

Research on the Design and Application of PLC-Based Electrical Control Systems

Lijian Mu

Jiaojia Branch Mine, Shandong Gold Mining (Laizhou) Co., Ltd. Jiaojia Gold Mine, Laizhou, Shandong, 261400, China

Abstract

This paper focuses on the design and application research of PLC-based electrical control systems, systematically elaborating on the fundamentals of PLC technology, control system architecture, and key technical implementations. Through the analysis of PLC hardware system design and software system design, combined with core research areas such as I/O interface technology, communication network technology, and program design and optimization techniques, the efficient and reliable operation of electrical control systems is achieved. The modular and structured design philosophy enhances system scalability, while the integration of industrial Ethernet and intelligent device communication promotes digital transformation. Additionally, safety logic and fault handling mechanisms are introduced to ensure system security. The research findings can provide theoretical references and practical guidance for the design and application of PLC control systems in the field of industrial automation.

Keywords

PLC; Electrical Control; System Design

基于 PLC 的电气控制系统设计与应用研究

牟立见

山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿焦家分矿, 中国·山东 莱州 261400

摘要

本论文围绕基于PLC的电气控制系统展开设计与应用研究,系统阐述PLC技术基础、控制系统架构及关键技术实现。通过对PLC硬件系统设计、软件系统设计的分析,结合I/O接口技术、通信网络技术、程序设计与优化技术等核心研究,实现电气控制系统的高效、可靠运行。以模块化、结构化设计理念提升系统扩展性,通过工业以太网与智能设备通信集成推动数字化转型,并引入安全逻辑与故障处理机制保障系统安全性。研究成果可为工业自动化领域PLC控制系统的设计与应用提供理论参考与实践指导。

关键词

PLC; 电气控制; 系统设计

1 引言

在工业自动化进程中,PLC以高可靠性和灵活性成为电气控制系统的核心。相较于传统继电器控制,PLC通过软件编程实现逻辑控制,应用场景广泛。但随着智能制造发展,对控制系统的精度、复杂度和安全性提出了更高的要求。因此,开展PLC电气控制系统设计与关键技术研究。

2 PLC 技术基础与控制系统架构

2.1 PLC 工作原理与核心组成

PLC作为现代工业自动化领域的核心控制设备,其工作原理与系统架构是实现高效、稳定控制的基础。在硬件组

成方面,PLC主要由CPU、存储器、输入输出模块及电源等关键部件构成,其中CPU作为核心处理器,负责执行程序指令、处理数据运算;存储器用于存储系统程序和用户编写的控制逻辑;输入输出模块则是PLC与外部设备交互的桥梁,负责采集传感器信号并控制执行机构动作;电源模块为各部件提供稳定电能。在软件架构上,PLC采用梯形图、指令表等编程语言,梯形图以图形化的继电器逻辑形式呈现,直观易懂,便于工程人员快速上手;指令表则以文本指令形式编写,灵活性高,适用于复杂逻辑编程。此外,PLC独特的扫描周期机制确保了程序执行的有序性,其通过“输入采样-程序执行-输出刷新”的循环流程,避免信号冲突与逻辑错误。

2.2 电气控制系统的典型架构

电气控制系统以PLC为核心,通过有机整合各类硬件与技术,实现对工业流程的精准操控。在系统组成层面,

【作者简介】牟立见(1987),男,中国山东德州人,硕士,工程师,从事矿山工程机械、无轨设备管理和技术研究。

PLC 控制器作为“大脑”，负责接收、处理信号并输出控制指令；传感器承担数据采集任务，将温度、压力、位置等物理量转换为电信号传递给 PLC；执行机构则依据 PLC 指令完成动作，如电机启停、阀门开闭等；人机界面为操作人员提供可视化交互窗口，实现参数设置与系统状态监控。通信网络是系统的“神经网络”，RS-485 以其高性价比和远距离传输能力，常用于小规模设备组网；PROFINET 作为实时以太网标准，满足高速、大数据量传输需求，适用于复杂

自动化生产线；Ethernet/IP 则凭借开放性和通用性，在工业物联网场景中广泛应用。在控制策略方面，顺序控制依据预设逻辑完成工序切换，常用于流水线作业；PID 调节通过比例、积分、微分运算，实现温度、流量等模拟量的动态稳定控制；运动控制则针对伺服电机、步进电机等设备，实现精确定位与轨迹规划，三者协同应用于不同工业场景，保障系统高效运行^[1]。具体如表 1 所示。

表 1：电气控制系统架构

分类	技术 / 部件	特点与应用场景
系统组成	PLC 控制器	核心控制单元，执行逻辑运算与指令输出
	传感器	采集物理量并转换为电信号，支持温度、压力、位移等多类型监测
	执行机构	实现机械动作，如电机、电磁阀、气缸等
	人机界面 (HMI)	可视化操作平台，支持参数设置、状态显示与故障报警
通信网络	RS-485	低成本、远距离通信，适用于小规模设备联网
	PROFINET	实时以太网技术，满足高速数据传输与复杂自动化系统需求
	Ethernet/IP	开放性协议，广泛应用于工业物联网与跨设备通信
控制策略	顺序控制	按预设逻辑完成工序切换，常用于生产线、装配线控制
	PID 调节	动态调节模拟量，确保温度、流量等参数稳定
	运动控制	精确控制电机位移、速度与轨迹，适用于数控机床、机器人等领域

3 基于 PLC 的电气控制系统设计

3.1 硬件系统设计

基于 PLC 的电气控制系统硬件设计是确保系统稳定运行的关键环节，需从多维度进行系统性规划。在电气原理图绘制方面，首先要明确输入输出 (I/O) 分配表，精准划分 PLC 各端口对应的传感器、按钮、指示灯等输入设备，以及接触器、电磁阀、电机驱动器等输出设备，以实现信号的准确传输与控制；同时，绘制详细的接线图，规范导线规格、连接方式与节点标识，保障电气连接的可靠性与可维护性。控制柜布局设计需兼顾散热与电磁兼容优化，通过合理规划 PLC、变频器、继电器等核心部件的安装位置，利用散热孔、风扇等装置增强空气对流，降低设备运行温度；采用屏蔽电缆、合理接地及电磁屏蔽材料，减少电磁干扰对控制系统的影响，提升系统抗干扰能力。典型电路设计则围绕实际控制需求展开，电机启停控制电路通过 PLC 输出端口驱动接触器线圈，实现电机的安全启动与停止；变频调速电路借助 PLC 与变频器的通信连接，灵活调节电机转速以适配不同

工况；报警电路通过传感器信号触发 PLC 输入，驱动声光报警装置，及时提示设备故障或异常状态^[2]。

3.2 软件系统设计

PLC 电气控制系统的软件系统设计是实现智能化控制的核心，需通过程序框架搭建、梯形图编程及人机界面设计构建完整的控制逻辑与交互体系。在程序框架搭建上，采用模块化设计理念，将程序划分为主程序、子程序与中断程序。主程序作为系统运行主线，负责统筹各功能模块的调用；子程序封装特定功能，提高代码复用性；中断程序则用于处理紧急事件，确保系统响应及时性。以皮带输送机启停控制为例，梯形图编程通过输入信号触发逻辑运算，控制输出端口驱动接触器实现电机启停，并结合定时器实现延时启动与保护功能。人机界面 (HMI) 设计则围绕用户需求展开，监控界面以动态画面实时展示设备运行状态；参数设置界面支持用户调整运行参数；故障报警显示界面可快速定位故障点并记录历史信息，三者协同提升系统的易用性与运维效率，具体功能如表 2 所示。

表 2：PLC 电气控制系统软件设计的核心模块

设计模块	功能要点	技术实现方式
程序框架搭建	主程序统筹、子程序复用、中断程序应急响应	模块化编程，结构化文本或梯形图
梯形图编程	实现皮带输送机的启停逻辑、延时控制与安全保护	线圈、触点、定时器指令组合
HMI 设计 - 监控界面	动态展示设备运行参数、状态变化与工艺流程	动画效果、实时数据刷新
HMI 设计 - 参数设置界面	支持用户灵活配置设备运行参数，确保操作权限管理	输入框、下拉菜单、密码验证
HMI 设计 - 故障报警显示界面	故障信息实时推送、历史记录查询与故障代码解析	声光报警、数据库存储与检索

4 PLC 电气控制系统关键技术研究

4.1 I/O 接口技术与信号处理

在 PLC 电气控制系统中, I/O 接口技术与信号处理是实现精准控制与可靠运行的关键支撑。数字量 I/O 接口电路作为 PLC 与外部设备交互的基础, 通过继电器、晶体管或晶闸管等器件实现信号的输入输出, 为抵御工业环境中的电磁干扰与电压冲击, 常采用光电耦合器、变压器等隔离技术, 确保信号传输的稳定性与安全性。模拟量 I/O 接口电路则承担着物理量与电信号之间的转换重任, A/D (模/数) 转换器将传感器采集的连续模拟信号转换为 PLC 可处理的数字信号, D/A (数/模) 转换器则反向输出模拟控制信号; 在此过程中, 信号调理不可或缺, 通过滤波去除高频噪声、放大微弱信号、隔离防止干扰串入, 以提高信号质量与系统精度。高速计数与脉冲输出技术则聚焦于对高频信号的处理与精准控制, 高速计数器能够快速响应编码器、传感器等设备产生的高频脉冲信号, 实现位置、速度等参数的精确测量; 脉冲输出功能则通过 PLC 输出特定频率、占空比的脉冲信号, 驱动伺服电机、步进电机等执行机构, 满足高精度运动控制需求, 三者共同保障了 PLC 控制系统在复杂工业场景下的高效运行^[3]。

4.2 PLC 通信与网络技术

在 PLC 电气控制系统中, 通信与网络技术是实现设备互联互通、数据高效交互的核心纽带。PLC 常用通信协议各有特性与应用场景: Modbus 协议以其开放性和跨平台兼容性, 广泛应用于简单设备组网与数据采集; Profibus 作为现场总线标准, 凭借高实时性和可靠性, 适用于制造业生产线的分布式控制; CANopen 则聚焦于工业自动化中的运动控制与设备互联, 具备强抗干扰能力; Ethernet/IP、Profinet 等工业以太网协议, 依托 TCP/IP 技术实现高速、大容量数据传输, 满足工业物联网需求; CC-Link 作为三菱主推协议, 在日系自动化设备中构建高效通信网络。在系统集成层面, PLC 与 HMI/SCADA 系统的通信通过 OPC 等标准接口实现, 确保实时数据可视化与远程监控; 与变频器、伺服驱动器等智能设备的通信集成, 借助专用通信协议或现场总线, 实现参数配置与速度、位置精准控制。工业以太网在 PLC 系

统中的应用更是推动了控制技术的革新, 其通过统一网络架构, 整合设备层、控制层与管理层数据, 支持实时控制、故障诊断与远程运维, 显著提升系统的智能化与协同化水平, 为工业自动化向数字化、网络化转型奠定基础^[4]。

4.3 PLC 程序设计与优化技术

PLC 程序设计与优化技术是保障电气控制系统高效、可靠运行的核心要素。结构化编程通过模块化设计, 将复杂控制逻辑拆解为主程序、子程序与功能块, 实现代码复用与分层管理, 提升程序可读性和维护性; 程序执行效率优化聚焦扫描周期, 通过精简指令、合理分配任务执行顺序, 减少不必要的数据处理, 确保系统响应及时性。复杂算法的融入为 PLC 赋予更强的控制能力, 如 PID 控制实现模拟量的动态调节, 模糊逻辑应对非线性控制难题, 数据处理算法支持生产数据的实时分析。报警与事件处理机制通过预设优先级与触发条件, 实现故障的快速定位与信息推送; 安全逻辑设计引入安全继电器或安全 PLC, 从硬件冗余与软件防护双重层面构建故障安全系统, 防止误操作与异常风险, 全方位提升系统的安全性与稳定性。

5 结语

综上所述, 本研究完成了基于 PLC 的电气控制系统设计, 涵盖硬件搭建、软件编程及关键技术实现。通过模块化设计、通信集成和程序优化, 提升了系统性能与安全性。研究证实了 PLC 在工业控制中的优势, 但面对工业物联网等新技术发展, 未来需进一步探索 PLC 与新兴技术的融合, 以适应工业自动化的更高需求。

参考文献

- [1] 袁挺.PLC及其在内燃机车电气控制系统设计中的优化应用[J].内燃机与配件,2024,(23):102-104.
- [2] 孙倚晴.布料机器人电气控制系统设计及PLC技术的应用[J].造纸装备及材料,2024,53(05):86-88.
- [3] 邱天宇.PLC在电气设备自动控制系统中的设计与应用分析[J].科技创新导报,2021,18(01):111-113.
- [4] 郭立军.基于PLC的电气自动化控制系统设计与应用研究[J].中国高新科技,2023,(23):51-53.