

山区长输管道穿越高陡边坡的稳定性分析与施工安全保障体系

王红伟

中石化江汉油建工程有限公司 湖北 武汉 430070

摘要：本文深入探讨了山区长输管道穿越高陡边坡工程的挑战与应对策略，工程始于山区腹地，止于沿海城市，全长达数百公里，穿越了复杂多变的地形地貌，面临高陡边坡等地质难题。首先概述了工程概况与地质特征，分析了施工安全风险因素，包括施工环境、设备与技术等方面。另外，还构建了施工安全保障体系，涵盖安全管理体系框架、风险控制措施、安全保障技术与设备以及体系实施与监督等方面。通过全面分析与实践探索，为山区长输管道穿越高陡边坡施工提供了科学指导。

关键词：山区长输管道；穿越高陡边坡；稳定性分析；施工安全保障体系

引言：山区长输管道工程对经济发展和能源安全至关重要，但穿越高陡边坡等复杂地形给施工带来巨大挑战。确保施工的安全性、稳定性和高效性成为亟待解决的问题。本文旨在深入探讨山区长输管道穿越高陡边坡的挑战与应对策略，包括地质特征分析、施工安全风险因素识别以及构建安全保障体系等方面，为工程施工提供科学指导。

1 山区长输管道穿越高陡边坡工程概况与地质特征

1.1 工程概况

山区长输管道工程，作为连接能源产地与消费地的重要动脉，承担着输送大量油气资源的重任。本工程始于资源丰富的山区腹地，止于经济发达的沿海城市，全长达数百公里，构成了国家能源战略布局的关键一环。该管道工程主要输送介质为天然气，设计管径为Φ1016mm，设计压力高达10MPa，确保了高效、安全的能源输送能力。线路走向沿山脉起伏，穿越了复杂多变的地形地貌，不仅考验着工程技术水平，也对环境保护与生态恢复提出更高要求。管道沿线的建设面临着诸多挑战，尤其是需要穿越众多高陡边坡地段，这些区域地质条件复杂，自然灾害频发，给施工带来了极大的难度。为了确保管道的安全稳定运行，工程团队在设计之初就充分考虑了地质条件、环境因素以及长期运营的安全性，采用先进的设计理念和技术手段，力求在保障工程质量的同时，最小化对自然环境的影响。

1.2 穿越高陡边坡段工程特点

穿越高陡边坡段是本工程中最具挑战性的部分之一，这些区域具体位于山脉的陡峭地带，地形起伏剧烈，坡度普遍超过45°，局部甚至达到60°以上，坡高达百米以上，形成了极为险峻的自然景观。这些边坡多由

坚硬的岩石构成，夹杂有软弱夹层或风化破碎带，增加边坡失稳的风险。在管道敷设方式上，根据边坡的具体条件和安全性考量，工程采取灵活多样的施工方案。在相对稳定的边坡区域，采用开挖敷设的方式，通过精心设计的开挖支护措施，确保边坡在施工期间的稳定性；而在地质条件极为复杂或对环境影响较大的地段，则优先选用定向钻穿越技术，这种非开挖方式能够大幅减少对地表的破坏，降低生态影响，同时确保管道穿越的精准度和安全性^[1]。另外，针对部分特别陡峭或不稳定边坡，还引入了锚索、抗滑桩等边坡加固技术，进一步增强边坡的整体稳定性，为管道的长期安全运行提供坚实保障。

2 山区长输管道施工安全风险因素识别

2.1 施工环境因素

施工环境因素是山区长输管道施工安全的首要考量，山区地形崎岖，地势起伏大，这直接影响到施工设备的运输和操作。在陡峭的山坡上，重型设备的运输和定位成为一大难题，增加了施工难度和风险。此外，山区的气候条件也对施工安全构成威胁。山区多雨，暴雨易引发山体滑坡、泥石流等自然灾害，对施工人员的生命安全和施工设备的安全构成严重威胁。同时，低温、大风等恶劣天气条件也会影响施工效率和安全。

2.2 施工设备与技术因素

施工设备和技术水平直接关系到山区长输管道施工的安全和质量，在山区施工中，常用的设备包括挖掘机、装载机、起重机、定向钻机等。这些设备在复杂地形条件下的操作和维护难度较大，一旦出现故障或操作不当，极易引发安全事故。此外，山区长输管道施工往往需要使用先进的技术手段，如定向钻穿越技术、边坡

加固技术等。这些技术的掌握和应用程度,直接影响到施工效率和安全性。

2.3 施工管理与人员因素

施工管理和人员因素是山区长输管道施工安全的关键因素,施工管理的有效性直接关系到施工过程的组织、协调和监督,以及安全措施的实施。在山区施工中,由于地形复杂、环境恶劣,施工管理的难度大大增加。若管理不善,易导致施工混乱、工期延误、安全事故频发等问题。此外,施工人员的安全意识和操作技能也是影响施工安全的重要因素^[2]。山区施工条件艰苦,对施工人员的身体素质和心理素质要求较高,若施工人员缺乏安全意识或操作技能不熟练,极易引发安全事故。

2.4 材料与供应因素

材料与供应因素对山区长输管道施工的安全和质量也具有重要影响,在施工过程中,需要使用大量的建筑材料和管道材料,如钢管、焊材、防腐材料等。这些材料的质量直接关系到管道的安全性和耐久性。若材料质量不合格,易导致管道在使用过程中出现泄漏、断裂等问题,从而引发安全事故。此外,山区地形复杂,交通不便,材料的运输和供应成为一大难题,若材料供应不及时或运输过程中出现问题,易导致施工中断或工期延误,进而影响施工安全 and 质量。

3 山区长输管道穿越高陡边坡的稳定性评价方法选择与应用

在山区长输管道穿越高陡边坡的工程实践中,准确评估边坡的稳定性对于确保管道的安全运行至关重要。稳定性评价方法的选择与应用需基于边坡的地质特征、施工条件以及安全要求,综合考虑多种方法的优缺点,以达到科学、准确、经济的评价效果。

3.1 极限平衡法

极限平衡法是一种经典的边坡稳定性评价方法,基于摩尔-库仑强度理论,通过假定边坡滑动面的形状和位置,计算边坡在极限状态下的抗滑力和下滑力,从而判断边坡的稳定性。该方法具有计算简单、物理意义明确、易于工程应用等优点。在山区长输管道穿越高陡边坡的稳定性评价中,极限平衡法常用于初步评估边坡的稳定性,为施工方案的选择提供参考。然而,该方法忽略了边坡材料的应力-应变关系,对于复杂地质条件下的边坡稳定性评价可能存在误差。

3.2 有限元法

有限元法是一种基于连续介质力学的数值分析方法,能够模拟边坡在复杂应力状态下的变形和破坏过程。通过构建边坡的有限元模型,可以分析边坡在自

重、水压力、地震力等作用下的应力分布和位移场,进而评估边坡的稳定性。有限元法具有适用范围广、计算精度高等优点,特别适用于复杂地质条件下的边坡稳定性评价,该方法计算量大、对计算机资源要求高,且对于边坡材料参数的准确性要求较高。在山区长输管道穿越高陡边坡的稳定性评价中,有限元法常用于精细化分析和验证极限平衡法的结果。

3.3 离散元法

离散元法是一种基于离散介质力学的数值分析方法,适用于模拟颗粒状材料的运动和相互作用。在边坡稳定性评价中,离散元法可以模拟边坡内部颗粒的滑动、滚动和分离等过程,从而揭示边坡的破坏机制和稳定性。该方法具有能够模拟边坡材料非线性行为和动力响应的优点,特别适用于分析边坡在强降雨、地震等动力作用下的稳定性。离散元法的计算效率和精度受到颗粒大小、形状和数量等因素的影响,且对于连续介质边坡的模拟可能存在局限^[3]。在山区长输管道穿越高陡边坡的稳定性评价中,离散元法常用于特殊地质条件下的精细化分析。

3.4 多方法综合评价

鉴于单一方法在边坡稳定性评价中可能存在的局限性,多方法综合评价成为了一种更为科学、准确的评价手段。通过结合极限平衡法、有限元法和离散元法等多种方法的优点,可以全面、深入地分析边坡的稳定性。例如,可以先采用极限平衡法进行初步评估,再利用有限元法进行精细化分析,最后通过离散元法验证边坡的破坏机制。多方法综合评价不仅提高了评价的准确性和可靠性,还有助于发现潜在的安全隐患和优化施工方案。在山区长输管道穿越高陡边坡的稳定性评价中,多方法综合评价已成为一种趋势和主流做法。

4 山区长输管道穿越高陡边坡施工安全保障体系构建

4.1 安全管理体系框架

安全管理体系框架是施工安全保障体系的基础,它明确了安全管理的目标、原则、职责和流程。在山区长输管道穿越高陡边坡的施工中,安全管理体系框架应包括但不限于以下几个方面:一是确立安全第一、预防为主的管理方针,明确各级管理人员和施工人员的安全责任;二是制定详细的安全管理制度和操作规程,确保施工过程中的各项活动都有章可循;三是建立健全的安全教育培训体系,提高全员的安全意识和操作技能;四是设立专门的安全管理机构,负责安全管理的日常工作,包括安全检查、风险评估、事故处理等。

4.2 施工风险控制措施

施工风险控制是山区长输管道穿越高陡边坡施工安全管理的核心内容,它要求我们在施工全过程中始终保持高度的警惕性和前瞻性。首先,地质勘察和监测是预防风险的基石。在施工前,组织专业团队对高陡边坡进行详细的地质勘察,包括岩性、构造、水文地质条件等方面,以获取详尽的地质资料。施工过程中,应实时监测边坡的稳定性和变形情况,利用先进的监测仪器,如GPS位移监测系统、测斜仪等,对边坡进行全天候、全方位的数据采集。一旦发现异常变形或稳定性下降的迹象,应立即采取措施进行干预。在设计施工方案时,应充分考虑边坡的地质特征和施工条件,避免对边坡造成过大的扰动。例如,在边坡开挖过程中,应采取分层开挖、逐级支护的方法,严格控制开挖深度和坡度,以减小对边坡稳定性的影响。采用先进的施工工艺和技术,如定向钻穿越技术,可以减少地表开挖面积,降低施工对边坡的破坏程度;在高陡边坡施工中,应根据边坡的地质特征和稳定性评估结果,采用适合的加固技术,如锚杆、抗滑桩、预应力锚索等。这些加固措施能够有效提高边坡的承载能力,减少滑移和变形的风险。

4.3 施工安全保障技术与设备

随着科技的进步,施工安全保障技术与设备也在不断更新换代,为山区长输管道穿越高陡边坡施工提供了有力的支持。无人机巡检和三维激光扫描技术的广泛应用,为边坡的监测和测量提供高精度、高效率的解决方案。无人机能够在复杂地形条件下进行灵活的飞行,对边坡进行全方位的巡检,及时发现潜在的安全隐患。三维激光扫描技术则能够迅速获取边坡的三维数据,为施工方案的制定和边坡稳定性的评估提供可靠的依据^[4]。在山区施工中,应选用适合复杂地形条件的专用设备,如履带式挖掘机、全地形起重机等,这些设备具有良好的越野性能和稳定性,能够在复杂地形条件下进行高效的施工,加强对施工设备的维护和保养,确保设备在施工过程中的正常运行。在高陡边坡施工中,应设置完善的安全防护设施,如安全带、安全网、防护栏等。这些设施能够为施工人员提供全面的安全保护,降低施工过程

中的安全风险。

4.4 安全管理体系的实施与监督

安全管理体系的实施与监督,是确保山区长输管道穿越高陡边坡施工安全保障体系得以切实执行的重要一环。为了保障这一体系的有效运行,我们必须建立一套健全的安全监督机制,这一机制应涵盖对安全管理体系运行情况的全面监控,通过定期的检查与评估,及时发现并解决潜在的安全隐患。同时,还应注重对施工人员的安全教育和培训,不断提升他们的安全意识和操作技能,使他们能够在施工过程中严格遵守安全规范,确保施工的安全进行。另外,还应加强与相关部门的沟通与协作,共同推动施工安全管理工作的深入开展。在实施过程中,充分利用现代信息技术手段,注重数据的收集和分析,通过科学的数据分析,不断优化安全管理措施和技术手段,提高施工安全管理的科学性和有效性。

结束语

综上所述,山区长输管道穿越高陡边坡工程是一项复杂而艰巨的任务,需要综合考虑地质条件、环境因素和施工难度。通过本文的分析与探讨,我们深刻认识到施工安全风险识别与管理、稳定性评价方法选择与应用以及施工安全保障体系构建的重要性。随着科技的进步和工程实践的不断深入,将继续探索更为高效、安全的施工方案和技术手段,为山区长输管道工程的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]朱洪亮,张文强,张鹏飞,等.山区长输管道自动焊施工工艺研究[J].电焊机,2023,53(12):107-112.DOI:10.7512/j.issn.1001-2303.2023.12.17.
- [2]杨涛,宁欢,佟小强.南方多雨山区长输管道工程建设安全管控的思路与实践[J].石油工程建设,2023,45(6):10-13.DOI:10.3969/j.issn.1672-9323.2023.06.007.
- [3]郭栋.生态袋防护措施在山区长输管道水工保护中的应用[J].数字化用户,2024(10):125-126.
- [4]煤层自燃对高陡露天矿边坡稳定性的影响与防治对策[J].罗科;高瑜;张斌.煤矿安全,2022(01)88-90.