

描述压电与铁电材料性能的参数很多，一般每种参数都有几种测量方法。本节将根据国家标准仅给出部分性能的测量方法，以使读者能对压电与铁电性能的测量有一个概括性了解。欲对压电与铁电性能测量较深入和全面了解的读者请参见压电与铁电性能测量方面的专著和相关的国家标准。

一、电滞回线的测量

测量铁电材料电滞回线的方法通常有两种：(1) 冲击检流计描点法；(2) Sawyer-Tower电路法。第一种方法可用超低频示波器进行观察以及用函数记录仪进行记录，简便迅速，故人们常常采用。

采用Sawyer-Tower电路准静态测试铁电陶瓷材料电滞回线的测量原理图 (GB/T 6426-1999)如图1所示。试样采用全电极、半极化试样，推荐试样尺寸为直径d不大于20mm，厚度t不大于1mm，试样应保持清洁干燥。因为标准电容器的容量 C_0 远大于试样的电容量 C_x ，所以高压源输出电压几乎全部加在样品上，因此，x轴上的电压正比于试样两端的电压，而 C_0 上的电压（即y轴电压）正比于 C_x 的电荷Q，记录仪上测得的曲线就是试样的极化强度P和电场强度E的原理图关系曲线，即电滞回线。

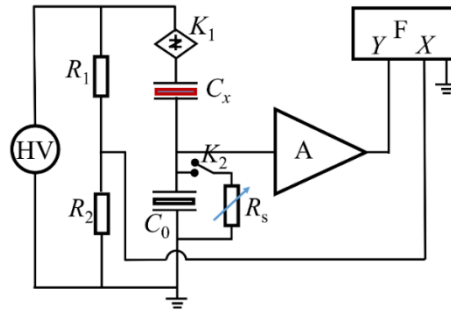


图1 准静态电滞回线测量线路原理图

HV-超低频高压源，F-函数记录仪，J-控温设备，A-运算放大器，K₁-高压开关，K₂-低压开关，
C_x-试样，C₀-标准电容，R₁、R₂-分压电阻，R_s-可调补偿电阻

测出样品的电滞回线之后，即可计算该材料的剩余极化强度 P_r 和矫顽场强 E_c ，计算公式如下

$$P_r = \frac{Q}{A} = \frac{C_0 V_y}{A} = \frac{C_0 S_y r_y}{A}$$

$$E_c = \frac{V_x}{t} = \frac{S_x r_x d}{t}$$

式中，Q为电压为零时之总电荷，单位库仑C；C₀为标准电容器的电容量，单位F；V_y为从原点至E=0处之y轴电压，单位V；S_y为函数记录仪的y轴灵敏度，单位V/m；r_y为从原点到E=0处之y轴读数，单位m；A为试样面积，单位m²；V_x为样品两端电压，单位V；S_x为函数记录仪的x轴灵敏度，单位V/m；r_x为从原点到P=0处之x轴读数，单位m；d为高压源的输出分压比；t为试样厚度，单位为m。

若要测量某铁电材料的自发极化强度 P_s ，可将测得的电滞回线的线性部分外推（或做切线）与y轴（极化强度P轴）交于 P_s 点，此点的读数便是自发极化强度。

二、居里温度 T_c 的测试

测定居里温度 T_c 的方法很多，有自动导纳测量仪法、相变仪测量法、传输线测量法及电滞回线突变法等。下面介绍自动导纳测量仪法。

用自动导纳测量仪测量居里温度时，在测量频率一定的情况下，只要测量电纳随温度的变化曲线，就能得到介电常数随温度 T 的变化曲线，即 ϵ - T 曲线，从而找出介电常数突变点来确定居里温度，其测量原理如图10-40所示

采用薄片试样，在两个主平面上全部被覆金属层作为电极，不进行极化处理。试样置于炉膛内，热电偶在电炉中放置的位置应能较真实地反映试样的温度，测量时按图2连接好线路，调节自动导纳测量仪的频率至一定值（1-10kHz），而后维持其频率不变，电炉缓慢升温（或降温），在XY函数记录仪上读出电纳随温度变化曲线的峰值，此峰值对应的温度即为该材料的居里温度。若曲线中出现一个以上的峰值，它们对应的温度均为相变温度，最高的相变温度为居里温度。

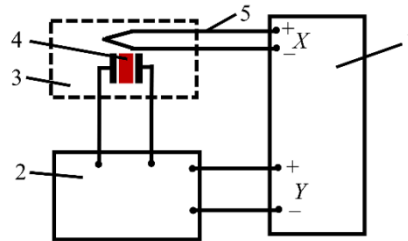


图 2 自动导纳测量仪法

1-函数记录仪 2-测量仪 3-电炉 4-试样 5-热电偶

三、热释电系数的测试

热释电系数可用静态法、动态法和积分电荷法测试，其中积分电荷法得到广泛应用。图3为积分电荷法测试原理图。该方法通过测量在电容器上积累的热释电电荷，测定剩余极化随温度的变化。使用静电计测得积分电容两端电压，输出至函数记录仪Y端，由于积分电容值远大于试样电容值，其两端的电压变化正比于试样剩余极化的变化。同时用X端记录试样温度变化，可得到热释电电荷 Q 随温度 T 变化的曲线，微分该曲线，就可以得到热释电系数

$$P_m = \frac{dQ}{dT} = \frac{C dV}{A dT} = \frac{C \Delta V}{A \Delta T}$$

式中： P_m -热释电系数， $C/(\text{°C}\cdot\text{m}^2)$ ； C -积分电容值， F ； A -试样面积， m^2 ； ΔT -温度变化值， °C ； ΔV -对应于 ΔT 的积分电容两端电压变化值， V 。

测量时按图10-41接好线路，将经清洁干燥处理的试样置于样品架上，浸没于绝缘油中。试样与热电偶应尽可能接近。对油槽加温，使之按一定速率升温，并进行记录。然后，从所得 Q - T 曲线，求取所需温度点的曲线斜率，即为该温度的热释电系数。

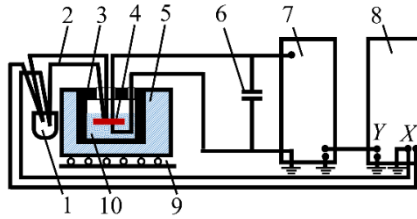


图3 积分电荷法热释电系数测试原理图

1-冰点 2-测温热电偶 3-温度屏蔽腔 4-试样 5-绝缘保护层 6-积分电容 7-静电计 8-函数记录仪
9-加热器 10-绝缘油

四、压电常数的测量

由压电方程知，压电材料常数有介电常数 ϵ_{ij}^T 、 ϵ_{ij}^S ，介电隔离率 β_{ij}^T 、 β_{ij}^S ，弹性柔顺系数 s_{ij}^E 、 s_{ij}^D ，弹性刚度常数 c_{ij}^E 、 c_{ij}^D ，以及压电应变常数 d 、压电电压常数 g 、压电应力常数 e 和压电劲度常数 h 等。不同常数需采用不同的振子模式，各种常数的测量方法也就完全不同。本教材无法包揽这些常数的测试方法，下面仅以常用的纵向压电应变常数 d_{33} 的准静态测试为例给出压电材料常数测试的基本概念。

1. 测试原理

准静态法的测试原理是依据正压电效应，在压电振子上施加一个频率远低于振子谐振频率的低频交变力，产生交变电荷。当振子在没有外电场作用，满足电学短路边界条件，只沿平行于极化方向受力时，压电方程可简化为 $D_3=d_{33}T_3$ ，即 $d_{33}=D_3/T_3=Q/F$ ，其中， D_3 为电位移分量， C/m^2 ， T_3 为纵向应力， N/m^2 ； d_{33} 为纵向压电应变常数， C/N 或 m/V ； Q 为振子释放的压电电荷， C ； F 为纵向低频交变力， N 。

如果将一被测振子与一已知的比较振子在力学上串联，通过施力装置内的电磁驱动器产生低频交变力并施加到上述振子（见图4），则被测振子所释放的压电电荷 Q_1 ，在其并联电容器 C_1 上建立起电压 V_1 ，而比较振子所释放的压电电荷 Q_2 在 C_2 上建立起电压 V_2 ，可得到

$$d_{33}^{(1)} = \frac{C_1 V_1}{F}$$

$$d_{33}^{(2)} = \frac{C_2 V_2}{F}$$

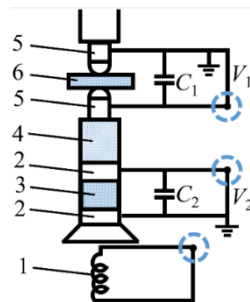


图4 准静态法测试原理图

1-电磁驱动器 2-比较振子上下电极 3-比较振子 4-绝缘柱 5-上下剥试探头 6-被测振子

$$d_{33}^{(1)} = \frac{V_1}{V_2} d_{33}^{(2)}$$

式中比较振子的 $d_{33}^{(2)}$ 值是给定的， V_1 和 V_2 可测定，即可求得被测振子的值。如果将 V_1 和 V_2 经过电子线路处理后，就可直接得到被测振子的纵向压电应变常数 d_{33} 的准静态值和极性。

2. 测试条件与方法

准静态 d_{33} 测试设备的测量范围在 $(10\sim 1000)\times 10^{-12}\text{C/N}$ ，在整个测量范围内测量精度优于 $\pm 2\%$ 。交变力频率范围：20—200Hz；交变力幅率范围：0.1—0.4N。要求在试样的两个主平面上被覆金属层作为电极，沿限度方向进行极化处理。一般情况下试样质量小于100 g，试样电容小于0.01 μF ，形状不限。

试样应保持清洁干燥，根据不同瓷料要求，极化后存放一定时间，并在规定的环境条件下放置2h后进行测试，一般测试频率为100 Hz。测试设备、试样按条件准备好后开始测试。首先，仪器接通电源，预热、调零后，将被测试样置于探头之间，选择适当的静压力，数字表显示的稳定读数就是该试样的准静态 d_{33} 值，读数前后的符号即试样上电极面或下电极面施加压应力的极性。