

实验报告

课程名称: 物理实验B1 实验名称: 静态法测杨氏模量 实验日期: 2024 年 3 月 22 日
班 级: 63012315 座位号: 13 学 号: 112003329 姓 名: 陈墨菲

实验: 用静态拉伸法测定金属丝的杨氏模量

一、实验目的

- (1) 加深对物体的弹性及虎克定律的认识。
- (2) 学习用光杠杆原理测定微小长度的变化量。

二、实验仪器

本实验采用杨氏模量测试系统。

三、实验原理

静态拉伸法用于常温下金属试样在其弹性限度内的杨氏模量的测量。设钢丝长度为 L , 截面积为 S , 当钢丝受到纵向的拉力 F 作用时, 根据虎克定律可知其杨氏模量 E 应为

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{\text{应力}}{\text{应变}} \quad (3-1)$$

E 的单位与应力相同——帕斯卡 (Pa), $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。

式 (3-1) 中, L, S, F 都可以采用直接或间接的方法测定, 难以直接测量的 ΔL 利用“光杠杆”系统来测定。

由图 3-1 可见, 光杠杆从平面镜下方的 A、B 两腿在实验中应放在静态杨氏模量测试仪的金属平台的沟槽之内, 其尾端 C 则应放在与钢丝相连的金属柱平面上。C 点到 A、B 连线的垂线距离即为光杠杆长度 b 。当光杠杆的长度 $b < D$ (平面反射镜到标尺之间的距离) 时, 有:

$$\frac{\Delta L}{b} = \tan \theta \approx \theta$$

因为 $2\theta = \frac{y-y_0}{D}$

故

$$\Delta L = \theta \cdot b = \frac{y-y_0}{2D} b \quad (3-2)$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

(1) 实验前,先调节图3-2所示的静态法测模量装置,认识①测定仪器座上的三只底脚螺丝,调节重锤的位置,使主体支架铅直。

(2) 在金属丝下端所连接的金属圆柱上挂上槽码盘,使金属丝拉直。

(3) 将光杠杆放在金属丝上,前两足放在槽码内,后足放在金属圆柱平面上,但不可与金属丝相碰。通过平口压板的固定螺丝钉使光杠杆三足位于同一水平面上。

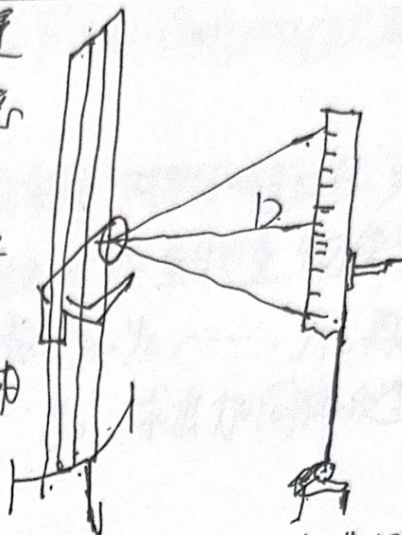


图 3-2 静态法测模量装置

2. 光杠杆及望远镜尺组的调节

(1) 外观对准。调节望远镜尺组支架底座上的三只底脚螺丝钉使支架铅直。并将支架系统放在距离光杠杆镜面前方约2m处,望远镜和光杠杆处于同高度。调节望远镜大致水平,光杠杆镜面及标尺尽量铅直。从望远镜筒上方(切勿从望远镜内),经望远镜前部的缺口,准星沿镜筒轴线瞄准准光杠杆镜面,应能看到镜面中有标尺的像。

(2) 粗调。先调节望远镜目镜焦距,使观察者能够在目镜焦平面处清楚地看到十字叉丝的像,再调节物镜焦距,使标尺成像在物镜焦平面上。这时应该既能看清标尺,又能看清楚十字叉丝。

(3) 细调 y_0 的位置。仔细调节光杠杆镜面的倾角及标尺的高度,选择合适的 y_0 位置(实验中 $|y-y_0|$ 的最大变量在10cm左右)。

3. 观测读数 y_0

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

钢丝仅受槽码盘的拉力(未加槽码; $F=0$)作用下的标尺读数。4. 采用“对称测量方法”确定 y_i 。

为了消除弹性滞后效应引起的误差,实验采用“对称测量法”完成。即在槽码盘上逐次增加槽码,每次1kg,直至所加重物质量达9kg为止;与此同时,读出相应的标尺读数 y_1, y_2, \dots, y_9 。再逐次取下1kg槽码,记下相应读数 y_8', y_7', \dots, y_0' , 求出加同样质量槽码时 y_i 的平均值

$$\bar{y}_i = \frac{y_i + y_i'}{2} \quad (i=0, 1, 2, \dots, 9)$$

5. 选择合适仪器测量各物理实验参数。

(1) 测量光杠杆前后脚垂直距离 b 时, 可以先把光杠杆的三点脚在白纸上压出凹痕, 用直尺画出前两脚的连线, 再用直尺确定后脚到该连线的垂直距离 b 。

(2) 测量钢丝直径 d 时, 应使用螺旋测微尺在钢丝的不同部位多次测量3次, 取其平均值。应注意螺旋测微尺的零读数确定。

(3) 应用米尺测量光杠杆镜面(沟槽所在位置)到标尺的距离 D 。

(4) 认真观察, 确定钢丝的起点、终点(上、下受力点)位置, 并利用米尺测出钢丝原长 L 。

五. 实验数据记录与处理。

本实验要求采用逐差法, 作图法, 线性回归法处理数据。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

数据表格

$d_1 = 0.493 \text{ mm}$, $d_2 = 0.490 \text{ mm}$, $d_3 = 0.478 \text{ mm}$, $\bar{d} = 0.487 \text{ mm}$
 $b = 69.0 \text{ mm}$, $L = 803.0 \text{ mm}$, $D = 1779.5 \text{ mm}$, $d_0 = -0.022 \text{ mm}$ (千分尺零读数)

序号	$F_i = m_i g (\text{N})$	$Y_i / \text{mm} (F \text{ 增大})$	$Y_i' / \text{mm} (F \text{ 减小})$	\bar{Y}_i / mm	$ \bar{Y}_{i+5} - \bar{Y}_i / \text{mm}$
0	0×9.80	150.1	151.0	150.6	58.5
1	1×9.80	163.0	164.0	163.5	57.5
2	2×9.80	175.0	174.9	175.0	57.7
3	3×9.80	186.0	187.0	186.5	57.3
4	4×9.80	198.3	198.2	198.2	57.6
5	5×9.80	209.0	209.2	209.1	平均值 = 57.7
6	6×9.80	221.0	221.0	221.0	
7	7×9.80	232.5	232.9	232.7	
8	8×9.80	243.5	244.0	243.8	
9	9×9.80	255.8	255.8	255.8	
$E(u_E) =$					

数据处理

知:

各直接测量量的扩展不确定度: Δd , Δb , ΔY , ΔL , ΔD , Δm , 及包含因子 k .

求得各直接测量量的标准不确定度 $\frac{\Delta d}{k}$, $\frac{\Delta b}{k}$, $\frac{\Delta Y}{k}$, $\frac{\Delta L}{k}$, $\frac{\Delta D}{k}$, $\frac{\Delta m}{k}$

又由杨氏模量 $E = \frac{8FDL}{\pi Y_1 b d^3}$ 令 $Y_1 = Y$, 得 $\ln E = \ln F + \ln D + \ln L - \ln Y - 3 \ln b - 3 \ln d$

联系方式: _____

(接下页)

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 班级: _____ 教学班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____

(接上页)

$$\text{得 } \frac{\partial \ln E}{\partial F} = \frac{1}{F}, \frac{\partial \ln E}{\partial D} = \frac{1}{D}, \frac{\partial \ln E}{\partial L} = \frac{1}{L}, \frac{\partial \ln E}{\partial Y} = 0 - \frac{1}{Y}$$

$$\frac{\partial \ln E}{\partial b} = -\frac{1}{b}, \frac{\partial \ln E}{\partial d} = -\frac{2}{d}$$

$$\therefore E(u_E) = \frac{u_E}{E} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial \ln E}{\partial x_i} \right)^2 u_c^2(x_i)}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{F^2} \cdot \frac{\Delta M^2}{K^2} + \frac{1}{D^2} \cdot \frac{\Delta D^2}{K^2} + \frac{1}{L^2} \cdot \frac{\Delta L^2}{K^2} + \frac{1}{Y^2} \cdot \frac{\Delta Y^2}{K^2} + \frac{1}{b^2} \cdot \frac{\Delta b^2}{K^2} + \frac{4}{d^2} \cdot \frac{\Delta d^2}{K^2}}$$

$$= \frac{1}{K} \sqrt{\frac{\Delta M^2}{F^2} + \frac{\Delta D^2}{D^2} + \frac{\Delta L^2}{L^2} + \frac{\Delta Y^2}{Y^2} + \frac{\Delta b^2}{b^2} + \frac{4\Delta d^2}{d^2}}$$

据测量结果,由逐差法,

$$\Delta Y = \frac{\frac{1}{5}[(Y_2 - Y_4) + (Y_3 - Y_3) + (Y_1 - Y_2) + (Y_6 - Y_1) + Y_5 - Y_0]}{5} = 11.544 \text{ mm}$$

$$d = \bar{d} - d_0 = 0.487 - (-0.022) = 0.509 \text{ mm}$$

$$b = 690 \text{ mm} \quad L = 803.0 \text{ mm} \quad D = 1779.5 \text{ mm} \quad F = mg = 9.8 \text{ N}$$

$$E = \frac{8}{\pi} \frac{FDL}{\Delta Y b d^2} = \frac{8}{3.1416} \times \frac{9.8 \times 1779.5 \times 803.0}{11.544 \times 69.0 \times 0.509^2} \times 10^6 \approx 1.73 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$E(u_E) = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{\Delta M^2}{F^2} + \frac{\Delta D^2}{D^2} + \frac{\Delta L^2}{L^2} + \frac{\Delta Y^2}{Y^2} + \frac{\Delta b^2}{b^2} + \frac{4\Delta d^2}{d^2}}$$

$$\text{已知 } K=2 \quad \Delta d = 0.004 \text{ mm} \quad \Delta b = \Delta Y = 1 \text{ mm} \quad \Delta L = \Delta D = 6 \text{ mm} \quad \Delta M = 0$$

$$E(u_E) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0^2}{9.8^2} + \frac{6^2}{1779.5^2} + \frac{6^2}{803.0^2} + \frac{1^2}{11.544^2} + \frac{1^2}{6.9^2} + \frac{4 \times 0.004^2}{0.509^2}}$$

$$\approx 0.0849$$

$$u_E = E \cdot E(u_E) = 0.146877 \times 10^{11} \approx 0.15 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

思考题

1. 根据 u_E/E 式分析, 哪所物理量的测量不确定度对 E 的测量结果影响最大?

u_E/E 式根号内为一系列分数的平方和, 且测量不确定度均位于分母位置。由数学知识可知, 所对应的分母最小的测量值的变化, 对分数值影响最大 (变化的绝对程度最大的前提下)。由测量可知, d 最小, 且 $\frac{4\sigma d^2}{d^2} = \frac{\sigma d^2}{(\frac{d}{2})^2}$ 。进一步使分母缩小, 故金属丝直径 d 的测量不确定度对 E 的测量结果影响最大。

2. 由所测实验数据证明光杆杠杆的放大原理。

原理: 利用光的反射规律结合三角函数的性质, 将微小开度放大至可观测范围内。

证明: $E = \frac{F/s}{\Delta L/L} = \frac{FL}{S\Delta L}$ 得 $\Delta L = \frac{FL}{SE}$

$L = 803.0 \text{ mm}$

据测量结果: $F = 9.8 \text{ N}$ $S = \frac{7.995 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{2.0348 \times 10^{-7} \text{ m}^2}$ $E = 1.73 \times 10^4 \text{ Pa}$

得 $\Delta L \approx 0.2281 \text{ mm}$ ΔL 很小, 难以观测

而 $\Delta Y = 11.544 \text{ mm}$ ΔY 易于观测

故放大倍数 $K = \frac{\Delta Y}{\Delta L} \approx 50.61$

K 比较大, 可以看出光杆杠杆对微小开度产生了明显放大作用, 使开度可被观测。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

d_1/mm	d_2/mm	d_3/mm	\bar{d}
0.493	0.490	0.478	
b/cm	L/cm	D/cm	d_0/mm
16.9cm	80.3	177.95	-0.022

y_0	15.01	y_0'	15.10
y_1	16.30	y_1'	16.40
y_2	17.50	y_2'	17.49
y_3	18.60	y_3'	18.70
y_4	19.83	y_4'	19.82
y_5	20.90	y_5'	20.92
y_6	22.10	y_6'	22.10
y_7	23.25	y_7'	23.29
y_8	24.35	y_8'	24.40
y_9	25.48		

$\lambda = 0.228/\text{mm}$

$\Delta L = 0.44\text{mm}$

放大倍数 $k = \frac{\Delta L}{\lambda} = 30.61$

k 比较大, 看不出光栅的等间距作用。

序号:	实验 6		
时间:	年	月	日
	上午	下午	晚上

联系方式: _____

指导教师签字: _____