

# 低压配电系统自动化改造工程设计与实施

陈海华

362422\*\*\*\*\*0818

**摘要:** 随着现代工业与建筑用电负荷的复杂化与精细化,传统低压配电系统在运维效率、故障响应与能源管理等方面的不足日益凸显。为提升供电可靠性、实现智能化运维与节能降耗,低压配电系统自动化改造成为重要技术途径。本文围绕某典型工业园区的低压配电系统自动化改造工程,系统阐述了从项目需求分析至竣工验收的全过程。改造方案以“安全、可靠、经济、高效”为原则,通过集成智能断路器、多功能仪表等前端设备,构建分层分布式架构的自动化系统,并设计基于工业以太网与现场总线结合的混合通信网络。监控软件平台具备实时数据采集、故障预警与定位、电能质量分析及远程控制等功能。本文详细探讨了一次系统改造、自动化系统集成、施工组织及系统调试等关键环节的设计与实施要点。实践表明,该改造工程显著提升了配电系统的可视化水平与运维效率,降低了非计划停电风险,为同类项目提供了参考。

**关键词:** 低压配电系统; 自动化改造; 智能设备; 通信网络; 监控系统; 施工调试

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.03.004

## 引言

低压配电系统作为电能输配的“最后一公里”,其运行状态直接关系到电力用户的生产安全与用电质量。传统低压配电系统多依赖人工巡检与操作,存在信息孤岛、故障响应滞后、能效管理粗放等问题。近年来,物联网、智能传感与数字通信技术的发展,为配电系统实现实时监控、智能分析与主动运维提供了坚实支撑。实施自动化改造,不仅是提高供电可靠性与安全性的必然要求,也是企业实现数字化转型、践行绿色低碳发展的重要举措。

## 1 项目概述与需求分析

本项目改造对象为某工业园区内的三座核心低压配电所,主要为园区内的生产车间、研发中心及辅助设施供电。原有系统采用常规断路器与指针式仪表,保护功能单一,无远程监控与数据采集能力。日常运维依赖人工抄表与定期巡检,故障处理耗时较长,且缺乏历史数据支撑的预防性维护能力。随着园区产能提升与精密设备增加,对电能质量与供电连续性的要求日益严苛,原有系统已难以满足发展需求。

通过对业主方运维部门、生产部门的深入调研,明确本次改造的核心需求如下:(1) 安全可靠提升:实现短路、过载等故障的快速隔离与非故障区域恢复供电,减少停电范围与时间。(2) 状态实时感知与可视化:实时监测各回路电流、电压、功率、电能、功率因数等电气参数,以及断路器分合闸状态,形成全系统可视化监控。(3) 故障预警与定位:具备越限报警、故

障事件顺序记录(SOE)与故障区间自动判断功能,辅助运维人员快速定位故障点。(4) 电能管理与分析:实现分时段、分回路电能计量与统计,分析能耗规律,支持节能决策。(5) 远程可控与运维便捷:在安全权限管控下,支持对关键回路进行远程分合闸操作,并生成标准化运行报表,降低人工劳动强度。基于上述需求,制定了以智能化设备更新为基础、以网络化通信为纽带、以平台化监控为核心的总体改造目标。

## 2 系统总体设计

遵循“分层分布式、集中管理”的设计思想,将改造后的自动化系统分为三层结构:设备层、通信层与监控层。

设备层作为系统基础,由安装在低压开关柜内的各类智能设备构成,主要包括:框架式智能断路器、塑壳式智能断路器、多功能电力仪表、电动机保护器、智能I/O模块以及温湿度传感器等。这些设备负责电气参量采集、本地保护与控制指令执行。

通信层承担数据上传与指令下达的传输任务。针对配电所内设备分布集中、数据实时性要求高的特点,采用“现场总线+工业以太网”的混合组网模式。设备层智能装置通过Modbus-RTU、Profibus-DP等现场总线连接至就近的通信管理机(或网关);各配电所的通信管理机则通过光纤工业以太网交换机联成环网,上传至监控中心的核心交换机,确保通信可靠性与带宽。

监控层部署于园区能源监控中心,硬件包括数据服务器、应用服务器、操作员工作站、网络打印机及大屏

幕显示屏等。软件系统采用 SCADA (数据采集与监控) 平台,集成实时数据库、人机界面 (HMI)、报警管理、历史数据存储、报表生成及 Web 发布等功能。该层作为人机交互核心,实现对全园区低压配电系统的集中监控、分析与管理。

总体架构强调开放性、标准化与可扩展性,支持未来与上级能源管理系统 (EMS) 或配电自动化主站的接口对接。

### 3 关键技术方案设计

#### 3.1 智能设备选型与配置

智能设备的选型遵循可靠性、兼容性及功能适配性原则。对于进线、母联及重要出线回路,选用具备高分段能力、集成全电量测量、保护及通信接口的框架式智能断路器。其内置的微处理器能够实现高精度参数测量与多种保护特性曲线设定,并通过通讯接口上传实时数据和接收遥控命令。

对于一般馈线回路,选用带通信模块的塑壳式智能断路器或“传统塑壳断路器+智能脱扣器”方案,配合独立安装的多功能电力仪表,实现测量与保护功能的分离与互补。多功能电力仪表需至少满足对三相电压、电流、有功/无功功率、功率因数、频率、四象限电能等参数的测量,并具备开关量输入 (DI) 用于状态监视、继电器输出 (DO) 用于远程控制。

此外,在关键节点柜内配置智能 I/O 模块,用于采集传统开关的辅助触点信号及驱动分励脱扣线圈;在电缆接头、母线排等易发热处安装无线测温传感器;在配电室环境部署温湿度传感器,全方位构建系统感知网络。

#### 3.2 通信网络设计

通信网络的可靠性与实时性是自动化系统运行的命脉。设计方案如下:

所内网络:每个配电所内,同一面或相邻开关柜内的智能设备 (仪表、断路器) 通过屏蔽双绞线,采用菊花链或总线型拓扑连接至一台或多台通信管理机。通信协议优先选用应用广泛、协议开放的 Modbus-RTU。通信管理机负责协议转换、数据集中与预处理,将不同总线的数据统一封装为 Modbus-TCP/IP 或 IEC 60870-5-104 等标准规约<sup>[1]</sup>。

所间骨干网:三个配电所与监控中心之间,采用单模光纤构建千兆工业以太光环网。每个站点配置两台支持环网协议的工业级以太网交换机,形成物理环网、逻辑线型的冗余链路,确保单点光纤断裂时网络通信能在 50ms 内自愈恢复,满足实时监控要求。监控中心核心

交换机作为环网管理主站。

网络安全:在监控中心网络出口处部署工业防火墙,严格限制访问端口与 IP 地址,实现生产控制网与办公信息网的逻辑隔离,保障系统网络安全。

#### 3.3 监控系统设计

监控软件平台是系统功能的集中体现,选用成熟稳定的商用 SCADA 软件进行组态开发。

数据采集与处理:配置前置通信服务,与各配电所的通信管理机建立稳定连接,按照预设周期轮询采集数据,并进行数据有效性校验、工程值换算及越限判断。

人机界面 (HMI):设计分层分区的系统主接线图,直观显示各回路的实时参数、断路器状态。界面支持导航树、动态着色、潮流方向指示、告警闪烁等。提供单线图、列表、曲线、棒图等多种数据展示方式<sup>[2]</sup>。

报警与事件管理:建立分级报警机制,报警信息包含时间、位置、类型、数值、限值等。支持声光提示、弹窗、短信 (或移动 App) 推送等多种通知方式。所有操作记录、报警事件、SOE 均存入历史数据库,可按条件查询与回放。

控制功能:设计严格的遥控操作流程,包括“选择—返校—执行—确认”五防逻辑,并记录完整操作日志。所有遥控功能均需权限认证。

电能管理:开发电能统计与分析模块,自动生成日、月、年及各回路用电报表绘制负荷曲线、电能棒图,对比分析同期数据,为需求侧管理提供依据。

系统集成与扩展:预留标准 OPC UA、IEC 61850 等接口,支持与第三方系统或未来新增子系统数据进行数据交互。

#### 3.4 电源与接地系统设计

自动化系统的供电可靠性至关重要。设计方案为:为每个配电所的通信柜、监控中心的服务器及网络设备配置独立的不断电电源 (UPS)。UPS 后备时间不小于 2 小时,确保市电中断时,自动化系统能持续运行并完成安全停机或切换操作。

接地系统改造遵循电力行业与弱电系统接地规范。为抑制干扰、保障安全,采用联合接地体方式,但要求自动化系统与电力系统的接地干线分开独立引接,最后在接地体处汇接,接地电阻严格控制在  $1\Omega$  以下。所有信号电缆屏蔽层在机柜侧单点接地,通信线缆与动力电缆分层敷设或采取金属管槽隔离,有效降低电磁干扰<sup>[3]</sup>。

### 4 详细设计与施工方案

#### 4.1 电气一次系统改造设计

一次系统改造在保证园区不停电或最小影响下进行,遵循“分步实施、安全隔离”原则。首先,对新增或更换的智能断路器、电流互感器(CT)、电压互感器(PT)进行详细参数核算与选型,确保其额定电流、开断能力、动热稳定性满足系统要求。设计新的主接线图与柜内布置图。

在改造施工时,利用母联分段或临时供电车等方式,将待改造的开关柜或回路负荷转移。断开并隔离相关设备,验电并挂接地线后,方可进行旧设备拆除、新设备安装、母线连接及二次线敷设等工作。特别注意CT二次侧在更换过程中必须可靠短接,防止开路产生高压危险。所有一次设备的机械特性、绝缘电阻、接触电阻等需严格测试合格。

#### 4.2 自动化系统施工设计

施工设计包括机柜布置、线缆敷设与接线设计。在每座配电所增设一面“自动化通信柜”,用于安装通信管理机、交换机、UPS、电源分配单元及端子排等。绘制详细的系统接线图与端子排图<sup>[4]</sup>。

信号电缆(如RS-485总线、以太网线、DI/DO电缆)均选用屏蔽型。布线时,严格遵循强弱电分离原则,线缆敷设在不同的桥架层或保持足够间距。所有电缆两端标识清晰、唯一,接线牢固可靠,屏蔽层按规定接地。网络光纤熔接损耗需符合标准,并预留适当余长。

#### 4.3 施工组织设计

成立包含项目经理、技术负责人、安全员、调试工程师及熟练电工的专项项目部。编制详细的施工组织设计、“三措一案”(组织措施、技术措施、安全措施及施工方案)及停电过渡方案。施工前进行全员安全技术交底,明确危险点与预控措施。

施工阶段划分为:准备期(设备采购、图纸确认)、一期工程(#1配电所改造、监控中心建设)、二期工程(#2、#3配电所改造)及系统联调期。严格执行工作票制度,施工现场设置安全围栏与警示标志,确保作业安全。

#### 4.4 系统调试与验收

调试遵循“先单体、后联动,先本地、后远程”的步骤。

单体调试:对每个智能断路器、仪表进行上电,测试其本地显示、按键操作及保护功能正确性。测试通信

管理机与下连设备的通信,确保数据点表映射正确。

系统联调:在监控中心验证与所有现场设备的通信状态,核对HMI画面数据与现场实际值的一致性、实时性。逐项测试遥控、遥信功能,验证报警逻辑与定值设置。模拟短路故障,检验保护动作的正确性及SOE记录的准确性。进行网络切换测试,验证环网自愈功能<sup>[5]</sup>。

试运行与验收:系统连续带电试运行不少于720小时。期间监测系统稳定性、数据完整性。试运行结束后,组织由业主、设计、施工、监理方参加的竣工验收。依据合同、技术规范及设计文件,对系统功能、性能指标、文档资料进行全面核查,合格后签署验收报告,移交系统。

### 5 结语

本次低压配电系统自动化改造工程,通过系统的需求分析、先进的总体架构设计、关键技术的合理选型与融合,以及严谨细致的施工与调试,成功将传统配电系统升级为集实时监控、智能预警、远程控制与精细化管理于一体的现代化系统。改造后,运维人员得以从频繁的现场巡检中解放,实现了“无人值班、少人值守”的运维模式;故障平均恢复时间大幅缩短,供电可靠性显著提升;详尽的能耗数据为园区节能降耗提供了精准依据。实践证明,以智能化、网络化、可视化为核心的自动化改造,是提升低压配电系统运行管理水平行之有效的路径。未来,随着人工智能与大数据分析技术的深度融合,低压配电自动化系统将向更智能的预测性维护与能效优化方向持续演进,为构建安全、高效、绿色的智能电网奠定坚实基础。

#### 参考文献

- [1]施卫华,王旭,李慧东.低压配电系统接地分析与应用探索[J].绿色科技,2025,27(08):205-210.
- [2]侯晨宏.运用PLC技术实现高低压配电系统智能改造[J].通信与信息技术,2024,(01):67-70.
- [3]杨波.地铁低压配电系统节能降耗技术分析与应用[J].中国新通信,2023,25(21):84-88.
- [4]张震,黄伟男.“双碳”目标下的数据中心低压配电系统供电方案选择[J].电气时代,2023,(01):24-28.
- [5]刘小丽.变电站低压配电系统设计方案分析[J].中国设备工程,2022,(13):86-88.