

# 智能采矿技术在矿山安全生产中的作用探讨

柳延波，高庆波，邱业禹

山东东山古城煤矿有限公司，山东 济宁 272100

DOI:10.61369/ERA.2026010017

**摘 要：** 为探讨智能采矿技术在矿山安全生产中的作用，推动矿山安全管理优化，本文通过分析智能采矿技术的核心范畴与应用场景，并从风险提前预警、作业过程管控、设备健康管理、应急高效处置四个维度开展研究。研究表明，智能采矿技术可通过实时传感与智能分析识别地质灾害、设备故障等隐患，替代人工巡检高风险区域以减少人员暴露；借助无人设备与智能控制系统降低人为操作失误、减少违规作业；通过 AI 预测性维护与参数监控保障设备健康运行；依托数字孪生与应急平台提升事故处置效率。所以，智能采矿技术多维度赋能矿山安全生产，为其转型升级提供关键支撑。

**关 键 词：** 智能采矿技术；矿山；安全生产

## Discussion on The Role of Intelligent Mining Technology in Mine Safety Production

Liu Yanbo, Gao Qingbo, Qiu Yeyu

Shandong Dongshan Gucheng Coal Mine Co., LTD. Jinning, Shandong 272100

**Abstract：** To explore the role of intelligent mining technology in mine safety production and promote the optimization of mine safety management, this paper analyzes the core aspects and application scenarios of intelligent mining technology, conducting research from four dimensions: risk early warning, operational process control, equipment health management, and efficient emergency response. The study reveals that intelligent mining technology can identify potential hazards such as geological disasters and equipment failures through real-time sensing and intelligent analysis, replacing manual inspections in high-risk areas to reduce personnel exposure. By leveraging unmanned equipment and intelligent control systems, it minimizes human operational errors and non-compliant operations. Predictive maintenance and parameter monitoring powered by AI ensure equipment health, while digital twin technology and emergency platforms enhance accident response efficiency. Therefore, intelligent mining technology empowers mine safety production through multiple dimensions, providing crucial support for its transformation and upgrading.

**Keywords：** intelligent mining technology; mine; safe production

## 引言

矿山作为能源与工业原材料的核心供给源，其安全生产不仅直接关系到矿工生命健康，更影响企业经济效益与行业可持续发展，是矿山运营的底线要求<sup>[1]</sup>。然而，传统采矿模式长期依赖人工操作，在高风险作业区域存在隐患排查不及时，人工巡检风险高，应急响应滞后等问题，难以适应复杂多变的矿山环境<sup>[2]</sup>。随着物联网，人工智能，数字孪生等技术的快速发展，智能采矿技术逐步实现对矿山生产的全流程赋能，通过感知层实时监测，决策层智能分析，执行层精准操作，为解决传统采矿安全痛点提供了新路径<sup>[3]</sup>。本文围绕智能采矿技术在矿山安全生产中的应用，探讨其在风险预警，作业管控，设备管理，应急处置等方面的关键作用，为推动矿山安全生产转型升级提供参考。

作者简介：

柳延波（1984.11-），男，山东莒县人，本科，助理工程师，研究方向：矿井通风与安全；

高庆波（1979.04-），男，山东平邑人，专科，研究方向：矿井通风与安全；

邱业禹（1987.09-），男，山东邹城人，专科，研究方向：矿井通风与安全。

## 一、智能采矿技术的核心范畴与应用场景

### （一）核心技术分类

#### 1. 感知层技术

感知层技术是智能采矿系统的数据采集基础,作为"神经末梢"负责实时捕捉与传输矿山关键信息,物联网(IoT)传感器可按场景灵活部署,环境类如温湿度,瓦斯浓度,粉尘传感器,多布于井下巷道,采掘工作面<sup>[4]</sup>。设备类如振动,温度,压力传感器,直接安装在采矿机械的电机,轴承等关键部件。位置类传感器则用于定位井下人员与移动设备位置。红外监测技术依托红外热成像原理,在昏暗,粉尘多的矿山环境中可清晰识别物体温度分布,也能在无光照区域捕捉人员轮廓与活动轨迹,不受视觉遮挡影响。地质雷达技术通过发射高频电磁波探测地下介质分布,可穿透岩层,土壤,精准识别地下空洞,裂隙,涌水通道等隐蔽构造,探测深度为数米至数十米,适用于地下矿山掘进前的地质超前探测与露天矿山边坡的岩土体结构探测。

#### 2. 决策层技术

决策层技术作为智能采矿系统的"大脑中枢",负责处理感知层的海量多源异构数据并生成决策方案,大数据分析技术以分布式计算,数据挖掘为核心,整合设备运行,环境监测,历史生产,地质勘察等数据资源,通过构建多维度数据模型,完成数据的清洗,整合与深度挖掘。人工智能(AI)算法是核心驱动力,涵盖机器学习,深度学习,计算机视觉等类型<sup>[5]</sup>。机器学习通过历史数据训练预测模型。深度学习可处理复杂非线性数据,如井下监控视频中的违规操作识别。计算机视觉能对无人机航拍的边坡图像,井下采掘面图像进行智能识别并提取信息。数字孪生系统通过三维建模构建与矿山实体对应的虚拟模型,将感知层实时数据与虚拟模型动态映射,还原地形地貌,设备布局等场景,同步更新环境参数,设备状态等动态信息,支持采矿流程模拟推演。

#### 3. 执行层技术

执行层技术作为智能采矿系统的"手脚",是智能化作业的落地载体,主要包括无人采矿设备与远程控制系统<sup>[6]</sup>。无人采矿设备涵盖无人矿卡,智能掘进机,无人装载机等,均搭载感知,导航,控制模块。无人矿卡配备激光雷达,毫米波雷达,高清摄像头, GPS/北斗定位系统。智能掘进机搭载惯性导航,激光导向,姿态传感器,可接收掘进参数并感知掘进阻力等数据。其他设备也具备类似自主感知与控制配置。远程控制系统由三部分组成。地面控制中心配备高清显示屏幕,操作控制台,数据处理终端。通讯传输网络采用5G,工业以太网等技术。现场控制终端安装在采矿设备或作业区域固定位置,负责接收指令,控制动作并回传设备状态数据。

### （二）主要应用场景

#### 1. 地下矿山

井巷围岩监测多在巷道,采场等区域的顶底板及帮壁布设光纤光栅传感器,振弦式应力传感器等设备,部分区域辅以伸缩仪监测变形量,传感器数据通过有线或无线方式传输至地面终端,同时结合地质雷达在掘进前对前方岩层进行超前探测,识别隐蔽裂隙与空洞,形成立体化监测布局<sup>[7]</sup>。井下通风管控依托智能系统实现,在采掘工作面,回风巷等区域布设瓦斯浓度,粉尘浓度,温度传感器采集环境参数,数据经PLC控制器分析后自动调节

主通风机转速与局部风门开度,部分矿山还集成氮气联动控制模块,地面控制平台可可视化呈现全矿通风网络状态。

#### 2. 露天矿山

边坡稳定性监测普遍采用"空天地"一体化体系,如准能集团部署192套边坡GNSS监测装置与7套高台阶雷达,搭配北斗卫星导航实现毫米级位移监测,边坡雷达可进行 $120^{\circ} \times 45^{\circ}$ 广角扫描,探测距离达5000米,数据更新率 $\leq 6$ 秒/次,无人机定时对异常区域复核,数据接入平台生成三维位移云图与形变曲线<sup>[8]</sup>。爆破安全控制以智能系统为核心,先通过地质雷达探测车绘制爆破区域三维地质模型,再用智能钻机精准控制钻孔参数,智能混装车实现炸药能量调节与远程监控,智能填塞车完成自动填塞,采用无人机搭载中继器的双频道起爆模式,爆破中通过视频监控与冲击波监测仪实时监测,爆后由无人机检查效果。

## 二、智能采矿技术在矿山安全生产中的关键作用

### （一）风险提前预警

第一,通过实时传感与数据分析,精准识别地质灾害,设备故障等隐患。该作用依托多源传感网络与智能分析技术的协同实现,地质灾害识别方面,通过在井下巷道,采场顶底板及露天边坡布设光纤光栅传感器,振弦式应力传感器等设备,实时捕捉岩体位移,应力变化数据,搭配地质雷达发射高频电磁波探测地下空洞,裂隙及涌水通道,数据经无线传输至后台后,由融合了128种典型事故特征参数的灾害演化模型库进行分析,可精准识别塌方,涌水等隐患的早期征兆<sup>[9]</sup>。设备故障识别则借助多传感器融合技术,在破碎机,矿用车辆等机械的电机,轴承等关键部件安装振动,温度,压力传感器,采集的运行数据经短时傅里叶变换,小波变换等信号处理后,输入基于支持向量机,随机森林等算法构建的故障诊断模型,通过对比历史故障数据与实时参数偏差,实现轴承磨损,液压系统泄漏等故障的精准定位。整套系统将物理信号转化为可预警数据,实现隐患识别从"被动发现"到"主动预判"的转变。

第二,替代人工巡检,覆盖高风险区域,减少人员暴露风险。此作用通过"空天地一体化"智能巡检体系落地,针对高浓度瓦斯区,采空区等地下高风险区域,采用本安型巡检机器人搭载红外热像仪,气体传感器,在黑暗,粉尘环境中自主沿预设路径行驶,实时采集瓦斯浓度,设备温度等数据,其防爆外壳与阻燃部件可杜绝点火源风险,无需人员进入危险区域即可完成巡检。对于露天矿山不稳定边坡,无人机搭载正射相机,激光雷达等载荷执行自主巡航,生成高精度三维实景模型与数字高程模型,结合AI算法识别边坡裂缝发育,位移变化等细微隐患,搭配地面北斗GNSS监测点实现毫米级位移追踪,形成"无人机巡面,传感器控点"的无死角监测网络。

### （二）作业过程管控

第一,无人设备替代人工进行爆破,开采,运输等高危作业,避免人为操作失误引发事故。高危作业替代主要通过系列专用无人设备实现,爆破作业中,智能钻机根据三维地质模型自动调整钻孔深度,角度,现场混装车精准控制装药量,配合智能无线起爆系统实现毫秒级延期爆破,全程无需人员近距离操作,避免爆破飞石,冲击波带来的风险。开采环节,地下矿山的智能掘进机搭载惯性导航与激光导向系统,按预设参数自动调整掘进方向与速度,露

天矿山的无人采矿机通过激光雷达识别矿岩边界完成精准采掘。运输环节，无人矿卡配备激光雷达，毫米波雷达与北斗定位系统，在复杂路况下自主避障，规划路径，井下无轨运输机器人则具备瓦斯超限自动闭锁功能，额定速度控制在1.2米/秒，制动距离不超过0.8米，彻底规避人为驾驶中的判断失误风险。

第二，智能控制系统实现生产流程标准化，减少违规操作。该管控模式以一体化智能平台为核心，整合矿石流，信息流与业务流数据，实现生产全流程的数字化管控。在人员管理上，系统对接井下人员定位传感器，实时监测各作业区域人员数量，当采掘工作面等区域出现超员时，立即触发声光报警并锁定区域准入权限，阻止违规进入。爆破作业管控中，系统内置标准化操作流程，对钻孔参数，装药量，起爆时间等关键环节设置刚性阈值，若出现违规修改参数行为，自动切断设备运行指令，同时通过AI视频识别监控现场作业，发现无资质操作，违规堆放爆破物等行为立即预警。

（三）设备健康管理

第一，基于AI的设备预测性维护，提前发现矿山机械潜在故障。此功能通过数据驱动的智能诊断体系实现，系统在破碎机，矿用车辆等设备上部署振动，温度，油液传感器，实时采集运行数据并传输至工业互联网平台，平台利用机器学习算法对历史故障数据进行训练，构建涵盖轴承磨损，齿轮失效等典型故障的预测模型。以矿用车辆为例，模型通过分析发动机振动频率，润滑油中金属颗粒含量等参数，识别出异常磨损的早期特征，结合设备运行时长，负载情况进行趋势推演，提前72小时发出故障预警并推送维修建议。

第二，实时监控设备运行参数，避免设备带病运行引发安全事故。该管理模式依托全时段参数监测与智能响应机制落地，在采矿机械的关键部件如电机，轴承，液压系统上，密集部署温度传感器，压力变送器，振动传感器等设备，实现运行参数的毫秒级采集。数据通过5G专网或工业以太网实时传输至监控平台，平台设置多级阈值预警体系，当破碎机轴承温度超过80℃，矿用车辆液压系统压力波动超±10%，掘进机振动频率异常时，立即触发声光报警，同步在可视化界面标注故障位置。对于高风险设备如胶带运输机，额外集成异音智能监测，AI杂物识别系统，实时监测输送带健康状态，一旦发现异常立即启动停车闭锁程序，防止设备带病运行引发火灾，断裂等安全事故。

（四）应急高效处置

第一，数字孪生系统模拟事故场景，辅助制定科学应急方案。数字孪生系统通过三维建模技术构建与矿山实体1:1的虚拟模型，整合地质构造，设备布局，人员分布等全要素数据，实现矿山状态的实时动态映射。事故发生时，系统可快速调用内置的灾害演化模型库，输入实时监测到的瓦斯浓度，岩体位移等数据，模拟事故扩散路径，如瓦斯泄漏后的烟气蔓延轨迹，边坡滑坡的覆盖范围等，3分钟内即可完成17种救援方案的推演。通过动态知识图谱关联历史救援数据与当前场景参数，系统对各方案的人员疏散效率，救援资源需求，二次事故风险进行量化评估，推荐成功概率高达92%的最优方案，同时可直观展示救援路线，避险区域等关键信息，为指挥决策提供可视化支撑<sup>[10]</sup>。

第二，应急指挥平台整合人员定位，通讯，救援资源信息，提升事故响应速度。应急指挥平台采用"1+4+N"组织架构，以指挥中心为核心，整合监测预警，指挥调度，资源保障，善后处置四大模块功能，联动井下生产单元与外部救援力量。平台通过5G专网实现多源数据实时汇聚，人员定位系统精准显示井下作业人员位置，通讯模块打通地面与井下的高清语音，视频链路，救援资源数据库则动态更新救援设备，医疗物资，专业队伍的分布与状态信息。事故发生后，平台自动触发标准化处置流程，28项操作清单明确数据复核，预警发布，资源调度等关键环节的时间节点，如瓦斯超限预警需3分钟内完成处置指令下达。

三、结语

综上，智能采矿技术凭借感知层的全面监测，决策层的智能分析，执行层的精准操作，从风险预警，作业管控，设备管理到应急处置，多维度赋能矿山安全生产，有效破解了传统采矿的安全痛点。尽管当前在技术成熟度，成本投入，人才适配等方面仍存挑战，但随着产学研协同创新的深化，政策支持体系的完善以及人才培养机制的健全，智能采矿技术将持续迭代升级。未来，其将推动矿山向全流程智能化，无人化迈进，成为实现矿山本质安全，促进行业绿色可持续发展的核心引擎，为矿山安全生产转型升级提供坚实技术支撑，助力矿业领域筑牢安全发展的基石。

参考文献

[1] 江鹤，程德强，乙夫迪，汪鹏，崔文，寇旗旗. 新一代信息技术在智能矿山中的研究与应用综述 [J]. 工矿自动化, 2024, 50(11): 1-16.

[2] 王宝，吴明磊. 基于矿山智能化建设的智能采矿技术职业本科专业人才培养供给改革探讨 [J]. 创新创业理论与实践, 2024, 7(22): 123-126.

[3] 谢红星. 基于安全管理问题的智能化矿山采矿技术分析 [J]. 世界有色金属, 2024, (17): 34-36.

[4] 柴修伟，张龙，胡建华，肖红星，彭亚利，刘光俊，徐亮，赵祥波. 鄂西磷矿智能矿山建设现状与发展方向 [J]. 金属矿山, 2025, (05): 137-144.

[5] 王东阳. 潞宁煤矿采煤工作面智能化安全管理 [J]. 能源与节能, 2023, (11): 182-184+209.

[6] 杨清平，蒋先尧，陈顺满. 数字信息化及自动化智能采矿技术在地下矿山的应用与发展 [J]. 中国有色金属, 2023, (S1): 311-314.

[7] 池小楼，彭志妍，杨科，段敏克. 煤矿智能化建设背景下采矿工程专业信息化改造与探索 [J]. 科教导刊, 2023, (03): 72-74.

[8] 任海瑞. 论矿山测量对矿山安全生产的作用 [J]. 中国金属通报, 2022, (11): 222-224.

[9] 葛虎胜，宫福会，孙炎炎，况锅明，彭南竹，梁超，胡建华. 双5G网络下露天智能矿山系统构建与应用 [J]. 金属矿山, 2022, (09): 167-173.

[10] 李瑞，刘东. 智能化矿山采矿技术中的安全管理问题探讨 [J]. 中国管理信息化, 2020, 23(18): 76-77.