

基于 PLC 的供配电自动化控制系统设计与优化

王飞¹ 姚慎康² 陈英²

1 杭州天泽净化科技有限公司, 浙江 杭州 310000

2 杭州天创环境科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]现代供配电系统对自动化和智能化水平的要求不断提升, 于是以 PLC 为核心控制单元构建了自动化控制系统, 该系统靠模块化设计, 能实时监控配电设备、诊断故障并进行远程操作, 可有效提升供配电系统的运行效率与安全性, 而且根据现场运行数据优化控制逻辑和通信结构, 能显著降低能耗和故障率, 研究显示该系统响应速度快、稳定性高、扩展灵活, 工程应用前景良好。

[关键词]PLC 控制; 供配电系统; 自动化; 系统优化; 智能监控

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16898

中图分类号: TP2

文献标识码: A

Design and Optimization of Power Supply and Distribution Automation Control System Based on PLC

WANG Fei¹, YAO Shenkang², CHEN Ying²

1. Hangzhou Tianze Purification Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

2. Hangzhou Tianchuang Environmental Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: With the continuous improvement of automation and intelligence level in modern power supply and distribution systems, an automation control system has been constructed with PLC as the core control unit. The system relies on modular design to monitor power distribution equipment in real time, diagnose faults, and perform remote operations, which can effectively improve the operational efficiency and safety of the power supply and distribution system. Moreover, by optimizing the control logic and communication structure based on on-site operation data, it can significantly reduce energy consumption and failure rate. Research has shown that the system has fast response speed, high stability, and flexible expansion, and has a good prospect for engineering applications.

Keywords: PLC control; power supply and distribution system; automation; system optimization; intelligent monitoring

引言

工业自动化水平不断提升, 传统供配电系统在运行效率、管理方式、故障应对上满足现代化需求已难, 而 PLC 这种高效、稳定且可编程的控制技术正广泛用于各类自动化系统, 给供配电领域变革带来新契机, 并且引入 PLC 控制后供配电设备能被实时监控与智能管理, 系统稳定性与安全性也能显著提升, 当前工程技术人员关注的热点问题是怎样充分发挥 PLC 技术优势构建高效、可靠、智能的供配电控制系统。

1 PLC 技术在供配电自动化系统中的应用价值分析

智能化建设加速发展, 供配电系统自动化、智能化水平被要求得更高, 而 PLC 技术有着稳定、灵活、可编程等优势, 是实现高效控制的关键工具。

1.1 技术特点与优势

PLC (可编程逻辑控制器) 结构紧凑、模块组合灵活且抗干扰性能强, 在工业自动化控制场合被广泛应用。与传统继电器—接触器系统相比, PLC 响应速度更快、逻辑处理能力更强, 通过程序就能灵活设定复杂控制流程和逻辑判断, 从而大幅提高系统自动化水平。在供配电系统里, PLC 支持多种通信协议, 可与上位机、HMI 等设备无缝连接, 还能实现电源状态、电压电流、开关状态等参

数的实时采集与控制。它为模块化结构, 便于扩展、维护和升级, 特别适用于数据中心、医院、工厂等对控制连续性要求高的场所。一旦使用冗余热备、双 CPU 等容错手段, 在关键设备故障时 PLC 就能自动切换, 保障系统不间断运行, 其可靠性和智能化管理优势非常高。

1.2 应用于系统设计

供配电系统结构设计时, 人们广泛把 PLC 作为主控单元嵌入控制柜, 再结合电压互感器、电流传感器、温度检测器等外围设备构建起全面自动化监控体系, PLC 程序逻辑设定后, 系统就能精确控制主电源回路、备用电源切换、无功功率补偿等功能模块并自动进行故障诊断、报警提示、电源切换等操作, 从而最大程度减少人为干预, 降低误操作风险, PLC 通信接口可与 SCADA、DCS 等上位系统集成构建集中管理和远程监控双重机制, 使供配电系统运维效率大幅提高, 能耗优化上, PLC 能实时采集负载运行参数, 动态调整供电方案, 电能利用效率得以提升, 这是实现绿色节能控制的关键支撑手段。

1.3 提升运维效率

供配电系统运行维护阶段, PLC 系统智能化管理优势卓越, 其内置自诊断功能可实时监测各个系统模块, 自

动记录运行状态、报警信息、故障代码和时间戳等关键数据，为故障分析和维护决策提供详实依据，运维人员通过人机界面（HMI）以图形方式直观查看系统运行状态、开关位置、电流电压曲线等信息，无需进入高压机柜或中控室就能远程调整参数、升级程序、优化运行策略，从而大大降低人力成本和安全风险，并且 PLC 能连续记录大量运行历史数据，结合边缘计算或上传到云平台，为能耗评估、故障趋势预测、系统优化调整提供数据支撑，使供配电系统从“被动维护”变为“主动运维”，提高稳定性和可靠性，为企业构建数字化、智能化能源管理体系奠定坚实基础，推动传统电气管理迈向高效、可视、可控的现代运维模式。

2 供配电自动化控制系统的整体架构设计

供配电自动化控制系统运行效率与稳定性直接受其结构设计影响，只有系统架构科学合理，多层次控制、功能模块互联、高效数据采集与处理才有望实现。

2.1 系统组成模块

电力现场设备、PLC 控制单元和上位监控平台这三部分构成了整个 PLC 供配电控制系统，由此构建智能化自动控制体系。变压器、断路器、开关柜、电能计量装置及无功补偿装置等现场设备承担电能传输、保护和基础测量的工作以保障供电稳定性。PLC 控制单元作为系统的核心连接传感器和执行器，实现状态采集、逻辑判断、控制指令下发等功能，堪称系统的“中枢神经”。上位监控平台集成人机界面（HMI）、数据库和分析工具并与 PLC 通信，实现远程控制、数据可视化、报警记录、参数配置等功能。通过标准通信协议，这三者互联互通形成一个运行高效、响应灵敏的闭环控制系统，强有力地支撑供配电系统智能化、自动化管理。

2.2 通信网络设计

PLC 供配电系统里，通信网络犹如神经通道，对各模块协同运行有关键意义，通常系统会用工业以太网和 RS485 总线混合组网来保障数据传输速度和抗干扰性能。现场层中，PLC 跟变压器、开关柜等设备通过 Modbus、PROFIBUS 等工业总线协议实时通信，从而能高效采集数据并精准下达控制指令。控制层和管理层之间，PLC 和上位监控平台采用 TCP/IP 协议双向高速稳定通信，可满足远程访问、维护和参数调取等需求。网络架构里设计了冗余通道、自动切换网关，还有工业级抗雷击、防电磁干扰措施，这能提升系统整体通信可靠性，有效保障复杂高压强磁环境下通信系统持续稳定运行，从而奠定供配电系统智能化管理的坚实基础。

2.3 控制逻辑规划

供配电系统架构设计时，电源切换、故障隔离、报警响应、负载优先级等实际需求需在控制逻辑编排中被充分考虑，并且 PLC 编程可采用梯形图、功能块、顺序图等方式设定自动、手动、检修、紧急停机等多种运行模式以灵活应对不同工况，各逻辑模块既能独立运行又可根据系统状态联动响应，某回路电流异常时 PLC 自动切换到备用电源且触发声光报警、人机界面提示、远程告警，控制程

序设计成模块化结构方便系统升级和维护，将功能单元独立封装可提升程序可维护性和系统可扩展性从而保障系统在后续应用中持续优化和适应的能力。

3 PLC 控制模块的功能实现与逻辑优化

供配电自动化系统的核心是 PLC 控制模块，系统响应速度、控制精度和运行安全性直接受其功能实现与逻辑结构影响，优化控制逻辑就能显著提升系统智能化水平和整体效能。

3.1 核心控制功能

供配电系统中关键设备的开关操作、电压电流监测、过载保护、无功补偿控制以及备用电源切换等功能主要由 PLC 控制模块承担，PLC 凭借数字量输入输出（DI/DO）和模拟量输入输出（AI/AO）接口实时采集母线电压、电流、电度等各类信号，并用处理结果驱动开关量输出从而下达控制命令，且 PLC 内部可设定时间延迟、联锁逻辑以及优先级判断以保证操作的正确性与安全性，主电源失压时 PLC 就能自动控制切换到备用电源并记录事件数据供后台分析用。

3.2 逻辑结构优化

PLC 控制程序要适应复杂运行环境就得采用模块化、分层次的逻辑结构，模块化设计使各功能单元可独立开发与维护，如主电源控制模块、负载管理模块、报警模块等都有独立功能段，分层设计将底层设备控制、中层逻辑判断、上层数据通信分得很清楚从而提升程序的可读性和可扩展性，设置中断处理机制和优先级调度可提高系统多任务并发时的响应能力，优化时要靠仿真模拟和现场调试不断完善逻辑结构才能保证多种运行工况下系统稳定运行。

3.3 异常处理策略

供配电系统运行时设备故障、电压波动等异常情况不可避免，PLC 控制模块要有完善的故障检测与处理机制，过载、电压偏移、短路等都要能快速识别并触发保护逻辑，并且系统能设置多级报警响应机制，轻微异常发提示信号，严重故障执行断电保护、报警联动和数据上报等操作，而且 PLC 还得对历史故障记录分类，帮助运维人员做趋势分析和故障预测，通信中断、模块失灵等故障也应该设置旁路运行或手动接管逻辑以保证供电不断，提高系统容错能力和运行可靠性。

4 系统运行性能测试与优化策略探讨

供配电自动化控制系统好不好核心指标是系统运行性能，通过全面运行测试和针对性优化既能验证系统稳定性，又能提升系统在实际应用中的可靠性与智能化水平。

4.1 运行稳定性与响应速度测试

系统正式投运前，需从多维度对运行稳定性与响应速度进行测试，测试内容包括电源切换响应时间、过载识别速度、开关执行延迟、通信时延等关键参数，模拟主电源断电场景时，系统平均切换时间被控制在 1.5s 以内且备用电源投入迅速，连续供电得到有效保障，过流或短路状态识别以及执行断电操作普遍 100ms 内就能完成且响应效率极高，高频电磁干扰模拟还验证了 PLC 的抗干扰性

能,系统运行没明显信号漂移或误动作,表明其在复杂工业环境适应能力优良,测试指标显示,系统控制操作能够快速、稳定、精准实现。

4.2 控制精度与数据一致性验证

电气参数的采集与控制精度除系统响应能力外也得全面验证,将 PLC 采集的电压、电流、功率因数等实时数据与高精度测量仪器结果对比,系统误差大多在 $\pm 1.5\%$ 以内,可完全满足工业级控制精度要求,在工况中负载频繁变化时数据波动系统捕捉灵敏,能准确反映负荷特征并实现智能判断和自动调节,而且系统通信机制支持多源数据同步,可保证各节点之间信息一致,避免数据偏差导致的误操作,为验证数据一致开展了不同通信路径和控制周期下的长时间运行测试,系统表现稳定、数据同步良好,这说明了在复杂控制网络里具备高可用性和协调性。

4.3 优化策略与系统性能提升

以性能测试为基础进一步提出针对性优化策略,提升系统运行效能与用户体验。在程序逻辑里添加自主学习功能模块,它能依据历史数据动态调整负载切换策略和设备启动顺序以避免电流冲击。优化 PLC 的扫描周期与中断优先级设置来缩短关键任务响应时间,提高系统整体运行效率。在硬件方面引入高速 ADC 模块和冗余通信网关以提升数据采集速度和通信稳定性。开发可视化运维界面以满足运维需求并集成实时曲线分析、故障趋势预测、能耗统计等功能,有助于管理人员进行精细化运维。上述多维优化措施让系统在连续运行时平均响应延迟降低 18%、通信中断率减少 40%、故障恢复时间缩减一半,性能显著提升。

5 基于工程实践的系统应用成效与发展展望

PLC 在供配电自动化控制系统中的综合性能与应用价值通过实际工程项目的部署运行能得到全面检验,从工程实践总结经验有助于推动系统在更大范围、更高层级的持续优化与推广。

5.1 工程项目中的应用表现

某工业园区变配电工程全面部署应用的 PLC 自动化控制系统包含 10 多个低压配电室和两座主变电站,集成远程监控、能耗统计、故障预警等功能模块,实际运行时供电参数可被系统全天候实时采集和反馈,异常发生时能在毫秒级响应时间内启动保护动作且人机界面同步告警,连续 3 个月运行监测系统在线稳定率保持 99.8%且故障响应平均时间不到 1.3s,比传统人工控制方案好得多,可自动切换电源、智能识别负载优先级,有效减少电能浪费且运维成本降低约 18%,可见 PLC 控制系统提升供电可靠性,在能源管理和设备保护方面效益显著。

5.2 技术优势的综合体现

PLC 系统在集成性、智能化与灵活性方面的优势被工程实践进一步凸显出来,由于系统是模块化设计的,各功能板块能按需配置或扩展,极大地提升了工程实施的适配性,在

电力波动频繁、负荷复杂变化的现场环境中,PLC 靠自适应逻辑调节与状态记忆功能,能对重要负载优先保护并进行动态平衡调整,并且系统支持多种通讯协议,可与现有能源管理系统、楼宇自动化平台无缝对接,增强了整体信息联动能力,项目里采用了移动端控制终端,管理人员能随时远程查看供电状态与能耗趋势,提升了数据的可视化与管理的智能化水平,从实践效果来看,这个系统已不只是一个“控制终端”,而是逐渐变成支撑智能供电体系建设的“神经中枢”了。

5.3 智能发展趋势与未来方向

未来,供配电自动化中的 PLC 控制系统会朝着更高智能化、更强融合性发展,一方面,人工智能和边缘计算技术融入后,PLC 系统数据分析、故障预测和自主优化能力会更强,从而从“被动响应”转为“主动决策”,另一方面,系统开放性和互联能力会进一步提升,能更广泛地对接能源管理平台、智慧园区系统、工业互联网平台等以达成跨系统数据共享和协同控制,由于节能减排和绿色发展要求愈发凸显,PLC 系统也会集成更精细的能效控制模块,借助实时能耗分析和策略推送,引导用户科学用电、绿色运维,系统软硬件会不断向小型化、高速化、低功耗发展,进而进一步拓展其在智能楼宇、新能源电站、微电网等新兴场景的应用范围,PLC 控制系统在未来电力自动化领域的角色将更核心、更多元。

6 结语

PLC 供配电自动化控制系统有着高度的稳定性、灵活性和智能化特点,在实际工程里优势显著,从系统架构设计、功能实现,到运行优化,再到工程应用和未来发展方向都展现出强大的应用潜力和技术生命力,模块化设计、逻辑优化与智能控制相结合提升了供电系统的运行效率和安全性且为能源管理和智慧运维可靠支撑,新一代信息技术不断融合会使 PLC 控制系统在智能电力领域持续迭代升级有助于构建更高效、绿色、智能的供配电管理体系。

[参考文献]

- [1]姜悦.基于 PLC 的楼宇供配电系统研究[D].吉林:吉林建筑大学,2017.
- [2]韦奇.贵港棒材生产线电气控制系统设计与实现[D].沈阳:东北大学,2019.
- [3]陈龙.节制闸供配电系统及自动化控制系统设计探析[J].黑龙江水利科技,2019,47(11):58-60.
- [4]陈浩.电气自动化控制在供配电系统中的运用[J].当代化工研究,2020(20):81-82.
- [5]李振宇.基于 PLC 的供配电监控系统设计探讨[J].矿业装备,2020(1):30-31.

作者简介:王飞(1986.6—),毕业院校:中国计量大学现代科技学院,所学专业:测控技术与仪器,当前就职单位:杭州天泽净化科技有限公司,职务:电气工程师,职称级别:中级工程师。