

电力电缆故障现场测距方法的研究与应用

许东升, 田凤兰, 赵 珩, 钟冬梅

(郑州供电公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 结合多年现场测寻电力电缆缺陷和故障的实际情况, 分析了低压脉冲法、二次脉冲法、三次脉冲法、直流三次脉冲法等预定位方法和音频信号感应法、声测法、声磁同步法、跨步电压法等精确定位方法的测试原理、适用范围以及优缺点, 比较了各检测方法的测试精度和可信度, 指出在定位方法适当的情况下, 精确度是现场选取电缆故障测寻方法的关键。最后, 结合实践研究总结了针对不同电缆故障类型的相应的检测诊断方法, 为今后电力电缆故障的快速查寻提供了工程理论依据。

关键词: 电力电缆; 故障测距方法; 粗测; 精确定位

中图分类号: TM726.4

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)05-0136-05

Research and Application of Power Cable Fault Diagnostic Method

XU Dong-sheng, TIAN Feng-lan, ZHAO Heng, ZHONG Dong-mei

(Zhengzhou Power Supply Bureau, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Based on the experience of field diagnosis of power cables faults, this paper analyzes the detection principles, application scope, advantages and disadvantages of such coarse location methods as low voltage pulse-echo method, twice pulse method, thrice pulse method, thrice DC pulse method, as well as such fine location methods as audio signal induction method, acoustic measurement method, magneto-acoustic synchronous method, and step voltage method. Their detection precisions and reliabilities are compared, respectively. Precision is considered the key factor for selecting a special field cable fault detection method if location method is appropriate. Moreover, different diagnostic method suitable for each power cable fault type is concluded to offer a reference for rapid detection and location of power cable faults.

Key words: power cable; fault location method; coarse location; fine location

0 引言

在电力电缆长期运行过程中, 故障是不可避免的。电力电缆线路大多数设在电缆沟内或埋入地下, 发生故障后, 除特殊情况下可直接观察到故障点外, 一般来说采用巡视和常规的预防性试验方法进行诊断都难以奏效, 必须采用专门的仪器和方法进行诊断。而如何合理地设计和选择故障测试设备, 准确、快速地查找电缆故障, 缩短故障停电时间, 是国内外科研技术人员和供电部门运行人员继续深入研究的课题。

1 现场电力电缆故障测距的基本要求

对于电力电缆故障现场测距有以下几点基本要求。

(1) 可靠性: 可靠性指的是电缆故障发生后能正

确启动测距装置, 无论何种故障类型和故障条件, 不会因为测距方法的内在缺陷出现测距启动困难或测距结果发散的情况。而在无故障条件下, 不会错误地给出测距结果。

(2) 准确性: 准确性是对超高压电缆故障测距最重要的要求, 没有足够的准确性就意味着测距失败。衡量准确性的标准是测距误差, 它可以用绝对误差和相对误差表示。绝对误差以线路长度表示, 例如: 50 m, 100 m 等。而相对误差以测距误差占被测线路的全长的百分比表示, 如 1%, 2% 等^[1]。我们希望故障测距的误差越小越好, 实际上由于经济和技术上的各种因素的限制, 通常规定误差不大于一定的指标。

(3) 经济性: 为便于推广, 故障测距装置应该价廉物美和运行维护方便。

(4) 方便性: 方便性主要表现在调试和使用上尽量减轻运行人员的工作量。

收稿日期: 2009-04-22; 修回日期: 2009-08-20

作者简介: 许东升(1972), 男, 工程师, 从事电力系统电能质量管理与高电压绝缘技术研究。

2 电力电缆故障现场测距

电力电缆发生故障后应该及时采取措施发现并排除故障点,恢复电缆的正常供电。现场电力电缆故障的检测诊断主要包括判断故障性质、选择相应的方法进行粗测、精确定位故障点和电缆识别几个步骤^[2]。

2.1 电力电缆故障性质的确定

所谓确定故障的性质,就是指确定故障的类型和严重程度,以便于测试人员对症下药,选择适当的电缆故障测距方法。

2.1.1 电力电缆故障的分类

从现场电力电缆故障测距检测手段上来说,电力电缆故障可分为低阻故障、断线故障、高阻故障和外护套故障几种类型^[3]。

2.1.2 常见电力电缆的故障性质判断

电力电缆发生故障以后,必须通过测量电缆的导电性能和绝缘性能来检测电缆故障是否存在,然后才能确定用什么方法进行故障的测寻。否则,盲目进行探测,不但测不出故障点,而且会拖延探测故障的时间,甚至因探测方法不当而损坏测试仪器。

(1)故障绝缘性能测试。先用500V的兆欧摇表,测量故障电缆各相线芯对地、对金属屏蔽层间和对各线芯间的绝缘电阻,如果阻值过小,兆欧表显示基本为零无法读清数值时,要改用万用表进一步测量具体阻值。由此判断故障是高阻亦或是低阻故障。

(2)电缆导电性能测试。在测量端将故障线芯或护层(钢铠)同完好线芯短路,用万用表的电阻挡测量线芯或护层(钢铠)的连续性,是否出现断线现象。或直接用测距仪中的低压脉冲法测试是否有断线波形出现,如果有,再用万用表进行确认。

(3)外护套测试。外护套测试是指在一定时间范围内,被测电缆外护套对电压的抵抗能力,如果无击穿现象,说明被测电缆无故障。

2.2 电力电缆故障点位置的粗测

目前,现场主要采用基于行波反射技术的低压脉冲法、二次脉冲法、三次脉冲法和直流三次脉冲法等进行电力电缆故障点位置的粗测,即电缆故障点预定位。采用行波反射技术进行电缆故障预定位的流程见图1。

2.2.1 行波反射技术的基本原理

根据电力电缆故障点电阻的高低,施加不同的真流电压或冲击电压,使故障点放电打火产生闪络,故障点的闪络将产生跃变电压(即产生脉冲),这个跃变电压以电波的形式在故障点和电缆的终端之间往返反射,在电缆的终端将电波记录下来,便可根据

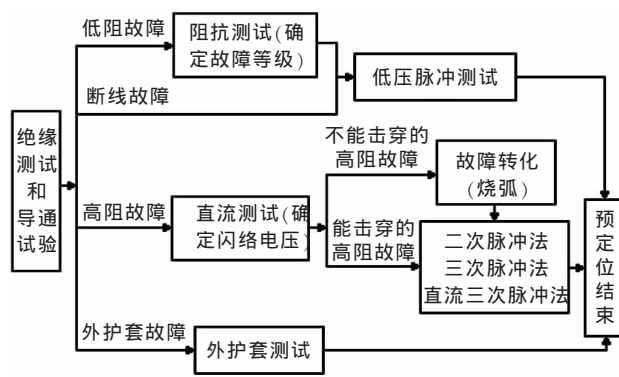


图1 电缆故障现场预定位流程图

电波波形判断电波往返反射的时间,进而再根据电波在电缆中传播的速度换算出故障点到测试端的距离。

2.2.2 基于行波反射技术的电缆故障预定位方法

(1)低压脉冲反射法:低压脉冲反射法主要用于低阻击穿、短路、开路故障的测距。可在电缆芯线上施加脉冲讯号,讯号在电缆中传播及反射,用数字示波器或手提笔记本电脑虚拟示波器等测出脉冲波形而算出故障点的位置。低压脉冲反射法的优点是简单、直观,不需要详细的电缆原始资料,还可以根据反射脉冲的极性分辨故障类型。缺点是不能用于测量高阻与闪络故障。

(2)二次脉冲法:二次脉冲法特点是易操作、多功能,回波图形解释简单。其原理是由回波仪释放一个发射脉冲,在高阻或间歇性电缆故障点不能被反射,仪器将显示整个电缆长度的波形存储起来,此波形图叫“完好轨迹”。设备高压电容器放电,使电缆故障点发生闪络,故障点的电弧表现为阻值非常低的电阻。同时回波仪被触发送出第二个发射脉冲(低压脉冲),此加在高压信号上的脉冲将从故障点反射。这样,带自动数据处理的回波仪存储故障点反射波形,并将完好轨迹和故障轨迹进行叠加,两条轨迹将有一个清楚的发散点。这个发散点就是故障点的反射波形点^[4]。二次脉冲测距方法在高压信号发生器和二次脉冲信号耦合器的配合下,可用来测量电力电缆的高阻和闪络性故障的距离,波形更简单,容易识别。

(3)三次脉冲法:三次脉冲法是在二次脉冲法和多次脉冲法的基础上经过进一步改进发展而来的,其参考波形是用一个独立于脉冲反射仪之外的专门的脉冲发生器产生1000V或200V的测试脉冲,在不击穿被测电缆故障(静态)的情况下得到的,1000V或200V的脉冲幅值可有效地减小干扰。紧接着高压脉冲(16/32kV)击穿电缆故障产生燃弧,在燃弧电压降低到4kV时,自动触发中压脉冲来稳定和延长

燃弧至 50 ms,系统捕捉到燃弧峰值电流后,自动触发 1 000 V 或 200 V 的低压脉冲,从而得到准确的故障波形。两条波形自动叠加后的波形的不同点就是故障点。三次脉冲法是目前世界上最先进的电缆高阻故障预定位技术。

(4)直流三次脉冲法:直流三次脉冲法结合了三次脉冲法图形清晰、定位准确的优点,以及燃弧电压高、定位有效性高的优点,成为电缆故障定位的又一利器。直流三次脉冲法的燃弧电压高达 80 kV,这也是世界上基于脉冲反射原理的预定位方法中测试电压等级最高的,因而对阻值极高以至于其他定位方法无法击穿的故障尤为适用。

2.2.3 电缆故障预定位方法精确度和可信度比较

综观现有的基于行波反射技术的测距方法,特别是新型测距方法,具有检测速度快、诊断精度高和适应性强等很多种独特的优点,而且在检测诊断过程中不需要有关故障电缆的精确数据(如电缆长度、截面、电缆头等),今后将在故障测距得到更为广泛的应用。电缆故障粗测试方法的精确度和可信度比较见表 1。

表 1 粗测试方法的精确度和可信度比较表

测距方法	测试精度	可信度
低压脉冲法	高	一般
二次脉冲法	高	高
三次脉冲法	高	高
直流三次脉冲法	高	高

2.2.4 现场导致电缆故障预定位不准确的因素

电缆故障预定位的相对误差一般为 $\pm 0.1\%$ 或 $\pm 0.2\%$,也就是每公里电缆测量结果与实际故障点位置误差为 1 m 或 2 m。但是在实际进行电缆故障预定位时经常出现误差过大,甚至相差几十米,原因有以下几点: 仪器测量的距离是电缆的长度,实际的故障点是地面的距离; 电缆波形不精确,设置的数值与实际数值误差过大; 电缆图纸和资料中记录的参照物距离不准确; 电缆始端和接头处的预留或打盘; 电缆拐弯和弯曲敷设; 被测电缆很长时,误差相应变大; 仪器应用不熟悉,操作者对故障点波形判断失误。

2.3 电力电缆故障的精确定位

在测量出故障电缆的故障距离和路径后,就可以根据路径和距离找到故障点的大概位置。但由于很难精确知道电缆线路铺设时预留的长度和电缆不可能笔直敷设等原因,使得根据路径和距离找到的故障点位置离实际故障点的位置可能还有一定的偏

差,为了精确地找到这个位置,还需要进行下一步工作——故障定点。

2.3.1 故障的精确测距常用方法

根据电缆故障的性质,故障定点可分为以下几种方式。

(1)声测法:声测法的基本原理是利用电力电缆故障点放电时产生的声音信号进行定点,声音传感器在电力电缆上方将声音信号检测出来,声音最大的地方为故障点所在的位置^[5]。

对于电缆护层已经被烧穿的故障,往往可以在地面上用人耳直接听到故障点的放电声。但是对于电缆护层未被烧穿的电缆故障或者是埋深的电缆故障,都有可能使故障点放电声音减小,需要用高灵敏度的声电转换器,如拾音器或压电晶体,将地面上微弱的地震波转换为电信号并由相关仪器对信号进行放大处理,然后用耳机还原成声音,或通过显示装置显示声音的强度,以此来找出放电声音最大的位置。该方法主要用于电力电缆高阻故障的定点。

(2)音频电流感应法:如果电缆发生了低阻故障,例如故障电阻小于 10 Ω ,就很难利用声测法检测到故障点放电的声音或者根本没有放电声音^[6],因此低阻故障不能使用声测法进行故障定位。这时可以使用音频电流感应法通过检测地面上磁场的变化来确定故障点的位置。一般是用 1~15 kHz^[7]的音频信号发生器向被测电缆中通入音频信号电流,由于电磁耦合的作用,在大地中会产生感应电流,从而形成地面磁场,然后在地面上用探头沿着电缆敷设路径接收音频信号,并将接收到的音频信号送入接收机进行放大并送入耳机。根据耳机中响声的变化可探测故障点的位置,在故障点的上方音频信号最强,当探头继续前移时,音频信号逐渐降低,则音频信号最强处即为故障点。

(3)声磁同步法:声磁同步法需要测试仪与高压信号发生器相配合,适用于探测电力电缆的高阻和闪络性故障,并可在定点的同时探测电缆的路径。在向电缆施加冲击高压信号使故障点放电时,会在电缆的外皮与大地形成的回路中感应出环流来,这一环流在电缆周围产生脉冲磁场。由于一般环境的电磁干扰与电缆故障放电的脉冲磁场相比弱得多,仪器能够可靠地检测出磁场信号。如在听到声音信号的同时,接收到脉冲磁场信号,即可判断声音是由故障点放电产生的^[8]。实际测试时,通过对脉冲磁场波形识别,通过对声磁延时值的检测判定来排除环境噪声和磁场干扰,由此反复探测直至找到故障点。

(4)跨步电压法:跨步电压法,就是应用“电位

差”原理,对直埋电缆外护套故障及低电压电缆故障进行精确定位。

2.3.2 故障定点方法的精确度和可信度比较

电缆故障精确定点方法的精确度和可信度见表2。

2.4 现场电缆故障测距方法选择

根据多年来现场采用的故障检测诊断方法的实际情况,对电缆故障测距方法的研究、分析和总

表2 精确测试方法的精确度和可信度比较表

定点方法	测试精度	可信度
声测法	低	较高
音频电流感应法	低	低
声磁同步法	高	高
跨步电压法	较高	低

结论见表3。

表3 各种故障类型相应的测寻方法表

故障类型	发生概率	粗测距方法选择	精确定点方法选择
断线故障	几乎不发生	低压脉冲法	声磁同步法
低阻故障	约占电缆故障的10%	低压脉冲法	声磁同步法 金属性短路故障用音频信号法定位
高阻故障	占电缆故障的80%以上	50 kΩ 以下	二次脉冲法 声磁同步法
		50 kΩ 以上	三次脉冲法 声磁同步法
			二次脉冲法 声磁同步法
			三次脉冲法 声磁同步法
外护套故障	发生概率很小	直流三次脉冲法 MVG5 外护套故障定位	声磁同步法

3 故障测距方法在实际工作中的应用

王砦变电站天河配线 10 kV 交联聚乙烯电缆 A 相接地故障跳闸。电缆全长 5.7 km,大部分路段沟槽敷设,个别路段为直埋敷设,路面有施工工地。

用兆欧表测试三相对地电阻,B、C 相对地 ∞, A 相对地电阻为 2 MΩ,诊断为单相高阻接地故障。选择波速度为 85 m/μs,通过二次脉冲法测试,得到如图 2 所示的二次脉冲波形,测得电缆的故障距离为 287.7 m。为了验证二次脉冲法测得的距离,又用三次脉冲法测试,选择波速度为 80 m/μs,得到如图 3 所示的三次脉冲波形,故障距离为 287.6 m。综合分析后,初步认为故障点应该在 287.6 m 附近的地方。

考虑到故障点的放电能量与放电电流的平方和接地电阻成正比,由于接地电阻较小,故障点击穿放电时声音较轻,而且现场干扰声音也会影响听测的效

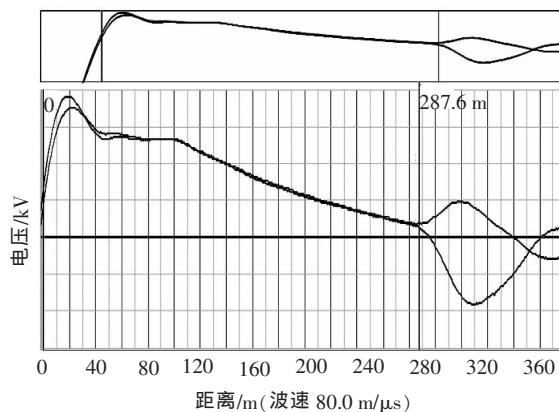


图3 王砦变天河配线 10 kV 电缆三次脉冲波形图

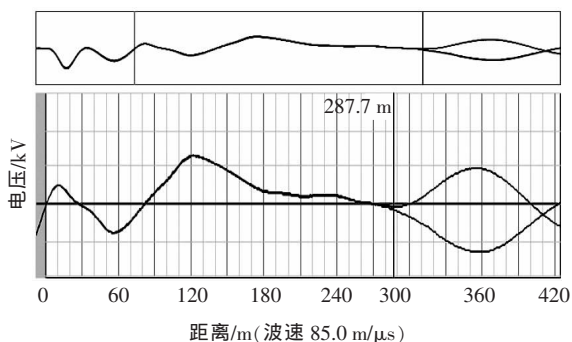


图2 王砦变天河配线 10 kV 电缆二次脉冲波形图

果。决定使用大功率音频发生器向电缆持续发射信号,通过接收机来进行精确定位,定位点为 287.6 m 处。通过开挖故障点显现,A 相电缆的外护层、铠装、半导体层、导体均受到破坏,电缆故障点照片见图 4。



图4 电缆故障点照片

4 经验和体会

(1) 电缆故障测距的方法多种多样,没有一种方法可以解决所有的测距问题,因此应该具体问题具体分析,根据电缆的故障类型,电缆的敷设特点以及电缆所处的环境等因素综合考虑,采用合理的方法来进行故障的测距和定点工作。

(2) 在实际测量时,电缆结构可能比较复杂,存在着接头点、分支点或低阻故障点等。特别是低阻故障点的电阻相对较大时反射波形相对比较平滑,其大小可能还不如接头反射,更使得脉冲反射波形不太容易理解,波形起始点不好标定,对于这种情况,我们可以用低压脉冲比较测量法测试。

(3) 无论使用那种方法测试波形,若故障点距离测试端太近,均会产生盲区,使得波形难以判断识别,此时可尝试到电缆的另一端进行测试。

(4) 使用二次脉冲法粗测,若波形不明显,应该用高压脉冲进行多次充放电,一般为 5~10 min,在听到放电声清脆后,立即使用二次脉冲法,此时的波形一般较为典型,如还未出现典型波形,可重复几次。

(5) 随着电缆线路的增长和故障距离的增大,行

波传播距离增加,所受到的衰减作用越强,导致反射波真实的起始点可能会出现被“淹没”的现象。三次脉冲法和直流三次脉冲法采用了二次函数对测试结果进行修正,结果表明,经过误差修正,测距结果的绝对误差在正负 3 个采样点以内,并且不会随着故障距离的增加而增加。

参考文献:

- [1] 徐丙垠,李胜祥,陈宗军.电力电缆故障探测技术[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 于景丰,赵 锋.电力电缆实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [3] 鹿洪刚,覃 剑,陈祥训,等.电力电缆故障测距综述[J].电网技术,2004,28(20):58-63.
- [4] 朱云华,艾 芊.电力电缆故障测距综述[J].继电器,2006,34(14):81-88.
- [5] 毕国轩,杨岳斌.电力电缆故障原因分析及探测方法探讨[J].山西电力,2005,125(2):16-19.
- [6] 魏万华.关于电力电缆故障及测试方法的探讨[J].机械研究与应用,2004,17(5):61-62.
- [7] 魏鸿建,伍秋喜.浅谈电力电缆故障及测寻[J].供用电,2006,23(2):32-33.
- [8] 洪 滨,李 明.高压电桥法探测电力电缆故障实测案例分析[J].电线电缆,2007(3):24-28.

(上接第 135 页)

下,本装置将传感器与 CPU 之间的两根信号线(双绞线)布置在专设屏蔽槽内,通过光电藕合器与 CPU 连接。

对于输出的控制信号,CPU 通过光电藕合器隔离后与固态继电器连接。

4.1.2 整流电源的抗干扰措施

采用稳压性能好、纹波系数小的整流稳压电源,并在整流电源的入线端串接电源滤波器模块。

4.2 软件抗干扰措施

为了防止电磁干扰导致程序运行紊乱,在程序设计时考虑了以下抗干扰措施:

4.2.1 设置错误陷阱

程序块、数据块尽量地分散于 Flash 存储器不同的空间地址,并在空闲的地址里写入空操作命令,最后再写入长转移指令。这样,即使程序错误落入空闲地址,也会遇到所设陷阱,转到出错子程序,重新正常运行。

4.2.2 指令间加入空操作指令

不用地址的空间全用空操作指令填充,而且在程序块中,每隔若干条指令也插入两条 NOP 指令,使后面的指令不易出现“胡乱拼凑”的情况,减少改写 RAM 数据的可能及其对外的输出错误。

4.2.3 设立标志判断

采用某存储单元作为判断标志。在主程序中,开始把该单元的值设为某个特征值,然后在主循环体的末尾判断该单元的值是否仍为该特征值,若不是,说明有错误,程序转入错误处理子程序进行处理。

5 结语

本箱式变电站温湿度监控装置由于采用性价比高的单芯片温湿度传感器,因而不仅装置硬件简单,容易编程,而且测量精度高,抗干扰能力强。本装置也完全可以用于高低压开关柜等各种需要进行防凝露控制的电力设备上。

参考文献:

- [1] 上海春长自动化设备有限公司.数字温湿度传感器 SHT1x/SHT7x[K].上海:上海春长自动化设备有限公司.
- [2] 孟 臣,李 敏,李爱传.IC 总线数字式温湿度传感器 SHT11 及其在单片机系统的应用[J].国外电子元器件,2004(4):34.
- [3] 王小华,荣命哲,贾申利,等.中压开关柜在线监测装置的研制及其抗电磁干扰设计[J].高压电器,2003,39(6):17.
- [4] 王幸之,王 雷,翟 成,等.单片机应用系统抗干扰技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999.