

用拉伸法测金属丝的杨氏模量示范报告

一、实验目的

- 1.学会用拉伸法测量杨氏模量；
- 2.掌握光杠杆法测量微小伸长量的原理；
- 3.学会用逐差法处理实验数据；
- 4.学会不确定度的计算方法，结果的正确表达；
- 5.学会实验报告的正确书写。

二、实验仪器

YWC-1 杨氏弹性模量测量仪（包括望远镜、测量架、光杠杆、标尺、砝码）、
钢卷尺（0-200cm,0.1cm）、游标卡尺(0-150mm,0.02mm)、螺旋测微器(0-25mm,0.01mm)

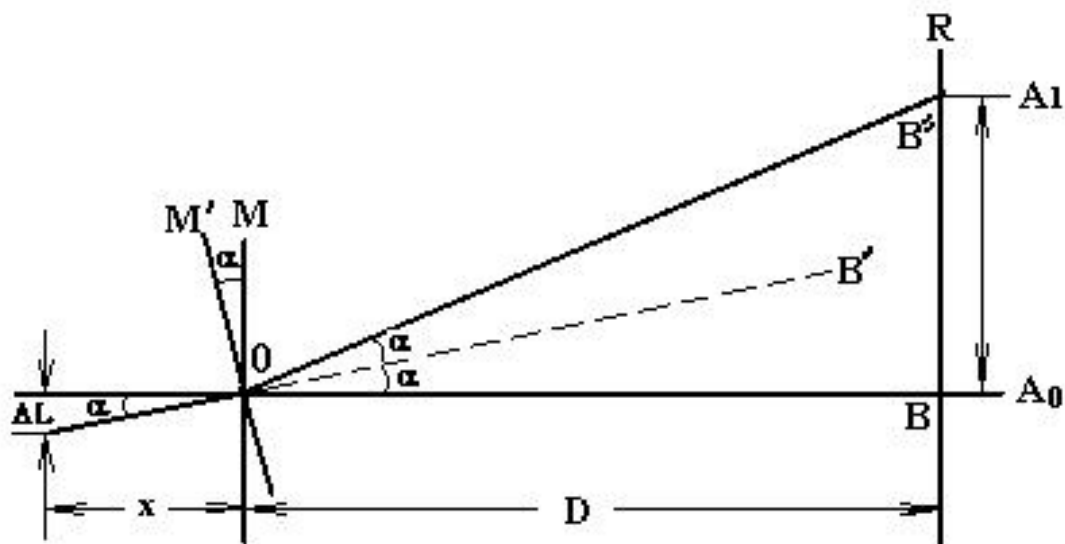
三、实验原理

在外力作用下，固体所发生的形状变化称为形变。它可分为弹性形变和塑性形变两种。本实验中，只研究金属丝弹性形变，为此，应当控制外力的大小，以保证外力去掉后，物体能恢复原状。

最简单的形变是金属丝受到外力后的伸长和缩短。金属丝长 L ，截面积为 S ，沿长度方向施力 F 后，物体的伸长 ΔL ，则在金属丝的弹性限度内，有：

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

我们把 Y 称为杨氏弹性模量。



如上图：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta L}{x} &= \tan \alpha \approx \alpha \\ \frac{A_1 - A_0}{D} &= 2\alpha \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta L = \frac{x}{2D} \cdot (A_1 - A_0)$$

$$Y = \frac{\frac{F}{S}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\frac{\frac{F}{4}}{\frac{1}{4}\pi d^2}}{\frac{x}{2D}(A_1 - A_0)} = \frac{8FLD}{\pi d^2 x(A_1 - A_0)}$$

四、实验内容

<一> 仪器调整

- 1、杨氏弹性模量测定仪底座调节水平；
- 2、平面镜镜面放置与测定仪平面垂直；
- 3、将望远镜放置在平面镜正前方 1.500-2.000m 左右位置上；
- 4、粗调望远镜：将镜面中心、标尺零点、望远镜调节等高,望远镜的缺口、准星对准平面镜中心，并能在望远镜外看到尺子的像；
- 5、调节物镜焦距能看到尺子清晰的像，调节目镜焦距能清晰的看到叉丝；
- 6、调节叉丝在标尺 0 刻度 $\pm 1\text{cm}$ 以内，并使得视差不超过半格。

<二>测量

- 1、下挂 1kg 重物时标尺的读数 A_0 ；
- 2、依次挂上 1kg 的砝码，七次，计下 $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ ；
- 3、依次取下 1kg 的砝码，七次，计下 $A_1', A_2', A_3', A_4', A_5', A_6', A_7'$ ；
- 4、用米尺测量出金属丝的长度 L （两卡口之间的金属丝）、镜面到尺子的距离 D ；
- 5、用游标卡尺测量出光杠杆 x 、用螺旋测微器测量出金属丝直径 d 。

<三>数据处理方法——逐差法

1. 实验测量时，多次测量的算术平均值最接近于真值。但是简单的求一下平均还是不能达到最好的效果，我们多采用逐差法来处理这些数据。
2. 逐差法采用隔项逐差：

$$\bar{A} = \frac{(A_4 - A_0) + (A_5 - A_1) + (A_6 - A_2) + (A_7 - A_3)}{4}$$

3. 注：上式中的 $\bar{A}$ 为增重 4kg 的金属丝的伸长量。

五、实验数据记录处理

(1) 数据的记录

i	m_i (kg)	加砝码 A_i ($\times 10^{-2}$ m)	减砝码 A_i' ($\times 10^{-2}$ m)	平均值 $\bar{A}_i$ ($\times 10^{-2}$ m)	$\bar{\bar{A}}_i = \bar{A}_{i+4} - \bar{A}_i$ ($\times 10^{-2}$ m)	不确定度
0	0.000	0.00	0.00	0.00	1.84	$\Delta_{\bar{A}} = 0.06 \times 10^{-2}$ m
1	1.000	0.47	0.49	0.48	1.82	
2	2.000	0.94	0.98	0.96	1.80	
3	3.000	1.38	1.40	1.39	1.82	
4	4.000	1.83	1.85	1.84	$A = \bar{A} \pm \Delta_{\bar{A}} = (1.82 \pm 0.06) \times 10^{-2}$ m	
5	5.000	2.29	2.31	2.30		
6	6.000	2.77	2.75	2.76		
7	7.000	3.21	3.21	3.21		
直径	未加载($\times 10^{-3}$ m)		加满载($\times 10^{-3}$ m)		平均值 $\bar{d} = 0.600 \times 10^{-3}$ m	
$d_{\text{上}}$	0.601	0.601	0.599	0.599		
$d_{\text{中}}$	0.601	0.601	0.600	0.600	不确定度: $\Delta_{\bar{d}} = 0.006 \times 10^{-3}$ m	
$d_{\text{下}}$	0.602	0.601	0.596	0.598	$d = \bar{d} \pm \Delta_{\bar{d}} = (6.00 \pm 0.06) \times 10^{-4}$ m	
其他数据	螺旋测微器零点读数: 0.000×10^{-3} m ;游标卡尺零点读数 0.00×10^{-3} m					
	$D = (1.5020 \pm 0.0005)$ m					
	$L = (6.820 \pm 0.005) \times 10^{-1}$ m					
	$x = (7.660 \pm 0.002) \times 10^{-2}$ m					
结果表达	$Y = (1.99 \pm 0.13) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$			相对不确定度: 6.3%		百分差: 3%

(2) 数据处理

1、求 $\bar{A}_i$

$$\bar{A}_0 = \frac{A_0 + A'_0}{2} = \frac{0.00 + 0.00}{2} = 0.00 \times 10^{-2} \text{ m} \quad \text{同理求得其它 } \bar{A}_i \text{ 填入表中}$$

$$\Delta_{\bar{A}_0} = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta_{A_0}^2 + \Delta_{A'_0}^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta_{A_0} = ??? \text{ (查找仪器误差结果, 应写出数据)}$$

同理求得

$$\Delta_{\overline{A_1}} = \Delta_{\overline{A_2}} = \Delta_{\overline{A_3}} = \Delta_{\overline{A_4}} = \Delta_{\overline{A_5}} = \Delta_{\overline{A_6}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta_{\text{仪}} = ???$$

2、求 $\overline{A_i}$

$$\overline{A_0} = \overline{A_4} - \overline{A_0} = 1.84 - 0.00 = 1.84 \times 10^{-2} m \quad \text{同理求得 } \overline{A_1}, \overline{A_2}, \overline{A_3} \text{ 填入表中}$$

$$\Delta_{\overline{A_0}} = \sqrt{\Delta_{\overline{A_4}}^2 + \Delta_{\overline{A_0}}^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = \Delta_{\text{仪}} \quad \text{同理求得 } \Delta_{\overline{A_1}} = \Delta_{\overline{A_2}} = \Delta_{\overline{A_3}} = \Delta_{\text{仪}} = ???$$

3、求 $\overline{A}$

金属丝伸长量

$$\begin{aligned} \overline{A} &= \frac{(A_4 - A_0) + (A_5 - A_1) + (A_6 - A_2) + (A_7 - A_3)}{4} \\ &= \frac{1.84 + 1.82 + 1.80 + 1.82}{4} \\ &= 1.82 \times 10^{-2} m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_A &= \sqrt{\frac{\sum (\overline{A_i} - \overline{A})^2}{4-1}} = \sqrt{\frac{(1.84-1.82)^2 + (1.82-1.82)^2 + (1.80-1.82)^2 + (1.82-1.82)^2}{3}} \\ &= 0.017 \times 10^{-2} m \end{aligned}$$

$$\Delta_{\overline{A}} = \sqrt{S_A^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = \sqrt{0.017^2 + 0.05^2} = 0.06 \times 10^{-2} m$$

4、求金属丝直径 $\overline{d}$

$$\begin{aligned} \overline{d} &= \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + d_{11} + d_{12}}{12} \\ &= \frac{0.601 + 0.601 + 0.602 + 0.601 + 0.601 + 0.601 + 0.599 + 0.600 + 0.596 + 0.599 + 0.600 + 0.598}{12} \\ &= 0.600 \times 10^{-3} m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_d &= \sqrt{\frac{\sum (d_i - \overline{d})^2}{12-1}} = \sqrt{\frac{\frac{(0.601-0.600)^2 + (0.601-0.600)^2 + (0.602-0.600)^2 + (0.601-0.600)^2}{11} + \frac{(0.601-0.600)^2 + (0.601-0.600)^2 + (0.599-0.600)^2 + (0.600-0.600)^2}{11} + \frac{(0.596-0.600)^2 + (0.599-0.600)^2 + (0.600-0.600)^2 + (0.598-0.600)^2}{11}}{11}} \\ &= 0.0017 \times 10^{-3} m \end{aligned}$$

$$\Delta_{\bar{d}} = \sqrt{S_d^2 + \Delta_{\bar{d}}^2} = \sqrt{(0.0017 \times 10^{-3})^2 + (0.005 \times 10^{-3})^2} = 0.006 \times 10^{-3} m$$

5、求 $\bar{Y}$

$$\bar{Y} = \frac{8FLD}{\pi \bar{d}^2 X \cdot \bar{A}} = \frac{8 \times 4.000 \times 9.80 \times 6.820 \times 10^{-1} \times 1.5020}{3.142 \times (6.00 \times 10^{-4})^2 \times 7.660 \times 10^{-2} \times 1.82 \times 10^{-2}} = 1.99 \times 10^{11} N/m^2$$

$$\begin{aligned} E_Y = \frac{\Delta_Y}{\bar{Y}} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\bar{A}}}{\bar{A}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_D}{D}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta_{\bar{d}}}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_X}{X}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.005}{6.820}\right)^2 + \left(\frac{0.0005}{1.5020}\right)^2 + \left(2 \times \frac{0.06}{6.00}\right)^2 + \left(\frac{0.002}{7.660}\right)^2 + \left(\frac{0.06}{1.82}\right)^2} \\ &= 6.3\% \end{aligned}$$

$$\Delta_Y = \bar{Y} \cdot E_Y = 2.04 \times 10^{11} \times 6.3\% = 0.13 \times 10^{11} N/m^2$$

标准值: $Y_0 = 1.97 \times 10^{11} N/m^2$

百分差:

$$E_p = \frac{1.99 \times 10^{11} N/m^2 - 1.97 \times 10^{11} N/m^2}{1.97 \times 10^{11} N/m^2} = 1\%$$

(仅参考数据处理过程; 注意不确定度的有效数字)

注: 本实验百分差 $\leq 10\%$

六、误差分析

1. 误差主要取决于金属丝的微小变化量和金属丝的直径, 由于平台上的圆柱形卡头上下伸缩存在系统误差, 用望远镜读取微小变化量时存在随机误差。
2. 实验测数据时, 由于砝码的摇晃使得金属丝没有绝对静止, 读数时存在随机误差。
3. 测量金属丝直径时, 由于存在椭圆形, 故测出的直径存在系统误差和随机误差。
4. 测量 D 时米尺没有拉水平, 测量 L 时米尺没有铅垂导致误差存在。
5. 测量 X 时, 由于作垂线没有完全的垂直, 导致 X 值的测量存在误差。

本报告仅供参考格式。
数据、内容请勿抄袭!