

物理实验报告



实验名称: 磁滞回线

学院: 先进制造学院 专业班级: 智造 221 班

学生姓名: 朱紫华 学号: 5908122030

实验地点: 实验时间: 2023 年 月 日

一、 实验目的：

- 1、掌握用磁滞回线测试仪测绘磁滞回线的方法。
- 2、了解铁磁材料的磁化规律，用示波器法观察磁滞回线比较两种典型铁磁物质的动态磁化特性。
- 3、测定样品的磁化特性曲线（ $B-H$ 曲线），并作 $\mu-H$ 曲线。
- 4、测绘样品在给定条件下的磁滞回线，估算其磁滞损耗以及相关 H_C 、 B_R 、 B_M 、 H 、 B 的等参量。

二、 实验仪器：

TH—MHC 型智能磁滞回线测试仪、示波器。

三、 实验原理：

1. 铁磁材料的磁滞特性

铁磁物质是一种性能特异，用途广泛的材料。铁、钴、镍及其众多合金以及含铁的氧化物(铁氧体)均属铁磁物质。其特性是在外磁场作用下能被强烈磁化，即磁导率 μ 很高。另一特征是磁滞，铁磁材料的磁滞现象是反复磁化过程中磁场强度 H 与磁感应强度 B 之间关系的特性。即磁场作用停止后，铁磁物质仍保留磁化状态，图 1 为铁磁物质的磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间的关系曲线。

图中的原点 O 表示磁化之前铁磁物质处于磁中性状态，即 $B=H=O$ ，当磁场强度 H 从零开始增加时，磁感应强度 B 随之从零缓慢上升，如曲线 Oa ，继之 B 随 H 迅速增长，如曲线 ab 所示，其后 B 的增长又趋缓慢，并当 H 增至 H_S 时， B 达到饱和值 B_S 这个过程的 $OabS$ 曲线称为起始磁化曲线。如果在达到饱和状态之后使磁场强度 H 减小，这时磁感应强度 B 的值也要减小。图 1 表明，当磁场从 H_S 逐渐减小至零，磁感应强度 B 并不沿起始磁化曲线恢复到“ O ”点，而是沿另一条新的曲线 SR 下降，对应的 B 值比原先的值大，说明铁磁材料的磁化过程是不可逆的过程。比较线段 OS 和 SR 可知， H 减小 B 相应也减小，但 B 的变化滞后于 H 的变化，这种现象称为磁滞。磁滞的明显特征是当 $H=O$ 时，磁感应强度 B 值并不等于 O ，而是保留一定大小的剩磁 Br 。

当磁场反向从 0 逐渐变至 $-H_D$ ，磁感应强度 B 消失，说明要消除剩磁，可以施加反向磁场。 H_D 称为矫顽力，它的大小反映铁磁材料保持剩磁状态的能力，曲线 RD 称为退磁曲线。

图 1 还表明，当磁场按 $H_S \rightarrow O \rightarrow H_C \rightarrow -H_S \rightarrow O \rightarrow H'_D \rightarrow H_S$ 次序变化，相应的磁感应强度 B 则沿闭合曲线 $SRDS'R'D'S$ 变化，可以看出磁感应强度 B 值的变化总是滞后于磁场强度 H 的变化，这条闭合曲线称为磁滞回线。当铁磁材料

处于交变磁场中时（如变压器中的铁心），将沿磁滞回线反复被磁化→去磁→反向磁化→反向去磁。磁滞是铁磁材料的重要特性之一，研究铁磁材料的磁性就必须知道它的磁滞回线。各种不同铁磁材料有不同的磁滞回线，主要是磁滞回线的宽、窄不同和矫顽力大小不同。

当铁磁材料在交变磁场作用下反复磁化时将会发热，要消耗额外的能量，因为反复磁化时磁体内分子的状态不断改变，所以分子振动加剧，温度升高。使分子振动加剧的能量是产生磁场的交流电源供给的，并以热的形式从铁磁材料中释放，这种在反复磁化过程中能量的损耗称为磁滞损耗，理论和实践证明，磁滞损耗与磁滞回线所围面积成正比。

当初始状态为 $H=B=0$ 的铁磁材料，在交变磁场强度由弱到强依次进行磁化，可以得到面积由小到大向外扩张的一簇磁滞回线，如图 2 所示，这些磁滞回线顶点的连线称为铁磁材料的基本磁化曲线。

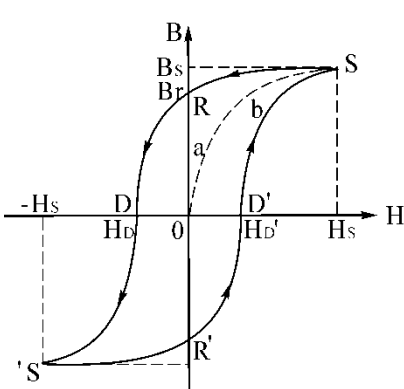


图 1 铁磁质起始磁化曲线和磁滞回线

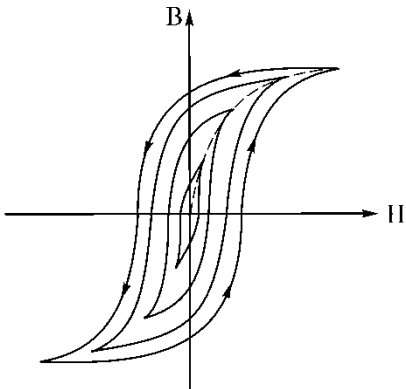


图 2 同一铁磁材料的一簇磁滞回线

可以说磁化曲线和磁滞回线是铁磁材料分类和选用的主要依据，图 3 为常见的两种典型的磁滞回线，其中软磁材料的磁滞回线狭长、矫顽力小（ $<102A/m$ ）、剩磁和磁滞损耗均较小，磁滞特性不显著，可以近似地用它的起始磁化曲线来表示其磁化特性，这种材料容易磁化，也容易退磁，是制造变压器、继电器、电机、交流磁铁和各种高频电磁元件的主要材料。而硬磁材料的磁滞回线较宽，矫顽力大（ $>102A/m$ ），剩磁强，磁滞回线所包围的面积肥大，磁滞特性显著，因此硬磁材料经磁化后仍能保留很强的剩磁，并且这种剩磁不易消除，可用来制造永磁体。

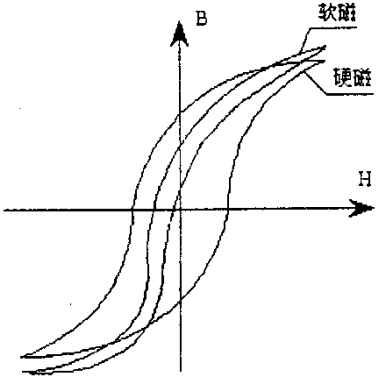


图 3 不同铁磁材料的磁滞回线

2. 测绘磁滞回线原理

观察和测量磁滞回线和基本磁化曲线的线路如图 4 所示。

待测样品为 EI 型矽钢片, N 为励磁绕组, n 为用来测量磁感应强度 B 而设置的绕组。 R_I 为励磁电流取样电阻, 设通过 N 的交流励磁电流为 i , 根据安培环路定律, 样品的磁场强度:

$$H = \frac{Ni}{L}$$

L 为样品的平均磁路

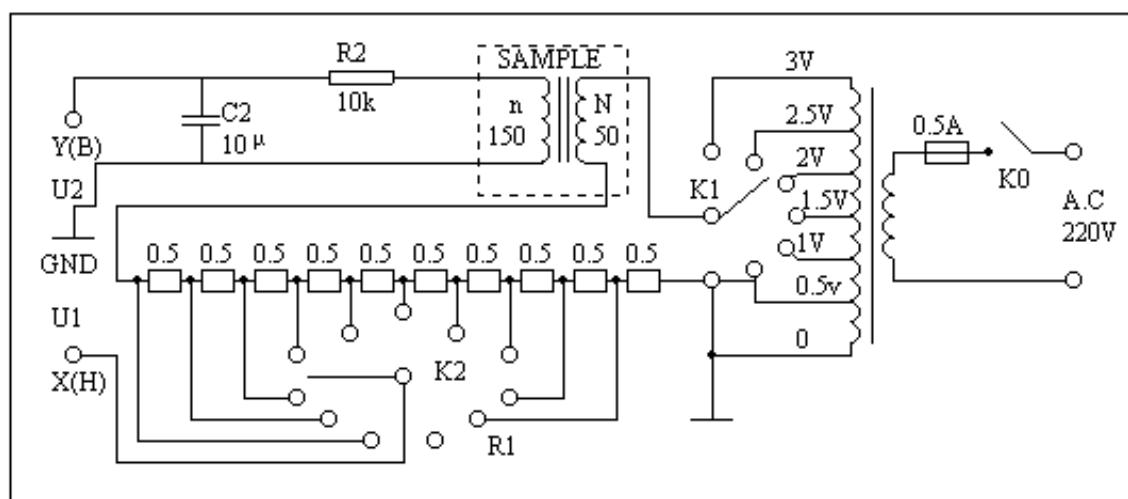


图 4 磁滞回线实验线路

$$\text{因为 } i = \frac{U_1}{R_1} \quad \text{所以 } H = \frac{N \times U_1}{L \times R_1} \quad (1)$$

式(1)中的 N 、 L 、 R_1 均为已知常数, 磁场强度 H 与示波器 X 输入 U_1 成正比, 所以由 U_1 可确定 H 。

在交变磁场下, 样品的磁感应强度瞬时值 B 是由测量绕组 n 和 R_2C_2 电路确定的。根据法拉第电磁感应定律, 由于样品中的磁通 φ 的变化, 在测量线圈中产生的感应电动势的大小为

$$\varepsilon_2 = n \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{1}{n} \int \varepsilon_2 dt$$

$$B = \frac{\varphi}{S} = \frac{1}{nS} \int \varepsilon_2 dt$$

式中 S 为样品的横截面积。考虑到测量绕组 n 较小，如果忽略自感电动势和电路损耗，则回路方程为：

$$\varepsilon_2 = i_2 r_2 + U_2$$

式中 i_2 为感生电流， U_2 为积分电容 C_2 两端电压。设在 Δt 时间内， i_2 向电容 C_2 的充电电量为 Q ，则

$$U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$\text{所以 } \varepsilon_2 = i_2 R_2 + \frac{Q}{C_2}$$

如果选取足够大的 R_2 和 C_2 ，使得 $i_2 R_2 \gg Q/C_2$ ，则上式可以近似改写为

$$\varepsilon_2 = i_2 R_2$$

$$\text{因为 } i_2 = \frac{dQ}{dt} = C_2 \frac{dU_2}{dt}$$

$$\text{所以 } \varepsilon_2 = C_2 R_2 \cdot \frac{dU_2}{dt} \quad (3)$$

将 (3) 式两边对时间 t 积分，代入 (2) 式可得

$$B = \frac{C_2 R_2}{ns} \cdot U_2 \quad (4)$$

式中 C_2 、 R_2 、 n 和 s 均为已知常数。磁场强度 B 与示波器 Y 输入 U_2 成正比，所以由 U_2 可确定 B 。在交流磁化电流变化的一个周期内，示波器的光点将描绘出一条完整的磁滞回线，并在以后每个周期都重复此过程，这样在示波器的荧光屏上可以看到稳定的磁滞回线。综上所述，将图 5 中的 U_1 和 U_2 分别加到示波器的“X 输入”和“Y 输入”便可观察样品的 $B-H$ 曲线；如将 U_1 和 U_2 加到测试仪的信号输入端可测定样品的饱和磁感应强度 B_s 、剩磁 R_r 、矫顽力 H_D 、磁滞损耗 BH 以及磁导率 μ 等参数。

四、 实验内容：

(1) 电路连接：选样品 1 按实验仪上所给的电路图连接线路，并令 $R_1 = 2.5\Omega$ ，“U 选择”置于 0 位。 U_H 和 U_B (即 U_1 和 U_2) 分别接示波器的“X 输入”和“Y 输入”，插孔 \perp 为公共端；

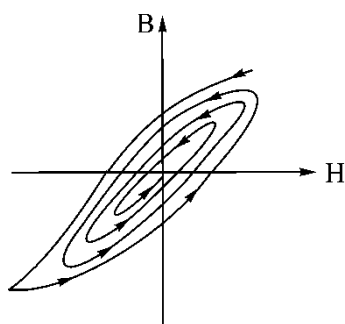


图 5 退磁示意图

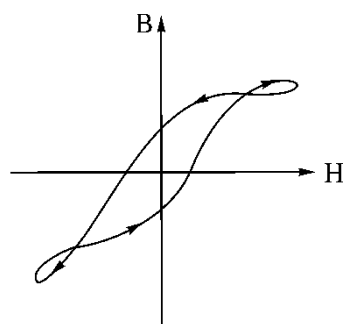


图 6 U_2 和 B 的相位差等因素引起的畸变

(2) 样品退磁：开启实验仪电源，对试样进行退磁，即顺时针方向转动“ U 选择”旋钮，令 U 从 0 增至 3V，然后逆时针方向转动旋钮，将 U 从最大值降为 0，其目的是消除剩磁，确保样品处于磁中性状态，即 $B=H=0$ ，如图 5 所示；

(3) 观察磁滞回线：开启示波器电源，调节示波器，令光点位于荧光屏坐标网格中心，令 $U=2.2V$ ，并分别调节示波器 x 和 y 轴的灵敏度，使荧光屏上出现图形大小合适的磁滞回线（若图形顶部出现编织状的小环，如图 6 所示，这时可降低励磁电压 U 予以消除）。记录下 $\pm H_s$ ， $\pm B_s$ ， $\pm H_c$ ， $\pm B_r$ 各点坐标值，用 div 表示。（磁滞回线居中）；

注意：磁滞回线应尽量大些，以减小荧光屏读数相对误差。

(4) 观察基本磁化曲线，按步骤 2 对样品进行退磁，从 $U=0$ 开始，逐档提高励磁电压，将在荧光屏上得到面积由小到大一个套一个的一簇磁滞回线。这些磁滞回线顶点的连线就是样品的基本磁化曲线，记录下各电压下相应 $+H_s$ ， $+B_s$ 的坐标值，用 div 表示。注意：实验过程中不能改变示波器 x 和 y 轴的灵敏度。

(5) 换样品 2，重复上述步骤，并观察、比较样品 1 和样品 2 磁化性能的不同。

五、 实验数据及数据分析处理：

(1) μ - H 曲线及磁化特性曲线

$R = \Omega$					
U/V	U_H/mV	$H/10^4 A \cdot m^{-1}$	U_B/mV	$B/10^2 T$	$\mu(= B/H)/(H/m)$
0.5					
1.0					
1.2					
1.5					
1.8					
2.0					
2.2					
2.5					
2.8					
3.0					

(2) 磁滞回线

序号	U_H/mV	U_B/mV	序号	U_H/mV	U_B/mV
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

六、 误差分析

七、 实验小结与思考

八. 附上原始数据: