

# 用双臂电桥测金属丝杨氏模量的优化实验\*

刘志亮

(青海大学机械工程学院 青海 西宁 810016)

(收稿日期:2017-09-09)

**摘要:**金属丝在拉力的作用下会沿轴向发生微小形变,从而引起金属丝电阻的微小变化,文献[3]通过对电阻的测量算出了金属丝的杨氏模量,本实验在此基础上,通过对公式的进一步推导,得出一个更加简单的公式,减少了实验引入和需要测量的量,使实验精度得到进一步提高.

**关键词:**双臂电桥 杨氏模量 微小形变 电阻

## 1 引言

杨氏模量是衡量材料受力之后抵抗变形能力的一个物理量,在工程技术设计中进行材料的选择时,该量是一个十分常用且重要的参数,因而对于材料杨氏模量的精确测量具有非常重要的意义.在大学物理实验中,通常采用光杠杆法和百分表法来测量金属丝的杨氏模量,以上方法不但操作繁琐,而且精度较低<sup>[1,2]</sup>.文献[3]利用双臂电桥通过对微小电阻的测量算出了金属丝的杨氏模量,此法虽操作相对简单、精度有所提高,但所用公式较为复杂,测量的量较多.

本文在该实验的基础上,通过对公式的进一步推导,得出一个用双臂电桥测金属丝杨氏模量更加简单、精确的新公式,从而使此方法更加完善.

## 2 实验原理及设备

### 2.1 实验原理

由胡克定律知,在弹性限度范围内,金属丝在拉力作用下发生的形变满足如下公式

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

式(1)中, $E$ 即为我们想要测量的杨氏模量, $F$ 为施加在金属丝上的轴向拉力, $L$ 为实验过程中金属丝接入电桥的长度, $S$ 为金属丝的横截面积, $\Delta L$ 表示在施加拉力 $F$ 前后,金属丝的长度变化量.然而,金属丝长度的变化量与电阻的变化量又存在如下关系

$$\Delta R = \rho \frac{\Delta L}{S} \quad (2)$$

式(2)中 $\Delta R$ 为金属丝电阻的变化量, $\rho$ 为金属丝的电阻率,将式(2)通过变形,代入式(1)中,最终得到

$$E = \frac{\rho FL}{\Delta RS^2} \quad (3)$$

式(3)即为文献[3]用双臂电桥测金属杨氏模量的理论公式.由上式可以看出,若要测出金属丝的杨氏模量,除了测量金属丝电阻的电阻和横截面积,还必须需查得该类金属的电阻率,而实际使用金属丝的电阻率可能与理论值存在一定的偏差,同时还需测量接入双臂电桥中金属丝的长度,对于其长度的测量一般采用米尺,因而测量精度不高.

由电阻的决定式可知:同一材料的电阻与材料的长度成正比,与材料的横截面积成反比,即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (4)$$

式(3)中, $\rho$ 表示金属丝的电阻率, $L$ 表示金属丝接

\* 青海大学大学生科技创新基金,编号:2017-QX-07

作者简介:刘志亮(1994-),男,主要从事机械设计方面的研究.

入电桥的原始长度,所以金属丝接入电桥时的原始电阻  $R_0$  满足如下式子

$$R_0 = \rho \frac{L}{S} \quad (5)$$

将式(5)代入式(3)中有

$$E = \frac{\rho FL}{\Delta RS^2} = \frac{F}{\Delta RS} \cdot \rho \frac{L}{S} = \frac{FR_0}{\Delta RS} \quad (6)$$

通过对金属丝直径  $d$  的测量即可得出其横截面积,代入横截面积

$$E = \frac{FR_0}{\Delta R \frac{\pi d^2}{4}} \quad (7)$$

式(7)即为本实验优化后的理论测量公式,由式(7)中我们可以看出,该实验仅需测量金属丝的电阻和横截面积即可,横截面积可通过螺旋测微仪精确测量,而金属丝的微小电阻也可通过双臂电桥精确测量得到,相比于原实验,引入和测量的量减少,实验精度进一步提高,实验更加简单方便。

## 2.2 实验仪器及装置

该实验用到的主要仪器设备有:悬挂金属丝的铁架台,质量为 1 kg 的砝码,待测金属丝,螺旋测微仪, QJ44 型直流双臂电桥. 实验装置图如图 1 所示,为了保证实验的精度,我们将悬挂金属丝的夹具进行了如图 1 中 A 处的防滑和绝缘处理。

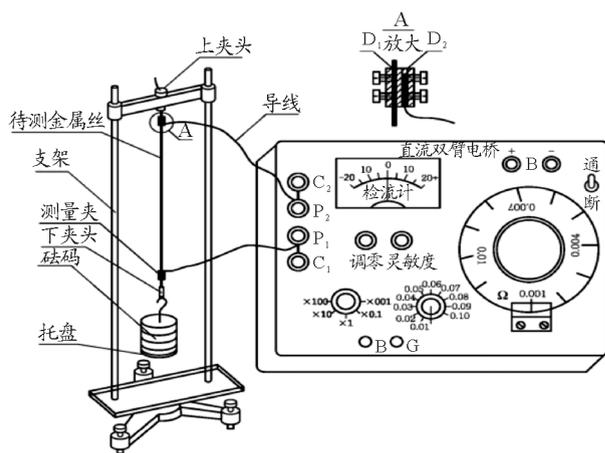


图 1 用双臂电桥测金属丝杨氏模量的优化实验装置图

## 3 实验步骤

(1) 先对支架悬挂金属丝的旋钮用绝缘胶带缠绕以绝缘,同时加以防滑,将金属丝一端固定在支架

旋钮上,将悬挂砝码的挂钩用绝缘胶带缠绕以绝缘,用螺旋测微仪测量金属丝的直径  $d$  (分别在金属丝的上中下部选择 5 段进行测量)。

(2) 将金属丝选择合适长度运用四端接法接入双臂电桥<sup>[4]</sup>,其中电流端  $C_1$  和  $C_2$  接金属丝外侧,电压端  $P_1$  和  $P_2$  接金属丝内侧。

(3) 打开电桥电源开关,使仪器预热 5 min,将灵敏度调至最低挡,旋动调零旋钮对双臂电桥进行调零。

(4) 先按下双臂电桥的 B 按钮,间隔 10 s,再按下 G 按钮,调节电阻使指针在零附近,调节灵敏度至最高,再调节电阻使检流计指向零,读出电桥板上电阻的值即为金属丝接入电桥的电阻  $R_0$ 。

(5) 加挂 1 kg 的砝码等 8 ~ 10 min 后,打开双臂电桥开关后重复步骤 4 测出伸长后接入电桥金属丝的电阻  $R_i$ 。

(6) 重复步骤 5 测量 6 次,每次增加砝码 1 kg,记录数据。

## 4 数据处理及误差分析

### 4.1 数据处理

通过以上实验步骤,测量并记录相关实验数据,表 1 为增加砝码时接入电桥金属丝的电阻值,表 2 为用螺旋测微仪测量金属丝所得的直径。

表 1 悬挂不同砝码时接入电桥金属丝的电阻

序号	电阻	增重时阻值 $R_i/\Omega$
0	$R_0$	0.527 50
1	$R_1$	0.527 52
2	$R_2$	0.527 54
3	$R_3$	0.527 57
4	$R_4$	0.527 59
5	$R_5$	0.527 61
6	$R_6$	0.527 64
7	$R_7$	0.527 66

表 2 金属丝的直径

序号	1	2	3	4	5
直径 $d/\text{mm}$	1.180	1.179	1.180	1.181	1.180

由公式  $E = \frac{FR_0}{\Delta RS}$  知,令  $K = \frac{F}{\Delta R}$ ,则有

$$E = \frac{R_0}{S} \cdot K \quad (8)$$

对表1数据进行线性拟合,处理过程如表3所示.

表3 线性拟合处理过程

$F_i$	0	9.8	19.6	29.4	39.2	49.0	58.8	68.6
$R_i$	0.527 50	0.527 52	0.527 54	0.527 57	0.527 59	0.527 61	0.527 64	0.527 66

由图2的拟合结果可得: $K=421\ 157$ ,为了减小测量误差,将金属丝的直径求平均值得: $\bar{d}=1.180$  mm,由表1可知 $R_0=0.527\ 50$ ,将数据带入式(8),计算出金属丝的杨氏模量 $E=2.03 \times 10^{11}$  Pa,通过查表,钢丝的杨氏模量 $E_{\text{标}}=1.96 \sim 2.06 \times 10^{11}$  Pa,由此可知,该优化方案所测得的杨氏模量值在标准范围内.

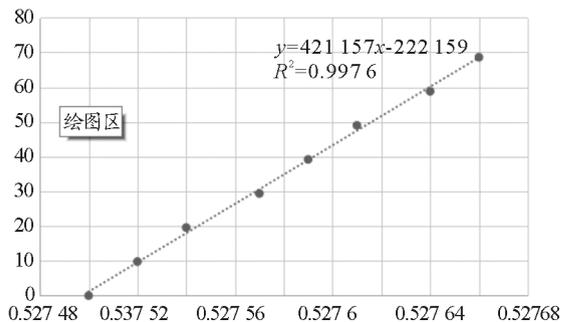


图2 悬挂不同砝码时接入电桥金属丝的电阻

#### 4.2 误差分析

(1) 实验所悬挂的砝码,部分被锈蚀导致质量不足1 kg,可能引起一定误差.

(2) 在对金属丝电阻的测量时,金属丝伸长可能未达到稳定状态导致所测量的电阻不准,从而引

起误差.

(3) 将金属丝接入双臂电桥时,由于有接触电阻的产生<sup>[5]</sup>,造成测量电阻与实际电阻存在偏差,而引起实验误差.

#### 5 结语

本实验通过对原有公式的合理推导,得出一个更加简单的测量公式,减少了实验需要测量和引入的量,精度得到了有效提升,从而使利用双臂电桥测量杨氏模量的实验进一步优化.

#### 参考文献

- 1 王银峰,陶纯匡,汪涛,等.大学物理实验.北京:国防工业出版社,2009:49~52,340~345
- 2 周晓明.三种杨氏模量测量方法比较.实验科学与技术,2011,9(6):97~98
- 3 马玉利,戴心锐.金属的杨氏模量测定研究.大学物理,2014,33(4):18~21
- 4 鲁百佐.四引线法测量中电压端钮内外接法的等效性研究.物理测试,2003(2):28
- 5 穆晓东,盛爱兰.直流双臂电桥在测定金属丝杨氏模量中的应用.大学物理实验,2004,17(2):7

## The Optimized Experiment of Measuring the Young's Modulus of Metal Wire with Double Bridge

Liu Zhiliang

(School of Mechanical Engineering, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016)

**Abstract:** The wire under the action of tension will occur along the axial small deformation, thus caused the wire resistance small changes, Ma Yuli etc through to the resistance measurement to calculate the young's modulus of metal wire, this experiment based on this, through the formula is derived, it is concluded that a more simple formula, decrease the measurement, further improve the accuracy.

**Key words:** double Bridge; Young's modulus; small deformation; resistance