

亥姆霍兹线圈磁场的测量

亥姆霍兹线圈是一对彼此平行且连通的共轴圆形线圈，两圈内的电流方向一致，大小相同。这种线圈的特点是能在其公共轴线中点附近产生较广的均匀磁场区。故在生产和科研中有较大的实用价值，也作为弱磁场的计量标准。

本实验采用 DH4501 系列产品。由亥姆霍兹线圈实验仪及测试架两部分组成。测量移动装置采用无磁结构。采用恒流源产生恒定的磁场，用霍尔效应原理测量被测磁场，可分别完成霍尔效应实验和霍尔法测量圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场及分布实验。

【实验原理】

1. 载流圆线圈与亥姆霍兹线圈的磁场

(1) 载流圆线圈磁场

根据毕奥—萨伐尔定律，载流圆线圈轴线（通过圆心并与线圈平面垂直的直线）上某点的磁感应强度为

$$B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}} \quad (1)$$

式中 R 为线圈平均半径， I 为通过线圈的电流强度， N_0 为圆线圈的匝数， X 为轴线上某一点到圆心 O 的距离， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，它的磁场分布图如图 1 所示。

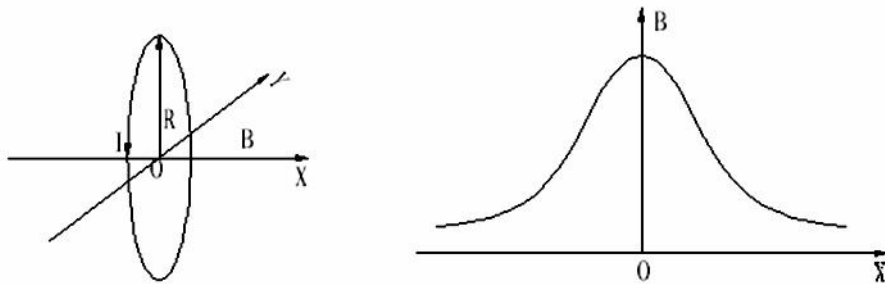


图 1 单个圆环线圈磁场分布

(2) 亥姆霍兹线圈

所谓亥姆霍兹线圈为两个相同线圈彼此平行且共轴，使线圈上通以同方向电流 I ，理论计算证明：线圈间距 a 等于线圈半径 R 时，两线圈合磁场在轴上（两线圈圆心连线）附近较大范围内是均匀的，如图 2 所示。

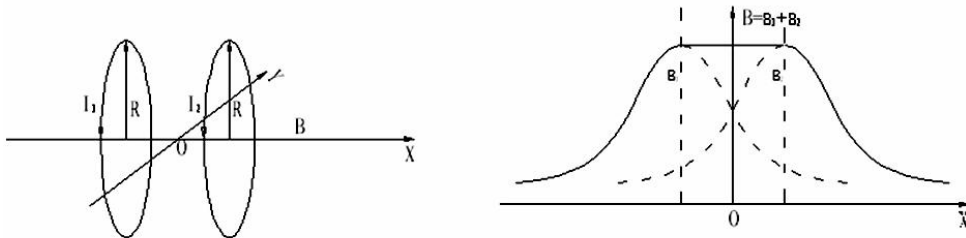


图 2 亥姆赫兹线圈磁场分布

2. 霍尔效应法测磁场

(1) 霍尔效应法测量原理

将通有电流 I 的导体置于磁场中，则在垂直于电流 I 和磁场 B 方向上将产生一个附加电位差，这一现象是霍尔于 1879 年首先发现，故称霍尔效应。电位差 U_H 称为霍尔电压。

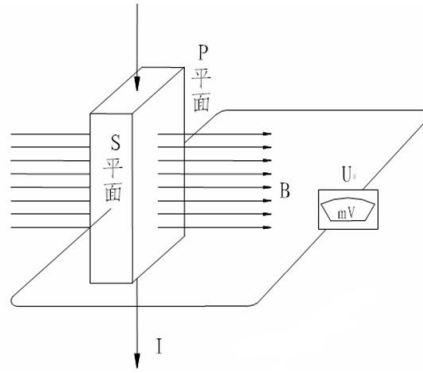


图 3 霍尔效应

如图 3 所示 N 型半导体，若在 MN 两端加上电压 U ，则有电流 I 沿 X 轴方向流动（有速度为 v 运动的电子），此时在 Z 轴方向加以强度为 B 的磁场后，运动着的电子受洛伦兹力 F_B 的作用而偏移、聚集在 S 平面；同时随着电子的向 S 平面（下平面）偏移和聚集，在 P 平面（上平面）出现等量的正电荷，结果在上下平面之间形成一个电场 E_H （此电场称之为霍尔电场）。这个电场反过来阻止电子继续向下偏移。当电子受到的洛伦兹力和霍尔电场的反作用力这二种达到平衡时，就不能向下偏移。此时在上下平面（S、P 平面）间形成一个稳定的电压 U_H （霍尔电压）。

(2) 霍尔系数、霍尔灵敏度、霍尔电压

设材料的长度为 l ，宽为 b ，厚为 d ，载流子浓度为 n ，载流子速度 v ，则与通过材料的电流 I 有如下关系：

$$I = nevbd$$

霍尔电压：
$$U_H = IB / ned = R_H IB / d = K_H IB$$

式中霍尔系数 $R_H = 1/ne$ ，单位为 m^3/c ；霍尔灵敏度 $K_H = R_H/d$ ，单位为 mV/mA

由此可见，使 I 为常数时，有 $U_H = K_H IB = k_0 B$ ，通过测量霍尔电压 U_H ，就可计算出未知磁场强度 B 。

本实验使用的仪器用集成霍尔元件，已经与显示模块联调，直接显示磁场强度。

【实验内容和步骤】

1. 调零

正确连接线路，开关打开，电流调节旋钮逆时针旋转到底，使得电流计输出电流为零，再按住零位调节按钮至少 2 秒以上，数码管显示从“1111”变成“3333”，松开按钮，毫特计清零。一次清零不成，可重复上述操作。

2. 测量圆电流线圈轴线上磁场的分布

正确接入线路使得只对，对 A、B 中其中一个线圈通电，调节磁场电源的输出功率，使励磁电流有效值为 $I = 200mA$ ，以通电线圈中心轴线的中点为基准，左右对称选好测试的起始点（选择一侧作为起始点），每隔 5.0 mm 测一个 B 值，测量过程中注意保持励磁电流值不变，记录数据（每组数据测量之前，必须将线圈断电，对毫特计校零），填入自己设计的表格中。

3. 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布

正确连接线路，把磁场实验仪的两组线圈串联起来（注意极性不要接反），接到磁场测试仪的输出端钮。调节磁场测试仪的输出功率，使励磁电流有效值仍为 $I = 200mA$ 。以两个圆线圈轴线上的中心点为坐标原点（从一侧作为起始点），每隔 10.0mm 测一个 U_{max} 值，记录数据，填入自己设计的表格中。

【实验装置】

1、仪器的构成和基本参数

亥姆霍兹实验仪由二部分组成。它们分别为励磁线圈架部分和磁场测量仪器部分。如图 4 所示，传感器装在水平导轨上，通过仪器右侧的手轮驱动传感器左右移动，传感器位置由导轨前方带刻度的标尺读出。仪器的两线圈参数相同，平行放置、轴线重合、距离等于平均半径，线圈端头接线柱安装在仪器前方面板。

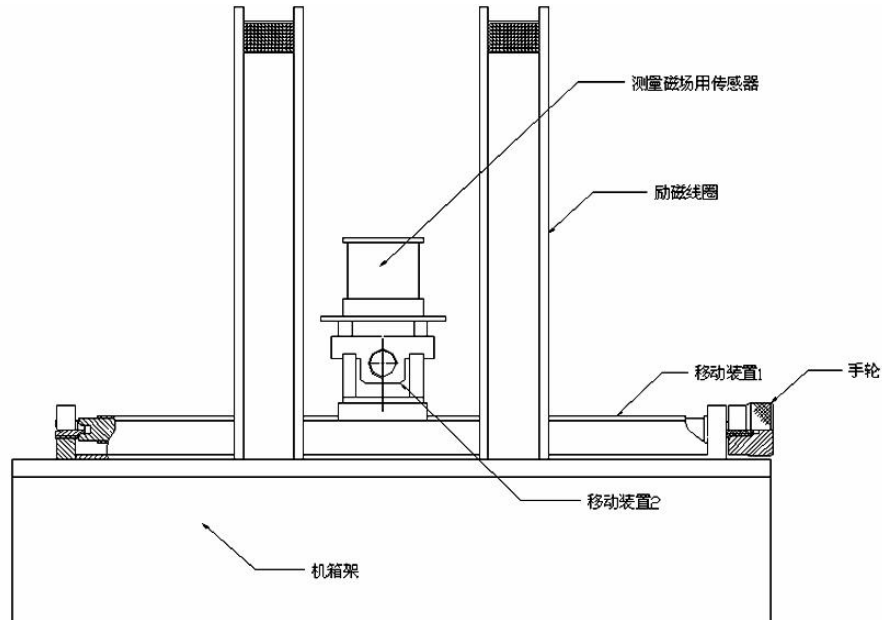


图 4 励磁线圈架部分

亥姆霍兹线圈参数：

二个励磁线圈： 线圈有效半径 105mm
线圈匝数 500 匝
二线圈中心间距 105mm

测量磁场传感器：4501A 使用霍尔元件测量磁场。

移动装置：横向可移动距离 150mm，纵向可移动距离 50mm，距离分辨力 0.5mm。

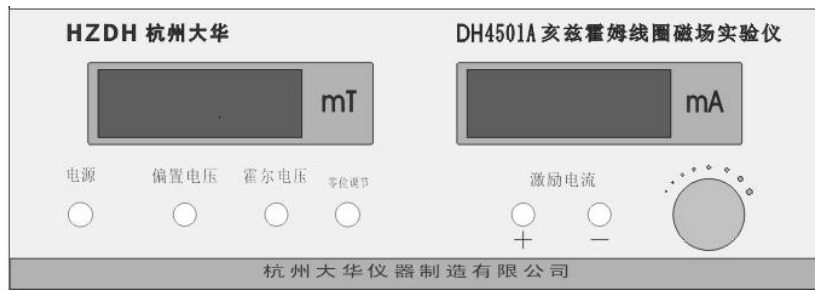


图 5 亥姆霍兹线圈磁场实验仪主机面板

亥姆霍兹磁场实验仪主机由可调恒流源和测量磁场的高斯计二部分组成。内置恒流源部分；输出电流 0~0.5A，最大电压是 24V，三位半数字表，最小分辨率 1mA。内置磁场测量部分（高斯计）：当与亥姆霍兹线圈架内的霍尔传感器相配套工作时，测量磁场范围 0~2.200mT，最小分辨率是 0.001mT。电源 220±10%，功耗 50VA

2、亥姆霍兹线圈装置和磁场测量仪之间的连线

(1)测量仪霍尔电压输出端子的连接：用随机带来的二头都是同轴插头的连接线将仪器与线圈装置连接在一起。

(2)输出左右励磁线圈与恒流源之间的连接：

单线圈磁场。如果只是用二个线圈中的某一个产生磁场，请直接将仪器上的电流输出端连接到励磁线圈端上（左边的或者右边的）；

双线圈磁场。如果同时用到两个线圈产生磁场，请将仪器上的电流输出的正端（红色）连接到励磁线圈（左）的正端子（红色）上，将仪器上的电流输出的负端（黑色）连接到励磁线圈（右）的负端子（黑色）上，同时将励磁线圈（左）负端子与励磁线圈（右）正端子用连接片连接。

3、 传感器装置的移动方法

亥姆霍兹线圈装置上有一长一短两个移动装置，如图 4，如果测量轴线上的磁场，可慢慢转动短的移动装置上的旋钮，使得传感器的指针指在标尺零处，再慢慢转动最右侧旋钮，每移动 10mm，读一次磁场值。

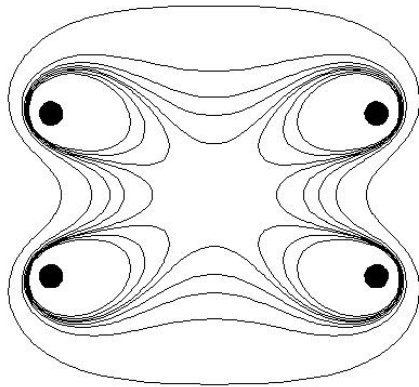
【思考题】

1. 单线圈轴线上磁场的分布规律如何？亥姆霍兹线圈是怎样组成的？其基本条件有哪些？它的磁场分布特点又怎样？
2. 分析用霍尔效应测量磁场时，当流过线圈中的电流为零时，显示的磁场值不为零？
3. 分析圆电流磁场分布的理论值与实验值的误差的产生原因？
4. 亥姆霍兹线圈轴线上中心位置的磁感应强度为（二个线圈串联）多少？

附件：

亥姆霍兹简介

亥姆霍兹线圈 是一种制造小范围区域均匀磁场的器件。由于亥姆霍兹线圈具有开敞性质，可以很容易地将其它仪器置入或移出，也可以直接做视觉观察，所以，是物理实验常使用的器件。因德国物理学者赫尔曼·冯·亥姆霍兹而命名。



左图等值线图显示出亥姆霍兹线圈的磁场的数值大小。在中央的章鱼区域内，磁场数值与中心位置的磁场数值 B 相差不超过 1%。五条等值线的磁场数值分别为 $0.5B$ 、 $0.8B$ 、 $0.9B$ 、 $0.95B$ 、 $0.99B$

亥姆霍兹：德国物理学家、数学家、生理学家、心理学家。1821 年 8 月 31 日生于柏林波茨坦，由于经济上的原因未能上大学，以毕业后需在军队服役 8 年的条件，取得公费进入柏林的医学科学院。1847 年他在德国物理学会发表了关于力的守恒讲演，在这次讲演中，第一次以数学方式提出能量守恒定律。亥姆霍兹的一生，研究领域十分广泛，除物理学外，在生理光学和声学、数学、哲学诸方面都作出了重大贡献。他测定了神经脉冲的速度，重新提出三原色视觉说、研究了音色、听觉和共鸣理论，发明了验目镜、角膜计、立体望远镜。曾荣任柏林大学校长和国家物理工程研究所所长，主张基础理论与应用研究并重。他确信：世界是物质的，而物质必定守恒。但他企图把一切归结为力，是机械唯物论者，这是当时文化、社会、历史条件的局限性所致。他的成就被国际学术界所承认，1860 年被选为伦敦皇家学会会员，并获该会 1873 年度科普利奖章。1887 年，亥姆霍兹任国家科学技术局主席。1894 年 9 月 8 日在夏洛滕堡逝世。

1868年亥姆霍兹研究方向转向物理学，于1871年任柏林大学物理学教授。从1871年开始，亥姆霍兹的研究方向转向物理学。在电磁理论方面，他测出电磁感应的传播速度为314000km/s，由法拉第电解定律推导出电可能是粒子。由于他的一系列讲演，麦克斯韦的电磁理论才真正引起欧洲大陆物理学家的注意，并且导致他的学生赫兹于1887年用实验证实电磁波的存在以及取得一系列重大成果。在热力学研究方面，于1882年发表论文《化学过程的热力学》，他把化学反应中的“束缚能”和“自由能”区别开来，指出前者只能转化为热，后者却可以转化为其他形式的能量。他从克劳修斯的方程，导出了后来称作的吉布斯—亥姆霍兹方程。他还研究了流体力学中的涡流、海浪形成机理和若干气象问题。