

# Research on the Application and Impact of Intelligent Technology in Mining Engineering

Yun Duan

Shanxi Coal Transportation and Marketing Group Jinshenda Coal Industry Co., Ltd., Linfen, Shanxi, 041000, China

## Abstract

Mining engineering operates under deep, complex, and high-risk conditions, making the demand for intelligent technologies increasingly prominent. Leveraging sensor networks, artificial intelligence, and industrial internet, intelligent mining has gradually formed a systematic structure spanning exploration, excavation, extraction, and transportation. The research focuses on analyzing key technologies such as intelligent exploration, intelligent excavation and coal mining equipment, and intelligent transportation systems, while evaluating their impact on production efficiency and safety management. The results show that intelligence enables real-time coordination in production processes and enhances the accuracy of risk identification and safety intervention, providing a technical pathway for building efficient, safe, and sustainable smart mines.

## Keywords

intelligent mining; intelligent detection; intelligent excavation; intelligent transportation; Smart Mine

## 采矿工程中的智能化技术应用及其影响研究

段云

山西煤炭运销集团金辛达煤业有限公司, 中国·山西 临汾 041000

## 摘要

采矿工程在深部、复杂和高风险条件下运行,对智能化技术的需求愈加突出,依托传感网络、人工智能与工业互联网,智能化采矿逐渐形成贯穿探测、掘进、开采与运输的系统结构。研究围绕智能探测、智能掘进与采煤装备、智能运输系统等关键技术展开分析,并评估其对生产效率与安全治理的影响。结果显示,智能化让生产流程趋于实时协调,也让风险识别与安全干预具备更高精度,为构建高效、安全、可持续的智慧矿山提供了技术路径。

## 关键词

智能化采矿; 智能探测; 智能掘进; 智能运输; 智慧矿山

## 1 引言

矿山向深部进军、地质条件趋于复杂,使传统依赖经验的采矿模式暴露出感知不足、风险高企与效率波动等问题。伴随自动控制、人工智能和工业互联网的发展,采矿工程正在向数据驱动与智能决策方向演进,装备从机械化延伸到智能化,地质信息从静态图纸转向动态模型,安全管控从人工巡检转向多源感知。研究智能化技术在采矿领域的系统应用及其影响,有助于推动矿山在高效生产与本质安全之间形成新的技术平衡。

## 2 采矿工程中的智能化关键技术体系

### 2.1 智能探测与地质信息实时保障技术体系

#### 2.1.1 多源地质探测技术集成机制

智能化条件下的地质探测不再局限于单一物探或钻探手段,而是依托多源传感与信息融合构建综合感知框架。地球物理勘探、随钻测量、地质填图和地球化学监测等手段在空间与时间维度上协同布局,地震波、地磁、地电与微震等数据与钻孔取芯、瓦斯含量测试结果形成互补关系。井下巷道及钻孔周边布置高密度传感器阵列,实时采集应力变化、瓦斯浓度、围岩位移和渗流压力等关键参数,经由边缘计算与云平台协同处理,构成连续更新的地质信息流<sup>[1]</sup>。在此基础上,多源数据融合算法发挥关键作用,一方面利用反演与插值方法修正传统地质模型中的空白区域,另一方面依托机器学习识别异常响应特征,将隐伏断层、软弱夹层及高瓦斯富集带等高风险区段标注为重点监测对象。

【作者简介】段云(1990-),男,中国山西人,本科,中级注册安全工程师,从事采矿工程研究。

### 2.1.2 三维地质模型的动态更新体系

在多源探测支撑下，三维地质模型成为智能化采矿的基础底图，模型不仅刻画煤层或矿体的空间展布，还细化到岩性分带、构造形态、顶板稳定性参数及含水层分布特征。依托可视化软件与数据库管理平台，地质模型与实时传感数据建立耦合关系：当掘进工作面推进至新区域时，钻孔实测数据与地震属性信息会同步回填至模型中，系统自动完成局部结构的修正与参数更新，这种动态更新机制强化了模型的时效性与准确性。应力监测传感器反馈的围岩变形数据可以修正顶板强度与稳定性评估，瓦斯监测结果有助于调整瓦斯含量与渗透系数的空间分布估计，水位与流量监测点则补充含水层边界及导水通道信息。

### 2.1.3 致灾因素提前识别与预控技术

在动态地质模型与实时监测数据支撑下，致灾因素的识别与预控逐步走向智能化，危险源不再以经验判断为主，而是依托阈值判断、模式识别与概率评估等多种手段综合分析<sup>[2]</sup>。对于顶板灾害，系统以围岩变形速率、锚杆应力变化和声发射信号为敏感指标，一旦超过历史统计或经验设定范围，模型便会在三维空间中标记潜在离层或垮落区域。瓦斯灾害方面，瓦斯浓度、涌出量及负压变化曲线与通风参数共同参与评估，异常组合特征可被算法识别，形成超前预警信号。水害方面，含水层水位上升、突水通道附近渗透压异常升高等信息被持续捕捉，配合钻孔涌水量和巷道渗流记录，可构建突水危险等级分级系统。通过将各类致灾因素映射到统一风险图谱中，管理者能够直观判定高风险区域与时间段，提前安排探放水、卸压、加固或减产等措施，避免生产活动进入危险边界。

## 2.2 智能掘进与开采执行装备体系

### 2.2.1 智能掘进装备的感知与决策模块

智能掘进装备的核心在于将传统机械系统与多传感器、控制算法深度融合，使其具备环境感知与作业决策能力。掘锚一体机在机体多处布设姿态传感器、液压压力传感器与振动传感器，实时捕捉刀盘扭矩、推进阻力与围岩反作用力的变化情况。基于这些数据，控制系统能够判断当前围岩软硬程度、节理裂隙发育状况以及支护结构受力水平。导航定位模块依托惯性导航、激光测距与巷道轮廓扫描构建设备位姿模型，保障掘进路线与设计中线高度吻合，当系统识别到偏差超出容许范围时，会发出调整指令，使掘进方向回归规划轨迹。对于支护作业，系统根据围岩类别与监测到的变形速率，自动选择锚杆间距、长度和预紧力参数，实现支护参数在线优化。

### 2.2.2 智能采煤装备的自动化作业链

在采煤工作面，带有记忆截割功能的采煤机组是智能化开采的典型代表，设备在初次运行阶段记录工作面轮廓、煤岩分界与顶底板起伏信息，随后形成截割轨迹“记忆曲线”。在后续循环中，采煤机依托这一曲线实现自动截割，

即使在井下可见度较低或粉尘浓度较大的环境中，也能维持稳定的采高与截割路线<sup>[3]</sup>。煤岩识别模块通过监测截割阻力、电流波动与振动特征区分煤层与夹矸，一旦识别到硬质夹矸比例上升，控制系统会适当调整刀盘姿态与进给速度，防止过度割矸与设备异常磨损。支架与采煤机之间的联锁控制构成自动化作业链的重要环节，液压支架状态数据与顶板压力监测结果实时上传至控制平台，系统依据采煤机位置自动完成支架跟机移架操作，协调前后支架的支护节奏，保障工作面空间稳定。皮带输送系统根据采出量变化自动调整运行速度，维持物料输送的连续性与均衡性。

## 2.3 智能提升、运输与物流系统

### 2.3.1 智能提升系统的动力与安全控制机制

主井提升是井下物料和人员出入的关键通道，其智能化程度直接关系到矿山整体运行的连续性与安全性。智能提升系统在提升机、容器与井筒等多个环节布设状态监测装置，实时记录钢丝绳张力、提升速度、制动器温度与振动特征等指标。电控系统依据负载变化自动调整电机输出功率与加减速曲线，在保障乘载舒适度与设备寿命的前提下尽量缩短单次提升周期。安全控制方面，钢丝绳在线检测装置能识别断丝、磨损与腐蚀程度，结合历史数据与模型预测剩余寿命，一旦接近安全阈值，系统会提前安排检修或更换计划。防过卷、防蹲罐与防断绳保护装置与位置检测系统构成多重联锁，一旦提升容器接近极限位置或运行参数异常偏离，控制系统将迅速启动制动程序并发出报警信号，防止严重事故发生。

### 2.3.2 带式输送机的智能运行体系

井下与地面之间的物料输送大多依赖带式输送机，其智能化运行侧重于状态感知、节能控制与故障预测。沿线温度、振动、拉力与偏移传感器连续监测设备运行状况，系统依据输送量与负荷变化自动调整带速，低负荷时降低速度以节约能耗，高负荷时提高速度以避免堆料。自动张紧装置根据拉力传感器数据调节张紧力，使胶皮带长期处于适宜工作区间，减少打滑与疲劳损伤。故障预测方面，振动与温度特征为轴承、滚筒等部件的健康状况提供判断依据，算法通过识别特征频率与趋势变化锁定潜在隐患，提前规划检修时机。输送带跑偏、撕裂等风险则依托视觉识别或多点位移传感器进行监测，一旦偏离范围过大或出现异常图像特征，系统立即启动局部停机与报警流程，防止损伤扩大及物料大规模散落。

### 2.3.3 无人运输装备体系

在采区与转载点之间，无人驾驶矿卡和电机车逐渐成为物料输送的重要力量，装备搭载激光雷达、摄像头与超声波传感器构成环境感知系统，结合高精度定位结果构建巷道地图与障碍物分布模型<sup>[4]</sup>。路径规划算法在考虑巷道宽度、坡度、会车需求与限速要求的基础上生成运行路线，并根据实时环境变化动态修正。在运行过程中，无人车辆与中央控

制平台保持通信,接受发运计划与装卸指令,同时回传位置、速度与载荷信息。遇到巷道塌落、设备占道或人员出现等情况时,环境感知系统会触发减速、停车或绕行动作,保障运行安全。与人工驾驶相比,无人运输装备能够实现全天候稳定运行,减少因人员疲劳、注意力分散等因素导致的风险。

### 3 智能化技术对采矿生产效率与安全的综合影响

#### 3.1 智能化技术对生产效率的结构性提升

##### 3.1.1 全流程数据贯通带来的执行效率增强

在智能化技术支撑下,采矿生产的各环节不再彼此孤立,而是经由数据平台形成贯穿“探测—设计—掘进—回采—运输—调度”的一体化链条。地质探测成果与三维地质模型直接关联矿山设计软件,设计参数可以快速调用最新地质信息;掘进与回采装备实时反馈的作业数据反过来修正模型与设计假设,形成闭合回路。生产执行系统在获取全局信息后,能够更准确地判断各工作面的推进速度与资源占用情况,减少因信息滞后带来的重复设计与盲目安排,这种全流程数据贯通使决策层对生产现场状态的认知趋于实时化,生产计划调整不再依赖层层汇报与人工汇总,大量协调工作通过系统自动完成。

##### 3.1.2 自动化与协同化减少非生产性损耗

智能装备具备自动作业与协同控制能力,直接减少了非生产性停工与低效等待。掘进与采煤设备在同一平台上进行工况共享,掘进速度与回采接替之间的匹配度明显增强,避免因上游环节滞后造成下游设备闲置。自动移架、自动支护与自动输送使传统依赖人工干预的工序衔接环节大幅缩短,工作面“空转”时间显著压缩<sup>[9]</sup>。同时,智能控制系统能够依据负荷变化与设备状态自适应选择运行模式,例如当采煤量降低或维护工作展开时,输送系统自动进入低负荷运行或局部停机状态,不再保持高能耗运转;当生产节奏恢复后,系统再自动恢复较高运行强度。

#### 3.2 智能化技术对安全生产的系统性改善

##### 3.2.1 风险识别的实时化和精确化

智能化采矿将大量感知节点铺设在巷道、工作面与关键设备周边,形成对瓦斯浓度、岩体变形、支护受力和水压变化的连续监测网络。与传统抽检式监测方式相比,这种高频数据采集模式使风险识别从“抽样观察”转变为“全时覆

盖”。多源数据融合与异常模式识别算法能够从海量数据中提取出微弱但重要的变化趋势,如顶板下沉速率缓慢增加、局部瓦斯涌出量波动放大等,从而在尚未出现明显危险征兆前发出预警。地质风险与设备风险不再被割裂处理,而是统一纳入安全监测平台,通过空间可视化工具叠加展示。管理人员能够在三维视图中直观查看高风险区域分布与风险等级变化,为采掘路线调整、支护方案优化及通风系统调节提供直观依据。

##### 3.2.2 少人化带来的人员风险暴露度下降

智能化技术逐步将采掘、支护和运输等高风险岗位由设备承担,人工角色更多转向监控与维护。工作面少人化、危险区域隔离化趋势日益明显,人员进入瓦斯异常区、顶板破碎区和水害高风险区的频率明显降低,暴露在高粉尘、高噪声和高温环境中的时间也随之缩短。同时,人员定位与行为监测技术在井下广泛应用,系统能够实时掌握作业人员位置与活动轨迹,一旦人员进入限制区域或长期停留在某一高危区域,平台会发出提示信号,提醒调度与安全管理人员做出干预。

## 4 结语

智能化技术已成为采矿工程的重要动力,其作用不仅限于减少人工投入,又在于构建贯穿感知、分析与协同的运行体系。智能探测增强了地下空间的可视化水平,智能掘采提升了作业链的稳定性与连续性,智能运输改善了物流系统的可靠性,生产效率因数据贯通而更具整体性,安全治理因实时识别而更加主动。未来,数字孪生、自主作业系统与AI模型将继续推动智慧矿山深化,为采矿工程的可持续发展奠定新基础。

## 参考文献

- [1] 杨小卫. 智能化采煤技术在煤矿采矿工程中的应用实践[J]. 当代化工研究, 2025, (16): 97-99.
- [2] 刘昊. 采矿工程中智能化技术创新应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (15): 154-156.
- [3] 田丁. 采矿工程中的智能化技术应用与发展研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(12): 43-45.
- [4] 窦慧中. 智能化技术在采矿工程安全管理中的应用[J]. 中国金属通报, 2025, (04): 28-30.
- [5] 马超. 采矿工程中的智能化设备与技术应用[J]. 冶金与材料, 2024, 44(07): 109-111.