

市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术要点研究

汤 兵

(安徽柘鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘要 传统开挖施工技术往往伴随着对城市交通、环境和既有建筑等其他系统的干扰甚至破坏, 在高密度的城市区域内已经很难适用。考虑到城市燃气、电力、通信等多种管线交错分布的情况, 开挖施工的难度和风险进一步增加。基于此, 非开挖顶管技术作为一种“少扰动、高效率”的施工方式, 逐渐成为市政给排水工程的首选方案。本文通过对市政给排水施工中非开挖顶管施工技术存在的问题进行分析, 并进一步探讨其施工要点与优化路径, 以期为推动市政建设提供有益参考。

关键词 市政给排水施工; 非开挖顶管施工技术; 施工应急管理

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.034

0 引言

非开挖顶管技术在全球范围内已形成较为成熟的应用体系。国外在长距离顶管、智能化设备和复杂地质适应性方面具有显著优势, 而国内则通过实践积累了丰富的经验, 尤其在粉质黏土、砂卵石层等复杂地质条件下的施工技术较为突出。但是, 我国非开挖顶管技术仍面临设备核心部件依赖进口、施工标准化程度不足、复杂地质条件等方面的问题。因此, 进一步深化非开挖顶管技术研究具有有效降低碳排放和生态破坏、降低综合施工成本、推动国产设备研发等多个方面的价值和意义。同时, 随着物联网、BIM等技术的融合应用, 顶管施工将向智能化、数字化方向发展, 进一步发挥其在城市更新中的作用。

1 非开挖顶管施工技术概述

1.1 非开挖顶管施工技术的特点

非开挖顶管施工技术是一种通过液压顶进设备在地下直接敷设管道的施工方法, 这一施工技术最大的优势在于能够避免大规模地表开挖, 仅需少量工作井即可完成管道的铺设、修复或更换^[1]。这一技术的实现利用了岩土钻掘原理, 结合液压推力与平衡控制, 将预制管节逐段顶入土层, 最终形成连续的地下管道系统。从整体上看, 非开挖顶管施工技术具有三方面的独特优势:

(1) 非开挖顶管施工技术具有明显的环保性。非开挖顶管在施工过程对地表扰动极小, 噪声、粉尘的产生量也比较低, 而且由于其不必大面积破坏道路或

植被, 所以在城市核心区、古迹保护区及生态敏感区域的适用性极强。(2) 非开挖顶管施工技术的经济性优势也比较显著。非开挖顶管施工能够通过降低拆迁成本、缩短工期及减少土方运输费用, 大幅度地降低综合成本。(3) 相较于传统顶管施工技术, 非开挖顶管施工技术具有更强的适用性, 它能够穿越复杂地形与障碍物, 如河流、铁路、建筑物基础等, 且能够适用于高地下水位、松散土层、硬岩地层等多种特殊地质条件。

1.2 非开挖顶管施工技术的分类

根据平衡原理和所需要的设备类型不同, 可以将当前主流的非开挖顶管技术分为三类, 在具体的工程实践中, 需要结合具体地质条件与工程需求选择最为合适的技术。

第一类是泥水平衡式, 这一类技术是通过循环泥浆压力平衡开挖面水土压力, 通常应用于砂层、粉细砂层等高地下水位区域及软岩地层, 而其最突出的优势在于泥浆可以携带土渣, 有效地稳定孔壁。

第二类是土压平衡式, 即在土仓内压力与开挖面土体压力构造动态平衡的状态, 这一技术适用于粉质黏土、砂卵石层等松散土层, 借助调节螺旋输送机转速控制出土量, 能够有效防止地表沉降, 在城市密集区的地下管线施工中具有明显的优势。

第三类是机械掘进式, 机械掘进就是适用刀盘式、滚刀式的硬岩掘进机对硬岩地层进行破碎。这一类施工技术虽然掘进效率高、方向控制精准, 但需要使用钢管、复合管高强度管材以承受顶力。

另外,为了确保在特殊场景下施工技术的应用效果,有时需要综合运用辅助技术。例如:通过注入触变泥浆降低管壁摩擦阻力,减少顶力并防止地面沉降;在长距离顶进中分段设置中继间,通过接力顶推解决主顶油缸推力不足问题等。

2 非开挖顶管施工技术要点研究

2.1 非开挖顶管施工技术的前期准备

首先,要做好地质勘测,利用钻探、物探等手段分析施工区域内的水文地质条件,明确土层结构、地下水位和障碍物分布,结合具体的地质条件分析结果,选择合适的施工工艺与设备^[2]。例如:在砂卵石层或高水位区域,选用泥水平衡式顶管机以维持开挖面稳定;在松散土层则优先采用土压平衡式设备,通过调节螺旋输送机转速控制土仓压力。其次,根据工程与施工技术选择合适的管材也是非开挖顶管施工前期准备的重点内容,在选择管材时要充分考虑腐蚀性环境与顶力需求,如污水管道需采用抗腐蚀材料,高压场景下则选用钢管或高强度钢筋混凝土管。此外,在工程施工开始之前,要做好工作井的设计,工作井需要兼顾受力性能与施工便利性。一般情况下,圆形工作井的均匀受力特性要比矩形结构的工作井更好。而支护方案则可以使用钢板桩搭配内支撑或地下连续墙,在洞口设置钢环与橡胶止水圈,能够起到防止水土流失的效果。

2.2 非开挖顶管核心施工工艺

非开挖顶管施工对工艺的精细化要求比较高,这直接关系到工程的安全与质量。要做好贯穿施工全过程的顶进控制,在初始顶进阶段每顶进0.5~1米就需要用激光导向仪或全站仪高频测量轴线偏差,及时调整顶进方向,把整体误差控制在最小范围内。在选择纠偏技术时,也需要考虑地质条件,软土层采用挖土校正法,硬岩地层则通过调整千斤顶顶力分布强制校正。

注浆减阻是非开挖顶管施工中降低顶力与地面沉降的关键工艺,在作业时需要同步注入触变泥浆形成润滑套减少管壁摩擦。在穿墙与出洞环节,穿墙阶段需要填埋高强度黏土并设置止水帷幕防止涌水,出洞后及时拆除临时支护并启用止水环,确保接收井结构安全。

非开挖顶管施工还要做好质量控制与检测,建立全过程的动态质量控制体系。在施工中,重点关注管道接口密封性,采用热熔对接或电熔连接工艺,并进行无损检测。在管道贯通后,进行水压试验,试验压力为设计压力的1.5倍,金属管稳压10分钟、塑料管1小时,渗水量需要符合行业标准。除此之外,注浆填

充与沉降监测也是非开挖顶管施工必不可少的一部分,通过管壁注浆孔注入水泥浆填充管外空隙,并采用全站仪实时监测地面沉降,确保周边建筑与管线安全。

针对复杂特质环境或高难度施工要求,还需要制定专项技术方案。例如:在流沙层中增加泥浆黏度,硬岩地层采用滚刀式掘进机并预注浆加固破碎带;穿越既有管线时需提前物探定位,必要时采用微型顶管或曲线顶进技术避让;长距离顶进需要设置中继间,通过分段接力顶推降低主顶系统负荷,间距根据顶力计算确定。

3 市政给排水非开挖顶管施工中存在的问题

3.1 设备与技术短板

我国非开挖顶管施工中最为突出的问题是在高精度导向系统、硬岩掘进刀盘等高端核心设备上比较依赖进口,国产设备在智能化、耐用性及全土质适应性方面都存在一定的不足。核心设备上的精度、质量问题,导致我国当前在砾石层、流沙层等复杂地质上的非开挖顶管施工稳定性不足,工程风险比较高。我国能够完全国产化的非开挖顶管施工设备类型单一,在微型顶管、超大口径顶管等不常见的工况上设备供应能力不足,导致在一些特殊的施工场景中还依赖手掘式技术,机械化水平较低,降低了工程施工效率^[3]。

3.2 非开挖顶管施工技术人才培养问题

非开挖顶管施工的高精度、智能化发展方向,需要施工队伍中具有兼具理论知识与智能化设备操作能力的复合型技术人才。我国在这一行业缺乏系统性培训体系,从业人员多由传统土木工程领域转型,对智能化设备操作、地质风险预判等专项技能掌握上存在一定的不足。

3.3 非顶管施工标准化与规范化不足

我国在非顶管施工上缺乏统一的技术规范和验收标准,尤其在施工工艺、管材质量及注浆减阻等环节存在较大的随意性。以管道接口为例,F型钢筋混凝土管因制造工艺缺陷常导致渗漏,而内防腐技术尚未普及,就会影响管线使用寿命。中继间技术、泥浆配比等关键工艺也缺乏标准化指导,加剧了施工风险。在具体的施工实践中,存在部分工程因注浆压力或材料配比不当导致地面沉降超标,引发了周边建筑结构损伤^[4]。

3.4 区域发展失衡与环保风险

我国东部沿海地区技术应用水平显著高于中西部,非开挖顶管施工项目量也远远高于中西部地区,西部地区的非开挖顶管施工多出现于西气东输等大型项目中,并且施工中泥浆污染和废弃土方处理明显缺少更加高效、低碳的方法,部分工程仍使用高污染化学注

浆材料，对地下水及土壤生态构成威胁。此外，部分工程缺少对有毒气体的监测和防范意识，没有布置完善的通风措施，井下作业安全风险突出。

3.5 经济性与管理瓶颈

核心设备上对于进口的依赖使当前非开挖顶管施工的成本进一步提高，很多中小型工程和中小型施工单位无法负担先进设备投入。并且，行业还存在一些低水平恶性竞争，部分企业为压缩成本简化工艺，增加了工程质量的隐患。同时，由于施工过程动态监测体系不完善，地面沉降、管道偏移等问题难以及时发现与纠正，也增加了工程后期的维护成本。

4 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术优化路径

4.1 提升施工工艺适应性

针对非开挖顶管施工技术前期准备，建立精细化地质勘查体系，提高选择工艺的适配性。首先，使用地质雷达、三维物探等前期勘测，建立动态地质模型，然后根据地质模型，选择合适的工艺。例如：对于高水位砂层采用泥水平衡技术，同步优化泥浆配比；对于松散土层，可以使用土压平衡技术，通过螺旋输送机调控出土量，有效地控制地表沉降；在溶洞区，则可以采取预注浆填充与反向顶进修复，减少溶洞环境下施工的塌方风险。同时，对其中关键环节的处理工艺，如注浆减阻、中继间技术等进行优化。在注浆作业中，可以应用环保型触变泥浆，形成稳定润滑套，能够大幅度地降低顶力。在长距离顶进作业中，强制设置中继间，按照顶力计算间距，形成分段接力的设计^[5]。

4.2 强化专业性人才培养

通过建立专业化培训体系，强化专业人才的培养。可以建立产学研结合的培训基地，采用理论教学加实践操作的一体化教学模式，在技术培训中心设置系列课程，覆盖设备操作、地质分析、故障排除等多个环节的重点施工内容，培训结束后颁发技术认证证书，形成长效的技术认证机制。

4.3 平衡生态与区域发展关系

在非开挖顶管施工中，积极推动绿色施工技术和绿色材料的应用。例如：使用生物降解泥浆与循环利用系统，减少废弃物排放，以玻璃纤维夹砂管等环保管材替代传统钢筋混凝土管。针对施工过程中产生的泥浆污染区域，通过固化处理、植被修复等措施实施生态修复，并加强对沼气一类的有毒气体的实时监测和防范措施，在井下作业中必须设置通风预案，以保障井下的安全。政府也需要深刻认识到当前非开挖顶管施工技术、设备存在的不平衡问题，需要结合不同

区域的实际情况，找对技术发展方向。东部地区重点发展智能化设备与复杂工艺，中西部地区则先推广低成本技术并积极推动东西部的技术交流与协作，实现高精尖技术的跨区域发展。

4.4 施工应急管理与风险防控

为了确保工程质量和施工过程的稳定，非开挖顶管施工还需要做好管线冲突应急预案和动态施工监测。在施工前通过地质雷达与BIM技术三维建模，预判地下管线交叉点，制定避让方案，突发涌水时启用高强度黏土填埋与止水环。在施工现场部署好全站仪和沉降传感器网络，实时预警地面沉降^[6]。针对施工过程中可能出现的安全和质量风险，建立施工方、设计单位和监理单位的三方联动机制，监测到风险后立即分析其成因，并采取对应的修复措施，必要情况下可能暂缓施工。加快完善行业规范和质量标准，行业内的龙头企业配合相关部门制定国家层面的统一技术标准，在管道接口工艺、注浆压力范围及验收指标等关键施工工艺上加快制定高标准、严要求的规范。在此基础上，在后续的非开挖顶管施工中，推广动态质量控制体系，实施全过程监测，并建立施工数据追溯机制，确保责任可追溯。

5 结束语

非开挖顶管施工技术具有显著的环保性和经济性优势，减少了传统开挖施工对城市交通、建筑及生态的破坏。其能够穿越河流、铁路、建筑基础等复杂地形，在城市核心区、生态敏感区域及既有管线密集区域有较强的适用性，重视非开挖顶管施工技术的持续优化，能够更好地发挥该技术对现代化城市更新的支撑作用。

参考文献：

- [1] 张元江. 非开挖顶管施工技术在市政给水工程中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(04): 79-81.
- [2] 张磊. 市政排水非开挖顶管施工技术及实施要点研究[J]. 水上安全, 2024(24): 22-24.
- [3] 靳博文, 石磊, 梅迎东, 等. 复杂条件下地下管线非开挖微型顶管技术研究与应用[J]. 建筑技术, 2024, 55(24): 2966-2969.
- [4] 陈缘缘. 市政工程建设中顶管工程技术的应用分析[J]. 工程技术研究, 2024, 09(24): 54-56.
- [5] 党智军, 何聪利, 王科科. 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(34): 144-146.
- [6] 李永岗. 关于非开挖顶管技术在市政给排水管道施工中的应用分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(31): 180-182.