



普通高等教育“十三五”规划教材



有机化学

(第二版)

主 编 于跃芹 刘永军

副主编 武 杰 于凤丽
郭维斯 胡志强



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

有机化学

(第二版)

主 编 于跃芹 刘永军
副主编 武 杰 于凤丽
郭维斯 胡志强

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是山东省有机化学精品课程和山东省优秀教学团队建设的配套教材,是为了适应新时期学科发展和人才培养的需要编写的。本书按官能团分类,采用脂肪族和芳香族混编体系,以基本知识、基本理论和基本反应为基础,强化结构与性质的构效关系,将各类有代表性的有机物结构特征、反应规律和反应机理紧密地结合起来讨论。在内容上进行整合,将有机化合物的命名在第2章详细系统地讨论;增加元素有机化合物的内容(包括硼、硅、磷、硫),以顺应学科发展的需求;引进绿色化学的概念和成功实例,在有关章节中增加一些与各类专业有关的化学知识。本书配套视频资源,可下载“爱一课”APP后扫描页码观看重点、难点讲解视频。

本书可作为高等学校化学、应用化学、化学工程与工艺、材料科学、生命科学、高分子材料科学与工程、海洋科学、环境科学、药学及生物工程等相关专业本科生的有机化学基础课程教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

有机化学 / 于跃芹, 刘永军主编. —2版. —北京: 科学出版社, 2018.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-03-058367-3

I. ①有… II. ①于… ②刘… III. ①有机化学-高等学校-教材 IV. ①O62
中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第167682号

责任编辑: 陈雅娴 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 陈 敬

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>

石家庄继文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年8月第 二 版 印张: 32 1/2

2018年8月第十二次印刷 字数: 826 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《有机化学》(第二版)

编写委员会

主 编 于跃芹 刘永军

副主编 武 杰 于凤丽 郭维斯 胡志强

编 委(按姓氏笔画排序)

于凤丽	于跃芹	王鲲鹏	刘永军	刘香兰
孙桂春	李一楠	李风起	辛飞飞	宋 然
宋修艳	张林宝	张晓茹	陈绍晋	武 杰
胡志强	袁 瑾	郭维斯	温永红	

第二版前言

本书第一版于2010年7月出版,是山东省有机化学精品课程和山东省优秀教学团队建设的配套教材,在教学过程中已经使用了近八年。从学生的使用效果看,能够满足不同专业的需求,得到了诸多同行专家和读者的一致好评。

第二版的编写原则与第一版相同,强化构效关系,内容的表述采用相似类比法。通过揭示各类有机化合物之间从结构到性质的相似性进行类比,提高基本结构理论、重要的性质与反应在教学全过程中再现的次数,使整个教学内容在不断地前后联系、对比中向前推进,有利于增强教学效果,这是编者将长期教学改革实践中所取得的研究成果反映到教材建设中的尝试。为适应新时期高等教育改革的发展趋势,创新有机化学课程教学思路,全面地反映学科的核心知识点和基本特点,编者结合兄弟院校特别是使用本书教师的建议,对第一版进行了修订和完善:

(1) 调整部分章节的框架,修改一些知识点的引入和展开方式。增加元素有机化合物的内容(包括硼、硅、磷、硫),补充部分人名反应,以顺应学科发展的需求。增加有机合成与反应机理综合解析,特别是电子推动法(EPM)推测反应机理,提高学生对所学知识的综合运用能力。将第一版第8~10章整合为第8章(有机波谱基础),加强波谱分析在有机化合物结构分析中的综合运用。更新每章后的阅读材料,包括百年诺贝尔化学奖、著名有机化学家简介、有机化学发展的一些新领域等,旨在开阔学生视野,提高学生的学习兴趣。

(2) 科技的快速发展对传统课堂教学形式形成冲击的同时,也提供了突破和创新的平台。以大规模开放在线课程(massive open online course, MOOC)为代表的新型教学模式带来了新的教学方式。为此,编者所在有机化学课程组于2016年初启动了有机化学网络视频公开课的建设,以本书第一版为参考,完成了视频的录制和其他教学资源的制作,并于2017年底完成了初步上线工作。随着该网络课程的试用和本书第二版的出版,有机化学视频公开课的教学资源会持续改进。课程组全体教师参与课程制作,刘永军副教授负责统稿。

(3) 新版配套教学视频资源,扫描封底二维码下载“爱一课”APP后,可通过扫描本书页码观看重点和难点讲解视频。

本次修订由于跃芹教授负责整体框架修订和统稿工作。编写分工为:于跃芹(第1、2、18、19章)、于凤丽(第3、4、5章)、武杰(第6、7、14章)、刘永军(第8、9、10、16、20章)、胡志强(第12、13、15章)、郭维斯(第11、17、20章)。参加编写工作的还有王鲲鹏、刘香兰、孙桂春、李一楠、李风起、辛飞飞、宋修艳、宋然、陈绍晋、张林宝、张晓茹、袁瑾、温永红。

在本书的修订过程中,编者参考了已出版的有关教材,并引用了部分图表、例题和习题,主要参考书列于书后,在此说明并致谢。在修订过程中,得到青岛科技大学教务处和化学与分子工程学院的热情支持,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平,书中疏漏之处在所难免,恳请同行专家和读者批评指正。

编 者

2018年4月

第一版前言

进入 21 世纪以来,全世界每年在美国化学文摘(CA)登录的新有机化合物上百万种。如今有机化学不仅是化学、化工、生物、材料、制药、食品、环境与安全等专业的必修基础课,而且还渗透到企业管理、艺术(绘画与颜料性能的关系密切)和体育(增加体质、食品安全及兴奋剂方面的内容)等专业。学科的迅速发展,为有机化学提供了难得的发展机遇和挑战。为了适应新时期学科发展和人才培养的需要,我们吸取了国内外优秀教材的经验,对原有的教材和讲义进行了认真的整理、删改、充实和提高,编写了本书。因此,它既是前人经验的总结,也是我们多年从事有机化学教学改革成果。编写过程中我们力图在课程体系、教学内容和指导学生学习方法上有所创新,希望写出广大读者喜欢的教材。本书是山东省有机化学精品课程建设的一项研究成果,主要特点如下:

(1) 强化构效关系。各章节较详细地分析有机化合物的结构特征,根据结构特征推断可能具有的某些性质,然后详细介绍化合物的性质。

(2) 内容的表述采用相似类比法。通过揭示各类有机化合物之间从结构到性质的相似性进行类比,提高基本结构理论、重要的性质与反应在教学全过程中再现的次数,使整个教学内容在不断的前后联系、对比中向前推进,有利于增强教学效果。这是我们将长期教改实践中所取得的研究成果反映到教材建设中的尝试。

(3) 在第 2 章对有机化合物的命名进行了详细系统的讨论,有利于学生掌握 IUPAC 系统命名总则。加强了光谱分析内容,除在第 8~10 章集中介绍紫外光谱、红外光谱、核磁共振谱和质谱外,以后的各章也具体介绍了各类化合物的光谱性质。

(4) 有机化学是从原子水平上变革物质,与当前人类面临的生态危机息息相关,因此,本书注意通过一些重大、典型的生态问题与有机化学的关系,增强学生的环境意识,让学生懂得发展科学与技术必须遵循可持续发展的正确方向。

(5) 针对不同专业的需要和教学要求,加强与相关学科的交融和渗透。在有关章节增加了一些相关的化学应用知识,将药物、材料、染料等相关内容融入其中,起到学以致用、拓展知识面的作用。每章结尾部分增加了阅读材料,包括百年诺贝尔化学奖、著名有机化学家简介、21 世纪有机化学发展的一些新领域等,旨在开阔学生视野,提高学生的学习兴趣。

(6) 章后附有习题,学生可以用学到的理论知识解决实际问题,巩固课堂学习效果。

本书由于跃芹、袁瑾、胡志强、刘永军编著,参加编写的包括:于跃芹(第 1、2、13 章)、刘香兰(第 3 章)、于凤丽(第 4、18 章)、宋修艳(第 5 章)、李风起(第 6、7 章)、袁瑾(第 8、9、10 章)、刘永军(第 11、12、21 章)、胡志强(第 14、15、17 章)、孙桂春(第 16 章)、张晓茹(第 19、20 章),最后由于跃芹统稿。在本书的编写过程中,我们参考了已出版的有关教材,并引用了部分图表、例题和习题,主要参考书列于书后,在此说明并致谢。在编写过程中,得到青岛科技大学教务处、化学与分子工程学院和有机化学教研室的热情支持,张书圣教授、李明教授和钟惠民教授对本书的编写也提出了宝贵的意见,在此一并致谢!

限于编者水平,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 有机化合物和有机化学	1
1.2 有机化合物的特点	1
1.2.1 有机化合物的结构特点	2
1.2.2 有机化合物的性质特点	2
1.3 有机化合物中共价键的性质	3
1.4 共价键的断裂方式和有机化学反应的类型	6
1.5 有机化学中的酸碱理论简介	6
1.5.1 Arrhenius 酸碱理论	6
1.5.2 Brönsted 质子理论	7
1.5.3 Lewis 电子对理论	7
1.6 有机化合物的分类	8
1.6.1 根据碳架分类	8
1.6.2 根据官能团分类	9
1.7 有机化合物构造式的写法	10
阅读材料——百年来 Nobel(诺贝尔)化学奖获得者	11
第 2 章 有机化合物的命名	17
2.1 有机化合物系统命名法	17
2.2 烷烃的命名	19
2.2.1 开链烷烃的命名	19
2.2.2 环烷烃的命名	21
2.3 烯烃和炔烃的命名	23
2.4 芳烃的命名	24
2.4.1 单环芳烃的命名	24
2.4.2 多环芳烃的命名	25
2.5 卤代烃的命名	26
2.6 含氧衍生物的命名	26
2.6.1 醇的命名	26
2.6.2 酚的命名	27
2.6.3 醚的命名	28
2.6.4 醛、酮的命名	29
2.6.5 羧酸的命名	29
2.6.6 羧酸衍生物的命名	30

2.7 胺的命名	30
阅读材料——国际纯粹与应用化学联合会	31
习题	32
第3章 饱和烃	36
(一) 烷烃	36
3.1 烷烃的结构	36
3.1.1 碳原子的正四面体结构	36
3.1.2 碳原子的 sp^3 杂化轨道	36
3.1.3 烷烃分子的形成	37
3.2 烷烃的同分异构现象	38
3.2.1 烷烃的同系列和同分异构现象	38
3.2.2 烷烃的构象异构	40
3.3 烷烃的物理性质	43
3.4 烷烃的化学性质	45
3.4.1 卤代反应及自由基反应机理	45
3.4.2 氧化反应	51
3.4.3 裂化反应	51
3.4.4 异构化反应	51
(二) 环烷烃	52
3.5 环烷烃的同分异构现象	52
3.5.1 环烷烃的构造异构	52
3.5.2 环烷烃的顺反异构	52
3.5.3 环烷烃的构象异构	52
3.6 环烷烃的物理性质	58
3.7 环烷烃的化学性质	58
3.7.1 卤代反应	58
3.7.2 氧化反应	58
3.7.3 异构化反应	59
3.7.4 小环烷烃的加成反应	59
3.8 饱和烃的来源和制法	60
阅读材料——石油的馏分及应用	61
习题	62
第4章 不饱和脂肪烃	64
(一) 烯烃	64
4.1 烯烃的结构	64
4.2 烯烃的同分异构现象	65
4.3 烯烃的物理性质	67
4.4 烯烃的化学性质	68
4.4.1 加成反应	68
4.4.2 氧化反应	80

4.4.3 聚合反应	83
4.4.4 α -氢原子的反应	83
4.5 烯烃的来源和制法	84
(二) 炔烃	85
4.6 炔烃的结构	85
4.7 炔烃的物理性质	86
4.8 炔烃的化学性质	87
4.8.1 末端炔烃的酸性	87
4.8.2 加成反应	88
4.8.3 氧化反应	91
4.8.4 聚合反应	92
4.9 炔烃的制法	92
(三) 二烯烃	93
4.10 二烯烃的分类	93
4.11 共轭二烯烃的结构和共轭效应	94
4.11.1 共轭二烯烃的结构	94
4.11.2 共轭效应	95
4.11.3 共振论	96
4.12 共轭二烯烃的化学性质	99
4.12.1 亲电加成反应	99
4.12.2 双烯合成反应	101
4.12.3 聚合反应和合成橡胶	103
4.13 共轭二烯烃的来源和制法	105
阅读材料——白色污染及可降解塑料	105
习题	107
第5章 芳香烃	111
5.1 苯的结构	111
5.2 单环芳烃的物理性质	113
5.3 单环芳烃的化学性质	114
5.3.1 苯环上的亲电取代反应	114
5.3.2 苯环上亲电取代反应的定位规律	121
5.3.3 还原反应	128
5.3.4 氧化反应	129
5.3.5 芳烃侧链的反应	129
5.4 稠环芳烃	131
5.4.1 萘	131
5.4.2 蒽和菲	136
5.4.3 其他稠环芳烃	138
5.5 Hückel 规则与非苯芳烃	139
5.5.1 Hückel 规则	139

5.5.2 非苯芳烃	140
5.6 芳烃的来源及制法	141
5.6.1 煤的干馏	141
5.6.2 石油的芳构化	142
阅读材料——足球烯	142
习题	143
第6章 手性分子	146
6.1 手性分子与对映异构	146
6.1.1 手性与手性分子	146
6.1.2 旋光性与对映异构	146
6.1.3 对称因素与手性判断	148
6.2 对映异构体的书写与构型标记	149
6.2.1 构型的表示方法	149
6.2.2 构型的标记	150
6.3 含一个手性碳原子化合物的对映异构	153
6.4 含多个手性碳原子化合物的对映异构	153
6.4.1 含有两个不同手性碳原子的化合物	153
6.4.2 含有两个相同手性碳原子的化合物	154
6.5 环状化合物的对映异构	155
6.6 不含手性碳原子化合物的对映异构	156
6.7 手性有机化合物的制法	157
6.7.1 外消旋体的拆分	157
6.7.2 不对称合成	159
阅读材料——手性催化剂和手性药物	160
习题	161
第7章 卤代烃	163
7.1 卤代烃的物理性质	163
7.2 卤代烷烃的化学性质	164
7.2.1 卤代烷烃的亲核取代反应	164
7.2.2 亲核取代反应历程	166
7.2.3 消除反应	173
7.2.4 消除反应历程	174
7.2.5 取代反应和消除反应的竞争	176
7.2.6 与金属的反应	178
7.3 卤代烯烃和卤代芳烃	180
7.3.1 结构对化学活性的影响	181
7.3.2 卤代芳烃的亲核取代反应	183
7.4 多卤代烃简介	185
7.5 卤代烃的制法	187
7.5.1 烃的卤代	187

7.5.2 不饱和烃的加成	187
7.5.3 由醇制备	187
阅读材料——诺贝尔化学奖与金属有机化学	187
习题	189
第8章 有机波谱基础	192
8.1 电磁辐射与吸收光谱	192
(一) 红外光谱	193
8.2 红外光谱产生的基本原理	193
8.2.1 分子振动类型	193
8.2.2 影响红外吸收频率的因素	194
8.3 官能团的特征吸收频率	194
8.4 烃类的红外光谱	196
8.4.1 烷烃	196
8.4.2 烯烃	198
8.4.3 炔烃	198
8.4.4 芳烃	199
8.5 红外光谱解析	200
阅读材料——近红外光谱技术	201
(二) 紫外光谱	202
8.6 紫外光谱产生的基本原理	202
8.7 Lambert-Beer 定律与紫外光谱图的表示法	203
8.7.1 Lambert-Beer 定律	203
8.7.2 紫外光谱图的表示方法	204
8.8 紫外光谱与有机化合物分子结构的关系	204
8.9 紫外光谱的应用	205
阅读材料——与紫外光谱有关的几个名词	206
(三) 核磁共振谱	207
8.10 核磁共振产生的基本原理	207
8.11 核磁共振谱仪与核磁共振谱的表示方法	209
8.12 化学位移	209
8.12.1 屏蔽效应	209
8.12.2 化学位移	210
8.12.3 影响化学位移的因素	210
8.13 自旋偶合与自旋裂分	212
8.13.1 质子自旋偶合与自旋裂分	212
8.13.2 偶合常数	213
8.13.3 核的等价性	213
8.14 峰面积与积分曲线	214
8.15 ^1H NMR 谱图解析	215
8.16 ^{13}C 核磁共振简介	217

阅读材料——二维核磁共振谱简介	218
(四) 质谱	219
8.17 基本原理	219
8.18 质谱仪简介	219
8.19 质谱裂解反应	220
8.20 谱图解析	222
阅读材料——质谱技术发展史简介	224
习题	225
第9章 醇和醚	227
(一) 醇	227
9.1 醇的物理性质	227
9.2 醇的化学性质	230
9.2.1 醇的酸性	230
9.2.2 醇与含氧无机酸的反应	231
9.2.3 醇羟基的置换反应	232
9.2.4 醇的脱水反应	234
9.2.5 醇的氧化与脱氢	236
9.3 邻二醇的特殊反应	239
9.3.1 邻二醇用高碘酸或四乙酸铅氧化	239
9.3.2 频哪醇重排	240
9.4 重要的醇	241
9.5 醇的制法	244
(二) 醚	245
9.6 醚的物理性质	246
9.7 醚的化学性质	247
9.7.1 钅盐的生成和醚键的断裂	247
9.7.2 过氧化物的生成	248
9.7.3 1,2-环氧化合物的开环反应	249
9.8 重要的醚	251
9.9 醚的制备	254
阅读材料——危险的分子——胆固醇	255
习题	256
第10章 酚	259
10.1 酚的物理性质	259
10.2 酚的化学性质	261
10.2.1 酚羟基的反应	261
10.2.2 芳环上的亲电取代反应	265
10.2.3 酚与卡宾的反应——Reimer-Tiemann 反应	269
10.2.4 酚与羰基化合物的缩合反应	269
10.2.5 Bucherer 反应	272

10.2.6 酚的氧化还原反应·····	273
10.3 重要的酚·····	273
10.4 酚的制法·····	275
10.4.1 异丙苯氧化法·····	275
10.4.2 磺化碱熔法·····	275
10.4.3 从芳卤衍生物制备·····	276
阅读材料——抗氧化剂和维生素 E·····	276
习题·····	278
第 11 章 醛 酮 醌 ·····	279
11.1 羰基的结构·····	279
11.2 醛、酮的物理性质·····	279
11.3 醛、酮的化学性质·····	281
11.3.1 亲核加成反应·····	282
11.3.2 α -氢的反应·····	290
11.3.3 氧化与还原反应·····	296
11.3.4 α,β -不饱和醛、酮·····	301
11.4 醛、酮的制备·····	303
11.5 重要的醛、酮·····	304
11.6 醌·····	306
阅读材料——黄鸣龙·····	307
习题·····	308
第 12 章 羧酸及其衍生物 ·····	312
(一) 羧酸·····	312
12.1 羧酸的物理性质·····	312
12.2 羧酸的化学性质·····	314
12.2.1 酸性和成盐·····	314
12.2.2 羟基的取代反应——羧酸衍生物的生成·····	317
12.2.3 还原反应·····	319
12.2.4 脱羧反应·····	320
12.2.5 α -氢的取代反应·····	320
12.3 羧酸的制法·····	321
12.4 二元羧酸·····	323
12.4.1 酸性·····	323
12.4.2 二元羧酸的受热反应·····	323
12.5 羟基酸·····	324
12.5.1 羟基酸的性质·····	324
12.5.2 羟基酸的制法·····	326
12.6 常见的羧酸·····	327
(二) 羧酸衍生物·····	329
12.7 羧酸衍生物的物理性质·····	329

12.8 羧酸衍生物的化学性质	332
12.8.1 亲核取代(加成-消除)反应	332
12.8.2 与有机金属化合物反应	335
12.8.3 还原反应	336
12.8.4 酰胺的特殊反应	337
12.9 重要的羧酸衍生物	338
12.10 油脂	340
12.10.1 油脂的来源、组成	340
12.10.2 油脂的物理性质	341
12.10.3 油脂的化学性质	341
阅读材料——花生四烯酸	344
习题	344
第13章 β -二羰基化合物	347
13.1 β -二羰基化合物的酸性	347
13.2 β -二羰基化合物的制备	348
13.2.1 Claisen 酯缩合反应	348
13.2.2 酮酯缩合反应	349
13.2.3 丙二酸酯的制备	350
13.3 β -二羰基化合物在有机合成中的应用	350
13.3.1 乙酰乙酸乙酯在有机合成中的应用	350
13.3.2 丙二酸二乙酯在有机合成中的应用	352
13.4 其他碳负离子的反应	353
13.4.1 Perkin 反应	354
13.4.2 Knoevenagel 缩合反应	354
13.4.3 安息香缩合反应	354
13.4.4 Michael 加成反应	355
13.4.5 烯胺的反应	356
阅读材料——William Henry Perkin	356
习题	357
第14章 含氮化合物	359
(一) 硝基化合物	359
14.1 硝基化合物的物理性质	360
14.2 硝基化合物的化学性质	361
14.2.1 硝基化合物的酸性	361
14.2.2 还原反应	361
14.3 硝基化合物的制备	363
(二) 胺	363
14.4 胺的结构	364
14.5 胺的物理性质	365
14.6 胺的化学性质	366

14.6.1 碱性和成盐	366
14.6.2 胺的烷基化和酰基化反应	368
14.6.3 胺与亚硝酸反应	370
14.6.4 芳胺芳环上的亲电取代反应	371
14.6.5 胺的氧化和 Cope 消除	372
14.7 季铵盐和季铵碱	374
14.7.1 季铵盐	374
14.7.2 季铵碱	375
14.8 胺的制备	376
14.9 重要的胺	377
14.10 重氮和偶氮化合物	378
14.10.1 重氮化反应	378
14.10.2 重氮盐的化学性质	378
14.10.3 偶氮化合物和偶氮染料	384
阅读材料——物质颜色与结构的关系	385
习题	386
第 15 章 杂环化合物	389
15.1 杂环化合物的命名	389
15.2 五元杂环化合物	390
15.2.1 呋喃、噻吩和吡咯的结构与芳香性	390
15.2.2 呋喃、噻吩和吡咯的性质	391
15.2.3 糠醛	395
15.2.4 含有两个杂原子的五元杂环体系	396
15.3 六元杂环化合物	398
15.3.1 吡啶的结构	398
15.3.2 吡啶的性质	398
15.3.3 二嗪和三嗪类化合物	401
15.4 稠杂环化合物	403
阅读材料——三聚氰胺	407
习题	408
第 16 章 周环反应	409
16.1 周环反应类型	409
16.1.1 电环化反应	409
16.1.2 环加成反应	410
16.1.3 σ 键迁移反应	410
16.2 周环反应理论解释	411
16.2.1 分子轨道理论简介	411
16.2.2 前线轨道理论与分子轨道对称守恒原理	412
16.2.3 电环化反应	412
16.2.4 环加成反应	415

16.2.5 σ 键迁移反应	416
阅读材料——福井谦一	418
习题	420
第 17 章 元素有机化合物	422
17.1 有机硼试剂	422
17.1.1 硼氢化试剂	422
17.1.2 有机硼试剂的制备	423
17.1.3 有机硼试剂的反应	423
17.2 有机硅试剂	425
17.2.1 有机硅试剂的制备	425
17.2.2 有机硅试剂的反应	425
17.3 有机磷试剂	427
17.3.1 磷叶立德的制备及分类	427
17.3.2 磷叶立德的反应	427
17.4 有机硫试剂	428
17.4.1 有机硫试剂的制备	429
17.4.2 有机硫试剂的反应	429
习题	431
第 18 章 碳水化合物	432
18.1 单糖	432
18.1.1 单糖的结构	432
18.1.2 单糖的物理性质	436
18.1.3 单糖的化学性质	436
18.2 低聚糖	441
18.2.1 蔗糖	441
18.2.2 麦芽糖	441
18.2.3 纤维二糖	442
18.3 多糖	442
18.3.1 淀粉	442
18.3.2 纤维素	443
18.3.3 甲壳素	444
18.3.4 海藻酸	445
阅读材料——细胞表面的碳水化合物调节细胞识别过程	446
习题	447
第 19 章 氨基酸、蛋白质和核酸	448
19.1 氨基酸	448
19.1.1 氨基酸的结构、分类和命名	448
19.1.2 氨基酸的化学性质	450
19.1.3 重要的氨基酸	452
19.1.4 氨基酸的制法	453

19.2 多肽	454
19.2.1 多肽的分类和命名	454
19.2.2 多肽的结构测定	455
19.2.3 多肽的合成	457
19.3 蛋白质	458
19.3.1 蛋白质的分子组成及分类	459
19.3.2 蛋白质的结构	459
19.3.3 蛋白质的性质	462
19.4 核酸	464
19.4.1 核酸的元素组成和构成	464
19.4.2 DNA 的结构特点	465
19.4.3 RNA 的结构特点	466
19.4.4 DNA 和 RNA 的生物功能	467
阅读材料——牛胰岛素的结构及人工合成	467
习题	469
第 20 章 有机合成与反应机理	470
20.1 有机合成设计	470
20.1.1 有机合成设计基础	470
20.1.2 基本碳骨架的建立	472
20.1.3 控制单元的应用	473
20.1.4 反应选择性的利用	476
20.1.5 立体化学的控制	477
20.1.6 运用逆合成法的有机合成设计	478
20.2 绿色有机合成	486
20.2.1 绿色化学基本概念	486
20.2.2 绿色有机合成设计	489
20.3 EPM 推测反应机理	491
20.3.1 运用 EPM 的基本原则	491
20.3.2 EPM 在周环反应中的应用	494
20.3.3 EPM 在杂环合成反应中的应用	495
20.3.4 EPM 在多组分反应中的应用	496
阅读材料——现代有机合成艺术大师——R. B. Woodward	497
习题	499
参考文献	501