风化玄武岩，一次大幅扩孔易造成钻具过载与孔壁失稳，故采

用分级渐进式扩孔（ $\phi 150 \rightarrow \phi 250 \rightarrow \phi 400 \rightarrow \phi 530$ ），每级级差控制在 $100 \sim 150\text{mm}$ 。

为降低岩渣在钻孔中的积聚和滞留，从出土点到入土点逐级推进，大口径管道分阶段扩孔，小口径管道逐级扩孔。根据不同的地质情况，采用差别化的方式进行扩孔操作：对于硬岩段，采取低转速、高推拉力切削方式，提高岩层的破碎效率；为减小对孔壁的干扰和损伤，在软岩和粘性土层中，采用高转速、低推拉力的工作方式。每次扩孔结束后，继续进行泥浆循环，将通道内的残余岩渣全部冲刷干净，并在孔壁上生成致密的泥皮，加固裂隙岩层结构，为管道回拖提供稳定的孔道。

3.4 管道回拖

扩孔完成后立即组织管道回拖，缩短孔道裸露静置时间，降低风化岩层、破碎带塌孔风险。本工程最大穿越长度 325m ，回拖前，需复核钻机牵引轴线与孔道轴线的一致性，向孔内注入润滑泥浆，形成稳定的润滑层，减小管道与孔壁间的摩擦阻力。初始阶段控制较低速度，平稳起步；管道主体入孔后保持匀速推进，避免速度骤变。在施工过程中，对回拖力和管道姿态进行实时监控，一旦发现回拖力异常波动、管线偏移等现象，必须马上停机进行检查，并调节牵引角度或者

补充泥浆,直到工作状态稳定后才能继续作业。管道连接采用电热熔法,就位完毕后,检查入土端和出土端的定位,以保证管道的整体姿态和接口质量符合设计要求,保证结构变形控制在允许范围内。在穿越受沉降严重影响区域,为保证管道的长期稳定,应按要求对管道与孔壁间的环隙进行处理。

4 岩石地层水平定向钻施工专项控制措施

4.1 分区施工工艺优化调控

针对中风化玄武岩岩石强度高、耐磨性好的特点,本项目重点优化轨道控制和钻井效率:造斜段曲率半径统一按照350D控制,将导向监测数据加密到0.5 m/次。采用高比重、高黏度泥浆,循环流速不小于2m/s,在保证钻头冷却、携渣及保护孔壁的前提下,降低钻具的偏磨和轨迹漂移。

软弱风化岩层与粘土、粉质粘土层发育、遇水易软化膨胀、孔壁稳定性差,重点强化泥浆护壁与分级扩孔控制:优化泥浆外加剂配比,添加防膨、护壁组分,抑制岩层水化崩解;减少单次扩孔增量,严控单级扩孔直径递增量不大于200mm,每级扩孔后及时补浆固壁,降低孔壁坍塌、卡钻概率^[5]。

4.2 施工过程动态监测

在钻孔导向阶段,依托高精度导向系统,对孔道轨迹实施连续跟踪监测,实时掌握孔位偏差、钻进角度变化,根据地层软硬交替情况及时调整作业节奏,避免轨迹大幅偏移与强行纠偏引发的岩层崩落、钻杆损伤风险。

在扩孔和回拖过程中,对泥浆特性和孔内工况条件进行监测,对泥浆比重、黏度、含砂率等关键参数进行动态控制,适时调整泥浆配比,加强孔壁稳定性,防止风化岩遇水软化、孔壁坍塌。同时,对钻机的工作参数和牵引载荷进行实时监测,一旦发现扭矩异常、回拖力突然增加,必须马上停止作业,查找原因,并通过清渣补浆、调整牵引姿态等方法消除隐患,直到工作状态稳定后才能继续进行施工。

4.3 泥浆系统优化管控

依据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS 382:2014)第6.4.3条规定,泥浆性能参数应结合地层类型确定。本项目参照规程要求,建立分区分段的泥浆配比与循环控制机制,避免传统单一配比、粗放式施工方式。

针对硬岩地层,着重提高泥浆携渣和冷却性能,优化泥

浆的流动性和悬浮性,以稳定的循环流速将硬质岩屑及时带出,避免因岩屑积聚而引起的卡钻和机械磨损。针对软弱风化岩层和粘性土层,重点提高泥浆护壁和防膨性能,加入专用外加剂,使其在孔壁表层形成致密、柔性的泥皮,阻止地下水渗入和土体遇水软化崩解,从本质上减少孔壁坍塌的风险。

在施工现场设置专用的泥浆池和循环净化系统,实时监测泥浆的主要性能指标,并随着钻进进尺和地层变化,动态调整配比参数,保证泥浆的稳定性。为保证钻进、扩孔和管道回拖等各个环节顺利进行,必须定期清除循环泥浆中的沉渣,以避免因含砂量增加而引起泥浆性能下降。

5 结语

综上所述,在市政给水管道火山岩台地、埋深2~6m岩石地层定向钻施工中,穿越地层为素填土、粘土、粉质粘土、强风化及中风化玄武岩、软硬互层、风化带发育、雨季水文条件复杂,是影响成孔质量、钻进效率和管线安全回拖的关键因素。岩石地层水平定向钻施工必须坚持地质先行、参数量化、分区适配、全程管控的原则,施工中严格把控各核心工序,根据粘土、粉质粘土、强风化玄武岩、中风化玄武岩不同工程特性差异化匹配泥浆体系,同时强化工序验收、动态监测与隐患预判,从工艺、设备、管理多维度形成成套施工体系,保障大口径、长距离PE给水管道穿越的敷设精度与结构安全,提高施工效率和成孔质量。

[参考文献]

- [1]朱向东. 给水工程中水平定向钻穿越技术施工探讨[J]. 大众标准化, 2023, (05): 48-50.
- [2]戴成林, 孔丹丹, 庞浩, 等. 水平定向钻在穿越复杂地质条件下的纠偏技术研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(12): 81-84.
- [3]杨波. 复杂地層水平定向钻穿越前的清障技术方案[J]. 上海煤气, 2024, (04): 14-17.
- [4]胡智钧. 水平定向穿越钻施工过程中的控向技术[J]. 上海煤气, 2024, (02): 13-16+28.
- [5]闫永贵. 供热管道穿越岩层水平定向钻施工技术[J]. 工程建设与设计, 2022, (01): 135-138.

作者简介:覃国友(1991—),男,汉族,广西河池人,本科学历,研究方向为市政工程。