

预习 操作记录		实验报告 总评成绩	

学院: _____ 专业: _____ 年级: _____

实验人姓名(学号): _____ 参加人姓名: _____

日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日 室温: _____ 相对湿度: _____

一、实验前思考题

1. 什么是霍尔效应？为什么此效应在半导体中特别显著？
2. 怎样判定载流子电荷的正负？如何计算载流子的浓度，迁移率？

3. 什么是对称测量法？如何测定霍尔灵敏度？

4. 写出螺线管轴线上任意点磁感应强度的计算公式。

二、实验目的

- 1. 了解霍尔效应的实验原理，掌握用“对称法”测样品的霍尔系数；
- 2. 测量样品的霍尔电压和工作电流关系曲线，并确定样品的导电类型、载流子浓度以及迁移率；
- 3. 了解用霍尔效应测量磁场的原理和方法，并用霍尔器件测亥姆霍兹线圈和长直螺线管的磁场分布。
- 4. 掌握霍尔传感器特性及应用。
- 5. 学会用数据采集器进行霍尔效应 V_h 测量。

三、仪器用具

编号	仪器名称	数量	主要参数（型号，测量范围，精度）
1	霍尔效应测试仪		
2	霍尔效应实验仪		
3	螺线管磁场实验仪		
4	霍尔传感器特性应用实验仪		
5	微型计算机		
6	550 或 850 数据采集器		
7	电压传感器或电流传感器		

四、实验原理概述

1. 霍尔效应

置于磁场中的半导体，如果电流方向与磁场垂直，则在垂直于电流和磁场的方向上会产生一个附加的横向电场，这个现象称为霍尔效应。

如图 1(a)所示的 N 型（电子导电， $-e$ ）半导体，若在 X 方向通电流 I_s ，在 Z 方向加磁感应强度为 B 的磁场，则样品中平均漂移速度为 \bar{v} 的载流子将受到洛伦兹力

$$F_B = e\bar{v}B \quad (1)$$

的作用向（-Y）方向偏转，在 A 面不断积累并在 A、A' 面之间产生附加的横向电场 E_H

（或横向电压 V_H ），即霍尔电场（或霍尔电压）。对于 N 型半导体， E_H 沿（-Y）方向；对于 P 型半导体， E_H 沿 Y 方向。 E_H 将阻止载流子继续向侧面偏移，当载流子所受的横向电场力 $F_E (= eE_H)$ 与洛伦兹力 F_B 相等时，A、A' 面电荷的积累就达到平衡，有

$$eE_H = e\bar{v}B \quad (2)$$

设样品的宽度为 b ，厚度为 d ，载流子的浓度为 n ，则

$$I_s = ne\bar{v}bd \quad (3)$$

由式（2）和（3）可得 A、A' 面之间的霍尔电压 V_H 为

$$V_H = E_H b = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I_s B}{d} = R_H \frac{I_s B}{d} \quad (4)$$

可见，霍尔电压 V_H 与 $I_s B$ 的乘积成正比，与样品的厚度 d 成反比。比例系数

$$R_H = 1/(ne) = V_H d / (I_s B) \quad (5)$$

称为霍尔系数，它是反映样品霍尔效应强弱的重要参数。只要测出 V_H 、 I_s 、 d 和 B 等宏观量，就可算出样品的霍尔系数 R_H ，以及载流子浓度 n 、平均漂移速度 \bar{v} 等微观量。

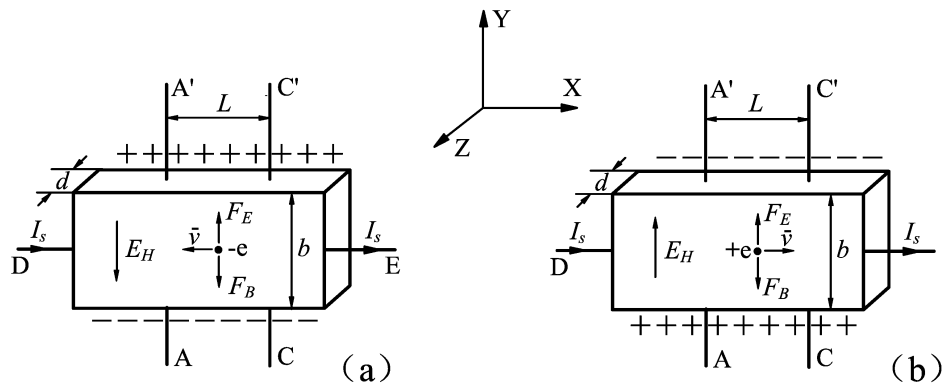


图 1 霍尔效应原理图

若以图 1 所示的 I_s 和 B 的方向为正向，则由式（4）求得的 R_H 为负值时（ $V_H = V_{AA'} < 0$ ），

样品是 N 型导电，反之则为 P 型。

要注意的是，式（4 和 5）中令中 $R_H = 1/(ne)$ ，是假定所有的载流子都具有相同的漂移速度，严格来说，考虑到载流子的速度统计分布，需引入 $(3\pi/8)$ 的修正因子，则

$$n = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{|R_H|e} \quad (6)$$

进一步还可计算样品的电导率 σ 与载流子的迁移率 μ ，

$$\sigma = \frac{I_s L}{V_\sigma S} = ne\mu, \quad \mu = \sigma / ne = |R_H| \sigma \quad (7)$$

其中 σ 可通过图 1 所示的 A、C（或 A'、C'）电极进行测量。设 A、C 间距离为 L ，样品的横截面积为 $S = bd$ ，流经样品的电流为 I_s ，在零磁场情况下（ $B=0$ ），若测得 A、C 间的电位差为 V_σ ，则

$$\sigma = I_s L / (V_\sigma S) \quad (8)$$

式（8）等号右边的量均为易测的宏观量。

2. “对称法”测霍尔电压 V_H

由于霍尔电压 V_H 的数值较小，mV 量级，故伴随霍尔效应而出现的多种副效应，包括温差电效应 V_E 、不等势电压 V_σ 、热磁效应 V_N 、热磁效应产生的温差效应 V_{RL} 等，都会对 V_H 的测量造成影响。后三种可采用“对称测量法”加以消除，第一种虽不能消除，但由于数值较小，可忽略不计。测量时保持 I_s 和 B 的大小不变，设定 I_s 和 B 的正、反方向后，依次测量下列四组不同方向的 I_s 、 B 组合对应的 AA' 电压 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ，即

$+I_s$	$+B$	V_1
$+I_s$	$-B$	V_2
$-I_s$	$-B$	V_3
$-I_s$	$+B$	V_4

然后求上述四组数据 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 的代数平均值，就可得到霍尔电压

$$V_H = \frac{1}{4} (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) \quad (9)$$

3. 用霍尔器件测量通电长直螺线管轴向上的磁感应强度

霍尔器件是利用霍尔效应制成的电磁转换元件，对于成品霍尔器件，其霍尔系数 R_H 和霍尔片的厚度 d 是已知的，故式（4）可写成

$$V_H = K_H I_s B \quad (10)$$

其中 $K_H = R_H/d$ 为霍尔器件的灵敏度（其值由厂家给出），它表示该器件在单位工作电流和单位磁感应强度下产生的霍尔电压。可见，只要测出 V_H ，就可求得磁感应强度

$$B = V_H / (K_H I_s) \quad (11)$$

长直螺线管是由绕在圆柱面上的导线构成的，如图 2，对于一个有限长度的密绕螺线管，在轴线上的中心点处磁感应强度最大，

$$B_0 = \mu_0 N I_M \quad (12)$$

其中 μ_0 为真空磁导率， N 为螺线管单位长度的线圈匝数， I_M 为线圈中的励磁电流。端点处的磁感应强度为 midpoint 处的 1/2，且端点附近的磁场不均匀。

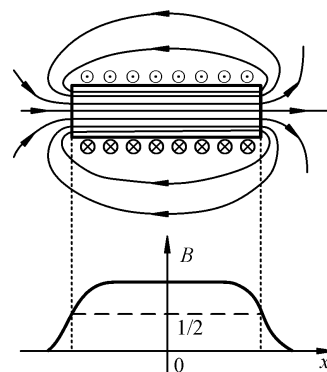


图 2 螺线管磁场分布图

4. 实验仪器面板图

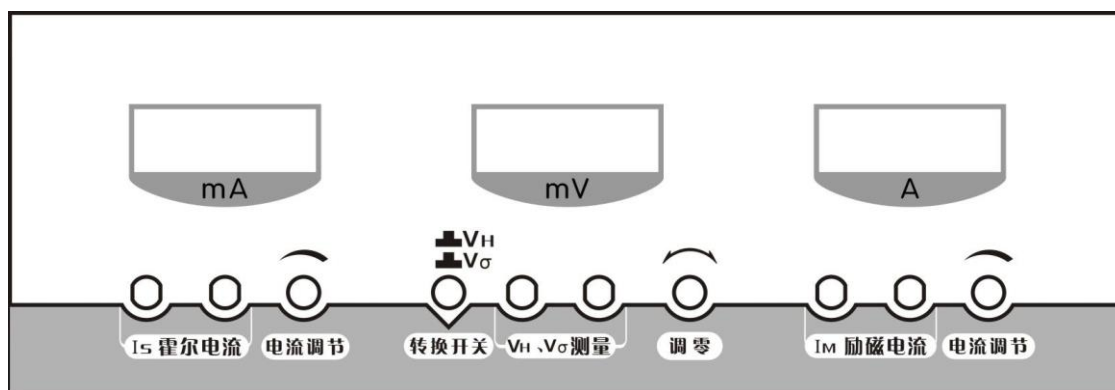


图 3 霍尔效应测试仪面板图

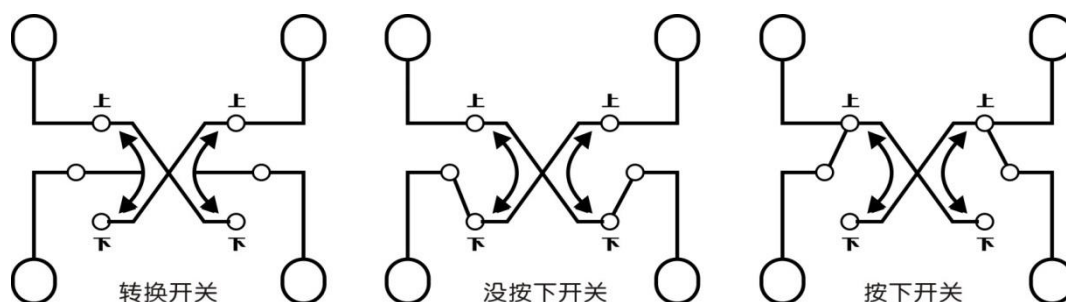


图 4 霍尔效应实验仪和螺线管磁场测定仪面板换向开关图

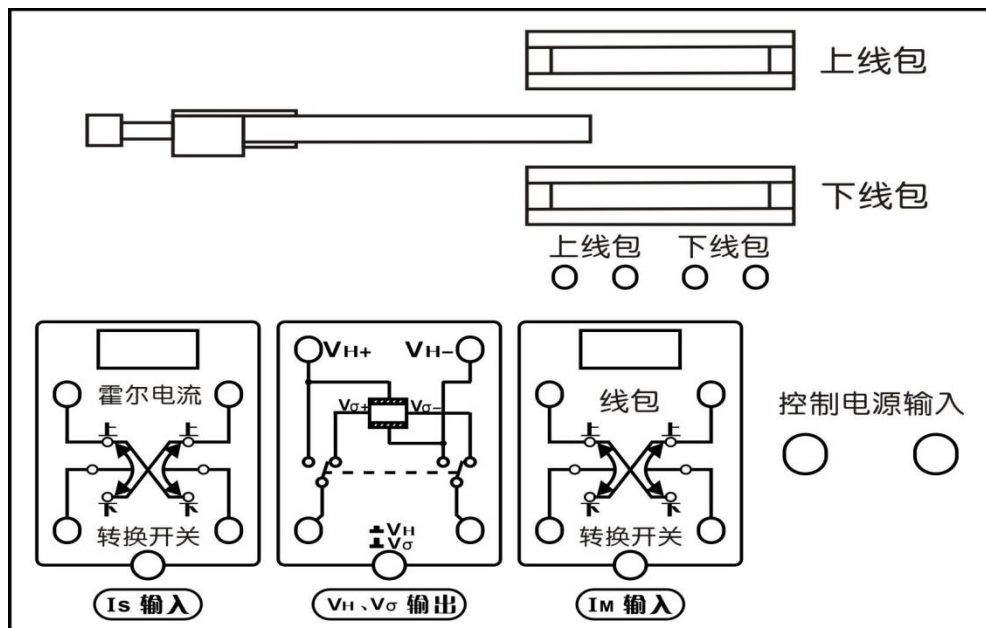


图 5 霍尔效应实验仪面板图

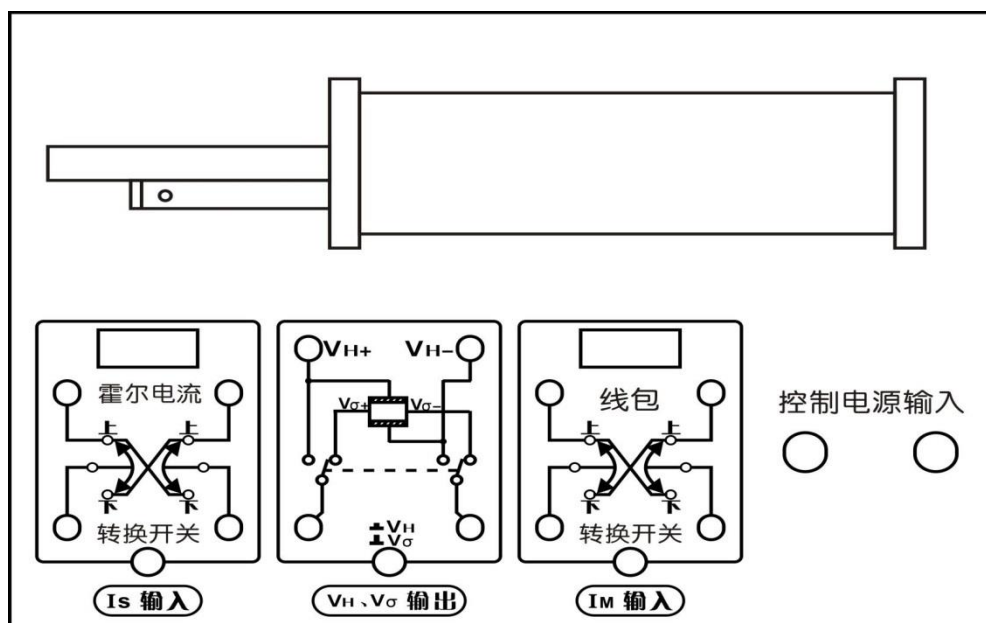


图 6 螺线管磁场测定仪面板图

五、安全注意事项

1. **关机连线。**为了防止接错线烧坏霍尔元件，接线前，要关掉“测试仪”的电源；接好线后要反复检查接线是否正确，经教师检查允许，方可接通电源开始实验。

警告：严禁将测试仪的励磁电流“ I_M 输出”误接到实验仪的“ I_S 输入”或“ V_H 输出”端口，否则一旦通电，就算测试仪 I_M 显示为 0，霍尔元件也可能损坏！

2. **零电流开机。**通电前必须保证测试仪的“ I_S 调节”和“ I_M 调节”旋钮均置零位（即逆时针旋到底），**严禁**霍尔元件工作电流 I_S 未调到零就开机，冲击电流极易损坏霍尔元件。

注意：线路未连接好， I_s 和 I_M 未形成通路时，不论“ I_s 调节”和“ I_M 调节”旋钮旋到什么位置， I_s 和 I_M 均显示为“0.00”、 V_H 显示“1.”（超量程）。

3. **测量前调零：**测量前需将测试仪的“ I_s 调节”和“ I_M 调节”旋钮按逆时针方向旋到底，开机预热 15 分钟以上，调节面板上的“调零”电位器使 V_H 显示为“0.00”。更换测量仪器后需要重新调零。

六、实验内容及步骤

1. 测绘 $|V_H| - I_s$ 曲线

(1) 采用霍尔效应测试仪和霍尔效应实验仪，连线后将测试仪“功能切换”开关置“VH”，实验仪的“ V_H 、 V_σ ”切换开关置 V_H ，调“ I_M 调节”使 $I_M = 0.50A$ 。

(2) 调“ I_s 调节”旋钮，改变 I_s ，在 $0 \sim 3.5mA$ 范围内每隔 $0.5mA$ 用“对称测量法”测出相应的 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ，并计算 V_H 。

(3) 作 $|V_H| - I_s$ 关系曲线，用最小二乘法拟合，说明两者关系。

2. 测绘 $|V_H| - I_M$ 曲线

(1) 调 $I_s = 3.00mA$ 并保持不变，调“ I_M 调节”旋钮改变 I_M ，在 $0 \sim 0.50A$ 范围内每隔 $0.1A$ 用“对称测量法”测出相应的 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ，计算 V_H 。

(2) 作 $|V_H| - I_M$ 关系曲线，用最小二乘法拟合，说明两者关系。

(3) 选 $I_M = 0.30A$ 的数据，计算样品的霍尔系数 R_H ，载流子浓度 n ，并判断样品的导电类型。

3. 测量 V_σ 值

将实验仪的“ V_H 、 V_σ ”切换开关置 V_σ ，在零磁场（ $I_M = 0$ ）时，取 $I_s = 0.20mA$ ，测对应的 V_σ ，由 V_σ 和 R_H ，计算样品的电导率 σ 和载流子的迁移率 μ 。

4. 测绘螺线管轴线上磁感应强度分布

(1) 采用霍尔效应测试仪和螺线管磁场测定仪，连线后将测试仪和测定仪转换开关置为 V_H ，重新“调零”。取 $I_s = 3.00mA$ ， $I_M = 0.500A$ ，并保持不变。

(2) 调测距尺读数旋钮 X 使 $x = 0.0cm$ 。调 x 旋钮改变霍尔元件的位置，每隔 $0.5cm$ ，用“对称测量法”测出各位置对应的 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ，计算 V_H 和 B 值。

注意： $x = 0$ 时霍尔元件约在螺线管外 $20mm$ 处， $x = 110.0mm$ 时元件约在管的中心处。每台设备都不一样，具体数值需学生根据实验设备自行确定。

(3) 作 $|B| - x$ 关系曲线，作图时需作坐标变换使中心点为原点。验证螺线管端口处的磁感应强度为中心处的 $1/2$ 。

(4) 根据实验室提供的螺线管参数，计算螺线管中心处磁感应强度的理论值 B_0 ，并与实验值比较，计算相对误差。

5. 霍尔传感器测量圆柱形磁钢在其轴线上磁感应强度分布

(1) 实验仪器及接线

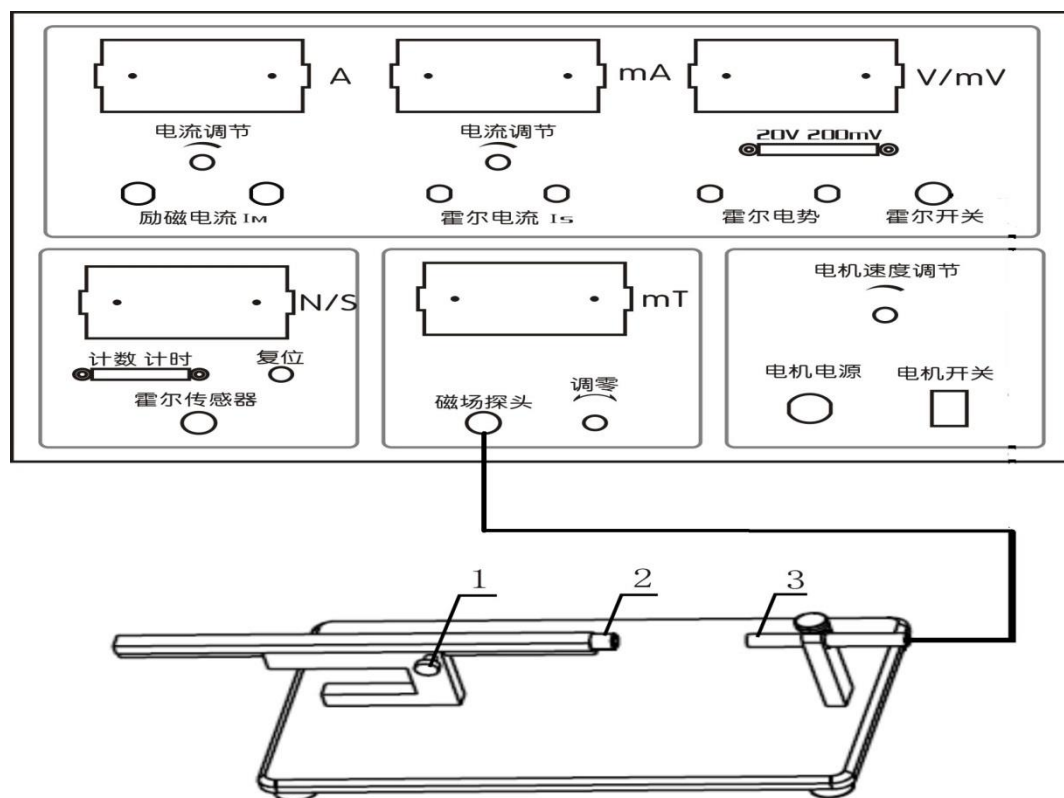


图 7 霍尔传感器测量圆柱形磁钢在其轴线上磁感应强度分布实验连接图

(2). 按照上图正确连接实验仪，打开实验电源。

(3) 毫特计调零。将霍尔传感器探头从固定架上取下，远离被测磁钢，调节调零电位器使得示数为 0，将霍尔传感器放回原处。

(3) 调节被测磁钢与霍尔传感器的位置。使得传感器距离被测磁钢端面接近 0mm，设当前距离为 0，记录磁感应强度值；移动被测磁钢逐渐增大距离，每隔一段距离记录一次磁感应强度值，将记录结果记录在表中。

(4) 根据表中数据绘制磁钢的 B-X 分布图。

6. 测量霍尔开关传感器特性与磁感应强度的关系

开关型霍尔传感器（集成霍尔开关）是把霍尔片产生的霍尔电压 V_H 放大后驱动触发电路，输出电压是能反映 B 的变化的方脉冲。集成霍尔开关由稳压器、霍尔电势发生器（即硅霍尔片）、差分放大器、施密特触发器和 OC 门输出五个基本部分组成。在输入端（1、2 之间）输入电压 V_{CC} ，经稳压器稳压后加在霍尔发生器的两电流端。根据霍尔效应原理，当霍尔片处于磁场中时，霍尔发生器的两电压端将会有有一个霍尔电势差 V_H 输出。 V_H 经放大器放大以后送至施密特触发器整形，使其成为方波输送到 OC 门输出。

当外磁场 B 达到“工作点” B_{op} 时，触发器输出高电平（相对于地电位），三极管导通，此时，OC 门输出端输出低电平，通常称这种状态为“开”；当外磁场 B 达到“释放点” B_{rp} 时，触发器输出低电平，三极管截止，OC 门输出高电平，这时称其为“关”状态。 B_{op} 与 B_{rp} 是有一定差值的，此差值 $B_H = B_{op} - B_{rp}$ 称为霍尔开关的磁滞。B 的变化不超过 B_H ，霍尔开关不翻转，这就使得开关输出稳定可靠。

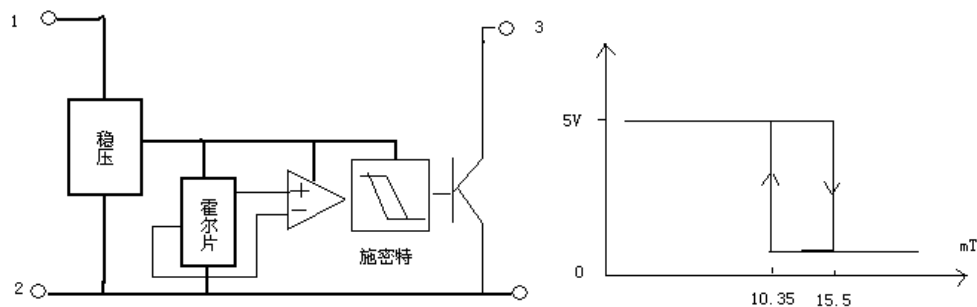
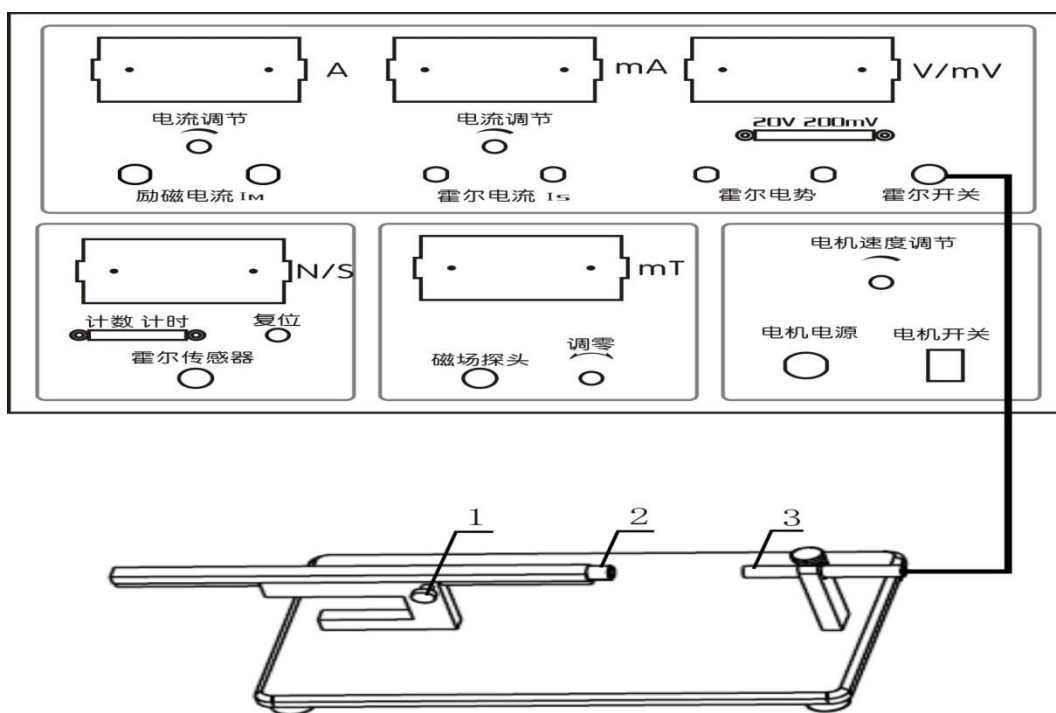


图 8 霍尔开关传感器原理和输出特性图

(1)实验仪器及接线



1、移动尺调节旋钮 2 磁钢 3、霍尔开关传感器

图 9 测量霍尔开关传感器特性与磁感应强度的关系

按照图 9 正确连接实验仪，打开实验电源。

(2)调节霍尔开关传感器与磁钢的位置，使相距为 0，记录霍尔开关的输出值；调节移动尺使得磁钢渐渐远离霍尔开关传感器，注意观察电压表读数，当电压表读数跳变时停止移动，记录霍尔开关输出值及距离。同理调节霍尔开关传感器与磁钢的位置，使相距为 20mm，记录霍尔开关的输出值；调节移动尺使得磁钢渐渐靠近霍尔开关传感器，注意观察电压表读数，当电压表读数跳变时停止移动，记录霍尔开关输出值及距离即记录实验结果。

(3)根据实验一数据，可以查出转变距离点的磁感应强度值。

(4)作出霍尔开关传感器输出特性图。

7. 霍尔传感器测大电流

用多匝线圈模拟单根大电流导线通过圆环，大电流周围产生磁场，通过测量磁场强度换算成相应的电流。一经定标圆环的电流、磁场强度关系，即可测量通过圆环导线的电流大小。

(1) 实验仪器及接线

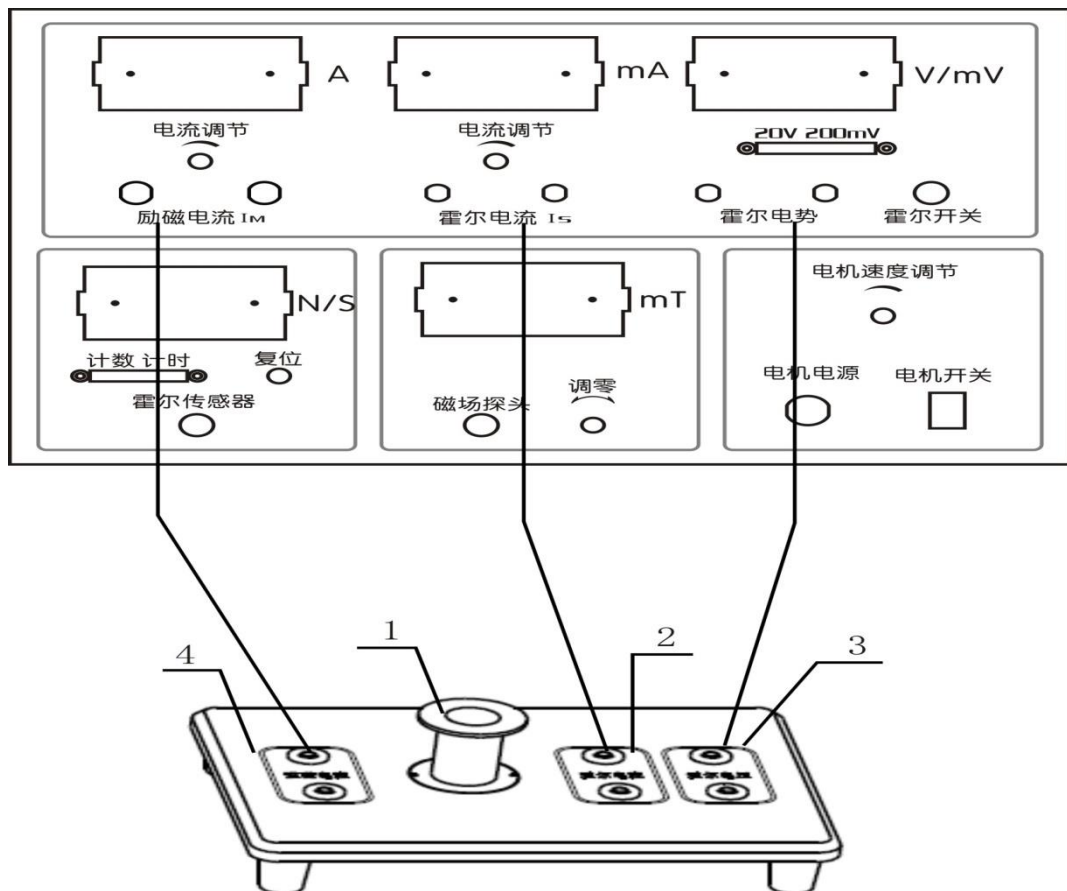


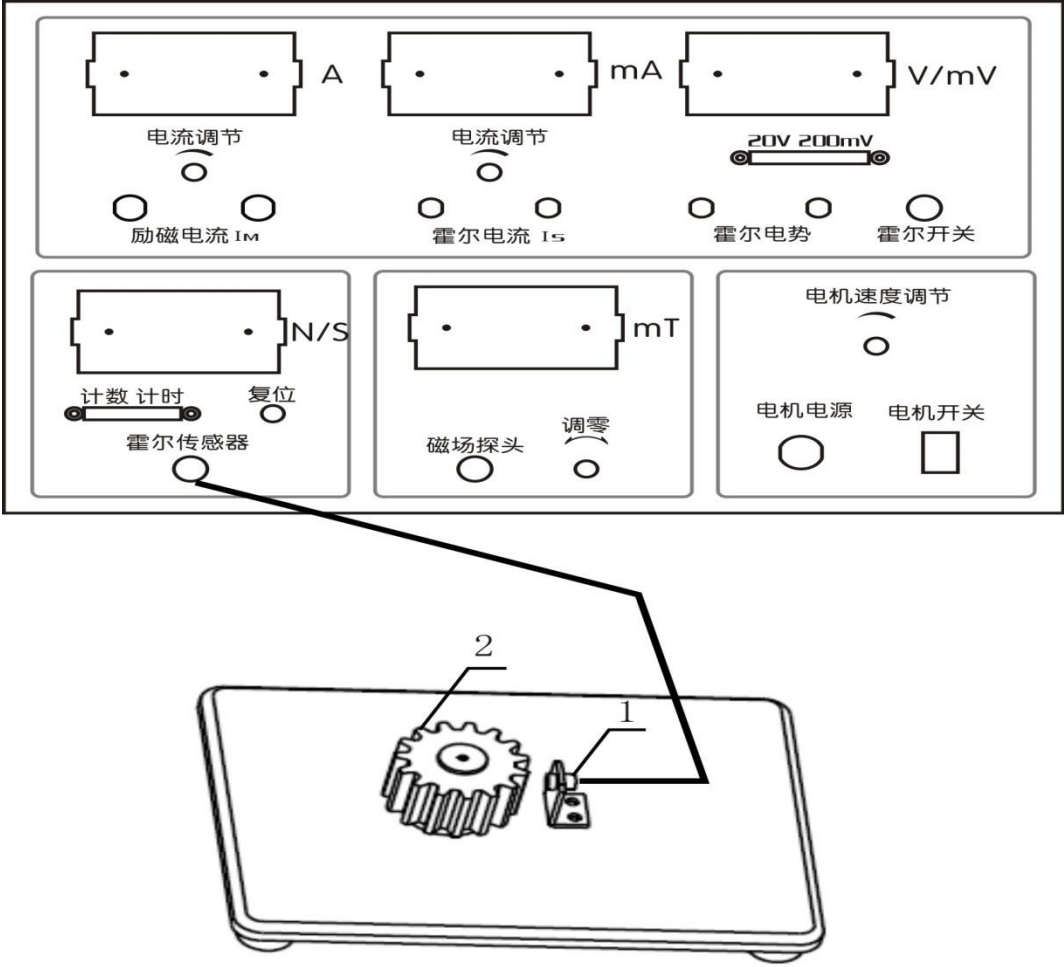
图 10 霍尔传感器测量大电流实验

- (2) 按照上图 10 正确连接实验仪，打开实验电源（切勿将励磁电流连接霍尔传感器）。
- (3) 调节霍尔电流值为 3mA；调节线圈励磁电流 0-250mA，记录相应霍尔电压值在表中。
- (4) 作 V-I 图，计算线性相关系数 R^2 。

8. 霍尔齿轮转速传感器测量齿轮转角

金属齿轮、齿条等运动部件经过传感器的前端，引起磁场的相应变化。当运动部件穿过霍尔元件产生磁力线较为分散的区域时，磁场相对较弱，而穿过产生磁力线较为集中的区域时，磁场就相对较强。 齿轮传感器就是通过磁力线密度的变化，在磁力线穿过传感器上的感应元件时，产生霍尔电势。齿轮传感器的霍尔元件在产生霍尔电势后，最后传感器的内置电路会将信号调整和放大，输出矩形脉冲信号。

(1) 实验仪器及接线

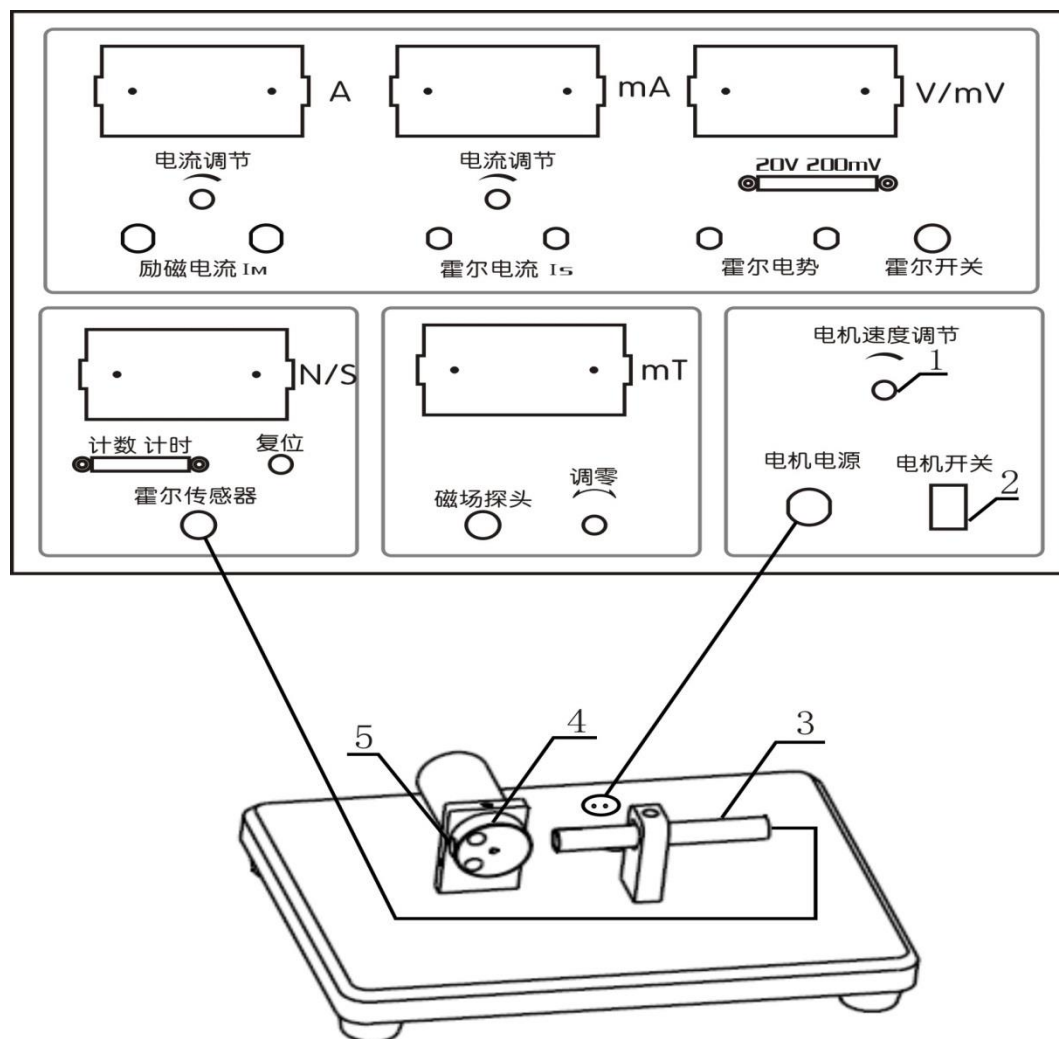


1、霍尔齿轮转速传感器 2、齿轮
图 11 霍尔传感器测量齿轮转角

- (2)、按照上图 11 正确连接实验仪，“计数”按键按下，打开实验电源。
- (3)、调整齿轮和齿轮转速传感器的位置，使得齿轮和传感器前端面距离约 1mm。
- (4)、将齿轮凹处对准传感器，按“复位”键计数器清零，转动齿轮，纪录经过的齿轮数和计数
值，就可计算齿轮转动的角度了。

9. 霍尔开关传感器测量电机转速

- (1)、实验接线



1、 电机速度调节 2、电机开关 3、霍尔开关传感器 4、转轮 5、磁钢

图 12 霍尔开关传感器测量电机转速实验

(2)按图 12 正确连接实验仪，按下“计时”功能按键，关闭电机开关，打开实验电源。

(3)调节霍尔开关传感器与电机转轮的距离(一般在 5mm)。

(4)打开电机开关，调节“电机速度调节”旋钮使改变电机转速，在一定转速下按下“复位”键，显示电机旋转一周的时间 T （多次测量，去除错误数据），数据记录在表中。

10.自动测量 $|V_H| - I_s$ 或 $|V_H| - T$ 关系曲线

自动测绘 $|V_H| - I_s$ 曲线。按照手动测绘 $|V_H| - I_s$ 曲线的方法将霍尔效应测试仪和霍尔效应实验仪线连接好，在 V_H 两端加入电压传感器、将 I_s 串联电流传感器、将 I_M 串联电流传感器，电压传感器、电流传感器接入 850 或 550 数据采集器，850 或 550 数据采集器与计算机相连，微型计算机安装 Pasco Capstone 软件，打开 Capstone 软件，分别设置 V_1 与 I_s 曲线、 V_2 与 I_s 曲线、 V_3 与 I_s 曲线、 V_4 与 I_s 曲线、 V_H 与 I_s 曲线、测 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 时， I_M 为 0.5mA， I_s 都是从 0~3.5mA 进行调节。由于 $V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)/4$ ，就得到 $|V_H| - I_s$ 曲线。自动测量 $|V_H| - I_M$ 曲线和 $|B| \sim x$ 曲线方法与自动测绘 $|V_H| - I_s$ 曲线相同。电压传感器配置如图 13 所示， $V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)/4$ 计算设置如图 14 所示。



图 13 电压传感器配置



图 14 Vh 计算公式设置

七、实验数据记录

1. 测绘 $|V_H| - I_s$ 曲线

$I_M =$ _____ ,

Is、B 方向	+Is、+B	+Is、-B	-Is、-B	-Is、+B	V_H / mV
I_s / mA	V_1 / mV	V_2 / mV	V_3 / mV	V_4 / mV	
0.00					
0.50					
1.00					
1.50					
2.00					
2.50					
3.00					
3.50					

其中: $V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) / 4$

2. 测绘 $|V_H| - I_M$ 曲线

$I_s =$ _____ ,

Is、B 方向	+Is、+B	+Is、-B	-Is、-B	-Is、+B	V_H / mV
I_M / A	V_1 / mV	V_2 / mV	V_3 / mV	V_4 / mV	
0					
0.10					
0.20					
0.30					
0.40					

0.50					
------	--	--	--	--	--

其中: $V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) / 4$

3. 测量 V_σ 值

$I_s =$ _____, $V_\sigma =$ _____°

4. 测绘螺线管轴线上磁感应强度分布

螺线管参数:

$$I_S = \underline{\hspace{2cm}}, \quad I_M = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$$
[illegible]

5、霍尔传感器测量圆柱形磁钢在其轴线上磁感应强度分布

记录实验数据(磁感应强度值正负号与磁场方向有关)

距离(mm)									
磁感应强度(mT)									
距离(mm)									
磁感应强度(mT)									

6、霍尔开关传感器特性与磁感应强度的关系

记录实验数据(转变距离对应磁感应强度值查表实验一获得)。

距离变化方向	初始距离(mm)	初始开关输出(V)	转变距离(mm)/磁感应强度(mT)	转变后开关输出(V)
增加方向				
减小方向				

7、霍尔传感器测大电流

记录实验数据(霍尔电压值的正负号与磁场方向有关)

励磁电流(A)									
霍尔电压(V)									

8 霍尔齿轮转速传感器测量齿轮转角

记录实验数据(齿轮总数 15)

经过的齿轮数								
计数值								
对应角度(度)								

9、霍尔开关传感器测电机转速

记录实验数据

周期(S)						
转速(转/分)						

八、数据处理和讨论

1. 作 $|V_H| - I_s$ 关系曲线, 并用最小二乘法拟合求直线的截距和斜率, 说明两者的关系。(注意: 处理数据时 $I_s = 0$ 的数据也是一个实验点, 不能缺漏)。

2. 作 $|V_H| - I_M$ 关系曲线, 并用最小二乘法拟合求直线的截距和斜率, 说明两者的关系。(注意: 处理数据时 $I_M = 0$ 的数据也是一个实验点, 不能缺漏)。
3. 选 $I_M = 0.50\text{A}$ 的数据, 计算样品的霍尔系数 R_H 和载流子浓度 n , 判断导电类型。
4. 根据 v_σ 值, 计算样品的电导率 σ 和载流子迁移率 μ 。
5. 作 $|B| \sim x$ 关系曲线, 说明两者关系。验证测量的准确性 (将端点与中点的数据比较, 中点的实验值与理论值比较, 计算相对误差)。
6. 作磁感应强度与磁场方向即 $B-x$ 曲线。
7. 计算霍尔开关传感器磁滞 B_H , 霍尔开关传感器输出特性图;
8. 作励磁电流与霍尔电压 $I-V$ 图, 计算线性相关系 R^2 ;

[实验后思考题]

1. 若磁感应强度的方向与霍尔元件的平面不完全正交，计算出的 B 值比实际值大还是小？
2. 若沿被测磁场方向有一个恒定的附加外磁场，测量时如何消除该磁场的影响？
3. 如何利用霍尔效应测量交变磁场？试写出测试方法。