



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

无机化学

上 册 第四版

北京师范大学
华中师范大学
南京师范大学

无机化学教研室 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

无机化学

上册 第四版

北京师范大学

华中师范大学 无机化学教研室编

南京师范大学



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

本书是在 1992 年出版的《无机化学》(第三版)的基础上,由吴国庆任主编的新编写组修订完成的。第四版教材在体系与选材两方面既保留了原书的特色,又呈现全新的面貌,使重点更突出,层次更分明。适当降低原子结构及化学热力学的要求。更新了例题与习题,在例题后加评论,以发挥例题、习题的思考功能、操作功能和讨论功能。注重培养读者从因特网上获取知识的能力,以例题、脚注等形式列出了相关学科的网站。

全书共六篇,分上下两册。上册为化学原理,包括物质结构、化学热力学与化学动力学基础、水溶液化学原理三篇;下册为元素化学。本书可作为高等师范院校化学专业的教材,也可供其他院校化学类专业选做教材。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学. 上册 / 北京师范大学无机化学教研室
等编. —4 版. —北京: 高等教育出版社, 2002. 8
高等师范化学系本科教材
ISBN 7-04-010768-6

I. 无… II. 北… III. 无机化学—高等学校:
师范学校—教材 IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 045019 号

无机化学 上册 第四版
北京师范大学
华中师范大学 无机化学教研室编
南京师范大学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048
经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京外文印刷厂
开 本 787×960 1/16
印 张 28.75
字 数 530 000
插 页 2

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

版 次 1981 年 12 月第 1 版
2002 年 8 月第 4 版
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷
定 价 30.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 物质结构基础

第 1 章 原子结构与元素周期系	13
1-1 道尔顿原子论	14
1-2 相对原子质量(原子量)	17
1-2-1 元素、原子序数和元素符号	18
1-2-2 核素、同位素和同位素丰度	18
1-2-3 原子的质量	19
1-2-4 元素的相对原子质量(原子量)	20
1-3 原子的起源和演化	22
1-4 原子结构的玻尔行星模型	26
1-4-1 氢原子光谱	26
1-4-2 玻尔理论	27
1-5 氢原子结构(核外电子运动)的量子力学模型	30
1-5-1 波粒二象性	30
1-5-2 德布罗意关系式	31
1-5-3 海森堡不确定原理	31
1-5-4 氢原子的量子力学模型	32
1-6 基态原子电子组态(电子排布)	39
1-6-1 构造原理	39
1-6-2 基态原子电子组态	44
1-7 元素周期系	46
1-7-1 元素周期律、元素周期系及元素周期表	46
1-7-2 元素周期表	47
1-8 元素周期性	52
1-8-1 原子半径	52
1-8-2 电离能	55
1-8-3 电子亲和能	56
1-8-4 电负性	58
1-8-5 氧化态	59
习题	61
第 2 章 分子结构	66

2-1 路易斯结构式	66
2-2 单键、双键和叁键—— σ 键和 π 键——价键理论(一)	69
2-3 价层电子互斥模型(VSEPR)	71
2-4 杂化轨道理论——价键理论(二)	74
2-4-1 杂化轨道理论要点	74
2-4-2 sp^3 杂化	76
2-4-3 sp^2 杂化	76
2-4-4 sp 杂化	78
2-5 共轭大 π 键	80
2-6 等电子体原理	83
2-7 分子轨道理论	84
2-8 共价分子的性质	93
2-8-1 键长	93
2-8-2 共价半径	93
2-8-3 键能	95
2-8-4 键角	97
2-8-5 键的极性与分子的极性	98
2-9 分子间力	101
2-9-1 范德华力	101
2-9-2 氢键	104
2-9-3 分子间作用力的其他类型	109
2-9-4 范德华半径	110
2-10 分子对称性(选学材料)	112
2-10-1 对称性	112
2-10-2 对称操作与对称元素	113
2-10-3 分子的对称类型	117
2-10-4 分子的性质与对称性的关系	119
习题	119
第3章 晶体结构	122
3-1 晶体	122
3-1-1 晶体的宏观特征	122
3-1-2 晶体的微观特征——平移对称性	125
3-2 晶胞	127
3-2-1 晶胞的基本特征	127
3-2-2 布拉维系	129
3-2-3 晶胞中原子的坐标与计数	129
3-2-4 素晶胞与复晶胞——体心晶胞、面心晶胞和底心晶胞	130
3-2-5 14种布拉维点阵型式	134

3-3 点阵·晶系(选学内容)·····	135
3-3-1 点阵与阵点·····	135
3-3-2 点阵单位·····	137
3-3-3 点阵型式·····	137
3-3-4 晶系·····	139
3-4 金属晶体·····	140
3-4-1 金属键·····	140
3-4-2 金属晶体的堆积模型·····	143
3-5 离子晶体·····	147
3-5-1 离子·····	148
3-5-2 离子键·····	151
3-5-3 晶格能·····	153
3-5-4 离子晶体结构模型·····	155
3-6 分子晶体与原子晶体·····	160
3-6-1 分子晶体·····	160
3-6-2 原子晶体·····	161
[阅读材料] 拟晶(quasicrystal)·····	162
习题·····	163
第4章 配合物 ·····	167
4-1 配合物的基本概念·····	167
4-1-1 配合物的定义·····	167
4-1-2 复盐与配合物·····	171
4-1-3 配合物的命名·····	171
4-2 配合物的异构现象与立体结构·····	172
4-2-1 结构异构·····	172
4-2-2 几何异构·····	173
4-2-3 对映异构·····	176
4-3 配合物的价键理论·····	178
4-4 配合物的晶体场理论·····	182
4-4-1 中心原子d轨道在配位场中的分裂·分裂能 Δ ·光谱化学序列·····	182
4-4-2 高自旋与低自旋·成对能 P ·····	185
4-4-3 稳定化能·····	187
习题·····	189
 第二篇 化学热力学与化学动力学基础	
第5章 化学热力学基础 ·····	193
5-1 化学热力学的研究对象·····	194
5-2 基本概念·····	196

5-2-1 系统与环境	196
5-2-2 物质的量	197
5-2-3 浓度	199
5-2-4 气体	201
5-2-5 相	205
5-2-6 热力学温度	205
5-2-7 热与功	206
5-2-8 状态与过程	210
5-2-9 热力学标准态	211
5-2-10 状态函数	211
5-3 化学热力学的四个重要状态函数	212
5-3-1 热力学能(内能)	212
5-3-2 焓	214
5-3-3 自由能	218
5-3-4 熵	222
5-4 化学热力学的应用	228
5-4-1 盖斯定律及其应用	228
5-4-2 生成焓与生成自由能及其应用	229
5-4-3 利用焓变与熵变计算化学反应的标准摩尔自由能	231
5-4-4 吉布斯-亥姆霍兹方程对化学反应的分类	232
5-4-5 热力学分解温度	232
[阅读材料] 石墨转化为金刚石的热力学	235
[阅读材料] 为什么铁丝在充满氧气的广口瓶里燃烧的产物是 Fe_3O_4 而不是 Fe_2O_3 或 FeO ?	236
习题	239
第 6 章 化学平衡常数	244
6-1 化学平衡状态	244
6-1-1 化学平衡	244
6-1-2 勒沙特列原理	245
6-2 平衡常数	248
6-2-1 标准平衡常数	248
6-2-2 实验平衡常数	250
6-2-3 偶联反应的平衡常数	252
6-3 浓度对化学平衡的影响	253
6-4 压力对化学平衡的影响	254
6-5 温度对化学平衡的影响	256
习题	260
第 7 章 化学动力学基础	264

7-1 化学反应速率	265
7-1-1 概述	265
7-1-2 平均速率与瞬时速率	266
7-1-3 反应进度	269
7-2 浓度对化学反应速率的影响	269
7-2-1 速率方程	270
7-2-2 反应级数	271
7-2-3 速率常数	272
7-2-4 用实验数据建立速率方程	273
7-2-5 利用速率方程进行计算	275
7-3 温度对反应速率的影响及阿仑尼乌斯公式	278
7-4 反应历程	282
7-4-1 基元反应与反应分子数	282
7-4-2 由反应机理推导实验速率方程	282
7-5 碰撞理论和过渡态理论	285
7-5-1 碰撞理论	285
7-5-2 过渡态理论	287
7-6 催化剂对反应速率的影响	288
习题	289

第三篇 水溶液化学原理

第 8 章 水溶液	295
8-1 溶液的浓度和溶解度	296
8-1-1 溶液的浓度	296
8-1-2 溶解度	297
8-1-3 相似相溶原理	299
8-2 非电解质稀溶液通性	299
8-2-1 溶液的蒸气压下降——拉乌尔定律	300
8-2-2 溶液的凝固点下降	301
8-2-3 溶液的沸点上升	302
8-2-4 溶液的渗透压	303
8-2-5 稀溶液的依数性	305
8-3 电解质溶液	305
习题	307
第 9 章 酸碱平衡	310
9-1 酸碱质子理论	310
9-2 水的离子积和 pH	312
9-3 酸碱盐溶液中的电离平衡	315

9-3-1 强电解质	315
9-3-2 弱电解质	316
9-3-3 拉平效应和区分效应	318
9-4 水溶液化学平衡的计算	319
9-4-1 一元弱酸	319
9-4-2 一元弱碱	321
9-4-3 同离子效应	322
9-4-4 多元酸	323
9-4-5 多元碱	325
9-4-6 酸碱两性物质的电离	326
9-5 缓冲溶液	327
9-6 酸碱指示剂	331
习题	333
第10章 沉淀平衡	336
10-1 溶度积原理	336
10-1-1 溶度积常数	336
10-1-2 溶度积原理	338
10-1-3 溶度积与溶解度	339
10-1-4 同离子效应	339
10-1-5 影响难溶物溶解度的其他因素	340
10-2 沉淀与溶解	342
10-2-1 金属氢氧化物沉淀的生成-溶解与分离	342
10-2-2 难溶硫化物沉淀与溶解	344
10-2-3 沉淀转化	346
习题	347
第11章 电化学基础	349
11-1 氧化还原反应	349
11-1-1 氧化值和氧化态	350
11-1-2 氧化还原半反应式	352
11-1-3 氧化还原方程式的配平	354
11-2 原电池	356
11-2-1 珈伐尼电池·伏打电堆·丹尼尔电池	356
11-2-2 半电池·原电池符号·电极的分类	357
11-2-3 电动势·标准氢电极·标准电极电势	358
11-2-4 能斯特方程	361
11-2-5 能斯特方程的应用	363
11-2-6 电极电势的计算	367
11-3 实用电池	370

11-3-1 酸性锌锰电池	370
11-3-2 碱性锌锰电池	371
11-3-3 镍镉电池	372
11-3-4 镍氢电池	372
11-3-5 锂电池和锂离子电池	372
11-3-6 铅蓄电池	373
11-3-7 燃料电池	373
11-4 有关电解的几个问题	375
11-4-1 电解对化学的发展曾经起到重大的历史作用	375
11-4-2 原电池与电解池的区别	376
11-4-3 分解电压	377
11-4-4 超电势	378
11-4-5 电解的计算	379
习题	380
第 12 章 配位平衡	384
12-1 配合物的稳定常数	384
12-1-1 稳定常数和不稳定常数	384
12-1-2 配离子的逐级形成常数	387
12-2 影响配合物在溶液中的稳定性的因素	389
12-2-1 中心原子的结构和性质的影响	389
12-2-2 配体性质的影响	390
12-3 配合物的性质	392
12-3-1 溶解度	392
12-3-2 氧化与还原	393
12-3-3 酸碱性	394
习题	394
习题答案(选)	396
附表	403
附表 1 元素的相对原子质量(原子量)(1999 年)	403
附表 2 一些物质的摩尔质量	405
附表 3 一些质子酸的解离常数($I = 0, 25^{\circ}\text{C}$)	409
附表 4 一些氨羧配位剂与金属离子配合物的稳定常数 $\lg K(\text{ML})$	414
附表 5 一些金属离子配合物的稳定常数 $\lg \beta_i(25^{\circ}\text{C})$	415
附表 6 一些难溶化合物的溶度积(25°C)	419
附表 7 一些半反应的标准电极电势(298 K)	421
附表 8 在 298.15 K 和 100 kPa 时一些单质和化合物的热力学函数	426
附表 9 一些物理和化学的基本常数	431
附表 10 国际单位制(SI)基本单位	432

附表 11 国际单位制(SI)词头	433
附表 12 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位	434
附表 13 常用的换算因数	434
附表 14 外国人名译名对照表	435

元素周期表

绪 论

1. 化学的研究对象

什么是化学？通常说：化学研究物质的组成、结构、性质与变化的规律。这种说法太宽泛。首先，化学并不研究所有的物质，如电磁波、电磁场、引力场、电子、中子、质子、原子核、夸克、……等等，都是物质，化学并不研究；其次，化学也不在所有层次上研究物质。宇观物质（宇宙、星云、星体、星际云）、宏观物质（地球、城市、亭台楼阁、红砖绿瓦等等）、介观物质（光学显微镜尺度、微米尺度、纳米尺度的物质）和微观物质（分子、离子、原子、亚原子微粒、……）属于不同的物质层次，并非都是化学的研究对象。可见，必须对上述说法中的“物质”和“物质的层次”作出必要的限制和说明，才能搞清什么是化学。

化学研究的是**化学物质**。《现代汉语词典》里没有这个复合词。这个术语的英文是“chemical substances”，更常见的是“chemicals”。过去，chemicals 指化学试剂或化工产品（化学品），现在，其词义早已扩大。水、空气、动植物、矿物等等自然物质，都是“chemicals”，因此，按其内涵，这个词应译为“化学物质”。宏观地看，化学物质构成了物体（气、液、固等），举例说，玻璃杯、玻璃板、玻璃纤维、……是物体，而构成它们的玻璃是化学物质；微观地看，化学物质的最低层次是原子（包括原子发生电子得失形成的单原子离子）。比原子更低的物质层次，如电子、质子、中子以及由质子和中子组成的原子核可总称亚原子微粒（subatomic particles），就不是化学研究的对象了。比原子高一个层次的化学物质是原子以**强相互作用力**（通称**化学键**）相互结合形成的**原子聚集体**。如果把所有单独存在的原子和所有原子聚集体都称为“分子”（molecules），我们就可以说，化学研究分子的组成、结构、性质与变化。这里的“分子”概念显然已不同于 140 年前建立的传统概念，即中学教科书里说的保持物质性质的“最小”微粒，它既包括各种单原子分子（如稀有气体原子）、各种气态原子或单核离子，也包括以共价键结合的传统意义的分子，还包括离子晶体（如食盐）、原子晶体（如金刚石）或者金属晶体（如铜）等的单晶（其晶粒可大可小）以及各种聚合度不同的高分子。如今人们所说的“分子层次”（molecular scale）的“分子”就是这个意思，本质上是核 - 电子体系。恩格斯在《自然辩证法》里曾把化学定义为关于原子的科学——研究原子的化合与化分，实质上是指原子之间的强相互作用力的形成和破坏，或者说分子的形成和破坏，所以，本质上仍是指分子层次。

有时,人们把比分子低一个层次而比原子高一个层次物质层次称为**亚分子层次**(submolecular scale)。亚分子(submolecule)是化学研究的对象,这容易理解,因为它们的变化正是**原子的化合与分解**,在这个意义上,亚分子层次不必另作一个层次来定义,可以归于分子层次;但也不能太绝对,例如,有的人专门研究分子的“碎片”,研究“分子片”、“分子瓣”等分子的结构单元,你便可以说,他们在研究亚分子层次。

比分子高一个层次,是**超分子层次**。什么是**超分子**(supramolecule)? 它的内涵有二。其一似与很大的分子,即**巨分子**(macromolecule)同义,它们是单一分子,它们的原子之间以强相互作用力结合,但它们是由许多小分子合成的,而且具有某种特殊的高级构型或结构。图 0-1 便是一例^①,它是一个巨大的十二

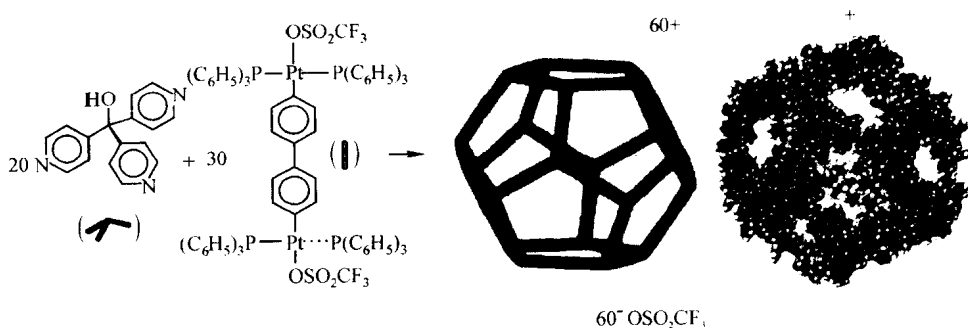


图 0-1 由小分子组装而成的具有一定高级结构的巨分子有时也称为“超分子”。图中的十二面体是 1999 年合成的迄今最大的非生物高分子,化学式(包括 60 个负离子在内)为 $C_{2000}H_{2300}N_{60}P_{120}S_{60}O_{200}F_{180}Pt_{60}$, 相对分子质量达 61 955,直径达 7.5 nm,相当于小蛋白质分子的尺寸,右图是其原子堆积模型

面体,每条棱和每个顶角都分别是同一种小分子单元,它们通过缩合反应以共价键相互结合形成十二面体,缩合反应放出 -1 价的离子又与十二面体以离子键结合。超分子的另一含义是若干个分子以**弱相互作用力**(通常称为分子间作用力,包括范德华力和氢键等)相联系,并且通过所谓“**自组装**”(self-assembling)或“**自组织**”(self-organizing)构筑(tectonize^②)成某种高级结构。通常人们所指的超分子是上述第二种含义。近年来,人们普遍认为,超分子这种分子以上的层次是 21 世纪化学的重要研究对象。长期以来,人们以为,只有活的生命体才具

① J. A. C. S. 1999, 121: 10434

② 以 tecto- 为词根的术语在地质学等较高层次的学科中是不少的,一般译为“构造”。用该词表述超分子构成高级结构,是近年来的事情,为与分子结构相区别,被译为“构筑”[见:中国科学院与自然科学基金委编. 21 世纪化学展望. 化学工业出版社, 2000]。

有将分子组装起来的能力。现已证实,自组装是超分子的普遍特性,不是生命的特有现象。图 0-2 给出了苯乙烯分子在晶体硅表面发生自组装的例子^①。生物体内的超分子具有许多特殊的功能。近年发现,许多人造的超分子也有某些特殊功能。但超分子是否都必定有某种特殊功能,还有待在 21 世纪合成更多的超分子后才能作出科学的概括。图 0-3 是生物体内的超分子的功能的一个例子,有兴趣的读者可读一读该图的说明文字。

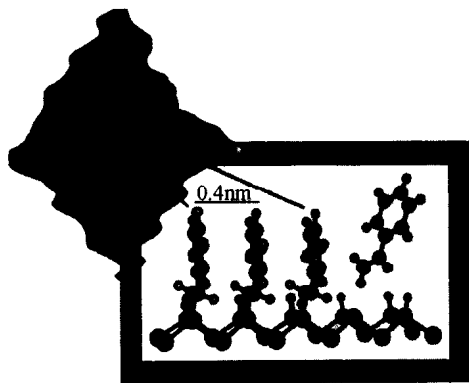


图 0-2 分子自组装

扫描隧道显微镜揭示苯乙烯分子吸附在硅晶体表面上发生自组装,分子的苯环取向一致,将苯乙烯构筑成密堆积的“超分子”

综上所述,化学是研究分子层次以及以超分子为代表的分子以上层次的化学物质的组成、结构、性质和变化的科学。我们这里把超分子作为分子以上层次的代表,这是一个历史观念,适合于 20 世纪末 21 世纪初的新旧千年之交的历史时期。就目前情况而言,再高的层次是其他科学的研究对象了,尽管它们在研究中不乏利用化学的思想和方法,却已不是化学。例如:细胞的组成、结构、性质和变化,是生物学的研究对象;硅制成的集成电路芯片的结构、性能,是物理学的研究对象。在 21 世纪,科学的综合将大大加强,例如,河流筑坝截流引起泥沙凝聚沉降,化学家只能参与多学科研究小组而不能独立地进行研究。至于较远的将来,究竟化学研究的分子以上层次还将如何向上扩展,以什么为代表,尚不能作出预言^②。

^① Chemical & Engineering News, 2000, July, 10

^② 参阅中科院院士王夔. 化学研究的空白区和未来发展的前沿. 载于 2 页注 2 的书。另外,中科院资深院士徐光宪最近提出,化学的研究对象是“泛分子”(pan-molecule)层次。他还认为泛分子有十个层次。见中国化学会 2000 学术会议论文集和《化学通讯》2000 年第 6 期。

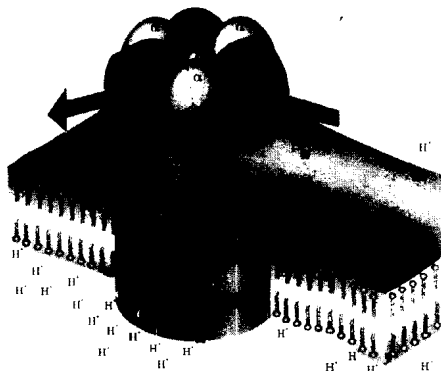


图 0-3 制造 ATP 的超分子工厂

在自然界里有许多奇妙的分子器件。我们可以举生物细胞中制造 ATP 分子的微型工厂为例^①。ATP(三磷酸腺苷)是生物体的储能分子,当某生物化学反应需要提供能量才能发生,ATP 就参与反应变成 ADP 来释放能量。ADP(二磷酸腺苷)不断与磷酸反应合成 ATP,以供生命活动之需。一个葡萄糖分子代谢为 CO_2 和 H_2O 将用 36 个 ATP 分子来储存能量。一个成人平均每人每天要在体内生产出相当于体重的 ATP 分子。一个马拉松赛程,一名运动员要制造 1 吨 ATP 分子。ATP 分子是细胞内一种叫线粒体的细胞器的膜上的一种微型工厂里制造的(图 0-3)。这个微型工厂叫做 ATP 合成酶(ATP-synthase),是若干个蛋白单元(图中的 α 、 β 、 γ 及 C)排列成一个电动机转子似的超分子,这个电动机是由质子(H^+)推动的,每秒钟旋转 100 圈,每转一圈生产 3 个 ATP 分子。单就提出 ATP 合成酶的质子泵理论的 P. Mitchel 和解析出这个酶的蛋白质结构的 J. Walker 分别获得了 1978 年和 1997 年诺贝尔“化学”奖来看,已可理解超分子已是化学的研究对象。化学的未来发展必将有能力制造人造的具有各种特异功能的分子器件,使化学的应用呈现一个全新的面貌

在分子和超分子的微观层次上研究物质,是化学不同于其他物质科学的基本特征。近年来,“化学物种”(chemical species)一词用得越来越普遍。物种(species)一词本是生物学术语,化学界借用了它。每一种核-电子体系都是一种化学物种,例如单个的原子(H 、 O 、 Fe 等)、单个的离子(O^{2-} 、 H^+ 、 Fe^{2+})、简单分子(H_2O 、 NH_3)、简单离子(NH_4^+ 、 SO_4^{2-})等,直至各种具有确定质量的人造的(如聚氯乙烯)和天然的(如胰岛素的蛋白质单元)高分子。在分析化学中,早就把水合离子称为化学物种,例如水合的 $\text{Na}_{(\text{aq})}^+$ 、 $\text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$ 、 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_{4(\text{aq})}^{2+}$ 、 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_{3(\text{aq})}^{2+}$ 等等。本质上,水合离子也是超分子。因而,扩大地看,每一种超分子也都可看作一种化学物种。例如,在乙酸的蒸气里有通过氢键结合的乙酸分子双聚体,它也有一定的结构和性质,也应认为是一种化学物种。图 0-3 的 ATP

^① Lehniger, Nelson, Cox. Principle of Biochemistry, 2nd ed. Worth, 1993, 544; Chemistry in Britain, 2000, Sept, 34

合成酶、无数条纤维素分子整齐排列构成的纤维,等等,都可认为是化学物种。由此我们又可说:化学是一门研究分子和超分子层次的化学物种的组成、结构、性质和变化的自然科学^①。

化学的核心是合成,这是化学区别于所有其他科学的特色。截至 2000 年 4 月,美国化学会《化学文摘》登录的化学物质总数超过 3 000 万^②。20 世纪 90 年代末的每一年,在该文摘登录的新化学物质总数都超过 100 万,其中绝大多数是自然界没有的人造物质。化学创造了一个人造世界。化学是一门最富创造性和想象力的科学。但不应将“合成”误解为只制造自然界没有的新物质,自然界有的,化学家也合成,如柠檬酸是天然物质,广泛存在于水果和蔬菜中,但用来配制饮料和食品添加的柠檬酸大多人造的。化学合成了许许多多天然物质^③,尤其是找到了自然界没有的合成方法,在这个意义上,这些由化学家合成的天然物质也是人造的。

近年来,先人造,而后发现自然界里也有的物质屡见不鲜。例如球碳 C_{60} ,偶然地合成于 1985 年,后来才发现自然界也有。其后合成的球碳不止 C_{60} 一种,是一个系列,有大有小(图 0-4),有的还有多种异构体,例如, C_{80} 有 7 种不同对称性的异构体。 C_{60} 的合成开辟了一个全新的化学研究新领域,近年几乎每期国际化学杂志都有新的球碳衍生物报道。1991 年又发现了管状的碳,对应于球碳,可以称为管碳,是石墨的二维平面卷曲而成的管子,有单层的,也有多层的,一层套一层,像俄罗斯套娃。管碳的高级结构丰富多彩,有的像面包圈,有的是螺体,有的像澳大利亚土著的飞镖(飞去来器),见图 0-4。最早发现球碳的 Smalley 等 3 人在获 1991 年诺贝尔化学奖时曾预言,管碳找到实际用途将比球碳更早^④。近来还发现,许多无机化合物也可以出现俄罗斯套娃结构,如 WS_2 。

① 化学的定义很多,本定义用化学物质和微观物种限制了化学的研究对象,排除了光子等物质,也排除了小至细胞大至宇宙的组成、结构、性质与变化,也没有后缀“规律”一词,因化学是一门科学,既然如此,研究“规律”已隐含其中,见《辞海》的条目科学。

② 化学物质总数是指美国化学会《化学文摘》杂志的登录号,包括单质在内,可从互联网上动态地查获——<http://www.cas.org/cgi-bin/regreport.pl>。

③ 严格地说,人造的天然物仍不同于自然界造就的天然物,尽管人造的天然物可能与天然物的组成、结构完全相同,但世界上没有绝对纯净的物质,人造物与天然物含的杂质经常是不同的,只看主成分不顾杂质有时会出现意外后果。

④ C&EN, 1996, Oct (14):7

这一系列由发现 C_{60} 发端的事件十分典型地显示了化学的特色和魅力^①。

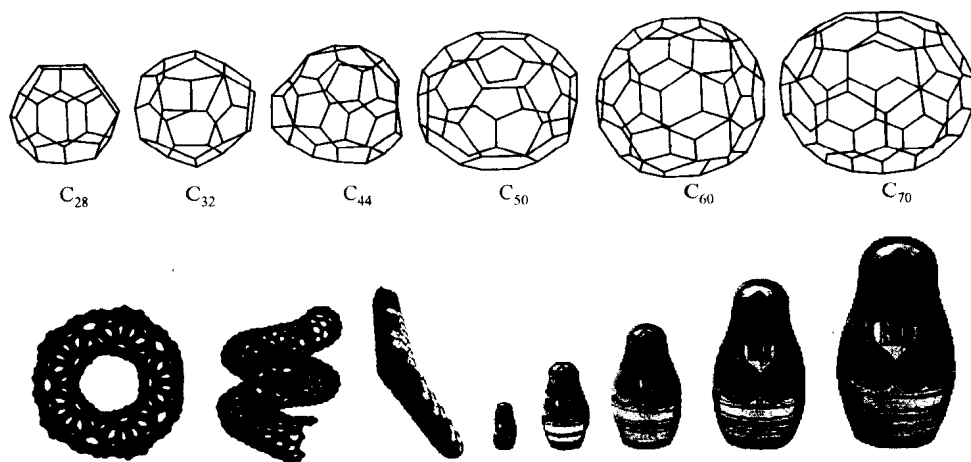


图 0-4 球碳和管碳的分子模型和俄罗斯套娃

球碳的发现标志着合成化学的质变——新化合物已不是单纯数量增多,类型也花样翻新,目不暇接。近几十年来,化学新名词层出不穷,如分子树(dendrimer,图 0-5)、团簇(cluster)、笼合物(clathrate)、离子液体(ionic liquid)等等,不胜枚举。一种新化合物刚刚出现时,常引起人们的怀疑,真会有这样怪异的化合物?例如,早在 1933 年泡林(L. Pauling 1901—1994)已经预言稀有气体能形成化合物,但没有人认真对待他的预言,到了 1962 年,在加拿大工作的英国人巴特列(N. Bartlett)预计 PtF_6 有可能把 Xe 氧化形成与 $O_2^+ PtF_6^-$ 晶体相近的 $Xe^+ PtF_6^-$,结果合成了稀有气体的第一个化合物,破除了 8 电子壳层稀有气体原子不能形成化合物的“理论”,几个月后,更简单的化合物 XeF_2 、 XeF_4 、 XeF_6 相继在三个不同实验室合成,渐渐合成了上百种稀有气体化合物,最近,甚至合成了如 $HArF$ 、 $[AuXe_4]^{2+}$ 等新型稀有气体化合物。又例如 1972 年,大艾(James L. Dye)合成了钠负离子化合物(阴离子是 Na^-),及至 1999 年,在同一个实验室里

^① 以 C_{60} 为代表的碳的新单质总称为 fullerenes(复数),包括球碳和管碳,我们曾建议将 fullerenes 汉译为“硃”,此字非新造,为古字新用,取“石”的偏旁以纳入化学术语已形成的体系(“火”偏旁的烷、烯、炔等是脂肪烃,草字头的苯、萘、蒽是芳香烃,而碳、磷、硫等固态非金属以“石”为偏旁)。当用“硃”为词素构成复合词时,显然要比任何多音节词好,因“硃”的衍生物越来越多,IUPAC 已经建议了一套命名系统。以硃为主词,不仅可系统对译其衍生物 IUPAC 系统命名,还可扩展,如含杂原子的球碳(如 $C_{59}N$)可类比含杂原子的芳香烃称为“某杂硃”(如氮杂硃),与硃的微观形貌类似的 WS_2 之类,可称为“类硃”(可创造英文新词 fullerenoid)。