

测量金属丝的杨氏模量和泊松比实验报告

少年班学院 小组2号 PB21000004 吴越 2022年10月12日

摘要

本次实验在于通过非平衡电桥来测量金属丝的杨氏模量和泊松比。

- 测量金属丝的杨氏模量。
- 测量金属丝的泊松比。
- 实验处理与误差分析。

背景介绍

- 简介：杨氏模量定义为在胡克定律适用的范围内，单轴应力和单轴形变之间的比；泊松比是指材料在单向受拉或受压时，横向正应变与轴向正应变的比值。
- 提出：杨氏模量是沿纵向的弹性模量，于1807年由英国医生兼物理学家托马斯·杨(Thomas Young, 1773-1829)所得到的结果而命名，常用 E 表示。泊松比由法国力学家泊松(Simeon Denis Poisson, 1781-1842)提出。是反映材料横向变形的弹性常数，常用 μ 表示。
- 意义：杨氏模量和泊松比的测定对研究金属材料、光纤材料、半导体、纳米材料、聚合物、陶瓷、橡胶等各种材料的力学性质有着重要意义，还可用于机械零部件设计、生物力学、地质等领域。

第一部分 实验方法

1.实验名称

测量金属丝的杨氏模量和泊松比

2.实验目的

了解测量金属丝原理与特性。计算金属丝的杨氏模量和泊松比。

3.实验原理:

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。拉力 F 与丝的原始横截面 A 之比定义为应力，伸长量 ΔL 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。

式(1)中只考虑了材料的微小纵向应变，忽略了横向变化。横向变化量 Δd 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 $\Delta L/L$ 之比为常数：

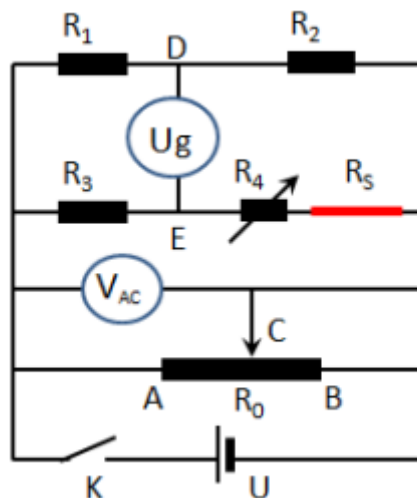
$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta L}{L}$$

其中(2)式中的负号表示纵向拉伸导致横向收缩， μ 为横向变形系数或称泊松比。

实际实验中，式(2)中的 Δd 较小，因此无法直接测量 μ ，但本实验中我们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而间接得到。

2、非平衡电桥

非平衡电桥与传感器配合使用，可测量温度、应力、位移等物理量。下图为非平衡电桥的原理图：



其中电阻箱 R_1 、 R_2 、 R_3 为电桥的三个臂，电阻箱 R_4 与待测金属丝电阻 R_s 串联构成第四臂， R_0 为电位器， C 是滑动头。当电桥平衡时，有以下关系：

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_s + R_4}$$

任意桥臂阻值变化时，电桥将偏离平衡位置。金属丝受到拉伸引起电阻变化 ΔR_s ，当 $R_4 + R_s$ 的相对阻值变化量小于1%时，桥电压 U_g （即D、E之间的电压）与该桥臂的电阻变化量近似满足：

$$U_g = \frac{U_{AC}}{4} \cdot \frac{\Delta R_s}{R_s + R_4}$$

这样我们通过将电阻的微小变化量转化成直流电压信号进行测量。再假设拉伸过程中金属丝电阻率不变，代入以下各式：

$$R_s = \rho \frac{L}{A}$$

$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta L}{L}$$

联立可得到如下关系：

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

即 U_g 与 ΔL 成正比例关系。因此测量桥电压与康铜丝伸长量之间的关系，由斜率即可求出其泊松比。

4.实验仪器

金属丝（已焊接两根导线，直径 $d = 0.2mm$ ），铝支架（已装配电位器、开关、电桥盒等），卷尺（最大允差2.0mm）JCD3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
直流稳压电源（~1.5V），砝码托盘（配10个增砣砝码，每个砝码100.0g。），导线

5.实验步骤：

1. 按实验要求，检查导线，电源是否正常。
2. 先在托盘中放上砝码，将金属丝拉直。
3. 使用卷尺测量左右焊点到金属丝固定处的距离 L_1 ， L_2 。
4. 按实验原理中的非平衡电桥电路图接线，调节滑动变阻器，将 U_{AC} 控制在0.3 – 0.5V。
5. 调节电阻箱 R_4 至电桥平衡（当 $|U_g| < 0.020mV$ 时即可认为平衡）
6. 调整显微镜观察焊点。依次在托盘中加入砝码，并读取对应的 U_g 以及显微镜示数 L 。
7. 记录完数据后，收拾仪器，处理数据。

6.数据处理和分析

实验测得数据如下：

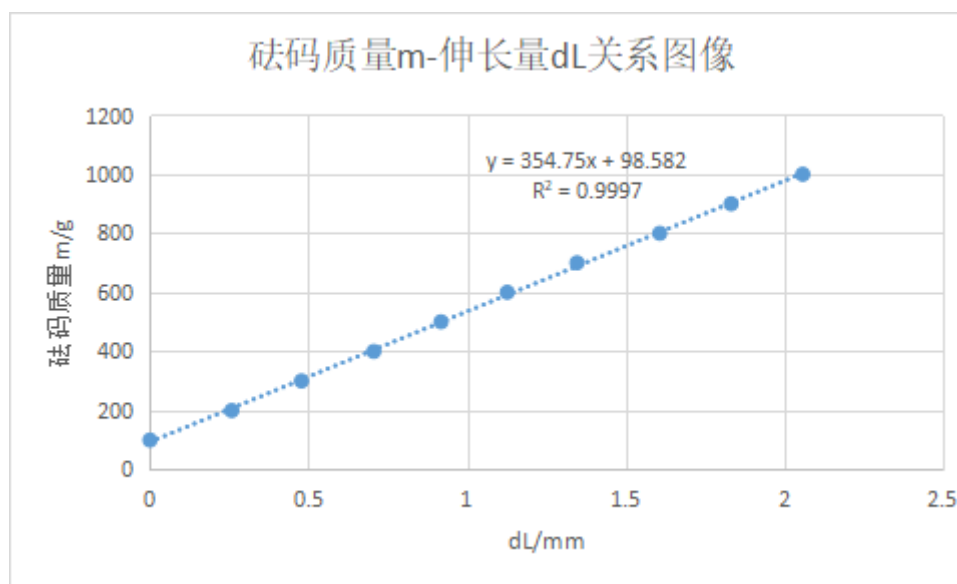
$$U_{AC} = 0.414V, R_4 = 33.83\Omega, L_1 = 28.70cm, L_2 = 143.77cm$$

砝码个数	砝码质量/g	桥电压Ug/mV	焊点位置/mm	伸长量/mm
1	99.92	0.014	11.872	0
2	99.95	0.069	12.161	0.289
3	100.2	0.134	12.350	0.478
4	99.91	0.175	12.578	0.706
5	100.46	0.248	12.790	0.918
6	99.88	0.296	12.999	1.127
7	99.88	0.314	13.211	1.339
8	99.92	0.333	13.480	1.608
9	99.86	0.354	13.705	1.833
10	99.99	0.367	13.931	2.059

金属丝长度为:

$$L = L_2 - L_1 = 115.07\text{cm}$$

砝码质量m与伸长量dL关系拟合图像如下:



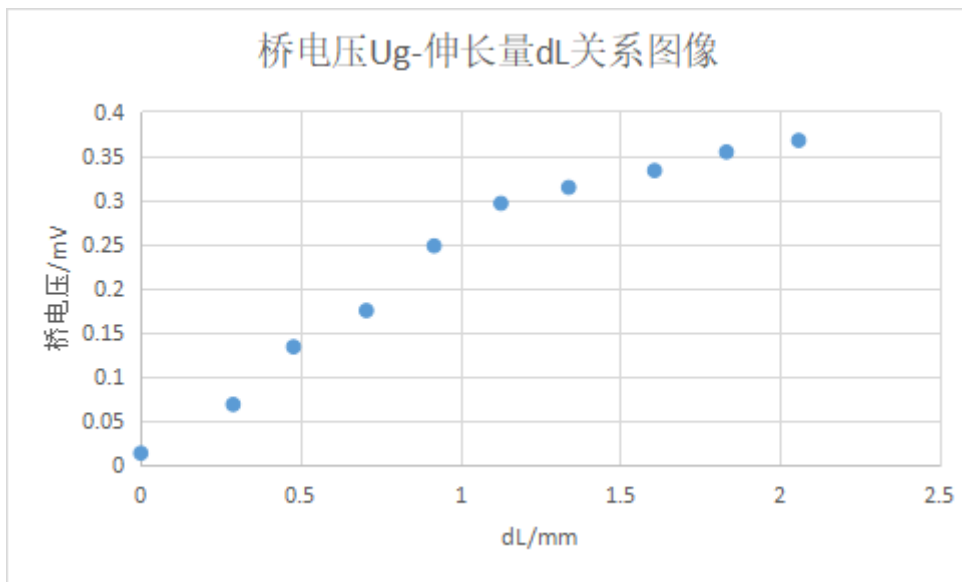
拟合结果得到 $y = 354.75x + 98.582$ ($R^2 = 0.9997$)

由公式 $\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L}$, 得 $F = \frac{AE}{L} \Delta L = K \Delta L$

计算杨氏模量得:

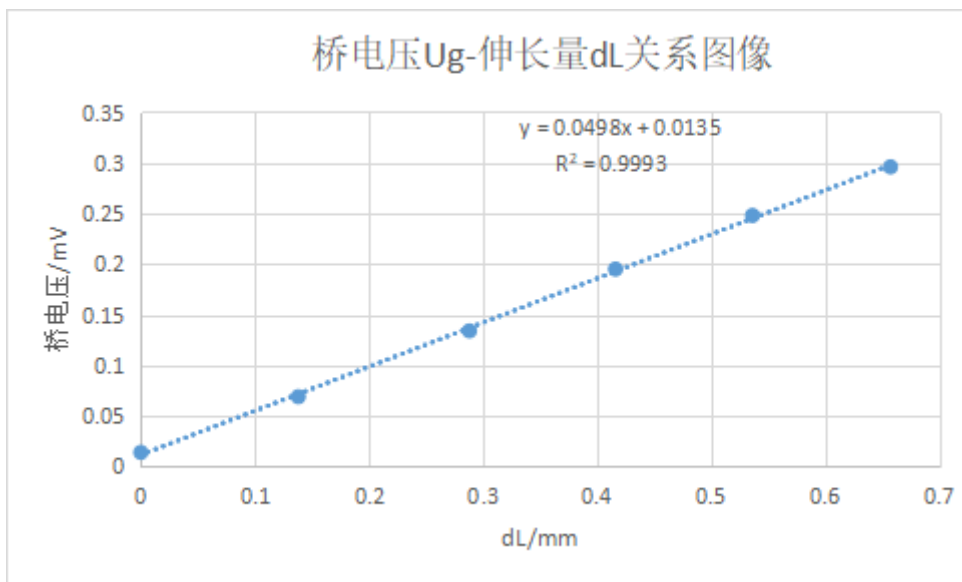
$$E = \frac{4KgL}{\pi d^2} = \frac{4 \times 9.795 \times 1.1507}{3.1415 \times (0.2 \times 10^{-3})^2} \text{Pa} \approx 1.27 \times 10^{11} \text{Pa} = 127 \text{GPa}$$

桥电压Ug与伸长量dL关系图像如下:



在拟合桥电压 U_g 与伸长量 dL 的关系时可以观察到，在所加砝码个数大于6时，桥电压 U_g 产生跳变，之后的数据明显偏离了线性关系。这是由于金属线本身比较光滑，与焊点的接触在砝码的拉伸下产生变化导致了金属丝电阻产生较大变化，因此偏离了线性关系。**因此在处理数据时，我们只选择了前六个符合线性关系的数据进行拟合，将偏离线性关系的数据进行舍弃。**

舍弃无效数据后，桥电压 U_g 与伸长量 dL 关系拟合图像如下：



拟合结果得到 $y = 0.0498x + 0.0135$ ($R^2 = 0.9993$)

带入公式 $U_g = \frac{(1+2\mu)R_s U_{AC}}{4(R_s + R_4)L} \Delta L = K \Delta L$ ，计算泊松比得：

$$\mu = \frac{1}{2} \left(\frac{4(R_s + R_4)LK}{R_s U_{AC}} - 1 \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times 51 \times 1.1507 \times 0.0498}{(51 - 33.83) \times 0.414} - 1 \right) \approx 0.277$$

综上，金属丝的杨氏模量和泊松比计算结果为：

$$E = 127GPa. \quad \mu = 0.277$$

待 U_g 示数稳定后，我们分别朝金属丝上的两个焊接点哈气，并观察桥电压 U_g 的读数变化现象为：

1. 向金属丝左焊点哈气，观察到 U_g 示数减小。
2. 向金属丝右焊点哈气，观察到 U_g 示数增大。

解释：查阅相关资料得知，这是由“**温差电效应**”(或称“**热电效应**”)导致。因为高温端自由电子的动能大于低温端自由电子的动能，高温端自由电子扩散速率高于低温端自由电子的扩散速率，从而在导体两端形成电位差。因此焊点哈气时，焊点处与焊点的附近其它处产生一定温度差，从而产生了“温差电动势”。产生的电动势会影响电路，从而导致 U_g 示数变化。

之所以两次哈气 U_g 变化相反，是因为哈气的焊点不同，因此产生的电动势方向不同。例如向左焊点哈气时，左焊点温度升高，从而产生一个从右向左的电流，进而导致 U_g 位置电势差减小。反之向右焊点哈气时，右焊点温度升高，从而产生一个从左向右的电流，进而导致 U_g 位置电势差增大。因此两次哈气 U_g 变化相反。

7.误差分析

根据分析，在实验过程中主要有以下四个方面引起误差：

1. 金属丝方面：

(1) 金属线本身比较光滑，与焊点的接触可能有不紧密的地方，导致拉伸过程中电阻变化较大影响实验。

(2) 由于实验中测得的是康铜丝有效长度，而有一部分没有接入电路。而 ΔL 是整根金属丝的形变量。因此计算中的 $\frac{\Delta L}{L}$ 偏大，导致计算得到的杨氏模量和泊松比都偏小，需要修正。

2. 电路方面：

(1) 实验中当 $|U_g| < 0.020mV$ 时即认为平衡，存在一定误差

(2) 实验中电路电流不稳定，读数时有 U_g 波动较大，给读数带来误差。

3. 测量方面：

(1) 测量金属丝长度时使用卷尺，不能保证与金属丝完全平行，测量存在一定误差。

(2) 使用显微镜观察焊点，难以调整至金属丝拉伸方向与显微镜读数方向完全平行，存在读数误差。

4.环境方面：

(1) 在实验中添加砝码时容易牵引金属丝使金属丝位移，导致金属丝电阻产生较大变化。

(2) 外界的环境温度变化会产生温差电效应，对电路产生较大影响，带来误差。

8.实验讨论：

通过测量金属丝的杨氏模量和泊松比实验，我：

(1) 了解了测量金属丝的杨氏模量和泊松比实验基本原理，非平衡电桥的测量原理等。

(2) 掌握了测量金属丝的杨氏模量和泊松比的基本方法和规范，加深了对其的理解。

(3) 实践了使用多种电路仪器（非平衡电桥）设计，连接电路的基本能力。

(4) 提高了对实验电路错误的排查，处理能力，加强了实践能力。

(5) 提升了其他与试验相关的能力。