

# 旗下营 500kV 变电站变压器的声发射检测

马庆增 吴爽登 胡平

**摘要:** 本文介绍了声发射 (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, 对内蒙古旗下营 500KV 变电站 3 号主变的 B 相进行了检测, 并对检测结果进行分析, 分析了局放产生的原因。检测结果表明: 检测结果表明, AE 检测结果与油色谱分析及常规高压 PD 试验的结果基本吻合, 且能够对 PD 源进行区域定位和三维定位, 声发射检测系统可有效应用于大型变压器 PD 的实时在线带电检测。

**关键词:** 变压器; 局部放电; 声发射; 检测

## 1 引言

变压器是输变电系统中最重要的设备之一, 其运行状况直接影响电网安全运行。对实际故障的统计分析表明, 绝缘故障是影响变压器正常运行的主要原因。目前 110KV 及以上等级的大型电力变压器仍主要采用油纸绝缘结构, 绝缘故障常常起源于局部放电造成的油纸绝缘劣化及老化。因此, 需要加强对大型电力变压器的绝缘监督工作, 预防和避免变压器在运行中突发绝缘事故, 寻找有效的检测方法和手段也显得越来越重要, 变压器局放诊断是判断变压器运行状态的重要手段。

## 2 绕组局部放电故障类别及产生原因

变压器局部放电的基本原因是绝缘中某一部分受到过高的放电场强作用, 使绝缘老化而放电, 局部放电是变压器其他电气故障的先兆, 如不及时解决, 将引发出变压器油及绕组绝缘一系列故障, 导致绝缘击穿[1][3]。

### 2.1 故障类别

- ①绕组内部放电;
- ②绕组引出线同瓷套管间局部放电;
- ③套管本身局部放电;

### 2.2 产生原因

- ①绕组内部放电主要原因是绕组或变压器油受潮引起或受到水分的侵入, 绕组间铁芯或箱壁间绝缘距离小, 绕组内部焊接不良或接触不良;
- ②绕组引出线同瓷套管间局部放电, 主要原因是二者联结质量不佳;
- ③套管本身局部放电; 主要原因是瓷套裙边上积沉的油污多; 又如油纸电容式套管组装后由于密封不严, 有潮气或水分侵入的结果;
- ④悬浮电位的金属体及杂质;
- ⑤油中存在杂质和气泡;
- ⑥突出的金属电极放电。

## 3 局部放电检测方法

常规的电力变压器局部放电检测方法有脉冲电流法、超声波法、无线电信号法 (RIV 法)、射频检测法、超高频检测法等。

在带电检测局部放电的方法中, 超声波法的应用越来越广泛, 它已经成为检测变压器局部放电的一个重要手段, 超声波法检测局部放电具有以下优点: 一是受电气干扰少; 二是在带电的状态下进行检测, 变压器不需要停电, 需要的人力物力较少; 三是可以随时进行检测, 随时跟踪分析绝缘缺陷, 对预防和避免变压器绝缘损坏事故提供了安全保障; 四是可以对变压器内部的局部放电源进行准确定位, 对缺陷部位和缺陷性质的判断提供依据, 为检修提供方便和节约成本。

## 4 声发射检测原理

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。当变压器发生局部放电故障时，除了存在着电荷的转移和电能的损耗之外，在放电的区域中，分子间还会产生剧烈的撞击，这种撞击在宏观上就产生了一种压力，由此产生声波。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因此我们可以通过测量局部放电产生的声波，来检测局部放电的大小，并根据被动声测原理对变压器的内部放电源予以定位。

局部放电发生时，其产生的超声波特征信息幅度值、能量、持续时间、定位点等一般会分布在特定的区间，或显示特定的模式（如特征指数图和撞击谱图），或集中于某一特定的空间（如三维定位）。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。

根据美国 PAC 公司应用 DISP-24 超声波局放测试系统的实践经验总结，变压器发生局部放电时，其产生的超声波信号幅度值一般分布在 40dB-90dB 之间，能量值在 0-500aj 之间，持续时间在 10 μ S -3000 μ S 之间。不排除某些局放产生的超声波信号的特征信息值在此范围之外。专门用于变压器局部放电信号分析和处理的 PDD-Mate 软件通过简单的图示化分析方法对局部放电信号进行分析和处理，所得到的特征指数图和撞击谱图是与工频信号有关的特征模式，根据不同的图形显示就可以判断变压器的局部放电状态，不同状态下的特征图谱见图 1-9[2]。

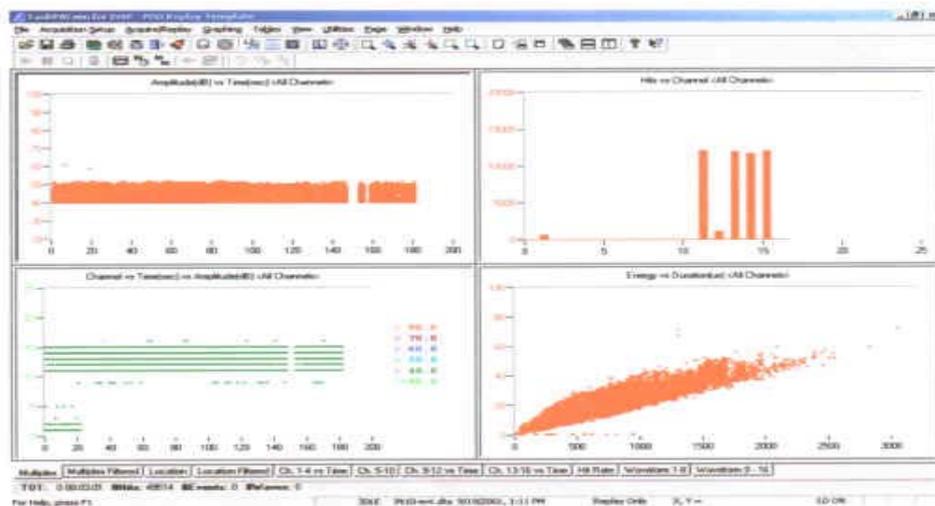


Figure 13. AE features detected on a transformer with clear PD feature

图 1 有明显放电的特征信息图

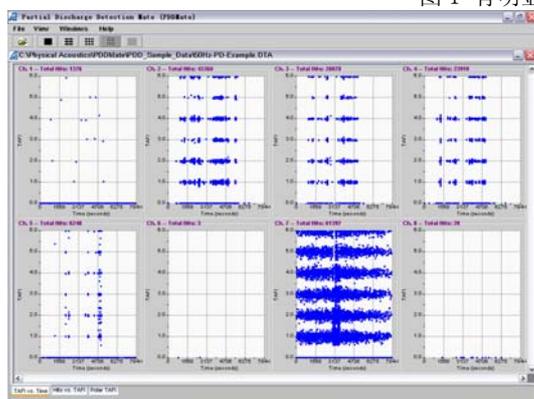


图 2 有明显放电的特征指数图

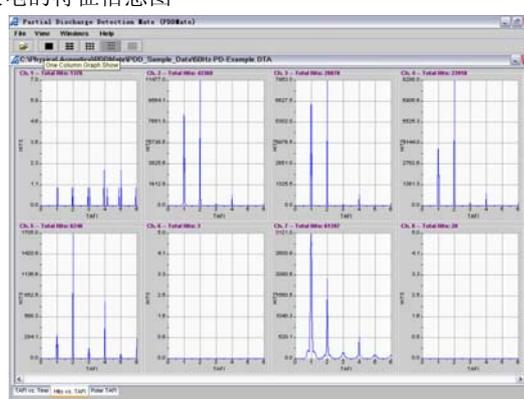


图 3 有明显放电的撞击图谱

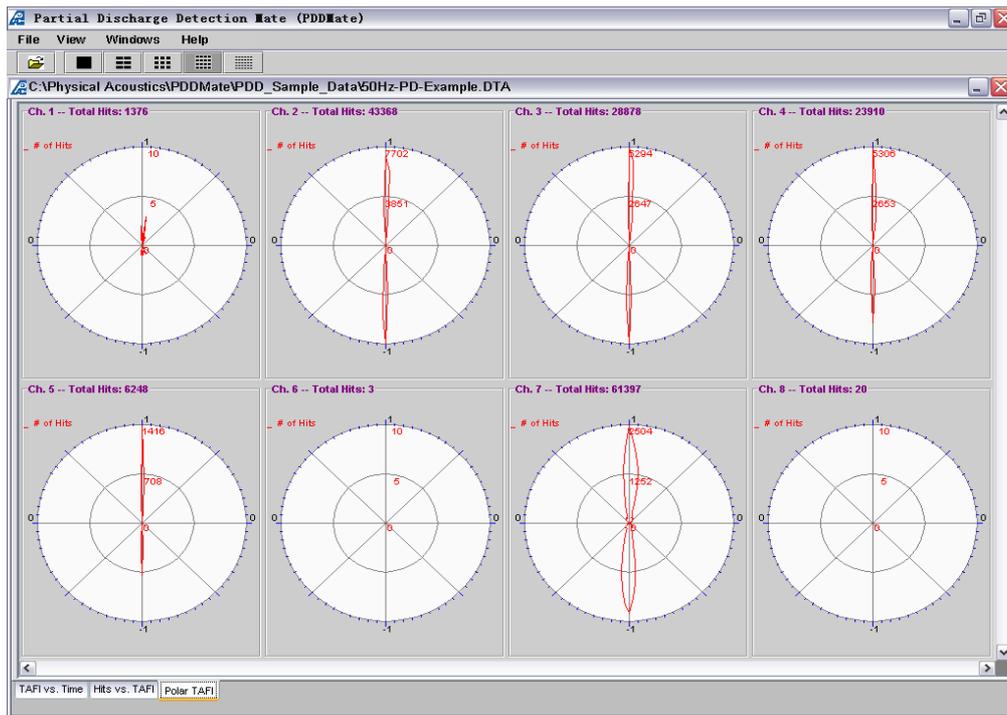


图 4 有明显放电的极坐标图谱

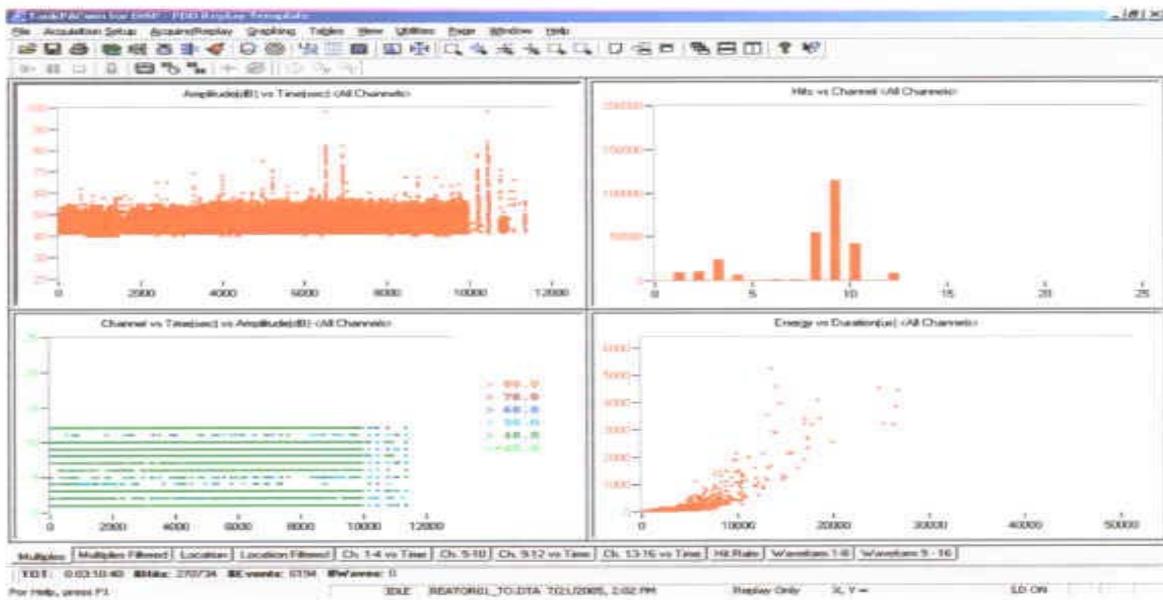


Figure 16. AE features detected on a transformer with weak PD feature

图 5 有弱放电的特征信息图

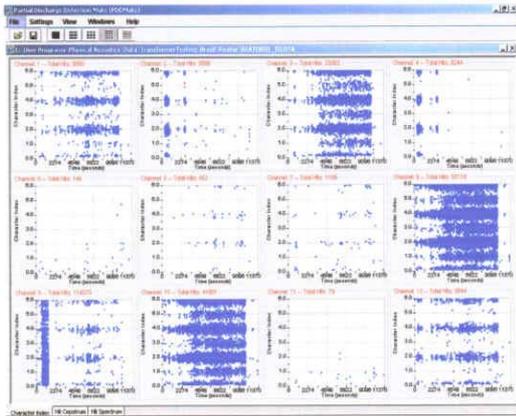


Figure 17. Character Index obtained on a transformer with weak PD feature

图 6 有弱放电的特征指数图

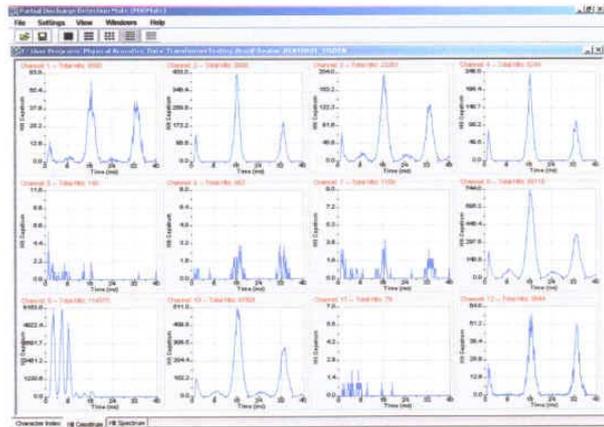


Figure 18. Hit Cepstrum obtained on a transformer with weak PD feature

图 7 有弱放电的撞击谱图

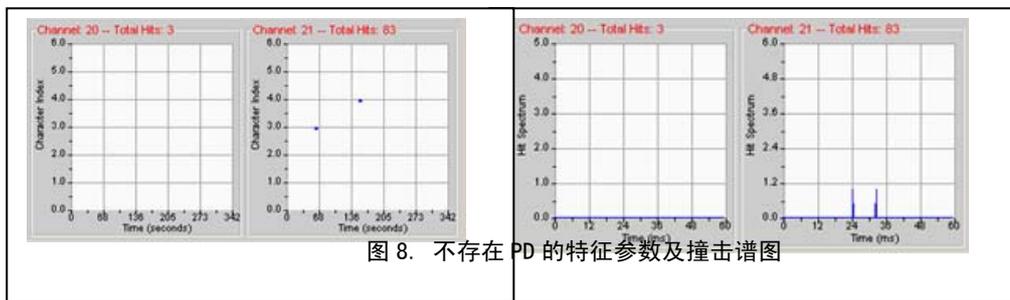


图 8. 不存在 PD 的特征参数及撞击谱图

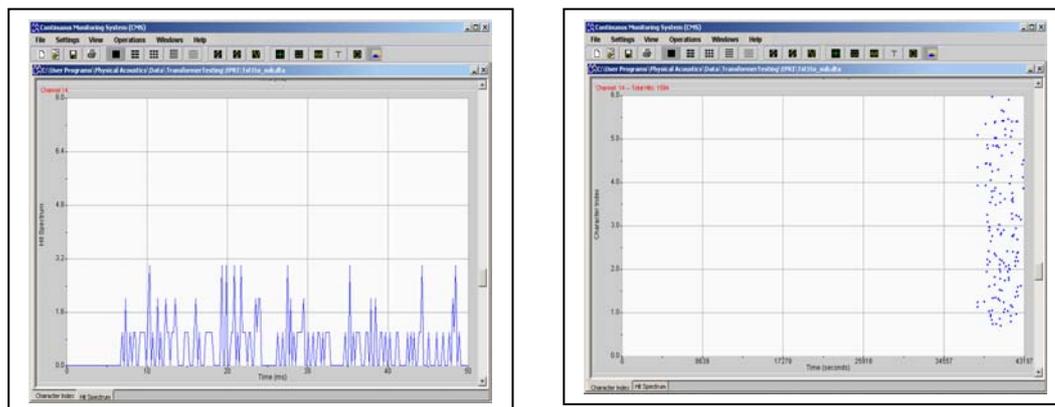


图 9. 变压器风扇工作时的特征指数及撞击谱图

## 5 检测前准备

## 备

内蒙古旗下营口 500kV 变电站 #3 主变 B 相在试运行中氢气含量超标并含有微量乙炔，制造厂根据电抗器运行中的油色谱报告分析认为该电抗器的绝缘件存在受潮问题，建议进行现场干燥处理，处理后在正式投运后进行了本次检验。

### 5.1 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。

### 5.2 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。

### 5.3 传感器性能检查

使用 0.5 mm 在距传感器中心大约 100—140mm 处进行断铅 (PLB) 试验，三次断铅信号的平均幅度值应高于 75 dB，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 (PLB) 试验的补充。

### 5.4 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—40 dB，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。

## 6 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 检测了 10 个小时。

旗下营 3 号主变 B 相的 AE 检测，安装 16 个传感器于变压器油箱外壁的四周，检测时间从下午 5:30 至第二天上午 8:22，检测过程中发现，变压器局部位置有较弱的声发射现象。

### 6.1 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。

## 6.2 检测参数设置

内蒙古旗下营 3 号主变 B 相的声发射检测参数设置见表 1。

表 1 旗下营 3 号主变 B 相声发射检测参数设置

	AE Channel	Threshold			Pre-Amp	Analog Filter	
		Type	dB	FTBnd	dB	Lower	Upper
3 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
	4	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	5	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	6	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	7	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
	11	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	12	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	13	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	14	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	15	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz
	16	FIXED	35	6	40	100kHz	400 kHz

## 6.3 传感器布置

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 10。传感器位置座标见表 2。

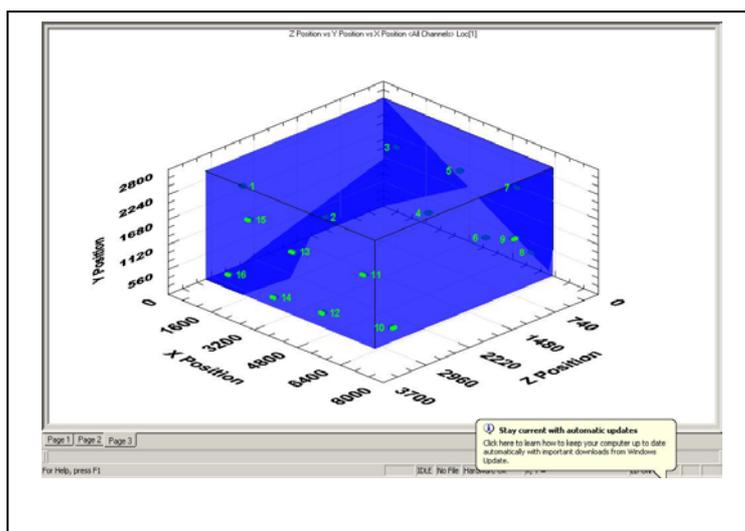


图 10 旗下营 3 号主变 B 相传感器位置坐标示意图（单位：mm）

## 6.4 数据分析

利用局放检测伙伴软件（PDDMate），即撞击谱（Hit Spectrum）及特征指数（Character Index）图示化分析方法，直接对 AE 信号处理。图 11 为旗下营 500kV 变电站 3 号主变 C 相 AE 检测数据参数图，图

中左上小图为各个通道撞击幅值随时间的变化历程；左下小图为所有通道幅值随时间的变化图；右上小图为所有通道的能量与持续时间的特征关系图；右下小图为每一个通道的撞击数。图 12 为 3 号主变 B 相声发射试验数据的特征指数图，图 13 为 3 号主变 B 相声发射试验数据的撞击图谱，图 14 为 3 号主变 B 相声发射试验数据的极坐标图谱。

表 2 旗下营 3 号主变 B 相传感器位置坐标

Channel	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	1750	2420
2	0	310	1020
3	540	1465	0
4	1690	220	0
5	2840	1500	0
6	3820	240	0
7	5020	1670	0
8	5550	320	0
9	6310	1200	680
10	6310	320	2760
11	5890	1570	3060
12	4360	330	3060
13	3250	1420	3060
14	2550	230	3060
15	1610	1740	3060
16	870	330	3060

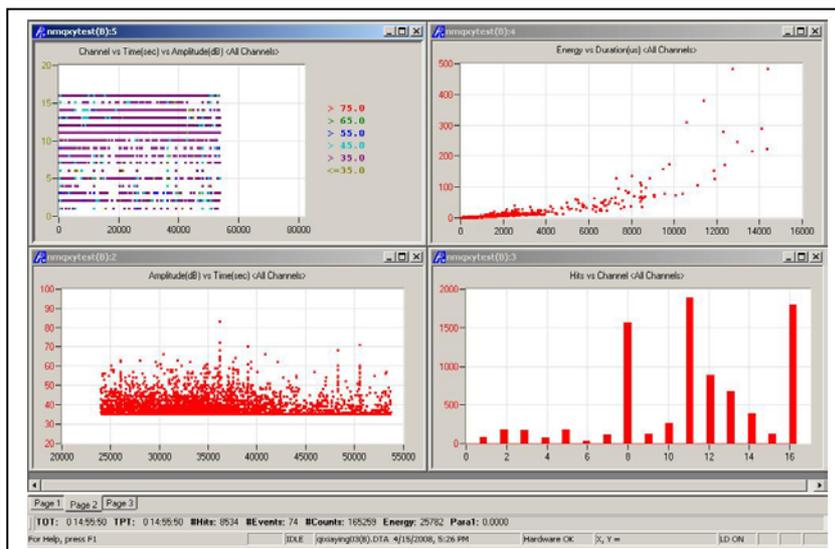


图 11 旗下营 3 号主变 B 相检测参数图

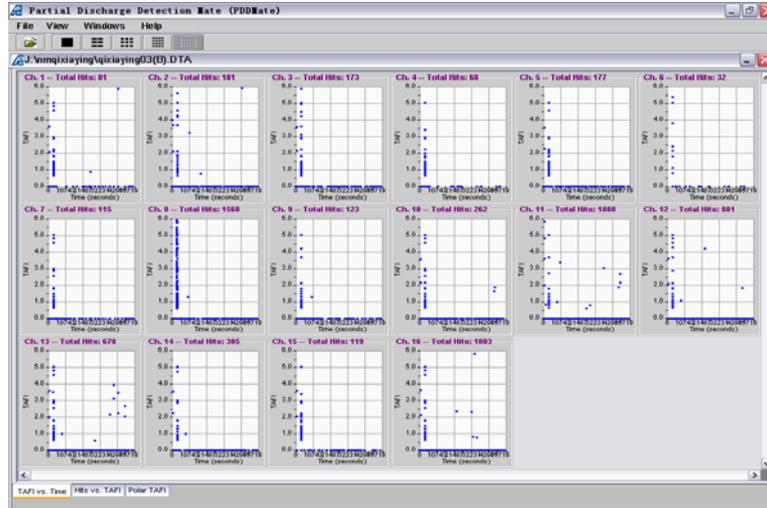


图 12 旗下营 3 号主变 B 相声发射试验数据的特征指数图

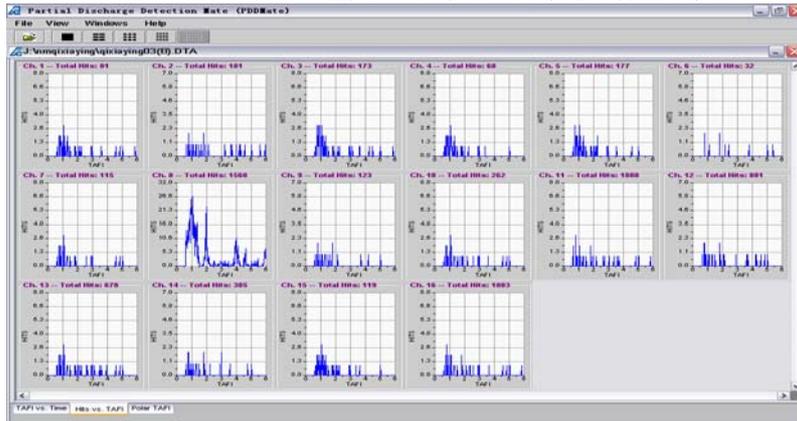


图 13 旗下营 3 号主变 B 相声发射试验数据的撞击图谱

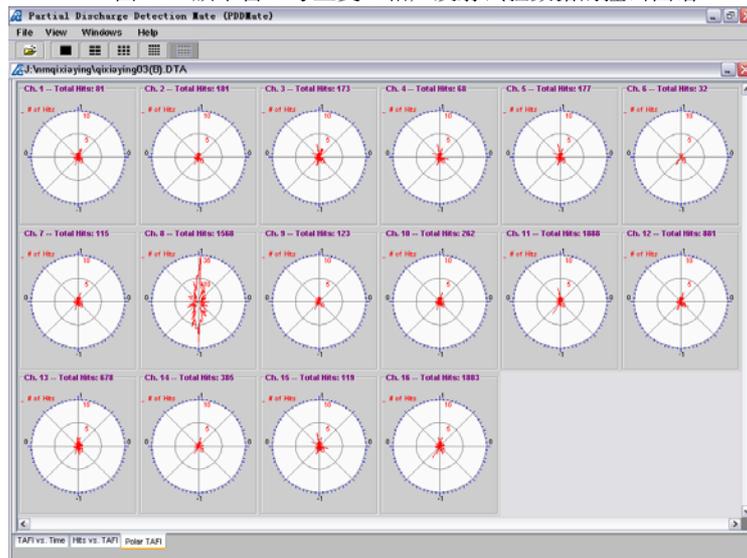


图 14 旗下营 3 号主变 B 相声发射试验数据的极坐标图谱

由以上图谱可以看出，超声波局放系统检测到弱放电信号，放电的幅值较低（ $\leq 55\text{dB}$ ），检测到比较多信号的主要是 8、11、12、16 通道，且在开始阶段定位较多，在凌晨 2 点后定位信号消失，怀疑由于变压器是刚刚投入运行，在其内部部件表面可能存在一些毛刺，这些毛刺在开始阶段形成了局部放电源进行放电，后由于电抗器的自清洁作用，毛刺消失，定位信号随之消失。

## 7 结论

7.1 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。

7.2 经在线检测，旗下营 3 号主变压器 B 相出弱放电信号（不过 PD 发生的频度很低）。

7.3 变压器生产过程中要经常检查毛刺，发现毛刺过大要立即清除，将毛刺控制在允许范围内。

7.4 由于变压器局部放电原因复杂，并不能明确确定放电原因，因此需加强监测 3 号主变 B 相油气体含量，缩短化验周期，必要时进行检修。

### 参考资料

- [1] 赵家礼、张庆达等编著. 变压器故障诊断与处理, 机械工业出版社, 1998
- [2] 广东电网公司广州供电局, 变压器带电局部放电诊断的研究与应用项目应用报告
- [3] 岳桂芳., 局部放电产生原因及分析, 机械工程与自动化, 131 (4), 2005, 107—108

### 作者简介

马庆增, 1971 年 2 月, 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事无损检测工作。

通讯地址: 广州市越秀区梅花路 73 号广东电网电力科学研究院金属室

邮编: 510600

电话: 020—85123429

传真: 020—87318127

电子邮箱: [maqingzeng@gddky.csg.cn](mailto:maqingzeng@gddky.csg.cn) 或 [madonald@21cn.com](mailto:madonald@21cn.com)