

21 世纪英汉双语化学系列教材

无机化学 简明教程

张前前 编

(第二版)

CONCISE INORGANIC
CHEMISTRY



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

中国海洋大学教材建设基金资助

21 世纪英汉双语化学系列教材

CONCISE INORGANIC CHEMISTRY
无机化学简明教程

(第二版)

张前前 编

中国海洋大学出版社

· 青岛 ·

内容提要

本书涵盖无机化学经典的基础内容,包括中、英文两个部分。中文部分以宏观和微观两条线讲授无机化学原理,宏观指反应(第1~7章);化学热力学(反应热和反应方向)、化学平衡、四大离子平衡和化学反应速度,微观指结构(第8~10章);原子结构、分子结构和配合物结构,这两条线在第10章第3节会合;在此基础上分区介绍元素化学(第11~15章),以同族元素原子的价电子构型为基础,依次介绍元素单质和重要化合物的组成、结构、性质、制备、应用以及锂离子电池材料、石墨烯等研究热点。英文部分为无机化学原理(第1~10章),与中文内容大体相当,但并非一一对应。

本书可作为高等学校化学、近化学专业的无机化学教材,尤其适合短学时的教学和双语教学。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学简明教程 / 张前前编. —2版. —青岛:
中国海洋大学出版社, 2018. 8
ISBN 978-7-5670-1933-1
I. ①无… II. ①张… III. ①无机化学—高等学校—
教材 IV. ①O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第185816号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路23号	邮政编码 266071
网 址	http://pub.ouc.edu.cn	
电子信箱	1079285664@qq.com	
订购电话	0532-82032573(传真)	
责任编辑	孟显丽	电 话 0532-85901092
印 制	日照报业印刷有限公司	
版 次	2019年7月第2版	
印 次	2019年7月第1次印刷	
成品尺寸	170 mm×230 mm	
印 张	32	
字 数	592千	
印 数	1~500	
定 价	56.00元	

发现印装质量问题,请致电 0633-8221365,由印刷厂负责调换。

第二版前言

本书于2006年12月首次出版,内容包括无机化学原理等10章的中、英文两个部分。现在的第二版,在保留原书结构的基础上,中文部分补充了元素化学的内容,包括第11章p区元素、第12章s区元素、第13章ds区元素、第14章d区元素、第15章f区元素。限于篇幅,未增补这5章的英文部分。此外,补充了第10章配位化合物的有关内容,修正了一些不准确的表述,并且以CRC手册和兰氏化学手册为依据,统一更新了数据(详见附录3~5)。

本书力求体现简明、现代、双语的特色,纸质教材内容精练,数字平台内容作为补充,体现新形态教材的优势。在结构、内容和形式上具体表现为:

1. 无机化学原理部分(第1~10章)用中、英文分别编写,其中,英文部分以中文部分为蓝本,但二者不完全对应;以宏观(第1~7章)和微观(第8~10章)两条线分别讲解化学热力学、化学平衡、四大离子平衡和化学反应速度以及原子结构、分子结构和配合物结构,这两条线在第10章第3节会合。

2. 元素化学部分(第11~15章)用中文编写,依据元素周期表的5个区,分为5章。以同族元素原子的价电子构型为基础,依次介绍元素单质和重要化合物的组成、结构、性质、制备及应用;同时,将锂离子电池材料、石墨烯等研究热点融于相关章节。

3. 全书的习题解答及中、英文课件等相关内容以电子版形式置于中国海洋大学出版社网站(网址:<http://pub.ouc.edu.cn/2019/0729/c15638a254307/page.htm>),可通过扫描本书封底的二维码获得,供读者学习参考。

在二十多年的无机化学教学中,编者参考了国内外多部无机化学经典教材(见参考文献)。在此,向各位同行前辈,尤其是北京大学傅鹰先生、南京大学甘兰若先生、南开大学申泮文先生、吉林大学宋天佑教授、中国科技大学张祖德教授以及北京师范大学等三校无机化学教研室和大连理工大学无机化学教研室的同仁们表示衷心感谢!在本书的修改过程中,编者得到了多方帮助。感谢武汉大学程功臻教授的指导,承蒙他对编者提出的细小问题给予了引经据典的耐心

回复。感谢山东省教育科学研究所原所长刘宗寅先生的指正,使得本书在内容表达上与国家教学指导委员会的规定一致,更好地与中学化学教材内容衔接。感谢中国海洋大学陈国博老师对全书的中文表述以及反应的化学方程式做了仔细校对和修改。感谢历届学生的支持:中国海洋大学化学系 1999 级学生刘海胜,毕业后一直从事锂离子电池的研究开发,本书增补的锂离子电池部分源自他提供的资料;2003 级学生杨化锋,博士毕业于曼彻斯特大学石墨烯研究中心,本书的石墨烯部分选自她的学位论文;我的研究生侯谦奋、李颖慧、许振男校对了部分章节;学生任雯复核了全书例题及习题的计算结果。此外,学校及学院领导对本书的修订再版给予了大力支持。中国海洋大学出版社编辑孟显丽、高振英和陈龙在修订过程中给予了耐心配合,不厌其烦地校对、排版。在此一并表示感谢!

自不惑之年出版这本无机化学中英文教材,十二年转瞬即逝,虽经编者倾力潜心编撰,但学识有限,第二版中仍难免疏漏之处,恳请各位读者、同行专家指正!

张前前

2018 年 7 月 19 日于海大浮山校区

第一版前言

无机化学作为化学、药学等专业的第一门专业基础课,国内外教材版本众多,之所以班门弄斧再出一书,完全是出于教学的需要。近年来我们在讲授无机化学课时,已全面采用多媒体教学,特别是随着双语乃至全英文教学的实施,过去一直沿用的中文统编教材就显得不适用。国外英文原版教材图文并茂,既介绍了化学发展的渊源,又密切结合了现实的生产、生活并关注学科的发展,但这些装帧精美的“大部头”教材对于大多数大一学生来说,还是难以“消化和吸收”的。因此,本教程定位为无机化学的中英文简易读本。与国内现有教材相比,本教程力求体现简明、现代、双语的特点,即凝练基础知识,将新成果、新发现补充、融合到基本内容中,具体体现在以下几方面:

1. 教程在内容上包括无机化学基本原理,以宏观和微观两条线,分别讲解化学热力学、化学平衡、四大离子平衡,以及原子结构、分子结构和配合物结构。

2. 本书采用中英文双语编写,英文部分以中文部分为蓝本,但二者不完全对应,其中概念、定律、原理采用参考资料的英文原文。

编者 1983 年在武汉大学就读时,使用的是武汉大学、吉林大学主编的《无机化学》第一版,在高校教学这些年来用的是其第三版,因此,对前辈老师张婉慧(武汉大学)、邵学俊(武汉大学)、曹锡章(吉林大学)、王杏乔(吉林大学)、宋天佑(吉林大学)等深表敬意!编写这本 40 万字的中英文双语教程,是本人十几年教学经验的一次总结,实属一次大胆的尝试,非常感谢中国海洋大学出版社的鼓励和支持!美国伊利诺伊大学(University of Illinois at Cham-paign and Urbana) Paul Kelter 教授审阅了部分英文稿,邵学俊教授、何凤娇教授审阅了书稿;范玉华教授提供了部分习题,陆金仁老师负责绘制全书图表,2004 级研究生张芳校对了全部中文书稿,1998 级学生彭华彧打印了部分中文稿,2002 级学生许博超打印了部分习题,2005 级研究生刘娜打印了附录,在此一并表示感谢。

如果本书能够满足当前我校化学等专业无机化学教学的需要,如果在层次清晰的基础上又能重点突出的话,如果能让读者认识到古老的无机化学仍然生

机勃勃,如果在传授知识的同时又能使读者领悟分析问题的方法和思想,那么,我们编写这本中英文对照的《无机化学简明教程》的目的就达到了。

编者才疏学浅,错误和不当之处,敬请专家同行、各位读者指正!

张前前

2006年12月14日

目 录

中文部分目录

第 1 章 物质的状态	1
1.1 气体	1
1.1.1 理想气体状态方程	1
1.1.2 混合气体的分压定律和分体积定律	3
1.1.3 气体分子运动论	5
1.1.4 实际气体	10
1.2 液体	11
1.3 固体	13
1.3.1 晶体与非晶体	13
1.3.2 7 种晶系和 14 种晶格	14
习题	17
第 2 章 化学热力学初步	18
2.1 热化学	18
2.1.1 基本概念	18
2.1.2 热力学第一定律	19
2.1.3 反应热	21
2.2 化学反应的方向	28
2.2.1 决定反应自发进行方向的因素	28
2.2.2 熵	28
2.2.3 吉布斯自由能	31
2.2.4 化学反应等温式	34
习题	35
第 3 章 化学平衡	38
3.1 化学平衡与平衡常数	38
3.2 化学平衡的移动	43

3.2.1	浓度对平衡的影响	43
3.2.2	压强对平衡的影响	44
3.2.3	温度对平衡的影响	45
3.3	小结	46
	习题	46
第4章	酸碱平衡	48
4.1	溶液理论简介	48
4.1.1	难挥发非电解质稀溶液的依数性	48
4.1.2	强电解质溶液互吸理论	52
4.2	酸碱理论	55
4.2.1	阿累尼乌斯电离理论	55
4.2.2	质子酸碱理论	56
4.2.3	电子酸碱理论	57
4.3	溶液中的质子转移反应——酸碱平衡	58
4.3.1	弱酸、弱碱的电离平衡	58
4.3.2	盐的水解	62
4.3.3	缓冲溶液	64
	习题	66
第5章	难溶电解质的沉淀溶解平衡	68
5.1	溶度积常数	68
5.2	沉淀溶解平衡的移动	69
	习题	71
第6章	氧化还原平衡	73
6.1	基础知识	73
6.1.1	基本概念	73
6.1.2	氧化还原反应方程式的配平	74
6.1.3	氧化还原反应与原电池	76
6.2	电极电势	79
6.2.1	电极电势的产生	79
6.2.2	电极电势的测量	79
6.2.3	电极电势的影响因素——能斯特方程	81

6.2.4 电极电势的应用	83
6.3 电势图解及其应用	85
6.4 电解	89
习题	91
第7章 化学反应速率	93
7.1 化学反应速率的定义	93
7.2 影响化学反应速率的因素	95
7.2.1 浓度	95
7.2.2 温度	97
7.2.3 催化剂	99
7.3 化学反应速率理论简介	99
7.3.1 碰撞理论	99
7.3.2 过渡态理论(活化配合物理论)	100
习题	101
第8章 原子结构	103
8.1 核外电子运动状态	103
8.1.1 核外电子运动的特点	103
8.1.2 核外电子运动状态的描述	107
8.2 核外电子排布	115
8.2.1 多电子原子的轨道能级顺序	115
8.2.2 核外电子排布的原则	118
8.3 元素周期律与原子的电子层结构的关系	119
8.3.1 电子层结构与元素周期表的关系	119
8.3.2 元素性质的周期性	120
习题	125
第9章 化学键与物质结构	126
9.1 共价键	126
9.1.1 价键理论	126
9.1.2 轨道杂化理论	129
9.1.3 价层电子对互斥理论	134

9.1.4	分子轨道理论	136
9.1.5	键参数与分子性质	140
9.2	离子键和离子晶体	140
9.2.1	离子键	140
9.2.2	离子晶体的结构类型	141
9.2.3	晶格能	142
9.2.4	离子极化	144
9.3	分子间作用力	145
9.3.1	分子的极化和范德华力	145
9.3.2	氢键	147
	习题	148
第10章	配位化合物及其配位离解平衡	150
10.1	配合物的基础知识	151
10.2	配合物化学键理论	155
10.2.1	价键理论	155
10.2.2	晶体场理论	157
10.3	配合物的稳定性和配位离解平衡	164
10.3.1	软硬酸碱规则	164
10.3.2	配合物的稳定常数	165
10.3.3	配位离解平衡的移动	166
	习题	168
第11章	p区元素	170
11.1	概述	170
11.2	卤素	171
11.2.1	通性	171
11.2.2	单质	171
11.2.3	卤化氢和氢卤酸	174
11.2.4	卤化物、卤素互化物、多卤化物	175
11.2.5	卤素的含氧化合物	177
11.3	氧族元素	180

11.3.1	通性	180
11.3.2	单质	180
11.3.3	氢化物	181
11.3.4	过氧化氢	182
11.3.5	硫的含氧化合物	184
11.4	氮族元素	187
11.4.1	通性	187
11.4.2	氮的单质	188
11.4.3	氨	189
11.4.4	硝酸及其盐	190
11.4.5	亚硝酸及其盐	191
11.4.6	磷及其化合物	192
11.4.7	砷、锑、铋	194
11.5	碳族元素	196
11.5.1	通性	196
11.5.2	单质	197
11.5.3	化合物	200
11.6	硼族元素	204
11.6.1	通性	204
11.6.2	硼及其化合物	205
11.6.3	铝及其化合物	209
11.7	氢和稀有气体	211
11.7.1	氢	211
11.7.2	稀有气体	213
11.8	p 区元素化合物性质小结	216
	习题	219
第 12 章	金属通论和 s 区元素	222
12.1	金属通论	222
12.2	s 区元素	225
12.2.1	碱金属和碱土金属元素的通性	225

12.2.2 碱金属和碱土金属元素的化合物·····	226
12.2.3 锂电池和锂离子电池·····	228
习题·····	231
第 13 章 ds 区元素 ·····	232
13.1 通性·····	232
13.2 单质·····	233
13.3 化合物·····	236
习题·····	240
第 14 章 d 区元素 ·····	242
14.1 d 区元素通性·····	242
14.2 钛副族元素·····	243
14.3 钒副族元素·····	246
14.4 铬副族元素·····	247
14.5 锰副族元素·····	252
14.6 铁系元素——铁、钴、镍·····	254
14.7 铂系元素·····	260
习题·····	262
第 15 章 f 区元素 ·····	264
15.1 通性·····	264
15.2 稀土单质的制备·····	266
15.3 稀土重要化合物·····	266
15.4 稀土元素的应用·····	267
习题·····	268

英文部分目录

1 State of Substances ·····	269
1.1 Gas·····	269
1.1.1 The Ideal Gas Equation of State·····	269
1.1.2 Dalton's Law of Partial Pressures·····	271

1. 1. 3	The Kinetic Molecular Theory	274
1. 1. 4	Real Gas	280
1. 2	Liquid	282
1. 2. 1	Vaporization and the Molar Heat of Vaporization	282
1. 2. 2	Vapor Pressure and Clausius-Clapeyron Equation	283
1. 2. 3	Normal Boiling Point	284
1. 3	Solid	284
1. 3. 1	The Seven Crystal Classes and Fourteen Bravais Lattices ..	284
1. 3. 2	Unit Cells	285
	Questions and Exercises	287
2	Introduction to Chemical Thermodynamics	289
2. 1	Thermochemistry	289
2. 1. 1	Concepts	289
2. 1. 2	The First Law of Thermodynamics	291
2. 1. 3	Heat of Reaction	291
2. 2	Determination of Reaction's Direction	300
2. 2. 1	Spontaneity of Reaction	300
2. 2. 2	Entropy	301
2. 2. 3	Gibbs Free Energy	303
	Questions and Exercises	307
3	Chemical Equilibrium	308
3. 1	Chemical Equilibrium	308
3. 1. 1	Characteristics of Equilibrium	308
3. 1. 2	Experimental Equilibrium Constant Expressions	309
3. 1. 3	Standard Equilibrium Constant Expressions	310
3. 1. 4	Relationship between $\Delta_r G_m^\ominus$ and Standard Equilibrium Constants	311
3. 1. 5	Summary of Equilibrium Constants	313
3. 2	Shift of Chemical Equilibrium	314
3. 2. 1	Effect of Changes in Concentration	315

6. 1. 3	Balancing Oxidation-Reduction Equations	342
6. 1. 4	Galvanic Cells	344
6. 1. 5	Line Notation of Galvanic Cells	345
6. 1. 6	Cell Potential	346
6. 2	The Half-Cell Potential	346
6. 2. 1	Origin of Half-Cell Potentials	347
6. 2. 2	Measurements of Half-Cell Potentials and Standard Reduction Potentials	348
6. 2. 3	Effect of Concentrations on Half-Cell Potential—Nernst Equation	350
6. 2. 4	Usages of Standard Reduction Potentials	354
6. 3	Electrolysis	356
6. 3. 1	Electrolytic Cells and the Decomposing Potential	356
6. 3. 2	Electrolysis Law	359
6. 3. 3	Applications of Electrolysis	360
	Questions and Exercises	361
7	Rates of Reactions	363
7. 1	Definitions of Rates	364
7. 2	Factors Influencing Rates of Reactions	366
7. 2. 1	Concentrations and Rate Equation	366
7. 2. 2	Temperature and Arrhenius Equation	370
7. 2. 3	Catalysts	372
7. 3	Theories of Reaction Rates	373
7. 3. 1	Collision Theory	373
7. 3. 2	Activated Complex Theory	376
	Questions and Exercises	378
8	Atomic Structure	380
8. 1	Movements of Electrons in Atoms	380
8. 1. 1	Characteristics of Electron Movements	380

8.1.2	Descriptions of Electron Movements	386
8.2	Electron Arrangements	397
8.2.1	Orbital Energy Levels in Polyelectronic Atoms	397
8.2.2	Three Rules for Electron Arrangements	400
8.2.3	Periodic Table of the Elements and Electron Configurations	402
8.3	Periodic Trend in Atomic Properties	404
8.3.1	Atomic Radius	405
8.3.2	Ionization Energy	406
8.3.3	Electron Affinity	407
8.3.4	Electronegativity	409
	Questions and Exercises	409
9	Chemical Bonding and Molecular Structure	410
9.1	Covalent Bonds	410
9.1.1	Valence Bonding Theory	410
9.1.2	Hybridization	415
9.1.3	Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory (VSEPR)	421
9.1.4	Molecule Orbital Theory	424
9.2	Ionic Bonds and Ionic Substances	431
9.2.1	Ionic Bonds	431
9.2.2	Structure Types of Ionic Crystals	432
9.2.3	Lattice Energy	433
9.2.4	Ion Polarizability	435
9.3	Intermolecular Forces	436
9.3.1	Molecular Polarity and Molecule Polarizability	436
9.3.2	Van der Waals Forces	437
9.3.3	Hydrogen Bonding	439
	Questions and Exercises	440
10	Coordination Compounds	441
10.1	Basic Concepts of Complexes	442