

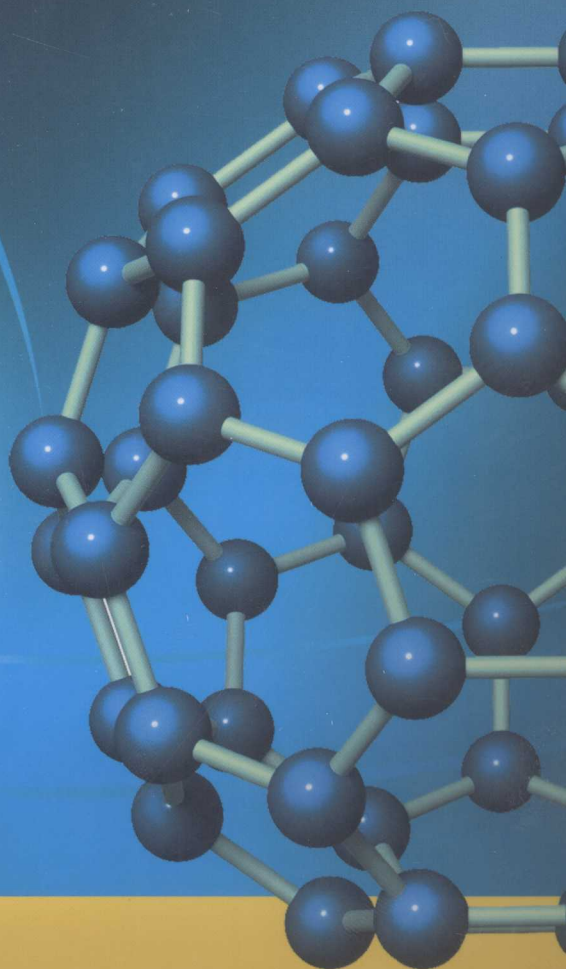
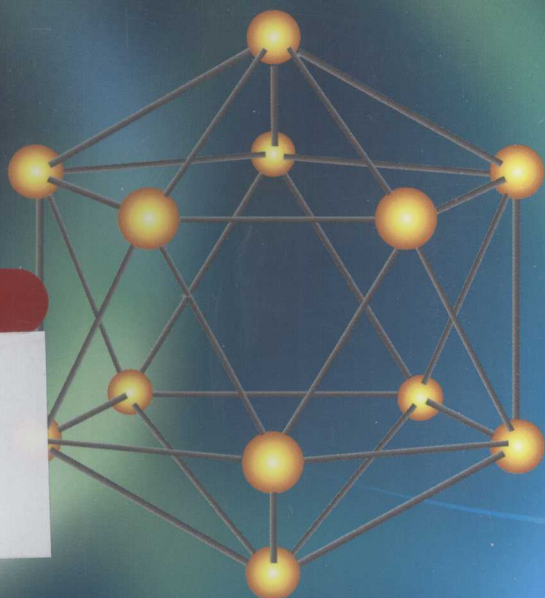


国家理科基础科学研究和教学人才培养基地化学系列教材

无机化学

INORGANIC CHEMISTRY

李瑞祥 曾红梅 周向葛 等编



化学工业出版社

013070367



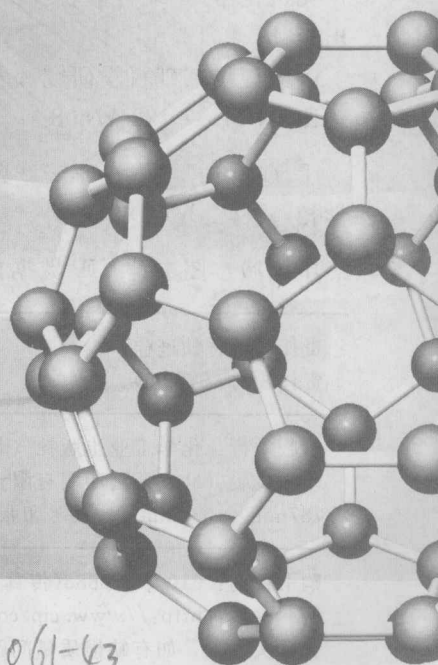
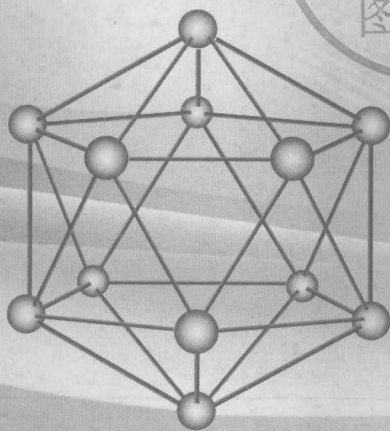
国家理科基础科学研究和教学人才培养基

061-43
70

无机化学

INORGANIC CHEMISTRY

李瑞祥 曾红梅 周向葛 等编



化学工业出版社

061-43



北航

C1678848

70

013070387

本书根据大学理科无机化学的要求，结合无机化学学科的发展编写而成。全书共 23 章，分上下两篇。上篇为化学原理，为学生深刻理解元素及其化合物性质做前期铺垫。该篇从物质的聚集状态开始，然后是化学热力学、化学反应速率、化学平衡、溶液、电解质溶液、难溶性强电解质的沉淀-溶解平衡、氧化还原反应，再到微观物质的结构理论，即通过原子结构及元素性质的周期性、化学键与分子结构、配位化合物揭示物质化学变化的本质。下篇为元素及化合物部分，包括氢和稀有气体、碱金属和碱土金属、硼族元素、碳族元素、氮族元素、氧族元素、卤素、铜锌副族、过渡金属（一）和过渡金属（二）、f 区元素、放射化学，围绕元素及化合物的性质变化的周期性规律，突出了原子结构决定元素及其化合物性质这一本质，在基本无机反应和性质介绍中加强与当前科技发展和实际应用的联系。

本书可作为综合性大学化学类各专业的无机化学教材或普通化学教材，亦可作为其他高等院校与化学相关专业的教学参考书

INORGANIC CHEMISTRY

化学工业出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学/李瑞祥, 曾红梅, 周向葛等编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 8

国家理科基础科学研究和教学人才培养基地化学系列教材

ISBN 978-7-122-17808-4

I. ①无… II. ①李…②曾…③周… 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 (2013) 第 145009 号

责任编辑: 杜进祥
责任校对: 吴 静

文字编辑: 向 东
装帧设计: 韩 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 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 32 $\frac{3}{4}$ 彩插 1 字数 824 千字 2013 年 10 月北京第 1 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: 59.00 元

版权所有 违者必究



化学是在原子、分子层次研究物质性质及其变化规律的科学，是一门以实验为基础的、富有创造性的中心学科。无机化学是研究元素及无机化合物的组成、结构、性质的科学，是历史最悠久的化学分支学科。20世纪以来，无机化学从宏观到微观、从合成到结构不断丰富和发展，并与其它学科交叉与融合，形成了配位化学、固体无机化学、核化学、有机金属化学、物理无机化学、生物无机化学、原子团簇化学、纳米材料化学等分支学科。

无机化学课程是高等学校化学、化工、轻工、材料、环境、药学、冶金等类有关专业的第一门化学基础课，是连接中学化学和大学化学的桥梁，在所有化学课程中，广泛性最强。其目的是培养学生具有解决一般无机化学问题，培养学生的创新意识和科学素养，使学生具备潜在的发展能力，为后续课程的学习打下良好基础。因此它是培养上述各类专业人才的整体知识结构及能力结构的重要组成部分。

四川大学无机化学课程经过几代教师的不断努力，在教材建设、课程改革、师资队伍建设和教学可利用资源的立体化等方面取得了突出的成绩。近年国家理科基础科学研究和教学人才培养基地（化学）、“基础学科拔尖学生培养试验计划”（化学）相继在四川大学设立，无机化学课程作为其重要组成部分，在国内同类高校中具有一定的影响力。

李瑞祥、曾红梅、周向葛等编写的《无机化学》由四川大学、四川师范大学、成都理工大学等校依据教育部高等学校化学类专业教学指导分委员会编制的《高等学校化学类专业指导性专业规范》编写，参加编写人员均是长期从事无机化学课程教学和科学研究的一线教师，不但具有丰富的教学经验，在学科发展方向上也具有良好的把握能力。该教材是他们多年教学经验和科研体验的结晶，具有以下特点：

1. 体系更为合理。教材按化学原理、化学理论、元素化学三部分编写，把握了理论知识的系统性，三部分内容前后贯通，形成一体。
2. 元素化学部分内容丰富，远离琐细，注重性质变化的规律性，加强与理论部分的联系，从而更有利于学生的学习、理解、掌握。
3. 课文中合理介绍了相关的科技前沿知识，引导学生关注国家和社会发展面临的重大科学技术问题，从而引发他们的专业学习兴趣，激发学习积极性和专业自豪感。

我相信这本教材的出版将会对高校化学类专业的教学改革以及提高教学质量起到促进作用，我也希望它能在使用过程中得到编者和广大读者的精心培育。

史启祯

2013年8月



无机化学作为化学类学生的一门专业基础课，也是许多高校新生进入大学后的第一门化学专业基础课，学生刚脱离中学的教育模式，以一种新的学习方式进入大学学习，这种转变使许多学生刚进入大学不能很快适应大学学习。这期间无机化学课程起到了承前启后，帮助学生能够快速适应大学学习的重要作用。为此，无机化学教材必须做到有好的可读性，由浅入深，循序渐进；整本教材的章节之间要能有效衔接，有关知识要具有良好的条理性和系统性。

基于上述课程特点，结合作者在无机化学教学中的经验积累，在化学工业出版社的支持下，决定编写一本适合化学类本科生使用的无机化学教材。

该书包括两大部分，分为上、下两篇。上篇为化学原理或理论部分，为学生深刻理解元素及其化合物性质做前期铺垫。该篇从宏观物质的物理化学性质变化的基本原理出发，即物质的状态开始，紧接着是化学反应热力学、化学反应速率、化学平衡、电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原与电化学，再到微观物质的结构理论，即通过原子结构、分子结构、配位化合物揭示物质化学变化的本质。下篇为元素及化合物部分，包括碱金属和碱土金属、硼族元素、碳族元素、氮族元素、氧族元素、卤素、氢和稀有元素、铜锌副族元素、过渡元素（一）和过渡元素（二）、f区元素、放射化学。对元素化学部分，以元素周期表以及元素性质的周期性变化规律为基础，体现元素及化合物的性质变化的周期性规律，突出了原子结构决定元素及其化合物性质这一本质，以解决学习元素部分时学生感到内容繁多、难以掌握的问题。该教材在系统讲述常见元素及化合物结构和性质的基础上，在合适的地方结合相关知识点，简单地介绍在此基础上发展出的新物质、新理论及新用途，使基础和学科前沿有机结合，体现了基础知识学习的意义，可以增强学生的学习兴趣。另外，在元素部分适当的章节总结常见元素性质的变化规律，有利于学生对知识的系统掌握。

该书由李瑞祥，曾红梅，周向葛共同策划。主要由四川大学化学学院无机化学教研室老师完成编写，其中李瑞祥负责第1章、第2章，曾红梅负责第4章~第7章、第16章、第19章，周向葛负责第9章~第11章、第20章，刘科伟负责第13章、第15章、第17章、第18章，鄢洪建负责第8章、第12章、第14章、第21章，四川师

范大学高道江和赵燕负责第3章、第22章；成都理工大学马晓艳负责第23章的编写。全书由李瑞祥修改和统稿。

感谢首届全国高校教学名师奖获得者、西北大学史启祯教授为本书题写序言。

由于本书编写匆忙，编者水平有限，错误之处在所难免，恳请读者和同行专家提出宝贵意见，以便改正！

编者
2013年4月于成都



上 篇

第 1 章 物质的聚集状态

1

1.1 气体	1
1.1.1 理想气体状态方程式	1
1.1.2 气体分压定律	2
1.1.3 气体扩散定律	3
1.1.4 气体分子的速率分布和能量分布	3
1.1.5 实际气体状态方程式	4
1.2 液体	6
1.2.1 气体的液化	6
1.2.2 液体的汽化	7
1.3 固体	8
习题	9

第 2 章 化学热力学

11

2.1 热力学第一定律	12
2.1.1 基本概念及术语	12
2.1.2 能量守恒和转化定律——热力学第一定律	15
2.1.3 焓——恒压条件下的热效应	16
2.2 化学反应热效应	18
2.2.1 反应进度	18
2.2.2 标准摩尔焓变	19
2.2.3 标准摩尔焓变的求算	21
2.3 热力学第二定律、熵函数	24
2.3.1 可逆过程和最大功	25
2.3.2 自发过程的共同特性——不可逆性	28
2.3.3 热力学第二定律描述	30
2.3.4 熵函数	30
2.4 吉布斯自由能与化学反应方向	33
2.4.1 热力学第一、二定律的联合表达式	33

2.4.2	吉布斯自由能和过程自发进行的方向与限度	34
2.4.3	标准态下反应摩尔吉布斯自由能的计算	35
	习题	37

第3章 化学反应速率

40

3.1	反应速率的定义	40
3.1.1	平均速率	41
3.1.2	瞬时速率	41
3.2	反应速率理论简介	43
3.2.1	碰撞理论	43
3.2.2	过渡态理论	44
3.3	浓度对反应速率的影响	45
3.3.1	反应速率方程	46
3.3.2	反应级数	46
3.3.3	反应速率常数	46
3.4	反应机理	47
3.4.1	基元反应	48
3.4.2	反应机理探讨	48
3.5	反应物浓度与时间的关系	49
3.5.1	零级反应	50
3.5.2	一级反应	50
3.5.3	二级反应	52
3.5.4	三级反应	52
3.6	温度对化学反应速率的影响	53
3.7	催化剂对反应速率的影响	55
	习题	56

第4章 化学平衡

59

4.1	化学反应的可逆性与平衡态	59
4.2	平衡常数	60
4.3	外界因素对平衡的影响	64
	习题	66

第5章 溶液

69

5.1	溶液浓度的表示方法	69
5.2	非电解质稀溶液的依数性	70
5.2.1	蒸气压下降——拉乌尔定律	70
5.2.2	沸点升高和凝固点降低	71

201	5.2.3 依数性的应用	73
201	5.3 溶胶	74
201	5.3.1 溶胶的制备和净化	74
111	5.3.2 溶胶的光学性质	75
181	5.3.3 溶胶的电学性质	75
	5.3.4 溶胶的稳定性和聚沉	76
181	习题	77

第6章 电解质溶液

80

111	6.1 强电解质溶液理论	80
111	6.1.1 离子氛和离子强度	80
111	6.1.2 活度和活度系数	81
111	6.2 弱酸、弱碱的电离平衡	82
111	6.2.1 一元弱酸、弱碱的电离平衡	82
111	6.2.2 解离度	83
111	6.2.3 同离子效应和盐效应	84
111	6.3 水的解离平衡和溶液的 pH 值	85
111	6.3.1 水的离子积常数	85
111	6.3.2 溶液的 pH 值	85
111	6.3.3 酸碱指示剂	86
111	6.4 多元弱酸的电离平衡	87
111	6.5 缓冲溶液	89
111	6.6 各种盐的水解	92
111	6.7 影响水解的因素	97
111	6.8 酸碱理论的发展	98
111	6.8.1 酸碱电离理论	98
111	6.8.2 酸碱质子理论	98
111	6.8.3 酸碱的强弱	99
111	6.8.4 酸碱电子理论	100
111	习题	101

第7章 难溶性强电解质的沉淀-溶解平衡

103

111	7.1 溶度积和溶解度	103
111	7.1.1 溶度积常数	103
111	7.1.2 溶度积原理	104
111	7.1.3 溶度积与溶解度的关系	104
111	7.1.4 盐效应对溶解度的影响	105
111	7.1.5 同离子效应对溶解度的影响	105
111	7.2 沉淀-溶解平衡的移动	106

85	7.2.1	沉淀的生成	106
85	7.2.2	沉淀的溶解	107
85	7.2.3	分步沉淀	108
85	7.2.4	沉淀的转化	111
85		习题	112

第8章 氧化还原反应

114

86	8.1	基本概念	114
	8.1.1	化合价、氧化数及确定规则	114
88	8.1.2	氧化还原反应及其特征	115
88	8.1.3	氧化还原电对	116
88	8.2	氧化还原方程式的配平	116
88	8.2.1	氧化数法	117
88	8.2.2	离子-电子法	118
88	8.3	原电池与电极电势	119
88	8.3.1	原电池	119
88	8.3.2	电极电势	121
88	8.3.3	标准电极电势	122
88	8.3.4	电池电动势和化学反应吉布斯自由能的关系	124
88	8.4	影响电极电势的因素	126
88	8.4.1	Nernst 方程	126
88	8.4.2	浓度、酸度、生成沉淀、生成配合物对电极电势的影响	127
88	8.5	电极电势的应用	129
88	8.5.1	判断氧化剂、还原剂的相对强弱	130
88	8.5.2	判断反应进行的方向、氧化还原反应的顺序, 选择合适的氧化剂和还原剂	130
88	8.5.3	求平衡常数及溶度积	132
88	8.6	元素电势图解及应用	133
88	8.6.1	元素电势图及应用	133
88	8.6.2	氧化态图	135
88	8.6.3	电势-pH 图	136
88	8.7	电解	138
88	8.7.1	原电池与电解池	138
88	8.7.2	电解定律	138
88	8.7.3	分解电压	139
88	8.8	新型化学电池	139
88		习题	141

9.1 核外电子的运动状态	145
9.1.1 氢原子光谱	145
9.1.2 Bohr 原子结构模型	146
9.2 微观粒子运动的特殊性	148
9.2.1 微观粒子具有波粒二象性	148
9.2.2 测不准原理	148
9.3 波函数和原子轨道	149
9.3.1 Schrödinger 方程——微粒的波动方程	149
9.3.2 波函数和原子轨道 (轨函)	149
9.4 概率密度和电子云	152
9.4.1 概率密度	152
9.4.2 电子云	153
9.5 波函数和电子云的空间图像	154
9.5.1 角向部分	154
9.5.2 原子轨道的径向部分	157
9.5.3 电子云的空间形状	157
9.6 原子核外电子排布和元素周期系	159
9.6.1 多电子原子的原子轨道能级	159
9.6.2 原子核外电子的排布 (电子结构)	161
9.6.3 原子的电子层结构和元素周期性	162
9.7 原子半径	164
9.7.1 原子半径的概述	164
9.7.2 原子半径在周期系中的变化	165
9.8 电离能	167
9.8.1 电离能的概述	167
9.8.2 电离能在周期系中的变化	167
9.9 电子亲和能	169
9.9.1 电子亲和能的概述	169
9.9.2 电子亲和能在周期系中的变化	169
9.10 元素的电负性	170
9.10.1 元素电负性的概述	170
9.10.2 元素电负性在周期系中的变化及应用	170
习题	171

10.1 离子键	173
10.1.1 离子键的形成	173

10.1.2	离子键的特点	174
10.1.3	离子的特征	174
10.1.4	离子晶体	175
10.2	现代共价键理论	177
10.2.1	价键理论	177
10.2.2	杂化轨道理论	180
10.2.3	价层电子对互斥理论	185
10.2.4	分子轨道理论	188
10.2.5	金属键理论	193
10.2.6	键参数	195
10.3	分子间的作用力	198
10.3.1	概述	198
10.3.2	氢键	199
10.3.3	离子的极化作用	201
	习题	203

第 11 章 配位化合物

205

11.1	配位化合物的基本概念	205
11.1.1	配位化合物的定义	205
11.1.2	配位化合物的组成	206
11.1.3	配位化合物的命名	209
11.1.4	配位化合物的类型	210
11.1.5	配合物的立体构型和几何异构	212
11.2	配位化合物的化学键理论	212
11.2.1	价键理论	213
11.2.2	晶体场理论	215
11.3	配位化合物的稳定性	225
11.3.1	配位化合物的稳定常数	225
11.3.2	影响配位化合物稳定的因素	227
11.3.3	软硬酸碱理论与配离子稳定性	229
11.4	配位平衡的移动	230
11.4.1	配位平衡与酸碱电离平衡	230
11.4.2	配位平衡与沉淀-溶解平衡	231
11.4.3	配位平衡与氧化还原平衡	233
11.5	配合物的取代反应与配合物的“活动性”	234
11.6	配位化合物的应用	236
	习题	237

下 篇

第 12 章 氢和稀有气体

239

- 12.1 氢 239
 - 12.1.1 氢在自然界的分布 239
 - 12.1.2 氢的成键特征 240
 - 12.1.3 氢的性质和用途 241
 - 12.1.4 氢的制备 242
 - 12.1.5 氢化物 243
 - 12.1.6 氢能源 245
- 12.2 稀有气体 246
 - 12.2.1 稀有气体的性质 246
 - 12.2.2 稀有气体的用途 246
 - 12.2.3 稀有气体的化合物 247
 - 12.2.4 稀有气体化合物的结构 (价键理论, 分子轨道理论讨论) 250
- 习题 251

第 13 章 碱金属和碱土金属

253

- 13.1 碱金属和碱土金属的通性 253
- 13.2 碱金属和碱土金属的单质 255
 - 13.2.1 物理性质 255
 - 13.2.2 化学性质 255
 - 13.2.3 金属单质的制备 258
- 13.3 碱金属和碱土金属化合物 259
 - 13.3.1 M^+ 和 M^{2+} 的特征 259
 - 13.3.2 氧化物 260
 - 13.3.3 氢氧化物 262
 - 13.3.4 盐类 264
 - 13.3.5 配位化合物 266
 - 13.3.6 生物效应 267
- 13.4 离子晶体盐类的溶解性 268
- 习题 270

第 14 章 硼族元素

271

- 14.1 硼族元素的通性 271
- 14.2 硼和铝的单质及其化合物 272

14.2.1	单质	272
14.2.2	硼的氢化物	276
14.2.3	硼和铝的卤化物	279
14.2.4	含氧化合物	281
14.3	镓、铟、铊	283
14.3.1	镓、铟、铊的单质	283
14.3.2	镓、铟、铊的化合物	285
14.4	惰性电子对效应和周期表中的斜线关系	286
14.4.1	惰性电子对效应	286
14.4.2	周期表中的斜对角线关系	287
	习题	287

第 15 章 碳族元素

289

15.1	碳族元素的通性	289
15.2	碳族元素的单质及其化合物	291
15.2.1	碳族元素在自然界中的分布	291
15.2.2	碳族元素单质	292
15.2.3	碳的化合物	297
15.2.4	含氧酸及其盐	302
15.2.5	氢化物	307
15.2.6	卤化物和硫化物	308
15.3	无机化合物的水解性	311
15.3.1	影响水解的因素	312
15.3.2	水解产物的类型	312
	习题	314

第 16 章 氮族元素

315

16.1	氮族元素的通性	315
16.2	氮及其化合物	316
16.2.1	氮的成键特征	316
16.2.2	单质氮	317
16.2.3	氮的氢化物	318
16.2.4	氮的含氧化合物	323
16.3	磷及其化合物	329
16.3.1	磷的成键特征	329
16.3.2	单质磷和磷化氢	330
16.3.3	磷的含氧化合物	332
16.3.4	磷的卤化物	337
16.3.5	卤氧化磷	337

16.4	砷、锑、铋	338
16.4.1	砷、锑、铋的成键特征	338
16.4.2	砷、锑、铋的单质	338
16.4.3	砷、锑、铋的氢化物	339
16.4.4	砷、锑、铋的氧化物	340
16.4.5	砷、锑、铋的三卤化物	341
16.4.6	砷、锑、铋的硫化物	342
	习题	343

第 17 章 氧族元素

347

17.1	氧族元素的通性	347
17.2	氧、臭氧	349
17.2.1	氧在自然界的分布	349
17.2.2	氧的制备和空气液化	349
17.2.3	氧的结构、性质和用途	350
17.2.4	臭氧	352
17.2.5	氧的成键特征	354
17.2.6	氧化物	355
17.3	水	356
17.3.1	水的结构和水的物理性质	356
17.3.2	水的化学性质	358
17.3.3	水的污染与净化	359
17.4	过氧化氢	360
17.4.1	过氧化氢的分子结构	360
17.4.2	过氧化氢的性质和用途	361
17.4.3	过氧化氢的制备	362
17.5	硫和它的化合物	362
17.5.1	硫的存在和用途	362
17.5.2	硫的成键特征	363
17.5.3	硫的制备、性质和用途	364
17.5.4	H ₂ S 和硫化物	364
17.5.5	氧化物	366
17.5.6	硫的含氧酸	368
17.5.7	硫的其它化合物	373
17.6	硒和碲	375
17.6.1	氢化物	375
17.6.2	含氧酸	375
17.6.3	用途	376
17.7	无机酸强度的变化规律	377
17.7.1	影响无机酸强度的直接因素：电子密度	377

17.7.2	氢化物酸性强弱规律	377
17.7.3	含氧酸的酸性强弱规律	378
	习题	379

第 18 章 卤素

381

18.1	卤素的通性	381
18.2	卤素单质及其化合物	384
18.2.1	卤素的成键特征	384
18.2.2	卤素单质及性质	384
18.2.3	卤素的存在、制取和用途	387
18.3	卤化氢和氢卤酸	390
18.3.1	卤化氢的物理性质	390
18.3.2	卤化氢的化学性质	390
18.3.3	氢卤酸的制法	392
18.4	卤化物、卤素互化物、拟卤素和拟卤化物	393
18.4.1	卤化物	393
18.4.2	卤素互化物	394
18.4.3	拟卤素和拟卤化物	394
18.5	卤素的含氧化合物	395
18.5.1	卤素的氧化物	395
18.5.2	卤素的含氧酸及其盐	396
18.6	含氧酸的氧化还原性	399
18.6.1	含氧酸氧化还原的周期性	399
18.6.2	影响含氧酸氧化能力的因素	400
	习题	402

第 19 章 铜、锌副族

404

19.1	铜副族元素	405
19.1.1	铜副族元素单质	405
19.1.2	铜的化合物	406
19.1.3	银的化合物	408
19.1.4	金的化合物	410
19.2	锌副族元素	410
19.2.1	锌副族元素单质	410
19.2.2	锌和镉的化合物	411
19.2.3	汞的化合物	412
19.2.4	II B 族元素与 II A 族元素性质的对比	415
	习题	415

第 20 章 过渡金属 (一)**418**

20.1	钛副族元素	418
20.1.1	钛副族元素概述及通性	418
20.1.2	钛	419
20.1.3	钛的重要化合物	420
20.1.4	锆与铪	422
20.2	钒副族元素	423
20.2.1	钒副族元素概述及通性	423
20.2.2	钒	423
20.2.3	钒的重要化合物	424
20.2.4	铌和钽	426
20.3	铬副族元素	426
20.3.1	铬副族元素概述及通性	426
20.3.2	铬	426
20.3.3	钨和钨	430
20.4	锰副族	432
20.4.1	锰副族元素概述及通性	432
20.4.2	锰	433
20.4.3	锇和铱	435
	习题	435

第 21 章 过渡金属 (二)**438**

21.1	铁系元素	438
21.1.1	铁系元素概述及通性	438
21.1.2	铁	440
21.1.3	钴和镍	445
21.2	铂系元素	446
21.2.1	铂系元素的单质	446
21.2.2	铂系元素化合物	448
	习题	451

第 22 章 f 区元素**453**

22.1	镧系元素	453
22.1.1	镧系元素的通性	453
22.1.2	镧系元素的单质	456
22.1.3	镧系元素的重要化合物	458
22.2	稀土元素	463