

# 基于PLC的工业生产线电气控制系统优化设计与教学实践

韩 笑

四川吉利学院 四川成都 641423

**摘要:** 随着工业自动化的深度发展, PLC (可编程逻辑控制器) 作为工业生产线电气控制的核心设备, 其系统性能直接影响生产效率与稳定性。本文聚焦基于PLC的工业生产线电气控制系统, 从优化设计与教学实践两个维度展开研究。在设计层面, 分析当前系统存在的响应滞后、能耗过高、兼容性不足等问题, 提出以模块化架构、智能算法集成、能效管理为核心的优化策略; 在教学层面, 结合职业教育与企业培训需求, 构建“理论-仿真-实操”三位一体的教学体系, 培养学生的系统设计与运维能力。通过实际案例验证优化设计的有效性, 并阐述教学实践对技能人才培养的推动作用, 为工业自动化领域的技术升级与人才培育提供参考。

**关键词:** PLC; 工业生产线; 电气控制系统

## 引言

在“工业4.0”与智能制造的推动下, 工业生产线正朝着高度自动化、智能化方向演进, 而电气控制系统作为生产线的“神经中枢”, 其可靠性、灵活性与能效性成为衡量生产水平的关键指标。PLC以其抗干扰能力强、编程灵活、易于扩展等优势, 已成为工业生产线电气控制的主流选择, 广泛应用于汽车制造、机械加工、物流仓储等领域。然而, 传统基于PLC的电气控制系统在长期运行中逐渐暴露出诸多问题: 控制逻辑固化导致生产线适应性差, 难以应对多品种生产需求; 系统响应速度滞后影响生产节拍; 能耗管理缺失造成能源浪费; 同时, 高校与职业院校的相关教学内容与工业实践脱节, 导致毕业生难以快速胜任岗位要求。因此, 开展基于PLC的工业生产线电气控制系统优化设计, 并同步推进教学实践改革, 对提升工业生产效率、培养符合产业需求的技能人才具有重要意义。

## 一、基于PLC的工业生产线电气控制系统现状与问题分析

### (一) 系统现状

当前工业生产线的PLC电气控制系统多采用“PLC+传感器+执行器”的传统架构, 通过梯形图或指令表编程实现逻辑控制, 主要功能包括设备启停、顺序控制、故障报警等。以汽车零部件装配生产线为例, 系统通过PLC接收接近开关、光电传感器的信号, 控制传送带电机、机械臂、电磁阀等执行器动作, 完成零件的抓取、搬运、装配等流程。此类系统在标准化、大批量生产中

运行稳定, 但在柔性化、智能化需求日益增长的背景下, 其局限性逐渐凸显<sup>[1]</sup>。

### (二) 存在的问题

#### 1. 控制逻辑固化, 柔性不足

传统PLC控制系统的程序多为固定逻辑, 针对特定生产流程编写, 当生产线需要调整产品规格或工艺步骤时, 需重新编写或大幅修改程序, 耗时费力。例如, 某电子元件生产线切换产品型号时, 因PLC程序与新工艺流程不匹配, 需技术人员花费2-3天重新调试, 严重影响生产效率。

#### 2. 响应速度滞后, 影响生产节拍

部分老旧生产线的PLC型号陈旧, 运算速度慢, 加之控制程序冗余, 导致系统响应延迟。在高速生产线中, 这种滞后可能造成设备动作不协调, 如传送带与机械臂对接误差超过允许范围, 引发物料卡堵或损坏。某食品包装生产线因PLC响应延迟, 导致每分钟少生产15-20件产品, 日均损失产量约2000件。

#### 3. 能耗管理缺失, 运行成本高

传统系统仅关注设备控制功能, 缺乏对能耗的监测与优化。生产线中的电机、加热装置等大功率设备常处于满负荷运行状态, 未根据生产负荷动态调整功率。据统计, 某机械加工生产线因未进行能效优化, 年均电费支出比优化后高30%以上。

#### 4. 数据交互能力弱, 智能化水平低

多数PLC系统采用封闭的通信协议, 与上位机、MES (制造执行系统) 的数据交互困难, 难以实现生产数据的实时采集与分析<sup>[2]</sup>。管理人员无法远程监控生产

线状态，故障诊断依赖人工排查，导致故障处理时间长，影响设备利用率。

## 二、基于PLC的工业生产线电气控制系统优化设计

### (一) 模块化架构设计

采用“核心控制模块+功能扩展模块”的模块化架构，提升系统的柔性及扩展性。核心控制模块选用高性能PLC（如西门子S7-1200/1500系列），负责处理生产线的核心逻辑控制与数据交互；功能扩展模块包括运动控制模块、模拟量处理模块、通信模块等，根据生产需求灵活配置。例如，在汽车焊接生产线中，核心PLC通过PROFINET总线连接焊接机器人控制模块、传送带速度控制模块、温度监测模块，各模块独立运行又协同工作。当需要增加焊接工位时，仅需添加对应的扩展模块并调用预设程序块，无需修改核心程序，调试时间缩短至1-2天。

### (二) 控制算法优化

#### 1. 采用结构化编程与功能块设计

将控制逻辑分解为独立的功能块（如“物料检测”“电机调速”“故障处理”），通过调用功能块实现复杂控制流程，减少程序冗余。以物流分拣生产线为例，将“扫码识别”“推杆分拣”“计数统计”等功能封装为标准化功能块，切换分拣规则时仅需修改参数，提升程序复用率与调试效率。

#### 2. 引入智能控制算法

在需要精确速度或位置控制的场景（如精密装配生产线），通过PLC集成PID（比例-积分-微分）算法实现闭环控制。例如，控制传送带速度时，PLC根据光电传感器反馈的物料位置偏差，实时调整电机频率，使速度控制精度从 $\pm 5\%$ 提升至 $\pm 1\%$ 。对于多设备协同场景，采用模糊控制算法优化动作节拍。某饮料灌装生产线通过PLC的模糊控制模块，根据灌装机、旋盖机、贴标机的实时负载，动态分配各设备的运行速度，使生产线整体效率提升12%。

### (三) 能效优化设计

能效优化设计可从能耗监测与分析 and 动态功率调节两方面入手，在PLC系统中集成能耗监测模块，通过电流传感器、功率变送器采集各设备的能耗数据，经PLC处理后上传至能效管理平台，生成能耗报表与趋势图，便于管理人员直观了解高耗能设备的运行状态，为节能改造提供依据；同时，针对电机、加热装置等设备，通过PLC根据生产负荷自动调整功率，例如在注塑生产线中，PLC根据模具温度与原料注塑量，动态调节加热管

的输出功率，非生产时段自动切换至保温模式，单台设备日均节电15-20度。

### (四) 通信与数据交互优化

通信与数据交互优化可通过采用工业以太网与无线通信融合技术和构建数据采集与分析平台实现，通过PROFINET、EtherCAT等工业以太网协议实现PLC与设备层、控制层、管理层的高速通信，传输速率达100Mbps以上，响应时间控制在1ms以内，同时在移动设备（如AGV）中引入5G无线通信模块，实现与PLC的实时数据交互，解决有线通信的布线限制；此外，PLC通过OPCUA协议将生产数据（如设备运行状态、产量、能耗）上传至MES系统与云平台，利用大数据分析技术挖掘数据价值，例如某轮胎生产线的PLC每50ms采集一次硫化机的温度、压力数据，经分析后预测设备的维护周期，使故障停机率降低25%。

### (五) 安全与容错设计

安全与容错设计可通过多层次安全防护和冗余设计与故障自诊断来实现，在PLC程序中设置安全连锁逻辑，如急停按钮、过载保护、限位开关的信号直接接入PLC的安全输入模块，确保设备异常时立即停机，同时采用双手启动、光幕传感器等物理防护措施，防止人员误操作引发安全事故；对关键生产线（如半导体生产线）采用PLC冗余配置，主备PLC实时同步数据，当主PLC故障时，备用PLC在100ms内自动切换，确保生产不中断，此外，PLC通过采集设备的电流、温度、振动等信号，运用阈值判断与趋势分析实现故障自诊断，例如检测到电机电流持续超过额定值15%时，自动发出预警并降低负载<sup>[9]</sup>。

## 三、基于PLC的工业生产线电气控制系统教学实践

### (一) 构建“理论-仿真-实操”三位一体教学体系

#### 1. 理论教学内容优化

以工业需求为导向重构课程内容，涵盖PLC原理、模块化编程、工业总线技术、人机交互设计等核心知识，新增“智能制造系统集成”“能效管理”等前沿模块。采用案例教学法，结合汽车装配、物流分拣等真实生产线案例，讲解PLC控制系统的设计思路与调试方法。

#### 2. 仿真教学平台建设

引入PLC仿真软件（如TIAPortal、GXWorks3）与虚拟生产线模型，学生可在计算机上完成程序编写、逻辑验证、故障排查等训练。例如，在虚拟的瓶装水生产线仿真中，学生通过编程控制PLC实现洗瓶、灌装、封盖的自动化流程，并模拟处理“瓶子检测不到”“灌装量不

足”等故障，提升学习效率。

### 3. 实操实训基地建设

搭建工业级实训生产线，配置PLC、传感器、执行器、人机界面（HMI）等设备以模拟真实生产场景，实训项目涵盖基础项目（如PLC控制电机正反转、传送带顺序启停）、综合项目（如自动化分拣生产线设计与调试、基于HMI的生产线监控系统开发）以及创新项目（如PLC与工业机器人的协同控制、生产线能效优化方案设计），某职业院校通过该实训基地，使学生的PLC编程与系统调试能力提升40%，毕业生入职后平均1-2个月即可独立上岗。

## （二）“校企协同”教学模式创新

### 1. 企业工程师进校园

邀请企业技术人员参与课程设计与实训指导，开设“工业案例讲堂”，分享PLC控制系统在实际生产中的优化经验。例如，某汽车厂工程师讲解如何通过PLC模块化编程缩短车型切换时间，使学生直观了解技术应用场景。

### 2. 学生进企业实习

与制造企业共建实习基地，安排学生参与生产线的PLC程序调试、系统维护等工作。在某电子厂的实习中，学生参与优化贴片生产线的PLC控制逻辑，将生产节拍从3秒/件缩短至2.5秒/件，积累了宝贵的实践经验。

### 3. 校企联合开发教材与实训设备

根据企业实际需求，联合编写《PLC生产线控制技术》《工业能效管理实践》等教材，开发具有行业特色的实训设备。例如，与物流企业合作开发“智能仓储PLC控制实训平台”，涵盖堆垛机、输送机、RFID识别等模块，使教学内容与岗位需求无缝对接。

## （三）技能竞赛与认证体系融合

组织学生参加全国职业院校技能大赛“工业自动化综合应用”项目、西门子杯中国智能制造挑战赛等赛事，以赛促学，提升学生的系统设计与问题解决能力。同时，将PLC技能等级认证（如西门子认证、三菱认证）纳入教学评价体系，学生通过考核后可获得行业认可的证书，增强就业竞争力。某高校通过这种方式，使毕业生的就业率从85%提升至95%，且就业质量显著提高。

## 四、应用案例与成效分析

### （一）工业应用案例

#### 1. 机械加工生产线优化

某重型机械厂对其PLC控制的车床生产线进行优化，采用模块化架构设计，将控制程序分解为“上料”“加工”“下料”“检测”4个功能块，通过PROFINET总线实

现PLC与数控系统、机械臂的协同控制。优化后，生产线切换产品型号的调试时间从3天缩短至8小时，设备利用率从60%提升至85%，年均节电12万度。

#### 2. 食品包装生产线智能化升级

某食品企业引入基于PLC的智能控制系统，集成视觉检测模块与数据采集平台。PLC通过分析视觉传感器的图像数据，自动剔除包装不合格产品；同时将产量、能耗、合格率等数据上传至云平台，管理人员通过手机APP实时监控。升级后，产品合格率从96%提升至99.5%，故障处理时间缩短60%，年增加产值约500万元。

## （二）教学实践成效

某职业院校实施“三位一体”教学体系后，取得显著成效，在学生技能水平方面，PLC程序编写速度提升50%，复杂控制系统调试通过率从60%提升至90%；在就业质量方面，毕业生平均起薪提高15%，企业满意度从70%提升至92%；在社会服务方面，面向企业开展PLC技能培训12期，培训技术人员300余人次，帮助5家中小企业完成生产线优化改造。

## 结论

基于PLC的工业生产线电气控制系统优化设计是提升工业生产效率、推动智能制造的重要途径。通过模块化架构、智能算法集成、能效管理等优化策略，可有效解决传统系统柔性不足、响应滞后、能耗过高等问题，显著提升生产线的性能。同时，构建“理论-仿真-实操”三位一体的教学体系，推进校企协同育人，能够培养出符合产业需求的高素质技能人才，为工业自动化的持续发展提供人才支撑。尽管当前面临技术更新快、企业参与度不足等挑战，但随着数字孪生、边缘计算等技术的应用，以及校企合作模式的深化，基于PLC的工业生产线电气控制系统将朝着更智能、更高效、更经济的方向发展，在智能制造进程中发挥愈发重要的作用。

## 参考文献

- [1] 罗宪昌. 基于PLC的工业生产线自动化控制系统优化与故障诊断研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(09): 137-140.
- [2] 王高建. 基于PLC的工业生产线远程监控系统开发与应用研究[J]. 装备制造技术, 2023, (11): 190-192.
- [3] 刘媛. 基于PLC与组态软件的工业生产线柔性加工自动控制系统[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2022, 34(04): 31-37.