

# 电介质材料性能测量

实验地点：高压馆 103 房间

## 实验目的

- (1) 对电介质材料的基本介电性能有一定的认识，了解电介质性能的测试方法。
- (2) 对屏蔽（三电极法）有基本了解。
- (3) 掌握电介质材料绝缘电阻的测量方法。
- (4) 掌握使用西林电桥测量绝缘材料和电气设备的介质损耗因数的方法。
- (5) 根据所测量的结果判断所测材料或设备的绝缘质量。

## 实验原理

### 1. 介质损耗的产生

电气设备的绝缘结构由各种绝缘介质所组成，由于介质的电导，极性介质中偶极子转动时的摩擦以及介质中的气隙放电等原因，使处于高电压下的介质（或整个绝缘结构）是有损耗的，这种损耗称为介质损耗  $P$ ，它是电气设备绝缘性能的重要指标。它的测量是预防性试验中不可缺少的一项。因为如果电力设备绝缘介质损耗因数大的话，说明设备运行中将有許多能量以热的形式损失掉，且可使绝缘老化，甚至造成损坏。所以在制造厂生产出的电力设备以后或运行中都要测试设备绝缘的介质损耗因数，若达不到一定的标准，将不能出厂或不能继续运行。

对设备的绝缘，通常可用串联或并联的电阻、电容组成的等效回路表示，其等效电路和相量图如图 1 所示。

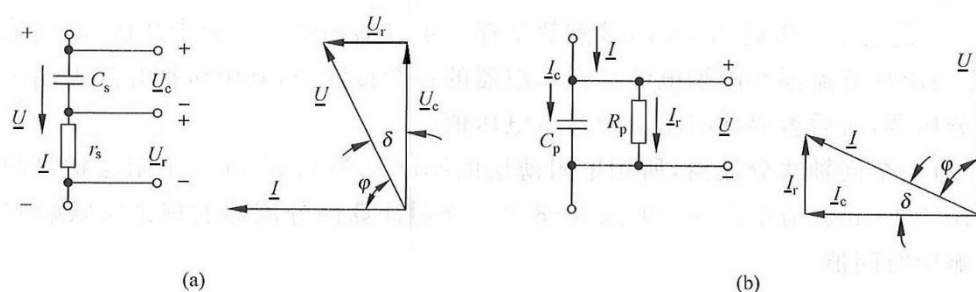


图 1 有损耗介质的等效电路及相量图

(a) 串联回路 (b) 并联回路

两种情况下介质损耗因数的表达式如下：

$$\text{串联: } \tan\delta = U_r/U_c = \omega R_s C_s \quad (3.3.1)$$

$$\text{并联: } \tan\delta = I_r/I_c = 1/\omega R_p C_p \quad (3.3.2)$$

## 2. 介质损耗因数的测量

测量电气设备的介质损耗因数，通常用西林电桥来实现。西林电桥是一种交流电桥，它的基本回路如图 2 所示，由四个臂组成，两个高压臂，一个是试品  $Z_1$ ，一个是无损耗标准电容  $C_0$ ，一般为 100pF 或 50pF，故只要选择相应额定电压下  $C_0$ ，即可使电桥在试品的额定电压下进行测量。

电桥的平衡靠调节  $R_3$  和  $C_4$  来获得。电桥平衡时，B，C 两点的电位相等，作为指零仪的检流计 G 指零。平衡条件为： $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$ ，经推导（推导过程请参阅教科书或自己根据所学知识独立完成）可得：

$$\tan\delta = \omega R_4 C_4 \quad (3.3.3)$$

$$C_x = C_0 R_4 / R_3 \quad (3.3.4)$$

无论采用哪一种等效电路，用电桥测得的介损值是相同的，电容值也基本相等。当电源频率为 50Hz 时，为计算方便，常选  $R_4$  为  $10000/\pi$  或  $1000/\pi$ ，这样介损值为  $\tan\delta = C_4 \times 10^6$ ，或  $C_4 \times 10^5$ 。

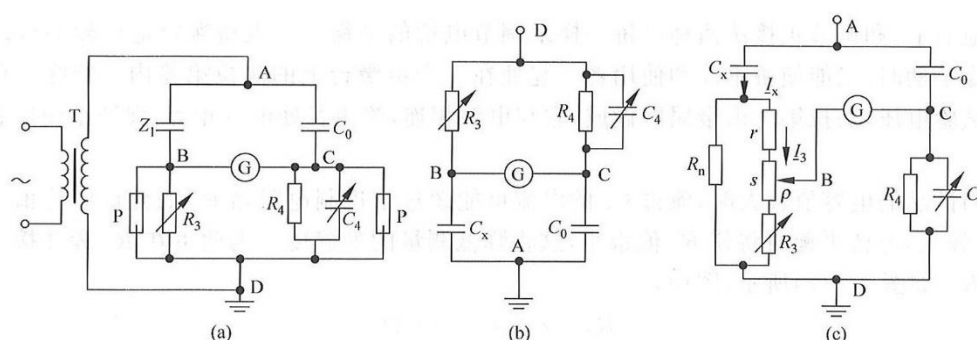


图 2 西林电桥原理接线图

(a) 正接法；(b) 反接法；(c) 有分流电阻的西林电桥

图 2 (a) 称为西林电桥的正接法，它要求测试时试品对地绝缘。许多试品是外壳接地或无法对地绝缘，需采用反接法，如图 2 (b) 所示。此时桥本体处于高电位，当电桥的额定电压不超过 10kV 时，可用绝缘材料作为电桥的把手。

当试品电容较大时，流过  $C_x$  的电流可能超过电阻箱  $R_3$  允许的电流值，同时  $C_x$  较大，当电桥平衡时将使  $R_3$  很小，这将降低测量的灵敏度。此时可在  $R_3$  旁并联分流电阻  $R_n$ ，如图 2 (c) 所示。

## 3. 绝缘电阻的测量方法

电介质具有非常高的绝缘电阻，可以通过在介质两端施加直流电压，测量回路中流过的微弱的直流电流来实现测量电阻的目的。本实验使用皮安表和 300V 直流电源来测量绝缘纸板的绝缘电阻，接线示意图如图 3 所示。

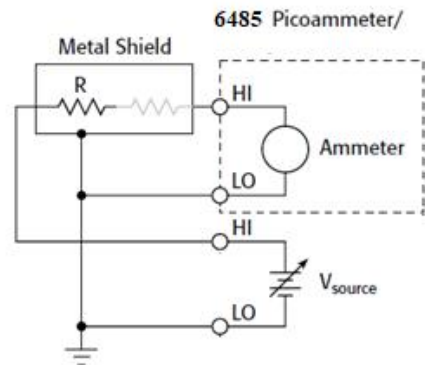


图 3 使用皮安表和直流电源测量绝缘材料的绝缘电阻

## 实验接线图

### 1. 测量绝缘材料的绝缘电阻

接线图如图 4 所示，试品材料放在绝缘测试电极箱内部，有关电极箱的介绍，详见实验步骤部分。

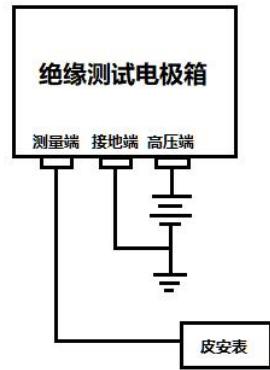


图 4 绝缘电阻测试接线图

### 2. 测量绝缘纸板的介质损耗因数

接线图如图 5 所示，本实验中采用正接法。

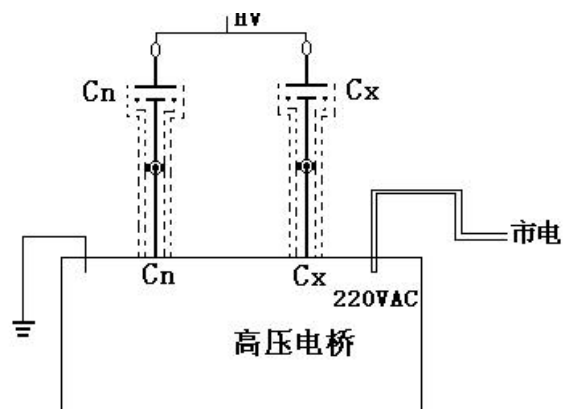


图 5 介质损耗因数测量接线图

## 实验内容

- (1) 测量三种绝缘材料的体积电阻率和表面电阻率。
- (2) 使用高压西林电桥测量电介质材料的介质损耗因数。

## 实验步骤

- (1) 测量绝缘材料的体积电阻率和表面电阻率。
  - ① 将试品放入屏蔽盒内，置于三电极的底部电极和上面两个电极之间。
  - ② 接好屏蔽盒内的电线，注意红色、黑色线分别与对应的红、黑接线端子相接，如图 6 所示。

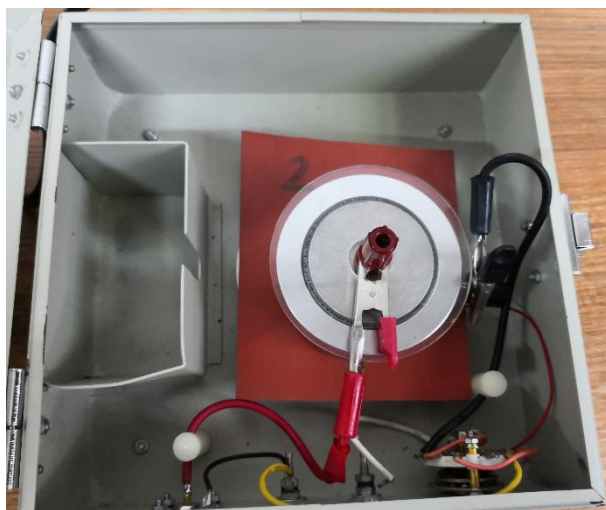


图 6 屏蔽盒内连接示意图

- ③ 将屏蔽盒面板上的高压端与接地端分别与直流电源的正极与负极相连，测量端连接至皮安表的输入端，如图 7 所示。



图 7 屏蔽盒面板连接

- ④ 测量试品的体积电阻率和表面电阻率，切换开关为屏蔽盒上最右端的旋钮，指向  $R_v$  和  $R_s$  时分别对应体积电阻率和表面电阻率。打开直流电源和皮安表，设置电压输出为 100V，读取皮安表读数。从而根据电流值计算出试品的绝缘电阻，进而换算出材料的电阻率。
- (2) 测量绝缘材料的介质损耗因数
  - ① 按照图 2 所示接好电桥装置，包括指零仪、电位自动跟踪器和西林电桥本体三个部分。
  - ② 按照原理图，分别将待测电容  $C_x$  和标准电容  $C_N$  通过接线盒接入电路，与电桥上对应的  $C_x$  和  $C_N$  端子相连。
  - ③ 使用电容分压器测量试品的电压，分压比为 10000:1。
  - ④ 打开电桥电源，先将“指零仪”上的灵敏度旋钮置于最低（数字）。
  - ⑤ 调节  $R_3$ ， $C_4$ ，分别从电桥上旋钮的最高位开始调节，当指零仪指零时，增大灵敏度，再调节  $R_3$ ， $C_4$  的较低位，直至灵敏度最高时指零仪指零，记下此时  $R_3$ ， $C_4$  的值。
  - ⑥ 更换试品，用同样方法测量。

### 注意事项

- (1) 使用高压西林电桥测量介质损耗因数时，指零仪一定要从最不灵敏的档位（数字越小越不灵敏）开始，待调零后再逐渐增加灵敏度，直至最高（档位 7）。
- (2) 更换试品，重新测量时，一定先把指零仪调回 0 档位。

### 3.3.7 思考题

- (1) 测量体积电阻率，表面电阻率时与不用屏蔽三电极有何差别？
- (2) 如何测量介电常数  $\epsilon_r$ ？
- (3) 测量介质损耗角正切值时，需要采取哪些抗干扰措施？

### 数据表格

- (1) 体积电阻率和表面电阻率的测量

试品	体积电阻率 $R_v$ ( $M\Omega$ )	表面电阻率 $R_s$ ( $M\Omega$ )
试品 1		
试品 2		
试品 3		

(2) 绝缘材料介质损耗角正切的测量

试品	$R_3$ ( $\Omega$ )	$C_4$ ( $\mu F$ )	$\tan\delta$
试品 1			
试品 2			
试品 3			

