

# 《基础物理实验》实验报告

实验名称 杨氏模量与微小量的测量 指导教师 任意  
姓名 孙奕飞 学号 2023k8009925001 分班分组及座号 2-06-01号  
实验日期 2024 年 11 月 19 日 实验地点 教 710 调课/补课 否 成绩评定

## 1 实验目的

- 掌握不同静态方法测量杨氏模量的原理以及微小位移的测量方法，理解其各自的优势与局限性，并了解动态法测量杨氏模量的基本原理；
- 熟悉霍尔位置传感器的性能特点，完成样品测量及传感器的校准，并理解传感器特性曲线在测量过程中的意义；
- 了解光杠杆法的放大机制及其适用范围；
- 掌握读数望远镜和读数显微镜的调节方法；
- 学习用逐差法、作图法和最小二乘法对数据进行处理；
- 学习如何计算各种物理量的不确定度，并用不确定度正确地表达实验结果。

## 2 实验仪器

CCD 杨氏弹性模量测量仪（LB-YM1 型、YMC-2 型）、螺旋测微器、钢卷尺；杭州大华 DHY-A 型霍尔位置传感器法杨氏模量测定仪（包括底座固定箱、读数显微镜及调节机构、SS495A 型集成霍尔位置传感器、测试仪、磁体、支架、加力装置等）、黄铜条、铸铁条；DHY-2A 型动态杨氏模量测试台，DH0803 型振动力学通用信号源、通用示波器、测试棒（铜、不锈钢）、悬线、专用连接导线、天平、游标卡尺、螺旋测微计等。

## 3 实验原理

### 3.1. 杨氏模量的概念

考虑一个物体的伸长或压缩形变。设物体的长度为  $L$ ，截面积为  $S$ ，在沿长度方向受到外力  $F$  的作用后，长度改变了  $\Delta L$ 。那么，\*\*应力\*\*被定义为单位截面积上所承受的垂直作用力，即  $\frac{F}{S}$ ，而\*\*线应变\*\*则表示物体的相对伸长量  $\frac{\Delta L}{L}$ 。

实验表明，在弹性范围内，正应力与线应变成正比，而这个比例常数被称为杨氏模量  $E$ ，即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

杨氏模量是材料的一种固有特性，与物体的形状无关。

### 3.2. 霍尔效应的原理

当霍尔元件处于磁感应强度为  $B$  的磁场中，并且通过垂直于磁场方向的电流  $I$  时，在与电流和磁场方向均垂直的方向上会产生霍尔电势差。此时，电子受力达到平衡状态，电场力与洛伦兹力相等，因此

$$eE = eVB \quad (2)$$

其中，电场强度和电流的表达式分别为

$$E = \frac{U_H}{a}, \quad I = nVad \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (2) 式，便可以得到霍尔电压的表达式为

$$U_H = K_H IB \quad (4)$$

其中， $K_H$  是一个常数，称为霍尔灵敏度。

若保持霍尔元件的电流恒定，并将其置于一个具有均匀梯度变化的磁场中，则霍尔电势差的变化量与位移量成正比：

$$\Delta U_H = K_H I \frac{dB}{dz} \Delta z \quad (5)$$

### 3.3. 弯曲法测量杨氏模量原理

通过弯曲横梁可以测量其杨氏模量  $E$ ，其表达式为

$$E = \frac{Mgd^3}{4a^3b\Delta z} \quad (6)$$

其中， $d$  为两刀口之间的距离， $a$  为横梁的厚度， $b$  为横梁的宽度， $\Delta z$  为横梁中心的位移， $M$  为加在横梁上对应的质量， $g$  为重力加速度。

## 4 实验内容

### 4.1. 拉伸法测定金属的杨氏模量

(1) 在测量铅丝的杨氏模量之前，首先通过添加砝码使金属丝拉直，确保分划板卡在下横梁的槽内，以避免拉直过程中分划板发生旋转。同时，应注意监视器上分划板刻度尺的位置不要过高，其位置应低于 3 mm。

(2) 使用钢卷尺测量上、下夹头间金属丝的长度。

(3) 通过螺旋测微器测量金属丝的直径。由于铅丝直径可能存在不均匀性，根据工程要求，应在金属丝的上、中、下三个位置分别测量。每个位置在相互垂直的方向上各测量一次。

(4) 记录未加砝码时，屏幕上在横线上显示的毫米刻度尺读数  $l_0$ 。接着，每次在砝码盘上增加一个砝码时，分别记录叉丝的相应读数  $l_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ )。之后逐个减掉砝码，并读取

屏幕上的对应读数  $(l_i)'$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ )。注意加减砝码时应动作轻缓，以避免砝码盘发生微小振动而导致读数波动过大。

(5) 取同一负荷下叉丝读数的平均值，并使用逐差法计算在荷重增减 4 个砝码时，光标的平均偏移量。

(6) 再次使用螺旋测微器测量金属丝的直径，按工程规范仍需在上、中、下三个位置进行测量，且每个位置的相互垂直方向各测一次。

(7) 最终，将前述的原理公式进行分解和整理，即可得到最终用于计算杨氏模量的公式：

$$Y = \frac{4MgL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (7)$$

## 4.2. 使用霍尔传感器测量杨氏模量

测量黄铜样品的杨氏模量和霍尔位置传感器的定标。

(1) 调整以确保集成霍尔位置传感器探测元件位于磁铁的中心位置。

(2) 使用水平泡确认平台是否保持水平，若发现倾斜，调节平台的水平调节脚至水平状态。

(3) 对霍尔位置传感器的毫伏电压表进行调零。通过上下移动磁体调节装置，直到毫伏表读数非常小，此时停止调节并固定螺丝，最后微调调零电位器，使毫伏表的读数为零。

(4) 调整读数显微镜，使眼睛能够清晰地观察到十字线、分划板刻度线和数字。接着移动读数显微镜，直到清晰看到铜刀口上的黑色基线。然后，在使用适当力度锁紧加力旋钮旁边的锁紧螺钉后，通过旋转读数显微镜的读数鼓轮，使铜刀口基线与显微镜中的十字刻度线对齐。

(5) 在拉力绳处于无力状态下，对电子称传感器的加力系统进行调零。

(6) 通过逐次转动加力调节旋钮逐步增大拉力（每次增重 10 克），并从读数显微镜上记录梁的相应弯曲位移和霍尔数字电压表的读数。这些数据将用于计算杨氏模量及霍尔位置传感器的定标。

(7) 实验结束后，松开加力旋钮旁边的锁紧螺钉，并松开加力旋钮，取下实验样品。

(8) 多次测量并记录样品在两刀口之间的长度，同时测量横梁在不同位置的宽度和厚度。

(9) 关闭电源，收拾实验桌面，整理好实验器材并复原实验初始状态。

(10) 通过逐差法求得黄铜材料的杨氏模量，并计算相应的不确定度。使用作图法和最小二乘法来确定霍尔位置传感器的灵敏度。

(11) 将实验测量结果与公认值进行对比分析。

## 4.3. 动态悬挂法测量杨氏模量

1. 测量测试棒的长度  $L$ 、直径  $d$  和质量  $m$ （也可以由实验室提供）。为了提高测量精度，以上量需测量 3 — 5 次。

2. 测量测试棒在室温下的共振频率

(1) 安装测试棒：将测试棒悬挂在两根悬线上，确保测试棒保持横向水平，悬线垂直于测试棒的轴向方向。两根悬线的挂点应分别位于距离测试棒两端点  $0.0365L$  和  $0.9635L$  处，并使测试棒处于静止状态。

(2) 连接设备：使用专用导线将测试装置、信号源和示波器连接起来。

(3) 开机：依次打开示波器和信号源的电源开关，调整示波器至正常工作状态。

(4) 鉴频与测量：待测试棒稳定后，调节信号源的频率和幅度，寻找测试棒的共振频率。

当在示波器的荧光屏上观察到共振现象（正弦波振幅突然增大）时，进一步缓慢微调频率细调旋钮，直到波形振幅达到最大值。

## 5 实验结果与数据处理

### 5.1. 拉伸法测定金属的杨氏模量

#### 5.1.1. 实验数据

设备型号：YMC-2 (1) 钼丝长度  $L=830.0\text{mm}$ ，卷尺仪器误差  $e=2.0\text{mm}$

(2) 钼丝直径：

表 1: 钼丝直径

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值
$d/\text{mm}$	0.209	0.208	0.209	0.210	0.206	0.208	0.208

(3) 监视器示数初始示数  $l_0=0.00\text{mm}$ ，千分尺仪器误差  $e=0.005\text{mm}$

表 2: 监视器示数

序号	砝码质量 $M/\text{g}$	加载 $l/\text{mm}$	卸载 $l'/\text{mm}$	平均值 $\bar{l}/\text{mm}$	$l^*M/(\text{mm}^*\text{g})$	示数差值 $\Delta l_i$
1	500	0.75	0.75	0.750	375.00	1.030
2	750	1.00	1.03	1.015	761.25	1.040
3	1000	1.25	1.30	1.275	1275.00	1.040
4	1250	1.50	1.55	1.525	1906.25	1.025
5	1500	1.76	1.80	1.780	2670.00	
6	1750	2.05	2.06	2.055	3596.25	
7	2000	2.30	2.33	2.315	4630.00	
8	2250	2.55	2.55	2.550	5737.50	
$\bar{M}$	1375		$\bar{l}$	1.658		
$\Sigma M$	11000		$\Sigma l$	13.265		

#### 5.1.2. 数据处理

长度差的 A 类不确定度为  $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (l_i - \bar{l})^2}{8 \times (8-1)}} = 0.224\text{mm}$

长度差的 B 类不确定度为  $u_B = \frac{0.01}{\sqrt{3}}\text{mm} = 5.8 \times 10^{-3}\text{mm}$

长度差的合成不确定度为  $u(l) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.224\text{mm}$

直径的 A 类不确定度  $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d_i - \bar{d})^2}{6 \times (6-1)}} = 3.2 \times 10^{-5}\text{mm}$

直径的 B 类不确定度  $u_B = \frac{0.001}{\sqrt{3}}\text{mm} = 5.8 \times 10^{-4}\text{mm}$

直径的合成不确定度  $u(d) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 5.8 \times 10^{-4}\text{mm}$

长度的不确定度为  $u(L) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} mm = 5.8 \times 10^{-2} mm$

将数据代入杨氏模量公式  $\bar{Y} = \frac{4gL}{d^2K} = 2.316 \times 10^{11} N \cdot m^{-2}$

杨氏模量的相对不确定度为  $\frac{u_Y}{\bar{Y}} = \sqrt{\left(\frac{2u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(l)}{l}\right)^2} = 0.216$

因此，杨氏模量的不确定度为  $0.50 \times 10^{11} N \cdot m^{-2}$

所以铝丝杨氏模量的理论值为  $Y = (2.316 \pm 0.50) \times 10^{11} N \cdot m^{-2}$

与理论值的相对误差  $W_0 = \frac{Y-Y_0}{Y_0} = 0.69\%$

根据表 (2) 中的数据可以拟合得到如下图像：

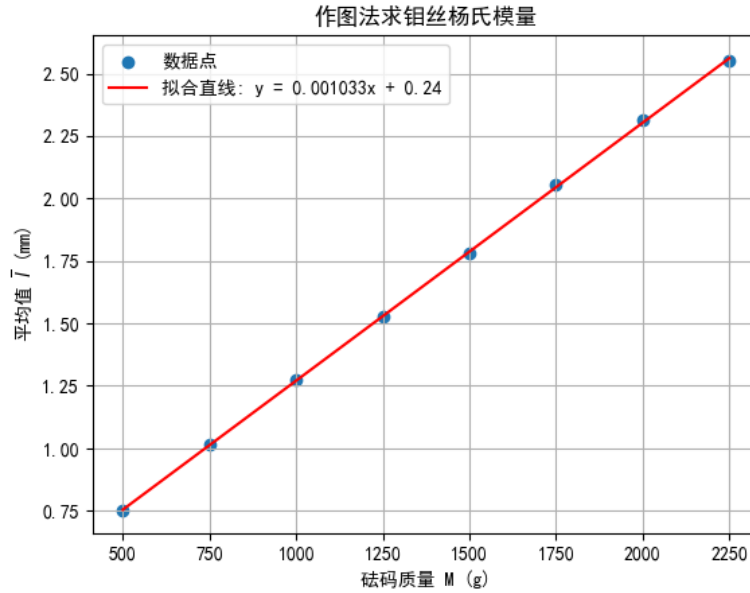


图 1: 作图法求杨氏模量

利用 scipy 中的 curve\_fit 函数可以计算得到图线斜率为  $k = 1.033 \times 10^{-3} mm/g$ ，故而可计算求得

$$Y = \frac{4gL}{\pi d^2 k} = 2.317 \times 10^{11} N/m^2$$

，与逐差法得到的结果极为接近。与理论值的相对误差为 0.74%。

## 5.2. 使用霍尔传感器测量杨氏模量

### 5.2.1. 实验数据

表 3: 黄铜横梁的几何尺寸

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值
长度 d/mm	229.5	229.6	230.1	231.1	229.6	230.0	230.0
宽度 b/mm	23.30	23.32	23.24	23.22	23.20	23.26	23.26
厚度 a/mm	0.987	0.993	0.980	0.979	0.990	0.984	0.986

表 4: 读数显微镜示数（黄铜）

显微镜初始读数  $Z_0 = 2.603mm$ 

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值
$M_i/g$	9.9	20.1	30.0	40.1	50.1	60.5	70.2	80.2	45.1375
$Z_i/mm$	2.786	2.932	3.062	3.205	3.350	3.510	3.650	3.839	3.29175
$U_i/mV$	44	88	131	173	215	258	297	339	193.125
$\Delta Z_i/mm$	0.564	0.578	0.588	0.634					0.591
$\Delta U_i/mV$	171	170	166	166					168.25
$U_i^2/mV^2$	1936	7744	17161	29929	46225	66564	88209	114921	46586.125
$Z_i^2/mV^2$	7.762	8.597	9.376	10.272	11.223	12.320	13.323	14.738	10.951
$Z_i U_i/(mm * mV)$	122.58	258.02	401.12	554.47	720.25	905.58	1084.05	1301.42	668.44

表 5: 铸铁横梁的几何尺寸

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值
长度 d/mm	231.5	229.5	230.0	229.0	229.6	230.1	230.0
宽度 b/mm	23.06	23.04	23.02	22.98	23.02	23.06	23.03
厚度 a/mm	0.980	0.995	0.972	1.075	1.045	0.972	1.006

表 6: 读数显微镜示数（铸铁）

显微镜初始读数  $Z_0 = 0.475mm$ 

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值
$M_i/g$	8.6	23.2	30.6	40.5	51.7	60.0	69.6	79.4	45.45
$Z_i/mm$	0.510	0.625	0.665	0.735	0.810	0.875	0.945	1.100	0.783
$U_i/mV$	19	50	67	88	112	131	151	173	98.88
$\Delta Z_i/mm$	0.300	0.250	0.280	0.365					0.299
$\Delta U_i/mV$	93	81	84	85					123
$U_i^2/mV^2$	361	2500	4489	7744	12544	17161	22801	29929	12191.1
$Z_i^2/mV^2$	0.260	0.390	0.442	0.540	0.656	0.766	0.893	1.210	0.645
$Z_i U_i/(mm * mV)$	9.69	31.25	44.56	64.68	90.72	114.63	142.70	190.30	86.07

### 5.2.2. 数据处理

#### 一、黄铜横梁的杨氏模量计算

长度的 A 类不确定度为  $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d_i - \bar{d})^2}{6 \times (6-1)}} = 0.244mm$

长度 B 类不确定度为  $u_B = \frac{0.1}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-2}mm$

长度的不确定度为  $u(d) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.251mm$

宽度的 A 类不确定度  $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (b_i - \bar{b})^2}{6 \times (6-1)}} = 0.019mm$

宽度的 B 类不确定度  $u_B = \frac{0.01}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-3}mm$

合成不确定度  $u(b) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.020mm$

厚度的 A 类不确定度  $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (a_i - \bar{a})^2}{6 \times (6-1)}} = 2.3 \times 10^{-3}$

厚度的 B 类不确定度  $u_B = \frac{0.001}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-4}mm$

合成不确定度为  $u(a) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 2.4 \times 10^{-3}mm$

将数据代入杨氏模量公式  $\bar{Y} = \frac{d^3 \Delta M g}{4 a^3 b \Delta Z} = 9.926 \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$

$$\Delta Z \text{ 的 A 类不确定度 } u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\Delta Z - \overline{\Delta Z})^2}{4 \times (4-1)}} = 1.51 \times 10^{-2} mm$$

$$\Delta Z \text{ 的 B 类不确定度 } u_B = \frac{0.001}{\sqrt{3}} mm = 5.8 \times 10^{-4} mm$$

$$\Delta Z \text{ 的合成不确定度为 } u(\Delta Z) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 1.51 \times 10^{-2} mm$$

$$\text{所以, 杨氏模量的相对不确定度为 } \frac{u_Y}{Y} = \sqrt{\left(\frac{3u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{3u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta Z)}{\Delta Z}\right)^2} = 0.027$$

因此, 杨氏模量的不确定度为  $0.268 \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$ , 杨氏模量为  $Y = (9.926 \pm 0.268) \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$

黄铜杨氏模量的理论值为  $Y_0 = 10.55 \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$

$$\text{与理论值的相对误差 } W_0 = \frac{Y - Y_0}{Y_0} = 5.9\%$$

二、铸铁横梁的杨氏模量计算

$$\text{长度的 A 类不确定度为 } u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d - \bar{d})^2}{6 \times (6-1)}} = 0.349 mm$$

$$\text{长度 B 类不确定度为 } u_B = \frac{0.1}{\sqrt{3}} mm = 5.8 \times 10^{-2} mm$$

$$\text{长度的不确定度为 } u(d) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.354 mm$$

$$\text{宽度的 A 类不确定度 } u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (b_i - \bar{b})^2}{6 \times (6-1)}} = 0.012 mm$$

$$\text{宽度的 B 类不确定度 } u_B = \frac{0.01}{\sqrt{3}} mm = 5.8 \times 10^{-3} mm$$

$$\text{合成不确定度 } u(b) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.013 mm$$

$$\text{厚度的 A 类不确定度 } u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (a_i - \bar{a})^2}{6 \times (6-1)}} = 1.77 \times 10^{-2}$$

$$\text{厚度的 B 类不确定度 } u_B = \frac{0.001}{\sqrt{3}} mm = 5.8 \times 10^{-4} mm$$

$$\text{合成不确定度为 } u(a) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 1.77 \times 10^{-2} mm$$

$$\text{将数据代入杨氏模量公式 } \bar{Y} = \frac{d^3 \Delta M g}{4 a^3 b \Delta Z} = 18.96 \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$$

$$\Delta Z \text{ 的 A 类不确定度 } u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\Delta Z - \overline{\Delta Z})^2}{4 \times (4-1)}} = 2.43 \times 10^{-2} mm$$

$$\Delta Z \text{ 的 B 类不确定度 } u_B = \frac{0.001}{\sqrt{3}} mm = 5.8 \times 10^{-4} mm$$

$$\Delta Z \text{ 的合成不确定度为 } u(\Delta Z) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 2.43 \times 10^{-2} mm$$

$$\text{所以, 杨氏模量的相对不确定度为 } \frac{u_Y}{Y} = \sqrt{\left(\frac{3u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{3u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta Z)}{\Delta Z}\right)^2} = 0.097$$

因此, 杨氏模量的不确定度为  $1.84 \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$ , 杨氏模量为  $Y = (18.96 \pm 1.84) \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$

发现铸铁的杨氏模量不确定度较大, 观察原始数据记录表发现厚度的几组测量值之差较大, 产生了较大的不确定度, 猜测可能是由于铸铁块经过反复实验磨损, 造成不同区域的厚度不均匀导致。

铸铁杨氏模量的理论值为  $Y_0 = 18.96 \times 10^{10} N \cdot m^{-2}$

$$\text{与理论值的相对误差 } W_0 = \frac{Y - Y_0}{Y_0} = 4.5\%$$

### 5.2.3. 用最小二乘法及画图法对霍尔位置传感器进行定标

#### 一、黄铜横梁

### (1) 最小二乘法

利用最小二乘法算得实验中霍尔位置传感器的灵敏度为： $\frac{\Delta U}{\Delta Z} = \frac{\overline{ZU} - \overline{Z} \cdot \overline{U}}{\overline{Z^2} - (\overline{Z})^2} = 283.59 (V \cdot m^{-1})$

### (2) 作图法

根据表 (4) 中数据可作出如下  $U - Z$  图象：利用 scipy 中的 curve\_fit 函数可以计算得

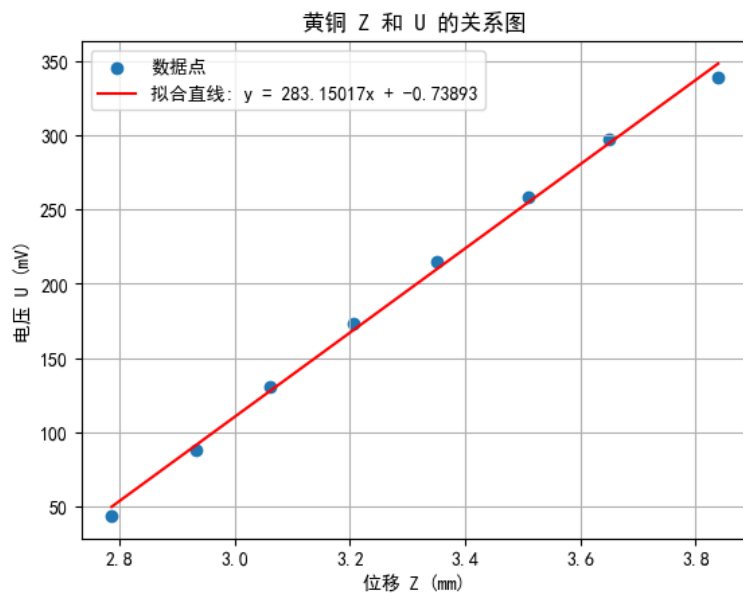


图 2: 作图法计算霍尔位置传感器的灵敏度（黄铜）

到图线斜率为  $k = 283.15 (V \cdot m^{-1})$ ，与用最小二乘法得到的结果较为相近。

## 二、铸铁横梁

### (1) 最小二乘法

利用最小二乘法算得实验中霍尔位置传感器的灵敏度为： $\frac{\Delta U}{\Delta Z} = \frac{\overline{ZU} - \overline{Z} \cdot \overline{U}}{\overline{Z^2} - (\overline{Z})^2} = 270.97 (V \cdot m^{-1})$

### (2) 作图法

根据表 (6) 中数据可作出如下  $U - Z$  图象：利用 scipy 中的 curve\_fit 函数可以计算得

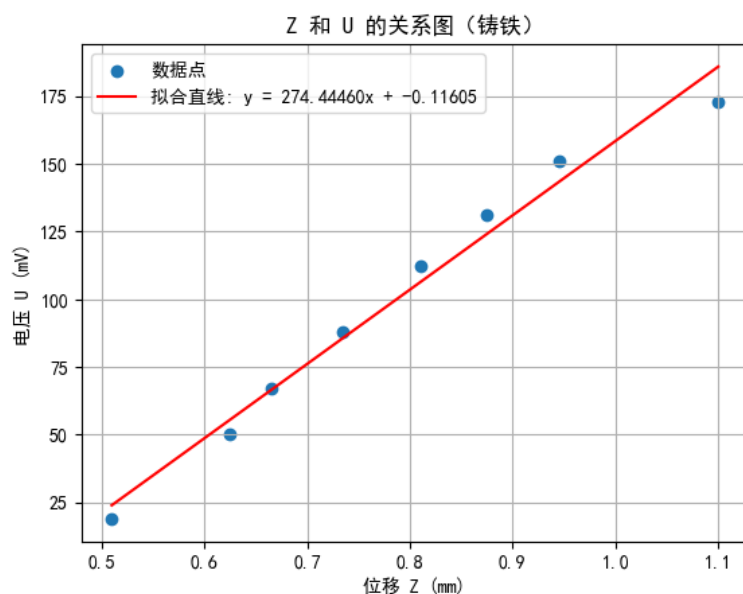


图 3: 作图法计算霍尔位置传感器的灵敏度（铸铁）



到图线斜率为  $k = 274.44(V \cdot m^{-1})$ ，与用最小二乘法得到的结果基本接近。

### 5.3. 动态悬挂法测量杨氏模量

#### 5.3.1. 实验数据

设备型号：DHY-2A 样品：不锈钢；长度  $L = 180mm$ ；直径  $d = 5.980mm$ ；样品质量  $m = 39.70g$

表 7: 不锈钢金属棒在不同悬挂位置下的共振频率

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
悬挂点位置 $x/mm$	20	25	30	35	45	50	55	60
$x/L$	0.110	0.139	0.167	0.194	0.250	0.278	0.306	0.333
共振频率/Hz	893.200	892.400	891.700	891.500	891.799	892.700	893.591	894.594

#### 5.3.2. 数据处理

根据上表可画出如下  $x - f$  图象：

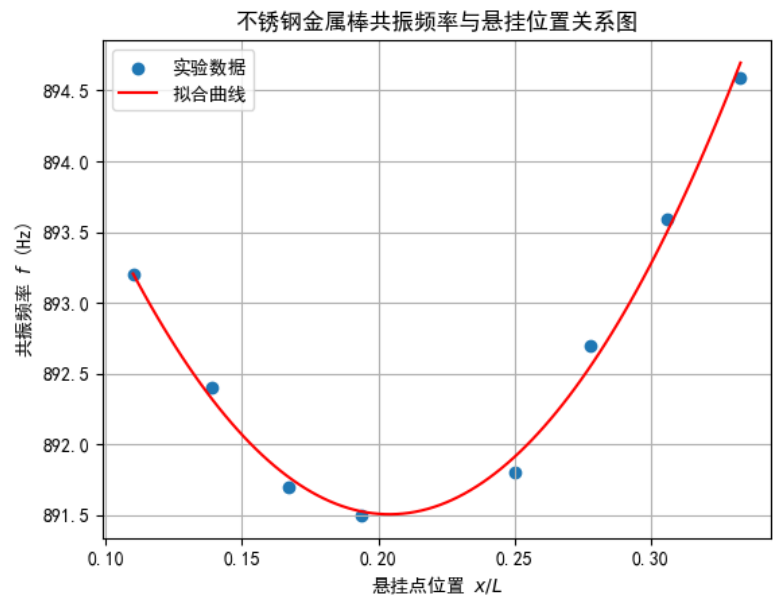


图 4: 不锈钢金属棒的悬挂位置与相应共振频率关系曲线图

由上图平滑曲线可读得  $x = 36.74mm$  处的共振频率  $f_1 = f = 891.51Hz$ ，代入杨氏模量计算公式可得： $\bar{Y} = 1.6067 * \frac{L^3 m f^2}{d^4} = 1.38258 \times 10^{11} N \cdot m^{-2}$ 。

且长度  $L$  的不确定度为  $u(L) = \frac{0.1}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-2}mm$

基频  $f$  的不确定度为  $u(f) = \frac{0.001}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-4}Hz$

直径  $d$  的不确定度为  $u(d) = \frac{0.001}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-4}mm$

质量  $m$  的不确定度为  $u(m) = \frac{0.01}{\sqrt{3}}mm = 5.8 \times 10^{-3}g$

所以，杨氏模量的相对不确定度为  $\frac{u_Y}{\bar{Y}} = \sqrt{\left(\frac{4u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{3u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{2u(f)}{f}\right)^2} = 0.0011$

因此,杨氏模量的不确定度为  $0.00152 \times 10^{11} N \cdot m^{-2}$ , 杨氏模量为  $Y = (1.38258 \pm 0.00152) \times 10^{11} N \cdot m^{-2}$

根据讲义内容知, 测量值在理论值范围内。

## 6 讲义思考题

### 6.1. 拉伸法测定金属的杨氏模量

#### 6.1.1. 杨氏模量测量数据 $N$ 若不用逐差法而用作图法, 如何处理?

根据数据的范围恰当地确定坐标轴标尺, 在坐标系中标出实验测量得到的数据点。然后, 根据数据点的分布情况绘制一条拟合直线, 使数据点尽可能均匀分布于这条直线的两侧。接着, 利用各点数据使用最小二乘法计算出斜率, 替代  $\frac{M}{\Delta L}$  从而得到最终的结果。或者利用 python 中 scipy 包中的 curve\_fit 函数对数据点进行线性拟合, 也可以直接得到斜率。

#### 6.1.2. 两根材料相同但粗细不同的金属丝, 它们的杨氏模量相同吗? 为什么?

杨氏模量是一种描述固体材料抵抗形变能力的物理量, 它仅由材料的物理性质决定, 与材料的规格和形状无关。

#### 6.1.3. 本实验使用了哪些测量长度的量具? 选择它们的依据是什么? 它们的仪器误差各是多少?

本次实验中, 主要使用了钢卷尺、螺旋测微器和千分尺测量长度。选择它们的依据是量程需要能够满足待测长度的范围, 同时精度需符合实验的要求。具体而言, 钢卷尺的分度值为  $1mm$ , 允差为  $\pm 2mm$ , 用于测量钼丝的长度; 螺旋测微器的分度值为  $0.01mm$ , 允差为  $\pm 0.001mm$ , 用于测量钼丝的直径; 千分尺允差为  $\pm 0.005mm$ , 用于测量叉丝的长度。

#### 6.1.4. 在 CCD 法测定金属丝杨氏模量实验中, 为什么起始时要加一定数量的底码?

在初始状态下, 金属丝可能存在一定程度的弯曲。通过施加适当的底码, 可以将钼丝拉直, 这样不仅能够避免钼丝在轴向伸长之外产生其他形式的形变, 还能提高测量钼丝长度的准确性。

#### 6.1.5. 加砝码后标示横线在屏幕上可能上下颤动不停, 不能够完全稳定时, 如何判定正确读数?

等待示数逐步稳定后读取。若颤动始终不停, 则可以待振动幅度减小至一定程度后, 将其振动近似视为简谐振动。此时, 记录读数中的极大值和极小值, 计算它们的平均值, 并将该平均值作为最终读数。

#### 6.1.6. 金属丝存在折弯使测量结果如何变化?

若金属丝存在弯折, 将导致长度  $L$  的测量值偏小, 进一步引起杨氏模量的测量结果也被低估。

**6.1.7. 用螺旋测微器或游标卡尺测量时，如果初始状态都不在零位因此需要读出值减初值，对测量值的误差有何影响？**

在将读出值减去初值时，初值的读取本身就存在一定的误差，这将使得测量误差得到叠加进一步增大。

## **6.2. 使用霍尔传感器测量杨氏模量**

**6.2.1. 弯曲法测杨氏模量实验，主要测量误差有哪些？请估算各因素的不确定度。**

**(1) 长度测量误差**

实验中，显微镜的十字叉丝难以完全保持与被观测的刻度线完全平行，同时每次十字叉丝与刻度线的重合位置不同，这些因素可能会导致读数的估读误差较大。此外，估读操作本身也不可避免地存在一定的误差。

**(2) 测量仪器的误差**

实验中使用的各类仪器都存在一定的允差，这使得黄铜和铸铁片的几何尺寸（厚度  $a$ ，宽度  $b$ ，长度  $d$ ）存在误差。

**(3) 力和电压的测量误差**

电子显示器存在最小刻度值。在实际操作中，电子显示器的读数可能由于不稳定性而出现波动，从而带来一定的测量误差。

**(4) 实验器材本身的误差**

实验中所选用的黄铜片和铸铁片由于实验磨损等原因，使得原有几何形状遭到破坏而不再均匀，这将导致实验结果的不确定度增大。

**6.2.2. 用霍尔位置传感器法测位移有什么优点？**

霍尔位置传感器在位移测量中具有较高的灵敏度，并以电信号形式输出位移信息，这不仅提高了测量的精确性，还免去了人工估读的过程，从而简化了实验步骤。

## **6.3. 动态悬挂法测量杨氏模量**

**6.3.1. 外延测量法有什么特点？使用时应注意什么问题？**

外延测量法的特点是通过测量被测量的间接量来推导出目标量，具有非接触、灵敏度高和适用于恶劣环境的优点，可用于无法直接接触或测量的情况。然而，使用时应注意间接量和目标量之间的映射关系是否准确，确保模型和算法的可信度，同时要考虑外界干扰对测量结果的影响，并做好校准和补偿，防止因误差积累导致结果不准确。此外，应根据具体应用选择合适的测量范围和分辨率以满足精度要求。

**6.3.2. 物体的固有频率和共振频率有什么不同？它们之间有何关系？**

物体的固有频率是其自由振动时固有的振动频率，取决于物体的质量、刚度和边界条件；而共振频率是物体在外界周期性驱动力作用下引发共振时的频率。两者关系是：共振频率通

常等于或接近固有频率，但会受到系统阻尼的影响。当阻尼较小时，共振频率和固有频率非常接近；而当阻尼较大时，共振频率会稍小于固有频率。一般来说两者的差别非常细微。

## 7 实验总结

本次实验包含很多对实验误差处理的细节操作。虽然最终计算和数据处理较为繁琐，但在这个过程中我也深刻体会到了减小实验误差的必要性，学习到了许多减小实验误差的方法，并学习了不确定度的概念和计算，这些都为未来科研精密实验中的数据处理打下了坚实的基础。