

# 原始记录

## 测定力敏传感器灵敏度

测量次数	砝码质量	增重时读数 $U/V$	减重时读数 $U'/V$
1	0.000	0.0000	-0.0008
2	0.500	0.0129	0.0118
3	1.000	0.0274	0.0269
4	1.500	0.0414	0.0396
5	2.000	0.0549	0.0527
6	2.500	0.0679	0.0668
7	3.000	0.0808	0.0794
8	3.500	0.0944	

## 测量吊环内、外径

测量次数	$D_1/cm$	$D_2/cm$
1	3.480	3.300
2	3.490	3.290
3	3.492	3.302

## 测定水的表面张力系数

测量次数	$U_1/V$	$U_2/V$	$\Delta U/V$
1	0.1238	0.0868	0.0370
2	0.1227	0.0866	0.0411
3	0.1212	0.0864	0.0348
4	0.1217	0.0869	0.0348
5	0.1216	0.0870	0.0346
6	0.1224	0.0866	0.0358

## 实验目的

- (1) 学习传感器的定标方法。
- (2) 观察用拉脱法测液体表面张力时的物理现象，加深对物理规律的认识。
- (3) 测量室温下水和其他液体的表面张力系数。

## 实验原理

### 表面张力及表面张力系数

1. 表面张力：分子间存在相互作用力。处于液体表面层的分子，其上层空间的分子对它的吸引力小于液体下层空间（液体内部）的分子对它的吸引力，所形成的合力方向垂直指向液体内部。这种合力称为表面张力，使得液体表面具有收缩的趋势。

2. 表面张力系数：数值上等于单位长度上的表面张力，单位为  $N/m$ 。

计算公式为  $f = \alpha L$ ，其中  $\alpha$  为表面张力系数， $L$  为分界线的长度。

### 拉脱法测表面张力系数

① 将吊环与力敏传感器相连，浸入液体中。

② 缓慢向上拉动吊环，由于表面张力作用，力敏传感器受到的拉力会逐渐增大，最终达到最大值  $F_1$ 。设表面张力大小为  $f$ 。

此时有  $F_1 = f + G$ ，其中  $G$  为吊环及其黏附液体的总重力。

③ 当拉力超过  $F_1$  时，水柱破裂，吊环不再受表面张力的作用。

此时有  $F_2 = G$ 。综上，可得  $f = F_1 - F_2$

分界线长度

由于吊环为空心，因此会形成两个液面交界不同的液面。可得  $f = \alpha L = \alpha \pi (D_1 + D_2)$ ，其中  $D_1$  为吊环的内径， $D_2$  为吊环的外径。

同时，实验所使用的力敏传感器并不直接显示拉力的大小，而是以数字电压表形式显示。当传感器所受拉力改变  $\Delta F$  时，数字电压表的示数改变  $\Delta U$ ，可得  $\frac{\Delta F}{\Delta U} = \frac{1}{B}$ ，其中  $B$  为力敏传感器的灵敏度（通常是已知的），可以通过砝码测得。

联立上述的式子可得，表面张力系数  $\alpha = \frac{(U_1 - U_2) B}{\pi (D_1 + D_2)}$ ，式中物理量均可用仪器测得。



## 实验仪器

DH4607A 液体表面张力系数测定仪, 游标卡尺

## 实验步骤与数据记录

- ① 仪器开机预热 15 min。使用水平仪调节底座水平。
- ② 用游标卡尺测量吊环的内、外径各三次。测量结果如下：

测量次数	$D_1/\text{cm}$	$\bar{D}_1$	$D_2/\text{cm}$	$\bar{D}_2$
1	3.480		3.300	
2	3.490	3.487	3.290	3.297
3	3.492		3.302	

- ③ 调节力敏传感器高度，将吊盘挂在传感器盘勾上，对测定仪调零。

- ④ 将 7 个质量均为 0.5 g 的片码依次放入吊盘中，分别记下测定仪的读数  $U_0 \sim U_7$ ；接着放入第 8 个片码，待电压表读数稳定后，再依次从吊盘中取走片码，记录读数  $U_7' \sim U_0'$ 。测量结果如下：

测量次数	片码质量/g	加重时读数 $U/\text{V}$	减重时读数 $U'/\text{V}$	平均值 $\bar{U}/\text{V}$
1	0.000	$U_0$	$U_0'$	-0.0000
2	0.500	$U_1$	$U_1'$	0.0118
3	1.000	$U_2$	$U_2'$	0.0269
4	1.500	$U_3$	$U_3'$	0.0396
5	2.000	$U_4$	$U_4'$	0.0527
6	2.500	$U_5$	$U_5'$	0.0668
7	3.000	$U_6$	$U_6'$	0.0794
8	3.500	$U_7$	$U_7'$	0.0944

- ⑤ 逆时针转动液面高度调节螺钉将活塞降至最低。将吊环挂在传感器盘勾上，调节吊环水平，对测定仪调零。测量结果如下：

测量次数	$U_1/\text{V}$	$U_2/\text{V}$	$\Delta U/\text{V}$	$\Delta \bar{U}/\text{V}$
1	0.1238 <del>0.0138</del>	0.0868	0.0370	
2	0.1227	0.0866	0.0411	
3	0.1212 <del>0.0112</del>	0.0864	0.0348	0.0365
4	0.1217	0.0869	0.0348	
5	0.1216	0.0870	0.0346	
6	0.1224	0.0866	0.0358	



## 实验数据处理

### ① 计算力敏传感器灵敏度 (B)

由原始数据得逐差输出

$$\Delta U_1 = \bar{U}_4 - \bar{U}_1 = 0.0414 \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = \bar{U}_5 - \bar{U}_2 = 0.0402 \text{ V}$$

$$\Delta U_3 = \bar{U}_6 - \bar{U}_3 = 0.0396 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3}{3}$$

$$B = \frac{\Delta U}{\Delta F}$$

$$B \approx 2.748 \text{ V/N}$$

$$\text{计算得 } B \approx 0.0269 \text{ V/g} \approx 2.745 \text{ V/N}$$

### ② 计算水的表面张力系数 $\alpha$

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

$$\alpha = \frac{\Delta U}{\pi(\bar{D}_1 + \bar{D}_2) \cdot B} \approx 0.0623 \text{ N/m} = 6.23 \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

### ③ 计算相对误差

已知标准值  $T = 20^\circ\text{C}$   $\alpha = 7.2 \times 10^{-2} \text{ N/m}$

$$E = \frac{|6.23 \times 10^{-2} - 7.2 \times 10^{-2}|}{7.2 \times 10^{-2}} \times 100\% \approx 13.5\%$$

## 实验结论

- ① 成功标定了力敏传感器的灵敏度约为  $2.74 \mu\text{V}/\text{N}$
- ② 测量得出水的表面张力系数约为  $0.0625 \text{ N/m}$
- ③ 与标准值的相对误差约为  $13.5\%$ ，误差较大，可能存在多处误差来源。

## 实验讨论

### 1. 拉脱法测量的误差来源

① 仪器相关：力敏传感器：标定的灵敏度与实际值有偏差；

传感器在测量范围内可能并非完全线性；

传感器零点读数随时间或温度变化；

吊环：吊环可能不是标准的圆形；

测量时产生的误差。

② 操作相关：润湿性问题：吊环不清洁；

与液面接触角不为零，导致测得垂直拉力减小；

拉脱过程控制不当：拉升速度过快或过慢；

非垂直拉升；

振动干扰

### 2. 设计实验 研究测定表面张力系数与温度间的关系

仍然使用拉脱法，利用已标定灵敏度的力敏传感器测量将金属吊环从水面拉脱所需的力 $\Delta F$ 。通过精确控制水温，测量不同温度下的 $\alpha$ 值，研究其变化规律。

以温度 $T$ 为横坐标，表面张力系数 $\alpha$ 为纵坐标，绘制 $\alpha$ - $T$ 散点图。

使用最小二乘法对散点图进行线性拟合，判断 $\alpha$ 与 $T$ 之间的大致关系。



## 思考题

(1) 如果金属吊环不清洁会给测量带来什么影响？在此情况下所测得的表面张力是偏大还是偏小？

每

金属吊环不清洁会导致润湿不良，使得测量到的最大拉脱力减小，最终导致计算出的表面张力系数值偏小。

(2) 分析液柱即将拉断前数字电压表读数减小的原因。

在达到最大拉力对应的临界形状后，液柱继续被拉伸导致其形态继续发生变化，无法再维持之前的较大垂直向下的拉力，因此表面张力贡献的垂直拉力分量开始减小，导致数字电压表的读数从峰值下降。

(3) 还可以用哪些方法对力敏传感器灵敏度的实验数据进行处理？

① 最小二乘法线性回归

② 平均逐段求灵敏度