

面向智能电网的配电网自动化关键技术分析

徐 正

(国网吉林省电力有限公司吉林供电公司, 吉林省 吉林市 132000)

摘 要 随着智能电网建设的深入推进, 配电网正经历从“被动响应”向“主动管理”的根本性转变。配电网作为连接电源与用户的关键环节, 其自动化水平直接决定电网运行效率、供电可靠性与新能源消纳能力。基于此, 本文首先概述了基于智能电网的配电网发展现状; 其次分析了面向智能电网的配电网自动化关键技术, 包括智能感知技术、融合通信技术、高级调控技术、网格化保护技术、云边协同技术等; 最后探讨了面向智能电网的配电网自动化技术发展趋势, 以期为配电网的智能化升级提供理论参考。

关键词 智能电网; 配电网自动化; 智能感知技术; 融合通信技术; 高级调控技术

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.14.005

0 引言

配电网是电力系统中直接面向用户的关键环节, 承担着电能分配与供应的重要职责。然而, 能源结构转型与新型电力系统建设对配电网提出了前所未有的挑战, 传统配电网的“被动响应”模式已难以应对新时期需求, 因此提升配电网的可靠性与智能化水平是保障供电质量的核心任务。配电网自动化作为智能电网的核心组成部分, 实现了配电网运行状态的实时监测、故障的快速定位与隔离以及供电的自动恢复。在智能电网建设背景下, 深入研究配电网自动化关键技术及其发展趋势具有重要的现实意义。

1 智能配电网的概念、特点及发展现状

1.1 概念

智能配电网是当今电力系统向新型电力系统演进的关键环节, 其并非传统配电网的简单升级, 而是一场深刻变革。传统配电网和现代化技术、智能化技术、信息化技术结合, 形成了智能配电网, 实现了对配电网的实时监测、控制和优化管理。简单来说, 智能配电网就是给传统配电网装上“智慧大脑”和“神经末梢”, 使其具备了主动感知、智能决策、灵活互动等功能, 从而为用户提供更加高效、安全、稳定、高质量的电能服务。

1.2 特点

智能配电网是传统配电网向现代能源互联网演进的关键形态。和传统配电网相比较而言, 智能配电网

具有以下特点: 第一, 高度自动化与智能化。智能配电网集成了先进的传感技术、人工智能技术、自动化控制技术, 可实现故障自诊断、自隔离、自恢复, 进而保障供配电可靠性。第二, 分布式能源友好接入。智能配电网支持光伏、风电等分布式电源灵活并网, 有利于实现源网荷储协同优化, 促进清洁能源消纳^[1]。第三, 双向互动与信息流融合。智能配电网改变了过去的单向供电模式, 实现了电力流、信息流双向互动, 支持需求侧响应和电价动态调整。第四, 自愈能力和弹性运行。智能配电网具备实时态势感知和智能决策能力, 能够快速应对故障和极端事件, 保障系统韧性。第五, 数据驱动与数字化管理。智能配电网在 AI 技术、大数据技术、云计算技术的支撑下, 实现了设备状态监测、负荷预测和能效优化, 支撑精准运维管理。第六, 集成高效的通信与信息技术。智能配电网以通信网络为基础, 将配电自动化系统、用户计量系统以及地理信息系统等数据深度融合, 进而构建覆盖全网的统一信息平台, 能够为配电网的精细化管理、决策提供重要的数据支撑。

1.3 发展现状

智能配电网作为新型电力系统的核心环节, 当前正处于快速发展的阶段。2026 年政府工作报告提出“加快智能电网建设”, 再加上《关于促进电网高质量发展的指导意见》的出台, 智能配电网作为新型电力系统的关键环节, 迎来了重要的发展机遇。尤其是在技术层面, 配电网正在朝着柔性化、智能化、数字化的

作者简介: 徐正 (1986-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 配网自动化。

方向转型发展,配电网系统逐渐由传统的“无源单向辐射”网络向“有源双向交互”系统转变,具备了更加强大的弹性扩容能力、智能监控能力。不仅如此,基于物联网的智能配电网,实现了电力设备的主动预警与智能运维,为电网高质量发展提供坚实的支撑。然而,面向智能电网的配电网发展也面临着严峻的挑战,分布式电源高比例渗透带来潮流双向流动与电压波动问题,对保护配置、电能质量和运行调度提出更高要求;数据安全与网络安全风险日益凸显,因此采取有效措施解决问题至关重要^[2]。

2 面向智能电网的配电网自动化关键技术

面向智能电网的配电网自动化的核心在于将传统“被动响应”的电力分配网络升级为能够“主动管理”的能量互动平台,其主要依赖于下述几项技术的应用与融合。

2.1 智能感知技术

智能化感知是配电网自动化的基础。传统配电网功能有限,升级困难。而依靠智能感知技术,通过在云端应用低代码模块灵活搭建应用,并一键远程下发至海量终端,可实现软件和硬件之间的解耦,提高配电网功能升级效率。依托智能感知技术和第四代馈线终端单元(FTU)等智能设备,将其部署于关键节点,能够实时化、可视化感知线路负载、设备状态、故障信号,让配电网“耳聪目明”。不仅如此,通过搭建大数据平台,整合接入多台配电终端系统以及感知设备,能够实时化采集、处理海量的数据信息^[3]。此外,融合大数据技术和机理模型,使得故障预警和定位更加的精准化,能够将单相接地故障定位准确率提升至90%,并能提前预警设备老化风险,为配电网运维管理工作的开展提供重要帮助。

2.2 融合通信技术

融合通信技术在配电网自动化中发挥着至关重要的作用,该技术是电力数据传输的“高速公路”,因此应用融合通信技术,搭建可靠、高速的通信网络非常关键。例如:应用高速电力线载波(HPLC)与射频网络结合的双模通信,能够将宽带提升1~2倍,而且可提升数据采集成功率99%。不仅如此,应用5G技术、光纤通信技术搭建立体化的通信矩阵,5G技术可确保核心控制业务20毫秒级的确定性时延,光纤技术则能够承载海量的数据,融合后可显著提升通信效率。此外,通过微秒级时钟同步,在千兆级数据洪流中为差动保护等关键信号开辟专属通道,确保时延波动不

超过2毫秒,能够更好地保障配电网通信稳定性。

2.3 高级调控技术

高比例分布式光伏、充电桩的接入,给电网调控带来了巨大挑战。而依靠高级调控技术,促使配电网变身能量的“智能管理者”,可明显提高调节效率。例如:通过多阶段鲁棒优化算法,为低压光储充单元装上智能“调节阀”,能够实现对配电网功率的自动化调节,进而降低局部电压越限风险70%。同时,应用区块链技术与大数据技术整合原本分散的、海量的屋顶光伏、储能单元,建立虚拟但可控的电厂,可实现配电网调峰和调频等工作^[4]。此外,应用深度学习技术搭建预测模型,融合气象、电力等多元化的数据,将新能源出力的预测误差压缩至6%,能够为配电网电力调度决策工作的开展提供更高精度的导航。

2.4 网格化保护技术

新时期,传统过流保护已经无法满足多电源、复杂化的配电网需求。网格化保护技术,可实现对配电网故障的“外科手术式”切除。依靠网格化保护技术将配电网划分为多个独立的保护网格,一旦出现故障,网格内的各个设备相互协同配合,可实现对故障点的精准定位和快速隔离,提升配电网故障处置效率73%。故障隔离之后,保护设备启动“互相通知”的功能,能够自动合闸恢复非故障区域供电,进而缩短供电时间,降低对民众生产生活的影响。

2.5 云边协同技术

传统集中式的数据处理技术早已无法满足新时期海量终端需求,应用云边协同技术,为配电终端植入边缘计算模块,可在本地完成对80以上的常规操作指令以及故障波形分析,进而削减上传主站数据量80%。同时,应用云边协同技术搭建新能源配电网大数据智能云平台,全面负责对配电网的优化及深度分析,能够更加精准地控制负载,并及时识别违规用电等现象,提升云端智能管理水平。此外,应用数字孪生技术搭建虚拟的配电网镜像,通过模拟台风过境、电动汽车集中充电等一系列的极端场景,能够帮助运维管理人员提前做好对配电网运行方式的优化工作,进而由原本的“被动响应”转变至“主动防御”,降低对配电网运行的影响。

3 面向智能电网的配电网自动化技术发展趋势

面向智能电网的配电网自动化技术正经历深刻变革。在新型电力系统建设的背景下,配电网自动化技术的发展趋势主要如下。

3.1 系统架构：主配微协同与柔性互联

智能电网时代，配电网不再是电力系统的“末端”，而是源网荷储互动的关键平台。根据政府部门 2026 年发布的《关于促进电网高质量发展的指导意见》，加快建立“主配微协同”的新型电网平台成为顶层设计共识。鉴于此，未来一段时间里配电网自动化应当和主干电网、分布式能源、智能微电网实现协同规划及调控，同时创新应用柔性直流、智能开关等装备，实现大电网和微电网的灵活并离网运行，进而解决高比例分布式新能源接入带来的双向潮流问题，提升电网的韧性与互济能力^[5]。

3.2 技术内核：数字化、AI 深度赋能与透明化

未来，数字化技术、人工智能技术将会由原本的辅助工具转变为配电网的生产核心系统，提升配电网自动化技术水平。面向智能电网的配电网，其通信和感知将会具备更高的智能化程度。通过应用数字化技术、人工智能技术、卫星通信技术、无线专网技术、光通信技术，有助于推动配电网向“中压融合、低压透明”演进，实现对低压 400 V 网络的线损可视、新能源可管。与此同时，在 AI 技术的加持下，配电网运维决策的智能化程度会更高。通过应用 AI 技术进行配电网规划、设备巡检、故障诊断，能够为运维管理工作开展提供重要的帮助。此外，基于云边协同的故障主动防御体系正在取代传统的故障后被动处理模式，通过隐患早期识别实现主动运维，以保障配电网的安全高效运行。

3.3 核心装备：极速响应与多源接入

新时期，光伏、储能及充电桩的接入量明显增加，对于配电网装备提出了更高的要求。要提高对核心装备的应用和升级意识，完善自动化装备的功能，提升性能。例如：基于磁控开关技术的故障处理目前已实现 10 毫秒内的极速分闸，这显著提高了选择性保护能力。不仅如此，具备检同期功能的低压快切开关实现了主备电源 15 毫秒内无缝切换，保障敏感用户“零感知”。在电网智能化发展背景下，尤其是集成 AI 预测性维护与实时监测功能的终端设备将成为主流，这将会为配电网乃至电网的发展提供更强大的支撑。

3.4 人才培养：“单维专业”到“跨界复合”

面向智能电网的配电网自动化发展，对人才的技术要求发生了根本性转变，未来的配电网人才不再是单一领域的专家，而需具备多学科融合的视野和解决复杂工程问题的能力，因此加快培育复合型人才成为

发展大势所趋。为了满足上述人才需求，从高校到企业的整个培养链条都在进行创新性改革。一方面，高校要重塑人才培养模式，建立全新的课程体系，树立“通发电、精储电、智配电、慧用电”的“四电贯通”培养理念。结合电力企业项目，建立年度更新的模块化课程体系，及时融入新技术、新标准，实现教学内容与产业发展的同频共振。另一方面，学校和企业之间要深化交流与合作，协同建立实体化育人平台，让学生以“准员工”身份在真实项目中“做中学”。同时，电力企业的导师应当积极参与到高校教学中，共享共建教学资源，提高人才培养水平。此外，电力企业内部应当做好系统化的培训工作，建立阶梯式培养体系，通过“理论+考核”的方式，对配电自动化人员进行分级认证，构建从基础操作到高级技术管理的清晰成长路径。同时，要定期进行实战演练，设置馈线终端故障排查、“三遥”调试、FA 动作分析等贴近真实工作场景的演练活动，让配电自动化人员在赛中练、练中学，进而为新型电力系统建设提供关键智力支撑^[6]。

4 结束语

配电网自动化是智能电网建设的核心环节，是实现配电网“可观、可测、可控、可调”目标的技术基础。在智能电网建设过程中，要高度重视配电网自动化技术创新应用，充分发挥智能感知技术、融合通信技术、高级调控技术、网格化保护技术、云边协同技术的优势，提高配电网的运行效率与可靠性，进而为建设安全、高效、清洁、低碳的智能电网提供坚实的技术保障，推动能源转型与“双碳”目标的实现。

参考文献：

- [1] 毛树伟. 自动化技术在电力系统配电网工程中的实践[J]. 数字技术与应用, 2025, 43(03): 232-234.
- [2] 姚开源, 于子恒. 智能电网环境下配电网自动化标准化技术研究[J]. 标准生活, 2025(08): 344-346.
- [3] 王平平. 智能电网发展背景下的城市配电网改造分析[J]. 光源与照明, 2025(08): 254-256.
- [4] 余力. 智能电网环境下配电网自动化故障定位方法探讨[J]. 中国高新科技, 2025(14): 42-44.
- [5] 陈云帆. 配电网自动化系统中的运行优化策略分析[J]. 电子技术, 2025, 54(04): 320-321.
- [6] 黄正, 葛佳盛, 常焱杰. 智能电网配电网自动化技术的应用[C]//广东省国科电力科学研究院. 第三届电力工程与技术学术交流会议论文集. 国网电力科学研究院有限公司实验验证中心, 2023.