

配电网自动化系统中故障定位与自愈控制策略的改进

范利新

河南灿迪电力科技有限公司, 河南许昌, 461111;

摘要: 随着配电网技术的不断发展, 配电网自动化系统逐渐成为提高供电可靠性和电网运行效率的重要手段。然而, 在实际应用中, 故障定位与自愈控制策略仍存在问题, 影响了系统的整体性能。本文旨在探讨配电网自动化系统中故障定位与自愈控制策略的改进方法, 通过深入分析现有策略存在的问题, 提出针对性的改进措施, 以期提高故障处理的准确性和效率, 加快自愈控制的响应速度, 进一步提升配电网的运行可靠性和稳定性。

关键词: 配电网自动化; 故障定位; 自愈控制策略

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 08. 014

引言

随着电力需求的不断增长和电网结构的日益复杂, 配电网自动化系统的重要性日益凸显。该系统通过集成先进的传感器、通信技术和智能算法, 能够实时监测电网状态, 及时发现并处理故障, 从而有效减少停电时间和范围, 提升电网的整体运行效率。然而, 尽管配电网自动化系统具有诸多优势, 但在实际应用过程中, 故障定位与自愈控制策略仍面临诸多挑战。这些问题不仅影响了故障处理的及时性和准确性, 也制约了配电网运行可靠性和稳定性的进一步提升。

1 配电网自动化系统中故障定位与自愈控制策略的改进

1.1 配电网自动化系统的重要性

配电网作为电力系统从输电环节到用户端的最后一环, 直接关系到电力供应的稳定性与可靠性, 而配电网自动化系统则是实现配电网高效运行、精准管控的核心支撑。它通过整合计算机技术、通信技术、传感技术与电力控制技术, 对配电网的运行状态进行实时监测、数据采集与远程控制, 实现了从传统“人工巡检、被动抢修”向“智能感知、主动管控”的转变。

在保障供电可靠性方面, 配电网自动化系统能快速识别线路故障、定位故障点并启动自愈控制, 最大限度缩短停电时间, 减少因停电造成的经济损失与民生影响。例如, 在居民小区供电线路发生故障时, 系统可迅速隔离故障区域, 通过负荷转移保障非故障区域正常供电。在优化电网运行效率上, 系统能实时监测线路负荷、电压、电流等参数, 通过数据分析优化功率分配, 降低线路损耗, 提高电能利用效率。同时, 该系统还能为电网规划与运维提供精准的数据支撑, 帮助运维人员掌握配

电网设备的运行状态, 提前发现设备老化、线路过载等潜在隐患, 实现预防性维护, 延长设备使用寿命。在新能源并网背景下, 配电网自动化系统更是保障分布式光伏、风电等新能源安全接入、平稳消纳的关键, 通过协调控制新能源出力与电网负荷, 维持配电网的功率平衡与电压稳定。可以说, 配电网自动化系统是构建智能配电网、满足社会经济发展对高质量电力需求的基础保障。

2 配电网自动化系统中故障定位与自愈控制策略存在的问题

2.1 故障定位的准确性问题

故障定位的准确性是配电网自动化系统快速处理故障的前提, 但当前系统在实际应用中仍存在定位精度不足的问题。一方面, 配电网结构的复杂性制约了定位准确性, 尤其是在城乡结合部或老旧城区, 配电网呈现“多分支、多联络、辐射状与环网混合”的复杂结构, 线路交叉跨越多、分支节点多, 当故障发生时, 故障电流会在复杂网络中产生分流、折射与反射, 导致传统的基于阻抗法、行波法的定位算法出现计算偏差, 难以精准锁定故障点, 往往需要运维人员进行现场排查, 延长了故障处理时间。另一方面, 数据采集的不完整性与干扰性影响定位精度, 部分偏远地区或老旧线路的监测终端(如FTU、DTU)安装密度不足, 无法全面采集故障时的电流、电压波形数据; 同时, 配电网中的谐波、冲击负荷以及通信传输过程中的信号衰减、干扰, 会导致采集到的数据失真, 使定位算法基于错误数据得出不准确结果。此外, 特殊故障类型的识别难度大, 如高阻接地故障(因土壤、植被等因素导致接地电阻过大), 其故障特征不明显, 传统定位算法难以捕捉微弱的故障信号, 容易出现漏判或误判, 进一步降低了故障定位的准确性。

2.2 自愈控制的响应速度问题

自愈控制作为配电网自动化系统的核心功能，其响应速度直接决定了故障影响范围与停电时长，但当前系统在自愈控制响应上仍存在滞后问题。首先，信息传输延迟是导致响应滞后的主要原因，配电网自动化系统依赖通信网络实现监测终端与主站之间的数据交互，当采用的通信方式（如 GPRS、电力线载波）带宽不足、稳定性差时，故障信息从终端上传至主站、主站下发控制指令至执行机构的过程会出现延迟，尤其在故障发生时，大量故障数据同时传输容易造成通信拥堵，进一步加剧延迟。其次，自愈控制决策算法的复杂性影响响应速度，传统的自愈控制算法多采用固定的逻辑判断流程，在面对复杂故障场景（如多重故障、新能源出力波动下的故障）时，需要进行大量的潮流计算与安全校验，计算过程耗时较长，无法快速生成最优的控制策略。此外，执行机构的动作延迟也会拖慢自愈响应，部分配电网中的断路器、负荷开关等执行设备老化，机械动作时间长、可靠性低，在接收到控制指令后无法迅速完成分闸、合闸操作，导致故障隔离与负荷转移的动作滞后，影响自愈控制的整体响应效率。

2.3 故障处理后的恢复效率问题

故障处理后的恢复供电效率，直接关系到用户体验与供电可靠性，但当前配电网自动化系统在故障恢复环节仍存在效率不高的问题。一方面，负荷转移方案的合理性不足，在故障隔离后，系统需要将故障区域的负荷转移至其他健全线路，但传统的恢复策略多基于预设的固定联络关系制定，未充分考虑健全线路的实时负荷容量、电压水平以及新能源出力情况，可能导致转移后健全线路出现过载、电压越限等新问题，需要重新调整方案，延误恢复时间。另一方面，多区域故障的协同恢复能力弱，当配电网中多个区域同时发生故障时，系统往往采用“逐一处理”的模式，缺乏对各故障区域恢复优先级、资源调配的整体规划，容易出现恢复顺序不合理、资源浪费的情况，导致部分用户长时间停电。此外，人工干预过多影响恢复效率，当前系统的自愈恢复功能多局限于简单故障场景，对于复杂故障（如涉及重要用户、新能源场站的故障），仍需要依赖运维人员远程或现场干预，人工判断与操作过程耗时较长，无法实现“全自动化恢复”。同时，故障恢复后的系统重构优化不足，恢复供电后未及时对配电网的网络结构、功率分配进行调整，可能导致电网运行效率偏低，埋下新的运行隐患。

3 改进配电网自动化系统中故障定位与自愈控制策略的策略

3.1 提高故障定位的准确性

提高故障定位准确性，需从算法优化、数据采集升级与特殊故障识别三方面入手。在算法优化上，摒弃单一的定位算法，采用“多算法融合”的定位策略，将阻抗法、行波法与人工智能算法相结合：利用阻抗法实现故障区域的初步大致定位，缩小排查范围；通过行波法捕捉故障产生的暂态行波信号，精准计算故障距离；引入神经网络、支持向量机等人工智能算法，对历史故障数据进行学习训练，建立故障特征与故障位置之间的映射关系，通过实时采集的故障数据与模型匹配，实现复杂网络结构下的精准定位。在数据采集升级方面，加密监测终端的安装密度，尤其在分支节点、关键线路段增设 FTU、DTU 设备，确保故障数据的全面采集；同时，采用更可靠的通信技术（如 5G、光纤通信）传输数据，减少信号干扰与衰减，保障数据的完整性与真实性；此外，在终端设备中增加边缘计算功能，对采集到的原始数据进行预处理（如滤波、降噪），剔除无效数据后再上传至主站，提高定位算法的输入数据质量。针对特殊故障识别，开发专门的高阻接地故障检测模块，通过检测线路中的零序电流谐波分量、暂态能量变化等微弱特征，结合人工智能算法识别高阻接地故障，避免漏判误判；同时，建立故障定位结果的校验机制，将定位结果与现场巡检反馈数据对比，不断优化算法模型参数，提升定位准确性。

3.2 加快自愈控制的响应速度

加快自愈控制响应速度，需要从通信网络升级、决策算法优化与执行机构改造三方面推进。在通信网络升级上，构建“骨干网+接入网”的双层次通信架构：骨干网采用光纤通信技术，保障主站与区域控制中心之间的高速数据传输；接入网结合 5G 技术与电力线载波技术，实现监测终端与区域控制中心的低延迟、高可靠通信，尤其利用 5G 的切片技术，为故障信息传输分配专属通信资源，避免通信拥堵。同时，在配电网中部署边缘计算节点，将部分自愈控制决策功能下沉至边缘节点，故障发生时，边缘节点可直接基于本地采集的数据快速生成初步控制指令，实现“本地快速响应+主站全局优化”的两级控制模式，大幅缩短决策与指令传输时间。在决策算法优化方面，引入模型预测控制与强化学习算法，提前预测配电网的运行状态变化，在故障发生前预

设多种故障场景的应对方案；故障发生时，通过强化学习算法快速匹配最优自愈策略，减少潮流计算与安全校验的耗时；同时，简化复杂故障场景下的决策逻辑，建立“优先级排序+分步执行”的决策机制，先快速隔离故障，再逐步优化负荷转移方案，提升响应效率。在执行机构改造上，更换老化的断路器、负荷开关，采用具有快速动作特性的智能执行设备，如真空断路器、固态开关等，缩短机械动作时间；同时，在执行机构中增加状态监测功能，实时反馈设备动作状态，确保控制指令能够准确执行，避免因设备故障导致的响应滞后。

3.3 提升故障处理后的恢复效率

提升故障恢复效率，需聚焦恢复方案优化、多区域协同恢复与自动化程度提升。在恢复方案优化上，构建“实时数据驱动”的负荷转移决策模型，整合健全线路的实时负荷、电压、新能源出力以及用户重要程度等数据，通过粒子群优化、遗传算法等智能算法，快速生成兼顾“供电可靠性、电网安全性、运行经济性”的最优负荷转移方案，避免出现过载、电压越限问题；同时，建立负荷转移的动态调整机制，在恢复过程中实时监测电网运行参数，若出现异常立即调整方案，确保恢复过程平稳有序。在多区域协同恢复方面，引入“全局统筹”的恢复调度策略，建立配电网全局故障恢复协调中心，当多个区域发生故障时，协调中心根据故障区域的用户类型（如医院、学校等重要用户）、故障影响范围、恢复难度等因素确定恢复优先级，统一调配抢修资源与供电联络容量，实现“先重要用户、后普通用户，先易后难”的协同恢复，避免资源浪费与恢复顺序混乱。在自动化程度提升上，拓展自愈恢复功能的适用场景，开发针对复杂故障的全自动化恢复模块，实现从故障识别、隔离到负荷转移、恢复供电的全流程无人干预；同时，加强与新能源场站、储能系统的协同控制，在故障恢复时合理调度储能系统出力，平抑新能源波动对电网的影响，保障恢复过程中电网稳定；此外，建立故障恢复后的网络重构优化机制，恢复供电后自动调整配电网的网络拓扑与无功补偿装置，优化功率分配，降低线路损耗，提升电网运行效率。

3.4 改进策略的实施方案

改进策略的顺利落地，需要构建“技术升级、制度保障、人员培训”三位一体的实施方案。在技术升级层面，分阶段推进硬件改造与软件升级：第一阶段，完成监测终端加密、通信网络升级（如5G基站建设、光纤

铺设）与智能执行设备更换，为改进策略提供硬件支撑；第二阶段，开发并部署多算法融合定位模型、智能自愈决策系统与协同恢复调度平台，完成软件系统的迭代升级；第三阶段，开展试点应用，选择结构复杂、故障频发的配电网区域进行试点，测试改进策略的有效性，根据试点反馈优化技术方案。在制度保障方面，建立完善的技术标准与管理规范，制定配电网自动化系统升级改造的技术标准、故障定位与自愈控制的操作流程以及数据安全规范，确保技术实施有章可循；同时，建立跨部门协同机制，协调运维、调度、营销等部门的工作，明确各部门在故障处理与系统升级中的职责，避免推诿扯皮。在人员培训上，制定分层分类的培训计划：对技术研发人员开展人工智能算法、边缘计算、5G通信等新技术培训，提升技术创新能力；对运维人员开展新系统操作、故障定位与自愈控制流程培训，提高实操能力；对调度人员开展协同恢复调度策略培训，提升全局统筹能力。同时，建立培训效果考核机制，通过理论考试与实操演练相结合的方式检验培训效果，确保相关人员熟练掌握改进策略的实施要点。此外，建立长效的运行维护机制，定期对系统硬件设备与软件平台进行巡检、维护与升级，及时处理设备故障与软件漏洞，保障改进后的配电网自动化系统长期稳定运行。

4 结语

综上所述，针对配电网自动化系统中故障定位与自愈控制策略存在的问题，本文提出了相应的改进策略，并设计了详细的实施方案。通过算法优化、数据采集升级与特殊故障识别，提高了故障定位的准确性；通过通信网络升级、决策算法优化与执行机构改造，加快了自愈控制的响应速度；通过恢复方案优化、多区域协同恢复与自动化程度提升，增强了故障处理后的恢复效率。这些改进策略的实施，将为构建更加智能、可靠的配电网自动化系统提供有力支撑，进一步满足社会经济发展对高质量电力的需求。

参考文献

- [1] 谢初旭. 配电网故障定位中的自动化技术应用[J]. 消费电子, 2024(10): 111-113.
- [2] 潘成杰, 屈冬豪. 自动化技术在配电网架空线路故障诊断中的应用探究[J]. 中华纸业, 2024, 45(2): 89-91.
- [3] 赵小迪, 赵正. 配电网集中式馈线故障自动化定位方法研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(5): 228-231.