

# 物 理 实 验 （二）

## 磁滞回线

时间：2024 年 1 月 2 日

创作人：陆知辰

学号：10225301478

目录	1
----	---

## 目录

<b>一、 实验摘要</b>	<b>2</b>
1.1 实验概要 . . . . .	2
1.2 实验目的 . . . . .	2
<b>二、 实验原理</b>	<b>2</b>
2.1 铁磁材料的磁滞现象 . . . . .	2
2.2 用示波器观察和测量磁滞回线的实验原理和线路 . . . . .	4
<b>三、 实验装置器材介绍</b>	<b>7</b>
<b>四、 实验内容及实验步骤</b>	<b>7</b>
4.1 电路连接 . . . . .	7
4.2 样品退磁 . . . . .	7
4.3 观察退磁回线 . . . . .	7
4.4 观察基本磁化曲线 . . . . .	8
4.5 已知条件 . . . . .	8
4.6 $W_{BH}$ . . . . .	8
4.7 $\mu - H$ 曲线 . . . . .	8
4.8 不同曲线观察 . . . . .	8
4.9 二次测量 . . . . .	8
<b>五、 实验原始数据</b>	<b>9</b>
<b>六、 实验数据处理</b>	<b>11</b>
<b>七、 思考题</b>	<b>11</b>
7.1 思考题一 . . . . .	11
7.2 思考题二 . . . . .	11
<b>八、 实验中个人的思考与感想</b>	<b>11</b>
8.1 对于实验个人观点 . . . . .	11
8.2 实验中的总结 . . . . .	11

## 一、 实验摘要

### 1.1 实验概要

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均属铁磁物质, 铁磁物质的一个特征是在外磁场作用下能被强烈磁化, 故铁磁物质的磁导率很高, 铁磁物质的另一个特征是磁滞现象, 即磁化场停止作用后, 铁磁物质仍会保留磁化状态, 磁滞现象有着广泛的应用.

### 1.2 实验目的

1. 认识铁磁物质的磁化规律, 比较不同铁磁材料的动态磁化特性。
2. 了解利用示波器测量铁磁材料动态磁滞回线的原理和方法。
3. 测绘铁磁样品的磁滞回线和基本磁化曲线。

## 二、 实验原理

### 2.1 铁磁材料的磁滞现象

图 2.1为铁磁物质磁感应强度  $B$  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  $B=0$ ,  $H=0$ . 当磁场的  $H$  从零开始增加时, 磁感应强度  $B$  随之缓慢上升, 如线段  $Oa$  所示; 继之  $B$  随  $H$  迅速增长, 如线段  $ab$  所示; 其后  $B$  的增长又趋缓慢, 并当  $H$  增至  $H_m$  时,  $B$  到达饱和值.  $OabS$  称为起始磁化曲线。当磁场从  $H_m$  逐渐减小至零, 磁感应强度  $B$  并不沿起始磁化曲线恢复到原点  $O$ , 而是沿另一条新曲线  $SR$  下降。比较线段  $OS$  和  $SR$  可知, 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  $H=0$  时,  $B$  不为零, 而保留剩磁  $B$ 。

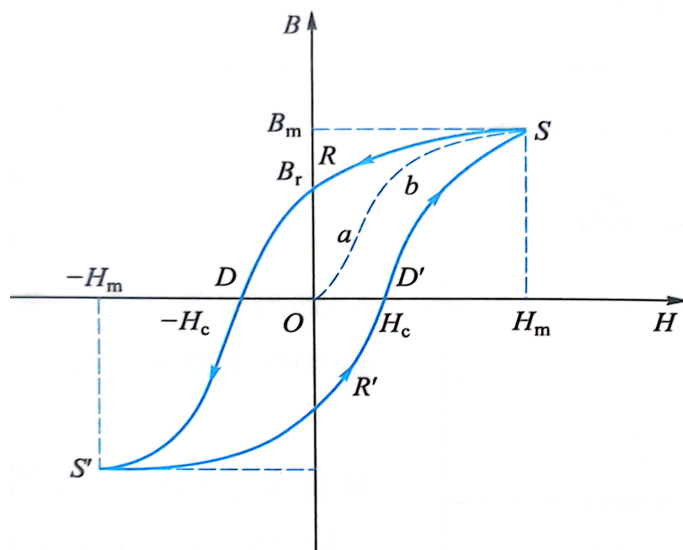


图 1: 铁磁材料磁滞回线

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

图 2.1 还表明, 当磁场按

$$H_m \rightarrow 0 \rightarrow -H_e \rightarrow -H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_e \rightarrow H_m$$

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, 这条闭合曲线称为磁滞回线。所以, 当铁磁材料处于交变磁场中时 (如变压器中的铁芯), 将沿磁滞回线反复被磁化  $\rightarrow$  去磁  $\rightarrow$  反向磁化  $\rightarrow$  反向去磁, 在此过程中要消耗额外的能量, 并以热的形式从铁磁材料中释放, 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, 当初始态为  $H=0, B=0$  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, 由此可近似确定其磁导率  $\mu = \frac{B}{H}$ 。因  $B$  与  $H$  的关系成非线性, 故铁磁材料的  $\mu$  不是常数, 而是随  $H$  而变化, 如图 3 所示. 铁磁材料的相对磁导率可高达数千乃至数万, 这一特点是它用途广泛的主要原因之一。

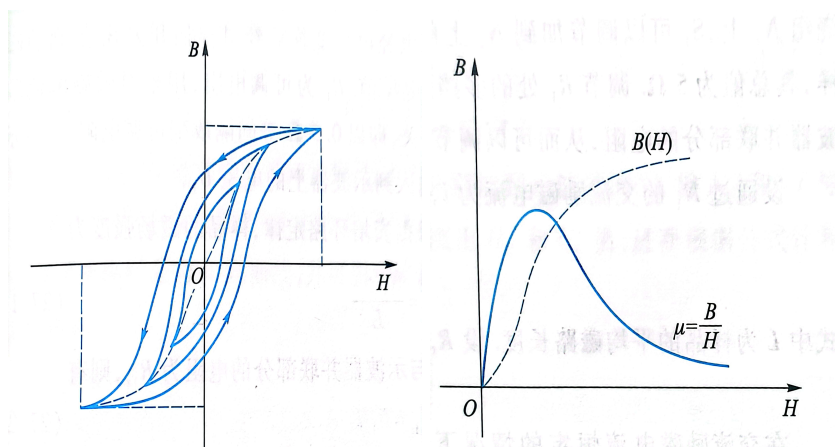


图 2: 同一材料的一簇磁滞曲线      图 3: 铁磁材料  $\mu$  和  $H$  的关系

磁化曲线和磁滞回线是铁磁材料分类和选用的重要依据，图 2.1 为常见的两种典型的磁滞回线。其中软磁材料磁滞回线狭长，矫顽力、剩磁和磁滞损耗均较小，是制造变压器、电机、和交流磁铁的主要材料；而硬磁材料磁滞回线较宽，矫顽力大，剩磁强，可用来制造永磁体。

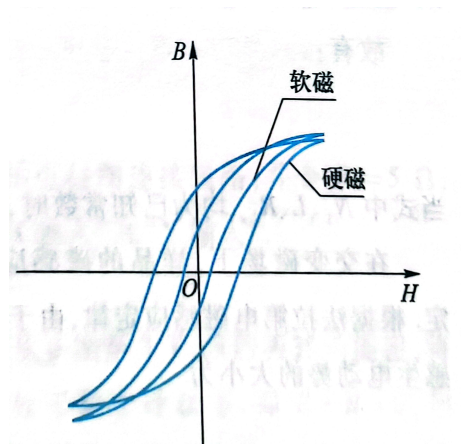


图 4: 不同材料的磁滞回线

## 2.2 用示波器观察和测量磁滞回线的实验原理和线路

在用示波器观察时，示波器工作在 XY 工作模式，其中 x 轴输入为磁场强度 H，y 轴输入为磁感应强度 B。观察和测量磁滞回线和基本磁化曲线

在图 2.2 中待测样品为 EI 型砂钢片，被制为闭合的环形，然后均匀绕以励磁线圈  $N_1$ ，和测量线圈  $N_2$ 。220V 的交流电经电压变换后经过多挡开关  $S_1$ ，加到励磁绕组  $N_1$  上， $S_1$  可以调节加到  $N_1$  上的电压值。 $R_1$  为可调电阻，用来对励磁电流取样，其总值为  $5\Omega$ 。调节  $R_1$  处的多挡开关，即以  $0.5\Omega$  等间隔改变可调电阻  $R_1$  与示波器并联部分的电阻，从而可以调节输入到示波器上的电压  $U_H$ 。

$$H = \frac{N_1 \cdot i}{L} \quad (1)$$
$$U_H = R_{1s}i \quad (2)$$
$$H = \frac{N_1}{LR_{1s}} \cdot U_H \quad (3)$$

当式中  $N_i$ 、 $L$ 、 $R_1$  均已知的常数时，可由  $U_H$  确定  $H$  的值。

在交变磁场下，样品的磁感应强度瞬时值  $B$  由测量线圈和  $R_2C_2$  电路来确定，根据法拉第电磁感应定律，由于样品中磁通量  $\Phi$  的变化，在测量线圈中产生的感生电动势的大小为

$$\varepsilon_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{1}{N_2} \int \varepsilon_2 dt \quad (5)$$

$$B = \frac{\varepsilon}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int \varepsilon dt \quad (6)$$

式中  $S$  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

$$\varepsilon_2 = i_2 R_2 + U_B \quad (7)$$

式中  $i_2$  为感生电流， $U_B$  为积分电容  $C_2$  两端电压，设在  $\Delta t$  时间内  $i_2$  向电容  $C_2$  充电电荷量为  $Q$ ，则有

$$U_B = \frac{Q}{C_2} \quad (8)$$

$$\varepsilon_2 = i_2 R_2 + \frac{Q}{C_2} \quad (9)$$

如果选取足够大的  $R_2$  和  $C_2$ ，使  $i_2 R_2 \gg \frac{Q}{C_2}$

$$\varepsilon_2 = i_2 R_2 = \frac{dQ}{dt} R_2 = C_2 \frac{dU_B}{dt} R_2 \quad (10)$$

上式中可由  $U_B$  确定  $B$ ，则有

$$B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_B \quad (11)$$

综上所述，只要将  $U_H$  和  $U_B$  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，并可用示波器测出  $U_H$  和  $U_B$  值，进而根据公式计算出  $B$  和  $H$ 。

### 三、 实验装置器材介绍

磁滞回线实验仪、示波器

### 四、 实验内容及实验步骤

#### 4.1 电路连接

选择硅钢片材料（蓝色）磁芯，按电路图连接线路，并令  $R_1 = 5\Omega$ ，“U 选择”置于 0 位。 $U_H$  和  $U_B$ ，分别接示波器的“X 输入”和“Y 输入”。

#### 4.2 样品退磁

开启实验仪电源，转动“U 选择”旋钮，令  $U$  从 0 增至 3V，然后再转动旋钮，将  $U$  从最大值降为 0，从而消除剩磁，确保样品处于磁中性状态，即  $B=H=0$ ，如图 6 所示。

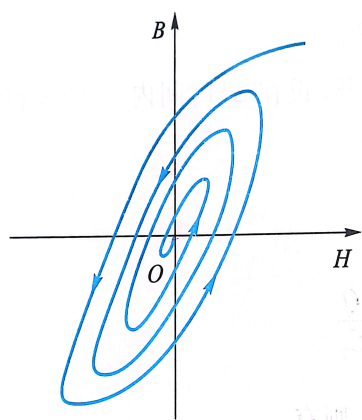


图 6: 退磁示意图

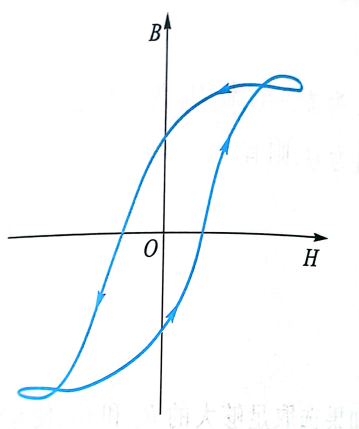


图 7: 调节不当引起的畸变现象

#### 4.3 观察退磁回线

令  $U=3.0V$ ，开启示波器电源，并分别调节示波器 X 和 Y 轴的灵敏度，使显示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 7 所示，这时应该检查示波器的通道输入方式，一般应选择“DC”，或



者 X 通道 “AC”，Y 通道 “DC”，并适当选择  $R_1$  值，或降低励磁电压 U 予以消除。

#### 4.4 观察基本磁化曲线

按步骤 2 对样品进行退磁，从  $U=0$  开始，逐挡提高励磁电压，将在显示屏上得到面积由小到大一个套一个的一簇磁滞回线，记录下这些磁滞回线顶点的 B 和 H 的值，并将 B 和 H 的值作图连线就是样品的基本磁化曲线。

#### 4.5 已知条件

调节  $U=3.0\text{ V}$ ， $R_1 = 5\Omega$ ，测定样品的一组  $U_B$ 、 $U_H$  值，并根据已知条件： $L=75\text{ mm}$ ， $S=120\text{ mm}^2$ ， $C_2 = 20\mu F$ ， $R_2 = 10k\Omega$ ， $N=60$  匝，计算出相应的 B 和 H 的值。

#### 4.6 $W_{BH}$

根据得到的 B 和 H 的值作 B-H 曲线，根据曲线求得  $B_m B_r H_c$  等参数，并估算曲线的面积来求得  $W_{BH}$ 。

#### 4.7 $\mu - H$ 曲线

依次测定  $U=0.5、1.0、\dots、3.5\text{ V}$  十组  $U_H U_B$ ，计算得出相应的  $H_m H_m \mu$ ，作出  $\mu - H$  曲线。

#### 4.8 不同曲线观察

改变  $R_1$ ，观察不同的磁化曲线。

#### 4.9 二次测量

更换样品为另一个磁芯 ( $N_1 = 90$  匝)，重复上述步骤，并对比两种材料的测量结果。

## 五、 实验原始数据

华东师范大学  
物理实验报告

班级 \_\_\_\_\_ 同组者 \_\_\_\_\_ 姓名学号 \_\_\_\_\_  
组别 \_\_\_\_\_  
姓名学号 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

---

实验题目: 黑 3V 5Ω

U <sub>A</sub> X	CH <sub>1</sub> 模	0.5V	X -1.02V	Y 160mV
UB Y	CH <sub>2</sub> 模	0.9V	-1.26V	300mV
		1.2V	-1.04V	400mV
		1.5V	-1.10V	560mV
		1.8V	-1.26V	680mV
		2.1V	-1.26V	800mV
		2.4V	-1.26V	920mV
		2.7V	-1.26V	980mV
		3.0V	-1.26V	102mV
X 0.5	-1.00V	Y 0.5	1.00V	11.6 -960mV
1.2ms	-600mV	1.2ms	1.00V	11.6 -960mV
1.6ms	-440mV	1.6	980mV	12 -920mV
2.4ms	-280mV	2	920mV	12.4 -880mV
3.2ms	80mV	2.4	880mV	12.8 -840mV
3.6ms	280mV	2.8	820mV	
4.0ms	680mV	3.2	760mV	
4.8ms	980mV	3.6	680mV	
5.2ms	1V	4.0	560mV	
6.0ms	1.19V	4.4	480mV	
6.8ms	1.32V	4.8	380mV	
7.2ms	1.34V	5.2	280mV	
8.0ms	1.40V	5.6	20mV	
8.4ms	1.28V	6.0	-20mV	
9.2ms	1.56V	6.4	-400mV	
9.6ms	1.14V	6.8	-580mV	
10.4ms	880mV	7.2	-740mV	
10.8ms	140mV	7.6	-900mV	
11.6ms	440mV	8.0	-1040mV	
12ms	280mV	8.4	-1080mV	
12.8ms	80mV	8.8	-1100mV	
13.2ms	-280mV	9.2	-1120mV	
14.4ms	-760mV	9.6	-1080mV	
16.6ms	-1.12V	10.0	-1060mV	
16.8ms	-1.30V	10.4	-1060mV	
18ms	-1.38V	10.8	-1040mV	
19.2ms	-1.26V			
20.4ms	-980mV			

87  
12.15

图 8: 实验原始数据 1

91

X	0	-1V	Y	0	1.24			
4.00	-840 mV		4.00	1.24 V	0.5	1.44	200 mV	
8.00	-720		8.00	1.2 V	0.9	1.44	360	
1.2	-560		1.2	1.18 V	1.2	1.44	480	
1.6	-400		1.6	1.14 V	1.5	1.44	580	
2	-200		2	1.1 V	1.8	1.44	720	
2.4	-80		2.4	1.04 V	2.1	1.44	860	
2.8	160		2.8	1 V	2.4	1.44	980	
3.2	360		3.2	880 mV	2.7	1.44	1.1	
3.6	560		3.6	840 mV	3	1.44	1.16	
4	680		4	760 mV				
4.4	840		4.4	620 mV				
4.8	960		4.8	480 mV				
5.2	1.08 V		5.2	360 mV				
5.6	1.2 V		5.6	200 mV				
6.0	1.24 V		6.0	40 mV				
6.4	1.32 V		6.4	-140 mV				
6.8	1.4 V		6.8	-320 mV				
7.2	1.44 V		7.2	-600 mV				
8.4	1.4 V		8.4	-1.02 V				
9.2	1.24 V		9.2	1.20 V				
10.0	9.60 mV		10.0	-1.24 V				
10.8	720 mV		10.8	-1.2 V				
11.6	560 mV		11.6	-1.14 V				
12.4	400 mV		12.4	-1.06 V				
13.2	-480 mV		13.2	-920 mV				
14.0	-680 mV		14.0	-720 mV				
14.8	-960 mV		14.8	-500 mV	11.6	620 mV		
15.2	-1.08 V		15.2	-340 mV	14.4	1.02 V		
16.0	-1.24 V		16.0	0 V	19.2	1.24 V		
17.6	-1.44 V		16.8	360 mV				
18.4	-1.4 V							

图 9: 实验原始数据 2

## 六、 实验数据处理

## 七、 思考题

### 7.1 思考题一

### 7.2 思考题二

## 八、 实验中个人的思考与感想

### 8.1 对于实验个人观点

### 8.2 实验中的总结