

序号: 1	实验 2
时间: 年 11 月 14 日	
上午	下午

实验报告

课程名称:

实验名称:

磁滞回线实验

实验日期:

2023

年

11

月

14

日

班 级:

教学班级:

赛玲玉老师班

学 号:

一、实验目的

1. 理解磁化曲线和磁滞回线的概念。
2. 测绘铁磁材料样品的基本磁化曲线和磁滞回线。
3. 根据磁滞回线确定铁磁材料的饱和磁感应强度、剩磁和矫顽力等参数。
4. 比较两种铁磁物质的磁化特性不同。

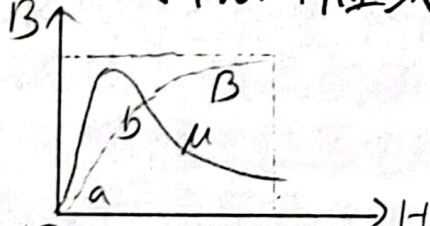
二、实验仪器

磁滞回线实验仪、示波器。

三、实验原理

1. 起始磁滞曲线

磁性物质内部的磁感应强度 B 和磁场强度 H 之间的关系为 $B = \mu H$ 。其中 μ 为磁介质的磁导率。对于铁磁材料, μ 不是一个常量, 而是随 H 的变化而变化, 即 B 与 H 之间的关系是非线性的。铁磁材料在未被磁化时的状态称为去磁状态, 此时 $H = 0$, $B = 0$ 。这时若在铁磁材料上加一个由小到大的磁化场, 则铁磁材料内部的磁场强度 H 与磁感应强度 B 也随之变大。在磁场强度 H 从零开始增加的初始阶段, 磁感应强度 B 随之缓慢上升, 如图 1 中的 $B-H$ 曲线 Oa 段所示; 继之 B 随 H 迅速增长, 如 ab 段所示; 其后 B 的增长又趋缓慢, 并当 H 增至 H_m 时, B 几乎不再随 H 的增加而增加, 此时磁化已达饱和, 饱和值为 B_m 。如图 1 中 $B-H$ 曲线所示, 从未磁化到饱和磁化的这段磁化曲线 $Oabc$ 称为起始磁化曲线, 这个过程中 μ 的变化如图中的 $\mu-H$ 曲线所示。



联系方式: 图 1 起始磁化曲线和 μ 与 H 的关系

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班级: _____ 教学班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____

2. 磁滞回线

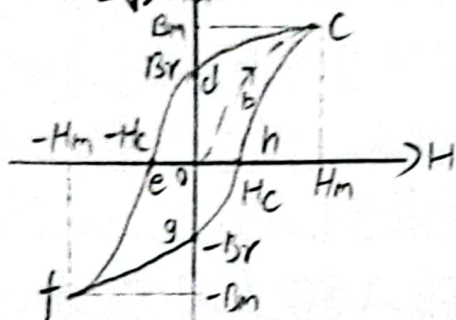


图2 铁磁材料的磁滞回线

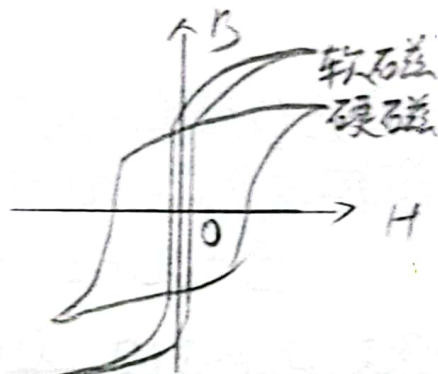


图3 软磁材料和硬磁材料的磁滞回线

3. 退磁

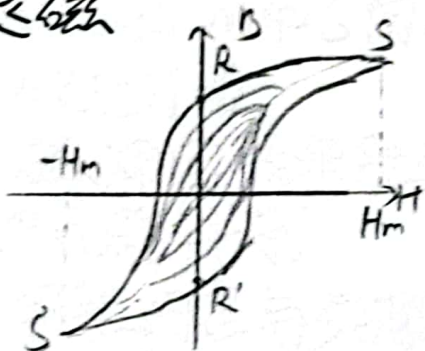


图4 增大交流磁场

4. 用示波器观察磁滞回线的原理

待测样品为E型铁芯, N_1 为励磁绕组, N_2 为用来测量磁感应强度 B 而设置的绕组。 R_1 为励磁电流取样电阻, 设加在 N_1 两端的交流电压为 U_1 , 通过 N_1 的交流励磁电流为 i_1 , 则 $i_1 = \frac{U_1}{R_1}$ 。根据安培环路定律, 样品的磁化场强 $H = \frac{N_1 \cdot i_1}{L} = \frac{N_1}{L R_1} U_1$ 。其中 L 为样品的平均磁路长度。式中 N_1, L, R_1 均为已知量, 所以知道了 U_1 即可确定 H 。

在交变磁场下, 样品的磁感应强度瞬时值 B 是由绕量组数和 C 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生电动势的大小为 $\mathcal{E}_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$, $\Phi = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \int \mathcal{E}_2 \cdot d\mathbf{l}$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int \epsilon_2 dt$, 其中 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 $\epsilon_2 = i_2 R_2 + U_C$
式中 i_2 为感生电流, U_C 为积分电容 C_2 两端电压。设在 Δt 时间内,
 i_2 向电容 C_2 充电的电荷量为 Q , 则 $U_C = \frac{Q}{C_2}$, $\epsilon_2 = i_2 R_2 + \frac{Q}{C_2}$

如果选取足够大的 R_2 和 C_2 使 $i_2 R_2 \gg \frac{Q}{C_2}$, 则 $\epsilon_2 = i_2 R_2$, 又因 $i_2 = \frac{dQ}{dt} = C_2 \frac{dU_C}{dt}$
所以 $\epsilon_2 = C_2 R_2 \frac{dU_C}{dt}$, 联立可得 $B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_C$ 。

式中 $C_2 R_2$, N_2 和 S 均为已知量, 所以测定 U_C 就可得到 B

四. 仪器介绍

磁滞回线实验仪主要包括励磁电源、样品、实验面板和其他元器件等。

五. 实验内容与步骤

1. 测量前准备
2. 测量基本磁化曲线
3. 测量磁滞回线
4. 换样品 2, 重复上述测量

六. 数据处理与分析

七. 经验提示

八. 实验思想方法精要

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

原始数据

1. 测量样品1的磁滞回线 ($V=3.5V$ $R=5\Omega$, CH_1 灵敏度= $1.00V$, CH_2 灵敏度= $50\mu V$)

	$U_H(V)$	$U_B(mV)$	$H(A/m)$	$B(T)$
1	3.7	110	592	0.917
2	2.0	105	320	0.875
3	1.0	95	160	0.792
4	0	80	0	0.667
5	-1.0	30	-160	0.250
6	-1.2	0	-192	0
7	-1.6	-80	-256	-0.417
8	-2.0	-85	-320	-0.708
9	-3.7	-110	-592	-0.917
10	-2.0	-105	-320	-0.875
11	-1.0	-95	-160	-0.792
12	0	-80	0	-0.667
13	1.0	-30	160	-0.250
14	1.2	0	192	0
15	1.6	50	256	0.417
16	2.0	85	320	0.708

$$H = \frac{N_1}{L R_1} U_H \quad L = 75mm$$

$$N_1 = 60 \text{ 匝}$$

$$R_1 = 5\Omega$$

$$B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_B^{10^{-5}} \quad C_2 = 20 \mu F$$

$$R_2 = 10k\Omega$$

$$N_2 = 200$$

$$S = 120mm^2$$

2. 测量样品1的基本磁化曲线

$U(V)$	$U_H(V)$	$U_B(mV)$	$H(A/m)$	$B(T)$	$\mu = \frac{B}{H}$
0.5	0.5	20	80	0.167	0.0021
0.9	0.7	35	112	0.292	0.0026
1.2	0.8	50	128	0.417	
1.5	1.0	60	160	0.500	
1.8	1.2	75	192	0.625	
2.1	1.5	85	240	0.708	
2.4	2.0	90	320	0.750	
2.7	2.5	100	400	0.833	
3.0	3.0	105	480	0.875	
3.5	3.7	110	592	0.917	

联系方式: _____

序号:	实验 2
指导教师签字:	年 月 日
时间:	上午 下午 晚上

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

3. 测量样品2的磁滞回线

	$U_H(V)$	$U_B(mV)$	$H(A/m)$	$B(T)$
1	2.6	130		
2	2.0	125		
3	1.0	110		
4	0.3	100		
5	0	85		
6	-0.2	50		
7	-0.3	0		
8	-0.4	-50		
9	0.7	-100	(开始没想测这点)	
10	-1.0	-110		
11	-2.0	-125		
12	-2.6	-130		
13	-0.3	-100		
14	0	-85		
15	0.2	-50		
16	0.3	0		
	0.4	50		

4. 测量样品2的基本曲线

$U(V)$	$U_H(V)$	$U_B(mV)$	$H(A/m)$	$B(T)$	$\mu = \frac{B}{H}$
0.5	0.1	25			
0.9	0.2	40			
1.2	0.2	50			
1.5	0.3	65			
1.8	0.4	80			
2.1	0.7	95			
2.4	1.0	105			
2.7	1.7	110			
3.0		120			
3.5	2.6	130			

联系方式: _____

指导教师签字: _____

磁滞回线

样品一	U _H (V)	U _B (mV)	H (A/m)	B (T)
1	3.7	110	592	0.917 B _m
2	2.0	105	320	0.875
3	1.0	95	160	0.792
4	0.0	80	0	0.667 B _r
5	-1.0	30	-160	0.250
6	-1.2	0	-192	0.000
7	-1.6	-50	-256	-0.417
8	-2.0	-85	-320	-0.708
9	-3.7	-110	-592	-0.917
10	-2.0	-105	-320	-0.875
11	-1.0	-95	-160	-0.792
12	0.0	-80	0	-0.667
13	1.0	-30	160	-0.250
14	1.2	0	192	0.000
15	1.6	50	256	0.417
16	2.0	85	320	0.708
U (V)	U _H (V)	U _B (mV)	H (A/m)	B (T)
0.5	0.5	20	80	0.167
0.9	0.7	35	112	0.292
1.2	0.8	50	128	0.417
1.5	1.0	60	160	0.500
1.8	1.2	75	192	0.625
2.1	1.5	85	240	0.708
2.4	2.0	90	320	0.750
2.7	2.5	100	400	0.833
3.0	3.0	105	480	0.875
3.5	3.7	110	592	0.917

磁滞回线

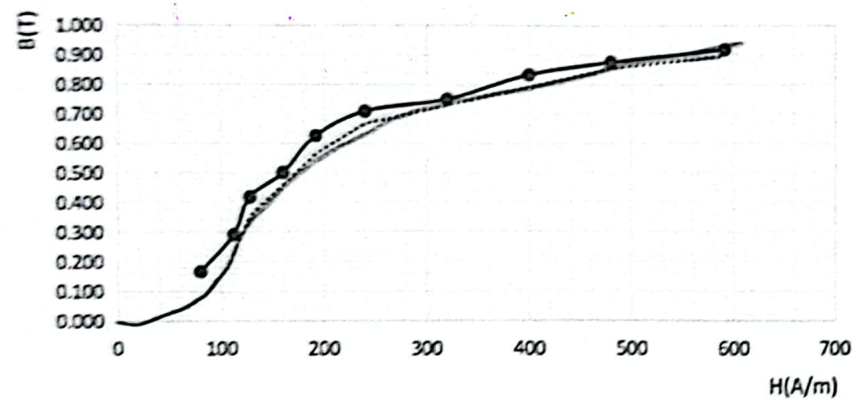
样品二	U _H (V)	U _B (mV)	H (A/m)	B (T)
1	2.6	130	624	1.083 B _m
2	2.0	125	480	1.042
3	1.0	110	240	0.917
4	0.3	100	72	0.833
5	0.0	85	0	0.708 B _r
6	-0.2	50	-48	0.417
7	-0.3	0	-72	0.000
8	-0.4	-50	-96	-0.417
9	-1.0	-110	-240	-0.917
10	-2.0	-125	-480	-1.042
11	-2.6	-130	-624	-1.083
12	-0.3	-100	-72	-0.833
13	0.0	-85	0	-0.708
14	0.2	-50	48	-0.417
15	0.3	0	72	0.000
16	0.4	50	96	0.417
U (V)	U _H (V)	U _B (mV)	H (A/m)	B (T)
0.5	0.1	25	24	0.208
0.9	0.2	40	48	0.333
1.2	0.2	50	48	0.417
1.5	0.2	65	48	0.542
1.8	0.3	80	72	0.667
2.1	0.4	95	96	0.792
2.4	0.7	105	168	0.875
2.7	1.0	110	240	0.917
3.0	1.7	120	408	1.000
3.5	2.6	130	624	1.083

(峰值)

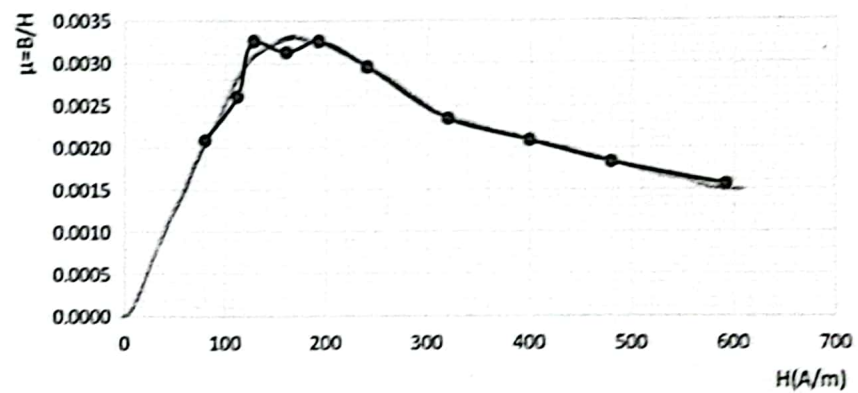
(与H轴交点)

(与B轴交点)

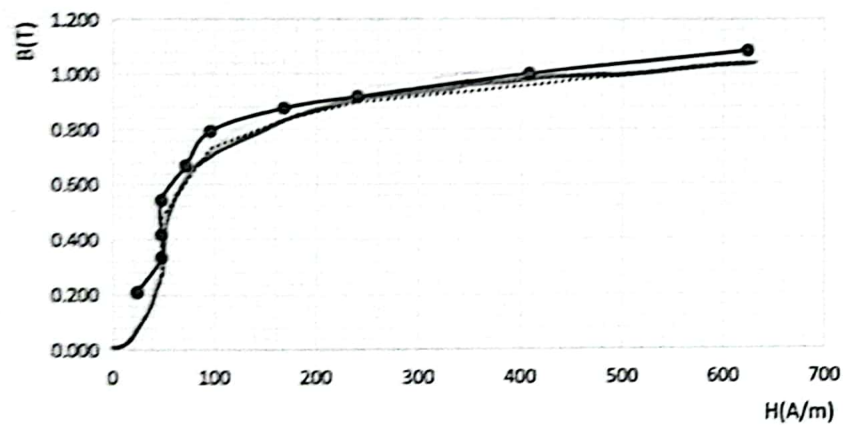
样本一 基本磁化曲线



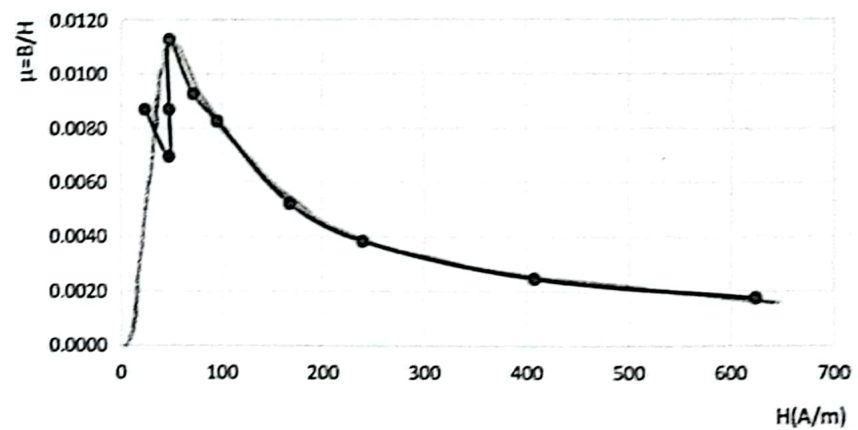
样品一 μ -H关系图



样本二 基本磁化曲线



样品二 μ -H关系图



实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

数 据 处 理

1. 根据测量结果进行计算, 画出样品1, 2的磁滞回线基本磁化曲线 $\mu-H$ 关系图。

$$H = \frac{N_1}{LR_1} U_H, \quad B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_B$$

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$L = 75 \text{ mm}$

$N_1 = 60 \text{ 匝 (样品1)}$

$N_1 = 90 \text{ 匝 (样品2)}$

$R_1 = 5 \Omega$

$C_2 = 20 \mu\text{F}$

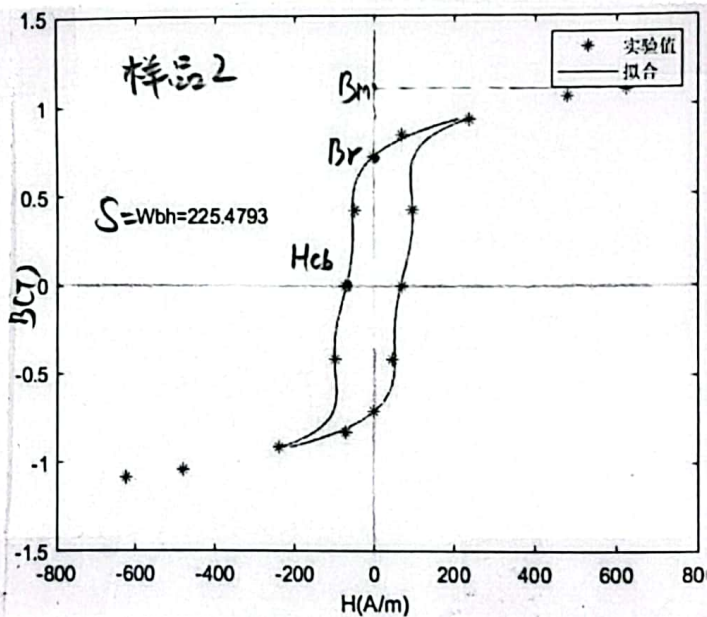
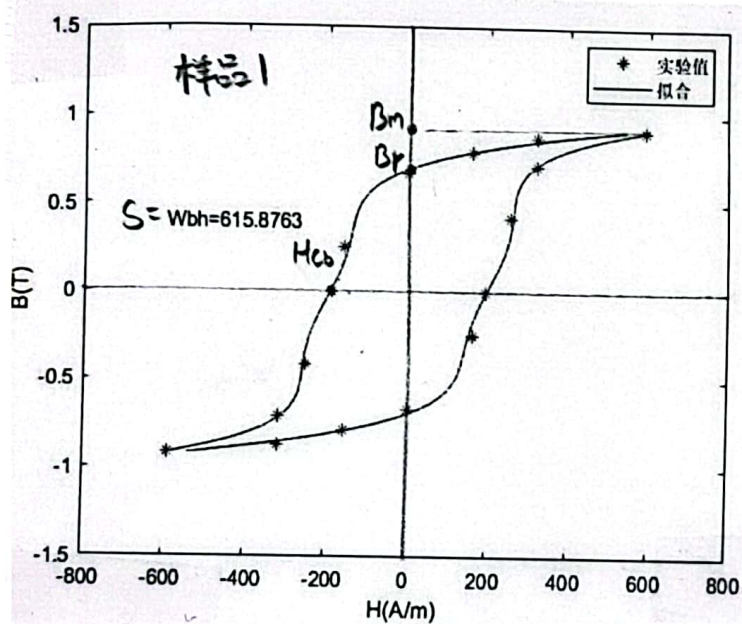
$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

$N_2 = 200 \text{ 匝}$

$S = 120 \text{ mm}^2$

将数据用Excel整理, 并绘图
得上页表格和图像。

下图为matlab拟合的磁滞回线



2. 由磁滞回线, 计算:

饱和磁感应强度 B_m

剩磁 B_r

矫顽力 H_c

磁滞损耗 W_{bh}

样品1

0.917 (T)

0.667 (T)

192 (A/m)

615.88

样品2

1.083 (T)

0.708 (T)

72 (A/m)

225.48

联系方式: _____

指导教师签字: _____

PS: B_m, B_r, H_c 可由取点得到, 已在表格标出

北京理工大学良乡校区管理处监制

电话: 81382088

W_{bh} 可由matlab计算面积得到, 源码和取点方式在最后

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

3. 比较并描述两种样品的磁化性能

①样品1的磁滞回线较宽,矫顽力大,剩磁强,是硬磁材料,适宜于制造永磁体。同时它磁滞损耗大,会使能量转化为热能,设备升温,效率降低。

②样品2的磁滞回线狭长,矫顽力、剩磁和磁滞损耗较小,适用于制造电机、变压器、继电器、交流磁铁。
是软磁材料

③比较: 样品2比样品1更易磁化,易退磁,且能量损失小。
↓ ↓
变压器 永磁体

思考题

1. 实验测量前为什么要将样品先进行退磁?

答: 样品被磁化后,当外磁场强度 H 成为0后,由于磁化过程具有不可逆性和剩磁的特点,须将其退磁才能保证测得的基本磁化曲线都由原始状态开始的磁特性体现。

2. 起始磁化曲线与基本磁化曲线有什么不同?

答: 起始磁化曲线是一块未磁化的铁磁材料进行磁化,形成的 B 和 H 关系变化的曲线。

基本磁化曲线是铁磁材料周期性磁化后,形成的不同磁滞回线顶点连接得到的曲线。

联系方式: _____

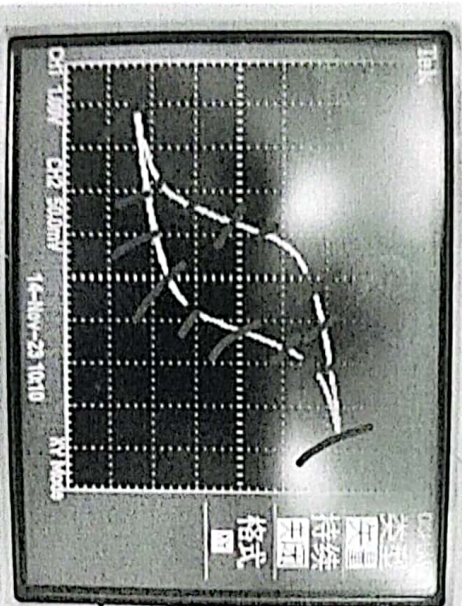
指导教师签字: _____

Matlab 源. 码 (以样品二为例)

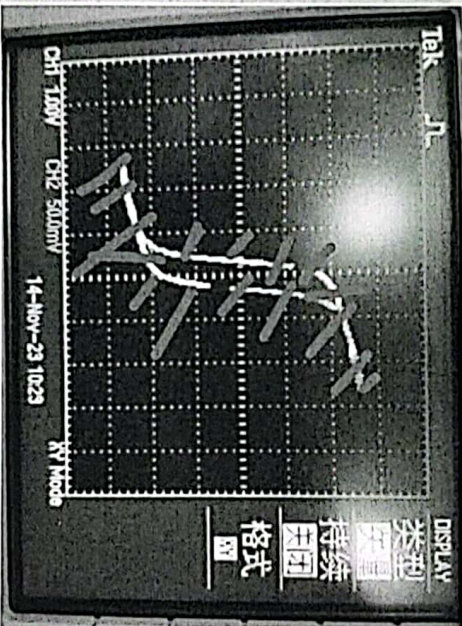
```

1 %样品二
2 x1=[1.083 1.042 0.917 0.833 0.708 0.417 0.000 -0.417 -0.917 -1.042 -1.083];
3 y1=[624 480 240 72 0 -48 -72 -96 -240 -480 -624]; %第一组磁滞回线实验数据
4 p1 = polyfit(x1,y1,4); %六次多项式拟合
5 xx1=0.917:-0.0001:-0.917; %B的变化区间
6 f1 = polyval(p1,xx1); %计算拟合函数下H的数值
7 plot(y1,x1,'r','f1,xx1','b-'); %绘制磁滞回线散点图和相应的拟合曲线
8 hold on;
9 x2=[-1.083 -1.042 -0.917 -0.833 -0.708 -0.417 0 -0.417 0.917 1.042 1.083];
10 y2=[-624 -480 -240 -72 0 48 72 96 240 480 624]; %第二组磁滞回线实验数据,绘图与拟合同
11 p2 = polyfit(x2,y2,4);
12 xx2=-0.917:0.0001:0.917;
13 f2 = polyval(p2,xx2);
14 plot(y2,x2,'r','f2,xx2','b-');
15 legend('实验值','拟合');
16 axis([-800 800 -1.5 1.5]);
17 xlabel('H(A/m)');
18 ylabel('B(T)');
19 By=[xx1,xx2];
20 Hx=[f1,f2]; %确定磁滞回线的图形范围
21 Wbh = polyarea(Hx,By); %计算面积
22

```



样品一磁滞回线取点



样品二磁滞回线取点