

周二下午

天津大学物理实验报告

自动化学院 17 年级 电气 专业 3 班 姓名 范冠霖 成绩 9

实验日期: 2019.3.6 学号 3017034073 同组实验者

实验题目: 铁磁材料的磁滞回线

一. 实验目的:

通过本实验认识什么是铁磁物质, 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

铁磁物质的磁化过程很复杂, 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。

当铁磁物质中不存在磁化场时, H 和 B 均为零, 即图 1-1 中 $B-H$ 曲线的坐标原点 O 。随着磁化场 H 的增加, B 也随之增加, 但两者不是线性关系。当 H 增加到一定值时, B 不再增加 (或增加十分缓慢), 这说明该物质的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)。如果使 H 逐渐降为零, 则与此同时 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_r , 这说明当 H 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, 并逐渐增加其强度, 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。图 1-1 表明, 当磁场按 $H_m \rightarrow 0 \rightarrow -H_c \rightarrow -H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_c \rightarrow H_m$ 的顺序变化时, B 所经历的相应变化为 $B_m \rightarrow B_r \rightarrow 0 \rightarrow -B_m \rightarrow -B_r \rightarrow 0 \rightarrow B_m$ 。于是得到一条闭合的 $B-H$ 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), 它将沿磁滞回线反复“磁化-去磁-反向磁化-反向去磁”的过程。在此过程中要消耗额外的能量, 并以热的形式从铁磁材料中释放。



天津大学物理实验报告

附 页

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。

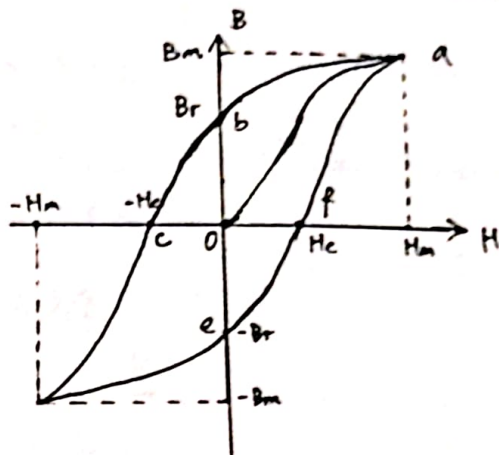


图 1-1: 起始磁化曲线和磁滞回线

应该说明,对于初始状态为 $H=0$ 、 $B=0$ 的铁磁材料,在交变磁场强度由弱到强依次进行磁化的过程中,可以得到面积,由小到大向外扩张的一系列磁滞回线,如图 1-2 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 非线性,故铁磁材料的 μ 不是常量,而是随 H 而变化,如图 1-3 所示。在实际应用中,常使用相对磁导率 $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$, μ_0 为真空中的磁导率。铁磁材料的相对磁导率可高达数百至数万,这一点是它用途广泛的原因之一。

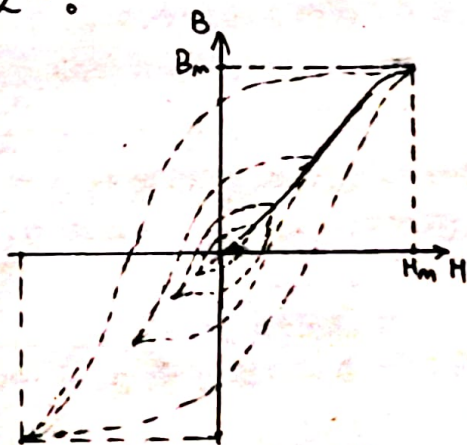


图 1-2: 基本磁化曲线

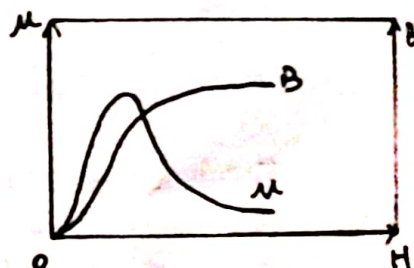


图 1-3: 铁磁材料 μ 与 H 关系曲线



实验题目:

2. B-H曲线的测量方法

实验线路如图1-4所示。待测样品为E1型硅钢片,励磁线圈匝数 $N_1=50$;用于测量磁感应强度B而设置的探测线圈匝数 $N_2=100$; 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_1 ,根据安培环路定理,样品的磁化场强为:

$$H = \frac{N_1 I_1}{l} \quad (1-1)$$

式中, l 为样品的平均磁路,本实验中 $l=60.0 \text{ mm}$ 。设 R_1 的端电压为 U_1 ,则可得

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

因此:

$$H = \frac{N_1 U_1}{l R_1} \quad (1-2)$$

式(1-2)中的 N_1 、 l 、 R_1 均为已知常量,所以由 U_1 可确定 H 。

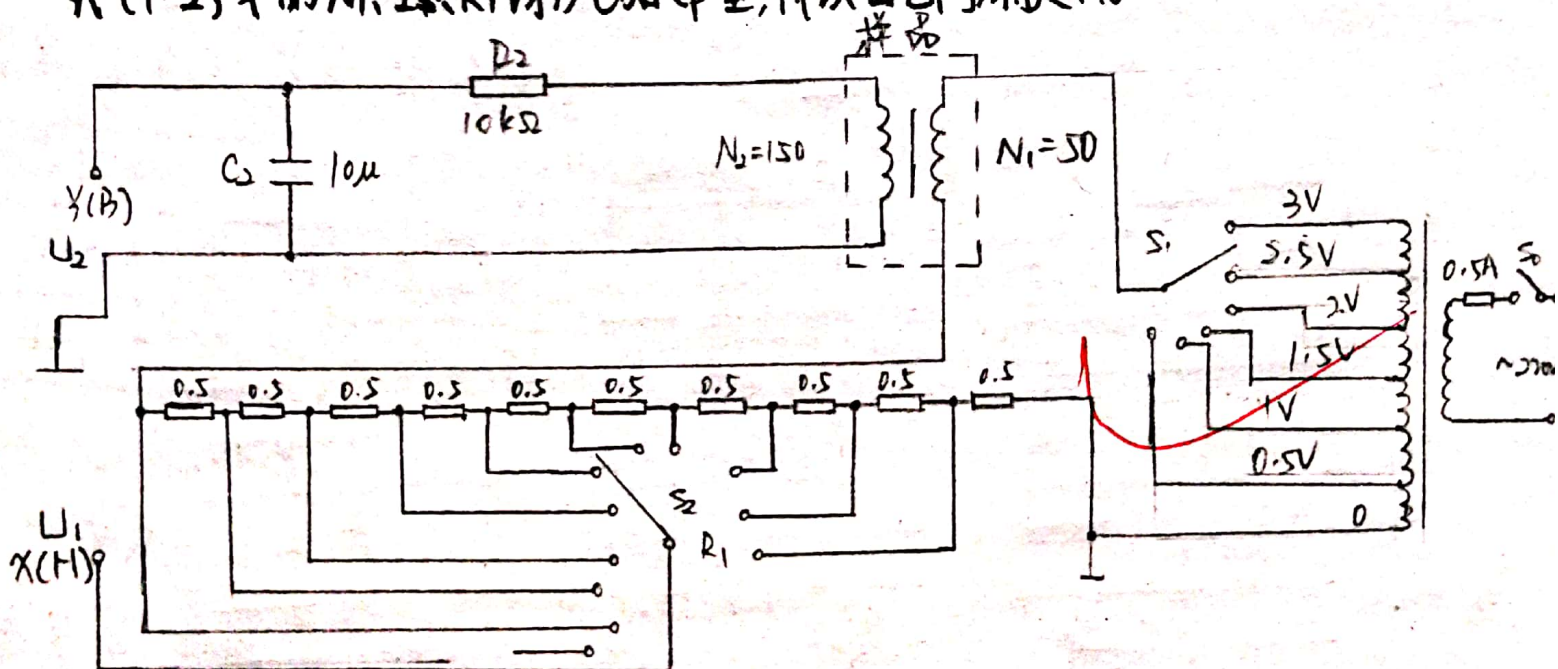


图1-4:磁滞回线测量线路

样品的磁感应强度B的测量是通过探测线圈和 R_1 、 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的变化,在探测线圈中产生的感应电动势的大小为:

$$\mathcal{E} = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-3)$$



由式 (1-3) 可推导出:

$$\Phi = \frac{1}{N_2} \int \epsilon \, dt$$
$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int \epsilon \, dt \quad (1-4)$$

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

$$\epsilon = I_2 R_2 + U_2$$

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

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

因此

$$\epsilon = I_2 R_2 + \frac{Q}{C_2}$$

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

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

$$\epsilon = C_2 R_2 \frac{dU_2}{dt} \quad (1-5)$$

由式 (1-4) 和 (1-5) 可得:

$$B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_2 \quad (1-6)$$

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

四. 实验内容及要求

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, 按实验仪上所给的电路图连接线路, 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 1 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 $3.0 V$, 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



实验题目：

连线便是基本磁化曲线，如图 1-2 所示。

2. 测 μ -H 曲线

(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（图 1-5），确保样品处于中性状态，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 $\mu = B/H$ 计算各个 μ 值，并作 μ -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 。测绘样品的磁滞回线

五. 实验数据及图像绘制（记录见附页）

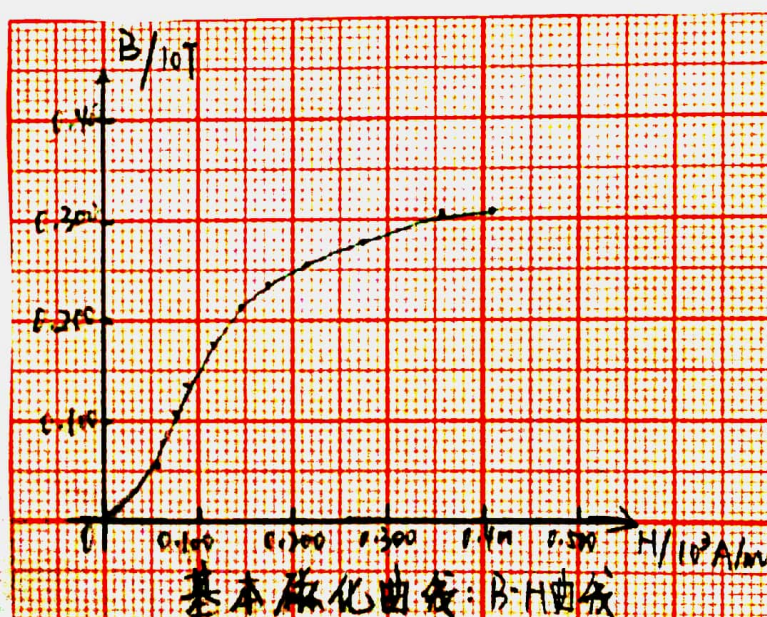
1. 基本磁化曲线数据记录表

电压 (V)	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
$H_m (10^3 A/m)$	0.052	0.072	0.085	0.113	0.146	0.176	0.214	0.273	0.359	0.408
$B_m (10 T)$	0.063	0.109	0.137	0.179	0.213	0.235	0.265	0.278	0.306	0.319

作出 B_m - H_m 曲线：

即基本磁化曲线

可见总体趋势上升，
经过线性部分由于饱和
和增益减慢。

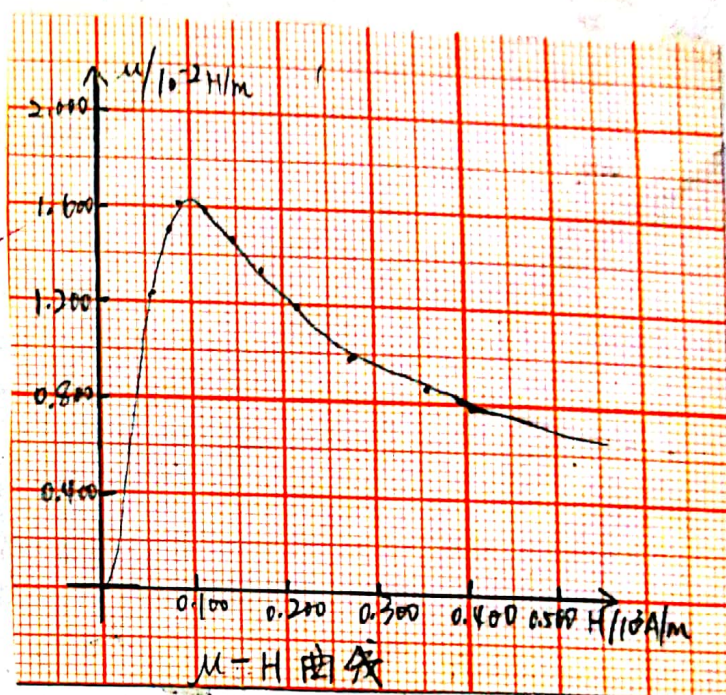


2. 计算 μ 值, 记录如下

电压 (V)	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
$H_m (10^3 A/m)$	0.052	0.072	0.085	0.113	0.146	0.176	0.214	0.273	0.359	0.408
$B_m (10 T)$	0.063	0.109	0.137	0.179	0.213	0.235	0.253	0.278	0.306	0.319
$\mu (10^{-2} H/m)$	1.212	1.514	1.612	1.584	1.459	1.335	1.192	0.982	0.852	0.782

作出 $\mu-H_m$ 曲线

由曲线可见: 随着 H_m 上升, μ 以先迅速上升后下降的趋势变化, 对比 $\mu-H_m$ 曲线与 H_m-B_m 曲线: 进入饱和后, μ 下降, 令 B_m 随 H_m 上升的速度减缓。



3. $U=3.0V$ 时, 记录 H 、 B 值:

序号	$H_m (10^3 A/m)$	$B (10 T)$
1	0.004	-0.179
6	0.025	-0.154
11	0.042	-0.128
16	0.058	-0.098
21	0.068	-0.066
26	0.077	-0.031
31	0.085	0.004
36	0.096	0.041
41	0.106	0.079
46	0.118	0.117
51	0.132	0.153
56	0.149	0.190
61	0.172	0.224
66	0.208	0.255
71	0.263	0.282

序号	$H (10^3 A/m)$	$B (10 T)$
76	0.319	0.300
81	0.365	0.312
86	0.395	0.318
91	0.407	0.319
96	0.402	0.317
101	0.375	0.312
106	0.341	0.306
111	0.302	0.298
116	0.256	0.290
121	0.210	0.278
126	0.164	0.266
131	0.121	0.253
136	0.083	0.238
141	0.048	0.221
146	0.019	0.202

序号	$H (10^3 A/m)$	$B (10 T)$
151	-0.005	0.180
156	-0.026	0.155
161	-0.044	0.129
166	-0.058	0.099
171	-0.068	0.065
176	-0.076	0.031
181	-0.086	-0.004
186	-0.096	-0.042
191	-0.106	-0.080
196	-0.119	-0.118
201	-0.133	-0.154
206	-0.150	-0.190
211	-0.175	-0.224
216	-0.214	-0.255
221	-0.269	-0.280



实验题目:

序号	$H(10^3 A/m)$	$B(10T)$
226	-0.324	-0.298
231	-0.369	-0.309
236	-0.396	-0.313
241	-0.406	-0.314
246	-0.398	-0.312
251	-0.370	-0.306
256	-0.336	-0.300
261	-0.295	-0.293
266	-0.248	-0.283
271	-0.202	-0.273
276	-0.157	-0.260
281	-0.115	-0.246
286	-0.077	-0.231
291	-0.042	-0.214
296	-0.014	-0.195

序号	$H(10^3 A/m)$	$B(10T)$
298	-0.004	-0.186

$$H_c = 0.084 (\times 10^3 A/m)$$

$$B_r = 0.184 (\times 10 T)$$

$$H_m = 0.408 (\times 10^3 A/m)$$

$$B_m = 0.319 (\times 10 T)$$



由数据作出磁滞回线: 图见下~面

数据点清晰体现完整磁滞回线。



扫描全能王 创建

