

PLC自动化控制技术在工业电气设备改造中的应用研究

胡慧平

宁波讯强电子科技有限公司 浙江 宁波 315800

摘要：随着工业自动化水平持续提升，传统继电器-接触器控制的电气设备已难以满足现代生产对可靠性、灵活性和智能化的要求。PLC凭借编程灵活、抗干扰强、组网便捷等优势，成为工业电气设备智能化改造的核心技术。本文系统分析PLC在设备改造中的技术优势，从系统架构设计、硬件选型配置、软件程序开发、人机交互与通信网络集成等维度构建改造技术框架，并结合典型场景进行实证分析。研究表明，PLC改造可显著提升控制精度、降低故障率、减少能耗，为传统设备智能化升级提供系统性的技术方案与实践参考。

关键词：PLC；自动化控制；工业电气设备；设备改造；智能化升级

引言：工业电气设备的控制系统水平直接影响产品质量与生产效率。我国大量在役设备仍采用继电器-接触器控制，存在触点多、接线复杂、故障率高、柔性不足等缺陷，且改造升级困难、难以适应工艺调整需求。PLC以其编程灵活、可靠性高、抗干扰能力强及联网通信便捷等优势，已成为工业自动化主流技术平台，为存量设备智能化改造提供了可行路径。然而，当前许多企业在PLC改造中存在方案设计不系统、选型配置不合理、程序开发不规范等问题，影响改造效果。本文从技术应用角度出发，系统构建PLC改造技术框架，为工业电气设备改造提供方法论指导。

1 PLC自动化控制技术概述

1.1 PLC的基本组成与工作原理

PLC是为工业环境设计的数字运算电子系统，由CPU、存储器、I/O接口、电源及通信接口五部分组成。CPU执行用户程序并处理数据；存储器存放系统与用户程序；I/O接口实现信号交互——输入接口接收按钮、传感器等信号，输出接口驱动接触器、电磁阀等执行元件；通信接口支持PLC与上位机及其他设备的数据交换。PLC基于循环扫描机制工作，依次完成输入采样、程序执行、输出刷新三个阶段。输入采样阶段读取所有输入状态并存入映像区；程序执行阶段逐条执行逻辑运算；输出刷新阶段将结果传送至输出锁存器驱动执行元件。完整扫描周期通常为1~100ms，高速循环机制保证控制系统实时性和确定性，使PLC能可靠替代传统继电器控制完成各类逻辑功能。

1.2 PLC控制的技术优势分析

相较传统继电器和单片机控制系统，PLC在工业电气控制中具有显著技术优势。可靠性方面，PLC采用大规模集成电路和模块化结构，内部无机械触点，抗振抗冲击

能力强；输入输出采用光电隔离技术，有效阻断外部干扰；完善的故障自诊断功能实时监测系统状态，平均无故障时间远超继电器系统。编程灵活性方面，PLC支持梯形图、功能块图、结构化文本等多种编程语言，控制逻辑调整无需改动硬件接线，仅修改程序即可实现^[1]。通信联网方面，现代PLC支持多种工业以太网和现场总线协议，可构建分布式控制系统，实现设备层、控制层和管理层信息集成。人机交互方面，通过触摸屏和组态软件实现参数设定、运行监控和故障报警的图形化界面，显著提升设备操作友好性和维护便捷性。

2 PLC在工业电气设备改造中的技术框架

2.1 系统架构设计方法

工业电气设备PLC改造的系统架构设计，需严格遵循分层布局、模块独立、接口规范、预留扩展的核心设计原则，统一采用现场设备层、核心控制层、监控管理层的三层经典架构。其中现场设备层由各类传感器、执行器、驱动电机等设备组成，主要完成现场物理信号采集与设备动作执行；控制层以PLC为核心，负责设备逻辑运算、数据处理、实时闭环控制，是整个系统的核心枢纽；监控管理层依托上位机、触摸屏及工业网络，实现设备运行监控、参数管理、数据存储与远程调度。正式设计前，需全面梳理原有设备控制逻辑，明确保留功能、优化内容及新增自动化需求，精准核算系统I/O点数与通信需求，合理选型PLC设备，完成电气原理、接线及机柜布局图纸设计。同时充分兼顾系统扩展性，预留15%~20%的I/O余量与通信接口，为后续设备升级、功能拓展提供充足空间，保障系统长期适配性。

2.2 硬件选型与配置原则

硬件选型是PLC电气改造工程成败的关键，需结合设备控制规模、运行响应速度、现场工况环境及项目成本

预算综合选型,遵循性能够用、适度超前的核心原则。需根据实际I/O点数、控制类型确定PLC主机型号与CPU配置,匹配合理的运算速度与内存容量。中小型开关量为主的常规设备,可选用西门子S7-1200、三菱FX系列等小型PLC;涉及模拟量闭环控制、高速计数、精准定位的复杂设备,需配置西门子S7-1500、罗克韦尔ControlLogix等中大型PLC及配套特殊功能模块。I/O模块需严格匹配现场信号类型,开关量模块适配DC24V、AC220V电压等级,输出模块预留负载驱动裕量;模拟量模块适配4~20mA、0~10V等信号制式,精度不低于12位。电源模块容量需覆盖整机设备总功耗,预留20%以上功率余量,有效抵御电网电压波动,保障PLC系统长期稳定、可靠运行。

2.3 软件程序开发规范

PLC软件程序开发直接决定设备改造后的控制精度、运行稳定性与后期可维护性,需遵循模块化、结构化、标准化、可拓展的开发规范。工程统一采用主程序调度、子程序独立运行的架构,将设备手动操作、自动运行、故障报警、安全联锁等功能单独封装为独立子程序,由主程序循环调用管控,该模式可实现功能独立调试、单独修改,避免局部改动影响整体系统运行^[2]。程序开发中需编制完整的I/O地址分配表,全程添加标准化注释,提升程序可读性。严格落实安全优先设计理念,将急停、安全联锁等保护逻辑独立设置,保障异常工况下安全功能优先触发。定时器、计数器参数采用变量设置,支持人机界面在线调节。同时配套完善故障诊断、报警提示功能,精准定位故障位置与类型。程序开发完成后,必须开展离线仿真与现场联调测试,逐项核验控制逻辑、运行功能及安全保护性能,确保系统完全符合设计与生产要求。

2.4 人机交互与通信网络集成

人机交互与通信网络是PLC自动化系统的重要组成部分,承担设备操作、状态监控、数据传输与集中管控的核心作用。系统依托触摸屏、工控机搭载组态软件,与PLC建立通信连接,实现设备运行状态实时监测、工艺参数手动设定、故障弹窗报警、历史数据查询与生产数据导出等功能。人机界面遵循简洁直观、操作便捷、响应快速的设计原则,分层设置主运行界面、参数设置界面、故障报警界面与数据统计界面,满足操作人员日常管控与质量追溯需求。通信网络需根据改造规模匹配对应方案,单台设备改造采用PLC与触摸屏点对点通信;多设备集群改造依托工业以太网,搭建车间集中监控系统,实现设备联动与数据集中采集;厂区远程管控可依

托工业物联网与VPN技术,完成跨区域远程监测与故障诊断。所有通信设计需统一协议与接口标准,保障数据传输实时性、稳定性与安全性。

3 PLC改造的典型应用场景与实施要点

3.1 机床电气控制系统PLC改造

传统普通机床的电气控制系统由大量的继电器、接触器、时间继电器和中间继电器构成,控制柜内接线复杂、故障点众多,且机床加工精度的调整依赖于人工经验,加工质量稳定性差。采用PLC改造后,机床的主轴启停、变速和制动,进给运动的快慢速切换和行程限位,以及冷却泵、润滑泵的启停联锁等功能,均由PLC程序统一控制,替代了原有的中间继电器和时间继电器逻辑。改造实施中需重点关注以下要点:原机床的行程开关、操作按钮、旋钮开关等输入元件可予以保留,通过接入PLC的输入端实现信号采集;接触器、电磁离合器等执行元件通过PLC的输出端驱动;对于原机床的模拟量控制(如直流调速系统),需配置模拟量输入/输出模块,实现PLC对调速装置的给定控制和速度反馈采集。调试阶段应进行手动/自动模式切换测试、各运动轴的限位保护测试和紧急停止功能测试,确保安全联锁功能优先于所有其他控制功能。

3.2 空压机组PLC集控改造

空压机站多台空压机独立运行、分散控制是常见问题——各机组依据自身出口压力启停,缺乏全局协调,导致机组频繁启停、加载率低、能耗浪费严重。采用PLC集控改造后,通过一台PLC控制器对站内多台空压机进行集中监测和协调控制,实现加卸载的全局优化。系统架构为:PLC采集各空压机的运行状态、排气压力、排气温度、加载时间、运行电流等参数,根据母管压力信号和机组的优先级设定,自动选择运行机组组合,合理分配加载/卸载指令,使母管压力稳定在设定范围内,减少不必要的启停和空载运行^[3]。PLC通过人机界面实时显示各机组的运行状态和关键参数,生成能效报表,为运行管理提供决策依据。

3.3 生产线输送系统PLC协同改造

连续生产线上的物料输送系统由多台输送电机、变频器、传感器和挡停器构成,各设备之间需严格遵循时序逻辑和联锁保护关系。传统继电器控制难以实现速度协同和柔性调整,改造需求迫切。采用PLC与变频器结合的控制方案,PLC通过模拟量输出或通信方式控制多台变频器的运行频率,实现输送速度的同步调节;通过高速计数模块采集编码器信号,实现精确定位控制;通过现场总线与上下游设备控制系统交换数据,实现整条

生产线的协同运行。改造中应特别关注通信网络的实时性和可靠性,选用工业以太网或PROFIBUS-DP等确定性总线,确保控制指令的延时在可接受范围内。程序设计中应采用故障分级处理策略:一般故障仅报警提示不停机,严重故障自动停机并记忆故障位置和原因,便于维修人员快速定位和排除。

3.4 改造实施的常见问题与对策

在PLC改造项目实践中,常见问题包括:改造需求分析不充分导致方案反复调整;新旧系统的过渡期管理不善影响正常生产;原设备技术资料缺失增加现场测绘难度;技术人员对PLC编程和调试不够熟练延长了改造周期。

针对上述问题,建议采取以下对策:改造前投入充足时间进行现场调研和设备摸底,对原电气原理图和控制逻辑进行全面梳理和记录;制定详细的改造实施方案和进度计划,明确划分改造施工与正常生产的界面,尽量利用节假日或检修期间实施断点施工;对缺失的技术资料,通过现场测绘和逐点校核的方式重建电气接线图和控制逻辑表;提前安排技术人员的PLC专项培训,并邀请有经验的技术人员提供现场指导。此外,建议在改造实施前进行充分的离线仿真测试,尽可能在实验室条件下完成控制逻辑的验证,以减少现场调试时间,降低改造对正常生产的影响。

4 改造效果评估与发展趋势

4.1 改造效果的多维度评估方法

PLC改造效果的评估应从技术性能、经济效益和综合效益三个维度进行全面衡量。技术性能指标包括控制精度(位置、温度、速度等)、响应时间、可靠性(故障间隔时间、故障率)及系统可用率等,建议在改造前后分别进行为期1个月的数据采集,对比上述指标变化。经济效益指标包括节能效果(电能消耗对比)、维修成本变化(备件与人工费用)、生产效率提升(单位时间产量、产品合格率)及设备利用率变化等。综合效益涵盖操作便捷性改善、维护便利性提高及数据管理能力增强等难以直接量化的价值。评估结果应形成书面报告,为

后续改造项目的立项论证和方案优化提供数据支撑^[4]。

4.2 PLC技术发展趋势与改造展望

随着工业4.0战略深入推进,PLC技术正朝智能化、网络化和集成化方向加速发展。智能化方面,新一代PLC已开始集成人工智能算法和机器学习功能,使设备具备故障预测、参数自整定和自适应控制能力,传统“事后维修”模式将逐步被“预测性维护”取代。网络化方面,工业5G和TSN技术的商用部署将推动PLC从车间级控制器向全厂级信息节点升级,实现毫秒级确定性通信和广域远程控制,为无人化工厂建设奠定基础。集成化方面,PLC与运动控制器、工业机器人和机器视觉系统的功能边界日趋模糊,将形成统一的智能控制平台,设备改造将从“单机自动化”走向“产线智能化”更高层级。

结束语

PLC自动化控制技术为工业电气设备改造提供了系统化的技术解决方案。本文构建了涵盖系统架构设计、硬件选型配置、软件程序开发和人机交互集成的PLC改造技术框架,并结合机床、空压机组 and 生产线输送系统等典型应用场景进行了具体分析。研究表明,PLC改造可显著提升设备控制精度、降低故障率、减少能耗,是推动传统工业电气设备智能化升级的有效路径。建议企业在改造实践中注重需求分析的充分性、方案设计的系统性和实施过程的可控性,并结合工业互联网和人工智能技术发展趋势,适时推进设备从单机自动化向系统智能化方向演进,以持续提升设备管理水平。

参考文献

- [1]陈长锋.现代电气控制及PLC应用技术分析[J].中国设备工程, 2022(18): 186-188.
- [2]何达庭. PLC在机床电气控制系统改造中的应用[J]. 信息记录材料, 2021, 22(10):162-163.
- [3]李东旭. PLC技术下的机床电气控制自动化系统设计[J]. 中国新通信, 2022, 24(15):45-47.
- [4]丁振兴,刘丽花,秦国富,等.基于PLC的厂站设备及自动化改造[J].机械制造与自动化,2025,54(1):170-174.