

《基础物理实验》预习报告

实验名称 杨氏模量与微小量的测量 指导教师 耿直
姓名 孙奕飞 学号 2023k8009925001 分班分组及座号 2-06-01号
实验日期 2024 年 11 月 19 日 实验地点 教 710 调课/补课 否 成绩评定

1 实验目的

- 掌握不同静态方法测量杨氏模量的原理以及微小位移的测量方法，理解其各自的优势与局限性，并了解动态法测量杨氏模量的基本原理；
- 熟悉霍尔位置传感器的性能特点，完成样品测量及传感器的校准，并理解传感器特性曲线在测量过程中的意义；
- 了解光杠杆法的放大机制及其适用范围；
- 掌握读数望远镜和读数显微镜的调节方法；
- 学习用逐差法、作图法和最小二乘法对数据进行处理；
- 学习如何计算各种物理量的不确定度，并用不确定度正确地表达实验结果。

2 实验仪器

CCD 杨氏弹性模量测量仪（LB-YM1 型、YMC-2 型）、螺旋测微器、钢卷尺；杭州大华 DHY-A 型霍尔位置传感器法杨氏模量测定仪（包括底座固定箱、读数显微镜及调节机构、SS495A 型集成霍尔位置传感器、测试仪、磁体、支架、加力装置等）、黄铜条、铸铁条；DHY-2A 型动态杨氏模量测试台，DH0803 型振动力学通用信号源、通用示波器、测试棒（铜、不锈钢）、悬线、专用连接导线、天平、游标卡尺、螺旋测微计等。

3 实验原理

3.1. 杨氏模量的概念

考虑一个物体的伸长或压缩形变。设物体的长度为 L ，截面积为 S ，在沿长度方向受到外力 F 的作用后，长度改变了 ΔL 。那么，**应力**被定义为单位截面积上所承受的垂直作用力，即 $\frac{F}{S}$ ，而**线应变**则表示物体的相对伸长量 $\frac{\Delta L}{L}$ 。

实验表明，在弹性范围内，正应力与线应变成正比，而这个比例常数被称为杨氏模量 E ，即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

杨氏模量是材料的一种固有特性，与物体的形状无关。

3.2. 霍尔效应的原理

当霍尔元件处于磁感应强度为 B 的磁场中，并且通过垂直于磁场方向的电流 I 时，在与电流和磁场方向均垂直的方向上会产生霍尔电势差。此时，电子受力达到平衡状态，电场力与洛伦兹力相等，因此

$$eE = eVB \quad (2)$$

其中，电场强度和电流的表达式分别为

$$E = \frac{U_H}{a}, \quad I = nVad \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (2) 式，便可以得到霍尔电压的表达式为

$$U_H = K_H IB \quad (4)$$

其中， K_H 是一个常数，称为霍尔灵敏度。

若保持霍尔元件的电流恒定，并将其置于一个具有均匀梯度变化的磁场中，则霍尔电势差的变化量与位移量成正比：

$$\Delta U_H = K_H I \frac{dB}{dz} \Delta z \quad (5)$$

3.3. 弯曲法测量杨氏模量原理

通过弯曲横梁可以测量其杨氏模量 E ，其表达式为

$$E = \frac{Mgd^3}{4a^3b\Delta z} \quad (6)$$

其中， d 为两刀口之间的距离， a 为横梁的厚度， b 为横梁的宽度， Δz 为横梁中心的位移， M 为加在横梁上对应的质量， g 为重力加速度。

4 实验内容

4.1. 拉伸法测定金属的杨氏模量

(1) 在测量铅丝的杨氏模量之前，首先通过添加砝码使金属丝拉直，确保分划板卡在下横梁的槽内，以避免拉直过程中分划板发生旋转。同时，应注意监视器上分划板刻度尺的位置不要过高，其位置应低于 3 mm。

(2) 使用钢卷尺测量上、下夹头间金属丝的长度。

(3) 通过螺旋测微器测量金属丝的直径。由于铅丝直径可能存在不均匀性，根据工程要求，应在金属丝的上、中、下三个位置分别测量。每个位置在相互垂直的方向上各测量一次。

(4) 记录未加砝码时，屏幕上在横线上显示的毫米刻度尺读数 l_0 。接着，每次在砝码盘上增加一个砝码时，分别记录叉丝的相应读数 l_i ($i = 1, 2, \dots, 8$)。之后逐个减掉砝码，并读取

屏幕上的对应读数 $(l_i)'$ ($i = 1, 2, \dots, 8$)。注意加减砝码时应动作轻缓，以避免砝码盘发生微小振动而导致读数波动过大。

(5) 取同一负荷下叉丝读数的平均值，并使用逐差法计算在荷重增减 4 个砝码时，光标的平均偏移量。

(6) 再次使用螺旋测微器测量金属丝的直径，按工程规范仍需在上、中、下三个位置进行测量，且每个位置的相互垂直方向各测一次。

(7) 最终，将前述的原理公式进行分解和整理，即可得到最终用于计算杨氏模量的公式：

$$Y = \frac{4MgL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (7)$$

4.2. 使用霍尔传感器测量杨氏模量

测量黄铜样品的杨氏模量和霍尔位置传感器的定标。

(1) 调整以确保集成霍尔位置传感器探测元件位于磁铁的中心位置。

(2) 使用水平泡确认平台是否保持水平，若发现倾斜，调节平台的水平调节脚至水平状态。

(3) 对霍尔位置传感器的毫伏电压表进行调零。通过上下移动磁体调节装置，直到毫伏表读数非常小，此时停止调节并固定螺丝，最后微调调零电位器，使毫伏表的读数为零。

(4) 调整读数显微镜，使眼睛能够清晰地观察到十字线、分划板刻度线和数字。接着移动读数显微镜，直到清晰看到铜刀口上的黑色基线。然后，在使用适当力度锁紧加力旋钮旁边的锁紧螺钉后，通过旋转读数显微镜的读数鼓轮，使铜刀口基线与显微镜中的十字刻度线对齐。

(5) 在拉力绳处于无力状态下，对电子称传感器的加力系统进行调零。

(6) 通过逐次转动加力调节旋钮逐步增大拉力（每次增重 10 克），并从读数显微镜上记录梁的相应弯曲位移和霍尔数字电压表的读数。这些数据将用于计算杨氏模量及霍尔位置传感器的定标。

(7) 实验结束后，松开加力旋钮旁边的锁紧螺钉，并松开加力旋钮，取下实验样品。

(8) 多次测量并记录样品在两刀口之间的长度，同时测量横梁在不同位置的宽度和厚度。

(9) 关闭电源，收拾实验桌面，整理好实验器材并复原实验初始状态。

(10) 通过逐差法求得黄铜材料的杨氏模量，并计算相应的不确定度。使用作图法和最小二乘法来确定霍尔位置传感器的灵敏度。

(11) 将实验测量结果与公认值进行对比分析。

4.3. 动态悬挂法测量杨氏模量

1. 测量测试棒的长度 L 、直径 d 和质量 m （也可以由实验室提供）。为了提高测量精度，以上量需测量 3 — 5 次。

2. 测量测试棒在室温下的共振频率

(1) 安装测试棒：将测试棒悬挂在两根悬线上，确保测试棒保持横向水平，悬线垂直于测试棒的轴向方向。两根悬线的挂点应分别位于距离测试棒两端点 $0.0365L$ 和 $0.9635L$ 处，并使测试棒处于静止状态。

(2) 连接设备：使用专用导线将测试装置、信号源和示波器连接起来。

(3) 开机：依次打开示波器和信号源的电源开关，调整示波器至正常工作状态。

(4) 鉴频与测量：待测试棒稳定后，调节信号源的频率和幅度，寻找测试棒的共振频率。

当在示波器的荧光屏上观察到共振现象（正弦波振幅突然增大）时，进一步缓慢微调频率细调旋钮，直到波形振幅达到最大值。