



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 有机化学

(第三版)

(医学类)

主 编 张生勇 孙晓莉

副主编 何 炜 游文玮 赵华文



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 有机化学

(第三版)

(医学类)

主 编 张生勇 孙晓莉

副主编 何 炜 游文玮 赵华文

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书分上、下两篇,共17章。本书按官能团分类,从各类化合物的结构入手,着重阐明它们的性质和相互转化,加强了有机化学反应机理和立体化学的叙述,并突出与医药卫生和生物化学等生命科学领域的联系。章末附有关键词、小结、主要反应总结和习题。书后附有中英文对照索引。

本书可作为高等医科院校医疗、临床、口腔、卫生和护理等专业本科生的教材,也可作为相关专业学生的考研和自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

有机化学:医学类/张生勇,孙晓莉主编. —3版. —北京:科学出版社, 2011

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-029990-1

I. 有… II. ①张… ②孙… III. ①医用化学-有机化学-高等学校-教材 IV. ①R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 006350 号

责任编辑:赵晓霞 杨向萍 王国华 / 责任校对:钟 洋

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>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2000年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005年8月第 二 版 印张:29 1/2

2011年1月第 三 版 字数:660 000

2011年1月第五次印刷 印数:19 501—23 500

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《有机化学》(第三版)

(医学类)

编 委 会

主 编 张生勇 孙晓莉

副主编 何 炜 游文玮 赵华文

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

陈清元 程司堃 何 炜 季卫刚

姜 茹 刘雪英 孙晓莉 王 莉

王巧峰 杨 旭 游文玮 张生勇

赵华文 朱星枚

## 前 言

本书是在第一、第二、第三和第四军医大学编写的第一版《有机化学》(1996年获国家优秀教材二等奖)的基础上,由第四军医大学、南方医科大学(原第一军医大学)和第三军医大学等集体编写的。本书在强调有机化学基本理论和基础知识的同时,还引入了国内外近年来在有机化学研究领域中的新反应和新试剂。本书力求文字简明扼要、准确易懂,对内容的叙述由浅入深,分步解析,环环相扣,以启发学生积极思考,并能举一反三,触类旁通。

有机化学是一门古老而又充满活力的学科,内容极为丰富,一本60多万字的教材很难涉猎全部内容。本书以各类化合物的命名和结构为切入点,阐明它们的性质和相互转化。因为化合物的性质取决于它们的结构,性质是结构的外在表现,而结构则是化合物内在的本质。所以,将结构和性质的关系贯穿全书,以经典理论为主,同时介绍有机化学的现代理论和最新进展。本书力求内容丰富而又避免面面俱到,重视基础知识的同时也介绍最新成果和发展趋势,并与医药卫生和生物化学等生命科学领域紧密结合。

全书分上、下两篇,上篇介绍基本有机化学,下篇介绍生物分子和有机波谱学,章末除习题外还附有关键词(中英文对照)、小结和主要反应总结,以利于教学和学习。本次再版除了对主要内容和习题做了修订和补充外,还增加了中英文对照索引。为了增加教材的趣味性,精选了一些有机化学发展和发现过程中的“小故事”。

书中的化学术语以科学出版社出版的《英汉化学化工词汇》(第四版,2000年)为准;化合物命名依据中国化学会《有机化合物命名原则》(1980年);除极个别情况外,一律采用SI单位。

参加本书编写的人员有张生勇(第1章)、孙晓莉和刘雪英(第2章)、何炜(第3章)、王莉(第4章)、姜茹(第5章)、王巧峰(第6章)、朱星枚(第7章)、杨旭(第8、9、14章)、程司堃(第10章)、赵华文(第11、12、13章)、季卫刚(第15、16章)、游文玮和陈清元(第17章)。在编写第一版的过程中,原第一军医大学屠锡源教授和崔铭玉教授,第二军医大学李鸿勋教授、廖永卫教授和徐建明教授,第三军医大学李怀德教授以及第四军医大学许自超教授和骆文博教授等曾经付出了艰辛的劳动,他们丰富的教学经验、对有机化学透彻的了解和敬业精神不仅使我们这些后来者受益匪浅,也为本次再版打下了扎实的基础。可以毫不夸张地说,没有他们的辛勤劳动和通力合作,本书是难以出版的。

在本次修订过程中参考了一些国内外教材和资料,并引用了其中个别图,在此一并表示诚挚的感谢。

集体编写教材虽然可以发挥整体优势,集思广益,取长补短,优势互补,但也带来一些不利因素,如各人编写风格不尽相同,各章内容也难以平衡,甚至会出现重复或遗漏,虽然

经过多次协调和修改,但由于水平有限,谬误和疏漏之处在所难免,望同行和广大读者不吝指正,编者不胜感谢。

张生勇

2010年9月

# 目 录

## 前言

## 上篇 基本有机化学

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第 1 章 绪论            | 3  |
| 1.1 有机化学和有机化合物      | 3  |
| 1.1.1 有机化学          | 3  |
| 1.1.2 有机化合物         | 3  |
| 1.1.3 有机化合物的特点      | 4  |
| 1.2 有机化学与医学         | 5  |
| 1.3 有机化合物的来源与分类     | 6  |
| 1.3.1 有机化合物的来源      | 6  |
| 1.3.2 有机化合物的分类      | 7  |
| 1.4 有机化合物的结构式及其表示方法 | 8  |
| 1.4.1 分子式和构造式       | 8  |
| 1.4.2 化合物的构型和构型式    | 10 |
| 1.5 有机化合物中的化学键——共价键 | 11 |
| 1.6 酸和碱的电子理论        | 14 |
| 1.6.1 布朗斯台德酸和布朗斯台德碱 | 14 |
| 1.6.2 路易斯酸和路易斯碱     | 15 |
| 1.7 共价键的断裂和反应类型     | 16 |
| 1.7.1 均裂            | 16 |
| 1.7.2 异裂            | 16 |
| 1.7.3 有机化合物的反应类型    | 17 |
| 1.8 有机化学的昨天、今天和明天   | 17 |
| 关键词                 | 18 |
| 小结                  | 18 |
| 习题                  | 19 |
| 第 2 章 链烃            | 21 |
| 2.1 链烃的结构、异构现象和命名   | 21 |
| 2.1.1 链烃的结构         | 21 |
| 2.1.2 共轭二烯烃的结构      | 26 |
| 2.1.3 链烃的异构现象       | 27 |
| 2.1.4 链烃的命名         | 31 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 2.2 链烃的性质                          | 37        |
| 2.2.1 链烃的物理性质                      | 37        |
| 2.2.2 链烃的化学性质                      | 38        |
| 2.3 链烃的反应历程和电子效应                   | 47        |
| 2.3.1 反应历程                         | 47        |
| 2.3.2 诱导效应和共轭效应                    | 51        |
| 2.3.3 共振理论简介                       | 53        |
| 关键词                                | 55        |
| 小结                                 | 55        |
| 主要反应总结                             | 56        |
| 习题                                 | 58        |
| <b>第3章 环烃</b>                      | <b>62</b> |
| 3.1 脂环烃                            | 62        |
| 3.1.1 脂环烃的分类和命名                    | 62        |
| 3.1.2 环烷烃的结构                       | 63        |
| 3.1.3 脂环烃的性质                       | 67        |
| 3.1.4 萜类化合物                        | 69        |
| 3.2 芳香烃                            | 70        |
| 3.2.1 苯的结构                         | 71        |
| 3.2.2 苯的同系物的异构现象和命名                | 73        |
| 3.2.3 苯及其同系物的性质                    | 74        |
| 3.2.4 苯环上亲电取代反应的历程                 | 79        |
| 3.2.5 苯环上亲电取代反应的定位规律               | 81        |
| 3.2.6 苯及其主要同系物                     | 85        |
| 3.3 多环芳香烃                          | 86        |
| 3.3.1 蔡                            | 86        |
| 3.3.2 蒽和菲                          | 88        |
| 3.3.3 致癌芳香烃                        | 89        |
| 3.4 非苯型芳香烃和休克尔规则                   | 89        |
| 3.4.1 环丙烯基正离子                      | 90        |
| 3.4.2 1,3-环戊二烯基负离子                 | 90        |
| 3.4.3 1,3,5-环庚三烯基正离子               | 90        |
| 3.4.4 环丁烯基二价正离子及1,3,5,7-环辛四烯基二价负离子 | 90        |
| 3.4.5 薹                            | 91        |
| 3.4.6 轮烯                           | 91        |
| 3.4.7 富勒烯                          | 91        |
| 关键词                                | 92        |
| 小结                                 | 92        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 主要反应总结 .....              | 93         |
| 习题 .....                  | 95         |
| <b>第 4 章 立体化学</b> .....   | <b>98</b>  |
| 4.1 同分异构现象的分类 .....       | 98         |
| 4.1.1 构造异构 .....          | 98         |
| 4.1.2 立体异构 .....          | 99         |
| 4.2 物质的旋光性 .....          | 99         |
| 4.2.1 平面偏振光 .....         | 99         |
| 4.2.2 旋光性和比旋光度 .....      | 99         |
| 4.3 化合物的旋光性与其结构的关系 .....  | 101        |
| 4.3.1 镜像、手性及对映体 .....     | 101        |
| 4.3.2 分子的对称性 .....        | 102        |
| 4.3.3 不对称碳原子 .....        | 104        |
| 4.4 旋光异构体的构型 .....        | 105        |
| 4.4.1 费歇尔投影式 .....        | 105        |
| 4.4.2 相对构型和绝对构型 .....     | 107        |
| 4.4.3 构型的表示方法 .....       | 107        |
| 4.5 含多个手性碳原子的分子 .....     | 110        |
| 4.5.1 非对映体 .....          | 110        |
| 4.5.2 外消旋体 .....          | 111        |
| 4.5.3 内消旋体 .....          | 111        |
| 4.5.4 含两个以上手性碳原子的分子 ..... | 113        |
| 4.5.5 不含手性碳原子的手性分子 .....  | 113        |
| 4.6 手性化合物的制备 .....        | 115        |
| 4.6.1 手性源合成 .....         | 115        |
| 4.6.2 化学拆分法 .....         | 116        |
| 4.6.3 不对称合成 .....         | 117        |
| 4.7 立体异构体与生物活性 .....      | 118        |
| 关键词 .....                 | 119        |
| 小结 .....                  | 119        |
| 习题 .....                  | 120        |
| <b>第 5 章 卤代烃</b> .....    | <b>124</b> |
| 5.1 卤代烃的分类和命名 .....       | 124        |
| 5.1.1 分类 .....            | 124        |
| 5.1.2 命名 .....            | 125        |
| 5.2 卤代烃的物理性质 .....        | 126        |
| 5.3 卤代烃的化学性质 .....        | 127        |
| 5.3.1 亲核取代反应 .....        | 127        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 5.3.2 $\beta$ -消除反应         | 129        |
| 5.3.3 与金属反应生成有机金属化合物        | 130        |
| 5.4 亲核取代反应历程                | 131        |
| 5.4.1 双分子亲核取代反应历程( $S_N2$ ) | 131        |
| 5.4.2 单分子亲核取代反应历程( $S_N1$ ) | 132        |
| 5.4.3 卤代烃的类型与卤原子的种类对反应活性的影响 | 133        |
| 5.5 $\beta$ -消除反应历程         | 134        |
| 5.5.1 双分子消除反应历程             | 134        |
| 5.5.2 单分子消除反应历程             | 135        |
| 5.5.3 消除反应与取代反应的竞争          | 136        |
| 5.6 重要的卤代烃                  | 136        |
| 5.6.1 三氯甲烷                  | 136        |
| 5.6.2 氯乙烷                   | 137        |
| 5.6.3 二氟二氯甲烷                | 137        |
| 5.6.4 氟烷                    | 137        |
| 5.6.5 四氟乙烯                  | 137        |
| 5.6.6 血防 846                | 137        |
| 5.6.7 三氯杀虫酯                 | 137        |
| 5.6.8 溴甲烷                   | 138        |
| 5.6.9 三氟一溴甲烷                | 138        |
| 关键词                         | 138        |
| 小结                          | 139        |
| 主要反应总结                      | 139        |
| 习题                          | 141        |
| <b>第6章 醇、酚、醚</b>            | <b>143</b> |
| 6.1 醇                       | 143        |
| 6.1.1 醇的分类和命名               | 144        |
| 6.1.2 醇的物理性质                | 146        |
| 6.1.3 醇的化学性质                | 147        |
| 6.1.4 重要的醇                  | 155        |
| 6.2 酚                       | 157        |
| 6.2.1 酚的分类和命名               | 157        |
| 6.2.2 酚的物理性质                | 157        |
| 6.2.3 酚的化学性质                | 158        |
| 6.2.4 重要的酚                  | 161        |
| 6.3 醚                       | 164        |
| 6.3.1 醚的结构、分类和命名            | 164        |
| 6.3.2 醚的物理性质                | 165        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 6.3.3 醚的化学性质 .....             | 165        |
| 关键词 .....                      | 169        |
| 小结 .....                       | 170        |
| 主要反应总结 .....                   | 170        |
| 习题 .....                       | 173        |
| <b>第7章 醛、酮、醌 .....</b>         | <b>176</b> |
| 7.1 醛和酮 .....                  | 176        |
| 7.1.1 醛和酮的结构及分类 .....          | 176        |
| 7.1.2 醛和酮的命名 .....             | 177        |
| 7.1.3 醛和酮的物理性质 .....           | 178        |
| 7.1.4 醛和酮的化学性质 .....           | 180        |
| 7.1.5 重要的醛和酮 .....             | 197        |
| 7.2 醌 .....                    | 199        |
| 7.2.1 醌的结构 .....               | 199        |
| 7.2.2 醌的性质 .....               | 200        |
| 7.2.3 $\alpha$ -萘醌和维生素 K ..... | 201        |
| 关键词 .....                      | 201        |
| 小结 .....                       | 202        |
| 主要反应总结 .....                   | 202        |
| 习题 .....                       | 205        |
| <b>第8章 羧酸及其衍生物 .....</b>       | <b>208</b> |
| 8.1 羧酸 .....                   | 208        |
| 8.1.1 羧酸的分类与存在 .....           | 208        |
| 8.1.2 羧酸的命名 .....              | 209        |
| 8.1.3 羧酸的物理性质 .....            | 210        |
| 8.1.4 羧酸的结构 .....              | 211        |
| 8.1.5 羧酸的化学性质 .....            | 212        |
| 8.1.6 羧酸的制法 .....              | 218        |
| 8.1.7 重要的羧酸 .....              | 219        |
| 8.2 羧酸衍生物 .....                | 220        |
| 8.2.1 羧酸衍生物的命名 .....           | 220        |
| 8.2.2 羧酸衍生物的物理性质 .....         | 221        |
| 8.2.3 羧酸衍生物的化学性质 .....         | 222        |
| 8.2.4 重要的羧酸衍生物 .....           | 230        |
| 关键词 .....                      | 231        |
| 小结 .....                       | 231        |
| 主要反应总结 .....                   | 232        |
| 习题 .....                       | 235        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>第9章 羟基酸、羧基酸</b>     | 239 |
| 9.1 羟基酸                | 239 |
| 9.1.1 羟基酸的结构及分类        | 239 |
| 9.1.2 羟基酸的命名           | 239 |
| 9.1.3 羟基酸的物理性质         | 240 |
| 9.1.4 羟基酸的化学性质         | 240 |
| 9.1.5 重要的羟基酸           | 243 |
| 9.2 羧基酸                | 244 |
| 9.2.1 羧基酸的结构及命名        | 244 |
| 9.2.2 羧基酸的化学性质         | 245 |
| 9.2.3 互变异构现象           | 246 |
| 9.2.4 重要的羧基酸           | 248 |
| 关键词                    | 249 |
| 小结                     | 249 |
| 主要反应总结                 | 249 |
| 习题                     | 251 |
| <b>第10章 胺及其他的含氮化合物</b> | 253 |
| 10.1 胺                 | 254 |
| 10.1.1 胺的结构、分类和命名      | 254 |
| 10.1.2 胺的制备            | 256 |
| 10.1.3 胺的物理性质          | 257 |
| 10.1.4 胺的化学性质          | 257 |
| 10.1.5 重要的胺及其衍生物       | 264 |
| 10.2 重氮化合物和偶氮化合物       | 265 |
| 10.2.1 重氮化合物的结构        | 266 |
| 10.2.2 重氮盐的化学性质        | 266 |
| 10.2.3 偶氮化合物的性质        | 269 |
| 10.2.4 有机化合物的结构和颜色的关系  | 270 |
| 10.3 酰胺                | 271 |
| 10.3.1 酰胺的结构和命名        | 271 |
| 10.3.2 酰胺的性质           | 272 |
| 10.3.3 重要的酰胺及其衍生物      | 274 |
| 关键词                    | 277 |
| 小结                     | 277 |
| 主要反应总结                 | 278 |
| 习题                     | 280 |

## 下篇 生物分子和有机波谱学

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第 11 章 杂环化合物及生物碱 .....       | 285 |
| 11.1 杂环化合物 .....             | 285 |
| 11.1.1 杂环化合物的分类和命名 .....     | 285 |
| 11.1.2 杂环化合物的结构 .....        | 286 |
| 11.1.3 吡咯和吡啶的性质 .....        | 288 |
| 11.1.4 重要的含氮杂环化合物及其衍生物 ..... | 289 |
| 11.2 生物碱 .....               | 292 |
| 11.2.1 生物碱的概念 .....          | 292 |
| 11.2.2 生物碱的分类和命名 .....       | 292 |
| 关键词 .....                    | 296 |
| 小结 .....                     | 296 |
| 习题 .....                     | 298 |
| 第 12 章 含硫、含磷及含砷有机化合物 .....   | 300 |
| 12.1 含硫有机化合物 .....           | 300 |
| 12.1.1 硫醇 .....              | 300 |
| 12.1.2 硫醚 .....              | 303 |
| 12.1.3 磺酸及其衍生物 .....         | 305 |
| 12.2 含磷、含砷有机化合物 .....        | 308 |
| 12.2.1 含磷有机化合物 .....         | 308 |
| 12.2.2 含砷有机化合物 .....         | 311 |
| 关键词 .....                    | 312 |
| 小结 .....                     | 313 |
| 习题 .....                     | 314 |
| 第 13 章 脂类和甾族化合物 .....        | 316 |
| 13.1 油脂 .....                | 316 |
| 13.1.1 油脂的组成、结构与命名 .....     | 316 |
| 13.1.2 油脂的物理性质 .....         | 318 |
| 13.1.3 油脂的化学性质 .....         | 318 |
| 13.2 磷脂和糖脂 .....             | 320 |
| 13.2.1 磷脂 .....              | 321 |
| 13.2.2 糖脂 .....              | 324 |
| 13.3 甾族化合物 .....             | 324 |
| 13.3.1 甾族化合物的结构 .....        | 324 |
| 13.3.2 重要的甾族化合物 .....        | 326 |
| 关键词 .....                    | 333 |
| 小结 .....                     | 334 |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 习题                       | 335        |
| <b>第 14 章 氨基酸、多肽、蛋白质</b> | <b>337</b> |
| 14.1 氨基酸                 | 337        |
| 14.1.1 氨基酸的结构、分类和命名      | 337        |
| 14.1.2 氨基酸的性质            | 340        |
| 14.2 肽                   | 343        |
| 14.2.1 肽的分类和命名           | 343        |
| 14.2.2 肽链序列的测定           | 344        |
| 14.2.3 生物活性肽             | 346        |
| 14.3 蛋白质                 | 348        |
| 14.3.1 蛋白质的元素组成          | 348        |
| 14.3.2 蛋白质的分类            | 348        |
| 14.3.3 蛋白质的分子结构          | 348        |
| 14.3.4 蛋白质的性质            | 351        |
| 关键词                      | 353        |
| 小结                       | 353        |
| 主要反应总结                   | 354        |
| 习题                       | 356        |
| <b>第 15 章 核酸</b>         | <b>357</b> |
| 15.1 核酸的分类和组成            | 357        |
| 15.1.1 分类                | 357        |
| 15.1.2 核酸的化学组成           | 357        |
| 15.2 核苷和核苷酸的结构及命名        | 359        |
| 15.3 核酸的结构               | 362        |
| 15.3.1 核酸的一级结构           | 362        |
| 15.3.2 DNA 双螺旋结构         | 363        |
| 15.3.3 RNA 的二级结构         | 365        |
| 15.4 核酸的性质               | 366        |
| 15.4.1 物理性质              | 366        |
| 15.4.2 核酸的两性电离及凝胶电泳      | 367        |
| 15.4.3 核酸的变性和复性          | 367        |
| 15.4.4 核酸的杂交             | 367        |
| 关键词                      | 368        |
| 小结                       | 368        |
| 习题                       | 369        |
| <b>第 16 章 糖类</b>         | <b>370</b> |
| 16.1 单糖                  | 370        |
| 16.1.1 单糖的结构             | 371        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 16.1.2 单糖的性质 .....               | 376        |
| 16.1.3 重要的单糖及其衍生物 .....          | 380        |
| 16.2 低聚糖 .....                   | 382        |
| 16.2.1 二糖的结构和化学性质 .....          | 382        |
| 16.2.2 重要的二糖 .....               | 382        |
| 16.3 多糖 .....                    | 384        |
| 16.3.1 多糖的结构 .....               | 384        |
| 16.3.2 重要的多糖 .....               | 384        |
| 16.4 苷 .....                     | 390        |
| 16.4.1 概述 .....                  | 390        |
| 16.4.2 性质 .....                  | 391        |
| 16.4.3 重要的糖苷 .....               | 391        |
| 关键词 .....                        | 393        |
| 小结 .....                         | 393        |
| 主要反应总结 .....                     | 394        |
| 习题 .....                         | 397        |
| <b>第 17 章 有机波谱学</b> .....        | <b>399</b> |
| 17.1 紫外-可见光谱 .....               | 400        |
| 17.1.1 基本原理和基本概念 .....           | 400        |
| 17.1.2 吸收带与分子结构的关系 .....         | 403        |
| 17.1.3 影响紫外光谱的因素 .....           | 404        |
| 17.1.4 紫外光谱在有机化学中的应用 .....       | 405        |
| 17.2 红外光谱 .....                  | 407        |
| 17.2.1 分子振动和红外光谱的产生 .....        | 407        |
| 17.2.2 红外光谱图 .....               | 408        |
| 17.2.3 红外光谱的常用术语 .....           | 409        |
| 17.2.4 某些官能团在红外谱图中的位置 .....      | 410        |
| 17.2.5 红外光谱的解析 .....             | 413        |
| 17.3 核磁共振谱 .....                 | 415        |
| 17.3.1 概述 .....                  | 415        |
| 17.3.2 核磁能级与核磁共振 .....           | 416        |
| 17.3.3 化学位移 .....                | 418        |
| 17.3.4 核磁共振谱图 .....              | 422        |
| 17.3.5 自旋-自旋偶合 .....             | 423        |
| 17.3.6 核磁共振谱的应用 .....            | 424        |
| 17.3.7 $^{13}\text{C}$ NMR ..... | 428        |
| 17.3.8 核磁共振在医学中的应用 .....         | 430        |
| 17.3.9 电子顺磁共振谱 .....             | 431        |

---

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 17.4 质谱            | 431     |
| 17.4.1 基本原理        | 431     |
| 17.4.2 质谱图         | 432     |
| 17.4.3 质谱中常见的几种离子峰 | 433     |
| 17.4.4 裂解的一般规律     | 433     |
| 17.4.5 质谱的应用       | 434     |
| 17.4.6 色谱-质谱联用     | 436     |
| 关键词                | 438     |
| 小结                 | 438     |
| 习题                 | 440     |
| <br>参考文献           | <br>443 |
| 中英文对照索引            | 444     |
| 英文人名索引             | 453     |

上 篇

基本有机化学