

# 天然气长输管道山地陡坡段施工技术的应用研究

张 祥, 梁 鹏, 鲁 浩, 杨张虎

(陕西省天然气股份有限公司, 陕西 西安 710016)

**摘要** 随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 我国对天然气的需求持续增长。长距离输气管线是我国重要的能源基础设施, 对保障我国能源供给、推动地区经济发展具有十分重要的意义。但在山区大坡度地段, 地质条件复杂, 天然气长输管道作业空间狭窄, 施工难度大, 施工安全风险高。本文针对天然气长输管道山地陡坡施工过程中面临的挑战, 深入探讨了天然气长输管道山地陡坡段施工技术应用要点, 以期为类似天然气长输管道施工提供有益参考。

**关键词** 天然气; 长输管道; 山地陡坡段

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.041

## 0 引言

长距离输气管线是我国能源输送的中心环节, 其建设和运营事关我国的能源安全, 也直接关系到国民经济的可持续发展。在复杂地形条件下, 管线敷设面临复杂多变的地质结构、有限的施工场地、施工难度大、施工安全风险高等挑战, 传统的建设方式已很难充分满足高效率与环境保护的要求。因此, 在现代化的管线建设中, 探讨天然气长输管道山地陡坡段施工技术具有重要意义。

## 1 天然气长输管道建设的重要性

长距离输气管道可将天然气从气源高效稳定地输送至终端用户, 提高均衡性。当能源需求发生剧烈变化, 或遇到各类突发事件, 长距离输气管线的平稳运行, 也可有效规避因能源供应紧缺而造成社会效益与经济效益风险。另外, 长距离输气管线的修建与扩建, 有利于优化我国的能源结构, 缓解地区间的能源供需矛盾。将主力田—地下储气库—用户终端连接起来, 构成满足全国范围内的能量需求传输网络, 进一步提升我国能源资源配置能力, 对保障我国能源安全具有重要意义<sup>[1]</sup>。

## 2 天然气长输管道山地陡坡施工过程中面临的挑战

### 2.1 施工地质条件复杂

山区陡坡地区地质环境复杂多变, 施工难度大, 隐患多。首先, 斜坡土体结构不稳定, 对工程建设有

很大的影响。在山区、陡坡地区, 由于土质疏松, 或长时间的降雨, 使土层处于饱和状态, 从而增加了滑坡、泥石流等地质灾害的危险性。另外, 部分坡段岩层有裂缝或断裂, 岩体破碎, 强度低, 这些都会使建设过程中边坡发生不稳定。由于地下水的复杂性较高, 使得建设的困难程度相对较高。而在大坡度地区, 地下水埋深变化大、水流方向多变, 给工程建设带来了极大的安全隐患。若不能在施工前准确把握地下水运动规律, 则会造成土体软化、边坡失稳, 甚至管线地基下沉, 从而影响管线的建设质量与服役寿命。因此, 必须在工程实施之前, 对其进行详尽的水文地质勘察, 并采取合理的排水及防护措施, 以减少对地下水的不利影响<sup>[2]</sup>。

### 2.2 施工操作空间限制

山区大坡度路段施工场地狭小, 设备布局、人员活动空间受限, 严重制约了工程的柔性和效率。由于陡坡地带地势狭小, 导致大型机械装备难于进入, 传统的大规模机械化作业模式在该地区不能完全发挥作用, 导致建设单位不得不选用更小规模的装备, 从而导致建设时间与费用大幅增加。由于山坡上并无充足的仓储和交通设施, 导致建筑物材、设备的装卸与存储面临的困难相对较大。在坡度较大的区域, 物料也会由于自重影响而发生滑动, 导致运输车无法顺利通过, 从而对施工组织的调度产生影响。由于其空间较为狭窄导致管线的焊接与铺设受到限制, 而常规的横

向铺设方法很难实现，需要采用分段铺设、分段焊接的方法，对焊接精度及施工技术提出了更高的要求。在有限的建筑空间内，对各种设备的使用与调试都应进行仔细规划与管理。在选择起重机械时，应考虑斜坡、地形等因素对机械的稳定作用。如果没有合理的空间布局，不但会造成工程进度的延迟，而且会造成管线的定位误差，从而影响到工程的整体质量及以后的运营安全<sup>[3]</sup>。

### 3 天然气长输管道山地陡坡段施工技术运用要点

#### 3.1 实施精确性地质勘察

现代地质勘探技术的运用，使勘探工作的精度和效率得到了很大提高。在山区陡峭的山区，利用高精度遥感技术，可以获得高精度的地形图像，从而确定可能对工程建设产生影响的地物。激光雷达扫描技术是一种高精度的数字地面模型(DTM)，其能为地形的分布、坡度和坡度的变化提供精确的数据支撑。与此同时，三维地质模型的建立也起到了很大的作用。融合遥感、钻井、物探等数据，建立可直接反映地质结构、岩层倾角、地下水流向等重要信息的三维地质模型。在此基础上，设计者可根据工程实际情况，制定更有针对性的施工技术及支护方案。野外勘测是高精度地质勘探工作中不可忽略的一环。在施工过程中，需要经常深入施工现场，对施工中的重点地段进行全面观察、记录、分析。在此基础上，开展多期地质调查，综合分析各时段内的地质变化，分析边坡的稳定性，并提出合理的建设方案。该方法涉及地质、工程力学、环境等多个学科的交叉融合。由于山区陡坡地段的特殊建设情况，在确定施工方案时，必须根据地质勘探成果，避免单纯依靠经验来进行。对于地质勘探成果表明有一定坡度的地区，宜采取定向钻孔和悬铺法等技术，减小边坡的扰动；对于岩体破裂较大的区段，则需在开挖前加以补强或支护。通过工程勘察，为工程项目的实施提供了具体的资料支撑，从而减少工程后期建设的难度与风险。在制定具体的施工工艺措施时，应根据已有的坡度、地形、地层特征等资料，有针对性地进行设计<sup>[4]</sup>。

在高边坡地区施工时，应充分考虑坡面对机械、设备运行的影响，并确定合理的设备布局及作业路线；

在边坡稳定性不佳的情况下，为保证边坡的稳定性，必须加强支护结构设计。具体表现在施工工艺的选用上，应因地制宜，灵活调整，不能简单地照搬平地施工的工艺过程；在设备的选择上，选择轻便、灵活、适应能力强的机器；在工程组织方面，要有资深的工程技术人员，全程指导、督导。通过以上几种方法的综合应用，保证了施工工艺与地质条件的良好匹配，从而提高了整个工程的总体质量与安全性。目前我国所采用的天然气长输管道山地陡坡地段施工技术流程如图1所示<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 优化现有施工工艺

天然气长输管道山地陡坡段施工具有效率高、稳定性好的特点，尤其适用于长距离、大坡度的管线施工。将该段施工区段划分成多个较小的施工区段，按各区段按顺序进行施工并验收，可使施工过程与质量得到较好控制。在工程建设过程中与各标段工程竣工后，对管线焊接质量、埋设深度、回填层的密实度、稳定性等进行了全面的质量检测。当这一区段满足设计要求时，才能进入下一区段。这种方法可以减少因连续施工而引起的质量缺陷的累积，而且一旦出现问题，就可以对施工计划进行相应的调整，从而最大限度地减小对整个工程的影响。

分段式施工也可使各区段采用不同的工序方法。在地质相对稳定的较短区段内，可按常规的铺挖法进行施工；对于复杂、高风险地区，可以采取更为安全的技术手段。在此基础上，提出了“分阶段”的概念，并对各施工单位进行了精细化管理，提高了工程建设的效率与质量。在大坡度地区，基坑开挖范围对边坡的稳定有很大的影响。大范围的开挖会引起边坡的应力再分配，从而诱发滑坡和崩塌等地质灾害。因此，如何减小开挖面，选取更为精细、定域性的操作方法，是优化施工技术的一个关键。定向钻井是解决这一问题的有效方法。对于斜坡、植被、土质等易受影响的地区，采用定向钻井技术，可有效地跨越地层或障碍物，以防止大面积地面开挖引起的水土流失和滑坡。采用定向钻进法，既能减少土方开挖量，又能缩短施工时间，还能减少对周围环境的影响，目前所采用的具体施工工艺技术优化措施如表1所示<sup>[6]</sup>。



图1 天然气长输管道山地陡坡地段施工技术流程图

表 1 施工工艺技术优化措施

主要技术措施	具体技术内容	应用效果
分段施工	将长距离陡坡段分解为若干短段，每段逐次施工	降低施工质量缺陷积累，确保工程顺利推进
减少大面积开挖	在坡度较大的区域，减少大面积开挖作业	降低滑坡和坍塌风险，减少土方工程量，缩短工期
定向钻进	利用定向钻进技术穿越地下岩层或障碍	缩减开挖量，避免滑坡引发的次生灾害

### 3.3 合理优化施工设备配置

在山地与陡坡等复杂地形条件下，大型机械的使用受到了限制，应选择适用于狭小、险峻的地形条件的小型履带式挖掘机。可同时引入山地环境监测系统，其具有良好的地形适应能力，以及较高的重心和良好的抓持能力，降低了滑跑的风险。该系统不仅能在陡坡路段安全行驶，而且能在地形复杂的地形条件下进行沟槽开挖、土方回填等精细化作业。采用小型机械设备，可以减少边坡对地基的扰动，降低边坡坍塌的风险，提高施工效率和安全<sup>[7]</sup>。山区专用起重机是解决管道吊装、安装等技术难题的一种重要设备。这种起重机通常采用可调式托架结构，以增强框架的稳定性，并能在陡坡道路上起到稳定支撑作用。施工中使用专用斜吊，可安全高效地完成管道的吊装和精确定位，特别是在陡坡地段，其挠性和稳定性能更为突出。在斜井作业中，采用本设备，可以有效地降低常规卷扬机在斜井作业中出现的倾覆事故，提高了整个提升作业的安全性和可靠性。在边坡工程中，边坡支护机具的选用和布置是维持边坡稳定的关键。该产品重量轻，携带方便，可迅速运送到施工现场，并可在极短的时间内完成安装调试。如组合式支架、伸缩式支架等，既方便搬运、拼装，又能根据工程场地的倾斜程度，灵活地调节支架的角度和高度<sup>[8]</sup>。施工区域的边坡防护措施是确保施工安全的基础，尤其在山地陡坡地带更为重要。首先，边坡防护网是有效的安全屏障。高强度金属网或复合材料防护网能够覆盖施工区域的关键坡面位置，防止碎石和泥土滑落到施工通道或设备区域，保护施工人员免受滑坡和滚石威胁。其次，在坡面设置防滑装置可显著增强地面附着力，减少机械设备和人员滑动的风险。例如：在陡坡上铺设粗纹防滑垫或安装加固钉板，可以提高车辆和机械的行驶稳定性，避免作业时因地表湿滑引发的设备倾覆事故。临时支护结构是坡面稳定的另一关键措施。通过在高陡边坡上安装钢制或混凝土支护桩，结合横梁或斜撑装置，可以有效支撑坡体，防止边坡下滑。这些支护结构需

在施工期间保持稳定性，施工完成后再逐步拆除或转换为永久性支护设施。在施工过程中，对支护结构的稳定性进行定期检查，确保其在持续施工作业的情况下不会因荷载增加或雨水浸蚀而失效。实时监控技术的应用为安全管理提供了科学依据。安装坡体稳定传感器、雨量计和视频监控设备，能够随时掌握施工区域的地质变化和环境状况，一旦发生异常，系统会及时发出警报，帮助施工管理人员迅速采取应对措施<sup>[9]</sup>。

### 4 结束语

通过对长距离输气管线山区大坡度段施工工艺的研究，重点从地质勘察、分段施工、定向钻孔、合理优化施工设备配置等方面对施工技术运用要点进行了分析。在此基础上，结合工程实践，提出解决方案以应对天然气长输管道山地陡坡施工过程中面临的挑战，在保证管线正常运行的前提下，旨在降低工程施工的风险，进一步提高长距离输气管线山区大坡度段施工质量。

### 参考文献：

- [1] 杨张虎,徐康.浅析天然气长输管道项目建设施工难点及应对策略[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(06):147-150,153.
- [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] 郭望,李斯诺,霍轩.天然气长输管道运行安全风险和预防措施研究[J].石化技术,2025,32(03):327-329.
- [4] 本刊通讯员.陕西天然气长输管道项目加快建设[J].城市燃气,2025(03):42.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 同[3].
- [8] 同[4].
- [9] 杜鑫,解庆生.大口径天然气长输管道隧道穿越深竖井施工质量控制措施[J].凿岩机械气动工具,2025,51(02):151-153.