

透镜焦距的测量 实验报告

2018011365 计 84 张鹤潇

拉伸法测量弹性模量

一、实验目的

- 1. 学习用拉伸法测量弹性模量的方法；
- 2. 掌握螺旋测微计和读数显微镜的使用；
- 3. 学习用逐差法处理数据。

二、数据处理

1. 测钢丝长度L及其伸长量δL.

仪器编号 10；钢丝长度 $L = 999\text{ mm}$

表 1 钢丝长度测量数据表

组别	$F_i = mg(N)$	$y_i(\text{mm})$		$l_i = y_{i+5} - y_i(\text{mm})$	
		增砝码时	减砝码时	增砝码时 l_+	减砝码时 l_-
1	$0.200 \times 1 \times 9.80$	0.415	0.442	1.240	1.204
2	$0.200 \times 2 \times 9.80$	0.639	0.641	1.270	1.257
3	$0.200 \times 3 \times 9.80$	0.883	0.891	1.286	1.272
4	$0.200 \times 4 \times 9.80$	1.130	1.136	1.303	1.295
5	$0.200 \times 5 \times 9.80$	1.388	1.391	1.308	1.296
6	$0.200 \times 6 \times 9.80$	1.655	1.646	$\bar{l} = \frac{\sum l_i}{10} = 1.2727\text{ mm}$	
7	$0.200 \times 7 \times 9.80$	1.909	1.898		
8	$0.200 \times 8 \times 9.80$	2.169	2.163		
9	$0.200 \times 9 \times 9.80$	2.433	2.431		
10	$0.200 \times 10 \times 9.80$	2.696	2.687		

故 $\bar{l} = 1.2727\text{ mm}$, $\frac{t_p(n-1)}{\sqrt{n}} = \frac{2.26}{\sqrt{10}}$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum (l_i - \bar{l})^2}{9}} = 0.0324\text{ mm}$$

$$\Delta_A = \frac{t_p(n-1)}{\sqrt{n}} S_l = 0.0232 \text{ mm}$$

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{y_{i+5 \text{ 仪}}}^2 + \Delta_{y_{i \text{ 仪}}}^2} = \sqrt{2} \times 0.004 \text{ mm}$$

$$\Delta_l = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.0238 \text{ mm}$$

进一步，

$$\delta L = \frac{l}{5} = 0.255 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\delta L} = \frac{\Delta_l}{5} = 0.005 \text{ mm}$$

故 $\delta L \pm \Delta_{\delta L} = (0.255 \pm 0.005) \text{ mm}$

2. 测钢丝直径 D

表 2 测定螺旋测微计的零点

测量前 (mm)	-0.011	-0.009	-0.010
测量后 (mm)	-0.009	-0.010	-0.010

$$\bar{d} = -0.010 \text{ mm}$$

表 3 测量钢丝直径

组别	1	2	3	4	5	6
$D_i (\text{mm})$	0.211	0.212	0.208	0.218	0.208	0.210

$$\bar{D} = -\bar{d} + \frac{\sum D_i}{6} = 0.221 \text{ mm}$$

$$S_D = 0.004 \text{ mm}$$

已知螺旋测微器示值误差 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$, $\frac{t_p(n-1)}{\sqrt{n}} = \frac{2.57}{\sqrt{6}}$

$$\Delta_A = \frac{t_p(n-1)}{\sqrt{n}} S_D = 0.004 \text{ mm}$$

$$\Delta_D = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_A^2} = 0.006 \text{ mm}$$

$$D \pm \Delta_D = (0.221 \pm 0.006) \text{ mm}$$

3. 总不确定度计算

$$E = \frac{4FL}{\pi D^2 \delta L} = \frac{4 \times 0.2 \times 9.8 \times 0.999}{\pi \times (0.221 \times 10^{-3})^2 \times 0.255 \times 10^{-3}} \text{ Pa} = 2.0017 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

由实验室给出, $\frac{\Delta_F}{F} = 0.5\%$, $\Delta_L \approx 3 \text{ mm}$

$$\Delta_E = E \sqrt{\left(\frac{\Delta_F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\delta L}}{\delta L}\right)^2} = 0.1161 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

故 $E \pm \Delta_E = (2.00 \pm 0.12) \times 10^{11} \text{ Pa}$

4. 直线拟合处理数据

选择增砝码时的数据。

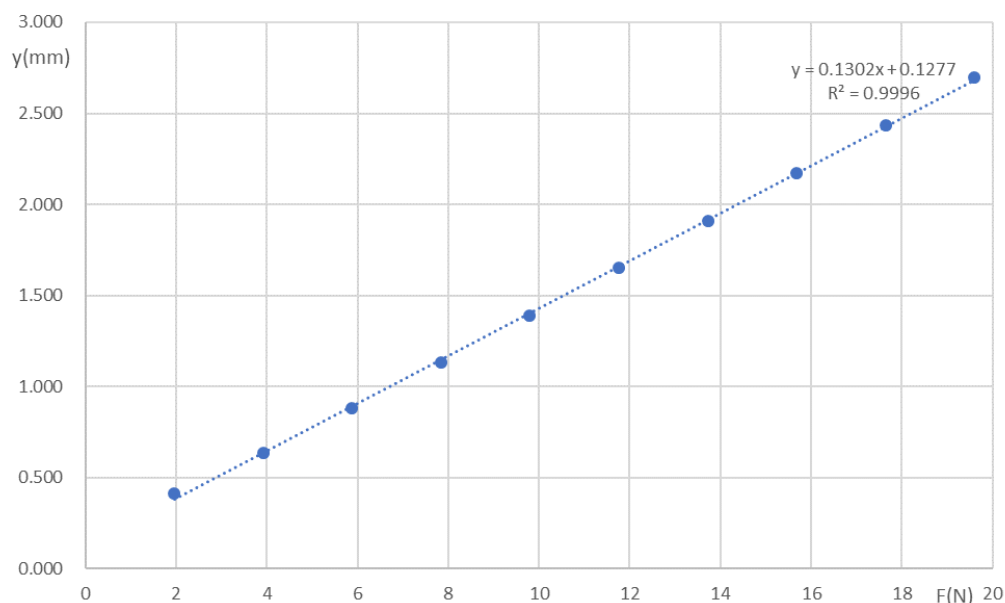


图 1 增砝码时的 $y \sim F$ 回归直线图

直线公式为 $y = 0.1302F + 0.1277$, 相关系数 $r = 0.9998$ 。

$$E = \frac{4L}{\pi D^2 \frac{\delta L}{F}} = \frac{4 \times 0.999}{\pi \times (0.221 \times 10^{-3})^2 \times 0.1302 \times 10^{-3}} \text{ Pa} = 2.0002 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

与 3 中用逐差法得到的结果大致相等。

三、 思考题

2. 在本实验中读数显微镜作测量室哪些情况下会产生空程误差？应如何消除它？

若非沿着一个方向波动鼓轮，则会产生空程误差。

欲消除空程误差，需要在一轮测量中保持鼓轮只向一个方向旋转，整个测量过程不能中途反转。特别注意，当测量完加砝码的情况，转换到减砝码时，要先将鼓轮向一个方向多转一段再反转，以消除空程误差。

3. 从 E 的不确定度计算式分析哪个量的测量对 E 的结果影响最大？测量中应注意哪些问题？

$$\frac{\Delta_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\delta L}}{\delta L}\right)^2}$$

由上述公式， $\frac{\Delta_D}{D}$ 这一项影响最大。因此在测量钢丝直径时，要注意：

- 1. 应均匀选择测量点，多次测量取平均值；
- 2. 测量时使用棘轮细调，防止压力造成误差；
- 3. 实验前后测量螺旋测微仪的零点，以消除零点误差。

动力学法测弹性模量

一、实验目的

- 1. 学习一种更实用，更准确的测量弹性模量的方法；
- 2. 学习用实验方法研究与修正系统误差。

二、数据处理

1. 被测样品的长度、直径和质量

使用材料 黄铜

游标卡尺零点 0.10 mm

铜棒长度 $l = 199.70\text{ mm}$ ，质量 $m = 32.58\text{ g}$

表 3 测定螺旋测微计的零点

测量前 (mm)	-0.011	-0.010	-0.011
测量后 (mm)	-0.009	-0.010	-0.010

$$\bar{d} = -0.010\text{ mm}$$

表 4 测量黄铜直径

组别	1	2	3	4	5	6
$D_i(\text{mm})$	4.949	4.950	4.957	4.951	4.955	4.954

$$\bar{D} = -\bar{d} + \frac{\sum D_i}{6} = 4.963\text{ mm}$$

$$S_D = 0.003\text{ mm}$$

已知螺旋测微器示值误差 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004\text{ mm}$, $\frac{t_p(n-1)}{\sqrt{n}} = \frac{2.57}{\sqrt{6}}$

$$\Delta_A = \frac{t_p(n-1)}{\sqrt{n}} S_D = 0.003\text{ mm}$$

$$\Delta_D = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_A^2} = 0.005\text{ mm}$$

$$D \pm \Delta_D = (4.963 \pm 0.005)\text{ mm}$$

2. 测基频频率

表 5 基频频率的测量

悬线位置 $x(\text{mm})$	-15	-10	-5	+5	+10	+15
共振频率 $f(\text{Hz})$	398.66	398.06	397.63	397.63	398.28	399.07

x 为负表示节点外侧，为正表示内侧。

用二阶多项式拟合。

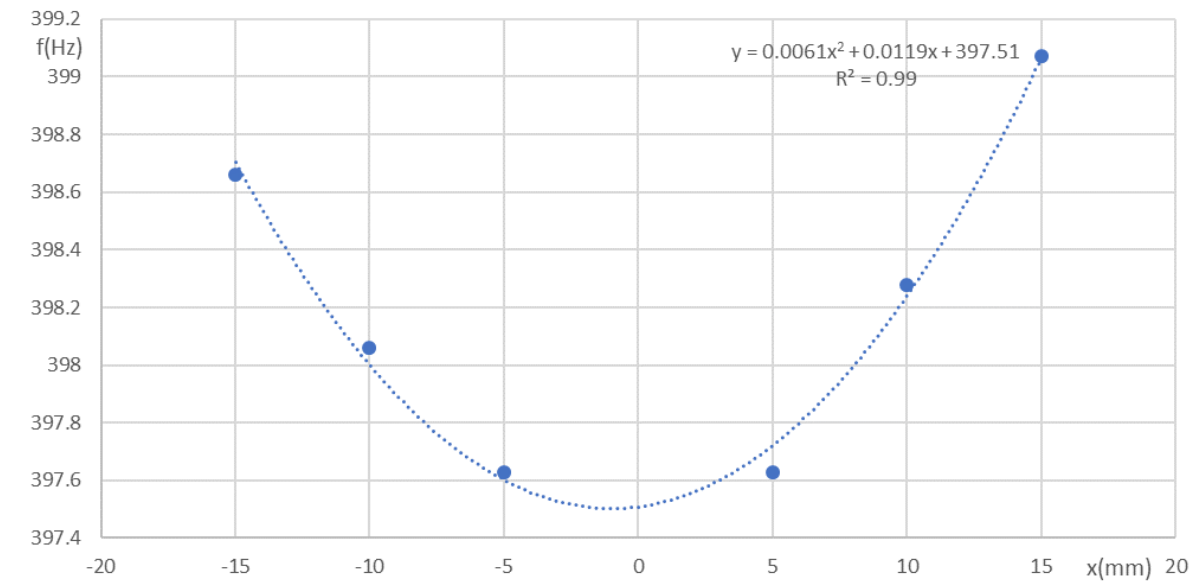


图 2 $f \sim x$ 曲线图

曲线公式为 $f = 0.0061x^2 + 0.0119x + 397.51$, 相关系数 $r = 0.995$ 。

可以得到基频振动 $x = 0$ 时，由拟合曲线可以得到基频频率 $f = 397.51 \text{ Hz}$

3. 推导 $\frac{\Delta_E}{E}$, 计算 E, Δ_E

通过查表可知， $T_1 = 1.0035$

求得

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{D^4} f^2 T_1 = 1.0896 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

根据 $\Delta_f = 0.10 \text{ Hz}$, $\Delta_m = 0.05 \text{ g}$, $\Delta_L = 0.02 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta_E}{E} &= \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial l} \ln E\right)^2 (\Delta_l)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial m} \ln E\right)^2 (\Delta_m)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial f} \ln E\right)^2 (\Delta_f)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial D} \ln E\right)^2 (\Delta_D)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{3\Delta_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{4\Delta_D}{D}\right)^2} \end{aligned}$$

故

$$\Delta_E = E \sqrt{\left(\frac{3\Delta_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{4\Delta_D}{D}\right)^2} = 4.7417 \times 10^8 Pa$$

$$E \pm \Delta_E = (1.090 \pm 0.005) \times 10^{11} Pa$$

实验小结

拉伸法优点在于操作简单，对仪器的需求小。但由于需要通过显微镜读取伸长量，难以保证每次读取的位置相同；由于显微镜的坐台底部不平，显微镜经常晃动；另外，还要考虑仪器的空程问题等。这些因素导致拉伸法的误差较大。

动力学法的实验原理较复杂，在获得共振频率时要反复调节信号发生器。在实验中，我发现稍微改变信号发生器的频率，波形就会有较大变化，需要对频率的百分位进行细调才能共振，可见该方法精确度较高。另外，从 $\frac{\Delta_E}{E}$ 的计算结果也可以看出，拉伸法的相对误差是动力学法的数十倍。

从选用材料看，钢丝很细，质量也很小，在振动过程中易受扰动，不适宜采用动力学法测量；而铜棒较粗，通过拉伸产生的形变很小，不易观察，不适宜采用拉伸法测量。

本次实验是我本学期的最后一次实验。物理实验让我认识到世界的奇妙，特别感谢各位老师和助教的耐心指导和帮助。

弹性模量的测量 实验数据

2018011365 计 84 张鹤潇

一、拉伸法测量弹性模量

1.测钢丝长度 L 及其伸长量 δL

仪器编号 10 ; 钢丝长度 $L =$ 999 mm

序号	$F_i = mg(N)$	$y_i(\text{mm})$		$l_i = y_{i+5} - y_i(\text{mm})$	
		增砝码时	减砝码时	增砝码时 l_+	减砝码时 l_-
1	$0.200 \times 1 \times 9.80$	0.415	0.442		
2	$0.200 \times 2 \times 9.80$	0.639	0.641		
3	$0.200 \times 3 \times 9.80$	0.883	0.891		
4	$0.200 \times 4 \times 9.80$	1.130	1.136		
5	$0.200 \times 5 \times 9.80$	1.388	1.386 91		
6	$0.200 \times 6 \times 9.80$	1.655	1.646		
7	$0.200 \times 7 \times 9.80$	1.906	1.898		
8	$0.200 \times 8 \times 9.80$	2.169	2.163		
9	$0.200 \times 9 \times 9.80$	2.433	2.431		
10	$0.200 \times 10 \times 9.80$	2.696	2.687		

$$\bar{l} = 0.1 \sum l_i = \text{——} \text{mm}$$

2. 测钢丝直径 D

测定螺旋测微计的零点 d (单位为 mm)

测量前 -0.011, -0.009, -0.010,

测量后 -0.009, -0.010, -0.010;

平均值 $\bar{d} =$ _____ mm

序号	1	2	3	4	5	6
D_i (mm)	0.211	0.212	0.208	0.218	0.208	0.210

钢丝的平均直径 $\bar{D} =$ _____ mm, $s_D =$ _____ mm

黄铜

测量前(mm) -0.011 -0.010 -0.011
后(mm) -0.009 -0.010 -0.010

二、动力学法测弹性模量

3. 被测样品的长度、直径和质量。

20 199.8-0.1

长度 $l =$ 199.70 mm, 质量 32.48 g

卡尺零点: 0.010 cm

序号	1	2	3	4	5	6
D_i /mm	4.949 4.95	4.950	4.957	4.951	4.955	4.954

理论: 44.75 // 154.99 (mm)

4. 测基振频率

负表示外侧, 正表示内侧.

悬线位置 x /mm	+5	+10	+15	-5	-10	-15
共振频率 f /Hz	397.63	398.24 ⁸	399.07	397.63 ⁹	398.06	398.66

弹性模量的测量 预习报告

2018011365 计 84 张鹤潇

一、 拉伸法测量弹性模量

实验原理

在弹性形变范围内，正应力与线应变成正比，即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\delta L}{L}, E = \frac{F/S}{\delta L/L}$$

本实验测量的是钢丝的弹性模量，如果测得钢丝的直径为 D ，则可以进一步把 E 写成：

$$E = \frac{4FL}{\pi D^2 \delta L}$$

实验步骤

1. 调整钢丝竖直。钢丝下夹具上应先挂上砝码钩，用一拉直钢丝。调整底座螺钉使钢丝夹具不与周围支架碰蹭
2. 调节读数显微镜。应先粗调显微镜高度，使之与钢丝下夹具上的标记线同高，再细条读数显微镜。细调步骤是先调节目镜看清钢丝，再移动镜筒看清标记线。使标记线的像与叉丝无视差（即当视线略微上下移动时，标记线的像与叉丝之间无相对移动）
3. 测量。测量钢丝长度 L 及其伸长量 δL 。先读出只挂砝码钩（其质量为 0.200kg）时的钢丝夹具标记线的位置，然后再砝码钩上每加一砝码（质量均为 0.200kg），读一次位置 y_i ，逐步层架到 0.200×10kg，再从 0.200×10kg 逐渐减少至 0.200kg，各测一组数据。再用螺旋测微仪在钢丝的不同地方测量其直径 D ，测六次，并在测量前后记录螺旋测微仪的零点 d 各三次

二、 动力学法测弹性模量

实验原理

一根细长棒（长度比横向尺寸大很多）的横振动（又称弯曲振动）满足动力学方程：

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + \frac{EI}{\rho S} \cdot \frac{\partial^4 \eta}{\partial x^4} = 0$$

可以得到棒作基频振动的固有频率：

$$\omega = \sqrt{\frac{4.730^4 EI}{\rho l^4 S}}$$

解出弹性模量

$$E = 1.9978 \times 10^{-3} \times \frac{\rho l^4 S}{I} \omega^2 = 7.8870 \times 10^{-2} \frac{l^3 m}{I} f^2$$

上式中 m 为棒的质量， $m = \rho l S$ ； f 为圆棒的基振频率。对于直径为 d 的圆棒，惯量矩 $I =$

$$\iint_S z^2 dS = \frac{\pi d^4}{64}, \text{ 代入上式得}$$

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{d^4} f^2$$

这就是本实验用的计算公式。

实际测量时，由于不能满足 $d \ll l$ ，此时上式应乘上一修正系数 T_1 ，即

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{d^4} f^2 T_1$$

T_1 可根据 d/l 的不同数值和材料的泊松比查表得到。

实验步骤

1. 连接线路，阅读信号发生器及示波器的有关资料，学习和调节使用方法
2. 测量被测样品的长度、直径（在不同部位测 6 次取平均值）及质量。并记录试验用的样品材料是黄铜还是紫铜。
3. 测样品的弯曲振动基振频率。理论上样品作基频共振时，悬点应置于节点处，即悬点应置于距棒两端面分别为 0.2241 和 0.7761 处。但是在这种情况下，棒的振动无法被激发。欲激发棒的振动，悬点必须离开节点位置。这样又与理论条件不一致，势必产生系统误差。故实验上采用下述方法测棒的弯曲振动基频频率：在基频节点处正负 30mm 范围内同时改变两悬线位置，每隔 5mm~10mm 测一次共振频率。画出共振频率与悬线位置关系曲线。由该图可准确求出悬线在节点位置的基频共振频率，其值约在几百赫兹量级。