

油气长输管道山体定向钻穿越施工技术分析

张振 范佳豪

中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北 任丘 062500

[摘要]长输油气管道是实现能源效率和安全的重要工具,其施工过程中可能会遇到复杂的地形和地质条件,特别是山体等难以穿越的地质障碍。为了克服这些困难,提高施工效率和安全性,本研究专门对山体定向钻穿越施工技术进行了分析。通过构建地质模型以及施工模拟,结合实际案例对比分析,得出了几点关键成果。首先,良好的地质预判和钻头选择是成功完成山体定向钻穿越的前提。其次,设计合理的钻井曲线和施工参数是保证施工质量和安全的关键,同时还可以有效降低施工成本。最后,钻出口的定位精度直接关系到成果的质量。试验和实践表明,骨架比定位技术能够有效提高出口定位精度,从而提高山体定向钻穿越施工的成功率。本研究的成果已经在国内多个油气长输管道项目中得到了实际应用和验证,为长输管道施工技术发展提供了一定的理论支持和技术指导。

[关键词]油气长输管道; 山体定向钻穿越; 施工模拟; 地质预判; 骨架比定位技术

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16649

中图分类号: TE9

文献标识码: A

Analysis of Directional Drilling Construction Technology for Mountain Crossing of Long-distance Oil and Gas Pipelines

ZHANG Zhen, FAN Jiahao

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

Abstract: Long distance oil and gas pipelines are important tools for achieving energy efficiency and safety, and their construction process may encounter complex terrain and geological conditions, especially geological obstacles such as mountains that are difficult to cross. In order to overcome these difficulties, improve construction efficiency and safety, this study specifically analyzed the construction technology of mountain directional drilling crossing. By constructing geological models and construction simulations, combined with comparative analysis of actual cases, several key achievements have been obtained. Firstly, good geological prediction and drill bit selection are prerequisites for successfully completing directional drilling through mountains. Secondly, designing reasonable drilling curves and construction parameters is the key to ensuring construction quality and safety, while also effectively reducing construction costs. Finally, the positioning accuracy of the drilling outlet is directly related to the quality of the results. Experiments and practices have shown that skeleton ratio positioning technology can effectively improve the accuracy of exit positioning, thereby increasing the success rate of mountain directional drilling and crossing construction. The results of this study have been practically applied and verified in multiple domestic oil and gas long-distance pipeline projects, providing theoretical support and technical guidance for the development of long-distance pipeline construction technology.

Keywords: oil and gas long-distance pipelines; mountain directional drilling crossing; construction simulation; geological prediction; skeleton positioning technology

引言

长输油气管道作为国家能源传输的主要通道,对于保障国家能源安全、石油天然气产业的发展、推动地方经济社会发展具有重要作用。然而,长输管道的施工环境多样,地球表层条件复杂。其中,山体作为一种比较常见的地质障碍,对油气管道的建设提出了严峻的挑战。如何安全、高效地穿越这些障碍,成为了长输油气管道施工中亟待解决的问题。过去的研究更多地侧重在管道施工的总体规划和设计上,少有关于具体实施过程中山体定向钻穿越技术的深度分析。因此,本研究旨在通过构建地质模型和施工模拟,分析和总结山体定向钻穿越施工的关键技术和方法,为实际工程提供参考和指导,并期望以此对我国长输油气

管道施工技术的发展和推广做出一些贡献。

1 长输油气管道之重要性与挑战

1.1 长输油气管道的作用与影响

长输油气管道在全球能源输送中扮演着至关重要的角色,其主要作用在于提供可靠和高效的交通工具,将石油和天然气从产地输送到需求市场^[1]。这种运输方式相较于铁路运输和海运,能够降低运输成本,并减少能源消耗和碳排放,使其成为一种环保的选择。长输管道系统因其能够大规模连续运行,确保能源在长距离传输过程中的稳定性与安全性,对各国的能源安全具有深远影响。在区域经济发展方面,长输油气管道的建设和运营也能带来直接和间接的经济效益,包括促进相关产业的发展,增加就业

机会,以及推动沿线地区的基础设施建设。考虑到全球对低碳和可持续能源的需求不断增长,长输油气管道将继续在全球能源格局中占据重要地位,支持各国能源政策的实施与经济的可持续发展。

1.2 遇到的主要地质障碍和挑战

长输油气管道施工过程中面临多种复杂的地质障碍和挑战。山体作为一种典型地貌,其地质条件复杂多变,包括岩石坚硬程度、地层破碎性和地下水分布等多方面因素,给管道穿越施工带来较高难度。岩石的硬度和强度直接影响钻具的选型和施工效率,过硬的岩层可能导致钻头磨损加剧甚至作业中断。地层的破碎性则容易引发钻孔塌陷和泥浆流失,影响钻进的稳定性和连续性。地下水的存在不仅容易引发孔壁坍塌,还可能导致泥浆污染周围水体,从而造成环境问题。某些山体区域可能存在复杂的断裂带与滑坡地带,这类不稳定结构会对施工的安全性构成威胁。这些地质障碍的多样性和不可预测性增加了施工方案设计和实施的难度,需要对地质条件进行深入勘察与科学分析,以保障施工的顺利进行^[2]。

1.3 山体定向钻穿越的必要性与难度

山体定向钻穿越是长输油气管道建设中的关键步骤,因其能够有效解决传统施工方式难以逾越的障碍^[3]。穿越山体时,必须克服复杂的地质条件,如岩石类型多样性、高度变化和地质构造的不确定性,这对施工提出了更高的技术要求。山体钻穿越不仅需要精准的地质评估和施工规划,还需运用先进的技术以确保穿越过程中的安全性和可控性。由此,山体定向钻穿越对于保障能源运输的稳定性和安全性至关重要。

2 山体定向钻穿越技术现状与发展趋势

2.1 现有的山体定向钻穿越施工方式

山体定向钻穿越施工技术在油气长输管道建设中占据重要地位,其主要任务是在复杂地形中安全、经济、有效地铺设管道。当前,几种主要的施工方式广泛应用于这一领域。这些方法包括水平定向钻(Horizontal Directional Drilling, HDD)、导向钻进技术和微隧道掘进技术。这些方法各有其独特的技术特点和适用场景。

水平定向钻技术是指通过钻井设备从地面沿设计路径钻进,直到突破山体到达另一侧地面。此技术以其对地表扰动小、环保性高而著称,适用于需要保护环境的区域。水平定向钻技术对地质条件要求较高,对于硬岩、断层等复杂地质条件,钻进成本和难度会明显增加。

导向钻进技术依赖于先进的导航系统,使钻头沿着预设轨迹精确穿越山体。这种方法适用于需要高精度施工的情境,但设备复杂,技术人员需要丰富的操作经验和背景,以确保导航系统的正常运行。

微隧道掘进则是一种面向更为坚固地质条件的技术,通过小型掘进机开辟隧道并完成管道铺设。该技术的优点

是隧道内径小,适合短距离、高硬度地层穿越,但施工成本较高,且设备运维复杂。

这些施工方式的选择需根据山体的具体地质条件、工程预算和环境保护要求进行综合评估,以确保施工的安全性、经济性和环保性。这些技术的应用和不断发展,为长输管道的设计和施工提供了更多的选项和支持。

2.2 山体定向钻穿越技术的发展趋势

近年来,山体定向钻穿越技术呈现出智能化、高精度化和环保化的发展趋势。智能化技术在施工中的应用愈加广泛,基于大数据分析和人工智能的施工参数优化算法,为提高施工效率和施工安全提供了新的路径。高精度技术的发展则集中于定位与路径规划,先进的骨架比定位方法和实时监测系统显著提升了钻井轨迹的控制能力,减少了偏差发生的概率。与此环保化理念逐渐深入施工过程中,绿色施工技术及设备被广泛采纳,以降低穿越作业对生态环境的破坏。结合精细化的地质调查和施工模拟,未来山体定向钻穿越技术预计将在施工效率、成本控制及环境保护领域取得进一步突破,为复杂地质条件下的油气管道建设提供更安全、更可靠的技术支持。

3 地质预判与钻头选择策略

3.1 地质预判的重要性和方法

地质预判在山体定向钻穿越施工中至关重要,其目标是识别和评估潜在的地质障碍,以制定合适的施工方案。准确的地质预判能够降低不确定性,在提高施工安全的优化工期和成本。地质预判通常采用多种方法,包括地质勘探、地质建模和地面地球物理测试等。这些方法旨在收集详细的地质数据,为后续的施工设计提供可靠的基础。在地质勘探中,钻探取样和地质测绘是常用的技术,可提供关于地层结构、土壤类型及地下水状况的信息。地质建模可以将勘探数据转化为可视化的地质图,帮助理解地下结构的复杂性。地面地球物理测试则使用声波、电阻率等方式进一步验证和补充地质模型。通过这些综合手段,施工团队可以获得全面的地质信息,使得定向钻的路径更为精准,最大限度地减少施工风险。

3.2 钻头选择的策略和要求

钻头选择在山体定向钻穿越中至关重要。钻头的性能和适用性直接影响施工进度和安全性。需根据地质预判结果选定钻头类型,以应对不同岩层的硬度和结构特征^[4]。地质条件较复杂的地段,应选择具备高耐磨性和抗冲击性的钻头,以提高对硬岩和复杂岩层的穿透能力。应考虑钻头的直径与传递扭矩之间的匹配,以保障施工设备的稳定运行。钻头的冷却与润滑需求也需在选择过程中予以重视,以防止过热导致的设备损坏^[5]。不同钻头的制造材料和结构设计差异较大,在选择过程中应综合考虑施工成本与设备磨损之间的平衡,确保经济效益与施工质量的双重实现。钻头选择的科学性和合理性是实现高效、安全施工的基础。

3.3 二者与山体定向钻穿越安全性的关联

地质预判与钻头选择的合理结合是提高山体定向钻穿越施工安全性的核心要素。地质预判通过识别复杂地层、预计潜在风险,为施工过程提供科学依据,有助于减少因未知地质条件引发的安全隐患。钻头选择直接影响穿越效率和施工稳定性,不同地层需匹配相应的钻头特性,以应对岩土强度、磨损程度等问题。二者的协同作用能够优化施工方案,降低机械故障率和地质灾害发生概率,从而保障施工的安全性与高效性。

4 钻井曲线和施工参数设计

4.1 钻井曲线设计的重要性和考虑因素

钻井曲线设计是山体定向钻穿越施工中的核心环节,对施工安全性、效率及经济性具有直接影响。合理的钻井曲线不仅能够有效避开地质障碍和高风险区域,还能优化施工路径,减少管道铺设过程中的摩擦和应力集中,从而提高施工成功率。在设计时,应综合考虑地质条件、工程规模、设备性能及施工环境等因素。地质条件决定了钻井曲线的角度变化范围和曲率半径,需充分分析地层结构、岩石强度及可能存在的断层或滑坡区。施工环境的空间限制与管线走向要求也需要同步协调,确保钻井曲线能满足设计精度和操作便捷性。施工设备的性能指标,如钻机推力、扭矩及钻具承载能力,对曲线设计的曲率变化范围具有约束作用。针对复杂山体地形,应优先选择小曲率、平缓过渡的曲线设计,以避免过度的机械损耗及管道应力集中问题。完善的钻井曲线设计能够为整个钻进过程提供科学指导,对于提高工程质量和降低施工风险具有决定性作用。

4.2 施工参数设置的影响和优化方法

施工参数的设置对山体定向钻穿越施工的效率 and 安全性具有重要影响。合理的参数设置可以有效避免施工过程中因地层条件复杂而引发的风险,例如孔壁坍塌、钻具磨损过度等问题。主要施工参数包括钻井速度、钻压、泥浆流量及压力等。其中,钻井速度需根据地层硬度和钻头性能进行动态调整,以平衡进尺效率与钻具损耗。钻压的控制对防止井斜及提升钻进稳定性至关重要,应结合钻井曲线的设计精度进行优化。泥浆流量和压力则直接影响到岩屑移送和井眼清洁度,需根据地层透水性和钻井深度合理匹配。通过对施工参数的实时监测与动态调整,能够有效提高施工效率,降低故障率,从而保障山体定向钻穿越施工的安全性与经济性。

4.3 钻井曲线和施工参数对施工效率和安全的影响

合理的钻井曲线设计与施工参数设置对提高山体定向钻穿越的施工效率和安全性具有关键作用。优化的钻井曲线可减少钻进阻力,降低设备损耗,缩短工期,而科学的施工参数,包括钻速、泥浆流量、压力等,能有效控制井眼稳定性,防止事故发生。这种精细化设计与参数控制可显著提高复杂地质条件下的施工成功率,降低安全风险

和经济损失,为工程顺利实施提供技术保障。

5 骨架比定位技术在山体定向钻穿越中的应用

5.1 骨架比定位技术的原理及优点

骨架比定位技术在山体定向钻穿越中的应用,是近年来一项重要的技术创新。其原理主要基于地质雷达和声波探测相结合,通过探测地层密度变化以及反射波信号,建立精确的地下三维结构模型。这一技术利用骨架比,即地质结构密度与钻井参数的比值,来提高钻孔定位的精度。选择合适的骨架比能够有效减少误差积累,从而提升定位准确性。

该技术的优点体现在多个方面。能够在复杂多变的地质条件下实现高精度定位,为施工提供可靠的数据支持。其应用无需大量硬件投入,主要依赖软件算法优化,可显著降低施工成本。利用这一技术能够实现准确的钻井路线设计,减少不必要的路径调整,进而提升施工效率和安全性。骨架比定位技术在油气管道山体定向钻穿越施工中的应用潜力广阔,值得进一步推广和实践。

5.2 骨架比定位技术的具体应用流程

骨架比定位技术在山体定向钻穿越中的具体应用流程包括以下几个关键步骤。需要根据施工区域的地质条件和设计要求,建立详细的地质模型,并确定钻井路径的初步设计方案。在钻井施工中,通过测量设备实时获取关键位置数据,包括钻进过程中钻头的路径、深度和角度等信息。利用骨架比定位算法对采集的数据进行分析、对比和修正,以校正可能出现的钻井误差,确保钻头按照预定轨迹推进。特别是在接近钻出口位置时,通过密集的数据采集与骨架比算法的高精度计算,进一步提高钻出口定位的准确性。最终,完成路径优化与出口定位确认后,对施工作业进行精度评估和数据总结,以支持后续施工方案优化。

5.3 骨架比定位技术在改善精度和降低成本中的作用

骨架比定位技术通过精确定位钻孔出口位置,显著提高了山体定向钻施工的精度,降低了施工过程中的误差,减少了返工和调整的时间和成本。该技术通过骨架结构的稳定性和精准性,确保了钻孔路径的准确性,从而减少了因误差而导致的额外资源消耗。借助这一技术,施工单位能够在复杂地质条件下进行高效作业,减少了设备磨损和人力资源投入,使得项目整体成本得到有效控制。这种精度提升和成本优化在多个油气长输管道项目中得到了验证。

6 结束语

本论文对长输油气管道中山体定向钻穿越施工技术进行了深入研究和实证分析,通过地质模型构建、施工模拟以及实际案例比对,探讨了成功完成山体定向钻穿越的关键因素。研究结果指出,正确的地质预判和钻头选择,设计合理的钻井曲线和施工参数是保证质量和安全的重要

要因素,此外,高精度的钻出口定位也是桩位设置精度的决定性因素。本研究利用骨架比定位技术成功提高了出口定位精度,有力提升了山体定向钻穿越施工的成功率,具有良好的实践价值。然而,定向钻穿越施工技术仍有诸多不确定性和难以预料的情况,因此未来研究还需要从更多角度和层面深化对本领域的探索和研究,进一步提升长输油气管道施工的科学性和普适性。

[参考文献]

- [1]周政.油气长输管道定向钻穿越施工技术[J].工程技术,2023(7):182-184.
- [2]王风雷.油气长输管道定向钻穿越施工技术探究[J].建筑工程技术与设计,2021(27):75-76.
- [3]孙晓宇.油气长输管道定向钻穿越施工技术探讨[J].全面腐蚀控制,2023,37(7):16-18.
- [4]林野.油气长输管道定向钻穿越施工技术分析[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2021(1):88-89.
- [5]祁小伟.长输管道定向钻穿越施工技术和设计分析[J].建筑工程技术与设计,2021(27):935-936.

作者简介:张振(1997.10—),男,济南大学,化学工程与工艺。