

微顶管技术在轨道交通工程雨污水管线施工中的应用

任 勇

(上海隧道工程有限公司, 上海市 200082)

摘 要: 以上海市轨道交通13号线东延伸工程丹桂路站施工为背景, 针对轨道交通保护区内雨污水管线迁改面临的场地狭小、软土高水位及环境保护要求严苛等问题, 介绍了泥水平衡微顶管技术在DN1200大管径雨污水管线非开挖施工中的应用实践。通过对常规开槽埋管法与微顶管法的技术路线比选, 最终选用微顶管工法。工程实施过程中, 通过顶进参数动态调控、姿态“勤测勤纠、小幅调整”及地面沉降实时监测与反馈控制等措施, 实现了施工全过程风险可控。实测结果表明, 施工期地面及周边结构沉降均满足轨道交通保护区控制要求。工程实践证明, 在轨道交通近接条件下, 泥水平衡微顶管技术可有效降低施工风险、减少环境扰动, 并实现与主体结构施工的顺利衔接。

关键词: 微顶管; 泥水平衡; 轨道交通工程; 雨污水管线; 非开挖施工; 沉降控制

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0321-04

Application of Micro Pipe Jacking Technology in Construction of Rainwater and Sewage Pipelines for Rail Transit Projects

REN Yong

(Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: Taking the construction of Dangui Road Station in the Shanghai Metro Line 13 East Extension Project as the background, aiming at the problems such as narrow site, high soft soil water level and severe requirements of environmental protection faced in the relocation and reconstruction of rainwater and sewage pipelines within the protection areas of rail transit, the application practice of slurry-balanced micro pipe-jacking technology in the trenchless construction of DN1200 large-diameter rainwater and sewage pipelines is introduced. By comparing and selecting the technical routes of the conventional excavated trenching and micro pipe jacking, the micro pipe-jacking method is finally selected for construction. In the engineering implementation process, the risks of the whole construction process can be controlled through the measures such as dynamic regulation of jacking parameters, frequent measurement and correction of attitude, minor adjustments, and real-time monitoring and feedback control of ground settlement. The measured results show that the ground and surrounding structure settlements during the construction period all meet the control requirements for the protection area of rail transit. The engineering practice demonstrates that the slurry-balanced micro pipe-jacking technology can significantly reduce the construction risks and environmental disturbance under the condition of close proximity to rail transit, and the smooth connection with the construction of main structures has been achieved.

Keywords: micro pipe jacking; slurry balance; rail transit engineering; rainwater and sewage pipelines; trenchless construction; settlement control

0 引 言

随着我国城市化进程的加速, 轨道交通作为城市公共交通的骨干, 其建设规模与覆盖范围持续扩大。建设过程中, 沿线管线迁改是保障工程顺利推

进的关键环节, 管线迁改不仅需满足工程建设需求, 更要严格控制施工对周边环境、既有构筑物及轨道交通运营安全的影响, 这对施工技术的选择与应用提出了极高要求。

鉴于此, 本文以上海市13号线东延伸工程为研究背景, 针对管线迁改面临的实际困境, 对常规开槽埋管法与泥水平衡微顶管法两种技术路线进行比选分析, 明确微顶管工法的适用性与优势; 随后详细阐

收稿日期: 2025-01-30

作者简介: 任勇(1990—), 男, 学士, 工程师, 从事城市轨道交通施工工作。

述工程实施过程中所采用的顶进参数动态调控、姿态“勤测勤纠、小幅调整”及地面沉降实时监测与反馈控制等关键技术措施;最后结合实测数据,验证该技术在控制地面及周边结构沉降、降低施工风险、减少环境扰动等方面具有显著效果。

2 工程概况

上海轨道交通13号线东延伸工程丹桂路站位于浦东新区张江集电港核心地块,沿线道路交通繁忙、地下管线密集。丹桂路站主体及附属结构施工范围内需迁改多条既有雨污水管线,其中雨污水主干管径为DN1200,平均埋深约8.5~11.2 m。管线沿线需下穿城市主干道、河道及多条市政管线。其中下穿220 kV超高压,最小净距约3.6 m,下穿吕家浜河道,最小净距约2.5 m,下穿上水管道,最小净距5.1 m。施工平面图如图1所示。

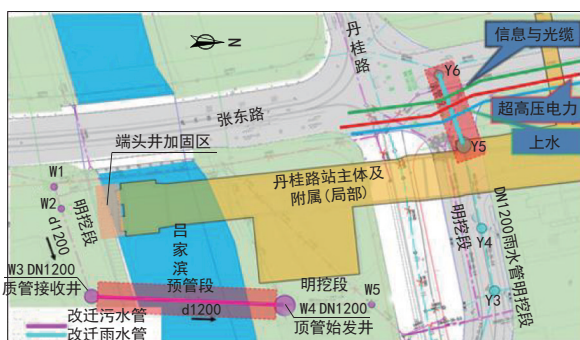


图1 13号线东延伸丹桂路站微顶管施工总体示意图

施工过程,需同时满足临搬管线快速贯通、轨道交通车站结构安全保护及周边环境扰动最小化等多重要求,对施工方法的安全性、环境保护的可靠性及控制精度的提出了较高标准。

3 工程难点

(1) 确保施工期间,周边临近管线的安全稳定,避免造成管线事故。工程地层以淤泥质粉质黏土及粉土为主,地下水位高(埋深为1.2~2.5 m),管线埋深大,淤泥层抗剪强度较低,稳定能力较差,作业很容易导致土体坍塌,影响施工的正常推进以及施工安全性。^[9]施工扰动易引发地面沉降及既有管线变形。尤其距离220 kV超高压仅3.6 m,施工期间应重点关注周边地表及管线沉降变形情况。

(2) DN1200雨污水管道距离车站结构水平距离约2.4 m,需确保雨污水管道施工精度,避免侵入地铁车站施工安全范围,给后续车站施工带来困难;横穿吕家浜河道,最小净距约2.5 m,同样需要较高

的施工变形控制及选用合理的施工工艺,减小对河道生态及护岸的影响。

(3) 施工周期控制,为配合13号线丹桂路车站建设,需要在保证安全可靠的前提下,尽量缩短施工工期。为后续车站建设提供有利的条件。

4 微顶管工法选择的合理性分析

轨道交通工程施工范围内雨污水管线迁改,常规做法多采用明挖开槽埋管法。但结合本工程实施条件,若采用明挖法施工,将面临较大的工程风险。首先,管线埋深较大,开槽施工需进行深基坑开挖并配套复杂支护体系,施工安全风险高。深基坑施工扰动范围广,基坑变形控制复杂,对周边环境及既有地下管线产生不利影响的风险大;其次,施工区域位于城市建成区,开槽施工需长时间占道,对交通组织及周边环境影响较大。同时施工总周期时间较长,对车站后续施工带来的隐形压力较大;第三,本工程雨污水管道横穿吕家浜河道,一次性截断河流或分段围堰施工,施工证照办理困难,且对河道生态及河道周边带来较大的破坏性。综合来看,常规明挖排管的施工工艺,难以满足工程建设实际工况需要^[1-3]。

相比之下,泥水平衡微顶管施工仅需设置工作井和接收井,可在不开挖地表的条件下完成管线敷设,有效减少对地面交通和周边环境的影响。施工过程中可通过泥水压力平衡、姿态实时监测及参数动态调整,对施工扰动实施全过程控制。同时,微顶管技术以道路占用时间短、噪声小、建筑垃圾及碳排放低,对周边居民影响小的优势,成为了本工程的首选^[8]。因此在工程安全风险控制、工程环境风险控制、工程工期风险控制等各个方面都具有优势性。综合考虑上述因素,本工程最终选用DN1200泥水平衡微顶管技术完成雨污水管线迁改施工。

5 微顶管施工关键技术措施

5.1 微顶管工法与施工组织

本工程采用泥水平衡微顶管工法,合理布置工作井与接收井,并对顶管设备、反力系统及管节拼装进行统一组织,确保施工过程连续、稳定推进。顶管机设备如图2所示。

始发井与接收井采用桩长24 m $\phi 850@600$ 的SMW工法桩和高压旋喷桩加固的围护形式,其中始发井为直径8 m的圆形工作井,深度10.62 m,接收井为直径5 m的圆形工作井,深度10.15 m。始发井和

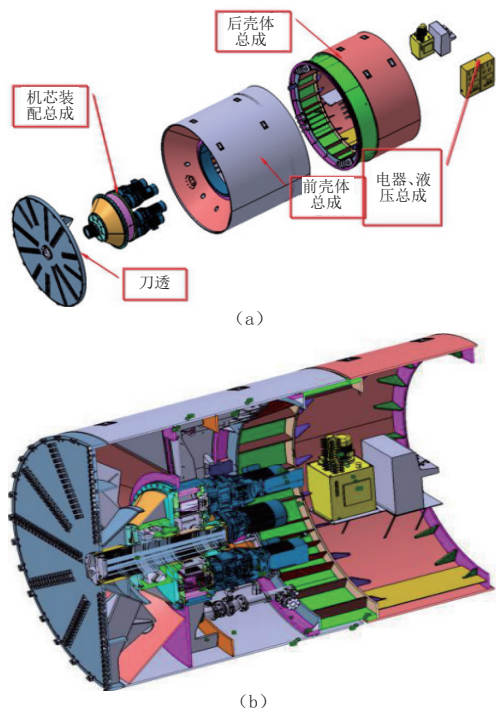


图2 顶管机三维总装图

接收井的布置遵循“最小化占地、便于交通导改、满足设备安装与泥水循环、降低对周边环境及轨道交通保护区影响”的原则。现场工作井施工及安装状态如图3、图4所示。



图3 工作井施工图



图4 始发井顶管安装图

施工组织上,统一协调顶管机调试、泥水制配与循环系统安装、管节运输与下井拼装、反力架及主顶系统就位等关键工序。泥水平衡系统(包括泥浆搅

拌池、泥水泵送系统、渣水分离装置)布置在工作井附近临时场地内,采用分级沉淀+机械分离方式处理泥浆,实现循环利用,减少废浆外运对周边环境的影响。管节采用逐节吊装下井、人工+小型吊机辅助拼装方式,每节管长2.0~2.5 m,接口采用承插式胶圈密封,确保防水可靠。反力系统由后靠墙、U形顶铁及主顶千斤顶组成,顶力估算后进行承载力复核,避免后靠墙失稳,微顶管施工工艺如图5所示。

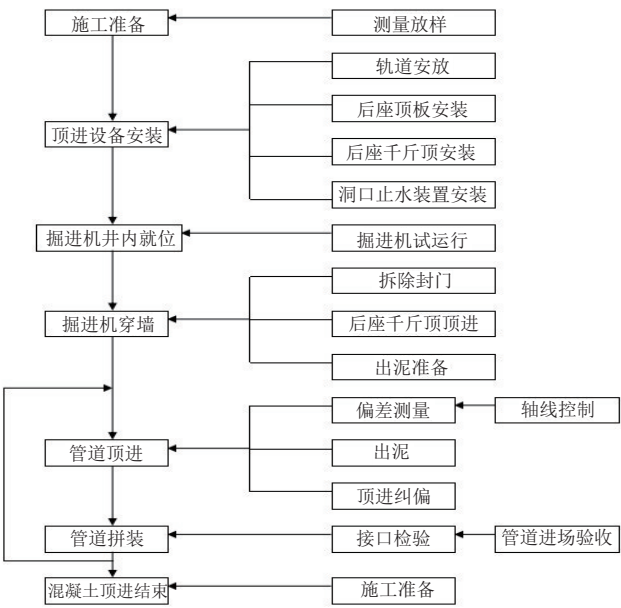


图5 微顶管施工工艺流程图

整个施工过程实行“日计划、周协调、节点控制”管理模式,顶进前完成设备试运转、导轨安装校正、泥水压力调试及应急预案演练,确保顶进阶段连续作业、无间断拼装,实现高效、安全推进。

5.2 顶进参数与施工扰动控制

周边环境土体变形主要受到管道顶进的顶力大小与不同管径管道的覆土厚度影响,施工前应根据不同管径的覆土厚度分别计算顶力,而后依据参数计算顶力控制值^[10],顶进施工遵循“稳定推进、动态平衡、少扰动”原则,严控泥仓压力、顶进速度、进排泥量等参数,加强在土方开挖、顶管顶进阶段相关数据的搜集,及时反馈,小偏量纠偏。减小顶进过程对周边土体的扰动:

- (1)在软土底层内顶进,不宜过快,顶进速度控制在2~3 cm/min;
- (2)泥仓压力根据地层及地下水条件动态调节,控制在0.1~0.2 MPa,测定地表沉降、土层变形移动和泥水压力等,通过参数优化,按测试结果实时调整,修正施工参数,以保持开挖面的稳定
- (3)出泥量与顶进体积相匹配,控制在98%~

102%,防止超挖或欠挖扰动周边土体;

(4)刀盘转速控制在1~3 r/min 范围内。

5.3 姿态控制与纠偏措施

为避免因周边土体特性差异或操作不当引起的轴线失控,顶进前严格按照设计轴线方向复核顶管施工导向。顶进过程采用激光导向系统实时监测顶管机姿态变化,每顶进0.5~1.0 m 进行一次测量,严格执行测量、复核制度。如果出现偏离轴线的情况,及时调整纠偏液压千斤顶行程,调整机头顶进轴线与既定设计轴线匹配。在过河段浅覆土顶进时,避免危险操作,严格控制压力平衡,纠偏过程中坚持“勤测、勤纠、小幅调整”原则,单次纠偏角度控制在 0.2° 以内,避免集中纠偏对地层产生不利扰动^[11]。

5.4 地面沉降控制与监测

顶管穿越丹桂路张东路路口时要经过各种地下管线,沿线分布有给水、上水、光缆、高压电力等管线和构筑物。施工中,将上述地下管线及建(构)筑物为保护对象,对影响范围内的保护对象周围合理布置沉降监测点,随时了解不均匀沉降情况。拟按最大沉降15 mm 实施监测控制,施工过程中沿顶管轴线及周边布设沉降监测点,实施高频监测,并建立“预测—监测—反馈—调整”的闭环控制机制。当沉降速率接近控制阈值时,及时降低顶进速度或微调泥仓压力^[8]。

6 实施效果

顶管全线顺利贯通,管线轴线偏差最大28 mm,高程偏差最大19 mm,坡度满足设计及《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)要求。施工期间地面沉降最大值为9.2 mm,周边既有电力管线沉降不超过8 mm,信息管线沉降不超过7.2 mm,上水管道沉降可忽略不计,河道护岸边沉降不超过3 mm,均满足轨道交通保护区控制要求,未发生超限报警或环境异常情况^[2]。顶进期间,周边监测数据变化情况如图6所示。

工程施工总周期约52 d,比计划工期提前完成,与车站主体结构施工实现有效衔接,取得良好的安全 and 环境效果。

7 结 论

上海轨道交通13号线东延伸工程实践表明,在软土高水位、轨道交通保护区内实施大管径

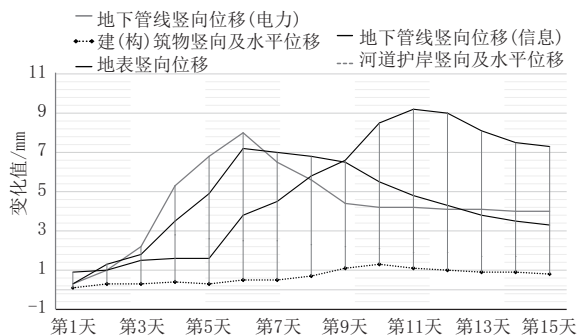


图6 微顶管顶进期间监测数据变化情况

(DN1200)雨污水管线迁改时,采用泥水平衡微顶管等非开挖施工方式,并配合精细化参数控制和全过程沉降监测,可有效规避槽施工带来的高风险和大扰动问题。该技术在安全性、可控性及综合效益方面具有明显优势,宜在类似轨道交通工程配套管线迁改中优先采用。

参考文献:

- [1] GB 50268—2008 给水排水管道工程施工及验收规范[S].
- [2] GB 50332—2002 给水排水工程管道结构设计规范[S].
- [3] 王卫东,李志强.软土地区泥水平衡顶管施工沉降控制技术[J].隧道建设,2021,41(6):889-896.
- [4] 张立军,陈志宏.大管径微顶管施工参数控制与工程应用[J].市政技术,2020,38(4):52-56.
- [5] 高宇,等.基于Peck公式的地表沉降预测方法修正[J].地下空间与工程学,2022,18(3):721-728.
- [6] 李明,王强.城市轨道交通保护区内管线非开挖施工技术研究[J].城市轨道交通研究,2019,22(5):98-103.
- [7] 顾弘杰.市政道路的雨污水管网施工关键技术[J].运输经理世界,2025(10):169-171.
- [8] 谢洋.微型顶管施工技术应用和造价分析[J].建筑技术,2021(增刊1):73-75.
- [9] 韩冰雪.某老旧小区给水管网改造中微顶管技术的工程实践[C]//人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(二).昆明:ACM,2025.
- [10] 张少鸿.顶管施工技术的道路雨污水管道工程技术分析[J].中华建设,2025(11):196-198.
- [11] 胡平,祁胜林.复杂工况条件下微顶管施工顶力计算与分析[J].江西建材,2023(2):167-169.
- [12] 李刚.泥水平衡顶管机在拱北隧道曲线管幕工程中的应用.铁道标准设计,2015(4):098-04.
- [13] 庄绪良.软土层大直径盾构施工地表沉降控制措施研究.建筑技术开发,2024(6):55-57.
- [16] 李相伯.市政给排水施工中长距离顶管施工技术的研究与应用.科学论坛,2024(1):124-127.
- [17] 梁绍斌,曹鑫,江闪闪.试析市政给排水施工中的中距离顶管施工技术[J].工程建设与设计,2021(24):119-121.
- [14] 何俊.长距离顶管施工技术在市政给排水施工中的应用[J].工程技术研究,2020(5):113-114.
- [15] 孙明.市政给排水施工中的长距离顶管施工技术分析[J].科技与企业,2020(10):209.