

TDZDB

阻尼振荡波状态检测系统说明书

使 用 说 明 书

武汉通力天德电气设备有限公司

目 录

声明及安全事项	错误！未定义书签。
一. 系统简介	错误！未定义书签。
1. 概述	错误！未定义书签。
2. 系统试验原理	4
3. 性能及特点	4
4. 主要技术参数	5
5. 系统清单	7
二. 操作说明.....	8
1. 被测电缆的要求及测试前准备.....	8
2. 电缆绝缘电阻测试.....	8
3. 电缆交流耐压试验.....	8
4. 电缆振荡波局放试验.....	9
5. 数据分析.....	14
6. 专家知识与经验.....	23
7. 电缆振荡波局放的诊断评价.....	26
三、附录：高压变频谐振电源的使用说明.....	27

声明：

为更好地使用本系统请仔细阅读使用说明书，并请妥善保管以备日后使用。本公司保留更改本说明书内容的权利和产品更新导致的表述差异。

安全事项：

- 1、绝缘电阻测试时电缆对侧需专人看守，严禁测试期间电缆头及被测电缆本体或附近有作业现象；
- 2、切断被测电缆电源，防止再次通电，确定被测电缆上已无电压，隔离附近带电设施；
- 3、试验接线时，应先用放电棒放电并挂地线后再触碰电缆头，确保人身安全。
- 4、升压试验时应在电缆头和试验设备四周装设网状围栏，悬挂“高压，危险！”标示牌，试验现场四周应派专人监护，禁止与试验无关人员靠近；
- 5、升压时控制台操作人员应站在绝缘垫上，防止高压反击危及人员安全；
- 6、加压过程中应注意观察电压是否波动、数据是否异常，并呼唱报时，发现有异常情况立即降压，直到查明原因后再重新开始加压；

一、系统简介

1、概述

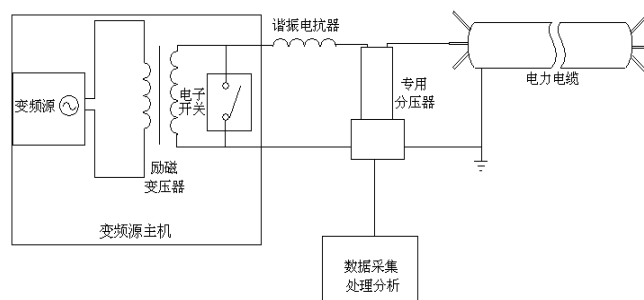
目前对电力电缆检修的管理，主要是依据《电力设备交接和预防性试验规程》所规定的项目和试验周期，定期在停电状态下进行绝缘性能试验。其中变频串联谐振试验由于试验状况接近电缆的运行工况，因此成为国内目前应用最广泛的试验方法。

但大量试验及经验表明，串联谐振耐压试验无法对电缆整体绝缘的状态进行定量评估，一些通过串联谐振耐压试验的高压电缆在短期内仍有放电击穿的现象。经过长期对高压电缆的研究试验和实践，认为局部放电是电缆绝缘故障的先兆，有效检测局部放电是提高电缆状态检修水平的一种重要途径。

振荡波电缆局放诊断与定位系统（简称 OWTS 系统）是电力电缆“状态检修”的一种新方法。但此方法是先对 XLPE 电缆施加直流电压，利用形成的阻尼振荡波条件下的局放进行诊断与定位；而 XLPE 电缆的直流耐压试验容易引起电荷积聚，电荷积聚对电缆是有隐性伤害并且也易于产生假局放信号，此方法的使用是值得进一步探讨的。因此我们开发出交流衰减阻尼振荡波局放测试装置，本装置采用交流高压源，在交流变频串联谐振耐压装置上，附加峰值同步信号使串联谐振回路在峰值时停止功率输出，并同时闭合高压电子开关，形成振荡波阻尼振荡，进行电缆局部放电测试。可以可靠地发现电缆及电缆接头的微弱绝缘缺陷，并且可以准确定位。

此装置既可以在现场进行阻尼振荡波条件下的电缆局放测量及定位，亦可以按现行标准（规程）进行电缆的现场交接及预防性串联变频谐振交流耐压试验，一机两用，大大提高了设备使用效率。

2、系统试验原理



图中，通过变频源调节频率，通过励磁变压器隔离升压激励使谐振电抗器与被测电缆的分布电容产生谐振，谐振条件下，在被试电力电缆上可以获得 Q 倍于励磁电压的试验电压。在电缆上维持试验电压的过程中，短路励磁变压器的输出端，使谐振电抗器和被试电缆形成逐渐衰减的阻尼振荡，通过专用分压器进行测量和反馈控制，使用专用软件可以将被测电缆及其接头的绝缘薄弱环节所发生的局部放电信号有规律的显示出来。通过波形数据分析，可以测出局部放电的放电电量值及定位局部放电点的准确位置。并且通过软件可以控制阻尼振荡波形多次重复，从而可以更可靠验证被测电缆的绝缘缺陷。

3、系统的性能及特点

- 1) 采用交流串联谐振升压+振荡波测试局放的方法、设备合二为一，一套设备既可完成局放试验又可做交流耐压试验，一机两用。交流耐压试验符合现有规程
- 2) 适用于新电缆（投运前）交接试验及老电缆（停电后）预防性试验。
- 3) 遵循 IEC60270 标准测量电缆局放量。
- 4) 对电缆局放点进行距离测量。
- 5) 测量电缆接头位置及全长距离。
- 6) 变频主机可以根据国网的相关规程设定电压自动升压，笔记本系统自动采集数据，简单方便。
- 7) 采用硬件和软件相结合抗干扰技术，可有效去除外部干扰。
- 8) 软件专家系统，同时显示局部放电波形、放电量和测试电压等参数，对测试数据进行实时保存、生成测试报告及打印等功能。

4、10kV 测试系统介绍

4.1 主要技术指标:

- (1)、试品电容量: $\leq 2 \mu F$ (约 5km)
- (2)、最高试验电压: AC 21.6kV
- (3)、阻尼振荡波频率范围: 30~600Hz
- (4)、变频串联谐振耐压试验频率范围: 20~300Hz
- (5)、局放测试范围: 10PC~20nC
- (6)、局放定位精度: 1%

4.2 设备的组成

1、 系统分析软件(含笔记本电脑)

2、 变频源主机

- 1) 输出功率: 10KW
- 2) 输出频率: 30HZ-300HZ
- 3) 频率分辨率: 0.1HZ
- 4) 输入电源: AC220V \pm 10%

3、谐振电抗器

- 1) 电感量: 3H
- 2) 工作频率: 30HZ-300HZ
- 3) 最高工作电压: AC 25KV
- 4) 最大工作电流: 10A

4、专用局放采集及滤波装置

采样频率: 100MHz

5、局放校准器

(100PC, 200PC, 500PC, 1000PC, 2000PC, 5nC, 10nC, 20nC)

5、系统清单

序号	名 称	数 量
1	局放测试系统软件(含笔记本电脑)	1 台
2	数据滤波采集装置	1 台
3	高压试验电源主机（变频主机）	1 台
4	励磁变压器箱	1 台
5	电抗器	1 只
6	局放校准器	1 台
7	电缆耐压试验专用分压器	1 台
8	电源及测试线（附件箱）	1 套
9	电源线盘（30m3x2.5）	1 个

二、操作说明：

1、被测电缆要求及测试前准备

- 1) 局放测试前，将电缆断电、接地放电，两端悬空，布置好安全围栏；
- 2) 电缆头擦拭干净，电缆头与周边接地部位绝缘距离足够；
- 3) 收集电缆型号、长度、接头位置等电缆参数；

电缆全长必须准确，以用于校准；

中间接头测量尽量准确和详细，有利于最终判断局放位置；

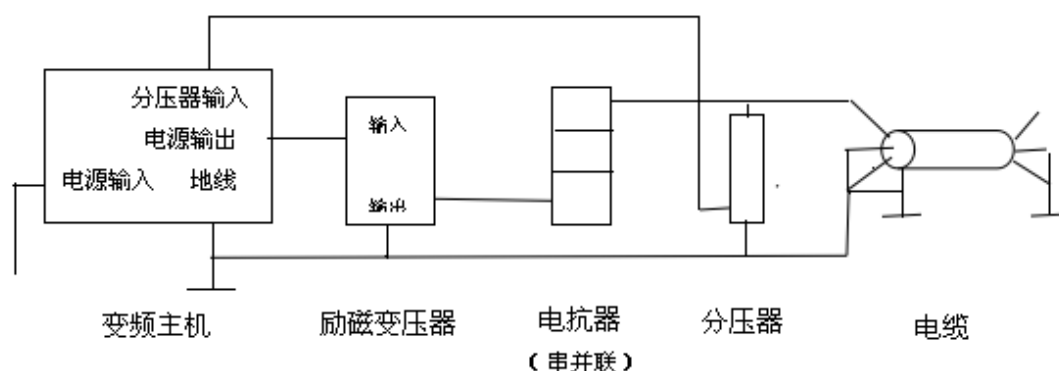
- 4) 电缆长度：一侧测量方式： $50\text{m} \leq L \leq 3\text{k}$ ，必要时可采用两端测量的方式。

2、绝缘电阻测试

电缆主绝缘电阻测试：采用 2500V（35kV 电缆用 5000V 摇表）绝缘摇表进行测试；主绝缘电阻应大于 $50\text{M}\Omega$ 才可以进行下一步试验。

3、电缆交流耐压试验

使用本系统的高压试验电源设备，对被试电缆各相做 5 分钟 $1.6U_0$ 电压的耐压试验。不闪络击穿才可以进行局放的检测试验。具体操作详见附录高压变频谐振电源的使用说明。



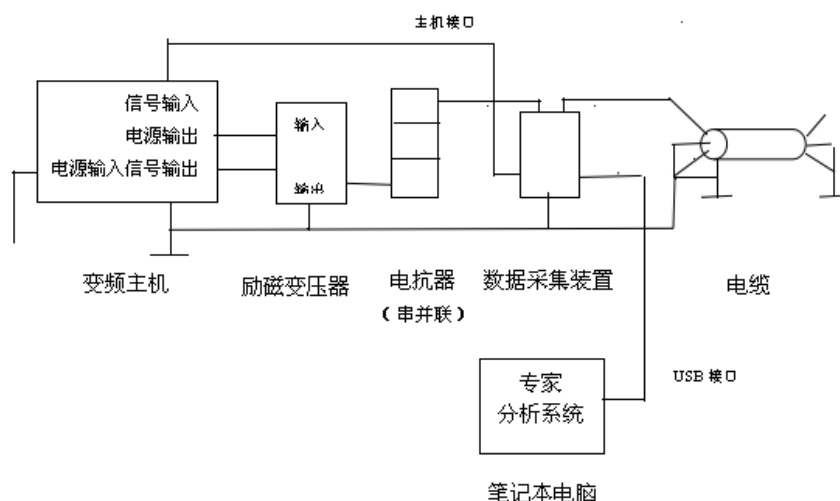
电缆耐压试验连接图

4、电缆振荡波局部放电试验

4.1 电缆局放的校准：

高压测试前首先使用校准器进行局部放电量的校准，并测量电缆长度。

首先按照以下接线图联接好设备。测试前检查校准器电池，不足应更换。

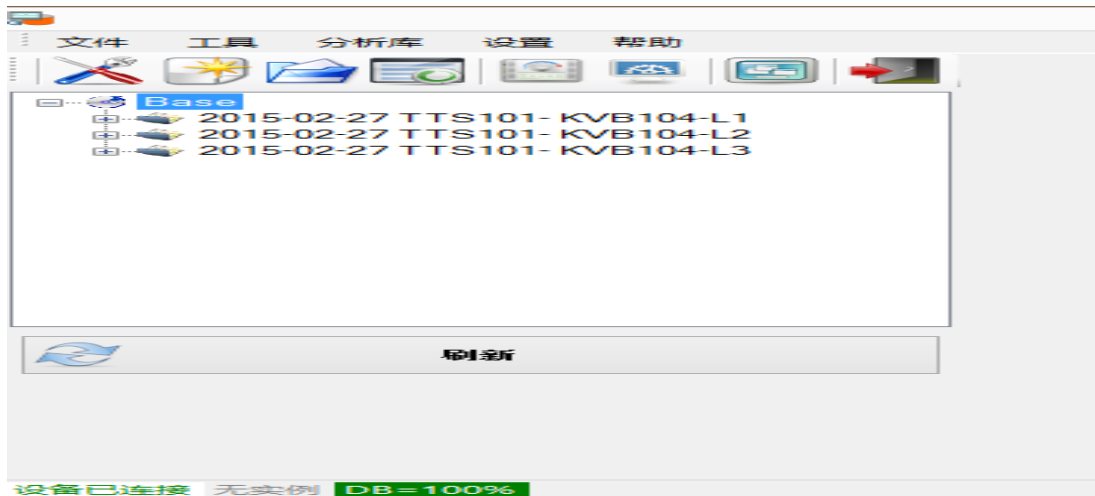



电缆局放试验连接图

校准步骤：

- 1) 校准器 Q9 测试线的红色线夹连接被测电缆线芯，黑色线夹接电缆接地。；
- 2) 校准 100pc—2nc 六档，输出接 OUT×1 接口。5nc-20nc 三档，输出接 OUT×10 接口。
- 3) 选择相应的档位，打开校准器电源。
- 4) 打开变频主机的电源，准备好笔记本电脑进入测试软件界面。

启动软件程序并等待连接，当设备连接成功，状态栏中将显示“设备已连接”。此时表示设备与电脑终端无线连接成功。



通过点击工具栏中，或者点击“工具-远程控制”进入远程控制界面。



进入校准控制面板，在这个控制面板中输入电缆信息。

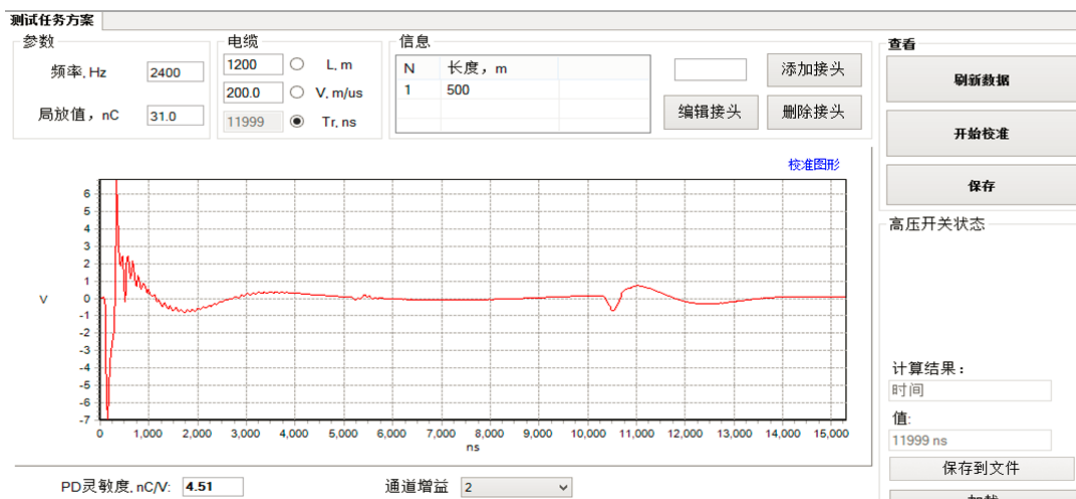


“电缆长度”中，先输入略大于电缆实际长度的值，以免在有限采集时间内显示不出反射波形。如有电缆接头可将电缆接头信息输入系统。接头信息将

在数据分析时显示。“速度因数”中输入脉冲在电缆中的传输速度，一般为170m/us。不同的电缆这个数值会有不同，根据电缆实际情况而定。

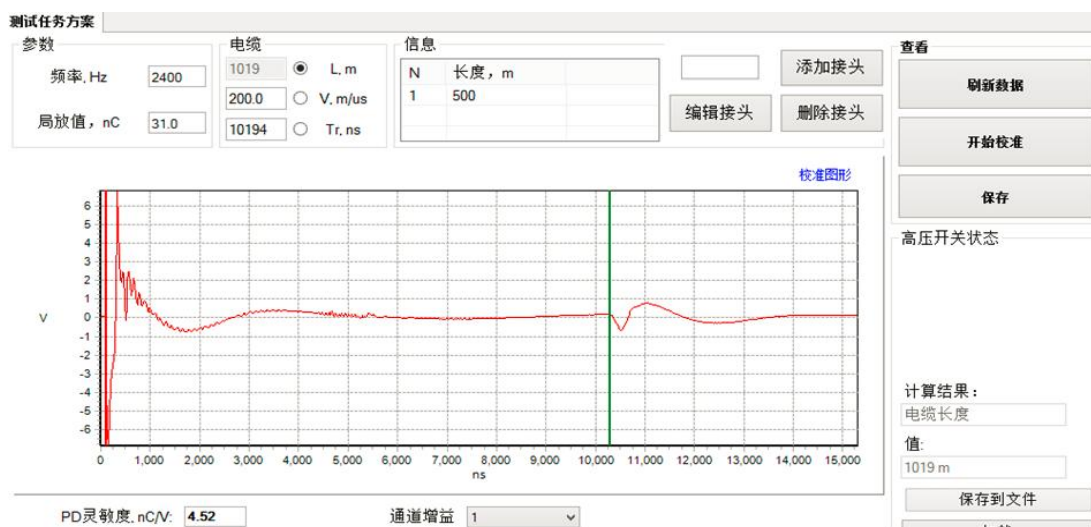
5) 开始校准

以上准备工作就绪后即可点击“开始校准”按钮开始校准工作。



在校准波形中可以清晰的看见校准器发射的脉冲以及反射波，波形不清晰可以调整“通道增益”调整波形。

校准被测电缆长度，选中电缆长度选项(L.m)，现在，在红色框中找出真正的电缆长度，使用鼠标左键来标记原始脉冲（红线）、鼠标右键标记反射的脉冲（绿线）。然后就会测量出真实的电缆长度。请注意这2个脉冲应该有相同的极性。单击“保存”保存校准结果。若要将此次校准存储为单独的文件请点击“保存到文件”，方便以后调用。



6) 校准完毕，关闭校准器，从被测电缆中取下校准器。

4.2 振荡波局放测试

- 1) 按上面电缆局放试验的连接图连好设备并检查无误
- 2) 笔记本电脑进入测试软件，点击软件中测试面板上红色的部分，进入局放检测控制面板。在这个控制面板中有两种检测模式“单次测试”与“连续测试”。



单次测试：单次测试模式只提供一次的加压过程的局放测试。



指定数据的存放路径，每次测量的数据保存在设置的放路径中。存放路径必须位于软件安装文件夹下 Base 子文件夹中，本示例中软件安装在 C:\worksoft\OWTS，因此数据存放路径为 C:\worksoft\OWTS\Base。请在该文件夹下新建被测电缆文件夹。测试分相电缆时，应在被测电缆文件夹下对每相再新建子文件夹。

连续测试：在“连续测试”模式中，将单次测量进行逐一录入，以形成连续测量方案。可以执行添加、删除、修改、保存、打开等命令。形成的测试方案可保存为配置文件，方便以后调用测试。

单次测试

连续测试

测试参数

序号	电压, V	检测阈值, pC	测试次数
1	1.0 U ₀ (2000)	300	3
2	1.5 U ₀ (3000)	300	3
3	2.0 U ₀ (4000)	300	3
4	3.0 U ₀ (6000)	300	3
5	4.0 U ₀ (8000)	300	3

控制

清除

添加

删除

修改

保存

打开

测试电压, V

U₀, V

2000

高压单元状态

高压开关已关闭

存储路径

C:\worksoft\OWTS\Base\示例数据

选择

控制

开始

停止

测试时间间隔, s

5

是

保存空白数据

通道增益

1

可以根据测试程序形成一个批量的测试过程。单击“执行”，启动该批量测试过程。

单次测试

测试方案

测试参数

序号	电压, V	检测阈值, pC	测试次数	PD / Tan δ
1	1.0 U ₀ (2000)	300	1	PD
2	1.5 U ₀ (3000)	300	1	PD
3	2.0 U ₀ (4000)	300	1	PD
4	3.0 U ₀ (6000)	300	1	PD
5	4.0 U ₀ (8000)	300	1	PD

控制

清除

添加

删除

修改

Save

Open

测试电压, V

U₀, V

2000

高压单元状态

高压开关已关闭

存储路径

C:\worksoft\OWTS\Base\001

选择

控制

正在运行...

停止

测试时间间隔, s

5

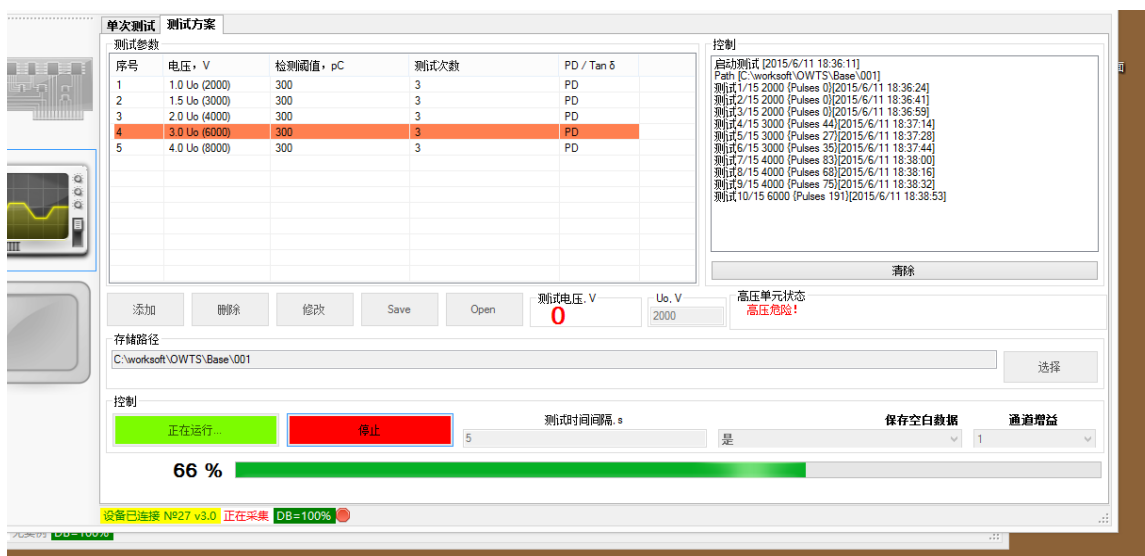
是

保存空白数据

通道增益

1

测量过程会根据测试的次数进行进度的统计，每次测量的信息显示在右边控制窗口中，测试结束后数据会保存在指定的文件夹中。



3) 软件设置好后按“开始”键，然后变频主机启动升压程序。首先在 0kV 电压等级下试验一次，以测量环境噪声；单击“保存”。

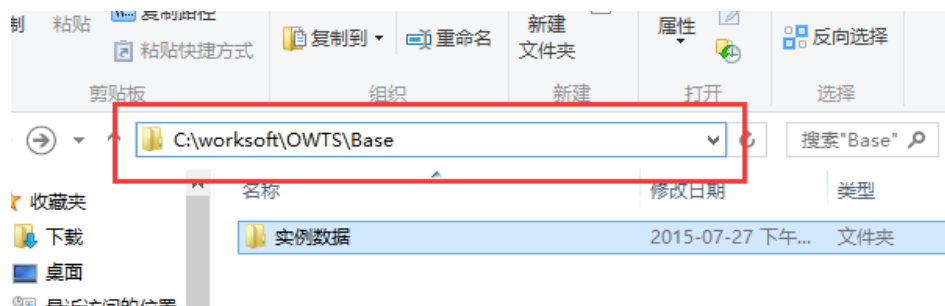
4) 再对被试电缆做 5 分钟 1.6U₀ 电压的高压试验。软件按“开始”键，自动完成局放数据的测试，单击“保存”。

5) 对被测电缆和高压设备放电并换相测试。三相测试结束，关闭高压设备，将被测电缆接地。

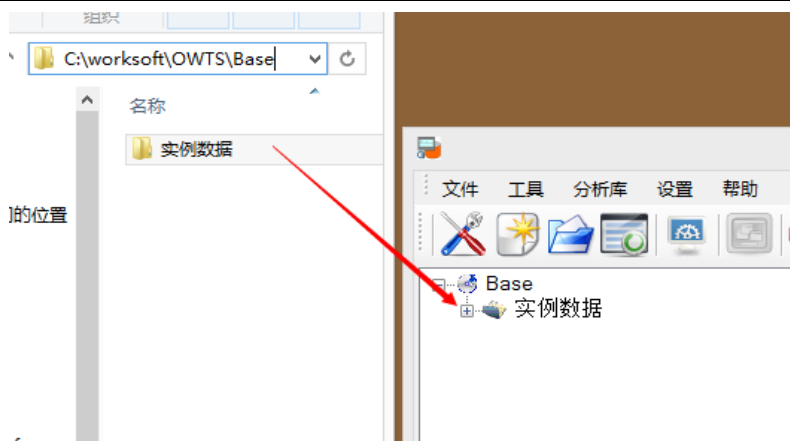
5. 数据分析

5.1 测试数据路径的基本设置

只有将存储的数据放置至指定的路径下，才可对数据进行分析，例如本机软件安装在“C:\worksoft\OWTS\”。那么我们要分析的数据必须放置在“C:\worksoft\OWTS\Base”文件夹中。

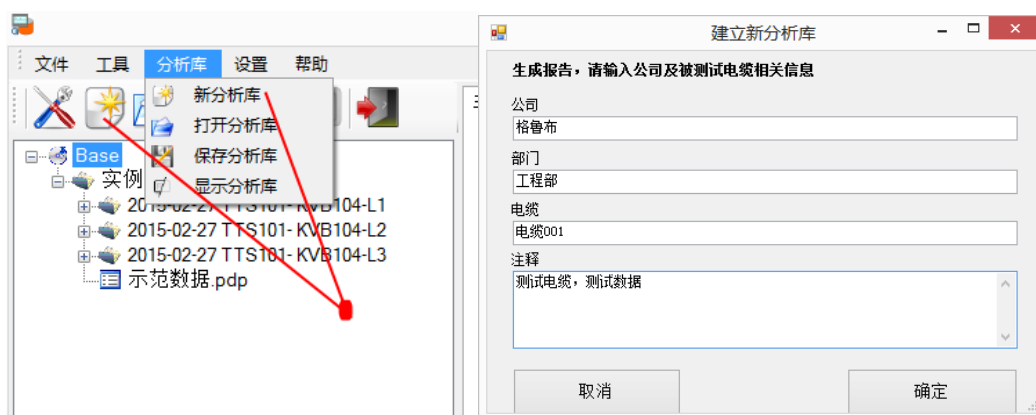


该文件下的数据在软件中显示的形式如下

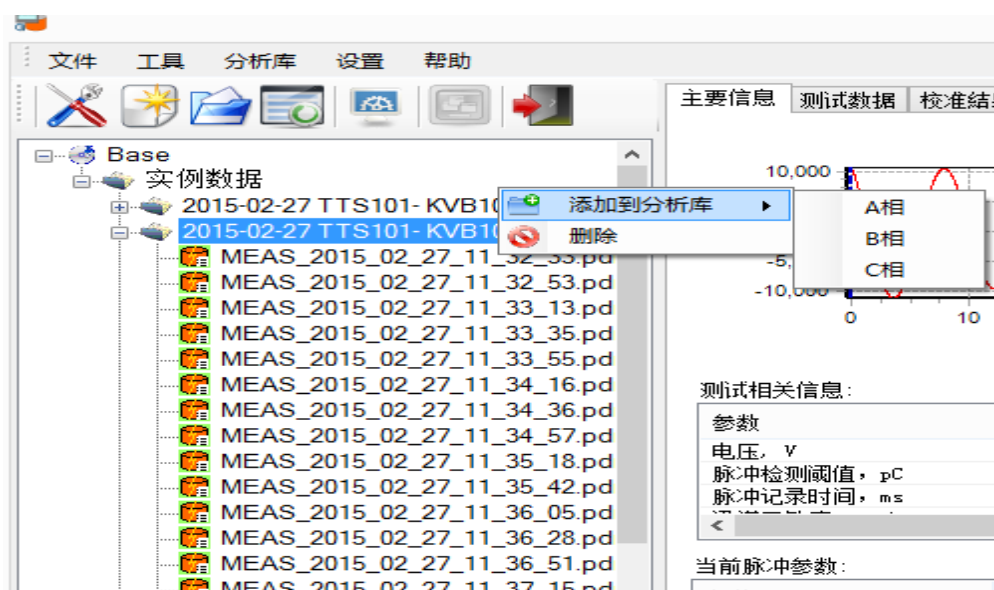


5.2 测试数据载入分析库

建立分析库，点击“分析库”——“建立分析库”，从菜单中创建一个新的分析库。输入电缆的信息。出现一个新的窗口，进行数据分析。



右键单击某相测量数据文件夹，选择并添加到电缆测量分析库中。



添加的测量显示在分析窗口中。

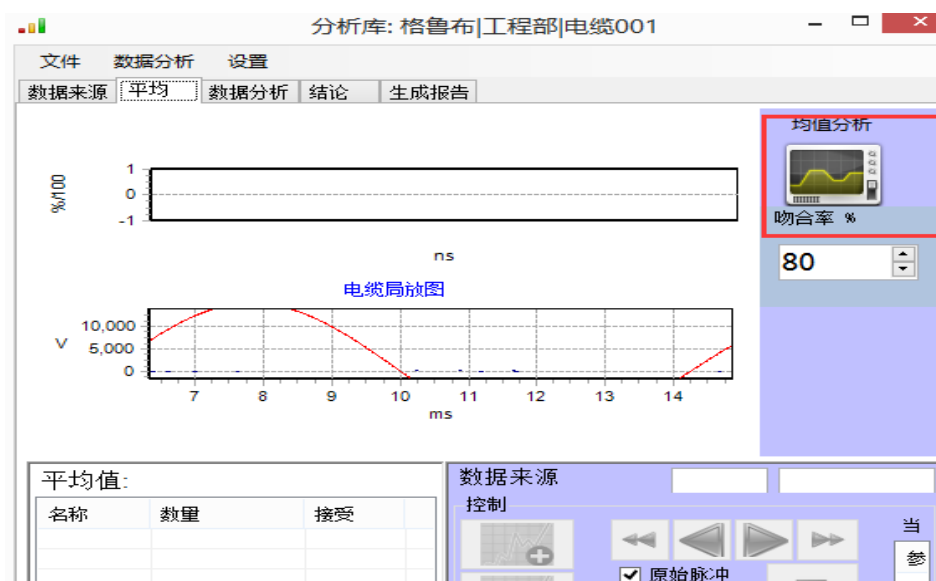
分析库: 格鲁布|工程部|电缆001

文件名	脉冲个数	脉冲峰值, pC	相位, °	是否反相	测试电压, V	脉冲检测阈值, pC	电缆长度, m
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_15_01.pdm	144	4670	A	没有	8000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_15_22.pdm	149	4670	A	没有	11200	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_15_44.pdm	162	4670	A	没有	14400	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_16_06.pdm	171	4670	A	没有	16000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_16_29.pdm	169	4670	A	没有	16000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_16_51.pdm	165	4670	A	没有	16000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_17_13.pdm	171	4670	A	没有	17600	200	2791

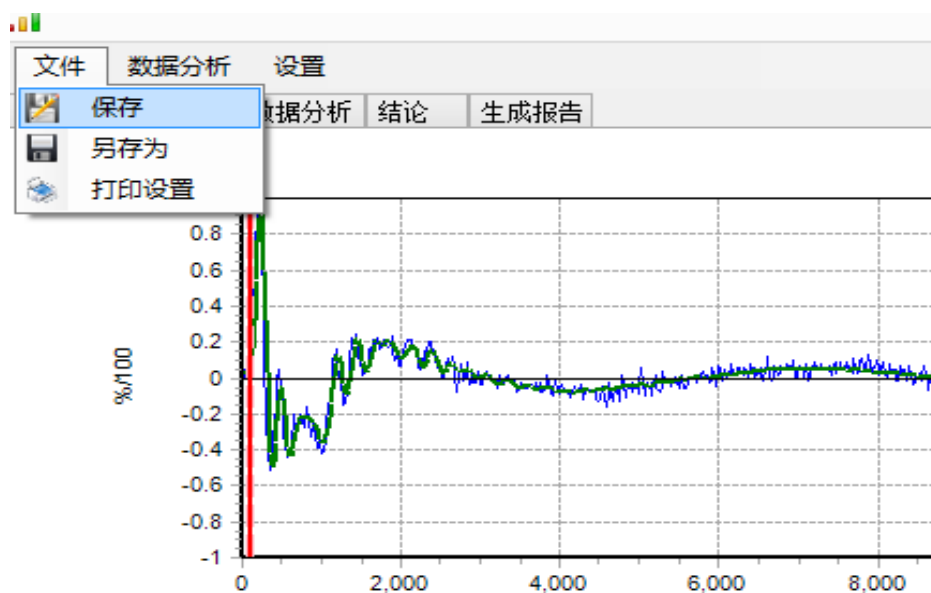
5.3 波形分组及取舍

在“平均”标签下，利用统计方法对测试数据波形进行初步筛选，滤除各类干扰信号。

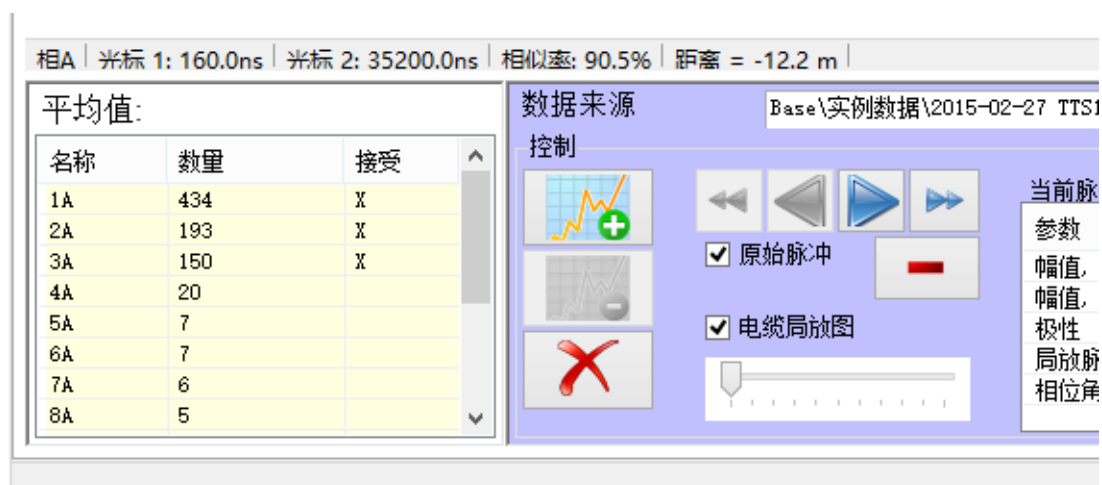
右上方“均值分析”按钮。软件将自动对所有脉冲分别自动进行分组。分组的依据为脉冲波形相似度，同一相波形相似的脉冲将被分在一组。默认相似度阈值为 80%。用户可根据实际情况自行调整左侧相似度吻合率阈值（省略%）。



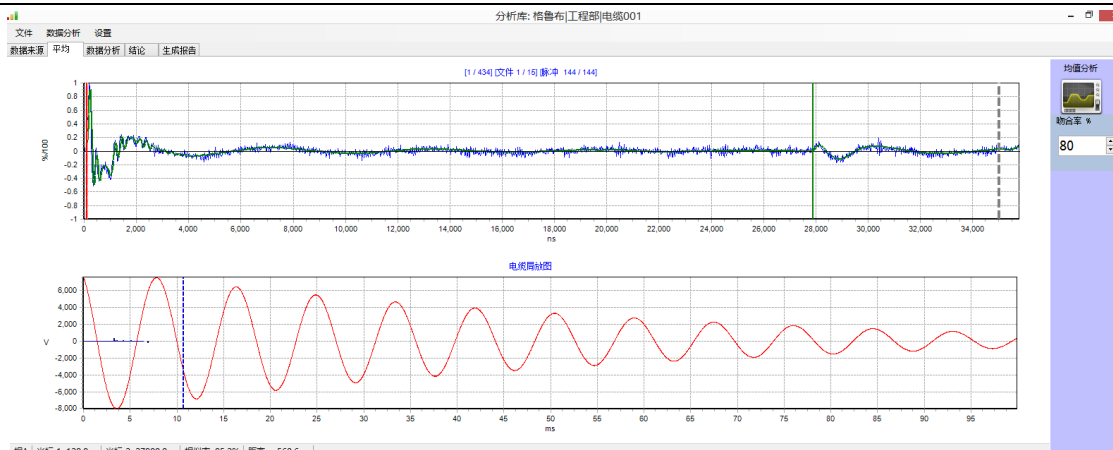
如果测试得到的脉冲数量较多，分组步骤可能需要一段时间，请耐心等待。建议在分组完成后在“文件-保存”菜单中保存分组结果，以便下次分析时跳过分组步骤。



分组完成后，界面左下角为三相各自的分组列表。“数量”表示该分组中包含的脉冲数。“接受”表示该分组中的脉冲是否为疑似局部放电信号并被接受。单击分组列表中的分组，界面中部的示波图中将显示该分组脉冲波形。





示波图中，绿色波形为选定分组中的所有脉冲波形的叠加波形，波形叠加可有效滤除随机噪声。蓝色波形为分组中某一原始脉冲波形。灰色竖虚线为电缆长度指示线。红色竖线为直接脉冲指示线，可通过单击鼠标左键标定。绿色竖线为反射脉冲指示线，可通过单击鼠标右键标定。示波图下方的状态栏显示了该分组的相别、指示线的位置、该原始脉冲的分组相似度和根据指示线计算出的脉冲源到测试仪器距离。



用户可按住鼠标左键并从左上至右下拖曳以放大示波图某区域，可按住鼠标左键并从右下至左上拖曳还原示波图显示，可按住鼠标右键拖曳移动示波图。

界面右下部分为控制栏。右侧为当前原始脉冲波形的信息栏。☒ 原始脉冲 用于打开/关闭原始脉冲波形显示。 用于切换选定分组中的原始脉冲波形。 用于将该原始脉冲从该分组中移除。 用于将该选定分组从分组列表中移除。

 () 用于接受(取消接受)该选定分组中的所有原始脉冲及相应的指示线标定。被接受的分组其“接受”列将显示“X”。

名称	数量	接受
1A	434	X
2A	193	X
3A	150	X
4A	20	
5A	7	
6A	7	
7A	6	
8A	5	

数据来源: Base\实例数据\2015-02-

控制

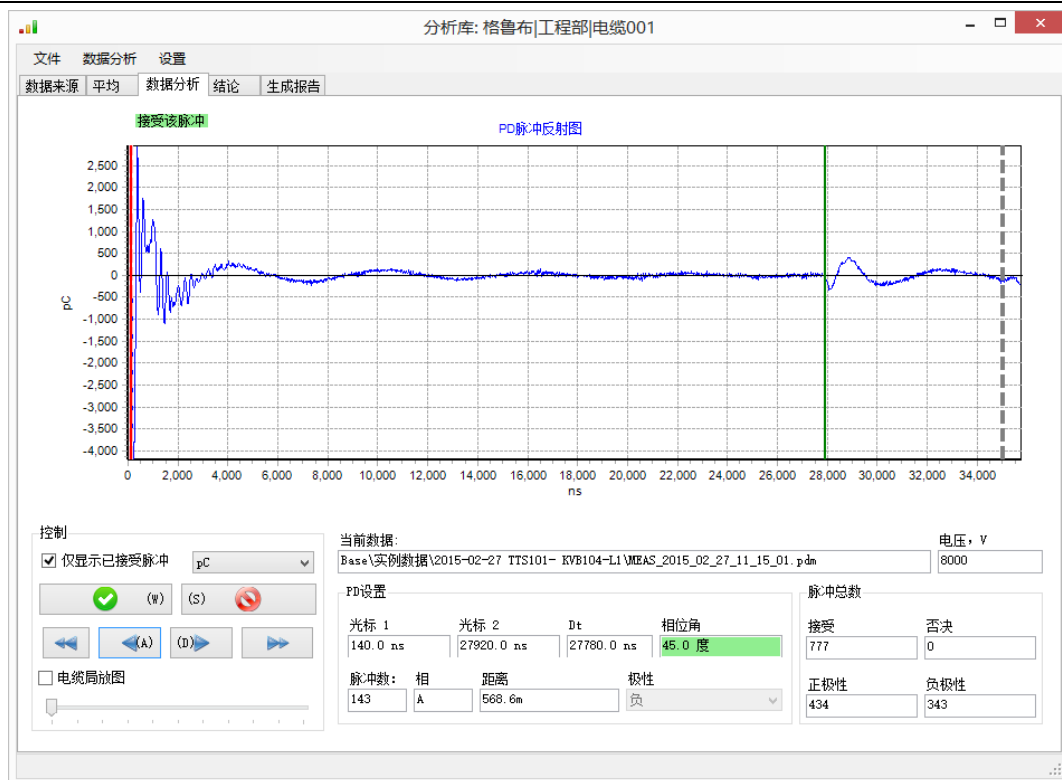
☒ 原始脉冲 

☒ 电缆局放图



5.4 原始脉冲波形分析校验

在“数据分析”标签下，可对所有原始脉冲及指示线进行进一步检查和调整。



界面左下方的控制栏中，选中 ☒ 只有接受，未被接受的所有分组中的所有原始脉冲将不被显示。

界面中下方的信息栏中显示了当前原始脉冲的定位信息、对应的工频相位、极性等信息。

界面右下方的信息栏中显示所有被接受的原始脉冲个数及极性的统计信息。

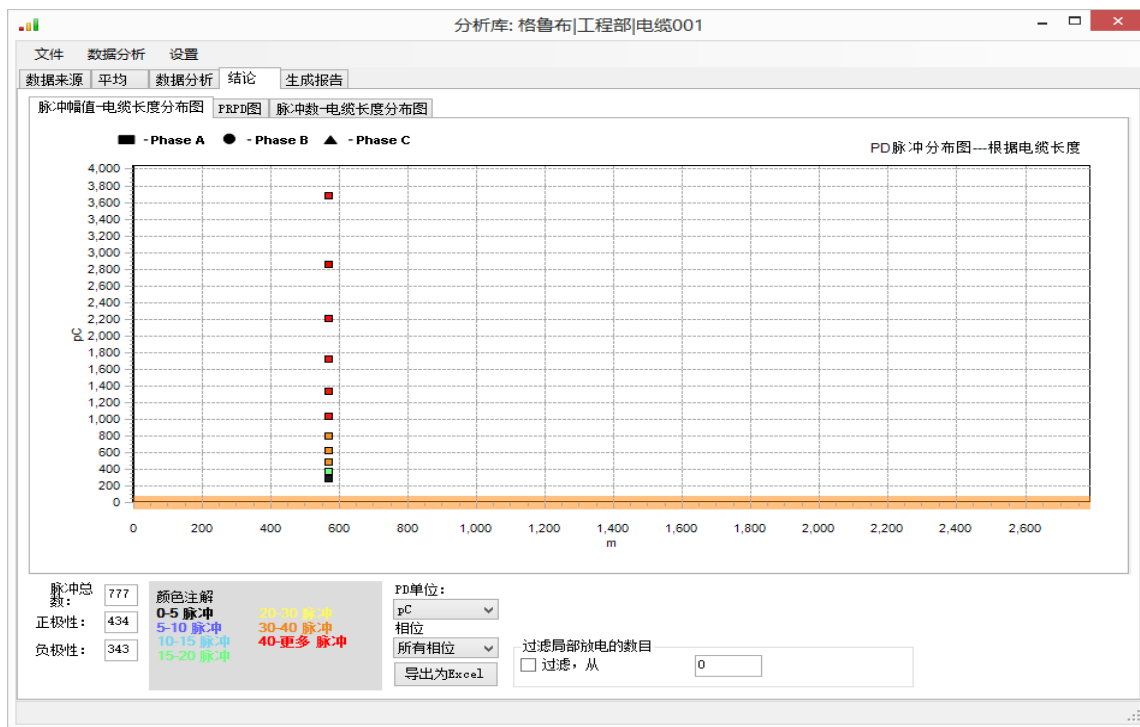
界面左下方的控制栏中，pC 用于切换示波图纵轴单位（pC 或 V），
 (A) (S) 用于切换被分析的原始脉冲（括号内字母为快捷键），(S) 用于将该原始脉冲标定为“未接受”。对于“未接受”的脉冲，用户可重新调整定位指示线并通过 (W) 重新标定为“已接受”，或不再理会。



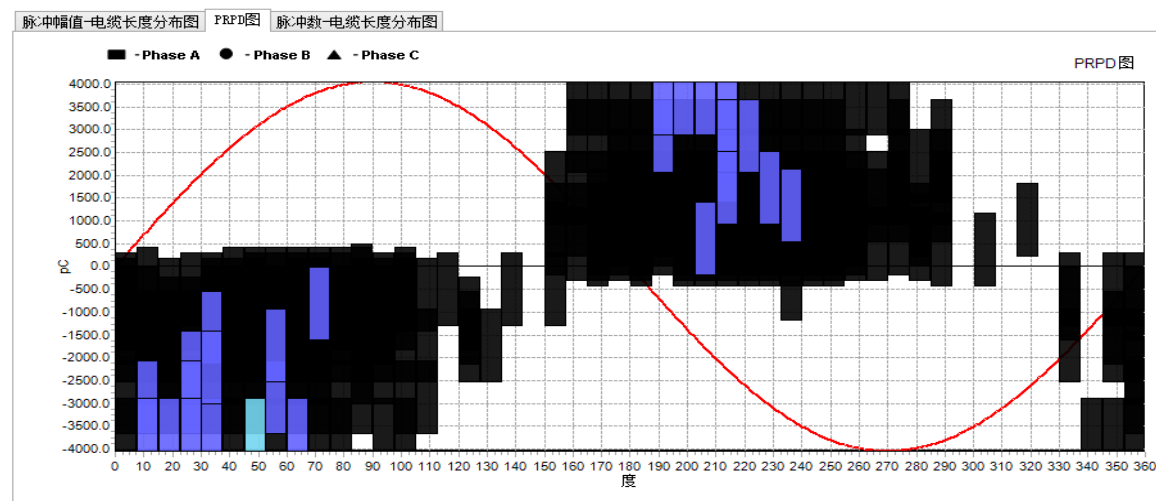
5.5 统计分析

在“结论”标签下，可查看所有已接受脉冲的统计结果。

“脉冲幅值-电缆长度分布图”标签下，可查看所有已接受脉冲信号的幅值-次数-位置三维分布图。其中次数信息使用颜色表示，相别信息使用形状表示。



“PRPD 图”标签下，可查看所有已接受脉冲信号的工频相位分部信息（PRPD），用以确认该信号是否为局部放电信号。



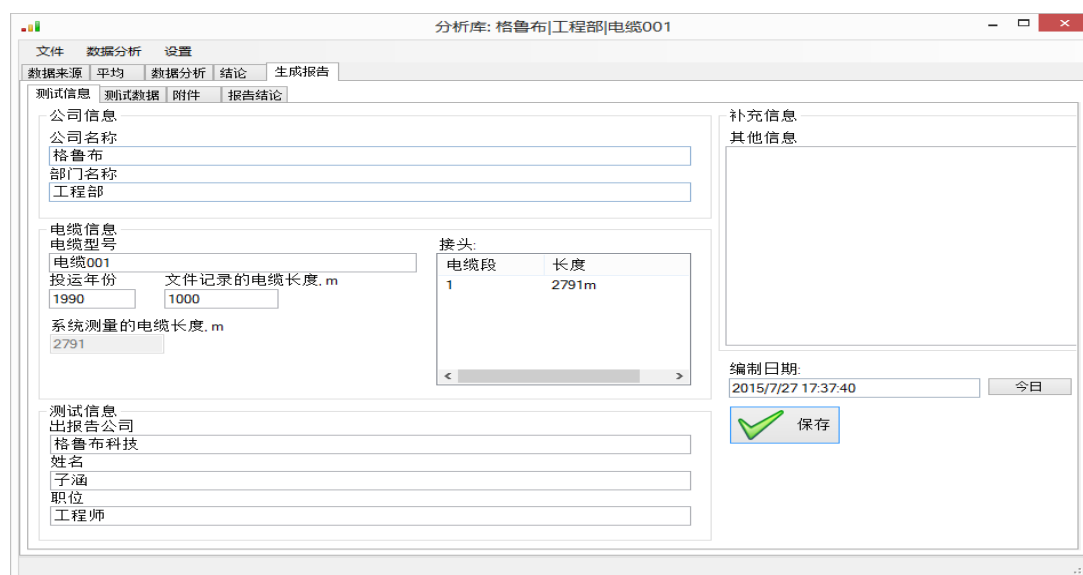
“脉冲数-电缆长度分布图”标签下，可查看所有已接受脉冲信号个数-位置分布直方图。



5.6 生成报告

软件有自动出具报告的功能，根据填写的资料可一键出局报告，

填写“生成报告”标签下测试的基本信息



分析库: 格鲁布|工程部|电缆001

文件 数据分析 设置

数据来源 平均 数据分析 结论 生成报告

测试信息 测试数据 附件 报告结论

公司信息:

公司名称: 格鲁布

部门名称: 工程部

电缆信息:

电缆型号: 电缆001

投运年份: 1990

文件记录的电缆长度, m: 1000

系统测量的电缆长度, m: 2791

接头:

电缆段	长度
1	2791m

补充信息:

其他信息:

编制日期: 2015/7/27 17:37:40

保存

测试信息:

出报告公司: 格鲁布科技

姓名: 子涵

职位: 工程师

“生成报告”标签下的“测试数据”标签下，可查看测试结果，包含各相局部放电的放电量，放电起始电压 PDIV，放电熄灭电压 PDEV，局部放电位置，振荡频率，电缆电容量及介质损耗等。

分析库: 格鲁布|工程部|电缆001

文件 数据分析 设置

数据来源 平均 数据分析 结论 生成报告

测试信息 测试数据 附件 报告结论

PD平均值, pC			低频, Hz		
A相	B相	C相	A相	B相	C相
2134.2	0.0	0.0	117.5	0.0	0.0

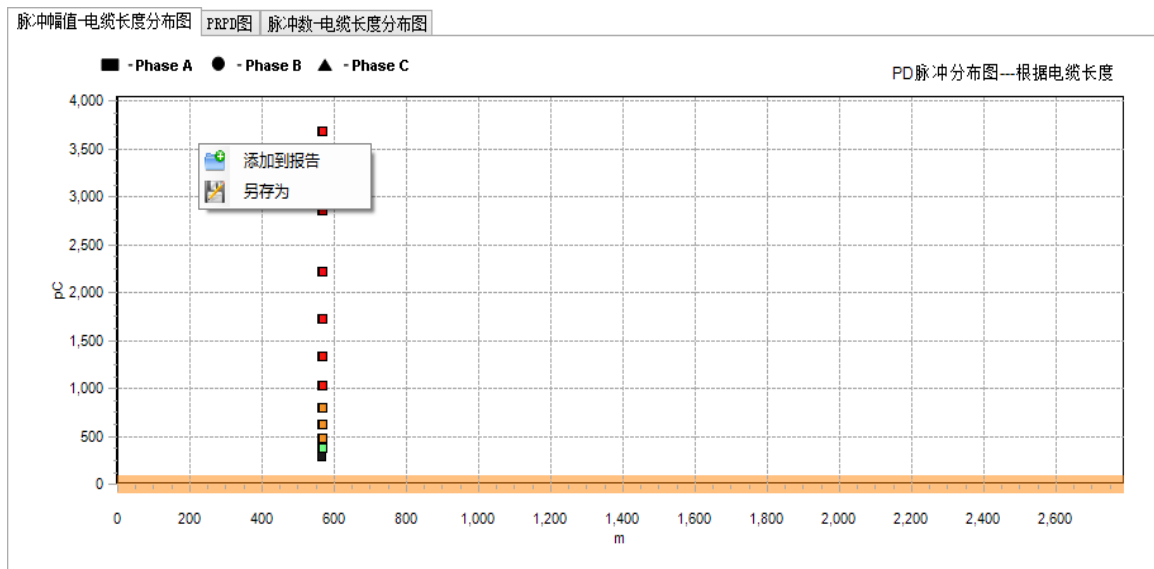
PD起始电压			电容, uF		
A相	B相	C相	A相	B相	C相
8.0	0.0	0.0	0.7297	0.0000	0.0000

PD熄灭电压			介质损耗		
A相	B相	C相	A相	B相	C相
2.2	0.0	0.0	0.0095	0.0000	0.0000

缺陷位置

A相			B相			C相		
距离	% (L)	接头	距离	% (L)	接头	距离	% (L)	接头
568 m	20	没有						
565 m	20	没有						

在分析过程中的图片均可以以附件的形式出现在报告中。鼠标右键单击要保存的附件，选择添加到报告。



形成的附件记录在“附件”标签中。

分析库: 格鲁布|工程部|电缆001

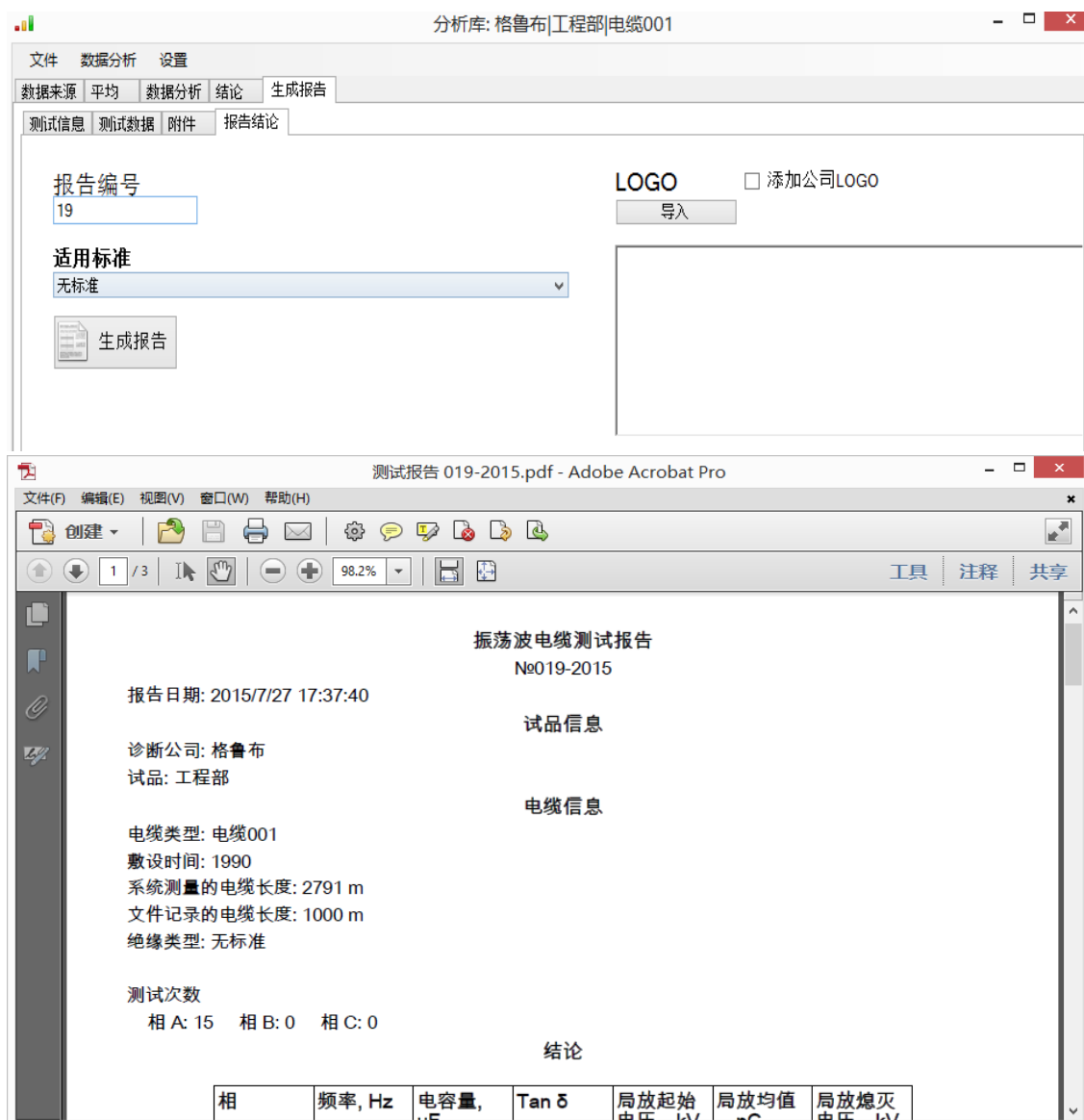
文件 数据分析 设置

数据来源 平均 数据分析 结论 生成报告

测试信息 测试数据 附件 报告结论

附件	
附件	注释
图片 1	PD幅值-位置分布图 所有相位
图片 2	电缆局放图, A, 8000V, 144脉冲, 4670pC.

在报告中可以任意添加公司 logo，点击生成报告即可完成报告的一键生成。



备注：生成的报告格式为 PDF 文件，因此需要本机预先安装好 Adobe Acrobat Pro 软件。

6. 专家知识与经验

6.1 电缆局部放电信号判断几条准则

- 一般来说，局部放电信号的脉冲数会随着电压升高而增多，如下图所示。

分析库: 格魯布|工程部|电缆001

文件名	脉冲个数	脉冲峰值, pC	相位, °	是否反相	测试电压, V	脉冲检测阈值, pC	电缆长度, m
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_15_01.pdm	144	4670	A	没有	8000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_15_22.pdm	149	4670	A	没有	11200	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_15_44.pdm	162	4670	A	没有	14400	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_16_06.pdm	171	4670	A	没有	16000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_16_29.pdm	169	4670	A	没有	16000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_16_51.pdm	165	4670	A	没有	16000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_17_13.pdm	171	4670	A	没有	17600	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_17_38.pdm	199	4670	A	没有	20800	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_18_03.pdm	217	4670	A	没有	24000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_18_29.pdm	213	4670	A	没有	24000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_18_55.pdm	217	4670	A	没有	24000	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_19_22.pdm	242	4670	A	没有	27200	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_19_52.pdm	244	4670	A	没有	27200	200	2791
Base\实例数据\2015-02-27 TTS101- KVB104-L1\MEAS_2015_02_27_11_20_20.pdm	251	4670	A	没有	27200	200	2791

- 若三相均出现的十分相似的分组脉冲信号，则该信号来自被测电缆本身的可能性不大，但并非完全不可能。
- 随着局部放电脉冲信号在电缆中的传播，其脉冲宽度会不断变宽。距离测试端越远，脉宽越宽。
- 电缆局部放电信号必然具有在工频周期一、三象限聚集的工频相位分布特性，可通过 PRPD 图判断。
- 电缆局部放电信号必然具有在电缆某些位置聚集的位置分布特性，可通过脉冲幅值-电缆长度分布图或脉冲数-电缆长度分布图判断。

6.2 干扰信号的排除

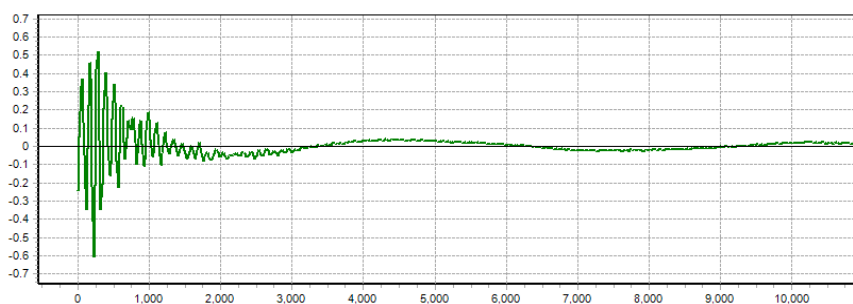
1) 由于升压测试时，外部噪声干扰、连接电缆与被测电缆接头处、振荡波测试仪内部均可能导致检测到脉冲信号。这些脉冲信号具有典型的特征，根据上述四条准则，可在分组阶段将其排除。

2) 下列波形即为 A, B, C 相记录到的 TQ12 内部及连接接头处产生的脉冲波形，分别为 1A 分组、1B 分组和 1C 分组。可以看出：

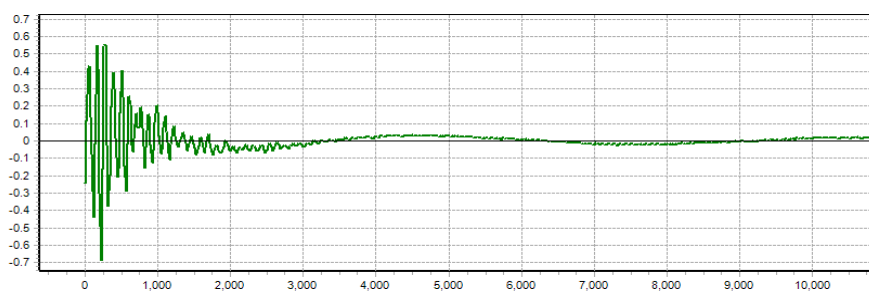
- 该波形具有很窄的单脉冲脉宽（几十 ns），与校准器（calibrator）的脉冲脉宽相仿，所以脉冲源位置应距离测试端很近。
- 如果脉冲来自被测电缆上靠近测试端的位置，则其直接脉冲与反射脉冲的到达时间差应为整个电缆长度，而不是像下图这样出现许多距离非常近的脉冲。
- 三相出现非常类似的脉冲波形，脉冲来自被测电缆的可能性很小。

因此可以得出结论，该类脉冲不来自于被测电缆，可以在分组阶段即予以排

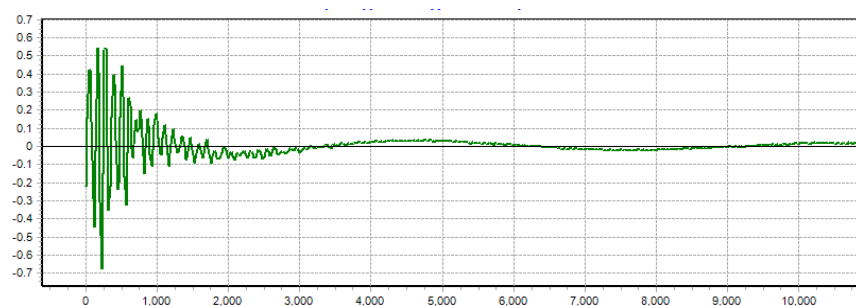
除。



A 相，分组 1A



B 相，分组 1B



C 相，分组 1C

- 3) 尽量减小环境噪音干扰，如有施工可要求暂停；
- 4) 尽量减小来自地线的干扰如电晕等；
- 5) 为排除高压测试电缆与被测电缆之间的连接不好而造成的人为干扰，高压电缆与被测电缆的连接需要严密接触完整。

7、电缆振荡波局放诊断评价

电缆局部放电量：

当电缆的以下部件出现下列的局放量超标情况，应视为缺陷情况：

- 1) 电缆本体：>300pC；
- 2) 电缆终端：>5000pC；

3) 电缆中间接头：>500pC。

电缆振荡波局放量超标异常情况处理措施

- 1) 带电情况下采用超声波、地电波、红外等手段进行状态监测；
- 2) 保供电期间缩短带电测试周期；
- 3) 必要时更换局放量超标部件；

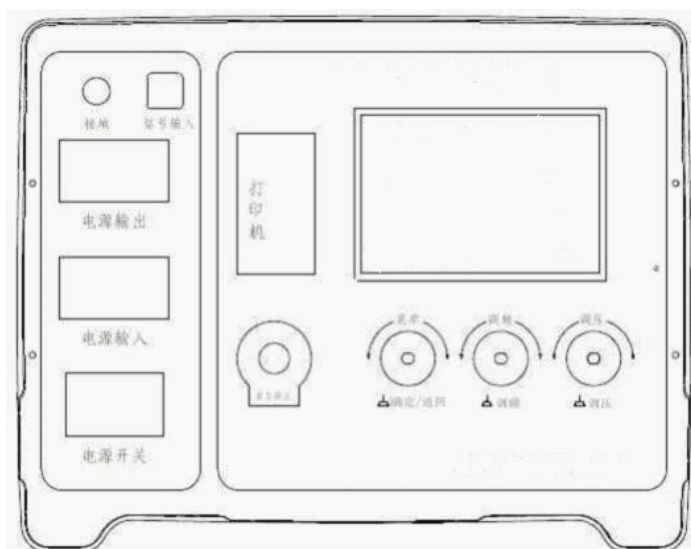
三、附录：高压变频谐振电源的使用说明

1、适用范围

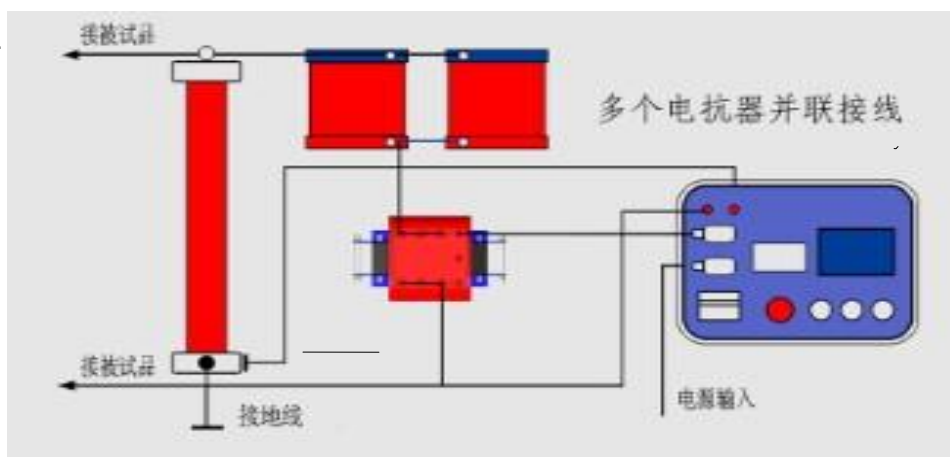
本装置可用于中高电压等级的容性试品的交流耐压试验：

- (1) 6~35kV 交联聚乙烯电缆交流耐压试验；
- (2) 35~35kV GIS 的交流耐压试验；
- (3) 10~35kV 开关、母线、套管等交流耐压试验。
- (4) 10~35kV 电力变压器的工频耐压试验；
- (5) 10~35kV PT 和 CT 的工频耐压试验；
- (6) 发电机组的工频耐压试验；
- (7) 10~35kV 电力电容器等的耐压试验。

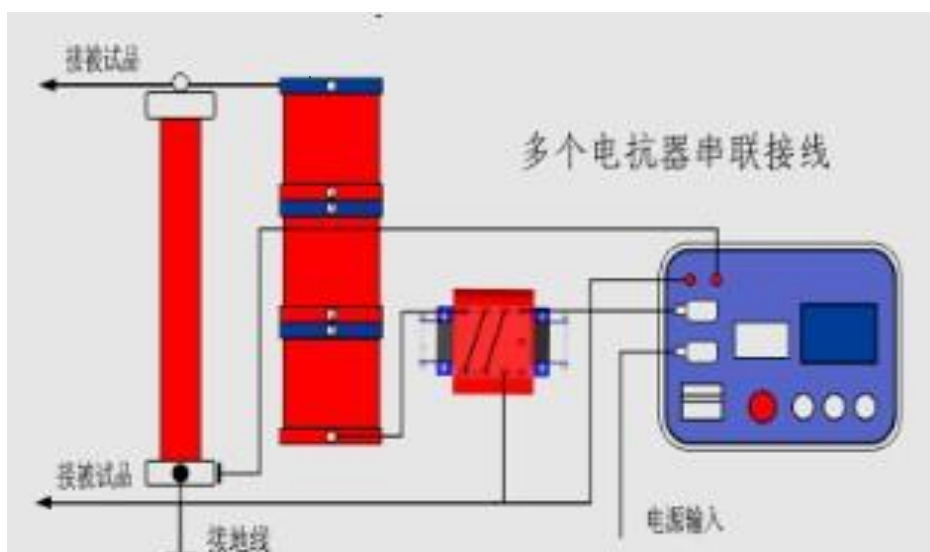
2、面板图



3、电抗器并联方式接线示意图



4、电抗器串联方式接线示意图



5、操作步骤

1) 正确连线，检查无误后方可送电。

必要时工作电源的跳过现场漏电保安器，以免不必要的跳闸。

2) 打开电源开关，主机开始工作，液晶屏显示开机画面

3) 触按菜单钮，进入的主菜单：系统参数设置、试验参数设置、开始耐压试验和历史记录查询 四个子菜单项，选择要操作的选项，点击进入。

操作选项	提示
系统参数设置 试验参数设置 开始耐压试验 历史记录查询	为了确保试验的安全和准确性,请在开始试验前根据实际的分压器、电抗器、励磁变变比、电抗器电感、系统参数、并设置好试验电压、耐压时间、频率范围、激励强度设置好试验参数!
退出	

在开始耐压实验前必须要根据实际情况设置好相应参数。

4) 系统参数设置菜单下有分压器变比、激励变变比、电抗器电感和日期和时间四个设定项。旋转菜单钮》选择要改变的值》按下菜单钮》光标闪烁》旋转菜单钮》改变数值》按下菜单钮返回，设定完成后，触按退出返回上一级菜单。

分压器变比的设定：旋转菜单钮，移动光标需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本次试验的分压器变比设定。

激励变变比的设定：旋转菜单钮，移动光标需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本次试验激励变变比设定（注意激励变变比指的是高压侧与低压侧的变比主要用做计算高压侧电流）。

电抗器电感的设定：旋转菜单钮，移动光标需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本次试验电抗器电感设定。

系统参数设置	
分压器变比：	1000:1
激励变变比：	10.0:1
电抗器电感：	0100.0H
日期和时间：	00:20:55 2000-01-01
退出	

系统默认上一次的分压器变比、激励变变比和电抗器电感设定值，须根据实际配置设定相应参数。若分压器变比设定错误，会导致显示电压不准，从而对被

试品和设备造成损坏；激励变变比设定错误将导致试验报告中试品电流计算不准；电抗器电感设定错误会导致试验报告中被试品电容计算不准；日期和时间设定错误会导致试验报告中试验日期和时间不准。

5) 试验参数设置菜单下有试验电压、耐压时间、频率范围和激励强度四个设定项，全部设定完成后，触按退出返回上一级菜单。

试验参数设置	
试验电压：	100.0kV
耐压时间：	01分00秒
频率范围：	030-400Hz
激励强度：	002.0%
退出	

试验参数设置菜单下有试验电压、耐压时间、频率范围、激励强度等 4 个子菜单项，分别设定本次试验的试验电压、耐压压时间、频率范围、激励强度，全部设定完成后，触按退出返回上一级菜单。

试验电压的设定：在试验电压项中，旋转菜单钮，移动光标到需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本次试验的试验电压的设定。

耐压时间的设定：当试验电压设置完成后，旋转菜单钮，移动光标需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本次试验加压时间的设定。

频率范围的设定：旋转菜单钮，移动光标需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本次试验频率范围的设定（预估试验频率不同试验设置不同的范围本套系统最大频率范围为 30-300Hz）。

激励强度的设定：旋转菜单钮，移动光标需要改变的数位，触按菜单钮后，选中的数位反色，再旋转菜单钮以改变当前数位的数值大小，触按菜单钮完成当前数位的数值设定，依次选择下一数位和数值的设定，直至最末位，方可完成本

次试验激励强度的设定（一般放在 2%找频，视具体试验而定）。

6) 开始耐压试验菜单下有手动试验模式、自动找频模式和自动动试验模式三种子菜单可供选择。

操作选项	提示	试验模式选择	提示
系统参数设置 试验参数设置 开始耐压试验 历史记录查询	为了确保试验的安全和准确性,请在开始试验前根据实际的变压器、电抗器组合设置好系统参数,并根据试品要承受的试验电压、耐压时间、频率范围、激励强度设置好试验参数!	手动试验 自动找频 自动试验	选择手动试验后,需手动调节频率和电压;选择自动找频,仪器将自动寻找谐振点,然后手动调节电压;选择自动试验后,仪器将自动寻找谐振点,并根据预设的试验电压,自动升压!
退出		退出	

手动试验模式的操作：选中手动调谐模式后触按菜单钮，进入正在手动试验菜单项；手动右旋频率调整钮，对应的频率随之改变，其试验电压也逐步升高，当升到最高电压时，继续右旋频率调整钮时，试验电压开始下降；这时左旋频率调整钮，试验电压又逐步回升，左右回旋频率调整钮，从频率的高位到低位逐位调整最高电压值时的频率就是当前的谐振频率。

正在手动试验	正在手动试验	正在手动试验
试验电压：002.35kV 试验频率：042.00Hz 激励强度：02.00% 耐压时间：00分00秒 输出电流：000.81A 试品电流：00.08A	试验电压：005.37kV 试验频率：046.26Hz 激励强度：02.00% 耐压时间：00分00秒 输出电流：001.25A 试品电流：00.13A	试验电压：052.01kV 试验频率：046.26Hz 激励强度：21.53% 耐压时间：00分10秒 输出电流：010.37A 试品电流：01.03A

自动找频模式：选中自动找频模式，进入试验状态后，装置将在设定的频率范围内自动寻找谐振点（如果被试品电容 C 和电抗器电感 L 的实际谐振频率不在设定的频率范围内，将找不到谐振点，此时根据需要调整频率范围或调整被试品回路的 LC 参数）。找到谐振点后，装置将自动进入手动升压状态，增大激励强度，试验电压逐步升高，当升到试验参数设置中设定的试验电压时，装置将自动稳压，并开始耐压时间计时，达到耐压时间后，设备将逐步降压退出耐压试验。

正在自动找频试验	正在自动找频试验	正在自动找频试验
试验电压：002.35kV 试验频率：042.00Hz 激励强度：02.00% 耐压时间：00分00秒 输出电流：000.81A 试品电流：00.08A	试验电压：005.37kV 试验频率：046.26Hz 激励强度：02.00% 耐压时间：00分00秒 输出电流：001.25A 试品电流：00.13A	试验电压：052.01kV 试验频率：046.26Hz 激励强度：21.53% 耐压时间：00分10秒 输出电流：010.37A 试品电流：01.03A

自动试验模式：选中自动试验，进入试验状态后，装置将在设定的频率范围内自动寻找谐振点（如果被试品电容 C 和电抗器电感 L 的实际谐振频率不在设定的频率范围内，将找不到谐振点，此时根据需要调整频率范围或调整被试品回路的 LC 参数）。当找到谐振点后，装置将自动升压，当升到试验参数设置中设定的试验电压时，装置将自动稳压，并开始耐压时间计时，达到耐压时间后，设备将逐步降压退出耐压试验。

正在自动试验	正在自动试验	正在自动试验
试验电压：002.35kV	试验电压：005.37kV	试验电压：052.01kV
试验频率：042.00Hz	试验频率：046.26Hz	试验频率：046.26Hz
激励强度：02.00%	激励强度：02.00%	激励强度：21.53%
耐压时间：00分00秒	耐压时间：00分00秒	耐压时间：00分10秒
输出电流：000.81A	输出电流：001.25A	输出电流：010.37A
试品电流：00.08A	试品电流：00.13A	试品电流：01.03A

注意：在调节频率调整钮的过程中，向下触按调频按钮，可以改变频率调节的速度实现粗中细调的切换。在调节电压调整钮的过程中，向下触按菜单调整钮，可以改变电压的升降的速度实现粗中细调的切换。向下触按调频调整钮，实现调频与调压间的切换。

7) 退出试验后，进入当前试验记录窗口，按下保存键，保存当前试验记录，按下打印键，打印当前试验记录

注意：在试验过程中再次按下菜单/返回键，则手动退出试验状态

8) 进入历史记录查询窗口，可查询以往和当前试验数据。选择删除键可删除当前查看的试验记录，选择清空键可清空所有试验记录。

试验记录之102/102页		
试验电压：	000.76kV	上页 下页 首页 尾页 删除 清空 打印 退出
试验频率：	030.00Hz	
激励强度：	02.00%	
耐压时间：	00分00秒	
输出电流：	000.81A	
试品电流：	00.08A	
试品电容：	000.28uF	
分压器变比：	1000:1	
激励变变比：	10.0:1	
电抗器电感：	0100.0H	
试验结果：	通过耐压试验	
日期时间：	2000-01-01 00:49	

9) 装置和试验状态菜单提示：设备的使用耐压试验过程中，如果出现影响试验设备、被试验设备以及操作人的安全情况，设备可能出现自动保护状态，并在

屏幕有相应的提示。

试品闪络：如果在加压过程中，装置检测到输出电压突降，这时设备会退出试验状态并提示试品闪络

试验结束
<p>试品闪络</p> <p>参考提示：电压跌落，试品放电或击穿，注意断电后检查试品！</p>
退出

试品过压：如果装置的输出电压大于试验参数设置中设定的试验电压一定的阈值，装置将自动保护，退出试验状态并提示试品过压。

试验结束
<p>试品过压</p> <p>参考提示：激励强度过大，或分压器，激励变压器变比设置过大！</p>
退出

试品过流：如果装置的输出电流大于出厂设置中设定的保护电流阈值，装置将自动保护，退出试验状态并提示试品过流。

试验结束
<p>试品过流</p> <p>参考提示：激励强度过大，或电源输出短路，注意断电后检查设备接线！</p>
退出

输出保护：若在试验状态中，装置检测到内部功率电子元件失效，装置将自动保护，退出试验状态并提示输出保护。

试验结束
<p>输出保护</p> <p>输出保护 参考提示：模块保护，或温度过高，断电后检查设备和接线！</p>
退出

无谐振点：如果谐振点不在谐振频率设置的范围内或系统连线不正确等现象，装置将找不到谐振点，这时自动找频结束后会提示无谐振点。

试验结束
<p>无谐振点</p> <p>参考提示：试品Q值太低，或初始激励强度太低，或参数设置有误，接线有误，断电后检查设备接线！</p>
退出

10) 设备出厂参数设置是生产厂家的出厂设置参数和校验参数，不适当的设置和修改会影响设备性能和高压试验的安全性，未经厂家授权密码，无法修改。

警告：正常试验状态下，按菜单/返回键即可中止试验。中止或结束试验后，应分离刀闸切断电源。在升压或加压过程中，非紧急情况，不要按下急停键。

六、本说明书的专属名词的定义

自动试验：高压试验全过程由主机按程序和预置参数自动完成。

自动找频：找谐振点由主机按程序自动完成，升压手动完成。

手动试验：寻找谐振点和升压均为手动，通过面板旋钮完成。

系统参数设置是指对设备部件参数的设置。

试验参数设置是指对试验过程参数的设置。

试验模式选择是指对试验模式的选择。

试验结果查询是指对试验数据的查询。

分压器变比是指对分压器的分压比设置。

电抗器电感是指对电抗器电抗值的设置。

激励变变比是指对励磁变压器的变比设置。

试验电压是高压试验时的试验电压。

加压时间是施加试验电压的时间。

激励强度是指主机电源输出的大小。

频率范围是试验的频率范围。

自动试验模式是指试验过程全部自动完成。

自动找频模式是指自动寻找谐振点后，手动加压完成试验。

手动试验模式全部由人工完成试验过程。

不能谐振未能找到谐振点。

输出保护主机电源输出电流大于整定电流。

试验中止指在升压或加压过程装置自动保护。

设备出厂参数设置是厂家对设备有关参数的设置。

菜单/返回键：确认当前操作。

粗调/细调：控制调频或升压过程步进按钮。

急停键：紧急切断电源按键。非紧急情况慎用！

注意：主机一定要接地！

7、常见故障排除

故障现象	发生原因	排除方法
找不到谐振点	接线有误。 输出开关未开； 3、做 GIS 时 PT 二次回路未打开； 4、试品 Q 值太低； 5、起始激励功率太低； 6、试验回路有短路现象； 7、找频范围不对。	退出试验状态，合上输出开关，检查接线；打开 PT 二次回路； 调高起始功率（ $\angle 30\%$ ）； 用兆欧表测量试品绝缘 重新设置找频范围
谐振后，电压升不上去	1、试品 Q 值太低； 2、激励电压不够； 3、电抗器底部有铁磁物体； 4、3 次谐波谐振。	检查试品； 改变激励变压器绕组接法，提高励磁电压 绝缘筒架高电抗器或离开铁磁物体。

主机自动复位	供电电源容量不够； 电源引线过长或线径过小； 接头处接触不良； 供电电压波动； 按键死接触。	增加供电电源容量； 换较粗导线，减小导线长度； 检查接头； 减小供电电压波动。
开机后线路跳闸	线路漏电保护器较为敏感； 空气开关容量不够。	跨过漏电保护器或空气开关的接线； 改换较大容量的空气开关。
电压跌落	试品放电或击穿	检查试品
输出短路	电流超过本机限流值。	检查接线和试品。
试品电压不准	分压比设置错误或分压器 信号传输有问题。	重设分压比或检查分压器接线。
电压闪变	试验电压剧烈波动，变化率 超过本机限定值。	检查供电电源电压稳定性或试品参数的变化。
回路无电流		检查接线和试品。
试品过电压	手动升压太快或失控。	改变调压步距或改用自动升压。
系统不谐振	接线有误或试品 Q 值太低。	检查接线和试品

8、设备保存和维护

- 1、存放于干燥、清洁场地，防止雨水、灰尘进入部件内部；
- 2、如若长期不使用，正常天气至少 2 个月应通电一次时间不少于半小时，雨季及潮湿期应每隔一个月通电一次，通电时间半小时，以驱除设备内的潮气防止电子元器件的锈蚀，影响正常使用。
- 3、定期检查装置各部件，确保各接头紧固无松动；
- 4、更换打印纸，机器采用热敏打印纸并且是前换纸式当需要换纸时只要按 POST 键钮打印纸舱门就会打开可以将新打印纸装入；

9、常用设备资料参考

1、交联聚乙烯电缆单位长度电容量

电缆导体截 面积(平方 毫米)	电 容 (μ/km)				
	YJV、YJLV	YJV、YJLV	YJV、YJV、YJLV	YJV、YJLV	YJV、YJLV
	6/6kV、 6/10kV	8.7/10kV、 8.7/15kV	12/35kV	21/35kV	26/35kV
1×35	0.212	0.173	0.152		
1×50	0.237	0.192	0.166	0.118	0.114
1×70	0.270	0.217	0.187	0.131	0.125
1×95	0.301	0.240	0.206	0.143	0.135
1×120	0.327	0.261	0.223	0.153	0.143
1×150	0.358	0.284	0.241	0.164	0.153
1×185	0.388	0.307	0.267	0.180	0.163
1×240	0.430	0.339	0.291	0.194	0.176
1×300	0.472	0.370	0.319	0.211	0.190
1×400	0.531	0.418	0.352	0.231	0.209
1×500	0.603	0.438	0.388	0.254	0.232
1×600	0.667	0.470	0.416	0.287	0.256

2、交联聚乙烯电缆单位长度电容量

电缆导体截 面积(平方 毫米)	电 容 ($\mu\text{F}/\text{km}$)				
	YJV、YJLV	YJV、YJLV	YJV、YJV、YJLV	YJV、YJLV	YJV、YJLV
	6/6kV、 6/10kV	8.7/10kV、 8.7/15kV	12/35kV	21/35kV	26/35kV
3×35	0.212	0.173	0.152		
3×50	0.237	0.192	0.166	0.118	0.114
3×70	0.270	0.217	0.187	0.131	0.125

3×95	0.301	0.240	0.206	0.143	0.135
3×120	0.327	0.261	0.223	0.153	0.143
3×150	0.358	0.284	0.241	0.164	0.153
3×185	0.388	0.307	0.267	0.180	0.163
3×240	0.430	0.339	0.291	0.194	0.176
3×300	0.472	0.370	0.319	0.211	0.190
3×400	0.531	0.418	0.352	0.231	0.209
3×500	0.603	0.438	0.388	0.254	0.232
3×600	0.667	0.470	0.416	0.287	0.256

3、交联聚乙烯电缆单位长度电容量

电缆导体截 面积(平方毫 米)	电 容 (μF/km)	
	YJV、YJLV	YJV、YJLV
	64/110kV	128/220kV
3×240	0.129	
3×300	0.139	
3×400	0.156	0.118
3×500	0.169	0.124
3×630	0.188	0.138
3×800	0.214	0.155
3×1000	0.231	0.172
3×1200	0.242	0.179
3×1400	0.259	0.190
3×1600	0.273	0.198
3×1800	0.284	0.297
3×2000	0.296	0.215
3×2200		0.221
3×2500		0.232

4、60kV 级全绝缘变压器的电容 (pF)

类 型	变 压 器 容 量 kVA					
	630	2000	3150	6300	8000	1600
高压一地	2700	4100	4600	5900	7000	8200
低压一地	4200	6600	7900	10000	11000	15300

对于表中没有的产品，可根据表中的上、下容量近似地估算。同容量的双绕组变压器，其绕组电容要比三绕组产品小。

5、110kV 级中性点分级绝缘变压器的电容 (pF)

类 型	变 压 器 容 量 kVA				
	50000	31500	20000	10000	5600
高压—中压、低压、地	14200	11400	8700	6150	4200
中压—高压、低压、地	24800	11800	13200	9600	—
低压—高压、中压、地	19300	19300	12000	9400	6800

6、220kV 级中性点非全级绝缘部分变压器的电容 (pF)

试 品 型 号		SEPSL-63000	SSPSL-120000	SSPSL-240000
		0		0
类 型	高压—中压、低压及地	12100	13500	17050
	中压—高压、低压及地	18500	19700	23260
	低压—高压、中压及地	18200	23600	29940
试 品 型 号		SFPL-240000	SFP-360000	SFPSZL-120000
		0		

类 型	高压—中压、低压及地	32230	33910	38020
	中压—高压、低压及地	—	—	23260
	低压—高压、中压及地	22470	23790	22160

7、油浸式电力变压器交流试验电压

额定电压 (k V)	最高工作 电压 (k V)	线端交流试验电压值 (kV)		中性点交流试验电压值 (kV)	
		全部更 换绕组	部分更换绕组 或交接	全部更换 绕组	部分更换绕组或交 接
<1	≤1	3	2.5	3	2.5
3	3.5	18	15	18	15
6	6.9	25	21	25	21
10	11.5	35	30	35	30
15	17.5	45	38	45	38
20	23.0	55	47	55	47
35	40.5	85	72	85	72
110	126.0	200	170(195)	95	80
220	252.0	360	306	85	72
		395	336	(200)	(170)
500	550.0	630	536	85	72
		680	578	140	120

8、部分型号发电机定子绕组的单相对地电容量

类别	发 电 机				
	型号	生产厂家	额定容量 (MW)	额定电压 (kV)	相电容 (mF)
火 力 发 电 机	QFS-125-2	上海电机厂	125	13.8	0.08-0.12
	QFS-200-2	哈尔滨电机 厂	200	15.75	0.19-0.21
	QFQS-200-2	东方电机厂	200	15.75	0.1928-0.21
	QFQS-200-2	北京重型电 机厂	200	15.75	0.18-0.19
	QFS-300-2	上海电机厂	300	18.0	0.16-0.20
	QFS-300-2	上海电机厂	300	18.0	0.18-0.20
	ATB-2	美国 GE 公司	352	23.0	0.268(设计值)
	TBB-320-2	(前苏联)	320	20.0	0.31
	2-105×234	美国西屋公 司	600	20.0	0.2(工厂试验 值)
	50WT23E-13 8	ABB	600	22.0	0.253(设计值)
水 发 力 电 机			72.5 - 85	10.5	0.694
			300	15.75	1.7-2.5
			400	18.0	2-2.5

9、同步发电机定子绕组交流试验电压

1	全部更换定 子绕组并修 好后的试验 电压	容量 kW 或 kVA	小于 10000	10000 及以上		
		额定电压 U_n (V)	36 以上	6000 以 下	6000 ~ 18000	18000 以 上
		试验电压 V	$2U_n+1000$ 但最 低为 1500	$2.5U_n$	$2U_n$ +3000	按专门协 议

2	大修前或局部	运行 20 年及以下者	1.5 Un
	更换定子绕组	运行 20 年以上与架空线路直接连接者	1.5 Un
	并修好后的试验电压	运行 20 年以上不与架空线路直接连接者	(1.3~1.5) Un

10、电缆交流耐压试验方案举例

举一实测例子：一条电缆型号为 YJLV22—8.7/10—3×240mm², 长 50 米, 对此条电缆进行交流耐压试验。

1) 电缆电容：

经查参数, 此电缆 $C_0 = 0.339 \mu F / km$, 经计算 50 米长的电缆的电容值为:

$$C_x = 0.339 \times 0.05 = 0.01695 \mu F$$

电容分压器电容值： $C_p = 0.005070 \mu F$

电容总值： $C = C_x + C_p = 0.01695 + 0.005070 = 0.02202 \mu F$

2) 电抗器选择：

试验电压为 $8.7 \times 2.5 = 21.75 kV$

每一节电抗器最高输出电压为 18kV, 则选择两节电抗器, 输出电压最高可达 36kV;

电感总值为： $L = L_1 + L_2 = 113.44 H$

3) 系统谐振频率：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{113.44 \times 0.02202 \times 10^{-6}}} = 100.75 Hz$$

4) 电抗器输出电流：

$$\begin{aligned} I_T &= U_T \omega C \\ &= 21.75 \times 2 \times 3.14 \times 100.75 \times 0.02202 \times 10^{-6} \times 10^3 \\ &= 0.303 A \end{aligned}$$

5) 计算结果分析

- 谐振频率为 100.75Hz, 在 30~300Hz 范围之内;
- 流过高压电抗器的电流为 0.303A, 小于 1.67A
- 结论: 采用两只电抗器串联使用的方案可以满足次电缆的试验要求