

配网自动化对供电质量保障与技术优化研究

孙雪成，倪楠

国网马鞍山供电公司，安徽 马鞍山 243000

DOI:10.61369/EPTSM.2025100009

摘 要： 配网作为电力系统与用户直接相连的关键环节，其运行稳定性直接决定供电质量。配网自动化技术通过融合信息技术、通信技术与电力控制技术，实现对配网运行状态的实时监测、故障快速处理及精准调控，为供电质量保障提供核心支撑。本文首先阐述配网自动化的核心内涵与发展历程，深入分析其在供电质量保障中的关键作用，重点研究配网自动化关键技术的优化路径，结合实际案例验证技术应用效果，最后探讨配网自动化未来发展趋势，为电力企业提升供电质量、优化配网运行效率提供理论参考与实践借鉴。

关 键 词： 配网自动化；供电质量；故障处理；技术优化；精准调控

Research on Power Supply Quality Assurance and Technical Optimization of Distribution Network Automation

Sun Xuecheng, Ni Nan

State Grid Ma'anshan Power Supply Company, Ma'anshan, Anhui 243000

Abstract： As the critical link connecting power systems to end-users, the operational stability of distribution networks directly determines power supply quality. Distribution network automation technology integrates information technology, communication technology, and power control technology to achieve real-time monitoring of network status, rapid fault resolution, and precise regulation, providing core support for power quality assurance. This paper first elaborates on the core concepts and development history of distribution network automation, analyzes its pivotal role in power quality assurance, focuses on optimizing key technologies, validates technical application effects through practical case studies, and ultimately explores future development trends. The research provides theoretical references and practical insights for power enterprises to enhance power supply quality and optimize distribution network efficiency.

Keywords： distribution network automation; power supply quality; fault handling; technical optimization; precise regulation

引言

电力作为现代社会生产生活的基础能源，其供电质量直接影响工业生产效率、商业运营稳定性及居民生活品质。近年来，随着新能源发电、电动汽车充电等多元化负荷接入配网，配网结构日趋复杂，传统配网运行管理模式面临诸多挑战：故障排查依赖人工巡检，处理时间长导致停电范围扩大；电压调节依赖人工操作，难以适应负荷动态变化；配网运行状态监测不全面，隐患预警滞后。这些问题直接导致供电可靠性下降、电压偏差超标等供电质量问题，制约社会经济高质量发展^[1]。本文系统梳理配网自动化与供电质量的内在关联，构建配网自动化技术优化的理论框架，弥补现有研究中“技术应用－质量提升”关联分析不深入的不足，为配网自动化领域的理论研究提供新视角。

一、配网自动化对供电质量的保障作用

（一）提升供电可靠性，缩短故障停电时间

传统配网故障处理采用“人工巡检－故障定位－现场抢修”模式，故障排查需数小时甚至数天，停电范围大、恢复时间长。

配网自动化通过馈线自动化技术实现故障的快速识别、隔离与恢复，具体流程为：当配网发生短路、接地等故障时，FTU实时采集故障电流、电压数据并上传至主站系统，主站系统通过故障录波分析快速定位故障区段，远程控制故障区段两侧开关分闸实现故障隔离，同时控制联络开关合闸将非故障区段切换至备用电源

作者简介：孙雪成（1991.12-），男，安徽马鞍山人，大学本科，中级工程师，研究方向：配电自动化及供电可靠性提升。

供电。整个过程仅需3-5分钟，较传统模式缩短90%以上的停电时间。以某地级市配网改造为例，2022年该地区全面部署馈线自动化系统，改造后供电可靠率从99.85%提升至99.97%，用户平均停电时间从5.2小时/年降至0.4小时/年，其中居民用户停电时间首次低于0.3小时/年，工业用户连续供电保障能力显著增强，年减少因停电造成的经济损失约1.2亿元^[9]。

（二）优化电压质量，减少电压偏差

电压偏差是影响供电质量的关键指标，我国标准规定居民用户电压偏差不得超过 $\pm 7\%$ ，工业用户不得超过 $\pm 5\%$ 。传统配网电压调节依赖人工定期调整变压器分接头、投切电容器，难以适应负荷昼夜波动、季节变化等动态特征，导致高峰负荷时电压偏低、低谷负荷时电压偏高。配网自动化通过电压无功综合调控系统实现电压的实时优化：一方面，TTU实时采集配电变压器低压侧电压数据，主站系统根据电压偏差自动下发分接头调整指令，实现变压器电压档位的远程精准调节；另一方面，通过智能电容器组与FTU联动，根据配网功率因数变化自动投切电容器，补偿无功功率，减少线路电压损耗。某工业园区配网应用该技术后，电压偏差范围从 $\pm 10\%$ 缩小至 $\pm 3\%$ ，电机类设备运行效率提升8%，产品合格率提高5%，得到企业用户高度认可。

（三）保障供电连续性，应对多元负荷冲击

近年来，电动汽车充电桩、分布式光伏等多元负荷大量接入配网，导致配网负荷波动幅度增大、波动频率加快，传统配网调控能力不足易引发供电中断。配网自动化通过“源网荷储”协同调控技术，实现对多元负荷的柔性管控：对分布式光伏、储能设备，通过微电网控制系统实现功率输出的精准调节，平抑光伏出力波动；对电动汽车充电桩等可调节负荷，在负荷高峰时段通过主站系统下发错峰充电指令，转移高峰负荷；同时，通过备用电源自动投入装置（APD），在主电源故障时100毫秒内切换至备用电源，保障重要负荷连续供电。某新能源示范小区配网改造中，部署配网自动化协同调控系统后，成功实现1200个充电桩与2MW分布式光伏的协同运行，配网负荷波动幅度从30%降至12%，重要负荷（如电梯、应急照明）供电连续性达100%，未发生因负荷冲击导致的供电中断事件^[9]。

二、配网自动化关键技术优化路径

（一）感知层技术优化：提升数据采集精度与覆盖范围

感知层是配网自动化的“神经末梢”，其数据采集精度直接影响后续调控决策的准确性。当前感知技术存在的主要问题：偏远地区终端设备供电困难、部分复杂工况下数据采集误差较大、老旧设备兼容性差。优化路径如下：一是推广低功耗感知设备与新能源供电技术。针对偏远地区设备供电问题，采用太阳能+锂电池的供电模式，结合休眠唤醒技术降低设备功耗，延长设备续航时间；研发基于LoRa、NB-IoT的低功耗终端设备，提升设备在复杂地形下的通信稳定性。二是提升感知设备智能化水平。在传统FTU、DTU基础上，集成边缘计算模块，实现数据在终端侧的预处理、筛选，减少无效数据上传，提升数据采集精度；针对

谐波、暂态电压等复杂参数，采用高精度传感器与数据融合算法，结合卡尔曼滤波、小波分析等算法降低测量误差，误差率控制在0.5%以内。三是推进老旧设备升级改造与标准化适配。制定感知设备接口标准化规范，对运行超过10年的老旧终端进行替换，确保新老设备数据格式统一；建设备全生命周期管理平台，实时监测设备运行状态，提前预警设备故障，提升设备运行可靠性。

（二）通信层技术优化：构建低时延、高可靠通信网络

通信层是配网自动化的“传输通道”，需满足数据传输的实时性、可靠性要求。当前配网通信存在的问题：不同通信方式（光纤、无线、电力线载波）融合性差、故障情况下通信中断风险高、大规模终端接入时网络拥堵。优化路径如下：一是构建“光纤为主、无线为辅”的混合通信网络^[10]。对主干线路、城区配网采用光纤通信方式，利用光纤传输速率高、时延低的优势，保障主站与终端间的实时通信；对偏远农村、临时接入设备采用5G+NB-IoT无线通信方式，通过网络切片技术为配网自动化业务分配专属通信通道，时延控制在10毫秒以内。二是提升通信网络冗余备份能力。在关键节点部署双链路通信模块，当主通信链路故障时，自动切换至备用链路，切换时间不超过500毫秒；建立通信网络故障自诊断系统，实时监测链路质量，定位通信故障点并自动启动修复流程。三是优化网络资源调度机制。采用SDN（软件定义网络）技术实现通信网络资源的动态分配，根据终端设备数据传输优先级（如故障数据优先级高于常规监测数据）调整带宽资源，避免大规模终端接入时出现网络拥堵；研发轻量化通信协议，简化数据传输格式，提升数据传输效率。

（三）控制层技术优化：实现精准调控与协同运行

控制层是配网自动化的“执行中枢”，其调控性能直接影响供电质量。当前控制技术存在的问题：分布式电源接入时调控适应性不足、多设备协同控制精度低、故障处理策略单一。优化路径如下：一是研发分布式电源协同调控技术。针对光伏、风电出力波动性大的问题，建立源网荷储协同调控模型，通过配网主站系统统一调度分布式电源、储能设备与可调节负荷，实现功率平衡；在微电网场景下，采用多代理系统（MAS）技术，实现微电网与配网主网的无缝切换，保障分布式电源就地消纳。二是优化故障处理策略。基于配网拓扑结构与负荷分布特征，建立故障处理专家系统，针对不同故障类型（如单相接地、三相短路）、不同故障位置自动匹配最优处理方案，避免传统“一刀切”式的故障隔离模式；引入数字孪生技术，构建配网虚拟仿真模型，提前模拟故障处理过程，优化开关操作时序，缩短故障恢复时间。三是提升控制设备响应速度。采用电力电子开关替代传统机械开关，将开关动作时间从数十毫秒缩短至1-2毫秒，实现故障的快速隔离；在配网关键节点部署智能控制器，实现控制指令的本地快速执行，降低对主站系统的依赖^[10]。

三、配网自动化技术应用案例分析

（一）案例概况

某地级市供电公司负责该地区1.2万平方公里范围内的配网

运行管理，供电用户达85万户，其中工业用户占比12%，居民用户占比88%。2021年之前，该地区配网自动化覆盖率仅为60%，存在供电可靠率低（99.82%）、电压偏差超标（部分区域达 $\pm 12\%$ ）、线损率高（8.8%）等问题，难以满足用户用电需求。为解决上述问题，该公司于2021年启动配网自动化升级改造工

（二）技术应用方案

感知层：更换老旧终端设备8000台，部署低功耗FTU、DTU设备7000台，采用太阳能+锂电池供电模式覆盖偏远地区，集成边缘计算模块提升数据采集精度；在工业用户集中区域部署高精度谐波传感器，实现复杂负荷参数精准采集。

通信层：构建“光纤+5G”混合通信网络，主干线路与城区配网采用光纤通信，偏远地区采用5G网络切片技术，部署双链路通信模块保障通信可靠性；采用SDN技术实现网络资源动态调度，优化数据传输效率。

控制层：部署源网荷储协同调控系统，接入分布式光伏电站12座、储能电站5座、电动汽车充电桩3000个，实现多元主体协同运行；采用电力电子开关替代传统开关，优化故障处理策略。

决策层：构建配网大数据分析平台，整合多源数据1000万条，采用神经网络算法建立负荷预测模型；开发数字孪生系统，实现配网可视化监控与仿真优化。

（三）应用效果分析

改造工程于2023年完成并投入运行，通过为期一年的运行监测，各项供电质量指标显著提升：供电可靠率从99.82%提升至99.98%，用户平均停电时间从5.8小时/年降至0.3小时/年，其中工业用户停电时间降至0.1小时/年；电压偏差范围从 $\pm 12\%$ 缩小至 $\pm 4\%$ ，全地区电压合格率达99.9%；配网线损率从8.8%降至5.0%，年节约电能损耗约450万千瓦时，减少二氧化碳排放3600吨；分布式光伏就地消纳率从65%提升至90%，储能设备充放电效率达92%，实现经济效益与环境效益双赢。同时，配网运维效率显著提升：故障定位时间从平均2小时缩短至5分钟，故障恢复时间从平均4小时缩短至3分钟；运维人员数量减少30%，年运维成本降低2000万元。用户满意度调查显示，居民用户满意度从85分提升至98分，工业用户满意度从80分提升至96分，取得良好的社会效果。

四、配网自动化未来发展趋势

（一）全景化感知与数字化映射

未来配网感知将实现“全域覆盖、全量采集”，通过部署微型传感器、无人机巡检、机器人巡检等技术，实现对配网线路、设备、环境的全景化感知；结合数字孪生技术，构建配网全生命周期数字化映射模型，实现运行状态实时监控、故障精准模拟、规划仿真优化的一体化管理，推动配网从“经验驱动”向“数据驱动”转型。

（二）智能化决策与自主化调控

随着人工智能技术的深度应用，配网决策将实现“精准预测、智能优化”，通过深度学习、强化学习等算法，提升负荷预测、故障预测精度，实现配网运行方案的自主优化；调控层面将实现“自主决策、无人值守”，通过多代理系统、联邦学习等技术，实现分布式电源、储能设备、负荷的自主协同运行，减少人工干预，提升配网运行的智能化水平。

（三）泛在化通信与网络化协同

依托5G-A、量子通信等新一代通信技术，构建“泛在互联、超低时延”的配网通信网络，实现终端设备100%接入与数据无间断传输；推进配网自动化与电网调度自动化、用电信息采集系统的深度融合，实现“源网荷储”各环节的网络化协同，提升电力系统整体运行效率。

五、结论

本文通过对配网自动化技术的研究，得出以下结论：配网自动化作为配网智能化升级的核心技术，通过实时监测、快速故障处理、精准调控等手段，在提升供电可靠性、优化电压质量、保障供电连续性、降低供电损耗等方面发挥关键作用，是保障供电质量的核心支撑；感知层、通信层、控制层、决策层的技术优化是提升配网自动化系统效能的关键路径，通过低功耗感知、混合通信、协同调控、智能决策等技术升级，可显著提升配网运行效率；实际案例验证表明，配网自动化技术改造可实现供电质量与经济效益的双重提升，具有广泛的推广应用价值。

参考文献

[1]孙明. 配网自动化技术在故障定位中的应用研究[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(12): 145-150.
[2]张阔. 配网自动化技术在供电可靠性提升中的应用研究[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(12): 89-95.
[3]袁剑. 馈线自动化故障处理策略优化与实践[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(5): 167-173.
[4]李家希. 配网电压无功综合调控技术研究[J]. 电网技术, 2022, 46(8): 3012-3020.
[5]袁舟. 数字孪生技术在配网自动化中的应用[J]. 中国电力, 2023, 56(7): 120-127.