# 配电网故障定位与故障恢复技术仿真分析

王 军

（中国能源建设集团江苏省电力建设第一工程有限公司，江苏 南京 210001）

**摘 要** 针对配电网运行过程中故障定位困难、恢复过程复杂等问题，开展故障定位与恢复技术仿真分析。以典型配电网故障场景为基础，构建故障定位分析流程，通过多源信息采集、故障特征提取和定位模型构建实现故障区段识别；进一步结合故障区域隔离、供电拓扑重构、负荷转供等方法，建立故障恢复仿真过程，并对定位误差和恢复运行性能进行分析，以期为推动配电网智能化运维和自愈控制技术应用提供参考。结果表明，基于信息融合和智能控制的故障处理方法能够提升配电网故障识别与恢复协同性，为复杂运行条件下的供电可靠性保障提供技术支撑。

**关键词** 配电网；故障定位；故障恢复；仿真分析；自愈控制

**中图分类号**：TM727 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.001

## 0 引言

随着新能源接入规模扩大和新型电力系统建设推进，配电网结构与运行模式不断变化，多源接入和负荷波动使故障影响因素更加复杂，传统故障处理方式难以适应智能化运行需求。围绕故障快速识别、精准定位与可靠恢复开展技术研究，已成为智能配电网领域的重要方向。故障定位与恢复技术能够支撑配电网自愈运行，提高故障处理效率和供电可靠性，开展相关技术分析，对于完善配电网运行控制体系、保障电力系统安全稳定具有重要意义。

## 1 配电网故障定位方法分析

### 1.1 典型故障场景解析

配电网故障定位需要基于实际运行场景开展分析，通过典型故障案例来明确故障特征与定位需求。利用监测设备记录下的异常运行状态和故障呈现特征，再结合线路运行条件、故障发生过程、电气响应规律，能够对故障类型和影响范围加以描述，明确定位分析需要关注的关键状态量。通过对故障形成条件和表现形式进行梳理，可以进一步确定适用于配电网故障定位的分析路径，为定位方法建立提供场景依据。

### 1.2 多源信息采集处理

在故障场景明确后，故障定位需要依托多类型运行信息对故障状态进行综合描述。在配电网运行期间，相量测量装置（PMU）、故障录波装置、行波测距装置、配电自动化终端能够从不同方面获取故障信息，其中电压、电流相量、暂态信号、动作时序以及空间位置数据一起构成了定位分析的基础[1]。PMU 借助同步测量技术采集节点电压和电流相量，并且利用故障前后电气量的变化来提取特征信息，以此为故障区段判断提供数据来源。行波测距装置记录故障暂态传播的过程，雷电定位系统和故障指示器信息能够补充故障空间位置方面的特征。多源信息采集处理环节将不同来源的数据进行关联整理，让故障状态从单一电气响应扩展到多维信息表达，为后续定位模型建立提供完整数据基础。

### 1.3 故障定位模型构建

基于多源信息处理结果，故障定位模型围绕故障特征与线路区段之间的映射关系展开，将采集到的电气参数、时序信息以及空间特征转化成位置识别的依据。在模型建立的过程中，要结合配电网的拓扑结构、线路参数、故障响应规律，对不同运行状态下的特征信息做综合分析，让故障数据能够对应到相应的线路区段[2]。相关仿真分析先是建立 10 kV 配电网模型，然后配置 PMU 模块来采集故障发生前后的电压、电流数据，接着利用这些特征数据进行故障区段定位。这一过程承接前端信息采集环节，把分散的运行数据转化成具有定位意义的信息，为后续的故障隔离、网络重构和恢复控制提供基础支撑。

## 2 配电网故障恢复技术仿真

### 2.1 故障区域隔离控制

基于故障定位结果，配电网恢复过程进入故障区域隔离阶段。针对已识别的异常线路区段，控制系统

作者简介：王军（1973-），男，本科，高级工程师，研究方向：电力工程。

借助保护动作方面的信息、开关运行时的状态以及线路拓扑关系，来对故障边界加以划分，并且配置相应的开关控制逻辑。以某110 kV线路遭遇雷击故障作为典型案例，对该故障发生的过程和电气表现展开解析。该线路受到雷电冲击之后，保护装置、故障录波系统、自动化监测设备记录了异常运行状态，故障呈现出单相接地的特征，故障相电压发生了明显变化，线路电流出现了突变现象[3]。结合线路运行条件、故障发生过程、电气响应规律，能够对故障类型和影响范围进行描述，明确定位分析所需要关注的关键状态量。配电网故障定位的整体流程如图1所示。

## 2.2 供电拓扑重构方法

故障区域隔离后，原有供电网络结构发生变化，此时需要依照线路之间的连接关系来重新规划供电路径。供电拓扑重构是围绕联络开关状态的调整、备用馈线的接入、节点供电关系的变化而展开的，通过改变网络连接方式形成适应故障状态的运行结构。并通过开关组合调整改变电能传输方向。在拓扑重构的过程中，可以采用潮流计算来描述节点功率的变化，其表达式如下所示：

$$P_i=U_i\sum_{j=1}^{n}U_j(G_{ij}\cos\theta_{ij}+B_{ij}\sin\theta_{ij}) \quad (1)$$

式（1）中：$P_i$表示节点$i$的有功功率，单位为W；$U_i$表示节点$i$电压幅值，单位为V；$U_j$表示节点$j$电压幅值，单位为V；$G_{ij}$表示节点$i$、$j$之间线路电导，单位为S；$B_{ij}$表示节点$i$、$j$之间线路电纳，单位为S；$\theta_{ij}$表示节点$i$、$j$之间电压相角差，单位为rad。通过节点功率关系分析不同网络结构下的运行状态，为供电路径调整提供计算依据。相关故障恢复技术提出考虑电网安全裕度与经济运行的复电控制模型，对故障后的网络结构进行分析。

## 2.3 负荷转供协调策略

完成供电网络结构调整后，恢复过程进一步面向负荷侧供电关系进行协调。对于负荷转供，会依据负荷类型、线路承载能力、备用供电条件，为不同用户节点配置供电路径，以此让受影响区域能够借助可用线路获取电能。然后依据负荷的重要性程度、线路的运行参数来规划转供路径，并借助遥测、遥信、遥控等功能达成控制信息的传递。对于那些有着多条备用馈线的配电网络而言，要综合考量各线路的运行状态、负荷分布情况，协调不同供电方向之间的功率分配关系[4]。负荷转供环节承接拓扑重构的结果，把网络结构的变化转化为用户侧的供电调整，使恢复过程从线路方面的控制进一步延伸到负荷方面的协调。

## 2.4 恢复流程仿真构建

在故障隔离、供电拓扑重构和负荷转供流程形成后，需要将各控制环节纳入统一仿真环境，构建配电网故障恢复运行模型。该仿真模型是依据线路拓扑结

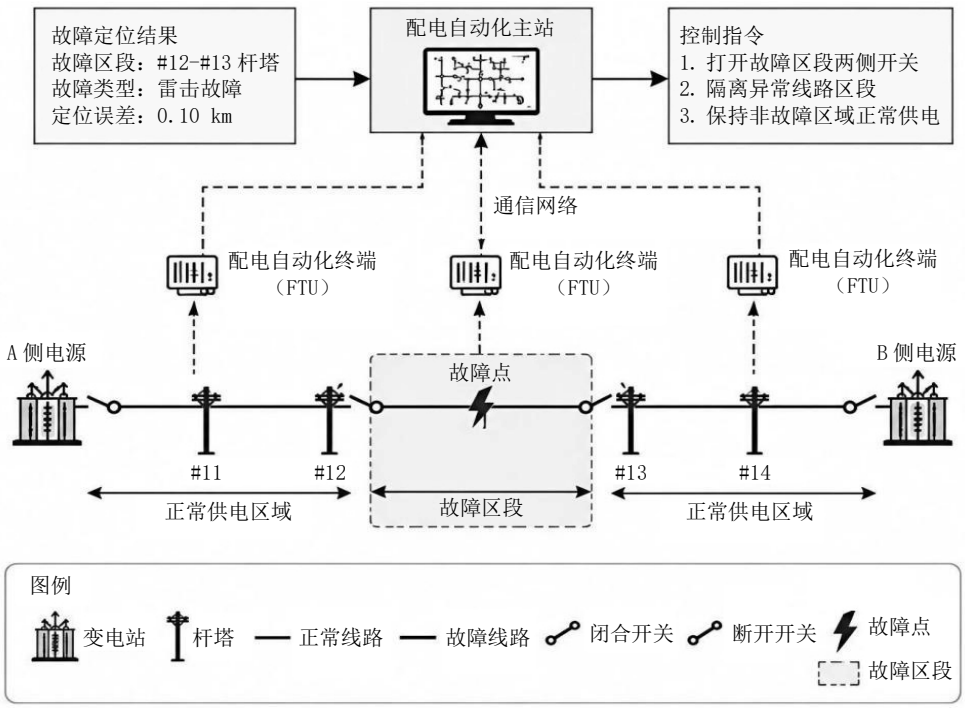



图1 配电网故障定位流程示意图

构、开关设备状态、负荷节点参数、控制逻辑来设置的，它会把故障信息输入、控制指令执行、网络状态变化建立起相应的对应关系[5]。故障定位结果作为流程启动条件，与故障隔离、拓扑重构、负荷转供模块依次关联，形成连续的故障处理过程。在仿真过程中，故障状态触发后，隔离模块依据故障区段信息调整开关状态，拓扑重构模块根据线路连接关系改变供电路径，负荷转供模块完成供电节点重新配置。通过流程化模型建立，让故障定位信息、控制动作、网络状态变化形成关联，为配电网故障恢复过程仿真提供完整模型基础。

## 3 仿真结果与性能评价

### 3.1 故障定位误差分析

基于前述故障定位模型构建过程，仿真结果评估着重于故障位置识别精确度。以某 110 kV 线路雷击故障为例，把行波测距、雷电定位、故障指示信息所形成的定位结果当作分析对象，对故障位置计算结果同实际故障点间的空间偏差加以评价。经由多源定位信息融合，能够逐步缩小故障区段，并结合线路地理位置与设备编号进行位置校核。行波测距计算得到的故障位置与实际杆塔位置具有较高一致性，定位误差处于较小范围。

由表 1 可知，多源定位方式借助距离信息、空间信息、时间信息这三个维度来描述故障位置特征。其中行波测距定位误差是 0.10 km，误差比例为 1%，这表明基于暂态信号传播特征的定位方式能够比较准确地反映故障区段。雷电定位的空间偏差控制在 320 m 范围内，可以进一步辅助杆塔位置判断。故障确认时间是 4.22 min，这意味着定位信息融合之后能够形成连续故障研判流程，为后续隔离控制和恢复运行提供位置依据。

表 1 故障定位结果评价指标

| 评价指标 | 单位 | 评价结果 |
|---|---|---|
| 行波定位距离误差 | km | 0.10 |
| 定位误差比例 | % | 1.00 |
| 雷电定位空间偏差 | m | 320 |
| 故障确认时间 | min | 4.22 |

### 3.2 恢复运行性能评估

在完成故障位置识别后，故障处理流程进入隔离、重构、负荷恢复阶段，恢复运行性能评价着重分析故障恢复期间的供电连续性、运行状态变化。以某 110 kV 线路雷击故障恢复过程为结合点，评价内容聚焦故障隔离时间、负荷恢复比例、恢复控制效果，通过对故障处理各个环节的时间节点和供电变化状况进行分析，来判断恢复技术对于配电网运行状态调整所产生的作用。

由表 2 可知，故障恢复过程通过隔离控制、供电路径调整、负荷转供等方式建立起连续处理流程。故障隔离时间是 8.53 min，这表明定位结果能够为后续运行控制提供支持。恢复供电时间被控制在 40 min 之内，说明恢复流程有着较强的连续性。恢复负荷比例达到了 80%，显示出恢复策略能够覆盖主要供电需求，以此提高故障后的恢复能力。经过恢复性能评价，可进一步验证故障定位与故障恢复技术之间的协同性。

表 2 故障恢复运行性能评价指标

| 评价指标 | 单位 | 评价结果 |
|---|---|---|
| 故障隔离时间 | min | 8.53 |
| 恢复供电时间 | min | 40 |
| 恢复负荷比例 | % | 80 |
| 复电效率提升倍数 | 倍 | 48 |

## 4 结束语

配电网故障定位与故障恢复技术通过多源信息采集、故障特征分析、定位模型构建以及恢复控制策略协同，实现了故障处理过程的优化。基于 PMU 等设备获取运行状态信息，结合智能识别方法能够提高故障区段判断能力，通过故障隔离、供电拓扑重构和负荷转供等技术，可实现故障后的供电恢复。随着新型电力系统建设持续推进，配电网运行环境将更加复杂，未来可进一步融合人工智能、大数据分析和数字化运维技术，提升故障预测、自主决策和协同恢复能力，推动配电网向更加智能、高效和可靠的方向发展。

## 参考文献：

[1] 刘家棋.基于图神经网络的配电网故障区段定位方法研究 [J]. 电工技术 ,2026(11):122-124.
[2] 韩君孝,范钟,李永清,等.考虑配电网电源侧故障的区域检修负荷转移方法 [J].沈阳工业大学学报,2026,48(03):32-39.
[3] 韩砚月.配电网故障中的快速定位与恢复技术分析 [J].电子技术 ,2025,54(12):316-317.
[4] 蒋赢,尹航,白忠勇.故障定位与快速恢复技术在配电网调控中的应用 [J]. 电力设备管理 ,2025(23):4-6.
[5] 罗会平.配电网故障精准定位与快速恢复技术应用研究 [J]. 电力设备管理 ,2025(23):7-9.