

-8.4	0	-8.8
0.4	4	-6
13.6	8.8	0
30.4	12.4	7.6
88.8	21.2	
Br	5mV	
Hc	8.8mV	

数据处理:

参数: $N_1 = 150, l = 0.13m, R_1 = 2.0\Omega, R_2 = 50k\Omega, C = 10.0\mu F, N_2 = 150, S = 1.24 \times 10^{-4}m^2$

公式: $H = \frac{N_1}{lR_1}u_{R_1}, B = \frac{R_2C}{N_2S}u_C$

得到以下数据:

Table 2

$\begin{matrix} B(T) \\ H(A/m) \end{matrix}$	点 1	点 2
-50.0	-0.559	
-11.3	-0.140	-0.312
-4.8	0.000	-0.237
0.2	0.108	-0.161
7.8	0.237	0.000
17.5	0.333	0.204
51.2	0.570	
Br	0.1T	
Hc	5.1A/m	

(2) 固定信号源幅度, 观测并记录饱和磁滞回线随频率的变化规律。

保持 R_1, R_2, C 不变, 测量并比较 $f=95\text{ Hz}$ 和 150 Hz 时的 Br 和 Hc 。

Table 3

	95Hz	150Hz
$B(u_C/mV)$	3.6	3.0
$H(u_R/mV)$	14.4	8.0

同 (1) 中的计算, 可得到如下数据:

Table 4

	95Hz	150Hz
Br/T	0.097	0.081
$Hc/A \cdot m$	8.308	4.615

变化规律: 频率越大, B_r 与 H_c 越小, 饱和磁滞回线越窄。

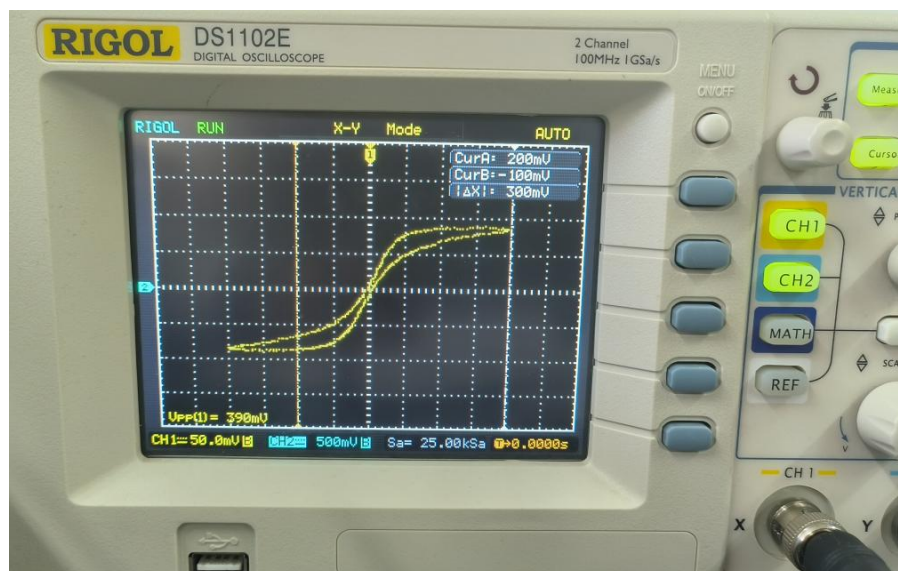
为什么?

频率增大, 磁场变化速度增大, 磁介质中磁矩的取向改变速度滞后于磁场的改变而未能彻底磁化, 磁化程度降低, 因此循环过程中能量损耗减少。

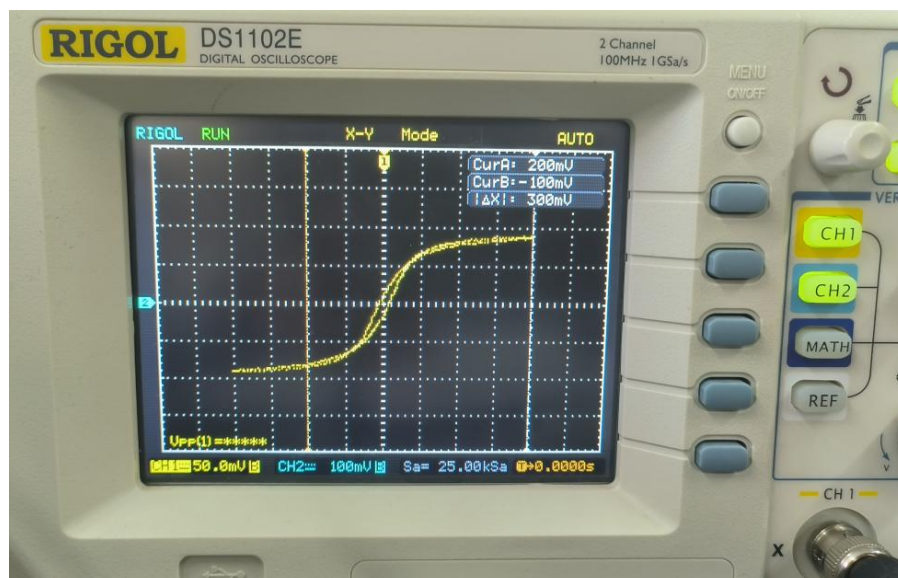
- (3) 在频率 $f=50\text{ Hz}$ 下, 比较不同积分常量取值对李萨如图的影响。固定励磁电流幅度 $I_m=0.1\text{ A}$, $R_1=2.0\ \Omega$, 改变积分常量 R_2C 。调节分别为 0.01 s 、 0.05 s 、 0.5 s , 课上观察并粗略画出不同积分常量下李萨如图形的示意图。

思考为什么积分常量会影响李萨如图形的形状? 积分常量是否会影响真实的磁滞回线的形状? (课后报告里回答)

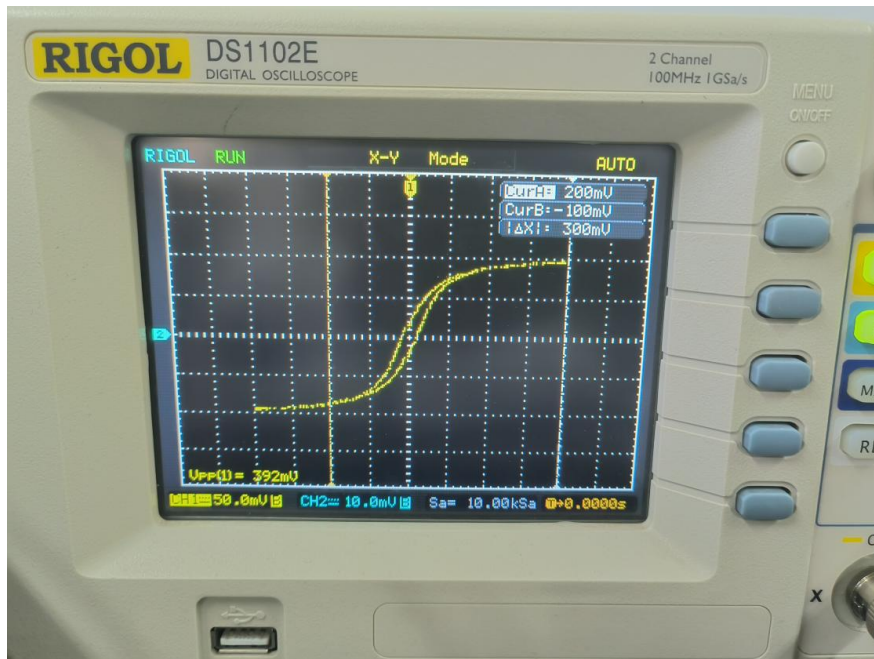
由于采用的公式存在近似, 在积分常量远大于周期时, 忽略了电容充放电。但当积分常量减小至电容充放电部可忽略时, 图像将发生畸变。积分常量并不会影响真实的磁滞回线的形状。因为磁滞回线是材料本身具有的物理性质决定的。



积分常量为 0.01 s 的李萨如图形



积分常量为 0.05 s 的李萨如图形



积分常量为 0.5s 的李萨如图形

2. 测量样品 1（铁氧体）的动态磁滞回线

- (1) 在 $f=100\text{ Hz}$ 时，取 $R_1=2.0\ \Omega$ ， $R_2=50\text{ k}\Omega$ ， $C=10.0\ \mu\text{F}$ 。测量 20 个顶点。课后绘制动态磁化曲线。计算振幅磁导率 μ_m ，并绘制其随 H_m 的变化曲线，进而确定起始磁导率。（注：要绘制两条曲线：动态磁化曲线和 μ_m-H_m 曲线，有同学会忘记绘制磁化曲线）

公式：

$$H = \frac{N_1}{lR_1} u_{R_1} = \frac{150}{0.13 \times 2.0} \times u_{R_1}$$

$$B = \frac{R_2 C}{N_2 S} u_c = \frac{50k \times 10.0\mu}{150 \times 1.24 \times 10^{-4}} u_c$$

$$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 H_m}$$

原数据如下表：

Table 5

$H_m(u_R/\text{mV})$	3.2	10.0	15.2	24.0	30.0	30.4	34.4	37.6	40.8	44.0	47.2
$B_m(u_R/\text{mV})$	1.0	3.6	6.0	8.0	9.4	9.6	10.4	11.6	12.0	12.8	13.2
$H_m(u_R/\text{mV})$	51.2	56.0	63.2	68.0	70.4	76.8	84.0	88.0	94.0	160.0	222.0
$B_m(u_R/\text{mV})$	14.0	14.8	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	19.6	20.0

代入实验数据得到下表：

Table 6

$H_m(\text{A/m})$	1.8	5.8	8.8	13.8	17.3	17.5	19.8	21.7	23.5	25.4	27.2
$B_m(\text{T})$	0.0269	0.0968	0.1613	0.2151	0.2527	0.2581	0.2796	0.3118	0.3226	0.3441	0.3548
μ	11587	13348	14636	12360	11618	11709	11210	11439	10906	10787	10370
$H_m(\text{A/m})$	29.5	32.3	36.5	39.2	40.6	44.3	48.5	50.8	54.2	92.3	128.1
$B_m(\text{T})$	0.3763	0.3978	0.4194	0.4301	0.4409	0.4516	0.4624	0.4731	0.4839	0.5269	0.5376
μ	10139	9799	9152	8724	8638	8111	7592	7416	7100	4542	3340

3. 观察不同频率下样品 2（硅钢）的动态磁滞回线

参数调至 $R_1=2.0\ \Omega$ ， $R_2=50\ \text{k}\Omega$ ， $C=10.0\ \mu\text{F}$ 。在给定的交变磁场幅度 $H_m=400\ \text{A/m}$ 下，测量三种频率下的 B_m ， B_r ， H_c

原始数据如下：

Table 7

	20Hz	40Hz	60Hz
$B_m(u_R/\text{mV})$	34.4	35.2	36.0
$B_r(u_R/\text{mV})$	21.6	23.2	24.0
$H_m(u_R/\text{mV})$	108.0	120.0	140.0

计算方法同（1）中计算方法，得到计算后数据如下：

Table 8

$B_m(\text{T})$	0.925	0.946	0.968
$B_r(\text{T})$	0.581	0.624	0.645
$H_m(\text{A/m})$	62.308	69.231	80.769

4. 测量样品 1（铁氧体）在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率

取 $f=100\ \text{Hz}$ 。电路参数设置为： $R_1=2.0\ \Omega$ ， $R_2=20\ \text{k}\Omega$ ， $C=2.0\ \mu\text{F}$ 。直流偏置磁场从 0 到 H_s 单调增加（一定缓慢增加）。测量 10 组回线小线段的斜率。课后把电流换算成磁场强度，并绘制可逆磁导率随外场强度的变化曲线 μ_i-H 。

原始数据如下：

Table 9

电流(A)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.1
端点坐标 $H_1(u_R/\text{mV})$	4	4.4	5.6	7.6	9.6	11.6	13.6	14	14.4	14
端点坐标 $B_1(u_R/\text{mV})$	4	4	4	4.4	4.4	4	3.2	3.2	2.4	1.6

经计算，得到如下数据：

Table 10

$H(\text{A/m})$	0.00	11.54	23.08	34.62	46.15	57.69	69.23	80.77	92.31	115.38
$\Delta H(\text{A/m})$	2.31	2.54	3.23	4.38	5.54	6.69	7.85	8.08	8.31	8.08
$\Delta B(\text{T})$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
μ_R	2966.33	2696.66	2118.81	1717.35	1359.57	1022.87	697.96	678.02	494.39	339.01

第二部分：用霍尔传感器测量铁磁材料（准）静态磁滞回线

1. 测量样品的起始磁化曲线。

将霍尔传感器置于磁场均匀区的中央。取 20 个采样点，测量样品的起始磁化曲线。实验中记录 I 和 B ，课后通过计算，在实验报告中补充 H 和修正 H 的数值，并利用 B 和修正后的 H 绘图。其中利用讲义公式（3）来计算 H ，利用公式（7）来对 H 进行修正。

参数： $\bar{l}=0.24\text{m}$ ， $N=2000$ ， $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}$ ， $l_g=2\times 10^{-3}$

公式：

$$H = \frac{N}{\bar{l}} I = \frac{2000}{0.24} \cdot I$$

$$H\bar{l} + \frac{1}{\mu_0}Bl_g = NI, \text{即} H = \frac{NI - \frac{1}{\mu_0}Bl_g}{\bar{l}}$$

根据上述参数与公式，完善表格如下：

Table 11

I(mA)	B(mT)	H(A/m)	H 修正(A/m)	I(mA)	B(mT)	H(A/m)	H 修正(A/m)
0.0	5.3	0.0	-35.1	281.3	156.8	2344.2	1304.4
20.4	9.7	170.0	105.7	305.1	173.2	2542.5	1393.9
49.7	19.9	414.2	282.2	337.9	196.7	2815.8	1511.4
66.8	27.6	556.7	373.6	381.3	227.0	3177.5	1672.2
89.8	38.9	748.3	490.4	432.7	260.8	3605.8	1876.3
101.4	45.1	845.0	545.9	470.0	283.7	3916.7	2035.3
126.9	59.4	1057.5	663.6	528.1	317.8	4400.8	2293.4
153.8	75.7	1281.7	779.7	562.8	336.8	4690.0	2456.5
188.1	97.3	1567.5	922.3	613.0	361.3	5108.3	2712.4
226.0	121.5	1883.3	1077.6	631.1	369.1	5259.2	2811.5
254.4	139.5	2120.0	1194.9				

可以看到，后面修正值与近似值几乎相差 2 倍，因此这样的近似在 B 较大时并不成立。

2. 测量模具钢的磁滞回线

对样品进行磁训练后，磁化线圈的电流从饱和电流 I_m 开始逐步减小到 0，然后将电流反向，电流又从 0 增加到 $-I_m$ ，重复上述过程，再回到 I_m 。每隔 50mA 测一组 值。实验中记录 I 和 B，课后通过计算，在实验报告中补充 H 和修正 H 的数值，并利用 B 和修正后的 H 绘图。H 和修正 H 的计算方法同上。

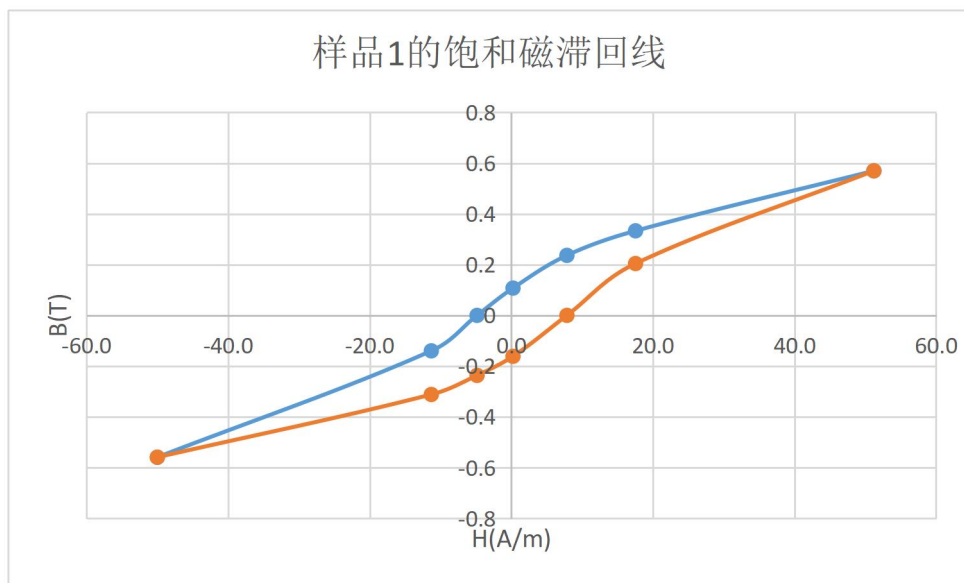
Table 12

I(mA)	B(mT)	H(A/m)	H 修正(A/m)	I(mA)	B(mT)	H(A/m)	H 修正(A/m)
631.1	378.8	5259.2	2747.2	-581.7	-347.6	-4847.5	-2542.4
575.1	370.9	4792.5	2332.9	-530.8	-340.3	-4423.3	-2166.6
521.8	363.1	4348.3	1940.5	-480.5	-332.1	-4004.2	-1801.9
471.5	354.4	3929.2	1579.0	-432.7	-322.7	-3605.8	-1465.9
418.6	343.3	3488.3	1211.8	-382.5	-310.5	-3187.5	-1128.4
365.5	329	3045.8	864.1	-328.5	-293.7	-2737.5	-789.8
315.7	311.6	2630.8	564.5	-280.1	-274.2	-2334.2	-515.8
264.9	288.8	2207.5	292.3	-226.6	-246.8	-1888.3	-251.7
212.4	259.4	1770.0	49.8	-168.9	-211.1	-1407.5	-7.6
164.7	228.4	1372.5	-142.1	-113.8	-172.4	-948.3	194.9
111.4	190.2	928.3	-333.0	-55.3	-128.5	-460.8	391.3
51.7	144.7	430.8	-528.7	0	-85	0.0	563.7
0	103.8	0.0	-688.3	51.6	-43.4	430.0	717.8
-51.9	61.7	-432.5	-841.7	100.1	-3.4	834.2	856.7
-100.9	21.3	-840.8	-982.1	150.9	38.9	1257.5	999.5
-151	-20.7	-1258.3	-1121.1	203.2	82.5	1693.3	1146.2
-202.4	-63.5	-1686.7	-1265.6	252.9	122.6	2107.5	1294.5
-251.6	-103.2	-2096.7	-1412.3	302.5	161.5	2520.8	1449.9
-304.6	-144.8	-2538.3	-1578.1	350.8	198.5	2923.3	1607.0
-353.5	-182.2	-2945.8	-1737.6	403.7	237.6	3364.2	1788.5

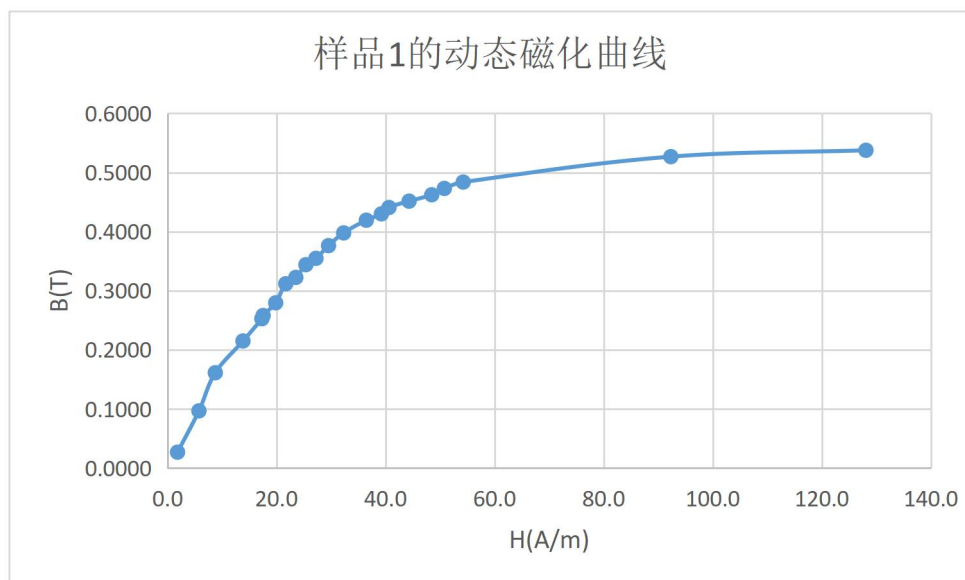
-400.9	-217.3	-3340.8	-1899.8	455.2	273.4	3793.3	1980.3
-458.4	-257.5	-3820.0	-2112.4	501.4	302.9	4178.3	2169.7
-497.7	-283	-4147.5	-2270.8	550.9	331.3	4590.8	2393.8
-552.3	-314.9	-4602.5	-2514.3	599.9	355.8	4999.2	2639.7
-607.6	-343.2	-5063.3	-2787.4	631.3	369.7	5260.8	2809.2
-631.1	-353.8	-5259.2	-2913.0				

三. 绘图

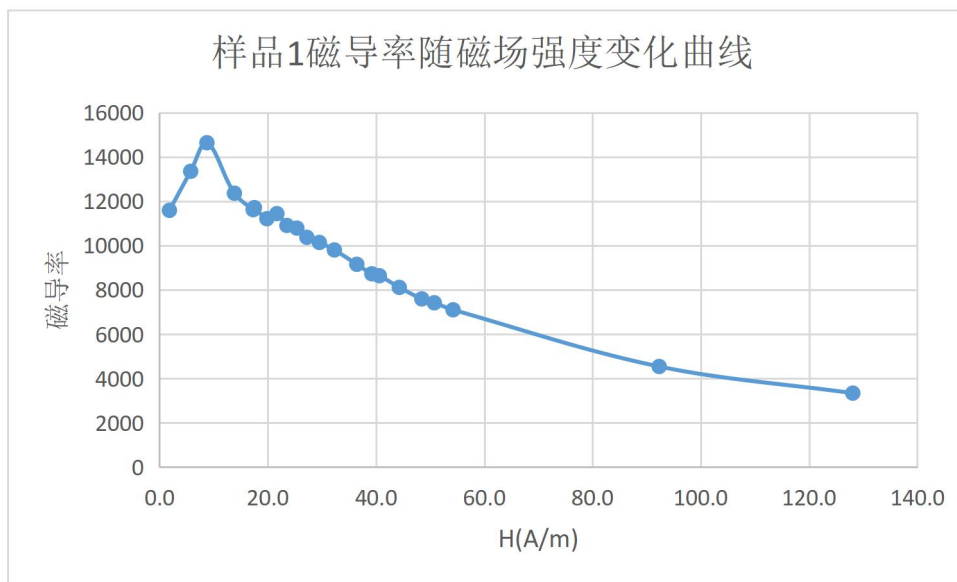
1. 样品 1 的饱和磁滞回线



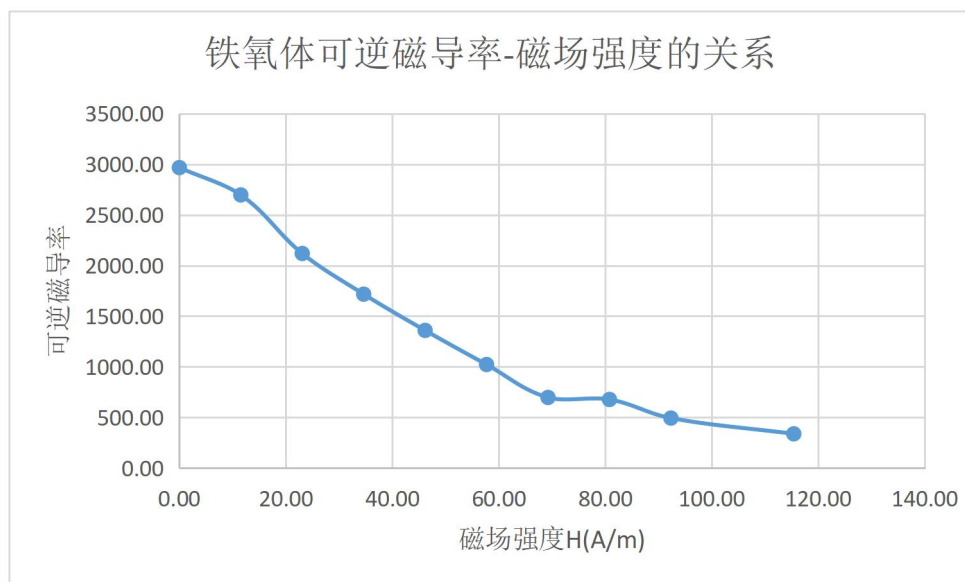
2. 样品 1 的动态磁化曲线



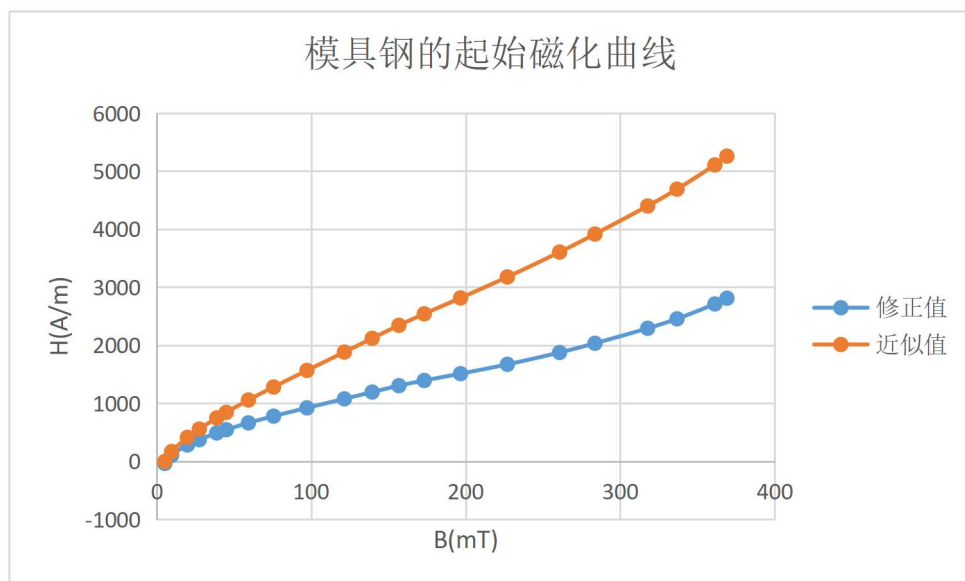
3. 样品 1 磁导率随磁场强度变化曲线



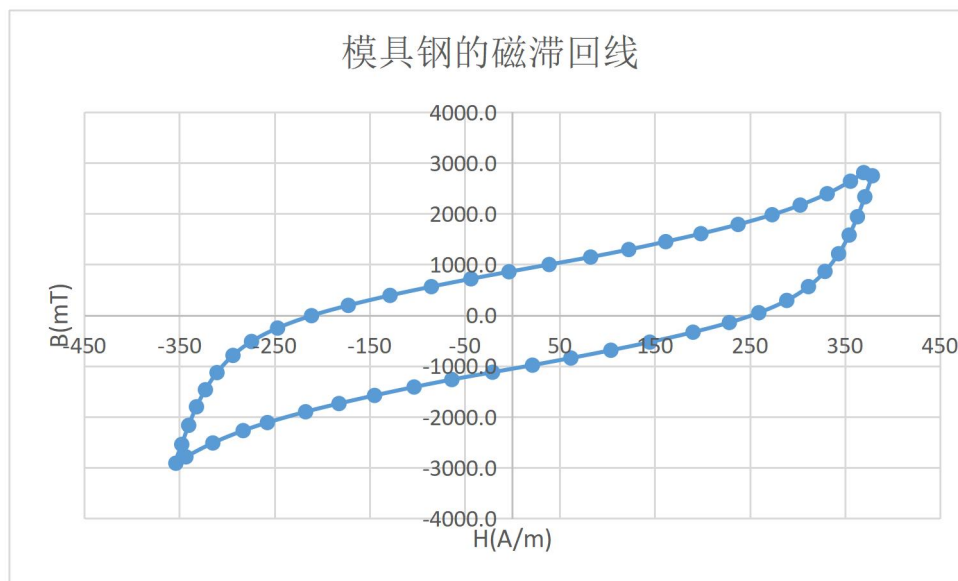
4. 铁氧体可逆磁导率-磁场强度的关系



5. 模具钢的起始磁化曲线



6. 模具钢的磁滞回线



四. 思考题与心得体会

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？

概念区别：静态磁滞回线描述材料在几乎静止的磁场中的响应，即在磁场变化非常缓慢或基本不变的条件下测得的磁滞回线。动态磁滞回线描述材料在频繁变化的磁场中的响应，即在磁场变化较快的条件下测得的磁滞回线。

影响动态磁滞回线形状和面积的因素：频率：随着频率的增加，动态磁滞回线的形状和面积可能发生变化。高频条件下，涡流效应等会引起能量损耗，影响磁性能。振幅：磁场振幅的增加可能导致动态磁滞回线形状的非线性变化。温度：温度对材料的磁性能有影响，可能导致动态磁滞回线的变化。

2. 什么叫做基本磁化曲线？它和起始磁化曲线间有何区别？

基本磁化曲线：描述材料的整体磁性能，通常包括正磁化和负磁化。

起始磁化曲线：描述在零磁场条件下开始加磁时的磁化过程。它通常是基本磁化曲线的一部分，起始于零场点。

3. 铁氧体和硅钢材料的动态磁化特性各有什么特点？

铁氧体：铁氧体是一种磁性材料，其动态磁化特性受频率和温度的影响。高频条件下，涡流效应可能导致能量损耗，影响磁滞回线的形状。温度的变化也会对铁氧体的动态磁性能产生影响。

硅钢：硅钢是一种用于电力设备的磁性材料，具有低磁滞损耗。在动态条件下，硅钢通常表现出较好的性能，适用于高频应用，因为它对涡流损耗的抑制能力较强。

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所形成的李萨如图形正确反映材料动态磁滞回线的形状？

在动态磁滞回线实验中，确保正确反映材料特性的关键在于选择适当频率、磁场振幅和采样速率，进行数据处理和滤波，以确保获得准确、可靠的测量结果。

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？

在准静态条件下，磁锻炼可以帮助获得更稳定的饱和磁滞回线。磁锻炼的主要目的是降低样品中的残余磁化和矫顽力，使得样品在经历一段时间后能够达到相对稳定的磁性质。