

《基础物理实验》预习实验报告

实验名称 杨氏模量与微小量的测量 指导教师
姓名 李果 学号 2022K8009906028 分班分组及座号 - 号 (例: 1-04-5 号)
实验日期 2023 年 11 月 27 日 实验地点 710 调课/补课 ☐ 是 成绩评定

杨氏模量与微小量的测量

1 实验目的

1. 理解测量杨氏模量的静态法和动态法的相关原理,尤其是前者各种方法对测量微小位移的优缺点。
2. 熟悉霍尔位置传感器的特性,理解传感器相关曲线的意义。
3. 了解光杠杆法的原理和适用范围。
4. 学会对一些实验器材的规范调节,比如读数望远镜、读数显微镜等。
5. 学会正确合理地处理数据(逐差法、作图法、最小二乘法等),并计算和利用各种物理量的不确定度。

2 实验仪器与用具

2.1 拉伸法

CCD 杨氏弹性模量测量仪 (LB-YM1 型、YMC-2 型)、螺旋测微器、钢卷尺。

2.2 弯曲法

杭州大华 DHY-1A 霍尔位置传感器法杨氏模量测定仪 (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、加力机构等)。

样品为黄铜条、铸铁条。

测试仪由霍尔电压测量系统和电子称加力系统构成,霍尔电压测试分为两个量程,带调零功能;电子称加力系统测量范围 $0 \sim 199.9g$ 。

2.3 动态悬挂法

DHY-2A 型动态杨氏模量测试台、DH0803 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。

2.4 光杠杆法

光杠杆测量系统(光杠杆反射镜、倾角调节架、标尺、望远镜及调节反射镜等)、游标卡尺、螺旋测微器等。

3 实验原理

3.1 拉伸法

物体在外力作用下都会发生形变。当形变在一定限度内,撤走外力能恢复原状的形变称为弹性形变。反之撤走外力之后仍有剩余形变,称为塑性形变。发生弹性形变时,弹性模量便是反应材料形变与内应力关系的基本物

理量。

设柱状物体的长度为 L , 截面积为 S , 沿长度方向受外力 F 作用后伸长(或缩短)量为 ΔL , 单位横截面积上垂直作用力 F/S 称为正应力, 物体的相对伸长 $\Delta L/L$ 称为线应变。胡克定律告诉我们:

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

其中 Y 便称为杨氏模量, 本实验中我们将以显微镜和 CCD 成像系统进行对 ΔL 的测量, 并通过砝码测量外力, 通过钢卷尺测量金属丝长度, 通过螺旋测微器测量金属丝直径, 从而将知道有公式:

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

3.2 弯曲法(霍尔法)

霍尔元件在磁感应强度为 B 的磁场和电流 I 的作用下, 产生霍尔电势差

$$U_H = K \cdot I \cdot B$$

而在保持电流不变的情况下, 在一个具均匀梯度的磁场下运动时, 输出的霍尔电势差的变化量为

$$\Delta U_H = K \cdot I \cdot \frac{dB}{dZ} \Delta Z$$

其中上式的 ΔZ 是位移量, 故而上式表明, 当磁场的梯度变化为恒定时, ΔU_H 与 ΔZ 成正比, 而这正是我们进行测量杨氏模量的理论基础: 霍尔电势差和位移量之间存在一一对应的关系, 所以在当位移量不太大的时候, 该一一对应的关系具有良好的线性。

此外, 在横梁弯曲的情况下, 杨氏模量 E 具有以下的表达式:

$$E = \frac{d^3 \cdot Mg}{4a^3 \cdot b \cdot \Delta z}$$

其中上式中出现的各个物理参数的含义可以表示如下: d 为两刀口之间的距离, M 为所加的拉力对应的质量, a 是梁的厚度, b 是梁的宽度, Δz 是梁中心由于外力作用而下降的距离, g 是重力加速度。

3.3 动态悬挂法

先令 y 为棒振动的位移, Y 为棒振动的杨氏模量, S 为棒的横截面积, J 为棒的转动惯量, ρ 为棒密度, x 为位置坐标, t 为时间变量通过分离变数法(即令 $y(x, t) = X(x) \cdot T(t)$)可解得

$$y(x, t) = (A_1 \operatorname{ch} Kx + A_2 \operatorname{sh} Kx + B_1 \cos Kx + B_2 \sin Kx) \cos(\omega t + \varphi)$$

其中 $\omega = (K^4 Y J / \rho S)^{1/2}$ 称为频率公式, K 为常数, $A_1, A_2, B_1, B_2, \varphi$ 为待定常数, 可由边界和初始条件确定。

对于长为 L , 两端自由的棒, 当悬线悬挂于棒的节点附近时, 其边界条件为: 自由端横向作用力 F 为零, 弯矩 M 亦为零:

$$F = -\frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad M = EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$$

将边界条件带入通解 $y = (x, t)$ 中可的超越方程 $\cos KL \cdot \operatorname{ch} KL = 1$. 其第一个根为 0, 对应于静态值, 第二个根 $K_1 L \approx 4.7300$, 此时的共振频率称为基频(或固有频率) $\omega_1 = 2\pi f_1$ 。对于直径为 d , 长为 L , 质量为 m 的圆形棒, 可知在此频率下共振时, 其杨氏模量:

$$Y = 1.6067 \frac{L^3 m f_1^2}{d^4}$$

测试棒在作基频振动时存在两个节点, 它们的位置距离端面 $0.224L$ (距离另一端面为 $0.776L$) 处, 理论上, 悬挂点应取在节点处测试棒难于被激振和拾振, 为此可在节点两旁选不同点对称悬挂, 用外推法找出节点处的共振频率。

3.4 光杠杆法

实际上就是采取了一种“放大”的思路,如下图所示:

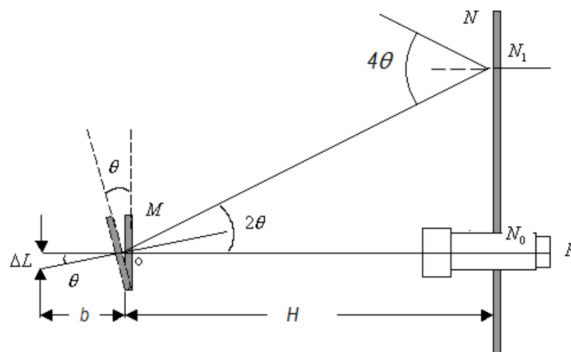


图 1: 光杠杆法测量原理示意图

当钢丝的长度发生变化时,光杠杆的镜面必然不再竖直,有一角度变化。经过光路放大之后,便得到可以显著测量到的量:

$$\Delta L = b \tan \theta \quad 2\theta \approx \frac{C/2}{H} \quad E = \frac{16FLH}{\pi D^2 b C}$$

这就得到了我们在本实验中需要依照的公式,其中用到了小角近似。

4 实验内容

5 数据处理与分析总结

6 实验注意事项

6.1 拉伸法

1. 需保证分划板卡在下横梁的槽内,避免其在拉直过程中旋转。
2. 轻轻加减砝码,防止使砝码盘产生微小振动而造成读数起伏较大,或者铂丝突然受力而断裂。
3. 多次测量数据并求平均,包括叉丝读数,金属丝长度和直径等,读数需等刻度值稳定后。
4. CCD 器件不可正对太阳、激光或其他强光源。注意保护镜头,防潮、防尘、防污染。
5. 金属丝必须保持铅直形态。测直径时要特别谨慎,避免由于扭转、拉扯、牵挂导致细丝折弯变形。
6. 做完实验后归类收纳好各种实验器材。

6.2 弯曲法(霍尔法)

1. 用千分尺待测样品厚度必须不同位置多点测量取平均值,并且测量黄铜时,用力需适度。
2. 用读数显微镜测量铜刀口基线位置时,刀口不能晃动。
3. 调整霍尔传感器水平,并对各种元件作位置检查和数字归零处理,
4. 实验结束后,关闭电源,整理实验桌面,实验器材放置于实验初始位置。

6.3 动态悬挂法

- 1、本实验中只能测出测试的共振频率。但由于二者相差很小,故固有频率可用共振频率代替。
- 2、安装测试棒时,应先移动支架到既定位置,再悬挂,需保证横向水平,悬线与测试棒轴向垂直。
- 3、在示波器显示出现共振现象之后,需十分缓慢地微调频率调节细调旋钮,使波形振幅达到极大值。
- 4、因为设备尺寸原因,部分设备在 $0.0365L$ 、 $0.9635L$ 处悬线不能竖直,此时该点要丢弃不测。

6.4 光杆杆法

- 1、本实验由此需要细致调节:先目测调整之后,在通过调节望远镜的目镜旋轮,使“十”字清晰成像,随后细调光路至水平。
- 2、注意测量中的误差记录与分析,并多次测量求平均以尽可能达到最佳的实验精度。

7 感想与讨论

PS

(附实验的原始数据记录表,包含老师签名)