

# 500kV 增城变电站变压器的声发射检测

林介东 胡平 马庆增 聂铭 董重里

(广东省电力试验研究院, 广东广州, 510600)

**摘要:** 介绍了声发射 (AE) 检测技术、PAC 声发射检测系统的特点及其在变压器局部放电 (PD) 检测中的应用。通过在增城变电站对两台大型变压器进行局部放电声发射检测, 取得了成功例子。

**关键词:** 变压器; 局部放电; 声发射; 检测

## 0 绪论

大型变压器是电力系统的主要设备之一, 是变电站的心脏, 它的状况直接关系到电力系统的安全经济运行。资料表明, 大型电力变压器的故障以绝缘故障为主, 局部放电既是绝缘劣化的原因, 又是绝缘劣化的先兆和表现形式。局部放电的检测能够提前反映变压器的绝缘状况, 及时发现变压器内部的绝缘缺陷, 预防潜伏性和突发性事故发生<sup>[1]</sup>。

利用声发射 (AE) 技术对压力容器进行检测目前在我国应用得十分成功, 八十年代中期劳动部锅炉压力容器检测研究中心率先从美国 PAC 公司引进 SPARTAN 源定位声发射检测与信号处理分析系统, 在全国石油化工系统开展了大量球罐和卧罐的检测。随后, 电力系统采用声发射对锅炉汽包、合成绝缘子芯棒、热力管道、阀门进行检测或泄漏监测, 取得一定成效。但利用声发射技术对变压器局部放电 (PD) 进行检测, 却少有成功案例。

美国电力研究院 (EPRI) 联合多家电力公司与 PAC 从 1995 年起开始进行变压器局部放电声发射检测项目的合作, 形成变压器局部放电声发射检测专家系统并推广应用, 到 2002 年, 已对几十台大型电力变压器进行了局部放电的测试<sup>[1]</sup>。广东省电力试验研究院为国内第一家引进 PAC 声发射检测系统并应用于变压器局部放电检测的单位, 目前应用为起步阶段, 发展趋势良好。

本次检测于 2005 年 4 月 1 日在增城变电站进行, 由广东省电力试验研究院和美国 PAC 公司共同完成, 广州供电局及增城变电站的工作人员提供配合工作。

## 1 检测原理及方法

声发射是指物体在受到外界作用时, 因迅速释放能量而产生瞬态应力波的一种物理现象。当物体中有声发射现象发生时, 由声源发射出的每一个 AE 信号都包含了物体内部结构、缺陷性质和状态变化的丰富信息。电力变压器内部结构中, 局部的绝缘薄弱点在电场的作用下产生高频脉冲放电, 放电电弧对油介质产生瞬态冲击产生爆裂状的超声波信号, 即声发射现象。声发射信号以球面波的方式向四周传播, 通过油介质于不同时间传到安装于变压器外壁不同位置的 AE 传感器, 声发射检测系统接收和处理这些 AE 信号, 根据其波形及频谱特征进行定性和定量, 并利用各传感器接收到 AE 信号的时间差对局部放电源进行定位, 推断出变压器内部局部放电的位置、状态变化程度和发展趋势。

现场变压器局部放电声发射检测时难免会遇到外界噪声干扰, 声发射检测系统通过设置 PD 检测阈值, 分析波形的关键特性如幅度 (Amplitude)、持续时间 (Duration)、能量 (Energy)、撞击数 (Hits)、三维定位 (3D Location)、事件数 (Events)、特征指数 (Character Index)、撞击谱 (Hit Spectrum)、波形 (Waveform) 等, 可确认声发射信号是由局部放电还是噪声干扰产生的。

变压器发生局部放电时, 上述特征一般会集中于变压器某一特定的空间 (经三维定位), 显示出特定的模式。局部放电的声发射检测正是通过对上述特征信息分布范围的分析, 并结合油色谱分析、常规的高压局放试验等历史资料, 来判别变压器局放存在与否及严重程度。

## 2 检测前准备

### 2.1 现场勘察

找出所有可能出现的噪声源，如电磁干扰、振动、摩擦和液体流动等，并设法对这些噪声源予以排除。

### 2.2 处理器校准

检测前按说明书要求对信号处理器进行校准，确保声发射检测系统的每个通道都处于正常工作状态。

### 2.3 传感器性能检查

使用直径 0.5mm、HB 硬度的活动铅笔芯在距传感器中心约 100mm~140mm 处进行断铅试验，三次断铅信号的平均幅度值应高于 75dB，且所有通道的平均值之差应在 $\pm 5$ dB 内。另外采用自动传感器测试 (AST) 作为断铅试验的补充。

### 2.4 背景噪声检查

背景噪声检查试验在正式试验前 10 分钟进行。检测阈值设置为 35dB~40dB，以测试时没有背景噪声或仅有少量（如每分钟有几十个或上百个 Hit 撞击）噪声为准。

## 3 检测过程及数据分析

本试验采用了 PAC 与 EPRI 共同研发的变压器局部放电声发射检测技术与检测程序，并辅以 PAC 公司最新开发的辅助分析方法及软件对信号进行处理。根据 PAC/EPRI 提供的 AE 检测程序，变压器局部放电声发射检测需持续至少 24 小时，以包含一个完整的用电负载周期。由于客观条件限制，本次 AE 检测的时间远低于 PAC/EPRI 检测程序推荐的检测时间，这使得本次试验不能完整地反映一个负载周期（24 小时）的局放状况。

增城 1 号主变 C 相的 AE 检测，初步试验时仅安装 8 个传感器于变压器油箱外壁的四周，经过几分钟的测试，发现变压器局部位置有明显的声发射现象，在正式试验时采用了 10 个探头，并将它们重新布置于有明显声发射发生的区域。1 号主变 C 相的 AE 检测时间持续约 1 小时，期间天气经历了阴天、零星小雨直至大雨[2]。因下雨后的信号可信度较低，本文仅对未下雨时所获得的有效检测数据进行分析。

增城 3 号主变 C 相 AE 检测时安装了 16 个传感器，AE 检测持续了两个多小时[3]。

### 3.1 仪器设备

DiSP-24 通道声发射检测系统、R15I 传感器及 30m 信号电缆、磁吸、耦合剂、模拟源（活动铅笔及 0.5mm HB 笔芯）等。

### 3.2 检测参数设置

增城 1 号主变 C 相和 3 号主变 C 相的声发射检测参数设置见表 1。

### 3.3 传感器布置

以 1 号主变为例，检测时传感器被均匀地布置在变压器的四周外壁上，其安装位置及坐标示意图见图 1 及表 2。

表 1 增城 1 号主变 C 相和 3 号主变 C 相声发射检测参数设置

	AE Channel	Threshold			Pre-Amp dB	Analog Filter	
		Type	dB	FTBnd		Lower	Upper
1 号主变参数	1	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	2	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	3	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	8	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	9	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	10	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
3 号主变参数	1	FIXED	32	6	40	100kHz	400 kHz
	2	FIXED	32	6	40	100kHz	400 kHz
	3	FIXED	32	6 <td 40	100kHz	400 kHz	
	14	FIXED	32	6	40	100kHz	400 kHz
	15	FIXED	32	6	40	100kHz	400 kHz
	16	FIXED	32	6	40	100kHz	400 kHz

表 2 增城 1 号主变 C 相传感器位置坐标

Channel	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	0000.000	1700.000	1820.000
2	0970.000	1720.000	3400.000
3	0660.000	3440.000	3400.000
4	0000.000	2750.000	1370.000
5	0720.000	3500.000	0000.000
6	0960.000	1730.000	0000.000
7	0000.000	2280.000	0500.000
8	0000.000	2420.000	3170.000
9	1630.000	2600.000	0000.000
10	1870.000	2470.000	3400.000

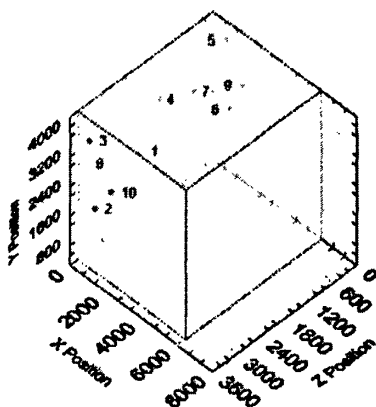


图 1 增城 1 号主变 C 相传感器坐标示意图 (mm)

### 3.4 数据分析

#### 3.4.1 增城站 1 号主变 C 相 AE 数据分析

图 2 为 500kV 增城站 1 号主变 C 相 AE 检测数据参数图，图中左上小图为各个通道随时间的变化历程；左下小图为所有通道幅值、能量、持续时间三者随时间的变化图；右上小图为每一个通道的撞击数；右下小图为所有通道的能量与持续时间的特征关系图。

由以上参数图可看出，1 号主变 C 相在正常工作负载状态下，时常有突发性信号产生，且幅度较高。AE 检测数据经过后续处理，经滤除一些低幅度噪声信号及干扰信号后，可得到变压器局放数据的 3D 定位及其于三个平面的 2D 投影（图 3）。3D 定位显示这段时间共检测到 21 个定位，且基本聚集于变压器的同一个角落，但 PD 发生的频度很低，几十秒至几分钟才产生一次。从 2D 投影图可见定位中心大约在 X=950mm；Y=2950mm；Z=2600mm 的位置，由检测方向看去，该位置是变压器的右上角<sup>[2]</sup>。

查找相关的历史试验报告，1 号主变 C 相油色谱分析报告结论为氢气含量异常升高且超过“注意值”（见表 3）。常规的高压局部放电试验结果显示 1 号主变 C 相局放量偏大，但该放电是非破坏性的<sup>[4]</sup>，对变压器安全运行影响不大。

本次声发射检测结果与油色谱分析及常规高压局放试验的结果基本吻合，但更准确的声发射检测结

果应通过 24 小时的整个负载周期检测来获得。声发射检测结果给出了 1 号主变 C 相局部放电的三维定位，弥补了两种常规试验方法的不足。

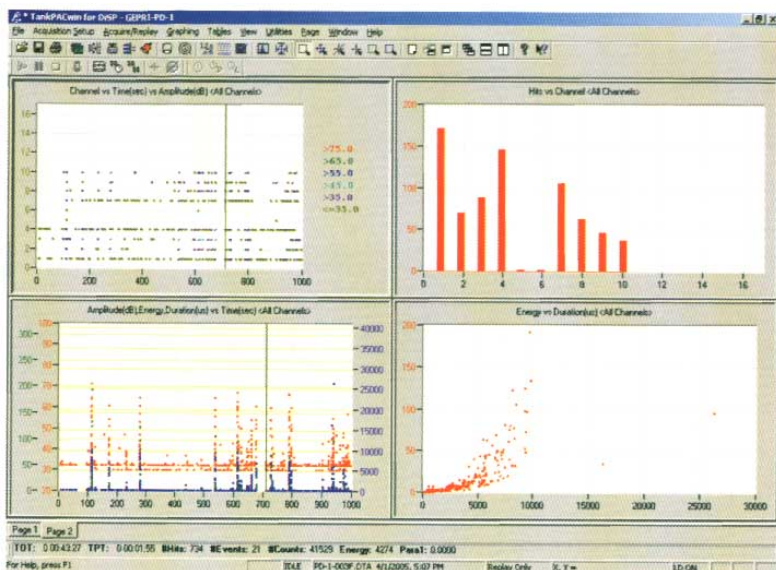


图 2 增城 1 号主变 C 相检测参数图

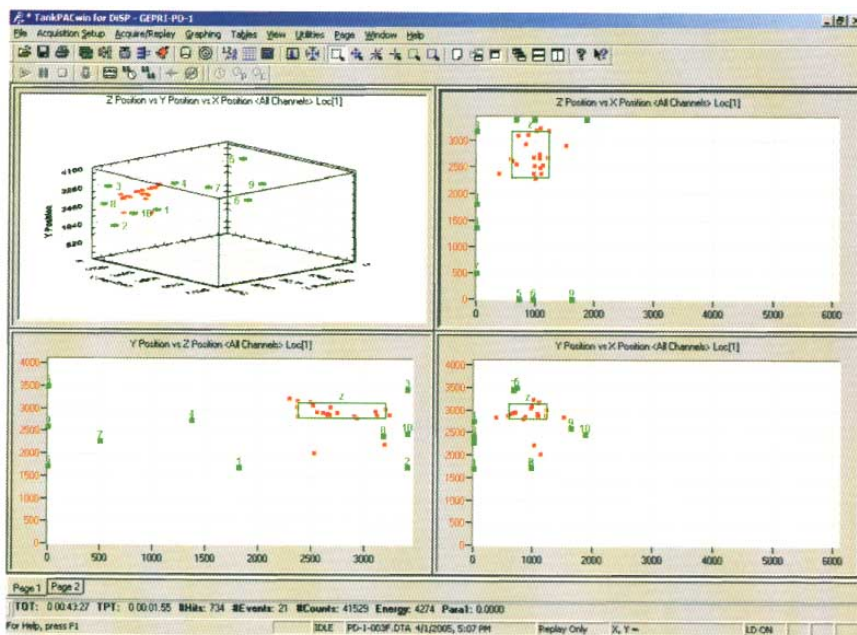


图 3 增城 1 号主变三维局放定位及二维投影图

### 3.4.2 增城站 3 号主变 C 相 AE 数据分析

3 号主变 C 相的声发射检测时间相对较长（约 2 小时），背景噪声约为 30dB 的水平，在整个检测过程中未发现明显的突发性、高幅度 AE 信号。通过对数据进行特征指数与撞击谱分析，表明除在第 12 通道曾瞬间出现过幅值很低的疑似 PD 特征信号外，整个 2 小时的检测显得相当平静。对所收集到的

各种信号进行 3D 定位分析, 未发现有任何可定位的疑似特征信号<sup>[9]</sup>, 变压器没有局部放电征兆。

表 3 增城 1 号主变 C 相油色谱分析 (μL/L)

日期	氢 H <sub>2</sub>	甲烷 H <sub>4</sub>	乙烷 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	乙烯 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	乙炔 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	一氧化碳 CO	二氧化碳 CO <sub>2</sub>	总烃 C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>
20040210	810.0	62.8	4.8	0.3	0	103.0	994.0	67.9
20041013	1172.0	100.3	7.6	0.5	0	187.0	1617.0	108.4
20050331	1637.0	129.5	11.4	2.5	0	188.0	1343.0	143.4

2005 年 3 月常规的局放试验显示, 3 号主变 C 相高、中压侧存在间歇性局部放电, 起始放电电压为  $1.25U_m/\sqrt{3}$ , 放电熄灭电压为  $1.0U_m/\sqrt{3}$ 。反复降压、升压后, 起始放电电压有所降低, 在  $1.0U_m/\sqrt{3}$  电压下放电熄灭。在  $1.3U_m/\sqrt{3}$  试验电压下中压侧局放量 6000pC、高压侧局放量 4000pC<sup>[6]</sup>。以上数据显示变压器在加压时存在局放现象, 但放电的起始、熄灭电压都高于其自身正常运行电压, 说明变压器在正常运行电压下应该没有局部放电现象发生。

该主变以前油色谱分析曾存在总烃超“注意值”, 但无乙炔产生, 油色谱分析表明变压器无局部放电迹象, 与本次声发射检测结果相符。

#### 4 结论

1) 声发射检测系统可有效应用于大型变压器局部放电的实时在线带电检测, 能够对一个或多个局放源进行区域定位与三维定位。

2) 经在线检测, 增城 1 号主变压器 C 相出现与声发射有关的特征信号(不过 PD 发生的频度很低), 说明该相在正常负荷状况下存在局部放电现象。

3) 增城 3 号主变压器 C 相 AE 检测未获得明显的局放信号, 也未出现可定位的任何特征信号。虽然常规 PD 试验显示存在间歇性放电, 但因放电电压高于变压器的正常运行电压, 说明该相在正常负荷状况下不存在局部放电现象。

4) 本次检测时间远短于 AE 检测程序推荐的时间, 不能完整反映一个负载周期的局放状况, 建议安排对 1 号主变 C 相进行连续 24 小时的在线 AE 检测。

#### 参考资料

- [1] 林介东, 胡平. 声发射技术测量变压器局部放电的现状与进展, 广东电力, 2005, (1) .
- [2] 林介东, 胡平等. 增城变电站 1 号变压器 C 相声发射检测报告 [R]. 广州: 广东省电力试验研究院, 2005. 4.
- [3] 林介东, 胡平等. 增城变电站 3 号变压器 C 相声发射检测报告 [R]. 广州: 广东省电力试验研究院, 2005. 4.
- [4] 曾德枝, 林春耀等. 500kV 增城变电站 1 号主变局放试验报告 [R]. 广州: 广东省电力试验研究院, 2004. 6.
- [5] 林春耀, 庞小峰等. 500kV 增城变电站 3 号主变局放试验报告 [R]. 广州: 广东省电力试验研究院, 2005. 3.

#### Acoustic Emission Detection of Power Transformers in 500kV Zengcheng Substation

Lin Jiedong Hu Ping Ma Qingzeng Nie Ming Dong Zhongli  
(Guangdong Power Testing and Research Institute, Guangdong, Guangzhou, 510600)

**Abstract:** In this paper, detection of partial discharges in power transformers using PAC acoustic emission system is introduced. Application in 500kV Zengcheng substation proves that this technology is feasible.

**Keywords:** Power transformer, Partial discharges, Acoustic emission, Detection

# 500kV增城变电站变压器的声发射检测

作者: [林介东](#), [胡平](#), [马庆增](#), [聂铭](#), [董重里](#)  
 作者单位: [广东省电力试验研究院, 广东广州, 510600](#)

## 相似文献(10条)

### 1. 会议论文 [王景林, 郑易谷, 陈宇民](#) [从变压器传递关系来分析变压器的局部放电](#) 2004

近几年来随着变压器制造技术改进及材料不断创新,以及变压器制造工艺规范化;因此变压器一般的缺陷都能在出厂前就被检测到并被消除掉。因此按照GB50150-1991《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》规定,对220kV及以上电压等级的变压器在投运前必须进行变压器局部放电试验,主要本所通过变压器局部放电试验,检出某电厂一台220kV变压器低压套管缺陷,(出厂时局部放电试验合格)经查实该套管绝缘油已全部漏光。

### 2. 期刊论文 [赵三平](#) [浅谈变压器的局部放电](#) -科教文汇2009,“(21)

我国大量生产各种型号的变压器,并正跻身变压器生产发达国家行列,而变压器的高质量是以高安全为第一要素,如何解决变压器的局部放电难题是目前变压器行业的重要问题。笔者针对油浸式变压器的局部放电问题,提出局部放电的物理原理,寻找各种类型局部放电的原因,关注局部放电的各种典型危害,总结出预防和避免局部放电的工艺策略和诸种有效实际措施。

### 3. 学位论文 [毕为明](#) [变压器局部放电监测中以小波包去噪和统计量识别放电模式的研究](#) 2003

局部放电是变压器内绝缘劣化的重要原因,也是反映变压器绝缘状况的重要征兆,变压器局部放电在线监测及模式识别是检测内绝缘缺陷变压器及评价绝缘状况的重要方法,其最大的难题是如何消除现场的各种干扰,并提取被测局部放电信号特征及进行放电模式识别。本文在分析国内外电力变压器局部放电在线监测的干扰抑制和模式识别有关技术的基础上,作者对局部放电信号在绕组中的传播特性、小波包变换抑制周期性窄带和白噪干扰、统计特征量的提取、以统计特征量识别放电模式方法等进行了系统研究。

(1)以Saber为工具,建立了变压器绕组及其所联网络和设备的暂态模型,研究了局部放电信号在其中传播的频率特性。分析了绕组的外联网络、不同的监测点、低压绕组、中性点接地方式等对局放信号幅度、频谱的影响,为局部放电在线监测频带、监测点的选择以及局放的定位提出了具体的建议。

(2)研究利用小波包变换的频域分割特性,将信号信息测度的香农熵作为局部放电信号的小波包变换树节点存在周期性窄带干扰与否的判据,首次提出了用于抑制局部放电在线监测中周期性窄带干扰的小波包变换熵阈值法。并对局部放电信号的采样率、脉冲波形、衰减时间常数、时间间隔、基小波的选取、干扰的中心频率和数目、熵阈值以及信噪比等对小波包变换抑制窄带干扰处理效果的影响进行了仿真研究及实例分析,其结果表明小波包变换熵阈值法抑制周期性窄带干扰能力强,无需事先确定干扰的分布,能够准确检测局部放电信号的相位信息。

(3)将基于小波包变换的非平稳信号消噪算法应用于局部放电在线监测抑制白噪干扰,通过研究其对不同局放波形、采样率、噪声水平下的处理效果,首次提出了理想白噪条件下提取局部放电信号的 $\sigma \rightarrow f$ 曲线,分析了各种因素对该算法下信号失真影响。

(4)深入研究了局部放电各种指数谱图特征参数的提取方法,提出用Weibull模型分析局部放电的脉冲幅值分布 $n$ - $q$ 谱图,引入尺度参数 $\alpha$ 和形状参数 $\beta$ ,提出用最小二乘法估计两参数的Weibull模型参数,用优化模型估计混合Weibull模型参数。对单一放电情况和混合放电情况作了详细分析,总结了各种放电类型的Weibull参数分布情况。比较了局部放电的脉冲相位分布 $\psi$ - $q$ 谱图和 $\psi$ - $n$ 谱图的差异,并计算了各类放电对应的统计量子95%置信区间。对上述特征参数采用聚类分析的方法来识别局部放电类型,识别结果表明新引入的Weibull参数能很好地反映局部放电类型和放电程度。

以上研究表明,小波包分析适用于去除周期性窄带干扰和白噪干扰,有效、准确、稳定;对检测到的局部放电信号提取统计特征量,并用聚类分析的方法来识别局部放电类型,获得了良好的识别效果。

### 4. 会议论文 [林志明, 王勇, 黄炎光, 李健](#) [变压器超声波局部放电检测和定位技术应用](#) 2007

本文提出了开展变压器局部放电检测是诊断变压器健康状况的一个重要手段;变压器超声波局部放电带电检测和定位技术在查找变压器缺陷方面优点显著,具有很好的应用发展前景。论述了变压器超声波局部放电检测方法和定位原理,对美国物理声学公司DISP-24测试系统的应用实践作了介绍;通过两例变压器超声波局部放电检测的应用体会,提供了有参考价值的信息资料 and 实践经验,对推广变压器超声波局部放电检测和定位技术的应用将会起到促进作用。

### 5. 期刊论文 [高红武, 李剑, 程昌奎, 金卓睿, 王有元, GAO Hong-wu, LI Jian, CHENG Chang-kui, JIN Zhuo-ru, WANG](#)

#### [You-yuan](#) [油纸屏障对变压器局部放电超高频检测信号的影响](#) -高压电器2009, 45(4)

受变压器内部复杂结构的影响,局部放电超高频信号在变压器内部的传播特性非常复杂。笔者通过变压器局部放电超高频实验研究,分析了油纸屏障对变压器局部放电超高频信号的影响。设计了油中气隙放电、油中沿面放电和油中电晕放电3种局部放电模型,在实验油箱中进行局部放电实验,采用超高频小环天线进行放电信号检测,在有油纸屏障情况下获得了局部放电超高频信号实测数据,对所测局部放电超高频信号在时域和频域上进行了对比分析。结果表明,油纸屏障对超高频信号幅值衰减及信号功率谱有一定影响。

### 6. 期刊论文 [李剑, 宁佳欣, 金卓睿, 王有元, 李溟, LI Jian, NING Jia-xin, JIN Zhuo-ru, WANG You-yuan, LI Ming](#)

#### [压器局部放电在线监测超高频Hilbert分形天线研究](#) -电力自动化设备2007, 27(6)

论述了Hilbert分形天线基本原理,并根据分形天线电磁场理论,提出了应用于变压器局部放电超高频在线监测的Hilbert分形天线优化设计方法。通过仿真计算,研究了几何参数对Hilbert分形天线性能的影响,设计出用于变压器局部放电监测的3阶Hilbert分形天线。通过气隙放电、沿面放电、电晕放电3种典型变压器绝缘缺陷局部放电实验,采用分形天线和脉冲电流传感器对这3种局部放电进行了测量,并分析了分形天线的局部放电测量信号功率谱。实验结果证明该天线能够有效应用于变压器局部放电超高频在线监测。

### 7. 学位论文 [焦翠坪](#) [变压器局部放电模式识别的研究](#) 2002

该论文进行的是变压器局部放电模式识别方面的研究。模式识别是90年代初应用于局部放电测量的,模式识别的方法很多,该文主要研究使用人工神经网络对变压器典型模型及变压器产品的识别结果。该文首先建立了一套局部放电数字化测量系统,实现局部放电信号的采集、显示与处理等。文中对硬件、软件的使用方法、原理进行了说明,还介绍了采用FFT滤波和时域多带通滤波消除局部放电信号中的窄带干扰。文中对变压器的绝缘结构进行了分析,总结了变压器产生局部放电的典型结构及因素。针对变压器局部放电的特点,设计了变压器的试验模型并进行了变压器典型模型的试验。模型分为四大类,每一大类包括3~5小类,列举了各个模型试验的二维( $q$ - $t$ )图形和三维( $w$ - $q$ - $n$ )谱图,并对各类模型的试验结果进行了分析。以三维谱图的表列数据作为特征量,采用人工神经网络对变压器的典型故障模型进行了识别研究,结果说明:经过训练的人工神经网络对变压器局部放电的类型及程度有良好的识别能力。文中建立了基本模式库,为变压器产品局部放电类型判断提供有力的支持。最后使用人工神经网络对电流互感器、工频试验变压器所产生的局部放电类型进行了识别,结果比较满意。

### 8. 会议论文 [王娟, 刘云鹏, 蒋庆云, 律方成, 尤少华](#) [基于虚拟仪器的变压器局部放电超高频在线监测系统](#) 2007

本文研究了变压器局部放电超高频在线监测系统。基于包络检波技术分析了局部放电超高频信号的提取原理,研制了系统硬件。基于虚拟仪器技术开发了系统软件,它分为数据采集、数据存储、数据打开显示和局部放电谱图分析四大功能模块。在实验室中检测了变压器五种典型放电模型的局部放电,结果表明:该系统具有测量频带宽、抗干扰能力强、工作稳定性好等优点,可以很好地满足变压器局部放电在线监测的要求。

### 9. 会议论文 [万官泉, 陆国俊, 黄炎光, 袁强](#) [变压器带电局部放电诊断系统仿真测试分析](#) 2007

论述了DISP-24变压器局部放电测试系统的特点以及局部放电仿真模型的结构原理,通过灵敏度测试、定位准确度测试等来验证DISP-24测试系统的性

能指标, 以及通过模拟现场变压器局部放电超声波检测, 总结出一些现场变压器局部放电超声波检测的指导性意见, 更好地进行局部放电检测。

10. 期刊论文 [刘蓉 超声技术在变压器局部放电检测中的应用](#) - [电子元件应用](#)2009, 11 (6)

对比了变压器局部放电的几种检测方法, 简要介绍了利用超声技术测量变压器局部放电的原理, 详细阐述了变压器局部放电超声定位系统的设计方法. 结果表明, 利用超声法测量变压器局部放电比其它方法更为有效.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_6310552.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6310552.aspx)

下载时间: 2010年5月27日