

复杂地形环境下油气管道线路设计的工程应用与实践经验

吕 奕（中闵善建建设有限公司，四川 成都 610000）

摘 要：在油气输送项目中，针对多变地貌进行管线布局的规划是一项核心任务，其规划的品质直接决定了项目的安全性和经济性。工程实践中，地形的多样化、多变性和不确定性使得管线设计面临重重考验。本文综合分析了众多具有代表性的油气管道线路设计案例，细致讨论了在多变地貌条件下选择管道线路选择、优化线路、施工技术及风险控制等方面的实际操作经验。针对山区、岗地、沼泽、水系等不同复杂地貌的适应性设计方案进行了剖析，并探讨了这些地形因素对管线安全、施工速度和后期维护费用的影响。

关键词：复杂地形；油气管道；线路设计；工程应用；实践经验

面对我国能源消耗不断上升的需求，作为关键能源输送途径的油气管道，其建设与设计工作遭遇了越来越高的难度挑战。特别是在多变的地貌条件下，管道线路的设计显得尤为核心，因为这些不稳定的地貌状况不仅会威胁管道的安全和稳固，还会使得施工过程更为艰难且成本增加。如山区、高地、沼泽以及地震频发区域等地貌的复杂性，要求管道设计必须更多地考虑诸如地质构造、气候条件等自然因素的干扰。如何在多变的地貌条件下进行科学而合理的管道线路规划与设计，成为技术人员待解决的课题。通过深入了解各类地貌特征，提出切实可行的设计策略和改进方案。

1 复杂地形环境下油气管道线路设计重要性

1.1 确保安全性与可靠性

在复杂地形环境中，油气管道线路的设计显得尤为关键，它直接决定了管道系统的安全性和可靠性。此类地形及环境条件为管道的布局、建设乃至日后的保养维护带来了重重困难。在这些复杂条件下保障管道安全，首要任务是评估地形条件对管道本身可能产生的影响。诸如山区地壳运动、土壤稳固性以及洪水、泥石流等自然灾害的潜在威胁，均可能引致管道损坏或泄露。此类地形通常导致管道铺设工作的难度上升，物流和建设成本也随之增加，这要求设计者在确保安全的基础上，深入考虑管道的结构布局 and 材料选择。只有在安全得到有效保障的情况下，油气输送管道才能在多变的地貌中实现高效且安全的运作。

1.2 提高经济效益与可持续性

复杂地形环境下，油气管道的线路设计必须兼顾技术规范及经济效益和可持续性要求。作为能源传输的核心设施，油气管道线路的设计与日常运营费用通常较高，特别是在地势险峻、地质状况复杂的地方更

是如此。只有精心规划的线路，才能有效减少建设与保养的开支，从而提升项目的经济回报。必须应用先进科技，保障管道在运行期间的安全和稳固，防止因腐蚀或者渗漏等原因造成的资源损耗和环境污染。在复杂地形中，油气管道线路的精确设计不仅能优化资源分配，增加经济效益，还能在维护生态环境和社会持续发展的基础上，达到长期可靠运营的目标。

2 复杂地形环境下油气管道线路设计的工程应用

2.1 复杂地形环境下管道线路设计路线规划

在复杂地形环境下开展油气管道的线路设计工作时，选定一条合适的线路走向是整个设计流程中至关重要的步骤。这类复杂地形包括崇山峻岭、起伏的丘陵、蜿蜒的河道以及脆弱的湿地等自然屏障，这些都直接关系到管道的布局和其稳固性。设计者在进行线路选择时，必须综合考量地形的独特性、生态保护的必要性、项目的实施可能性、成本效益以及潜在的安全风险等多个要素。在选择线路时，应着重考虑地形的可通行性作为首要条件。特别是在山区或者丘陵地带，由于管道的垂直高度变化大，坡度较大，施工过程相对困难。设计师往往倾向于选择地势较为平缓的区域，规避那些过于险峻的山坡和易发生滑坡的地带。至于河流和湿地等区域，设计上应尽量减少管道与水源的接触，预防对自然生态造成不利影响。为了具体评估地形条件对管道设计的影响，常常会运用“线路优化模型”来辅助进行管线路径的优化设计。线路优化公式：

$$\text{Minimize } f(x) = \sum_{i=1}^n C_i(x) \cdot D_i(x) \quad (1)$$

其中， $f(x)$ 为优化目标函数， $C_i(x)$ 为第 i 段管道的单位成本， $D_i(x)$ 为该段管道的距离， n 为总的管道段数。

2.2 复杂地形环境下地质勘探与土壤调查

在复杂地形环境下，油气管道线路设计的核心环节之一在于对地质状况的深入勘查以及对土壤的细致调查。通过对地表下岩土层的细致剖析，能够较为准确地预测出土壤的稳固性、抗压能力以及沉降性等关键指标，这对于管道线路的确定、施工过程的实施以及日后的运维管理都具有至关重要的意义。在实施地质勘探的过程中，经常采用诸如钻孔取样、地质雷达、声波反射、重力测量等多样化的技术，对地下不同层次的土壤及岩层进行综合性的检测分析。根据各类地质层的具体特性，选择相应的测量技术和设备，确保所得数据的全面性与精确度。而土壤调查则着重于土壤的物理和力学特性，如湿度、密度、粒径分布、水分含量等，对这些特性的评估有助于预测土壤对管道长期稳定性的影响。

在土壤调查中，土壤压缩系数公式和土壤抗压强度公式是常用的计算工具。在复杂地形环境下，地质勘探和土壤调查的精确度直接决定了油气管道线路设计的可靠性与经济性。土壤的压缩系数公式：

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log P} \quad (2)$$

其中， C_c 是土壤的压缩指数， Δe 是孔隙比的变化， $\Delta \log P$ 是压力变化的对数。土壤的抗压强度公式：

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

其中， σ 是土壤的抗压强度， F 是作用力， A 是受力面积。

2.3 管道建设中环境保护与生态恢复技术

在复杂地形环境下开展油气管道线路设计与施工过程中，环境保护与实施生态恢复技术成为保障工程可持续性与生态和谐的核心环节。鉴于复杂地形所具有的独特性，管道铺设对环境的干扰相对显著，涉及土地损坏、地表侵蚀、生物栖息地扰乱等诸多方面。采纳系统的环境保护和生态恢复措施对于管道施工至关重要。这其中包括对施工地带进行细致的环境影响评价（EIA），并依此制定适宜的施工计划及生态保护对策，如封闭式挖掘技术以降低对土壤和地下水的侵害。在施工阶段，力求减少对原生态植被和自然水体的破坏，建立环境保护缓冲区，以减轻施工造成的噪音和粉尘污染。至于生态恢复技术，则着重于施工

完毕后的生态修复，涵盖了植被、土壤及水资源的修复。这包括选用合适的本土植物以促进植被重生，遏制外来物种的扩散，从而增强生态系统的稳固性。生态健康指数公式：

$$EHI = \frac{\sum (R_i \cdot A_i)}{A_{total}} \quad (4)$$

其中， R_i 为恢复区域的生态恢复指数， A_i 为恢复区域的面积， A_{total} 为总面积恢复面积。

2.4 复杂地形环境下施工的高差与坡度控制技术

在复杂地形环境下，铺设油气管道线路的任务尤为艰巨，巨大的高差和多样的坡度对管道铺设的质量及稳固性带来了极大的挑战。为保障管道系统的长期稳定运作，必须依赖精准的高差与坡度控制技术。这项技术涵盖了精确的地形测绘、坡度值的合理设定以及采纳尖端的施工技术来顺应地形的波动。在复杂地形条件下，技术人员需通过细致的地形勘探与数据采集，运用数字高程模型（DEM）对地面高差进行精确建模，进而对不同区块的高差及坡度进行分析。在施工阶段，为了有效控制坡度和高差的波动，常常应用“坡度限制法”和“高差分阶段法”。

坡度限制法是在设计之初便设定一个坡度上限，以防坡度太大造成管道安装难题或加剧管道应力。如山区，一般将坡度上限设定在 10% ~ 15%，超出此限便采取相应措施来缓解坡度，而高差分阶段法则是在面对高差较大的区域时，采取分段施工策略，依据各段地形特征调整坡度。在每一段落内，选出最佳的坡度方案，确保坡度变化的平缓，防止出现剧烈的垂直高度差。坡度计算公式：

$$S = \frac{h_2 - h_1}{d} \times 100\% \quad (5)$$

其中， h_1 和 h_2 分别为起点终点的高程， d 为两点之间的水平距离。

3 复杂地形环境下油气管道线路设计的工程实践经验

3.1 地形勘察的关键性与数据采集的精确性

复杂地形环境下，油气管道线路设计必须依托于精确的地形勘察和信息的数据采集，这是保障设计方案实施可能性和保障安全的重要前提。地形勘察成果不单是对管道线路走向的决策起到关键作用，同时它也影响着施工阶段可能遭遇的技术挑战。以某一油气

管道项目为例,该管道线路需要穿越多个山峦和坡地,常规的地形勘察方法在此类地形面前显得捉襟见肘,难以精确地描绘出复杂地形的细节。

针对这一挑战,工程团队动用了无人机遥感以及激光雷达(LiDAR)技术,两者结合实现了对地形的高精度信息采集。无人机拍摄配合激光雷达扫描,所获得的地形信息远比传统勘察方式要细致得多。为管道线路走向的设计提供了坚实的数据支撑。

3.2 施工中灵活调整管道路径避开关键障碍

在复杂地形环境下,油气管道线路设计面临重重困难,特别体现在必须规避一些关键性的障碍,包括山脉、河流、森林以及居民区。在施工阶段,对管道走向进行适时调整,以绕过这些障碍物,是保障工程顺畅进行的重要步骤。比如在某油气管道工程项目中,其初步规划路线涉及一段地势复杂的山区,这一地带不仅地势高低差异显著,而且还遍布诸如峭壁、湍急河流等自然屏障。

若依照原定路线施工,不仅施工难度和费用将大幅提升,而且对自然环境的破坏也将加剧。在施工实施阶段,工程技术人员对现场进行了精确的勘察,并利用更新的地质资料,对管道走向进行了优化调整。具体而言,原计划管道线路需穿越一个峡谷,而调整后的路线则选择在谷底较平坦的地段,成功绕开了峭壁和湍流区域。

3.3 考虑地质条件与环境变化的影响

面对复杂地形环境,进行油气管路线路设计时,必须将地质条件与环境变化的影响纳入考量范畴。地质条件直接关系到管道的稳固性、施工的难易度以及后期的维护费用。例如,在某次油气管道项目中,其线路须穿过一片多山的区域,该地段的地质条件极为复杂,土质疏松且频发滑坡。初步的地质调查揭示了当地地下岩层的脆弱性,并且在雨季期间,滑坡的频率显著增加。

针对这一难题,设计小组实施了一系列应对策略,先选取了稳定性更强的钢管,并增强了管道的防护措施,包括增设防止滑坡的支撑结构和加固了地基。然后针对该区域特殊的地质条件,对管道的埋设深度进行了调整,以规避滑坡频发区域。为了应对环境变化带来的影响,设计团队还安装了排水系统,旨在减轻水土流失对管道安全构成的威胁。

3.4 多方案对比选择与风险评估

面临复杂地形环境,油气管道线路设计往往遇到

重重阻碍与不确定因素。鉴于此,在规划阶段,工程师们需精心比较多个预设方案,并对现实条件下的潜在风险进行周密的评估。这一做法有助于减少施工过程中的不确定因素,为项目的平稳推进提供保障。以某项目在山区地带的管道设计为例,规划小组考量了地形的波动、土壤结构、植被分布以及既有公共设施等多方面因素,制定了三个可行路线方案。首个方案提议沿现有道路铺设,这样能高效利用现有交通网络,节约建设成本,但同时,因为该区段频发山体滑坡和泥石流,管道的抗压能力和安全防护需得到很大加强。第二个方案计划绕行山脉,选取地势较为平坦的区域,虽然避开了高风险区,但土地使用审批和环境评估的复杂性可能会拖延工程进度。第三个方案则采纳地下敷设的方式,尽管减少了地表障碍,施工却更为艰难,耗时耗材也随之增加。在全方位比较和风险分析之后,规划小组决定采用第一个方案,并根据地形特点进一步增强了安全防护措施。

4 结语

在复杂地形环境下,油气管道线路设计是一项技术与实践的双重挑战。只有全面考虑地形起伏、地质构造、气候特点等诸多要素,并做出周密的部署,才能在施工阶段减少潜在的风险和问题,保障管道工程建设的顺畅。展望未来,数字化和智能化技术的融合运用,将是优化油气管道设计精度和效率的关键途径。依托于海量数据的深度挖掘、人工智能的决策支持以及实时监控系统的实施,可以更加精确地评估并管理复杂地貌,减少人为错误和自然环境的潜在威胁。

参考文献:

- [1] 师海斌,陈小华,唐超,等.基于SCADA的长输天然气管道110kV输变电系统继电保护研究与设计[J].电器工业,2023(5):41-44.
- [2] 杨道.油气管道与电力及通信线路的安全间距要求[J].石油石化物资采购,2023(13):187-189.
- [3] 石潮,王梦泽.浅析电气化铁路跨越油气管道的保护[J].商品与质量,2022(49):55-57.
- [4] 苗永宁,武亚斌,纪海成.原油长输管道智能化巡检系统建设与应用探究[J].石化技术,2022(1):75-77.

作者简介:

吕奕(1986-),男,汉族,四川江油人,本科学历,中闵善建建设有限公司主任、油气储运工程师,研究方向:油气储运长距离输油输气管道工程-线路工程专业。