



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会／主编

2016—2017

化学 学科发展报告

中国化学会 | 编著

REPORT ON ADVANCES IN
CHEMISTRY



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会主编

2016—2017

化学 学科发展报告

中国化学会 | 编著

REPORT ON ADVANCE IN
CHEMISTRY

中国科学技术出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2016—2017 化学学科发展报告 / 中国科学技术协会
主编; 中国化学会编著. —北京: 中国科学技术出版社,
2018.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-7929-1

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 化学—学科发展—研
究报告—中国—2016-2017 IV. ① O6-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 055390 号

策划编辑	吕建华 许 慧
责任编辑	韩 颖 冯建刚
装帧设计	中文天地
责任校对	杨京华
责任印制	马宇晨
出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	425千字
印 张	20
版 次	2018年3月第1版
印 次	2018年3月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7929-1 / O · 196
定 价	98.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



2016—2017

化学 学科发展报告

首席科学家 姚建年

专 家 组 (按姓氏笔画排序)

丁元华	丁有钱	卜显和	马 丁	王 冬
王 训	王亚韩	王哲明	王健吉	王强斌
王 磊	毛江高	方维海	石先哲	龙腊生
帅志刚	叶 宁	申有青	田伟生	史 勇
邢 巍	朱广山	朱为宏	朱玉军	朱亚先
朱伟民	朱维良	向 宇	邬 慧	庄 林
刘文剑	刘正平	刘伟生	刘 倩	刘海超
刘琛阳	刘 强	闫文付	关 伟	江桂斌
池振国	安立佳	许 柠	孙为银	孙世刚
阴永光	严以京	严兆华	李 川	李有勇
李攻科	李浩然	李海芳	李景虹	杨开广
杨文胜	杨 帆	杨秀荣	杨国昱	杨国强

杨金龙	杨学明	肖小华	何鸣元	何彦
佟振合	沈珍	沈浪涛	张玉奎	张东辉
张生栋	张丽华	张劲军	张建玲	张树永
张前	张铁锐	张浩力	张祥民	张锁江
陆小华	陈尔强	陈军	陈红征	陈建中
陈晓	陈彬	陈鹏	邵学广	范青华
茅瓌波	林金明	林海峰	杭纬	罗三中
罗军华	周永贵	周翔	周群芳	郑明辉
郑南峰	郑素萍	郑强	郎建平	房华毅
孟玉峰	赵祖金	赵雅平	赵新生	胡金波
胡睿	段春风	侯廷军	侯剑辉	俞书宏
施和平	施章杰	姜艳霞	洪茂椿	姚惠峰
秦安军	袁辉明	夏永姚	夏春谷	钱骏
徐昕	徐柏庆	翁小成	高怀岭	高恩庆
高毅勤	郭国聪	郭荣	唐本忠	唐金魁
唐智勇	黄建滨	崔勇	梁玉	梁振
逯乐慧	尉志武	彭孝军	彭谦	董永强
董建华	韩布兴	童明良	裘式纶	解孝林
熊斌	樊春安	黎书华	潘远江	薛兴亚
戴东旭	魏锐			

学术秘书	郝临晓	邓春梅
------	-----	-----



党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央把科技创新摆在国家发展全局的核心位置，高度重视科技事业发展，我国科技事业取得举世瞩目的成就，科技创新水平加速迈向国际第一方阵。我国科技创新正在由跟跑为主转向更多领域并跑、领跑，成为全球瞩目的创新创业热土，新时代新征程对科技创新的战略需求前所未有。掌握学科发展态势和规律，明确学科发展的重点领域和方向，进一步优化科技资源配置，培育具有竞争新优势的战略支点和突破口，筹划学科布局，对我国创新体系建设具有重要意义。

2016年，中国科协组织了化学、昆虫学、心理学等30个全国学会，分别就其学科或领域的发展现状、国内外发展趋势、最新动态等进行了系统梳理，编写了30卷《学科发展报告（2016—2017）》，以及1卷《学科发展报告综合卷（2016—2017）》。从本次出版的学科发展报告可以看出，近两年来我国学科发展取得了长足的进步：我国在量子通信、天文学、超级计算机等领域处于并跑甚至领跑态势，生命科学、脑科学、物理学、数学、先进核能等诸多学科领域研究取得了丰硕成果，面向深海、深地、深空、深蓝领域的重大研究以“顶天立地”之态服务国家重大需求，医学、农业、计算机、电子信息、材料等诸多学科领域也取得长足的进步。

在这些喜人成绩的背后，仍然存在一些制约科技发展的问題，如学科发展前瞻性不强，学科在区域、机构、学科之间发展不平衡，学科平台建设重复、缺少统筹规划与监管，科技创新仍然面临体制机制障碍，学术和人才评价体系不够完善等。因此，迫切需要破除体制机制障碍、突出重大需求和问题导向、完善学科发展布局、加强人才队伍建设，以推动学科持续良性发展。

近年来，中国科协组织所属全国学会发挥各自优势，聚集全国高质量学术资源和优秀人才队伍，持续开展学科发展研究。从2006年开始，通过每两年对不同的学科（领域）分批次地开展学科发展研究，形成了具有重要学术价值和持久学术影响力的《中国科协学科发展研究系列报告》。截至2015年，中国科协已经先后组织110个全国学会，开展了220次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告220卷，有600余位中国科学院和中国工程院院士、约2万位专家学者参与学科发展研讨，8000余位专家执笔撰写学科发展报告，通过对学科整体发展态势、学术影响、国际合作、人才队伍建设、成果与动态等方面最新进展的梳理和分析，以及子学科领域国内外研究进展、子学科发展趋势与展望等的综述，提出了学科发展趋势和发展策略。因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，不仅吸引了国内外科学界的广泛关注，更得到了国家有关决策部门的高度重视，为国家规划科技创新战略布局、制定学科发展路线图提供了重要参考。

十余年来，中国科协学科发展研究及发布已形成规模和特色，逐步形成了稳定的研究、编撰和服务管理团队。2016—2017学科发展报告凝聚了2000位专家的潜心研究成果。在此我衷心感谢各相关学会的大力支持！衷心感谢各学科专家的积极参与！衷心感谢编写组、出版社、秘书处等全体人员的努力与付出！同时希望中国科协及其所属全国学会进一步加强学科发展研究，建立我国学科发展研究支撑体系，为我国科技创新提供有效的决策依据与智力支持！

当今全球科技环境正处于发展、变革和调整的关键时期，科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命，科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。我们要准确把握世界科技发展新趋势，树立创新自信，把握世界新一轮科技革命和产业变革大势，深入实施创新驱动发展战略，不断增强经济创新力和竞争力，加快建设创新型国家，为实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强有力的科技支撑，为建成全面小康社会和创新型国家做出更大的贡献，交出一份无愧于新时代新使命、无愧于党和广大科技工作者的合格答卷！



2018年3月



在中国科协学会学术部的指导下，继 2007 年、2009 年、2011 年、2013 年、2015 年先后 5 次出版化学学科发展报告之后，中国化学会再次组织所属各学科委员会和专业委员会对化学学科近 3 年来取得的进展进行调研，撰写完成了《2016—2017 化学学科发展报告》(以下简称“本报告”)。

本报告由综合报告和专题报告两部分组成。在综合报告中，汇集了 24 个化学研究分支的最新重要进展和发展趋势，同时也继续对我国高等化学教育和基础化学教育的发展概况进行整理，由执笔人根据各学科和专业委员会、有关专家以及编写组人员提供的部分资料编撰而成，文中共涉及国内科学家近年发表的论文 800 余篇。本报告的 8 篇专题报告是编写组通过调研有选择地组织的，共引用一千余篇参考文献内容涉及与经济发展和民生相关的近年来化学热门前沿领域。专题报告的内容也尽量避免在综合报告中重复赘述。

本报告的编写得到化学界的多位院士、专家的大力支持和积极响应，他们亲自参与了调研、编写和审稿工作。在此对他们所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。虽经多位专家审阅修改，但本报告一定还会存在材料取舍和编排不当、疏漏等不少的缺陷和瑕疵，也恐难全面反映我国化学研究发展全貌。对于报告的不足，欢迎同仁们批评指正。

中国化学会
2017 年 12 月

序 / 韩启德

前言 / 中国化学会

综合报告

化学学科研究进展与趋势展望 / 003

一、引言 / 003

二、我国化学学科最新重要进展 / 003

三、我国化学学科发展趋势和展望 / 048

四、总结 / 052

参考文献 / 053

专题报告

非线性光学晶体材料研究进展 / 101

生物矿化与无机材料仿生合成研究进展 / 118

有机光伏研究进展 / 144

碳氢键活化研究进展 / 164

聚集诱导发光研究进展 / 194

单细胞分析化学研究进展 / 217

化学反应动力学研究进展 / 236

资源化学研究进展 / 250



ABSTRACTS

Comprehensive Report

Report on Advances in Chemistry / 283

Reports on Special Topics

Report on Advances in Nonlinear Optical Crystalline Materials / 293

Report on Advances in Biomineralization and Bioinspired Synthesis of Inorganic Materials / 294

Report on Advances in Organic Photovoltaic Technology / 296

Report on Advances in C–H activation / 297

Report on Advances in Aggregation–Induced Emission / 299

Report on Advances in Single Cell Analytical Chemistry / 300

Report on Advances in Chemical Reaction Dynamics / 301

Report on Advances in Resource Chemistry / 304

索引 / 307



综合报告

化学学科研究进展与趋势展望

一、引言

近两年来，中国化学在教育 and 科研方面均取得显著进展。在各级政府和社会的各种经费的支持下，化学研究的队伍越来越壮大，化学学术论文发表的数量和质量持续处在国际领先地位，中国化学正进入一个由“跟跑”向“领跑”转变的关键时期。

本次化学学科进展报告总结了 2015—2017 上半年我国化学工作者在科研和教育方面的进展。化学科研涵盖了有机化学、无机化学、物理化学、分析化学、高分子化学、核化学与放射化学等六个主要分支学科，以及计算化学、流变学、环境化学、绿色化学、理论化学、晶体化学、多孔材料、化学生物学等八个交叉学科或研究领域。化学教育涵盖基础化学教育和高等化学教育。本报告共引用参考文献两千余篇，能够比较准确地反映了我国化学学科进展情况。

二、我国化学学科最新重要进展

（一）有机化学

近两年来，我国有机化学研究领域继续保持良好发展势头，在学术论文发表方面成绩突出。中国化学家在《美国化学会志》《德国应用化学》《化学科学》3 个杂志上发表论文的数量仅次于美国，居第二位；在《化学通讯》发表论文篇数占总数 39.7%，位居第一。

有机化学专业杂志上的统计结果可以部分展现出我国有机化学研究领域的发展状况。在《高等合成与催化》《有机快讯》和《有机化学杂志》3 个国际主流杂志上，中国有机化学家发表文章数均居首位，分别占论文总数的 40%、34% 和 28%。这从一个侧面反映出我国有机化学研究的整体水平在国际上已经处于较高的位置。2016 年，中国科学院上

海有机化学研究所刘国生的研究团队,利用金属催化的自由基接力新策略成功地实现了铜催化的苄基上的碳氢键不对称氰化反应,发表在 *Science* 上,是我国大陆有机化学家在该杂志上发表的首篇研究论文^[1]。

在本报告收录的有机化学相关 195 篇学术论文中,《科学》《自然·化学》《自然·通讯》《美国化学会志》《德国应用化学》等共计 177 篇,占 90.8%。在这 177 篇论文中,金属有机化学为主的有机反应和合成方法学论文 107 篇,占 60.5%;与氟等元素有关的有机反应与合成方法学论文 23 篇,占 13.0%;天然产物合成化学论文 45 篇,占 25.4%;天然产物化学 2 篇,占 1.1%。可见,金属有机以及含氟等元素的有机反应和合成方法学仍是研究热点。另外,天然产物合成化学也取得了不俗的进展。

1. 有机反应与合成方法学

不对称有机反应和合成方法学研究, C-H 官能团化的研究, 自由基反应等有机化学的热点研究领域都有我国有机化学家的身影。

芳烃或烷烃的选择性碳氢键官能化是高效合成药物、农药、精细化学品以及快速开发它们的新产品对有机合成化学家提出的要求,也是有机合成中的挑战性任务。刘国生等提出将反应中的碳自由基中间体转化为金属有机物种来实现选择性控制的策略,借此来解决烷烃的碳氢键直接不对称官能化的问题,成功地实现了铜催化苄基上的碳氢键不对称氰化反应,提供了合成手性腈类化合物的新方法,具有良好的官能团兼容性和优异的化学、区域和立体选择性^[1]。刘国生的团队还发展了铜催化的对映选择性烯烃的分子间三氟甲基氰基化反应、铜催化炔烃的三氟甲基叠氮化反应、钯催化苯乙烯分子间氟磺酰化反应、分子内烯烃胺三氟甲氧基化反应、分子间烯烃的分子间氧/胺羰基化反应等^[2-8]。

去芳构化反应及其在天然产物合成中应用已经得到有机化学家充分重视。游书力团队使用不同有机催化剂和过渡金属络合物对吡啶、吡咯、苯酚以及萘酚等进行不对称去芳构化反应研究,给出了含有螺环或桥环结构单元化合物的合成方法;他们还使用有机小分子和过渡金属络合物催化一些非活化碳氢键来形成碳碳键和碳杂原子键^[9-17]。

冯小明和刘小华等继续发展手性氮氧配体与不同金属络合催化的不对称反应,在多种转化上都实现了优异的立体选择性控制,如与锌络合物催化环状烯醇硅醚和炔酮的 [2+2] 环加成反应、与金/镍双金属接力催化螺环缩酮的合成、与镍催化炔丙醇衍生物的动力学拆分和 Claisen 重排合成手性联烯等^[18-25]。还使用新型手性双功能胍-酰胺配体,在温和条件下,高效高选择性地实现了多个不对称催化反应^[26, 27]。

刘心元和谭斌等在有机催化及烯烃三氟甲基化引发的进一步转化的研究上发展了一系列方法学,如:磷酸催化不对称 Passerini 反应、多组分反应不对称构建螺吡啶酮、有机催化萘酚的芳基化反应合成轴手性联芳基二醇、双重活化策略烯烃的直接不对称自由基胺三氟甲基化反应、以及自由基介导的烯烃 1, 2- 甲酰基/羰基化反应等^[28-33]。

张俊良团队以多官能团化合物的化学反应为中心,致力于新的催化剂开发,催化剂新

的活性研究,及其在新反应中的应用;发现过渡金属钼和铈的路易斯酸性是反应的关键,成功解决了基于共轭烯炔类化合物为反应原料的多样性合成和选择性问题;发展了以烯基氮杂环丙烷与烯烃、炔烃以及联烯的催化环加成反应为代表的一系列有机反应^[34-39]。

王剑波等专注涉及重氮化合物和金属卡宾的方法学研究,如重氮烷烃与端炔偶联合成三取代联烯、卡宾对硅硅键和锡锡键的插入反应、酰基重氮甲烷的碳氢官能团化和串联交叉偶联反应、铈催化重氮酯对硅氧基烯基环丙烷的碳碳键活化反应等^[40-44]。

雷爱文等专注于发展新型的包含小分子活化过程的氧化偶联反应方法学和机理研究,如铜催化下氯乙酸酯促进的杂芳基苄位亚甲基的选择性氧化反应、铜催化的 sp^3 碳氢/磷氢的自由基交叉偶联反应、端炔与非活化烷烃在多金属催化下的自由基氧化交叉偶联反应等^[45-48]。游劲松等在碳氢键活化,尤其是氧化偶联方面做出了创新性和系统性研究,利用活化策略构筑具有 π 共轭结构有机功能材料分子,特别是新颖杂芳环共轭骨架^[49-52]。

在高活性配体开发及应用研究方面,汤文军等采用设计深手性口袋膦配体的新思路,发展了有显著结构特征的 P- 手性膦配体,在大位阻偶联以及不对称偶联/环化/氢化中表现出优异的效率^[53-57]。周其林等以螺二氢茛为配体骨架设计的手性双噁唑啉和手性氮膦配体在一系列金属催化的反应中表现出极佳的立体化学控制,如铈催化的 2-吡啶基环亚胺的不对称氢化、镍催化苯乙烯与醛的氢酰化反应、以及苯胺衍生物对 α -芳基 α -重氮乙酸酯的不对称芳基化反应等^[58-61]。唐勇等以 BOX 型配体在一些不对称环加成或开环反应中取得很好的结果,如给体-受体型环丙烷在水进攻下的亲核开环、环状烯胺与不饱和 α -酮酸酯在铜催化下形成双环 N, O -缩醛、以及双烯与给体-受体型环丙烷的不对称环化反应等^[62-65]。丁奎岭等将所开发的配体应用到氢气、一氧化碳及二氧化碳活化有关的催化反应研究中,发展清洁的有机合成方法,实现了末端联烯高区域选择性和对映选择性的烷氧羰基胺基化反应以及铈催化以氢气和二氧化碳为原料进行胺的甲酰化反应^[66, 67]。

在惰性化学键,尤其是碳氢键和碳碳键的活化方面,施章杰等发展了银催化的芳基从碳原子向氮原子远程迁移过程,并进行了初步机理研究^[68, 69];史炳峰等以二价钼催化实现非活化亚甲基的碳氢键氟化反应,可立体选择性合成 β -氟代 α -氨基酸^[70, 71];史壮志等分别使用铜和钼催化实现吡啶 C6 和 C7 位的芳基化^[72-75];李兴伟等使用芳香醛的硝酮无痕导向,实现铈催化芳烃的碳氢键活化^[76-78];宋毛平以混合导向基团策略,用钴催化实现非活化芳烃的氧化碳氢/碳氢键芳基化^[79]。

在光氧化还原催化剂的存在下,越来越多的转化可以在可见光的激发下进行,有绿色环保的特征。陈以昀、肖文精、俞寿云、李桂根等做出了有益的探索,报道了如高价碘介导的脱羧烯化/炔化反应、羧酸的脱羧炔化及羰基炔化反应、应用可见光促进酰基肟形成亚胺自由基合成吡啶/喹啉/菲啶、以及使用取代的 Hantzsch 酯作为烷基化试剂合成多取代酮等过程^[80-86]。

另外,黄正等在设计和合成用于有机转化的金属催化剂方面取得进展,开发的铈、铁催化剂可催化串联的脱氢/异构/氢硅化反应将烷烃直接转化为高附加值的烷基硅烷^[87]。麻生明等专注联烯相关方法学研究外,还发展了铁催化室温下空气氧化伯醇为羧酸的方法^[88-90]。马大为等设计的草酸二酰胺配体大大降低了一价铜催化芳基卤化物的反应温度,可在较低温度下实现(杂)芳基氯的羟基化和胺基化^[91-93]。龚流柱等利用钼络合物与Brønsted酸的协同催化实现吡唑酮对末端烯烃的高对映选择性烯丙位烷基化等^[94-96]。焦宁等发展了锰催化烯烃的空气氧化羟基叠氮化反应,能快速制备 β -叠氮醇化合物^[97-99]。姜雪峰等在均相金催化中巧用配体效应,实现区域发散性的 π 键活化环化^[100, 101]。朱晨等将三价锰催化环丁醇自由基碎裂开环反应与一系列自由基捕获过程结合,实现了远程氰化、炔化、以及氟化等转化^[102-104]。

纯不对称有机催化研究也有许多不错的成果。陈应春等使用手性胺催化 α -取代的胺叶立德的[4+1]环化反应,对映选择性地构建螺环吡啶酮^[105]。赵刚等基于廉价易得的天然手性源设计合成了一系列新型手性有机催化剂,将其作为手性Brønsted酸或Lewis碱应用于不对称催化Strecker等类型的反应,取得优异的产率和对映选择性;这种双试剂手性离子对的催化策略和概念拓展了手性膦催化反应的范围,可能带来新的反应与应用^[106, 107]。

2. 有机合成化学

有机合成化学逐渐加强对新的反应特性的理解和运用,以及对化学转化中的选择性的精确控制,寻求通过有机合成化学满足化合物资源的合理利用和人类对有机分子的需要。两年来,我国有机化学家发表与天然产物合成相关的高影响因子文章40多篇,合成目标多是具有良好生理活性和独特化学结构的天然产物,热点分子主要为生物碱(吲哚生物碱和石松生物碱居多)和萜类(二萜/三萜)等。

李昂等采取基于天然产物生物合成假设及特定核心结构的发散性策略,完成10余个具有挑战性的吲哚萜类和氨基酸萜类天然产物全合成^[108-115]。

俞飏等利用分子内缩醛环化反应和原创的三氟亚胺酯糖苷化和金催化糖苷化反应为核心,完成了杠柳苷periploside A、皂甙Linckosides A和B、tunicamycins的合成^[116-118]。马大为等以取代的二氢呋喃酮和香茅醛衍生物的羟醛缩合以及二碘化钐介导的分子内酮-烯自由基环化为关键反应,完成具有拒食作用和抗真菌活性的倍半萜leucosceptroids A/B的全合成^[119]。洪然等以亚硝基-烯环化反应巧妙构筑2-氮杂双环[3.2.1]辛烷结构,完成生物碱hosieine A的首次全合成^[120]。

雷晓光等继续在石松生物碱方面工作,完成huperzine Q和lycpladines B与C的合成;采用序列碳氢官能团化快速建立骨架,并以仿生串联反应完成incarviate A的对映选择性合成;以区域选择性1,6-二烯炔环化为基础快速构筑骨架,完成jungermannones B和C的合成;并通过合成修正了对耐药性革兰氏阴性菌有抑制活性的天然产物

aspergillomarasmine A 的结构^[121-124]。

受生源过程激发灵感,秦勇等设计了四种二萜生物碱统一的合成策略,关键反应包括碳氢氧化、氮杂频哪醇偶联、以及氮杂 Prins 环化等;还完成吲哚生物碱 lundurine A 的全合成并确定其绝对构型^[125, 126]。刘波等罕见地采取以 podocarpane 型邻苯二醌为双烯体的 [4+2] 环加成反应为关键反应的策略,发散式地完成了多个 atisane 型二萜分子的全合成^[127]。徐亮等巧设路线,高效率地完成 5 个 atisane 型二萜 /atisine 二萜生物碱的集体全合成^[128]。杨劲松等完成海洋糖脂主要组分 vesparioside B 的首次全合成,主要策略是汇聚式的 [4+3] 偶联^[129]。

涂永强等以异色满衍生的烯丙基硅醚发生串联碳氢氧化 / 环合 / 重排过程高效地构筑三环苯并氧 [3.2.1] 庚烷化合物为关键,完成了天然产物 brussonol 和 przewalskine E 的不对称合成;还以半频哪醇重排的方式实现可控的区域选择性和非立体选择性扩环,完成四环二萜 conidiogenone、onidiogenol 和 conidiogenone B 的全合成^[130, 131]。樊春安等利用对位取代环己二烯酮发生分子内氮杂 Michael 加成反应建立螺环的概念,巧妙设计串联反应完成 2 种 Apocynaceae 生物碱的全合成^[132]。邱发洋、翟宏斌等利用有机催化的不对称环加成、分子内跨环羟醛缩合、氧化吲哚的加成偶联及分子内亲核取代等 12 步反应完成勾吻素的对映选择性全合成,是迄今最有效的全合成^[133]。

杨玉荣等在单萜吲哚生物碱和石松生物碱的全合成研究方面在国际上率先实现了具有促进神经干细胞生长的吲哚生物碱 alstoscholarisine A 和灯台类单萜吲哚生物碱 aspidophylline A 的首次不对称全合成^[134, 135]。高拴虎等基于生源假说设计合成路线,完成含卤天然产物 hamigeran 家族 7 个成员的全合成;他们还发展了可灵活构筑吲哚酮和喹啉酮的方法,将其用于天然产物及类天然产物的合成,完成 camptothecin 及相关天然产物的合成^[136, 137]。丁寒锋等基于串联反应的复杂分子骨架高效构建新方法,完成二萜 steenkrotin A, 以及吲哚生物碱 alsmaphorazine D 等多个具有重要生物活性天然产物的全合成^[138, 139]。

汤平等从易得的商品化原料出发,以自由基环化,自由基加成以及后期碳氢键碘代等为关键反应,高度汇聚式地完成了 schilancitrilactones B 和 C 的首次全合成,为类似的萜类天然产物的合成提供了一种新的思路^[140]。陈弓等完成了对多重耐药性革兰氏阳性菌有强抗菌活性且结构独特的糖肽化合物 mannopeptimycins α 和 β 的全合成^[141]。

杨震与陈家华等专注 Pauson-Khand 反应在骨架构建和全碳手性中心构建中的独特优势,以 20 步完成复杂天然产物 (+)-propindilactone G 分子的不对称全合成工作,并据此将其结构进行了修正。杨震和郝小江等还分离得到柠檬苦素天然产物 perforanoid A, 并完成其全合成,初步活性研究显示对一些肿瘤细胞系有细胞毒活性^[142, 143]。叶涛和许正双等以汇聚式、全立体化学控制的方式完成 callyspongiolide 的全合成,并指定其立体化学,并完成活性靶点为翻译延长因子 1A 的大环脂肽类天然产物 nannocystin A 的全