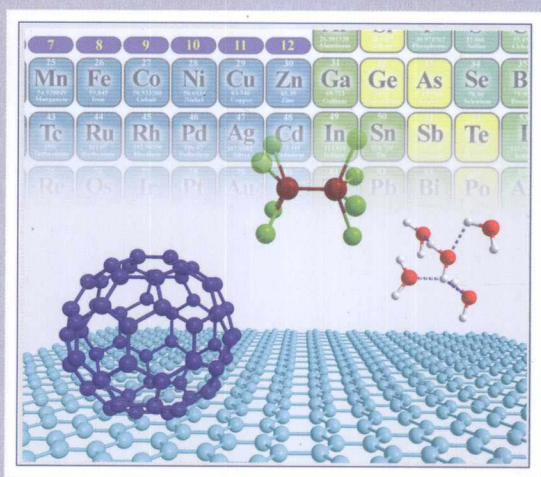


Advanced Inorganic Chemistry

# 高等无机化学

和玲 赵翔 主编



科学出版社

# 高等无机化学

和 玲 赵 翔 主编



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是结合现代无机化学新进展而编写的适合研究生学习使用的基础理论书籍。

本书共分 11 章,包括绪论、化学元素周期系、稀土元素的性质及其性质变化的规律性、酸碱理论与非水溶液化学、分子对称性与群论基础、配位化合物、金属有机化合物、原子簇化合物、超分子化学、高等无机合成、生物无机化学。每章都既体现了高等无机化学的基础性,又提供了与之相关的最新研究进展的前瞻性内容的简要综述或发展领域简介。本书使用了最新参考文献的图片,对重要的人名及概念给出英文注解。每章都配有一定的思考题和习题,各章之后给出相关名词的详细英文解释,供读者对该章的内容进行复习和总结。期望本书对研究生的进一步深入学习起到积极的引导与启发作用。

本书可作为高等院校化学及其相关专业的研究生教材和教学参考书,也可供相关专业领域的科技工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

高等无机化学/和玲,赵翔主编. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-031466-6

I. ①高… II. ①和…②赵… III. ①无机化学-高等学校-教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 107618 号

责任编辑:朱 丽 刘 晶/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 6 月第一次印刷 印张:31 1/2

印数:1—2 500 字数:616 000

**定价:78.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

现代无机化学发展的三大特点是从宏观到微观、从定性描述向定量化发展、既分化又综合而又产生出许多边缘学科。因此形成的多个交叉学科中,以配位化学、金属有机化学、原子簇化学、超分子化学、无机固体化学、生物无机化学等最为突出。在这种大环境下,西安交通大学研究生院开展了研究生教学研究与教学改革的实践活动,有力地支持了这本《高等无机化学》研究生基础课程教材的编写。

在多年的高等无机化学教学实践中,如何真正地从教学内容的深度及广度上既加强基础理论知识的学习,又能够适应无机化学的发展需要,同时兼顾新理论、新发现、新成果的内容,如何切实反映高等无机化学应该体现的内容,激发具有一定基础化学知识的研究生将无机化学的基础理论和前沿研究应用于论文甚至后期的科研实践中,一直是值得我们思考的问题。因此,在这本《高等无机化学》教材编写过程中,我们在注重介绍高等无机化学的基本原理的同时,也反映了无机化学的新成就和新进展。

全书共 11 章,依次为:绪论、化学元素周期系、稀土元素的性质及其性质变化的规律性、酸碱理论与非水溶液化学、分子对称性与群论基础、配位化合物、金属有机化合物、原子簇化合物、超分子化学、高等无机合成和生物无机化学。本书编写时力求做到简化烦琐的数学处理和抽象的概念描述,突出了系统性和阅读性。在章节的安排上,本书尽力做到知识结构布局合理、章节内容衔接有序。在具体内容上,本书既体现了高等无机化学的基础性,又提供了与之相关的最新研究进展的前瞻性内容的简要综述或发展领域简介。每章配有一定的思考题和习题,供读者对该章的内容进行复习和总结。期望本书能对化学及其相关学科研究生的学习与研究起到积极引导和启发作用。

为适应高等教育与国际教育接轨的发展趋势,本书中的绝大部分专业术语以中英文两种文字形式给出,同时每章给出了与基础内容相关的术语的英文解释或描述。

本书在编写过程中,参考了兄弟院校相关教材的特点,同时考虑到全国研究生培养的特殊需要,尽力体现教学内容、教学时间及学科要求相互统一的特点。

本书贯彻中华人民共和国国家法定计量单位,采用国家标准(GB3102. 8—93)所规定的符号和单位。

全文由和玲统筹定稿。其中,第 1、6 章由和玲编写,第 2、10 章由高胜利、谢

钢、杨奇编写,第3章由李聚源编写,第4章由高敏编写,第5、8、9章由赵翔编写,第7章由周桂江编写,第11章由陈咏梅编写。

限于编者水平,书中难免存在不足或错误,敬请专家、学者、读者批评指正。

编 者

2011年3月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 无机化学发展的动向和趋势 .....	1
1.1.1 概述 .....	1
1.1.2 现代无机合成 .....	2
1.1.3 配位化学 .....	3
1.1.4 原子簇化学 .....	4
1.1.5 固体无机化学 .....	5
1.1.6 稀土化学 .....	5
1.1.7 生物无机化学 .....	6
1.1.8 核化学和放射化学 .....	7
1.1.9 非金属无机化学 .....	7
1.1.10 富勒烯化学 .....	7
1.1.11 金属有机化合物 .....	8
1.2 无机化学参考期刊 .....	9
参考文献 .....	23
<b>第 2 章 化学元素周期系</b> .....	24
2.1 元素周期律 .....	24
2.1.1 元素概念的提出和元素起源理论 .....	24
2.1.2 元素周期表的形成和发展 .....	25
2.2 元素周期系的发展 .....	34
2.2.1 Mendeleev 时代 .....	34
2.2.2 周期表中的新家族——稀有气体 .....	35
2.2.3 Mosely 定律的发现——周期律实质的揭示 .....	36
2.2.4 稀土元素的发现——周期表的进一步扩充 .....	37
2.2.5 原子结构理论的建立——周期律的真正本质 .....	39
2.2.6 放射性元素的发现和合成——周期律结构的深入认识 .....	40
2.2.7 锕系后元素的合成——元素周期律的发现前景 .....	43
2.3 各种形式的周期表 .....	47

2.3.1	周期表的形式	47
2.3.2	元素周期表族标法的改进	49
2.4	元素性质的规律性	49
2.4.1	随原子序数呈现周期性变化的几个重要参数	50
2.4.2	元素周期表中的第二周期性	55
2.4.3	元素周期表中的区域性规律	59
2.5	原子的轨道能级	60
2.5.1	Schrödinger 方程的解	60
2.5.2	多电子原子的近似能级图和能级组	62
2.5.3	多电子原子发生能级交错的原因和实质	70
2.5.4	多电子基态原子核外电子排布	76
	阅读材料:最新研究进展简介	78
	Glossary	80
	思考题	83
	习题	83
	参考文献	84
<b>第3章</b>	<b>稀土元素的性质及其性质变化的规律性</b>	<b>89</b>
3.1	稀土元素在地壳中的丰度和奇偶变化	89
3.1.1	元素在地壳中的丰度	89
3.1.2	稀土元素在地壳中丰度的奇偶变化规律	91
3.1.3	稀土元素的矿物资源	94
3.2	稀土元素的价电子层结构及氧化态	97
3.2.1	稀土元素原子和离子的电子组态	97
3.2.2	稀土元素的氧化态	99
3.3	稀土元素的原子半径和离子半径	102
3.3.1	稀土元素原子半径和离子半径的基本特征	102
3.3.2	稀土元素原子半径的变化规律及其影响	103
3.3.3	稀土元素离子半径的变化规律及其影响	105
3.4	RE <sup>3+</sup> 的碱度与稀土分离	106
3.4.1	RE <sup>3+</sup> 的碱度及其变化规律	106
3.4.2	RE <sup>3+</sup> 的碱度变化规律在稀土分离上的应用	107
3.5	镧系元素性质变化的规律性	113
3.5.1	镧系元素的“奇偶效应”	113
3.5.2	镧系元素的“四分组效应”	114
3.5.3	镧系元素的萃取分离因数 $\beta$ 呈现的双-双效应	115

3.5.4 镧系离子的配合物的 $\lg K_{\text{稳}}$ 呈现斜 $W$ 效应 .....	116
3.5.5 镧系元素性质递变的双峰效应 .....	117
3.6 镧系元素的光学性质 .....	119
3.6.1 镧系元素光谱特点 .....	119
3.6.2 +3 价稀土离子基态的光谱项 .....	121
3.6.3 镧系离子的电子吸收光谱和离子的颜色 .....	122
3.6.4 镧系离子的超灵敏跃迁 .....	123
3.6.5 稀土激光及激光材料 .....	125
3.6.6 稀土荧光及荧光材料 .....	129
3.7 稀土元素的磁学性质 .....	131
3.7.1 稀土元素离子和化合物的磁性 .....	132
3.7.2 稀土金属和金属间化合物的磁性 .....	132
3.8 稀土元素的天然放射性 .....	134
3.8.1 核辐射及其危害 .....	134
3.8.2 稀土元素中的天然放射性特征 .....	136
3.8.3 稀土材料中放射性钍的特征 .....	137
阅读材料:20 世纪稀土重大科技研究进展 .....	138
Glossary .....	139
思考题 .....	141
习题 .....	142
参考文献 .....	142
<b>第 4 章 酸碱理论与非水溶液化学</b> .....	<b>144</b>
4.1 酸碱理论 .....	144
4.1.1 酸碱的质子理论 .....	144
4.1.2 酸碱的电子理论 .....	145
4.1.3 酸碱的溶剂理论 .....	146
4.1.4 酸碱的氧化物-离子理论 .....	147
4.1.5 软硬酸碱理论 .....	147
4.2 酸碱的相对强度 .....	151
4.2.1 质子酸碱的相对强度 .....	151
4.2.2 Lewis 酸碱的相对强度及其影响因素 .....	153
4.3 非水溶液和超酸体系 .....	154
4.3.1 常见的非水溶剂 .....	154
4.3.2 非水溶液滴定法 .....	156
4.3.3 超酸体系 .....	156



阅读材料:酸碱理论的发展 .....	158
Glossary .....	160
思考题 .....	161
习题 .....	161
参考文献 .....	162
<b>第 5 章 分子对称性与群论基础</b> .....	<b>163</b>
5.1 对称性与群论的基本概念 .....	163
5.1.1 对称操作和对称元素 .....	163
5.1.2 群的基本概念 .....	166
5.2 分子对称点群 .....	169
5.2.1 对称点群分类 .....	169
5.2.2 分子点群判别 .....	178
5.3 群的代表和特征标 .....	178
5.3.1 对称操作的表示矩阵 .....	178
5.3.2 特征标的性质和特征标表 .....	181
5.3.3 特征标应用举例 .....	181
5.3.4 波函数和对称性 .....	183
5.4 群论在无机化学中的应用 .....	186
5.4.1 分子的对称性与偶极距 .....	186
5.4.2 分子的对称性与旋光性 .....	186
5.4.3 $AB_n$ 型分子 $\sigma$ 杂化轨道的组成 .....	187
5.4.4 正八面体配合物的分子轨道 .....	188
阅读材料:群论发展简史 .....	190
Glossary .....	191
习题 .....	192
参考文献 .....	192
<b>第 6 章 配位化合物</b> .....	<b>194</b>
6.1 配位化合物的结构理论 .....	194
6.1.1 晶体场理论 .....	195
6.1.2 分子轨道理论 .....	211
6.1.3 配位场理论 .....	218
6.2 配位化合物的电子光谱 .....	222
6.2.1 过渡金属配合物的电子光谱概述 .....	222
6.2.2 配位体场光谱 .....	223
6.2.3 配合物的荷移光谱 .....	232

6.3 配合物反应的动力学和反应机理 .....	234
6.3.1 配位取代反应 .....	234
6.3.2 配合物的电子转移反应 .....	239
6.4 新型功能配合物 .....	242
6.4.1 桥联多核配合物 .....	242
6.4.2 稀土金属有机化合物 .....	244
6.4.3 导电配合物 .....	245
阅读材料:配位化学研究进展 .....	246
Glossary .....	247
思考题 .....	249
习题 .....	250
参考文献 .....	251
<b>第7章 金属有机化合物</b> .....	<b>252</b>
7.1 金属有机化合物的定义、分类及命名 .....	252
7.1.1 金属有机化合物的定义及重要性 .....	252
7.1.2 金属有机化合物的分类 .....	253
7.1.3 金属有机化合物的命名 .....	256
7.2 有效原子序数规则及其应用 .....	257
7.2.1 有效原子序数规则 .....	257
7.2.2 EAN 计算实例 .....	262
7.2.3 EAN 规则的应用 .....	262
7.3 过渡金属羰基化合物 .....	263
7.3.1 概述 .....	263
7.3.2 过渡金属羰基化合物中的成键特性 .....	266
7.3.3 过渡金属羰基化合物的合成及化学性质 .....	271
7.4 过渡金属类羰基化合物 .....	273
7.4.1 概述 .....	273
7.4.2 过渡金属分子氮化合物 .....	274
7.4.3 过渡金属亚硝酰化合物 .....	278
7.5 过渡金属不饱和链烃化合物 .....	281
7.5.1 概述 .....	281
7.5.2 不饱和链烃配合物的结构 .....	281
7.5.3 DCD 键合模型 .....	282
7.5.4 过渡金属不饱和链烃化合物的合成 .....	284
7.6 过渡金属环多烯化合物 .....	285

7.6.1	概述	285
7.6.2	过渡金属环多烯化合物的结构和键合	288
7.6.3	过渡金属环多烯化合物的合成及化学性质	297
	阅读材料:金属有机化合物主要前沿应用领域	301
	Glossary	306
	思考题	308
	习题	308
	参考文献	309
<b>第8章</b>	<b>原子簇化合物</b>	<b>310</b>
8.1	硼烷	311
8.1.1	硼烷的合成与性质	311
8.1.2	硼烷的结构类型与命名规则	313
8.2	硼烷的定域键和分子轨道	316
8.2.1	多中心键	316
8.2.2	<i>styx</i> 数分析法与分子轨道	317
8.2.3	多面体骨架电子对理论	319
8.3	硼烷的衍生物	324
8.3.1	碳硼烷	324
8.3.2	金属硼烷和金属碳硼烷	325
8.3.3	富勒烯化学	329
8.4	过渡金属簇化合物	335
8.4.1	概述	335
8.4.2	过渡金属羰基簇	336
8.4.3	18 电子规则与 Wade 规则在簇合物中的应用	344
8.5	簇价分子轨道	346
	阅读材料:原子簇领域的无冕之王——F. A. Cotton	350
	Glossary	350
	思考题	352
	习题	352
	参考文献	353
<b>第9章</b>	<b>超分子化学</b>	<b>354</b>
9.1	超分子化学的定义和范畴	354
9.1.1	超分子化学的定义	354
9.1.2	超分子化学的范畴	355
9.2	超分子的主客体化合物分类	355

9.3 超分子的结构化学 .....	356
9.3.1 能量降低因素 .....	356
9.3.2 熵增加因素 .....	357
9.3.3 锁和钥匙原理 .....	358
9.4 热力学和动力学选择性 .....	359
9.5 超分子相互作用的本质 .....	360
9.5.1 离子-离子相互作用 .....	360
9.5.2 离子-偶极相互作用 .....	360
9.5.3 偶极-偶极相互作用 .....	361
9.5.4 氢键 .....	361
9.5.5 阳离子- $\pi$ 相互作用 .....	363
9.5.6 $\pi$ - $\pi$ 相互作用 .....	363
9.6 超分子主体设计 .....	364
9.7 分子识别和自组装 .....	364
9.7.1 识别、信息、互补 .....	365
9.7.2 分子受体——设计原理 .....	366
9.7.3 超分子的自组装 .....	366
9.8 晶体工程和分子器件 .....	370
9.8.1 晶体工程 .....	370
9.8.2 分子器件 .....	372
阅读材料:超分子化学之父及几种典型的超分子化合物 .....	375
Glossary .....	379
思考题 .....	380
参考文献 .....	380
<b>第 10 章 高等无机合成 .....</b>	<b>382</b>
10.1 低温合成与稀有气体化合物 .....	382
10.1.1 低温合成概念 .....	382
10.1.2 稀有气体化合物的合成 .....	384
10.2 高温合成与化学转移反应 .....	386
10.2.1 高温合成概念 .....	386
10.2.2 高温下的化学转移反应 .....	387
10.3 高压合成与高温超导体 .....	389
10.3.1 高压合成概念 .....	389
10.3.2 高温超导体 .....	390
10.4 水热-溶剂热合成与功能材料 .....	391

10.4.1	水热-溶剂热合成概念 .....	391
10.4.2	水热/溶剂热合成技术 .....	392
10.4.3	水热-溶剂热合成功能材料 .....	393
10.5	无水无氧合成与金属有机化合物 .....	396
10.5.1	无水无氧合成概念 .....	396
10.5.2	无水无氧操作技术 .....	396
10.5.3	金属有机化合物的制备 .....	398
10.6	电解合成及其应用 .....	398
10.6.1	电解合成概念 .....	398
10.6.2	电解合成的主要装置 .....	399
10.6.3	电解合成技术的应用 .....	400
10.7	等离子体合成与特殊材料的制备 .....	402
10.7.1	等离子体合成概念 .....	402
10.7.2	等离子体的获得方法 .....	403
10.7.3	特殊材料的制备 .....	403
10.8	化学气相沉积与新材料制备 .....	405
10.8.1	化学气相沉积概念 .....	405
10.8.2	技术原理 .....	406
10.8.3	化学气相沉积制备新材料 .....	406
10.9	溶胶-凝胶法与新材料制备 .....	408
10.9.1	溶胶-凝胶法概念 .....	408
10.9.2	基本原理 .....	408
10.9.3	溶胶-凝胶法制备新材料 .....	409
	阅读材料:无机合成研究进展简介 .....	412
	Glossary .....	423
	思考题 .....	428
	习题 .....	428
	参考文献 .....	429
<b>第 11 章</b>	<b>生物无机化学 .....</b>	<b>436</b>
11.1	生物元素及其生物学作用 .....	436
11.1.1	生物体内元素的分类 .....	437
11.1.2	生物元素的生理功能 .....	441
11.2	微量元素 .....	450
11.2.1	微量元素在体内的作用机理 .....	450
11.2.2	微量元素与疾病的关系 .....	452

---

11.2.3 有害元素对人体的影响 .....	463
11.2.4 微量元素的拮抗作用和协同作用 .....	465
11.3 生物矿化.....	466
11.3.1 生物矿化控制方式的类型.....	466
11.3.2 生物矿物的种属及其特点.....	467
11.3.3 人体中的矿物 .....	469
11.3.4 生物体内铁的生物矿化 .....	473
11.3.5 硅矿化物.....	475
11.3.6 生物矿化有机基质 .....	477
11.3.7 生物矿化过程与机理 .....	478
阅读材料:生物无机化学研究热点与展望 .....	482
Glossary .....	486
思考题.....	488
习题.....	488
参考文献.....	489

# 第 1 章 绪 论

## Chapter 1 Introduction

### 学习要求

1. 了解无机化学发展的特点；
2. 了解无机化学发展的动向和未来发展的方向；
3. 了解现代无机化学的相关专业杂志。

徐光宪院士在题为“21 世纪的化学是研究泛分子的科学”一文<sup>[1]</sup>中指出：化学是一门研究“泛分子”的组成、结构、性能、应用以及物质相互之间转化规律的科学。泛分子是泛指 21 世纪化学的研究对象，它包括的层次有原子、分子、分子片、结构单元、超分子、高分子、生物分子、纳米分子和纳米聚集体、原子和分子的宏观聚集体、复杂分子体系及其组装体十个层次。而高等无机化学是基础无机化学的后续课程。无机化学与其他学科之间的相互交叉和渗透，扩展了无机化学的研究领域。现代无机化学三大特点是：①从宏观到微观。现代无机化学进入到物质内部层次的研究阶段，即进入了微观水平的研究阶段。②从定性描述向定量化发展。现代结构无机化学普遍应用线性代数、群论、矢量分析、拓扑学、数学物理等现代的数学理论和方法，并应用计算机进行科学计算，使无机化合物及其性质的研究达到了精确定量的水平。③既分化又综合，出现许多边缘学科。现代无机化学一方面加速分化，另一方面又由各分支学科之间的相互综合和相互渗透，形成了许多新型的边缘学科，如有机金属化合物化学(organometallic chemistry)、生物无机化学(bio-inorganic chemistry)、无机固体化学(solid state inorganic chemistry)等。高等无机化学的研究内容不仅涉及相关的基础理论，而且与反映当今世界无机化学及相关学科的发展趋势和动态的研究紧密相关。本章介绍了现代无机化学发展的特点、无机化学发展的动向和趋势、相关的专业杂志等。

## 1.1 无机化学发展的动向和趋势

### 1.1.1 概述

现代无机化学的发展特点是各学科纵横交叉解决实际问题，即化学学科的自身继续发展和相关学科融合发展相结合、化学学科内部的传统分支继续发展和作

为整体发展相结合、研究科学基本问题与解决实际问题相结合。无机化学与其他学科交叉发展的结果,产生了诸多新兴领域,如过渡元素配位化合物、原子簇状化合物、金属有机化合物、超分子化学、固体化学等。

国家自然科学基金委员会在新发布的《无机化学指南》<sup>[2]</sup>中指出:无机化学学科资助的重点是针对无机化学学科的基础科学问题,面向能源、环境、信息、材料和生命等领域的关键应用基础开展研究。在无机化学基础研究领域,越来越多的科学家注意选题的创新性;在应用基础研究领域,更多地注重无机材料的合成和组装方法,更加关注结构与性质的相互关系;在合成和制备研究中,力求发展新的合成方法及路线,揭示新的反应机理,注重运用分子设计和晶体工程的思想,深化新物质合成及聚集状态的研究,关注无机材料的组装与复合,突出功能性无机物质的结构与性能关系,以及新材料的应用基础研究;通过与物理学的交叉,运用物质科学的基础理论和表征技术,发展和强化无机物质及其材料与器件的性质研究;无机化学与生命科学的交叉要突出无机物生物效应的化学基础,深化金属生物大分子、无机仿生过程及分子以上层次生物无机化学研究。

无机化学发展的动向和趋势主要体现在现代无机合成、配位化学、原子簇化学、固体无机化学、稀土化学、生物无机化学、核化学和放射化学、非金属无机化学、富勒烯化学、金属有机化合物等方面。

### 1.1.2 现代无机合成

无机合成与制备化学的宗旨是制造新物质。无机合成与制备化学的研究分散在各自具体的研究之中。然而,无机合成与制备化学本身的系统而规律性的研究必将促进固体化学和材料化学研究的发展。无机合成与制备化学主要研究内容是提供新的合成反应、新的合成方法和新的合成技术、合成与制备新的化合物、新的凝聚态和聚集态以及具有可控性能的新材料。高难度合成与特殊制备技术的应用使合成扩展到复杂功能体系,如复合、杂化或组装体系等。因此,在应用传统合成技术的同时,特殊物理与生物技术的应用以及保持合成过程的节能、高效、洁净与经济性是 21 世纪无机合成与制备化学的重要方向与前沿领域。

现代无机合成包括极端条件合成、软化学合成(温和条件下的合成化学)、特殊凝聚态和聚集态制备、形貌与尺寸修饰、缺陷与价态控制、组合化学合成、水热合成、计算机辅助合成、理想合成与生物模拟等方面,主要可以归纳为以下四个方面:

(1) 复杂和特殊结构无机物的合成,如团簇、层状化合物及其特定的多形体、各类层间的嵌插结构及多维结构的无机物。

(2) 研究特殊聚集态的合成,如超微粒、纳米态、微乳与胶束、无机膜、非晶态、玻璃态、陶瓷、单晶、晶须、微孔晶体等。

(3) 在极端条件下(超高压、超高温、超高真空、超低温、强磁场、激光、等离子



体等)得到新化合物、新物相和新物态。

在现代合成中越来越广泛地应用极端条件下的合成方法与技术来实现通常条件下无法进行的合成,并在这些极端条件下得到多种多样的一般条件下无法得到的新化合物、新物相与物态。例如,一系列中、高温高压水热反应及在此基础上开发的水热合成,已成为目前多数无机功能材料、特种组成与结构的无机化合物以及特种凝聚态材料,如纳米粒子、溶胶与凝胶、非晶态、无机膜、单晶等合成的重要途径。

(4) 组合合成,最早称为同步多重合成,用于合成肽组合库。组合化学是一门由合成化学、组合数学和计算机辅助设计等多学科交叉形成的边缘学科。组合方法与传统合成方法存在显著的差异,传统的合成方法一次只得到一批产物,而组合方法同时用  $n$  个单元与另外一组  $n'$  个单元反应,得到所有组合的混合物,即  $n + n'$  个构建单元产生  $n \times n'$  批产物。目前组合化学在以下领域取得进展:① 固体材料领域,包括超导材料、巨磁阻材料、介电及铁电材料、发光材料、分子筛、有机固体及高聚物。② 有机及金属有机化合物,包括模拟生物活性酶和肽的金属配合物、非对称催化合成、石蜡聚合催化的组合化学。③ 无机催化剂,包括电致氧化催化合金化合物的组合化学合成、作为均相催化剂的无机多核阴离子簇组合库的建立等。在组合库筛选方法方面进行创新,如利用红外热成像仪、扫描质谱仪以及活性染料分子进行快速筛选催化剂的方法,都明显提高了新型催化剂的开发效率。

### 1.1.3 配位化学

配位化学是在无机化学基础上发展起来的一门边缘学科。它所研究的主要对象为配位化合物(coordination compound,简称配合物)。当代配位化学朝着广度、深度和应用三个方向发展。在深度上,有众多与配位化学有关的学者获得了诺贝尔化学奖,如 Werner 创建了配位化学,Ziegler 和 Natta 的金属烯烃催化剂,Eigen 的快速反应、Lipscomb 的硼烷理论、Wnkinson 和 Fischer 发展的有机金属化学、Hoffmann 的等瓣理论、Taube 研究配合物和固氮反应机理、Cram、Lehn 和 Pedersen 在超分子化学方面的贡献、Marcus 的电子传递过程。在以他们为代表的开创性成就的基础上,配位化学在其合成、结构、性质和理论方面的研究均取得了一系列进展。在广度上,自 Werner 创立配位化学以来,配位化学处于无机化学研究的主流,配位化合物还以其种类繁多的价键形式和空间结构在化学理论发展中及其与其他学科的相互渗透中成为众多学科的交叉点。在应用方面,结合生产实践,配合物的传统应用继续得到发展,如金属簇合物作为均相催化剂在烯烃等小分子的活化,螯合物稳定性差异在湿法冶金和元素分析、分离中的应用等。随着高新技术的日益发展,具有特殊物理、化学和生物化学功能的所谓功能配合物在国际上得到蓬勃发展。