

# 智能化技术在矿山电气自动化控制中的应用

王保存, 李 姜, 董敏巍

(山东黄金矿业(莱西)有限公司, 山东 青岛 266600)

**摘要** 针对矿山生产环境的复杂性与电气设备运行的非线性特征, 探讨了智能化技术在提升电气自动化控制水平中的关键作用。通过分析采掘、运输、供电等核心环节的技术需求, 阐述了自适应控制、多传感器融合及深度学习算法在电气系统中的集成路径, 重点探讨了变频驱动、自主导航与能效优化在实际工况下的逻辑实现, 旨在对提高矿山电气系统的运行精度与响应速度有所裨益。

**关键词** 智能化技术; 矿山电气; 自动化控制; 系统集成

**中图分类号**: TD6

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.007

## 0 引言

矿山深部开采工况的日益复杂对电气自动化系统提出了更高要求, 传统电气控制模式在处理重载启动、多机协作及大惯性负载波动时往往存在反馈延迟或调节偏差。智能化技术的引入, 通过构建高维度的数学模型与非线性控制逻辑, 能够实时解析复杂电信号与物理特征, 这种技术迭代不仅优化了电气设备的动力输出特性, 还实现了控制策略从预设模式向自适应模式的转变, 是现代矿山电气工程发展的核心趋势。

## 1 矿山电气自动化智能化控制需求分析

矿山电气系统运行环境普遍存在强电磁干扰、电缆长距离传输导致的电势降以及大功率非线性负载引起的谐波污染。采掘设备在作业过程中, 电机频繁处于过载或堵转边缘, 传统 PID 调节难以兼顾响应速度与系统稳定性, 智能化控制需求主要体现在对电动机运行状态的精准识别与预测性调节上<sup>[1]</sup>。通过引入模糊逻辑或神经网络模型, 系统能够根据电压波动范围(660 V 至 1 140 V 区间)自动修正补偿参数, 抑制瞬态电流冲击, 同时, 针对主排水及通风系统的电气控制, 需实现基于实时工况参数的闭环变频调节以匹配矿井涌水量与风量的动态变化。这种需求驱动了智能化技术与电气硬件的深度融合, 为复杂电网环境下的设备协同运行提供了算法支撑。

## 2 智能化控制技术在采掘电气系统中的渗透

### 2.1 变频器与逻辑控制器协同控制技术

采煤机电气系统通过可编程逻辑控制器与高性能变频器实现深度通信, 利用高速现场总线完成数据交

换。在处理工作面复杂负载时, 控制系统实时监测电机的输出电流与转矩波动, 通过矢量控制算法动态调整脉冲宽度调制频率, 当截割部遇到高硬度岩层导致转矩瞬时增加时, 智能控制逻辑会迅速降低牵引速度以防止电机烧毁。这种协作模式将原本独立的调速与逻辑判断整合为一体, 实现了对采掘过程电气参数的毫秒级响应, 显著提升了动力传动系统的机械特性。

### 2.2 智能传感网络在工作面刮板机中的应用

刮板输送机的电气驱动系统集成了多种传感器组成的感知网络, 包括应变片式转矩传感器、红外温度传感器及霍尔电流传感器<sup>[2]</sup>。智能化处理单元对收集到的多维信号进行特征提取, 判断链条的张紧程度与物料分布情况。在多电机驱动的情况下, 系统采用功率均衡控制策略, 通过调节各台变频器的滑差补偿值, 确保各驱动点功率偏差控制在 5% 以内。这种基于传感反馈的电气控制方案, 有效规避了链条断裂与电机超载运行的风险, 优化了输送设备的运行逻辑。

### 2.3 采煤机自动纠偏与定位智能控制算法

采煤机的行走控制系统通过引入惯性导航与精密编码器数据, 构建了空间位置坐标模型。电气控制单元结合工作面三维扫描数据, 利用轨迹预测算法对行走机构进行动态修正。当检测到机身偏离预设割煤路线超过 15 cm 时, 智能控制器会自动向液压调高系统和行走电机发送补偿信号, 实现自动调斜与纠偏。该技术将复杂的机械定位转化为精准的电气脉冲控制, 减小了人工操作干预带来的误差, 使设备能够按照预定义的几何曲线完成高精度循环作业。

**作者简介**: 王保存(1986-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电气自动化、PLC 自动控制。

## 2.4 供电系统无功补偿智能动态调节

综采工作面配电系统中,非线性负载产生的无功功率会对电网稳定性造成影响,智能化控制单元通过监测母线电压与电流的相位角,控制静止无功补偿装置的触发角,利用自寻优算法,系统能够在负载剧烈波动时,实时计算所需的容性补偿量,将功率因数稳定在0.95以上。这种动态调节机制有效抑制了电网电压闪变,改善了电能质量,减少了因电压跌落导致的电气设备保护误动作。

## 2.5 掘进机自主导航与液压系统智能联动

掘进机电气控制系统集成了激光测距与姿态感知模块,通过与液压执行机构的智能联动实现自主作业。智能化算法对掘进断面的几何形状进行解析,自动规划切割头路径,电气控制单元根据切割阻力的反馈,调节比例溢流阀的电流值从而精确控制液压油路流量与压力。这种机电液一体化的智能控制模式,使掘进机能够根据岩层硬度自动优化截割频率,降低了刀盘的非正常磨损,实现了掘进过程的自动化闭环操作。

控制单元内部嵌入了空间解析几何模型,利用多轴陀螺仪获取的机身角速度与加速度数据,实时修正切割头的空间矢量位移<sup>[3]</sup>。在硬岩工况下,电气系统通过监测截割电机的反馈转矩,利用模糊控制逻辑实时补偿液压泵的斜盘倾角,确保截割压力始终处于预设的动力学包络线内。系统还通过对位移传感器信号的二阶导数运算,预判截割机构的振动趋势,通过调节电磁比例换向阀的开启度,实现对机械冲击的有效抑制,确保了断面开掘的平整度。

## 3 矿山主提升与运输系统智能化路径

### 3.1 提升机多参数耦合智能调速策略

主井提升机电气系统采用全数字交流变频调速方案,其核心在于多参数耦合的控制算法。系统实时获取提升容器的位置、速度及钢丝绳张力数据,结合加减速曲线进行平滑处理,智能化控制逻辑能够自动识别载荷的变化。在提升初期通过增大低频转矩实现重载启动;在制动阶段,系统根据制动压力与减速度的偏差,动态调节比例阀的电流信号,确保停车位置误差控制在 $\pm 0.02$  m以内。这种精准的速度链控制,极大地提升了大型旋转电气设备的控制柔性。

调速系统通过构建提升容器的动力学观测器,对钢丝绳的弹性伸长量与动态张力进行毫秒级估算。控制逻辑引入了滑模变结构控制算法,通过对变频器输出电流的相位补偿,抵消了由于重载启动引起的电磁转矩脉动。在减速运行段,系统利用能量回馈单元将再生电能反馈至交流电网,并根据制动盘的实时热成

像温度反馈,自动切换电气制动与液压制动的配比关系。这种基于多变量解耦的控制架构,提升了特大型电机在全速度范围内的转速跟随精度与转矩响应速度。

### 3.2 带式输送机节能变频智能群控模式

针对矿山长距离皮带运输系统,智能化群控技术通过检测运煤量实现转速自适应调节。在装载点安装视觉识别传感器或超声波流量计,将物料流信息传输至中心控制单元,控制系统根据全线运载负荷,利用遗传算法优化多级皮带的启动时序与运行频率,当负载率低于30%时,系统自动降低运行频率至35 Hz左右,在维持物料平衡的同时显著降低了空载能耗。这种基于物料流预测的电气调节模式,实现了输送系统能效的最优分配。

群控系统建立了长距离输送带的黏弹性动力学模型,通过对沿线各驱动点电流信号的相干性分析,识别输送带的张力波动传播规律<sup>[4]</sup>。智能化逻辑根据前级供料速度的实时扰动,预先调节后级驱动电机的磁通电流,实现皮带张力的动态平衡,在多机驱动系统中控制单元采用主从同步控制技术,利用以太网总线同步各变频器的载波频率,消除了因速度差引起的胶带异常磨损,系统还集成了电动机运行效率在线分析模块,根据负载变化自动搜索最佳磁场减弱点,提升了电力电子变换器的转换效率。

### 3.3 轨道运输机车自动避障与调度技术

井下轨道运输电气系统集成了超宽带定位与毫米波雷达技术,实现了机车的自动驾驶与智能调度。机车载控单元实时处理感知数据,当探测到前方50 m范围内有障碍物时,自动触发紧急制动逻辑,调度中心通过无线网络下达运行指令,控制系统根据进路闭塞原则自动切换转辙机状态。这种智能化控制方案替代了传统的手动驾驶,通过精确计算制动距离与启动加速度,提高了轨道交通系统的通过能力与电气设备的利用效率。

机车电气控制单元引入了多传感器信息融合算法,将超宽带获取的厘米级位置坐标与雷达探测的相对速度进行滤波处理。在坡道启停过程中系统通过监测牵引电机的电流矢量分量,自动计算所需的防溜坡转矩并精确调节制动缸的电磁阀脉宽,调度控制逻辑利用多目标优化算法。根据巷道内多台机车的实时位姿,动态分配轨道区段占用权限,通过对直流牵引电动机励磁电流的数字化调节,系统能够抑制机车轮对的空转与滑行,在复杂巷道环境下实现了牵引力的最优输出。

### 3.4 提升负荷智能预测与制动系统响应

提升机电气系统利用深度学习模型对历史负荷数据进行训练,建立提升载荷预测机制。在每个提升循

环开始前,控制系统预估电机所需的峰值电流,提前调整直流母线电压,制动环节则结合机械制动与电气制动双重逻辑,根据滑差率自动分配电制动力矩,智能化单元对液压站的比例电磁铁进行高频脉冲信号控制,实现了恒减速制动效果。这种预测性的电气响应机制,缓解了机械结构的冲击负荷,延长了电气制动元件的使用周期。

### 3.5 物料流特征智能识别与装载精度控制

在装载站电气控制中,智能化技术通过激光扫描建模获取煤仓内物料的堆积形态。电气控制单元根据给料机转速与物料体积的映射关系,利用预测控制算法精准锁定闸门关闭时机。在装车过程中动态称重传感器实时反馈电信号至 PLC,系统根据偏差自动修正后续给料频率。这种基于特征识别的控制策略,将装载精度误差降低至 1% 以内,实现了物料转运环节电气控制的数字化与精细化,优化了重载运输系统的初始受力状态。

## 4 矿山供电网络与变电站智能化架构

### 4.1 电力监控系统智能数据采集与转换

矿山变电站采用基于 IEC61850 标准的智能化监控架构,实现了底层电气设备与上层控制平台的数据无缝衔接。智能终端设备对变压器、断路器等一次设备的电流、电压信号进行高采样率转换,并进行本地逻辑判别。通过集成以太网交换机,系统实现了 1 Gbps 的实时数据传输带宽,确保了遥测、遥信数据的同步性。智能化采集逻辑能够滤除电网中的随机噪声,提取基波频率特征,为后续的电能质量分析提供了高保真的原始数据序列。

### 4.2 高压配电系统微机保护智能逻辑实现

变电站高压柜集成了具备逻辑编程能力的微机保护单元,通过小波分析等算法实现故障电流的快速识别<sup>[5]</sup>。针对矿井单相接地故障,智能化逻辑能够根据零序电流的幅值与相位关系,精准判定故障线路并执行跳闸指令,在多级配电网中系统利用时间同步协议实现区域协同保护,自动计算保护定值并进行在线下发。这种智能化的保护逻辑不仅提高了切除故障的灵敏度,还通过逻辑闭锁功能避免了越级跳闸引发的大面积停电事故。

### 4.3 变电站无人值守智能巡检控制逻辑

智能化变电站配置了自动巡检机器人与固定式高清热成像监测装置,其运行由中心控制系统统一驱动。巡检逻辑根据预设路径自动执行,利用图像识别算法实时读取仪表指针读数及设备运行状态,当红外传感器检测到电缆接头温度异常升高时,系统自动联动通风散热装置并切换备用回路。这种基于状态监测的自

动化控制模式,将传统的周期性人工检查转变为实时的电气工况评估,提高了变电站运行状态的透明度与响应速度。

### 4.4 电压能效智能分析与变压器调节

供电系统引入了能效管理智能算法,对变压器损耗进行实时监测。电气控制单元收集各级支路的功率损耗数据,建立变电站能效模型,通过分析变压器负载率与运行效率的关系,系统自动计算有功与无功的最优配比,在负荷低谷期,智能控制逻辑驱动有载调压开关进行档位切换,将供电电压维持在最佳能效区间。这种智能化的调节手段,实现了对电力损耗的深度压减,提升了矿山配电网在不同负荷水平下的运行经济性。

### 4.5 多能源互补微网智能切换控制方法

随着矿山新能源接入,电气系统需实现井下负荷、地面供电与储能单元的智能平衡。微网控制系统采用下垂控制或主从控制逻辑,实现分布式电源与主电网的平滑切换,智能化单元对光伏、风电输出功率进行超短期预测,结合矿山用电负荷曲线自动调整储能装置的充放电状态,当外部电网发生瞬时失压时,控制逻辑在 10 ms 内完成孤岛检测并启动应急供电序列。这种多能源互补的电气控制策略,增强了矿山电网对新能源随机性的消纳能力与系统冗余度。

## 5 结束语

智能化技术在矿山电气自动化领域的应用,标志着控制模式从传统的阈值触发向感知、决策、执行一体化的演进。通过在采掘控制、提升运输及供电网络中集成高精度算法与智能硬件,实现了电气参数的实时优化与多系统协同。这种技术路径有效应对了矿山极端的运行工况,显著提升了电气系统的运行效能与响应精度。未来,随着感知技术与控制逻辑的进一步融合,矿山电气自动化将迈向更深层次的自主运行阶段,为资源的高效提取提供坚实的电气技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 陈小兵. 智能化技术在电气自动化控制中的应用分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(S2):326-328.
- [2] 方辉. 试论智能化技术在矿山电气自动化中的应用分析[J]. 世界有色金属, 2025(09):25-27.
- [3] 董彬. 智能化技术在矿山电气自动化控制中的应用[J]. 世界有色金属, 2025(05):28-30.
- [4] 张晓强. 智能化技术在电气自动化控制中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2024,09(22):61-63.
- [5] 杨磊,徐琮凯. 智能化技术在矿山电气自动化控制中的应用[J]. 中国金属通报, 2024(08):83-85.