

面向故障快速响应的配电网诊断定位与供电恢复决策研究

张鹏彪 王 洁 刘志明 方 婧 吕迎军

国网冀北电力有限公司承德供电公司 河北承德 067000

摘 要：为解决配电网故障响应滞后、诊断定位精度不足及供电恢复效率偏低等问题，面向故障快速响应的配电网诊断定位与供电恢复决策展开研究，提出基础保障、精准诊断定位、优化决策三大策略体系。基础保障策略涵盖运行数据全量感知整合、关键设备升级运维、组织架构与流程优化；精准诊断定位策略包括多技术融合诊断、多源信息协同定位及复杂场景难点突破；优化决策策略涉及决策原则目标导向、负荷转移路径优化、多级方案生成优选。这些策略形成闭环协同机制，实现故障快速响应、精准定位与高效恢复，为配电网故障处置工程实践及技术优化提供参考。

关键词：配电网故障；快速响应；诊断定位；供电恢复；数字化赋能

引言

配电网作为新型电力系统的末端中枢，其故障响应效率直接关乎供电可靠性与用户体验。当前分布式电源大规模接入、用电负荷持续攀升，传统模式凸显定位不准、恢复滞后等痛点。数字孪生、AI等技术普及为问题破解提供新路径。聚焦故障快速响应核心需求，构建基础保障、精准诊断定位、优化决策三大策略体系，破解响应低效难题。研究立足数字化技术应用趋势，为配电网故障处置实践提供支撑，助力电网韧性提升。

一、配电网故障快速响应基础保障策略

（一）配电网运行数据全量感知与整合策略

构建全维度数据采集与整合体系是故障快速响应的前提支撑，这一策略的核心在于通过精准采集、高效融合与质量管控，为故障研判提供可靠数据基础。配电网需在关键节点部署故障录波仪、馈线终端单元等分布式传感设备，实时捕捉故障发生时的电压暂降、电流突变、开关动作等核心关联数据，同时覆盖设备运行温度、绝缘状态等基础状态量，实现故障相关数据的无死角采集。针对采集过程中涉及的SCADA系统数据、配电终端数据、设备监测数据等异构数据，需建立基于IEC 61850标准的标准化接口，通过数据转换与映射技术实现不同来源数据的格式统一，消除数据交互壁垒。数据质量管控需建立全流程机制，采用异常值检测算法识别并剔除失真数据，通过时序一致性校验保障数据时间同步性，同时搭建数据实时更新通道，确保数据从采集到应用的延迟控制在秒级以内，为后续故障诊断定位提供兼具完整

性与时效性的数据支撑。

（二）故障响应关键设备升级与运维策略

关键设备智能化升级与精益运维提升故障响应基础能力，这一策略通过硬件升级与管理优化双轮驱动，筑牢配电网故障响应的设备根基。设备升级需聚焦故障响应核心环节，重点推广具备故障电流速断、过流保护及就地分合闸功能的真空智能断路器，这类设备可通过内置监测模块实现故障参数实时采集与初步研判，减少对后台调度的依赖，缩短故障隔离时间。针对变压器、电缆等关键设备，需构建全生命周期健康状态评估体系，通过油中溶解气体在线监测、局部放电检测等技术捕捉设备劣化征兆，结合设备运行年限、负荷特性等数据建立评估模型，精准识别潜在故障风险并指导预防性运维，降低突发故障发生率^[1]。备品备件管理需建立“分类存储+区域调配”模式，对智能断路器核心组件、电缆附件等易损备件按故障高发频率分级存储，在区域电网中心设立调配仓库，通过信息化系统实时更新备件库存状态，实现故障抢修时的快速调取与精准配送，提升应急保障效率。

（三）快速响应组织架构与流程优化策略

扁平化组织与标准化流程保障响应指令高效传达执行，这一策略通过组织架构重构与流程优化，破解传统响应模式中的协同低效问题。组织架构需打破调度、抢修、运维部门间的职能壁垒，构建“调度中心统筹+专业班组执行”的一体化架构，明确调度员为核心协调角色，直接对接抢修队伍与运维人员，减少层级汇报导致的信息延迟。流程优化需制定覆盖故障全生命周期的标

准化操作规范,从故障接报环节明确信息登记要素,包括故障地点、现象、影响范围等,到研判环节规定数据调取、分析的具体流程与时限,再到派单环节明确抢修队伍调配规则与出发时间要求,每个环节都需界定权责主体与完成标准。信息共享机制需搭建跨部门协同平台,整合调度系统的电网运行数据、抢修系统的人员车辆状态数据、运维系统的设备信息数据,实现数据实时同步。调度员可通过平台直接向抢修人员推送故障定位结果与设备参数,抢修人员实时反馈现场进展,运维人员同步做好设备修复准备,形成闭环协同链条,提升整体响应效率。

二、配电网故障精准诊断与定位实施策略

(一) 多维度故障诊断技术融合应用策略

融合多技术手段构建互补诊断体系提升故障识别精度,这一策略的核心是通过不同技术的优势互补,弥补单一技术在故障诊断中的局限性。继电保护装置可在故障发生瞬间捕捉过流、速断等特征信号,基于预设逻辑实现故障初步研判,快速锁定故障所在的馈线或区域,为后续诊断提供范围指引。行波测距技术利用故障产生的暂态行波在线路中的传播特性,通过安装在行波测距装置上的传感器捕捉行波到达时间差,结合线路参数计算实现故障点的精准定位,误差可控制在几十米范围内,解决继电保护仅能区域锁定的不足^[2]。设备状态量数据则为故障类型识别提供关键支撑,通过分析故障前后变压器油中气体组分变化、电缆绝缘电阻数值波动等状态参数,可精准区分短路故障、绝缘击穿故障、设备老化故障等不同类型,避免误判导致的抢修方向偏差。三种技术通过数据接口实现诊断结果互通,继电保护锁定区域、行波测距精确定位、状态量数据确认类型,形成层层递进的诊断链条。

(二) 多源信息协同的故障定位策略

整合多源信息并建立协同分析机制解决复杂场景定位难题,这一策略通过挖掘不同来源信息的互补价值,提升故障定位的可靠性。SCADA系统可实时采集电网母线电压、线路电流等宏观运行数据,配电终端则能捕捉馈线分支、台区等局部节点的故障信息,两者结合可实现故障信息的宏观与微观互补,避免单一数据源因覆盖范围不足导致的定位偏差。用户故障报修信息作为现场信息的直接反馈,可与系统监测数据形成双向验证,当系统研判的故障区域与用户报修集中区域一致时,定位结果的可信度显著提升;若出现偏差,可触发二次数据采集与分析,排查是否存在信息遗漏^[3]。地理信息系统

为定位结果提供空间载体,将系统研判的故障位置坐标与电网设备地理分布数据关联,直观显示故障点周边的线路走向、设备分布、交通状况等信息,不仅能精准标注故障位置,还能为抢修路径规划提供支撑。多源信息通过协同分析平台实现数据融合,采用加权融合算法对不同来源信息的可信度进行评估,最终输出兼具精度与可靠性的定位结果。

(三) 复杂场景下故障定位难点突破策略

针对复杂场景制定差异化定位方案提升定位可靠性,这一策略的核心是识别不同复杂场景的核心干扰因素,针对性优化定位方法。分支线密集场景中,线路结构复杂导致行波反射、折射现象加剧,传统测距算法易出现多个疑似故障点,优化思路是引入线路拓扑结构信息改进算法,通过建立分支线节点数据库,将行波传播路径与拓扑节点关联,剔除因分支反射产生的虚假定位信号,锁定真实故障点。分布式电源接入场景下,电源出力波动会改变故障电流的大小与方向,导致继电保护信息失真,需建立适应分布式电源接入的定位模型,通过实时采集分布式电源出力数据,修正故障电流计算参数,消除电源接入对故障特征识别的干扰。信息缺失场景多发生在老旧配电网区域,部分节点未部署监测设备,可基于历史故障数据构建典型故障模式库,通过比对当前故障的有限特征(如跳闸时间、关联线路历史故障规律),结合模糊推理算法推测故障位置,同时建立信息缺失区域的监测设备补装计划,从根本上改善定位条件。不同场景的定位方案通过场景识别模块自动匹配,提升复杂场景下定位的适应性。

三、配电网供电恢复优化决策制定策略

(一) 供电恢复决策核心原则与目标导向策略

明确多目标优先级排序的决策原则是恢复方案科学制定的核心,这一策略通过界定原则优先级与量化目标,为恢复决策提供清晰指引。决策原则需确立“安全优先、重要用户优先、损失最小”的固定排序,安全优先要求恢复操作前必须校验电网拓扑、负荷容量等约束条件,避免恢复过程引发新的短路或设备过载故障;重要用户优先需建立用户分级体系,将医院、数据中心等一类用户纳入最高优先级,确保其供电优先恢复;损失最小则聚焦减少停电时长与电量损失,通过优化恢复顺序降低整体经济影响^[4]。目标导向需将抽象目标转化为量化指标,设定供电恢复时间上限,一类用户恢复时间不超过15分钟,普通用户不超过1小时;明确供电可靠性目标,故障恢复后电网供电可靠率不低于99.98%;界定负荷恢

复率目标，确保故障隔离后非故障区域负荷恢复率达到100%。动态调整机制需结合故障场景适配目标权重，单一馈线故障侧重快速恢复，多区域故障则强化重要用户优先权重，通过目标量化与动态适配保障决策科学性。

（二）基于负荷转移的供电恢复路径优化策略

以负荷高效转移为核心优化供电恢复路径减少停电范围，这一策略通过负荷精细化分析、路径智能优化与动态约束校验的全流程管控，实现非故障区域快速且安全的复电。负荷特性分析需突破传统分类模式，采用“基础负荷+波动负荷+可中断负荷”的三维分类法，结合历史负荷数据与实时监测结果，精准识别各类负荷的功率大小、电压等级、允许转移时长及波动系数，其中工业负荷需重点标注生产工艺对供电连续性的要求，居民负荷需区分刚性用电（如冰箱）与柔性用电（如空调）。同时建立可中断负荷协议机制，对自愿参与的用户明确中断补偿标准与响应时限，为负荷转移提供更灵活的操作空间。路径优化需运用改进型网络拓扑分析技术，在传统拓扑图基础上叠加线路老化程度、开关设备操作成功率等运维数据，采用改进Dijkstra算法计算路径综合成本，综合成本涵盖阻抗损耗、操作时间、设备损耗等多维度指标，优先选择综合成本最低的路径。算法需具备迭代优化能力，实时纳入新的负荷转移需求动态调整路径。约束校验机制需构建“静态阈值+动态预警”的双重管控体系，静态阈值明确供电线路载流量不超过额定值、母线电压维持在 $\pm 5\%$ 额定电压范围、变压器负载率控制在80%以内的硬性标准；动态预警则通过实时监测负荷转移过程中的电参数变化，当某项指标接近阈值80%时触发预警，提前调整转移节奏^[5]。对不符合约束的路径，采用“负荷分层切割+分步转移”的调整方案，先通过可中断负荷切除降低负荷总量，再按“重要用户-一般用户”的顺序分步转移，转移过程中同步监测电网运行状态，确保负荷转移既快速又安全，实现非故障区域负荷最大化、最快化恢复。

（三）多级恢复方案快速生成与优选策略

构建多级方案体系并建立快速优选机制提升恢复决策效率，这一策略通过分层方案设计与智能筛选，平衡恢复速度与效果。三级方案框架需明确各阶段核心任务，初步恢复方案聚焦故障隔离后10分钟内完成重要用户的临时供电，通过预设的备用线路切换逻辑快速执行；全面恢复方案针对非故障区域，在30分钟内完成所有可恢

复负荷的供电，需结合负荷转移路径优化结果制定；优化调整方案则在全面恢复后1小时内实施，通过微调供电方式降低电网损耗，平衡各线路负载率。方案快速生成依赖规则库驱动算法，规则库包含设备操作规范、负荷转移约束、用户优先级等预设规则，输入故障区域、隔离范围等信息后，算法可在5分钟内生成三级方案初稿。优选机制建立多维度评价体系，从恢复时间、安全风险、经济损失、操作复杂度四个维度设置权重，采用层次分析法对三级方案打分，初步恢复方案侧重时间权重，全面恢复方案均衡各维度权重，优化调整方案侧重经济与安全权重，通过量化评分自动筛选最优方案并输出操作指令。

结语

配电网故障快速响应直接关系电网供电可靠性与用户用电体验，本文围绕故障诊断定位与供电恢复决策核心问题展开系统研究，构建的基础保障、诊断定位与供电恢复决策策略体系，形成“数据支撑-精准诊断-高效恢复”的完整技术路径。数据全量感知与设备升级筑牢响应根基，多维度诊断与协同定位提升故障识别精度，负荷优化转移与多级方案保障供电快速恢复，这些策略相互衔接，有效缩短故障处置时长、降低停电损失。研究成果在实际应用中可应对多数典型故障场景，但极端气象、多故障叠加等复杂场景的适配性仍需进一步验证。未来可结合数字孪生、人工智能等技术深化场景适配研究，推动策略体系向智能化、自适应方向升级，为新型配电网安全稳定运行提供更有力的技术支持。

参考文献

- [1] 王迪. 基于PMU的配电网故障诊断定位算法研究与系统设计[D]. 江苏大学, 2023.
- [2] 汪启旺. 基于配电自动化的单相接地故障诊断策略研究[J]. 电气开关, 2023, 61(01): 54-57.
- [3] 苑舒博. 基于智能算法的配电网故障诊断技术分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(12): 222-223.
- [4] 梁雨哲. 基于人工智能的智能配电网故障诊断与恢复系统研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (10): 177-179.
- [5] 王家兵, 睦仁杰, 扶向阳. 配电网智能感知与故障诊断运用人工智能的方法[J]. 电气技术与经济, 2024, (08): 381-384.