

分组序号: YK02-2

《基础物理实验》实验报告

实验名称: 测量金属的杨氏模量 指导教师: 张易  
姓名: 丁毅 学号: 2023K8009908031 专业: 电子信息工程 班级: 2303 座号: 6  
实验日期: 2024.11.25 实验地点: 教学楼 710 是否调课/补课: 成绩:

目录

1	拉伸法测量金属的杨氏模量	2
1.1	实验目的	2
1.2	实验仪器与要求	2
1.3	实验原理	2
1.4	实验内容	3
1.5	实验结果与数据处理	3
2	霍尔位置传感方法测量杨氏模量	5
2.1	实验目的	5
2.2	实验器材	5
2.3	实验原理	5
2.4	实验内容	5
2.5	实验结果与数据处理	5
3	动态悬挂法测量材料的杨氏模量	6
3.1	实验目的	6
3.2	实验器材	6
4	思考题与实验心得	7
4.1	思考题	7
4.2	实验反思与心得体会	7

# 第1部分 拉伸法测量金属的杨氏模量

## 1.1 实验目的

1. 学会用 CCD<sup>①</sup>杨氏模量测量仪测量长度的微小变化量
2. 学会测定金属丝杨氏弹性模量的一种方法
3. 学习用逐差法、作图法和最小二乘法处理数据
4. 学会不确定的计算方法, 结果的正确表达

## 1.2 实验仪器与要求

实验仪器 CCD 杨氏弹性模量测量仪、螺旋测微器、钢卷尺。

CCD 杨氏弹性模量测量仪的主要技术指标有:

1. 采用分划板 + CCD 测量显微镜系统 + 彩色液晶监视器方案
2. 立柱: 不锈钢双柱高约 85 cm
3. 钼丝: 长约 60 cm, 直径 0.18 mm, 悬挂位置及长度可调节
4. 监视器: 彩色液晶监视器
5. 分划板: 刻度范围 4mm, 分度值 0.05mm, 设有限位槽, 可防止来回摆动, 采用 LED 照明
6. CCD 测量显微镜系统: 放大倍率 60 倍, 内含电子刻度线, 可二维调节, 可卸下用于其他微位移测量场合, 采用高级面阵 CCD, 信噪比  $\geq 52$  db, 分辨率 480 TVL, 视频输出幅度:  $1.0 V_{p-p}/75 \Omega$
7. 砝码组: 10 个砝码, 2 个 100 g 及 8 个 200 g
8. 底座沉稳, 可进行水平调节, 设有储藏格可贮存砝码组
9. 测量相对不确定度:  $< 5 \%$

## 1.3 实验原理

物体在外力作用下都会发生形变。当形变不超过某一限度时, 撤走外力之后, 形变消失, 物体形状恢复原状态, 这样的形变称为弹性形变。弹性形变发生时, 物体内部会产生恢复原状的内应力。弹簧模量即为反映材料形变与内应力关系的物理量。

### 1.3.1 杨氏模量

记柱状物体的长度为  $L$ , 截面积为  $S$ , 沿长度方向受外力  $F$  作用后伸长 (或缩短)  $\Delta L$ , 单位横截面积上垂直作用力  $\frac{F}{S}$  称为正应力, 物体的相对伸长  $\frac{\Delta L}{L}$  称为线应变。在弹性范围内, 正应力与线应变成正比, 即

$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta L}{L} \quad (1.1)$$

该规律称为虎克定律。式中比例系数  $Y$  即为杨氏弹性模量, 其单位为  $N/m^2$ , 其完全由材料的性质决定, 与材料的几何形状无关。

本实验中测量钼丝的杨氏弹性模量, 实验方法为将钼丝悬挂在支架上, 上端固定, 下端通过加砝码对钼丝施加力  $F$  (由砝码的质量求出), 测出钼丝相应的伸长量  $\Delta L$ , 用钢卷尺测出钼丝长度  $L$ , 用螺旋测微器测出钼丝直径  $d$ , 则可求得钼丝横截面积  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ 。那么根据虎克定律可知

$$Y = \frac{4FL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (1.2)$$

<sup>①</sup>Charge Coupled Device, 电荷耦合器件

### 1.3.2 测量原理

实际测量过程中, 钼丝的伸长量很小, 约为  $10^{-1}$  mm 数量级。所以本次实验中  $\Delta L$  的测量采用显微镜和 CCD 成像系统进行测量。钼丝下端加上一定质量的砝码时, 十字叉丝随着金属丝的伸长同样下降  $\Delta L$ , 而叉丝板通过显微镜的物镜成像在最小分度为 0.05 mm 的分划板上, CCD 摄像机的镜头将显微镜的光学图象汇聚到 CCD 上, 再变成视频电信号, 经视频电缆传送到显示器上, 供实验者读取。

## 1.4 实验内容

### 1.4.1 注意事项

1. 使用 CCD 摄像机时, 不能将 CCD 器件正对太阳、激光或其他强光源, 注意保护镜头, 如非特别需要不要随意卸下。
2. 钼丝必须保持直线形态。测量直径时需要特别谨慎, 避免扭转、拉扯、牵挂钼丝导致其折弯变形。
3. 读数时需等到刻度值稳定后才能进行读数。
4. 将砝码放置于砝码盘的时候需保证轻拿轻放, 防止钼丝突然受力而断裂。

### 1.4.2 调节仪器

用螺旋底角调平底座, 使叉丝组分划板正对 CCD 摄像头。调节下横梁高度, 保证叉丝组放置在下横梁的槽内。将 CCD 摄像头与分划板放置在同一水平面上, 调节 CCD 摄像头位置, 直到可以观察到清晰的像且分划板刻度尺的像在监视器的中心。

### 1.4.3 测量数据

1. 在测量钼丝杨氏模量前, 先放 2 块 100 g 的砝码把钼丝拉直, 保证分划板在下横梁槽内, 避免在拉直过程中分划板的旋转。
2. 记下待测细丝下的砝码盘中仅有已加的 2 块 100 g 砝码时屏幕上显示的毫米尺在横线上的读数  $l_0$ , 然后再砝码上依次加上 8 个  $M = 200$  g 的砝码, 记下相应的叉丝读数  $l_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ )。然后逐一减掉砝码, 再读取  $l'_8, l'_7, \dots, l'_1$ 。此过程中需注意轻拿轻放砝码, 避免因增减砝码使得砝码盘产生微小振动而使得读数起伏较大。
3. 取同一符合下叉丝读数的平均值  $\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_8$ , 用逐差法求出钼丝荷重增减四个砝码时光标的平均偏移量  $\Delta l$ 。
4. 用钢卷尺测量上下夹头之间的钼丝长度  $L$ 。
5. 用螺旋测微器测量钼丝直径  $d$ , 由于钼丝直径可能不均匀, 需再上、中、下各部进行测量, 每个位置在相互垂直的方向各测一次。
6. 将前述原理公式整理可得

$$Y = \frac{4MgL}{\pi d^2 \Delta l} \quad (1.3)$$

式中  $\Delta l$  与  $M$  有对应关系, 本实验中  $\Delta l$  是荷重增减 4 个砝码所引起的光标偏移量, 则  $M$  为 4 个砝码的质量。

## 1.5 实验结果与数据处理

### 1.5.1 数据记录

1. 钼丝长度  $L = 578.9$  mm, 其不确定度为  $u(L) = \sqrt{\frac{d^2}{10^2} + \frac{e^2}{3}} = 1.159$  mm
2. 钼丝直径数据记录详见表 1

3. (此处读数估读所用最小精度为  $\frac{d}{5}$ ) 实验过程中加上两个 100 g 砝码作为底码后, 初始读数为  $l_0 = 1.05\text{ mm}$ , 此后累加与累减 8 个 200 g 砝码时记录叉丝读数如表 2

表 1: 铝丝直径测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值 $\bar{d}$
$d\text{ (mm)}$	0.178	0.180	0.170	0.176	0.180	0.176	0.1767

表 2: 增减砝码时叉丝读数数据记录

$\sum M\text{ (g)}$	$\overline{M}\text{ (g)}$	$\sum \bar{l}\text{ (mm)}$	$\bar{\bar{l}}\text{ (mm)}$	$\sum l_i M_i\text{ (mm} \cdot \text{g)}$	$\overline{l_i M_i}\text{ (mm} \cdot \text{g)}$
7200	900	15.15	1.89375	15175	1896.875

1.5.2 逐差法处理数据

你好

1.5.3 最小二乘法处理数据

你好

1.5.4 作图法处理数据

根据表 2 中数据, 以最小二乘法拟合目标函数  $\Delta l = am + b$ , 其中  $a, b$  为待定常数, 可以得到  $a = 9.17 \times 10^{-4}\text{ mm/g}$ , 如图:

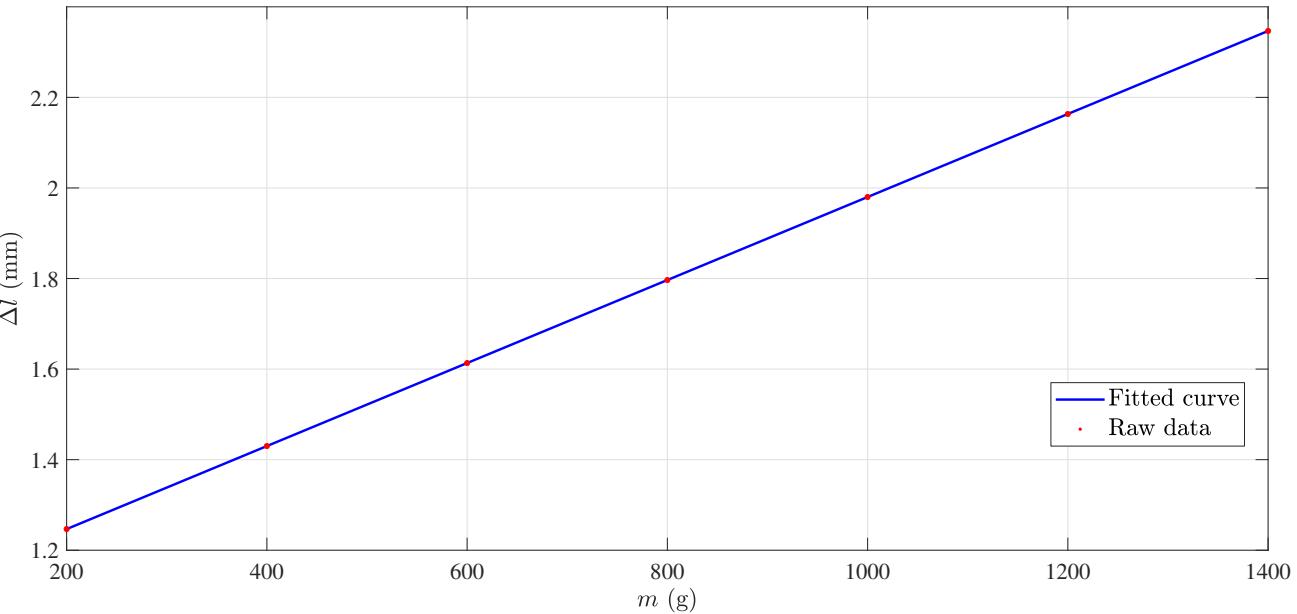


图 1: 作图法求杨氏模量

由此计算得

$$Y = \frac{4gL}{\pi d^2 k} = 2.523 \times 10^{11}\text{ N/m}^2$$

(1.4)

与理论值的相对误差为 9.70 %.

## 第2部分 霍尔位置传感方法测量杨氏模量

### 2.1 实验目的

### 2.2 实验器材

### 2.3 实验原理

#### 2.3.1 霍尔位置传感器的定标

霍尔元件置于磁感强度为  $B$  的磁场中, 再垂直于磁场的方向上加上电流  $I$ , 那么在与这两者垂直的方向上产生霍尔电势差

$$U_H = K \cdot I \cdot B \quad (2.5)$$

其中  $K$  为元件的霍尔灵敏度。若保持霍尔元件的电流  $I$  不变, 而使其在一个均匀梯度的磁场中移动时, 输出的霍尔电势差变化量为

$$\Delta U_H = K \cdot I \cdot \frac{dB}{dZ} \cdot \Delta Z \quad (2.6)$$

上式中  $\Delta Z$  为位移量。

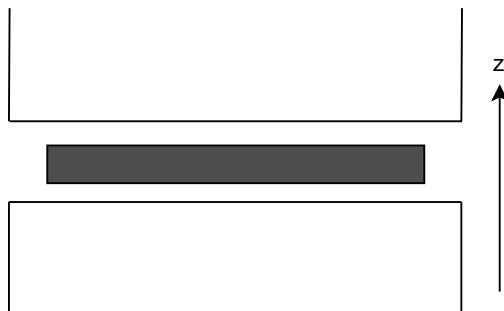


图 2: 梯度均匀磁场的实现

#### 2.3.2 弯曲法测杨氏模量

### 2.4 实验内容

#### 2.4.1 注意事项

#### 2.4.2 实验步骤

### 2.5 实验结果与数据处理

#### 2.5.1 数据记录

## 第3部分 动态悬挂法测量材料的杨氏模量

### 3.1 实验目的

### 3.2 实验器材

## 第4部分 思考题与实验心得

### 4.1 思考题

### 4.2 实验反思与心得体会