市政给排水长距离顶管施工技术研究

朱国权

（广东华飞工程有限公司，广东 清远 511500）

摘 要 为全面提升市政给排水工程施工中的长距离管道施工质量，解决管道施工中面临的轴线偏差、顶力异常等情况，本研究结合某市政给排水工程项目实际情况展开分析，在介绍案例工程项目基本情况后，分别从设备选配、沉井构筑、分级中继顶进、同步注浆等多个环节详细说明现场施工工艺。根据工程项目施工检验，随着上述施工工艺的顺利落实，可将地表沉降量控制在 4.2 mm 以内，且轴线位置偏差≤ 7.0 mm，各项数据满足给排水管道的现场施工要求且具有推广价值。

关键词 市政给排水工程；长距离顶管；工作井施工技术；同步注浆；动态纠偏

中图分类号：TU99 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.015

0 引言

给排水管道作为市政工程项目的重要组成部分，其施工质量一直是社会关注的重点。随着国内市政管网改造工程的持续推进，管道跨越河道、主干道布设的情况越来越常见，长距离顶管非开挖工艺的应用占比逐年提升，且部分地区地质多为粉质黏土夹砂卵石复合地层，具有土层透水、稳定性差的问题，对长距离顶管工艺提出更高要求。因此，为能切实保证市政项目的现场施工质量，需要结合工程项目施工经验积极完善顶管施工工艺，这也是本文研究的主要目的。

1 案例概况

本研究以某地区城市供水应急保障工程为研究对象，作为当地区域供水主干线的关键工程，项目建成后可显著提升城市片区供水输送整体水平，具有极高的社会价值。根据项目前期规划结果，整个施工段穿越一条宽度达 500 m 的河道，导致施工难度偏高；施工现场勘察数据显示，当地土层自上而下分别为素填土、粉质黏土、粉砂、卵石层及泥岩基层，本次顶管掘进主要穿越粉砂层与卵石混合层，其孔隙比约为 0.82 ～ 0.90，含水率为 28.5% ～ 34.9%，整体稳定性较差，在施工中极易出现坍塌或流沙等不良情况。

2 施工设备选型与配套参数配置

在长距离顶管施工中，设备性能参数对最终施工效果有最直接的影响，而为保证工程项目施工质量目标实现，需结合地质条件、管径参数等关键指标匹配设备型号。案例工程中管道顶管长度长且地层多为砂卵石复合层。为满足施工要求，最终决定引入 XDN1800 泥水平衡顶管机展开作业，相关设备的参数指标如表 1 所示。设备安装结束后可做 72 h 联动调试，要求理想状态下设备故障发生率≤ 1.2%，若不满足上述要求则可及时更换。

3 工作井施工技术

作为长距离顶管施工的核心载体，工作井施工质量关系到工程施工质量，案例工程为保证施工质量达标，对工作井规格参数作出严格限制，要求始发井与接收井井壁厚度为 0.8 m，外部尺寸规格为 12.0 m×8.0 m；而工作井的深度应≥ 30 m，整个现场作业施工中的核

表 1 工程项目设备参数统计表

设备系统	设备型号	核心技术参数
主顶液压系统	ZY-400	配置 4 组液压油缸，单缸最大顶力 4 000 kN，总最大顶力 16 000 kN，油缸行程 3.5 m
泥水平衡顶管机	XDN1800	适配管径 DN1800，刀盘直径 2 160 mm，刀盘转速 0 r/min ～ 3.5 r/min，最大掘进扭矩 185 kN·m
激光导向测量系统	JZ-500	激光有效射程 1 000 m，水平测量精度 ±3 mm/100 m，高程测量精度 ±2 mm/100 m
泥浆循环系统	MX-200	进浆泵流量 200 m^3/h，出浆泵流量 220 m^3/h，泥浆池容积 80 m^3，泥浆过滤精度 0.1 mm

作者简介：朱国权（1984-），男，本科，高级工程师，研究方向：建筑工程建设。

心难点体现在深基坑止水与沉井均匀下沉等方面。

为满足上述要求，该项目规定在沉井预制作业中使用性能更强的C35抗渗混凝土，将材料分层浇筑厚度控制在500 mm以上，经分层振捣密实后连续养护14 d以上。沉井下沉中可采用排水下沉与不排水下沉相结合的施工工艺，其中针对上方15 m的土层，在现场施工中可考虑采用排水下沉工艺,将下沉速率维持在1.0 m/d～1.2 m/d之间；针对下方水下砂卵石地层则可采用“不排水下沉”的施工要求。上述施工执行过程中，应随时观察井壁垂直度与平面位移情况，要求结构的平面误差控制在0.5‰以内[1]。

工作井封底作业环节，案例项目引入水下混凝土封底工艺，将封底混凝土厚度维持在1.2 m以上，经C30水下专用混凝土浇筑，在8 m^3/h的速度下共计浇筑120 m^3，整个浇筑中做到无中断，在确认封底结束后做7 d水下养护。根据现场实测数据发现，上述施工工艺下，井底实测承载力达到250 kPa以上，满足质量标准。

4 长距离顶管设计施工技术分析

4.1 初始顶进施工

在顶管机出洞掘进作业中，本环节现场施工的重点主要包括机头姿态校准、洞门破除与顶力控制等方面。为保证质量目标实现，该项目采用分层人工破除工艺完成洞门破除，即将分层施工厚度稳定在200 mm左右，避免分层厚度过大而造成结构坍塌。在破除结束后即可启动泥浆循环系统，实现泥浆水平衡。在整个顶进作业中，设置初始泥水仓平衡压力0.18 MPa，压力波动范围严格控制在±0.02 MPa，避免压力过大导致地面隆起、压力过小导致掌子面坍塌，且为预防质量问题发生，应每隔1 m采集顶力数据与管线姿态情况，要求连续顶进50 m后机头水平偏差≤4 mm[2]。初始顶进施工参数数据如表2所示。

表2 初始顶进施工参数统计表

顶进距离区间	顶进速度（mm/min）	泥水仓压力（MPa）	平均顶力（kN）
0 m～10 m	10～15	0.17～0.18	4 200
10 m～30 m	15～18	0.18～0.19	4 800
30 m～50 m	18～20	0.19～0.20	5 500

4.2 正常长距离顶进施工技术

当初始顶进长度达到50 m后，即可进入超长距离正常顶进阶段，本环节现场施工的核心在于控制顶力增长速率并稳定顶进参数，避免不合理施工行为造成地层扰动。由于项目当地砂卵石复合地层的稳定性差，为满足稳定性要求，需将正常顶进速度稳定在40 mm/min～45 mm/min，该作业速度兼顾掘进稳定性与施工效率要求；刀盘转速为2.2 r/min，该速度下可确保掌子面土壤均匀切削，也可避免转速过快而造成土体扰动。

根据掘进深度动态调整泥水系统作业参数，其中当掘进深度处于50 m～300 m时,地层以粉质黏土为主，需将材料泥浆黏度稳定在23 s～26 s，材料比重也应达到1.08～1.12。当掘进深度达到300 m～600 m区间时，地层结构发生改变，砂卵石占比明显提升，此时土体的透水性明显增强且流失率明显增加，此时需将材料黏度提升至32 s，且泥浆比重也应达到1.20[3]。当掘进深度大于600 m时不断接近接收井，地层应力逐步释放，为适应现场情况，需将材料黏度稳定在26 s～30 s，比重稳定在1.12～1.16即可。

4.3 同步注浆与泥浆置换施工技术

根据现场施工经验发现，在长距离顶管掘进作业中，地层与管节之间形成环形间隙，此时若不能及时填充加固材料则可能造成管线晃动、地层沉降等明显质量问题。为解决上述问题，本工程将采用随顶随注同步注浆工艺，将注浆口布设在顶管机尾部，在同步进行挖掘作业时,使注浆压力高于地层土压力0.03 MPa左右。

注浆材料的选择上使用水泥—膨润土混合浆液，该材料水泥：膨润土：水的配比控制在1:0.35:0.8左右，该浆液的初凝时间为4.5 h，终凝时间稳定在12 h，浆液兼顾固结强度与流动性要求，现场测试显示，28 d后的抗压强度可达到2.8 MPa，满足质量要求。此外，在同步注浆量的设置上，该项目决定按照环形间隙体积标准的120%进行控制，即每米单关节注浆量应达到0.35 m^3左右，预计全程累积注浆量可达到298.5 m^3，并确保注浆饱满度检测合格率≥99.99%。

确认顶管全程贯通且线路姿态稳定后即可做第二次泥浆置换作业，本环节现场施工的主要目的是将残留外周的浆液置换为固化浆液，进而提升结构稳定性。本次置换浆液的水灰比为0.45，注浆压力为0.3 MPa，经分层分段注浆稳压后，每隔50 m设置一个注浆段，稳压30 min后即可封堵注浆孔。

4.4 管线姿态动态调整技术

根据现场施工经验发现，在超长距离顶管掘进作业中，现场施工中可能因为顶力偏差、地层分布不均匀等因素影响而造成管线的水平位移，若未采取针对性措施则会导致掘进长度累积明显增大，因此实现姿态调控成为现场施工的关键[4]。为确保管线纠正数据精度，可采用以激光导向为主以及微量纠偏的精细化调控技术，经现场施工后可避免地层扰动或关节破坏等问题发生。

管线姿态纠偏期间，利用监测系统采集管线姿态

数据，并通过姿态偏移曲线记录结构位移，其中当偏移量处于5 mm～10 mm预警区间时，采用微量纠偏方式，通过调整单侧油缸顶力、微调刀盘切削角度、局部调整泥水压力实现姿态修正；若发现偏移量不足 5 mm，在不影响顶管施工质量的基础上可先维持现有施工参数并自然校正其中的偏差。在上述施工工艺基础上，要求整个顶管作业中避免一次性大幅纠偏，针对偏差过大的情况，需将每次调整纠偏量维持在 3 mm 以内，并重复上述操作直至管线线形平滑且连续。

此外，案例项目施工中发现，在长距离掘进后可能出现高程下沉等质量偏差，决定可采用上扬微调与压力补偿等施工技术，将机头上方泥水压力提升 0.02 MPa 左右，刀盘上仰角度保持在 0.2° ～ 0.3° ，通过上述方法逐步修正高程偏差使其逐步恢复至正常水平即可。整个全程姿态调控无超差情况，最终管线贯通后整体线形平顺，轴线偏差合格率 100%，满足市政给排水管线输水精度及长期运行稳定性要求。

5 贯通收尾与设备拆除工艺

长距离顶管作业中，当机头掘进至距离接收井洞口约 5 m 范围时即可进入贯通收尾阶段，本环节现场施工的重点主要包括门洞破除、机头接收等方面，其中在贯通前 5 m 区间可将管道顶进速度维持在 15 mm/min，刀盘转速也应下调至 1.5 r/min 并逐步降低水仓压力，即将泥水注浆压力从 0.32 MPa 缓慢下调至 0.22 MPa，通过精准控制压力变化可预防掌子面坍塌等严重质量问题发生。在上述工艺基础上要求施工单位密切监测装置频率变化，即每隔 0.5 m 完成一次采样，使机头精准对接接收井洞门，避免出现偏差。

当机头进入接收井内后即可停止顶管作业，连续稳压 120 min 使地层压力趋于稳定，再分层拆除接收井洞门结构即可。本环节破除作业工艺与始发洞门基本相同，并在破除结束后用吊车将其缓慢牵引顶管机头出洞，本环节机头出洞速度控制在 0.2 m/min，全程保持水平平稳移动，无倾斜、晃动情况。机头完全出洞后，对洞门间隙进行快速封堵，采用速凝混凝土填充振捣密实，养护 7 d 达到设计强度。

设备拆除遵循“先附属、后主机，先管路、后设备”的有序拆除原则，首先拆除泥浆循环管路、监测线路、液压管线等附属设施，随后依次拆除中继间装置、主顶油缸、顶管机主机。拆除过程中做好已成型管线防护，严禁设备碰撞、挤压管节，避免管线破损、接口渗漏[5]。设备拆除完成后，对管节接口进行全面检测，932 m 管线共 372 个管节接口，接口密封完好率 100%，无渗漏、错位、开裂问题，管线整体施工质量达标。

6 工程项目施工成效评估

结合案例工程项目实际情况，经泥水平衡顶管、分级中继间顶进等方法，有效解决工程项目施工建设中面临的地下水埋深浅、砂卵石复合地层等施工难题，相关技术措施具有良好操作性，实现安全稳定施工并预防渗漏、坍塌等质量问题发生。施工全程累积有效顶进作业时长达到 286 h，平均每日顶进深度达到 78.5 m，其施工效率明显超过顶管工程平均水平。现场记录结果显示，整个顶管作业中管线最大顶进偏差为 7 mm，高程的施工的最大偏差为 6 mm，相关偏差数据均低于 ±15 mm 的标准值。地表沉降量统计数据显示，上述长距离顶管工艺下所产生的最大沉降量达到 4.2 mm，且表面观测中未见裂缝、隆起等明显病害；管节接口密封性评估中，管道满水试验检测中未见渗漏，其施工参数满足市政给排水管道长期输水运行要求。

7 结束语

长距离顶管施工技术在市政给排水工程中占据重要位置，本研究结合某管道工程实际情况，提出一套完整的顶管施工工艺，相关技术措施在执行过程中以设备选型、分级中继顶进、同步注浆等工艺为核心，现场施工过程依托实测数据明确各环节工艺标准，最终依托分级中继顶进、泥浆动态调节、微量纠偏等工艺，有效控制顶力增幅与管线轴线偏差，工程最终沉降、线形指标均满足给排水管道使用标准，同时现场施工工艺科学可行。未来，市政给排水管道工程将向着大口径、超长距穿越复杂地层的方向发展；同时智能化、数字化技术的迭代，也将对现场施工过程产生深刻重塑。依托数字化技术对顶管施工工艺路径开展持续优化，可有效降低长距离顶管的施工阻力，减小施工引发的地层扰动，相关研究成果与实践经验可为同类市政给排水工程提供借鉴。

参考文献：

[1] 栾梓铭，师磊．市政给排水长距离顶管施工技术研究 [J]. 现代工程科技，2024,03(23):53-56.
[2] 刘壮，兰春雨，戴志福，等．市政给排水施工中长距离顶管施工技术研究 [J]. 科学技术创新，2024(16):183-186.
[3] 陈卫星．市政给排水施工中的长距离顶管施工技术研究 [J]. 工程建设与设计，2024(10):212-214.
[4] 陈兵．长距离顶管施工技术在市政给排水管网建设中的应用 [J]. 散装水泥，2024(02):141-143.
[5] 唐恺．市政给排水工程中的长距离顶管施工技术研究 [J]. 工程技术研究，2024,09(06):51-54.