



实验名称 测定铁磁物质的磁滞和磁化特性

专 业 _____

姓 名_

学 号_

指导教师_____

实验时间 11 月 21 日 2. 大节

理学院 物理实验中心

实验目的

- (1) 了解铁磁物质的磁化规律和磁化特性, 加深对铁磁材料的主要物理量的理解。
- (2) 学会用示波器法观察样品的磁化过程, 并测绘其 $B-H$ 曲线。
- (3) 测定样品的磁滞回线, 并估算其磁滞损耗。

实验原理 (1) 磁畴 分子内部的电流环具有一定的磁矩, 这些磁矩激发磁场, 然后形成磁畴。

(2) 铁磁物质的磁化过程: 当有外磁场作用时, 各磁畴的磁矩趋向于一致的排列, 单位宏观体积中的总磁矩不等于零, 铁磁体将对外显示磁性, 此时称为物质的磁化。

① 起始磁化曲线: 取一块未被磁化的铁磁材料作为样品, 外面密绕线圈, 如果流过线圈的励磁电流从开始逐渐增大, 则样品内的铁磁感应强度 B 将随磁电流产生的磁场强度 H 的增大而相应增大, 直至 H 增至 H_s 时, B 值到达饱和, 称为饱和磁感应强度 B_s , Oab 为起始磁化曲线。

② 磁滞回线和基本磁化曲线: 若磁场从 H_s 减小至零, B 的变化滞后于 H 的变化, 这种现象称为磁滞。当磁场停止作用时即 $H=0$, 铁磁物质仍保留磁化状态, 为剩磁 B_R 。当磁场按 $H_s \rightarrow 0 \rightarrow -H_s \rightarrow 0 \rightarrow H_s$ 次序变化, 相应的磁感应强度 B 则按 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 变化, 闭合曲线称为磁滞回线。 $\mu = B/H$ 与 H 非线性, 故相对磁导率 μ 不是常数而是随 H 而变化的。

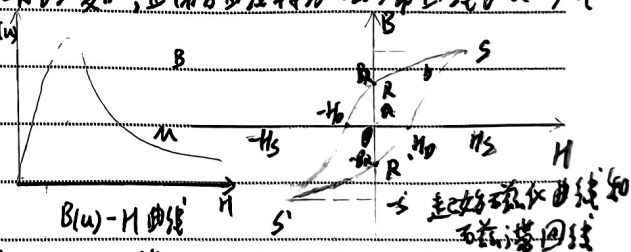
(3) 用示波器法观测磁滞回线和基本磁化曲线。

设通过 N 的交流励磁电流为 i , 由安培环路定理

磁场强度为 $H = \frac{Ni}{L}$ (L 为样品平均磁路长度) $i = \frac{U_H}{R_1}$ 即 $H = \frac{NU_H}{LR_1}$ 通过示波器测得 U_H 与磁场强度 H 成正比。在交变磁场下, 样品的磁感应强度瞬时值由线圈组 1 和 R_1 电路给定的, 所以感生电动势的大小为 $\varepsilon = n \frac{d\Phi}{dt}$, 则有 $\varphi = \frac{1}{n} \int \varepsilon dt$, 所以样品的磁感应强度 $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{nS} \int \varepsilon dt$ 若忽略自感电动势和电路损耗, 则有回路方程: $\varepsilon = iR_2 + U_B$ (i 为感生电流 U_B 为电容 C_2 电压) 设在 dt 时间内, 向电容 C_2 的充电电量为 Q 则有 $U_B = \frac{Q}{C_2}$ 即感生电动势为 $\varepsilon = iR_2 + \frac{Q}{C_2}$ 若选取足够大的 R_2 和 C_2 则 $\varepsilon = iR_2$ ($iR_2 \gg Q/C_2$) 由于 $i = \frac{dQ}{dt} = C_2 \frac{dU_B}{dt}$ 所以 $\varepsilon = C_2 R_2 \frac{dU_B}{dt}$ 最后可得

$B = \frac{C_2 R_2 U_B}{nS}$, 式中 C_2, R_2, n, S 均为常数, 所以示波器测得 U_B 与样品中的磁感应强度 B 成正比。

综上, 按照 $\varepsilon = iR_2 + \frac{Q}{C_2}$, 将 U_H 和 U_B 分别加到示波器的“X 轴输入”和“Y 轴输入”, 便可观测样品的 $B-H$ 曲线, B_s, B_R, H_R 并计算 μ 。



实验仪器

石磁滞回线实验仪、示波器

实验步骤与数据记录

(1) 校准示波器。将示波器上的校准较依次与 U_1 、 U_2 连接并调节辉度和聚焦，将显示屏上显示的波形调整到合适的位置以便后续实验读数，同时将分度值扭至 50 mV，扭转时间轴的同时观察图像，再调整水平与垂直方向上的位移。

(2) 电路连接，接实验仪上所给的电路图连接线路，“V选择”置于零位， U_1 和 U_2 分别接示波器的“X输入”和“Y输入”插孔接地为公共端。

(3) 观察磁滞回线，设置波形显示为 X-Y 模式，调节示波器，使光点位于显示屏中心，将励磁电压调节磁滞回线不出现编织状小环的最大值，分别调节示波器 X 轴和 Y 轴灵敏度，使显示屏上出现大小合适的磁滞回线。

电源电压/V	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U_1/V	0	0.005	0.015	0.020	0.075	0.035	0.050	0.070	0.085	0.115	0.150
H/T	0	3.18	9.32	12.93	15.98	21.82	34.88	44.58	54.11	73.20	95.49
U_c/V	0	0.025	0.075	0.095	0.115	0.145	0.170	0.195	0.210	0.225	0.240
B/T	0	0.027	0.082	0.105	0.127	0.160	0.187	0.215	0.232	0.248	0.265
M	0	8.67×10^{-3}	8.67×10^{-3}	8.24×10^{-3}	7.98×10^{-3}	7.19×10^{-3}	5.9×10^{-3}	4.83×10^{-3}	4.28×10^{-3}	3.39×10^{-3}	2.77×10^{-3}

(4) 测定石更石磁的磁滞回线，同时记录磁滞回线的三点坐标。

B_m	H_m	B_r	H_c	$-B_r$	$-H_c$	$-H_m$	$-B_m$
9.6	12.6	7.0	7.1	-7.0	-7.1	-12.6	-9.6

实验数据处理

(1) 计算电感率 μ , 磁感应强度 B , 磁场强度 H .

由 $H = \frac{NUI}{L R_1}$, 且当 $L = 47.123 \text{ cm}$ $N = 600$ 匝 $R_1 = 2 \Omega$ 时.

$B = \frac{C_2 R_2}{A S} U_B$ 且当 $C_2 = 1 \mu\text{F}$ $R_2 = 11 \text{ k}\Omega$ $A = 75 \text{ cm}^2$ $S = 1.3273 \text{ cm}^2$ 时.

① 当 $U = 0 \text{ V}$ $B = H = 0 \text{ T}$

② 当 $U = 10 \text{ V}$ $B = 2.763 \times 10^{-2} \text{ T}$ $H = 3.183 \text{ T}$

③ 当 $U = 20 \text{ V}$ $B = 8.288 \times 10^{-2} \text{ T}$ $H = 9.549 \text{ T}$

④ 当 $U = 30 \text{ V}$ $B = 1.05 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 12.733 \text{ T}$

⑤ 当 $U = 40 \text{ V}$ $B = 1.271 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 15.916 \text{ T}$

⑥ 当 $U = 50 \text{ V}$ $B = 1.602 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 22.282 \text{ T}$

⑦ 当 $U = 60 \text{ V}$ $B = 1.879 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 31.832 \text{ T}$

⑧ 当 $U = 70 \text{ V}$ $B = 2.155 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 44.564 \text{ T}$

⑨ 当 $U = 80 \text{ V}$ $B = 2.321 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 54.114 \text{ T}$

⑩ 当 $U = 90 \text{ V}$ $B = 2.486 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 73.213 \text{ T}$

⑪ 当 $U = 100 \text{ V}$ $B = 2.652 \times 10^{-1} \text{ T}$ $H = 95.495 \text{ T}$

由 $\mu = B/H$ 得.

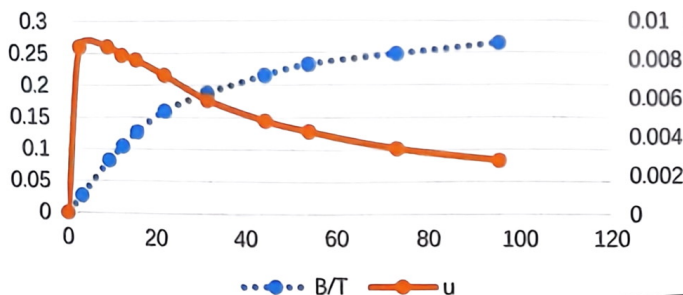
$\mu_1 = 0$ $\mu_2 = 8.678 \times 10^{-3}$ $\mu_3 = 8.678 \times 10^{-3}$ $\mu_4 = 8.245 \times 10^{-3}$

$\mu_5 = 7.984 \times 10^{-3}$ $\mu_6 = 7.191 \times 10^{-3}$ $\mu_7 = 5.901 \times 10^{-3}$ $\mu_8 = 4.835 \times 10^{-3}$

$\mu_9 = 4.288 \times 10^{-3}$ $\mu_{10} = 3.396 \times 10^{-3}$ $\mu_{11} = 2.777 \times 10^{-3}$

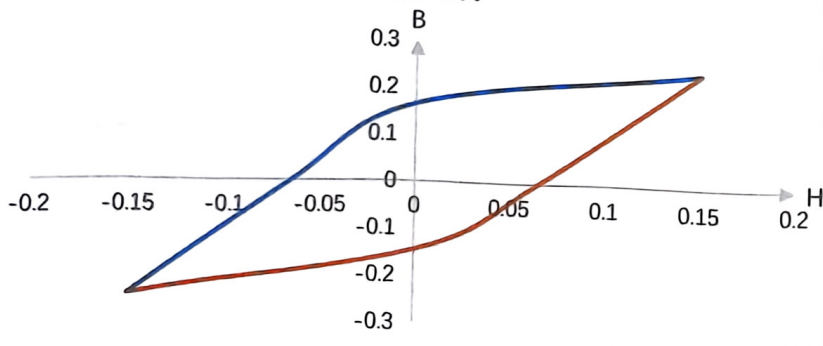
(2) 在同一坐标系上绘出 $B(H) - H$ 曲线.

$B(\mu) - H$ 曲线



(3) 铁磁材料的磁滞回线

磁滞回线



磁滞损耗为

$$J = \oint H \cdot dB$$

$$= 50 \times 10^{-3} \times 7.5$$

$$= 0.0375 \text{ J/m}^2$$

实验结论

- (1) 了解了铁磁物质的磁化规律和磁化特性。
- (2) 掌握了样品的磁滞回线的画法。
- (3) 铁磁材料的相对磁导率 μ 不是常数, 而是随 H 而变化。

实验讨论

(1) 误差分析:

- ① 仪器老化导致精度不高。
- ② 对铁磁材料的预先退磁不完全, 从而对曲线产生了一定的影响。
- ③ 在示波器数格子时有一定的人为偏差。
- ④ 数格子前未将中心光点移至坐标轴的正中央, 从而给测量带来误差。

(2) 实验注意事项:

- ① 测绘磁滞回线和磁化曲线时, 必须将材料预先退磁, 必须保证 $H=0$, $B=0$ 。
- ② 励磁电压在实验过程中, 应逐渐增加或逐渐减少, 不可时增时减。
- ③ 实验中应尽量使光点位于坐标网络中心, 电压调至最大不失电压, 若图形顶部出现扁担状的小环, 可降低电压以清除。

(3) 测量磁性材料的意义及应用:

- ① 通过磁滞回线可以判断各种磁性材料磁导率的高低, 并示功的大小。
- ② 软磁材料容易磁化也容易退磁, 适合用于反复磁化的场合, 可以用来制造变压器、继电器、电磁铁、电机, 以及各种高频元件的磁芯。
- ③ 铸铁、铸钢、铸镍合金等磁性材料的磁导率不高, 但矫顽力大, 磁滞回线宽而短, 叫做硬磁材料, 硬磁材料磁化后能保留很大的剩磁, 并且不容易退磁, 适合制成永久磁铁, 像磁电式仪表、耳机等。

思考题

1) 实验前为什么要对样品消磁? 如何消磁?

① 保证实验的准确性, 磁化后的材料, 受到了外来的能量的影响, 比如加热, 冲击, 其中的各磁畴的磁矩方向会变得不一致, 磁化材料容易被磁化而带有剩磁, 影响后续精密加工和设备操作, 从而影响实验的准确性, 因此要对样品消磁。

② 把留有磁的材料置于交流磁场中, 渐渐减弱交流磁场强度直至消失, 此材料就被消磁了。用消磁设备来改变磁场。

2) 什么是磁滞损耗? 磁滞损耗与磁滞回线面积有什么关系?

① 铁磁材料在磁化过程中由磁滞现象引起的能量损耗, 磁滞指铁磁材料的磁性状态变化时, 磁化强度滞后于磁场强度, 它的磁通密度 B 与磁场强度 H 之间呈现磁滞回线关系。

② 经过一个循环, 每单位体积铁心中的磁滞损耗等于磁滞回线的面积, 这部分能量转化为热能, 所以磁滞回线面积越大, 磁滞损耗就越大。

3) 什么是区别硬磁和软磁的重要指标?

① 磁化后容易去掉磁性的物质叫软磁材料, 不容易去磁的物质为硬磁材料。

(即软磁剩磁较小, 硬磁剩磁较大)

② 矫顽力小的物质为软磁材料, 矫顽力大的物质叫硬磁材料。

$$L = 47.123 \mu\text{H} = 1.3273 \text{ cm}^2$$

原始记录	姓名	12107480106		$N_1 = 600$		$N_2 = 75$		$R_1 = 2\Omega$		$R_2 = 11k\Omega$		$C = 1\mu$	
电源电压/V	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	$CH_1 = 50mV$		$CH_2 =$
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
U_H/mV	0	0.1×50	0.3×50	0.4×50	0.5×50	0.7×50	1×50	1.4×50	1.7×50	2.3×50	3×50		
I_H/mA	0	5	15	20	25	35	50	70	85	115	150		
U_B/mV	0	0.025	0.075	0.095	0.115	0.145	0.170	0.195	0.210	0.225	0.240		

B_m	H_m	B_r	H_c	$-B_r$	$-H_c$	$-H_m - B_m$	
9.6	12.6	2.0	7.1	-7.0	-7.1	-12.6	-9.6