

基于 PLC 的智能电气控制系统设计与优化研究

覃相植

(广西柳钢中金不锈钢有限公司, 广西 玉林 537624)

摘要 在工业自动化快速发展, 电气控制系统精准性、稳定性与运行效率亟待提高的背景下, 本文对 PLC 智能电气控制系统展开研究, 细致梳理系统核心构成及理论基础, 接着进行整体设计, 涵盖硬件选型、电路设计、程序编写和人机界面开发等, 并从控制算法、硬件参数、程序逻辑、抗干扰能力四个维度制定优化策略, 验证策略效果, 搭建实验平台并测试。优化后, 系统控制精度提高、响应时间缩短、稳定性增强, 能耗降低。该成果旨在为工业领域电气控制智能化升级提供从设计到优化的完整路径方案参考。

关键词 PLC; 智能电气控制系统; 系统设计; 性能优化; 效果验证

中图分类号: TP27; TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.008

0 引言

工业自动化技术持续迭代, 电气控制系统作为工业生产核心支撑, 运行精度、稳定性与效率会直接影响生产质量和效益。传统电气控制系统有控制逻辑固化、响应滞后、抗干扰能力弱等问题, 难以适配复杂工业场景动态需求。PLC 具备高可靠性、模块化、可编程等优势, 成为智能电气控制核心载体, 基于 PLC 的智能电气控制系统研发与优化成为行业发展方向。开展相关研究可突破传统系统技术瓶颈, 提升电气控制智能化程度, 还能通过优化控制算法等改变能耗指标、降低能耗、减少故障发生概率, 保障工业生产高效、安全运行, 推动工业自动化升级、促进制造业高质量发展。

1 PLC 智能电气控制系统核心构成与理论基础

1.1 PLC 的工作原理与核心技术特性

PLC 工作时遵循循环扫描机制, 依次完成输入采样、程序执行以及输出刷新的闭环流程, 持续循环实现对电气系统的实时控制。PLC 核心技术特性主要体现在高可靠性, 以高可靠性适应复杂工业环境, 实现稳定运行, 采用模块化设计, 系统可根据控制需求灵活增减功能模块, 减小扩展难度。可编程性使 PLC 能用专用编程语言适配不同控制场景, 无需改动硬件即可调整控制逻辑, 增强系统通用性和适配性, 满足各类电气控制实际应用需求。

1.2 智能电气控制系统的硬件架构组成

智能电气控制系统硬件架构中, 作为系统决策中枢的 PLC 控制器进行控制指令的运算处理与逻辑判断,

检测元件采集电气设备运行状态信号, 把物理量转换为可识别的电信号后传至 PLC, 执行机构接收 PLC 输出的控制指令, 执行启停、调速、切换等具体操作。电源模块提供稳定电力供各组件运行, 布线与接口模块保障各硬件间的物理连接。各模块分工明确、协同工作, 形成完整的硬件运行体系。

1.3 PLC 与外围设备的通信协议适配原理

PLC 与外围设备通信时, 依赖标准化协议搭建数据传输桥梁。Modbus 协议以简单报文格式实现数据读写交互, 可适配传感器、变频器等常用外围设备, 因其通用性强, 在中小型控制系统中应用广泛。相较之下, Profibus 协议以高速传输和多主站通信能力, 满足复杂系统多设备通信需求。适配逻辑核心是统一数据格式和传输规则, 明确通信双方角色与交互流程, 通过地址映射, 实现数据精准定位与传输, 确保 PLC 与外围设备数据交互顺畅准确, 保障系统整体运行。

2 基于 PLC 的智能电气控制系统整体设计

2.1 系统设计目标与性能指标确定

系统设计目标主要集中于三个核心方向, 即控制精度、响应时效和运行兼容性, 确保系统精准匹配实际控制场景操作需求, 实现对电气设备精准调控。以智能算法建模为基础, 通过构建包含输入层、隐藏层、输出层的多层级控制架构, 实现对电气系统的多维度协同管控。多层级体现为控制逻辑的分层设计, 各层级各司其职又相互联动, 输入层负责采集设备运行数据与控制指令, 隐藏层完成数据处理与逻辑运算, 输

作者简介: 覃相植 (1993-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电气专业及其自动化。

出层实现控制指令的精准执行；多目标聚焦系统高效性、可靠性、节能性等多重需求，兼顾设备稳定运行、能耗优化、故障预判等核心目标；多结构则指适配不同电气设备类型、运行工况的差异化控制模式，确保控制方案的灵活性与适配性^[1]。在响应时效上，要满足实时控制要求，缩短指令传输与执行过程中的延时，保障流程衔接顺畅，运行兼容性需适配不同类型外围设备和各类控制场景，降低系统拓展与应用难度，控制精度同样关键。性能指标围绕上述目标量化界定，明确控制偏差、响应时长、设备适配范围等维度标准，为系统设计及后续测试提供依据，让系统设计和测试过程有章可循。

2.2 硬件系统选型与电路拓扑结构设计

硬件选型严格依据设计目标和性能指标进行，挑选 PLC 结合控制规模和复杂程度，兼顾运算能力和扩展接口，满足多设备控制需求。传感器选型适配信号采集类型，确保精准捕捉设备运行状态物理量并转化为稳定可识别电信号，接触器选择根据负载类型和功率，保障开关动作可靠性和耐用性。电路拓扑结构采用模块化设计，将输入电路、输出电路和电源电路分离布局，明确各模块连接关系和信号流向。设计时加强安全防护，设置浪涌吸收、过载保护等功能，将强电与弱电线路分离布置以减少干扰，建立安全稳定、易于维护的硬件运行架构。

2.3 PLC 控制程序的逻辑设计与编写

程序设计以梯形图为核心载体，梯形图直观清晰、逻辑明确，可适配工业控制实际需求，运用模块化编程理念处理整体控制逻辑，拆分为设备启停、流程联动、故障处理等独立子程序，子程序模块功能清晰，便于调试与维护。程序编写注重 I/O 信号集中编址与统一分配，对定时器、计数器和内部继电器规范编号以规避冲突^[2]。增强流程联动逻辑，利用自锁、互锁电路保障设备操作安全与顺序，实现多设备运行，精简冗余逻辑，调整指令执行顺序提升程序运行效率，确保系统精确响应控制需求，实现自动化流程稳定运转。

2.4 人机交互界面与监控模块设计

人机交互界面运用可视化设计，布局简洁直观，呈现设备运行状态、参数数据及故障信息，便于操作人员迅速掌握系统状况，界面设有参数调整、指令下发等操作按钮，操作逻辑清晰，降低使用难度。监控模块具备实时数据采集、运行状态监测及异常告警功能，实时采集设备电压、电流、运行位置等数据并动态更新至界面；以状态指示灯、数据曲线等形式直观

展现设备运行状态，跟踪控制指令执行情况。系统发生故障或参数超限时，触发声光告警，界面显示故障位置和原因，系统支持历史数据查询和故障追溯，为系统维护提供数据支撑。

3 PLC 智能电气控制系统性能优化策略

3.1 PLC 控制算法的优化设计与改进

控制算法优化着眼于 PID 参数整定和模糊控制算法改良，目标是提升控制精确性和动态响应能力，PID 参数设定采用自适应调节方式，根据系统运行状态实时动态修正比例、积分、微分参数，避免固定参数造成控制滞后或超调。模糊控制算法模拟人类决策逻辑处理复杂工况下的非线性、不确定性问题。通过神经网络算法模拟人类神经系统的信息处理模式，将电气设备的运行数据转化为单个神经元节点，构建辅助测算模型并计算连接权值，形成动态化的数据处理结构。基于该模型将故障识别诊断、异常位置标定、运行负荷监测等辅助应用内容，转化为可执行的应变指令，建立循环性指令群组，实现对电气系统的持续性监测与多层级调控。同时，结合数据采集与预处理技术，通过清洗、筛选、去噪等环节确保数据可靠性，为多目标、多结构控制的精准落地提供数据支撑^[3]。将其与 PID 控制结合形成模糊 PID 复合控制模式，保留 PID 控制精确性，增强系统对复杂环境适应力，结合系统建模数据优化算法结构，简化冗余运算步骤，确保算法在 PLC 中高效运转，实现对电气设备快速、精准调控，适应不同负载与工况动态变化要求。

3.2 硬件系统的能耗与稳定性优化方案

硬件优化以“降能耗、提稳定性”为核心目标，围绕参数动态调整和电路冗余设计两大方面，辅以元器件选型和散热结构升级，构建高效可靠的硬件运行体系。参数调整要精准匹配系统负载特性，基于实时数据动态调节核心参数。具体而言，电源模块按需优化输入输出电压、电流阈值，避免轻载冗余功耗和重载性能不足，执行机构调控运行频率、启停时序，与负载需求精准契合，从源头减少无效能耗，建立负载—参数匹配模型，实现不同工况自适应调节，确保硬件始终运行在高效区间。电路冗余设计保障稳定性，PLC 控制器、电源模块等组件采用“主备双单元”配置、独立备份电路与快速切换机制，单一组件故障时，备份单元无缝接替，避免系统中断，适应工业连续作业需求，冗余电路隔离设计，杜绝主备单元相互干扰，保障整体电路稳定。元器件优先选用低功耗、高可靠性的工业级产品，如宽温域低静态功耗芯片、高耐磨

抗氧化接口部件,降低运行损耗,散热设计采用“分区布局+结构优化”策略,按发热功率分区摆放组件,使高发热组件远离敏感部件,增加散热鳍片、优化风道、搭配低功耗静音风扇,控制设备工作温度,减缓老化速率,延长硬件寿命,保障系统长期稳定运行。

3.3 程序冗余优化与响应速度提升方法

程序优化工作主要围绕冗余精简和指令逻辑优化两方面展开,目的是缩短控制指令响应时长。从冗余精简角度,采用结构化编程思路梳理程序逻辑流程,删除重复判断、无效循环等冗余代码,合并功能相近的子程序,减轻 PLC 运算负担。在指令逻辑优化方面,优先用高效功能指令替换复杂逻辑组合,优化指令执行逻辑,调整指令执行顺序,将高频调用的指令模块置于程序前端,提高指令检索与执行效率,规范变量与数据存储方式,集中分配存储地址,降低数据读取与写入延时。避免不必要的 I/O 信号频繁交互,使用内部寄存器暂存中间数据,减少外部信号传输对响应速度的影响,确保系统快速响应控制需求^[4]。

3.4 系统抗干扰能力的优化设计

抗干扰优化综合采取电磁屏蔽、接地处理、信号滤波等措施提升系统对复杂环境的适应能力。电磁屏蔽把 PLC 主机和控制模块置于金属屏蔽柜,信号传输采用屏蔽电缆,降低空间电磁辐射干扰。接地处理采用统一接地方式,把电源接地、信号接地和保护接地整合为统一接地系统,规避不同接地方式产生的电位差干扰。信号滤波在输入输出电路增设滤波元件,滤除电源与信号线路中的高频干扰信号,稳固信号传输质量,优化布线规则,使强电与弱电线路保持安全间距,避免平行铺设,减少线路间的耦合干扰,保障系统在复杂工业环境稳定传输数据和执行控制指令。

4 系统设计与优化效果验证

4.1 测试平台搭建与数据采集分析

搭建实验平台时,参照实际工业场景复刻硬件连接逻辑,整合 PLC 控制器、高精度检测元件、适配型执行机构等核心硬件,然后接入优化后的控制程序与人机交互界面,构建闭环测试系统,这是整个实验的基础。测试方案包含功能与性能两方面,功能测试涉及正常运行、异常触发等场景,考察设备启停、流程联动、故障报警等核心功能的完备性,这关乎设备稳定运行,性能指标测试运用专业测试工具采集数据,着重分析控制精度是否契合预设标准、响应时效能否满足实时控制要求,监测系统持续运行的稳定性和抗干扰性能,之后整理测试数据,排查功能实现缺陷和

性能指标偏差,这些数据为效果验证提供支撑。通过多周期、多工况测试流程模拟不同负载与环境条件,梳理测试数据,排查功能逻辑漏洞与性能瓶颈,保障实验准确有效。

4.2 优化前后运行效果对比验证

仅就控制精度、响应时效、稳定性与能耗四大核心维度进行对比验证。优化后系统控制精度经参数偏差实测值验证,可精准契合设备运行参数阈值,响应时效上指令传输与执行延时减少、流程衔接顺畅,稳定性方面硬件冗余设计可实现故障无缝切换、抗干扰措施能减轻信号波动影响、降低复杂环境下系统故障发生概率、提升持续运行能力,相较于优化前系统能耗降低^[5]。这证实了优化策略实用性,通过精准调控参数、改进指令传输与执行机制、提高硬件容错与抗干扰能力、降低能耗等方式,改变系统控制精度、响应时效、稳定性和能耗指标,系统整体运行效果符合设计预期。

5 结束语

本文围绕 PLC 智能电气控制系统设计与优化展开,从理论基础入手,明确 PLC 工作机制、硬件架构及通信协议适配原理。在此基础上,完成包含硬件选型、程序编写、人机界面设计等方面的整体方案,提出综合策略,涵盖算法改进、硬件改良、程序精简以及抗干扰设计。经实验测试和对比验证,优化后的系统在控制精度、响应速度、稳定性和节能性等方面得以提升。构建“理论支撑—整体设计—优化—效果验证”完整体系,该体系解决了传统电气控制系统控制不精确、响应迟缓、稳定性欠佳等问题,改善了传统电气控制系统性能指标,为同类系统研发与升级提供实践思路,推动工业电气控制范围智能化发展。

参考文献:

- [1] 张苏友.基于群智能优化算法的电气控制系统设计[J].电气技术与经济,2025(12):354-356,364.
- [2] 王云升.电气设备智能控制方案的设计与系统优化研究[J].中国高新科技,2025(24):34-35,38.
- [3] 戴莹,伏杰,徐书洋.电气工程中的智能控制系统设计与优化研究[J].电子元器件与信息技术,2024,08(10):239-241.
- [4] 董俊峰.基于智能控制的电气系统设计与优化方法[J].电气时代,2024(07):111-113.
- [5] 吴昊,赵旭,陈磊,等.智能工厂自动化产线电气控制系统优化设计及应用[J].汽车工艺师,2022(03):8-13.