

杨氏模量实验报告

专业 工科试验班 姓名 史峰源 学号 2412526
分组及座号 H-12 实验日期 周二上午

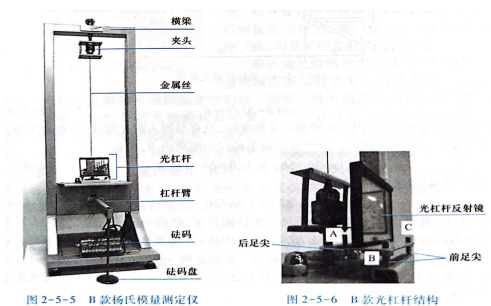
杨氏模量的测定实验报告

1 实验目的

- 1. 用伸长法测定金属丝的杨氏模量
- 2. 了解望远镜尺组的结构及使用方法
- 3. 掌握用光杠杆放大原理测量微小长度变化量的方法 4. 学习用对立影响法消除系统误差的思想方法
- 5. 学习用逐差法处理数据
- 6. 进行测量结果的不确定度分析

2 仪器用具

杨氏模量测定仪(如下图所示),螺旋测微器,米尺,游标卡尺,砝码,待测金属丝。



3 实验原理

3.1 杨氏模量的定义

若长为 L 、截面积为 S 的均匀金属丝,在其长度方向上施加作用力 F 使其伸长 ΔL ,根据胡克定律:在弹性限度范围内,正应力 F/S (单位面积上的垂直作用力)与线应变 $\Delta L/L$ (金属丝相对伸长)成正比,即

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

式中比例系数 E 即为该金属丝的杨氏模量。

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} \quad (2)$$

式中 F 、 S 及 L 比较容易测量,由于金属的杨氏模量一般较大,因此, ΔL 是一个微小的长度变化,很难用普通测量长度的仪器将它测准。

放大法是一种应用十分广泛的测量技术,我们将在本次实验中接触到机械放大,光放大等放大测量技术。如螺旋测微器是通过机械放大而提高测量精度的;光杠杆属于光放大技术,且其被广泛地应用到许多高灵敏度仪器中,如光电反射式检流计,冲击电流计等。

若微小变化量用 ΔL 表示,放大后的测量值为 N ,则

$$A = \frac{N}{\Delta L} \quad (3)$$

为放大器的放大倍数,原则上 A 越大,越有利于测量,但往往会引起信号失真。

3.2 杨氏模量的计算

杨氏模量的计算:

$$\Delta h = |P_3 - P_0| = |P_3 - P_2| + |P_2 - P_1| + |P_1 - P_0| = B \tan 4\theta + B \tan 2\theta + B \tan 2\theta \quad (4)$$

因为 θ 很小,可做近似 $\tan \theta \approx \theta = \frac{\Delta L}{b}$ 所以 $\Delta h = 8B\theta = 8B \frac{\Delta L}{b}$, $\Delta L = \frac{b\Delta h}{8B}$,代入可得

$$E = \frac{32BLmg}{\pi D^2 b \Delta h} \quad (5)$$

3.3 光路图原理

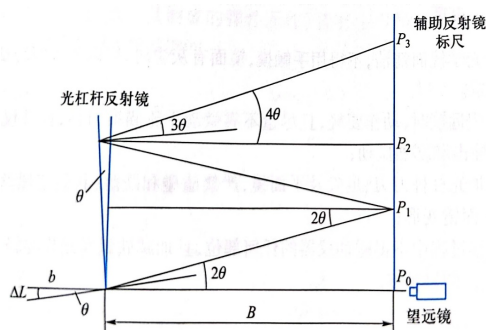


图 2-5-8 二次放大光杠杆放大测量示意图

4 实验步骤

1. 调节伸长仪和光杠杆,平面镜竖直或略向前倾

2. 在砝码盘上放 300g 的砝码, 作为预拉力
3. 通过裸眼目测来调整望眼镜, 使它与光杠杆反射镜处于同一水平线。再次调整望远镜方向, 使其能清晰地观察到反射镜中一次成像的像。
4. 通过望远镜上方的瞄准装置望向光杠杆反射镜, 不断调整望远镜的各种方向直到能在望远镜中清晰地看到标尺在光杠杆二次反射所成的像。
5. 读取二次成像的标尺上的读数, 记为 n_0 。
6. 加载过程: 每增加一个砝码, 放置砝码后, 计时两分钟后在望远镜目镜中读取数值, 再放置下一个砝码, 共放置九个砝码, 记为 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_9$ 。
7. 减载过程: 每减少一个砝码, 减少后, 计时两分钟后在望远镜目镜中读取数值, 再取下下一个砝码, 共取下九个砝码, 填入对应的表格中。
8. 用螺旋测微器在金属丝的不同长度处的互垂方向上测量其直径, 共测量六次, 记为 $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ 。
9. 用米尺测量金属丝的长度
10. 测量光杠杆常量 b : 将光杠杆取下放在白纸上, 轻轻按压, 留下三个足尖, 用游标卡尺测量前足尖到后足尖的距离。

5 数据处理

原始数据

次数	拉力示值/kg	加载 p_i/cm	减载 p'_i/cm	平均 p_i/cm	逐差值 N_i/cm
0	0.3	3.40	3.40	3.400	3.175
1	0.4	4.05	4.02	4.035	3.190
2	0.5	4.70	4.70	4.700	3.100
3	0.6	5.30	5.35	5.325	3.065
4	0.7	6.00	6.00	6.000	3.005
5	0.8	6.60	6.55	6.575	—
6	0.9	7.25	7.20	7.225	—
7	1.0	7.80	7.80	7.800	—
8	1.1	8.40	8.38	8.390	—
9	1.2	9.00	9.01	9.005	—

表 1: B 款仪器测量数据表

$$\bar{N} = 3.107 \text{ cm},$$

测量次数	1	2	3	4	5	6
D_i/mm	0.789	0.790	0.791	0.789	0.791	0.790

表 2: 金属丝直径测量值

$$D = \frac{0.789 + 0.790 + 0.791 + 0.789 + 0.791 + 0.790}{6} = 0.7900 \text{ (mm)}$$

金属丝长度:

$$L = (39.25 - 1.00) \text{ cm} = 38.25 \text{ cm}$$

平面镜到标尺距离:

$$B = (87.20 - 1.00) \text{ cm} = 86.20 \text{ cm}$$

光杠杆常量:

$$b = (44 + 26 \times 0.01) \times 0.1 \text{ cm} = 4.426 \text{ cm}$$

等效砝码质量:

$$m = 5 \times 10 \times 0.1 \text{ kg} = 5 \text{ kg}$$

杨氏模量:

$$\bar{E} = \frac{32BLmg}{\pi D^2 b \Delta h} = \frac{32 \times 0.8620 \times 0.3825 \times 50}{\pi \times (0.000790)^2 \times 0.04526 \times (0.03107)} \approx 1.914 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

不确定度计算:

$$\mu_{\Delta h A} = t_{(0.683,4)} S_{\Delta h} = 1.14 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (N_i - \bar{N})^2}{5(5-1)}} = 1.14 \times \sqrt{\frac{(3.175 - 3.107)^2 + \dots (3.005 - 3.107)^2}{5(5-1)}} \approx 0.03927(\text{cm})$$

$$\mu_{\Delta h B} = \frac{0.01 \text{ cm}}{\sqrt{3}} \approx 0.005777(\text{cm})$$

$$\mu_{\Delta h} = \sqrt{\mu_{NA}^2 + \mu_{NB}^2} \approx 0.03969(\text{cm})$$

$$\mu_{DA} = t_{(0.683,5)} S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d_i - \bar{d})^2}{6(6-1)}} = 1.11 \times \sqrt{\frac{(0.789 - 0.790)^2 + \dots (0.790 - 0.790)^2}{5(6-1)}} \approx 4.053 \times 10^{-5}(\text{cm})$$

$$\mu_{DB} = \frac{0.001 \text{ cm}}{\sqrt{3}} \approx 5.7735 \times 10^{-4}(\text{cm})$$

$$\mu_D = \sqrt{\mu_{DA}^2 + \mu_{DB}^2} \approx 5.78771 \times 10^{-4}(\text{cm})$$

$$\mu_B = \frac{0.5}{3} \text{ cm} \approx 0.1667(\text{cm})$$

$$\mu_b = \frac{0.02}{3} \text{ mm}$$

$$\mu_L = \frac{0.5}{3} \text{ cm}$$

杨氏模量合成不确定度:

$$\mu_E = \bar{E} \sqrt{\left(\frac{\mu_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\mu_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2\mu_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\mu_N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\mu_b}{b}\right)^2} = 0.0415 \times 10^{11}(\text{Pa})$$

最终结果表达为:

$$E = \bar{E} \pm \mu_E = 1.914 \pm 0.0415 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

6 考查题

1. 实验中公式成立的条件

力的方向在长度方向上；平面镜的偏转角很小；光杠杆三足尖在同一水平面内；平面镜及标尺竖直。保证的办法：使金属丝竖直放置，望远镜与光杠杆距离适当加

2. 尺读望远镜的部件及其调节步骤

尺读望远镜的主要构成部件：内调焦望远镜、灯尺、三脚架立柱、反光镜

快速找到标尺成像的步骤：

调节望远镜的目镜与物镜焦距

使望远镜镜头与光杠杆平面镜等高

将望远镜向后移动 1m 左右

从目镜端以准星仔细瞄准目标（标尺）

调节内调焦手轮，调整视距

3. 使用杨氏模量测定仪时要注意什么？其中哪些是为了保护仪器的，哪些是为了提高测量精度的？

保持光学镜面清洁，不得用手触摸，镜面有灰尘时，应以软毛刷轻拭，且用毕应盖好物镜罩。

调节望远镜时，动作要轻，且尽量不靠微动手轮瞄准目标，伸长仪及望远镜尺组应避免撞击和剧烈振动：

应保护光杠杆刀刃、足尖及平面镜，严禁磕碰和跌落；其固定螺丝不得旋得过紧，以防平面镜变形：

测像移过程中不得碰动仪器的任何部位，且加减砝码时动作要轻，防 砝码托摆动，以提高测量精度。

4. 哪些量要多次测量，哪些单次测量，为什么？

测量误差较大的使用多次测量，即金属丝直径和伸长量。容易测量，且对实验结果影响 的量单次测量即可，如平面镜到标尺距离。

5. 调节好仪器后的第一个读数，如果是在直尺的最上端或最下端附近，对实验的进行有否影响？如何改进？

有影响。读数可能会偏差较 。如果在最上端附近可以 开始多加 个砝码。反之同理。

7 误差分析

1. 金属丝弹性形变的滞后性可能会导致误差

2. 米尺测量读数时难以保证视线与数据平视，而且难保证米尺与被测物平行，容易造成较大误差。

3. 加减砝码时动作幅度较大，导致砝码托摆动幅度较大，测量精度下降。

4. 被测金属丝不能保证是标准的圆柱形，所以测出的直径 D 存在系统误差。

8 分析总结

本次实验采用光杠杆法测量金属丝的伸长量，并结合几何参数和所受拉力，计算得出了金属材料的杨氏模量。通过多次测量位移和金属丝直径，分别评估了 A 类不确定度（由数据离散性引起）和 B 类不确定度（由仪器分辨率等系统误差引起），进而推导出杨氏模量的合成不确定度。

实验结果显示：测得的杨氏模量与理论值基本一致，在考虑测量误差范围内具有较好的一致性，说明实验方法可靠，数据处理合理。通过此次实验，我深入理解了应力与应变的线性关系，加深了对材料弹性性质的认识，同时掌握了不确定度合成分析的方法和意义。

本实验也存在一定误差来源，例如金属丝的非理想匀质性、测量读数的人为误差、光杠杆系统可能存在的系统偏差等，这些都可能对最终结果产生影响。若在未来实验中进一步提高测量精度，如使用激光干涉仪或高分辨率测微计，测量结果的可靠性将更高。

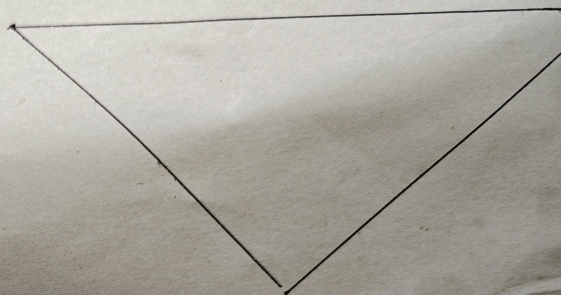
在实验时,初始时我遇到了找不到二次成像,对像错误等问题,后来及时更正,找到了正确的像,提醒我们要注意找二次像,同时避免找到对面同学的像,在观察前先大致瞄准。



南开大学 作业纸

系别 _____ 班级 _____ 姓名 _____ 第 _____ 页

增 (cm)	减 (cm)	平均 (cm)
3.40	3.40	3.400
4.05	4.02	4.035
4.70	4.70	4.700
5.30	5.35	5.325
6.00	6.00	6.000
6.60	6.55	6.575
7.25	7.20	7.225
7.80	7.80	7.800
8.40	8.38	8.390
9.00	9.01	9.005
9.65	9.65	9.650



$$d_1 = (0.5 + 28.9 \times 0.01) \text{ mm} = 0.789 \text{ mm}$$

$$d_2 = (0.5 + 29.0 \times 0.01) \text{ mm} = 0.790 \text{ mm}$$

$$d_3 = (0.5 + 29.1 \times 0.01) \text{ mm} = 0.791 \text{ mm}$$

$$d_4 = (0.5 + 28.9 \times 0.01) \text{ mm} = 0.789 \text{ mm}$$

$$d_5 = (0.5 + 29.1 \times 0.01) \text{ mm} = 0.791 \text{ mm}$$

$$d_6 = (0.5 + 29.0 \times 0.01) \text{ mm} = 0.790 \text{ mm}$$

$$B = 86.20 \text{ cm}$$

$$L = 38.25 \text{ cm}$$

$$b = 4.426 \text{ cm}$$

杨和赫