

承灾体易损性和防灾减灾能力的评估框架。基于高分辨率数值气象预报输出和区域气候模式产品,结合地质构造、岩土力学参数、地形地貌等静态要素,建立多参数耦合的风险评估模型。采用机器学习方法分析历史灾害事件与降雨时空格局的统计关系,建立不同重现期降雨情景下的灾害发生概率预测模型。

风险区划应体现动态特征,包括短期(72小时)、中期(周尺度)和长期(季节尺度)三种尺度的风险图谱生成。重点突破降雨入渗-边坡稳定性耦合模拟技术,开发考虑非饱和渗流与应力场相互作用的数值模型,能够模拟不同降雨情景下边坡孔隙水压力场变化和稳定性演化过程。风险区划成果需要实现与国土空间规划、重大工程选址的有机衔接,通过建立地质灾害风险约束指标,为城镇建设、交通线路布设提供规避高风险区的科学依据。同时,风险区划结果应指导地质灾害防治专项规划的编制,确定重点防治区和优先治理工程。考虑到气候变化背景下极端降雨事件频发的特点,风险区划需要引入气候适应性概念,采用动态更新机制确保区划结果的时效性和准确性。

4.3 实施斜坡加固工程,增强岩体抗灾性能

针对不同类型地质灾害的成灾机制,需要采取差异化的防治措施体系。生态工程方面,通过植被恢复提高坡面抗蚀能力,选择深根系乡土树种增强土体加筋作用,采用三维网植草、土工格室植草等新技术控制表层侵蚀。生物工程技术包括活枝扦插、柴束拦挡等,利用植物活体构建柔性防护体系。

工程措施包括完善地表排水系统(截水沟、排水渠)和地下排水设施(水平排水孔、竖井、虹吸排水),有效降低边坡孔隙水压力。支挡结构采用抗滑桩、挡土墙与锚索框架梁组合体系,提高边坡整体稳定性。对于大型滑坡,可采用预应力锚索与微型桩群联合支护方案,同时配合削方减载和反压填土等工程措施。创新技术如基于微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)的土体固化技术、电渗排水系统等新型防治方法正在示范应用。所有工程措施都应进行全生命周期成本效益分析,并考虑气候变化背景下的适应性设计,采用性能化设计方法确保防治工程的可靠性和耐久性。重点防治工程应建立长期监测系统,评估工程效果并为类似工程提供设计参考。

4.4 完善应急响应机制,提高风险防控水平

构建包含政府部门、专业机构、社区组织和公众个体

的多层次防灾体系。完善地质灾害风险沟通机制,开发智能预警信息发布平台,实现预警信息的精准推送和多渠道传播,确保信息传递的最后一公里畅通。建立基于物联网技术的群测群防网络,为基层防灾员配备简易监测仪器和移动终端,提高隐患识别和应急响应能力。制定详细的应急预案,明确避险路线、安置场所和物资储备标准,定期开展不同规模的应急演练。

加强跨部门协同,建立气象、自然资源、应急管理、交通运输等部门的数据共享与应急联动机制,形成防灾合力。开展系统的防灾知识普及教育,通过虚拟现实(VR)技术模拟灾害场景提升公众风险意识,编制不同文化程度的科普材料。建立地质灾害保险制度,发挥金融工具在风险转移中的作用,开发指数保险等创新保险产品。最终形成包含监测预警、工程防治、应急管理、风险转移的完整防控链条,提升全社会应对地质灾害的韧性。特别需要建立防治工程后期维护管理制度,确保工程措施持续发挥效益。

5 结语

气象因素作为地质灾害的关键触发因子,其影响贯穿于灾害形成的全过程。从强降雨到冻融作用,多种气象过程通过改变岩土体力学性质与水文条件,显著加剧地质灾害的发生风险。面对日益复杂的气候背景和成灾环境,必须采取多学科交叉、防救结合的综合防控策略。通过深化气象-地质机理研究,构建精准监测预警体系,研制定量风险区划方法,并推动工程治理与公众参与相结合,才能有效提升地质灾害防控的效能与韧性,减少灾害损失,保障社会的可持续发展。

参考文献

- [1] 刘博文,李华宏,张万诚,等.云南气象衍生地质灾害的时空分布及其影响天气系统[J].高原山地气象研究, 2024, 44(4):99-107.
- [2] 阳艳红,王玉彬,陆小勇,等.山洪地质灾害防治气象保障工程项目管理案例研究[J].项目管理技术, 2024, 000(9):6.
- [3] 赵爱华.气候变化对地质灾害风险的影响及适应策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(003):000.
- [4] 蔡霞,蔡琳,解建强,等.山西省地表温度时空变化及其与地质灾害的关系分析[J].世界地质, 2023, 42(1):203-212.
- [5] 王惠卿,肖锐铨,刘艳辉,等.近20年地质灾害气象风险预警研究文献图谱可视化分析[J].中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2):10-20.

Environmental cost control strategies for oil Transportation under the Background of Low carbon

Yunsheng Tian

Shandong Normal University, Jinan, Shandong, 250014, China

Abstract

Against the backdrop of the global low-carbon economy and the national “dual carbon” goals, the petroleum transportation industry is confronted with the dual challenges of intensified environmental protection pressure and rising environmental protection costs due to the high energy consumption, high carbon emissions and VOC emissions of the traditional model. This article first analyzes the composition and differentiated challenges of environmental protection costs in oil transportation. Then, based on practical cases from domestic and foreign enterprises, it systematically proposes environmental protection cost control strategies from four dimensions, namely, technological innovation in green transportation, application of intelligent logistics management systems, energy-saving transformation of infrastructure and application of green energy, and policy support and construction of industry collaboration mechanisms. Research shows that the control of environmental protection costs in oil transportation requires multi-dimensional coordination among technology, management and policy, which can provide path references for the green transformation and sustainable development of the industry.

Keywords

Low-carbon background; Petroleum transportation; Environmental protection cost control

低碳背景下石油运输环保成本控制策略

田昀晟

山东师范大学, 中国 · 山东 济南 250014

摘 要

在全球低碳经济与国家“双碳”目标背景下,石油运输行业因传统模式存在高能耗、高碳排放及VOC排放问题,面临环保压力加剧与环保成本攀升的双重挑战。本文先对石油运输环保成本的构成和差异化挑战进行剖析,随后结合国内外企业实践案例,从四大维度系统提出环保成本控制策略,分别是绿色运输技术创新、智能物流管理系统应用、基础设施节能改造与绿色能源应用、政策支持与行业协同机制建设。研究表明,石油运输环保成本控制需技术、管理、政策多维度协同,可为行业绿色转型和可持续发展提供路径参考。

关键词

低碳背景; 石油运输; 环保成本控制

1 引言

全球气候变化加剧、低碳经济成主流,石油运输作为能源行业重要环节,面临巨大环保压力与成本挑战^[1]。传统运输存在高能耗、高碳排放及突出的VOC排放问题,环保监管趋严下,有效控制环保成本并实现绿色转型,既是企业生存发展关键,也关乎国家“双碳”目标实现。石油运输行业绿色转型是涉及多维度的系统工程,需从全流程入手结合新能源、新技术与智能管理降本减耗,国内外企业已积累相关经验。本文结合先进案例与实践,从多角度系统探讨环保成本控制策略体系,为企业应对低碳挑战、实现可持续发展

提供参考与路径。

2 石油运输环保成本构成及挑战

石油运输环保成本主要涵盖排放治理、节能技术改造、环境监测及合规管理成本,低碳背景下这些成本持续上升,如VOC治理需大量设备与运行资金,二氧化碳专项运输成本也远超常规运输,给企业经营带来压力;同时行业面临多重挑战,包括新能源运输工具等技术更新投入大、老旧船舶等现有设施低碳改造难度高且耗资多、环保标准提升要求企业持续增加投入,以及LNG、电能等绿色能源转换成本高于传统燃料(如表1)。此外,不同石油运输方式面临的环保成本挑战也存在差异。公路运输需要应对车辆排放标准升级和新能源转换压力;水路运输主要面临VOC回收和燃料清洁化要求;管道运输则需要优化泵送能耗和解决泄漏检测

【作者简介】田昀晟(2004-),男,本科,从事环境管理与规划研究。

与修复问题。这些差异化挑战要求企业采取有针对性的成本控制策略，避免“一刀切”的做法，实现精准投入和高效减排^[2]。

表 1 石油运输不同方式的碳排放强度比较

运输方式	碳排放强度 (kgCO ₂ /吨公里)	主要排放环节	减排潜力
公路运输	0.12-0.25	燃料消耗、VOC 挥发	中等
铁路运输	0.08-0.15	燃料消耗	较低
水路运输	0.05-0.12	燃料消耗、VOC 挥发	较高
管道运输	0.03-0.08	泵送能耗、泄漏	较高

3 绿色运输技术创新策略

3.1 新能源运输工具应用

推广新能源运输工具是降低石油运输碳排放的关键。某运输公司投入 LNG 燃料二氧化碳运输车，减少二氧化碳、二氧化硫及氮氧化物排放；规划更新电动通勤班车，实现特定保护区通勤车辆电动化，推动油田通勤绿色发展。船舶领域，某企业超大型乙烷运输船配置乙烷燃料双燃料主机与轴带发电机，减少硫化物、碳氧化物排放，满足排放要求且实现经济性，“以货为燃料”模式为船舶低碳发展提供新方向^[3]。

3.2 VOC 回收与资源化技术

VOC 回收技术是石油运输减排节资的关键。某集团开发 VOC 回收系统，将油仓蒸发气体与 LNG 混合作船舶燃料，减少二氧化碳排放并节省燃料；该系统运行功率低于同类产品，投资回收时间缩短。其研发的“燃料”版本在燃料成本节约上有优势，解决排放问题并创造经济价值，成为环保成

本控制案例。某企业旗下公司为全球 VOC 模块制造领先企业，该技术全球推广。

3.3 低碳船舶技术与航线优化

低碳船舶技术及航线优化是降低环保成本的重要路径。船舶技术上，船体优化设计、低摩擦涂料、废热回收系统等减少能耗与排放；操作管理上，航速优化、气象航线规划降低燃料消耗与碳排放，两类措施组合使船舶运输环保成本下降。数字化技术助力航线优化，航运企业借大数据与 AI 算法计算最优航速与航线，平衡效率与油耗，实现碳排放与成本优化。该策略适合中小型企业，无需大规模硬件投资即可实现环保效益^[4]。

4 智能物流管理系统应用

4.1 数字化调度与运输优化

智能物流管理系统凭借数字化调度与运输优化，能有效提高运输效率、降低空驶率与能耗，是控制环保成本的重要手段。某物流企业在油田相关项目中创新物流管理模式，以数字化思维重构业务流程，通过建立动态响应机制实时监测库存、作业量及卸车规律，借助大数据分析 with 智能调度系统实现运输车辆全周期动态优化配置，大幅压缩车辆空驶里程，显著提升运输效率与车辆周转频次，车辆里程利用率和工作效率分别达到较高水平；另有油田运输公司通过推进通勤车辆共享、优化运行线路等措施鼓励员工环保出行，近年来共优化多条通勤线路、减少多台通勤客车，在降低运输成本的同时减少了碳排放，这种基于数据分析的线路优化方法适用于各类石油运输场景，可有效降低总体环保成本。

表 2 智能物流管理系统的主要功能与环保效益

系统功能	实施方式	环保效益	成本节约潜力
动态调度	实时监测运输需求，优化车辆调配	减少空驶里程，降低燃油消耗	15-25%
路径优化	基于交通状况、距离等因素计算最优路径	缩短运输距离，减少排放	10-20%
负载优化	根据货物特性匹配最佳车辆和装载方式	提高装载率，减少单位排放	5-15%
协同运输	多个供应商共享运输资源	提高规模经济性，降低单吨排放	10-30%

4.2 能耗监控与精细管理

实时能耗监控是石油运输环保成本控制的基础，某储运公司自主研发生产监视中心能源管控平台，可实时采集站场泵机功率与电度数据，智能计算不同周期电耗及生产能耗，实现用能分布展示、动态监测与专项分析，如同“健康医生”精准诊断能效损耗“病灶”，推动节能从“经验驱动”转向“数据驱动”；基于能耗监测数据，企业可进一步实施精细化管理，某物流公司率先应用车联网系统开展“一车一定额”管理，通过智能油耗监测与驾驶行为分析，使百公里油料消耗显著下降，突破传统油料管理瓶颈，实现运输成本与能源消耗“双降”，这种精细化管理方法能有效识别高能耗环节，为针对性节能改造提供依据^[5]。

4.3 协同运输与多式联运

协同运输与多式联运是石油运输中控制环保成本的有效策略。在协同运输方面，某油田运输公司在油泥砂运输中划分服务区域，每日集中对接开发单位明确区域内油泥砂产生量，采用“固定+随机”方式统筹调配环保车辆，在固定收集点循环运行的同时做好清运准备，保障油泥砂 24 小时“随产随清”，实现运输资源优化配置，提升车辆利用率并降低总体排放；在多式联运方面，通过合理组合公路、铁路、水路、管道等运输方式，可发挥各自优势实现整体碳排放最小化，例如某港口管道公司依托加热保温功能管道的运营优势，采用重质油品集约化加热输送模式，在规定时间内完成大量重质原油运输，同时大幅减少蒸汽使用量与碳排放量，借助管道运输与其他方式的协同配合，达成环境效益