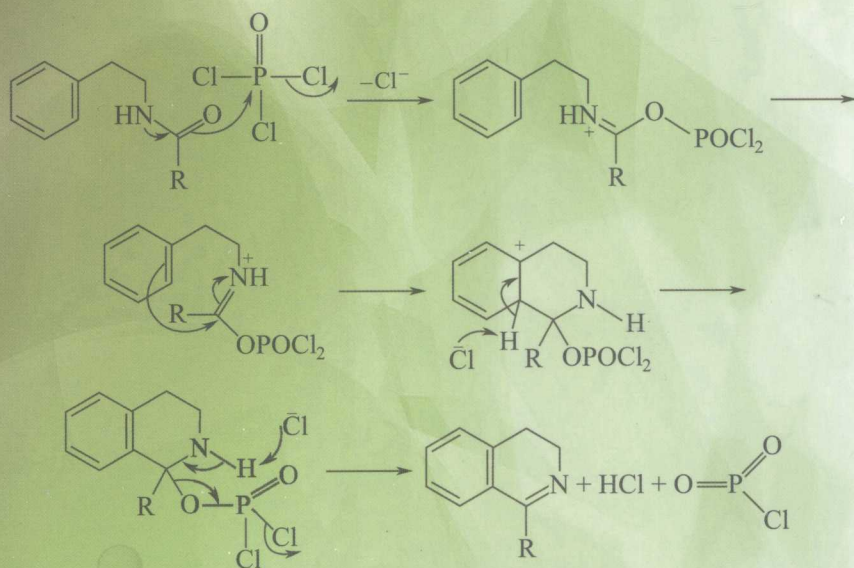


天然产物有机合成 原理与实例解析

The Principle and Examples Analysis of
Natural Products Organic Synthesis

汪秋安 王明锋 者为 编著



化学工业出版社

014913466

0629
17

天然产物有机合成 原理与实例解析

The Principle and Examples Analysis of
Natural Products Organic Synthesis

汪秋安 王明锋 者为 编著



化学工业出版社

· 北京 ·



北航

C1700096

0629
17

014013468

本书全面介绍了天然产物的有机合成机理,并通过丰富的实例详细阐述了合成路线的设计技巧和艺术。全书共分8章,第1章为绪论;第2、3章分别介绍了天然产物有机合成的一些重要方法和基本策略;第4~6章根据有机反应类型分别对天然产物合成中常见的近400个有机化学反应机理进行了系统归纳和简要描述;第7、8章选取35个典型的具有重要生物活性的天然产物(包括生物碱、萜类、植物酚类和甾体等)实例,分别对它们进行了逆合成分析和合成路线解析。书末附有“天然产物常用有机合成反应机理索引”。

本书可作为从事有机合成特别是天然产物合成和制药工业研究人员的案头工具书,也可供高等学校化学、化工和有机化学、药物化学、应用化学等专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

天然产物有机合成原理与实例解析/汪秋安,王明锋,
者为编著. —北京:化学工业出版社,2013.11
ISBN 978-7-122-16645-6

I. ①天… II. ①汪…②王…③者… III. ①天然有机
化合物-化学合成 IV. ①O629

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第042524号

责任编辑:成荣霞

文字编辑:丁建华

责任校对:吴静

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装厂

710mm×1000mm 1/16 印张31½ 字数620千字 2013年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:128.00元

版权所有 违者必究

前 言

具有重要生物学意义的天然产物的全合成是有机化学的主要领域之一，是推动化学、药学等学科发展的重要动力和思想源泉。针对复杂性、多样性结构的天然产物的全合成研究不仅带动有机化学新反应和有机合成新方法的发现和发展，也促进有机合成设计水平的整体提高。因此，复杂天然产物合成的能力往往被认为是一个国家或一个专业学术机构的有机化学整体水平的重要标志。同时，天然产物骨架的复杂性和丰富的官能团化赋予了天然产物类化合物独有的生物活性，因此天然产物作为药物研究的先导化合物有其无法替代的独特性质。以往化学家们青睐天然产物，但仅仅以合成天然产物本身为最终目的。今天，化学家们不仅合成天然产物本身，并开始利用传统的合成方法来制备结构多样的类天然产物化合物。这种利用合成手段制备的小分子化合物在生物学的基础研究和药物研究中将起到关键的作用。基于生理活性天然产物的研究已经成为化学与生命科学交叉科学领域中具有特色的主题内容，并日益受到科学界的重视。

本书全面介绍了天然产物的有机合成机理，并通过丰富的实例详细阐述了合成路线的设计技巧和艺术。全书共分8章，第1章为绪论，重点介绍天然产物合成的意义和生物合成途径与化学合成。第2、3章分别介绍了天然产物有机合成的一些重要方法和基本策略，如逆合成分析法、重要合成方法和多步骤合成策略及技巧等；第4~6章根据有机反应类型分别对天然产物合成中常见的近400个有机化学反应机理进行了系统归纳和简要描述并附有参考文献。第7、8章选取35个典型的具有重要生物活性的天然产物（包括生物碱、萜类、植物酚类和甾体等）实例，分别对它们进行了逆合成分析和合成路线解析。书末还特别附有“天然产物常用有机合成反应机理索引”，以方便读者查阅。

本书可作为从事有机合成特别是天然产物合成和制药工业研究人员常备常用和不可或缺的案头工具书，从中可以理解天然产物有机合成反应的机理，看到有机合成反应的应用，体验合成路线的设计技巧和艺术，也可以看到有机合成是如何一步一步地发展的。本书也可供高等学校化学、化工和有机化学、药物化学、应用化学等专业的师生使用。

本书在编写过程中参考了一些相关的教材、专著和国内外文献等，作者受益匪浅，参考文献已列入书中。本书的编写、绘图还得到汪钢强、吴峥、蔡双莲、娄定辉等博士研究生和硕士研究生的帮助，在此一并致谢。由于编者水平有限，疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者和同行不吝赐教。

编著者

2013年9月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 天然产物与天然产物化学	1
1.2 天然产物化学与药物开发	1
1.3 天然产物的生物合成途径	5
1.3.1 一次代谢与二次代谢	5
1.3.2 二次代谢产物的生物合成途径	6
1.4 天然产物的化学合成	14
第2章 天然产物有机合成的重要方法	19
2.1 逆合成分析法	19
2.2 不对称合成	24
2.2.1 对映异构体含量与构型的测定	24
2.2.2 不对称合成方法	30
2.2.3 有机小分子催化的不对称合成反应	33
2.3 官能团的保护	38
2.3.1 羟基的保护	39
2.3.2 1,2-和 1,3-二醇羟基的保护	46
2.3.3 醛酮羰基的保护	49
2.3.4 羧基的保护	51
2.3.5 氨基的保护	52
2.3.6 活泼碳氢键和碳碳三键的保护	56
2.4 周环反应	57
2.4.1 电环化反应	57
2.4.2 环加成反应	58
2.4.3 σ 迁移反应	62
2.5 烯炔复分解反应	65
2.5.1 烯炔复分解反应主要类型	66
2.5.2 烯炔复分解反应的机理	67
2.5.3 烯炔复分解反应在天然产物合成中的应用	68
2.6 钯等过渡金属催化的偶联反应	71
2.6.1 钯催化偶联反应的基本原理	71
2.6.2 各种偶联反应	72
2.6.3 钯催化偶联反应在天然产物合成中的应用	76

2.7 生物催化在有机合成中的应用	77
2.7.1 生物催化概述	77
2.7.2 微生物发酵和酶法合成天然产物	81
2.7.3 生物催化水解反应	83
2.7.4 生物催化不对称还原反应	84
2.7.5 生物催化的酯化反应	85
第3章 天然产物合成的基本策略	88
3.1 汇聚合成与一条线合成	88
3.2 合成问题简化	89
3.2.1 利用分子的对称性	89
3.2.2 模型化合物的运用	90
3.3 导向基	91
3.4 立体化学的控制	92
3.4.1 立体化学控制的一些反应	92
3.4.2 Zimmerman-Traxler 反应过渡态模型	94
3.4.3 端基效应	97
3.5 极性转换	100
3.6 潜在官能团	104
3.6.1 烯烃作为潜在官能团	105
3.6.2 炔烃作为潜在官能团	106
3.6.3 苯酚醚作为潜在官能团	106
3.6.4 醇作为潜在官能团	107
3.6.5 杂环作为潜在官能团	108
3.7 邻基参与作用	109
3.8 Domino (多米诺) 反应	113
3.9 天然产物的仿生合成	120
3.10 固相有机合成	124
3.10.1 固相有机合成基本原理及特点	124
3.10.2 固相合成载体	125
3.10.3 固相合成方法	126
3.11 绿色有机合成	127
第4章 天然产物合成中碳碳键形成反应机理	131
4.1 碳碳键的形成——烃化、酰化和缩合反应	131
4.1.1 Acetoacetic ester (乙酰乙酸乙酯) 合成	131
4.1.2 Acyloin 缩合反应	132
4.1.3 Aldol (羟醛) 缩合	132
4.1.4 Barbier 反应	134

4.1.5	Baylis-Hillman 反应	134
4.1.6	Benzoin (苯偶姻) 缩合	135
4.1.7	Blaise 反应	136
4.1.8	Bouveault 醛合成	137
4.1.9	Buchner-Curtius-Schlotterbeck 反应	137
4.1.10	Claisen 缩合	138
4.1.11	Corey-Fuchs 反应	139
4.1.12	Darzens α , β -环氧化酯缩合	139
4.1.13	Duff 醛基化反应	140
4.1.14	Enders 胺烷基化反应	141
4.1.15	Ene 反应	141
4.1.16	Erlanmeyer-Plöchl 反应	142
4.1.17	Eschenmoser 亚甲基化反应	143
4.1.18	Evans 烃基化反应	143
4.1.19	Evans Aldol 缩合反应	144
4.1.20	Frater-Seebach 烷基化反应	145
4.1.21	Friedel-Crafts 反应	145
4.1.22	Gattermann-Koch 合成	147
4.1.23	Gomberg-Bachmann 反应	147
4.1.24	Henry 硝醇反应	148
4.1.25	Horner-Wadsworth-Emmons 反应	148
4.1.26	Houben-Hoesch 反应	149
4.1.27	Huisgen 亲核酰基化反应	149
4.1.28	Japp-Klingemann 反应	150
4.1.29	Julia-Lythgoe 成烯反应	151
4.1.30	Kilani-Fischer 合成	151
4.1.31	Knoevenagel 缩合反应	152
4.1.32	Kolbe 电解偶联反应	153
4.1.33	Malonic ester (丙二酸酯) 合成	153
4.1.34	Marschalk 反应	154
4.1.35	Meerwein 芳基化反应	155
4.1.36	Megers 不对称烃基化反应	155
4.1.37	Michael 加成反应	156
4.1.38	Minisd 反应	157
4.1.39	Nef 炔醇合成	158
4.1.40	Perkin 反应	158
4.1.41	Reimer-Tiemann 反应	159

4. 1. 42	Reissert 醛合成反应	159
4. 1. 43	Schöpf 反应	160
4. 1. 44	Snieckus 定向邻位金属化反应	161
4. 1. 45	Stetter 反应 (Michael-Stetter 反应)	161
4. 1. 46	Stobbe 缩合反应	162
4. 1. 47	Stork 烯胺反应	162
4. 1. 48	Tollens 反应	164
4. 1. 49	Vilsmeier-Haack 反应	164
4. 1. 50	Wurtz 反应	165
4. 2	碳碳键的形成——过渡金属和元素有机化合物介导的碳碳键形成 反应	166
4. 2. 1	Cadiot-Chodkiewicz 偶联反应	166
4. 2. 2	Corey-House 合成	166
4. 2. 3	Glaser-Eglinton 偶联	167
4. 2. 4	Grignard 反应	167
4. 2. 5	Heck 反应	168
4. 2. 6	Hiyama 交叉偶联反应	169
4. 2. 7	Kagan-Molander 二碘化钯介入的偶联反应	169
4. 2. 8	Keck 立体选择性烯丙基化反应	170
4. 2. 9	Keck 自由基烯丙基化反应	171
4. 2. 10	Kumada 交叉偶联反应	171
4. 2. 11	Liebeskind 偶联反应	172
4. 2. 12	Lombardo-Takai 烯基化反应	173
4. 2. 13	Masamune-Roushfy 反应	174
4. 2. 14	Mukaiyama-Carreira 羟醛缩合反应	175
4. 2. 15	Mukaiyama-Michael 偶联反应	175
4. 2. 16	Negishi 交叉偶联反应	176
4. 2. 17	Normant 反应	176
4. 2. 18	Nozaki-Hiyama-Kishi 反应	177
4. 2. 19	Olefin Metathesis 烯烃复分解反应	177
4. 2. 20	Peterson 成烯反应	178
4. 2. 21	Reformatsky 反应	179
4. 2. 22	Roskamp 反应	180
4. 2. 23	Roush 反应	181
4. 2. 24	Sakurai 烯丙基化反应 (Hosomi-Sakurai 反应)	181
4. 2. 25	Schlosser 对 Wittig 反应的修正	182
4. 2. 26	Schwartz 锆氢化反应	183

4. 2. 27	Seyferth-Gilbert 增碳法	184
4. 2. 28	Smith-Tietze 多组分二噻炔插入偶联	184
4. 2. 29	Sonogashira 反应	185
4. 2. 30	Still-Gennari 膦酸酯反应	185
4. 2. 31	Stille 偶联反应	186
4. 2. 32	Suzuki 偶联反应	186
4. 2. 33	Takai-Utimoto 烯化反应	187
4. 2. 34	Tebbe 烯炔化反应 (Petasis 烯基化反应)	188
4. 2. 35	Tsuji-Trost 烯丙基化反应	189
4. 2. 36	Ullmann 反应	189
4. 2. 37	Weinreb 酮合成法	190
4. 2. 38	Wittig 反应	190
4. 2. 39	Wittig-Horner 反应	192
4. 3	碳碳键的形成——分子重排反应	192
4. 3. 1	Arndt-Eister 反应	192
4. 3. 2	Baker-Venkataraman 重排	193
4. 3. 3	Benzidine (联苯胺) 重排	194
4. 3. 4	Benzilic acid (二苯乙醇酸) 重排	194
4. 3. 5	Carroll 重排	195
4. 3. 6	Claisen 重排	195
4. 3. 7	Claisen-Eschenmoser 重排, Claisen-Johnson 重排, Claisen-Ireland 重排	196
4. 3. 8	Cope 重排	197
4. 3. 9	Demjanov-Tiffeneau 重排	197
4. 3. 10	Dienone-phenol (二烯酮-酚) 重排	198
4. 3. 11	<i>di-π</i> -甲烷重排	198
4. 3. 12	Favorskii 重排	199
4. 3. 13	Fries 重排	200
4. 3. 14	Fritsch-Wiechell 重排	201
4. 3. 15	Hayashi 重排	201
4. 3. 16	Hofmann-Martius 重排	202
4. 3. 17	Pinacol 重排	203
4. 3. 18	Sommelet-Hauser 铵叶立德重排	204
4. 3. 19	Stevens 重排	205
4. 3. 20	Vinylcyclopropane (乙烯基环丙烷) 重排反应	206
4. 3. 21	Von Richter 反应	206
4. 3. 22	Wagner-Meerwein 重排	207

4.3.23 Wittig 重排	207
4.3.24 Wolff 重排	208
第5章 天然产物合成中官能团相互转化反应机理	210
5.1 官能团的相互转化——取代、加成和消除反应	210
5.1.1 Amadori 重排反应	210
5.1.2 Appel 反应	210
5.1.3 Bamford-Stevens-Shapiro 反应	211
5.1.4 Barton 反应	212
5.1.5 Barton 去羰基反应	213
5.1.6 Barton-McCombie 去氧反应	213
5.1.7 Beckmann 裂解反应	214
5.1.8 Benzyne (苯炔) 反应	215
5.1.9 Blanc 氯甲基化反应	215
5.1.10 Boekelheide 反应	216
5.1.11 Boord 烯烃合成	216
5.1.12 Brown 硼氢化反应	217
5.1.13 Bucherer 反应	218
5.1.14 Burgess 脱水反应	218
5.1.15 Chichibabin 氨基化反应	219
5.1.16 Chugaev 消除	220
5.1.17 Cope 消除	220
5.1.18 Corey-Winter olefin 烯烃合成	221
5.1.19 Dakin-West 反应	221
5.1.20 Doering-LaFlamme 丙二烯合成	222
5.1.21 Eschenmoser 偶联反应	222
5.1.22 Eschenmoser-Tanabe 碎片化反应	223
5.1.23 Finkelstein 反应	224
5.1.24 Fukuyama 胺合成	224
5.1.25 Fürst-Plattner 规则	225
5.1.26 Gabriel 合成	225
5.1.27 Gorb 碎裂化反应	226
5.1.28 Grieco 消除反应	226
5.1.29 Haller-Bauer 反应	227
5.1.30 Haloform (卤仿) 反应	228
5.1.31 Hell-Volhard-Zelinsky 反应	229
5.1.32 Hofmann 消除反应	229
5.1.33 Hunsdiecker 反应	230

5.1.34	Jacobsen 水解动力学拆分	230
5.1.35	Jocic 反应	231
5.1.36	Julia 开裂反应	232
5.1.37	Koch-Haaf 反应	232
5.1.38	Kolbe-Schmitt 反应	233
5.1.39	Krapcho 脱羧反应	233
5.1.40	Kucherov 反应	234
5.1.41	Lu-Trost-Inoue 反应	234
5.1.42	Marshall 硼化物碎片化反应	235
5.1.43	Martin 硫化物脱水反应	235
5.1.44	Meisenheimer 络合物	236
5.1.45	Meyers 醛合成反应	236
5.1.46	Mitsunobu 反应	237
5.1.47	Nagata 氢氰化反应	237
5.1.48	Neber 重排	238
5.1.49	Nef 反应	238
5.1.50	Nicholes 反应	239
5.1.51	Norrish I 和 Norrish II 型光化学反应	239
5.1.52	Orton 重排	240
5.1.53	Oxymercuration-demercuration (羟汞化-脱汞) 反应	241
5.1.54	Payne 重排	242
5.1.55	Perkow 反应	242
5.1.56	Petasis-Ferrier 重排	243
5.1.57	Ramberg-Bäcklund 烯炔合成反应	243
5.1.58	Robinson 光重排反应	244
5.1.59	Rupe 重排	244
5.1.60	Schmidt 重排	245
5.1.61	Smiles 重排	246
5.1.62	Pinner 合成	247
5.1.63	Polonovski 反应	247
5.1.64	Polonovski-Potier 反应	248
5.1.65	Prevost <i>tras</i> -二羟基化反应	249
5.1.66	Prins 反应	250
5.1.67	Pummerer 重排	250
5.1.68	Regitz 重氮盐合成	251
5.1.69	Ruff 递降反应	252
5.1.70	Sharpless 二羟基化反应	252

5.1.71	Simonisni 反应	254
5.1.72	Sommelet 醛合成	254
5.1.73	Suarez 裂解反应	255
5.1.74	Thallation (钝化) 反应	255
5.1.75	Vicarious 亲核取代反应	255
5.1.76	Willgerodt 反应	256
5.1.77	Wohl-Ziegler 反应	257
5.1.78	Wohl 递降反应	257
5.1.79	Woodward <i>cis</i> -二羟基化反应	258
5.1.80	Zaitsev 消除反应	258
5.2	官能团的相互转化——氧化和还原反应	259
5.2.1	Achmatowicz 重排	259
5.2.2	Baeyer-Villiger 氧化	259
5.2.3	Birch 还原	260
5.2.4	Bouveault-Blanc 酯还原	261
5.2.5	Breslow 远程氧化脱氢法	262
5.2.6	Cannizzaro 歧化反应	262
5.2.7	Clark-Eschweiler 胺的还原烷基化	263
5.2.8	Clemmensen 还原	264
5.2.9	Corey-Bakshi-Shibata (CBS) 还原	265
5.2.10	Corey-Kim 氧化	266
5.2.11	Criegee 邻二醇裂解	266
5.2.12	Criegee 臭氧化反应	267
5.2.13	Dakin 反应	267
5.2.14	Davis 手性氮氧环丙烷试剂	268
5.2.15	DDQ 脱氢反应	268
5.2.16	Dess-Martin 过碘酸酯氧化	269
5.2.17	Etard 反应	270
5.2.18	Fukuyama 还原反应	271
5.2.19	Gribble 吡啶还原	271
5.2.20	Gribble 二芳基酮还原	271
5.2.21	Hooker 氧化	272
5.2.22	Jacobsen-Katsuki 环氧化反应	273
5.2.23	Jones 氧化反应	273
5.2.24	Kochi 氧化脱羧反应	274
5.2.25	Kornblum 氧化反应	274
5.2.26	Lemieux-Johnson 氧化反应	275

5.2.27	Ley-Griffith 氧化反应	276
5.2.28	Leuckart-Wallach 反应	276
5.2.29	Lindlar 还原反应	277
5.2.30	Luche 还原反应	277
5.2.31	Malaprade 氧化	278
5.2.32	McFadyen-Stevens 还原反应	279
5.2.33	McMurry 偶联反应	279
5.2.34	Meerwein-Ponndorf-Verley 还原	279
5.2.35	Midland 还原反应	280
5.2.36	Moffatt 氧化反应	281
5.2.37	Nicolaou 脱氢反应	281
5.2.38	Noyori 不对称氢化反应	282
5.2.39	Oppenauer 氧化	283
5.2.40	Osmium tetroxide (四氧化锇) 氧化	283
5.2.41	Parikh-Doering 氧化	284
5.2.42	Pinnick 氧化反应	285
5.2.43	Prilezhaev 环氧化反应	286
5.2.44	Riley 氧化 (SeO ₂ 氧化) 反应	286
5.2.45	Rosenmund 还原	286
5.2.46	Rubottom 氧化反应	287
5.2.47	Saegusa 氧化反应	287
5.2.48	Sarett 氧化反应	288
5.2.49	Sharpless 不对称环氧化	289
5.2.50	Shi 不对称环氧化反应	289
5.2.51	Sonn-Müller 醛合成	290
5.2.52	Swern 氧化反应	290
5.2.53	Tempo 氧化	291
5.2.54	Tischenko 反应	291
5.2.55	Vedejes 羟基化反应	292
5.2.56	Wacker 氧化反应	292
5.2.57	Wessely 氧化反应	293
5.2.58	Wharton 氧迁移反应	294
5.2.59	Wolff-Kishner 还原	294
5.3	碳杂键的形成反应	295
5.3.1	Arbuzov 反应	295
5.3.2	Atherton-Todd 反应	296
5.3.3	Bamberger 重排	296

5.3.4	Beckmann 重排	297
5.3.5	Brook 重排	298
5.3.6	Buchawld-Hartwig 交叉偶联反应	298
5.3.7	Chan-Lam 偶联反应	299
5.3.8	Corey-Chaykovsky 反应	299
5.3.9	Corey-Nicolaou 大环内酯化反应	300
5.3.10	Curtius 重排	301
5.3.11	Ferrier 重排	301
5.3.12	Fischer-Hepp 重排	302
5.3.13	Hoch-Campbell 氮杂环丙烷合成	302
5.3.14	Hofmann 酰胺降解反应	303
5.3.15	Kahne 昔化反应	303
5.3.16	Koenig-Knorr 昔化反应	304
5.3.17	Lawesson 硫羰基化反应	304
5.3.18	Lossen 重排	305
5.3.19	Mannich 反应	305
5.3.20	Meisenheimer 重排	306
5.3.21	Merrifield 固相肽合成	307
5.3.22	Meyer-Schuster 重排	308
5.3.23	Mislow-Evans 重排	309
5.3.24	Miyaura 硼化反应	309
5.3.25	Morin 重排	310
5.3.26	Mukaiyama 酯化反应	311
5.3.27	Newman-Kwart 反应	311
5.3.28	Overman 重排	312
5.3.29	Passerini 反应	312
5.3.30	Paterno-Büchi 反应	313
5.3.31	Povarov 反应	313
5.3.32	Ritter 反应	314
5.3.33	Sandmeyer 反应	314
5.3.34	Schiemann 反应	315
5.3.35	Schmidt 三氯乙酰亚胺酯的糖昔化反应	315
5.3.36	Sharpless 不对称羟胺化反应	316
5.3.37	Steglich 酯化反应	317
5.3.38	Stieglitz 重排	318
5.3.39	Strecker 氨基酸合成	319
5.3.40	Surzur-Tanner 重排	319

5.3.41	Ugi 反应	320
5.3.42	Van Leusen 还原氰基化反应	321
5.3.43	Vorbruggen 糖基化反应	322
5.3.44	Wessely-Moser 重排	323
5.3.45	Willgerodt-Kindler 反应	323
5.3.46	Williamson 醚合成法	324
5.3.47	Yamada 偶联试剂	324
5.3.48	Yamaguchi 酯化反应	325
第 6 章 天然产物合成中碳环和杂环形成反应机理		327
6.1	碳环形成的反应	327
6.1.1	Baldwin 环化	327
6.1.2	Buchner 扩环法	328
6.1.3	Conia-ene 反应	328
6.1.4	Danheiser 成环反应	329
6.1.5	Danishefsky 双烯环加成反应	330
6.1.6	De Mayo 反应	330
6.1.7	Dieckmann 缩合	331
6.1.8	Diels-Alder 反应	332
6.1.9	Dötz 苯环化反应	333
6.1.10	Dowd 自由基扩环反应	334
6.1.11	Nazarov 环化反应	334
6.1.12	Ficini 反应	335
6.1.13	Fujimoto-Belleau 反应	335
6.1.14	Hajos-Wiechert 反应	336
6.1.15	Hauser 环化反应	337
6.1.16	Haworth 反应	338
6.1.17	Kulinkovich 羟基丙烷化反应	338
6.1.18	Pauson-Khand 环戊烯酮合成	339
6.1.19	Pschorr 闭环反应	340
6.1.20	Robinson 闭环反应	341
6.1.21	Simmons-Smith 反应	342
6.1.22	Staudinger 酮烯环加成	342
6.1.23	Story 自由基扩环合成	343
6.1.24	Thorpe-Ziegler 环化反应	343
6.2	杂环形成的反应	344
6.2.1	Algar-Flynn-Oyamada 反应	344
6.2.2	Allan-Robinson 反应	344

6.2.3	Auwers 反应	345
6.2.4	Bartoli 吲哚合成	346
6.2.5	Barton-Zard 反应	346
6.2.6	Biginelli 嘧啶酮合成	347
6.2.7	Bischler-Möhlau 吲哚合成	348
6.2.8	Bischler-Napieralski 异喹啉合成	348
6.2.9	Boger 吡啶合成	349
6.2.10	Bougault 碘内酯化反应	350
6.2.11	Chichibabin 吡啶合成	351
6.2.12	Clauson-Kass 反应	352
6.2.13	Combes 喹啉合成	352
6.2.14	Conrad-lipach 反应	353
6.2.15	Cook-Heilbron 噻唑合成	354
6.2.16	Doebner 反应	354
6.2.17	Feist-Benary 呋喃合成	355
6.2.18	Fischer 吲哚合成	355
6.2.19	Friedländer 合成	356
6.2.20	Gassman 吲哚合成	357
6.2.21	Guareschi-Thorpe 缩合	358
6.2.22	Hantzsch 吡啶合成	358
6.2.23	Hantzsch 吡咯合成	359
6.2.24	Hegedus 吲哚合成	360
6.2.25	Hinsberg 噻吩合成法	360
6.2.26	Hofmann-Löffler-Freytag 反应	361
6.2.27	Huisgen 环加成反应(1,3-偶极环加成反应)	362
6.2.28	Keck 大环内酯化反应	363
6.2.29	Kinugasa 反应	364
6.2.30	Knorr 吡咯合成	364
6.2.31	Knorr 喹啉合成	365
6.2.32	Kröhnke 吡啶合成	365
6.2.33	Larock 香豆素、喹啉酮合成	366
6.2.34	Larock 吲哚合成	367
6.2.35	Madelung 吲哚合成	368
6.2.36	Mogan-Walls 反应	368
6.2.37	Mori-Ban 吲哚合成	369
6.2.38	Paal-Knorr 合成法	370
6.2.39	Parham 环化反应	371

6.2.40	Pechmann 香豆素合成反应	371
6.2.41	Pfitzinger 喹啉合成	372
6.2.42	Pictet-Spengler 异喹啉合成	373
6.2.43	Pomeranz-Fritsch 反应	373
6.2.44	Robinson-Schöpf 反应	374
6.2.45	Simonis 色酮环化反应	375
6.2.46	Skraup 喹啉合成	376
6.2.47	Veno-stork 环化反应	377
6.2.48	Wenker 氮杂环丙烷合成	378
6.2.49	Witkop 光环反应	378
第7章 生物碱及其他含氮天然产物全合成实例解析		380
7.1	Camptothecin (喜树碱)	380
7.2	(-)-Dendrobine (石斛碱)	384
7.3	11, 11'-Dideoxyverticillin A(11,11'-二去氧沃替西林)	386
7.4	Epothilones (埃博霉素)	388
7.5	Halipeptin A	395
7.6	(+)-Haplophytine (单枝夹竹桃碱)	398
7.7	Lyconadin A	400
7.8	Nakadomarin A	403
7.9	L-N-乙酰神经氨酸 (L-Neu5Ac)	406
7.10	Platencin (平板素)	408
7.11	(+)-Polyoxin J [(+)-多氧菌素]	411
7.12	Reserpine (利血平)	413
7.13	Tamiflu (达菲)	415
7.14	Taxol (紫杉醇)	418
7.15	Tropinone (托品酮)	422
第8章 萜类、植物酚类和甾体等天然产物全合成实例解析		424
8.1	(+)-Absinthin (苦艾素)	424
8.2	Artemisinin	426
8.3	Calabricoside A	428
8.4	Calanolide A	431
8.5	Caryophyllene (石竹烯)	434
8.6	(+)- <i>trans</i> -Chrysanthemic acid (除虫菊酸)	436
8.7	Combretastatin A-4	438
8.8	Juvabione (保幼冷杉酮)	441
8.9	Lithospermic acid B (紫草酸 B)	446
8.10	Longifolene (长叶烯)	448