



中国科学院研究生教学丛书

# 手性合成

## ——不对称反应及其应用

(第五版)

林国强 孙兴文 陈耀全 李月明 陈新滋 著



 科学出版社

# 手性合成

## ——不对称反应及其应用

本书第五版进行了全面的改写和扩充，特点是增加了新近蓬勃发展的有机小分子及离子对催化不对称反应的内容。

本书由金属配合物催化、有机小分子催化和生物催化剂催化的反应、机理和应用三大部分内容构成，参考文献引用至2013年，是目前国内不对称有机反应领域内容较完整、资料较新颖、叙述较全面的教学参考书。

本书基础知识和最新研究成果介绍并重，兼具基础课教科书和研究人员参考书的特点，可作为有机化学、药物化学及精细化工专业的高年级本科生、研究生的教材，也可供制药工业和精细有机化工及相关行业技术人员参考。



**林国强**，教授，有机化学家。1964年毕业于上海科技大学化学系，同年考入中国科学院上海有机化学研究所，师从周维善教授。1968年研究生毕业，留所工作至今。1991年晋升为研究员。1981~1982年赴瑞典皇家理工学院作访问学者，1986~1987年赴美国匹兹堡大学和史克莱药业研究开发部作访问科学家。1990~1999年历任中国科学院上海有机化学研究所副所长、所长。2001年当选为中国科学院院士。

曾任IUPAC有机与生物化学部资深委员、中国化学会常务理事、香港大学访问教授、南开大学客座教授，现任国家自然科学基金委员会化学部主任、*Tetrahedron/Tetrahedron Letters* 理事会理事及中国地区执行编辑、《中国科学：化学》和《化学学报》副主编、复旦大学双聘院士。1992年被评为国家级有突出贡献的专家。2006年获何梁何利基金科学与技术进步奖。2008年被评为中国科学院研究生院杰出贡献教师。2012年被评为全国优秀科技工作者。

林国强教授的研究领域为具有生理活性的天然产物结构与合成、不对称合成反应、生物催化反应和手性药物小分子的合成等。荣获国家科技进步二等奖和中国科学院科技进步一等奖等12项。发表论文180余篇，授权中国专利40项，PCT2项。出版不对称合成和手性药物的中、英文专著多部。

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-037194-2



9 787030 371942 >

中国科学院研究生教学丛书

# 手性合成

——不对称反应及其应用

(第五版)

林国强 孙兴文 陈耀全 李月明 陈新滋 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍和讨论了当今有机化学的前沿课题——手性合成(不对称合成)。本书首先论述不对称合成的基本概念和最新方法学上的诸多亮点,其特色是与最新研究成果保持同步,与时俱进;然后从羰基化合物不对称的 $\alpha$ -烷基化及相关反应开始,介绍了羰基化合物的立体选择性亲核加成反应、不对称羟醛缩合及相关反应、不对称氧化反应、不对称 Diels-Alder 反应及其他成环反应,不对称催化氢化及其他还原反应和不对称反应方法学在天然产物合成中的应用;还介绍了生物催化手性合成反应、其他类型的不对称反应和命名反应,不对称反应的新概念及不对称反应催化剂的回收与重复使用。书中列举了大量金属-配体和有机小分子及离子对催化的不对称反应中最新突出进展,对各种不对称合成途径的优点和局限进行了对比,除对每一反应列出最新亮点外,还列出文献综述,便于读者查阅。

本书将基础知识介绍和最新研究成果概述相结合,简单扼要又深入浅出,可作为有机化学、药物化学及精细化工等相关专业的高年级本科生、研究生的教材,也可作为教师、科研人员、制药工业和精细有机化工及相关行业技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

手性合成:不对称反应及其应用/林国强等著.—5版.—北京:科学出版社,2013

中国科学院研究生教学丛书

ISBN 978-7-03-037194-2

I. ①手… II. ①林… III. ①不对称有机合成-研究生-教材  
IV. ①O621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 054173 号

责任编辑:陈雅娴 杨向萍 胡华强 / 责任校对:赵桂芬 刘亚琦

责任印制:阎磊 / 封面设计:迷底书装

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2000年3月第一版 2013年3月第五版

2005年2月第二版 2013年3月第八次印刷

2007年8月第三版 开本:787×1092 1/16

2010年10月第四版 印张:42

字数:957 000

定价:118.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《中国科学院研究生教学丛书》序

在 21 世纪曙光初露,中国科技、教育面临重大改革和蓬勃发展之际,《中国科学院研究生教学丛书》——这套凝聚了中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血的研究生教材面世了。相信这套丛书的出版,会在一定程度上缓解研究生教材不足的困难,对提高研究生教育质量起着积极的推动作用。

21 世纪将是科学技术日新月异、迅猛发展的新世纪,科学技术将成为经济发展的最重要的资源和不竭的动力,成为经济和社会发展的首要推动力量。世界各国之间综合国力的竞争,实质上是科技实力的竞争。而一个国家科技实力的决定因素是它所拥有的科技人才的数量和质量。我国要想在 21 世纪顺利地实施“科教兴国”和“可持续发展”战略,实现邓小平同志规划的第三步战略目标——把我国建设成中等发达国家,关键在于培养造就一支数量宏大、素质优良、结构合理、有能力参与国际竞争与合作的科技大军,这是摆在我国高等教育面前的一项十分繁重而光荣的战略任务。

中国科学院作为我国自然科学与高新技术的综合研究与发展中心,在建院之初就明确了出成果出人才并举的办院宗旨,长期坚持走科研与教育相结合的道路,发挥了高级科技专家多、科研条件好、科研水平高的优势,结合科研工作,积极培养研究生;在出成果的同时,为国家培养了数以万计的研究生。当前,中国科学院正在按照江泽民同志关于中国科学院要努力建设好“三个基地”的指示,在建设具有国际先进水平的科学研究基地和促进高新技术产业发展基地的同时,加强研究生教育,努力建设好高级人才培养基地,在肩负起发展我国科学技术及促进高新技术产业发展重任的同时,为国家源源不断地培养输送大批高级科技人才。

质量是研究生教育的生命,全面提高研究生培养质量是当前我国研究生教育的首要任务。研究生教材建设是提高研究生培养质量的一项重要基础性工作。由于各种原因,目前我国研究生教材的建设滞后于研究生教育的发展。为了改变这种情况,中国科学院组织了一批在科学前沿工作,同时又具有相当教学经验的科学家撰写研究生教材,并以专项资金资助优秀的研究生教材的出版。希望通过数年努力,出版一套面向 21 世纪科技发展、体现中国科学院特色的高水平的研究生教学丛书。本丛书内容力求具有科学性、系统性和基础性,同时也兼顾前沿性,使阅读者不仅能获得相关学科的比较系统的科学基础知识,也能被引导进入当代科学研究的前沿。这套研究生教学丛书,不仅适合于在校研究生学习使用,也可以作为高校教师和专业研究人员工作和

学习的参考书。

“桃李不言，下自成蹊。”我相信，通过中国科学院一批科学家的辛勤耕耘，《中国科学院研究生教学丛书》将成为我国研究生教育园地的一丛鲜花，也将似润物春雨，滋养莘莘学子的心田，把他们引向科学的殿堂，不仅为科学院，也为全国研究生教育的发展作出重要贡献。

饶宏祥

## 序

在漫长的化学演化过程中,地球上出现了无数手性化合物。构成生命体的有机分子,无论在种类上或在数量上,绝大多数是手性分子。生命体系有极强的手性识别能力,不同构型的立体异构体往往表现出极不相同的生理效能。

普通环境中的有机合成,只能产生等量立体异构体的混合物;只有在不对称环境中的合成,具有某种构型的化合物的量才会超过其相应的异构体。手性合成(或不对称合成)就是使化学反应在人为的不对称环境中进行,以求最大限度地得到具有所需立体化学构型的产物。近二三十年来手性合成方法学研究的成就,使光学活性有机化合物的合成产生了革命性的发展。近年来催化不对称合成的发展,使不对称合成又有了长足的进步。

手性合成化学和工业关系密切,实际上它是有机合成化学工业中的高技术。20世纪后期崛起的“手性药物”工程就是一个很好的例证;此外,对香料、食品添加剂、农药等等同样存在“手性”的要求;手性液晶材料、含手性主链的聚合物具有独特的理化性能,成为特殊的器件材料。

不对称合成方法学及其应用是当代有机化学研究的热点和前沿,每年都有大量的研究论文和专利发表。它已成为有机化学专业研究生的必修课,同时也是从事合成有机化学和药物合成化学研究人员、制药工业和精细化工行业工作的科技人员学习和应用的学科。本书系由多年从事“不对称合成”教学和具有丰富科研经验的作者撰写而成。用中文出版一本这方面的书对国内读者是有极大帮助的。《手性合成——不对称反应及其应用》较系统地论述了本领域的基础知识,又介绍了不对称合成的最新研究成果,搜集了大量重要的参考文献和综述,可谓图文并茂,深入浅出,对于初学者及已有一定基础的学生和科技工作者,无论是从事基础性研究和从事技术性创新的,都是一本很好的学习和工作的参考书。在此我乐意向大家推荐这一本书。

周维亮

中国科学院院士

中国科学院上海有机化学研究所研究员

1999年10月

## 第五版前言

21 世纪是我们国家发展的重要战略机遇期,经济继续保持健康发展,国家对科技的投入显著增长,表现在我国高影响力论文数逐年增加,研究硕果累累。随着国家对不对称合成研究资助力度的加大,该领域欣欣向荣,新的研究亮点不断推出,在国内外有目共睹,正取得重要影响,同时还推动了手性合成产业的发展,这与我国科学家卓有成效的努力是分不开的。

《手性合成——不对称反应及其应用》自 2000 年出版发行至今已有十二年,期间陆续出版四个版本,得到了广大读者的支持与厚爱。作者长期从事基础研究,对该领域的研究前沿具有深邃的理解和洞见。在浩瀚的文献中采撷,管中窥豹,可见一斑。将不对称合成方法学日新月异的发展解读与阐释,字斟句酌,使其具备教科书和手册两种功能,敬献读者。对作者而言,撰写本身就是一种学习过程,兴趣盎然。保持着这种乐趣,并持之以恒,成就了第五版。这是一件非常有意义的工作,在作者心目中的地位至高无上,沉重而坚实。

作者感谢为本书第五版付出辛劳的人们,尤其需要感谢洪然博士,他对每一章均仔细审阅和修改,提出观点;感谢本课题组的李榕女士、研究生和工作人员;感谢中国科学院上海有机化学研究所和复旦大学化学系的研究生们,他们在使用第四版时发现了错误,提出了建议,作者对此均做了修订。

日子过得快,新的一年已开启。春种秋收,自然都是喜悦,作者和读者一起期待《手性合成——不对称反应及其应用》第五版的出版。

作 者

2013 年 1 月 18 日



## 第四版前言

进入 21 世纪以来,有关不对称反应方法学的研究可谓发展迅猛,尤其是有机小分子催化反应更是异军突起,与含金属催化剂催化的不对称反应形成逐鹿争雄、伯仲难分之势。以至于在本书第三版出版后不久,为与时俱进而不落伍,作者就着手第四版的编写工作了。但是,想从浩瀚的文献中整理出一本简明扼要、图文并茂、又能与时相齐的教科书和工具书,撷取文献中的精华作管中窥豹,是在小空间内搭大舞台,绝非易事。因此只能直面困难,力求表述准确。

第四版在内容上做了较大幅度的修改和补充。需要说明的是,纵观全文,尽管一些文献报道的年代久远,但考虑到需要将反应的历史演变和发展作一概论,因此仍将其保留。在内容的安排上,除了第 1 章绪论外,本书仍以官能团的变化来展开论述。首先是碳-碳键的生成,然后是氧化-还原反应,再是全合成的举例以及最后的生物催化反应。将金属配合物催化与小分子有机催化融合各表,在第三版中已作了尝试。自然界本身就是如此,催化化学反应的酶中约一半含金属,另一半不含金属,因此对含金属的催化剂和不含金属的催化剂就不刻意区分了。另外,有些重要的反应,如轴手性联苯类合成、不对称重排反应等,虽初稿已成,但由于篇幅的限制及时间匆忙,未能列入,不能不说是个遗憾。有些来不及罗列到各章节中的最新文献,只能放在相应各章的结语中略作说明,希望能将更新的研究前沿作介绍。

最后,作者衷心地感谢为本书第四版付出辛劳的人们,他们是洪然博士、李榕女士、田平博士、冯陈国博士、孙炳峰博士、孙彩云硕士,研究生李飞、沈安和刘敏等;作者还要感谢中国科学院上海有机化学研究所的研一学生,他们在使用第三版教科书时指出其中许多错误,在第四版中已对这些错误做了更正。

第四版与第三版相比有很大的修改与补充,每一章几乎均十易其稿。目前虽已脱稿但仍未感轻松,因为书中难免还有不少差错,只希望错误不要太多,也请读者不吝指正。

林国强 李月明 陈耀全 孙兴文 陈新滋

2010 年 5 月

## 第三版前言

《手性合成——不对称反应及其应用》的第二版和这次第三版的出版时间相隔不到三年,其原因是近年来有机小分子催化不对称反应的研究异军突起,发展迅猛,已逐渐形成与配体金属催化剂相辅相成、并驾齐驱的局面。为了使本书更能全面反映不对称催化反应发展,我们在第二版问世之后就着手收集、增添报道最新成就的文献,同时删除第二版中已经略显过时的内容。

本版最大的更新之处是增添了有机小分子催化和其他催化的不对称反应的最新成果,适时地反映了这一领域的最新进展。含金属的和不含金属的催化反应虽有不同,但二者在机理和原理上有相通之处,可谓是人类对酶(生物)催化反应的学习、模拟与改进。在章节的安排上,仍按官能团的转化来分类列章,将配体金属催化反应和有机小分子的催化反应放在一起介绍。将两种不同类型的催化作用合并在一起叙述,应该说是有困难的,因此这样的安排也可算是首次尝试,希望读者能感到满意。同时在章节上也重新做了安排和补充,例如,将原来自成一章的固载化催化剂分散到各有关章节;将生物催化的反应自成一章。在第1章绪论中,增加了有关不对称反应中出现的新方法与新概念。为了更合理地安排,将碳-碳键生成反应分散在第2~5章,然后是第6章的氧化反应及第7章的还原反应。因此,将不对称氧化反应由原来放在 Diels-Alder 反应前调整到第7章不对称还原反应的前面。趁此改版契机,将管三年来的具代表性的优秀论文作了介绍,其中包括不少中国学者的论文。同时,更新了索引。

经过这样的调整、修改和补充,与第二版相比,本版有相当大的变动幅度,希望能够比较完整、系统而又扼要地将不对称反应的知识介绍给读者。如果我们的努力能够达到千虑一得,则当自感欣慰。虽然我们尽力收集最新的又具有代表性的文献,但仍不免挂一漏万。有许多好的和重要的反应如自由基反应、芳基偶联、其他杂环成环以及生物催化等反应,由于篇幅及归类的困难未能列入,实感遗憾。此外,尽管我们反复核阅,十易其稿,但仍会出现错误和欠考虑之处。希望读者不吝指出本书存在的缺点,以利我们今后的订正。

最后,我们愿借此机会对李榕女士不辞辛苦、不厌其烦的图文工作表示感谢,也对洪然博士和中国科学院上海有机化学研究所的9位博士研究生参与文稿校对的辛劳工作表示感谢。本书作为《中国科学院研究生教学丛书》,在中国科学院上海有机化学研究所和复旦大学化学系研究生班的教学中使用多年,承蒙广大同学提出许多宝贵意见和建议,在此一并致谢。

林国强 陈耀全 李月明 陈新滋

2007年3月

## 第二版前言

《手性合成——不对称反应及其应用》一书自 2000 年首版迄今,一直得到读者和各方面的关心、钟爱与支持,先后重印过两次,现在是到了再版的时候了。首先,我们在本书付印后即发现有许多差错和遗漏,自责之余,想到的是应及时更正;其次,本书所涉及的领域中优秀论文层出不穷,其内容在时空上的滞后已无法追及学术的发展。尤其是近年来,我国科学家在这个领域已发表了一批优秀的论文,更应在本书中有所体现。再者,本书在 2002 年获得了教育部普通高等学校优秀教材二等奖,这既是对本书的肯定,又是对我们再版的期待和鼓励。因此,作者在保留原著框架结构的基础上,对原稿进行大幅度的删减和补充。

冬去夏来,经过整整三年的艰辛努力,作者终于完成了对原著几乎彻底的重写。在第二版中共有参考文献 2000 余篇,其中最新的文献 400 余篇,我国科学家的文献百余篇。希望能将本领域的最新研究概况和动态在新版中做较充分的介绍。第二版将原著中第 2 章的羰基的  $\alpha$ -烷基化反应和加成反应分为两章进行描述,即第 2 章和第 3 章,采取此种分流办法以解决内容太多和容量不足的困惑。最后又增加了第 10 章,对固载化反应做一概述。作者相信,不对称合成的生命力强盛与否相当程度上应体现在工业化上,而固载化催化不对称反应正是人们朝这一目标努力的方向之一,应不吝用整章篇幅来介绍给读者,殷切希望共同努力之。

令作者感到遗憾的是,鉴于种种原因,本书未能涵盖不对称反应领域的所有内容,仍有些好的内容例如一些碳-碳键的合成、自由基反应等无法一一罗列,心有余而力不足矣,希望以后再有机会补上。

至此,作者想借此一角对在本稿写作中付出诸多艰辛的同事和学生深表谢意,虽不能细列他们的名字,但他们是真正的默默奉献者。

作者衷心感谢国家自然科学基金重大项目“手性与手性药物研究中的若干科学问题研究”及国家重点基础研究发展规划“创造新物质的分子工程学研究”项目对作者的资助与鼓励。感谢香港理工大学“战略发展领域”研究计划以及香港政府大学资助委员会重点支持的“卓越研究领域”对本书完成所给予的大力支持与鼓励。作为作者之一,李月明在此向南开大学的王积涛教授多年的栽培和教诲表示感谢。最后,对支持和理解我们的各位同仁和读者表示衷心的感谢。

林国强 李月明 陈耀全 陈新滋

2004 年 12 月

## 第一版前言

《手性合成——不对称反应及其应用》一书的原本取自中国科学院上海有机化学研究所研究生有机合成化学课的讲义。作者在用该教材讲授的同时深感在不对称合成方面虽然已有许多出色的专著和综述,但均限于研究性论文或其综述。对于初次涉足的学生或有关领域的工作者来说,需要有一本兼具教科书和手册功能的书籍,既深入浅出地论述本学科的基础知识,又能随时查阅本领域最新成就。其次,由于近 10 年来不对称合成的长足发展,有必要将本领域一些最新的研究成果及其所应用的方法及反应条件介绍给世人,将原教材中一些陈旧的内容摒弃。因此作者希望本书的出版能满足该诸多方面的要求。有鉴于此,在本书撰写过程中,既收集一些基本反应,又包括一些能反映新成就的文献,删繁就简,力图在浩如烟海的文献、综述与本书的有限篇幅之间找到平衡点。

本书采取最简单最通行的方式,即按官能团的变化划分章节。第 1 章是基本概念,包括绝对构型的测定,不对称反应的评价等;第 2,3,5 章涉及碳-碳键的形成,常规的羰基烷基化加成反应、醛醇缩合反应(包括烯丙基化反应)、Diels-Alder 反应等;第 4,6 章分别叙述官能团的不对称氧化与还原反应;第 7 章用实例说明不对称反应在全合成中的战略地位与作用;第 8 章讲述生物转化。一些暂时难以列入第 2 至 6 章的反应以及关于不对称反应的新概念和新发展也收在第 8 章中。每一章后尽可能引证有关的综述文献供读者进一步查阅,在文中不作赘述。不对称催化反应在全书中是备受关注的內容,因为催化反应在工业规模生产中最有实用前景并最受欢迎,这也是本领域的发展趋势。值得高兴的是,不对称反应已在制药等工业中初显功威。因此本书对一些与药物有关的化合物的合成也多处列举。

在结束本前言之前,作者(香港理工大学陈新滋教授,李月明博士,中国科学院上海有机化学研究所陈耀全教授,林国强教授)愿借本书的一角对参与和协助本书的诞生的同行和学生深表谢意,多年来他们所付出的艰辛是难以言表的。他们是程杰飞博士,曾春民博士,张鲁岩博士,刘定国博士,李榕小姐,于爱军小姐,张爱民先生,刘菲小姐,袁敏小姐。对于上海有机化学研究所的图书馆、研究生部在本书成书过程中给予的帮助深表感谢。本书加上前身,曾何止十易其稿。在此过程中曾给予帮助的诸位,无法在此一一列举。对此作者除感激外又深负歉疚。

作者谨对周维善院士,戴立信院士,陆熙炎院士在本书编写过程中的至诚建议和有益商讨表示诚挚的谢意。他们的热情鼓励促进了本书的完成。

虽然本书已经脱稿,但作者们并不感到如释重负。对于书中可能出现的差错,衷心希望读者不吝赐教。

林国强 李月明 陈耀全 陈新滋

1999 年 10 月

# 目 录

《中国科学院研究生教学丛书》序

序

第五版前言

第四版前言

第三版前言

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 手性的意义	2
1.2 不对称性	5
1.2.1 Fischer 命名法则	7
1.2.2 Cahn-Ingold-Prelog 惯例	7
1.3 对映体组成的测定	13
1.3.1 比旋光的测量	14
1.3.2 核磁共振法	15
1.3.3 NMR 技术中的一些新试剂	18
1.3.4 手性二醇或取代环酮的对映体组成测定	19
1.3.5 使用手性柱的色谱法	20
1.3.6 带有对映选择性电解质的毛细管电泳	22
1.4 绝对构型的测定	23
1.4.1 X 射线衍射法	24
1.4.2 化学相关法	25
1.4.3 Prelog 法	27
1.4.4 Horeau 法	28
1.4.5 NMR 法用于构型测定	29
1.5 不对称合成的定义和表述	33
1.6 立体化学控制的总策略	34
1.6.1 “手性子”途径	35
1.6.2 开链体系的非对映选择性途径	36
1.6.3 有机分子催化的不对称反应	42
1.6.4 催化碳-氢活化反应	51
1.6.5 协同催化作用	54
1.6.6 不对称去对称性作用	57

1.7 一些复杂天然化合物实例	60
参考文献	64
<b>第2章 羰基化合物的<math>\alpha</math>-烷/芳基化取代及共轭加成反应</b>	<b>73</b>
2.1 引言	73
2.2 金属配位型手性辅基传递	77
2.2.1 脯氨酸类底物	78
2.2.2 酰亚胺体系	79
2.2.3 手性烯胺体系	80
2.2.4 手性胺体系	81
2.2.5 手性咪唑啉体系	83
2.2.6 酰基磺内酰胺体系	85
2.3 手性源生成季碳中心	88
2.4 金属催化的 $\alpha$ -芳基化、烯基化反应	91
2.5 有机催化的 $\alpha$ -取代反应	94
2.5.1 $\alpha$ -氨基酸衍生物的 $\alpha$ -烷基化反应	94
2.5.2 羰基的 $\alpha$ -烷/芳基化反应	96
2.5.3 催化不对称烯丙基烷基化反应	99
2.5.4 离子对催化的酰化反应	102
2.6 有机催化的羰基 $\alpha$ -卤代反应	104
2.6.1 氟代反应	105
2.6.2 氯代、溴代和碘代反应	106
2.7 $\alpha,\beta$ -不饱和羰基化合物的不对称共轭加成反应	109
2.7.1 金属催化的 $\alpha,\beta$ -不饱和羰基底物的不对称共轭加成	110
2.7.2 有机催化的 Michael 加成反应	116
2.8 小结	131
参考文献	132
<b>第3章 羰基(亚胺)化合物的对映选择性亲核加成反应</b>	<b>139</b>
3.1 手性辅剂的羰基加成及不对称缩醛(酮)合成反应	139
3.1.1 手性辅剂的羰基加成反应	139
3.1.2 不对称缩醛(酮)合成	141
3.2 有机锌试剂对醛的对映选择性加成反应	143
3.3 锌试剂与醛不对称反应中的非线性对映化学效应	152
3.3.1 非线性对映化学效应	152
3.3.2 手性放大和手性自催化	154
3.3.3 关于自然界手性起源问题的探讨	155
3.4 羰基化合物对映选择性亲核加成反应中催化剂的回收	157
3.4.1 高分子固载的手性配体用于二乙基锌对醛的对映选择性加成反应	157
3.4.2 无机载体固载的手性配体用于二乙基锌对醛的对映选择性加成反应	158

3.4.3 可溶性大分子用于二烷基锌对芳基醛的对映选择性加成反应 .....	158
3.4.4 手性大分子用于二乙基锌对醛的对映选择性加成反应 .....	159
3.5 醛的炔基化反应 .....	162
3.5.1 氨基醇及胺类配体催化末端炔对醛的对映选择性加成反应 .....	162
3.5.2 Ti-BINOL 和 Ti-H <sub>8</sub> BINOL 催化醛的对映选择性加成反应 .....	164
3.5.3 自组装钛催化剂催化醛的对映选择性炔基化反应 .....	165
3.5.4 酚类添加剂活化 BINOL/ Ti(O <sup>i</sup> Pr) <sub>4</sub> 对芳香族醛的对映选择性炔基化反应 .....	166
3.5.5 手性联烯基醇的制备 .....	166
3.6 酮/亚胺的不对称烷(芳)基和炔基化反应 .....	168
3.6.1 有机锌对酮的对映选择性加成反应 .....	168
3.6.2 酮的不对称炔基化反应 .....	170
3.6.3 烷基锌试剂对酮酯的不对称加成 .....	172
3.6.4 亚胺的炔基化反应 .....	173
3.6.5 亚胺的烷/芳基化反应 .....	176
3.7 乙烯硅烷进行的醛烯基化反应 .....	181
3.8 不对称羟氰化反应和 Strecker 反应 .....	184
3.8.1 不对称羟氰化反应 .....	184
3.8.2 不对称 Strecker 反应 .....	188
3.9 不对称 $\alpha$ -羟基(氨基)膦酸酯的制备 .....	192
3.10 不对称 Reformatsky 反应 .....	197
3.11 不对称 Darzens 反应 .....	199
3.12 Stetter 反应 .....	200
3.13 小结 .....	204
参考文献 .....	205
<b>第 4 章 羟醛缩合及烯丙基化等相关反应 .....</b>	<b>214</b>
4.1 引言 .....	214
4.2 底物控制的羟醛缩合反应 .....	216
4.2.1 羟醛缩合反应的立体化学 .....	216
4.2.2 噁唑烷酮作为手性辅剂的羟醛缩合反应 .....	217
4.2.3 吡咯烷化合物作为手性辅剂 .....	220
4.2.4 Mukaiyama 辅剂方法 .....	221
4.2.5 酰基磺内酰胺体系作为手性辅剂 .....	223
4.2.6 $\alpha$ -硅烷基酮 .....	224
4.3 试剂控制的羟醛缩合反应 .....	224
4.3.1 由手性硼化合物诱导的羟醛缩合 .....	224
4.3.2 Corey 试剂控制的反应 .....	225
4.4 手性催化剂控制的不对称羟醛反应 .....	227
4.4.1 Mukaiyama 体系 .....	227

4.4.2 手性二茂铁基膦-金(I)配合物催化的不对称羟醛缩合反应	230
4.4.3 手性 Lewis 酸催化的不对称羟醛缩合反应	231
4.4.4 有机 Lewis 碱催化的烯醇体的羟醛缩合反应	233
4.4.5 直接不对称羟醛缩合反应	234
4.5 双不对称羟醛缩合反应	242
4.6 不对称烯丙基化反应	244
4.6.1 Roush 反应	245
4.6.2 Corey 试剂用于不对称烯丙基化反应	250
4.6.3 烯丙基化试剂选例	252
4.6.4 催化的不对称烯丙基化反应	253
4.7 亚胺的不对称烯丙基化、烷基化反应及 Mannich 反应	258
4.8 水相的不对称羟醛缩合反应	268
4.9 还原性羟醛反应和醛/酮及亚胺的烯基化反应	270
4.10 乙烯基 aldol 反应和乙烯胺化反应	276
4.11 不对称 Henry 反应	280
4.12 不对称 Morita-Baylis-Hillman 反应	284
4.13 小结	288
参考文献	289
<b>第 5 章 不对称 Diels-Alder 反应及其他成环反应</b>	<b>298</b>
5.1 传统的不对称 Diels-Alder 反应	299
5.1.1 丙烯酸酯类亲双烯体(I 型试剂)	299
5.1.2 $\alpha, \beta$ -不饱和和酮类亲双烯体(II 型试剂)	301
5.1.3 手性 $\alpha, \beta$ -不饱和 <i>N</i> -酰基噁唑烷酮	302
5.1.4 手性烷氧基亚铵盐	303
5.1.5 手性双烯体参与的不对称 Diels-Alder 反应	305
5.2 手性 Lewis/Brønsted 酸催化剂用于不对称 DA 反应	307
5.2.1 Narasaka 催化剂	307
5.2.2 手性镧系金属催化剂	308
5.2.3 双磺酰胺(Corey 催化剂)	309
5.2.4 手性酰氧基硼烷催化剂	310
5.2.5 Brønsted 酸辅助下的手性 Lewis 酸催化剂	311
5.2.6 双噁唑啉类催化剂	313
5.2.7 有机催化的不对称 Diels-Alder 反应	314
5.2.8 含季碳手性中心化合物的制备	316
5.3 杂 Diels-Alder 反应	319
5.3.1 氧杂 DA 反应	320
5.3.2 氮杂 DA 反应	328
5.4 分子内 Diels-Alder 反应	334



5.5 逆 Diels-Alder 反应	335
5.6 不对称[3+2]反应	337
5.6.1 底物控制及含金属催化剂催化的 1,3-偶极体加成反应	338
5.6.2 有机催化的硝酮和缺电子烯烃的反应	340
5.6.3 氮杂次甲基叶立德的 1,3-偶极成环反应	342
5.6.4 金属与手性膦或双烯诱导的成环反应	344
5.7 不对称环丙烷化反应	348
5.7.1 过渡金属配合物催化的不对称环丙烷化反应	350
5.7.2 不对称 Simmons-Smith 反应	355
5.7.3 有机分子催化的不对称环丙烷化反应	358
5.7.4 钯催化的环丙烷化反应	360
5.8 [2+2]环加成反应和 Nazarov 反应	362
5.9 不对称烯反应	368
5.10 不对称 Pauson-Khand 反应	374
5.11 分子间[4+3]环加成反应	375
5.12 小结	376
参考文献	377
<b>第 6 章 不对称氧化反应</b>	<b>387</b>
6.1 烯丙醇的不对称环氧化反应	387
6.1.1 Sharpless 环氧化反应的特点	388
6.1.2 反应机理	389
6.1.3 Sharpless 环氧化反应的改良	390
6.2 非官能化烯烃的环氧化反应	395
6.2.1 卟啉配合物催化下非官能化烯烃的不对称环氧化反应	395
6.2.2 Salen 配合物催化下非官能化烯烃的不对称环氧化反应	397
6.2.3 手性酮催化的非官能化烯烃的不对称环氧化反应	403
6.2.4 $\alpha,\beta$ -不饱和羰基化合物的不对称环氧化反应和过氧化反应	407
6.3 2,3-环氧醇和环氧物的选择性开环	410
6.3.1 2,3-环氧醇的亲核试剂开环	410
6.3.2 内消旋环氧化合物的不对称去对称化作用	417
6.4 对称的二乙烯基甲醇的不对称环氧化反应	424
6.5 由醛生成手性环氧化物的反应	427
6.6 烯烃的对映选择性双羟基化反应	430
6.6.1 烯烃的不对称双羟基化反应	430
6.6.2 固载化的不对称双羟基化反应	439
6.7 不对称氨基羟基化反应(AA 反应)	442
6.8 不对称双胺化反应	448
6.9 不对称双卤代反应及卤代内酯化反应	451