

实验六、铁磁物质磁滞回线的测量与应用

【实验目的】

1. 了解磁性材料的磁滞回线和磁化曲线概念，加深对铁磁材料的主要物理量矫顽磁力、剩磁和磁导率的理解；
2. 利用示波器观察并测量磁化曲线与磁滞回线；

【实验原理】

1. 磁化性质

一切可被磁化的物质叫作磁介质。磁介质的磁化规律可用磁感应强度 B 、磁化强度 M 、磁场强度 H 来描述，它们满足一定的关系

$$B = \mu_0(H + M) = (\chi_m + 1)\mu_0 H = \mu_r \mu_0 H = \mu H \quad (1)$$

μ 的不同一般可分为三类，顺磁质、抗磁质、铁磁质。对非铁磁性的各向同性的磁介质， H 和 B 之间满足线性关系， $B = \mu H$ ，而铁磁性介质的 m 、 B 与 H 之间有着复杂的非线性关系。一般情况下，铁磁质内部存在自发的磁化强度，当温度越低自发磁化强度越大。图 1 是典型的磁化曲线（ $B-H$ 曲线），它反映了铁磁质的共同磁化特点：随着 H 的增加，开始时 B 缓慢的增加，此时 μ 较小；而后便随 H 的增加 B 急剧增大， μ 也迅速增大；最后随 H 增加， B 趋向饱和，而此时的 μ 值在到达最大值后又急剧减小。图 1 表明了磁导率 μ 是磁场 H 的函数。从图 2 中可看到，磁导率 μ 还是温度的函数，当温度升高到某个值时，铁磁质由铁磁状态变成顺磁状态，在曲线上变化率最大的点所对应的温度就是居里温度 T_c 。

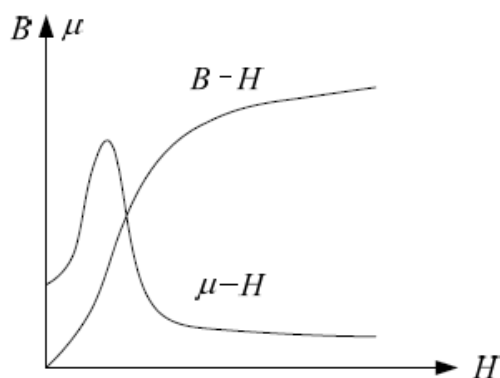


图 1 磁化曲线和 $\mu \sim H$ 曲线

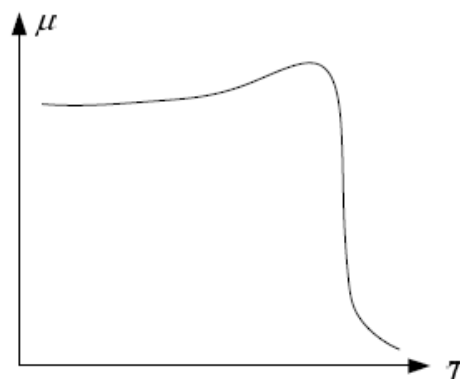


图 2 $\mu \sim T$ 曲线

2. 磁滞性质

铁磁材料除了具有高的磁导率外，另一重要的特性是磁滞现象。当铁磁材料磁化时，磁感应强度 B 不仅与当时的磁场强度 H 有关，而且与磁化的历史有关，如图 3 所示。曲线 OA 表示铁磁材料从没有磁性开始磁化， B 随 H 的增加而增加，称为磁化曲线。当 H 值到达某一个值 H_s 时， B 值几乎不再增加，磁化趋于饱和。如使得 H 减少， B 将不再沿着原路返回，而是沿另一条曲线 $AC'A'$ 下降，当 H 从 $-H_s$ 增加时， B 将沿着 $A'CA$ 曲线到达 A 形成一闭合曲线。其中当 $H = 0$ 时， $|B| = B_r$ ， B_r 称为剩余磁感应强度。要使得 B_r 为零，就必须加一反向磁场，当反向磁场强度增加到 $H = -H_c$ 时，磁感应强度 B 为零，达到退磁， H_c 称为矫顽力。各种铁磁材料有不同的磁滞回线，主要区别在于矫顽力的大小，矫顽力大的称为硬磁材料，矫顽力小的称为软磁材料。

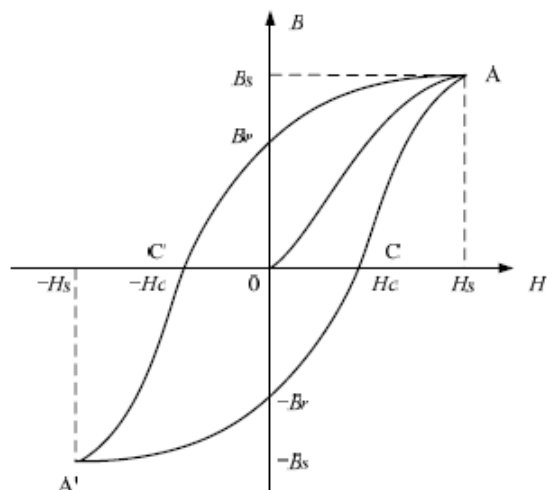


图3 磁化曲线和磁滞回线

3. 用示波器测量动态磁化曲线和磁滞回线

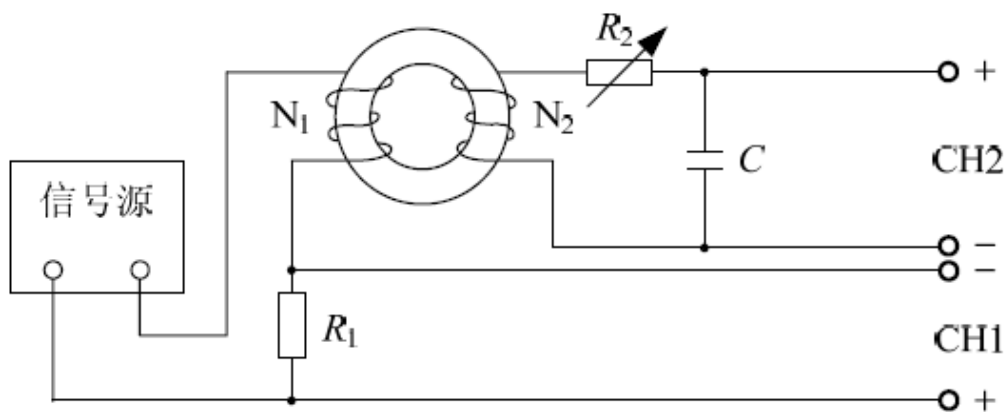


图4 用示波器测量动态磁化曲线和磁滞回线的电路图

本实验研究的是闭合状的铁磁圆环样品，平均周长为 L ，励磁线圈的匝数为 N_1 ，若励磁电流为 i_1 时，在样品内满足安培环路定律

$$HL = N_1 i_1 \quad (2)$$

在示波器横轴的偏转板的输入电压为

$$U_{R1} = R_1 i_1 = \frac{R_1 L}{N_1} H \quad (3)$$

这表明横轴输入的 U_{R1} 大小与磁场强度 H 成正比。

设样品的截面积为 S ，匝数为 N_2 的次级线圈，感应电动势为

$$\varepsilon_2 = -N_2 S \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

考虑带次级线圈的匝数 N_2 较少，自感电动势可忽略，在 R_2 、 C 所构成的回路中适当的选取 R_2 、 C 值使得 $R_2 \gg 1/\omega C$ ，则

$$\varepsilon_2 = R_2 i_2 \quad (5)$$

将 $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$ 代入 (5) 式, 并利用 (4) 可得,

$$U_c = -\frac{N_2 S}{R_2 C} B \quad (6)$$

上式表明 Y 轴输入的大小 U_c 与磁感应强度 B 成正比。

【实验仪器】

数字万用表, 接线板, 信号发生器, 双踪示波器, 被测样品等。

【实验内容】

实验电路如图 4 所示。信号源频率为 500Hz, R_1 为 $100\ \Omega$, C 为 $4.7\ \mu F$ 。

- 1) 按图 4 连接电路, 示波器通道 1 测 R_1 两端电压, 通道 2 测电容两端电压, 进入李萨如图模式, 使信号源幅度为 0 V, 调节示波器, 使示波器光点在屏幕中心处。
- 2) 测绘基本磁化曲线。
 - a) 接通电源, 从 $V_{pp}=0$ 开始, 逐档提高励磁电压, 将在显示屏上得到面积由小到大的簇磁滞回线。调节 R_2 使图形最佳, 同时调节示波器 X 轴和 Y 轴的增益, 使图形大小适当 (即能准确读出接近饱和的磁滞回线上各点的坐标)。当磁滞回线接近饱和后, 逐渐减小 V_{pp} 至 0V, 目的是对被测样品进行退磁。
 - b) 从 $V_{pp}=0$ 到 20 V, 逐步增加输出电压, 使磁滞回线由小逐渐变大, 分别记录每条回线正顶点的坐标。这些磁滞回线顶点的连线就是样品的基本磁化曲线。
 - c) 作出磁导率 μ -H 关系曲线。
- 3) 测绘磁滞回线。
 - a) 信号源 V_{pp} 为 20 V, 选择合适的 R_2 值, 使得输出磁感应强度 B 达到饱和, 记录 10-12 个点的坐标值 (其中包括: $\pm B_r$ 、 $\pm B_s$ 、 $\pm H_c$ 、 $\pm H_s$ 等特殊点);
 - b) 将 (3) 中测出的磁滞回线上的坐标值 x_i 、 y_i 代入式 (3)、(6) 中, 算出对应的 H_i 、 B_i 。绘制 B—H 曲线图。

选做:

信号源频率为 1 kHz, V_{pp} 为 10 V, 选择合适的 R_2 值, 使得输出磁感应强度 B_s 达到接近饱和状态。进入 Y-t 模式。

- 1) 改变信号源 V_{pp} 值, 观察记录 V_{pp} 值对 CH1, CH2 两个通道的波形的影响, 分析产生波形畸变的原因
- 2) 改变信号源频率, 或者 R_2 值, 研究这两个参量对于波形的影响。

思考题:

- 1、除了讲义中给出的方法, 还有什么办法可以实现样品的完全退磁?
- 2、可否用直流电的办法测量出磁滞回线? 请简要设计一个测量方案。