

# 市政给排水施工中的长距离顶管施工技术研析

朱晓玲

浙江兴红建设工程检测有限公司 浙江 杭州 311200

**摘要:** 市政给排水长距离顶管施工技术是现代化城市建设的关键技术,通过非开挖方式实现管道精准铺设,有效提升施工效率与质量。该技术依托主顶油缸与中继间协同顶进,结合泥水平衡或土压平衡理论维持地层稳定,适用于高水位砂层、软土等复杂地质。施工关键在于设备选型、泥浆减阻、实时监测与纠偏,通过优化掘进机功能、同步注浆润滑及高精度导向系统,确保长距离顶进安全高效,为城市给排水系统稳定运行提供可靠保障。

**关键词:** 市政给排水施工;长距离顶管;施工技术

**引言:** 随着城市化进程加快,市政给排水工程规模不断扩大,传统明挖施工对交通、环境影响大。长距离顶管施工技术凭借非开挖、占地少、施工灵活等优势,成为城市地下管网建设的优选方案。然而,该技术施工难度大,涉及地层稳定性控制、顶进设备选型、精准测量纠偏等复杂问题。本文深入研析长距离顶管施工原理、关键技术及风险应对策略,为提升施工质量与效率提供理论支持。

## 1 市政给排水施工中的长距离顶管施工技术原理与设备选型

### 1.1 技术原理

(1) 工作机制: 在市政给排水长距离顶管施工中,以主顶油缸作为核心动力源,通过油缸活塞杆的线性推进动作,带动顶管机及后续管道沿预设轴线向前顶进。施工过程中,结合泥水平衡或土压平衡理论实现地层稳定性控制:当采用泥水平衡模式时,向工作舱注入特定压力的泥浆,形成压力平衡体系抵消地层水土压力;采用土压平衡模式时,通过调节工作舱内渣土压力,与外部地层压力保持动态平衡,避免施工区域出现地面沉降或隆起问题,保障给排水管道施工精度与周边环境安全

(2) 平衡理论: 泥膜形成机制是泥水平衡技术的关键,加压泥水渗透至开挖面地层孔隙后,水中的细颗粒在孔隙内沉积,形成一层致密的泥膜。该泥膜能有效阻止泥水继续渗透,维持密封舱内泥水压力稳定,确保开挖面平衡;土压动态调节技术则通过实时监测密封舱内土压力,结合顶进速度、螺旋输送机转速,动态调整渣土排量与添加改良剂(如膨润土)的量,使舱内土压力始终稳定在设计范围内,适应不同地层的压力变化,保障施工过程中地层不坍塌、不隆起。

### 1.2 设备选型与适应性改造

(1) 顶管机类型: 需根据施工地层特性选择适配的

顶管机类型。泥水平衡顶管机适用于高水位地层(如地下水丰富的砂层、卵石层),其密封舱内的加压泥水可有效阻隔地下水涌入,同时泥水携带渣土排出的方式,能减少高水位下渣土堵塞问题;土压平衡顶管机则更适用于软土地层(如淤泥质黏土、流塑状土),通过舱内渣土的土压力平衡地层压力,避免软土因压力失衡出现大幅沉降,且对软土的适应性更强,无需大量处理泥水。(2) 关键部件: 复合刀盘需采用抗磨损设计,选用高强度合金材料制作刀盘面板与刀齿,应对长距离施工中地层对刀盘的持续磨损,延长使用寿命,尤其适用于含砂砾的复杂地层;贝壳刀专为砂砾层设计,其独特的贝壳状刀头能高效切削、抓取砂砾,防止砂砾卡在刀盘间隙,提升切削效率;高功率激光经纬仪作为导向核心部件,导向精度需达到 $\pm 1\text{mm}$ ,可实时监测顶管机轴线偏差,确保长距离推进中管道铺设符合设计要求,避免因导向误差导致后期返工<sup>[1]</sup>。

## 2 市政给排水施工中的长距离顶管施工关键技术

### 2.1 注浆减阻与泥浆配方优化

(1) 触变泥浆: 作为长距离顶管施工中降低管道与地层摩擦阻力的核心材料,触变泥浆的配方优化需通过大量配比实验确定。以膨润土为基础原料,搭配适量聚合物(如聚丙烯酰胺)调节性能,实验过程中需重点控制泥浆粘度,使其稳定在30-50s(马氏漏斗测量值)范围内。此粘度区间既能保证泥浆具备良好的流动性,便于通过注浆管均匀输送至管道外壁,又能在停止流动时形成凝胶状结构,附着于管道表面形成稳定的润滑层,有效减少顶进过程中的摩擦阻力,避免因阻力过大导致管道变形或顶进困难。同时,聚合物的加入可增强泥浆的抗稀释能力,防止在高水位地层中被地下水稀释而失去减阻效果。(2) 润滑泥浆: 采用同步注浆工艺注入润滑泥浆,是保障长距离顶管连续推进的关键环节。注浆过

程中需严格控制注浆压力,通常维持在0.2~0.3MPa,压力过高易导致地层隆起或泥浆窜入周边土体,压力过低则无法形成完整的泥浆套。通过同步注浆设备,将润滑泥浆均匀注入管道外壁与地层之间的环形间隙,最终形成厚度为5~10mm的密闭泥浆套。该泥浆套不仅能隔离管道与土体,大幅降低摩擦阻力,还能填充施工过程中地层产生的微小空隙,减少地层沉降,保护周边地下管线及建筑物安全,尤其适用于软土地层或周边环境敏感区域的施工<sup>[2]</sup>。(3) 泥浆置换:顶管施工完成后,需及时进行泥浆置换作业,将管道周边的触变泥浆与润滑泥浆替换为纯水泥浆。纯水泥浆具备良好的凝结硬化性能,注入后可与周边土体紧密结合,提升土体的整体稳定性,避免因原有泥浆流失导致地层空洞,进而引发后期地面沉降。置换过程中需控制水泥浆的水灰比,通常采用1:1.2~1:1.5的配比,确保水泥浆既有足够的流动性便于填充间隙,又能在规定时间内达到设计强度,形成永久性的支护结构,为给排水管道长期安全运行提供保障。

## 2.2 测量控制与纠偏技术

(1) 接力测量系统:针对长距离顶管(尤其是1000m以上距离)施工中传统测量方法精度不足的问题,采用接力测量系统实现动态监测。该系统由全站仪、电子激光靶与自动整平台组成,全站仪安装在工作井内的固定测量墩上,通过发射激光束指向管道内的电子激光靶;电子激光靶固定在顶管机或后续管节的测量平台上,可实时接收激光信号并将数据传输至控制系统;自动整平台则能根据测量数据自动调整平台水平度,消除管道沉降或倾斜对测量精度的影响。通过三者协同工作,该系统可实现1000m距离内的动态监测,测量精度可达 $\pm 2\text{mm}$ ,实时反馈顶管机的轴线偏差,为后续纠偏作业提供准确数据支撑。(2) 纠偏策略:当接力测量系统检测到顶管机轴线偏差超出允许范围时,需及时采取相应的纠偏策略。滚动纠偏主要通过调整刀盘转向实现,根据偏差方向改变刀盘旋转方向,利用刀盘与地层之间的摩擦力带动顶管机旋转,将轴线偏差纠正至允许范围,操作过程中需严格控制刀盘转向角度,基准值为 $\pm 1.5^\circ$ ,避免因转向角度过大导致偏差加剧。方向纠偏则通过调节侧向千斤顶的顶力差实现,根据轴线偏差方向,增大或减小一侧侧向千斤顶的顶力,使顶管机产生转向力矩,逐步调整推进方向,顶力差需控制在 $\leq 5\%$ 的范围内,防止因顶力差过大导致管道局部受力不均而产生裂缝,确保纠偏过程安全平稳<sup>[3]</sup>。

## 2.3 中继间设置与顶进推力控制

(1) 中继间布置:在长距离顶管施工中,随着顶进

距离增加,管道与地层的摩擦力逐渐增大,当摩擦力达到12000kN时,需设置中继间分段承受顶进推力。中继间通常每300m设置一组,内部配备伸缩导轨与顶进油缸,伸缩导轨可在中继间顶进时为管道提供支撑,避免管道在推力作用下发生偏移;顶进油缸则能产生独立的顶进力,将总推力分段传递至前方管道,有效降低主顶油缸的负荷。通过合理布置中继间,可将总推力控制在管道承受范围内,防止因推力过大导致管道接口损坏或管体变形,保障长距离顶进作业顺利进行<sup>[4]</sup>。(2) 推力分配:顶进过程中需实现主顶油缸与中继间的协同工作,合理分配推力。主顶油缸作为主要动力源,提供初始顶进推力,当中继间启动后,根据顶进阻力变化实时调整主顶油缸与中继间的推力比例,确保两者推力协同递增,避免出现推力突变。同时,通过压力传感器实时监测管道各部位的受力情况,根据监测数据调整推力分配方案,防止管道局部应力集中。例如,在软土地层中,需适当增大前端中继间的推力占比,减少管道后端的受力;在硬岩地层中,则需均衡分配各中继间与主顶油缸的推力,避免因局部推力过大导致管道与岩石地层发生剧烈摩擦而损坏,确保整个顶进过程中管道受力均匀,满足市政给排水管道的施工质量要求。

## 3 市政给排水长距离顶管施工中复杂地质条件下的施工风险与应对

### 3.1 风险识别与分类

(1) 地质风险:在市政给排水长距离顶管施工的复杂地质环境中,地质风险是影响施工安全与效率的核心因素。砂层“抱死”风险常见于中粗砂地层,由于砂粒流动性强且易在刀盘与舱壁间堆积,随着顶进作业推进,砂粒逐渐密实并包裹刀盘,导致刀盘无法正常旋转,严重时中断施工;刀盘卡滞多发生在含卵石的复合地层,卵石尺寸超出刀盘开口或卡在刀盘与切削舱之间,阻碍刀盘转动,同时可能损坏刀齿;软土沉降风险主要存在于淤泥质黏土、流塑状软土地层,此类地层承载力低、压缩性高,顶管施工中地层扰动易引发土体压缩变形,进而导致地面沉降,威胁周边建筑物、地下管线的安全,尤其在城市繁华区域,沉降可能引发道路开裂、管线泄漏等连锁问题。(2) 设备风险:复杂地质条件下,施工设备易受环境影响出现故障,影响施工进度。注浆管堵塞风险常因泥浆配比不当或地层杂质进入管道所致,在砂层或含腐殖质的地层中,泥浆中的固相颗粒易与地层杂质结合形成硬块,附着在注浆管内壁,逐渐缩小管道内径直至堵塞,导致注浆减阻作业中断,增加顶进阻力;激光导向失效多由地质条件干扰或设备自身故障引发,

如软土地层沉降导致激光经纬仪底座偏移、高水位地层中水汽影响激光信号传输,或设备电路故障,均会使导向系统无法准确反馈顶管机轴线偏差,可能导致管道铺设偏离设计路线,后期需花费大量成本纠偏。

### 3.2 风险应急策略

(1) 砂层“抱死”应对:当发生砂层“抱死”导致刀盘无法旋转时,需立即启动旋喷清渣与定点横喷冲刷结合的应急方案。首先通过顶管机自带的旋喷系统,向刀盘与砂层接触区域喷射高压清水(压力控制在8-10MPa),利用高压水流松动密实的砂粒,同时启动螺旋输送机排出部分渣土;随后切换至定点横喷模式,调整喷嘴方向,对刀盘周边堆积较厚的砂层进行定向冲刷,逐步清除包裹刀盘的砂粒,恢复刀盘旋转空间。整个过程需实时监测刀盘扭矩变化,当扭矩降至正常范围(通常为设计扭矩的80%以内)时,缓慢启动刀盘,避免因突然受力导致刀齿损坏。(2) 软土沉降应对:针对软土沉降风险,需采取注浆加固与实时沉降监测联动的应急策略。一旦监测到地面沉降超出预警值(通常为30mm),立即暂停顶进作业,通过预埋的注浆管向管道周边软土地层注入水泥-水玻璃双液浆,浆液扩散半径控制在1.5-2m,快速提高土体强度与稳定性,抑制沉降发展;同时加密沉降监测频次,采用高精度水准仪与自动化沉降监测仪结合的方式,每2小时采集一次沉降数据并反馈至控制中心,分析沉降趋势,若沉降速率持续减小且趋于稳定,可逐步恢复顶进作业,若沉降仍持续发展,则需调整注浆参数(如增加注浆压力、调整浆液配比),直至沉降得到有效控制<sup>[5]</sup>。(3) 设备故障应对:为应对设备故障风险,需提前做好设备冗余设计与备用方案。针对注浆

管堵塞,施工前采用双回路液压注浆系统,当主回路注浆管堵塞时,可立即切换至备用回路,保障注浆作业不中断,同时配备高压疏通设备,若备用回路也出现堵塞,可快速对堵塞管道进行高压水疏通;针对激光导向失效,除主用激光经纬仪外,额外配备一台备用激光经纬仪,定期对两台设备进行校准,确保精度一致,当主用设备出现故障时,15分钟内即可完成备用设备的安装与调试,恢复导向监测,避免因导向中断导致顶管机轴线偏差扩大,保障施工精度与进度。

### 结束语

长距离顶管施工技术在市政给排水工程中展现出了独特优势,既减少了施工对城市环境的干扰,又提升了工程建设的效率与质量。通过深入剖析其技术要点、把控关键施工环节并有效应对各类风险,我们积累了宝贵的实践经验。展望未来,随着技术创新与跨学科融合,该技术将不断完善,助力市政给排水工程迈向更智能、环保、高效的新阶段,为城市基础设施升级提供强劲动力。

### 参考文献

- [1]王佐雷.市政给排水长距离顶管施工技术研究[J].城镇建设,2020,(05):43-44.
- [2]倪威.市政给排水施工中的长距离顶管施工技术运用研析[J].黑龙江交通科技,2020,43(06):30-31.
- [3]桑军波.分析市政给排水施工中长距离顶管施工技术的研究与应用[J].建筑与预算,2023,(10):61-63.
- [4]许世明.探讨市政给排水施工中长距离顶管施工技术的研究与应用[J].清洗世界,2023,(10):193-195.
- [5]郑泊轩.研究市政给排水施工中长距离顶管施工技术的应用与分析[J].城市建设理论研究,2023,(28):214-216.