

金属丝杨氏弹性模量的测定

杨氏模量是表征固态材料抵抗弹性形变能力的重要力学参量，在机械设计及材料性能研究中必须给予考虑。杨氏模量测量方法有静态测量法、共振法、脉冲波传输法等，本实验采用静态拉伸法。按照光杠杆放大原理组成的测量微小长度变化的装置，也被其他测量广泛地应用。实验中的仪器结构、实验方法、数据处理、误差分析等涉及内容较广，能使学生在得到全面的训练。

【实验目的】

1. 学习静态拉伸法测金属丝的杨氏模量。
2. 掌握用光杠杆法测量微小长度变化的原理和方法。
3. 学习利用有效的多次测量、及相应数据处理来减小误差的方法。

【实验仪器】

杨氏模量测量仪，光杠杆，望远镜尺组，米尺，游标卡尺，螺旋测微计。

【实验原理】

当外力作用于固体时，可使之发生形变。若在一定限度内，外力停止作用后，物体能恢复原来的形状，此类形变称为弹性形变，而固体能恢复原状的性质称为弹性。固体的弹性是组成固体的微粒之间相互作用的结果。

对如图 26.1 所示的长度、横截面积分别为 L 和 S 的一段粗细均匀的金属丝，沿长度方向施以拉力 F ，使金属丝发生形变，伸长量为 ΔL 。金属丝单位截面所受的作用力 F/S 称为应力；单位长度的伸长量 $\Delta L/L$ 称为应变。根据胡克定律，在弹性限度内应力与应变成正比，即： $F/S \propto \Delta L/L$ ，写成等式为：

$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta L}{L} \quad (26.1)$$

式中，比例系数 Y 为金属丝的杨氏模量，单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ，则

$$Y = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{FL}{S\Delta L} \quad (26.2)$$

Y 取决于材料的性质，与其长度和截面面积无关。

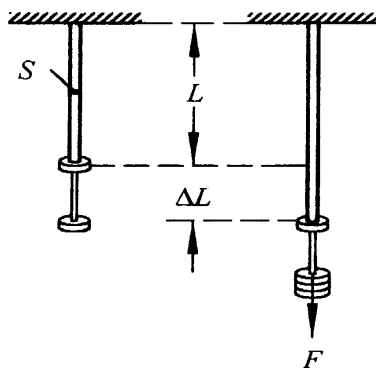


图 26.1 静态拉伸法示意图

若金属丝的横截面是直径为 d 的圆，则面积为 $\pi d^2/4$ ，因此其杨氏模量可写成：

$$Y = \frac{4FL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (26.3)$$

式中， F ， L ， d 均易于测量，而金属丝的伸长量 ΔL 很小，难以直接准确测量，本实验采用光杠杆法进行测量。

实验所用的杨氏模量测量仪，如图 26.2 所示。仪器底部是一个三角架，其上有两立柱，架脚上有调节螺丝，用于调整立柱的铅直。待测金属丝的上端被夹紧固定于立柱上端的横梁中间。立柱上有可沿柱移动的平台 C，其上有一孔洞，一夹紧金属丝下端的夹子穿过该孔，并可上下移动，夹子下端接一砝码托。光杠杆是由一平面反射镜及三足支架构成，如图 26.3 所示。望远镜尺组由望远镜、标尺及支架组成。

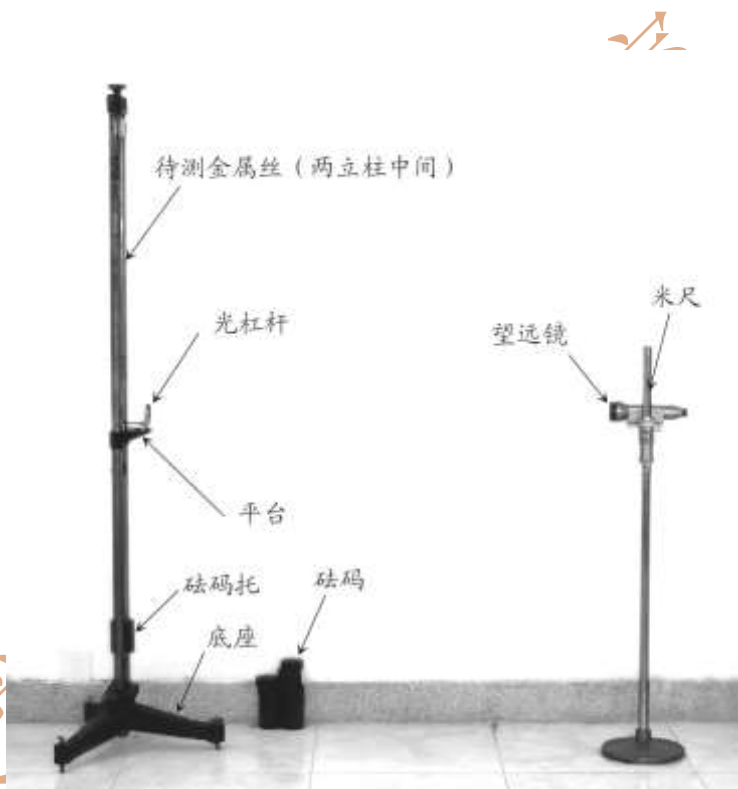


图 26.2 杨氏模量测量系统

使用时，置望远镜尺组距光杠杆反射镜面 $1.5 \sim 2\text{m}$ 处，使望远镜对准反射镜，从望远镜中能看到米尺在反射镜中的像。测量时，以望远镜分划线为准线，读出米尺的刻度值，记为 R_0 。将砝码置于砝码托上时，金属丝被拉长 ΔL ，使置于平台 C 孔中的夹子上的光杠杆后足随之下降，使镜面后仰 α_i 角。根据几何光学，此时米尺的刻度值 R 经平面镜反射进入望远镜，对齐了分划线，如图 26.4 所示，而入、反射光线的夹角为 $2\alpha_i$ ，有：

$$\tan 2\alpha_i = \frac{R_i - R_0}{D} = \frac{H_i}{D} \quad \tan \alpha_i = \frac{\Delta L_i}{b} \quad (26.4)$$

式中, D 为反射镜面到标尺的距离, b 为光杠杆的臂长(即光杠杆后足到两前足连线的距离)。

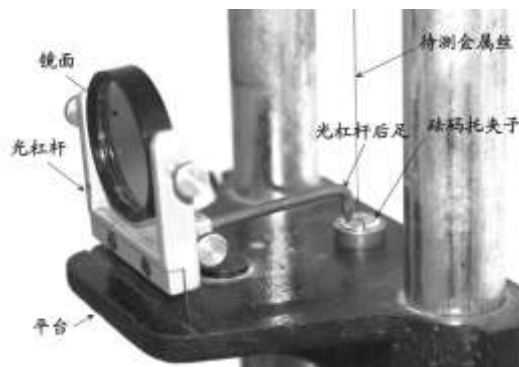


图 26.3 光杠杆

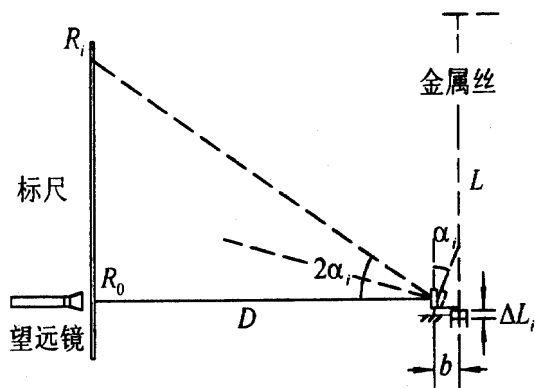


图 26.4 光杠杆放大测量

因为 $\Delta L \ll b$, α_i 很小, 则可近似为:

$$\tan 2\alpha_i \approx 2\alpha_i \approx \frac{H_i}{D} \quad \tan \alpha_i \approx \alpha_i \approx \frac{\Delta L_i}{b} \quad (26.5)$$

则

$$2 \frac{\Delta L_i}{b} = \frac{H_i}{D} \quad (26.6)$$

$$\Delta L_i = \frac{H_i b}{2D}$$

可见, 利用光杠杆将微小的长度变化转变为微小角度的变化, 再利用望远镜尺组, 可将其转换为较大的标尺读数之差 $H_i = R_i - R_0$ 。将式 (26.6) 写成:

$$H_i = \frac{2D}{b} \Delta L_i = \beta \Delta L_i \quad (26.7)$$

式中, $\beta = 2D/b$ 称为光杠杆的放大倍数。当 D 约为 2m, b 在 5~8cm 时, β 为 50~80 倍。由式 (26.7) 可知, D 越大, b 越小, β 越大。虽然 D 增大, 相对误差会减小, 但调整却越困难; b 过小则会使相对误差增大。

将式 (26.6) 代入式 (26.3) 得:

$$Y = \frac{8FLD}{\pi d^2 bH} \quad (26.8)$$

【实验内容】

1. 仪器的调整

(1) 调节杨氏模量仪的三个底脚螺丝，使两立柱铅直。为避免金属丝弯曲影响对其长度的测量，实验中使用了较重的砝码托，能够使金属丝在没有加砝码时也是直的。

(2) 光杠杆放在平台上，使两前足置于平台上的凹槽中，后足放置在夹子的顶面平滑处，勿与金属丝相触，如图 26.5 所示。使平面镜铅直。将望远镜尺组置于距光杠杆镜面适当距离处，调节望远镜的高低（见图 26.6），使其镜头正对光杠杆镜面并平行、等高，且二者的轴线为同一条水平线。调望远镜尺组的标尺使之铅直，高度合适。

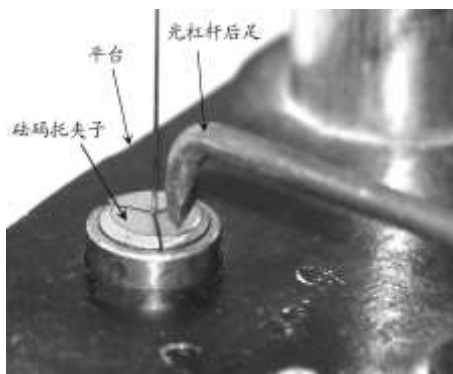


图 26.5 光杠杆后足的放置



图 26.6 望远镜侧视图

(3) 借助望远镜上侧的缺口及准星装置，沿镜筒轴线观看，看光杠杆平面镜中有否标尺的像。若没有，则左右移动望远镜尺组，上下微调镜筒，微调俯仰角，使望远镜筒上



图 26.7 沿望远镜轴线四点成一线

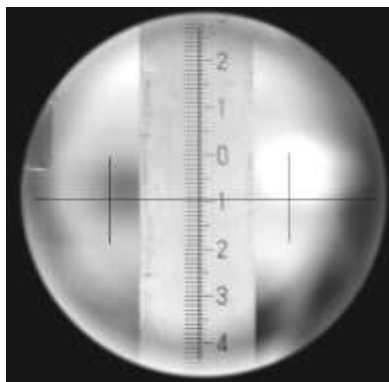


图 26.8 望远镜中消除视差的情形

的缺口、准星及光杠杆的反射镜三者共一条水平线（这是尽快调节好仪器的关键），直至

看到标尺的像为止（即四点成一线）。（见图 26.7）

（4）调节目镜，使看到的十字形分划线清晰；再调节物镜，使标尺的像清晰。仔细调节，直至无视差（即人眼上下移动时，从望远镜中观察到的标尺刻度线与十字分划线之间无相对移动，且都清晰）。（见图 26.8）

2. 测量

（1）本实验提供米尺、游标卡尺及螺旋测微计等长度测量仪器，选用合适的测量仪器对各长度量进行测量，注意哪些量需要多次测量，哪些量单次测量即可，为什么？

（2）本实验每组提供十几个砝码，利用自己所学习过的知识，设计一个测量方案，使测量结果尽可能精确，同时也要注意测量效率。

（3）金属丝末端的夹子与外框间会存在摩擦，方案设计时要注意考虑减少这个摩擦力的影响。

3. 实验数据处理

除了计算出本实验提供金属丝的杨氏模量 Y 以外，还要计算出其标准差。注意写清公式、计算过程。

【注意事项】

1. 仪器一经调好，测量开始，切勿碰撞移动仪器，否则要重新调节，老师检查数据前也不要破坏调节好的状态，否则一旦有错误，将难以查找原因或补作数据。

2. 望远镜、光杠杆属精密器具，应细心使用操作。避免打碎镜片，勿用手或其他物触碰镜片。

3. 调节旋钮前应先了解其用途，并预见到可能产生的后果或危险，不要盲目乱调，以免损坏仪器，调节旋钮时也不要过分用力，防止滑丝。

4. 用螺旋测微计测量钢丝直径时，要端平测微计，避免钢丝弯曲，（见图 26.9）



图 26.9 钢丝直径的测量

【数据表格】 自己设计数据记录表格，要规范、整洁。

【思考题】

1. 在本实验中，为什么可以用不同精确度的量具测量多种长度量？为什么有些需要多次测量，有些单次测量就可以？

2. 如何用十几个砝码即快又精确地测量出金属丝的平均伸长量，应该用什么方法来计算？

3. 光杠杆法可测微小长度变化，其主要是采用了光放大原理，放大率为 $\beta=2D/b$ 。试分析能否一味以增大 D ，减小 b 的手段来提高 β ？

【操作提示】

1. 望远镜(显微镜)目镜的调整规程:

(1) 调节目镜使分划线成像在明视距离上(观察者眼睛放松地看清分划线)。

操作技巧: 眼要放松, 调节目镜, 若分划线变的更不清楚, 则反向调节目镜, 直至分划线清晰。

(2) 调整望远镜焦距(或显微镜镜筒位置), 使待观测物成像清晰。

(3) 眼睛上下(或左右)轻微移动, 若分划线与观测物有相对移动, 说明分划线与待测物的像之间有视差。仔细调节焦距, 直至无视差。

2. 测量过程中, 采用依次增加砝码再依次减少砝码的方法, 可以有效地减小摩擦产生的影响, 而不仅仅是普通的多次测量。若采用同向的多次测量则无法削减摩擦的影响。

3. 螺旋测微计使用时, 必须注意消除零点误差。

【应用提示】

(1) 在本实验中用到几种较典型的实验方法和数据处理方法。光杠杆是放大法的一种, 应用非常广泛, 除了测量微小长度量外, 还可测量微小的角度变化等, 如灵敏电流计中也使用了光杠杆的原理, 但不是使用望远镜观测尺子, 而是将一细束光照射到光杠杆上, 通过观察反射到观察屏(读数屏)上光点的移动情况可确定光杠杆的转动大小, 进而得到待测微小角度或微小长度等量。

(2) 逐差法是应用十分广泛的数据处理方法, 在本教材中的多个实验中都用到此方法, 在实际的测量中, 只要符合要求, 一般都可应用逐差法处理数据。



图 26.10 动态法杨氏模量测量实验仪



图 26.11 激光测距仪

(3) 本实验中金属杨氏模量的测量采用的是静态拉伸法。目前, 国家标准推荐使用动态法, 因此, 在实际测试工作中, 应尽量采用动态法, 可参考有关资料进行, 图 26.10 所示是实验室中常用的动态法测量杨氏模量的仪器装置。本课程中之所以仍保留静态拉伸法, 主要是在本实验中使用了多种基本长度测量仪器, 以及光杠杆、逐差法等实验方

法和数据处理方法，在同学刚接触物理实验时，可以有较好的基础实验技能和方法的学习与训练。

(4) 本实验中用到了多种测长仪器，它们适用于不同长度范围的测量，要根据待测长度的大小合理选择。在实际应用中它们有时也会受到一些限制，必须选择其他的测量仪器。如有时待测物体无法接触测量，对于微小长度螺旋测微计就无法使用，可以选用读数显微镜；而数米乃至数十米的长度，直尺或卷尺也常常有无能为力时。目前，超声波测距和激光测距在工程上的应用越来越多，图 26.11 是一宽便携式激光测距仪，其量程为 200m，测量精度为 2mm，除一般长度测量外，还可以测量面积、体积，并用勾股定理测量远处两点间的距离。

山东大学普通物理实验室