

城市配电网故障定位技术的分析

苑波,李至蕙,王笑乾,张郁,刘玉峰

(国网河北省电力有限公司石家庄供电分公司,河北 石家庄 050051)

摘要:结合配电网故障定位技术在城市配电网中的应用情况,比较了3种配电网故障定位技术的优缺点和使用范围,认为故障指示器是现阶段最实用的配电网故障定位技术,对短路故障,特别是接地故障的研判准确率较高,因此重点分析了故障指示器在配电网故障定位的应用情况,并给出了故障指示器的应用建议和注意事项。

关键词:配电网故障定位;继电保护;配电自动化;故障指示器;接地故障

中图分类号:TM75 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9898(2021)02-0035-04

Analysis on Fault Location Technology of Urban Distribution Network

YUAN Bo, LI Zhihui, WANG Xiaoqian, ZHANG Yu, LIU Yufeng

(State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd. Shijiazhuang Power Supply Branch, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Based on the application of fault location technology in urban distribution network, this paper compares the advantages, disadvantages and application ranges of three fault location technologies in distribution network, introduces the development process of fault indicator and the principle of common fault indicators, and gives some application suggestions, considers that the fault indicator is the most practical fault location technology in distribution network at present, and the research accuracy of short-circuit fault, especially grounding fault, is higher, at last, mainly introduces the application of fault indicator in fault location of distribution network, and gives the application suggestions and matters needing attention in the end.

Key words: distribution network fault location; relay protection; distribution automation; fault indicator; grounding fault

0 引言

配电网故障大致分为短路故障和接地故障两类。短路故障由于故障期间的短路电流较大,应用继电保护、配电自动化等技术已经实现对故障的快速定位与隔离。接地故障由于国内各地电网结构与运行方式差异较大,中性点接地方式不同,各地采用的接地故障研判技术也不同;由于多样的技术选择和应用的不一,导致当前没有一种公认的接地故障定位技术应用。

当中性点经小电阻接地时,接地故障的零序电流较大,故障可以通过继电保护技术实现快速切除,中性点经小电阻接地方式在国内部分地区正在试点^[1];当中性点不接地或经消弧线圈接地时,接地故障的故障电流较小。接地故障后非故障相线路的对地电压将升高为线电压,会对线路和设备的绝缘造成较大的威胁和负担^[2],甚至有

可能发展成多点接地故障或人身伤亡事故。因此,如何实现快速进行接地故障识别、定位以及及时恢复供电尤为重要。针对配电网故障定位问题,在吸收近几年工作经验的基础上,认为暂态录波型故障指示器是现阶段最实用的故障定位设备,并对如何应用好提出建议和注意事项。

1 配电网常用的故障定位技术

目前,配电网应用的故障定位技术主要有:继电保护、配电自动化、故障指示器。

1.1 继电保护

现阶段配电网应用继电保护技术除了部分应用差动保护或网络保护以外,大部分地区使用三段式电流保护或反时限保护,在可以做到有效级差配合的地区,采用继电保护技术定位短路故障效果不错,并且作为就地隔离故障点的继电保护技术,可以不需要通信参与故障研判。

收稿日期:2020-09-14

作者简介:苑波(1988-),男,工程师,主要从事配电自动化技术应用与研究工作。

1.2 配电自动化

配电自动化从 2009 年在国内开始试点工作,至 2017 年国家电网有限公司(简称“国网”)印发《运检三〔2017〕6 号国网运检部关于做好“十三五”配电自动化建设应用工作的通知》,规范了配电自动化专业工作,国网总部也在不断修改一二次融合技术规范书,配电自动化技术不断完善,日趋成熟。

配电自动化通过部署自动化终端实现故障定位,对于应用较理想的地区,可以实现故障快速定位。但是不管是依靠主站研判的集中式,还是不依赖主站研判的就地式,甚至是更极致的智能分布式,通信系统是配电自动化技术的基础,没有安全、稳定、高速的通信系统,配电自动化就不能可靠、快速、准确地故障定位。通信系统不可靠成为国内大部分地区配电自动化技术应用效果不理想的原因。

1.3 故障指示器

故障指示器^[3]最早源于 20 世纪 70 年代的德国,20 世纪 90 年代时国内出现短路型故障指示器设备应用。故障指示器是一种能指示线路故障的电磁感应设备,安装在线路开关或分支线路处,可实时采集到线路电流、电场数据,并对数据进行处理分析,核查故障特征,通过翻牌或闪灯等形式指示故障区段,如图 1 所示。



图 1 故障指示器

1.4 实用性评价

经过实践,评价最高的是故障指示器,原因有以下几点。

a. 对于不能做到继电保护有效级差配合的地区,保护不具备选择性,保护经常误动或拒动,基本不能通过继电保护实现故障定位;对于可以做到有效级差配合的地区,由于配电网异动相对频繁,继电保护定值整定也相对频繁,这对于人力不足的地区无法满足定值频繁整定的要求,一线人员负担较重。

另一方面在配电网采用继电保护技术定位接地故障的应用效果不理想,特别是小电流系统的

接地故障,零序保护的准确性不高,一般只在中性点经小电阻接地的系统中应用继电保护技术。

b. 配电自动化技术对当地配电网的电网结构与运行方式要求较高,需要先改造网架以满足馈线自动化的需要。但多数地区配电网架建设相对滞后,特别是配电网通信网络建设滞后,极大地限制了配电自动化技术应用效果。如果配电自动化改造前方案制定的不合理,匆忙新投大量配电自动化终端,极有可能造成配电自动化终端投运后,一线人员陷入无尽消缺的死循环内,最终导致配电自动化应用效果不佳。

故障指示器除了不具备三遥功能,二遥功能完全可以满足故障快速定位的需求,并且安装简单,不需停电,故障研判不受运行方式的影响,运维也较容易。因此,对于继电保护和配电自动化实施效果不好的地区,建议使用故障指示器,且对于三遥功能需求不高的三、四线城市故障指示器更为实用^[4]。同时,故障指示器在接地故障的应用效果,比继电保护和配电自动化更好。

2 故障指示器

故障指示器的基本构成如图 2 所示。由电流、电压信号探头通过接触式或者利用磁场信号间接非接触式采集线路电流、电压信号。故障检测电路在电流、电压信号超过系统整定值时触发动作,通过输出电路发出故障指示信号^[5],有远动输出功能的故障指示器通过远传端口向配电自动化主站发出故障报告。

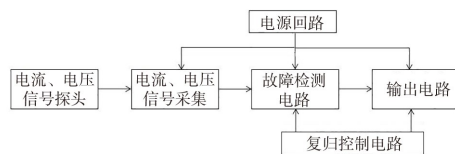


图 2 故障指示器构成示意

现阶段配电网运行的典型故障指示器有 4 种,包括就地指示型(即没有远传功能的故障指示器)、外施信号型、暂态特征型和暂态录波型。

2.1 就地指示型故障指示器

就地指示型故障指示器如图 3 所示,检测到配电线路的故障突变电流后,通过翻牌或红色闪光报警指示故障方向;当线路电流恢复正常或一段时间后,故障指示器恢复正常工作状态。



图3 就地指示型故障指示器

2.2 外施信号型故障指示器

外施信号型故障指示器如图4所示,需要加装外施信号源(也称不对称电流源),一般部署在变电站母线或线路上。

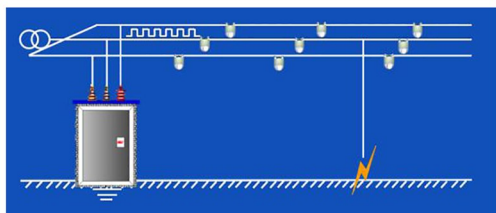


图4 外施信号型故障指示器系统示意

当发生接地故障时,根据零序电压和相电压变化,外施信号发生装置自动投入,连续产生不少于4组工频电流特征信号序列,叠加到故障电流上,人为增大接地电流,提高了故障指示器的判断能力。

2.3 暂态特征型故障指示器

暂态特征型故障指示器利用发生接地故障时,故障相电压降低,非故障相电压升高,捕捉故障过程中具有显著的故障特征量,定位接地故障范围,如图5所示。

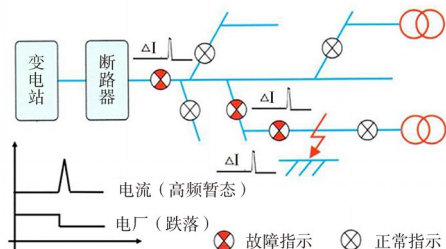


图5 故障指示器指示故障

2.4 暂态录波型故障指示器

暂态录波型故障指示器由采集单元、汇集单元和主站系统构成,如图6所示。采集单元采集

故障特征数据等信息,并将采集到的信息上传至汇集单元;汇集单元接收、处理采集单元上传的数据信息,并与主站系统进行通信^[6]。故障发生时触发三相采集单元同步录波,获得各相电场、电流录波信号,并计算得到零序电流。同时,同一母线下所有出线上安装的装置均上送故障录波文件。主站结合故障录波文件和线路拓扑,完成故障定位和故障分析。最后由主站下发故障定位结果,指导巡线,缩短故障处理时间。

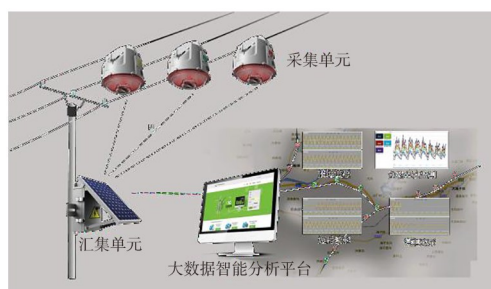


图6 暂态录波型故障指示器系统示意

3 故障指示器的应用对比分析

3.1 4种故障指示器工作原理及应用效果对比

以上4种故障指示器的工作原理各不相同。当线路电压正常并出现约20 A的正常电流时,故障指示器正常启动。短路动作条件,多为短路电流突变法,比较电流值是否发生突变,来判断短路故障的发生;单相接地故障判定逻辑有信号注入法、零序电流法、基于首半波冲击电流的单相接地算法。首半波法的原理是检测接地发生时暂态电流的直流分量,然后与接地瞬间的电压首半波进行比较,当接地瞬间的电容电流突变并且大于一定数值,且与电压降低相的电压首半波同相,则判断为接地。复归条件为正常电流复归、24 h复归和磁吸复归。表1详尽对比分析了故障指示器的技术原理。

结合作者所在地区配电网故障指示器的应用经验,对几种故障指示器进行了对比分析,如表2所示。

3.2 故障指示器的应用建议

a. 就地型故障指示器没有远传功能,故障发生后需依据故障指示方向进行人工巡视故障线路各点设备,工作量大,导致巡线时间长,故障处置时间较长;但就地型故障指示器成本最低,安装最

表 1 4 种故障指示器工作原理对比

	就地型	外施信号型	暂态特征型	暂态录波型
故障定位原理	单一(电流突变法)	单一(信号注入法)	单一(首半波法)	多点联网研判/人工智能
故障研判基础数据	电流突变量及持续时间	注入脉冲信号(增强的接地电流)	单相暂态电流信号和电场信号	故障波形(256点/周波)、零序电流
具体方案	电压 3 K 以上、电流正常时启动, 150 A 电流持续 200 ms 动作	根据零序电压和相电压变化, 外施信号自动投入。主站结合线路拓扑判定最后有一个动作的信号和第一个无动作信号的区段为故障区段	故障路径产生高频暂态电流, 同时故障相电压跌落, 故直判断为接地故障并动作, 结合线路拓扑判断故障区段	故障点上、下游暂态零序电流波形不相似。接地后, 各个指示器触发故障录波并合成零序电流上传主站, 主站结合线路拓扑综合研判
高阻接地研判性能	较低	较低	较低	较高

表 2 4 种故障指示器应用效果对比

故障指示器类型	优势	劣势
就地型	成本低, 安装简单, 易推广	无法远传信号, 人工巡线时间长
外施信号型	判别接地故障准确率较高, 原理成熟	成本较高, 需停电安装, 瞬时故障拒动, 应用效果欠佳, 对系统运行安全性有威胁
暂态特征型	安装简单, 算法特征量明显	对设备硬件要求较高, 故障定位准确率较低, 易误动
暂态录波型	安装简单, 运维简单, 准确率高, 应用效果好	成本较高

简单, 在国内广泛使用。

建议应用在对停电不敏感地区的线路, 分支或末端不易部署继电保护、配电自动化和具备远传功能的故障指示器的线路区段。同时, 应做好安装前的校验试验工作, 以保证故障指示器功能完好。

b. 外施信号型故障指示器在接地故障方面原理成熟, 准确率较高, 但成本投资较大, 安装不便利, 通常采用停电或带电作业施工, 且特征信号会对电压质量产生影响。如果外施信号源损坏, 不仅影响接地故障的判断能力, 而且容易形成新的线路隐患点, 增加消缺难度。石家庄市 2015 年开始应用外施信号型故障指示器, 2020 年外施信号源出现频繁瞬时接地等缺陷现象, 甚至引发配电网故障, 并且由于外施信号源带 10 kV 电压, 导致

消缺困难, 已成为配电网的潜在隐患点。

外施信号型故障指示器成本较高, 目前外施信号源安装位置各地区存在争议, 使用效果并不理想, 实际应用效果不好。建议慎重考虑使用。

c. 由于暂态量变化较快, 需要暂态特征型故障指示器能够快速检测暂态量, 对暂态特征型故障指示器的暂态算法和硬件要求较高。目前使用暂态算法的单相接地故障判断准确率较低, 误动率高, 现应用较少, 不建议使用。

d. 暂态录波型故障指示器是应用效果最佳的配电网故障定位装置。2015 年刚推出暂态录波型故障指示器时, 由于各地区供电公司和厂家都缺乏运行经验, 主站波形算法不健全, 因此, 早期的暂态录波型故障指示器应用效果并不好。随着近几年技术的发展和进步, 供电公司和厂家对暂态录波型故障指示器了解加深, 最重要的是主站波形算法的不断成熟, 在实践中配电网故障定位的准确性越来越高。建议推广使用。

4 暂态录波型故障指示器的注意事项

暂态录波型故障指示器安装不需要停电, 安装、施工简单, 安装过程与变电站无关, 不存在专业间协调沟通问题。相较其他类型故障指示器、继电保护、配电自动化装置, 巡视、消缺难度小。除了成本是 4 种故障指示器中最高的, 但也比继电保护和配电自动化成本低, 且消缺也相对容易, 对供电公司的一线人员要求较低, 安装后效果明显。现阶段暂态录波型故障指示器是供电公司的一线人员最推崇的配电网故障定位方式。但在实际应用中需要注意以下 6 点:

a. 为提高故障指示器研判及定位的准确性, 一条线路至少应部署 3 台以上的故障指示器;

b. 故障指示器应注意安装位置, 采集单元相序应正确且安装牢固, 汇集单元安装不宜过高, 方便运维;

c. 安装故障指示器应避开引线、电缆头等不牢固的位置, 应安装在导线上, 安装过程中应避免损伤导线;

d. 主站的故障指示器拓扑图必须与实际安装位置一致并正确;

e. 石家庄市区经过 2 年的应用发现, 故障指示器指示短路故障的准确性较高, 研判接地故障的准确性一般, 结合变电站接地研判(下转第 59 页)

案,对于机组负荷、主蒸汽压力、主蒸汽温度等重要参数实现硬线传输,DCS 环路通信中断时,不影响以上参数显示^[12]。

5 结束语

通过对 DCS 系统环路通信故障导致机组跳闸事件分析,发现了 DCS 系统软硬件存在的问题、隐患,并制定针对性的整改和防范措施,从而消除 DCS 系统通信模件和重要跳闸信号使用通信信号逻辑设计方面存在的隐患^[13],提高了 DCS 系统环路通信和重要机组跳闸保护逻辑的可靠性,有效避免了类似事故的重复发生。

参考文献:

- [1] 陈荣超,崔振武.火力发电厂 DCS 系统可靠性分析[J].电力科学与工程,2012,28(1):42-45.
- [2] 张 鹏.火电厂 DCS 系统安全性和可靠性的分析[J].自动化应用,2018(7):128-129.
- [3] 程永红,秦东亮,李 勇.DCS 系统故障分析处理及维护防范措施[J].中国仪器仪表,2011(2):58-61.

(上接第 38 页)

信号,可以大大提高接地故障的准确性,实用性较好;

f. 故障指示器的装设位置遵循“段、支、头、界”的优先顺序,即分段处、大分支处、电缆头处、用户分界处的原则,也宜结合故障频次和设备状况进行个性化调整。

5 结束语

以上结合地区应用效果,比较了 3 种配电网故障定位技术的优缺点和使用范围,认为故障指示器更实用,前提是对于三遥功能要求不高且继电保护、配电自动化应用效果不理想的地区。对于三遥功能要求高、继电保护能够实现有效配合、配电自动化实现实用化的地区,也可以应用故障指示器更精确地定位接地故障。对于供电可靠性要求高的城市或区域,需要更快速、更智能化、更可靠的配电网故障定位技术,如智能配电物联网。

- [4] 张国锋.DCS 通讯问题的分析与处理[J].电力安全技术,2009,11(12):49-50.
- [5] 王建收,申 健.火电厂 DCS 控制系统故障的应急处理及预防措施[J].中国电力教育,2013(5):229-230.
- [6] 葛 芳.火力发电厂 DCS 系统常见故障及处理措施[J].电子技术与软件工程,2015(18):145.
- [7] 杜 红.DCS 系统常见故障及解决方案[J].山东工业技术,2017(5):36.
- [8] 郑鹏成.火电厂热工 DCS 系统总体设计[J].电工技术,2019(6):64-66.
- [9] 李成志.火电厂 DCS 控制系统故障的应急处理及预防措施的分析[J].科技资讯,2013(21):124-125.
- [10] 姚 瑞.热电厂热工自动化系统故障诊断及优化研究[J].自动化与仪器仪表,2018(9):31-33.
- [11] 白平安.试论 DCS 系统故障分析处理及维护防范措施[J].中国设备工程,2018(21):44-45.
- [12] 吴 江.一起 DCS 控制系统“死机”故障的应急处理[J].电力安全技术,2017(3):19-20.
- [13] 董立南,梁士民.火电厂 DCS 系统的运行维护与故障处理[J].工程技术研究,2017(5):134-135.

本文责任编辑:秦明娟

以故障指示器为主的故障定位应用,以其现场实用、成本低、运维简单的特性,更适用于国内三、四线的中小城市。

参考文献:

- [1] 朱 江,潘冬东,方雨康,等.暂态录波型故障指示器在小电阻接地系统中录波启动判据研究[J].农村电气化,2020(4):28-30.
- [2] 董春晨,杨成飞,师同彦.配电线路故障指示器在配电自动化建设中的应用分析[J].电工技术,2019(14):41-42.
- [3] 周文慧.暂态录波型故障指示器系统关键技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [4] 刘 钊,苗 竹,张 韬,等.农村地区设备故障对供电可靠性的影响及故障指示器配置建议[J].电力设备管理,2019(1):85-87.
- [5] 吕立平,谷 君,王志勇,等.基于暂态录波型故障指示器的应用分析[C].2017 智能电网信息化建设研讨会论文集.北京:2017.
- [6] 刘遐龄,刘明祥.小电流接地故障区段定位软件的设计与开发[J].自动化与仪器仪表,2019(6):53-57.

本文责任编辑:罗晓晓

奋斗百年路 启航新征程