

智能配电网故障定位与自愈控制策略研究

陈 希 熊帮武

杭州杭氧低温液化设备有限公司 浙江 杭州 311300

摘要: 智能配电网作为现代电力系统关键构成,其故障定位与自愈控制对提升供电可靠性意义重大。本文深入剖析智能配电网核心特征与常见故障类型,阐述故障定位核心技术方法及精准性提升路径,构建自愈控制策略体系,涵盖故障隔离、供电恢复及响应速度优化等内容。同时,探讨故障定位与自愈控制的协同优化机制,通过联动机制设计、关键技术支持及稳定性保障设计,实现二者高效协同,为智能配电网稳定运行提供有力支撑,推动电力系统向高效、可靠方向持续发展。

关键词: 智能配电网; 故障定位; 自愈控制; 协同优化

引言: 随着电力系统发展,智能配电网凭借智能化、柔性化等优势,成为保障供电可靠性的关键。然而,配电网故障频发,短路、异常运行等故障严重影响供电质量。快速准确的故障定位与高效的自愈控制,是缩短故障时间、减少停电损失的关键。因此,深入研究智能配电网故障定位与自愈控制策略,提升故障处置能力,对满足现代电力系统高效可靠供电需求具有重要意义。

1 智能配电网核心特征与故障类型

1.1 智能配电网核心结构与运行特征

智能配电网核心结构以配网线路为骨干,整合配电变压器、开关设备、量测装置及通信系统,形成分层分布式架构,涵盖高压配网、中压配网及低压配网三个层级,各层级通过通信网络实现数据交互与协同运行^[1]。运行特征突出智能化与柔性化,依托先进量测技术实现电网运行状态实时感知,精准采集电压、电流、功率等关键参数,为故障定位与自愈控制提供数据支撑。运行过程中注重灵活调控能力,可根据负荷变化动态调整供电方式,平衡电网供需关系,提升供电可靠性。同时具备较强的兼容能力,能够适配分布式电源接入,实现源网荷协同运行,打破传统配电网被动运行模式,转向主动管控的运行状态,满足现代电力系统高效、可靠的供电需求。

1.2 配电网常见故障类型与产生机理

配电网常见故障类型可分为短路故障与异常运行故障两大类,不同故障类型的产生机理存在显著差异。短路故障主要由线路绝缘破损、设备内部故障及外部因素引发,线路绝缘层因老化、磨损或恶劣天气侵蚀出现破损,会导致相线之间或相线与大地形成短路回路,引发故障。设备内部部件损耗、接触不良等问题,会破坏设备正常运行状态,诱发短路故障。异常运行故障以过负

荷、电压异常较为常见,过负荷多因用电负荷超出线路与设备额定承载能力,导致电流异常升高,长期过负荷会加剧设备损耗,诱发进一步故障。电压异常源于负荷波动、线路损耗过大或调压装置运行不当,分为电压过高与电压过低两种情况,会影响用电设备正常运行,严重时引发连锁故障。

1.3 故障定位与自愈控制的核心需求

故障定位的核心需求是实现故障点快速、精准识别,缩短故障排查时间,为后续自愈控制提供基础。需依托精准的量测数据与科学的定位方法,快速锁定故障范围,明确故障具体位置,避免故障扩大蔓延,减少故障对供电的影响。自愈控制的核心需求是实现故障快速隔离与供电恢复,在故障定位完成后,自动启动故障隔离流程,切断故障区域与正常区域的连接,防止故障扩散至非故障区域。同时需优化供电恢复路径,合理调配电网资源,在确保电网安全运行的前提下,快速恢复非故障区域供电,降低供电中断时长。此外需提升故障定位与自愈控制的适应性,能够应对不同故障类型、不同运行工况,保障控制策略的有效性与可靠性,支撑智能配电网稳定运行。

2 智能配电网故障定位核心技术与方法

2.1 故障信号采集与处理技术

故障信号采集技术是故障定位的基础,依托智能配电网中的量测装置,采集故障发生时的电压、电流、暂态分量等关键信号,为故障分析与定位提供原始数据支撑。采集装置需具备高精度、高响应速度的特点,能够捕捉故障发生瞬间的信号突变,覆盖配电网各关键节点,确保信号采集的全面性与准确性^[2]。故障信号处理技术重点解决原始信号中的噪声干扰问题,通过滤波、去噪等处理方法,剔除无关干扰信号,提取故障特征信号,明

确故障信号的幅值、频率等核心参数。信号处理需遵循电力系统量测信号处理规范,优化处理算法,提升信号处理效率,确保提取的故障特征能够准确反映故障本质,为后续故障定位算法提供可靠的数据支撑。

2.2 故障定位核心算法设计思路

故障定位核心算法设计需立足配电网结构特征与故障机理,结合故障信号特征,构建科学合理的定位模型。算法设计需注重定位速度与精度的平衡,兼顾不同故障类型的适配性,能够应对配电网复杂运行工况下的各类故障。设计过程中需整合量测数据与配电网拓扑信息,通过分析故障特征与电网拓扑的关联关系,锁定故障区域并逐步缩小范围。算法需具备较强的抗干扰能力,能够抵御量测误差、线路参数波动等因素的影响,避免定位偏差。同时需简化算法运算流程,降低运算复杂度,提升算法响应速度,确保故障发生后能够快速输出定位结果,为故障隔离与供电恢复争取时间。

2.3 故障定位的精准性提升路径

故障定位精准性提升需从数据采集、算法优化、拓扑优化三个维度协同推进。数据采集层面需优化量测装置布置,增加关键节点量测点位,提升量测数据精度,减少量测误差对定位结果的影响。算法优化层面需完善故障特征提取方法,优化定位算法参数,结合配电网运行状态动态调整算法逻辑,提升算法对不同故障类型的适配能力与定位精度。拓扑优化层面需梳理配电网拓扑结构,及时更新拓扑信息,避免因拓扑信息滞后或错误导致定位偏差。同时需建立定位精度校验机制,定期对定位结果进行校验,及时发现并修正定位过程中的偏差,持续提升故障定位的精准性与可靠性。

2.4 故障定位系统的协同运作逻辑

故障定位系统由信号采集模块、信号处理模块、算法运算模块、通信传输模块及控制模块构成,各模块遵循协同运作逻辑,实现故障定位全流程高效运行。信号采集模块采集故障信号后,通过通信传输模块将原始信号传输至信号处理模块,完成信号去噪与特征提取。处理后的故障特征信号传输至算法运算模块,结合配电网拓扑信息完成故障定位运算,输出故障位置信息。控制模块接收定位结果后,同步向自愈控制系统传递故障信息,为故障隔离与供电恢复提供依据。各模块需保持数据交互顺畅,优化协同运作流程,减少模块间数据传输延迟,确保故障定位系统快速响应、高效运行,支撑智能配电网故障快速处置。

3 智能配电网自愈控制策略构建

3.1 自愈控制的核心逻辑与架构设计

自愈控制核心逻辑围绕故障全流程闭环管控展开,以故障快速识别、精准隔离、高效恢复为核心目标,依托智能配电网的感知、通信与控制能力,实现无需人工干预的自主故障处置。架构设计需遵循分层协同理念,构建感知层、通信层、决策层与执行层的四级架构^[3]。感知层负责采集配电网运行参数与故障信号,为自愈控制提供数据支撑;通信层承担数据传输功能,保障故障信息与控制指令的高效传递;决策层基于采集数据进行分析判断,生成最优自愈控制方案;执行层接收决策指令,完成故障隔离与供电恢复操作。架构设计需贴合配电网拓扑结构特性,兼顾控制精度与运行可靠性,结合分布式电源接入特点优化架构兼容性,确保自愈控制策略能够适配不同运行工况,为后续故障隔离与供电恢复提供稳定架构支撑,相关设计理念源于智能配电网控制工程领域的分层管控理论。

3.2 故障隔离策略设计

故障隔离策略设计核心是快速切断故障区域与非故障区域的电气连接,防止故障扩大蔓延,保障非故障区域正常供电。策略设计需基于配电网拓扑结构与故障定位信息,优化故障隔离开关的动作逻辑,明确开关动作时序与优先级。针对不同故障类型优化隔离策略,线路短路故障需采用快速跳闸模式,迅速切断故障点电源;接地故障需结合故障特征优化隔离范围,避免过度隔离导致供电范围缩小。隔离策略需结合配电网分段开关、联络开关的分布情况,合理划分故障隔离区域,通过精准控制开关动作,实现故障区域的快速界定与隔离。设计过程中需考虑配电网运行的复杂性,优化隔离策略的适应性,应对不同故障位置、不同故障程度的场景,确保隔离操作精准高效,相关设计方法参考配电网故障隔离的经典工程技术思路。

3.3 供电恢复策略设计

供电恢复策略设计以最快速度恢复非故障区域供电为核心,结合配电网负荷分布、电源容量与拓扑结构,制定最优供电恢复路径。策略设计需优先恢复重要负荷供电,兼顾供电公平性与供电质量,优化负荷转移方案,避免恢复过程中出现过负荷、电压异常等问题。针对分布式电源接入场景,需优化电源出力协调控制,充分利用分布式电源的供电能力,提升供电恢复的灵活性与可靠性。恢复路径选择需基于配电网实时运行数据,避开故障区域与薄弱环节,优化路径长度与供电损耗,确保恢复过程高效节能。策略设计需具备一定灵活性,能够根据配电网运行状态变化动态调整恢复方案,应对负荷波动与电源出力变化,保障供电恢复后配电网运行稳定,相关

设计遵循配电网供电恢复的能量平衡与负荷调度原理。

3.4 自愈控制的响应速度优化

自愈控制响应速度优化聚焦故障处置全流程的时间压缩,通过技术优化与流程改进,缩短从故障发生到供电恢复的整体耗时。优化方向集中在三个层面:一是优化故障信号采集与处理速度,采用高精度、高响应速率的感知设备,简化数据处理流程,减少信号传输与分析延迟;二是优化决策指令生成效率,完善决策算法逻辑,提升决策层对故障信息的分析判断速度,快速生成最优控制指令;三是优化执行层动作响应速度,选用高性能的开关设备与控制装置,优化开关动作机制,缩短开关动作时间。同时需优化各层级间的协同配合,减少层级间的数据传输与指令交互延迟,构建高效的协同响应机制。响应速度优化需平衡速度与稳定性,避免盲目追求速度导致控制失误,相关优化方法源于电力系统控制中的响应速度提升技术与协同控制理论。

4 故障定位与自愈控制的协同优化

4.1 定位与自愈的联动机制设计

定位与自愈的联动机制设计是协同优化的核心,需依托通信网络实现故障定位系统与自愈控制系统的数据无缝交互,构建闭环联动流程^[4]。联动机制需以故障定位结果为触发前提,定位系统输出故障位置、故障类型等关键信息后,立即传递至自愈控制系统,触发自愈控制流程启动,避免定位与自愈脱节导致故障处置延迟。设计过程中需明确联动触发条件,区分不同故障等级对应的联动流程,优化信息传递优先级,确保关键故障信息优先传输,提升联动响应效率。联动机制需兼顾灵活性,能够根据配电网运行工况变化动态调整联动逻辑,适配不同故障场景下的处置需求,实现定位结果与自愈操作的精准匹配,提升故障处置的整体效能。

4.2 协同优化的关键技术支撑

协同优化的关键技术支撑集中在信息交互、资源调度与状态感知三个方面,为定位与自愈的协同运行提供技术保障。信息交互技术需采用高速、可靠的通信协议,优化数据传输链路,减少定位信息与控制指令的传输延迟,确保两个系统数据同步高效。资源调度技术需整合配电网各类资源,包括电源、开关设备、量测装置等,根据定位

结果与自愈需求,合理分配资源,避免资源浪费,提升资源利用效率。状态感知技术需拓展感知范围,实现配电网运行状态、故障变化及设备工况的全面感知,为联动机制启动、自愈策略调整提供实时数据支撑,确保协同优化策略能够精准落地,提升系统协同运行的可靠性。

4.3 系统运行稳定性保障设计

系统运行稳定性保障设计需立足协同运行过程中的各类干扰因素,构建全方位的保障体系。需优化系统容错能力,针对定位偏差、通信中断等突发情况,设计备用处置方案,避免单一环节故障导致协同系统瘫痪。需加强设备运维管理,定期对定位设备、自愈执行设备及通信设备进行检修维护,及时处理设备老化、性能下降等问题,保障设备稳定运行^[5]。需优化协同控制策略,结合配电网负荷波动、故障类型变化等情况,动态调整策略参数,提升协同系统对复杂工况的适配能力,避免因策略僵化导致系统运行不稳定,确保故障定位与自愈控制协同运行的连续性与可靠性。

结束语

智能配电网故障定位与自愈控制策略的研究,对提升配电网运行可靠性与稳定性意义重大。通过研究故障定位核心技术与方法,实现了故障快速精准定位;构建的自愈控制策略,有效完成故障隔离与供电恢复。同时,故障定位与自愈控制的协同优化,增强了系统应对故障的能力。后续需持续完善相关技术与策略,进一步提升智能配电网故障处置水平,保障电力系统的安全稳定运行。

参考文献

- [1]陈文,刘洋,邱益林,等.智能终端在配电网故障定位与自愈控制中的应用分析[J].电力设备管理,2025(11):109-111.
- [2]宋乐子.基于人工智能的配电网故障定位与自愈控制技术[J].电力系统装备,2025(11):121-123.
- [3]徐菁阳.智能配电网的故障处理自动化技术[J].科学与信息化,2024(12):123-125.
- [4]齐建杰,李志新.配电自动化系统中故障快速定位与自愈技术研究[J].消费电子,2025(15):104-106.
- [5]张政健,冯昊,何雯雯.配电网故障快速定位与自愈控制技术[J].电脑采购,2025(30):137-139.