

文章编号: 1007-2934(2016)04-0101-03

拉脱法测液体表面张力系数的误差分析

叶庆, 卿秀华

(武汉纺织大学 湖北 武汉 430074)

摘要: 对拉脱法测量液体表面张力系数实验的原理和仪器做了简要的介绍, 并着重对该实验误差的来源进行了分析探讨。

关键词: 表面张力; 拉脱法; 表面张力系数; 误差

中图分类号: O4-33 文献标志码: A DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2016.004.031

1 实验原理及实验仪器简介

将一洁净的圆筒形的吊环^[1]浸入液体中, 然后缓缓地提起吊环, 圆筒形吊环在将离开液面时带起一层液膜。液体具有尽量缩小其表面积的趋势, 我们把这种沿着液体表面的、收缩表面的力称为表面张力^[2]。例如: 截面较小的细管内的分子现象、肥皂泡现象等。同时, 液体表面张力系数也是目前预防和治疗急性呼吸窘迫综合症实验研究的基本测量数据之一^[3]。

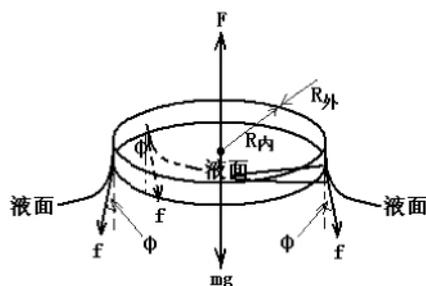


图1 圆形吊环从液面缓慢拉起受力示意图

令液面收缩的表面张力 f 沿液面的切线方向, 其与竖直方向的夹角 φ 称为湿润角。如果继续提升吊环, φ 角逐渐变小直到接近零, 这时吊环拉出的液膜里外两个表面的张力 f 均竖直向下, 设液膜拉破时向上的拉力为 F 则有:

$$F = (m + m_0)g + 2f \quad (1)$$

已知 m 为粘附在吊环上的液体的质量, m_0 为吊环的质量。

因表面张力的大小与接触面边界成正比, 则有

$$2f = \pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}}) \cdot \alpha \quad (2)$$

比例系数 α 称为表面张力系数, 单位是 N/m 。 α 在数值上等于单位长度上的表面张力。

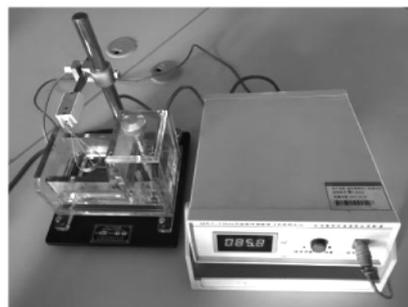


图2 拉脱法测液体表面张力系数实验仪器

$$\alpha = \frac{F - (m + m_0)g}{\pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}})} \quad (3)$$

由于金属膜很薄, 被拉起的液膜也很薄, m 很小可以忽略, 于是公式简化为:

$$\alpha = \frac{F - m_0g}{\pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}})} \quad (4)$$

本实验的核心部分是准确测定 $F - m_0g$, 即圆筒形吊环所受到的向下的表面张力, 我们用 FB326 型液体的表面张力系数测定仪测定这个力。

2 实验误差探讨

(1) 提升吊环的过程中不可能做到匀速直线

收稿日期: 2016-03-16

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(11275157)

运动,吊环所受到的合外力不为零。

根据测量原理,吊环受力平衡(合外力为零)时,即吊环静止或是做匀速直线运动,方程(1)成立,但实际情况并不能做到。显然,吊环静止时,实验无法进行;吊环匀速提升,也就是水面匀速下降,就要求实验者要匀速转动活塞调节旋钮。对实验者来说,整个过程无法始终处于匀速运动,吊环受到的合外力不为零,于是利用方程(1)测量存在误差。

(2) 吊环不水平存在误差

在一圆筒形吊环上等间距取三个大小相同的小孔,利用三根长度相同的细线栓紧后悬挂于小钩上。将圆筒形吊环放入液体中,由于细线是人为栓住的,不能保证长度完全一致,于是吊环在提升的过程中与水面不能严格平行,拉起的液膜包围吊环的形状也并不是圆。但是,我们在计算时仍是按内圆和外圆的周长处理,因此产生误差。为了减小圆筒形吊环不水平引入的误差,可使用 Π 形框横丝^[4]。利用实验仪器和 Π 形框横丝得出的实验数据如下:

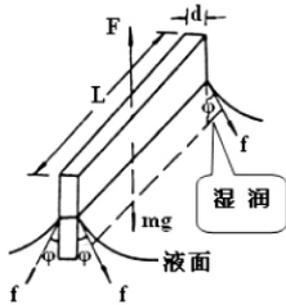


图3 Π 形框横丝受力原理图

表1 用逐差法求仪器的转换系数

砝码质量 (10^{-6} kg)	增重读数 U_i /mV	等间距逐差: $\delta U_i = U_{i+4} - U_i$ /mV
0.00	71.3	78.1
500.00	90.6	
1 000.00	110.3	78.6
1 500.00	130.4	
2 000.00	149.4	79.2
2 500.00	169.2	
3 000.00	189.5	79.3
3 500.00	209.7	

$$\bar{\delta U} = \frac{1}{4}(\delta U_1 + \delta U_2 + \delta U_3 + \delta U_4), \bar{\delta U} \text{ 为每}$$

2 000.00 mg 对应的电子秤的 mV 读数,则 $\bar{K} = \frac{\xi m}{\delta U}$

$$= \frac{9.8 \times 2 \times 10^{-3} \text{ N}}{78.8 \text{ mV}} = 2.487 \times 10^{-4} \text{ N/mV}$$

水温(室温) 8.4°C

表2 用拉脱法求拉力对应的电子秤读数(Π 形框横丝)

测量次数	拉托时最大读数 V_1 /mV	吊环读数 V_2 /mV	表面张力对应读数 $V_1 - V_2$ /mV
1	39.9	26.6	13.3
2	39.0	26.7	12.3
3	38.6	26.6	12.0
4	38.7	26.7	12.0
5	38.8	26.7	12.1
平均值			$\bar{V} = 12.34 \text{ mV}$

表3 用拉脱法求拉力对应的电子秤读数(吊环)

测量次数	拉托时最大读数 V_1 /mV	吊环读数 V_2 /mV	表面张力对应读数 $V_1 - V_2$ /mV
1	157.7	101.7	56.0
2	156.4	102.4	54.0
3	155.4	102.1	53.3
4	155.1	101.8	53.3
5	155.3	101.8	53.55
平均值			$\bar{V} = 54.02 \text{ mV}$

根据定义 Π 形框横丝定义的表面张力系数,利用表2的数据(L 为拉起薄膜的内宽),表面张力系数 $\bar{\alpha} = \frac{\bar{K} \cdot \bar{V}}{2L} = 6.65 \times 10^{-2} \text{ N/m}$,利用表3的数据(L 为拉起薄膜的吊环的内外周长),表面张力系数 $\bar{\alpha} = \frac{\bar{K} \cdot \bar{V}}{2L} = 6.29 \times 10^{-2} \text{ N/m}$,查表可知($t = 5^\circ\text{C}$ 时, $\alpha = 7.492 \times 10^{-2} \text{ N/m}$; $t = 10^\circ\text{C}$ 时, $\alpha = 7.422 \times 10^{-2} \text{ N/m}$),所得结果 Π 形框横丝测出的表面张力系数更接近理论值,但结果差别不大^[5]。

(3) 忽略了环上吸附水的重量

圆筒形吊环在提升过程中会带起一层液膜,此液膜所受重力为 mg ,液膜重力比较难测,在方程(4)中忽略了此液膜的重力,造成表面张力系数较实际值偏大。

(4) 表面张力系数与温度有关,而测量过程需要持续一段时间,水温不可能恒定,测量存在误差。

(5) 力敏传感器定标时示数不稳定以及人为

选取读数的误差

由于力敏传感器灵敏度较高,轻微的震动都会导致示数的变化,测量中示数会有些许波动,所以在测量读数时会人为的选取最稳定的那个读数,但不同的人会有不同的决断,故人为选取读数因素也会影响测量结果。

参考文献:

- [1] 苏启录. 拉脱法测量液体表面张力系数 α 实验误差分析[J]. 大学物理实验, 2013, 26(2):85-87.
- [2] 任忠明,张炯,等. 大学物理实验[M]. 科学出版社, 2008:25-30.
- [3] 朱光发,闵军,张国清,等. 肺表面活性物质防治急性呼吸窘迫综合症的实验研究[J]. 中华急诊医学, 2003, 12(1):9-10.
- [4] 言秋莉,李丹,唐玉梅. 拉脱法测量液体表面张力系数实验的改进[J]. 实验科学与技术, 2013, 11(2):19-21.
- [5] 章新友. 液体表面张力分数测量的误差分析与方法改进[J]. 大学物理实验, 2014, 27(1):83-87.

The Analysis of Errors about Liquid Surface Tension Coefficient by Measurement of Pull-off Method

YE Qing ,QING Xiu-hua

(WuhanTextile University ,Hubei Wuhan 430074)

Abstract: It briefly shows the principle and instrument of the liquid tension coefficient by measurement of pull-off method, and then seriously discusses the sources of errors for this experiment.

Key words: surface tension; pull-off method; surface tension coefficient; errors