

钢丝杨氏模量的测定

郑州大学物理实验中心

实验简介



返回

杨氏模量是工程材料重要参数，它反映了材料弹性形变与内应力的关系，它只与材料性质有关，是选择工程材料的重要依据之一。

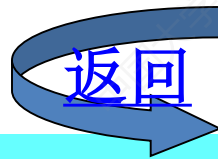
设长为**L**，截面积为**S**的均匀金属丝，在两端以外力**F**相拉后，伸长**ΔL**。实验表明，在弹性范围内，单位面积上的垂直作用力**F/S**（正应力）与金属丝的相对伸长**ΔL/L**(线应变)成正比，其比例系数就称为杨氏模量，用**E**表示，即

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

这里的**F**、**L**和**S**都易于测量，**ΔL**属微小变量，我们将用光杠杆放大法测量。

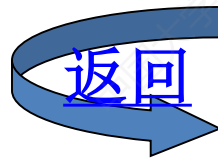
本实验采用的光杠杆法是属光放大技术。光杠杆放大原理被广泛地用于许多高灵敏度仪表中，如光电反射式检流计、冲击电流计等。放大法的核心是将微小变化量输入一“放大器”，经放大后再作精确测量。

实验目的



- 1. 了解静态拉伸法测杨氏模量的方法
- 2. 掌握光杠杆放大法测微小长度变化的原理和方法
- 3. 学会用逐差法处理数据

实验仪器



- 近距转镜杨氏模量仪，
- 新型光杠杆，
- 螺旋测微计，游标卡尺
- 钢卷尺、各一个
- 望远镜

实验原理



返回

杨氏模量的定义

设金属丝的原长为 L ，横截面积为 S ，沿长度方向施力 F 后，其长度改变 ΔL ，则金属丝单位面积受到的垂直作用力 $\sigma=F/S$ 称为正应力，金属丝的相对伸长量 $\varepsilon=\Delta L/L$ 称为线应变。实验结果指出在弹性范围内，由胡克定律可知物体的正应力与线应变成正比，即：

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

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

或

比例系数 E 即为金属丝的杨氏模量（单位： Pa 或 N/m^2 ），它表征材料本身的性质， E 越大的材料，要使它发生一定的相对形变所需要的单位横截面积上的作用力也越大。

由式（2）可知：

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} \quad (3)$$

对于直径为 d 的圆柱形金属丝，其杨氏模量为：

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{mg / \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right)}{\Delta L/L} = \frac{4mgL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (4)$$

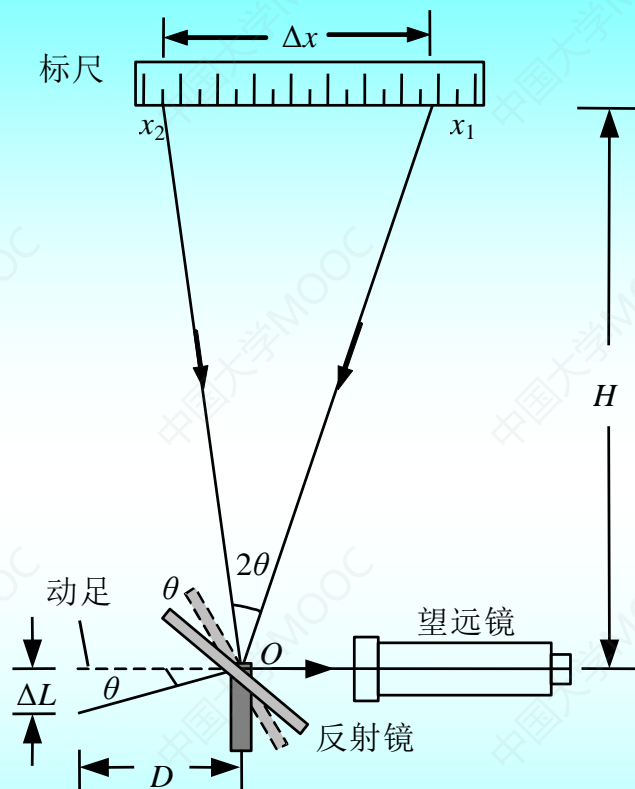
式中 L （金属丝原长）可由米尺测量， d （金属丝直径）可用螺旋测微器测量， F （外力）可由实验数字拉力计上显示的质量 m 求出，即 $F=mg$ （ g 为重力加速度），而 ΔL 是一个微小长度变化。本实验利用光杠杆的光学放大作用实现对金属丝微小伸长量 ΔL 的测量。

实验原理

[返回](#)

光杠杆光学放大原理

如图所示，光杠杆由反射镜、反射镜转轴支座和与反射镜固定连动的动足等组成。



其中 $D \gg \Delta L$ ，所以 θ 甚至 2θ 会很小。从图中的几何关系中我们可以看出， 2θ 很小时有：

$$\Delta L \approx D \cdot \theta, \quad \Delta x \approx H \cdot 2\theta$$

实验原理

返回

故有：

$$\Delta x = \frac{2H}{D} \cdot \Delta L \quad (5)$$

其中 $2H/D$ 称作光杠杆的放大倍数， H 是反射镜转轴与标尺的垂直距离。仪器中 $H \gg D$ ，这样一来，便能将一微小位移 ΔL 放大成较大的容易测量的位移 Δx 。将式（5）代入式（4）得到：

$$E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 D} \cdot \frac{1}{\Delta x} \quad (6) \text{ 实验公式}$$

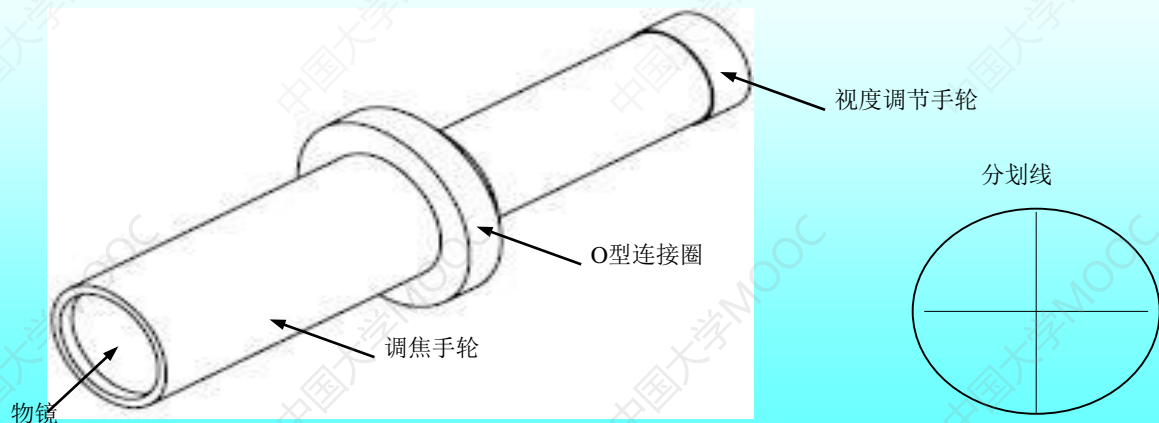
可以通过测量（6）式右边的各参量得到被测金属丝的杨氏模量，式（6）中各物理量的单位取国际单位（SI制）。

仪器介绍

杨氏模量仪主要由实验架和望远镜系统、数字拉力计、测量工具（图中未显示）组成。

1. 望远镜系统

望远镜放大倍数12倍，最近视距0.3m，含有目镜十字分划线（纵线和横线）。望远镜如下图所示。

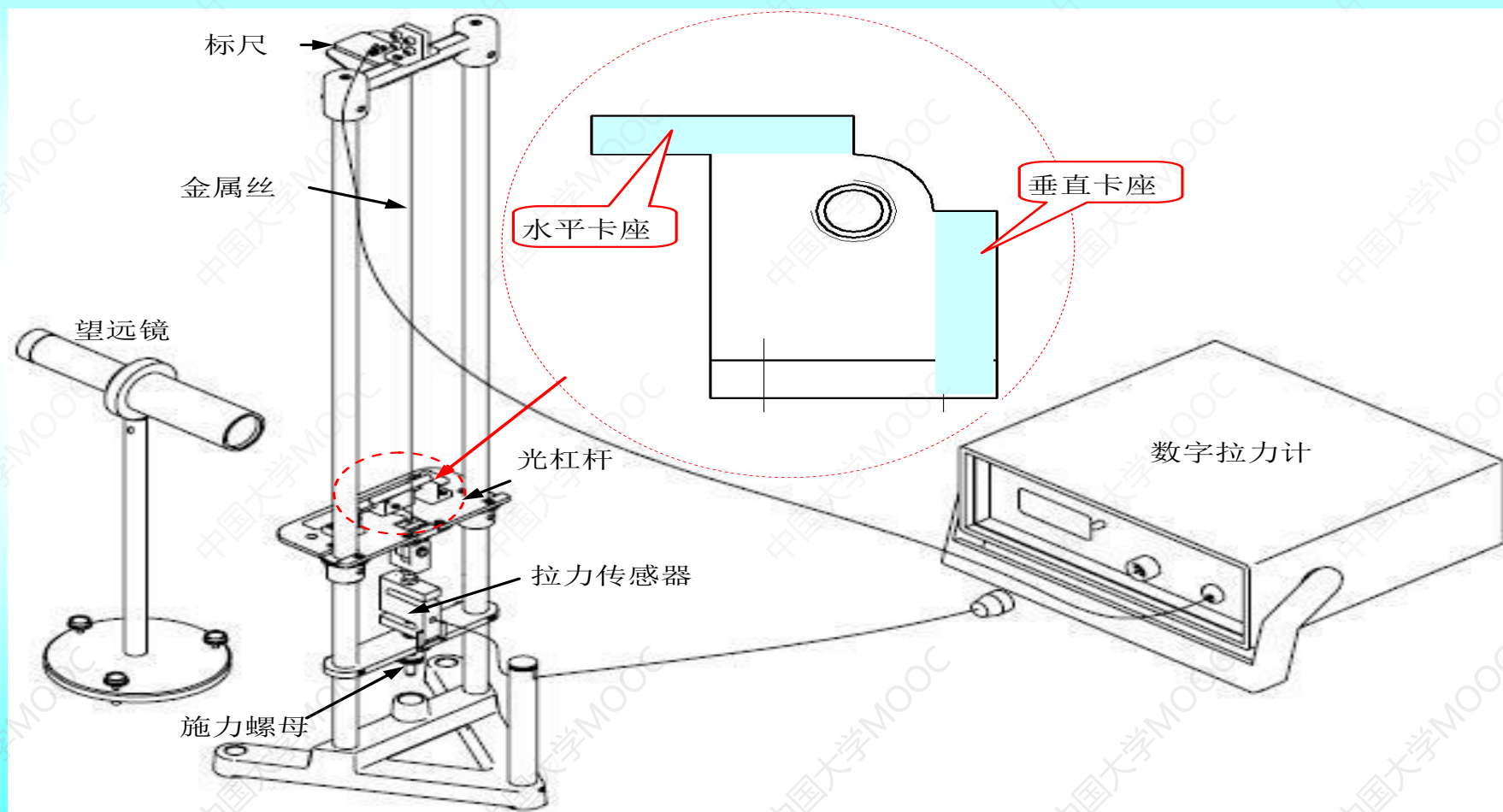


实验原理

返回

实验架

实验架是待测金属丝杨氏模量测量的主要平台。金属丝通过一夹头与拉力传感器相连，采用螺母旋转加力方式，拉力传感器输出拉力信号通过数字拉力计显示金属丝受到的拉力值。实验架含有最大加力限制功能，实验中最大实际加力值在13.00kg左右。



实验原理

[返回](#)

数字拉力计

显示范围： $0 \sim \pm 19.99\text{kg}$ （三位半数码显示）

最小分辨力： 0.001kg

含有显示清零功能（短按清零按钮显示清零）。

数字拉力计面板图：



实验内容

[返回](#)

实验内容与步骤

1. 调节实验架

打开数字拉力计电源开关，预热5min。背光源应最亮，标尺刻度清晰可见。数字拉力计面板上显示此时加到金属丝上的力。

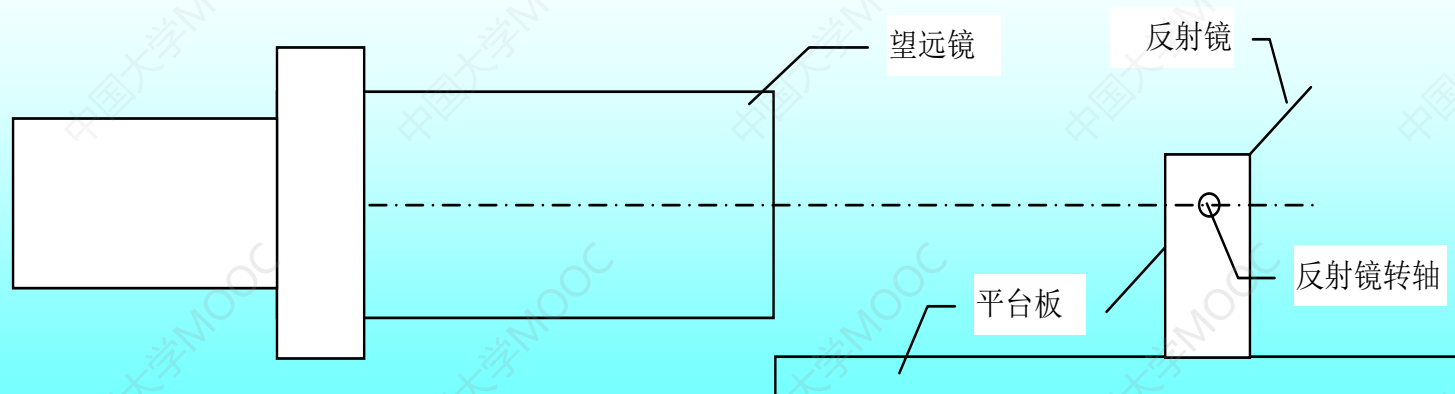
旋转施力螺母，给金属丝施加一定的预拉力 m_0 ($3.00 \pm 0.02\text{kg}$)，将金属丝原本存在弯折的地方拉直。

2. 调节望远镜

调节望远镜使从实验架侧面目视时反射镜转轴大致在镜筒中心线上，调节反射镜角度，直到从目镜中看去能看到背光源发出的明亮的光。

调节目镜视度调节手轮，使得十字分划线清晰可见。调节调焦手轮，使得视野中标尺的像清晰可见。

调节望远镜支架螺钉（也可配合调节反射镜角度调节旋钮），使十字分划线横线与标尺刻度线平行，并对齐 $\leq 2.0\text{cm}$ 的刻度线（避免实验做到最后超出标尺量程）。水平移动支架，使十字分划线纵线对齐标尺中心。



实验内容



返回

3. 数据测量

1. 测量 L 、 H 、 D 、 d

用钢卷尺测量金属丝的原长 L ，钢卷尺的始端放在金属丝上夹头的下表面，另一端对齐平台板的上表面。

用钢卷尺测量反射镜转轴到标尺的垂直距离 H ，钢卷尺的始端放在标尺板表面，另一端对齐反射镜的上表面（该表面与转轴等高）。

用游标卡尺测量光杠杆常数 D 。将光杠杆三个足尖压印在硬纸板上，作等腰三角形，从后足尖至两前足尖连线的垂直距离即为 D 。用游标卡尺测量 D 的长度

以上各物理量为一次测量值。

用螺旋测微器测量不同位置、不同方向的金属丝直径视值 d （6处），注意测量前记下螺旋测微器的零差 d_0 。

2. 测量标尺刻度 x 与拉力 m

点击数字拉力计上的“清零”按钮，记录此时对齐十字分划线横线的刻度值 x_1 。

缓慢旋转施力螺母加力，逐渐增加金属丝的拉力，每隔 1.00 （ ± 0.01 ） kg 记录一次标尺的刻度，加力至最大值，数据记录后再加 0.5kg 左右（不超过 1.0kg ，且不记录数据）。

然后，反向旋转施力螺母至最大值并记录数据，同样地，逐渐减小金属丝的拉力，每隔 1.00 （ ± 0.01 ） kg 记录一次标尺的刻度，直到拉力为 0.00 （ ± 0.01 ） kg 。

实验中不能再调整望远镜，并尽量保证实验桌不要有震动，以保证望远镜稳定。

加力和减力过程，施力螺母不能回旋。

实验完成后，旋松施力螺母，使金属丝自由伸长，并关闭数字拉力计。

实验数据及记录

金属丝直径d的测量

$d_0 = \text{———}$, $\Delta_{\text{仪}} = 0.004\text{mm}$

d_i' 次数	1	2	3	4	5	6
d_i' /mm						
$d_i = d_i' - d_0$ /mm						
$\bar{d} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i$						

$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (d_i - \bar{d})^2}{6 - 1}} =$$

$$\Delta_B = \Delta_{\text{仪}} =$$

$$\Delta_d = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} =$$

$$d = \bar{d} \pm \Delta_d$$

望远镜中标尺读数变化量的测量

序号i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
拉力视值 m_i (kg)	0.00									
加力时标尺刻度 x_i^+ (mm)										
减力时标尺刻度 x_i^- (mm)										
平均标尺刻度(mm) $x_i = (x_i^+ + x_i^-)/2$										
标尺刻度改变量(mm) $\Delta x_i = x_{i+5} - x_i$										

$$\Delta_{\Delta xA} = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{5}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta x_i - \overline{\Delta x})^2}{5-1}}, \quad \Delta x_i = (x_{5+i} - x_i)/5, \quad \overline{\Delta x} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta x_i$$

$$\Delta_{\text{仪}} = 0.25 \text{ mm}, \quad \Delta_{\Delta xB} = \Delta_{\text{仪}} = 0.25 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\Delta x} = \sqrt{\Delta_{\Delta xA}^2 + \Delta_{\Delta xB}^2}, \quad \Delta x = \overline{\Delta x} \pm \Delta_{\Delta x}$$

杨氏模量计算 $\bar{E} = \frac{8FLH}{\pi \bar{d}^2 D \Delta x}$

不确定度计算：

$$\frac{\Delta_E}{\bar{E}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_H}{H}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta_{\bar{d}}}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2}$$

$$\Delta_E = \bar{E} \cdot \frac{\Delta_E}{\bar{E}} =$$

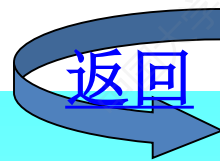
$$E = E \pm \Delta_E =$$

思考题



[返回](#)

1. 材料相同、粗细不同的两根钢丝，其杨氏模量是否相同？
2. 实验中各长度量采用了不同的长度测量仪器进行测量，选择它们的依据是什么？
3. 本实验如果从望远镜中看不到标尺的像，应从哪些方面进行调节？标尺像上下清晰度不同应如何调节？
4. 做本实验时，为什么要求在正式读数之前先加力把金属丝拉直？这样做会不会影响测量结果？



结 束