

《基础物理实验》实验报告

实验名称: 实验名称实验名称实验名称 指导教师: 朱中柱 zhuzz@ihep.ac.cn
 姓名: 小明 学号: 1111K8009000099 班级/专业: 2999/专业名字 分组序号: 2-05
 实验日期: 2099.99.99 实验地点: 教学楼 999 是否调课/补课: 否 成绩: _____

目录

1 实验目的	2
2 实验仪器	2
2.1 DH4516 磁特性综合测量实验仪等	2
2.2 FD-BH-I 霍尔传感器磁滞回线和磁化曲线测定仪等	2
3 实验原理	3
3.1 铁磁材料的磁化特性	3
3.2 动态磁滞回线的测量	4
3.3 (准)静态磁化曲线和(准)静态磁滞回线的测量	4
4 实验内容与步骤	4
4.1 第一部分	4
4.1.1 实验一: 观测样品 1 (铁氧体) 的饱和动态磁滞回线	4
4.1.2 实验二: 测量样品 1 (铁氧体) 的动态磁化曲线	5
4.1.3 实验三: 观察不同频率下样品 2 (硅钢) 的动态磁滞回线	5
4.1.4 实验四: 测量样品 1 (铁氧体) 在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率	5
4.2 第二部分	5
4.2.1 实验一: 测量模具钢的(准)静态起始磁化曲线	5
4.2.2 实验二: 测量模具钢的(准)静态磁滞回线	5
5 实验结果与数据处理	6
5.1 第一部分	6
5.1.1 实验一: 观测样品 1 (铁氧体) 的饱和动态磁滞回线	6
5.1.2 实验二: 测量样品 1 (铁氧体) 的动态磁化曲线	8
5.1.3 实验三: 观察不同频率下样品 2 (硅钢) 的动态磁滞回线	9
5.1.4 实验四: 测量样品 1 (铁氧体) 在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率	9
5.2 第二部分	9
5.2.1 实验一: 测量模具钢的(准)静态起始磁化曲线	9
5.2.2 实验二: 测量模具钢的(准)静态磁滞回线	9
6 思考题	9
7 实验总结与心得体会	10
附录 A 手写预习报告	11
附录 B 原始数据记录表	11
附录 C Matlab 源码	11

1 实验目的

- (1) 掌握利用示波器测量铁磁材料动态磁滞回线的方法;
- (2) 掌握利用霍尔传感器测量铁磁材料(准)静态磁滞回线的方法;
- (3) 了解铁磁性材料的磁化特性;
- (4) 了解磁滞、磁滞回线和磁化曲线的概念, 加深对饱和磁化强度、剩余磁化强度、矫顽力等物理量的理解。

2 实验仪器

2.1 DH4516 磁特性综合测量实验仪等

DH4516 磁特性综合测量实验仪(包括正弦波信号源, 待测样品及绕组, 积分电路所用的电阻和电容)、双通道示波器、直流电源、电感、数字多用表。

其中, 磁特性综合测量实验仪的主要技术参数如下表所示:

表 1: 磁特性综合测量实验仪主要技术参数

样品	磁滞损耗	平均磁路长度 l	截面面积 S	线圈匝数 N
样品 1 (锰锌铁氧体)	较小	0.130 m	$1.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$N_1 = N_2 = N_3 = 150$
样品 2 (EI 型硅钢片)	较大	0.075 m	$1.20 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$N_1 = N_2 = N_3 = 150$

这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片

(a) DH4516 磁特性综合测量实验仪

这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片

(b) 双通道示波器和可编程电源

图 1: 第一部分实验的主要实验仪器

另外, 信号源的频率 f 在 20 Hz ~ 200 Hz 间可调; 可调标准电阻 R_1, R_2 均为线性无感交流电阻, R_1 的调节范围为 $0.1 \Omega \sim 11 \Omega$, R_2 的调节范围为 $1 \text{ K}\Omega \sim 100 \text{ K}\Omega$; 标准电容 C 在 $0.1 \mu\text{F} \sim 11 \mu\text{F}$ 间可调。

2.2 FD-BH-I 霍尔传感器磁滞回线和磁化曲线测定仪等

FD-BH-I 霍尔传感器磁滞回线和磁化曲线测定仪(包括数字式特斯拉计、恒流源、磁性材料样品、磁化线圈、双刀双掷开关、霍耳探头移动架、双叉头连接线、箱式实验平台)。

其主要技术指标如下:

- (1) 数字式特斯拉计: 四位半 LED 显示, 量程 $0 \sim 2.000 \text{ T}$; 分辨率 0.1 mT , 带霍耳探头;
- (2) 恒流源: 四位半 LED 显示, 可调恒定电流 $0 \sim 600.0 \text{ mA}$;
- (3) 磁性材料样品: 条状矩形结构, 截面长 2.00 cm ; 宽 2.00 cm ; 间隙宽(隙隔) $l_g = 2.00 \text{ mm}$; 平均磁路长度 $l = 0.240 \text{ m}$ (样品与固定螺丝为同种材料);
- (4) 磁化线圈总匝数 $N = 2000$ 。

[illegible][illegible]

这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的
图片这里可以放实验仪器的图片这里可以放实验仪器的图片

图 2: 这里可以放实验仪器的图片

3 实验原理

3.1 铁磁材料的磁化特性

把物体放在外磁场 H 中，物体就会被磁化，在其内部产生磁场。设其内部磁化强度为 M ，磁感应强度为 B ，即可定义磁化率 χ_m 和相对磁导率 μ_r ：

$$\chi_m = \frac{M}{H}, \quad \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (1)$$

其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$ 是真空磁导率。又由于 $B = \mu_0(M + H)$ ，所以 $\mu_r = 1 + \chi_m$ 。物质的磁性按磁化率可分为抗磁性 ($\chi_m < 0$)、顺磁性 ($\chi_m > 0$ 且较小) 和铁磁性 ($\chi_m > 0$ 且较大) 三种，其中铁磁性物质的磁化率通常大于 1，远大于前两类物质。

[illegible]

除磁导率高这一特点外，铁磁材料还具有特殊的磁化规律。对一个处于磁中性状态（即完全退磁，外磁场 $H = 0$ 时有 $B = 0$ ）的铁磁材料加上由小变大的磁场 H 进行磁化时，磁感应强度 B 随 H 的变化曲线大致分为三个阶段：(1) 可逆磁化阶段；(2) 不可逆化阶段；(3) 饱和磁化阶段。

如果磁场 H 在某个范围 $[-H_0, H_0]$ 间作循环变化, 那么 B 也会作循环变化, 从而 $B-H$ 图像成为一个闭合的回线, 称为磁滞回线。当 H_0 比较大时, 回线会有一段明显的饱和区 (平稳区), 此时得到的回线称为饱和磁滞回线, 如图 ?? 所示, H_s 和 B_s 分别称为饱和磁场强度与饱和磁感应强度。

[illegible][illegible]

- (2) 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。
- (3) 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。

这里是图片, 这里是图片, 这里是图片, 这里是图片, 这里是图片, 这里是图片, 这里是图片。

图 4: 第一部分实验一接线图

4.1.2 实验二: 测量样品 1 (铁氧体) 的动态磁化曲线

这里是实验步骤

- (1) 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。
- (2) 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。
- (3) 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。

4.1.3 实验三: 观察不同频率下样品 2 (硅钢) 的动态磁滞回线

这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。

4.1.4 实验四: 测量样品 1 (铁氧体) 在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率

这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤, 这里是实验步骤。

4.2 第二部分

4.2.1 实验一: 测量模具钢的 (准) 静态起始磁化曲线

4.2.2 实验二: 测量模具钢的 (准) 静态磁滞回线

5 实验结果与数据处理

下面是数据处理需要用到的公式, 在此一并列出:

$$\begin{aligned}
 &\text{第一部分中 } H \text{ 和 } B \text{ 的测量原理: } H = \frac{N_1}{l_{1,k} R_1} \cdot u_{R1}, \quad B = \frac{R_2 C}{N_2 S_k} \cdot u_C \\
 &\text{直流偏置下的测量原理: } H = \frac{N_3}{l_{1,k}} \cdot I, \quad \mu_R = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\mu_0 \Delta H} \\
 &\text{第二部分中 } H \text{ 和 } H_{re} \text{ 的测量原理: } H = \frac{N}{l_2} \cdot I, \quad H_{re} = \frac{N}{l_2} \cdot I - \frac{l_g}{\mu_0 l_2} \cdot B
 \end{aligned} \tag{6}$$

实验中可能需要的常量如下所示:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}, \quad l_{1,1} = 0.13 \text{ m}, \quad l_{1,2} = 0.075 \text{ m} \tag{7}$$

$$S_1 = 1.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2, \quad S_2 = 1.20 \times 10^{-4} \text{ m}^2, \quad N_k = 150 \tag{8}$$

$$l_2 = 0.240 \text{ m}, \quad l_g = 2 \times 10^{-3} \text{ m}, \quad N = 2000 \tag{9}$$

对于每个小实验, 我们会将对应的参数列出, 给出具体的数据换算公式, 然后代入计算。

5.1 第一部分

5.1.1 实验一: 观测样品 1 (铁氧体) 的饱和动态磁滞回线

(1) 本节我们使用样品 1, 参数 $f = 100 \text{ Hz}$, $R_1 = 2.0 \Omega$, $R_2 = 50.0 \text{ K}\Omega$, $C = 10 \mu\text{F}$, 于是有换算公式 (10)。我们共测得 13 个数据点, 原始电压测量结果见表 2, 换算结果见表 3。

数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理
数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理
数据处理数据处理数据处理。

$$y = x^2, \quad y = x^2, \quad y = x^2, \quad y = x^2, \quad y = x^2, \quad y = x^2, \quad y = x^2 \tag{10}$$

数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理
数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理
数据处理数据处理数据处理。

表 2: 原始电压数据点

[illegible]

表 3: 换算后的磁滞回线数据点

H (A · m ⁻¹)	B_1 (T)	B_2 (T)
0.001	-0.002	-0.003
0.001	-0.002	-0.003
0.001	-0.002	-0.003
0.001	-0.002	-0.003
0.001	-0.002	-0.003
0.001	0.002	-0.003
0.001	0.002	-0.003
0.001	0.002	0.003
0.001	0.002	0.003
0.001	0.002	0.003
0.001	0.002	0.003
0.001	0.002	0.003

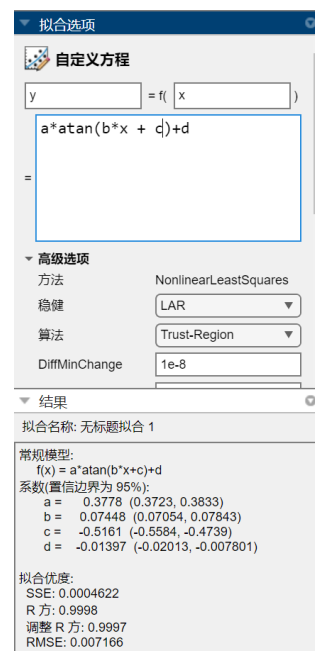


图 5: 拟合结果与优度

为了得到较准确的 B_r 和矫顽力 H_c ，我们利用 Matlab 软件对数据进行拟合，定义拟合函数为：

$$y = f(x) = a \arctan(bx + c) + d \quad (11)$$

其中 a, b, c, d 为待定常数。据此拟合磁滞回线的半支，拟合两次分别得到上下半支。拟合优度如图 5 所示。

数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理
数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理数据处理
数据处理数据处理数据处理。

依据原始数据和拟合结果,作出动态磁滞回线,如图6所示^①。实验时的实际图像如图7所示,结合优化参数和拟合图像,可以知道拟合效果极好,于是由此拟合结果可得 B_r 和 H_c :

$$B_r = 999999999 \text{ T} \quad , \quad H_c = 9999999999999999 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \quad (12)$$

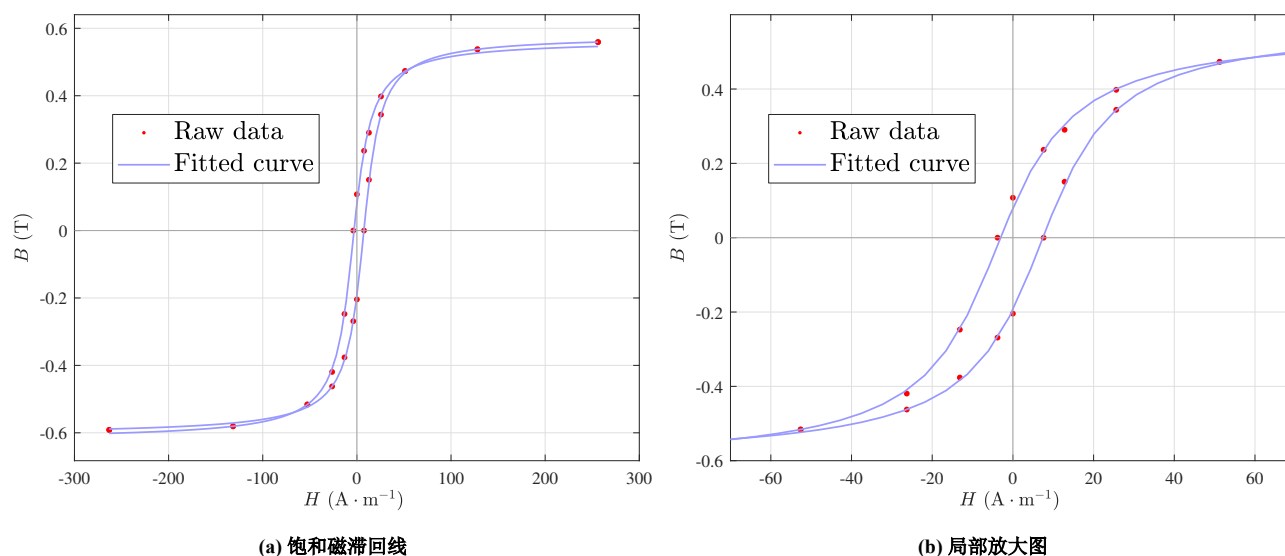
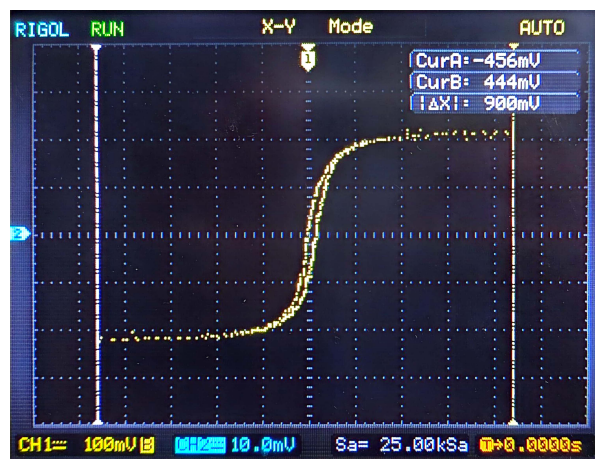
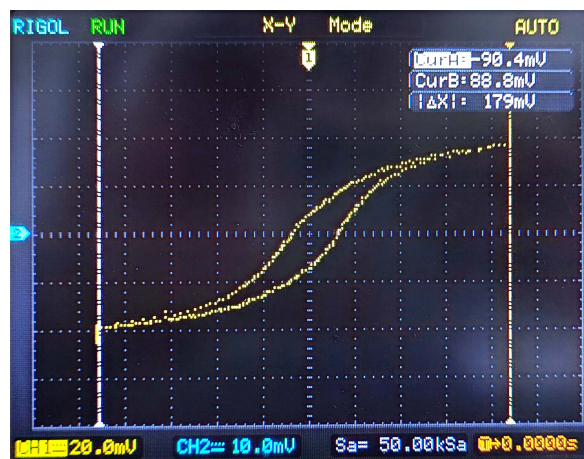


图 6: 磁感应强度 B 随外磁场 H 的变化情况

^①Matlab 源码见附录 7



(a) 饱和磁滞回线



(b) 局部放大图

图 7: 磁感应强度 B 随外磁场 H 的变化情况 (实物图)

(2) 仍利用公式 (10) 进行数值换算, 得到不同频率时的 B_r 和 H_c , 结果如下表所示:

(3) 改变积分常量 R_2C , 得到不同积分常量下的李萨如图形 (动态磁滞回线), 如下所示:

(a) $R_2C = 0.01 \text{ s}$

(b) $R_2C = 0.05 \text{ s}$

(c) $R_2C = 0.5 \text{ s}$

图 8: 不同积分常量下的李萨如图形

Q1. 为什么积分常量会影响 $u_{R_1} - u_c$ 李萨如图形的形状?

Q2. 积分常量是否会影响真实的 $B-H$ 磁滞回线的形状?

5.1.2 实验二: 测量样品 1 (铁氧体) 的动态磁化曲线

5.1.3 实验三: 观察不同频率下样品 2 (硅钢) 的动态磁滞回线

5.1.4 实验四: 测量样品 1 (铁氧体) 在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率

5.2 第二部分

5.2.1 实验一: 测量模具钢的 (准) 静态起始磁化曲线

5.2.2 实验二: 测量模具钢的 (准) 静态磁滞回线

表 4: 霍尔传感器测量样品的静态磁滞回线

序号	I (mA)	B (mT)	H ($A \cdot m^{-1}$)	H_{re} ($A \cdot m^{-1}$)	序号	I (mA)	B (mT)	H ($A \cdot m^{-1}$)	H_{re} ($A \cdot m^{-1}$)
1	0.001	0.002	0.003	0.004	28	0.005	0.006	0.007	0.008
2	0.001	0.002	0.003	0.004	29	0.005	0.006	0.007	0.008
3	0.001	0.002	0.003	0.004	30	0.005	0.006	0.007	0.008
4	0.001	0.002	0.003	0.004	31	0.005	0.006	0.007	0.008
5	0.001	0.002	0.003	0.004	32	0.005	0.006	0.007	0.008
6	0.001	0.002	0.003	0.004	33	0.005	0.006	0.007	0.008
7	0.001	0.002	0.003	0.004	34	0.005	0.006	0.007	0.008
8	0.001	0.002	0.003	0.004	35	0.005	0.006	0.007	0.008
9	0.001	0.002	0.003	0.004	36	0.005	0.006	0.007	0.008
10	0.001	0.002	0.003	0.004	37	0.005	0.006	0.007	0.008
11	0.001	0.002	0.003	0.004	38	0.005	0.006	0.007	0.008
12	0.001	0.002	0.003	0.004	39	0.005	0.006	0.007	0.008
13	0.001	0.002	0.003	0.004	40	0.005	0.006	0.007	0.008
14	0.001	0.002	0.003	0.004	41	0.005	0.006	0.007	0.008
15	0.001	0.002	0.003	0.004	42	0.005	0.006	0.007	0.008
16	0.001	0.002	0.003	0.004	43	0.005	0.006	0.007	0.008
17	0.001	0.002	0.003	0.004	44	0.005	0.006	0.007	0.008
18	0.001	0.002	0.003	0.004	45	0.005	0.006	0.007	0.008
19	0.001	0.002	0.003	0.004	46	0.005	0.006	0.007	0.008
20	0.001	0.002	0.003	0.004	47	0.005	0.006	0.007	0.008
21	0.001	0.002	0.003	0.004	48	0.005	0.006	0.007	0.008
22	0.001	0.002	0.003	0.004	49	0.005	0.006	0.007	0.008
23	0.001	0.002	0.003	0.004	50	0.005	0.006	0.007	0.008
24	0.001	0.002	0.003	0.004	51	0.005	0.006	0.007	0.008
25	0.001	0.002	0.003	0.004	52	0.005	0.006	0.007	0.008
26	0.001	0.002	0.003	0.004	53	0.005	0.006	0.007	0.008
27	0.001	0.002	0.003	0.004					

6 思考题

6.1 铁磁材料的动态磁滞回线与 (准) 静态磁滞回线在概念上有什么区别? 铁磁材料动态磁滞回线的形状和面积受那些因素影响?

(1) 区别:

(2) 影响因素:

6.2 什么叫做基本磁化曲线？它和起始磁化曲线间有何区别？

- (1) 初始磁化曲线:
- (2) 基本磁化曲线:
- (3) 区别:

6.3 铁氧体和硅钢材料的动态磁化特性各有什么特点？

- (1) 磁化特性:
(2) 磁滞损耗:

6.4 动态磁滞回线测量实验中，电路参量应怎样设置才能保证 $u_{R_1} - u_C$ 所形成的李萨如图形正确反映材料动态磁滞回线的形状？

6.5 准静态磁滞回线测量实验中，为什么要对样品进行磁锻炼才能获得稳定的饱和磁滞回线？

7 实验总结与心得体会

实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与
心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验
总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会。实验总结与心得体会，实验总结与心得体
会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与
心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验
总结与心得体会。

实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与
心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验
总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会。

实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与
心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验
总结与心得体会，实验总结与心得体会，实验总结与心得体会。^②

^②手写预习报告、原始数据记录表和 Matlab 源代码附在附录中。

附录 A 手写预习报告

附录 B 原始数据记录表

附录 C Matlab 源码

C.1 第一部分

C.1.1 实验一图 6 源码

```
1  clc, clear, close all
2  mu_0 = 4*pi*10^(-7)
3  l_11 = 0.13
4  l_12 = 0.075
5  N_1 = 150
6  N_2 = 150
7  N_3 = 150
8  S_1 = 1.24e-4
9  S_2 = 1.20e-4
10
11 N = 2000
12 l_2 = 0.24
13 l_g = 2e-3
14
15 % u_R1 即为 x
16 % u_C 即为 y
17 % 注意换算电压单位!! (乘 10^(-3))
18
19
20 R_1 = 2
21 R_2 = 50e3
22 C = 10e-6
23
24 N_1/(l_11*R_1)
25 R_2*C/(N_2*S_1)
26
27 % 横坐标
28 u_R1_array = 10^(-3)*[
29 -456 -228 -91.2 -45.6 -22.8 -6.60 ...
30 0.00 13.2 22.2 44.4 88.8 222 444
31 ];
32
33 % 纵坐标 (上半支)
34 u_C1_array = 10^(-3)*[
35 -22.0 -21.6 -19.2 -15.6 -9.20 0.00 ...
36 4.00 8.80 10.8 14.8 17.6 20.0 20.8
37 ];
38
39 % 纵坐标 (下半支)
40 u_C2_array = 10^(-3)*[
41 -22.0 -21.6 -19.2 -17.2 -14.0 -10.0 ...
```

```

42 -7.60 0.00 5.60 12.8 17.6 20.0 20.8
43 ];
44
45 H = N_1/(l_11*R_1) * u_R1_array;
46 B_1 = R_2*C/(N_2*S_1) * u_C1_array;
47 B_2 = R_2*C/(N_2*S_1) * u_C2_array;
48
49 % 用函数  $y = y(x) = a \arctan(b \cdot x + c) + d$  来拟合磁滞回线的半支
50
51 fit1 = Fit_HAndB(H, B_1);
52 fit2 = Fit_HAndB(H, B_2);
53
54 figure('Color', [1 1 1])
55 ax = axes;
56 sca = MyScatter_ax(ax, [H, H(end:-1:1)], [B_1, B_2(end:-1:1)]);
57 sca.scatter.scatter_1.SizeData = 100;
58 sca.scatter.scatter_1.MarkerEdgeColor = 'r';
59
60 x_array = linspace(H(1), H(end), 100);
61 p1 = MyPlot_ax(ax, x_array, fit1(x_array));
62 p2 = MyPlot_ax(ax, x_array, fit2(x_array));
63 xline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
64 yline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
65
66 p1.plot.plot_1.LineWidth = 1;
67 p2.plot.plot_1.LineWidth = 1;
68 p1.label.x.String = '$H \ \mathrm{(A \cdot m^{-1})}$';
69 p1.label.y.String = '$B$ (T)';
70 p1.legend.String = ["Raw data"; "Fitted curve"];
71
72 %MyExport_pdf
73
74 %ax2 = ax;
75 %xlim([-70, 70])
76 %MyExport_pdf
77
78 B_r = (fit1(0) - fit2(0))/2;
79 H_c = (fzero(@(x) fit2(x), 0) - fzero(fit1, 0))/2;
80
81 disp(['B_r = ', num2str(B_r)])
82 disp(['H_c = ', num2str(H_c)])
83
84 %MyPrint_xlsx([H', B_1', B_2'], 3)
85 %MyPrint_xlsx([u_R1_array', u_C1_array', u_C2_array'], 3)
86
87 %% 函数区
88 function [fitresult, gof] = Fit_HAndB(H, B)
89
90 [xData, yData] = prepareCurveData( H, B );
91
92 % 设置 fitttype 和选项。
93 ft = fitttype( 'a*atan(b*x+c)+d', 'independent', 'x', 'dependent', 'y' );
94 opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
95 opts.DiffMaxChange = 0.01;
96 opts.Display = 'Off';
97 opts.Robust = 'LAR';
98 opts.StartPoint = [0.496537318440195 0.308971081219392 0.8508 0.98199328087302];
99
100 % 对数据进行模型拟合。
101 [fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
102 end

```

C.1.2 实验二图 ?? 源码

```

1  clc, clear, close all
2
3  load('Global.mat')
4
5  R_1 = 2
6  R_2 = 50e3
7  C = 10e-6
8
9  Delta_u_R1_array = [
10  5.76  7.00  7.68  10.2  12.9  15.9  17.80  24.8  31.6  42.4 ...
11  54.4  61.6  68.0  74.4  85.6  93.6  110  137  158  1070
12  ]*10^(-3);
13
14  Delta_u_C_array = [
15  1.92  2.48  2.64  3.60  4.72  5.92  6.96  9.84  13.0  17.2 ...
16  21.2  23.2  25.2  26.4  28.8  30.4  32.4  34.4  36.0  42.4
17  ]*10^(-3);
18
19  N_1/(l_11*R_1)*0.5
20  R_2*C/(N_2*S_1)*0.5
21  1/mu_0
22
23  H_m = N_1/(l_11*R_1)*0.5 * Delta_u_R1_array;
24  B_m = R_2*C/(N_2*S_1)*0.5 * Delta_u_C_array;
25  mu_m = 1/mu_0 * B_m./H_m;
26
27
28  %MyPlot(H_m, B_m)
29  %MyPlot(H_m(1:end-1), mu_m(1:end-1))
30
31  % 拟合 H_m-B_m
32  fit_H_m = Fit_HAndB(H_m, B_m);
33
34  figure('Color', [1 1 1])
35  ax = axes;
36  sca = MyScatter_ax(ax, H_m, B_m);
37  sca.scatter.scatter_1.SizeData = 100;
38  sca.scatter.scatter_1.MarkerEdgeColor = 'r';
39
40  x_array = linspace(0, H_m(end)+20, 100);
41  p1 = MyPlot_ax(ax, x_array, fit_H_m(x_array));
42  xline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
43  yline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
44
45  p1.plot.plot_1.LineWidth = 1;
46  p2.plot.plot_1.LineWidth = 1;
47  p1.label.x.String = '$H_m \ \mathrm{(A \cdot m^{-1})}$';
48  p1.label.y.String = '$B_m$ (T)';
49  p1.legend.String = ["Raw data"; "Fitted curve"];
50
51  %MyExport_pdf
52
53  % 拟合 H_m-mu_m 图像
54  fit_mu_m = Fit_mu_m(H_m, mu_m);
55
56  figure('Color', [1 1 1])
57  ax = axes;
58  sca = MyScatter_ax(ax, H_m, mu_m);
59  sca.scatter.scatter_1.SizeData = 100;
60  sca.scatter.scatter_1.MarkerEdgeColor = 'r';
61

```

```

62 x_array = linspace(0, H_m(end)+20, 100);
63 p1 = MyPlot_ax(ax, x_array, fit_mu_m(x_array));
64 xline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
65 yline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
66
67 p1.plot.plot_1.LineWidth = 1;
68 p2.plot.plot_1.LineWidth = 1;
69 p1.label.x.String = '$H_m \ \mathrm{(A \cdot m^{-1})}$';
70 p1.label.y.String = '$\mu_m$ (1)';
71 p1.legend.String = ["Raw data"; "Fitted curve"];
72
73 MyExport_pdf
74
75 mu_i = fit_mu_m(0);
76 disp(['mu_i = ', num2str(mu_i, '%.4f')])
77
78 %MyPrint_xlsx([H_m', B_m', mu_m'], 3)
79 %MyPrint_xlsx(mu_m', 2)
80
81 %% 函数区
82 function [fitresult, gof] = Fit_HAndB(H, B)
83
84 [xData, yData] = prepareCurveData( H, B );
85
86 % 设置 fitttype 和选项。
87 ft = fitttype( 'a*atan(b*x+c)+d', 'independent', 'x', 'dependent', 'y' );
88 opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
89 opts.DiffMaxChange = 0.01;
90 opts.Display = 'Off';
91 opts.Robust = 'LAR';
92 opts.StartPoint = [0.496537318440195 0.308971081219392 0.8508 0.98199328087302];
93
94 % 对数据进行模型拟合。
95 [fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
96 end
97
98 function [fitresult, gof] = Fit_mu_m(H_m, mu_m)
99
100 [xData, yData] = prepareCurveData( H_m, mu_m );
101
102 % 设置 fitttype 和选项。
103 ft = fitttype( 'a*exp(b*x)+c*exp(d*x)+e', 'independent', 'x', 'dependent', 'y' );
104 opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
105 opts.Display = 'Off';
106 opts.Lower = [-100000 -2 -100000 -1 0];
107 opts.MaxFunEvals = 1000;
108 opts.StartPoint = [-10000 0.144954798223727 20000 0.5 0.350952380892271];
109 opts.Upper = [100000 0 100000 0 20000];
110
111 % 对数据进行模型拟合。
112 [fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
113
114 end

```

C.1.3 实验四图 ?? 源码

```

1 R_1 = 2
2 R_2 = 20e3
3 C = 2e-6
4
5 N_1/(1_11*R_1)
6 R_2*C/(N_2*S_1)
7

```

```

8  h = N_3/l_11
9  m = R_1*R_2*C*l_11/(mu_0*N_1*N_2*S_1)
10
11  I = [
12  0.005 0.01 0.015 0.02 0.025 0.03 0.035 0.04 ...
13  0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.15 0.2 0.3
14  ];
15
16  Delta_u_R_1 = [
17  2.60 7.60 7.40 11.6 11.6 18.8 18.4 24.8 ...
18  20.4 22.8 24.0 24.0 23.6 37.2 36.8 124 124
19  ];
20
21  Delta_u_C = [
22  5.60 14.8 12.0 15.0 12.2 15.0 12.2 13.6 ...
23  7.40 5.80 4.20 3.40 2.60 3.00 1.40 2.40 1.40
24  ];
25
26  H = h*I;
27  mu_R = m* Delta_u_C./Delta_u_R_1;
28
29  %MyPlot(H, mu_R)
30
31  % 拟合 mu_R
32  fit_mu_R = Fit_mu_R(H, mu_R);
33
34  figure('Color', [1 1 1])
35  ax = axes;
36  sca = MyScatter_ax(ax, H, mu_R);
37  sca.scatter.scatter_1.SizeData = 100;
38  sca.scatter.scatter_1.MarkerEdgeColor = 'r';
39
40  x_array = linspace(0, H(end)+20, 100);
41  p1 = MyPlot_ax(ax, x_array, fit_mu_R(x_array));
42  xline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
43  yline(0, 'Color', [0.5, 0.5, 0.5])
44
45  p1.plot.plot_1.LineWidth = 1;
46  p2.plot.plot_1.LineWidth = 1;
47  p1.label.x.String = '$H_m \ \mathrm{(A \cdot m^{-1})}$';
48  p1.label.y.String = '$\mu_R$ (1)';
49  p1.legend.String = ["Raw data"; "Fitted curve"];
50
51  %MyExport_pdf
52
53  %MyPrint_xlsx([H', mu_R'], 3)
54
55  function [fitresult, gof] = Fit_mu_R(H, mu_R)
56      [xData, yData] = prepareCurveData( H, mu_R );
57
58      % 设置 fitttype 和选项。
59      ft = fitttype( 'exp1' );
60      opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
61      opts.Algorithm = 'Levenberg-Marquardt';
62      opts.Display = 'Off';
63      opts.MaxFunEvals = 1000;
64      opts.Robust = 'LAR';
65      opts.StartPoint = [5087.02548143967 -0.019280100621078];
66
67      % 对数据进行模型拟合。
68      [fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
69  end

```