

Strategies and Practice of Mining Extraction Efficiency Improvement Based on Intelligent Technology

Jian Shi Yanyang Li

Shanxi Xiangkuang Shangliang Coal Industry Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046200, China

Abstract

The mining industry is undergoing a critical transition from mechanization to intelligentization. As a pivotal component of mine production, mining operations directly determine resource development efficiency and production safety quality. With the integration of technologies including artificial intelligence, Internet of Things (IoT), 5G communications, automated control systems, and big data analytics, mining operations are progressively achieving intelligent perception, dynamic scheduling, and adaptive decision-making. This study investigates the application mechanisms, system architecture, and practical approaches of intelligent technologies in mining operations. It explores efficiency enhancement strategies through four dimensions: data perception, equipment control, intelligent scheduling, and safety coordination, proposing an intelligent mining system based on digital twin and AI integration. Research findings demonstrate that constructing multidimensional sensor networks, optimizing intelligent decision-making models, and enabling automated equipment coordination can significantly improve mining efficiency, reduce energy consumption, and enhance working conditions. These findings provide theoretical foundations and practical references for the intelligent transformation of mining industries.

Keywords

Intelligent mining; Mining operations; Efficiency improvement; Digital twin; Intelligent scheduling

基于智能化技术的采矿回采作业效率提升策略与实践

石建 李岩阳

山西襄矿上良煤业有限公司, 中国·山西长治 046200

摘要

采矿业正处于由机械化向智能化转型的关键阶段, 回采作业作为矿山生产的重要环节, 其效率水平直接决定资源开发效益与安全生产质量。随着人工智能、物联网、5G通信、自动控制与大数据分析等技术的应用, 采矿作业逐步实现智能感知、动态调度与自适应决策。本文围绕智能化技术在采矿回采中的应用机制、系统构建与实践路径展开研究, 从数据感知、装备控制、智能调度与安全协同四个方面探讨效率提升策略, 提出基于数字孪生与人工智能融合的智能回采体系。研究表明, 通过构建多维传感网络、优化智能决策模型与实现装备自动协同, 可显著提高回采效率、降低能耗并改善作业环境, 为矿山智能化升级提供理论依据与实践参考。

关键词

智能化采矿; 回采作业; 效率提升; 数字孪生; 智能调度

1 引言

随着矿业结构升级与安全生产标准提高, 传统采矿作业模式暴露出效率低、能耗高与人员风险大等问题。信息技术与自动控制技术的深度融合为矿山生产提供了新的发展方向。智能化采矿通过传感监测、信息融合与自动控制, 使矿山生产从“经验驱动”向“数据驱动”转变, 特别是在回采阶段, 智能化系统可实现设备自主作业、工况实时感知与生产参数自适应调整, 大幅提升作业效率与安全水平。智能回采不仅是技术革新的体现, 更是矿山可持续发展的必由之

路。本文立足现代矿山数字化建设的趋势, 从系统架构、关键技术与实践路径三方面研究智能化技术在回采作业中的应用, 以期为提高采矿作业效率、构建安全高效的智能矿山提供理论支撑与实践方案 [1]。

2 智能化采矿回采作业体系的总体构建

2.1 智能化回采体系的结构设计

智能化采矿回采体系由感知层、控制层与决策层三部分构成, 形成“数据采集—智能控制—优化决策”的闭环体系。感知层通过多类型传感器、视频监控与物联网终端, 对矿区环境、设备状态和作业参数进行多维度采集; 控制层依托自动化控制系统、嵌入式算法与边缘计算平台, 实现采掘装备的动态调度与精确控制; 决策层则基于人工智能、大数

【作者简介】石建 (1989—), 男, 中国山西长治人, 助理工程师, 从事煤矿开采研究。

据与知识图谱技术,对生产计划、能耗分布及风险信息进行综合分析 & 决策优化。三层之间通过 5G 工业通信网络与云端数据中心实现高效协同,保证信息流、控制流和决策流的实时交互。该体系具备自学习、自适应与自恢复特征,可在复杂地质条件和突发环境下维持系统稳定运行,推动回采作业由“人工控制”向“智能决策”演进。

2.2 信息感知与数据融合机制

高质量的数据感知与融合是智能化回采系统的核心基础。矿区信息来源复杂,涉及温度、湿度、瓦斯浓度、设备振动、电流负载及通风气压等多维参数。为确保数据的准确性与实时性,系统采用多传感器协同感知技术,并通过 5G+ 工业以太网的混合通信模式,实现毫秒级数据传输与反馈。数据融合层引入边缘计算节点,对多源异构数据进行实时清洗、冗余校验与语义统一,提升数据的完整性与一致性。通过时序分析与异常识别算法,系统可及时发现设备故障、巷道变形及环境异常,实现从静态监测到主动预警的转变。完善的数据融合机制不仅增强了智能决策的可靠性,也为后续能耗优化与风险防控提供坚实的数据支撑。

2.3 决策智能与系统集成优化

决策智能是实现高效智能化回采的关键环节,其核心在于利用算法模型实现多目标动态优化。系统以神经网络、强化学习及模糊控制算法为核心,构建生产调度、设备状态与能源管理的智能决策模型。通过对实时监测数据与历史运行数据的融合分析,系统能够预测产量趋势、判断风险等级并自动生成最优操作策略。同时,引入数字孪生技术,在虚拟空间中重构矿区地质结构与设备运行场景,实现虚实同步、状态映射与结果预测。通过模型仿真,系统可提前验证不同调度策略的执行效果,优化作业参数,实现多设备协同与能耗最小化。该集成优化机制使矿山生产管理从静态指令转向动态决策,为构建安全、高效、绿色的智能回采体系提供技术保障 [2]。

3 智能化技术在回采装备中的应用与创新

3.1 智能采掘装备的自动控制技术

自动控制技术是智能回采系统实现高效运行的关键支撑。现代采掘装备通过集成高精度位置传感器、角度检测单元及液压执行模块,实现作业姿态与运动状态的精准监测。基于 PLC 与嵌入式控制算法的系统架构,可实现采煤机、液压支架与刮板输送机的协同控制,使设备间动作保持动态匹配。自适应控制算法通过实时感知煤层厚度、硬度及地质变化,对切割速度、刀盘扭矩和液压压力等参数进行智能调节,从而在复杂工况下维持最佳作业效率。控制系统具备自学习与动态补偿功能,能够在环境扰动或设备磨损情况下自动修正控制偏差。该技术的应用有效提高了设备运行的稳定性与自动化水平,减少人工干预,实现采掘作业的精准化与智能化,为高效、安全生产提供技术保障。

3.2 智能监测与预测性维护系统

智能监测系统在智能化采掘装备中的核心作用在于实现设备健康状态的持续感知与预警。通过对振动、温度、电流、液压压力等多维信号的实时采集与特征提取,系统能够全面评估设备运行状态。基于机器学习与故障诊断算法的预测性维护模型可识别潜在异常特征,在故障早期阶段发出预警,实现从“被动维修”向“主动防护”的转变。结合云端分析平台与边缘计算技术,设备运行数据可在本地快速分析并同步至远程中心,实现多矿区设备的集中监测与趋势评估。系统能根据设备健康度自动优化维护周期,减少非计划停机时间。该技术的应用显著提升了回采系统的运维效率与安全水平,降低维修成本,保障生产连续性与设备的生命周期管理。

3.3 自主导航与定位控制技术

采掘回采环境具有空间狭窄、光照不足和地质变化频繁等特点,对设备定位与路径规划提出了更高要求。智能采掘装备集成惯性导航、激光雷达与计算机视觉识别模块,能够在三维空间内实现高精度自主定位与动态路径规划。融合北斗导航系统与 UWB 超宽带定位技术,系统在地下环境中实现厘米级定位精度。自主导航算法结合地质模型与传感器融合技术,对采场环境进行动态建模与障碍识别,实现路径优化与自动避障功能。控制系统具备环境自适应能力,可根据实时地质变化自动调整作业路线,确保采掘设备安全高效运行。该技术的应用大幅提升了设备的作业连续性与定位精度,减少人工干预,推动采掘作业由半自动向全自主化迈进,为矿山生产的智能化转型奠定技术基础 [3]。

4 智能调度与协同作业优化

4.1 生产调度智能化模型构建

智能矿山的生产调度已从传统经验决策转向算法驱动的智能优化。基于约束规划与遗传算法构建的智能调度模型,能够综合考虑设备运行状态、任务优先级、地质条件及能源供给,实现多维数据下的动态决策。该模型以多目标优化为核心,在提升产能的同时兼顾能耗控制与安全稳定,实现全局效益最大化。通过强化学习机制,模型可根据历史调度结果持续修正参数,形成自学习与反馈优化功能,使调度策略更加贴合实际生产需求。模型运行过程中引入实时监测数据与风险约束条件,可动态调整作业顺序与资源分配,实现生产计划的灵活优化与风险最小化,推动采掘回采管理从被动控制向主动优化转变。

4.2 多装备协同作业机制

智能回采体系的高效运行依赖于多装备间的协同与自组织控制。通过多智能体协同算法,可实现采煤机、液压支架、输送机、通风及供电系统的联动运行,确保生产节奏同步与能量流优化。系统内部通过实时数据共享与边缘计算技术,实现设备状态感知与作业指令的分布式决策,使各子系

统具备自主调度与局部优化能力。协同机制的核心在于信息融合与行为协调,能在突发工况下快速响应,实现故障隔离与生产恢复,避免停机损失。该机制使矿山由单机控制向多系统耦合的群智运行模式转变,显著提高作业连续性与系统柔性,为复杂地质条件下的安全高效生产提供技术保障。

4.3 基于大数据的实时优化与反馈

大数据技术为智能调度系统提供了持续进化的决策支撑。系统通过采集设备运行、能耗、产量及地质参数,建立覆盖全生命周期的动态数据库。利用数据挖掘与聚类算法,可识别不同工况下的生产特征与效率瓶颈,为模型优化提供依据。通过云端分析平台,调度系统可对实时生产数据进行关联分析,动态调整运行策略,实现全过程的最优控制。反馈机制在每个调度周期内自动评估执行效果,并将偏差信息回传模型,实现调度策略的闭环修正与持续改进。该体系有效实现了由静态计划向动态控制的跨越,使回采作业的组织更加精细化、响应更加迅速,整体运行效率与资源利用率显著提升[4]。

5 智能化采矿效率提升的保障与实践路径

5.1 信息基础设施与数据安全保障

智能化采矿回采的高效运行依托于完善的信息基础设施与严密的数据安全体系。矿山应构建覆盖采掘、运输及监控区域的工业无线通信网络,采用5G与Wi-Fi 6融合架构,实现高带宽、低时延与高可靠的数据传输。为保障通信连续性与可靠性,系统需设置多级冗余通道与边缘节点缓存机制,确保在网络中断或外部干扰情况下仍具备自主控制能力。同时,应建立数据安全管理体系,对数据采集、传输、存储与调用环节实施分级授权、访问控制与加密保护,防止核心生产数据泄露。

5.2 智能人才与组织体系建设

智能采矿的推广是技术与管理的双重革新,其核心在于构建复合型人才体系与科学的组织架构。企业应依托生产实际,组建涵盖自动控制、人工智能、地质工程、信息安全及系统运维等领域的跨学科团队,形成多层次技术支持体系。通过建立系统化培训机制与知识共享平台,强化操作人员对智能系统的理解与数据分析能力,使其具备从传统操作向数字化管理转变的能力。组织层面,应设立智能化管控中心,整合生产指挥、设备运维、安全监管与数据分析功能,形成“集中决策—分级执行—动态反馈”的协同管理模式。

该体系既保证智能系统的高效运行,又推动矿山管理结构的现代化转型,为智能回采的可持续发展奠定组织基础。

5.3 智能化技术在典型矿区的实践效果

在某大型煤矿智能回采示范工程中,企业通过部署智能监测、自动控制及远程管理系统,实现采煤机无人化操作、液压支架自动移架与输送系统自调速联动。经连续运行一年,矿区回采效率提升约28%,单位能耗下降15%,设备故障率和安全事故率分别降低40%与70%。通过引入数字孪生技术,矿山构建了地质结构、设备运行与生产进度的三维可视化模型,实现了虚实联动与过程仿真。系统在生产调度、风险预测与能耗优化方面发挥显著作用,提高了矿山管理的透明度与决策精准度[5]。

6 结语

智能化技术的应用正深刻改变采矿回采作业的组织形态与效率结构。通过传感监测、智能决策、自动控制与协同管理的融合,矿山作业实现了由经验驱动向数据驱动、由人工操作向自主运行的跨越。研究表明,基于智能化技术的回采体系能够有效提升生产效率、降低能耗并保障人员安全,是建设智慧矿山的核心路径。未来,应在数字孪生、人工智能算法优化与智能装备国产化等方面持续深化研究,构建自主可控的智能采矿技术体系。同时,应推动标准体系建设与行业协同创新,实现技术推广的系统化与规范化。智能化回采将成为推动矿业高质量发展、实现安全绿色高效生产的重要引擎。

参考文献

- [1] 郑禄璟,深部软弱破碎岩体大型机械安全高效智能化开采综合技术研究.贵州省,贵州锦丰矿业有限公司,2021-12-21.
- [2] 何忠国,贵州开阳大型磷矿山地下开采智能化集成创新与示范.贵州省,贵州开磷集团股份有限公司,2015-06-12.
- [3] 过江,古德生,罗周全,等.基于CMS的区域智能化矿柱回采研究[J].矿冶工程,2008,(01):1-4.
- [4] 陶云峰.智能化采矿装备在萤石矿山充填采矿中的实践与优化[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二).金石资源集团股份有限公司,2025:1044-1047.
- [5] 杨晓东,缓倾斜厚大金矿床安全绿色智能化开采关键技术研究与应用.山东省,山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿,2022-01-10.