

PLC技术在电气仪表自动化控制中的应用研究

郑如江

贵州北源电力股份有限公司 贵州 遵义 563400

摘要: 工业自动化快速发展,传统电气仪表控制方式难满足高精度、高稳定性生产需求。本文聚焦PLC技术在电气仪表自动化控制中的应用,先明确其技术基础,再分析电气仪表自动化控制需求,挖掘PLC适配优势,结合化工、电力、制造业典型场景设计应用方案。研究表明,PLC技术可有效解决传统控制痛点,在提升系统可靠性、降本、增效方面价值显著,为自动化控制升级提供可行路径,具重要实践意义。

关键词: PLC技术;电气仪表;自动化控制

引言: 在工业自动化浪潮席卷之下,传统电气仪表控制方式在应对高精度、高稳定性生产需求时渐显乏力。PLC技术作为工业控制领域的核心力量,以其独特优势为电气仪表自动化控制带来新契机。本文深入剖析PLC技术的基础原理,细致探究其与电气仪表自动化控制需求的适配性,并结合化工、电力、制造业等典型场景设计应用方案,旨在为工业自动化控制升级提供有益参考。

1 PLC技术基础与原理

1.1 PLC的定义与组成

PLC(可编程逻辑控制器)是专为工业环境设计的数字运算系统,用于实现生产过程自动化控制。其核心由五大部件构成:中央处理单元(CPU)作为“大脑”,负责执行程序逻辑、处理数据并协调各模块;输入/输出模块(I/O模块)是连接电气仪表与执行机构的桥梁,输入模块将温度、压力等模拟量或开关信号转换为PLC可识别的电信号,输出模块将控制指令转化为阀门、泵等设备的动作信号;存储器分为程序存储器(存储用户程序)和数据存储器(暂存实时参数),确保程序稳定运行;电源模块提供稳定直流电源,并具备过压、过流保护功能,适应工业电网波动;通信模块支持Modbus、Profinet等协议,实现PLC与上位机、仪表的数据交互,为远程监控奠定基础。各部件协同工作,构成PLC的硬件支撑体系。

1.2 PLC工作原理

PLC采用“循环扫描”模式,按输入采样、程序执行、输出刷新三阶段循环运行,周期通常为几十至几百毫秒。输入采样阶段,PLC读取所有输入端子连接的仪表信号(如温度传感器的4-20mA信号、压力开关的通断信号),存入输入映像寄存器,确保扫描周期内数据稳定。程序执行阶段,CPU按用户程序(如梯形图)顺序执行逻辑运算,从输入映像寄存器调取数据,结合预设规则(如“温度 $>80^{\circ}\text{C}$ 时关闭加热棒”)进行判断,结果存

入输出映像寄存器。输出刷新阶段,PLC将结果传送到输出端子,驱动调节阀、加药泵等执行机构动作。此模式使PLC持续稳定处理仪表信号,精准执行控制指令,满足自动化控制的实时性需求^[1]。

1.3 PLC的主要特点

PLC技术因适配工业场景的特点被广泛应用。其一,高可靠性:采用工业级元器件与抗电磁干扰设计(如光电隔离),适应强电磁、高温、粉尘环境,平均无故障时间(MTBF)达数万小时,远超传统继电器系统。其二,灵活可编程:用户可通过编程软件(如西门子STEP7)修改逻辑,无需改动硬件接线,例如调整温度控制阈值或流量调节策略。其三,模块化结构:I/O、通信模块可按需扩展,新增仪表时仅需增加对应模块,降低升级成本。其四,故障诊断能力强:内置自诊断功能,实时监测硬件与仪表状态,故障时通过指示灯或上位机提示位置,便于快速排查。其五,兼容性优异:支持模拟量、数字量信号,兼容Modbus、Profinet等协议,实现多设备协同控制。

2 PLC技术在电气仪表自动化控制中的适配性分析

2.1 电气仪表自动化控制的核心需求

工业生产中,电气仪表自动化控制核心需求聚焦于生产稳定性、控制精度、可维护性与协同性。其一,参数采集与控制精度方面,电气仪表要精准采集温度、压力等关键参数,像化工反应釜温度控制误差要 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$,电力变电站电流监测精度达0.5级,控制单元依数据精准调节执行机构,保障产品质量与生产安全。其二,实时响应需求,参数超预设范围(如锅炉水位低),控制系统需1秒内响应,启动保护机制,防止事故扩大。其三,多参数协同控制,工业生产里多参数相互关联,如制造业生产线流量与液位需联动调节,控制系统要同步处理多仪表数据并协同控制。其四,故障预警与易维护,系统

需快速定位电气仪表或控制单元故障，如仪表断线、执行机构卡涩，并给出清晰提示，减少停机时间。其五，数据可追溯，需存储历史采集数据，如每日温度变化曲线等，便于后期生产分析、质量追溯及工艺优化。

2.2 PLC技术的核心优势与适配点

PLC技术的核心优势与电气仪表自动化控制需求高度契合，形成多个关键适配点。针对精度需求，PLC具备高精度信号处理能力，其模拟量输入模块分辨率可达12位甚至16位，能精准转换电气仪表的微弱信号（如4-20mA电流信号），结合PID（比例-积分-微分）控制算法，可实现温度、压力等参数的精准调节，如化工反应釜温度控制误差可从传统控制的 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 降至 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，满足高精度控制需求；在实时响应方面，PLC循环扫描周期短（最短可达10毫秒以内），能快速读取电气仪表信号并执行控制指令，当参数异常时，可在毫秒级时间内触发保护动作，适配实时响应需求；对于多参数协同控制，PLC支持多I/O模块扩展，可同时接入数十个甚至上百个电气仪表，通过程序逻辑实现参数联动，如制造业生产线中，PLC可同时采集流量仪表、液位仪表数据，当流量超过阈值时自动调节液位控制阀门，实现协同控制；在故障预警与维护上，PLC的自诊断功能可实时监测仪表连接状态与自身硬件健康度，若仪表信号异常，可通过HMI（人机交互界面）显示故障类型（如“温度仪表断线”），减少排查时间，适配易维护需求；此外，PLC的通信模块支持数据存储与上传，可将电气仪表历史数据传输至上位机或云端，满足数据可追溯需求，这些适配点使PLC技术成为电气仪表自动化控制的理想选择^[2]。

3 PLC技术在电气仪表自动化控制中的典型应用场景设计

3.1 化工行业：反应釜温度与压力控制

在化工行业，反应釜的温度与压力控制直接影响化学反应效率与产品质量，传统继电器控制难以实现二者协同调节，易出现温度过高或压力超标问题。基于PLC技术的应用场景设计如下：硬件方面，选用西门子S7-1200PLC作为控制核心，接入铂电阻PT100温度仪表（采集反应釜内温度，输出4-20mA模拟量信号）与扩散硅压力仪表（采集釜内压力，输出4-20mA模拟量信号），执行机构选用加热棒（控制升温）、冷却阀（控制降温）及泄压阀（控制压力），通过PLC的AI模块接收仪表信号，AO模块输出控制指令；软件方面，采用梯形图编写程序，设置温度控制目标为 $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、压力控制目标为 $0.5 \pm 0.05\text{MPa}$ ，加入PID调节算法与联锁逻辑：当温度 $< 78^{\circ}\text{C}$ 时，PLC控制加热棒启动升温，同时监测压力变

化；当温度 $> 82^{\circ}\text{C}$ 时，关闭加热棒并开启冷却阀，若压力同步超过 0.55MPa ，额外开启泄压阀；当压力 $< 0.45\text{MPa}$ 时，关闭泄压阀并根据温度状态调整加热或冷却动作。此外，程序中加入故障处理逻辑，若温度仪表信号超出 $0-100^{\circ}\text{C}$ 量程，PLC触发声光报警并显示“温度仪表故障”，同时切换至手动控制模式。

3.2 电力行业：变电站电压与电流监测控制

变电站作为电力传输的关键节点，需实时监测电压、电流参数，确保电网稳定运行，传统人工监测效率低、响应慢，难以应对突发参数波动。基于PLC技术的应用场景设计如下：硬件选用施耐德M340PLC，接入电压互感器（PT）与电流互感器（CT）作为电气仪表，PT将高电压（如10kV）转换为 $0-100\text{V}$ 模拟量信号，CT将大电流（如1000A）转换为 $0-5\text{A}$ 模拟量信号，通过PLC的AI模块采集信号，执行机构选用高压断路器、调压变压器，实现电压调节与电路保护；软件采用功能块图（FBD）编程，设置电压控制范围为 $10 \pm 0.2\text{kV}$ 、电流上限为800A，编写监测与控制逻辑：PLC实时采集PT、CT信号，转换为实际电压、电流值并在上位机显示；当电压 $< 9.8\text{kV}$ 时，控制调压变压器升压；当电压 $> 10.2\text{kV}$ 时，控制调压变压器降压；当电流 $> 800\text{A}$ 时，触发高压断路器跳闸，切断过载电路，同时记录故障时间与参数。为实现远程监控，通过Profinet协议将PLC与变电站监控中心上位机连接，管理人员可实时查看电压、电流曲线，远程修改控制阈值^[3]。该设计替代了传统人工监测，电压控制误差从 $\pm 0.5\text{kV}$ 降至 $\pm 0.2\text{kV}$ ，电流过载响应时间从10秒缩短至0.5秒，未发生因参数异常导致的电网故障，保障了电力稳定传输。

3.3 制造业：生产线流量与液位控制

制造业生产线（如饮料灌装、化工原料输送）中，流量与液位的稳定控制直接影响生产效率与产品一致性，传统单片机控制抗干扰能力弱，易出现流量波动、液位溢出问题。基于PLC技术的应用场景设计如下：硬件选用汇川H3UPLC，接入电磁流量计（采集管道流量，输出4-20mA信号）与超声波液位计（采集储罐液位，输出4-20mA信号），执行机构选用变频泵（调节流量）、电动阀门（控制液位），PLC通过AI模块接收仪表信号，AO模块控制变频泵频率与阀门开度；软件采用结构化文本（ST）编程，建立流量与液位的联动控制模型：设定生产线流量目标为 $50\text{m}^3/\text{h}$ ，储罐液位目标为60%（上限80%、下限40%）；当流量 $< 50\text{m}^3/\text{h}$ 时，提高变频泵频率；当流量 $> 50\text{m}^3/\text{h}$ 时，降低变频泵频率；同时，若液位 $< 40\%$ ，即使流量未达标，也优先提高变频泵频率补水；若液位

> 80%，关闭变频泵并开启电动阀门排水。程序中加入滤波算法，对流量、液位信号进行滑动平均处理，减少工业现场电磁干扰导致的信号波动。通过Modbus协议将PLC与生产线HMI连接，操作人员可实时查看流量、液位数据，设置参数阈值。该设计应用后，生产线流量控制误差从 $\pm 5\text{m}^3/\text{h}$ 降至 $\pm 2\text{m}^3/\text{h}$ ，液位控制误差从 $\pm 10\%$ 降至 $\pm 3\%$ ，灌装合格率提升至99.5%，设备停机维护次数减少40%。

4 PLC技术在电气仪表自动化中的应用优势

4.1 提高系统可靠性

PLC技术通过硬件冗余设计与软件自诊断功能，显著提升了电气仪表自动化系统的可靠性。其模块化结构支持关键部件（如CPU、电源模块）的热备冗余，当主模块故障时，备用模块可在毫秒级时间内无缝切换，确保系统连续运行。同时，PLC内置的故障检测机制可实时监测I/O点状态、通信链路及程序执行异常，通过报警日志精准定位故障源。例如，在石油化工反应釜控制中，PLC通过冗余配置与自诊断功能，将系统平均无故障时间（MTBF）提升至5年以上，较传统继电器控制系统可靠性提高3倍，有效避免了因控制中断引发的安全事故。

4.2 降低维护成本

PLC技术的模块化与标准化特性大幅降低了电气仪表系统的维护成本。传统控制系统采用硬接线连接，故障排查需逐点检测，耗时且易误判；而PLC通过软件编程实现逻辑控制，维护人员可通过编程软件在线读取故障代码、I/O状态及程序执行轨迹，快速定位问题模块。另外，PLC的通用I/O模块支持热插拔，故障单元更换无需停机，维护时间从小时级缩短至分钟级^[4]。

4.3 提升生产效率

PLC技术通过高速响应与多任务协同能力，直接推动

了电气仪表自动化系统的生产效率提升。其扫描周期可达毫秒级，能实时处理传感器信号并快速调整执行机构动作，满足动态生产需求。例如，在食品包装生产线中，PLC通过流量计与液位传感器实现液体定量灌装，结合高速计数模块协调泵速与阀门开度，使灌装精度达 $\pm 0.5\text{ml}$ ，生产节拍从每分钟30瓶提升至45瓶，日产能增加50%。此外，PLC支持与SCADA系统集成，通过数据可视化与远程监控功能，优化生产流程参数，进一步缩短产品切换时间，助力企业实现柔性制造与规模化生产双重目标。

结束语

PLC技术凭借高可靠性、灵活可编程、模块化结构、强故障诊断及优异兼容性等特点，与电气仪表自动化控制需求高度适配。在化工、电力、制造业等典型场景中，PLC技术通过精准的硬件选型与软件编程，实现参数的精准控制、多参数协同调节及故障快速处理，显著提升了系统可靠性、降低维护成本、提高生产效率。未来，随着工业自动化程度的不断加深，PLC技术将在电气仪表自动化控制中发挥更关键的作用，推动工业生产向智能化、高效化方向发展。

参考文献

- [1]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(1):97-99.
- [2]张桐硕.PLC技术在电气仪表自动化控制中的应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(5):47-49.
- [3]王含冰,韩卫华.PLC技术在电气仪表自动化控制中的应用研究[J].工程技术研究,2025,7(13):173-175.
- [4]亓延杰.PLC技术在电气仪表自动化控制中的应用研究[J].数字化用户,2024(33):79-80.