

电气自动化设备及自动化控制技术分析

果宏扬

天津中捷能电力工程勘察设计有限公司 天津 300071

摘要: 本文围绕电气自动化设备与核心控制技术展开系统性研究,先分类梳理基础控制、智能终端及辅助配套类自动化设备的结构与功能。重点剖析PLC控制、变频调速、智能闭环及网络自动化等核心技术的原理、应用优势与工业适配场景。同时指出当前设备兼容性差、抗干扰能力弱、智能化程度不足等行业问题,并提出设备运维优化、算法升级、多技术融合的改进策略,展望智能化、绿色化、无人化的发展趋势,为工业电气自动化升级提供参考。

关键词: 电气自动化设备; 自动化控制技术; 优化发展策略

引言: 随着工业智能制造的快速推进,电气自动化技术已成为现代工业生产提质、增效、降本的核心支撑,广泛应用于各类工业生产场景。电气自动化设备与控制技术的迭代升级,直接决定工业生产线的自动化、数字化与智能化水平。为深入挖掘自动化技术的应用价值,本文系统性梳理各类电气自动化设备的功能特性,拆解核心控制技术的运行机理,结合工业现场应用痛点剖析现存问题,针对性提出优化方案,并预判行业未来发展方向,助力工业自动化体系高质量发展。

1 电气自动化核心设备概述

1.1 电气自动化基础控制设备

(1) PLC可编程逻辑控制器是工业自动化的核心,其结构主要包括中央处理器(CPU)、存储器、输入/输出(I/O)模块及电源。它采用循环扫描工作方式,依次完成输入采样、程序执行和输出刷新,通过用户程序实现对生产过程的逻辑控制、定时计数与运算处理。(2)变频器通过改变电机定子供电频率来平滑调节转速,实现精准调速与显著节能,同时具备软启动功能。传感器则负责将温度、压力、位移等非电物理量转换为标准电信号。二者协同,为自动化系统提供执行与感知能力,是闭环控制不可或缺的环节。(3)继电器与接触器是实现电路逻辑与功率切换的基础元件。继电器主要用于小电流控制回路,起信号放大、逻辑转换作用;接触器则适用于大电流主回路,用于频繁接通和分断电路。二者组合可实现远距离自动控制与安全隔离^[1]。

1.2 电气自动化智能终端设备

(1)工业触摸屏作为人机交互终端,采用图形化界面,支持触控操作,可实时显示设备状态、修改运行参数及报警信息。其应用优势在于操作直观便捷,极大降低了人员操作门槛,有效提升了监控效率与设备维护的便捷性。(2)伺服驱动器与步进电机是精密运动控制

的关键执行设备。伺服驱动器采用闭环控制,具备高精度、高响应特性,适用于定位和速度要求严苛的场合;步进电机以开环方式实现精确的角位移控制,结构简单可靠,二者共同满足不同层级的自动化执行需求。(3)数据采集终端负责现场各类模拟量与数字量信号的采集、预处理与上传。它通过内置的通信接口,将数据封装为标准协议帧传输至上位机,其高效的信息传输与处理机制为生产管理、远程监控及大数据分析提供了可靠的数据支撑。

1.3 自动化辅助配套设备

(1)稳压电源为自动化设备提供稳定、纯净的工作电压,有效滤除电网谐波与浪涌;配电柜集成了断路器、熔断器等保护器件,负责电能的合理分配与通断控制,共同保障整个供电系统的连续性与安全性。(2)工业通讯模块支持PROFIBUS、Modbus、Ethernet/IP等主流协议,实现控制器、执行器与上位机之间的数据交互。它确保了现场设备信号的高速、可靠传输,是实现设备级、系统级信息联动与协同工作的桥梁。(3)故障报警与保护装置涵盖过载、短路、漏电、过热等监测功能。当系统出现异常时,能迅速触发声光报警并自动执行保护动作(如切断电路),有效防止设备损坏和事故扩大,是保障人身安全与设备安全的重要防线。

2 电气自动化核心控制技术分析

2.1 PLC自动化控制技术

(1)PLC控制技术的核心原理是基于存储程序与循环扫描的工作机制。PLC在系统程序管理下,通过CPU反复执行"输入采样—用户程序执行—输出刷新"的循环过程,实现对被控对象的实时逻辑控制。其运行机制决定了控制输出的确定性与实时性,同时具备故障自诊断功能,确保系统长期稳定运行。(2)PLC编程控制的核心流程包括:明确控制需求、分配I/O地址、设计控制逻

辑流程图、编写梯形图或结构化文本程序、进行离线仿真调试、在线下载与现场联调。编程技术要点包括合理使用定时器、计数器与特殊功能指令,优化程序扫描周期,设置必要的互锁与安全保护逻辑,以及规范注释与程序结构化管理^[2]。(3) PLC技术在电气自动化中适配场景广泛。在离散制造领域,适用于生产线顺序控制、机械手动控制与工装定位;在过程控制领域,可实现温度、压力、流量的闭环调节;在公用工程方面,常用于给排水系统、通风空调与照明智能控制,具有良好的抗干扰性与环境适应性。

2.2 变频调速控制技术

(1) 变频调速技术通过整流、滤波、逆变等环节将工频交流电转换为频率和电压可调的交流电,供给电机定子绕组,实现电机转速的平滑调节。其节能机制在于,依据流体力学相似定律,当流量需求降低时,通过降低转速可使轴功率以三次方关系下降,从而大幅减少能耗,替代传统挡板、阀门节流方式。(2) 变频控制技术的调速精度与稳定性优势体现在采用矢量控制或直接转矩控制策略,可实现速度误差在 $\pm 0.1\%$ 以内的精准调节。同时,变频器具备转矩补偿、滑差补偿和低频特性增强功能,保证电机在低速段仍输出足够转矩,有效抑制负载扰动,显著提升加工质量和设备运行平稳性。

(3) 工业生产中变频调速技术的具体应用方式涵盖:风机与泵浦类负载的变风量变水量控制、传送带的多段速与无级调速运行、起重设备中的平稳起升与制动控制,以及机床主轴的高速精密调速。配合PLC与上位监控系统,可实现按工艺曲线自动调整转速的智能化运行模式。

2.3 智能闭环控制技术

(1) 闭环控制技术的核心逻辑基于负反馈原理,通过检测输出量的实际值并与给定值比较,将偏差信号经控制器处理后输入执行机构,使被控量趋向并稳定在目标值。其反馈调节机制可自动补偿系统内部参数变化和外部扰动,实现高精度的自动调节功能。(2) PID控制算法在电气自动化中的应用要点包括:比例环节决定响应速度与调节幅度,积分环节消除稳态静差,微分环节预测变化趋势以抑制超调。参数整定需根据对象特性采用经验试凑法、Ziegler-Nichols临界比例度法或工程整定公式,合理设置采样周期与输出限幅,兼顾动态响应与系统稳定性^[3]。(3) 闭环控制技术对设备运行精度的优化作用体现在:电机调速系统可实现零速锁定与高刚度机械特性,温控系统可将偏差控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内,位置伺服系统能达到微米级定位精度。通过实时修正控制输出,显著降低因电源波动、负载变化及环境因素引起的

误差,提升产品一致性与设备可靠性。

2.4 网络自动化控制技术

(1) 工业以太网与现场总线技术的通讯控制原理,采用开放式通信协议栈,通过物理层传输介质(双绞线、光纤)完成数据帧的封装、寻址与传输。现场总线如PROFIBUS、Modbus支持主从式或令牌式访问机制,工业以太网如PROFINET、EtherNet/IP则基于CSMA/CD或全双工交换技术,确保数据通信的实时性与确定性。

(2) 分布式自动化控制技术的架构采用"上位监控站+现场控制器+远程I/O站"的分层结构,控制器间通过高速总线进行数据交互。其优势在于:系统扩展灵活、布线成本降低、各节点可独立运算与决策,单点故障不影响全局运行,显著提高了系统的可靠性与可维护性,适用于大型产线的分散控制集中管理。(3) 远程自动化监控与控制技术的实现方式依托物联网通信手段,通过4G/5G、Wi-Fi或光纤网络将现场PLC、智能仪表的数据经网关上传至云平台或中央监控中心。用户可通过上位机组态画面或移动终端APP,实现设备状态远程监视、报警信息推送、历史数据趋势分析以及远程参数修改与启停操作,构筑数字化、信息化的透明工厂管理模式^[4]。

3 电气自动化控制技术应用问题与优化发展策略

3.1 电气自动化设备与控制技术现存应用问题

(1) 设备老化、兼容性不足导致的运行故障问题。部分企业因设备更新周期较长,长期运行的接触器触点氧化、电容老化、线路绝缘下降等问题频发,增加了系统停机风险。同时,不同品牌、不同代际的PLC、变频器、通讯模块之间协议不统一,接口标准各异,导致新旧设备混用时数据交互困难,故障定位耗时长,严重制约了系统的整体可靠性与维护效率。(2) 控制技术精度不足、抗干扰能力较弱的问题。在电磁环境复杂的工业现场,变频器谐波、大功率设备启停等产生的电磁干扰易耦合进入信号线路,造成传感器检测偏差、模拟量波动及通讯误码率上升,影响调速精度和定位准确性。此外,部分控制系统的采样周期与执行机构响应速度不匹配,动态调节过程中易出现超调或振荡,难以满足精密加工对控制精度的苛刻要求。(3) 智能化程度偏低、技术融合应用不足的短板。当前许多自动化系统仍以传统PID控制和逻辑连锁为主,人工智能算法、机器学习预测模型等先进手段落地应用有限,缺乏对设备运行数据的深度挖掘与利用。同时,工业物联网、数字孪生、边缘计算等新兴技术与现有控制系统的融合深度不够,系统间存在信息孤岛,难以充分发挥数据驱动优化的潜力,限制了整体智能化水平的提升。

3.2 设备运行与技术应用优化策略

(1) 完善设备定期检修、更新与维护管理体系。建立设备全生命周期管理档案,制定分级检修计划,推行状态监测与预防性维护相结合的策略,利用振动分析、红外热像、绝缘检测等手段提前识别隐性故障。同时,制定设备更新换代规划,优先改造故障率高、备件停产的旧型号设备,采用模块化、标准化的新型产品,提高系统兼容性与可扩展性,降低非计划停机损失。(2) 优化控制算法,提升技术抗干扰性与控制精度。在软件层面引入自适应滤波、陷波器及智能PID参数自整定算法,有效抑制特定频率干扰和负载突变影响;在硬件层面规范屏蔽接地、增加磁环滤波和信号隔离器,合理布局强弱电线路。同时,采用更高分辨率的位置反馈元件和高速数字通信接口,缩短控制周期,提升系统的动态响应能力和稳态精度^[5]。(3) 推进多技术融合,升级自动化控制系统架构。将PLC与工业机器人、机器视觉系统、智能仪表进行深度集成,构建基于OPCUA或MQTT协议的统一数据平台。引入边缘计算节点,实现数据就近处理与实时决策,减轻中心服务器负担。通过对历史运行数据的建模分析,建立故障预测与健康管理(PHM)体系,实现从被动维修向主动预警、从单机控制向协同优化的全面转变。

3.3 电气自动化技术未来发展趋势

(1) 智能化、数字化升级发展趋势。未来电气自动化将深度融合人工智能与大数据分析技术,AI芯片嵌入智能控制器实现本地化推理决策,数字孪生技术构建物理设备与虚拟模型的双向映射,支持控制策略的离线仿真与优化验证。同时,5G通信与TSN时间敏感网络推动控制系统向全互联、低延迟方向演进,形成自感知、自学习、自决策的智能控制闭环。(2) 节能化、绿色化自动化技术发展方向。在“双碳”目标驱动下,自动化技术将更加注重能效管理。变频调速与能量回馈装置进一步普及,超级电容与储能系统实现制动能量的回收再利用。

控制系统集成能效优化模块,根据负载变化自动调节运行曲线,使设备始终工作在高效区间,同时推广符合RoHS指令的环保材料和低损耗功率器件,助力制造业绿色转型。(3) 无人化、集成化工业自动化发展趋势。随着机器视觉、激光雷达与力觉传感技术的成熟,自动化系统正从单体自动向整线无人化迈进。集成化制造单元将加工、检测、装配、物流等功能高度聚合,配合AGV自主搬运和智能仓储调度,实现黑灯工厂的常态化运行。云端运维平台支持专家远程诊断与系统升级,推动生产模式向少人化、柔性化、定制化的先进制造方向持续变革。

结束语

综上所述,各类电气自动化设备各司其职、协同配合,构建起工业自动化运行的硬件基础,各类核心控制技术则实现了生产过程的精准管控与智能调控。当前电气自动化行业仍存在设备老化、技术适配性不足、智能化融合度低等诸多问题。唯有通过设备运维革新、控制算法优化、多技术深度融合,才能破解应用痛点。未来需持续深耕智能、节能、集成化技术研发,推动电气自动化技术适配智能制造发展需求,助力工业产业转型升级。

参考文献

- [1]王硕,李阳,张宏宇.工业电气自动化控制系统关键技术及设备性能优化[J].电气应用,2023,42(08):102-108.
- [2]刘俊峰,陈鑫.基于PLC的电气自动化控制系统设计与性能分析[J].控制工程,2024,31(03):589-595.
- [3]赵志刚,王佳宁.智能电气自动化设备控制技术的迭代与应用研究[J].电机与控制学报,2022,26(11):135-142.
- [4]孙博文,李军.工业电气自动化设备运行故障与控制策略优化[J].工矿自动化,2023,49(07):88-93.
- [5]崔学森.电气自动化系统及设备控制技术在工业中的应用研究[J].产业创新研究,2025,9(18):74-76.