



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

物理化学

(第二版)

韩德刚 高执棣 高盘良 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

面向 21 世纪 课程教材

Textbook Series for 21st Century

物 理 化 学

(第二版)

韩德刚 高执棣 高盘良 编著

高等教育出版社

内容提要

本书是“面向 21 世纪课程教材”和“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，是编者多年教学成果及经验的总结，保持了“常教常新，常教常精”的编写风格。全书仍分为五篇：化学热力学、统计热力学、化学动力学、电化学、胶体化学。但对教学基本内容和知识框架作了调整，对一些基本问题的阐述提出了新的认识或补充，增加了一些物理化学近期较活跃的又在教学中未引起重视的基本内容；对过于陈旧的内容，作了删除，但对一些物理化学前沿的课题作为窗口仍予保留；对理论与高新技术的结合给予高度重视；本次修订时适当地控制习题量，删除了一些重复的习题，对典型的、基本的、综合性的习题予以保留，另外还补充了一些新习题；对参考文献及课外阅读资料根据教材内容作了更新，特别是近十年内出版的有关著作和发表的学术论文。全书结构紧凑，是同类教材中篇幅较小的。

本书可作为综合大学物理化学课程教材，是相关科研及工程技术人员必备的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理化学/韩德刚，高执棣，高盘良编著. —2 版. —北京：高等教育出版社，2009.2

ISBN 978 - 7 - 04 - 025858 - 5

I. 物… II. ①韩…②高…③高… III. 物理化学 - 高等学校 - 教材 IV.O64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 207564 号

策划编辑	鲍浩波	责任编辑	董淑静	封面设计	张楠
责任绘图	吴文信	版式设计	余杨	责任校对	王超
责任印制	陈伟光				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京奥鑫印刷厂

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16
印 张 38
字 数 710 000

版 次 2001 年 7 月第 1 版
2009 年 2 月第 2 版
印 次 2009 年 2 月第 1 次印刷
定 价 40.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25858 - 00

第二版前言

自第一版问世以来,将近八年了,在此期间,(1)学科的发展使对物理化学的一些基本内容又有了新的认识;(2)大学本科教育的理念强调“通识教育”,必然对作为专业基础的物理化学课程提出新的要求;(3)读者提出了许多有益的建议和批评。这些都构成了本书修订的依据。“常教常新、常教常精”是本书修订的指导思想。“新”指将新的学术思想、内容、方法及应用等及时纳入教学,以适应科学技术发展的需要;“精”则是在融会贯通教学内容的基础上,挑选最基本的内容、方法及典型应用充实教材。“新”就要做加法,“精”当然要做减法。总体来说,修订版篇幅减小了,大致从以下几方面作了修订:

一、对物理化学的教学基本内容和知识框架作了调整,对一些基本问题的阐述提出了新的认识或补充,增加了一些物理化学近期较活跃的又在教学中未引起重视的基本内容,使学生在理论的深化、学科的发展中体会科学发展的曲折和科学发现的伟大。

二、本着在基础课层次上,“重要的未必基本,但基本的一定重要”的思想,对不属于基本要求的内容或过于陈旧的内容,作了删除,但对一些物理化学前沿的课题作为窗口仍予保留,以激发读者对新方向和新论题的兴趣。

三、在物理化学学习时,往往给学生有“远水不解近渴”的感觉,而基础理论是高新技术的先导,因此本书在修订时对理论与高新技术的结合给予高度重视,使原理在科学研究和实际应用的实例中展现其活力,提高对基础理论学习重要性的认识。

四、演算习题对物理化学的学习无疑是十分重要的,许多老一辈化学家提到,演算习题对加深物理化学原理的理解和科学思维方式的建立影响巨大,经验是宝贵的财富。演算习题不在于多,而在于精。本次修订时适当地控制习题量,删除了一些重复的习题,对典型的、基本的、综合性的习题予以保留,另外还补充了一些新习题。为了满足教学需要,将另出版配套的习题解答。

五、对参考文献及课外阅读资料根据教材内容作了更新,特别是近十年内出版的有关著作和发表的学术论文。

如果把教材比作一件艺术品,不同的作者肯定有不同的风格。教材的风格必定反映作者几十年形成的教学风格,也体现在与其他同类教材的不同之处(或称为特色)。希望本教材能对物理化学的教与学有所帮助。由于编著者的学识水平的限制,书中肯定存在疏漏和不当之处,恳请读者不吝指正。

II 第二版前言

南开大学朱志昂教授审阅了第二版书稿,提出了许多中肯的和建设性修改意见,作者一一进行了处理;南京大学傅献彩教授对本书的修订十分关切,并给予极大的鼓励;中国人民大学化学系副教授牟天成博士阅读了第二版的初稿,提出了很好的意见,补充了一些文献,在此一并表示诚挚的谢意。

高等教育出版社高度重视本教材的出版,促使本书的第二版得以问世。朱仁编审及策划编辑鲍浩波博士、责任编辑董淑静为保证教材出版的质量付出了辛勤的劳动,值此教材出版之际表示我们衷心的感谢。

编者

2008年秋于北京大学

第一版前言

国外及国内的一些物理化学教材包括物理化学和结构化学两部分,鉴于国内相当多的高校目前将“物理化学”和“结构化学”分为两门课程开设,因此本教材是不含“结构化学”的物理化学教材,但内容上力图使之互相呼应。

编写本教材的总体指导思想是力图做到“常教常新、常教常精”,在不影响基本原理叙述情况下,介绍新的学术成就、方法和应用,引用新的材料和实例,并探索如何将前沿领域引入物理化学教材之中。我们认为,在基础课内容的层次上,重要的未必基本,但基本的一定重要,争取挑选出最基本的内容、方法和应用,使教材日趋精炼。通过“举一”,使学生学到“反三”的思路和方法。

虽然本书不含“结构化学”,但还是尽可能从分子水平出发诠释物理化学中宏观物理量及概念,或对宏观物理化学规律辅以微观模型的解释,以期使微观内容与宏观内容在教材中相互结合。

本书力图全面实行国际单位制(SI)及国家标准,以反应进度概念为基础建立相变及化学反应的教学体系,使原理、公式的表达及计算统一自洽。

本书在例题和习题的选编上力求避免简单化,注重启发性。对于基本规律的进一步扩充及科学技术中应用多个章节内容的综合性例题及习题给予较大重视,以提高学生分析问题、解决问题的能力,启发学生的创新思维。

本书于每章末列出了引用的主要参考资料,同时,还列出了易于查找的课外阅读资料,以期活跃思维、开阔思路,扩大学生的知识面和反映本学科的新进展。

几十年的物理化学教学经历为本书的编写提供了一定的基础。但是,编写物理化学教材离不开为物理化学学科发展作出贡献的科学家,离不开已经编就的国内外物理化学教材提供的经验和材料,离不开物理化学同行们的交流与支持,离不开与我们共同承担物理化学教学任务的北京大学教师和学生们的宝贵意见,值此谨向他们表示深深的谢意。

厦门大学苏文煨教授、南开大学朱志昂教授审阅了本书的初稿,提出了许多宝贵的修改意见,在此谨向二位表示衷心的感谢。

本书的编写和出版始终得到高等教育出版社的大力支持,夏鲁惠副编审付出了辛勤的劳动,《大学化学》编辑部孙绍芹副编审绘制了本书的插图,谨向他们致以诚挚的感谢。

编者深感学识有限,诚恳希望读者评论和指正,以待再版时修改。

编者

2000年仲秋于北京大学

目 录

导论	1
参考文献及课外阅读资料	4
第一篇 化学热力学基础	
第一章 基础概念与基本定律	7
§ 1.1 基础概念	7
1.1.1 热力学系统与环境	7
1.1.2 平衡态与宏观参量	8
1.1.3 热力学过程,可逆过程与不可逆过程	10
§ 1.2 物态方程	13
§ 1.3 热力学第零定律与温度	16
§ 1.4 热力学第一定律与热力学能	17
1.4.1 热力学能	17
1.4.2 体积功的计算	18
1.4.3 焓、热容及其计算	20
1.4.4 理想气体的热力学性质	22
§ 1.5 热力学第二定律与熵	25
1.5.1 天然过程的方向性及热力学第二定律	25
1.5.2 熵增原理	27
1.5.3 熵变的计算及过程方向的判据	29
1.5.4 熵增原理在循环过程中的应用	31
§ 1.6 热力学第三定律与量热熵	34
参考文献及课外阅读资料	35
习题	36
第二章 热力学势函数及热力学基本方程	40
§ 2.1 Helmholtz 自由能与 Gibbs 自由能	40
2.1.1 Helmholtz 自由能减少原理	40
2.1.2 Gibbs 自由能减少原理	41
2.1.3 Helmholtz 自由能、Gibbs 自由能的性质	42
§ 2.2 封闭系统热力学基本方程	43
2.2.1 封闭系统热力学基本方程	43

II 目录

* 2.2.2 特性函数	44
§ 2.3 ΔG 的求算及其应用	45
2.3.1 均相等温过程的 ΔG	45
2.3.2 等温相变过程的 ΔG	46
2.3.3 变温过程 ΔG 之求算——Gibbs-Helmholtz 方程	46
2.3.4 不同物质混合过程的 Gibbs 自由能变	48
§ 2.4 均相 pVT 系统热力学量的变换——变量变换法	48
2.4.1 热力学量微商变换的 Tobolsky 方法	49
2.4.2 Jacobi 行列式方法及其它方法	50
§ 2.5 Joule-Thomson 效应	52
§ 2.6 普遍的热力学基本方程	54
§ 2.7 化学势	56
§ 2.8 偏摩尔量及其性质	57
2.8.1 偏摩尔量定义及其性质	57
* 2.8.2 偏摩尔量微商相关性	58
§ 2.9 Gibbs-Duhem 方程	60
* § 2.10 平衡态的稳定性	61
2.10.1 平衡态稳定性的热力学判据	61
2.10.2 平衡条件	63
2.10.3 平衡稳定条件	64
§ 2.11 相律	65
2.11.1 独立反应数	65
2.11.2 组分数	66
2.11.3 Gibbs 相律的推导	67
2.11.4 相律的若干应用	68
参考文献及课外阅读资料	69
习题	70
第三章 化学势表达式及逸度和活度	75
§ 3.1 纯物质理想气体热力学	76
3.1.1 纯物质理想气体化学势表达式	76
3.1.2 混合理想气体的热力学性质	77
§ 3.2 实际气体中各物质化学势表达式及逸度	79
§ 3.3 逸度的求算	81
3.3.1 逸度求算的普遍公式	81
3.3.2 纯气体逸度因子的求算	82

3.3.3 混合气体中各物质逸度因子的求算	84
§ 3.4 稀溶液的两个实验定律	85
3.4.1 Raoult 定律	85
3.4.2 Henry 定律	86
§ 3.5 混合物中各物质的化学势表达式	87
3.5.1 理想混合物中各物质的化学势表达式	87
3.5.2 理想稀溶液中各物质的化学势表达式	89
3.5.3 实际混合物中各物质的化学势表达式	90
§ 3.6 活度和活度因子及标准态方法	91
3.6.1 混合物系统各物质的活度	92
3.6.2 实际溶液组分的活度	92
§ 3.7 活度的求算	94
3.7.1 活度与逸度的关系	94
3.7.2 溶剂与溶质活度的相互求算	96
§ 3.8 超额函数——兼谈偏离理想法	96
参考文献及课外阅读资料	98
习题	98
第四章 化学反应平衡热力学	102
§ 4.1 化学反应系统的状态描述	102
4.1.1 化学反应进度	103
4.1.2 化学反应系统的状态描述	103
4.1.3 偏摩尔反应量	104
§ 4.2 摩尔反应焓	106
4.2.1 标准摩尔生成热力学量:生成焓及燃烧焓	106
4.2.2 相变焓及溶解焓	107
4.2.3 $\Delta_r H_m$ 与 T, p 的关系	108
§ 4.3 Hess 定律	109
§ 4.4 化学反应亲和势	111
§ 4.5 化学反应的方向判据及平衡稳定条件	112
4.5.1 化学反应的方向判据及化学反应的耦合	112
4.5.2 化学反应平衡稳定条件与化学平衡移动问题	114
§ 4.6 化学平衡等温式与标准平衡常数	116
4.6.1 气体系统化学反应平衡	116
4.6.2 液相中的化学反应平衡	118
4.6.3 纯凝聚体与混合气体反应的平衡	119

§ 4.7 化学反应的 $\Delta_r G_m$	120
§ 4.8 诸因素对化学平衡的影响	122
4.8.1 温度与平衡常数	122
4.8.2 压力与平衡常数	123
4.8.3 物料比对产物平衡浓度的影响	124
4.8.4 惰性气体与化学平衡	125
4.8.5 外加反应物质对反应平衡的影响——兼评 Le Chatelier 原理	126
§ 4.9 平衡法及化学平衡计算举例	127
参考文献及课外阅读资料	130
习题	130
第五章 相平衡热力学	137
§ 5.1 单组分系统相平衡热力学	137
5.1.1 Clapeyron 方程	138
5.1.2 Clapeyron-Clausius 方程	139
5.1.3 凝聚相的蒸气压与外压的关系	140
5.1.4 单组分系统相图	142
* § 5.2 相变的类型	145
5.2.1 一级相变与连续相变	145
5.2.2 ^4He 相图与超流、超导	147
* 5.2.3 液晶态	148
§ 5.3 二组分系统气液相平衡热力学	150
5.3.1 沸点的升高与降低规律	150
5.3.2 二组分系统气液平衡相图	152
5.3.3 分馏原理	154
§ 5.4 液液相平衡系统热力学	155
5.4.1 部分互溶系统液液平衡相图	155
5.4.2 渗透现象与 van't Hoff 渗透压公式	156
§ 5.5 固液相平衡热力学	158
5.5.1 凝固点降低与升高规律	158
* 5.5.2 固体溶解度公式	160
5.5.3 二组分系统固液平衡相图	160
§ 5.6 二组分系统相图概论	165
§ 5.7 三组分系统相平衡热力学	169
5.7.1 分配定律与串级萃取	169

* 5.7.2 超临界流体萃取	172
* 5.7.3 三组分系统相图简介	175
§ 5.8 相平衡法测定逸度和活度	179
参考文献及课外阅读资料	181
习题	181
* 第六章 非平衡态热力学	187
§ 6.1 局域平衡假设	187
§ 6.2 熵产生与熵流:熵产生原理及平衡方程	188
§ 6.3 热传导和化学反应的熵产生率	189
6.3.1 热传导方向的熵产生率	190
6.3.2 化学反应的熵产生率	190
§ 6.4 热力学力与流	192
§ 6.5 Onsager 倒易关系	193
§ 6.6 化学反应耦合的条件	195
§ 6.7 最小熵产生原理	196
§ 6.8 耗散结构	199
§ 6.9 关于熵和热寂说	200
6.9.1 宇宙为何不热死?	201
6.9.2 自引力系统的性质小结——兼谈热寂说	202
参考文献及课外阅读资料	204
习题	205

第二篇 统计热力学基础

第七章 统计力学的基本原理	209
§ 7.1 系统及其分类	209
§ 7.2 微观运动状态的量子力学描述	209
7.2.1 三维平动子	210
7.2.2 刚性转子	211
7.2.3 谐振子	211
§ 7.3 分子的量子态和能级	212
§ 7.4 系统的微观状态数	213
§ 7.5 能级分布及其相应的微观状态数	215
§ 7.6 统计力学基本原理及平衡态统计力学基本假设	218
§ 7.7 最概然分布和一切分布	219
7.7.1 最概然分布	219
7.7.2 摘取最大项原理	220

§ 7.8 最概然分布和 Boltzmann 分布	221
§ 7.9 配分函数	224
7.9.1 单粒子配分函数	225
7.9.2 零点能标度	225
7.9.3 配分函数的分解	226
§ 7.10 分子配分函数的计算	227
7.10.1 平动配分函数的计算	227
7.10.2 刚性转子配分函数的计算	228
7.10.3 谐振子配分函数的计算	230
7.10.4 电子配分函数	231
7.10.5 核配分函数	231
* § 7.11 量子统计简介	232
* § 7.12 统计系综简介	233
7.12.1 统计系综	233
7.12.2 系综的类型	234
7.12.3 统计分布函数	235
参考文献及课外阅读资料	235
习题	236
第八章 统计热力学概论	239
§ 8.1 热力学第一定律的统计诠释	239
8.1.1 热力学能	239
8.1.2 可逆功和可逆热	240
§ 8.2 热力学第二定律(熵增原理)的统计诠释	242
8.2.1 Boltzmann 关系式	242
8.2.2 熵的统计表达式	244
8.2.3 熵计算举例	245
* 8.2.4 信息熵	245
§ 8.3 热力学第三定律的统计诠释	247
8.3.1 热力学第三定律的统计诠释	247
8.3.2 量热熵	247
8.3.3 统计熵	248
8.3.4 残余熵	249
§ 8.4 热力学函数的统计表达式	250
§ 8.5 未定乘数 β 与热力学第零定律	252
8.5.1 $\beta=1/k_B T$ 的证明	252

8.5.2 热力学第零定律的统计力学观点	253
§ 8.6 理想气体性质的统计力学证明	253
8.6.1 理想气体的一些重要性质	254
8.6.2 理想气体中物质化学势的统计表达式	254
8.6.3 能量均分定理	255
§ 8.7 化学反应平衡常数的统计力学计算	256
8.7.1 公共能量零点	256
8.7.2 平衡常数的统计表达式	258
8.7.3 平衡常数计算举例	259
* § 8.8 晶体的热容	261
参考文献及课外阅读资料	262
习题	263

第三篇 化学动力学基础

第九章 宏观化学动力学的基本规律	267
§ 9.1 反应速率	267
§ 9.2 反应速率实验方程和反应级数	269
§ 9.3 反应速率方程的积分	270
9.3.1 一级反应($n=1$)的速率方程	270
9.3.2 n 级($n \neq 1$)反应的唯象规律	271
9.3.3 两个反应物的二级反应速率方程	272
9.3.4 分数寿期和平均寿命	273
§ 9.4 反应级数的测定	274
§ 9.5 元反应和复杂反应	276
§ 9.6 反应速率与温度	278
9.6.1 总反应 Arrhenius 活化能	278
9.6.2 反 Arrhenius 反应	280
9.6.3 元反应活化能	282
9.6.4 元反应活化能估算	284
§ 9.7 平行反应	285
§ 9.8 对峙反应	288
9.8.1 对峙反应的基本规律	288
9.8.2 精细平衡原理	289
9.8.3 快反应的弛豫动力学方法	291
§ 9.9 连续反应	295
9.9.1 连续反应的基本规律	295

9.9.2 稳态近似法	296
9.9.3 速控步、平衡近似及可变级数反应	298
* 9.9.4 反应历程的推测	299
§ 9.10 链反应动力学	302
9.10.1 直链反应: $H_2 + X_2$ ($X: Cl, Br, I$) 反应历程的讨论	302
* 9.10.2 有机物的链式热解	305
* 9.10.3 自由基加成聚合反应	306
9.10.4 平均链长	308
* § 9.11 支链反应	309
参考文献及课外阅读资料	312
习题	313
第十章 元反应速率理论及分子反应动力学	321
§ 10.1 气相双分子反应碰撞理论	321
10.1.1 简单碰撞理论的速率方程	321
10.1.2 阈能和活化能	324
10.1.3 方位因子	325
§ 10.2 势能面	326
§ 10.3 过渡态理论	331
10.3.1 反应速率方程统计表达式	331
10.3.2 过渡态理论与碰撞理论的比较	336
10.3.3 过渡态理论的热力学处理法	338
§ 10.4 单分子反应速率理论	342
10.4.1 Lindemann 单分子反应历程	342
* 10.4.2 单分子反应速率理论的发展	346
* § 10.5 分子反应动态学简介	347
* § 10.6 分子反应动态学的理论方法和实验方法	348
10.6.1 反应截面和反应速率	348
10.6.2 激励函数与活化能	350
10.6.3 撞击参数、反应轨线计算与 p 因子	351
10.6.4 实验方法: 交叉分子束	352
* § 10.7 化学反应的微观认识	353
10.7.1 产物的角度分布	354
10.7.2 鱼叉机理及 p 因子计算	356
10.7.3 反应能量消耗的选择性	357
10.7.4 碰撞方位的影响	358

* § 10.8 过渡态的实验研究	359
参考文献及课外阅读资料	362
习题	363
第十一章 光化学反应动力学	367
§ 11.1 光化学基本定律	367
11.1.1 光化学反应的特点	367
11.1.2 光化学反应速率及量子产率	368
11.1.3 光化学基本定律及多光子吸收	369
§ 11.2 电子跃迁	370
§ 11.3 Franck-Condon 原则	372
§ 11.4 电子激发态	374
§ 11.5 分子内部能量衰减过程的动力学	376
§ 11.6 光敏和猝灭	379
§ 11.7 光化学反应	380
* § 11.8 闪光光解技术	382
参考文献及课外阅读资料	383
习题	384
第十二章 催化反应动力学	388
§ 12.1 催化作用及其基本特征	388
§ 12.2 均相催化动力学	390
§ 12.3 酶催化动力学	392
* § 12.4 自催化——振荡反应	394
§ 12.5 固体表面吸附	397
12.5.1 物理吸附与化学吸附	397
12.5.2 吸附等温式	398
§ 12.6 复相催化反应动力学	400
12.6.1 复相催化反应历程	400
* 12.6.2 扩散控制时的复相催化反应	403
12.6.3 表面单分子反应速率	404
12.6.4 表面双分子反应速率	406
§ 12.7 复相催化剂的研究	408
12.7.1 复相催化剂的组成及制备	408
12.7.2 催化剂的活性与中毒	409
参考文献及课外阅读资料	411
习题	411

第十三章 溶液反应动力学	417
§ 13.1 溶液反应的基本特征:溶剂效应	417
§ 13.2 简单碰撞理论的应用	419
13.2.1 笼效应	419
13.2.2 扩散控制反应	421
§ 13.3 过渡态理论在溶液反应中的应用	424
13.3.1 过渡态理论的热力学形式	424
13.3.2 离子间反应的溶剂效应	426
13.3.3 压力对溶液反应速率的影响	428
* § 13.4 溶液电子转移反应	430
参考文献及课外阅读资料	432
习题	432

第四篇 电化学基础

第十四章 电解质溶液的热力学和动力学	437
§ 14.1 电解质溶液的热力学	437
14.1.1 离子的活度及活度因子	437
14.1.2 Debye-Hückel 公式	439
* 14.1.3 离子的热力学函数值	441
§ 14.2 电解质溶液离子迁移动力学	442
14.2.1 电解质溶液的电导	442
14.2.2 摩尔电导率及离子独立移动定律	443
14.2.3 离子电迁移率(离子淌度)	445
14.2.4 离子迁移数	448
参考文献及课外阅读资料	450
习题	451
第十五章 电化学反应热力学	454
§ 15.1 电池的化学能与电能	454
§ 15.2 电池电动势	457
15.2.1 可逆电池电动势	457
15.2.2 对消法测电动势	458
15.2.3 可逆电池的 Nernst 公式	459
§ 15.3 平衡电极电势	460
15.3.1 平衡电极电势与氢标	461
15.3.2 标准电极电势表	463
§ 15.4 液接电势和浓差电势	465

15.4.1 液接电势	465
15.4.2 浓差电势	467
15.4.3 pH 的测定及离子选择性电极	468
15.4.4 Donnan 平衡及膜电势	470
§ 15.5 电池电动势与平衡常数	472
15.5.1 电池反应的 $\Delta_r G_m$, $\Delta_r H_m$, $\Delta_r S_m$	472
15.5.2 电化学方法测定平衡常数	472
* § 15.6 金属腐蚀热力学	473
§ 15.7 化学电源	477
15.7.1 铅酸蓄电池	477
15.7.2 新型蓄电池	479
15.7.3 燃料电池	480
参考文献及课外阅读资料	482
习题	482
第十六章 电极反应动力学	489
§ 16.1 电极反应速率方程	489
16.1.1 电流密度——电极反应速率	489
16.1.2 电极反应速率与电极电势的关系	491
16.1.3 电极反应速率的 Butler-Volmer 方程	493
§ 16.2 超电势	494
16.2.1 超电势与电极反应速率	494
16.2.2 Tafel 公式	495
16.2.3 氢超电势	496
* 16.2.4 扩散超电势	498
§ 16.3 超电势理论的若干应用	499
16.3.1 有电流通过时的电池电势	499
16.3.2 电化学合成及电催化	500
参考文献及课外阅读资料	502
习题	503
第五篇 胶体化学基础	
第十七章 表面化学及膜化学	509
§ 17.1 分散系统	509
17.1.1 分散系统的基本概念	509
17.1.2 小尺度效应和表面效应——纳米微粒的奇特性质	510
§ 17.2 表面热力学基本方程	512