

煤矿机械中机电一体化技术应用

赵 耀

汇能控股集团神木市银源矿业有限公司 陕西 榆林 719000

摘 要：机电一体化技术在煤矿机械中的应用涵盖多维度。其基础理论包含技术组成要素与优势，关键技术涉及控制策略、通信网络、人机交互及能源管理，核心应用领域覆盖采掘、运输提升、支护安全和辅助作业设备。技术通过机械与电子协同，提升设备精准控制、动态响应和运行可靠性，推动煤矿机械向高效、安全、节能方向发展，为煤矿行业现代化提供重要支撑。

关键词：机电一体化；煤矿机械；控制策略；通信网络；能源管理

引言：煤矿机械是煤矿生产的重要保障，性能直接影响生产效率与安全。传统机械运行模式存在精度不足、响应迟缓等问题，难以适应复杂矿井环境。机电一体化技术将机械系统与电子控制融合，通过传感器、信息处理和执行机构的协同，实现设备精准操控与动态调节。探究该技术在煤矿机械中的基础理论、关键技术及应用领域，对提升煤矿生产水平、保障作业安全具有重要意义，也是煤矿行业转型升级的必然选择。

1 机电一体化技术基础理论

1.1 技术组成要素

机械系统与电子控制系统的协同构成机电一体化技术的核心框架。机械系统作为物理执行载体，提供动力传输与结构支撑，运动参数与电子控制系统的指令形成闭环互动。电子控制系统通过预设程序解析外部需求，转化为具体控制信号驱动机械部件动作，实时接收机械系统反馈的运行状态，动态调整输出指令以维持稳定运行^[1]。这种协同关系消除了传统机械与电子分离模式下的响应延迟，使整体系统能够根据环境变化快速适配。传感器技术、信息处理与执行机构的集成形成完整的功能链条。传感器作为感知环节，捕捉温度、压力、位置等环境与设备状态信息，将物理量转化为可识别的电信号。信息处理单元对接收的信号进行分析运算，依据内置算法生成控制策略，过滤无效干扰信号以确保决策准确性。执行机构将处理后的指令转化为机械动作，如电机转速调节、液压阀开闭等，实现对设备的精准操控。三者通过标准化接口衔接，信息在传递过程中保持一致性，确保每个环节的输出与下一个环节的输入形成无缝对接。

1.2 技术优势分析

精准控制与动态响应能力是机电一体化技术的显著特征。系统通过实时采集设备运行数据，对比预设参数

偏差并立即启动修正机制，使设备动作精度控制在细微范围内。面对负载变化或外部干扰时，控制系统无需人工干预即可自动调整运行参数，维持设备在最优状态，避免因波动导致的效率下降或部件损耗。这种快速响应能力让设备在复杂工况下仍能保持稳定性能。系统优化与故障自诊断功能提升设备运行可靠性。技术通过整合各环节数据，分析能量消耗与效率关系，自动调整运行模式以减少资源浪费。当设备出现异常时，内置诊断模块遍历各部件运行数据，定位故障源头并发出提示，区分机械磨损、电路故障或程序错误等不同类型问题，为维修提供明确方向，减少排查时间与盲目操作带来的二次损伤。模块化设计与可扩展性增强技术的适应能力。各功能单元采用标准化结构设计，独立封装且接口统一，更换或升级单个模块不会影响整体系统运行。新增功能时只需接入相应模块并更新控制程序，无需对原有结构进行大规模改造。这种设计使设备能够根据实际需求灵活调整配置，适应不同作业场景的功能拓展，延长整体系统的使用寿命。

2 机电一体化技术在煤矿机械中的关键技术

2.1 控制策略与算法

模糊控制模拟人类决策思维处理煤矿机械运行中的不确定性因素。面对煤层硬度突变、设备负载波动等复杂工况，系统无需建立精确数学模型，依据预设模糊规则将输入变量转化为模糊集合，经推理运算输出控制量，在掘进机截割速度调节、液压支架压力控制等场景中适应性良好。神经网络模仿生物神经元连接模式构建多层运算模型，通过样本训练形成对复杂关系的映射能力，在采煤机路径修正中，可从历史数据中学习煤层特征与最优截割参数的关联，自主优化控制指令，提升非结构化环境作业精度^[2]。多目标优化算法综合平衡效率、能耗与安全等指标生成最优方案。在矿井提升机控制

中,同时考量提升速度、钢丝绳磨损与能耗成本,通过迭代计算找到平衡点,形成动态调整方案。实时决策逻辑依托高速处理器构建响应机制,将传感器数据与预设阈值持续比对,偏差出现时立即触发调整指令,瓦斯浓度突升等紧急状况下,可跳过复杂运算直接启动通风增强程序,为安全处置争取时间。

2.2 通信与网络技术

现场总线与工业以太网的融合架构构建起信息传输骨架。现场总线采用分布式控制,将传感器、执行器与控制器通过专用线缆连接,实现短距离、高实时性数据交换,适用于液压支架姿态调节、输送机张力控制等对响应速度要求高的场景。工业以太网凭借高带宽承担大量数据传输,将采煤机参数、瓦斯监测数据等汇总至中央监控平台,支持多设备协同控制。两种网络通过网关转换协议,形成覆盖设备层、控制层与管理层的一体化体系,保证实时控制精准性与全局监控需求。无线传感网络在井下注重信号稳定性与抗干扰设计。节点采用本安型设计,适应高湿、高尘、强电磁干扰环境。节点布置遵循冗余原则,某一节点中断时,数据自动切换至相邻节点传输,避免链路断裂。调制解调技术优化信号频段,避开电机、变频器干扰波,提升传输正确率。电池供电节点采用低功耗唤醒机制,按周期短暂激活发送数据,延长续航时间,减少井下换电池频次。

2.3 人机交互与远程监控

虚拟现实(VR)与增强现实(AR)重构操作模式。VR通过头显构建虚拟场景,操作人员可在地面模拟练习掘进机截割、支架操作等工序,熟悉设备特性后再实际操作。AR将运行参数、故障提示等信息通过眼镜式显示器叠加在真实视野,采煤机操作时,界面实时标注截割偏差、刀具磨损状态,引导精准调整。两种技术结合减少对操作经验的依赖,使新手快速掌握要领,降低井下人员暴露危险环境的时间。远程诊断与维护系统的传输协议规范状态信息交互格式^[3]。采用分层架构,物理层转换传感器数据为电信号,数据链路层通过校验码检测错误并自动重传,应用层定义故障代码、维修指令等编码规则。协议支持断点续传,通信恢复后从断点传输未完成数据,避免丢失。针对井下带宽限制,内置压缩算法,对振动波形、温度曲线等数据压缩处理,减少传输流量,确保关键信息优先传递。

2.4 能源管理与节能技术

混合动力系统的能量回收与分配策略提升能源利用效率。矿井提升机下降时,电机切换至发电模式,将重力势能转化为电能存储,提升阶段释放辅助驱动,降

低电网依赖。掘进机作业时,系统根据截割负载分配柴油发动机与电动机功率,轻载优先用电,重载双动力协同,减少燃油消耗。能量管理模块监测储能设备荷电状态,动态调整充放电策略,避免过充过放导致损耗。低功耗设计与绿色制造理念贯穿全生命周期。控制电路采用微功耗芯片,待机时降低时钟频率减少能耗。传感器选用无源式设计,通过振动、温度变化等环境能量供电,无需额外布线。绿色制造要求加工采用环保切削液,减少重金属排放,零部件选用可回收材料,报废后拆解再利用。装配采用模块化设计,减少连接件,便于维护更换,降低材料浪费,使设备在满足功能的同时,最大限度降低环境影响。

3 煤矿机械中机电一体化技术的核心应用领域

3.1 采掘设备

掘进机与采煤机的自动化控制体系将机械传动与电子调控深度融合,形成自主作业闭环。控制系统依据煤层赋存特征预先设定运行参数,通过分布在设备各处的传感器实时感知截割阻力变化,自动调节掘进速度与采煤深度。设备运行过程中持续监测机械部件的温度、振动等状态参数,一旦出现异常便及时调整输出功率,避免因过载导致的部件损坏。操作指令通过电子信号快速传递,较传统机械操控的响应速度显著提升,有效减少人工操作带来的误差。截割路径规划技术依托煤层地质勘探数据生成最优切割轨迹,设备严格按照预设路径作业,最大限度减少无效切割动作。负载自适应调节功能在遇到硬岩或断层等复杂地质条件时,会自动降低截割功率并调整刀具角度,防止设备出现卡滞或损坏^[4]。这种动态调节能力使采掘作业更贴合煤层实际情况,在提高资源回收率的同时对设备形成有效保护。

3.2 运输与提升系统

皮带输送机的智能调速与张力控制融合分布式传感与变频驱动技术构建高效运行体系。输送带表面的速度传感器实时监测运行速率,物料检测装置通过红外感应判断输送量波动。这些信号传递至控制器后,系统根据输送量自动调节电机频率,空载状态下降低转速,重载时提升输出功率。张力调节装置由压力传感器与液压执行机构组成,传感器感知输送带张紧力变化,控制器计算所需调节量,驱动油缸伸缩改变滚筒间距,使张力始终处于最优区间。驱动滚筒的温度传感器与振动传感器持续监测设备状态,出现异常时立即触发减速程序,防止过度磨损引发停机事故。矿井提升机的多参数协同优化实现速度、载重与运行轨迹的综合调控。提升容器上的位移传感器实时反馈位置信息,载重传感器精确测量

载荷重量,两者数据融合后,控制系统自动生成适配的速度曲线。启动阶段,电机输出功率随载荷变化呈阶梯式增长,避免过载冲击;运行阶段保持匀速以减少能耗;接近井口或井底时,通过变频技术平稳进入减速模式实现柔和制动。钢丝绳张力传感器监测各绳段受力差异,偏差超过设定范围时,调节装置改变天轮位置使各绳段受力均衡。提升机运行轨迹通过编码器实时校准,确保容器沿井筒中心线移动,降低与井壁的摩擦损耗。

3.3 支护与安全设备

液压支架的电液控制与姿态监测系统依靠压力传感器与倾角传感器实现动态调节。支架顶梁与底座的压力传感器实时采集支护阻力,压力超过设定值时,控制系统打开卸压阀释放部分压力;压力不足时启动泵站补充液压油。倾角传感器监测支架仰俯角与侧倾角变化,数据传输至控制器后,驱动调架油缸伸缩使支架保持垂直姿态,保障支护效果。推移千斤顶的行程传感器记录移架距离,与采煤机进度保持同步,实现自动跟机支护。操作指令通过总线传输至各执行单元,避免线缆杂乱造成的信号干扰,提升动作响应速度。瓦斯监测与通风系统的联动响应机制以气体传感器与风机控制模块为核心构建安全屏障。巷道内不同位置的瓦斯传感器持续采集气体浓度,数据经光纤传输至中央控制柜,控制柜内的逻辑电路快速判断浓度等级。浓度达到预警值时,控制信号触发通风机转速提升,同时开启备用风道闸门增加风量流通。风筒内的风速传感器监测实际风量变化,数据反馈至调节模块实时修正风机输出功率。瓦斯浓度降至安全区间后,系统逐步降低风机转速恢复常规通风模式。风道内的温度传感器与气体传感器协同运作,排除非瓦斯因素导致的浓度异常,保障响应精准性。

3.4 辅助作业设备

排水系统的智能启停与流量调节通过液位传感与水泵控制模块实现自动化管理。集水井内的液位传感器设置多个监测点,不同深度的传感器对应不同启停指令。水位达到启动阈值时,控制器按顺序激活水泵电机,根据液位上升速度确定启动台数。水泵出口的压力传感器

监测管路压力,流量传感器记录排水速率,两者数据结合计算管路阻力,自动调节变频装置输出频率改变水泵转速。水位降至停止阈值时,系统按启动顺序反向关闭水泵,避免停机造成的管网压力波动^[5]。滤网前后的压差传感器检测堵塞程度,压差超过设定值时自动启动反冲洗装置清除滤网上的杂质。供电设备的能耗管理与故障隔离依托智能断路器与能耗监测模块构建安全运行体系。进线端的电流互感器与电压传感器实时采集供电参数,数据传输至能耗分析模块计算各回路功率因数与无功损耗。电容补偿装置根据分析结果自动投入或退出补偿电容,提升电能利用效率。出线回路的智能断路器内置过载保护与短路保护功能,检测到电流异常时迅速切断回路并发出故障信号。故障定位系统通过对比各节点电流波形确定故障区间,隔离故障回路后自动闭合备用回路开关,恢复其他区域供电。设备运行温度由红外传感器监测,温度异常时触发冷却风扇,防止过热引发绝缘老化。

结束语

机电一体化技术为煤矿机械发展注入新动能。从基础理论到关键技术,再到各应用领域,形成完整技术体系,推动煤矿机械在效率、安全、节能等方面显著提升。随着技术不断优化,在煤矿机械中的应用将更深入,助力煤矿行业实现更高效、更安全、更可持续的生产模式,为煤矿行业的长远发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]林鹰.煤矿机械中机电一体化技术应用[J].中国设备工程,2025(1):217-219.
- [2]张越.机电一体化数控技术在煤矿机械中的应用[J].西部探矿工程,2024,36(7):154-156.
- [3]高君.试论机电一体化技术在煤矿机械设备中的应用[J].西部探矿工程,2024,36(9):158-161.
- [4]杨明,宁尚托.机电一体化在煤矿工程机械控制中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(9):127-129.
- [5]李晓辉.机电一体化技术在煤矿智能设备中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(7):124-126.