



学  
生  
园  
地

# 利用气体比热容比测量可溶性物质密度实验的改进

赵广伟<sup>a</sup>, 殷俊<sup>a</sup>, 张甲<sup>b</sup>, 郑曙东<sup>c</sup>

(青海大学 a. 机械工程学院; b. 化工学院; c. 基础部, 青海 西宁 810016)

**摘要:**采用四孔玻璃管测量可溶性物质密度, 有效地解决了同类实验中小钢球经常性卡在气孔处的现象, 提高了实验的稳定性和可靠性. 利用 SPSS 统计软件剔除了非简谐振动数据.

**关键词:**密度; 比热容比; 可溶性物质; 气孔

中图分类号: O4-34

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2014)08-0042-04

## 1 引言

测定可溶性物质密度是相对困难又非常重要的物理实验. 目前已有许多可行的实验方案, 其中文献[1]介绍的方法, 在确保实验精度的同时适用于不与空气有化学反应的所有待测可溶性物质, 其方法更具普遍意义. 其实验的核心是利用气体比热容比测定仪测量可溶性物质的体积, 而测量空气比热容比最常用的实验方法为振动法<sup>[1-6]</sup>, 即利用气体比热容比测定仪测量小钢球的简谐振动周期. 但在具体实验中小钢球经常被吸在玻璃管管壁所开气孔处, 使实验中断. 此外, 由于玻璃管壁气孔的存在, 小钢球在此处不时与管壁发生摩擦, 导致理论中的简谐振动变为阻尼振动<sup>[6,7]</sup>, 进而影响到实验精度. 本文对实验装置进行针对性的改进, 有效克服了上述问题, 提高实验装置工作的稳定性和可靠性, 并利用 SPSS 统计软件剔除由仪器性能而导致的非简谐振动数据, 进一步提高了实验精度.

## 2 实验原理

利用气体比热容比测量可溶性物质密度实验装置如图 1 所示<sup>[1]</sup>. 小钢球(振动物体)的直径比玻璃管直径略小, 故它能在玻璃管中上下移动, 瓶壁上有一插入细管小口, 并通过它可向瓶内注入各种气体. 在瓶中添加待测物质, 安装好测量装置, 打开气泵, 向瓶中注入气流, 容器内的压力增大, 引起小钢球向上移动. 当小球在玻璃管中垂

直向上经过气孔时, 气体将通过小孔流出, 使小钢球下沉, 以后重复上述过程. 为了补偿由于空气阻尼引起振动物体(小钢球)振幅衰减, 不间断地注入同种气流, 以此实现小钢球在玻璃管中上下做简谐振动. 实验中测出振动周期  $T$ , 则待测样品密度为

$$\rho = \frac{64mM}{pd^4\gamma(T_0^2 - T_1^2)}, \quad (1)$$

式中,  $m$  为小钢球质量,  $M$  为待测样品质量,  $p$  为瓶内大气压强,  $d$  为小钢球直径,  $\gamma$  为气体的比热容比,  $T_0$  为瓶中无待测样品时小钢球振动周期,  $T_1$  为瓶中放有待测样品时小钢球振动周期.

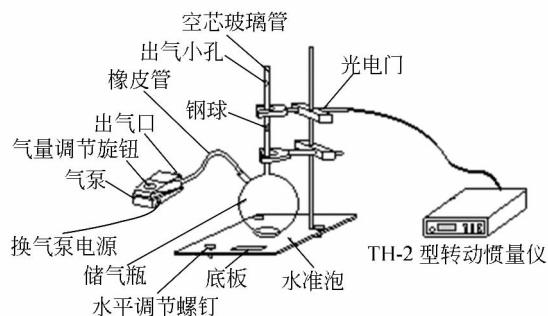


图 1 实验装置

## 3 问题与解决方案

3.1 小钢球经常被吸在玻璃管管壁所开气孔处, 迫使实验中断

原因是当小钢球振动到气孔上方时, 小钢球阻碍了气体向玻璃管上方流动, 迫使气体主要从

收稿日期: 2014-03-03; 修改日期: 2014-05-17

作者简介: 赵广伟(1993-), 男, 山东济南人, 青海大学机械工程学院 2013 级本科生.

指导教师: 郑曙东(1969-), 男, 江苏丹徒人, 青海大学基础部教授, 硕士, 从事大学物理及实验教学工作.

气孔喷出,其速率将远大于小钢球上部溢出的气体流速.若  $\rho$  为流体密度,  $p$  为流体中某点的压强,  $v$  为流体该点的流速,  $h$  为该点相对零势能点的高度,  $g$  为重力加速度,则由伯努利方程<sup>[8]</sup>

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{常量}, \quad (2)$$

可知气孔处压强要小于玻璃管内部压强,因此,此时小钢球受到由玻璃管内部指向小孔的外力作用,导致实验过程中小钢球经常被吸在气孔处,迫使实验中断.

为此将玻璃管壁开的气孔由 1 个改为在等高圆周上对称开 4 个气孔,这样小钢球振动时气体基本上从 4 个气孔中均匀流出,尽管根据式(2)可知小钢球运动到此时气孔 1,2,3,4 处将分别受到  $F_1, F_2, F_3, F_4$ ,如图 2 所示,但可以证明此时有

$$F_1 \approx F_2 \approx F_3 \approx F_4, \quad (3)$$

故小钢球在水平方向上所受合力约等于零,这样小球运动到此处不会出现气孔吸住小钢球而无法进行简谐振动的现象.

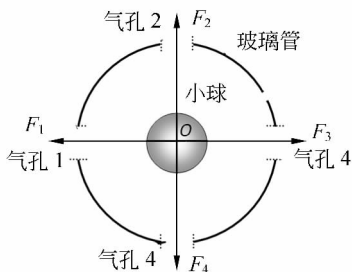


图 2 玻璃管壁开 4 个对称小孔小球受力示意图

### 3.2 小钢球在玻璃管内的运动有时不能看成简谐振动

由于补偿气体的流速偶尔会出现波动,加上小钢球上下运动有时与玻璃管壁有摩擦,导致理论中的简谐振动偶尔会变为阻尼振动<sup>[5,6]</sup>.因此,在实际数据处理时如何剔除非简谐振动测量周期,是提高本实验精度的关键.但仅靠人的感觉很难精准判断振动的形式,而一些文献给出克服这些问题的方法比较繁琐,实施困难且效果有限.

分析非简谐振动的特点可知,仅当小钢球做简谐振动时的周期与光电门位置无关,而非简谐振动的周期只有光电门恰好在振动的平衡位置处测得的周期才基本不变.将光电门恰好置于平衡位置的可能性极低,而在本实验中,智能数字测时器测量的时间间隔为 1 个振动周期,重复 300 次.

因此可以判定,测定的振动周期明显与多数测量值不同的振动为非简谐振动数据.所以在数据处理时应将这些数据舍去,为此利用 SPSS 统计软件剔除由仪器性能而导致的非简谐振动数据,从而使计算结果更为精确,相对其他措施,本方法准确、高效、快捷.

## 4 实验内容及数据处理

图 3 是改进后的测可溶性物质密度的实验装置,采用四孔玻璃管(图 4).

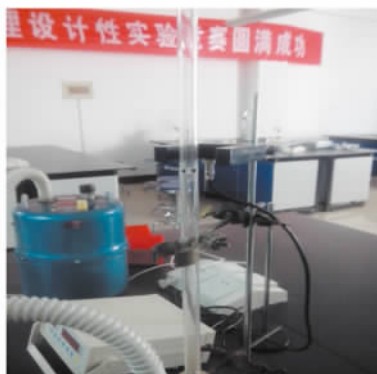


图 3 改进装置



图 4 四孔玻璃管

### 4.1 实验内容与数据

用移测显微镜测小钢球直径  $d$  (10 次),用电子天平测小钢球质量  $m = 9.02 \text{ g}$  和待测可溶性物质(蔗糖)质量(单次测量)  $M = 20.00 \text{ g}$ ,用电子气压计测气体压强(单次测量)  $p = 77.8 \text{ kPa}$ . 测量数据见表 1,由表 1 中得  $\bar{d} = 12.838 \text{ mm}$ ,测量仪器不确定度见表 2.

当烧瓶容器中不放待测样品时,利用小气泵向瓶内充气,测小钢球振动周期  $T_0$ ,测量的时间间隔为 1 个振动周期,重复 300 次;烧瓶中放入待测可溶性物质(蔗糖),测振动周期  $T_1$  300 次.

表 1 可溶性物质密度实验数据记录

$n$	$d/\text{mm}$	$n$	$d/\text{mm}$
1	12.835	6	12.839
2	12.839	7	12.840
3	12.837	8	12.831
4	12.831	9	12.824
5	12.856	10	12.847

表 2 测量仪器不确定度

仪器	仪器不确定度
分析天平	0.02 g
移测显微镜	0.004 mm
电子气压计	200 Pa
CS-Z 智能数字测时器	0.05 ms

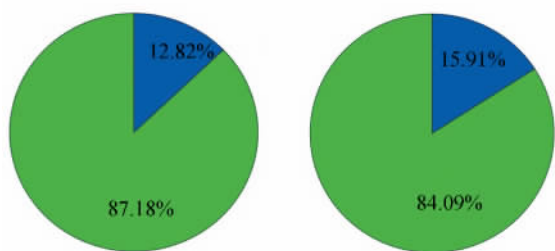
## 4.2 数据处理和实验结果

1) 用 SPSS 统计软件剔除非简谐振动周期

为了剔除小钢球在玻璃管中振动时的非简谐振动周期, 采用 SPSS 统计软件, 将小钢球在进行非简谐振动时的所测数据剔除掉, 然后取平均值, 由此使实验结果更加准确. 筛选结果如图 5 所示, 优化的测量结果有

$$\bar{T}_0 = 0.3472 \text{ s}, \quad (4)$$

$$\bar{T}_1 = 0.3435 \text{ s}. \quad (5)$$



(a) 无待测样品

(b) 有待测样品

图 5 SPSS 统计软件对置入样品振动周期数据的筛选

2) 可溶性物质的密度  $\rho$

由于本实验在西北地区的冬季进行, 空气水分较少, 空气基本上可看成是由双原子分子组成, 加上高原大气压偏低 (77.8 kPa), 常温下空气可视为刚性双原子分子组成的理想气体, 因此取空气比热容比  $\gamma = 1.4$ . 将式(4)和(5)及表 1 数据代入式(1)得

$$\rho = 1.53 \times 10^3 \text{ kg/m}^3. \quad (6)$$

3) 不确定度  $U_\rho$  估算

由式(1)可得不确定度的传递公式:

$$\frac{U_\rho}{\rho} = \left[ \left( \frac{U_m}{m} \right)^2 + \left( \frac{U_M}{M} \right)^2 + \left( \frac{U_p}{p} \right)^2 + \left( \frac{4U_d}{d} \right)^2 + \left( \frac{2T_0 U_{T_0}}{T_0^2 - T_1^2} \right)^2 + \left( \frac{2T_1 U_{T_1}}{T_0^2 - T_1^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

由扩展不确定度评定, 测量结果的不确定度有<sup>[8]</sup>

$$U = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}, \quad (8)$$

$$U_A = (t/\sqrt{n})s \approx \frac{1}{\sqrt{n}} \left( 1.948 + \frac{2.835}{n-1.735} \right) s, \quad (9)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (10)$$

$$U_B = \Delta_{\text{INS}}, \quad (11)$$

对单次测量有

$$U = \Delta_{\text{INS}}. \quad (12)$$

根据式(5)~(8)可得

$$U_m = U_M = 0.02 \text{ g}, \quad (13)$$

$$U_p = 200 \text{ Pa}, \quad (14)$$

由式(8)~(14)可得

$$U_d = 0.01 \text{ mm}, \quad (15)$$

$$U_{T_0B} = U_{T_1B} = 0.05 \text{ ms}, \quad (16)$$

$$U_{T_0} = U_{T_1} = 0.10 \text{ ms}, \quad (17)$$

所以有

$$m = (9.02 \pm 0.02) \text{ g}, \quad (18)$$

$$M = (20.00 \pm 0.02) \text{ g}, \quad (19)$$

$$p = (7.78 \pm 0.02) \times 10^4 \text{ Pa}, \quad (20)$$

$$d = (12.838 \pm 0.011) \text{ mm}, \quad (21)$$

$$T_0 = (0.3427 \pm 0.0001) \text{ s}, \quad (22)$$

$$T_1 = (0.3435 \pm 0.0001) \text{ s}. \quad (23)$$

将式(13)~(20)代入式(7)得

$$U_\rho = (0.06 \times 10^3) \text{ kg/m}^3, \quad (24)$$

则有

$$\rho = (1.53 \pm 0.06) \times 10^3 \text{ kg/m}^3, \quad (25)$$

相对不确定度

$$U_r = 3.9\%. \quad (26)$$

## 5 结束语

采用四孔玻璃管测量可溶性物质密度, 有效地解决了同类实验中小钢球经常卡在气孔处的现象, 提高了实验的稳定性和可靠性. 同时利用 SPSS 统计软件剔除非简谐振动数据, 无需增加额外实验技巧, 可简单快捷地剔除不良数据, 提高了实验精度, 降低了实验难度, 提高了实验效率.

## 参考文献:

- [1] 王玉清,刘艳峰. 利用气体比热容比测定仪测量物质密度[J]. 实验技术与管理,2009,26(9):40-41.
- [2] 刘万林,刘凌飞,袁辉,等. 用脉冲信号计时器测量气体比热容比[J]. 大学物理实验,2013(3):37-39.
- [3] 何雨华,方恺,陈铭南,等. 智能型气体比热容比测定实验教学网络的系统设计[J]. 实验室研究与探索,2008(11):37-40.
- [4] 张勇,陈涵,刘杰,等. 振动法空气比热容比测定实验原理分析[J]. 实验室科学,2013(3):35-37.
- [5] 张彩霞,朱林彦. 气体比热容比测定实验教学的研究[J]. 大学物理实验,2011(4):45-47.
- [6] 金吉松,李小云. 振动法测气体比热容比实验方法的改进[J]. 台州学院学报,2010(6):39-42.
- [7] 赵凯华,罗蔚茵. 力学[M]. 北京:高等教育出版社,1998.
- [8] 朱鹤年. 物理测量的数据处理与实验设计[M]. 北京:高等教育出版社,2005:19-21.

## Improvement on the experiment of measuring the density of soluble matter using the specific heat ratio of gas

ZHAO Guang-wei<sup>a</sup>, YIN Jun<sup>a</sup>, ZHANG Jia<sup>b</sup>, ZHENG Shu-dong<sup>c</sup>

(a. College of Mechanical Engineering; b. College of Chemical Technology;  
c. Department of Basic Education, Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** In this paper, by using the four-hole glass tube to measure the density of soluble matter, the problem caused by the jammed steel ball in the hole in similar experiments was effectively solved. The stability and reliability of the experiment were greatly improved. At the same time, using SPSS statistical software, the anharmonic vibration data were eliminated simply and quickly to remove the bad data.

**Key words:** density; specific heat ratio; soluble substances; hole

[责任编辑:郭 伟]

(上接第 41 页)

## Measuring sound velocity on basis of sound pressure minimum in stationary wave field

TIAN Yu-xian, LI Shao-rong, CHEN Dan, GONG An, YANG Yi

(College of Sciences, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Traditional stationary wave interferometry was a kind of maximum sound pressure method which was used to measure sound velocity. Restricted by the screen size of the oscilloscope, the sensitivity was poor. The stationary wave resonant interference method was analyzed in detail in this paper. The theoretical basis of minimum sound pressure method was found out. Experimental results indicated that this method was better than the maximum sound pressure method, and the error was smaller.

**Key words:** sound velocity; stationary wave; resonant interference method; sound pressure

[责任编辑:郭 伟]