



大学物理综合实验——测量金属丝的杨氏模量及泊松比

刘元彻 PB21020505 21 级物理学院 1 班

2022 年 11 月 15 日

摘要: 杨氏模量和泊松比是材料的两种重要的力学参数,反映了材料的形变特性. 本实验对金属丝的杨氏模量和泊松比进行测量与分析,利用读数显微镜和非平衡电桥测量,并向焊点哈气验证温差电动势. 实验测量计算得到了金属丝的杨氏模量和泊松比,并观察验证了温差电压现象 [1].

1 实验目的

利用拉伸法,通过读数显微镜放大法来测定金属丝的杨氏模量;

利用非平衡电桥法,精确测量金属丝的泊松比;

此外,还通过呵气的方法,初步研究了温差电压对非平衡电桥测量的影响,对高精度的测量方法有所体会.

2 实验仪器与材料

金属丝(已焊接两根导线),铝支架(已装配电位器、开关、电桥盒等),卷尺,读数显微镜,电阻箱,台式万用表,砝码托盘(配 10 个增砣砝码,每个砝码约 100.0g,具体质量砝码上有标定),导线若干.

3 实验原理与方案设计

3.1 杨氏模量和泊松比的理论分析 [2]

杨氏模量是材料的重要力学参数,反映了材料抵抗形变能力的大小,是材料的一种固有属性.弹性材料承受应力时会产生应变,在形变量没有超过对应材料的一定弹性限度时,应力 F/A 与应变 $\Delta L/L$ 满足胡克定律:

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

其中 E 为材料的杨氏模量.

然而(1)式中只考虑了材料的微小纵向应变,忽略了横向变化.当材料在一个方向被压缩,它会在与该方向垂直的另外两个方向伸长,这被称为泊松现象.实验表明,在一定范围内,横向线应变 $\Delta d/d$ 与纵向线应变

$\Delta L/L$ 之比为常数:

$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

(2)式中, μ 称为泊松比,是一个用来反映泊松现象的无量纲的物理量.

3.2 拉伸法测量杨氏模量

本实验中,利用读数显微镜测量金属丝受到外力拉伸时的伸长量,并根据定义来计算.测量金属丝长度 L_1 和直径 d ,并利用质量为 m 的砝码来提供拉力,根据杨氏模量的定义式,应该有:

$$\frac{4mg}{\pi d^2} = E \frac{\Delta L_1}{L_1} \quad (3)$$

整理,得到:

$$\Delta L = \frac{4gL_1}{\pi d^2 E} \Delta L_1 \quad (4)$$

可以通过作图法的拟合求取斜率 b ,得到 $E = \frac{4gL_1}{\pi d^2 b}$ 即为杨氏模量的测量值.

3.3 非平衡电桥测定泊松比 [3]

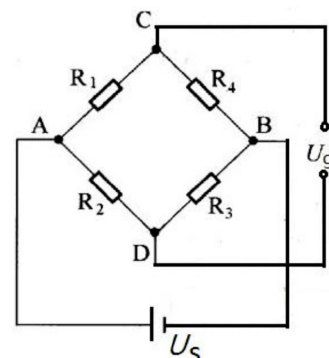


图 1: 非平衡电桥电路图



非平衡电桥原理如图所示. 电桥平衡时, 有

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (5)$$

而当 R_4 变化时, 电桥偏离平衡状态. 若认为电压表内阻为无穷大, 不难得出桥电压为

$$U_g = \frac{R_2 R + R_2 \Delta R - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3) + \Delta R(R_2 + R_3)} U_s \quad (6)$$

(6)式中, ΔR 表示 R_4 相比平衡状态的变化量, U_s 为电桥两端电压. 本实验中 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, 故

$$U_g = \frac{1}{4} U_s \frac{\delta}{1 + \frac{\delta}{2}} \quad (7)$$

其中 $\delta := \Delta R/R$ 为电阻的相对变化量. 若电阻仅有微小变化, 即 $\delta \ll 1$, 则(7)中的 $\delta/2$ 可略去, 即

$$U_g = \frac{1}{4} U_s \delta \quad (8)$$

据此, 可通过测量桥电压间接测量金属丝电阻 R_4 的微小变化, 进而得到 Δd . 具体而言, 我们可以利用电阻定律 (这里已经将金属丝视作圆柱体):

$$R_s = \rho \frac{4L}{\pi d^2} \quad (9)$$

和以上泊松比的定义式联立, 得到

$$\Delta R_s = \frac{(1 + 2\mu)R_s}{L} \Delta L \quad (10)$$

然后代入到(8)中, 给出测量时使用的表达式:

$$U_g = \frac{(1 + 2\mu)R_s U}{4(R_4 + R_s)L} \Delta L \quad (11)$$

同样通过作图法的拟合求取斜率 b , 得到 $\mu = \frac{2(R_4 + R_s)Lb}{R_s U} - \frac{1}{2}$, 即为泊松比的测量值.

3.4 实验步骤

1. 将待测金属丝置于铝支架上, 一端固定, 另一端通过定滑轮与砝码盘连接. 调平支架. 放置初始砝码, 以将金属丝拉直.
2. 按如图所示的方法连接电路, 其中 $R_1 = R_2 = R_3 = 51.00\Omega$. 用台式万用表监测 U_g 和分压 U_{AC} , U_{AC} 应在 $0.3 - 0.5V$ 范围, 调节变阻箱 R_4 , 观察万用表, 当 $|U_g| < 0.020mV$ 时, 可认为电桥平衡, 记录平衡时电阻箱的阻值.

3. 调整读数显微镜, 直至视场中能看到右侧焊点. 记录电桥电压 U_g 和右焊点位置的初值. 将滑动变阻器调至适当位置, 打开开关. 逐个增加砝码, 每增加一个砝码后, 等待示数稳定, 记录变化后的桥电压和焊点位置
4. 取下砝码, 待 U_g 示数稳定后, 分别朝金属丝上的两个焊接点哈气, 观察桥电压 U_g 的读数变化. 实验结束后, 对数据进行分析.

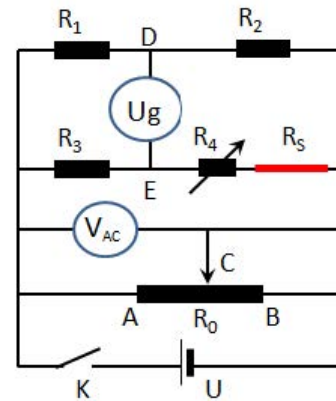


图 2: 实验电路图

4 实验数据处理和误差分析

4.1 基本物理量的测量

首先按照如图所示的方法, 测出所需要的各个长度量:

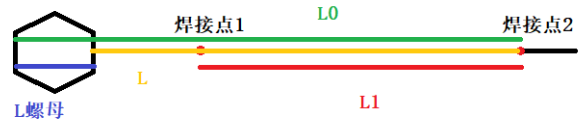


图 3: 长度测量

实验首先测定了两焊接点之间的有效长度: $L_1 = 91.50cm$, 螺母长度 $L_{螺母} = 1.60cm$, 然后给出金属丝总长度 $L = L_0 - L = 122.70cm$

金属丝的伸长是均匀的, 实验中有有效部分长度 L_1 , 我们测得的长度变化却是 ΔL , 于是我们要利用均匀伸



长关系 $\frac{\Delta L_1}{L_1} = \frac{\Delta L}{L}$ ，即可得到有效伸长量（以下实验数据处理中，将分别给出原始伸长量和处理后的有效伸长量）。

实验同时测得：实验室中电桥阻值 $R_1 = R_2 = R_3 = 51.0\Omega$ ，电桥达到平衡时，电阻箱 $R_4 = 17.81\Omega$ 。另外，实验室还给出了金属丝直径 $d = 0.2\text{mm}$ ，和重力加速度参考值 $g = 9.795\text{m/s}^2$

表 1: 实验数据记录

| 砝码总质量 (g) | 伸长测量值 $\Delta L(\text{mm})$ | 有效伸长量 $\Delta L_1(\text{mm})$ | 电桥分压 $U(\text{V})$ | 万用表示数 $U_g(\text{V})$ |
|-----------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------|
| 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.3946 | 0.013 |
| 99.86 | 0.147 | 0.110 | 0.3946 | -0.008 |
| 199.78 | 0.357 | 0.266 | 0.3946 | -0.029 |
| 299.66 | 0.507 | 0.378 | 0.3946 | -0.051 |
| 400.12 | 0.757 | 0.564 | 0.3946 | -0.072 |
| 500.51 | 0.842 | 0.628 | 0.3946 | -0.099 |

然后，将这些数据拟合成图像：

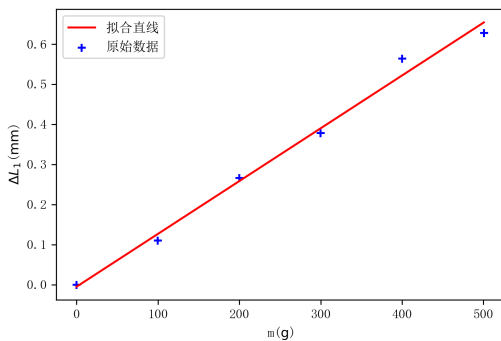


图 4: 杨氏模量拟合

杨氏模量线性拟合的表达式为：

$$\Delta L = 0.001317m - 0.0049$$

相关系数为 0.9952，线性关系良好。然后根据推导，计算出杨氏模量的测量值为： $\bar{E} = 2.19 \times 10^{11}\text{Pa}$

泊松比的线性拟合表达式为：

$$U_g = -0.1656\Delta L + 0.0127$$

相关系数为-0.9913，线性关系良好。然后根据推导，计算出泊松比的测量值为： $\bar{\mu} = 0.680$

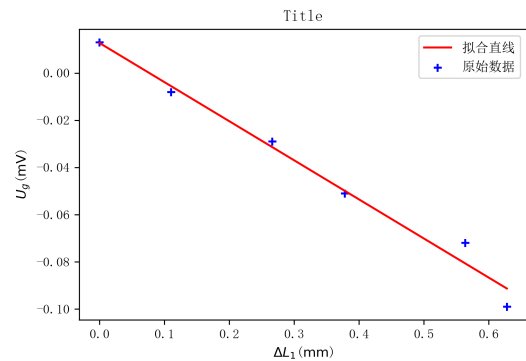


图 5: 泊松比拟合

4.2 呵气实验

取砝码质量为 500.51g 时，对两个焊接点分别呵气，记录数据如下：

对左侧焊接点，呵气前： $U_g = -0.100\text{mV}$ ，呵气后 $U_g = -0.108\text{mV}$ ，示数（绝对值）增大，

对右侧焊接点，呵气前： $U_g = -0.108\text{mV}$ ，呵气后 $U_g = -0.102\text{mV}$ ，示数（绝对值）减小。

这是温差电效应的影响：呵气使得两个触点温度不同，从而产生温差电压，在非平衡电桥这种较为灵敏的测量中，温差造成的电压差异可能会产生较大影响，因



此实验时要注意尽量避免靠近热源或冷源，关闭门窗和空调，以免温差造成测量误差。

5 实验讨论

本实验利用读数显微镜和非平衡电桥测量金属丝的杨氏模量和泊松比。金属丝与导线之间通过焊锡连接，

可能存在较大的接触电阻，使得测量不准确。放置砝码后若读数过早，金属丝可能还没有完全拉伸，造成误差。此外，焊点位置的测量可能存在较大偏差，这和个人的读数习惯也有关系。

另一方面，本实验中，金属丝的直径和砝码质量是实验室给定的。若需要测量金属丝直径，可利用螺旋测微器直接测量，也可以利用劈尖干涉法 [2]。

参考文献

- [1] 中国科学技术大学物理实验教学中心. 测量金属丝的杨氏模量及泊松比 (实验讲义). Sept. 8, 2022. URL: <http://pems.ustc.edu.cn/uploads/project/20220908/46927b87894a5fbf880d3103f27499aa.pdf> (visited on 09/22/2022).
- [2] 吴泳华, 霍剑青, and 浦其荣. 大学物理实验. 2nd ed. Vol. 第一册. 北京: 高等教育出版社, 2005, pp. 233-235.
- [3] 梁灿彬, 秦光戎, and 梁竹健. 普通物理学教程. 4th ed. Vol. 电磁学. 北京: 高等教育出版社, 2018, p. 123.