

文章编号:1005-4642(2020)05-0015-03

非实验室环境下完成拉伸法测金属丝的杨氏模量

李永治,侯小娟,李林凤,李丽荣,陈 华

(内蒙古科技大学理学院,内蒙古包头 014010)

摘 要:用日常生活材料制作实验装置,基于拉伸法和光杠杆放大法对铜丝的杨氏模量进行测量.实验结果显示:居家完成拉伸法测金属丝杨氏模量的方案是可行的,且对培养学生的实验技能、实验数据处理和解决实践问题的能力有很好的作用.

关键词:杨氏模量;拉伸法;光杠杆;居家实验

中图分类号:O343

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.05.004

用拉伸法测金属丝的杨氏模量是大学物理实验的经典内容,通过该实验可以使学生全面学习长度测量基本工具的使用,同时利用光杠杆放大法使学生学会微小伸长量测量的设计,以及运用误差均分法设计物理量的测量方案.针对杨氏模量测量的实验研究很多,有将纵向拉伸改成横向进行测量^[1],或将激光器引入光杠杆^[2-3],将智能手机 APP 测量杨氏模量^[4]以及其他非光杠杆法的测量^[5-7].也有利用居家材料搭建实验装置,在实验室之外实现杨氏模量的测量,既可完成教学任务,又能有效提高学生实验技能和动手能力,更重要的是启发学生在设备有限的情况下采用合理的方法完成测量任务并保证实验精度.

1 实验原理

物体在外力作用下,总会发生形变.当形变不超过某一限度时,外力消失后,形变随之消失,这种形变称为弹性形变.发生弹性形变时,物体内部产生恢复原状的内应力.杨氏模量正是反映固体材料形变与内应力关系的物理量.本实验只考虑拉伸形变,即金属丝沿轴向发生的形变.设金属丝长为 L ,横截面积为 S ,沿长度方向受外力 F 后伸长 ΔL .单位横截面积上的垂直作用力 F/S 称为正应力,金属丝的相对伸长量 $\Delta L/L$ 称为

线应变.实验结果表明:在弹性形变范围内,正应力与线应变成正比,即

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

其中,比例系数 E 称为杨氏模量.用拉伸法测量金属丝杨氏模量的常见实验装置如图 1 所示^[8].金属丝长度微小伸长量的测量是实验中最难的,也是最关键的部分.依据误差均分原理和实验数据分析可知,金属丝横截面积的测量精度对结果的准确性也有很大影响.要准确测量微小伸长量必须采用放大的方法,常用的是光杠杆放大法.实验室常见的光杠杆放大系统由光杠杆、标尺和望远镜组成,其组成与放大原理如图 2 所示.图 2 中镜面到标尺的距离为 D ,光杠杆的足长为 b .调节望远镜可以看清平面镜内反射的标尺像,以望远镜中叉丝横线为参考读出标尺上相应的刻度值.设金属丝长度变化前刻度为 x_0 ,当金属丝伸长 ΔL 时,光杠杆后足随之下降,并带动平面镜转动.设转角为 θ ,则平面镜上的反射光线将转过 2θ .此时视场中叉丝横线对应的刻度值变为 x_i ,令 $\Delta x = x_i - x_0$,当 $\Delta L \ll b$ 时,近似有 $\theta \approx \Delta L/b$ 或 $2\theta \approx \Delta x/D$.为显示清楚,图 2 中的 θ 做了放大处理.金属丝的横截面积一般可以用直径计算 $S = \pi d^2/4$,将上述各值代入式(1)中,即可得出杨氏模量的计算公式为

收稿日期:2020-03-20;修改日期:2020-04-24

基金项目:内蒙古科技大学教育教学改革研究项目(No. JY2019037);内蒙古自治区高等学校教学改革科学研究项目(No. 2019NMGJ069);内蒙古自治区教育科学规划课题(No. NGJGH2019174)

作者简介:李永治(1983—),男,内蒙古凉城人,内蒙古科技大学理学院副教授,博士,主要从事物理实验教学与研究.



$$E = \frac{8FLD}{\pi d^2 b \Delta x} \quad (2)$$

图2中的望远镜也可用激光器代替,将激光器放在平面镜附近,测量光杠杆后足随金属丝移动造成照射到远处的激光反射光斑的移动。

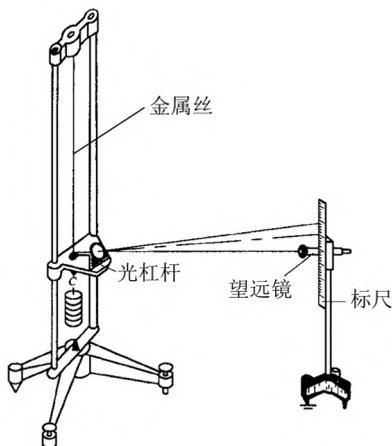


图1 拉伸法测金属丝杨氏模量装置图

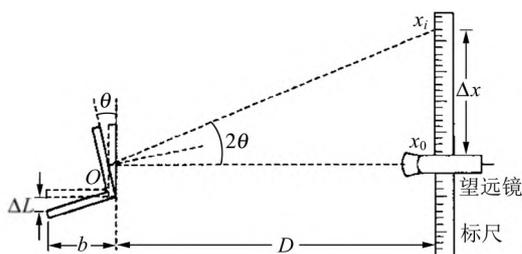


图2 镜尺装置放大图

2 实验方法

2.1 实验器材与装置

实验测量对象为细铜丝,选用3 m长的多股铜线,剥皮后,抽出3根备用。利用找到的细铜丝,进行拉断预实验,根据断裂所需拉力设计砝码的总重量,砝码总重力小于断裂拉力的1/10时,金属丝的形变在弹性形变范围内。拉断实验显示,本实验所用铜丝在吊起0.63 kg物体时会发生断裂,因此设计了12个质量为4.30 g的砝码。本实验用硬纸片制作了砝码,也可用普通A4纸制作砝码,经实验测量其质量为 (4.35 ± 0.04) g。用小圆平面镜、胶带和小棍制作光杠杆。将铜丝挂在高处,如升降晾衣架上,在铜丝下端安装1块硬纸板用来放光杠杆的后足,之下再安装砝码吊框,实验装置主要部分如图3所示。



图3 实验装置主要部分

2.2 实验步骤

1)将激光器开关用胶带纸粘住,保持常开状态;调整激光器和平面镜角度,使激光光斑落在正对面墙上合适的位置;移动激光器和光杠杆底座,将光杠杆后足放在铜丝下端的硬纸板上;调整硬纸板高度,使光杠杆能够绕前支点小角度转动。

2)在墙上激光光斑处用胶带纸粘1张白纸,保证平整;找到激光光斑中标志明显部分,画出一条横线作为零刻线,再画出一条相交的竖线;向吊框中依次加砝码,待激光光斑稳定后,在墙上的白纸标出激光光斑的位置;加完12个砝码之后,再依次取下,标记激光光斑的位置。

3)用卷尺测量铜丝的长度 L ,测量平面镜距墙面的距离 D ;用直尺测量光杠杆的有效足长 b ;用密排法测量铜丝的直径 d (密排法是指将铜丝紧密地并排绕在1根细棍上形成线圈,通过测量线圈宽度和线圈匝数,计算出单根铜丝的直径)。

4)将标记好的白纸从墙上取下,用直尺量出每条线到零刻线的距离,填入数据记录表中,计算出6个砝码重力造成的铜丝伸长量 Δx 。

5)将以上数据代入式(2),计算出铜丝的杨氏模量 E ,并分析实验误差的来源。

3 数据处理及分析

实验中对铜丝长度 L 、距离 D 、足长 b 和直径 d 进行了测量,数据记录于表1中。测得铜丝受力拉伸后激光斑点位置的变化值,记录于表2中,并在表中计算出6个砝码造成的伸长量。利用表1和表2中的数据可以计算出各直接测量量的平均值与不确定度,计算不确定度时仪器误差的取值:卷尺为1 cm、米尺为0.05 cm、密排法测直径为0.000 8 cm(0.05 cm/60取整)。

用表1中的实验数据可以计算出 $L=(184\pm 1)$ cm, $D=(572\pm 1)$ cm, $b=(7.12\pm 0.07)$ cm, $d=(0.173\pm 0.001)$ cm, $\Delta x=(3.22\pm 0.06)$ cm. 将以上数据代入式(2)中,计算出铜丝的杨氏模量 $E=(99\pm 2)$ GPa,这与铜的杨氏模量理论值^[8] 105~130 GPa 相差不大,可以算出杨氏模量测量值的相对不确定度约为2%,对不确定度贡献最大的是 Δx ,这与实验室测量时一致;贡献较大的还有 b ,这是非实验室环境下光杠杆前后足不好固定造成的,这与实验室测量不同.

表1 铜丝长度 L 、距离 D 、足长 b 和直径 d 的测量

L/cm	D/cm	b/cm	d/mm
182.00	574.30	7.20	0.173
184.55	573.60	7.09	0.172
183.50	572.50	7.12	0.173
185.35	571.20	7.05	0.172
182.90	572.00	7.15	0.173
182.70	571.50	7.10	0.174

表2 增加砝码激光斑点位置变化值

N	x/cm	N	x/cm	$\Delta x/cm$
1	0.62	7	3.82	3.20
2	1.16	8	4.35	3.19
3	1.69	9	4.88	3.19
4	2.21	10	5.42	3.21
5	2.73	11	5.99	3.26
6	3.28	12	6.54	3.26

在实验中,引起测量结果存在误差的原因有:光杠杆不容易固定,前后2个支点会发生滑动,且

与金属丝链接支点会随金属丝转动,光杠杆足长也不容易测准确.在取下砝码的过程中,容易造成光杠杆失去平衡,减砝码读数很难实现.

4 结束语

利用居家材料,引导学生在非实验室环境中完成自制光杠杆和搭建拉伸法测杨氏模量实验装置,学会长度、长度微小变化量和细丝直径的测量,掌握逐差法处理数据的方法.居家完成杨氏模量的测量,不仅为该物理量的测量提供了一种实验方法,也为其他物理实验项目在非实验室环境下完成提供了有益的借鉴经验.

参考文献:

- [1] 徐庆君,刘伟,贾国治.金属丝的杨氏模量测定实验的改进[J].物理实验,2007,27(9):40-41.
- [2] 郭涛,盛琛,杨悦.光杠杆测量杨氏模量的研究[J].大学物理,2016,35(3):40-42,53.
- [3] 黎绮毓,刘树娜,程丽萍.激光反射法测量金属丝杨氏模量的改进[J].科技风,2019(21):140.
- [4] 冯一帆,胡琦珩,杨杰,等.利用智能手机测量金属的杨氏模量[J].物理实验,2017,37(12):41-44.
- [5] 房鑫,刘成森,张囡囡,等.数字激光散斑照相技术测金属杨氏模量[J].物理实验,2018,38(3):21-23.
- [6] 洪子昕,郭无箏,白在桥.动态法测杨氏模量实验中的双共振峰现象[J].物理实验,2019,39(9):48-53.
- [7] 谢杨莹,秦玉霞,杨旭昕,等.拉伸法测头发丝杨氏模量实验装置的改装[J].物理实验,2018,38(9):51-54.
- [8] 董大明,李永治.大学物理实验(下)[M].北京:北京邮电大学出版社,2011:203.

Measurement of Young modulus by tensile test using home-made device

LI Yong-zhi, HOU Xiao-juan, LI Lin-feng, LI Li-rong, CHEN Hua

(School of Science, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Using tensile test and optical lever, the Young modulus of copper wire was measured by home-made device. The results showed that the measurement of Young modulus at home is achievable and suitable for training student's experimental skills of data analysis and abilities to solve practical problems.

Key words: Young modulus; tensile test; optical lever; home-made experiment

[责任编辑:尹冬梅]