

# 自动化控制工厂中电气自动化控制技术研究

刘春海

杭州和利时自动化系统工程有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 在自动化控制技术蓬勃发展的当下,工厂的电气自动化控制水平成为提升竞争力的关键。本文深入研究自动化控制工厂中的电气自动化控制技术,剖析了其包含的传感器与执行机构、PLC控制原理、工业通信协议等技术基础。详细阐述了运动、过程、能源管理及安全等关键控制技术在实际工厂中的应用。旨在探索优化电气自动化控制的方法,助力工厂应对技术瓶颈,顺应前沿趋势,实现高效、智能、安全生产。

**关键词:** 自动化控制工厂;电气自动化控制技术;优化方法

引言:在工业浪潮的推动下,自动化控制工厂成为现代制造业发展的重要方向。电气自动化控制技术作为其中的核心支撑,直接关乎工厂的生产效率、产品质量与运营成本。当前,制造业面临着个性化定制需求增加、生产过程复杂度提升等诸多挑战,传统控制方式已难以满足发展需求。深入研究电气自动化控制技术,不仅能优化现有生产流程、提升工厂自动化水平,还可为工业智能化转型提供关键助力,对推动我国制造业高质量发展具有重大现实意义。

## 1 电气自动化控制技术基础

### 1.1 电气自动化系统构成

(1) 传感器与执行机构是系统的感知与执行核心。传感器负责将温度、压力等物理量转化为电信号,为控制决策提供数据支撑;执行机构接收控制指令,通过电机、气缸等设备完成具体操作,实现能量转换与物理动作执行。二者协同保障系统与物理世界的信息交互。

(2) 可编程逻辑控制器(PLC)工作原理以循环扫描为核心。通过输入模块采集现场信号,在CPU中按照预设程序进行逻辑运算与数据处理,再经输出模块输出控制信号,驱动执行机构动作。其具备高可靠性与灵活编程特性,适配工业复杂场景。(3) 工业通信协议是设备间的数据传输桥梁。Modbus协议以简单易用著称,广泛应用于中小型设备通信;Profibus协议传输速率高、抗干扰能力强,适用于大型工业现场的多设备协同,保障数据实时交互。

### 1.2 核心控制技术分类

(1) 开环控制与闭环控制系统各有侧重。开环控制

无需反馈信号,结构简单但精度低;闭环控制通过反馈环节对比实际值与设定值,动态调整输出,显著提升控制精度,适用于对稳定性要求高的场景。(2) 分布式控制系统(DCS)架构采用分层结构,将控制功能分散到多个控制器,通过网络实现集中监控与分散控制,兼具灵活性与可靠性,广泛应用于化工、电力等流程工业。

(3) 现场总线控制技术(FCS)实现设备的分布式控制与双向通信,简化系统布线,降低成本,同时提升设备间协同效率,是工业控制的重要发展方向<sup>[1]</sup>。

### 1.3 智能控制技术发展

(1) 人工智能在电气控制中的应用不断深化。专家系统整合领域知识,为复杂控制决策提供支持;模糊控制可处理不确定性问题,在非线性系统控制中表现优异,大幅提升控制的智能化水平。(2) 物联网(IoT)与边缘计算融合趋势日益明显。IoT实现设备全面互联与数据采集,边缘计算则在数据源头进行实时处理,降低网络传输压力,为电气自动化系统提供低延迟、高可靠的智能决策支撑,推动工业智能化升级。

## 2 自动化控制工厂中电气自动化关键控制技术

### 2.1 运动控制技术

(1) 伺服驱动系统优化聚焦三大核心控制模式的精准适配。位置控制模式通过脉冲指令实现高精度定位,广泛应用于机械臂抓取、机床加工等场景,通过电子齿轮比调节提升定位分辨率;速度控制模式依托编码器反馈实现转速闭环调节,搭配PID参数优化,可降低负载波动带来的转速偏差,适用于传送带调速、风机稳速等需求;转矩控制模式通过电流闭环控制输出转矩,精准匹配负载阻力,在材料卷绕、压力加工等工艺中保障力值稳定性。实际应用中需根据工艺需求动态切换模式,结合滤波器与前馈控制抑制振动,提升系统响应速度。

(2) 多轴同步控制策略是复杂运动场景的核心解决方

**作者简介:** 姓名:刘春海;性别:男;出生年月:1973年2月10号;民族:汉;籍贯:河南开封市;职称:中级工程师;学历:本科;研究方向主要从事:机械设计制造及其自动化

案。电子齿轮技术通过设定主从轴转速比例关系,实现精准的速度同步,如印刷机中印版滚筒与送纸机构的协同;电子凸轮则模拟机械凸轮的运动曲线,通过预设轨迹实现多轴的非线性联动,适用于冲压机滑块与送料机构的精准配合。两种策略均通过PLC或专用运动控制器实现数字化控制,相较于机械传动,具备调整灵活、精度高、维护成本低的优势,有效提升生产线的柔性化水平。

## 2.2 过程控制技术

(1) PID控制参数整定方法直接影响控制精度。Ziegler-Nichols法通过试验获取系统临界参数,快速确定初始PID参数,适用于简单线性系统,操作便捷但动态性能欠佳;遗传算法基于生物进化原理,通过选择、交叉、变异操作寻优,能在复杂非线性系统中找到全局最优参数,适配化工反应釜、温度箱等多变量耦合场景,不过计算量较大,需搭配高性能控制器。实际应用中常结合两种方法,先通过Ziegler-Nichols法确定初始值,再用遗传算法迭代优化。(2) 先进控制算法突破传统PID的局限性。模型预测控制基于系统数学模型预测未来输出,通过滚动优化生成控制指令,适用于多约束、大滞后的工业过程,如精馏塔液位控制;自适应控制能实时识别系统参数变化,动态调整控制策略,有效应对负载波动、设备老化等问题,在注塑机压力控制、电机调速等场景中保障控制稳定性,显著提升复杂工况下的控制效果<sup>[2]</sup>。

## 2.3 能源管理控制技术

(1) 电力需求侧管理(DSM)策略聚焦工厂用电的精细化管控。通过安装智能电表采集实时用电数据,分析峰谷负荷特征,制定错峰生产计划,将高能耗设备调度至谷电时段运行;同时结合储能设备削峰填谷,降低高峰用电成本。此外,通过合同能源管理引入专业服务商,优化能源使用结构,助力工厂实现节能目标与成本控制的双重效益。(2) 变频调速技术节能分析凸显其在风机、水泵等通用机械中的核心价值。该技术通过改变电机供电频率调节转速,使设备输出功率与负载需求精准匹配,避免传统节流调节造成的能源浪费。数据显示,当电机转速降低30%时,能耗可降低约65%。在中央空调系统、锅炉引风机等场景中,搭配PID闭环控制实现恒温、恒压调节,既提升了工艺稳定性,又能降低15%-40%的电能消耗,是工厂节能改造的关键技术之一。

## 2.4 安全控制技术

(1) 功能安全标准(IEC61508/61511)为工厂安全控制提供规范依据。IEC61508作为基础标准,定义了安全完整性等级(SIL1-SIL4),覆盖电气、电子等安全相

关系统的设计要求;IEC61511针对流程工业,细化了过程安全的实施规范。工厂需依据风险评估结果确定目标SIL等级,通过硬件冗余、软件容错等设计,确保系统在故障时能及时响应,降低事故风险。(2) 安全仪表系统(SIS)设计是保障工艺安全的核心防线。系统由传感器、逻辑控制器和执行机构组成,需遵循独立性原则,与常规控制系统物理隔离。设计过程中需进行危害与风险分析,明确安全功能要求,如紧急停车、泄压联锁等;同时通过定期测试与维护验证系统可用性,确保在异常工况下能快速触发保护动作,防止事故扩大,保障人员与设备安全<sup>[3]</sup>。

## 3 自动化控制工厂中电气自动化控制技术优化方法

### 3.1 控制算法优化

(1) 基于粒子群算法的PID参数优化为复杂系统提供高效寻优方案。该算法模拟鸟群觅食行为,将PID参数(比例、积分、微分系数)作为“粒子”,通过迭代更新粒子位置与速度,在参数空间中寻找最优组合。相较于传统整定方法,其无需建立精确数学模型,能快速适配非线性、大滞后系统,如化工反应釜温度控制。实际应用中,通过设定控制误差最小化为目标函数,结合约束条件(如参数取值范围),可使系统超调量降低15%-30%,调节时间缩短20%以上,显著提升控制稳定性。(2) 神经网络预测控制模型构建突破传统模型依赖局限。利用BP神经网络或RBF神经网络,通过大量历史生产数据训练模型,精准拟合系统输入输出关系,替代难以建立的机理模型。在注塑机压力控制、光伏逆变器功率调节等场景中,模型可提前预测系统输出偏差,结合滚动优化策略动态调整控制指令,有效补偿时滞与干扰影响。相较于常规预测控制,其适配性更强,在多变量耦合系统中控制精度提升10%-20%,且具备自学习能力,可随工况变化更新模型参数<sup>[4]</sup>。

### 3.2 系统集成优化

(1) OPCUA协议实现跨平台数据交互打破设备互联壁垒。作为工业通信统一标准,OPCUA支持不同厂商的PLC、传感器、SCADA系统等设备无缝对接,通过标准化数据模型与安全加密机制,确保数据在Windows、Linux等不同操作系统间高效传输。在汽车焊装车间,可实现机器人控制器、视觉检测系统、MES系统的数据实时互通,数据传输延迟控制在100ms以内,避免“信息孤岛”问题,提升生产协同效率。(2) 数字孪生技术在虚拟调试中的应用降低物理试错成本。通过构建与实际生产线1:1的数字模型,导入设备参数、控制程序与工艺数据,在虚拟环境中模拟生产过程,提前发现控制逻辑

冲突、设备干涉等问题。在锂电池极片裁切生产线调试中,可替代传统现场调试,将调试周期缩短30-50%,减少设备空转能耗与零件损耗,同时支持远程优化控制参数,实现生产线全生命周期的数字化管理。

### 3.3 能效优化策略

(1) 电机系统能效评估模型为节能改造提供数据支撑。通过采集电机转速、电流、功率因数等实时数据,结合负载特性与运行时间,构建能效评估指标体系(如单位产品耗电量、能效等级),识别低效运行工况(如轻载运行、电压不平衡)。在风机电机系统中,可精确定位能效损失环节,为更换高效电机、加装变频器提供决策依据,改造后通常可实现10%-15%的能耗下降。

(2) 峰谷平电价下的生产调度优化平衡能耗成本与生产需求。基于电网峰(8:00-22:00)、平(7:00-8:00,22:00-23:00)、谷(23:00-次日7:00)时段的电价差异,结合生产订单优先级,通过遗传算法或线性规划模型制定调度方案,将高能耗工序(如金属熔炼、注塑成型)安排在谷电时段,基础工序(如组装、检测)安排在峰电时段。在机械加工工厂,实施该策略后每月可降低电费支出8%-12%,同时通过储能设备协同,避免谷电时段负荷过载,保障电网稳定运行。

## 4 自动化控制工厂中电气自动化控制技术的挑战与未来发展趋势

### 4.1 当前技术瓶颈

(1) 异构系统兼容性问题制约工厂数字化升级。工厂中不同年代、不同厂商的设备(如老式PLC与新型智能传感器)采用差异化通信协议与数据格式,导致系统间数据交互困难。例如,传统DCS与新兴IoT平台难以直接对接,需额外开发中间件实现协议转换,不仅增加成本,还可能引入数据延迟与丢失风险,影响控制指令的实时性与准确性。(2) 网络安全防护短板威胁工业系统稳定。随着工厂联网设备增多,工业网络与互联网边界模糊,病毒、勒索软件易通过远程访问、USB接口等途径入侵。部分老旧控制系统缺乏加密与身份认证机制,一旦遭受攻击,可能导致生产线停机、设备损坏,甚至引发安全事故,如某汽车工厂曾因工控系统被攻击导致停产数小时。

### 4.2 前沿技术方向

(1) 5G+工业互联网的实时控制突破通信瓶颈。5G的低时延(毫秒级)、高可靠特性,可满足运动控制、远程操作等实时性需求。例如,在智能机床集群中,通过5G网络实现多设备协同控制,数据传输延迟低于20ms,较传统工业以太网提升50%以上,助力柔性生产落地。(2) 基于数字孪生的预测性维护降低设备故障率。依托数字孪生模型实时映射设备运行状态,结合传感器采集的振动、温度等数据,通过AI算法预测部件寿命。如风机系统中,可提前1-2个月预警轴承磨损,将非计划停机率降低30%-40%,减少维护成本。(3) 人工智能驱动的自适应控制系统提升复杂工况应对能力。系统通过深度学习实时分析生产数据,动态调整控制策略。在化工反应过程中,可自动适配原料成分波动,维持反应参数稳定,较传统控制方案将产品合格率提升5%-8%,实现智能化自主运行。

### 结束语

综上所述,自动化控制工厂中电气自动化控制技术的研究意义深远。本文围绕技术基础、关键控制技术、优化方法展开了系统探讨,为工厂提升自动化水平提供了理论依据与实践参考。然而,当前技术仍面临异构系统兼容、网络安全防护等瓶颈。展望未来,5G+工业互联网、数字孪生、人工智能等前沿技术将为其注入新动力。我们应持续加强技术研发与创新,推动电气自动化控制技术迈向新高度,助力自动化控制工厂实现更高效、智能、安全的生产,在全球制造业竞争中占据优势地位。

### 参考文献

- [1]王晋.人工智能技术在电气自动化控制中的应用[J].工程技术研究,2020,5(23):250-251.
- [2]陈竞.电气自动化技术在机械工程中的应用[J].机械设计,2021,38(11):161-162.
- [3]姚宪硕.自动化控制中电气自动化制约技术[J].市场周刊·理论版,2024,(18):198-199.
- [4]金丽娜.电气自动化控制中人工智能技术的实践应用研究[J].科技资讯,2023,21(13):52-54.