

实验 4.2.2 拉伸法测量金属丝的杨氏模量

力作用于物体所引起的效果之一是使受力物体发生形变，物体的形变可分为弹性形变和塑性形变。固体材料的弹性形变又可分为纵向、切变、扭转、弯曲，对于纵向弹性形变可以引入杨氏模量来描述材料抵抗形变的能力。杨氏模量是表征固体材料性质的一个重要的物理量，是工程设计上选用材料时常需涉及的重要参数之一，一般只与材料的性质和温度有关，与其几何形状无关。

实验测定杨氏模量的方法很多，如拉伸法、弯曲法和振动法（前两种属静态法，后一种属动态法）。本实验采用光杠杆法测量微小长度的变化，进而测定金属丝的杨氏模量。

【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. 学会用逐差法处理实验数据。

【实验仪器】

实验架、光杠杆组件、砝码、长度测量工具（包括卷尺、游标卡尺、螺旋测微器）等。

【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 ΔL ，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。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

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4-36)$$

或

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad (4-37)$$

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（4-37）可知：

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} \quad (4-38)$$

对于直径为 d 的圆柱形金属丝，其杨氏模量为：

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{mg / \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right)}{\Delta L/L} = \frac{4mgL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (4-39)$$

式中， L （金属丝原长）可由卷尺测量， d （金属丝直径）可用螺旋测微器测量， F （外力）可由实验中砝码的质量 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）。本实验采用光杠杆的光学放大法精确测量金属丝微小伸长量 ΔL 。

2. 光杠杆法原理

光杠杆法主要是利用平面镜转动，将微小角位移放大成较大的线位移后进行测量。仪器利用光杠杆组件实现放大测量功能。光杠杆组件包括：反射镜、与反射镜连动的动足、标尺等。其放大原理如图 4-10 所示。

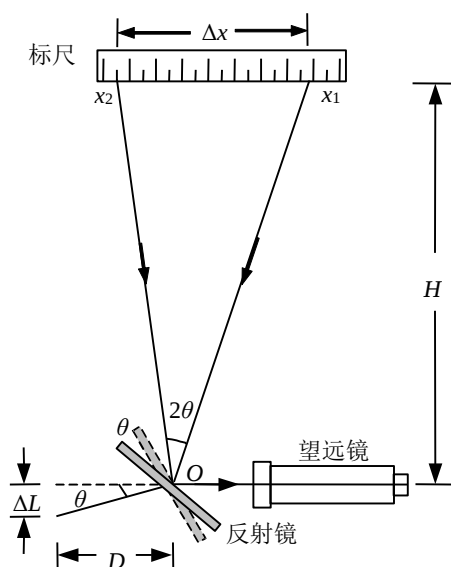


图 4-10 光杠杆放大原理图

开始时，望远镜对齐反射镜中心位置，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。动足足尖放置在夹紧金属丝夹头的表面上，当金属丝受力后，产生微小伸长 ΔL ，与反射镜连动的动足足尖下降，从而带动反射镜转动相应的角度 θ 。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 2θ ，此时望远镜中看到标尺刻度为 x_2 。

实验中， $D \gg \Delta L$ ，所以 θ 甚至 2θ 会很小。从图 4-10 的几何关系中我们可以看出， 2θ 很小时，有

$$\Delta L \approx D \cdot \theta, \quad \Delta x \approx H \cdot 2\theta \quad (4-40)$$

故有

$$\Delta x = \frac{2H}{D} \cdot \Delta L \quad (4-41)$$

其中， $2H/D$ 称作光杠杆的放大倍数， H 是反射镜中心与标尺的垂直距离。仪器中的 $H \gg D$ ，这样便能将微小位移 ΔL 放大成较大的容易测量的位移 Δx 。将式（4-41）代入式（4-39），得到

$$E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 D} \cdot \frac{1}{\Delta x} \quad (4-42)$$

通过测量式（4-42）右边的各参量得到被测金属丝的杨氏模量，式（4-42）中各物理量的单位取国际单位（SI制）， E 的单位为 N/m^2 。

【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动。

(1) 将杨氏模量实验架放置于台面上，调节三角底座使光杠杆台面水平。将金属丝上端用上夹头固定并锁死，下端穿过光杠杆台的孔，与下夹头连接并锁死，保证下夹头顶面与光杠杆台平面在同一水平面。

(2) 将标尺背光源电源插上，使背光源发光，确保标尺刻度清晰可见。

2. 测量 D 、 L 、 H 、 d

(1) 旋松光杠杆动足上的锁紧螺钉，调节光杠杆动足至适当长度（以动足尖能尽量贴近但不贴靠到金属丝，同时两前足能置于台板上的同一凹槽中为宜），用三足尖在平板纸上压三个浅浅的痕迹，通过画细线的方式画出两前足连线的高（即光杠杆常数），然后用游标卡尺测量光杠杆常数的长度 D ，将光杠杆置于台板上，并使动足尖贴近金属丝，且动足尖应在金属丝正前方。

(2) 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，另一端对齐下夹头的上表面。

(3) 用钢卷尺测量反射镜中心到标尺的垂直距离 H ，钢卷尺的始端放在标尺板上表面，另一端对齐反射镜中心。

(4) 将以上实验数据记入表 4-5 中。

(5) 用螺旋测微器测量不同位置的金属丝直径 d_i ，将实验数据记入表 4-6 中。

3. 调节望远镜

(1) 将望远镜移近并正对实验架台板（望远镜前沿与平台板边缘的距离在 0~30 cm 范围内均可）。调节望远镜使其正对反射镜中心，然后仔细调节反射镜的角度，直到从望远镜中能看到标尺背光源发出的明亮的光。

(2) 调节目镜视度调节手轮，使十字分划线清晰可见。调节调焦手轮，使视野中标尺的像清晰可见。转动望远镜镜身，使十字分划线横线与标尺刻度线平行后再次调节调焦手轮，使视野中标尺的像清晰可见。

(3) 再次仔细调节反射镜的角度，使十字分划线横线对齐 ≤ 2.0 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。

4. 测量不同质量砝码时，标尺刻度 x_i

注：下面步骤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。

(1) 通过光杠杆观察记录此时对齐十字分划线横线的刻度值 x_1 ，取 1 kg 砝码，小心放到砝码盘上，读取并记录十字分划线的刻度值 x_1^+ ，继续放入砝码，每放上一个砝码记录一次刻度值，直至将第七块砝码放到砝码盘上。

(2) 将第七块砝码小心的从砝码盘上取下，读取并记录此时的十字分划线刻度 x_7^- ，继续取下砝码，每取下一个砝码记录一次刻度值，至全部取下，将以上实验数据记入表 4-7 中。

(3) 实验完成后，取下砝码盘和金属丝，并妥善保存。

5. 数据处理

(1) 采用逐差法，由式（4-42）求出杨氏模量 E 。

(2) 作 $x_i - m$ 图，计算杨氏模量 E 。

表 4-5 一次性测量数据

主要仪器：

精度：

台号：

L / mm	H / mm	D / mm

表 4-6 金属丝直径测量数据

主要仪器：

精度：

零差：

台号：

序号 i	1	2	3	4	5	6	平均值
直径 d_i / mm							

表 4-7 加減力时标尺刻度与对应拉力数据

主要仪器：

精度：

台号：

序号 i	0	1	2	3	4	5	6	7
砝码质量 m_i / kg								
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 $x_i = (x_i^+ + x_i^-) / 2$								

【注意事项】

1. 严禁将手放到悬挂的砝码盘下方，以免出现意外。
2. 该实验是测量微小量，实验时应避免实验台震动。
3. 严禁改变限位螺母位置，避免最大拉力限制功能失效。
4. 光学零件表面应使用软毛刷、镜头纸擦拭，切勿用手指触摸。
5. 光学零件属易碎件，请勿用硬物触碰或从高处跌落。
6. 严禁使用望远镜观察强光源，如太阳等，避免人眼灼伤。

【仪器介绍】

仪器如图 4-11 所示，主要由实验架、砝码、长度测量工具（包括卷尺、游标卡尺、螺旋测微器）等组成。



图 4-11 近距转镜杨氏模量仪

1. 实验架

实验架是待测金属丝杨氏模量测量的主要平台。金属丝一端穿过横梁被上夹头夹紧，另一端悬挂一个 3 kg 的砝码盘，可在砝码盘上放置 1-7 个 1 kg 砝码，加力简单、直观、稳定。

2. 光杠杆组件

光杠杆组件包括光杠杆、标尺、望远镜，光杠杆上有反射镜和与反射镜连动的动足等结构。光杠杆结构示意图如图 4-12 所示：

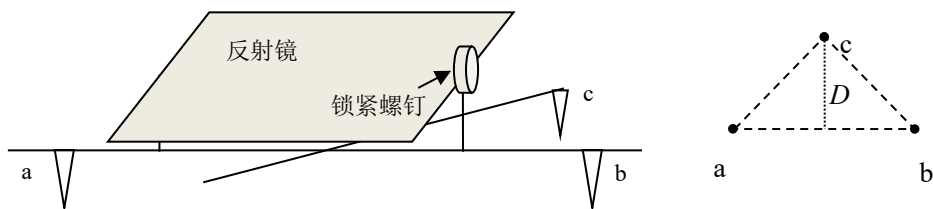


图 4-12 光杠杆结构示意图

图 4-12 中，a、b、c 分别为三个尖状足，a、b 为前足，c 为后足（或称动足），实验

中 a 、 b 不动， c 随着金属丝伸长或缩短而向下或向上移动，锁紧螺钉用于固定反射镜的角度。三个足构成一个三角形，两前足连线的高 D 称为光杠杆常数，可根据需求改变 D 的大小。

望远镜放大倍数 12 倍，最近视距 0.3 m，含有目镜十字分划线（纵线和横线），镜身可 360° 转动。通过望远镜架可调升降、水平转动及俯仰倾角。望远镜结构如图 4-13 所示。

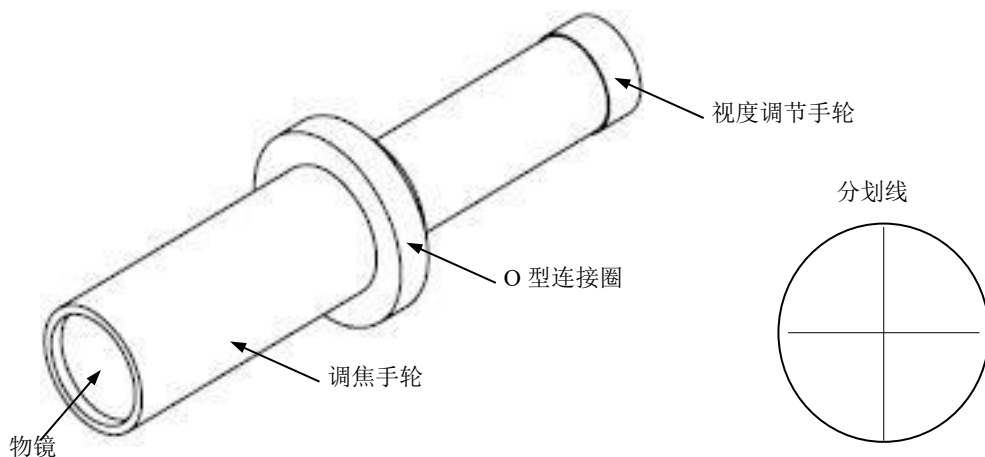


图 4-13 望远镜示意图