

电力工程配电自动化与配电管理分析

赵志坚 王 涛

济南鲁源电气集团有限公司 山东 济南 250000

摘要: 随着电力需求的持续增长与电网结构的日益复杂,电力工程中配电自动化与配电管理的重要性愈发凸显。本文全面分析配电自动化系统构成,涵盖一次、二次设备及主站系统;探讨分布式电源接入等关键技术。指出传统模式存在效率低、信息不共享等弊端。进而提出技术、管理优化策略及政策支持方向。同时剖析当下挑战,展望数字孪生等技术在未来配电领域的应用前景,以推动电力工程高质量发展。

关键词: 电力工程; 配电自动化; 配电管理

引言: 在当今社会,电力作为关键能源,支撑着各行业的运转与人们的生活。电力工程中,配电环节直接面向终端用户,其可靠性与效率至关重要。配电自动化作为提升配电系统性能的核心手段,融合先进技术实现智能化运行;而科学有效的配电管理则保障着系统有序运作。二者相辅相成,对优化电力资源配置、增强供电可靠性意义重大。深入分析配电自动化与管理,有助于解决当下问题,探索未来发展方向,推动电力工程迈向更高水平。

1 配电自动化技术基础

1.1 配电自动化系统组成

(1) 一次设备是配电系统的核心执行单元,包括开关设备(如真空断路器、负荷开关)和变压器(配电变压器、箱式变压器等),承担电能分配、控制与变换功能,直接与电力用户相连,其可靠性决定了供电连续性。(2) 二次设备是系统的“感知与控制中枢”,FTU(馈线终端单元)用于监测馈线运行状态,实现故障检测;DTU(配电终端单元)主要部署于配电站,采集电压、电流等数据;通信终端则负责数据传输,是连接一次设备与主站的关键纽带。(3) 主站系统采用分层分布式架构,具备数据存储、分析决策与远程控制功能;子站系统作为中间层级,可分担主站压力,实现区域内设备协同管理,提升系统响应效率。

1.2 关键技术分析

(1) 分布式电源接入技术需解决光伏、风电等间歇性电源的并网难题,通过协调控制策略,确保电源波动不影响配网电压稳定,同时实现余电上网与负荷消纳的平衡。(2) 智能终端通信技术中,5G提供高速低时延传输,适用于实时控制场景;物联网技术实现海量终端互联互通;光纤通信则以高带宽、抗干扰的优势,成为骨干通信网络的首选。(3) 故障自愈与快速隔离技术依赖

智能算法,通过终端设备实时监测故障信号,自动定位故障点并发出跳闸指令,缩短停电时间,提升配网供电可靠性。(4) 数据采集与大数据分析技术整合终端设备、气象等多源数据,通过数据分析预测负荷变化、识别设备隐患,为配网规划、运维提供科学依据^[1]。

1.3 配电自动化标准与规范

(1) 国际标准以IEC61850、IEC61970为核心,IEC 61850规定了智能电子设备的通信协议,实现不同厂家设备的互联互通;IEC61970定义了能量管理系统的接口标准,规范数据交换格式。(2) 国内标准以DL/T系列标准为主,涵盖配电终端技术要求、通信网络架构、系统调试等方面,如DL/T1487明确了FTU的技术参数,为国内配电自动化建设提供统一规范。

2 配电管理现状与挑战

2.1 传统配电管理模式的问题

(1) 人工巡检效率低、响应速度慢,传统模式依赖运维人员现场巡查设备状态,不仅耗时耗力,还难以覆盖偏远区域,遇到设备异常时,从发现问题到安排维修往往需要数小时,严重影响供电恢复速度。(2) 数据孤岛与信息共享不足,配电系统中各设备的数据分散存储于不同平台,如变压器运行数据、馈线负荷数据分别由独立系统管理,缺乏统一整合机制,导致运维人员无法全面掌握配网整体运行状况,影响决策准确性。(3) 故障处理依赖经验,缺乏智能化,传统故障排查主要依靠运维人员的过往经验判断故障位置,面对复杂配网结构时,易出现误判或漏判,延长故障处理时间,同时难以提前识别潜在隐患,只能被动应对故障。

2.2 配电管理信息化需求

(1) 实时监测与动态调度需求,随着用电负荷波动加剧,需通过信息化手段实时采集配网电压、电流、功率等数据,结合负荷变化趋势动态调整供电方案,避免

线路过载或电压异常，保障配网稳定运行。(2) 多源数据融合与决策支持需求，需整合设备运行数据、气象数据、用户用电数据等多类信息，通过数据分析模型生成运维建议，如预测设备故障风险、优化巡检路线，为配网管理提供科学决策依据。(3) 用户侧互动与需求响应需求，随着分布式电源普及和用户多元化用电需求增长，需搭建用户互动平台，实现用电信息实时推送与需求响应，如引导用户在电价低谷时段用电，平衡配网负荷^[2]。

2.3 典型案例分析

(1) 某地区配电自动化改造前后对比，改造前该地区年均停电时间超8小时，依赖人工巡检，故障处理平均耗时4小时；改造后引入智能终端与主站系统，实现故障自动定位，年均停电时间缩短至1.2小时，故障处理时间压缩至30分钟，供电可靠性显著提升。(2) 极端天气下配电网韧性不足问题，2024年某省遭遇强台风袭击，传统配网因缺乏抗灾预警与应急调度机制，大量线路因树木倒伏受损，导致20万户用户停电，且恢复供电耗时超3天；暴露出配电系统在极端天气下，缺乏实时气象联动与快速应急响应能力，韧性建设亟待加强。

3 电力工程配电自动化与管理的协同优化策略

3.1 技术层面优化

(1) 基于云计算的配电主站平台设计需打破传统架构局限，采用“云-边-端”协同架构，将海量配电数据（如设备运行参数、用户用电数据）存储于云端，通过分布式计算能力实现数据实时分析与共享。平台需具备高扩展性，支持千万级终端接入，同时搭载安全防护系统，采用加密传输与权限分级机制，保障数据安全；此外，可集成配网仿真功能，模拟不同运行场景下的供电方案，为调度决策提供可视化支持。(2) 边缘计算在实时控制中的应用可弥补云端计算时延缺陷，将数据处理节点部署于配电站、馈线终端等边缘侧，实现对电压调节、负荷切换等实时性要求高的操作本地决策。例如，在分布式电源并网场景中，边缘节点可实时采集光伏出力与负荷数据，动态调整逆变器输出，避免电压波动；同时，边缘设备可暂存关键数据，在网络中断时保障基础控制功能，待网络恢复后同步至云端，提升系统可靠性^[3]。(3) 人工智能算法在故障预测中的应用需构建多维度数据模型，通过深度学习算法分析设备历史运行数据（如温度、电流、振动信号）与故障记录，识别设备劣化规律，提前1-3个月预测潜在故障（如变压器绝缘老化、开关接触不良），并生成维修建议。强化学习算法可结合配网拓扑结构，模拟不同故障处理方案的效果，优化故障隔离与恢复路径，例如在多馈线故障场景中，算法可快速计算最优跳闸顺

序，缩短停电范围与时间；同时，可融合气象数据，提升极端天气下故障预测的准确性。

3.2 管理层面优化

(1) 标准化运维流程与人员培训体系需建立全流程规范，明确巡检、检修、故障处理等环节的操作标准，例如制定《配电终端巡检作业指导书》，规定巡检周期、检测项目与数据记录要求；同时，搭建“理论+实操”培训体系，通过线上课程（如配电自动化系统操作、AI故障分析工具使用）与线下实训（模拟故障场景演练），提升运维人员技术能力，考核合格后方可上岗，确保运维操作标准化、专业化。(2) 配电设备全生命周期管理需覆盖设备选型、安装、运维、报废全阶段，通过物联网技术为设备绑定唯一“数字身份证”，实时记录设备运行状态与维护记录。在选型阶段，结合配网负荷预测数据选择适配设备；运维阶段，基于设备健康度评估（如AI故障预测结果）制定差异化检修计划，避免过度维修或漏修；报废阶段，通过数据分析评估设备残值，优化更新替换方案，降低全生命周期成本^[4]。(3) 需求侧响应与用户参与机制需搭建双向互动平台，通过APP、短信等渠道向用户推送实时电价、供电信息，引导用户在高峰时段减少高耗能设备使用（如空调、电动汽车充电）；同时，建立激励机制，对参与需求响应的用户给予电价优惠或积分奖励，例如用户在电网负荷紧张时主动削减负荷，可获得0.1-0.3元/度的补贴；此外，开放用户侧分布式电源并网数据查询功能，提升用户对配网运行的参与与信任度。

3.3 政策与市场机制支持

(1) 政府补贴与电价激励政策需针对性扶持配电自动化建设，对配网智能化改造项目（如智能终端安装、云平台搭建）给予30%-50%的投资补贴，降低企业资金压力；在电价方面，实行分时电价与尖峰电价政策，拉大峰谷电价差（如高峰电价为低谷电价的3-4倍），激励用户错峰用电；同时，对采用新能源供电的配网项目（如光伏+储能配电系统）给予电价补贴，推动绿色配电发展。(2) 电力市场交易与辅助服务机制需拓宽配电企业参与渠道，允许配电企业通过电力市场购买低价电能，优化供电成本；在辅助服务方面，将配电系统的调峰、调频服务纳入市场交易，例如配电企业通过调整分布式电源出力或用户负荷，为电网提供调峰服务，获得相应收益；同时，建立配网故障应急交易机制，在极端天气下，允许配电企业紧急采购备用电源服务，保障供电连续性，通过市场机制提升配网灵活性与抗风险能力。

4 电力工程配电自动化与管理的挑战与未来发展趋势

4.1 当前面临的主要挑战

(1) 网络安全与数据隐私保护风险加剧, 配电系统接入大量智能终端与网络设备后, 易遭受黑客攻击、病毒入侵, 如非法篡改设备控制指令可能导致供电中断; 同时, 用户用电数据、设备运行数据涉及隐私与商业机密, 若存储或传输环节防护不当, 易出现数据泄露, 威胁用户权益与配网安全。(2) 新能源大规模接入引发稳定性问题, 光伏、风电等新能源出力受天气影响呈间歇性、波动性, 大量并网后会导致配网电压波动、频率偏差, 例如极端天气下光伏出力骤降, 可能造成局部配网负荷失衡; 此外, 新能源逆变器与传统配电设备的协调控制难度大, 易引发继电保护误动作。(3) 区域间发展不平衡与标准统一难题突出, 东部经济发达地区配电自动化覆盖率超80%, 而中西部部分偏远地区仍以传统管理模式为主, 设备与技术差距显著; 同时, 不同企业的智能终端通信协议、数据格式存在差异, 缺乏统一标准, 导致跨区域配网协同管理受阻, 影响整体运行效率。

4.2 未来发展方向

(1) 数字孪生与虚拟电厂技术深度融合, 数字孪生可构建配网全要素虚拟模型, 实时映射物理系统运行状态, 通过仿真模拟优化调度方案; 虚拟电厂则整合分布式电源、储能设备与可调负荷, 形成“虚拟发电单元”, 二者结合可实现配网资源动态调配, 提升供电灵活性与经济性, 例如通过虚拟电厂聚合用户侧储能, 参与电网调峰^[5]。(2) 区块链在电力交易中的应用逐步落地, 利用区块链去中心化、不可篡改特性, 搭建分布式电力交易平台, 实现用户间点对点电能交易(如光伏用户向邻居售电), 交易记录实时上链存证, 保障交易透明可信; 同

时, 可简化交易流程, 降低中间环节成本, 推动电力市场多元化发展。(3) 面向碳中和的绿色配电系统加速构建, 通过推广低碳设备(如节能变压器、电动汽车充电桩)、优化配网拓扑结构减少线损, 提升清洁能源消纳能力; 同时, 建立配网碳排放监测体系, 实时统计各环节碳排放数据, 为碳减排目标制定与考核提供依据, 助力实现“双碳”战略。

结束语

电力工程中, 配电自动化与配电管理的深度融合是时代发展的必然趋势。通过对配电自动化系统及关键技术的剖析, 结合对传统管理问题的反思, 我们明确了技术与管理协同优化的路径, 并提出了政策与市场机制的有力支撑举措。尽管当前仍面临网络安全、新能源接入等诸多挑战, 但随着数字孪生、区块链等新兴技术的不断探索与应用, 我们有理由相信, 未来配电系统将更加智能、高效、绿色, 为经济社会的稳定发展提供坚实的电力保障。

参考文献

- [1]孟骁. 配电自动化技术应用与运行管理分析[J]. 中国设备工程, 2022, (22): 69-71.
- [2]夏润. 自动化技术在配电管理中的应用[J]. 电子技术, 2022, 51(09): 242-243.
- [3]李洋. 电力智能时代配电自动化建设与运行管理的优化研究[J]. 中国设备工程, 2022, (05): 30-31.
- [4]郑剑武. 配电自动化技术应用与配电网安全运行管理分析[J]. 中国设备工程, 2021, (01): 72-73.
- [5]姜晔. 试论改善电力配电自动化及配电管理[J]. 绿色环保建材, 2021(01): 171-172.