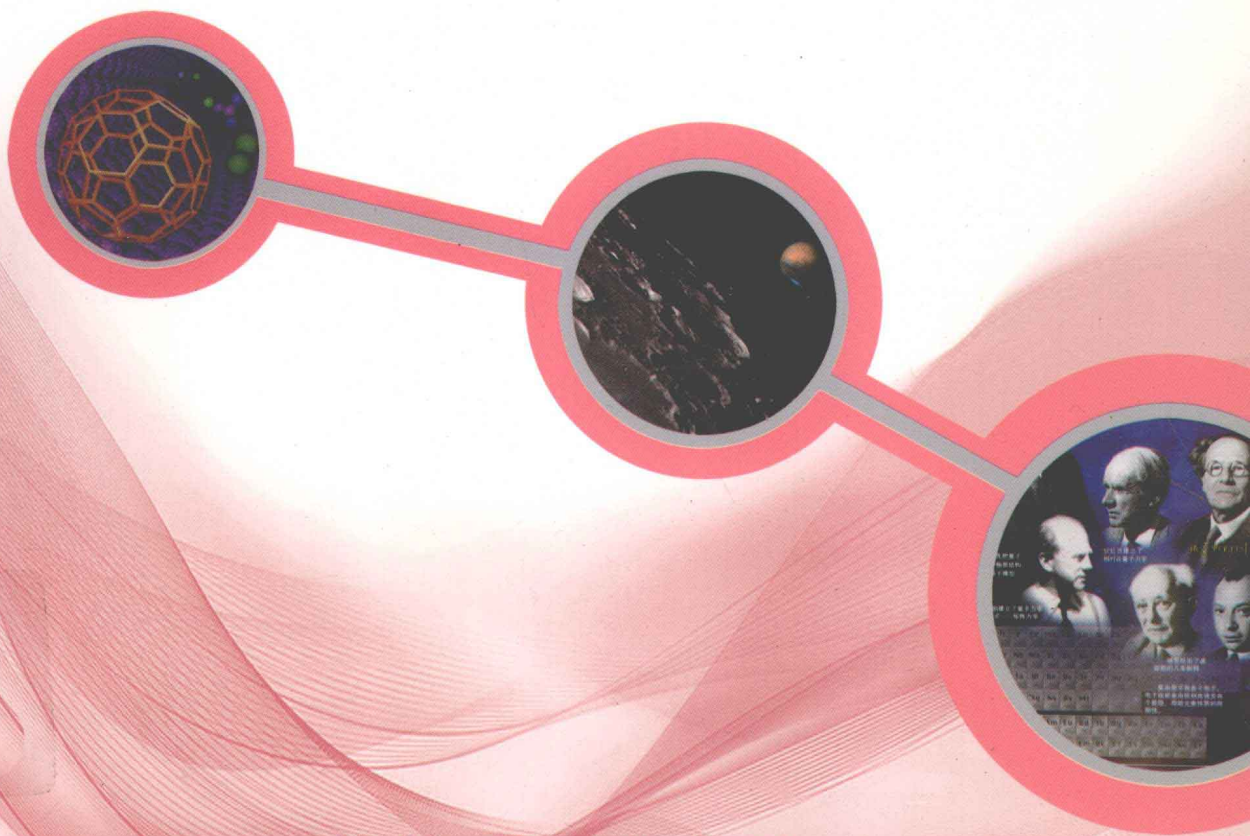


福建省精品课程

大学物理实验

第二册

骆万发 吴志明 主编



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

福建省精品课程

大学物理实验

第二册

骆万发 吴志明 主编

厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 第2册/骆万发, 吴志明主编. —厦门: 厦门大学出版社, 2011. 8
ISBN 978-7-5615-3921-7

I. ①大… II. ①骆…②吴… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 109096 号

厦门大学出版社出版发行

(地址: 厦门市软件园二期望海路 39 号 邮编: 361008)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

南平市武夷美彩印中心印刷

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.75

字数: 323 千字

定价: 25.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

前 言

大学物理实验是理工农医院校必修的基础实验课程，是学生进入大学以来进行科学实验训练的第一关，也是培养学生实验能力和创新能力的重要环节。

本书打破传统的力、热、电、光教学模式，按基础性、提高综合性、设计性和研究性的结构模式进行编写。

全书共分五章。第一章为实验测量不确定度评定与数据处理，本章从概率入手，按照国际计量局（BIPM）和国际标准化（ISO）等国际组织制定的《实验不确定度的规定建议书 INC-1（1980）》及《测量不确定度表示指南（1993）》，深入浅出地描述本部分内容，并将该评定方法应用于全书；第二章为物理实验基本知识和基本测量方法；第三章为基本、基础性实验；第四章为提高、综合性实验；第五章为设计、研究性实验。第一章至第三章为第一册，第四章和第五章为第二册。本书为第二册，可用作各理工专业学生的普通实验教材或参考书。

第四章的综合提高性部分，是在多年的实验室建设基础上，精选了世界科技发展的最新研究成果以及近年来与诺贝尔奖课题相关的新颖实验项目，以增加学生的知识深度和广度；第五章的设计性、研究性实验，则以灵活应用所学知识为立足点，鼓励创新，提倡在处理同一实验课题时不同物理思想、不同实验方法的交流与砥砺。

物理实验教学体系的改革、实验室建设和实验教材的编写是一项集体的活动，是一项承前启后、继往开来的工作，反映着本实验室不同时期基础课实验教师和实验工程技术人员集体的劳动和集体的智慧。本书的编写，参考了本校和兄弟院校不同时期、不同层次的讲义或教材，引用了本系李文裕、潘庄成、许淑恋、黄钟英等老师编写的部分实验内容，由骆万发、吴志明老师组织编写并进行最后的统稿。本实验室的李丽美、孔丽晶、郑晔丽、郑士忠、陈真、姚真瑜、赖志南、刘新、高玉琳、沈桂平、黄胜利等老师也参与了本教材建设工作，特别是我国著名全息光学专家、厦大物理系刘守教授、张向苏教授应邀为本书编写了全息照相实验及相关设计性实验，为本书增添光彩，在此表示衷心的感谢！同时，本书编写过程中得到厦门大学校、院系领导、出版社的积极鼓励和支持，在此一并表示感谢！

由于我们的水平有限，书中难免有错误和不妥之处，我们真诚希望各位读者提出宝贵意见和建议。

编者

2011.6.18

目 录

第四章 提高、综合性实验	1
实验一 用霍尔效应法测量螺线管磁场	1
实验二 用示波器观测动态磁滞回线和磁化曲线	6
实验三 交流电桥	13
实验四 并联谐振及交流电功率的测量——日光灯电路的研究	21
实验五 RLC 串联电路的稳态特性	29
实验六 RLC 串联电路的暂态特性	36
实验七 CCD 驱动电路实验	45
实验八 非线性电路混沌实验	53
实验九 可控硅调光电路	57
实验十 激光双光栅法测量微小位移	61
实验十一 薄透镜焦距的测定	66
实验十二 透镜组基点的测定	71
实验十三 用阿贝折射计测量折射率	75
实验十四 平行光管的调整及使用	81
实验十五 用双棱镜测定光波波长	86
实验十六 单色仪的标定和滤光片光谱透射率曲线的测定	90
实验十七 旋光现象和旋光仪	94
实验十八 椭圆偏振光的产生和检测	97
实验十九 阿贝成像与 θ 调制	101
实验二十 硅光电池特性的研究	107
实验二十一 太阳能电池特性的研究	111
实验二十二 燃料电池综合特性实验	116
实验二十三 红外通信特性实验	124
实验二十四 热体辐射	133
实验二十五 电子荷质比的测定	140
实验二十六 巨磁阻效应及其应用	144
实验二十七 光导纤维中光速的测定	151
实验二十八 法拉第磁光效应实验	158
实验二十九 声光效应实验	163
实验三十 晶体电光效应实验	171
实验三十一 液晶电光效应	179
实验三十二 全息照相	186

第五章 设计性实验.....	192
实验一 用伏安法测量电源的输出特性.....	192
实验二 LED 光电特性测量	192
实验三 将微安表改装为欧姆表.....	192
实验四 用谐振电桥测量信号发生器频率和电感的直流电阻.....	193
实验五 利用单线示波器测量相移.....	193
实验六 交流三表法测量铁芯线圈的电感.....	193
实验七 周期函数的傅立叶分解.....	194
实验八 高温巨磁阻抗磁敏传感器设计.....	194
实验九 全息正交光栅的制作.....	195
实验十 全息 Fresnel 透镜的制作	195
实验十一 核衰变统计规律的 Java 程序设计	195
实验十二 光干涉现象的 MATLAB 模拟.....	196
实验十三 基于 LabVIEW 的电光效应实验虚拟仪器设计.....	197
参考文献.....	198

第四章 提高、综合性实验

实验一 用霍尔效应法测量螺线管磁场

在科学研究中,测量磁场的方法很多,原则上物质在磁场中产生的效应都可以用来测量磁场,如霍尔效应法、磁电阻法、电磁感应法及核磁共振法等。本实验采用霍尔效应法测量螺线管磁场。

一、目的要求

1. 了解霍尔效应的原理。
2. 了解应用集成霍尔传感器测量磁场的原理和方法。
3. 学会用通电螺线管中心点磁感应强度理论计算值校准集成霍尔传感器灵敏度。

二、实验仪器

1. 仪器用具

ICH-1 新型通电螺线管磁场测定仪、IVU500 型螺线管实验电源。

2. 仪器描述

实验接线图如图 4-1-1 所示。

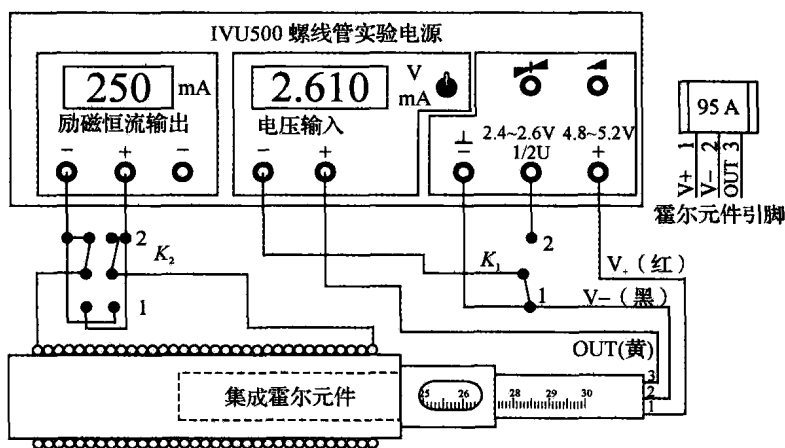


图 4-1-1 实验接线图

螺线管通过双刀换向开关 K_2 与电源励磁恒流输出端相连。集成霍尔元件的 V_+ 和 V_- 端分别与 4.8~5.2 V 可调电源+和一输出端相连,而 OUT 和 V_- 端分别与数字电压表正、负端相连。仪器各部件技术指标如下:

(1) 95A 集成霍尔传感器

供电电压 (DC)	4.5~5.5 V
磁场测定范围	-67~+67 mT
在 0T 时, 零点电压	2.500 ± 0.075 V
功耗 (在 5 V 时)	7 mA
灵敏度	31.25 ± 1.25 V/T (3.125 ± 0.125 mV/G)
温度误差, 零点漂移	$< \pm 0.06$ %/°C

内含激光修正的薄膜电阻提供精确的灵敏度和温度补偿, 不必考虑剩余电压影响。

(2) 螺线管

螺线管长度: 260 mm

螺线管内径 $\Phi 25.0$ mm, 外径 $\Phi 45.0$ mm

螺线管层数: 10 层

螺线管匝数: 3000 ± 20 匝

(3) IVU500 螺线管实验电源

数字直流稳流源	0~0.500 A (含三位半数字式电流表 0~0.5 A)
直流稳压电源	4.750~5.250 V (精细微调)
直流稳压电源 (作补偿作用)	2.400~2.600 V (精细微调)
四位半数字电压表	0~19.999 V 和 0~1999.9 mV (两档)

三、实验原理

1. 霍尔效应原理

霍尔效应原理如图 4-1-2 所示。一块厚度为 d 的长方体半导体, 横向通有电流 I_s , 在竖直磁场 B 的作用下, 运动的载流子受到洛伦兹力作用发生偏转, 使材料两横截面 a 、 b 之间产生电势差的现象称为霍尔效应。该电势差称为霍尔电势差 U_H , 可表示为

$$U_H = \left(\frac{R_H}{d} \right) B I_s = K_H B I_s \quad (4-1-1)$$

式中, R_H 是由半导体本身电子迁移率决定的物理常数, 称为霍尔系数, K_H 为霍尔元件灵敏度, B 为磁感应强度, I_s 为电流强度。

理论上, 霍尔元件在零磁场下, 霍尔电压 U_H 应为零。但实验中, 该值通常不为零, 而是有一定的剩余电压 U_0 。这是由于半导体材料本身不均匀、电极不对称及各种副效应等原因引起。在实际应用中, 可采用电压补偿法消除, 如图 4-1-3 所示。

2. 高灵敏度 95A 型集成霍尔元件

它由霍尔元件、放大器和薄膜电阻剩余电压补偿器组成, 磁场线性测量范围为 $0.000 \sim 0.067$ T, 灵敏度为 31.25 V/T。采用 5 V 电源供电, 在磁感应强度 B 为零时, 输出电压为 2.5 V。它的输出电压 U_H 与磁感应

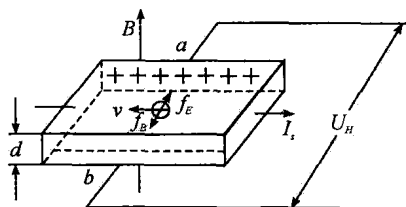


图 4-1-2 霍尔效应原理图

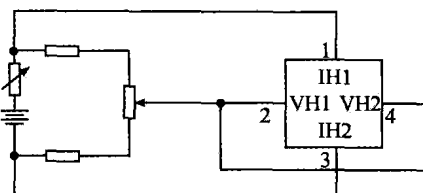


图 4-1-3 电压补偿法示意图

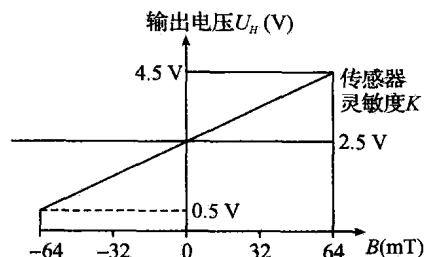


图 4-1-4 集成霍尔传感器的输出电压与磁感应强度关系

强度 B 的关系如图 4-1-4 所示。该关系可以用下式表示

$$B = (U_H - 2.5) / K \quad (4-1-2)$$

式中, U_H 为集成霍尔传感器输出电压, K 为该传感器的灵敏度。

3. 螺线管磁场

本实验利用螺线管产生磁场, 如图 4-1-5 所示。螺线管的总长为 L , 半径为 R , 单位长度的匝数为 n , 通过的电流为 I_m 。取轴线上任一点 P 为坐标原点, 建立如图 4-1-5 所示的坐标系, 其中 x_1 、 x_2 分别为螺线管两端在 X 轴上投影点到 P 点的距离。在位置坐标为 x 的螺线管上取一小段 dx , 则其所含线圈匝线 $dN = ndx$, 它在 P 点产生的磁感应强度的大小为

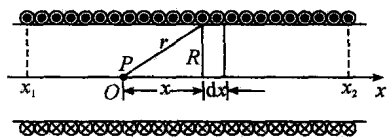


图 4-1-5 螺线管磁场

$$dB = \frac{\mu_0 n I_m R^2 dx}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (4-1-3)$$

方向沿 x 轴正向。可以看出, 管上各小段在 P 点产生的磁感应强度方向均相同。因此, 载流直螺线管在 P 点的 B 值为

$$B = \int dB = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mu_0 n I_m R^2}{2} \frac{dx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (4-1-4)$$

利用积分公式

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{(a^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{x_2}{a^2 \sqrt{x_2^2 + a^2}} - \frac{x_1}{a^2 \sqrt{x_1^2 + a^2}}$$

可得

$$B = \frac{\mu_0 n I_m}{2} \left[\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + R^2}} - \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + R^2}} \right] \quad (4-1-5)$$

这就是载流密绕直螺线管轴线上的磁场计算公式。在图示的电流情况下, B 的方向沿 X 轴正方向。

若 P 点位于螺线管的中心处, 即 $x_1 = x_2$ 。此时, 式 (4-1-5) 可写为

$$B = \mu_0 n I_m \frac{L}{\sqrt{L^2 + (2R)^2}} = \mu_0 n I_m \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}} \quad (4-1-6)$$

其中, D 为螺线管的直径。

若 $L \gg R$, 则螺线管可视为无限长, 这样的螺线管称为长直螺线管。当 P 点位于管的中部附近, 则 $x_1 \rightarrow -\infty$, $x_2 \rightarrow +\infty$, 此时, 式 (4-1-5) 又可简写为

$$B = \frac{\mu_0 n I_m}{2} \times 2 = \mu_0 n I_m \quad (4-1-7)$$

上式说明, 载流长直螺线管轴线上中部各点的磁感应强度相同。

如果 P 点位于长直螺线管轴上的两端, 例如左端, 则 $x_1 = 0$, $x_2 \rightarrow +\infty$, 以之代入式 (4-1-5), 可得

$$B = \frac{\mu_0 n I_m}{2} \quad (4-1-8)$$

可见, 长直螺线管轴线两端的磁感应强度只有中部磁感应强度的一半。

四、实验内容

1. 按图 4-1-1 将仪器连好。

2. 将集成霍尔传感器置于螺线管轴线的中心位置(标尺读数约为 15 cm), 调节 4.8~5.2 V 电源的输出电压, 使数字电压表的指示值为 2.500 V, 这时集成霍尔元件便达到了标准化工作状态, 即集成霍尔传感器中通过霍尔元件的电流达到规定数值, 且剩余电压刚好得到补偿。

3. 调节通过螺线管的直流电流 I_m , 在 0 至 250 mA 范围内每隔 50 mA 测一次集成霍尔传感器(处于螺线管中央)的输出电压 U_H , 画出 U_H-I_m 关系曲线。

4. 在保持 V_+ 和 V_- 电压不变的情况下, 把开关 K_1 拨向 2, 断开开关 K_2 。调节 2.4~2.6 V 电源输出电压, 使集成霍尔传感器在零磁场条件下数字电压表读数为 0.000 mV (这时应将数字电压表量程开关拨向 mV 档), 此时也就是用一个外接 2.5 V 电位差与集成霍尔传感器输出 2.5 V 电位差进行补偿, 这样可直接读出输出信号的 U_H 值。

5. 用该集成霍尔传感器测量螺线管磁场分布。调节集成霍尔传感器的位置, 记录输出信号 U_H 值, 画出管内磁感应强度 B 与位置刻度 X 的关系曲线。

五、数据记录与处理

1. 霍尔电势差 U_H 与磁感应强度 B 的关系

表 4-1-1 霍尔电势差(信号已放大) U_H 与螺线管电流 I_m

I_m (A)	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500
U_H (V)											

利用上述数据, 用最小二乘法求出斜率 $\frac{\Delta U_H}{\Delta I_m}$ 值和相关系数 γ , 并说明霍尔电势差 U_H 与通电螺线管内中心点磁感应强度 B 之间的关系。

2. 以通电螺线管中心点磁感应强度理论计算值为标准值, 校准集成霍尔传感器的灵敏度 K 对有限长螺线管,

$$K = \frac{\Delta U_H}{\mu_0 \frac{N}{L} \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}} \Delta I_m}$$

式中, N 为螺线管匝数, L 为长度, D 为螺线管平均直径, μ_0 为真空磁导率 $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, 计算相对误差。

3. 通电螺线管内磁感应强度分布的测定

螺线管的励磁电流 $I_m = 0.250 \text{ A}$, U'_1 为通正向励磁电流时测得集成霍尔元件输出电压, U'_2 为通反向励磁电流时测得输出电压。

表 4-1-2 螺线管内磁感应强度 B 与位置刻度 X 关系

X (cm)	U'_1 (mV)	U'_2 (mV)	$\overline{U'} = \frac{U'_1 - U'_2}{2}$ (mV)	$B = \frac{\overline{U'}}{K}$ (mT)
1.00				
2.00				
⋮				
29.00				
30.00				

利用公式 (4-1-2) 算出磁感应强度 B , 作出通电螺线管内磁感应强度分布 $B-X$ 曲线图, 并比较螺线管边缘处与螺线管中央的磁感应强度。

六、注意事项

1. 集成霍尔元件的 V_+ 和 V_- 极性不能反接, 否则将损坏元件。
2. 拆除接线前应先关闭电源。
3. 仪器应预热 10 分钟后开始测量数据。

七、思考题

1. 实验中为什么要保持电源输出电压不变?
2. 若磁场与霍尔元件薄片不垂直, 能否准确测出磁场?
3. 用本实验装置能否测量霍尔系数 R_H ? 如何测量?

实验二 用示波器观测动态磁滞回线和磁化曲线

铁磁材料在科研和工业中有着广泛的应用。磁滞回线和磁化曲线是铁磁材料的重要特性,是设计制造各种元器件的重要依据之一。测量铁磁材料磁滞回线的方法有多种,如霍尔法、冲击法、示波器法等,其中示波器法观测动态磁滞回线和磁化曲线,电路简单,误差小,直观性强,有助于建立“磁化”过程的概念。

一、实验目的

1. 了解磁性材料的基本特性。
2. 学会用示波器和数字万用表观察、测量动态磁滞回线和磁化曲线。

二、实验仪器

1. 仪器用具

磁性材料样品(螺绕环)、示波器、音频信号发生器、数字万用表、电阻箱、电容箱。

2. 仪器描述

用示波器观测动态磁滞回线和磁化曲线实验装置如图 4-2-1 所示。

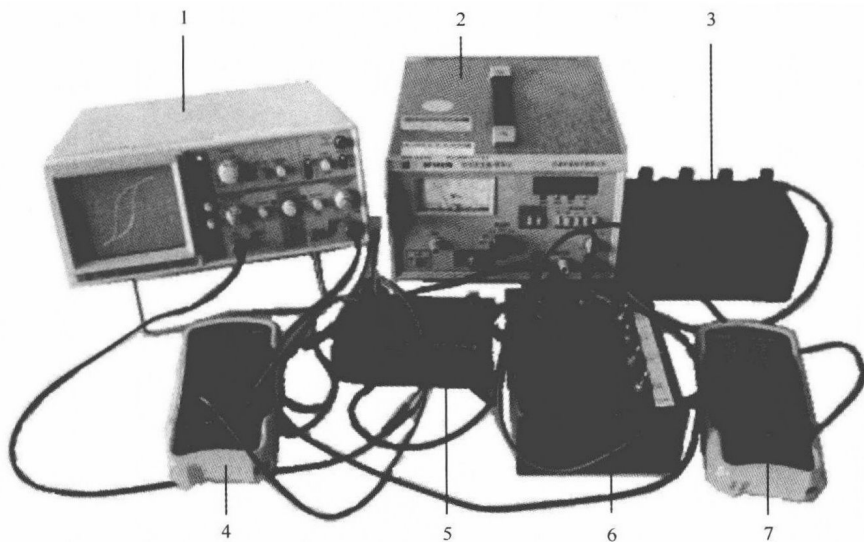


图 4-2-1 用示波器观测动态磁滞回线和磁化曲线实验装置图

①示波器; ②音频信号发生器; ③电阻箱; ④数字万用表; ⑤磁性材料样品(螺绕环); ⑥电容箱; ⑦数字万用表

三、实验原理

1. 铁磁物质的基本特性

铁磁材料一般分为软磁、硬磁和矩磁材料等几类。软磁材料(如硅钢片)的磁滞回线窄、矫顽力小,但其磁导率和饱和磁感应强度大,容易磁化和去磁,常用于制造电机、变压器和电

磁铁。硬磁材料（如铸钢）的磁滞回线宽，剩磁和矫顽力大，因而磁化后，它的磁感应强度不易退除，适宜制作永久磁铁。矩磁材料磁滞回线如同—矩形，外磁场 H 趋于零时， B 只能处于 B_s 或 $-B_s$ 状态，相当计算机 0 或 1 态，常用于制作磁卡、磁盘等记忆元件。

铁磁物质在磁场中的磁化过程比较复杂，一般通过测量磁化场的磁场强度 H 和铁磁材料中的磁感应强度 B 之间的关系来研究其磁化规律。磁性物质内部的磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间，有以下关系

$$B = \mu H \quad (4-2-1)$$

式中， μ 为该磁性物质的磁导率。对铁磁物质来说，磁导率 μ 并非常数，它是磁场强度 H 的函数。因此， B 与 H 的关系并非是线性的。铁磁物质从无磁性开始磁化时，其磁感应强度 B 随磁场强度 H 的增加而增加，但当 H 增加到某一定值 H_s 后， B 几乎不再随 H 而增加，说明这时磁化已经达到饱和。饱和点 S 对应磁场强度称为饱和磁场强度，记为 H_s 。与饱和磁场强度 H_s 对应的磁感应强度称为饱和磁感应强度，记为 B_s 。铁磁物质被磁化的过程，常用图 4-2-2 中实线所示的磁化曲线表示。根据公式 (4-2-1)，可以由磁化曲线求得对应于磁化曲线上的每一磁化状态下铁磁物质的磁导率 μ 。 μ 随 H 的变化关系如图 4-2-2 中的 $\mu-H$ 曲线（虚线）所示。

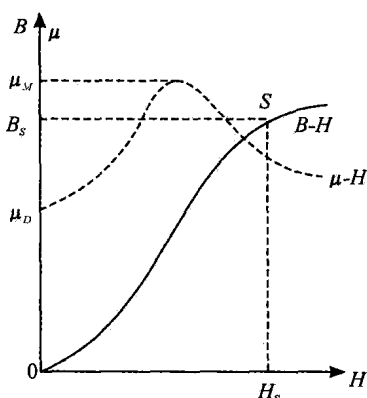


图 4-2-2 磁化曲线和 $\mu-H$ 曲线

当铁磁物质被磁化后，如果去掉磁化场（使 $H=0$ ），铁磁物质仍然保持有磁性。这说明，铁磁物质的磁化过程是不可逆的过程。使 H 从 H_s 减小， B 将不沿原路返回，而是沿另一条曲线 Sr 下降，如图 4-2-3 所示。如果 H 从 H_s 变到 $-H_s$ ，再从 $-H_s$ 变为 H_s ， B 将沿如图 4-2-3 所示的方向变化而形成一条磁滞回线 $SrC'S'r'CS$ 。磁滞回线是闭合的曲线。

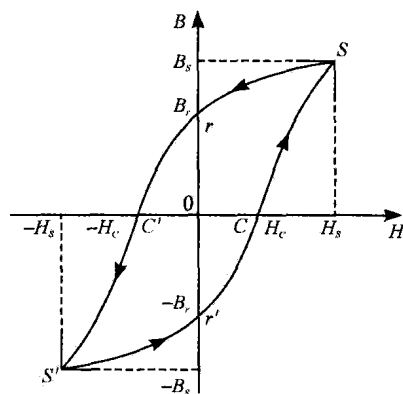


图 4-2-3 磁滞回线

由此可知，在周期性磁化过程中，铁磁物质具有以下特性：

(1) 当 $H=0$ 时， $B \neq 0$ ，而是 $B = B_r$ ， B_r 称为铁磁物质的剩余磁感应强度，简称剩磁；

(2) 若要使铁磁物质完全退磁，即 $B=0$ ，必须加一个反向磁场 $-H_c$ ， H_c 称为铁磁物质的矫顽力；

(3) 存在磁滞现象， B 的变化永远滞后于 H 的变化；

(4) 磁化过程是不可逆的。当 H 从小增大与 H 从大减小到同一个值时，铁磁物质的磁感应强度 B 的值并不相等。不同的磁化场，对应不同大小的磁滞回线。当从初始状态 ($H=0$, $B=0$) 开始周期性地改变磁场强度 H 的幅度时，在磁场由弱到强地单调增加过程中，可以得到面积由小到大变化的一簇磁滞回线，如图 4-2-4 所示，其中面积最大的磁滞回线称为极限磁滞回线。所有磁滞回线簇顶点及坐标原点 ($H=0$, $B=0$) 的连接线，构成磁化曲线。

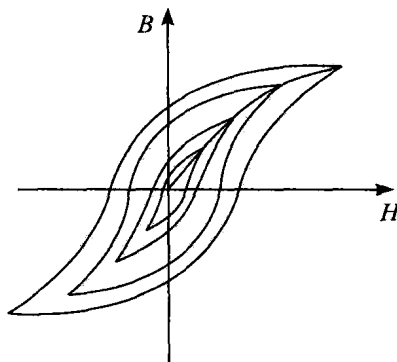


图 4-2-4 磁滞回线簇

实际工作中,可以用直流电流对磁性材料进行磁化,也可以用交流电流对磁性材料进行磁化,前者称为静态磁化,后者称为动态磁化。静态磁化所得的磁化曲线和磁滞回线分别称为静态磁化曲线和静态磁滞回线。动态磁化所得的磁化曲线和磁滞回线分别称为动态磁化曲线和动态磁滞回线。

2. 用示波器和数字万用表观测动态磁滞回线和磁化曲线

用示波器观测磁性材料的特性具有直观、方便和快速等优点。因为示波器直接观测的量是电压,因此,我们必须把磁场强度 H 和磁感应强度 B 变换为电压,然后把与 H 成正比的电压加于示波器的“X 轴输入”,把与 B 成正比的电压加于示波器的“Y 轴输入”进行观察。本实验要观测的样品是铁磁材料制成的磁环,在磁环上绕有两组线圈,一组是励磁线圈(或称初级线圈),共有 N_1 匝;另一组是测量线圈(或称次级线圈),共有 N_2 匝。具体实验电路如图 4-2-5 所示。

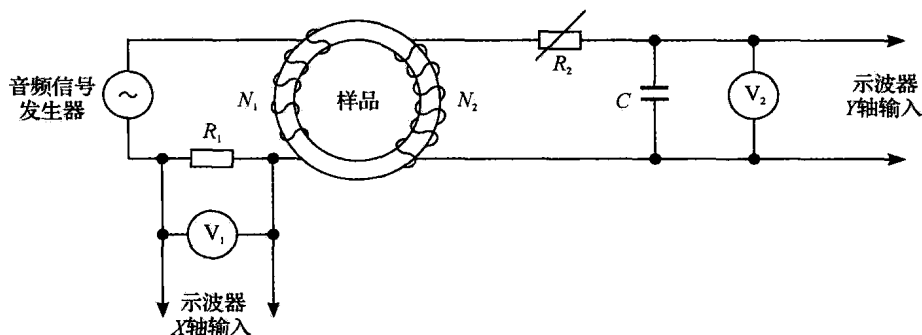


图 4-2-5 实验电路图

下面讨论电路的工作原理:

当励磁线圈 N_1 通以正弦电流 i_1 时,磁环内建立交变磁场 H ,由电磁学可知

$$H = \frac{N_1 i_1}{l} \quad (4-2-2)$$

式中, l 为磁环的平均周长。若磁环的平均直径为 d , 则 $l = \pi d$ 。一般磁环上标有内直径 d_1 和外直径 d_2 , 则平均直径 $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ 。同时, 电流 i_1 在电阻 R_1 上产生的交变的电压降为

$$u_1 = i_1 R_1 \quad (4-2-3)$$

将式 (4-2-2) 代入上式得 u_1 与 H 的关系为

$$u_1 = \frac{l R_1}{N_1} H \quad (4-2-4)$$

上式说明, R_1 两端的电压 u_1 与磁环内的磁场强度 H 成正比。

为了测量磁环内的磁感应强度 B , 在磁环的测量线圈 N_2 上串联有电阻 R_2 和电容 C , $R_2 C$ 构成一个积分电路, 使电容两端的电压正比于测量线圈 N_2 上的感应电动势 ϵ (或感应电流 i_2) 对时间的积分。

下面讨论电容两端电压 u_2 与磁环内磁感应强度 B 的关系:

根据电磁感应原理, 当磁环内存在变化的磁感应强度 B 时, N_2 中产生的感应电动势 ϵ 大小为

$$\epsilon = N_2 \frac{d\phi}{dt} = N_2 A \frac{dB}{dt} \quad (4-2-5)$$

式中 A 为测量线圈 N_2 的截面积, 它等于磁环的横截面积。在次级回路中, R_2 和 C 都选得很大, 满足 $R_2 \gg \frac{1}{\omega C}$ 时, 次级回路中的电流 i_2 可表示为

$$i_2 = \frac{\varepsilon}{R_2} = \frac{N_2 A}{R_2} \frac{dB}{dt} \quad (4-2-6)$$

这时电容 C 两端的电压为

$$u_2 = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{N_2 A}{R_2 C} \int \frac{dB}{dt} dt = \frac{N_2 A}{R_2 C} B \quad (4-2-7)$$

式 (4-2-7) 说明, C 两端的电压与磁环内的磁感应强度 B 成正比。实验时, 将电阻 R_1 上的电压 u_1 和电容 C 两端的电压 u_2 分别加到示波器的 X 轴输入和 Y 轴输入, 同时用数字万用表测量 u_1 和 u_2 的值。当磁化电流为交流电时, 电压表上的读数 U_1 和 U_2 为有效值。

我们知道, 与磁滞回线的顶点相对应的是最大的磁场强度 H_m 和最大的磁感应强度 B_m 。在正弦交流磁化场中, H_m 就是磁场的峰值 (振幅), B_m 也是磁感应强度的峰值 (振幅)。将式 (4-2-4) 和 (4-2-7) 的瞬时关系, 改为峰值 (振幅) 关系, 得磁场强度的峰值 (为了方便, 下面把峰值 H_m 和 B_m 的下脚标 m 省去, 用正体字表示) 为

$$H = \frac{N_1}{l R_1} \sqrt{2} U_1 \equiv K_1 U_1 \quad (4-2-8)$$

式中, U_1 为数字万用表的读数 (有效值), $\sqrt{2} U_1$ 为电压的峰值, $K_1 = \frac{\sqrt{2} N_1}{l R_1}$, 对一定实验装置为一常数。磁感应强度的峰值 (振幅) 为

$$B = \frac{R_2 C}{N_2 A} \sqrt{2} U_2 \equiv K_2 U_2 \quad (4-2-9)$$

式中, U_2 为数字万用表的读数 (有效值), $\sqrt{2} U_2$ 为峰值, $K_2 = \frac{\sqrt{2} R_2 C}{N_2 A}$, 对一定的实验装置为一常数。

磁感应强度峰值 (振幅) 与磁场强度峰值 (振幅) 之比, 称为磁性材料的振幅磁导率。即振幅磁导率 μ 为

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (4-2-10)$$

3. 磁性材料特性参量 H_s 、 B_s 和 H_c 、 B_r 的测量

根据饱和磁场强度 H_s 、饱和磁感应强度 B_s 、矫顽力 H_c 和剩磁 B_r 的定义, H_s 、 B_s 、 H_c 和 B_r 的值可以运用磁性材料的极限磁滞回线 (饱和磁滞回线) 求得, 如图 4-2-6 所示。当磁化电流由零逐渐增大到饱和磁化的值时, 示波器荧光屏上将显示稳定的极限磁滞回线。设这时图 4-2-5 中 R_1 两端的电压有效值为 U_{1s} , C 两端的电压有效值为 U_{2s} , 由示波器荧光屏读得饱和点 S 对应的线段长为 X_s 和 Y_s , H_c 对应的线段为 X_c , B_r 对应的线段长为 Y_r 。由式 (4-2-8) 和 (4-2-9) 可得饱和磁场强度 H_s 和饱和磁感应强度 B_s 分别为

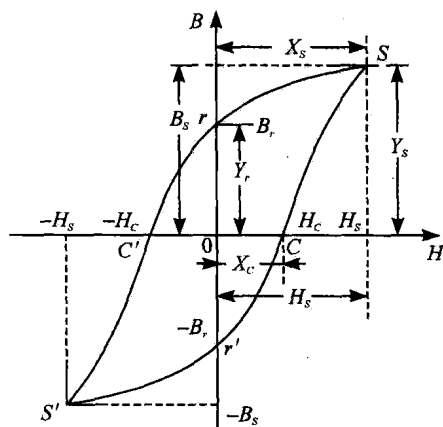


图 4-2-6 示波器测试磁性材料的 H_s 、 B_s 、 H_c 和 B_r 值

$$H_s = K_1 U_{1s} \quad (4-2-11)$$

$$B_s = K_2 U_{2s} \quad (4-2-12)$$

由示波器工作原理, 可得剩磁 B_r 、矫顽力 H_c 分别为

$$B_r = \frac{Y_r}{Y_s} B_s = \frac{Y_r}{Y_s} K_2 U_{2s} \quad (4-2-13)$$

$$H_c = \frac{X_c}{X_s} H_s = \frac{X_c}{X_s} K_1 U_{1s} \quad (4-2-14)$$

四、实验内容

1. 连接图 4-2-5 所示的实验电路

接线时请注意, 数字万用表 V_1 和 V_2 的“地 (COM)”端应与示波器的“地”相连接。如果音频信号发生器两输出端有一端是接“地”的, 那么它也应与数字万用表 V_1 的“地”相连接, 以减小干扰。电路参数取 $R_1 = 5.00 \Omega$, $C = 1.00 \mu\text{F}$, $f = 100 \text{ Hz}$, R_2 可调。

2. 观察磁滞回线

在频率 $f = 100 \text{ Hz}$ 时, 调节信号发生器的输出电压, 使磁化电流由零开始逐渐增大, 观察示波器荧光屏上磁滞回线从小到大向外扩展的变化情况。当磁化电流增大到某一定值时, 磁环达到饱和磁化状态, 这时示波器荧光屏上显示的将是极限磁滞回线。实验中, 如果出现如图 4-2-7 所示畸变图形, 说明 B 和 H 波形的峰值不发生在同一时刻。这时只要适当调节 R_2 的阻值, 改变 U_2 与 U_1 的位相差, 可以消除这种畸变, 获得最佳的磁滞回线。为了保证式 (4-2-9) 的成立条件 $R_2 \gg \frac{1}{\omega C}$, R_2 的取值应该在磁滞回线不畸变的前提下, 尽量大些。

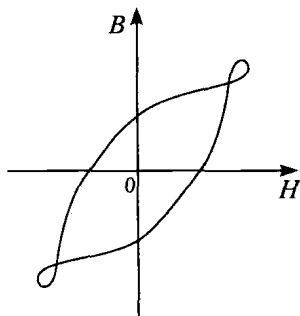


图 4-2-7 畸变的磁滞回线图

磁化达到饱和的判断依据:

(1) 在交流电流磁化下, 磁性材料中存在涡流, 材料的特性曲线不是理想的磁滞回线。理论可以证明, 涡流所形成的曲线的形状为一椭圆, 在 B 与 H 具有相同位相的情况下, 椭圆变成一条直线, 因此当磁化达到饱和后, B 随 H 的变化为缓慢变化的线性关系;

(2) 在饱和状态下, 改变磁化电流, 剩磁 B_r 不变, 磁滞回线与纵轴的交点位置不变;

(3) 磁化曲线中曲线部分和直线部分的交界点就是磁饱和点 S 。

3. 将试样退磁

由于磁性物质的磁性与磁化历史有关 (磁滞、剩磁等现象), 因此, 对试样进行定量测量前必须先对试样进行退磁, 使磁性材料处于 $H=0$, $B=0$ 的原始状态。退磁方式有直流退磁和交流退磁两种, 其中交流退磁效果较好。交流退磁的方法很简单, 只需调节信号发生器的输出电压, 先使磁化达到饱和, 然后再使磁化电流由磁化饱和状态的值逐渐减小到零, 磁滞回线从极限磁滞回线逐渐向其中心收缩, 就可以完全退磁。退磁的时间需要几秒钟。

4. 测量磁环的磁化曲线和磁导率 μ

在试样完全退磁以后, 调节信号发生器的输出电压, 使磁化电流从零开始单调地逐渐增加, 即单调地逐渐增加 U_1 , 一直到饱和以后两三个值为止。每改变一次磁化电流, 都用数字万用表测出 U_1 和 U_2 值。由式 (4-2-8)、(4-2-9) 和 (4-2-10) 便可得 H 、 B 、 μ 的值, 从而可得 $B-H$ 曲线和 $\mu-H$ 曲线。

5. 测量 H_s 、 B_s 、 H_c 和 B_r

在磁化电流由零逐渐增大到饱和磁化值时, 从数字万用表 V_1 和 V_2 读出此时加到示波器 X 轴和 Y 轴的电压 U_{1s} 和 U_{2s} , 并由示波器荧光屏上读出极限磁滞回线 S 、 S' 点间线段长度 $2X_s$ 、 $2Y_s$ 、 C 、 C' 点间和 r 、 r' 点线段的长度 $2X_c$ 和 $2Y_r$, 如图 4-2-6 所示。由式 (4-2-11)、(4-2-12) 和 (4-2-14) 便可得 H_s 、 B_s 、 H_c 和 B_r 的值。

五、数据处理

1. 记录实验数据

(1) 电路参数

$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$C (\mu F)$	$f (Hz)$

(2) 螺绕环参数

磁化线圈 N_1 (匝)	探测线圈 N_2 (匝)	外径 d_2 (cm)	内径 d_1 (cm)	高度 h (cm)	平均周长 $l = \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2)$ (cm)	截面积 $A = \frac{h}{2}(d_2 - d_1)$ (cm)

(3) 测量 B - H 曲线和 μ - H 曲线的数据表

$$K_1 = \frac{\sqrt{2} N_1}{l R_1} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad K_2 = \frac{\sqrt{2} R_2 C}{N_2 A} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

U_1 (V)	$H = K_1 U_1$ ($A \cdot m^{-1}$)	U_2 (V)	$B = K_2 U_2$ (T)	$\mu = B/H$ ($Wb \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$)
0.100				
0.200				
0.300				
...				
2.30				
2.40				
2.50				

(4) 测量 H_s 、 B_s 、 H_c 和 B_r 的数据表

U_{1s} (V)	U_{2s} (V)	$2X_s$ (格)	$2X_c$ (格)	$2Y_s$ (格)	$2Y_r$ (格)	$H_s = K_1 U_{1s}$ ($A \cdot m^{-1}$)	$B_s = K_2 U_{2s}$ (T)	$H_c = \frac{X_c}{X_s} H_s$ ($A \cdot m^{-1}$)	$B_r = \frac{Y_r}{Y_s} B_s$ (T)

2. 作 B - H 曲线和 μ - H 曲线

利用所测数据, 以磁场强度 H 为横轴, 在同一坐标纸上分别作 B - H 曲线和 μ - H 曲线。