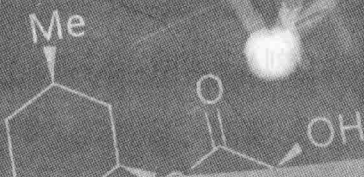


普通高等教育“十三五”规划教材  
“互联网+”创新教材



# 普通化学

## General Chemistry

主 编◎刘又年  
副主编◎王宏青 王一凡



中南大学出版社

[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)

·长沙·

## 内容简介

本书是主要面向普通高等学校非化学化工类专业的基础课数字电子教材,由湖南省化学化工学会无机及应用化学专业委员会组织编写和推荐。

本教材以“大化学融合”的理念,构筑普通化学课程体系。教材深浅度立足于:由中学化学知识自然过渡和大一学生的接受能力以及非化学化工类工程及相关专业的未来工作需要。在阐述化学的基本原理、基本知识的同时,尽可能反映 21 世纪化学学科的发展,力求加强学生科学精神和创新意识的培养,以达到化学教育和打好化学基础的双重目的。

全书共 10 章,内容包括:第 1~3 章为化学热力学、化学动力学、化学平衡、稀溶液的依数性、电解质溶液理论、酸碱平衡、沉淀平衡、配合物与配位平衡、缓冲溶液、胶体;第 4~5 章为氧化还原与电化学基础,原子、分子、晶体和配合物的结构基础;第 6~8 章为单质和无机化合物,高分子化学,蛋白质、核酸、糖类;第 9~10 章为酸碱滴定法,紫外-可见吸收光谱法和色谱分析法简介。与传统普通化学教材相比,增加了滴定分析和仪器分析的基础内容,以适应教学时不同专业的选学需求。各章均穿插了与化学相关的能源、材料、信息、环境、生命科学知识、应用技术和化学小史、数量较大的图表以及国家精品在线开放课程知识点视频教学资源二维码;各章末均给出了复习指导、选读材料、复习思考题和习题以及二维码形式的部分习题参考答案。

# 前言

Foreword

我们周围的世界丰富多彩、生机盎然，这是因为“世界是物质的，而物质又是处在不断运动变化之中的”。物理变化和化学变化是物质运动变化最基本的表现形式。化学，顾名思义，就是一门有关“变化”的科学，是在分子、原子层次上研究物质变化规律的科学。

化学起源于古代劳动人民的生产和生活实践，它为人类提供了最初走向文明的基础。化学从炼金术和医学中分离出来成为一门独立的科学，只有两三百年的历史。但它不仅对人类社会的进步做出了巨大贡献，而且，在建设一个“可持续发展的社会”中，将继续发挥更加重要的作用。

高等化学教育的任务之一，就是使大学生认识到化学变化的普遍性、重要性。只有了解并掌握化学变化的规律，才能利用它为我们的生产和生活服务。

化学作为一级学科，从纯化学的角度，目前分为5个二级学科，即无机化学、有机化学、物理化学、分析化学与高分子化学。

普通化学是非化学化工类专业的一门公共基础课。本教材在编写过程中，秉承“体现创新性，加强系统性，注重科学性，着眼应用性，提高可读性，考虑针对性”的指导思想，根据地质、土木等工程专业的培养目标，将重点放在化学知识的诠释和突出应用的特色上，以“大化学融合”的理念，构筑普通化学的课程新体系，从大一学生的接受能力以及普通化学与后续学科专业课程的衔接来考虑教材的深浅度。在介绍化学基础理论、基本知识和基本方法的同时，着力反映化学学科的发展及其在现代工业中的应用。即正文内容以化学原理为主，适当涉及元素化学、高分子化学与生命科学，增加某些工程专业必需的分析化学知识，并尝试与国家精品在线开放课程(MOOC)资源

等现代信息技术对接;拓展知识采取双栏的形式,简要介绍了化学相关的能源、材料、信息、环境、生命科学的热点知识和应用技术以及化学史话、生活常识等,同时加大了活跃版面的图表或彩色分量;每章末尾给出了知识掌握层次要求的复习指导。目的是使学生喜欢化学,同时改善知识结构、培养科学精神、启发创新思维、具备分析和解决一些化学实际问题的能力,并为后续相关课程的学习和未来的实际工作以及技术研究打下宽广而坚实的化学基础。

本教材是集体智慧的结晶。作者均来自高校长期在化学教学与科研第一线的骨干教师,编写内容融入了他们多年的教学经验、教学成果和科研成果。教材由中南大学、南华大学、中南林业科技大学、长沙理工大学、湘南学院、湖南理工学院等六校合编。主编单位为中南大学,副主编单位为南华大学。主编为中南大学刘又年教授,副主编为南华大学王宏青教授和中南大学王一凡教授。全书由刘又年、王一凡统稿并集体校稿。编者分工如下:中南大学刘又年教授(绪论、第4章第二作者、第8章)、湘南学院邓斌教授(第1章第一作者)、湘南学院陈俊副教授(第1章第二作者)、南华大学王宏青教授(第2章)、长沙理工大学夏姣云副教授(第3章)、中南大学王一凡教授(第4章第一作者)、湖南理工学院张丽副教授(第5章)、中南大学颜军教授(第6章)、中南大学邹应萍教授(第7章)、中南林业科技大学谢练武教授(第9章)和中南大学向娟教授(第10章)。

在编写过程中,中南大学出版社谭平副总编辑、刘锦伟老师、周兴武老师等提出了许多宝贵意见并给予了大力支持,此外还得到中南大学本科生院、化学化工学院以及湖南科技大学龙云飞教授、湘南学院刘文奇教授、长沙理工大学曹忠教授的支持和帮助,特别是中南大学《大学化学》国家精品在线开放课程团队(负责人王一凡)为本书提供了王一凡、刘绍乾、罗一鸣、钱频、王曼娟、何跃武、肖旭贤、张寿春、颜军、文莉、易小艺、周建良等老师的多媒体教学视频,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2018年4月

# 目录

## Contents

绪 论 .....	(1)
0.1 化学是一门中心科学 .....	(2)
0.2 化学的分类 .....	(3)
0.3 化学发展简史 .....	(4)
0.4 化学面临的机遇与挑战 .....	(6)
<b>第 1 章 热化学与能源 .....</b>	<b>(9)</b>
1.1 热化学 .....	(10)
1.1.1 热化学的基本概念 .....	(10)
1.1.2 热力学第一定律 .....	(12)
1.1.3 反应热与焓 .....	(13)
1.1.4 热效应的测量 .....	(15)
1.1.5 反应热的理论计算 .....	(16)
1.2 能源及其合理利用 .....	(19)
1.2.1 煤炭与洁净煤技术 .....	(19)
1.2.2 石油和天然气 .....	(20)
1.2.3 氢能和太阳能 .....	(20)
1.2.4 可燃冰 .....	(22)
本章复习指导 .....	(23)
选读材料——核能 .....	(23)
复习思考题 .....	(24)
习题 .....	(24)
<b>第 2 章 化学反应原理 .....</b>	<b>(27)</b>
2.1 热力学第二定律和熵 .....	(28)
2.1.1 自发过程和热力学第二定律 .....	(28)
2.1.2 熵和熵变 .....	(30)
2.2 化学反应的方向和吉布斯自由能变 .....	(32)
2.2.1 吉布斯自由能 .....	(32)
2.2.2 化学反应自发性的判断 .....	(33)
2.2.3 吉布斯自由能变 .....	(34)
2.3 化学反应限度和化学平衡 .....	(36)
2.3.1 化学平衡的特征 .....	(36)

2.3.2	标准平衡常数与多重平衡 .....	(36)
2.3.3	化学平衡的有关计算 .....	(38)
2.3.4	化学平衡的移动 .....	(38)
2.4	化学反应速率 .....	(40)
2.4.1	化学反应速率与速率方程 .....	(40)
2.4.2	温度对反应速率的影响 .....	(44)
2.4.3	反应速率理论简介 .....	(44)
2.4.4	催化剂对化学反应速率的影响 .....	(46)
2.4.5	链反应和光化反应 .....	(48)
2.4.6	环境化学和绿色化学 .....	(50)
	本章复习指导 .....	(54)
	选读材料——多金属氧酸盐光化学的研究进展 .....	(54)
	复习思考题 .....	(55)
	习题 .....	(56)
<b>第3章</b>	<b>溶液化学 .....</b>	<b>(59)</b>
3.1	溶液的通性 .....	(61)
3.1.1	非电解质稀溶液的依数性 .....	(61)
3.1.2	电解质溶液的通性 .....	(66)
3.2	酸碱在水溶液中的解离平衡 .....	(67)
3.2.1	酸碱理论 .....	(67)
3.2.2	酸碱的解离平衡 .....	(69)
3.3	缓冲溶液和 pH 控制 .....	(73)
3.3.1	同离子效应与缓冲溶液 .....	(73)
3.3.2	缓冲溶液的 pH 与缓冲范围 .....	(74)
3.3.3	缓冲溶液的选择与应用 .....	(75)
3.4	配位化合物、配位平衡及其计算 .....	(76)
3.4.1	配合物的组成 .....	(76)
3.4.2	配合物的命名 .....	(77)
3.4.3	配位平衡及其计算 .....	(78)
3.5	难溶强电解质的多相离子平衡 .....	(80)
3.5.1	溶度积 .....	(80)
3.5.2	沉淀的生成与溶解 .....	(82)
3.6	胶体 .....	(84)
3.6.1	溶胶的性质 .....	(84)
3.6.2	溶胶的聚沉与保护 .....	(86)
3.6.3	表面活性剂 .....	(87)
	本章复习指导 .....	(90)
	选读材料——水污染及其危害 .....	(90)
	复习思考题 .....	(93)
	习题 .....	(94)
<b>第4章</b>	<b>电化学基础 .....</b>	<b>(99)</b>
4.1	原电池 .....	(100)
4.1.1	氧化还原的标度与方程式配平 .....	(100)

4.1.2	原电池及其表示	(101)
4.1.3	原电池的热力学	(103)
4.2	电极电势	(105)
4.2.1	标准电极电势	(105)
4.2.2	电极电势的能斯特方程	(108)
4.3	电动势与电极电势在化学上的应用	(109)
4.3.1	判断氧化剂和还原剂的相对强弱	(109)
4.3.2	判断氧化还原反应的方向	(109)
4.3.3	特殊电池反应标准平衡常数的求算	(110)
4.4	实用化学电源	(110)
4.4.1	一次电池	(110)
4.4.2	二次电池	(112)
4.4.3	连续电池	(113)
4.5	电解	(115)
4.5.1	分解电压与超电势	(115)
4.5.2	电解池中两极的电解产物	(115)
4.6	金属的电化学腐蚀及其防护	(116)
4.6.1	金属的化学腐蚀和电化学腐蚀	(116)
4.6.2	金属的防腐	(117)
	本章复习指导	(119)
	选读材料——电解在金属材料加工方面的应用	(119)
	复习思考题	(121)
	习题	(121)
<b>第5章</b>	<b>物质结构基础</b>	<b>(123)</b>
5.1	氢原子核外电子的运动状态	(124)
5.1.1	原子核外电子运动状态的描述	(124)
5.1.2	原子轨道与量子数	(127)
5.1.3	原子轨道图形与电子云	(129)
5.2	多电子原子核外电子的运动状态	(131)
5.2.1	多电子原子轨道的能级交错与科顿能级图	(131)
5.2.2	多电子原子核外电子的排布	(132)
5.3	元素周期律与元素性质的周期性	(133)
5.3.1	原子结构与元素周期表	(133)
5.3.2	元素性质的周期性	(134)
5.4	化学键与分子间力、氢键	(138)
5.4.1	化学键	(138)
5.4.2	分子的极性与分子的空间构型	(143)
5.4.3	分子间力和氢键	(149)
5.4.4	超分子化学简介	(153)
5.5	晶体结构	(154)
5.5.1	晶体的类型	(155)
5.5.2	离子极化与混合键型晶体	(159)
5.5.3	晶体的缺陷	(161)
	本章复习指导	(162)

选读材料——分子光谱 .....	(163)
复习思考题 .....	(164)
习题 .....	(165)
<b>第6章 单质与无机化合物 .....</b>	<b>(167)</b>
6.1 元素概述 .....	(168)
6.1.1 地球上元素的三次分离 .....	(168)
6.1.2 元素的存在形态 .....	(168)
6.1.3 元素的组成与划分 .....	(169)
6.2 单质 .....	(170)
6.2.1 单质的结构 .....	(170)
6.2.2 单质的物理性质 .....	(170)
6.2.3 单质的化学性质 .....	(172)
6.3 经典无机化合物 .....	(176)
6.3.1 常见卤化物 .....	(176)
6.3.2 常见氧化物 .....	(178)
6.3.3 碳化物和硼化物 .....	(181)
6.3.4 硅的化合物 .....	(183)
6.4 配合物的空间构型与价键理论 .....	(184)
6.4.1 配位化合物的空间构型 .....	(184)
6.4.2 配合物的价键理论简介 .....	(184)
6.5 功能配合物 .....	(189)
6.5.1 配合物的经典应用 .....	(189)
6.5.2 特殊功能配合物 .....	(191)
6.5.3 配合物与纳米技术和分子机器 .....	(192)
本章复习指导 .....	(193)
选读材料——准晶 .....	(193)
复习思考题 .....	(194)
习题 .....	(194)
<b>第7章 高分子化合物与高分子材料 .....</b>	<b>(197)</b>
7.1 高分子化合物概述 .....	(198)
7.1.1 高分子化合物的基本概念与特征 .....	(198)
7.1.2 高分子化合物的命名和分类 .....	(199)
7.2 高分子化合物的结构和特性 .....	(201)
7.2.1 高分子化合物的基本结构 .....	(201)
7.2.2 高分子化合物结构与性能的关系 .....	(203)
7.3 高分子化合物的合成和改性 .....	(206)
7.3.1 高分子化合物的合成 .....	(206)
7.3.2 高分子化合物的改性 .....	(207)
7.4 日常生活中的高分子材料 .....	(209)
7.4.1 塑料 .....	(209)
7.4.2 橡胶 .....	(211)
7.4.3 纤维 .....	(212)
7.4.4 功能高分子 .....	(213)

7.4.5 聚合物基复合材料 .....	(214)
7.5 高分子科学的发展历程与分子设计 .....	(215)
7.5.1 高分子科学的发展历程 .....	(215)
7.5.2 高分子科学的未来 .....	(217)
7.5.3 高分子材料的分子设计 .....	(218)
本章复习指导 .....	(219)
选读材料——有机高分子光电功能材料 .....	(219)
复习思考题 .....	(220)
习题 .....	(221)
<b>第8章 生物大分子基础</b> .....	<b>(223)</b>
8.1 氨基酸、多肽和蛋白质 .....	(224)
8.1.1 氨基酸 .....	(224)
8.1.2 多肽 .....	(227)
8.1.3 蛋白质 .....	(228)
8.1.4 酶(Enzyme) .....	(230)
8.2 核酸 .....	(232)
8.2.1 核酸的组成 .....	(232)
8.2.2 DNA 分子结构 .....	(234)
8.2.3 RNA 的分子结构 .....	(235)
8.2.4 基因与基因工程 .....	(236)
8.3 糖类 .....	(239)
8.3.1 单糖 .....	(239)
8.3.2 低聚糖和多糖 .....	(241)
本章复习指导 .....	(242)
选读材料——基因治疗 .....	(243)
复习思考题 .....	(244)
习题 .....	(245)
<b>第9章 误差与酸碱滴定分析</b> .....	<b>(247)</b>
9.1 定量分析概述 .....	(248)
9.1.1 定量分析过程 .....	(248)
9.1.2 有效数字及其修约运算规则 .....	(249)
9.1.3 定量分析结果的表示 .....	(250)
9.2 分析结果的误差 .....	(251)
9.2.1 误差产生的原因与分类 .....	(251)
9.2.2 误差的表示方法 .....	(252)
9.2.3 准确度与精密度的关系 .....	(253)
9.2.4 提高分析结果准确度的方法 .....	(254)
9.3 滴定分析法概述 .....	(255)
9.3.1 滴定分析术语与特点 .....	(255)
9.3.2 滴定分析对化学反应的要求和滴定方式 .....	(255)
9.3.3 标准溶液的配制和基准物质 .....	(256)
9.3.4 滴定分析的计量关系式 .....	(257)
9.4 酸碱滴定法 .....	(258)

9.4.1 酸碱指示剂 .....	(258)
9.4.2 酸碱滴定曲线与指示剂的选择 .....	(259)
9.4.3 酸碱标准溶液的配制与标定 .....	(262)
9.4.4 酸碱滴定法的应用实例 .....	(263)
本章复习指导 .....	(264)
选读材料——自动电位滴定仪 .....	(265)
复习思考题 .....	(266)
习题 .....	(267)
<b>第10章 仪器分析基础 .....</b>	<b>(269)</b>
10.1 仪器分析概述 .....	(270)
10.1.1 仪器分析的特点 .....	(270)
10.1.2 分析仪器的主要性能指标 .....	(270)
10.2 光谱分析的基本原理 .....	(272)
10.2.1 物质的吸收光谱 .....	(272)
10.2.2 朗伯—比耳定律 .....	(273)
10.3 紫外—可见吸收光谱法 .....	(274)
10.3.1 分光光度计 .....	(274)
10.3.2 定量分析方法 .....	(275)
10.3.3 吸收光谱法的误差 .....	(277)
10.3.4 提高测量灵敏度与准确度的方法 .....	(278)
10.4 紫外吸收光谱法应用简介 .....	(279)
10.4.1 定性鉴别 .....	(279)
10.4.2 定量测定 .....	(279)
10.4.3 有机化合物的结构分析 .....	(280)
10.5 色谱分析法简介 .....	(281)
10.5.1 气相色谱分析 .....	(282)
10.5.2 高效液相色谱分析法 .....	(284)
本章复习指导 .....	(286)
选读材料——毛细管电泳仪 .....	(286)
复习思考题 .....	(287)
习题 .....	(287)
<b>附 录 .....</b>	<b>(289)</b>
附录一 我国法定计量单位 .....	(289)
附录二 一些物质的基本热力学数据 .....	(290)
附录三 弱酸、弱碱在水中的解离常数 .....	(294)
附录四 一些难溶化合物的溶度积常数 .....	(297)
附录五 某些配离子的标准稳定常数 .....	(299)
附录六 标准电极电势 .....	(300)
<b>国家精品在线开放课程《大学化学》教学视频的二维码与知识点对照表 .....</b>	<b>(304)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(307)</b>
<b>元素周期表 .....</b>	<b>(307)</b>





图 0-1 化学是中心科学

**化学**(chemistry)是在分子、原子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和创造新物质的科学。它是自然科学的重要分支,同时也是一门以实验为基础的科学。它历史悠久而又富有活力,与人类进步和社会发展密切相关,其成就是人类文明的重要标志。长期以来,化学家试图从分子水平了解物质世界,同时合成了化肥、农药、塑料、燃料、药品、洗涤剂、香水等各种新的物质来改善人们的生活。因此,设计具有特定性能的新物质并做到合成(制备)的高效性和绿色化是化学科学发展的主要目的。

## 0.1 化学是一门中心科学

在自然科学的海洋中,化学被誉为“中心科学”(central science),因为它是许多学科之间的联系桥梁,与社会发展息息相关,并涉及人类生活的方方面面(图 0-1)。

### 1. 化学与人类的日常生活

人们的衣、食、住、行、美、健等都与化学紧密相连。

**衣:**人们穿的衣服是由色彩鲜艳的衣料做成的。它包含了许多化学物质,如化学染料、合成纤维和加工助剂等。

**食:**饮食是人类生存的决定因素之一。在人们的食物中,调味品是必不可少的,如味精、甜味剂、食品保鲜剂等(图 0-2)。

**住:**居住是人类生存的基本条件之一。各种建筑装潢材料无一不是化学产品,如钢材、水泥、油漆、玻璃、塑料板材等。

**行:**用以代步的各种交通工具,如汽车、轮船、飞机、自行车等都是由化学产品构成的。如车体是由钢材构成的,轮胎是由橡胶制作的,汽油、柴油、润滑剂、防冻剂等都是化学产品(图 0-3)。

**美:**各种洗涤化妆用品,如洗涤剂、肥皂、去污剂、美容霜、香水等也都是化学产品。

**健:**用以保证人们健康、抵御疾病的各种药物,都是经过化学合成或者化学加工而得到的,其种类数不胜数。

### 2. 化学与社会的发展

社会的发展依赖于农业、工业、教育、国防和科学技术的现代化,而上述各行业的发展在很大程度上又依赖于化学科学的成就。

如化肥、农药、植物生长素、除草剂等,这些化学产品大幅提高了农产品的产量,并且改变了耕作方式,解决了人类的饮食问题。另外,在国防现代化中,制作导弹、卫星、原子弹、氢弹需要各种性能优异的金属、非金属和高分子材料,而自然界并不能直接提供这些物质,必须通过化学合成或者化学加工才能得到;导弹、卫星、原子弹、氢弹所需的高能燃料、高能电池、高敏胶片和耐辐射材料等也都只能通过化学方法获取。

特别是各种具有特殊性质的功能材料的产生,大大推动了社会的进步和科学的发展。通过化学方法开发的纳米材料,如碳纳米管、石墨烯、各种二维半导体材料等引起了材料科学的重大变革。



图 0-2 食品

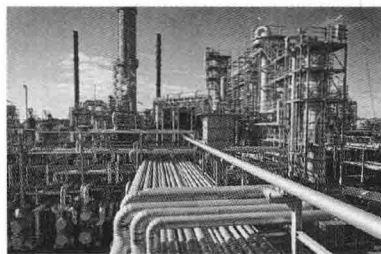


图 0-3 炼油厂一览



视频0-1

## 0.2 化学的分类

化学科学是最古老和涉及范围最广的学科之一,为人类的科学研究积累了大量的科学知识。根据研究对象和方法的不同,传统上一般将化学分为无机化学、有机化学、物理化学和分析化学等四大分支,但现在也将生物化学、高分子化学列为化学的重要分支。尽管各化学分支之间有一定的界限,但并不是很分明,而且彼此之间存在交叉。

### 1. 无机化学

无机化学(inorganic chemistry)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实验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。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诞生。价键理论、分子轨道理论和配位场理论是现代无机化学的理论基础。由于各学科的深入发展和学科间的相互渗透,形成了许多新的跨学科研究领域。无机化学与其他学科结合而形成的新兴研究领域很多,已形成无机合成、配位化学、有机金属化学、无机固体化学、生物无机化学和同位素化学等多个边缘学科。当前,无机化学正处在蓬勃发展的新时期,许多边缘领域迅速崛起,研究范围不断扩大,为研发新型光电和信息功能材料、能源材料、催化材料等提供了重要的理论支撑(图0-4)。

### 2. 有机化学

有机化学(organic chemistry)是研究有机化合物的组成、结构、性质、合成方法与应用科学,是化学中极重要的一个分支。含碳化合物被称为有机化合物,是因为以往的化学家们认为含碳化合物一定要由生物(有机体)才能制造。然而,德国化学家弗里德里希·维勒,在实验室中首次成功合成尿素,从此有机化学便脱离传统所定义的范围,扩大为含碳化合物的化学。尽管有机化合物和无机化合物之间没有绝对的分界,但有机化学作为化学中的一个独立学科,确有其内在的特性。在元素周期表中,没有一种其他的元素能像碳那样通过共价键以多种方式彼此牢固地结合,由碳原子形成的分子骨架有多种形式,有直链、支链、环状等。大多数有机化合物具有熔点较低、可以燃烧、易溶于有机溶剂等性质,这与无机化合物的性质具有很大的区别。

有机化学与人们的生活息息相关。如药物、染料、合成橡胶、塑料和合成纤维等的出现都得益于有机化学的研究成果。有机化学的发展衍生出有机合成、元素有机化学、物理有机化学、生物有机化学和立体化学等分支。随着人们对健康及环境问题的日益关注,有机化学成为改善人类生活的重要助推力量。图0-5所示为著名有机化学家,现代有机合成之父伍德沃德。

### 3. 物理化学

物理化学(physical chemistry)是借助数学、物理学等基础科学的



视频0-2

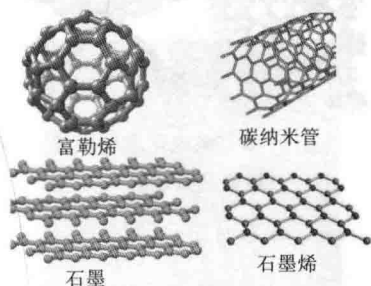


图0-4 不同形态碳材料的分子结构

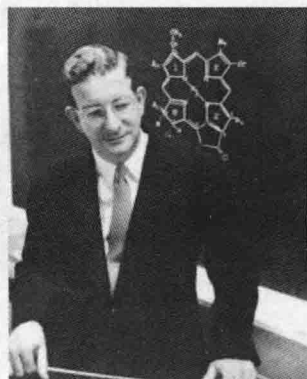


图0-5 著名有机化学家伍德沃德  
(R. Woodward, 1917—1979)

理论和实验手段,通过研究化学体系行为最一般的宏观、微观规律来探讨化学科学中的原理和方法的科学,是化学的理论基础。物理化学的水平在相当大程度上反映了化学发展的深度。一般认为物理化学的研究内容大致可概括为三个方面,即化学体系的宏观平衡性质、化学体系的微观结构和性质以及化学体系的动态性质。

物理学和数学的成就,加上计算机技术的飞速发展,为物理化学的发展提供了崭新的领域。由于不再局限于方程的解析、数值方法的应用,固体、弹性体和其他非理想体系均已成为物理化学的研究对象,为材料科学与技术的研究增添了新的理论武器。随着科学的迅速发展和学科之间的相互渗透,物理化学与物理学、无机化学、有机化学之间的相互重叠越来越多,不断地派生出许多新的分支,如物理有机化学、生物物理化学、化学物理学等。物理化学还与许多非化学的学科有着密切的联系,如冶金过程物理化学、海洋物理化学。目前物理化学的主要研究前沿有:介观及多尺度领域,如纳米技术的研究;微观结构由静态、稳态向动态、瞬态发展的研究,如反应机理中的过渡态问题、催化反应机理与微观反应动力学问题等;面向具有自适应性等复杂体系的研究(图0-6)。

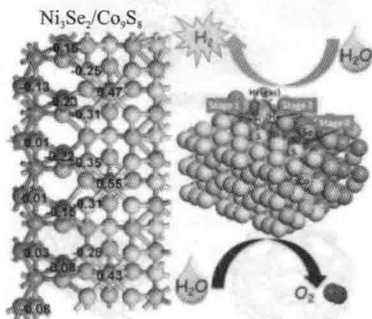


图0-6 光电化学水裂解制备氢气和氧气

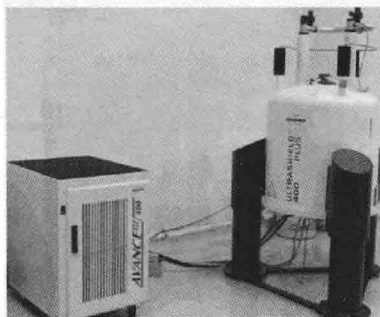


图0-7 核磁共振仪



视频0-3



图0-8 湖南宁乡出土的商朝晚期青铜礼器四羊方尊

#### 4. 分析化学

分析化学(analytical chemistry)是研究物质的组成、结构、形态和形貌信息的一门科学,是化学科学的主要分支。分析化学既有很强的实用性,又有严密、系统的理论,是理论与实际密切结合的学科。分析化学包括:①定性分析,鉴定物质中含有哪些组分;②定量分析,测定各种组分的相对含量;③结构分析,研究物质的分子或晶体的结构。分析化学也可分为化学分析和仪器分析两部分,其中化学分析是基础,仪器分析是发展方向。分析化学应用的领域有生命科学、材料科学、信息科学、环境科学、资源科学、能源科学等,这其中应包含医药、卫生、生物和食品检测、环境检测、工业产品质量监控、出入境检验检疫、法医鉴定与犯罪侦破等(图0-7)。

### 0.3 化学发展简史

化学是一门非常古老的科学。化学知识的形成和发展经历了漫长的过程。它伴随着人类社会的进步而发展,又促进了人类文明。我们的祖先钻木取火,利用火烘烤食物、寒夜取暖、驱赶猛兽等,就是利用了物质燃烧时发光、发热的性质。

#### 1. 化学的萌芽时期

原始人类为了生存,在与自然界的抗争中,发现和利用了火,燃烧就是一种化学现象。人类自使用了火以后,开始食用熟食。原始人类由野蛮步入了文明,同时也开启了人类发现及制备新物质的历程。如发现用炭火焙烧翠绿色的孔雀石(铜矿石),会有红色的铜生成,使人类文明跨入了青铜器时代(图0-8)。而后,铁器的出现,化学进一步引发了社会变革,推动了人类文明的发展。

从远古到公元前1500余年,人类就掌握了由黏土制陶器、由矿石

烧出金属、由谷物酿造酒、给丝麻等织物染色等技术，制造了对人类具有使用价值的产品。这些由天然物质加工改造而成的制品，成为古代文明的标志。这些都是经过长期摸索而来的最早的化学工艺，但还没有形成系统的化学知识，只是化学的萌芽时期。

## 2. 丹药时期

化学一词，其含义便是“炼金术”(alchemy)。从公元前 1500 年到公元 1650 年，为求得长生不老的仙丹或制造象征富贵的黄金，炼丹家和炼金术士们(图 0-9、图 0-10)开始了最早的化学实验，而后记载、总结炼丹术的书籍也相继出现。炼丹家、炼金术士们虽然都以失败告终，但在炼制长生不老药的过程中，在探索“点石成金”的方法中实现了物质间用人工方法进行的相互转变，发现了许多物质发生化学变化的条件和现象，为化学的发展积累了丰富的实践经验。这些都为近代化学的产生奠定了基础。炼丹家在实验过程中还发明了火药，发现了若干元素，制成了某些合金，并制备和提纯了许多化合物，这些成果我们至今仍在受用。

## 3. 燃素时期

燃素时期从 1650 年到 1775 年，是近代化学的孕育时期。随着冶炼、陶瓷、酿酒、染料、药物、火药等产业的发展，人们总结感性知识，进行化学变化的理论研究，使化学成为自然科学的一个分支。这一阶段开始的标志是英国化学家波义耳为化学元素指明科学的概念。燃素说认为可燃物能够燃烧是因为它含有燃素，燃烧过程是可燃物中燃素放出的过程，尽管这个理论是错误的，但它把大量的化学现象归在一个概念之下，解释了许多化学现象，使化学从炼金术中分离出来。在元素的科学概念建立后，通过对燃烧现象的精密实验研究，科学家们建立了氧化理论和质量守恒定律，随后又建立了定比定律、倍比定律和化合量定律，为化学科学的进一步发展奠定了基础。

## 4. 发展期

从 1775 年到 1900 年，是近代化学发展的时期。1775 年前后，拉瓦锡(图 0-11)用定量化学实验阐述了燃烧的氧化学说，开创了定量化学时期，使化学沿着正确的轨道发展。19 世纪初，英国化学家道尔顿提出近代原子学说，量的概念的引入，是该学说与古代原子论的一个主要区别。近代原子论使当时的化学知识和理论得到了合理的解释，成为说明化学现象的统一理论。接着意大利科学家阿伏加德罗提出了分子概念。在这一时期，建立了不少化学基本定律。俄国化学家门捷列夫(图 0-12)发现了元素周期律，德国化学家李比希和维勒发展了有机结构理论，这些都使化学成为一门真正的科学，为人类现代文明打下了基础。

19 世纪下半叶，热力学等物理学理论引入化学之后，进一步阐释了化学平衡和反应速率的现象，人们可以定量地判断化学反应中物质转化的方向和条件。随后建立了溶液理论、电离理论、电化学和化学动力学的理论基础，在理论上将化学提高到一个新的水平。而且，通过对矿物的分析，发现了许多新元素，加上对原子、分子学说的实验



图 0-9 东晋著名的炼丹家葛洪



图 0-10 阿拉伯炼金术士贾比尔·伊本·哈扬(Jabir ibn Hayyan)



图 0-11 现代化学之父拉瓦锡(1743—1794)与妻子玛丽亚

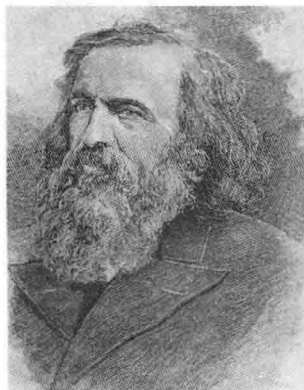


图 0-12 俄国化学家门捷列夫(1834—1907)

验证,经典的化学分析方法也有了自己的体系。尿素的合成、原子价概念的产生、苯的六元环结构和碳的四面体空间结构等学说的创立、酒石酸拆分成旋光异构体以及分子的不对称性等的发现,奠定了有机化学的基础。初步形成了无机化学、分析化学、有机化学和物理化学四大分支学科。

### 5. 现代时期

进入 20 世纪以后,由于受到其他自然科学发展的影响,广泛应用了科学原理和技术方法的最新成就,化学在认识物质的组成、结构、合成和测试等方面都有了重大的进展,而且在理论方面取得了重要的突破。

近代物理的理论和 技术、数学方法及计算机技术在化学中的应用,对现代化学的发展起了很大的推动作用。19 世纪末,电子、X 射线和放射性元素的发现为化学在 20 世纪的重大进展创造了条件。

在结构化学方面,由于电子的发现、原子模型的确立及量子化学的应用,丰富和深化了人们对元素的认识。从氢分子结构的研究开始,逐步揭示了化学键的本质,先后创立了价键理论、分子轨道理论和配位场理论,化学反应理论也随之深入到微观境界。如应用 X 射线作为研究物质结构的新分析手段,可以洞察物质的晶体化学结构。如美国量子化学家莱纳斯·鲍林(Linus Pauling)(图 0-13)在化学的多个领域都具有重大贡献,两次荣获诺贝尔奖(1954 年化学奖,1962 年和平奖)。

研究物质结构的谱学方法从可见光谱、紫外光谱、红外光谱扩展到核磁共振谱、电子自旋共振谱、光电子能谱、射线共振光谱、穆斯堡尔谱等,与计算机联用后,积累了大量物质结构与性能相关的资料,正由经验向理论发展。电子显微镜放大倍数也不断提高,甚至使人们可以直接观察到分子的结构。

经典的元素学说是由于放射性的发现而产生深刻变革的。从放射性衰变理论的创立、同位素的发现到人工核反应和核裂变的实现以及氦的发现、中子和正电子及其他基本粒子的发现,不仅使人类的认识深入到亚原子层次,而且创立了相应的实验方法和理论;不仅实现了古代炼丹家转变元素的思想,而且改变了人类的宇宙观。

人类开始掌握和使用核能,成为 20 世纪的标志。放射化学和核化学等分支学科相继诞生,并迅速发展,同位素地质学、同位素宇宙化学等交叉学科也接踵而来。元素周期表目前已扩充至 119 号元素(其中天然元素 91 种),且正在探索超重元素,以验证元素“稳定岛假说”。与现代宇宙学相依存的元素起源学说和与演化学说密切相关的核素年龄测定等工作,都在不断补充和更新元素的观念。

20 世纪以来,化学发展的趋势可以归纳为:由宏观向微观、由定性向定量、由稳定态向亚稳定态发展,由经验逐渐上升到理论,再用于指导设计和开拓创新的研究。一方面,为生产和技术部门提供尽可能多的新物质、新材料;另一方面,在与其他自然科学相互渗透的过程中不断产生新学科,并向探索生命科学和宇宙起源的方向发展。

## 0.4 化学面临的机遇与挑战

化学与其他科学最大的区别就在于其强大的创造力,它不仅可以

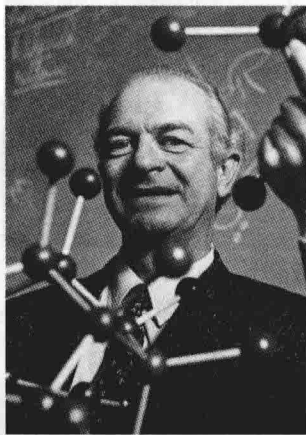


图 0-13 美国化学家莱纳斯·鲍林  
(Linus Pauling, 1901—1994)

制造自然界已存在的物质,而且可以按人们的意图设计创造自然界中不存在的新物质,对人类文明的进步起着重要的助推作用。

### 1. 合成化学

从早期的染料、医药、农药到石油利用,以及近期的芯片制造、功能材料等,无一不与化学有关。目前,世界上已知结构的化合物多达 5000 多万种,反映出化学在创造新物质方面的强大生命力和无限创造力。今天,人们耳熟能详的诸如合成氨、合成尿素、合成医药和农药、合成气以及橡胶、塑料、纤维、陶瓷、分子筛、超导材料等都与化学有关。化学肩负着创造新物质、新结构和新功能的首要任务。设计和合成新分子则是合成化学家的职责,其中金属有机化学在合成化学中又起着重要的导向和促进作用,纵观 20 世纪,在有机合成和金属有机化学领域共产生了 10 届诺贝尔化学奖。

威尔金森(G. Wilkinson)(图 0-14)和费歇尔(E. O. Fischer)合成了过渡金属二茂夹心式化合物,并确定了其特殊结构,获得 1973 年诺贝尔化学奖。1990 年柯里(E. J. Corey)提出的获诺贝尔化学奖的“逆合成分析法”,促进了有机合成化学的快速发展。另外,人工合成生物分子也是有机合成化学的研究重点。如,有机合成大师伍德沃德由于其有机合成的独创思维和高超技艺,合成了维生素 B<sub>12</sub>(图 0-15)等系列复杂有机分子和有机配体配合物,1965 年荣获诺贝尔化学奖。

### 2. 绿色化学

绿色化学是一种基于环境友好理念的洁净化学技术,是一种在设计化学反应时充分考虑对环境的副作用,从技术上、经济上可行的化学过程。其核心是利用化学原理从源头上减少和消除工业生产对环境的污染,将反应物的原子全部转化为期望的最终产物。国际上对绿色化学化工有比较统一的原则,主要涵盖以下几个方面:①尽量在反应的源头防止废弃物的产生,而不是在废弃物产生后才想办法净化;②在设计生产产品时,要尽量提高原料利用率;③在进行产品分析时,不仅要考虑生产效率,还要尽量降低原料和产品的毒性;④尽量少用吸收剂和溶剂等辅助物,或使用无害产品;⑤尽量降低反应过程中的能耗和对环境的影响;⑥在考虑经济和技术的前提下,尽可能选择可回收的加工原料;⑦尽量避免在反应时生成不必要的化学衍生物;⑧选择更符合化学计量的催化剂;⑨在产生危险物之前,对其进行检测并控制。

绿色化学是 21 世纪全球实现可持续发展的重要战略之一。绿色化学将与合成化学、材料化学、生物科学以及信息技术等结合,开发无毒生产流程、高原子选择性的反应,从根本上消除污染。

### 3. 能源化学

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础,人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替,能源危机以及由能源问题引发的气候、环境危机是当今人类社会面临的重大挑战。提高能源利用效率和实现能源结构多元化是解决能源问题的关键,这都离不开化学理论与方法的支撑。化学为新型能源材料和新能源转化过程的设计



视频0-4

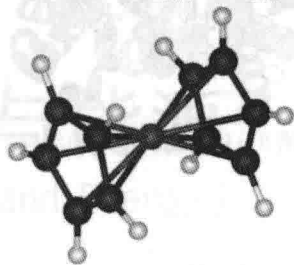
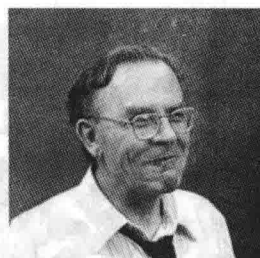
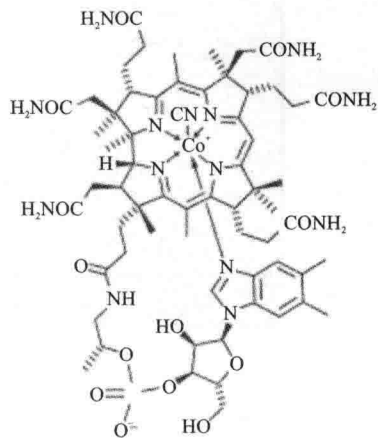


图 0-14 威尔金森(1921—1996)

图 0-15 维生素 B<sub>12</sub> 的结构

视频0-5