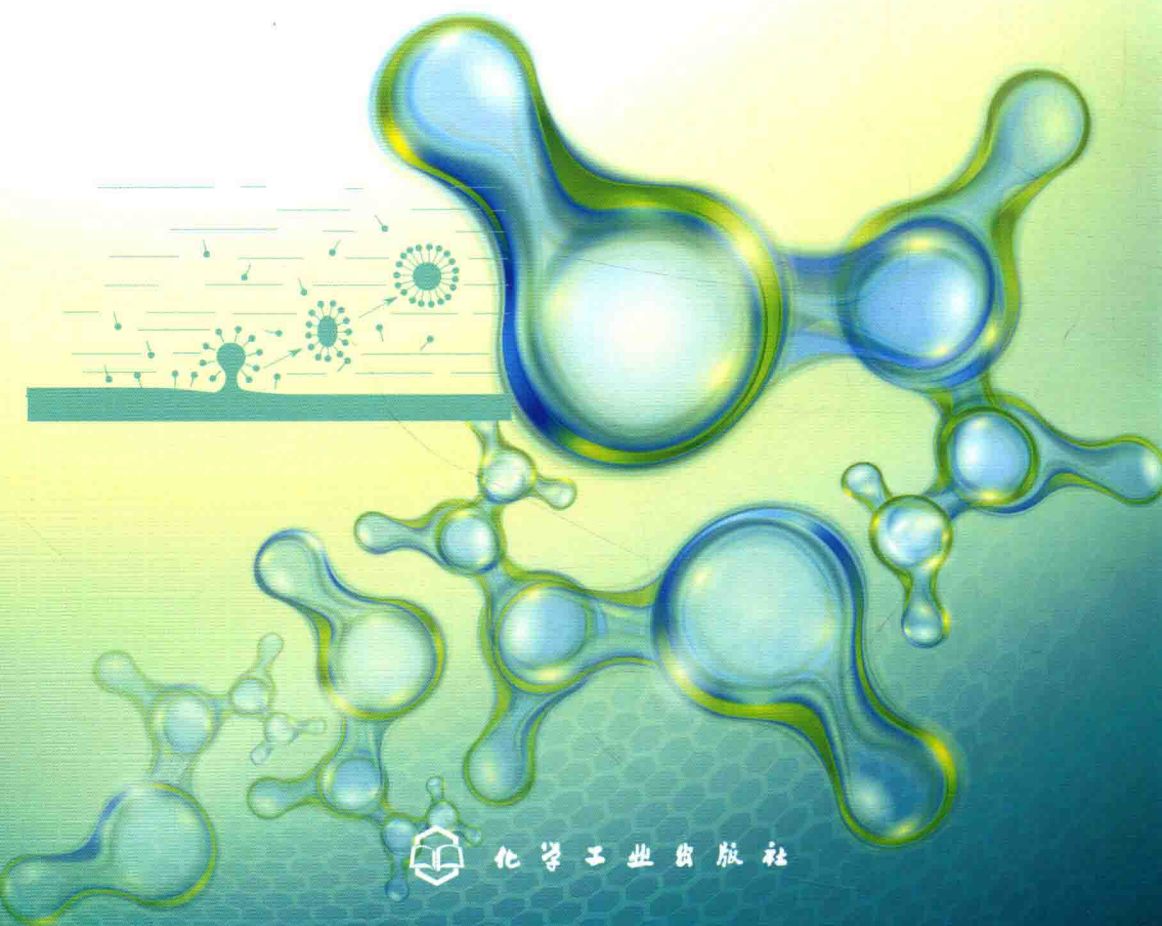


中国轻工业“十三五”规划教材

# 表面活性剂、胶体 与界面化学实验

Experiments in Surfactants, Colloid and Interface Chemistry

刘雪峰 主编



化学工业出版社

中国轻工业“十三五”规划教材

# 表面活性剂、胶体 与界面化学实验

Experiments in Surfactants, Colloid and Interface Chemistry

刘雪峰 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地概述了表面活性剂、胶体与界面化学的基础概念和理论要点；突出显示以表面活性剂为纽带的胶体与界面化学的实验技能训练和研究方法学习。按照纯液体表面张力以及温度的影响规律，液-液界面、液-固界面和铺展单分子膜，表面活性剂的溶液表面吸附和体相自组装，表面活性剂在液-液界面和液-固界面的吸附，胶体分散体系，具有刺激响应的新型表面活性剂六个主题，设计了近五十个实验来介绍有关表面活性剂相关的实验操作与基本原理。

适合高年级本科生和研究生的实验和研究方法学习，也适合国内表面活性剂、洗涤剂、化妆品等行业从业技术人员的相关实验技能学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

表面活性剂、胶体与界面化学实验/刘雪峰主编.  
北京：化学工业出版社，2017.9  
ISBN 978-7-122-30308-0

I. ①表… II. ①刘… III. ①表面活性剂-研究  
IV. ①TQ423

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 175163 号

责任编辑：李晓红  
责任校对：宋 玮

装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：三河市航远印刷有限公司

装 订：三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 11 $\frac{1}{4}$  字数 213 千字 2017 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：38.00 元

版权所有 违者必究



## 前言 FOREWORD

胶体与界面化学是化学科学与物理、材料、生命医药、农业、建筑、能源和工程等广泛交叉发展的学科，涉及国民经济生产和个人生活的众多领域和层面；而表面活性剂素有“工业味精”之美誉。我国高等学校关于表面活性剂、胶体与界面化学的学科发展，起于中华人民共和国成立后的北京大学和南京大学。江南大学（其前身之一为无锡轻工大学）自无锡轻工业学院（无锡轻工大学之前身）起至今，一直是国内从事表面活性剂、胶体与界面化学科学与技术研究和本科（1958年起）—硕士（1983年起）—博士（2005年起）人才培养的单位之一。历经近60年的积淀，为我国培养和输送了一大批以表面活性剂为特长的胶体与界面化学高级专门人才。

1980年左右，夏纪鼎教授在无锡轻工业学院开设以表面活性剂为特色的“表面化学”理论和实验课程，但一直没有出版过实验教材；自先后学习并毕业于无锡轻工大学和江南大学后，本人一直从事表面活性剂、胶体与界面化学的科研和教学。随着教学改革和课程建设的深入推进，编写并出版一本表面活性剂、胶体与界面化学实验教材的时机已经成熟，以铭记和追循先辈师长的足迹。于是，在江南大学化学与材料工程学院和化学工业出版社的支持下，承恩师方云教授之鼓励，以原无锡轻工大学“表面化学实验讲义”为基础编写本实验教材。

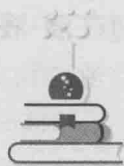
本教材共分“纯液体表面张力以及温度的影响规律”“液-液界面、液-固界面和铺展单分子膜”“表面活性剂的溶液表面吸附和体相自组装”“表面活性剂在液-液界面和液-固界面的吸附”“胶体分散体系”和“具有刺激响应的新型表面活性剂（或颗粒）”六部分，前五部分继承了表面活性剂、胶体与界面化学的部分经典内容，所选实验项目已经有长期的教学和教改实践，均取得良好的教学效果；第六部分则试图反映国内外关于“表面活性剂表界面自组装和刚性颗粒界面自组装体系对环境刺激因素具有智能响应”研究的动态和进展，改编自国内外学者的科研论文，对基础知识和实验技能的要求相对较高。

本实验教材力争满足：（1）国内高校相关化学化工专业高年级本科生选修有关表面活性剂、胶体与界面化学的实验教学需求；（2）国内以表面活性剂为特色的胶体与界面化学本科专门人才培养的实验教学需求；（3）国内以表面活性剂、胶体与界面化学为研究方向的硕士、博士人才培养的实验教学和学习需求；（4）国内表面活性剂、洗涤剂、化妆品等行业从业技术人员的相关实验技能学习和参考。

考虑到国内高校、科研院所和企业单位的软、硬件设备今非昔比，同时也考虑到版面的精简，本书没有就仪器设备、工具性数据和公式推衍进行长篇累牍地细述，若有不当，敬请读者见谅。本教材的编写过程中，广泛参考了国内先期出版的相关实验教材和国内外期刊论文，在此向所有被引文献的作者一并表示诚挚的感谢和敬意。

本教材由江南大学刘雪峰、樊晔、张永民、刘学民、宋冰蕾和陈晖联合编写，最后由刘雪峰统稿。限于学识和水平，所选编的实验项目未必完全满足读者的需求；此外，书中疏漏在所难免，如蒙读者不吝指正，将不胜感激。

刘雪峰



## 目录 CONTENTS

<b>I 纯液体表面张力以及温度的影响规律 .....</b>	<b>001</b>
实验一 滴体积法测定纯水的表面张力 .....	002
实验二 吊环法测定纯水的表面张力 .....	007
实验三 毛细上升法测定纯水的表面张力 .....	010
实验四 滴外形法测定纯水的表面张力 .....	013
实验五 温度对纯水表面张力的影响规律 .....	017
<b>II 液-液界面、液-固界面和铺展单分子膜 .....</b>	<b>019</b>
实验六 旋转液滴法测定油-水界面张力 .....	020
实验七 平滑固体表面液体的接触角 .....	024
实验八 液体在固体粉末表面的接触角 .....	028
实验九 不溶物铺展单分子膜 .....	032
实验十 低能固体表面的润湿临界表面张力 .....	035
<b>III 表面活性剂在水溶液的表面吸附和体相自组装 .....</b>	<b>038</b>
实验十一 表面活性剂的 Krafft 点和浊点 .....	039
实验十二 Zeta 电位法测定两性表面活性剂的等电点 .....	042
实验十三 表面活性剂水溶液的泡沫 .....	045
实验十四 表面活性剂水溶液的表面张力曲线 .....	048
实验十五 电导法测定离子型表面活性剂的临界胶束浓度 .....	053
实验十六 染料法测定表面活性剂的临界胶束浓度 .....	056
实验十七 荧光探针法测定表面活性剂的临界胶束浓度 .....	059
实验十八 表面活性剂疏水链长与临界胶束浓度的构效关系 .....	062
实验十九 稳态荧光猝灭法测定表面活性剂胶束平均聚集数 .....	064
实验二十 动态荧光探针法测定表面活性剂胶束平均聚集数 .....	067
实验二十一 无机盐对临界胶束浓度和胶束平均聚集数的影响 .....	071
实验二十二 水溶液中表面活性剂胶束的增溶作用 .....	074
实验二十三 表面活性剂自发囊泡的制备和尺寸大小 .....	077

<b>IV</b>	<b>表面活性剂在液-液界面和液-固界面的吸附</b> .....	<b>080</b>
实验二十四	油-表面活性剂水溶液的界面张力曲线 .....	081
实验二十五	乳状液的制备、类型鉴别和粒度分析 .....	084
实验二十六	微乳液的制备、性质及其拟三元相图 .....	087
实验二十七	盐度扫描法测定微乳液的相转变 .....	090
实验二十八	表面活性剂对水在平滑固体表面接触角的影响 .....	093
实验二十九	帆布沉降法测定表面活性剂水溶液的润湿力 .....	095
<b>V</b>	<b>胶体分散体系</b> .....	<b>098</b>
实验三十	化学凝聚法制备碘化银(AgI)/银(Ag)纳米水溶胶 .....	100
实验三十一	溶胶-凝胶法制备二氧化硅纳米溶胶 .....	103
实验三十二	溶剂替换法制备松香/硫溶胶 .....	106
实验三十三	胶体粒子 Zeta 电位的测定 .....	108
实验三十四	胶体粒子的稳定性 .....	111
实验三十五	表面活性剂蠕虫状胶束的制备 .....	115
实验三十六	蠕虫状胶束的流变学性能 .....	119
实验三十七	表面活性剂浓度对蠕虫状胶束流变性能的影响 .....	127
实验三十八	疏水链长对蠕虫状胶束体系流变性能的影响 .....	132
实验三十九	温度对蠕虫状胶束体系流变性能的影响 .....	135
实验四十	反离子对蠕虫状胶束体系流变性能的影响 .....	139
<b>VI</b>	<b>具有刺激响应的新型表面活性剂(或颗粒)</b> .....	<b>143</b>
实验四十一	pH 响应表面活性剂 1 .....	146
实验四十二	pH 响应表面活性剂 2 .....	150
实验四十三	CO <sub>2</sub> 响应表面活性剂 .....	154
实验四十四	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> 响应微乳液 .....	157
实验四十五	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> 响应 Pickering 乳液 .....	161
实验四十六	Redox 响应表面活性剂 .....	167
实验四十七	光响应表面活性剂 .....	171





# I

## 纯液体表面张力以及温度的影响规律

物质分子间存在多种类型的相互作用，永久偶极子之间的相互作用力——静电力（Keesom 力），永久偶极子与诱导偶极子之间的相互作用力——诱导力（Debye 力），以及诱导偶极子之间的相互作用力——色散力（London 力）构成了人们通常所称的范德华（van der Waals）力。范德华力正是产生各种界面现象的根源，范德华力具有加和性，其合力足以穿越相界面而起作用。

正是如此，自然界的任何相界面在热力学上都倾向于收缩，最简单的相界面是纯液体与共存气相之间的相界面（习惯称作表面）。促使表面收缩的驱动因素是表面张力（ $\gamma$ ）。可以从两个角度理解表面张力，其一，作用在表面单位长度上的力；其二，等温等压条件下，封闭体系增加单位表面积时体系吉布斯（Gibbs）自由能的增加，其本质为单位面积上的表面吉布斯过剩自由能的过剩量。可以认为，表面张力是产生各种表面现象的根源，因此，表面张力是胶体与界面化学领域重要的性质参数之一。

液体表面张力属于强度性质，多种因素将影响液体的表面张力。就纯液体而言，液体物质的种类（即液体物质本身的性质）是影响液体表面张力的内在因素；温度和压强属于外在因素，对液体表面张力也有影响，其中，温度对表面张力的影响研究得比较深入。

本章总共筛选了 5 个实验项目，以纯水为研究对象，分别从表面张力测定（4 种方法）、温度对表面张力的影响等角度，围绕纯液体表面张力以及温度的影响规律展开实验探究。



# 实验一 滴体积法测定纯水的表面张力

## 一、实验目的

1. 学习并掌握用滴体积法测定纯液体表面张力的原理和方法。
2. 学习并掌握用滴体积法测定纯液体表面张力实验装置的搭置。
3. 学习并掌握用滴体积法测定纯液体表面张力的实验数据处理方法。

## 二、实验原理

液体体相中各分子间相互吸引，每个分子均处于均匀立场，即受力平衡；而处于液体表面的分子则不同，液体内部侧对它的吸引力大于外部侧（通常指空气）对它的引力，故处于非均匀立场，所受作用的综合结果是表面分子受到向液体相内部的吸引作用，使液体表面产生自动收缩的趋势。要扩大液体表面，即把一部分分子从体相内部移到表面上就必须对抗吸引而做功。在等温等压条件下，增加单位表面积所需的功称为比表面过剩表面自由能，单位通常用  $\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$ ；该物理量也可以理解为，沿着液体表面，垂直作用于单位长度上，使液体表面收缩的力，故又称之为表面张力，用符号  $\gamma$  表示。

滴体积法是测定液体表面张力的一种既方便而又比较准确的方法。此法的基本依据是：当液体在毛细管管端缓慢形成的液滴达到最大并滴落时，液滴的大小（体积  $V$  或质量  $m$ ）与毛细管管口半径（ $R$ ）及液体表面张力  $\gamma$  有关；若液滴自管端完全脱落，则滴落液滴的质量  $m$  与表面张力  $\gamma$  有如下关系：

$$mg = 2\pi R\gamma \quad (1)$$

式中， $m$  为液滴质量， $g$ ； $g$  为重力加速度， $980.7\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ； $R$  为毛细管口半径， $\text{cm}$ ； $R$  当液体能润湿管口时用外径，反之用内径； $\gamma$  为液体表面张力， $\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$ ； $\pi$  为圆周率。

但是，液滴自毛细管管端滴落时总是有一些液体残留于管口。图 1 是液滴形成过程的高速摄影示意，由于液滴掉落时，液滴与毛细管口连接的细颈部位是不稳定的，故总是从此处断开，只有一部分液体落下，残留液体有时可多达整体液滴的 40%。此外，由于形成细颈，表面张力作用的方向与重力作用方向不一致，而成一定角度，这也使表面张力所能支持的液滴质量变小。因此，对式（1）必须进行修正，引入校正项  $k$ ，则式（1）变为：

$$mg = k \cdot 2\pi R\gamma \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{1}{2\pi k} \frac{mg}{R} = F \frac{mg}{R} \quad (3)$$

通常，将式(3)中  $F = \frac{1}{2\pi k}$  称为校正因子。研究表明， $F$  是  $\frac{V}{R^3}$  的函数 ( $V$  为滴落液体的体积)，而与滴管材料、液体密度、液体黏度等因素无关。根据测得的滴落液滴的体积和管口半径，查  $F-V/R^3$  表(第4页附表)即可获得  $F$  值，再查出或测得液体的密度  $\rho$ ，于是可代入式(4)计算表面张力：

$$\gamma = F \frac{Vg\rho}{R} \quad (4)$$

滴体积(滴重)法对一般液体或溶液的表(界)面张力测定都很适用，但此法非完全平衡方法，故对表面张力有很长的时间效应的体系，不太适用。

### 三、实验仪器和试剂

滴体积法测表面张力需要的实验仪器最为简单。图2所示装置包括一支由量程为0.2mL玻璃刻度移液管加工得到的毛细管<sup>[1]</sup>，一只恒温水浴缸，一只100mL的玻璃量筒和一套液滴挤落控制装置(可用针筒)。实验试剂为纯水。

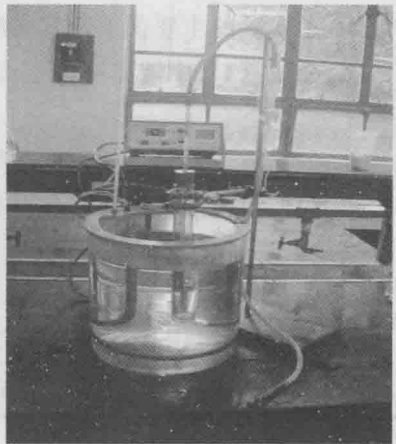
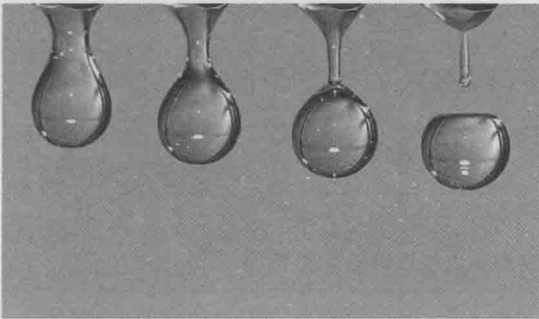


图1 液滴自毛细管管端滴落过程的高速摄影示意 图2 滴体积法测定表面张力装置示意图

### 四、实验步骤

1. 洗净特制的玻璃滴管，用读数显微镜测出滴头端面半径  $R$  值(精确到0.001cm)。
2. 按图2安装好仪器，在100mL量筒中放入约20mL纯水，在  $(25 \pm 0.1)^\circ\text{C}$  下恒温半小时。
3. 将毛细管头部伸入水中，用注射器抽取液体至毛细管的最高刻度以上(注意防止产生气泡)，提起毛细管，使其端面在液面以上1~2cm，慢慢推动针筒，挤出一滴液体，再微微抽动针筒使残留的液体缩回毛细管内，读出毛细管内液面

所对应的刻度  $V_0$ 。

4. 慢慢推动针筒，挤出液体，使成液滴落下；挤出数滴，至毛细管中的液面接近最低刻度时，微微抽动针筒使残留的液体缩回毛细管内，读出毛细管内液面所对应的刻度  $V_n$ ，记下滴数  $n$ 。

5. 计算液滴体积  $V = (V_0 - V_n)/n$ ，求出  $V/R^3$  值，从  $F-V/R^3$  表中查出校正因子  $F$ ，代入式 (4) 求出表面张力。

6. 重复测定 5 次以上，计算所得表面张力测量值的相对变异系数 (RSD)。

## 五、数据记录与处理

按照 Harkins 公式  $\gamma = 75.796 - 0.145t - 0.00024t^2$ ，式中， $t$  为温度，单位为  $^{\circ}\text{C}$ ，计算水在  $25^{\circ}\text{C}$  时的表面张力，将计算值和实验测量值之间对比，计算相对标准偏差。

## 六、思考题

1. 本实验的主要误差及其来源有哪些？
2. 公式 (4) 中液体密度若是采用相同温度下纯水的密度代替将有怎样的影响？
3. 如何有效避免毛细管内的气泡？
4. 为使滴出液体的体积数据有较高的准确性，可以采取的措施有哪些？

## 七、参考文献

[1] 肖进新，罗妙宣. 滴体积法测量表面张力装置的改进. 实验室研究与探索, 2000, 19 (2): 48-49.

附表 滴体积法测定表面张力校正因子  $F$  数值表

$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$
37.04	0.2198	27.83	0.2236	21.43	0.2274	16.86	0.2313	13.50	0.2352
36.32	1.2200	27.33	0.2238	21.08	0.2276	16.60	0.2316	13.31	0.2354
35.25	0.2203	26.60	0.2242	20.56	0.2280	16.23	0.2320	13.03	0.2358
34.56	0.2206	26.13	0.2244	20.23	0.2283	15.98	0.2323	12.84	0.2361
33.57	0.2210	25.44	0.2248	19.74	0.2287	15.63	0.2326	12.58	0.2364
32.93	0.2212	25.00	0.2250	19.43	0.2290	15.39	0.2329	12.40	0.2367
31.99	0.2216	24.35	0.2254	18.96	0.2294	15.05	0.2333	12.15	0.2371
31.39	0.2218	23.93	0.2257	18.66	0.2296	14.83	0.2336	11.98	0.2373
30.53	0.2222	23.32	0.2261	18.22	0.2300	14.51	0.2339	11.74	0.2377
29.95	0.2225	22.93	0.2263	17.94	0.2303	14.30	0.2342	11.58	0.2379
29.13	0.2229	22.35	0.2267	17.52	0.2307	13.99	0.2346	11.35	0.2383
28.60	0.2231	21.98	0.2270	17.25	0.2309	13.79	0.2348	11.20	0.2385

续表

$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$
10.97	0.2389	6.177	0.2495	3.805	0.2575	2.518	0.2631	1.758	0.2657
10.83	0.2391	6.110	0.2497	3.779	0.2576	2.498	0.2632	1.749	0.2657
10.62	0.2395	6.010	0.2500	3.727	0.2578	2.468	0.2633	...	...
10.48	0.2398	5.945	0.2502	3.692	0.2579	2.448	0.2634	1.705	0.2657
10.27	0.2401	5.850	0.2505	3.641	0.2581	2.418	0.2635	1.687	0.2658
10.14	0.2403	5.787	0.2507	3.608	0.2583	2.399	0.2636	...	...
9.95	0.2407	5.694	0.2510	3.559	0.2585	2.370	0.2637	1.534	0.2658
9.82	0.2410	5.634	0.2512	3.526	0.2586	2.352	0.2638	1.519	0.2657
9.63	0.2413	5.544	0.2515	3.478	0.2588	2.324	0.2639	...	...
9.51	0.2415	5.486	0.2517	3.447	0.2589	2.305	0.2640	1.457	0.2657
9.33	0.2419	5.400	0.2519	3.400	0.2591	2.278	0.2641	1.443	0.2656
9.21	0.2422	5.343	0.2521	3.370	0.2592	2.260	0.2642	1.433	0.2656
9.04	0.2425	6.000	0.2524	3.325	0.2594	2.234	0.2643	1.418	0.2655
8.93	0.2427	5.206	0.2526	3.295	0.2595	2.216	0.2644	1.395	0.2654
8.77	0.2431	5.125	0.2529	3.252	0.2597	2.190	0.2645	1.380	0.2652
8.66	0.2433	5.073	0.2530	3.223	0.2598	2.173	0.2645	1.372	0.2649
8.50	0.2436	4.995	0.2533	3.180	0.2600	2.148	0.2646	1.349	0.2648
8.40	0.2439	4.944	0.2535	3.152	0.2601	2.132	0.2647	1.327	0.2647
8.25	0.2442	4.869	0.2538	3.111	0.2603	2.107	0.2648	1.305	0.2646
8.15	0.2444	4.820	0.2539	3.084	0.2604	2.091	0.2648	1.284	0.2645
8.00	0.2447	4.747	0.2541	3.044	0.2606	2.067	0.2649	1.255	0.2644
7.905	0.2449	4.700	0.2542	3.018	0.2607	2.052	0.2649	1.243	0.2643
7.765	0.2453	4.630	0.2545	2.979	0.2609	2.028	0.2650	1.223	0.2642
7.673	0.2455	4.584	0.2546	2.953	0.2611	2.013	0.2651	1.216	0.2641
7.539	0.2458	4.516	0.2549	2.915	0.2612	1.990	0.2652	1.204	0.2640
7.451	0.2460	4.471	0.2550	2.891	0.2613	1.975	0.2652	1.180	0.2639
7.330	0.2464	4.406	0.2553	2.854	0.2615	1.953	0.2652	1.177	0.2638
7.236	0.2466	4.363	0.2554	2.830	0.2616	1.939	0.2652	1.167	0.2637
7.112	0.2469	4.299	0.2556	2.794	0.2618	1.917	0.2654	1.148	0.2635
7.031	0.2471	4.257	0.5557	2.771	0.2619	1.903	0.2654	1.130	0.2632
6.911	0.2474	4.196	0.2560	2.736	0.2621	1.882	0.2655	1.113	0.2629
6.832	0.2476	4.156	0.2561	2.713	0.2622	1.868	0.2655	1.096	0.2625
6.717	0.2480	4.096	0.2564	2.680	0.2623	1.847	0.2655	1.079	0.2622
6.641	0.2482	4.057	0.2566	2.657	0.2624	1.834	0.2656	1.072	0.2621
6.530	0.2485	4.00	0.2568	2.624	0.2626	1.813	0.2656	1.062	0.2619
6.458	0.2487	3.961	0.2569	2.603	0.2627	1.800	0.2656	1.056	0.2618
6.351	0.2490	3.906	0.2571	2.571	0.2628	1.781	0.2657	1.046	0.2616
6.281	0.2492	3.869	0.2573	2.550	0.2629	1.768	0.2657	1.040	0.2614

续表

$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$	$V/R^3$	$F$
1.006	0.2613	0.8967	0.2580	0.7836	0.2543	0.6894	0.2499	0.6086	0.2449
1.024	0.2611	0.8890	0.2578	0.7786	0.2541	0.6842	0.2496	0.6055	0.2446
1.015	0.2609	0.8839	0.2577	0.7720	0.2538	0.6803	0.2495	0.6016	0.2443
1.009	0.2619	0.8763	0.2575	0.7679	0.2536	0.6750	0.2491	0.5979	0.2440
1.000	0.2606	0.8713	0.2573	0.7611	0.2534	0.6714	0.2489	0.5934	0.2437
0.994	0.2604	0.8638	0.2571	0.7575	0.2532	0.6662	0.2486	0.5904	0.2435
0.992	0.2602	0.8589	0.2569	0.7513	0.2529	0.6627	0.2484	0.5864	0.2431
0.993	0.2601	0.8516	0.2567	0.7472	0.2527	0.6575	0.2481	0.5831	0.2429
0.9706	0.2599	0.8468	0.2565	0.7412	0.2525	0.6541	0.2479	0.5787	0.2426
0.9648	0.2597	0.8395	0.2563	0.7372	0.2523	0.6488	0.2476	0.5440	0.2428
0.9564	0.2595	0.8349	0.2562	0.7311	0.2520	0.6457	0.2474	0.5120	0.2440
0.9507	0.2594	0.8275	0.2559	0.7273	0.2518	0.6401	0.2470	0.4552	0.2486
0.9423	0.2592	0.8232	0.2557	0.7214	0.2516	0.6374	0.2468	0.4064	0.2555
0.9368	0.2591	0.8163	0.2555	0.7175	0.2514	0.6336	0.2465	0.3644	0.2638
0.9286	0.2589	0.8117	0.2553	0.7116	0.2511	0.6292	0.2463	0.3280	0.2722
0.9232	0.2587	0.8056	0.2551	0.7080	0.2509	0.6244	0.2460	0.2963	0.2806
0.9151	0.2585	0.8005	0.2549	0.7020	0.2506	0.6212	0.2457	0.2685	0.2888
0.9098	0.2584	0.7940	0.2547	0.6986	0.2504	0.6165	0.2454	0.2441	0.2974
0.9019	0.2582	0.7894	0.2545	0.6931	0.2501	0.6133	0.2453		

## 实验二 吊环法测定纯水的表面张力

### 一、实验目的

1. 学习并掌握用吊环法测定纯液体表面张力的原理和方法。
2. 学习吊环法测定液体表面张力仪器——自动界面张力仪的操作方法。

### 二、实验原理

任何表面或界面均倾向于收缩，主要是因为存在表面张力，该物理量也可以理解为，沿着液体表面，垂直作用于单位长度上，使液体表面收缩的力，故称之为表面张力，用符号  $\gamma$  表示。测表面张力的方法有很多种，如毛细管上升法、滴体积法、最大气泡压力法、吊环法、吊片法和滴外形法等。

吊环法<sup>[1,2]</sup>是将金属细丝做成的吊环按照环平面与液面平行的方式浸入液体中，然后缓缓将吊环拉出液体，在快要离开液体表面时，液体在金属环上形成一层薄膜，随着吊环被拉出液面（图1），溶液的表面张力将阻止吊环被拉出，当液膜破裂时，吊环的拉力将达到最大值，自动界面张力仪将记录这个最大值。

当提起液体的重量  $mg$  与沿环液体交界处的表面张力相等时，液体质量最大。再提升则液环断开，环脱离液面。理想情况下，环拉起的液体呈圆筒形 [图1(a)]，对环的附加拉力（即除去抵消环本身的重力部分） $P$  为：

$$P = mg = 2\pi R\gamma + 2\pi(R + 2r)\gamma = 4\pi(R + r)\gamma \quad (1)$$

式中， $m$  为拉起来的液体质量； $g$  为重力加速度； $R$  为环的内径； $r$  为环丝半径。实际上，式(1)是不完善的，因为实际情况并非如此，而是如图1(b)所示。因此对式(1)还需要加以校正。于是得：

$$\gamma = \frac{P}{2\pi R} F \quad (2)$$

从大量的实验分析与总结，说明校正因子  $F$  与  $R/r$  值及  $R^3/V$  值有关（ $V$  为圆环带起来的液体体积，可自  $P = mg = V\rho g$  关系求出， $\rho$  为液体密度）。 $F$  的数值相当繁杂，可以通过实验一中附表查得。JYW-200D 自动界面张力仪已经把式(2)的计算实现了自动化程序计算，可以在仪器数据显示屏直接获得液体的表面张力值。

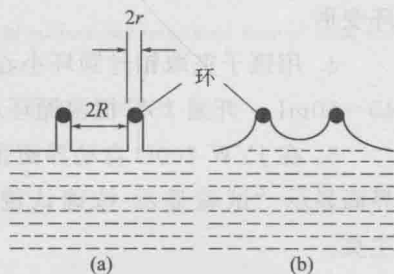


图1 吊环法测定液体表面张力的理想情况(a)和实际情况(b)示意图

### 三、实验仪器和试剂

JYW-200D 自动界面张力仪, 铂丝圆环, 100mL 量筒, 500mL 烧杯, 镊子, 洗瓶, 循环恒温水浴, 100mL 夹套烧杯, 温度计, 普通圆形滤纸。

实验试剂为纯水。

### 四、实验步骤

1. 检查 JYW-200D 自动界面张力仪上的水准泡, 调节基座上调平旋钮, 使仪器水平。

2. 打开电源开关, 稳定 15min。

3. 把铂丝圆环和夹套烧杯进行很好的冲洗。铂丝圆环的清洗方法: 先在石油醚中清洗, 接着用丙酮漂洗, 然后在煤气灯或酒精灯的氧化焰中加热、烘干铂丝圆环。在清洗和后续试验中, 用镊子取、挂铂丝圆环时要特别小心, 以免铂丝圆环变形。

4. 用镊子夹取铂丝圆环小心悬挂在杠杆挂钩上, 在夹套烧杯中注入新鲜纯水 40~50mL, 开通 25℃ 恒温循环水泵。

5. 在 JYW-200D 自动界面张力仪“开机初始页”连续按“▲”键四次, 液晶界面显示“试验显示 按确认键进入”菜单页, 再按“确认”键进入试验显示主页。

$P: 000.00\text{mN/m}$	$D: 0$
$F: 000.00\text{mN/m}$	$<+ \uparrow$

6. 按“清零”键, 然后按“▲”键, 玻璃杯平台上升, 液晶界面右下边显示“<↑”提示符。

7. 待铂丝圆环浸没液体时, 平台自动停止上升、按“清零”键使  $P$  值变为  $000.00\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 。按“▼”键、按“保持”键, 玻璃杯平台下降, 液晶界面右下边显示“+↓”提示符。随着玻璃杯平台下降,  $P$  值不断增大, 液膜被拉破, 玻璃杯平台自动停止。此时显示屏  $F$  值即是该液体表面张力的实验测量值, 记录该数据。

8. 按“清零”键取消保持状态。按“▲”键玻璃杯平台上升, 液晶界面右下边显示“<↑”提示符。待铂金环浸没液体时, 平台自动停止上升。

9. 按“▼”键、按“保持”键, 玻璃杯平台下降, 液晶界面右下边显示“+↓”提示符。液膜拉破后, 显示屏再次出现该液体的表面张力重复实验测量值。

10. 要求重复测量五次, 记录表面张力  $F$  值, 求取五次  $F$  的平均值。



## 五、数据处理

按照 Harkins 公式  $\gamma = 75.796 - 0.145t - 0.00024t^2$ , 式中,  $t$  为温度, 单位为  $^{\circ}\text{C}$ , 计算水在  $25^{\circ}\text{C}$  时的表面张力, 将计算值和实验测量值之间对比, 计算相对标准偏差。

## 六、思考题

1. 本实验的主要误差及其来源有哪些?
2. 与滴体积法测表面张力相比, 吊环法有何优势和不足?
3. 吊环法测得的表面张力是稳态表面张力还是动态的?
4. 如何用吊环法测定液-液界面张力?

## 七、参考文献

- [1] Harkins W D, Jordan H F. A method for the determination of surface and interfacial tension from the maximum pull on a ring. J Am Chem Soc, 1930, 52: 1751-1772.
- [2] 北京大学化学系胶体化学教研室. 胶体与界面化学实验. 北京: 北京大学出版社, 1993.

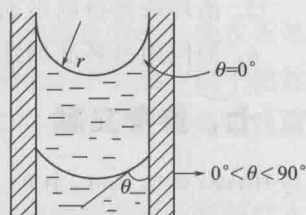
## 实验三 毛细上升法测定纯水的表面张力<sup>[1]</sup>

### 一、实验目的

1. 学习并掌握用毛细上升法测定纯液体表面张力的原理和方法。
2. 理解和运用 Laplace (拉普拉斯) 公式。

### 二、实验原理

就纯液体表面张力测定而言, 毛细上升法<sup>[1]</sup>是测定纯液体表面张力的一种绝对方法, 所用实验仪器非常简单, 所得测定结果相当准确。由于存在表面张力, 弯曲液面两侧存在压强差  $\Delta P$ , 可以用 Laplace 公式定量描述  $\Delta P$  与液体表面张力  $\gamma$ 、弯曲液面曲率半径之间的数学关系。



当被测液体能够完全润湿毛细管壁时, 待测液体在毛细管壁表面形成的接触角  $\theta$  可以被认为等于  $0^\circ$ , 此时, 液体在毛细管中的液面呈凹液面状; 若是毛细管内径很小, 管中凹液面近似为半球面, 此时, 弯曲液面的曲率半径与毛细管内半径相等, 凹液面两侧压强差  $\Delta P$  的 Laplace 方程可表示为:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} \quad (1)$$

式中:  $r$  为毛细管内半径, 也是凹液面曲率半径。在凹液面两侧压强差  $\Delta P$  的驱动下, 毛细管中液面上升一定的高度  $h$  后方能达到平衡, 到达平衡状态时, 凹液面两侧压强差  $\Delta P$  可以进一步表示为:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} = \Delta\rho gh \quad (2)$$

式中:  $\Delta\rho$  是弯曲液面两侧的密度差;  $g$  是重力加速度。显然, 由式 (2) 可得:

$$\gamma = \frac{1}{2} \Delta\rho ghr \quad (3)$$

式 (3) 是毛细上升法测定液体表面张力的基本理论公式。

若待测液体不能够完全润湿毛细管壁, 即接触角  $\theta$  不为零, 则式 (3) 应当表示为式 (4):

$$\gamma = \frac{1}{2\cos\theta} \Delta\rho ghr \quad (4)$$