



物理实验报告

实验名称 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线的测定

专 业 _____

姓 名 _____

学 号 _____

指导教师 _____

实验时间 11 月 25 日 第二 大节

理学院 物理实验中心

实验目的

- 1) 掌握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 $B(H)$ - 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: 铁磁体中的相邻原子间存在着非常强的交换耦合作用, 这个相互作用使相邻原子的磁矩平行排列起来, 形成一个自发磁化达到饱和状态的区域. 磁畴的这种排列方式, 使磁体处于最小能量的稳定状态. 无外磁场时, 每个磁畴中, 分子的磁矩均取同一方向, 但对不同的磁畴, 分子磁矩的取向由于热运动而各不相同, 作无规律分布, 其平均磁矩为零. 整个铁磁体不显示磁性.

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, 此过程称为物质的磁化.

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零开始逐渐增大, 则样品内的 B 将随励磁电流产生的磁场强度 H 的增大而相应增大. 直至当 H 增至 H_s 时, B 值到达饱和, 称为饱和磁感应强度 B_s . $OabS$ 称为起始磁化曲线.

2) 磁滞回线和基本磁化曲线: B 的变化明显滞后于 H 的变化, 这种现象称为磁滞. 由于磁滞, 当磁化场停止作用, 即 $H=0$ 时, 铁磁物质仍保留磁化状态, 其值称为剩磁 B_R . 磁滞回线又称闭合曲线称为基本磁化曲线, 其磁导率 $\mu = B/H$.

3. 示波器法观测磁滞回线和基本磁化曲线 $OabS$ - 起始磁化曲线

设通过 N 的交流励磁电流为 i , 根据安培 $SRDS'R'D'S$ - 磁滞回线

环路定理, 磁场强度为 $H = \frac{Ni}{l}$, 而 $i = \frac{U_H}{R_1}$. RD - 退磁曲线

所以: $H = \frac{NU_H}{lR_1}$ 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 B 是由测量绕组 n 和 R_2, C_2

电路组成的. 所以感生电动势的大小为 $\varepsilon = n \frac{dB}{dt}$, 则有 $\varphi = \frac{1}{n} \int \varepsilon dt$. 所以样品的磁感应强度 $B = \frac{\varphi}{S} = \frac{1}{nS} \int \varepsilon dt$.

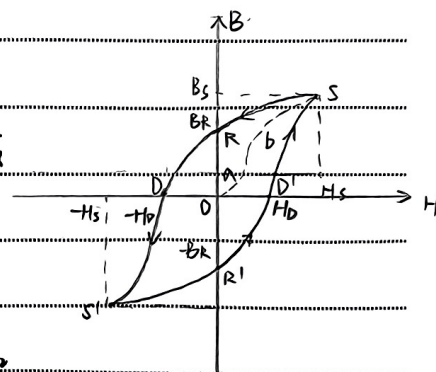
回路方程: $\varepsilon = iR_2 + U_B$. 设在 0 到 t 时间内, 向电容 C_2 的充电电量为 Q , 则有 $U_B = Q/C_2$. 所以, 线圈

中产生的感生电动势大小 $\varepsilon = iR_2 + \frac{Q}{C_2}$. 如果选取足够大的 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: $B = \frac{C_2 R_2 U_B}{nS}$. 所以通过示波器测得

的 U_B 与样品中的磁感应强度 B 成正比. 综上所述, 将测试仪上的 U_H 和 U_B 分别加到示波器的

"X 输入" 和 "Y 输入" 端, 可观测 B - H 曲线, B_s , B_R , H_0 . 并计算磁导率 μ .



实验仪器

磁滞回线实验仪, 示波器.

实验步骤与数据记录

- 校准示波器. 将示波器上的校准端依次与 CH_1 、 CH_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于后续实验读数. 同时将分度值扭至 $50mV$. 扭至时间轴的同时观察图像. 再调整水平与竖直方向上的位移.
- 电路连接. 按实验仪上所给的电路图连接线路. "U选择" 置于零位. U_H 和 U_B 分别接示波器的 "X输入" 和 "Y输入". 插孔接地为公共端.
- 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. 将励磁电压调至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.

不同电压下 $B(H)$ - H 曲线数据记录表

电源电压 / V	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U_1	0	5×10^{-2}	1.5×10^{-2}	2×10^{-2}	2.5×10^{-2}	3.5×10^{-2}	5×10^{-2}	7×10^{-2}	8.5×10^{-2}	1.15×10^{-1}	1.5×10^{-1}
H / T	0	3.183	9.549	12.733	15.916	22.282	31.832	44.564	54.114	73.213	95.495
U_c	0	2.5×10^{-2}	7.5×10^{-2}	9.5×10^{-2}	1.15×10^{-1}	1.45×10^{-1}	1.7×10^{-1}	1.95×10^{-1}	2.1×10^{-1}	2.25×10^{-1}	2.4×10^{-1}
B / T	0	2.763×10^{-2}	8.288×10^{-2}	1.05×10^{-1}	1.271×10^{-1}	1.602×10^{-1}	1.879×10^{-1}	2.155×10^{-1}	2.321×10^{-1}	2.486×10^{-1}	2.652×10^{-1}
μ	0	8.678×10^3	8.678×10^3	8.243×10^3	7.984×10^3	7.19×10^3	5.991×10^3	4.835×10^3	2.288×10^3	3.396×10^3	2.777×10^3

- 测量硬磁的磁滞回线. 同时记录磁滞回线的三点坐标.

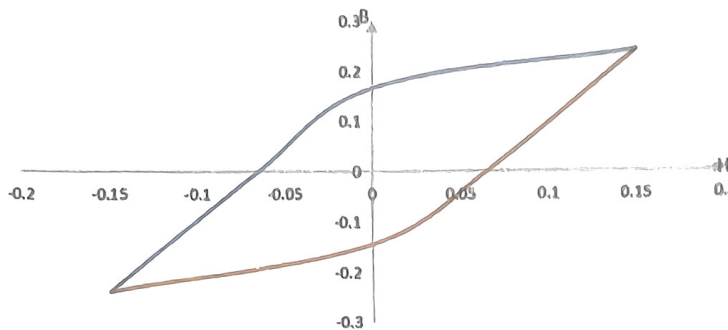
磁滞回线的三点坐标

	S	R	D
U_H / V	1.5×10^{-1}	0	6.5×10^{-2}
H / T			
U_B / V	2.4×10^{-1}	1.65×10^{-1}	0
B / T			

实验数据处理

硬磁物质磁滞回线

1. 铁磁材料的磁滞回线



2. 计算磁导率 μ , 磁感应强度 B , 磁场强度 H .

由 $H = \frac{NUH}{LR_1}$, 且当 $L = 47.123 \text{ cm}$, $N = 600$ 匝, $R_1 = 2 \Omega$ 时,

$B = \frac{C_2 R_2}{AS} \cdot U_B$, 且当 $C_2 = 1 \text{ MF}$, $R_2 = 11 \text{ K}\Omega$, $n = 75$ 匝, $S = 1.3273 \text{ cm}^2$ 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 $U = 50 \text{ V}$, $B = 1.602 \times 10^{-1} \text{ T}$, $H = 22.782 \text{ T}$

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 $\mu = B/H$, 综上所述

① $\mu = 0$ ② $\mu = 8.678 \times 10^{-3}$ ③ $\mu = 8.678 \times 10^{-3}$ ④ $\mu = 8.245 \times 10^{-3}$

⑤ $\mu = 7.984 \times 10^{-3}$ ⑥ $\mu = 7.191 \times 10^{-3}$ ⑦ $\mu = 5.901 \times 10^{-3}$ ⑧ $\mu = 4.835 \times 10^{-3}$

⑨ $\mu = 4.288 \times 10^{-3}$ ⑩ $\mu = 3.396 \times 10^{-3}$ ⑪ $\mu = 2.777 \times 10^{-3}$

3. 在同一坐标上绘出 $B(\mu)$ - H 曲线.

$B(\mu)$ - H

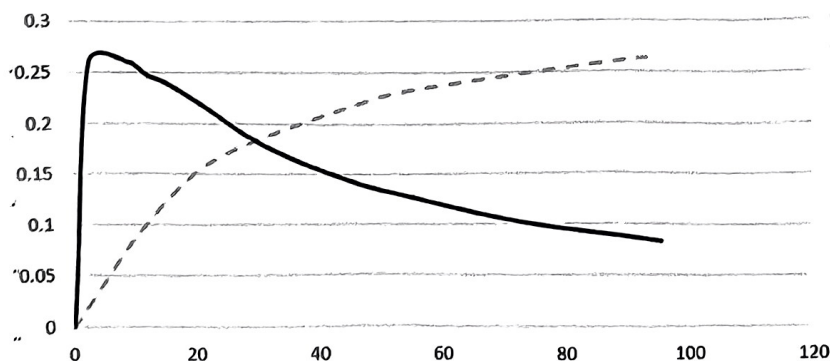
--- B ——— U

磁滞损耗

$$J = H \cdot B \cdot M$$

$$= 50 \text{ mV} \cdot 50 \text{ mV} \cdot 1 \text{ T}$$

$$= 0.0375 \text{ J/m}^3$$



实验结论

1. 了解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 在示波器数格子计数时有人为偏差。
- ④ 数格子前未将中心光点移至坐标轴的中央，从而给测量带来误差。

2. 注意事项：

- ① 测绘磁化曲线和磁滞回线时，必须将材料预先退磁，以保证 $H=0$ ， $B=0$ 。
- ② 励磁电压在实验过程中，应单调增加或单调减少，不可时增时减。
- ③ 实验中应尽量使光点位于坐标网络中心，电压调节最大不交叉电压，若图形顶部出现扁状或内环，可降低电压予以清除。

3. 测量磁性材料的意义：

- ① 通过磁滞回线可以判断各种磁性材料磁导率的高低、矫顽力的大小。
- ② 软磁材料容易磁化，也容易退磁，适合于反复磁化的场合，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铁芯。
- ③ 碳钢、合金钢、铝镍钴合金等磁性材料的磁导率^对不太高，但矫顽力大，剩磁也大，磁滞回线宽而矩，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、小型直流电机等。

思考题

(1) 实验前为什么要对样品消磁? 如何消磁?

- 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的操作, 从而影响实验的准确性。因此, 实验前要对样品消磁。
- 把留有磁性的材料置于交流磁场中, 渐渐减弱交流磁场的强度直至消失, 此材料就被消磁了。用消磁设备来改变磁场, 对居里就可以有效地摧毁。

(2) 什么是磁滞损耗? 磁滞损耗与磁滞回线面积有什么关系?

- 铁磁材料在磁化过程中由磁滞现象引起的能量损耗。磁滞损耗是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。
- 经一次循环, 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小, 磁滞损耗就越小。

(3) 什么是区别硬磁和软磁的重要指标?

- 磁化后容易去掉磁性的物质叫软磁材料, 不容易去磁的物质叫硬磁材料。
(软磁性材料剩磁较小, 硬磁性材料剩磁较大。
- 矫顽力。矫顽力小的物质叫软磁材料, 矫顽力大的物质叫硬磁材料。

原始记录

电源电压 V 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

U_1 0 0.1X50 0.3X50 0.4X50 0.5X50 0.7X50 1X50 1.4X50 1.7X50 2.3X50 3X50

H 0

U_C 0 0.5X50 1.0X50 1.9X50 2.4X50 3.9X50 5.4X50 7.9X50 9.8X50

B 0

M 0

三点坐标

S

R

D_1

U_A/V 3X50

0

1.8X50

HIT

U_B/V 4.8X50

3.3X50

D_2

B/T

3.71