[配电网]

配电网小电流单相接地故障选线方法研究

文/刘寅亮
中油电能战略发展部

在配电网小电流单相接地故障选线管理过程中，技术人员需要参照单相接地故障理论完成精细化分析，并且结合相关分析法、选线法以及小波故障选线法，完成科学有效的管理控制，结合各类波形函数以及相关矩阵分析法，提高选线管理品质。对配电网小电流单相接地故障选线的方法进行分析探讨。

现阶段，在配电网小电流单相接地故障选线管理过程中，技术人员参照对应的工作管理流程、管理事项，对其中的各项选线规则、选线体系进行高效分析、判断，结合行之有效的故障处理措施，实现对接地故障选线问题的高效控制。

单相接地故障理论分析

电力系统在运作过程中经常出现单相接地的故障隐患。在对相关故障进行管理控制的过程中，结合对称系统上的正序、负序、零序的基本特征完成高效率的管理控制，在此期间技术人员对中性点不接地、小电阻接地问题进行合理判断，对整个电力网络系统的输配电线路变压器设备进行一体化管理控制。通常情况下，由于整个线路体系的空间布局较为宽广，如线路的敷设距离长达几百甚至上千公里，极易受到自然灾害以及外部各种因素的影响，并且线路体系也是整个电力网络中相对薄弱的一环，极易发生单相接地故障。电力系统的线路具备三相布局的特性，发生的故障大致可分为短路和断路两类。短路主要是出现接地或线路相间问题，其中包含三相短路、两相短路以及单相短路接地等情况。除此之外，在部分体系中也涉及三相短路的综合性问题，既包含对称，也涉及不对称的系统故障。通过试验调研可以发现，单相短路接地发生的概率相对较大，在10次事故中有7次是由单相短路接地导致的。同时，短路电流存在显著的差异特征，虽然三相短路发生的概率为5%～10%，但所带来的危害性较为严重，影响整个体系的综合运行效率。

当前，大部分配电网中性点接地方式的管理控制结合体系化的管理措施，将消弧线圈接地等相关故障定义为小电流接地，对此，对供电可靠性、继电保护和通信干扰问题进行综合考虑。随着我国智能电网的不断发展，中性点接地的管理效率得到了有效提升，大电流接地的管理方式得到进一步优化。但从宏观层面上讲，我国大部分配电网接地故障仍然以小电流接地为主，在小电流接地管理过程中可实现电弧自行熄灭，不需要实施跳闸操作，达到持续供电的管控功效。另外，电力系统在运行过程中三相电压的大小需要维持在相对平衡的水平，其相角相差120°。一般情况下，当三相电压存在不对称性时，需要利用对称分量法完成单相故障计算分析，同时对其中的正序分量、负序分量和零序分量进行有效计算，完成对各序分量的有效管控。在单相接地故障中对每相的阻抗及副阻抗参数进行有效分析、判断，保证时刻

处于相等的数值范围，要保证故障点的位置具备相应的对称性。

相关分析法选线

1. 故障选线判据

在对故障线路进行选线管理的过程中，结合现有的电压等级和线路中存在的接地方式，如完成综合选线控制。一般情况下，在城市电网系统中组建了电阻接地及中性点直接接地的管理体系，但发生单相接地时系统出现跳闸的情况。在接地管控过程中，参照补充电网及非补充电网的实际特征，结合故障线路电流的实际状况，对其中的极大值、极小值进行有效评估，作为故障选线的依据。在选线管理过程中对谐振接地系统选线问题进行精细化控制，但还存在较大的工作难度，因为消弧线圈存在直接接地的情况，会出现熄弧、燃弧和重燃的现象。在接地管控过程中，一旦出现故障隐患，导致同一回路上的故障隐患相互叠加，很难消除，使故障分量变小，出现选线难题。因此在选线管理过程中，参照单相接地故障类型，结合故障设置状态，判断故障线路与健全线路之间存在的信息突变问题，结合暂态行波和高效率的物理线路分析，完成科学有效的线路选线处理。要严格参照相应的时间宽度，结合对应的周期性管控措施，完成综合分析控制。在此期间，技术人员对相关信号做出专项分析，建立零序电流3×3的矩阵模型，完成综合系数的计算控制，结合归一化处理，及时评估故障线路中的各项工况参数。总之，在选线过程中，严格参照以下的规程：首先实时高效监测中性点的电压值，评估中性点的电压值与正常数值之间是否存在15%左右的差距，结合对应的时间宽度、周期，计算两条线路之间存在的互相关系；其次进行归一化处理，计算出相关线路的综合关系系数；最后进行比较分析，评估相关系数的大小，系数最小的存在故障隐患，完成显示控制，达成最终的选线管控目的。选线流程图如图1所示。

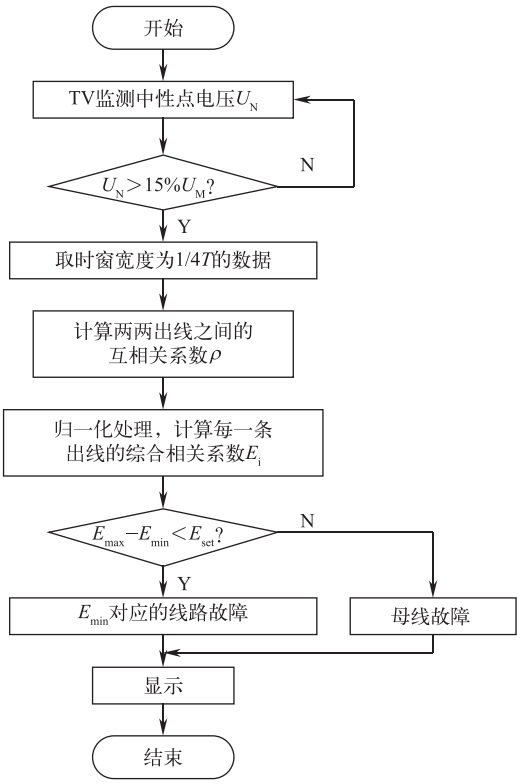

图1　选线流程图

2. 验证分析

在选线管理过程中，参照实际线路布局，结合线路三相距离的实际状况，完成对单相接地故障的有效判断。一般情况下，如果只跳开了单一的固定相，其他两相可以正常高效运作，仍然可以完成供电管控。单相跳开的故障较为常见，在此过程中参照继电保护动作的实际状况及相关短路电流的大小，选取重合闸的时机。架空线路、输电线路重合闸有多种情况，如当树枝触碰到线路时便会引发电弧放电效应，这时对重合器进行简单合闸处理便能恢复电力系统的供电。因此，参照中性点不接地、经消弧线圈接地等各项初相角参数，计算综合系数，完成选线判断。同时结合经阻抗接地的管理方式，对其中的线路综合布局结构进行高效分析，实现高质量的选线控制。

小波故障选线法

小波故障选线法起步较早，主要是利用周期性信号（如正弦信号及余弦信号），通过线性分析完成评估判断。在此过程中，结合小波函数完成对原始信号的有效表述，在管理期间对各信号的时间变化特征进行高效控制。小波故障选线法主要是利用数学方式对相关波形信号进行高效判断，小波变换之后所产生的信号在时间区域内均具备良好的具化特征。小波故障选线法在电力系统中的使用较为常见，对小波函数与小波变换进行有效分析，同时建立多分辨率的分

析体系，对其中的尺度函数及多分辨率模型进行高效判断，之后再结合小波变换的分解与重构算法完成故障控制。

1. 小波函数与小波变化

小波信号具有衰减速度快、持续时间短的基本特征，可结合正弦函数对其进行完整高效的评价。利用小波的特有属性提取关键信号，在指定时间、指定的频率变化维度完成有效的规律分析和判断。建立多个零序小波函数，实现对其中的定义域、值域范围的有效控制。在管理过程中，对零序小波变换进行有效描述分析，可结合放大镜理论，完成精细化的条件控制，参照尺度参数完成函数控制。此外，结合离散小波变换，在不同的时间轴线上及不同的尺度平移空间范围内，结合精细化、高效化的计算分析，通过高效率的判断评价达到综合管控的目的。

2. 多分辨率分析

多分辨率分析主要是结合尺度函数及多分辨率模型，再结合小波函数构建对应的尺度函数，进行位移评判、评价，通过分析其中的分量完成计算，参照不同频率分量完成高效率的信息处理。参照对应的数据信息，完成小波变换及分解重构计算分析，求得相应的小波变换系数，之后再完成三级分解算法的整合，得到相应的小波变换结果，对故障选线进行有效控制。一般情况下，参照时域频率的基本特征完成局部精细化控制，实现高效率的信息判断，结合特定频率变化，参照不同分量，完成对相关小波变化信号的集中高效处理。在处理相关数据信息的过程中，结合能量守恒定律，参照每一个系数的大小，结合小波函数及尺度函数完成信息展示控制。对窗口信号变化所产生的不同运作规律进行有效梳理、整理，评估信号变化的剧烈程度，通过展开电流量化处理，得到各条馈线的基本数据信息，然后根据展开系数完成信号的分布管控，最后根据电力工程信号的特征完成波形分析，从而实现高效化的控制。因此，在小电流接地系统单相接地故障电流分布管理控制过程中，结合小波变换，对电力系统的工程信号局部特征进行有效分析，结合放大处理，对信号微小差异进行有效识别、判断，通过对比各馈线的小波能量实现故障选线处理。结合相应的周期性波形特征，参照对应的零序电流大小，结合各个平台的能量数值，完成小波分解及重构，刻画出故障线路的具体位置，展现出具体的差异特征，通过对比健全线路以及故障线路的实际数值差异，完成科学高效的选线处理。

结束语

目前，小电流接地方式在配电网系统中得到广泛应用，小电流接地故障系统也存在各种各样的工况。如果母线有若干条支线，则在线路管理过程中对分布电容、零序电流进行高效管控，同时结合一系列的降压操作，对电流与零序电压之间的相位关系进行有效分析判断，做到精细化管控。总之，结合故障电流大小及零序电抗与负序阻抗的比值，通过精细化的管理分类，可实现对单相接地故障的高效控制。EA

（收稿日期：2023-01-06）

参考文献

[1] 曲振明，王宾，张慧芬．中性点小电阻接地配网多分支电缆线路单相接地故障测距[J]．电气应用，2021，40(5)：28-33，38．