

配电自动化在智能电网中的应用与挑战

范 丹

国网荆门供电公司 湖北荆门 448000

摘 要：在智能电网加速建设的背景下，配电自动化作为推动电力系统数字化、智能化转型的核心技术，正通过优化资源配置与提升控制效能重塑配电环节的运行范式。本文系统阐释配电自动化在智能电网中的战略价值，解构其技术架构与演进路径，深入剖析应用过程中技术适配、通信可靠性等现实挑战，并从技术创新、标准统一、生态协同等维度构建系统性策略，为智能电网环境下配电自动化的深度应用与效能释放提供理论框架与实践指引。

关键词：配电自动化；智能电网；电网可靠性；技术应用；挑战策略

引言

智能电网以信息技术与电力技术的深度融合为特征，旨在构建具备高度自愈能力、资源优化配置与用户互动功能的现代化电力系统。配电环节作为电网与用户连接的“最后一公里”，其自动化水平直接影响供电可靠性、电能质量与服务效率。当前，随着分布式能源大规模并网、电动汽车充电设施普及以及用户对供电质量要求的提升，传统配电系统在故障响应速度、多元负荷管理等方面的局限性日益凸显。配电自动化通过集成传感监测、通信网络与智能控制技术，为解决上述问题提供了系统性方案。研究其在智能电网中的应用机制与挑战对策，对推动新型电力系统建设、实现“双碳”目标具有重要的战略意义。

1 配电自动化在智能电网中的重要性

1.1 提升电网运行可靠性

配电自动化技术革新了传统配电系统的故障处理模式，通过构建实时监测与快速响应机制，实现了对配电线路运行状态的持续监控。智能终端设备能够实时采集配电线路的各项运行参数，一旦发生故障，系统迅速启动拓扑分析与保护配合策略，以毫秒级速度精准定位故障区域，并自动隔离故障点。同时，系统同步启动非故障区域的供电恢复流程，确保电力供应的连续性。这种自动化处理机制有效避免了传统人工巡检的时间滞后和操作误差，将电网故障处理时间从数十分钟缩短至数分钟，显著降低了用户的停电时长和频次。这一技术的应用为智能电网的高可靠性运行提供了坚实的技术保障，极大提升了电网的运维效率和用户用电体验。

1.2 优化电能质量调控

智能电网中非线性负荷（如变频设备、电弧炉）与分布式电源的广泛接入，导致电压波动、谐波污染等电能质量问题愈发突出。配电自动化系统通过部署高精度监测装置，对电压偏差、频率波动、谐波畸变等指标进行实时跟踪，并基于实时数据驱动无功补偿装置、电压调节器等设备进行动态调节。例如，当检测到某区域电压偏低时，系统自动投切电容器组进行无功补偿；若发现谐波含量超标，则启动有源滤波器进行谐波治理，确保电能质量符合各类用户的用电需求，为智能电网中敏感负荷的稳定运行创造条件。

1.3 支撑电网智能化管理

配电自动化系统集成了数据采集、通信传输、分析决策等多元功能，构建了覆盖配电设备、线路、用户的全维度信息化管理体系。该体系通过采集海量运行数据，为智能电网的负荷预测、设备状态评估、能效分析等提供了数据基础。例如，利用历史负荷数据与气象信息，系统可精准预测未来时段的用电需求，辅助调度人员优化运行方式；通过分析设备的温度、振动等状态参数，可提前识别潜在故障，变事后维修为事前预防。这种数据驱动的管理模式，推动电网运营从经验主导转向智能决策，全面提升了智能电网的管理效能与资源利用效率。

2 配电自动化技术概述

2.1 系统架构组成

配电自动化系统采用分层分布式架构，通常由主站系统、子站系统、终端设备及通信网络四部分构成。主站作为系统核心，部署于调控中心，负责全局数据处理、运行状态

监视与控制指令下发，通过高级应用功能实现配电网的优化调度；子站作为区域控制单元，承担数据汇聚、协议转换与本地协调控制任务，通常设置在变电站或重要配电节点；终端设备包括馈线终端（FTU）、配电变压器终端（TTU）等，分布于配电现场，实现设备运行参数采集与开关设备控制；通信网络则负责各层级间的数据传输，常见方式包括光纤通信、无线专网、电力线载波等，四者协同工作形成完整的自动化管理闭环。

2.2 关键技术类型

数据采集与监控技术（SCADA）是配电自动化的基础，通过传感器与智能终端实现对配电设备电流、电压、功率等电气量及开关位置、设备状态等非电气量的实时采集与远程监控；故障定位、隔离与恢复（FLISR）技术利用行波测距、阻抗计算等算法，结合配电网络拓扑结构，实现故障的快速定位与隔离，并自动生成供电恢复方案；无功优化与电压控制技术基于全局优化算法，根据实时运行数据对配电网的无功分布与电压水平进行调节，通过投切电容器、调节变压器分接头等方式，实现全网无功平衡与电压稳定。

2.3 技术发展趋势

随着智能电网建设的深入，配电自动化技术正呈现三大发展趋势：在集成化方面，与新能源并网、储能系统、电动汽车充电设施等新型元素深度融合，形成多能协同的综合调控体系；在互动化方面，通过双向通信技术实现与用户侧的信息交互，支持需求响应、电价联动等功能，提升电网与用户的互动能力；在自愈化方面，借助人工智能算法与边缘计算技术，实现故障处理与运行优化的本地化决策，减少对主站系统的依赖，提升处理速度与可靠性。这些趋势推动配电自动化从单一的设备控制向全局的智能优化演进。

3 配电自动化在智能电网中的应用

3.1 配电网实时监测与控制

通过在配电线路、变压器、开关站等关键节点部署智能终端设备，构建覆盖配电网全范围的实时监测网络。这些终端设备以秒级采样频率采集电气参数与设备状态信息，并通过通信网络传输至主站系统。运行人员通过主站监控界面，可实时掌握配电网的潮流分布、设备负载、电压水平等运行状态，远程调节开关设备、投切补偿装置，实现对配电网的精准控制。例如，当发现某条线路负载率过高时，系统可自动调整相邻线路的运行方式，平衡区域负荷分布，避免设备

过载，提高配电网的运行安全性与经济性。

3.2 故障快速处理与自愈

配电自动化系统构建了完善的故障处理机制，实现了从故障检测、定位、隔离到供电恢复的全流程自动化。当配电网发生短路、接地等故障时，终端设备迅速采集故障信息并上传至主站，主站通过故障定位算法结合网络拓扑，准确判断故障区段，自动下发指令隔离故障点，同时启动非故障区域的供电恢复流程。对于瞬时性故障（如雷击引起的短时接地），系统可自动进行重合闸操作，恢复正常供电。这种自动化处理模式大幅减少了人工干预，缩短了故障处理时间，尤其在复杂网络结构与恶劣天气条件下，显著提升了智能电网的供电可靠性与抗干扰能力。

3.3 分布式能源协同管理

在智能电网中，分布式光伏、风电、储能等能源设施的大量接入对配电系统管理提出了新挑战。配电自动化系统通过建立分布式能源管理模块，实现对各类分布式电源的实时监测、协调控制与优化调度。系统可根据分布式能源的出力预测与电网负荷需求，制定能源调度策略，实现分布式能源与传统电网的友好互动。例如，当分布式光伏出力过剩时，系统自动调整储能装置的充电功率，存储多余电能；当电网负荷高峰时，释放储能电能并协调分布式电源增加出力，减少对大电网的依赖。这种协同管理模式提高了可再生能源的消纳能力，促进智能电网向低碳化、可持续方向发展。

4 配电自动化在智能电网中的应用挑战

4.1 技术适配性问题

智能电网中设备类型的多元化与网络结构的复杂化，对配电自动化技术的兼容性提出了严峻考验。不同厂商生产的终端设备、通信模块往往采用不同的通信协议与技术标准，导致系统集成时面临接口不兼容、数据交互困难等问题；老旧配电设备的智能化改造难度大，部分设备因硬件限制无法支持自动化功能升级；新型分布式能源接入带来的技术标准不统一，如不同储能系统的控制策略差异，增加了配电自动化系统的协调控制难度。这些技术适配性问题导致配电自动化系统在实际应用中难以发挥整体效能，制约了智能电网的协同运行能力。

4.2 通信网络可靠性瓶颈

配电自动化系统对通信网络的实时性、可靠性要求极高，而智能电网环境下的通信需求与现有基础设施之间存在

突出矛盾。随着智能终端设备数量的激增,配电自动化系统的数据传输量呈指数级增长,对通信带宽形成巨大压力;部分偏远地区或农村电网,通信基础设施薄弱,光纤覆盖率低,依赖无线通信方式易受地形、气候等因素影响,导致通信链路中断风险增加;多设备协同控制场景下,数据传输延迟可能导致控制指令失效,如故障处理时开关动作指令的延迟可能引发越级跳闸,扩大停电范围。通信网络的可靠性瓶颈已成为制约配电自动化效能发挥的关键因素。

4.3 管理协同机制不足

配电自动化的深度应用涉及电力系统规划、设计、建设、运行、维护等多个管理环节,当前各环节之间的协同机制尚不完善。规划阶段对自动化需求的识别不够精准,导致建设的系统功能与实际需求脱节;建设过程中缺乏统一的技术标准与实施规范,不同区域、不同项目的配电自动化系统存在差异,难以实现全网协同;运行维护阶段专业人才短缺,部分运维人员对自动化系统的原理、操作不熟悉,导致设备故障处理不及时;跨部门的信息共享机制缺失,规划、建设、运维部门之间数据不通,影响系统的全生命周期管理。这种管理协同机制的不足,严重制约了配电自动化在智能电网中的应用效果与可持续发展能力。

5 配电自动化在智能电网中的应用策略

5.1 强化技术创新与标准化建设

加大对配电自动化核心技术的研发投入,重点突破设备兼容性、通信可靠性、智能决策等关键技术瓶颈。建立统一的技术标准体系,规范设备接口、通信协议、功能要求等技术参数,推动不同厂商设备的互操作性与系统的互联互通。设立行业级技术创新联盟,整合科研院所、设备厂商、电网企业的资源,开展联合攻关,加速技术成果转化。例如,制定统一的分布式能源接入标准,规范储能系统与配电自动化系统的通信协议与控制策略,提升协同管理能力。通过技术创新与标准化建设,为配电自动化在智能电网中的规模化应用奠定技术基础。

5.2 优化通信网络架构

为构建融合多种通信技术的多元化网络架构,针对不同区域电网的特点与需求,我们精心选择适配的通信方式。在城市核心区,我们以光纤通信为主,依托其高带宽和高可靠性的优势,打造一个高效稳定的通信网络。而在偏远地区,我们则采用5G、卫星通信等无线方式作为补充,有效解决

通信覆盖难题。为了提升网络的抗故障能力,我们加强了通信网络的冗余设计,建立了环网结构与备用通道,确保在主通信链路出现故障时,能够迅速切换至备用链路,保证电网信息的实时传输。同时,我们部署了实时监测与故障预警系统,对通信链路的运行状态进行全天候监控,及时发现并处理通信故障,确保电网通信的稳定运行。此外,我们引入了边缘计算技术,将计算资源部署在通信网络边缘节点,实现数据的本地处理与存储,有效减少数据传输量,降低对通信带宽的依赖,从而提升系统的响应速度与可靠性,为电网的智能化和高效运营提供强有力的技术支撑。

5.3 完善管理协同与人才培养

建立跨部门、跨专业的管理协同机制,在规划、建设、运行、维护等环节实现信息共享与决策联动。制定配电自动化应用的全流程管理规范,明确各环节的职责、技术要求与工作流程,确保系统建设与运行的标准化、规范化。成立专门的协调机构,负责统筹配电自动化项目的规划设计、建设实施与运维管理,解决部门间的协作问题。加强专业人才培养体系建设,通过校企合作、联合办学等方式,培养具备电力系统、信息技术、自动化控制等多学科知识的复合型人才;建立常态化的培训机制,对在职人员进行技术更新与技能提升培训,提高运维人员的专业水平与故障处理能力。通过完善管理协同与人才培养,为配电自动化在智能电网中的深度应用提供组织保障与人力支持。

6 结束语

配电自动化作为智能电网建设的核心支撑技术,其应用水平直接决定了智能电网的运行效率与服务质量。在新型电力系统构建与“双碳”目标推进的背景下,需充分认识配电自动化面临的技术适配、通信瓶颈、管理协同等挑战,通过系统性的技术创新、标准建设与生态优化,推动配电自动化与智能电网的深度融合。未来,随着5G、人工智能、数字孪生等技术的发展,配电自动化将向更智能、更可靠、更高效的方向演进,为构建安全、高效、低碳的新型电力系统提供坚实的技术支撑,助力能源行业的数字化转型与可持续发展。

参考文献:

- [1] 陈光. 配电自动化技术在智能电网中的应用[J]. 电力设备管理,2025,(06):59-61.
- [2] 王伟. 配电自动化技术在智能电网中的应用[J]. 光源

与照明 ,2024,(09):186–188.

[3] 王桢干 . 配电自动化技术在智能电网中的应用分析
[J]. 工程技术研究 ,2024,9(16):75–77.

[4] 何乃芳 , 王圳 , 刘凯 . 配电自动化技术在智能电网中

的应用分析 [J]. 产品可靠性报告 ,2024,(06):97–99.

[5] 耿磊 , 赵文远 . 配电自动化技术在智能电网中的应用
[J]. 自动化应用 ,2024,65(S1):294–296.