

电流互感器现场高压介损测量

阎春雨¹, 陈志勇², 高 骏²

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 河北省电力研究院, 河北 石家庄 050021)

摘要: 高压介损能灵敏反映电流互感器的绝缘状况, 预试中当 $\tan\delta$ 超标或怀疑有其它绝缘缺陷时, 需进行高电压下的 $\tan\delta$ 测量, 同时注意相应电容量的变化。串联补偿法用于电流互感器高压介损测量是解决现场试验电源问题有效方法, 在现场进行高压介损测量时, 特别要注意高压引线及强电场干扰的影响。对测量结果要进行综合分析。

关键词: 电流互感器; 高压介质损耗; 串联补偿法

中图分类号: TM452, TM855

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)02-0087-03

High-voltage Dielectric Loss Measurement for Current Transformer on Site

YAN Chun-yu¹, CHEN Zhi-yong², GAO Jun²

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

2. Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The insulation condition of current transformer can be reflected sensitively by the high-voltage dielectric loss. When the $\tan\delta$ exceeds standard or other insulation defect is suspected in the preventive test, it is necessary to measure the $\tan\delta$ under high-voltage, and pay attention to the capacitance variation. The series-compensated method is an effective method to measure high-voltage dielectric loss in field test. Attention should be paid to the influence of the high-voltage leading wire and the electric field interference on the field test. Moreover, comprehensive analysis of measurement results should be conducted.

Key words: current transformer; high voltage dielectric loss; series-compensated method

0 引言

高压介损 ($\tan\delta$) 能灵敏反映设备的绝缘状况, 绝缘良好的电流互感器 $\tan\delta$ 不随测量电压的变化而变化, 有缺陷或异常互感器的 $\tan\delta$ 随电压升高而变化 (增大或减小)。因此, 《110~500 kV 电流互感器技术标准》中规定, 110 kV 及以上电压等级的电流互感器, 在出厂时应进行 10 kV 和额定电压下的介质损耗因数测量; 预试中当电流互感器 $\tan\delta$ 和电容超标或怀疑有其他绝缘缺陷时, 需对电流互感器绝缘做进一步诊断, 要求进行高电压下的 $\tan\delta$ 测量, 同时注意相应电容量的变化。在现场进行高压介损测量时, 首先要解决试验电源的问题, 串联补偿法用于电流互感器高压介损测量是解决现场试验电源问题有效方法。

1 $\tan\delta$ 及测量标准

$\tan\delta$ 是表征绝缘介质在电场作用下由于电导和

极化滞后效应等引起的能量损耗, 是表征设备绝缘性的基本指标之一, 也是反映设备运行状态的重要参数。通过测量 $\tan\delta$, 可以发现互感器绝缘的一系列缺陷, 如绝缘受潮、油或浸渍物脏污或劣化变质、绝缘中有气隙发生放电绝缘缺陷等。

互感器在交流电压作用下, 流过介质的电流由两部分组成, 即电容电流分量和有功电流分量, 通常电容电流远大于有功电流分量, 介质损耗角 δ 甚小。介质中的功率损耗 $P=U^2\omega C_t\tan\delta$, $\tan\delta$ 为介质损耗角的正切 (或称介质损耗因数), 它反映的是单位体积中的介质损耗。在设备有缺陷时, 流过绝缘的电流中有功电流分量增大, $\tan\delta$ 值也将加大。

出厂时, 对于额定电压为 110~330 kV、500 kV 电容型电流互感器, 在 $U_m/\sqrt{3}$ kV 测量电压下, $\tan\delta$ 允许值分别为不大于 0.5% 和 0.4%。在进行 $\tan\delta$ 与电压关系曲线测量时, 测量电压 10 kV 到 $0.5U_m/\sqrt{3}$ kV 和 $0.5U_m/\sqrt{3}$ kV 到 $U_m/\sqrt{3}$ kV 下的介损

收稿日期: 2008-09-27; 修回日期: 2008-12-23

作者简介: 阎春雨 (1960-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事电力设备状态检修及高电压试验研究。

变化量不大于 0.1%, 电容量变化不大于 $\pm 5\%$ 。

预防性试验时, 在 10 kV 测量电压下, 对于 110、220、500 kV 电容型电流互感器, $\tan\delta$ 分别不大于 1.0%、0.8%、0.7%。由于试验电压(2 500~10 000 V)远低于设备的工作电压, 介损测量虽可反映出绝缘受潮、油或浸渍物脏污、劣化变质等严重性缺陷, 但难以反映出绝缘内部潜在的绝缘薄弱部位及高电压下局部放电等缺陷。当 $\tan\delta$ 值与出厂值或上一次试验值比较有明显增长时, 应综合分析 $\tan\delta$ 与温度、电压的关系, 当 $\tan\delta$ 随温度明显变化或试验电压由 10 kV 升到 $U_m/\sqrt{3}$ kV 时, $\tan\delta$ 增量超过 $\pm 0.3\%$, 不应继续运行。

2 串联补偿法测量高压 $\tan\delta$

进行电流互感器高压介损测量, 一般都用高压试验变压器为试验电源, 这样在现场试验时, 一方面检修电源难于满足试验要求, 另一方面还需要运输车辆及吊车进入升压站, 由于停电范围的限制, 试验设备的就位及装卸都给电网安全运行造成很大的威胁。为此, 提出用串联补偿法解决电流互感器现场高压介损测量电源的问题。

在进行高压介损测量时, 电流互感器主要表现为容性负载, 利用电抗与容抗的不同性质, 串联补偿法可以大大减小试验电源的容量, 其原理接线见图 1。图 1 中 L 为补偿电抗器; C 为电流互感器的等效电容; U_0 为激磁变压器的电压; I_0 为试验回路电流; U_L 为补偿电抗器两端电压; U_C 为电流互感器两端电压; R 为试验回路的等效电阻。

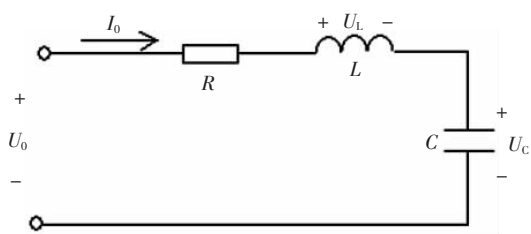


图 1 串联补偿法原理图

采用串联补偿法用于电流互感器高压介损测量, 必须正确选择补偿电抗器、激磁变压器、标准电容器的参数等。采用电抗器串联补偿法成功地进行某厂 220 kV 站电流互感器高压介损测量, 试验时三相互感器并联加压, 其并联电容 C 约为 3 700 pF, 当互感器试验电压为 127 kV 时, 回路电流为 170 mA, 激磁变压器输出电压为 8 000 V, 其 Q 值达到了 15.8, 试验电源容量不到 2 kV·A, 这样就大大降低

了试验电源的容量^[1]。

3 影响因素

3.1 现场电场干扰的影响

目前的介损测量仪对于常规的介损测量都具有较强的抗干扰能力, 能满足现场测量需要。而进行高压介损的测量时, 由于试验电源与测量部分的分离, 仪器原有的抗干扰措施都失去作用, 特别是进行 $\tan\delta-U$ 曲线测量时, 试验电压越低测量结果受电场干扰影响越大。在现场对一台互感器测量高压介损时, 其试验电源相序不同, 结果误差达 200%, 这表明电场干扰非常严重。

为此, 笔者提出了高压试验电源与测量仪器一体化的设想, 开发了适合现场电流互感器高压介损测量的、集高压电源和测量仪器于一体的高压介损测量系统, 在实验室和现场都取得了满意结果, 彻底解决了高压介损测量的电场干扰问题。

3.2 高压引线布置的影响

试验电压越高, 高压引线与试品的夹角越小, 高压引线与试品外瓷套杂散耦合阻抗越强, 对测量结果影响越大, 当高压引线与互感器外瓷套夹角分别为 10° 、 45° 、 90° 时, 测得的 $\tan\delta$ 比为 4:2:1。

3.3 高压引线电晕的影响

进行高压介损测量时, 由于测量电压比较高, 如仍采用普通的导线作高压引线, 导线就会产生较严重的电晕, 电晕损耗将通过杂散电容耦合影响试品介损的测量值。对于正常绝缘的试品, 由于电晕损耗的存在, 也会使试品介损测量值随着电压的升高而升高, 这样容易造成误判断。因此, 进行高压介损测量时应采用直径为 50~100 mm 的蛇皮管为高压引线。引线的电晕损耗对测试结果的影响见表 1^[2]。

表 1 引线的电晕损耗对测试结果的影响

试验电压/kV	无电晕 $\tan\delta\%$	有电晕 $\tan\delta\%$
40	0.274	0.248
80	0.273	0.321
120	0.291	0.373
146	0.321	0.397
备注	采用 $\phi 38$ 蛇皮管 80 kV 后电晕严重	

4 测量结果分析

4.1 测量结果分析

对所测到的 $\tan\delta$ 既要注意“绝对值”也要注意“相对值”。因为允许值不是决定绝缘存在故障与否的明显分界线, 因此不能简单套用允许值作为设备

可否继续运行的唯一依据,尤其是接近允许值、且历次数据有增长趋势者更要慎重。

如一台 220 kV 电流互感器事故,其 $\tan\delta$ 值为 1.4%,虽然未超出规定的允许值,但已接近允许值,而且比前一年(0.41%)增长了 3.4 倍,由于没有很好分析与足够的重视,致使本来可以避免的事故发生了。

根据电容型绝缘结构的特点,可以通过比较主绝缘(芯-末屏)以及外部绝缘(末屏-地)的 $\tan\delta$ 及绝缘电阻试验来协助诊断绝缘受潮的程度。如一 110 kV 电流互感器主绝缘 $\tan\delta$ 为 0.33%,绝缘电阻为 100 000 M Ω ,末屏对地绝缘电阻为 60 M Ω , $\tan\delta$ 为 6.3%,可见外层绝缘已严重受潮,但潮气尚未大量进入主绝缘。这样的互感器如果及时进行真空干燥,尚有恢复运行的可能。

4.2 $\tan\delta$ 与温度的关系

油纸绝缘的介质损耗-温度关系取决于油与纸的综合性能。良好的绝缘油是非极性介质,纸的 $\tan\delta$ 主要是电导损耗,它随温度升高呈指数上升;而纸又是极性介质,其 $\tan\delta$ 由偶极子的松弛损耗所决定,而随着温度升高极性分子随外施电源频率转动的摩擦力减小,由摩擦力引起的能量损耗减小,故纸的 $\tan\delta$ 在 -40~60 $^{\circ}\text{C}$ 间随温度增加而减小,因此在此温度范围内油纸绝缘的 $\tan\delta$ 没有明显变化,而到 60~70 $^{\circ}\text{C}$ 以上时,电导损耗的增长占了主导地位, $\tan\delta$ 便随温度上升而增加。因此在 $\tan\delta$ 温度换算时,不宜简单采用充油设备的温度换算方式,因为其温度换算系数不符合这种油纸绝缘的 $\tan\delta$ 随温度变化的真实情况。

但当绝缘中残存有较多水份与杂质时, $\tan\delta$ 与温度关系就不同于上述情况了,此时则以离子电导损耗占主要地位,因此随温度升高明显增加。如施加 10 kV 电压时,不同温度下 3 台电流互感器的介损测量结果见表 2。从表 2 可以看出,介损随温度的变化上升速度很快,均超过规程规定的标准。故其 $\tan\delta$ 随温度上升而增加,说明当常温下测得的 $\tan\delta$ 较大时,更应考察其高温下的 $\tan\delta$ 变化,当高温下 $\tan\delta$ 又有明显增加时,则应认为绝缘存在缺陷。

表 2 不同温度下的介损测量结果

温度/ $^{\circ}\text{C}$	A 相	B 相	C 相
20	1.81	1.90	1.30
25	1.92	2.13	1.43
30	2.15	2.36	1.58
40	2.42	2.56	1.70
50	2.66	2.73	1.86
60	2.91	3.08	2.03

4.3 $\tan\delta$ 与电压的关系

当绝缘出现老化或存在气隙时,绝缘内部出现

电场分布不均匀的现象,在强电场作用下,绝缘内部发生局部放电,随着电压升高,局部放电加大, $\tan\delta$ 随着试验电压升高而变大。当主绝缘干燥不彻底时,绝缘中的水份和杂质在交流电压作用下会产生离子电导,电压升高,离子运动速度加快,电流有功分量波形畸变,致使 δ 角相对减小,也就是 $\tan\delta$ 在电压升高一定值时会减少,也可以认为电压升高,离子运动速度加快,在交流电场中,离子运动的时间相对减少,有功损耗相应减小。

对 $\tan\delta$ 的分析判断,一方面要看绝对值的大小,另一方面 $\tan\delta$ 的相对变化值和在不同电压下的变化值非常重要。如果在 10 kV 电压下, $\tan\delta$ 值很低,但在不同的较高电压下 $\tan\delta$ 变化很大也表明设备的绝缘在运行过程中将趋于不良。互感器内部存在缺陷不同, $\tan\delta$ - U 曲线的形状也不相同,图 2 是 $\tan\delta$ - U 曲线的几个典型例子^[3]。

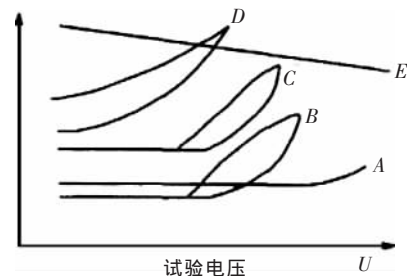


图 2 $\tan\delta$ - U 的特性曲线

图 2 中曲线 A 对应于良好的绝缘,曲线 B 为绝缘老化的示例,曲线 C 是存在局部放电的典型例子,曲线 D 是严重受潮的绝缘。曲线 E 是绝缘中含有离子型杂质的情况, $\tan\delta$ 值随试验电压上升而下降。

5 结语

电流互感器高压介损测量,能灵敏反映设备的绝缘状况,是设备故障诊断的有效手段。在现场进行电流互感器高压介损测量时,首先要解决试验电源的问题,串联补偿法是解决现场试验电源问题有效方法。利用测量结果进行故障诊断或状态评价时,特别要注意高压引线电晕和布置的影响,在进行 $\tan\delta$ - U 曲线测量时,低电压下的测量结果受电场干扰影响较大。

参考文献:

- [1] 阎春雨,崔拥军.串联补偿法用于电流互感器高压介损测量[J].河北电力技术,2002,21(1):1-2.
- [2] 宋业鑫.浅谈电容式电流互感器高电压介损测试过程中需注意的几点问题[J].安徽电力职工大学学报,2002,7(1):70-72.
- [3] 陈志勇,阎春雨.电流互感器高电压介损损耗因数 $\tan\delta$ 的测量[J].河北电力技术,2005,24(5):33-34,51.