

面向生态敏感区的油气管道环境保护设计策略研究

唐 诚 王银苹 (森诺科技有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要: 伴随我国油气资源勘探开发工作的逐步深化, 大量油气管道不得不穿越生态敏感区域, 这使得环境保护面临更为严格的标准, 本文在剖析生态敏感区生态特性及环境风险的前提下, 探究了油气管道工程设计过程中应采用的环境保护举措, 通过对管道选址优化、穿越施工方式选取以及生态恢复设计等内容的全面考量, 提出具有较强适应性和较高可操作性的环境保护设计方案, 研究结论为类似工程项目在生态保护与能源开发的平衡方面, 提供了理论支撑和工程实践参考。

关键词: 生态敏感区; 油气管道; 环境保护; 工程设计; 生态修复

中图分类号: TE832; X322

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 028-0100-03

Research on Environmental Protection Design Strategies for Oil and Gas Pipelines in Ecologically Sensitive Areas

Tang Cheng, Wang Jinping (Sennuo Technology Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the gradual deepening of oil and gas resource exploration and development in China, a large number of oil and gas pipelines inevitably traverse ecologically sensitive areas, imposing stricter environmental protection standards. Based on an analysis of the ecological characteristics and environmental risks of sensitive areas, this study explores the environmental protection measures that should be adopted in the engineering design of oil and gas pipelines. Through comprehensive consideration of pipeline route optimization, selection of crossing construction methods, and ecological restoration design, a highly adaptable and practical environmental protection design scheme is proposed. The research findings provide theoretical support and practical engineering references for balancing ecological protection and energy development in similar projects.

Keywords: ecologically sensitive areas; oil and gas pipelines; environmental protection; engineering design; ecological restoration

油气管道作为国家能源运输的关键基础设施, 其穿越生态敏感区的建设行为可能造成生态损坏、水土流失、生物多样性降低等不良后果, 在当前生态文明建设的大环境中, 如何在保障能源运输需求的同时, 减轻对生态系统的扰动, 成为亟待解决的重要课题, 本文结合典型生态敏感区的环境特点与实际工程案例, 对油气管道的环境保护设计策略展开系统研究, 目的是为后续类似工程提供科学、合理的设计指导。

1 生态敏感区环境特征与保护需求分析

1.1 生态敏感区的定义与分类

生态敏感区指的是生态系统结构繁杂、生物多样性充裕、生态功能关键, 但环境承载能力较弱、对外界干扰响应敏锐的区域, 这类区域一旦遭遇破坏, 生态功能恢复周期漫长甚至无法逆转, 具有不可替代属性和高度脆弱特征, 依据生态系统功能与保护级别的差异, 生态敏感区可划分为多个类型: 一是国家级自然保护区, 像森林、湿地及珍稀濒危动植物栖息地, 其生物多样性指数通常超过 0.7, 保护力度较大; 二是水源涵养区、湿地、湖泊等水生生态系统, 年均涵养水量达到 $10^8 \sim 10^9 \text{m}^3$, 是区域水文调节的重要枢纽; 三是高原、高寒区域, 例如青藏高原, 年均气温低于

5°C 、年降水量不足 400mm, 植被恢复周期超过 10 年; 四是沙漠化与石漠化区域, 土壤侵蚀模数高于 $3000\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$, 生态系统稳定性极差。上述区域生态敏感程度较高, 在设计与施工环节中需严格管控人为干扰。

1.2 油气管道对生态系统的潜在影响

油气管道在生态敏感区的铺设与运营过程, 可能对当地生态系统产生多方面的负面作用, 管道建设需清理地表植被、开挖土壤并修建临时施工道路, 这类活动易造成地貌改变和土壤结构损坏, 进而引发水土流失、泥石流等地质灾害。

施工过程中的噪声、粉尘及机械设备运转会干扰动物栖息行为, 导致物种迁徙路径断裂, 严重时可能造成局部物种消失, 施工产生的废水、废油等污染物, 若处置方式不当将直接污染水体或土壤, 破坏区域生态环境, 管道若发生泄漏事故, 可能引发大面积石油或天然气外泄, 对地表水、地下水和空气质量造成严重危害, 后果难以把控。

1.3 生态保护的法律法规

我国针对生态敏感区环境保护制定了一系列法律法规和政策体系, 为油气管道项目的生态保护工作提出明确准则, 《环境影响评价法》指出, 建设项目开

工前必须开展环境影响评价,生态敏感区域应实施专题生态影响分析与风险评估,必要时需经过专家评审并向社会公开;《自然保护区条例》明确禁止破坏性建设活动进入核心区和缓冲区,实验区的开发建设同样需要严格审查与审批,另外,《生态保护红线管理办法》为国家重点生态功能区划定“生态红线”,禁止任何开发活动穿越红线区域;《水土保持法》《野生动物保护法》等也对生态建设项目提出专项保护准则。

2 油气管道环境保护设计原则

2.1 最小干扰原则

最小干扰原则作为油气管道在生态敏感区设计的核心指导理念,致力于通过设计优化将对生态环境的扰动与破坏降至最低,该原则贯穿于管道选址、施工方案规划、设施布局等多个环节,线路走向设计阶段需优先避开核心生态敏感区、野生动物栖息地、水源地等高风险区域,借助GIS分析、遥感解译等技术开展多方案对比选择,确定对生态系统干扰最小的路径,施工阶段应控制施工带宽度,严格划定施工便道及工作区范围,缩减植被清除面积,同时采用机械化、模块化施工降低现场作业强度,穿越河流、湿地等区域时优先采用非开挖施工工艺,如定向钻进、顶管技术等,防止破坏水体结构。建设过程中实施同步防护,如边坡稳定、截排水措施等,降低水土流失风险,运输、储料、施工排放管理环节,采取封闭运输、防渗围堰、泥浆回收等方式阻止污染物扩散,保障工程活动以最小生态代价完成建设任务。

2.2 生态适应性设计原则

生态适应性设计主张油气管道依据所在生态敏感区的地形地貌、气候状况、植被种类、水文特点等自然要素,因地制宜制定工程方案,避免与自然环境产生冲突,实现与生态系统的协调共存,高寒地区冻融作用显著,选材时应选用耐低温、抗冻胀性能强的管材,基础结构需增设保温措施;沙漠干旱地区需考虑风沙掩埋与地表不稳定问题,适当增加管道埋深并设置防风固沙措施,生态适应性体现在对生态系统功能的响应设计上,野生动物频繁迁徙区域设置生态通道和动物涵洞,保障其栖息与迁移连续性;植被密集地区优先采用本地物种复绿,避免外来植物干扰本地生物链,生态补偿设计环节,倡导引入原位恢复与生态替代理念,在建设区周边开展生态恢复示范项目,全面提升区域生态服务功能。

2.3 全生命周期控制原则

全生命周期控制原则强调,油气管道的生态保护工作不能局限于规划与建设环节,而需构建贯穿选址

规划、方案设计、工程施工、日常运营到最终退役拆除的全过程环境监管框架,该原则要求项目立项初期就开展全面的生态现状调研与敏感性评估,将潜在环境风险识别结果纳入决策评价依据;设计环节需编制环境保护专项技术方案,并融入总体布局、施工组织及投资预算体系;施工阶段应建立环境监理与第三方评价机制,实时监测工程建设对生态系统的影响程度,推行动态改进与优化措施,运营期间需持续实施生态环境监测,着重追踪野生动植物活动规律、水体质量波动、植被恢复进程等核心指标,同时制定应急处置方案以应对管道泄漏、地质灾害等突发状况,退役环节则必须拟定详细的设施拆除与土地复垦计划,涵盖设备回收利用、污染治理修复、生态功能重建等具体内容,保障项目终止后生态系统能够逐步恢复原有功能状态。

3 面向生态敏感区的工程设计策略

3.1 路由优化设计策略

在生态敏感区域部署油气管道时,核心工作在于合理规划线路走向,借助路由优化手段尽可能避开生态风险集中区域,最大限度减少对周边环境的干扰,需运用遥感图像、地理信息系统及环境敏感性资料开展多源信息整合分析,明确区域内自然保护区、湿地、植被覆盖区、野生动物迁徙通道、水体等敏感目标,将其划定为路径规划的避让界限,路由方案确定过程中,需采用多方案对比方式,从环境效应、工程成本、地质状况、施工复杂度等多维度指标进行综合考量,筛选出生态影响最小且经济合理的路径,应设置必要缓冲区域,远离滑坡、泥石流等地质不稳定区域及高植被覆盖区域,以此降低生态损坏与安全隐患。

3.2 穿越施工技术选择

在必须穿越生态敏感区域的情形下,应优先采用环境干扰小、生态影响轻的非开挖施工技术,减轻对地表及地下环境的损害,常用非开挖技术包含定向钻进、顶管和泥水平衡盾构等,定向钻进适用于穿越长度30~1500m、埋深3~30m的区域,顶管适用于短距离、高覆盖层稳定区域,泥水平衡盾构适用于高水位、高涌水地层,这类技术可避免大规模开挖、植被破坏和水体污染,尤其适用于河流、湿地、农田、森林等生态高敏感区域,定向钻进技术施工精度误差小于 $\pm 2\%$,能在河床下5~10m完成穿越且不干扰水体生态;顶管施工可将地表沉降控制在5mm以内,降低滑坡与地面塌陷风险,施工过程中需结合地质、水文和土壤参数,如N值、含水率、渗透系数等,优化钻进深度、泥浆比重与配比、防塌支护办法,增强技术适应性与施工安全程度,需将施工带宽度控制在

10 ~ 20m 内,通过铺设临时便道、限定施工车辆活动范围等方式,减少土地占用与地表扰动。

3.3 生态保护设施与辅助设计

油气管道工程中配套建设科学的生态保护设施与辅助设计,是保障生态功能完整、提升生态适应性的重要举措,在动物活动活跃区域应设置动物通道,包括涵洞、桥下通道或人工跳板,保障野生动物正常迁徙与栖息,防止因管道建设造成动物栖息地分割和迁徙路径阻断;高寒或森林区域的涵洞设计需兼顾积雪消融与地形适配性,为防控水土流失,应配置合理的排水系统、沉沙池、截水沟等水土保持设施,结合原地形设计挡墙、护坡,搭配生物固土手段,如植被护坡、生物毯、草皮袋等,提高边坡稳定性与生态恢复速度,噪声与粉尘控制方面,应设置降噪围挡、喷淋降尘装置,划分封闭作业区域,减轻对周边环境的干扰。

4 生态修复与环境管理体系构建

4.1 生态修复技术与材料应用

油气管道建成后,生态修复工作对减轻和扭转建设阶段产生的生态干扰发挥着关键作用,修复技术与材料的选用需遵循“因地制宜、系统重建、生态优先”的准则,植被修复环节应优先选用本地原生植物实施播种与栽种,降低外来物种引入引发的生态入侵隐患,常见植被修复方式有手工撒播、客土喷播、混合植被毯铺设等,适配不同地形与气候特征;高坡地段和风沙区域可采用植物固沙带与沙障组合模式,增强地表稳固性。水土保持与边坡整治中,生态袋、三维网垫、植生砌块等新型生态材料应用广泛,这类材料既具备结构稳固特性,又有助于植物根系渗透、发育与土壤固定。

4.2 环境监测与评估机制

建立全流程、全要素的环境监测与评估体系,是确保生态修复成效、形成环境管理闭环的重要保障,监测范畴应包含大气质量、水体状况、土壤性质、生物多样性、水土流失程度等核心生态指标,结合区域敏感因子设置重点监测位置,施工阶段需开展高频率动态监测,尤其在雨季、施工繁忙期等高风险时段,实时把握环境变化动向,及时启动预警与应对方案,运营阶段监测侧重长期变化与趋势性分析,可通过定期样地考察、无人机航测、遥感反演等方式,结合物联网与自动采样设备实现监测的在线化与智能化,评估机制方面,需制定科学可量化的生态恢复目标与评价指标体系,涉及植被覆盖恢复率、物种数量增减、生态功能重建等内容,通过与建设前基准数据比对,分析修复措施的实际成效,评估结果应作为项目后期生态补偿、二次修复及技术改进的参考,纳入工程验

收与后评价环节。

4.3 多方参与的环境管理模式

生态敏感区油气管道项目关联众多生态利益相关主体,构建多方参与的环境管理架构是实现环境治理共建共治共享的核心途径。

项目立项与设计阶段需引入公众参与机制,通过组织座谈会、公示项目环境影响评价文件、征集公众反馈等形式,保障受影响社区、环保团体与科研机构的知情权利与参与机会,项目实施过程中,企业应与地方政府建立协作机制,共同制定生态保护方案和应急处置计划,引入第三方环保组织参与全过程监督与独立评价,提升环境管理的透明程度与公众信任度,引导社区参与和资源共享,在生态修复与管理工作中组织当地居民参与苗木培育、森林防火、水源保护等活动,既扩大管理覆盖范围,也增强居民的生态理念与参与获得感。

5 结语

生态敏感区油气管道工程在保障国家能源安全过程中,必须充分重视生态环境的保护与修复工作,本文从环境特征分析入手,系统提出最小干扰、生态适应性与全生命周期控制的设计原则,结合实践探讨路由优化、施工技术与生态设施配置等具体方法,最终构建以修复技术、监测评估和多方协同为核心的环境管理系统,通过科学规划与系统管理,能够有效实现工程建设与生态保护的协调统一,为后续同类工程提供有益参考与技术支撑。

参考文献:

- [1] 汪海波,柴捷,闫定弘,裴蕾,唐宇,刘金玲,李文付,周子剑.长输油气管道环境敏感区管理信息化[J].油气田环境保护,2023,33(01):59-62.
- [2] 熊运实,郭志红,毋熙岚,梁涛,高启晨.油气基础设施与环境敏感区空间规划衔接问题研究[J].油气田环境保护,2020,30(03):1-4+60.
- [3] 王昌尧,王斐,霍富永,王博,白剑锋,朱源.黄土源地区油气管道智能化预警建设探索[J].油气田地面工程,2022,41(10):90-95.
- [4] 李然辉.油气管道自动焊技术的发展探究[J].模具制造,2025,25(07):127-129.
- [5] 庄作良.广西极端气候下油气管道快速抢修技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(12):193-195.

作者简介:

唐诚(1989-),男,汉族,山东寿光人,本科,工程师,研究方向:管道设计及施工。