

# 用霍尔效应测量磁场 实验报告

蔡丹杨

(北京大学化学与分子工程学院 1700011774)

## 1 数据处理

### (1) 验证 $I_H$ 和 $U_H$ 的关系

实验开始时，连接好电路，调节得到励磁电流  $I_M = 0.600\text{A}$ 。控制霍尔电流  $I_H$  从 1,2 接口通入，并控制其大小一定，分别调节励磁电流和霍尔电流的方向，测定 3,4 接口方向的电压值；然后，交换 1,2 接口与

3,4 接口的接线，重新测定。用公式  $U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4}$  消除副效应，最后测定结果如表 1 所示。

输入端口	$I_H/\text{mA}$	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
1,2	$U_1/\text{mV}$	-8.20	-16.40	-24.63	-32.87	-41.15
	$U_2/\text{mV}$	8.01	16.01	24.02	32.04	40.04
	$U_3/\text{mV}$	-8.01	-16.03	-24.07	-32.13	-40.21
	$U_4/\text{mV}$	8.19	16.37	24.56	32.76	40.97
	$U_H/\text{mV}$	-8.10	-16.20	-24.32	-32.45	-40.59
3,4	$U_1/\text{mV}$	8.01	16.03	24.06	32.08	40.24
	$U_2/\text{mV}$	-8.19	-16.37	-24.53	-32.74	-40.98
	$U_3/\text{mV}$	8.19	16.38	24.55	32.73	40.97
	$U_4/\text{mV}$	-8.01	-16.02	-24.06	-32.13	-40.16
	$U_H/\text{mV}$	8.10	16.20	24.30	32.42	40.59

表 1 验证  $I_H$  和  $U_H$  的关系测量结果

根据上述数据，在数据处理软件 Origin<sup>®</sup> 中作出  $U_H-I_H$  拟合曲线，分析结果如下图 1 所示。（由于 3,4 接口的拟合曲线与 1,2 接口的只有符号差别，且都很接近于直线，故不列出。）

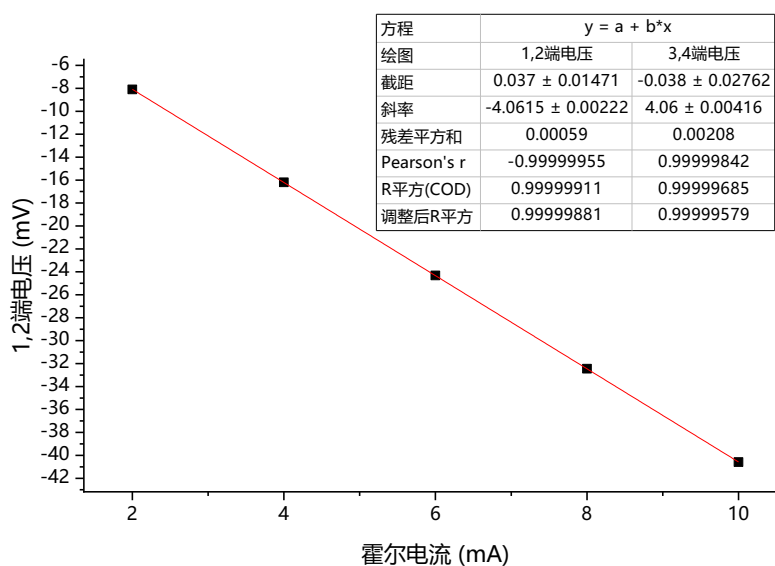


图 1 验证  $I_H$  和  $U_H$  的关系拟合曲线

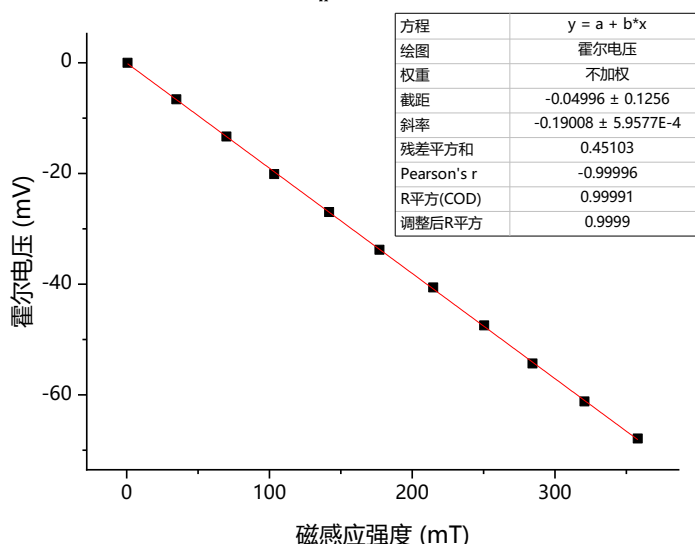
从图中及拟合参数表可以看出，两个方向接口数据的线性关系都非常强，且斜率几乎一样，说明霍尔元件的均匀性很好。以下实验中都使用 1,2 接口测量霍尔电压数据。

(2) 验证  $U_H$  和  $B$  的关系与霍尔元件灵敏度  $k_H$  的计算

控制霍尔电流  $I_H$  为定值 10.000mA，控制电磁铁的励磁电流  $I_M$  从 0A 改变到 1A，用特斯拉计测出磁感应强度  $B$ ，并用相同的方法测定相应的霍尔电压，测量结果如表 2 所示。 $U_H$ - $B$  最小二乘法分析结果如图 2

所示。据此算出霍尔元件灵敏度  $k_H$  的测量值为  $k_H = \frac{k}{I_H} = \frac{0.19008\text{V}\cdot\text{T}^{-1}}{10.000\text{mA}} = 19.01\Omega\cdot\text{T}^{-1}$ 。

$I_M/\text{mA}$	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
$U_1/\text{mV}$	-0.66	-7.24	-13.82	-20.61	-27.54	-34.26	-41.11	-47.93	-54.84	-61.68	-68.37
$U_2/\text{mV}$	-0.64	5.99	12.80	19.57	26.42	33.23	40.03	46.88	53.84	60.62	67.33
$U_3/\text{mV}$	0.48	-6.17	-12.96	-19.75	-26.57	-33.40	-40.17	-47.03	-53.98	-60.80	-67.49
$U_4/\text{mV}$	0.50	6.99	13.73	20.55	27.40	34.23	41.04	47.95	54.67	61.70	68.41
$U_H/\text{mV}$	-0.01	-6.60	-13.33	-20.12	-26.98	-33.78	-40.59	-47.45	-54.33	-61.20	-67.90
$B/\text{mT}$	0.6	34.8	69.9	103.4	141.8	177.1	214.7	250.4	284.3	320.7	358.0

表 2 验证  $U_H$  和  $B$  的关系测量结果图 2 验证  $U_H$  和  $B$  的关系拟合曲线

由最小二乘法引入的不确定度为  $\sigma_k = k \sqrt{\frac{1}{n-2}}$   $\approx 0.06\Omega\cdot\text{T}^{-1}$ ，此外还有  $I_H$  引入的不确定度。查阅资料知使用的万用表在该量程下极限不确定度为  $e_{I_H} = (0.005I_H + 0.004\text{mA})$ ，故最终的不确定度为

$$\sigma_{k_H} = k_H \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_H}}{I_H}\right)^2} = 19.01 \times \sqrt{\left(\frac{0.000596}{0.19008}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.050 + 0.004}{10.000}\right)^2} \approx 0.08\Omega\cdot\text{T}^{-1}$$

最终测量结果为

$$k_H \pm \sigma_{k_H} = (19.01 \pm 0.08)\Omega\cdot\text{T}^{-1}$$

## (3) 用霍尔效应测量电磁铁的磁化曲线

用表 2 数据结合  $B = \frac{U_H}{I_H k_H}$ ，求得每一励磁电流对应磁感应强度  $B$  的理论值，并画出  $B$ - $I_M$  拟合曲线。结果如表 3、图 3 所示。

$I_M/\text{A}$	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
$U_H/\text{mV}$	-0.01	-6.60	-13.33	-20.12	-26.98	-33.78	-40.59	-47.45	-54.33	-61.20	-67.90
$B/\text{mT}$	0.05	34.72	70.13	105.85	141.94	177.72	213.54	249.63	285.83	321.97	357.22

表 3 计算电磁铁的磁化曲线

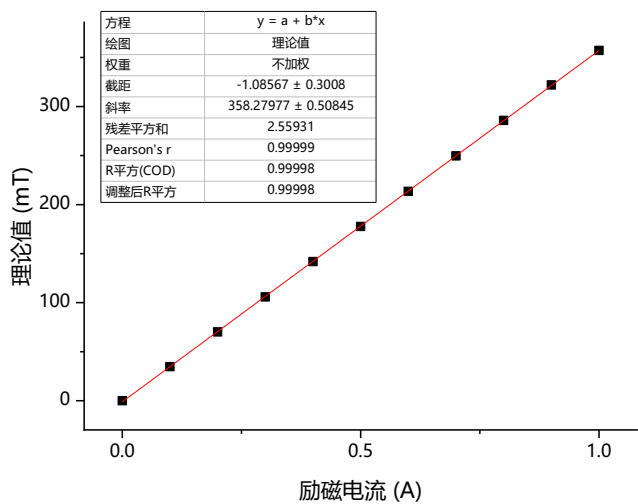


图 3 电磁铁磁化曲线拟合曲线

(4) 测量电磁铁磁场沿水平方向分布

控制霍尔电流  $I_H=10\text{ mA}$ ，励磁电流  $I_M=0.6\text{ A}$ ，转动支架旋钮使霍尔片从电磁铁中心水平移动出磁场。由左到右，测量不同位置坐标  $x$  处的霍尔电压，再用  $B = \frac{U_H}{I_H k_H}$  换算，从而得出不同位置处的磁场分布。原始数据和  $B-x$  分布图分别如表 4、图 4 所示。

$x/\text{mm}$	$U_H/\text{mV}$	$B/\text{mT}$	$x/\text{mm}$	$U_H/\text{mV}$	$B/\text{mT}$	$x/\text{mm}$	$U_H/\text{mV}$	$B/\text{mT}$
44.0	-41.17	216.59	72.0	-40.20	211.49	78.0	-21.12	111.11
47.0	-41.14	216.44	72.5	-39.90	209.91	79.0	-17.50	92.07
53.0	-41.15	216.49	73.0	-39.30	206.76	80.0	-14.82	77.97
59.0	-41.15	216.49	73.6	-38.52	202.65	81.0	-12.80	67.34
65.0	-41.15	216.49	74.1	-37.41	196.81	82.0	-11.33	59.61
66.5	-41.13	216.38	75.0	-34.59	181.98	83.0	-10.10	53.14
67.8	-41.10	216.22	75.5	-32.60	171.51	85.0	-8.40	44.19
69.0	-41.02	215.80	76.0	-30.60	160.98	87.0	-7.26	38.19
70.5	-40.80	214.65	76.5	-27.84	146.46	91.0	-5.79	30.46
71.5	-40.50	213.07	77.0	-25.36	133.42	97.0	-4.38	23.04

表 4 电磁铁磁场沿水平方向分布测量结果

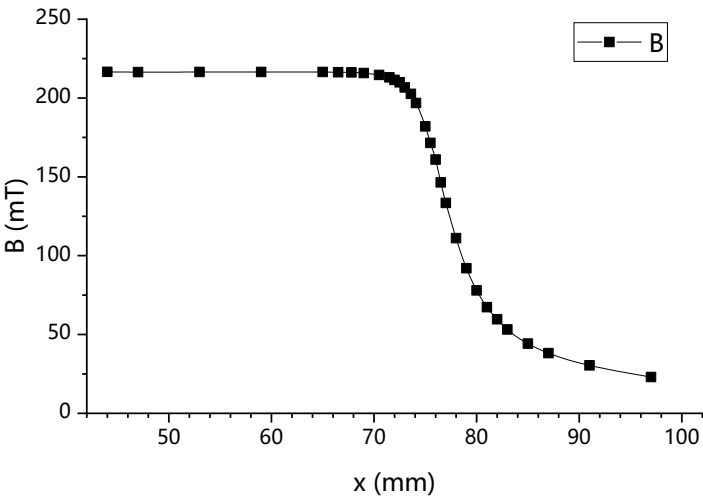


图 4 电磁铁磁场沿水平方向分布拟合曲线

## (5) 考察各种副效应的值及依赖关系

由教材中给出的表达式, 可算得各副效应的电压贡献分别为 (取  $I_H$  和  $I_M$  为正时效应取正号):

$$U_0 = \frac{U_1 - U_2 - U_3 + U_4}{4}$$

$$U_N + U_R = \frac{U_1 + U_2 - U_3 - U_4}{4}$$

分别取实验内容 1 和实验内容 2 中连接 1,2 接口的数据, 算出副效应电压的贡献如表 5、表 6 所示。

$I_H/\text{mA}$	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
$U_0/\text{mV}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$U_N + U_R/\text{mV}$	-0.09	-0.18	-0.27	-0.36	-0.47

表 5 验证  $I_H$  和  $U_H$  的关系测量中的副效应电压

$I_M/\text{mA}$	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
$U_0/\text{mV}$	0.00	-0.02	0.02	0.03	0.00	0.04	0.02	0.04	-0.01	0.05	0.05
$U_N + U_R/\text{mV}$	-0.57	-0.52	-0.45	-0.46	-0.49	-0.47	-0.49	-0.49	-0.42	-0.49	-0.49

表 6 电磁铁磁场沿水平方向分布测量中的副效应电压

从表中可以看出, 实验过程中不等位电势差  $U_0$  的影响非常小, 主要因素还是能斯特效应和里吉-勒迪克效应。另外,  $U_0$  的依赖关系难以确定, 但可见  $U_N + U_R$  的符号与  $U_H$  的相同, 且与工作电流 (霍尔电压) 近似成正比 (可算得线性相关系数  $r=0.9991$ ), 与外磁场关系不大。

## 2 思考题

(3) 在测量  $B-I_M$  曲线中,  $I_M=0$  时测量端仍有较小的电压, 这是为什么?

答: 首先, 由实验原理知霍尔元件表面即使无霍尔电流, 也会有不等位电势差  $U_0$ 。由于实验时观察到零电压只与电流方向有关, 这应该是最主要的因素。此外, 还可能有霍尔效应仪中通电路产生较小磁场、长时间通励磁电流后断电时电磁铁中有少量剩磁的因素。

## 3 分析与讨论

(1) 比较实验内容 1 中接法的结果

在该内容中, 观察到两种接法测得的  $U_H$  相差很小 (不超过 0.03mV), 最终算出的线性拟合曲线斜率也几乎一样。这是因为霍尔效应原理的表达式为  $U_H = I_H B / p q d$ , 即霍尔电压只与霍尔元件厚度有关, 而与两个方向的宽度无关。此外, 发现在更换磁场方向时引起的电压测量值的变化比更换霍尔电流方向时引起的电压测量值变化大很多, 说明副效应中主要是能斯特效应和里吉-勒迪克效应导致测得电压不准 (具体可见数据处理第 5 部分)。

(2) 说明实验内容 3 中采用计算而非实测的磁感应强度的原因

原因是特斯拉计直接测量时误差可能较大, 而先使用  $B$  和  $U_H$  得出的回归直线的斜率, 本身经过了一定的平均, 在绘制磁化曲线时结果的不确定度更小。

(3) 实验中各种曲线的主要特征及理解

实验中,  $U_H-I_H$ 、 $U_H-B$ 、 $B-I_M$  图线都是线性的, 它们分别说明了霍尔效应关系式的正确性以及线性介质模型的正确性;  $B-x$  图线是先平稳后很快下降, 最后缓慢下降, 说明电磁铁在霍尔元件测量区域产生的磁场基本是均匀的, 而边缘处磁场减少较快。

(4) 其他

本次实验中用到的数据较多, 而测量时通常有两种记录数据的方法: 一种是先固定电流, 待测完四种组合电压后再改变电流; 另一种是先将电路调节至某一状态, 再将电流范围完整调一遍。前者测得的数据

能较方便地填到数据记录表上，但实验中观察到，由于频繁操作换向开关，而开关两侧的接触电阻不同，导致每次调整工作电流方向后电流大小常需要重新微调；而后者虽然记录和处理较麻烦，但因为减少了换向开关的使用，调整次数较少。

本次实验中电磁铁励磁用到了较大（约 1A）的电流和电压，且线圈有较大电感，若直接切断开关会观察到电火花，并可能对实验者安全构成危险，所以要先在励磁电源上调至“预设”模式再切换方向。

#### 4 收获与感想

本次实验使用霍尔效应测定了电磁铁的磁化曲线和磁场水平分布，使我更好地理解霍尔效应中各个量的理论关系，并且探究得到了电磁铁磁感应强度和励磁电流、探测位置的关系。同时，我进一步理解了各种电学仪器的使用方法和不确定度的处理方法，为以后的电学实验打下了基础。

感谢老师对实验过程的指导，以及孙思原同学对操作仪器的帮助。