

# 浙江大学

## 物理实验报告

实验名称: 金属材料杨氏模量的测定

实验桌号: 2

指导教师: 张贯乔老师

班级: -

姓名: -

学号: -

实验日期: 2025 年 10 月 13 日 星期二 上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

# 一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

## 1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

金属材料测定杨氏模量实验，旨在通过使用拉伸法来研究材料的弹性性质，从而理解应力与应变之间的线性关系，并利用光杠杆原理放大微小的形变，实现高精度测量，从而求得金属丝的杨氏模量。该实验不仅验证了胡克定律在弹性形变范围内的适用性，还帮助我们熟悉了光学放大测量的方法以及逐差法等误差分析方法。

**实验现象：**当逐步增大悬挂在金属丝下端的砝码个数时，金属丝随拉力增加而逐渐伸长，当移去砝码后长度恢复。通过望远镜观察光杠杆反射点的微小位移，我们可以直观地看到随载荷变化的微小形变，且在弹性限度之内形变与所加拉力基本成正比。

**实验原理：**在弹性形变范围内，金属丝的应力与应变满足胡克定律：

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{FL}{S\Delta L}$$

其中， $E$  为杨氏模量， $F$  为拉力， $L$  为金属丝原长， $S = \frac{\pi d^2}{4}$  为横截面积， $\Delta L$  为伸长量。

在实验中通过光杠杆原理放大微小的  $\Delta L$ ：

$$\Delta L = \frac{b}{2D} \Delta s$$

其中  $b$  为光杠杆短臂， $D$  为望远镜与镜面间距离， $\Delta s$  为从标尺上读出的位移。

综合以上两式我们可以得出：

$$E = \frac{8mgLD}{\pi d^2 b \Delta s}$$

通过使用逐差法测定不同载荷下的位移差并进行线性拟合，即可求得杨氏模量。

**实验装置：**本次实验实验仪由双柱支架、金属丝、上下夹具、光杠杆镜、读数望远镜、螺旋测微计、游标卡尺及米尺等组成。

光路结构为：光源 → 光杠杆镜 → 望远镜 → 刻度尺。

**实验步骤：**

- (1) 调平支架并校准光杠杆系统
- (2) 测量金属丝长度、直径、光杠杆臂长及镜距
- (3) 逐级增加砝码，记录望远镜中观测得到的标尺位移
- (4) 采用逐差法求平均伸长量，计算杨氏模量并分析本次实验的不确定度

## 2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

理解杨氏模量的物理意义以及胡克定律在弹性限度内的应用；掌握利用光杠杆来放大微小形变的测量方法；能使用逐差法与线性拟合的方法来处理实验数据，计算金属丝的杨氏模量，并计算出本次实验中的不确定度。

### 3. 实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

在本次实验中，准确测量微小的伸长量以及金属丝的直径是实验的难点，需要精确调节光杠杆系统、消除视差与振动的影响；此外，光路调整、仪器读数误差及金属丝非线性形变都会影响杨氏模量的计算精度。

## 二、原始数据（20 分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

一、测量金属丝直径 (mm) 初始读数 . - 0.061 (测六个不同位置粗细)  
 ①. 0.590 ②. 0.585 ③. 0.587 ④. 0.590 ⑤. 0.587 ⑥. 0.589  
 二、测量光杠杆行程臂长: ① 7.666 (cm) . ② 7.668 ③ 7.666  
 ④. 7.666 ⑤. 7.668 ⑥. 7.668  
 三、测量金属丝原长 ① 108.85 ② 108.76 ③. 108.81  
 ④. 108.73 ⑤. 108.79 ⑥. 108.68

四 测量标尺到光杠杆距离 ① 134.78 ②. 134.51 ③. 134.57  
 ④. 134.70 ⑤. 134.52. ⑥ 134.61

五. 原始数据 (初始读数: 4.347 $\Rightarrow$ 末读数 4.01)			
	作用力 $F = mg$	+ 增加 (读数)	- 减小 (读数)
1	1 kg	4.92	4.70
2	2 kg	5.50	5.32
3	3 kg	6.11	5.99
4	4 kg	6.66	6.59
5	5 kg	7.29	7.22
6	6 kg	7.87	7.93
7	7 kg	8.40	8.53
8	8 kg	9.18	9.17
9	9 kg	9.82	9.82

实验报告

2020.10.13

图 1: originaldata

### 三、结果与分析 (60 分)

#### 1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

##### 步骤一：基础物理量测量

1. 使用螺旋测微计测量金属丝直径 d
2. 使用钢直尺测量金属丝原长 L

3. 使用卷尺测量标尺到光杠杆镜面距离 D

4. 使用游标卡尺测量光杠杆短臂长 b

其中，测量金属丝直径 d 时，使用的螺旋测微计存在-0.061 的误差，因此下表中记录的金属丝直径为螺旋测微计的读数加上原始误差

原始数据记录一：

表 1：基础物理量测量数据

	标尺到光杠杆镜面距离 D(cm)	短臂长 b(cm)	金属丝原长 L(cm)	金属丝直径 d(mm)
1	134.78	7.666	108.85	0.651
2	134.51	7.668	108.76	0.646
3	134.57	7.666	108.81	0.648
4	134.70	7.666	108.73	0.651
5	134.52	7.668	108.79	0.648
6	134.61	7.668	108.68	0.650
平均值	134.615	7.667	108.77	0.649
Δ 仪	±0.05	±0.002	±0.05	±0.004
Δ <sub>A</sub>	0.0434	0.000447	0.0246	0.000816
Δ <sub>B</sub>	0.0289	0.00116	0.0289	0.00231
Δ=√Δ <sub>A</sub> <sup>2</sup> +Δ <sub>B</sub> <sup>2</sup>	0.0521	0.00124	0.0379	0.00245
修正值	134.615 ± 0.0521	7.667 ± 0.00124	108.770 ± 0.0379	0.649 ± 0.00245

原始数据记录 2：

不挂砝码时的初始读数：4.34，全部砝码取下后的末读数：4.01

表 2：实验原始数据

实验次数	砝码 (kg)	标尺读数 s(增)	标尺读数 s(减)	平均值
1	1.00	4.92	4.70	4.81
2	2.00	5.50	5.32	5.41
3	3.00	6.11	5.99	6.05
4	4.00	6.66	6.59	6.63
5	5.00	7.29	7.22	7.26
6	6.00	7.87	7.93	7.90
7	7.00	8.40	8.53	8.47
8	8.00	9.18	9.17	9.18
9	9.00	9.82	9.82	9.82

根据实验讲义上给出的公式：

$$\Delta s_i = \frac{s_{i+4} - s_i}{4}, \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

$$\overline{\Delta s} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \Delta s_i \quad (2)$$

代入我在实验中测得的数据：

$$\Delta s_1 = \frac{7.26 - 4.81}{4} = 0.6125\text{cm}$$

$$\Delta s_2 = \frac{7.90 - 5.41}{4} = 0.6225\text{cm}$$

$$\Delta s_3 = \frac{8.47 - 6.05}{4} = 0.6050\text{cm}$$

$$\Delta s_4 = \frac{9.18 - 6.63}{4} = 0.6375\text{cm}$$

因此，逐差法得到的平均值为：

$$\Delta s = \frac{0.6125 + 0.6225 + 0.6050 + 0.6375}{4} = 0.6194\text{cm} \quad (3)$$

又样本不确定度：

$$\Delta_A(\Delta s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\Delta s_i - \bar{\Delta s})^2}{4 \times 3}} = 0.0070\text{cm} \quad (4)$$

测量  $\Delta s$  的仪器的允差  $\Delta s = \pm 0.2\text{mm}$ ，故  $\Delta_B(\Delta s) = \frac{\Delta s}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{cm}$

因此，

$$\Delta(\Delta s) = \sqrt{\Delta_A(\Delta s)^2 + \Delta_B(\Delta s)^2} = 0.0135\text{cm}$$

$$\Delta s = 0.6194 \pm 0.0135\text{cm}$$

**杨氏模量的计算：**

1. 直接计算：

我们取  $g=9.8m/s^2$ ，则

$$E = \frac{8mgLD}{\pi d^2 b \Delta s} = 1.827 \times 10^{11}(\text{Pa})$$

又测量质量的仪器的允差为  $\pm 500\text{mg}$ ，因此：

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 = \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta s)}{\Delta s}\right)^2. \quad (5)$$

$$\frac{\Delta E}{E} = 1.361 \times 10^{-2}$$

$$\Delta E = 1.361 \times 10^{-2} \times E = 2.485 \times 10^9 \text{ Pa}$$

测得的金属材料杨氏模量的修正值为  $E = (1.827 \pm 0.02485) \times 10^{11}\text{Pa}$

2. 使用 matplotlib 进行线性拟合

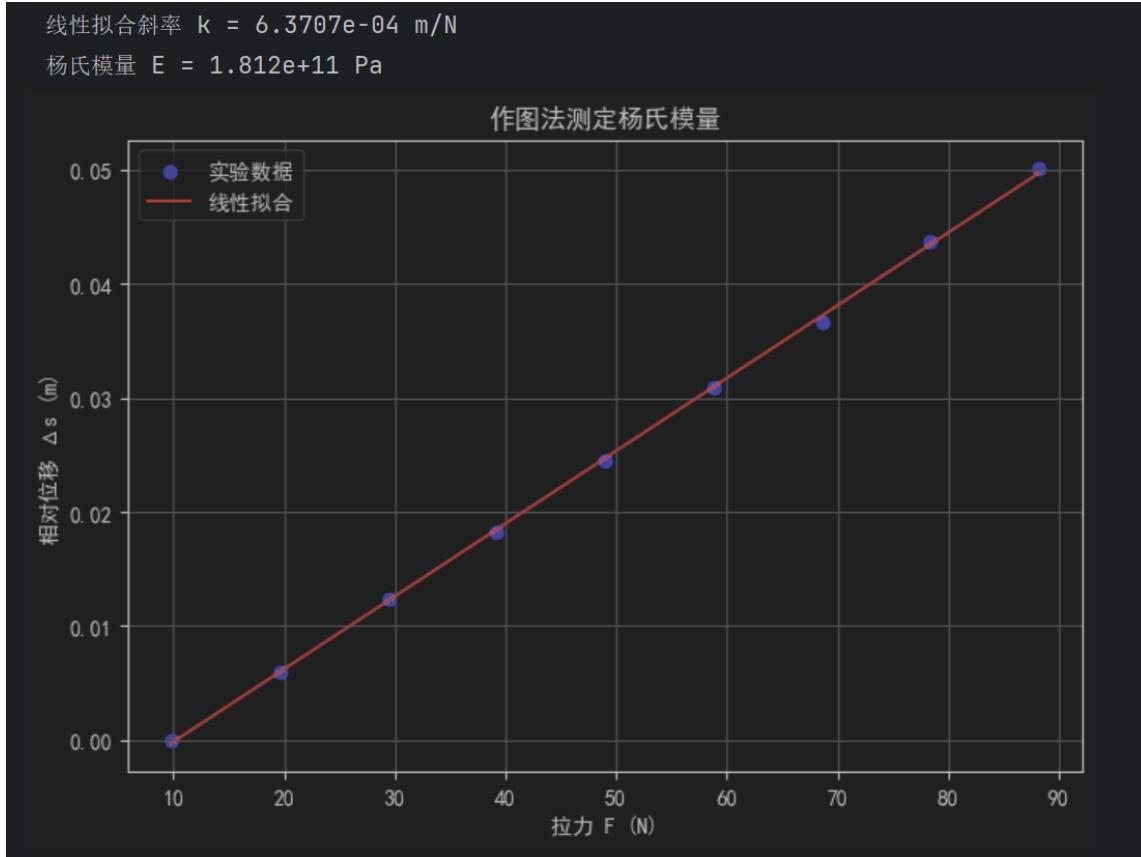


图 2: 线性拟合结果

从线性拟合结果我们可以看出,

$$E = \frac{8LD}{\pi d^2 b} \times \frac{1}{k} = 1.812 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

## 2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

不确定度的计算在数据处理与结果部分已经给出。

### 误差原因分析:

1. 实验过程中将每个砝码按照 1kg 计算, 但实际由于磨损等问题, 每个砝码的质量并非为精确的 1kg, 这会对计算的结果带来一定的误差。
2. 在读取伸长量时, 即使我已经很努力在减小上下以及左右震动, 但是在观察刻度时, 我仍能观察到整个金属丝在震动, 这也会对结果产生一定的影响。
3. 从我的数据中可以发现, 在一次递增砝码重量与依次递减砝码重量时, 统一重量下伸长量相差还是较大的, 可能材料发生的不完全是弹性形变, 这也会对实验的结果产生一定的影响。
4. 光杠杆读数容易受视差、机械振动、光源不稳定和人为读数主观差异影响。虽然使用逐差法可以减小系统误差, 但随机波动仍然明显。
5. 若金属丝未完全拉直、夹具不垂直或安装松动, 以及金属丝直径不均匀, 也会引入系统偏差。

### 3. 实验探讨 (10 分)

(对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。)

本实验通过测定金属丝在受拉时的微小伸长量，验证了胡克定律。通过这个实验，我掌握了光杠杆放大法和逐差法的使用；同时在这个实验中，我们使用了游标卡尺，螺旋测微器，米尺等测量工具，对于数据的估读以及仪器使用认识更加深刻。最后通过误差分析，分析了影响本实验测量精度的关键因素，帮助我更好的在后续的实验中提高自己的实验准确度与精度。

## 四、思考题 (10 分)

(解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。)

1. 本实验中测量了哪些物理量？分别用什么量具进行测量？有效数字分别是几位？

本实验共测量了以下物理量：

表 3: 实验所测物理量

物理量	测量仪器	最小估读刻度	有效数字
金属丝原长 $L$	钢直尺	0.1mm	5 位
光杠杆镜面到标尺的距离 $D$	卷尺	0.1mm	5 位
光杠杆短臂长度 $b$	游标卡尺	不估读	4 位
金属丝直径 $d$	螺旋测微计	0.001mm	3 位
标尺读数 $s$	望远镜中的标尺	0.1mm	3 位

2. 光杠杆中，增大  $D$  和减小  $b$  都可以增加放大倍数，那么两者有何不同？是否可以无限放大光杠杆的倍数？

光杠杆的放大倍数约为  $M = 2D/b$

因此，增大  $D$ （标尺到镜面的距离）或减小  $b$ （光杠杆短臂长度）都能使放大倍数增大。

然而，这两种方式的效果和限制并不相同：

1) 增大  $D$  时，入射光与反射光路径变长，读数灵敏度提高，但若  $D$  过大，光斑容易移出标尺范围，且光路受外界振动的影响更明显，整个系统的稳定性下降。

2) 减小  $b$  时，放大倍数同样提高，但  $b$  过小会导致光杠杆支点机械结构不稳定，镜面旋转角度微小变化时难以保持线性关系。

因此，光杠杆放大倍数不能无限增大。过大的放大倍数会导致系统灵敏度虽高，但是稳定性变差，会产生较大的系统误差。

3. 逐差法、作图法、最小二乘法在处理数据时有何不同？

**逐差法：**通过取间隔相同的数据点做差，利用平均差值减少系统误差对结果的影响，其计算简便，适用于线性关系明显且数据点较少的情形。

**作图法：**将实验数据作图，通过绘制坐标直线求斜率得到物理量，能直观反映数据的线性关系和实验趋势，但读图和取线会引入较大的人为误差，精度较低。

**最小二乘法：**利用全部数据点求出最佳的拟合直线，使得误差平方和最小。最小二乘法能有效减小随机误差的影响，获得的结果最为客观、精确。

因此，逐差法最为简便，作图法直观但精度一般，而最小二乘法计算复杂但结果最可靠。

**注意事项：**

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名 + 学号 + 实验名称 + 周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

**浙江大学物理实验教学中心制**