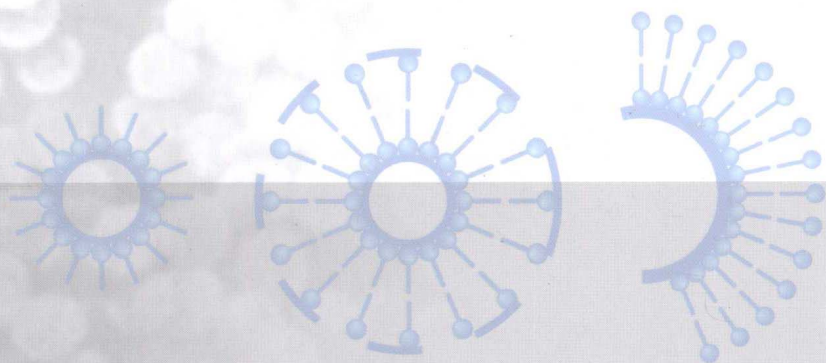


# 胶体与表面化学

COLLOID AND SURFACE CHEMISTRY

第四版

沈 钟 赵振国 康万利 编著



化学工业出版社

0648  
S452.04



郑州大学\*04010748266\*

# 胶体与表面化学

第四版

沈 钟 赵振国 康万利 编著



0648  
S452.04



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是在2004年第三版的基础上修订而成的。介绍了胶体的基本概念、制备和性质,界面现象和吸附,常用吸附剂的结构和性能,表面活性剂,乳状液,凝胶,气溶胶,膜等内容,并增补了胶体与表面化学领域新的研究成果及其应用(如纳米晶体、特殊高分子表面活性剂、气溶胶、膜、流变性测定仪器等)。本书保持了前三版理论与实际应用相结合的特色,密切结合我国生产和科研工作的实际,对与材料科学、生命科学、环境科学、医药、采油等学科中一些同胶体与表面化学密切相关的问题进行了介绍,有一定的指导意义。全书概念清晰,兼容了讲授与自学的特点,针对性和适用性较强。

本书可作为工科院校相关专业的胶体与表面化学教材或教学参考书,也可供应用化学、化工、油田化学、生命科学、环境科学、医药、选矿、纺织等相关领域的工程技术人员和科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

胶体与表面化学/沈钟,赵振国,康万利编著. —4版. —北京:  
化学工业出版社,2012.2  
ISBN 978-7-122-12982-6

I. 胶… II. ①沈…②赵…③康… III. ①胶体化学②表面化学  
IV. ①0648②0647.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第258301号

---

责任编辑:梁虹叶露  
责任校对:顾淑云

装帧设计:关飞

---

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:北京永鑫印刷有限责任公司  
装订:三河市万龙印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张21½ 字数635千字 2012年5月北京第4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:39.00元

版权所有 违者必究

# 第四版前言

本书自 1991 年第一版问世，至今已 20 年。在此期间，化学学科及胶体与界面化学的研究在深度和广度上都有长足进步，可达分子水平的研究手段屡有开发和应用。在与数学、物理学、生物学、医学、材料科学、环境科学、能源科学等基础学科和应用学科的交叉渗透中，胶体与界面化学的研究内容和方向不断扩展和深化，已成为名副其实的胶体科学。

在本书第 3 版发行后的 7 年间，在北京召开了第 12 届表面与胶体科学国际会议。我国也召开了 4 届（10~13 届）全国胶体与界面化学学术讨论会。千余篇论文既反映了目前国际和国内此学科领域蓬勃发展的面貌，也较大地丰富了学科的内容。鉴于上述背景，对本书进行修订势在必行。

本次新版有以下特点。

1. 保留了旧版中胶体与界面化学基本原理和知识的内容，精简了在物理、化学教材中已广泛介绍的公式推导，着重于说明各基本理论、公式的前提、假设和应用（范围）。

2. 章节做了较大调整。如，由于高分子物理已有专门的课程和教材，删除了原第八章的大部分内容，有些知识并于相关章节介绍。将原第三章（凝胶）缩写为新版第九章的一节。将原第二章（胶体的制备和性质）改写为新版的第二章（胶体与纳米粒子的制备）和第三章（胶体系统的基本性质）。原第四章（界面现象和吸附）改写成新版第四章（表面张力、毛细作用与润湿作用）和第七章（吸附作用与吸附剂）。增写新版第九章（气溶胶、泡沫和膜）等内容。保留的第三版内容也略有增删。

3. 适当增加了较新知识的介绍，如胶体晶体、纳米气泡、胶体系统基本性质的多种测试方法、气溶胶和膜等。

4. 适当补充了一些新的参考书。

本书的修订是在沈钟教授主持下完成的。沈先生虽健康欠佳仍认真参与了修订大纲的制定，并两次审阅了全部修订稿，提出了许多中肯的意见。修订分工如下：康万利修订完成本书第三章、第五章、第六章和第九章的第一、二节。其余由赵振国修订。

在本版新书面世之际，我们十分怀念王果庭教授。王教授在本书第一版的策划和撰写、第二版的修订中都有重要贡献。

编写者再次申明，本书所提供的基本素材各校可根据专业要求、教学大纲和授课对象等实际条件，由教师对书中内容作适当选择和补充。

本书修订是在化学工业出版社的领导和责任编辑的竭力协调和支持下完成的。在此表示深深的谢意！

限于编著者的水平，或许会有不当之处，敬请读者不吝指正。

编著者

2011 年 11 月

# 第一版前言

本书第一稿于1981年在华东石油学院编成，供炼制系化学师资班使用，1982~1984年供北京医科大学药理学系使用。自1985年以来，原教材经适当修改后供江苏化工学院有机化工系各专业学生使用。

鉴于目前国内公开出版的胶体与表面化学教材很少，特别是适用于工科院校的教材还是空白的情况，作者对原教材的内容再次进行了修改、调整，予以公开出版。

目前胶体与表面化学发展很快，这门课程是工科院校基础性的应用科学，因此本教材在重点阐述基本概念的同时还竭力注意它在各个领域中的应用，并在某些方面适当介绍了近年国内所取得的新成果，以引起读者在这个领域中的兴趣。

编写本书时曾参考赵国玺的《表面活性剂物理化学》，周祖康、顾惕人、马季铭等的《胶体化学基础》，陈宗淇、戴闽光的《胶体化学》以及许多兄弟院校的胶体化学讲义和有关专著，这里不一一列举，统附于本书之末。27年前我国老一辈已故胶体化学家傅鹰教授说过：“编写课本既非创作，自不得不借助于前人，编者只在安排取舍之间略抒己见而已。若此书中偶有可取，主要应归功于上列诸家；若有错误，点金成铁之咎责在编者。”这段名言永远是我们的座右铭。

本书联系出版时曾得中国化学会理事、华东师范大学陈邦林教授的推荐以及北京大学顾惕人教授和福州大学戴闽光教授的鼓励。特别要提出的是，石油大学北京研究生部朱亚杰教授、南京大学傅献彩教授、江苏化工学院副院长孙载坚教授对本书的出版均给予了直接的关怀和帮助。此外，山东大学姚克俊教授、北京医科大学鲁先道副教授、江苏化工学院邵长生和陈丽特副教授、高教研究室郑晓林老师等对本书的出版均给予热情支持。编者谨向上列专家和老师说衷心感谢。

本书编写时间仓促，再加之编者水平有限，不妥甚至错误之处在所难免，请同志们指正。

编者

1990年10月

# 第二版前言

本书初版于 1991 年, 6 年来胶体与表面化学中许多新的技术领域(如超细颗粒、LB 膜技术等)发展迅猛; 不少新的理论和观点(如高聚物对胶体稳定的理论、材料科学中微观界面层结构的理论以及与生命科学密切相关的有序分子组合体的研究等)也越来越为人们所重视。这些问题在最近两届(1993 年和 1996 年)的全国胶体与界面化学学术会议论文集中已充分反映出来。

此次修订适当缩减了原书中某些次要或陈旧的内容(如品种繁多的分子筛的特性和应用、影响乳状液类型的理论等), 增补了若干近年的新成果。但限于篇幅和工科院校的教学要求, 只能从简介绍, 借以激发学生的学习积极性和钻研精神。对工科院校学生不作基本要求的内容, 书中均用“\*”标出, 供读者参考。

整个修订大纲由中国科学院感光化学研究所江龙教授审阅。修订前不少同行专家如南京大学的傅献彩教授、华东师范大学的陈邦林教授、华东理工大学的吴树森教授、福州大学的戴闽光教授、北京石油大学的杨继涛教授, 以及北京医科大学的何玉英教授、山东建材学院的王正祥教授、华北油田的张孝远高级工程师等提出了许多宝贵意见和建议, 特别是江苏石油化工学院材料工程系的林明德教授一直关心着本书的修订和出版, 在此一并衷心感谢。

原书参考书目中有一部分是大专院校的讲义, 鉴于不少讲义已先后公开出版, 本书不再列出。限于编者水平, 修订时材料的取舍和概念的阐述等方面仍会有不妥或错误之处, 恳请专家和读者指正。

编者

1996 年 10 月

# 第三版前言

本书于1991年首次出版，经修订于1997年出版了第二版，曾获1995年中国石化总公司直属高校优秀教材二等奖。在出版社的建议和敦促下，即着手修订第三版。考虑到近年来胶体与表面化学在各个方面都有较大的发展，特别是超细粒子、纳米材料、两亲分子有序组合体以及与生物、医学、环境科学等密切相关的问题，更是相互渗透、交叉发展，成为这门学科的重要特点，因此在修订时较多地着眼于增补这方面的内容。此次修订在内容安排上，为更趋于合理，将部分内容作了调整。为避免篇幅增加过多，酌情删减了某些公式（如BET公式）的推导，或简化某些问题的阐述。尽管全书字数略有增加，但其适用范围仍为工科院校有关专业本科生的教材或教学参考书。鉴于本课程目前尚无统一教学大纲，因此有关院校在使用时可结合专业特点，选择适当内容，合理编排教程，以满足教学要求。

胶体化学是物理化学的一个分支学科，但对工科院校来说仍重在应用。本书本应安排适量的习题，以便读者加深理解，但受制于种种因素，未能如愿。好在本书所列参考书目中，有的附有习题（如参考书目中1、3、5、7、13、22等），读者可自行借鉴。参考书目35有较多演算实例和习题，也可供读者选用。

在筹划修订时，南京大学傅献彩教授为本书写了综合推介；华东师范大学陈邦林教授建议在增补的“纳米材料”之后，务望提及“纳米污染”问题；中国科学院化学研究所江龙院士提出第二版中个别数据有误，修订时也均已做了补充、纠正。这些都表明，老专家对本书修订寄予希望并给予关心和帮助，在此一并衷心致谢。

在本版书稿付梓之际，本书的编著者之一王果庭教授不幸病逝。王教授虽因病重，未能参加第三版的修订工作，但在前两版书稿的编写和修订中，他一丝不苟，精益求精，付出了极大的心血。对本书第三版的修订，王教授也给予了热情的关心。在此，我们对他为编写本书所做的贡献表示深深的缅怀和敬意。

最后应特别感谢化学工业出版社对本书第三版所给予的大力支持。限于编者水平，书中难免有错误或不当之处，恳请同行和读者指正。

编者

2004年1月

# 目 录

## 第一章 绪 论

1

第一节	胶体与界面	1
	一、分散系统	1
	二、胶体	2
	三、表面与表面自由能	3
第二节	胶体化学发展简史	4
第三节	胶体化学的研究对象和意义	4
第四节	胶体与表面化学的发展	5

## 第二章 胶体与纳米粒子的制备

7

第一节	胶体的制备	7
	一、胶体制备的一般条件	7
	二、胶体制备的方法	7
	三、凝聚法原理	9
第二节	溶胶的净化	10
	一、渗析	10
	二、渗透和反渗透	12
第三节	单分散溶胶	13
第四节	胶体晶体	16
	一、胶体晶体	16
	二、胶体晶体的制备	17
第五节	纳米粒子的制备	22
	一、纳米粒子概念	22
	二、纳米粒子的特性	22
	三、纳米粒子的制备	23
	四、纳米粒子的应用	30
第六节	纳米材料与纳米污染	32
	一、纳米材料	32
	二、纳米污染	38
第七节	纳米液滴与纳米气泡	39
	一、纳米液滴 (nano-droplet, ND)	39
	二、纳米气泡 (nanobubble, nanoscale gaseous state)	39



第一节	溶胶的运动性质 .....	41
	一、扩散 .....	41
	二、布朗运动 .....	42
	三、沉降 .....	44
	四、渗透压与 Donnan 平衡 .....	48
第二节	溶胶的光学性质 .....	49
	一、丁道尔效应 .....	50
	二、Rayleigh 散射定律 .....	50
	三、溶胶的颜色 .....	51
第三节	溶胶的电学性质 .....	53
	一、电动现象 .....	53
	二、质点表面电荷的来源 .....	56
	三、双电层结构模型和电动电势 ( $\zeta$ 电势) .....	57
	四、扩散双电层的数学处理 .....	59
	五、非水介质中的双电层理论 .....	63
第四节	胶体系统的流变性质 .....	63
	一、基本概念和术语 .....	64
	二、稀胶体溶液的黏度 .....	65
	三、浓分散系统的流变性质 .....	67
	四、高分子溶液的黏度与相对分子质量 .....	70
	五、生物体液与血液的流变性 .....	72
第五节	胶体稳定性 .....	74
	一、溶胶的稳定性与 DLVO 理论 .....	75
	二、溶胶的聚沉 .....	78
	三、聚合物对胶体的稳定与絮凝作用 .....	80
第六节	显微镜及其对胶体粒子大小和形状的测定 .....	81
	一、普通显微镜 .....	81
	二、超显微镜 .....	81
	三、电子显微镜 .....	82
	四、胶粒的形状 .....	86
	五、胶粒的平均大小与多分散度 .....	87

第一节	表面张力和表面能 .....	89
	一、净吸力和表面张力的概念 .....	89
	二、影响表面张力的因素 .....	90
	三、测定液体表面张力的方法 .....	91
第二节	液-液界面张力 .....	93
	一、Antonoff 规则 .....	93
	二、Good-Girifalco 公式 .....	94

	三、Fowkes 的理论 .....	94
	四、液-液界面张力的测定 .....	95
<b>第三节</b>	<b>毛细作用与 Laplace 公式和 Kelvin 公式</b> .....	95
	一、毛细作用 .....	95
	二、弯曲界面的内外压力差, Laplace 公式 .....	95
	三、弯曲液面上的饱和蒸气压, Kelvin 公式 .....	98
<b>第四节</b>	<b>润湿作用和杨方程</b> .....	99
	一、润湿现象和润湿角 .....	99
	二、润湿角的测量方法 .....	100
	三、影响润湿角大小的一些因素 .....	101
	四、铺展 .....	103
	五、润湿热 .....	104
<b>第五节</b>	<b>固体的表面能</b> .....	105
	一、固体的表面 .....	105
	二、固体的表面张力与表面能 .....	105
	三、固体表面能的实验估测 .....	106

## **第五章 表面活性剂溶液**

109

<b>第一节</b>	<b>表面活性剂</b> .....	109
	一、表面活性剂定义 .....	109
	二、表面活性剂的结构特点 .....	110
	三、表面活性剂的分类 .....	111
	四、表面活性剂的溶解性质 .....	112
	五、表面活性剂的亲水亲油平衡值 (HLB 值) .....	114
<b>第二节</b>	<b>表面活性剂水溶液的性质</b> .....	115
	一、胶束与临界胶束浓度 .....	115
	二、胶束的结构及聚集数 .....	118
	三、临界胶束浓度测定原理及其影响因素 .....	119
<b>第三节</b>	<b>反胶束与囊泡</b> .....	122
	一、反胶束 .....	122
	二、囊泡 .....	123
<b>第四节</b>	<b>Gibbs 吸附公式及表面活性剂吸附层结构</b> .....	124
	一、Gibbs 吸附公式 .....	124
	二、Gibbs 公式的物理意义和有关注意事项 .....	125
	三、表面活性剂在气-液界面的吸附层结构 .....	126
<b>第五节</b>	<b>表面活性剂的增溶作用与胶束催化</b> .....	128
	一、表面活性剂的增溶作用 .....	128
	二、胶束催化 .....	131
<b>第六节</b>	<b>表面活性剂的其他重要作用与应用</b> .....	135
	一、洗涤作用 .....	135
	二、润湿的应用 .....	135
	三、渗透的应用 .....	136
	四、分散和絮凝 .....	136

	五、起泡和消泡 .....	138
	六、强化采油中的应用 .....	138
<b>第七节</b>	<b>表面活性剂与环境</b> .....	139
	一、表面活性剂的毒性 .....	140
	二、表面活性剂的生物降解性 .....	140
<b>第八节</b>	<b>三种新型表面活性剂</b> .....	140
	一、Gemini 型表面活性剂 .....	141
	二、Bola 型表面活性剂 .....	142
	三、树枝状高分子表面活性剂 .....	142

## 第六章 乳状液

144

<b>第一节</b>	<b>乳状液概念及类型</b> .....	144
<b>第二节</b>	<b>乳状液的制备和物理性质</b> .....	145
	一、乳状液的制备 .....	145
	二、乳状液的物理性质 .....	147
<b>第三节</b>	<b>乳状液类型的鉴别和影响类型的因素</b> .....	148
	一、乳状液类型的鉴别 .....	148
	二、决定和影响乳状液类型的因素 .....	148
<b>第四节</b>	<b>乳化剂的分类与选择</b> .....	149
	一、乳化剂的分类 .....	149
	二、乳化剂的选择 .....	150
<b>第五节</b>	<b>乳状液稳定性的影响因素</b> .....	152
	一、乳状液是热力学不稳定系统 .....	152
	二、油-水间界面膜的形成 .....	152
	三、界面电荷 .....	153
	四、乳状液的黏度 .....	153
	五、液滴大小及其分布 .....	153
	六、粉末乳化剂的稳定作用 .....	153
<b>第六节</b>	<b>乳状液的变型和破乳</b> .....	154
	一、乳状液的变型 .....	154
	二、影响乳状液变型的因素 .....	155
	三、乳状液的破坏 .....	156
<b>第七节</b>	<b>微乳状液</b> .....	158
	一、微乳状液的微观结构 .....	158
	二、助表面活性剂的作用 .....	159
	三、微乳状液形成机理 .....	159
	四、微乳状液的制备 .....	161
	五、微乳状液相图 .....	161
	六、微乳状液的性质 .....	163
	七、微乳状液的应用 .....	163
<b>第八节</b>	<b>乳状液的应用</b> .....	165
	一、控制反应 .....	165
	二、农药乳剂 .....	165

	三、沥青乳状液 .....	165
	四、稠油的乳化降黏 .....	165
	五、纺织工业 .....	165
	六、制革工业 .....	166
	七、乳化食品和医药用乳剂 .....	166
	八、微粉制备 .....	166
<b>第九节</b>	<b>多重乳状液和液膜分离</b> .....	166
	一、多重乳状液 .....	166
	二、液膜分离 .....	167

## **第七章 吸附作用与吸附剂**

170

<b>第一节</b>	<b>固-气界面上的吸附作用</b> .....	170
	一、物理吸附和化学吸附 .....	170
	二、吸附热 .....	172
	三、吸附曲线 .....	173
	四、吸附量测定的实验方法 .....	174
	五、固-气界面吸附的影响因素 .....	177
<b>第二节</b>	<b>气体吸附等温方程式</b> .....	178
	一、Freundlich 吸附等温式 .....	178
	二、Langmuir 吸附等温式——单分子层吸附理论 .....	179
	三、BET 吸附等温式——多分子层吸附理论 .....	182
	四、Polanyi 吸附势能理论和 D-R 公式 .....	185
	五、孔性固体的毛细凝结 .....	187
<b>第三节</b>	<b>吸附法气体分离</b> .....	189
	一、不同吸附剂的选择性气体分离 .....	189
	二、变温吸附 .....	190
	三、变压吸附 .....	191
<b>第四节</b>	<b>固-液界面吸附的作用</b> .....	193
	一、溶液吸附的一般影响因素 .....	194
	二、自稀溶液吸附的等温式和等温线 .....	195
	三、混合溶质吸附 .....	197
	四、多分子层吸附 .....	198
	五、对高分子的吸附 .....	198
	六、对电解质的吸附 .....	200
	七、生命过程中某些化学物质的吸附 .....	202
	八、二元液体混合物的吸附 .....	206
<b>第五节</b>	<b>水处理中的吸附作用</b> .....	206
	一、活性炭吸附法处理生活饮用水和工业用水 .....	207
	二、活性炭在水处理中的应用 .....	207
	三、絮凝法用于水处理 .....	209
<b>第六节</b>	<b>吸附法测定固体比表面、孔径分布及表面分维值</b> .....	212
	一、气体吸附法测定固体比表面 .....	212
	二、溶液吸附法测定固体比表面 .....	216

三、气体吸附法测定固体孔径分布 .....	217
四、压汞法测定固体孔径分布 .....	218
五、气体吸附法测定固体表面的分维值 .....	220

## 第八章 常用吸附剂的结构、性能和改性

223

第一节 多孔性物质性能参数的测定方法 .....	223
一、密度 .....	223
二、比表面积 .....	224
三、孔体积 .....	224
四、平均孔半径 .....	225
五、孔径分布 .....	226
六、粒度 .....	226
第二节 常用吸附剂的结构和性能 .....	229
一、硅胶 .....	229
二、活性氧化铝 .....	237
三、活性炭 .....	240
四、吸附树脂 .....	244
五、黏土 .....	247
六、硅藻土 .....	251
七、沸石分子筛 .....	254
第三节 固体的表面改性及其应用 .....	262
一、表面改性效果的评定 .....	262
二、表面改性方法和机理 .....	266
三、表面改性的应用 .....	271

## 第九章 凝胶、气溶胶、泡沫和膜

275

第一节 凝胶 .....	275
一、凝胶的形成 .....	275
二、凝胶的结构 .....	276
三、凝胶的性质 .....	279
四、高吸水性高分子凝胶 .....	285
五、凝胶中的扩散和化学反应 .....	286
第二节 气凝胶 .....	289
一、气凝胶概念 .....	289
二、气凝胶的制备 .....	289
三、气凝胶的特性 .....	291
四、气凝胶的应用 .....	292
第三节 气溶胶 .....	293
一、气溶胶的概念 .....	293
二、气溶胶的形成与类型 .....	293
三、气溶胶的表征方法 .....	294

	四、气溶胶的动力学特性 .....	295
	五、气溶胶的电学性质 .....	296
	六、气溶胶的光学性质 .....	296
	七、气溶胶的危害与应用 .....	298
<b>第四节</b>	<b>泡沫</b> .....	299
	一、泡沫的形成与性质 .....	299
	二、泡沫的稳定性及其影响因素 .....	301
	三、起泡剂和稳泡剂 .....	305
	四、消泡和消泡剂 .....	305
	五、泡沫驱 .....	306
<b>第五节</b>	<b>膜</b> .....	307
	一、膜的定义 .....	307
	二、不溶物单分子层膜 .....	307
	三、LB膜 .....	316
	四、BLM .....	319
	五、生物膜模拟 .....	322
	六、脂质体与囊泡 .....	323
	七、自组装膜 .....	326

# 第一章

## 绪论

胶体与表面化学 (colloid and surface chemistry) 是研究胶体分散系统、一般粗分散系统及表面现象的化学分支。胶体系统的两个重要特点是,分散相粒子很小,其与分散介质间有大的相界面。纳米量级的分散相与分散介质构成胶体系统既不是大块均相物质,又不是分子分散系统,而是微观多相系统,有许多独特的物化性质,1915年 Ostwald 将胶体系统称为“被忽视尺寸的世界”。确立了胶体化学的特殊地位。

随着对胶体系统研究的深入,使人们认识到胶体与表面化学是与生产和生活实际联系最为紧密、应用最为广泛的化学分支。有人认为,世界上有 50% 以上的科学家在从事与胶体和界面有关的工作,有 50% 以上的产品和天然物质属于胶体系统。并且,胶体与界面化学的研究对象和研究手段日益涉及多种基础科学和应用技术领域。各基础学科(如数学、物理学、材料科学等)的理论研究成果对胶体与界面化学的规律性探讨和理论模型的提出给出了坚实的数理基础,并推动了胶体与界面化学更加深入、广阔地发展,而新的科学仪器的应用使胶体与界面化学得以在分子、原子水平上进行研究,以探索各种胶体与界面现象的微观解释。这一切使得人们在 20 世纪中叶就已提出了“胶体科学”这一术语,以表示胶体与表面化学不仅是化学的分支,而且已发展成为一门含义更为深广的新学科。

### 第一节 胶体与界面

#### 一、分散系统<sup>①</sup>

一种物质以细分状态分散在另一种物质中构成的系统称为分散系统,也称分散体系 (disperse system)。在分散系统中被分散的不连续相称为分散相 (disperse phase),分散系统中的连续相称为分散介质 (disperse medium)。

根据被分散物质的分散程度(分散相粒子大小)可将分散系统分为粗分散系统、胶体分散系统和分子分散系统(表 1-1)。

① 根据化学术语修订方案,规定“系统”和“体系”统称为“系统”。

■ 表 1-1 按被分散物质分散程度大小对分散系统的分类

分散系统	分散相粒子大小	分散系统直观性质及实例
粗分散系统(coarse disperse system)	$>1\mu\text{m}$	粒子粗大,显微镜下可见,易沉降分离。悬浮液,乳状液
胶体分散系统(colloid disperse system)	$0.1\mu\text{m}$ (或 $1\mu\text{m}$ ) $\sim 1\text{nm}$	粒子细小,显微镜下不可见。透明溶胶,微乳液
分子分散系统(molecular disperse system)	$<1\text{nm}$	均相,透明,稳定。真溶液

根据分散相和分散介质的聚集状态进行的分类如表 1-2 所列。

■ 表 1-2 按聚集状态对分散系统的分类

分散相	分散介质	分散系统名称	实例
气	液	气-液分散系统,泡沫	灭火泡沫
气	固	气-固分散系统,固体泡沫	泡沫塑料,气凝胶
液	气	液-气分散系统,气溶胶	雾,湿气
液	液	液-液分散系统,乳状液	牛奶,乳化原油
液	固	液-固分散系统,凝胶	豆腐,珍珠
固	气	固-气分散系统,气溶胶	烟,尘
固	液	固-液分散系统,溶胶,悬浮体	金溶胶,油漆,牙膏
固	固	固-固分散系统	合金,有色玻璃

在以气体为分散介质时,分散相为固体粒子的称为烟或尘。烟比尘的固体粒子小。雾、尘和烟均可称为气溶胶(aerosol)。

在以液体为分散介质时,分散相为气体的称为泡沫(foam);分散相为不相混溶的液体的称为乳状(浊)液(emulsion);分散相为固体小粒子的称为溶胶;分散相为较大固体粒子(如 $>200\text{nm}$ 或更大)称为悬浮液(体)(suspension)。

在以固体为分散介质时,分散相为气体的称为固体泡沫(solid foam),气凝胶(aerogel);分散相为液体的称为凝胶(gel),固体乳状液(solid emulsion);分散相为固体的称为固体溶胶(solid sol)。孔性固体与固体泡沫之区别在于前者有双连续相结构,后者的分散相是气体。

## 二、胶体

由表 1-1 可知,分散相粒子至少在一个尺度上的大小处在  $1\sim 100\text{nm}$  (也有人将此范围放宽至  $200\text{nm}$  或  $1000\text{nm}$ ) 范围内的分散系统称为胶体分散系统,或胶体系统,或胶体(colloid)。

习惯上,把分散介质为液体的胶体系统称为液溶胶或溶胶(sol),如介质为水的称为水溶胶;介质为固体时,称为固溶胶。

由此可见,胶体系统是多种多样的。胶体是物质存在的一种特殊状态,而不是一种特殊的物质,不是物质的本性。任何一种物质在一定条件下可以晶体的形态存在,而在另一种条件下却可以胶体的形态存在。例如,氯化钠是典型的晶体,它在水中溶解成为真溶液,若用适当方法使其分散于苯或醚中,则形成胶体溶液。同样,硫黄分散在乙醇中为真溶液,若分散在水中则为硫黄水溶胶。

由于胶体系统首先是以分散相颗粒有一定的大小为其特征的,故胶粒本身与分散介质之间必有一明显的物理分界面。这意味着胶体系统必然是两相或多相的不均匀分散系统。

另外,有一大类物质(如纤维素、蛋白质、橡胶以及许多合成高聚物)在适当的溶剂中溶解虽可形成真溶液,但它们的分子量很大(常在 1 万或几十万以上,故称为高分子物质),因此表现出的许多性质(如溶液的依数性、黏度、电导等)与低分子真溶液有所不同,而在



某些方面（如分子大小）却有类似于胶体的性质，所以在历史上高分子溶液一直被纳入胶体化学进行讨论。40多年来，由于科学迅速地发展，它实际上已成为一个新的科学分支——高分子物理化学，所以近年来在胶体表面专著（特别是有关刊物）中，一般不再过多地讨论这方面的内容。

根据分散相粒子与分散介质亲和性的不同，可将胶体分为亲液胶体（如前述的大分子溶液系统）和疏液胶体。亲液胶体（lyophilic colloid）是指分散相与分散介质有较强亲和力的胶体系统。疏液胶体（lyophobic colloid）则相反，如大多数无机物的水溶胶。

当多个分子的缔合体构成胶体分散相时，所形成的胶体称为缔合胶体（association colloid），如表面活性剂的胶束溶液即是。

疏液胶体系统是热力学不稳定系统，有自发聚沉的趋势；有大的相界面；胶体粒子一般没有确定的组成和结构。但胶体粒子小，使得胶体有独特的电学、光学、动力学、流变学等性质。这些性质对胶体的形成、破坏和稳定性有重大影响。

### 三、表面与表面自由能

界面是不相混溶的两相间的边界区域。一般将两个凝聚相（液-液，液-固，固-液，固-固）间的边界区域称为界面（interface）。凝聚相与气相（液-气，固-气）间的边界区域称为表面（surface）。表面与界面二术语常可通用。界面也可视为系统的性质从界面一侧到界面另一侧变化的过渡区域。界面有一定的厚度。许多系统中界面的厚度只有一两个分子或几个分子厚，此厚度与界面两侧的体相相比较是微不足道的，故为了研究方便有时将界面作为二维或准二维的几何面处理。在实际生活和科学实验中有的界面可直接触及或观察到（如固体的表面、乳状液的液珠与介质的界面），这种界面可称为宏观界面；还有一些界面难以直接感知（如表面活性剂在溶液中的各种聚集体与介质的界面、生物膜等），可称为微观界面。

胶体系统中分散相粒子都很小，因而相界面面积很大：粒子越小，界面面积越大。界面面积的大小可用比表面（积）表示。比表面（specific surface area）是指单位质量（1克）或单位体积（1cm<sup>3</sup>）分散相物质所具有的面积。无孔实体（如金属、液珠）只有外表面，多孔性固体（如活性炭、分子筛）还有孔隙内壁的面积，即为内表面。

为制出胶体系统，必以不同形式做功，才能使分散相达到高度分散状态，因此系统必有大的界面自由能。系统的界面自由能应等于界面总面积与单位表面（自由）能之乘积。以1cm<sup>3</sup>水的立方体分割成边长不同的小立方体所得小立方体水的总面积和系统中总界面自由能如表1-3所示（0℃）。0℃时水的单位表面（自由）能为75.6mJ·m<sup>-2</sup>。由表1-3数据可知，当1cm<sup>3</sup>的水分割成边长为1nm的立方体小水粒子时，界面自由能达454J。如此大的能量可使约110cm<sup>3</sup>的0℃水温度升高1度。

■ 表 1-3 1cm<sup>3</sup> 立方体形水粒子在分割时总界面面积和界面自由能

立方体边长/cm	分割后的立方体水粒子数目/个	总表面积	1cm <sup>3</sup> 0℃系统界面自由能/J
1	1	6cm <sup>2</sup>	4.54×10 <sup>-5</sup>
1×10 <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup>	60cm <sup>2</sup>	4.54×10 <sup>-4</sup>
1×10 <sup>-2</sup>	10 <sup>6</sup>	600cm <sup>2</sup>	4.54×10 <sup>-3</sup>
1×10 <sup>-3</sup>	10 <sup>9</sup>	6000cm <sup>2</sup>	4.54×10 <sup>-2</sup>
1×10 <sup>-4</sup> (1μm)	10 <sup>12</sup>	6m <sup>2</sup>	4.54×10 <sup>-1</sup>
1×10 <sup>-5</sup> (0.1μm)	10 <sup>15</sup>	60m <sup>2</sup>	4.54
1×10 <sup>-6</sup> (10nm)	10 <sup>18</sup>	600m <sup>2</sup>	45.4
1×10 <sup>-7</sup> (1nm)	10 <sup>21</sup>	6000m <sup>2</sup>	454

大的界面和大的界面自由能存在，使胶体系统有许多独特的物理化学性质。首先，在界面区域内可发生不同于体相中的化学和生物化学过程（如吸附作用、界面化学反