

配电网自动化系统中故障快速定位与隔离技术研究

曾宇龙 王博文 孙文琍 李 恒

国网宁东供电公司 宁夏 银川 750411

【摘 要】：配电网自动化系统的建设对电力系统的安全性及可靠性提出了更高要求，其中故障的快速定位与隔离是提升供电连续性和减少停电损失的核心环节。针对配电网中分布式电源接入、线路结构复杂和负荷波动频繁等特点，故障处理技术正不断向智能化和精细化发展。通过引入分布式检测装置、智能开关以及自愈控制策略，能够实现对故障点的精准识别和迅速隔离，最大程度缩小故障影响范围，提升系统运行效率。故障快速定位与隔离不仅关系到供电企业的经济效益，还直接影响社会用电的安全与稳定，因此具有重要的研究与应用价值。

【关键词】：配电网自动化；故障定位；故障隔离；自愈控制；供电可靠性

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.036

1 配电网故障快速定位技术的关键问题与发展趋势

1.1 传统故障检测方式的局限性与技术挑战

传统的配电网故障检测方式多依赖电流互感器、电压互感器等装置，通过测量电流突变、电压跌落或短路电流来判断线路异常。这类方法在早期电网结构相对简单的情况下能够发挥作用，但在现代电网中，分布式电源接入、馈线环网化以及负荷动态变化频繁，使得故障信号的波动性更强，传统检测模式容易出现误判和漏判。尤其在单相接地故障或高阻接地故障情形下，故障电流往往较小，难以形成明显的测量特征，导致检测灵敏度不足。另一方面，传统方式的检测周期较长，往往需要通过人工巡检来辅助判断，导致定位效率偏低，增加了停电范围和修复时间。由于电网的拓扑结构日益复杂，故障的传播路径具有多样性，单一参数监测手段难以适应这种复杂环境，这也使得对检测方式的改进和升级成为必然需求。

1.2 基于多源信息融合的智能定位方法分析

在配电网运行中，信息来源呈现多样化特点，包括电流电压信号、故障录波器数据、分布式电源运行参数以及通信系统反馈信息。基于多源信息融合的智能定位方法，能够将这些不同维度的数据进行深度关联与分析，从而提取出更具可靠性的故障特征。通过引入数据挖掘和模式识别算法，可以有效减少单一数据源的不确定性，提高定位的准确度。在多点布置传感器后，可对故障波形进行分布式采集，再结合时序比对技术快速确定故障点。人工智能算法的引入，使得系统能够不断优化判断模型，逐步实现自学习和自适应。该方法在高阻接地、弧光接地等传统难以准确识别的故障场景中展现出显著优势，为实现智能化配电网提供了有力支撑。多源融合技术还能提升系统的鲁棒性，即使某一检测单元失效，也能通过其他通道进行补偿分析，保障故障定位的可靠性。

1.3 分布式监测装置在故障识别中的应用价值

配电网广泛分布在城市与农村地区，线路跨度大，分布式监测装置的布设成为提升故障识别能力的重要手段。监测装置通常具备电流、电压及谐波分量采集功能，能够在故障发生的瞬间捕捉到异常信号，并将其上传至调度中心。相比集中式监测模式，分布式监测装置能够实现近端就地分析，极大缩短了故障信息传输和处理的延迟。该类装置具备灵活部署的优势，可根据配电线路的地理环境和供电负荷密度进行合理分布，从而形成覆盖范围广、数据冗余度高的监测网络。通过对装置采集的数据进行大数据分析，可进一步识别潜在的设备劣化或线路隐患，实现预防性维护。在多电源互联和环网结构下，分布式监测装置还能够辅助进行故障区段的快速判定，为后续隔离措施的执行提供可靠依据。

2 配电网故障隔离环节中自动化开关设备的优化应用

2.1 智能开关动作可靠性对隔离效率的影响因素

自动化开关在故障隔离中扮演着核心角色，其动作的可靠性直接决定隔离效率和范围。影响智能开关动作可靠性的因素主要包括控制信号传输的延时、开关自身机械结构的耐用性以及保护定值整定的合理性。配电网运行环境复杂，恶劣天气、外部短路冲击或设备老化都可能导致开关拒动或误动。为提升动作可靠性，需要在开关设备中引入更为先进的驱动机构和快速熔断组件，并配合实时监测系统对开关状态进行动态跟踪。开关控制逻辑的优化也是提升隔离效率的关键，合理设定保护动作时限与跳闸等级，能够避免大范围停电。随着通信与控制技术的进步，开关之间的联动机制也日益成熟，这使得开关在隔离故障时不仅快速，而且能够协调运行，确保未故障区域的供电稳定。

2.2 不同隔离策略在复杂电网结构下的实施效果

在配电网中,常见的隔离策略包括就地隔离、远程控制隔离以及分布式协同隔离。就地隔离依赖于就地保护装置的动作,具有响应速度快的优点,但在环网结构下可能造成供电路径选择不足。远程控制隔离则借助通信网络实现对故障区段的集中管控,适合大范围、跨区域电网的应用,但其可靠性受限于通信网络的稳定性。分布式协同隔离策略结合了上述两种方式的优势,通过智能开关和监测终端的协同,能够快速缩小故障范围,同时确保备用电源及时投入运行。在复杂电网结构中,采用协同策略往往能显著减少停电用户数量,提升供电连续性。不同隔离策略的合理组合应用,可以根据电网的拓扑特点和负荷分布实现最优效果,这对供电可靠性提升具有重要意义。

2.3 故障隔离与恢复供电路径选择的协调研究

在配电网中,故障隔离与恢复供电往往是同步进行的过程。隔离操作必须在最短时间内完成,同时需要确保备用电源路径的合理切换。路径选择过程中,需要综合考虑线路容量、节点电压水平以及分布式电源的接入状态。如果恢复路径选择不当,可能导致局部过载或电能质量下降。为解决这一问题,研究人员提出基于潮流计算和优化算法的供电恢复策略,能够在隔离的同时自动计算出最优恢复路径。在这一过程中,智能开关和监控平台的联动至关重要,实时更新的运行数据可为恢复路径选择提供动态参考。通过这种协调机制,电网在发生故障后可以快速恢复大部分负荷的供电,从而显著降低故障带来的经济和社会损失。

3 配电网自愈控制机制下故障处理的实时化实现路径

3.1 自愈控制理念在故障快速处置中的实践意义

自愈控制机制强调系统在发生故障后能够依靠内置逻辑和分布式设备的协同,自行完成检测、定位、隔离和供电恢复。这种理念的核心在于减少人工干预,依靠智能化手段实现故障处置的全流程自动化。在实际应用中,自愈控制能够将传统上需要数分钟甚至更久的处理时间缩短至秒级,从而大幅提高供电连续性。其实践意义不仅在于提升电网抗扰动能力,还在于推动供电服务水平的整体优化。随着电网规模扩大和用户对供电稳定性的需求增强,自愈控制逐渐成为智能配电网建设的重要组成部分,并在多个试点城市得到了应用验证。

3.2 多级控制架构下的实时信息交互与处理模式

在自愈控制实现过程中,多级控制架构被广泛采用,通常包括主站层、区域层与终端层。主站层负责全局调度与策略优

化,区域层则侧重于局部故障的快速响应,而终端层则实现就地监测与保护动作。不同层级之间依靠高速通信网络进行实时数据交互,确保信息在毫秒级完成传输与处理。通过这种分层架构,电网能够实现快速的信息流动和指令下达,从而在故障发生的瞬间启动相应措施。多级控制的设置能够分担主站的运算压力,使得局部故障处理更为高效,避免因中央系统过载而导致响应迟缓。该模式为实时化处理提供了坚实的基础。

3.3 自愈算法在缩短停电时间方面的技术优势

自愈算法是实现快速故障处理的关键,其设计目标在于最优地完成隔离和供电恢复操作。常见的自愈算法包括基于图论的路径重构算法、基于遗传算法的优化方法以及基于人工智能的学习模型。这些算法能够在短时间内对庞大的电网拓扑进行运算,快速给出最优或近似最优的解决方案。在停电用户数最小化、供电路径平衡以及电能质量保障等方面,自愈算法展现出突出的技术优势。尤其是在分布式电源和可再生能源比例不断上升的背景下,自愈算法能够动态适应电网运行状态的变化,实现更灵活的故障处理。

4 分布式电源接入条件下故障快速定位与隔离的适用性

4.1 分布式电源对故障特征识别准确性的影响因素

分布式电源的接入使配电网运行特性发生显著变化,尤其是故障电流的分布规律受到直接影响。传统依赖电流突变幅值或潮流方向进行判断的方法,在多电源并存条件下表现出明显不足。当多个电源同时供电时,故障点电流可能出现反向流动或幅值削弱,导致传统保护装置难以及时识别异常状态。逆变型分布式电源由于其电流输出特性受控制器限制,在短路情况下往往无法提供足够大的故障电流,从而使故障特征不再明显,进一步增加了识别难度。同时,风电与光伏等可再生能源的波动性,使电压和电流曲线在运行中频繁出现不稳定波动,干扰了传统故障检测逻辑。为了应对这一挑战,研究逐渐转向高频分量分析、暂态特征提取以及基于信号处理的智能算法,以增强对复杂运行工况下故障的识别能力。

4.2 分布式接入条件下的故障隔离策略优化研究

在分布式电源不断增加的条件下,配电网的潮流方向呈现多变性,传统以单电源单向供电为前提的隔离策略难以适应复杂环境。为了保证供电连续性和电能质量,隔离策略需要实现动态调整。基于双向潮流的保护方案正是针对这一问题提出的,通过实时监测电流方向和幅值,结合故障点的电压特征,动态改变保护定值和动作逻辑,从而避免因潮流倒送导致的保护误动。部分优化方法提出在故障发生后,迅速对分布式电源进行切除,并同步执行故障区段隔离,以减少对系统稳定运行

的冲击。此类措施不仅能有效缩小停电范围，还能避免因分布式电源并网而产生的供电波动。在多源并网的运行环境中，该策略使得电网具备更强的灵活性与适应性，为保障供电安全提供了技术路径。

4.3 新能源消纳背景下的协调保护与控制技术

随着风能、光伏等新能源的快速发展，配电网中分布式电源的比重持续上升，给传统的故障保护与控制带来挑战。协调保护技术要求在故障检测与隔离过程中，兼顾新能源并网的特性，通过自适应保护定值和灵敏度调节，实现不同出力状态下的快速响应。为了确保新能源消纳能力不受影响，需要引入多种控制手段，包括储能装置的支撑和备用电源的灵活切换。依托高速通信平台和智能调度系统，可实现分布式电源、储能设备与开关装置之间的统一协调，确保在隔离故障区段的同时维持整体电网的电压稳定和功率平衡。这种方法不仅提高了故障处理的效率，还能最大化利用清洁能源，提升电网运行的绿色化与经济性。

5 提升配电网故障快速定位与隔离效果的系统化对策

5.1 智能监测与通信平台在综合管控中的作用机制

智能监测与通信平台在配电网运行中承担着多重功能，其核心作用在于实现信息的实时采集、传输和集中分析。大量传感器和智能终端分布在各个线路节点与设备上，能够对电流、电压、频率及谐波等参数进行实时监测，从而形成电网运行状态的全景视图。通信平台借助光纤通信、无线网络或专用配电通信系统，将数据以毫秒级传输至调度中心，为控制指令的下达提供高效通道。当故障发生时，该平台能够在极短时间内捕捉异常波形，并将其定位到具体的线路或设备位置，确保后续的隔离措施快速实施。除此之外，智能平台具备强大的数据挖掘能力，可对历史运行数据进行深度分析，识别潜在隐患或预测可能发生的故障趋势，实现从事后处置到事前预防的转变。通过这种机制，电网的运行安全性显著提高，维护成本得到优化，供电连续性也得以强化。

5.2 多层级协同保障体系对提升供电可靠性的路径

多层级协同保障体系强调分层分工和层级间的高效协作，

参考文献：

- [1] 刘志宏,周俊.基于多源信息融合的配电网故障定位方法研究[J].电力系统保护与控制,2022,50(18):142-150.
- [2] 陈晓峰,高颖.分布式电源接入下配电网故障隔离策略优化[J].电力系统自动化,2021,45(22):88-95.
- [3] 孙倩,郑凯.智能配电网自愈控制机制及应用进展[J].电力建设,2023,44(5):112-120.
- [4] 韩旭东,林伟.新能源并网条件下的配电网保护与协调控制技术研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(14):97-104.
- [5] 许鹏,董媛.基于边缘计算的智能配电网故障处理新模式探索[J].电网技术,2022,46(12):65-73.

以保证配电网在故障情况下仍能保持稳定供电。终端层的智能设备主要负责就地故障识别和快速保护动作，能够在毫秒级时间内完成局部切除，避免故障蔓延。区域层则以区域性配电自动化装置为核心，对多个终端的动作进行协调和优化，确保局部电网供电结构的平衡和恢复。主站层则在全局范围内进行监控与策略调整，结合大数据和潮流计算为电网提供最优运行方案。这种多层级的分布式架构能够有效分担计算与控制压力，避免单一节点过载或失效导致全网响应迟缓。保障体系通过冗余配置、互为备用的线路和通信链路，提升了电网在极端天气、自然灾害或突发事故下的抗风险能力。通过多层次的相互支撑与动态协调，供电可靠性得到显著提高。

5.3 未来智能配电网故障处理技术的融合发展方向

未来的智能配电网故障处理呈现多技术融合趋势，各类新兴技术将共同作用以实现更高效的运行管理。人工智能技术能够通过深度学习不断优化故障识别模型，使定位与隔离更加精准可靠；大数据分析则可以在海量运行数据中发现潜在规律，为调度和设备运维提供决策依据。边缘计算技术的应用，使得部分数据无需传输至中心即可在本地完成分析处理，从而显著提升实时响应能力，降低通信压力。物联网的深度应用扩展了设备的互联互通能力，实现配电网终端、开关、分布式电源和储能设备之间的高度协同。区块链等新兴技术也可能在未来应用于电网数据安全性与可信交互环节，为电力交易和数据共享提供保障。这些技术的综合应用将使配电网故障处理更具智能性和自适应性，为安全稳定运行奠定坚实基础。

6 结语

本文围绕配电网自动化系统中故障快速定位与隔离技术展开探讨，从传统检测方式存在的问题入手，深入分析了多源信息融合、分布式监测装置以及自愈控制机制等核心技术路径，并结合分布式电源接入和新能源消纳的实际需求，提出了优化隔离策略与协调保护的应用方向。研究内容表明，智能监测、自动化开关、自愈算法及多层级协同保障体系是提升供电可靠性和运行效率的关键环节。未来，人工智能、大数据、边缘计算和物联网等新兴技术的深度融合，将进一步推动故障快速处理水平的提升，为构建安全、高效、绿色的智能配电网奠定坚实基础。