

# PLC 技术在电气自动化控制系统中的应用分析

高 信

(湖北商贸学院, 湖北 武汉 430079)

**摘 要** PLC 技术依托其灵活可编程、高可靠性、强抗干扰性等特性, 逐渐成为电气工程自动化控制领域的关键技术。回顾国内外研究现状, PLC 技术自诞生以来, 在理论研究和实际应用方面均取得了丰硕成果, 但随着工业生产需求的不断升级, 如何进一步挖掘 PLC 技术潜力、拓展其应用边界, 仍需深入探究。因此, 开展 PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用研究, 不仅有助于加深对 PLC 技术的理解与应用, 也为电气工程自动化控制的创新发展提供了有益参考。

**关键词** PLC 技术; 电气工程; 自动化控制

**中图分类号:** TM76; TP3

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.009

## 0 引言

随着工业自动化水平的不断提高, 机械电气控制装置在现代制造业中扮演着越来越重要的角色。传统的机械电气控制方式依赖于继电器、接触器等元件, 通过硬接线进行控制, 具有控制系统复杂、维护困难、灵活性差等局限性。为了提高生产效率、降低故障率、减少能源消耗, 越来越多的企业开始采用可编程逻辑控制器 (PLC) 技术进行自动化控制。PLC 作为一种用于工业自动化控制的数字电子设备, 通过其灵活的编程和高效的实时控制, 已成为自动化控制领域的重要工具, 广泛应用于各种机械电气控制装置中<sup>[1]</sup>。

## 1 PLC 技术在电气自动化控制系统中应用的意义

### 1.1 工业级稳定性保障

PLC 作为专为严苛工业场景设计的控制设备, 其硬件架构采用三防设计理念。主板选用军工级元器件, 表面贴装工艺结合灌封技术, 形成 IP67 防护等级, 在 60 °C 高温、95% 湿度的环境中仍能保持稳定运行。某钢铁厂应用案例显示, 控制系统在轧机旁持续工作 36 个月后, 故障率仍低于 0.3%。设备内置的冗余设计包含双电源模块与热备切换功能, 当主电源波动超过  $\pm 15\%$  时, 备用电源可在 12 ms 内完成无缝接管。智能诊断系统通过 LED 状态矩阵实时显示运行状况, 发现异常时自动触发故障日志, 并通过 MQTT 协议推送至运维平台, 使平均故障修复时间 (MTTR) 缩短至 28 min。

### 1.2 多模态编程架构创新

PLC 编程环境支持 IEC61131-3 标准, 提供可视化流程图 (SFC)、结构化文本 (ST)、指令列表 (IL) 等多种开发模式。在智能仓储系统开发案例中, 采用

模块化编程思想, 将货物识别、路径规划、机械臂控制等功能封装为可复用组件。通过拖拽式配置界面, 工程师可快速搭建控制逻辑, 使开发效率提升 60%。针对复杂算法需求, 支持 Python/C 混合编程接口, 某新能源企业利用此功能实现光伏板追踪算法的原型验证到部署仅耗时 72 h。版本控制系统集成 Git 功能, 支持程序回滚与历史记录追溯, 确保工艺升级的安全性<sup>[2]</sup>。

### 1.3 全生命周期管理优化

PLC 采用插拔式模块化设计, 支持带电热插拔技术。在某化工企业的流体控制系统中, 当模拟量输入模块意外损坏时, 技术人员在不停机状态下完成更换, 整个过程耗时不足 15 min。集成的远程维护平台基于 WebAccess 技术, 支持跨平台访问, 运维人员可通过智能手机实时监控 50 km 外的设备状态。程序更新采用差分升级技术, 仅需传输修改部分, 某汽车零部件制造商通过该方案将 200 台设备系统升级时间从 4 h 压缩至 35 min。配置数据采用 AES-256 加密备份至云端, 确保数据安全的同时满足合规审计要求。

## 2 工业电气自动化的特点

通过利用电气设备、控制元件、传感器和计算机科学等新型科学技术对生产环节进行全方位监视, 并致力于智能化控制手段和自动化生产技术的发展, 以此来使生产过程保持高度可靠性和更高水准精度的一种自动化系统就是电气自动化, 它由传输网络、传感器和执行机构等组成, 可以支持使用者采集所涉及的生产参数, 并通过自动控制各个作业流程完成分析处理等工业生产过程中所需要的环节。电气自动化具有普遍性、高效性和科技发展性等三个特点。

一是普遍性。电气自动化系统能够被运用到工业生产过程中的各个角落，其适应性非常广泛，包括小组件的材料选择以及对生产过程进行实时监控等方面。

二是高效性。这一特点也是电气自动化技术最为突出的特点。为了提升自身的生产效率，工业企业通过引入电气自动化技术有效减少了部分繁琐工序，使得生产方式和生产步骤都得到了一定的简化，进而提升了工业生产的整体效率，带动工业制造行业的发展。

三是科技发展性。在科学技术的发展过程中，电气自动化技术也会跟随科学技术的变化而变化，两者呈现出相辅相成的发展趋势。同时电气自动化技术是以科学技术发展为基础的，只有在这种情况下才能实现相应的技术升级，从而使其在工业生产中能有更加优秀的表现<sup>[3]</sup>。

### 3 PLC技术在电气自动化控制系统中的应用分析

#### 3.1 顺序控制应用

顺序控制是电气工程自动化控制的基本任务，它依据预定顺序和时间间隔执行操作。在顺序控制应用方面，PLC技术依据预先设定的逻辑顺序，精准控制电气设备的启动、运行和停止。在食品饮料生产线中，PLC能够按照工艺流程，有序控制清洗设备、灌装设备、封盖设备等的运行。从空瓶进入生产线开始，PLC控制输送带将瓶子依次送入清洗环节，完成清洗后，精确地将瓶子输送至灌装工位进行液体灌装，灌装完成后再控制封盖设备进行密封操作，整个过程严格遵循设定顺序，避免设备误操作和工序错乱，极大提高了生产的有序性和产品质量稳定性。

#### 3.2 开关量控制应用

在开关量控制应用上，PLC技术取代传统继电器控制，实现对电气设备的开关状态精准控制。以工业厂房的照明系统为例，PLC可根据时间、环境光线强度等条件，自动控制照明灯具的开启与关闭。在白天光照充足时，PLC通过检测光线传感器信号，自动切断大部分照明回路；而在夜间或光线不足区域，则有序开启相应灯具，并且还能结合人员活动传感器，在无人区域自动关灯，实现节能与按需照明<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 闭环控制应用

闭环控制作为电气工程自动化控制的高级策略，依托实时监测与调整被控对象反馈信号来实现精确控制。在此过程中，PLC技术凭借强大的数据处理与逻辑运算能力，构建起高效精准的自动调节体系。以恒压供水系统为例，PLC通过压力传感器实时采集管网压力数据，并将其与预设压力值进行对比，经PID（比例—积分—

微分）算法运算后，输出控制信号调节水泵转速或启停水泵数量。当用水高峰导致管网压力下降时，PLC迅速增加水泵转速或启动备用泵，使压力回升至设定值；用水低谷时则降低转速或关闭部分水泵，确保压力稳定的同时实现节能降耗。这种闭环控制模式让系统能够根据实际工况动态调整，有效避免传统开环控制中压力波动大、能耗高的问题，保障供水系统稳定运行。

#### 3.4 离散制造业的智能化重构

##### 3.4.1 汽车总装线的多模态协同控制

在新能源汽车总装车间，PLC系统构建了设备协同控制的中枢神经。以某车企电池包装配线为例，采用BeckhoffCX5140嵌入式PLC构建分布式控制网络，集成EtherCAT实时以太网协议，实现控制周期压缩至50 μs。系统通过128通道数字量输入模块采集24种传感器信号，包括激光位移传感器（精度±0.02 mm）、六维力传感器（分辨率0.1 N）及视觉引导系统的坐标数据。在关键工位，PLC实施动态任务调度算法，当AGV运送电池模组到位时，触发RFID读写器验证物料编码，PLC在3 ms内完成信息校验并激活机器人程序。装配过程中，PLC采用自适应PID算法控制伺服电机转速，根据实时扭矩反馈调整脉冲输出，确保M6螺栓预紧力控制在 $(12 \pm 0.5) \text{ N} \cdot \text{m}$ 。系统同步集成ANDON看板功能，当出现漏装或错装时，PLC驱动声光报警器在HMI呈现三维故障定位图<sup>[5]</sup>。

##### 3.4.2 机床中心的认知型控制升级

高端数控机床的PLC控制系统正在向认知型控制演进。例如：某精密模具加工企业引进的SiemensS7-1500PLC，配备工艺专家系统模块，内置15类材料加工参数库。在刀具管理环节，PLC通过振动传感器监测刀具磨损状态，采用小波包分析算法处理振动信号，当特征频率超过阈值时自动触发换刀流程。换刀过程采用双机械手协同作业，PLC控制刀库旋转加速度达 $12 \text{ rad/s}^2$ ，换刀时间压缩至1.8 s。在冷却系统控制中，PLC实施数字孪生策略，建立机床热变形模型，通过16通道热电偶实时采集温度场数据，预测主轴热伸长量并动态调整冷却液流量。实验数据显示，该策略使加工精度稳定性提升40%，刀具寿命延长35%。

#### 3.5 故障模拟

在系统动态响应模拟中设定了多种工况条件，包括各类负载变动和电机转速指令的调整，以此来检验系统的反应速度与稳定性。一旦系统从静止状态接收到启动信号，PLC即刻做出快速响应并指挥电机启动。实验结果显示，电机转速于0.45 s内自零加速至其额定转速的95%，这表明PLC的启动响应速度极为高效。在电

机维持稳定运转时引入了负载突增和突减的仿真测试。实验数据揭示,当负载增加 20% 时,系统能在 0.3 s 内适应并稳定于新工作状态;当负载减少 20% 时,系统同样能在 0.25 s 内恢复正常,充分证明了 PLC 在面对负载变化时的出色调节性能。

为了评估系统的故障检测、诊断与恢复性能,在故障模拟过程中构建了多种潜在故障场景,包括传感器故障、执行器故障以及通信链路故障。通过这些模拟,全面了解系统的应对策略及其有效性。当模拟传感器出现故障时,PLC 展现出高效响应,能在短短 0.15 s 内识别出异常并启动警报机制。PLC 具备智能切换功能,能够自动启用备用传感器,从而保证系统的不间断运行。在执行器故障的模拟测试中,PLC 能快速定位问题并执行安全停机程序,确保系统的稳定性和安全性。实验结果显示,从故障识别到系统完全停止运行的时间不超过 0.2 s,有效地防止了由于执行器故障引发的系统损害或安全事件。针对通信故障的模拟,PLC 能够在 0.5 s 内迅速检测到通信中断现象,并尝试切换至备用通信通道。实验数据表明,备用通信通道的切换成功率达到了 99%,成功地维持了系统数据的连续传输和整体稳定性<sup>[6]</sup>。

### 3.6 运动控制应用

在运动控制应用方面,PLC 技术为电气设备的精确运动操控提供了可靠解决方案。在数控机床加工过程中,PLC 与伺服驱动器、编码器协同工作,实现对机床各轴运动的精准控制。PLC 接收数控系统的指令,将其转化为脉冲信号和方向信号发送给伺服驱动器,驱动器驱动伺服电机运转,带动机床工作台或刀具按预定轨迹运动。同时,编码器实时反馈电机的实际位置和速度信息给 PLC,PLC 通过闭环控制算法对运动误差进行补偿,确保加工精度达到微米级。

## 4 PLC 技术在电气自动化控制系统中的发展趋势

### 4.1 认知智能技术融合

新一代 PLC 正在向认知智能方向进化,通过集成边缘计算单元实现本地 AI 推理。以某光伏设备制造商为例,其 PLC 控制系统搭载数字孪生引擎,实时构建设备运行状态模型,结合强化学习算法动态优化跟踪角度控制策略,使发电效率提升 4.2%。在故障预测领域,采用迁移学习技术构建多源异构数据融合模型,某风电场通过振动频谱分析与历史维护数据关联,实现齿轮箱故障预测准确率 92%,将计划外停机减少为 65%。这种认知智能升级使 PLC 从单纯执行控制指令向自主决策转变。

### 4.2 云边端协同控制架构

在工业互联网框架下,PLC 正成为边缘计算节点的重要组成部分。以离散制造场景为例,通过部署 TSN 时间敏感网络,构建 PLC—工业 PC 云平台的分层控制体系。某汽车零部件工厂实现 AGV 调度、冲压机控制、质量检测系统的纳秒级同步,使产线协同效率提升 38%。在分布式控制方面,开发基于区块链的智能合约技术,实现多 PLC 节点的可信协作。

### 4.3 推进设备智能化与标准化建设

智能终端设备在变电站与配网节点部署具备边缘计算能力的多核处理器架构,其嵌入式系统集成实时操作系统与轻量化虚拟化容器,支持保护测量算法与通信协议的动态加载更新。互操作体系构建遵循 IEC61850 标准的统一信息模型,采用制造报文规范与采样值传输协议分离的通信栈设计,使不同厂商设备能够解析语义一致的逻辑节点数据格式。系统集成平台建立设备能力描述文件的自动注册机制,该机制利用动态服务组合技术自动生成设备控制指令序列,保障跨安全域数据交互的完整性与机密性,形成从终端接入到业务调度的全链条标准化支撑能力<sup>[7]</sup>。

## 5 结束语

随着工业智能化、网络化的发展,PLC 技术仍面临诸多挑战,如与新兴技术的深度融合、应对更复杂控制需求等。未来研究可聚焦 PLC 技术与人工智能、物联网等先进技术的融合创新,探索其在智能电网、智慧工厂等领域的新应用模式,进一步提升 PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用效能,为电气行业的可持续发展注入新动力。

### 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,2025,45(01):129-131.
- [2] 陈征远.电气自动控制技术在新能源汽车中的应用[J].汽车画刊,2024,13(09):8-10.
- [3] 同 [2].
- [4] 马奇友.PLC 技术在电气仪表自动化控制中的应用研究[J].现代盐化工,2025,52(01):97-99.
- [5] 张俊莲.PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(02):55-57.
- [6] 马奇友.PLC 技术在电气仪表自动化控制中的应用研究[J].现代盐化工,2025,52(01):97-99.
- [7] 袁苑.PLC 技术在钢铁冶金企业电气自动化控制中的应用研究[J].冶金与材料,2025,45(01):53-55.