

Research and Application Progress on Key Technologies of Intelligent Mining Equipment

Xiangbo Yan

Hebei Non Coal Mine Mountain Development Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

The rapid development of intelligent mining equipment is driving the transformation of mining production toward higher efficiency, enhanced safety, and greener operations. By integrating multiple technologies such as automated control, intelligent sensing, and information interconnection into various stages including excavation, transportation, and mineral processing, significant improvements have been achieved in equipment operating stability, operational precision, and energy efficiency. The application of devices such as intelligent drilling rigs, unmanned mining trucks, and automated crushing and screening systems has reduced labor input, lowered operational risks, and improved resource recovery rates. Continuous optimization of relevant technologies enables mining enterprises to maintain stable operations under complex geological conditions and variable production environments, providing a solid technical foundation for the modernization of the mining industry.

Keywords

intelligent mining equipment; excavation technology; transportation technology; mineral processing technology; application progress

智能化采矿装备关键技术研究与应用进展

严祥波

河北省非煤矿山发展中心, 中国·河北 石家庄 050000

摘要

智能化采矿装备的快速发展正在推动矿山生产方式向高效、安全、绿色方向转型。通过将自动化控制、智能感知、信息互联等多种技术集成到采掘、运输、选矿等各环节,装备运行的稳定性、作业精度与能源利用率显著提升。智能钻机、无人驾驶矿用卡车、自动化破碎与筛分系统等设备的应用,使矿山在减少人力投入的同时降低了作业风险,并提升了资源回收率。相关技术的不断优化,推动矿山企业在复杂地质条件和多变生产环境下实现持续稳定运行,为矿业现代化发展提供了坚实的技术支撑。

关键词

智能化采矿装备; 采掘技术; 运输技术; 选矿技术; 应用进展

1 引言

矿业生产作为能源与原材料供应的重要环节,在全球经济体系中占据关键地位。传统采矿装备在效率、安全与环保等方面存在一定局限,难以满足当前资源高效利用与绿色发展的双重要求。智能化采矿装备的出现,为矿山生产注入了新的技术动力,通过自动化、信息化和智能化的深度融合,实现了采矿全过程的精细化管理与实时控制。这类装备不仅能够高风险、高强度的作业环境中保持稳定运行,还能够根据实时数据进行作业策略优化,大幅减少人工干预。伴随传感技术、通信网络、数据处理与装备控制等领域的持续突破,智能化采矿装备的技术体系不断完善,其应用范围从地下矿到露天矿逐步拓展,对提升生产效率、降低运营成本及

保障作业安全具有重要意义。

2 智能化采矿装备与技术应用的重要性

2.1 推动矿业生产效率与安全水平双提升的战略价值

矿业生产过程涉及采掘、运输、加工等多个环节,任何环节效率不足或安全保障缺失都可能影响整体产能与经济效益。智能化采矿装备依托自动化控制、智能感知与实时数据处理等技术,将作业精度和运行速度有效结合,使设备能够在复杂地质条件下保持高效稳定的作业状态。自动化采掘系统能够持续作业并减少停机时间,无人驾驶运输装备可根据调度系统自动优化行车路径,从而缩短作业周期并降低燃料消耗^[1]。在安全方面,智能监测系统可对设备运行状态、地质变化和作业环境进行实时分析与预警,减少人员暴露在高危区域的时间,有效降低事故发生概率。这种效率与安全的同步提升,使矿山企业在保持高产的同时增强了抵御生产风险的能力,为矿业发展奠定了稳固的基础^[2]。

【作者简介】严祥波(1990-),男,中国山东菏泽人,硕士,工程师,从事绿色矿山建设、非煤矿山技术和管理研究。

2.2 促进资源绿色开采与可持续发展的现实意义

资源开采活动对生态环境的影响长期受到社会和政策的关注,绿色矿山建设已成为矿业发展的重要方向。智能化采矿装备通过精准控制与优化调度,实现对矿产资源的高效利用,减少无效作业与资源浪费。智能钻机与自动化爆破系统能够精确定位与控制作业范围,降低对围岩及地层的破坏程度。智能选矿与尾矿处理装备可实现对矿石品位和粒度的自动检测与分选,使可用资源得到最大限度回收,同时减少废料排放量。在能源使用方面,智能化控制可根据作业需求自动调整动力输出,减少能源消耗与排放负荷。这种绿色化、精细化的作业模式,不仅符合环境保护的法规要求,也为矿企树立了可持续发展的竞争优势,推动了矿业与生态环境的协调发展^[3]。

3 智能化采矿装备的种类分析

3.1 智能化采掘设备:智能钻机、智能掘进机、自动化综采工作面成套设备

智能化采掘设备在矿山生产环节中承担着直接获取矿产资源的任务,其性能与作业效率直接决定了矿山产能与安全水平。智能钻机通过高精度定位与自动钻进控制系统实现孔位精确布局 and 钻进参数实时调整,能够根据地质变化优化钻进速度与压力,减少钻具磨损并提高成孔质量。智能掘进机集成激光测距、三维扫描与自动驾驶技术,可在狭窄复杂的巷道环境中保持稳定掘进,并通过远程监控实现作业可视化与远程干预。自动化综采工作面成套设备结合采煤机、液压支架与刮板输送机的协同控制技术,实现了从割煤、支护到运输的连续化作业,有效提升了工作面生产效率与安全保障水平^[4]。这些设备的智能化升级不仅提高了矿石回收率,也减少了工人在高风险区域的作业时间。

3.2 智能运输设备:无人驾驶矿用卡车、智能铲运机、自动化带式输送系统

矿山运输环节的效率和稳定性直接影响整体生产节奏,智能运输设备通过自动化与智能控制实现了高效、安全、连续的物料转运。无人驾驶矿用卡车搭载定位导航、路径规划与防碰撞系统,可在恶劣环境中自主行驶并精准完成装卸任务,减少了人力投入并降低安全风险。智能铲运机配备环境感知与自动作业控制系统,能够在装载过程中自动判断料堆位置与体积,优化铲装路径,提高装载效率与燃料利用率。自动化带式输送系统通过集中控制与状态监测实现对运输速度、张力与运行状态的实时调整,保障输送过程稳定,并能及时发现故障隐患以减少停机损失。这些设备的应用显著提升了矿山物料运输的效率与可靠性^[5]。

3.3 智能选矿与加工设备:自动化破碎机、智能筛分机、智能浮选与浓缩系统

选矿与加工是实现矿石增值的重要环节,智能化设备的应用在提升产品质量与资源利用率方面作用显著。自动化

破碎机通过智能检测与负荷控制系统,可根据入料粒度与硬度自动调节破碎腔间隙与转速,保持产品粒度稳定并降低能耗。智能筛分机采用振动参数自动调节与筛面状态监测技术,能够在不同物料性质和处理量条件下维持高筛分效率,并自动清理堵塞,减少人工干预。智能浮选与浓缩系统利用在线矿浆成分分析与自动药剂投加技术,实现对浮选流程的精确控制,提升精矿品位与回收率,同时减少药剂和水资源消耗。这些设备的集成与协同运行,使矿石加工过程更加高效、节能与环保,为矿山企业创造了更高的经济与社会效益^[6]。

4 智能化采矿装备技术研究

4.1 采掘技术:自动化钻进控制技术、综采自动化控制技术、智能爆破技术

自动化钻进控制技术通过钻机上的多传感器融合获取钻压、转速、扭矩及地层硬度等实时数据,结合控制算法动态调整钻进参数,实现高精度成孔与钻具寿命延长。综采自动化控制技术依托工作面激光扫描与惯性导航系统实现煤层厚度和走向的实时感知,通过集中控制平台协调采煤机、液压支架与刮板输送机的动作,保持作业连续性与设备同步性。智能爆破技术利用三维地质建模与爆破模拟软件对爆破参数进行优化,精确控制装药量、延时顺序与起爆时机,减少飞石、震动和对围岩的损伤,同时提高矿石的可采性与块度均匀性。这些技术的集成使采掘过程实现高度自动化与精细化控制^[7]。

4.2 运输技术:无人驾驶导航与路径规划技术、自动装载与卸载控制技术、智能调度系统

无人驾驶导航与路径规划技术依托卫星定位、激光雷达、惯性导航和视觉识别等多源信息,实现矿用车辆在复杂地形下的自主行驶与避障,动态调整行驶路线以适应运输环境变化。自动装载与卸载控制技术通过高清摄像头、三维扫描和压力传感器监测装载状态,结合液压与驱动系统的精准控制,实现料位自动判断、铲装姿态优化和卸料位置精确对接。智能调度系统基于实时位置与作业数据,对运输车辆进行任务分配与路径优化,减少空驶与等待时间,并协调运输、采掘、加工等环节的作业节奏,保障生产连续性与物料流转效率。这些技术提升了矿山运输环节的自动化水平与运行稳定性。

4.3 选矿技术:智能粒度检测与分选技术、自动药剂投加与控制技术、智能尾矿处理技术

智能粒度检测与分选技术利用在线图像分析、激光粒度仪和多光谱传感器,对矿浆或干矿颗粒的粒径分布进行实时监测,并根据检测结果自动调整破碎、筛分或分选设备的工作参数。自动药剂投加与控制技术结合矿浆化学成分在线分析仪与自动配药系统,根据浮选指标和实时检测数据调整药剂种类、浓度与投加量,保持浮选效率与精矿品位稳定。智能尾矿处理技术采用自动浓密控制、尾矿干排与循环水回

用系统,通过监测矿浆浓度与排放量优化脱水和固液分离过程,降低环境负荷并回收可利用资源^[8]。这些技术的应用使选矿过程在稳定性、节能性与环保性方面显著提升。

5 智能化采矿装备的应用进展与技术优化方向

5.1 典型矿山智能化装备应用成效与经验总结

在多家大型矿山的生产实践中,智能化采矿装备展现了显著的效率与安全优势。自动化综采工作面成套设备实现了割煤、支护、运输的连续化协同作业,工作面产量和作业效率明显提升。无人驾驶矿用卡车投入运行后,运输环节的行车调度更加精准,燃料消耗与空驶时间得到有效降低。智能钻机在复杂地质条件下完成了高精度钻进作业,减少了孔位偏差与钻具损耗。在线选矿与自动药剂投加系统的应用,使精矿品位保持稳定并提升了资源回收率。通过数据采集与分析平台的支撑,矿山能够对设备状态、作业参数和生产数据进行集中管理,形成了可追溯的生产链条。这些成效为后续装备的技术改进与管理模式优化提供了可借鉴的经验。

5.2 关键技术瓶颈与系统集成优化路径

智能化采矿装备在推广过程中仍面临多项技术瓶颈。采掘设备在高温、高粉尘或高温等恶劣环境下的传感器稳定性不足,影响了数据采集精度。无人驾驶运输装备在陡坡、狭窄道路或复杂气候条件下的路径识别与避障能力有待增强。选矿自动控制系统在处理低品位或成分复杂矿石时,药剂投加与分选精度不足,导致浮选效率波动。系统集成方面,不同厂家设备间的通信协议、数据接口和控制逻辑存在差异,制约了信息共享与协同控制。优化路径包括推动设备通信与数据标准化,提升多传感器融合算法的鲁棒性,开发适应复杂工况的自主控制技术,并在矿山构建统一的集中控制与调度平台,实现装备与生产系统的高效协同。

5.3 多场景协同作业与装备全生命周期管理的未来趋势

未来智能化采矿装备将向多场景协同作业和全生命周期管理方向发展。采掘、运输、选矿等环节的装备将通过高速通信网络与数据中心实现实时互联,形成跨环节的动态调度与自适应优化机制,使矿山能够在不同生产任务与地质条件下快速调整作业策略。全生命周期管理将覆盖装备设计、制造、运行、维护和报废的全过程,通过数字化孪生与预测性维护技术实现设备健康状态监测与寿命评估,减少突发性

故障与停机时间^[9]。在能源管理方面,更多装备将集成能耗监测与节能控制功能,提升资源利用效率。随着人工干预比例的持续下降和数据驱动的决策模式普及,矿山将实现从单机智能向系统级智能的跨越,推动行业向高效、安全、绿色、可持续的方向演进。

6 结语

智能化采矿装备的持续发展与广泛应用,正在深刻改变矿业生产的技术体系与管理模式。通过自动化控制、智能感知和数据驱动的决策机制,矿山在产能提升、安全保障、绿色开采等方面取得了显著成效。采掘、运输、选矿等环节的装备协同运行,使生产链条更加高效与稳定,同时减少了对人力资源的依赖与作业风险。尽管在传感器稳定性、系统集成、复杂工况适应性等方面仍存在技术瓶颈,但随着通信技术、控制算法和材料工艺的进步,这些问题有望逐步解决。未来,面向全生命周期管理和多场景协同作业的智能化矿山将成为行业发展方向,为实现矿业高质量、可持续发展提供坚实支撑与广阔空间。

参考文献

- [1] 李子杰.智能装备在深部采矿作业中的应用分析[J].智慧中国,2025,(06):92-93.
- [2] 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[A].智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二)[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:2025:1044-1047.
- [3] 韩磊.煤矿智能化综采工作面设计初步探究[J].内蒙古煤炭经济,2022,(14):51-53.
- [4] 朱志兴.5G通信在采矿装备的应用实践[J].铜业工程,2020,(04):92-95.
- [5] 刘勇,母绍平,张泽宇,耿麒.隧道钻爆施工设备改造及掌子面围岩智能辨识[J].工程机械,2025,56(08):1-7+162.
- [6] 张万志,任明洋.“智能建造+教育”背景下隧道工程钻爆法课程教学改革研究[J].山西青年,2025,(12):150-152.
- [7] 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.
- [8] 潘海涛.地采矿山翻车机卸矿模式有轨电机车无人驾驶系统技术研究[J].世界有色金属,2023,(03):10-12.
- [9] 黄金彪.露天矿无人驾驶卡车多智能体系统协同关系研究[D].导师:白润才;刘威.辽宁工程技术大学,2021.