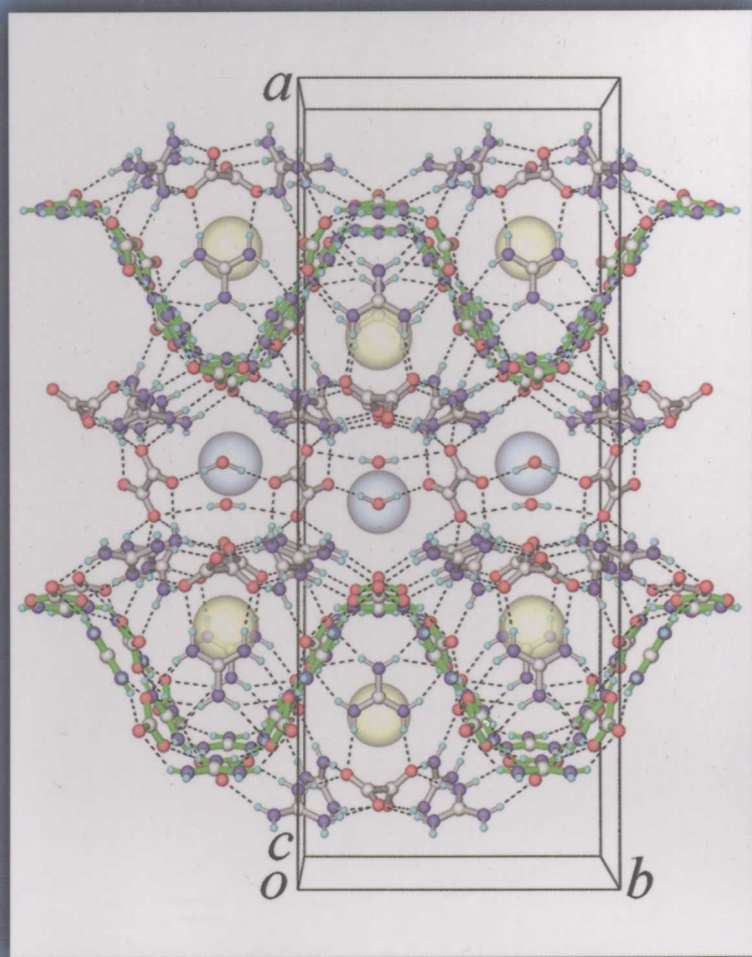


Advanced Structural Inorganic Chemistry

高等无机结构化学

(第2版)

麦松威 周公度 李伟基 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高等无机结构化学

(第2版)

麦松威 (香港中文大学化学系)

周公度 (北京大学化学学院)

李伟基 (香港中文大学化学系)



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

高等无机结构化学(第2版)/麦松威,周公度,李伟基编著. —北京:北京大学出版社,2006.5
ISBN 7-301-04793-2

I. 高… II. ①麦…②周…③李… III. 无机化学:结构化学-高等学校-教材 IV. 0641

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第040898号

书 名: 高等无机结构化学(第2版)

著作责任者: 麦松威 周公度 李伟基 编著

责任编辑: 段晓青 郑月娥

标准书号: ISBN 7-301-04793-2/O·0495

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

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752038

电子信箱: zye@pup.pku.edu.cn

排 版 者: 兴盛达打字服务社

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 43.75印张 1100千字

2006年5月第2版 2006年5月第1次印刷

定 价: 70.00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 电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

内 容 简 介

本书是作者根据长期教研究生涯中所积累的经验和体会,为研究生和高年级本科生编写的教材。为了系统地论述无机结构化学及近年化学的发展,作者对第1版的内容加以了增删和修改。内容分化学键理论基础、化学中的对称性以及元素结构化学选论和超分子结构化学三部分,共计二十章。第I部分有量子理论导论、原子的电子结构、分子中的共价键、凝聚相中的化学键和计算化学等五章。第II部分的前三章论述分子的对称性及其在分子轨道、分子振动和配合物等方面的应用,后两章分别介绍晶体的对称性及无机晶体结构和晶体材料。第III部分系统地介绍无机物的结构化学,前七章分族论述主族元素,后三章则论述稀土元素、过渡金属簇合物和超分子结构化学。本书还列出了最新的结构数据和有关资料供读者参考。

本书可用作大学高年级本科生和研究生学习微观结构有关课程,如化学键理论、高等无机化学、结构化学、晶体化学和材料科学等课程的教科书和参考书,也可供从事化学、材料、物理和生命科学等广大理工科的科技研究人员参考。

本书的英文版即将由牛津大学出版社出版,并编入国际晶体学会丛书之列。

第 2 版序言

本书第 1 版已面世五年了。这期间我们在撰写英文版书稿的过程中,根据对本书所涉及领域的认识、化学科学的新进展和读者反馈的意见,为第 1 版全面地进行了增删和修改,将内容从原来的十六章扩充到二十章。

在第 I 部分化学键理论基础中,新增了“计算化学”一章,介绍计算化学的新理论、新方法及计算得到的结果,以及和实验工作同步地互相促进的实例。在第 II 部分中,全面地修改晶体中的对称性,重点放在晶体的点阵结构和空间群的知识及其应用上,而删去用衍射法测定晶体结构的原理、方法和实践的内容。第 III 部分作了较大修改:一是用七章的篇幅系统而全面地介绍主族元素的结构化学;二是增加稀土元素的结构化学,为当前迅速发展的以稀土元素为基础的各种光电材料提供结构化学基础;三是新增加“超分子结构化学”一章,较详细地描述这一领域的新面貌和新进展。

我们根据长期教研经验,一方面对与结构化学有关的基础知识加以简明的介绍,另一方面对各族元素和各个分支领域的结构化学出现的新概念、新理论和新进展用大量的实例和数据加以阐述。相信这种安排可起到加强基础、扩展思维、有利创新的作用。

本书的英文版即将由牛津大学出版社出版,并编入国际晶体学会丛书之列。

作者感谢香港中文大学出版社和陆国燊社长慷慨地让出本书第 2 版的版权,由北京大学出版社单独出版。

作者感谢北京大学出版社段晓青编审和郑月娥编辑的帮助和精心细致的编辑加工。

麦松威,周公度,李伟基

2006 年 1 月

第 1 版序言

在 21 世纪来临、化学科学迅速深入发展之际,我们非常高兴地应香港中文大学出版社之约编写这本教材,并衷心地感谢北京大学出版社和香港中文大学出版社合作为本教材出简体字版。

我们三人分别在香港中文大学和北京大学长期从事化学的教学和科研工作,先后教过无机化学、化学键、结构化学、量子化学、高等无机化学、群论、X 射线晶体学等课程。在近四十年的教研究生涯中,积累了一些教学经验和体会,获得若干科学研究的成果,阅读了大量的专著、教材和文章。这些背景为我们编写教材积累和储备了较好的基础和丰富的素材。

结构化学是从微观的角度认识化学规律的学科。它是以电子因素和空间因素两条主线阐明化学物质的结构、性能和应用的一个化学分支学科,它涉及化学学科的整个领域,它的基本知识对于培养和造就新一代从事化学工作的人员是十分必要的。

本书的内容分为三部分:

第 I 部分是化学键理论基础,共计五章,介绍有关原子结构、化学键和分子结构、固体中的化学键、分子间作用和超分子的结构等基础的结构化学内容,以及这方面的新发展。我们本着温故知新、循序渐进的学习规律,先简明地介绍一些基本原理、基本概念、基本规律和方法,并复习一些大学本科基础课中所学的内容。接着介绍有关的新资料,使学生在坚实的基础上了解学科的新进展。

第 II 部分介绍对称性在化学中的应用,其中前三章从基本的概念和规律开始,通过大量的实例,对分子的对称性及其在谱学中的应用加以论述。后两章是晶体的点群和空间群的推导、空间群知识的介绍,以及应用晶体对称性知识讨论常见而重要的无机晶体结构和晶体材料。

第 III 部分为元素结构化学选论,分五章论述氢、硼、碳、硅、氮、磷、氧、硫等八个主族元素的基本结构化学及其新面貌。最后一章为过渡金属元素化合物的结构和金属-金属键的性质。在这六章中,我们根据长期从事结构化学的教学和科研的体会,简明地介绍有关元素的结构化学知识和经验规律,引导读者从典型元素的内容,举一反三地学习和了解各个元素结构化学的全貌。

我们在写作时,力求以简明通俗的语言表达有关理论;力求以实际化合物的结构数据说明结构化学的规律;力求引用最新的观点、最新的数据和最新的资料,引导读者进入有关主题的前沿。

本书可用作大学高年级本科生和研究生学习微观结构有关课程,如化学键理论、高等无机化学、结构化学、晶体化学和材料科学等课程的教科书和参考书。也可供从事化学、材料、物理和生命科学等广大理工科的科技研究人员参考。

在本书出版之际,我们衷心感谢香港中文大学出版社陆国燊社长、冯溢江先生,北京大学出版社段晓青编审和张冰女士等努力促进两社合作出版本书所做的大量工作。同时,我们感谢我们的妻子叶秀卿、刘志芬、庄爱贞对我们撰写工作的关心和支持。

麦松威,周公度,李伟基

2001 年 5 月

目 录

第 I 部分 化学键理论基础

第 1 章 量子理论导论	(2)
1.1 光和实物粒子的波粒二象性	(2)
1.2 不确定度原理和几率概念	(3)
1.3 电子的波函数和几率密度函数	(4)
1.4 电子的波动方程: Schrödinger 方程	(7)
1.5 Schrödinger 方程的简单应用	(9)
1.5.1 一维箱中粒子	(9)
1.5.2 三维箱中粒子	(12)
1.5.3 环中的粒子	(14)
1.5.4 在一个三角形箱中的粒子	(15)
参考文献	(18)
第 2 章 原子的电子结构	(20)
2.1 氢原子	(20)
2.1.1 氢原子的 Schrödinger 方程	(20)
2.1.2 氢原子的角函数	(21)
2.1.3 氢原子的径向函数和总波函数	(23)
2.1.4 类氢原子轨道的能级;总结	(28)
2.2 氦原子和 Pauli 不相容原理	(29)
2.2.1 氦原子:基态	(29)
2.2.2 行列式型波函数和 Pauli 不相容原理	(32)
2.2.3 氦原子激发态: $1s^1 2s^1$ 电子组态	(33)
2.3 多电子原子:电子组态和光谱项	(35)
2.3.1 多电子原子的 Schrödinger 方程及近似解	(35)
2.3.2 多电子原子的基态电子组态	(36)
2.3.3 电子组态和光谱项	(37)
2.3.4 关于谱项的 Hund 规则	(40)
2.3.5 $j-j$ 耦合	(42)
2.4 原子的性质	(44)
2.4.1 电离能与电子亲和能	(44)
2.4.2 电负性的光谱标度(χ_s)	(47)

2.4.3	相对论效应对元素性质的影响	(50)
	参考文献	(54)
第3章	分子中的共价键	(56)
3.1	氢分子离子:成键和反键分子轨道	(56)
3.1.1	变分法	(56)
3.1.2	氢分子离子:能量	(57)
3.1.3	氢分子离子:波函数	(59)
3.1.4	分子轨道理论简述	(61)
3.2	氢分子:分子轨道理论和价键理论的处理	(62)
3.2.1	氢分子的分子轨道模型	(62)
3.2.2	氢分子的价键模型	(62)
3.2.3	分子轨道模型和价键模型的等当性	(64)
3.3	双原子分子	(66)
3.3.1	同核双原子分子	(66)
3.3.2	异核双原子分子	(70)
3.4	线性三原子分子和 sp^n 杂化方式	(72)
3.4.1	氢化铍 BeH_2	(73)
3.4.2	线性三原子分子的杂化理论	(74)
3.4.3	CO_2	(74)
3.4.4	sp^n 杂化轨道	(77)
3.4.5	原子的共价半径	(80)
3.5	HMO 理论用于共轭多烯体系	(81)
3.5.1	Hückel 分子轨道理论及其应用于乙烯和丁二烯	(81)
3.5.2	从波函数的对称性考虑来预示反应历程	(83)
	参考文献	(87)
第4章	凝聚相中的化学键	(88)
4.1	固体的化学分类	(88)
4.2	离子键	(91)
4.2.1	离子的大小:离子半径	(91)
4.2.2	离子化合物的点阵能	(94)
4.2.3	离子液体	(96)
4.3	金属键和能带理论	(97)
4.3.1	基于分子轨道理论的化学处理	(98)
4.3.2	半导体	(99)
4.3.3	$4d$ 和 $5d$ 过渡金属晶体结构型式的变异	(101)
4.3.4	原子的金属半径	(102)
4.3.5	金属元素的熔点、沸点和原子化焓	(102)

4.4	范德华作用	(103)
4.4.1	范德华作用的物理根源	(104)
4.4.2	分子间相互作用的势能和范德华半径	(106)
	参考文献	(107)
第5章	计算化学	(108)
5.1	导言	(108)
5.2	半经验的和从头计算的方法	(109)
5.3	基组	(109)
5.3.1	最小基组	(109)
5.3.2	双 ζ 和分裂价基组	(110)
5.3.3	极化函数和弥散函数	(110)
5.4	电子相关	(111)
5.4.1	组态相互作用	(111)
5.4.2	微扰法	(112)
5.4.3	耦合簇和四重组态相互作用法	(112)
5.5	密度泛函理论	(113)
5.6	理论方法的成效	(113)
5.7	组合的方法	(115)
5.8	计算和实验互补的实例	(117)
5.8.1	一种稳定的氫化合物: HArF	(117)
5.8.2	一个全金属的芳香物种: Al_4^{2-}	(118)
5.8.3	一种新的多氮离子: N_5^+	(120)
5.8.4	带有惰性气体-金属键的线性三原子分子	(122)
5.9	程序	(124)
	参考文献	(125)

第 II 部分 化学中的对称性

第6章	对称性和群论基础	(128)
6.1	对称操作和对称元素	(128)
6.2	分子的点群	(131)
6.2.1	分子点群的分类	(131)
6.2.2	分子点群的判别	(134)
6.2.3	分子的对称性和分子的偶极矩及光学活性	(135)
6.3	特征标表	(136)
6.4	直积及其应用	(140)
6.4.1	直积	(140)

6.4.2	鉴定非零积分和光谱选律·····	(141)
6.4.3	分子谱项·····	(143)
	参考文献·····	(147)
	附录 6.1 常用点群的特征标表·····	(149)
第7章	群论在分子结构中的一些应用·····	(159)
7.1	分子轨道理论·····	(159)
7.1.1	AH_n ($n=2\sim 6$) 分子·····	(160)
7.1.2	环共轭多烯的 Hückel 理论·····	(167)
7.1.3	含有 d 轨道的环形体系·····	(171)
7.2	杂化轨道的构建·····	(173)
7.2.1	杂化作用方案·····	(173)
7.2.2	杂化轨道的系数矩阵和分子轨道波函数间的关系·····	(175)
7.2.3	有 d 轨道参加的杂化轨道·····	(175)
7.3	分子的振动·····	(177)
7.3.1	正则模式的对称性和活性·····	(177)
7.3.2	几个用作说明的实例·····	(179)
7.3.3	金属羰基配合物中 CO 的伸缩振动·····	(185)
7.3.4	线性分子·····	(190)
7.3.5	苯和相关化合物的振动光谱·····	(192)
	参考文献·····	(196)
第8章	配位化合物中的化学键·····	(198)
8.1	晶体场理论: 在八面体和四面体配合物中 d 轨道能级的分裂·····	(198)
8.2	光谱化学系列, 高自旋和低自旋配合物·····	(200)
8.3	Jahn-Teller 变形和其他晶体场·····	(201)
8.4	光谱项的八面体晶体场分裂·····	(203)
8.5	八面体配合物能级图·····	(204)
8.5.1	Orgel 图·····	(205)
8.5.2	$d-d$ 跃迁谱线的强度和谱带宽度·····	(207)
8.5.3	Tanabe-Sugano 图·····	(209)
8.5.4	一些金属配合物的电子光谱·····	(211)
8.6	弱场和强场近似的关系·····	(214)
8.7	在配合物中自旋-轨道相互作用: 双群·····	(215)
8.8	八面体配合物的分子轨道理论·····	(217)
8.8.1	八面体配合物中的 σ 键·····	(217)
8.8.2	有 π 键的八面体配合物·····	(219)
8.8.3	18 电子规则·····	(221)
8.9	四方平面配合物的电子光谱·····	(222)

8.9.1	四方平面配合物 ML_4 的能级图	(222)
8.9.2	四方平面卤化物和氰化物的电子光谱	(224)
8.10	在过渡金属配合物中振动-电子相互作用	(226)
8.11	f 轨道及其晶体场分裂式样	(227)
8.11.1	f 轨道的形状	(227)
8.11.2	f 轨道能级晶体场分裂式样	(229)
	参考文献	(230)
第9章	晶体中的对称性	(232)
9.1	晶体作为一种几何图形	(232)
9.1.1	面间角	(232)
9.1.2	Miller 指数	(232)
9.1.3	32 种晶体学点群(晶类)	(233)
9.1.4	极射赤平投影	(235)
9.2	晶体作为一种点阵	(238)
9.2.1	点阵的概念	(238)
9.2.2	晶胞	(238)
9.2.3	14 种 Bravais 点阵	(239)
9.2.4	7 种晶系	(239)
9.2.5	晶胞变换	(239)
9.3	空间群简介	(242)
9.3.1	螺旋轴和滑移面	(242)
9.3.2	对称元素的图形符号	(244)
9.3.3	Hermann-Mauguin 空间群符号	(246)
9.3.4	晶体学国际表	(246)
9.3.5	等效点的坐标	(248)
9.3.6	空间群图表	(249)
9.3.7	一些常见空间群的图表	(252)
9.3.8	国际表的使用	(253)
9.4	空间群的测定	(256)
9.4.1	Friedel 定律	(256)
9.4.2	Laue 点群	(256)
9.4.3	从系统消光推引带心点阵和平移对称元素	(257)
9.4.4	从系统消光推导空间群	(260)
9.5	晶体结构选择的空間群	(263)
9.5.1	分子的对称性和位点的对称性	(263)
9.5.2	原子和基团等效位置的指认	(264)
9.5.3	外消旋晶体和外消旋混合物	(267)
9.5.4	晶体中空间群的分布	(267)

9.6	晶体结构测定中空间群应用实例	(268)
9.6.1	三斜和单斜空间群	(268)
9.6.2	正交空间群	(271)
9.6.3	四方空间群	(273)
9.6.4	三方空间群	(276)
9.6.5	六方空间群	(278)
9.6.6	立方空间群	(280)
	参考文献	(287)
第10章	基本的无机晶体结构和晶体材料	(289)
10.1	立方最密堆积及有关化合物的结构	(289)
10.1.1	立方最密堆积(ccp)的结构	(289)
10.1.2	NaCl 及有关化合物的结构	(291)
10.1.3	CaF ₂ 及有关化合物的结构	(295)
10.1.4	立方硫化锌的结构	(296)
10.1.5	尖晶石及有关化合物的结构	(298)
10.2	六方最密堆积及有关化合物的结构	(299)
10.2.1	六方最密堆积(hcp)的结构	(299)
10.2.2	六方硫化锌的结构	(300)
10.2.3	NiAs 及有关化合物的结构	(301)
10.2.4	CdI ₂ 及有关化合物的结构	(303)
10.2.5	α -Al ₂ O ₃ 的结构	(304)
10.2.6	金红石的结构	(305)
10.3	体心立方堆积及有关化合物的结构	(307)
10.3.1	体心立方堆积(bcp)的结构	(307)
10.3.2	α -AgI 的结构和性质	(308)
10.3.3	CsCl 及有关化合物的结构	(310)
10.4	钛酸钙及有关化合物的结构	(311)
10.4.1	钙钛矿的结构	(311)
10.4.2	钛酸钡的结构	(313)
10.4.3	钙钛矿型超导体	(314)
10.4.4	ReO ₃ 及有关化合物的结构	(315)
10.5	硬磁材料的晶体结构	(316)
10.5.1	磁性材料概况	(316)
10.5.2	SmCo ₅ 和 Sm ₂ Co ₁₇ 的结构	(317)
10.5.3	Nd ₂ Fe ₁₄ B 的结构	(319)
	参考文献	(319)

第Ⅲ部分 元素结构化学选论和超分子结构化学

第 11 章 氢的结构化学	(322)
11.1 氢的同位素和成键类型	(322)
11.2 氢键	(325)
11.2.1 氢键的概念和几何形态	(325)
11.2.2 氢键的强度	(327)
11.2.3 对称氢键	(328)
11.2.4 金属有机固体中的氢键	(329)
11.2.5 氢键的普遍性和重要性	(331)
11.3 非常规的氢键	(332)
11.3.1 芳香氢键和 π 氢键, $X-H \cdots \pi$	(332)
11.3.2 过渡金属氢键, $X-H \cdots M$	(334)
11.3.3 二氢键, $X-H \cdots H-E$	(335)
11.3.4 反氢键	(336)
11.4 金属氢化物	(337)
11.4.1 共价型金属氢化物	(337)
11.4.2 间隙型金属氢化物	(340)
11.5 分子氢(H_2)的配合物和 σ 键配合物	(342)
11.5.1 H_2 配合物的结构和化学键	(342)
11.5.2 $X-H$ σ 键的配位金属化合物	(343)
11.5.3 抓氢键	(344)
11.5.4 σ 配合物的结构和化学键	(347)
参考文献	(349)
第 12 章 碱金属和碱土金属的结构化学	(351)
12.1 碱金属概述	(351)
12.2 无机碱金属化合物的结构	(352)
12.2.1 碱金属氧化物	(352)
12.2.2 氯化锂	(354)
12.2.3 无机碱金属配合物	(355)
12.3 有机碱金属化合物的结构	(361)
12.3.1 甲基锂和相关的配合物	(361)
12.3.2 锂的 π 配合物	(362)
12.3.3 钠和钾的 π 配合物	(363)
12.4 碱金属负离子盐和电子盐	(364)
12.4.1 碱金属负离子盐	(364)

12.4.2	电子盐	(365)
12.5	碱土金属概述	(367)
12.6	碱土金属化合物的结构	(368)
12.6.1	碱土金属配合物	(368)
12.6.2	碱土金属氮化物	(369)
12.6.3	碱土金属低氧化物和低氮化物	(370)
12.7	第2族元素的金属有机化合物	(372)
12.7.1	高聚链形化合物	(372)
12.7.2	格利雅试剂	(372)
12.7.3	碱土金属茂	(372)
12.8	反冠醚结构的碱金属和碱土金属化合物	(373)
	参考文献	(375)
第13章 第13族元素的结构化学		(377)
13.1	第13族元素概述	(377)
13.2	单质硼	(378)
13.3	硼化物	(380)
13.3.1	金属硼化物	(380)
13.3.2	非金属硼化物	(384)
13.4	硼烷和碳硼烷	(386)
13.4.1	分子结构和键	(386)
13.4.2	分子骨干中的键价	(389)
13.4.3	封闭型硼烷的化学键	(390)
13.4.4	鸟巢型和蛛网型硼烷中的化学键	(391)
13.4.5	巨多面体硼烷的电子计数规则: <i>mno</i> 规则	(394)
13.4.6	β -三方硼的电子结构	(396)
13.4.7	$B_{12}H_{12}^{2-}$ 的全取代衍生物	(397)
13.4.8	硼烷和碳硼烷作为配位体的配合物	(397)
13.4.9	超出三角二十面体的碳硼烷骨架	(399)
13.5	硼酸和硼酸盐	(400)
13.5.1	硼酸	(400)
13.5.2	硼酸盐的结构	(401)
13.6	第13族元素的有机金属化合物	(403)
13.6.1	具有桥式结构的化合物	(403)
13.6.2	具有 π 键的化合物	(404)
13.6.3	含有 M—M 键的化合物	(405)
13.7	裸负离子准金属簇的结构	(407)
13.7.1	$Ga_{84}[N(SiMe_3)_2]_{20}^{-}$ 的结构	(407)
13.7.2	NaTl 的结构	(408)

13.7.3 Tl_n^{m-} 裸负离子簇	(409)
参考文献	(410)
第 14 章 第 14 族元素的结构化学	(412)
14.1 碳的同素异构体	(412)
14.1.1 金刚石	(412)
14.1.2 石墨	(413)
14.1.3 球碳	(414)
14.1.4 无定形碳	(418)
14.1.5 碳纳米管	(418)
14.2 碳的化合物	(421)
14.2.1 脂肪族化合物	(421)
14.2.2 芳香族化合物	(421)
14.2.3 球碳族化合物	(423)
14.3 碳化合物中的化学键	(429)
14.3.1 碳原子形成的共价键键型	(429)
14.3.2 碳的配位数	(431)
14.3.3 碳-碳键和碳-杂原子键的键长	(432)
14.3.4 影响键长的因素	(433)
14.3.5 反常的碳-碳单键	(434)
14.3.6 含裸 C_2 配位体的配合物	(437)
14.4 硅的结构化学	(439)
14.4.1 硅和碳的比较	(439)
14.4.2 金属硅化物	(440)
14.4.3 硅的立体化学	(442)
14.4.4 硅酸盐	(445)
14.5 第 14 族重元素的卤化物和氧化物的结构	(449)
14.5.1 低价卤化物	(449)
14.5.2 Ge, Sn 和 Pb 的氧化物	(451)
14.6 Ge, Sn 和 Pb 的多原子负离子的结构	(452)
14.7 第 14 族重元素的有机金属化合物的结构	(454)
14.7.1 环戊二烯基配合物	(454)
14.7.2 硅-和锗-芳香化合物	(455)
14.7.3 Ge, Sn 和 Pb 的原子簇配合物	(456)
14.7.4 Ge, Sn 和 Pb 的给体-受体配合物	(457)
参考文献	(460)
第 15 章 第 15 族元素的结构化学	(463)
15.1 N_2 分子、纯氮离子和二氮配合物	(463)

15.1.1	N_2 分子	(463)
15.1.2	纯氮离子和 N 的连接性	(463)
15.1.3	二氮配合物	(466)
15.2	氮的化合物	(470)
15.2.1	氮的氧化物	(470)
15.2.2	1992 年明星分子: NO	(473)
15.2.3	氮的含氧酸和含氧酸离子	(475)
15.2.4	氮的氢化物	(478)
15.3	单质磷和 P_n 基团的结构化学	(479)
15.3.1	单质磷	(479)
15.3.2	多磷负离子	(481)
15.3.3	过渡金属配合物中多磷配位体的结构	(482)
15.3.4	P_n 物种中的键价	(484)
15.4	磷的成键类型和配位几何学	(486)
15.4.1	磷的潜在成键类型	(486)
15.4.2	磷的配位几何学	(486)
15.5	磷-氮和磷-碳化合物的结构化学	(489)
15.5.1	磷-氮键的类型	(489)
15.5.2	磷氮烷	(490)
15.5.3	磷氮烯	(492)
15.5.4	磷-碳化合物中的键型	(494)
15.5.5	磷-碳化合物的 π -配合物	(497)
15.6	As, Sb 和 Bi 的结构化学	(500)
15.6.1	As, Sb 和 Bi 的立体化学	(500)
15.6.2	As, Sb 和 Bi 的簇合物	(501)
15.6.3	有机铋和有机砷化合物中分子间的相互作用	(502)
	参考文献	(503)
第 16 章	第 16 族元素的结构化学	(505)
16.1	氧气和臭氧	(505)
16.1.1	氧气的结构和性质	(505)
16.1.2	二氧的有关物种和过氧化氢	(507)
16.1.3	臭氧	(508)
16.2	氧和二氧的金属配合物	(510)
16.2.1	在金属氧配合物中氧的配位型式	(510)
16.2.2	二氧金属配合物的配位型式	(510)
16.2.3	生物的二氧载体	(512)
16.3	水和冰的结构	(513)
16.3.1	气相水的结构	(513)

16.3.2	冰的结构	(514)
16.3.3	液态水的结构模型	(516)
16.3.4	水合氢离子 H_3O^+ 和 H_5O_2^+	(519)
16.4	硫的同素异构体和多硫原子物种	(520)
16.4.1	硫的同素异构体	(520)
16.4.2	多硫离子	(523)
16.5	在金属配合物中 S_n^{2-} 负离子作为配位体	(525)
16.6	硫的氧化物和含氧酸	(527)
16.6.1	硫的氧化物	(527)
16.6.2	硫的含氧酸	(530)
16.7	硫-氮化合物	(533)
16.8	硒和碲的结构化学	(536)
16.8.1	硒和碲的同素异构体	(536)
16.8.2	硒和碲的多原子正离子和负离子	(536)
16.8.3	硒和碲的立体化学	(541)
	参考文献	(544)
第 17 章	第 17 和第 18 族元素的结构化学	(546)
17.1	卤素单质	(546)
17.1.1	卤素单质的晶体结构	(546)
17.1.2	卤素的同多原子负离子	(547)
17.1.3	卤素的同多原子正离子	(547)
17.2	卤间化合物和离子	(549)
17.2.1	中性卤间化合物	(549)
17.2.2	卤间离子	(550)
17.3	卤素的电荷转移配合物	(551)
17.4	卤素的氧化物和氧基化合物	(553)
17.4.1	二元卤素氧化物	(553)
17.4.2	三元卤素氧化物	(555)
17.4.3	卤素含氧酸及其负离子	(556)
17.4.4	高配位碘化合物的结构特点	(558)
17.5	惰性气体的结构化学	(559)
17.5.1	概述	(559)
17.5.2	氙的立体化学	(560)
17.5.3	氙化合物中的化学键	(561)
17.5.4	一些无机氙化合物的结构	(563)
17.5.5	一些有机氙化合物的结构	(564)
17.5.6	金-氙配合物的结构	(566)
17.5.7	氙化合物的结构	(567)