




普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

物理化学及 胶体化学

第三版

叶 非◎主编

 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

物理化学及胶体化学

第三版

叶非 主编

中国农业出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理化学及胶体化学 / 叶非主编. —3 版. —北京:
中国农业出版社, 2015. 1

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等
农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-19194-5

I. ①物… II. ①叶… III. ①物理化学-高等学校-
教材 ②胶体化学-高等学校-教材 IV. ①O64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004880 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 曾丹霞

文字编辑 宋美仙

新华书店北京发行所发行

2 月第 3 版

次印刷

印张: 15.25

(凡本

等向出版社发行部调换)

第二版前言

叶非

2006.02

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是在叶非教授主编的全国高等农业院校“十五”规划教材《物理化学及胶体化学》(2004年)的基础上重新修订的，分为化学热力学、化学动力学、电化学、表面与胶体化学4篇，共11章。本书适用于生命科学、生物技术、食品科学、资源与环境、土壤化学等专业，也可供林业、医学、轻工业、师范等院校使用。

本教材修订中既注重基本理论，又反映化学学科现代发展水平，展现农业科学、生命科学的发展与物理化学的联系，力求体现传授知识、培养能力及提高素质的统一。在教材框架的构建、教学内容的组织方面，力求在满足农业院校教学要求的基础上，充分考虑当前物理化学学科发展的新动向，以及一些基础理论在相关授课专业中的应用进展，加强了化学动力学、表面化学和胶体化学部分的内容。在系统阐述物理化学基本概念、基本理论时，定义、概念、原理的表述上力求体现科学性、严谨性，及时根据 IUPAC 的建议及 GB、ISO 中的规定进行更新。同时，尽量选编最基本的原理理论及必要的公式推导及证明，使教材精炼紧凑。

本书在各篇的引言部分介绍了该篇的主要内容、篇内各章之间的内在联系；章节前列出了学习的基本要求；例题和习题的选择注重启发性，同时注重综合性习题的选编，以提高学生分析问题、解决问题的能力；此外，每章的习题给出了部分答案，方便学生自学。鉴于本书公式的数学推导较多，我们在书后附录中添加了相关的数学知识，以助于学生的学习和知识的理解。

本书是由东北农业大学、黑龙江八一农垦大学、安徽农业大学、湖南农业大学、甘肃农业大学和山西农业大学的12位教师共同编写。东北农业大学叶非、李颖娇、杨海燕和刘玉琛编写绪论，第一、二、三、四章和网络导航；湖南农业大学王辉宪、姜晖霞和山西农业大学王清华编写第五、六章；安徽农业大学张鑫和田超编写第七、八章；甘肃农业大学赵军编写第九章；黑龙江八一农垦大学阮长青和孙清瑞编写第十、十一章。教材的初稿经主编、副主编审阅、修改，中国

农业大学杜凤沛教授和华中农业大学郑新生教授仔细审校全稿，最后由叶非教授定稿。

限于编者的水平，书中错误或不妥之处，恳切希望同行和读者批评和指正。

编者

2009年1月

第三版编审人员名单

主 编 叶 非

副主编 阮长青 杨海燕 王辉宪

赵 军 陈培荣

参 编 (按姓名笔画排序)

王清华 田 燕 刘玉琛

孙清瑞 李明强 姜晖霞

梅 玉

主 审 杜风沛 郑新生

第一版编审人员名单

主 编 叶 非 非 和 融 主

副主编 张 鑫 阮长青 王辉宪

赵 军 李颖娇

参 编 (按姓名笔画排序) 参 参

田 超 刘玉琛 杨海燕

张 平 姜晖霞

主 审 杜凤沛 王 蔚

主 审 王 蔚 主 审 主

第二版编审人员名单

主 编 叶 非

副主编 阮长青 李颖娇 王辉宪
赵 军 张 鑫

参 编 (按姓名笔画排序)

王清华 田 超 刘玉琛

孙清瑞 杨海燕 姜晖霞

主 审 杜风沛 郑新生

第三版前言

本书是普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材，是在叶非教授主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《物理化学及胶体化学》(2009年，第二版)的基础上修订而成，适用于生命科学、生物技术、食品科学、资源与环境、土壤化学等专业，也可供林业、医学、轻工业、师范等院校使用。

本教材分为化学热力学与动力学、电化学、表面与胶体化学3篇，共11章。本教材在编写中既注重基本理论，又反映物理化学的现代发展水平，展现农业科学、生命科学、环境科学的发展与物理化学的联系。教材中对物理化学基本概念和基本理论的阐述力求体现科学性、严谨性，对内容的难点力争给出详尽的解释。教材中的量和公式，一律采用国家法定计量单位及国际单位制(SI单位制)，并及时根据国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)的建议及GB、ISO中的规定更新相关内容。

本教材延续了第二版的优点，在各篇的引言部分介绍了该篇的主要内容、篇内各章之间的内在联系；章节前列出了学习的基本要求；每章的习题给出了部分答案等。在此基础上，为了利于学生更容易掌握基本理论，本教材配套网络教学课件，对物理化学中比较抽象的理论和内容，制作了图文精致的教学动画，并在教材中相应位置添加了教学课件的网址，方便学生随时登录进行网上学习。鉴于本书公式的数学推导较多，笔者在书后附录中添加了相关的数学知识，以助于学生学习和对知识的理解。

本教材由东北农业大学、黑龙江八一农垦大学、安徽农业大学、湖南农业大学、甘肃农业大学和山西农业大学的13位教师共同编写。东北农业大学叶非、杨海燕、刘玉琛和李明强编写了绪论及第1、2、3、4章；湖南农业大学王辉宪、姜晖霞和山西农业大学的王清华编写了第5、6章；安徽农业大学的陈培荣、田燕和梅玉编写了第7、8章；甘肃农业大学赵军编写了第9章；黑龙江八一农垦大学阮长青和孙清瑞编写了第10、11章。教材的初稿经主编、副主编审阅并

第一版前言

本书是经全国高等农业院校教学指导委员会审定的全国高等农业院校“十五”规划教材，适用于生命科学、食品科学、资源与环境、土壤化学等专业，也可供林业、医学、轻工业、师范等院校使用。

全书分为化学热力学、化学动力学、电化学、表面化学和胶体化学五篇，共12章。本教材既注重基本理论，又反映化学学科现代发展水平，展现农业科学、生命科学的发展与物理化学的联系。本书在编写过程中力求体现传授知识、培养能力及提高素质的统一。首先，在教材框架的构建、教学内容的组织方面，力求在满足农业院校教学要求的基础上，充分考虑当前物理化学学科发展的新动向，以及一些基础理论在相关授课专业中的应用进展，加强了化学动力学、表面化学、胶体化学部分的内容。其次，在系统阐述物理化学基本概念、基本理论时，力求体现科学性、严谨性，及时根据IUPAC的建议及GB, ISO中的规定进行更新。第三，尽量选编最基本的原理理论及必要的公式推导及证明，使教材精炼紧凑。此外，在编写过程中注意思想方法和逻辑推理的渗透，培养学生科学的思维方式。全书计量单位采用SI单位制。

本书在各篇的引言部分介绍了该篇的主要内容，篇内各章之间的内在联系；章节前列出了学习的基本要求；例题和习题的选择，一方面力求新，另一方面注重启发性，同时注重综合性习题的选编，以提高学生分析问题、解决问题的能力；此外，每章的习题给出了部分答案，方便学生的自学。鉴于本书公式的数学推导较多，我们在书后附录中添加了相关的数学知识，以助于学生的学习和知识的理解。

本书是由东北农业大学、黑龙江八一农垦大学、安徽农业大学、湖南农业大学和甘肃农业大学的十一位教师共同编写，东北农业大学叶非担任主编。参加编写的有东北农业大学叶非、李颖娇、杨海燕、刘玉琛(绪论、第一篇、网络导航、附录)；湖南农业大学王辉宪、姜晖霞(第二篇)；安徽农业大学张鑫、田超(第三篇)；甘肃农业大学赵军(第四篇)；黑龙江八一农垦大学阮长青、张平(第五篇)；

本书中例题和习题的演算得到东北农业大学张豪、刘春红、冯时的帮助。教材的初稿经主编、副主编审阅、修改，中国农业大学杜凤沛博士仔细审校全稿，最后由叶非教授定稿。

在本次编写过程中，我们尽了自己的最大努力，但限于水平，书中一定还会有错误或不当之处。我们恳切希望使用本书的同行和读者批评、指正。

编者

2004年4月

本书各章由以下单位编写：第一章，吉林农业大学；第二章，东北农业大学；第三章，中国农业大学；第四章，华南理工大学；第五章，华南理工大学；第六章，华南理工大学；第七章，华南理工大学；第八章，华南理工大学；第九章，华南理工大学；第十章，华南理工大学；第十一章，华南理工大学；第十二章，华南理工大学；第十三章，华南理工大学；第十四章，华南理工大学；第十五章，华南理工大学；第十六章，华南理工大学；第十七章，华南理工大学；第十八章，华南理工大学；第十九章，华南理工大学；第二十章，华南理工大学；第二十一章，华南理工大学；第二十二章，华南理工大学；第二十三章，华南理工大学；第二十四章，华南理工大学；第二十五章，华南理工大学；第二十六章，华南理工大学；第二十七章，华南理工大学；第二十八章，华南理工大学；第二十九章，华南理工大学；第三十章，华南理工大学；第三十一章，华南理工大学；第三十二章，华南理工大学；第三十三章，华南理工大学；第三十四章，华南理工大学；第三十五章，华南理工大学；第三十六章，华南理工大学；第三十七章，华南理工大学；第三十八章，华南理工大学；第三十九章，华南理工大学；第四十章，华南理工大学；第四十一章，华南理工大学；第四十二章，华南理工大学；第四十三章，华南理工大学；第四十四章，华南理工大学；第四十五章，华南理工大学；第四十六章，华南理工大学；第四十七章，华南理工大学；第四十八章，华南理工大学；第四十九章，华南理工大学；第五十章，华南理工大学；第五十一章，华南理工大学；第五十二章，华南理工大学；第五十三章，华南理工大学；第五十四章，华南理工大学；第五十五章，华南理工大学；第五十六章，华南理工大学；第五十七章，华南理工大学；第五十八章，华南理工大学；第五十九章，华南理工大学；第六十章，华南理工大学；第六十一章，华南理工大学；第六十二章，华南理工大学；第六十三章，华南理工大学；第六十四章，华南理工大学；第六十五章，华南理工大学；第六十六章，华南理工大学；第六十七章，华南理工大学；第六十八章，华南理工大学；第六十九章，华南理工大学；第七十章，华南理工大学；第七十一章，华南理工大学；第七十二章，华南理工大学；第七十三章，华南理工大学；第七十四章，华南理工大学；第七十五章，华南理工大学；第七十六章，华南理工大学；第七十七章，华南理工大学；第七十八章，华南理工大学；第七十九章，华南理工大学；第八十章，华南理工大学；第八十一章，华南理工大学；第八十二章，华南理工大学；第八十三章，华南理工大学；第八十四章，华南理工大学；第八十五章，华南理工大学；第八十六章，华南理工大学；第八十七章，华南理工大学；第八十八章，华南理工大学；第八十九章，华南理工大学；第九十章，华南理工大学；第九十一章，华南理工大学；第九十二章，华南理工大学；第九十三章，华南理工大学；第九十四章，华南理工大学；第九十五章，华南理工大学；第九十六章，华南理工大学；第九十七章，华南理工大学；第九十八章，华南理工大学；第九十九章，华南理工大学；第一百章，华南理工大学。

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	

0 绪论	1
0.1 物理化学的主要任务	1
0.2 物理化学发展简史	2
0.3 物理化学在农业科学和生命科学中的应用	2
0.4 物理化学课程的学习方法	3

第一篇 化学热力学与动力学

1 热力学第一定律	7
1.1 热力学第一定律	7
1.2 功与过程	10
1.3 热与过程	12
1.4 理想气体的热力学	14
1.5 化学反应热	16
习题	22
2 热力学第二定律	24
2.1 热力学第二定律	24
2.2 卡诺定理	25
2.3 熵的概念和熵增加原理	27
2.4 规定熵	29
2.5 熵变的计算	30
2.6 变化方向及限度的判据	34
2.7 吉布斯自由能与温度、压力的关系	36
2.8 ΔG 的计算	38
习题	40

3 多组分体系热力学	43
3.1 偏摩尔量	43
3.2 化学势	44
3.3 气体的化学势	46
3.4 溶液中各组分的化学势	47
3.5 稀溶液的依数性	51
习题	55
4 相平衡	57
4.1 相律	57
4.2 单组分体系	60
4.3 二组分双液体系	62
习题	67
5 化学平衡	69
5.1 化学反应的方向和限度	69
5.2 化学反应等温式与标准平衡常数	70
5.3 标准平衡常数的测定与计算	74
5.4 温度对化学平衡的影响	76
习题	78
6 化学动力学基础	80
6.1 基本概念	80
6.2 具有简单级数的反应	83
6.3 温度对反应速率的影响	90
6.4 几种典型的复杂反应	94
6.5 化学反应速率理论	99
习题	107

第二篇 电 化 学

7 电解质溶液	113
7.1 离子的电迁移	113
7.2 溶液的电导	116
7.3 电导测定及其应用	119
7.4 电解质溶液的活度	120
7.5 强电解质溶液理论	122

习题	125
8 可逆电池与不可逆电池	127
8.1 可逆电池	127
8.2 电极电势	131
8.3 可逆电池热力学	134
8.4 浓差电池	136
8.5 电池电动势测定的应用	137
8.6 分解电压与极化现象	141
8.7 金属腐蚀与防护	144
习题	146

第三篇 表面与胶体化学

9 表面现象	151
9.1 比表面吉布斯自由能和表面张力	151
9.2 弯曲液面的表面现象	154
9.3 溶液的表面吸附	157
9.4 表面活性物质	160
9.5 液-固界面的润湿作用	161
9.6 固体表面对气体的吸附	162
9.7 固体在溶液中的吸附	167
习题	169
10 溶胶	172
10.1 分散体系	172
10.2 溶胶的制备与净化	173
10.3 溶胶的动力学性质	175
10.4 溶胶的光学性质	176
10.5 溶胶的电学性质	177
10.6 溶胶的流变性质	180
10.7 溶胶的稳定性与聚沉	182
10.8 乳状液与泡沫	184
习题	191
11 高分子化合物溶液与凝胶	193
11.1 高分子化合物的平均相对分子质量	193
11.2 高分子溶液的性质	196

11.3	高分子电解质溶液	203
11.4	高分子对溶胶的稳定与絮凝作用	206
11.5	凝胶	208
	习题	214
附录		216
附录 I	常用的数学公式	216
附录 II	国际单位制	217
附录 III	一些物理和化学基本常量	218
附录 IV	298.15 K, $p^{\ominus}=10^5$ Pa 下一些物质的热力学函数	218
附录 V	298.15 K, $p^{\ominus}=10^5$ Pa 下一些有机化合物的标准摩尔燃烧焓	221
附录 VI	标准电极电势 E^{\ominus} (298.15 K)	222
主要参考文献		224
121	.....	224
122	.....	224
123	.....	224
124	.....	224
125	.....	224
126	.....	224
127	.....	224
128	.....	224
129	.....	224
130	.....	224
131	.....	224
132	.....	224
133	.....	224
134	.....	224
135	.....	224
136	.....	224
137	.....	224
138	.....	224
139	.....	224
140	.....	224
141	.....	224
142	.....	224
143	.....	224
144	.....	224
145	.....	224
146	.....	224
147	.....	224
148	.....	224
149	.....	224
150	.....	224
151	.....	224
152	.....	224
153	.....	224
154	.....	224
155	.....	224
156	.....	224
157	.....	224
158	.....	224
159	.....	224
160	.....	224
161	.....	224
162	.....	224
163	.....	224
164	.....	224
165	.....	224
166	.....	224
167	.....	224
168	.....	224
169	.....	224
170	.....	224
171	.....	224
172	.....	224
173	.....	224
174	.....	224
175	.....	224
176	.....	224
177	.....	224
178	.....	224
179	.....	224
180	.....	224
181	.....	224
182	.....	224
183	.....	224
184	.....	224
185	.....	224
186	.....	224
187	.....	224
188	.....	224
189	.....	224
190	.....	224
191	.....	224
192	.....	224
193	.....	224
194	.....	224
195	.....	224
196	.....	224
197	.....	224
198	.....	224
199	.....	224
200	.....	224



绪 论

任何化学反应总是与各种物理变化相联系。例如,化学变化中常伴随着温度、体积、浓度、颜色等物理性质的改变,以及产生相变化、光效应、电效应等。同时,温度、压力、浓度的变化,光的照射,电磁场等物理因素的作用也可能引起化学变化或者影响化学变化的进行。鉴于物理现象和化学现象之间的联系,人们开始应用物理学的原理和实验方法来研究化学运动中的本质规律,逐渐形成了化学的一个分支——物理化学。所以,物理化学就是从研究化学现象和物理现象之间的相互联系入手,从而找出化学运动中最具有普遍性的基本规律的一门学科。

0.1 物理化学的主要任务

物理化学又称为理论化学,其研究目的是解决生产实际和科学实验向化学提出的理论问题,从而使化学能更好地为生产实践服务。物理化学的主要任务是解决以下三个方面的问题。

(1) 化学反应的方向和限度问题 在指定的条件下,研究一个化学反应能否自动发生;如果能发生向什么方向进行;进行到什么程度为止(即平衡位置在哪);最大理论产量可达多少;反应进行时的能量变化究竟是多少;外界条件的改变对反应的方向和限度有什么影响。这些问题属于化学热力学的研究范畴。热力学对科学研究和工业生产很有指导意义,被热力学确定为无法发生的反应,就不必进行无谓的试探。

(2) 化学反应的速率和机理问题 研究化学反应的速率有多快;反应究竟是如何进行的(即机理问题);浓度、温度、催化剂等外界条件对反应速率有何影响;怎样才能有效地控制化学反应的速率,抑制副反应的发生等。这些问题属于动力学的研究范畴。人们若能对化工生产中的化学反应速率有确切的了解,就能控制该反应在最理想的速率下进行,这样既能保证最大程度的安全,又可获得反应的最高产率。

(3) 物质的性质与其结构之间的关系问题 由于物质的性质本质上是由物质内部结构所决定的,所以深入了解物质的微观内部结构,研究原子在空间组合成分子的规律,可以理解化学变化的内因,而且可以预见在适当的外因作用下,物质的结构将发生什么样的变化。这属于物理化学的又一个分支——物质结构所研究的问题。

物理化学的研究成果,指导了现代化学工业以及其他许多重要化学工业生产过程的建立,是实现新的工艺过程和改进旧的工艺过程的理论基础。化学中的其他学科(如无机化学、分析化学、有机化学等)各有自己特殊的研究对象,而物理化学则着重研究更具有普遍性的、更本质的化学运动的内在规律性。因此,物理化学作为化学学科的理论基础,与无机化学、分析化学、有机化学等学科的关系是非常密切的。