

物理实验

拉脱法测液体表面张力系数的改进

魏 杰¹, 张拥军¹, 陈 江², 李 超¹, 林泽玲¹, 龚志澄¹

(1. 蚌埠医学院 物理教研室, 安徽 蚌埠 233003; 2. 蚌埠医学院 化学教研室, 安徽 蚌埠 233003)

摘要: 对拉脱法测定液体表面张力系数的实验作了改进. 减小 Π 形框横丝长度 L , 减短 Π 形框侧丝长度 b , 对由此引出的自升现象、 α 的计算公式等问题进行了相应的分析和处理, 使实验用量由原来的 100 mL 减为 5 mL, 并且提高了测量准确度.

关键词: 用量; 表面张力系数; 自升现象

中图分类号: O 351.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0712(2004)12-0043-03

表面张力系数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^[1,2], 其测定方法很多. 我们曾使用美国 Electronetics 公司制造的泡式表面张力仪(PBS)测量纯净水的表面张力系数, 该仪器用量小, 可忽略液体密度和接触角, 可以模拟肺泡动态大小变化时表面张力系数的值, 但价格高(2.5 万美金), 测量值偏小, 测量准确度低, 不易清洗. 如纯净水的测量值仅为 $54 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, 远小于水在 37°C 时的标准值 $70.05 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. 对仪器经过多次清洗后, 纯净水最大测量值也仅为 $66 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, 仍小于标准值. 为了更好地测量液体表面张力系数, 我们对已有仪器(焦利秤)进行了改进, 收到较好效果.

焦利秤测量液体表面张力系数所用方法为拉脱法, 所用 Π 形框横丝长度 L 约为 4 cm, 用量为 100 ~ 120 mL, 此方法不计算液膜重量(液膜重量小, 被忽略), 不测量液体密度和接触角, 表面张力系数 α 的计算式为:

$$\alpha = \frac{k \cdot \Delta x}{2L} \tag{1}$$

式中 k 是弹簧劲度系数, Δx 是液膜被拉脱前后弹簧伸长量. 此方法原理简单、易懂, 但用量大, 测量值略偏大. 为了减小用量, 我们做了如下改进: 减小 Π 形框横丝长度 L , 减短侧丝长度 b (如图 1).

减小 Π 形框横丝长度 L 后, 用量虽然减少, 但随之出现的问题是: 测量水的表面张力系数 α 比其标准值大, 且 L 越小, α 越大. 如表 1 及图 2 所示. 分析 α 增大的原因可能与没有计算液膜重量和

L 及 Δx 测量不准有关, 以及与温度计显示的温度不正确和“自升现象”等因素有关(表 1 中数据在测量时没有考虑自升现象). 但后来我们认为主要还是与“自升现象”和 L 的取值有关.

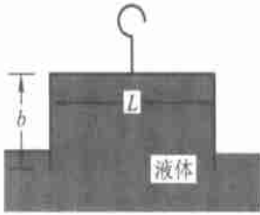


图 1

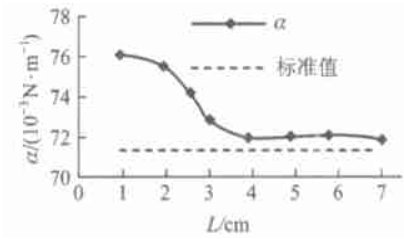


图 2 不同 L 与 α 的关系

表 1 不同 L Π 形框对应水的 α 值(水温 29°C)

L/cm	d/cm	$\Delta x/\text{cm}$	$\alpha/$ ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\alpha_{\text{标准值}}/$ ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	相对偏差/%
0.964	0.03	0.55	76.1	71.34	6.6
1.960	0.03	1.11	75.5	71.34	5.9
2.570	0.03	1.43	74.2	71.34	4.0
3.020	0.03	1.65	72.9	71.34	2.1
3.910	0.03	2.11	72.0	71.34	0.9
4.890	0.03	2.64	72.0	71.34	0.9
5.756	0.03	3.11	72.0	71.34	1.0
6.984	0.03	3.76	71.8	71.34	0.6

“自升现象”即液膜被拉出液面一定高度后,拉力不增加,液膜自动上升一定的高度^[3].这是Ⅱ形框横丝离开液面,液膜由厚变薄的过程,一般发生在Ⅱ形框横丝离开液面 2 mm 左右时(与金属丝直径有关).发生自升现象后液膜厚度变薄,液膜重量很小,因而可以忽略不计.但若没有发生自升现象,则液膜厚度较大,用式(1)计算的 α 值偏大.

为了分析自升现象产生的可能原因,本文对不同 L 的Ⅱ形框进行重新测量,结果发现:1) 自升现象的出现与Ⅱ形框侧丝长度 b 有关.若侧丝长度小于 0.2 cm,自升现象不会发生.2) 自升现象与拉脱过程有关.如果拉脱过程太快,液膜自升高度太小(只有 1~2 mm),自升现象会被忽略(表 1 就是这种情况).3) 自升现象与Ⅱ形框横丝长度 L 有关.直径为 0.3 mm 的金属丝,若Ⅱ形框横丝长度 $L \geq 2.41$ cm,可以出现自升现象,且计算的 α 值与标准值接近,相对偏差为 1.7%,如表 2 所示;若 $L = 1.960$ cm,则有时可以观察到自升现象,有时观察不到;若 $L \leq 0.964$ cm,则无论液膜拉脱过程如何缓慢都无法观察到自升现象,测量的 α 与标准值偏差很大,相对偏差为 5.9%.4) 自升现象与Ⅱ形框金属丝直径有关.如果金属丝直径很小,如为 0.08 mm,几乎不出现自升现象;如果金属丝直径较大,如为 0.5 mm,即使Ⅱ形框横丝长度 L 很小(如 $L \geq 1.040$ cm 的Ⅱ形框)时也可以出现自升现象,但 α 与标准值的相对偏差略大,达到 10.5%.只有当 $L > 3.010$ cm 时, α 与标准值的相对偏差才减小为 3.4%,如表 3 所示.5) 自升现象发生后液膜高度仍可被拉大,液膜厚度变得更薄.通过实验发现拉脱过程实际应该分成三个阶段,即拉力增大液膜高度增大阶段(如图 3 中 OA 段)、自升现象发生阶段(AB 段)及拉力增大液膜高度继续增大阶段(BC 段).纯净水在自升现象发生后的 BC 段液膜高度可达到 1 mm 左右液膜才被拉脱,而洗洁精水溶液在 BC 段液膜高度可达数十 mm,且只要很小一点拉力液膜高度即可被拉得很大.

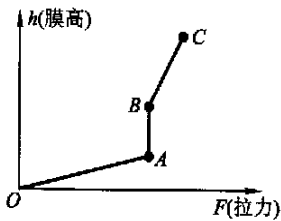


图 3 自升过程

表 2 丝直径 0.03 cm Ⅱ形框对应水的 α (26 °C)

L/cm	$\Delta x/\text{cm}$	$\alpha/$ ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\alpha_{\text{标准值}}/$ ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	相对偏差/%
0.964	0.55	76.1	71.81	5.9
1.960	1.08	73.5	71.81	2.3
2.410	1.32	73.0	71.81	1.7
2.570	1.41	73.2	71.81	1.9
3.020	1.65	72.9	71.81	1.5
3.910	2.14	73.0	71.81	1.6
4.890	2.68	73.1	71.81	1.8
5.756	3.14	72.7	71.81	1.3
6.984	3.81	72.7	71.81	1.3

表 3 丝直径 0.05 cm Ⅱ形框对应水的 α (25.5 °C)

L/cm	d/cm	$\Delta x/\text{cm}$	$\alpha/$ ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\alpha_{\text{标准值}}/$ ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	相对偏差/%
1.040	0.05	0.62	79.5	71.97	10.5
2.030	0.05	1.15	75.5	71.97	5.0
3.010	0.05	1.68	74.4	71.97	3.4
3.990	0.05	2.20	73.5	71.97	2.2
4.970	0.05	2.74	73.5	71.97	2.1
5.970	0.05	3.29	73.5	71.97	2.1
6.970	0.05	3.82	73.1	71.97	1.5

比较表 1、表 2 可以看出自升现象对横丝长度 L 较大的Ⅱ形框测量值影响小,但对 L 较小的Ⅱ形框影响大,如 L 为 2.57 cm 的Ⅱ形框出现自升现象时(表 2 中 α 为 $73.2 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)比没有出现自升现象时(表 1 中 α 为 $74.2 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)的 α 测量值偏小,接近标准值.

在三个表中Ⅱ形框横丝长度 L 皆取内长度,忽略了液膜与Ⅱ形框侧丝的接触,若考虑液膜与Ⅱ形框侧丝接触的问题,计算 α 时可以利用文献[3]给出的公式:

$$\alpha' = \frac{k \cdot \Delta x}{2(L + \pi d/2)} \tag{2}$$

其中 d 表示金属丝直径.

将上述三表中测量数据重新利用公式(2)进行计算,其结果与标准值吻合,如图 4(数据取自表 2),图 5(数据取自表 3)中的 α' 曲线所示.

分析以上诸因素后,本文对焦利秤做了如下改进:① 选用Ⅱ形框规格为:横丝长度 L 为 2.410 cm(或 2.570 cm),金属丝直径为 0.03 cm,侧丝长度约为 0.5 cm;② 液体容器由原来口径为 6 cm 烧杯改为口径仅为 3.8 cm 左右的有盖称量瓶,使测量用液

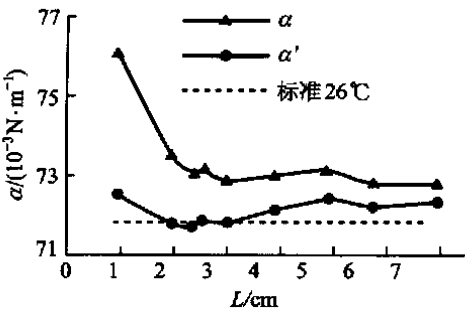


图 4 丝直径 0.03 cm Π 形框测量水的 α' 值

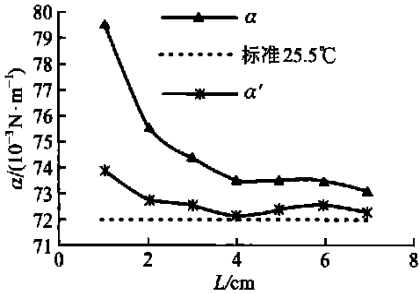


图 5 丝直径 0.05 cm Π 形框测量水的 α' 值

量由 100 mL 减为 5 mL;③ 选用劲度系数尽量小的弹簧,如劲度系数小于 $0.27\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 的弹簧;④ 选

用有刻度的玻璃圆管(以观察自升现象和测量自升高度),并将玻璃圆管和反射镜的标线改用非常细的丝或刻线;⑤ 用公式(2)计算 α 的测量结果.做了这些改进后,测量纯净水、PS 制剂的表面张力系数与用 L 较大的 Π 形框测量的数值相同,且纯净水的测量数值接近标准值.

改进后的焦利秤不仅使实验用液量减少,测量准确度提高,且与泡式表面张力仪(PBS)相比易清洗、价格低,可以作为相关实验研究所用仪器.

参考文献:

[1] 陶国才,杨宗城,刘志远,等.机械通气对严重烟雾吸入伤犬早期肺表面活性物质的影响[J].重庆医学,2002,31(10):899~902.

[2] 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征的实验研究[J].中华急诊医学,2003,12(1):9~10.

[3] 祝桂芝,卢湛锚.用拉脱法测定液体表面张力系数实验中被忽略的一种现象[J].物理实验,1989,9(8):148~150.

[4] 吴学森,魏杰.对低于 C_0 的洗衣粉溶液的研究分析[J].中国医学物理学杂志,2000,17(3):15~16.

[5] 顾惕人.表面化学[M].北京:科学出版社,2001.36~37.

Improvement of the experiment in measuring coefficient of surface tension by abruption

WEI Jie¹,ZHANG Yong-jun¹,CHEN Jiang²,LI Chao¹
LIN Ze-ling¹,GONG Zhi-cheng¹

(1. Department of Physics, Bengbu Medical College, Bengbu, Anhui 233003, China;
2. Department of Chemistry, Bengbu Medical College, Bengbu, Anhui 233003, China)

Abstract: To improve the experimental method in measuring coefficient of surface tension by abruption, an improved method is proposed, reducing both the horizontal length and the vertical length of the frame “ Π ”, improving the formula about α . The volume of liquid is reduced from 100 mL to 5 mL. Auto-rising phenomenon is explained and the measuring accuracy is enhanced.

Key words: coefficient of surface tension; auto-rising phenomenon