

基于馈线自动化的铁路 10kV 配电网故障区间定位方法

潘勇旭

(中铁建电气化局集团南方工程有限公司)

摘要：为快速准确地定位铁路 10kV 配电网故障区间，提高配电网运行的安全性与可靠性，利用馈线自动化，开展 10kV 配电网故障区间定位方法研究。首先，利用智能监测设备，检测并初步判断配电网故障。当检测到配电网发生异常时，采集故障信息并将其传输到配网主站。在此基础上，利用馈线自动化技术，对配网故障区间进行逐步推进的定位。实验结果表明，提出方法应用后，故障点定位结果与实际位置更加接近，显示出其较高的定位准确性和稳定性。

关键词：馈线自动化；铁路；10kV 配电网；区间；故障；定位

0 引言

由于环境因素的复杂性、设备老化以及人为操作失误等多种原因，10kV 配电网中难免会发生故障，如何快速准确地定位故障区间，对于缩短停电时间、降低经济损失、保障铁路运输安全至关重要。当前，传统的 10kV 配电网故障区间定位方法仍然存在一定的不足与缺陷。其中，文献 [1] 提出方法通过分析 10kV 线路的暂态信号来检测和定位故障，由于 10kV 配电网线路分支众多，且线路之间交叉分布，该方法只能将故障定位在一定范围内，无法精确到具体的故障点。文献 [2] 提出方法通过读取故障指示器的指示信号确定故障点的区间范围，定位结果容易出现偏差。

馈线自动化作为配电网智能化的关键技术之一，通过集成先进的信息采集、通信和控制技术，能够实现配电网故障的快速响应和智能处理^[3]。基于此，

本文利用馈线自动化，开展铁路 10kV 配电网故障区间定位方法研究。

1 铁路 10kV 配电网故障区间定位方法设计

1.1 10kV 配电网故障检测

在铁路 10kV 配电网中，故障检测与初步判断是基于馈线自动化的故障区间定位中至关重要的第一步。首先，在铁路 10kV 配电网中安装智能监测设备，如表 1 所示。

表 1 配电网智能监测设备

| 序号 | 监测设备 | 规格型号 | 监测参数 |
|----|---------|----------------|-----------------|
| 1 | 故障指示器 | FI-3D2F | 线路电流、接地故障、短路故障 |
| 2 | 智能保护装置 | ZLZB-7D3 | 线路电流、电压、频率、功率因数 |
| 3 | 电流电压互感器 | JD-10kV-1000:1 | 电流、电压、相位角 |

通过表 1 的智能监测设备，对配电网的电流、电压、功率因数等关键参数进行实时监测，及时捕捉到配电网中发生的任何异常变化。监测设备实时收集到的数据会被传输到馈线自动化系统的数据中心。数据中心根据配电网的正常运行参数、历史故障数据以及设备的技术规格等因素自动设定一个监测阈值^[4]。数据中心在接收到配电网的实时数据后，将其与预设的阈值进行比对。如果某个参数的值超过其对应的阈值范围，那么馈线自动化系统的数据中心就会认为该参数出现异常，铁路 10kV 配电网存在故障。

1.2 故障信息采集与传输

基于上述铁路 10kV 配电网故障检测完毕后，获取到配电网的运行状态，采集并传输配电网故障信息，为后续故障区间定位提供有力的数据支持。当上述安装的智能监测设备检测到配电网中发生异常时，会立即开始采集故障信息。采集的故障信息包括故障发生的时间（精确到秒或毫秒）、故障类型（如短路、接地故障等）、故障电流的大小和方向、故障发生的位置（如某段线路或某个设备）等。智能监测设备内部的处理器对采集到的故障信息进行转换处理，生成对应的数字信号。将多个故障信息组合成一个数据包，通过配电网中的通信网络进行传输。经过多个节点和路由器，将数据包传输到配网主站的接收端。接收端会对接收到的故障信息进行分析处理，初步推断故障类型、故障原因、故障影响。

通过以上流程，铁路 10kV 配电网故障信息能够得到有效的采集和传输，为后续配电网的故障区间定位提供重要的数据支持。

1.3 基于馈线自动化的故障区间定位

铁路 10kV 配电网故障信息采集与传输完毕后，在此基础上，利用馈线自动化技术，对配网故障区间进行定位。基于馈线自动化的故障区间定位是一个涉及多个步骤的过程，如图 1 所示。

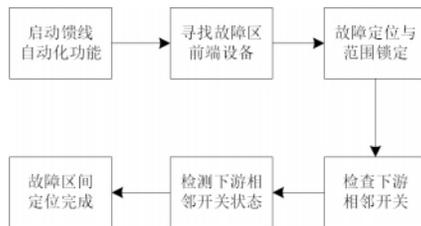


图 1 基于馈线自动化的故障区间定位流程

如图 1 所示，当配网主站捕捉到故障信号时，会立即启动智能分析机制，对接收到的故障数据进行精确评估，以区分其是否为短暂的扰动信号。在馈线自动化系统中预设的缓冲时间结束后，若故障信号仍持续存在，系统将自动触发故障处理机制^[5]。其次，当接收到线路故障信号时，进行详尽的分析，专注于搜索故障线路上出现的过流信号。一旦确认某设备后方存在过流信号，即刻将该设备及其后方所覆盖的整片区域标识为故障区。若此类过流信号的设备不止一个，将特别关注并锁定最靠近故障源头的那个设备。依据故障区段定位的专业原理，对于连接在两端的线路区段，如果在线路出现故障时，两端的保护装置都及时启动，那么在故障发生在该区段内部时，两端电流之间的绝对相位差将显著超过 13.5°；而若故障发生在该区段外部，则两端电流之间的绝对相位差将小于 57.8°。基于此原理，根据配电网的拓扑结构和实时数据，计算出各段线路的电流相位差，从而初步判断故障区间。电流相位差计算公式如下所示：

$$\Delta\theta = \theta_B - \theta_A \quad (1)$$

式中， θ_B 、 θ_A 分别为 B、A 两个电流采样点对应的电流相位。基于计算得出的各段线路的电流相位差，初步判断故障区间。为了更好地反映各个故障监测点之间的偏差，计算监测点的综合偏差度，公式如下：

$$\hat{H}_x = 2 \sum_{l=1}^N H(x, l) \quad (2)$$

式中， $H(x, l)$ 为 x 监测点的零序电流小波近似序

列偏差； N 为监测点个数。以配电网中各监测点之间综合偏差度的绝对值作为铁路10kV配电网各区段的偏差度特征值，表达式如下：

$$\hat{H}_{xy} = \left| \hat{H}_y - \hat{H}_x \right| \quad (3)$$

若 $\hat{H}_{xy} > \sum (\hat{H} - \hat{H}_{xy})$ ，即配电网中任一区段的偏差度特征值大于其他区段偏差度特征值之和，则进一步判定该区段为故障区段。反之，同理。

在此基础上，从受影响的起始设备开始，逐步深入检查其直接连接的后续开关设备。一旦发现某个开关处于断开（离位）状态，会立即将其下游覆盖的线路区域判定为潜在的故障区域，并继续检查下一个相连的开关。然而，若该开关处于闭合（在位）状态，记录下紧接其后的开关的标识，并回溯至前一步骤，对前一个开关进行类似的检查流程，以此逐步缩小故障范围并确定具体的位置。如果所有的这些开关都处于断开（离位）状态，那么可以确定，故障区间就位于最后一个断开开关及其之后的所有电力区段。然而，如果在检查过程中遇到都处于闭合（在位）状态的开关，记录下这些开关的特定标识，并继续深入检查它们下游的相邻开关，以精确锁定故障的具体位置。这种逐步推进的策略有助于快速而准确地找到并解决电力网络中的故障。经过上述步骤后，可以精确定位故障区间，并将相关信息发送至控制中心进行处理。

2 实验分析

2.1 铁路10kV配电网概况

铁路10kV配电网是专门为铁路沿线站点提供电力供应的重要网络。该网络通常由多条馈线组成，每条馈线负责向一个或多个站点供电。本次实验以S铁路线路为例，该线路拥有10条10kV馈线，总长度约为100km，覆盖沿线20个站点。这些站点包括大

型车站、货运站以及通信基站等关键设施。

为了模拟真实的铁路10kV配电网环境，实验采用与实际馈线相似的架空线路模型，模型包含5条混合线路，在其关键节点均安装馈线自动化终端，具备数据采集、通信和控制功能，能够实时监测线路的运行状态。

2.2 定位结果分析

为了评估不同故障区间定位方法的性能，设计一系列实验，并选择三种不同的定位方法：本文提出的基于馈线自动化的故障区间定位方法（方法A）、文献[1]提出方法（方法B）以及文献[2]提出方法（方法C）。在模拟的铁路10kV配电网中，预设六个不同位置的故障点，分别标记为F1~F6。每种方法都在相同的故障场景下进行测试，以确保结果的公正性。在每个故障点触发故障后，记录各种方法的定位结果，同时，收集每个故障点的实际位置作为参考数据，作出对比，结果如表2所示。

表2 不同故障场景下三种定位方法的对比数据

| 故障点 | 实际位置 /m | 方法A定位结果/m | 方法B定位结果/m | 方法C定位结果/m |
|-----|---------|-----------|-----------|-----------|
| F1 | 105.41 | 105.45 | 100.34 | 116.34 |
| F2 | 123.82 | 123.87 | 129.67 | 104.31 |
| F3 | 146.74 | 146.62 | 153.06 | 169.88 |
| F4 | 185.25 | 185.04 | 193.21 | 210.47 |
| F5 | 203.48 | 203.49 | 215.49 | 225.49 |
| F6 | 226.89 | 226.73 | 249.76 | 250.14 |

由表2的对比结果可以看出，本文提出的基于馈线自动化的故障区间定位方法应用后，故障点定位结果与实际位置更加接近，定位偏差最小，显示出其较高的定位准确性和稳定性。由此成功地验证基于馈线自动化的铁路10kV配电网故障区间定位方法的有效性和可靠性，能够为铁路电力系统的安全运行提供有力的保障。

3 结束语

综上所述，在铁路 10kV 配电网中，应用馈线自动化技术对故障信号进行分析和处理，实现故障区间的快速定位，不仅可以提高故障定位的准确性，还能实现故障区域的自动隔离和非故障区域的快速恢复供电，从而极大地提升配电网的供电可靠性和运行效率。因此，研究基于馈线自动化的铁路 10kV 配电网故障区间定位方法具有重要的理论价值和实践意义。

参考文献

[1] 吴泽文，伊国强，匡扶正. 小电阻接地系统单相接地故障的处理与区段定位 [J]. 电功率报，

2023, 38 (1) : 28-37.

[2] 黄天喜，李斌，刘武能，等. 基于 Hausdorff Distance 算法的配电网故障区段定位方法 [J]. 电力科学与技术学报，2022, 37 (5) : 115-123.

[3] 刘斯琪，喻锬，曾祥君，等. 基于零序电流幅值连调的小电流接地系统故障区段定位方法 [J]. 电力系统保护与控制，2021, 49 (9) : 48-56.

[4] 王玲，邓志，马明，等. 基于改进视在阻抗的配电网故障定位方法及其应用 [J]. 广东电力，2020, 33 (10) : 84-93.

[5] 叶雨晴，马啸，林湘宁，等. 基于 SOP 的主动式谐振接地配电网单相接地故障区段定位方法 [J]. 中国电机工程学报，2020, 40 (5) : 1453-1465.

(收稿日期：2024-06-11)