



# 南昌大学

## 2022 ~ 2023 学年春季学期《大学物理实验》报告

得 分	评阅人

题 目： 实验八 静态法测金属杨氏模量

学 院： 先进制造学院

专业班级： 智能制造工程 221 班

学生姓名： 朱紫华

学 号： 5908122030

指导老师： 全祖赐老师

二〇二三年六月制

# 一、实验目的：

- 1.掌握不同长度测量器具的选择和使用，掌握光杠杆测微原理和调节方法；
- 2.掌握用拉伸法测定金属丝的杨氏模量；
- 3.学习误差分析，掌握误差均分原理，学习数据处理及测量最终结果的表述，掌握用作图法、逐差法处理数据。

# 二、实验原理：

在外力作用下，固体材料所发生的形状变化称之为形变。形变分为弹性形变和范性形变。如果加在物体上的外力停止作用后，物体能完全恢复原状的形变称之为弹性形变；如果加在物体上的外力停止作用后，物体不能完全恢复原状的形变称之为范性形变。

在许多种不同的形变中，伸长（或缩短）形变是最简单、最普遍的形变之一。本实验是针对连续、均匀、各向同性的材料做成的丝，进行拉伸试验。设细丝的原长为  $L$ ，横截面积为  $S$ ，两端受拉力(或压力) $F$  后，物体伸长(或缩短) $\Delta L$ 。单位长度的伸长量  $\Delta L/L$  称为应变，单位横截面积所承受的力  $F/S$  称为应力。根据胡克定律，在弹性限度内，应力与应变成正比关系，即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L} \tag{3-1}$$

式中比例系数  $E$  称为杨氏弹性模量，简称杨氏模量。实验证明，杨氏模量与外力  $F$ 、物体的长度  $L$  和截面积  $S$  的大小无关，而只决定于物体的材料。杨氏模量是表征固体材料性质的一个重要物理量，是选定机械构件材料的依据之一。

由 3-1 式得

$$E = \frac{FL}{S \cdot \Delta L} \tag{3-2}$$

在国际单位制(SI)中， $E$  的单位为  $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ （或  $\text{Pa}$ ）。实验中只要测出  $F$ 、 $L$ 、 $S$  和  $\Delta L$ ，则就能算出细丝的杨氏模量。通常  $\Delta L$  量值很小，直接测量很难得出准确数值，故实验中，要用光杠杆将  $\Delta L$  予以放大，以便于测量。几种常用材料的杨氏弹性模量  $E$  值见表 2-1。

材料名称	$E$ ( $\times 10^{11}\text{Pa}$ )
钢	2.0
铸铁	1.15-1.60
铜及其合金	1.0
铝及硬铝	0.7

应当指出，3-1 只适用于材料弹性形变的情况，如果超出弹性限度，应变与应力的关系将是非线性的，图 3-1 表示合金钢和硬铝等材料的应力-应变曲线。

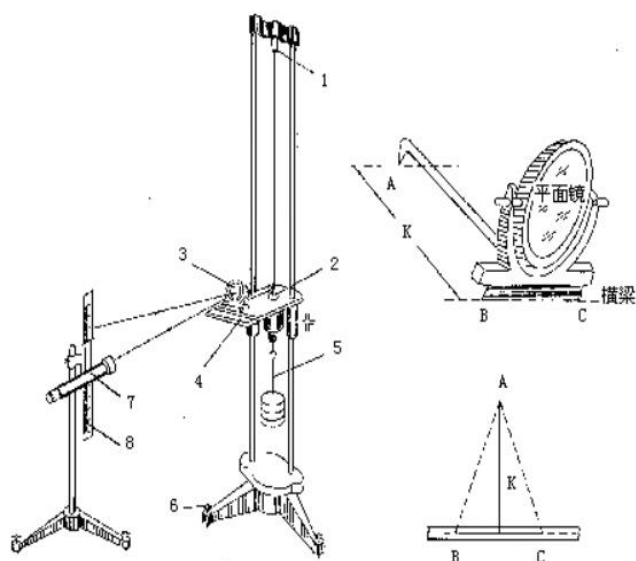


图 3-2 杨氏模量仪和光杠杆

- |        |          |
|--------|----------|
| 1—横梁夹子 | 2—夹子     |
| 3—光杠杆  | 4—平台     |
| 5—砝码托  | 6—水平调节螺旋 |
| 7—望远镜  | 8—标尺     |

杨氏模量仪如图 3-2 右边所示。在一较重的三脚底座上固定有两根立柱，在两立柱上装有可沿立柱上、下移动的横梁和平台，被测金属丝的上端夹紧在横梁夹子 1 中，下端夹紧在夹子 2 中，夹子 2 能在平台 4 的圆孔内上下自由运动。其下面有砝码托 5，用以放置拉伸金属丝的砝码，当砝码托上增加或减少砝码时，金属丝将伸长或缩短  $\Delta L$ ，夹子 2 也跟着下降或上升  $\Delta L$ ，光杠杆 3 放在平台 4 上。

光杠杆是利用放大法测量微小长度变化的常用仪器，有很高的灵敏度。结构如图 3-2(右上)所示，平面镜垂直装置在“T”形架上，“T”形架由构成等腰三角形的三个足尖 A、B、C 支撑，A 足到 B、C 两足之间的垂直距离 K 可以调节，如图 3-2(右下)所示。测量时光杠杆的放置如图 3-3 所示，将两前足 B、C 放在固定平台 4 前沿槽内，后足尖 A 搁在夹子 2 上，用图 3-2 左边的望远镜 7 及标尺 8 测量平面镜的角偏移就能求出金属丝的伸长量。其原理如图 3-5 所示，金属丝没有伸长时，平面镜垂直于平台，其法线为水平直线，望远镜水平地对准平面镜，从标尺  $r_0$  处发出的光线经平面镜反射进入望远镜中，并与望远镜中的叉丝横线对准。当砝码托上加码后，金属丝受力而伸长  $\Delta L$ ，夹子 2 跟着向下移动  $\Delta L$ ，光杠杆足尖 A 也跟着向下移动  $\Delta L$ 。这样，平面镜将以 BC 为轴，K 为半径转过一个角度  $\alpha$ ，镜面的法线也由水平位置转过  $\alpha$  角。由光的反射定律可知，这时从标尺  $r_1$  处发出的光线(与水平线夹角为  $2\alpha$ )经平面镜反射进入望远镜中，并与叉丝横线对准，望远镜中两次读数之差  $l = |r_1 - r_0|$ ，由图可得：

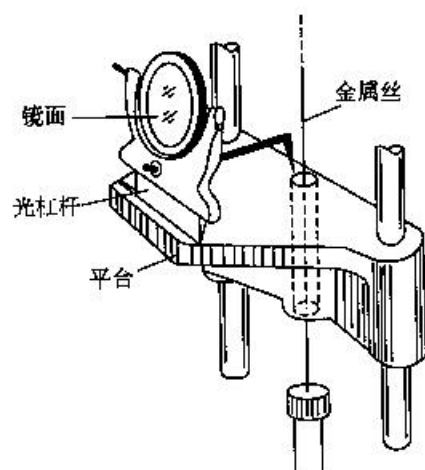


图 3-3 光杠杆的放置

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta L}{K} \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{l}{D}$$

$D$  为标尺与平面镜之间的距离。实际测量过程中,  $\alpha$  很小, 所以

$$\alpha = \frac{\Delta L}{K} \quad 2\alpha = \frac{l}{D}$$

消去  $\alpha$ , 得

$$\Delta L = \frac{Kl}{2D} \quad (3-3)$$

这样, 通过平面镜的旋转和反射光线的变化就把微小位移  $\Delta L$  转化为容易观测的大位移  $l$ , 这与机械杠杆类似,

所以把这种装置称为光杠杆。

将 3-3 式代入 3-2 式, 并利用  $S = \pi \rho^2 / 4$  得

$$E = \frac{2DFL}{SKl} = \frac{8DFL}{\pi \rho^2 Kl} \quad (3-4)$$

本实验就是根据 3-4 式求出钢丝的杨氏模量  $E$ 。3-4 式即为利用光杠杆原理测定杨氏模量的关系式。

读数望远镜及标尺装置如图 3-4 所示。望远镜的构造如图 3-5 所示, 主要由物镜、内调焦透镜、目镜和叉丝组成。物镜将物体发出的光线会聚成像, 叉丝用作读数的标准, 目镜用来观察像和叉丝, 并对像和叉丝起放大作用。调节螺旋  $A$ , 改变目镜与叉丝之间距离, 可使叉丝成像清晰。调节安装在望远镜筒侧面的螺旋  $B$ , 改变内调焦透镜与物镜之间的距离, 可使标尺成像清晰。

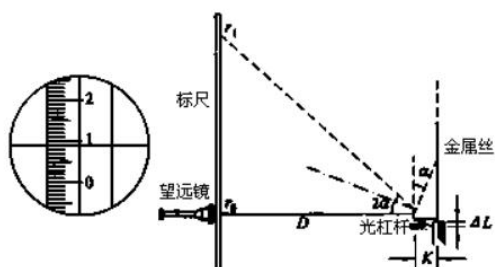


图 3-4 目镜观察像和光杠杆测量微小伸长的原理

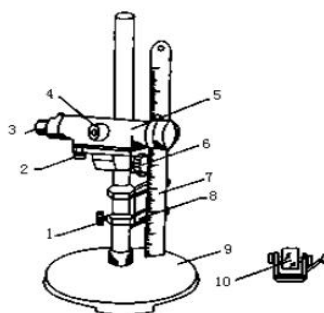


图 3-5

- 1—标尺支架锁紧旋钮
- 2—仰角微调螺钉
- 3—目镜旋钮
- 4—内调焦手轮
- 5—望远镜
- 6—望远镜锁紧手柄
- 7—毫米钢直尺
- 8—毫米尺支架
- 9—底座
- 10—光杠杆反射镜

### 三、实验仪器:

杨氏模量仪, 光杠杆, 读数望远镜, 螺旋测微计, 卷尺, 标尺, 钢丝, 大砝码一套(每个砝码质量为 1.0kg)。

## 四、实验步骤和内容:

(1)把光杠杆放在纸上,使刀片  $BC$  和足尖  $A$  在纸上压出印痕,用细铅笔作  $A$  到  $BC$  的垂线,用卷尺量出  $A$  到  $BC$  的距离  $K$ ;

(2)观察杨氏模量仪平台上所附的水准仪,仔细调节杨氏模量仪底座上的水平调节螺旋 6,使平台处于水平状态(即令水准仪上的气泡处于正中央),以免夹子 2 在下降(或上升)时与外框发生摩擦,保证砝码的重力完全用来拉伸钢丝。然后在砝码托上加  $1.0\text{kg}$  砝码,将钢丝拉直(此重量不计在外力  $F$  内,认为  $F = 0$ ),用卷尺测出横梁夹子 1 上的紧固螺钉的下边缘与夹子 2 的上表面之间的钢丝长度,这就是钢丝的原长度  $L$ ;再用螺旋测微计在钢丝的不同部位、不同方向测量 5 次直径  $d$  求其平均值和截面积  $S$ 。

(3)把光杠杆放在平台上,转动平面镜,用目测初调节,使镜面与平台垂直。

(4)移动望远镜,使标尺与光杠杆平面镜之间的距离约为  $110\text{cm}$ 。

(5)调节望远镜,使其光轴成水平状态,并使镜筒与平面镜等高。然后仔细调节望远镜和平面镜的方向,使得标尺经过平面镜反射后的像刚好处于望远镜的视场中。这一点初学者不易做到,下面介绍一种简便易行的调节方法:可令眼在望远镜目镜附近,不经过望远镜而直接观察平面镜,如在平面镜内看不到标尺的像,可稍微转动一下平面镜,使镜面法线严格成水平状态,倘仍观察不到,可将望远镜镜架左右稍微移动一下,总之应先用肉眼看到标尺的像,然后通过望远镜观察,一般均能看到标尺的像。此时像可能不太清晰,无法读数,可调节望远镜筒上的螺旋  $B$ ,待标尺上的刻度和数字均很清晰后再螺旋  $A$ ,使叉丝的像也很清晰,这时标尺的像可能又较模糊,应反复仔细地调节螺旋  $A$ 、 $B$ ,使标尺和叉丝的像同时清晰。

(6)为了保证标尺的像被平面镜水平地反射到望远镜中,应调整望远镜下面的螺旋以调节望远镜筒的倾角,使镜筒处于水平状态。必要时还应稍微转动一下小平面镜,使落在横叉丝上的标尺像的刻度  $r_0$ ,大体等于望远镜镜筒处的标尺刻度。

(7)为了消除弹性形变的滞后效应给测量带来的影响,故取相同荷重下增重和减重时两标尺读数,并取它们的平均值。为了拉直钢丝,先在砝码盘上放  $1\sim 2\text{kg}$  砝码,然后逐渐增加砝码托上的砝码(加减砝码时应轻放轻取),每次增加  $1\text{kg}$ ,共加 8 次,记下望远镜中横叉丝处标尺像的刻度数  $r_0, r_1 \dots r_7$ ,共是 8 个读数;然后每次减去  $1\text{kg}$  砝码,记下对应的刻度数

$r_7', r_6' \dots r_0'$ , 求出两组对应读数的平均值  $\bar{r}_0, \bar{r}_1 \dots \bar{r}_7$ , 共得 8 个数据。

(8)为了充分利用实验数据,减小偶然误差,在函数间成线性关系的情况下,作等间隔测量,得一测量次数为偶数的测量列,为使每个测量值都起作用,将它们前后分成两组, $\bar{r}_0, \bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3$  为一组,  $\bar{r}_4, \bar{r}_5, \bar{r}_6, \bar{r}_7$  为一组, 求出  $l_0 = \bar{r}_4 - \bar{r}_0, l_1 = \bar{r}_5 - \bar{r}_1, l_2 = \bar{r}_6 - \bar{r}_2, l_3 = \bar{r}_7 - \bar{r}_3$ , 它们是拉力变化  $F = 4 \times 1 = 4\text{kg}$  时相应的标尺读数之差, 求出它们的平均值。这种分组相减的方法叫做逐差法,在数据处理中被广泛应用。

(9)用卷尺测出平面镜与标尺之间的距离  $D$ , 测量时应注意使卷尺保持伸直水平状态。

五、实验数据与处理：

1.计算钢丝弹性模量

钢丝长度  $L=77.10 \pm 0.12\text{cm}$ ，平面镜到标尺镜面距离  $D=89.25 \pm 0.12\text{cm}$ ，光杠杆臂长  $b=4.214\text{cm}$

钢丝直径 d 测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径 $d/\text{mm}$	0.735	0.740	0.761	0.750	0.742	0.742

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^5 D_i}{5} = \frac{0.735 + 0.740 + 0.761 + 0.750 + 0.742}{5} \text{mm} = 0.746\text{mm}$$

增加/减少砝码标尺读数(cm)

所加砝码数	0	1	2	3	4	5	6	7
增加后	4.00	4.34	4.67	5.01	5.37	5.73	6.09	6.34
减少后	4.20	4.53	4.89	5.22	5.56	5.88	6.22	6.54
平均值	4.10	4.44	4.78	5.12	4.47	5.81	6.16	6.49

用逐差法求标尺读数改变量  $\Delta L(\text{cm})$

i	1	2	3	4
$\Delta L_i = \frac{n_{i+4} - n_i}{4} (\text{cm})$	1.37	1.37	1.38	1.37

$$\Delta \bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta L_i}{4} = \frac{1.37 + 1.37 + 1.38 + 1.37}{4} = 1.37\text{cm}$$

$$E = \frac{16FDL}{\pi d^2 b \Delta L} = \frac{16 \times 1 \times 9.8 \times 89.25 \times 10^{-2} \times 77.1 \times 10^{-2}}{3.14 \times (0.746 \times 10^{-3})^2 \times 4.214 \times 10^{-2} \times 1.37 \times 10^{-2}} = 1.671 \times 10^{11} \text{Pa}$$

2.计算钢丝弹性模量的不确定度

L、D、b 只测量一次，只有 B 类不确定度，估计其误差限为

$$\Delta L=0.12\text{cm}, \Delta D=0.12\text{cm}, \Delta b=0.04\text{cm}, \Delta d=0.004\text{cm}, \Delta F=0.005\text{Kg} \times 10\text{N/Kg}=0.005\text{N}$$

光杠杆不确定度：  $\Delta_{\Delta n} = \frac{\sum_{i=1}^4 (\Delta n_i - \Delta \bar{n})}{4} = \frac{1.38 - 1.37}{4} = 0.0025$

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\Delta n}}{\Delta n}\right)^2}$$


$$= \sqrt{\left(\frac{0.005}{10}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{771}\right)^2 + \left(\frac{0.12}{89.25}\right)^2 + \left(\frac{0.04}{7.46}\right)^2 + \left(\frac{0.0025}{1.37}\right)^2}$$

$$= 0.03608$$

$$\Delta E = 0.03608 \times 1.071 \times 10^{11} = 0.0386 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\text{测量结果为 } E = (1.671 \pm 0.0386) \times 10^{11} \text{ Pa}, \frac{\Delta E}{E} = 3.608\%$$

## 六、附上原始数据:



# 南昌大学实验报告

学生姓名: \_\_\_\_\_ 学号: \_\_\_\_\_ 专业班级: \_\_\_\_\_

实验类型: ☐ 验证 ☐ 综合 ☐ 设计 ☐ 创新 实验日期: \_\_\_\_\_ 实验成绩: \_\_\_\_\_

钢丝直径d测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径 d/mm	0.735	0.740	0.761	0.750	0.742	0.742

增加/减少砝码标称读数

所加砝码	0	1	2	3	4	5	6	7
增加后	4.00	4.34	4.67	5.01	5.37	5.73	6.09	6.34
减少后	4.20	4.53	4.89	5.22	5.56	5.88	6.22	6.54
平均值	4.10	4.44	4.78	5.12	5.47	5.81	6.16	6.49

用逐差法求标尺读数变量ΔL(mm)

i	1	2	3	4
ΔL <sub>i=4</sub> <sup>平均值</sup>	1.37	1.37	1.38	1.37

测量结果 {  $E = (1.671 \pm 0.0386) \times 10^{11} \text{ Pa}$   
 $\frac{\Delta E}{E} = 3.608\%$

**全祖赐**

2023-5-20

刘小头 5908122029

朱紫华 5908122030

吴锦瑞 5908122011

彭锋 5908122013

## 七、误差分析：

通过查阅相关资料可以得出，钢的弹性模量约为  $2.00 \times 10^{11} \sim 2.20 \times 10^{11} \text{ Pa}$  可以看出实验结果的误差较小，由于实验中通过光杠杆观察标尺像读数时轻微扰动，就会使标尺像晃动，影响了读数的准确性。同时由于未能完全消除视差影响，在读取标尺读数时，很可能会出现粗大误差，为了减少误差，应该增加测量次数，获取平均值。

## 八、实验总结：

本次实验中测量钢丝长度  $L$  时，由于钢丝上下端装有紧固夹头，同时钢丝处于竖直拉长状态，给测量带来了很大不便。我认为可以考虑将钢卷尺和钢丝连在一起，使得钢卷尺尽量靠近细线，需要读数时，将钢卷尺拉出，大大降低操作难度，可以提高测量精度。