

# 测量金属丝的杨氏模量实验

## 一、实验安全

1. 卷尺边缘锋利
2. 电器电路检查过后通电，用后关闭电源
3. 金属丝拉力过大小心拉断弹到人

## 二、实验目的

1. 学会用拉伸法测量金属丝的杨氏模量；
2. 掌握光杠杆法测量微小伸长量的原理；
3. 掌握各种测量工具的正确使用方法；
4. 学会用最小二乘法处理实验数据。

## 三、实验原理

### 1. 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 $\Delta L$ ，则金属丝单位面积上受到的垂直作用力 $\sigma = F/S$ 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：

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

或

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

比例系数 $E$ 即为金属丝的杨氏模量（单位： $\text{Pa}$ 或 $\text{N/m}^2$ ），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）可由实验中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（mm级）。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的间接测量。

## 2. 光杠杆光学放大原理

如图 1 所示，光杠杆由反射镜、反射镜转轴支座和与反射镜镜固定连动的动足等组成。

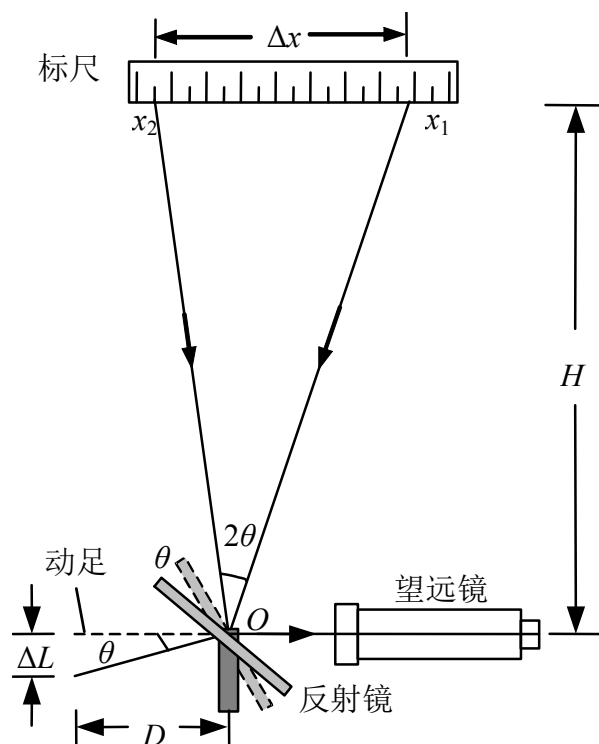


图 1 光杠杆放大原理图

开始时，光杠杆的反射镜法线与水平方向成一夹角，在望远镜中恰能看到标尺刻度 $x_1$ 的像。当金属丝受力后，产生微小伸长 $\Delta L$ ，动足尖下降，从而带动反射镜转动相应的角度 $\theta$ ，根据光的反射定律可知，在出射光线（即进入望远镜的光线）不变的情况下，入射光线转动了 $2\theta$ ，此时望远镜中看到标尺刻度为 $x_2$ 。

实验中 $D \gg \Delta L$ ，所以 $\theta$ 甚至 $2\theta$ 会很小。从图 1 的几何关系中我们可以看出， $2\theta$ 很小时有：

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

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

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>>D，这样一来，便能把一微小位移 ΔL放大成较大的容易测量的位移 Δx。将式（5）代入式（4）得到：

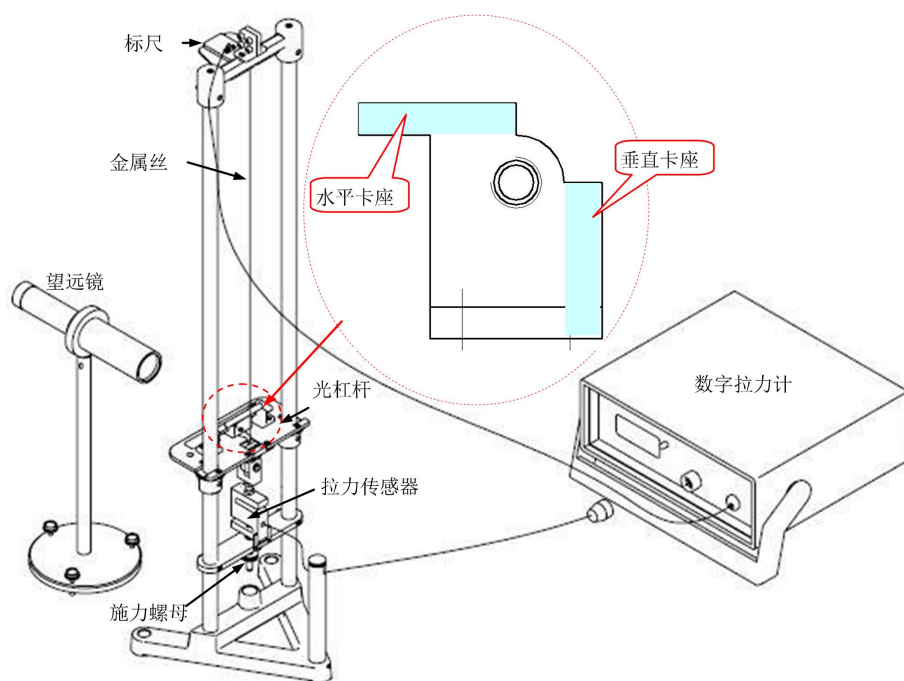
$$E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 D} \cdot \frac{1}{\Delta x}$$

(6)

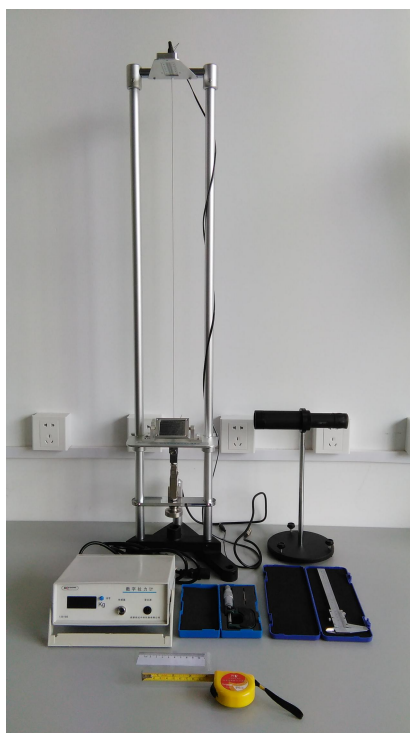
如此，可以通过测量式（6）右边的各参量得到被测金属丝的杨氏模量，式（6）中各物理量的单位取国际单位（SI制）。

四、实验仪器

杨氏模量实验架	一套	含待测金属丝，顶部刻度线背光电源，拉力感应装置数据线
望远镜	一套	支架，镜体
数字拉力计	一台	
尺子	三把	游标卡尺，千分尺，卷尺



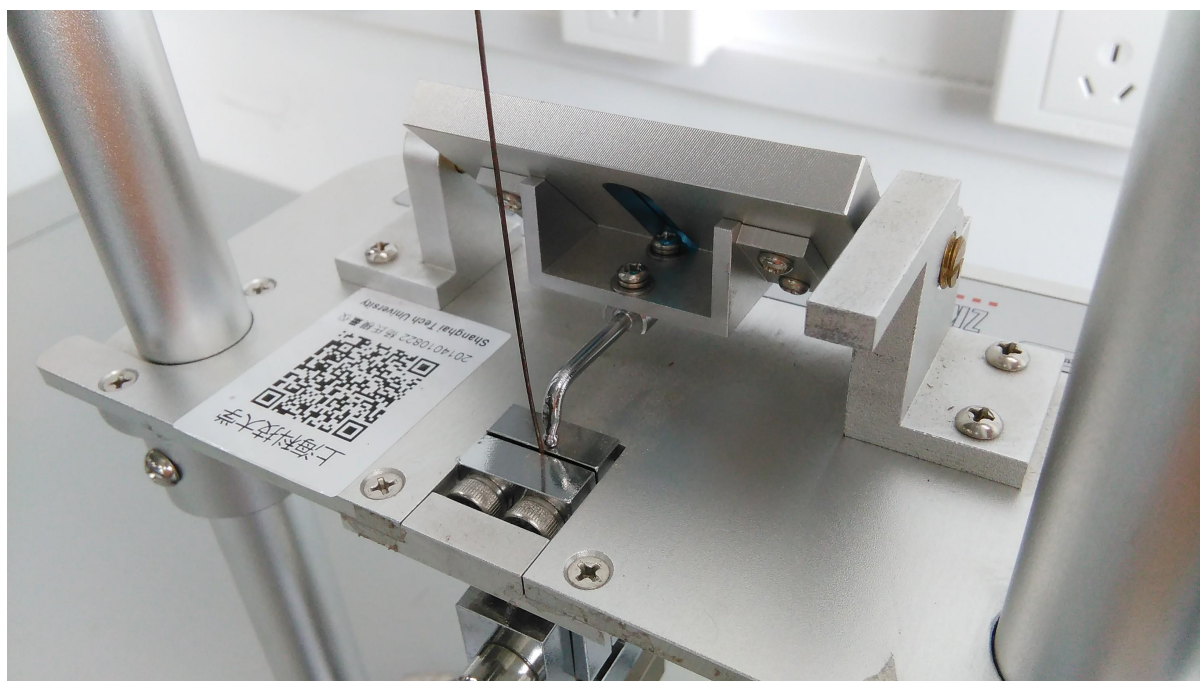
(图 2) 杨氏模量系统示意图



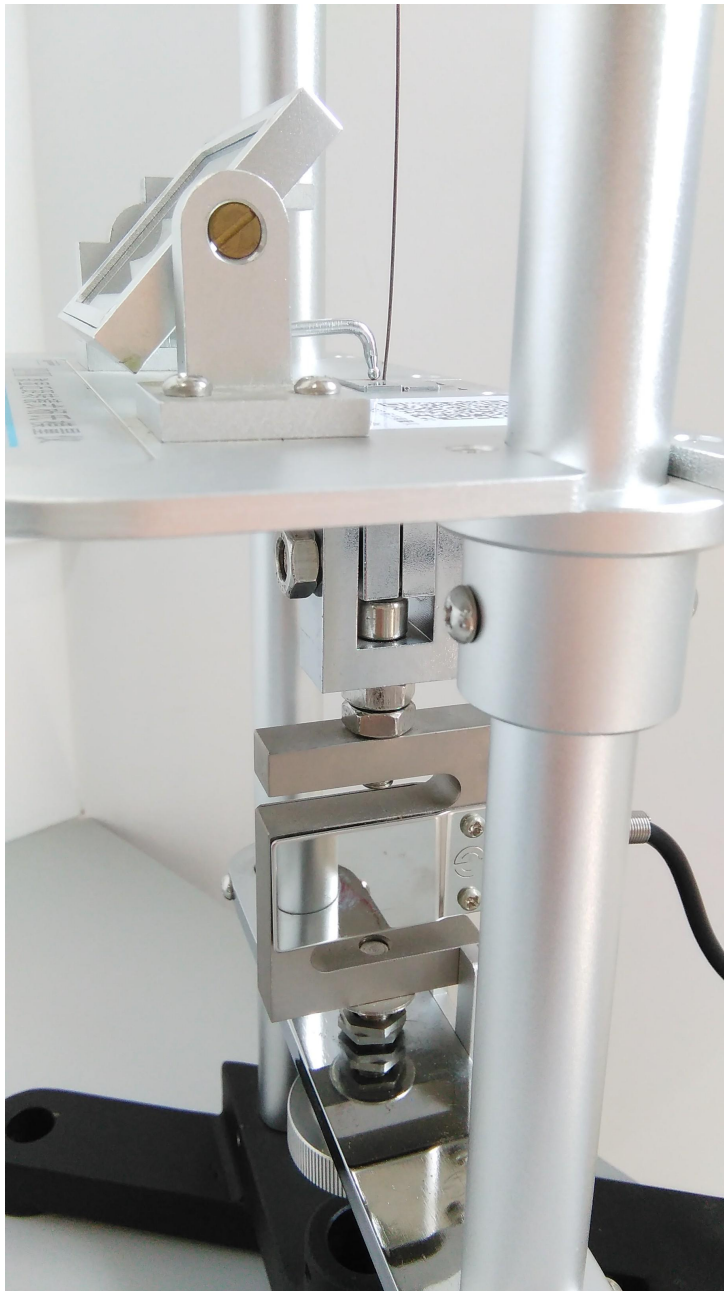
(图 3) 实验仪器



(图 4) 实验仪器顶视图



(图 5) 反射镜背部细节



(图 6) 杨氏模量主要结构细节

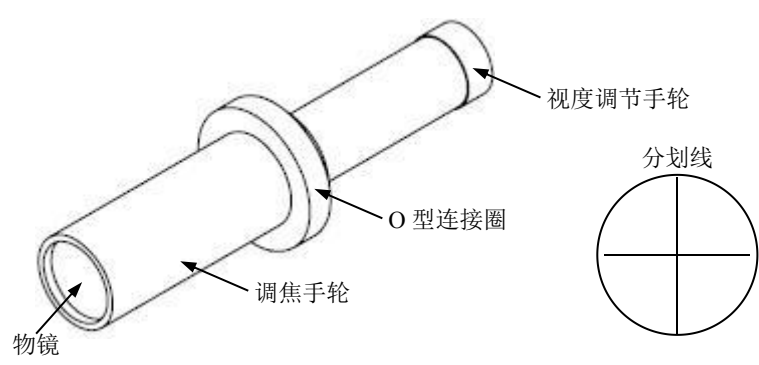
## 1. 实验架

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，加力简单、直观、稳定。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。光杠杆的反射镜转轴支座被固定在一台板上，动足尖自由放置在夹头表面。反射镜转轴支座的一边有水平卡座和垂直卡座。水平卡座的长度等于反射镜转轴与动足尖的初始水平距离（即小型测微器的微分筒压到 0 刻线时的初始光杠杆常数），该距离在出厂时已严格校准，使用时勿随意调整动足与反射镜框之间的位置。旋转小型测微器上的微分筒可改变光杠杆常数。实验架含有最大加力限制功能，实验中最大实际加力不应超过 13.00kg。

## 2. 望远镜系统

望远镜系统包括望远镜支架和望远镜。望远镜支架通过调节螺钉可以微调望远镜。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）。望远镜如图 7 所示。



(图 7) 望远镜示意图

## 3. 数字拉力计

电源：AC220V±10%，50Hz

显示范围：0~±19.99kg（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）。

含有直流电源输出接口：输出直流电，用于给背光源供电。

数字拉力计面板图：



（图 8） 数字拉力计面板图

## 五、实验内容

### 1. 调节实验架

实验前应保证上下夹头均夹紧金属丝，防止金属丝在受力过程中与夹头发生相对滑移，且反射镜转动灵活。

- 1) 将拉力传感器信号线接入数字拉力计信号接口，用 DC 连接线连接数字拉力计电源输出孔和背光源电源插孔。
- 2) 打开数字拉力计电源开关，预热 10min。背光源应被点亮，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。
- 3) 旋转施力螺母，给金属丝施加一定的预拉力  $m_0$  (1.00–1.50kg)，将金属丝原本存在弯折的地方拉直。

## 2. 调节望远镜

- 1) 将望远镜移近并正对实验架平台板(望远镜前沿与平台板边缘的距离在  $0\sim 30\text{cm}$  范围内均可)。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(如图 7)，同时调节支架上的三个螺钉，直到从目镜中看去能看到背光源发出的明亮的光。
- 2) 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。
- 3) 调节支架螺钉(也可配合调节平面镜角度)，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。

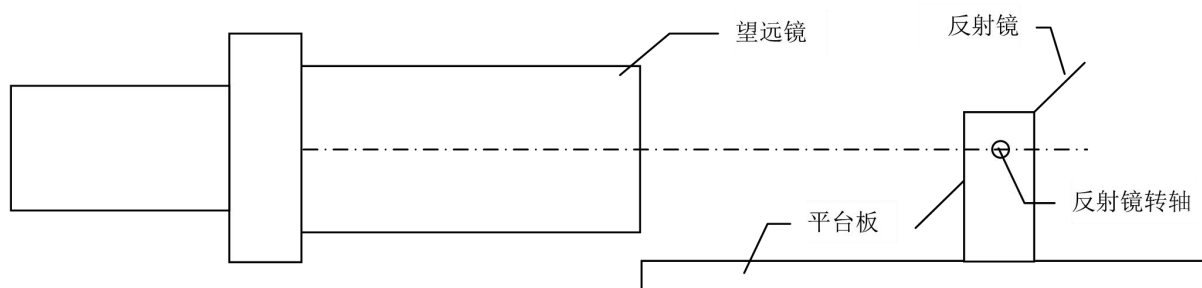


图 9 望远镜位置示意图

## 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（即横梁上表面），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上表面，另一端对齐垂直卡座的上表面（该表面与转轴等高）。

用游标卡尺测量光杠杆常数 $D$ ，游标卡尺测量水平卡座长度。

以上各物理量为一次测量值，记录实验数据。

用螺旋测微器测量不同位置、不同方向的金属丝直径视值 $d_{\text{视}j}$ （至少 6 处），注意测量前记下螺旋测微器的零差 $d_0$ 。记录实验数据，计算直径视值的算术平均值 $\overline{d_{\text{视}}}$ ，并根据 $\overline{d} = \overline{d_{\text{视}}} - d_0$  计算金属丝的平均直径。

## 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（ $\pm 0.01$ ）kg 记录一次标尺的刻度  $x_i^+$ ，加力至 10.00kg，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 10.00kg 并记录数据，同样地，逐渐减小金属丝的拉力，每隔 1.00（ $\pm 0.01$ ）kg 记录一次标尺的刻度  $x_i^-$ ，直到拉力为 0.00（ $\pm 0.01$ ）kg。

分别将逐渐加力和逐渐减力时的数据做线性拟合，根据公式

求出金属丝的杨氏模量值，并比较分析误差来源。

注：

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。

- 3) 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。

## 六、注意事项

- 1) 该实验是测量微小量，实验时应避免实验台震动。
- 2) 初始光杠杆常数与水平卡座的长度在出厂时已校为相等，实验时勿调整动足与反射镜框之间的连接件。
- 3) 加力勿超过实验规定的最大加力值。
- 4) 严禁改变限位螺母位置，避免最大拉力限制功能失效。
- 5) 光学零件表面应使用软毛刷、镜头纸擦拭，切勿用手指触摸镜片。
- 6) 严禁使用测装置观察强光源，如太阳等，避免人眼灼伤。
- 7) 实验完毕后，应旋松施力螺母，使金属丝自由伸长，并关闭数字拉力计。

## 【思考题】

1. 本实验中，各个长度量用不同的仪器来测定，是怎么样考虑的，为什么？
2. 如何简要说明材料杨氏模量的物理意义？