

# 基于PLC的机电自动化控制系统设计与优化

梁 东

山西焦煤集团山焦焦化股份有限公司 山西 临汾 041606

**摘要:**为提升机电自动化控制系统的可靠性、精准性与节能性,适配焦化行业复杂生产需求,本文开展基于PLC的机电自动化控制系统设计与优化研究。阐述了PLC与机电自动化控制系统基础理论,随后从总体设计、硬件电路、控制程序、人机交互与通讯四方面完成系统设计,最后提出控制算法、程序代码、硬件冗余抗干扰及能耗优化策略。实例验证表明,优化后系统控制精度提升,能耗降低,故障停机时间缩短,可为焦化等工业领域的自动化升级提供技术支持。

**关键词:** PLC; 机电自动化; 系统设计; 优化策略

**引言:**随着工业自动化水平的提升,传统机电控制系统已难以满足焦化行业对控制精度、运行稳定性及节能性的严苛需求。PLC凭借高可靠性、灵活可编程等优势,成为机电自动化控制的核心核心器件。本文立从实际出发,针对现有系统控制滞后、能耗偏高、可靠性不足等问题,开展基于PLC的机电自动化控制系统设计与优化研究,旨在构建适配焦化行业的高效自动化控制体系,推动生产过程提质增效、降本节能,具有重要的工程应用价值。

## 1 PLC与机电自动化控制系统基础理论

### 1.1 PLC工作原理与核心特性

PLC(可编程逻辑控制器)核心遵循“循环扫描”原理,通过输入采样、程序执行、输出刷新三阶段实现闭环控制。工业场景中,先采集传感器、编码器等实时信号存入输入映像区,经梯形图、功能块图等预设程序运算后,将结果输出至执行器。其核心特性适配工业需求:高可靠性,抗电磁干扰、耐温湿度波动,适配粉尘多、振动大的车间环境;灵活可编程,无需改动硬件即可修改程序适配工艺调整;模块化扩展,可增减I/O模块满足不同规模控制需求。

### 1.2 机电自动化控制系统组成与运行机制

典型系统以PLC为核心,由检测、控制、执行、通讯单元组成。检测单元含温度、压力等传感器,负责采集运行参数;控制单元以PLC为核心,搭配触摸屏实现本地操作与参数设置;执行单元含变频器、伺服电机等,执行控制指令;通讯单元通过Modbus、Profinet等协议实现数据交互。运行机制呈“感知-决策-执行”闭环:检测单元传数据至PLC,PLC依工艺生成指令驱动执行单元调整设备状态,同时反馈运行数据至监控端保障生产稳定。

### 1.3 PLC在机电自动化控制中的应用优势

相较于传统继电器控制,PLC优势显著:(1)控制精度高,可实现 $\pm 0.1\text{mm}$ 定位、 $\pm 1^\circ\text{C}$ 温度控制,提升产品质量;(2)故障诊断便捷,具备自诊断功能,快速定位I/O及通讯故障并报警,缩短停机时间;(3)协同能力强,可同步处理多设备联动、安全联锁等任务,适配流水线全流程自动化;(4)维护成本低,模块化设计便于部件更换,程序修改灵活,降低运维投入,广泛应用于制造业、能源等行业<sup>[1]</sup>。

## 2 基于PLC的机电自动化控制系统设计

### 2.1 基于PLC的机电自动化控制系统总体设计

总体设计核心是明确功能定位、搭建合理架构及完成核心器件选型,保障系统可行性、可靠性与扩展性。具体内容如下:(1)设计目标与约束确定。结合核心需求明确控制精度、响应速度、运行稳定性、可维护性等关键指标;梳理环境适应性、成本预算、设备兼容性、行业安全规范等约束条件,划定设计边界。(2)系统总体架构搭建。采用分层思路构建“感知层-控制层-执行层-交互层”四级架构:感知层采集运行参数与状态信号;控制层以PLC为核心,负责信号处理、逻辑运算及指令生成;执行层接收指令完成动作;交互层实现人机交互与状态监控,各层级通过标准化通讯链路协同传输数据。(3)核心控制逻辑规划。梳理核心控制流程,明确模块协同关系与信号流向,重点规划设备启停、参数调节、安全联锁、故障处理等逻辑,确保动作衔接有序、无控制冲突,同时预留扩展接口适配后续升级。(4)PLC核心器件选型。根据I/O点数、运算复杂度、通讯接口需求选型PLC主机,保障运算能力与存储容量达标;匹配数字量、模拟量、通讯等扩展模块,保障接口扩展性与通讯兼容性。

### 2.2 控制系统硬件电路设计

硬件电路是系统运行的物理载体,需严格遵循电气设计规范,重点完成核心回路、接口电路及保护电路设计。具体内容如下:(1)主控制回路设计。依据功率需求与控制逻辑设计拓扑结构,完成电源引入、主接触器、断路器、变频器等器件选型与连接;明确电压等级、电流容量等参数,保障执行机构稳定供电;合理布线降低阻抗与电磁干扰,提升运行稳定性。(2)PLC I/O接口电路设计。差异化设计数字量与模拟量接口:数字量输入采用光电隔离,实现内外电路电气隔离规避干扰;数字量输出按执行器类型匹配驱动电路,确保驱动有效;模拟量接口增设信号调理电路,完成滤波、放大与标准化转换,提升采集与输出精度。(3)电源电路设计。采用分级供电方案,为PLC及扩展模块、传感器、执行器、交互设备设计独立回路;配置开关电源将市电转换为24VDC、5VDC等所需电压,保障供电稳定;输入端增设浪涌保护器、EMI滤波器,抑制电网干扰,避免电压波动与浪涌损坏硬件。(4)保护与辅助电路设计。设置过载、短路、过压、欠压等保护机制,通过熔断器、热继电器等器件实现保护;设计指示灯、报警等辅助电路,便于掌握系统状态、快速定位故障;严格遵循布线规范,明确线径、接地方式与间距,提升安全性与抗干扰能力<sup>[2]</sup>。

### 2.3 基于PLC的控制程序设计

控制程序需依据编程规范与控制逻辑,采用模块化思路保障可读性、可维护性与可扩展性。具体内容如下:(1)编程环境与语言选择。根据PLC型号确定对应软件与语言,优先选用通用的梯形图(LD)或功能块图(FBD)——梯形图直观易懂,便于维护调试;功能块图适配复杂逻辑模块化设计,提升编程效率。搭建编程环境,完成通讯连接与参数配置,确保程序正常下载上传。(2)程序总体框架搭建。采用“主程序+子程序”模块化架构:主程序统筹子程序调用与状态管理;子程序按功能分为初始化、设备启停控制、参数调节、安全连锁、故障诊断等,通过标准化接口实现数据交互。(3)核心控制程序设计。初始化子程序完成启动时参数、I/O口、通讯参数初始化,保障稳定启动;设备启停控制子程序实现执行设备顺序启停,通过逻辑判断保障动作协调无冲突;参数调节子程序依据采集信号与预设参数生成调节指令,实现精准控制;安全连锁子程序实时监测状态,遇超温、超压等异常立即触发连锁保护、切断危险回路并报警;故障诊断子程序监测PLC自身、I/O接口、通讯状态,定位故障类型与位置并上传交互层。(4)程序调试与优化。采用离线仿真与在线调试结合验

证:离线仿真通过软件模拟运行验证逻辑正确性;在线调试将程序下载至PLC,连接硬件通过强制I/O、监控变量排查错误;根据调试结果优化程序,简化冗余逻辑,提升运行效率与稳定性。

### 2.4 控制系统人机交互与通讯设计

核心目标是实现人机高效交互及系统内外模块稳定数据传输。具体内容如下:(1)人机交互界面设计。以触摸屏为核心,结合操作与监控需求规划界面布局与功能模块,核心界面包括主监控、参数设置、设备控制、故障报警、历史数据查询等。主监控界面用图表与指示灯直观展示系统运行状态、关键参数及设备状态;参数设置界面支持参数与阈值修改保存,增设权限管理防误操作;设备控制界面实现手动/自动模式切换与设备直控;故障报警界面实时显示故障类型、时间、位置,支持记录查询。(2)PLC与触摸屏通讯设计。选用RS485、以太网等标准化通讯协议与接口,保障稳定性与兼容性;在编程软件与触摸屏组态软件中配置通讯地址、波特率等参数,搭建双向通讯链路,确保触摸屏实时采集PLC数据、PLC准确接收操作指令与参数信息。(3)系统内部通讯设计。按各层级、模块通讯需求规划网络架构,选用适配协议与模块:感知层与控制层通过模拟量或数字量接口传输数据,控制层与执行层通过数字量输出接口或通讯链路传输指令;分布式系统采用工业以太网或现场总线构建网络,实现多PLC、PLC与远程I/O模块协同通讯,保障数据实时共享与同步运行。(4)外部通讯接口设计。结合扩展需求设计与上位机、打印机等外部设备的通讯接口,选用Modbus、Profinet等标准化协议搭建链路,实现数据上传下达。上位机接口支持运行数据、故障信息上传,实现远程监控与管理;打印机接口支持数据与故障报告打印存档<sup>[3]</sup>。

## 3 基于PLC的机电自动化控制系统优化策略

### 3.1 控制算法优化

控制算法是保障PLC控制系统控制精度与动态响应性能的核心,针对焦化行业生产工艺复杂、参数耦合性强、滞后性明显的特点,优化策略如下:(1)PID参数优化。采用自适应PID参数整定算法替代传统手动整定模式,基于PLC的实时数据采集能力,动态调整比例(P)、积分(I)、微分(D)系数。例如在焦化焦炉加热控制中,传统固定参数PID易受煤气压力波动、环境温度变化影响,导致炉温偏差超 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,通过引入模糊自适应PID算法,实时采集炉温偏差及偏差变化率,利用模糊规则动态修正PID参数,可将炉温控制偏差缩小至 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内,显著提升焦炭质量稳定性。(2)模糊控制改进。针

对焦化生产中非线性、大滞后环节,采用模糊-PID复合控制算法。通过模糊控制器对系统工况进行快速判断与粗调,再由PID控制器进行精准微调,解决传统PID控制响应慢、超调量大的问题。

### 3.2 程序代码优化与运行效率提升

程序代码的合理性直接影响PLC运行效率与资源占用率,优化核心在以下方面:(1)模块化与结构化编程优化。梳理控制程序逻辑,将重复调用的功能封装为标准子程序或功能块,减少代码冗余。例如在焦化生产线多设备协同控制中,将推焦车、拦焦车、熄焦车的共性控制逻辑提炼为通用功能块,统一调用标准接口,代码量可减少30%以上,且便于后续维护与工艺升级。同时优化主程序调用逻辑,采用优先级调度机制,确保安全联锁、紧急停车等关键程序优先执行,避免程序阻塞。

(2)资源占用优化。精简不必要的程序指令,删除冗余的变量定义、逻辑判断与循环语句,降低PLC内存占用与CPU运算负荷。对循环程序进行优化,根据控制需求合理设置循环周期,避免高频无效循环;采用位操作替代字节操作,提升数据处理效率。

### 3.3 硬件冗余设计与抗干扰优化

结合焦化车间粉尘多、电磁干扰强、环境恶劣的实际情况,通过硬件冗余与抗干扰设计提升系统可靠性,优化策略如下:(1)硬件冗余设计。核心控制部件采用冗余配置,PLC主机选用双机热备模式,当主PLC出现故障时,备用PLC可在100ms内自动切换接管控制,避免生产中断;关键I/O模块采用冗余备份,确保信号采集与指令输出的连续性。同时,电源系统采用双回路供电冗余,配备UPS不间断电源,防止突发停电导致系统数据丢失与设备损坏。(2)抗干扰优化。硬件电路层面,在PLC电源输入端增设EMI滤波器与浪涌保护器,抑制电网中的电磁干扰与电压浪涌;PLCI/O接口采用光电隔离模块,实现外部信号与内部电路的电气隔离,减少工业现场电磁干扰对PLC的影响。布线层面,严格区分动力电

缆与信号电缆,信号电缆采用屏蔽线并单独穿管敷设,动力电缆与信号电缆间距不小于30cm,避免电磁耦合干扰;电缆屏蔽层单端接地,接地电阻控制在4Ω以内。

### 3.4 能耗优化与节能控制策略

以PLC为核心构建节能控制体系,结合焦化行业高能耗特点,通过优化控制逻辑与运行模式降低能耗,具体策略如下:(1)变频调速节能控制。在焦化生产的风机、水泵、输送机等大功率设备上,采用PLC与变频器联动控制模式,根据生产负荷动态调节设备运行转速。在变频器控制程序中增设软启动与软停止功能,减少设备启动时的电流冲击,延长设备使用寿命。(2)生产负荷优化调度。通过PLC构建生产负荷监控与调度系统,实时采集各生产工段的设备运行状态、能耗数据与生产任务量,基于优化算法实现负荷动态分配<sup>[4]</sup>。

结束语:本文完成基于PLC的机电自动化控制系统的设计与优化研究,系统梳理基础理论并落地全流程设计,提出的多元优化策略有效解决了传统系统的核心痛点。实践表明,该系统可精准适配焦化生产需求,在提升控制精度与运行稳定性的同时实现节能降耗。后续可进一步融合工业互联网技术,拓展远程智能运维功能;同时深化算法优化,提升系统对复杂工况的自适应能力,为工业机电自动化的智能化升级提供更全面的技术参考。

### 参考文献

- [1]刘福强.基于PLC技术的电气工程自动化控制系统设计研究[J].电气技术与经济,2025(1):129-131.
- [2]刘猛,温胜杰,李楠.基于PLC技术的煤矿电气自动化控制系统设计[J].电气技术与经济,2025(5):325-327.
- [3]姚岚.PLC在煤矿机电设备自动化控制中的应用与优化[J].今日制造与升级,2025(1):84-86.
- [4]赵以雪.基于电气自动化的PLC编程控制系统设计优化[J].新潮电子,2025(22):130-132.