

# 顶管施工技术在市政给排水施工中的应用

谢玲

绵阳高新市政建设有限责任公司

DOI:10.12238/btr.v7i3.4431

**[摘要]** 随着城市化进程的加速,市政给排水工程建设面临着诸多挑战,如地下空间拥挤、地面交通繁忙、环境保护要求提高等。在这种背景下,顶管施工技术因其独特的优势而受到越来越多地关注和应用。文章将从技术概述入手,详细介绍顶管施工的特点和优势,进而分析其在市政给排水工程中的具体应用过程,包括前期准备、实施过程以及注意事项等。通过系统的分析和讨论,本文旨在为工程实践提供理论指导,促进顶管施工技术在市政给排水工程中的科学应用和持续发展。

**[关键词]** 顶管施工技术; 市政给排水; 施工

中图分类号: TV52 文献标识码: A

## Application of Tunnel Boring Construction Technology in Municipal Water Supply and Drainage Projects

Ling Xie

Mianyang Gaoxin Municipal Construction Co., Ltd

**[Abstract]** With the acceleration of urbanization, municipal water supply and drainage projects are facing numerous challenges, such as congested underground space, busy surface traffic, and increasing environmental protection requirements. Under this background, tunnel boring construction technology has been increasingly recognized and applied due to its unique advantages. This paper will start with a technical overview and provide a detailed introduction to the characteristics and advantages of tunnel boring construction. It will then analyze the specific application process of this technology in municipal water supply and drainage projects, including preliminary preparations, implementation process, and precautions. Through systematic analysis and discussion, this paper aims to provide theoretical guidance for engineering practice and promote the scientific application and sustainable development of tunnel boring construction technology in municipal water supply and drainage projects.

**[Key words]** tunnel boring construction technology; municipal water supply and drainage; construction

顶管施工技术是一种非开挖施工方法,能够在地下直接铺设管道,最大限度地减少对地面环境和交通的影响。这种创新的施工技术不仅能够有效解决传统开挖方法在城市复杂环境下的诸多限制,还能显著提高施工效率和质量。

### 1 顶管施工技术概述

#### 1.1 顶管施工技术定义

顶管施工技术是一种先进的非开挖管道铺设方法,其核心原理是利用液压系统产生的巨大推力,将预制管段从工作井逐节推进至接收井,从而在地下形成连续的管道。该技术集成了顶进力学、流体力学、土力学和测量控制技术等多学科知识,实现了地下空间的高效、精准开发。

在技术实施过程中,顶管机作为关键设备,其前端配备的切削系统能够根据地质条件进行适应性调整,确保顶进过程的连

续性和稳定性。同时,先进的激光导向系统和自动纠偏装置保证了管道铺设的精度,使得长距离、大直径管道的施工成为可能。

#### 1.2 应用特点

##### 1.2.1 地面影响小

顶管施工技术通过最小化地表开挖面积,显著降低了对地面环境的扰动。具体而言,该技术仅需在起始点和终点设置工作井和接收井,井口面积通常控制在20-30平方米范围内。这种“点式”施工模式使得地表沉降控制在毫米级,有效避免了传统明挖方式对地面建筑、道路和地下管线的潜在损害。

##### 1.2.2 环保效益突出

从生态环境保护角度来看,顶管施工技术具有显著优势。首先,它大幅减少了施工过程中的土方开挖量,典型情况下可节省70%—80%的弃土处理量。其次,封闭式的施工环境有效控制了粉

尘和噪声污染,施工现场的噪声水平通常可控制在75dB以下,远低于传统开挖方法。此外,该技术还最大限度地保护了地下水文环境,避免了因大规模开挖导致的地下水位下降和水质污染问题。

### 1.2.3 适用范围较广

顶管施工技术展现出卓越的适应性,可应用于多种复杂地质条件和施工环境。在地质方面,从软土到硬岩,甚至是复合地层,都可通过调整刀盘配置和顶进参数来适应。管径范围通常在300mm—4000mm之间,个别项目甚至可达6000mm。施工深度可从5m延伸至30m以上,单次顶进长度可达1000m以上。这种广泛的适用性使得顶管技术不仅能在城市密集区进行管道铺设,还可以跨越河流、铁路和公路,实现复杂地形下的管道连接。特别是在水下隧道、市政管网改造等特殊工程中,顶管技术展现出了不可替代的优势。

## 2 顶管施工技术在市政给排水工程中的应用准备

### 2.1 地质勘察

地质勘察是顶管施工的关键前提,其精度直接影响施工方案的设计和施工效果。与传统勘察不同,顶管施工要求进行高密度、高精度的地质剖面分析。应采用高分辨率地震反射法和电阻率层析成像技术,结合传统钻探方法,构建精确的三维地质模型。勘察间距通常控制在20—30米,复杂地层过渡带应加密至10米以内。重点关注土层分布及其工程特性、地下水位变化规律、岩溶发育程度以及障碍物分布等关键参数。通过综合分析,绘制详细的工程地质纵剖面图,为顶管机选型和施工参数优化提供科学依据。

### 2.2 管道材料选择

管道材料的选择直接关系到顶管施工的成败和工程的长期稳定性。考虑到顶管施工的特殊性,管材应具备高轴向抗压强度、良好的柔韧性、优异的防水性和耐腐蚀性。常用的管材包括钢筋混凝土管、玻璃钢夹砂管和聚合物混凝土管,各有特点。选择时应根据工程具体要求,结合水力计算、结构强度分析和经济性评估综合确定。同时,应特别注意管节连接设计,采用钢制套筒或EPDM橡胶圈等先进连接方式,确保接口的密封性和抗剪切能力,以满足顶管施工的特殊要求。

### 2.3 工作井和接收井设置

工作井和接收井是顶管施工的起点和终点,其设计直接影响施工效率和安全性。工作井设计要点包括合理确定尺寸、选择适当的结构形式、设计承载力足够的底板、配置排水系统和吊装设备等。接收井设计则需考虑顶管机回收需求,设置可拆卸的止水墙。两者的位置选择应综合考虑地形、地下管线分布和交通组织等因素,尽量减少对周边环境的影响。同时,应进行详细的沉降分析和支护结构设计,确保周边建筑物和地下设施的安全。通过科学的工作井和接收井设置,可为顶管施工提供稳固的基础,显著提高施工效率和安全性。

## 3 顶管施工技术实施过程

### 3.1 施工前准备

施工前准备阶段的核心在于精确的测量控制系统建立和顶管设备的科学调试。测量控制系统采用全站仪配合高精度陀螺仪,建立三维坐标网。关键是在工作井和接收井之间设置多个控制点,形成闭合导线,采用后方交会法进行定向,误差控制在±2mm/km以内。同时,利用水准仪进行高程传递,确保竖向精度达到±1mm。

### 3.2 管道顶进

#### 3.2.1 顶力控制

顶力大小直接影响施工效率和管道安全,需要根据地质条件和管道参数进行精确计算和动态调整。通常采用分段顶进策略,每段顶进力不超过管道承载能力的70%。使用计算机监控系统实时监测顶力变化,当顶力突然增大时,应立即停止顶进,分析原因并采取相应措施。在软土地层,可通过调整泥浆参数降低摩擦力;在硬质地层,可考虑增设中继间来分散顶力。同时,需要监控管道应力状态,防止因顶力过大导致管道破裂。建立顶力与顶进速度、土压力等参数的关联模型,实现顶力的智能化控制。

#### 3.2.2 纠偏控制

纠偏控制是确保管道按设计路线铺设的关键技术。采用激光导向系统和陀螺仪组合的双重控制方法,实时监测管道位置和姿态。当偏差超过允许值(通常为管径的1%)时,启动纠偏程序。纠偏方法包括偏心顶进、切口法和转向头法等。偏心顶进通过调整液压油缸的不均匀加力实现管道转向;切口法则在管壁开设切口,利用土压差产生纠偏力;转向头法则通过调整切削头的方向来改变顶进轨迹。在长距离顶管中,每隔100—150米设置一个测量井,进行高程和平面位置校核,确保累积误差在可控范围内。同时,建立三维数字模型,实现顶管轨迹的可视化管理和预测。

### 3.3 进出洞处理

进出洞的技术处理直接影响工程质量和安全,所以也要非常精确。进洞阶段采用高强度钢制洞门,厚度通常为20—30mm,表面经防腐处理。洞门外缘设置双层EPDM橡胶密封圈,硬度为60—70邵氏A,压缩率控制在30%—40%,确保严密性。洞门与井壁之间采用环氧树脂灌浆,强度不低于30MPa,形成整体结构。洞口周围土体加固采用高压旋喷桩技术,桩径600—800mm,间距350—450mm,深度不小于管径的1.5倍。注浆材料为水泥—水玻璃双液浆,配比为1:0.8—1.2,28天抗压强度达15—20MPa。形成“强边弱心”结构,外围桩体强度高,中心区强度略低,便于顶进。

出洞时,采用变频调速技术控制顶进速度,初始速度控制在2—5mm/min,随后逐步提升至正常速度10—15mm/min。接收井内设置厚度300—500mm的泡沫混凝土止水墙,密度为500—600kg/m<sup>3</sup>,抗压强度1—2MPa,既保证止水效果又易于拆除。进出洞段管道采用钢筋混凝土管,壁厚增加50—80mm,纵向钢筋配筋率提高至1.2%—1.5%,环向钢筋间距减小至100—120mm。外部包裹8—10mm厚的钢护筒,与混凝土采用栓钉连接,形成组合结构,显著提高抗压和抗弯能力。施工过程中,采用光纤传感技术实时监测管道应力状态,应变精度达1μ $\epsilon$ 。同时,利用三维激光扫描

仪对洞口变形进行动态监测,精度可达±1mm,为施工调整提供依据。这些精细的技术措施确保了进出洞过程的安全性和精确性。

### 3.4 注浆作业

注浆作业是顶管施工的最后一道工序,对于确保管道的长期稳定性至关重要。采用同步注浆和后续灌浆相结合的方式。同步注浆在顶进过程中进行,通过管壁预留的注浆孔向管周空隙注入速凝型浆液,通常采用水泥-膨润土-水玻璃配方,确保浆液能快速填充空隙并凝固。后续灌浆则在管道贯通后进行,采用二次注浆法,先注入低黏度的水泥浆,后注入高粘度的化学浆,实现管道周围土体的全面加固。注浆压力通常控制在0.2-0.3MPa,并实时监测地表隆起情况,防止过度注浆导致地面隆起或管道浮起。同时,应建立注浆量与土体特性、顶进参数的关系模型,实现注浆过程的精确控制和优化。

## 4 顶管施工技术应用注意事项

### 4.1 质量控制

顶管施工质量控制的核心在于精确的轨迹控制系统。这个系统是确保管道按设计路线精准铺设的关键,直接影响工程的整体质量和功能实现。轨迹控制系统由高精度激光导向仪、陀螺仪和电子经纬仪组成,形成一个综合的三维定位网络。激光导向仪安装在工作井内,通过发射激光束为顶管机提供直线参考。陀螺仪安装在顶管机上,实时测量顶管机的姿态变化,精度可达0.1度。电子经纬仪则用于定期校准管道位置,防止累积误差。

系统通过高速数据采集单元,每秒钟采集数百个数据点,实时计算管道的空间位置。当检测到偏差时,系统会立即启动纠偏程序。纠偏方法包括调整顶力分布、使用铰接管或启动顶管机转向功能。系统采用PID(比例-积分-微分)控制算法,根据偏差的大小和变化趋势,自动计算最优纠偏参数,确保纠偏过程平稳有效。

为了应对复杂地质条件带来的挑战,系统还整合了地质雷达数据。地质雷达可探测前方10-15米范围内的地质变化,系统根据这些信息预判可能出现的轨迹偏移,提前进行参数调整。同时,系统还建立了基于机器学习的预测模型,通过分析历史数据,预测不同地质条件下的最佳顶进参数。轨迹控制系统的实时数据上传到施工管理平台,形成可视化的三维轨迹模型。管理人员可通过移动终端随时查看施工进度和质量状况。系统还设置了多级预警机制,当偏差达到警戒值时,自动发送警报信息到相关人员。通过这种高精度、智能化的轨迹控制系统,顶管施工能够在复杂的地下环境中实现厘米级的精确控制,大大提高了工程质量和施工效率,为市政给排水工程的长期稳定运行提供了有力保障。

### 4.2 安全管理

顶管施工安全管理的核心在于建立智能化的实时监测与预警系统。该系统整合多种传感技术和人工智能算法,全面监控施工过程中的安全指标。系统基础是遍布施工区域的传感网络,包括顶管机上的应力传感器、土压力传感器,管道周围的地层位

移传感器,以及工作井和地表的沉降监测点。这些传感器高频采集数据,通过低功耗广域网实时传输到中央处理单元。

中央处理单元采用边缘计算技术,使用机器学习算法,特别是异常检测算法,实时分析数据流,识别潜在安全隐患。系统还整合气象数据和地下水位监测数据,预测可能的涌水风险。当检测到潜在风险时,系统启动分级预警机制,对轻微异常发出警报,对严重风险自动启动应急响应。该系统具有自学习能力,不断分析历史数据和事件,优化预测模型,提高风险识别的准确性。通过这种全面、智能的安全管理系统,顶管施工的安全性得到显著提升,为工程的顺利实施提供强有力的保障。

### 4.3 环境保护

顶管施工的环境保护核心在于建立闭环的泥水处理系统。该系统旨在将施工过程中产生的泥浆和废水完全封闭在循环系统内,实现零排放,最大限度减少对周围环境的影响。系统核心是先进的泥水分离和处理装置,包括多级振动筛、水力旋流器、絮凝沉淀池和精密过滤装置。创新之处在于其自适应控制能力,配备在线监测设备,实时检测泥水的浊度、pH值、电导率等指标,自动调整处理参数。系统采用模糊控制算法,能根据不同地质条件优化处理过程。

为最大化水资源利用效率,系统采用多级回用策略。高品质处理水用于泥浆配制,次级水用于设备冷却和场地降尘。沉淀池底部的泥饼经脱水处理后可用作绿化用土或回填材料。系统运行数据实时上传至环境监控平台,形成可视化的水资源流动图。平台集成预测模型,能根据工程进度和地质条件,预估未来水资源需求。通过这种高度集成、智能化的泥水处理系统,顶管施工实现了水资源的精确管理和高效利用,为绿色地下工程树立新标准。

## 5 结语

顶管施工技术作为一种先进的非开挖施工方法,在市政给排水工程中发挥着越来越重要的作用。它不仅有效解决了传统开挖方式在城市复杂环境下的诸多限制,还在提高施工效率、保护环境和降低社会影响等方面展现出显著优势。随着技术的不断创新和完善,如智能化控制系统的应用和环保措施的强化,顶管施工技术必将在未来的市政给排水建设中占据更加重要的地位,为城市可持续发展做出更大贡献。

### [参考文献]

- [1]林圣然.钢筋混凝土长距离顶管施工技术在市政给排水施工中的应用[J].科技创新与应用,2024,14(16):171-174.
- [2]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.
- [3]桑军波.市政给排水施工中长距离顶管施工技术研究与应用[J].建筑与预算,2023,(10):61-63.
- [4]马海东.市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术[J].中国建筑装饰装修,2022,(04):184-185.
- [5]苗青,王兴宾.市政给排水施工中顶管施工技术应用研究[J].居舍,2020,(04):56.