



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 无机化学

第二版

古国榜 李朴 主编

华南理工大学无机化学教研室 编



化学工业出版社

十五 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 无机化学

第二版

古国榜 李 朴 主编

华南理工大学无机化学教研室 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

2007063376

本书是根据 2001 年出版的《无机化学》修订编写的,在保持第一版框架的基础上,对部分内容进行了调整和更新,力求反映无机化学的基础性、系统性、应用性,以及无机化学发展的新成果。全书共 20 章,分绪论、上篇“化学原理”、中篇“元素化学”和下篇“继往开来的无机化学”。

本书可供高等学校化学化工类、材料类、轻工类、冶金类、生物工程等专业作为教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

无机化学/古国榜,李朴主编;华南理工大学无机化学教研室编.—2 版.—北京:化学工业出版社,2007.7  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-5025-8781-9

I. 无… II. ①古…②李…③华… III. 无机化学-高等学校-教材 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 104329 号

---

责任编辑:陈有华 梁 虹  
责任校对:王素芹

文字编辑:咎景岩  
装帧设计:尹琳琳

---

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 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 30 彩插 1 字数 758 千字 2007 年 8 月北京第 2 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:39.80 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书第一版自 2001 年出版以来,已在高等院校应用化学专业以及化工类各专业的无机化学教学中广为使用,来自教学第一线的反馈信息表明:本教材的内容编排科学、合理,具有较好的系统性,于教师而言便于系统地实施教学,于学生而言易于学习和掌握课程要求的基本知识。但在使用过程中也发现一些问题需要改进,如某些原理、定义的阐述不够规范,理论的介绍还需完善,化学原理与元素知识的联系不够深入,在编写及印刷时的疏漏及错误需要纠正。此外,教材是教学改革的体现,为适应新世纪“厚基础、宽适应、强能力”人才培养的需要,教材使用更新的原则,以及我们在教学实践中的经验,决定在第一版的基础上,对本教材进行如下修订:

(1) 教材基本保留第一版的编写系统和格局,仍为“化学原理”、“元素化学”和“继往开来的无机化学”三个知识模块,但在内容上进行了适当的调整和更新,注重无机化学的基础性、系统性,以及与其他化学课程的衔接,同时也力图展现无机化学发展的新成果。

(2) 考虑到学时和各专业对教学内容的要求,对部分内容进行了调整和删选。由第一版的 22 章变更为 20 章,原第 6 章“沉淀反应”并入“电离平衡”一章,原第 21 章“生物酶与生物模拟”并入“生物无机化学”一节。将“碳、硅、硼”和“铝、锆、锡、铅”两章调整为“碳族元素”和“硼族元素”两章。卤素含氧酸重点介绍氯的含氧酸,删除锆、锆、铌和钽等内容。删除内容重复的核外电子运动状态小结。

(3) 新增等离子体、超临界流体、超强酸、核能与核电站、人工合成元素、清洁生产等无机化学的新进展和应用的内容。

(4) “水和大气”更名为“水环境 大气化学”,“氢——21 世纪最有希望的能源”更名为“氢和氢能源”,“无机材料”更名为“新型无机材料”并进行相应的修改,使之在内容上更能体现出无机化学的新进展、新用途。

(5) 带有“\*”的内容可根据教学要求酌情进行取舍。

(6) 书后附“部分习题参考答案”,以便于学生学习。

(7) 为便于读者使用,增加了附有英文的“索引”。

(8) 采用中华人民共和国国家标准 GB 3100—93~GB 3102—93 所规定的符号和单位。尽量采用较新的热力学数据。

本书由古国榜教授担任主编,负责全书的策划、编排和审订,李朴参与主编并进行最后的统稿、复核。参加各部分内容编写工作的有李朴(绪论、第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 18 章)、魏小兰(第 3 章、第 8 章、第 11~13 章、第 20 章)、邹智毅(第 5~7 章、第 9 章、第 10 章)、柳松(第 14~16 章)、刘海洋(第 17 章)、展树中(第 19 章)。

本书在修订过程中得到了华南理工大学化学科学学院无机化学教研室同仁的支持,提供了不少素材和修改建议。化学工业出版社为本书的编辑出版做了大量的工作。在此谨向他们

致以诚挚的谢意。

编写时也参考了兄弟院校的教材和公开出版的书刊及互联网上的相关内容，在此对有关的作者和出版社表示衷心的感谢。

由于我们水平所限，修订版中仍难免有不妥之处，敬请同行和读者批评指正。

编者  
2007年4月

# 第一版前言

化学作为一门中心学科，在社会的进步和科技的发展过程中起着举足轻重的作用。现代社会的一切文明，包括航空航天技术、尖端军事技术、原子能工业、通讯、交通、建筑、能源、环境工程、生物工程等等，以至于人类的衣、食、住、行、用，无不依赖于化学工业提供的物质基础。与此同时，化学自身也在不断地发展、完善，并交叉、渗透到各个领域。化学的研究范围不断扩大，也派生出了许多新的交叉学科，如能源化学、环境化学、生物化学、材料化学、地球化学、星际化学等。这一切都说明化学是基础学科，也是一门生机勃勃、大有希望的学科。

对于化工类各专业（包括应用化学专业）的本科学生来说，学好无机化学这门课程是十分重要的。为配合国家高等教育的改革，培养基础扎实、知识面广、能力强、思维开阔的面向 21 世纪的高素质创新人才，本教材在选材上力求做到内容的基础性、科学性、先进性、新颖性。在保证无机化学的基本原理、基本知识的基础上，紧密结合和突出化学与当今各科学技术领域的联系，介绍化学在能源、环境、材料、生命科学中的应用。

本教材分上、中、下三篇。

上篇——化学原理。它由两大知识面组成，其一，是物质结构与性质，包括原子结构与元素周期表，化学键与分子结构、晶体结构，配位化学。其二，是化学反应的基本规律和基本理论，包括化学动力学，化学热力学及其相关的化学平衡——溶液中的离子平衡、沉淀与溶解平衡、氧化还原反应平衡和配位平衡。在突出重点的同时，介绍一些理论联系实际的实例。如，在实际生产中如何利用化学平衡和化学反应速率来合理地选择反应进行的条件，以培养学生分析问题和解决问题的能力。

中篇——元素化学。着重介绍一些重要的物质（单质和化合物）的性质、制备和应用，并结合化学的基本原理以及物质结构的理论对其性质加以解释，同时根据物质的性质，介绍它们在一些新领域、新技术中的应用。

下篇——继往开来的无机化学。以现代化学的基本知识和基本原理为主线，贯穿可持续发展的思想，阐述化学与当今社会特别关注的能源、环境、材料和生命科学等学科的交叉内容。

本书在编写时特别注意以下几点。

1. 注重内容的系统性、严谨性。

2. 贯彻理论联系实际的原则，系统阐述本课程的基本理论基本知识的同时，重视学科发展的新动态，适当加入如飞秒化学、超分子化学、分子工程学、绿色化学、纳米技术和材料等新的信息和技术。

3. 本书采用了 1988 年 IUPAC 建议的分族方法，把元素周期表从左到右依次分成 18 个族。并把常见周期表中的镧系元素（57 号镧～71 号镱）中的镱、锕系元素（89 号锕～103 号铪）中的铪，定位在第 3（Ⅲ）族，不再属于镧系、锕系元素之内。

#### 4. 认真贯彻使用《中华人民共和国法定计量单位》规定的符号和单位。

本书最初的构想和编排由谷云骊提出,最后内容的选定、统稿和修改由李朴完成。参加编写工作的有谷云骊(绪论、第18章)、李朴(第1、2、4、19章,以及第9章中的稀有气体)、魏小兰(第3、12、14、22章,以及第9章中的卤素)、邹智毅(第5、6、8、10章)、于书平(第7、11、13、20章)、柳松(第15、16、17章)、刘海洋(第21章)。全书由古国榜教授详细审阅,并提出了许多宝贵的意见,化学工业出版社为本书的编辑出版做了大量的工作,在此谨向他们致以诚挚的谢意。

此外,本书在编写时也曾参考了兄弟院校的教材和公开出版的书刊中的有关内容,在此对有关的作者和出版社表示衷心的感谢。

限于编者的水平,本书虽经多次修改,但难免有不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编者

2001年2月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 绪论 .....                   | 1  |
| 0.1 化学的发展和展望 .....         | 1  |
| 0.1.1 化学在社会发展中的作用和地位 ..... | 1  |
| 0.1.2 无机化学的范畴、地位和作用 .....  | 2  |
| 0.2 化学的计量 .....            | 3  |
| 0.2.1 物质的量 .....           | 3  |
| 0.2.2 反应进度 .....           | 4  |
| 0.3 物质的聚集状态 .....          | 5  |
| 0.3.1 理想气体状态方程和分压定律 .....  | 6  |
| 0.3.2 液体的蒸气压 .....         | 8  |
| 0.3.3 溶液的性质 .....          | 9  |
| 0.3.4 等离子体 .....           | 10 |
| 思考题 .....                  | 11 |
| 习题 .....                   | 11 |

## 上篇 化学原理

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第1章 原子结构与元素周期表 .....       | 14 |
| 1.1 核外电子的运动状态 .....        | 14 |
| 1.1.1 氢原子光谱和玻尔模型 .....     | 14 |
| 1.1.2 核外电子运动的波粒二象性 .....   | 16 |
| 1.1.3 核外电子运动状态的近代描述 .....  | 17 |
| 1.2 原子核外电子排布和元素周期表 .....   | 22 |
| 1.2.1 多电子原子的能级 .....       | 22 |
| 1.2.2 核外电子排布规律 .....       | 26 |
| 1.2.3 原子的电子层结构与元素周期表 ..... | 28 |
| 1.3 原子结构与元素的性质 .....       | 33 |
| 1.3.1 有效核电荷 .....          | 33 |
| 1.3.2 原子半径 .....           | 33 |
| 1.3.3 电离能 .....            | 34 |
| 1.3.4 电子亲和能 .....          | 36 |
| 1.3.5 电负性 .....            | 36 |
| 1.3.6 元素的金属性和非金属性 .....    | 37 |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 1.3.7 氧化态.....                 | 37        |
| 思考题 .....                      | 38        |
| 习题 .....                       | 39        |
| <b>第2章 分子结构</b> .....          | <b>41</b> |
| 2.1 共价键.....                   | 41        |
| 2.1.1 现代共价键理论.....             | 42        |
| 2.1.2 共价键的特征.....              | 43        |
| 2.1.3 共价键的类型.....              | 43        |
| 2.1.4 共价键参数.....               | 45        |
| 2.2 杂化轨道理论与分子的几何构型.....        | 47        |
| 2.2.1 sp 杂化 .....              | 48        |
| 2.2.2 sp <sup>2</sup> 杂化 ..... | 49        |
| 2.2.3 sp <sup>3</sup> 杂化 ..... | 49        |
| 2.2.4 不等性杂化.....               | 49        |
| * 2.3 价层电子对互斥理论 .....          | 51        |
| 2.4 分子轨道理论.....                | 55        |
| 2.4.1 分子轨道理论的要点.....           | 56        |
| 2.4.2 分子轨道的形成.....             | 56        |
| 2.4.3 分子轨道的能级.....             | 57        |
| 2.4.4 分子轨道理论的应用.....           | 58        |
| 2.5 分子间力.....                  | 59        |
| 2.5.1 分子的极性.....               | 60        |
| 2.5.2 分子的极化和变形性.....           | 60        |
| 2.5.3 分子间力.....                | 61        |
| 2.5.4 氢键.....                  | 63        |
| 思考题 .....                      | 64        |
| 习题 .....                       | 65        |
| <b>第3章 晶体结构</b> .....          | <b>67</b> |
| 3.1 晶体的基本知识.....               | 67        |
| 3.1.1 晶体的宏观特征.....             | 67        |
| 3.1.2 晶体的微观结构.....             | 68        |
| 3.1.3 单晶体和多晶体.....             | 70        |
| 3.1.4 晶体的基本类型.....             | 70        |
| 3.2 离子晶体.....                  | 71        |
| 3.2.1 离子键和离子晶体的性质.....         | 71        |
| 3.2.2 离子晶体中最简单的结构类型.....       | 73        |
| 3.2.3 半径比规则.....               | 73        |
| 3.3 原子晶体和分子晶体.....             | 76        |
| 3.3.1 原子晶体.....                | 76        |
| 3.3.2 分子晶体.....                | 76        |
| 3.4 金属晶体.....                  | 77        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 3.4.1 金属晶体的结构·····                | 77         |
| 3.4.2 金属键·····                    | 77         |
| 3.5 混合晶体·····                     | 78         |
| * 3.6 晶体的缺陷·····                  | 78         |
| 3.6.1 晶体的缺陷·····                  | 79         |
| 3.6.2 非整比化合物·····                 | 79         |
| 3.7 离子的极化·····                    | 80         |
| 3.7.1 离子的极化作用和变形性·····            | 80         |
| 3.7.2 离子极化对物质结构和性质的影响·····        | 81         |
| 思考题·····                          | 82         |
| 习题·····                           | 83         |
| <b>第4章 化学反应速率和化学平衡</b> ·····      | <b>84</b>  |
| 4.1 化学热力学初步·····                  | 84         |
| 4.1.1 基本概念和术语·····                | 85         |
| 4.1.2 热力学第一定律和热化学·····            | 86         |
| 4.1.3 化学反应的方向·····                | 90         |
| 4.2 化学反应速率·····                   | 95         |
| 4.2.1 化学反应速率的概念和表示方法·····         | 95         |
| 4.2.2 反应速率理论·····                 | 96         |
| 4.2.3 热效应和活化能·····                | 99         |
| 4.2.4 影响反应速率的因素·····              | 99         |
| 4.3 化学平衡·····                     | 107        |
| 4.3.1 可逆反应与化学平衡·····              | 107        |
| 4.3.2 平衡常数·····                   | 108        |
| 4.3.3 多重平衡规则·····                 | 112        |
| 4.3.4 化学平衡移动·····                 | 113        |
| 4.4 化学反应速率和化学平衡在工业生产中综合应用的示例····· | 117        |
| 思考题·····                          | 119        |
| 习题·····                           | 120        |
| <b>第5章 电离平衡</b> ·····             | <b>123</b> |
| 5.1 酸碱理论·····                     | 123        |
| 5.1.1 酸碱的电离理论·····                | 123        |
| 5.1.2 酸碱的质子理论·····                | 123        |
| 5.1.3 酸碱的电子理论·····                | 126        |
| 5.2 溶液的酸碱性·····                   | 127        |
| 5.2.1 水的酸碱性·····                  | 127        |
| 5.2.2 溶液的酸碱性和 pH·····             | 128        |
| 5.2.3 酸碱指示剂·····                  | 129        |
| 5.3 弱电解质的电离平衡·····                | 129        |
| 5.3.1 一元弱酸、弱碱的电离·····             | 129        |
| 5.3.2 同离子效应和盐效应·····              | 132        |

|              |                            |            |
|--------------|----------------------------|------------|
| 5.3.3        | 多元弱酸的电离 .....              | 132        |
| 5.3.4        | 强电解质及其电离 .....             | 134        |
| * 5.3.5      | 超强酸 .....                  | 136        |
| 5.4          | 缓冲溶液 .....                 | 137        |
| 5.4.1        | 缓冲作用原理 .....               | 137        |
| 5.4.2        | 缓冲溶液的 pH .....             | 137        |
| 5.4.3        | 缓冲溶液的选择和应用 .....           | 139        |
| 5.5          | 盐类的水解 .....                | 140        |
| 5.5.1        | 弱酸强碱盐的水解 .....             | 140        |
| 5.5.2        | 弱碱强酸盐的水解 .....             | 141        |
| 5.5.3        | 弱酸弱碱盐的水解 .....             | 142        |
| 5.5.4        | 多元弱酸盐的水解 .....             | 143        |
| 5.5.5        | 影响盐类水解的因素 .....            | 144        |
| 5.5.6        | 盐类水解的抑制与利用 .....           | 144        |
| 5.6          | 沉淀-溶解平衡 .....              | 144        |
| 5.6.1        | 溶度积原理 .....                | 145        |
| 5.6.2        | 难溶电解质沉淀的生成与溶解 .....        | 146        |
| 5.6.3        | 分步沉淀 .....                 | 150        |
| 5.6.4        | 沉淀的转化 .....                | 151        |
|              | 思考题 .....                  | 152        |
|              | 习题 .....                   | 152        |
| <b>第 6 章</b> | <b>氧化-还原反应 电化学基础 .....</b> | <b>154</b> |
| 6.1          | 氧化-还原反应 .....              | 154        |
| 6.1.1        | 氧化态 .....                  | 154        |
| 6.1.2        | 氧化剂和还原剂 .....              | 155        |
| 6.1.3        | 氧化-还原反应方程式的配平 .....        | 156        |
| 6.2          | 原电池 .....                  | 158        |
| 6.2.1        | 原电池的概念 .....               | 158        |
| 6.2.2        | 原电池的表示方法 .....             | 159        |
| 6.2.3        | 原电池的电动势 .....              | 159        |
| 6.3          | 电极电势 .....                 | 160        |
| 6.3.1        | 金属电极电势的产生 .....            | 160        |
| 6.3.2        | 电极电势的确定 .....              | 160        |
| 6.3.3        | 能斯特方程 .....                | 162        |
| 6.4          | 电极电势的应用 .....              | 165        |
| 6.4.1        | 判断氧化剂和还原剂的相对强弱 .....       | 165        |
| 6.4.2        | 判断氧化-还原反应的方向和限度 .....      | 166        |
| 6.4.3        | 元素电势图 .....                | 169        |
| 6.5          | 电解与电镀 .....                | 171        |
| 6.5.1        | 电解 .....                   | 171        |
| 6.5.2        | 电镀 .....                   | 172        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| * 6.6 化学电源 .....                    | 173 |
| 6.6.1 干电池 .....                     | 173 |
| 6.6.2 燃料电池 .....                    | 174 |
| 6.6.3 蓄电池 .....                     | 175 |
| 思考题 .....                           | 178 |
| 习题 .....                            | 178 |
| <b>第7章 配位化合物</b> .....              | 181 |
| 7.1 配合物的基本概念 .....                  | 181 |
| 7.1.1 配合物的定义 .....                  | 181 |
| 7.1.2 配合物的组成 .....                  | 181 |
| 7.1.3 配合物的化学式和命名 .....              | 183 |
| 7.2 配合物的化学键理论 .....                 | 184 |
| 7.2.1 价键理论 .....                    | 184 |
| 7.2.2 晶体场理论 .....                   | 188 |
| 7.3 螯合物 .....                       | 195 |
| 7.3.1 螯合物的概念 .....                  | 195 |
| 7.3.2 螯合物的特性和应用 .....               | 196 |
| 7.3.3 配合物(包括螯合物)的中心离子在周期表中的分布 ..... | 197 |
| 7.4 配位平衡 .....                      | 198 |
| 7.4.1 配合物的不稳定常数和稳定常数 .....          | 198 |
| 7.4.2 应用不稳定常数的计算 .....              | 199 |
| 7.5 配位化合物的应用 .....                  | 204 |
| 思考题 .....                           | 205 |
| 习题 .....                            | 206 |

## 中篇 元素化学

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第8章 卤素 稀有气体</b> ..... | 210 |
| 8.1 卤素的通性 .....          | 210 |
| 8.2 卤素的单质 .....          | 211 |
| 8.2.1 卤素单质的性质 .....      | 211 |
| 8.2.2 卤素的制备 .....        | 213 |
| 8.3 卤化氢和卤化物 .....        | 215 |
| 8.3.1 卤化氢 .....          | 215 |
| 8.3.2 卤化物 .....          | 216 |
| 8.4 卤素的含氧化合物 .....       | 217 |
| 8.4.1 卤素的氧化物 .....       | 217 |
| 8.4.2 卤素含氧酸的通性 .....     | 218 |
| 8.4.3 氯的含氧酸及其盐 .....     | 220 |
| 8.5 拟卤素 .....            | 222 |
| 8.5.1 拟卤素及其通性 .....      | 222 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 8.5.2 氰、氰化氢和氰化物 .....       | 223 |
| 8.5.3 硫氰、硫氰酸和硫氰酸盐 .....     | 223 |
| 8.6 稀有气体 .....              | 223 |
| 8.6.1 稀有气体的发现简史 .....       | 223 |
| 8.6.2 稀有气体的存在和分离 .....      | 224 |
| 8.6.3 稀有气体的性质和用途 .....      | 225 |
| 8.6.4 稀有气体化合物 .....         | 225 |
| 8.6.5 稀有气体化合物的结构 .....      | 226 |
| 思考题 .....                   | 227 |
| 习题 .....                    | 227 |
| <b>第9章 氧族元素</b> .....       | 229 |
| 9.1 氧族元素通性 .....            | 229 |
| 9.2 氧及其化合物 .....            | 230 |
| 9.2.1 氧和臭氧 .....            | 230 |
| 9.2.2 氧的化合物 .....           | 232 |
| 9.3 硫及其化合物 .....            | 235 |
| 9.3.1 单质硫 .....             | 235 |
| 9.3.2 硫化物和多硫化物 .....        | 236 |
| 9.3.3 硫的含氧化合物 .....         | 239 |
| 思考题 .....                   | 248 |
| 习题 .....                    | 248 |
| <b>第10章 氮族元素</b> .....      | 250 |
| 10.1 氮族元素通性 .....           | 250 |
| 10.2 氮及其化合物 .....           | 251 |
| 10.2.1 氮气及其特殊稳定性 .....      | 251 |
| 10.2.2 氨和铵盐 .....           | 252 |
| 10.2.3 氮的含氧化合物 .....        | 255 |
| 10.2.4 氮化物 .....            | 261 |
| 10.3 磷及其化合物 .....           | 261 |
| 10.3.1 磷单质 .....            | 261 |
| 10.3.2 磷的氢化物和卤化物 .....      | 262 |
| 10.3.3 磷的含氧化合物 .....        | 263 |
| 10.4 砷、锑、铋 .....            | 266 |
| 10.4.1 砷、锑、铋的单质 .....       | 266 |
| 10.4.2 砷的氢化物 .....          | 267 |
| 10.4.3 砷、锑、铋的氧化物及其水合物 ..... | 267 |
| 10.4.4 砷、锑、铋的盐类 .....       | 268 |
| 思考题 .....                   | 270 |
| 习题 .....                    | 270 |
| <b>第11章 碳族元素</b> .....      | 272 |
| 11.1 碳族元素通性 .....           | 272 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 11.2 碳                 | 273 |
| 11.2.1 碳的单质            | 273 |
| 11.2.2 碳的氧化物           | 276 |
| 11.2.3 碳酸及碳酸盐          | 277 |
| 11.2.4 碳化物             | 278 |
| * 11.2.5 超临界流体         | 279 |
| 11.3 硅                 | 279 |
| 11.3.1 单质硅             | 279 |
| 11.3.2 硅的氢化物——硅烷       | 280 |
| 11.3.3 硅的卤化物           | 281 |
| 11.3.4 硅的含氧化合物         | 281 |
| 11.3.5 硅化物             | 283 |
| 11.4 锡、铅               | 284 |
| 11.4.1 锡、铅的单质          | 284 |
| 11.4.2 锡、铅的氧化物及其水合物    | 286 |
| 11.4.3 锡、铅的卤化物         | 288 |
| 11.4.4 锡、铅的硫化物         | 289 |
| 思考题                    | 290 |
| 习题                     | 290 |
| <b>第 12 章 硼族元素</b>     | 292 |
| 12.1 硼族元素通性            | 292 |
| 12.2 硼                 | 293 |
| 12.2.1 单质硼             | 293 |
| 12.2.2 硼的氢化物——硼烷       | 294 |
| 12.2.3 硼的卤化物           | 295 |
| 12.2.4 硼的含氧化合物         | 296 |
| 12.2.5 硼和硅的相似性         | 298 |
| 12.3 铝及其化合物            | 298 |
| 12.3.1 铝的单质            | 298 |
| 12.3.2 铝的重要化合物         | 299 |
| 思考题                    | 302 |
| 习题                     | 302 |
| <b>第 13 章 碱金属 碱土金属</b> | 303 |
| 13.1 金属概述              | 303 |
| 13.1.1 金属的分类           | 303 |
| 13.1.2 金属的自然存在         | 303 |
| 13.1.3 金属的冶炼           | 304 |
| 13.1.4 金属的物理性质         | 305 |
| 13.1.5 金属的化学性质         | 306 |
| 13.1.6 合金              | 306 |
| 13.2 碱金属和碱土金属的通性       | 307 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 13.2.1 概述 .....              | 307 |
| 13.2.2 单质的重要性质 .....         | 308 |
| 13.3 碱金属和碱土金属的化合物 .....      | 310 |
| 13.3.1 氢化物 .....             | 310 |
| 13.3.2 氧化物 .....             | 310 |
| 13.3.3 氢氧化物 .....            | 311 |
| 13.3.4 重要盐类 .....            | 313 |
| 13.4 镁和锂的相似性 .....           | 315 |
| 13.5 铍和铝的相似性 .....           | 316 |
| 13.6 对角线规则 .....             | 316 |
| *13.7 硬水及其软化 .....           | 316 |
| 13.7.1 硬水 .....              | 316 |
| 13.7.2 硬水的软化 .....           | 317 |
| 思考题 .....                    | 318 |
| 习题 .....                     | 318 |
| <b>第 14 章 过渡元素 (一)</b> ..... | 320 |
| 14.1 过渡元素的通性 .....           | 320 |
| 14.1.1 元素的原子结构和性质 .....      | 320 |
| 14.1.2 过渡元素的性质 .....         | 322 |
| 14.2 钛、钒 .....               | 323 |
| 14.2.1 钛及其化合物 .....          | 323 |
| 14.2.2 钒及其化合物 .....          | 325 |
| 14.3 铬、锰 .....               | 326 |
| 14.3.1 铬及其化合物 .....          | 326 |
| 14.3.2 锰及其化合物 .....          | 329 |
| 14.4 铁系元素 .....              | 332 |
| 14.4.1 铁系元素的一般性质 .....       | 333 |
| 14.4.2 铁的化合物 .....           | 333 |
| 14.4.3 钴和镍的重要化合物 .....       | 336 |
| 14.5 铂系元素 .....              | 337 |
| 14.5.1 铂族金属的性质和用途概述 .....    | 338 |
| 14.5.2 铂、钯的重要化合物 .....       | 338 |
| 思考题 .....                    | 340 |
| 习题 .....                     | 341 |
| <b>第 15 章 过渡元素 (二)</b> ..... | 342 |
| 15.1 铜族 .....                | 343 |
| 15.1.1 铜族单质 .....            | 343 |
| 15.1.2 铜的化合物 .....           | 344 |
| 15.1.3 银的化合物 .....           | 347 |
| 15.2 锌族 .....                | 349 |
| 15.2.1 锌族单质 .....            | 349 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 15.2.2 锌的主要化合物        | 350 |
| 15.2.3 汞的主要化合物        | 351 |
| 思考题                   | 353 |
| 习题                    | 353 |
| <b>第 16 章 镧系和锕系元素</b> | 355 |
| 16.1 镧系元素             | 355 |
| 16.1.1 镧系元素的通性        | 355 |
| 16.1.2 稀土元素的重要化合物     | 359 |
| 16.1.3 稀土元素的提取和分离     | 360 |
| 16.1.4 稀土元素的应用        | 362 |
| 16.2 锕系元素             | 363 |
| 16.2.1 锕系元素的通性        | 363 |
| 16.2.2 钍和铀的化合物        | 364 |
| 16.3 放射性同位素           | 365 |
| 16.4 原子核反应            | 366 |
| 16.4.1 放射性蜕变          | 367 |
| 16.4.2 粒子轰击原子核与人工合成元素 | 367 |
| 16.4.3 核裂变反应和核电站      | 368 |
| 16.4.4 热核反应           | 369 |
| 习题                    | 370 |

## 下篇 继往开来的无机化学

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第 17 章 无机化学的发展</b> | 372 |
| 17.1 配位化学的发展与元素分离     | 372 |
| 17.1.1 现代配位化学的发展      | 372 |
| 17.1.2 元素分离           | 373 |
| 17.2 有机金属化学           | 376 |
| 17.2.1 有机金属化合物的分类     | 377 |
| 17.2.2 金属羰基化合物        | 377 |
| 17.2.3 金属-不饱和烃化合物     | 379 |
| 17.2.4 金属夹心配合物        | 380 |
| 17.3 超分子化学            | 382 |
| 17.3.1 超分子化学的研究对象     | 382 |
| 17.3.2 超分子化学的一些基本概念   | 383 |
| 17.3.3 超分子化学的发展前景     | 385 |
| 17.4 生物无机化学           | 385 |
| 17.4.1 生物无机化学研究的对象    | 386 |
| 17.4.2 生命元素           | 386 |
| 17.4.3 生物酶与生物模拟       | 388 |
| 17.4.4 生物无机化学的发展趋势    | 393 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 17.5 无机固体化学·····             | 394 |
| 思考题·····                     | 396 |
| <b>第 18 章 水环境 大气化学</b> ····· | 397 |
| 18.1 水环境·····                | 397 |
| 18.1.1 水的结构与性质·····          | 397 |
| 18.1.2 水体中的重金属污染及其治理·····    | 398 |
| 18.2 大气化学·····               | 403 |
| 18.2.1 臭氧层的破坏与保护·····        | 404 |
| 18.2.2 二氧化碳与温室效应·····        | 405 |
| 18.2.3 光化学烟雾的形成与治理·····      | 406 |
| 18.2.4 酸雨的形成与防治·····         | 406 |
| 18.3 绿色化学和清洁生产·····          | 408 |
| 18.3.1 绿色化学简介·····           | 408 |
| 18.3.2 清洁生产技术·····           | 409 |
| 思考题·····                     | 411 |
| <b>第 19 章 氢和氢能源</b> ·····    | 412 |
| 19.1 氢的结构、性质与存在·····         | 412 |
| 19.1.1 氢的结构与性质·····          | 412 |
| 19.1.2 氢的化学性质·····           | 412 |
| 19.1.3 氢的存在·····             | 414 |
| 19.2 制备氢气的方法·····            | 414 |
| 19.2.1 金属与水、酸或碱反应制氢气·····    | 414 |
| 19.2.2 金属氢化物与水反应制氢气·····     | 414 |
| 19.2.3 电解水制氢气·····           | 414 |
| 19.2.4 化石燃料制氢气·····          | 414 |
| 19.2.5 热化学循环分解水制氢气·····      | 414 |
| 19.2.6 光解水制氢气·····           | 415 |
| 19.3 氢能源·····                | 415 |
| 19.4 储氢材料·····               | 416 |
| 19.4.1 储氢材料的组成及特性·····       | 416 |
| 19.4.2 作用机制·····             | 416 |
| 19.4.3 储氢合金的应用·····          | 417 |
| 19.5 氢能的用途·····              | 418 |
| 思考题·····                     | 418 |
| <b>第 20 章 新型无机材料</b> ·····   | 419 |
| 20.1 无机功能材料·····             | 419 |
| 20.1.1 形状记忆合金·····           | 419 |
| 20.1.2 减振合金·····             | 420 |
| 20.1.3 电学材料·····             | 421 |
| 20.1.4 光学材料·····             | 425 |
| 20.1.5 磁性材料·····             | 427 |