

新型电力系统背景下配电网韧性提升 与故障自愈关键技术

王燕

广水市供电公司, 湖北 广水 432700

DOI:10.61369/EPTSM.2026030003

摘 要 : 在新型的电力系统当中, 高比例的可再生能源以及电力电子设备接入进来, 这使得配电网的运行特性变得复杂起来了, 韧性不够以及故障处置滞后的问题就明显地显现出来了。这篇文章结合配电网运行的新需求, 对韧性提升的核心内涵以及故障自愈的技术逻辑进行剖析, 着重阐述感知预警、设备升级、控制架构以及协同调控等关键技术, 探讨技术落地过程当中的适配路径, 为新型电力系统之下配电网的安全稳定运行提供技术方面的参考。

关 键 词 : 新型电力系统; 配电网; 韧性提升; 故障自愈; 智能调控

Key Technologies for Enhancing Resilience and Self-Healing in Distribution Networks Under the Context of New Power Systems

Wang Yan

Guangshui Power Supply Company, Guangshui, Hubei 432700

Abstract : In the new power system, the integration of a high proportion of renewable energy and power electronic devices has complicated the operational characteristics of distribution networks, making issues such as insufficient resilience and delayed fault handling increasingly evident. This article analyzes the core connotations of resilience enhancement and the technical logic of fault self-healing in response to the new operational demands of distribution networks. It focuses on key technologies such as perception and early warning, equipment upgrades, control architecture, and coordinated regulation, exploring adaptive pathways for technology implementation to provide technical references for the safe and stable operation of distribution networks under the new power system.

Keywords : new power system; distribution network; resilience enhancement; self-healing of faults; intelligent regulation

引言

构建新型的电力系统是落实能源安全战略以及“双碳”目标的核心举措, 配电网作为连接主网和用户的关键枢纽, 承担着分布式能源消纳、多元负荷供电保障的重要功能任务。随着可再生能源大规模地接入以及电力电子设备广泛地应用, 配电网呈现出低惯性、强波动、多耦合的运行特征, 极端气候以及系统内部扰动引发的故障风险显著地上升了, 对配电网的韧性以及自愈能力提出了更高的要求。传统的故障处置模式依赖人工进行干预, 难以适配新型配电网的运行需求, 迫切需要突破核心技术的瓶颈, 构建兼具抗扰能力以及快速恢复能力的配电网技术体系, 为新型电力系统的安全稳定运行筑牢基础保障。

一、新型电力系统下配电网韧性与故障自愈的核心内涵

(一) 配电网韧性的核心维度

配电网韧性指的是系统在极端事件以及内部波动干扰的情况下, 维持关键负荷供电、快速恢复正常运行综合能力本领, 涵盖抵抗、适应、恢复这三大核心维度。抵抗能力体现为系统抵御

外部扰动以及内部故障的能力, 需要通过优化网络结构以及设备性能, 降低故障发生的概率以及影响的范围; 适应能力强调系统应对多源扰动的灵活性, 能够通过源网荷储资源协同进行调度, 缓解可再生能源波动性带来的运行压力; 恢复能力则聚焦于故障之后的快速处置, 实现非故障区间供电的保持以及故障区域的精准恢复, 最大限度地降低供电的损失。和传统可靠性指标相比较, 韧性更加侧重极端场景以及复杂扰动之下的系统表现, 契合

新型电力系统的运行特征。

（二）故障自愈的技术逻辑

配电网故障自愈指的是系统不需要人工进行干预，通过自主感知、精准研判、自动处置，实现故障隔离以及供电恢复的闭环流程过程，其核心逻辑是构建“感知-决策-执行”的自主运行体系。感知环节需要全面捕捉系统运行的状态以及故障的特征，为故障研判提供数据方面的支撑；决策环节依托智能算法快速定位故障的位置、识别故障的类型，生成最优的隔离以及恢复策略；执行环节通过智能设备协同进行动作，完成故障区段的隔离、备用路径的切换以及负荷的恢复，实现故障处置的自动化以及高效化。故障自愈技术需要突破传统集中式控制的局限，适配分布式电源接入之后的电网拓扑变化，兼顾处置的速度以及供电的稳定性。

二、配电网韧性提升关键技术

（一）网络结构优化与冗余配置技术

网络的结构是起到决定配电网韧性作用的基础，通过开展优化拓扑设计和进行冗余配置的操作，能够明显提升系统的抗干扰能力以及故障之后的恢复潜力。基于源网荷储融合的需求，采用把环网和辐射网结合起来的混合拓扑结构，构建有多条路径的供电网络，为故障之后负荷转供提供通道方面的支撑。针对分布式能源集中接入的区域，开展优化配网接线方式的工作，达成新能源和储能设备的就近消纳以及灵活调控，降低单一电源故障对系统所产生的影响。与此同时，加强关键节点的冗余配置，在负荷密集的区域和能源枢纽节点的地方部署备用电源和储能设施，构建出“主供加备用”的双重供电保障体系，提升极端场景之下关键负荷的持续供电能力。

（二）智能设备升级与性能强化技术

智能设备是配电网韧性提升的硬件方面的支撑，通过开展设备性能优化和进行功能集成的工作，实现故障的预防和快速响应。在开关设备的领域，采用固封极柱和真空灭弧的技术，提升设备的绝缘性能和使用的寿命，集成局放监测、温升预警等智能的功能，实现设备健康状态的实时感知和故障的预判。针对分布式电源接入所带来的故障特性的变化，开展研发自适应保护开关的工作，能够根据系统运行的状态动态调整保护的参数，避免传统保护装置出现误动作和拒绝动作的情况。在储能设备应用方面，推广构网型的储能系统，依靠毫秒级的响应能力和瞬时过载的特性，平抑可再生能源的波动，为配电网提供电压和频率的支撑，增强系统运行的稳定性。

（三）数字孪生与风险预警技术

数字孪生技术为配电网韧性提升提供数字化的支撑，通过构建物理电网和数字电网的实时映射，实现系统运行状态的全维度感知和模拟推演。基于多源数据融合的技术，开展整合设备运行数据、气象数据、负荷数据的工作，构建动态更新的数字孪生模型，精准地复刻配电网运行的特性。利用该模型能够开展极端场景的模拟和风险的预判，识别系统的薄弱环节，提前优化运行的

策略和防护措施。结合人工智能的算法，对设备异常信号和系统波动趋势进行分析，实现故障前兆的预警，将被动的抢修转化为主动的防控，从源头提升配电网的韧性。

三、配电网故障自愈关键技术

（一）高速感知与故障精准识别技术

故障感知的精准性和时效性直接决定自愈系统的处置效率，依托物联网、5G等技术构建全域的感知网络，实现配电网运行状态的实时监测。在配电终端部署智能融合的装置，集成电流、电压、相位等多维度的监测功能，能够快速捕捉故障引发的电气量的突变，精准识别百毫安级微电流的异常。采用人工智能的算法优化故障识别的逻辑，融合多源监测的数据构建故障特征的库，区分不同类型的故障和扰动的信号，解决可再生能源接入下故障特性复杂、识别难度大的问题，实现故障位置和类型的毫秒级精准研判，为后续的处置提供可靠的依据。

（二）分布式协同控制技术

针对新型配电网存在拓扑分散、源荷互动频繁这类特点的情况，运用采取分布式协同控制架构这种方式替代以往的传统集中式控制模式，来提升自愈系统出现响应速度提高、可靠性增大的情况。放弃那种依赖中央调度的决策方式，赋予各配电节点使其拥有本地决策能力，通过展开节点间实施信息交互从而实现协同动作得以达成，避免通信延迟致使导致的处置滞后后果出现。基于靠着光纤差动技术去建分布式控制网络，实现达到各节点电气量信息能够实时共享、进行同步运算的状况，快速迅速地生成制造故障隔离、负荷转供策略。与此同时，引入采用自适应控制算法，能够可以根据电网拓扑出现变化、源荷呈现状态来动态调整做出变化控制策略，以自适应来应对分布式电源接入情况、负荷产生波动带来的系统变化，确保保障自愈过程处于稳定、精准状况。

（三）源网荷储协同自愈技术

源网荷储实现协同是达成突破单一设备自愈受局限状况、提升提高复杂故障场景下自愈能力的关键路径，通过进行统筹调度分布式电源、储能设备、柔性负荷等那些多元主体，构建建立全域联动的协同自愈体系系统。故障发生出现以后，优先首先调度安排构网型储能设备快速迅速释放输出电能，依靠凭借其毫秒级响应特性来维持保持医院、交通枢纽等那些关键负荷的供电稳定状态，为故障定位、隔离等后续处置争取赢得充足足够时间。与此同时，结合联合分布式电源实时出力特性、预测数据，优化调整做出优化光伏、风电等电源的运行模式，通过开展主动功率控制避免防止新能源因为电压、频率波动产生无序脱网情况发生，防止避免扰动范围扩大。针对工业可调负荷、居民柔性负荷等实施开展分级分类调控，通过利用分时电价激励、精准指令控制双向引导促使负荷转移、错峰运行，有效有力地缓解故障区域供电压力。依托依靠一体化协同控制平台，打通连通各主体数据链路，实现达成源网荷储资源的动态精准调配。

四、技术落地适配路径与实践要点

（一）技术适配与场景优化

配电网韧性提升、故障自愈技术的落地落实需要结合考虑不同场景特征来优化改进适配方案，防止技术套用致使出现适配性不足状况、资源出现浪费现象。城市核心区域呈现负荷密集且多为重要负荷的状态，对供电连续性、可靠性提出要求极高，可重点着重部署设置毫秒级故障自愈系统、数字孪生平台，通过二者协同联动实现达成故障的精准预判、快速隔离、负荷无缝转移得以完成，与此同时构建建立高密度冗余供电网络，搭配选用环网互供拓扑设计，进一步从而降低减少单点故障对供电产生的影响程度。农村与偏远区域配电网线路存在跨度大、结构相对薄弱的情况，并且分布式新能源占比普遍比较高，出力波动状况明显，应优先首选推广推行分布式储能、自适应保护设备，依托依靠储能去平抑抑制新能源波动、提供给予应急供电支撑，通过开展自适应保护设备适配适应复杂故障特性，同步另外强化源网荷储协同调控能力，实现达成新能源就地消纳、供电稳定这双重目标。针对出现极端气候频繁发生情况的区域，需要有针对性的方式去做优化设备防护等级这件事，要选择具有耐高低温性能、具有抗雷击能力、能防止覆冰情况的专用这一类设备，采用抗干扰能力强的那种无线通信跟光纤复合的线路，以此确保感知终端和控制系统在恶劣环境这样的条件下持续稳定地运行。

（二）产学研协同与技术转化

依靠企业、科研机构 and 电力部门这三方进行协同创新的机制，把技术研发、成果验证以及产业化落地整个链条贯通，加快关键技术进行迭代升级以及转化应用的速度。企业作为产业化主体这个角色，将注意力集中在核心设备开展工程化研发以及进行量产这些方面，在优化产品性能、提高运行稳定性的同时，更大力去进行成本控制，推行智能开关、构网型储能、智能融合终端等设备实现规模化、标准化的应用，用来满足配电网改造产生的批量的需求。科研机构站在理论前沿这样的位置，重点去攻克人工智能故障识别算法优化、数字孪生与物理电网实时同步、多技术融合适配等核心瓶颈方面的问题，给技术升级提供牢固的理论支撑和实验室验证相关的

成果。电力部门结合在一线进行运维和工程实践的情况，精准地反馈出在实际运行期间技术方面的痛点和需求，带头开展试点应用，通过在不同场景之下进行实证检验来优化技术方案，形成“研发—验证—迭代—推广”这种良性的循环。

（三）人才培育与运维升级

新型配电网技术体系把数字技术、电力电子技术以及智能控制技术融合在一起，对运维人员的专业能力提出了需要跨界融合的更高的要求，非常有必要加强复合型人才培育的工作，打造出既具备电力系统专业知识又拥有数字化技能的核心运维队伍。通过开展经常化的专项技术培训活动，把关注点放在智能设备操作、数字孪生平台应用、人工智能预警系统运维等关键内容上，提高现有运维人员在技术上的适应能力；进一步深入开展校企合作，一起开设配电网智能运维相关的专业方向，有针对性地培养既懂得传统电力运维又掌握前沿数字技术的后备人才，以适应运维模式从人工干预向智能自主转变的核心需求。同时，构建起一体化的数字化运维平台，把故障预警、设备健康状态、自愈处置全过程的数据整合起来，实现对配电网运行状态进行全景监测、智能分析以及远程调控，代替传统分散式的运维模式，提高运维效率和精准程度，为技术落地提供坚实的人力支撑和管理方面的保障，保证新技术能够发挥出实际作用。

五、结论

建设新型的电力系统推动着配电网朝着智能化方向、分布式方向、多耦合方向去转型，提升韧性以及实现故障自愈变成保障配电网安全稳定运行方面的核心诉求。对网络结构进行优化、对智能设备予以升级、开展数字孪生预警等这些技术给提升韧性提供支撑，而进行高速感知识别、实施分布式协同控制、开展源网荷储协同等技术则构建起故障自愈方面的核心能力。在技术落地的过程当中，需要结合场景的特征去优化适配的方案，依靠产学研协同来加速成果的转化，强化人才的培育以及运维的升级，形成技术、设备、管理协同推进这样的格局。

参考文献

- [1] 潘凯岩, 刘宏达, 赵瑞峰. 极端自然灾害下新型配电系统韧性提升技术综述与展望 [J]. 电力系统自动化, 1-18.
- [2] 杨晨, 汪佳, 李敏, 刘梦琪, 王振刚, 王欢欢, 孙同展. 新型电力系统背景下数智配电网建设与发展研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15(06): 59-62+67.
- [3] 冯德金. 考虑灵活性资源的新型配电系统韧性提升方法研究 [D]. 沈阳工程学院, 2025.
- [4] 符谢力, 舒舟, 吴万军. 新型电力系统背景下配电网柔性互联容量自动提升系统研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2025, (01): 247-252.
- [5] 申悦晴. 考虑多种灵活性资源支撑的配电网韧性提升方法研究 [D]. 华南理工大学, 2024.
- [6] 黄倩. 考虑虚拟电厂统一调度的配电网韧性提升策略研究 [D]. 太原理工大学, 2023.
- [7] 秦晓阳. 极端场景下新型配电网韧性评估及提升策略研究 [D]. 东南大学, 2023.
- [8] 卿玉良. 自然灾害下气电联合配网系统韧性提升研究 [D]. 四川大学, 2023.
- [9] 范馨予. 面向韧性提升的配电网故障恢复策略研究 [D]. 四川大学, 2023.
- [10] 勇蔚柯. 基于需求响应的和 SOP 的配电网韧性提升技术研究 [D]. 东南大学, 2022.