

复杂地质条件下泥水平衡施工工艺

胡子康 李向明

中国水利水电第六工程局有限公司 辽宁 沈阳 110170

摘要：复杂地质条件下，泥水平衡施工工艺是一种高效的非开挖技术，主要用于铺设地下管道。该工艺通过调节泥浆压力来平衡地层水土压力，防止地层坍塌和地表沉降。它适应性强，可应用于不同地质条件和管道规格。相比传统开挖方式，泥水平衡施工更环保、节能，且能大幅缩短工期。此外，它还能保持挖掘面稳定，减小土体扰动，确保施工安全和管道铺设质量。因此，在复杂地质条件下的管道施工中，泥水平衡工艺具有显著优势。

关键词：复杂地质条件；泥水平衡；施工工艺

引言：在复杂地质条件下进行地下工程建设，面临诸多挑战，如地层不稳定、地下水丰富等。泥水平衡施工工艺作为一种先进的非开挖技术，因其高效、环保、安全的特点而被广泛应用。该技术通过精确控制泥浆的循环和压力，有效平衡地层水土压力，确保施工过程中的地层稳定，减少地面沉降和塌方风险。本文旨在探讨复杂地质条件下泥水平衡施工工艺的应用，分析其技术特点和实施策略，为相关工程提供参考。

1 泥水平衡施工工艺概述

1.1 泥水平衡施工工艺定义与原理

(1) 定义与基本原理。泥水平衡施工工艺是一种在地下工程中广泛应用的非开挖施工方法，特别适用于复杂地质条件下的管道铺设和地下结构建设。该工艺通过精确控制泥浆的稠度、固液比例以及施加适当的预压力，来保持挖掘面的水土平衡，确保施工过程中的土壤稳定性和安全性。泥水平衡施工技术的核心在于其能够利用泥浆的压力来抵消地下水压力和土压力，从而维持挖掘面的稳定，避免塌方等安全隐患。(2) 发展历程与国内外研究现状。泥水平衡施工工艺自诞生以来，经历了不断的发展和完善。随着科技的进步和工程需求的增长，该技术逐渐从简单的泥浆支护发展到复杂的泥水平衡顶管施工，再到如今的智能化、自动化施工。在国内，泥水平衡施工工艺已被广泛应用于地铁、隧道、地下综合管廊、管网等工程中，取得了显著的经济效益和社会效益。同时，国内外学者也在不断探索和研究该技术的优化和改进方法，以提高施工效率、降低工程成本。

1.2 复杂地质条件对施工的影响

(1) 地质类型与施工难度的关系。复杂地质条件对泥水平衡施工工艺的施工难度有着直接的影响。地质类型多样，包括软土、砂土、黏土、岩石等，不同地质条件下的土壤稳定性、渗透性、抗剪强度等特性各不相同，这对泥浆的配制、施工参数的选择以及施工过程中的控制都提出了更高的要求。特别是在软弱地层和富水地层中施工，更需要严格控制泥浆的性能和施工参数，以确保施工过程的顺利进行。(2) 现有施工方法的局限性。尽管泥水平衡施工工艺在复杂地质条件下具有显著的优势，但现有施工方法仍存在一定的局限性。例如，在硬岩地层中施工时，由于岩石的抗压强度和抗剪强度较高，泥浆的支护效果可能有限，需要采用更加先进的掘进技术和设备。此外，在地下水位较高或地下水流动较快的地层中施工时，泥浆的流失和稀释问题也需要得到特别关注。因此，在实际工程中，需要根据具体地质条件和技术要求，选择合适的施工方法和设备，以确保工程质量和安全。

同，这对泥浆的配制、施工参数的选择以及施工过程中的控制都提出了更高的要求。特别是在软弱地层和富水地层中施工，更需要严格控制泥浆的性能和施工参数，以确保施工过程的顺利进行。(2) 现有施工方法的局限性。尽管泥水平衡施工工艺在复杂地质条件下具有显著的优势，但现有施工方法仍存在一定的局限性。例如，在硬岩地层中施工时，由于岩石的抗压强度和抗剪强度较高，泥浆的支护效果可能有限，需要采用更加先进的掘进技术和设备。此外，在地下水位较高或地下水流动较快的地层中施工时，泥浆的流失和稀释问题也需要得到特别关注。因此，在实际工程中，需要根据具体地质条件和技术要求，选择合适的施工方法和设备，以确保工程质量和安全。

2 泥水平衡施工工艺在复杂地质条件下的技术特点

2.1 适应性分析

(1) 对不同地质条件的适应性。泥水平衡施工工艺以其强大的适应性，能够在多种复杂地质条件下进行高效施工。无论是软土、硬土、砂层、卵石层还是风化岩层，泥水平衡施工工艺都能通过调整泥浆参数、刀具配置和掘进速度等关键指标，实现对开挖面的有效控制，确保施工安全和管道顶进质量。在软土地层中，泥浆能有效支撑开挖面，防止土体塌方；在硬岩地层中，强大的切削刀具和精确的掘进控制，能够确保管道顺利穿越^[1]。(2) 针对不同地质条件的调整策略。针对不同地质条件，泥水平衡施工工艺需要采取灵活多样的调整策略。在软土地层中，通过增加泥浆压力和稠度，提高支护效果，减少地面沉降。在砂层或卵石层中，需要优化泥浆循环系统，防止砂土流失和卵石堵塞管道。在硬岩地层中，则需采用耐磨性更强的刀具，提高掘进效率，同时加强掘进机的推进力和控制精度，确保管道能够准确、快速地穿越地层。

2.2 环保与节能优势

(1) 减少环境破坏与能源消耗的具体措施。泥水平衡施工工艺在环保与节能方面表现出色。泥浆的循环利用降低了水资源的消耗和废弃物的排放,此外,通过机械化施工和智能化控制,减少了人力需求和能源消耗。具体措施包括:优化泥浆循环系统,提高泥浆利用率;采用先进的掘进设备,提高掘进效率;加强施工现场管理,减少废弃物排放。(2) 环保节能效果的量化评估。为了量化评估泥水平衡施工工艺的环保节能效果,可以通过对比传统开挖方式的施工数据来进行。例如,测量施工过程中产生的噪音、扬尘、水资源消耗等环境指标,以及能源消耗和经济成本等经济指标。通过对比分析,可以发现泥水平衡施工工艺在减少环境破坏和能源消耗方面具有显著优势。具体而言,该工艺能够显著降低施工过程中的噪音和扬尘污染,减少水资源的消耗和废弃物的排放,同时降低能源消耗和经济成本。

2.3 施工效率与质量控制

(1) 提高施工速度的具体方法。泥水平衡施工工艺在提高施工速度方面具有显著优势。通过优化施工工艺、提高设备性能和加强施工管理,可以进一步提高施工速度。具体方法包括:采用先进的掘进机和泥浆循环系统,提高掘进和泥浆循环效率;优化施工流程和组织设计,减少等待时间和资源浪费;加强施工人员的技能培训和安全教育,提高施工效率和安全性。此外,通过实时监测和调整施工参数,如泥浆压力、掘进速度等,可以确保施工过程的稳定性和连续性,从而提高施工速度。(2) 质量控制措施与效果评估。为确保泥水平衡施工工艺的施工质量,需要采取一系列质量控制措施。首先,进行地质勘察和分析,了解地层分布情况和物理力学性质,为制定合理的施工方案提供依据。其次,严格控制泥浆参数和掘进参数,确保开挖面的稳定和管道的安全顶进。同时,加强施工过程中的安全监测和管道检测,及时发现并处理潜在的安全隐患。最后,对施工过程进行记录和验收,确保施工质量符合设计要求。通过量化评估施工过程中的各项质量指标和效果数据,如管道轴线偏差、顶进速度、泥浆压力等参数,以及施工过程中的安全事故率和质量缺陷率等指标,可以全面评估泥水平衡施工工艺的施工质量。通过对比分析,可以发现该工艺在提高施工质量和安全性方面具有显著优势。

3 复杂地质条件下泥水平衡施工工艺的实施策略

3.1 施工前准备

(1) 地层勘察与地质条件评估。在复杂地质条件下实施泥水平衡施工工艺,首要任务是进行详尽的地层勘

察与地质条件评估。这一步骤涉及对施工现场的地质构造、岩土类型、地下水分布、土层强度与稳定性等方面的全面了解。通过地质钻探、地质雷达扫描等手段,收集地下结构的三维数据,为后续的施工工艺设计提供准确依据。地质条件评估不仅要分析地层的物理力学性质,还需考虑其对施工可能产生的风险,如塌方、涌水、地面沉降等。基于评估结果,制定针对性的风险应对策略,如加强支护措施、优化掘进参数等,以确保施工安全和效率^[2]。(2) 施工方案设计与优化。在地质条件评估的基础上,进行施工方案的设计与优化是施工前准备的关键环节。施工方案应详细规划泥水平衡施工的各个环节,包括泥浆制备、掘进路径规划、掘进速度控制、支护结构设计、泥浆循环与排放处理等。设计时应充分考虑地质条件对施工的影响,选择适宜的掘进机型、泥浆配比及支护方式。优化施工方案还需考虑成本效益与环境保护。通过对比分析不同施工方案的经济成本、施工周期及对环境的影响,选取最优方案。同时,利用数值模拟和仿真技术,对施工过程进行模拟预测,进一步优化施工参数,减少不确定性风险。

3.2 施工设备与机具选择

(1) 主要设备与辅助设备的配置原则。施工设备的选择直接关系到施工效率和安全性。在选择泥水平衡掘进机时,需根据地质条件、掘进深度、直径要求等因素综合考虑。一般来说,硬岩地层应选择具有强大切削能力和耐磨刀具的掘进机;软土和砂土地层则需关注掘进机的泥浆处理能力和稳定性。辅助设备包括泥浆制备系统、泥浆循环系统、排水系统、顶进系统等。这些设备的配置需与掘进机相匹配,确保施工流程的顺畅与高效。同时,考虑到设备的可维护性和配件供应的便捷性,选择品牌信誉好、服务网络广的设备供应商。(2) 设备性能与适用性分析。设备的性能直接影响施工质量和进度。在选定设备后,需对其性能进行详尽分析,包括掘进速度、泥浆处理能力、能耗指标、维护保养成本等。通过分析,了解设备的优势与局限性,为施工过程中的设备调度和故障处理提供依据^[3]。此外,还需考虑设备的适用性。不同地质条件下,设备的表现可能差异显著。因此,在施工前应进行设备的现场测试,验证其在特定地质条件下的工作性能和适应性,必要时进行设备参数的调整或更换。

3.3 施工过程控制

(1) 泥浆压力与顶进速度的控制策略。泥浆压力和顶进速度是影响泥水平衡施工效果的关键因素。泥浆压力需根据地层压力、地下水压力等实际情况进行动态调

整,以保持挖掘面的水土平衡,防止塌方和涌水。顶进速度则需考虑掘进机的性能、地质条件及泥浆循环效率,确保施工过程的连续性和稳定性。通过实时监测泥浆压力和顶进速度,结合地质勘察数据,可以制定出合理的控制策略。例如,在软弱地层中,适当降低顶进速度,增加泥浆压力和稠度,以提高支护效果;在硬岩地层中,则可以适当提高顶进速度,但需确保泥浆的有效循环和切削刀具的耐磨性。(2)实时监控系统与纠偏技术的应用。实时监控系统是确保施工过程安全、高效的重要手段。该系统通过传感器实时监测掘进机的工作状态、泥浆参数、掘进轨迹等关键数据,并将数据传输至控制中心进行分析处理。一旦发现异常数据,如泥浆压力异常、掘进轨迹偏移等,系统可立即发出警报,提醒操作人员采取相应措施。纠偏技术则是根据实时监控系统的实时数据,对掘进机的掘进轨迹进行精确调整,确保掘进路径符合设计要求。纠偏的方法包括普通校正法和顶管机校正法:普通校正法就是采用各种方法制造校正力矩,从而改变首节管的前进方向;顶管机校正法即利用顶管机的纠偏油缸进行纠偏操作,是顶管常规的纠偏方法。在实际施工中,应根据地质条件和掘进机的性能选择合适的纠偏方式。

3.4 安全管理措施

(1)安全风险评估与预防措施。安全风险评估是施工前准备阶段的重要环节。通过对地质条件、施工方案、设备性能等方面的综合分析,识别出潜在的安全隐患和风险点,如塌方、涌水、设备故障等。针对这些隐患和风险点,制定相应的预防措施和应急预案,如加强支护措施、设置排水系统、配备应急设备等。在施工过程中,还需定期进行安全风险评估,及时发现并处理新出现的风险点。同时,通过加强现场巡查和安全检查,

确保各项预防措施得到有效执行,降低安全事故的发生概率^[4]。(2)施工现场安全管理要求。施工现场安全管理是确保施工安全的重要保障。首先,应建立完善的现场安全管理机构和制度,明确各级人员的安全管理职责和权限。其次,加强对施工人员的安全教育和培训,提高其安全意识和操作技能。在施工过程中,应严格执行安全生产操作规程,确保施工人员的生命安全和设备的正常运行。此外,还需加强施工现场的监控和记录。通过安装监控摄像头、记录施工日志等方式,对施工现场的安全状况进行实时监控和记录,为事故调查和责任追究提供依据。同时,通过定期的安全检查和评估,及时发现并整改存在的安全隐患,确保施工过程的持续改进和优化。

结束语

综上所述,复杂地质条件下的泥水平衡施工工艺以其独特的优势,在地下工程建设中发挥着重要作用。通过精确控制泥浆参数和施工参数,该技术能够有效应对多种复杂地质条件,确保施工过程的稳定性和安全性。随着技术的不断进步和应用经验的积累,泥水平衡施工工艺将在更多领域得到广泛应用,为地下空间的开发和利用提供更加高效、环保、安全的解决方案。

参考文献

- [1]冯斌.泥水平衡顶管施工工艺探讨[J].低碳世界,2022,(16):181-182.
- [2]张海果,刘洋.泥水平衡顶管法在市政管道施工中的应用[J].江西建材,2021,(12):178-179.
- [3]张金刚.泥水平衡法顶管施工工艺关键技术解析[J].河南水利与南水北调,2020,(06):57-58.
- [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):102-103.