

液体表面张力系数测定

(FB326A 型液体表面张力系数测定仪)

实 验 讲 义

杭州精科仪器有限公司

用拉脱法测定液体表面张力系数

液体表层厚度约 10^{-10}m 内的分子所处的条件与液体内部不同，液体内部每一分子被周围其它分子所包围，分子所受的作用力合力为零。由于液体表面上方接触的气体分子，其密度远小于液体分子密度，因此液面每一分子受到向外的引力比向内的引力要小得多，也就是说所受的合力不为零，力的方向是垂直与液面并指向液体内部，该力使液体表面收缩，直至达到动态平衡。因此，在宏观上，液体具有尽量缩小其表面积的趋势，液体表面好象一张拉紧了橡皮膜。这种沿着液体表面的、收缩表面的力称为表面张力。表面张力能说明液体的许多现象，例如润湿现象、毛细管现象及泡沫的形成等。在工业生产和科学研究中常常要涉及到液体特有的性质和现象。比如化工生产中液体的传输过程、药物制备过程及生物工程研究领域关于动、植物体内液体的运动与平衡等问题。因此，了解液体表面性质和现象，掌握测定液体表面张力系数的方法是具有重要实际意义的。测定液体表面张力系数的方法通常有：拉脱法、毛细管升高法和液滴测重法等。本实验仅介绍拉脱法。拉脱法是一种直接测定法。

【实验目的】

1. 了解FB326型液体的表面张力系数测定仪的基本结构，掌握用标准砝码对测量仪进行定标的方法，计算该传感器的灵敏度。
2. 观察拉脱法测液体表面张力的物理过程和物理现象，并用物理学基本概念和定律进行分析和研究，加深对物理规律的认识。
3. 掌握用拉脱法测定纯水的表面张力系数及用逐差法处理数据。

【实验原理】

如果将一洁净的圆筒形吊环浸入液体中，然后缓慢地提起吊环，圆筒形吊环将带起一层液膜。使液面收缩的表面张力 f 沿液面的切线方向，角 ϕ 称为湿润角（或接触角）。当继续提起圆筒形吊环时， ϕ 角逐渐变小而接近为零，这时所拉出的液膜的里、外两个表面的张力 f 均垂直向下，设拉起液膜破裂时的拉力为 F ，则有

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

式中， m 为粘附在吊环上的液体的质量， m_0 为吊环质量，因表面张力的与接触面周边界长度成正比，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。式中 l 为圆筒形吊环内、外圆环的周长之和。

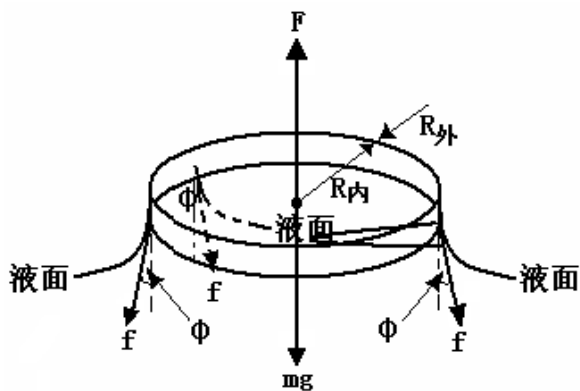


图1 圆形吊环从液面缓慢拉起受力示意图

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

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：

$$\alpha = \frac{F - m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_{\text{内}} + D_{\text{外}})} \quad (4)$$

表面张力系数 α 与液体的种类、纯度、温度和它上方的气体成分有关。实验表明，液体的温度越高， α 值越小，所含杂质越多， α 值也越小。只要上述这些条件保持一定， α 值就是一个常数。本实验的核心部分是准确测定 $F - m_0 \cdot g$ ，即圆筒形吊环所受到向下的表面张力，我们用 FB326A 型液体的表面张力系数测定仪测定这个力。

【实验仪器】

FB326A 型液体的表面张力系数测定仪主要组成有：底座；立柱；传感器固定支架；压阻力敏传感器；数字式毫伏表；有机玻璃器皿（连通器）；标准砝码（砝码盘）；圆筒形吊环。



图2 FB326A型液体表面张力系数测定仪实物照片

【实验内容】

1. 开机预热15分钟。
2. 清洗有机玻璃器皿和吊环。
3. 在有机玻璃器皿内放入被测液体。
4. 将砝码盘挂在力敏传感器的钩上。
5. 若整机已预热15分钟以上，可对力敏传感器定标，在加砝码前应首先读取电子秤的初读数 V_0 （该读数包括砝码盘的重量），（注：对于加有调零装置的仪器，可以通过调节机箱后面的调零旋钮，使初读数为零）。然后每加一个500.00mg砝码，读取一个对应数据（mV），记录到表格中，注意安放砝码时动作要应尽量轻巧。用逐差法求力敏传感器的转

换系数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ (N/mV)。

6. 换吊环前应先测定吊环的内外直径，然后挂上吊环，读取一个对应数据 (mV)，在测定液体表面张力系数过程中，可观察到液体产生的浮力与张力的情况与现象，逆时针转动活塞调节旋钮，使液体液面上升，当环下沿接近液面时，仔细调节吊环的悬挂线，使吊环水平，然后把吊环部分浸入液体中，这时候，按下面板上的按钮开关，仪器功能转为峰值测量，接着缓慢地顺时针转动活塞调节旋钮，这时液面逐渐下降（相对而言即吊环往上提拉），观察环浸入液体中及从液体中拉起时的物理过程和现象。当吊环拉断液柱的一瞬间数字电压表显示拉力峰值 V_1 并自动保持该数据。拉断后，释放按钮开关，电压表恢复随机测量功能，静止后其读数值为 V_2 ，记下这个数值。连续做 5 次，求平均值。那么表面张力：

$$2f = (\bar{V}_1 - \bar{V}_2) \cdot K$$

表面张力系数：

$$\alpha = \frac{2f}{L} = \frac{(\bar{V}_1 - \bar{V}_2) \cdot K}{\pi \cdot (D_{\text{内}} + D_{\text{外}})}$$

【数据与结果】

1. 用逐差法求仪器的转换系数 K (N/mV)：

数据记录表格

先记录砝码盘等作为初读数 $V_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ mV，然后每次增加一个砝码

$m = 500.00\text{mg}$ ，（该标准砝码符合国家标准，相对误差为 0.005%）

砝码质量 (10^{-6}kg)	增重读数 V'_i (mV)	减重读数 V''_i (mV)	$V_i = \frac{V'_i + V''_i}{2}$ (mV)	等间距逐差：(mV) $\delta V_i = V_{i+4} - V_i$
0.00				$\delta V_1 = V_4 - V_0$
500.00				
1000.00				$\delta V_2 = V_5 - V_1$
1500.00				
2000.00				$\delta V_3 = V_6 - V_2$
2500.00				
3000.00				$\delta V_4 = V_7 - V_3$
3500.00				

$\bar{\delta V} = \frac{1}{4}(\delta V_1 + \delta V_2 + \delta V_3 + \delta V_4)$ $\bar{\delta V}$ 为每 500.00mg 对应的电子秤的 mV 读数，则

$$K = \frac{g \cdot m}{\delta V} = \text{_____} (\text{N/mV})$$

2. 用拉脱法求拉力对应的电子秤读数:

水温(室温)_____ °C, 电子秤初数 V_0 _____ (mV)

测量次数	拉脱时最大读数 V_1 (mV)	吊环读数 V_2 (mV)	表面张力对应读数 $V = V_1 - V_2$ (mV)
1			
2			
3			
4			
5			
平均值			$\bar{V} = \text{_____}$

3. 吊环的内、外直径: _____ 单位: mm

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
内径 $D_{\text{内}}$						
外径 $D_{\text{外}}$						

4. 计算 α 及不确定度:

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{K} \cdot \bar{V}}{\bar{L}}$$

$$\left(\frac{\Delta \bar{\alpha}}{\bar{\alpha}}\right)^2 = \left(\frac{\Delta \bar{K}}{\bar{K}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \bar{V}}{\bar{V}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \bar{L}}{\bar{L}}\right)^2$$

$$\alpha = \bar{\alpha} \pm \Delta \bar{\alpha}$$

5. 从附录中查出室温下水的表面张力系数 α 的理论值,把实验结果与此值比较求相对误差,并与实验值 $\Delta \bar{\alpha}$ 对比对实验结果进行分析。

【思考题】

1. 什么叫表面张力? 表面张力系数与哪些因素有关?
2. 在推导测量公式 3 时,作了哪些近似?式中各量的物理意义是什么?
3. 拉脱法的物理本质是什么?

4. 若考虑拉起液膜的重量,实验结果应如何修正?

【附录一】

一. 仪器组成及技术指标:

1. 硅压阻力敏传感器

- (1) 受力量程: $0 \sim 0.098\text{N}$
- (2) 灵敏度: 约 3.00 V/N (用砝码质量作单位定标)
- (3) 非线性误差: $\leq 0.2\%$
- (4) 供电电压: 可调直流恒流源 $5 \sim 10\text{V}$

2. 显示仪器

- (1) 读数显示: 200mV 三位半数字电压表
- (2) 调零: 手动多圈电位器
- (3) 连接方式: 5芯航空插头

3. 力敏传感器固定支架、底板及水平调节装置

4. 吊环: 外径 $\Phi = 34.96\text{mm}$, 内径 $\Phi = 33.10\text{mm}$, 高 $H = 8.50\text{mm}$ 的铝合金吊环。

5. 容积 $100\text{mm} \times 50\text{mm} \times 65\text{mm}$ 有机玻璃连通器一套, 活塞面积 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$

6. 砝码盘及 500mg 砝码 7 只, 精度 $\pm 0.025\text{mg}$ 。

7. 外型尺寸

- (1) 支架及底盘尺寸: $220\text{mm} \times 200\text{mm} \times 280\text{mm}$
- (2) 仪 器 尺 寸: $240\text{mm} \times 270\text{mm} \times 85\text{mm}$

8. 用本仪器测量水等液体的表面张力系数的误差 $\leq 10\%$

二. 整机使用注意事项:

- 1. 吊环须严格处理干净。可用 NaOH 溶液洗净油污或杂质后, 用清洁水冲洗干净, 并用热吹风烘干。
- 2. 吊环水平须调节好, 注意偏差 1° , 测量结果引入误差为 0.5% ; 偏差 2° , 则误差 1.6%
- 3. 仪器开机需预热 15 分钟。
- 4. 在调节液面升降活塞时, 速度要缓慢, 尽量减小液体的波动。
- 5. 工作环境应避免风吹, 以免吊环摆动致使零点波动, 造成所测系数不准确。
- 6. 若液体为纯净水。在使用过程中防止灰尘和油污及其它杂质污染。特别注意手指不要接触被测液体。
- 7. 力敏传感器使用时用力不宜大于 0.098N 。过大的拉力传感器容易损坏。
- 8. 实验结束须将吊环用清洁纸擦干, 用清洁纸包好, 放入干燥缸内。

三. 使用步骤:

- 1. 清洗有机玻璃器皿和吊环。
- 2. 在有机玻璃器皿内放入被测液体。
- 3. 开机预热 15 分钟。

4. 将砝码盘的挂钩挂在力敏传感器的小孔中。
5. 对力敏传感器定标，在加砝码前应首先对仪器调零，安放砝码时应尽量轻。
6. 换吊环前应先测定吊环的内外直径，然后挂上吊环，在测定液体表面张力系数过程中，可观察到液体产生的浮力与张力的情况与现象，逆时针转动活塞调节旋钮，液体液面上升，当环下沿部分均浸入液体中时，按下峰值测量开关，接着顺时针缓慢转动活塞调节旋钮，这时液面往下降（相对而言即吊环往上提拉），观察环浸入液体中及从液体中拉起时的物理过程和现象。特别应注意吊环即拉断液柱一瞬间数字电压表显示读数值为 V_1 ，记录该数值。接着释放按钮开关，这时，数字电压表读数为 V_2 （吊环重量），记下这两个数值。
7. 也可以用长、短门形金属片做实验，为消除边缘效应对实验结果的影响，可采用长金属片的数据减去短金属片的数据，这样一来，剩下的数据就是金属片中段的数据，可能会减少实验误差。实验步骤自拟。

四. 实验数据举例：

1. 硅压阻力敏传感器定标：

力敏传感器上分别加各种质量砝码，测出相应的电压输出值，实验结果见表1。

用逐差法求仪器的转换系数 $K(N/mV)$ 数据记录表格：

先记录砝码盘等作为初读数 $V_0 = 132 \text{ mV}$ ，然后每次增加一个砝码 $m = 500.00\text{mg}$ ，

（该标准砝码符合国家标准，相对误差为0.005%）

表1

砝码质量 $m \text{ (mg)}$	500.00	1000.00	1500.00	2000.00	2500.00	3000.00	3500.00
输出电压 $V \text{ (mV)}$	152	170	189	207	231	251	287
输出电压 $V \text{ (mV)}$	20	38	57	75	99	119	155

用逐差法计算：

$$\delta\bar{V} = \frac{1}{16}((75-0)+(99-20)+(119-38)+(155-57)) = 20.8 \text{ (mV)}$$

$$\text{电子秤的转换系数: } K = \frac{g \cdot m}{\delta\bar{V}} = \frac{9.793 \times 500.00 \times 10^{-6}}{20.8} = 2.354 \times 10^{-4} \text{ (N/mV)}$$

杭州地区重力加速度 $g = 9.793\text{m/S}^2$ 。

2. 拉脱法求拉力对应的电子秤读数

水温(室温) 30°C , 电子秤加吊环读数 $V_0 = 75.0$ (mV)

表 2

测量次数	拉脱时最大读数 V_1 (mV)	吊环读数 V_2 (mV)	表面张力对应读数 $V = V_1 - V_2$ (mV)
1	132.8	75.0	57.8
2	132.9	75.0	57.9
3	132.9	75.0	57.9
4	133.3	75.0	58.3
5	133.5	75.0	58.5
平均值			$\bar{V} = 58.1$ (mV)

3. 吊环的内、外直径:

单位: m

表 3

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
内径 $D_{\text{内}} (\times 10^{-3} m)$	33.00	33.00	33.02	33.02	33.00	33.01
外径 $D_{\text{外}} (\times 10^{-3} m)$	34.94	34.94	34.94	34.94	34.94	34.94

$$L = \pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}}) = 3.142 \times (33.01 + 34.94) \times 10^{-3} = 0.213 \text{ (m)}$$

4. 水的表面张力系数的计算:

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{K} \bullet \bar{V}}{\bar{L}} = \frac{2.354 \times 10^{-4} \times 58.1}{0.213} = 6.42 \times 10^{-2} \text{ (N/m)} \quad (\text{自来水})$$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_0|}{\alpha^0} \times 100\% \\
 &= \frac{|6.42 \times 10^{-2} - 7.118 \times 10^{-2}|}{7.118 \times 10^{-2}} \times 100\% \\
 &= 9.8 \%
 \end{aligned}$$

【附录二】

纯净水表面张力系数的公认值：

水的温度 T (°C)	10	15	20	25	30
α ($\times 10^{-2}$ N/m)	7.422	7.349	7.275	7.197	7.118