

长输油气管道水平定向钻穿越施工技术研究

范佳豪 王佳旭

中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北 任丘 062500

[摘要]长输油气管道由于其高效、安全、经济等优点, 在我国的能源运输中占据重要地位。然而, 在实际的工程建设中, 受地理环境、地质条件等多种因素的限制, 传统的开挖施工方法难以满足长输油气管道的高效、安全和环保要求。为此, 本研究对一种被广泛应用于长输油气管道施工的水平定向钻穿越(HDD)技术进行了深入的研究。本研究首先分析了长输油气管道水平定向钻穿越(HDD)施工的需求和现状, 以及相应的技术难点和挑战。然后, 重点讨论了HDD的设计、施工、施工监控技术, 以及钻头选择与配套设备配置等关键技术, 并针对HDD技术在硬岩、砂砾土等复杂地质条件下的施工难题, 提出了相应的解决措施和具体施工方案。研究结果表明, 通过HDD技术, 不仅能够明显提高长输油气管道的施工效率, 降低施工成本, 而且能够大幅减少施工对环境和生态的破坏, 确保了施工的环保和安全, 提供了有益的参考和借鉴。

[关键词]长输油气管道; 水平定向钻穿越(HDD); 施工效率; 环保与安全; 复杂地质条件

DOI: 10.33142/aem.v7i1.15246

中图分类号: TU990.3

文献标识码: A

Research on Horizontal Directional Drilling Construction Technology for Long-distance Oil and Gas Pipeline Crossing

FAN Jiahao, WANG Jiaxu

North China Branch of China Petroleum Engineering & Construction Corp, Renqiu, Hebei, 062500, China

Abstract: long-distance oil and gas pipelines play an important role in energy transportation in China due to their advantages of high efficiency, safety, and economy. However, in actual engineering construction, traditional excavation methods are limited by various factors such as geographical environment and geological conditions, making it difficult to meet the requirements of high efficiency, safety, and environmental protection for long-distance oil and gas pipelines. Therefore, this study conducted in-depth research on a horizontal directional drilling (HDD) technology widely used in the construction of long-distance oil and gas pipelines. This study first analyzed the demand and current situation of horizontal directional drilling (HDD) construction for long-distance oil and gas pipelines, as well as the corresponding technical difficulties and challenges. Then, the key technologies of HDD design, construction, construction monitoring technology, as well as drill bit selection and matching equipment configuration were discussed in detail. Corresponding solutions and specific construction plans were proposed for the construction difficulties of HDD technology in complex geological conditions such as hard rock and gravel soil. The research results indicate that through HDD technology, not only can the construction efficiency of long-distance oil and gas pipelines be significantly improved and construction costs be reduced, but also the damage to the environment and ecology caused by construction can be greatly reduced, ensuring the environmental protection and safety of construction, providing useful reference and inspiration.

Keywords: long-distance oil and gas pipelines; horizontal directional drilling (HDD); construction efficiency; environmental protection and safety; complicated geological conditions

引言

在我国的能源运输领域中, 长输油气管道因其具有高效率、安全性高以及经济性较强等优势, 已逐渐成为关键的能源输送方式。然而, 其实际建设过程中存在的不同的地理、地质等影响因素, 使得原先传统的开挖施工方法难以符合长输油气管道的高效、安全以及环保需求。值得注意的是, 水平定向钻穿越技术(Horizontal Directional Drilling, HDD)被广泛应用在长输油气管道建设中, 并以其高效、安全、环保的特点应对各种复杂的工程环境。然而, 即使HDD技术显然对改善长输油气管道的施工条件有所贡献, 其设计、施工以及施工监控等关键技术、设备

选择与配套还存在一些挑战需要我们进一步研究和解决。本文正是围绕这一主题, 就长输油气管道水平定向钻穿越(HDD)施工的需求和现状、技术难点和挑战, 以及相关的关键技术进行深入的研究与探讨, 期望能进一步推动这一技术在长输油气管道施工中的应用, 为管道建设提供科学、有效的技术参考和借鉴。

1 油气长输管道的需求和现状

1.1 长输油气管道施工的重要性和挑战性

长输油气管道在能源输送中具有高效、安全、经济的显著优势, 已成为我国能源战略的重要组成部分^[1]。其施工过程中面临的挑战性问题凸显出深入研究和创新技术

的重要性。长输油气管道通常跨越复杂多样的地形和地质条件,包括山脉、河流、湿地等特殊区域。这种环境特性决定了传统机械挖掘或明挖开槽施工方式在很多情况下不可行,尤其是在对土地扰动敏感或环保标准严格的区域。施工中如何在保持高效推进中满足环保、安全和经济要求,成为管道建设的核心挑战之一。

长输油气管道的施工规模往往十分庞大,建设周期长,涉及的管道铺设距离可达数百甚至上千公里。这种规模意味着对施工技术的稳定性和适应能力提出了更高要求,尤其是在面临地质不连续性、高地下水位或地表沉降风险等问题时,传统施工技术容易导致工程进度延误、成本超支及潜在安全隐患。

与此国家对生态环境保护的要求不断提高,现场施工过程中如何最大限度地减少地表破坏、水土流失、噪声污染以及对动植物生态的影响,也对管道施工提出了严峻考验^[2]。这些需求和挑战共同驱动着创新施工技术的兴起,以适应日益复杂的工程环境,真正实现高效、安全、环保和经济的施工目标。

1.2 水平定向钻穿越(HDD)技术的应用和问题

水平定向钻穿越(HDD)技术在长输油气管道的施工中具有广泛应用,主要用于跨越河流、公路、铁路以及其他障碍物,特别是在传统开挖方法不适用或环境敏感区域^[3]。HDD技术在应用过程中也面临诸多问题。施工中的地质条件复杂多变,对钻头的磨损和施工精确度要求高。在硬岩和砂砾土等多样地质条件下,钻头选型、钻孔轨迹控制和施工参数调整等方面具有明显挑战。地下水的变动和地质不均匀性可能导致钻孔塌陷和设备卡钻等风险^[4]。设备的高昂成本和技术人员的需求也是HDD技术普及应用的主要限制因素。解决HDD技术在实际操作中的各种问题,对于提高施工效率和安全性至关重要。

2 水平定向钻穿越(HDD)技术的关键因素

2.1 HDD施工的设计和控制技术

水平定向钻穿越(HDD)技术的设计和控制技术是保证施工顺利进行及施工质量的重要基础环节。科学合理的设计是HDD技术成功实施的前提。针对具体的穿越工程,需要综合考虑地质条件、水文环境、地形地貌以及管道尺寸与材质等因素,以确定合理的穿越路径和施工参数。穿越路径的设计需尽量避免岩层断裂带、溶洞、富水层等复杂地质区域,应尽量减少弯曲半径,以降低钻具和管材的应力,提高施工可行性。

HDD施工控制技术是确保施工按设计要求进行的关键。施工过程中,导向控制系统通过精确的轨迹定位和实时的轨迹调整功能,保证钻头按照设计的轨迹推进,从而达到管道穿越的目标位置。在泥浆配置方面,合理调配泥浆性能可以起到冷却钻头、携带岩屑、稳定孔壁的功能,从而降低复杂地质条件对穿越施工的影响。施工机械参数

的实时监测与调整亦至关重要,包括钻压、扭矩、进给速度等参数的控制,以保证施工的安全性及效率。

通过精准的设计与严格的技术控制,HDD技术可以最大限度地降低穿越施工中的技术风险,确保工程按照计划高质量完成,为复杂地质条件下的施工奠定坚实基础。

2.2 钻头选择和配套设备配置

在水平定向钻穿越(HDD)施工技术中,钻头的选择和配套设备的合理配置是保证施工顺利进行的关键因素之一。钻头的选择需综合考虑地质条件、管道直径及施工长度等因素。在硬岩地质中,应选用具有高强度切削齿及耐磨性能的PDC钻头或牙轮钻头,以提高切削效率并延长使用寿命;对于砂砾土等松散地质,应采用具备良好切削能力及高效排屑功能的适用钻头,避免塌孔和卡钻情况的发生。

配套设备的配置需根据施工设计要求及地层特点精准匹配,主要包括钻机、钻杆、泥浆泵及回拉设备等。钻机的选择应满足施工所需的推拉力 and 扭矩要求,确保施工精度;泥浆泵需提供稳定的泥浆输出,以润滑钻头、冷却设备并护壁固孔;回拉设备应具备足够的承载能力以避免损坏管材。设备间的协同配合能够显著提升施工效率和工程质量,为复杂地质条件下的HDD施工提供有力保障。

3 HDD方案对复杂地质条件的应对

3.1 HDD技术在硬岩施工难题对策

水平定向钻穿越(HDD)技术在硬岩地质条件下施工面临一系列难题,主要包括硬岩的高强度和磨蚀性,这对钻头性能、钻进效率及设备稳定性提出了更高要求^[5]。为应对这些问题,在施工设计和实施阶段需要采取针对性的技术措施。

硬岩地层施工过程中,钻头的选择至关重要。优质的钻头不仅需要具备高强度耐磨性能,还需根据硬岩的具体特性,如岩石强度、硬度和裂隙发育情况,选择适配的PDC钻头或滚刀钻头。在高压泥浆系统的配置中,可结合硬岩地层特性,选用适当的泥浆配比,通过泥浆的冷却、润滑、减阻作用优化钻头工作环境。高效的钻进参数如旋转速度、钻压和推进速率的优化,对于降低钻头磨损、提高钻进效率至关重要。

针对硬岩地层钻进中的高磨损问题,需加强设备的实时监控与维护,通过监控系统动态调整钻进参数,预警设备异常,确保施工过程的稳定性和安全性。采用先进的导向技术保障钻进路径的精度,避免因偏离设计路径增加施工难度。通过引入双动力头钻机等先进设备,还可进一步提升在硬岩条件下的施工效率。

这些优化措施不仅显著提升HDD技术在硬岩地层中的施工能力,在确保工程进度和成本控制方面提供了坚实保障,推动该技术在复杂地质条件下的广泛应用。

3.2 HDD技术在砂砾土施工难题对策

砂砾土作为一种复杂且特殊的地质条件,往往对水平

定向钻穿越(HDD)施工提出了较大挑战。其具有的非均匀性、高磨蚀性以及易坍塌性,可能导致钻孔稳定性不足、管道穿越阻力增大等问题。针对这一地质特点,可采取多种技术措施加以应对。

优化泥浆配比是提高砂砾土 HDD 施工可靠性的关键,通过调整泥浆黏度和密度,可有效增强孔壁支撑力,减少坍塌风险。选用高耐磨钻头与钻杆,能够延长设备使用寿命并提升作业效率。施工过程中,采取分段施工及实时监测钻孔轨迹,可确保轨迹精准并降低意外风险。为防止孔道坍塌,采用钢制护管或封闭式空腔技术,能够显著改善钻孔稳定性。

这些针对砂砾土的施工措施,不仅提升了 HDD 技术在复杂地质条件下的适应性,还为长输油气管道施工提供了更加安全、高效的实践保障。

4 HDD 技术对施工效率和成本的影响

4.1 HDD 技术对提高施工效率的贡献

HDD 技术因其诸多优点在提高长输油气管道施工效率方面具有显著贡献。相比传统开挖技术,HDD 施工方法能够在不破坏地表的情况下进行管道铺设,有效避免了对地表设施和生态环境的干扰。这种非开挖施工特性使得在城市、河流、铁路等交通繁忙区域,以及生态敏感区域的施工得以顺利进行,从而无需复杂的地表恢复和重建工作,使工程进度得以加快。

HDD 技术通过先进的钻探设备和精确的测控系统,能够对钻进路径进行动态调整,保障了在复杂地质条件下的施工顺利进行。这种高精度的控制缩短了施工时间,降低了施工中断和返工的可能性,提高了施工效率。HDD 技术的自动化程度高,操作人员所需的劳动强度较低,且全程施工受天气条件影响较小,减少了因恶劣天气带来的施工延误。

与此 HDD 技术的模块化设计和标准化施工流程大幅缩短了施工准备和实际操作时间。管道穿越区域的精确设计与合理安排避免了不必要的施工环节,提高了资源的利用率。HDD 技术所需设备的灵活性和适用性使施工队伍能够快速响应各种施工需求,实现快速施工和有效管理。综合来看,HDD 技术的应用直接促成了施工效率的大幅提升,为长输油气管道工程提供了可靠的技术保障。

4.2 HDD 技术对降低施工成本的贡献

在长输油气管道施工中,水平定向钻穿越(HDD)技术对降低施工成本的贡献显著。HDD 技术减少了对地表开挖的需求,避免了大规模土方开挖和地表恢复所需的人力、设备及材料投入,从而有效降低了直接工程成本。HDD 技术能够适应多种复杂地质条件,通过精准地设计与施工,大幅减少了由地质问题所引发的施工返工及工程延误,这在长输管道跨越江河、高速公路等环境敏感区域的工程中显得尤为重要。HDD 施工对生态环境的破坏较小,减少了

因环境修复所带来的间接成本投入。依托高效的施工流程与严格的质量控制,HDD 技术在提高施工安全性和稳定性的同时,降低了因事故及质量问题所引发的额外成本支出,为实现管道工程的经济、高效建设提供了重要保障。

5 HDD 技术对环保和安全的保障

5.1 HDD 施工对环境和生态的保护

水平定向钻穿越(HDD)技术在长输油气管道的建设中得到了广泛应用,其对环境和生态的保护具有重要意义。传统的开挖施工方式通常会在地表植被、土壤结构和地表水系统造成不同程度的破坏,而 HDD 技术由于其非开挖的特点,极大地减少了对地表环境的干扰。HDD 施工方法能够有效避免对森林、河流、湿地等生态敏感区域的直接破坏,保护当地的生态系统。

在实施过程中,HDD 技术通过精确的技术参数控制和精细的施工组织,确保了钻孔路径的准确性,避免了不必要的土方开挖,减少了土壤侵蚀和水体污染的风险。HDD 施工中所使用的泥浆具有良好的封闭性和可控性,能够有效避免地下水体系的污染。施工所需的场地面积较小,施工周期短暂,进一步降低了对环境的影响。

通过采用 HDD 技术,施工噪音和粉尘的排放也显著降低,从而减少了对周围居民和野生动物的干扰。这种技术的使用为工程施工过程中环境和生态保护提供了一条可行的绿色路径,符合可持续发展的要求。HDD 技术不仅满足了工程建设的效率和安全需求,也为环境保护提供了保障,成为现代基础设施建设中重要的环保技术措施。

5.2 HDD 施工地安全保障措施

在长输油气管道施工中,安全保障措施是确保施工顺利进行的关键。水平定向钻穿越(HDD)技术由于其作业环境复杂,对安全要求较高,需在多方面确保其安全性。施工前,必须进行详细的勘测和风险评估,以识别潜在的危险源,确定适宜的安全防护措施。施工过程中,需加强作业人员的安全培训,提高他们对操作规程和应急处理程序的熟悉程度,从而降低人为失误的风险。应严格监控钻机设备状态,确保其在良好工况下运行;定期进行设备检修和维护,及时排除故障隐患。施工现场应设立警示标志和隔离措施,限制无关人员进入作业区域。施工用电、用水、用气等物资管理需严格遵循安全标准,防范线路故障和泄漏事故。遇到突发事件时,需有完善的应急预案,确保施工人员和周围环境的安全。这些措施的实施,为 HDD 施工提供了全面的安全保障。

6 结束语

通过对长输油气管道水平定向钻穿越(HDD)技术的深入研究,分析了长输油气管道 HDD 施工的需求、现状、技术难点与挑战,并对 HDD 的设计、施工监控技术,以及钻头选择与配套设备配置等关键技术进行了重点讨论。同时,针对硬岩、砂砾土等复杂地质条件下的施工难题,提出了

相应的解决措施和具体施工方案。实际结果验证,通过采用 HDD 技术,能够显著提升长输油气管道的施工效率,降低施工成本,大幅减少施工对环境和生态的破坏,有效保证了施工的环保和安全。然而,值得注意的是,对于极端复杂的地轨环境,HDD 技术可能还需进一步优化,以适应更多样的工程情况。因此,需要将未来研究重点放在优化 HDD 技术及其施工方式,提高其在复杂环境中的通用性和适应性上,以期进一步提高长输油气管道施工的效率 and 安全性。

[参考文献]

- [1]陈启伟.长输油气管道工程中定向钻穿越施工技术研究[J].精品.健康,2020(1):230-230.
- [2]王绥昊,龙小贺,王诗雅.地质复杂地段油气管道水平定向钻穿越施工方法[J].化工管理,2021(31):189-191.
- [3]王加虎张军.水平定向钻穿越砂层敷设燃气管道的施工技术[J].上海煤气,2023(5):8-9.
- [4]周政.油气长输管道定向钻穿越施工技术[J].工程技术,2023(7):0182-0184.
- [5]杨军.长输管道水平定向钻穿越施工技术[J].建筑工程与管理,2020,2(5):82-84.
- 作者简介:范佳豪(1996.4—),男,湖南工业大学科技学院,道路与桥梁。