



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

# 结构和物性

——化学原理的应用

第三版

周公度



高等教育出版社  
Higher Education Press

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

# 结构和物性

——化学原理的应用

第三版

周公度



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

## 内容简介

本书是在第二版“面向 21 世纪课程教材”基础上修订而成的,同时列入教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材。修订后的教材,保持了原有的风格和特色,并着力将本书提供给不同类型的高校用作基础化学和材料化学等相关课程的教学用书。全书包括绪言、原子结构和元素周期性质、共价键和分子结构、氢和氧的化学、碳和氮的化学、能源化学、环境化学、界面化学、晶体的结构和性质、金属材料、无机非金属材料、磁性材料、光学材料、电学材料、合成高分子材料十四章。

本书可作为高等学校物理、材料、电子等类专业化学基础课教材,也可供有关专业的教师及广大科技人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

结构和物性——化学原理的应用 /周公度. —3 版.  
北京:高等教育出版社, 2009.5  
ISBN 978-7-04-026586-6

I. 结… II. 周… III. 结构化学—高等学校—教材  
IV. O641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 047392 号

策划编辑 郭新华      责任编辑 董淑静      封面设计 张楠  
责任绘图 尹文军      版式设计 范晓红      责任校对 姜国萍  
责任印制 韩刚

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印刷	北京民族印务有限责任公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开本	787 × 960 1/16	版次	1992 年 6 月第 1 版
印张	28.5		2009 年 5 月第 3 版
字数	520 000	印次	2009 年 5 月第 1 次印刷
彩插	3	定价	31.70 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。

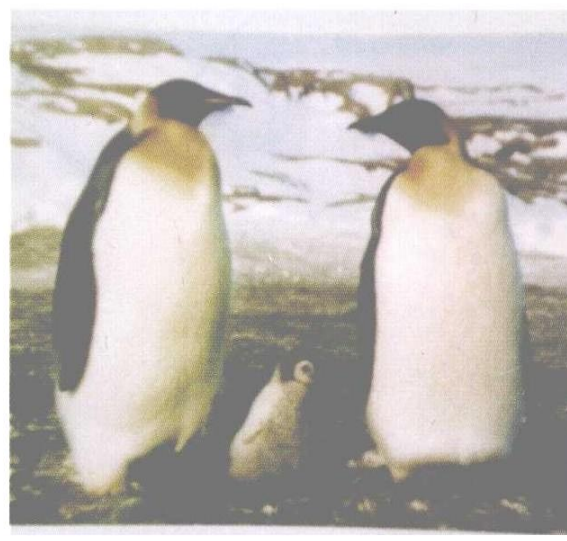
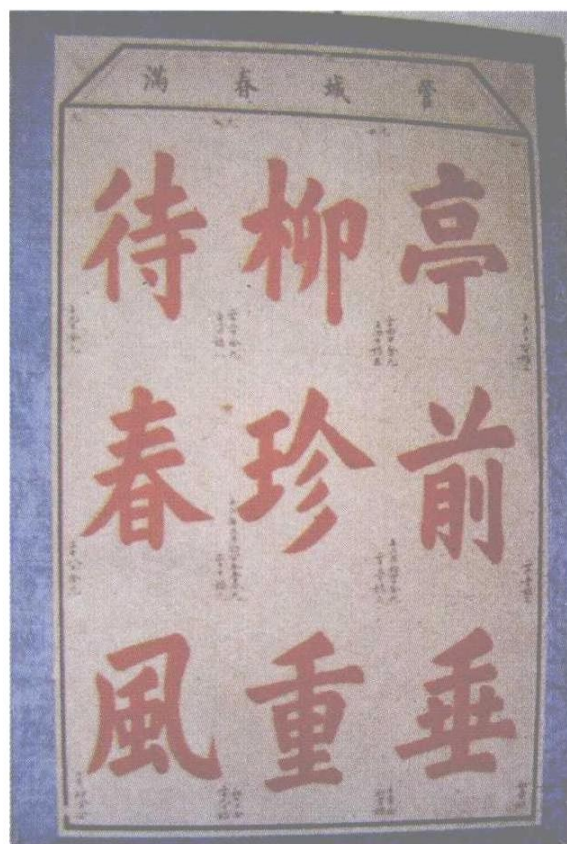
版权所有 侵权必究

物料号 26586-00

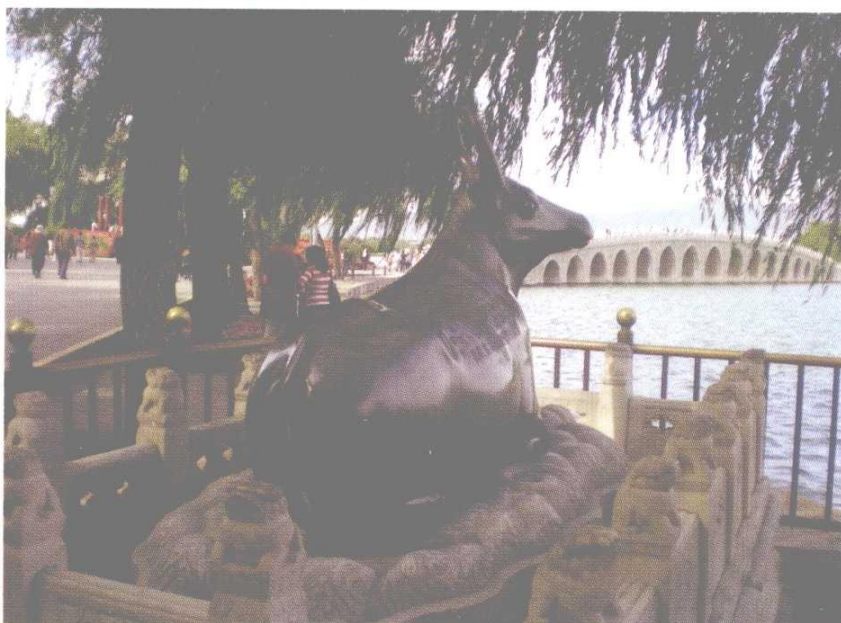
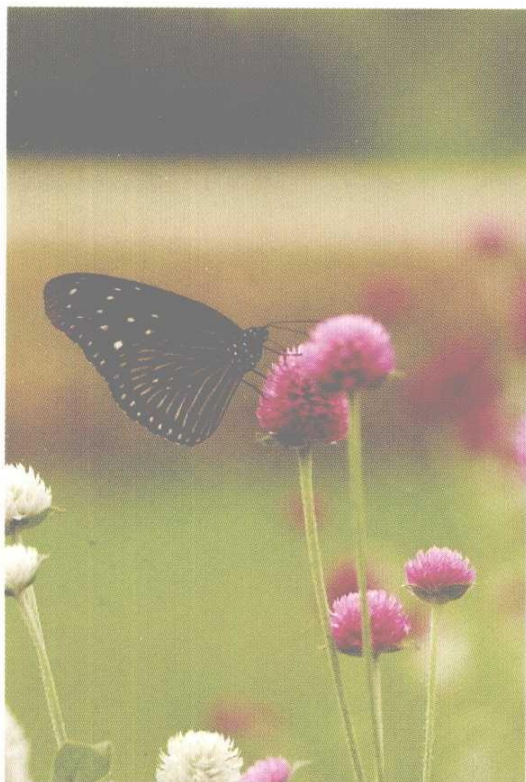


1	2
3	5
4	

- 1 图2.7.6 贝壳
- 2 图2.8.6 九九销寒图
- 3 图4.6.8(a) DNA双螺旋的雕塑
- 4 图4.6.8(b) 藤萝
- 5 图5.1.2 南极帝企鹅



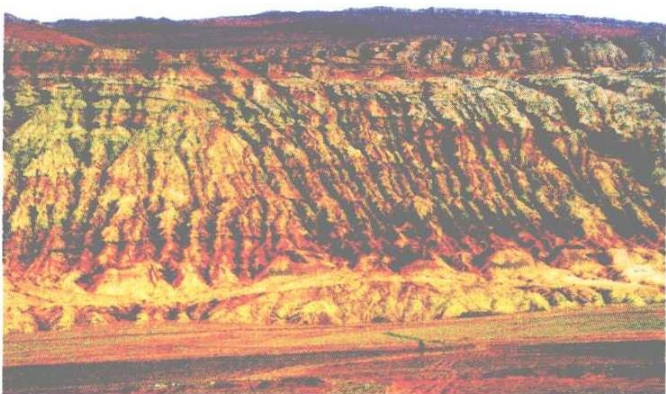
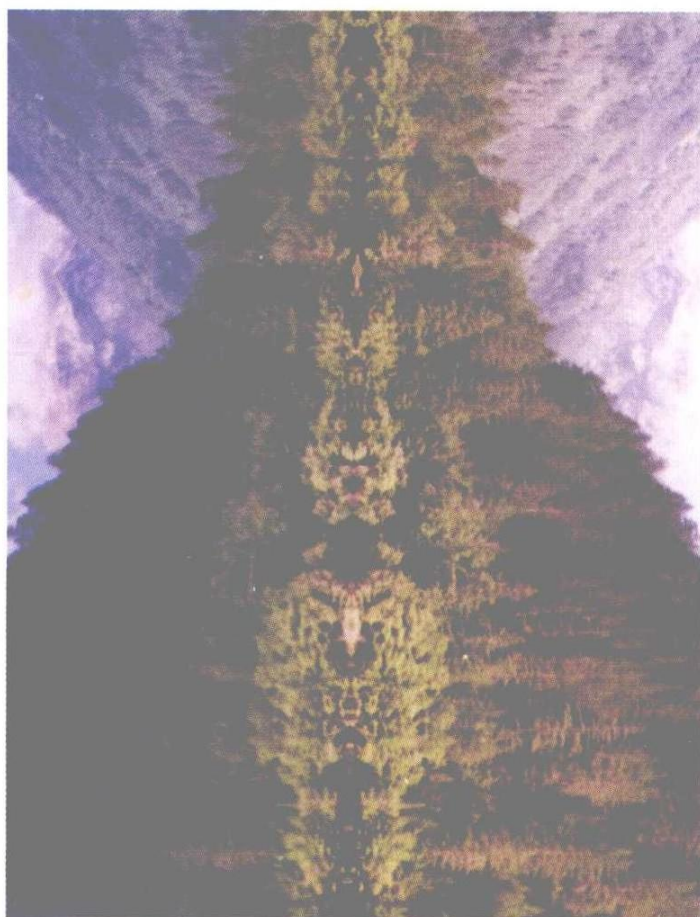
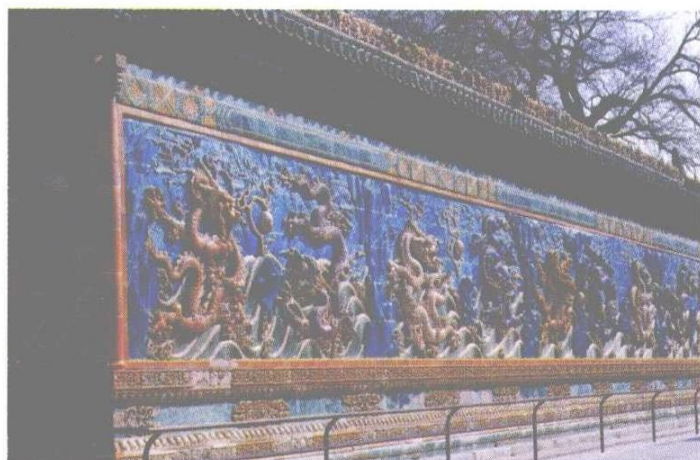




$\frac{1}{4} \mid \frac{2}{3}$

- 1 图6.41 蝶恋花
- 2 图8.5.3 巨晶洞中的石膏晶体
- 3 图9.1.1 铜牛雕塑
- 4 图10.4.3 水晶





- |   |   |   |         |         |
|---|---|---|---------|---------|
| 1 | 2 | 1 | 图10.44  | 古罗马斗兽场  |
| 3 | 4 | 2 | 图10.52  | 北京北海九龙壁 |
| 5 |   | 3 | 图12.1.1 | 天上的佛光   |
|   |   | 4 | 图12.1.2 | 地上的佛像   |
|   |   | 5 | 图12.2.1 | 火焰山     |



$\frac{1|2}{3}$

1 图14.33 国家游泳馆（水立方）

2 并蒂莲

3 图 14.36 由聚氨酯塑料制成的健身器材





面向21世纪课程教材



普通高等教育“十五”  
国家级规划教材



## 第三版前言

“结构和物性”课的创立及本教材的出版已近二十年。二十年来的实践证明,它对高等学校课程的设置和教材的建设起了积极的作用。我很高兴地回顾“结构和物性”课程建立和发展的进程,十分珍惜这次出第三版的机会,要求自己认真地努力做好修订工作。

近二十年来科学技术和生产迅速发展,我国各类高等学校的规模大大扩展,这对化学教学的改革提出新的课题。与此同时,新的课程和教材不断涌现。根据这种情况,作者在这次修订中,着力将本书提供给不同类型的学校选作基础化学和材料化学等相关课程的教材或参考教材。为此,作者特别注意以下三点:加强基础性,介绍新知识和新进展,启迪读者的思考和探索精神。

化学的基础内容,随着科学技术和生产的发展而发展,一些经典的概念,如“分子”和“化学键”逐渐地发生变化。新发现的一些物质性质,逐渐地成为基础内容,借这次修订机会,将它们引入书中,加强基础。和第二版相比,本版调整章节内容,将金属键和金属材料,将离子键和非金属材料,将配位场理论和磁性材料等分别结合在一起,放在同一章中。为各类材料提供理论基础,增强基础性和实用性的统一、基础性和普遍性的统一。

随着科学技术的快速发展,新知识和新概念不断涌现。例如,纳米材料和纳米技术、绿色化学、可燃冰的结构性质和开采、液态离子化合物的结构特点和应用、手性药物的发展、聚氨酯的合成和应用等。本书对它们加以介绍。

在第三版中,作者除了注意加强具有启发性的内容外,还增加了“思考和探索”小专题,对目前化学中的一些进展和日常生活中见到的现象,联系它们的结构和性能,引导读者扩展思路、积极探索、文理结合。增加课程内容的知识性和趣味性,也为开展通识教育、培养创新人才提供素材。

在此新版将出版之际,作者深切怀念原国家教委高教司理科处处长陈祖福教授(1940—2000年),衷心地感谢他在“结构和物性”课的创建和教材的出版过程中的亲切关怀、指导、鼓励和帮助。作者衷心地感谢高等教育出版社的领导和同志们在近二十年中对本书出版的鼓励、支持和帮助;感谢北京大学老干部活动中心摄影组同志们提供精彩的照片;感谢苏勉曾教授拨冗详细地校阅本版书稿,

提出许多宝贵意见；感谢郭新华同志和董淑静同志等细微的编辑工作。

尽管作者长期从事教学的研究和教材的编写工作，但由于本书涉及的范围很广，加上水平的限制，书中难免有错误和不当之处，恳请教师们和广大读者予以指正赐教。

周公度

2008年6月于北京大学中关园

## 第二版前言

“结构和物性”课开设十年来,正值我国高等教育的课程设置进行重大改革,要求大学本科生开拓广阔的知识面,提高科学文化素养,成为具有较高素质的人才。为了适应这一改革的需要,一批供文科学生选修化学用的教材已相继问世。本书是为非化学类专业的理工科学生编写的化学教材,使学生能够掌握化学基础知识,了解物质材料的性质及其变化规律。

本书第一版于1993年出版以来,受到了国内大学生和教师的欢迎,许多大学的物理专业和一些其他理工专业采用本书作教材,先后已印刷了3次。在1995年国家教育委员会举办的第三届普通高校全国优秀教材评选中,本书第一版获得“国家教委一等奖”。由于第一版是针对物理专业学生编写的,偏重结构化学基础,内容较深,不能适应广大理工科学生选修化学课程的要求。另一方面,近十年来世界科学技术的迅猛发展以及知识经济的出现都是各行业和各学科共同协作、互相推进的结果,我们应介绍化学在其中所起的重大作用。新世纪的来临,人类发展的光辉前景和面临的挑战,也涉及许多化学问题,当代的大学生,特别是理工科大学生应学习化学,使其知识结构比较全面,以适应时代的要求。根据这些情况,作者应高等教育出版社之约,将原有教材全面地加以增补和修订并作为“面向21世纪课程教材”出版。

本书第二版共十二章,内容分为三部分。前四章属于基础化学内容,包括原子结构、化学键和以氢、氧、碳、氮四种元素的化学为主线的无机化学和有机化学的基础知识。第二部分包括能源化学、环境化学和界面化学三章,它们是当前科学技术发展中涉及化学的热点问题,要求了解化学在其中所起的作用。最后五章是和材料科学密切相关的材料化学的内容,包括晶体和非晶体材料、金属材料、磁性材料、光学材料、电学材料以及合成高分子材料等。

在此次修订和编写过程中,作者根据长期从事化学教学的经验以及当前世界科学的最新发展情况,精选内容,力求简明扼要、通俗易懂地提供更多的有用知识,并注意在内容上选用较新的信息和观点。所引用的参考文献大部分是90年代发表的文章和出版的书籍,以为广大读者进一步深入了解各章所涉及的内容提供查找线索。



由于理工科专业很多,不同专业对化学应有不同的要求,作者将内容分三部分编写,其目的就是便于教师根据实际情况和需要选讲部分内容。例如这门课程按照 36 学时安排,可以用 2/3 的时间讲授前面四章的基础内容,而以 1/3 的时间选讲第二部分和第三部分中与本专业关系密切的章节,其余部分适当引导学生自学或阅读参考。

在北京大学化学学院,张玉芬教授和王哲明副教授从 1993 年起先后为物理系学生开设了“结构和物性”课,他们为本书的修订提供了素材。苏勉曾教授和杨文治教授对书稿进行了认真细致的审阅,提出了许多中肯的修改意见。北京大学物理系赵凯华、高崇寿和王祖铨三位教授在百忙中也对本书作了审定。高等教育出版社陈小平同志为本书出版给予全力支持和帮助,他和杨树东同志一起认真细致地进行了编辑加工。作者对上述诸位的帮助致以衷心的感谢。本书涉及的内容很广,限于作者水平,错误和不妥之处,请广大读者给予指正。

周公度

1999 年 7 月于北京大学中关园

# 第一版前言

国家教委已将“结构和物性”列为物理学专业和应用物理学专业本科生必修的一门基础课,其目的是为了加强学生对化学原理和物性知识的了解,以适应当前科技发展的需要。

面对浩繁的化学内容及有限的学时,我们考虑其内容应体现化学发展的水平和趋势;应使学生了解化学的基本原理和应用,适应人才的培养;应能体现出化学和物理学的相互联系和相互促进的作用。我和一些有教学经验的教师商讨,选下列三方面内容作为重点:

一是原子结构和元素周期性质,在元素周期表基础上对各族元素的基本性质有较全面了解。二是化学键,包括共价键、离子键、金属键、配位键和氢键等的本质以及分子和晶体中原子的空间排布和相互作用。三是结合现代工农业和现代科学技术(重点是材料科学、生命科学和表面科学)中的一些化学问题,阐述结构和性能的联系及应用。

我们还考虑本书的系统性,以及提供给理、工、师范等校的学生、教师及有关科技人员参考的需要,共编写了十二章。每章之后附有参考文献,为有兴趣进一步深入学习作引导。鉴于学时的限制,建议第一至第五章以及胶体和界面化学、有关配位化合物和催化作用诸节作为教学的基本内容,而其他章节可根据具体情况选讲。

在我从事本课程教学工作中,得到北京大学物理系赵凯华、王祖铨和林纯镇等教授的支持和帮助;在教材编写过程中,有关章节得到北京大学化学系杨文治、赵国玺、马季铭、叶秀林、金声、高盘良、丘坤元和物理系陈熙谋、王国文、钟文定、戴道生、梁静国、夏宗炬、傅春寅、章立源等教授的审阅;全书由严宣申教授主审。有他们的帮助和把关,丰富了教材内容,减少了不少差错,谨向上述诸位表示衷心感谢。高等教育出版社蒋栋成、杨再石、李松岩等领导同志对本书的出版给予积极的支持,陈小平同志为本书进行细致的编辑加工,付出辛勤的劳动,我在此一并表示衷心的感谢。由于我对这门课的教学时间不长,错误和不妥之处,祈请读者给予指正。

周公度

1992年6月于北京大学

# 第一版序

在自然科学中,物理学和化学都是研究物质的结构和性质的,区别仅在于研究对象的层次不同,其实她们是血缘最近的姊妹学科。很早以前,在物理系的教学计划里就设有普通化学,作为一门大一的必修课。后来因为感到这门课的内容很难选择,浅了与中学的化学课重复,深了又侵入我系的原子物理和热力学课的领域,就名存实亡了。在我主持北京大学物理系的期间里,一直在考虑如何恢复或重建物理系的化学课。起初,我们在高年级试开过一门化学选修课,侧重在实验室的训练,效果不尽令人满意。1989年春节,我校教务长召开了一次教改座谈会,会上化学系周公度教授提出,可以从结构化学的角度为物理系高年级学生定性地讲一讲分子结构与物性之间的关系,在此基础上可以开设一门“结构和物性”课。我们听后感到这个想法很好,有可能解决物理系长期未解决的化学课问题。当即与周先生商定,请他先为我系的学生做一系列报告,为开设这门新课程作准备。1989年春季那个学期,周先生的讲座如期开始了,可惜因故中辍,未能按计划完成。但我们还是决定,1990年为物理系的学生开设这门新的化学选修课。1991年周先生第二遍开此课时改为必修课,并写出一本讲义,这就是本书的前身。

曾经有人批评,物理系开设的课程“有理无物”,意思是说,重视物理规律,理论框架比较多,但忽视物质的具体性质,对物性的讲授不够重视。当然,原因是多方面的,不知怎样讲也是其中之一。因为在物理学中人们已不习惯只作描述性的讲授,然而具体的物质材料所表现出来的性质,其机理往往很复杂,或者现在还无法讲清楚。从《结构和物性》这本书我们看到,物质材料的物理性质是由它们的化学结构所决定的,有些方面的机理可以用结构化学的原理做出定性或半定量的解释。这门课程的增设为解决物理系“有理无物”的问题提供了一种模式,为改善物理系学生的知识结构起到了很好的作用。为此我愿意代表物理界的同仁,对周公度教授所做的努力表示感谢。

赵凯华

1992年6月



# 目 录

绪言 .....	1
第 1 章 原子结构和元素周期性质 .....	2
1.1 原子和元素 .....	2
思考与探索 关于“原子量”和“分子量” .....	5
1.2 微观粒子运动的描述方法和量子效应 .....	6
1.3 氢原子的结构 .....	8
1.3.1 单电子原子的 Schrödinger 方程及其解 .....	9
1.3.2 量子数的物理意义 .....	10
1.3.3 波函数和电子云的图形 .....	12
1.4 多电子原子结构 .....	14
1.4.1 屏蔽效应和穿透效应 .....	14
1.4.2 基态原子的电子排布 .....	15
1.5 元素周期表 .....	16
1.6 元素性质的周期性 .....	19
1.6.1 原子的电离能 .....	19
1.6.2 原子的电子亲和能 .....	20
1.6.3 原子的电负性 .....	21
1.7 相对论效应对元素周期性质的影响 .....	24
1.8 化合物中元素的周期性质 .....	31
1.8.1 化合物中元素的氧化态 .....	31
1.8.2 从周期表看化合物的性质 .....	33
1.8.3 过渡金属元素化学性质的变化规律 .....	33
1.9 原子光谱和电子能谱的应用 .....	34
1.9.1 原子光谱 .....	34
1.9.2 电子能谱 .....	35
习题 .....	38

<b>第 2 章 共价键和分子结构</b> .....	40
2.1 物质的性质和化学键类型 .....	40
2.2 $H_2^+$ 的结构和共价键的本质 .....	43
2.2.1 $H_2^+$ 的 Schrödinger 方程及其解 .....	43
2.2.2 共价键的本质 .....	46
2.3 价键理论和分子轨道理论 .....	47
2.3.1 价键理论 .....	47
2.3.2 分子轨道理论 .....	48
2.3.3 分子轨道的分布特点和分类 .....	49
2.4 双原子分子的结构和性质 .....	52
2.4.1 同核双原子分子 .....	52
2.4.2 异核双原子分子 .....	55
2.5 多原子分子的结构和表示法 .....	56
2.5.1 分子的构型和构象 .....	56
2.5.2 分子的点电子结构式 .....	57
2.5.3 价电子对互斥理论 .....	58
2.5.4 等电子原理 .....	60
2.5.5 杂化轨道理论 .....	61
2.6 共轭分子中的离域 $\pi$ 键 .....	62
2.6.1 共轭分子及其形成条件 .....	62
2.6.2 共轭效应及其对物质性质的影响 .....	63
2.7 配位键 .....	64
2.7.1 配位键的成键形式 .....	64
2.7.2 配位化合物的构型 .....	66
<b>思考与探索</b> 贝壳是怎样长大的? .....	68
2.8 分子的对称性 .....	69
2.8.1 对称操作和对称元素 .....	70
2.8.2 分子点群 .....	74
<b>思考与探索</b> 对称性在文学中的内涵 .....	75
2.9 原子的共价半径和共价键键长 .....	76
2.10 氢键 .....	78
2.10.1 氢键的成键类型 .....	78
2.10.2 氢键的形成和物质的性能 .....	79

<b>思考与探索</b> $\text{H}_3\text{N}-\text{BH}_3$ 分子间是什么作用力? .....	81
2.11 分子间作用力 .....	81
2.11.1 概述 .....	81
2.11.2 van der Waals 力 .....	83
2.11.3 分子识别、超分子和有序高级结构 .....	85
2.12 分子的大小和形状 .....	86
2.12.1 van der Waals 半径 .....	86
2.12.2 分子大小的估算 .....	88
习题 .....	90
<b>第3章 氢和氧的化学</b> .....	93
3.1 氢 .....	93
3.1.1 氢的分布和同位素 .....	93
3.1.2 氢的成键类型 .....	94
3.1.3 氢气的性质和制备 .....	96
3.2 氧 .....	97
3.2.1 氧的分布和性质 .....	97
3.2.2 氧的成键特征和氧化物 .....	98
3.3 水的结构和性质 .....	101
3.3.1 水分子和冰的结构 .....	102
3.3.2 水的性质 .....	103
3.3.3 液态水的结构模型 .....	106
<b>思考与探索</b> 水:一辈子也探索不尽的课题 .....	108
3.4 溶液 .....	109
3.4.1 溶液浓度表示法 .....	109
3.4.2 溶解度 .....	110
3.4.3 溶度积常数 .....	111
3.5 酸和碱 .....	112
3.5.1 酸和碱的定义与常用的酸和碱 .....	112
<b>思考与探索</b> 氟的化学性质像菜刀:一边锋利,一边很钝 .....	114
3.5.2 水溶液中酸碱强弱的表示 .....	115
3.5.3 酸碱强度的估计 .....	116
3.5.4 缓冲溶液 .....	117
3.6 氧化还原反应 .....	119