

变压器局部放电试验浅析

张永红 傅成霞
(甘肃电器科学研究院)

摘要：变压器是电力系统中的重要设备，其正常运行对于保障电力系统的稳定和安全具有重要意义。局部放电是变压器运行中的一种正常现象，但当局部放电超过一定限度时，会对变压器产生致命的影响。因此，对变压器进行局部放电试验是十分必要的。本文针对变压器局部放电现象进行研究，探讨了局部放电的产生机理及其对变压器运行的影响。通过对变压器局部放电试验的研究，阐述了局部放电对变压器运行的影响及相应的预防措施。

关键词：变压器；局部放电；检测方法；预防措施

2024.02.DQGY
52

0 引言

近年来，国内外学者对变压器局部放电试验进行了广泛的研究。根据研究方法的不同，局部放电试验可分为模拟试验和现场试验。模拟试验是通过模拟变压器内部的电场、磁场等物理场，观察和分析局部放电的产生和发展过程。现场试验则是通过对变压器进行实际操作，检测其局部放电水平。在局部放电测试技术方面，国内外学者开发了多种测试方法，如脉冲电流法、超声波法、化学分析法等。这些方法各有优缺点，选择合适的测试方法需要根据具体情况进行综合考虑。

1 局部放电的产生机理和危害

通常所说的局部放电是指在电场作用下，绝缘系统中只有部分区域发生放电而并没有形成贯穿性放电通道的一种放电。绝缘材料内部的气隙、油膜或导体周围的电场强度达到空气的击穿场强时，发生的微小

放电现象。电介质不均匀，使绝缘体各区域承受的电场强度不均匀，在某些区域电场强度达到击穿场强而发生放电，而其他区域仍然保持绝缘的特性。绝缘体内部存在缺陷或混入各种杂质，或者在绝缘结构中某些电气连接不良，都会使局部电场集中，在电场集中的地方就有可能发生固体绝缘表面放电和悬浮电位。绝缘材料或绝缘结构在制造过程中往往含有比固体绝缘介质更容易击穿的一部分气隙或油膜。例如，铸造变压器和变压器、塑料电缆、胶带套管在制造过程中不可避免地会混入气泡。在高压电器的油浸绝缘中，纸层之间有一层油膜。这种情况下，空气和矿物油的介电常数低于固体介质，因此在电场作用下，往往比固体介质承受更高的场强，空气和油的击穿强度低于固体介质。因此，当外加电压升高到一定值时，会引起空气或油的局部击穿，产生绝缘局部放电。另外需要注意的是，电极的边缘电场比较集中，所以边缘的电场强度特别高。例如套筒电极的边缘、高压电

基金项目：秦州区均衡性转移支付强科技奖补资金项目（项目编号：2023-SHFZG-3775）。

机线圈的槽口等容易产生放电现象。在高压电缆和高压电容器的设计和制造中，工作场强一般低于油纸绝缘的初始放电场强。然而，在电场的作用下，绝缘纸由于高能带电粒子的影响而老化。刚开始可以吸收气体，但使用时间长了会形成气泡，出现局部放电。局部放电对变压器的绝缘性能具有极大的危害，随着局部放电的不断发展，可能会导致绝缘材料损坏、导体表面腐蚀、导体过热等问题，严重时甚至会导致设备故障。

2 局部放电测量基本原理

如图 1 所示，试品 C_x 产生一次局部放电时，在试品的两端就会立刻产生一个瞬时间的变化电压 Δu ，这时会在被试品 C_x 、测量阻抗 Z_m 和耦合电容 C_k 构成的回路中立即产生一个脉冲电流 i ，脉冲电流 i 通过测量阻抗 Z_m 的时候，会在它的两端产生一个脉冲电压，然后通过信号传输线将这个脉冲电压信号传递给测量仪器 M，测量仪器 M 会对该信号进行采集、放大等处理，这样就可以测量出局部放电的一些基本的参数量，比如电荷量^[1]。

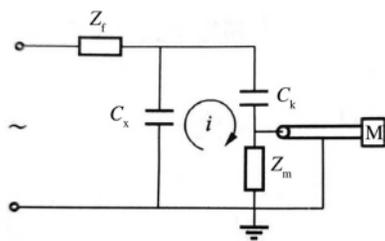


图 1 局部放电测量等效电路

3 油浸式变压器的局部放电

对于全绝缘油浸式变压器，当 $U_m \leq 72.5\text{kV}$ 时，或者额定容量小于 10000kVA 的变压器，短时感应耐压（ACSD）试验时一般不进行局部放电的测量，若当 $U_m \geq 72.5\text{kV}$ 时，或者额定容量大于 10000kVA 的

变压器，则在短时感应耐压（ACSD）试验时要进行局部放电的测量，局部放电测量施加的相对地的电压时间顺序一般按照以下的顺序进行：①在 $< U_2$ 的电压下接通电源；②电压升高到 $1.1U_m \sqrt{3}$ ，并且持续 5min ；③电压升高到 U_2 ，并且持续 5min ^[2]；④电压升高到 U_1 ，并且持续要求时间；⑤然后将电压立刻降低至 U_2 ，最少保持 5min ，在这期间进行局部放电的测量。对于 $U_m \geq 245\text{kV}$ 的变压器，长时感应电压试验，在整个施加试验电压的期间，都应该测量其局部放电量^[3]。

4 干式变压器的局部放电

干式变压器是一种广泛应用于电力系统的重要设备。与油浸式变压器相比，干式变压器具有更高的安全性和可靠性，因此被广泛应用于高层建筑、地铁、机场等场所。然而，干式变压器在运行过程中也存在着局部放电的问题。局部放电会导致变压器的绝缘性能下降，严重时甚至导致设备故障，因此对干式变压器局部放电的监测和模式识别进行研究具有重要意义^[4]。

干式变压器局部放电的监测方法：一般情况下，所有的干式变压器都应该进行局部放电测量，测量的方法都应该按照 GB/T 7354 和 GB/T 1094.3 中的要求进行，局部放电的测量位置应该在额定电压高的绕组上进行测量，施加的电压波形应尽量满足是正弦波，在变压器施加电压时，为了避免在试验的时候励磁电流过大，所以试验的频率应当比额定的频率高，例如用变频发电机等以满足电压频率要求，试验的施加过程中，对于三相变压器，相间的施加电压为额定电压的 1.8 倍，并持续 30s，在此期间，不能中断施加的电源，然后把试验的相间电压降低到额定电压的 1.3 倍，并持续 3min，在此时，就应该进行局部放电的测量，一般情况下，局部放电的水平最大不应该超过 10pC ^[5]。干式变压器的施加电压的方式和局部放电

的试验接线原理图如图 2 和图 3 所示^[6]。



图 2 干式变压器施加电压方式

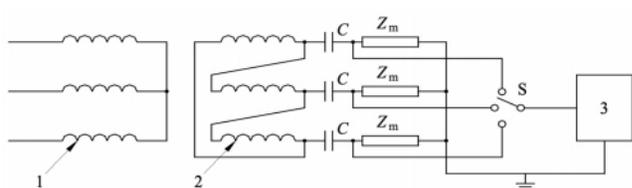


图 3 干式变压器局部放电试验图

1—低压绕组 2—高压绕组 3—测量仪器 S—开关

5 故障分析

局部放电信号的形态特征对于判断局部放电源的性质和空间位置可以提供很大的帮助，对于分析异常局部放电具有很好的指导意义，图 4 为变压器中几种典型局部放电信号的形态特征。

局部放电源类别	局部放电源示意图	放电信号形态	灰度图形态谱
空气电晕, 如套管端部放电			
直接与电极接触的金属异物放电			
不与电极接触的金属异物 (悬浮电位) 放电			
直接与电极接触的非金属异物 (或空腔) 放电			
不与电极接触的非金属异物 (或空腔) 放电			

图 4 变压器中几种典型局部放电信号的形态特征

6 相应措施

为了预防和减少变压器局部放电的现象，可以采取以下措施：

- 1) 提高变压器的设计水平，优化绝缘结构，减少绝缘材料内部的气隙和油膜等容易引起局部放电的缺陷。
- 2) 加强变压器的制造工艺控制，保证绝缘材料的加工和组装质量^[7]。
- 3) 加强变压器的运行维护管理，定期进行巡检和检修，及时发现和处理局部放电等问题。
- 4) 采用在线监测系统对变压器的局部放电进行实时监测和报警，及时发现和处理异常情况^[8]。

7 结束语

本文对变压器局部放电的监测方法进行了研究。通过本文的研究，了解了干式变压器的特点和应用，阐述了局部放电的产生机理和危害，提出了一些预防和减少变压器局部放电的措施。通过对变压器局部放电的监测和研究，可以及时发现和处理变压器的异常情况，保障变压器的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 万达, 伍志荣, 吕晓东, 等. 变压器类设备局部放电试验录像回放分析的重要性 [J]. 变压器, 2023, 60 (10): 42-48.
- [2] 孙甜利, 吴恩柏. 变压器油中溶解气体现象分析与防治策略 [J]. 电气时代, 2023 (10): 88-92.
- [3] 罗传仙, 张民, 程林, 等. 基于声电联合传感阵列的变压器局部放电诊断技术研究 [J]. 电网与清洁能源, 2023, 39 (9): 81-90.

(下转第 73 页)

(上接第54页)

- [4] 韩立影. 带电检测技术在变电运维中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40 (9): 65-67.
- [5] 严家明, 周一恒, 陈奎, 等. 脉冲电压下纤维素绝缘纸局部放电特性的综合实验设计 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42 (6): 235-242.
- [6] 全宏莲. 电力变压器高压试验和故障处理分析 [J]. 光源与照明, 2023 (5): 162-164.
- [7] 邹文琪. 基于深度学习的变压器局部放电分类及定位方法研究 [D]. 临沂: 临沂大学, 2023.
- [8] 张弘, 黄志先, 徐庆锋. 变压器状态信号在线采集方法 [J]. 红水河, 2023, 42 (2): 98-103.

(收稿日期: 2023-11-13)