

实验名称：伸长法测定金属丝的杨氏模量

学生姓名：宋奕纬 学号：2212000 学院：网络空间安全学院
A组19号 2024年3月22日

一、实验器材

B款杨氏模量测定仪（包括光杠杆结构、横梁、夹头、金属丝、杠杆臂、砝码、砝码盘等）、
B款望远镜尺组（包括望远镜、望远镜固定旋钮、灯尺、辅助反光镜、底脚螺丝等）、螺旋测微器、游标卡尺（50分度）、米尺、笔、白纸、直尺、秒表、计算器

二、实验目的

- 用伸长法测定金属丝的杨氏模量。
- 了解望远镜尺组的结构及使用方法。
- 掌握用光杠杆放大原理测量微小长度变化量的方法。
- 学习用对立影响法消除系统误差的思想方法。
- 学习用环差法处理数据。

三、实验原理

1、杨氏模量

在一定弹性限度内，物体受力后发生形变，撤去外力后，物体恢复原状的性质称为弹性。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 。根据胡可定律：在弹性限度范围内，正应力 $\frac{F}{S}$ （单位面积上的垂直作用力）与线应变 $\frac{\Delta L}{L}$ （金属丝相对伸长）成正比，即：

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}$$

等式中的比例系数 E ，即为该金属丝的杨氏模量：

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

杨氏模量是描述固体材料抵抗形变能力的物理量。杨氏模量的大小标志了材料的刚性，杨氏模量越大，越不容易发生形变。

2、光杠杆放大法:

F、S 和 L 比较容易测量，由于金属的杨氏模量一般比较大，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。在本次实验中我们用光杠杆放大法测量。

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，且其被广泛的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 L 表示，放大后的测量值为 N ，则 $A = \frac{N}{\Delta L}$ 为放大器和放大倍数，原则上 A

越大，越有利于测量，但往往会引起信号失真。

光杠杆放大原理:

$$\begin{aligned}\Delta h &= |P_3 - P_0| = |P_3 - P_2| + |P_2 - P_1| + |P_1 - P_0| \\ &= B \tan 4\theta + B \tan 2\theta + B \tan 2\theta\end{aligned}$$

由于实验中 θ 很小，可以做近似 $\tan \theta \approx \theta \approx \frac{\Delta L}{b}$ ，所以 $\Delta h = \frac{8B\theta\Delta L}{b}$ ， $\Delta L = \frac{b\Delta h}{8B}$ 代入上文杨氏模量的公式可得出

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

其中 B ， L 用钢卷尺测量， b 用游标卡尺测量， D 使用螺旋测微器测量。 Δh 是光杠杆测量值， mg 是砝码施加的力。

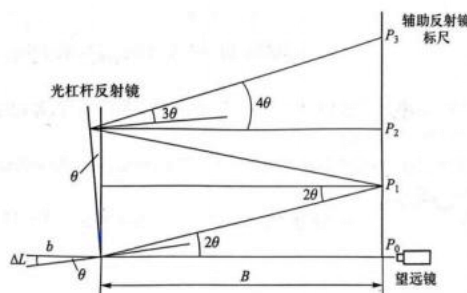


图 2-5-8 二次放大光杠杆放大测量示意图

四、操作步骤

- 1、调节伸长仪和光杠杆使之达到备用状态,平面镜竖直或略向前倾;
- 2、调节望远镜的高度,使之与伸长仪上的平面镜处于同一高度处; 移动望远镜镜尺组,使标尺距平面镜略大于最短视距;
- 3、调节镜尺组位置,使平面镜中出现辅助反射镜中刻度尺的像: 调整目镜的视度圈,使叉丝清晰; 将目光对准望远镜凹档、准星,使其和平面镜中标尺小像共线; 调节内调焦手轮,使望远镜中叉丝和刻度尺的小像都清晰;

4、首先添加砝码 300g，进行预拉伸，间隔 2 分钟，记下相应示数 L_1 ，依次添加砝码 100g，等待两分钟，记录此时刻度尺示数 L_i ，直至 1.2kg；然后仍按照等时间间隔依次减少 100g，记下刻度尺示数 L'_i (对立影响法)；

5、利用游标卡尺，卷尺，螺旋测微器分别测的光杠杆常数，平面镜到刻度尺的距离，金属丝原长以及金属丝的直径（注意估读）：

(1) 测量金属丝直径：以千分尺在金属丝上、中、下部位的相互垂直的方向上分别测量金属丝直径 D 六次，并取平均值

(2) 测量光杠杆常数：将光杠杆放在平纸上，轻印三足尖之痕迹，然后以游标卡尺测量印痕间距离一次。

五、数据记录、计算与处理

(一) 记录

1、标尺读数记录

(此处拉力示数为砝码质量，在计算过程中因为杠杆原理，需要在砝码的质量上 $\times 10$)

次数	拉力示数/kg	表尺读数/cm			环差值/cm	
		加载 N_1	减载 N_2	平均 $\frac{N_1+N_2}{2}$	N_I $= P_{i+5} - P_i$	平均值
0	0.3	2.82	2.84	2.83	2.93	2.988
1	0.4	3.31	3.37	3.34		
2	0.5	3.93	4.08	4.005	3.02	
3	0.6	4.51	4.57	4.54		
4	0.7	5.19	5.16	5.175	2.925	
5	0.8	5.76	5.76	5.76		
6	0.9	6.34	6.38	6.36	3.075	
7	1.0	6.89	6.97	6.93		
8	1.1	7.58	7.65	7.615	2.99	
9	1.2	8.12	8.21	8.165		

2、金属丝直径测量

螺旋测微仪零点读数 $d=0.000\text{mm}$

测定次数 n	1	2	3	4	5	6	平均
直径 d/mm	0.803	0.812	0.811	0.810	0.819	0.816	0.812

3、其余物理量测量结果如下：

光杠杆反射镜与辅助反射镜（标尺）的距离 $B=82.60\text{cm}$

光杠杆常数 $b=4.52\text{cm}$

金属丝原长 $L=37.31\text{cm}$

(二) 计算

1、等效砝码质量：

$$F = 5\text{mg} \times 10 = 5 \times 0.1\text{kg} \times 10\text{N/kg} \times 10 = 50\text{N}$$

2、杨氏模量测量值：

$$E = \frac{32BLmg}{\pi D^2 b \Delta h} = \frac{32 \times 50 \times 0.3731 \times 0.826}{\pi \times (0.812 \times 10^{-3})^2 \times 0.0452 \times 0.02988} = 1.7635 \times 10^{11} \text{Pa}$$

3、不确定度计算:

(1) 逐差值

$$s_{\Delta h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (h_i - \bar{h}_1)^2}{5-1}} = 0.631 \text{mm}$$

$$u_{a\Delta h} = t_{(0.683,4)} \times \frac{s_{\Delta h}}{\sqrt{5}} = 1.14 \times \frac{0.631}{\sqrt{5}} = 0.321 \text{mm}$$

$$u_{b\Delta h} = \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{mm}$$

$$u_{\Delta h} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = 0.326 \text{mm}$$

$$\Delta h = (2.988 \pm 0.033) \text{cm}$$

(2) 直径

$$s_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_i - \bar{D})^2}{5}} = 0.00549 \text{mm}$$

$$u_{aD} = t_{(0.683,5)} \times \frac{s_D}{\sqrt{6}} = 1.11 \times \frac{0.00549}{\sqrt{6}} = 0.00249 \text{mm}$$

$$u_{bD} = \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.00058 \text{mm}$$

$$u_D = \sqrt{u_{aD}^2 + u_{bD}^2} = 0.00255 \text{mm}$$

$$D = (2.988 \pm 0.0025) \text{mm}$$

(3) B、b、L (仅测一次, 仅有 B 类不确定度)

$$u_B = 0.5/3 = 0.17 \text{mm}$$

$$B = (93.00 \pm 0.017) \text{cm}$$

$$u_b = 0.02 \text{mm}$$

$$b = (4.52 \pm 0.002) \text{cm}$$

$$u_L = 0.5/3 = 0.17 \text{mm}$$

$$L = (37.31 \pm 0.017) \text{cm}$$

(4) 杨氏模量:

$$\frac{u_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{u_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{u_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{u_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_{\Delta h}}{\Delta h}\right)^2}$$

$$u_E = 0.10402 \times 10^{11} \text{Pa}$$

杨氏模量的测定结果为： $E = (1.7635 \pm 0.104) \times 10^{11} Pa$

六、实验反思与误差分析

- 1、测量工具带来的误差：米尺在使用过程中，无法与金属丝很好贴近，也没有拉直，造成误差；测量两个反射镜之间的距离时无法保证水平，造成误差；测量金属丝直径时螺旋测微器有些陈旧，导致读数会发生跳变，造成误差。
- 2、金属丝带来的误差：实验过程中，金属丝可能没有充分拉伸或回缩带来误差；金属丝的横截面不是标准圆形，用取平均值的做法无法很好的反应金属丝的真实情况造成误差；金属丝上下抖动造成的读数误差。
- 3、望远镜尺组：没有正对、器材倾斜摇晃造成的读数不准，造成巨大误差。
- 4、金属丝的机械摩擦在每次实验中不尽相同，具有误差（即使对称称量，在加减砝码时都进行测量，但仍无法完全消除误差）

七、思考题

1、本实验中，哪两个量的测量误差较大？在测量和数据处理中采取了什么措施？

金属丝直径 D 和伸长量 Δh 。

直径 D 采用多次不同位置不同方向测量求平均值。

伸长量 Δh 采用光放大法测量，使用对立影响法减小系统误差，处理数据用了环差法。

2、根据光杠杆的放大原理，能否以增大 B 减小 b 的方法来提高放大倍率？这样做有无好处？有无限度？应怎样考虑之？

增大 B 减小 b 可以放大倍率。

好处：可以使 h 的测定更精细，提高测量精度。

限度：必须在仪器的精度人眼的辨识范围内，保证能看到标尺清晰的反射像。同时实验空间有限，且要保证能够看清标尺， B 不可能无限增加， b 由于仪器制作工艺减小的程度也有限。

3、在镜面与光杠杆三足尖所成平面相互垂直的前提下，反射镜在铅锤面内好，还是略呈后仰或略呈前倾好？假定初始位置时，反射镜面与铅锤面成 5° 角略后仰，会对实验带来多大误差？

在铅垂面内好，也可以略向前倾，小的倾角不会造成过大影响。在实验过程中光杠杆后端受力，在实验过程中反射镜倾角会不断增大，此时便会对实验结果产生巨大影响。

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{\Delta L}{b}$$

，角度很小时才会有此近似关系， 5° 的倾角会造成较大的误差。

八、原始数据与助教签字



	拉力	加	减		平均
0	3	2.82	2.80	2.84	2.83
1	4	3.31	3.32	4.03 3.37	3.34
2	5	3.93	3.88	4.08	4.005
3	6	4.51	4.50	4.57	4.54
4	7	5.19	5.15	5.16	5.175
5	8	5.76	5.71	5.76	5.76
6	9	6.34	6.33	6.38	6.36
7	10	6.89	6.87	6.97	6.93
8	11	7.58	7.54	7.65	7.615
9	12	8.12	8.17	8.21	8.0 8.165

(未加第13T)
舍去

~~10.4~~

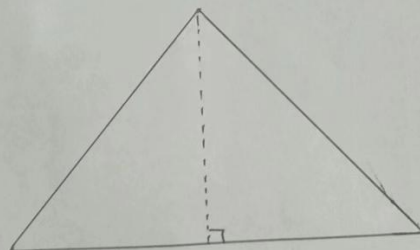
13: 82.6 cm

L: ~~4.03~~ 37.31 cm

b: 4.52 cm

D: 0.803 0.812 0.811 0.810 0.819 0.816

Δh :



2212000 宋奕伟

附件版

0999. 图9号