

尊敬的顾客

感谢您使用本公司生产的产品。在初次使用该仪器前，请您详细地阅读使用说明书，将可帮助您正确使用该仪器。



我们的宗旨是不断地改进和完善公司的产品，因此您所使用的仪器可能与使用说明书有少许差别。若有改动，我们不一定能通知到您，敬请谅解！如有疑问，请与公司售后服务部联络，我们定会满足您的要求。



由于输入输出端子、测试柱等均有可能带电压，您在插拔测试线、电源插座时，会产生电火花，小心电击，避免触电危险，注意人身安全！

◆ 慎重保证

本公司生产的产品，自发货之日起三个月内，如产品出现缺陷，实行包换。一年（包括一年）内如产品出现缺陷，实行免费维修。一年以上如产品出现缺陷，实行有偿终身维修。

◆ 安全要求

请阅读下列安全注意事项，以免人身伤害，并防止本产品或与其相连接的任何其它产品受到损坏。为了避免可能发生的危险，本产品只可在规定的范围内使用。

只有合格的技术人员才可执行维修。

—防止火灾或人身伤害

使用适当的电源线。只可使用本产品专用、并且符合本产品规格的电源线。

正确地连接和断开。当测试导线与带电端子连接时，请勿随意连接或断开测试导线。

产品接地。本产品除通过电源线接地导线接地外，产品外壳的接地柱必须接地。为了防止电击，接地导体必须与地面相连。在与本产品输入或输出终端连接前，应确保本产品已正确接地。

注意所有终端的额定值。为了防止火灾或电击危险，请注意本产品的所有额定值和标记。在对本产品进行连

接之前，请阅读本产品使用说明书，以便进一步了解有关额定值的信息。

请勿在无仪器盖板时操作。如盖板或面板已卸下，请勿操作本产品。**使用适当的保险丝。**只可使用符合本产品规定类型和额定值的保险丝。

避免接触裸露电路和带电金属。产品有电时，请勿触摸裸露的接点和部位。

在有可疑的故障时，请勿操作。如怀疑本产品有损坏，请本公司维修人员进行检查，切勿继续操作。

请勿在潮湿环境下操作。

请勿在易爆环境中操作。

保持产品表面清洁和干燥。

一安全术语

警告：警告字句指出可能造成人身伤亡的状况或做法。

小心：小心字句指出可能造成本产品或其它财产损坏的状况或做法。

目 录

1 使用手册	9
1.1 所用符号	9
1.2 缩写及定义	9
2 概论	10
2.1 简介	10
2.2 技术指标	10
2.3 供货清单	12
2.5 禁止	13
2.6 拆箱及检查	13
2.7 清洁说明	13
3 安全与防护措施	14
3.1 总则	14
3.2 接地	14
3.3 电源连接	14
3.4 同步电压输入	14
3.5 测量阻抗	14
3.6 现场校准	15
3.7 安全建议	15
4 测试系统	15
4.1 系统概述	15
4.2 硬件系统	16
4.2.1 数字式局部放电检测仪前面板	16
4.2.1.1 LED 指示灯	17
4.2.2 数字式局部放电检测仪后面板	17

4.2.2.1 电源输入	18
4.2.2.2 局放输入	18
4.2.2.3 电压输入	18
<i>4.2.3 测量阻抗</i>	<i>18</i>
4.2.3.1 测量阻抗型号的选取原则	20
4.2.3.2 测量阻抗分压电容选取原则	20
<i>4.2.4 校准脉冲发生器</i>	<i>21</i>
4.2.4.1 设备参数	21
4.2.4.2 输出接口	21
4.2.4.3 脉冲	22
4.2.4.4 脉冲电荷	22
5 操作界面	22
5.1 概览	22
5.2 菜单栏	23
<i>5.2.1 试验管理</i>	<i>23</i>
<i>5.2.2 主机设置</i>	<i>24</i>
5.2.2.1 电压校准	24
5.2.2.2 存储管理	25
5.2.2.3 时间日期	25
5.2.2.4 系统升级	26
<i>5.2.3 数据管理</i>	<i>26</i>
<i>5.2.4 关于</i>	<i>27</i>
5.3 波形显示窗口	27
<i>5.3.1 局放显示</i>	<i>27</i>
5.3.1.1 基线模式	27
5.3.1.2 相移	28
<i>5.3.2 相位开窗</i>	<i>28</i>
<i>5.3.3 数字显示</i>	<i>29</i>

5.4 统计图窗口	29
5.4.1 PRPD 图谱窗口	30
5.4.2 PRPS 图谱窗口	30
5.4.3 数据刷新与数据存储	31
5.5 波形窗口	32
5.5.1 波形展示区	32
5.5.2 波形幅值缩放	33
6 通道设置	33
6.1 局放设置	33
6.1.1 增益控制	34
6.1.2 显示模式	34
6.1.3 滤波器设置	34
6.1.4 局放校准	34
6.2 干扰抑制	35
6.2.1 时间窗法	36
6.2.2 相位窗遮蔽法	36
7 设备校准	37
7.1 局放校准	37
7.1.1 局放滤波器选择	37
7.1.2 局部放电校准流程	38
7.2 电压校准	39
7.2.1 电压输入方式校准	39
7.2.2 电压系数方式校准	39
8 数据处理与存储	40
8.1 新建测试	40
8.2 保存测试	40

8.3 追加试验.....	41
8.4 删除试验.....	41
9 局部放电测量流程.....	42
9.1 测量回路的选择.....	42
9.1.1 电压互感器.....	44
9.1.1.1 高压侧加压.....	44
9.1.1.2 低压侧加压.....	46
9.1.2 电流互感器.....	49
9.1.3 套管.....	51
9.1.4 耦合电容器(或电容式电压互感器).....	51
9.1.5 变压器.....	52
9.1.6 发电机.....	52
9.1.7 电缆.....	54
9.1.8 GIS.....	56
9.2 系统连接.....	57
9.3 执行测试.....	58
9.3.1 校准.....	59
9.3.2 系统零标的确定.....	59
9.3.3 视在放电量的测量.....	60
9.4 干扰源分析及抑制.....	61
9.4.1 与试验电压无关的干扰 (空间干扰).....	61
9.4.2 发电机产生的干扰和试验电压引发的干扰 (电源干扰).....	61
9.4.3 地电流产生的干扰 (地干扰).....	62
10 局部放电测量理论.....	63
10.1 局部放电产生机理.....	63
10.2 局部放电的主要表征参数.....	66
10.3 局部放电测试系统的接地方式.....	67

10.3.1 串联单点接地.....	67
10.3.2 并联单点接地.....	68
10.3.3 多点接地.....	68

1 使用手册

本用户手册提供了如何安全、正确与高效地使用数字式局部放电检测仪（以下简称“局放仪”）系统的相关资料。此用户手册中包括了使用局放仪的重要安全规程，并让您熟悉局放仪的操作。遵循本用户手册的指导，将有助于您避免危险、减少修理费用以及避免由于不正常操作所导致的仪器损坏。

在局放仪的使用现场应常备这本局放仪用户手册。所有局放仪的操作人员都必须仔细阅读本手册并遵循其中的说明。

除了遵照局放仪用户手册的说明以外，您还要遵守在高压电力设备上工作所要遵循的所有相关的国家及国际安全规程。

1.1 所用符号

在本手册中，使用下列安全符号来表示安全方面的指导，以避免发生危险情况。

符号	说明
	注意：可能会造成设备损坏或者其他财产损失的使用做法。此符号在哪里出现就是提醒您此处操作和维护操作非常重要一定要按相应手册操作,参考手册。
	警告：可能造成人身伤害或生命威胁的使用做法。这个符号，在哪里出现就是提醒您此处有不绝缘的危险电压存在，可能有电击的风险。

1.2 缩写及定义

本手册中使用的缩写和定义如下：

- AC 交流电
- DC 直流电
- Ca Cx 试品电容
- Ck 耦合电容
- fL 带通滤波器的下限频率(-6dB)
- fU 带通滤波器的上限频率(-6dB)
- PD 局部放电
- Zm 测量阻抗

2 概论

此手册是对数字式局部放电检测仪系统的整体描述，是如何快速、正确使用这款仪器的指南。也包含了这款仪器的产品特征和技术规范。参考此手册以便正确安装以及高效的进行局部放电测量。

2.1 简介

数字式局部放电检测仪采用一体机设计，操作便捷。该仪器适用于高压产品的型式试验、出厂试验、交接试验，可完成电机、互感器、电缆、套管、电容器、变压器、避雷器、开关及其它高压电器局部放电的定量测试。数字式局部放电检测仪满足 IEC60270、GB/T7354-2018 标准，可完成测量和记录局部放电（PD）以及交流测试电压。

2.2 技术指标

局放测量系统

局放测量通道数量	3 通道
输入阻抗	50Ω
模拟滤波器（-6dB）	满足 IEC60270、GB/T7354-2018 标准
	下限频率 f_L : 10kHz、20kHz、40kHz、60kHz、80kHz 可选
	上限频率 f_U : 100kHz、200kHz、300kHz、400kHz、 500kHz、1MHz 可选
检测灵敏	<1pC(CA=10nF/CK=1nF)
	<0.1pC(CA=1nF/CK=1nF)
采样精度	14bit
采样率	60MHz
增益调节范围	60dB、40dB、20dB、0dB、-20dB、-40dB 自动或手动 可调。
可测试品电容量范围	6pF~250 μ F

线性度误差	< ±3%
-------	-------

电压测量系统

电压输入范围	5~230VAC (RMS)
线性度误差	< ±3%
频率范围	10~450Hz
同步方式	电源同步或电压输入同步自动切换
同步精度	<1°

接口

局放输入	3×BNC
电压输入	1×航空插头
通讯接口	1×RS232

主机参数

操作系统	Linux 操作系统
存储	8G 及以上
电源	176~264 VAC, 50/60Hz
电源保险	250V T 5A
操作温度	-10°C~50°C
贮存温度	-40°C ~60°C
相对湿度	5%~95%, 无冷凝
外观尺寸	355mm×282mm×200mm (宽×深×高)
自身重量	11kg

2.3 供货清单

以下为单主机标准配货清单：

表格 2- 1 供货清单

序号	组件名称	数量	规格
1	数字式局部放电检测仪	1 台	
2	数字式局部放电检测仪用户手册	1 份	
3	主机接地线	1 条	1 米
4	220V 电源线	1 条	
6	50 欧 PD 信号同轴电缆	3 条	10 米
7	电压同步	1 条	10 米
8	分压式测量阻抗	1 个	
9	测量阻抗	2 个	
10	测量阻抗专用耦合电容信号连接线	3 条	0.2 米
11	测量阻抗专用短接线黑色	3 条	0.2 米
12	阻抗专用接地线黑色	3 条	1 米
13	校准脉冲发生器	1 个	
14	校准脉冲发生器专用信号线黑色	1 条	1 米
15	校准脉冲发生器专用信号线红色	1 条	1 米
16	校准脉冲发生器充电器	1 个	
17	出厂检测报告	1 份	

收到仪器后，检查所有物品是否交付。如果零件丢失或损坏，请联系当地销售代表，说明包装箱名牌处的设备名称、型号、出厂编号，以便快速解决。

2.5 禁止

禁止如下操作：



打开数字式局部放电检测仪外壳；

用非由本公司提供的配件更改和替换系统内的任何组件；

如不遵守以上条件，质保无效且供应商不对发生的人员伤害及设备损伤承担责任。

以上所列任何一个条件都是必要的，如有疑问请联系供应商。

2.6 拆箱及检查

首先，检查包装外部以防运输中粗暴搬运。如果外包装完好，小心打开主机箱。取出产品，检查表面有无损坏



重要事项：如果有运输过程中粗暴搬运造成的损害请立即联系承运人。如果外包装损害明显不要毁坏或拆除使用的包装材料。除非能检查物料及相关包装材料损害程度，否则运输公司将不承担赔偿责任。接收货物后必须在五天内提出索赔。

将主机电源线取出，主机接入 220V 交流电压下，检查开机是否正常。如果不能正常开机，请及时联系供应商。

2.7 清洁说明

- 将主机电源线、信号线、以及接地线拆除，用水沾湿质地柔软的布清洁外壳的外部。
- 不要使用溶解剂或磨砂剂。
- 擦拭过程中要注意避免将水或清洁剂渗透入接口、风扇及进风口处。



警告：避免冲击和人身危害的危险，在维修和清洁前确保切断电源。

3 安全与防护措施

本章主要应用于数字式局部放电检测仪安装、操作或维护设备过程中的注意事项。

3.1 总则



警告：安全是用户的责任。仪器操作人员必须通过当地安全操作规程考试并始终按照操作说明操作仪器。



警告：此仪器只能由接受过培训的人员操作，必须了解变压器和其他高压测试所涉及的危险因素。对于不正确或不安全的仪器操作所造成的损失、伤害或死亡，本公司不承担任何责任。

3.2 接地



警告：仪器必须始终连接到接地电源插座（即安全接地），并用铝编织接地电缆将仪器可靠接地，不得在非接地配置下操作，否则可能导致用户触电或仪器损坏。

3.3 电源连接



警告：将系统连接到指定工作范围以外的电源电压将导致系统损坏，并有造成人身伤害和火灾的危险。

3.4 同步电压输入



警告：电压输入必须为交流电压，并且不能超过最大输入范围，否则将导致系统损坏，并有造成人身伤害和火灾的危险。

3.5 测量阻抗



警告：测量阻抗接地钮与高压系统接地端必须始终使用合适的低阻抗连接，测量阻抗采用外部电压同步时，需选择合适的分压电

容，进行电压采集，否则有造成人身伤害和火灾的危险。



警告：当测量阻抗无需外同步电压输出时，务必确保将外部同步电压输出端与地短接。否则可能会导致电压输出处的危险电压、对操作员造成电击或损坏仪器。

3.6 现场校准



警告：现场使用校准脉冲发生器进行校准完毕，在施加高压前，请将校准脉冲发生器及接线取下,否则将导致仪器损坏，并有造成人身伤害和火灾的危险。

3.7 安全建议



警告：在连接仪器之前，确保测试对象完全断电并与线路和负载隔离。在连接仪器之前，应检查并验证每个端子，接地连接必须可靠。



警告：切勿在爆炸性环境或有易燃气体或烟雾的地方操作设备。

4 测试系统

4.1 系统概述

局放测试系统是检测、记录和分析局部放电事件的数据采集与分析工具，可用于多种应用。这套系统可以适用于高压产品的型式试验、出厂试验、交接试验，可完成电机、互感器、电缆、套管、电容器、变压器、避雷器、开关及其它高压电器局部放电的定量测试，既可以在实验室使用，也可以应用于现场测量。

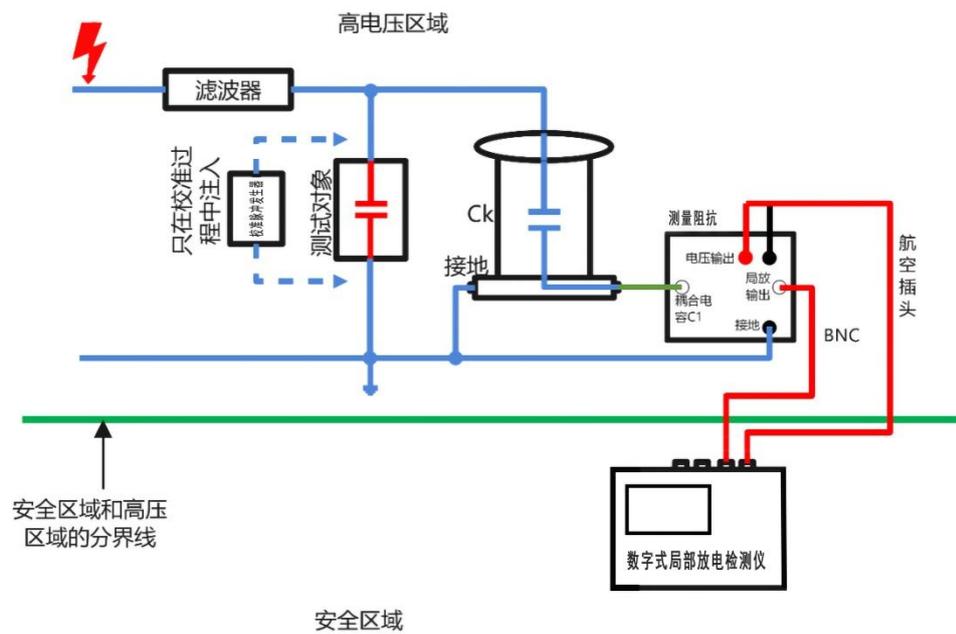


图 4- 1 测试系统接线图

4.2 硬件系统

4.2.1 数字式局部放电检测仪前面板



图 4- 2 前面板预览

- 1 电源开关
- 2 液晶显示界面
- 3 LED 指示灯
- 4 USB 接口

4.2.1.1 LED 指示灯

电源开启后，LED（运行）为红色闪烁状态；

LED（故障）指示灯，在正常情况下为关闭状态，如果主机出现故障，则红色点亮状态；

4.2.2 数字式局部放电检测仪后面板

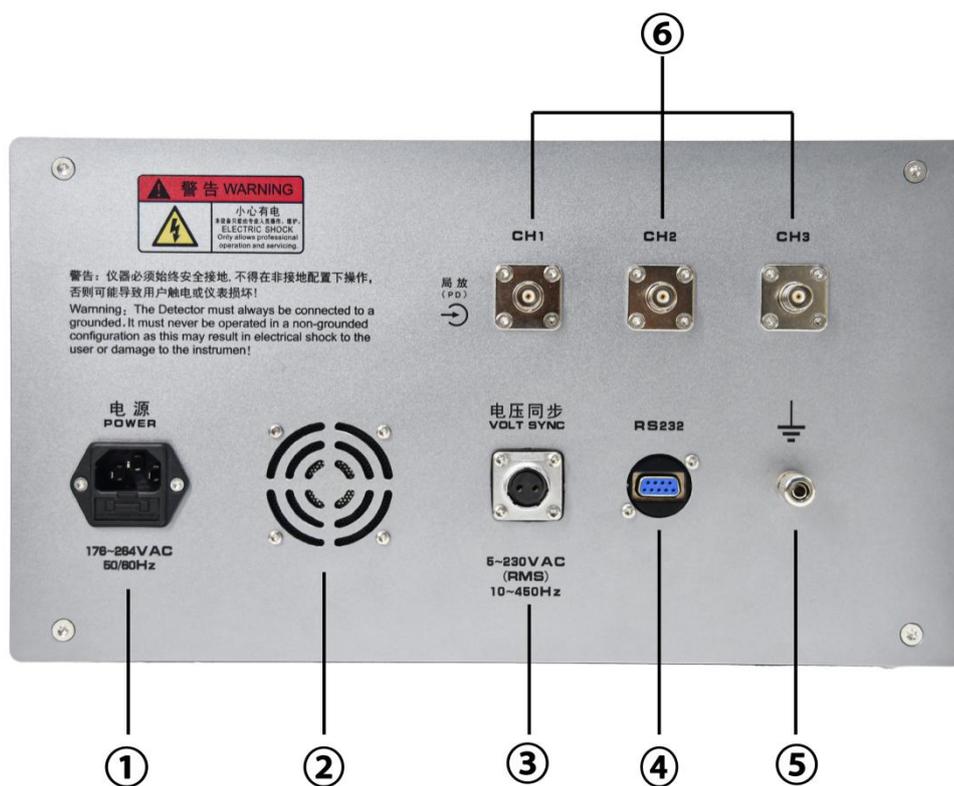


图 4- 3 后面板预览

- 1 电源插座（带保险）

- 2 散热风扇
- 3 电压接入口，2 芯航空插头
- 4 RS232 端口，DB9
- 5 系统接地
- 6 局放输入接口，3 x BNC

4.2.2.1 电源输入

电源输入采用带电源保险抽屉的电源插座，主机包装箱内配备一个可替换的 250V T 5A 保险。

4.2.2.2 局放输入

测量阻抗的 PD 输出端通过同轴电缆连接主机局放输入接口。

4.2.2.3 电压输入

电压输入必须在为交流电压，电压输入不得大于 230VAC(RMS)，当电压大于 5V 时系统将切换到通道电压同步，电压频率范围为 10Hz~450Hz

4.2.3 测量阻抗



图 4- 4 测量阻抗

- 1 BNC 局放输出接口
- 2 同步电压输出接口
- 3 旋转开关(分压电容器容值选择)
- 4 局放输入端口



警告：测量阻抗接地钮与高压系统接地端必须始终使用合适的低阻抗连接，测量阻抗采用外部电压同步时，需选择合适的分压电容，进行电压采集，否则有造成人身伤害和火灾的危险。



警告：当测量阻抗无需外同步电压输出时，务必确保将外部同步电压输出端与地短接。否则可能会导致电压输出处的危险电压、对操作员造成电击或损坏仪器。

测量阻抗是测量系统与测试回路的主要组成部分。测量阻抗针对特定的试验回路或试品，为达到最佳的灵敏度而专门设计。

根据试品电容量的大小，为了配合试品电容的变化，以最佳灵敏度进行测量，测量阻抗共分十二种型号。每个型号的输入单元都有一定的调谐范围，只要检测回路的谐振电容 C_t 落在调谐电容的范围，就足以满足测试选择的要求。

表格 4- 1 测量阻抗选型表

阻抗型号	调谐电容量			最大电流有效值	
	最小	中间值	最大	不平衡回路	平衡回路
1#	6pF	25pF	100pF	30mA	0.25A
2#	25pF	100pF	400pF	60mA	0.5A
3#	100pF	400pF	1500pF	120mA	1A
4#	400pF	1500pF	6000pF	250mA	2A
5#	1500pF	6000pF	25nF	500mA	4A
6#	6000pF	25nF	100nF	1A	8A
7#	25nF	100nF	400nF	2A	15A

8#	100nF	400nF	1.5uF	4A	30A
9#	400nF	1.5uF	6.0uF	8A	60A
10#	1.5uF	6.0uF	25uF	15A	120A
11#	6uF	25uF	60uF	25A	200A
12#	15uF	60uF	250uF	50A	300A

4.2.3.1 测量阻抗型号的选取原则

要使检测回路的谐振频率落在放大器的频带内。根据耦合电容 C_k 和试品电容 C_a 可粗略估算调谐电容，从而确定测量阻抗型号：

$$\text{调谐电容} = \frac{C_k \times C_a}{C_k + C_a}$$

根据调谐电容的中间值，选择合适的测量阻抗型号。

一般测试油浸电流互感器或电压互感器时，选择 2# 测量阻抗，测试环氧电流互感器或电压互感器时，选择 3# 测量阻抗，测试小型变压器时，选择 4# 测量阻抗。

4.2.3.2 测量阻抗分压电容选取原则

测量阻抗带电压测量端子，可满足电压测量及外同步功能，其默认分压电容为 1uF，可将旋钮旋转至外接低压臂上选取其他分压电容，分压电容选取及适用电压场合如下表。

表格 4- 2 分压电容适配表

序号	分压电容 C2	耦合电容 C1	用于设备的电压
1	0.33 μ F	配合	66kV 以下
2	1.0 μ F	配合	220kV
3	2.0 μ F	配合	500kV
4	4.0 μ F	配合	1000kV

具体情况用户可根据需要按下列公式自行计算所需分压电容及耦合电容：

- ◆ 阻抗输出电压计算： $U_{\text{阻抗输出电压}} = U_{\text{高压端施加电压}} * (C1 / (C2 + C1))$ ；
- ◆ 如何使用同步功能，则要求阻抗输出电压满足： $5V \leq U_{\text{阻抗输出电压}} \leq 230V$ ；

- ◆ 如果只测量电压，则要求阻抗输出电压满足： $U_{\text{阻抗输出电压}} \leq 230\text{V}$ ；

4.2.4 校准脉冲发生器

对试品进行局部放电测量前，必须对试品进行校准，以确保其正确测量局部放电幅值。

在 IEC 60270 标准高压试验技术-局部放电测量的第 6 章和第 7 章中提到了校准器必须满足的要求。IEC 60885-3 电缆标准电气试验方法第 3 部分：试验方法第 2.2.3 段中提到了与电缆试验一起使用的双脉冲特性挤压电力电缆长度的局部放电测量。

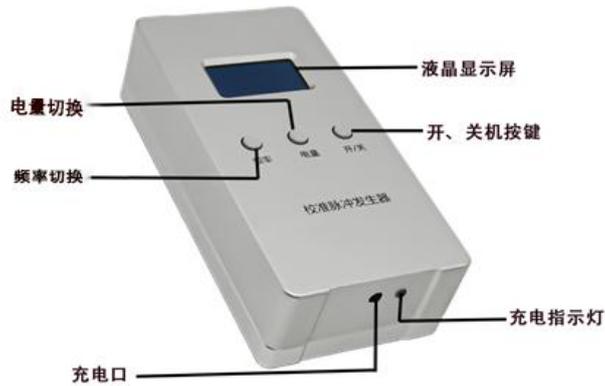


图 4- 5 校准脉冲发生器

4.2.4.1 设备参数

尺寸：120mm (W) x 60 mm (D) x 32 mm (H)

重量：270 g

4.2.4.2 输出接口

红色 4mm 连接器 × 1；

Red 4mm connector × 1；

黑色 4mm 连接器 × 1；

Black 4mm connector × 1;

4.2.4.3 脉冲

频率 Frequency: 50Hz、100Hz、200Hz、300Hz、400Hz、500Hz、600Hz、700Hz、800Hz、900Hz、1000Hz 可选。

类型: 正负脉冲;

10%~90%上升沿时间: <30ns;

4.2.4.4 脉冲电荷

电量范围: 10、50、100、500 pC 可选。

5 操作界面

5.1 概览

数字式局部放电检测仪操作软件基于图形元素开发, 丰富的显示、分析及记录功能, 方便用户对现场便捷试验。

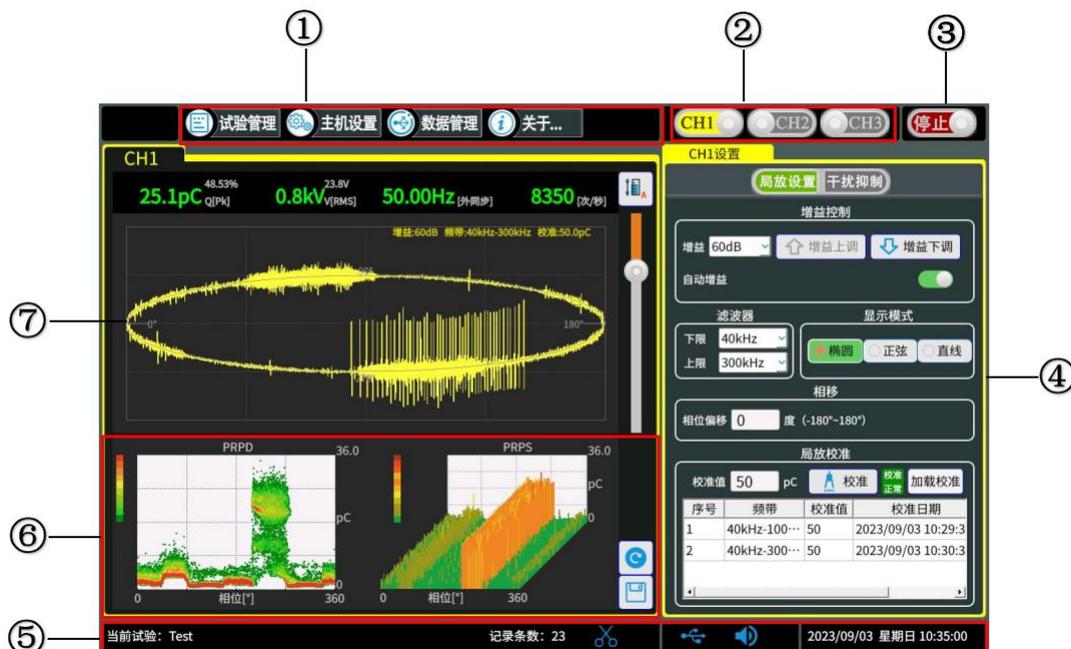


图 5-1 数字式局部放电检测仪操作界面

- 1 菜单栏
- 2 通道选择
- 3 运行/停止
- 4 通道设置界面
- 5 状态显示栏
- 6 统计图窗口，包含 PRPD 图谱与 PRPS 图谱
- 7 波形显示窗口

5.2 菜单栏

菜单栏包含试验管理、主机设置、数据管理、关于四个选项按钮。

5.2.1 试验管理

详见“8 数据存储于处理”。



图 5-2 试验管理界面

5.2.2 主机设置

主机设置界面包含电压校准、存储管理、时间日期、系统升级四个选项卡。如下图所示:

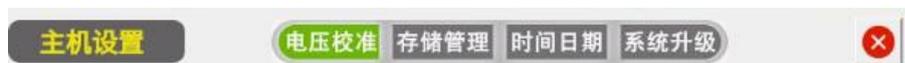


图 5-3 主机设置界面

5.2.2.1 电压校准

点击菜单栏中的主机设置，进入主机设置界面，选择”电压校准”选项卡。



图 5- 4 电压设置窗口

- 校准状态



彩色校准状态标志用于指示实际校准是否有效。

状态	描述
黄色	当前电压输入未校准。
绿色	当前电压输入已校准。

- 校准

电压校准可通过三种方式进行校准，用户只需要针对不同的试验场景选择其中一种方法进行校准。具体校准方法参照章节 7.2。

- a) 直接校准



“直接校准”流程详见章节 7.2.1，选中“电压校准使能”后，可使用校准按钮方式。

将高压端电压输入到校准电压输入框，并点击“校准”按钮执行电压校准。

b) 手动设置



在相应的输入字段中输入所需的 V/kV 值，然后点击“手动设置”。此功能是特别用于校准高压分频器与一个定义的 V/kV 因子。

c) 智能设置



在已知测试系统耦合电容及测量阻抗的低压臂电容 C2 的情况下，我们可以输入相应电容值，并点击“智能设置”进行电压校准。

5.2.2.2 存储管理

可查看当前本地存储的存储状态，并可进行格式化处理。



图 5-5 存储管理界面

5.2.2.3 时间日期

可进行时间日期的修改。



图 5-6 时间日期界面

5.2.2.4 系统升级

当系统进行升级时，可将升级包下载放置在 U 盘内，点击本地升级进行软件升级。

5.2.3 数据管理

数据管理是将本地数据进行删除、转移处理，操作界面如下，操作简便易懂，便不多做介绍。



图 5-7 数据管理界面

5.2.4 关于



图 5-8 关于界面

5.3 波形显示窗口

5.3.1 局放显示

5.3.1.1 基线模式

PD 活动与电源周期相关，波形显示以相位方式展示。以下基线模式可用于表示电源周期循环（360°）：

直线	局放波形显示在直线上。
椭圆	局放波形显示在椭圆上。
正弦	局放波形显示在正弦上。

PD 活动显示的基线模式可设置如下：

选择“局放设置”选项卡。

在“显示模式”区域中，为所需基线模式选择相应的单选按钮。

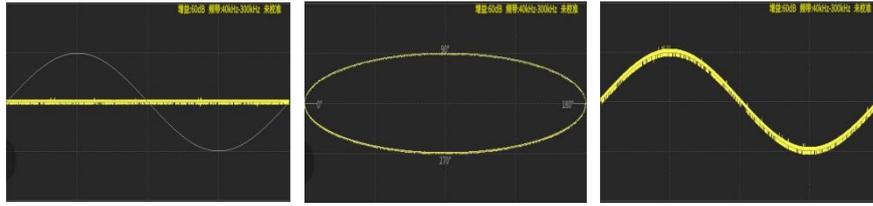


图 5- 9 基线模式：直线（左）、椭圆（中间）、正弦（右）

5.3.1.2 相移

有时必须给局放(PD)图谱添加一个相位移。在某些情况下这一做法是非常必要的，例如，在不同的测试回路中有可能引入了一个相位移，这个相位移可以用的值而得到补偿，这个值可以设置为 -180° 和 $+180^{\circ}$ 之间。

对于如何确定相位偏差，后面章节的“系统零标的确定”中将会详细阐述相移可设置如下：

选择“局放设置”选项卡。

在“相移”区域中，输入相位偏移即可。

5.3.2 相位开窗

局部放相位开窗有两个作用：

- 读取相位窗内峰值
- 遮蔽掉相位窗内的噪声信号

可以采用鼠标按住拖动的方式进行开窗，左键点击所开窗体内部，将关闭该开窗。

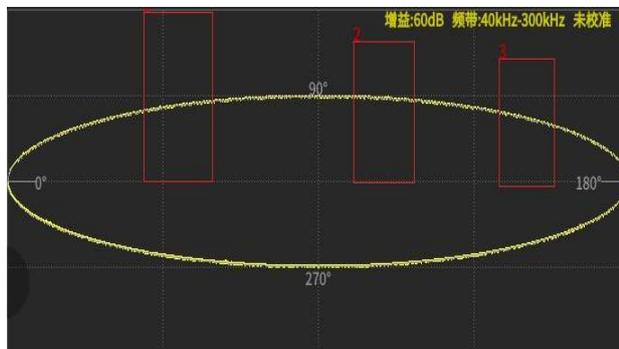


图 5- 10 开窗读取相位窗内峰值

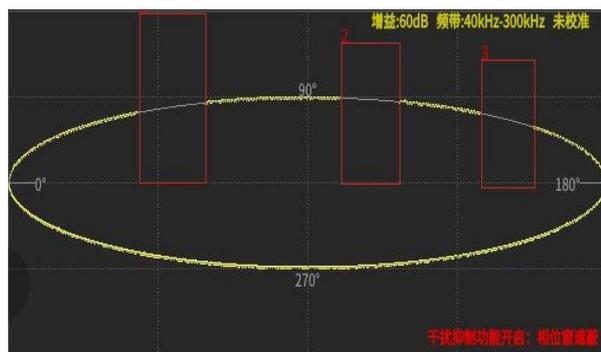


图 5- 11 遮蔽掉相位窗内的噪声信号

5.3.3 数字显示

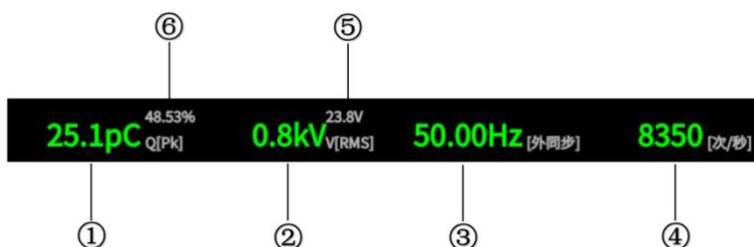


图 5- 12 局放数字显示

- 1 局放峰值显示[pC 或者 nC]
- 2 系统高压端电压有效值[kV]
- 3 同步频率及当前同步源 内同步/外同步自动切换
- 4 每秒脉冲重复率
- 5 外同步输入电压
- 6 当前增益幅值量程百分比显示

每个单独参数读数下面的文本标志用于指示相应参数的显示类型。

表格 5- 1 显示标签

标签	描述
Q[Pk]	局放出现的最大放电量。
V[RMS]	高压测试电压的有效值。
同步源[电源] 同步源[外同步]	主机同步源的状态, 主机电源或输入通道的其中一个, 自动切换。

5.4 统计图窗口

统计图窗口分为 PRPD 图谱、PRPS 图谱及数据刷新与存储, 界面如下图所示:

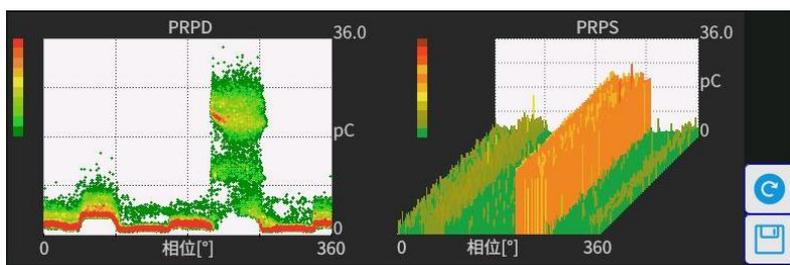


图 5- 13 统计图窗口

5.4.1 PRPD 图谱窗口

即局部放电相位分布(Phase Resolved Partial Discharge)模式，是一种广泛应用的局部放电模式，也是所谓的 $\phi - q - n$ 模式。这种模式是描述局部放电发生的工频相位 ϕ (0-360°)、放电量幅值 q 和放电次数 n 之间的关系。

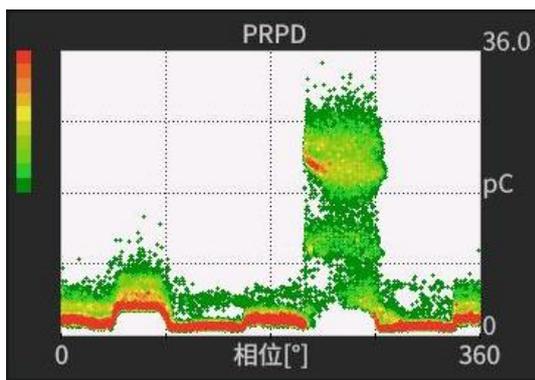


图 5- 2 PRPD 图谱

5.4.2 PRPS 图谱窗口

即脉冲序列相位分布分析(Phase Resolved Pulse Sequence)模式，就是把每个带有相位标识的局部放电脉冲按照时间先后显示出来，时间先后一般按照所在的周期序号处理。这种模式实际上是关于局部放电一种最为基本的模式，包含有局部放电测量的全部信息。

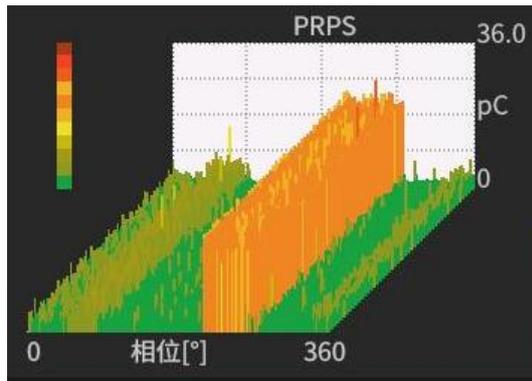


图 5- 3 PRPS 图谱

5.4.3 数据刷新与数据存储

数据刷新  按钮可以将 PRPD 图谱与 PRPS 图谱之前的数据进行清空，从此刻开始重新统计数据。

数据保存  按钮，可以将波形图谱、PRPD 图谱、PRPS 图谱以及相关局放信息以图片的形式进行保存，同时还会保存数据文件 (.ini)。

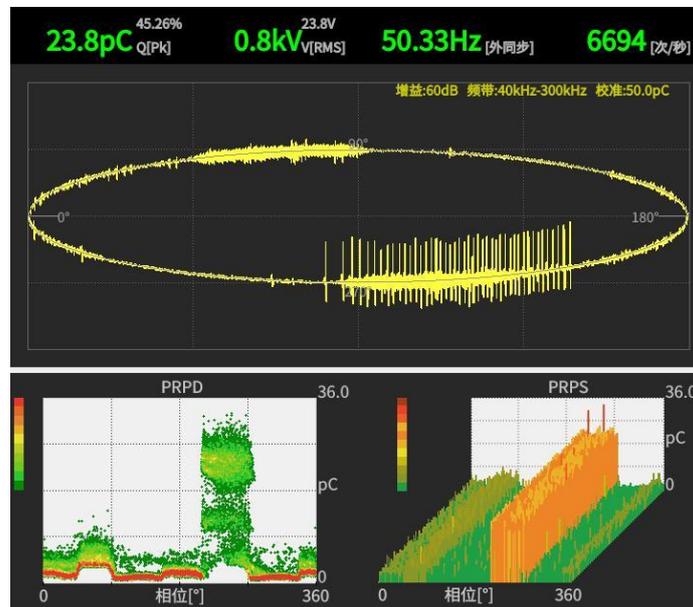


图 5- 16 保存图片预览

5.5 波形窗口

波形窗口是数字式局部放电检测仪检测界面的主要窗口，包含了对局部放电的波形分析，以及放电幅值、电压幅值、同步方式、同步频率、脉冲计数等信息。

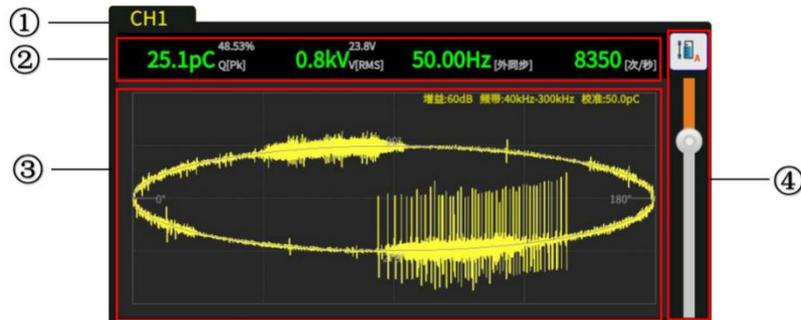


图 5- 17 波形窗口

- 1 通道显示栏
- 2 测量读数显示区
- 3 局放波形显示区
- 4 波形幅值缩放自动、手动切换控制

5.5.1 波形展示区

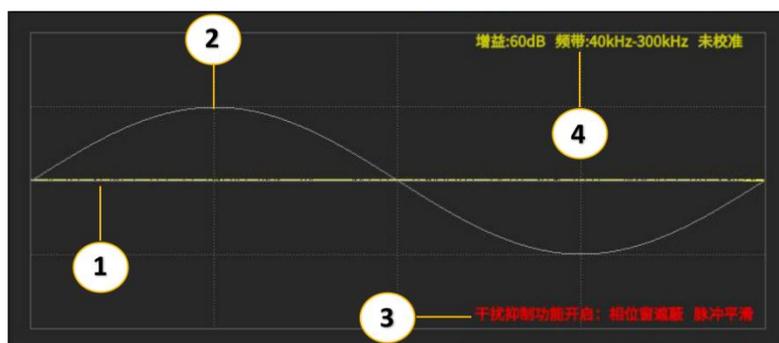


图 5- 18 波形展示区

- 1 PD 信号曲线
- 2 静态正弦曲线(仅适用于直线显示模式)
- 3 PD 通道设置状态信息

5.5.2 波形幅值缩放

PD 活动的垂直缩放可以通过以下控制元素进行调整：

	<p>手动缩放状态，该状态下可以通过波形幅值缩放标尺对波形进行缩放。</p>
	<p>自动缩放状态，波形幅值自动缩放到波形显示窗内。</p>

6 通道设置

6.1 局放设置



图 6- 1 局放设置窗口

6.1.1 增益控制



PD 放大器的增益可通过相应的控制按钮手动设置为 60dB、40dB、20dB、0dB、-20dB 或-40dB，也可以通过选中自动增益，系统将根据信号大小自动选择合适的增益。

6.1.2 显示模式



显示模式选项框具体设置见章节 5.3.1。

6.1.3 滤波器设置



滤波器上下限截止频率具体参数参照章节 7.1.1

6.1.4 局放校准



校准部分包含对主机每个单独输入的 PD 校准控制和校准状态指示。

- 校准

输入校准值，并点击  校准 用于执行校准。具体校准方法参照章节 7.1.2。

- 校准状态

彩色校准状态标志用于指示实际校准是否有效。

状态	描述
	自上次校准以来，实际输入未校准或 PD 滤波器设置已更改。
	当前输入通道已成功校准。

- 校准列表

校准列表显示已校准的频带、校准值、以及校准时间。

- 加载校准

加载之前保存的校准文件，方便快捷试验。

6.2 干扰抑制

选择“干扰抑制”按钮，进入干扰抑制界面。



图 6- 2 干扰抑制窗口

局部放电试验时往往会遇到外来干扰脉冲的影响，操作者务必要把干扰与局部放电脉冲区分开，如何区分请进一步阅读有关专业书籍和文献资料，并在实践中摸索积累经验。应该指出，良好的设备试验电源，屏蔽措施及良好的接地可以使干扰降低到最低程度。数字式局部放电检测仪除了自身优质的抗干扰主机屏蔽、电源滤波外，还提供了优质高效的抗干扰技术，可对现场干扰进行有效抑制。

当干扰和局部放电脉冲处于不同相位时，可采用开时间窗的办法排除干扰：调整时间窗的大小位置，将局部放电脉冲显示在窗内，将干扰排除在外。此时显示的局部放电量仅指示窗内局部放电脉冲的值。

6.2.1 时间窗法

6.2.2 相位窗遮蔽法

在试验现场，往往会出现一些幅值很大的固定相位干扰，该干扰可以通过衰减进行消除。这可以通过预制相位窗内的测量通道电子失效来实现。由于来自试品的骚扰和局放都被遮蔽了，数据不可避免受到影响。

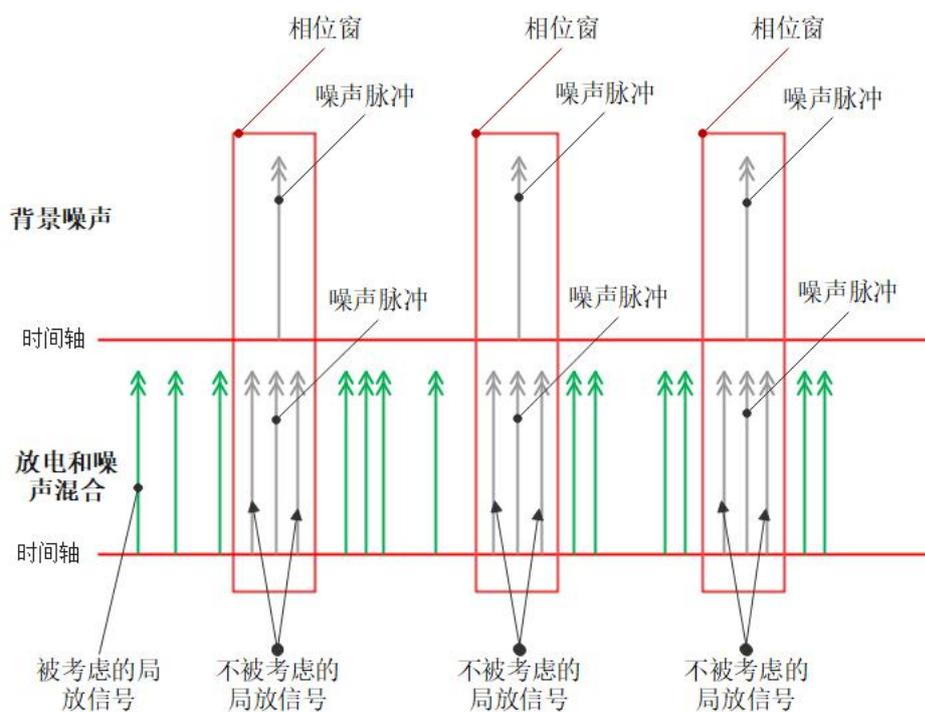


图 6- 3 相位窗遮蔽原理

在干扰抑制选项卡中，选中“开启相位窗遮蔽”选项，这样再开窗则是启用相位窗遮蔽。

7 设备校准

在测量局放(PD)之前，必须对测试系统进行校准。校准过程主要分两个步骤：

- 放电量校准（必须在测试对象没有施加高电压的条件下进行）
- 电压校准

7.1 局放校准

局部放电校准和测量基于 IEC 60270 来进行。

校准的目的在于确认测量系统能够准确测量特定局部放电量。测量系统在完整测试电路中的校准用于确定局放测量的刻度因数 k 。由于测试对象的电容 C_a 影响电路的特性，对于每个新的测试对象都要进行校准，除非是对一系列电容值不超过均值 10% 的类似的测试对象进行测量。

测量系统在完整测试电路中的校准是通过注入已知电荷 q_0 的短时电流脉冲进入测试对象。 q_0 将取值为校准脉冲发生器 CAL10 上的放电量值。



警告：在接入脉冲发生器之前，要关闭高压电源并且将高压测试系统临时接地，注意要符合相应的安全要求。

如章节 4.1 所示，把校准脉冲发生器 CAL10 连接到测试对象。断开高压测试系统的临时接地。现在开始电荷校准。

PD 校准程序基于以下两个步骤：

1. 选择合适的滤波器（见章节 7.1.1）。

局部放电使用的输入通道校准（见章节 7.1.2）。



警告：校准完毕后，一定要取下校准脉冲发生器，再进行加压试验。

7.1.1 局放滤波器选择

局部放电校准和测量首先要选择适当的局部放电滤波器参数。在局放设置界面中通过滤波器上下限频率下拉菜单中选择所需的带宽。

模拟滤波器上下限频率可选如下表

表格 7- 1 滤波器参数

模拟滤波器 (-6dB)	满足 IEC60270、GB/T7354-2018 标准
	下限频率 f_L : 10kHz、20kHz、40 kHz、60 kHz、80 kHz 可选
	上限频率 f_U : 100 kHz、200 kHz、300 kHz、400 kHz、 500 kHz、1MHz 可选

7.1.2 局部放电校准流程

要校准局部放电测量输入，请通过以下步骤：

1. 在测试对象之间连接外部校准器。



注意：校准器与试品高压、低压端子的连接导线应尽可能短。

2. 打开校准器，选择合适的局部放电校准脉冲电量值和频率值。



注意：局部放电校准脉冲电量必须至少是系统噪声水平的两倍。

3. 选择需要校准的输入通道。
4. 确保校准脉冲在局部放电示波器显示屏上清晰可见。使用波形幅值缩放标尺或自动缩放按钮设置 PD 范围显示的合理缩放级别（参见章节 5.5.2“波形幅值缩放”）。
5. 选择“局放设置”选项卡。
6. 确保 PD 信号未超出采样范围，即数字显示正确（见章节 5.3.3）。如果超出范围，系统会自动切换到合适量程。
7. 在校准框界面中输入校准值，点击校准。



注意：校准电量必须以 pC 为单位。

8. 等待校准完成，检查数字读数是否正确，即是否与校准脉冲发生器设置的值匹配。
9. 校准完成后，波形窗口将显示校准电量水平，同时校准区将以绿色背景显示“校准正常”，校准列表里显示当前校准值、频带、以及校准时间。

10. 重复步骤 1~10，对使用到的主机输入通道进行校准。



注意：当更换上下限截止频率时，需要强制重新对输入通道进行校准。



注意：关闭远程控制软件时，保留上次校准设置。

7.2 电压校准

能够根据 IEC 60600-2 和 61083-3 高压测量系统标准测量工频试验电压。

电压输入相关参数如下：

表格 7- 2 电压输入参数

电压输入范围	5~230VAC (RMS)
线性度误差	< ±3%
频率范围	10~450Hz

7.2.1 电压输入方式校准

电压输入方式就是章节[错误!未找到引用源。](#)中“直接校准”方式，校准电压方式需要参考电压表来测量试件高压端子处的电压。具体操作如下：

1. 将数字式局部放电检测仪和参考电压表连接至高压测试系统。
2. 施加电压并将其增加到最大测试电压的 40%左右
3. 在菜单栏中选择“主机设置”，打开设置窗口。
4. 选择“电压校准”选项卡。
5. 转到“电压校准”部分，选中“直接校准”，将参考电压表上的读数填入“校准电压”输入框，点击“校准”按钮，确认警告以覆盖电压校准。

7.2.2 电压系数方式校准

电压系数方式就是章节[错误!未找到引用源。](#)中“手动设置和自动设置”方式，只需要参照章节[错误!未找到引用源。](#)输入具体参数即可。



注意：最后一次校准的电压水平、日期和时间在电压校准部分状态线上显示。

8 数据处理与存储

本章描述了数据处理和存储的概念，请仔细阅读此章节，避免在设备测试过程中出现任何误解和数据丢失！

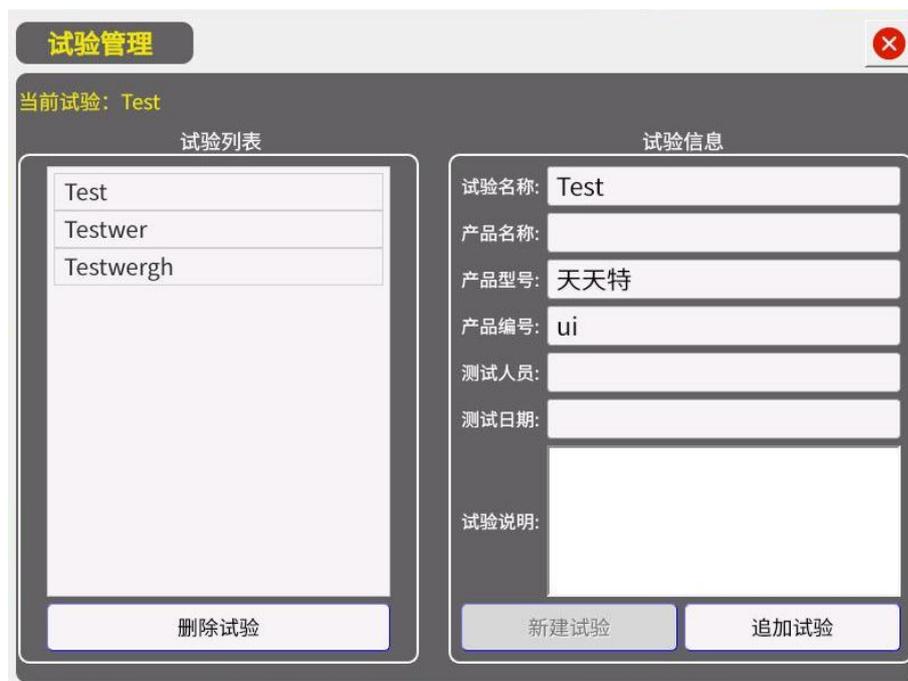


图 8- 1 相位窗遮蔽原理

8.1 新建测试

要开始新的测试，请单击“试验管理”→填写新建文件的“试验信息”→“新建试验”按钮变为可点击状态，点击即可创建试验。



注意：如果“试验列表”与新建试验的试验名称一致，则新建试验按钮为灰色，表示为不可创建状态。

8.2 保存测试



保存所有测试数据，请单击按钮，存储文件将会保存至目标文件夹。目标文件夹及保存记录信息可在状态栏进行显示。



8.3 追加试验

当需要对之前的文件进行相关信息备注或添加局放测试数据时，可在试验列表中选中目标文件，此时目标文件试验信息可在右侧进行显示，可将相关信息进行补充，点击“追加试验按钮”即可保存，并可以切到目标文件，进行局放信息补录。

8.4 删除试验

在试验列表中选择目标文件，点击删除试验即可。

9 局部放电测量流程

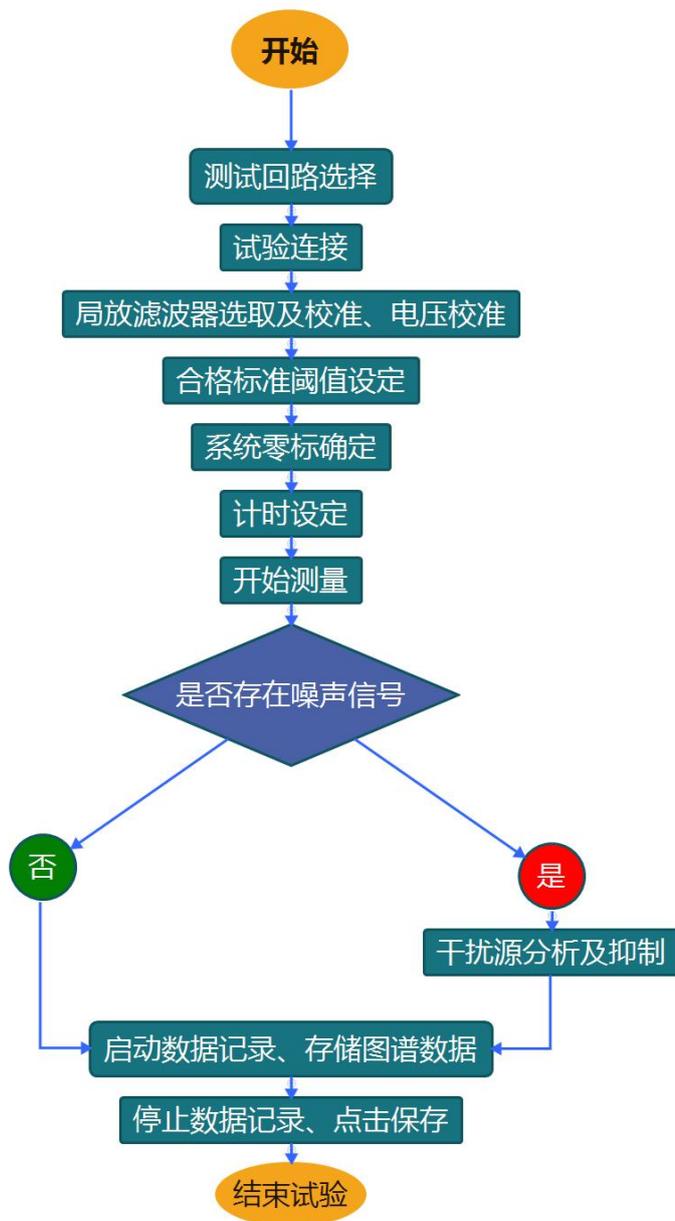


图 9- 1 局部放电测试流程图

9.1 测量回路的选择

传统的局部放电检测是按照 IEC 60270 来测量高压电气设备的视在电荷。测量局部放电的基本回路有 3 种，如下图图 9- 2 所示。

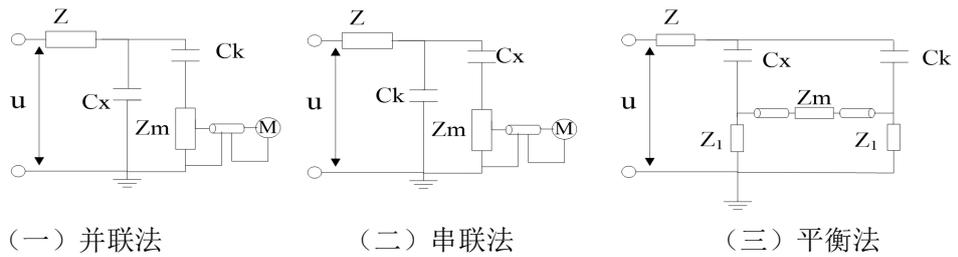


图 9- 2 脉冲电流法的基本试验测量线路示意图

u —试验电压； Z —高压滤波器； C_x —试品； C_k —耦合电容； Z_m —测量阻抗； M —一局放仪；

1. 标准试验电路，又称并联法，多用于试品电容 C_x 较大，试验电压下，试品的工频电容电流超出测量阻抗 Z_m 允许值，或试品可能被击穿，或试品必须接地的情况。其缺点是高压引线对地杂散电容并联在 C_x 上，会降低测试灵敏度。
2. 串联法，其要求试品低压端对地浮置。多用于 C_x 较小的情况下，试验电压下，试品的工频电容电流符合测量阻抗 Z_m 允许值时，耦合电容 C_k 兼有滤波（抑制外部干扰）和提高测试灵敏度的作用。 C_k 可利用高压引线的杂散电容 C_s 代替。缺点是试样损坏时会损坏测量阻抗（即测量阻抗）。
3. 平衡法试验电路，要求两个试品相接近，至少电容量为同一数量级，其优点是外干扰强烈的情况下，可取得较好抑制干扰的效果，并可消除变压器杂散电容的影响，而且可做大电容试验。缺点是由于电桥的平衡条件与频率有关，只有当 C_x 和 C_k 相似时才可能同时完全屏蔽掉各种外来的干扰，且当产生放电时，需设法判别是哪个试品放电。

值得提出的是：由于现场试验条件的限制（如找到两个相似的试品且要保证一个试品无放电不太容易），平衡法比较难实现，另外，当采用串联法时，如果试品被击穿，将会对设备造成比较大的损害，综合上述因素，现场试验时一般采用并联法。

对电压互感器、电流互感器、套管等电力设备的局部放电测量回路连接方法简述如下。

9.1.1 电压互感器

电压互感器的试验方法可归结为两大类，即在被试品高压侧加压或低压侧加压（即二次绕组自励磁产生），一般推荐采用高压侧加压，但在现场若受到客观条件的限制，无适当的电源设备，则采用低压侧加压。

9.1.1.1 高压侧加压

由于试验电压高于其最大工作电压，电源频率一般采用 150~250Hz。外施直接加压(高压励磁)的测试回路见下图所示。图 9- 3 中的测量阻抗 Z_m 将承受全部的高压励磁电流，测量阻抗 Z_m 要考虑能够通过相应的励磁电流。在图 9- 3 中，往往可以将耦合电容器 C_k 省略，而以杂散电容 C_s 作为耦合电容，同样可以得到足够的灵敏度。当现场干扰影响测量时，可以用图 9- 7 的平衡法降低干扰。为防止励磁电流过大，电压互感器试验的预加电压，可采用 150Hz 或其他合适的频率作为试验电源。

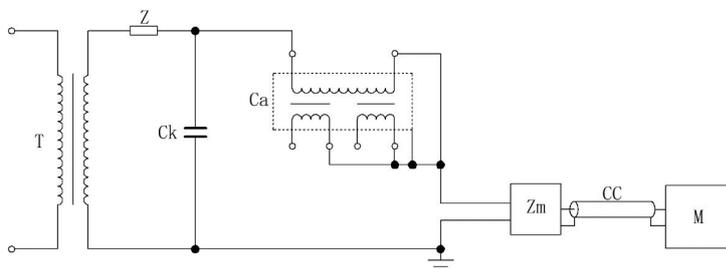


图 9- 3 电压互感器高压侧加压（串联）测试回路

T—试验变压器； C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗； Z —电源滤波（也可位于低压侧）；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

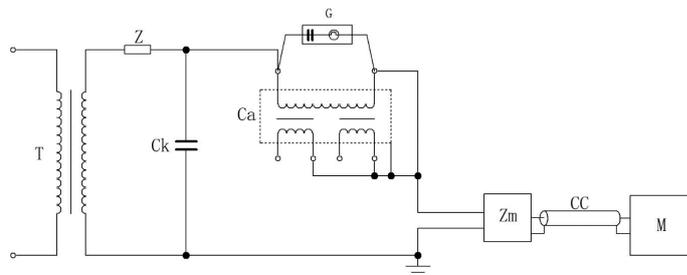


图 9- 4 电压互感器高压侧加压（串联）校准回路

T—试验变压器； C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗； Z —电源滤波

波（也可位于低压侧）；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；G—校准脉冲发生器；

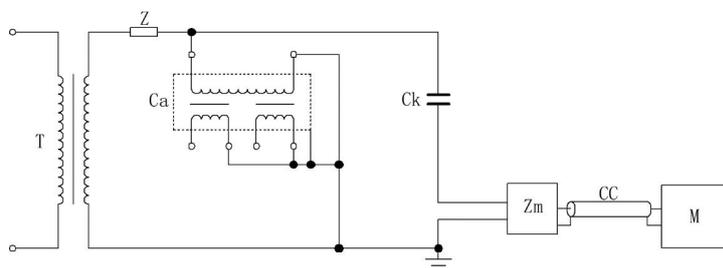


图 9- 5 电压互感器高压侧加压（并联）测试回路

T—试验变压器； C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗；Z—电源滤波（也可位于低压侧）；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

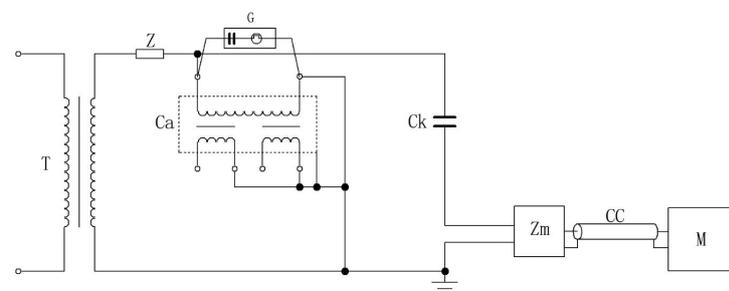


图 9- 6 电压互感器高压侧加压（并联）校准回路

T—试验变压器； C_a —被试互感器； C_{a1} —辅助的无局部放电试品（或： C_k —耦合电容器）；

Z_m —测量阻抗；Z—电源滤波（也可位于低压侧）；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；G—校准脉冲发生器；

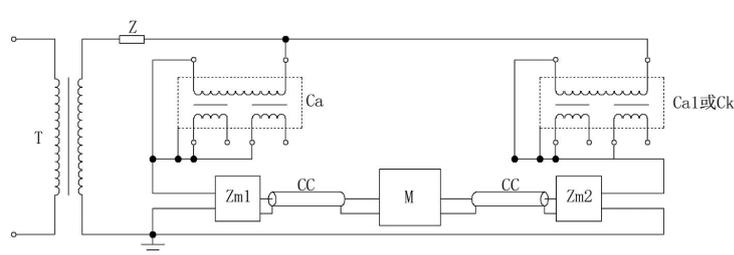


图 9- 7 电压互感器高压侧加压（平衡回路）测试回路

T—试验变压器； C_a —被试互感器； C_{a1} —辅助的无局部放电试品（或： C_k —耦合电容器）；

Z_{m1} 、 Z_{m2} —测量阻抗；Z—电源滤波（也可位于低压侧）；CC—50 欧姆同轴电缆；

M—局部放电测试仪；

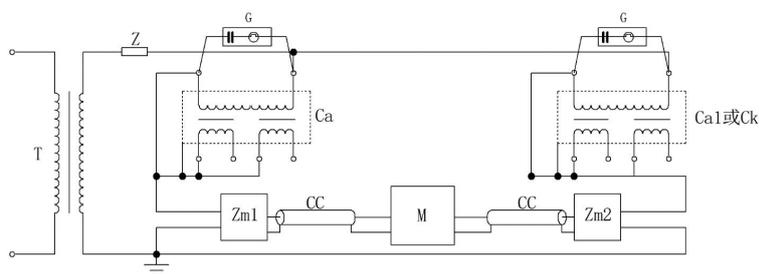


图 9- 8 电压互感器高压侧加压（平衡回路）校准回路

T—试验变压器； C_a —被试互感器； C_{a1} —辅助的无局部放电试品（或： C_k —耦合电容器）；

Z_{m1} 、 Z_{m2} —测量阻抗；Z—电源滤波（也可位于低压侧）；CC—50 欧姆同轴电缆；

M—局部放电测试仪；G—校准脉冲发生器；

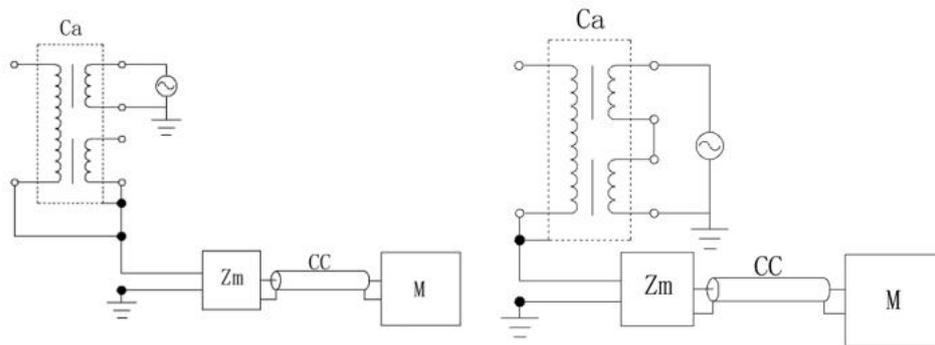
注意：相对相电压互感器的局部放电试验线路应与相对地电压互感器一样，但应向两个高压端子轮流施加电压，共进行两次试验。当一个高压端子加压时，另一个高压端子应接到低压端子上。

9.1.1.2 低压侧加压

现场试验若受变电所现场客观条件的限制，认为必须要对运行中的互感器进行局部放电时，又无适当的电源设备，则推荐按以下方法进行。

试验电压一般可用电压互感器二次绕组自励磁产生，以杂散电容 C_s 取代耦合电容器 C_k ，其电磁式电压互感器试验接线如图 9- 9 所示。外壳可并接在阻抗输入处，也可直接接地。以 150Hz 的频率作为试验电源，在次级低压侧读取试验电压时，必须考虑试品的容升电压。可采用两组二次绕组串联励磁，以减小试验的励磁电流。

当干扰影响测量时，可采用邻近相的互感器或性能相近的互感器连接成平衡回路的接线，如图 9- 15 所示，被试互感器励磁，非被试互感器不励磁，以降低干扰。此时采用脉冲鉴别系统测试效果更佳。



a) 低压单线圈加压

b) 低压双线圈串联加压

图 9- 9 电压互感器低压侧加压无耦合电容测试回路

C_a —被试互感器； Z_m —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

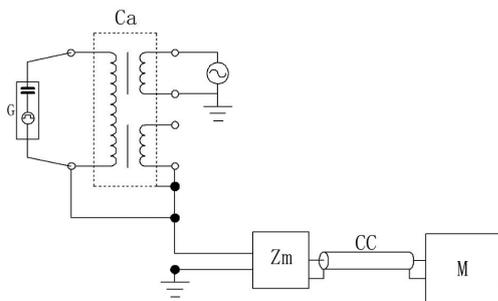


图 9- 10 电压互感器低压侧加压无耦合电容校准回路

C_a —被试互感器； Z_m —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

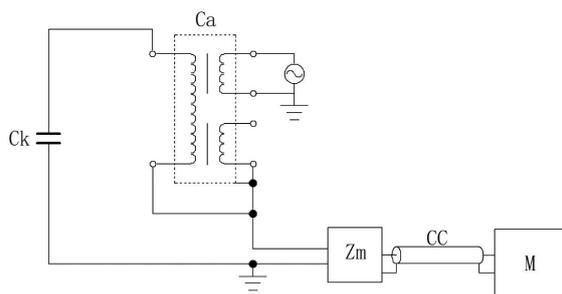


图 9- 11 电压互感器低压侧加压（串联）测试回路

C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

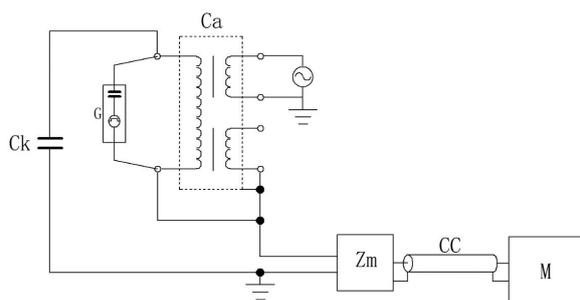


图 9- 12 电压互感器低压侧加压（串联）校准回路

C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；G—校准脉冲发生器；

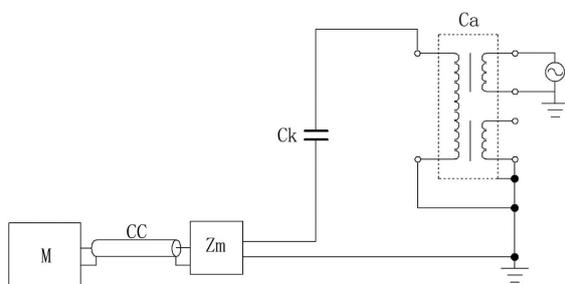


图 9- 13 电压互感器低压侧加压（并联）测试回路

C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

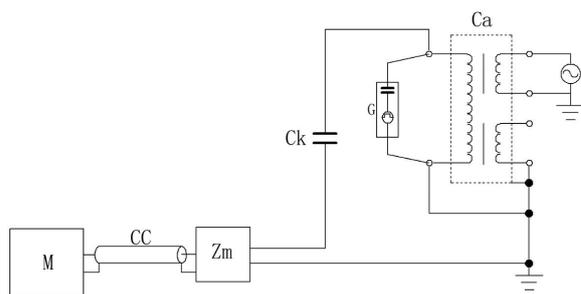


图 9- 14 电压互感器低压侧加压（并联）校准回路

C_a —被试互感器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；G—校准脉冲发生器；

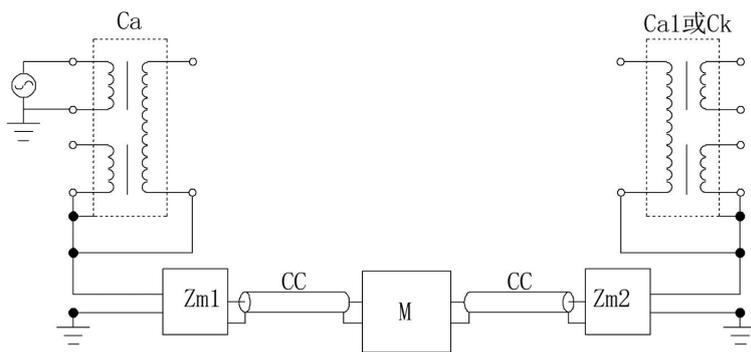


图 9- 15 电压互感器低压侧加压（平衡法）测试回路

C_a —被试互感器； C_{a1} —辅助的无局部放电试品（或： C_k —耦合电容器）； Z_{m1} 、 Z_{m2} —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；

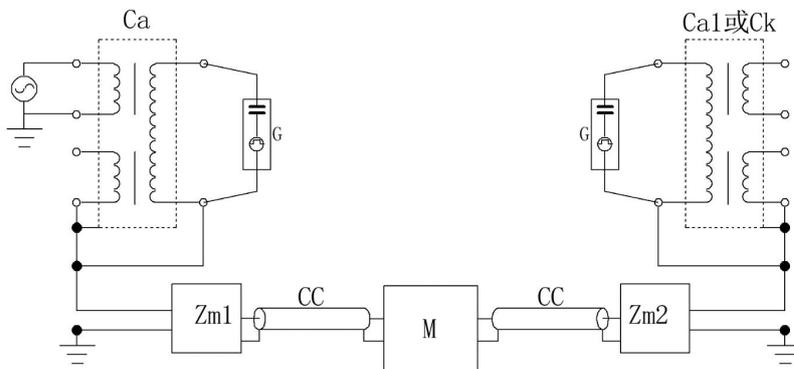


图 9- 16 电压互感器低压侧加压（平衡法）校准回路

C_a —被试互感器； C_{a1} —辅助的无局部放电试品（或： C_k —耦合电容器）； Z_{m1} 、 Z_{m2} —测量阻抗；CC—50 欧姆同轴电缆；M—局部放电测试仪；G—校准脉冲发生器；

9.1.2 电流互感器

电流互感器局部放电试验，试验电压由外施电源产生，一般有三种检测方法：

1. 检测阻抗和互感器串接，以杂散电容 C_s 取代耦合电容器 C_k ，其试验接线如图 9- 17 所示。试验变压器一般按需要选用单级变压器串接(例如单级电压为 60kV 的 3 台变压器串接)，其内部放电量应小于规定的允许水平。互感器若有铁芯 C 端子引出，则并接在 B 处。电容式互感器的末屏端子也并接在 B

处。外壳最好接 B，也可直接接地。

2. 当干扰影响测量时，可采用邻近相的互感器或性能相近的互感器连接成平衡回路的接线，如图 9-18 所示，被试互感器施加高压，非被试互感器不施加高压，以降低干扰。此时采用脉冲鉴别系统测试效果更佳。
3. 检测阻抗和耦合电容器 C_k 串接，其试验接线如图 9-19 所示。外壳可直接接地。

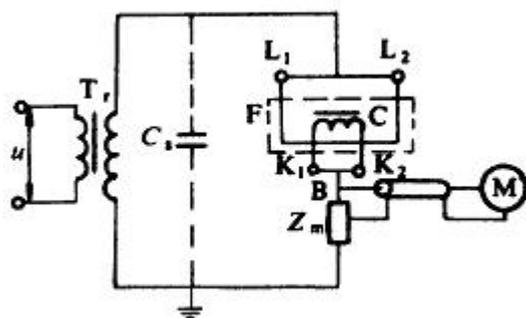


图 9-17 电流互感器试验接线

T_r —试验变压器； C —铁芯； C_s —杂散电容； Z_m —测量阻抗； M —局部放电测试

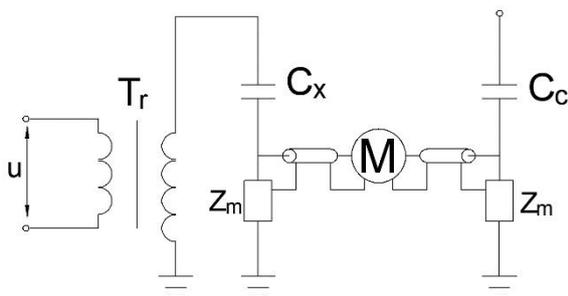


图 9-18 抑制干扰的平衡法接线

T_r —试验变压器； C_x —被试互感器； C_c —邻近相互感器； Z_m —测量阻抗； M —局部放电测试仪；

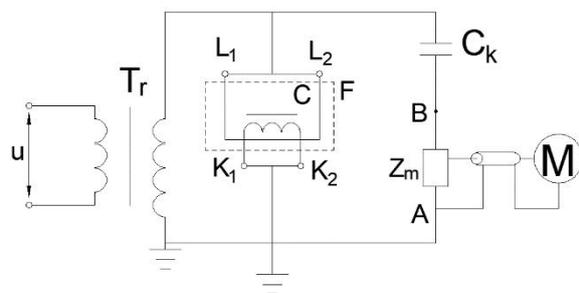


图 9-19 接有耦合电容器 C_k 的试验接线

T_r —试验变压器； C_k —耦合电容器； Z_m —测量阻抗； M —局部放电测试仪；

9.1.3 套管

变压器或电抗器套管局部放电试验时，其下部必须浸入一合适的油筒内，注入筒内的油应符合油质试验的有关标准，并静止 48h 后才能进行试验。试验时以杂散电容 C_s 取代耦合电容器 C_k ，试验接线如图 9- 20 所示。

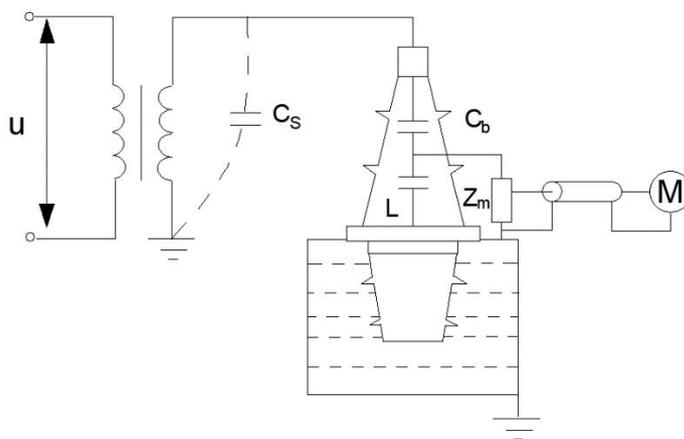


图 9- 20 变压器套管试验接线

C_b —套管电容； L —电容末屏； C_s —杂散电容； Z_m —测量阻抗； M —局部放电测试仪；

套管局部放电的试验电压，由试验变压器外施产生，可选用电流互感器试验时的试验变压器。

穿墙或其它形式的套管的试验不需放入油筒，其试验接线见图 9- 20。

9.1.4 耦合电容器(或电容式电压互感器)

耦合电容器的试验接线与套管相同，有电容末屏端子的，可利用该端子与下法兰之间，串接测量阻抗 Z_m ，下法兰直接接地。若无电容末屏端子引出的，则需将试品对地绝缘，然后在下法兰对地之间串接测量阻抗 Z_m 。

9.1.5 变压器

变压器试验电源一般采用 50Hz 的倍频或其它合适的频率。三相变压器可三相励磁，也可单相励磁。变压器局部放电试验的基本原理接线，如图 9- 21 所示：

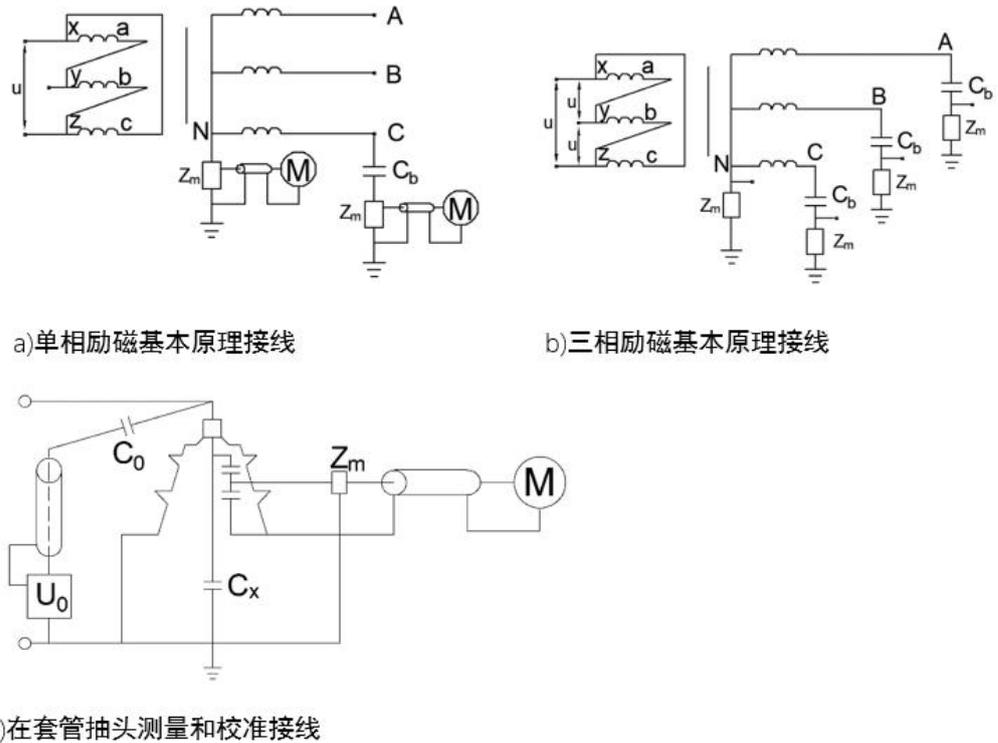


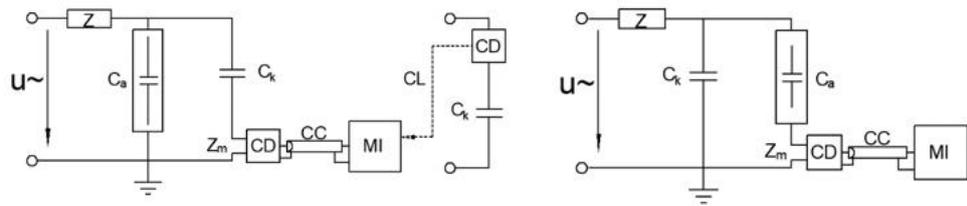
图 9- 21 变压器局部放电试验的基本原理接线

其中 C_b —为变压器套管电容。

9.1.6 发电机

◆ 单个绕组部件

对单个绕组部件(定子线棒，线圈等)的局部放电测量推荐使用符合 GB/T7354-2003 中的两个基本试验回路(见图 9- 22)。



a) 耦合装置 CD 与耦合电容器串联

b) 耦合装置 CD 与试品串联

图 9- 22 基本实验回路

$u \sim$ —高压电源；CC—连接电缆； C_a —试品；CD—耦合装置；Z—高压滤波器； Z_m —测量阻抗； C_k —耦合电容；MI—局放仪；CL—光连接；

在图 9- 22 a)的试验回路中，低电压的耦合装置接在耦合电容器的接地侧。这种接法的优点是适用于接地试品，试品直接接到高压端和大地之间。在这种情况下如果发生绝缘事故，测量设备上不承受高压。

在图 9- 22 b)的试验回路中，耦合装置接在试品的接地侧。试品的低压侧同大地隔离。对小电容的试品来说，这个试验回路的灵敏度比图 9- 22 a)回路要好。

图 9- 22 a)与图 9- 22 b)中的局放测量信号的极性相反。

在上述两种试验回路中，保护回路应组合在耦合装置中，并考虑能承受在试验期间试品可能发生故障时的击穿电流。

◆ 整体绕组

局部放电在绕组高压端测量可获得真实的局放信息，它决定于星形点的紧密连接和测量设备所选的连接方法。

高压电源和局放耦合单元应分别连接至绕组两端，以便利用绕组的阻尼效应来抑制传导来的骚扰。局放耦合单元应尽可能靠近绕组端。定子铁心正常情况下应可靠接地。

图 9- 23 测试回路给出了对 U 相进行局部放电测量，U、V、W 为绕组高压端，X、Y、Z 为绕组的星形侧。

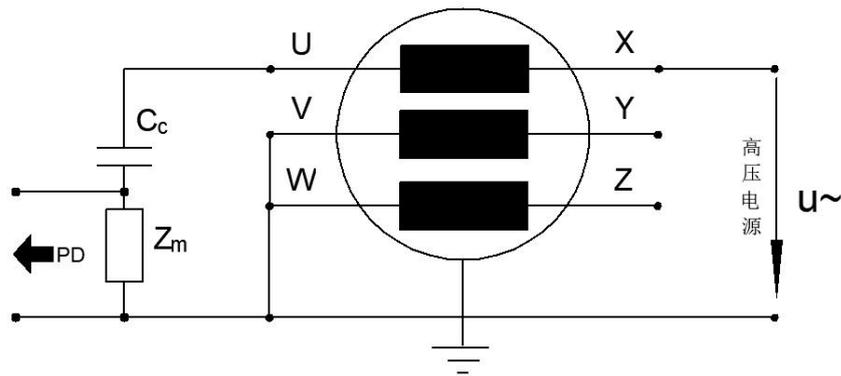


图 9- 23 对整体绕组进行局放测量的试验回路

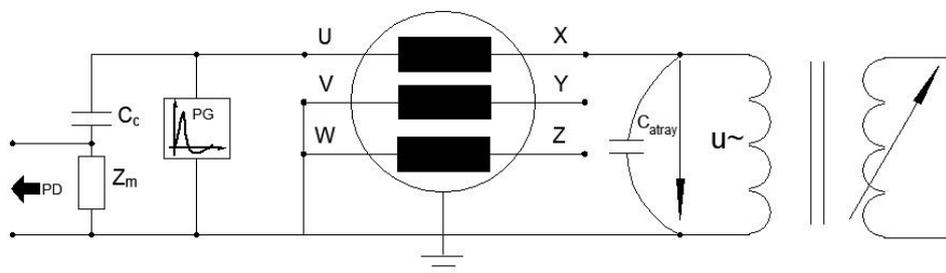


图 9- 24 对整体绕组进行局放测量的试验回路校准

9.1.7 电缆

根据 GB/T3048.12-2007 电线电缆电性能试验方法 第 12 部分中规定，根据短电缆和长电缆的不同情况以及反射情况，选择不同的试验回路。常用的试验回路图如下：

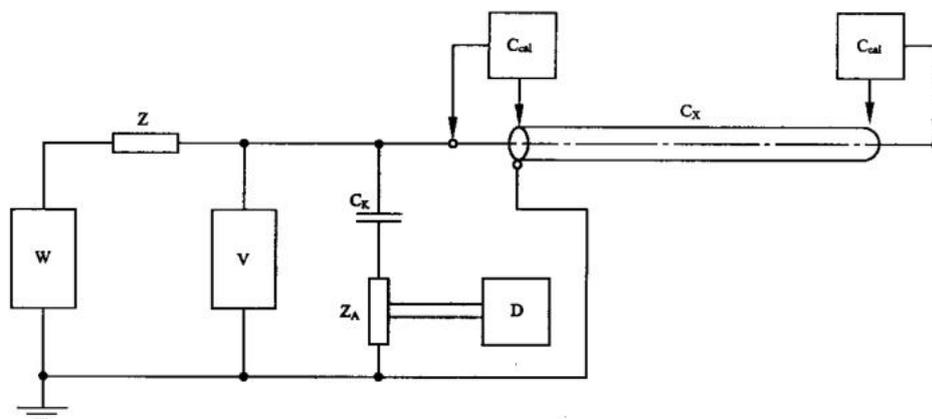


图 9- 25 测量阻抗 Z_A 与耦合电容器 C_k 串联

C_{al} —校准脉冲发生器； C_k —耦合电容器； C_x —电缆试样； D —局放仪； V —高压电压表；

W —交流电源； Z —高压滤波器； Z_A —测量阻抗；

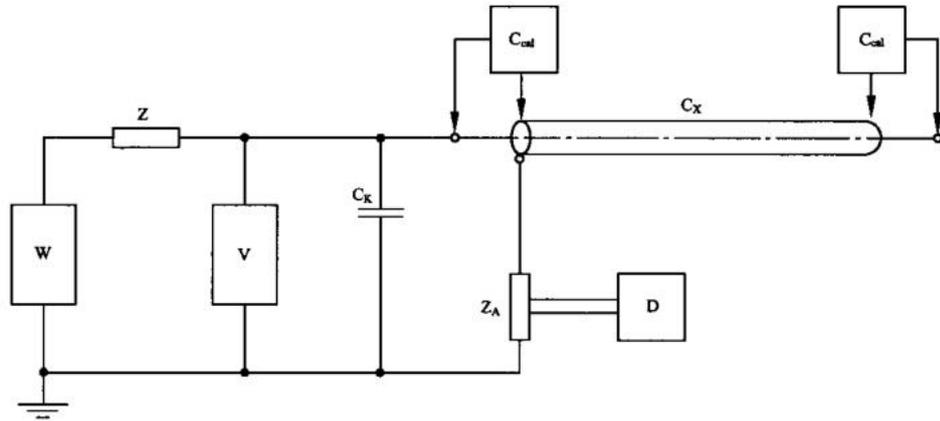


图 9- 26 测量阻抗 Z_A 与电缆 C_x 串联

C_{al} —校准脉冲发生器； C_k —耦合电容器； C_x —电缆试样； D —局放仪； V —高压电压表；

W —交流电源； Z —高压滤波器； Z_A —测量阻抗；

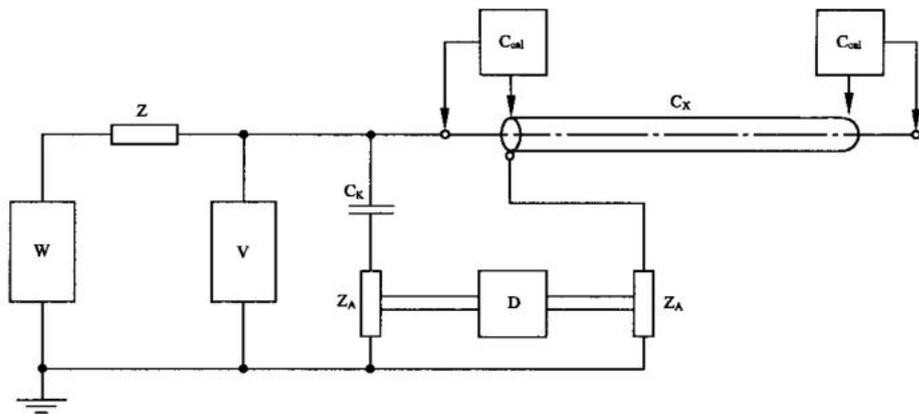


图 9- 27 电桥线路

C_{al} —校准脉冲发生器； C_k —耦合电容器； C_x —电缆试样； D —局放仪； V —高压电压表；

W —交流电源； Z —高压滤波器； Z_A —测量阻抗；

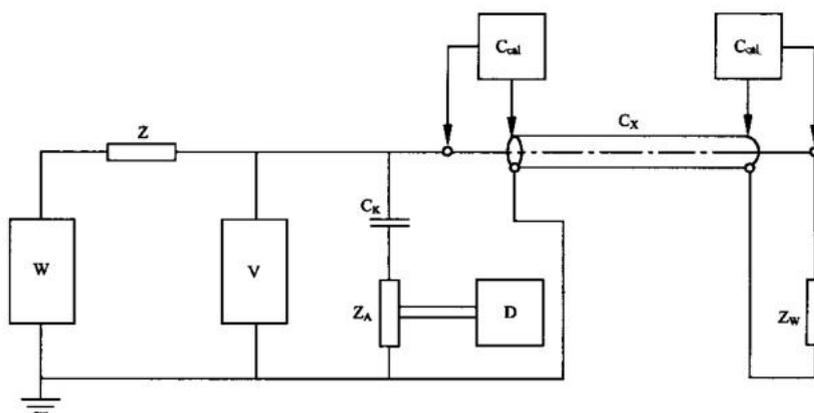


图 9- 28 终端阻抗 Z_w 的连接

C_{cal} —校准脉冲发生器； C_k —耦合电容器； C_x —电缆试样； D —局放仪； V —高压电压表；

W —交流电源； Z —高压滤波器； Z_A —测量阻抗； Z_w —终端阻抗；

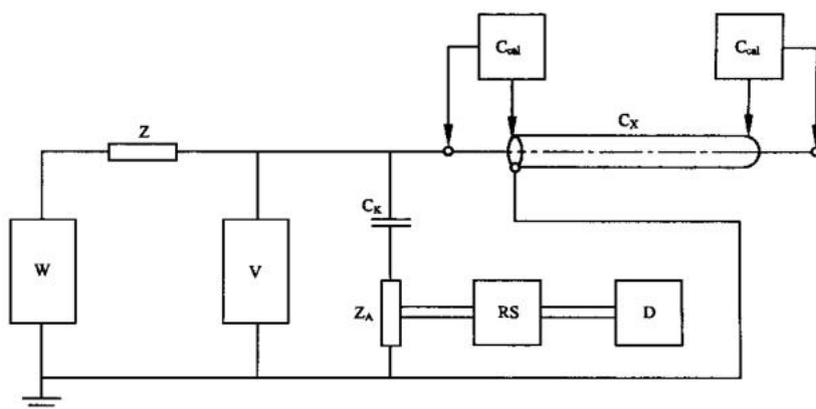


图 9- 29 反射抑制器的连接

C_{cal} —校准脉冲发生器； C_k —耦合电容器； C_x —电缆试样； D —局放仪； V —高压电压表；

W —交流电源； Z —高压滤波器； Z_A —测量阻抗； RS —反射抑制器；

9.1.8 GIS

测量方法按 GB/T 7354 的规定。

试验应在所有其他绝缘试验后进行。

试验可以在进行全部绝缘型式试验的被试品的总装或分装上进行。

注：工频电压试验和局部放电试验可以同时进行。

外施工频电压升高到预加值，该预加值等于工频耐受电压并保持 1min，在此期间出现的局部放电不应考虑；然后，电压降到 DL/T 617-2010 中的规定值，进行局部放电测量。

试验过程中应记录熄灭电压。

此外，所有元件应按各自相关的标准进行试验。

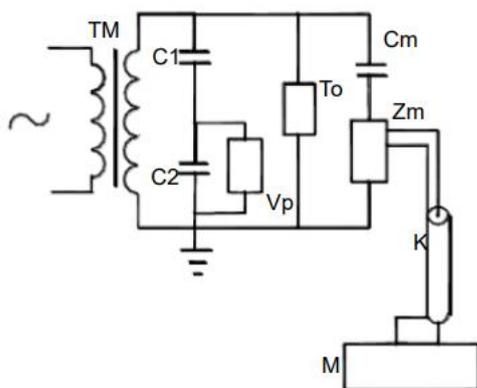


图 9- 30 GIS 局放试验接线原理图

TM—工频试验变压器；C1—分压器高压臂测量电容；(工频试验变压器内部)；C2—分压器低压臂测量电容；(工频试验变压器内部)；K—测量电缆；Vp—峰值电压表；To—被试 GIS；

Cm—耦合电容器；Zm—检测阻抗；M—局放仪；

9.2 系统连接

整个局放试验一般需要交流电压控制箱、无源滤波器，无局放升压变压器、无局放耦合电容、测量阻抗、校准脉冲发生器、局放主机及显示器(如笔记本电脑)等设备，按照前面章节的介绍选择合适的测量阻抗和测量回路，连接正确以后进入测量操作。交流电压控制箱、升压变压器、局放仪等必须可靠接地。如图 9- 31：

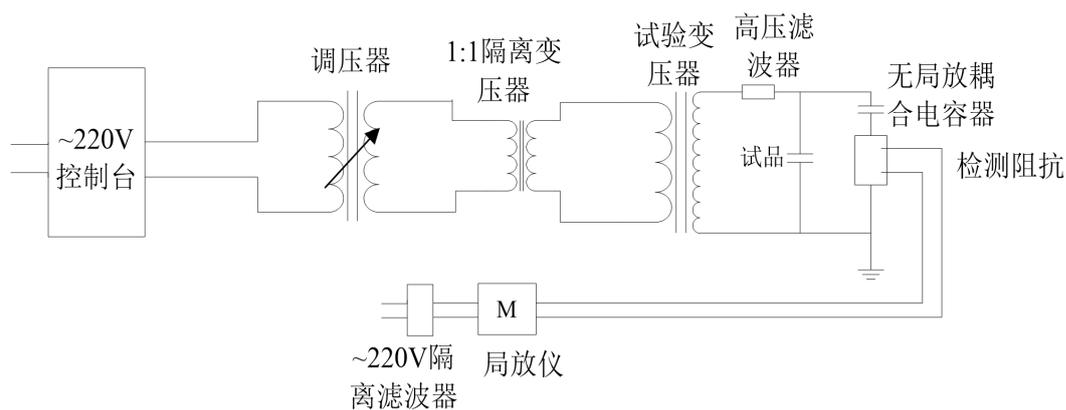


图 9- 31 系统连接示意图

9.3 执行测试

测试过程主要由以下几步完成，请确保执行下列操作：

1. 测试模式设定

选择正确的测试模式，交流试验或直流试验。

2. 校准

试验前，首先应对使用的输入通道进行第 7 章中描述的局放和电压校准。

3. 合格标准设定

针对试品要求，完成输入通道合格标准阈值的设定。

4. 系统零标确定

为了保证检测图谱相位的准确性，应提前确认系统零标。

5. 计时设定

确保正确设置计时器控件。

6. 视在放电量的测量

安全准备及加压测试开始。

7. 干扰源分析及抑制

进行干扰源的分析及选择相应的抗干扰方法进行抑制。

9.3.1 校准

1. 校准的目的

确定测量回路的信号传输比例和校验回路是否能测量有关试品试验标准中规定的最小可测放电量。

确定高压端施加电压的实际值，从而监测电压与局放的曲线关系。

2. 校准的步骤

局放量与电压的校准步骤详见第 7 章中描述的局放和电压校准。

9.3.2 系统零标的确定

试品的局部放电一般发生在试验电压的 $0-90^\circ$ 、 $180-270^\circ$ 的相位区域内，与试验电压相位有着密切联系。测试人员在局部放电测量时，应知晓试验电压的零相位即零标，这对识别局部放电和干扰大有益处。在进行脉冲鉴别和使用平衡阻抗测量时，零标的准确与否，十分关键，因此，确定试验电压的零标在局部放电测量中是一重要环节，每次进行局部放电测量时，都应确定零标。下面就如何确定试验电源零标的方法、步骤叙述如下。

1. 进入测量界面，在试品的高电位端，悬挂一稍粗的硬金属导线，导线尖端距离地面 10cm 左右。给试品施加试验电压（一般在 10KV 以下），适当调节波形幅值缩放及增益，直至显示屏上观察到电晕放电图形为止。选择合适角度校正，使电晕放电图形移动。
2. 当电晕放电图形出现在椭圆 270° 相位时，如下图所示，表明检测系统电源电压与试验电压同相同极性。当电晕放电图形出现在椭圆 90° 相位时，表明检测系统电源电压与试验电压是同一相位，反极性的（即相差 180° ），此时选择角度校正使椭圆旋转 180° ，电晕放电图形显示在 270° ，使检测系统电源电压与试验电压同相、同极性。
3. 当电晕放电图形出现在椭圆其他相位时，表明检测系统电源电压与试验电压不是同一相位电源。此时选择角度校正，使椭圆旋转，电晕放电图形显示在 270° 相位，也使检测系统电源电压移相，与试验电压同相、同极性。

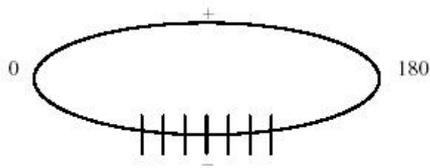


图 9- 32 电晕放电图形

9.3.3 视在放电量的测量

进入局部放电测量主界面，在屏幕的左边有表示局部放电量的色柱和数值，即为视在放电量。

当开窗操作时，视在放电量即为窗内最高脉冲值；当不开窗显示，此时视在放电量即为整个图形最高脉冲值。

不同的试品、不同的电压等级其加压时间、施加电压、加压方法、预加电压及试验电压标准都不同，请参照 DL17-91 《电力设备局部放电现场测量导则》，里面有详细的描述。

在施加电压前，应做好以下准备工作并清楚以下情况：

- 从试品上撤走校正脉冲发生器。
- 对试验设备进行安全情况的最后检查，并合上安全围栏。
- 此时校正好的局放系统可用于测量，可以直接读出背景噪声值，由于噪声水平包括了试验装置中的干扰信号和仪器的机内噪声，对整个测量来说这个值是一个“品质的量度”，应该记录下来或作为一个文件保存下来。
- 逐步试加电压，观测局放仪上的局部放电幅值或数据记录曲线。同时监测数据记录中的电压和局曲线，如有异常情况，应电压回零，并切断一切电源。稍等片刻，再作进一步处理。
- 随着试验电压的提高，所产生的任何局放将在屏幕上显示出来。
- 具有试验经验的操作者，能很容易地在屏幕上识别各种脉冲的形式，并将其于试验线路中的典型放电源联系起来，对于干扰和放电的识别方法，请参考其它的局部放电图谱集。
- 对于现场不同的干扰源如何进行抑制，请参照章节 9.4。

9.4 干扰源分析及抑制

9.4.1 与试验电压无关的干扰（空间干扰）

这种与试验电压无关的干扰通常称为空间干扰，其干扰脉冲的幅值与施加到试品上的电压的幅值无关，即它不随试验电压的升高或降低发生变化。这种干扰源主要来自电气开关的开关操作、电焊起弧、吊车开动、调频电机的调频脉冲、整流电机的电刷、磨床加工零件时产生的火花、晶闸管整流设备、无线电台发射的电磁波以及各种工业控制设备的干扰等。除部分干扰沿导线由电源侧侵入测试系统外，绝大部分以电磁波的形式由空间侵入局部放电测量系统。

- (1).试验线路采用滤波器、隔离变、阻波器等抗干扰措施；
- (2).选择合适的滤波带宽；
- (3).平衡输入方法；
- (4).极性区分方法；

9.4.2 发电机产生的干扰和试验电压引发的干扰（电源干扰）

这种干扰的特点是随试验电压的升高而增大，主要是由电源系统和试品周围部分金属部件和绝缘部件产生。如发电机、试验变压器、高压引线、试品端部、高压线路接触不良、试品周围金属件接地不良或根本没有接地、以及较长的电力传输线等。这种干扰的波形特征也不尽相同，但都有一定的相位关系，多数在电压的正半周和负半周的波形不对称。

抑制方法

- (1).尽量增加高压导线的直径（或采用蛇皮管或薄铜、铝圆筒）；
- (2).对试品端部增加防晕罩；
- (3).试品周围各地线和金属物良好接地；
- (4).试品周围的绝缘物体严禁与金属接地线接触；
- (5).在高压线下部的地面上不得有螺钉、螺母、地线头等金属物；
- (6). 极性区分方法；

9.4.3 地电流产生的干扰（地干扰）

稳定的地干扰，一般频率较低。

抑制方法

(1).改变滤波器带宽；

(2).改善接地方式；

(3).消隐去干扰；

突发性地干扰，一般以随机脉冲形式出现，与试验电压无关，多点接地和接地

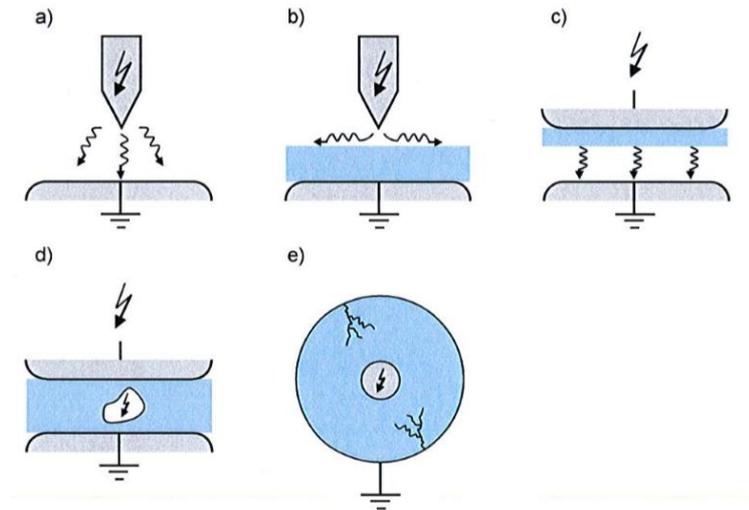
不善容易出现

(1).改善接地方式；

(2).脉冲平滑去噪

10 局部放电测量理论

局部放电（PD）通常被称为两个电极之间仅部分桥接，即在绝缘部分中断的情况下：局部放电可以直接在其中一个电极处产生，也可以在电介质材料内部的空腔中没有电极的情况下发生。



局部放电现象：a) 电晕放电 b) 表面放电 c) 层压材料放电 d) 空腔放电 e) 电树局部放电。

电晕或气体放电（a）发生在与空气、气体绝缘装置或液体绝缘体中的高压或地电位相连的锐边或细导体上。

表面放电（b）和层压材料中的局部放电（c）发生在不同绝缘材料之间的界面，例如气体/固体界面。

在小型充气空腔（空隙）中，局部放电发生在固体和液体绝缘（d）中。

在固体绝缘中，连续局部放电通过形成树状通道（e）部分破坏绝缘材料的结构。

内部和外部 PD 之间经常有区别。外部放电是指发生在高压设备外部的过程（例如配件、馈线或应力控制电极上），而内部放电是在封闭系统内发生的过程。外部放电通常可以与试验对象内部的局部放电（内部放电）明显区分。

10.1 局部放电产生机理

在设备中，绝缘体各区域承受的电场一般是不均匀的，而且电介质也是不均匀的，有的是由不同材料组成的复合绝缘体，如气体固体复合绝缘、液体固体复

合绝缘以及固体与固体复合绝缘等。有的虽然是单一的材料，但在制造或运行过程中会残留一些气泡或其他杂质，于是在绝缘体内部或表面就会出现某些区域电场强度高于平均电场强度，某些区域的击穿场强低于平均击穿场强，因此在某些区域会首先发生放电，而其他区域仍然保持绝缘的特性，这就形成了局部放电。

绝缘中存在气隙或气泡是最为常见的一种局部放电原因，其机理通常用三电容模型来解释，如图 10- 1 所示。

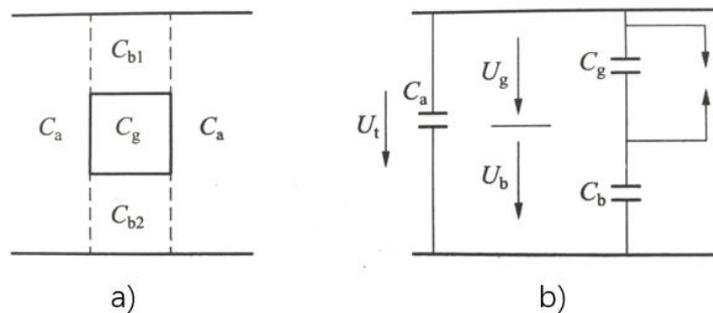


图 10- 1 固体介质内部气隙放电的三电容模型

a)通过气孔的介质剖面

b)等效电路

C_g —气隙的电容； C_b — C_{b1} 和 C_{b2} 的串联代表与 C_g 串联部分的介质的电容； C_a —其余部分绝缘的电容；

若在电极上加交流电压 U_t ，则出现在 C_g 上的电压为 U_g ，即

$$U_g = \left[\frac{C_b}{C_g + C_b} \right] U_t = \left[\frac{C_b}{C_g + C_b} \right] U_{max} \sin \omega t$$

因气隙很小， C_g 比 C_b 大很多，故 U_g 比 U_t 小很多。局部放电时，气隙中的电压和电流变化如图 10- 2 所示。

U_g 随 U_t 升高，当 U_t 上升到 U_s (起始放电电压)， U_g 达到 C_g 的放电电压 U_d 时， C_g 气隙放电，于是 C_g 上的电压很快从 U_d 降到 U_r ，放电熄灭，则

$$U_r = \left[\frac{C_b}{C_g + C_b} \right] U_c$$

式中： U_r —残余电压 ($0 \leq U_r < U_d$)； U_c — C_g 上电压上升为 U_t 时相应的外施电压。

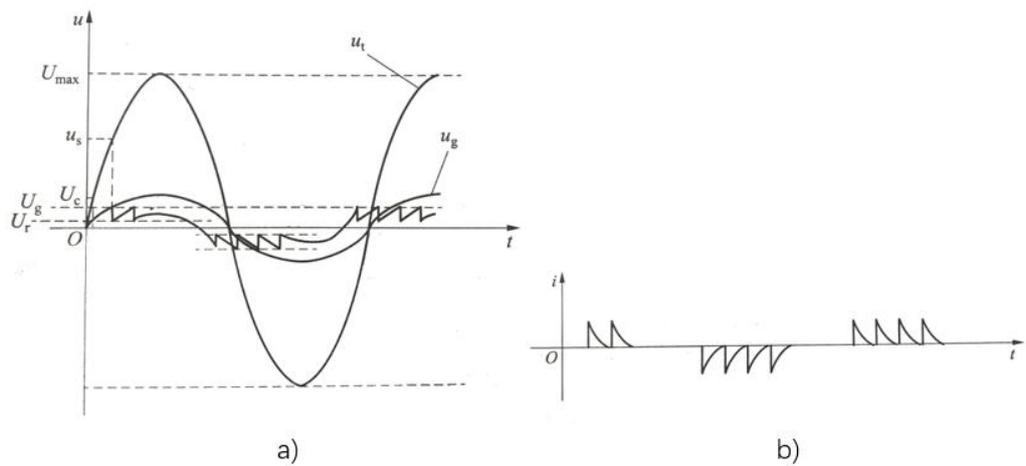


图 10- 2 局部放电时气隙中的电压和电流变化 a)电压变化 b)电流变化
 放电后在 C_g 上重建的电压 U'_g 将不同于 U_g ，但随着外施电压的上升， U_g 也具有上升趋势，从 U_r 上升，当升到 U_g 也即外施电压又上升了 $U_s - U_c$ 时， C_g 再次放电，放电再次熄灭，电压再次降到 U_r 。 C_g 上的电压变动在 U_g 至 U_r 间的时间，也即产生局部放电脉冲的时间，此时 C_g 流过脉冲电流，它是检测局部放电的重要依据。

图 10- 3 局部放电时气隙中的电压和电流变化 a)电压变化 b)电流变化
 由图 10- 1b)可知，当 C_g 放电引起电压变化为 $U_g - U_r$ 时，回路放出的电荷 q_r 应为

$$q_r = (U_g - U_r) \left[\frac{C_g + C_a C_b}{C_a + C_b} \right]$$

当 $C_a \gg C_b$ ， $C_g \gg C_b$ ， $U_r = 0$ 时， $q_r \approx U_g U C_g$

C_g 上的电压也即外施电压的变化 ΔU 应为

$$\Delta U = \left[\frac{C_b}{C_a + C_b} \right] (U_g - U_r) = C_b q_r / (C_g C_a + C_g C_b + C_a C_b)$$

若相应的电荷变化量为 q ，则

$$\Delta U = q / \left\{ C_a + \left[\frac{C_g C_b}{C_g + C_b} \right] \right\} = q / C_x \approx q / C_a$$

$$q = \left[\frac{C_b}{C_g + C_b} \right] q_r$$

q_r 是实际放电电荷，但无法测得。而 ΔU 和 C_x 均可检测得到，故 q 是可以得到的，一般用 pC 表示，称为视在电荷量。它比实际放电电荷小很多，可用它来表示电气设备的局部放电量(水平)。

当绝缘介质内出现局部放电后，外施电压在低于起始电压的情况下，放电也能

继续维持。在理论上可比起始电压低一半，也即绝缘介质两端的电压仅为起始电压的一半，这个维持到放电消失时的电压称为局部放电熄灭电压。而实际情况与理论分析有差别，在固体绝缘中，熄灭电压比起始电压约低 15%~20%。在油浸纸绝缘中，由于局部放电会引起气泡迅速形成，所以熄灭电压低很多。这也说明在某种情况下电气设备存在局部缺陷而正常运行时局部放电量较小，也就是运行电压尚不足以激发大放电量的放电。当其系统有一过电压干扰时，则触发幅值大的局部放电，在过电压消失后如果放电继续维持，最后会导致绝缘加速劣化及损坏。

10.2 局部放电的主要表征参数

局部放电是比较复杂的物理现象，必须通过多种表征参数才能全面的描绘其状态，同时局部放电对绝缘破坏的机理也是很复杂的，也需要通过不同的参数来评定它对绝缘的损害，目前我们只关心两个基本参数。

1. 视在放电电荷 q

在绝缘体中发生局部放电时，绝缘体上施加电压的两端出现的脉动电荷称之为视在放电电荷，单位用皮库（ pC ）表示，通常以稳定出现的最大视在放电电荷作为该试品的放电量。

2. 放电重复率 n

它是一个在特定时间限度内局部放电脉冲数量与时间限度的比值。

注意：实际上，只有幅值大于某一限度的脉冲或在某一幅值内的脉冲才予以考虑。

3. 局部放电起始电压 U_i

当施加于试品的电压从某一观察不到局放的较低值开始逐渐增加到初次观察到试品中产生重复性局放时的电压。

实际上，起始电压 U 是局放脉冲参量幅值等于或超过某一规定的低值时的最低施加电压。

4. 局部放电熄灭电压 U_e

当施加于试品的试验电压从某一观察到局放脉冲参量的较高值逐渐减小直到试

品中停止出现重复性局放时的电压。

实际上,熄灭电压 U_e 是当所选的局放脉冲参量幅值等于或小于某一规定的低值时的最低施加电压。

10.3 局部放电测试系统的接地方式

接地是控制电磁干扰的基本方法,单点接地是消除地网干扰最有效的方法。信号接地分为单点接地和多点接地两种,单点接地又分为串联单点接地和并联单点接地。

10.3.1 串联单点接地

如图 10- 1 所示,多台设备用导线串联后通过一点接地,由于导线电阻与导线截面和长度有关,各点的电位变化与各设备的电流和导线上的电阻有关,其关系如公式 10- 1 所示,各设备虽然同接在一个接地点,但各点的电位相差很多,这样的接地方法不适用于局部放电测量。如果试验现场不得不使用这种串联接地方法,就应当将局部放电仪的接地点接在靠近地桩的位置。

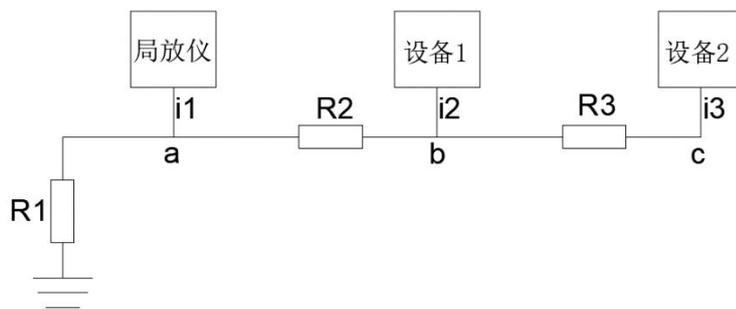


图 10- 4 串联单点接地

$$\begin{cases} v_a = R_1(i_1 + i_2 + i_3) \\ v_b = R_1(i_1 + i_2 + i_3) + R_2(i_2 + i_3) \\ v_c = R_1(i_1 + i_2 + i_3) + R_2(i_2 + i_3) + R_3i_3 \end{cases}$$

公式 10- 1

10.3.2 并联单点接地

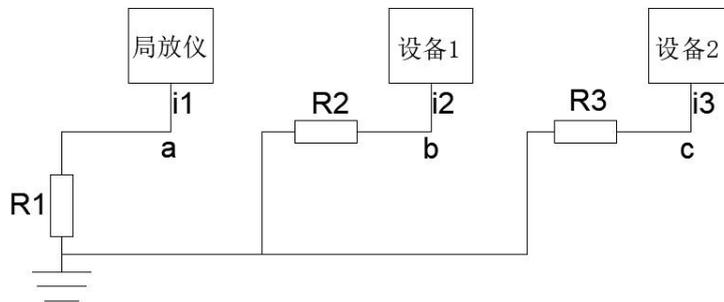


图 10- 5 并联单点接地

并联单点接地如图 10- 5 所示，各点电位如公式 10- 2。

$$\begin{cases} v_a = R_1 i_1 \\ v_b = R_2 i_2 \\ v_c = R_3 i_3 \end{cases}$$

公式 10- 2

各路电流互不干扰，故各接地点的电位也不受其它接地点的影响。因此，局部放电测试回路尽可能采用并联单点接地法。由于并联单点法的各接地线的长度较长，在高频时表现为电感，使其高频阻抗升高，故采用并联单点接地时，接地线必须尽可能短，使高频阻抗减到最小。使地电阻产生的干扰降低到最低水平。

10.3.3 多点接地

在测试回路中，由于多点接地，在接地点之间存在着电阻，如图 10- 6 所示，当干扰电流 i 在地网内流经 A、B 两点时，在测试回路 AB 两点形成一个随地电流变化的干扰电压 v ，其数值：

$$v = \frac{(R_A + R_B)R_{AB}}{R_A + R_B + R_{AB}} i$$

公式 10- 3

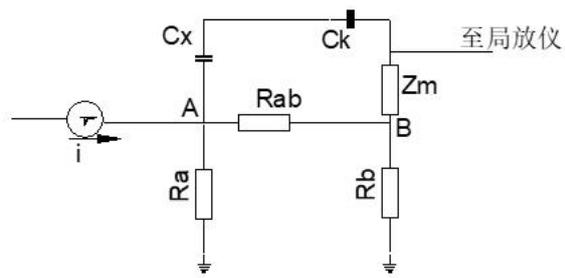


图 10- 6 多点接地系统

当电流 i 为一脉冲电流时，直接影响局放测量，一般情况下，应尽量避免多点接地。

抑制方法：

- (1).尽量采用并联单点接地；
- (2).缩短接地线长度和离地面的高度；
- (3).利用隔离变压器断开地环流；
- (4).利用输入适配器隔离地环流。