

# 测量不规则固体的一种新方法

杜利英 杨能勋 韩秀昆

(渭南市吝店一中 陕西 渭南 714000)

(收稿日期:2018-10-16)

**摘要:**用硅压阻式力敏传感器测量不规则固体的体积,拓展了力敏传感器的线性关系,并与静力称衡法相结合得出力敏传感系数与体积的关系,该测量方案原理简单,方法可靠,操作方便,从测量结果可知,该方法测量出的固体的体积与常规测量方法的结果相比,其相对误差较小,说明本方案确实可行.

**关键词:**硅压阻式力敏传感器 体积 测量

## 1 引言

体积是物体占有多少空间的量,测量不规则固体的方法有多种,排液法是测量不规则固体体积的常用方法之一.该方法是先测出水的体积,然后将物体放入,测出总体积,最后用总体积减去水的体积.测量方法直观,概念清楚,但是误差较大,操作冗杂.随着科学技术的飞快发展,人们开始将一些高科技手段运用于实验研究,硅压阻式力敏传感器的灵敏

度高,在低量程段仍可进行精确测量,且线性优良.它的体积较小、精度较高、重量较轻,动态频响高,整体性能较稳定,有很高的可靠性,温度系数小,可以适应多种介质,安全性好,在工业及设备制造领域可广泛使用,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.为了拓展硅压阻式力敏传感器的实验研究,本文在静力称衡法的基础上,对实验方法进行了综合拓展.下面介绍拓展内容的实验原理和测量方法.

精髓.实验中采用5个电容器,第一次操作后出现 $Q, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}$ ,4个电荷量,然后将 $Q, \frac{Q}{2}$ 对接电荷量均分为 $\frac{3Q}{4}$ ,加上零点一共有6个实验数据,实验中只需要两次测量电压,不需要对电容器进行放电,减少了实验操作次数,提高了实验效率.

(3) 实验中设计了两组电容器,在获得实验数据后获得两张 $Q_1-U_1$ 和 $Q_2-U_2$ 关系图,通过电子Excel表格可以将两个图像在同一个坐标系中显示,这样学生可以知道,不同的电容器由于结构不同,导致 $\frac{Q}{U}$ 比值不同,这个比值反应了结构本身的性质,我们顺利得出电容的定义和物理意义.在加相同的电压给电容器充电过程中,第二组电容器充电时间明显比第一组要长(蜂鸣器发出声音时间长,二极管发光时间也长),说明其容纳的电荷量要比第一组电容器要多.

(4) 实验的数据分布十分对称,比较以往倍减

法的实验数据,在后面部分有较大的数据空白区,此实验获得数据非常完美.数字万用表电压档内阻一般为 $10\text{ M}\Omega$ 且不随改变量程而变化,克服了指针式电压表内阻不够大测量电容器电压时电容器放电影响带电荷量变化导致实验误差增大.实验中使用的电源是干电池携带方便,单刀双掷开关是实验室标配,电解电容器淘宝大约5.8元10个包邮,蜂鸣器2.5元1个,二极管10个1包几元钱,实验成本较低具有普遍推广的价值.

## 参考文献

- 1 张洪明. 改进实验策略 提高实验效率. 物理教师, 2016(11):45~48
- 2 张洪明. 利用实验解决高中物理教学难点分析. 物理教学, 2015(7):25~27
- 3 张洪明. 利用实验突破习题教学中难点的案例赏析. 物理教学, 2015(9):56~58
- 4 张洪明. 自制电动机. 物理教学, 2015(11):78~80
- 5 张洪明. 刘坤. 利用智能手机做物理实验. 物理教学, 2016(3):30~32

## 2 实验原理

### 2.1 力敏传感器的原理

(1) 当金属导体受力产生的机械形变的量值发生变化时,其电阻值也会产生相应的变化,导致这种现象的原因是金属导体的电阻值不是固定不变的,其几何尺寸对它的电阻率是有影响的,在导体产生形变的同时,它的截面积、电阻率和长度都会随着导体机械形变的改变而发生变化,所以金属导体的电阻值就会随之发生变化,这样一来,传感器上的压力便可以间接表示出金属导体的电阻值,当电阻丝受到外界刺激并且发生一定的形变,它的电阻值就会发生相应的变化,电阻应变效应的关系式可以描述为

$$\frac{\Delta R}{R} = S\varepsilon \quad (1)$$

式中  $S$  为应变灵敏系数,  $\frac{\Delta R}{R}$  为电阻丝电阻相对变化,  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$  为电阻丝长度相对变化。

(2) 应变式压力传感器的结构如图 1 所示。

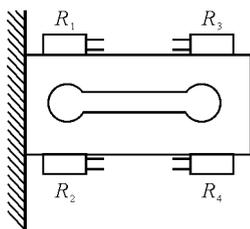


图1 应变式压力传感器结构图

力敏传感器是由 4 个电阻和弹性平衡梁组合而成的,把 4 个电阻与平衡梁的上下两表面紧密相连,梁的一端与传感器相连,另一端是开放的,便于感受外界作用力  $F$ 。弹性梁会在外界刺激的作用下产生弯曲,同时它的上表面会受到拉力作用,这样一来,电阻片的电阻就会相应地跟着变大。如果弹性梁的下面受到外力作用,  $R_2$  和  $R_4$  的电阻就会跟着变小,这就是压力传感器<sup>[1]</sup>。应变片不受力时

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

应变片是将应变变化的信号转化为电阻变化的信号,最后为了易于显示和记录方便,再将电阻变化的信号转换为电信号,进而转换为电流或电压变化。

一般实验室最常用的测量电路是电桥电路,通过应变片和电阻组成的全桥测量电路如图 2 所示,当对应变片施加压力时会引起弹性体发生弹性形变,从而使与弹性体粘贴在一块的电阻应变片  $R_1 \sim R_4$  发生阻值变化,进而使电桥产生一个输出电压  $\Delta U$ ,输出电压与电阻应变片所受压力成正比,即

$$\Delta U = S\Delta F \quad (2)$$

其中  $S$  是压力传感器的灵敏度。

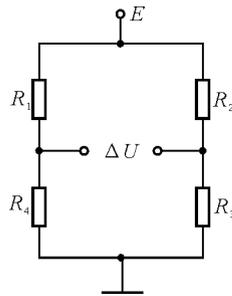


图2 全桥测量电路图

### 2.2 静力称衡法测量不规则固体体积

用流体静力称衡法测量固体体积<sup>[2~5]</sup>,如图 3 所示。

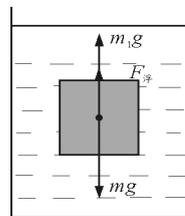


图3 流体静力称衡法测量固体体积示意图

重物在水中受到重力、水的浮力和吊钩的拉力,3 力平衡保持静止状态,它们三者之间由阿基米德原理可知存在如下关系<sup>[6]</sup>

$$F_{\text{浮}} = mg - m_1g = \rho Vg \quad (3)$$

式中  $V$  为固体在液体中所占的体积,  $\rho$  为水的密度,  $g$  为重力加速度。

设硅压阻式力敏传感器未挂固体时的输出电压为  $U_0$ ,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(2)可得待测物在空气中的视重为  $mg = \frac{U_1 - U_0}{S}$ ,  $S$  为压力传感器的灵敏度。

当所测固体在水中完全浸没时,硅压阻式力敏传感器的输出电压为  $U_2$  其视重为  $m_1g = \frac{U_2 - U_0}{S}$ ,根据式(3),则待测物的体积  $V$

$$V = \frac{U_1 - U_2}{S\rho g} \quad (4)$$

### 3 实验装置

#### 3.1 实验装置图

固体体积实验装置如图4所示。

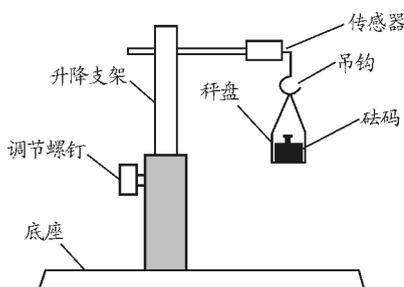


图4 固体体积实验装置简图

#### 3.2 实验仪器及主要参数介绍

- (1) 硅压阻式力敏传感器受力量程:  $0 \sim 100 \text{ g}$  ;  
灵敏度: 约  $30 \text{ mV/g}$  ; 供电电压:  $6 \sim 12 \text{ V}$  ;
- (2) 砝码盘 1 个,  $5 \text{ g}$  砝码 8 个;
- (3) 实验所需未知体积的物体:  $50 \text{ g}$  砝码、铝柱;
- (4) 大烧杯一个和不可伸长细线一根。

### 4 实验步骤

#### 4.1 硅压阻式力敏传感器定标

因为每个力敏传感器的灵敏度有所不同,所以在使用前需要先确定力敏传感器的灵敏度,方法如下:

- (1) 在仪器使用前,调整实验仪升降支架使其保持水平;
- (2) 调节实验仪工作电压为  $2 \text{ V}$ ,将秤盘挂到实验仪的吊钩上,砝码每次增加  $5 \text{ g}$ ,直到  $40 \text{ g}$ ,硅压阻式力敏传感器会输出不同的电压值,将实验数据记入相应的表中;
- (3) 通过以上所测数据利用最小二乘法求得灵敏度  $S$ 。

#### 4.2 规则固体体积的测定

- (1) 用游标卡尺测量铝柱(圆柱体形状)的直径,在同一部位测量 6 次并记入表中。
- (2) 用游标卡尺测量铝柱的高,在同一部位测量 6 次并记入表中。

(3) 根据圆柱体的体积公式求出其体积。

(4) 在  $2 \text{ V}$  时,记下试验仪没有挂物体时的输出电压  $U_0$ 。

(5) 用细线拴好铝柱,挂到硅压阻式力敏传感器的挂钩上,按照物理天平的使用方法,记录仪器挂上规则物体时硅压阻式力敏传感器的输出电压  $U_1$ 。

(6) 给烧杯注入适量的水,调节升降支架和螺钉,使得待测物完全浸没在水中且不接触容器壁,记录此时实验仪的输出电压  $U_2$ 。

将测量数据记入表中,利用式(4)计算规则铝柱的体积  $V$ 。

#### 4.3 不规则固体体积的测定

(1) 保持实验仪工作电压为  $2 \text{ V}$ ,测量硅压阻式力敏传感器空载时(未挂物体)的输出电压  $U_0$ 。

(2) 用细线拴好不规则物体( $50 \text{ g}$  砝码),挂到硅压阻式力敏传感器的挂钩上,按照物理天平的使用方法,记录仪器挂上不规则物体时硅压阻式力敏传感器的输出电压  $U_1$ 。

(3) 给烧杯注入适量的水,调节升降支架和螺钉,使得待测物完全浸没在水中且不接触容器壁,记录此时实验仪的输出电压  $U_2$ 。

(4) 根据所测实验数据,利用式(4)计算不规则固体的体积  $V$ 。

### 5 实验数据与结果

(1) 硅压阻式力敏传感器灵敏度的测量,如表1所示。

表1 硅压阻式力敏传感器灵敏度的测量数据

物体质量 $m/\text{g}$	5	10	15	20	25	30	35	40
输出电压 $U_2/\text{mV}$	6.3	8.4	10.3	12.5	14.4	16.9	18.9	21.1
输出电压 $U_1/\text{mV}$	2.2	4.3	6.2	8.4	10.3	12.8	14.8	17.0

用最小二乘法做直线拟合,得传感器的灵敏度为  $S = 0.044 \text{ mV/N}$ 。

(2) 游标卡尺测量规则铝柱的体积,如表2所示。

表2 规则铝柱体积的测量数据

高 $H/\text{cm}$	3.014	3.012	3.016	3.012	3.010	3.014
直径 $D/\text{cm}$	1.802	1.806	1.808	1.804	1.804	1.802

经计算铝柱的体积  $V=7.7\text{ cm}^3$ , 合成不确定度为  $0.38\text{ cm}^3$ <sup>[7]</sup>, 最终铝柱的体积为

$$V_{\text{铝}} = (7.7 \pm 0.4) \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

(3) 规则铝柱体积所测量的数据如表 3 所示.

表 3 规则铝柱体积的测量数据

压力传感器电压	$U_1/\text{mV}$	$U_2/\text{mV}$
测量数据	11.1	7.8

由式(4)可得

$$V_{\text{铝}} = \frac{U_1 - U_2}{S\rho g} =$$

$$\frac{(11.1 - 7.8) \times 10^{-3}}{0.044 \times 9.7955 \times 1.0 \times 10^3} \text{ m}^3 = 7.7 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

体积不确定度为  $0.06\text{ cm}^3$ , 最终铝柱的体积

$$V_{\text{铝}} = (7.7 \pm 0.1) \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

通过与游标卡尺的测量结果比较得出用硅压阻式力敏传感器测量固体体积是可行的.

(4) 50 g 砝码体积的测量, 如表 4 所示.

表 4 50 g 砝码体积的测量

压力传感器电压	$U_0/\text{mV}$	$U_1/\text{mV}$	$U_2/\text{mV}$
测量数据	2.4	27.6	23.2

将表 4 数据代入式(4)得 50 g 砝码的体积为  $10.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ , 不确定度为  $0.06\text{ cm}^3$ , 最终 50 g 砝码的体积为

$$V = (10.2 \pm 0.1) \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

## 6 结束语

本文给出了测量不规则物体体积的一种新方法,

即利用硅压阻式力敏传感器再结合静力称衡法, 它可以快速准确地测量出不规则固体的体积. 在用游标卡尺和硅压阻式力敏传感器测量规则物体体积的实验中, 通过实验数据比较和分析发现使用硅压阻式力敏传感器测量物体的体积精确度更高. 经过多次严密的实验, 科学的数据采集, 精心的数据处理, 得到了比较满意的实验结果, 其相关系数非常接近于 1, 说明测量结果较为准确. 本次实验可以拓展学生的思维, 能够有效训练实验技巧, 并且还可以丰富实验内容, 在大学物理实验学习和研究探讨中具有一定的价值.

## 参考文献

- 1 刘竹琴. 大学物理实验. 北京: 高等教育出版社, 2014. 9 ~ 23
- 2 张洪润, 张亚凡. 传感技术与实验. 北京: 清华大学出版社, 2005. 21 ~ 25
- 3 马黎君. 普通物理实验. 北京: 清华大学出版社, 2015. 56 ~ 59
- 4 黄天明. 流体静力三次称衡法测固体密度. 物理通报, 1998(03): 34 ~ 35
- 5 巫志玉. 焦利称在流体静力称衡法中的应用研究. 大学物理实验, 2009, 22(03): 8 ~ 11
- 6 赵丹. 对阿基米德的物理学理论及应用传入中国的研究: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2005. 6 ~ 7
- 7 孙红章, 苏向英. 大学物理实验教学中关于实验数据的不确定度的计算和分析. 教育教学论坛, 2015(35): 169 ~ 170

# A New Method on Measuring Irregular Solids

Du Liying Yang Nengxun Han Xiukun

(Weinan Linwei District Lindian No. 1 Middle School, Weinan, Shaanxi 714000)

**Abstract:** In this paper, the volume of irregular solids is measured by silicon pressure resistance sensor, the linear relation of force sensor is expanded, and the relationship between force sensitivity sensor coefficient and volume is obtained by means of static scale method. The measurement method is simple in principle, reliable in method and convenient in operation. It is known from the measurement results that the volume of solids measured by this method is relatively small in error compared with the results of conventional measurement methods, indicating that the scheme is feasible.

**Key words:** silicon pressure resistance sensor; volume; measurement