

浅谈煤矿机电自动化技术

王珂

禹州枣园煤业有限公司 河南 禹州 461670

摘要：煤矿机电自动化技术是融合多学科的复合型技术体系，是煤矿行业现代化转型的核心支撑。本文围绕煤矿机电自动化技术展开研究，阐述其定义、特征与生产价值，深入分析智能感知与数据采集、智能控制与决策、远程监控与数字孪生三大关键技术，探讨其在采掘机电设备、运输与提升机电系统中的核心应用场景，并预判技术未来智能化、协同化、绿色化、自主化的发展趋势。研究旨在明晰煤矿机电自动化技术的应用逻辑与发展方向，为煤矿行业提升生产效率、强化安全保障、推动高质量发展提供技术参考。

关键词：煤矿机电；自动化技术；关键技术；应用场景；发展趋势

引言：随着煤炭行业智能化转型进程加快，传统煤矿生产模式下效率低下、安全风险高、资源配置不合理等问题日益凸显，亟需先进技术赋能升级。煤矿机电自动化技术凭借集成性、精准性、实时性等核心优势，成为破解行业发展痛点的关键路径。当前我国煤矿机电自动化技术虽已取得一定应用成效，但在核心技术自主化、全系统协同融合等方面仍有提升空间。基于此，本文系统梳理煤矿机电自动化技术的核心内涵、关键技术与应用场景，研判发展趋势，为推动该技术在煤矿行业的深度应用与创新提供理论与实践支撑。

1 煤矿机电自动化技术的概述

1.1 煤矿机电自动化技术的定义与特征

煤矿机电自动化技术是融合电子技术、自动控制技术、计算机技术与机械工程技术的复合型技术体系，核心是通过技术集成实现煤矿生产各环节机电设备的自主运行、实时监测与精准调控，减少人工干预。其核心特征体现为集成性，实现多技术多设备的有机融合与协同运作；精准性，依托传感与控制技术保障参数调控的精确性；实时性，可快速采集并处理生产过程中的各类数据；安全性，通过自动化监测与调控规避人为操作风险。该技术是煤矿行业从传统生产模式向现代化转型的核心技术支撑。

1.2 机电自动化技术在煤矿生产中的价值

机电自动化技术为煤矿生产提供了以下多维度价值支撑，（1）提升生产运行的稳定性，通过标准化自动化流程降低人为操作偏差，保障生产连续有序。（2）强化安全保障能力，通过实时监测关键环境与设备参数，提前规避安全隐患，筑牢生产安全防线。（3）有助于优化生产资源配置，提升生产效率的同时降低能耗与人力成本，推动煤矿生产的集约化发展。（4）为煤矿生产的数

字化转型奠定基础，通过数据采集与集成构建生产管理的数字化体系，提升管理精细化水平，助力行业可持续发展^[1]。

2 煤矿机电自动化的关键技术

2.1 智能感知与数据采集技术

智能感知与数据采集技术核心在于实现对煤矿生产环境、机电设备运行状态等关键信息的全面、精准、实时捕获，为后续控制与决策提供数据支撑。其技术体系主要涵盖以下内容：（1）多维度传感感知技术，依托适配煤矿井下复杂环境的专用传感器，构建全方位感知网络，涉及瓦斯、粉尘、温度、湿度等环境参数传感，以及设备振动、转速、电压、电流、温升等运行参数传感，传感器需具备抗干扰、抗冲击、防爆防尘等特性，确保在高湿、高尘、高压力的极端环境下稳定工作。（2）数据精准采集与预处理技术，采用高精度数据采集模块实现对传感信号的实时采集，通过滤波、降噪、信号放大等预处理手段，剔除无效数据与干扰信号，提升数据的完整性与准确性；同时结合时序数据采集策略，根据不同参数的变化特性设定差异化采集频率，平衡数据采集的全面性与系统能耗。（3）数据同步与集成技术，通过时间戳同步机制实现多源传感器数据的时间对齐，避免数据错位导致的分析偏差；依托标准化数据接口，将不同类型、不同来源的感知数据进行统一格式转换与集成，形成规范化的数据集，为后续数据传输与分析奠定基础。（4）感知网络构建技术，采用有线与无线结合的组网方式，有线网络依托工业以太网保障关键数据的稳定传输，无线网络采用适配井下环境的无线通信技术，实现移动设备与分散节点的灵活接入，确保感知数据能够全面、高效传输至控制中心。

2.2 智能控制与决策技术

智能控制与决策技术通过对采集数据的深度分析与逻辑运算,实现对机电设备的精准调控与生产流程的优化调度,替代传统人工操作与经验决策。其技术要点包括:(1)多模态控制策略融合技术,结合经典控制理论与智能控制算法,构建复合型控制体系,经典控制算法用于实现设备的基础稳定控制,智能控制算法如模糊控制、神经网络控制、模型预测控制等,用于处理煤矿生产中的非线性、不确定性问题,提升控制的适应性与精准性;同时根据设备运行状态与生产需求,实现不同控制策略的动态切换。(2)自适应控制技术,通过实时监测设备运行参数与负载变化,动态调整控制参数与控制逻辑,使控制系统能够自适应设备老化、负载波动、环境变化等不确定因素,保障设备始终处于最优运行状态,避免因固定控制参数导致的控制偏差或设备损耗。

(3)分布式协同控制技术,针对煤矿多设备协同作业场景,构建分布式控制架构,通过节点间的信息交互与协同决策,实现采掘、运输、提升等多环节设备的同步联动,避免单设备独立控制导致的生产流程脱节,提升整体生产效率;同时采用冗余控制设计,确保单一控制节点故障时,其他节点能够快速补位,保障控制系统的可靠性。(4)智能决策支持技术,基于大数据分析机器学习算法,构建生产决策模型,对采集的历史数据与实时数据进行深度挖掘,识别生产过程中的规律与潜在问题,为生产调度、设备维护、产能优化等提供数据驱动的决策建议;决策模型具备自学习能力,能够随着数据积累不断优化决策精度,提升决策的科学性与前瞻性。

(5)控制安全保障技术,嵌入安全约束逻辑,将设备运行极限参数、安全规程要求转化为控制规则,确保控制指令的执行始终处于安全阈值范围内;同时设置控制指令校验与反馈机制,对指令执行效果进行实时监测,一旦出现偏差立即启动纠偏程序,规避控制失误导致的安全风险。

2.3 远程监控与数字孪生技术

远程监控与数字孪生技术通过虚实融合与远程交互,实现对煤矿机电系统的全流程可视化管理与精准管控,降低人工现场作业强度与安全风险。其核心技术构成如下:(1)远程监控终端与可视化技术,构建集中式远程监控中心,采用多屏联动、全景展示等可视化手段,实时呈现机电设备运行状态、生产流程进度、环境参数变化等信息;设计人性化的操作界面,支持设备状态一键查询、控制指令远程下发、异常信息弹窗预警等功能,实现对机电系统的便捷化远程管控;同时适配移动端终端监控需求,开发移动端监控应用,支持管理人员

随时随地掌握生产动态。(2)高可靠远程通信传输技术,采用工业级通信协议,构建低延迟、高带宽、抗干扰的远程通信链路,保障控制指令、监控数据的实时双向传输;针对井下复杂通信环境,采用通信信号增强、链路冗余备份等技术,避免因通信中断导致的远程管控失效;同时对传输数据进行加密处理,防止数据被篡改或窃取,保障远程管控的安全性。(3)数字孪生建模与映射技术,基于煤矿井下地质条件、机电设备参数、生产工艺流程等实际数据,构建高精度的数字孪生模型,实现物理世界机电系统与虚拟模型的精准映射;模型涵盖设备几何形态、运行机理、关联关系等多维度信息,能够实时同步物理设备的运行状态,真实还原生产场景。(4)虚实交互与模拟仿真技术,依托数字孪生模型实现虚实联动,通过虚拟模型对物理设备进行远程操控预演,验证控制指令的可行性后再下发至物理设备,降低控制风险;利用仿真技术模拟不同生产工况、设备故障、环境变化等场景,分析系统的响应特性,为生产优化、故障排查、应急处置提供模拟支撑;同时可基于仿真结果开展员工培训,提升操作人员对系统的管控能力。(5)全生命周期管理与追溯技术,通过数字孪生模型记录机电设备从安装调试、运行维护到报废更新的全生命周期数据,支持设备运行轨迹、维护记录、故障历史等信息的追溯查询;结合数据分析实现设备健康状态评估与寿命预测,为设备预防性维护提供精准依据,提升设备管理的精细化水平^[2]。

3 煤矿机电自动化技术的核心应用场景

3.1 自动化技术在煤矿采掘机电设备中的应用

自动化技术在煤矿采掘机电设备中的应用,核心是实现采掘作业的精准化、协同化与少人化管控。在采掘机电设备方面,自动化技术贯穿割煤、移架、推溜全流程,通过集成位置检测、姿态感知与自适应控制模块,实现采煤机根据煤层厚度自动调整截割高度与行走速度,同步联动液压支架完成跟机移架,保障采掘轨迹精准贴合煤层赋存条件;(1)针对薄煤层、厚煤层等不同赋存条件,系统可自动匹配截割模式,通过多传感器融合感知煤层界面,避免截割顶底板造成资源浪费或设备损耗;(2)液压支架自动化控制中,融入压力感知与围岩变形监测功能,实时调整支架支护力度,确保支护安全与作业空间稳定。

在掘进机电设备应用中,依托航向导航与围岩探测技术,实现掘进机自动定位、定向掘进,配合机载自动化喷雾降尘与支护设备联动控制,形成掘进、支护、降尘一体化自动化作业流程;(1)通过惯性导航与激光

定位融合技术,提升掘进机在复杂地质条件下的定位精度,保障掘进方向偏差控制在允许范围;(2)支护设备与掘进机的联动控制采用时序协同逻辑,根据掘进进度自动触发支护作业,避免支护不及时引发的安全隐患。通过采掘工作面多设备协同控制网络,实现采煤机、掘进机与辅助设备的运行状态实时联动,确保各环节作业节奏匹配,提升采掘作业的连续性与稳定性。

3.2 自动化技术在煤矿运输与提升机电系统中的应用

自动化技术在煤矿运输与提升机电系统中的应用,重点聚焦物料与人员转运的高效化、安全化管控。在井下运输系统中,自动化技术实现胶带输送机全程智能管控,通过速度闭环控制、张力自适应调节与跑偏监测矫正功能,保障输送机平稳运行;(1)采用红外与超声波组合检测技术精准识别胶带跑偏、撕裂等异常,通过电动滚筒调速与调偏托辊联动实现自动矫正,同时集成过载保护与紧急停机联锁机制;(2)集成物料流量检测模块,动态调整运行参数以匹配运输需求,避免空载或过载运行,同时通过运输线路分段控制实现能量优化,非运料段自动降速节能。

在提升机电系统中,自动化技术实现从装载、提升到卸载的全流程无人化控制,通过精准的速度调节与位置定位技术,保障罐笼或箕斗平稳启停与精准停靠;(1)采用变频调速技术实现提升机的软启动与软制动,减少机械冲击,延长设备使用寿命,同时通过绝对值编码器实现位置精准定位,停靠误差控制在毫米级;(2)配合多重安全监测与联锁保护机制,实时监测提升机运行参数与井筒环境,涵盖钢丝绳张力、制动系统状态、井筒风速等关键指标,一旦出现异常立即触发紧急制动,杜绝安全事故。运输与提升系统通过自动化调度模块实现全局协同,根据采掘产能动态分配运输任务,优化转运路径,提升全矿物料转运效率^[3]。

4 煤矿机电自动化技术的发展趋势

煤矿机电自动化技术正朝着智能化、协同化、绿色化和自主化的方向加速演进,呈现出清晰的发展脉络。

(1)智能化深度升级成为核心方向,依托人工智能与大数据分析技术,实现设备自学习、自诊断与自适应能力的全面提升,从传统自动化控制向自主决策型智能管控转变,大幅降低人工干预需求。(2)全流程协同化融合持续深化,打破采掘、运输、提升等环节的技术壁垒,构建全矿井一体化智能协同管控体系,实现各系统数据互通、资源共享与联动调度,提升整体生产效率。(3)绿色低碳化转型步伐加快,通过优化能耗控制算法、推广节能型机电设备,实现生产过程的能耗精准管控,同时依托自动化技术提升资源开采利用率,助力煤矿行业绿色可持续发展。(4)核心技术自主化突破成为关键,针对高端传感器、专用控制芯片等“卡脖子”技术加大研发力度,提升设备与系统的国产化率,增强技术安全与产业竞争力^[4]。

结束语:煤矿机电自动化技术作为煤炭行业现代化转型的核心驱动力,其发展与应用对提升生产效率、保障作业安全、推动绿色发展具有不可替代的作用。本文通过对该技术概述、关键技术、应用场景及发展趋势的系统分析,明确了其技术逻辑与应用价值。当前,煤矿机电自动化技术已在采掘、运输等核心环节实现有效赋能,但核心技术自主化、全系统协同融合等仍是未来需重点突破的方向。随着人工智能、数字孪生等技术的深度融合,煤矿机电自动化技术将朝着更智能、更协同、更绿色的方向发展。

参考文献

- [1]李得宝.探讨自动化技术在煤矿机电设备方面的应用[J].中国设备工程,2025(9):209-211.
- [2]王强.煤矿机电设备中自动化技术的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(2):164-166.
- [3]叶鹏飞,徐强,韦红洋.基于自动化技术的煤矿机电设备保护方法[J].自动化博览,2025,42(3):89-91.
- [4]李太平.煤矿机电设备自动化控制的优势与技术探究[J].中国设备工程,2025(11):226-228.