

介质损耗和介电常数测量实验

介电特性是电介质材料极其重要的性质。在实际应用中，电介质材料的介电系数和介质损耗是非常重要的参数。例如，制造电容器的材料要求介电系数尽量大，而介质损耗尽量小。相反地，制造仪表绝缘器件的材料则要求介电系数和介质损耗都尽量小。而在某些特殊情况下，则要求材料的介质损耗较大。所以，通过测定介电常数 (ϵ)及介质损耗角正切 ($\tan\delta$)，可进一步了解影响介质损耗和介电常数的各种因素，为提高材料的性能提供依据。

一、实验目的

- 1、探讨介质极化与介电常数、介质损耗的关系；
- 2、了解高频 Q 表的工作原理；
- 3、掌握室温下用高频 Q 表测定材料的介电常数和介质损耗角正切值。

二、实验原理

按照物质电结构的观点，任何物质都是由不同的电荷构成，而在电介质中存在原子、分子和离子等。当固体电介质置于电场中后会显示出一定的极性，这个过程称为极化。对不同的材料、温度和频率，各种极化过程的影响不同。

1、介电常数 (ϵ)：某一电介质 (如硅酸盐、高分子材料)组成的电容器在一定电压作用下所得到的电容量 C_x 与同样大小的介质为真空的电容器的电容量 C_0 之比值，被称为该电介质材料的相对介电常数。

$$\epsilon = \frac{C_x}{C_0}$$

式中： C_x — 电容器两极板充满介质时的电容；

C_0 —电容器两极板为真空时的电容；

ϵ —电容量增加的倍数，即相对介电常数

介电常数的大小表示该介质中空间电荷互相作用减弱的程度。作为高频绝缘材料， ϵ 要小，特别是用于高压绝缘时。在制造高电容器时，则要求 ϵ 要大，特别是小型电容器。

在绝缘技术中，特别是选择绝缘材料或介质贮能材料时，都需要考虑电介质的介电常数。此外，由于介电常数取决于极化，而极化又取决于电介质的分子结构和分子运动的形式。所以，通过介电常数随电场强度、频率和温度变化规律的研究，还可以推断绝缘材料的分子结构。

2. 介电损耗 ($\text{tg } \delta$)：指电介质材料在外电场作用下发热而损耗的那部分能量。在直流电场作用下，介质没有周期性损耗，基本上是稳态电流造成的损耗；在交流电场作用下，介质损耗除了稳态电流损耗外，还有各种交流损耗。由于电场的频繁转向，电介质中的损耗要比直流电场作用时大许多（有时达到几千倍），因此介质损耗通常是指交流损耗。

在工程中，常将介电损耗用介质损耗角正切 $\text{tg } \delta$ 来表示。 $\text{tg } \delta$ 是绝缘体的无效消耗的能量对有效输入的比例，它表示材料在一周期内热功率损耗与贮存之比，是衡量材料损耗程度的物理量。

$$\text{tg } \delta = \frac{1}{\omega RC} \text{tg } \delta$$

式中： ω —电源角频率；

R —并联等效交流电阻；

C —并联等效交流电容器

凡是体积电阻率小的，其介电损耗就大。介质损耗对于用在高压装置、高频设备，特别是用在高压、高频等地方的材料和器件具有特别重要的意义，介质损耗过大，不仅降低整机的性能，甚至会造成绝缘材料的热击穿。

3、Q 值： $\text{tg}\delta$ 的倒数称为品质因素，或称 Q 值。Q 值大，介电损失小，说明品质好。所以在选用电介质前，必须首先测定它们的 ϵ 和 $\text{tg}\delta$ 。而这两者的测定是分不开的。

通常测量材料介电常数和介质损耗角正切的方法有二种：交流电桥法和 Q 表测量法，其中 Q 表测量法在测量时由于操作与计算比较简便而广泛采用。本实验主要采用的是 Q 表测量法。

4、陶瓷介质损耗角正切及介电常数测试仪：它由稳压电源、高频信号发生器、定位电压表 CB1、Q 值电压表 CB2、宽频低阻分压器以及标准可调电容器等组成 (图 2)。工作原理如下：高频信号发生器的输出信号，通过低阻抗耦合线圈将信号馈送至宽频低阻抗分压器。输出信号幅度的调节是通过控制振荡器的帘栅极电压来实现。当调节定位电压表 CB1 指在定位线上时， R_i 两端得到约 10mV 的电压 (V_i)。当 V_i 调节在一定数值 (10mV) 后，可以使测量 V_c 的电压表 CB2 直接以 Q 值刻度，即可直接的读出 Q 值，而不必计算。另外，电路中采用宽频低阻分压器的原因是：如果直接测量 V_i 必须增加大量电子组件才能测量出高频低电压信号，成本较高。若使用宽频低阻分压器后则可用普通电压表达到同样的目的。

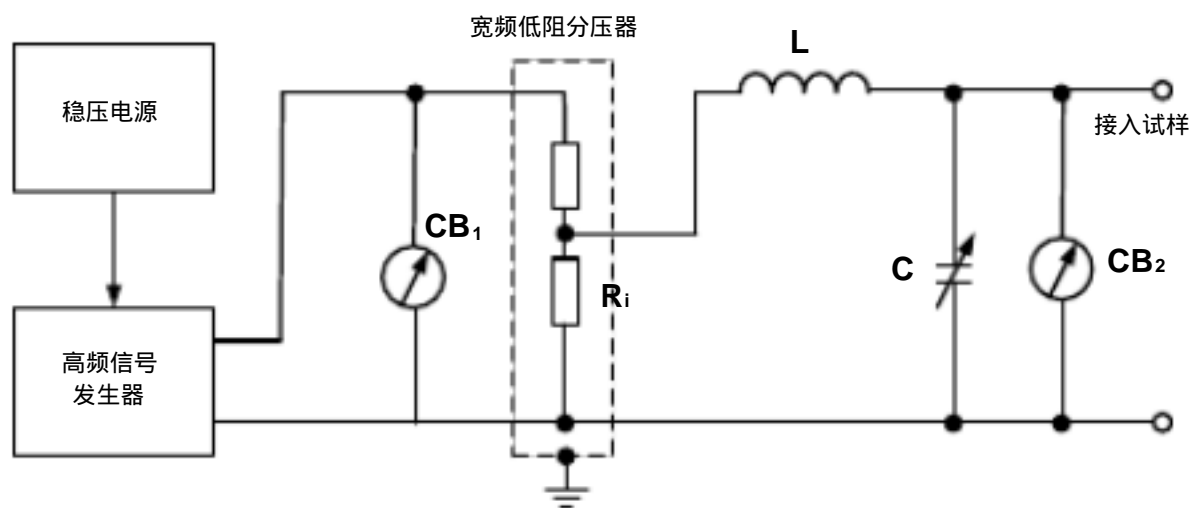


图 1 Q 表测量电路图

经推导 (1) 介电常数：

$$\varepsilon = \frac{(C1 - C2)d}{\Phi2} \quad (1)$$

式中：C1—标准状态下的电容量；

C2—样品测试的电容量；

d—试样的厚度 (cm)；

—试样的直径 (cm)；

(2) 介质损耗角正切：

$$\text{tg } \delta = \frac{C1}{C1 - C2} \times \frac{Q1 - Q2}{Q1 \times Q2} \quad (2)$$

式中：Q1—标准状态下的 Q 值；

Q2—样品测试的 Q 值；

(3) Q 值：

$$Q = \frac{1}{\text{tg } \delta} = \frac{Q1 \times Q2}{Q1 - Q2} \times \frac{C1 - C2}{C1} \quad (3)$$

三、实验仪器及设备

1、仪器设备：

(1) Q 表测试仪、电感箱、样品夹具等；

(2) 千分游标卡尺；

2、样品要求：圆形片：厚度 $2 \pm 0.5\text{mm}$ ，直径为 $38 \pm 1\text{mm}$ 。

四、实验步骤

1、本仪器适用于 110V/220V，50Hz 交流电，使用前要检查电压情况，以保证测试条件的稳定。

2、开机预热 15 分钟，使仪器恢复正常状态后才能开始测试。

3、按部件标准制备好的测试样品，两面用特种铅笔或导电银浆涂覆，

使样品两面都各自导电，但南面之间不能导通，备用。

4、选择适当的辅助线圈插入电感接线柱。根据需要选择振荡器频率，调节测试电路电容器使电路谐振。假定谐振时电容为 C_1 ，品质因素为 Q_1 。

5、将被测样品接在 C_x 接线柱上。

6、再调节测试电路电容器使电路谐振，这时电容为 C_2 ，可以直接读出 Q_2 。

7、用游标卡尺量出试样的直径和厚度 d (分别在不同位置测得两个数据，再取其平均值)。

五、结果处理

1、 ϵ 和 $\text{tg} \delta$ 测定记录：

实验数据按表要求填写。

序 号	1	2	3	4	5
试样厚度					
试样直径					
测 试 数 据	C_1				
	C_2				
	Q_1				
	Q_2				
计 算 结 果	ϵ				
	$\text{tg} \delta$				
	平均值	$\epsilon =$		$\text{tg} \delta =$	

2、计算：

根据表格中测得的数据，按公式 (1)、(2)分别计算各个数值。

六、注意事项

(1) 电压或频率的剧烈波动常使电桥不能达到良好的平衡，所以测定时，电压和频率要求稳定，电压变动不得大于 1%，频率变动不得大于 0.5%。

(2) 电极与试样的接触情况，对 tg 的测试结果有很大影响，因此涂银导电层电极要求接触良好、均匀，而厚度合适。

(3) 试样吸湿后，测得的 tg 值增大，影响测量精度，应当严格避免试样吸潮。

(4) 在测量过程中，注意随时电桥本体屏蔽的情况，当电桥真正达到平衡，“本体 - 屏蔽”开关置于任何一边时，检查计光带均应最小，而无大变化。

七、思考题

- 1、测试环境对材料的介电常数和介质损耗角正切值有何影响，为什么？
- 2、试样厚度对介电常数的测量有何影响，为什么？
- 3、电场频率对极化、介电常数和介质损耗有何影响，为什么？