磁特性综合实验

实验目的:

- 1. 掌握磁滞、磁滞回线和磁化曲线的概念,加深对磁性材料的主要物理量的理解,如矫顽力、剩磁和磁导率。
- 2. 学会用示波法测绘基本磁化曲线和磁滞回线。
- 3. 比较不同频率下磁滞回线的区别,并确定在某一频率下的饱和磁感应强度B。、剩磁B_r和矫顽力H_c的数值。

实验原理:

磁性材料应用广泛,从常用的永久磁铁、变压器铁芯到录音、录像、 计算机存存储用的磁带、磁盘等都采用磁性材料。磁滞回线和基本磁化 曲线反映了磁性材料的主要特征。通过实验研究这些性质不仅能掌握用 示波器观察磁滞回线以及基本磁化曲线的基本测绘方法,而且能从理论 和实际应用上加深对材料磁特性的认识。

1、磁化曲线

如果在由电流产生的磁场中放入铁磁物质,则磁场将明显增强,此时铁磁物质中的磁感应强度比单纯由电流产生的磁感应强度增大百倍,甚至在千倍以上。铁磁物质内部的磁场强度H与磁感应强度B有如下的关系:

$B=\mu H$

对于铁磁物质而言,磁导率 μ 并非常数,而是随H的变化而改变的物理量,即 $\mu=f(H)$,为非线性函数。所以如图1所示,B与H也是非线性关系。

通常使用的是磁介质的相对磁导率 μ_r ,其定义为磁导率 μ 与真空磁导率 μ_0 之比。

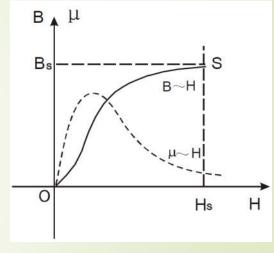


图1 磁化曲线和 $\mu\sim H$ 曲线

2、磁滞回线

当铁磁材料的磁化达到饱和之后,如果将磁化场减少,则铁磁材料内部的B和H也随之减少,但其减少的过程并不沿着磁化时的OS段退回。从图2可知当磁化场撤消,H=0时,磁感应强度仍然保持一定数值B=Br称为剩磁(剩余磁感应强度)。

若要使被磁化的铁磁材料的磁感应强度B减少到0,必须加上一个反向磁场并逐步增大。当铁磁材料内部反向磁场强度增加到H=Hc时(图2上的c点),磁感应强度B才是0,达到退磁。图2中的的bc段曲线为退磁曲线,Hc为矫顽磁力。如图2所示,当H按O \rightarrow Hs \rightarrow O \rightarrow -Hc \rightarrow -Hs \rightarrow O \rightarrow Hs 的顺序变化时,B相应O \rightarrow Bs \rightarrow Br \rightarrow O \rightarrow -Bs \rightarrow -Br \rightarrow O \rightarrow Bs 顺序变化。图中的Oa段曲线称起始磁化曲线,所形成的封闭曲线abcdefa称为磁滞回线。bc曲线段称为退磁曲线。由图2可知:

- ① 当H=0时,B≠0,这说明铁磁材料还残留一定值的磁感应强度Br,通常称Br为铁磁物质的剩余感应强度(剩磁)。
- ② 若要使铁磁物质完全退磁,即B=0,必须加一个反方向磁场Hc。 这个反向磁场强度Hc,称为该铁磁材料的矫顽磁力。
- ③ B的变化始终落后于H的变化,这种现象称为磁滞现象。
- ④ H上升与下降到同一数值时,铁磁材料内的B值并不相同,退磁化过程与铁磁材料过去的磁化经历有关。

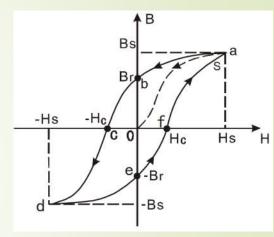


图2起始磁化曲线与磁滞回线

- ⑤ 当从初始状态H=0,B=0开始周期性地改变磁场强度的幅值时,在磁场由弱到强地单调增加过程中,可以得到面积由大到小的一簇磁滞回线,如图3所示。其中最大面积的磁滞回线称为极限磁滞回线。我们把图3中原点O和各个磁滞回线的顶点a1,a2,...a所连成的曲线,称为铁磁性材料的基本磁化曲线。
- ⑥ 由于铁磁材料磁化过程的不可逆性及具有剩磁的特点, 在测定磁化曲线和磁滞回线时,必须将铁磁材料预先退 磁,以保证外加磁场H=0,B=0;退磁方法:逐渐减少 磁化电流,直到B和H都减小为零。

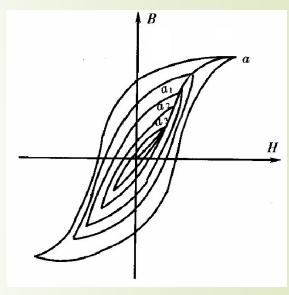


图3 基本磁化曲线 αα1 α2 α3

注意:基本磁化曲线不同于起始磁化曲线

3、示波器显示B—H曲线的原理线路

示波器测量B—H曲线的实验线路如图4所示。本实验研究的铁磁物质是一个环状试样。在试样上绕有励磁线圈 N_1 匝和测量线圈 N_2 匝。若在线圈 N_1 中通过磁化电流 i_1 时,此电流在式样内产生磁场,根据安培环路定律 $HL=N_1$ i_1 ,磁场强度H的大小为:

$$H = \frac{N_1 i_1}{L} \tag{1}$$

其中L是为环状式样的平均磁路长度。由图4可知,是默契X轴偏转板的电压为

$$U_X = U_R = i_1 R_1 \tag{2}$$

由式(1)和式(2)得:

$$U_X = \frac{LR_1}{N_1}H\tag{3}$$

上式表明在交变磁场下,任一时刻示波器X轴的输入正比于磁场强度H。为了测量磁感应强度B,在次级线圈 N_2 上串联一个电阻 R_2 与电容C构成一个回路, R_2 与C构成一个积分电路。取电容C两端电压 U_C 至示波器Y轴输入,若适当选择 R_2 和C的值,使 $R_2\gg 1/\omega C$,则

$$I_2 = \frac{E_2}{[R_2^2 + (1/\omega C)^2]^{1/2}} \approx \frac{E_2}{R_2}$$

式中 ω 为电源的角频率, E_2 为次级线圈的感应电动势:

$$E_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = N_2 S \frac{dB}{dt}$$

式中Φ为磁通量, S为环状式样的截面积,

$$U_{Y} = U_{C} = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int I_{2} dt$$

$$= \frac{1}{CR_{2}} \int E_{2} dt = \frac{N_{2}S}{CR_{2}} \int \frac{dB}{dt} dt = \frac{N_{2}S}{CR_{2}} B$$
 (4)

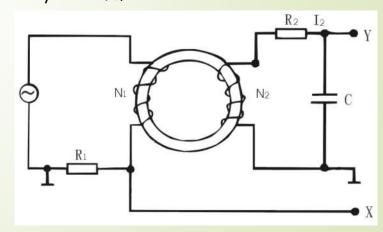


图4B—H曲线的实验线路

上式表明接在示波器Y轴输入的 U_Y 正比于B。

曲(3)和(4)得
$$\begin{cases} H = \frac{N_1}{LR_1} U_X \\ B = \frac{CR_2}{N_2 S} U_Y \end{cases}$$
 (5)

由(5)式可知,只要读出电阻和电容的值,然后通过示波器测出电压 U_X 和 U_Y ,即可绘出磁滞回线。

其中样品参数为:

样品1参数: 平均磁路长度 L = 0.130m

磁芯样品截面积 $S = 1.24 \times 10^{-4} m^2$

线圈匝数 $N_1 = N_2 = N_3 = 150$

样品2参数: 平均磁路长度 L = 0.075m

磁芯样品截面积 $S = 1.20 \times 10^{-4} m^2$

线圈匝数 $N_1 = N_2 = N_3 = 150$

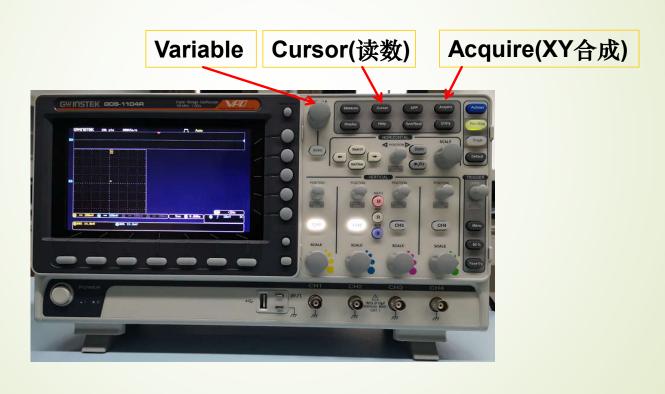
实验仪器:

DH4516N磁特性综合测量实验仪



实验仪器:

GDS1104R数字示波器

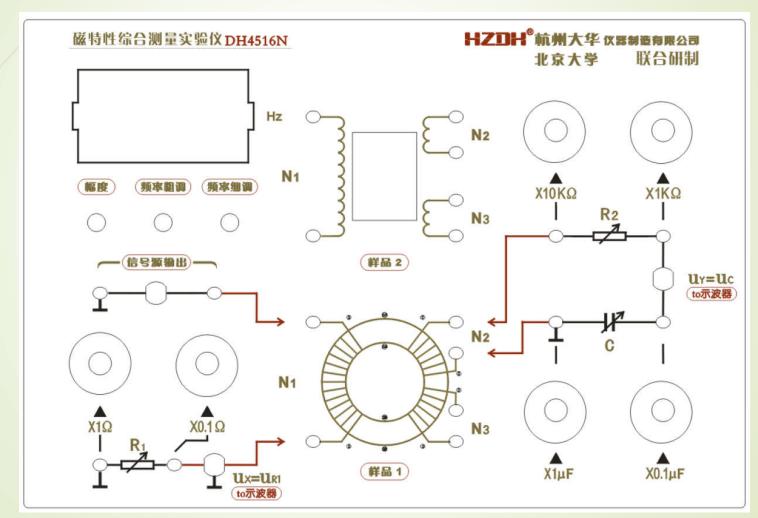


实验内容:

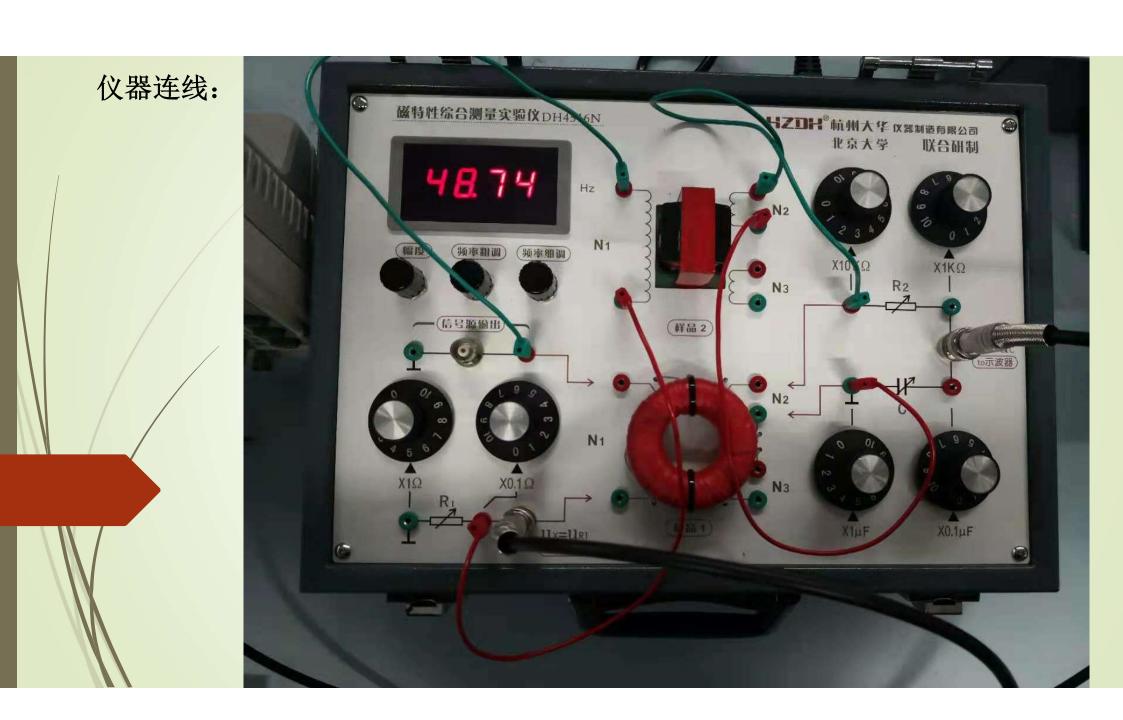
- 1、测量电源频率为50Hz时的磁滞回线
- 2、测量电源频率为50Hz时的磁化曲线

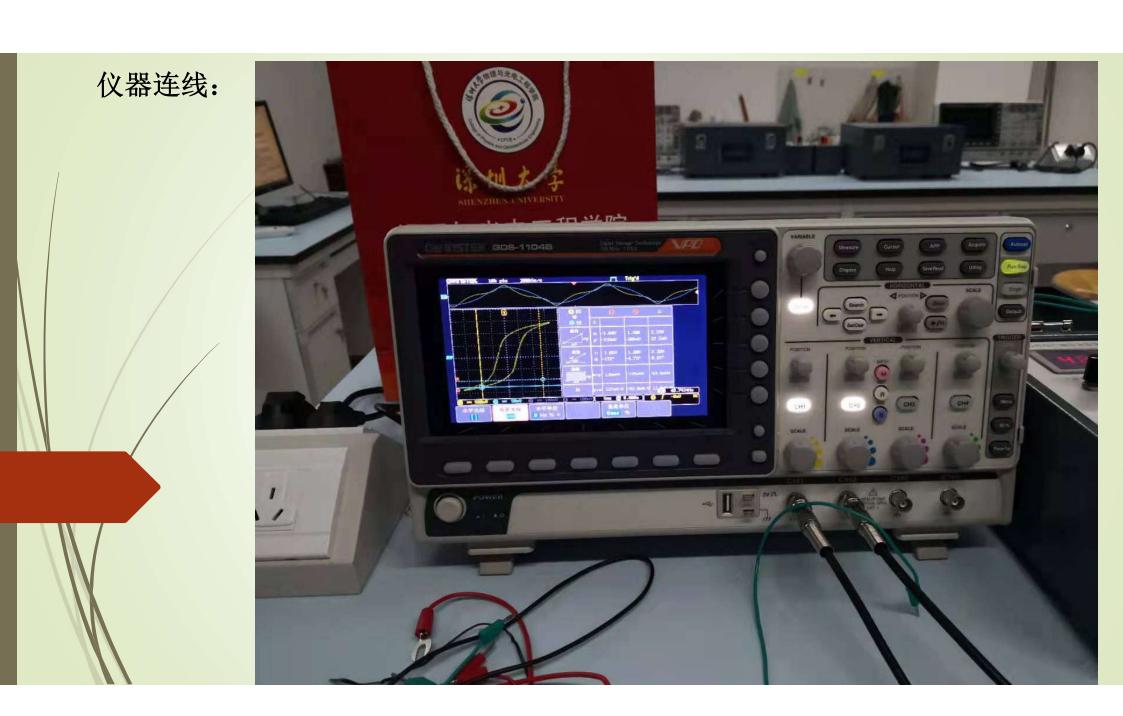
实验步骤: 1、线路连接

磁特性综合测量实验仪介绍:



红色箭头表示 接线方向





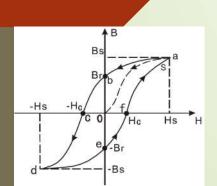
2、示波器的操作

- a)按Acquire键将模式改为xy。
- b)按Cursor键两下出现坐标读取的横竖线,按H Cursor和V Cursor键对应的按钮选定某一组或两组坐 标,再旋转Variable旋钮移动坐标读数。

打开电源前,先将信号源输出幅度调节旋钮逆时针调到底,使信号输出最小。 注意:由于信号源、电阻R1和电容C的一端已经与地相连,所以不能与其他接线 端相连接。否则会短路信号源、UR或UC,从而无法正确做出实验。

3、测量电源频率为50Hz时的磁滞回线

- 1) 调整各元件的参数值,找到合适的波形 (参考值: $R_1 = 0.8\Omega$, $R_2 = 105k\Omega$, $C = 2.0\mu$ F)
- 2) 记录电阻R1、R2和电容C的值
- 3)读取采样电阻R₁和积分电容C的电压,需记录剩磁B_r和矫顽力H_c的数值
- 4)计算H和B,并绘制磁滞回线



$$H = \frac{N_1 V_x}{LR_1}$$

$$B = \frac{R_2 C V_y}{N_2 S}$$

表1 磁滞回线数据记录

序号	U _X (mV)	H(A/m)	U _Y (mV)	B/mT
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
30				

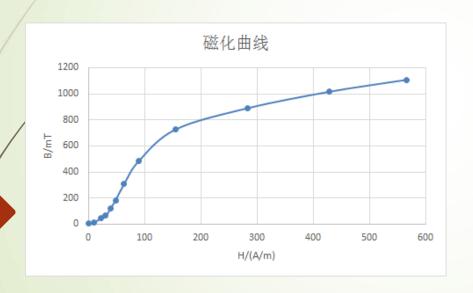
- 4、测量电源频率为50Hz时的磁化曲线
 - 1) 调整各元件的参数值,找到合适的波形 (参考值: $R_1 = 0.8 \Omega$, $R_2 = 105 k \Omega$, $C = 2.0 \mu F$)
 - 2) 记录电阻R₁、R₂和电容C的值
 - 3)缓慢顺时针调节幅度调节旋钮,单调增加磁化电流,记录磁滞回线顶点的采样电阻R₁和积分电容C的电压
 - 4)计算H和B,并绘制磁化曲线 $H = \frac{N_1 V_X}{LR_1}$ $B = \frac{R_2 C V_y}{N_2 S}$

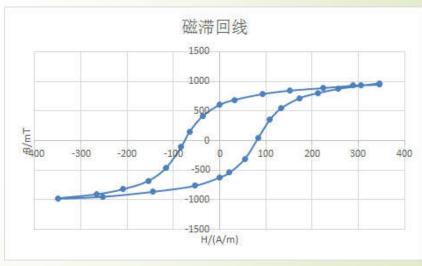
表2磁化曲线数据记录

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_X(mV)$															
H/(A/m)															
$U_{Y}(mV)$															
B/mT															

数据处理:

- 1、画出电源频率为50Hz时的磁化曲线
- 2、画出电源频率为50Hz时的磁滞回线





五、思考题

- 1. 实验中,在不同频率的交流信号下,观察磁滞回线有什么变化?查询课外资料,解释其原因。
- 2. 观察实验中 R_1 、 R_2 、C的取值对磁滞回线的影响,并解释其原因。