

水平定向钻施工技术在污水管网中的应用

胡继光

(中交一航局(海南)工程有限公司)

摘 要:海口市滨江西污水处理厂外线工程线路原设计为明挖工艺,绿化破坏极大,施工手续审批复杂。为解决上述问题,采用水平定向钻施工技术替代明挖工艺,有效地降低了土地开挖对环境、城市交通、周边居民的影响,大幅度降低了对沿线绿化的破坏。相比原方案,水平定向钻施工技术在进度、安全、质量、成本管控方面均有一定的优势,在大直径、长路线的污水管网施工中可以作为重点推荐工艺。

关键词:水平定向钻;非开挖技术;管道铺设工程

0 引言

近年来,城市化进程的加快,导致城市水污染问题日益突出,加强城市污水处理设施建设迫在眉睫。海口市滨江西污水处理厂项目建设完成后,污水处理量可达到 9.5 万 t/d,满足了周边居民的生活需求。为了符合环保事业的发展需求,降低工程施工期间对环境的影响,在其附属进出厂管道工程铺设管道阶段,采用了一种非开挖施工方法——水平定向钻施工技术。

非开挖水平定向钻施工技术不需要破坏路面形状和周围环境,大大降低地下管道铺设工程对地面的破坏程度。同时该技术能够实现定向控制且有较高的精准度,施工队伍可以快速地到达准确管道铺设目标处,节省了大量的时间,可缩短施工周期^[1]。水平定向钻施工技术在应用于管道铺设时,能够有效地降低路面破坏或拆除房屋等造成的经济损失,可节省大量的管线使用量,节约了工程实施成本。

水平定向钻施工技术因应用水平导向钻技术能够减少以往污水管道工程施工中对地面开凿与挖掘,避免了管道铺设时对管道上方土层的破坏,能够提高管道整体的稳定性,减少了影响管节安全性的因素,进而有效降低了其发生形变的概率,增加了管道的使用时长,对污水管道工程有着不容忽视的重要影响^[2]。

本文以滨江西污水处理厂进出厂管道工程为依托,针对海南区域使用较少的大尺寸口径管道牵引工程成功应用水平定向钻施工技术进行总结,以期类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 工程位置

海口市滨江西污水处理厂工程项目位于海口市琼山区滨江西路与新大洲大道交叉口处滨江西花卉大世界内,该项目为全地理式结构污水处理厂,构筑物总处理规模为 9.5 万 t/d。滨江西污水处理厂配套管网工程进厂管道管位毗邻南渡江,起于滨江路与红城湖路的交叉口北,主要位于滨江西路中央绿化带下,由于管网建设路段为海口路网的主要干道,交通量极大,沿线出入口较多、周边路网的连通率高,部分路段有拥挤情况,为避免新建管道施工对现状市政管线及道路交通造成影响,采用水平定向钻施工技术进行施工。

1.2 地勘和地下管线排查

根据工程所在地地貌特征及工程地质勘察结果可知,在地段勘探为 25.50 m 的深度范围内,从上到下可划分为 12 个工程地质层,包含了素填土层、粉砂层、黏土层、粗砂层、岩石层 5 个单元。施工位置主要的地质条件为稳定的素填土层、粉砂层和粗砂层。

在实际运用水平定向钻施工技术时需组织施工队伍进行现场实地考察,了解施工周围环境的供水、通讯、供电、水源、地质、交通、周围建筑物等实际情况,测量实际入土点与出土点的水平距离等,为后期工程实施提供可靠的数据^[3],保障施工安全。

2 施工总体策划

本项目沿线铺设污水管道的总长度为 7 168.0 m,铺设管道采用具有高柔性、耐腐蚀特点的 2

种不同规格的 PE 100 专用管，管道尺寸分别为 DN 1000 和 DN 600，其中 DN 1000 PE 100 专用管铺设全长约 5 226.0 m，DN 600 PE 100 专用管铺设全长约 1 942.0 m，所有地下管线均采用水平定向钻施工技术进行铺设。

由于铺设管线较长，施工难度较大，在管线铺设前对管线铺设任务进行分段策划，DN 1000 PE 100 管定向牵引共分 21 段施工，每段拖管最大长度不应超过 400 m，DN 600 PE 100 管定向牵引共分 7 段施工，每段拖管最大长度不超过 380.0 m。

因地下管线错综复杂，在管线铺设埋深策划时注意地下管线安全施工距离，为保证本项目管线能够安全牵引通过，DN 1 000 管道平均施工深度为 6.5 m，DN 600 管道平均施工深度为 4.5 m。

3 管道铺设

3.1 导向孔轨迹曲线设计

设计及计算施工导向孔轨迹是水平定向钻施工技术的核心，施工导向孔轨迹设计是否合理直接影响管道牵引铺设的成败。

3.1.1 定向钻导向孔轨迹形式确定

在定向钻导向孔轨迹的计算中，所需的基本参数包括入土角和出土角、埋深以及孔长。根据对项目施工现场已有地下管线分布、铺设管线类型、管线直径等的研究，确定定向钻导向孔的设计轨迹形式为“曲线段—直线段—曲线段”。施工导向孔轨迹设计图见图 1。

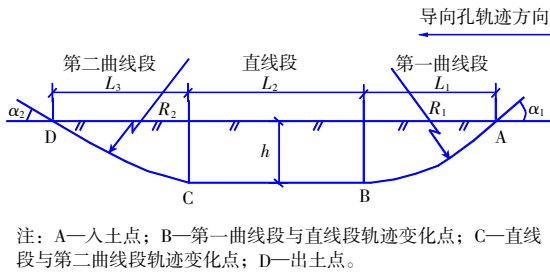


图 1 导向孔轨迹设计图

3.1.2 定向钻导向孔参数确定

在确定定向钻导向孔各参数之前，需要对工程项目要求、地下埋管现场的地层条件、施工条件、现场已有地下管道情况、埋管深度等影响因素综合分析，从而得出最优化的导向孔轨迹设计参数，可以通过算法确定。

定向钻导向孔轨迹设计计算公式为：

1) 第一曲线段

$$L_1=\sqrt{h(2R_1-h)}$$

2) 入土角

$$\alpha_1=2\arctg\sqrt{\frac{h}{2R_1-h}}$$

3) 第二曲线段

$$L_3=\sqrt{h(2R_2-h)}$$

4) 出土角

$$\alpha_2=2\arctg\sqrt{\frac{h}{2R_2-h}}$$

式中： L_1 为管线入土造斜段投影的长度，m； L_2 为管线水平直线段长度，m； L_3 为管线出土造斜段投影的长度，m； R_1 为管线入土时弯曲半径，m； R_2 为管线出土时弯曲半径，m； h 为管线埋深，m； α_1 为入土角，宜取 $8^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ； α_2 为出土角，宜取 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。

根据 CECS 382:2014《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》可知，铺设 DN 1000 管道曲率半径 R_i 不应小于 $300D$ ， D 为管道直径。

对 DN 1000 管道铺设段定向钻进水平长度进行计算，定向钻导向孔轨迹设计参数如表 1 所示。

表 1 定向钻导向孔轨迹设计参数

规格	曲率半径/m	轨迹埋深/m	入土角/(°)	出土角/(°)	定向钻进水平长度 $L=L_1+L_2+L_3$			
					L/m	L_1/m	L_2/m	L_3/m
DN1000	1 000	6.5	8	5	400	67.82	244.76	87.42

3.2 施工回拖力计算及钻机确定

3.2.1 定向钻施工回拖力计算

由于项目所在地区的地质条件复杂多样且穿越管道尺寸较大，因此管道在回拖过程中受力十分复杂，需要提前设计回拖力，以保证回拖管道能够顺利通过定向孔。

根据 GB 50268—2008《给水排水管道工程施工及验收规范》回拖力计算的基本公式为：

$$P=\pi D_0 l f+\frac{\pi}{4} D_K^2 R_a$$

式中： P 为回拖力，kN； D_K 为扩孔钻头外径，m，取 1.3； D_0 为管道外径，m； R_a 为迎面土挤压力，kPa，埋设管道处为黏性土取值范围为 50~60 kPa，本工程取 60； l 为管道长度，m； f 为管周与土的摩擦系数，埋设管道处为黏性土取值范围为 0.3~0.4，本工程取 0.3。

通过计算可知，DN 1000 回拖管道段计算回拖力为 1 107.02 kN，小于其控制段的最大允许回

拖力 1 400 kN, 满足设计要求。

3.2.2 定向钻机确定

利用水平定向钻施工技术进行施工时, 对于钻机类型的选择要考虑施工场地、地层条件、铺设管的直径、埋深和穿越总长度等因素, 水平钻机额定回拖力按照设计回拖力的 1.5 倍进行选取, 本项目选取 FDP-185E 型钻机。

3.3 施工控制要点

在水平定向钻导向孔轨迹曲线设计完成后, 便可以根据轨迹进行施工, 本项目施工过程共分 3 个阶段, 分别为导向孔施工、扩孔施工及管线铺设。

3.3.1 导向孔施工

在工作坑和接收坑开挖完成后, 按照设计顺序安装、调平水平钻机, 确保安装牢固, 管路连接准确无误并瞄准目标坑。导向施工前必须对管线经过路线进行放线并详细记录。钻机开动后先进行试运转, 确定各部分运转正常后方可钻进。第 1 根钻杆入土钻进时, 采取轻压慢转的方法稳定入土点位置, 待符合设计入土角后方可实施钻进。导向孔钻进时, 现场施工过程要实时记录。造斜段曲线钻进时, 按地层条件确定推进力, 严禁钻杆发生过度弯曲。钻孔的轨迹偏差不得大于终孔直径, 超出误差允许范围应退回进行纠偏。

钻进就位后, 调整钻进导向杆略高于设计管位中心高程的位置, 水平钻入土中。在导向钻头中安装发射器钻进过程中通过地面接收器, 测得钻头深度、钻孔顶角、钻头温度和电池状况等参数, 将测得的参数与钻孔轨迹进行对比, 以便及时纠正。

地面接收器具有显示与发射功能, 将接收到的孔底信号无线传送至钻机接收器并显示, 操作人员根据信号反馈操纵钻机按正确的轨迹钻进。在导向钻孔过程中根据探测器所发回的信号, 判断导向头位置与钻进路线图的偏差, 随时调整并进行记录。

为了保证导向钻头能严格按照发出的指令前进, 需要在管道线路初步布点后对控制点进行加密设置。间隔 3 m 设置中线、高程控制点, 用木桩做出明显标志, 并在桩点周围用混凝土砌出护墩加以保护。

PE 管在孔内拉动的过程中受到重力的作用会发生管道下沉。因此在本工程中, 导向钻进的钻

进点略高于设计管中线, 以减少管道自重对高程的影响。钻进施工示意图如图 2 所示。

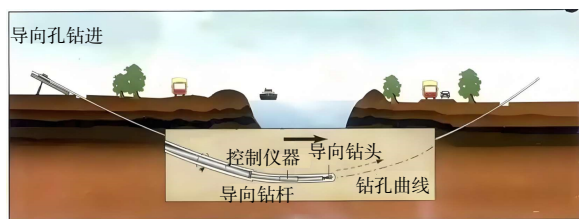


图 2 钻进施工示意图

导向孔施工, 根据钻机轨迹和数据记录确定此导向孔是否可用。轴线左右偏离控制(钻进水平长度)在 1%L 以内, 深度偏差控制在 0.5%L(钻进水平长度)以内。出土点偏差控制在 1 m 以内。

3.3.2 扩孔施工

扩孔施工是水平定向钻施工技术最关键的一环, 扩孔质量直接影响管道铺设质量, 扩孔的断面尺寸和孔洞成型后的稳定性直接影响管道孔洞内的摩擦系数, 扩孔质量差会导致扩孔次数增加, 造成工期延长和经济损失。

本项目采用多级扩孔钻进施工方式。DN 1000 管道施工时分别采用直径 300 mm、直径 450 mm、直径 600 mm、直径 750 mm、直径 900 mm、直径 1 050 mm、直径 1 200 mm、直径 1 300 mm 的扩头分级反扩成孔, 最终成孔直径为 1 300 mm。扩孔速度的快慢均会影响生产成本和铺管成功率, 因此在扩孔过程中, 将扩孔速度控制在 500 mm/min。扩孔完成后, 为避免孔内残渣影响管道回拖, 需要对钻孔进行清洗, 减小孔内阻力。扩孔施工示意图如图 3 所示。

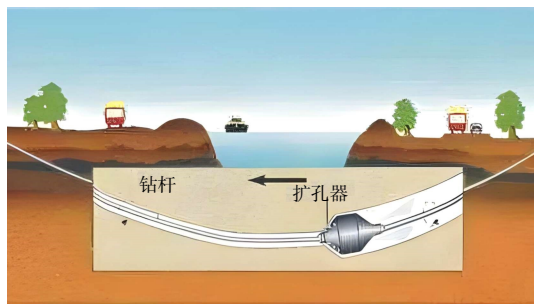


图 3 扩孔施工示意图

3.3.3 管线铺设

管线铺设是水平定向钻施工技术最后一道工序。确认钻孔成孔(扩孔、清孔均已完成)后, 立即对管道进行回拖, DN 1000 管道按照 1 107.02 kN

的回拖力回拖。回拖过程中时刻观察管道在管道拖架上的情况，铺设孔内排气满足要求。

4 施工中遇到的主要问题及解决措施

1) 管道受力大发生变形

过路段水平定向钻施工过程中需保护道路结构，避开电缆沟、高压电缆、天然气管道等障碍，导致管道深度较深、曲率半径小、轨迹较陡，PE100 专用管，压力等级大于 0.8 MPa 易造成 PE 管道受力大发生变形，严重影响施工及后续使用过程中的通水流量。

根据地质条件和施工要求，选择合适的管道材料，确保其具有足够的强度和韧性，以抵抗外部压力和变形；在导向、扩孔和回拖阶段，合理配比的泥浆可以增强其护壁性能，防止孔壁失稳和缩径。

2) 牵引管道口径大

由于管径大、路线长从而增加管道自重以及钻杆、钻具的重量，同时在水平定向钻施工过程中由于设备部件和管道所受阻力变大且不易控制，可能造成孔洞界面不规则甚至钻杆断裂、出现瘪管等问题。

膨润土可以增加护壁能力，改善泥浆性能，减少成孔困难和回拖受阻的情况。摩擦降阻剂可以减小管道壁面与回拖工具之间的摩擦力，有效降低回拖阻力。通常摩擦降阻剂是液态的，可以在回拖过程中喷入管道，也可以在管道中预先加入。针对地层软硬交替和裂隙导致的泥浆流失问题，采取如封堵、预埋套管、降低钻孔泥浆压力等措施，以减小回拖阻力。在管线回拖之前，采用挤扩器检测钻孔成孔度并进行地层验证，确保成孔质量。

3) 设备选型

本项目水平定向钻牵引 PE100 聚乙烯管道最大尺寸为 DN1000，在海南地区对该尺寸管道牵引施工项目较少，因此牵引设备的选取是施工重点。需根据地质和水文资料特点设计施工方案，选择合适的钻机和钻具。

5 实施效果

海口市滨江西污水处理厂工程采用水平定向钻施工技术在一定程度上比传统的管线施工方法施工速度快，且施工效率好，施工精度高，成本也比较低，在施工过程中对附近的交通、环境和周边的建筑物等影响较小，取得了良好的施工效果，达到了预期目的。

6 结语

水平定向钻施工技术在施工中不会对路面建筑物和环境造成影响，也不会妨碍周围居民的日常生活和工作，并且为城市污水管道铺设的发展提供了更加便利的渠道。当前非开挖技术不断提升，使得水平定向钻施工技术得以推广，解决了传统的施工技术对城市环境破坏、道路损坏等问题。非开挖技术的不断提升标志着现代化工程施工技术的进步，降低了城市污水管道铺设和各个管线施工对城市居民生活和交通环境带来的不利影响，施工技术可供类似工程参考借鉴。

参考文献：

- [1] 焦广宇,陈杨,曹良,等.供水管道水平定向钻穿越航道关键技术研究——以闽江水平定向钻穿越工程为例[J].安全与环境工程,2023,30(1):46-55.
- [2] 郭坤,李齐军.重力流排水管道定向钻技术改进探讨[J].给水排水,2018,54(6):102-105.
- [3] 张浩.浅谈非开挖水平定向钻施工技术在管道穿越河道的应用[J].模型世界,2022(3):85-87.