

电力系统配电网自动化现状及前景

张辉 蒋彦韬 王巍 王世雄 孙文琳

国网宁夏电力有限公司宁东供电公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17108

[摘要] 配电网自动化是电力系统发展的重要方向。本文首先指出,配电网自动化在技术融合、功能拓展等方面前景广阔。接着详细阐述当前配电网自动化在中压、低压配电网的应用,运行管理的“主站-子站-终端”三级架构,以及设备技术水平的提升等现状。随后剖析系统兼容性、运行可靠性、成本投入等现存问题。最后从技术融合、功能拓展、标准化与集约化、安全保障四个方向,对配电网自动化发展前景进行展望。

[关键词] 电力系统; 配电网自动化; 现状及前景

中图分类号: TM76 文献标识码: A

Current Status and Prospects of Distribution Network Automation in Power Systems

Hui Zhang Yantao Jiang Wei Wang Shixiong Wang Wenli Sun

State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd. Ningdong Power Supply Company

[Abstract] Distribution network automation is a crucial direction for the development of power systems. This paper first highlights the broad prospects of distribution network automation in terms of technology integration and functional expansion. It then elaborates on the current application status of automation in medium-voltage and low-voltage distribution networks, the three-tier architecture of "master station-substation-terminal" in operational management, and the advancements in equipment technology. Existing issues such as system compatibility, operational reliability, and cost investment are analyzed. Finally, the development prospects of distribution network automation are discussed from four perspectives: technology integration, functional expansion, standardization and intensification, and security assurance.

[Key words] Power System; Distribution Network Automation; Current Status and Prospects

引言

在电力行业持续发展进程中,配电网作为电力传输与分配的关键环节,其自动化水平直接影响着供电质量与效率。随着科技的不断进步,配电网自动化技术逐渐成为提升电力系统运行效能、保障电力可靠供应的核心手段。当前,配电网自动化建设已取得一定成果,但在发展过程中也面临着诸多挑战。深入剖析配电网自动化现状,明确现存问题,探寻未来发展路径,对推动电力系统高质量发展具有重要意义。

1 电力系统配电网自动化现状

1.1 自动化技术应用范围

配电网自动化技术应用已覆盖中压配电网核心环节,部分地区延伸至低压配电网。中压配电网中,馈线自动化技术应用较为广泛,通过安装馈线终端单元(FTU)、柱上开关等设备,实现线路电流、电压、功率等参数的实时采集,以及故障情况下的自动隔离与非故障区域恢复供电。部分城市核心区域采用分布式馈线自动化模式,无需依赖主站系统即可完成故障处理,缩短故障

处理时间^[1]。配电网自动化主站系统逐步实现多业务整合,除基础的SCADA(监控与数据采集)功能外,融合配网拓扑分析、负荷预测、状态估计等高级应用,支持配电网运行状态的动态评估与优化调度。部分地区主站系统与调度自动化系统、用电信息采集系统实现数据交互,形成“源网荷储”协同管理的基础框架。低压配电网自动化建设处于起步阶段,重点区域通过安装智能电表、低压集中器、故障指示器等设备,实现用户用电数据采集、低压线路故障定位等功能。部分试点项目引入边缘计算设备,在台区层面实现负荷监测与就地控制,为分布式电源接入与电动汽车充电设施管理提供支撑。

1.2 运行管理模式

配电网自动化运行管理以“主站-子站-终端”三级架构为主,主站负责全局数据处理与调度决策,子站承担区域内数据汇聚与局部控制,终端设备实现现场数据采集与执行控制指令。部分地区简化架构,采用“主站-终端”两级模式,减少中间环节,提升数据传输效率。日常运维依托自动化系统开展远程监控,

运维人员通过主站系统实时查看配电网运行参数,发现异常情况,结合GIS(地理信息系统)定位故障位置,安排现场检修。针对偏远地区或通信条件较差区域,采用定期巡检与远程监测相结合的方式,弥补自动化覆盖不足的问题。故障处理流程逐步标准化,系统检测到故障后,自动生成故障定位报告,推送至运维人员移动端,指导现场排查与修复。部分城市实现故障处理“工单化”管理,从故障上报、派单、处理到归档全流程线上记录,提升故障处理闭环效率。

1.3 设备技术水平

配电网自动化终端设备性能持续提升,FTU、DTU(配电终端单元)、TTU(配电变压器监测终端)等设备的采样精度、通信稳定性、环境适应性增强,支持宽温、防尘、防水等恶劣工况运行,部分设备集成边缘计算功能,可实现局部数据处理与逻辑判断。通信技术应用呈现多元化,中压配电网以光纤通信为主,辅以无线公网(4G/5G)、电力线载波通信;低压配电网主要采用电力线载波、微功率无线通信^[2]。光纤通信因带宽大、时延低、抗干扰能力强,成为主站与子站、重要终端之间的主流通信方式;无线通信则适用于偏远地区或临时接入场景,降低建设成本。智能设备渗透率逐步提高,智能断路器、智能重合器等设备具备远程控制与状态监测功能,可替代传统手动操作设备;智能配电变压器集成温度监测、油位监测、负荷调控功能,支持过载预警与寿命评估;部分试点项目应用数字孪生技术,构建配电网物理设备的虚拟模型,实现设备全生命周期状态管理。

2 配电网自动化发展现存问题

2.1 系统兼容性问题

不同厂家设备通信协议不统一,部分早期终端设备仅支持私有协议,与主站系统数据交互存在障碍,需通过协议转换装置实现兼容,增加系统复杂度与维护成本。新建设备虽逐步采用IEC61850等标准协议,但存量设备改造进度缓慢,导致新旧系统难以高效协同。数据格式与接口不规范,主站系统与用电信息采集、调度自动化、GIS等系统的数据定义、编码规则存在差异,数据共享需进行大量格式转换,易造成数据丢失或延迟,影响多系统协同决策效率。部分地区数据中台建设不完善,缺乏统一的数据治理机制,难以实现数据资源整合利用。硬件设备接口不统一,不同厂家的终端设备与通信模块、电源模块的物理接口不一致,更换设备时需重新改造安装,增加运维难度与成本,制约设备更新换代速度。

2.2 运行可靠性问题

极端天气对自动化系统影响显著,强台风、暴雨、冰雪等天气易导致通信线路中断、终端设备损坏,造成系统数据采集中断或控制指令无法执行,部分偏远地区因设备抢修困难,系统恢复时间较长。通信网络稳定性不足,无线公网通信受信号覆盖、网络拥堵影响,存在数据传输延迟或丢包现象;电力线载波通信受线路干扰、负荷变化影响,通信速率与可靠性波动较大,难以满足实时控制需求^[3]。设备故障频发,部分终端设备因长期运行于户外恶劣环境,元器件老化速度加快,导致采样误差增大、控制

失灵;部分设备质量参差不齐,低价竞争导致产品性能不达标,增加系统运行风险。

2.3 成本投入问题

建设成本较高,配电网自动化涉及终端设备、通信网络、主站系统等多方面投入,尤其是光纤通信网络建设需铺设大量光缆,征地与施工成本高,部分经济欠发达地区因资金不足,自动化覆盖范围有限,仅能覆盖城区核心区域。运维成本持续增加,自动化系统运行需专业技术人员进行日常监控、设备维护、软件升级,人员培训与技术更新投入较大;设备故障修复需专用工具与备件,部分进口设备备件采购周期长、成本高,影响故障恢复速度。投资回报周期长,配电网自动化建设主要通过提升供电可靠性、降低线损、减少人工运维成本实现效益回报,但部分地区用电负荷增长缓慢,线损下降空间有限,导致投资回报周期超过预期,影响地方电网企业建设积极性。

3 电力系统配电网自动化发展前景

3.1 技术融合发展方向

与新能源技术深度融合,配电网自动化系统将强化分布式光伏、风电等新能源接入的监测与控制功能,实现新能源出力预测、并网调度与消纳优化,通过动态调整电网运行方式,平衡新能源出力波动。同时,系统将支持储能设备充放电控制,利用储能调节负荷峰谷,提升新能源消纳能力,构建“新能源+储能”协同运行的配电网架构。与数字技术深度融合,5G通信技术将全面应用于配电网,提供低时延、大连接、高可靠的通信服务,满足海量终端设备接入与实时控制需求;边缘计算技术将进一步下沉,在台区、馈线层面实现数据就地处理与快速响应,减少主站系统数据处理压力;人工智能技术将应用于负荷预测、故障诊断、电网优化等场景,通过机器学习算法提升预测精度与决策效率,实现配电网“自感知、自决策、自修复”^[4]。与电力电子技术融合,柔性配电技术将逐步推广,基于电力电子器件的固态开关、动态电压调节器等设备将替代传统机械开关,实现故障快速隔离(毫秒级)与电压精准调节;直流配电网技术将得到发展,针对数据中心、新能源园区等场景,构建交流-直流混合配电网,提升电能传输效率与供电可靠性,自动化系统将支持交直流混合电网的监测与控制,实现不同制式电网协同运行。

3.2 功能拓展方向

用户互动功能强化,配电网自动化系统将支持用户侧设备(智能家居、电动汽车充电桩、分布式电源)的接入与管理,提供用电信息查询、电价响应、需求侧响应等服务,引导用户参与电网调峰填谷。部分试点项目将探索“虚拟电厂”模式,通过自动化系统聚合用户侧资源,参与电力市场交易,实现用户与电网的双向互动。电网状态全面感知能力提升,除传统的电流、电压、功率等电气参数监测外,系统将新增设备状态(温度、绝缘、机械特性)、环境状态(气象、地质灾害)、用户用电行为等监测维度,通过多源数据融合分析,实现配电网运行状态全景感知,提前预警设备故障与电网风险。电网优化运行功能升级,系统将实现配电网实时优化调度,基于负荷变化与新能源出力情况,动态

调整网络拓扑与无功补偿设备,降低网损;针对分布式电源高渗透率场景,开发主动配电网控制策略,通过协调分布式电源、储能、可控负荷,避免电压越限、潮流倒送等问题,保障电网安全稳定运行。

3.3 标准化与集约化发展方向

技术标准体系逐步完善,行业将加快制定配电网自动化设备通信协议、数据接口、功能规范等标准,推动IEC61850、IEC61968等国际标准的本土化应用,统一设备与系统的技术要求,实现不同厂家产品互联互通。同时,将建立配电网自动化系统测试与认证体系,规范产品质量与系统性能,保障系统可靠运行。建设模式向集约化转型,配电网自动化建设将与配电网改造、智慧城市建设相结合,统筹规划通信网络、终端设备布局,避免重复建设;推广“一体化”设备,将终端设备、通信模块、电源模块集成设计,减少设备体积与安装成本;部分地区将探索配电网自动化“云化”部署,利用云计算平台实现主站系统资源共享,降低地方电网企业硬件投入与维护成本。运维模式向智能化转型,基于大数据与人工智能技术,构建配电网自动化系统智能运维平台,实现设备状态评估、故障预警、运维策略优化,减少人工巡检工作量;推广“无人机+机器人”巡检模式,针对线路、设备开展自动化巡检,提升巡检效率与覆盖面;建立运维人员技能培训体系,培养具备跨专业(电力、通信、信息技术)能力的复合型人才,适应自动化系统运维需求。

3.4 安全保障强化方向

随着配电网自动化程度的提升,网络安全威胁日益严峻。需构建涵盖物理安全、网络安全、数据安全、应用安全的多层次安全防护体系。在物理层面,加强对变电站、配电终端等设备的物理防护,防止设备遭受破坏或非法接入。在网络层面,采用防火墙、入侵检测系统(IDS)、入侵防御系统(IPS)等技术,对配电网自动化通信网络进行安全隔离与实时监测,阻止外部网络攻击。在数据层面,运用加密技术对关键数据进行加密存储与传输,确保数据的保密性、完整性和可用性^[5]。在应用层面,对自动化

系统软件进行安全加固,防止恶意代码注入和非法操作。建立实时安全监测平台,对配电网自动化系统的运行状态、安全事件进行实时监测与分析。利用大数据分析和人工智能技术,及时发现潜在的安全威胁和异常行为,并发出预警。同时,制定完善的应急预案,定期组织应急演练,提高应对安全事件的能力。一旦发生安全事件,能够迅速启动应急响应机制,采取有效的措施进行处置,降低安全事件对配电网运行的影响。定期对配电网自动化系统进行安全评估,识别系统中存在的安全漏洞和风险,并提出针对性的整改措施。建立安全认证机制,对配电网自动化设备、软件和系统进行安全认证,确保其符合相关的安全标准和规范。

4 结语

电力系统配电网自动化虽已取得显著进展,在技术应用、管理模式、设备水平等方面均有提升,但仍面临系统兼容、运行可靠、成本投入等难题。展望未来,技术融合、功能拓展、标准化与集约化、安全保障强化等发展方向,将为配电网自动化带来新的机遇。只有不断攻克现存问题,顺应发展趋势,才能实现配电网自动化的全面升级,为电力系统的稳定运行和可持续发展提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]钟世亮,姜小斐.电力系统配电网自动化技术研究[J].光源与照明,2024(11):168-170.
- [2]毛小川,谭成林.配电网自动化技术在电力系统中的应用与发展研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(4):0057-0060.
- [3]孙帅,官琦,胡金峰,王涛.电力系统中配网自动化技术的应用分析[J].光源与照明,2024(11):165-167.
- [4]彭裕恒.基于区块链技术的配电网前期规划与设计研究[J].通信电源技术,2024,41(13):191-193.
- [5]蔡志鹏.配电网自动化智能终端设备中的应用技术研究[J].信息与电脑,2025,37(2):149-151.