

电容型 TA 介质损耗因数回升原因的分析

郑立群, 郑永寅

(牡丹江互感器厂, 黑龙江 牡丹江 157005)

摘要: 介绍并分析了电容型 TA $\tan\delta$ 值回升的原因, 提出制造工艺上应注意的问题。

关键词: 电容型 TA; 介质损耗率($\tan\delta$); 介损回升; 绝缘干燥

中图分类号: TM 45

文献标识码: B

文章编号: 1003-9171(2005)07-0020-02

Cause Analysis on Rising Dielectric Loss of Capacitive TA

Zheng Li-qun, Zheng Yong-yin

(Mudanjiang Instrument Transformer Factory, Mudanjiang, Heilongjiang 157005, China)

Abstract: In this article, causes of rising $\tan\delta$ of capacitive TA is introduced and analyzed, and suggestions on manufacturing techniques are given.

Key words: capacitive TA; Dielectric Loss ($\tan\delta$); Dielectric Loss rise; insulation torrefaction

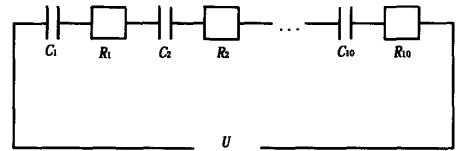
绝缘介质在交变电场作用下, 其电介质由于电导及反复极化作用, 会造成介质损失并消耗一定功率, 介质损失所消耗的功率使绝缘内部产生热量, 加速绝缘热老化, 降低设备使用寿命, 介质损失角的正切值 ($\tan\delta$) 是反映绝缘性能的重要指标, TA 国家标准 GB 1208-1997《电流互感器》中就规定了介质损耗率试验项目, 且规定 110~220 kV TA 介质损耗率不大于 0.005。制造厂一般规定要小于该值出厂, 以便留有一定裕度, 但一些出厂试验 $\tan\delta$ 合格的产品到了用户那里, 甚至有些还没有投入运行就发现 $\tan\delta$ 值回升了, 有的甚至超过国家标准规定值, 给制造厂和用户带来损失。电容型绝缘 TA 出现 $\tan\delta$ 值回升的概率比其他型式 TA 要高。

1 $\tan\delta$ 值回升的原因分析

我们知道对于 TA, 测量其 $\tan\delta$ 值可以有效地发现绝缘的缺陷: 产品受潮; 存在穿透性导电通道; 绝缘内含游离气泡; 绝缘分层、脱壳; 产品绝缘老化、劣化; 绕组上附积油泥; 绝缘油不洁, 含水、劣化等。但对有些缺陷用 $\tan\delta$ 法很难鉴别出来, 如非穿透性的局部损坏; 很小的部分绝缘吸潮或老化、劣化; 个别的绝缘弱点等。根据笔者统计, 一段时间内 TA 的 $\tan\delta$ 值波动, 主要受产品干燥处理的质量和气候环境影响较大, 引起产品 $\tan\delta$ 值回升主要取决于产品主绝缘的含水量; 真空干燥处理的好坏; 产品组装过程是否吸潮等因素。

电容式 TA 的主绝缘通常是用厚度为 0.12 mm 电缆纸包绕在一次导体的外面, 绝缘共分若干

层(如: 110 kV TA 为 6 层, 绝缘总厚度约为 20 mm; 220 kV TA 为 10 层, 绝缘总厚度约为 40 mm)。为有效利用绝缘, 层间设有厚度为 0.01 mm 的铝箔打孔的电屏(也有用半导体纸构成电屏的), 绝缘的内屏接一次导体, 外屏接地, 从而构成一个接在线路高电位与地电位之间的串联的电容器组, 以 LCWB7-220 型 TA 为例, 该产品是油纸绝缘电容型结构, 中间设有 10 个主电屏, 其等值电路见图 1。



$C_1 \sim C_{10}$ 分别为各电屏的电容, pF; $R_1 \sim R_{10}$ 分别为各电屏的电阻, Ω

图 1 电容式 TA 绝缘结构等值电路

$$\text{电路总电容: } C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_{10}}} \quad (1)$$

则电路总电阻:

$$R = \sum_{i=1}^{10} R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_{10} \quad (2)$$

式中, R_i 为 1~10 号电屏等值电阻。

$$\text{因为串联电路 } \tan\delta = \omega CR \quad (3)$$

将 (1), (2) 式代入 (3) 式整理后, 则得到 10 个电容串联后的总 $\tan\delta$, 即:

$$\tan\delta = \frac{\frac{\tan\delta_1}{C_1} + \frac{\tan\delta_2}{C_2} + \dots + \frac{\tan\delta_{10}}{C_{10}}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_{10}}} \quad (4)$$

式中, $\tan\delta_1, \tan\delta_2, \dots, \tan\delta_{10}$ 分别为 1~10 号电屏的 $\tan\delta$

设 $C_1 = C_2 = \dots = C_{10}$ (设计时总希望各电屏电容尽量相等,但实际上并不相等,存在微小差别),则

$$\tan \delta = \frac{\tan \delta_1 + \tan \delta_2 + \dots + \tan \delta_{10}}{10} \quad (5)$$

由式(5)可知 $\tan \delta_{\min} < \tan \delta < \tan \delta_{\max}$, 即 $\tan \delta$ 总是小于其中的 $\tan \delta$ 的最大值,大于其中的 $\tan \delta$ 的最小值,所以若某个电容的 $\tan \delta$ 较高,总的 $\tan \delta$ 是反映不出来的。

电容型 TA 的主绝缘比较厚,中间又设有铝箔打孔的电屏,因此增加了绝缘干燥的难度,通常外层绝缘干燥比较容易,水分蒸发比较彻底,内层干燥比较困难,水分蒸发不够彻底,而绝缘干燥处理的终点判断方法,又难以用电气方法(如类似测量绝缘损耗率的方法)进行判断。通常是采用露点测试法(即以露点温度的高低对应于真空罐内稀薄气体的微水含量)。此法带有一定的经验性,如果真空干燥罐的产品摆放不合理,影响干燥初期热空气的对流,或者外层干燥过快,过干,造成绝缘纤维毛细作用被破坏,阻碍内层绝缘水分蒸发,就会使绝缘内层难以干透。由于内层绝缘干燥不彻底,外层绝缘干燥较彻底,这样当产品真空注油后,短时间绝缘的内外层含水量尚未达到平衡,所以在出厂试验时虽然内层电容的 $\tan \delta$ 值较大,外几层绝缘的 $\tan \delta$ 值都很小,测得的总 $\tan \delta$ 值却较小。通过静置、储存等过程,内层水分逐渐向外层扩散,使外层几个电容的 $\tan \delta$ 值增大,这时测得的总 $\tan \delta$ 值较大,于是 $\tan \delta$ 值就回升了。

另外,如环境温度差比较大时,而装配时间又过长,产品器身就可能吸潮,由于电容式 TA 产品绝缘较厚,吸潮仅限于浅表层,即使吸潮较严重,在产品 $\tan \delta$ 测量时反映也不明显,这是因为,电容式产品绝缘表层吸潮主要是未屏外的保护层和电屏端部吸潮,保护层在未屏以外,而 $\tan \delta$ 的测量值反映的是一次零屏和未屏之间的 $\tan \delta$,保

护层的 $\tan \delta$ 值增大对产品整体 $\tan \delta$ 测量值影响不大,此外,屏端 $\tan \delta$ 升高部分与整个电容屏可以看作是大小 2 个电容并联,则可表示为:

$$\tan \delta = \frac{C_1 \cdot \tan \delta_1 + C_2 \cdot \tan \delta_2}{C_1 + C_2}$$

式中 $C_1 \cdot \tan \delta_1$ ——屏端部分的电容、 $\tan \delta$ 值;
 $C_2 \cdot \tan \delta_2$ ——除去屏端部分外绝缘大部分电屏的电容、 $\tan \delta$ 值。

由于受吸潮透入深度的限制,一般 $C_2 \gg C_1$ (相差 100 个数量级以上),即使 $\tan \delta_1$ 比 $\tan \delta_2$ 大 10 倍, $C_1 \cdot \tan \delta_1$ 与 $C_2 \cdot \tan \delta_2$ 相比亦可忽略不计,上式简化后得:

$$\tan \delta = \tan \delta_2$$

这时,由于 $\tan \delta$ 测量值不能相应地反映出吸潮的程度,因此该值被忽略,而在以后的长期放置或经过一段时间运行后,水分在产品绝缘中的扩散达到了平衡,其 $\tan \delta$ 值就回升了。

2 结束语

导致电容型 TA $\tan \delta$ 值回升的原因主要是产品器身绝缘干燥不彻底及部分器身绝缘吸潮等,因此应合理设计产品绝缘干燥工艺和绝缘干燥的终点判断方法。在真空干燥中,应使产品器身绝缘各部分均匀受热,使其获得足够的热量,并在绝缘脱水的过程中不断补充因水分的蒸发而消耗的汽化热,而不是热辐射。保证器身绝缘的内层和外层干燥均匀,干燥程度一致,避免绝缘的外层干燥过快,过干,造成绝缘纤维的毛细作用破坏,阻碍内层绝缘水分蒸发的弊病。同时制定合理的装配和注油工艺并严格执行,则由绝缘干燥不彻底及器身吸潮所导致的 $\tan \delta$ 值回升问题就可以得到很好的控制。

收稿日期: 2005-01-21

作者简介: 郑立群(1969-), 牡丹江互感器厂工程师,主要从事互感器设计及标准化工作。

· 消息 ·

获一等奖项目简介

华北电力调度局与华北电力科学研究院有限责任公司共同完成的华北电网发电机励磁系统参数测试及建模关键技术研究一课题,获 2004 年度华北电网有限公司科技成果奖一等奖。

该课题根据理论推导,结合现场实测对励磁系统各个环节建模,针对励磁系统整体特性,采用时域仿真校验为主,频域测量和计算为辅,同时强调在现场试验中尽量优化励磁调节器各环节参数来进行励磁系统参数辨识。该课题对于电网参数动态建库、数据管理,提高电网可靠性及稳定性具有积极的意义,特别是参数测试过程中优化调节器参数的工作方法符合当前励磁系统管理方面发展趋势的要求,是一种很好的、值得提倡和推广的方法。该课题将 RTDS 实时数字仿真技术运用于发电机励磁系统参数辨识,自主开发了查询数据库,具有发电机、励磁机特性和饱和系数计算软件以及录波图特征分析计算软件。

本刊编辑部 供稿