

天然气长输管道山地陡坡段设计与施工关键技术分析

郑昆鹏 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 在我国天然气长输管道工程规模持续扩大的时代背景下, 山地陡坡段的施工难度与施工风险已成为制约工程安全性的关键性因素。基于此, 本文简单分析山地陡坡段设计关键技术难点, 包括线路选线难度相对较大、坡体稳定性应力控制困难与水土流失问题较为严重等。深入探讨山地陡坡段施工技术优化策略, 通过合理组织施工工序、提升施工安全保障措施、严格控制焊接回填质量与强化信息化管理手段, 以供参考。

关键词: 天然气; 长输管道; 山地陡坡

中图分类号: TE44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0117-03

Analysis on Key Technologies for Design and Construction of Mountainous and Steep Slope Sections in Long-Distance Natural Gas Pipelines

Zheng Kunpeng (Sinopec Petroleum Engineering Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Against the background of the continuous expansion of long-distance natural gas pipeline projects in China, the construction difficulty and risks of mountainous and steep slope sections have become critical factors restricting project safety. Based on this, this paper briefly analyzes the key technical difficulties in the design of mountainous and steep slope sections, including relatively difficult route selection, challenging stress control for slope stability, and serious soil and water loss. It also deeply discusses the optimization strategies for construction technologies of mountainous and steep slope sections by reasonably organizing construction procedures, improving construction safety guarantee measures, strictly controlling the quality of welding and backfilling, and strengthening information-based management, providing references for related projects.

Key words: natural gas; long-distance pipeline; mountainous and steep slope

天然气作为我国能源结构的重要组成环节, 其长输管道网络对于保证能源安全与促进经济发展具有重要作用。长输天然气管道施工中, 山地陡坡等施工难度较大的区域, 其安全风险性较高, 已成为影响管道施工的主要因素, 因此需要为合理化施工提供科学的参考依据与技术支撑。

1 山地陡坡段设计施工的重要性

山地陡坡本身在天然气的长输管道中占据较为重要的位置, 其设计与施工将直接对施工质量产生影响, 其运行稳定性与工程经济效益具有直接联系。山地陡坡段地形起伏较大, 坡度陡峭, 坡体土质复杂, 因此在恶劣环境下, 极易出现山体滑坡与泥石流等风险。为保证管道在此类地段的安全运行, 需要在设计阶段充分考虑坡体的稳定性与地质特征。山地陡坡段施工对管道结构的力学行为影响极大, 施工过程中的开挖管沟、回填土方及支护结构设置, 均会对坡体原有的应力状态产生影响, 若所选施工工艺不当, 将会出现边坡滑移与管道沉降等问题。因此在管道的坡面布置过程中, 需要对其纵向与横向的弯曲应力叠加效应进行分析, 使其可以通过应力分析与校核; 科学设计支撑结构、锚固措施及坡体排水系统, 可有效降低施工引起的管道应力集中和坡体扰动, 从而提升整体结构稳定性^[1]。

2 山地陡坡段设计关键技术难点

2.1 线路选线难度相对较大

线路选择本身在山地的陡坡段设计过程中极为重要, 复杂的山区地形中, 山脊、沟谷、陡崖等区段广泛分布, 使管道的布设路径必须在安全性、施工可行性、环境影响及经济性之间综合权衡。地质条件的不均匀将导致增加选线难度, 岩体破碎带、滑坡体及泥石流活动区本身的分布在选线阶段也并不能得到准确确定, 因此在管道选线过程中若存在疏忽, 将导致各类潜在安全隐患存在较大的不确定性。设计过程中, 需要依靠高精度地形测量、三维地质建模以及卫星遥感等技术, 对陡坡坡度、滑坡、泥石流等风险进行评估, 并对潜在的安全隐患进行避让, 进而落实局部加固设计工作^[2]。

2.2 坡体稳定性应力控制困难

坡体的稳定性与管道应力控制均属于陡坡段设计的核心技术难点, 在设计阶段需要通过精细化的有限元分析与地质力学计算等方式, 对坡体应力分布、管道受力状态等进行综合评估, 并对锚固、支撑及防滑结构进行合理布置, 以此优化坡体承载能力与管道布置方式, 从而进一步降低其结构风险, 并对可能出现的临时施工扰动进行系统性分析, 确保相关设计方案满足施工的可行性需求。设计阶段通过精细化有限元

分析、多场耦合数值模拟及地质力学计算,对坡体应力分布、管道受力状态及潜在滑移模式进行综合评估。以此确保设计方案既可满足施工可行性,亦可控制运营阶段的应力水平,从而保证管道可以长期稳定运转,保证运行效果^[3]。

2.3 水土流失问题较为严重

水土保持问题在陡坡的设计过程中复杂度相对较高,陡坡地表的径流较为集中,暴雨与融雪期也极易因水流冲刷、沟壑加深以及植被破坏等原因,导致边坡退化与管道周围的地基出现沉降,进而对管道的安全性与施工的稳定性造成影响。设计阶段需要对降雨量、径流模式、土壤类型及植被覆盖率进行细致分析,科学地布设截水沟、排水沟、拦水坝等结构,进一步提高坡面的抗冲刷能力。后续施工过程中,应着重解决因开挖扰动导致土壤裸露、冲刷流失等问题,同时保证施工过程中排水系统有效运行,既能保障施工安全,又能实现坡面生态恢复与长期稳定^[4]。

3 山地陡坡段施工技术优化策略

3.1 合理组织施工工序

山地陡坡段的施工工序组织是对施工安全性与工程质量的综合考量,因陡坡地形复杂且坡度较大,场地施工极易受限,机械作业也会受到空间等多方面因素限制。在进行规划的过程中,需要科学进行规划,尽量减少可能出现的施工扰动,以此降低可能出现的安全风险并提高施工效率。为保证施工效果,可将陡坡路段分别划分为不同的控制单元,并在各个单元明确施工范围、施工顺序及作业接口,以此避免作业重叠与机械作业相关干扰的情况出现,以此保证施工的安全性及各类资源的合理配置。在分段管理工作的实施过程中,需要严格按照先支护后开挖的标准原则进行,并秉持先局部后整体的施工原则。坡体的施工需要在管道开挖前完成,其需要同时包含临时锚杆、支撑架及挡土墙等结构,以保障边坡在开挖过程中的稳定性,在管沟的开挖过程中,需要严格遵循分层开挖与回填策略进行,使其可对土方的稳定性进行持续控制,避免出现坡体位移及管道纵向应力集中等问题。在施工过程中,重型机械作业需要与人工操作合理搭配,人工用于坡面精细施工和设备安装,以此提高施工精度并降低事故风险^[5]。

管道的运输与吊装环节也需要进行相应的统筹规划,陡坡路段的机械运输会受到坡度与地形等因素的限制,因此需要通过分段运输、分批吊装及临时施工平台布置相结合的方法,确保管道段与施工材料可更为顺畅地运输到施工现场,而管道的安装也需要与管沟开挖、支撑安装及回填工序相匹配,以此保证作业

的连续性与施工节奏的稳定性,在相关的施工计划中,需要根据各季节的气候变化特点,合理安排雨季与高温期施工特点,避免因不利气候条件而导致施工延误与边坡失稳。施工工序组织也应与质量控制体系相结合,使其各个施工环节均需要明确检查标准与验收的节点特征;管沟的开挖与支撑安装特点等,均需要根据施工特点进行分段控制,保证其施工过程可追溯,使其工序间的质量可形成无缝衔接,而后依靠科学组织施工工序,可实现作业效率最大化、资源投入最优化,同时显著降低安全风险和工程返工可能性。通过分段管理、分层开挖、机械与人工协同,保证施工质量控制等可得到紧密结合,以此确保陡坡管道的施工可更为高效与安全的实施,进一步提高控制效果。

3.2 提升施工安全保障措施

山地陡坡施工过程中,普遍存在坡体坍塌、滑坡、机械倾覆等风险,而施工安全保障措施实施的科学性与系统性,也将直接对工程的推进以及工作人员的生命财产安全产生影响,此过程中需要建立起完善的安全评估与管理体系,在工程开工前,优先落实全面地质调查与稳定性评估工作,快速识别潜在的滑坡、泥石流风险,根据当地的降雨、季节性冻融及施工扰动因素开展综合风险评估,并搭建安全风险分级表,以此为施工组织提供决策依据。在风险识别的过程中,施工现场需要设计专业化的安全防护措施。通过边坡支护、临时挡土墙、锚杆及防滑平台等设施,并保证坡体可在施工荷载下仍保持稳定。机械作业区的工作日人员的作业区需要进行严格分隔,重型机械的操作过程中,也应配备防倾覆装置与限位措施,施工人员需要积极佩戴安全防护装备并通过高空作业培训与演练,对其结构承载力进行计算,保证设备与人员安全通行。

施工安全管理工作需要建立动态监测与预警机制,依靠布设坡体位移监测点与地表径流监测系统,实时掌控施工过程中的坡体变化情况与水土流失情况,其监测工作的实施过程中,需要与施工工序计划紧密结合,在发现现场的异常情况,采取停工或加固措施,避免事故发生。此外需要设计雨季与恶劣天气施工限制,清晰判断强降雨、风速及低温条件下施工暂停或调整工序的标准。施工安全保障中的应急预案与快速响应机制,均需要针对滑坡、边坡塌方及机械事故的应急预案,使其可同时包含人员疏散路线与救援物资配置,施工人员需要定期开展演练工作,以保证各类突发事件可快速响应,并对事故的蔓延范围进行控制,以保证施工的安全性,并实现闭环管理。在进行动态监控的过程中,需要依靠科学设计与实施

安全措施、建立实时监控体系以及完善应急响应机制的联合运用,尽可能降低可能出现的施工风险,以此为工程质量、施工进度和人员安全提供可靠保障,通过科学且系统的安全保障措施,使其成为推进长期运行安全的关键保障手段。

3.3 严格控制焊接回填质量

焊接与回填的质量控制均作为山地陡坡管道施工控制的关键环节,而其技术水平也将直接对管道结构的完整性与运行的安全性造成影响。陡坡段施工会受到地形限制,坡度较大,施工空间狭窄,焊接作业易受机械摆动等多方面因素的影响。为保证焊接工作的实施效果,设计需要进一步明确焊接工艺参数,包括焊接电流、电压、焊速及预热温度焊接工艺参数,包括焊接电流、电压、焊速及预热温度等内容,而后根据坡度的变化情况,对焊接顺序进行调整,避免因焊缝集中而导致应力持续增加的情况出现。焊接作业也需分段进行,在隔断焊接完成后严格落实无损监测工作,对其射线检测及超声波检测,并在发现焊缝缺陷后及时进行修复。焊接的质量还需要综合考虑管道的纵向应力与坡度的稳定性作用,陡坡管道的纵向应力极易因坡度的变化与施工扰动而出现集中,而焊接完成后,仍需要依靠应力释放与坡段固定等方式,保证焊接受力的均匀性,并以此减少因应力集中而出现裂纹风险的可能性。焊接过程中也需要对环境条件加以严格把控,并对降雨、风速及温度变化严格监管,并确保金属熔池均匀,防止冷裂或夹渣缺陷。

回填施工的过程中,会直接对管道纵向和横向受力状态及边坡稳定性造成影响,回填土方需要通过分层回填与分段压实等方式,对各层的厚度与压实度进行调整。回填土与管道可紧密链接,并保证其受力均匀,对于坡体高度差较大与坡度较陡等区域,也可结合机械压实与人工整平相结合的方式,保证回填的密度满足预期的设计要求,在回填完成后,仍需要落实沉降观测和密实度检测工作,以保证回填与管道的接触面连接紧密,并保证坡体的整体稳定性满足预期设计要求。

3.4 强化信息化管理手段

在山地陡坡的管道施工过程中,信息化管理技术的运用,可起到提高施工组织效率与强化安全管理效果的作用。目前看来陡坡地形较为复杂,因此施工过程中常涉及多机械、多工序及多专业协同作业,传统施工管理方法难以实现全局动态监控和实时调度。长输管道安全运行是一项复杂的系统工程,因此要综合考虑多方面因素,要建设完善的燃气工程技术研究平台,定期研究长输管道安全运行的风险、缺陷、有效

措施等,对管道安全运行提供技术支撑。结合管道安全管理现状,搭建可靠性评价、风险评价、完整性管理“三位一体”的管道工程技术研究平台,对长输管道安全运行进行综合评价管理,在持续发展过程中若遇到新的问题,则可增加考虑搭建多位一体工程技术研究平台,从管道安全运行的工程角度进行研究,给管道安全管理提供技术支持。施工安全管理工作的实施过程中,需要通过布设坡体位移监测、管沟沉降监测与地表径流监测系统等方式,实时施工过程中的坡体变形与水土流失情况的实时掌握,将监测数据与施工工序计划紧密结合,若工作过程中发现异常,应立刻停工并通过加固措施,避免出现事故。雨季或恶劣天气需设置施工限制,明确强降雨、风速及低温条件下施工暂停或调整工序的标准。施工安全保障需要同时包括应急预案与快速响应机制,并指定针对滑坡与边坡塌方相关的应急管理员,同时包括人员疏散路线、应急指挥调度及救援物资配备,确保施工安全。天然气的输送主要依靠长输管道,由于天然气本身的易燃易爆和运输的长距离特征,同时由于运输量大、外界影响因素多、山区陡坡段管道安全风险相对较高等因素存在,此类问题均可依靠信息化手段形成科学管理把控。

4 结语

综上所述,未来的发展过程中,需要通过勘察与施工技术的合理化运用,推动数字化与智能化的一体化技术应用,并通过引入高精度地质建模、实时坡体监测与智能施工调度系统,为施工的全流程风险管控与资源配置优化提供可持续的引导,并为我国天然气长输管道提供长远的技术支撑与发展方向。

参考文献:

- [1] 吴江涛. 天然气长输管道山地陡坡段施工方法与技巧 [J]. 石油工业技术监督, 2025, 41(12): 63-67.
- [2] 雷阳. 天然气长输管道山地陡坡段施工技术 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(01): 97-99.
- [3] 杨孟. 天然气长输管道山地陡坡段施工技术探讨 [J]. 化工管理, 2021, (03): 68-69.
- [4] 李刚, 张学彬, 刘国柱. 天然气长输管道山地陡坡段施工技术研究 [J]. 化工管理, 2020, (18): 167-168.
- [5] 曹洋. 天然气长输管道山区段水工保护研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(13): 105-106.

作者简介:

郑昆鹏 (1985-), 男, 汉族, 山东泰安人, 高级, 本科, 研究方向 (主要从事的工作): 油气管道设计, 油气储运。