

# 高电压技术实训指导书

发电厂及电力系统专业适用

向 奕 编

湖北水利水电职业技术学院

电力技术教研室

二〇一七年三月

## 高压实验室安全工作守则

凡进入本实验室工作或实验前，必须仔细学习并严格遵守本规则，以确保人身及设备的安全：

一、未经许可，不得动用实验室的设备、仪表。不熟悉本规程及各设备操作程序不得进行操作。

二、严格监护制度，任何人不得在无监护人时进行高压实验工作，监护人发现有不熟悉或违反操作程序时有权停止其实验。

三、实验前应明确工作目的和要求，做好分工，指定安全负责人，不允许一个人单独进行高压实验。

四、实验人员应首先熟悉实验设备的性能、实验内容、线路及实验方法。然后仔细检查安全措施（包括开关、接地棒、接地线、遮拦和警告牌等）。接线时连接要正确、牢固，不同电位部分要保持足够的安全距离，接好线后应先相互检查，再请指导教师检查。

五、接线经指导教师检查无误，关闭安全遮拦后，方可送电。然后按操作程序进行操作。

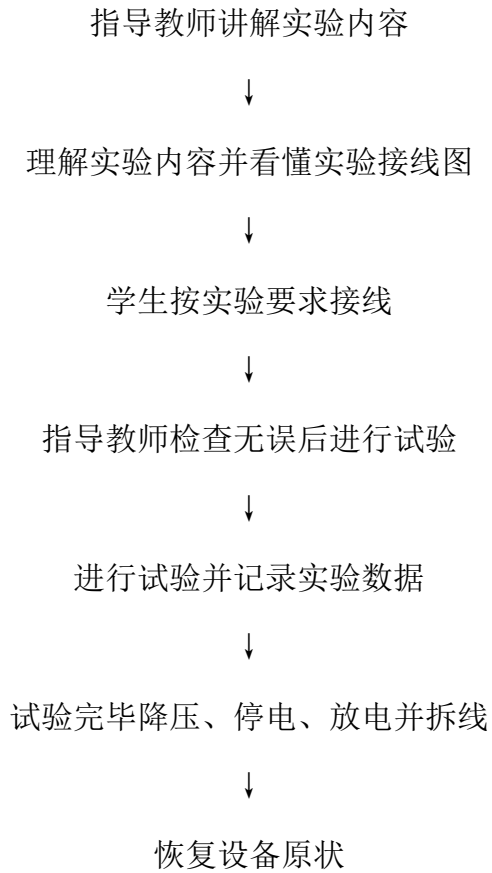
六、严格执行信号保安制度，投入高压设备前，必须先要发出高压危险或高呼“注意！合闸！”。

七、实验中若出现异常情况，应立即拉开电源，报告指导教师。

八、每次切断高压电源后进入安全围栏时，必须用接地棒将可能存储电能的设备全部进行放电，并加以接地，然后方可接触高压设备和导线。

九、试验完毕后，必须将全部高压设备用接地棒进行放电并接地。然后将仪器及设备整理复原，经指导教师检查后，方可离去。

## 实验室实验流程图



# 目 录

高电压试验时具体的安全措施和注意事项.....	1
试验一 绝缘电阻的测量.....	3
试验二 接地极接地电阻的测定.....	7
试验三 泄漏电流及直流耐压试验.....	9
试验四 介质损失角正切 $\tan\delta$ 测量.....	11
试验五 交直流电压下空气间隙的击穿试验.....	16
试验六 交流耐压试验.....	18
试验七 变压器油的绝缘强度试验.....	20

## 高电压试验时具体的安全措施和注意事项

在具体高压试验中，必须做到以下几个方面。

### 1. 试验前

试验前不但要对安全全面的了解，还要对所做的试验内容熟练掌握，为此，要了解以下几项：

(1) 试验前，试验人员应熟练掌握和了解试验内容、试验方法、试验所用的设备、仪器以及试品等。

(2) 试验线路要仔细检查，要做到准确无误。检查的内容有：线路、设备、仪器仪表以及安全距离等。

(3) 接地必须可靠，接地杆的接地线应该用多股裸铜线牢固的接在接地带上。进入试区，要用接地杆对高压部位放电，并将接地杆挂在高压部位上；当第二次进行试验时，一定要将接地杆从高压部位取下，否则将发生短路现象。

### 2. 试验时

进行高压试验时，也要注意以下事项：

(1) 做高压试验，必须严肃、认真、精力集中，高压操作者的手不要离开跳闸按钮，注意监视电表和现场，不得擅离职守。试验时，不得与他人谈笑和进行其他工作。假若讨论问题应先跳闸，暂停试验后进行。

(2) 呼叫口令。高压试验时的几项操作，操作者要分别呼叫“高压合闸”、“放电”、“去掉接地杆”等口令，当监护人同意并重复上述口令后，方能进行具体操作。

(3) 升压时，必须从零电压开始均匀缓慢的升压，当进行试品的耐压试验时，若试品正常通过，应将调压器退回零位后，再将电路跳闸。当高压演示时异常放电或产品耐压试验时试品被击穿，应立即跳闸，随即将调压器退回零位。

(4) 故障处理。当高压试验时，若出现了故障，应立即跳闸，随即将调压器退回零位。若为人事事故，应立即进行抢救，即人工呼吸。若酿成火灾，应用灭火器灭火，或报火警进行灭火抢救。

(5) 放电。试验完毕，或更换试件时，应将调压器退回零位，切断电源，并用接地杆对高压部位放电。当对电容性的试品放电时，应先经电阻对电容器放电，然后再将电容器短路放电。

### 3. 试验后

(1) 试验完毕，应对电容器高压部位充分放电，并将接地杆挂在高压设备上。

(2) 保持试验场所的整洁。

### 4. 其他

(1) 高压试验时，不得点火、吸烟。

(2) 发烧、头晕、精神不佳或精神失常者，不得进行试验。

(3) 高压试验不得少于三人。

## 对同学们的要求

1. 预习。要求掌握试验内容、方法及基本原理，并选择试验所需设备、元件、仪器、仪表及试验点。画出试验线路图和原始记录表格。

2. 试验。必须认真操作，观察试验中发生的现象，记录每次数据，注意安全，严格遵守试验规则，听从教师指导，试验后清理现场。

3. 写出试验报告。

格式如下：

(1) 试验目的。

(2) 试验线路图。线路图要整齐、清楚，并对图中设备的符号列表说明。

(3) 试验内容及数据整理。数据应列表，对所用符号的含义和单位应加以说明，需计算部分应列出引用的公式和说明计算方法。必要时，应绘制曲线，曲线要用 16 开方格纸或附以波形图、其他图像等。

(4) 现象描述。主要是放电现象，或在试验中遇到的其他现象（如故障现象），若无此内容，可省略。

(5) 分析讨论。对整个试验的数据、波形、试验现象用所学的知识进行分析讨论，并加以总结。

4. 严格遵守课堂纪律，不得迟到、早退。按时交报告。

## 试验一 绝缘电阻的测量

测量电气设备的绝缘电阻，是检查其绝缘状态最简单的辅助方法，在现场普遍采用兆欧表来测量绝缘电阻，通过绝缘电阻可以初步判断电气设备绝缘的好坏。因此，测量绝缘电阻是电气检修、运行和试验人员必须掌握的一种方法。

### 一、试验目的

1. 熟悉兆欧表的原理和使用方法。
2. 掌握绝缘电阻测量和吸收比测量的接线和试验注意事项。

### 二、试验原理

绝缘电阻是在绝缘体的临界电压以下，施加的直流电压  $V$  与其所含的离子沿电场方向移动形成的电导电流  $I_g$  的比值，即

$$R_i = V / I_g$$

式中： $R_i$ ——绝缘电阻（欧）

$V$ ——直流电压（伏）

$I_g$ ——电导电流（安）

如果施加的直流电压超过临界值时，将会产生较大的电导电流，使电气设备的绝缘急剧下降，使电气设备的绝缘受到损伤，甚至可能被击穿。因此必须根据电气设备的电压来选择兆欧表的额定电压。

对单一的绝缘体（如：瓷、玻璃、塑料等），在直流电压的作用下，其电导电流瞬间即可达到稳定值，所以测量这类绝缘体的绝缘电阻时，也就很快达到稳定值。

在高压工程上用的内绝缘，大部分是夹层绝缘（由多层不同材料组成的复合介质），如：变压器、电缆、电机等。该绝缘在直流电压的作用下，会产生多种极化，并从极化开始到完成需要相当长的时间。通常利用夹层绝缘的绝缘电阻随时间变化的关系，作为判断绝缘状态的依据。

在绝缘测量中，对大容量设备，不仅依据稳定时的绝缘电阻值来判断绝缘的好坏，而且还要依据吸收现象的表现情况来判断绝缘的好坏。通常用加压后 60 秒和 15 秒时的电阻的比值作为判断的依据，称为吸收比  $K$ ，即

$$K = R_{60} / R_{15}$$

$K$  值大（一般大于等于 1.3），表明绝缘良好，如果  $K$  值接近于 1，表明绝缘受潮或有

缺陷。

### 三、测量仪表

绝缘摇表又称兆欧表，专门用来测量绝缘电阻的，其原理如图 1-1 所示。

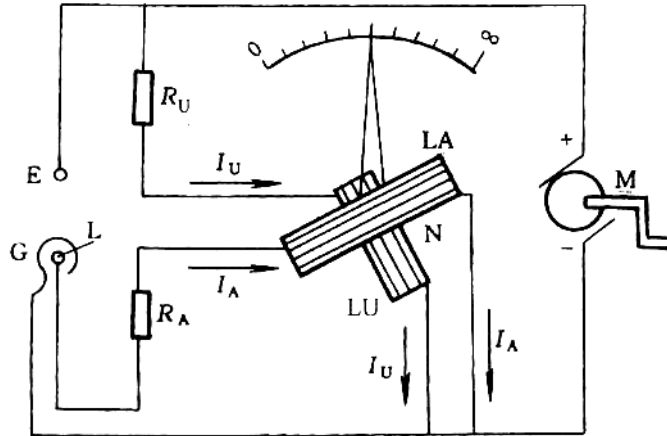


图 1-1 兆欧表原理接线图

M——手摇直流发电机； LA、LV——电流、电压线圈；  $R_U$ 、 $R_A$ ——电压、电流支路电阻；  
E、L——测试接线端子； G——屏蔽接线端子。

M 为直流发电机，其电压由 500 伏~2500 伏，每 500 伏为一级。摇表测量机构为流比计，它有两个相互垂直而绕向相反并固定在一起的线圈（LU 和 LA）处在同一个永磁磁场中。当 E、L 端子接入被测设备时，两个线圈就并联在直流发电机的两个支路上，在直流电压的作用下，电流  $I_U$ 、 $I_A$  分别流过 LU、LA，于是在线圈磁场与永磁磁场相互作用下，将产生两个方向相反的力矩作用在线圈上，在两个力矩差的作用下，线圈带动指针旋转，直到两个力矩平衡为止。指针偏转角度只和两个并联电路中电流的比值有关。因为并联电路中电流的分配是与电阻成反比的，所以偏转角度的大小，就反映出被测设备绝缘电阻的大小。

湿度对绝缘的表面电阻影响很大，设备表面受潮（特别是表面有油污时），使其表面的泄漏电流增大，而流入流比计中的电流减小，使绝缘电阻的读数显著下降，引起错误判断。为此必须很好地清洁被测设备表面，并利用兆欧表的屏蔽端子来消除表面泄漏电流的影响。

### 四、试验接线

试品为 6kV 电容器，测量电容器的绝缘电阻一般分为测两极间和两极对地。



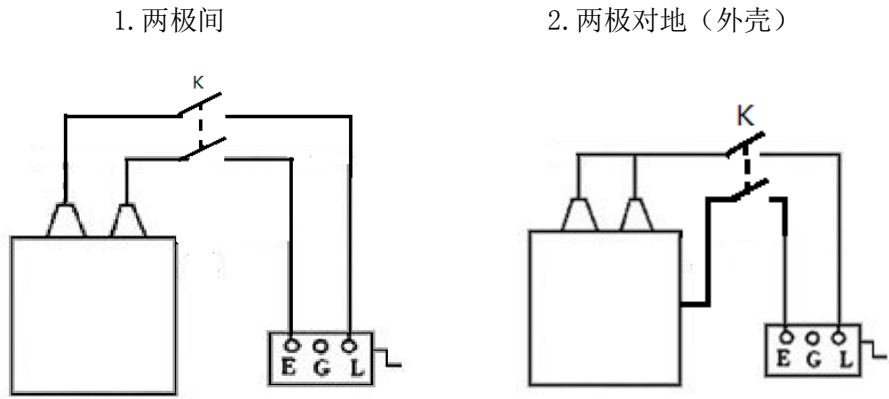


图 1-1 电容器的绝缘电阻和吸收比的测量接线图

### 五、测量方法及注意事项

1. 将被测设备的电源及外部接线均拆除，并充分放电；
2. 用清洁干燥的软布擦去被测设备表面的污垢；
3. 校验兆欧表的好坏；将兆欧表的“E”和“L”端子短接，摇动发电机手柄，兆欧表指针应指零。再将兆欧表的“E”和“L”端子开路，摇动发电机手柄，兆欧表指针应为 $\infty$ ，表示兆欧表完好。
4. 按要求接好线，摇动兆欧表使其达到额定转速 120r/min，方可将被测试品接入回路，同时开始记时，分别读取 15 秒和 60 秒时的绝缘电阻值。然后先断开被测试品的接线，再使兆欧表停止运转，以免放电电流通过兆欧表，使其损坏。对大容量被试品更要注意。最后计算出吸收比。
5. 兆欧表的“L”和“E”上接线不得靠在一起和放在地上。
6. 对大容量被试品测量完成后，必须充分放电。
7. 测量后要记录现场的温度和湿度。

### 六、试验记录

	1	2	3	平均值
$R_{15} (M\Omega)$				
$R_{60} (M\Omega)$				
$K=R_{60}/R_{15}$				

### 七、判断标准

1. 被测试品的绝缘中存在贯穿集中性缺陷时，绝缘电阻明显下降，用兆欧表可以直接判断出来（一般大于 50 兆欧为合格）。

2. 对许多电气设备，其绝缘电阻往往变化很大，它与试品的尺寸、空气的潮湿等都有关系，难以给出统一的标准，只能规定同类设备的允许范围，因此，对不同类型设备的绝缘电阻允许值，可通过电气设备试验规范手册中的数值来进行比较判断，在其范围内为合格。

3. 对大容量设备，除了绝缘电阻满足要求外，还要满足吸收比的要求（一般  $K > 1.3$  为合格）。

## 试验二 接地极接地电阻的测定

### 一、试验目的

1. 了解接地电阻测定仪的结构及原理。
2. 掌握接地电阻测定仪测定接地极接地电阻的方法。

### 二、试验设备及接线

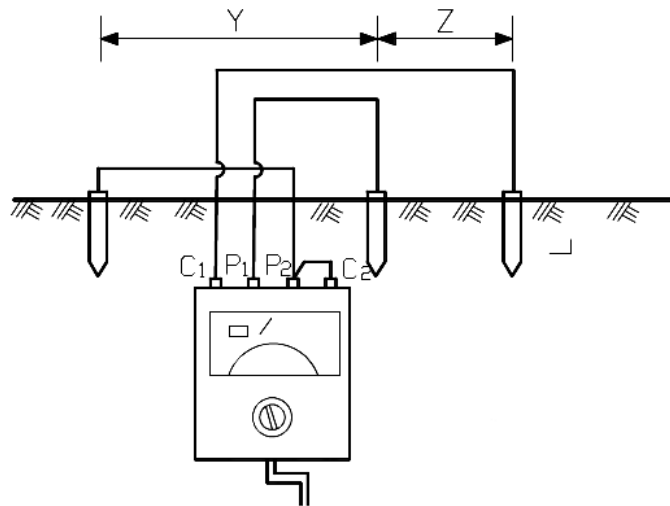


图 2—1 土壤电阻测量图

C1、C2——电流极；P1、P2——电压极；L——埋入土壤深度；Y、Z——极间距离

### 三、试验内容及步骤

#### (一) 接地电阻测量

1. 试验项目：测量接地电阻
2. 试验步骤

(1) 按照表 2-1 的方法，根据接地体的形状确定电流极、电压极与被测接地体距离，并按照此距离将电流极和电压极打入地中。

(2) 按照图 2-1 接线。对于四极接地电阻测量仪，如果被测量装置为单管或板状接地体时，可将 P2 和 C2 短接后连接到接地体；如果被测量装置为网状接地体时，可将 P2 和 C2 分别连接到接地体两角上。

(3) 选择接地电阻测量仪合适的倍率。

(4) 以 120r/min 的速度均匀地摇动接地电阻测量仪，同时调节刻度盘，使得指针指向中间即可读数。将刻度盘的数值乘以倍率即为接地电阻值。

(5) 按照电压极与电流极的距离的 5%，将电压极沿电流极方向移动再测量 2 次，然后取平均值。

表 2-1 电流极、电压极与被测接地体距离的确定方法

接地体的形状		Y (m)	Z (m)
管或板状	$L \leq 4m$	$\geq 20$	$\geq 20$
	$L \geq 4m$	$\geq 5L$	$\geq 40$
沿地面成带状或网状		$L > 4m$	$\geq 40$

注 L——对管或板状接地体，为其在地中的深度；对沿地面成带状或网状接地体，为对角线距离

## (二) 土壤接地电阻率测量

1. 试验项目：测量土壤接地电阻率

2. 试验步骤

(1) 按照图 2-2 接线。

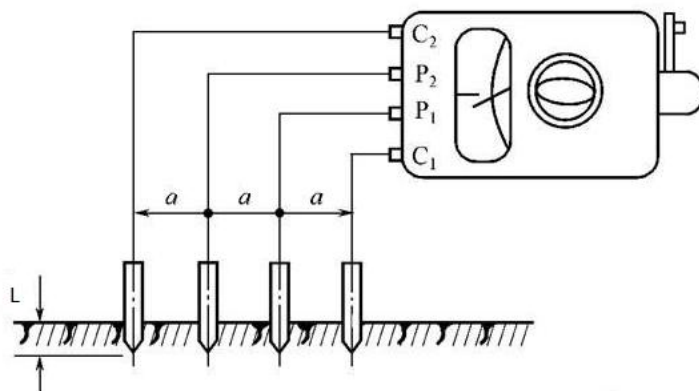


图 2-2 土壤电阻率测量图

C1、C2——电流极；P1、P2——电压极；L——埋入土壤深度；a——极间距离

(2) 电极可用直径 2cm 左右，长 0.5~1.0m 的圆钢或铁管做电极，极间距离取 20m 左右，埋入土壤深度应小于极间距离的 1/20。然后按照测量接地电阻的方法测量出接地电阻值，再计算出土壤电阻率，即

$$\rho = 2\pi a R_g$$

(3) 由于四极法测得的土壤电阻率与电极间的距离 a 有关，当 a 不大时所测得的电阻率，其反映的深度随 a 的增大而增大，因此要改变极间距离 a 的大小，再测量 2~3 次。然后取平均值作为测量值。

## 试验三 泄漏电流及直流耐压试验

泄漏电流试验是测量试品在不同直流电压作用下的直流泄漏电流值。直流耐压试验是被测试品在高出设备额定电压几倍的电压下，历时一定时间的一种抗电强度试验。

### 一、试验目的

1. 掌握泄露电流的试验方法和试验注意事项。
2. 加深了解泄露电流的试验与兆欧表测绝缘的不同之处。
3. 应用试验结果（数据）去分析试品的绝缘状况。

### 二、试验原理

泄漏电流及直流耐压试验的原理与绝缘电阻测量试验的原理基本相同，但是试验中所用的直流电源一般均由高压整流设备提供，并用微安表来指示漏电电流值。它比绝缘电阻试验的优越之处在于：试验电压高并能随意调节，对不同电压等级的被试品可施加相应的电压，更有效地检测出设备的绝缘情况；在试验过程中还可根据微安表指示，随时了解设备的绝缘状况。对绝缘良好的设备漏电电流较小，且与电压的关系按正比例增加；受潮时则漏电电流较大；有集中性缺陷时，升到一定电压后泄漏电流激增；绝缘集中性缺陷严重时，出现泄漏电流激增的电压越底。因此，通过试验可以检测出被测试件有无绝缘缺陷或受潮，特别是在检查绝缘的局部缺陷方面，更有其特殊意义。

泄漏电流试验所加电压较高，对 35kV 及以下设备用 10~30kV；对 110kV 及以下设备用 40KV。一般以一分钟时间的微安表读数为依据，同时也可以把电流与时间关系和电流与试验电压关系的曲线进行全面分析。泄漏电流的判断标准在规程中做了一些规定，更重要的是根据历史记录和试验结果进行比较判断。

直流耐压试验是试验设备绝缘的抗电强度，其试验电压较高。这种方法特别用于大容量的试件，如：电缆、电容器等。因为进行直流耐压时，直流高压对设备绝缘无介质损伤，长时间加直流电压不会使设备绝缘减弱。与交流耐压相比，直流耐压的缺点是：对设备绝缘的考验不如交流接近实际和准确。但在实际工程中长电缆仍然只做直流耐压试验。

直流耐压的试验电压值，可参考交流耐压的试验电压。如：对电力电缆 3、6、10KV，取 5~6 倍的额定电压，直流耐压的时间比交流耐压长些，一般采用 5~10 分钟的加压时间。

### 三、试验接线及仪表设备

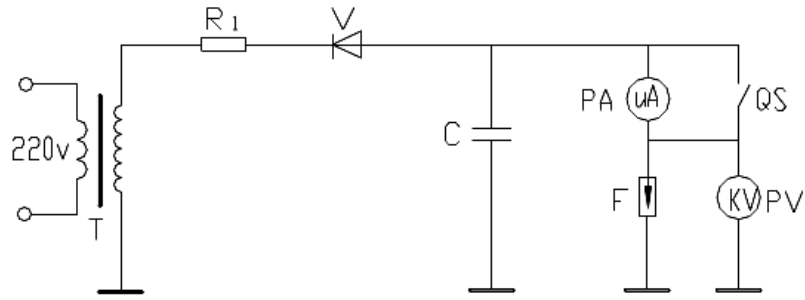


图 3-1 泄露电流试验接线图

T——试验变压器；PA——电流微安表；R1——水阻；

PV——静电电压表；V——高压硅堆；QS——闸刀开关；F——避雷器

## 四、试验方法

### （一）泄露电流试验

本试验以 FZ-10 避雷器为试验品，测其泄露电流，按照规程规定，新装和大修后的避雷器电流合格的范围为 400~650uA，运行中的避雷器为 300~650uA，所加最高试验电压为 10kV（直流）。

试验步骤及注意事项：

1. 按图接线，观察各设备、仪表的位置是否合乎规程，接线是否有交叉之处，调压器应指为零位。
2. uA 表的保护开关必须合上，只有在需要读数时方可断开。
3. 经教师检查无误后，方可合上电源刀闸。
4. 合电源后，再合升压回路开关，调节电压，观察静电电压表，将电压逐步升到所需的试验电压值。
5. 断开试品

## 五、结果分析

将试验结果和规程上的参考值进行比较，特别是和以往的数据或同类设备的数据进行比较，来判断绝缘的好坏，对重要设备（如主变压器、发电机等）可作出电流随时间变化的关系曲线  $I=f(t)$  和电流随电压变化的关系曲线  $I=f(u)$  来进行分析。

## 试验四 介质损失角正切 $\tan\delta$ 测量

绝缘中的介质损耗是以介质损失角的正切值表示的，实践证明，介质损失角测量试验是评价高压电气设备绝缘状况的有效方法之一，目前已得到广泛应用。通过介质损失角试验可以发现绝缘受潮、绝缘中含有气体以及脏污等缺陷。

### 一、试验目的

1. 学习高电压测量高压设备绝缘介质损失角  $\tan\delta$  与其电容量。
2. 熟悉西林电桥试验接线和测量方法。

### 二、试验接线

#### 1. 反接线法

如图 4—1 所示。该方法适用于一极对地绝缘的被试品，由于反接线时， $C_x$ 、 $C_n$ 、E 均处于高压，必须妥善绝缘，安全距离不小于 100 毫米，标准电容器的外壳（带有高压），也必须对地绝缘。

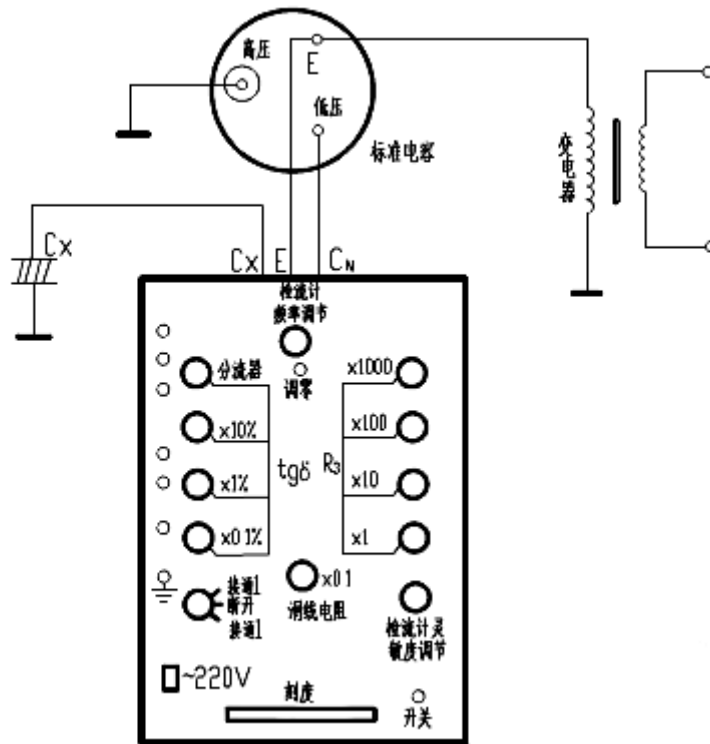


图 4—1 介质损失角正切  $\tan\delta$  测量（反接线）

## 2. 正接线法

如图 4—2 所示。该方法适用于两极对地绝缘的被试品，由于正接线时，电桥本身处于低压，故操作安全，并测量准确度高。

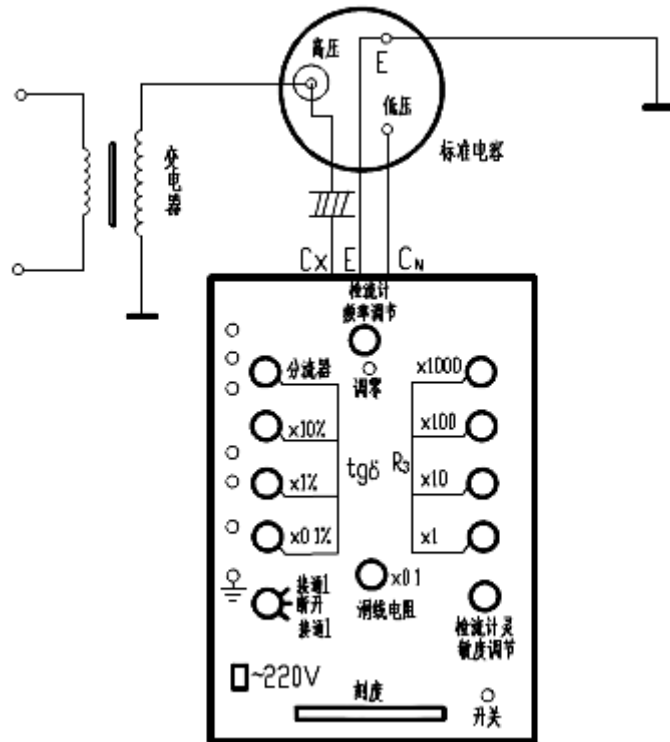


图 4—2 介质损失角正切  $\tan\delta$  测量（正接线）

## 三、试验内容与步骤

本次试验是测量 YYW-10.5 型电力电容的  $\tan\delta$  和  $C_x$

### 1. 测定 $\tan\delta$

$$\tan\delta \% = C_4 \times 100$$

### 2. 计算 $C_x$

每次测定的试品电容量可按下式计算：

当分流器转换开关在旋钮位置为 0.01A 时

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3 + \rho}$$

当分流器转换开关在旋钮位置为 0.025、0.06、0.15、1.25A 时



$$C_x = C_N \frac{100 + R}{r(R_3 + \rho)}$$

式中  $C_N$ ——标准电容器的电容， $\mu\text{F}$ ，可查表 4-1；

$\rho$  ——滑线电阻工作部分的电阻， $\Omega$ ；

$R_4$ ——固定电阻值， $\Omega$ ；

$r$ ——分流电阻值，可查表 4-2。

表 4-1 常见电气设备电容估算值

设备名称	电容量 ( $\mu\text{F}$ )	设备名称	电容量 ( $\mu\text{F}$ )
绝缘子、电流互感器、某些电压互感器	1000	发电机、同步补偿器、中等长度电缆	100000
电力变压器、电信及高周波用电容器、小型电机	10000	长电缆、电力用电容器	1000000

表 4-2 电桥分流器在不同位置时的分流电阻值

分流器转换开关在旋钮位置	0.025	0.06	0.15	1.25
分流电阻值 $r$ ( $\Omega$ )	60	25	10	4

### 3. 试验步骤

(1) 按图 4-1 接线，检查电桥工作接地点接地是否良好；

(2) 测量前应先估算试品的电容电流  $I_c$ ，再根据  $I_c$  再选择合适分流器位置。

$$I_c = \omega C_x U_{\text{试}} \times 10^{-5}$$

式中  $C_x$ ——被试品的电容量， $\mu\text{F}$ ；

$U_{\text{试}}$ ——加于被试品的电压， $\text{V}$ 。

(3) 将可调电阻  $R_3$  旋转到最大值，可调电容  $C_4$  旋转到最小值；检流计灵敏度调节旋转到最小位置“0”；把极性转换开关旋转到断开位置。

(4) 将电桥面板上的检流计灯光电流开关接通，检查在标尺上所出现的狭窄光带，并用调零旋钮将光带调至零位置。

- (5) 把极性转换开关“ $+\tan\delta$ ”的标志转动指向“接通 1”位置。
- (6) 把检流计的灵敏度转换开关自零开始逐点增大,直到光带放大到刻度的  $1/3\sim 1/2$  为止。
- (7) 安装从高到低的顺序,依次逐个减少电阻  $R_3$ ,使刻度上的光带为最小的宽度为止。
- (8) 从  $C_4$  的最高位电阻开始,依次逐个引入电容,使刻度上的光带为最小的宽度为止。
- (9) 重新校正  $R_3$  的值更进一步把光带的宽度缩小;然后重新校正  $C_4$  的值;如此反复校正几次,直至光带缩至开始时的宽度(即在检流计完全没有电流时的宽度),最后调节滑线电阻  $\rho$ 。
- (10) 在操作 5、6、7 步同时,需将灵敏度转换开关旋转以逐步增大检流计的灵敏度。最终要增大到最大位置“10”。
- (11) 记录电阻  $R_3$ 、滑线电阻  $\rho$  的电阻值、 $C_4$  电容值,分流器旋转的位置,极性转换开关与电源转换开关旋钮位置。
- (12) 降低检流计灵敏度后,把极性转换开关转换至另一位置(“接通 2”位置),校正  $R_3$ 、 $\rho$  和  $C_4$  值,并记录所得结果。
- (13) 把灵敏度调整开关调整至零位,改变试验电源的极性(火线与零线对换),重新校正  $R_3$ 、 $\rho$  和  $C_4$  值,并记录数据。再按照操作步(10),得另一极性时的  $R_3$ 、 $\rho$  和  $C_4$  值。
- (14) 完成上述四次测定后,把灵敏度转换开关转至零,极性转换开关转至“断开”,将试验电压降至零,切断电源。

#### 四、注意事项

1. 使用反接线时,标准电容器外壳带高电压,要注意使其外壳对地绝缘,并且与接地线保持一定的距离。
2. 使用反接线时还应特别注意,电桥处于高电位,因此检查电桥工作接地良好,试验过程中也不要将手伸到电桥背后。

3. 测量介质损失角的试验电压，一般不应高于被试品的额定电压，至多应不高于被试品额定电压的 110%。

4. 所测得介质损失角  $\tan\delta$  %，应小于 1%，若测得的  $\tan\delta$  %值不合格，则检查原因，对各部件进行测试。

## 五、测量结果的分析与判断

介质损失角在一定条件下是一个固定值，测量介质损失角对单一介质的反应比较灵敏，对大型设备的绝缘并不十分有效，对可以分解的设备，若整体测得损失角较大时，可分为若干部分进行试验。例如：一台电压互感器，若整体测得  $\tan\delta = 14\%$ ，分解试验测得绝缘油  $\tan\delta = 2\%$ ，芯子  $\tan\delta = 4.4\%$ ，套管  $\tan\delta = 22.5\%$ ，须进一步检查，发现套管上有裂纹。

对介质损失角值进行判断的基本方法除与有关“标准”规定值比较外，还要与历年值进行比较，观察其发展趋势。根据设备的具体情况，有时即使数值上仍低于标准值，但增长迅速，也要充分引起注意。此外，还要与同类设备比较，是否有明显差异，若有不同，可配合其它试验方法，如：绝缘油试验、直流泄漏试验、提高试验电压等进行综合判断。

## 试验五 交直流电压下空气间隙的击穿试验

### 一、试验目的

1. 学会测试空气间隙在不同距离下的放电电压值。
2. 掌握球隙放电间隙的确定方法。

### 二、试验接线

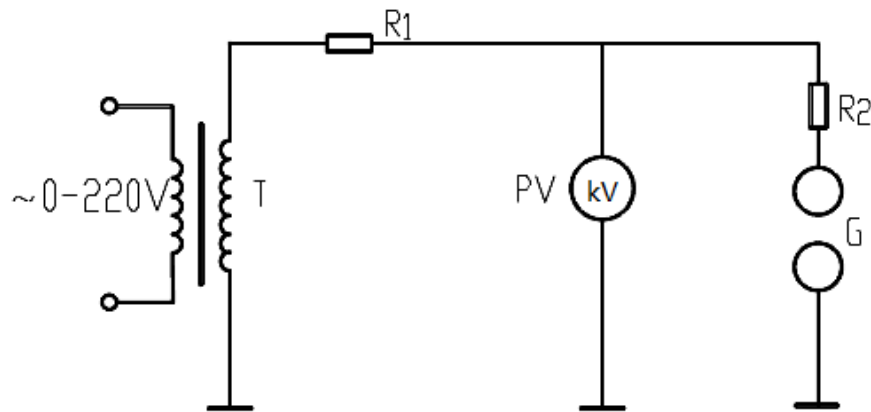


图 5—1 空气间隙击穿试验接线图

T——变压器；R1、R2——电阻；PV——静电电压表；G——球隙

### 三、试验步骤

1. 按试验要求接线，经检查无误后，方可实验。
2. 根据下表中的球隙距离的数值，调整球间隙的距离。调整时，首先查看活动球上的标尺是否为零。若不为零，改变固定球的位置，使之标尺为零。然后，摇动把柄，使球隙距离满足要求。
3. 试验时，电压由零上升，均匀升压。升压过程注意观察球隙放电及电压表的读数。
4. 把每次的放电电压值填入下表，并记录当天的天气情况，如压力、温度、湿度，以便分析判断。
5. 把试验变压器上的短接棒抽出，重复以上 2~4 的步骤，做直流电压下的空气间隙击穿试验。

表 5-1 不同球间隙的发电电压值

球距离 (cm)	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
交流放 电电压 (kV)										
直流放 电电压 (kV)										

#### 四、结果分析及思考

1. 球隙上所加电压不同时，空气间隙放电电压值的变化如何？由此得出什么结论？

## 试验六 交流耐压试验

交流耐压试验是把工频交流电压提高到设备绝缘应该承受的过电压加到设备上，考验其绝缘是否能满足运行要求。因为电力设备在运行中不但要承受工作电压，同时还必须能够承受可能发生的过电压。按照国家的标准规定，在设备上加工频过电压 1 分钟，无闪络或击穿发生，则该设备绝缘是合格的。经验表明，若能经受 1 分钟交流耐压的电气设备，在运行中都能保证运行安全。

由于交流耐压试验的试验电压一般比运行电压高很多，对于固体有机绝缘来说，它会使得原来存在的绝缘弱点进一步发展（但又不致于在耐压时击穿），使绝缘强度逐渐衰减，形成绝缘内部恶化的积累效应。因此，必须正确地选择正确的试验电压值，而且在试验前，先进行绝缘电阻及吸收比测试和直流泄漏及耐压试验等，初步检查绝缘的状况。若发现绝缘有缺陷时，处理后再进行交流耐压试验。

### 一、试验目的

1. 工频高压试验对绝缘强度的考验及其重要性。
2. 工频交流耐压试验的接线和注意事项。
3. 掌握保护球隙放电间隙的确定方法。

### 二、试验接线

交流耐压试验的接线，应根据被试品的具体情况（试验电压及电容量等）结合现场试验设备的条件选定。通常用于成套交流耐压试验设备组成的一般接线，如图 6—1 所示。

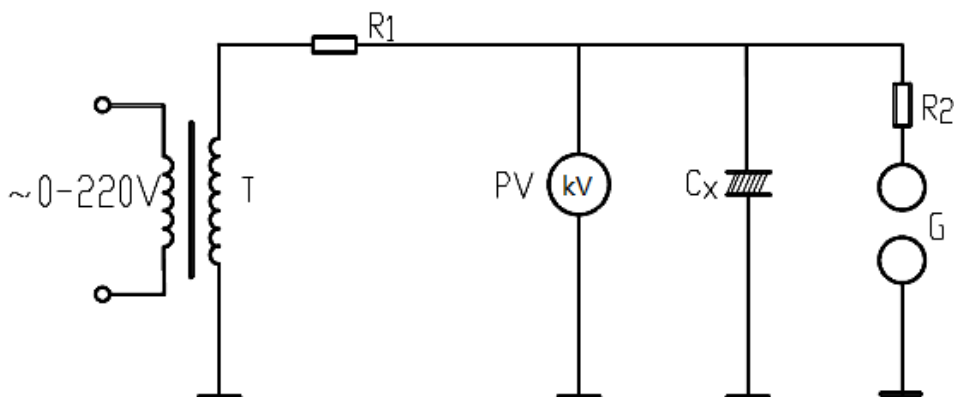


图 6—1 交流耐压试验接线图

T——变压器；R1、R2——水阻；G——球隙；Cx——被试品

### 三、试验步骤

1. 按图 6—1 所示进行接线，并经指导教师检查无误后，才可进行下一步试验。

2. 正式试验前，先拆除高压引向被试品的接线，检查调压器是否在零位，调节保护间隙，使其放电电压为试验电压的 1.1~1.15 倍。合上电源开关，将电压升到放电电压，校验放电电压是否正确，若有误差，须重新调整保护间隙。保护间隙满足要求后，将电压降到零，最后切断电源，并对高压侧进行放电。

3. 接上被试品，合上电源开关，开始升压。升压速度不能太快，一般以每秒 3% 的试验电压均匀升压，达到试验电压时的时间应为 15~20 秒，在升压过程中要密切监视有关仪表、高压回路及被试品的变化。

4. 当电压升至试验电压后，开始计算时间和读取试验电压及电容电流，待耐压 1 分钟后，迅速而均匀地将试验电压调回零位，断开电源，对高压侧及被试品进行放电。

5. 在升压和耐压过程中，若发现下列不正常现象时，应立即降压，断开电源，并挂上地线再检查其原因，一般不正常现象有：

- (1) 电压表指针摆动很大；
- (2) 毫安表指示急剧地增加；
- (3) 调压器升压，电流上升，而电压基本不变，甚至有下降的趋势；
- (4) 发现绝缘烧焦外了味或冒烟现象；
- (5) 被试品发出不正常的响声；
- (6) 瓷表面连续出现火花放电现象。

### 四、试验结果分析

试品一般经交流耐压试验，在要求的时间内，不击穿为合格，反之为不合格。是否击穿可根据下述现象来分析。

1. 根据表计分析，一般情况下，若电流表突然上升，则表明被试品已被击穿。
2. 如果过流继电器整定适当，在被试品被击穿时，过流继电器动作，自动控制开关跳闸。
3. 若被试品发出击穿声或放电声和冒烟、焦臭、跳火、燃烧等，表明试品被击穿。

## 试验七 变压器油的绝缘强度试验

作为电气设备绝缘用的变压器油目前以广泛应用，纯油的抗电强度是非常高，击穿机理与气体击穿相类似。由于杂质的存在使油的抗电强度大大降低，对于工程用变压器油，可以用“小桥”理论来定性地解释其击穿过程。变压器油的击穿过程是杂质、水分、纤维以及被游离的气泡等在电场作用下在电极间逐渐排列成小桥，从而导致油间隙的击穿。

### 一、试验目的

1. 掌握变压器油绝缘强度的试验方法。
2. 了解水分、碳粒、纤维等杂质对油的绝缘强度的影响。

### 二、试验接线

油绝缘强度试验，即测量绝缘油的瞬时击穿电压值，试验接线与交流耐压试验相同，如图 7—1 所示。

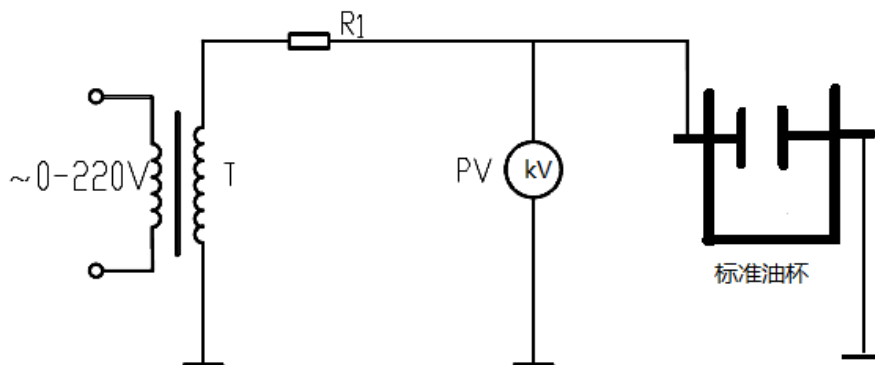


图 7—1 油绝缘强度试验接线图

### 三、试验步骤

#### 1. 取样

试验前必须用干净油冲洗油杯和塞尺数次，同时用塞尺调节电极间的距离（2.5mm），冲洗的目的是清除杯内的水分、灰尘等杂物，冲洗后不再用手触及油杯内部。将油正式注入油杯中，并将其置于变压器试验端子上，静止三分钟。

#### 2. 送电开始试验

将油杯的两极接上电源，然后以 1000 伏/秒的速度升压，直到油被击穿为止（在油间隙中产生个别的火花放电不算击穿，跳闸时的电压为击穿电压），记录击穿电压值。击穿后迅速将电压调到零位，用塞尺清除油间隙中的炭化物，静止 5 分钟后，在升压到击穿，如此重复六次，取六次击穿电压值平均值，即为该油的绝缘强度。



### 3. 油中掺杂质试验

在油中滴入若干水滴，用塞尺搅拌均匀，然后重复步骤 2，记录击穿电压，并加以比较；再将电极调节为 15mm，并放入少许棉花纤维，重复步骤 2，观察击穿过程，记录击穿电压，并加以比较。

## 四、试验数据记录

试验次数	1	2	3	4	5	6	平均值
击穿电压 (kV)							

## 五、结果判断

击穿电压的平均值与规定值比较，大为合格，小为不合格。

## 六、思考题

1. 影响绝缘油击穿电压的因素？
2. 提高绝缘油击穿电压的方法？