[故障定位]

配电网短路故障区段定位分析

文/吴　洋　张海定　何　贝　王　骁
国网浙江省电力有限公司诸暨市供电公司

随着配电网自动化建设水平不断提升，配电网线路上安装的测量设备所提供的电流信息可以作为配电网故障研判的依据，辅助进行配电网故障的区段定位，提升故障抢修效率。主要对当前配电网故障区段定位进行分析，从而使配电网故障区段定位更加准确。

近年来，随着我国经济快速发展，社会用电量也不断地增加，配电的运行方式发生变化。电能自身存在的电能损耗是导致配电线路中出现短路故障的主要原因之一。此外，配电线路的健康状态直接影响到电网整体的安全运行，开展配电线路的日常管理工作非常必要。

配电网短路故障区段定位

为了提高供电质量，我国各级电网的发展十分迅速，电网规模不断扩大。但近年来，短路故障的影响越来越大，造成的危害程度越来越严重，甚至造成不可估计的损失。因此对于配电网的短路故障定位工作必须高度重视。

1. 短路故障的定位原则

在线路故障定位工作中，一般按照下列原则进行判断：当短路故障发生后，通过电容器内部介质中导电性介质所产生的短路电流计算出故障点，并计算出相应线路之间的距离；此外，通过上述计算结果确定短路线路发生与控制单元或保护单元之间是否存在连接；确定各保护器是否处于保护态位置；保护器是否有启动或无启动状态。由于上述计算方法对故障定位的准确性要求较高，因此通常会采用最小化方法来进行诊断。对于不同的网络而言，具有不同的运行模式。在此过程中，有不同标准的相互矛盾现象出现；为了保证诊断和判断的准确性与可靠性，在选择短路故障定位方法时，必须考虑可靠性与安全性。只有在保证计算过程中的可靠性与安全性的基础上，才可以进行合理可靠的推断过程。

2. 导致配电网短路故障的原因分析

电力系统的主要任务是提供可靠的电能，是保证电力系统运行和经济社会发展的基础，其稳定性是影响电力系统正常运转的根本因素。电力系统的短路故障具有突发性强、影响范围广等特点，对供电企业来说，短路故障问题的存在是非常严重的安全隐患。短路故障对电力系统造成的危害主要体现在：一是使供用电线路及设备受到损坏；二是导致电力设备故障发生后设备本身或其保护装置失效；三是导致电力设备自身故障问题的发生；四是引发电力系统及其重要基础设施设备故障。

导致电网短路故障的原因还有很多，其产生的危害主要表现在：一是电力故障发生时引起了短路，导致电力供应中断。如电网发生故障时进一步引起短路，无法及时地送电给用电用户，造成很大的经济损失；二是使配电网电压水平出现变化。如线路中存在电流异常时，导致线路负荷发生过负荷短路故障；三是使得配电系统中电流过大，当线路中存在电流过大故障时，使供电企业遭受很大的经济损失。

为防止以上原因造成配电系统不能正常运行，应在配电网中建立可靠的保障线路通信网络和供电设施。另外，供电半径应根据负荷量来进行合理选

择，保证电气设备能够正常运行，且能够最大程度地降低故障的不利影响，使电网设备与线路保持健康良好的状态。

3. 配电网短路故障造成的后果分析

配电网短路故障发生后，线路或配电设备本身具有很强的过负荷能力，产生短路过负荷电流。短路电流导致负荷过大引起过电压，使开关、断路器等保护装置失效，导致线路中设备烧毁或短路故障。据统计，短路造成的经济损失累积超过50 000 kV·A，是正常情况下短路故障下总损失的50倍。如果出现严重故障，会产生更大的损失，甚至是生命危险。

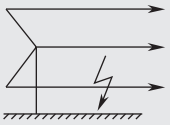
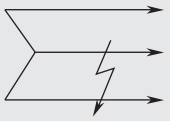
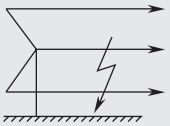
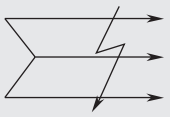
为了防止这些事故发生以及降低成本、减少损失，供电企业应高度重视以及加强此类事故的预防与控制研究工作。不仅要合理利用线路上所配备的断路器保护电力设施不受损坏，还要对线路进行有效巡查，避免安全隐患的出现；在配电装置的日常维护过程中，注意防止由于故障操作不当或损坏而引起的不利现象；加强对线路的检查，避免危险区域的存在与产生；在平时的工作中，对保护措施加强研究，积极采取措施降低断路器短路故障给电力系统带来的危害；一些影响较大的设备应进行定期维修以及加固工作等；加强相关工作人员的培训，提高企业人员的综合素质。在保证电网线路正常运行的前提下，减少故障的发生以及不能及时维修而造成的损失。

配电网短路故障的类型

电力系统规模庞大、运作环境复杂。在运行过程中，造成线路故障的原因有许多种，其中最为常见的就是短路故障。依照故障电流的大小可以把配电网故障分为两种类型，即接地故障和短路故障，短路又可以分为单相接地短路、两相接地短路、两相短路以及三相短路。电力系统中短路故障类型及符号表示见表1。

配电网系统发生短路时，会产生一个较大的短路电流，被当作短路故障监测的标志。配电网设备发生接地时，由于配电网多为中性点不接地系统，无法形成一个完整的回路，此时的故障电流幅值不会大幅上升，故障电弧不稳定，监测难度较大。

表1　短路故障类型及符号

短路故障类型	类型示意图	符号
单相接地短路		$f^{(1)}$
两相短路		$f^{(2)}$
两相接地短路		$f^{(1,1)}$
三相短路		$f^{(3)}$

依据故障持续时间的长短，把配电网故障分为瞬时性故障和永久性故障。一般情况下，在架空线中经常发生瞬时性故障，依靠继保装置的跳闸后重合，可快速恢复线路供电，区域内的用户会出现极短时间停电。若是发生永久性故障，要对产生故障的线路区段进行隔离。在配电网自动化水平较低的地区，按照传统的模式，在实际处理时有保护装置将故障线路首端的断路器断开，然后由人工到现场进行故障查找、隔离，最后恢复供电，总体复电时间影响因素较多，用户停电时间长。配电网自动化水平较好的地区，依靠线路中的各级保护装置配合，将距离故障点最近的断路器断开，合上非故障区域的联络开关。上述一系列自动化操作完成后，抢修人员可依照实际停电区域，结合故障监测信息进行故障超载、处理。通过上述模式，配电自动化系统实现了缩小停电范围、快速隔离故障及快速恢复正常设备区域供电的目的。

如果是瞬时性故障，停电的时间不会很长，但若没有进行及时的维修，也会成为永久性故障。

配电网短路故障定位方法的分类

配电网直接向用户输送供电，电压较低，拓扑结构较为复杂。相对于输电网的故障定位，配电网的故障定位技术更加烦琐复杂。依据有关资料，可以把配电网的故障定位划分成为故障选线、故障区段定位以及故障测距。

1）故障选线。故障选线的目的是为了能够从多

条线路中把发生故障的线路准确地选择出来，然后对其进行切断和维修，避免故障范围进一步扩大，主要运用于小电流接地系统。由于发生故障的情况下电流较弱，检测较为困难，要对单相接地故障的故障线路进行准确判断。如果配电网中应用的运作方式是经消弧线圈接地，那么在发生单相接地故障时，故障电流更加的微弱。

2）故障区段定位。若想确保后期配电网线路恢复正常运作，隔离出故障区段，为用户提供安全、稳定的电能，就要在复杂的配电网线路分支、区段中把故障区段确定出来。当前研究的重点是如何把出现故障的区段进行更加快速、准确的定位，使其具有强大的容错能力。

3）故障测距。故障测距把发生故障的位置快速、准确地定位出来，减少人力资源输出，节省成本，对故障进行迅速、准确的消除，使得供电的稳定性、可靠性提升，还能对电力体系的安全运作起到积极的促进作用[2]。目前研究的难点是如何在多个分支下、故障特征较为微弱时对故障点进行精确的定位，实现故障距离的准确测定。

配电网短路故障区段定位的计算方法

配电网短路故障的准确定位是确保电网安全运行的关键，但在实际运行中由于各种原因，配电网短路故障的定位往往难以准确实现。随着电力工业的发展，电力系统的故障类型越来越复杂和多样。针对配电网短路故障定位过程中出现的计算短路故障位置定位问题，应基于故障位置定位来构建合理的计算方法；从理论出发计算出配电网短路故障定位区域内所有线路间相互影响故障位置以及定位计算公式，使配电网短路故障区段定位的计算方法更加准确具体。

对于多回路故障，一般采用故障范围理论和时间t模型进行故障定位。当配电网发生短路故障时，单点故障通过计算得到故障点的具体位置，考虑故障可能造成地区电源的延误。若该故障点处存在多个故障点或不同故障点，可以根据不同故障点与该故障点间的距离判断故障位置。

1. 矩阵算法

（1）网络结构矩阵的形成

在配电网网络结构中，矩阵的维数与开关的数量有着密切的联系，如果开关有无数个，那么方阵的数量就是开关数量的n倍；若矩阵是稀疏的，那么非零元和配电网拓扑结构就相关联。若是i和j之间有馈线，说明矩阵是上三角阵或是对称阵，如图1所示。

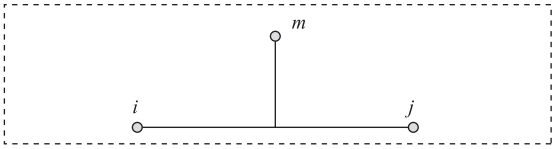


图1　馈线示意图

（2）故障信息矩阵的形成

假如配电网的故障信息矩阵以G点为中心，那么每一个点上的馈线终端装置（FTU）就会形成相应的故障信息并进行上报。如果有故障电流产生，显示0或1；若是没有故障电流产生，显示1或0，说明故障中心点与其维数相同，是同样的稀疏矩阵，并且非零元只存在主对角线上。

（3）故障区段的判定

相对而言，网络结构矩阵的配电网故障区段判定较为简单。图1中，如果存在馈线，而且故障电流流过i点，但并不流过j点，就可以基本上断定故障在馈线上。矩阵算法计算量较小，判断的依据较为简单，能够对故障位置进行快速的确定。这种故障算法的准确性主要由FTU传递的开关信息与故障信息决定，如果传递的信息有误，就不能做出准确的判断，不具有较好的容错性。张全起等对这一算法进行了改进，依据FTU的通信状态对网络矩阵实时更新，尽可能把通信中断对故障定位产生的影响降到最低。

2. 人工智能算法

FTU向配电网各个馈线的终端传递故障信息，由主站对所接收到的故障信息进行智能计算，对出现短路故障的区段进行判断，向相应的馈线终端下达遥控指令，如图2所示。人工智能算法自身具备相应的容错性，因此，在配电网短路故障区段定位中得到广泛应用。但智能计算较为复杂，用时较长，而且分布式电源的接入致使配电网络结构更加复杂，一定程度上对智能算法的应用造成了阻碍。为了有效解决这一问题，相关学者对遗传算法的故障定位进行了改进，在对主干支路和独立区域进行

划分时，采用了全局寻优的遗传算法，定位更加快速。有学者把蝙蝠算法与可逆元胞自动机有机结合，通过动态惯性系数对算法的速度进行提升。分布式电源的接入对配电网的故障定位产生一定影响，陈婷在历史群算法中引入了模拟退火算法。这种算法能够在多个电源、多个故障的情况下对故障区域进行准确定位。李艳、王天一等建立了非逻辑运算的开关函数，利用线性整数规划的方法对配电网的故障区段进行定位，效果良好，速度快，性能稳定。

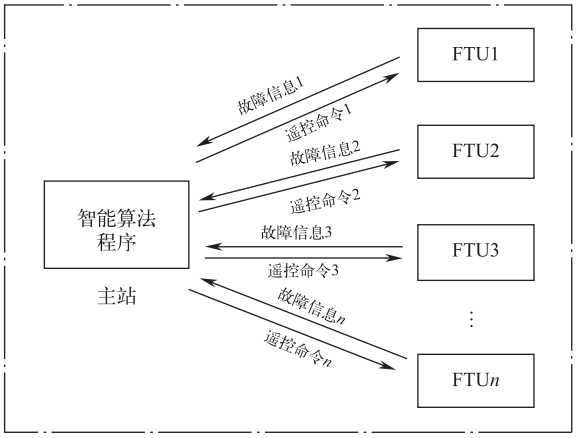


图2　基于智能算法的配电网故障区段定位原理图

结束语

综上所述，配电网短路故障区段定位是配电网自动化中的关键组成部分，对后期供电的恢复有着重要的影响。能够对出现短路故障的区段进行快速的判断与定位，在很大程度上提高了供电的稳定性和可靠性。为了能够使配电网短路故障区段判定的容错能力得到提升，需要对所传递的故障信息进行全面的分析和考虑。

（收稿日期：2022-12-6）

参考文献

[1] 凤盛强．含分布式电源配电网故障区段定位方法研究[D]．淮南：安徽理工大学，2021．
[2] 王巍璋．含分布式电源的配电网故障区段定位方法研究[D]．南昌：南昌大学，2020．
[3] 高艺宣．基于改进矩阵算法的配电网故障区段定位的研究[D]．沈阳：沈阳工程学院，2020．
[4] 许峻宁．基于改进蝙蝠算法的配电网故障区段定位[D]．广州：广东工业大学，2020．
[5] 陈婷．基于FTU检测方法在含DG配电网故障区段定位的应用综述[J]．电气应用，2020，39(4)：30-37．