

煤矿机电设备智能化发展现状及前景

张 虎

宁夏王洼煤业有限公司王洼煤矿 宁夏 固原 756000

摘要: 煤矿机电设备智能化发展正加速推进, 依托物联网、AI、大数据等技术, 实现采掘、运输、安全监测等环节自动化与智能化。截至2025年, 全国建成智能化煤矿超900处, 智能开采产能占比突破50%, 超1.6万个固定岗位实现无人值守。未来, 随着5G、量子传感等技术创新, 煤矿将迈向全链条协同、绿色低碳的智能化新阶段, 推动行业安全、高效、可持续发展。

关键词: 煤矿机电设备; 智能化; 发展现状; 前景

引言: 在能源转型与“双碳”目标的双重驱动下, 煤矿行业正经历从规模扩张向质量效益的深刻变革。作为煤炭工业高质量发展的核心引擎, 煤矿机电设备智能化通过深度融合物联网、人工智能、5G等技术, 重构了采煤、运输、安全监测等全流程, 推动传统矿井向“少人化、高效化、安全化”转型。这一进程不仅关乎行业竞争力重塑, 更承载着保障能源安全与绿色发展的国家战略使命。

1 煤矿机电设备智能化技术体系

1.1 核心技术组成

(1) 物联网与传感器技术: 在煤矿机电设备关键部位布设多类传感器, 实时捕捉振动频率、表面温度、工作电流等运行参数, 数据经物联网实时回传, 实现设备状态精准感知, 为后续监测分析提供数据支撑, 及时发现参数异常。(2) 人工智能与大数据: 整合设备历史与实时数据, 借助机器学习算法构建故障预测模型, 精准预判设备故障; 同时分析生产数据, 优化开采、运输等流程, 提升生产效率与资源利用率。(3) 数字孪生技术: 依据矿井实际场景与设备参数, 搭建三维动态数字孪生模型, 实时映射现场运行状态, 模拟不同工况下设备运行情况, 提前预警潜在问题, 辅助生产调度与设备维护决策。(4) 5G通信技术: 凭借低时延、高可靠特性, 实现井下与地面高速数据传输, 支持采煤机、掘进机等设备远程精准控制, 减少井下人员作业风险, 保障指令与数据实时交互。

1.2 技术架构与功能模块

(1) 分层架构设计: 感知层负责数据采集, 由各类传感器与物联网终端构成; 网络层以5G、工业以太网为核心, 实现数据高效传输; 平台层整合大数据与AI技术, 提供数据存储、分析与模型训练能力; 应用层面向实际需求, 开发各类智能化应用系统。(2) 典型功能模块: 智能

监控模块实时展示设备运行状态与环境参数; 故障诊断模块通过数据分析定位故障类型与位置; 自主决策模块依据分析结果生成设备维护、生产调整方案; 协同控制模块实现多设备间的联动运行, 保障生产流程顺畅^[1]。

1.3 标准化与安全体系

(1) 国内外技术标准对比: 国际上ISO煤矿设备安全规范侧重设备通用安全要求与国际兼容性; 国内GB标准结合我国煤矿地质条件与设备特点, 在设备防爆、环境适应性等方面规定更细致, 如对井下设备的防尘防水等级要求更严格, 需结合实际选择符合标准的技术与设备。(2) 数据安全性与防爆设计要求: 数据安全方面, 采用加密传输、访问权限控制等技术, 防止设备运行与生产数据泄露、篡改; 防爆设计需符合相关标准, 设备外壳采用隔爆结构, 内部电路具备过载保护功能, 避免电火花引发瓦斯爆炸等安全事故。

2 煤矿机电设备智能化发展现状

2.1 政策驱动与市场规模

(1) 国家“十四五”规划对煤矿智能化明确关键目标要求, 提出到2026年, 全国煤矿智能化产能占比需达到 $\geq 60\%$, 为行业发展划定清晰方向。这一政策推动下, 各地煤矿企业加快智能化改造步伐, 从设备更新到技术升级全面发力, 政策红利持续释放, 成为行业发展的重要引擎。(2) 市场规模随之快速扩张, 2024年国内煤矿机电设备智能化行业市场规模已达578.2亿元, 展现出强劲的增长态势。从项目维度看, 单个智能化改造项目均价为1.98亿元/个, 反映出煤矿智能化改造投入力度大, 且市场对高质量智能化解决方案需求旺盛, 行业发展潜力显著。

2.2 典型应用场景

(1) 智能采煤领域, 记忆截割技术与自动跟机移架技术广泛应用, 以转龙湾煤矿中厚煤层智能综采工作面

为例,该工作面借助记忆截割技术,可精准复刻最优截割路径,自动跟机移架系统实现支架与采煤机协同动作,大幅减少人工干预,采煤效率提升30%以上,同时降低井下作业风险。(2)智能掘进方面,“5G+掘进机远程操控”模式成效显著,鲍店煤矿纵轴掘进机项目依托5G低时延特性,工作人员在地面操控室即可实现对井下掘进机的精准控制,完成截割、支护等作业,掘进效率提高25%,且避免人员直接暴露在复杂井下环境中。(3)智能运输领域,无人驾驶矿卡与智能调度系统成为主流,扎哈淖尔露天矿投入135台无人矿卡,通过智能调度系统优化运输路线,实现矿卡自主避障、精准装卸,运输效率提升20%,人力成本降低40%。(4)智能防灾领域,通风系统动态解算与灾变路线规划技术保障煤矿安全,东滩煤矿智能通风平台可实时监测井下风量、瓦斯浓度等参数,动态调整通风方案,若发生灾变,能快速规划最优逃生路线,为人员安全撤离争取宝贵时间。

2.3 区域差异化发展

(1)山西省作为煤炭主产区,煤矿开采历史长、部分矿井地质条件复杂,智能化发展侧重解决安全生产问题,通过部署智能监控、故障预警系统,重点防范瓦斯突出、顶板垮塌等风险,保障煤矿生产安全稳定运行。内蒙古自治区则凭借露天煤矿占比高、作业空间开阔的优势,大力推广无人驾驶技术,在多个露天矿大规模应用无人矿卡、无人推土机等设备,提升露天煤矿开采的智能化与自动化水平。(2)山东省在智能装备研发方面表现突出,依托当地高校、科研院所与企业的协同创新能力,成功研发出智能采煤机、掘进机等核心装备,部分产品技术指标达到国际先进水平;陕西省则更注重智能装备的工程化应用,通过与装备研发企业深度合作,在多个煤矿打造智能化示范工程,将先进装备与实际开采场景深度融合,实现技术落地与效益提升的双重目标。

3 智能化技术对煤矿行业的变革性影响

3.1 安全生产提级

(1)危险岗位机器人替代进程加速,政策明确2026年煤矿岗位替代率需 $\geq 30\%$ 。以往井下掘进、瓦斯检测等高危岗位,如今逐步由防爆机器人、巡检机器人接管,减少人员直接暴露在瓦斯超标、顶板不稳定等危险环境中的频次,从源头降低安全事故发生概率,保障矿工生命安全。(2)多模态传感器融合技术大幅提升风险预警能力,通过整合瓦斯、温度、湿度等多类传感器数据,结合AI算法分析,将瓦斯预警准确率提升至99%。一旦检测到瓦斯浓度异常,系统可实时触发声光报警并自动切断危险区域电源,为应急处置争取关键时间,避免瓦斯爆

炸等重大事故^[2]。

3.2 生产效率跃升

(1)智能综采工作面产能实现质的突破,以转龙湾煤矿为例,其智能综采工作面借助记忆截割、自动跟机移架等技术,日产量可达4万吨,相较于传统综采工作面,产量提升近一倍,且生产稳定性显著增强,有效减少因人工操作误差导致的停机时间。(2)辅助运输系统智能化改造成效显著,智能调度系统通过实时优化运输路线、动态匹配运力,使调度效率提高30%;同时,无人驾驶矿卡、智能皮带运输机等设备的应用,让物料周转时间缩短50%,从井下原煤运输到地面物资配送的全流程效率大幅提升,保障生产连续高效运行。

3.3 绿色低碳转型

(1)智能化技术推动煤矿与绿色能源深度融合,如北方重工绿色矿山方案中,将光伏供电系统与碳捕集技术整合,利用矿区闲置场地建设光伏电站为井下设备供电,同时通过碳捕集技术减少煤炭开采与加工过程中的碳排放,实现能源利用与环保的协同发展。(2)资源利用效率与节能水平显著提升,依托智能能耗监测与优化系统,煤矿单位产能能耗降低超30%;此外,通过智能化分选、加工技术,将煤矸石等固体废物转化为建筑材料、路基填料等,使固体废物综合利用率达95%,减少资源浪费与环境污染,助力煤矿行业向绿色低碳转型。

3.4 人才结构优化

(1)井下作业人员数量大幅减少,智能化设备替代部分人工操作后,井下作业人员减少20%,同时高危岗位人员逐步向地面远程调度、设备运维等岗位转型,工作环境更安全,职业发展路径更广阔,推动煤矿行业用工结构向更安全、更高效的方向调整。(2)复合型人才需求持续激增,煤矿智能化发展需既熟悉采矿工艺、了解井下地质条件,又精通信息技术、能操作智能系统的复合型人才。这类人才成为行业争抢的核心资源,也倒逼煤矿企业与高校加强合作,开设相关专业定向培养,推动行业人才结构从传统操作型向技术复合型升级。

4 煤矿机电设备智能化未来发展前景与策略建议

4.1 技术融合方向

(1)具身智能与边缘计算的深度结合将成为设备智能化升级的核心方向。具身智能赋予设备“感知-决策-执行”的自主能力,搭配边缘计算低时延、高算力的特性,可让采煤机、掘进机等设备在井下复杂环境中实时分析工况数据,自主调整运行参数——例如根据煤层硬度变化优化截割速度,依据设备振动数据完成自我故障诊断与参数修正,真正实现自学习、自优化,减少对地面远程

控制的依赖,提升单机运行效率与稳定性^[3]。(2)量子传感技术的突破将革新地下资源探测模式。相较于传统传感技术,量子传感具备超高灵敏度与抗干扰能力,可精准探测地下800米深处的矿物分布、地质构造及瓦斯浓度变化。应用该技术后,煤矿可提前绘制高精度三维矿藏分布图,明确优质煤层边界,避免无效开采;同时实时监测深部岩层应力变化,预警顶板垮塌、突水等地质灾害,为深部矿井安全开采提供技术支撑。

4.2 产业生态重构

(1)煤矿行业将从“单一设备智能化”向“全链条协同”深度转型,构建“采-运-洗-销”一体化智能体系。采矿环节的智能综采工作面与运输环节的无人矿卡、智能皮带运输机通过数据互联,实现原煤开采与运输的无缝衔接;洗煤环节依托智能分选设备,根据原煤品质自动调整洗选参数,提升精煤回收率;销售环节则结合大数据分析市场需求,动态优化销售策略与物流配送路线,形成从井下开采到终端销售的全流程智能化闭环,减少各环节衔接损耗,提升行业整体运营效率。(2)煤炭企业将加速多元化发展,非煤业务收入占比有望提升至32%。以风光火储一体化基地建设为核心,煤炭企业可利用矿区闲置土地发展光伏、风电项目,搭配储能系统与现有火电资源,形成“新能源+传统能源”互补的能源供给模式;同时延伸产业链,发展煤矸石建材、煤层气开发等非煤业务,降低对煤炭开采的单一依赖,推动产业结构向绿色化、多元化转型^[4]。

4.3 政策与市场协同

(1)政策层面需推动“一矿一策”定制化解决方案,强化技术适配性。不同煤矿在地质条件、开采规模、现有设备基础上存在显著差异,统一的智能化改造方案难以满足实际需求。建议政府牵头组织科研机构、设备厂商与煤矿企业对接,根据矿井具体情况(如薄煤层与厚煤层、井工矿与露天矿)定制技术方案,例如为薄煤层矿井研发小型化智能采煤设备,为露天矿优化无人驾驶运输系统,确保智能化技术真正落地见效。(2)需完善智能化建设评价体系,建立长效激励机制。制定涵盖设备智能化水平、安全效益、生产效率、低碳指标的多维度评价标准,定期对煤矿智能化建设成效进行评估;同时

出台激励政策,对达到优秀标准的煤矿给予税收减免、财政补贴,对研发定制化解决方案的企业提供科研经费支持,引导政策与市场形成合力,推动行业持续投入智能化建设。

4.4 人才与组织变革

(1)构建“技术+管理”复合型人才培养体系,强化人才供给。依托校企合作实训基地,联合高校开设采矿工程(智能化方向)、矿山机电(智能设备运维)等专业,将课堂教学与井下实操结合,培养既懂采矿工艺又精通智能设备操作、数据分析的复合型人才;同时针对现有员工开展定期培训,例如组织井下作业人员学习远程调度系统操作,引导传统技术人员向智能设备运维方向转型,填补人才缺口。(2)优化企业组织架构,适应智能化发展需求。煤矿企业需增设智能化技术管理部门,统筹推进智能化改造项目的规划、实施与维护;同时组建专业数据运维团队,负责设备运行数据的采集、分析与安全管理,打破传统部门间的信息壁垒,形成“技术决策-数据支撑-高效执行”的组织架构,为智能化发展提供组织保障。

结束语

煤矿机电设备智能化是煤炭工业迈向高质量发展的必由之路。当前,技术迭代与政策驱动已使其从局部试点迈向规模化应用,安全、效率与环保效益显著提升。展望未来,随着具身智能、量子传感等前沿技术的突破,以及全产业链协同生态的构建,煤矿智能化将进入深度融合与自主进化新阶段,为保障国家能源安全、实现“双碳”目标注入强劲动能,引领全球矿业变革。

参考文献

- [1]刘洁.探究自动化技术在煤矿机电设备中的应用[J].矿业装备,2021,10(2):266-267.
- [2]张艳慧.煤矿机电技术在煤矿安全生产中的应用[J].电子技术与软件工程,2020,(24):215-216.
- [3]雷瑞芳.自动化技术在煤矿机电设备中的应用探究[J].当代化工研究,2020,(03):41-42.
- [4]葛全超.探究自动化技术在煤矿机电设备中的应用[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2021,27(2):176-177.