

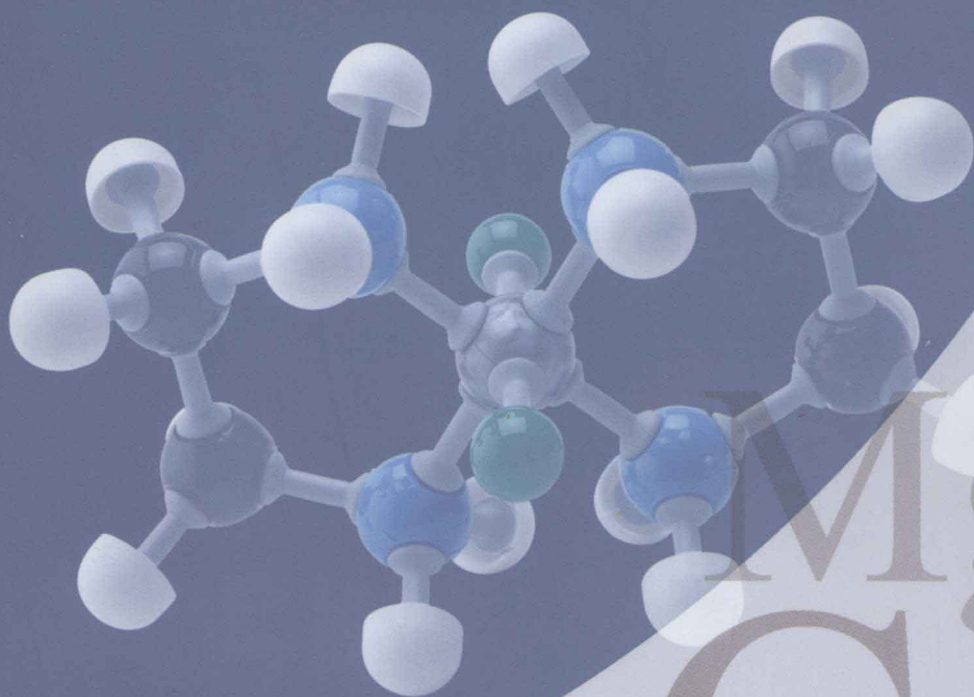


“十一五”化学类专业本科规划教材

WUJI HUAXUE

# 无机化学

徐琰 主编



河南科学技术出版社

## 内 容 提 要

本教材主要包括物质的状态、稀溶液、化学热力学、化学平衡、化学反应速率、电化学和原子结构等基本化学原理及主族元素、副族元素，共10章。本教材在编写上深入浅出、承前启后，除了具有注重实验和史实等特点外，并将与材料科学、生命科学、环境科学等有关的一些化学新成就纳入课外读物中，以启发学生认识化学在自然科学发展和改善人类生活水平方面的作用，激发他们的学习兴趣。

本教材可作为综合大学及师范院校非化学专业基础课教材或理工农医类其他专业普通化学课程的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

无机化学/徐琰主编. —郑州: 河南科学技术出版社, 2009. 8  
(“十一五”化学类专业本科规划教材)  
ISBN 978 - 7 - 5349 - 4246 - 4

I. 无… II. 徐… III. 无机化学 - 高等学校 - 教材 IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 064346 号

---

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788631

网址: [www.hnstp.cn](http://www.hnstp.cn)

策划编辑: 范广红

责任编辑: 崔军英

责任校对: 李明辉 崔喜爱

封面设计: 张 伟

版式设计: 栾亚平

责任印制: 张 巍

印 刷: 河南大美印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 20.75 字数: 550 千字

版 次: 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

---

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系。

**《“十一五”化学类专业本科规划教材》  
编审委员会名单**

---

|     |           |     |     |     |
|-----|-----------|-----|-----|-----|
| 主 任 | 吴养洁       |     |     |     |
| 副主任 | 王键吉       | 宋毛平 | 常俊标 | 屈凌波 |
|     | 王利亚       |     |     |     |
| 委 员 | (以姓氏笔画排序) |     |     |     |
|     | 王利亚       | 王国庆 | 王敏灿 | 王键吉 |
|     | 方少明       | 尹志刚 | 石秋芝 | 卢会杰 |
|     | 吉保明       | 刘寿长 | 杜玲枝 | 李德亮 |
|     | 吴养洁       | 宋毛平 | 张继昌 | 张福捐 |
|     | 卓克垒       | 屈凌波 | 赵文献 | 赵俊廷 |
|     | 贾春晓       | 贾晓红 | 徐 琰 | 徐茂田 |
|     | 徐翠莲       | 郭彦春 | 唐明生 | 黄建华 |
|     | 常俊标       | 常照荣 | 渠桂荣 | 路纯明 |
|     | 缪 娟       | 潘振良 |     |     |

## 《无机化学》编写人员名单

---

主 编 徐 琰

副主编 杜玲枝 韩周祥 杨凤霞

编 委 (以姓氏笔画排序)

马步伟 陈 湘 杨凤霞 杜玲枝

宋美荣 徐 琰 韩周祥 魏剑英

# 前 言

随着科学技术的迅猛发展，社会对各类人才的综合素质提出了更高要求。自 2003 年教育部实施高等学校本科教学质量与教学改革工程以来，按照 4 年学制不同学科课程整体优化的要求，我们在教学中不断探索，对非化学专业的化学课程进行了相应的改革。在教学实践的基础上不断总结经验，认真贯彻必需、够用为度的原则，对非化学专业无机化学教材进行了重新整编。教材编写时，突出实用性和实践性，力求精选内容，削枝强干，突出重点，为学生学习后续专业课程打下必要的化学基础。在内容设置上，教材对无机化学课程的基本内容进行精选优化，重新组合，避免了内容的重复；在理论上适当精简，虽涉及的知识面较宽，但力求不攀高，使之保持适宜的深度。在每章节后，增加了相应的一些科学家简介、阅读材料，以利学生拓宽知识，提高学习兴趣。在内容编排上，使难点分散，有利于教与学，为学生后续课程的学习和持续教育打下坚实的基础。

本书由徐琰担任主编。参加本书编写工作的有陈湘（河南城建学院，编写第 1 章，附录）、马步伟（河南城建学院，编写第 2 章）、杜玲枝（河南城建学院，编写绪论，第 4 章，附录）、徐琰（郑州大学，编写第 5 章）、宋美荣（河南农业大学，编写第 3、6 章）、杨凤霞（河南科技学院，编写第 7 章）、韩周祥（郑州轻工业学院，编写第 8 章、第 9.1 ~ 9.5 节）、魏剑英（郑州轻工业学院，编写第 9.6 ~ 9.7 节及本章习题等、第 10 章）。

书稿虽经反复审阅、修改后定稿，但由于编者水平有限，恐有不少错漏，恳请同行和读者批评指正。

编者  
2009 年 5 月

# 目 录

|                                      |    |                                      |    |
|--------------------------------------|----|--------------------------------------|----|
| 0 绪 论 .....                          | 1  | 1.1.2 实际气体 .....                     | 14 |
| 0.1 化学的定义 .....                      | 1  | 1.1.3 气体扩散定律和气体分子运动论 .....           | 17 |
| 0.1.1 化学是一门中心的, 具有实用性和创造性的学科 .....   | 1  | 1.2 液体 .....                         | 17 |
| 0.1.2 化学的发展趋势 .....                  | 2  | 1.2.1 蒸气压 .....                      | 18 |
| 0.2 化学的分类 .....                      | 3  | 1.2.2 稀溶液的依数性 .....                  | 18 |
| 0.3 化学的地位和作用 .....                   | 4  | 1.2.3 相图 .....                       | 22 |
| 0.3.1 化学在国民经济中的地位和作用 .....           | 4  | 1.3 固体 .....                         | 23 |
| 0.3.2 化学对提高国民生活质量的作用 .....           | 4  | 1.3.1 晶体与非晶体 .....                   | 23 |
| 0.3.3 促进其他基础学科和应用科学的发展与交叉学科的形成 ..... | 5  | 1.3.2 晶体的内部结构 .....                  | 24 |
| 0.4 无机化学概述 .....                     | 5  | 1.3.3 晶体的缺陷 .....                    | 25 |
| 0.4.1 无机化学的定义 .....                  | 5  | 习题 .....                             | 28 |
| 0.4.2 无机化学的地位和分类 .....               | 5  | 2 化学热力学 .....                        | 30 |
| 0.4.3 无机化学的发展历史 .....                | 5  | 2.1 基本概念 .....                       | 30 |
| 0.5 无机化学的研究内容、最新进展和发展前景 .....        | 8  | 2.1.1 体系和环境 .....                    | 30 |
| 0.5.1 无机化学研究的内容 .....                | 8  | 2.1.2 状态和状态函数 .....                  | 31 |
| 0.5.2 我国无机化学研究的最新进展 .....            | 8  | 2.1.3 过程与途径 .....                    | 32 |
| 0.5.3 无机化学的发展趋势 .....                | 9  | 2.1.4 热力学能 .....                     | 32 |
| 1 物质的状态和稀溶液 .....                    | 11 | 2.1.5 热和功 .....                      | 33 |
| 1.1 气体 .....                         | 11 | 2.1.6 热力学第一定律 .....                  | 34 |
| 1.1.1 理想气体 .....                     | 11 | 2.1.7 标准状态 .....                     | 34 |
|                                      |    | 2.2 热化学 .....                        | 35 |
|                                      |    | 2.2.1 化学反应的热效应 .....                 | 35 |
|                                      |    | 2.2.2 化学反应热的计算 .....                 | 38 |
|                                      |    | 2.2.3 赫斯定律 .....                     | 40 |
|                                      |    | 2.3 化学反应进行的方向 .....                  | 42 |
|                                      |    | 2.3.1 过程的自发性 .....                   | 42 |
|                                      |    | 2.3.2 化学反应方向和限度的 $\Delta G$ 判据 ..... | 46 |

|                                          |    |                                           |     |
|------------------------------------------|----|-------------------------------------------|-----|
| 习题 .....                                 | 51 | 4.1.3 路易斯酸碱电子理论 ...                       | 86  |
| <b>3 化学反应速率与化学平衡</b> .....               | 54 | 4.1.4 德拜-休克尔离子互吸<br>理论 .....              | 87  |
| 3.1 化学反应速率 .....                         | 54 | 4.2 酸碱电离平衡 .....                          | 88  |
| 3.1.1 化学反应速率的定义及<br>表示方法 .....           | 54 | 4.2.1 水的电离平衡 .....                        | 88  |
| 3.1.2 反应速率的基本理论和<br>活化能 .....            | 56 | 4.2.2 溶液的酸碱性 .....                        | 89  |
| 3.2 影响化学反应速率的因素 .....                    | 58 | 4.2.3 酸碱指示剂 .....                         | 89  |
| 3.2.1 浓度对化学反应速率的<br>影响 .....             | 58 | 4.3 弱电解质的解离平衡 .....                       | 90  |
| 3.2.2 温度对化学反应速率的<br>影响 .....             | 59 | 4.3.1 弱酸、弱碱的电离<br>平衡 .....                | 90  |
| 3.2.3 催化剂对反应速率的<br>影响 .....              | 61 | 4.3.2 盐效应、同离子效应对<br>弱电解质解离平衡的<br>影响 ..... | 94  |
| 3.2.4 反应级数及反应机制的<br>测定 .....             | 63 | 4.3.3 有关计算 .....                          | 94  |
| 3.3 化学平衡 .....                           | 68 | 4.4 缓冲溶液 .....                            | 95  |
| 3.3.1 化学平衡常数 $K$ .....                   | 69 | 4.4.1 缓冲溶液的组成和<br>机制 .....                | 95  |
| 3.3.2 多重平衡规则 .....                       | 71 | 4.4.2 缓冲溶液 pH 的计算 ...                     | 96  |
| 3.4 化学平衡的计算 .....                        | 71 | 4.4.3 缓冲溶液的选择与<br>配制 .....                | 97  |
| 3.4.1 平衡常数的计算 .....                      | 72 | 4.4.4 缓冲溶液的应用 .....                       | 98  |
| 3.4.2 计算平衡组成及<br>转化率 .....               | 73 | 4.5 沉淀溶解平衡 .....                          | 99  |
| 3.4.3 综合计算 .....                         | 73 | 4.5.1 溶度积和溶解度间的<br>关系 .....               | 100 |
| 3.5 化学平衡的移动 .....                        | 74 | 4.5.2 溶度积规则 .....                         | 100 |
| 3.5.1 化学反应等温式——范特<br>霍夫方程 .....          | 74 | 4.5.3 沉淀溶解平衡的<br>移动 .....                 | 101 |
| 3.5.2 标准平衡常数及化学<br>反应等温式的<br>热力学意义 ..... | 75 | 习题 .....                                  | 108 |
| 3.5.3 影响化学平衡移动的<br>因素 .....              | 75 | <b>5 氧化还原电化学</b> .....                    | 110 |
| 3.5.4 平衡移动原理 .....                       | 79 | 5.1 氧化还原反应 .....                          | 110 |
| 习题 .....                                 | 81 | 5.1.1 基本概念 .....                          | 110 |
| <b>4 溶液中的离子平衡</b> .....                  | 83 | 5.1.2 氧化还原方程式的<br>配平 .....                | 112 |
| 4.1 酸碱理论 .....                           | 83 | 5.2 电极电势 .....                            | 113 |
| 4.1.1 阿伦尼乌斯电离<br>理论 .....                | 83 | 5.2.1 原电池 .....                           | 113 |
| 4.1.2 酸碱质子理论 .....                       | 84 | 5.2.2 电极电势 .....                          | 115 |
|                                          |    | 5.3 电极电势的应用 .....                         | 119 |
|                                          |    | 5.3.1 比较氧化剂和还原剂的<br>相对强弱 .....            | 119 |

|                                  |     |                                 |     |
|----------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 5.3.2 判断氧化还原反应自发<br>进行的方向 .....  | 119 | 6.6.2 电离能 .....                 | 157 |
| 5.3.3 求氧化还原反应的平衡<br>常数 .....     | 120 | 6.6.3 电子亲和能 .....               | 159 |
| 5.4 元素标准电极电势图和电势 -<br>pH 图 ..... | 121 | 6.6.4 电负性 .....                 | 160 |
| 5.4.1 元素标准电极电势<br>图 .....        | 121 | 6.6.5 惰性电子对效应 .....             | 160 |
| 5.4.2 电势 - pH 图 .....            | 123 | 习题 .....                        | 164 |
| 5.5 电解与化学电源 .....                | 124 | 7 化学键理论与分子结构 .....              | 166 |
| 5.5.1 电解 .....                   | 125 | 7.1 离子键理论 .....                 | 167 |
| 5.5.2 化学电源 .....                 | 126 | 7.1.1 离子键的形成 .....              | 167 |
| 习题 .....                         | 131 | 7.1.2 离子键的特点 .....              | 167 |
| 6 原子结构 .....                     | 134 | 7.1.3 离子键的强度 .....              | 168 |
| 6.1 经典原子模型 .....                 | 134 | 7.1.4 离子的特征 .....               | 169 |
| 6.1.1 古代原子模型 .....               | 134 | 7.2 共价键理论 .....                 | 170 |
| 6.1.2 近代原子模型 .....               | 135 | 7.2.1 路易斯经典共价键<br>理论 .....      | 170 |
| 6.1.3 现代原子模型 .....               | 136 | 7.2.2 现代价键理论 .....              | 170 |
| 6.2 氢原子光谱玻尔理论 .....              | 136 | 7.3 杂化轨道理论 .....                | 175 |
| 6.2.1 氢原子光谱 .....                | 136 | 7.3.1 杂化轨道理论要点 .....            | 175 |
| 6.2.2 玻尔理论 .....                 | 137 | 7.3.2 杂化类型与分子几何<br>构型 .....     | 176 |
| 6.3 原子的量子力学模型 .....              | 138 | 7.3.3 等性杂化与不等性<br>杂化 .....      | 177 |
| 6.3.1 微观粒子的运动<br>特性 .....        | 138 | 7.4 价层电子对互斥理论 .....             | 178 |
| 6.3.2 薛定谔方程 .....                | 140 | 7.4.1 价层电子对互斥理论的<br>基本要点 .....  | 178 |
| 6.4 多电子原子核外电子排布 .....            | 148 | 7.4.2 分子构型的预测 .....             | 179 |
| 6.4.1 多电子原子的能级 .....             | 148 | 7.5 分子轨道理论 .....                | 182 |
| 6.4.2 影响原子轨道能量的<br>因素 .....      | 149 | 7.5.1 分子轨道理论的<br>要点 .....       | 182 |
| 6.4.3 多电子原子核外电子<br>排布原则 .....    | 151 | 7.5.2 分子轨道的类型 .....             | 183 |
| 6.5 元素周期表 .....                  | 153 | 7.5.3 同核双原子分子的分子<br>轨道能级图 ..... | 184 |
| 6.5.1 元素的电子层结构与<br>元素周期表 .....   | 154 | 7.5.4 离域 $\pi$ 键 .....          | 186 |
| 6.5.2 元素的外层电子组<br>态与元素的分区 .....  | 154 | 7.6 金属键理论 .....                 | 187 |
| 6.6 元素基本性质的周期性变<br>化规律 .....     | 155 | 7.6.1 电子海洋模型 .....              | 188 |
| 6.6.1 原子半径 .....                 | 155 | 7.6.2 金属键的能带理论 .....            | 188 |
|                                  |     | 7.7 分子间作用力和氢键 .....             | 190 |
|                                  |     | 7.7.1 共价键的极性——<br>键矩 .....      | 191 |
|                                  |     | 7.7.2 分子的极性——偶极                 |     |



|                            |     |                              |     |
|----------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 矩 .....                    | 191 | 9.2.1 s 区元素概述 .....          | 227 |
| 7.7.3 分子的极化 .....          | 192 | 9.2.2 s 区元素单质的化学<br>性质 ..... | 227 |
| 7.7.4 分子间作用力 .....         | 193 | 9.2.3 s 区元素的重要<br>化合物 .....  | 228 |
| 7.7.5 氢键 .....             | 194 | 9.3 卤素 .....                 | 230 |
| 7.8 晶体的基本类型和结构 .....       | 195 | 9.3.1 卤素元素的通性 .....          | 230 |
| 7.8.1 离子晶体 .....           | 196 | 9.3.2 卤素单质 .....             | 230 |
| 7.8.2 原子晶体 .....           | 197 | 9.3.3 卤化氢和氢卤酸 .....          | 231 |
| 7.8.3 分子晶体 .....           | 198 | 9.3.4 卤化物 .....              | 231 |
| 7.8.4 金属晶体 .....           | 198 | 9.3.5 卤素的含氧酸及其<br>盐 .....    | 232 |
| 习题 .....                   | 201 | 9.3.6 含氧酸酸性变化<br>规律 .....    | 235 |
| 8 配位化合物 .....              | 203 | 9.4 氧族元素 .....               | 236 |
| 8.1 配合物的基本概念 .....         | 203 | 9.4.1 氧族元素概述 .....           | 236 |
| 8.1.1 配合物的组成 .....         | 203 | 9.4.2 臭氧 .....               | 236 |
| 8.1.2 配合物的化学式及<br>命名 ..... | 205 | 9.4.3 过氧化氢 .....             | 237 |
| 8.2 配合物的化学键理论 .....        | 207 | 9.4.4 硫化氢、硫化物和多<br>硫化物 ..... | 238 |
| 8.2.1 配合物的价键理论 .....       | 207 | 9.4.5 硫的氧化物、含氧酸<br>及其盐 ..... | 240 |
| 8.2.2 晶体场理论 .....          | 210 | 9.5 氮族元素 .....               | 243 |
| 8.3 配合物在水溶液中的<br>稳定性 ..... | 214 | 9.5.1 概述 .....               | 243 |
| 8.3.1 配位平衡及其平衡<br>常数 ..... | 214 | 9.5.2 氮的重要化合物 .....          | 243 |
| 8.3.2 配离子稳定常数的<br>应用 ..... | 215 | 9.5.3 磷的含氧酸及其盐 .....         | 246 |
| 8.4 配合物的类型 .....           | 218 | 9.5.4 砷、锑、铋的重要<br>化合物 .....  | 247 |
| 8.4.1 简单配合物 .....          | 218 | 9.6 碳族元素 .....               | 248 |
| 8.4.2 螯合物 .....            | 218 | 9.6.1 碳族元素概述 .....           | 248 |
| 8.4.3 多核配合物 .....          | 219 | 9.6.2 碳及其重要化合物 .....         | 248 |
| 8.4.4 簇合物 .....            | 219 | 9.6.3 硅的重要化合物 .....          | 250 |
| 8.4.5 同多酸和杂多酸 .....        | 220 | 9.6.4 锡、铅的重要化合<br>物 .....    | 251 |
| 8.4.6 原子簇化合物 .....         | 220 | 9.7 硼族元素 .....               | 252 |
| 8.4.7 大环配合物 .....          | 221 | 9.7.1 硼族元素的通性 .....          | 252 |
| 8.4.8 夹心配合物 .....          | 221 | 9.7.2 硼的化合物 .....            | 253 |
| 习题 .....                   | 223 | 9.7.3 铝盐 .....               | 254 |
| 9 主族元素 .....               | 226 | 习题 .....                     | 257 |
| 9.1 元素概述 .....             | 226 |                              |     |
| 9.1.1 元素的分类 .....          | 226 |                              |     |
| 9.1.2 元素的自然资源 .....        | 226 |                              |     |
| 9.2 s 区元素 .....            | 227 |                              |     |

|                               |     |                                         |     |
|-------------------------------|-----|-----------------------------------------|-----|
| 10 过渡元素 .....                 | 260 | 10.3.2 锰的重要化合物 .....                    | 268 |
| 10.1 过渡元素的通性 .....            | 260 | 10.4 铁系元素 .....                         | 270 |
| 10.1.1 过渡元素概况 .....           | 260 | 10.4.1 铁系元素单质的<br>性质 .....              | 270 |
| 10.1.2 过渡元素的价电子<br>构型 .....   | 261 | 10.4.2 铁系元素的化合物 ...                     | 271 |
| 10.1.3 过渡元素的原子和<br>离子半径 ..... | 261 | 10.5 铜族元素 .....                         | 276 |
| 10.1.4 单质的物理性质和化学<br>性质 ..... | 262 | 10.5.1 铜族元素单质的<br>性质 .....              | 276 |
| 10.1.5 过渡元素的氧化态 ...           | 263 | 10.5.2 铜族元素的化合物 ...                     | 277 |
| 10.1.6 过渡元素水合离子的<br>颜色 .....  | 264 | 10.6 锌族元素 .....                         | 281 |
| 10.1.7 过渡元素的配位和催化<br>性质 ..... | 264 | 10.6.1 锌族元素单质的<br>性质 .....              | 281 |
| 10.2 铬分族 .....                | 264 | 10.6.2 锌族元素重要的化合<br>物 .....             | 282 |
| 10.2.1 铬、钼、钨单质的<br>性质 .....   | 265 | 10.6.3 Hg( I )与 Hg( II )的<br>相互转化 ..... | 285 |
| 10.2.2 铬的重要化合物 .....          | 265 | 习题 .....                                | 287 |
| 10.3 锰 .....                  | 267 | 附录 .....                                | 289 |
| 10.3.1 锰单质的性质 .....           | 267 | 参考文献 .....                              | 318 |

# 0 绪 论

## 0.1 化学的定义

近代化学认为,化学(chemistry)是一门在原子、分子或离子层次上研究物质的组成、结构、性质及其内在联系和变化过程中的能量关系的学科。

随着社会不断发展,化学作为一门重要的自然科学已经深入到人类生活的各个领域,并在国民经济中发挥着越来越大的作用。特别是 20 世纪下半叶,化学研究的内容、方法和手段发生了极为深刻的变化。我国化学家徐光宪提出了现代化学的定义:化学是主要研究原子,分子片,分子,原子分子团簇,原子分子的激发态、过渡态、吸附态,超分子,生物大分子,分子和原子的各种不同尺度和不同复杂程度的聚集态和组装态,直到分子材料,分子器件和分子机器的合成和反应,分离和分析,结构和形态,物理性能和生物活性及其规律和应用的自然科学。

### 0.1.1 化学是一门中心的,具有实用性和创造性的学科

化学是研究和创造物质的学科,是将化学规律应用于化学工业生产,从价廉而丰饶的天然资源中提取有用物质和制备各种人工合成产品的学科。

**1. 化学是中心学科之一** “化学是中心学科”的说法是英国科学家、诺贝尔奖获得者罗宾逊(Robert Robinson)提出的,科学技术的发展历史也证明了这一说法的正确性和科学性。化学与许多其他科学领域相关,如农学、电子学、药学、生物学、环境科学、计算机科学、工程学、地质学、物理学、冶金学等。人们通过了解、掌握化学知识和规律,利用化学反应创造新物质、制造新药物,以保障人类的健康;生产用于制造住所、衣物和交通的材料;发明提高和保证粮食供应的新方法,保障人类的衣食住行;利用放射化学的研究,实现原子核裂变,开辟原子能利用的新时期,发掘出新的巨大能源;新的催化剂的研究试制成功,引起化学工业的重大革新;利用高分子聚合物的研究和实践,实现材料工业部门的产生。正如美国 Pimentel G C 在《化学中的机会——今天和明天》一书中指出的“化学是一门中心学科,它与社会发展各方面的需要都有密切关系”。

化学工作涉及的工业领域如图 0.1 所示,几乎关系到了自然科学的方方面面。

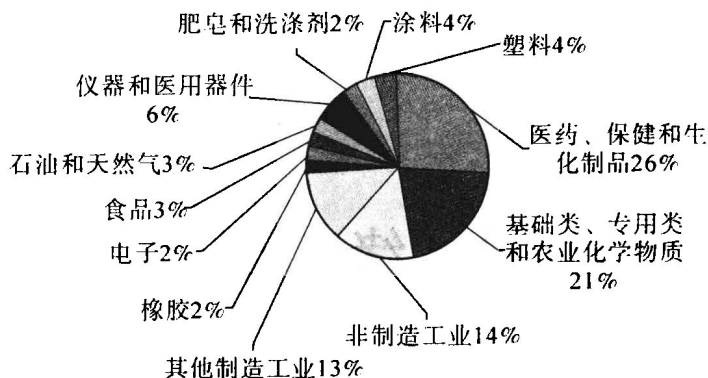


图 0.1 化学工作涉及的工业领域

**2. 化学是具有实用性和创造性的科学** 化学的主要任务是创造新分子、新物质和具有特殊性质的新材料。化学工作者以化学元素周期表中的 100 多种元素及其衍生物为基础，每 10 年以增长一倍的速度发现和创造新的化合物。《美国化学文摘》上登录的天然和人工合成的分子和化合物数目已从 1900 年的 55 万种增加到 1999 年底的 2 340 万种，2001 年增加到 3 200 万种。没有其他的自然学科能够像化学那样制造出如此众多的新分子、新物质，这些物质都是人类赖以生存的物质宝库。

化学家曾从大量的动植物体中实现了化学物质的分离、提纯和结构测定(创造)，并应用于人们的生产和生活之中(实用)，此类工作目前仍在大量进行。通常，人们不可能从动植物体中分离得到大量新的药物，因为这种做法不但破坏性极强，而且造价昂贵。取而代之，化学家用其他简单化合物，通过化学合成制备出新的化合物，达到大量提供临床应用的目的。有时，天然化合物的结构可以通过创造性的化学合成而改变，进而考察性质方面的改善。大自然并非是世外乐园，这里有为生存而进行的凶猛战斗。昆虫为生存而吃植物，有些植物可释放出可以驱赶这些昆虫的化学物质；同时，可通过这种化学物质的气味，通知附近的同类植物有不速之客进犯，同类植物也会释放出这种化学物质，如此达到保护自己 and 种群的目的。人们可以研究这种化合物的结构，进而合成出用于保护人类的农作物。昆虫也用化学物质作为求偶时的联络信号。如果知道是何种化合物，就可以人工合成，用来诱杀、控制有害昆虫的繁殖。化学家也模仿生物，合成出抗生素等。

### 0.1.2 化学的发展趋势

当今化学发展总趋势大致是：由宏观到微观，由定性到定量，由稳态到亚稳态，由经验上升到理论并用理论指导实践，进而开创新的研究。为适应需要，合成具有特殊性能的新材料、新物质，解决和其他自然科学互相渗透过程中不断产生的新问题，并向探索生命科学和宇宙起源的方向发展。所以，21 世纪的化学发展趋势有“五多”：多交叉、多层次、多尺度、多整合、多方法。主要体现在利用多种方法协作攻关，在与物理学、生命科学、材料科学、环境科学、电子学、纳米科学、信息科学、能源科学、海洋科学、空间科学等相互交叉、相互渗透的基础上共同发展。

## 0.2 化学的分类

化学开始研究的主要对象是矿物和其他无机物, 所以其最初内容实际是无机化学。1828 年, 德国化学家 Wohler 发现氰酸铵加热能转变为尿素, 是一个典型的有机物从无机物产生的实例。有机合成迅速发展导致了有机化学的建立。随着化学的进一步发展, 化学划分为 4 个分支学科: 无机化学、有机化学、分析化学、物理化学。随着化学知识的广泛应用及不同学科领域的相互渗透, 化学进一步划分出了许多分支学科, 如工业化学、高分子化学、环境化学、生命化学、材料化学、生物化学、配位化学、蛋白质化学、农业化学、医药化学、超分子化学、纳米化学、放射化学、地球化学和宇宙化学等, 使化学学科的研究天地更加广阔。

**1. 无机化学(inorganic chemistry)** 是研究无机物的组成、结构、性质和无机化学反应的化学。无机物的种类繁多, 无机化学是除碳氢化合物及其衍生物外, 对所有元素及其化合物的性质和它们的反应进行研究和理论解释的科学, 是化学学科中发展最早的一个分支学科。

**2. 有机化学(organic chemistry)** 是研究有机化合物的来源、制备、结构、性质、应用及有关理论的科学, 又称为碳化合物的化学。世界上每年合成的新化合物中, 有 70% 以上是有机化合物, 直接或间接地为人类提供大量的必需品。

**3. 分析化学(analytical chemistry)** 是研究获取物质化学组成和结构信息的分析方法及相关理论的科学, 是化学学科的一个重要分支。分析化学的主要任务是鉴定物质的化学组成、测定物质有关组分的含量、确定物质的结构(化学结构、晶体结构、空间分布)和存在形态(价态、配位态、结晶态)及其与物质性质之间的关系等。

**4. 物理化学(physics chemistry)** 化学反应的能量变化、反应机制、键能、分子聚合、发生的表面和界面反应等, 都归属为物理化学。它是以物理的原理和实验技术为基础, 研究化学体系的性质和行为, 发现并建立化学体系中特殊规律的学科。随着科学的迅速发展和各门学科之间的相互渗透, 物理化学与物理学、无机化学、有机化学在内容上存在着难以准确划分的界限, 从而不断地产生新的分支学科, 例如物理有机化学、生物物理化学、化学物理等。物理化学还与许多非化学的学科有着密切的联系, 例如冶金学中的物理冶金实际上就是金属物理化学。

**5. 高分子化学(polymer chemistry)** 是研究高分子化合物的合成、化学反应、加工成型、应用等方面的一门新兴的综合性学科。合成高分子的历史不过 80 多年, 高分子化学真正成为一门学科才 60 年左右, 但它的发展非常迅速, 目前其内容已超出化学范围。因此, 现在常用高分子科学这一名词来更合逻辑地称呼这门学科。狭义的高分子化学, 则是指高分子合成和高分子化学反应。

**6. 核化学与放射化学(nuclear and radiochemistry)** 是研究放射性物质和原子核转变规律的科学, 它利用化学或化学与物理相结合的方法, 研究放射性物质的制备、分离、纯化和鉴定; 核素和原子核转变产物的行为和化学性质; 放射性示踪原子在化学中的应用; 将化学技术用于核科学的途径; 放射性物质在科学技术和社会生产各个领域中的应用等。

**7. 环境化学(enviromental chemistry)** 是化学与环境交叉渗透所形成的一门重要分

支学科,它主要是运用化学的理论和方法,鉴定和测量化学污染物在大气圈、水圈、岩石圈和生物圈中的含量,研究它们在环境中的存在形态、迁移、转化和归宿的规律,研究消除化学污染物的化学技术及原理。

**8. 生命化学(living chemistry)** 是生命科学与化学相互交叉渗透的产物,是以化学的理论与方法研究生命体的化学组成和生命过程的化学变化规律的科学。

**9. 材料化学(material chemistry)** 是研究在高温、高压、低温、高真空、失重及其他极端条件下,合成具有耐高温、耐超高压、超高强度、高速信息传输和在常温下表现超导等特殊性能的新材料的一门学科;它利用电子显微镜、电子探针、光电子能谱、X 射线结构分析、热分析等手段,来研究材料的组成结构与性质、性能的关系。

**10. 金属有机化学(metal organic chemistry)** 有机和无机的结合,衍生出有机元素化学(或称为金属有机化学)。它主要研究有机化合物与金属之间以 C—M 键形成的化合物。

## 0.3 化学的地位和作用

### 0.3.1 化学在国民经济中的地位和作用

学习化学、掌握化学变化的规律,就能利用各种自然资源生产出我国国民经济发展所必需的各种原料、材料和产品,为我国的社会主义建设创造强大的物质基础。

化学对于我国实现农业、工业、国防和科学技术现代化具有非常重要的作用。农业方面,农产品大幅度的增产和农、林、牧、副、渔的全面发展,很大程度上依赖于化学科学的成就。现代工业和现代国防方面,化学的作用更为突出。工业和国防离不开能源,能源中的煤、石油和天然气的大力开发、提炼和综合利用(合成树脂、合成橡胶、合成燃料、合成医药等)离不开化学。冶金工业、建材工业、印染工业的生产和科学研究也离不开化学。国防上,化学不仅与常规武器生产有关,而且与国防现代化有密切的关系。导弹的生产、人造卫星的发射,也需要提供具有特殊性能的化学产品,如高能燃料、耐高温耐腐蚀材料。21 世纪是科学技术突飞猛进的时代,广泛利用原子能、探索宇宙间的秘密、研究生命现象,都要以化学科学技术作为基础。

### 0.3.2 化学对提高国民生活质量的作用

化学对实现农业、工业、国防和科学技术现代化具有重要作用。我国人口在 21 世纪上半叶将达到 16 亿,保持我国农业的持续发展是我们面临的艰巨任务。农业发展的首要问题是保证全民的粮食安全和提高食物质量;其次是保护并改善农业生态环境,为农业的持续发展奠定基础。农业生产中使用的化肥、农药等都属于化学制品,所以化学在创造高效肥料和高效农药、特别是与环境友好的生物肥料和生物农药,以及开发新型农业生产资料等方面可发挥巨大作用。此外,化学家们还为治理土地荒漠化、干旱及盐碱地等方面做出了应有的贡献。

21 世纪,化学将在控制人口数量、防治疾病和提高人的生存质量等人口健康方面发挥重要作用。由于人口高速老龄化,老年病在未来将成为影响我国人口生存质量的主要问题之一。化学将会在揭示老年病机制、开发治疗老年性疾病的药物及提高老年人的生活质量

方面作出贡献。

### 0.3.3 促进其他基础学科和应用科学的发展与交叉学科的形成

由于其他学科的发展(特别是物理学的发展)、量子力学的诞生、计算机的发明、各种精密仪器的出现,使化学学科从宏观研究深入到原子、分子或离子的层次上,形成众多的分支学科,化学则处于“基础学科”的地位。由于化学学科的这一发展,它与其他学科之间相互渗透,形成众多的交叉学科和边缘学科,而使化学处于“中心学科”的地位。例如化学与生物学交叉形成分子生物学,化学与天文学交叉形成宇宙化学,化学与地学结合形成地球化学等。

总之,化学这门研究物质变化的科学与国民经济各个部门、尖端科学技术各个领域及人民生活诸多方面密切相关。

## 0.4 无机化学概述

### 0.4.1 无机化学的定义

无机化学是以元素周期系和物质结构理论为基础来研究除碳氢化合物及其衍生物外,其他一切元素及其化合物的来源、存在、制备、组成、结构、性质、反应和应用的学科。

无机化学的研究对象是所有元素及其化合物(有机化合物除外),覆盖了元素周期表中的所有元素,因此其研究范围极其广泛。

无机化学由基础理论和元素化学两大部分组成,它是在近代物质结构、元素周期律、化学热力学、化学平衡、化学反应速率和基础电化学等理论基础上来讨论元素的单质、化合物的性质和化学变化。

### 0.4.2 无机化学的地位和分类

无机化学是化学学科的一个重要分支,也是最早发展起来的一门化学分支学科。化学中最重要的一些概念和规律,如元素、分子、化合、分解、定比定律和元素周期律等,都是在无机化学早期发展过程中形成的。目前无机化学仍是化学学科中最基础的部分,因为它研究的对象覆盖整个周期表中的元素,涉及的结构类型丰富多彩,研究的化学键型复杂多变。涉及化学根本问题的规律及理论也大多是由无机化学衍生出来,一些基本定律、原理和实验技术在其他学科的渗透导致了无机化学在实践中的一系列重要应用。

无机化学又被较为精细地划分为以下几个主要分支:元素无机化学(inorganic element chemistry)、固体无机化学(inorganic solid chemistry)、配位化学(coordination chemistry)、生物无机化学(biological inorganic chemistry)、无机合成(inorganic synthesis)、无机物分离化学(separation chemistry of inorganic compounds)、金属簇化合物(cluster chemistry)、稳定同位素化学(chemistry of stable isotopes)、物理无机化学(physical inorganic chemistry)和核化学(nuclear chemistry)。

### 0.4.3 无机化学的发展历史

从化学发展史上看,无机化学是化学学科的基础和母体,其他化学分支都是从中分

化、衍生、成长起来的。可以说，在科学发展进程中，无机化学是化学学科的鼻祖。

原始人类就能辨别存在的无机物质的性质而加以利用，后来偶然发现自然物质能变化成性质不同的新物质，于是加以仿效，这就是古代化学工艺的开端。至少在公元前 6000 年，中国原始人即知烧黏土制陶器，并逐渐发展为彩陶、白陶、釉陶和瓷陶。中国在春秋战国时代就掌握了从铁矿冶铁和由铁炼钢的技术。公元前 2 世纪，中国发现铁能与铜化合物溶液反应产生铜，这个反应成为后来生产铜的方法之一。古代的炼丹术是化学科学的先驱，虽然炼丹家所追求的目的荒诞，但所使用的操作方法和积累的感性知识却主要来自实验，他们设计制造了加热炉、反应室、蒸馏器、研磨器等实验用具。约在 8 世纪，欧洲炼丹术兴起，后来欧洲的炼丹术逐渐演进为近代的化学科学。

前 17 世纪的殷商时代即知食盐(氯化钠)是调味品，苦盐(氯化镁)味苦。前 5 世纪已有琉璃(聚硅酸盐)器皿；7 世纪，中国就有焰硝(硝酸钾)、硫黄和木炭做成火药的记载。明朝宋应星在 1637 年刊行的《天工开物》中详细记述了中国古代手工业技术，其中有陶瓷器、铜、钢铁、食盐、焰硝、石灰、红黄矾等几十种无机物的生产过程。由此可见，在化学科学建立前，人类已掌握了大量无机化学的知识和技术。

由于最初化学所研究的多为无机物，所以近代无机化学的建立就标志着近代化学的创始。建立近代化学贡献最大的化学家有 3 人，即英国的玻意耳(Robert Boyle)、法国的拉瓦锡(Lavoisier)和英国的道尔顿(John Dalton)。

玻意耳在化学方面进行过很多实验，如磷、氢的制备，金属在酸中的溶解，以及硫、氢等的燃烧。他从实验结果阐述了元素和化合物的区别，提出元素是一种不能分出其他物质的物质。这些新概念和新观点，把化学这门科学的研究引上了正确的路线，为建立近代化学做出了卓越的贡献。

拉瓦锡采用天平作为研究物质变化的重要工具，进行了硫、磷的燃烧，锡、汞等金属在空气中加热的定量实验，确立了物质的燃烧是氧化作用的正确概念，推翻了盛行百年之久的燃素说。在大量定量实验的基础上，拉瓦锡于 1774 年提出质量守恒定律，即在化学变化中，物质的质量不变。1789 年，在他所著的《化学概要》中，提出第一个化学元素分类表和新的化学命名法，并运用正确的定量观点，叙述当时的化学知识，从而奠定了近代化学的基础；天平也开始普遍应用于化合物组成和变化的研究。

1799 年，法国化学家普鲁斯特(Proust J. L.)归纳化合物组成测定的结果，提出定比定律，即每个化合物各组分元素的质量皆有一定比例。1803 年，道尔顿结合质量守恒定律提出了原子学说：一切元素都是由不能再分割、不能毁灭的称为原子的微粒所组成。并从这个学说引申出倍比定律，即如果两种元素化合成几种不同的化合物，则在这些化合物中，与一定质量的甲元素化合的乙元素的质量必互成简单的整数比。这个推论得到了定量实验结果的充分印证。原子学说建立后，化学这门科学宣告成立。

19 世纪 30 年代，已知的元素已达 60 多种，俄国化学家门捷列夫(Mendeleev, Dmitri Ivanovich)研究了这些元素的性质，在 1869 年提出元素周期律：元素的性质随着元素相对原子质量的增加呈周期性的变化。这个定律揭示了化学元素的自然分类，元素周期表就是根据周期律将化学元素按周期和族类排列的。门捷列夫曾预言当时尚未发现的元素的存在和性质。周期律对无机化学的研究、应用起了极为重要的作用，是现代物质结构理论发展的基础。



19 世纪末的一系列发现,开创了现代无机化学:1895 年,伦琴(Rontgen W. K.)发现了 X 射线;1896 年,贝克勒尔(Antoine Henri Becquerel)发现了铀的放射性;1897 年,汤姆逊(Thomson Joseph John)发现了电子;1898 年,居里夫妇(Pierre Curie and Marie Curie)发现了钋和镭的放射性。20 世纪初,卢瑟福(Ernest Rutherford)和玻尔(Niels Henrik David Bohr)提出原子是由原子核和电子所组成的结构模型,改变了道尔顿原子学说的原子不可再分的观念。随后,元素周期表的形成、放射化学的开展、非水溶剂和过渡金属化合物的研究等,标志着现代无机化学阶段的开始。1916 年,科塞尔(Kossel)提出电价键理论,路易斯(Gilbert Newton Lewis)提出共价键理论,圆满地解释了元素的原子价和化合物的结构等问题。1924 年,德布罗意(Louis de Broglie)提出电子等物质微粒具有波粒二象性的理论;1926 年,薛定谔(Erwin Schrödinger)建立微粒运动的波动方程;1927 年,海特勒(Heitler Walter)和伦敦(Fritz London)应用量子力学处理氢分子,证明在氢分子中的两个氢核间,电子概率密度有显著的集中,从而提出了化学键的现代观点。1930 年,现代无机化学成为人们新的研究热点,典型的代表研究为:Stock 等,乙硼烷的氢桥键(变形的价键理论),硅的研究;Werner 等,过渡金属配合物化学;Karus 等,非水溶剂,放射化学等。

此后,经过几方面的工作,无机化学理论发展成为化学键的价键理论、分子轨道理论和配位场理论,这三个基本理论是现代无机化学的理论基础。

20 世纪 50 年代以来,无机化学得到了空前的大发展。原子能的广泛研究和应用、空间科学技术的发展、使用半导体材料通信、计算技术等许多新科学技术的兴起,使无机化学又进入了“复兴时期”。这些科技部门要求无机化学致力于探索和提供种种具有特殊性能的新材料,研究极端条件下物质的性质和反应机制,以及提出新的无机物的工艺流程。同时,无机化学家又发现了十几种超铀元素,并合成了几十种稀有气体元素化合物及一些过去认为不存在、难以制备的化合物,如高溴酸及其盐、金属的特高价和特低价(零或负价)的化合物等。更大的发展是大量的新型化合物的出现,如液氮温区以上高温超导体的获得、以  $C_{60}$  为代表的碳笼原子簇化合物的发现、超硬材料(金刚石、SiC 等)的工业化和商品化、以生物固氮模拟为先导而开展的许多大环配合物的制备、稀土无机发光材料、无机高分子材料、贵金属铂系抗癌药物的合成及特种功能陶瓷在尖端技术领域所起的巨大作用。其他夹心化合物、簇状化合物、穴合物、包合物等,它们都是具有特殊结构和性能的一类化合物。

无机化学的发展,不仅是新型化合物的涌现,还包括无机化合物的结构和反应机制的研究,这需要现代物理测试方法和理论的指导。例如,一种新型无机化合物合成后,首先通过化学分析或仪器分析测定其组成,进一步再通过 X 射线衍射研究新化合物的结构;或是通过红外光谱、电子光谱、核磁共振、光电子能谱等技术的应用,再从价键理论或结构理论加以解释,最终能阐明其可能的结构,得出结论。从另一方面说,由实验所取得的大量数据资料,又为理论提供了实验基础,促使其建立和发展。所以,在无机化合物的结构研究中,测定方法和结构理论是相互补充、相互促进的。随着现代仪器分析技术广泛地用于化合物或物相的测试与表征,真正地使无机化学由宏观进入微观、定性进入定量、感性进入理性,这说明无机材料、无机制备与表征技术正在以一种崭新的面貌出现在人们面前,而且必将对 21 世纪人类科学技术的发展产生重大的影响。