

A Preliminary Discussion on the Development and Application of Intelligent Technology in Coal Mine Machinery Engineering

Hongfei Ren

Xinjiang Tianshun Mining Co., Ltd., Jizhong Energy Fengfeng Group, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract

As an important pillar of China's energy structure, coal mines' safety production and mining efficiency are closely related to the lifeline of the national economy. The intelligentization of mechanical engineering, with its advantages of deep perception, autonomous decision-making, and precise execution, is profoundly reshaping the traditional coal mining model and becoming a key breakthrough in resolving safety dilemmas and improving economic efficiency. This article focuses on the essential transition of coal mine mechanization system from automation to intelligence. The system outlines the core supporting technology framework, covering key links such as sensor networking, information fusion, intelligent decision control, and equipment collaboration technology. By analyzing the practical application efficiency of intelligent technology in core areas such as intelligent mining, intelligent excavation, main and auxiliary transportation, ventilation and drainage, and safety assurance, combined with the current technological bottlenecks and system collaboration barriers, this paper explores the technological evolution path and implementation strategies for the future development of intelligent coal mines.

Keywords

Coal mine; Mechanical engineering; Intelligence

刍议煤矿机械工程智能化的发展与应用

任红飞

冀中能源峰峰集团新疆天顺矿业有限公司, 中国·河北 邯郸 056000

摘要

煤矿作为我国能源结构的重要支柱,其安全生产与开采效率关乎国民经济命脉。机械工程智能化以其深度感知、自主决策、精准执行的优势,正深刻重塑传统煤炭开采模式,成为化解安全困境与提升经济效益的关键突破口。本文聚焦煤矿机械系统由自动化向智能化的本质跃迁,系统梳理核心支撑技术框架,涵盖传感网联、信息融合、智能决策控制及装备协同技术等关键环节。通过剖析智能化技术在智能开采、智能掘进、主辅运输、通风排水、安全保障等核心环节的实际应用效能,结合当前存在的技术瓶颈与系统协同壁垒,探讨未来煤矿智能化发展的技术演进路径与实施策略。

关键词

煤矿; 机械工程; 智能化

1 引言

煤炭作为支撑我国能源消费体系的主体资源,其生产安全水平与开采效率始终是国家能源安全保障与企业运营效益的核心议题。传统煤矿开采作业面临地质条件多变、高危环境持续、人工作业强度大、效率潜力受限等固有挑战,安全事故与生产效率制约问题频现。近年来,以物联网、人工智能、大数据、机器人等为代表的颠覆性技术群在工程应用层面的高速渗透,为传统煤矿机械工程注入了智能化革新的强大动能。智能化并非自动化技术的简单延续,而是面向复杂矿井环境、具备深度环境感知、信息自处理、工况自适应

应决策与协同控制能力的智能化装备与管控体系的系统集成。它不仅深刻重塑了矿山装备的技术内涵与功能架构,更推动了煤矿生产组织模式与安全管理范式的重大变革。本文旨在立足于当前煤矿智能化实践基础,厘清智能化技术核心发展脉络与应用方向,剖析其在煤矿生产各环节的实际效能发挥状况,并针对暴露出的关键问题,前瞻未来突破路径与实施策略。

2 煤矿机械工程智能化发展概述与核心驱动力

煤矿机械工程智能化并非凭空构建的全新体系,而是伴随自动化技术持续深化与现代信息技术革命融合渗透而成的必然发展趋势。其核心脉络体现为由局部工序自动化向全系统智能协同的跃迁过程,早期以单机自动化作业为起点,例如基于固定程序指令操作的简易采煤机、输送机启停控制装置等。而智能化阶段的本质提升在于技术装备具备对

【作者简介】任红飞(1983-),男,中国邯郸磁县人,本科,采煤工程师,从事煤矿安全管理研究。

环境关键信息的有效感知力、对多维异构数据的融合解析力、依据工况自主生成优化策略的决策力以及多系统间响应协同的执行力。构成这一跃迁的根本驱动力源于多重现实需求叠加：首当其冲的是国家及社会对煤矿本质安全水平提升的空前迫切性。长期受困于高事故率与重特重大事故阴影的传统人工作业模式亟需被智能无人化操作模式彻底替代，以彻底阻断人员暴露于高风险环境的机会，从根本上杜绝人因失误风险。其次在于资源高效绿色开采的内在经济驱动。我国优质煤炭资源日渐稀缺，老矿深井占比攀升，亟需通过智能化技术突破装备极限适应性，精准控制资源回收率，降低无效能耗与无效维护投入。

3 煤矿机械工程智能化核心支撑技术体系

3.1 智能传感与泛在物联网络技术

作为感知中枢的智能传感与泛在物联网络技术，构成了煤矿机械工程智能化的底层基础。该技术领域已取得多项突破，开发出低功耗、高可靠性的瓦斯浓度、粉尘浓度、一氧化碳浓度等多参数环境传感器阵列。具备自校正功能的采煤机姿态倾角传感单元、大负载高精度液压支架压力状态传感单元、输送带健康状态监测传感单元、大型设备轴承温度振动状态监测传感单元等关键装备状态传感器。各类传感器依托有线高速工业总线网络（如矿用以太网、CAN总线）、无线抗扰低功耗传感网（如 ZigBee、LoRa）以及新型矿用 5G 专网混合组网模式，实现了对井下复杂动态环境的全域参数感知与海量装备运行数据的实时高速采集与传输网络覆盖。

3.2 多源异构信息融合与边缘智能处理技术

多源异构信息融合与边缘智能处理技术，致力于解决煤矿环境中感知数据类型繁复（包括结构化时序参数与非结构化图像、点云数据）、来源多样（涵盖环境参数、设备状态、影像数据、地质信息等）以及噪声干扰严重等问题。该技术采用自适应滤波方法对噪声数据进行深度处理，通过时序关联数据修正与补偿环境干扰项。在信息融合层面，广泛应用贝叶斯方法、D-S 证据理论及深度神经网络方法，实现了对瓦斯涌出异常、设备早期微弱故障征兆、顶板应力异常区域等复杂隐蔽状态的智能识别与准确评估。边缘计算节点的部署使得大量关键数据的特征提取与分析任务（如煤岩界面视觉识别的初期处理）能够在数据产生地就近完成，有效缓解了海量数据传输至远程云平台的压力，并显著提升了关键决策的响应时效性^[2]。

3.3 数据驱动的智能决策与精准控制技术

智能化的核心决策能力来源于数据驱动的智能决策与精准控制技术系统。该系统涵盖基于地质勘探数据、地质力学参数及历史作业大数据构建的三维矿井地质模型平台，以及在该平台上运行的采矿工程仿真优化环境。在采煤工作面内，依托深度强化学习算法与多智能体协同决策模型，实现

了对采煤机行进轨迹、截割滚筒转速功率模式、液压支架组递进推拉动作序列在复杂地质条件下的全局自优化控制策略生成。自适应截割模型依据滚动力矩与视觉传感器对煤岩硬度变化的在线辨识数据，动态调整滚筒截齿切入深度。通风设备则依据瓦斯浓度传感器网络分布数据，并结合风阻参数模型，实现风量供需匹配模型的智能寻优调整控制。

3.4 智能化装备集群协同控制技术

系统协同层面的保障能力源自智能化装备集群协同控制技术的持续演进。该技术包括精准可靠的井下多源融合定位服务（融合 UWB、惯导与视觉定位技术），为人员、穿梭车、采掘设备提供稳定厘米级定位服务能力。面向无轨胶轮车、胶带输送系统、无人辅助作业车等建立的智能调度中心平台与分布式局部路径规划协同控制系统，实现了物流作业任务流的精准协同。各类作业设备之间（如采煤机与液压支架群、掘锚一体机与转载机）构建的设备群状态感知共享机制与协同动作序列指令协议，通过底层即时通讯机制保障关键工序设备间高效可靠的动作同步运行能力^[2]。

4 煤矿机械工程智能化的核心应用场景剖析

4.1 智能开采系统

综采工作面的智能化水平是衡量整个煤矿现代化程度的核心标尺，当前智能化开采系统已形成成熟度较高的系统解决方案。系统核心构成为装备高精度工业传感单元的智能采煤机组、配电液阀组与压力传感器具备自动递进移架功能的液压支架群、搭载煤流检测设备具备自适应调速能力的刮板输送机设备以及承担海量运行数据整合分析任务的控制中心平台单元。系统关键突破在于装备激光雷达、三维视觉系统与多种工况传感器的采煤机组已具备对煤岩界面的在线感知能力与空间轨迹自规划能力。机组结合高精度惯性导航系统生成的地理参照信息，可依据预置地质模型与开采工艺模型自动生成最优化的牵引路径序列，并依据滚筒力矩实时数据与环境瓦斯数据动态修正切割策略实现最优功率模式运转。液压支架控制器通过传感器实时监测支撑压力变化数据以及红外摄像头获取的邻架位置偏移数据，基于预设顶板管理规程策略自动执行跟机伸缩动作与支撑压力循环补偿操作，保障工作面持续稳定推进与顶板围岩安全。在极端工况（如瓦斯浓度短时异常波动或顶板局部压力突变事件）发生时，控制中心能够瞬时接管干预，远程强制停机并启动应急预案模块确保整体安全。整个流程构建的感知优化循环体系大幅解放了传统人工干预需求^[3]。

4.2 智能掘进技术

巷道智能掘进技术因环境多变复杂性当前正处于技术融合攻坚期，核心方向聚焦于掘锚协同作业与精准导航定位能力的突破。智能化掘锚一体机装备多元融合传感网络，通过机载三维激光扫描传感器实时捕捉巷道前方煤岩体空间结构，机械臂末端的红外视觉系统则提供对锚杆钻孔位置的

高精度定位信息数据。系统内部集成的高性能定位导航模组融合激光 SLAM 建图与捷联惯导技术,使得设备具备在低光照高粉尘环境下可靠空间定位能力,保障设备严格按预铺设设计路径线稳定行进作业。作业控制系统基于视觉点云构建的岩体强度分布热力图,实时为凿岩机提供最优凿孔深度与钻速参数组合,极大提升支护效能同时减低刀具损耗率;钻孔机器人则依据红外定位数据引导实现全自动锚杆精确安装功能;机载自感知胶带转载系统依据采落物料流量变化实时调整运行速度避免物料堵塞。整套系统运行数据由控制平台集中处理并依据地质雷达数据构建巷道前方岩体结构预测模型不断修正优化整体掘进节奏策略^[4]。

4.3 主辅运输智能化

运输系统作为煤矿关键动脉其智能化水平直接影响生产连续性。主运输胶带系统智能化重点体现为装备大量状态感知节点构成密集传感网络系统:分布在滚筒处的振动传感单元实时监测轴承温度状态;布设在沿线的视觉巡检机器人与红外热成像仪系统在线识别皮带撕裂纵向裂纹或跑偏异常事件;张力应变传感器与音频分析模块则负责对关键滚筒区域的摩擦状态进行预警性分析识别。中央控制系统依据各段载荷流量数据建立智能调速模型实时优化整线能耗状态。在辅助运输无人化层面发展尤为迅猛,搭载环境感知模块(含激光雷达摄像头等)并融合高精度定位技术的无轨胶轮车可实现基于全局地图任务分配模块调度指令规划最优运行路径执行物流转运任务;架空乘人装置则通过智能门禁调度系统实现按需精准运转,最大程度降低无效能耗;基于5G网络的矿用无人机系统实现井下固定区域高速视觉巡检任务构建重要场所监控网络^[5]。

4.4 智能通风排水安全保障体系

智能通风系统的核心在于风量调控环节。系统依托构建完善的瓦斯参数测点网络获取浓度分布数据;通过风速监测装置获取巷道风量数据;并整合通风系统物理拓扑结构模型建立全局风量供求匹配数据库。智能调控算法依据瓦斯实时涌出数据与作业区域分布模型预测需风量变化趋势自动调整局扇风机参数运行状态保障最优风量供给配给效能。智能排水系统则通过压力传感器群构建的工况感知网络实现水仓水位实时感知预警;配备智能启停策略的电控阀门组依据水位变化与水泵运行效率曲线完成泵组最优投切调度任务最大程度节省能耗开支。安全保障体系层面智能视频分析平台通过部署在关键区域的摄像设备结合 AI 算法实现人员异常行为识别系统对违章行为智能识别预警;具备高精度定位功能的矿用穿戴设备构建人员实时位置分布图实现对危

险区域人员进入自动告警功能^[6]。

4.5 成本管控与能效智能化管控

智能化技术为煤矿精细管理提供了强有力的工具链支持。设备健康管理预测系统通过对机组运行噪声频谱、温度振动参数数据进行建模分析预测潜在运行故障点及剩余寿命区间信息优化维保计划制定;基于大数据驱动的能耗管理系统通过建立全局设备功率数据库与生产数据关联性模型发掘节能潜力点实现生产全链条的能耗透明化管理控制优化用能效率;智能仓储平台通过自动识别物资单元构建库存信息可视化数据库并依据消耗模型预测生成最优化采购方案避免库存积压问题。这些工具体系共同构建了数据驱动决策模式,从运行维保、资源消耗、物资流转层面系统性优化成本结构提升整体投入产出效益比,助力企业实现深层次管理优化目标^[7]。

5 结语

煤矿机械工程智能化作为技术革新深刻融合产业需求的现实产物,已从概念蓝图快速演进为重塑行业核心能力的工程实践方向,展现出对提升煤矿本质安全水平、破解深部资源高效开采瓶颈、优化资源循环利用效率的强大赋能效应。当前在综采工作面的精准控制装备应用、运输系统自动化调度领域已实现规模化成熟应用并收获显著效能提升成果。而在地下复杂空间的导航定位精度与稳定可靠性、装备作业环境适应性、海量实时数据有效融合应用、跨层级系统架构优化协同等方面尚存系统性技术瓶颈亟待集中力量攻关解决。面向未来高质量发展战略需求与碳达峰碳中和背景挑战,煤矿智能化升级已成为不可逆的战略路径选择。

参考文献

- [1] 冀呈昕.智能化技术在农业机械工程技术中的现状和发展趋势[J].农业机械,2024,(12):83-85.-2
- [2] 马宝华,卜现美.智能化技术在农业机械工程自动化中的应用[J].热带农业工程,2024,48(04):5-8.
- [3] 姜楠.矿山智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].中国金属通报,2024,(08):98-100.
- [4] 易义宁,李泳霄,黄德位.基于矿山智能化技术的机械工程自动化运用及发展[J].中国战略新兴产业,2024,(06):152-155.
- [5] 沈蕾.机械工程智能化现状与发展方向[J].辽宁高职学报,2023,25(10):101-104.
- [6] 武子敬.煤矿智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].中国设备工程,2023,(10):40-42.
- [7] 郝一宁.机械工程自动化中智能化技术的应用[J].造纸装备及材料,2023,52(03):120-122.