

市政大口径排水管长距离顶管施工技术研究

吴 宇

(广西建工集团冶金建设有限公司, 广西 柳州 545000)

摘 要 在市政给排水管网工程建设中, 大口径排水管道常穿越城区密集建筑、道路及复杂地层, 长距离顶管凭借非开挖、低影响、适应性强的优势已成为主流工艺。本文分析长距离顶管施工难点, 阐述工作井构筑、设备安装调试、分段连续顶进、接口密封处理、接收井贯通等关键施工工艺流程, 针对性提出顶进力动态调控、轴线精准纠偏、地表沉降防控等实操管控措施, 以期同类大口径、长距离顶管工程优化施工方案、严控质量安全、降低环境影响提供技术参考。

关键词 大口径排水管; 长距离顶管; 工作井施工; 井下设备安装; 连续顶进

中图分类号: TU992.24

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.016

0 引言

随着城市地下管网改造与新建工程持续推进, 长距离顶管作为成熟非开挖技术, 可有效规避地面拆迁、交通阻断、土体大面积开挖等问题, 能够满足软土、流沙、复合地层等多种地质条件要求, 在保障周边构筑物与管线安全方面优势显著。但受到顶进距离增加、地层参数多变、设备管控偏差等因素影响, 容易出现顶力异常、轴线跑偏、地表沉降超标、接口渗漏等隐患, 直接制约施工质量与推进效率。为此, 要明确长距离顶管技术重难点, 细化全流程关键工艺, 制定科学的管控对策, 助力提升市政大口径排水管顶管施工的标准化、精细化水平。

1 市政大口径排水管长距离顶管施工难点

1.1 顶进力波动

顶进力波动是市政大口径排水管长距离顶管施工常见的问题, 如果顶进距离大于 100 m, 管道和周边土体摩擦力急剧增加, 实际顶进力偏离设计预期, 根据顶进沿线不同地质条件, 最终表现为顶进力骤升、持续偏高/偏低、骤降等情况, 无法长效维持在稳定区间, 严重时会造成管道接口开裂、管体破损、井壁渗漏等问题^[1]。以顶进力偏低问题为例, 集中出现在硬土层内, 管道和周边土体摩擦力远超标准值, 顶进速度放缓, 局部出现顶进停滞问题, 如果盲目增加顶进设备运行负荷, 长时间超负荷运行状态下还会出现液压泵损坏、顶铁变形等新的问题。

1.2 管道轴线偏差

管道轴线偏差即为市政大口径排水管实际顶进路线和设计轴线不一致, 偏差原因复杂, 无论是周边土体不均匀沉降、穿越流沙层和软土地基等特殊地层、管道接口对接错误、管道接口受力不均, 还是顶进速度过快, 都有可能出现管道轴线偏差问题。偏差类型细分为水平偏差与垂直偏差, 水平偏差因顶进设备受力不均、导向监测机制缺位、施工操作错误而引起, 垂直偏差因顶铁摆放不平整、顶进力传递失衡而引起。根据现场施工情况来看, 市政大口径排水管普遍把允许轴线偏差设定为 50 mm, 实际偏差略微超出允许值, 仅会影响管道排水效率, 因水流速度不均逐渐形成管道淤积堵塞问题, 如果轴线偏差远超允许值, 则会导致管道接口错位和密封件损坏。

1.3 扰动周边环境

市政给排水工程主要位于城市核心区域, 管道沿线密集分布市政道路、建筑物和各类构筑物, 周边环境较为敏感, 极易受到施工干扰。相比传统明挖工法, 长距离顶管技术虽然具备非开挖施工优点, 大幅减轻干扰强度和缩小干扰范围, 但仍旧存在干扰问题, 如果开挖参数设定有误, 同样会对周边环境造成干扰。根据一线施工反馈问题来看, 周边环境干扰问题表现为土体扰动和地表沉降, 土体扰动会导致邻近建筑物基础沉降变形, 以及周边地下管线位移破损, 地表沉降则会导致市政道路出现路面开裂、路基塌陷等质量病害, 严重威胁交通行车安全。

作者简介: 吴宇 (1984-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 市政大口径排水管长距离顶管施工技术。

2 市政大口径排水管长距离顶管施工关键技术

2.1 工作井施工

工作井即为始发井,市政大口径排水管起点位置开挖砌筑井体结构,井内部署顶进系统,后续在地下空间内开展顶管作业。工作井施工环节,以“同步开挖支护”作为施工准则,重点掌握井体砌筑、井底处理、洞口施工三方面的技术要点:第一,井体砌筑。在现场架设全站仪,按照设计图纸精准定位井体位置,测量标记平面位置、高程控制线和标注井壁轮廓线,复核确认定位误差不超过 $\pm 30\text{ mm}$ 。按照现场地质条件来选择工作井施工方法,面向粉质黏土层和硬土层,推荐采取沉井法,提前确认工作井尺寸,预制加工各节沉井结构,井体开挖完毕后,人工修整至井底平整和井壁竖直状态,同步下沉沉井结构和抽排井底积水,下沉速度保持在 $5\text{ cm/h}\sim 10\text{ cm/h}$,每下沉 1 m 测量调整井壁垂直度,要求垂直度误差小于 1% ,最终把各段沉井下放就位,密封连接形成具备一定防水抗渗性能的完整井体结构^[2]。第二,井底处理。井底开挖至设计标高位置后,彻底清理井底浮土和其他杂质,铺设 10 cm 厚度C15-C20混凝土垫层,起到找平处理,以高程误差小于 $\pm 20\text{ mm}$ 作为合格标准。继续在垫层上方浇筑钢筋混凝土底板,底板厚度控制在 $20\text{ cm}\sim 30\text{ cm}$,按照 20 cm 间距排布钢筋,混凝土强度等级提高至C30。第三,洞口施工。按照设计图纸精准定位工作井洞口位置,洞口尺寸略大于排水管道直径,定位误差和洞口尺寸误差不得超过 $\pm 20\text{ mm}$ 。洞口成型后,立即安装密封装置,由橡胶密封圈和钢板组成,并在洞口外侧注入适量浆液起到加固作用,注浆范围为洞口周边 1.5 m ,注浆压力保持在 $0.3\text{ MPa}\sim 0.5\text{ MPa}$ 。

2.2 井下设备安装调试

顶进系统结构较为复杂,核心设备包括顶管机、油泵、千斤顶、高精度激光导向仪和出土泵。工作井施工结束后,立即在井下空间内部署顶进系统,施工人员明确掌握所有设备的安装方法与质量要求。以顶管机为例,安装位置和市政大口径排水管顶进轴线完全重合,安装面经过平整硬化处理后,按照 0.5 m 间距等距摆放多根枕木,枕木上方部署顶管机,保持机身水平状态,高程误差不得超过 $\pm 10\text{ mm}$,拧入多组螺栓固定连接顶管机和顶进设备。所有井下设备安装就位后,不得立即开展顶管作业,而是依次组织单机调试和联合调试,模拟顶进过程,观察所有设备工况稳定性和协同运行情况,试顶进距离控制在 $1\text{ m}\sim 2\text{ m}$,进一步监测顶进力、土体沉降量和轴线偏差量,确认不存在异常问

题,全部参数都符合设计要求后,才能进入下道工序。

2.3 连续顶进

连续顶进施工阶段,应遵循稳步贯通原则,保障大口径排水管实现长距离平顺顶进、安全出洞就位。整体顶进流程划分为穿墙始发顶进与分段循环顶进两大环节,同时根据顶进长度、地质条件及顶力负荷,合理布设多组中继接力节,依托分段助推方式降低长线顶进阻力,保障顶进姿态稳定可控,要点如下:第一,穿墙顶进。重复检查工作井洞口密封效果和顶管机位置,顶管机姿态和洞口轴线保持一致,启动顶油泵匀速施加顶进力,把实际顶进速度精准保持在 $1\text{ cm/min}\sim 2\text{ cm/min}$,等待顶管机刀盘完全进入前方土体,启动出土设备,同步开挖顶进、出土作业。正常工况下,穿墙段顶进距离仅为 $3\text{ m}\sim 5\text{ m}$,并在顶进结束后继续向洞口部位进行注浆密封处理,首次注浆和第二次注浆的工艺做法保持一致,同样使用水泥浆,注浆压力维持在 $0.3\text{ MPa}\sim 0.5\text{ MPa}$ 。第二,循环顶进。顶进距离和施工难度系数成正比,如果不受控制的增加顶进距离,将会引发轴线偏差超标、顶进力失控等一系列问题。施工人员必须分段循环开展顶进作业,单段顶进长度不超过 100 m ,中途多次使用激光导向仪测量调整轴线偏差,按照地质条件来控制顶进速度,穿越软土层、硬土层和砂土层时的顶进速度分别保持在 $2\text{ cm/min}\sim 3\text{ cm/min}$ 、 $1\text{ cm/min}\sim 2\text{ cm/min}$ 和 1 cm/min 以内^[3]。第三,中继节设置。如果单次顶进距离超过 100 m ,主顶总顶力超过 80% 管道允许顶力,或沿途分布砂卵石层、流砂层等特殊地层,必须设置中继节,按照波浪式接力方法,从前到后依次启动各座中继节,以主顶力达到 $70\%\sim 80\%$ 设计值作为触发条件。

2.4 管道接口处理

长距离顶管施工背景下,总体顶管距离远超单段管道长度,需要在顶管期间把多节管道相互密封连接,才能形成完整排水管网。管道接口处理环节,彻底清理管道接口表面与内部的泥土杂质,保持洁净状态,密封槽上均匀涂抹 $2\text{ mm}\sim 3\text{ mm}$ 厚度的润滑剂,对准相邻节段管道接口,对接误差不得超过 $\pm 10\text{ mm}$,匀速向前推进来贴合接口,直至管道接口完全贴合后,检查接口缝隙和安装橡胶圈,最终在接口外侧注入水泥浆进行密封处理,具体以接口周边 0.5 m 作为注浆范围,注浆压力保持在 $0.2\text{ MPa}\sim 0.4\text{ MPa}$ 。接口密封结束后,组织开展水压试验,判断接口密封性能是否合格,试验压力保持在 1.5 倍设计值,保压时间不少于 30 min ,以接口无渗漏、压力稳定作为合格标准。

2.5 到达接收

长距离顶管施工期间,提前标记市政大口径排水管的终点位置,开挖施作接收井洞口,工作井和接收井的工艺做法保持一致,对洞口进行密封、注浆加固处理。顶管机抵达接收井洞口前方10 m~15 m位置后,酌情放缓顶进速度,实际维持在0.5 cm/min~1 cm/min,每顶进0.5 m测量调整轴线偏差和调节顶管机姿态,直至顶管机刀盘完全抵达洞口位置后,停止顶进过程,复核确认洞口密封情况,再次启动顶管机,按照0.3 cm/min~0.5 cm/min速度推动顶管机平稳进入接收井内部^[4]。完全进入进内后,关闭顶进设备与出土设备,设备吊装运出井内,浇筑C30混凝土密封处理洞口,即可结束长距离顶管施工活动。

3 市政大口径排水管长距离顶管施工控制措施

3.1 顶进力控制

长距离顶管施工期间,必须加强顶进力控制力度,以“动态监测、精准调整”作为施工准则,建立顶进力监测体系,顶进设备上部署压力表,跟踪监控顶进力变化过程,绘制并动态更新顶进力变化曲线,按照地质条件来确定合理顶进力范围。在正常工况下,面向软土层、硬土层和砂层,合理顶进力范围分别为1.2倍~1.5倍管道重量、1.5倍~2倍管道重量和1.3倍~1.6倍管道重量。如果实际顶进力超出合理范围,施工人员酌情降低顶进速度,更换全新刀盘,重新调整顶铁位置,管道接口部位补充适量润滑剂,必要时,向周边土体内注入膨润土泥浆,注浆量控制在50 L/min~10 L/min,注浆压力保持在0.3 MPa~0.5 MPa,起到注浆减阻作用^[5]。而在实际顶进力低于合理区间时,则检查出土量与土体改良情况,适当减少出土速度和改良剂注入量,同步排查顶进设备运行工况,对液压系统漏油部位进行密封修补,更换严重老化的顶进设备。

3.2 轴线纠偏调控

为解决轴线偏差问题,确保市政大口径排水管的实际敷设位置和设计位置完全一致,必须在顶管机上部署高精度激光导向仪,全程跟踪监测管道轴线位置,监测频率不低于0.5 m/次,及时纠正轴线偏差,并在每顶进50 m后,重复校准导向仪的水平精度与垂直精度,确保校准误差小于 ± 0.5 mm^[6]。根据现场施工情况来看,市政大口径排水管道轴线偏差问题主要分为轻微偏差、中度偏差和严重偏差三种情况,分别以偏差量不足2 cm、偏差量达到2 cm~5 cm、偏差量超过5 cm作为判定标准,差异化采取纠偏调整方法。以轻微轴线偏差问题为例,以偏顶法作为纠偏手

段,仅需调整千斤顶顶进力即可,偏差侧千斤顶减少10%~20%顶进力,另一侧千斤顶增加等量顶进力,保持缓慢顶进状态,直至管道轴线偏差忽略不计后,恢复两侧千斤顶顶进力,调整顶管机姿态^[7]。

3.3 地表沉降控制

市政大口径排水管道施工环境较为复杂,采取单一的非开挖作业则无法解决环境干扰问题,必须全面排查施工现场周边环境条件,从土体改良、顶进参数调节两方面入手,降低施工扰动强度,确保地表沉降速率和累计沉降量不超出预警值。一是在管道沿线标记软土层、砂层和硬土层,向软土层和砂层内注入膨润土水泥浆,向硬土层内注入高分子改良剂,彻底改变土体物理力学性质,大幅增强地基稳定性和提高承载能力^[8]。二是在顶管机穿越不同地层时,动态调整顶进速度、出土量等核心参数,以软土层为例,最佳顶进速度为2 cm/min~3 cm/min,最佳出土量为1.05倍~1.1倍顶进体积。

4 结束语

长距离顶管作为市政大口径排水管的施工的核心非开挖技术,有效突破了传统明挖工艺扰动大、适用性受限的短板,可最大限度保护城区道路、建构筑物及地下管线安全,满足城市地下管网精细化建设的发展需求。为此,施工人员要熟练掌握长距离顶管技术,明确工作井施工、设备安装调试、连续顶进等关键工序操作方法,提高工程建设质量,保证排水管网运行安全。

参考文献:

- [1] 梁亚东.市政大口径排水管长距离顶管施工技术[J].工程设计与设计,2025(20):182-184.
- [2] 刘莉,高文博.大口径钢筋混凝土排水管道顶管施工技术应用探讨[J].建筑技术开发,2022,49(21):57-60.
- [3] 翟政,李嘉辰,刘井川.大口径长距离顶管穿越复杂地层诱发地表沉降成因分析与控制研究[J].城市建设,2026(05):50-52.
- [4] 罗飞轮,熊亮.大口径长距离顶管结构安全多源信息监测技术研究[J].四川水利,2025,46(01):158-161,180.
- [5] 胡凡,王小飞,樊文文.市政道路工程排水管网设计与施工技术研究[J].城市开发,2025(07):151-153.
- [6] 王丽莹.如何解决新旧路口市政排水管网施工[J].居业,2025(11):70-72.
- [7] 时圣涛.市政排水管网超长顶管施工技术研究与应用[J].中国设备工程,2025(06):220-222.
- [8] 宋广贤.市政排水管道顶管施工监理要点及管道接口防腐施工质量把控[J].全面腐蚀控制,2025,39(12):288-290.