

■ 物理学研究

利用激光测量金属丝杨氏模量的实验研究

姬忠涛, 王连友, 陶淑芬

(曲靖师范学院 物理与电子工程学院, 云南 曲靖 655011)

摘要: 利用激光直射法和反射法对传统的杨氏模量测量方法进行实验改进, 实验表明: 应用这两种方法测量碳钢丝的杨氏模量, 所得测量结果与标准值吻合较好. 相对于杨氏模量传统测量方法来说, 利用激光测量金属丝杨氏模量不仅调节方便, 而且直观性强, 准确度高. 是对现有光杠杆法测量杨氏模量实验的一种补充和完善.

关键词: 杨氏模量; 激光; 光杠杆; 仪器改进

中图分类号: G424.31; O312 **文献标识码:** A

文章编号: 1009-8879(2008)06-0049-04

0 引言

杨氏模量是描述金属材料抵抗外力产生拉伸(或压缩)形变能力的物理量, 是选定机械构件材料的依据之一, 是工程技术中的常用参数. 对杨氏模量的测定是大学物理实验课程中的重要实验, 测定杨氏模量目前通常采用的方法为: 光杠杆测定法^[1], 电阻传感器测定法^[2,3], 电容传感器测定法^[4], 衍射测定法^[5~7]等.

1 普通光杠杆法中存在的问题

传统的杨氏模量测量方法中, 钢丝的伸长量是利用光杠杆放大原理测量并求得的, 这种方法存在着诸多问题.

首先是实验的系统误差. 操作时先要将仪器调节至标准状态, 即负荷为零时, 光杠杆镜面法线与望远镜光轴重合; 标尺与光杠杆镜面相平行且铅垂于地面. 设加上负荷后平面镜的偏转角度为 θ . 在标准情况下, 求杨氏模量所用公式是通过 θ 近似等于 $\tan\theta$ 得到的, 由这种近似方法形成的相对实验误差为^[8]: $\frac{\Delta E}{E} = \frac{\tan^3 2\theta}{4}$, 当 θ 较小时, 此误差很小, 但随 θ 增大此误差近似地以 $(2\theta)^3$ 倍增大. 故当负荷很大时, 该系统误差就不能忽

略了.

其次是望远镜光轴倾斜所产生的误差. 假设当金属丝下端没有负荷时, 望远镜光轴与水平面之间有一倾角 α , 那么望远镜光轴倾斜对实验产生的相对误差公式^[9]为:

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_0 = \alpha^2 + 2\alpha\theta$$

最后是光杠杆镜面倾斜所产生的误差. 当钢丝下端没有负荷时, 设望远镜光轴保持水平, 光杠杆镜面与铅垂面之间有一夹角 β , 那么光杠杆倾斜对实验造成的相对误差公式^[9]为:

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_0 = 4(\beta^2 + \beta\theta).$$

可见传统光杠杆和望远镜标尺组成的系统测量杨氏模量时, 望远镜光轴倾斜或光杠杆镜面倾斜对测量结果影响都比较大. 并且利用伸长法测杨氏模量时, 光杠杆镜面与望远镜光轴都是通过手工调节, 不可避免会存在误差. 因此为了使测出的杨氏模量更准确, 有必要对杨氏模量普通光杠杆法测量装置进行改进.

2 实验装置的改进

为了使测量结果更精确和节省实验时间, 笔者利用氩—氦激光器对原有测量仪进行了改装.

收稿日期: 2008-10-07

作者简介: 姬忠涛, 曲靖师范学院物理与电子工程学院教师, 硕士, 主要从事大学物理实验的教学与研究.

2.1 反射法测量金属丝杨氏模量

现在所用杨氏模量测量仪大都没有将系统调节成标准状态的功能, 因此测量基本上都是在非标准状态下进行, 这样就会存在系统误差. 笔者改进了望远镜和标尺, 使装在立柱上的标尺与

底座垂直, 因此只要底座放置在水平桌面上, 标尺就会垂直于地面. 然后将氦—氖激光器垂直固定于带有小孔的标尺上, 同时将望远镜取走, 这种方法称为激光反射法. 改进装置如图 1.

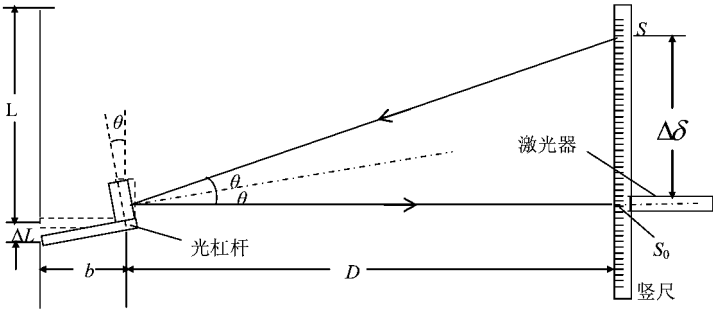


图 1 激光反射法实验装置图

2.2 直射法测量金属丝杨氏模量

另一种改进是在分析了光杠杆放大测量方法的特点后, 建立了一种利用氦—氖激光直射式放大测量杨氏模量的方法, 这种方法与传统光杠杆放大测量方法相比, 测量过程容易调节, 直观性强, 并且精度较高. 自制光杠杆如图 2, 将氦—氖激

光器水平固定于光杠杆平台下表面, 测量时将光杠杆直接装在平台上, 光杠杆两前足由微调螺丝制成, 并在平台上放置一个水准仪, 通过调节两前足螺丝, 即可使平台水平, 则氦—氖激光器发出的光就是水平的, 这种方法称为激光直射法, 改进装置如图 3.

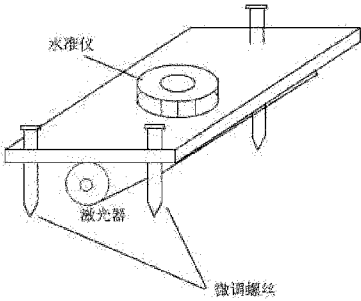


图 2 激光光杠杆图

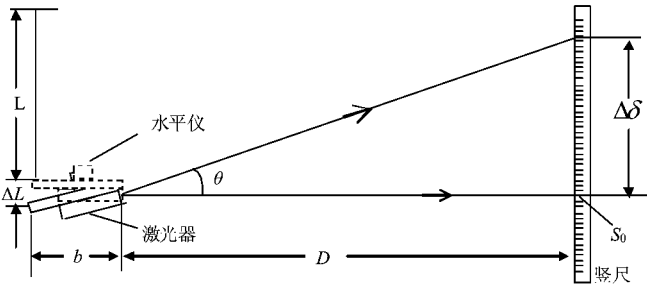


图 3 激光直射法实验装置图

由此装置图可知激光光杠杆偏转角度和激光光线偏转角度相同, 则金属丝杨氏模量的计算公式应改写为 $E = \frac{4DFL}{\pi d^2 \Delta \phi}$.

3 实验步骤

将利用螺旋测微计所测出的钢丝直径数据记录于表 1.

3.1 反射法测量金属丝杨氏模量

(1) 按照图 1 所示放置好氦—氖激光标尺系统, 在距激光标尺系统约 2m 远处放置带有钢丝和光杠杆的支架, 并调整支架铅直, 使装置中的摩擦力最小, 在砝码盘上加 2kg 的砝码将钢丝拉直.

(2) 经反射镜返回的激光束在光屏上形成光斑, 轻轻调整光杠杆镜面, 使光斑的中心与标尺上入射孔的中心重合, 此时说明光杠杆镜面铅垂, 并记录标尺上的读数 x_1 于表 2.

(3) 逐次增加砝码, 每次增加 1kg, 每增加 1kg 砝码记录下标尺上相应读数 $x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$ 共 7 次并记入表 2.

(4) 先放上一个 1kg 的砝码, 然后逐次减少砝码, 每次减少 1kg, 直至砝码盘上只剩下 2kg 砝码, 每减少 1kg 砝码记录下标尺上相应读数 $x'_8, x'_7, x'_6, x'_5, x'_4, x'_3, x'_2, x'_1$ 共 8 次并记入表 2.

(5) 测量光杠杆镜面到标尺的距离 D 、钢丝的长度 L 和光杠杆常数 b (利用游标卡尺测量),

利用逐差法处理实验数据, 并计算钢丝的杨氏模量 E 和不确定度.

3.2 直射法测量金属丝杨氏模量

(1) 按照图 3 所示, 先调节杨氏模量测定仪, 让支架、细钢丝铅直, 使装置中的摩擦力最小, 在砝码盘上加 2kg 的砝码将钢丝拉直, 在支架平台上放置好氦—氛激光器杠杆和水准仪, 然后在距离钢丝支架约 2m 远处放置好标尺.

(2) 让激光器发出的光直射到读数标尺上, 调整激光器杠杆前足微调螺丝使得水准仪气泡居中, 此时水准仪水平, 并记录标尺上相应的读数 x_1 记入表 3.

(3) 逐次增加砝码, 每次增加 1kg, 每增加 1kg 砝码记录下标尺上相应读数 x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 ,

x_7, x_8 共 7 次并记入表 3.

(4) 先放上一个 1kg 的砝码, 然后逐次减少砝码, 每次减少 1kg, 直至砝码盘上只剩下 2kg 砝码, 每减少 1kg 砝码记录下标尺上相应读数 $x'_8, x'_7, x'_6, x'_5, x'_4, x'_3, x'_2, x'_1$ 共 8 次并记入表 3.

(5) 测量光杠杆前脚到标尺的距离 D 、钢丝的长度 L 和光杠杆常数 b (利用游标卡尺测量), 并计算钢丝的杨氏模量 E 和不确定度.

4 实验数据及处理

对同一根钢丝用上述两种改进装置测量, 表 1 为利用螺旋测微器测量钢丝直径结果.

表 1 测量钢丝直径记录表及不确定度 (单位: 10^{-2}m)

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值	U_A	U_B	U_C	标准形式
d	0.0608	0.0605	0.0610	0.0605	0.0608	0.0612	0.0608	0.0003	0.0003	0.0004	0.0608 ± 0.0004

表 1 中 d 的 B 类不确定度取 $\Delta/\sqrt{3}$, $\Delta = 0.005\text{mm}$.

4.1 反射法测量金属丝杨氏模量 (表 2)

表 2 反射法测量金属丝杨氏模量数据记录 (单位: cm)

次序	负荷 (kg)	增荷时 x_i	减荷时 x'_i	$X_i = \frac{1}{2}(x_i + x'_i)$
0	2	4.45	4.42	4.44
1	3	5.42	5.44	5.43
2	4	6.38	6.40	6.39
3	5	7.37	7.35	7.36
4	6	8.35	8.33	8.34
5	7	9.30	9.28	9.29
6	8	10.32	10.30	10.31
7	9	11.35	11.35	11.35
$L = 103.90$		$U_C(L) = 0.03$	$U_A(\Delta) = 0.04\text{cm}$	$U_B(\Delta) = 0.03\text{cm}$
$D = 203.20$		$U_C(D) = 0.03$	$U_C(\Delta) = 0.05\text{cm}$	$U_C(\Delta d) = 0.05\text{cm}$
$h = 7.218$		$U_C(h) = 0.001$	$U_{yr} = 1.4\%$	
$\Delta_1 = \bar{x}_7 - \bar{x}_3 = 3.99$		$\Delta_2 = \bar{x}_6 - \bar{x}_2 = 3.92$	$Y = 2.0115 \times 10^{11} \text{N/m}^2$	
$\Delta_3 = \bar{x}_5 - \bar{x}_1 = 3.86$		$\Delta_4 = \bar{x}_4 - \bar{x}_0 = 3.90$	$U_C(Y) = 3 \times 10^9 \text{N/m}^2$	
$\Delta = \frac{1}{4}(\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4) = 3.92$		$\Delta d = \frac{1}{4}\Delta = 0.98$	$Y = (2.01 \pm 0.03) \times 10^{11} \text{N/m}^2$	

4.2 直射法测量金属丝杨氏模量 (表 3)

5 实验结果的比较

杨氏模量的值与材料的结构、化学成分及其加工制造方法有关, 一般物理常数表中所列出的碳钢杨氏模量在 20°C 时的数值是 $(1.96 \sim 2.06)$

$\times 10^{11} \text{N/m}^2$]. 对同一根碳钢丝进行测量, 激光反射法所测杨氏模量为 $(2.02 \pm 0.04) \times 10^{11} \text{N/m}^2$, 激光直射法所测杨氏模量为 $(2.01 \pm 0.03) \times 10^{11} \text{N/m}^2$, 可见两种方法的测量结果均在此范围内.

以上两种改进装置测量结果与碳钢丝的杨氏弹性模量标准值吻合, 而且标准偏差较小, 实

表 3 反射法测量金属丝杨氏模量数据记录(单位: cm)

次序	负荷(kg)	增荷时 x_i	减荷时 x'_i	$X_i = \frac{1}{2}(x_i + x'_i)$
0	2. 00	1. 00	1. 05	1. 03
1	3. 00	1. 55	1. 60	1. 58
2	4. 00	2. 11	2. 15	2. 13
3	5. 00	2. 56	2. 70	2. 68
4	6. 00	3. 18	3. 17	3. 18
5	7. 00	3. 70	3. 70	3. 70
6	8. 00	4. 22	4. 20	4. 21
7	9. 00	4. 75	4. 75	4. 75
$L = 99. 25$ $U_C(L) = 0. 03$ $U_A(\triangle) = 0. 03\text{cm}$ $U_B(\triangle) = 0. 03\text{cm}$				
$D = 199. 55$ $U_C(D) = 0. 03$ $U_C(\triangle) = 0. 03\text{cm}$ $U_C(\triangle d) = 0. 008\text{cm}$				
$h = 6. 346$ $U_C(h) = 0. 001$ $U_{Yr} = 1. 8\%$				
$\triangle_1 = \bar{x}_7 - \bar{x}_3 = 2. 07$ $\triangle_2 = \bar{x}_6 - \bar{x}_2 = 2. 08$ $Y = 2. 022 \times 10^{11}\text{N/m}^2$				
$U_C(Y) = 4 \times 10^9\text{N/m}^2$				
$\triangle_3 = \bar{x}_5 - \bar{x}_1 = 2. 12$ $\triangle_4 = \bar{x}_4 - \bar{x}_0 = 2. 15$ $Y = (2. 02 \pm 0. 04) \times 10^{11}\text{N/m}^2$				
$\triangle = \frac{1}{4}(\triangle_1 + \triangle_2 + \triangle_3 + \triangle_4) = 2. 10$ $\triangle d = \frac{1}{4}\triangle = 0. 52$				

验的精确度较高,说明利用激光测量金属丝杨氏模量的两种方法是切实可行的;而且具有直观性强、精度高、方法简单等特点,是测量金属丝杨氏模量的两种有效的新方法.

参考文献:

[1] 林抒, 龚镇雄. 普通物理实验[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981: 48 ~ 49.

[2] 徐辑彦, 关寿华. 金属丝杨氏弹性模量电测法初探[J]. 大学物理实验, 2001, 13(3): 44 ~ 46.

[3] 麻福厚. 用惠斯通电桥测定杨氏模量[J]. 物理实验, 1998 (5): 6 ~ 8.

[4] 贾亚民, 陈光德, 贺富堂. 用电容传感器测金属丝杨氏

弹性模量的不确定度分析[J]. 大学物理实验, 2001, 14 (3): 52 ~ 55.

[5] 张振杰. 光学[M]. 西安: 西北大学出版社, 1994: 188 ~ 194.

[6] 姚启均. 光学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996: 12 ~ 14.

[7] 何军锋. 单缝衍射测定金属丝杨氏弹性模量的理论研究[J]. 陕西工学院学报, 2002, 18 (4): 58 ~ 61.

[8] 关寿华, 徐辑彦. 用光杠杆测量杨氏模量的误差分析及改进[J]. 大连民族学院学报, 2004, 6(1): 11 ~ 12.

[9] 高海林. 拉伸法测量金属杨氏模量实验的改进[J]. 物理科学与实验, 2006, 8 (4): 65 ~ 68.

Comparative Research on the Survey of Young’ s Modulus of Wire by Using the Laser

Ji Zhongtao, Wang Lianyou, Tao Shufen

(Department of Physics, Qujing Nomal University, Qujing Yunnan 655011, China)

Abstract: The laser is used in this paper to improve the conventional measuring method of young’ s modulus. According to the data of the experiment, the two methods are visualer, more convenience and have higher accuracy compared with conventional measuring method of youngs modulus, and the measuring result accord with the standard value. In conclusion, Simultaneously the experimental design of this article proposed will be of great benefit to the experiment teaching and the design and manufacture of experimental apparatus.

Key words: Young’ s modulus; laser; optical lever; instruments improvement

[责任编辑、责任校对: 李国发]