

# 地下矿山安全管理信息化探索

骆小毅

崇义县章源钨业股份有限公司 江西 赣州 341300

**摘要：**地下矿山安全风险多样，传统管理模式存在人工巡检效率低、数据孤岛、应急响应滞后等局限。本文探索其信息化转型，设计了包含感知、传输、平台、应用层的体系架构，构建智能监测预警、人员定位等核心子系统，并阐述数据治理与安全体系。同时，提出多源异构数据融合、智能预警模型构建等关键技术实现路径。最后展望技术发展趋势，给出标准化体系建设、复合型人才培养等实施保障措施，助力提升地下矿山安全管理水平。

**关键词：**地下矿山；安全管理；信息化

**引言：**地下矿山作业环境复杂，地质灾害、生产事故及环境隐患等安全风险交织，严重威胁人员生命与设备安全。传统管理模式依赖人工巡检、纸质记录，存在效率低、数据割裂、应急滞后等弊端，难以满足现代矿山安全需求。随着信息技术飞速发展，5G、AI、数字孪生等新技术为矿山安全管理带来变革契机。探索地下矿山安全管理信息化，构建实时感知、智能预警、高效决策的现代化管理体系，成为保障矿山安全生产、推动行业高质量发展的关键路径。

## 1 地下矿山安全风险特征与信息化需求分析

### 1.1 地下矿山典型安全风险矩阵

(1) 地质灾害风险：岩爆多发生于高应力煤层或坚硬岩层区域，突发时释放巨大能量，易造成巷道坍塌、设备损毁，甚至导致人员伤亡；地压活动则随采场推进逐渐累积，可能引发顶板下沉、帮壁片帮，对采矿作业区域形成长期安全威胁，此类风险具有突发性强、破坏力大的特点。(2) 生产作业风险：爆破作业产生的振动可能破坏周边巷道支护结构，若参数设计不当还会引发飞石伤人；采矿机、提升机等大型设备在高速运转中，易因部件磨损、操作失误导致机械伤害，如滚筒卷入、钢丝绳断裂等，此类风险与生产流程紧密相关，发生频率较高。(3) 环境监测风险：井下开采过程中易产生瓦斯、一氧化碳等有毒气体，气体浓度超标会引发中毒、爆炸事故；深部开采时地温随深度增加而升高，若降温措施不足，易导致作业人员中暑、设备过热故障，此类风险具有隐蔽性，需持续监测才能及时发现。

### 1.2 传统管理模式局限性

(1) 人工巡检效率低：传统依赖人工携带仪器巡检，井下作业面广、环境复杂，单次巡检需数小时，难以实现全覆盖，且人工判断易受经验、体力影响，存在漏检、误判问题，如有毒气体泄漏初期可能因巡检间隔错过最

佳处置时机。(2) 数据孤岛现象严重：地质、生产、环境等数据分别由不同部门记录管理，存储于独立系统，数据格式不统一、共享渠道缺失，例如地质部门的岩层数据与生产部门的开采进度数据无法联动分析，难以提前预判地压风险。(3) 应急响应滞后性：事故发生后，需依赖人员现场上报情况，再人工调取数据、制定方案，信息传递与决策过程耗时久，如岩爆发生后，往往需30分钟以上才能确认人员位置与受灾范围，延误救援时机<sup>[1]</sup>。

### 1.3 信息化转型关键需求

(1) 实时感知网络构建：需部署覆盖全矿井的传感器网络，实现地质应力、设备状态、环境参数的24小时连续监测，数据采集频率达秒级，确保风险信号实时捕捉，打破人工巡检的时空限制。(2) 多源数据融合分析：需建立统一数据平台，整合地质、生产、环境等异构数据，通过标准化处理与关联分析，挖掘数据间潜在联系，如将爆破振动数据与地质应力数据结合，评估对岩层稳定性的影响。(3) 智能预警与决策支持：需开发智能算法模型，基于融合数据自动识别风险隐患并提前预警，同时生成科学处置方案，如气体浓度超标时，自动推送疏散指令与通风设备调控建议，提升应急响应效率。

## 2 地下矿山安全管理信息化体系架构设计

### 2.1 总体架构设计原则

(1) 模块化分层设计（感知层、传输层、平台层、应用层）：感知层作为数据采集前端，部署地质雷达、微震传感器、气体检测仪等设备，实时捕捉井下地质、环境、设备状态数据；传输层采用光纤与无线Mesh网络相结合的方式，解决井下信号遮挡问题，确保数据稳定传输至平台层；平台层搭建云边协同的数据中台，实现数据存储、清洗与标准化处理，为上层应用提供数据支撑；应用层则围绕安全监测、人员管理、应急指挥等场景，开发可视化管理系统，满足不同业务需求，各层独立又协同，

便于后期维护与功能拓展。(2)安全冗余机制设计:针对井下关键设备与网络,采用双机热备模式,如主传输链路故障时,备用链路可在10秒内自动切换,保障数据传输不中断;在数据存储层面,实行本地边缘节点与云端双重备份,避免因设备故障导致数据丢失;同时,对核心控制系统设置权限分级与操作日志追溯功能,防止误操作或恶意攻击,提升体系整体抗风险能力。

## 2.2 核心子系统构建

(1)智能监测预警系统:通过地质雷达扫描巷道围岩结构,识别断层、裂隙等隐患,结合微震监测设备捕捉岩体微小振动信号,利用AI算法分析振动频率与能量,提前72小时预警岩爆、顶板垮塌风险,预警准确率可达90%以上;同时接入有毒气体、地温监测数据,当指标超限时自动触发声光报警。(2)人员定位与轨迹追踪系统:在井下部署UWB定位基站,人员佩戴定位卡后,可实现1米内高精度定位,系统实时显示人员位置、移动轨迹及所在区域人数,当人员进入危险区域或停留超时,立即向调度中心与个人终端发送预警信息,便于快速干预。(3)设备健康管理:对采矿机、提升机等关键设备安装振动传感器,采集设备运行振动数据,同时定期抽取油液样本进行成分分析,通过大数据模型判断设备磨损程度与故障隐患,提前30天生成分析维护建议,减少非计划停机时间<sup>[2]</sup>。(4)应急指挥调度系统:整合井下视频监控、人员定位、环境监测数据,在AR平台生成井下三维实景地图,事故发生时,调度人员可通过AR眼镜查看现场实时情况,远程调配救援人员与设备,同时自动调取应急预案,生成最优救援路径,缩短应急响应时间。

## 2.3 数据治理与安全体系

(1)矿山异构数据标准化处理:针对地质、生产、设备等不同来源、不同格式的数据,制定统一的数据编码规范,如对微震数据采用“时间-位置-能量”三维标签,对人员数据采用“工号-部门-定位坐标”结构化存储,通过ETL工具完成数据格式转换与清洗,消除数据冗余与格式差异,实现数据互通。(2)边缘计算与云端协同架构:在井下设置边缘计算节点,对实时性要求高的数据(如人员定位、设备振动)进行本地分析与快速响应,降低数据传输延迟;对非实时性数据(如历史监测数据、设备维护记录)上传至云端,进行长期存储与深度分析,挖掘风险规律,为安全管理决策提供依据,实现“本地响应+云端赋能”的高效协同。(3)工业控制系统网络安全防护:采用防火墙、入侵检测系统构建网络边界防护,禁止外部非法访问;对工业控制协议进行加密处理,防止数据被篡改;定期开展网络安全漏洞扫描

与渗透测试,每季度更新安全防护策略,同时加强员工安全培训,提升安全操作意识,构建“技术+管理”双重防护体系<sup>[3]</sup>。

## 3 地下矿山安全管理信息化关键技术实现路径

### 3.1 多源异构数据融合技术

(1)地质数据(三维激光扫描)与生产数据(SCADA)的时空对齐:通过三维激光扫描设备对井下巷道、采场等空间结构进行高精度建模,获取以空间坐标为核心的地质数据,精度可达毫米级;同时采集SCADA系统中采矿设备运行参数(如转速、负载)、生产进度等时间序列数据。采用时空校准算法,以井下固定监测点为基准,将地质数据的空间坐标与生产数据的时间戳进行绑定,建立“空间位置-时间-生产状态”三维关联模型,例如在某一采场区域,可同步查看特定时间点的地质结构变化与采矿机作业参数,实现数据在时空维度的精准匹配,为后续风险分析提供统一数据维度<sup>[4]</sup>。(2)基于知识图谱的风险关联分析:梳理矿山安全领域知识,构建涵盖地质灾害、设备故障、人员操作等维度的知识图谱,定义“岩爆-微震信号-开采强度”“设备振动-油液污染-故障类型”等关联关系。将融合后的多源数据输入知识图谱,通过图神经网络算法挖掘数据间隐藏关联,例如当系统检测到微震信号异常且采矿机负载过高时,可自动关联知识图谱中“高负载开采加剧岩体扰动”的规则,识别出岩爆风险关联因素,提升风险分析的全面性与准确性。

### 3.2 智能预警模型构建

(1)动态风险评估算法:在传统LEC法(危险性评价法)基础上,引入实时数据动态调整风险因子,将“暴露于危险环境的频率(E)”与人员定位系统的区域停留时长绑定,“事故发生的可能性(L)”关联设备故障数据与环境监测指标,“事故后果严重程度(C)”结合井下人员密度与设备价值。通过加权计算实时更新风险值,当风险值超过预设阈值时自动触发预警,解决传统LEC法静态评估的局限性,实现风险评估随现场情况动态变化。(2)基于LSTM的灾害预测模型:以历史微震数据、地质变形数据、开采作业数据为训练样本,构建长短期记忆网络(LSTM)模型。利用LSTM对时间序列数据的长期依赖捕捉能力,学习岩爆、顶板垮塌等灾害发生前的数据变化规律,例如通过分析微震事件的频次、能量变化趋势,预测未来72小时内的灾害发生概率与可能影响区域,预测准确率较传统统计模型提升15%-20%,为提前采取防控措施提供科学依据。

### 3.3 数字孪生技术应用

(1)矿山生产系统虚拟映射:基于井下三维激光扫

描数据与设备台账信息，在虚拟空间构建与物理矿山1:1的数字孪生体，实时同步井下人员位置、设备运行状态、环境参数等数据。通过数字孪生体可直观查看采场推进度、设备分布情况，当物理矿山发生设备故障时，虚拟模型可同步显示故障位置与故障代码，辅助技术人员远程排查问题，减少井下现场排查时间。(2) 爆破作业仿真推演：在数字孪生体中输入爆破设计参数（如孔深、装药量、起爆顺序），结合地质数据构建爆破仿真模型，模拟爆破过程中岩体位移、振动传播、飞石轨迹等情况。通过仿真推演可提前发现爆破设计中的安全隐患，例如当模拟显示某区域振动强度超标时，可调整装药量或起爆顺序，优化爆破方案，降低爆破作业对周边巷道与设备的影响，提升爆破作业安全性<sup>[5]</sup>。

#### 4 地下矿山安全管理信息化发展展望与对策建议

##### 4.1 技术发展趋势

(1) 5G+工业互联网的深度融合：5G技术的低时延、大连接特性将与矿山工业互联网深度结合，实现井下高清视频实时回传、设备远程精准控制，解决传统无线网络传输卡顿问题；通过5G切片技术为不同业务分配专属网络资源，保障人员定位、应急指挥等关键数据传输优先级，构建“万物互联”的矿山安全管理网络，进一步提升数据传输效率与系统响应速度。(2) 自主决策型AI安全管家：依托海量矿山安全数据训练，AI系统将从“预警提示”向“自主决策”升级，可自动识别风险等级并生成处置方案，如发现设备故障时，自主调度备用设备、推送维修工单；结合数字孪生模型模拟不同决策效果，选择最优安全管理策略，减少人工决策依赖，实现矿山安全管理的智能化、自动化。

##### 4.2 实施保障措施

(1) 标准化体系建设（制定《地下矿山信息化安全规范》）：牵头制定涵盖数据采集、系统建设、安全防护的《地下矿山信息化安全规范》，明确设备接口、数据格式、风险预警阈值等标准，解决不同矿山信息化系统兼容性问题；定期更新规范以适配新技术，确保矿山信息化

建设有章可循，保障系统安全稳定运行。(2) 复合型人才培养机制：联合高校开设“矿山安全+信息化”专业方向，培养兼具矿山安全知识与信息技术能力的人才；企业开展内部培训，组织技术人员学习5G、AI等新技术应用，同时引入信息化领域专家指导，打造“懂安全、会技术”的复合型团队，满足信息化发展人才需求。(3) 政企协同创新生态构建：政府搭建校企合作平台，推动矿山企业与科研机构联合攻关技术难题；设立专项扶持资金，鼓励企业开展信息化技术研发与应用试点；建立成果共享机制，推广优秀信息化案例，形成“政府引导、企业主导、科研支撑”的协同创新生态，加速矿山安全管理信息化落地。

#### 结束语

地下矿山安全管理信息化是顺应时代发展的必然趋势，对提升矿山安全生产水平意义重大。通过构建信息化体系架构、攻克关键技术难题，可实现安全风险的实时感知、精准预警与科学决策。然而，信息化发展之路并非一帆风顺，需持续跟进技术趋势，不断完善标准化体系，加大复合型人才培养力度，强化政企协同创新。唯有如此，才能充分释放信息化潜力，构建起坚固的矿山安全防线，推动地下矿山行业向安全、高效、智能方向稳步迈进，实现可持续发展。

#### 参考文献

- [1]郭云峰.地下矿山安全监测与信息化技术应用[J].2021(06):94-95.
- [2]禄登林.地下矿山安全管理信息化探索[J].新疆有色金属,2022,45(02):18-19.
- [3]郭亮,王栋,邢春雷.非煤地下矿山安全闭环管理体系构建研究[J].生态与资源,2025,(05):124-126.
- [4]张宝会,张明新,王莹莹.非煤地下矿山安全闭环管理体系的应用[J].世界有色金属,2020,(22):285-286.
- [5]刘亚雄,洪松.地下矿山安全管理信息化探索[J].现代矿业,2021,35(11):189-190.