

配电网故障快速定位系统研究与应用

丁志强，张志坚

(无锡供电公司，江苏 无锡 214061)

摘 要：配网的供电可靠性直接影响用户的满意度，而其中的故障抢修时间更为突出，因配网设备数量大、分布广，设备环境复杂，故障原因类型多样，迫切需要通过故障快速定位的研究应用缩短故障抢修中难以控制的故障查找定位时间，从而有效提升配网抢修效率。

关键词：配电网 故障 定位

0 引言

中压配电网处于高压电网和用户之间，其安全稳定运行直接关系用户的用电感受，尤其是其中的故障抢修工作，抢修时间的长短是影响用户满意度的重要因素，随着用户对供电可靠性要求的提升，如何缩短抢修时间、缩小故障停电范围成为摆在配电网抢修人员面前的一道难题。

无锡市区中压配电网设备量庞大，线路超 1 万公里，室内外公用配变超 2 万台，户外环网柜超 2000 座，柱上开关超 3000 台，在实际运行中，由于线路环境复杂、外力破坏、风雨雷击、设备老化等原因，故障引发的线路跳闸还是时有发生，对用户正常用电的影响带给抢修人员很大的压力，因此迫切需要设法缩短故障抢修时间，有效的方法之一就是尽可能缩短抢修时间中最不可控的故障定位时间，随着科学技术的发展，特别是计算机技术、远距通信技术、近距无线通线技术、线路故障检测定位技术的日益成熟，使得实现配电网故障的快速查找定位方法的实用性和准确性日益提高。

1 系统设想

1.1 现状分析

目前对于小电流接地系统故障定位的研究大多集中在单相接地故障定位方面。许多学者对配电网的故障定位问题做了大量研究，定位方法主要可以概括为三类：一类是以在线路端点处测量故障距离为目的的故障测距法；一类是故障发生后通过向系统注入信号实现寻迹的信号注入法；还有一类是利用户外故障探测器检测的故障点前后故障信息的不同确定故障区段的户外故障点探测法，这也是本专题项目基于的故障定位基础。

1.2 系统构想

本项目的目的就是在配电网故障定位方面探索与实践一套信息准确、安装维护方便、投资较少的故障定位系统。

1) 故障快速定位系统主要部分包括：故障检测探头（带动作信号远传的故障指示器）、通信系统和后台管理系统。

2) 故障检测探头对应具体配电线路的架设形式有多种配套型号可选，能够用于架空裸线、架空绝缘线、电缆线路等的短路故障和单相接地故障的检测。按照使用场合不同，可选用不同型号的探头。

3) 后台管理系统通过与通信系统对接，获取故障指示器状态信息，结合 GIS 地理位置信息，实现配电网线路状态监测，在检测到故障发生时定位出故障发生的准确地点，同时在系统前台界面给出故障报警和位置指示，有利于缩短故障发现和故障点排查时间。如图 1 所示。

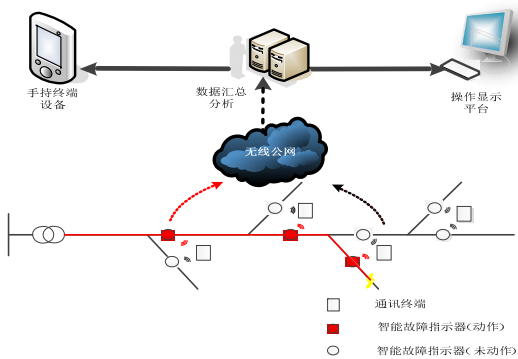


图 1 故障快速定位系统构想

2 功能研究与应用

2.1 短路故障判断方面

采用自适应的过流突变判据，满足相关条件作为判据：一是线路正常运行超过一定时间，以避免

合闸后线路存在故障立即跳闸引起非故障分支的误动；二是设置一定值的突变电流，因与系统的负荷电流无关，适用性增加；三是突变电流持续时间超过保护装置启动时间小于线路故障切除时间；四是特定时间后线路处于停电（无流、无压）状态，以避免重合闸涌流、线路大负荷投切等情况。在以上条件均满足的情况下判断线路出现短路故障，减少了误动的可能性。

2.2 单相接地故障判断方面

满足相关条件作为判据，一是线路正常运行超过一定时间；二是线路中有突然增大的故障电流，并超过设定的接地故障检测参数；三是接地相电压降低，并超过设定的接地故障检测参数，并设置一定延时，以避免瞬时接地故障；四是接地线路依然处于供电（有电流）状态（小电流接地系统）。在以上条件均满足的情况下，判断线路出现单相接地故障。

2.3 复合功能定位方面

目前，配电网设备接头温度的检测较多采用红外测温技术，该方法数据可靠、方法简单，但需要人工操作，且只是检测设备运行的某一时段，特别对于运行中的开关柜电缆终端设备，该类设备的优点就是没有裸露在外部分，运行环境较好，但同时带来的是电缆终端设备的巡检、故障查找时要实时检测困难。

为此在本故障定位系统功能定位时，设想将实时在线监测技术与指示器一体安装、同一通讯装置传送、同一平台设计，既满足设备运行负荷的可测、故障数据检测，同时满足开关柜电缆头温度的监测，有效监测电缆在不同负载和不同环境温度下的发热状态，积累历史技术数据和监测报警，实现实施简便、技术可靠、周期短、成本低的目的。

2.4 参数调整功能方面

在以往的故障指示器应用中，因其封装出厂后，内部参数设置已固化，无法根据线路结构、线路变动、负荷变化的不同动态调整，且在批量生产、安装中，即使参数设置不一样，也可能因线路变动与现场不一致或现场安装混淆，在出现误动或拒动后，也无法通过调整参数解决问题。

为此，在本故障定位系统功能定位时，要求可以本地调整故障判据和参数，结合系统记录的负荷电流、动作电流数据及曲线，动态调整参数，符合现场实际运行情况，尽可能减少误动拒动情况，准

确反映故障情况。如图 2 所示。



图 2 手持式调试终端

2.5 复归功能设计方面

故障指示器的复位模式多按时间设定而工作，一般有 2-48 小时的时间设定，具体则由购买方提出、厂家在封装出厂前设定完成。而本地指示后即使故障很快得到处理、线路正常送电后，指示器在设定的时间内一直处于翻牌、发光状态，给人一种线路继续有故障存在的误导，不能及时投入正常使用，且线路地处位置不同、交通情况不同、故障点查找的难度不同，位置较远、交通不便、故障点隐蔽难查的复归时间与容易修复故障的复归时间应该不一样，即使同一条线路，也会因故障类型不同导致故障点的查找时间差异较大，这些都对复归时间和方式提出了新的要求。

为此，在本故障定位系统功能定位时，要求故障报警复位有两种方式，一是自动复位，即指示器应能根据规定时间复归，二是手动复位，即能通过无线通讯本地操作进行复位，在功能定位时未要求智能复归功能，即故障线路经抢修并恢复送电后立即复归功能，主要是考虑存在线路强送成功或重合成功后，仍然需要通过故障指示器查找故障点进行故障原因分析和缺陷处理。

2.6 躲避瞬时故障方面

在本故障定位系统功能定位时，要求只躲过瞬时接地故障，应能识别重合闸成功的瞬时性故障，并正确动作，而非故障分支线上安装的故障指示器在线路重合闸、感受到线路重合闸涌流后不应误动作，主要设想是发生重合成功的瞬时故障，这些瞬时故障也可能已造成缺陷（如线路损伤），或者是存在安全隐患，需要对瞬时故障的成因做分析，对造成的线路缺陷进行记录以及时处理。

2.7 壳体外观设计方面

要求采用全密封结构，有优良的防水性能、绝缘性能和防氧化性能，要求外壳应用足够的机械强度，以承受使用或搬运中可能遇到的机械力，外观无损伤或机械形变，封装材料应光亮、无流痕、无气泡，要求表面采用防污型材料，并能通过雨水自洁。为便于抢修人员在现场能够在各种气候条件下均能轻松地观察到故障指示信号，采用现场装置翻牌和发光显示，并且对发光显示，要求在现场夜视距离不小于 500 米，白天不小于 200 米。

2.8 现场布点选择方面

故障指示系统的现场设备即故障指示器的密度、安装位置与故障区段的准确定位密切相关，既要考虑能够尽可能缩小故障区段，同时也要考虑经济性。

在本故障定位系统现场应用安装位置方案设计时，设计在线路出线（电缆出线距离较长、电缆通道情况较复杂）的第一基杆安装以判断电缆出线故障，双回路或四回路出线的仅在其中一路出线安装以节约成本，在开关两侧安装故障指示器及一台通讯终端以判断开关故障，在分支出线第一基杆和主线路负荷侧同时安装故障指示器和一台通讯终端以判断故障走向，在较长的分支线路（大于 40 基）中间安装，在环网柜进出线处、有地理障碍物附近（如立交、河流等）、架空线路中间较长距离的电缆入地段安装，以实现这些监测点的故障检测与定位。

3 终端设计

3.1 架空型故障定位装置

1) 架空型故障指示器

本项目选用的架空型故障指示器挂装于线路上，主要由故障检测、分析算法、触发告警、无线射频通信、电源等功能模块组成。主要作用是检测送电、停电、接地、短路等线路信息，并通过短距离无线射频通信传输到通信终端。

故障指示器平常处于节电休眠状态；当线路状态发生变化时，检测功能模块触发分析算法功能模块；分析算法功能模块将采集到的信息进行分析、计算和处理后，确定线路是否发生了送电，停电，短路和接地状态变化；如果确定状态变化，则启动触发告警功能模块并通过无线射频发射模块将信息安全准确地发送出去，通信终端收到此信息后，返回“收到”信号，故障指示器接收后恢复到休眠。

内置定时器每 15 分钟唤醒一次单片机，采集线

路负荷电流发送到通信终端。在收到肯定确认后，转入休眠状态。

采用太阳能作为主电源、锂电池与超级电容作为后备电源的双重供电模式。正常工作时装置采用太阳能供电，并且对后备电源进行储能；只有在阴雨天或太阳光照不足的情况下才启动后备电源供电。后备电源要求确保 20 个阴雨天气对装置持续供电。如图 3 所示。



图 3 架空型故障指示器

2) 架空型通信终端

架空型通信终端主要由 MCU 处理单元、GPRS 远程通信、短距离无线射频通信和光伏供电处理等功能模块组成。主要作用：与故障指示器双向射频通信，完成信息的交互，包括对指示器的参数配置、控制及接收指示器的故障信息；与主站通过 GPRS 方式完成通信，包括接收主站的命令、控制及向上主动上报指示器与终端的各种运行信息和检测到的信息。每台通信终端在 100 米范围内可以配套 3 组通讯式故障指示器。

通信终端采用太阳能作为主电源、充电电池与超级电容作为后备电源的双重供电模式。在晴朗的白天，太阳能电池板供电并对后备电源进行充电；在夜晚和阴天时，通信终端由后备电源进行供电。如图 4 所示。



图4 架空型通信终端

3.2 电缆型故障定位装置

1) 电缆型故障指示器

本项目选用的电缆型故障指示器适用于户外环网柜、开闭所、公配所等设备进出线处，在实现对电缆线路的故障状态监控的同时，实现负荷电流、零序电流的监控，以及电缆进出线处电缆终端温度的监测。故障指示器与通信终端之间采用短距离光纤通信，实现一次与二次完全隔离，通过光纤将故障信息、负荷电流信息、电缆出线温度传输至通信终端。如图5所示。



图5 电缆型故障指示器

2) 电缆型通信终端

电缆型通信终端作为故障定位系统中的数据采集和通信终端装置，实现故障指示器短路、接地故障动作状态采集和上传，汇总电缆进出线终端温度，并上传到主站系统，内置光纤数据采集器，与带电流测量功能的故障指示器进行光纤数据通信，实现线路负荷电流的采集和上传，具有就地参数设置功能。供电电源可针对不同工作环境，采用交流220V、PT供电、CT供电等方式，并后备超级电容作为后备

电源。如图5所示。



图5 电缆型通信终端

4 建设应用成果

4.1 建设进展情况

针对配电网故障定位查找和线路运行状态信息的需求，经前期调研分析和比较，建立由主站系统、数字化故障指示器、通讯终端、数字化无线测温传感器等装置组成的配电网故障查找定位系统，在检测并报送线路短路和接地故障位置的同时，增加监测线路的运行情况如负荷电流、故障电流、电缆终端头超温报警等功能，在线路出现短路、接地、断线、绝缘下降、过温等故障或者异常情况下给出声光和远传报警，主站系统纳入配电自动化系统统一建设，具有故障报警、历史数据统计分析等功能，年前完成架空型和电缆型故障指示装置现场安装500余套，覆盖5座110kV变电站51条10kV出线。

4.2 制定技术规范

无锡公司通过开展配电网故障快速定位系统试点研究和应用，制定《配电网故障指示装置技术规范》。如图6所示。

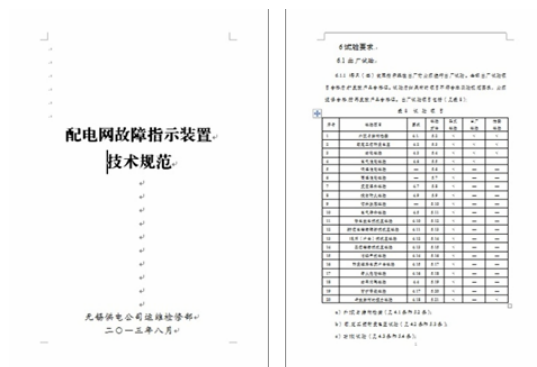


图6 技术规范

5 结束语

通过细致的前期调研分析、功能定位和现场设计,本故障定位系统正在逐步投入运行,实现对故障检测诊断、故障区段指示、监测负荷电流、电缆终端头的长期温度,本地参数调整和操作复归功能进一步提高了系统的实用性,有效避免了误动拒动后束手无策的局面,从而为运维检修人员管理设备、判断故障提供依据,在形成典型经验后可向全地区推广,有效提高配电网线路自动化水平,进一步提高供电可靠性,为无锡一流配电网建设提供支撑。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. Q / GDW 519-2010 配电网运行规程. 中国电力出版社. 2010 年 12 月.
- [2] 国家电网公司. Q / GDW 436-2010 配电线路故障指示器

技术规范. 中国电力出版社. 2010 年 12 月.

作者简介:

丁志强(1980—),男,江苏无锡人,工程师,配电网运检管理。

张志坚(1980—),男,江苏阜宁人,高级工程师、技师,从事输电线路状态管理工作。

注:(作者联系方式:丁志强,13585086310,0510-85922889,hero_dzs1845@126.com,江苏省无锡市梁溪路 12 号,214061。)