 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i11.8113

Research on construction and effectiveness evaluation of intelligent safety monitoring system for green mine

Yu Guo

Inner Mongolia Tongmei Ordos Mining Investment Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

Under the "Dual Carbon" strategy and high-quality development requirements, the green transformation of the mining industry has become imperative. Establishing intelligent safety monitoring systems for green mines holds significant importance, as it not only impacts ecological preservation and operational safety in mining areas but also affects corporate profitability and social responsibility fulfillment. This paper first reviews the core concepts and technological evolution of green mine safety monitoring, analyzes current challenges in digital and intelligent mine safety management, and proposes an integrated monitoring framework combining IoT, AI, and big data. Through case studies of typical mining areas, the paper demonstrates the platform's applications and achievements in risk early warning, hazard mitigation, and dynamic supervision. Results indicate that this system enhances safety control and green production capabilities, providing technical support for mining industry development and ecological civilization construction. Finally, the article offers optimization recommendations and future directions to advance green and smart mining initiatives.

Keywords

green mining; intelligent safety monitoring; Internet of Things; big data; performance evaluation; ecological protection

绿色矿山智能安全监测体系构建与效能评价研究

郭宇

内蒙古同煤鄂尔多斯矿业投资有限公司，中国 · 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘　要

在“双碳”战略与高质量发展要求下，矿业绿色转型迫在眉睫，绿色矿山智能安全监测体系构建意义重大，既关乎矿区生态与作业安全，又影响企业效益与社会责任履行。本文先梳理绿色矿山安全监测内涵与技术发展脉络，剖析当前矿山安全管理在数字化、智能化方面面临的挑战，进而提出融合物联网、人工智能、大数据的智能监测体系架构。结合典型矿区案例，阐述了智能监测平台在风险预警、隐患治理、动态监管等方面的应用与成效。结果显示，该体系提升了矿山安全管控与绿色生产能力，为矿业发展和生态文明建设提供技术支撑。最后，文章给出优化建议与未来方向，助力绿色矿山与智慧矿业建设。

关键词

绿色矿山；智能安全监测；物联网；大数据；效能评价；生态保护

1 引言

近年来，绿色发展理念深刻重塑了矿业产业链条和管理范式。矿山作为资源开采的重要阵地，长期以来面临生态破坏、作业安全、环境污染等多重压力。随着国家“双碳”目标提出，绿色矿山建设被推上了产业转型升级的重要舞台。传统安全管理依赖人工巡检和经验判断，面对日益复杂的开采环境和多样化的安全隐患，显现出滞后性与局限性。信息化、智能化技术的涌现，为矿山安全监测提供了前所未有的手段和支撑，物联网感知、人工智能预警、大数据分析等成为现代矿山安全治理的关键支柱。绿色矿山的本质在于实现资源高效利用、生态环境友好、作业安全可靠的多重平衡，而智能安全监测体系的构建，正是推动这一目标落地的核心环节。本文聚焦绿色矿山智能安全监测体系的架构设计、技术融合与效能评价，结合实际案例，分析智能监测在矿山生态保护、风险预警、动态管控等方面的创新应用与实际成效，为推动我国矿业绿色智能化转型提供科学路径和理论支撑。

【作者简介】郭宇（1996–），男，满族，中国内蒙古呼和浩特人，本科，助理工程师，从事信息化监测监控研究。

2 绿色矿山安全监测体系的内涵与发展趋势

2.1 绿色矿山安全管理的核心要求

绿色矿山的建设不仅仅体现在环境修复和生态保护上，更强调矿区全生命周期的绿色、安全、高效发展。安全管理作为绿色矿山建设的重要组成部分，要求在源头预防、过程管控、应急响应等方面实现全流程、全要素覆盖。传统矿

山安全管理方式多依赖于人力巡检与定期检测，存在响应滞后、数据孤岛和主观性强等问题，难以满足复杂作业场景下的风险预警和精细治理需求。绿色矿山安全管理需充分整合先进的信息技术，实现对地质、设备、环境、人员等多维数据的动态感知与综合分析，推动安全管理模式由经验型向数据驱动、智能引领的本质跃迁。

2.2 智能安全监测技术体系演进

伴随物联网、5G、人工智能等前沿技术的不断成熟，矿山安全监测体系经历了从传统手工记录到数字化自动采集、再到智能化联动预警的转型过程。现代矿山安全监测系统集成了多类型传感器网络，实现对井下瓦斯浓度、顶板变形、人员定位、设备运行状态等多维数据的实时采集与远程传输。大数据平台对监测数据进行高频分析与异常识别，人工智能算法基于历史案例与知识图谱开展模式挖掘和风险预测，显著提升了隐患识别和事故预警的精准性。此外，基于地理信息系统（GIS）与三维可视化技术，矿山安全管理实现了空间信息与监测数据的深度融合，推动管控手段向立体化、数字化、智能化升级。

2.3 绿色矿山安全监测体系的建设路

构建绿色矿山智能安全监测体系，需坚持“统一规划、分步实施、协同管控”原则。体系建设以“多维感知—智能分析—风险预警—应急联动”为主线，融合井上井下多源数据采集、智能算法驱动的隐患分析、自动化风险响应及应急决策。平台架构应兼容多厂商设备接入，具备数据互联互通与信息共享能力，实现安全监测、生产调度、环保管控等业务系统的深度集成。制度层面需完善安全生产责任制与智能化协同机制，提升全员数字素养与应急处置能力，为绿色矿山高质量发展提供全方位支撑。

3 绿色矿山智能安全监测体系架构设计

3.1 多源感知与数据采集模块

绿色矿山智能安全监测体系的基础在于全场景、多维度的实时感知。通过部署气体、温度、压力、位移、水文、振动、粉尘等多类型高精度传感器，实现对井下空间、边坡、尾矿库、排水系统等关键环节的全面监测。无线传感网络与边缘计算节点协同，实现数据本地预处理和压缩传输，提高系统响应速度与可靠性。数据采集终端具备自组网与自愈能力，能够适应复杂矿区环境与动态扩展需求，为后续大数据分析与智能决策提供坚实的数据底座。

3.2 智能分析与风险预警平台

智能分析平台以大数据和人工智能为核心，实现对海量监测数据的自动清洗、特征提取与异常识别。通过深度学习、时序预测、知识图谱等技术，平台能够自动判别瓦斯超限、地质灾害隐患、设备故障等风险信号，并与历史案例库关联比对，生成多层次、可解释的风险预警。系统支持多维度风险地图可视化展示，便于管理者快速掌握矿区整体安全态势。平台还可联动安全生产管理、环境监测和调度指挥等子系统，实现智能化风险响应和闭环管控。

3.3 应急联动与智能决策支持

面对突发事故或极端工况，智能安全监测体系具备多级应急联动能力。平台自动触发应急预案推送，联动矿区广播、报警、疏散等设备，实现快速响应与指挥调度。智能决策支持模块基于现场实时数据与预案知识库，动态优化救援路径与资源调配，提升应急处置效率和人员安全保障。通过与政府监管平台互联互通，实现事故信息快速报送和跨部门联动，形成“预警—响应—处置—反馈”的闭环管理体系，增强矿山整体抗风险能力。

4 智能安全监测体系在绿色矿山的应用成果

4.1 风险预警与事故防控能力提升

智能安全监测体系实现了矿山安全管理模式的重大变革，将传统的“事后应急”转向“事前预警”，全面提升了风险治理的科学性和有效性。系统通过分布式多传感器和无线网络，对井下瓦斯浓度、顶板稳定性、地质结构变化等核心安全参数进行全天候、高频次监测。基于大数据建模与时序分析，平台能够在异常状态初现时自动识别潜在隐患，提前向管理层发出分级预警。典型矿区应用案例显示，采用智能监测平台后，重大安全事故率显著降低，突发事件的响应与处置效率大幅提升。自动化风险识别和智能推送不仅减轻了一线巡检人员的劳动强度，也减少了人为疏漏和延误，为矿山本质安全提供了坚实保障，推动了矿业风险治理能力的现代化进程。

4.2 生态环境保护与绿色生产协同

绿色矿山的本质要求是实现生态保护与高效生产的协同发展。智能安全监测体系通过全流程、全要素的数据采集与动态分析，实现了对尾矿库、废水排放、扬尘扩散等环境敏感点的精准监控。系统能够实时采集生态指标变化，自动调节排放和治理流程，及时处置异常和突发状况，从源头防控环境污染事件的发生。多地绿色矿山试点表明，智能监测平台的应用有效保障了矿区排放达标、生态修复措施的精细投放及生态本底动态评估。

4.3 安全管理效能与经济效益提升

智能安全监测体系的推广应用不仅优化了矿山安全治理模式，也带来了显著的经济和社会效益。系统自动化采集与分析监测数据，大幅缩减了人工巡检、现场排查等传统安全管理的人力和时间成本，提升了风险发现和处置的效率。事故发生率的下降，直接降低了企业的经济损失和社会责任负担。信息化、数字化的协同平台打破了部门壁垒，实现了企业内部与监管部门之间的数据共享和高效联动，推动治理体系的现代化与规范化。智能安全监测体系还为企业资源配置优化和决策科学化提供数据支撑，实现了经济发展与社会责任的有机统一，为绿色矿业可持续发展注入了新动力。

5 绿色矿山智能安全监测体系建设中的挑战与对策

5.1 技术集成与标准化难题

绿色矿山智能安全监测体系的落地应用对多源异构设备与系统的高效集成提出了更高要求。矿区实际环境中，传感器、采集终端、网络通信设备、控制平台等多样化设备长期存在厂家标准各异、接口协议不统一等问题，造成数据孤岛和信息割裂，严重制约了监测体系的数据流通与高效联动。不同矿山历史遗留的自动化系统难以与新一代智能监测平台无缝对接，影响安全数据的时效性和准确性。部分传感器兼容性不足，导致关键监测参数难以全面汇聚，制约了智能分析的覆盖面与预警水平。为破解这些难题，亟须在国家和行业层面推动安全监测设备的标准化、模块化发展，制定统一的通信接口和数据交换标准，实现各类硬件与平台的即插即用和灵活组网。同时，应鼓励矿山企业与技术厂商协同研发，开展跨平台联调测试，推动设备和平台的互联互通，打破信息壁垒。标准化、开放化的技术路线有助于降低运维成本，提高系统扩展性，为绿色矿山智能安全监测的可持续运行提供坚实基础。

5.2 数据安全与隐私保护挑战

随着智能安全监测体系在矿区的广泛部署，传感终端实时采集和无线网络远程传输的监测数据体量急剧膨胀，数据安全与隐私保护面临前所未有的挑战。矿区现场环境复杂，网络通信链路长，黑客入侵、数据篡改、敏感信息泄露等安全事件风险上升。若监测数据遭受恶意攻击，不仅影响企业核心资产安全，更可能危及矿区作业人员生命安全及生态环境稳定。为此，必须从物理、网络、数据、应用等多层面强化安全防护。首先，加强终端设备的安全加固，采用加密芯片、防护壳体等手段抵御物理入侵。其次，网络传输环节实施数据加密、身份认证和动态密钥管理，防止数据被窃取或篡改。再次，完善访问权限分级与操作日志审计，实现监控数据全过程可追溯，防范内部操作失误或恶意泄露。区块链等新兴技术可实现监测数据的去中心化存储与不可篡改，增强系统抗攻击能力。还应定期开展网络安全演练与应急响应，提升矿山企业对数据安全威胁的敏感度和处置能力，全面保障智能安全监测体系的运行安全和信息合规。

5.3 人才队伍与运行机制瓶颈

智能安全监测体系的稳定运行与持续优化离不开高素质的专业人才队伍和科学高效的运行管理机制。当前，部分矿山企业在推进智能监测平台应用过程中，面临数字化技术人才短缺、运维能力不足、岗位职责不明晰等现实难题。由于矿业传统岗位向智能化、信息化转型，原有管理和操作人员在新系统的操作、维护、故障排查等方面适应性较弱，影响系统的长期高效运转。为此，需要加大智能矿山人才队伍建设，强化企业、高校与科研院所的产教融合，建立多层次、复合型的技术人才培养体系。企业应制定系统化的培训计划，定期组织岗位技能提升和智能系统运维实训，引入高级数据分析、AI 算法、信息安全等领域的人才，提升队伍整体专业素养。完善岗位分工和激励考核机制，形成“专岗专责、协同高效”的运行管理模式，激发员工创新活力和岗位责任感。通过不断优化运维流程和管理制度，为绿色矿山智能安全监测体系的规范运行和技术进步提供坚实的人才支撑与机制保障。

6 结语

绿色矿山智能安全监测体系作为推动矿业高质量发展和生态文明建设的重要引擎，其在风险预警、生态保护、安全管控等方面展现出显著成效。物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的深度融合，为矿山作业环境的动态感知、精准治理和高效应急提供了坚实基础。通过系统性、集成化的智能安全监测平台建设，矿山企业能够有效降低安全事故率，实现绿色生产与社会责任的统一。然而，体系建设仍面临技术集成、数据安全、人才培养等多重挑战，需要各方协同推进标准化、系统化与专业化。未来，随着技术进步与治理模式创新，绿色矿山智能安全监测体系有望在更大范围内推广应用，助力我国矿业迈向智能化、绿色化的可持续发展新阶段。

参考文献

[1] 贾运红,徐慈强,田原,等.矿山人工智能大模型技术研究现状及展望[J].中国矿业,2025,34(10):135-143.

[2] 王智立,汪永印,潘奇志,等.矿山智能化技术在环境保护中的应用与影响分析[J].煤矿现代化,2025,34(06):77-83.

[3] 张标龙,钟仲琳.科技赋能矿山安全推动智慧矿山建设[J].劳动保护,2025,(10):46-48.

[4] 王敬世,亓春平.探析小上峪石灰岩矿工程施工安全管理工作实践的有效措施[J].石材,2025,(10):25-27.

[5] 王琼杰,邹随,倪瑛玲.把“绿色基因”植入矿业开发全过程[N].中国矿业报,2025-09-22(004).