

泥水平衡机械顶管技术在污水排放系统中的应用分析

李 彤

郑州航空工业管理学院 河南 郑州 450000

摘要：泥水平衡顶管技术作为一种非开挖的地下管道敷设施工工艺，因其安全性高、环境破坏小、施工周期短及综合造价低等优势，在市政管网施工中得到广泛应用。本文结合污水工程泥水平衡顶管施工实例，详细介绍了泥水平衡顶管施工工艺的原理、优点、适用范围及具体施工流程，并对其在污水工程中的应用效果进行了评价。

关键词：泥水平衡；顶管；污水管网；施工工艺

引言

随着城市化进程的加速，污水排放系统的建设与维护成为保障城市环境质量和居民生活品质的重要任务。传统的开挖施工方法存在诸多弊端，如破坏环境、影响交通、施工周期长、成本高等。因此，非开挖施工技术逐渐受到青睐，其中泥水平衡顶管技术因其独特的优势在污水工程中得到广泛应用。

1 泥水平衡顶管施工工艺简介

1.1 工艺原理

泥水平衡顶管施工工艺是一种先进的地下管道施工技术，其核心原理在于利用主顶油缸的推力，将工作井中的顶管机推送至预设的止水环位置。在此过程中，电动机为机头刀盘提供动力，使其能够有效切削土层并粉碎石块。切削下来的土石随后进入泥水舱，与特制的清泥浆混合，形成泥浆混合物。这一混合物随后通过泥浆处理系统进行处理，其中浓泥浆会被泵送至地面进行进一步的处理和净化。经过处理的泥浆可以再次循环使用，从而实现了资源的有效利用和环境的保护^[1]。此工艺凭借其高效、环保的特性，在现代城市地下管道建设中得到了广泛应用。

1.2 工艺优点

泥水平衡顶管施工工艺具有诸多显著优点。首先，该工艺采用泥水平衡装置来维持土压平衡，确保顶进管道始终处于主动与被动土压之间，有效保持掌子面的稳定，同时能精确控制地面隆起和沉降，对周围土体的扰动降至最低。其次，顶管机进行掘进作业，通过泥浆管输送弃土，无需人工进行掏土、吊土及运土等危险作业，显著提升了施工作业的安全性。此外，该工艺施工作业具有连续性，施工速度快，效率高。最后，管道顶进过程采用激光导向，计算机指导纠偏，实现了施工进度的有效控制，进一步提升了施工质量和效率。这些优点使得泥水平衡顶管施工工艺在现代城市地下管道建设

中具有广泛的应用前景。

2 泥水平衡顶管施工工艺流程

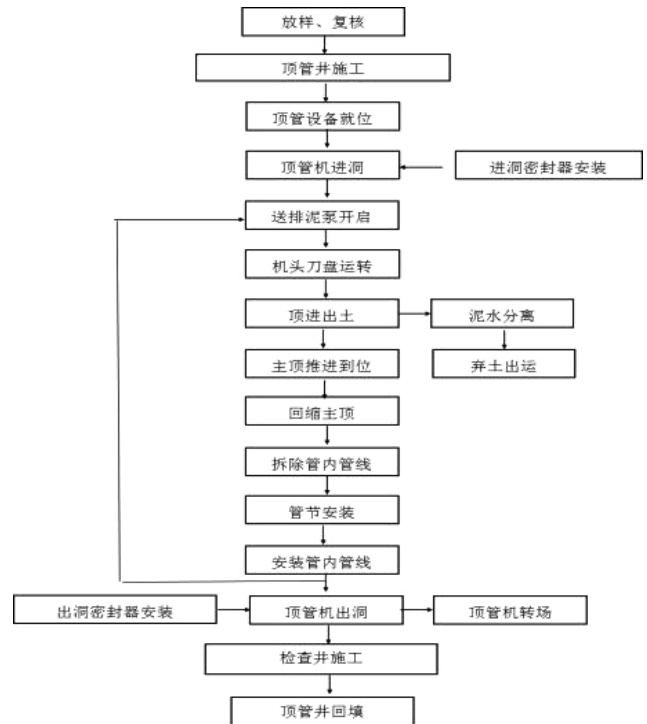


图1 泥水平衡式顶管施工工艺流程图

3 泥水平衡顶管施工在污水工程中的应用

3.1 测量定位

在顶管施工前，需要对洞口标高及轴线位置进行复测，以确保施工的准确性。同时，对工作井、接收井以及管道的轴线和标高也要进行定位复测工作，这一步骤是确保整个顶管施工过程顺利进行的关键。测量工作不仅要施工前进行，还要贯穿于顶管施工的全过程，以确保施工过程中的各项参数都符合设计要求^[2]。通过这样的测量定位工作，可以有效保证顶管施工的精确性和稳定性，为后续的施工工作奠定坚实的基础。

3.2 顶管管节准备

顶管管节的准备工作是确保顶管施工顺利进行的重要环节。在本工程中,顶管管节采用钢筋混凝土管,其混凝土强度等级选定为C50,以确保管道的承压能力和耐久性。同时,为了满足抗渗要求,混凝土的抗渗等级设定为P8,以有效防止水分渗透。在管节接口的设计上,采用了F型管接口形式的钢承口管,这种接口形式具有良好的密封性和稳定性。为了防止钢套环与混凝土管结合面产生渗漏问题,特别在该处设置了楔形橡胶止水圈,以进一步增强接口的防水性能。通过这样的管节准备,可以确保顶管施工过程中的管道质量和施工效率,为后续的施工工作提供有力的保障。

3.3 顶进参数计算

顶进参数的计算是顶管施工中的关键环节,它直接关系到施工的安全与效率。顶管单元长度需根据设计图纸中的井室位置、地面运输条件、开挖工作坑的条件以及顶管所需的顶力、后背与管口可能承受的顶力等多方面因素综合确定的。考虑到本工程土质参数基本相同,因此选择W23-W25区间段顶管长度80m作为典型计算段。在顶进阻力的计算中,主要依据《给水排水管道工程施工及验收规范》中的相关公式进行。具体计算时,需要考虑到管道外径、管道设计顶进长度、管道外壁与土的单位面积平均摩阻力以及顶管机的迎面阻力等因素。本工程采用泥水压平衡顶进方式,钢筋混凝土管(DN1000)的迎面阻力计算公式为 $N_f = \pi/4 \times D_g^2 \times P$,其中P为控制土压力,根据《土力学》原理计算得出。结合地勘报告和专项施工方案,可以确定地面至掘进机中心的最大覆土厚度、土的湿密度等参数,进而计算出控制土压力和迎面阻力。管道允许顶力的计算则依据《给水排水工程顶管技术规程》进行。计算时需要考虑混凝土材料抗压强度折减系数、偏心抗压强度提高系数、材料脆性系数、混凝土抗压强度设计值、管道的最小有效传力面积以及顶力的分项系数和混凝土强度标准调整系数等因素。通过计算可以得出管道允许顶力的设计值,并与实际顶进力进行比较,以确保施工的安全性。此外,还需要对后座受力进行计算。主顶千斤顶施加的顶进力是通过后座墙均匀地作用在工作坑后的土体上,因此后座的反力或土抗力需要满足一定的要求。计算时主要依据《顶管施工技术 & 验收规范》中的相关公式进行,并考虑到后座墙的宽度、土的容重、后座墙的高度、被动土压力系数以及土的内聚力等因素。通过计算可以得出后座受力的设计值,并与实际顶进力的反力进行比较,以确保后座在顶进过程中的稳定性。通过严谨的计算和科学的施工方案制定,可以确保顶管施工过程

中的各项参数都符合设计要求,为施工的顺利进行提供有力的保障。

3.4 顶管施工设备及安装

顶管施工设备及安装是确保施工顺利进行的关键环节。其中,导轨、顶铁以及机械后背墙的安装尤为重要,它们共同构成了顶进系统的主要支撑结构。导轨的安装要求严格,必须保证两导轨顺直、平行且等高,其坡度还需与管道设计的坡度保持一致。在管道坡度大于1%的情况下,两导轨需按平坡进行铺设,以确保顶进过程的稳定性。导轨安装的允许偏差也有明确规定,轴线位置偏差不得超过3mm,顶面高程的允许偏差为0至+3mm,而两轨内距的偏差则需在±2mm范围内。安装后的导轨必须具备稳固性,能够在顶进过程中承受各种荷载,而不发生位移、沉降或变形。顶铁在顶管施工中扮演着重要角色,它主要负责将主顶千斤顶的推力均匀分散到顶进管道的管端面上,同时保护管端面免受损坏,并延长短行程千斤顶的行程。顶铁的安装也有严格要求,其轴线应与管道轴线保持平行和对称,且顶铁与导轨和顶铁之间的接触面不得存在泥土、油污等杂质。在更换顶铁时,应优先使用长度较大的顶铁,并确保顶铁拼装后进行锁定,以保证其稳定性。顶铁的允许联接长度需根据其截面尺寸来确定,以确保其承受力满足施工要求。机械后背墙作为顶进系统的重要组成部分,其安装同样不容忽视。本工程采用钢筋混凝土靠背作为后靠背,并在其正面焊接一块4cm厚的钢板,以承受千斤顶传来的顶进反力。这样的设计能够有效确保后背墙的稳定性和承载能力,为顶管施工提供坚实的支撑。

3.5 顶进作业

顶进作业是顶管施工的核心环节,它利用主顶油缸和中继间的顶进力,将工具管或掘进机从工作坑顶入土层。在这一过程中,工具管或掘进机的前端切削土体,同时,通过管道内部设置的出土装置,将切削下来的弃土输送至地面。为了确保顶进的顺利进行,需要精确控制顶进力,避免过大或过小的力量导致管道偏移或卡顿。同时,要密切监测出土情况,确保弃土能够及时、顺畅地排出,避免在管道内积累造成堵塞^[3]。此外,还需关注土层的变化情况,如遇到硬质土层或障碍物,需及时调整顶进策略,可能需要增加顶进力或使用特殊的切削工具。整个顶进作业过程中,还需保持与地面控制人员的紧密沟通,随时根据地面监测数据调整作业参数,确保顶管施工的精准度和安全性。通过这一系列专业且细致的操作,顶进作业能够高效、稳定地进行,为后续的管道铺设奠定坚实基础。

3.6 泥水平衡控制

泥水平衡控制在顶管施工中扮演着至关重要的角色，其核心在于通过精细调整泥水舱的送、排泥水量以及顶进速度，以维持挖掘面的稳定状态。这一过程中，确保泥水压力与地下水压力、土压力之间保持微妙的平衡关系是关键所在。具体而言，泥水舱的送泥水量需要根据挖掘进度和土质情况进行实时调整。当挖掘面遇到较为松软的土层时，可以适当增加送泥水量，以提高泥水压力，防止挖掘面发生坍塌。反之，若遇到硬质土层，则需适当减少送泥水量，以避免泥水压力过大导致挖掘面过度稳定，影响顶进效率。同时，排泥水量的控制也不容忽视。排泥速度过快可能导致泥水压力骤降，破坏挖掘面的平衡；而排泥过慢则可能造成泥水舱内压力过高，对管道本身造成不必要的压力。因此，排泥水量的调整需与送泥水量和顶进速度紧密配合，确保三者之间的协调与平衡。此外，顶进速度的控制也是泥水平衡控制中的重要一环。过快的顶进速度可能破坏泥水压力的平衡状态，而过慢则可能影响施工进度。

3.7 后续处理

后续处理是顶管施工不可或缺的一环，它涵盖了注浆加固地层、管道连接与密封等多个关键步骤，对于确保整个工程的稳定性和长期运行效果至关重要。注浆加固地层是后续处理的首要任务。这一步骤通过向地层中注入特定的浆液材料，填充土层中的空隙和裂缝，从而增强地层的承载力和稳定性。注浆材料的选择需根据地质条件、工程要求以及环保标准进行综合考量，以确保加固效果的最大化。注浆过程中，需严格控制注浆压力、注浆量和注浆速度，避免对周围环境和已有管道造成不良影响。管道连接与密封也是后续处理中的重要环节。顶管施工中，每段管道之间都需要进行精确的连接，以确保整个管道的完整性和流畅性。连接过程中，需采用专业的连接技术和设备，确保连接处的牢固度和密封性^[4]。同时，还需对连接部位进行严格的检查和测试，以防止任何可能的泄漏或松动。除了注浆加固和管道连接，后续处理还可能包括对其他辅助设施的安装和调试，如阀门、泵站等。这些设施的安装需遵循相关标准和规范，以确保其正常运行和长期使用效果。

4 技术挑战与展望

泥水平衡机械顶管技术在污水排放系统建设中已展

现出显著优势，包括高效的施工速度、较低的环境影响以及良好的地层适应性。然而，该技术在实际应用中仍面临一些技术挑战。其中，复杂地质条件下的施工难度是一个重要问题。在地质条件多变、土层不稳定或存在大量地下水的区域，泥水平衡机械顶管的施工难度会显著增加。例如，遇到硬质岩层或卵石层时，掘进机可能难以有效切削，导致施工效率降低。同时，地下水的高压流动也可能对泥水舱的压力平衡造成干扰，增加施工风险。此外，设备维护与保养成本也是该技术面临的一个挑战。泥水平衡机械顶管设备结构复杂，需要定期的维护和保养来确保其正常运行。然而，由于设备部件的特殊性和专业性，维护和保养成本往往较高，对施工单位的经济压力较大。展望未来，随着技术的不断进步和创新，泥水平衡机械顶管技术有望在更多领域得到应用。例如，在城市地下综合管廊建设中，该技术可以发挥重要作用，实现多种管线的同步敷设。同时，在施工技术方面，也有望通过研发新型掘进机、优化泥水舱压力控制系统等手段，进一步提高施工效率和控制成本。在环境保护方面，泥水平衡机械顶管技术也有潜力实现更大突破。通过改进泥水处理工艺、减少弃土产生量等措施，可以进一步降低施工对环境的影响，实现绿色、可持续的地下空间开发。综上所述，泥水平衡机械顶管技术虽面临一些挑战，但其广阔的应用前景和不断创新的潜力使其仍将成为未来地下工程建设的重要技术之一。

结语

泥水平衡顶管技术在污水工程中的应用实践表明，该技术具有显著的优势和广泛的应用前景。通过不断优化施工工艺和提高设备性能，将进一步推动泥水平衡顶管技术在市政管网建设中的应用与发展。

参考文献

- [1]李丹.泥水平衡机械顶管施工技术在市政截污工程中的应用初探[J].中国室内装饰装修天地,2020(2):279.
- [2]刘涵.泥水平衡顶管施工技术在市政工程施工中的应用[J].中国高新科技,2020(14):64~65.
- [3]张友坤,何静.泥水平衡式掘进顶管施工技术在市政公路施工中的应用[J].四川水力发电,2019(5):87~90.
- [4]袁运光,李雷.泥水平衡顶管施工工艺在污水管网敷设中的应用[J].珠江水运,2019(12):104~105.