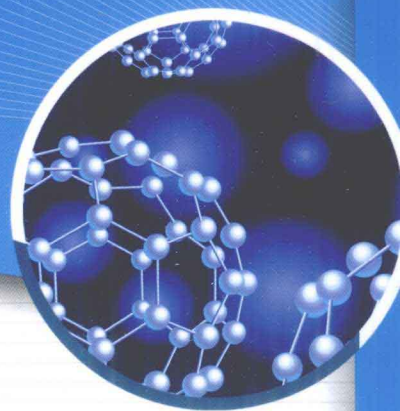




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程配套教材

有机化学

主 编 李艳梅 赵圣印 王兰英
副主编 罗自萍 李兆陇 黄智敏 麻 远



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程配套教材

有机化学

主 编 李艳梅 赵圣印 王兰英
副主编 罗自萍 李兆陇 黄智敏 麻 远

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共 17 章,按照以官能团分章的方式编排,每章最后设置了相应的习题。本书内容精练,重点突出。在选材和举例方面,注重实用性和前沿性,许多实例来自于科研。在内容设置上,在教授基础知识的同时,注重培养学生思考和探究能力,几乎每个章节都设立了思考、导引和探究项目,可供学生讨论。书中还设置了拓展阅读部分,以拓展学生的知识面。本书的另一特色是引入理论计算,对每种官能团的代表化合物都拟合出形象的电子分布密度图,便于读者理解化合物结构与反应性的关系。此外,为适应双语教学需要,本书对常用的有机化学名词和重要概念标注了英文。

本书可作为高等院校化学工程、材料科学、环境工程、生物工程等相关专业少学时有机化学课程的教材,也可供其他对有机化学感兴趣的读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

有机化学/李艳梅,赵圣印,王兰英主编. —北京:科学出版社,2011.2
普通高等教育“十一五”国家级规划教材·国家精品课程配套教材
ISBN 978-7-03-030027-0

I. 有… II. ①李… ②赵… ③王… III. 有机化学-高等学校-教材
IV. O62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 008888 号

责任编辑:陈雅娴 丁 里 王志欣 / 责任校对:张 林
责任印制:张克忠 / 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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2011 年 1 月第一次印刷 印张:28 3/4
印数:1—4 500 字数:679 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

有机化学是化学科学中极为重要的一个分支,也是最有魅力的基础学科之一。目前通用的不同版本、不同年份的《有机化学》,是众多优秀教师教学经验的总结,可以说是百家争鸣、各有千秋。

在多次教学研讨会上,我结识了来自西北大学、东华大学、重庆大学和南昌航空大学的同行,大家在交流中萌生了汇集各校教学经验,共同编写一本《有机化学》的想法。因此,我和清华大学的同事们以及上述高校的同行们共同着手,开始这本书的写作。

我们的立足点是针对选修少学时有机化学课程的学生,教材内容精练,重点突出。为培养学生的探究能力,我们在相应章节中设立了探究项目,引导学生进行探究。相应的思考题可供学生讨论,而拓展阅读部分不仅可以拓展学生的知识面,还可以拓展学生的思路。书中还有一些标记星号的章节,由授课老师决定是否讲授。

由于有机化学的知识点多,而且相互联系十分密切,因此要想凝练内容、深入浅出地介绍知识,内容取舍就成了最大的问题。本书本着删除旧知识、添加新知识这一原则,在选材和举例方面注重实用性和便捷性,在编写中尝试用新反应或实际过程中采用的反应为载体,介绍经典的知识(书中的许多实例取材于文献)。而且在介绍完整知识体系的同时,尽量联系前沿的有机化学科研进展,进行知识的拓展,启发学生思考,力争使学生打好基础的同时,也有适当的提升。有机化学的发展日新月异,很多最新的文献讲述了一些便捷、创新的合成方法。因此,本书的很多内容参考了近年来最新报道的一些科研成果。此外,有机化学的研究进展对化学工业的发展有着重要的指导作用,所以,本书中提到一些有机化学应用方面的实例,相信这些内容能给学生耳目一新的感觉。在每一章的末尾,我们还设计了一些习题,实质上是对知识的总结理解。让学生能在学习完一章的内容后,对重点和难点有较好的把握,力争克服学习有机化学一看就会、一做就忘、一写就错的局面。

根据我们多年教学的体会,有机化合物结构与功能的关系是有机化学的核心,在理解有机化合物的化学反应时,掌握有机化合物的电子分布情况尤为重要。在以往的有机化学教材中,这种电子云密度分布往往只给出定性的说明,例如何种官能团通过何种作用吸电子或推电子。在本书中,对于每种官能团的代表性化合物,我们都通过理论计算拟合出形象的电子分布密度图。采用这样的形式,给学生直观的感觉,使学生在学过某一类化合物后,在头脑中会形成该类化合物电子云分布情况的形象图形。在电子分布密度图中可以清楚地看出官能团或者取代基对整个分子电性的影响,进而很容易理解反应该如何进行。我们希望通过这种形式,使学生感觉学习起来比较生动,对各类化合物分别有整体、形象的认识,这是本书的一个特点。

在本书编写的过程中,清华大学李艳梅老师负责全书的编排,各章导引、思考、拓展等环节的编写以及全书的统稿,并编写第1章和第16章;重庆大学罗自萍老师负责编写第2~4章;南昌航空大学黄智敏老师负责编写第5、6、15章;清华大学李兆陇老师负责编写

第 7、13、17 章；东华大学赵圣印老师负责编写第 8~11 章；清华大学麻远老师负责编写第 12、14 章；西北大学王兰英老师负责全书的球棍模型、电子分布密度的计算和绘制工作；东华大学赵圣印老师参加了最后的统稿工作。在此衷心感谢各位老师的辛勤工作。

感谢我的博士生赵镭、靳璐和陈媚莎同学，他们多年担任我的助教，在本书的编写过程中做了大量的工作。感谢我的助理王玉波，她做了大量文档处理工作。感谢我的学生：2009 年全国高中生化学竞赛金牌获得者清华大学化学系化学-生物基科班的姬少博以及邱天、马迪、施杰等同学，他们从学生的视角审阅了全书，针对本书展开了激烈的争论，提出了大量建设性的意见。

感谢所有支持和帮助我的人！

李艳梅

2010 年 9 月于清华园

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 有机化合物和有机化学	1
1.2 有机化合物的特征	1
1.2.1 有机化合物的结构特征	1
1.2.2 有机化合物的性质特征	2
1.3 共价键	2
1.3.1 共价键的形成及相关理论	2
1.3.2 共价键的键参数	6
1.3.3 诱导效应	8
1.3.4 共价键的断裂与有机反应基本类型	9
1.4 分子间相互作用力	10
1.4.1 偶极-偶极相互作用	10
1.4.2 范氏力	10
1.4.3 氢键	11
1.4.4 疏水相互作用	11
1.5 有机反应中的酸碱概念	11
1.5.1 Brønsted 酸碱理论	11
1.5.2 Lewis 酸碱理论	12
* 1.5.3 软硬酸碱理论	13
1.6 有机化合物的分类	13
1.6.1 根据碳骨架分类	13
1.6.2 根据官能团分类	14
1.7 有机化合物构造式的写法	15
1.7.1 电子式	15
1.7.2 蛛网式及结构简式	15
1.7.3 键线式	16
1.8 有机化合物命名的基本原则	16
1.8.1 几个与命名相关的词	16
1.8.2 系统命名的基本原则	17
1.8.3 特殊情况的处理	18
1.9 有机化学的研究方法	20
习题	21

第2章 饱和烃:烷烃和环烷烃	23
2.1 通式、同系列和同分异构	23
I 烷烃	24
2.2 烷烃的命名.....	24
2.3 烷烃的结构.....	24
2.3.1 烷烃的结构	24
2.3.2 烷烃的构象	25
2.4 烷烃的物理性质.....	28
2.4.1 沸点	28
2.4.2 熔点	29
2.4.3 密度	29
2.4.4 溶解度	29
2.5 烷烃的化学反应.....	29
2.5.1 氧化、热解和异构化	30
2.5.2 取代反应.....	31
II 环烷烃	36
2.6 环烷烃的命名.....	36
2.6.1 单环烷烃.....	36
2.6.2 多环烷烃.....	37
2.7 环烷烃的结构与构象.....	39
2.7.1 小环烷烃的结构与稳定性.....	39
2.7.2 环己烷的构象	41
2.7.3 取代环己烷的构象	42
* 2.7.4 十氢合萘的构型	43
2.8 环烷烃的物理性质.....	43
2.9 环烷烃的化学反应.....	44
2.9.1 取代反应.....	44
2.9.2 催化氢化.....	44
2.9.3 与卤素或卤化氢的开环反应	45
2.9.4 氧化反应.....	45
2.10 烷烃和环烷烃的制备	45
III 饱和烃的来源及石油产业	46
习题	46
第3章 不饱和烃:烯烃、炔烃和二烯烃	48
I 烯烃	48
3.1 烯烃的结构.....	48
3.2 烯烃的异构和命名.....	49
3.2.1 烯烃的异构	49

3.2.2 烯烃的命名	49
3.3 烯烃的物理性质	51
3.4 烯烃的化学反应	52
3.4.1 催化氢化	52
3.4.2 亲电加成反应	53
3.4.3 氧化反应	59
3.4.4 α -氢卤代	61
3.4.5 聚合	62
II 炔烃	63
3.5 炔烃的结构	63
3.6 炔烃的命名	63
3.7 炔烃的物理性质	64
3.8 炔烃的化学反应	64
3.8.1 酸性及炔氢的特性反应	65
3.8.2 亲电加成反应	66
3.8.3 亲核加成反应	67
3.8.4 还原反应	68
3.8.5 氧化反应	68
3.8.6 聚合	69
III 二烯烃	69
3.9 二烯烃的分类和命名	69
3.9.1 二烯烃的分类	69
3.9.2 二烯烃的命名	70
3.10 共轭二烯烃的结构与共轭效应	70
3.10.1 共轭二烯烃的结构	70
3.10.2 共轭效应	70
* 3.10.3 超共轭效应	72
* 3.10.4 共振论	72
3.11 共轭二烯烃的化学反应	74
3.11.1 1,4-加成	74
3.11.2 Diels-Alder 反应	76
3.11.3 聚合	76
3.12 烯烃和炔烃的制备	77
3.12.1 烯烃的制备	77
3.12.2 炔烃的制备	77
IV 不饱和烃的来源及橡胶产业	78
习题	79

第 4 章 芳烃	82
4.1 芳烃的分类、异构和命名	82
4.1.1 芳烃的分类	82
4.1.2 芳烃的异构	82
4.1.3 芳烃的命名	83
4.2 苯的结构	84
4.2.1 价键理论观点	84
4.2.2 分子轨道理论观点	84
4.2.3 共振论观点	85
4.3 芳烃的物理性质	85
4.4 单环芳烃的化学性质	86
4.4.1 亲电取代反应	86
4.4.2 加成反应	91
4.4.3 氧化反应	91
4.4.4 还原反应	92
4.4.5 芳烃侧链的反应	92
4.5 芳环亲电取代反应的定位规律	93
4.5.1 三类定位基	94
4.5.2 定位规律的解释	95
4.5.3 二取代苯的定位规律	98
4.5.4 定位规律在有机合成上的应用	99
4.6 稠环芳烃	100
4.6.1 多环芳烃的分类	100
4.6.2 萘	101
4.6.3 蒽和菲	104
4.6.4 富勒烯	105
4.7 非苯芳烃	105
4.8 芳烃的来源及煤炭产业	108
习题	108
第 5 章 对映异构	112
5.1 手性和对称性	112
5.1.1 偏振光和物质的旋光性	112
5.1.2 旋光仪和比旋光度	112
5.1.3 分子的手性与旋光性	113
5.1.4 分子的对称性与旋光性	113
5.2 含一个不对称碳的化合物	114
5.2.1 构型的表示	114
5.2.2 构型的标记	115

5.2.3 对映体和外消旋体	116
5.3 含两个及多个不对称碳的化合物	117
5.3.1 含两个不同不对称碳的化合物	117
5.3.2 含两个相同不对称碳的化合物	117
5.3.3 含多个不对称碳的化合物	118
5.4 环状手性化合物	119
5.5 其他不含不对称碳原子的手性化合物	119
5.5.1 丙二烯型化合物	119
5.5.2 联苯型化合物	120
* 5.6 前(潜)手性碳和分子的前(潜)手性	121
* 5.7 不对称合成与拆分	121
5.7.1 不对称合成	121
5.7.2 外消旋体的拆分	123
5.7.3 对映体过量百分数和光学纯度	125
5.8 手性与药物	125
5.9 异构体的分类	126
习题	127
第 6 章 卤代烃 金属有机化合物	131
6.1 卤代烃的分类、异构、命名和结构	131
6.1.1 卤代烃的分类	131
6.1.2 卤代烃的异构	131
6.1.3 卤代烃的命名	132
6.1.4 卤代烃的结构	132
6.2 卤代烃的物理性质	132
6.3 卤代烃的化学反应	133
6.3.1 卤代烃的亲核取代反应	133
6.3.2 卤代烃的消除反应	135
6.3.3 卤代烃的还原	136
6.3.4 卤代烃与金属的反应 金属有机化合物	136
6.4 饱和碳原子上亲核取代反应历程	140
6.4.1 单分子取代反应 S_N1	140
6.4.2 双分子取代反应 S_N2	142
* 6.4.3 离子对机理	143
* 6.4.4 分子内亲核取代反应历程	143
6.5 影响亲核取代反应的因素	144
6.5.1 烃基结构的影响	144
6.5.2 离去基团的影响	145
6.5.3 亲核试剂的影响	146

6.5.4	溶剂的影响	146
6.6	消除反应历程	147
6.6.1	单分子消除反应 E1	147
6.6.2	双分子消除反应 E2	147
6.7	影响消除反应的因素	148
6.7.1	烃基结构的影响	148
6.7.2	离去基团的影响	148
6.7.3	进攻试剂的影响	149
6.7.4	溶剂的影响	149
6.8	取代反应与消除反应的竞争	149
6.8.1	烃基结构的影响	149
6.8.2	试剂的影响	149
6.8.3	溶剂极性的影响	150
6.8.4	反应温度的影响	150
6.9	其他卤代烃	150
6.9.1	双键和苯环位置对卤原子活性的影响	150
* 6.9.2	卤代芳烃	152
6.9.3	多卤代烃	154
6.9.4	氟代烃	155
6.10	卤代烃的制备	156
6.10.1	烷烃的卤代	156
6.10.2	烯烃、炔烃与卤化氢或卤素加成	156
6.10.3	由醇制备	156
	习题	156
第7章	波谱分析在有机化学中的应用	161
7.1	电磁辐射	161
7.2	红外光谱	162
7.2.1	分子振动和红外光谱	163
7.2.2	有机化合物的特征频谱	164
7.2.3	有机化合物红外谱图举例	166
7.2.4	红外光谱的应用	169
7.3	核磁共振	170
7.3.1	核磁共振氢谱的基本原理	171
7.3.2	化学位移	172
7.3.3	自旋偶合与自旋裂分	175
7.3.4	积分常数	178
7.3.5	核磁共振氢谱解析	178
* 7.3.6	核磁共振碳谱	179

7.4 紫外光谱	183
7.4.1 电子跃迁与紫外光谱	183
7.4.2 紫外谱图解析	185
7.5 质谱	186
7.5.1 质谱的基本原理	186
7.5.2 质谱解析	187
7.5.3 质谱新技术	190
习题	192
第8章 醇、酚和醚	197
I 醇	197
8.1 醇的分类、命名和结构	197
8.1.1 醇的分类	197
8.1.2 醇的命名	197
8.1.3 醇的结构	198
8.2 醇的物理性质与波谱特征	198
8.2.1 醇的物理性质	198
8.2.2 醇的波谱特征	199
8.3 一元醇的化学性质	201
8.3.1 醇的酸性和碱性	201
8.3.2 生成卤代烃	202
8.3.3 脱水和消除反应	205
8.3.4 醇的氧化反应	206
8.3.5 醇的脱氢反应	207
8.4 多元醇的特殊反应	207
8.4.1 邻二醇的氧化	207
8.4.2 频哪醇重排	208
8.5 醇的制备	209
8.5.1 由烯烃制备	209
8.5.2 卤代烃的水解	209
8.5.3 羰基化合物的还原	209
8.5.4 利用格氏试剂制备醇	209
II 酚	210
8.6 酚的分类和命名	210
8.7 酚的物理性质与波谱特征	210
8.7.1 酚的物理性质	210
8.7.2 酚的波谱特征	211
8.8 酚的化学性质	212
8.8.1 酚的酸性	212

8.8.2 酚醚和酯的生成	212
8.8.3 酚与三氯化铁反应	214
8.8.4 苯酚芳环上的亲电取代反应	214
8.9 酚的制备	216
8.9.1 异丙苯法	216
8.9.2 卤代芳烃水解	216
8.9.3 碱熔法	216
8.9.4 重氮盐水解	216
III 醚	216
8.10 醚的分类和命名	216
8.11 醚的物理性质与波谱特征	217
8.11.1 醚的物理性质	217
8.11.2 醚的波谱特征	218
8.12 醚的化学反应	218
8.12.1 锌盐的形成	218
8.12.2 醚键的断裂	219
8.12.3 过氧化物的生成	219
8.12.4 Claisen 重排	219
8.13 醚的制备	220
8.13.1 Williamson 合成法	220
8.13.2 Ullmann 反应制备	220
8.13.3 醇分子间的脱水	220
IV 环醚和冠醚	220
8.14 环醚	220
8.15 冠醚	221
习题	222
第9章 醛、酮和醌	225
I 醛和酮	225
9.1 醛和酮的分类和命名	225
9.1.1 醛和酮的分类	225
9.1.2 醛和酮的命名	225
9.2 醛和酮的结构	226
9.3 醛和酮的物理性质和波谱特征	226
9.3.1 醛和酮的物理性质	226
9.3.2 醛和酮的波谱特征	227
9.4 醛和酮的化学反应	229
9.4.1 醛和酮的亲核加成反应概述	229
9.4.2 与含氧亲核试剂的加成	232

9.4.3	与含硫亲核试剂的加成	234
9.4.4	与含碳亲核试剂的加成	235
9.4.5	与含氮亲核试剂的加成	236
9.4.6	与 Wittig 试剂的反应	238
* 9.4.7	Reformatsky 反应	239
9.5	醛和酮 α -H 的反应	240
9.5.1	α -碳上氢原子的活泼性	240
9.5.2	卤代反应	240
9.5.3	羟醛缩合反应	241
* 9.5.4	Mannich 反应	243
9.6	醛和酮的氧化和还原反应	244
9.6.1	醛和酮的氧化反应	244
9.6.2	醛和酮的还原反应	245
9.7	Cannizzaro 反应	247
9.8	α, β -不饱和醛、酮	247
9.8.1	还原反应	247
9.8.2	亲核加成反应	248
9.8.3	Michael 加成	248
9.9	醛、酮的制备	249
9.9.1	由醇的氧化和脱氢制备	249
9.9.2	用芳烃制备	249
9.9.3	用羧酸衍生物制备	250
9.9.4	炔烃的水合反应	250
II	醌	251
9.10	醌的结构和命名	251
9.11	醌的化学性质	251
9.11.1	碳碳双键的加成反应	251
9.11.2	羰基的反应	252
9.11.3	1,4-加成反应	252
9.11.4	还原反应	252
9.11.5	自由基捕获剂	253
9.12	醌与染料	253
	习题	254
第 10 章	羧酸及其衍生物	258
I	羧酸	258
10.1	羧酸的分类、命名和结构	258
10.1.1	羧酸的分类和命名	258
10.1.2	羧酸的结构	258

10.2 羧酸的物理性质和波谱特征	259
10.2.1 羧酸的物理性质	259
10.2.2 羧酸的波谱特征	259
10.3 羧酸的化学性质	261
10.3.1 羧酸的酸性	261
10.3.2 羧酸衍生物的生成	263
10.3.3 羧酸的还原	265
10.3.4 羧酸 α -H 的卤代反应	266
10.3.5 脱羧反应	266
10.3.6 二元羧酸的特性	267
II 羧酸衍生物	268
10.4 羧酸衍生物的命名	268
10.5 羧酸衍生物的物理性质和波谱特征	269
10.5.1 羧酸衍生物的物理性质	269
10.5.2 羧酸衍生物的波谱特征	270
10.6 羧酸衍生物的化学性质	272
10.6.1 亲核取代反应	272
10.6.2 还原反应	275
10.6.3 与格氏试剂的反应	276
10.6.4 酯缩合反应	277
10.6.5 Hofmann 降级反应	278
10.6.6 酰胺的失水反应	278
10.6.7 酰胺的酸碱性	279
* 10.6.8 烯酮	279
III 取代酸	280
10.7 羟基酸的分类和命名	280
10.8 羟基酸的化学反应	280
10.8.1 酸性	280
10.8.2 氧化反应	281
10.8.3 脱水反应	281
10.8.4 分解脱羧反应	282
10.9 β -二羰基化合物	282
10.9.1 酮式-烯醇式互变异构	282
10.9.2 乙酰乙酸乙酯在有机合成中的应用	283
10.9.3 丙二酸二乙酯在有机合成中的应用	285
10.10 羧酸的制备	286
10.10.1 由伯醇或醛氧化制备	286
10.10.2 由烃的氧化制备	286

10.10.3 用腈水解制备	286
10.10.4 由格氏试剂与二氧化碳反应制备	286
10.10.5 酚酸的制备	287
习题	287
第 11 章 有机含氮化合物	291
I 硝基化合物	291
11.1 硝基化合物的分类、命名和结构	291
11.1.1 硝基化合物的分类和命名	291
11.1.2 硝基化合物的结构	291
11.2 硝基化合物的物理性质和波谱特征	291
11.2.1 硝基化合物的物理性质	291
11.2.2 硝基化合物的波谱特征	292
11.3 脂肪族硝基化合物的化学性质	293
11.3.1 具有 α -H 的脂肪族硝基化合物与碱的反应	293
11.3.2 还原反应	294
11.3.3 硝基对芳环上其他取代基的影响	295
II 胺	296
11.4 胺的分类、命名和结构	297
11.4.1 胺的分类和命名	297
11.4.2 胺的结构	298
11.5 胺的物理性质和波谱特征	298
11.5.1 胺的物理性质	298
11.5.2 胺的波谱特征	299
11.6 胺的化学性质	300
11.6.1 胺的碱性	300
11.6.2 烷基化反应	301
11.6.3 酰化反应	302
11.6.4 与亚硝酸反应	302
11.7 季铵盐和季铵碱	303
11.7.1 季铵盐	303
11.7.2 季铵碱的消除反应	304
11.8 胺的制备	305
11.8.1 酰胺和腈的还原	305
11.8.2 氨与卤代烃的反应	305
11.8.3 醛和酮的还原胺化	305
11.8.4 硝基化合物的还原	306
11.8.5 酰胺的 Hofmann 降级反应	306
11.8.6 Gabriel 合成法	306

III 其他含氮化合物·····	306
11.9 芳香族重氮和偶氮化合物·····	306
11.9.1 重氮盐的制备·····	306
11.9.2 重氮盐在有机合成中的应用·····	307
11.9.3 偶氮化合物与偶氮染料·····	311
* 11.10 脞和异脞·····	311
11.10.1 脞的化学性质·····	311
11.10.2 异脞·····	312
习题·····	313
第12章 含硫、含磷及含硅有机化合物 ·····	316
12.1 含硫有机化合物·····	316
12.1.1 硫醇、硫酚、硫醚·····	317
12.1.2 磺酸·····	320
12.1.3 牛磺酸和磺胺类药物·····	321
12.2 含磷有机化合物·····	321
12.2.1 命名与结构·····	322
12.2.2 含磷化合物的化学性质·····	323
12.2.3 有机磷农药·····	324
12.2.4 不对称催化中的磷配体·····	325
12.3 含硅有机化合物·····	325
12.3.1 烷基硅烷的制备·····	326
12.3.2 卤硅烷的制备和化学性质·····	327
12.3.3 有机硅化合物在合成中的应用·····	328
习题·····	329
第13章 杂环化合物 ·····	330
13.1 杂环化合物的分类、命名和结构·····	330
13.1.1 杂环化合物的分类和命名·····	330
13.1.2 杂环化合物的物理性质与波谱特征·····	332
13.1.3 五元和六元杂环化合物的结构和芳香性·····	335
13.2 五元杂环化合物·····	339
13.2.1 五元杂环化合物的化学反应·····	339
* 13.2.2 苯并五元杂环化合物·····	342
13.2.3 常见的五元杂环化合物·····	344
13.3 六元杂环化合物·····	346
13.3.1 六元杂环化合物的化学反应·····	346
* 13.3.2 苯并六元杂环化合物·····	350
13.3.3 常见的六元杂环化合物·····	351
13.4 杂环类药物·····	352