

Research on the Application of Intelligent Technology in Coal Mines in Mechanical Engineering Automation

Hongfei Ren

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

Abstract

The safety production and efficient mining of coal mines are the core issues of the national energy strategy, and the traditional operation mode is limited by bottlenecks such as complex geological environment, high personnel safety risks, and low production efficiency. Intelligent technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things, big data, and robotics are deeply integrated into the field of mechanical engineering automation, providing a revolutionary path for the transformation and upgrading of the coal mining industry. This article deeply analyzes the core components of intelligent technology in coal mines, elaborates on the basic theory and key technical system of mechanical engineering automation technology in coal mine scenarios, and focuses on exploring the innovative applications and significant achievements of intelligent technology in core links such as mining machinery automation, coal flow transportation system intelligence, electromechanical equipment intelligent monitoring and diagnosis, mine safety assurance system automation, mining robots, and unmanned operation in fully mechanized mining faces.

Keywords

coal mining industry; mechanical engineering automation; intelligent technology

煤矿智能化技术在机械工程自动化中的应用研究

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

煤矿安全生产与高效开采是国家能源战略的核心议题, 传统作业模式受限于地质环境复杂、人员安全风险高、生产效率低等瓶颈。以人工智能、物联网、大数据、机器人技术等为代表的智能化技术正深度融入机械工程自动化领域, 为煤矿产业转型升级提供了革命性路径。本文深入剖析了煤矿智能化技术的核心构成要素, 阐述了机械工程自动化技术在煤矿场景下的基础理论与关键技术体系, 重点探讨了智能化技术在综采工作面采掘机械自动化、煤流运输系统智能化、机电设备智能监控与诊断、矿井安全保障系统自动化、矿山机器人及无人化操作等核心环节的创新应用与显著成效。

关键词

煤矿产业; 机械工程自动化; 智能化技术

1 引言

煤炭作为我国主体能源的地位短期内难以撼动, 其安全高效开采关乎国家能源安全与社会经济发展全局。然而, 煤矿开采环境具有显著的高风险性、强隐蔽性与复杂性, 瓦斯突出、煤尘爆炸、顶板垮落、冲击地压、水害等灾害时刻威胁着矿工生命安全。传统采煤方式高度依赖人工经验, 机械化程度虽然已有显著提升, 但在控制精度、灾害预判、系统联动性、信息透明度等方面仍存在诸多短板, 导致安全事故频发、生产效率与资源回收率提升遭遇瓶颈。同时, 劳动力成本持续攀升以及新生代矿工工作意愿下降也迫切要求煤矿减少井下危险区域作业人数。在此背景下, 依托新

代信息技术的煤矿智能化建设被提升至国家战略高度。机械工程自动化作为智能化矿山最直接、最核心的物理载体与技术实现基础, 是智能化技术落地的关键环节。将人工智能、物联网、大数据、云计算、5G 通信、机器人等先进技术与机械工程自动化系统深度融合, 赋予矿山机械以智能感知、精准执行、自主决策与协同联动的能力, 是实现少人化、无人化安全高效开采的根本途径。本文聚焦于煤矿智能化技术内涵及发展态势, 系统论述其在机械工程自动化领域的关键技术突破与典型应用场景, 分析当前面临的挑战, 并对未来发展方向进行展望, 以期为推进煤矿智能化建设提供有益参考。

2 智能化技术在煤矿中的发展态势

近年来, 全球范围内矿山智能化浪潮风起云涌, 中国煤矿智能化建设在政策强力驱动与企业内在需求推动下进

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

入了快速发展期。国家层面密集出台了一系列支持政策,将其列为提升煤矿本质安全水平和推动煤炭工业高质量发展的关键举措。“机械化换人、自动化减人、智能化无人”已成为行业共识。发展态势呈现为:一是由单机、单点自动化向成套装备、全流程自动化协同发展,例如从液压支架的电液控制向整个综采工作面的智能联动控制演进;二是由单一设备自动化向“感知-分析-决策-控制-执行”闭环的智能化系统发展,设备具备了一定的自学习、自适应能力;三是由生产环节自动化向矿山全生命周期智能化管理拓展,包括地质保障、设计规划、生产运营、设备维护、安全保障、经营决策等环节;四是信息物理系统的深度融合,数字孪生技术为矿山构建了虚拟映射模型,实现虚实交互与协同优化^[1]。

3 机械工程自动化基础及其在煤矿中的关键需求

3.1 机械工程自动化核心技术原理

机械工程自动化是指在机械系统中引入控制装置或计算机系统,使其能够在无人直接干预或有限干预下,按照预设程序或根据感知到的信息自动完成规定动作或复杂操作过程的技术。其核心原理在于建立“检测-决策-执行”的高效闭环。传感与检测环节相当于系统的感官,负责获取设备状态、工作参数与环境信息;控制与决策环节相当于系统的大脑,基于预置逻辑或智能算法处理信息、制定控制策略并发出指令;执行环节相当于系统的手足,通过驱动装置将电控信号转化为机械运动或操作。实现煤矿机械自动化的关键技术包括:高精度伺服控制技术,实现设备的精确定位与平顺运行;可编程逻辑控制器与工业计算机控制技术,提供可靠高效的逻辑控制与计算平台;现场总线与工业以太网通信技术,保障控制指令与传感数据的可靠传输;机器视觉与模式识别技术,用于环境感知与目标识别;先进运动规划与轨迹跟踪技术,确保复杂任务的高效精确执行^[2]。

3.2 煤矿环境对机械自动化系统的特殊要求

煤矿井下环境对机械工程自动化系统提出了异常严苛的要求,构成了显著区别于一般工业自动化的特殊约束条件。首要要求是本质安全性与高可靠性,设备及其控制系统必须满足严格的防爆、防尘、防水、防潮等安全标准,且能在长时间、高负荷、多粉尘、强干扰的恶劣条件下稳定运行,任何控制失误或系统失效都可能引发灾难性后果。其次,系统需具备强抗干扰能力,能有效抵御井下大功率设备启停产生的强电磁干扰、空间受限造成的信号衰减以及矿压变化、爆破震动等机械冲击与振动干扰。第三,高度复杂性与适应性,煤矿开采面对的是隐蔽、动态变化的地质体,采掘设备需实时感知地质条件与煤层变化,并具备一定的自适应调整能力以应对非结构化环境。第四,远程操作与无人化作业能力,为最大限度保障人员安全,系统需具备稳定可靠的远程监控、操作与诊断功能,并逐步实现关键环节无人值守或区

域少人化目标^[3]。

4 煤矿智能化技术在机械工程自动化中的典型应用

4.1 综采工作面智能化采掘自动化

综采工作面作为煤矿的核心生产单元,是智能化技术应用最为集中、成效最为显著的领域。智能化技术在此的核心目标是实现工作面设备群的智能联动、自主运行与少人值守。核心技术应用包括:智能精准开采技术,基于高精度惯导系统、激光雷达与机器视觉系统对采煤机进行精确定位与三维导航,实时构建工作面地理信息系统模型;采用多种探测手段进行煤岩界面智能识别,指导采煤机滚筒高度自动调整与运行轨迹规划,最大程度减少割顶割底现象。液压支架智能自适应支护技术,利用位移、倾角、压力等多传感器监测支架姿态与顶板压力状态,通过先进电液控制系统实现支架群的成组移架、自动跟机移架、自动补压与压力平衡控制,确保支护的及时性与有效性。工作面设备智能协同控制技术,建立以采煤机为中心,刮板输送机、液压支架协同联动的集中控制系统;利用通信网络实现采煤机速度与刮板输送机负载的智能匹配、采煤机位置与支架动作的精确同步,并基于实时工况进行全局参数优化,保障系统高效稳定运行。此外,通过高速网络实现工作面的远程集中监控与可视化操作,在监控中心即可实现“一键启停”和关键设备的远程干预控制。这些技术的综合应用大幅减少了工作面作业人数,显著提升了开采安全性、效率以及资源的回收率^[4]。

4.2 煤流运输系统智能化

煤矿运输系统承担着将开采出来的煤炭从工作面运至地面的任务,其智能、连续、高效运行至关重要。智能化技术在煤流运输系统中的应用集中于保障运输的连续性、高效性、安全性及节能性。核心技术包括:带式输送机群智能协同控制技术,利用速度、流量、电流、张力、温度等多传感器网络实时监测各条胶带机运行状态与载荷情况;基于人工智能算法分析煤炭流量分布、预测堵塞风险,智能优化各条胶带机的启停时序、运行速度设定,实现煤流的无冲击启动、均衡负载分布与节能经济运行。带式输送机状态智能监控与预知维护技术,采用声发射、振动分析、红外热成像等手段对滚筒、托辊、减速器、电机等关键部件进行在线状态监测与故障诊断;基于历史运行数据建立寿命预测模型,实现故障的早期预警与视情维护,减少意外停机。智能煤仓管理技术,利用物位传感器实时监测各缓冲煤仓仓位,结合产量预测模型和运输计划,智能优化各仓位的进料、储料与卸料策略,有效平衡生产与运输节奏,防止煤仓空仓或满仓溢煤^[5]。

4.3 机电设备智能监控与诊断自动化

煤矿井下大量的大型固定机电设备是维持矿井正常运行的“心脏”,其安全稳定运行是保障矿井安全和生产连续的关键。智能化技术通过实现这些设备的在线状态监测、智

能诊断与预警性维护,极大地提升了设备管理水平。关键技术应用包括:机电设备状态感知网络构建,在主要通风机、压风机、提升机、排水泵、主变电站等关键设备上部署高可靠振动、温度、压力、流量、电流、电压、油液品质等多类型传感器,形成对其核心参数的全天候监测能力。基于人工智能的设备故障诊断与健康管理工作,构建设备运行状态特征数据库,应用机器学习模型进行特征提取和模式识别,实现早期故障征兆的有效捕捉与故障类型的智能诊断;融合设备历史运行数据和机理知识,建立预测性维护模型,准确评估设备剩余使用寿命并进行维护预警,实现“视情维护”模式替代传统的定期检修或事后维修。智能集中监控与运维平台构建,将分散的设备状态数据通过工业网络实时传输至地面集中监控中心,构建设备全生命周期管理平台;平台具备实时数据展示、历史数据回溯、报警管理、诊断报告生成、维护工单管理等功能,为运维人员提供决策支持。设备远程运维技术,利用增强现实技术为现场维护人员提供直观的设备拆装指导和故障排查辅助,并支持远程专家通过数据共享进行故障会诊与技术指导^[6]。

4.4 矿井安全保障系统自动化

保障矿工人身安全和预防重大灾害始终是煤矿生产的生命线。智能化技术为传统的安全监控系统注入了强大的自动化分析、预警与联动控制能力,极大提升了矿井的本质安全水平。核心应用领域包括:环境参数智能监测与预警联动系统,在原有瓦斯、一氧化碳、温度、风速、粉尘等环境参数传感器网络基础上,引入大数据分析和人工智能技术,对环境变化的异常模式进行智能识别;建立多维参数耦合预警模型,实现灾变的早期预警,并能在超限报警达到预设阈值时,自动触发相关区域设备的断电、闭锁及人员避险引导措施。智能视频监控系统与人员精准定位系统融合应用,在全矿井部署高清智能摄像机和精确的 UWB/ 蓝牙人员定位系统;通过 AI 行为分析识别人员违章行为、设备异常运行状态;实时精确跟踪井下人员位置分布、运动轨迹;结合电子栅栏、精准广播系统实现人员滞留超时告警、闯入危险区域告警、重要场所权限管理等;在紧急情况下,能够根据人员分布图快速规划最优逃生路线并通过广播和定位卡引导疏散。智能通风系统自动化控制,建立通风网络解算与实时优化模型,利用分布式风速风压传感器实时监测通风状态;结合作业面位置、瓦斯涌出量等变化,智能调整主要通风机的运行频率及井下调节风门的开度,实时优化通风网络结构,确保各用风地点

风量充足稳定,并能快速应对灾变时期风流调控需求。水害与火灾智能监控系统,针对水文地质复杂矿井,应用微震监测、水位水压监测系统,进行水害风险预警;在重要地点设置温度、烟雾、束管色谱等传感器进行火灾早期探测^[7]。

5 结语

煤矿智能化技术的蓬勃发展为机械工程自动化在矿山领域的深度应用插上了智慧的翅膀。本文系统探讨了智能化技术在煤矿机械工程自动化领域的核心构成、应用价值与典型场景实践。研究表明,将人工智能、物联网、大数据分析等新一代信息技术与机械工程自动化的传感检测、伺服驱动、逻辑控制等基础技术深度融合,成功赋予矿山装备以强大的感知能力、分析能力、学习能力和适应能力。在综采工作面、煤流运输、大型固定机电设备管理、安全保障系统以及矿山机器人等多个核心领域,智能化赋能下的自动化技术取得了突破性进展,实现了从单点设备自动化向系统集成、智能协同、自主决策的高阶形态发展,显著降低了井下人工作业比例,有效提升了生产效率和资源回收率,从根本上保障了矿工的生命安全和健康。未来,应集中力量攻关关键技术瓶颈,加大智能感知终端与装备的研发投入,深入探索复杂地质条件下多源信息融合与智能决策新机制,推动数字孪生等技术在矿山全生命周期管理的应用深化,同时加强产学研协作,构建开放、标准的智能矿山生态系统,推动我国煤矿产业安全、绿色、高效的高质量发展目标早日实现。

参考文献

- [1] 孙庆宏,姚刚,郎曼廷.矿山智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].世界有色金属,2024,(20):35-37.
- [2] 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.
- [3] 齐斌.智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(05):37-39.
- [4] 戴学伟.智能化技术在煤矿电气工程自动化中的应用研究[J].矿业装备,2024,(03):134-136.
- [5] 何成群.矿山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,(19):36-38.
- [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] 陈艳艳.智能化技术在机械工程自动化中的应用[J].数字技术与应用,2022,40(04):45-47.