

# 非开挖施工技术在市政管道施工中的运用分析

诸卫卫

(南京市水务工程建设管理中心, 江苏 南京 210000)

**摘要** 市政管道非开挖施工技术以水平定向钻进与微型隧道法为主要形式, 具有效率高、精度强、干扰小的特点, 能够在复杂地质条件下实现安全高效施工。本文系统分析了非开挖技术在市政管道施工中的实际运用, 从前期地质勘察与设备准备、科学施工方案编制到导向控制与泥浆循环等环节进行了细化阐述, 并进一步提出以质量监控、风险防控及数字化管控为核心的保障体系。结果表明, 该技术体系可有效增强施工精度与结构安全性, 降低环境扰动, 为市政管网建设提供可推广的技术依据与实践参考。

**关键词** 非开挖施工技术; 市政管道施工; 安全风险防控体系; 数字化监测

中图分类号:TU990.3

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.015

## 0 引言

在城市基础设施建设不断发展的背景下, 地下管网更新与扩容需求不断增长, 传统开挖方式易造成道路破坏、交通中断及环境污染。非开挖施工技术的出现为市政管道建设提供了新的解决思路, 其依托自动化导向、实时监测及数字化管理, 实现了施工过程的精准控制与环境保护并行。基于此, 保证非开挖施工技术发挥最大化优势尤为重要。

## 1 市政管道施工中非开挖施工技术运用优势

非开挖施工技术可通过地下定向钻进、微型隧道顶管等方式实现管线铺设, 并能够依托自动化导向与实时监测系统在复杂地质条件下实现精准控制, 由此开展的市政管道施工可有效规避传统开挖方式对地表道路、绿化带及建筑基础的破坏, 扬尘、噪声等二次污染也能够得到大幅减少, 而且能够在确保施工精度的同时实现高效掘进<sup>[1]</sup>。深入分析可以发现, 非开挖施工技术在节省占地、降低交通疏解成本、节约后期修复费用等方面的表现也较为突出, 而正是由于其具备的高效率、低干扰等技术特征, 才使得非开挖施工技术近年来在我国市政管道施工中得到广泛运用。

## 2 市政管道施工中非开挖施工技术运用优化策略

### 2.1 做好前期准备工作

在市政管道非开挖施工中, 前期准备阶段影响深远, 直接决定了具体施工质量、效率及安全。以水平定向钻进技术为例, 其作为典型的非开挖施工技术, 在市政管道施工中的钻进轨迹稳定、管线埋设精度控

制, 均离不开高水平的准备工作支持, 具体涉及地质与水文调查、设备选型调试、施工场地布置等方面。在地质与水文条件调查实践中, 需要获取施工区域土层分布、含水层深度、地下障碍物位置、地层渗透系数等基础参数, 这就要科学运用钻探取样、地质雷达等措施, 并重点关注高含水砂层、坍塌地层, 采取针对性的防泥浆渗漏、防坍塌措施。这一过程还应科学开展数字化建模, 充分利用地质资料, 依托 BIM、GIS 等技术建立地下空间数据库, 重点分析地下水位变化规律、周边管线的相互影响, 以此为钻进路径优化、泥浆压力不均问题预防等实践提供依据。

在设备准备与调试方面, 需要充分考虑设计管径、长度及地层特性, 以此针对性选择导向系统, 确定钻机功率。例如: 对于中小口径市政管道, 一般使用 20~45 吨级钻机, 大口径穿越项目则需配备 70 吨以上牵引力设备。对于导向仪器, 为确保钻头轨迹与设计曲线一致, 施工人员需要校准至  $\pm 1^\circ$  以内精度, 并在调试过程中做好对泥浆泵、回扩器、导向钻头的综合检测, 以此确保机械状态稳定可靠; 施工场地布置应聚焦泥浆循环池、回收池、储浆罐等方面, 并做好入、出土点的防渗铺设与支护, 以此确保循环系统闭合运行, 避免出现泥浆外溢污染周边环境的情况<sup>[2]</sup>。

### 2.2 科学编制施工方案

在全面开展前期准备工作的同时, 还应做好施工方案的编制, 这同样是非开挖施工技术科学运用的重要前提。以微型隧道法为例, 这一非开挖施工技术在市政管道施工中的运用主要通过小型盾构机械完成掘

进、出渣、顶进和纠偏等全过程操作，属于典型的全机械化非开挖施工方式。其施工方案编制需要充分考虑工艺路线、设备选型、顶力设计、管节结构等细节，地质、水文、空间与环境等多种因素带来的影响也需要得到充分考虑，以此保证技术运用过程中的技术与管理双重可行。具体的施工方案设计应遵循“最短路径、最小干扰”的原则，以避开高风险地段与地表荷载集中区域，同时考虑埋深变化、坡度控制等细节进行掘进轴线的平面及纵断面设计。一般情况下，需要在地表以下3~10米范围内控制管道埋深，以此平衡覆土压力与施工成本，如区域存在地下障碍物或复杂地层，则可以考虑引入曲线掘进技术，并适当使用浅埋过渡段的方式，以此实现连续顶进；设备选型则应充分考虑地层特性、施工距离、市政管道管径，以此进行盾构机选配，一般黏土层、粉质土层、软弱夹层地段可选择土压平衡式盾构，而地下水丰富地段、高渗透性砂层则适合运用泥水平衡式盾构，通过科学运用掘进主机的实时姿态监测、自动纠偏功能，即可保证盾构姿态偏差不超过±10毫米。

施工方案编制还应做好顶力、出渣与泥浆循环系统、施工监测方面的工作，具体应基于管径长度、地层阻力系数、施工距离计算总顶力，力学传递与结构安全需要在这一过程中得到同等重视<sup>[3]</sup>。施工方案中的管节一般选择钢筋混凝土或球墨铸铁材质，为确保接口抗渗与抗压性能，应在管口设置钢制密封环，同时在顶进过程中实时监控顶力分布，即可有效防范管节位移不均问题，实现施工过程的均衡推进；出渣与泥浆循环系统设计需要优先保证系统密闭性，渣土运输效率也需要充分考虑，建议选用泥浆循环运输方式，由泥浆泵输送渣浆至地面分离装置，并通过离心筛分进行泥砂分离处理，必要时可设计双泵循环与储浆中继站结构，以此降低长距离掘进的压力、能源消耗；在监测与控制方面，需要在施工过程中对姿态、顶力、土压、扭矩、泥浆压力等关键参数进行实时监测，应保证监测系统具备数据采集、自动报警、可视化分析等功能，且能够第一时间发现和应对异常情况，以此保证施工顺利推进。

### 2.3 聚焦技术运用细节

除上述措施外，市政管道施工中非开挖施工技术运用还应聚焦技术的运用细节。以施工过程中的轴线测量、定位为例，该环节直接影响管线埋设准确性，

具体施工应利用全站仪对钻机入土点、出土点及中间导向点进行坐标测定，这一过程需要同步推行“三测复核”制度，保证交叉复核在测量人员、技术负责人及监理单位三方同时开展。具体的导向孔施工则应科学运用导向仪，在发现地质突变或导向偏差情况出现后，施工人员应立即暂停钻进并进行修正，这需要采用反推、微调角度等方式，必要时还应重新设定导向点，重新标定控制基准，辅以坐标记录表与测量日志开展10米钻进段的数据登记，即可保证具体施工过程的全过程可追溯。

具体施工还应考虑地层结构差异影响，这种影响会直接作用在钻机扭矩、推力、转速及泥浆压力等参数方面。为此，建议针对性建立“参数—地层”响应模型，保证钻进工况可基于实时反馈数据动态调整。在模型支持下，可在钻进初期采用轻压慢转模式，在稳定的平直段逐步提高钻机转速与推力，而在钻进至砂质、卵石或碎石层后则应降低转速并适当增大扭矩，以此避免初期摩阻过大等问题出现，这一过程需要聚焦推力、扭矩、泥浆比重、流量及压力曲线等关键指标分析，通过算法对异常波动进行识别与报警。

此外，还应聚焦施工过程中的导向钻头更换与回扩作业控制，应在完成导向孔施工并经校核确认符合设计轴线后，第一时间将导向钻头更换为回扩钻头，具体需要基于管道外径及安全系数确定回扩钻头直径，多控制为设计管径的1.2~1.5倍，这关系到管线能否顺利回拖与稳定孔壁的形成。更换钻头前需要冲洗导向孔，并分级开展回扩作业，为减少对孔壁的扰动，应遵循“逐级扩大”原则，通过两至三次扩孔实现目标直径。回扩时需保持恒定推力与旋转速度，并控制泥浆循环系统的泥浆黏度在35~45秒（马歇尔漏斗计）范围内，比重保持在1.1~1.2之间，以此保证成孔质量。

## 3 市政非开挖施工的质量控制与安全保障机制

### 3.1 施工过程质量控制机制

在前述技术细节完善的基础上，非开挖施工质量控制成为保障工程稳定性的重要环节。施工全过程应建立精密控制与实时反馈结合的体系，确保关键参数可测、可控、可追溯，导向阶段依托高精度定位系统实时监测钻头姿态，偏差控制在±10毫米以内，轨迹曲率变化率不超过1°/米，防止轴线偏移，扩孔与回拖阶段需监测泥浆比重（1.1~1.2）与黏度（35~45秒），

利用流量计、压力传感器分析循环状态，并据此动态调整扭矩与推力，保持回拖速度稳定，防止孔壁扰动与管节受力不均。

接口施工实行分段检测与逐节验收制度，抗渗压  
力不低于 0.4 MPa，轴线偏移不超过 5 毫米；泥浆分离  
环节应将渣浆含砂率控制在 5% 以内，防止设备磨损与  
循环阻塞<sup>[4]</sup>。各作业段均应设监测记录表，技术负责人  
每日审核关键数据并进行趋势分析，发现顶力异常或姿  
态波动应立即组织技术研判并修正施工参数。依托“数  
据采集—分析判断—快速修正”的闭环控制，可实现质量全  
过程动态管理，使非开挖施工在复杂地层中保持高精度与  
结构安全，为后续安全保障机制构建提供可靠基础。

### 3.2 安全风险防控体系构建

非开挖施工在复杂地质条件下作业，安全风险隐蔽性  
强，若控制不到位易引发塌陷、泥浆外溢、地表沉降等问  
题，影响结构稳定与周边环境安全，安全保障需建立“预  
测—预警—响应—修复”一体化体系，以风险识别为前提、监  
测预警为核心、应急响应为支撑，形成动态化防控格局。风  
险识别阶段应依托地质勘测与历史施工数据建立分区风险模  
型，将高含水砂层、富水卵石层及地下管线密集区列为重点监  
测区，结合地层分布特征设置沉降监测点与泥浆压力传感器，  
实现风险分级管理。

在监测预警方面，宜布设分布式光纤或 MEMS 传  
感器，对顶力、扭矩、孔压、地表位移等关键参数进行  
连续采集，当扭矩波动率超过 15%、地表沉降超出 10  
毫米阈值时应自动触发报警。监测系统应具备数据融  
合、趋势预测与可视化展示功能，便于施工指挥中心快  
速研判，为防范泥浆渗漏、地表隆起等突发风险，可在泥  
浆循环系统设置压力溢流阀与自动停泵装置，并在回扩作业中  
保持泥浆压力稳定于设计值 ±0.05 MPa 范围内。

应急响应环节需提前制定专项预案，明确监测报  
警、人员疏散、注浆回填、压力调节等操作流程，建立 24 小时值  
守制度，确保异常情况能在 5 分钟内完成现场处置。安全检查应纳  
入日常制度化管理，对设备、导向系统、泥浆管路开展定期巡检与隐患排查。

### 3.3 数字化监测与智能管控措施

为进一步增强非开挖施工的安全与质量控制能力，  
需构建以数据驱动为核心的数字化监测体系，实现从

人工巡检向智能管控的转变，系统应以传感器网络为  
基础，在钻机、导向系统及泥浆循环单元布设压力、  
扭矩、流量、姿态等传感器，并将采集数据经无线通  
信模块实时传输至项目指挥中心。监控平台依托 BIM  
与 GIS 融合建模技术，能够将地下空间、地层结构与  
管线分布可视化呈现，实现施工过程的三维动态管理，  
各节点数据经云端服务器汇聚后，通过算法模型进行  
趋势分析与异常识别，一旦顶力或泥浆压力偏离设定  
阈值，即自动生成预警并联动控制指令，指挥系统执  
行参数修正或设备减载操作<sup>[5]</sup>。

在施工监测中可引入数字孪生技术，构建虚实对  
应的动态模型，将地表沉降、孔压变化及钻进路径偏  
差进行同步映射，使管理人员能够在虚拟环境中实时  
评估风险状态并优化工艺参数。系统内置数据追溯与  
日志审计功能，可按时间序列记录施工全过程，便于  
事后分析与质量责任追踪。智能管控还应结合机器学  
习模型，对历史施工数据进行特征提取与模式识别，  
形成自学习算法，用于预测钻进负荷、泥浆耗量及设备  
磨损趋势，从而实现预测性维护与工况自适应调节。

## 4 结束语

非开挖施工技术在市政管道工程中展现出高效、  
安全与环保的综合优势，其以导向控制、泥浆循环及  
数字化监测为核心，实现了在复杂地层中的精准掘进  
与低干扰施工。本文从前期准备、方案编制到质量控  
制与风险防控进行了系统阐述，构建了以数据监测、  
风险预警与智能管控为支撑的全过程保障体系。实践  
表明，该体系可有效增强施工精度与结构安全，减少  
地表扰动与后期维护成本。未来应继续强化技术标准  
化与信息化应用，使非开挖施工在市政建设中实现智  
能、高效与绿色发展。

## 参考文献：

- [1] 祝赫. 非开挖施工技术在市政管道施工中的实践分析 [J]. 建筑技术开发, 2020, 47(22):115-116.
- [2] 张长沙, 宋少杰. 浅析非开挖施工技术在市政管道施工中的应用 [J]. 科技风, 2022(20):70-72.
- [3] 高文胜, 王保存, 周航羽, 等. 非开挖施工技术在市政管道施工中的应用 [J]. 绿色环保建材, 2021(11):88-89.
- [4] 吴健. 非开挖施工技术在市政管道施工中的应用 [J]. 工程技术研究, 2021, 06(02):80-81.
- [5] 赵耀龙. 市政给水管道施工中非开挖施工技术 [J]. 建材与装饰, 2019(33):42-43.