

#

# 天津大学物理实验报告

机械学院 大二 年级 15

成绩

实验日期

组实验者

实验题目：铁磁材料的磁滞回线。

## 一、实验目的。

通过本次实验认识什么是磁铁物质，了解铁磁材料具有哪些磁特性。

## 二、实验仪器。

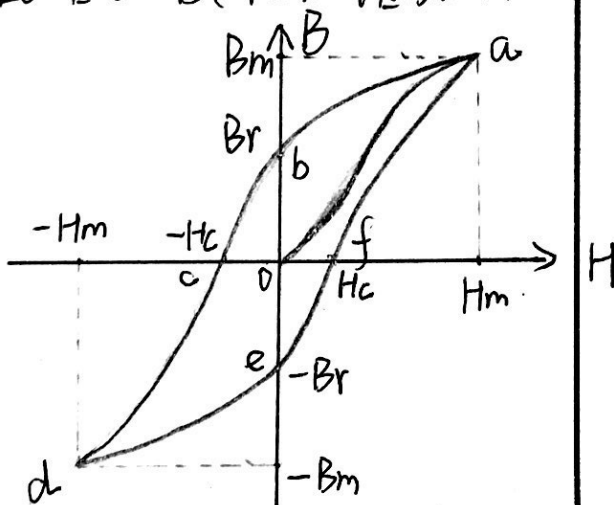
磁滞回线实验组合仪，双踪示波器。

## 三、实验原理。

### 1. 铁磁材料的磁化及磁导率。

铁磁材料的磁化过程很复杂，这主要是由于它具有磁滞的特性。一般都是通过测量磁化场的磁场强度  $H$  和磁感应强度  $B$  之间的关系来研究其磁性规律的。

当磁铁物质中不存在磁化场时， $H$  和  $B$  均为零，即图中  $B-H$  曲线的坐标原点  $O$ 。随着磁场  $H$  的增加， $B$  也随之增加，但两者间不是线性关系。当  $H$  增加到一定值时， $B$  不再增加（或增加十分缓慢），说明该物质已磁化已达到饱和状态。 $H_m$  和  $B_m$  分别为饱和时的磁场强度和磁感应强度（对应于图中  $a$  点）。如果再使  $H$  逐渐降为零，则与此同

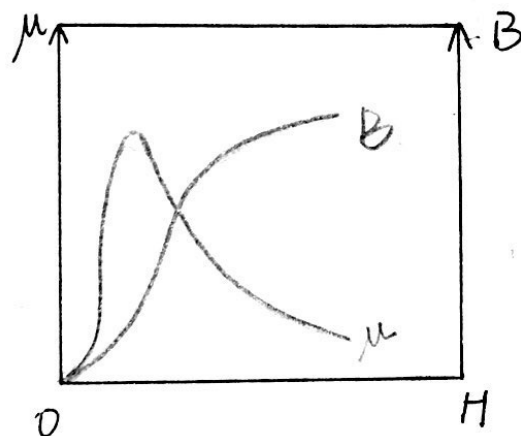
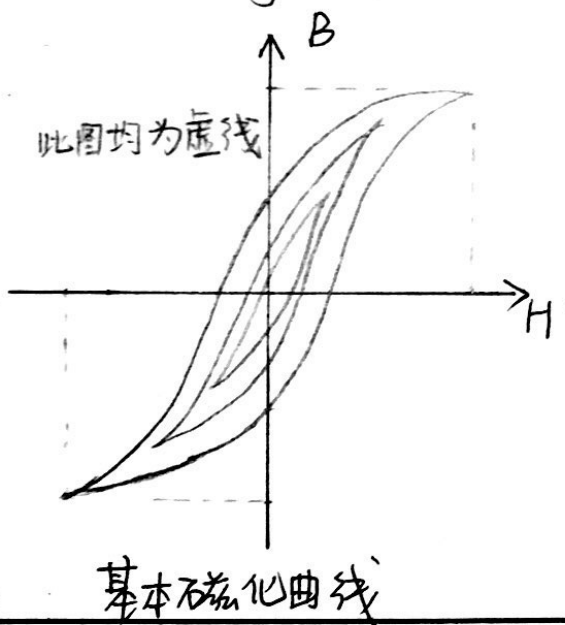


# 天津大学物理实验报告

附 页

时 $B$ 也逐渐减少,然而 $H$ 和 $B$ 对应的曲线轨迹并不沿原曲线轨迹 $ao$ 返回,而是沿另一曲线 $ab$ 下降到 $B$ ,这说明当 $H$ 下降为零时,铁磁物质中仍保留一定磁性,这种现象称为磁滞。 $B_r$ 称为剩磁。将磁化场反向,再逐渐增加其强度,直到 $H=-H_c$ ,磁感应强度消失,这说明要消除剩磁,必须施加反向磁场 $H_c$ 。 $H_c$ 称为矫顽力,它的大小反映铁磁材料保持剩磁状态的能力。此图表明,当磁场按 $H_m \rightarrow 0 \rightarrow -H_c \rightarrow -H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_c \rightarrow H_m$ 次序变化时, $B$ 所经历的相位变化 $B_m \rightarrow B_r \rightarrow 0 \rightarrow -B_m \rightarrow -B_r \rightarrow 0 \rightarrow B_m$ ,于是得到一条闭合的曲线称为磁滞回线。所以,当磁材料处于交变磁场中时,它将沿磁滞线反复“磁化 $\rightarrow$ 去磁 $\rightarrow$ 反向磁化 $\rightarrow$ 反向去磁”的过程。在此过程中要消耗额外的能量,并以热的形式从磁材料中释放,这种损耗称为磁滞损耗。可以证明,磁滞损耗与磁滞回线所围面积成正比。

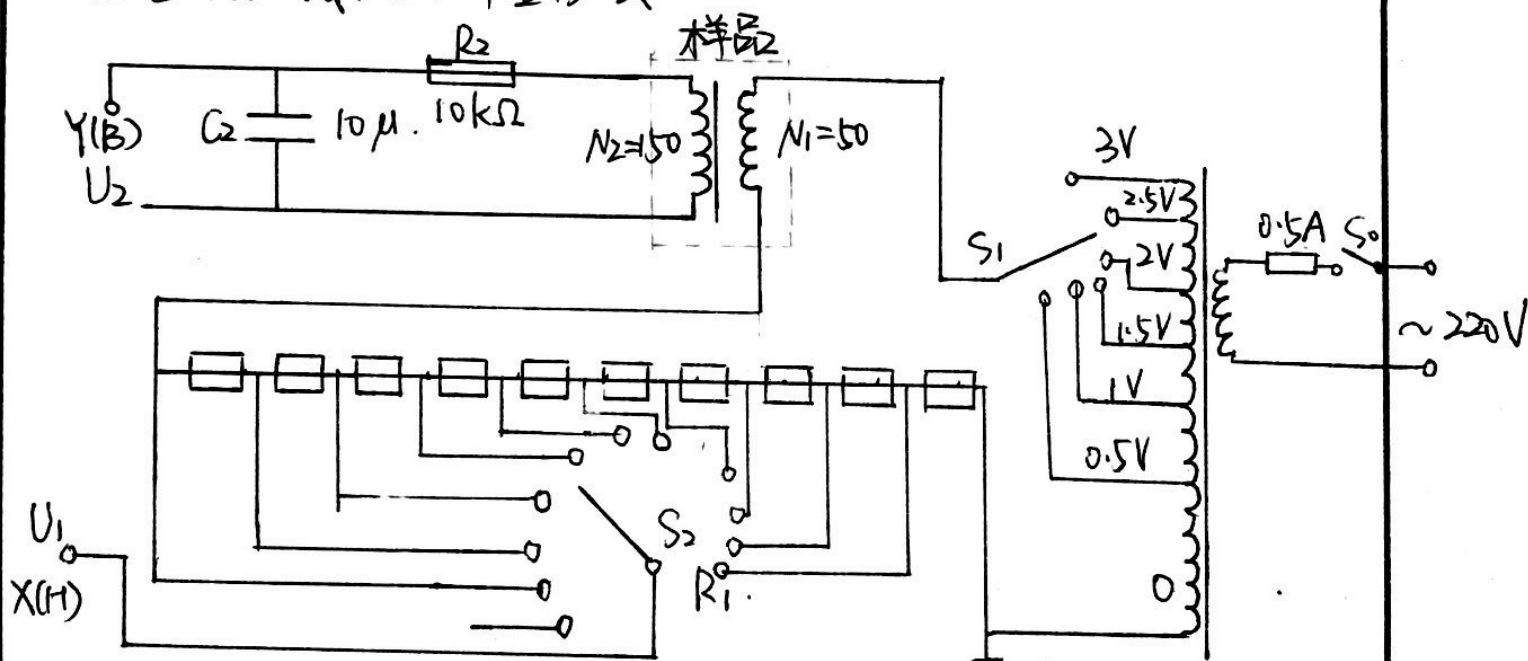
应该说明,对于初始态,为 $H=0, B=0$ 的铁磁材料,在交变



### 实验题目：

磁场强度由弱到强依次进行磁化的过程中,可以得到面积由小到大的向外扩张的一系列磁滞回线,如上左图所示,这些磁滞回线顶点的连线称为铁磁材料的基本磁化线,由此可以近似确定其磁导率  $\mu = \frac{B}{H}$ , 因为  $B$  与  $H$  非线性,故铁磁材料的  $\mu$  不是常量,而是随  $H$  而变化,如上右图所示,在实际应用中,常使用相对磁导率  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ ,  $\mu_0$  为真空中的磁导率,铁磁材料的相对磁导率可高达数千万乃至数亿,这一特点是它用途广泛的主要原因之一。

### 2. B-H曲线的测量方法.



磁滞回线测量线路.

待测样品为E<sub>1</sub>型硅钢片,励磁线圈匝数  $N_1=50$ . 用于磁感应强度  $B$  而设置的探测线圈匝数  $N_2=150$ .  $R_1$  为励磁电流取样电阻,为  $0.5 \sim 5.0 \Omega$ . 设通过励磁线圈的交流励磁电流为  $I$ .

# 天津大学物理实验报告

附 页

根据安培环路定理,样品的磁化强度为

$$H = \frac{N_1 L}{L}$$

式中,  $L$  为样品的平均磁路 本实验中  $L = 60.0 \text{ mm}$ . 设  $R_1$  端的电压为  $U_1$ , 则可得

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \text{ 因此 } H = \frac{N_1 U_1}{L R_1}$$

式中,  $N_1, L, R_1$  均为已知常量, 所以由  $U_1$  可以确定  $H$ .

样品的磁感应强度  $B$  的测量通过探测线圈和  $R_2, C_2$  组成的电路来实现的. 根据法拉第电磁感应定律, 在交变磁场下由于样品中磁通量  $\Phi$  的变化, 在探测线圈中产生的感生电动势的大小为  $\mathcal{E} = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ . 由此式可推导出

$$\Phi = \frac{1}{N_2} \int \mathcal{E} dt$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int \mathcal{E} dt. \quad S \text{ 为样品的截面积}$$

如果忽略自感电动势和电路损耗, 则回路方程为

$$\mathcal{E} = I_2 R_2 + U_2$$

式中,  $I_2$  为感生电流,  $U_2$  为积分电容  $C_2$  两端电压. 设在  $\Delta t$  时间内  $I_2$  向电容  $C_2$  的充电电荷量为  $Q$ , 则

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

$$\mathcal{E} = I_2 R_2 + \frac{Q}{C_2}$$

如果选取足够大的  $R_2$  和  $C_2$ , 使  $I_2 R_2 \gg \frac{Q}{C_2}$ , 则  $\mathcal{E} = I_2 R_2$ , 所以

实验题目:

$$I_2 = \frac{dQ}{dt} = C_2 \frac{dU_2}{dt}$$

$$Q = C_2 R_2 \frac{dU_2}{dt}$$

由  $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int \varepsilon dt$  和  $Q = C_2 R_2 \frac{dU_2}{dt}$  可得:

$$B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_2.$$

式中,  $C_2, R_2, N_2$  和  $S$  均为已知常量. ( $C_2 = 20 \mu F$ ,  $R_2 = 10 k\Omega$ ,  $S = 80 mm^2$ ), 所以测量  $U_2$  可确定  $B$ .

#### 四. 实验步骤:

1. 用示波器观察铁磁材料的磁滞回线.

(1). 电路连接: 选样品1, 按实验仪器上所给电路连接线路. 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" 插孔上为公共端.

(2) 观察磁滞回线: 开启示波器电源, 令光点位于坐标网格中心, 从  $U=0$  开始, 逐步提高励磁电压至  $3.0V$ . 将在显示屏上得到面积由小到大的一个个闭合曲线即为磁滞回线. 这些磁滞回线的最大值点 ( $H_m, B_m$ ) 的连线便是基本磁化曲线.

(2) 测  $\mu-H$  曲线.



# 天津大学物理实验报告

附 页

(1) 样品退磁：逆时针方向转动旋钮使  $U$  从最大值降为 0V。其目的是消除剩磁，即退磁过程，确保样品处于磁中性状态，即  $H=B=0$ 。

(2) 对样品进行退磁后，依次测定  $U=0.5, 1.0, \dots, 3.0V$  时的 10 组  $H_m$  和  $B_m$  值，根据  $\mu = \frac{B}{H}$  计算各个  $\mu$  值，并作  $\mu-H$  曲线。

3. 测绘磁滞曲线

保持电压  $U=3.0V$  不变，测试  $H, B$  数值。要求每条线测出 10 点，并记录四个特殊点  $H_m, B_m, H_c, B_r$ 。描绘样品的磁滞回线。

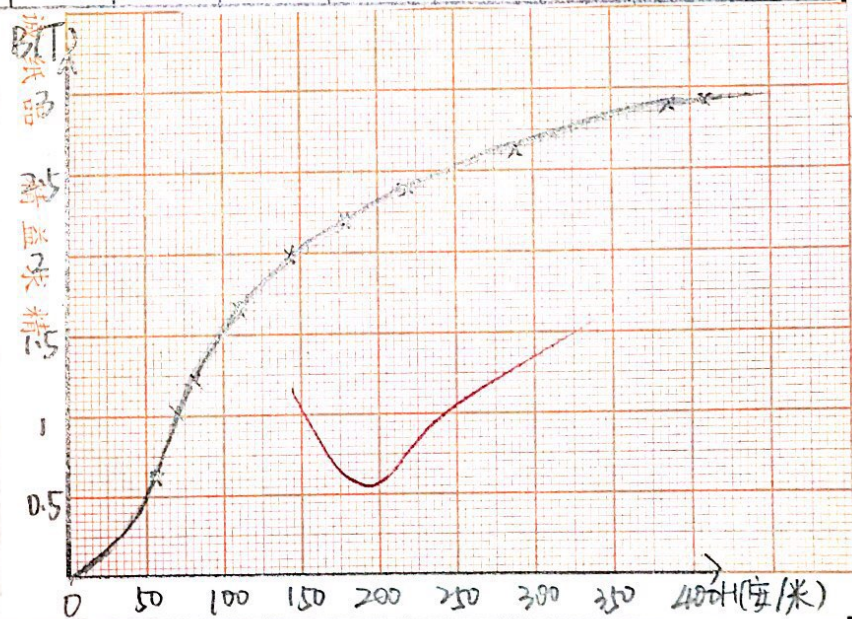
## 五. 实验数据与数据处理

1. 描绘  $B-H$  曲线和  $\mu-H$  曲线

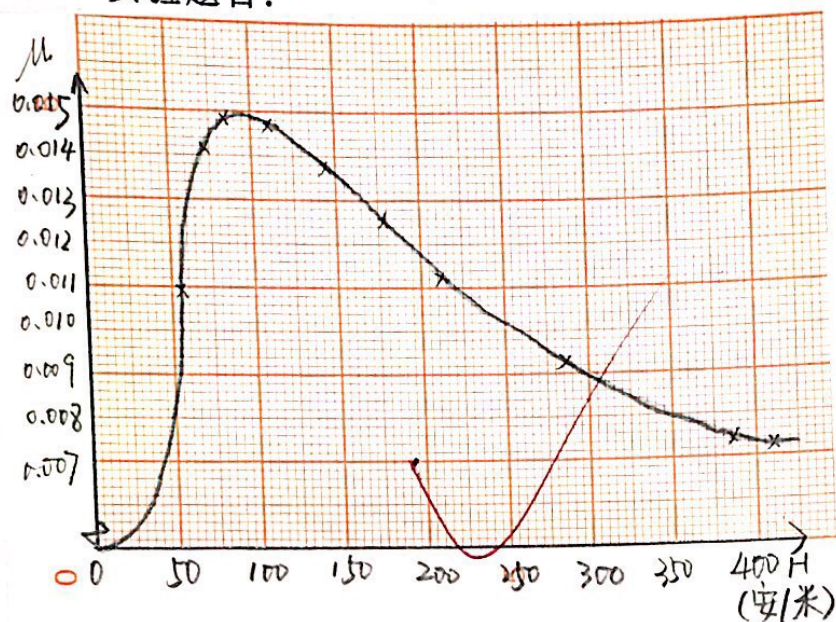
电压(V)	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
$H_m$	52	72	83	112	146	176	214	286	389	413
$B_m$	0.57	1.02	1.24	1.66	2.00	2.20	2.39	2.64	2.85	2.98
$\mu$	0.01096	0.01417	0.01494	0.01482	0.0137	0.0125	0.01168	0.00923	0.00733	0.00721

其中  $\mu = \frac{B_m}{H_m}$

$B-H$  曲线



实验题目:



μ-H 曲线.

2. 描绘3V电下样品的磁滞回线.

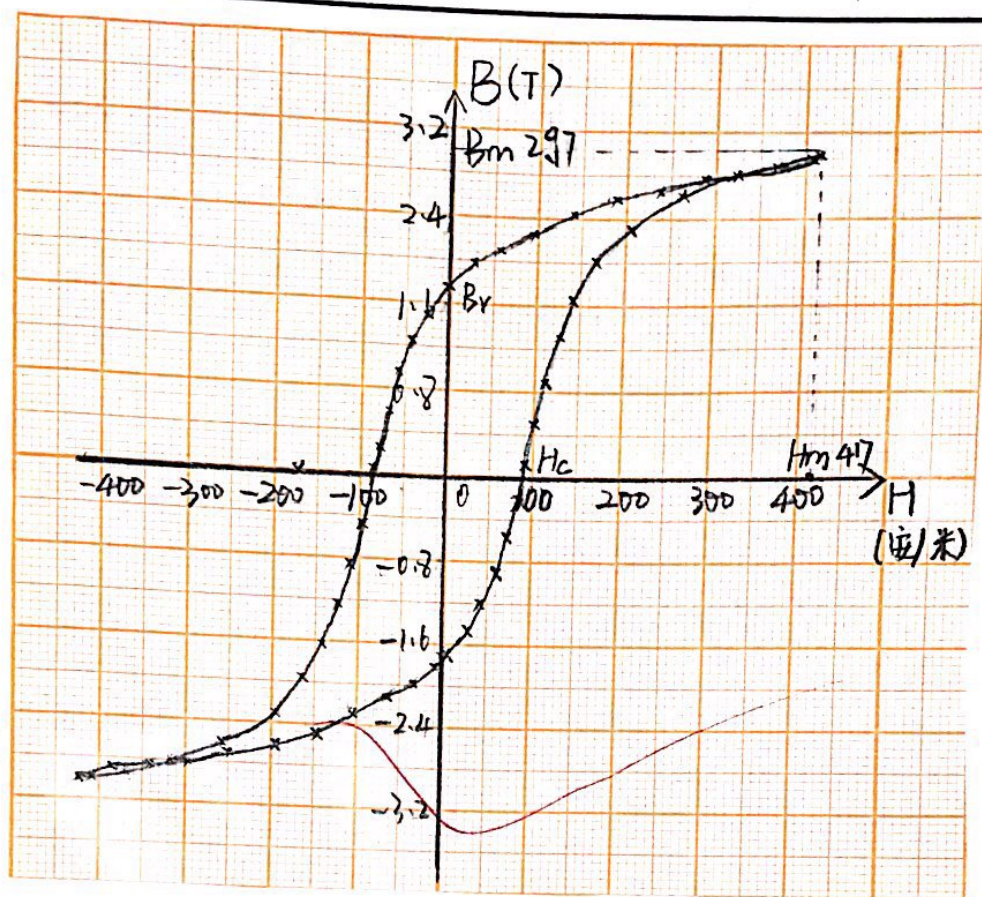
$H_m$ : 413 安/米

$B_m$ : 2.97 特斯拉

$H_c$ : 83 安/米

$B_r$ : 1.74 特斯拉.







1. 描绘 B-H 曲线和  $\mu$ -H 曲线

基本磁化曲线数据记录表

电压 (V)	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
$H_m$	0.052	0.072	0.083	0.112	0.146	0.176	0.214	0.236	0.289	0.413
$B_m$	0.057	0.102	0.124	0.166	0.200	0.220	0.239	0.264	0.285	0.298
$\mu$	0.01096	0.01417	0.01494	0.01482	0.0137	0.0125	0.01168	0.00923	0.00733	0.007216

$\times 10^3$   
 $\times 10$

2. 描绘 3V 电压下样品的磁滞回线

序号	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86
H	0.005	0.027	0.046	0.059	0.070	0.079	0.089	0.100	0.113	0.126	0.144	0.168	0.206	0.263	0.315	0.367	0.406	0.417
B	-0.172	-0.148	-0.121	-0.090	-0.058	-0.023	0.013	0.051	0.090	0.128	0.164	0.200	0.233	0.260	0.279	0.291	0.297	0.298

序号	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171	176
H	0.406	0.373	0.333	0.289	0.239	0.190	0.141	0.097	0.058	0.027	0.000	-0.024	-0.042	-0.058	-0.068	-0.078	-0.088	-0.098
B	0.296	0.291	0.284	0.277	0.267	0.255	0.243	0.228	0.213	0.194	0.174	0.150	0.123	0.093	0.061	0.026	-0.010	-0.048

序号	181	186	191	196	201	206	211	216	221	226	231	236	241	246	251	256	261
H	-0.110	-0.124	-0.141	-0.164	-0.197	-0.254	-0.317	-0.368	-0.403	-0.417	-0.409	-0.380	-0.341	-0.298	-0.249	-0.199	-0.149
B	-0.085	-0.124	-0.161	-0.197	-0.230	-0.259	-0.279	-0.293	-0.299	-0.300	-0.298	-0.294	-0.288	-0.281	-0.271	-0.260	-0.248

同反面

序号	266	271	276	281
----	-----	-----	-----	-----

---

H	-0.105	-0.065	-0.032	-0.004
---	--------	--------	--------	--------

B.	-0.234	-0.218	-0.200	-0.180
----	--------	--------	--------	--------

矫顽力和剩磁

$H_c : 0.083$        $B_r : 0.1174$