

杨氏模量实验钢丝因素对实验结果的影响

王雪燕 王 博

(石河子大学理学院 新疆 石河子 832003)

(收稿日期:2016-09-17)

摘 要:用一种 ZKY-YM 数显近距转镜式杨氏模量仪测定金属丝的杨氏模量,主要分析了钢丝因素对实验结果的影响,并最终给出在 3 kg 质量提供的预拉力下,拉力不超过 88.2 N,每次增减质量由 1 kg 变为 0.5 kg 的条件下,得到了更加精确的杨氏模量结果.

关键词:杨氏模量 钢丝弯曲 ZKY-YM 数显近距转镜式杨氏模量仪

1 引言

杨氏模量是衡量材料受力后变形能力大小的参数之一,或者说是描述材料抵抗弹性形变能力的一个重要物理量,它是生产、科研中选择合适的材料的重要依据,也是工程技术设计中常用的参数.

目前,普通高校对这个物理量的测量采用的是静态拉伸法.对金属丝施力的方法有两种,一种是加砝码,一种是施力螺母.区别是前者加力是离散的,后者是连续的.目前对杨氏模量仪器改进提出了很多方法,如用激光器代替望远镜^[1,2],增加定位和振动衰减装置^[3]等.在测量方法上也有很多创新,比如运用双臂电桥测微小值电阻的原理测量^[4],自行

组装迈克尔孙干涉装置测量^[5],用光纤传感器测量^[6],激光光杠杆弯曲法测量^[7]等.本实验用一种 ZKY-YM 数显近距转镜式杨氏模量仪测定金属丝的杨氏模量(见图 1),与传统测量杨氏模量的仪器相比,此仪器有了很大程度的改进与创新,但在实际测量中发现还是存在影响误差偏大的因素,本文对其进行了分析.

2 杨氏模量实验原理

设金属丝的原长为 L ,横截面积为 S ,沿长度方向施力 F 后,其长度改变 ΔL ,则金属丝单位面积上受到的垂直作用力 $\sigma = \frac{F}{S}$ 称为正应力,金属丝的相

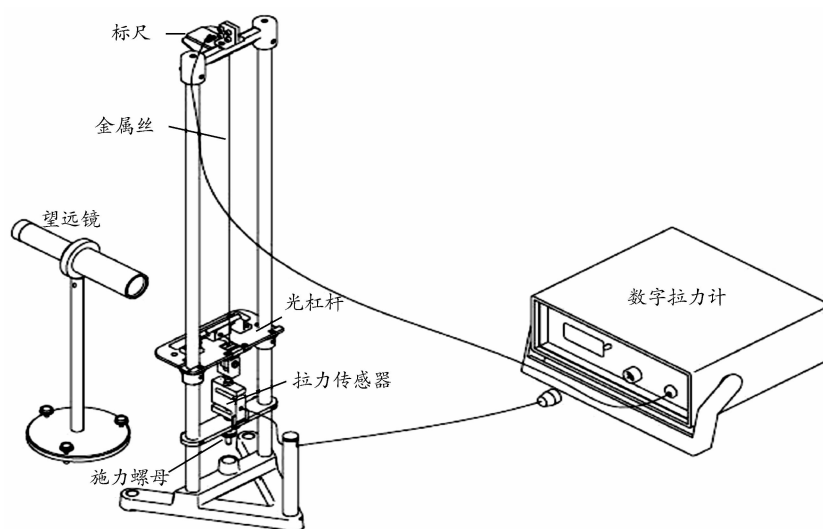


图 1 杨氏模量系统示意图

作者简介:王雪燕(1984-),女,硕士,实验师,主要从事大学物理实验的教学与研究工作.

对伸长量 $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ 称为线应变. 实验结果指出, 对于直径为 d 的圆柱形金属丝, 其杨氏模量为

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{4mgL}{\pi d^2 \Delta L} \quad (1)$$

式(1)中 L (金属丝原长) 可由米尺测量, d (金属丝直径) 可用螺旋测微器测量, F (外力) 可由实验中数字拉力计上显示的质量 m 求出, 即 $F = mg$ (g 为重力加速度), 而 ΔL 是一个微小长度变化 (mm 级), 本实验利用光杠杆的光学放大作用实现对金属丝微小伸长量 ΔL 的间接测量.

如图2所示, 光杠杆由反射镜、反射镜转轴支座和与反射镜固定连动的动足等组成.

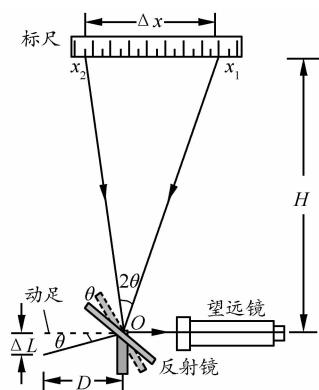


图2 光杠杆放大原理图

开始时, 光杠杆的反射镜法线与水平方向成一夹角, 在望远镜中恰能看到标尺刻度 x_1 的像. 当金属丝受力后, 产生微小伸长 ΔL , 动足尖下降, 从而带动反射镜转动相应的角度 θ , 根据光的反射定律可知, 在出射光线 (即进入望远镜的光线) 不变的情况下, 入射光线转动了 2θ , 此时望远镜中看到标尺刻度为 x_2 .

实验中 $D \gg \Delta L$, 所以 θ 和 2θ 会很小. 从图2的几何关系中可以看出, θ 很小时有

$$\Delta L \approx D\theta \quad \Delta x \approx 2\theta H$$

故有

$$\Delta x = \frac{2H}{D} \Delta L \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得到

$$E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 D} \frac{1}{\Delta x} \quad (3)$$

3 影响测量结果的因素分析

3.1 钢丝弯曲的影响

无论哪种仪器, 在金属丝使用一段时间后, 都会存在钢丝弯曲的现象, 影响读数. 通常在实验开始前先给金属丝一个预拉力, 实验室一般建议是 9.8 N, 但不同粗细的钢丝使用次数不同, 则施加预拉力的大小应是不同的. 在实际实验中发现, 预拉力过小不足以完全消除金属丝的弯曲现象, 而过大则有可能超出材料的弹性限度. 因此, 合适的预拉力大小, 对实验的结果非常重要.

表1~4为同一根钢丝预拉力分别由 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg 质量提供的, 金属丝原长 $L = 72.29$ cm, 金属丝直径 $\bar{d} = 0.623$ mm, 光杠杆 $D = 31.02$ mm, 标尺到镜面的距离 $H = 68.03$ cm. Δx 表示在增减质量过程中从望远镜中测量的钢丝变化量. 由于实验中测量多次, 为充分利用每组数据, 采用逐差法处理, 最后代入公式计算出 $\overline{\Delta x}$. 式(3)变为

$$E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 D} \frac{1}{\overline{\Delta x}} \quad (4)$$

根据表1, 2, 3 的数值, $\overline{\Delta x}$ 由

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{6} \sum_{i=0}^5 \overline{x_{i+5}} - \overline{x_i}$$

计算, 分别得 $\overline{\Delta x_1} = 2.538$ cm, $\overline{\Delta x_2} = 2.444$ cm, $\overline{\Delta x_3} = 2.559$ cm. 由于预拉力增加, 导致测量数据减少. 从表4中看出, 数据比表1, 2, 3 少了一组, 因此

$$\overline{\Delta x_4} = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 \overline{x_{i+4}} - \overline{x_i}$$

得 $\overline{\Delta x_4} = 2.03$ cm. $\overline{\Delta x_1}, \overline{\Delta x_2}, \overline{\Delta x_3}$ 在用逐差法计算中每项质量差是 5 mg, 而 $\overline{\Delta x_4}$ 计算中每项的质量差是 4 mg. 把所有数据代入式(4), 得

$$E_1 = (2.01 \pm 0.08) \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$E_2 = (2.08 \pm 0.61) \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$E_3 = (1.99 \pm 0.08) \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$E_4 = (2.01 \pm 0.08) \times 10^{11} \text{ Pa}$$

在数据计算中发现 E_3 的值最小, 说明在此实验条件下, 最理想的预拉力是 3 kg.

表 1 预拉力由 1 kg 扭力提供时，
增减质量所测量的标尺读数

测量	质量 / kg	加力标尺 读数 /cm	减力标尺 读数 /cm	标尺的平 均值 /cm
0	1	1.38	1.39	1.385
1	2	1.88	1.87	1.875
2	3	2.39	2.39	2.390
3	4	2.89	2.95	2.920
4	5	3.43	3.45	3.440
5	6	3.89	3.91	3.900
6	7	4.40	4.42	4.410
7	8	4.93	4.95	4.940
8	9	5.44	5.48	5.460
9	10	5.98	6.00	5.990

表 2 预拉力由 2 kg 扭力提供时，
增减质量所测量的标尺读数

测量	质量 / kg	加力标尺 读数 /cm	减力标尺 读数 /cm	标尺的平 均值 /cm
0	2	1.89	1.90	1.895
1	3	2.40	2.41	2.405
2	4	2.90	2.95	2.925
3	5	3.41	3.45	3.430
4	6	3.90	3.94	3.920
5	7	4.41	4.43	4.420
6	8	4.90	4.92	4.910
7	9	5.42	5.47	5.445
8	10	5.98	6.00	5.990
9	11	6.45	6.52	6.485

表 3 预拉力由 3 kg 扭力提供时，
增减质量所测量的标尺读数

测量	质量 / kg	加力标尺 读数 /cm	减力标尺 读数 /cm	标尺的平 均值 /cm
0	3	2.39	2.40	2.395
1	4	2.89	2.93	2.910
2	5	3.41	3.42	3.415
3	6	3.95	3.96	3.955
4	7	4.45	4.45	4.450
5	8	4.91	4.98	4.945

续表

测量	质量 / kg	加力标尺 读数 /cm	减力标尺 读数 /cm	标尺的平 均值 /cm
6	9	5.42	5.49	5.455
7	10	5.99	5.99	5.990
8	11	6.48	6.55	6.515
9	12	7.01	7.02	7.015

表 4 预拉力由 4 kg 扭力提供时，
增减质量所测量的标尺读数

测量	质量 / kg	加力标尺 读数 /cm	减力标尺 读数 /cm	标尺的平 均值 /cm
0	4	2.90	2.91	2.905
1	5	3.42	3.42	3.420
2	6	3.91	3.92	3.915
3	7	4.40	4.40	4.400
4	8	4.91	4.91	4.910
5	9	5.42	5.44	5.430
6	10	5.93	5.98	5.955
7	11	6.45	6.49	6.470
8	12	6.94	6.98	6.960

3.2 钢丝塑性变形的影响

在实验中用的钢丝为普通碳素钢，钢丝通过一夹头与拉力传感器相连，采用螺母旋转方式加力。从表 1～表 4 的数据中发现，表 1、表 2 的增重和减重数值没有规律性，而表 3 和表 4 的数值规律性越来越明显。表 4 中从初始测量到第 8 次测量给钢丝施加的作用力的范围是 39.2～127.4 N(包含预拉力)。其中到第 5 次测量 $\sigma_5 = 289 \text{ MPa}$ (包含预拉力)超过了钢丝的屈服极限^[8]，在施加力继续加大的过程中会产生塑性变形。从测量初始到第 4 次增重读数与减重读数基本不变，从第 5 次开始增重读数与减重读数的差值在增大，说明塑性变形对实验结果产生了一定的影响。因此，在本实验中施加力最大不应超过 88.2 N。

3.3 钢丝下端不垂直底座的影响

在固定钢丝时下端会有很小的偏移，与拉力传

感器接触端不垂直,导致从数字拉力计中显示的拉力读数与钢丝实际受力大小不符合.若钢丝与垂线夹角为 θ ,显示值 $F\cos\theta$ 比实际受力值 F 小,而长度 L (钢丝两端的长度)相应也会变成 $L\cos\theta$,把它们都代入式(3),得

$$E' = \frac{8mg\cos\theta L\cos\theta H}{\pi d^2 D} \frac{1}{\Delta x} = \frac{8mgLH\cos^2\theta}{\pi d^2 D} \frac{1}{\Delta x} = E\left(\frac{1+\cos 2\theta}{2}\right) \quad (5)$$

从式(5)可以看出 E' 小于 E .钢丝下端不垂直底座时会导致杨氏模量偏小.而实验中由于这个角度 θ 非常小,基本可以忽略不计.

4 数据计算

从分析中发现,预拉力3 kg质量提供时适合,表3中的测量次数应到第4次就结束,以减少塑性变形对实验结果的影响,但为了增加测量次数可以减小每次加力的大小,转换为质量就是每次逐渐减0.5 kg,如表5所示.计算出

$$E_5 = (1.96 \pm 0.04) \times 10^{11} \text{ Pa}$$

表5 预拉力由3 kg 扭力提供时, 增减质量所测量的标尺读数

测量	质量 / kg	加力标尺 读数 /cm	减力标尺 读数 /cm	标尺的平均值 /cm
0	3.0	2.39	2.40	2.395
1	3.5	2.62	2.63	2.625
2	4.0	2.89	2.93	2.910
3	4.5	3.12	3.15	3.135
4	5.0	3.41	3.42	3.415
5	5.5	3.67	3.69	3.680
6	6.0	3.95	3.96	3.955
7	6.5	4.19	4.20	4.195
8	7.0	4.45	4.45	4.450
9	7.5	4.69	4.71	4.700

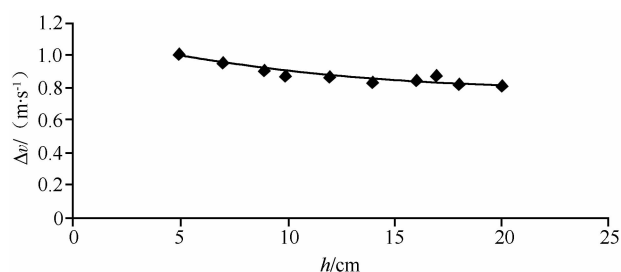
5 结论

本实验用ZKY-YM数显近距转镜式杨氏模量仪测定金属丝的杨氏模量,讨论存在的影响因素有钢丝弯曲、塑性变形、钢丝不垂直底座.计算出合适的预拉力为3 kg质量提供的力,并发现加力的范围不宜过大,不超过88.2 N,同时为了不影响测量次数,把每次增减的质量由1 kg减为0.5 kg,计算得到的杨氏模量值最为精确 $[E = (1.99 \pm 0.08) \times 10^{11} \text{ Pa}]$.除了以上讨论的因素外,还存在其他因素的影响,比如望远镜中的十字叉丝与标尺的刻度线有夹角,影响读数.用的是近距望远镜在调节找像中花费时间较长,望远镜的底座太小,造成望远镜容易晃动,影响实验效果.

参考文献

- 郭涛,盛琛,杨悦.光杠杆测量杨氏模量的研究.大学物理,2016,35(3):40~42,53
- 蔡莉莉,王会彬.拉伸法测金属丝杨氏模量实验装置的改进.大学物理实验,2015,28(1):57~59
- 赵敏,强晓明,章韦芳.杨氏模量测定实验的整体改进.大学物理,2012,31(7):37~39
- 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
- 李儒颂,叶文江.金属丝杨氏模量测量装置的设计.大学物理实验,2014,27(5):51~52
- 叶天明,周颖东,潘宁,等.用光纤传感器测量金属丝的杨氏模量.物理实验,2015,35(12):36~38
- 刘颖,张嘉誉,王颖,等.激光光杠杆弯曲法测杨氏模量.大学物理实验,2015,28(6):28~30
- 王永廉.材料力学(第2版).北京:机械工业出版社,2015.33

(下转第102页)

图 3 $\Delta v-h$ 拟合曲线

4 结论

本文结合理论分析和实验分析,得出在忽略空气阻力的情况下,粘滞力对孔口 B 处水流速度的影响. 实验结果显示,在开孔深度 h 为 $5\text{ cm} \sim 20\text{ cm}$ 范围内, h 越小,实验中孔口 B 处的水流速度受粘滞力的影响越大. 究其原因是由于当 h 越小时,水流元在出口处停留的时间就越长,因此所受粘滞力的影响就越大. 分析图 3 中的拟合曲线,可利用反比例函数描述粘滞力的影响,因此可得

$$v_{\text{理}} = v_{\text{测}} + \left(\frac{a}{h-b} + c \right)$$

对于本实验装置,通过拟合曲线可求出各常数分别为 $a = 1.506, b = -0.8729, c = 0.7467$.

参考文献

- 1 张大昌. 普通高中课程标准实验教科书必修 2. 北京:人民教育出版社,2004
- 2 章梓雄,董曾南. 粘性流体力学. 北京:清华大学出版社,2011
- 3 刘鹤年. 流体力学(第 2 版). 北京:中国建筑工业出版社,2004
- 4 靳铁良. 伯努利方程及其简单推导. 内江科技,2004,25(6):74 ~ 78
- 5 蒋守培. 由残缺轨迹求平抛运动的初速度. 物理教师,2012(1):33 ~ 34
- 6 罗憧乾. 流体力学. 北京:机械工业出版社,2000
- 7 潘路. 对“水的平抛”的几点释疑. 物理教师,2010,31(11):38 ~ 40
- 8 罗春焱,罗德刚,李伟. 有关平抛运动实验中测初速度方法的探究式教学与反思. 物理教师,2014(5):26 ~ 27

(上接第 99 页)

The Influences of Steel Wire on the Experimental Results in Young's Modulus Experiment

Wang Xueyan Wang Bo

(College of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003)

Abstract: This paper analyzes some factors of steel wire that influence the measurement accuracy of the Young's Modulus Experiment by a ZKY-YM experimental instrument. And eventually given under 3 kg quality to provide strong, no more than 88.2 N, every time increase or decrease in quality from 1 kg to 0.5 kg, the young's modulus of more accurate results are obtained.

Key words: Young's Modulus; steel wire beeding; ZKY-YM experimental instrument