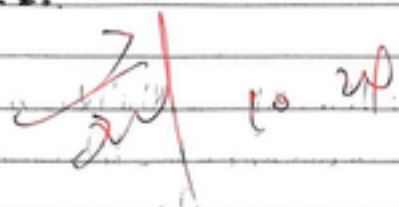


实验目的

- (1) 了解霍尔位置传感器的原理和工作方法。
- (2) 学习用霍尔位置传感器测微小位移的方法。
- (3) 掌握用横梁弯曲法测定材料的杨氏模量。

实验原理



⇒ 弯曲法测杨氏模量原理

一根长为 L 、厚为 a 、宽为 b 的均匀矩形梁，水平对称的放置在相距为 d 的两刀口上，通过砝码对梁中心施加一向下的拉力 Mg ，梁的挠度为 y ，当拉力发生变化 ΔMg 时，横梁的挠度也随之改变 Δy ，在此过程，梁中存在一个中性面，而以上部分发生压缩，而以下部分发生拉伸。所以整体来说可以理解横梁发生改变，即可以用杨氏模量来描写材料的性质即： $E = \frac{\Delta Mg d^3}{40^3 b \Delta y}$

⇒ Δy 的测量

(1) 用显微镜直接读数测量

通过读数显微镜： $\textcircled{1}$ 测量钢刀上刻度线。

$\textcircled{2}$ 随横梁中心下沉的距离，从而测得梁的挠度变化量 Δy 。

(2) 用霍尔位置传感器间接测量

钢刀刀口通过其上方的杠杆组件与将霍尔元件 10 伸入两块 N 极相对的磁铁之间，这样横梁在砝码拉力作用下挠度变化 Δy 转化成了霍尔传感器在磁场中竖直方向的位置变化 Δz ，设杠杆两臂之间的比例系数为 K ，则 $\Delta z = K \Delta y$ 。

霍尔电压的变化量与霍尔元件位置变化量之间的关系为： $\Delta U_H = K' \Delta z$

K' 为定值，由霍尔元件的参数、磁场大小、工作电流等因素决定。

则由上述综合得： $\Delta U_H = K' K \Delta y = k \Delta y$

K 称为霍尔位置传感器的灵敏度（单位 V/m ），霍尔位置传感器的灵敏度高，但它能检测的位移量较小适合于微小位移量及机械振动的测量。

实验仪器

杨氏模量测定仪；钢卷尺；螺旋测微器；游标卡尺；卷尺

实验步骤与数据记录

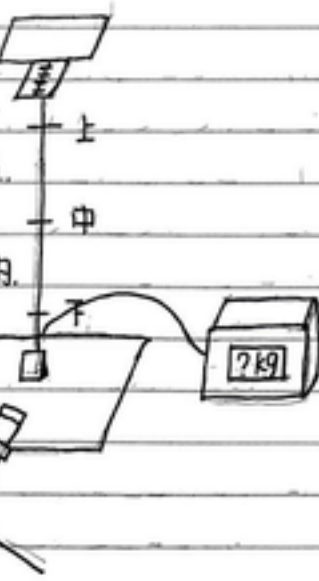
第一步：打开杨氏模量测定仪拉力检测仪开关。

第二步：用卷尺测量金属丝原长，反射镜转轴到标尺的垂直距离 H ，并在纸上临摹出光杠杆，测量出光杠杆常数 D 。（由于仪器不同，我们只需要量出仪器上所标注的光杠杆常数即可。）

第三步：用螺旋测微器测量金属丝直径，在固定金属丝内上、中、下（如图所示）处分别测量竖直及水平方向的金属丝的直径。并将6组数据求平均值。

第四步：调整所有平台至水平，并将望远镜平行于反射镜，对准测定仪顶部的刻度，并调整目镜及物镜的焦距，使刻度清晰。

第五步：调整力的旋钮，改变力，在拉力检测仪可读出具体挂砝码的值。望远镜观察刻度，旋钮调整至合适刻度（建议为10 mm），再将拉力检测仪归零，随后根据测量标准来做好实验数据。



记录数据得：

金属丝原长为：724 mm 反射镜转轴到标尺的垂直距离 H ：696 mm

光杠杆常数 D ：29 mm

测量钢丝直径 \bar{d} ：0.513 mm

测量钢丝伸长量与砝码质量增量的关系

测量次数	①	②	③	④	⑤	⑥
M/kg	0	1	2	3	4	5
x/mm	10	16	23	27.5	31	36
Δx	17.5	15	13	\	\	\
$(x_{i+3}-x_i)$						

实验数据处理

利用原始数据及 $\frac{F}{S} = E \left(\frac{\Delta l}{l} \right)$

⇒ 首先利用钢丝直径求其横截面积。

$$\text{又 } \bar{d} = 0.513 \text{ mm}, \text{ 则 } \bar{r} = \frac{1}{2} \bar{d}$$

$$\text{则 } \bar{S} = \pi \bar{r}^2$$

$$= \pi \left(\frac{1}{4} \bar{d}^2 \right)$$

$$\approx 0.206 \text{ mm}^2$$

⇒ 再利用 $\Delta \bar{x}$ 求出杨氏模量最佳值。

$$\Delta \bar{x} = \frac{17.5 + 15 + 13}{3} \approx 15.2$$

$$\begin{aligned} \text{又得 } \Delta \bar{l} &= \frac{D}{2H} \times \Delta \bar{x} \\ &= \frac{29}{2 \times 696} \times 15.2 \\ &\approx 0.317 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } E &= \frac{F \bar{l}}{S \Delta \bar{l}} = \frac{3 \times 724}{0.206 \times 0.317} \approx 3.3261 \times 10^4 \text{ kg/mmi} \\ &\approx 3.26 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

⇒ 计算不确定度

$$\text{利用 } E = \frac{8FLH}{\pi d^3 D} \cdot \frac{1}{\Delta x} \Rightarrow \ln E = \ln F + \ln l + \ln H - 2 \ln d - \ln D - \ln \Delta x$$

$$\frac{dE}{E} = \frac{dF}{F} + \frac{dl}{l} + \frac{dH}{H} - 2 \frac{dd}{d} - \frac{dD}{D} - \frac{d\Delta x}{\Delta x}$$

$$\frac{U_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{U_F}{F} \right)^2 + \left(\frac{U_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{U_H}{H} \right)^2 + \left(\frac{2U_d}{d} \right)^2 + \left(\frac{U_D}{D} \right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta x}}{\Delta x} \right)^2}$$

$$\text{又 } F \text{ 为自变量, 无 A 类不确定度, B 类不确定度为 } U_{FB} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ kg}$$

又 l, H, D 为一次性测量数据, 无 A 类不确定度, B 类不确定度分别为:

$$U_{lB} = \frac{0.8}{\sqrt{3}} = 0.47 \text{ mm} \quad U_{HB} = \frac{0.8}{\sqrt{3}} = 0.47 \text{ mm} \quad U_{DB} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ mm}$$

又 d 共测量 b 次, A 类不确定度为:

$$\begin{aligned} U_{dA} &= 1.1 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^b (d_i - \bar{d})^2}{b(b-1)}} = \sqrt{\frac{0.000002}{30}} \times 1.1 \\ &\approx 0.00029 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{B 类不确定度为: } U_{dB} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ mm}$$

$$\text{总不确定度为: } U_d = \sqrt{U_{dA}^2 + U_{dB}^2} = \sqrt{(0.00029)^2 + (0.012)^2} \approx 0.012 \text{ mm}$$

$$\text{又 } \Delta x \text{ 相当于 3 次等精度测量, A 类不确定度为: } U_{\Delta xA} = 1.19 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\Delta x_i - \bar{\Delta x})^2}{3(3-1)}} = 1.19 \times \sqrt{\frac{10.17}{3 \times 2}}$$

$$\approx 1.55 \text{ mm}$$

$$\text{B 类不确定度: } U_{\Delta xB} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29$$

$$\text{总不确定度: } U_{\Delta x} = \sqrt{U_{\Delta xA}^2 + U_{\Delta xB}^2} = 1.58 \text{ mm}$$

思考题

- (1) ①弹性限度内,材料的形变与外力成正比,
②胡克定律成立,即弹性限度内,弹簧的弹力 F 与形变量 x 成正比,即 $F=kx$.

(2) 影响实验结果因素: ①实验仪器精度.

②拉伸速度.

③环境因素.

④人为因素.

为什么加力、减力取平均: ①消除系统误差.

②提高实验精度.

③验证胡克定律.

(3) 因为杨氏模量是一个比例常数,表示材料在单位应力和单位应变之间的关系.

(4) ①利用光学干涉原理测量.

②利用原子力显微镜进行测量.

③利用扫描隧道显微镜进行测量.

④利用光栅尺进行测量.

原始记录

金属丝原长 L : 724 mm

反射镜转轴到标尺的垂直距离 H : 696 mm

光杠杆常数 D : 29 mm

测量钢丝直径 d : (单位 mm)

测量次数	①	②	③	④	⑤	⑥
d	0.513	0.512	0.513	0.512	0.513	0.513
\bar{d}	0.513					

测量钢丝伸长量与砝码质量增量的关系:

测量次数	①	②	③	④	⑤	⑥
M_i / kg	0	1	2	3	4	5
x / mm	10	16	23	27.5	31	36
Δx	6	7	4.5	3.5	5	\
$(x_{i+1} - x_i)$						

刘 永