

顶管施工技术在市政排水管道工程中的难点与应对策略

李 闯

咸阳市市政工程管理处 陕西 咸阳 712000

摘 要：顶管施工技术在市政排水管道工程中具有显著优势，但面临地质条件复杂、管道偏差控制困难、顶力计算不准确及泥浆减阻效果不佳等难点。通过地质勘察与预处理、高精度测量与纠偏系统应用、精准顶力计算与动态调整以及优化泥浆减阻技术等应对策略，有效解决了这些难题。这些策略提高了施工效率，保障了施工质量，促进了市政排水管道工程的顺利发展。

关键词：顶管施工技术；市政排水管道工程；难点应对策略

引言

市政排水管道工程是城市基础设施的重要组成部分，其施工质量直接影响城市功能和居民生活。顶管施工技术以其非开挖、对周边环境干扰小的特点，在市政排水管道工程中得到广泛应用。然而，顶管施工在实际应用中面临诸多技术难点，需要采取有效的应对策略来确保施工顺利进行。本文将深入探讨顶管施工技术的难点及应对策略，为市政排水管道工程的建设提供参考。

1 顶管施工技术在市政排水管道工程中重要性

在市政基础设施建设中，排水管道工程占据着举足轻重的地位，其施工质量直接关系到城市的防洪排涝能力、居民的生活品质以及城市环境的可持续发展。顶管施工技术，作为一种先进的非开挖管道敷设方法，在市政排水管道工程中展现出了重要性。顶管施工技术通过利用主顶油缸及中继间的顶进力，将工具管或顶管掘进机从工作坑内穿越土层，直至顶进至接收坑内，实现管道的埋设。这一过程无需大规模开挖地面，减少了对城市交通、居民生活以及周边环境的干扰。在繁华的城市中心区域，传统开挖方法面临诸多限制，而顶管施工技术则以其独特的优势，成为解决这一难题的有效途径。顶管施工技术的应用，提高了施工效率，缩短了工期，还显著降低了工程成本。通过减少地面开挖量，避免了因施工而引发的交通拥堵、环境污染等问题，同时也减少了对周边建筑物和地下管线的破坏风险。顶管施工技术还能在复杂地质条件下进行施工，如穿越河流、铁路、公路等障碍物，展现了其强大的适应性和灵活性。顶管施工技术在市政排水管道工程中具有不可替代的重要性。它能满足城市排水管道建设的需要，还能够有效保护城市环境和居民生活，促进城市的可持续发展。深入研究和推广顶管施工技术，对于提升市政排水管道工程的建设水平，具有深远的意义。

2 顶管施工技术在市政排水管道工程中的难点

2.1 地质条件复杂

市政排水管道工程的线路规划往往无法避开多样化的地质区域，这使得顶管施工面临复杂地质条件带来的严峻挑战。软土地层在城市区域较为常见，其特征是土体颗粒细小、孔隙比大、含水量高，进而导致承载力低下。当顶管施工穿越此类地层时，管道极易因软土无法提供足够支撑力而下沉。从力学原理分析，软土的压缩性高，在管道自重及顶进附加荷载作用下，土体产生较大沉降变形，致使管道偏离预定轨迹。在沿海城市的部分区域，地下多为淤泥质软土，顶管施工时稍有不慎，管道下沉量可达数十厘米，严重影响施工质量。砂层同样给顶管施工带来诸多困扰。砂粒间黏聚力极小，流动性强。在顶进过程中，由于管道对周围砂体的扰动，砂体极易失去原有平衡，引发坍塌现象。坍塌不仅会掩埋顶管设备，阻碍施工进度，还可能造成地面塌陷，危及周边建筑物和人员安全。以某城市的市政排水工程为例，在穿越砂层时，因未采取有效防护措施，顶管前方出现大面积砂体坍塌，导致施工停滞数周，经济损失惨重。岩石层的存在更是增加了顶管施工的难度。岩石硬度高、抗压强度大，要实现管道顶进，必须配备强大顶进力的设备以及高效破岩工具。常规顶管设备在面对坚硬岩石时力不从心，若破岩效率低下，施工进度将大幅减缓。比如在山区城市的市政排水管道建设中，遇到花岗岩等坚硬岩石层，施工单位需花费大量时间和成本更换专业岩石顶管设备，并采用先进破岩技术，才能勉强推进施工。

2.2 管道偏差控制困难

在顶管施工技术的实践中，管道偏差控制是一项极具挑战性的难点，对于确保排水管道功能的正常发挥至关重要。（1）土层的不均匀性是导致管道偏差的主要因

素。由于不同区域土层的物理力学性质存在显著差异,如密实度、黏聚力和内摩擦角等,当顶管穿越这些性质变化较大的土层时,管道所受的侧向力会不平衡,进而引发偏差。特别是在粉质黏土与砂土交互地层中,由于粉质黏土侧压力较大,管道容易向砂土一侧偏移。(2)顶进设备的精度对管道偏差控制同样具有重要影响。顶进千斤顶的同步性、导轨的平整度以及测量仪器的精度等,都是影响管道偏差的关键因素。若顶进千斤顶不同步,管道将受到偏心顶力的作用,容易发生扭转或弯曲。(3)施工过程中的各种干扰因素也不容忽视。地下水位的变化、周边施工的振动等都可能对管道偏差产生影响。地下水位上升会使土体软化,降低对管道的约束作用;周边施工振动则可能引起土体松动,改变管道周围的受力状态,导致管道偏差。

2.3 顶力计算与控制不准确

顶力作为顶管施工的核心参数,对施工成败起着决定性作用。顶力过小,管道无法克服土体阻力向前推进,导致施工停滞;顶力过大,则可能致使管道结构受损,出现破裂、变形等问题,同时对周围土体产生过度扰动,引发地面沉降等不良后果。准确计算顶力面临诸多复杂因素。管道自身特性方面,材质不同,与土体间的摩擦系数存在差异,如钢管与混凝土管的摩擦特性截然不同;管径越大、长度越长,管道与土体的接触面积越大,所需克服的摩擦力也就越大。土层性质更是顶力计算的关键影响因素。不同类型土层,如黏土、砂土、粉质土等,其抗剪强度、密实度等特性各异,对顶管产生的阻力也大不相同。黏土的黏聚力较高,顶管穿越时需克服较大的黏滞阻力;而砂土的内摩擦角较大,顶管需承受较大的摩擦力。顶进速度同样会影响顶力大小,顶进速度过快,土体来不及变形调整,会导致顶力瞬间增大。在实际施工中,地质条件难以精准探测,土层分布存在不确定性,这使得依据理论公式计算出的顶力与实际所需顶力存在偏差。若施工人员仅凭经验设定顶力,未充分考虑各种因素影响,极易导致顶力控制失误,给施工带来极大风险,如管道顶进不到位或在顶进过程中发生破坏^[1]。

2.4 泥浆减阻效果不佳

(1) 泥浆的配比是影响减阻效果的首要因素。不同地质条件对泥浆的性能有着截然不同的要求。在砂层中,需增添适量的膨润土等增黏剂,以增强泥浆的护壁性能;而在黏土层中,则需调整泥浆的酸碱度和电解质含量,防止其被黏土颗粒吸附而失效。若泥浆配比不当,其黏度、密度等关键性能将无法满足不同施工需求,难以

以形成有效的润滑层,影响减阻效果。(2) 泥浆的注入量和注入压力的控制也至关重要。注入量不足,泥浆无法充分填充管道与土体间的间隙,导致减阻效果大打折扣;而注入压力不当,则可能使泥浆分布不均,甚至出现漏浆现象。随着顶进距离的增加,泥浆在土体孔隙中的渗透和流失会使其性能逐渐劣化,润滑性能减弱。

(3) 泥浆循环系统的稳定性也是影响减阻效果的重要因素。若循环系统出现故障,无法及时补充新鲜泥浆,将加剧泥浆减阻效果的恶化,导致顶力增大,施工困难,甚至引发管道顶进受阻、设备损坏等问题,严重影响施工进度和质量。

3 顶管施工技术难点的应对策略

3.1 地质勘察与预处理

(1) 应借助先进的地质探测技术,如地质雷达探测、钻探取芯分析等,对施工区域的地层结构、岩土特性及地下水分布状况进行详尽的勘察。基于这些精确的勘察数据,构建出详细的地质模型,为后续施工方案的制定提供坚实的科学依据。对于软土地层,地基加固是提升土体承载力的关键。通过注浆加固技术,将水泥浆、化学浆等加固材料注入软土中,利用浆液与土体的物理化学反应,有效填充土体孔隙,增强土体颗粒间的黏结力,提高土体的强度和稳定性。打桩加固也是一种有效方法,通过将桩体打入软土层,将管道荷载传递至深部坚实土层,防止管道下沉和偏移。(2) 在砂层施工时,降低砂层含水量是提高其稳定性的关键。采用井点降水法,在施工区域周边设置井点管,利用真空吸力抽取地下水,降低地下水位,使砂层保持相对干燥和稳定。帷幕止水技术也可有效应用,通过在砂层周围构建连续的止水帷幕,如深层搅拌桩帷幕、高压旋喷桩帷幕等,阻止地下水流入施工区域,减少砂体因含水量变化而坍塌的风险。(3) 面对岩石层,应根据岩石的硬度、完整性等特性选择合适的破岩方式。岩石顶管机配备专门的破岩刀具,通过旋转切削破碎岩石。预爆破处理也是一种有效手段,通过控制爆破技术预先破碎岩石,为后续顶管施工创造有利条件^[2]。

3.2 高精度测量与纠偏系统应用

在顶管施工过程中,运用高精度测量仪器构建全方位、实时的测量监控体系,是确保管道按设计轨迹推进的关键。全站仪利用光电测距、测角等技术,能够精确测量管道的平面位置与高程;陀螺仪则通过感知地球自转而确定管道的方位角,二者协同工作,实现对管道位置与坡度的精准监测。建立完善的测量控制系统,制定严格的数据采集与分析流程。定期采集测量数据,并

运用专业的数据处理软件进行分析,及时发现管道的偏差趋势。监测到管道偏差超出允许范围,迅速启动纠偏系统。机械式纠偏通过在管道前端安装可调节的纠偏装置,如纠偏楔块、纠偏千斤顶等,利用机械力改变管道顶进方向。液压式纠偏则借助液压系统的精确控制,调整顶进千斤顶的出力大小与方向,实现对管道的精准纠偏,严格把控顶进速度对管道偏差控制意义重大。顶进速度过快,管道在土层中的动态稳定性降低,遇到土层不均匀或其他干扰因素时,偏差极易迅速增大且难以纠正。合理的顶进速度应根据地质条件、管道直径、顶进设备性能等因素综合确定,在保证施工进度时,确保管道偏差始终处于可控状态,保障排水管道的施工质量与后续使用功能^[3]。

3.3 精准顶力计算与动态调整

(1) 精准计算顶力需紧密结合地质勘察数据与丰富的施工实践经验。利用有限元分析软件,将管道、土体及顶进设备视为一个复杂的力学系统,建立合理的力学模型。在模拟过程中,要全面考虑管道材质、管径、长度、土层特性(如密度、摩擦力等)以及顶进速度等多种因素对顶力的影响,通过数值模拟准确预测不同施工工况下顶力的变化规律。(2) 在施工现场应安装高精度的顶力监测设备,如压力传感器、应变片等,实时、准确地采集顶力数据。根据监测数据,及时对顶进参数进行动态调整。当顶力接近或超出预设的安全阈值时,应适当降低顶进速度,以减少对土体的扰动,并同时增加泥浆注入量,优化泥浆配比,增强泥浆的减阻效果,有效降低顶力。(3) 应定期对顶进设备进行维护保养,重点检查千斤顶的密封性能、油泵的压力稳定性等关键部件,确保设备的精度与性能稳定可靠。通过精准的顶力计算、实时的监测与动态调整,以及设备的良好维护,使顶力始终保持在合理范围内,既保证管道能顺利顶进,又有效防止因顶力过大而对管道和周围土体造成损害。

3.4 优化泥浆减阻技术

优化泥浆减阻技术的核心在于根据不同地质条件精准设计泥浆配比。在砂层中,由于砂体颗粒间孔隙大、

稳定性差,需添加膨润土等增黏剂,提高泥浆的黏度与悬浮性,增强泥浆对砂体的护壁能力,防止砂体坍塌。在黏土层中,为防止黏土颗粒对泥浆的吸附导致泥浆性能劣化,需合理调整泥浆的酸碱度与电解质含量,维持泥浆的稳定性。严格控制泥浆的注入量与注入压力。依据管道直径、长度以及土层孔隙率等参数,精确计算泥浆注入量,确保泥浆能够充分填充管道外壁与土体间的间隙,形成完整有效的润滑层。通过压力监测装置,实时调整注入压力,保证泥浆均匀分布于管道周围。在顶进过程中,定期对泥浆的黏度、密度、胶体率等性能指标进行检测。采用旋转黏度计测量泥浆黏度,利用密度计检测泥浆密度,根据检测结果及时调整泥浆的配方与参数。随着顶进距离的增加,采用分段注浆方式持续补充新鲜泥浆。在管道沿线设置多个注浆点,根据顶进速度依次开启注浆,保证泥浆在长距离顶进过程中始终保持良好的减阻性能。通过优化泥浆减阻技术,有效降低顶管施工的顶进阻力,提高施工效率,保障市政排水管道工程的顺利推进^[4]。

结束语

顶管施工技术在市政排水管道工程中展现出了巨大的潜力和价值,但同时也伴随着一系列技术难点。通过地质勘察与预处理、高精度测量与纠偏、精准顶力计算与动态调整以及优化泥浆减阻技术等应对策略的实施,我们有效克服了这些难点,提高了施工效率和质量。未来,我们将继续深入研究顶管施工技术,不断优化和完善应对策略,为市政排水管道工程的建设贡献更多力量。

参考文献

- [1]邓永彬.顶管施工技术在市政大型排水管道工程中的应用研究[J].居业,2025(1):13-15.
- [2]李晓虎.非开挖顶管技术在市政给排水管道施工中的应用[J].石材,2023(11):71-73.
- [3]胡敏慧.顶管施工在市政道路给排水管道中的运用[J].地产,2022(5):156-158.
- [4]滕宇峰.微型顶管工艺在市政排水管道工程中的应用探析[J].低温建筑技术,2020,42(5):143-146.