
动态磁滞回线测量实验

一、实验简介

工程技术中有许多仪器设备，大的如发电机和变压器，小的如手表铁心和录音磁头等，都要用到铁磁材料。铁磁材料分为硬磁和软磁两类。硬磁材料的磁滞回线宽，剩磁和矫顽磁力较大(120-20000安/米，甚至更高)，因而磁化后，它的磁感应强度能保持，适宜制作永久磁铁。软磁材料的磁滞回线窄，矫顽磁力小(一般小于120安/米)，但它的磁导率和饱和磁感应强度大，容易磁化和去磁，故常用于制造电机、变压器和电磁铁。而铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线是该材料的重要特性。实验中用交流电对材料样品进行磁化，测得的B-H曲线称为动态磁滞回线。测量磁性材料动态磁滞回线方法较多，用示波器法测动态磁滞回线的方法具有直观、方便、迅速以及能够在不同磁化状态下(交变磁化及脉冲磁化等)进行观察和测量的独特优点，所以在实验中被广泛利用。

本实验要求掌握铁磁材料磁滞回线的概念和用示波器测量动态磁滞回线的原理和方法，从而在理论和实际应用上加深对材料磁特性的认识。

二、实验原理

1. 铁磁材料的磁滞性质

铁磁材料除了具有高的磁导率外，另一重要的特点就是磁滞。当材料磁化时，磁感应强度B不仅与当时的磁场强度H有关，而且决定于磁化的历史情况，如图1所示。曲线OA表示铁磁材料从没有磁性开始磁化，磁感应强度B随H的增加而增加，称为磁化曲线。当H增加到某一值 H_s 时，B几乎不再增加，说明磁化已达到饱和。材料磁化后，如使H减小，B将不沿原路返回，而是沿另一条曲线A'CA下降。当H从 $-H_s$ 增加时，B将沿A'C'A曲线到达A，形成一闭合曲线称为磁滞回线，其中H=0时， $|B|=B_r$ ， B_r 称为剩余磁感应强度。要使磁感应强度B为零，就必须加一反向磁场 $-H_c$ ， H_c 称为矫顽力。各种铁磁材料有不同的磁滞回线，主要区别在于矫顽力的大小，矫顽力大的称为硬磁材料，矫顽力小的称为软磁材料。

由于铁磁材料的磁滞特性，磁性材料所处的某一状态必然和它的历史有关。为了使样品的磁特性能重复出现，也就是指所测得的基本磁化曲线都是由原始状态(H=0, B=0)开始，在测量前必须进行退磁，以消除样品中的剩余磁性。

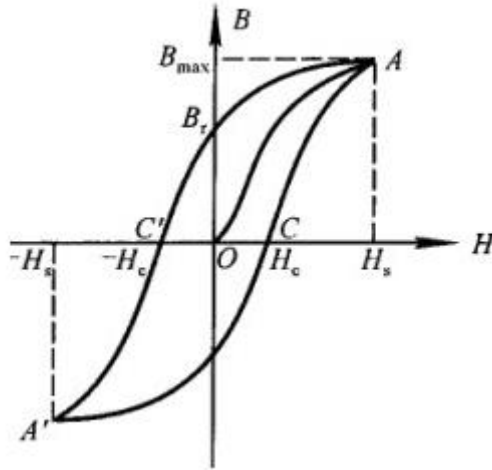


图1 B-H磁滞回线

2. 示波器测量磁滞回线的原理

图2所示为示波器测动态磁滞回线的原理电路。将样品制成闭合的环形，然后均匀地绕以磁化线圈 N_1 及副线圈 N_2 ，即所谓的罗兰环。交流电压 u 加在磁化线圈上， R_1 为取样电阻，其两端的电压 u_1 加到示波器的x轴输入端上。副线圈 N_2 与电阻 R_2 和电容串联成一回路。电容 C 两端的电压 u_c 加到示波器的y轴输入端上。

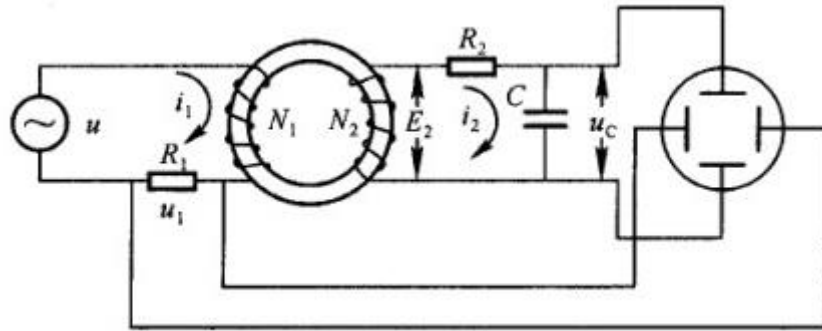


图2 用示波器测动态磁滞回线的原理图

(1) u_x (x轴输入) 与磁场强度 H 成正比

若样品的平均周长为 l ，磁化线圈的匝数为 N_1 ，磁化电流为 i_1 (瞬时值)，根据安培环路定理，有 $Hl = N_1 i_1$ ，而 $u_1 = R_1 i_1$ ，所以

$$u_1 = \frac{R_1 l}{N_1} H \quad (1)$$

由于式中 R_1 、 l 和 N_1 皆为常数，因此，该式清楚地表明示波器荧光屏上电子束水平偏转的大小 (u_1) 与样品中的磁场强度 (H) 成正比。

(2) u_c (y轴输入) 在一定条件下与磁感应强度 B 成正比

设样品的截面积为 S ，根据电磁感应定律，在匝数为 N_2 的副线圈中，感应电动势应为

$$E_2 = -N_2 S \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

此外，在副线圈回路中的电流为 i_2 且电容 C 上的电量为 q 时，又有

$$E_2 = R_2 i_2 + \frac{q}{C} \quad (3)$$

考虑到副线圈匝数 N_2 较小，因而自感电动势未加以考虑，同时， R_2 与 C 都做成足够大，使电容 C 上的电压降($u_c=q/C$)比起电阻上的电压降 $R_2 \cdot i_2$ 小到可以忽略不计。于是式(3)可以近似的改写为

$$E_2 = R_2 i_2 \quad (4)$$

将关系式 $i_2 = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$ 代入式(4)，得

$$E_2 = R_2 C \frac{du_c}{dt} \quad (5)$$

将上式与式(2)比较，不考虑其负号(在交流电中负号相当于相位差 $\pm \pi$)时，应有

$$N_2 S \frac{dB}{dt} = R_2 C \frac{du_c}{dt}$$

将两式两边对时间积分，由于 B 和 u_c 都是交变的，故积分常数为0。整理后得

$$u_c = \frac{N_2 S}{R_2 C} B \quad (6)$$

由于 N_2 、 S 、 R_2 和 C 皆为常数，因此该式表明了示波器的荧光屏上竖直方向偏转的大小(u_c)与磁感强度(B)成正比。

由此可见，在磁化电流变化的一周期内，示波器的光点将描绘出一条完整的磁滞回线，并在以后每个周期都重复此过程，这样在示波器的荧光屏上将看到一稳定的磁滞回线图线。

(3) 测量标定

本实验不仅要求能用示波器显示出待测材料的动态磁滞回线，而且要能使用示波器定量

观察和分析磁滞回线。因此，在实验中还需确定示波器荧光屏上x轴(即H轴)的每一小格实际代表多少磁场强度，y轴(即B轴)的每一小格实际代表多少磁感应强度，这就是测量标定问题。

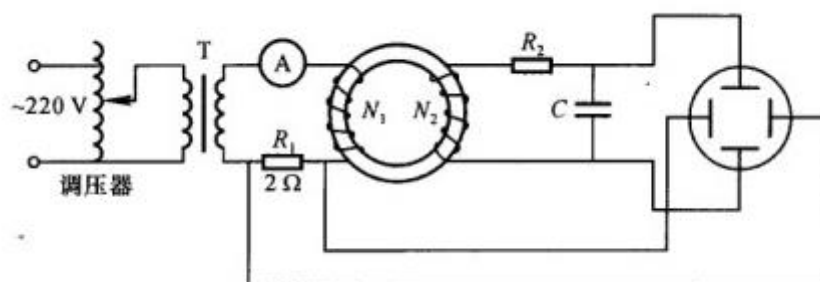


图3 测动态磁滞回线的实际线路图

1) x轴(H轴)标定

x轴标定操作的目的是标定H。具体而言就是确定示波器荧光屏x轴(即H轴)的每一小格实际代表多少磁场强度。由式(1)可见，若设法测出光点沿x轴偏转的大小与电压 u_1 的关系，就可确定H。具体标定H的线路图如图4所示。其中交流电

表A用于测量 u_0 （请注意A的指示是 i_0 的有效值 I_0 ）。调节 I_0 使荧光屏上水平线长度为 M_x 格，它对应于 u_1 且为峰峰值，即 $2\sqrt{2}R_1I_0$ ，因此，每一小格所代表的 u_1 的值为 $2\sqrt{2}R_1I_0/M_x$ 。这样由式(1)就可知荧光屏每一小格所代表的磁场强度 H 是

$$H_0 = \frac{2\sqrt{2}N_1I_0}{lM_x} \quad (7)$$

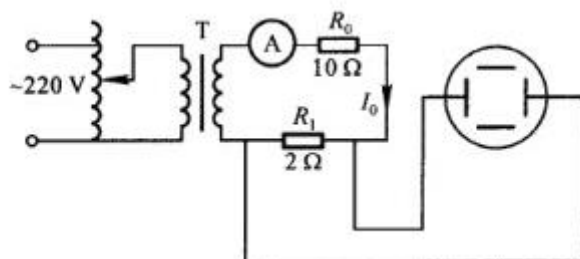


图4 x轴(H)轴标定线路图

值得注意的是，标定线路中应将被测样品去掉，而代之以一个纯电阻 R_0 。这主要是因为被测样品是铁磁材料，它的 B 和 H 的关系是非线性的，从而使电路中的电流产生非正弦形畸变。 R_0 起限流作用，标定操作中应使 I_0 不超过 R_0 允许的电流。

2) y轴(B轴)标定

y轴标定操作的目的是标定 B ，具体而言就是确定y轴(B轴)的每一小格实际代表多少磁感应强度。具体标定 B 的线路如图5所示。图中 M 是一个标准互感器。

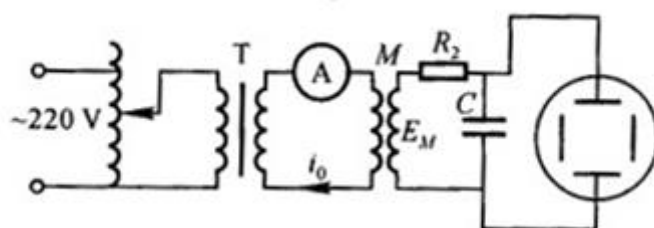


图5 y轴(B轴)标定线路图

流经互感器原边的瞬时电流为 i_0 ，则互感器副边中的感应电动势 E_0 为

$$E_0 = -M \frac{di_0}{dt}$$

类似于式(5)，又有

$$M \frac{di_0}{dt} = R_2 C \frac{du_c}{dt}$$

对上式两边积分，可得

$$u_c = \frac{Mi_0}{R_2C} \quad (8)$$

由于A测出的是 i_0 的有效值 I_0 ，所以对应于 u_c 的有效值 U_c ，有

$$u_c = MI_0/R_2C$$

而相应的峰峰值为 $2\sqrt{2}MI_0/R_2C$ 。

若此时对应 U_c 峰峰值的垂直线总长主度为 M_y ，则根据(6)可得，y轴每一小格所代表的磁感应强度为

$$B_0 = \frac{2\sqrt{2}MI_0}{N_2SM_y} \quad (9)$$

应注意实验中，不要使 I_0 超过互感器所允许的额定电流值。

三、实验内容

1. 仪器的调节

(1)按图3所示线路接线，调节示波器，使光点调至荧光屏正中心。示波器的x轴增益置“50mV”档，y轴增益置“0.1V”档，可适当调整x、y的增幅，使荧光屏上得到大小适中的磁滞回线。调节可调隔离变压器，从零开始逐步增大磁化电流，使磁滞回线上的B值能达到饱和。

(2)样品的退磁：缓慢调节调压器的输出电压，使励磁电流从最大值每次减小20mA左右，直至调为零，重新增大励磁电流使样品达到磁滞饱和，若磁滞回线闭合则样品被完全退磁，否则重复退磁操作，直至退磁完成。

(3)退磁完成后，重新调节可调隔离变压器电压为80V，使荧光屏上得到大小适中的磁滞回线，并记录饱和磁化电流I的大小。

2. 测量动态磁滞回线以及基本磁化曲线

(1)将电源电压从0V逐渐调节到100V，以每小格为单位测若干组B、H的坐标值。并记录电压为80V时饱和磁滞回线的顶点(A)、剩磁(B_r)、矫顽力(H_c)三个点的读数。

(2)测量基本磁化曲线，将电源电压从0V逐渐调节到100.0V，每隔10V记录下当前电流值以及磁滞回线的顶点坐标值，并将各个磁滞回线的顶点进行连接即可得到基本磁化曲线。

(3)标定H，按图4接线，依次逐渐增大线路中的电流值分别为0.02mA、0.04 mA、0.06 mA、0.08mA、0.10 mA、0.12 mA，并记录下不同电流时示波器对应的格数，根据公式求出示波器单位每小格表示的磁场强度 H_0 。

3. 标定B，按图5接线，依次逐渐增大线路中的电流值分别为0.05mA、0.10 mA、0.15 mA、0.20 mA、0.25 mA、0.30 mA，记录下不同电流时示波器对应的格数，并根据公式求出示波器单位每小格表示的磁感应强度 B_0 。

4. 将标定的结果带入测基本磁化曲线数据表格，求出对应不同电压时的 H_m 、 B_m 以及相对磁导率 μ_a ，以 $\mu_a - H_m$ 曲线确定初始磁导率 μ_{a0} 和最大磁导率 μ_{am} 。

四、实验仪器

GY-4可调隔离变压器

实验中的交流电源，其适用电源为AC220V，输出的工作电压为AC 0~100V，输出信号频率为50Hz。



实际仪器



仿真仪器

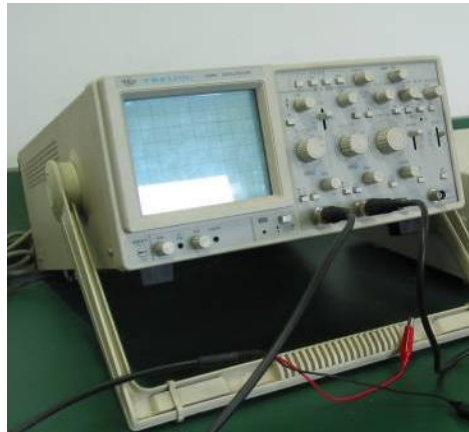
功能及其用法介绍：

(1) 电源开关：将电源开关按键弹出即为“关”位置，将电源接入，按电源开关，以接通电源；实验中使用鼠标点击进行打开和关闭进行切换。

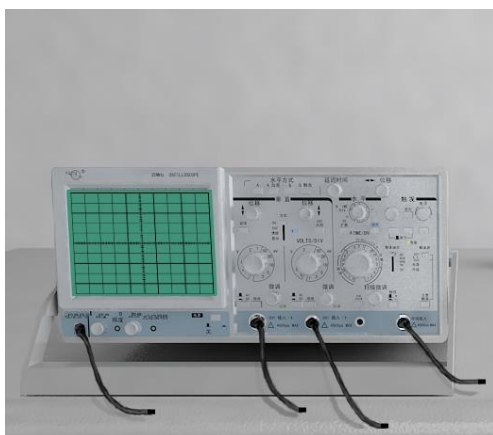
(2) 调压旋钮：调节输出电压的大小；实验中使用鼠标左击或右击进行调节。

示波器

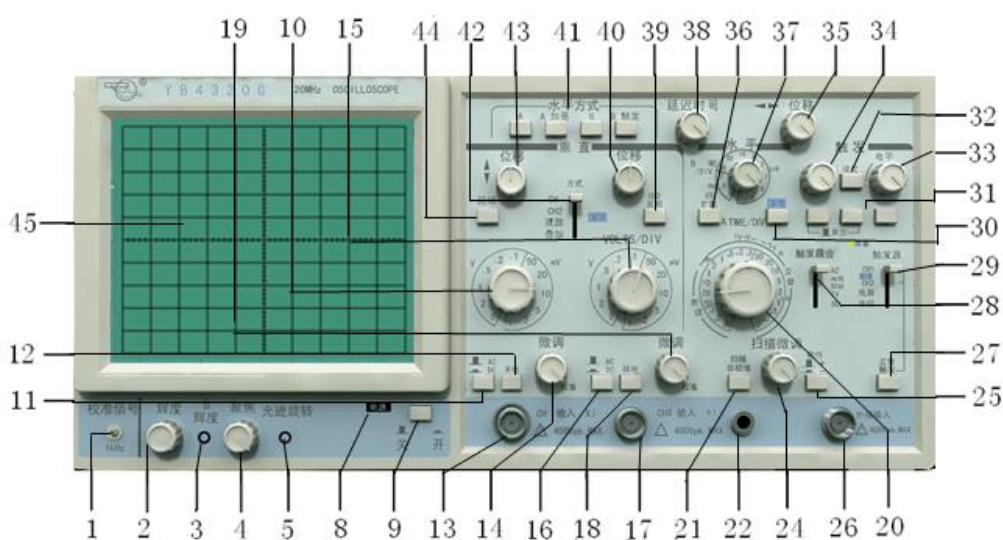
双击实验桌上示波器小图标弹出示波器的调节窗体，在示波器调节窗口上可以对示波器进行调节、操作。



实际仪器



仿真仪器



实验中示波器调节界面

功能及其用法介绍:

1. 主机电源

(9) 电源开关 (POWER)

将电源开关按键弹出即为“关”位置，将电源接入，按电源开关，以接通电源。

仿真实验中使用方法：点击进行打开和关闭进行切换。

(8) 电源图标

(2) 辉度旋钮 (INTENSITY)

顺时针方向旋转旋钮，亮度增强。接通电源之前将该旋钮逆时针方向旋转到底。

仿真实验中使用方法：单击左键或右键进行调节。

(4) 聚焦旋钮 (FOCUS)

用亮度控制钮将亮度调节至合适的标准,然后调节聚集控制钮直至轨迹达到最清晰的程度,虽然调节亮度时聚集可自动调节,但聚集有时也会轻微变化。如果出现这种情况,需重新调节聚集。

仿真实验中使用方法:单击左键或右键进行调节。

(5) 光迹旋转旋钮 (TRACE ROTATION)

由于磁场的作用,当光迹在水平方向轻微倾斜时,该旋钮用于调节光迹与水平刻度线平行。

(45) 显示屏

仪器的测量显示终端。

数据(1)校准信号输出端子 (CAL)

提供 $1\text{kHz} \pm 2\%$, $2\text{ VP-P} \pm 2\%$ 方波作本机Y轴、X轴校准用。

2. 垂直方向部分

(13) 通道1输入端 [CH1 INPUT (X)]

该输入端用于垂直方向的输入。在X-Y方式时输入端的信号成为X轴信号。

(17) 通道2输入端 [CH2 INPUT (Y)]

和通道1一样,但在X-Y方式时输入端的信号仍为Y轴信号。

(11)、(12)、(16)、(18) 交流—直流—接地耦合选择开关 (AC—DC—GND)

选择输入信号与垂直放大器的耦合方式

交流 (AC): 垂直输入端由电容器来耦合。

接地 (GND): 放大器的输入端接地。

直流 (DC): 垂直放大器的输入端与信号直接耦合。

仿真实验中使用方法:单击AC-DC按钮进行AC和DC方式切换,接地按钮按下为接地,弹出为非接地。

(10)、(15) 衰减器开关 (VOLTS/DIV)

用于选择垂直偏转灵敏度的调节。如果使用的是10:1的探头,计算时将幅度 $\times 10$ 。

仿真实验中使用方法:右键单击进行顺时针旋转,左键打击进行逆时针旋转。

(14)、(19) 垂直微调旋钮 (VARIABLE)

垂直微调用于连续改变电压偏转灵敏度,此旋钮在正常情况下应位于顺时针方向旋转到底的位置。将旋钮逆时针方向旋转到底,垂直方向的灵敏度下降到2.5倍以下。

仿真实验中使用方法:右键单击进行顺时针旋转,左键打击进行逆时针旋转。

(43)、(40) 垂直移位 (POSITION)

调节光迹在屏幕中的垂直位置。

仿真实验中使用方法:右键单击进行顺时针旋转,左键打击进行逆时针旋转。

(42) 垂直方式工作开关

选择垂直方向的工作方式

通道1选择(CH1)：屏幕上仅显示CH1的信号。

通道2选择(CH2)：屏幕上仅显示CH2的信号。

双踪选择(DUAL)：同时按下CH1和CH2按钮，屏幕上会出现双踪并自动以断续或交替方式同时显示CH1和CH2上的信号。

叠加(ADD)：显示CH1和CH2输入电压的代数和。

仿真实验中使用方法：右键单击进行向上调节，左键单击进行向下调节。

(39)CH2极性开关(INVERT)：按此开关时CH2显示反相电压值。

仿真实验中使用方法：左键单击进行按下和弹出间切换。

3. 水平方向部分

(20)主扫描时间因数选择开关(A TIME/DIV)

共20档，在 $0.1\mu\text{s}/\text{div}\sim 0.5\text{s}/\text{div}$ 范围选择扫描速率。

仿真实验中使用方法：右键单击进行顺时针旋转，左键打击进行逆时针旋转。

(30)X-Y控制键

如X-Y工作方式时，垂直偏转信号接入CH2输入端，水平偏转信号接入CH1输入端。

仿真实验中使用方法：左键单击进行按下和弹出间切换。

(21)扫描非校准状态开关键

按入此键，扫描时基进入非校准调节状态，此时调节扫描微调有效。

(24)扫描微调控键(VARIABLE)

此旋钮以顺时针方向旋转到底时处于校准位置，扫描由Time/Div开关指示。该旋钮逆时针方向旋转到底，扫描减慢2.5倍以上。正常工作时，(21)键弹出，该旋钮无效，即为校准状态。

仿真实验中使用方法：右键单击进行顺时针旋转，左键打击进行逆时针旋转。

(35)水平位移(POSITION)

用于调节轨迹在水平方向移动。顺时针方向旋转该旋钮向右移动光迹，逆时针方向旋转向左移动光迹。

仿真实验中使用方法：右键单击进行顺时针旋转，左键打击进行逆时针旋转。

(36)扩展控制键(MAG $\times 5$)

按下去时，扫描因数 $\times 5$ 扩展，扫描时间是Time/Div开关指示数值的1/5。

(37)延时扫描B时间系数选择开关(B TIME/DIV)

共12档，在 $0.1\mu\text{s}/\text{div}\sim 0.5\text{ms}/\text{div}$ 范围选择B扫描速率。

(41)水平工作方式选择(HORIZ DISPLAY)

主扫描(A)：按入此键主扫描单独工作，用于一般波形观察。

A加亮(A INT)：选择A扫描的某区段扩展为延时扫描。可用此扫描方式。与A扫描相对应的B扫描区段(被延时扫描)以高亮度显示。

被延时扫描(B)：单独显示被延时扫描B。

B触发(B TRIG' D)：选择连续延时扫描和触发延时扫描。

4. 触发系统 (TRIGGER)

(29) 触发源选择开关 (SOURCE): 选择触发信号源。

通道1触发 (CH1, X-Y): CH1通道信号是触发信号, 当工作方式在X-Y时, 波动开关应设置于此挡。

通道2触发 (CH2): CH2上的输入信号是触发信号。

电源触发 (LINE): 电源频率成为触发信号。

外触发 (EXT): 触发输入上的触发信号是外部信号, 用于特殊信号的触发。

仿真实验中使用方法: 右键单击进行向上调节, 左键单击进行向下调节。

(27) 交替触发 (ALT TRIG)

在双踪交替显示时, 触发信号交替来自于两个Y通道, 此方式可用于同时观察两路不相关信号。

(26) 外触发输入插座 (EXT INPUT): 用于外部触发信号的输入。

(33) 触发电平旋钮 (TRIG LEVEL): 用于调节被测信号在某选定电平触发同步。

(32) 电平锁定 (LOCK)

无论信号如何变化, 触发电平自动保持在最佳位置, 不需人工调节电平。

仿真实验中使用方法: 右键单击进行顺时针旋转, 左键打击进行逆时针旋转。

(34) 释抑 (HOLD OFF)

当信号波形复杂, 用电平旋钮不能稳定触发时, 可用此旋钮使波形稳定同步。

(25) 触发极性按钮 (SLOPE): 触发极性选择, 用于选择信号的上升沿和下降沿触发。

(31) 触发方式选择 (TRIG MODE)

自动 (AUTO): 在自动扫描方式时扫描电路自动进行扫描。在没有信号输入或输入信号没有被触发同时, 屏幕上仍然可以显示扫描基线。

常态 (NORM): 有触发信号才能扫描, 否则屏幕上无扫描显示。当输入信号的频率低于50Hz时, 请用常态触发方式。

复位键 (RESET): 当“自动”与“常态”同时弹出时为单次触发工作状态, 当触发信号来到时, 准备 (READY) 指示灯亮, 单次扫描结束后熄灭, 按复位键 (RESET) 下后, 电路又处于待触发状态。

(28) 触发耦合 (COUPLING)

根据被测信号的特点, 用此开关选择触发信号的耦合方式。

交流 (AC): 这是交流耦合方式, 触发信号通过交流耦合电路, 排除了输入信号中的直流成分的影响, 可得到稳定的触发。

高频抑制 (HF REJ): 触发信号通过交流耦合电路和低通滤波器作用到触发电路, 触发信号中的高频成分被抑制, 只有低频信号部分能作用到触发电路。

电视 (TV): TV触发, 以便于观察TV视频信号, 触发信号经交流耦合通过触发电路, 将电视信号送到同步分离电路, 拾取同步信号作为触发扫描用, 这样视频

信号能稳定显示。TV-H用于观察电视信号中行信号波形，TV-V：用于观察电视信号中场信号波形。注意：仅在触发信号为负同步信号时，TV-V和TV-H同步。

直流(DC)：触发信号被直接耦合到触发电路，当触发需要触发信号的直流部分或需要显示低频信号以及信号空占比很小时，使用此种方式。

螺线环

实验中的待测样品，由主线圈、副线圈以及铁磁性材料的铁芯构成。

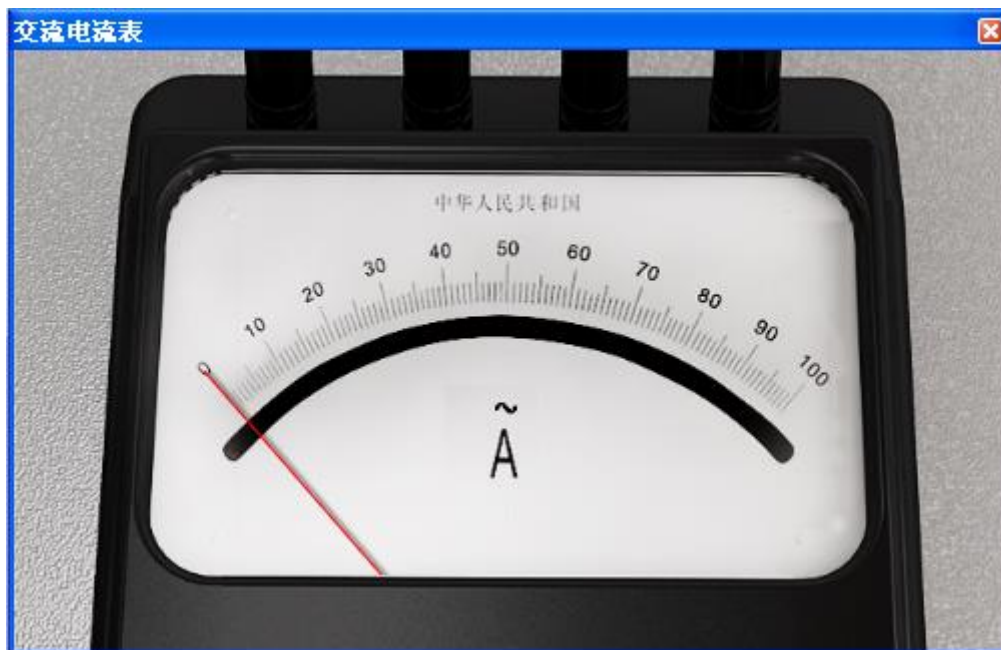


仿真仪器

其中，初级线圈匝数 N_1 为600匝，次级线圈匝数 N_2 为75匝，平均磁路 l 为47.123cm,样品的截面积 S 为 1.3273 cm^2 ；铁芯的磁性性质由实验中随机产生。

交流电流表

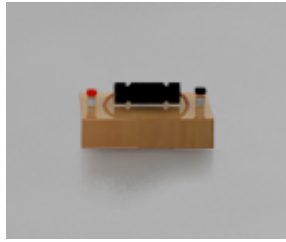
实验中测量交流电电流的装置，具有三个量程，分别为：0.5A、1A、5A。实验中可根据需要使用不同的接线柱，进行选择合适的量程测量线路中的电流。



交流电流表读数窗体

电阻R1

实验中标准的电阻，其阻值为 $2\ \Omega$ 。



仿真仪器

电阻R2

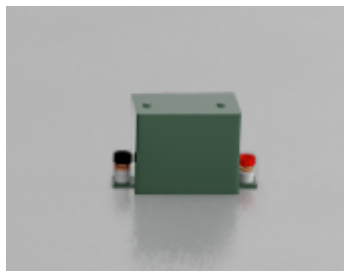
实验中标准的电阻，其阻值为 $11\text{k}\Omega$ 。



仿真仪器

电容C

实验中标准的电容，其电容值为 $1\mu\text{F}$ 。



仿真仪器

标定电阻R0

实验中用来进行标定磁场强度H的标准限流电阻，其阻值大小为 500Ω 。



仿真仪器

BH-2标准互感器

实验中用来标定磁感应强度B，其标准互感系数M为 $10\pm 0.1\text{mH}$ ，允许的最大额定电流值为 0.3A 。



仿真仪器

五、实验指导

辅助功能介绍

界面的右上角的功能显示框：当在普通做实验状态下，显示实验实际用时、记录数据按钮、结束实验按钮、注意事项按钮；在考试状态下，显示考试所剩时间的倒计时、记录数据按钮、结束考试按钮、显示试卷按钮(考试状态下显示)、注意事项按钮。

右上角工具箱：各种使用工具，如计算器等。

右上角帮助和关闭按钮：帮助按钮可以打开帮助文件，关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏：存放实验所需的仪器，可以点击其中的仪器拖放至桌面，鼠标触及到仪器，实验仪器栏会显示仪器的相关信息；仪器使用完后，则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

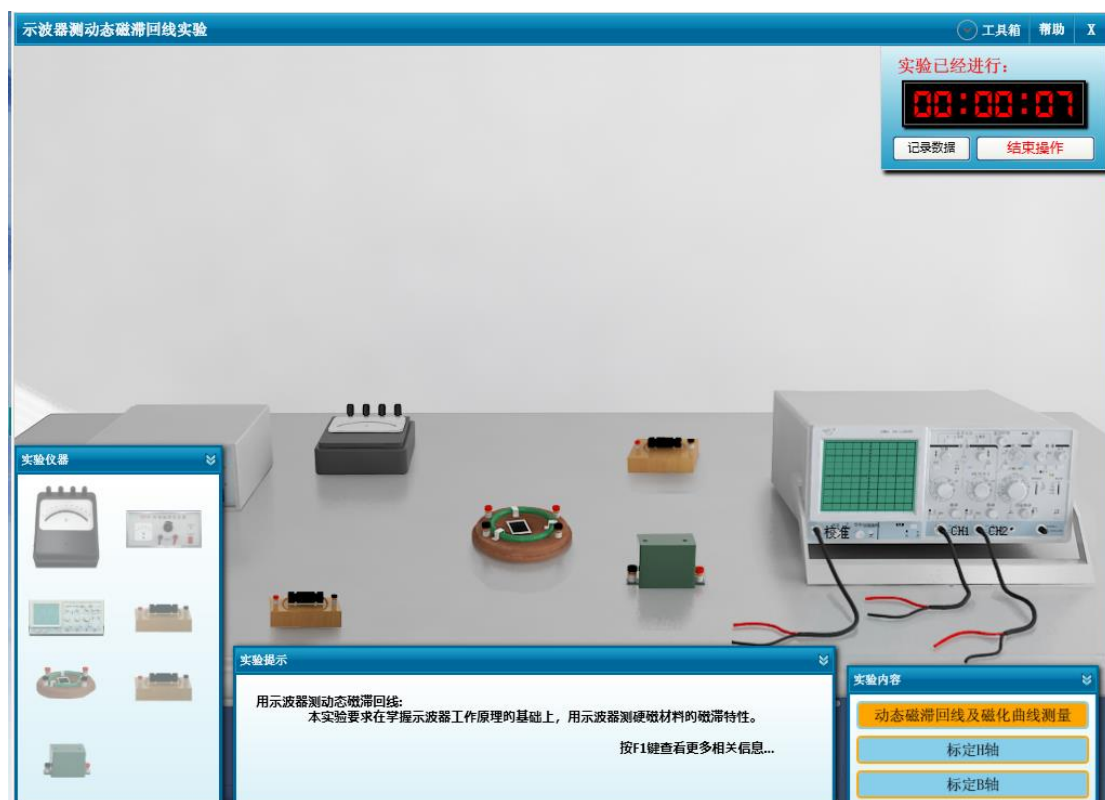
提示信息栏：显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按F1键可以获得更多帮助信息。

实验状态辅助栏：显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出)，当前实验内容显示为红色，其他实验内容为蓝色；可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后，实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

实验操作指导

1. 测量动态磁滞回线和基本磁化曲线

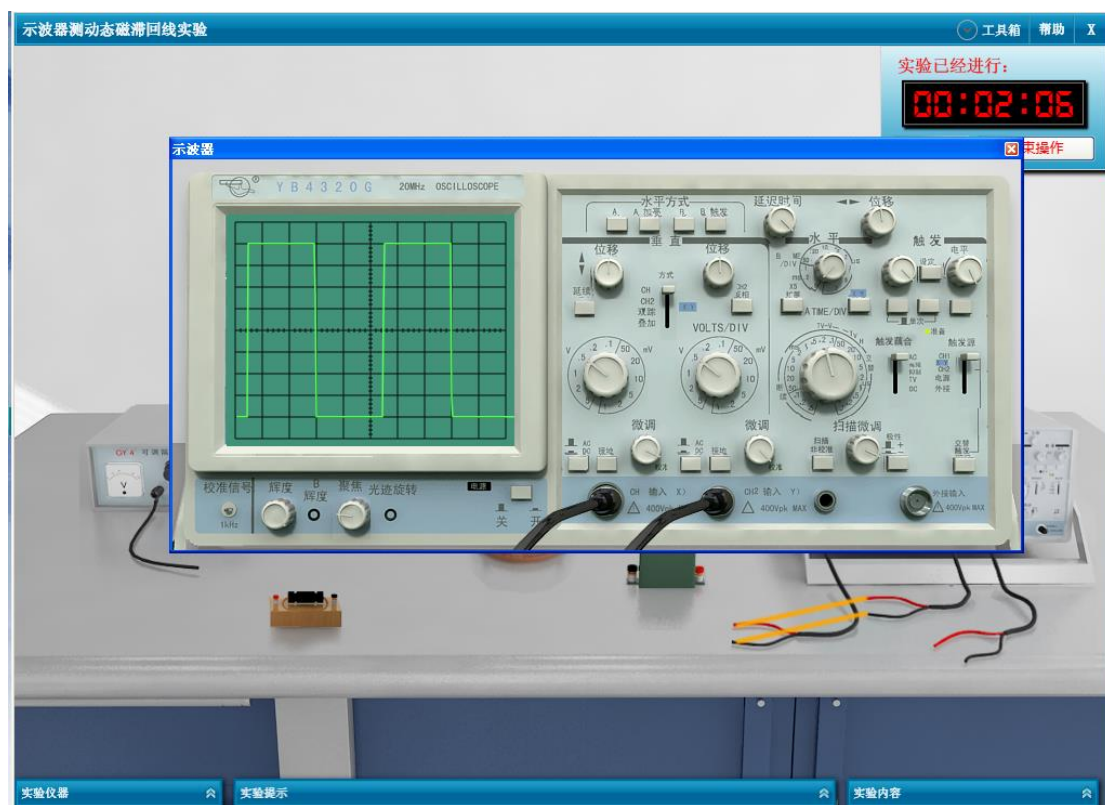
(1) 启动实验程序，进入实验窗口，如下图所示。



实验主场景图

(2) 调节示波器

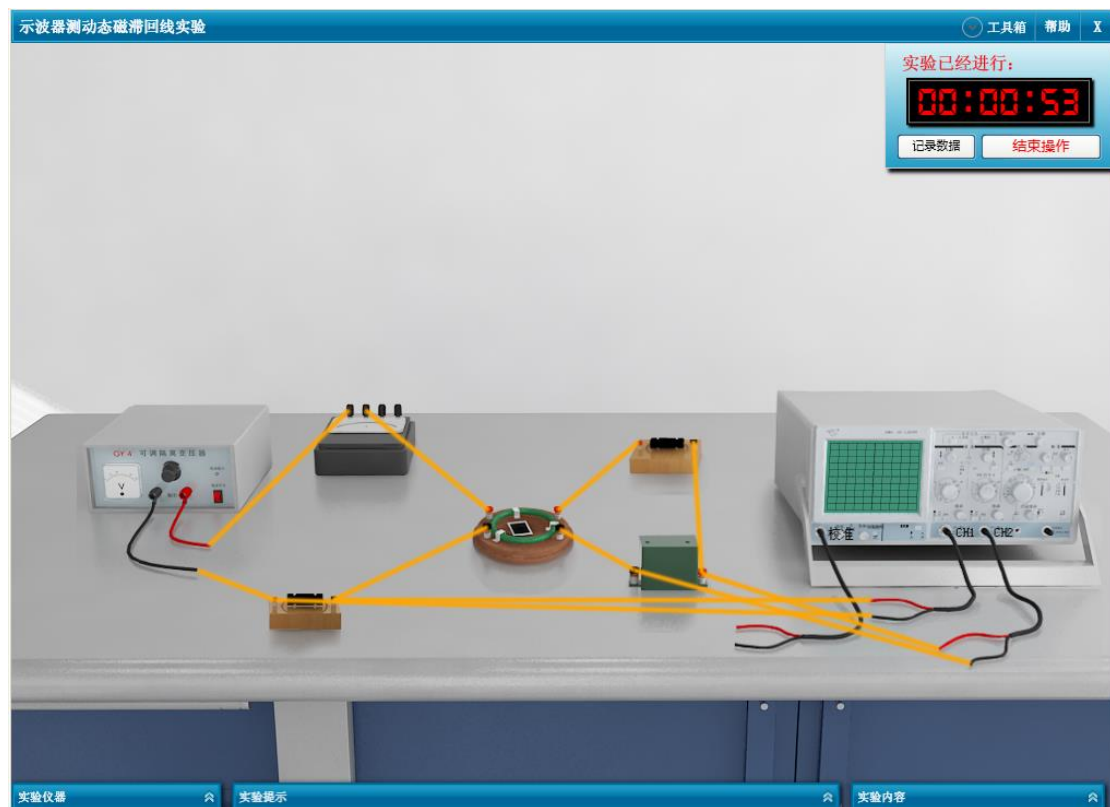
a. 打开示波器窗体。点击开关按钮，打开示波器电源。调节辉度旋钮、聚焦旋钮，并将校准信号接入示波器，分别对示波器CH1通道和CH2通道进行校准。



b. 按下示波器X-Y按钮，调节示波器CH1通道和CH2通道的光点均与坐标原点重合。



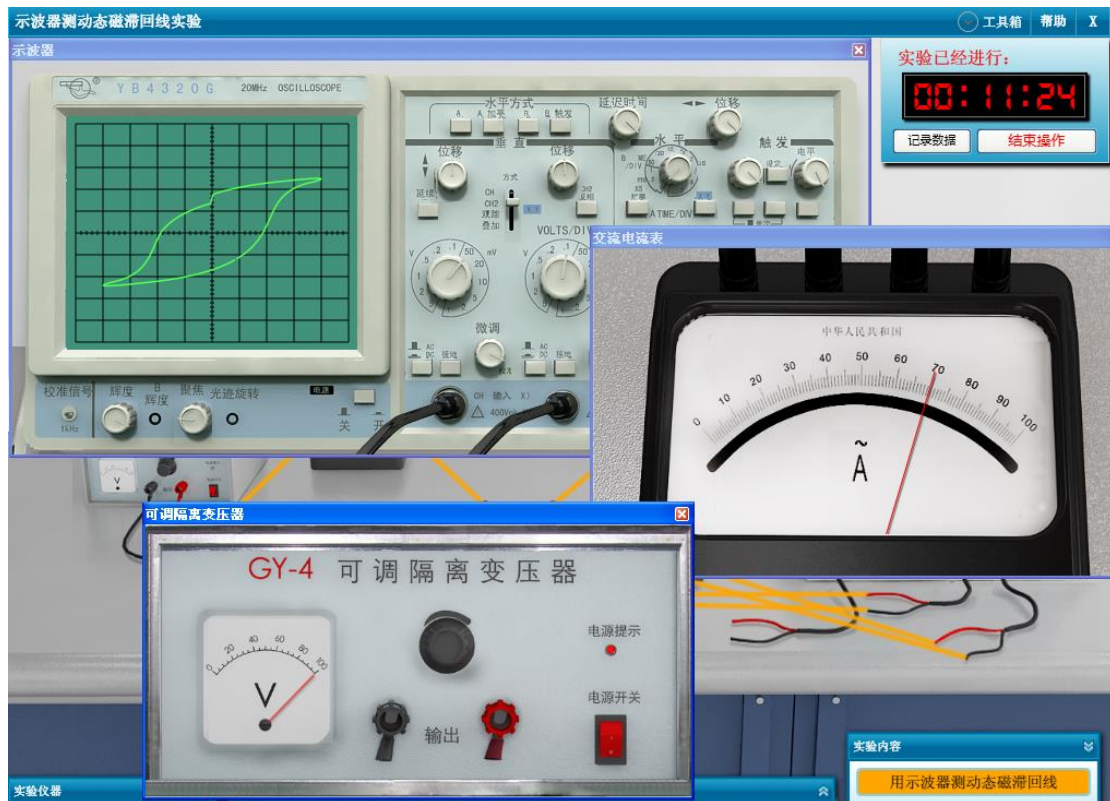
(3) 按照实验原理图进行线路连接



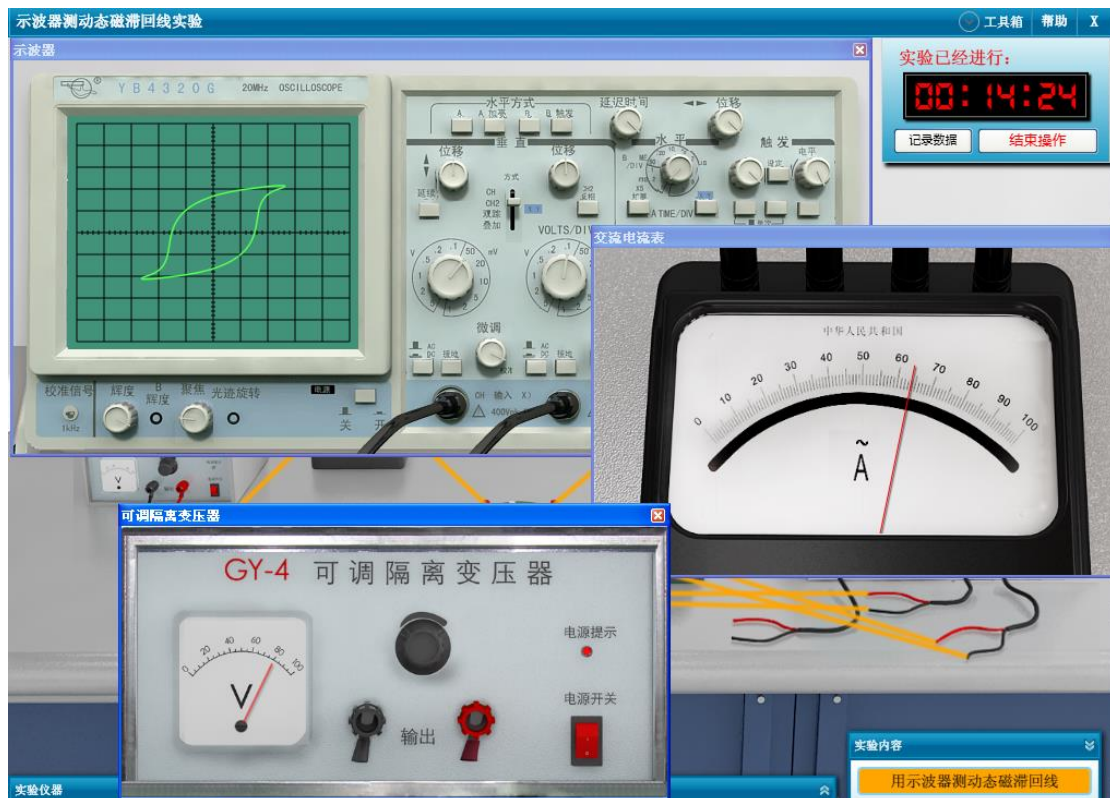
连线方法：

- 鼠标移动到仪器的接线柱上，按下鼠标左键不放。
- 移动鼠标到目标接线柱上
- 松开鼠标左键，即完成一条连线

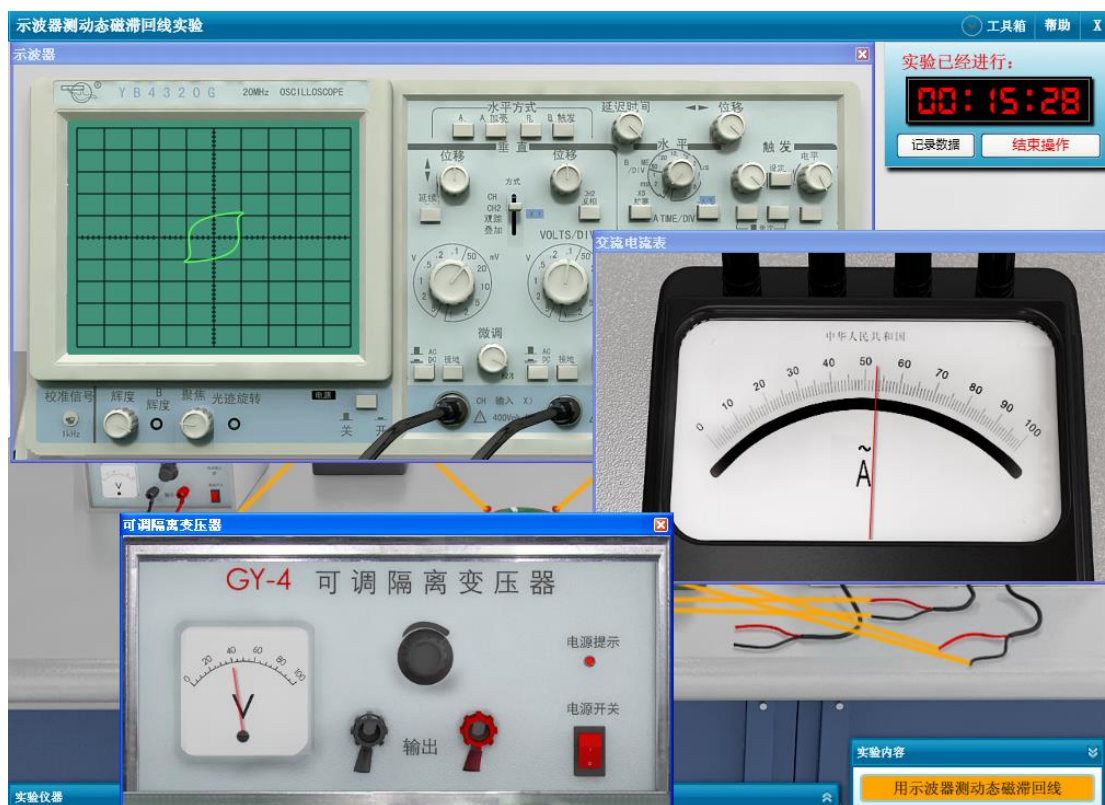
(4) 打开可调隔离变压器电源开关，调节输出电压到最大值，缓慢调节调压器的输出电压，使励磁电流从最大值600mA每次减小20mA，直至调为零，样品即被退磁。



(5) 调节输出电压为80V，观察并记录示波器显示的饱和磁滞回线波形。

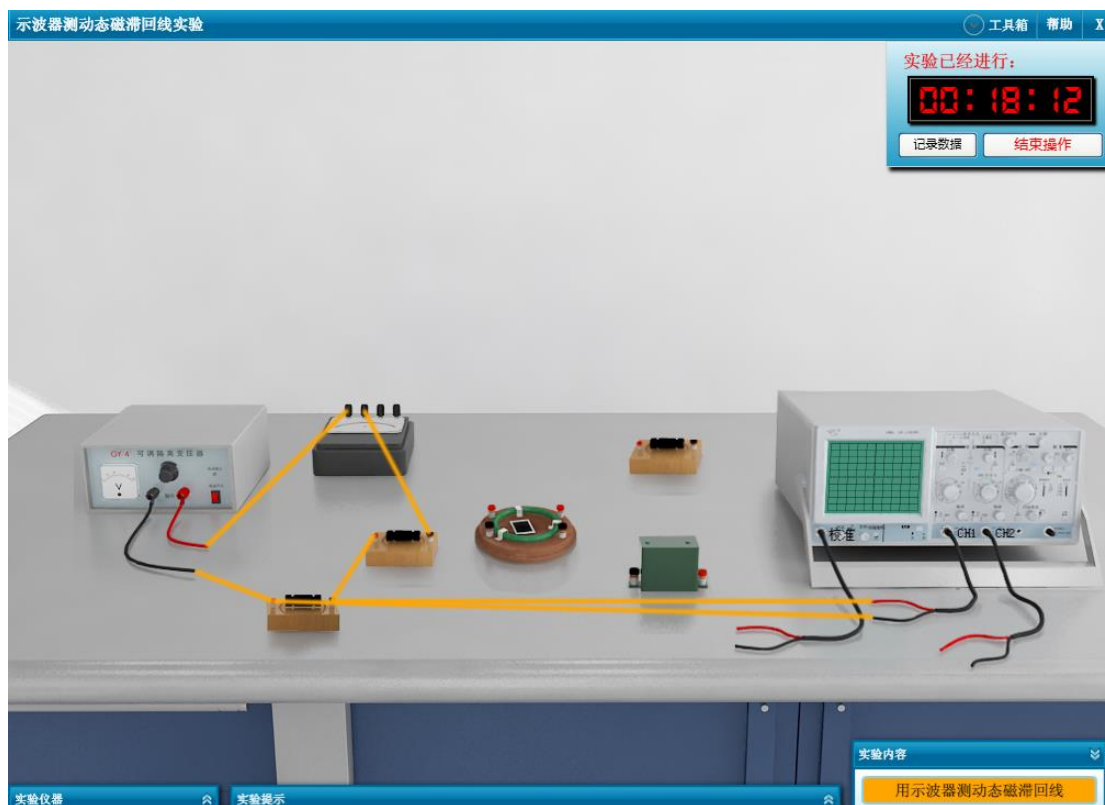


(6) 保持示波器增益不变，依次调节电源电压为10V、20 V、30 V、40 V、50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V，观察并记录各个磁滞回线波形的顶点坐标。



2. 进行标定磁场强度H的操作提示

(1) 在实验仪器栏中将标定电阻R0拖动到实验桌上，对照标定 H_0 原理图进行连线。



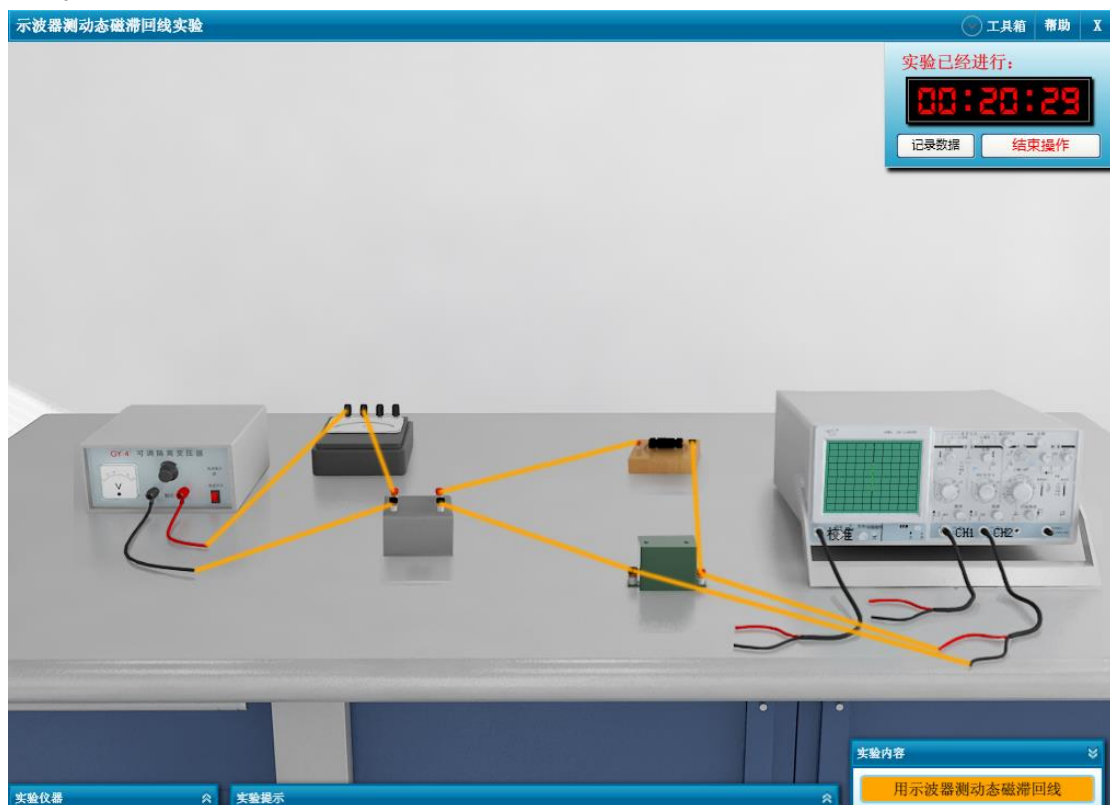
(2) 调节电源电压调节电路中的电流值为表格中的值，并记录示波器上显示波形的总长度(小格的格数)以及对应的增益档位；根据已知数据及计算公式，计

算出每小格代表的磁场强度 H_0 的值。

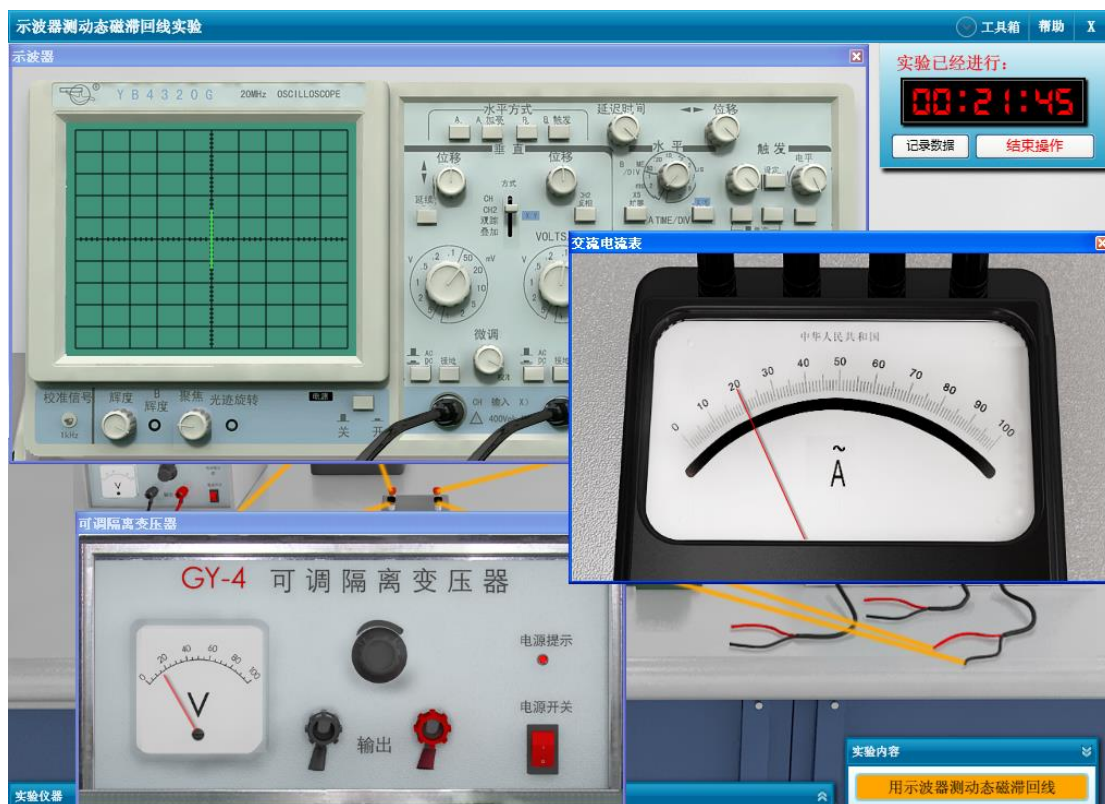


3. 进行标定磁感应强度B的操作提示

(1) 先将实验样品移回实验仪器栏，再将标准互感器拖到实验桌上，按照标定 B_0 原理图进行连接线路。



(2) 调节电源电压调节电路中的电流值为表格中的值，并记录示波器上显示波形的总长度(小格的格数)；根据已知数据及计算公式，计算出每小格代表的磁感应强度 B_0 的值。



六、思考题

1. R_1 的值为什么不能大？
2. U_c 对应的是H还是B？请说明理由？
3. 测量回线要使材料达到磁饱和，退磁也应从磁饱和开始，意义何在？

七、参考资料

1. 《大学物理实验》第二册，谢行恕，康士秀，霍剑青。高等教育出版社，2001年