

山区天然气长输管道线路设计中的关键难点与解决方案探讨

陈炯

四川川油工程技术勘察设计有限公司 610051

摘要

天然气长输管道作为能源运输的重要基础设施，在山区地形条件下的线路设计面临诸多独特挑战。本文针对山区天然气长输管道线路设计中的关键难点展开深入探讨，分析了地形复杂多变、地质灾害频发、生态环境保护要求高、施工条件受限以及安全运营难度大等主要问题。通过结合工程实践与技术创新，提出了一系列针对性的解决方案，包括精细化地形地质勘察技术应用、地质灾害综合防治措施、生态友好型线路优化设计、智能化施工技术集成以及全生命周期安全管理体系构建等。研究表明，通过科学合理的设计方案与技术手段，能够有效克服山区地形带来的不利影响，保障管道工程的安全、经济与可持续性。本文的研究成果可为类似山区天然气长输管道线路设计提供参考与借鉴。

关键词

山区；天然气长输管道；线路设计；关键难点；解决方案；地质灾害；生态保护

引言

随着我国能源结构调整与清洁能源需求的不断增长，天然气作为一种高效、清洁的能源，在国民经济发展中的地位日益凸显。长输管道作为天然气运输的主要方式，具有运输量大、成本低、安全性高等优点，已成为连接气源产地与消费市场的重要纽带。然而，我国天然气资源与消费市场分布不均，为实现能源的优化配置，长输管道往往需要穿越复杂的地形区域，其中山区地形占比较大。

山区地形条件复杂，地势起伏大，地质构造不稳定，气候条件多变，给天然气长输管道的线路设计带来了严峻挑战。与平原地区相比，山区管道线路设计不仅需要考虑常规的技术经济因素，还必须应对地形、地质、生态、施工及运营等多方面的特殊问题。若设计不当，不仅会增加工程投资、延长建设周期，还可能引发地质灾害、破坏生态环境，甚至威胁管道的长期安全稳定运行。因此，深入研究山区天然气长输管道线路设计中的关键难点，并提出切实可行的解决方案，对于提高管道设计水平、保障工程质量与安全、促进能源行业可持续发展具有重要的理论意义与现实价值。

山区天然气长输管道线路设计的关键难点分析

一 地形复杂多变，选线难度大

山区地形通常具有“高、陡、弯、深”的特点，表现为高程变化剧烈，山坡坡度陡峭，沟谷纵横交错，河流深切。这种复杂地形给管道线路的选择带来了极大困难。首先，线路需要尽可能缩短距离以降低成本，但又必须避开陡峭的悬崖、深谷等难以施工的区域，导致线路走向往往需要多次转折，增加了管道的长度和弯头数量，不仅提高了材料消耗和施工难度，还可能增加管道运行中的局部阻力。其次，地形起伏大使得管道敷设时需要频繁穿越不同高程的地形单元，出现大量的上坡、下坡段，对于管道的稳定性、坡度设计等都提出了更高要求。例如，在陡坡段，管道可能因自重产生较大的轴向推力，需要采取有效的锚固措施；在上坡段，则可能影响输送效率。此外，复杂的地形还使得线路优化设计的变量增多，需兼顾安全性、经济性与可施工性，进行多目标优化。

二 地质条件复杂，地质灾害频发

山区地质条件复杂多样，常见的不良地质现象包括滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、断层破碎带、软弱夹层等，这些地质灾害对管道的安全构成严重威胁。滑坡是山区管道最主要的地质灾害之一，其滑动体规模大、滑动速度快，可能导致管道被推移、拉断或掩埋。崩塌则通常发生在陡峭的崖壁处，落石可能直接冲击管道，造成管道变形或破裂。泥石流具有突发性和强大的冲击力，能够摧毁沿途的管道设施，并在沟谷内形成堆积，改变管道的受力状态。岩溶地区由于存在溶洞、地下河等，可能导致管道基础不均匀沉降，甚至发生塌陷。断层破碎带处地质构造不稳定，易发生错动，对管道的抗震性能提出了极高要求。首先在选线阶段应提前对接地方自规等主管部门，对已记录的地质灾害点就行避让，同时现场选线时应注意观察现场情况及问询地方百姓有无地质灾害发生，其次应根据项目地灾评价等报告优化调整线路。

三 生态环境保护要求高，制约因素多

山区往往是重要的生态功能区、自然保护区、水源涵养地或风景名胜区，生态环境脆弱，一旦破坏难以恢复。天然气长输管道线路设计必须严格遵守生态环境保护的相关法律法规，将生态影响降至最低。这意味着线路需要尽量避开生态敏感区域，如原始森林、珍稀动植物栖息地、自然保护区核心区等。若无法完全避开，则需要采取部分绕行、非开挖穿越等措施，这无疑会增加工程成本和设计难度。此外，管道施工过程中会不可避免地扰动地表植被、破坏土壤结构、影响水文环境，可能导致水土流失、生物多样性减少等问题。因此，线路设计需提前考虑施工期和运营期的生态恢复措施，如合理规划施工便道、弃渣场位置，采用水土保持工程等，这对设计方案的经济性和可行性提出了更高要求。生态环境保护已成为山区管道线路设计中必须优先考虑的制约因素之一。

四 施工条件受限，技术要求高

山区地形复杂、交通不便，给管道施工带来了诸多限制。首先，大型施工设备和材料的运输

困难，许多山区路段没有现成的道路，需要修建临时施工便道。其次，施工作业空间狭小，在陡峭山坡、峡谷等区域，难以展开大规模的施工机械作业，只能采用小型化、轻量化的设备或人工施工，降低了施工效率。再次，山区气候条件多变，如雨季降水集中，可能引发山洪、泥石流等灾害，影响施工进度和安全；冬季寒冷，可能导致混凝土浇筑等作业受冻，需要采取特殊的保温措施。此外，山区管道施工往往涉及高陡边坡开挖、定向钻穿越河流等复杂工程，对施工技术的要求远高于平原地区。例如定向钻穿越则需要精确控制钻孔轨迹，避免对周边环境造成影响。这些因素共同导致山区管道施工难度大、风险高、成本高。

五 安全运营难度大，维护成本高

山区天然气长输管道的安全运营面临诸多挑战。一方面，地质灾害的长期威胁依然存在，即使在设计和施工阶段采取了防治措施，在管道运营期间，由于自然因素（如降雨、地震）或人类活动（如采矿、修路）的影响，仍可能诱发新的地质灾害，对管道造成破坏。另一方面，山区管道沿线人迹罕至，地形复杂，给管道的日常巡检和维护带来了极大困难。传统的人工巡检方式效率低下，难以覆盖所有区域，特别是一些偏远、险峻的地段。

参考文献

- [1] GB 50251-2015, 输气管道工程设计规范[S].
- [2] 中石油管道工程有限公司. 油气长输管道工程设计手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2019.
- [3] 李爱民, 王贵和, 蒋中明. 山区油气管道地质灾害风险评估与防治技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [4] 周建, 杨其新, 仇文革. 复杂山区管道隧道设计与施工关键技术[J]. 西南交通大学学报, 2020, 55(3): 521-530.
- [5] 王勇, 张宏, 李长俊. 天然气长输管道线路优化方法研究进展[J]. 油气储运, 2019, 38(7): 721-728.
- [6] 刘建坤, 曾亚武, 雷华阳. 地质灾害区管道工程安全防护技术[J]. 岩土力学, 2017, 38(S2): 453-460.