

测量细丝直径的一种新方法

亢小宁

(府谷县府谷中学 陕西 榆林 719499)

刘艳峰

(延安大学物理与电子信息学院 陕西 延安 716000)

(收稿日期:2021-12-02)

摘要:利用力敏传感器的电压输出特性与受力之间的关系结合静力称衡法,从理论上推导出了测量细丝直径的公式,然后设计出了相应的实验方案并进行了验证.利用该公式测量出的细丝直径与常规方法测量出的细丝直径相比较,二者的测量结果相差甚小,说明测量细丝直径的方案确实可行.这种测量细丝直径的新方法,在实际生活和教学科研方面有一定的参考和应用价值.

关键词:力敏传感器 直径 静力称衡法 新方法

细丝直径的测量是物理实验中常见的基本测量项目,实验室通常利用机械测量的方法或光学实验的方法来完成,比如螺旋测微器测量细丝直径、读数显微镜测量细丝直径、光的衍射测量细丝直径等.

随着科技的不断发展,人们开始将一些传感器运用于实验研究中,如经常利用压阻力敏传感器测量物质的体积、密度、质量、表面张力等.压阻力敏传感器的灵敏度非常好,在低量程范围内仍可进行精准的测量,压阻力敏传感器的输出电压与受力之间有良好的线性关系,而且体积较小、精度较高、整体性能较稳定,所以在工业及设备制造领域得到了广泛地使用,如化工、医学、电力、空调、冶金、汽车制造、金刚石压机等压力测量与控制^[1].论文利用压阻力敏传感器的良好线形特性,然后结合静力称衡法推导出了测量细丝直径的公式并进行了实验验证.

1 测量原理

实验器材如图1所示:装置图由数字电压表、力传感器、支架、玻璃器皿等组成.该仪器所带的压阻力敏传感器的灵敏度高,而且输出电压与受力之间的线性和稳定性都非常好,电压是数字式电压输出,

方便工作者采集数据.笔者利用该实验仪测量了金属细丝直径,测量结果的误差很小.

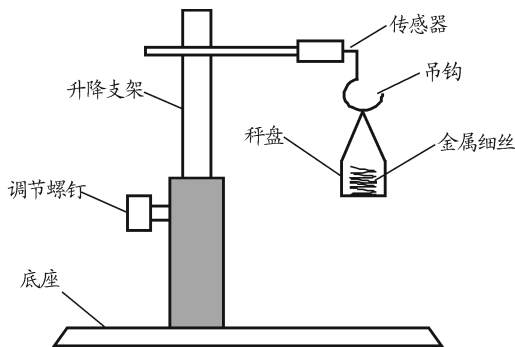


图1 测量实验装置简图

不溶于水的金属细丝在空气中的称衡质量为 m_1 ,用细线将其悬吊在水中的称衡值为 m_2 ,又设水的密度为 ρ_0 .金属细丝的体积为 V ,则依据阿基米德原理^[1],可得

$$V\rho_0g = (m_1 - m_2)g \quad (1)$$

其中 g 为当地重力加速度,整理后得计算体积的公式为

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_0} \quad (2)$$

又由细丝的几何体积公式

$$V = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 L \quad (3)$$

d 为细丝的直径, L 为细丝的长度. 由式(2)、(3)可得细丝直径为

$$d = 2 \sqrt{\frac{m_1 - m_2}{\pi \rho_0 L}} \quad (4)$$

硅压阻式力敏传感器由弹性梁和贴在梁上的传感器芯片组成, 其中芯片由 4 个硅扩散电阻集成一个非平衡电桥. 当外界压力作用于金属梁时, 在压力作用下, 电桥将失去平衡, 此时将有电压信号输出, 而且输出的电压大小与所加外力的大小呈线性正比的关系^[2,3]. 即

$$\Delta U = S \Delta F \quad (5)$$

其中式(5)中 ΔF 为外力大小, S 为硅压阻式力敏传感器的灵敏度, ΔU 为传感器输出电压的大小.

设硅压阻式力敏传感器在没有挂固体空载时的输出电压为 U_0 , 挂上待测物时硅压阻式力敏传感器的输出电压为 U_1 , 根据式(5)可得:

待测物在空气中的视重为

$$m_1 = \frac{U_1 - U_0}{Sg} \quad (6)$$

其中 S 为压力传感器的灵敏度. 当所测金属细丝在水中完全浸没时, 硅压阻式力敏传感器的输出电压为 U_2 , 其视重为

$$m_2 = \frac{U_2 - U_0}{Sg} \quad (7)$$

将式(6)和式(7)代入式(4), 则待测细丝直径 d 可表示为

$$d = 2 \sqrt{\frac{U_1 - U_2}{\pi \rho_0 l S g}} \quad (8)$$

2 测量数据及处理

注: 实验室的温度为 20°C , 压强为一个标准大气压.

(1) 在仪器使用前, 调整实验仪升降支架使其保持水平, 先粗调水平, 然后利用水平仪检测并细调.

(2) 调节实验仪工作电源的工作电压为 2V , 将秤盘挂到实验仪的吊钩上, 砝码质量 M 每次增加 10g 直到 100g , 然后再依次减小至 10g , 硅压阻式力敏传

感器会输出不同的电压值 U , 将实验数据记入数据表 1.

表 1 硅压阻式力敏传感器灵敏度的测量数据

M/g	U/mV	U'/mV
10	12.96	12.95
20	25.27	25.26
30	37.78	37.75
40	50.60	50.57
50	62.03	62.05
60	74.25	74.24
70	86.46	86.44
80	98.95	98.92
90	110.88	110.88

注: 电压初始值为 0.09mV , M 为砝码质量, U 为加法码时的电压输出, U' 为减法码时电压输出.

(3) 测量硅压阻式力敏传感器空载时的输出电压 U_0 ;

(4) 金属细丝悬挂在空气中时硅压阻式力敏传感器的输出电压 U_1 .

(5) 给烧杯注入适量的水, 调节升降支架和螺钉, 使得金属细丝完全浸没在水中且不接触容器壁, 记录此时硅压阻式力敏传感器的输出电压 U_2 .

(6) 将测量数据记入表 2. 利用式(8) 计算规则细丝的直径.

表 2 悬挂不同直径金属细丝时传感器的输出电压测量数据

电压	细丝 1	细丝 2	细丝 3
U_0/mV	2.11	2.12	2.09
U_1/mV	2.61	2.29	2.64
U_2/mV	2.56	2.26	2.62

本实验以 3 根长度都为 1m , 粗细不同的金属细丝为例, 数据如表 3 所示. 实验过程中水的温度为 20.0°C , 在 20.0°C 时, 水的密度 $\rho_0 = 998.23\text{kg}/\text{m}^3$, 延安重力加速度值为 $g = 9.7955\text{m}/\text{s}^2$.

表 3 读数显微镜测量的 3 种细丝直径数据

编号	细丝 1	细丝 2	细丝 3
直径 / mm	0.394	0.165	0.372

(1) 硅压阻力敏传感器灵敏度的计算

根据最小二乘法原理对数据进行处理可得到灵敏度^[4~7], 设 x 为力, y 为电压, 则

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} =$$

$$\frac{18.863 \times 10^{-3} - 0.55 \times 27.865 \times 10^{-3}}{0.385 - 0.3025} \text{ V/N} =$$

$$0.0429 \text{ V/N}$$

$$a - \bar{y} - b\bar{x} = -0.21 \text{ V}$$

则拟合方程为

$$y = 0.0429x - 0.21$$

$$\text{即 } U = 0.0429F - 0.21$$

其相关系数为

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}} = 0.9999$$

又可计算出 a 和 b 的标准偏差 s_a, s_b 为

$$s_b = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \frac{b}{r} = 0.0021 \text{ V/N}$$

$$s_a = \sqrt{\overline{x^2}} s_b = 0.0013 \text{ V}$$

$$\text{则 } b = (0.04 \pm 0.01) \text{ V/N}$$

而最小二乘法计算中的 b 就等于硅压阻力敏传感器的灵敏度, 所以

$$S = (0.04 \pm 0.01) \text{ V/N}$$

其相关系数的绝对值非常接近于 1, 所以硅压阻力敏传感器输出电压与拉力的线性关系良好。

(2) 规则细丝 1, 2, 3 的直径计算

将表 2 的数据代入式(8)可得

$$d = 2 \sqrt{\frac{U_1 - U_2}{\pi L \rho_0 S g}} =$$

$$2 \sqrt{\frac{2.60 - 2.55}{3.14 \times 1.0 \times 999.23 \times 0.0429 \times 9.7955}} \text{ mm} =$$

$$0.389 \text{ mm}$$

$$U_c(U_1) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mV}$$

$$U_c(U_2) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mV}$$

$$U_c(L) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ mV}$$

利用不确定度传递公式, 计算细丝直径的合成标准不确定度为

$$U_c(d) = \left[\left(\frac{\partial d}{\partial U_1} \right)^2 U_c^2(U_1) + \left(\frac{\partial d}{\partial U_2} \right)^2 U_c^2(U_2) + \left(\frac{\partial d}{\partial L} \right)^2 U_c^2(L) \right]^{\frac{1}{2}} = 0.001 \text{ mm}$$

则细丝 1 的直径为

$$d = (0.389 \pm 0.001) \text{ mm}$$

同理, 细丝 2 的直径

$$d = (0.174 \pm 0.002) \text{ mm}$$

细丝 3 的直径

$$d = (0.368 \pm 0.001) \text{ mm}$$

再将读数显微镜对细丝直径的测量值作为参考, 计算两种测量结果的相对误差, 结果如下。

$$\text{细丝 1: } E = 1.5\%;$$

$$\text{细丝 2: } E = 4.8\%;$$

$$\text{细丝 3: } E = 4.7\%.$$

3 结束语

本论文利用硅压阻力敏传感器结合静力称衡法推导出测量细丝直径的实验公式, 然后通过实验方法进行验证. 而且将硅压阻力敏传感器测量细丝直径的实验数据与读数显微镜测量数据进行比较, 发现二者的相对误差较小, 说明使用硅压阻力敏传感器结合静力称衡法测量细丝直径的方法实用可靠. 本论文不仅拓宽了硅压阻力敏传感器的使用范围, 也为实验室提供了一种测量细丝直径的新方法。

参考文献

- 程守洙. 普通物理学(第6版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. 82 ~ 85
- 刘兴龙, 刘艳峰, 陈瑞. 硅压力敏传感器的灵敏度与电源电压关系的实验研究[J]. 大学物理实验, 2019(4): 12
- 刘竹琴. 大学物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014. 9 ~ 23
- 张洪润, 张亚凡. 传感技术与实验[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 21 ~ 25
- 漆安慎, 杜焯英. 力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997. 321 ~ 326
- 吕斯骅. 新编基础物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. 144 ~ 146
- 杨述武, 孙迎春, 沈国土, 等. 普通物理实验(1)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986. 40 ~ 47

(下转第 119 页)

方面是要根据学生专业基础和专业背景提供以学生为主的多元教学模式,对不用专业、不同基础的同学,课程要求各有侧重、课程讲义有难度区分、课堂教学方式、课后反思要求及评分标准也应有所不同。

本文由景鹏飞老师主持的科研项目支持。同时,感谢北京师范大学物理学系李春密老师的修改指导。

参考文献

- 1 黄恩华. 把思想政治工作贯穿教育教学全过程[N]. 光明日报, 2018-11-26(6)
- 2 李成龙, 圣宗强. 专业差异性基础物理实验教学改革创新探索——以安徽理工大学为例[J]. 大学物理, 2020, 39(1): 57 ~ 60

- 3 钱临照. 大学物理实验杂谈[J]. 物理实验, 1984, 4(4): 147 ~ 150
- 4 荣新, 李智, 张朝晖. 高校物理实验教学的比较研究[J]. 物理实验, 2020, 40(11): 22 ~ 27
- 5 陈信, 霍剑青. 对大学物理实验教学的思考、改革与实践[J]. 物理, 2018, 47(6): 387 ~ 389
- 6 乐永康, 龚新高, 苏卫锋, 等. 虚实结合的物理实验教学[J]. 物理实验, 2017, 37(1): 39 ~ 43
- 7 郭九苓, 朱守华. 北大物理教育发展报告[J]. 大学物理, 2020, 39(6): 1 ~ 13
- 8 吕景林, 乐永康, 冀敏, 等. 创新驱动, 开启新形势下以学生为主体的物理演示实验教学新模式[J]. 物理实验, 2018, 38(S1): 43 ~ 46

Research on the Current Situation of Basic Physics Experiment Course and the Innovation of Teaching Design Idea

Tang Qi Jing Pengfei

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: The basic physics experiment course is an essential course in college for cultivating scientific literacy, improving practical ability, and training innovative thinking, which requires continuous teaching reform and exploration. In this paper, with the opinions of students participating in the basic physics experiment course, some innovative measures of instructional design are put forward to solve the typical problems exposed in this course.

Key words: physics experiments; instructional design; curriculum teaching reform

(上接第 115 页)

A New Method of Measuring Filament Diameter

Kang Xiaoning

(Fugu County Fugu Middle School, Yulin, Shaanxi 719499)

Liu Yanfeng

(School of Physics and Electronic Information, Yan'an University, Yanan, Shaanxi 716000)

Abstract: Paper is based on the voltage output characteristics of force sensor and static balance method, the formula of measuring filament diameter is deduced theoretically, and then the corresponding experimental scheme is designed and verified. Compared with the filament diameter measured by the conventional method, the difference between the filament diameter measured by the formula and the scheme is very small, which indicates that the scheme of measuring the filament diameter is feasible. This paper provides a new method to measure the diameter of filament, and has a certain reference and application value in real life, teaching and scientific research.

Key words: force method sensor; filament diameter; static weighing method; new method