

FRONTIERS OF
ENVIRONMENTAL
CHEMISTRY

环境化学前沿

江桂斌 刘维屏 主编



科学出版社

环境化学前沿

江桂斌 刘维屏 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

环境化学是一门研究有害化学物质在环境介质中的存在、特性、行为、效应及其控制技术原理和方法的学科。经过 40 多年的快速发展,我国环境化学在学科建设、人才培养、队伍规模、国家目标和国际影响等方面均取得了长足进步,已成为化学的一个重要分支、环境科学的主流与核心组成部分。

本书邀请我国环境化学领域著名的专家学者撰稿。作者队伍中包括了 30 多位“国家杰出青年科学基金”获得者、教育部“长江学者”和国家“千人计划”入选者,且所有作者均是在环境化学一线从事相关研究工作并具有深刻见解的专家,他们的论述能够反映和代表我国目前环境化学领域的工作特色和主流发展趋势。

本书内容丰富、前瞻性强,可供环境化学、环境工程以及地学、材料、公共卫生、农业科学等交叉学科领域研究的科研人员、高年级本科生、研究生和政府管理人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境化学前沿/江桂斌,刘维屏主编.—北京:科学出版社,2017.9
ISBN 978-7-03-054637-1

I. ①环… II. ①江… ②刘… III. ①环境化学—研究 IV. ①X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 237702 号

责任编辑:朱 丽 杨新政 / 责任校对:韩 杨
责任印制:肖 兴 / 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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 10 月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2017 年 11 月第二次印刷 印张: 50 3/4

字数: 1 590 000

定价: 288.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《环境化学前沿》编辑委员会

主 编 江桂斌 刘维屏

编 委 会 (以姓氏汉语拼音为序)

安太成	陈 威	陈宝梁	陈吉平	陈建民	陈景文
成少安	戴家银	戴晓虎	杜宇国	冯新斌	冯玉杰
何品晶	贺 泓	胡 斌	胡 敏	黄 霞	黄业茹
季 荣	贾金平	江桂斌	景传勇	阚海东	李芳柏
李和兴	林 璋	刘 璟	刘稷燕	刘景富	刘起展
刘思金	刘维屏	潘丙才	全 燮	沈东升	史建波
孙红文	王秋泉	王书肖	王祥科	王亚韡	韦朝海
吴少伟	闫 兵	应光国	于志强	俞汉青	袁东星
曾永平	张 干	张礼知	张庆华	张伟贤	赵国华
赵和平	赵美蓉	郑明辉	周群芳	朱永法	庄树林

序

鉴于全国环境化学大会的规模与影响力,根据专家建议并借鉴国内外学术会议成功的经验,中国化学会环境化学专业委员会决定自本届起,编辑出版《环境化学前沿》,将此作为全国环境化学大会的一项成果,奉献给广大读者。《环境化学前沿》将总结自上届会议以来我国环境化学领域所取得的部分重要成果,展望未来发展趋势。由于环境化学涉猎范围非常广泛,研究内容极为丰富,所以每次会议出版的前沿成果或展望将不追求领域的全面覆盖和完整的系统性,而是通过一些重要方面进展与前沿的总结,展示我国环境化学工作者的最新成果,以期进一步围绕国家环境保护的重大需求,提高我国环境化学领域的创新能力与国际影响力。

本书有幸邀请到我国环境化学领域著名的专家学者撰稿,所选内容均由第九届全国环境化学大会各分会负责人牵头,本领域 180 多位中青年专家分工协作而成。作者队伍中包括了 30 多位“国家杰出青年科学基金”获得者、教育部“长江学者”和国家“千人计划”入选者。所有作者均是在环境化学一线从事相关研究工作并具有深刻见解的专家,他们的论述能够反映和代表我国目前环境化学领域的工作特色和主流发展趋势。专家们的倾心支持和高度的责任感,使得书稿能够在短时间内完成,这充分展现了我国环境化学学界空前的凝聚力、向上的精神风貌和充满生机的朝气。在此,谨向所有作者的辛勤工作表示诚挚的谢意。本着学术自由、学术民主和学术平等的原则,本书允许不同风格,鼓励各抒己见,强调文责自负。

环境化学是一门研究有害化学物质在环境介质中的存在、特性、行为、效应及其控制技术原理和方法的学科。经过 40 多年的快速发展历程,我国环境化学在学科建设、人才培养、队伍规模、国家目标和国际影响等方面均取得了长足进步,已经成为化学的一个重要分支,环境科学的主流与核心组成部分。

环境化学学科的形成和发展与环境污染密切相关。第二次世界大战后至 20 世纪 60 年代初,发达国家经济从恢复逐步走向高速发展。当时人们高度关注经济发展,普遍缺乏环境保护意识,各种环境污染事件接连发生,造成了一些严重的生态问题 and 健康危害,曾经出现了日本水俣病等八大环境污染公害事件。1962 年,美国海洋生物学家蕾切尔·卡逊出版了《寂静的春天》(*Silent Spring*),书中描述了滴滴涕 (DDT) 使用对野生动物生殖发育的影响,引发了公众对环境污染的关注,将环境保护问题提到了各国政府面前。

20 世纪 70 年代,各国的环境保护实践为环境化学学科的形成奠定了重要基础。为推动国际重大环境前沿性问题的研究,国际科学联盟理事会 1969 年成立了环境问题专门委员会,1971 年出版了第一部专著《全球环境监测》。1972 年 6 月,联合国在瑞典斯德哥尔摩召开了 113 个国家和地区参加的“人类环境会议”,讨论了保护全球环境的行动计划,通过了《人类环境宣言》,成立了联合国环境规划署 (UNEP),成为人类保护环境的重要里程碑。

1973 年 8 月,我国第一次环境保护会议召开。会议确立了环境保护工作的基本方针,通过了《关于保护和改善环境的若干规定》,揭开了我国当代环境保护的序幕,成为新中国环境科学事业标志性起点。我国的环境化学研究也起步于这一时期,并在重金属和有机污染物分析方法、典型地区环境质

量评价、环境容量和环境背景值调查、工业“三废”污染普查与治理、酸雨和酸沉降、重金属和有机污染物的迁移转化规律以及污染控制技术等方面开展了大量的基础性研究工作。

进入 20 世纪 80 年代,环境化学开始进入全面发展的阶段。这期间开展了元素生物地球化学循环及其相互作用与研究;重视有机污染物等有毒化学品的安全性评价;加强了污染控制化学的研究。科学家们在判定氯氟烃损耗平流层臭氧的作用研究方面取得重大突破,对加深臭氧层破坏、温室效应等全球性环境问题的认识做出了重大贡献,这一研究成果在随后的 1995 年被授予诺贝尔化学奖。这些理论研究成果因 1985 年南极“臭氧洞”的发现而引起全世界的“震动”,从而促成了 1987 年《蒙特利尔议定书》的签订。

20 世纪 90 年代至今,我国经历了经济飞速发展,在诸多老的环境问题还没有得到解决的情况下,又出现了许多新的环境问题,如复合污染问题、水体富营养化、室内外空气污染、海洋污染、土壤和地下水污染、食品污染等。而环境内分泌干扰物(EEDs),持久性有机污染物(POPs),药物与个人护理用品(PPCPs)、塑料和微生物等污染也引起了全球特别是国际组织的高度重视,逐步成为环境化学研究的前沿。

1992 年 6 月,在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展首脑会议上,明确提出了可持续发展概念。2002 年 9 月,联合国在南非约翰内斯堡召开了地球峰会,通过的“可持续发展首脑执行计划”,为世界环境保护和发展指明了方向。此前的 2001 年,为了在全球范围内控制和消减持久性有机污染物(POPs),联合国环境规划署通过《斯德哥尔摩公约》,并开放各国签署,该公约于 2004 年付诸实施。公约认定的 POPs 是一个开放体系,首批名单中包含了二噁英、多氯联苯、部分有机氯农药等共 12 类化合物。随着科学研究的深入和经济社会的发展,不断有新化合物加入,目前,包括:全氟辛基磺酸及其盐类、全氟辛基磺酰氟、商用五溴二苯醚、商用八溴二苯醚、开蓬、林丹、五氯苯、 α -六六六、 β -六六六、六溴联苯、硫丹及其硫丹硫酸盐、六溴环十二烷、多氯萘、五氯苯酚、十溴二苯醚、短链氯化石蜡以及六氯丁二烯等在内的十六种新增化学物质被列入公约进行受控。除此之外,正在进行审查的化学品种还包括三氯杀螨醇、全氟己基磺酸及其盐类相关化合物和全氟辛酸及其盐类相关化合物等。《斯德哥尔摩公约》的正式生效表明 POPs 污染成为当今世界各国共同面临的全球性重大环境问题。

2013 年 1 月 19 日,联合国环境规划署通过了旨在全球范围内控制和减少汞排放的《关于汞的水俣公约》,就汞的具体限排范围作出详细规定,以减少汞对环境和人类健康造成的损害。2013 年 10 月 10 日,《关于汞的水俣公约》在日本熊本通过。包括中国在内的 87 个国家和地区的代表共同签署该公约,标志着全球减少汞污染迈出了第一步。

2016 年 4 月 25 日,全国人大常委会第二十次会议通过我国加入《关于汞的水俣公约》。2017 年 5 月 18 日,欧盟及其七个成员国批准了《关于汞的水俣公约》。2017 年 8 月 16 日,《关于汞的水俣公约》正式生效。这是近十年来环境与健康领域新增的一项全球性公约。履行《关于汞的水俣公约》,我国面临着汞污染减排的巨大挑战,急需科学技术的支撑。

上述这些环境问题的解决既是环境化学学科面临的极大挑战,也赋予环境化学发展以空前机遇。随着各传统和新兴学科向环境化学渗透融合趋势的进一步加强,世界环境化学进入到飞速发展的新阶段。研究内容、方法、对象和学科框架基本成熟。并在大气对流层自由基化学、气溶胶和矿物质表面等的多相化学反应、重金属的形态及转化过程、水的环境质量标准、有机污染物的降解与分子转化、湖泊富营养化机理、污染物的界面过程、多介质复合污染的过程机理、分子毒理学、内分泌干扰物、

化学污染物的结构-活性关系、污染物的原位修复等研究领域取得重要突破。形成了包括环境分析化学、(大气、土壤和水体)环境污染化学、污染生态化学、化学毒理学、环境理论化学、环境质量标准、污染控制化学以及环境污染与健康效应等在内的环境化学学科体系。

与此同时,我国的环境化学研究的水平、深度和广度有了空前的提升,一些研究成果开始在国际学术界产生重要影响。当然,科学的发展永无止境,且与国际环境化学学科发展的先进水平和国内相关学科的快速的发展相比,环境化学在学科积累、人才队伍和研究基础等方面差距仍然较大,尤其是在研究的原创性、系统综合性、应用性和产业化等方面差距更加明显。

中国化学会环境化学专业委员会的成立是我国环境化学快速发展的必然产物。专业委员会及环境化学学科赶上了国家改革开放、经济快速增长的大好机遇,直接见证和参与了我国环境化学学科发展的历程,为学科发展提供了交流和研讨的平台,对推动我国环境化学研究的进步发挥了重要作用。

2001年,徐晓白院士主持成立了中国化学会环境化学专业委员会,挂靠单位为中国科学院生态环境研究中心。第一届专业委员会24名委员中既包括了戴树桂、王连生、陈静生、汤鸿霄、魏复盛等著名专家,也吸纳了一批年富力强的中青年学者,如陶澍、江桂斌、赵进才、王春霞、刘维屏、袁东星、余刚、郑明辉、贾金平等。

随后的2002年10月24~27日,第一届全国环境化学大会拉开了环境化学领域学术交流的大幕,此次会议由浙江大学刘维屏教授承办。会议176人注册,共收到论文162篇,实际参会270余人。为期三天会议,开幕式和大会报告各半天,徐晓白院士、戴树桂教授、王晓蓉教授、陶澍教授等作了大会报告,随后两天4个分会近100人进行了口头报告。

第二届全国环境化学大会于2004年10月10~13日在上海召开。由上海交通大学贾金平教授承办。来自海内外高校、科研院所及相关企业部门的280余名代表围绕“可持续发展中的化学问题——环境化学”的主题,进行了高水平的学术交流,会议收录科技论文245篇。

第三届全国环境化学大会于2005年11月4~7日在厦门召开,由厦门大学袁东星教授承办。此次会议正式报到的代表330多人,绝大多数代表来自高校和科研院所。除了大会报告和主题报告外,会议论文集共收录了319篇短论文。内容涵盖环境分析化学/监测新技术方法、土壤污染及修复、大气污染及控制、水体污染及控制、环境化学与毒理学研究、固体废物的处置与利用等。投稿论文质量总体较高,基本反映了我国环境化学界当时研究的最新成果。

第四届全国环境化学大会于2007年10月26~29日在南京钟山宾馆举办,由南京大学环境学院和中国科学院南京土壤研究所联合承办,南京大学孙成教授为承办人。此次会议代表近500人。会上,7篇大会报告和30篇主题报告,展示了环境化学研究领域的前沿进展并探讨了一些热点问题。另外,还有190多篇口头报告,45位研究生首次走上了大会安排的研究生论坛,成为大会的传统。会议共收到论文400余篇,出版了两本论文摘要集。

第五届全国环境化学大会于2009年5月9~12日在大连世界博览广场举行,由大连理工大学全健教授和陈景文教授承办。来自中国科学院、中国工程院的魏复盛、陈君石、傅家谟、郝吉明、王文兴、张玉奎等多位院士以及国内外180多个高校及科研院所的1000多位专家学者(20位“杰青”和10位“长江学者”)参加大会。为期3天的大会,除开幕式和7个大会报告以外,还安排了五个分会场的170余场报告,本次大会共收到论文760篇。

第六届全国环境化学大会于2011年9月21~24日在上海举行,由复旦大学陈建民教授、上海交通大学贾金平教授和上海电力大学李和兴教授承办。来自世界各地近1700名环境科学及相关领域的

专家(包括了十多位中外院士、20多位国外华裔学者、多位“973”项目首席科学家、50余位“杰青”和“长江学者”)参与了此次盛会。诺贝尔化学奖得主、美国科学院院士、美国医学科学院院士、墨西哥科学院院士 Molina 教授,美国工程院院士、著名杂志 *ES&T* 主编 Jerry Schnoor 教授,著名杂志 *EHP* 主编 Hugh Tilson 教授,北京大学陶澍院士,中国疾病预防控制中心(CDC)陈君石院士,福州大学付贤智院士,加拿大阿尔伯塔大学 Chris Le 教授等就大气污染、食品安全、污染物控制技术、毒理与健康效应等方面做了精彩的大会报告。本次会议共收到论文摘要 1160 篇。会议共设有 24 个专场,还特别设立了海外专家、青年科学基金获得者、研究生论坛等专场报告。大会邀请著名学术刊物主编与参会人员面对面对讨论,这一形式也成为大会的传统。

第七届全国环境化学大会于 2013 年 9 月 22~25 日在贵阳召开,由中国科学院地球化学研究所冯新斌研究员承办。来自国内外近 1500 名环境科学及相关领域的专家参加了此次盛会。王文兴院士、傅家谟院士、郝吉明院士、张玉奎院士和赵进才院士出席会议。美国科学院院士、美国国家海洋和大气管理局地球系统研究实验室化学科学部主任 A. Ravishankara 教授, *ES&T* 副主编、赖斯大学 Pedro Alvarez 教授, *Sustainable Chemistry & Engineering* 主编、得克萨斯大学奥斯汀分校 Dave Allen 教授, *ES&T Letters* 副主编、印第安纳大学 Staci Simonich 教授, *ETC* 主编、密歇根大学 G. Allen Burton 教授,美国赖斯大学副校长 Vicki Colvin 教授等专程参加会议并做了精彩的报告。此次大会共收到论文摘要 1050 份,会议共安排 220 余个口头报告、近 600 份展板报告。会议期间举办了第二届海峡两岸环境化学交流会、美国化学会(ACS)学术研讨会专场、由美国 Rice 大学和南开大学联合组织的页岩气开发过程水问题研讨会专场、环境化学自然科学基金讲座专场及研究生报告专场等专题研讨会。

第八届全国环境化学大会于 2015 年 11 月 5~8 日在广州举行,由华南理工大学党志教授和叶代启教授承办。来自国内外本领域专家和研究生共 4142 人参加了此次盛会,收到论文摘要 1948 篇。会议邀请了国内 13 位院士、128 名“千人”、“杰青”、“长江学者”等国家级人才以及美国科学院院士、加拿大科学院院士、*ES&T* 主编等 20 余位海外学者参会。大会期间,7 位海内外院士或期刊主编做了精彩的大会报告,设分会 32 个,安排口头报告 992 个,展板 1001 份。会议闭幕式上,7 位不同领域的著名专家就本次大会的若干方面进行了系统的总结与展望,成为这次大会的亮点。

时隔 15 年,第九届全国环境化学大会又回到了其启航之地——杭州。本次会议由浙江大学承办,刘维屏教授再次担任大会总负责人。大会将于 2017 年 10 月 19~22 日在浙江大学紫金港校区隆重召开。本次大会主题是“环境化学的创新与可持续发展”,将充分体现“创新、参与、合作、前瞻”宗旨,加强国内外学术研究的合作,推动我国环境化学学科走向国际,加快环境化学的学科建设与人才培养。会议内容涉及五大研究领域(分析、监测相关领域;毒理、健康相关领域;水、土、气、固废相关领域;环境化学专题;人才及交流专场),共设包括“海外华裔学者论坛”、“ACS Publications Forum”、“大气细颗粒物的毒理与健康效应”等在内的 41 个分会。截至 2017 年 8 月底,大会注册人数为 5760 人,提交会议摘要 3560 份。可以肯定,本次会议参会规模将再创新的纪录,为我国环境化学学科和环境保护事业的发展做出新的贡献!

《环境化学前沿》一书是集体努力的结晶。然而,受编辑时间之匆忙和学识水平之局限,作者在撰稿和修改过程中难免失之偏颇,出现不同学术观点甚至缺点错误。幸运的是环境化学学科一直是在不断学习中提高的,学科的发展是永无止境的,人们对环境问题的认识也总是随着时间的推移而不断提高。我们希望本书能够对广大环境化学工作者、研究生及环境管理专家有所裨益。若能对读者了解并把握环境化学研究的热点和前沿领域起到抛砖引玉作用,引起广大读者的广泛兴趣、讨论、争论和

批评指正，都是编者期待和深感欣慰之处。

本书成稿过程中，中国科学院生态环境研究中心的刘稷燕、周群芳、史建波、王亚韡、何滨、胡立刚、阮挺、刘倩，浙江大学的陈宝梁、赵和平、刘璟等在审稿、改稿过程中做出了突出贡献；科学出版社为本书的顺利出版提供了极为方便的条件；朱丽及其团队为本书的策划与出版发挥了不可替代的作用。在此，一并表示诚挚的感谢！

“江城如画里，山晓望晴空。雨水夹明镜，双桥落彩虹”；“空山新雨后，天气晚来秋。明月松间照，清泉石上流”。展望未来，再过若干年，通过大家的共同奋斗，古人描绘的这种如诗如画的美好景象必将重现并遍布于我中华大地！让我们携手努力，开拓进取，再创明日环境化学之辉煌。



2017年初秋於北京

参 考 文 献

王春霞, 朱利中, 江桂斌. 环境化学学科前沿与展望. 北京: 科学出版社, 2011

江桂斌. 《环境化学》杂志创刊 30 周年专刊前言. 环境化学, 2011, 30(1)

全书所涉彩图及内容信息请扫描右侧二维码扩展阅读。



目 录

序

第 1 章 环境污染形态分析研究进展	1
1 引言	2
2 有毒元素形态分析	2
2.1 样品前处理技术	3
2.2 联用系统研制	7
2.3 色谱分离-原子/分子质谱形态分析联用技术	9
2.4 非色谱形态分析方法	11
2.5 污染物形态转化与迁移机理研究	16
2.6 形态分析技术在相关领域的应用研究	16
3 环境纳米材料形态分析	17
3.1 纳米材料组成、结构与分散状态的识别与表征	17
3.2 环境基质中纳米材料的分离富集	18
3.3 不同粒径纳米材料的分离测定	20
3.4 不同表面电性纳米材料的分离测定	23
3.5 纳米材料形态分离测定装置研制	24
4 展望	26
参考文献	26
第 2 章 短链氯化石蜡的检测、污染特征与暴露评估研究进展	40
1 引言	41
2 氯化石蜡的生产及其对周边环境的影响	41
2.1 氯化石蜡的生产	41
2.2 氯化石蜡生产厂周边 SCCPs 和 MCCPs 的释放及分布特征	43
3 SCCPs 的分析方法	44
3.1 SCCPs 的样品前处理方法	44
3.2 SCCPs 的检测方法	45
4 SCCPs 的环境污染特征	49
4.1 SCCPs 在空气中的赋存水平及污染特征	49
4.2 土壤和沉积物中 SCCPs 的污染水平及空间分布	51
4.3 SCCPs 生物累积和生物放大	52
5 SCCPs 的人体暴露评估	53
5.1 室内环境 SCCPs 通过的人体暴露研究	53
5.2 膳食暴露 SCCPs 的研究	54
5.3 人体 SCCPs 的内暴露水平	54
6 SCCPs 的研究展望	55

参考文献	56
第3章 环境中微塑料的生物效应及载体作用	61
1 微塑料的定义、来源及分布	62
2 环境中微塑料的检测方法	64
2.1 样品采集	64
2.2 分离提取及纯化	64
2.3 定性定量分析	65
3 微塑料的毒性与危害	65
4 微塑料的载体作用	66
5 污染物与微塑料共存时的生物富集和降解研究	67
6 展望	68
参考文献	68
第4章 我国大气环境化学研究进展	75
1 引言	76
2 大气自由基与大气氧化能力	76
3 大气光化学污染	78
4 大气成核和新粒子形成机制	79
4.1 新的仪器分析手段	79
4.2 近期实验室模拟研究进展	80
4.3 近期外场观测研究进展	80
5 大气非均相化学与多相化学	81
6 展望	83
参考文献	83
第5章 典型新型有机污染物的环境行为研究进展	92
1 引言	93
2 新型有机污染物的多介质分布	93
2.1 全/多氟烷基化合物	93
2.2 双酚类化合物	95
2.3 壬基酚聚氧乙烯醚	96
2.4 对羟基苯甲酸酯防腐剂	97
2.5 人工甜味剂	98
2.6 苯并杂环化合物	99
2.7 有机磷酸酯阻燃剂	100
3 典型新型有机污染物的环境行为	101
3.1 全氟化合物	101
3.2 双酚类化合物	102
3.3 壬基酚聚氧乙烯醚	102
3.4 对羟基苯甲酸酯	103
3.5 人工甜味剂	104

3.6 苯并杂环化合物	105
3.7 阻燃剂与短链氯化石蜡	105
4 新型有机污染物的生物代谢及效应	107
4.1 全氟化合物	107
4.2 双酚类化合物	108
4.3 壬基酚聚氧乙烯醚	108
4.4 对羟基苯甲酸酯	109
4.5 人工甜味剂	109
4.6 苯并杂环化合物	110
4.7 阻燃剂及氯化石蜡	110
5 展望	111
参考文献	111
第 6 章 全氟和多氟烷基化合物 (PFASs) 替代品的环境行为与环境毒理学研究进展	132
1 引言	133
2 PFASs 替代品的种类与应用	134
3 PFASs 替代品的环境行为和生物体及人体中的分布	135
3.1 替代品在环境介质中的分布	135
3.2 替代品在微生物体内的转化降解研究	136
3.3 替代品的生物累积和生物放大效应	136
3.4 替代品的人群暴露水平	137
4 PFASs 替代品的毒性效应与机制研究	138
4.1 替代品的细胞毒性及对低等生物的毒性	138
4.2 替代品对斑马鱼的胚胎发育毒性	139
4.3 替代品的肝脏毒性	140
4.4 替代品的生殖毒性	141
4.5 替代品与蛋白质相互作用	141
5 PFASs 替代品的研究展望——实现绿色替代	142
参考文献	143
第 7 章 药物与个人护理品环境污染与效应	149
1 引言	150
2 环境污染与生物富集	150
2.1 药物与个人护理品的环境污染	150
2.2 药物与个人护理品的生物富集	152
3 源汇过程与模拟	153
3.1 排放量估算	153
3.2 环境归趋模拟	154
4 环境降解转化	154
4.1 光降解	154
4.2 微生物降解	155

4.3 藻类降解转化	156
5 药物与个人护理品的污染控制技术	156
5.1 城市污水处理厂	156
5.2 分散型污水处理系统	157
5.3 深度氧化技术	157
6 毒理效应与生态健康风险	159
6.1 生态毒理效应	159
6.2 生态风险评价	161
6.3 抗生素耐药性	162
7 展望	163
参考文献	164
第 8 章 农药环境化学与毒理学研究	177
1 引言	178
2 POPs 类传统农药环境残留特征及其生态风险	178
2.1 DDTs 在我国农田土的残留特征及风险	179
2.2 HCHs 在我国农田土的残留特征及风险	180
2.3 有机氯农药在我国长江三角洲的残留特征及风险	180
3 农药的人体负荷及健康风险	181
3.1 DDTs	181
3.2 HCHs 母婴暴露风险	182
3.3 拟除虫菊酯杀虫剂	182
4 农药生物有效性与环境行为	183
5 农药环境风险评价及管理	184
5.1 农药代谢产物毒性效应评价	184
5.2 复合污染评价	184
5.3 次生风险评价	185
5.4 我国农药水环境基准研究	185
6 农药毒性效应的分子机制研究进展	186
6.1 DDTs 毒性机制研究进展	186
6.2 拟除虫菊酯类杀虫剂毒性机制	187
6.3 氟虫腈水生毒性机制研究进展	187
7 手性农药环境安全研究进展	188
7.1 氟虫腈对映体选择性水环境行为及毒性差异	188
7.2 手性 DDTs 神经毒性促癌效应对映体差异分子机制	191
7.3 手性农药生殖发育毒性对映体差异机制	191
8 展望	192
参考文献	192
第 9 章 铁环境化学研究进展	197
1 引言	198

2 天然水体中的铁化学	198
2.1 天然水中铁的来源分布及赋存形态	198
2.2 天然水中铁与有机物的相互作用	199
2.3 天然水体铁的光化学反应	202
2.4 天然水体中铁对污染物迁移转化的影响	205
2.5 二价铁矿物活化分子氧产生活性氧物种及其污染物氧化效应	207
3 环境铁循环及其调控	209
3.1 均相 Fenton 反应铁循环调控策略	209
3.2 异相 Fenton 铁循环调控策略	210
3.3 铁循环及其碳氮转化效应	213
3.4 铁循环及其污染物转化效应	215
4 铁矿物生物地球化学过程及其强化	216
4.1 含铁硫化矿生物氧化与铁硫形态转化	217
4.2 微生物与含铁矿物交换电子的分子机理	218
4.3 铁强化厌氧污水处理技术及原理	221
5 基于铁基材料的污染控制技术及原理	222
5.1 基于零价铁的污染控制技术研究进展	222
5.2 基于树脂负载的纳米铁氧化物的污染控制技术研究进展	239
5.3 基于高铁酸盐的污染控制技术及原理	243
6 展望	245
参考文献	246
第 10 章 环境汞污染研究进展	274
1 引言	275
2 人类活动汞排放	276
3 自然过程汞排放	277
4 大气汞分布及沉降特征	279
5 汞的分子转化	281
5.1 汞的化学与生物甲基化	281
5.2 甲基汞的化学与生物去甲基化	282
5.3 零价汞转化的新形态与新过程	282
5.4 硫化汞的生成与溶解	283
6 土壤汞污染防治	283
6.1 全国土壤汞污染现状及防治需求	283
6.2 汞污染土壤修复技术	283
6.3 土壤汞污染防治对策建议	285
7 汞暴露及健康风险	285
7.1 我国食用鱼引起的健康风险	285
7.2 大米甲基汞暴露及健康风险	287
8 汞同位素及环境汞污染示踪	287

9 展望	289
参考文献	289
第 11 章 砷锑的环境污染及去除控制研究进展	300
1 引言	301
2 砷锑在环境中的赋存形态	301
2.1 土壤环境	301
2.2 水环境	302
2.3 大气环境	302
2.4 植物系统	302
3 微生物作用下的砷锑形态转化	303
3.1 微生物对砷环境转化的影响	303
3.2 微生物对锑环境转化的影响	305
4 砷锑的去除控制研究	306
4.1 砷锑的主要去除方法	307
4.2 砷的微观吸附机制	307
4.3 锑的微观吸附机制	308
4.4 纳米材料晶面对砷锑吸附的影响	308
4.5 共存离子对砷锑吸附的影响	309
5 展望	309
参考文献	309
第 12 章 环境放射化学进展	313
1 引言	314
2 石墨烯及其复合材料对放射性核素的吸附富集	314
2.1 石墨烯对放射性核素的吸附	315
2.2 有机大分子修饰石墨烯富集放射性核素	318
2.3 无机纳米粒子修饰石墨烯富集放射性核素	319
2.4 磁性石墨烯对放射性核素的吸附	319
3 零价铁及其复合材料对放射性核素的转化固定	320
3.1 零价铁还原固定放射性核素	321
3.2 纳米铁还原固定放射性核素	321
3.3 纳米铁复合材料还原固定放射性核素	322
4 表面结合 Fe(II)系统对放射性核素的还原转化	326
4.1 铁矿物结合 Fe(II)还原放射性核素	326
4.2 黏土结合 Fe(II)还原放射性核素	328
5 其他新型材料对放射性核素的萃取和高效去除	330
5.1 铜系萃取配体的分子设计	330
5.2 铜系与矿物的作用机理研究	330
5.3 新型阴离子晶体材料的设计及高效去除 ^{137}Cs	332
5.4 高稳定磷酸锆金属有机框架材料的构筑及对铀酰的高效吸附	332

5.5 稀土金属有机骨架材料高效吸附和检测水体中低浓度铈酰离子	333
5.6 阳离子金属有机骨架材料高效分离和固定 TcO_4^-	333
5.7 无机阳离子骨架材料高效分离 SeO_3^{2-} 和 SeO_4^{2-}	335
6 展望	335
参考文献	336
第 13 章 近海及河口水环境污染化学研究进展	346
1 引言	347
2 重金属污染物	348
3 多环芳烃和多氯联苯等有机污染物	352
4 微塑料和塑料碎片	353
5 监测技术和方案	356
5.1 同位素示踪技术	356
5.2 监测方案和策略	356
6 展望	358
参考文献	358
第 14 章 高山和极地主要环境污染物研究进展	365
1 引言	366
2 高山 POPs 的环境行为研究进展	366
2.1 大气-地表分配	367
2.2 高山冷凝效应	367
2.3 森林过滤效应	368
3 高山重金属研究进展	368
4 高山与极地大气棕碳气溶胶研究进展	369
4.1 棕碳来源与分类	370
4.2 高原地区污染特征	371
4.3 极地地区污染特征	371
5 极地多氯联苯研究进展	372
5.1 极地大气 PCBs 的浓度水平与污染特征	372
5.2 极地土壤及植物 PCBs 的浓度水平与污染特征	373
5.3 极地海洋生物 PCBs 的浓度水平及富集	373
6 极地有机氯农药研究进展	374
6.1 极地 OCPs 的输入及其在环境中的迁移	374
6.2 南极大陆各环境介质中 OCPs 的空间分布趋势	375
6.3 北极地区环境中 OCPs 的残留状况	377
7 极地有机阻燃剂研究进展	380
7.1 南极地区有机阻燃剂的研究进展	380
7.2 北极地区有机阻燃剂的研究进展	381
8 极地区域全氟化合物 (PFASs) 及短链氯化石蜡 (SCCPs) 研究进展	382
8.1 PFASs	383

8.2	SCCPs 及极地 SCCPs 污染水平及环境行为	385
9	极地重金属研究进展	386
10	展望	387
	参考文献	387
第 15 章	纳米材料环境化学研究进展	401
1	引言	402
2	环境纳米材料与技术的研究进展	403
2.1	光催化技术在水处理领域的研究进展	403
2.2	非均相 Fenton 催化材料研究进展	405
2.3	纳米材料吸附技术在水体放射性污染处理领域的研究进展	408
2.4	基于碳纳米材料的膜分离技术	412
2.5	树脂基纳米复合材料的构效调控与水处理的研究	414
2.6	镁基纳米材料提取和富集水中低浓度污染物的技术	416
3	纳米材料环境过程与效应	420
3.1	金属/金属氧化物纳米材料的环境转化及其效应	420
3.2	碳纳米材料的环境转化及其效应	423
3.3	本节小结	425
4	环境纳米材料的毒性及致毒机制研究进展	425
4.1	金属纳米材料的毒性	425
4.2	常见碳纳米材料的毒性	427
4.3	影响纳米材料生物毒性的复杂理化因素	429
4.4	本节小结	432
5	纳米分析应用新进展	432
5.1	典型纳米材料在环境分析领域中的应用	432
5.2	环境和生物体系中人工纳米材料的表征技术与方法	434
5.3	本节小结	435
6	展望	435
	参考文献	436
第 16 章	环境催化材料研究前沿	451
1	光催化材料研究进展	452
1.1	气体催化净化材料	452
1.2	光催化在水净化方面的研究	457
1.3	光催化净化微生物污染研究进展	459
2	热催化净化材料	461
2.1	室温催化净化材料	461
2.2	工业 VOCs 净化材料	461
2.3	热催化水净化材料	462
2.4	固定源脱硝催化净化材料	462
2.5	移动源尾气催化净化材料	463