

煤矿机械设备电气自动化技术的应用

张彦忠

国能北电胜利能源有限公司 内蒙古 锡林浩特 026000

摘要：本文探讨了煤矿机械设备电气自动化技术的应用。介绍了电气自动化技术的核心构成，包括传感器、PLC、IPC及通信网络架构等，还有关键技术支撑，如智能算法、DCS与边缘计算融合、故障诊断与容错控制等。分析了在采掘、运输、通风排水、供电等场景的应用，展望了智能化、绿色化、集成化与网络化发展趋势，对提升煤矿生产效率与安全性意义重大。

关键词：煤矿机械；电气自动化；智能算法；绿色发展；系统集成

引言：煤炭是我国重要能源，煤矿生产效率与安全至关重要。电气自动化技术凭借高效、精准、可靠等优势，在煤矿机械领域应用广泛。随着科技不断进步，电气自动化技术持续升级。其在煤矿机械中的应用，不仅能提升生产效率、降低人力成本，还能增强设备运行稳定性与安全性。深入探讨其应用，对推动煤矿行业现代化发展，适应能源市场新需求具有重要意义。

1 电气自动化技术基础理论

1.1 核心构成

传感器与数据采集系统是电气自动化的感知基础，能够监测温度、压力、振动等各类参数。温度传感器利用物体热胀冷缩或热电效应，将环境温度变化转化为电信号；压力传感器通过压阻效应，把压力变化转换为可测量的电信号；振动传感器基于压电原理，捕捉设备振动状态并输出信号。这些传感器将物理量转化为电信号后，由数据采集系统进行滤波、放大、模数转换等处理，为后续控制提供原始信息。可编程逻辑控制器（PLC）与工业控制计算机（IPC）构成电气自动化的控制中枢，二者存在协同逻辑^[1]。PLC以扫描方式执行程序，具备可靠性高、抗干扰能力强的特点，常用于顺序控制、逻辑控制等场景，如自动化生产线的启停控制。工业控制计算机则拥有强大的数据处理与运算能力，可运行复杂控制算法，处理大量信息，适用于数据处理与高级控制任务，像工厂生产数据的分析与优化。两者配合，PLC负责现场设备的直接控制，IPC进行全局数据处理与决策，实现高效的自动化控制。通信网络架构在电气自动化中承担信息传输任务，包括现场总线、工业以太网、无线传输技术。现场总线技术如PROFIBUS、Modbus，用于连接现场设备与控制器，实现设备间的短距离通信，具备实时性强、可靠性高的特点；工业以太网基于TCP/IP协议，以高速率传输大量数据，常用于车

间级网络，实现控制器与上位机的通信；无线传输技术则突破线缆限制，适用于难以布线的场合，如移动设备的监控，常见的有Wi-Fi、ZigBee等，为电气自动化系统提供灵活的通信方式。

1.2 关键技术支撑

智能算法为电气自动化系统提供智能决策能力，涵盖模糊控制、神经网络、预测性维护模型。模糊控制通过模拟人类思维的模糊性，将输入变量模糊化，依据模糊规则进行推理决策，常用于无法精确建模的复杂系统控制，如空调系统的温度调节；神经网络模仿生物神经元结构，通过大量神经元的连接与训练，学习输入与输出之间的复杂关系，可应用于图像识别、故障诊断等领域；预测性维护模型基于设备运行数据，利用算法预测设备故障发生的时间与概率，提前安排维护计划，减少设备停机时间。分布式控制系统（DCS）与边缘计算融合应用提升电气自动化系统性能。DCS将控制功能分散到各个子系统，实现集中管理与分散控制，广泛应用于化工、电力等大型工业生产。边缘计算则将计算任务从云端下沉到网络边缘，在靠近数据源的地方进行数据处理，减少数据传输延迟，提高系统响应速度。二者融合后，DCS负责整体生产流程的协调控制，边缘计算实时处理现场数据，优化控制策略，增强系统的实时性与可靠性。故障诊断与容错控制机制保障电气自动化系统稳定运行。故障诊断通过对设备运行参数的实时监测与分析，运用信号处理、模式识别等方法，快速定位故障类型与位置。容错控制则在系统发生故障时，自动调整控制策略，利用冗余设备或备用控制方案，维持系统基本功能，避免因故障导致系统瘫痪，确保电气自动化系统在复杂工况下持续稳定运行。

2 煤矿机械设备电气自动化应用场景

2.1 采掘设备自动化

综采工作面设备联动控制构建起采煤全流程自动化体系。采煤机通过安装的位置传感器与姿态监测装置,实时反馈运行参数^[2]。刮板输送机搭载速度与负载监测设备,液压支架配置压力传感器与位移监测元件。三者通过现场总线网络实现数据交互,采煤机依据煤层厚度自动调整截割高度,其运行速度信号传输至刮板输送机,后者同步调节运输速度避免堵塞;液压支架接收采煤机位置信息,按设定程序自动完成降架、移架、升架动作,三者协同作业,提升开采效率与安全性。在复杂地质条件下,系统还可根据顶板压力变化,提前调整液压支架支撑力,防止顶板事故发生。掘进机自主导航与截割路径优化依赖多传感器融合技术。惯性导航系统与激光测距仪组合,持续获取掘进机位置与姿态数据,结合地质勘探数据构建巷道三维模型。控制系统基于模型规划截割路径,通过调节截割头角度与推进速度,实现按预设路径精准截割。当遇到岩石硬度变化时,截割机电流传感器反馈信号,系统自动调整截割策略,避免设备过载损坏,减少巷道超挖、欠挖问题。

2.2 运输系统智能化

胶带输送机自动启停与张力平衡控制保障运输连续性。安装在胶带沿线的速度传感器、跑偏传感器与撕裂监测装置,实时监测胶带运行状态。启动前,系统检测各设备就绪信号,按顺序依次启动;运行中,根据负载变化调节驱动电机转速,保持恒定运输效率。张力控制系统通过压力传感器监测滚筒张力,自动调节张紧油缸行程,避免胶带打滑或断裂,确保运输安全稳定。对于长距离运输的胶带输送机,还配备自动纠偏装置,及时纠正胶带偏移,减少磨损。井下电机车无人驾驶与智能调度依托无线通信与定位技术。电机车配备北斗定位模块与惯性导航系统,实现精确位置感知。调度中心通过工业以太网下发运输任务,电机车接收指令后,自主规划最优行驶路线,利用激光雷达与视觉传感器感知巷道环境,避让障碍物。多辆电机车运行时,调度系统根据实时运输需求与车辆位置,协调各车运行时序,避免路线冲突,提升运输效率与巷道通行能力。

2.3 通风与排水系统优化

主通风机变频调速与风量动态分配提升通风效率。安装在风硐内的风速传感器、风压传感器实时监测通风参数,系统结合井下各区域瓦斯浓度、人员分布情况,通过变频器调节主通风机转速,按需分配风量。当某区域瓦斯浓度升高时,系统自动加大该区域通风量;在非作业时段,降低风机转速减少能耗,确保井下空气质量符合安全标准。部分矿区还引入空气净化装置,对通风

气流进行净化处理,进一步改善作业环境^[3]。水泵房智能启停与水位监测联动实现无人值守运行。水位传感器实时监测水仓水位,当水位达到设定上限时,系统自动启动水泵排水,通过压力传感器与流量传感器监测排水状态,调节水泵运行台数与转速,确保排水效率。当水位降至设定下限时,自动停止水泵。系统还可根据水泵运行时长、故障次数等信息,智能安排维护计划,延长设备使用寿命,保障井下排水安全。

2.4 供电系统安全保障

高压开关柜智能分合闸与故障定位提升供电可靠性。开关柜配置智能操控装置,集成状态监测传感器,实时监测断路器触头温度、绝缘状态等参数。当系统检测到过载、短路等故障时,智能操控装置快速执行分闸操作,通过故障录波装置记录故障波形,结合定位算法,精确定位故障位置,缩短故障排查时间,减少停电范围。部分先进开关柜还具备自动重合闸功能,在故障消除后自动恢复供电。矿用变压器在线监测与能效管理实现节能增效。安装在变压器上的温度传感器、油色谱传感器与电流电压监测装置,实时采集运行数据。系统分析负载率、损耗情况,通过调节变压器分接头档位或调整运行方式,优化电压输出。当变压器油温过高或油中气体含量异常时,及时预警并采取降温、检修措施,保障变压器安全运行,降低能耗与维护成本。

3 煤矿机械设备电气自动化技术发展趋势

3.1 智能化发展

人工智能与机器学习深度融入煤矿机械自动化领域。在设备故障诊断层面,深度学习算法发挥关键作用。通过部署在煤矿机械设备上的振动、温度、电流等传感器,持续采集设备运行状态信号,将这些信号转化为数据样本后,输入卷积神经网络(CNN)模型进行训练。模型能够自动提取信号特征,识别设备正常运行与异常运行状态模式,从而精准判断轴承磨损、齿轮故障等常见问题,相较于传统诊断方式,极大提升故障识别准确率与响应速度。预测性维护依托机器学习的时序数据分析能力得以实现。基于历史运行数据与故障记录,采用长短期记忆网络(LSTM)构建预测模型。该模型可学习设备性能随时间变化的规律,对设备关键部件剩余使用寿命进行预测。例如,通过分析液压支架立柱压力变化数据,提前预判密封件老化、管路泄漏风险,在故障发生前制定维护计划,减少设备非计划停机时间。设备运行参数优化同样依赖机器学习算法。以采煤机为例,强化学习算法根据煤层厚度、硬度变化等环境因素,动态调整截割速度、滚筒转速等运行参数。算

法通过不断试错与反馈机制,探索最优参数组合,在保障开采效率的同时,降低设备能耗与磨损,延长设备使用寿命。智能决策系统构建基于多源数据融合。整合采掘、运输、通风等各生产环节数据,利用图神经网络(GNN)建立煤矿生产全要素关联模型。模型综合考虑地质条件、设备状态、生产计划等因素,生成生产调度、资源配置等决策方案。当井下地质条件突变时,系统自动评估影响范围,调整采掘设备作业参数,优化运输路线,实现生产流程自适应调整,提升煤矿应对复杂环境能力。

3.2 绿色化发展

节能技术与环保措施贯穿煤矿机械自动化全流程。在电力拖动系统方面,永磁同步电机与高效变频器结合成为主流方案。永磁同步电机具备高功率密度、高效率特性,配合矢量控制算法,可根据负载变化实时调节电机转速与扭矩,相较于传统异步电机系统,能耗降低15%-20%。在通风系统中,变风量控制技术根据井下实际需风量动态调节主通风机转速,避免风量浪费,实现节能运行。污染物治理技术持续升级。针对粉尘污染,在采掘设备、运输转载点等粉尘高发区域,部署智能喷雾降尘系统^[4]。该系统通过粉尘浓度传感器实时监测环境粉尘浓度,当浓度超标时,自动启动喷雾装置,精准控制喷雾压力、流量与覆盖范围,有效抑制粉尘扩散。在噪声治理方面,采用主动降噪技术,通过安装在设备关键部位的声波传感器采集噪声信号,经控制系统处理后,产生反向声波抵消噪声,改善井下作业环境。新能源与可再生能源应用探索加速。在煤矿辅助设备供电领域,太阳能光伏发电系统与风力发电系统逐步得到应用。在地面选煤厂、通风机房等区域,安装太阳能光伏板阵列,利用光能转化电能为照明、监控等设备供电。部分矿区尝试在地势开阔区域建设小型风力发电装置,为井下通信基站、应急照明等低功耗设备提供电力。研究人员探索将氢燃料电池应用于井下无轨胶轮车,推动煤矿机械设备向清洁能源驱动转型,减少碳排放。

3.3 集成化与网络化发展

煤矿机械自动化系统集成化进程加快。不同类型设备的自动化系统通过统一通信协议实现深度集成。例如,采掘设备自动化系统、运输系统自动化系统与通风系统自动化系统,基于OPCUA协议建立数据交互通道。在统一的煤矿生产自动化平台上,各系统数据实现互联互通,操作人员可通过单一界面监控全矿设备运行状态。通过平台内置的协同控制算法,实现采煤机、刮板输送机、胶带输送机之间的速度匹配,提升生产系统整体协调性与运行效率。工业互联网与煤矿机械自动化深度融合。借助5G网络与物联网技术,实现煤矿机械设备远程监控、诊断与维护。在设备关键部位安装智能终端,实时采集设备运行数据并上传至云端。专家团队通过远程诊断平台,对设备故障进行分析,指导现场维修人员开展维护工作。构建煤矿机械自动化云平台,利用大数据分析技术对海量设备数据进行挖掘。通过分析设备运行规律与性能指标,为煤矿企业提供设备选型建议、能耗优化方案等增值服务,推动煤矿生产管理向数字化、智能化方向发展。

结束语

电气自动化技术在煤矿机械设备中的应用成效显著,不仅优化了生产流程、提高了生产效率与安全性,还顺应了绿色发展潮流,推动了煤矿行业数字化智能化进程。未来,随着技术的持续创新,煤矿机械电气自动化将朝着更智能、更绿色、更集成化网络化的方向迈进,为煤矿产业高质量发展提供更强劲动力,助力煤炭能源安全稳定供应。

参考文献

- [1]王李强.自动化技术在煤矿采煤中的应用[J].能源与节能,2023,(08):165-167.
- [2]马雷.煤矿机械电气设备自动化调试技术的应用[J].自动化应用,2023,64(04):92-94+98.
- [3]吴璐.煤矿机械自动化的应用及发展趋势分析[J].机械管理开发,2022,37(02):292-295.
- [4]王皓.电气自动化技术在煤矿机械设备中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021,(13):148-149.