

智能化采矿设备在提升采矿效率中的作用研究

王昭舜

中煤科工集团武汉设计研究院有限公司 湖北 武汉 030024

摘要: 智能化采矿设备通过集成物联网、大数据、人工智能及自动化控制技术,在提升采矿效率中发挥核心作用。其实现生产全流程实时监控与精准调度,减少设备空转;通过预测性维护降低停机率;利用无人驾驶矿车、智能凿岩台车等装备实现24小时高效作业,提升产能。案例显示,智能化改造使煤矿年产量增幅超40%,固定岗位无人值守率达80%以上,显著优化资源利用率与生产连续性。

关键词: 智能化采矿设备;提升采矿效率;作用

引言:传统采矿业长期面临作业环境复杂、安全风险高、生产效率受限等挑战。随着全球资源需求增长与“双碳”目标推进,行业亟需向高效、安全、绿色转型。智能化采矿设备作为矿业革命的关键支撑,融合5G通信、数字孪生、AI算法等技术,可实现装备自主感知、决策与协同作业,突破人力依赖瓶颈。研究其作用机制对推动采矿模式升级、提升资源开发综合效益具有重要理论价值与现实意义。

1 智能化采矿设备的技术基础与分类

1.1 智能化采矿设备的定义与特征

智能化采矿设备是集成自动化控制、信息采集传输、智能决策优化等功能,可实现采矿作业少人化或无人化的现代化装备。其核心特征体现为自动化、信息化、智能化的深度融合:自动化是基础,通过预设程序或传感器反馈实现设备自主运行,替代人工重复性操作;信息化是支撑,依托各类技术实现生产全流程数据的实时采集、传输与整合;智能化是核心,借助智能算法对采集的数据进行分析处理,自主优化决策并动态调整设备运行参数,适应复杂采矿环境变化。

1.2 核心技术体系

(1) 物联网与传感器技术:作为数据获取的核心支撑,通过在采矿设备、作业环境、矿体等关键位置部署压力、温度、振动、地质探测等各类传感器,结合物联网技术构建全维度数据采集网络,实现对设备运行状态、矿体特征、环境安全等数据的实时、精准采集,为后续智能决策提供数据基础。(2) 人工智能与机器学习:是实现设备智能化的核心技术,基于采集的海量生产数据,通过机器学习算法训练决策模型,具备矿体识别、路径优化、故障预判等功能。例如通过分析地质数据优化开采路径,结合设备运行数据预判潜在故障,实现生产过程的自主决策与动态优化。(3) 5G通信技术:

凭借高带宽、低延迟、广连接的特性,解决传统通信技术在矿山复杂环境下的传输瓶颈,实现对远端设备的实时精准操控。同时支撑多设备间的高速数据交互,保障掘进、运输、支护等设备协同作业,提升生产流程衔接效率^[1]。(4) 机器人技术:为无人化采矿提供硬件支撑,通过自主导航、避障、精准作业等技术,实现采矿设备的无人化运行。例如无人采矿机器人可自主完成矿体开采、装载等作业,大幅减少人工参与,降低高危环境下的作业风险。

1.3 主要设备类型与应用场景

(1) 智能掘进设备:主要应用于井下或露天矿山的巷道、采场掘进作业,具备自动定位、精准切割、围岩探测等功能,可根据地质条件动态调整掘进参数,提升掘进效率与工程质量,适用于复杂地质条件下的高效掘进场景。(2) 智能运输系统:无人矿卡适用于露天矿山矿石、渣土运输,通过自主导航与调度系统实现24小时不间断作业;皮带机智能调度系统则应用于井下及露天矿山的连续运输环节,动态调整传输速率,适配开采与装载节奏,保障运输流程顺畅高效。(3) 智能爆破与支护设备:精准爆破设备通过三维地质建模与智能延时控制,实现对爆破范围、力度的精准把控,减少资源浪费与环境破坏;动态支护设备可实时监测围岩稳定性,自动调整支护强度与范围,适用于深部高应力、围岩不稳定的矿山作业场景^[2]。(4) 智能监测与安全系统:广泛应用于各类矿山作业环境,通过人员定位设备实时掌握作业人员位置,保障人员安全;环境感知设备可监测瓦斯浓度、粉尘含量、围岩位移等安全指标,发现异常及时预警,为矿山安全管理提供全方位保障。

2 智能化采矿设备在提升采矿效率中的作用

2.1 生产效率提升

(1) 自动化作业减少停机时间:传统采矿作业中,

人工操作易受疲劳、技能差异影响,且设备巡检、故障排查依赖人工响应,导致非生产性停机时间占比偏高。智能化采矿设备通过全流程自动化作业,大幅降低人工干预频次,同时借助实时状态监测功能实现故障前兆预警。以某大型露天矿山为例,其引入的无人矿卡系统摆脱人工驾驶限制,可实现24小时不间断连续作业,配合智能故障诊断模块,提前识别发动机、制动系统等关键部件潜在故障,将非计划停机时间缩短40%以上,综合运输效率较传统有人矿卡提升30%,单矿卡日均运输量增加1200吨以上。(2)实时数据驱动的动态调度优化:智能排产系统、多设备协同调度平台等智能化设备,依托物联网采集的全流程生产数据,结合人工智能算法实现生产资源的动态匹配与调度方案优化。在井下采矿场景中,智能调度系统可实时整合掘进、运输、支护等各环节设备运行数据、矿石产量数据及地质条件数据,自动调整各设备作业优先级与运行参数^[3]。例如当某区域掘进效率提升时,系统可即时调度无人矿卡增加该区域运输频次,同时协调皮带运输机调整传输速率,避免出现矿石堆积或运输空缺问题,较传统固定调度模式,生产流程衔接效率提升25%以上,有效提升整体产能。

2.2 资源利用率优化

(1)精准开采技术减少矿石贫化率:智能化采矿设备集成三维地质建模、智能切割控制等技术,可实现对矿体边界的精准识别与开采范围的精准把控。传统采矿业因地质探测精度不足,易出现多采围岩、少采矿体的问题,导致矿石贫化率偏高。而智能掘进机、智能采矿台车等设备,通过搭载高精度地质探测传感器与三维扫描设备,构建实时更新的矿体三维模型,根据模型数据自动调整切割路径与开采参数,确保仅对矿体进行精准开采。某有色金属矿山应用该技术后,矿石贫化率从传统的15%降至8%以下,有效提升矿石资源利用率,减少资源浪费。(2)能源管理系统降低能耗:智能化采矿设备通过智能通风、照明控制、设备节能运行等能源管理系统,实现采矿过程能源消耗的精准管控。在井下采矿环境中,智能通风系统可实时监测各区域人员分布、设备运行情况 & 瓦斯浓度等数据,自动调整通风机运行功率与风量分配,避免传统固定通风模式下的能源浪费,较传统通风系统节能30%以上;智能照明系统则通过人体感应、光线感应技术,仅在人员作业区域开启照明设备,非作业区域自动关闭,进一步降低电能消耗。同时,智能设备的节能运行算法可优化电机、液压系统等核心部件运行参数,减少设备空载、重载波动带来的额外能耗,实现全流程能源高效利用^[4]。

2.3 安全与成本协同效应

(1)减少人工高危作业降低事故率:智能化采矿设备将人员从井下掘进、高空支护、瓦斯浓度超标区域巡检等高危作业场景中替代出来,通过远程操控、无人化作业大幅降低人员暴露在危险环境中的概率。数据统计显示,某煤矿引入智能掘进机、无人巡检机器人等设备后,井下高危作业岗位人员数量减少65%,与之对应的是安全事故发生率下降80%。其中,顶板坍塌、瓦斯泄漏等重大事故发生率由原来的0.3起/年降至0起,不仅保障了人员生命安全,同时减少了因事故导致的生产中断损失,单矿年减少事故相关经济损失超500万元。(2)预测性维护降低设备故障率:智能化采矿设备搭载的预测性维护系统,通过实时采集设备运行振动、温度、油压等关键数据,结合机器学习算法构建故障预测模型,提前预判设备故障发生时间与故障类型,并推送针对性维护建议。传统设备维护多采用定期维护模式,存在过度维护或维护不及时的问题,而预测性维护可实现“按需维护”。某铁矿应用该技术后,设备故障率从传统的12%降至3.5%,设备平均使用寿命延长15%以上,同时减少了不必要的维护耗材消耗与人工维护成本,单台大型采矿设备年维护成本降低20万元,全矿设备维护总成本节约超300万元。

2.4 管理决策智能化

(1)数字孪生技术实现全流程模拟与优化:数字孪生系统通过构建与实体矿山1:1对应的虚拟数字模型,整合采矿全流程设备运行数据、生产数据、地质数据等,实现对采矿作业全流程的实时模拟、状态监控与流程优化。管理人员可通过数字孪生平台直观掌握各环节作业状态,针对生产瓶颈问题进行虚拟仿真优化。例如当发现运输环节出现效率瓶颈时,可在虚拟模型中调整调度方案并进行效果模拟,确定最优方案后再应用到实际生产中,避免传统试错式调整带来的生产中断与成本损失。某露天矿应用数字孪生技术后,生产流程优化效率提升50%,通过模拟优化确定的新生产方案使整体产能提升18%。(2)大数据分析支持战略决策:智能化采矿设备积累的海量生产数据、资源数据、市场数据,通过大数据分析平台进行深度挖掘与分析,为矿山企业战略决策提供科学支撑。在市场波动场景下,大数据分析平台可整合矿石市场价格、生产成本、资源储量等数据,预测市场走势并计算不同产能下的利润空间,为企业提供产能调整建议。例如当矿石市场价格上涨时,平台可通过分析现有设备产能、资源开采条件等数据,判断是否具备产能提升空间及提升幅度;当市场价格下跌时,

可建议调整开采区域，优先开采高品位矿体，降低生产成本^[5]。某矿山借助该技术，在2023年矿石市场波动周期中，通过精准产能调整与开采区域优化，实现利润逆势增长12%。

3 智能化采矿设备发展的挑战与对策建议

3.1 主要挑战

(1) 技术瓶颈：复杂地质条件下的适应性不足。矿山地质环境具有多样性、复杂性和不确定性，部分智能化采矿设备在简单地质条件下可稳定运行，但面对深部开采的高应力、高瓦斯、围岩破碎，或露天矿山的复杂地形、极端天气等场景时，易出现定位偏差、决策失误、设备故障等问题。例如智能掘进机在破碎带掘进时，难以精准识别围岩稳定性并及时调整掘进参数，影响作业效率与安全，凸显技术适配性不足的瓶颈。(2) 成本障碍：初期投资高与中小企业推广难。智能化采矿设备集成多种高端技术，研发与制造成本较高，单台智能设备价格通常是传统设备的2-5倍，同时还需配套建设数据中心、通信网络等基础设施，初期投资压力大。大型矿山企业尚可承担，但中小企业资金实力有限，难以承担高额投入，导致智能化设备在中小企业中的推广应用受阻，制约全行业智能化转型进程。(3) 人才缺口：复合型技术与人才短缺。智能化采矿发展需要既掌握采矿工程专业知识，又熟悉物联网、人工智能、机器人技术等新兴技术的复合型人才。当前行业内传统采矿人才较多，但具备跨领域知识储备的技术人才和管理人才严重不足，难以满足智能化设备的运维、调试、系统优化及智能矿山管理需求，成为制约行业发展的重要因素。

3.2 对策建议

(1) 政策支持：加大补贴与税收优惠，推动产学研合作。政府应出台针对性政策，对采购智能化采矿设备的企业给予专项补贴，实施税收减免，降低企业投资成本；同时搭建产学研合作平台，推动高校、科研院所与矿山企业深度合作，聚焦复杂地质条件适应性等技术瓶颈开展联合攻关，加速技术成果转化应用。(2) 技术创新：加强边缘计算与AI算法的本地化研发。针对复杂

地质条件适应性不足的问题，重点推进边缘计算技术研发，实现数据本地化快速处理，提升设备在弱网络环境下的实时响应能力；优化AI算法，结合不同矿山地质特征开展定制化研发，提升算法对复杂环境的识别与决策适配性，增强设备运行稳定性。(3) 标准化建设：制定设备接口与数据互通规范。由行业主管部门牵头，联合企业、科研机构制定智能化采矿设备接口标准、数据格式标准及互联互通规范，解决不同厂家设备之间兼容性差、数据无法共享的问题，降低设备集成与系统升级成本，为智能化矿山建设提供统一技术支撑。(4) 人才培养：高校开设智能采矿专业课程。推动高校优化专业设置，增设智能采矿工程等交叉学科专业，课程体系涵盖采矿工程、人工智能、物联网、机器人技术等内容；同时加强校企合作，建立实训基地，开展订单式人才培养，提升学生实践能力，为行业输送高素质复合型人才。

结束语

智能化采矿设备通过技术赋能重构了传统采矿模式，在效率提升、安全保障及绿色转型中展现出显著优势。其以数据驱动优化生产流程，以智能协同突破作业瓶颈，为矿业高质量发展提供了核心动能。未来，随着技术迭代与场景深化，智能化装备将进一步推动采矿向全流程自主化、精准化演进，助力行业实现资源高效利用与可持续发展目标，具有广阔的应用前景与战略价值。

参考文献

- [1]于泳.煤矿信息化、智能化关键技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2024,(19):58-60.
- [2]张梁,李标,叶亮山.智能化时代对采矿设备运行和维护的影响[J].西部探矿工程,2024,36(10):92-95.
- [3]孟丹.煤矿井下通风设备的节能与智能化控制技术研究[J].矿业装备,2024,(10):146-148.
- [4]李振.智能化采煤对煤矿生产安全的作用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(18):97-99.
- [5]孙德福,甘强.煤矿机电设备自动化控制策略研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(18):148-150.