

## 用拉伸法测量钢丝的杨氏模量

杨氏弹性模量（简称杨氏模量）是表征刚性材料在弹性限度内材料抗压或拉伸性能的物理量，它仅与材料的结构、化学成分及其加工制造方法有关,与样品的尺寸、形状和外加的力无关，是工程技术中常用的重要参数。

### 待研究的问题

在材料弹性限度内，应力  $F/S$ （即法向力与力所作用的面积之比）和应变  $\Delta L/L$ （即长度或尺寸的变化与原来的长度或尺寸之比）之比是一个常数，即

$$E = (F / S) / (\Delta L / L) = FL / S\Delta L \quad (1)$$

$E$  称为材料的杨氏模量，本实验研究如何用拉伸法测量杨氏模量。

### 实验原理

根据式（1）可以计算出材料的杨氏模量  $E$ 。因为刚性材料在外力拉伸下一般伸长量  $\Delta L$  很小，所以采用光学放大法，将其放大。本实验采用光杠杆放大法测量  $\Delta L$ 。光杠杆放大原理如图 1 所示，它是一个带有可旋转平面镜的支架，平面镜的镜面基本垂直于刀口和足尖所决定的平面，其后足即杠杆的支脚与被测物接触。当金属丝受到向下的拉力  $F$  作用时，杠杆支脚随被测物下降微小距离  $\Delta L$  时，平面镜镜面的法线转过一个  $\theta$  角，此时从望远镜中看到的标尺刻度是标尺经过平面镜反射所成的像，从尺子发出的入射线和反射线的夹角为  $2\theta$ ，如图 2 所示，当  $\theta$  很小时，

$$\theta \approx \tan \theta = \Delta L / l \quad (2)$$

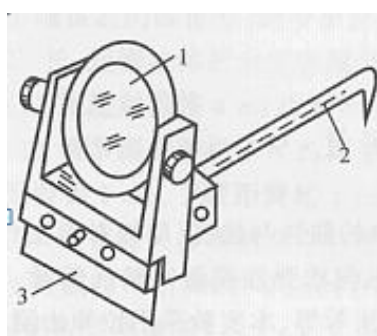


图 1 光杠杆结构图

1.平面镜；2.杠杆支脚；3.刀口

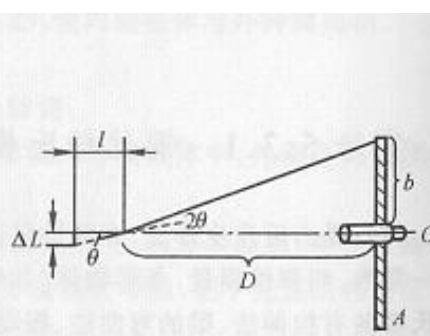


图 2 光杠杆原理图

式中  $l$  是支脚尖到刀口的垂直距离(也叫光杠杆的臂长)。由图 2 可知

$$\tan 2\theta \approx 2\theta = \frac{b}{D} \quad (3)$$

式中  $D$  为镜面到标尺的距离， $b$  为在拉力  $F$  作用下标尺读数的改变。

由 (2) 和 (3) 两式得到

$$\frac{\Delta L}{l} = \frac{b}{2D}$$

由此得

$$\Delta L = \frac{bl}{2D} \quad (4)$$

由 (1) 和 (4) 两式得

$$E = \frac{2DLF}{Slb} \quad (5)$$

式中  $2D/l$  叫做光杠杆的放大倍数。测出  $D$ 、 $L$ 、 $l$  和金属丝直径  $d$  ( $S = \pi d^2 / 4$ )

及一系列的  $F$  与  $b$  之后，由式 (5) 即可计算出金属丝的杨氏模量  $E$ 。

## 实验装置

杨氏模量测量仪实验装置如图 3 所示。待测金属丝长约 1m，其上端夹紧悬挂于支架顶部，穿过中空的圆柱形管制器后，下端被管制器底部夹紧，支架中部有一平台  $F$ ，平台中一圆孔，管制器能在孔中上下自由移动，砝码  $P$  加在管制器下的砝码托上，金属丝因受到拉力而伸长。

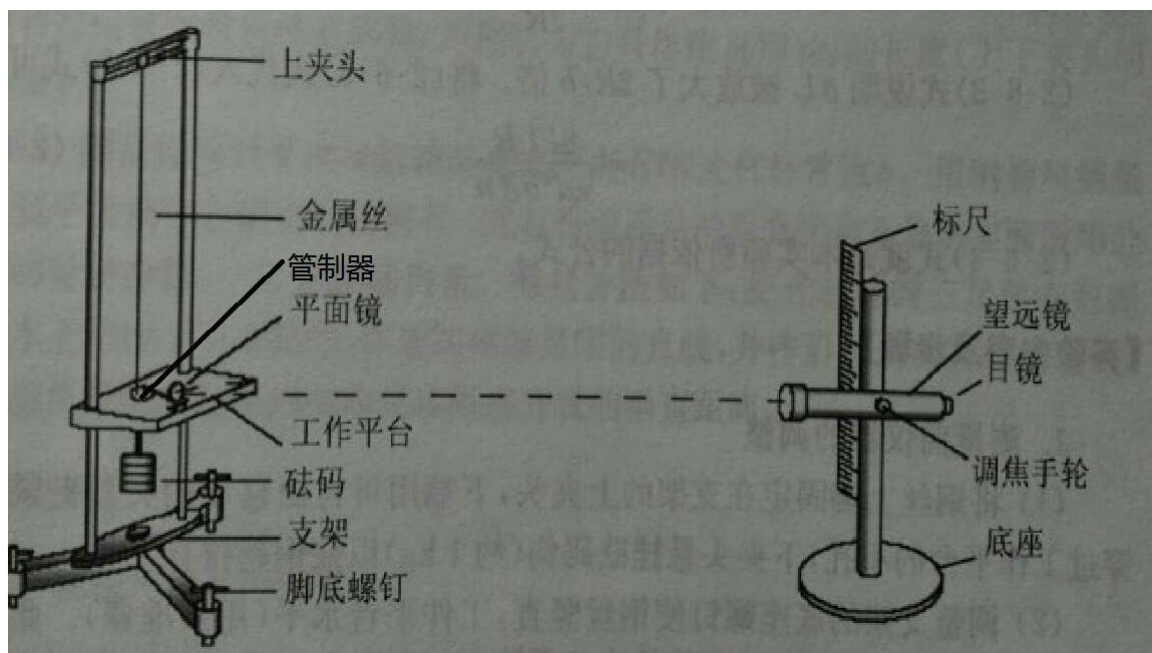


图 3 杨氏模量测量仪实验装置

## 实验要求

## 1.调节仪器

(1) 调节支架底部螺丝, 确保平台的水平; 调节平台的上下位置, 使管制器顶部与平台的上表面共面。

(2) 光杠杆的调节。光杠杆和镜尺组是测量金属丝伸长量  $\Delta L$  的关键部件。调节光杠杆处于正常工作状态。

(3) 镜尺组的调节。调节望远镜、直尺和光杠杆三者之间的相对位置, 调节望远镜目镜及物镜焦距, 使标尺像清晰, 见图 3。

## 2.测量

(1) 砝码托的质量为  $m_0$ , 记录望远镜中标尺的初始读数  $r_0$  作为钢丝的起始长度。

(2) 在砝码托上逐次加相同质量的砝码, 记录每增加一个砝码时望远镜中标尺上的读数  $r_i$ , 然后再将砝码逐次减去, 记下对应的读数  $r'_i$ , 取相同砝码的两组数据的平均值  $\bar{r}_i$ 。

(3) 选用合适的量具测量金属丝的长度  $L$ , 平面镜与标尺之间的距离  $D$ , 光杠杆的臂长  $l$ , 金属丝直径  $d$ 。

## 3.数据处理

(1) 用最小二乘法对数据进行线性拟合, 求出杨氏模量。

(2) 作图法

把式 (5) 改写为

$$r_i = 2DLF_i / SIE = MF_i \quad (6)$$

其中  $M = 2DL / (SIE)$ , 在一定的实验条件下,  $M$  是一个常量, 若以  $\bar{r}_i$  为纵坐标,  $F_i$  为横坐标作图应得一直线, 其斜率为  $M$ 。由图上得到  $M$  的数据后可由式 (7) 计算杨氏模量

$$E = 2DL / (SIM)$$

(7)

## 思考题

1. 利用光杠杆把测微小长度  $\Delta L$  变成测  $b$ , 光杠杆的放大率为  $2D/L$ , 根据此式能否以增加  $D$  减小  $l$  来提高放大率, 这样做有无好处? 有无限度? 应怎样考虑这个问题?

2. 实验中, 各个长度量用不同的仪器来测量是怎样考虑的, 为什么?

### 参考资料

[1] 吴泳华, 霍剑青, 浦其荣. 大学物理实验. 北京: 高等教育出版社, 2005.11

[2] 胡成华 大学物理杂志 2006.3

[3] 李义宝. 大学物理实验. 合肥 中国科学技术出版社 2011.09

[4] 刘书华 宋建民. 物理实验教程(第2版). 北京 清华大学出版社 2014.02

## 附件 1

### 激光杠杆及放大作用

用半导体激光器作光杠杆的方法有两种

第一种方法是直接将前端装有十字形光阑的激光器取代原来的反射平面镜置于杨氏模量的管制器上, 十字光斑直接照射到标尺上读数, 该方法的最大好处是直接利用光杠杆原理, 放大倍数  $D/b$  可通过改变  $D$  而任意调节, 简化实验装置。

第二种方法是用前端装有十字形光阑的激光器取代原实验装置上的望远镜, 将十字光斑经平面镜反射后照射到标尺上而读数。这种方法原理清晰, 仪器结构简单, 操作方便, 放大倍数容易提高。