

复杂地形区天然气管网建设的施工技术管理与风险防控

张凯瑞 乔姊汝 马青峰 (国家石油天然气管网集团有限公司建设项目管理分公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 对于复杂地形地区来说, 天然气管网建设无疑是能源基础设施建设的关键组成要素之一。但复杂地形地势加之复杂的工程环境以及时常发生的自然灾害等因素, 使得这种线型工程常常具有很大的困难性和不确定性。在这里, 我们需要认识到的是, 随着我国对于环保要求以及节能要求越来越高, 这种线型工程并非仅仅是为了改变当地能源布设以及提升保障能力的手段, 同时也是检验我们构建本领以及管理水平有效方式。

关键词: 复杂地形区; 天然气管网; 施工技术管理; 风险防控

中图分类号: TE8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0082-03

Construction technology management and risk prevention and control of natural gas pipeline network construction in complex terrain area

Zhang Kairui, Qiao Zirui, Ma Qingfeng (Construction Project Management Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In complex terrain regions, the construction of natural gas pipeline networks is undoubtedly a crucial component of energy infrastructure development. However, the challenging topography, complex engineering conditions, and frequent natural disasters often make such linear projects highly demanding and unpredictable. It is essential to recognize that with China's increasingly stringent environmental protection and energy-saving requirements, these pipeline projects serve not only as tools for optimizing local energy distribution and enhancing supply security, but also as effective means to evaluate our capabilities in infrastructure development and management standards.

Key words: complex terrain area; natural gas pipeline network; construction technology management; risk prevention and control

在国家大力调整和优化能源结构的形势下, 天然气作为清洁能源组成结构的重要成分。而西部与偏远地区由于其自然资源丰富、管道运输干道是主要路径, 是天然气管网建设的重要阵地, 但是这些区域的自然地理条件复杂多样, 交通条件极其不便经常遭遇自然灾害, 给建设天然气管道带来巨大压力。现有研究表明, 多为平地管道施工技术方法的研究, 对于地貌复杂的地区管理手段和预防风险方面研究较少, 导致在实际项目中技术难实施、质量控制不明确、风险预警不及时, 因此如何实现复杂地貌运用一体化建筑技术手段和有效预防风险防范系统成为当前研究亟需解决的问题。本研究结合从技术角度研究管理技术与风险防范方法及参照实例工程提出重大问题的解决方法, 以期对相关工程建设项目提供理论思路和实践指导。

1 复杂地形区天然气管网建设的理论基础与现实意义

1.1 复杂地形区的地质特征与工程环境约束

一般而言, 山地、高山、丘陵地区等地形复杂的地域都普遍分布于地壳活动较为活跃的地带, 其主要特征表现为地形条件的复杂性、地层状况的多样性、水文条件的多元性等。在进行天然气长输管道建设中, 这些因素均给线路走向选择、管道设置、保护方式设

计增加了额外的难度。因为不均匀的地质结构极可能导致岩层裂隙、滑坡、泥石流等地质灾害发生, 增加了工程的施工难度和施工安全的风险; 并且, 崎岖的地形条件还会给运输工作带来诸多不利, 比如道路地形险阻、路程遥远、地形狭窄等均给进场建筑材料的搬运、大型设备进场增加了难度。山区由于地域性, 普遍会降水丰富, 冬季冰寒夏季炎热, 给焊接、混凝土的质量以及工程进度带来很大的影响。若不能理性地认识到和分析这种地形气候对环境的影响, 难免就会导致延误工期、降低施工质量, 甚至发生不安全事故。

1.2 天然气管网建设的战略地位与能源保障需求

天然气作为环保高效的能源, 在我国能源转变以及可持续发展的战略中发挥着重要的作用。“碳达峰”“碳中和”目标确定后, 天然气替代煤的比重, 替代气效率对于我国温室气体减排的影响更加巨大。地理条件复杂地区往往是资源的聚集和需求交汇地, 天然气既是东部地区油气供应“最后一站”的能源保障, 也是就地为当地产业和居民提供优质服务的对象。输气管网建设不仅拓宽了输能的通道, 也是促进各地区间经济共同发展的重要基础设施。尤其在西部山区、少数民族聚居区及经济欠发达地区, 输气管

网的建立可以使工业结构转型及社会的全面发展起到推动作用,改善当地生活水平。从宏观角度来看,一个国家对于复杂地形地貌中的天然气输送管网规划与建设,关系着能源的稳定以及国家经济区域的协调、整个国家能源战略布局的顺利落实。

1.3 施工技术管理与风险防控的研究价值

天然气管道的建设是在复杂地表条件上开展的,技术难关、作业条件困难、工作风险都会影响项目施工的成效。因此,如何开展高效率与适宜性的施工技术管理及风险的解决是关乎整个项目建设成败的关键因素。利用施工技术管理将实现低成本、高效率的目的,以保证工作有序进行。整体性风险预防措施可以尽可能避免由自然灾害或人为因素造成的项目财产损失。实际上,以往的经验表明:项目缺少管理方法、缺少风险预防会直接造成质量问题、工期延长、发生严重性的安全事故等问题。环境治理的需求越发强烈,在工程建设项目中要兼顾环境保护及社会效益,所以防灾显得至关重要。通过分析项目管理的方法及防范危机,不仅可以为实践工作提供参考,还可对行业发展标准化、立法及技术进步起到促进作用,研究成果对保障能源工程设施良好施工并获得可持续发展具有理论意义与作用。

2 复杂地形区天然气管网施工技术管理中的主要难点

2.1 施工组织与资源配置的复杂性

对于山区的天然气管道工程,由于跨越山岭较多、施工现场分布点多等特点,相比于平原施工,难度大;首先是由于地形原因导致运输设备及材料困难,施工时必须开挖便道运输或者采取逐段完成的方式,增加了物流成本及作业时间;人员的组织协调也很困难,因为施工场地点面广、地质条件差异大,要求施工队伍具有一定的灵活性和应急处置能力。此外,受地形影响,山区施工还受到时间等气象条件的约束,比如夏季降暴雨引起山体滑坡、路面坍塌等情况的发生,会引起施工时间与资源的严重延误,一旦项目规划不合理会造成人、材、物资源盈余和短缺问题的出现,将会降低项目实施工作的成效。

2.2 工程质量控制与技术标准落实的难点

对复杂地形,工程施工质控的难点在于施工技术的可行性和施工标准的落实。一是地形条件复杂,对土方和地下水位的分布以及石块的安全性差异较大,导致沟槽开挖和管道敷设的技术标准不易控制,同时管道焊接质量也会受到气候湿度和温度的影响。二是现有标准较多是在平原地基下的标准制定,对复杂山地难以细化,致使在实施的过程中出现“标准不适应”

或“标准不全面”的现象。例如,在严寒的高寒气候条件下,焊接收缩、材料脆性成为主要问题,继续沿用规范标准在一些情况下会潜藏着巨大的安全隐患。又或者由于地理位置方面的因素,常规的检测方法往往不能全面涉及所有的工程项目,要根据实际情况针对规范标准的可适用性、工艺操作做出相应的调整,以便适应该地区的复杂地貌特征以及制定出更加适合的建设操作规范。

2.3 施工安全管理与环境保护的双重压力

在山体工程中,除了保障工程建设安全问题,还需要保障工程施工中环境保护的压力,这形成了双重考验。山区、高原地区中,地质情况易发生改变,时常出现滑坡、泥石流、山体崩塌等问题,这对施工工人、设备的安全造成了影响。且很多建设任务要高空作业、深基坑开挖基础,或是大型运输,这些本身就有较高的危险性,对安全施工管理的标准要求较高。对于环保问题而言,管廊的建设过程中不可避免地会导致土壤的破坏与生态的损害,如植被的占用、土壤流失、河道的改变等,否则可能会导致地区生态难以恢复的严重后果。当国家环保要求越来越严格的情况下,施工单位除了满足自身人员、工程的安全以外,还须保证绿色环保的标准实现安全、环保共同发展。在自然环境复杂的区域,往往存在着生态环境脆弱、危险因素集中的情况,如何既能保证工程施工质量和效率的同时也实现安全环保,成为急需解决的重点问题。

2.4 风险识别与应急机制运行的不足

尽管复杂地质地区管道建设中识别潜在风险、制定应急响应等是最为重要的过程,但目前仍存在许多不足。一般只考虑大型宏观风险分析,很少研究整个工程建设过程和动态变化,如对于土质稳定及地表水、地下水等地质条件的监测不完善,会导致风险的预测不及时;制定了大量的应急预案,但在实际应用过程中存在不可用率高、针对性差等问题,在地形复杂、交通条件不发达且通信不通畅的山区,应急预案的执行效果更加不理想。目前的应急响应主要依赖人防,缺乏信息化支撑和智能化辅助,其响应能力和协调资源方面有限,应急事件一旦出现无法实现应急快速响应、科学处置,这不仅加大了建筑安全风险,也会对整体项目控管产生影响。

3 复杂地形区天然气管网施工的管理优化与风险防控路径

3.1 构建科学化与精细化的施工组织管理体系

对于复杂地形环境下天然气输气管线建设项目来说,科学合理的管理方式对于项目的顺利进行十分重要。在整个项目前期的设计研究工作中应当做好相应

的地理环境以及资源情况进行分析研究，据此划分为正确的施工区域，并做出分步与分区域管理的方式，避免出现不必要的资源配置错误；要做好动态的资源配置工作，充分利用信息化技术手段开展在建项目中相关的人力、设备以及物资进行在线调整和最佳匹配，保证其对变数调整具备足够的灵活性。此外，我们要建立部门之间相互协作的模式，使设计、施工、监管和供应链之间一以贯之的信息互通，避免信息缺失从而造成的沟通不到位的尴尬局面。通过整体部分相结合的科学与精准性的布局规划模式解决复杂地形条件下建筑工程组织复杂困难，效率低下问题，为高效顺利完成工作提供坚实基础。

3.2 完善工程质量控制与技术管理标准体系

复杂地势型项目施工质量提升的关键在于建立更为灵活的、细致的标准管理体系。在具体工况影响下调整管道沟开挖、管道连接、防腐保温等工艺流程，更适用的标准体系。建立贯穿于原材料进场验收、施工过程质检、完工验收的质量控制体系。三是采用先进科技手段，引入先进的数字化无损检测技术、无人机巡检、三维立体建模等技术提高巡检的精度与深度。四是实现标准化个性化有机融合，不仅对国家的条款加以执行，在严寒、潮湿等特殊气候的条件下增加相应的细节条款，不断增加修订这些条款与技术，保证在复杂的地形条件下的天然气管道建设工程项目质量合格，降低工程质量中的问题、减少修理成本。

3.3 强化安全生产责任与绿色施工理念

在山地施工过程中，做好安全和生态和谐保护，两者是相辅相成的。因此要提高安全意识，制订全方位全过程的安全管理制度，并将责任落实到每个岗位和每个人，形成自上而下的垂直管理的安全体系和加强安全培训、危险预知训练等的措施。从环境角度，我们应该尽量减少对自然环境的危害，积极应用零污染的设施和绿色化施工措施，以防泥石流和噪声的危害。还要注意一些极易造成破坏的生态环境区，进行分级生态防护和绿化工程措施，让项目的开发和环境保护相得益彰，此外，将安全施工和保护环境的工作充分结合在一起，可大大减少事故和伤害环境的几率，同时进一步增强了项目的社会价值以及长远价值，这些都是能源项目环境友好原则的充分体现。

3.4 构建动态化风险监测与多层次应急防控体系

对危险进行管控，将预防和应急结合，尤其是对复杂的地形地物。我们需要大数据、物联网技术等搭建及时性的监控手段，实时采集和判断地质变化、气象情况、工程建设的动态，来实现早发现危险源头并推测危险发展进程的目标。完善多层次的应急

处置措施，涵盖从项目单位到施工单位到政府的各个层面，确保发生安全事故时，形成联动机制。我们要通过加强应急手段的智能化使用，比如无人驾驶飞机巡检、卫星遥感影像监测、部署应急通讯设备等来提升我们应对公路封锁或网络中断等特殊地理环境的能力。

针对复杂地形地段，要重视管线施工技术管理和风险管理，这就需要将风险管理结果纳入项目管理决策过程之中形成“监测—判断—处置—反馈”的管理模式，保证全过程都有风险防范机制。依托统一信息数据库，也可以对地质勘探、气象预测以及施工进度、机械运转等方面的详细情况进行综合分析，并及时调整施工方案和技术措施，避免由于某些情况滞后而造成全局性的影响；同时基于山区道路不通畅及抢险救援半径较大的特点，应做好当地的应急物资储备工作并开展应急演练活动，提升现场人员的风险识别能力及初发处置手段，从危机处理变为主动预防，并借助制度化、数字化和智慧化的工具协同推进，逐步形成适应复杂地形特征的有效防控体系，为天然气管道工程建设运行安全提供持续保障。

4 结语

在复杂地形区域内建设天然气管线，是能源项目的重要组成部分，它对国家能源政策的执行与地区繁荣幸福起着至关重要的作用。从系统论角度来看，我们可以发现，在复杂地区，这项事业相比一般地区，难度较高且风险点多。在项目实践过程中，往往存在项目管理、质量控制、安全管理和应急处理等难题，若问题解决不当，势必会严重影响项目建设并降低建设效果。基于此，本文采取以下对策措施，实现项目规划科学化处理、质量管控兼顾标准化与本地化、安全责任落实与环境保护思想整合、建立动态监控的风险评估机制以及层级多元化的应急管理体系等措施。

参考文献：

- [1] 刘锋刚,张为,罗进,等.复杂地形污水管网工程设计案例[J].给水排水,2024,50(7):130-135.
- [2] 吴绍伟.南方复杂地形条件下长输管道工程自动焊接工艺优化与应用[J].石油工程建设,2023,45(6):68-72.
- [3] 栾广学,侯精明,王添,等.基于复杂高密度管网结构优化技术的银川城区排水过程高效模拟方法[J].水资源保护,2023,39(3):205-212.
- [4] 马楠,高云庆,王钦.广西山区复杂地形段地面附着物清点赔偿精准化管理探讨[J].石油工程建设,2023,45(8):12-14.
- [5] 惠文颖,李铁兵.中国-中亚天然气管道事故跨国救援机制与协作程序研究[J].云南化工,2024(8).