

北京航空航天大学实验报告

实验名称: 拉伸法测量钢丝弹性模量

一、实验目的

1. 熟悉扭摆的构造及使用方法,掌握数字式计时器的准确适用;

2. 用扭摆测定几种不同形状物体的转动惯量,并与理论值进行比较;

3. 验证转动惯量平行轴定理;

4. 学习光杠杆法测弹性模量;

5. 熟练使用千分尺和游标卡尺,正确读取游标;

二、实验原理

实验 1. 拉伸法测钢丝弹性模量

一条金属棒(丝),原长为 L,截面积为 A,在外力 F 作用下伸长 δL 。在弹性限度内,按照胡克定律有应力 $(\sigma = \frac{F}{A})$ 与应变 $\varepsilon = \frac{\delta L}{L}$ 成正比,即 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$,E 称为该金属的弹性模量,只取决于棒的材料性质。若金属棒为圆柱体,直径为 D,则

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\delta L/L} = \frac{4FL}{\pi D^2 \delta L}$$

其中 F、L、D 可以用一般的方法测得。而 δL 需要用光杠杆法测量。

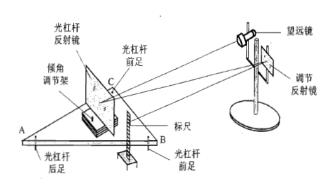


图 4.1.1 光杠杆及其测量系统

光杠杆的结构如图 4.1.1 所示。开始时光杠杆反射镜与标尺在同一平面,在望远镜上读到的标尺读数为 r_0 ,当光杠杆反射镜的后足尖下降 δL 时,产生一个微小的偏角

 θ ,在望远镜上读到的标尺读数为 r_i ,则放大后的钢丝伸长量 $C_i = r_i - r_0$ 。由图 4.1.2 可知

$$\delta L_i = b \cdot \tan \theta \approx b\theta$$

式中, b 为光杠杆前后足间的垂直距离, 称光杠杆常数。

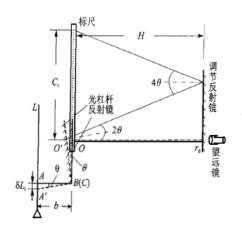


图 4.1.2 光杠杆工作原理图

由于经光杠杆反射而进入望远镜的光线方向不变,故当平面镜旋转一定角度 θ 之后,入射到光杠杆的光线方向就要偏转 4θ ,因 θ 甚小,OO' 也甚小,故可认为平面镜到标尺的距离 $H \approx O'r_0$,并有

$$2\theta \approx \tan 2\theta = \frac{C_i/2}{H}, \theta = \frac{C_i}{4H}$$

因此有

$$\delta L_i = \frac{bC_i}{4H} = WC_i, W = \frac{b}{4H}$$

代入可得:

$$E = \frac{16FLH}{\pi D^2 bC_i}$$

实验 2. 扭摆法测转动惯量

扭摆在其垂直轴 1 上装有一根薄片状的螺旋弹簧,用以产生恢复力矩。在轴的上方可以装上各种待测物体。将物体在水平面内转过一角度 θ 后,在弹簧的恢复力矩作用下,物体就开始绕垂直轴作往返扭转运动。根据胡克定律,弹簧受扭转而产生的恢复力矩M与所转过的角度 θ 成正比,即

$$M = -K\theta$$

式中,K为弹簧的扭转常数。根据转动定律M总= I (I 为物体绕转轴的转动惯量,为角加速度),忽略轴承的摩擦阻力矩,则有M总=M。由 $\beta=\ddot{\theta}$,并令 $\omega^2=\frac{K}{I}$,得

$$\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{K}{I}\theta = -\omega^2\theta$$

上述方程表示扭摆运动具有角谐振动的特性:角加速度与角位移成正比,且方向相反。此方程的解为

$$\theta = A\cos(\omega t + \varphi)$$

式中, A为谐振动的角振幅, φ 为初相位角, ω 为角(圆) 频率。此谐振动的周期为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}}$$

利用上式,测得扭摆的摆动周期后,在 I 和 K 中任何一个量已知时即可计算出另一个量。

本实验用一个几何形状规则的物体(圆柱),其转动惯量(I_1)可以根据它的质量和几何尺寸用理论公式直接计算得到,再算出本仪器弹簧的K值。若要测定其他形状物体的转动惯量,只需将待测物体安放在本仪器顶部的各种夹具上,测定其摆动周期,由上式即可换算出该物体绕转动轴的转动惯量。理论分析证明,若质量为m的物体绕过质心轴的转动惯量为 I_c ,当转轴平行移动距离 x 时,则此物体对新轴线的转动惯量变为 I_c+mx^2 。这称为转动惯量的平行轴定理。

三、实验仪器

细钢丝、光杠杆、望远镜、标尺、拉力测量装置、钢卷尺、游标卡尺、螺旋测微器、扭摆、塑料圆柱体、金属空心圆筒、实心塑料(或木)球、金属细长杆(两个滑块可在上面自由移动)、数字式计时器、电子天平;三线摆、钢卷尺、电子秒表、圆环、气泡水平仪。

四、实验步骤

实验 1. 拉伸法测钢丝弹性模量

(1) 调整测量系统

- 1. 目测粗调
- 2. 调焦找尺
- 3. 细调光路水平

(2) 测量数据

- 1. 首先预加 10kg 拉力,将钢丝拉直,然后逐次改变钢丝拉力,测量望远镜水平叉丝对应的标尺读数。
- 2. 根据量程及相对不确定度大小,选择合适的长度测量仪器,分别用卷尺、游标卡尺或千分尺测 L、H、b 各一次,测钢丝直径 D 若干次。

(3) 数据处理

选择用逐差法、一元线性回归法或图解法计算弹性模量并估算不确定度。

- 1. L 的误差限为 0.3cm
- 2. H 的误差限为 0.5cm
- 3. b 的误差限为 0.02cm

实验 2. 扭摆法测转动惯量

(1) 调整测量系统

用水准仪调整仪器水平,设置计时器。

(2) 测量数据

- 1. 装上金属载物盘, 测定其摆动周期 T_0 ; 将塑料圆柱体垂直放在载物盘上, 测出摆动周期 T_1 , 测定扭摆的弹簧扭转常数 K。
- 2. 测定金属圆筒、塑料(或木)球与金属细长杆的转动惯量。列表时注意给出各待测物体转动惯量的测量公式(金属圆筒 I_2 、塑料球 I_3 以及金属细长杆 I_4)和理论计算公式(金属圆筒 J_2 、塑料球 J_3 以及金属细长杆 J_4)。
- 3. 验证转动惯量平行轴定理。将滑块对称地放置在细杆两边的凹槽内(此时滑块质 心离转轴的距离分别为 5.00、10.00、15.00、20.00、25.00(单位: cm))测出摆 动周期 T_5i 。若时间许可,还可以将两个滑块不对称放置(例如分别取 5.00 与 10.00,10.00 与 15.00,15.00 与 20.00,20.00 与 25.00 (单位: cm)),这样采用 图解法验证此定理时效果更好。
- 4. 测量其他常数。利用电子天平,测出塑料圆柱、金属圆筒、塑料(或木)球与金属细长杆的质量,并记录有关物体的内、外径和长度。

(3) 数据处理

- 1. 设计原始数据记录表格;
- 2. 算出金属圆筒、塑料 (或木) 球和金属细长杆的转动惯量 I_2 、 I_3 、 I_4 ,并与理论 计算值 J_2 、 J_3 、 J_4 比较,求百分差;
- 3. 验证平行轴定理。