

实验三 用静态拉伸法测材料的弹性模量

弹性模量是工程材料的一个重要物理参数，它表征了材料抵抗弹性形变的能力。弹性模量越大，材料越不易变形，即材料的刚度越大。在机械设计及材料的使用时，它是一个必须考虑的重要参量。弹性模量还是原子间结合强度的标志之一，在材料的研究中，常常关注这个重要的物理特性。材料弹性模量有多种测量方法，静态拉伸法是一种测量准确度较高的方法。本实验采用静态拉伸法测量钢丝的弹性模量。

一、实验目的

- 1) 学习用拉伸法测量材料的弹性模量。
- 2) 学习用光杠杆原理测量微小长度变化量。
- 3) 学习用逐差法处理实验数据。
- 4) 学习直接测量量和间接测量量不确定度的计算，学习正确地表示测量结果。

二、实验仪器及样品

弹性模量仪（包括实验架、望远镜、数字拉力计等）、千分尺（25mm，0.01mm）、游标卡尺（13cm，0.02mm）、钢卷尺（2m，1mm）、钢丝。

三、实验原理

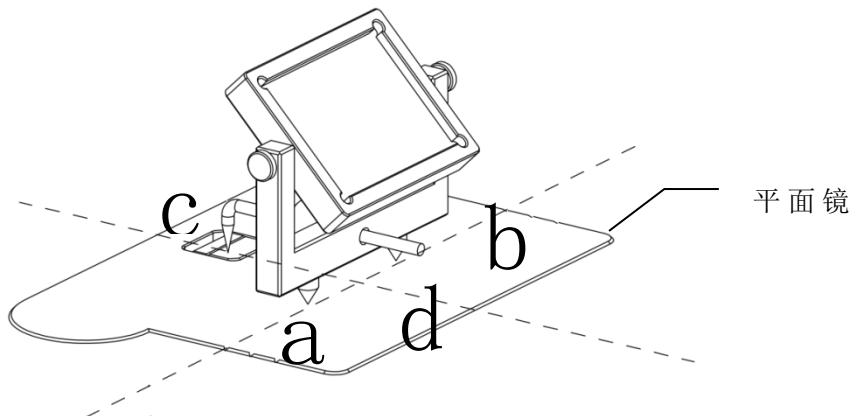
柱状体受外力作用时的形变量 ΔL ，柱状体的长度 L ，截面积 S ，作用力 F ，满足虎克定律：

$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta L}{L} \quad (1-1)$$

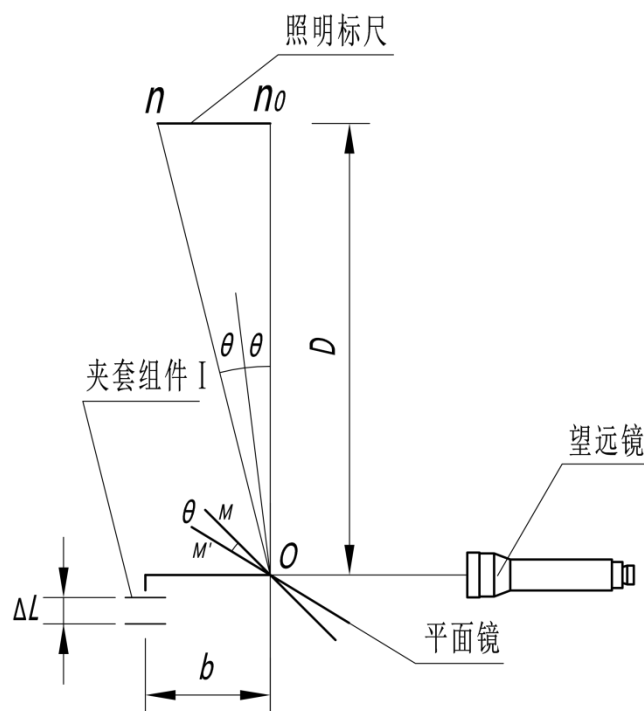
式中 Y 称为杨氏弹性模量，其单位为 N/m^2 ，是表征材料抗应变能力的一个固定参量，由材料的材质决定，与其几何形状无关。

由于一般 ΔL 很小，常采用光杠杆放大法进行测量。

光杠杆原理图如图一所示，它由可绕轴转动的平面镜 M 和一个可调节长度和高度的针尖构成。针尖和转轴组成一等腰三角形 abc ， c 到前两轴线的连线 ab 的垂直距离为 $b=cd$ ，长度可以调节。图二为光杠杆放大原理图。



图二 光杠杆



图三 光杠杆放大原理图

初始时，镜面 M 的反射线正好是垂直的，假设是理想状态， n_0 是反射镜 M 的反射线。当金属丝伸长 ΔL ，光杠杆镜架后尖脚随金属丝下落 ΔL ，带动 M 转一 θ 角，镜面至 M' ，反射线也转过一角度。根据光的反射定律， on_0 和 on 的夹角为 2θ 。

如果反射镜面到标尺的距离为 D ，后尖脚到前两脚间连线的垂直距离为 b ，则有：

$$\tan \theta = \frac{\Delta L}{b} \quad \tan 2\theta = \frac{n - n_0}{D}$$

由于 θ 很小，所以有：

$$\theta \approx \frac{\Delta L}{b} \quad 2\theta \approx \frac{n - n_0}{D}$$

消去 θ ，得

$$\Delta L = \frac{(n - n_0)b}{2D} = \frac{b}{2D} \Delta n \quad (1-2)$$

式中， $n - n_0 = \Delta n$ 。

由于伸长量 ΔL 是难测的微小长度，但当取 D 远大于 b 后，经光杠杆转换后的量 Δn 却是较大的量， $2D/b$ 决定了光杠杆的放大倍数。这就是光杠杆的放大原理，它已被应用在很多精密测量仪器中。

将式 (1-2) 代入式 (1-1) 得：

$$Y = \frac{FL}{S\Delta L} = \frac{8FLD}{\pi d^2 b} \frac{1}{\Delta n} \quad (1-3)$$

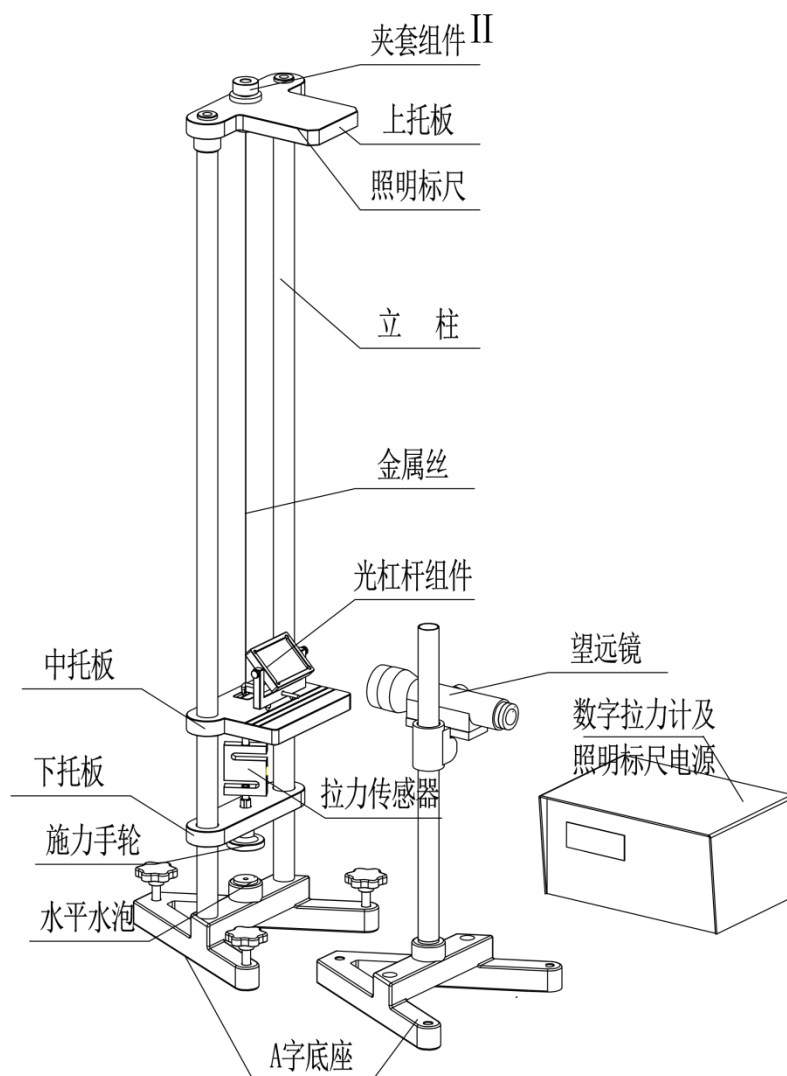
本实验使钢丝伸长的力 F 是螺杆作用在钢丝上的力 mg ， m 直接在数显拉力计上读出，因此，杨氏弹性模量的测量公式为

$$Y = \frac{8mgLD}{\pi d^2 b} \frac{1}{\Delta n} \quad (1-4)$$

式中， Δn 与 m 有对应关系，如果 m 是 1 个单位的质量， Δn 应是荷重增（或减）1 个单位所引起的光标偏移量；如果 Δn 是荷重增（或减）4 个单位所引起的光标偏移量， m 就应是 4 个单位的质量。

四、仪器简介

本仪器分成二部分，即测量架部件和望远镜部件，其中光杠杆归属测量架部件。



图四 仪器结构

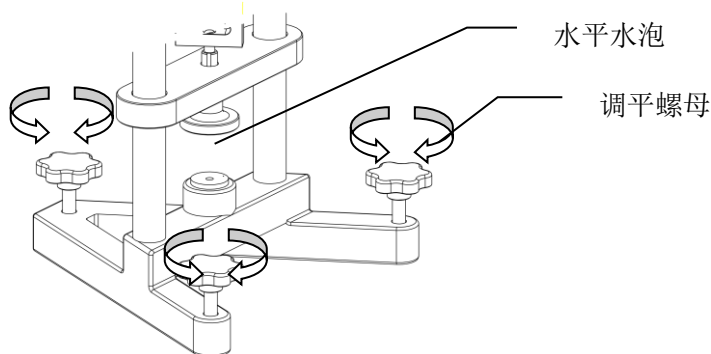
五、实验操作

1. 认识和调节仪器

(1) 认识仪器。实验前，应该学习并掌握仪器的正确使用方法。

(2) 调节仪器。

①调节支架铅直。用 A 字底座上的调平螺丝调节，使水平水泡的水泡停留在中心。如图五

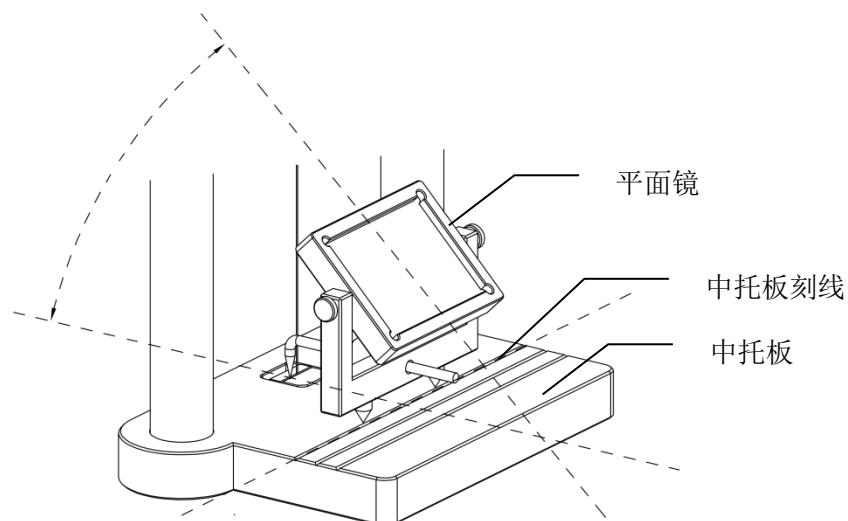


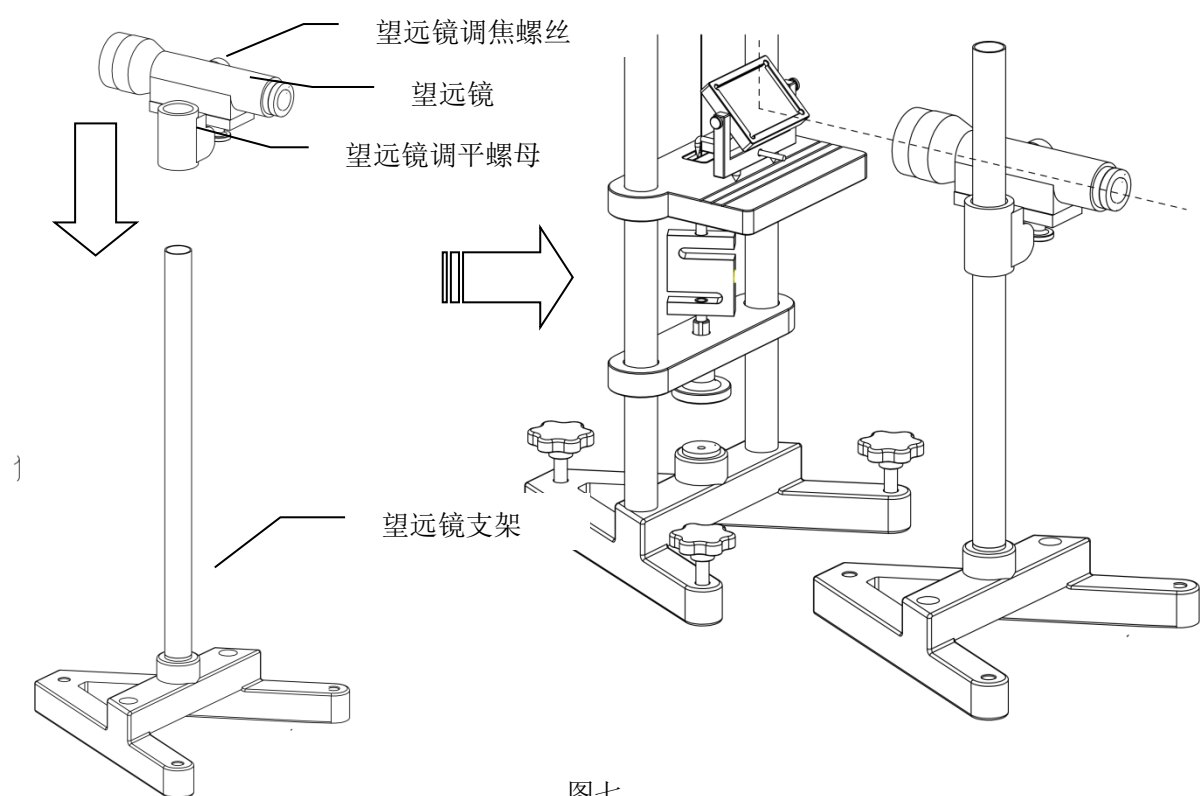
图五 调节水平

②将光杠杆组件放置中托板上，光杠杆组件的前两只脚置于中托板前部的刻线内，后脚架在夹套组件 I 上（不要架到压金属丝的截面处），调节夹套组件 I 高度，使光杠杆组件的三个支撑脚在同一水平面上。调节光杠杆组件上的平面镜与中托板平面大致成 45° 的夹角，如图六

③将照明标尺和拉力计的电缆线，分别连接到主机箱面板上，接通电源，照明标尺点亮，同时数显拉力计显示拉力值。

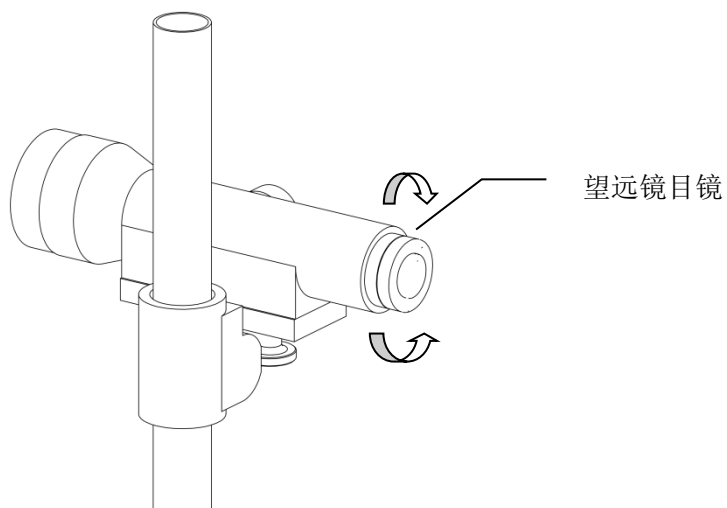
④望远镜装到望远镜支架内，并置于反光平面镜前 35cm 左右。调节望远镜上的调平螺丝，使其水平。望远镜物镜对准平面镜，中心与平面镜转轴同一高度。通过望远镜同时调节调焦旋钮，找到标尺像，可根据需要微调光杠杆上的平面镜找标尺像。如图七





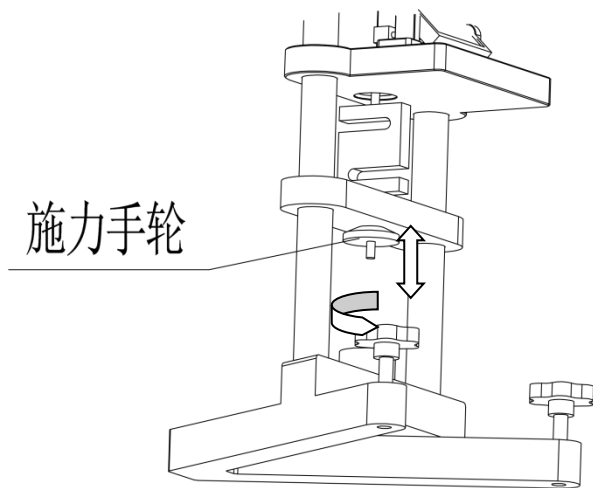
图七

⑤找到标尺像后，调节望远镜目镜用眼睛看到清晰的分划板象。如图八



图八

⑥转动施力手轮，可改变螺杆对金属丝的拉力，值显示在电源面板上。如图九



图九

2. 观测伸长变化。

- (1) 逐次增加 1KG 拉力，记录相应的读数 n_i ，一共 8 次。
- (2) 增加拉力时，动作要轻柔，以免造成钢丝剧烈晃动影响读数。
- (3) 计算出同一负荷下标尺的读数平均值 \bar{n}_i ，用逐差法求出在增减四次拉力时钢丝的平均偏移量 Δn 。
- (4) 用卷尺（自备）测取夹紧组件和小方柱之间（必须是夹紧点起计）的钢丝长度 L 和反射镜至标尺的距离 D 。
- (5) 用短尺（自备）量取光杠杆短臂尖脚至发光平面镜转轴的连线的垂直距离 b 。
- (6) 用千分尺（自备）测取钢丝直径 d ，由于钢丝直径可能不均匀，应在上、中、下各部位进行测量，每位置在相互垂直的方向各测一次（要求不高时可免）。

六、数据处理

1、 测量钢丝的微小伸长量，记录表如下：

序号 i	砝码质量 m/kg	光标示值 n_i/cm			光标偏移量 $\Delta n = n_{i+4} - n_i / \text{cm}$	偏差 $ \delta(\Delta n) $
		增荷时	减荷时	平均值		
0						
1						
2						
3						
4					$\overline{\Delta n} =$	$\overline{\delta(\Delta n)} =$
5						
6						
7						

钢丝微小伸长量的放大量的测量结果为

$$\Delta n = (\text{ } \pm \text{ }) \text{ cm}$$

2、测量钢丝直径记录表 $d_0 = \text{ } \text{mm}$;

测量部位	上部		中部		下部		平均值
测量方向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	
D/mm							

3、依次测 L、D、b 值：

$$L = (\text{ } \pm \text{ }) \text{ m}$$

$$D = (\text{ } \pm \text{ }) \text{ m}$$

$$b = (\text{ } \pm \text{ }) \text{ m}$$

- 1) 计算钢丝的杨氏弹性模量 E。
- 2) 弹性模量 E 为一个间接测量量，推导其误差传递公式，计算其不确定度。
- 3) 写出弹性模量 E 的完整结果表示 $E \pm U_E$ 。

七、注意事项

- 1、注意保护物镜和目镜，与测量显微镜的要求相同。
- 2、调整仪器时，切记要用手托住望远镜的移动部分，然后再旋松锁紧手柄，以免望远镜沿立柱下滑与底座相撞。

- 3、各手轮与旋钮和可动部件如发生阻滞现象，应查明原因。在原因未查清前，切勿过分扭扳，以防损坏仪器。
- 4、加负荷时一定不可超过钢丝的弹性限度，否则上述计算公式就不成立。
- 5、被测钢丝长度调整好后，一定要用锁紧螺钉将钢丝紧固在钢丝夹头中，防止钢丝偏斜与滑长。
- 6、光杠杆，望远镜标尺调整好后，整个实验中防止位置变动。
- 7、保持被测钢丝在整个实验中处于垂直状态。
- 8、加拉力要轻柔，待钢丝不动时再观测数据。
- 9、光杠杆反射镜组件属于精密部件，且使用时摆放在中拖板上，未固定，注意不可跌落。
- 10、若已消除视差，但是观测标尺时眼睛仍应尽可能正对望远镜。
- 11、仪器使用和安装过程中，应避免碰撞，防止损坏油漆表面。