

电气运行PLC数字化控制及其电气运行主要技术分析

李广辉

国电电力邯郸东郊热电有限责任公司 河北 邯郸 057550

摘要：环节融入可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）数字化控制系统与电气运行技术极为关键。PLC数字化控制通过软硬件协同创新，显著提升了工业自动化的精度、效率与可持续性，成为智能制造转型的核心驱动力，电气运行技术通过自动化、数据驱动与智能化手段，实现电力系统的高效管控与安全运行，支撑现代能源体系的可持续发展，本文简述了PLC技术在电气自动控制环节中的优势与重要性，希望能够为同行业工作者提供一些参考。

关键词：可编程逻辑控制器（PLC）数字化控制；电气运行技术

随着时代的发展与进步，可编程逻辑控制器（PLC）内部结构也在持续更新，并在诸多领域中发挥着应用优势。尤其是在电子技术、控制技术以及计算机技术快速更新的背景下，PLC技术的应用更为广泛，在集成其原本的逻辑判断功能基础上，还兼顾着对数据进行统一处理及数据通信等诸多功能。

1 PLC与电气控制基础技术解析

1.1 电气控制基础核心要点。电路原理与保护机制，电路理论涵盖欧姆定律、基尔霍夫定律及串/并联电路特性，是分析控制系统的数学基础。保护环节包括过载（热继电器）、短路（熔断器）及失压保护，避免设备异常损坏。典型控制电路设计，点动/长动控制：通过按钮

与自锁触点实现单次或持续运行。互锁与顺序控制：防止电路冲突（如正反转互锁）或按预置流程操作多设备。

1.2 PLC核心技术与应用。系统架构与工作原理，PLC由CPU、I/O模块、通信模块构成，通过输入扫描→程序执行→输出刷新周期实现自动化控制。采用软接线逻辑编程（如梯形图），对比传统电气控制的硬接线方式，显著提升灵活性与扩展性。编程语言与功能实现，常用语言包括梯形图（LD）、指令表（IL）及功能块图（FBD），支持逻辑控制、定时计数、通信协议集成等复杂功能。高级应用涉及PID算法、数据通信（Modbus、Profibus）及多设备网络化协同控制。

1.3 PLC与传统电气控制对比。

维度	传统电气控制	PLC控制
控制逻辑	依赖继电器、接触器硬件组合	基于软件编程实现柔性逻辑
扩展性	修改需重新布线，成本高	程序修改灵活，支持远程调试
可靠性	触点磨损易故障	无机机械触点，抗干扰强
复杂度	适合简单逻辑	支持多任务及高级算法处理

1.4 学习路径与实践建议。知识储备，电气基础：掌握电路理论、低压电器（接触器/继电器）原理及安全规范。自动化理论：了解闭环控制、PID算法及传感器/执行器选型。技能提升，编程训练：通过三菱FX2N等系列PLC实操项目（如电机启停、流水线控制）熟悉GX Developer软件。认证体系：考取PLC编程证书（基础/高级）或注册电气工程师证书强化职业竞争力。

1.5 技术演进与应用领域。发展趋势：工业互联网推动PLC与SCADA、MES系统深度融合，支持边缘计算与大数据分析。典型场景：智能制造（柔性生产线）、楼宇自动化（HVAC控制）及能源管理（电网调度）。

2 PLC数字化控制的核心优势分析

2.1 核心控制能力优化。灵活可编程性，支持梯形

图、结构化文本等多种编程语言，可快速构建复杂控制逻辑，适应多场景需求（如生产线动态调整）。控制逻辑修改无需硬件调整，显著缩短开发周期并降低改造成本。高实时性与响应速度基于实时操作系统（RTOS），指令执行时间达微秒级，满足高速生产线、精密加工等场景的毫秒级响应要求。通过固定周期扫描机制（输入→处理→输出），确保工业过程控制的时序精确性。抗干扰与稳定性，采用光耦隔离、模块化分层设计，有效抵御工业环境中的电磁干扰与温湿度波动。冗余配置（双电源/CPU）实现关键设备的“零停机”运行，保障连续生产可靠性。

2.2 系统扩展与集成能力。模块化架构设计，支持I/O模块、通信接口灵活扩展，预留插槽适配未来硬件升级

(如增加模拟量输入或专用协议模块)。兼容多种工业协议(Modbus、Profinet),实现与MES、SCADA等系统的无缝数据交互。

物联网与智能化集成,集成边缘计算能力,本地部署AI推理模块实现预测性维护(如设备异常预警)。支持云平台远程监控与数据分析,助力企业优化能耗管理及生产工艺。

2.3 全生命周期效益提升。能效管理,动态负载调节+智能休眠模式,待机能耗降低18%,生产能耗减少12%。运维便捷性,图形化编程+在线调试功能,调试周期缩短40%,维护成本下降30%。生产质量,PID闭环控制+多轴同步算法,产品合格率提升15%-20%。

2.4 技术演进趋势。开放式协同:通过OPC UA协议实现跨品牌设备互通,推动工业生态互联;绿色化升级:深度整合能源管理算法,降低碳足迹并满足“双碳”政策要求;AI深度融合:结合数字孪生技术,实现虚拟调试与工艺仿真优化。

3 电气运行主要技术分析

3.1 系统监控与数据分析技术。状态监测与故障预警,通过传感器实时采集温度、压力、电流等设备参数,结合SCADA系统远程监控运行状态,实现异常预警与故障快速定位。应用预测性维护技术(如振动分析、热成像),动态评估设备健康度,降低非计划停机风险。智能化巡检与数据管理,采用无人机巡检、机器人自动巡检替代人工操作,提升变电站、输电线路的检查效率与安全性。构建历史数据库存储运行日志与工艺参数,支持数据回溯与优化决策分析。

3.2 自动化控制技术。PLC与SCADA集成控制,PLC通过梯形图编程实现设备启停序列控制(如电机连锁、多轴同步),降低人工干预复杂度。SCADA系统整合PLC数据,实现电网调度、变电站操作的集中监控与远程指令下发。高级算法应用,PID调节:闭环控制锅炉温度、水轮机转速,提升系统稳定性;同步控制:在轧机、风机群控中实现多设备协同运行,避免过载或相位冲突。

3.3 能源管理技术。能效优化,动态调节负载分配策略(如峰谷电价响应),结合智能电表数据优化电网经济运行模式。应用粒子群优化、遗传算法等智能算法进行无功补偿与功率因数调节,降低线损。负荷预测与调度,基于历史负荷数据与气象参数(如温度、湿度),预测电力需求并制定发电计划;支持可再生能源(风电、光伏)并网调度,提升清洁能源消纳能力。

3.4 稳定性维护技术。暂态与稳态分析,通过潮流

计算(牛顿-拉夫逊法)评估电网运行状态,优化节点电压与功率分布;暂态稳定分析(如小干扰稳定、低频振荡抑制)用于故障模拟与保护策略验证。保护与容错机制,配置继电保护装置(距离保护、差动保护)实现短路、接地故障的毫秒级切除;冗余设计(双电源、备用线路)保障关键设备在极端工况下的连续运行。

4 PLC在电气运行中的应用实例解析

4.1 工业生产场景。组合钻床多工序控制,控制要求:实现钻孔、夹紧、旋转等工序联动,保障加工精度与效率。通过PLC编程控制液压电磁阀与电机启停,完成大钻/小钻同步下降、工件旋转120°等动作,并支持3次循环后自动复位。

实现方式:采用三菱PLC步进指令(STL)划分工序阶段,结合计数器(C0)记录循环次数,通过限位开关(X1-X7)触发状态转移。液体混合装置精准控制,工艺需求:精确控制多种液体的注入比例与混合时间,避免溢出或配比错误。PLC需监测液位传感器并控制阀门开闭时序。技术实现:通过模拟量模块(A/D转换)采集液位数据,结合定时器与比较指令控制电磁阀动作,故障时自动停转并报警。

4.2 公共设施与能源场景。十字路口交通信号灯控制,控制逻辑:南北/东西方向红绿灯交替运行,绿灯亮25秒后切换黄灯3秒,红灯期间禁止冲突方向通行,支持应急模式切换。PLC应用:采用西门子S7-200 SMART编程,通过定时器(T37-T42)实现时序控制,互锁逻辑防止绿灯同时点亮。楼宇电梯智能调度,

功能要求:响应楼层呼叫指令,优先处理同方向请求,禁止逆向响应。支持故障自检与安全停梯。实现方案:PLC通过高速计数器记录轿厢位置,结合编码器反馈实现平层精准停靠,冗余设计保障紧急制动功能。

4.3 电力系统应用。三相异步电动机控制,典型功能:单向连续运行、点动控制及过载保护。通过PLC替代传统继电器实现软启动与联锁逻辑。编程实例:三菱FX系列PLC中,利用自锁触点(Y0)与停止按钮(X1)构建启停电路,热继电器(X2)触发过载停机。智能电网负载调节,场景需求:动态平衡电网负荷,响应峰谷电价策略。PLC整合智能电表数据,调节分布式能源接入功率。技术路径:基于Modbus协议与SCADA系统通信,调用PID算法优化无功补偿,降低线损并提升供电稳定性。

4.4 创新案例。AI集成应用:PLC结合边缘计算模块实时分析设备振动数据,预测电机轴承磨损并提前预警(如振动频谱分析);数字孪生调试:通过虚拟PLC(如TIA Portal仿真功能)模拟生产线运行状态,减少现场调

试时间与成本。

5 PLC 技术的未来发展趋势分析

5.1 智能化与边缘计算深度融合。AI赋能控制逻辑，集成边缘计算模块，支持本地部署AI推理功能，实现设备异常预警（如轴承磨损预测）与工艺参数动态优化；结合数字孪生技术，构建虚拟调试平台，缩短工程项目开发周期并降低试错成本。智能算法应用扩展，采用深度学习算法优化多轴同步控制（如半导体晶圆加工设备）和动态负荷调节（如风电功率预测）；融合实时数据分析能力，实现预测性维护与能效管理闭环控制。

5.2 网络化与开放架构升级。工业物联网（IIoT）深度集成，支持OPC UA、MQTT等协议，实现跨平台设备互联与数据透明化传输，提升生产系统协同效率；通过5G通信模块强化远程监控能力，满足分布式能源站等场景的低时延控制需求。

开放式生态构建，兼容多种工业总线协议（如EtherCAT、Profinet），打破传统封闭式架构限制；推动软硬件解耦开发模式，支持第三方功能模块灵活接入（如定制化安全算法）。

5.3 模块化与场景定制化。微型化与高性能并存，小型PLC（如汇川H3U系列）扫描速度突破0.1μs/指令，满足3C电子等高精度制造需求；模块化设计支持按需组合功能单元（如运动控制卡、安全扩展模块）。垂直行业深度适配，开发专用PLC方案（如和利时WP系列风电控制器），集成行业特定算法与通信接口；面向锂电、半导体等行业提供定制化开发套件，缩短二次开发周期。

5.4 绿色化与可持续发展。能效优化技术：动态调节设备运行功率，结合峰谷电价策略降低能耗成本；碳中和

驱动：整合碳足迹追踪算法，支撑制造业绿色转型目标。

5.5 国产化替代加速。技术突破，国产中大型PLC突破高速总线协议（如EtherCAT）核心技术，扫描速度达国际同类产品水平；市场份额提升：小型PLC国产化率超21%，逐步渗透高端装备制造领域。生态建设，构建产学研联合开发平台，攻克复杂系统控制算法与高精度运动控制技术；依托性价比优势抢占新兴市场（如新能源汽车、光伏设备）。

综上所述，PLC技术正通过智能化、网络化与安全可靠性的多维度创新，推动工业控制从“自动化”向“自主化”跃迁，成为智能制造与数字化转型的核心基础设施。为了顺应逐渐变化的市场趋势，我们应当重点关注产品质量与数量的提升过程。通过将合适的PLC技术融入到实际生产过程中，从而为生产具有高性价比特征的产品提供基础支撑，实现可持续发展的重要目标。

参考文献

- [1] 翁馨. 电气自动化中的PLC控制技术应用[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(08): 1-2, 6.
- [2] 崔潇彬, 郭钟仁, 冯易, 潘子睿. PLC技术在电气工程自动化控制中的应用探究[J]. 科技资讯, 2020, 18(24): 81-83.
- [3] 苏珩. 基于PLC技术的电气工程自动化控制应用[J]. 电子制作, 2020(16): 81-82.
- [4] 杨杰. PLC技术在电气工程及其自动化控制[J]. 建材与装饰, 2020(21): 255, 257.
- [5] 高晓. PLC技术在电气工程及其自动化控制中的应用[J]. 幸福生活指南, 2022(37): 173.
- [6] 王光明. 电气工程自动化控制中PLC技术的应用[J]. 湖北农机化, 2020(13): 76-77.