



北京市高等教育精品教材立项项目



21世纪化学规划教材

基础课系列

# 普通化学

General  
Chemistry

高松主编

北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

21 世纪化学规划教材·基础课系列

# 普通化学

高 松 主编



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

普通化学/高松主编. —北京: 北京大学出版社, 2013. 8

(21世纪化学规划教材·基础课系列)

ISBN 978-7-301-22742-8

I. ①普… II. ①高… III. ①普通化学—高等学校—教材 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 143156 号

书 名: 普通化学

著作责任者: 高 松 主编

责任编辑: 郑月娥

标准书号: ISBN 978-7-301-22742-8/O·0937

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: [zye@pup.pku.edu.cn](mailto:zye@pup.pku.edu.cn)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62767347 出版部 62754962

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 30 印张 插页 1 750 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

国内外已经出版了大量的《普通化学》教材,其中不乏优秀之作,被反复再版。国内外普化教材各有特点,一般来说,国外的教材,着重在化学概念和原理的阐释,同时包含非常丰富的素材,适合学生循序渐进的阅读理解;而国内的普化教材,一般对于概念和原理的阐述相对简明直接,比较吝惜笔墨,但比较注重运用原理进行计算的训练。

北京大学化学专业“普通化学”课程,多年来一直使用华彤文等编著的《普通化学原理》作为教材,生命科学和医学专业则以孙淑声等编写的《无机化学》为“普通化学”课程的教材。前者在原理的阐述上简明清晰,后者则在元素化学部分的选材编写上具有特色。编写本书的初衷,是为生命科学和医学专业的普通化学教学提供更合适的教材。考虑到多数生命科学专业,特别是医学专业的课程设置中,化学课程只包含“普通化学”和“有机化学”,未开设“无机化学”、“物理化学”和“结构化学”等后续课程,在编写本教材时,在主要参考上述两种教材基础上,特别注意充实了元素化学、化学动力学和结构化学等三方面的内容。但是,本书并不限定用于生物、医学类专业,从内容到结构,本书完全可以作为化学专业和其他需要修读“普通化学”课程学生的教材。

普通化学,是关于化学的导论性课程。本书根据各个章节的内容进行了结构上的调整,共设五个单元。前四个单元,主要介绍化学的基本概念和原理,包括:第一单元,物质状态;第二单元,化学热力学与化学平衡;第三单元,化学动力学;第四单元,物质结构。第五单元,元素化学,概要介绍了部分元素及其化合物的基本性质。全书包括绪论共 16 章,由长期从事普通化学课程教学的七位老师历经 5 年完成,以下是各章题目及其作者。

绪论	(高松)
第 1 章 气体与液体	(李俊然)
第 2 章 溶液	(张锦)
第 3 章 化学热力学——反应的方向	(郭海清)
第 4 章 化学反应的限度	(郭海清)
第 5 章 酸碱电离平衡	(郭海清)
第 6 章 沉淀溶解与配位平衡	(郭海清,王炳武)
第 7 章 氧化还原反应及电化学基础	(施祖进)
第 8 章 化学反应速率与化学反应机理	(张锦,张俊龙)
第 9 章 原子结构	(施祖进)
第 10 章 分子与晶体结构	(施祖进)
第 11 章 配位化合物	(高松)
第 12 章 s 区与 ds 区元素	(李俊然)
第 13 章 p 区元素	(李俊然)

第 14 章 过渡元素

(李俊然)

第 15 章 放射化学

(王炳武)

书稿完成后,2012年秋季学期作为讲义在北京大学生命科学学院和北京大学医学部的普通化学课程中进行了试用,几百名同学纠正了很多错误并提出了不少宝贵的修改意见。在书稿撰写和编辑过程中,北京大学出版社的郑月娥编辑提出了一些建设性的意见和建议并付出了辛勤的劳动。在此,向参与编写和修改本书的所有同仁和同学表示衷心的感谢。尽管已经作了很大努力,书中仍难免有错误或不当之处,请读者继续批评指正。

主编 高松

2013年8月于燕园

# 目 录

绪论 .....	(1)
一、什么是化学——化学概念的历史演变 .....	(1)
二、化学与自然、社会,及人类自身的关系 .....	(3)
三、如何学好化学? .....	(5)
<b>第一单元 物质状态</b>	
<b>第 1 章 气体与液体 .....</b>	<b>(9)</b>
1.1 气体 .....	(9)
1.1.1 理想气体定律 .....	(9)
1.1.2 理想气体状态方程的应用 .....	(10)
1.1.3 混合气体分压定律 .....	(11)
1.1.4 实际气体和 van der Waals 方程 .....	(14)
1.2 液体 .....	(15)
1.2.1 气体的液化 .....	(16)
1.2.2 液体的气化 .....	(17)
1.3 液固转化与平衡 .....	(20)
1.4 水的相图 .....	(21)
<b>第 2 章 溶液 .....</b>	<b>(25)</b>
2.1 溶液的浓度 .....	(25)
2.1.1 质量分数 .....	(26)
2.1.2 摩尔分数或物质的量分数 .....	(26)
2.1.3 质量摩尔浓度 .....	(26)
2.1.4 体积分数 .....	(27)
2.1.5 物质的量浓度 .....	(27)
2.1.6 ppm 和 ppb .....	(28)
2.2 溶解度及其经验规律 .....	(28)
2.2.1 饱和溶液和溶解度的定义 .....	(28)
2.2.2 溶解度的相似相溶规律 .....	(29)
2.2.3 过饱和现象 .....	(31)
2.3 非电解质稀溶液的依数性 .....	(31)
2.3.1 蒸气压下降 .....	(32)
2.3.2 沸点升高 .....	(35)

2.3.3	凝固点降低	(36)
2.3.4	渗透压	(37)
2.4	电解质溶液	(40)
2.4.1	Arrhenius 电离学说	(40)
2.4.2	强电解质的活度与活度系数	(41)
2.5	胶体溶液	(43)
2.5.1	溶胶	(43)
2.5.2	大分子溶液	(45)
2.5.3	表面活性剂与缔合胶体	(45)
2.5.4	胶体溶液的特性及其应用	(46)

## 第二单元 化学热力学与化学平衡

第3章	化学热力学——反应的方向	(51)
3.1	化学热力学常用术语	(51)
3.2	热化学	(53)
3.2.1	反应热的测量	(53)
3.2.2	焓与焓变	(54)
3.2.3	热化学方程式	(55)
3.2.4	热效应的计算	(56)
3.3	化学反应的方向	(59)
3.3.1	焓变与自发反应	(59)
3.3.2	熵变与自发反应	(60)
3.3.3	Gibbs 自由能变与自发反应	(63)
第4章	化学反应的限度	(73)
4.1	化学平衡及其特点	(73)
4.2	平衡常数与反应的限度	(74)
4.2.1	平衡常数 $K$	(74)
4.2.2	平衡常数与 Gibbs 自由能变	(76)
4.2.3	多重平衡	(79)
4.3	化学平衡的移动	(80)
4.3.1	浓度对化学平衡的影响	(80)
4.3.2	压力对化学平衡的影响	(81)
4.3.3	温度对化学平衡的影响	(82)
4.3.4	van't Hoff-Le Châtelier 原理	(82)
第5章	酸碱电离平衡	(87)
5.1	酸碱质子理论	(88)
5.1.1	酸碱的定义	(88)
5.1.2	酸碱电离平衡和质子理论	(88)

5.1.3 酸碱的强弱 .....	(89)
5.2 水的自耦电离平衡 .....	(90)
5.3 弱酸、弱碱的电离平衡 .....	(91)
5.3.1 一元弱酸、弱碱的电离平衡(含离子型) .....	(91)
5.3.2 多元弱酸、弱碱的电离平衡(含离子型) .....	(93)
5.3.3 两性离子的电离平衡 .....	(94)
5.4 酸碱电离平衡的移动及同离子效应 .....	(96)
5.5 缓冲溶液 .....	(98)
5.5.1 缓冲溶液的组成及缓冲作用 .....	(98)
5.5.2 缓冲溶液 pH 的计算 .....	(98)
5.5.3 缓冲溶液的配制 .....	(100)
5.6 酸碱中和反应 .....	(101)
<b>第 6 章 沉淀溶解与配位平衡</b> .....	<b>(105)</b>
6.1 溶度积 .....	(106)
6.1.1 溶度积 $K_{sp}$ 的定义 .....	(106)
6.1.2 溶度积和溶解度 .....	(107)
6.2 沉淀的生成 .....	(108)
6.2.1 溶度积原理 .....	(108)
6.2.2 沉淀的完全度 .....	(109)
6.2.3 同离子效应 .....	(110)
6.2.4 盐效应 .....	(110)
6.3 沉淀的溶解 .....	(111)
6.3.1 发生酸碱反应 .....	(111)
6.3.2 发生氧化还原反应 .....	(111)
6.3.3 发生配位反应 .....	(111)
6.4 沉淀的转化 .....	(112)
6.5 分步沉淀 .....	(113)
6.6 配位平衡 .....	(114)
6.6.1 配位平衡和稳定常数 .....	(114)
6.6.2 配位平衡与多重平衡 .....	(117)
<b>第 7 章 氧化还原反应及电化学基础</b> .....	<b>(123)</b>
7.1 氧化数及氧化还原反应方程式的配平 .....	(123)
7.1.1 氧化数 .....	(123)
7.1.2 氧化还原反应方程式的配平 .....	(124)
7.2 原电池 .....	(126)
7.2.1 原电池的定义 .....	(126)
7.2.2 原电池的组成 .....	(127)
7.2.3 电极类型和电池符号 .....	(127)



7.3	电池电动势和电极电势 .....	(129)
7.3.1	电池电动势 .....	(129)
7.3.2	电极电势 .....	(129)
7.4	标准电池电动势与氧化还原平衡 .....	(132)
7.4.1	电池电动势和 Gibbs 自由能变的关系 .....	(132)
7.4.2	标准电动势和平衡常数 .....	(134)
7.5	标准电极电势的计算 .....	(135)
7.5.1	由标准 Gibbs 自由能变计算 .....	(135)
7.5.2	由已知电对的 $E^\ominus$ 计算 .....	(136)
7.6	影响电极电势的因素 .....	(137)
7.6.1	Nernst 方程 .....	(137)
7.6.2	浓度对电极电势的影响 .....	(139)
7.6.3	酸度对电极电势的影响 .....	(141)
7.7	电极电势及电池电动势的应用 .....	(144)
7.7.1	电极电势的应用 .....	(144)
7.7.2	电池电动势的应用 .....	(145)
7.8	化学电源简介 .....	(147)
7.8.1	原电池 .....	(147)
7.8.2	蓄电池 .....	(148)
7.8.3	燃料电池 .....	(149)

### 第三单元 化学动力学

第 8 章	化学反应速率与化学反应机理 .....	(157)
8.1	化学反应速率 .....	(158)
8.2	化学反应速率与浓度的关系 .....	(161)
8.3	反应级数 .....	(164)
8.3.1	一级反应 .....	(164)
8.3.2	二级反应 .....	(165)
8.3.3	三级反应 .....	(167)
8.3.4	零级反应 .....	(167)
8.4	化学反应速率与温度的关系 .....	(168)
8.4.1	Arrhenius 公式 .....	(168)
8.4.2	活化能的概念及计算 .....	(169)
8.4.3	碰撞理论 .....	(171)
8.4.4	过渡态理论 .....	(172)
8.5	化学反应的机理 .....	(174)
8.5.1	反应历程(反应机理) .....	(174)
8.5.2	动力学稳态 .....	(175)

8.5.3 稳态近似 .....	(176)
8.6 化学反应的催化 .....	(177)
8.6.1 均相催化 .....	(177)
8.6.2 多相催化 .....	(178)
8.6.3 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的催化分解 .....	(180)
8.6.4 酶催化 .....	(180)
8.7 光化学反应基础 .....	(182)
8.7.1 光化学的基本原理 .....	(182)
8.7.2 光化学反应基本概念 .....	(183)
8.7.3 光化学反应基本定律 .....	(185)
8.7.4 量子产率 .....	(185)
8.7.5 光反应过程 .....	(186)
8.7.6 光化学反应动力学 .....	(187)
8.7.7 光化学反应热力学 .....	(188)
8.7.8 光化学反应与热化学反应的区别 .....	(188)

## 第四单元 物质结构

第9章 原子结构 .....	(197)
9.1 氢原子的 Bohr 模型 .....	(198)
9.1.1 氢原子光谱 .....	(198)
9.1.2 氢原子 Bohr 模型的提出 .....	(201)
9.2 微观粒子的运动规律 .....	(203)
9.2.1 微观粒子的波粒二象性和测不准原理 .....	(203)
9.2.2 波函数和电子云 .....	(205)
9.2.3 四个量子数 .....	(207)
9.3 波函数和电子云的空间图像 .....	(210)
9.3.1 波函数角度分布图 .....	(210)
9.3.2 电子云径向分布图 .....	(212)
9.4 多电子原子结构与元素周期律 .....	(214)
9.4.1 多电子原子轨道的能级次序 .....	(214)
9.4.2 屏蔽效应和钻穿效应 .....	(215)
9.4.3 核外电子排布的原则和元素周期律 .....	(217)
9.5 元素某些基本性质的周期性变化规律 .....	(223)
9.5.1 原子半径 .....	(223)
9.5.2 电离能 .....	(224)
9.5.3 电子亲和能 .....	(225)
9.5.4 电负性 .....	(226)

<b>第 10 章 分子与晶体结构</b> .....	(230)
10.1 离子键 .....	(230)
10.1.1 离子键及其特点 .....	(230)
10.1.2 离子的特征 .....	(231)
10.1.3 离子键强度与晶格能 .....	(232)
10.2 经典 Lewis 学说 .....	(234)
10.3 价电子对互斥理论和分子构型 .....	(235)
10.3.1 价电子对互斥理论的要点 .....	(235)
10.3.2 分子的几何构型 .....	(237)
10.3.3 键参数 .....	(241)
10.4 价键理论 .....	(243)
10.4.1 $H_2$ 分子共价键的形成 .....	(243)
10.4.2 共价键的本质和特征 .....	(244)
10.4.3 杂化轨道与分子构型 .....	(245)
10.4.4 离域 $\pi$ 键 .....	(250)
10.5 分子轨道理论 .....	(252)
10.5.1 分子轨道理论概述 .....	(252)
10.5.2 同核双原子分子的电子结构 .....	(253)
10.6 分子的极性和偶极矩 .....	(254)
10.6.1 分子的极性 .....	(254)
10.6.2 偶极矩 .....	(256)
10.7 分子间作用力和氢键 .....	(256)
10.7.1 分子间作用力 .....	(256)
10.7.2 氢键 .....	(259)
10.8 晶体的结构 .....	(263)
10.8.1 晶体的特征 .....	(263)
10.8.2 晶格和晶胞 .....	(263)
10.8.3 等径圆球的密堆积 .....	(265)
10.8.4 晶体的基本类型 .....	(267)
10.9 离子的极化作用 .....	(273)
10.9.1 离子的极化 .....	(273)
10.9.2 影响离子极化的因素 .....	(273)
10.9.3 离子极化作用对键型、晶型及物质性质的影响 .....	(274)
<b>第 11 章 配位化合物</b> .....	(280)
11.1 配位化合物的基本概念 .....	(280)
11.1.1 配位化合物的定义、组成与命名 .....	(280)
11.1.2 配位化合物中的异构现象 .....	(286)

11.2 晶体场理论 .....	(289)
11.2.1 d 电子能级结构在配体场中的分裂 .....	(289)
11.2.2 配合物的颜色 .....	(291)
11.2.3 配合物的磁性 .....	(292)

## 第五单元 元素化学

第 12 章 s 区与 ds 区元素 .....	(301)
12.1 s 区元素 .....	(301)
12.1.1 单质的性质 .....	(302)
12.1.2 氢氧化物 .....	(304)
12.1.3 盐类 .....	(304)
12.1.4 锂、铍的特殊性 .....	(305)
12.1.5 s 区常见阳离子 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 及 $\text{NH}_4^+$ 的分离与鉴定 .....	(306)
12.1.6 氢元素 .....	(308)
12.1.7 钾、钠、钙、镁在生物体内的某些功能 .....	(308)
12.2 ds 区元素 .....	(309)
12.2.1 单质的性质 .....	(310)
12.2.2 重要化合物 .....	(311)
12.2.3 铜、汞不同氧化态的稳定性及相互转化 .....	(317)
12.2.4 ds 区常见阳离子的分离与鉴定 .....	(320)
12.2.5 铜、锌在生物体内的某些功能 .....	(321)
第 13 章 p 区元素 .....	(325)
13.1 p 区非金属元素 .....	(325)
13.1.1 卤素及其化合物 .....	(325)
13.1.2 氧、硫及其化合物 .....	(336)
13.1.3 氮、磷及其化合物 .....	(349)
13.1.4 碳、硅、硼及其化合物 .....	(359)
13.1.5 p 区非金属元素及其化合物的某些性质 .....	(367)
13.1.6 11 种常见阴离子的鉴定 .....	(369)
13.2 p 区金属元素 .....	(371)
13.2.1 金属的活泼性 .....	(371)
13.2.2 氧化物及氢氧化物 .....	(372)
13.2.3 盐 .....	(373)
13.2.4 $\text{Bi(V)}$ 、 $\text{Pb(IV)}$ 的氧化性与 $\text{Sb(III)}$ 、 $\text{Sn(II)}$ 的还原性 .....	(377)
13.2.5 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Bi}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 的分离与鉴定 .....	(377)
13.3 稀有气体 .....	(378)
13.4 p 区元素与环境污染 .....	(379)

第 14 章 过渡元素 .....	(384)
14.1 过渡元素通性 .....	(385)
14.2 d 区元素 .....	(386)
14.2.1 钛和钒 .....	(386)
14.2.2 铬及其化合物 .....	(387)
14.2.3 钼和钨 .....	(390)
14.2.4 锰及其化合物 .....	(391)
14.2.5 铁、钴、镍及其化合物 .....	(393)
14.2.6 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 等离子的性质比较与分离鉴定 .....	(399)
14.2.7 常见阳离子的分离与鉴定 .....	(401)
14.2.8 生物体内钒等 d 区元素的某些功能 .....	(404)
14.3 稀土和镧系元素 .....	(404)
第 15 章 放射化学 .....	(409)
15.1 原子核的组成——质子和中子 .....	(410)
15.2 放射性与人工核反应 .....	(411)
15.2.1 放射性衰变的类型 .....	(412)
15.2.2 放射性衰变的速率 .....	(413)
15.2.3 天然放射系 .....	(414)
15.2.4 人工核反应与人工放射性 .....	(416)
15.3 核裂变、核聚变与核能利用 .....	(418)
15.3.1 质量亏损和结合能 .....	(418)
15.3.2 核裂变与核能利用 .....	(421)
15.3.3 核聚变与核能利用 .....	(426)
15.4 放射化学与生命科学 .....	(428)
15.4.1 放射性的生物效应 .....	(428)
15.4.2 放射免疫分析 .....	(431)
15.4.3 肿瘤放射性治疗 .....	(433)
15.4.4 放射性医学成像 .....	(435)
答案 .....	(438)
附录 .....	(446)
A.1 常见化学键键焓 (298.15 K, 100 kPa) .....	(446)
A.2 常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ (298.15 K, 100 kPa) .....	(447)
B.1 弱酸弱碱的电离常数 .....	(452)
B.2 常用缓冲溶液的 pH 范围 .....	(453)
C.1 常见难溶电解质的 $K_{sp}$ (298.15 K) .....	(454)
C.2 一些配离子的稳定常数 $K_{稳}$ .....	(455)
D.1 酸性溶液中的标准电极电势 $E^\ominus$ (298.15 K) .....	(456)

---

D. 2	碱性溶液中的标准电极电势 $E^\ominus$ (298.15 K) .....	(458)
E. 1	元素的原子半径(pm) .....	(459)
E. 2	元素的第一电离能(eV) .....	(460)
E. 3	元素的第一电子亲和能(eV) .....	(461)
E. 4	元素的电负性(Pauling) .....	(462)
F	离子半径 .....	(463)
G	不同晶体场下 d 轨道能级分裂图 .....	(464)
主要参考书目 .....		(466)

# 绪 论

为了纪念和庆祝化学科学所取得的成就以及对于人类文明的贡献,联合国把 2011 年确定为“国际化学年”(International Year of Chemistry)。2011 年正值居里夫人获得诺贝尔化学奖 100 周年,也恰逢国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)的前身国际化学会联盟(IACS)成立 100 周年。化学年的主题是,“化学——我们的生活,我们的未来(Chemistry—our life, our future)”。化学究竟是什么?它与其他自然科学的基础学科,如物理学和生物学有何不同,又有何联系?化学是如何影响我们人类生活,促进社会发展的?

## 一、什么是化学——化学概念的历史演变

公元前 1000 年左右,古代先民们已开始使用各种化学相关的技术,包括:从矿石中提炼金属、制作陶器、酿酒、制作颜料、从植物中提取香料和药物、制备奶酪、染布、制革、将脂肪转化为肥皂、制取玻璃、制作青铜器等合金制品,这些无不与化学相关。我们引以为豪的我国古代四大发明,造纸术、指南针、火药及活字印刷术,都呈现出化学的烙印。

20 世纪以前,传统的化学定义为关于物质的性质和转化的科学。古代的炼金术(alchemy)和现代的化学,有一个共同的目标——探求物质的性质和转化。那么,化学家与炼金士本质的区别在哪?化学家用科学的方法来研究物质的性质和转化,科学方法包括:

- (1) 进行的实验是其他人可以重复的;
- (2) 实验的结果需要公布,并用清晰的语言来表述观察到的现象、认识到的规律,以及未知的事物。

人类对于物质性质的认识,经历了 2000 多年的漫长过程:从古希腊哲学家德谟克利特(Democritus,约公元前 460—370)的古典原子论,到 19 世纪初英国物理学家、化学家约翰·道尔顿(John Dalton,1766—1844)的原子理论。直至卢瑟福(Rutherford)和玻尔(Bohr)1912 年发现原子的结构,玛丽和皮埃尔·居里(M. S. Curie and P. Curie)发现放射性之后,科学家们才改变了对物质性质的观点。化学家研究的物质性质与变化,主要涉及围绕原子核的电子及其运动。化学的研究对象,主要是我们周围的物质。这些物质处在与标准温度和压力相差不太远的情况,而且其所受辐射环境接近地球上的自然微波、可见或紫外辐射。这些物质是由分子和原子构成的,而所谓物质发生化学变化或转化,只是原子间的拆分结合或重新组合。因此,现代化学的定义,就是在分子层次上研究物质的组成、结构、性质与转换的一门科学。在这里,物质的含义,明确的是指原子和分子构成的物质,通常不考虑在原子核内的物质与核反应,或等离子体态的物质。但是,这并不意味着化学从未涉及等离子、核科学,甚至玻色子领域,如量子化学和核化学等也是化学科学研究的重要分支。

化学作为一门科学,通常认为其研究对象包括宏观物质、原子或分子尺度的物质、分子以上层次物质,但不包括物质的特殊状态(例如玻色-爱因斯坦凝聚、希格斯玻色子、暗物质、裸奇点等)。这些物质状态,原子核内的物质及其构成和变化,以及天体宇宙等,是物理学研究的对象。物理学研究物质的性质,更关注物质内在的抽象性质和相关的原理,物理学概念一般可以被完全形式化,无需一个具体的分子或原子的图像作为基础,如量子色动力学、量子电动力学、弦理论、宇宙学的部分、核物理的某些领域。通常把物理学和化学一起,统称为物质科学(Physical Sciences)。

无论如何,化学是在我们人类所处环境上,领域非常广泛的一个学科,可以说:化学是无处不在的。化学也被称为分子科学,其核心概念与内容包括,分子内与分子间相互作用(化学键),分子合成与反应,分子结构与性质。化学的任务不但在于识别天然物质,更显著的特征是创造新的物质。无穷变化的物质世界,实际上都是百十种原子的排列组合。曾两次获得诺贝尔奖的著名化学家莱纳斯·卡尔·鲍林(Linus Carl Pauling, 1901年2月28日—1994年8月19日),把化学称为分子建筑术(Architecture of Molecules)。化学就像搭积木,像盖房子,其最小的构造单元就是周期表中的110多种原子。基本观点包括:

- (1) 原子或分子要结合在一起,就需要化学键,而要分开,就需要打破化学键;
- (2) 原子或分子间结合或分开的过程就是化学反应,化学反应伴随着能量的变化;
- (3) 原子或分子间结合的方式和在空间的排布,即分子的结构,常常决定了物质的性质。

因为化学键方面的杰出贡献,鲍林获得了1954年的诺贝尔化学奖。他被认为是20世纪对化学科学影响最大的人之一,所撰写的《化学键的本质》被认为是化学史上最重要的著作之一。

2011年诺贝尔化学奖授予以色列材料科学家丹·舍特曼(Dan Shechtman),以表彰他“对准晶体(quasicrystals)的发现”。1982年4月,舍特曼在快速冷却的铝锰合金中发现了一种新形态的二十面体相(icosahedral phase)分子结构,开辟了研究准晶体的全新领域。为什么授予他的是化学奖而非物理奖?其实,从上述化学的定义,也容易理解。化学是从分子层次上研究物质的组成、结构、性质与转化的一门科学,原子如何构成物质是核心的化学问题之一,而准晶的发现,揭示了一种新的原子间连接构造新物质的方式,授予化学奖也是合理的。有趣的是,鲍林曾质疑这种缺乏平移周期性的有序结构的存在,因为它违背了经典晶体学原理。

生物学的英文“Biology”源于拉丁文。Bio意为“生命”,-logy意为“学问”,生物学就是“研究生命的学问”,又称生命科学或生物科学。其研究对象是生命系统的各个层次,而构成生命系统的最基本单元是细胞。生物学研究的内容包括生命起源、进化、构造、发育、功能、行为、与环境的关系等。20世纪50年代DNA分子双螺旋结构的发现,催生了分子生物学,给生物学带来了革命性的变化,极大地推动了生物学的发展。对于生命现象和过程,从分子层面研究,探讨其分子机制,也是化学与生物学融合的结果。与物理学一道,化学为生物学提供了很多新的研究方法和工具。

化学又常常被称为“中心科学(Central Science)”,因为它将物理学和其他自然科学如生物学、地质学等基础学科联系起来;它是物质科学(Physical Sciences)的一个分支,但是,如前面所述,它与物理学(Physics)存在明显的不同。化学家看世界的视角,是从原子和分子层次。化学



研究,就是将物质的性质与其详细组成、所有化学组件的原子排列方式及其电子结构等建立相关性。理解物质的性质和反应性与其分子结构的关系,可以帮助化学家设计具有期望性质的新分子,发明新的转化途径来合成和制造新的物质。化学家寻求发现化学世界的组件,从分子到有组织的化学体系,如活细胞和生物组织,试图理解这些组件之间的作用与变化。合成化学家发展新的转化途径,来创造和表征自然世界未知的新的分子和材料。化学科学家设计、制造并生产出有形的物质,造福社会,比如新的药物和高分子材料。

化学的研究领域非常广泛,包含很多分支学科,按照研究对象来分,包括无机化学(Inorganic Chemistry),有机化学(Organic Chemistry),高分子或大分子化学(Polymer, Macromolecular Chemistry),核与放射化学(Nuclear and Radiochemistry);从原理和方法来分,包括物理化学(Physical Chemistry),理论与计算化学(Theory and Computation Chemistry),分析化学(Analytical Chemistry);从学科交叉融合角度分,包括生物化学和化学生物学(Biological Chemistry, Chemical Biology),材料化学与纳米科学(Materials Chemistry and Nanoscience),环境化学(Environmental Chemistry),地球化学(Geochemistry),等等。

当代化学研究的前沿,往往产生于化学学科内的交叉融合,产生于化学与生命科学、物质科学、材料科学与技术、纳米科学、环境科学、信息科学、地球科学等学科间的交叉融合。2003年,美国国家研究理事会组织专家撰写了《超越分子前沿——化学与化学工程面临的挑战》一书,其主要章节包括,合成与生产:创造和探索新物质及新转换;物质的化学与物理转化;分离、鉴定、成像以及物质和结构的测量;化学理论与计算机建模:从计算化学到过程系统工程;与生物学及医学的交叉;材料设计;大气与环境化学;能源:以供未来之需;国家安全与个人安全。2009年7月起,美国自然科学基金会化学部,将其资助的项目分类,从原来的二级学科重新调整为8个领域,其中4个属于基础化学:化学合成(chemical synthesis),化学结构、动力学与机理(chemical structure, dynamics and mechanism),化学测量与成像(chemical measurement and imaging),理论、模拟与计算方法(theory, models and computational methods);另外4个属于多学科交叉领域:环境化学科学(environmental chemical sciences),生命过程的化学(chemistry of life processes),化学催化(chemical catalysis),大分子、超分子与纳米化学(macromolecular, supramolecular and nanochemistry)。这些新的变化,有别于传统的经典学科分类,反映了当代化学不断与其他学科交叉融合的趋势。

## 二、化学与自然、社会,及人类自身的关系

化学是如此贴近我们所处的自然环境,如此贴近我们人类社会。化学在应对当今人类面临的全球性挑战中,已经并且必将继续发挥巨大贡献。这些挑战包括:清洁空气,安全饮水,健康食品,可靠医药,先进材料,环保产品,可持续能源等。

100多年来,对于人类生存起了最重要作用的分子和反应,当属人工合成氨分子( $\text{NH}_3$ )。从氨分子,可以转化合成尿素、硫酸铵、磷酸铵、硝酸铵等肥料。没有这些肥料,就没有现代农业的发展,就没有足够的粮食供给人类的生存。

现今的工厂大多使用哈伯-博世法(Haber-Bosch process):在200个大气压(atm)和 $500^\circ\text{C}$