

市政给排水施工中长距离顶管施工技术的运用探讨

徐淑鹏¹, 王 健²

(1. 济南普利给水工程设计院有限公司, 山东 济南 250000;

2. 济南水务集团, 山东 济南 250000)

摘 要 随着城市化进程的持续推进和地下空间开发利用需求的日益增长, 长距离顶管施工技术作为一种高效、环保的非开挖施工方法, 在市政给排水工程领域得到了广泛应用。本文系统分析了该技术的原理、关键问题(如管材选型、动力配置、轴线控制)及核心施工要点(前期准备、进出洞技术、顶进控制), 并在设备选型、土压平衡及防水密封方面提出质量控制措施, 以期为提高施工安全性及工程效率提供实践参考。

关键词 市政给排水施工; 长距离顶管施工技术; 顶进过程控制技术

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.25.031

0 引言

随着城市化进程加快和基础设施建设持续发展, 长距离顶管施工技术被广泛运用于城市给排水、燃气输送、电力通信中。但长距离顶管施工遇到了地质条件复杂、施工难度高、质量控制要求高等多种挑战。如何保证顶管施工质量和安全已成为工程领域急需解决的重点问题。文章对长距离顶管施工技术质量控制要点进行系统分析, 以期为促进工程质量和确保施工安全提供参考。

1 长距离顶管施工技术原理与关键问题分析

1.1 技术原理与工艺特征

长距离顶管施工技术是当代市政给排水工程的关键技术之一。该技术的核心原则是借助先进顶推设备和精密导向系统, 实现无需挖掘或较少挖掘地表就可将管道沿着预设轴线远距离、高精度地敷设于井下。该项技术具有明显的工艺特征, 集机械、液压、电子控制、材料科学等多个学科的前沿研究成果于一体, 表现出高效、环保、适应性好等突出优点^[1]。施工期通过顶进路线的科学规划、顶推力和方向的准确控制以及土压平衡的动态调节等关键技术环节的实施, 有效地克服传统开挖施工给城市交通带来的影响、环境和地下管网网络受到扰动和损害, 施工效率和工程质量大大提高。同时, 长距离顶管技术具有适应复杂地质条件的特点, 可在软土、砂层、岩层等各种地质环境下稳定运行, 为综合开发利用城市地下空间提供有力的技术支撑^[2]。

1.2 关键技术难点

1.2.1 管体材料选型与性能要求

考虑到长距离顶管作业面临着高压、强摩擦、潜在腐蚀性环境、地质条件不确定等极端工况, 管体材料选用必须考虑高强度、耐腐蚀、优良耐磨性和抗疲劳性能等。具体地说, 材料需要有足够大的抗拉强度和抗压强度来抵抗顶进时较大的推力和地层反力。与此同时, 它的耐腐蚀性也直接影响着管道的使用寿命和安全性, 尤其在含盐、含酸或者高湿度的特殊地质环境下, 材料耐蚀性问题不容忽视^[3]。另外, 管体材料耐磨性对降低顶进时摩擦阻力和提高施工效率具有重要意义, 同时优良的抗疲劳性能可保证管道长期运行时结构的完整性和稳定性。

1.2.2 动力系统配置与稳定性保障

针对长距离顶管作业需要穿越复杂多变地质条件这一特点, 动力系统既需要有较强的顶推能力来克服地层阻力, 又需要有一定的灵活性和适应性来处理施工中可能遇到的各类突发状况^[4]。为此, 动力系统设计需要考虑顶管机功率输出、扭矩特性、速度调节范围、多级中继之间协同工作机制等因素, 以保证顶进时能根据地质反馈对动力参数进行实时调节并达到精准控制。与此同时, 为确保动力系统长时间稳定工作, 需要利用高可靠性液压传动元件、先进电子控制系统和智能化故障诊断及预警机制等手段来实现动力系统工作状态的实时监控和维修。另外, 制定良好的应急预案和快速响应机制来处理可能发生的动力中断和设

备故障等应急问题,是保证长距离顶管施工动力系统稳定运行的重要措施^[5]。

1.2.3 管道轴线控制与纠偏技术

考虑到地下地质条件复杂多变以及顶进时可能遇到的难以预料的因素,管道轴线很容易出现偏移现象,如果没有得到及时有效的纠偏,就会对管道铺设精度和后续使用功能造成严重的影响。因此,需要建设具有高精度测量、实时数据传输、智能分析、快速响应等功能的轴线控制系统。在先进激光导向技术的支持下,管道轴线控制与纠偏技术实现对管道轴线定位的持续、动态监控,同时配合液压纠偏装置,根据实测数据对顶管机前进方向和姿态进行自动或者人工调节,保证管道轴线严格遵守预设轨迹。与此同时,针对复杂工况轴线偏移,需要研究和开发高效纠偏算法和策略,充分考虑地质条件、顶进参数、管道受力状态等诸多因素,制定科学合理的纠偏方案。另外,在施工期间加强监测和数据分析,对可能存在的轴线偏移风险进行及时识别和预警,是提高管道轴线控制和纠偏技术的重要手段。

2 长距离顶管施工技术核心要点

2.1 施工前期准备与方案优化

施工前的准备工作需要全面详细,涉及地质勘察、地下管线探测、施工场地安排、设备选型及调试、人员培训、安全教育等诸多方面。通过详细的地质勘察准确地掌握了施工区域地层结构、岩土性质、地下水情况,为顶管机选型和施工参数提供科学依据;地下管线探测的主要目的是防止施工过程中对现有管线造成损害,从而确保城市基础设施能够安全、稳定地运行。合理安排施工场地和认真选择设备可显著提高施工效率和作业安全性。但方案优化是根据工程实际情况和施工经验在前一阶段的准备工作中迭代提升施工方案。通过引进先进数值模拟技术,精细化分析顶进时力学行为、土压平衡状态、管道受力特性等,为优化调整施工参数提供数据支持;同时吸取同类项目成功的实例和失败的经验教训,从施工流程、工艺参数、风险防控措施等方面进行综合考察和完善,保证施工方案科学、合理、可行。

2.2 进出洞口关键施工技术

在出入洞施工之前,需要对洞周围地质状况做全面深入的检测和分析,准确把握土层分布、地下水位、岩土力学参数,并在此基础上制定科学合理的加固方案。加固措施常用注浆加固、旋喷桩、钢板桩支护来提高洞口土体稳定性和承载能力,避免顶管机出入过

程中出现土体坍塌和涌水涌砂险情。施工时严格控制顶管机出入速度和姿态,以保证顺利准确地出入洞。同时,对洞口密封系统做了精心设计和安装,使用优质密封材料和先进密封工艺有效地阻止了地下水、泥浆等向外渗透,确保施工环境干燥和安全。另外,建立完整的监测体系来实时监测洞口土体变形、地下水位变化、顶管机工作状态等信息,并在出现异常时,随即采取相应对策,保证出入洞口施工安全顺利。

2.3 顶进过程控制技术

顶进时需要结合先进监测设备和智能算法对顶管机推进速度、顶推力、扭矩、姿态等关键参数实时准确监测和调节。利用高精度传感器网络实时获取顶管机附近土体压力、变形等信息,并结合数值模拟技术动态分析土体应力状态和变形规律,从而为顶进参数优选提供科学依据。同时,利用先进的液压控制系统和自动化调节装置对顶推力和推进速度进行基于实时监测数据的自动调节,保证顶管机能在复杂的地质情况下顺利高效推进。另外,顶进时姿态控制也是非常关键的,利用激光导向系统和高精度陀螺仪对顶管机轴线偏差实时监控和纠偏,保证管道按设计轴线精确敷设。顶进时也需要密切注意土压平衡情况,并通过调节注浆压力和注浆量来保持土压平衡以避免地面隆起或者沉降等不利现象。

2.4 减阻注浆工艺控制

在长距离顶管施工中,减阻注浆工艺的控制是核心技术之一,它的精细调控直接影响到顶进效率和工程的安全。其过程是将特制浆液灌注到顶管机附近土体中形成润滑层来有效地减小顶管机和土体之间的摩擦阻力,提高顶进速度和减少设备磨损。实施时需要对浆液配比进行准确控制,并根据地质条件对水泥浆、膨润土、外加剂配比进行动态调节,保证浆液既具有较好的流动性,使其能够完全穿透土体,同时也具有足够的强度,使其保持稳定。同时,注浆压力和注浆量控制也要求准确无误,压力过高会对土体造成扰动甚至损伤,注浆量过大不能形成有效润滑层。为此,借助先进注浆设备和智能控制系统对注浆参数进行实时监控,根据顶进速度和土体反馈适时进行调节。另外,减阻注浆工艺需要和顶进过程密切协同配合,保证浆液在顶管机前形成一条持续均匀润滑带,才能达到最佳减阻效果。

2.5 辅助施工技术的应用

对于复杂多样的地质条件而言,泥水循环系统和触变泥浆减阻技术互为补充,泥水循环系统将泥水混

合物循环运输,不仅可以均衡地下水压力、避免涌水涌砂,还可以将钻屑带出,保持顶进面稳定;触变泥浆减阻技术是通过利用泥浆的润滑属性,在管道和土体之间创建一个隔离层,从而显著减少摩擦阻力并提高推进效率。另外,巧妙地应用中继间技术,在管道内布置若干中继环实现分段顶进和接力推进,从而有效地解决远距离顶进时顶推力传递困难的问题,确保顶进过程连续稳定。同时,激光导向及自动纠偏系统是精准控制中的“智慧之眼”,通过激光束对管线轴线偏差进行实时监控,配合自动化控制系统对顶进方向进行快速反应和调节,保证管线严格遵循设计轨迹敷设。在地质条件较差的地区,冻结法加固、注浆加固及其他辅助技术起到不可取代的作用,其方法是对土体进行冻结或者灌注固化剂,为确保顶管施工的安全和可靠性,要增强土壤的强度和稳定性。

3 长距离顶管施工质量控制要点

3.1 顶管设备选型原则

在选择顶管设备的过程中,需要遵守一系列原则,才能保证设备性能和工程需求之间的高度一致。一是适应性原则,这意味着设备必须完全适应施工区域的地质条件,包括土壤类型、地下水情况、岩石硬度等,并选择具有相应顶推力的设备、扭矩、耐磨性顶管机克服地质阻力,确保顶进过程顺利进行。二是可靠性原则,强调设备要具有高稳定性和耐用性,关键部件需要高质量的材料和先进的制造工艺来保证长期使用、在高负荷运行时依然能够保持良好的性能,缩短故障停机的时间并提高施工效率。三是经济性原则,需要在满足工程需要的同时,充分考虑设备购置成本、运行维护费用、使用寿命等因素,并进行技术经济比选性价比最佳设备方案。另外,智能化和自动化水平是选择现代顶管设备时的一个重要考虑因素,对先进设备进行自动监测、故障预警及远程控制等可以显著提高施工安全性和质量控制水平。

3.2 土压平衡控制体系

土压平衡控制体系是通过精密调控顶管机刀盘切削作用下土体压力和外界水土压力之间的动态平衡来达到顶进过程平稳和安全。它的建设是建立在地质条件深度解析和土力学原理准确运用的基础上,需要根据地层特性制定合理土压目标值并需要考虑土体稳定性和顶进效率等因素。然后,利用高灵敏度土压传感器对顶进面上土压的变化情况进行实时监测,并与先进自动控制系统相结合,实现了顶管机推进速度、螺旋输送机速度、注浆量的动态调节,保证土压波动在

容许范围之内。对于复杂地质条件,如软硬不均匀的地层或者富含水的地区,也需要辅之以泥水循环系统或者触变泥浆技术来进一步优化土压平衡的效果和降低对土体的扰动。另外,还需建立一套完整的土压平衡预警机制来对可能存在的风险进行数据分析和预测,并在处理突发地质变化时适时采取防范措施,例如调整顶进策略和加强土体加固。

3.3 防水密封技术措施

落实防水密封技术措施需要遵循多层防护和精细施工等原则,从管道接口的设计开始,利用高精度加工和高质量密封材料保证接口处不出现缝隙和渗漏点。具体地说就是可以选择橡胶止水带和遇水膨胀止水条这类性能优良的密封元件并配合先进注浆工艺将防水性能突出的化学浆液充填到接口缝隙中,从而构成牢固的物理和化学双防水屏障。同时,根据管道在通过不同地质层过程中可能遇到的水压力变化情况,设计合理的排水系统和压力平衡装置来对管道内、外部水压力进行动态调整,降低压力差造成渗漏的风险。施工期加强现场管理和质量监控,防水密封作业全过程跟踪检测,采用超声波探伤、无损检测技术、红外热成像等技术,及时发现和修补可能存在的渗漏隐患。

4 结束语

长距离顶管施工技术在城市基建中的运用至关重要,其质量控制关系到项目的成败和使用寿命。从顶管设备的选择、土压平衡控制、防水密封技术几个方面,论述质量控制的要点。合理的选择能保证设备的性能符合工程需求;完善土压平衡体系,可确保顶进面稳定和安全;精细防水密封措施,能有效阻止地下水渗入和环境破坏。通过这些措施可提高施工质量和管理水平。随着科技进步和实践的不断深入,长距离顶管施工质量控制必将朝着智能化、自动化、精细化的方向迈进,助力城市基建可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘壮,兰春雨,戴志福,等.市政给排水施工中长距离顶管施工技术研究[J].科学技术创新,2024(16):183-186.
- [2] 栾梓铭,师磊.市政给排水长距离顶管施工技术研究[J].现代工程科技,2024,03(23):53-56.
- [3] 张开浩.市政给排水施工中长距离顶管施工技术探讨[J].门窗,2024(15):70-72.
- [4] 刘瑜.市政给排水施工中的长距离顶管施工技术解析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(18):105-107.
- [5] 张瀚文.探究市政给排水施工中长距离顶管施工技术的应用[J].大陆桥视野,2024(09):127-129.