

市政工程给排水管道顶管施工与质量控制研究

赵 昂

新昌县农林水投资发展集团有限公司 浙江 绍兴 312500

【摘要】：随着城市地下空间开发日益密集，给排水管道顶管施工技术因其对地面交通和环境影响小的优势，已成为市政工程建设的重要方式。然而，在复杂地质条件和密集管线环境下，顶管施工仍面临顶进精度不足、管节渗漏、地表沉降等技术难题，直接影响工程质量和运行安全。本文简要分析了市政工程给排水管道顶管施工的内容，并针对市政工程给排水管道顶管施工质量控制的意义、存在的问题进行了深入探究，提出了质量控制的有效策略，以期为提升顶管施工质量提供理论依据和实践指导，保障城市地下管网安全运行。

【关键词】：市政工程；给排水管道；顶管施工；质量控制

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.072

引言

近年来，随着《“十四五”新型城镇化建设实施方案》和《城市地下市政基础设施建设规划（2021-2025年）》的推进，我国明确提出要优化城市地下管网布局，推广非开挖技术以减少施工对城市运行的干扰。市政工程给排水管道是城市基础设施的重要组成部分，其施工质量直接关系到城市排水效率、道路安全及居民生活质量。因此，深入探究市政工程给排水管道顶管施工与质量控制显得极为重要。

1 市政工程给排水管道顶管施工概述

顶管施工是一种非开挖地下管道铺设技术，广泛应用于市政给排水工程中，适用于穿越道路、铁路、建筑物等敏感区域，可有效减少地面开挖对交通和环境的影响。该技术通过液压顶进设备将预制管节从始发井推至接收井，同时利用泥水平衡或土压平衡技术控制开挖面稳定，确保施工安全。顶管施工的关键环节包括工作井布置、导轨安装、顶进力计算及纠偏控制，需结合地质勘察数据优化施工参数，避免管道偏移或地表沉降。相较于传统明挖法，顶管技术具有施工周期短、综合成本低、环境影响小等优势，但在复杂地层中需采取注浆加固或降水措施以降低风险。随着智能化技术的发展，激光导向系统和远程监控的应用进一步提高了顶管施工的精度与效率，使其成为现代市政管网建设的优选方案。

2 市政工程给排水管道顶管施工质量控制的意义

（1）保障城市排水系统的安全稳定运行

给排水管道是城市“生命线”工程的重要组成部分，其施工质量直接影响城市防洪排涝能力及污水收集效率。顶管施工过程中，若管节接口密封不严、轴线偏差过大或管道基础处理不当，可能导致后期运行中出现渗漏、淤堵甚至塌陷等问题，影响排水系统的正常功能。通过严格控制顶进精度、管材质量及接口防水性能，可有效避免管道结构性缺陷，确保排水系统长期稳定运行，减少因管道损坏导致的道路积水、污水外溢等次生灾害，提升城市应对极端天气的能力。

（2）降低施工风险，减少对周边环境的影响

顶管施工多位于城市繁华区域，周边建筑物密集，地下管线错综复杂，施工过程中的地质扰动可能引发地面沉降、管线破坏甚至建筑物开裂等风险。通过科学的质量控制措施，如精准监测顶进力、优化注浆加固工艺、实时调整顶进参数等，可有效控制地层变形，避免对既有构筑物造成损害。此外，严格的泥浆配比管理和渣土处理规范能够减少施工对地下水的污染，符合绿色施工要求，降低对城市生态环境的负面影响。

（3）提高施工效率，节约工程成本

顶管施工的进度和质量直接影响工程整体造价。施工过程中频繁出现顶进偏差、设备故障或管节破损等问题，不仅会增加纠偏、返工等额外成本，还可能延误工期，导致整体投资超支。通过建立全过程质量控制体系，关注施工前的地质勘察、施工中的动态监测及完工后的质量验收，可提前预判并规避潜在风险，减少非计划性停工，优化资源配置，从而在保证质量的前提下提高施工效率，降低综合成本。

（4）推动行业技术进步，提升工程管理水平

顶管施工技术的应用水平是衡量市政工程建设能力的重要指标之一。通过系统化的质量控制，引入BIM技术进行施工模拟、采用智能监测设备实时反馈顶进数据、建立标准化施工工艺，可以积累宝贵的工程经验，推动施工技术的创新与优化。同时，严格的质量管理要求促使施工单位加强技术培训、完善管理体系，从而提高整体施工水平，为未来更大规模、更高难度的顶管工程奠定基础，促进市政工程行业的可持续发展。

3 市政工程给排水管道顶管施工质量控制存在的问题

（1）地质勘察不充分导致施工参数失准

许多工程因工期或成本压力，仅依据少量钻孔数据或历史地质资料制定施工方案，未能准确反映复杂地层中的流沙层、软弱夹层或孤石分布。这种数据缺失直接导致顶进力、注浆压

力等关键参数计算偏差,表现为管道顶进过程中频繁出现轴线偏移、地表沉降超标等现象。更严重的是,勘察盲区可能隐藏承压水层,在施工时突发涌水涌砂,不仅破坏管道接口密封性,还会引发周边地层塌陷。部分项目甚至在遇到未探明障碍物时被迫变更线路,造成已施工管段报废。

(2) 管节制作缺陷引发结构性风险

预制管节的质量问题直接威胁管道整体寿命。混凝土管常见的问题是钢筋保护层厚度不足(低于设计值30%以上)、离心成型密实度不均,导致运输过程中出现隐性裂纹。钢管焊接的未熔合、咬边等缺陷检出率超过15%,且防腐层存在漏涂、厚度不达标现象。这些缺陷在顶进阶段受千斤顶推力作用后,易发展为贯穿性裂缝或接口变形。此外,管节端面平整度超差(>2mm)会导致橡胶止水带无法有效密封。

(3) 测量控制系统精度失控

导向测量误差累积是造成管道轴线偏差的主因。传统全站仪测量受地下环境干扰,其方位角测量误差可达±30",在300米顶进距离内可能产生15cm以上的平面偏差。激光导向系统虽精度较高,但受水汽、震动影响会出现5-10mm的漂移。更严重的是,部分项目为赶进度减少测量频次(从规范要求的每项进1米测量1次降为3米1次),使纠偏时机延误。

(4) 注浆工艺控制不当引发地层沉降

同步注浆是控制地层变形、确保管道稳定的关键环节,但施工中常因浆液配比不合理、注浆压力不稳定或注浆量不足导致填充不密实。若浆液流动性差或凝固时间过长,可能无法有效填充管壁与土体间的空隙,导致地层松动甚至塌陷。此外,注浆压力过高可能挤压周边土体,引发地表隆起或邻近管线位移。而压力过低则无法形成均匀的浆套,使管道受力不均,长期使用后可能出现沉降或渗漏。注浆工艺的缺陷不仅影响施工质量,还可能对周边建筑物和地下设施造成安全隐患。

4 市政工程给排水管道顶管施工质量控制的有效策略

(1) 强化地质勘察,科学制定施工方案

地质勘察是顶管施工的基础性工作,建设单位应当委托具有专业资质的勘察单位开展详细的地质勘察工作。勘察单位需采用钻探取样、地质雷达探测、地震波测试等多种技术手段相结合的方式,对施工沿线地质情况进行全方位探测。勘察人员要重点查明地下水位变化规律、各土层厚度分布、岩土物理力学特性等关键参数,特别要对软弱土层、砂层、岩层等特殊地质的分布范围进行准确界定。对于地质条件复杂的施工区段,项目技术负责人应当要求勘察单位加密布设勘探点,必要时增加补充勘察工作。设计单位应根据最终的地勘报告,组织岩土工程、机械工程等方面的专家召开专项论证会。专家团队需要根据地质条件特点,合理选择顶管机型,确定最佳顶进速度、

注浆压力等施工参数。针对可能遇到的流砂、孤石、地下障碍物等特殊情况,施工单位要提前制定包括设备改造、地层加固、应急换刀等在内的专项处置方案。在施工过程中,监理工程师应当督促施工单位建立地质信息动态更新机制,在每段顶进前对掌子面地质情况进行复核,当发现实际地质与勘察报告存在差异时,调整施工方案和工艺参数,从而实现从勘察到施工的全过程质量控制。

(2) 严格把控管节质量,确保结构可靠性

管节作为顶管工程的核心构件,其质量直接关系到整个工程的使用寿命。在管节生产过程中,要建立全过程质量控制体系,从原材料进场到成品出厂实施严格把关。重点控制混凝土配合比、钢筋加工精度、模板安装质量等关键环节,确保管节尺寸偏差、强度指标等符合设计要求。对于钢制管节,要特别重视焊接工艺评定和无损检测工作。管节出厂前必须进行严格的质量检验,包括外观检查、尺寸测量、强度测试等,并做好质量追溯记录。运输过程中要采取有效的防护措施,防止管节受损。施工现场要建立管节进场验收制度,不合格产品坚决予以退场。

(3) 优化测量控制体系,提升施工精度

高精度的测量控制是确保顶管施工质量的关键。施工单位应当构建科学的三级测量控制体系。技术部门需配备全站仪、激光导向仪等精密测量设备,并在施工前对控制基准点进行闭合复测,确保测量基准的准确性。测量班组要严格执行“施工前校核、顶进中监测、完成后复核”的工作流程,每项进2-3个管节即进行一次轴线偏差测量。针对曲线段施工,项目总工程师应组织专项技术交底,加密布设控制点并提高测量频率至每节管一测。测量主管需实时分析激光导向系统反馈的偏差数据,当偏差超过允许值的50%时立即启动液压纠偏系统进行微调。质量管理部门要建立测量数据电子台账,通过BIM平台实现测量数据的实时共享和趋势分析。在特殊地质段施工时,对于软土地层增加沉降观测点密度,对于硬岩地层提高导向系统采样频率。监理单位需每日核查测量记录,重点监控纠偏措施的落实情况和纠偏效果。此外,还要完善测量档案管理制度,确保每道工序的测量数据均可追溯。

(4) 完善注浆工艺,控制地层变形

科学合理的注浆工艺对控制地层变形至关重要。在市政给排水管道顶管施工中,施工单位应当建立完善的注浆工艺质量控制体系。技术部门需根据地质勘察报告,针对不同土层特性制定差异化的注浆方案,明确膨润土与水的配比、注浆管布置间距等关键参数。施工班组应严格执行“顶进同步注浆、沿线补浆”的工艺要求,采用高压注浆泵确保浆液连续注入管道外壁与土体间的空隙。监理人员需全程监督注浆作业,重点检查注浆压力稳定性,发现压力波动超过阈值时立即要求调整。对

于特殊地质段,项目总工程师则应组织专项论证,在流砂层施工时需提高注浆压力至常规值的1.2-1.5倍,增强浆液渗透固结效果。在软弱土层区段则应优化浆液稠度,采用触变泥浆形成稳定支护结构。质量管理部门需建立注浆效果动态评估机制,通过沉降观测数据判断浆液填充密实度,对存在缺陷的区段应在24小时内组织补浆作业。同时,应完善施工记录制度,详细记载各环节注浆参数和责任人信息,实现质量问题的可追溯管理。

(5) 加强过程监控,实施动态管理

施工过程的实时监控是质量控制的重要保障。在顶管施工过程中,施工单位必须建立全过程动态监控体系。项目管理人员应当组织专业团队,对顶进力、管道姿态、注浆压力等关键施工参数进行24小时不间断监测。技术负责人需要定期检查监测设备的运行状态,确保数据采集的准确性。施工班组要严格执行监测方案,发现异常数据时立即上报,并由技术部门分析原因后采取相应措施。针对周边环境的变形监测,监理单位要安排专人负责,重点监控地沉降和邻近建筑物位移情况。项目部还应建立信息化管理平台,由专职资料员负责数据的录入和更新,确保各级管理人员能够实时掌握施工动态。同时,项目经理要组织编制详细的应急预案,配备必要的应急物资和设备。在交接班时,班组长必须做好施工状态和监测数据的交接记录,技术负责人要进行复核确认,保证施工过程的连续性

参考文献:

- [1] 李桥敏.市政工程给排水管道的施工质量控制分析[J].工程技术研究,2021,6(05):173-174.
- [2] 赵小军.市政工程给排水管道施工质量控制措施研究[J].黑龙江交通科技,2020,43(07):22-23.
- [3] 林凯.市政工程给排水管道施工质量控制措施[J].广东建材,2019,35(06):39-40+84.
- [4] 张玉柱.浅谈市政工程给排水管道施工质量控制措施[J].居舍,2018,(21):188-189.
- [5] 余云波.解析市政工程给排水管道施工质量控制措施[J].中华建设,2018,(06):72-73.

和质量控制的有效性。

(6) 强化人员培训,提升管理水平

施工人员的专业素质直接影响工程质量。施工单位应当建立完善的教育培训体系。项目经理部需组织全体施工人员参加岗前培训,讲解顶管施工规范、设备操作规程和质量控制标准。安全总监要定期开展专项技能培训,特别针对测量放线、顶进操作、注浆作业等关键工序的操作人员进行实操考核。质量管理部门必须严格执行持证上岗制度,对未通过考核的人员坚决不予安排上岗作业。另外,技术负责人要组织详细的技术交底会,向施工班组逐项说明设计图纸要求、质量控制要点和验收标准。人力资源部门应当建立质量责任档案,将每个施工环节的质量责任落实到具体岗位和个人。对于在施工过程中发现质量隐患并及时处置的人员,项目指挥部要给予通报表扬和物质奖励。同时,总工程师要每月组织技术骨干召开质量分析会,总结施工经验,持续提升施工队伍的整体技术水平。

总而言之,市政给排水管道顶管施工质量控制不仅关乎工程本身的安全性和耐久性,更对城市运行效率、环境保护及行业发展具有深远影响。通过科学管理施工过程、优化技术手段、强化质量监督,可确保顶管工程的高质量完成,为城市地下管网建设提供可靠保障,助力现代化城市的高效、安全、绿色发展。