

电力变压器典型放电模型试验研究

吴鹏, 陈志勇, 李锐华, 高乃奎, 谢恒堃

(西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

Experimental Research on Typical PD Models for Power Transformers

WU Peng, CHEN Zhi-yong, LI Rui-hua, GAO Nai-kui, XIE Heng-kun

(State Key Laboratory of Electrical Insulation for Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 设计制作了5种油纸绝缘结构模型用以模拟变压器中的典型缺陷。利用数字式局放测量系统获取了大量放电谱图和放电脉冲波形。分析了不同缺陷类型的局部放电特性,为进一步研究电力变压器局部放电模式识别和绝缘老化特征提供了科学依据。

关键词: 变压器; 局部放电; 油纸绝缘; 放电模型
中图分类号: TM855 **文献标识码:** A

Abstract: According to the analysis of defects in oil-paper insulation of power transformer, five corresponding PD models are designed. Using the digital PD measuring system, plenty of related patterns of discharges and discharge oscillograms are obtained. By means of analyzing the characteristics of different kinds of defects, all these will be helpful for further research on PD pattern recognition and insulation aging of power transformers.

Key words: transformer; partial discharge(PD); oil-paper insulation; PD model

1 引言

近年来,国内外对电力变压器的局部放电机理、监测等技术进行了大量的研究^[1-3],在变压器局部放电的在线监测方法和仪器等方面也取得了不少进展,但其稳定性和可靠性仍有所欠缺^[4-6]。对变压器油纸绝缘缺陷的放电特性进行充分研究是设计变压器局放监测系统、进行干扰抑制以及模式识别的基础。

笔者根据电力变压器内实际存在的典型局部放电类型,设计制作了5种典型油纸绝缘缺陷放电模型,并在模拟的变压器油箱中进行了局部放电试验,采用高精度数字测量系统考察了不同类型放电的发展过程,并获取了放电图谱和单次放电脉冲波

形。通过对谱图和波形的分析得到了不同类型放电的放电特性,以期对变压器的局部放电特性有深入的认识,并为进一步研究电力变压器绝缘老化诊断提供科学依据。

2 电力变压器典型局部放电模型的设计

运行中的电力变压器局部放电通常有以下几种类型^[3]:①绕组中部油-隔板绝缘中油隙放电;②绕组端部油隙放电;③接触绝缘导线和电工纸(引线绝缘、搭接绝缘)的油隙放电;④引线、搭接线等油纸绝缘中的局部放电;⑤线圈间(纵绝缘)的油隙放电;⑥匝间绝缘局部击穿;⑦电工纸沿面滑闪放电。其放电部位大多在某些油隙、油楔、空气隙、有悬浮电位的金属导体、导体尖角和固体表面上。根据这些放电类型设计了5种有代表性的放电模型,模型所用的绝缘纸板均先在65℃下干燥3天,再将温度升高到105℃干燥3天,以保证纸板在内部绝缘结构不被破坏的前提下充分干燥。随后对其真空浸油5天以上;纸板周围各边角事先均打磨光滑,无尖角或毛刺。具体的放电模型结构如下。

(1) 内部气隙放电模型

绝缘纸板内部气隙放电模型见图1(a)。模型中的介质为两层厚2.0mm的浸油绝缘纸板中夹一层带有直径20.0mm通孔的1.0mm厚绝缘纸板。为防止变压器油进入气隙中影响测量结果,绝缘纸板之间用一层非常薄的环氧树脂胶粘合。

(2) 楔形油隙放电模型

楔形油隙放电模型见图1(b)。模型中直径为25.0mm的铜球放置在厚2.0mm的绝缘纸板上,其间形成楔形油隙。

(3) 表面放电模型

表面放电模型设计有两种(沿面放电和滑闪放

电),分别见图 1(c),(d)。在图 1(c)中高压电极和地电极均为厚 0.4 mm 的铜片,铜片周围被打磨光滑且有倒角。两电极用环氧树脂胶固定在厚 2.0 mm 的绝缘纸板上,两电极之间的距离为 10.0 mm。图 1(d)中上电极的直径为 15.0 mm,下电极直径为 75.0 mm,中间的绝缘纸板直径为 45.0 mm,厚 2.0 mm。当电极上电压升高到一定值时会产生如图中所示的滑闪放电。

(4)油纸隔板结构放电模型

油纸隔板结构放电模型见图 1(e)。模型中的介质为两层厚 2.0 mm 的浸油绝缘纸板间垫上两片厚 2.0 mm 的长方形绝缘纸板条,绝缘纸板之间用一层非常薄的环氧树脂胶粘合。

(5)悬浮电极放电模型

悬浮电极放电模型见图 1(f)。高压电极和地电极均为板电极,悬浮电极为厚 0.4 mm 的三角形铜片,用环氧树脂胶固定在 2.0 mm 厚的绝缘纸板上,悬浮电极距高压电极 7.0 mm。为了更好地控制放电发生的部位,将三角形悬浮电极的一个尖角正对着高压电极。

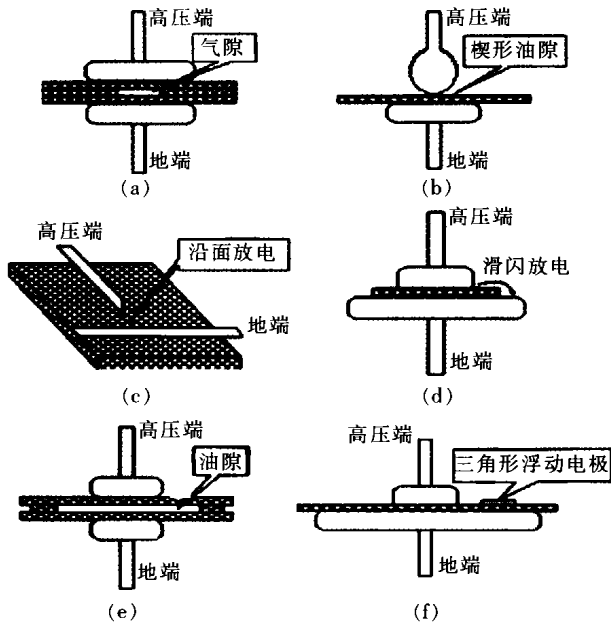
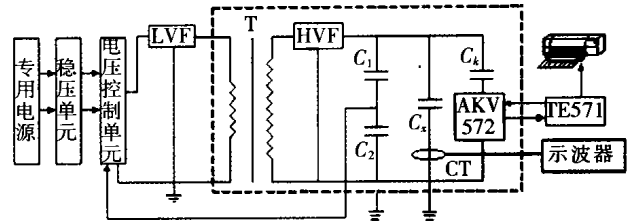


图 1 典型的电力变压器局部放电模型

3 试验及其结果分析

该试验基于脉冲电流并联直测法,采用 TE571 型数字式局部放电测试系统测量各放电模型的局部放电谱图,同时采用宽频带电流传感器和数字示波器获取单次放电脉冲。系统示意图见图 2,其中 LVF 用于滤除来自电源的高频干扰;HVF 用于滤除从调压器和变压器耦合到高压端的工频干扰。为防止干扰,图中虚线内部分置于屏蔽室内。在不接放电模型的情况下打开试验变压器,测出背景噪声 0.25 pC,符合试验要求。

每一种放电模型采用 10 个试样进行局部放电



LVF——低电压低通滤波器 HVF——高压低通滤波器
T——无局部放电试验变压器 (额定电压 100 kV 下的放电量 <math>< 5 \text{ pC}</math>)
 C_1, C_2 ——变压器放电模型试样 AKV571——检测阻抗
CT——宽频带电流传感器

图 2 局部放电试验系统示意图

试验,得到放电三维分布谱图及单次放电脉冲波形,典型的放电见图 3~8。

从试验中看出,每一种类型的放电,随着电压的升高,其放电谱图在相位上呈现展宽的趋势,放电

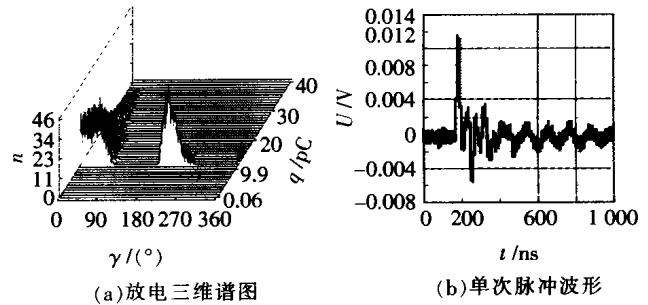


图 3 内部气隙放电谱图

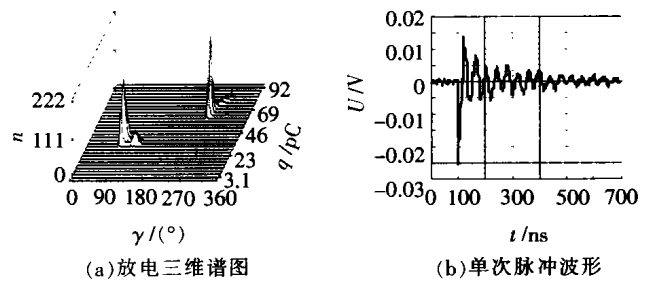


图 4 楔形油隙放电谱图

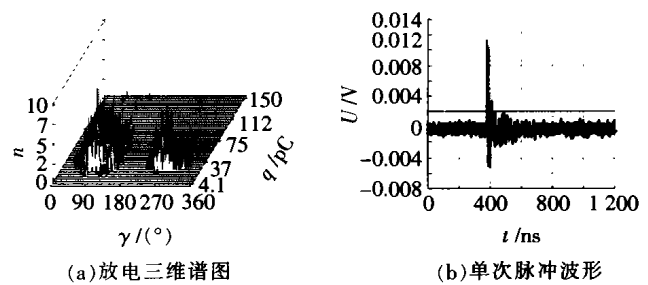


图 5 沿面放电谱图

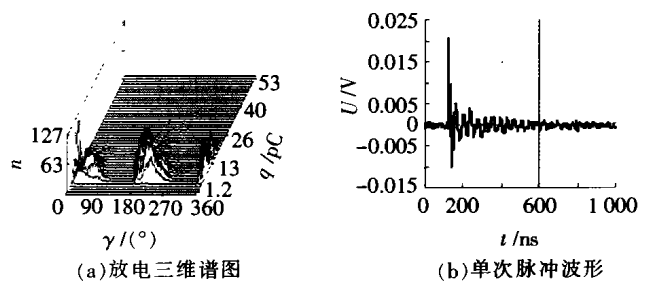
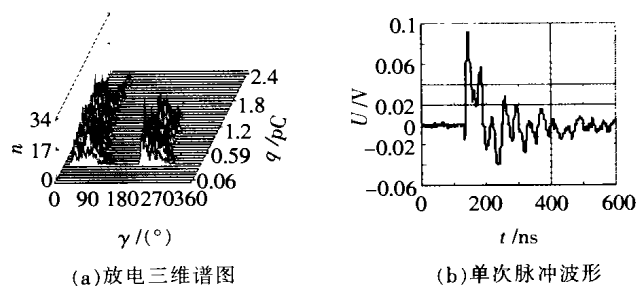


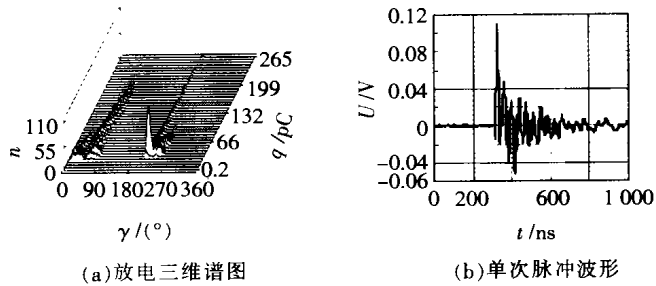
图 6 滑闪放电谱图



(a)放电三维谱图

(b)单次脉冲波形

图7 油纸隔板结构放电谱图



(a)放电三维谱图

(b)单次脉冲波形

图8 悬浮电极放电谱图

脉冲形状变化不大。在典型放电阶段(电压从1.2倍起始放电电压到2.0倍起始放电电压),分别对5种类型放电的放电谱图分布特性进行统计,并计算出相应的脉冲波形特征参数(主脉冲上升时间、下降时

间、脉冲宽度),归纳得到5种典型放电的放电特性见表1。可见随着电压的升高,每种类型放电的脉冲量也随之增大,其单次放电脉冲的幅值相应增大,但波形特征参数也变化不大。

表1 对5种典型放电的特性归纳

放电类型	放电的象限分布	放电集中的相位	谱图的形状	主脉冲的形状	上升沿时间/ns	下降沿时间/ns	脉冲宽度/ns	备注
内部气隙放电	1,3象限	以45°和225°为中心的范围内	山峰形	单峰值脉冲	8~9	16~17	12~13	无
楔型油隙放电	2,4象限	90°和270°附近	尖刺状	一高一低双峰值脉冲	4~5	10~11	12~13	两尖峰之间相差约8 ns
表面放电	沿面放电	以90°和270°为中心的范围内	馒头形	单峰值脉冲	1.4~1.6	4.4~4.6	6~7	无
滑闪放电	1,3象限	0°和180°附近	山峰形	一高一低双峰值脉冲	2~3	4~5	10~11	两尖峰之间相差约8 ns
油纸隔板结构放电	1,3象限	以45°和225°为中心的范围内	山峰形	一高一低双峰值脉冲	14~15	4~5	48~50	两尖峰之间相差约36 ns
悬浮电极放电	1,3象限	45°和225°附近	尖刺状	单峰值脉冲	7~8	6~7	6~7	无

从表1中对比这5种类型放电的特性可以看到,无论是放电的三维分布谱图还是单次放电脉冲波形,每种类型的放电都有其明显的特点,特别是不同放电类型的波形特征参数有较大的差异。提取每种放电的波形特征参数作为识别样本即可进行简单的放电模式识别。

另外,从表1中可以看到,沿面放电和滑闪放电的放电脉冲上升沿时间很短,仅为1~2 ns,产生的瞬变电流较大,放电过后的绝缘纸板有放电留下的黑色痕迹,可见其对变压器绝缘有较大破坏力,同时也最容易对局放监测设备构成威胁。从放电谱图中还可以看到,楔型油隙和悬浮电极的放电谱图呈尖刺状,不仅相位集中而且放电量较大,对变压器油纸绝缘的破坏力也较大。这些类型的缺陷在实际中都应该尽量避免。

4 结论

(1)不同类型的缺陷其放电统计特性及单次脉冲波形均明显不同并具有可重复性。

(2)对于不同的放电脉冲,其波形上升沿、下降沿、脉冲持续时间诸特性的差别为利用放电脉冲识别放电类型提供了可能。从放电谱图和放电波形中提取特征参数,将两者结合起来进行模式识别将更有利于变压器绝缘的故障诊断。

(3)沿面放电和滑闪放电的放电脉冲上升沿时间最短,产生的瞬变电流大,对绝缘的破坏力很大,这类缺陷在变压器绝缘设计及实际运行中都应该尽量避免。

参考文献:

- [1] K Raja, F Devaux, S Lelaidier. Recognition of Discharge Sources Using UHF PD Signatures [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002, 18(5): 8-14.
- [2] J Unsworth, J Kurusingal, R E James. On-line Partial Discharge Monitor for High Voltage Power Transformers[A]. Proceeding of the 4th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials[C], 1994.
- [3] 张冠军, 全玉生, 严璋, 等. 电力变压器典型局放模型的放电信号图谱[J]. 高电压技术, 1999, 25(2): 13-15.
- [4] 方琼, 徐阳, 曹晓珑, 等. 电力变压器用数字化局部放电在线监测系统[J]. 高电压技术, 2002, 28(7): 25-27.
- [5] WANG Guoli, HAO Yanpeng, LI Yanming. Study on Pulse Current of Typical PD Models in Power Transformer [A]. International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)[C], Himeji, Japan, 2001.
- [6] JIN Xianhe, WANG Changchang, JING Weihong, et al. Partial Discharge Pattern Recognition of Power Transformer with Neural Network Applications [A]. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena[C], Austin Texas, USA, 1999.

作者简介:吴鹏(1980-),男(侗族),湖南人,硕士研究生,从事电力变压器绝缘状态在线监测的研究。