

某市政管网工程顶管施工管理实践与技术创新

马 兰

(上海武东建设集团有限公司, 上海市 201802)

摘 要: 顶管施工作为非开挖地下管道施工的核心技术,通过沉井内顶管机和顶进装置实现管节在地下逐节顶进,具有无需开挖面层、对周边环境干扰小等优势。以某市政污水管网工程非开挖顶管施工实际案例为依托,通过系统梳理顶管施工管理中的技术难点和核心问题,提出了相关管控措施和技术创新方案,以期同类非开挖顶管工程项目管理提供实践借鉴,助力城市基础设施建设高质量推进和生态环境可持续发展。

关键词: 非开挖技术;顶管施工;沉井施工;长距离顶管

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0329-05

Management Practices and Technical Innovations in Pipe Jacking Construction of a Municipal Pipeline Network Project

MA Lan

(Shanghai Wudong Construction Group Co., Ltd., Shanghai 201802, China)

Abstract: Pipe jacking construction, as a core technology of trenchless underground pipeline construction, enables pipe segments to be jacked in one by one underground through a pipe jacking machine and jacking device within open caisson, which has the advantages such as not necessary to excavate the surface and little disturbance to the surrounding environment. Relying on a practical case of trenchless pipe jacking in a municipal sewage pipeline project, by systematically sorting out the technical challenges and core issues encountered in pipe jacking construction management, the relevant control measures and innovative technical schemes are proposed in order to provide the practical references for the management of similar trenchless pipe jacking projects, and to support the high-quality advancement of urban infrastructure construction and the sustainable development of the ecological environment.

Keywords: trenchless technology; pipe jacking construction; open caisson construction; long-distance pipe jacking

0 引 言

某市政污水管网工程的场地主要位于该市宏图路—黄河路、龙江路—黄海路,新建DN1600、DN2600污水管道长度共约7 800 m(包含长约400 m的DN1600开槽埋管、4 000 m的DN1600顶管、3 400 m的DN2600顶管^[1-2])。工程不仅面临技术标准高、施工环境复杂、工期紧张等共性难题,还存在管线交错密集、交通干扰显著、构筑物穿越难度大等特殊挑战。施工单位长期深耕污水处理厂建设与市政环保工程领域,凭借工程管理、环境、市政、机电等多专业综合背景,全程参与该项目施工管理,通过多专业融合有效破解了诸如:交通复杂场景下的协同管控方案、多管线交叉环境下的安全防护技术、穿越构筑物

的协同管控方案、长距离顶管施工的高效管控等各种难题,以及各种顶管施工问题的原因分析及各种应对措施,保障了工程的顺利实施。

项目施工总体一览图见图1。

1 施工过程中的技术管理及亮点控制措施

1.1 交通复杂场景下的协同管控方案^[3-4]

该项目管道沿线为现状长江路、宏图路、华山路、黄河路、龙江路、黄海路,W10#~W11#沉井之间顶管上穿地铁1号线,宏图路—黄河路段8个沉井位需占用部分社会交通道路,施工环境比较复杂且交叉路口较多、车流量较大。

过程控制创新措施如下。

(1)结合市政工程监理规范和交通管理要求,编制专项交通导行方案并组织专家评审;采用全封闭围挡防护结合智能交通引导系统,标准化布设场外标识牌、警示灯等设施,以保障通行安全。

收稿日期: 2025-12-02

作者简介: 马兰(1977—),女,本科,工程师,从事市政工程、机电工程、环境工程及工程管理工作。



图1 顶管施工总体一览表

(2)建立“施工单位-交通管理部门-监理单位”三方联动协调机制,制定动态交通疏导预案,实时调整施工占道范围和通行路线,确保行动统一、反应迅速的交通协调机制动态运行。

(3)落实监理工程师现场巡检制度,每日进行交通隐患排查,定期召开多方协调会议;同步通报施工进度和交通管控情况,确保施工与交通通行有序衔接。

(4)配置专职交通协管员和智能监测装备,运用信息化手段实时监控车流、人流变化,快速处置突发的交通问题,保障施工期间道路通行效率。

1.2 多管线交叉环境下的安全防护技术^[5-6]

该项目工程位于宏图路—黄河路段,沉井、顶管施工涉及众多市政类管线。除常规雨污水管线外,项目施工区域还涉及高压燃气管、地铁1号线、35 kV高压线等多类市政设施,管线分布密集且权属单位多,施工过程中管线保护风险极高。多管线交叉环境施工示意图见图2。

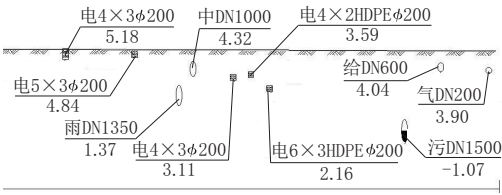


图2 多管线交叉环境施工示意图

过程控制创新措施有:

(1)成立管线管理专项小组,牵头开展管线普查与权属对接;同时凭借施工单位的项目成本管控经验,制定了管线迁改和保护专项方案,经权属单位和管理部门审批后实施。

(2)针对高压燃气、地铁等重大风险管线,采用如高压旋喷桩、深层搅拌桩等超前预加固技术,结合施工监测数据动态调整保护措施,避免管线受损。

(3)细化沉井与顶管施工技术参数,利用机电专

业知识优化施工设备、机具的布局,减少施工振动对周边管线的影响,同步加强测量复核,采用三级测量复核制度来保障施工精度。

(4)制定管线突发事件应急处置预案,定期组织实战演练,并配备应急抢修物资和专业队伍,确保险情发生时响应快速、处置高效。

1.3 穿越构筑物的协同管控方案^[7-9]

该项目地质条件比较复杂,顶管需穿越肖龙港、新澡港河2处河道防汛墙,且W10#~W11#间顶管段上穿地铁1号线(净距6.93 m),穿越区域主要为⑤₁层粉砂夹砂质粉土,极易发生流砂涌水,进而导致地铁结构、防汛墙等沉降破坏。

过程控制创新措施有:

(1)融合环境工程防渗技术与市政顶管施工经验,优化顶管施工工艺,采用土体补偿注浆、动态土压力控制、刀盘设备优化改造等技术手段,有效抑制了流砂涌水风险。

(2)提前设置试验段开展施工参数验证,结合监测数据来优化注浆配比、顶进速度等关键指标,形成个性化施工方案,以指导后续顶管穿越施工。

(3)建立“实时监测—数据分析—动态调整”闭环管理体系,加密监测点位和频次,运用信息化智能管控平台实时传输数据。一旦出现异常立即启动调整方案,确保穿越施工段的构筑物安全。

(4)强化多方协同管理,对接地铁运营单位和水务管理部门,设置专人专岗负责日常沟通,联合开展应急演练,保障穿越施工全过程监管可控。

1.4 长距离顶管施工的高效管控策略^[10-15]

项目ZW2~ZW3段顶管长度达1 090 m,长距离顶进面临顶力控制、轴线偏差、装备可靠性等多重技术挑战,是工程施工的重点和难点。

过程控制创新措施有:

(1)科学选型顶管设备,加强设备进场检验与日

常保养维修,建立设备故障预警机制,保证施工的连续性。

(2)严格把控管节质量,从采购、运输到吊装全过程执行监理验收标准,避免不合格管节投入使用。同时优化管节吊装工艺,减少运输过程中的损伤。

(3)采用“勤测勤纠、微纠微调”原则,结合三级测量复核制度,实时监控顶进轴线与设计轴线的偏差,及时调整千斤顶参数,确保轴线精度满足规范要求。

(4)优化触变泥浆配比和注浆工艺,结合项目成本造价控制经验,在确保泥浆性能前提下合理地控制材料成本;设置3座中间注浆泵站,确保长距离顶进过程中管节外壁可形成完整的泥浆套,有效降低顶进阻力。

2 顶管施工中问题原因分析及应对措施

2.1 机头出洞时“磕头”问题处置^[16]

问题主要成因:洞口止水密封装置失效,易造成洞口处水土流失,从而引起下部水土压力减小;出洞段土体加固不到位,造成机头出洞时脱空,引发“磕头”现象。

优化应对措施有:

(1)精准调整千斤顶的安装参数,将合力作用点下调5~10 cm;同时根据实际工况灵活配置千斤顶的数量,机头出洞前预抬高2~3 cm,从而抵消下部土体压力不足影响。

(2)延长出洞口导轨长度,将其铺设至围护墙内侧,增加机头支撑长度;首节管与机头拼装时优化连接工艺,以提升整体性和稳定性。

(3)强化出洞口土体加固的质量管控,基坑开挖至底板浇筑完成后,对工作井围护结构与加固土体间的间隙采用高压旋喷注浆填充,杜绝渗漏通道。

(4)在出洞阶段,当刀盘切削土体之前,通过预埋在出洞口的注浆孔提前压注浆液,确保刀盘切削土体时立即形成有效的水土压力,避免水土流失。

2.2 机头和管节的旋转控制^[17]

问题主要成因:机头与导轨摩擦力不足,无法平衡刀盘切削反力矩;纠偏操作不当、油缸安装不平行或动作不同步,极易引发机头和管节旋转。

优化应对措施有:

(1)施工中严格控制纠偏幅度和频率,避免因过度纠偏所产生的偏转力矩。监理工程师现场监督,确保操作符合规范要求。

(2)精准安装主顶油缸和中继间油缸,保证其与顶进轴线的平行度。优化油路控制系统,实现油缸同步动作,避免产生偏心力矩。

(3)利用刀盘反力矩进行偏转纠正,适当加大刀盘的切土深度,使切换刀盘回转方向与机头偏转方向一致,逐步调整控制机头姿态。

(4)采用一侧配重法调整机头平衡,根据监测数据精准计算配重的重量和安装位置,快速纠正机头偏转。

2.3 顶管方向失控的预防处置^[18]

问题主要成因:进出洞口处的地基加固工作存在欠缺,掘进机各项参数的设计不够合理,液压系统出现故障,测量所得到的数据存在偏差,纠偏操作不够及时,以及土质发生突然变化等诸多因素,都有可能致使顶管方向失去控制。

优化应对措施如下:

(1)采用“深层搅拌桩+高压旋喷桩”复合加固技术,以此提高进出洞口地基承载力,防止因土体变形而致使机头出现偏移。

(2)结合工程地质状况和施工需求,对掘进机设计参数展开充分论证,保证其长径比合理,且纠偏行程与力度契合施工要求。

(3)施工前要完成掘进机全面的检修、调试以及验收工作。施工过程中需定期开展设备巡检,一旦察觉到液压系统等存在故障,要立刻停机维修,杜绝设备带病作业。

(4)执行三级测量复核制度,借助专业测量装备以及信息化智慧管理平台,保证测量数据准确无误,每日对工作井位移进行复测,及时发现并处理基础沉降问题。

(5)严格遵循“勤测微纠”的管理原则,在施工现场实时绘制机头的姿态曲线图,用以指导精准纠偏。当遇到土质突变等突发或者异常情况时,要立即逐级上报,启动偏差报警机制,并果断采取应急措施。

2.4 顶力急剧增大问题的解决^[19]

问题主要成因:触变泥浆在选材方面出现失误、配比情况不合理、搅拌过程不够充分、注浆系统的配置存在不完善之处;同时管路存在渗漏现象,注浆量以及压力的控制并不恰当,最终未能形成完整的泥浆套。

优化应对措施如下:

(1)开展泥浆材料性能试验,挑选符合长距离顶管需求的触变泥浆材料,经由多次试验对配比方案

给予优化,保证泥浆润滑与支护性能达到最佳状态。

(2)严格把控泥浆搅拌时间和水化时间,搅拌及水化时间超过6 h,以此保证搅拌充分、水化完全,提升泥浆稳定性;科学布置注浆管路和注浆孔。该项目运用耐压0.2 MPa以上的液压注浆泵,所有管路接头均用生料带密封,防止跑冒渗漏,保证注浆压力稳定。

(3)结合施工进度和地质条件,精确控制注浆量、注浆压力,安排专人专职负责压浆工艺的全过程管理,保证管节外壁形成连续完整的泥浆套,降低顶进阻力。

3 顶管施工中核心技术创新的技术总结

3.1 多管线复杂环境下“环保+安全”的双控防护技术创新^[20]

(1)高风险管线协同防护体系的构建。该项目涉及高压燃气管、35 kV 高压线以及地铁1号线等重大风险管线,创新性地构建起“普查—评估—防护—监测”的全流程协同体系。该体系结合环境工程风险评估方法与市政工程施工规范,牵头完成了管线三维探测、识别以及风险等级分级工作,划分出高、中、低风险区域,并制定了差异化防护方案。施工单位凭借机电工程项目管理专业能力,优化了施工设备电气自控系统,增设了高压管线防感应电流监控装置,有效避免了施工振动与电磁干扰对管线产生的影响。

(2)污染溯源和应急处置的技术优化。施工区域里雨污水管线交叉会有引发水质污染风险的可能,为此融合环境工程水质监测技术,于施工区域周边布置临时水质监测点,实时监控COD、氨氮等关键水质监测指标,创新设计了“源头隔离—过程拦截—应急处理”的三级污染防控方案;同时配置2套移动应急处理设备,保证施工期间污水不渗漏、不扩散、不污染,保障区域水环境安全。因该方案有创新和先进性,在后续同类工程的环保管控中被多次应用。

3.2 长距离顶管施工“节能+高效”技术创新^[21]

(1)成本控制与智能注浆配比的优化系统。将项目成本管控方面积累的经验与市政顶管施工技术相结合,施工单位创新性地构建起“地质参数—注浆配比—成本控制”联动模型,借助试验段的数据收集以及数据库的监理工作,研究开发出触变泥浆动态配比系统。依据不同地质层渗透系数的改变,该系统可自动对泥浆配比作出调整。在保证形成完整泥

浆套、降低顶进阻力的情况下,经过核算可知,材料损耗减少幅度可超过12%。运用液压注浆泵设备集群控制技术,并结合机电专业设备集成优化能力,达成了注浆压力与流量的智能调节,提升了长距离顶管施工的效率,相比计划工期缩短了8%以上。

(2)顶管机的节能改造与智能监测升级。施工单位负责主导完成顶管机电气自控系统的节能改造工作,运用变频调速以及无功补偿技术,使得设备的能耗降低幅度超过15%。依据现场管控的具体要求,搭建起顶管施工智能监测平台,对轴线偏差、顶力变化、土体沉降等多个维度的数据进行整合,经过数据运算,在实践中较好地达成了施工参数实时可视化监控以及异常自动报警,并成功投入使用。借助数据驱动来优化顶进参数,把轴线偏差控制在 ± 30 mm 范围以内,比规范标准要好很多,施工精度以及安全性都有了明显提升。

3.3 复杂构、建筑物穿越“精准+防渗”技术创新^[22]

(1)穿越地铁施工段的动态压力平衡施工技术。在顶管上穿地铁1号线且净距为6.93 m的高风险施工段,创新性运用“动态土压力平衡+同步注浆补偿”技术,依据环境工程土体渗流理论,构建了地铁结构沉降预测数据模型;同时借助实时监测地铁轨道沉降数据,动态调节顶管机土仓压力和注浆量,将地铁结构沉降量控制在了3 mm 以内,此数值远低于《顶管工程施工规程规范》(DG/TJ 08-2049—2016; J 11324—2017)所规定的限值。对顶管机刀盘的切削参数给予优化,采用分级切削和土体改良技术,切实抑制了流砂涌水等不利状况,保障了地铁运营的安全。

(2)穿越河道防汛墙的防渗加固技术。在顶管下穿肖龙港、新淞港河防汛墙的施工过程中,创新研发出了“高压旋喷桩+钢板桩”复合防渗体系。施工单位凭借大型沉井施工积累的经验,对防汛墙外侧防渗加固的范围以及深度给予优化,并运用数值模拟计算来确定加固参数,以此保证施工期间防汛墙的渗水量可低于0.01 L/m。创新性地采用“先加固后穿越、边穿越边监测”这种施工模式,同时开展防汛墙位移和渗流量的监测工作,以达成穿越施工与防汛安全的双向保障。此项技术已荣获企业级施工工法创新奖。

3.4 施工管理“协同+智能”模式创新^[23]

(1)多方智能管理协同平台的搭建。施工单位凭借工程管理专业知识以及监理单位监理工程师的

执业能力,构建起了“施工单位-监理单位-权属单位-交通部门”多方协同的智能管理平台。该平台整合了施工进度、质量安全、生态环境、交通疏导等多方面信息,实现海量数据的实时共享以及线上审批,创新性地运用BIM技术创建工程三维模型,针对管线碰撞检测以及施工方案开展模拟优化工作,提前规避了施工过程中可能出现的冲突风险,使得设计变更率大幅降低了18%,提升了项目管理的效率。

(2)全流程质量追溯体系的构建。施工单位综合建造师以及监理工程师的质量管理要求,构建了顶管施工全流程质量追溯体系。该体系针对管节采购、材料与设备验收、施工工序、监测数据等关键环节,展开信息化登记及存档工作,并创新性地引入二维码溯源技术,达成每节管道、每个施工段的质量信息可查询、可追溯的目标,保证工程质量责任落实到具体人员。此体系打算借助企业质量管理体系升级认证,成为公司同类工程质量管控的标准。

4 结 语

该工程顶管施工的管理实践中,通过建立多方协同机制、优化施工技术方案、强化全过程质量安全管控,有效解决了交通复杂、高风险管线密集、构筑物穿越难度大、长距离顶进等施工难题,圆满高效优质地完成了该工程,为同类工程管理提供了宝贵经验。未来将继续推动多专业技术融合与管理模式的创新,为城市生态环境改善和基础设施可持续发展贡献更大力量。

参考文献:

[1] 尹步白.大直径顶管直接接入城区运行中排水深井施工技术研究[J].建筑施工,2025(7):1056-1065.
[2] 梁亚东.大直径土压平衡顶管施工问题及处置[J].施工技术,2025(3):190-192.
[3] 胡海辉.顶管施工过程中对地下既有管线的保护措施研究[J].建

筑科技,2025(7):139-142.
[4] 王永生.观景口水利枢纽输水线路岩石顶管设计与实践[J].中国水利2021(19):34-37.
[5] 王文庆.复杂环境下顶管穿越软土区运营铁路变形监测与数据分析[J].山西建筑,2025(7):108-117.
[6] 金鑫.顶管施工技术在市政道路给排水管道中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(6):141-144.
[7] 张杰.水下沉管施工技术在不断河道工程中的运用[J].建筑建材装饰,2014(5):38-43.
[8] 牛汉文.非开挖顶管技术在市政排水管道施工中的应用研究[J].水上安全,2024(11):190-192.
[9] 盛松涛,安子玥,周洪云,刘杰等.过河段顶管施工河床地表沉降影响规律[J].长江科学院院报,2025(7):133-141.
[10] 王磊.给排水施工中长距离顶管施工技术运用分析[J].施工技术,2025(7):149-151.
[11] 党志荣,吴栋年,杨海丽,等.市政道路给排水管道长距离顶管施工技术研究[J].散装水泥,2025(3):94-96.
[12] 刘胜昔.市政道路地下长距离顶管给排水施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2025(6):61-63.
[13] 赵彦春.超长距离岩石顶管工程沉渣处理研究[J].地下空间与工程学报,2022,18(增刊2):772-775.
[14] 刘丙森.解决长距离岩石顶管施工中卡管问题的有效方法[J].工程机械与维修,2021(6):144.
[15] 李一樊.观景口水利枢纽输水隧洞长距离硬岩顶管施工工艺[J].中国水利,2021(19):44.
[16] 肖志军,张亮亮,曹波.超长距离顶管顶力估算与中继间设置研究[J].内蒙古电力技术,2023,41(4):66-70.
[17] 郑武奎.机械顶管施工中管材破损因素分析及工艺改进[J].研究与探讨,2025(7):65-67.
[18] 陈宇.明挖施工和顶管施工在市政给排水管道施工中的运用探究[J].中华建设,2025(2):125-127.
[19] 赵继东.城市市政污水管顶管施工关键技术[J].广东建材,2024,40(12):126-130.
[20] 张楠.市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术要点研究[J].水上安全,2024(9):160-162.
[21] 朱艳军.市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术分析[J].建材与装饰,2024,20(15):25-27.
[22] 谭顺辉.隧道掘进机多功能化及智能化的发展与推广[J].隧道建设(中英文),2020,40(9):1243-1247.
[23] 林凡通,肖兰,周献祥.顶管施工技术应用研究[J].防护工程,2022,44(5):54-56.