

市政工程顶管施工技术及其质量控制研究

单伟

340323*****0013

摘要: 随着我国城市化进程的不断加快,地下空间的开发利用日益受到重视。顶管施工作为一种非开挖式的地下管道敷设技术,具有对地面交通影响小、环境干扰低、施工周期短等优势,已成为市政工程中重要的施工方法。然而,顶管施工技术复杂,涉及地质条件、设备选型、工艺控制等多方面因素,施工质量控制难度较大。本文系统阐述了顶管施工的技术原理、工艺流程及关键设备,重点分析了在复杂地质条件下顶管施工的技术难点与应对措施,并从施工前、施工中、施工后三个阶段探讨了质量控制的关键环节与方法。通过案例分析与技术总结,提出了优化顶管施工技术、提升工程质量的建议,以期为市政工程顶管施工的规范化、标准化提供参考。

关键词: 市政工程;顶管施工;非开挖技术;质量控制;地质条件;施工工艺

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.061

引言

城市地下管网是城市基础设施的重要组成部分,承担着供水、排水、电力、通信等重要功能。传统的开挖式管道施工方法需要大面积破坏路面,影响交通通行,且对周边环境造成较大干扰。随着城市建设的不断推进,尤其在城市中心区域,开挖施工的局限性日益凸显。顶管技术作为一种非开挖施工方法,通过液压顶进设备将管道从始发井顶入接收井,无需开挖地面,显著降低了对城市交通和环境的干扰,因此在市政工程中得到广泛应用。

然而,顶管施工技术在实际应用中仍面临诸多挑战。不同地质条件对顶管施工的影响较大,如软土、砂层、岩石等地质环境下的施工参数控制、设备选型等均有不同要求。此外,顶管施工过程中容易发生管道偏位、地面沉降、顶力异常等问题,若控制不当,不仅影响施工进度,还可能引发安全事故。因此,深入研究顶管施工技术及其质量控制方法,对于提高市政工程施工效率、保障工程安全具有重要意义。

1 顶管施工技术概述

顶管施工是一种非开挖敷设地下管道的技术,其基本原理是通过顶进设备将预制管道从始发井逐步顶入土层,直至到达目标接收井。顶管施工主要分为人工顶管和机械顶管两种形式。人工顶管适用于管径较小、地质条件较好的情况,而机械顶管则适用于大管径、复杂地质条件下的施工。机械顶管根据掘进方式的不同,又可分为土压平衡式、泥水平衡式和岩石顶管等多种类型。

顶管施工的主要设备包括顶进系统、掘进机、管道模块、注浆系统等。顶进系统通常由液压千斤顶组成,提供管道前进的动力;掘进机负责前方土体的开挖与支护;管道模块为预制的混凝土或钢管段,通过连接形成完整的管道;注浆系统则用于减少顶进过程中的摩擦阻力,并对管道周边土体进行加固。顶管施工的工艺流程一般包括施工准备、始发井与接收井施工、设备安装、管道顶进、注浆加固、竣工验收等环节^[1]。

2 顶管施工关键技术分析

2.1 地质条件与设备选型

地质条件是影响顶管施工的关键因素之一,其重要性不容忽视。在软土层这种特殊的地质环境中,由于土体自身的结构特点,其稳定性相对较差,在施工过程中容易发生塌方或者沉降等不良现象。在这种情况下,宜采用土压平衡式顶管机进行施工操作。这种顶管机可以通过精确地控制土舱压力来维持开挖面的稳定状态,从而有效避免塌方和沉降等问题的发生。而在砂层或者富水地层中,泥水平衡式顶管机则更为适用。泥水平衡式顶管机利用泥浆来支护开挖面,这一特性能够有效地防止涌水涌砂现象的出现,保证施工的顺利进行。对于岩石地层这种坚硬的地质环境来说,则需要采用专门的岩石顶管机。岩石顶管机配备有破岩刀具,这些刀具具有强大的破岩能力,可以确保在岩石地层中的施工顺利进行。如果设备选型不当,可能会引发一系列严重的问题,例如顶进困难、管道损坏甚至施工事故等^[2]。因此,在施工之前,必须进行详细的地质勘察工作,这是非常关

键的一个环节。只有根据勘察结果选择合适的顶管设备，才能够确保整个顶管施工过程的安全性和有效性。

2.2 顶进参数控制

顶进参数主要包括顶力、顶进速度、土舱压力等多个方面，每一个参数都对顶管施工有着重要的影响。顶力过大是一种危险的情况，它可能导致管道变形或者顶进设备损坏，这不仅会影响施工进度，还会增加施工成本。而顶力过小也同样存在问题，因为顶力过小则无法推动管道前进，使得施工无法正常进行。顶进速度的控制也至关重要，需要根据地层条件和设备能力进行合理调整。如果顶进速度过快，可能会引起地面隆起，这会对周边环境造成破坏；而顶进速度过慢则会直接影响施工效率，延长施工周期。土舱压力的控制对于维持开挖面稳定来说是至关重要的，尤其是在软土或砂层这种地质条件下。因为在这种环境下，压力波动很容易导致地面沉降或者隆起，进而影响施工质量和安全。所以在施工过程中，必须实时监测顶进参数，并且根据监测结果动态调整各项参数，以确保施工安全顺利地进行。

2.3 管道偏位与纠偏技术

顶管施工中，管道偏位是一个比较常见的问题，这个问题如果不及时解决，将会对整个工程产生严重影响。管道偏位的原因主要包括地质不均匀、顶进力不对称、设备安装误差等多个方面。为了防止管道偏位现象的发生，在施工前需要进行精确测量并设定顶进轴线，这是预防偏位的基础工作。在施工过程中，要通过激光导向系统实时监测管道位置，以便及时发现偏位情况。一旦发生管道偏位，就需要及时采取纠偏措施，例如调整千斤顶推力分布、使用纠偏装置等方法^[3]。

2.4 注浆工艺与摩擦阻力控制

顶管施工中，管道与土体之间的摩擦阻力是影响顶进效率的重要因素之一，这个因素直接关系到施工的难易程度和成本高低。为了减少摩擦阻力，通常采用注浆工艺，在管道外壁与土体之间形成润滑层。这个润滑层可以有效地降低摩擦阻力，提高顶进效率。注浆材料一般为膨润土或者高分子浆液，这些材料具有良好的润滑性能。但是，需要根据具体的地质条件选择合适的配比，以达到最佳的润滑效果。注浆压力的控制也是非常严格的，因为压力过大会导致地面隆起，这会对周边建筑物和环境造成破坏；而压力过小则无法形成有效的润滑层，起不到降低摩擦阻力的作用。

3 顶管施工质量控制措施

3.1 施工前质量控制

施工前的准备工作是保证顶管施工质量的基础。首先，需进行详细的地质勘察，获取土层分布、地下水位、岩土力学参数等信息，为设备选型和工艺设计提供依据。其次，需编制科学合理的施工方案，包括顶进路线设计、设备配置、应急预案等。施工方案需经过专家论证，确保其可行性与安全性。此外，还需对施工人员进行技术培训，提高其操作技能与安全意识。材料采购方面，管道、注浆材料等需符合设计要求，并按规定进行检测，杜绝不合格材料进入施工现场。

3.2 施工过程质量控制

施工过程中的质量控制是确保顶管施工顺利进行的关键。首先，需严格控制顶进参数，通过自动化监测系统实时采集顶力、速度、土舱压力等数据，并与设计值进行对比，及时调整施工参数。其次，加强管道位置监测，利用激光导向、全站仪等设备每顶进一段距离进行位置复核，防止累积误差。对于注浆工艺，需定期检查浆液配比与注浆压力，确保润滑效果。同时，施工中需密切关注地面沉降情况，布设沉降监测点，发现异常立即采取补救措施^[4]。

在管道连接环节，需确保接口密封性，防止地下水渗入。对于混凝土管道，接口通常采用橡胶密封圈；对于钢管，则需进行焊接质量检测。此外，顶进过程中如遇障碍物，需立即停机排查，避免盲目顶进导致设备损坏或安全事故。

3.3 施工后质量控制

顶管施工完成后，需进行全面的质量检测与验收。首先，对管道位置进行最终测量，确保其符合设计轴线要求。其次，进行管道内部检查，查看是否有裂缝、渗漏等问题。对于注浆效果，可通过钻孔取样或雷达检测评估浆液扩散范围与加固效果。此外，还需对施工影响区域进行地面沉降监测，直至沉降稳定。验收合格后，需整理施工记录、监测数据等技术资料，形成完整的竣工验收报告。

4 复杂地质条件下的顶管施工技术难点与对策

4.1 软土地层施工

软土地层由于其自身物理力学特性的限制，具有强度较低、压缩性较大的显著特点，因此在进行顶管施工

时,容易引发地面沉降甚至出现塌方等严重问题。为了解决这一难题,必须采用土压平衡式顶管机作为主要施工设备,并通过精确控制土舱内的压力值,确保开挖面的稳定性,从而有效避免因土体失稳而导致的安全隐患。与此同时,在施工过程中还需高度重视注浆工艺的应用,尤其是同步注浆技术,以及时填充管道与周围土体之间形成的空隙,最大程度地减少对土体结构的扰动。为了进一步保障施工安全,还需要加密布置地面沉降监测点,实时掌握地面变形情况;一旦发现沉降量超过允许范围,应立即调整顶进参数,或者采取注浆加固等应急措施,以防止险情进一步扩大。

4.2 砂层与富水地层施工

砂层因其颗粒松散、黏聚力差的特点,整体稳定性较差,而富水地层则存在涌水涌砂的风险,这些因素都会对顶管施工造成较大的威胁。针对此类复杂地质条件,建议优先选用泥水平衡式顶管机进行作业,利用泥浆压力来支护开挖面,从而保证施工过程的安全性和连续性。此外,泥浆的配比设计至关重要,需要根据具体的地质条件进行优化调整,以确保泥浆具备优良的携砂能力和护壁性能,同时满足施工需求^[5]。除此之外,还必须加强对地下水的控制工作,例如可以采用井点降水或注浆止水等辅助措施,以降低地下水位,减少涌水涌砂的可能性,进而全面降低施工风险,提高工程质量和效率。

4.3 岩石地层施工

岩石地层通常具有较高的强度和硬度,这使得顶管施工面临更大的挑战和技术难度。在这种情况下,岩石顶管机必须配备高强度的破岩刀具,以应对坚硬岩层带来的阻力。同时,施工人员还需要根据岩石的具体硬度合理调整掘进参数,包括推进速度、刀盘转速等,以实现高效掘进。在实际操作中,刀具的磨损状况是一个不可忽视的问题,必须定期检查并及时更换已损坏的刀具,否则不仅会影响掘进效率,还可能导致设备故障甚至停工。对于地质条件更为复杂的区域,例如破碎带或断层区域,则需要提前采取超前支护措施,如注浆加固或管棚支护,以增强围岩的稳定性,预防塌方事故的发生,从而确保整个施工过程的安全顺利进行。

5 顶管施工技术的发展趋势

随着现代科技的不断进步,顶管施工技术正在逐步迈向智能化和绿色化的发展方向。在智能化领域,通过

引入物联网、大数据分析以及人工智能等前沿技术,可以实现对施工参数的自动调控、设备故障的提前预警以及施工过程中的智能决策支持,从而显著提高施工的精度与效率。举例来说,智能顶管系统能够实时采集并分析监测数据,根据实际情况自动调整顶力大小和顶进速度,优化整个施工流程,确保工程更加高效且安全地进行。而在绿色化方面,顶管施工本身因其非开挖特性而具有显著的环境友好优势,未来还将进一步研发和推广节能型施工设备、环保型注浆材料等创新技术,以最大限度地减少施工过程中对周边环境可能造成的负面影响。此外,顶管技术与其他非开挖技术的深度融合,例如与水平定向钻技术、微型顶管技术等相结合,不仅能够弥补单一技术的局限性,还能够极大地拓展其应用范围,使其在更多复杂场景下发挥重要作用。这些发展方向无疑将为顶管施工技术注入新的活力,并推动行业向更加可持续的方向迈进。

6 结语

顶管施工作为市政工程中重要的非开挖技术,在城市地下管网建设中发挥着不可替代的作用。本文系统阐述了顶管施工的技术原理、关键工艺及质量控制措施,并结合复杂地质条件分析了施工难点与应对策略。顶管施工质量的提升依赖于科学的施工方案、精细的过程控制以及先进的设备支持。未来,随着智能化与绿色化技术的发展,顶管施工将更加高效、环保,为城市基础设施建设提供更强有力的技术保障。市政施工单位应加强技术研发与人员培训,不断优化施工工艺,推动顶管技术的规范化、标准化应用,为城市化建设贡献更大力量。

参考文献

- [1]任荣超. 市政工程给排水管道顶管施工与质量控制研究[J]. 中国住宅设施, 2025, (06): 241-243.
- [2]陈彬琦. 市政工程给排水管道顶管施工与质量控制研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(08): 178-180.
- [3]李帅博. 水利与市政工程管道施工技术及其质量控制研究[J]. 现代工程科技, 2024, 3(19): 121-124.
- [4]王尔凯. 市政工程沥青混凝土路面施工技术及其质量控制[J]. 产业创新研究, 2024, (10): 127-129.
- [5]徐宁. 市政工程沥青混凝土路面施工技术及其质量控制[J]. 四川建材, 2023, 49(10): 178-180.