

## 测量金属丝的杨氏模量及泊松比

学号: PB22511902 姓名: 王冬雪

### 实验目的

测量金属丝的杨氏模量和泊松比。

### 实验原理

#### 1. 金属丝的杨氏模量与泊松比

杨氏模量反映了材料抵抗形变能力的大小。拉力 $F$ 与丝的原始横截面 $A$ 之比定义为应力，伸长量 $\Delta L$ 与丝的原始长度 $L$ 之比定义为纵向线应变。在弹性范围内，应力与应变满足胡克定律： $\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L}$ ，其中 $E$ 为材料的杨氏模量。用砝码拉伸金属丝提供 $F$ ， $A$ 的测量方法是干涉法，设劈尖长度 $l$ ，金属丝直径为 $d$ ，当扫描 $n$ 条亮纹时显微镜移动 $l_n$ ，有 $d = \frac{n\lambda}{2l_n}$ 。

材料横向变化量 $\Delta d$ 与丝的原始横向长度 $d$ 之比定义为横向线应变。在实践中，纵向拉伸应变还会导致横向收缩应变。实验表明，在材料弹性范围内，横向线应变 $\Delta d/d$ 与纵向线应变 $\frac{\Delta L}{L}$ 之比为常数： $\Delta d/d = -\mu \frac{\Delta L}{L}$ ，负号表示纵向拉伸导致横向收缩， $\mu$ 为横向变形系数或称泊松比。

#### 2. 非平衡电桥

如图电桥，当它平衡时， $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4 + R_5}$ 。金属丝受到拉伸引起电阻变化 $\Delta R_5$ ，当 $R_4 + R_5$ 的相对阻值变化量小于1%时，桥电压 $U_g \approx \frac{U_{AC}}{4} \frac{\Delta R_5}{R_4 + R_5}$ 。

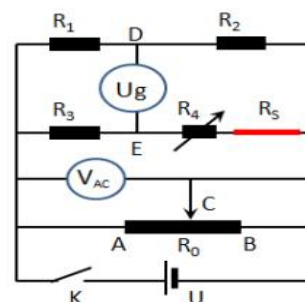


图 1 电桥法测电阻

### 实验仪器

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（最大允差 2.0mm）、JCD<sub>3</sub>型读数显微镜（最大允差 0.015mm）、读数显

微镜垫块、ZX38A/10 型交直流电阻箱（0.1 级）、KEITHLEY 台式万用表、低压钠灯（双线平均波长 $\lambda=0.5893\mu\text{m}$ ）及电源、钠灯木垫块、直流稳压电源( $\sim 1.5\text{V}$ )、劈尖玻璃片、砝码托盘（配 10 个增砣砝码，每个砝码  $100.0\text{g}$ ）、导线。

## 测量记录

合肥地区重力加速度  $g = 9.795\text{m/s}^2$ 。

金属丝参数： $L = 106.32\text{cm}$ ,  $d = 0.3\text{mm}$ 。砝码参数： $m_0 = 100\text{g}$ 。

电路设置  $U_{AC} = 0.5\text{V}$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = 10\Omega$ 。

当  $|U_g| < 0.020\text{mV}$  时， $R_4 = 3.42\Omega$ ，那么  $R_s = 6.58\Omega$ 。

砝码数量、金属丝长度变化量、电桥电压关系表

n	$\Delta L/\mu\text{m}$ （需减去初始值 $7430\mu\text{m}$ ）	$U_g/\mu\text{V}$
2	7622	21.2
3	7726	35.6
4	7813	48.0
5	7912	63.5
6	8010	78.3
7	8130	94.5

对左焊点哈气， $U_g$  变小，对右焊点哈气， $U_g$  变大。

## 分析与讨论

根据实验原理，可以得到实验中相关公式：

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

$$n = \frac{\pi d^2 E}{4m_0 g L}\Delta L$$

对测量记录表数据进行拟合，得下两图：

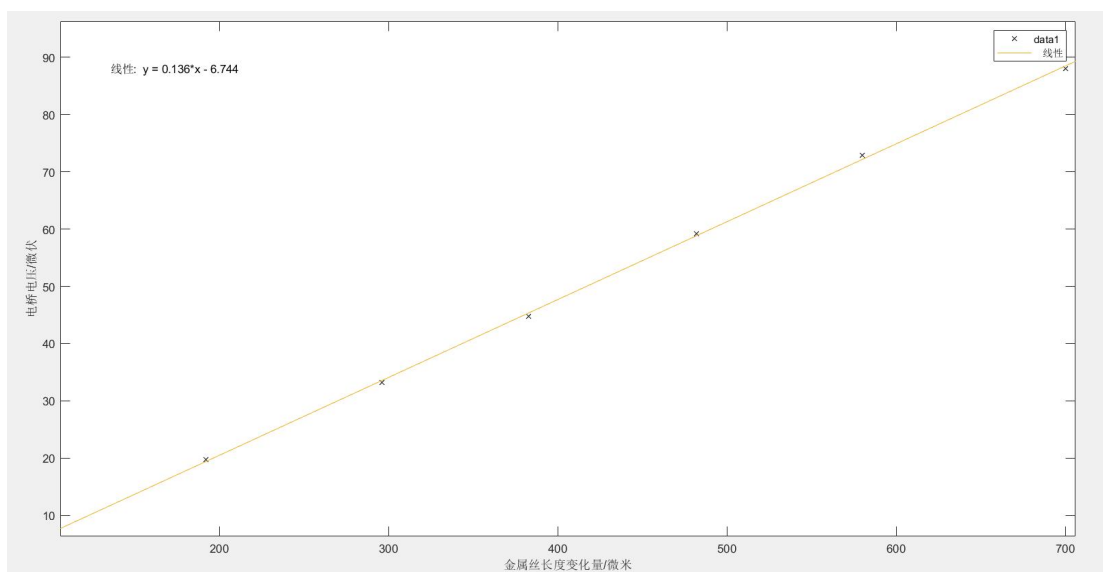


图 2 金属丝长度变化量、电桥电压拟合图

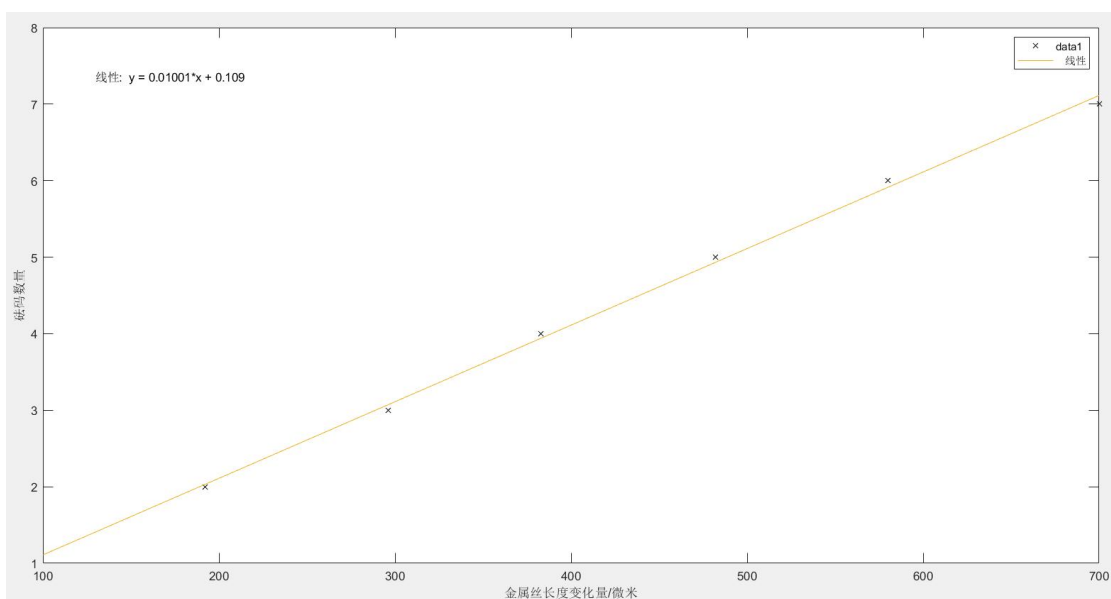


图 3 砝码数量、金属丝长度变化量拟合图

由上两图，得知，

$$K_1 = \frac{(1 + 2\mu)U_{AC}R_S}{4(R_S + R_4)L} = 0.136V/m$$

$$K_2 = \frac{\pi d^2 E}{4m_0 g L} = 0.01001 \text{ 个}/\mu m$$

代入数据，可得：

$$E = K_2 \frac{4m_0gL}{\pi d^2} = 147.5 \text{ GPa}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \left( K_1 \frac{4(R_S + R_4)L}{U_{AC}R_S} - 1 \right) = 0.3790$$

对焊点哈气造成 $U_g$ 变化是温差电效应导致的，即高温端自由电子动能大于低温端，故扩散速率更高，从而在导体两端形成了电位差。之所以两次哈气变化相反，是因为产生的电动势方向不同。

查阅资料，金属材料杨氏模量一般为  $100 \sim 200 \text{ GPa}$ ，泊松比一般为  $0.25 \sim 0.35$ ，杨氏模量测量值较为理想，而泊松比测量值明显偏大， $\Delta\mu/\mu > 8\%$ 。

下面分析误差来源。根据泊松比实验公式，有

$$\Delta\mu = (\mu + 0.5) \left( \frac{\Delta K_1}{K_1} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta R_S}{R_S} \right) \approx 6.7\Delta K_1 + 0.8\Delta L + 0.11\Delta R_S$$

其中 $\Delta K_1 \sim 0.001$ ,  $\Delta L \sim 0.0001$ ,  $\Delta R_S \sim 0.01$ 。三个参量对于 $\mu$ 造成的影响分别约为 $6.7 \times 10^{-3}$ ,  $8 \times 10^{-5}$ ,  $1.1 \times 10^{-3}$ 。很明显， $K_1$ 和 $R_S$ 是最有影响力的因素。根据本实验过程， $\Delta R_S$ 造成误差不可能大于  $0.01$ ，故本次实验误差主要来源为 $K_1$ 。根据本实验测量的 $\Delta\mu/\mu$ ，测量的 $K_1$ 有  $0.01 \text{ V/m}$  误差，将误差代入，得到 $\mu = 0.3144$  符合理想值。 $K_1$ 是金属丝长度变化量、电桥电压曲线的斜率，由于拟合效果良好，故排除偶然因素。猜测可能是显微镜观察焊点时金属丝拉伸方向与显微镜读数方向不平行、实验初始未完全平衡导致。此外金属丝焊点接触程度、对有效长度该变量的近似、添加砝码时金属丝位移、外界温度也会带来少许误差。