

**ZX-OWTS**  
震荡波局放测试系统



## 目 录

一、目的和意义.....	- 2 -
二、国内外研究水平综述.....	- 3 -
三、系统工作原理.....	- 6 -
四、技术指标.....	- 8 -
五、系统硬件安装及现场试验.....	- 9 -
六、系统现场检测案例.....	- 13 -
七、售后服务.....	- 16 -

## 一、目的和意义

近十年来，我国城市电网中大量采用 XLPE 电力电缆输配电。交联电缆在当前中国乃至世界的电力系统中有着至关重要的地位，在 220kV 以下的领域已经全面取代其他电缆，成为城市内传输电力的主导产品，500kV 的交联聚乙烯电力电缆也开始挂网试运行，我国的电力设备制造能力有了很大的进步。

在 60 年代初问世以来的 40 余年中，由于交联聚乙烯（XLPE）电缆具有良好的电性能和热性能并且结构简单，制造周期短，工作耐受温度高，无油，敷设方便，供电安全可靠、有利于美化城市等优点，因而被广泛应用于电力系统的各个电压等级中，但是这种电缆的绝缘结构中往往会由于加工技术上的难度或原材料不纯而存在气隙和有害性杂质，或者由于工艺原因在绝缘与半导体屏蔽层之间存在间隙或半导体向绝缘层突出，在这些气隙和杂质尖端处极易产生局部放电，同时在电力电缆的安装和运行过程当中也可能产生各种绝缘缺陷导致局部放电。当它使用到一定年限后局部放电继续发展到一定程度导致绝缘击穿而造成电网事故，其主要原因是由于 XLPE 等挤塑型绝缘材料耐放电性较差，在局部放电的长期作用下，绝缘材料不断老化最终导致绝缘击穿，造成严重事故。因而对交联聚乙烯电缆绝缘缺陷局部放电检测方法的研究就显得尤为迫切，及时、准确地检测到电缆绝缘隐患，就可以及时采取必要的应对措施，减少突发事故等带来的经济损失具有十分重要的现实意义。

因此对电力电缆及其接头进行局部放电检测和定位研究有着重要的意义和经济价值。IEC 及世界各国都制定了相关的局部放电测试标准，通过对局部放电的检测及时发现绝缘系统中的薄弱环节，找出故障原因，保证电力电缆质量，保障电力系统安全可靠运行。国际大电网（CIGRE）也在 2009 年成立了电缆及接头现场局放检测技术的工作组，对该方面技术发展进行研究梳理。

局部放电是电力电缆运行中的一个较大的安全隐患，是电缆绝缘劣化的征兆，也是造成绝缘劣化的重要原因之一，局部放电测量用于现场测量时，外部噪声干扰严重，测量很困难。ZX-OWTS 电缆振荡波局放检测及故障定位系统是基于变频谐振的阻尼振荡波电压下的 XLPE 电缆局部放电现场检测及定位技术研究，设计生产符合现场测试要求的阻尼振荡波电源；针对 XLPE 电缆及其接头中局部放电信号的传播方式和规律，研究电缆及其接头局部放电信号的提取技术，设计符合现场测试要求、参数优化、性能良好的局放检测传感器，并选用先进的数字信号处理方法对测试数据进行分析处理，进而进行 XLPE 电力电缆局部放电的准确定位，为更准确判断电缆及其接头绝缘状况提供参考依据。

本设备可用于 10kV 及以上电力电缆进行现场交流耐压试验、局部放电现场检测及故障定位。本系统满足目前电力系统市场需求和现运行的电缆基本都进入“中年期”需要及时的检测和维修，本设备将耐压试验、局放检测、故障定位等功能集一身，极大的简化了系统设备运输、现场试验安装、降低了试验成本。带来丰厚的经济效益和科研价值。

## 二、国内外研究水平综述

局部放电试验是挤塑型绝缘电力电缆非破坏性电气检验的主要项目，其与电力电缆绝缘状况密切相关，预示着电缆绝缘存在可能危及电缆安全运行寿命的缺陷，也是被国内外的专家学者以及 IEEE、IEC、CIGRE 等国际电力权威机构组织一致推荐的评价 XLPE 电缆绝缘状况的最佳试验方法。从上世纪 50 年代后期开始，世界各国纷纷致力于高灵敏度、宽频带放大检测器的开发来对电缆绝缘进行局部放电测量。

局部放电的发生会伴随着很多物理、化学效应，并产生相应的声、光、热

以及放电生成物等。以局部放电所产生的各种现象为依据，通过能表述该现象的物理量的测量来表征局部放电的状态。至今，国内外出现的电缆局部放电测试方法主要有脉冲电流法、无线电干扰电压法（简称 RIV 法）、差分法、方向耦合法、电容耦合法、电感耦合法、超声波检测法等。IEC 及世界各国都制定了电缆相关的局部放电测试标准，如 IEC60885-3（对应的国标为 GB/T3048.12-94）推荐的脉冲电流法，可对电缆进行定量检测。

对电力电缆及其接头进行局部放电检测和定位研究有着非常重要的意义和经济价值。通过对局部放电的测量及时发现绝缘系统中的薄弱环节，找出故障原因，保证电力电缆质量，保障电力系统安全可靠运行。国际大电网（CIGRE）也在 2009 年成立了电缆及接头现场局部放电检测技术的工作组，对该方面技术发展进行研究。

局部放电是电力电缆运行中的一个较大的安全隐患，是电缆绝缘劣化的重要征兆，也是造成绝缘老化的重要原因之一。电力电缆局部放电现场测量时，由于环境复杂，外部噪声干扰严重，测量会比出厂实验时困难许多。尤其是在离线状态下对电力电缆进行局部放电测量时，就必须有便携式电源对其进行施压。目前国内外开展的局部放电现场检测的电源类型主要有：工频正弦波电源，超低频电源和阻尼振荡波电压源。针对以上三种电源方式下相应的局部放电检测主要为：工频正弦波电压下的 PD 检测、超低频电压下的 PD 检测和阻尼振荡波电压下的 PD 检测（Damped AC Voltage Testing，简称 DAC）。

#### 1. 工频电压下局放检测设备

工频电压下局放检测设备是最理想的试验设备，但在试验时需要有很大功率的设备才能进行，这便造成了所需试验电源质量和体积的增大，当电缆较长时因设备太笨重便无法实施 PD 检测，因而电力电缆在工频电压下的 PD 现场检

测较为困难。工频电压下检测设备的笨重，不易现场检测。

## 2. 超低频电压下局放检测设备

超低频电压下的局部放电测试中所用的超低频电源为 0.1Hz 正弦波电源，此电源理论上可以将试验变压器的容量降低到 1/500，因而试验变压器的重量可大大降低，可以较容易地移动到现场进行试验。超低频电源可长期对被试电缆施加恒定电压，始终为 0.1Hz 正弦波，波形没有毛刺且光滑，电压幅值恒定且不随时间变化，因而其用在中、低压电力电缆的耐压试验和介损试验较多，能够在较低的电压下有效地发现 XLPE 绝缘电力电缆受潮和存在水树枝的运行缺陷。超低频电压下电缆的 PD 检测应用较少，其测试结果也备受质疑。超低频检测结果的可信度及对电缆的损伤。

## 3. 直流阻尼振荡波电压下局放检测设备

阻尼振荡波电压法是近年来国内外研究较多的一种用于 XLPE 电力电缆局部放电现场检测和定位的方法，它是由荷兰代尔夫特大学学者研究提出。该方法具有：与交流电源法等效性好、作用时间短、操作方便、易于携带、可有效检测 XLPE 电缆中的各种缺陷，且试验不会对电缆造成损害等特点。

但是采用直流对 XLPE 电缆进行充电，就会存在许多问题。直流电压下绝缘老化的机理和交流电压下的老化机理不相同，在直流电压下 XLPE 电缆会产生“记忆”效应，并存储积累单极性残余电荷，使得电缆上的电压值远远超过其额定电压，从而有可能导致电缆绝缘击穿。直流试验时，如果在试验时电缆终端头发生表面闪络或电缆附件击穿，会造成电缆芯线上产生波振荡，在已积聚空间电荷的地点，由于振荡电压极性迅速改变为异极性，使该处电场强度显著增大，可能损坏绝缘，造成多点击穿。XLPE 电缆绝缘内易产生水树枝，在直流电压下会迅速转变为电树枝，并形成放电，加速了绝缘劣化，以至于运行后在工频电

压作用下形成击穿。结合以上四点因素，即使直流冲击高压发生器对 XLPE 电缆直流充电时间较短，其安全性还是有待进一步考量。

#### 4. 震荡波局放测试系统

综合上述电缆 PD 检测的方法优缺点。研制出基于变频谐振的阻尼振荡波电压下 XLPE 电缆现场局部放电检测及定位系统。有效解决了：

- 1) 工频电压下检测设备的笨重，不易现场检测。
- 2) 超低频检测结果的可信度及对电缆的损伤。
- 3) 直流 DAC 对电缆引起的不安全性。
- 4) 既可以完成交流耐压试验，又实现了局放测试及故障定位。

### 三、系统工作原理

#### 1. 局部放电的测量

局部放电测试是评估电力电缆绝缘质量的重要方法，特别是挤出型绝缘材料的电缆。由于电缆的绝缘结构中往往会由于加工技术上的难度或原材料不纯而存在气隙和有害性杂质，或者由于工艺原因，在绝缘与半导体屏蔽层之间存在间隙或半导体向绝缘层突出，在这些气隙和杂质尖端处极易产生局部放电，同时在电力电缆的安装和运行过程当中也可能会产生各种绝缘缺陷导致局部放电。

由于 XLPE 电缆及接头局部放电信号微弱，波形复杂多变，极易被背景噪声和外界电磁干扰噪声淹没，所以研究怎样有效提取真实不失真的局部放电信号具有较大难度。本系统所使用的耦合单元（检测阻抗）能真实有效的耦合到局部放电信号，对试验电压的工频及其谐振的低频信号则予以抑制或滤除。

#### 2. 串联谐振电源

串联谐振电源由油浸式高压电抗器、励磁变压器、分压器及采样单元、电源主机及分析系统等组成。如图 3-1 系统设备图所示。



图 3-1 系统设备图（仅供参考）

### 3. 局放检测及定位系统工作原理

如图 3-2 所示，由供电线路或发电机输入 220V 的交流电压，经过电源主机转变成频率、幅值可调节的方波电压，再通过励磁变压器升压，通过改变激励强度使得被试电缆到达预定电压。当电源控制主机给出产生振荡波的信号时，是系统 RLC 回路短路，则在被测试品电缆上产生阻尼振荡波电压，可通过局放检测阻抗传感器耦合电缆上的局放信号，经宽频放大器放大、滤波，最后由数据采集卡进行阻尼振荡波电压信号、电缆局部放电数据的同步采集，并把数据暂存在工控机上，最后由外部笔记本命令将数据从工控机上传回到笔记本上进行分析、处理。



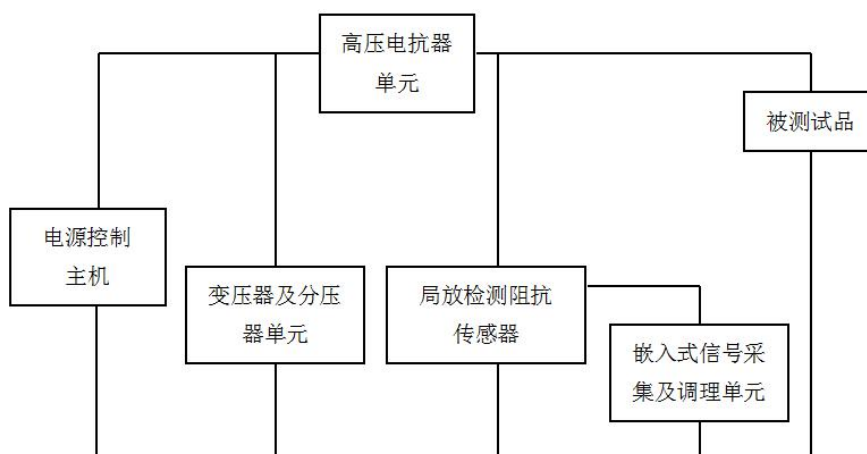


图 3-2 局放检测及定位系统工作原理图

#### 4. 项目研究的关键和难点

- 1) 本项目的技术难点是如何对变频谐振电压进行有效的控制，使得电压波形满足现场测量要求。基于变频谐振产生阻尼振荡波电压尚属首次，所以没有以往先例可循。
- 2) 现场检测环境复杂，需要对现场干扰情况进行分析。实现强电磁干扰环境下的微弱信号提取。需要对抗干扰的软件算法进行研究。
- 3) 实现原始放电波形信号的高速数据采集，进而为 PD 信号的定位提供基础。
- 4) 对局部放电信号进行定位的分析技术，需要利用相关分析等技术进行，提高定位的准确率。

### 四、技术指标

#### 1. 系统基本技术指标

阻尼交流输出电压	0~25 kV
阻尼交流电压频率范围	20 Hz~ 300 Hz
电容范围	0.005 $\mu$ F ~1 $\mu$ F
加压方式	交流谐振升压

局放检测频带	30kHz~15MHz
局放测试范围	最小 10pC
故障定位精度	±2 m
局放水平检测	放电脉冲的时间分辨率为 10 μs， 相位分辨率为 0.18°， 符合 IEC 60270 标准
耐压试验	交流耐压试验、局放试验
供电电压	AC380V+/-10%，50Hz，5A
网络接口	WLAN 无线采集

## 2. 系统软件功能

- 1) 本系统适用于 10kV 及以下电压等级电缆 PD 现场检测及定位。
- 2) 本系统采集部分实现无线数据采集，增强了系统和操作人员的安全性。
- 3) 本系统提供参数设置模块、信号采集模块、数据分析及谱图显示、数据存储、离线数据回看、分析、处理计算放电位置，可对局放故障进行定位。
- 4) 本系统提供放电谱图、故障定位谱图、放电相位谱图、放电次数谱图、放电类型识别等功能。
- 5) 本系统具有数字滤波、动态阈值、小波分析、时延鉴别、相关分析等抗干扰功能，可根据信号特征，对放电脉冲和干扰脉冲进行取舍和鉴别，以及通过简单模式识别进行 PD 类型识别。
- 6) 本系统根据阻尼振荡电压波形与局部放电信号关系图以及定位谱图确定局部放电的类型，对电缆的整体绝缘状况和寿命做更有效的评估和预测。

## 五、系统硬件安装及现场试验

阻尼振荡波局部放电检测和定位技术是当今国际领先的电缆绝缘状态检测新技术，本系统能完成电缆交流耐压试验、电缆局放现场检测以及现场故障定位等。

## 1. 系统连接及试验步骤

电缆现场 PD 检测及故障定位系统构成照片如图 3-1 所示。电抗器与分压器及采集单元通过阻塞阻抗连接，并且连接好低压接线。电源控制主机电源输出与分压器及采集单元连接，采集单元的 PD 采集控制线、分压器输出线都与电源控制主机相连，PD 信号通过无线方式传输。电缆试品与分压器高压端进行连接。试验开始前，须检查系统所有连线是否正确，检查核实准确无误后进行试验。

### 试验步骤：

- ① 检查接线准确，要求试验区内所有人员撤离。
- ② 打开系统主机电源开关，并开启下位机电源。
- ③ 打开系统软件，完成所有参数设置并核查。
- ④ 使用方波校准仪进行校正，校准完成后撤下校准仪。
- ⑤ 操作系统软件进行升压，完成试验，系统将试验数据自动保存。
- ⑥ 试验完成后可立即进行分析，也可随后完成分析并形成报告。

## 2. 现场试验流程

振荡波电压下电缆局放检测及定位系统的测试操作流程如图 5-2 所示：

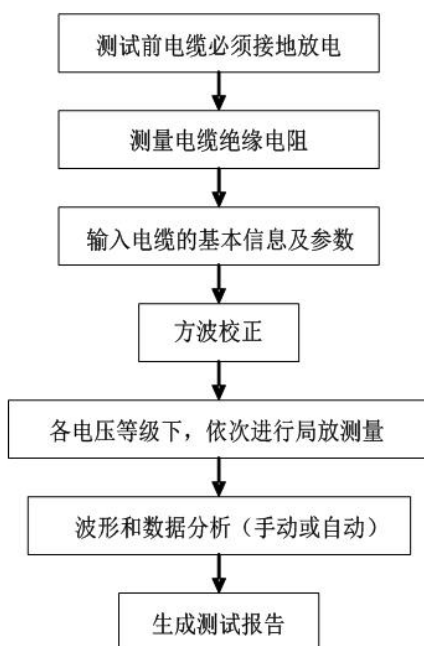


图 5-2 现场试验流程图（仅供参考）

### 3. 系统软件

系统软件结构图如图 5-3 所示：

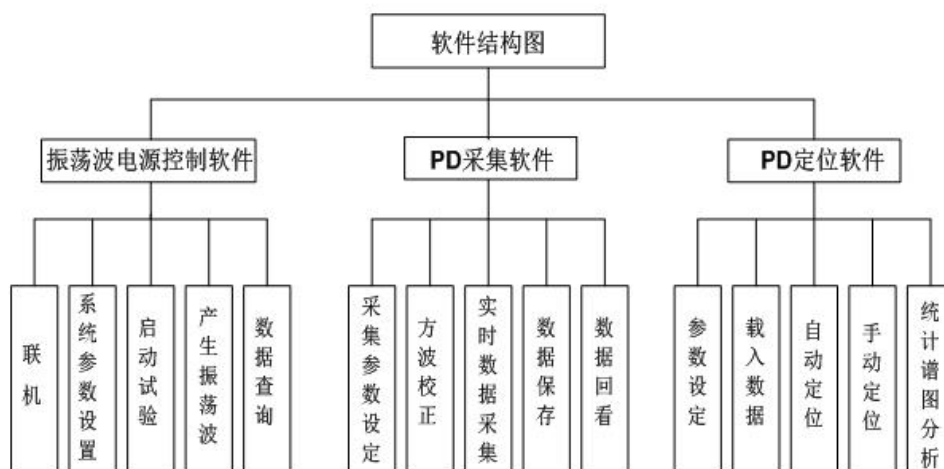


图 5-3 系统软件结构图（仅供参考）

注意事项：在进行测试线路连接之前，首先要将被测电缆及测试设备可靠接地。确认被测电缆对地绝缘电阻在正常范围内后，利用连接电缆将被测电缆、振荡波电压源、供电电源、工控机等进行可靠连接。电缆的基本信息与参数主要指被测电缆长度、接头位置、运行时间等，此基本信息可以作为判断电缆绝缘状况有效依据，提高测量结果的准确性。

下图 5-4 为软件主界面图，下面将分别介绍振荡波电源控制软件模块、局放信号采集处理模块、局放信号定位分析模块。



图 5-4 系统软件的主界面图（仅供参考）

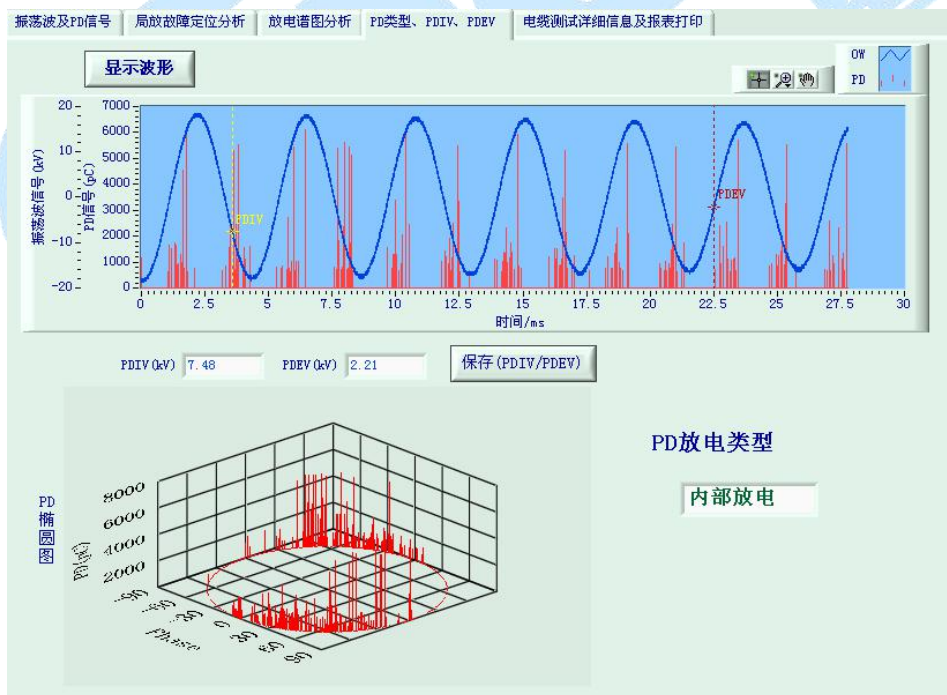


图 5-4 某现场电缆局放检测分析图（仅供参考）

本系统共有三种试验模式振荡波局放试验、耐压试验、耐压及局放试验。

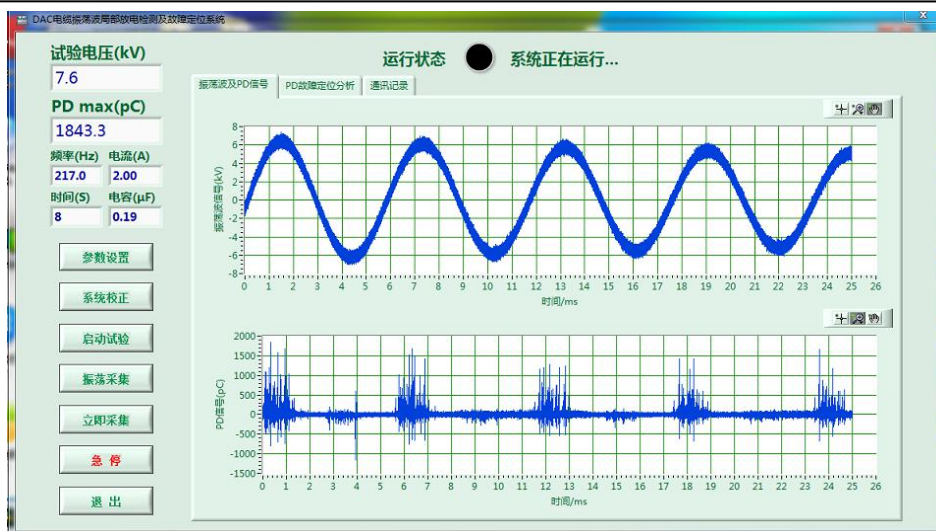


图 5-4 系统局放相位谱图及放电次数谱图（仅供参考）

## 六、系统现场检测案例

### 1. 现场检测案例 1

某现场检测情况。电缆试品：10kV XLPE 电缆，长度 300m，线芯直径  $3 \times 70\text{mm}^2$ 。



图 6-1(a) 现场测试图（仅供参考）

通过现场加压试验，并分析测试数据，局放信号特征明显，手动故障定位和自动定位都在 2.8m 附近，与电缆实际故障情况符合，系统能够准确的测试局放和定位故障位置。

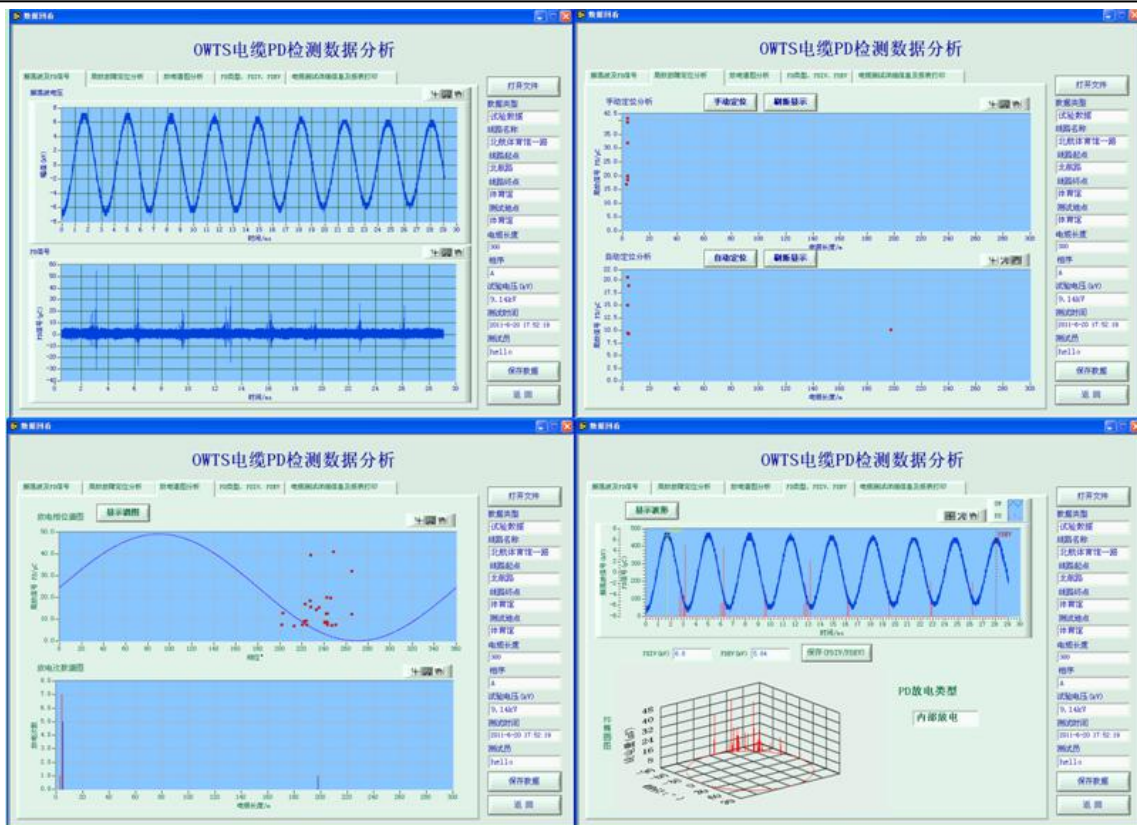


图 6-1(b) 现场测试局放数据分析结果图（仅供参考）

## 2. 现场检测案例 2

某现场检测情况。电缆基本情况，绝缘类型：交联聚乙烯绝缘；额定电压：15kV/8.7kV；规格：3\*150mm<sup>2</sup>；长度：400 米；已知缺陷位置：距离开关柜终端约 230 米处，在制作中间接头时由于工艺缺陷导致接头存在缺陷。



图 6-2(a) 现场测试图（仅供参考）

通过现场加压试验，并分析测试数据，局放信号特征明显，手动故障定位和自动定位都在 230m 附近，与电缆实际故障情况符合，系统能够准确的测试局放和定位故障位置。同时在此电缆上进行 ZX-OWTS 系统与德国 SEBA M28 比对试验，根据两套检测系统定位结果谱图分析，ZX-OWTS 电缆 PD 现场检测及故障定位系统定位结果为 230 米，德国 SEBA M28 装置定位结果为 226 米。

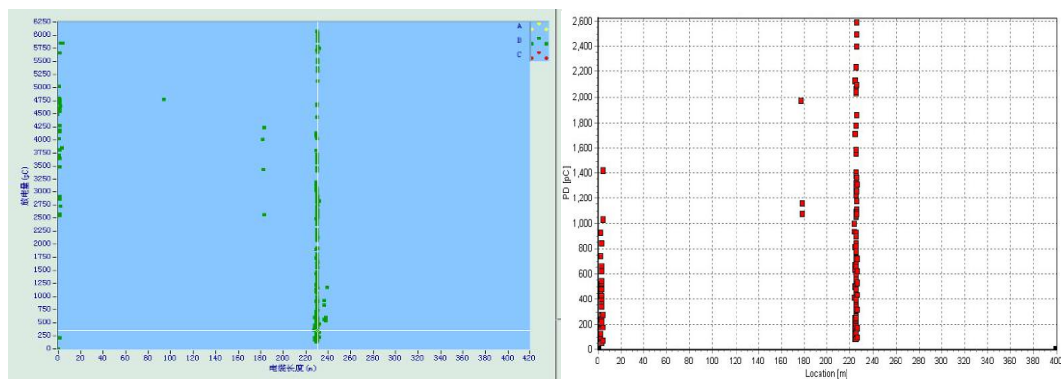


图 6-2 (b) 系统与 SEBA M28 试验现场比对图 (仅供参考)

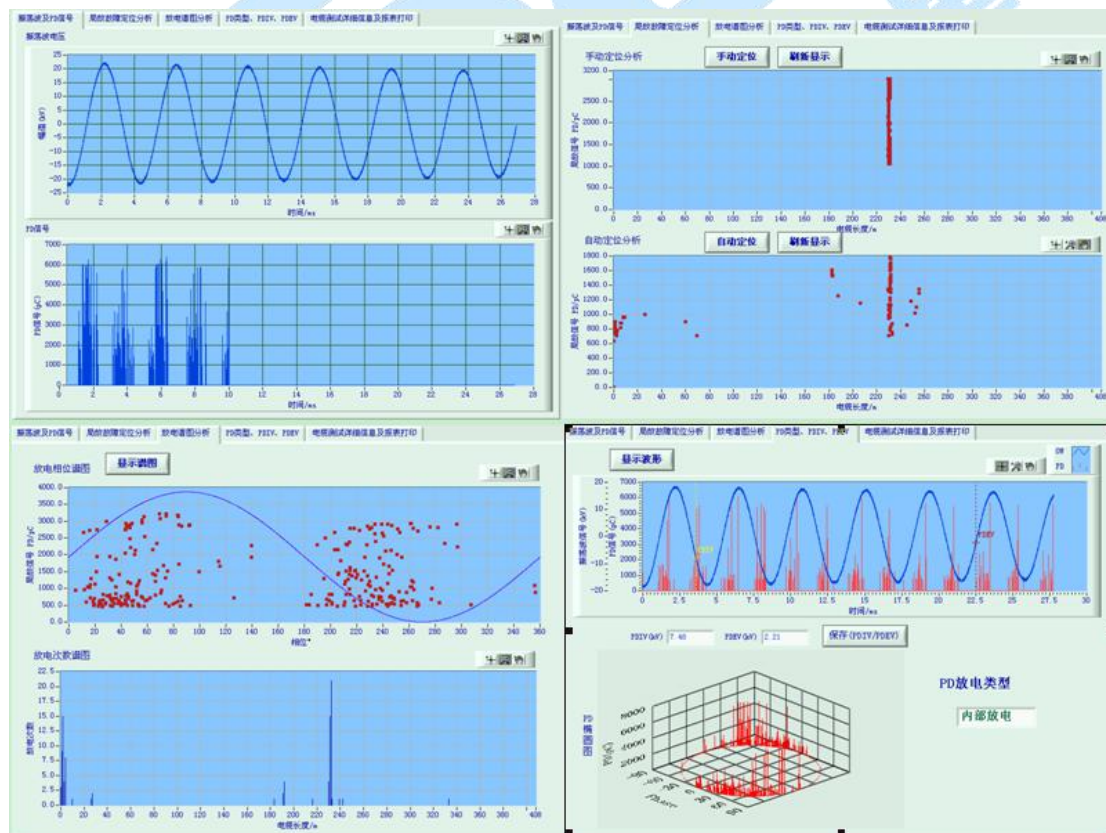


图 6-3 (C) 系统现场检测数据分析谱图 (仅供参考)

本系统通过现场检测，能够完成电缆交流耐压实验。同时完成现场局放检



测，并生成局放相位特征谱图、放电次数谱图，PD 椭圆图、PD 信号类型模式识别等功能，方便用户随时随地进行分析。

## 七、售后服务

凡购买本公司产品的用户均享受以下的售后服务：

- ❖ 仪表自售出之日起一个月内，如有质量问题，我公司免费更换新表，但用户不能自行拆机。属用户使用不当（如错插电源、进水、外观机械性损伤）的情况不在此范围。
- ❖ 仪表一年内凡质量问题由我公司免费维修。
- ❖ 仪表自售出之日起超过一年时，我公司负责长期维修，适当收取材料费。
- ❖ 若仪表出现故障，应请专职维修人员或寄回本公司修理，不得自行拆开仪表，否则造成的损失我公司不負責任。