

长距离大直径过江定向钻进钢管案例分析

孙 安¹,杨磊三¹,李 易¹,史慧婷²

(1.广东省建筑设计研究院集团股份有限公司,广东 广州 510010;2.广州市城市规划勘测设计研究院有限公司,广东 广州 510060)

摘 要:以广州南沙区某 DN1200 给水管道工程为例,分析在穿越长距离河道时会遇到的难题,通过多方面综合对比最终确定采取定向钻进方案。结合工程实例,通过精确双导向系统控制管道的空间定位,提前准备降速降压再清孔以应对导向孔失控跑浆,配备专用工具以应对预扩孔卡钻包钻,调整泥浆配比和泥浆压力以预防孔洞塌孔、泥浆冒浆等难题;针对回拖过程中管道净浮力较大的问题,采用内充水方式进行配重抗浮;通过计算确定管道的最小壁厚,确保管道在回拖过程中不发生拉脱破坏;采用合理的回拖钻具和相关措施,确保管道回拖过程顺利。管道现已顺利竣工且试运行良好,可为类似工程提供有益参考。

关键词:长距离定向钻进;泥浆配比;回拖;充水配重;壁厚计算

中图分类号: TU43

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)12-0185-04

0 引 言

给水管道作为基础建设的组成部分在国民经济与生活中发挥着重要作用。随着城市化的发展,常规管径的给水管道已难以满足城市人口规模的增长,大直径给水管道正日益增多,而穿越河涌则是不可避免会遇到的情况。河涌宽度越宽,未明地质情况越多,穿越的风险就越大。因此,大直径管道如何顺利穿越河涌仍是工程界亟需解决的一个难题。

1 工程概况

1.1 工程简介

广州南沙区某水厂出厂管道工程需敷设 DN1200~DN1400 的供水主管,长 11.4 km。其中一阶段 DN1400 管长 3.7 km,二阶段 DN1200 管长 7.7 km,含穿越 268 m 宽的蕉门水道及与其近邻的 74 m 宽酬劳涌(两者相距 260 m),如图 1 所示。为满足水利航道方面的要求,过蕉门水道时管道顶标高需设定在绝对标高的 -12.50 m,以确保最小覆土 6.0 m 的要求。管道设计内水压力为 0.20 MPa,为适应多变复杂的地质情况,管道全程采用焊接钢管。

1.2 地质条件

考虑过河管道施工的难度及风险,为更清楚地

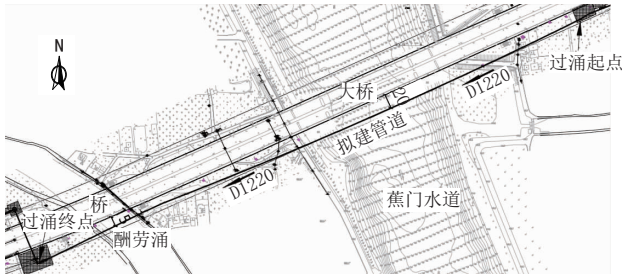


图 1 管道过涌平面图

了解水下地质情况,在蕉门水道钻孔的平面间距约为 20 m,交错布设在管道边线外 2.0 m 的地方。

根据钻孔资料,蕉门水道场地的岩层按其成因及工程特性由上而下描述如下。

(1)素填土:灰色、褐红色,稍湿,松散,主要由黏性土组成,平均层厚 1.8 m。

(2)淤泥:深灰色,饱和,流塑,以黏粒为主,含有机质,味臭,下部含少量粉砂,平均层厚 14.2 m。

(3)淤泥质砂:深灰色,饱和,松散,以粉砂为主,级配一般,局部含较多淤泥,平均层厚 4.6 m。

(4)粉质黏土:褐黄色,湿,可塑,以粉黏粒为主,黏性中等,韧性中等,平均层厚 3.8 m。

(5)砂质黏性土:可塑为主,为花岗岩风化残积土,遇水易软化崩解,平均层厚 4.1 m。

(6)强风化花岗岩:以半岩半土~碎块状为主,极软岩,较破碎,遇水易软化崩解,平均层厚 3.5 m。

(7)中风化花岗岩:裂隙较发育,以短柱状为主,为较软岩~较硬岩,质量等级 IV,平均层厚 2.8 m。

收稿日期: 2024-05-31

作者简介:孙安(1986—),男,硕士,高级工程师,从事市政结构与岩土设计。

管道埋深范围内多为强风化花岗岩和砂质黏性土层,局部为中风化花岗岩层,如图2所示。

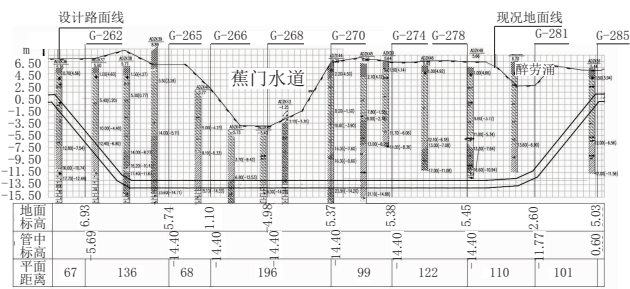


图2 管道过涌剖面图(单位:m)

地下水有上层滞水、孔隙水与基岩裂隙水。场地水在干湿交替的条件下对混凝土结构中的钢筋具有弱腐蚀性。

2 方案比选

过河涌压力钢管一般有定向钻进、顶管、围堰、架管、沉管等几种穿越方式。结合现场及工程实际,如采用围堰方式,则围堰支护费用大、风险高,对河涌过流影响较大;架管与周边环境不协调,外露管道安全风险高,故不考虑围堰与架管方案;沉管对江面航道影响大,协调周期长,难度大,也不考虑。故仅对定向钻进和顶管两个方案进行比选^[1]。考虑钢管需要一次性穿越蕉门水道和酬劳涌2个河涌,故本段管道平面长度取870 m。

2.1 定向钻进

定向钻进即传统意义上的牵引管。先在入土端采用导向杆以一定角度斜向入土,再经水平段、斜向上段在出土端出土,出土后采用逐级回扩孔技术将孔洞扩大至不小于管道外径200 mm,期间孔洞内需注入泥浆进行护壁。待孔洞稳定成型后采用回拖技术将拟建管道拖入成型^[2]。定向钻进的关键有三点:一是扩孔器,需采用逐级增大200 mm的扩孔器将孔洞扩至设计直径,且需确保孔洞不塌孔;二是回拖技术,需确保管道在回拖过程中不发生浮起、裂缝、拉脱等损坏;三是需确保施工精度^[3],因定向钻未设置前置机头而是采用地面遥控方式,故需确保施工精度以减小误差。

2.2 顶管

与定向钻进不同的是,顶管需先在起点和终点做顶管井。经核算,起点工作井的埋深为22.0 m,终点接收井的埋深为21.5 m。由于埋深范围内的地层多为软弱土层,故需采用沉井方式施工。因接收井附近有10 kV架空高压线,故采用沉井做法需对高压

线进行迁改,工程费用高,报审迁改时间不可控,且超深沉井在下沉过程中可能造成周边村民自建房产生产裂缝或沉降。由于是超长距离过江顶进,如中途遇未知地质或地下障碍物,顶管机头将难以取出,故顶管方案存在较大风险。

综合上述因素与现场的实际情况,为避免长距离过江顶管在施工中产生不可预测的风险,同时基于缩短施工周期、节省投资、方便借地等考量,本次过蕉门水道及酬劳涌段钢管采用定向钻进施工工艺。具体方案对比如表1所列。

表1 过蕉门水道定向钻进与顶管方案对比

对比项目	定向钻进(方案一)	顶管(方案二)	比选结论
征地拆迁	借地1 850 m ²	借地2 080 m ²	方案一优
施工难度	拖拉难度较大	超长距离难度大	方案一优
施工周期	焊接成型再一次性拖拉,周期短	先施工顶管井,再分节焊接,周期长	方案一优
施工风险	导杆先行可预判地质情况,风险小	忌复杂地质。且深基坑开挖,风险大	方案一优
工程投资	1 981 万元	2 333 万元	方案一优
市场因素	推广阶段,队伍少	工艺成熟,队伍多	方案二优
施工质量	拖拉精度稍差	激光导向精度好	方案二优
地质适应	有一定塌孔风险	适用多种地质	方案二优

3 定向钻进设计

3.1 总体设计

本段管道工程需要穿越酬劳涌和蕉门水道,入土点位于蕉门水道东侧,距离蕉门水道河堤160 m,入土点钻机场地为25 m×60 m,入土角为8°;出土点距离酬劳涌100 m,出土点钻机场地为30 m×45 m,出土角为5°。施工前需对场地进行清表、平整,并铺垫钢板或做场地硬化。本工程的管道曲率半径为1 500D(D为穿越管段外径),即1.8 km。

施工时在地平面下1.5 m入钻,从入钻边至水平距离22.7 m、垂直距离4.7 m时为直线段施工;22.7~277.4 m时为弧线段施工,此时管道达到设计深度;277.4~570 m为管道水平段施工;从570 m开始管道起角度向上,至730 m为弧线段施工,深度距地平面14 m,730~850 m管道直线上升,直至距地表1.5 m时出土。

管道材质采用Q235-B钢,单节管长6 m,壁厚16 mm,采用双面对接焊接。管道外防腐采用70 μm环氧富锌底漆二道+450 μm环氧玻璃鳞片突脸三道,内防腐采用0.3 mm厚液体饮用水无毒环氧防腐

材料。

3.2 重难点控制

本段管道定向钻进的重难点在于以下方面。

(1) 精确导向

因要穿越河流,且穿越深度达 19 m,普通的导向仪无法达到要求,所以选用地磁导向仪。同时为确保导向精度,还需配备无线导向系统,用双导向系统来确保导向的顺利^[4]。在河流两边布置磁场,在钻头穿越河流的过程中通过方位角来控制方向,并辅助以河流两边的磁场进行校正,以确保钻进方向的精度。

(2) 导向孔

导向孔采用钻头+螺杆+探头固定接头+无磁钻铤+钻杆的钻具组合。本工程穿越的地层含淤泥、淤泥质粉细砂及粉质黏土等,导向孔钻进过程中易发生方位失控、跑冒浆、泥包钻等问题。

当出现上述情况时,应立即回撤钻杆,防止孔内钻压过大,在降低推力和推进速度后再次钻进^[5];针对泥包钻的问题,应采取适当调整泥浆配比、进行洗孔等一系列措施清除导向孔内多余的钻屑,待扭矩和钻压下降至合理值后再次钻进。

(3) 预扩孔和清孔

结合本工程实际,采用 5 级预扩孔,分别为 $\phi 700$ 、 $\phi 950$ 、 $\phi 1\ 200$ 、 $\phi 1\ 350$ 和 $\phi 1\ 550$ 扩孔器,扩孔器选用流道挤扩式扩孔器。

预扩孔时,如发现泥浆压力剧增或扭矩瞬间增大,应立即停止回扩;如发现已卡钻,应在出钻口侧用挖机配合滑轮组钢丝绳连接钻杆,同步回拉,在扩孔器离开卡钻位置后,视情况继续回扩或退出扩孔器,待降低级差后再继续扩孔;如主钻机扭矩过大,扩孔器遭遇包钻时,可采用套洗专用工具套洗解卡,如图 3 所示。



图 3 套洗工具图

在回扩完成后,在钻杆尾部配装 $\phi 1\ 550$ 回扩头,进行清孔工作。此项工序主要是运出扩孔搅碎的孔内土,形成光滑圆顺的施工通道。清孔过程中,需

时刻关注钻机的拉力和扭矩,使钻机的拉力和扭矩均不超过 15 MPa^[6]。

(4) 泥浆护壁

泥浆是定向钻进中的关键因素。由于施工终孔直径达到 $\phi 1\ 550$ mm,穿越距离水平长度达 850 m,且经过的地层复杂、地质分布不均,在导向孔和扩孔阶段易产生泥浆部分或全部漏失现象,导致钻具卡钻。

为保证孔道全线通畅成型,需科学配制化学泥浆,选择合适的化学添加剂,并在施工中随时测定泥浆马氏漏斗黏度,根据实际施工参数以及返浆情况及时对泥浆配比做出调整。一般情况下,对松散的粉细砂及粉土层,马氏漏斗黏度为 60~90 s;对密实的粉细砂层,黏度应为 40~60 s;对中粗砂、卵砾石层及破碎岩层,黏度应为 80~120 s;对黏性土层应为 35~50 s。泥浆的 pH 宜稳定在 9.5~11.5 之间。

扩孔过程中还需关注泥浆压力表与钻具扭矩表变化。在松软地层,降低泵量并适当加快速度通过,使泥浆压力不大于冒浆的临界压力值,并调整泥浆配比,增强泥浆护壁与携砂能力。如果施工过程中发现泥浆漏失严重,可在泥浆中添加堵漏材料进行封堵^[7]。

泥浆配比初步按如下配方,现场可根据实际情况做适当调整:

5%~6% 高效膨润土 +0.1% 纯碱 +0.03%~0.1% 烧碱 +0.05%~0.15% 的 MV-CMC+0.5%~1% 抗盐添加剂。

泥浆的理论排量按式(1)控制:

$$V_{\text{排}} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4(\theta - \delta)} \quad (1)$$

式中: D 为当前扩孔尺寸,m; d 为上级扩孔尺寸,m; θ 为返浆含砂量,%; δ 为泵入泥浆含砂量,%。

经核算,本段工程在细砂层中泥浆压力控制在 2.0 MPa,排量控制在 0.8~1.2 m³/min;在中砂层中泥浆压力控制在 1.5 MPa^[8],排量控制在 0.8 ~ 1.5 m³/min。

(5) 管道抗浮配重

根据《油气管道水平定向钻穿越技术规定》(CDP-G-OGP-PL-009—2012)^[9]中的规定:当管道中的上浮力大于管道自重 2 kN/m 时,应采取浮力控制措施。本工程管道的浮力为 14.02 kN/m,管道自重为 5.33 kN/m,净浮力为 8.69 kN/m,所以回拖管道的抗浮力应大于(8.69-2)kN/m,即 6.69 kN/m。

本段管道工程采用在管道内放置 PE 管的方式,

通过在 PE 管内充水进行配重抗浮,如图 4 所示。经计算,在 DN800 mm × 30.6 mm 的 PE 管道内每米需注入 596 kg 的水方可满足抗浮要求。实际操作时先将 DN800 的 PE 管进行分段焊接,后再牵引至回拖主管道内,回拖前在 PE 管内注水再进行钢管回拖。

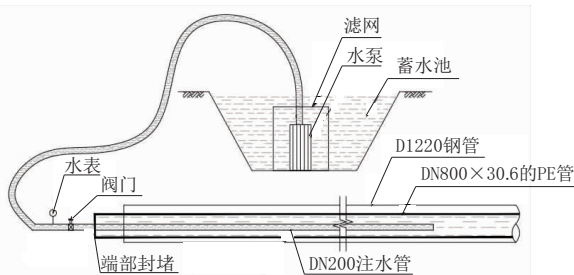


图4 管道抗浮配重示意图(单位:mm)

(6)壁厚的确定

壁厚的确定以钢管不发生拉脱破坏为准则。根据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS382:2014)第5.4.2条^[10],管道回拖力的计算如式2所示:

$$T = L f_h \left[\frac{\pi D_1^2 \gamma_m}{4} \left(\frac{D_1 + D}{2} \right) \pi t \gamma_p - \omega_w \right] + \pi D_1 L K \quad (2)$$

式中: L 为穿越长度,m; f_h 为钢管与孔壁之间的摩擦系数,取0.3; γ_m 为泥浆的重度,取13 kN/m³; D_1 为管道外径,m; D 为管道内径,m; t 为管道壁厚,m; γ_p 为管材的重度,取78 kN/m³; ω_w 为单位长度管道配重量,取6.8 kN/m; K 为泥浆的黏滞系数,取0.35。

当壁厚取16 mm时,代入算得管道回拖力 $T=2\,458$ kN,此时管道承载力为4 911 kN $>2T$,满足要求,故壁厚取16 mm。

(7)管道回拖

管道回拖是水平定向钻穿越施工中的最后环节,也是最重要的环节。主管的回拖钻具采用如下组合:168 mm 钻杆+ $\phi 1350$ 流道式扩孔器+500 t 万向节+DN1220 管道穿越管线。

开始回拖时,发送沟提前注水,减小回拖阻力,以避免管道突然下沉增大拖管拉力,造成管道损伤。回拖过程中,要控制泥浆泵泵压,保证井壁稳定,并使用高润滑泥浆,使高润滑泥浆像薄膜一样附着于防腐层表面,以达到减小回拖过程中的阻力的效果,保护防腐层,如图5所示。

管道回拖过程中如遇到回拖力增大至超出预计最大安全拉力时,可判断为管道在孔洞中遭遇孔壁坍塌导致卡钻。针对此现象,应及时安装动滑轮组,将其与回拖管道的尾部连接,把管道及时从孔洞中拽出,避免管道存留在孔洞内时间过长而导致更大

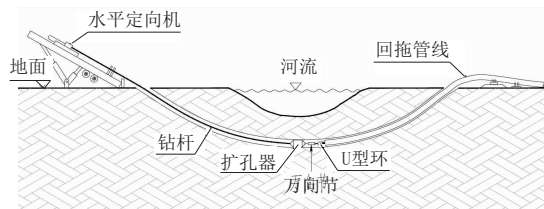


图5 管道回拖示意图

的解卡阻力。若单使用滑轮组尚不能将管道拽出,则可使用夯管锤与滑轮组组合的方式进行解卡^[11]。

4 结 语

以广州南沙区某给水管道工程为例,针对穿越长距离河道时会遇到的困难,本研究主要得到以下结论:

(1)对大直径超长距离的过江管道,定向钻进在风险控制、工程造价、施工周期等方面比顶管更具有优势,可优先考虑;

(2)定向钻进前需做好精确导向,导向孔需做好防跑浆冒浆、泥包钻等问题,预扩孔需做好防卡钻包钻、清孔等工作;

(3)泥浆护壁是防塌孔最重要的一环,施工中要严格遵循理论计算、初步配比、现场调整等程序;

(4)管道的上浮力较大时,需通过计算确定管道配重,以防止管道回拖过程中产生变形损坏;

(5)为防止管道回拖过程中产生拉拖破坏,需先通过计算确定壁厚,在回拖过程中采用减小阻力等措施,以确保管道的顺利实施。

参考文献:

- [1] 井伟伟,王亚辉.市政给水管道的施工技术要点分析[J].工程技术研究,2021(3):90-91.
- [2] 李如详,程赓,嵇建国.钢管拉管在给水管过河工程中的应用[J].市政技术,2018,36(3):159-164.
- [3] 李术才,李利平,孙子正,等.超长定向钻注装备关键技术分析及发展趋势[J].岩土力学,2023,44(1):1-30.
- [4] 王鑫,吴键,奚润开,等.面向水平定向钻的透地测深系统设计[J].机械制造与自动化,2022(1):120-123.
- [5] 高京伟,安丽丽,李莎,等.水平定向钻先导孔轨迹设计参数探究[J].给水排水,2022,48(增刊):13-15.
- [6] 袁明昕,韦海瑞,刘广.定向水平钻反循环扩孔技术与试验研究[J].工程勘察,2022(11):31-36.
- [7] 袁东锋,高晓耕,周禹良,等.富水砂层长距离水平定向注浆孔成孔技术[J].城市轨道交通研究,2018,21(9):122-124.
- [8] 郑晓东,徐世界,郭书亮.超大口径水平定向钻进施工泥浆压力研究[J].施工技术(中英文),2023,52(4):133-138.
- [9] DP-G-OGP-PL-009-2012,油气管道水平定向钻穿越技术规定[S].
- [10] CECS382-2014,水平定向钻法管道穿越工程技术规程[S].
- [11] 李慧莹,赵自亮.切割式再生型水平定向钻进卡管事故处理技术[J].施工技术,2018,47(7):136-140.