

地质装备运输安全风险评估体系构建及智能化防控技术研究

赵东来^{1,2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/ERA.2025090035

摘 要 : 本研究针对地质装备运输安全问题, 系统分析现有风险评估体系的局限与智能化技术应用现状。研究发现, 传统评估方法在处理复杂动态风险时存在不足, 评估指标对装备特性、运输环境及人为因素考量不全, 静态模型难以应对风险变化。物联网、大数据分析和人工智能等智能化技术虽为运输安全提供新路径, 但也面临数据传输、算法性能等挑战。基于此, 提出遵循科学性、全面性和针对性原则选取评估指标, 构建动态且能综合分析多因素的评估模型, 并通过严格验证与优化确保体系有效性, 为提升地质装备运输安全性、推动矿业智能化转型提供理论与实践参考。

关 键 词 : 地质装备; 运输安全; 风险评估体系; 智能化防控技术

Research on the Construction of Risk Assessment System and Intelligent Prevention and Control Technology for Geological Equipment Transportation Safety

Zhao Donglai^{1,2*}

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Black Soil Earth Critical Zone Field Scientific Observation and Research Station, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : This study systematically analyzes the limitations of existing risk assessment systems and the current application status of intelligent technologies for geological equipment transportation safety issues. The research finds that traditional assessment methods have deficiencies in dealing with complex dynamic risks. The assessment indicators do not fully consider equipment characteristics, transportation environments, and human factors, and static models are difficult to cope with risk changes. Although intelligent technologies such as the Internet of Things, big data analytics, and artificial intelligence provide new pathways for transportation safety, they also face challenges such as data transmission and algorithm performance. Based on this, it is proposed to select evaluation indicators following the principles of scientificity, comprehensiveness, and pertinence, construct a dynamic evaluation model that can comprehensively analyze multiple factors, and ensure the effectiveness of the system through rigorous verification and optimization. This provides theoretical and practical references for improving the safety of geological equipment transportation and promoting the intelligent transformation of the mining industry.

Keywords : geological equipment; transportation safety; risk assessment system; intelligent prevention and control technology

引言

随着地质勘探与资源开发规模扩大, 地质装备运输在矿业生产中愈发重要。但装备重量大、体积庞大、结构复杂, 运输面临复杂地形致稳定性不足、恶劣天气及人为失误等安全挑战, 传统管理模式难以应对动态风险。在此背景下, 构建科学的运输安全风险评估体系意义重大。智能化技术如物联网、大数据、人工智能的应用, 为运输安全提供新方案, 可实现实时监控、精准预测及运输方案优化。本研究旨在探讨结合智能化技术构建评估体系及其应用效果, 以提升运输安全性, 推动矿业智能化转型, 为相关理论与实践提供参考。

一、相关概述

（一）地质装备运输安全风险评估体系相关研究

地质装备运输安全风险评估体系的构建是保障运输安全稳定的重要基础。现有研究主要从风险评估方法、指标选取和模型构建三方面展开。风险评估方法上，传统方法如层次分析法（AHP）、模糊综合评价法多依赖专家经验与历史数据量化运输风险，但在处理地质装备运输中多源异构数据及复杂动态风险时存在局限，难以全面反映风险全貌。部分研究引入预碰撞时间（TTC）、最小制动安全距离（MBSD）等指标，结合道路坡度、载重状态量化行车风险等级，虽在一定程度上提升了准确性，却仅适用于露天矿区无人驾驶等特定场景，对其他复杂环境下的地质装备运输普适性不足^[4]。评估模型方面，当前研究多聚焦静态模型构建，如基于有限状态机的风险防控策略设计，虽能实现风险预测与分级管理，但在应对恶劣天气、道路条件恶化等动态变化的风险因素时，难以及时调整评估结果，导致防控措施滞后，构建适应动态风险变化的评估模型成为亟待解决的问题。

（二）智能化防控技术在运输领域的应用研究

随着智能化技术发展，物联网、大数据和人工智能在地质装备运输中应用广泛。物联网通过传感器网络实现装备实时定位与状态监测，如露天煤矿无人驾驶系统中，其采集车辆运行数据并通过云平台融合，实现运输风险精准评估防控，但面临数据传输实时性、可靠性及传感器成本高、维护难等挑战。智能化地质勘探技术的发展催生了机器学习在地层识别和钻进参数优化中的广泛应用，关键在于高精度的地质预测和作业效率的显著提升。地层识别的准确性是勘探效率和安全性决定性因素，现阶段通过引入深度学习和卷积神经网络（CNN）模型，能够处理和分析大量的地震数据和井下测井数据，实现对复杂地质结构的高分辨率识别^[1]。人工智能辅助决策在优化运输方案与应对突发风险上作用显著，基于人工神经网络、支持向量机的预测模型可评估风险概率并提供优化建议，还能通过实时监控预警系统快速响应风险事件，降低事故率，但其存在算法复杂度高、计算资源需求大的问题，限制了在实际运输场景的推广应用^[10]。

二、地质装备运输安全风险分析

（一）地质装备特点与风险相关性

地质装备因其特殊的结构与功能属性，在运输过程中面临着显著的安全风险挑战。以钻探设备为代表，这类装备往往重量大、体积庞大，直接对运输稳定性造成影响。过重的设备不仅会加大车辆的负荷，导致刹车失灵、转向困难等机械故障，还会显著增加交通事故的发生概率。

除了物理尺寸和重量带来的风险，地质装备的结构复杂性同样不容忽视。许多地质装备内部集成精密仪器和易损部件，这些关键组件在运输过程中对振动、碰撞极为敏感。一旦保护措施不到位，在颠簸的运输过程中，精密仪器可能出现精度偏差，易损部件也可能因外力冲击而损坏。在井下采选充一体化智能运输管控系统的实际运行中，设备结构件因运输震动导致的断裂等突发故障时有发生，这进一步揭示了地质装备结构特点与运输风险之间的紧密联系^[6]。

因此，在评估地质装备运输安全风险时，必须将装备的重量、尺寸以及结构复杂性等核心因素纳入考量，从而制定出科学、全面的防控措施，切实保障运输过程的安全与稳定。

（二）运输环境因素与风险

运输环境是影响地质装备运输安全的重要因素，涵盖道路条件、气候状况、地形特征等方面。道路宽度不足、坡角过大或防滑措施缺失，都可能直接引发运输事故。恶劣天气如暴雨、大风、极端温度，会对地质装备运输造成严重影响。在山区或丘陵地带运输时，复杂地形可能导致车辆行驶不稳，甚至翻车。季节性因素同样不可忽视，冬季结冰或夏季高温可能损害运输设备，增加安全风险^[7]。地质勘探技术在探矿工程中应用需考虑地质环境，而运输环境的影响同样关键。因此，分析地质装备运输安全风险时，要全面考量运输环境的潜在影响因素，并采取针对性防范措施，以降低风险发生的可能性，保障运输安全。

（三）人为因素与风险

人为因素在地质装备运输安全风险中占据关键地位，主要体现在操作行为与安全意识层面。操作人员若安全意识淡薄或操作不当，极易引发严重事故。例如，驾驶员在运输过程中不遵守操作规程，或忽视车辆及装备维护，可能导致刹车失灵、转向失控等危险状况发生。即便智能化技术提升了运输安全性，人为失误依然是不可小觑的风险点。在设备监控与故障预警系统运行时，若操作人员未能及时处理警报，或错误判断风险信息，同样可能导致事故^[8]。此外，人员培训不足也是突出问题。地质装备操作专业性强，需要操作人员掌握特定技能与知识。若缺乏系统培训，面对突发状况时，操作人员可能因处置不当，进一步加剧运输安全风险。因此，研究地质装备运输安全风险时，必须着重关注人为因素影响，通过强化专业培训、提升安全意识等措施，切实降低事故发生概率。

三、地质装备运输安全风险评估体系现状与问题

（一）现有评估体系概述

当前，地质装备运输安全风险评估体系主要运用多源信息融合与分层处理的方式，旨在全面识别并有效管控运输潜在风险。其典型评估流程涵盖数据采集、风险分析、等级评定及防控策略制定等环节。数据采集阶段，通过整合车端传感器、路侧监测设备及云平台信息，构建起包含车辆状态、道路环境和外部干扰的综合数据集。风险分析时，借助对预碰撞时间（TTC）、最小制动安全距离等指标的计算修正，量化行车风险等级。在指标选取上，现有体系虽注重从车辆运行参数、道路条件、外部环境等多维度覆盖风险因素，但指标权重分配与优先级排序多基于经验判断，缺乏科学统一的标准。而在模型构建方面，主流的静态或半动态模型难以适应复杂运输场景下的动态风险变化，当运输环境突发改变，如遭遇恶劣天气、道路状况恶化时，难以及时调整风险评估结果，影响防控措施的时效性与有效性^[5]。

（二）评估指标分析

现有地质装备运输安全风险评估体系的指标设计虽有进展，但在科学性、针对性与全面性上仍存在短板。部分指标未能充分考量地质装备自身特性，重型装备超限的尺寸与重量，易造成道路承载不足、转弯受限等问题，却未在评估中得到足够重视。面

对多样化运输环境时,现有指标体系缺乏灵活性,难以根据不同地形、气候条件调整评估重点。在复杂山区或极端天气下,仍沿用常规指标,无法精准识别潜在风险。此外,评估指标的全面性不足。当前体系多聚焦技术层面,对人为因素关注较少。驾驶员操作行为、安全意识以及操作规范等主观因素,在运输安全中起着关键作用,若未将其纳入评估体系,极易低估因人为失误引发的风险,难以实现对运输安全风险全面、精准评估^[8]。

（三）评估模型局限性

地质装备运输安全风险评估模型的实际应用效果,受限于其对复杂风险因素与动态变化风险的处理能力。传统静态模型难以全面捕捉设备故障、环境突变、人为失误等多元风险间的相互作用,无法精准评估这些因素对整体运输安全的综合影响。随着智能化矿山技术发展,无人驾驶运输系统等新技术带来全新管理挑战,但现有评估模型的更新机制滞后,未能及时将新场景下的风险因素纳入考量。在动态风险感知层面,现有模型同样存在短板^[9]。当遭遇恶劣天气导致道路湿滑,或突发通信中断等紧急状况时,模型无法快速响应并调整评估结果,更难以给出有效的风险防控建议^[6]。面对地质装备运输过程中复杂多变的风险环境,构建具备自适应能力、能够实时响应并综合分析多因素的动态评估模型,已成为提升运输安全管理水平的关键,也是未来研究亟待突破的重要方向。

四、构建科学合理的安全风险评估体系

（一）评估指标选取原则与方法

地质装备运输安全风险评估指标选取需遵循科学性、全面性与针对性原则,以精准反映运输潜在风险。科学性要求指标客观体现地质装备特点及其与运输环境的相互作用,如综合分析装备重量、尺寸等物理特性与道路承载能力、通行条件的关系。全面性强调指标覆盖装备自身、运输环境及人为因素等多维度,避免关键因素遗漏导致评估失真^[2]。针对性则需依据不同装备类型与运输场景选择代表性指标,像大型橇装装置运输评估,应重点关注其在静力和动态加速度下的稳定性^[5]。层次分析法(AHP)是复杂系统评估的常用工具,通过分解评估目标并对指标两两比较确定权重,提升评估科学性与逻辑性。主成分分析法(PCA)可从大量原始数据中提取关键信息,减少指标冗余并保留核心变量^[8]。这些方法的应用既能优化评估指标体系合理性,又为后续模型构建奠定基础。

（二）评估模型构建思路

构建全面精准的地质装备运输安全风险评估模型,需兼顾动

态风险变化与多源信息综合分析。地质装备运输常面临复杂道路条件、气象突变及设备状态波动,传统静态模型难以满足需求,因此需引入时间序列分析与实时监测数据,赋予模型动态调整能力,及时捕捉风险变化趋势。如在露天矿区无人驾驶运输中,结合道路坡度与载重状态修正预碰撞时间、最小制动安全距离等指标,可显著提升评估准确性^[9]。同时,地质装备运输安全受装备性能、外部环境、人员操作等多因素影响,模型设计需考虑因素间的交互作用。运用模糊神经网络、专家知识库等技术,对不同风险类型分类存储,实现精准预测;基于系统理论构建风险评估框架,揭示风险因素的复杂关联,为模型优化提供理论支撑^[6]。如此构建的评估模型,既能覆盖多元风险场景,也能在实际应用中保持高适应性与可靠性。

（三）评估体系的验证与优化

为保障地质装备运输安全风险评估体系的可靠性与有效性,需对其开展严格验证与优化。验证环节依托现场实验、仿真模拟采集真实数据,为评估体系性能验证奠定基础。如在井下智能运输管控系统研究中,借助传感与网络技术实时监测设备运行,验证系统对故障的预警能力。同时,将评估体系应用于不同运输场景,通过实际案例与数据分析,检验其处理复杂风险因素的能力,像针对二氧化碳管道泄漏风险,验证风险预警机制的实用性^[8]。基于验证结果,优化工作聚焦评估指标调整、模型参数校准及功能完善。若发现指标无法精准反映特定环境风险,可重新设计权重或引入新指标。融合大数据分析与人工智能技术对模型迭代优化,能够提升其预测精度与决策支持能力。通过闭环管理流程持续更新完善,使评估体系适应行业新技术与新挑战,为运输安全筑牢技术防线。

五、结束语

本研究系统剖析地质装备运输安全风险评估体系与智能化防控技术应用,揭示传统评估体系在指标设计和模型构建上存在缺陷,同时指出智能化技术应用中机遇与挑战并存。为此,提出以科学性、全面性、针对性为原则选取评估指标,构建动态多因素综合评估模型,并完善验证优化方法,为优化风险评估体系提供有效路径。但研究仍存局限,智能化技术在复杂场景的深度融合效果尚未充分验证,评估体系对新风险场景的适应性也需深入探索。未来研究应聚焦智能化技术与运输安全管理的深度协同,以及评估体系在极端环境、新兴运输模式中的应用,推动矿业智能化安全发展。

参考文献

[1] 贺东. 智能化地质勘探技术装备的研发及应用研究 [J]. 产业创新研究, 2024, (4): 96-98.
[2] 沈龙, 盛玉磊, 钱龙. 智能化背景下辅助运输新研究 [J]. 新潮电子, 2024, (6): 40-42.
[3] 张柏. 智能化技术对煤矿机电运输系统优化提升的推动作用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (8): 109-111.
[4] 陈志发, 余贵珍, 张传莹, 丁能根, 周彬, 李在友, 欧阳东哲. 露天矿区无人驾驶行车风险评估及防控策略仿真研究 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(4): 1782-1797.
[5] 薛棋文, 丁震, 孙振明, 李腾飞, 杨健健. 露天煤矿无人驾驶运输系统应急管理体系研究 [J]. 工矿自动化, 2022, 48(10): 107-115.
[6] 王德堂, 董博, 刘德建, 王新茂, 舒翰儒. 井下采选充一体化智能运输管控系统设计 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20(36): 14902-14907.
[7] 张树河. 露天煤矿汽车运输安全管理措施探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (15): 121-123.
[8] 丁宇航. 二氧化碳管道运输中的风险分析和预警机制 [J]. 化工设计通讯, 2023, 49(9): 58-60.
[9] 谈文虎, 贾晓林, 陈志, 邓松圣. 运输过程中橇装装置安全稳定性评估技术研究 [J]. 石油工程建设, 2018, 44(B09): 77-81.
[10] 江丽沙. 煤矿机电运输中智能化技术的应用 [J]. 煤炭新视界, 2023, (1): 49-51.