

一种测定橡胶杨氏模量的方法*

张 瑛 李艳茹

(云南师范大学物理与电子信息学院 云南 昆明 650500)

谢慧玲

(耿马县第一中学 云南 临沧 677500)

张皓晶 张 雄

(云南师范大学物理与电子信息学院 云南 昆明 650500)

(收稿日期:2016-03-22)

摘要:大学物理测量金属杨氏模量实验通常采用拉伸法和梁弯曲法,但是该方法在进行实验的过程中存在设备难以调节,读数存在误差,实验的成本较高等缺点,而且该设备对测量非金属的杨氏模量无法操作.为了使该实验问题具体化,实验仪器简单化,实验现象明显可靠,本文介绍了一种测量非金属杨氏模量的简易实验装置.

关键词:杨氏模量 简易装置 橡胶

1 引言

在大学物理实验中测量杨氏模量的实验,主要运用了光杠杆法测量金属的杨氏模量,实验器材主要有望远镜、光杠杆、杨氏模量测量仪、标尺、砝码^[1].使用该方法测量杨氏模量,学生对相关的实验器材不了解,比如望远镜其原理比较复杂,在读数和调节过程中比较困难,影响了测量的精确度,这种方法并不能让学生直接定量、定性地测量物体的杨氏模量.笔者利用生活中常见的物体作为实验器材,设计了一种测量非金属杨氏模量的简易实验装置,该实验装置成本低,操作简单,实验的准确度高.

弹性模量可视为衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,其值越大,使材料发生一定弹性形变的应力也越大,即材料刚度越大,亦即在一定应力作用下,发生弹性变形越小.生活中,学生可以利用这个简单的装置去测量非金属的杨氏模量,对其他一些有弹性非金属的杨氏模量进行验证,完成课外延伸实验,培养学生的自主探究能力,创新性地开设实验.

2 实验原理和方法

实验中所用的器材:橡胶1块(硬度为20,表面

积 $S=0.01\text{ m}^2$,厚度 $L=0.1\text{ m}$),长方体木块1块(质量为 4 kg ,表面积为 0.02 m^2),长方体铝块2块,砝码(质量不等)若干,直尺(量程为 $0\sim 20\text{ cm}$).

实验时把橡胶正放在桌面上,用一块木块正放在橡胶上,其余两块铝块正放在橡胶的两边,稳定和支持着正压在橡胶上的木块,让木块正压在橡胶上,并在木块上依次增加砝码,如图1所示.

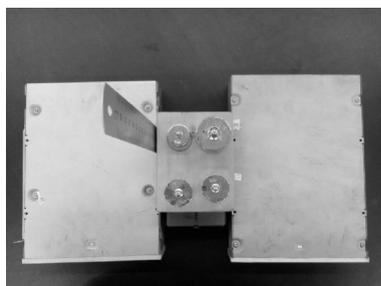


图1 测量橡胶杨氏模量的实验装置

砝码和木块的重力大小等于橡胶受到的正压力大小 $F(F=mg)$,橡胶被压缩,读出橡胶的压缩量 ΔL ,则橡胶单位面积上受到的垂直作用力 $\frac{F}{S}$ 称为正应力,橡胶的相对压缩量 $\frac{\Delta L}{L}$ 称为线应变.在弹性范围内,由胡克定律可知物体的正应力与线应变成正

* 国家教育部高等学校“物理学专业综合改革试点”项目“物理学专业”资助.

作者简介:张瑛(1991-),女,在读硕士研究生,物理学科教学方向.

指导教师:张皓晶(1982-),男,副教授,研究生导师,天体物理和物理课程与教学论方向.

比^[1],即

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

则

$$Y = \frac{\frac{F}{S}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (2)$$

比例系数 Y 即为杨氏弹性模量. 它表征材料本身的性质, Y 越大的材料, 要使它发生一定的相对形变单位横截面积上所需要的作用力也越大. Y 的国际单位制单位为帕斯卡, 记为 Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$; $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$)^[1].

3 实验测量的结果

实验测得的数据如表 1 ~ 表 3 所示.

表 1 压在橡胶上木块和砝码的总质量 m

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
m/kg	4	8	12	16	20	24	28	32

表 2 橡胶压缩量 ΔL 的变化情况表

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta L/(\times 10^{-4} \text{ m})$	1.4	1.5	2.34	2.52	3.5	3.7	4.4	6.2

表 3 计算 $\frac{F}{S}$ 和 $\frac{\Delta L}{L}$ 的值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{\Delta L}{L}/(\times 10^{-3})$	1.4	1.5	2.34	2.52	3.5	3.7	4.4	6.2
$\frac{F}{S}/\text{kPa}$	4	8	12	16	20	24	28	32

设 $\frac{F}{S}$ 为 y , $\frac{\Delta L}{L}$ 为 x , 把表 3 中的数据描绘在坐标系中, 用一元线性回归的方法^[3]来处理数据, 如图 2 所示.

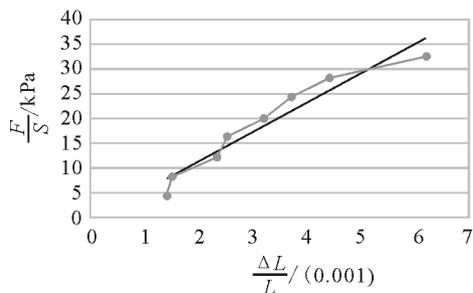


图 2 橡胶杨氏模量的线性关系

由式(2)可知直线的斜率就表示橡胶的杨氏模量 Y .

4 实验结果和误差分析

数据处理^[3]

$$\bar{\frac{F}{S}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F}{S} \right)_i = 1.8 \times 10^{-3} \text{ Pa}$$

$$\overline{\left(\frac{\Delta L}{L} \right)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta L}{L} \right)_i = 3.20 \times 10^{-3}$$

$$U_A \left(\frac{F}{S} \right) = \delta \left(\bar{\frac{F}{S}} \right) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{F}{S}_i - \bar{\frac{F}{S}} \right)^2}{n(n-1)}} = 3.26 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$U_B \left(\frac{F}{S} \right) = \frac{\Delta \left(\frac{F}{S} \right)}{\sqrt{3}} = 0.528 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$\delta \left(\frac{F}{S} \right) = \sqrt{U_A \left(\frac{F}{S} \right)^2 + U_B \left(\frac{F}{S} \right)^2} = 3.34 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$\delta \left(\frac{\Delta L}{L} \right) = \delta \left(\overline{\frac{\Delta L}{L}} \right) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta L}{L}_i - \overline{\frac{\Delta L}{L}} \right)^2}{n(n-1)}} = 5.7 \times 10^{-4}$$

将正应力 $\frac{F}{S}$ 和线应变 $\frac{\Delta L}{L}$ 的最佳估读值代入式(2)

得到橡胶的杨氏模量 $Y = 5.87 \times 10^6 \text{ Pa}$.

误差为

$$\delta(Y) = \sqrt{2 \left[\frac{\partial Y}{\partial \frac{\Delta L}{L}} \delta \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \right]^2 + \left[\frac{\partial Y}{\partial \frac{F}{S}} \delta \left(\frac{F}{S} \right) \right]^2} = 1.21 \times 10^3 \text{ Pa}$$

所以橡胶杨氏模量的测量结果

$$Y = (5.87 \times 10^6 \pm 1.21 \times 10^3) \text{ Pa}$$

计算最佳估值与厂家值 ($Y = 6.0 \times 10^6 \text{ Pa}$) 的相对误差 w

$$w = \frac{|Y_{\text{测量值}} - Y_{\text{真实值}}|}{Y_{\text{真实值}}} \times 100\% = 2.16\%$$

该误差值在误差允许范围内, 实验误差小, 实验结果理想.

5 分析与总结

在测量橡胶的杨氏模量时, 在实验的过程中, 由于要在橡胶上不断添加砝码, 给测量橡胶高度的变化量 ΔL 带来一定的误差, 但是正压在橡胶上的木

(下转第 74 页)

常好. 由 $b = \frac{\lambda}{2}$, 得 $\lambda = 2b = 9.528 \text{ mm}$

$$v_2 = \lambda f = 342.326 \text{ m/s}$$

3.2.1 波长不确定度分析

(1) A类不确定度分析

b 的标准偏差为

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{1-r^2}{n-2}\right) \frac{b}{r}} = 0.0014 \text{ mm}$$

所以 $u_A(\lambda) = S_b = 0.0014 \text{ mm}$

(2) B类不确定度分析

B类不确定度和采用逐差法时一样, 所以

$$u_B(\lambda) = 0.0029 \text{ mm}$$

(3) 合成不确定度分析

$$u(\lambda) = \sqrt{u_A^2(\lambda) + u_B^2(\lambda)} = 0.0032 \text{ mm}$$

3.2.2 声速的不确定度分析

$$u(v_2) = v_2 \sqrt{\left[\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right]^2 + \left[\frac{u(f)}{f}\right]^2} =$$

$$342.3 \times \sqrt{\left(\frac{0.0032}{9.528}\right)^2 + \left(\frac{0.002}{35.9284}\right)^2} \text{ m/s} =$$

$$0.1 \text{ m/s}$$

测量结果为

$$v_2 \pm u(v_2) = (342.3 \pm 0.1) \text{ m/s}$$

所以测量值的相对误差

$$E_r = \frac{v_2 - v_s}{v_s} = 0.87\%$$

(上接第71页)

块和砝码的质量读数是准确的, 橡胶的表面积一定, 可以适当减少对实验结果的影响, 实验处理中运用一元线性回归法^[3]来处理数据, 进一步减小了实验的误差. 本实验装置还可以把橡胶换成其他有弹性的物体, 使用同样的实验方法测量出相应的杨氏模量.

A Measuring Method on Young Modulus of Rubber

Zhang Ying Li Yanru Xie Huiling Zhang HaoJing Zhang Xiong

(Physics and Electronic Information Institute, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract: We in college often measure Young Modulus of metvcalcs by tensile method or bending beam method with disadvantages including difficulties in regulating apparatus, reading error and high cost. What's more, its apparatus cannot be applied into measuring that of nonmetal. To specific the experiment, simplify the equipmen and make phenomenon more clear, this essay introduce a kind of simple apparatus to measure Young modulus of nonmetal.

Key words: Young modulus; simple apparatus; rubber

4 结论

从逐差法和最小二乘法处理数据的结果来看, 二者在处理驻波法测声速实验数据时都可以得到较好的结果, 因为利用二者计算的结果和理论值的误差都小于1%, 在误差允许的范围内, 并且二者的误差相差不大, 只有0.03%. 所以利用逐差法和最小二乘法处理数据是等效的.

参考文献

- 1 吴定允, 常加忠. 大学物理实验. 郑州: 河南科学技术出版社, 2014. 138 ~ 141
- 2 睦聿文. 声速测量实验中声波的研究. 西华大学学报(自然科学版), 2011, 30(1): 52 ~ 55
- 3 王山林. 关于声速测量实验的研究与设计. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2012, 12(1): 45 ~ 46
- 4 潘健, 姚渐伟. 关于声速测量实验的讨论. 大学物理, 2010, 29(11): 55 ~ 58
- 5 郑庆华, 童悦. 声速测量实验的理论分析. 宜春学院学报(自然科学版), 2006, 28(4): 44 ~ 46
- 6 张俊玲. 驻波法测量声速实验的系统误差分析. 大学物理实验, 2012, 25(5): 81 ~ 83
- 7 刘石劬. 声速测量及不确定度分析. 大学物理实验, 2013, 26(4): 99 ~ 103
- 8 黄贤群. 基于最小二乘法的声速测定实验数据处理及分析. 大学物理实验, 2012, 25(2): 75 ~ 77

参考文献

- 1 杨述武. 普通物理实验(一). 北京: 高等教育出版社, 2008. 91
- 2 Kenneth A. Pestka II Young's Modulus of a Marshmallow. The Physics Teacher, 2008(3): 140 ~ 141
- 3 张雄, 王黎智, 马力, 等. 物理实验设计与研究. 北京: 科学出版社, 2001