

液体表面张力系数与温度的关系的实验研究^①

谭兴文

西南大学 物理科学与技术学院, 重庆 400715

摘要: 通过实验方法研究了液体表面张力系数与温度的关系, 并从分子热运动的观点出发, 结合分子间作用力的关系进行了论证. 得出了液体的表面张力系数与温度呈递减关系.

关键词: 液体; 表面张力系数; 温度; 实验

中图分类号: G642.423

文献标识码: A

液体表面层内由于分子力的作用, 具有收缩的趋势. 液体表面张力是液体一个重要的物理性质, 表面张力的大小, 可用表面张力系数来描述. 温度是影响液体表面张力系数的重要因素, 温度越高液体的表面张力系数越小. 液体表面张力在工农业医学、物理化学等领域的科学研究和日常生活中有着重要的应用, 如工业技术中的浮选技术和液体输送技术等. 在工农业生产活动中, 液体表面张力有时是不利的. 例如, 在农作物喷灌和也面施肥时, 如果温度太低, 液体在农作物叶面上收缩成球型影响叶面对液体的吸收, 因此考虑在适当的温度条件下作业, 以减小液体的表面张力的大小. 下面对液体表面张力系数与温度的关系从实验和理论两方面进行讨论.

1 实验装置

利用硅压阻式力敏传感器测量液体的表面张力是近年来新发展起来的一种方法, 但该实验装置存在一些缺陷, 如不能精确测量和设置液体温度, 无法测量液体表面张力与温度的变化情况; 很难调节金属吊环下表面与液面平行; 用手动的方式调节升降台, 吊环在即将脱离液体表面瞬间, 电压表的示数变化太快, 很难读数. 下面对实验装置进行设计改进, 从而突破上述局限性.

1) 将装液体的表面皿换成用铝材做成的金属器皿, 下方装一半导体制冷器, 半导体制冷片的一面(热端)与铝质散热器紧贴, 中间涂上导热硅脂, 并用风扇强行散热, 使其与环境温度接近. 另一面(冷端)与金属器皿紧贴, 金属器皿用铝质良导热材料, 并装上温度传感器. 半导体制冷器和温度传感器与温度控制器相连, 从温度传感器探头(LM335)采集来得温度信号与温度控制器上设定的温度进行比较, 来决定温度控制器的输出, 从而改变半导体制冷器的工作方式, 达到精确控制液体温度的目的(图 1).

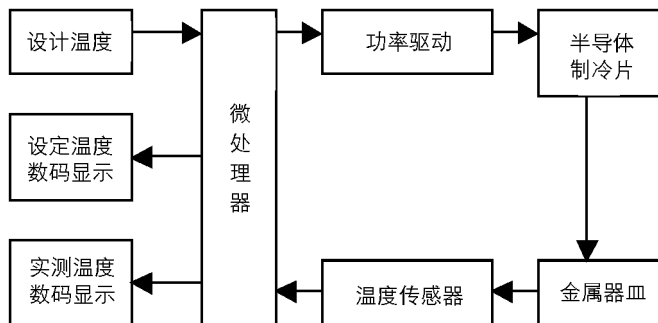


图 1 液体温度控制原理图

2) 在金属器皿底部装一放水阀门, 控制阀门使液面下降, 最终使液膜拉断, 由于控制水流速度比较容

① 收稿日期: 2006-09-19

作者简介: 谭兴文(1972-), 男, 重庆人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事物理实验教学.

易,同时,也消除了用手调节升降台引起的振动,从而使拉拖前后的电压值得更准确.

3) 在金属器皿内竖直面刻上间距为 3 mm 的等距水平刻线,实验时调节吊环下表面与水平刻线重合,从而保证吊环与液面平行.

4) 改进后的实验装置如图 2 所示.

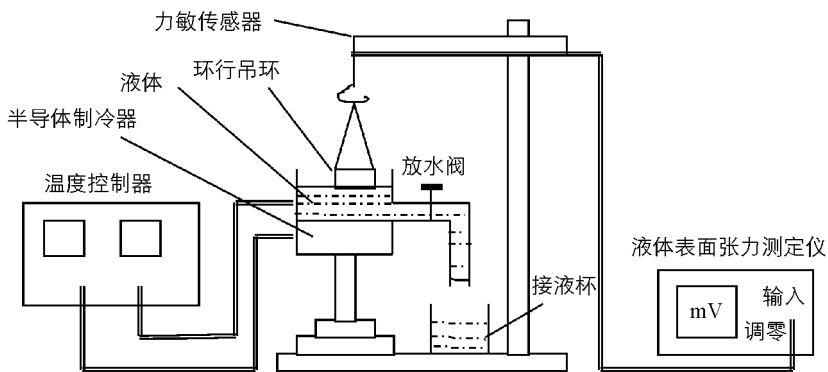


图 2 液体表面张力测定实验装置

2 方法

测定液体表面张力采用拉脱法,使用硅压阻式力敏传感器测量液体表面张力,并用数字电压表进行输出量表示.

在金属器皿中装适量待测液体,打开电源预热仪器.在温度控制器上设置目标温度,半导体制冷器开始工作,由于半导体制冷片的作用,待测液体温度会慢慢接近设定的目标温度指示.当待测液体温度与目标温度一致并稳定后开始测量在该温度时液体的表面张力.将金属吊环浸入待测液体中,调节吊环下表面与水平刻线重合,从而保证吊环与液面平行,打开放水阀门,液面下降.当吊环底面与液面平齐或略高时,由于液体表面张力的作用,吊环内外壁会带起一部分液体.如图 3 所示,平衡时吊环重力 mg 、向上的拉力 F 与液体的表面张力 f 有如下关系:

$$F = mg + f \cos \theta \quad (1)$$

当金属吊环脱离液体表面的过程中,接触角 θ 逐渐减小并趋近于零.在吊环临界脱离液体时, $\theta \approx 0$,即 $\cos \theta \approx 1$,则平衡条件近似为

$$F = mg + f \quad (2)$$

$$f = F - mg = \pi(D_1 + D_2)\alpha \quad (3)$$

式中 D_1, D_2 为吊环的内外直径.液体的表面张力系数为

$$\alpha = \left(\frac{F - mg}{\pi(D_1 + D_2)} \right)$$

实验时需对硅压阻力敏传感器进行定标,求得传感器得灵敏度 B (单位 mV/g).吊环即将拉断液柱前一瞬间电压表得读数值为 U_1 ,拉断时瞬间数字电压表的读数值为 U_2 ,则

$$f = \frac{(U_1 - U_2)}{B} \quad (4)$$

将(3)式代入(4)式得

$$\alpha = \frac{(U_1 - U_2)}{\pi(D_1 + D_2)B} \quad (5)$$

3 结果与讨论

测量时先用游标卡尺测量吊环的内外径 D_1 和 D_2 ,再对力敏传感器定标,测量数据见表 1.

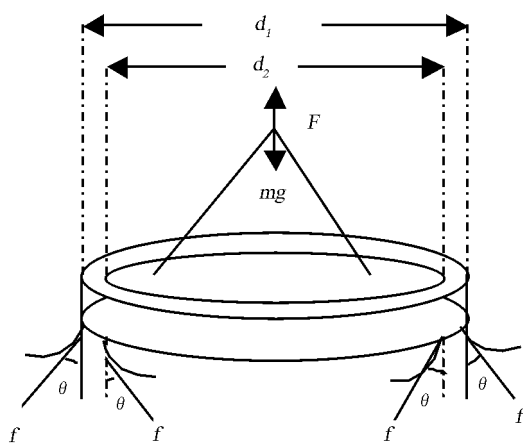


图 3 吊环的受力分析

M/g	U/mV
0.50	11.4
1.00	23.3
1.50	35.1
2.00	45.9
2.50	57.3
3.00	69.3
3.50	80.4

注: $D_1 = 33.12 \text{ mm}$; $D_2 = 35.17 \text{ mm}$

$$\sum_{i=1}^n M_i = 14 \quad \sum_{i=1}^n M_i^2 = 35 \quad \sum_{i=1}^n U_i = 322.7 \quad \sum_{i=1}^n U_i^2 = 18\,561.61 \quad \sum_{i=1}^n M_i U_i = 806$$

力敏传感器的灵敏度

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \sum_{i=1}^n U_i - n \sum_{i=1}^n M_i U_i}{\left(\sum_{i=1}^n M_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n M_i^2}$$

代入数据求得 $B=22.943 \text{ mV/g}$

改变温度控制器上目标温度的设置，分别测量在 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70℃ 时，吊环即将拉断液柱前一瞬间电压表得读数值为 U_1 ，拉断时瞬间数字电压表的读数值为 U_2 。将上述数据代入公式(5)求得纯净水、酒精在温度分别为 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70℃ 时的表面张力系数如表 2、图 4、图 5 所示。

表 2 不同温度下纯净水、酒精表面张力系数 $\times 10^{-3} \text{ N/m}^2$

液体	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
纯净水	73.2	71.7	70.1	68.6	67.0	65.4	63.9
酒精	25.2	22.7	21.5	20.0	19.3	18.8	17.9

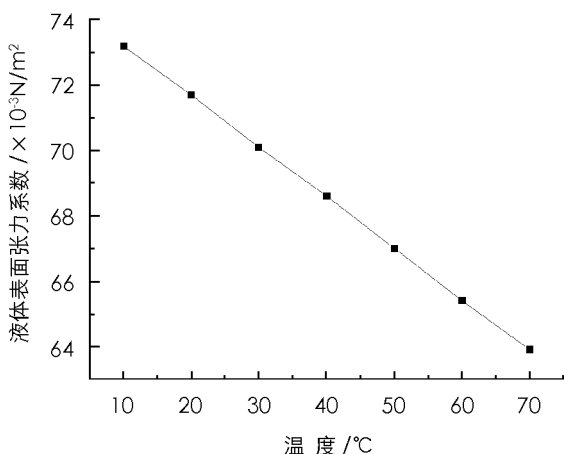


图 4 纯净水的表面张力与温度的关系

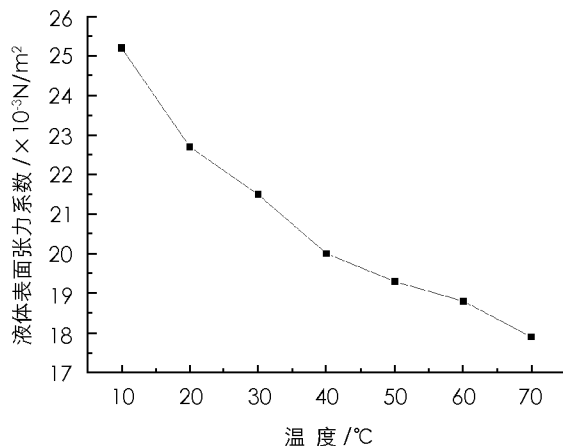


图 5 酒精的表面张力与温度的关系

结论：液体表面张力水随着温度升高而降低，且纯净水的表面张力系数于温度呈近似得线性关系。

由于液体分子无规则的热运动，液体表面一部分液体分子在分子热运动过程中获得足够的能量，从而克服周围其它液体分子对它的束缚，蒸发成气态分子。因此，液体上方气相层的分子平均密度要比液体内部小，液体表面层分子的平均振幅势必大于液体内部分子的平均振幅。根据分子力曲线(图 6)，由于液面分子的平均距离大与一般分子所处的平衡位置的距离 $\overline{or_0}$ ，因此，分子力表现为引力优势。这也是产生液体表面张力的原因。

当液体温度升高，分子得平均动能势必增大。根据统计规律，液体分子液体分子热运动的能量分配应遵从麦克斯韦统计分布(图 7)。当液体温度升高时，具有较大能量的分子数比率增大，达到蒸发态能量的分子数增多，蒸发速度加快，同时，液体内部的分子平均振幅增大，具有振幅超过而又未达到蒸发程度的分子数目也增多，液体分子分布曲线的峰值右移(图 7)。所以，液体表面层分子平均密度更小，平均距离更大。根据图 6 分子力曲线可知，分子间距离超过 r_m 的分子数增多，分子的平均引力优势反而减小。因此，随着温度升高液体的表面张力反而减小。

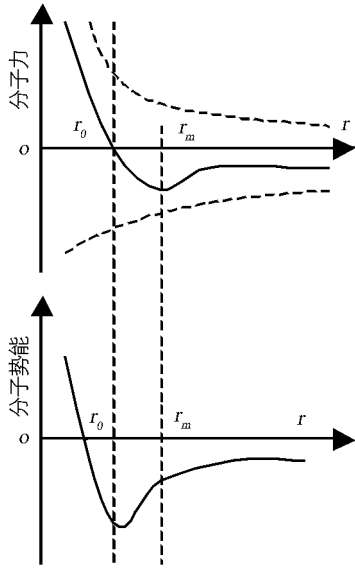


图 6 分子力与分子势能曲线

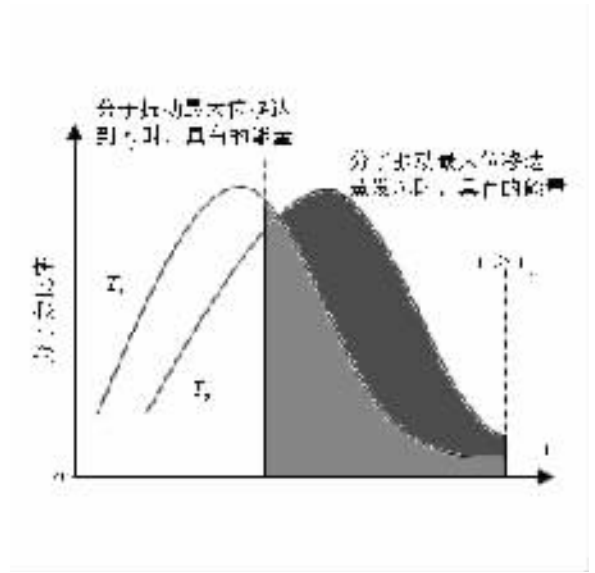


图 7 分子数比率与温度的关系

参考文献:

- [1] 沈元华, 陆申龙. 基础物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 116 - 119.
- [2] 杨述武. 普通物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 209 - 212.
- [3] 李 椿, 章立源, 钱上武. 热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 314 - 321.
- [4] 徐 崇. 液体表面张力系数测量实验的改进[M]. 大学物理实验, 2005(4): 7 - 10.
- [5] 董继昌. 分子物理学中一个值得讨论的基本理论问题[J]. 广西师范大学学报, 1998(2): 71 - 73.

Research on the Experiment of the Relationship between the Liquid Surface Tension and the Temperature

TAN Xing-wen

School of Physical Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: This article studied the relationship between the liquid surface tension and the temperature through an experimental methods and used the standpoint of the hot sport to set out the member. Results show that the coefficient of surface tension of liquid is related to temperature.

Key words: liquid; coefficient surface tension; temperature; experiment

责任编辑 潘春燕