

## 1 实验目的

1. 了解杨氏模量和泊松比，了解非平衡电桥的使用
2. 使用非平衡电桥及读数显微镜等实验仪器测量金属丝的杨氏模量及泊松比

## 2 实验原理

### 2.1 金属丝的杨氏模量与泊松比

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。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，应力与应变满足胡克定律：

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

其中  $E$  为材料的杨氏模量。式 1 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，这就是泊松现象。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， $\mu$  为泊松比，负号表示纵向拉伸导致横向收缩

### 2.2 非平衡电桥

式 2 中的  $\Delta d$  太小，因此本实验无法直接测量  $\mu$ ，但可以通过非平衡电桥测量金属丝经拉伸后的微小电阻变化间接测得，体现了转化法的思想。

如图 1 所示， $R_1, R_2, R_3$  为电桥的三个臂，电阻箱  $R_4$  与待测金属丝  $R_s$  构成第四个臂， $R_0$  为电位器。电桥平衡时，有

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4 + R_s} \quad (3)$$

金属丝拉伸引起电阻变化  $\Delta R_s$ ，当  $R_4 + R_s$  的相对阻值变化小于 1% 时， $U_g$  与  $\Delta R_s$  近似满足线性关系：

$$U_g \approx \frac{U_{AC}}{4} \cdot \frac{\Delta R_s}{R_4 + R_s} \quad (4)$$

由 2 式及  $R_s = \rho \frac{L}{A}$  有

$$\frac{\Delta R_s}{R_s} = (1 + 2\mu) \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

$$\Delta R_s = \frac{(1 + 2\mu)R_s}{L} \Delta L \quad (6)$$

可推得

$$U_g = \frac{(1 + 2\mu)R_s U_{AC}}{4(R_4 + R_s)L} \Delta L \quad (7)$$

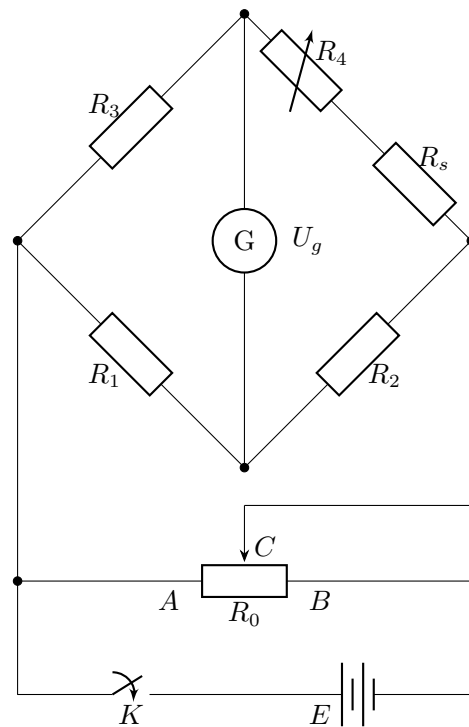


图 1: 非平衡电桥电路图

### 3 实验仪器

1. 金属丝（已焊接两根导线）
2. 铝支架（已装配电位器、开关、电桥盒等）
3. 卷尺（最大允差 2.0 mm）
4. JCD3 型读数显微镜（最大允差 0.015 mm）
5. 读数显微镜垫块
6. ZX38A/10 型交直流电阻箱（0.1 级）
7. KEITHLEY 台式万用表（1.5 V）
8. 直流稳压电源（1.5 V）
9. 砝码托盘（配 10 个增砣砝码，每个砝码约 100.0 g）
10. 导线若干

### 4 实验步骤

1. 使用卷尺测量金属丝的长度  $L$
2. 按照图 1 连接好电路，其中  $R_1 = R_2 = R_3 = 51.0 \Omega$
3. 使用 KEITHLEY 台式万用表监测  $U_g$  和  $U_{AC}$ ，其中  $U_{AC}$  取 0.3 ~ 0.5 V
4. 调节电阻箱  $R_4$  使电桥平衡 ( $|U_g| < 0.020 \text{ mV}$ ) 视为平衡
5. 调节读数显微镜到右侧焊点位置读出读数显微镜上的数值  $L$ 。添加砝码，等待一分钟直到金属丝稳定后，重新调节读数显微镜到焊点位置，记录此时的数值  $L$  和万用表的读数  $U_g$ 。重复该步骤直到砝码全部添加完毕
6. 分别对左焊点和右焊点哈气，并观察  $U_g$  的变化

## 5 实验数据

金属丝长 $L = 119.53 \text{ cm}$ 金属丝直径 $d = 0.2 \text{ mm}$				
序号	砝码总质量 $m/\text{g}$	$U_g/\text{mV}$	右焊点 $L/\text{mm}$	$\Delta L/\text{mm}$
1	0.00	0.005	29.9	0.0
2	99.88	0.019	30.1	0.2
3	199.80	0.033	30.3	0.4
4	299.79	0.048	30.5	0.6
5	399.65	0.061	30.6	0.7
6	499.53	0.075	30.8	0.9
7	599.48	0.089	30.9	1.0
8	699.39	0.108	31.1	1.2
9	799.31	0.135	31.3	1.4
10	899.70	0.163	31.5	1.6
11	1000.16	0.196	31.7	1.8

### 5.1 数据处理

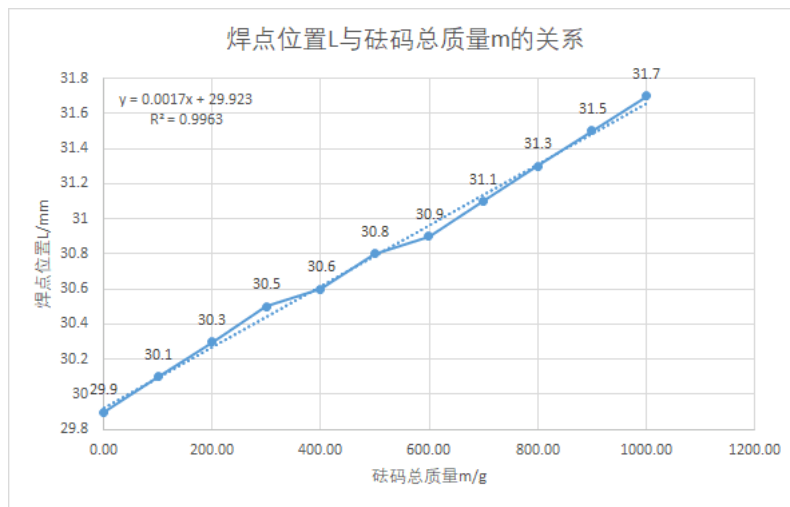
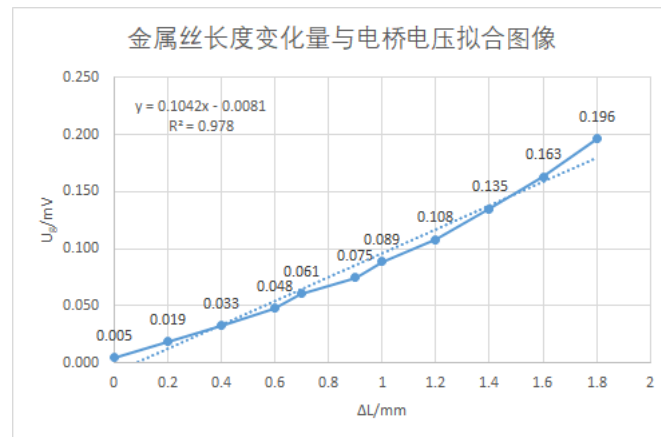


图 2: 砝码总质量与焊点位置的拟合图像

拟合结果  $k = 0.0017$   $R^2 = 0.9963$ , 由合肥地区重力加速度参考值  $g = 9.795 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。  
由式 1 得杨氏模量  $E$  为:

$$E = \frac{FL}{A\Delta L} = \frac{mgL}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2\Delta L} = \frac{1}{k} \cdot \frac{4gL}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 9.795 \cdot 119.53 \times 10^{-2}}{0.0017 \cdot \pi \cdot (0.20 \times 10^{-3})^2} = 2.192 \times 10^{11} \text{ Pa} \quad (8)$$

图 3:  $\Delta L$  与  $U_g$  的拟合图像

拟合结果  $k = 0.1042$   $R^2 = 0.978$  由式 4 及 6 得:

$$k = \frac{(1 + 2\mu)U_{AC}R_s}{4RL} \quad (9)$$

$$\mu = \frac{2RLk}{U_{AC}R_s} - \frac{1}{2} = \frac{2 \cdot 51.00 \cdot 1.1953 \cdot 0.1042}{0.430 \cdot (51.00 - 15.43)} - \frac{1}{2} = 0.331 \quad (10)$$

取下砝码,待万用表示数稳定后,分别抄金属丝的两个焊点哈气。朝左焊点哈气时, $U_g$  变小;向右焊点哈气时, $U_g$  增大。这是由于金属丝的温差电效应:将两个不同导体(或半导体)两端相连,组成一回路,当两个接头处在不同温度时,在回路中有电动势产生的现象。

哈气时,两个焊点产生温差,从而产生电动势,向两焊点哈气时,产生的温差电动势相反,故  $U_g$  分别减小和增大。

## 6 实验总结

本实验可能存在的误差有:

1. 砝码放置后未等金属丝稳定过早读数,会造成误差
2. 金属丝与导线之间可能有较大的接触电阻,使测量不准确
3. 本实验的金属丝直径未经过精准测量,可能具有一定误差