

《基础物理实验》实验报告

实验名称 杨氏模量 指导教师
姓 名 陈苏 学号 2022K8009906009 组号 1-03-5 号
实验日期 2023 年 10 月 16 日 实验地点 教学楼 710 调课/补课 ☐ 是 成绩评定

一、实验目的

1. 学习用拉伸法，霍尔法，动态法和光杠杆法测量杨氏模量。
2. 学习 CCD 的使用方法。学习霍尔传感器的使用方法和物理原理。
3. 学习用工具测量微小长度。
4. 学习光杠杆法测量杨氏模量的原理和适用条件。学会读数望远镜、读数显微镜的调节。
5. 学习用逐差法、作图法和最小二乘法处理数据，用不确定度正确表达实验结果。

二、实验器材

卷尺，螺旋测微器，游标卡尺。CCD 杨氏弹性模量测量仪 LBYM1 型（或 YMC2 型），DHYA 霍尔位置传感器法杨氏模量测定仪，DHY-2A 型动态杨氏模量测试台。

三、实验原理

1. 杨氏模量

物体在外力作用下发生形变。若形变限制在一定限度，则撤走外力时物体随之恢复原状。这样的形变称作弹性形变。弹性模量是表征材料形变与应力之间的物理量。

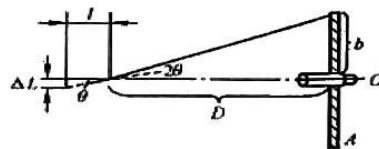
考虑均匀柱状物体的形变。设物体的长度为 L ，横截面积为 S ，沿截面的外法线方向对其施加外力 F ，物体将沿受力方向发生形变 ΔL 。则物体单位横截面上的垂直作用力 F/S 称为正应力，相对伸长量 $\Delta L/L$ 称为线应变。实验表明在一定限度内正应力与线应变成正比，即

$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta L}{L}$$

称为胡克定律。其中比例系数 Y 称为杨氏模量。杨氏模量是表征材料抗应变能力的一个固定参量，完全由材料本身的性质决定，属于材料的固有属性。

2. 光杠杆法原理

如图，光杠杆是一个带有可旋转的平面镜的支架，其前足固定，后足（即支脚）与被测物接触。当其后足下降微小距离 ΔL 时，光杠杆转过的角度 $\theta = \Delta L/l$ ，其中 l 是光杠杆臂长。从而可以通过在远处观察镜面的反射像来测量镜面的旋转角 $\theta = b/D$ ，据此得到 ΔL 。



3. 拉伸法测量原理

通过拉伸金属丝，测量其应力和应变来得到其杨氏模量。将金属丝上端固定悬挂在仪器支架上，下端连着十字叉丝板和砝码盘，通过增加砝码对其施加外力 $F = Mg$ 。设金属丝的长度为 L ，直径为 d ，则横截面积 S 为

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

代入胡克定律解出杨氏模量 Y 为

$$Y = \frac{4MgL}{\pi d^2 \Delta L}$$

其中 ΔL 可以通过光杠杆上的显微镜观测，或者用 CCD 摄像并在显示器上观测。

4. 霍尔法测量原理

霍尔传感器利用霍尔效应测量电场强度。将霍尔片垂直置于磁感应强度为 B 的恒定磁场中，并在霍尔片两端通入霍尔电流 I 。由于霍尔效应，在电场垂直方向将产生霍尔电压 U_H ，它与电流大小和磁感应强度成正比，即

$$U_H = KIB$$

K 称为霍尔灵敏度。当霍尔片在非均匀的磁场中运动时，若霍尔电流 I 保持不变，则输出的霍尔电压 U_H 变化 ΔU_H 与位移 ΔZ 的关系为

$$\Delta U_H = kI \frac{dB}{dZ} \Delta Z$$

要产生均匀梯度的磁场，将两块相同的磁铁同极板相对，并间隔一定距离放置。间隙大小要根据测量范围和测量灵敏度要求而定，间隙越小，磁场梯度就越大，灵敏度就越高。磁铁截面要远大于霍尔元件，以尽可能的减小边缘效应的影响，提高测量精确度。

令 Z 轴为两块磁铁的正对面法线方向，将霍尔片置于磁铁间隙内中心。由于磁铁间隙内中心截面处磁感应强度为零，霍尔电压也应该为零。将霍尔电压为零时霍尔片的位置视作零点，则当霍尔元件偏离中心沿 Z 轴发生位移时，磁感应强度不再为零，霍尔电压不再为零。其大小可以用数字电压表测量。当位移量较小时（ $<2\text{mm}$ ），磁感应强度的梯度 $\frac{dB}{dZ}$ 近似为一定值，因此霍尔电压与位移成正比。

取 $\frac{dB}{dZ}$ 为 $Z=0$ 处的磁感应强度梯度，设常数 $K' = K_H I \frac{dB}{dZ}$ ，代表霍尔片位置测量的灵敏度，则

$$\Delta U_H = K' \Delta Z$$

对于一块截面为矩形的横梁，厚度为 a ，宽度为 b ，长度为 d 。将其一端固定，在另一端垂直地施加拉力 Mg ，横梁随之弯曲。设横梁末端移动的距离为 ΔZ ，则有

$$\Delta Z = \frac{Mgd^3}{4a^3bY}$$

代入即可求出霍尔片的灵敏度 K' 。在测定材料的杨氏模量后，可以由此求出灵敏度 K' 。

5. 动态法实验原理

对于两端自由的均匀棒，设其长度为 L ，密度为 ρ ，转动惯量为 J ，横截面积为 S ，杨氏模量为 Y 。则棒上横波 $u(x, t)$ 的波动方程为

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - \frac{\rho S}{YJ} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$$

解得波动的频率 ω 为

$$\omega = \sqrt{\frac{\lambda^4 YJ}{\rho S}}$$

其中 λ 可以由边界条件确定

$$\cos(\lambda L) \cdot \cosh(\lambda L) = 1$$

即

$$\lambda_0 L = 0$$

$$\lambda_1 L = 4.730040745$$

$$\lambda_2 L = 7.853204624$$

...

第一个解是静态；第二个解对应的共振频率 $2\pi f_1 = \omega_1$ 称为基频。当棒在基频下发生共振时，即可测出其杨氏模量。

四、注意事项

1. 使用 CCD 时要注意保护镜头，避免强光，防止污染。
2. 金属丝必须保持竖直，测直径时要避免使其变形。放置砝码时要保证轻拿轻放，稳定之后才能测量。
3. 用千分尺待测样品厚度时要轻柔。用读数显微镜测量铜刀口基线位置时，刀口不能晃动。
4. 测试棒拿放和保存要特别小心。安装测试棒时，应先移动支架到既定位置，再悬挂测试棒。悬线要保持竖直。