



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

物理化学

(第五版)

董元彦 路福绥 唐树戈 郑新生 主编



科学出版社

013027791

064
82-5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

物 理 化 学

(第五版)

董元彦 路福绥 唐树戈 郑新生 主编



科 学 出 版 社

北 京



北航

C1637081

064
82-5

内 容 简 介

本书利用相对少的学时提纲挈领地向生物工程、食品科学和环境资源等化学相关专业学生介绍物理化学的基本内容、方法和应用,强调基本概念、准确性和公式的物理意义,使其成为农林各专业学生学习基础理论课与专业理论课之间承上启下的桥梁。全书共 12 章,内容包括:化学热力学基础、电化学、化学动力学、表面物理化学、胶体化学、结构化学等。各章附有阅读材料,有利于扩大学生的知识面,反映学科的新进展。

本书适合作为高等农林院校相关专业本科生物理化学课程教材,也可供生物、医学、轻工业等专业的本科生和部分专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

物理化学/董元彦等主编. —5 版. —北京:科学出版社,2013. 3
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-036902-4

I. ①物… II. ①董… III. ①物理化学-高等学校-教材 IV. ①O64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 041507 号

责任编辑:赵晓霞 杨向萍 丁 里 / 责任校对:钟 洋

责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天竺彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1998 年 7 月 第一版 开本:787×1092 1/16

2001 年 7 月 第二版 印张:20 1/2

2004 年 7 月 第三版 字数:495 000

2008 年 5 月 第四版 2013 年 3 月第 24 次印刷

2013 年 3 月 第五版

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《物理化学》(第五版)编写委员会

主 编 董元彦 路福绥 唐树戈 郑新生

副主编 杨丽华 杨亚提 吕晓丽 刘有芹 原 弘

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

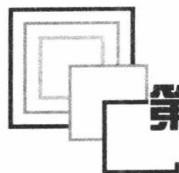
董元彦 范海林 李 鹤 李丽芳 李培强

梁大栋 刘有芹 路福绥 吕晓丽 马海龙

马晶军 马亚团 牟 林 唐树戈 王嘉讯

杨丽华 杨亚提 尹业平 原 弘 张东方

张瑾华 赵海双 赵 影 郑新生



第五版前言

本书自 1998 年初版以来,被国内多所高等院校选用,受到广大师生好评。2001 年本书被评为“面向 21 世纪课程教材”(第二版),2008 年入选“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”(第四版)。本次修订,保持了教材内容的三个层次:第一是教学基本要求内容;第二是深入提高内容,用“*”号标出,供教学选用;第三是拓宽知识面内容,用小字印刷,供学生阅读参考。全书计量单位均采用 SI 单位制。

物理化学是化学学科的基础,并不断地向生物学、工程学和医学等领域渗透,研究内容日益丰富。编者力图利用相对少的学时提纲挈领地向生物工程、食品科学和环境资源等化学相关专业学生介绍物理化学的基本内容、方法和应用,更加强调基本概念的正确性和公式的物理意义,使物理化学成为相关各专业学生学习基础理论课(如数学、物理、无机化学、有机化学和生物化学等)与专业理论课(如生物工程、食品工程和环境监测等)之间承上启下的桥梁。

本次修订对个别章节进行了调整和增删,使教材更加精炼,教师授课更易处理,学生阅读更易理解。①在每一章的起始增加了学习的基本内容和主要思想的提要,有利于授课教师在教材处理上更加有的放矢,让学生能够迅速抓住学习的基本脉络,理解其实质,尽快建立起自己的知识框架;②对一些相对复杂的数学推导(如第 4 章的 1.1 节)进行了改写,简化数学推导,强化对结论的理解,指明它的物理意义及其在应用中必须满足的条件;③删减陈旧内容,增加现代知识,使教材内容与科学发展和社会进步相适应。修订中将光化学内容进行了调整,对光物理过程内容进行了扩充。大幅度地改写或替换了各章的阅读材料,使其更具前沿性、趣味性和农林特色。

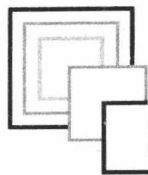
经验表明,在物理化学的学习过程中,学生动手演算一定数量的习题,有利于提高学生分析问题、解决问题的能力,启发学生的创新思维。在这次修订中,对教材中的例题和习题进行了增删,避免简单化,注重启发性。随着多媒体辅助教学的普及,本书第三版、第四版所附的光盘已不再必需。如有读者需要,与编者或出版社联系,可继续提供所需光盘。

参加本次修订的有董元彦、郑新生、原弘、尹业平、王嘉讯、张瑾华、张东方(华中农业大学,第 4、7、11、12 章),路福绥、李丽芳、李培强(山东农业大学,第 9、10 章),唐树戈、牟林(沈阳农业大学,第 1、2 章),杨丽华、马晶军、赵影(河北农业大学,第 6 章),杨亚提、赵海双、马亚团、马海龙、李鹤(西北农林科技大学,第 8 章),吕晓丽、梁大栋、范海林(吉林农业大学,第 3 章),刘有芹(华南农业大学,第 5 章)。全书最后由董元彦、郑新生、原弘定稿。

本次修订引用了国内外物理化学教材提供的经验和材料、有关物理化学学科发展的研究成果,在此谨向这些成果的贡献者表示深深的谢意。本书第五版的问世离不开科学出版社大力、长期的支持,谨向他们致以诚挚的感谢。向关心本书的各位同仁表示谢意。由于水平所限,书中谬误之处难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2012 年 12 月



第四版前言

21 世纪科学技术发展进步,特别是化学科学飞速发展,化学与生命、材料、资源与环境等学科的相互渗透日益加深,使得物理化学学科面临大量新的信息和新的问题。时代迫切要求物理化学课程教学要随着科学的发展、社会的进步做出相应的调整 and 改革:必须依据国家对人才培养的新要求,构筑教材新体系;跟踪化学学科发展,教材内容推陈出新;加强基础理论,注重理论与实践的结合,为培养创新型人才作出贡献。

本书是在面向 21 世纪教学改革的进程中诞生的,并在 21 世纪中国高等学校农林类专业数理化基础课程的创新与实践课题研究中不断修改、完善。编者力求使本书具有较高的水平,具有科学性和系统性。同时也能反映化学学科的新进展,展现农业科学、生命科学的发展与物理化学的联系,具有先进性和一定的趣味性。本书强调概念准确,着重阐明物理意义,避免不必要的推导和证明,计量单位采用 SI 单位制。本书内容分为三个层次:第一层次是教学基本要求的内容;第二层次是深入提高的内容,用星号标出,供教学选用;第三层次是拓宽知识面的内容,用小字体印刷,供学生阅读参考。

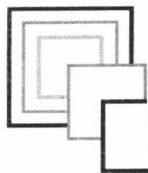
本书第一版 1998 年出版,近十年来多所农林院校在教学中使用,受到广大师生的欢迎和好评。2001 年作为国家“面向 21 世纪课程教材”再版,2008 年本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材再次修订出版。

物理化学是介于通用理论课程(如数学、物理学、无机化学、有机化学、生物化学等)与专业理论课程(如化工原理、生物工程、环境工程等)之间的基础理论课程,处于承上启下的枢纽地位。其主要内容包括研究物质变化或迁移的方向和限度的化学热力学、研究化学反应速率和机理的化学动力学、研究物质结构和性能之间关系的结构化学。

国外的物理化学教材一直涵盖结构化学的内容,在我国由于历史的原因,结构化学一般不包含在物理化学教材之内,而另设课程讲授。近年来这一情况发生了变化,部分新出版的物理化学教材已经包含了结构化学的内容。农林院校通常不开设结构化学课程,因此造成农林院校的学生只学习宏观层次的变化规律,而不了解微观世界的变化本质,学生的知识结构产生断层,这将给我国农业科技人才的培养造成不利的影响。

本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,修订中增加了结构化学基础、光谱学简介等内容,同时对各章节进行了调整、增删,提高了教材的系统性,将更加符合生命科学、生物工程、食品科学、环境工程等专业实际发展的需要。

参加本书修订的有董元彦、郑新生、尹业平、王嘉讯、张瑾华(华中农业大学,第 8、11、12 章),路福绥、李丽芳(山东农业大学,第 10 章),唐树戈、卜平宇、余世雄(沈阳农业大学,第 1、2 章),杨丽华、马晶军(河北农业大学,第 5、6 章),杨亚提、赵海双、马亚团、张红俊、李鹤(西北农林科技大学,第 9 章),吕晓丽、范海林、梁大栋(吉林农业大学,第 3、4、7 章)。全书最后由董元彦、路福绥、唐树戈定稿。



第三版前言

本书在面向 21 世纪教学改革的过程中诞生,几年来在多所农林院校的教学实践中使用,受到广大师生的欢迎和好评,并在“21 世纪中国高等学校农林类专业数理化基础课程的创新与实践课题”研究中得以修改、完善。

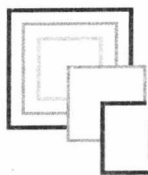
为适应新世纪的教学要求,根据使用本书学校反馈的信息和专家们的意见,本书编委于 2004 年再次对全书进行了修改,对部分章节内容进行调整,增加了阅读材料。为逐步适应双语教学的要求,各章增加了英文小结和部分英文习题。

参与第三版修订的除第二版编委会的大部分成员外,还有尹业平(华中农业大学)、唐树戈(沈阳农业大学)和丁志伟(山东农业大学)。全书最后由董元彦、李宝华、路福绥定稿。

感谢科学出版社编辑刘俊来、杨向萍,他们为本书再次修订出版做了大量的工作。同时向关心本书的各位同仁表示谢意。由于作者水平所限,书中谬误之处在所难免,欢迎读者对本书提出批评和建议。

编 者

2004 年 5 月



第二版前言

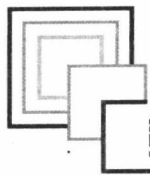
本书是在面向 21 世纪教学改革的过程中诞生的,几年来在多所农林院校的教学实践中使用,普遍受到师生的欢迎和好评。

1999 年本书通过了农业部组织的软科学成果评审,参加评审的专家有:吴秉亮(武汉大学)、高盘良(北京大学)、赵士铎(中国农业大学)、贾之慎(浙江大学)、杨桂梧(内蒙古农业大学)、宋冶(东北林业大学)、杨龙寿(扬州大学)。专家们充分肯定本书“能以较少的篇幅正确地讲述化学热力学的基本原理,同时以较大篇幅讨论与农业和生命科学有密切关系的表面及胶体化学、电化学、光化学等。”“书内有教学基本要求的内容,又有深入提高的内容,还有一些拓宽知识面的内容。提高和拓宽部分的素材大多取自与农业和生命现象有关的领域,便于学生联系实际进行学习,也描述了学科当前的发展方向。”“符合农业院校教学的基本要求,也符合面向 21 世纪教学改革的要求。”专家们同时也指出了书中的不足之处并提出了中肯的意见和建议。

根据专家们的意见和从各使用本书学校反馈的信息,本书编委会对全书进行了修改、润色,对部分章节的内容进行增删、调整。参与修订的除编委会的大部分成员外,还有尹业平(华中农业大学)和唐树戈(沈阳农业大学)。

本书作为面向 21 世纪教学改革的成果,经全国高等农业院校教学指导委员会基础课学科组和教育部高等教育司批准,以“面向 21 世纪课程教材”出版第二版,在此向关心本书的各位同仁表示谢意,同时欢迎读者继续对本书提出批评和建议。

编 者
2000 年 12 月



第一版前言

本书为高等农业院校“物理化学”课程的教科书,适用于土壤和植物营养、环境资源、食品科学、生命科学、农药、植物保护、生理生化、畜牧兽医等专业的本科生,也可供综合大学和师范学院生物系及林业、医学、轻工业等各类院校和部分专业研究生及教师参考。

全书分为化学热力学、电化学、化学动力学和光化学、表面化学、胶体化学五篇共 15 章。根据学科的发展和面向 21 世纪教学改革的要求,适当强化了化学动力学、表面化学和胶体化学的内容,精简了经典热力学部分,增加了非平衡态热力学、相平衡、生物电势和膜电势、化学电源、凝胶等章节。全书内容分为三个层次:第一层次是教学基本要求的内容;第二层次是深入提高的内容,用星号标出,供教学中选用;第三层次是拓宽知识面的内容,用小字印刷,供学生阅读参考。

本教材是在面向 21 世纪的教学改革进程中诞生的。编者力求使本教材具有较高的水平,具有科学性和系统性。同时也能反映化学学科的新进展,展现农业科学、生命科学的发展与物理化学的联系,具有先进性和一定的趣味性。本书强调概念准确,着重阐明物理意义,避免不必要的推导和证明。全书计量单位采用 SI 单位制。

由于水平所限,本书与编者的期望尚有不少差距,书中谬误之处难免,欢迎读者批评指正。

参加本书编写的有董元彦(华中农业大学,绪论,第七、八、九章)、李宝华(沈阳农业大学,第一、二章)、路福绥、李丽芳、盛峰(山东农业大学,第十四、十五章)、杨丽华、马晶军(河北农业大学,第五、六章)、杨亚提、赵海双(西北农业大学,第十二、十三章)、康立娟、吕晓丽(吉林农业大学,第三、四章)、窦跃华、王静(南京农业大学,第十、十一章)。全书最后由董元彦、李宝华、路福绥修改定稿。黄天栋教授为本书编写提出了许多宝贵建议,在此表示感谢。

编 者

1997 年 10 月



录

第五版前言

第四版前言

第三版前言

第二版前言

第一版前言

绪论	1
第1章 化学热力学基础	4
1.1 热力学的能量守恒原理	4
1.1.1 基本概念	4
1.1.2 热力学第一定律	6
1.2 可逆过程与最大功	7
1.2.1 功与过程的关系	7
1.2.2 可逆过程的特点	8
1.3 热与过程	9
1.3.1 定容热 Q_V	9
1.3.2 定压热 Q_p	9
1.3.3 相变热(焓)	9
1.3.4 热容	9
1.3.5 热容与温度的关系	10
1.4 理想气体的热力学	10
1.4.1 焦耳实验	10
1.4.2 理想气体 ΔU 、 ΔH 的计算	11
1.4.3 理想气体的 $C_{p,m}$ 与 $C_{V,m}$ 的关系	11
1.4.4 理想气体的绝热可逆过程	12
1.5 化学反应热	12
1.5.1 化学反应热的含义	12
1.5.2 定压反应热 Q_p 与定容反应热 Q_V 的关系	12
1.5.3 热化学方程式	14
1.5.4 赫斯定律	14
1.5.5 几种反应热	14
1.5.6 反应热与温度的关系	16
1.6 自发过程的特点与热力学第二定律	17
1.6.1 自发过程的特点	18
1.6.2 热力学第二定律	18

1.7 熵增加原理与化学反应方向	18
1.7.1 卡诺定理	18
1.7.2 可逆过程热温商与熵变	19
1.7.3 不可逆过程的热温商与熵变	20
1.7.4 热力学第二定律数学表达式	20
1.7.5 熵增加原理	21
1.7.6 熵变的计算	21
1.8 化学反应的熵变	25
1.8.1 热力学第三定律	25
1.8.2 物质的规定熵 S_T 和标准熵 $S_m^\ominus(T)$	25
1.8.3 化学反应熵变的计算	25
* 1.9 熵的统计意义	26
1.9.1 概率概念	26
1.9.2 熵的统计意义	27
1.9.3 熵与混乱度的关系	27
习题	30
第2章 自由能、化学势和溶液	32
2.1 吉布斯自由能判据	32
2.1.1 热力学第一、第二定律联合式	32
2.1.2 吉布斯自由能及判据	32
2.1.3 亥姆霍兹自由能	33
2.2 吉布斯自由能与温度、压力的关系	33
* 2.2.1 热力学函数间的关系	33
2.2.2 热力学基本关系式	34
2.2.3 吉布斯自由能随温度的变化	34
2.2.4 吉布斯自由能随压力的变化	35
2.3 ΔG 的计算	35
2.3.1 简单的 p 、 V 、 T 变化过程 ΔG 的计算	35
2.3.2 相变过程 ΔG 的计算	35
2.3.3 化学反应 $\Delta_r G_m$ 的计算	36
2.4 偏摩尔量	37
2.4.1 偏摩尔量的定义	37
2.4.2 偏摩尔量的集合公式	38
2.5 化学势	38
2.5.1 偏摩尔吉布斯自由能——化学势	38
2.5.2 化学势与温度和压力的关系	39
2.5.3 化学势在相平衡中的应用	39
2.6 气体的化学势与标准态	40
2.6.1 理想气体的化学势	40
2.6.2 实际气体的化学势	41

2.7 溶液中各组分的化学势	41
2.7.1 稀溶液的两个实验定律	42
2.7.2 理想溶液中各组分的化学势	42
2.7.3 稀溶液中各组分的化学势	43
2.7.4 理想溶液的通性	44
2.7.5 非理想溶液中各组分的化学势	45
2.8 稀溶液的依数性	46
2.8.1 渗透压	46
* 2.8.2 凝固点降低	47
* 2.8.3 沸点升高	49
2.8.4 分配定律及其应用	49
习题	53
第3章 相平衡	55
3.1 相律	55
3.1.1 基本概念	55
3.1.2 相律	56
3.2 单组分体系	57
3.2.1 克拉贝龙方程	57
3.2.2 水的相图	59
3.3 二组分双液体系	60
3.3.1 理想完全互溶双液系	60
3.3.2 非理想完全互溶双液系	63
* 3.3.3 部分互溶双液系	64
* 3.3.4 完全不互溶双液系	64
* 3.4 二组分固-液体系	66
3.4.1 热分析法	66
3.4.2 溶解度法	67
习题	69
第4章 化学平衡	71
4.1 化学反应的方向及限度	71
4.1.1 化学反应的方向	71
4.1.2 化学反应的限度	71
4.2 化学反应定温式及化学反应的平衡常数	72
4.2.1 化学反应定温式与化学反应平衡常数	72
4.2.2 使用标准平衡常数的注意事项	73
4.3 平衡常数的测定和计算	74
4.3.1 平衡常数的测定	74
4.3.2 平衡常数的计算	75
4.4 影响化学平衡的因素	77

* 4.5 生化反应的标准态和平衡常数	78
习题	82
第5章 电解质溶液	83
5.1 离子的电迁移	83
5.1.1 电解质溶液的导电机理	83
5.1.2 法拉第定律	84
5.1.3 离子的电迁移	84
5.2 电导及其应用	85
5.2.1 电导、电导率与摩尔电导率	85
5.2.2 电导的测定	86
5.2.3 强电解质溶液的电导率、摩尔电导率与浓度的关系	86
5.2.4 离子独立运动定律及离子摩尔电导率	87
5.2.5 电导测定的应用	89
5.3 强电解质溶液的活度及活度系数	91
5.3.1 活度和活度系数	91
5.3.2 影响离子平均活度系数的因素	92
* 5.4 强电解质溶液理论	93
5.4.1 离子氛模型	93
5.4.2 德拜-休克尔极限公式	94
5.4.3 翁萨格理论	95
习题	98
第6章 电化学	99
6.1 可逆电池	99
6.1.1 电池	99
6.1.2 可逆电池	99
6.1.3 可逆电极的类型和电极反应	100
6.1.4 电池表示法	101
6.2 电极电势	102
6.2.1 电池电动势的产生	102
6.2.2 电极电势 φ	103
6.2.3 能斯特公式	104
6.3 可逆电池热力学	105
6.3.1 可逆电池电动势与活度和平衡常数	105
6.3.2 电动势与各热力学量	106
6.4 电池电动势的测定及其应用	107
6.4.1 对消法测电动势	107
6.4.2 标准电池	108
6.4.3 电动势测定的应用	109
* 6.5 电子活度及电势-pH图	113
6.5.1 电子活度	113

6.5.2 电势-pH图及应用	115
* 6.6 生化标准电极电势	117
* 6.7 不可逆电极过程	118
6.7.1 分解电压	118
6.7.2 极化现象和超电势	120
6.7.3 极谱分析原理	123
6.7.4 金属腐蚀与防护	125
习题	130
第7章 化学动力学	132
7.1 基本概念	132
7.1.1 化学反应速率	132
7.1.2 基元反应	133
7.1.3 反应级数	133
7.1.4 速率常数 k	133
7.1.5 反应分子数	133
7.2 简单级数反应	134
7.2.1 一级反应	134
7.2.2 二级反应	134
* 7.2.3 三级反应和零级反应	135
7.2.4 反应级数的确定	136
7.3 温度对反应速率的影响	137
7.3.1 阿伦尼乌斯公式	137
7.3.2 活化能 E_a	138
7.3.3 活化能测定	139
7.3.4 求反应的适宜温度	139
7.4 复合反应及近似处理	140
7.4.1 对峙反应	140
7.4.2 平行反应	141
7.4.3 连串反应	141
* 7.4.4 链反应(连锁反应)	142
* 7.4.5 复合反应的近似处理	142
7.5 化学反应速率理论	144
7.5.1 碰撞理论	144
7.5.2 过渡态理论	145
7.6 快反应和现代化学动力学研究技术	147
7.6.1 快反应	147
7.6.2 弛豫方法	147
7.6.3 快速混合法	148
7.6.4 闪光光解技术	148
7.6.5 交叉分子束技术	148

7.7 催化剂	149
7.7.1 催化剂和催化作用	149
* 7.7.2 均相催化	150
* 7.7.3 多相催化	151
7.7.4 化学振荡	151
* 7.8 酶催化反应	152
7.8.1 酶催化反应的特点	152
7.8.2 温度和 pH 对酶催化反应速率的影响	153
7.8.3 酶催化反应的应用和模拟	153
7.9 光化学	153
7.9.1 光化学反应的基本规律	154
7.9.2 光化学反应的初级过程	155
7.9.3 光化学反应的次级过程和量子效率	157
7.9.4 光化学反应的动力学	160
习题	164
第 8 章 表面物理化学	166
8.1 表面吉布斯自由能	166
8.1.1 比表面	166
8.1.2 比表面自由能和表面张力	167
8.2 弯曲液面的特性	168
8.2.1 弯曲液面的附加压力	168
8.2.2 弯曲液面的蒸气压	170
* 8.2.3 亚稳态	171
8.3 溶液的表面吸附	172
8.3.1 溶液的表面张力	172
8.3.2 吉布斯吸附定温式	173
8.3.3 吸附层上分子的定向排列	173
* 8.4 表面膜	174
8.4.1 不溶性单分子膜	174
8.4.2 生物膜	175
8.5 表面活性物质	176
8.5.1 表面活性物质的分类	176
8.5.2 表面活性物质的 HLB 值	177
8.6 胶束	177
8.6.1 表面活性物质的临界胶束浓度	177
8.6.2 增溶作用	178
8.7 气-固界面吸附	178
8.7.1 固体表面特性	178
8.7.2 吸附作用	179
8.7.3 吸附理论	182

8.7.4 吸附作用的应用	184
8.8 液-固界面吸附	185
8.8.1 溶液中吸附量的测定	186
8.8.2 稀溶液中溶质分子的吸附	186
8.8.3 电解质溶液中离子的吸附	187
8.9 润湿作用	187
* 8.9.1 润湿现象	187
8.9.2 接触角与润湿作用	189
习题	193
第9章 胶体化学	195
9.1 分散体系	195
* 9.2 溶胶的制备与净化	196
9.2.1 溶胶的制备	196
9.2.2 溶胶的净化	197
9.3 溶胶的光学性质	198
9.3.1 丁铎尔效应	198
9.3.2 丁铎尔效应的规律	198
9.3.3 超显微镜的原理和应用	199
9.4 溶胶的动力学性质	199
9.4.1 布朗运动	199
9.4.2 扩散	200
9.4.3 沉降与沉降平衡	201
9.5 溶胶的电学性质	202
9.5.1 电动现象	202
9.5.2 胶粒表面电荷的来源	203
9.5.3 双电层结构	203
9.5.4 电动电势	205
* 9.6 溶胶的流变性质	205
9.6.1 黏度	206
9.6.2 黏度的测定	207
9.7 溶胶的稳定性与聚沉	207
9.7.1 溶胶的稳定性	207
9.7.2 影响溶胶聚沉的因素	208
9.8 乳状液与泡沫	210
9.8.1 乳状液的类型	211
9.8.2 乳化剂与乳化作用	211
* 9.8.3 乳状液的类型理论	212
9.8.4 乳化剂的选择	213
9.8.5 乳状液的制备	214
9.8.6 乳状液的转型与破坏	215

* 9.8.7 微乳状液	216
9.8.8 泡沫	216
* 9.9 凝胶	217
9.9.1 凝胶的类型	217
9.9.2 胶凝作用	218
9.9.3 凝胶的性质	219
习题	225
第 10 章 高分子溶液	226
10.1 高分子化合物的相对分子质量	226
10.1.1 高分子化合物的均相对分子质量	226
10.1.2 高分子化合物的相对分子质量分布	228
10.2 溶液中的高分子	228
10.2.1 溶液中高分子的柔性	228
10.2.2 溶液中高分子的形态	229
10.2.3 高分子化合物的溶解过程	229
* 10.2.4 高分子溶解过程的热力学处理	230
10.3 高分子溶液的性质	232
10.3.1 高分子溶液与溶胶和小分子溶液的异同点	232
10.3.2 高分子溶液的渗透压	233
10.3.3 高分子溶液的黏度	234
* 10.3.4 高分子溶液的光散射	235
10.3.5 高分子溶液的超速离心沉降	236
10.4 高分子电解质溶液	238
10.4.1 溶液中蛋白质分子的带电状况	238
10.4.2 溶液中线型蛋白质分子的形态	239
10.4.3 蛋白质在水中的溶解度	239
10.4.4 蛋白质溶液的黏度	239
10.4.5 蛋白质溶液的电泳	240
10.5 唐南平衡	240
10.5.1 唐南平衡	241
10.5.2 唐南平衡对高分子电解质溶液渗透压的影响	242
10.5.3 唐南电势	243
10.5.4 唐南平衡在土壤研究中的应用	243
10.6 高分子对溶胶稳定性的影响	244
10.6.1 高分子在固-液界面上的吸附	244
10.6.2 高分子对溶胶的稳定作用	245
10.6.3 高分子对溶胶的絮凝作用	246
习题	249
第 11 章 结构化学基础	250
11.1 分子轨道理论	250