

拉脱法测量液体表面张力系数的不足与改进

陈爱霞 刘丽明

(1 九江学院理学院 江西九江 332005; 2 九江日报社 江西九江 332000)

摘要: 液体表面张力系数常用拉脱法进行测量, 此法虽然操作简单、方便快捷, 但测量中存在的问题和不足之处往往会对实验结果产生一定的影响。研究表明, 对实验方法和实验仪器加以改进, 能够较明显地减少拉脱法测量液体表面张力系数产生的误差, 有效地提高了实验教学的效果。

关键词: 拉脱法, 液体表面张力, 表面张力系数

中图分类号: O 436.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-9545 (2014) 04-0052-(03)

液体表面张力是由于液体表面层内液体分子受力不平衡引起的, 液体表面层内分子受到了一个指向液体内部的合引力作用, 使得液体表面具有自动收缩的趋势。因此液体表面就像一张被绷紧了的橡皮膜, 使得表面层内不同部分之间有张力存在, 这种张力就称为液体表面张力^[1]。液体表面张力大小跟液体的表面张力系数以及液面分界线的长度有关, 液体的表面张力系数是表征液体性质的一个重要参数, 跟液体的种类、温度、纯度以及液面上方气体的成分有关。液体表面张力对建筑、船舶制造、化学化工、水利等行业都有较大的影响^[2], 所以, 准确的测量液体的表面张力系数具有重要的意义。

测量液体表面系数的常用方法有毛细管法、U 型管法、最大气泡压力法和拉脱法等^[3], 其中拉脱法具有方便快捷, 操作简单的特点, 所以目前很多高校实验室都采用这种方法来测量液体表面张力系数。

1 实验原理

拉脱法测量液体表面张力系数所使用的实验装置是 FD-NST-I 型液体表面张力系数测定仪, 这套仪器由硅压阻力敏传感器、数字电压表、支架、金属吊环、片码等组成^[3]。

拉脱法测量液体表面张力系数的方法是: 把

金属吊环固定在力敏传感器上, 升高液面, 使金属吊环底部完全浸入在液体中, 然后缓慢降低液面, 使吊环逐渐从液面拉脱, 吊环拉出液柱破裂瞬间前后力的差值就是液柱的两个液面表面张力的大小, 可表示为:

$$F = \pi(D_1 + D_2)\alpha(1)$$

其中 α 为液体的表面张力系数 D_1 、 D_2 分别为金属吊环的内、外径。

此时, 由数字电压表读出的电压差值为 ΔU 。关于硅压阻力敏传感器的工作原理, 简单来说就是利用电桥电路把力的大小改变转换成电信号的变化反映出来, 即被测试件受力的大小跟与力敏传感器连接的数字电压表的读数大小成正比, 可表示为:

$$F = \Delta U/K(2)$$

其中 K 是力敏传感器的灵敏度。

由 (1) 式 (2) 式可以得出:

$$\alpha = \Delta U / \pi(D_1 + D_2)K(3)$$

实验表明 α 的大小与液体的种类、纯度、温度及液体表面接触的气体成分有关^[4], 只要上述条件不变, 则 α 应为常量。因此, 在测量液体的表面张力系数时, 一定要记下测量时的液体温度、种类及纯度。

2 实验存在的不足

拉脱法相比其他方法操作简单易行, 实验利用

收稿日期: 2014-9-11

通讯作者: 陈爱霞, 1066285328@qq.com。

灵敏度较高的力敏传感器来测量力的大小, 相比传统的实验方法已经有了很大的进步。但是, 此法仍存有不足和需要改进的地方, 主要集中在以下两点:

2.1 力敏传感器的灵敏度测量

实验过程中首先要对力敏传感器定标, 即测出力敏传感器的灵敏度。力敏传感器的灵敏度测量是否准确直接影响液体表面张力的大小是否准确。如何尽量减少灵敏度的测量误差是个非常重要的问题。通常测量力敏传感器灵敏度的方法是依次往吊盘里增加片码的个数, 分别记录电压表的数值, 然后用曲线拟合的方式得出曲线斜率也即灵敏度的大小。因片码质量较小, 力敏传感器灵敏度较高, 学生操作不熟练造成的吊盘晃动等人为因素会对实验结果的准确性产生很大的影响。

2.2 吊环的水平程度

FD-NST-I型液体表面张力测定仪的设计是把金属吊环浸入待测液体, 测量过程中吊环的水平程度对实验结果有很大的影响。测量时如果吊环偏差 1° , 测量结果就会引入误差0.5%, 偏差 2° , 就会引入误差1.6%^[5]。偏差越大, 引入的误差百分比将更高。现有仪器中的吊环是否水平要通过3根细金属丝来调节, 要求学生做实验时要耐心精细。但在调节的过程中, 学生仅仅通过目测凭感觉调节, 这对于男生比较多的理工科学生来说不但严谨程度不足, 而且操作难度较大, 实验很难达到理想的效果。

3 实验的改进

3.1 力敏传感器的灵敏度测量改进方法

对于力敏传感器灵敏度的测量, 保持不增加实验成本的原则, 采用多次测量, 先依次增加片码个数, 再依次减少片码个数的方法平均人为误差, 然后用逐差法求得力敏传感器的灵敏度。具体测量数据如表1所示。

根据测量数据得出 U_i 的平均值, 用逐差法求得 ΔU 的平均值:

$$\overline{\Delta U} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 | \overline{U_{1+4}} - \overline{U_1} | = 239.45 \text{ mv}$$

$$K = \frac{\overline{\Delta U}}{4mg} = 3.054 \times 10^3 \text{ mv/N}$$

表1 力敏传感器的灵敏度测量数据

次数 /i	砝码质量 mi/g	增重时读 数 U_i /mv	减重时读 数 U_i' /mv	平均值 $\overline{U_i}$ /mv
0	0.0	0.0	0.2	0.10
1	0.5	15.0	15.2	15.10
2	1.0	29.8	30.1	29.95
3	1.5	44.9	45.2	45.05
4	2.0	59.9	60.0	59.95
5	2.5	74.9	75.1	75.00
6	3.0	88.4	91.0	89.70
7	3.5	105.0	105.0	105.00

3.2 吊环的水平程度改进方法

针对金属吊环难以调节水平的问题, 把金属吊环进行了改装。首先把3根金属细丝换成3根韧性很好的轻质细线, 让轻质细线上端固定打结, 可以方便的挂在力敏传感器的吊钩上。3根轻质细线与金属环分别用3个可旋转的螺丝连接^[7], 通过调节螺丝可以很方便的调节细线的长度。为了力求准确, 在细线打结的位置垂出另一根轻质细线, 细线下方可悬挂一个小金属块, 做成一个吊锤, 同学们可以通过观察吊锤是否垂直来调节细线的长度, 从而达到使金属吊环调节水平的目的。又因为力敏传感器要求所测量的力不能过大, 所以小金属块在吊环调节水平以后可以摘下来。改进后的吊环如图1所示:

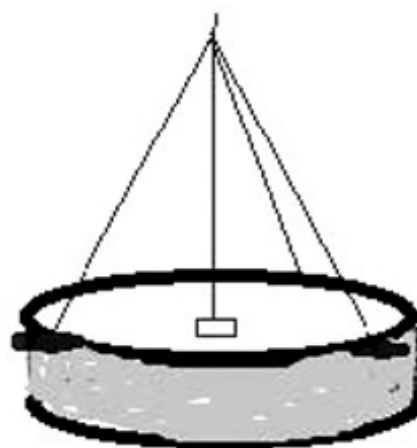


图1 改装后的吊环

3.3 改进前后实验结果对比

用原有的金属吊环测量纯水在 25°C 时的液体表面张力系数的数据见表2。

表2 原有金属吊环测量液体的表面张力系数数据表(水温 25℃)

测量次数	U_1/mv	U_2/mv	$\Delta U/\text{mv}$	$f/(\times 10^{-3}\text{N})$	$\alpha(\times 10^{-3}\text{N})$
1	47.6	0.1	47.5	15.55	72.77
2	49.2	0.2	49.0	16.04	75.06
3	48.0	0.1	47.9	15.68	73.37
4	48.1	0.3	47.8	15.65	73.23
5	49.7	0.4	49.3	16.14	75.53
6	49.9	0.3	49.6	16.24	75.99

利用原有吊环测量出的实验数据,可以计算出纯水在 25℃ 时液体的表面张力系数平均值是 $74.33 \times 10^{-3}\text{N/m}$,跟 25℃ 时纯水的液体表面张力系数公认值 $72.00 \times 10^{-3}\text{N/m}$ 相比,相对误差为 3.2%。由此数据可以看出,没有经过改造的吊环,

容易使液柱提前破裂,因为液柱没有得到足够拉伸,从而造成测出的液体表面张力系数偏大。

用改进后的金属吊环测量纯水在 25℃ 时的液体表面张力系数,具体测量数据见表 3。

表3 改进后金属吊环测量液体的表面张力系数数据表(水温 25℃)

测量次数	U_1/mv	U_2/mv	$\Delta U/\text{mv}$	$f/(\times 10^{-3}\text{N})$	$\alpha(\times 10^{-3}\text{N})$
1	46.6	0.1	46.5	15.23	71.26
2	47.2	0.2	47.0	15.39	72.02
3	47.0	0.1	46.9	15.36	71.88
4	46.8	0	46.8	15.32	71.69
5	47.5	0.2	47.3	15.49	72.48
6	46.9	0.3	46.6	15.26	71.41

根据测量数据,计算得出用改进后吊环测出的纯水在 25℃ 时液体的表面张力系数平均值是 $71.79 \times 10^{-3}\text{N/m}$,在 25℃ 时纯水的液体表面张力系数公认值为 $72.00 \times 10^{-3}\text{N/m}$ 相对误差为 0.3%。

4 结论

通过依次增加片码个数和依次减少片码个数的方法,多次测量以后平均了人为误差,再利用逐

差法比较准确的对力敏传感器进行定标,为后续较精确的测量液体表面张力系数奠定了基础。通过对金属吊环的改进,可以很容易的把金属吊环调节至理想水平,测量精度比使用原来的仪器时也提高了很多,并且因为改进后的仪器操作更加简单,学生的实验热情也得到了大大的提高。

参考文献:

- [1] 王殿元,魏健宁,余剑敏. 大学物理实验(上册) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011. 149.
- [2] 李艳琴. 基于力敏传感器测量液体表面张力系数及其表面张力再认识 [J]. 实验室研究与探索, 2010, 29 (8): 18.
- [3] 龙卧云,李晶. FD-NST-I 型液体表面张力系数测定仪的改进 [J]. 高校实验室工作研究, 2013, 116 (2): 40.
- [4] 代伟,徐平川,陈太红,等. 液体表面张力系数实验装置的改进 [J]. 大学物理, 2011, 30 (9): 38.
- [5] 上海复旦天欣科教仪器有限公司. FD-NST-I 型液体表面张力系数测定仪说明书 [M]. 上海: 上海复旦天欣科教仪器有限公司, 2006.
- [6] 韩敬伟,马国利. 液体表面张力系数测量实验的一种改进方案 [J]. 滨州学院学报, 2010, 26 (6): 105.

(责任编辑 李佳瑜)