

“十二五”国家重点图书出版规划项目

持久性有机污染物

POPs 研究系列专著

持久性有机污染物被动 采样与区域大气传输

刘咸德 郑晓燕 王宝盛 江桂斌/著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

“十二五”国家重点图书出版规划项目

持久性有机污染物

POPs 研究系列专著

持久性有机污染物被动 采样与区域大气传输

刘咸德 郑晓燕 王宝盛 江桂斌/著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书基于大气被动采样和其他环境介质的观测数据,讨论了持久性有机污染物(POPs)在我国天津-山东长岛地区、成都-卧龙山区等地的浓度水平、组成特征、空间分布和季节变化,进而研究其区域性大气传输、山地冷捕集效应、土-气分配、森林过滤效应等环境过程,也分析了 POPs 的主要来源,源区和受体地区关系,区分其历史残留和近期输入。同时,还详细介绍了 POPs 相对组成探针技术方法,其具体应用从几百至几千千米尺度,应用实例包括非洲、南美洲、北美洲和全球范围的大气观测与研究;大气被动采样的原理、技术方法与装置;并综述了持久性有机污染物大气传输研究的现状与动态。

本书可以作为高等院校环境科学、环境工程等专业的教学参考书,也可供从事大气环境科学、大气污染控制、大气环境监测、环境管理的研究人员和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

持久性有机污染物被动采样与区域大气传输 / 刘咸德等著. —北京:科学出版社, 2015. 2

(持久性有机污染物(POPs)研究系列专著)

ISBN 978-7-03-043440-1

I. ①持… II. ①刘… III. ①持久性-挥发性有机物-大气污染物-大气采样-研究 IV. ①X831

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 033312 号

责任编辑:朱 丽 杨新政 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴 / 封面设计:黄华斌 陈 敬

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 2 月第一次印刷 印张:15 1/4 插页:8

字数:300 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛 书 序

持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants, POPs)是指在环境中难降解(滞留时间长)、高脂溶性(水溶性很低),可以在食物链中富集,能够通过蒸发-冷凝、大气和水的输送而影响到区域和全球环境的一类半挥发性且毒性极大的污染物。POPs 所引起的环境污染问题是影响全球的重大环境问题,其科学问题的难度、污染的严重性和复杂性远超于常规污染物。POPs 的分析方法、环境行为、生态风险、毒理与健康效应、控制与削减技术的研究是最近 20 年来环境科学领域持续关注的一个最重要的热点问题。

1962 年, *Silent Spring* 的出版,引起学术界对 DDT 等造成的野生生物发育损伤的高度关注, POPs 研究成为环境科学的热点领域。1996 年, *Our Stolen Future* 的出版,再次引发国际学术界对 POPs 类环境内分泌干扰物的环境健康影响的关注,开启了环境保护研究的新历程。事实上,国际上环境保护经历了从常规大气污染物(如 SO_2 、粉尘等)、水体常规污染物(如 COD、BOD 等)治理和重金属污染控制发展到痕量持久性有机污染物削减的循序渐进过程。针对全球范围内 POPs 污染日趋严重的现实,世界许多国家和国际环境保护组织启动了若干重大研究计划,涉及 POPs 的分析方法、生态毒理、健康危害、环境风险理论和先进控制技术。研究重点包括:① POPs 污染源解析、长距离迁移传输机制及模型研究;② POPs 的毒性机制及健康效应评价;③ POPs 的迁移、转化机理以及多介质复合污染机制研究;④ POPs 的污染削减技术以及高风险区域修复技术;⑤ 新型污染物的检测方法、环境行为及毒性机制研究。

20 世纪国际上发生过一系列由于 POPs 污染而引发的环境灾难事件(如意大利塞维索、美国拉布卡纳尔镇、日本和中国台湾米糠油事件等),这些事件给我们敲响了 POPs 影响环境安全的警钟。1999 年比利时鸡饲料二噁英类污染波及全球,造成 14 亿欧元的直接损失,导致政局不稳。国际范围内针对 POPs 的研究主要包括经典 POPs 如二噁英、多氯联苯、含氯杀虫剂等的分析方法、环境行为及风险评估等研究。如美国 1991~2001 年的二噁英类化合物风险再评价项目,欧盟、美国环境保护署和日本环境厅先后启动了环境内分泌干扰物筛选计划。20 世纪 90 年代提出的蒸馏理论和蚱蜢跳效应较好地解释了工业发达地区 POPs 污染物通过水、土壤和大气之间的界面交换而长距离迁移到南北极等极地地区的现象,而之后

提出的山区冷捕集效应则更加系统地解释了高山地区随着海拔的增加其环境介质中 POPs 浓度不断增加的迁移机理,从而为 POPs 的全球传输提供了重要的依据和科学支持。

2001 年 5 月,全球 100 多个国家和地区的政府组织共同签署了《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(以下简称《公约》)。目前已有包括我国在内的 179 个国家和地区加入了该《公约》。从缔约方的数量上不仅能看出《公约》的国际影响力,也能看出世界各国对 POPs 污染问题的重视,同时也标志着在世界范围内对 POPs 污染控制的行动从被动应对到主动防御的转变。

进入 21 世纪之后,随着《公约》进一步致力于关注和讨论其他同样具 POPs 性质和环境生物行为的有机化合物的管理和控制工作,除了经典 POPs,对于一些新型 POPs 的分析方法、环境行为及界面迁移、生物富集及放大,生态风险及环境健康也越来越成为环境科学研究的热点问题。这些新型 POPs 的共有特点包括:目前为正在大量生产使用的化合物、环境存量较高、生态风险和健康风险的数据尚不足以开展相应的风险管理等。其中两类典型的化合物是以多溴二苯醚为代表的溴系阻燃剂和以全氟辛基磺酸盐(PFOS)为代表的全氟化合物,对于它们的研究论文在过去 15 年呈现指数增长趋势。例如,有关 PFOS 的研究在 Web of Science 上搜索结果从 2000 年的 8 篇增加到 2013 年的 323 篇。随着这些新增 POPs 的生产和使用逐步被禁或限制,其替代品的化学品评估、风险管理和控制也越来越受到环境科学研究的关注。而对于传统的生态风险标准的进一步扩展,使得大量的商业有机化学品的安全评估体系需要重新调整。例如,传统的以鱼类为生物指示物的研究认为污染物在生物体中的富集能力主要受控于化合物的脂-水分配,而最近的研究证明某些低正辛醇-水分配系数、高正辛醇-空气分配系数的污染物(如 HCHs)在一些食物链特别是在陆生生物链中也表现出很高的生物放大效应,这就对如何修订污染物的生态风险标准提出了新的挑战。

作为一个开放式的《公约》,任何一个缔约方都可以向《公约》秘书处提交旨在将某一化合物纳入公约受控的草案。相应的是,2013 年 5 月在瑞士日内瓦举行的缔约方大会第六次会议之后已在原先的包括二噁英等在内的 12 类经典 POPs 基础上,新增 13 种包括多溴二苯醚、全氟辛基磺酸盐(PFOS)等新型 POPs 成为《公约》受控名单。目前正在进行《公约》审查的候选物质包括短链氯化石蜡(SCCPs)、多氯萘(PCNs)、六氯丁二烯(HCBD),以及五氯苯酚(PCP)等化合物,而这些新型有机污染物在我国均有生产和使用。

中国作为经济快速增长的发展中国家,目前正面临比工业发达国家更加复杂的环境问题。在前两类污染物尚未完全得到有效控制的同时,POPs 污染控制已

成为我国迫切需要解决的重大环境问题。作为化工产品大国,我国新型 POPs 所引起的环境污染和健康风险问题比其他国家更为严重,也可能存在国外不受关注但在我国环境介质中广泛存在的新型污染物。对于这部分化合物所开展的研究工作不但能够为相应的化学品管理提供科学依据,同时也可为我国履行《公约》提供重要的数据支持。另一方面,随着经济快速发展所产生的污染所致健康问题在我国的集中显现,新型 POPs 污染的毒性与健康危害机制已成为近年来相关研究的热点问题。

随着 2004 年 5 月《公约》正式生效,我国在国家层面上启动了对 POPs 污染源的研究,加强了 POPs 研究的监测能力建设,建立了多个专业实验室。科研机构、环境监测部门和卫生部门都先后开展了 POPs 的监测和控制措施研究。特别是最近几年,在新型 POPs 的分析方法学、环境行为、生态毒理及环境风险,以及新污染物发现等方面进行了卓有成效的研究,并获得了显著的研究成果。例如,在电子垃圾拆解地,积累了大量有关多溴联苯醚(PBDEs)、二噁英、溴代二噁英等 POPs 的环境转化、生物富集/放大、生态风险、人体赋存、母婴传递乃至人体健康影响等重要数据,为相应的管理部门提供了重要的科学支撑。这开辟了发现新 POPs 的研究方向,并连续在环境中发现了系列新型有机污染物。这些新 POPs 的发现标志着我国 POPs 研究已由全面跟踪国外提出的目标物,向发现并主动引领新 POPs 研究方向发展。在机理研究方面,率先在珠穆朗玛峰、南极和北极地区“三极”建立了长期采样观测系统,开展了 POPs 长距离迁移机制的深入研究。通过大量实验数据证明了 POPs 的冷捕集效应,为优化 POPs 远距离迁移模型及认识 POPs 的环境归宿做出了贡献。在污染物控制方面,我国科研人员系统识别了二噁英类污染物的排放源,相关成果被联合国环境规划署(UNEP)《全球二噁英类污染源识别与定量技术导则》引用,以六种语言形式全球发布,为全球范围内评估二噁英类污染来源提供了重要技术参数。以上有关 POPs 的相关研究是解决我国国家环境安全问题的重大需求、履行《公约》的重要基础和我国在国际贸易中取得有利地位的重要保证。

2000 年以前,由于受到实验室设备和仪器条件的限制,我国对于 POPs 的研究仅限于 DDTs、HCHs、PCBs 等有限的经典 POPs,对二噁英等 POPs 研究较少。1982 年,中国科学院生态环境研究中心发表了我国二噁英研究的第一篇论文。1995 年,中国科学院水生生物研究所建成了我国第一个装备高分辨色谱/质谱的标准二噁英分析实验室。进入 21 世纪,我国 POPs 研究得到快速发展。在能力建设方面,目前已经建成数十个符合国际标准的高水平二噁英实验室。中国科学院生态环境研究中心的二噁英实验室被 UNEP 命名为“Pilot Laboratory”。2003

年,我国 POPs 领域第一个“973”项目“持久性有机污染物的环境安全、演变趋势与控制原理”启动实施。该项目凝聚了我国 POPs 领域研究的优势队伍,围绕 POPs 在多介质环境的界面过程动力学、复合生态毒理效应和焚烧等处理过程中 POPs 的形成与削减原理三个关键科学问题,从复杂介质中超痕量 POPs 的检测和表征方法学;我国典型区域 POPs 污染特征、演变历史及趋势;典型 POPs 污染物的排放模式和运移规律;典型 POPs 污染物的界面过程、多介质环境行为;POPs 污染物的复合生态毒理效应;POPs 污染物的削减与控制原理和 POPs 生态风险评估模式和预警方法体系七个方面开展了富有成效的研究。这个项目以我国 POPs 污染的演变趋势为主,基本摸清了我国 POPs 特别是二噁英排放的行业分布与污染现状,为我国履行《公约》做出了突出贡献。2009 年,“POPs 项目”得到延续资助,研究内容发展到以 POPs 的界面过程和毒性健康效应的微观机理为主要目标。2014 年,项目再次得到延续,研究内容立足前沿,与时俱进,研究目标锁定在新型持久性有机污染物。这 3 期“973”项目的立项和圆满完成,大大推动了我国 POPs 研究为国家目标服务的能力,培养了大批优秀人才,提高了学科的凝聚力,扩大了我国 POPs 研究的国际影响力。目前我国 POPs 研究在国际 SCI 收录期刊发表论文的数量、质量和引用率均进入国际第一方阵,部分工作在开辟新的研究方向、引领国际研究方面发挥了重要作用。2002 年以来,我国 POPs 相关领域的研究多次获得国家自然科学奖励。2013 年,中国科学院生态环境研究中心 POPs 研究团队荣获“中国科学院杰出科技成就奖”。

与此同时,我国 POPs 研究开展了积极的全方位的国际合作,一批中青年科学家开始在国际学术界崭露头角。2009 年 8 月,第 29 届国际二噁英大会首次在中国举行,来自世界上 44 个国家和地区的近 1100 名代表参加了大会。国际二噁英大会自 1980 年召开以来,至今已连续举办了 34 届,是国际上有关持久性有机污染物(POPs)研究领域影响最大的学术会议,会议所交流的论文反映了当时国际 POPs 相关领域的最新进展,也体现了国际社会在控制 POPs 方面的技术与政策走向。第 29 届国际二噁英大会在我国的成功召开,对提高我国持久性有机污染物研究水平、加速国际化进程、推进国际合作和培养优秀人才等方面起到了积极作用。近年来,我国科学家多次应邀在二噁英大会上作大会报告和大会总结报告,一些高水平研究工作产生了重要的学术影响。

本套《持久性有机污染物(POPs)研究系列专著》的编撰,系统总结了近 20 年来我国 POPs 研究的历史进程,从理论到实践全面记载了我国 POPs 研究的发展足迹。根据研究方向的不同,本系列丛书将系统地 POPs 的分析方法、演变趋势、转化规律、生物富集/放大、毒性效应、健康风险、控制技术以及典型地区的

POPs 研究等工作加以总结编写,可供广大科技人员、大专院校的研究生和环境管理人员学习参考,也期待它能在 POPs 环保宣教、科学普及、推动相关学科发展方面发挥积极作用。

受作者学术和认知水平限制,本套丛书可能存在不同形式的缺憾、错漏甚至学术观点的偏颇,敬请读者批评指正。“行百里路者半九十”,我国 POPs 研究方兴未艾,未来事业任重道远。对于科学问题的认识总是在研究的不断深入和不断学习提高。学术的发展是永无止境的,对于 POPs 造成的环境问题的科学规律,人们的认识也是不断发展和提高的。本套丛书若能对读者了解并把握 POPs 研究的热点和前沿领域起到抛砖引玉作用,激发广大读者的广泛兴趣,或讨论或争论其学术精髓,都是作者深感欣慰和至为期盼之处。



2015 年 1 月於北京

前 言

持久性有机污染物 (POPs) 具有毒性、生物蓄积性、环境中难降解的特性。此类污染物多为半挥发性有机物, 具有大气长距离传输的能力, 使得一个地方的污染问题演变为区域性、跨国界, 甚至全球性的环境问题, 引起国际社会的共同关注。一方面, 大量的前期研究成果与环境监测数据, 揭示了持久性有机污染物问题的严重性, 催生、推动了国际《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(简称《斯德哥尔摩公约》) 的签订。另一方面, 国际公约的履约需求又引领、带动了持久性有机污染物的深入研究与系统、长期的环境监测。

为了了解 POPs 污染的状况, 跟踪 POPs 减排与控制措施的实际效果, 国际《斯德哥尔摩公约》对 POPs 的环境监测提出了具体要求。大气、底栖生物、母乳是 POPs 监测的三个关键环境介质。大气介质以其敏感反映 POPs 排放以及环境浓度的变化受到关注。

在 2002 年和 2003 年分别出现了以聚氨酯泡沫 (PUF) 塑料和 XAD 树脂为吸附剂的被动采样器, 专门针对 POPs 的大气被动采样, 推动了新一波被动采样技术的发展与应用。这些采样器经济、适用, 无需电力驱动, 第一次提供了人迹罕至的广袤边远地区的背景值数据和一批各种空间尺度的具有区域代表性的宝贵数据。

大气被动采样技术 (PAS) 发展势头强劲, 主要是它的特点与性能满足了履行 POPs 国际公约工作的要求。PAS 适合于大范围、区域性的调查与环境监测, 利于 POPs 空间分布与季节变化的研究。PAS 尤其能够获取较长时段 (旬、月、季、年) 的 POPs 均值信息, 进而获取多年时间跨度的浓度水平演变趋势的信息。深入分析、解读 PAS 数据还可以识别与区分 POPs 源区与清洁受体地区, 研究大气传输现象和其他环境过程。

在国家重点基础研究发展计划项目“持久性有机污染物的环境安全、演变趋势与控制原理”(简称“973POPs”)项目的资助下, 我们采用以 XAD 树脂为吸附剂的大气被动采样器 (XAD-PAS) 在天津、山东长岛、四川卧龙自然保护区进行了大气和土壤介质的样品采集和化学分析, 开展了 POPs 大气污染状况、时空分布、来源识别、区域性大气传输过程、二次挥发过程、土-气交换过程等项研究。

本书由 8 章组成, 分别是绪论; 持久性有机物污染物的大气被动采样技术;

有机氯污染物沿天津城区-农村剖面的时空变化与组成特征;有机氯污染物的大气传输与森林过滤效应;长岛案例;持久性有机物污染物大气传输:成都平原-川西山区案例;持久性有机物污染物的山区冷捕集效应;POPs 相对组成探针技术应用实例;前景与展望。本书依托大气被动采样技术,获取具有时间与空间代表性的大气浓度与组成的数据,表征持久性有机污染物的污染状况,进而研究其来源与环境过程。创新之处有,大气被动采样技术的应用:时间分辨与季节变化匹配的采样设计;多季节、跨年度的长期连续采样;源区与受体地区的协同采样。被动采样速率的推算:用六氯苯区域性平均浓度反推各点位采样速率,统一校正处理温度、风速、紊流等诸多影响因素,准确反映 POPs 的空间差异与季节变化规律。POPs 相对组成探针技术研究与应用:基于大气 POPs 相对组成数据,采用分层聚类技术,研究 POPs 来源与大气传输现象;具体应用包括几百至几千千米的区域、北美洲尺度和全球范围的观测与研究。环境过程研究:基于大气被动采样和土壤介质的数据,研究区域性大气传输、山区冷捕集效应、森林过滤效应、土-气交换等环境过程。

本书由刘咸德、郑晓燕、王宝盛、江桂斌策划、统稿,包含了郑晓燕、王宝盛博士论文和刘文杰硕士论文的部分工作,以及“973POPs”项目第三课题组与合作伙伴中刘文杰、杨文、陈大舟、汤桦、Frank Wania、John Westgate、杨永亮、朱晓华等十余人的有关研究成果。作者衷心感谢科学出版社的朱丽编辑的耐心与努力。参与研究与合作的所有人的辛勤工作使本书最终得以出版。

本书研究工作的现场采样、实验室分析、数据分析、初步成果表达是由“973POPs”项目第三课题“典型持久性有机污染物的排放特征和运移规律”(2003CB415003)资助完成的;后续的成果表达和专著写作工作还得到国家自然科学基金委青年科学基金课题(41101476)和中国环境科学研究院的院所基金课题(2009KYYW13)的资助;本书的出版得到中国科学院生态环境研究中心的资助;在此表示衷心感谢。

由于我们的水平有限,书中不足、疏漏之处,敬请读者批评指正。

著 者

2014 年 10 月

目 录

丛书序

前言

第 1 章 持久性有机污染物的大气传输	1
本章导读	1
1.1 持久性有机污染物的国际公约	1
1.1.1 持久性有机污染物的物理化学性质	2
1.1.2 国际《斯德哥尔摩公约》	6
1.1.3 中国典型持久性有机污染物的污染状况	9
1.1.4 中国履约成效和进程	13
1.2 持久性有机污染物的大气传输实例	14
1.2.1 跨太平洋的 POPs 大气长距离传输	16
1.2.2 南极洲的 POPs 大气长距离传输	16
1.2.3 青藏高原的 POPs 大气长距离传输	18
1.3 持久性有机污染物的区域分布与大气传输	19
1.3.1 大尺度的大气 POPs 监测和区域分布研究	19
1.3.2 区域性的 POPs 大气传输	22
1.4 持久性有机污染物大气传输及有关环境过程	24
1.4.1 冷捕集效应	24
1.4.2 土-气交换过程	26
1.4.3 森林过滤效应	27
1.5 持久性有机污染物大气传输有关的模型研究	27
1.5.1 反向风迹模型和空域的计算	27
1.5.2 环境多介质模型	28
1.5.3 大气扩散模型	31
1.5.4 演变趋势模型研究	32
参考文献	33
第 2 章 持久性有机污染物的大气被动采样技术	41
本章导读	41
2.1 大气被动采样器的设计与原理	41

2.1.1	履约需求催生 POPs 大气被动采样技术	41
2.1.2	大气被动采样器的设计与结构	43
2.1.3	大气被动采样器的工作原理:双膜吸附假设	45
2.2	大气被动采样器的应用	47
2.2.1	影响大气被动采样器采样速率的因素	47
2.2.2	XAD-PAS 采样速率的估算	49
2.2.3	应用逸失-参考化合物预置技术推算 PUF-PAS 采样速率	50
2.2.4	大气被动采样器的校正与验证	52
2.3	大气被动采样原理研究的新进展:三过程吸附假设	55
	本章小结	58
	参考文献	59
第3章	有机氯污染物沿天津城区-农村剖面的时空变化与组成特征	62
	本章导读	62
3.1	材料与方法	63
3.1.1	样品采集	63
3.1.2	样品提取与定量	66
3.2	天津市大气有机氯污染物的浓度水平与时空变化	66
3.2.1	HCHs 的浓度水平与时空变化	70
3.2.2	HCB 的浓度水平与时空变化	76
3.2.3	DDTs 的浓度水平与时空变化	77
3.2.4	两个指示性 PCB 同类物的浓度水平与时空变化	80
3.3	两个春季样品的比较	84
3.4	与前期工作的比较	85
3.5	大气中有机氯污染物的相对组成的聚类分析	86
	本章小结	89
	参考文献	89
第4章	长岛地区有机氯化合物:长距离大气传输及森林过滤效应	93
	本章导读	93
4.1	材料与方法	94
4.1.1	样品采集	94
4.1.2	样品提取与定量	96
4.1.3	大气浓度的计算	96
4.2	有机氯污染物的浓度水平和空间变化	101

4.3 有机氯污染物的相对组成及来源初析	102
4.4 有机氯污染物的森林过滤效应	106
4.5 有机氯污染物季节情况	107
4.6 长岛-天津有机氯污染物相对化学组成的比较	112
4.6.1 长岛地区大气中有机氯污染物的组成特征	112
4.6.2 长岛-天津有机氯污染物相对化学组成相关性分析	113
4.6.3 长岛-天津有机氯污染物相对化学组成聚类分析	118
本章小结	122
参考文献	123
第5章 持久性有机污染物大气传输:成都平原-川西山区	126
本章导读	126
5.1 大气被动采样器采样速率的确定	127
5.1.1 大气被动采样	127
5.1.2 样品处理与色谱分析	128
5.1.3 质量控制	129
5.1.4 空域的计算	129
5.1.5 计算目标化合物的大气体积浓度	129
5.1.6 大气被动采样器采样速率推算方法的比较	136
5.2 卧龙山区持久性有机污染物的大气浓度水平	137
5.3 持久性有机氯污染物的大气浓度沿海拔梯度分布与当地排放源	141
5.4 川西山区大气中持久性有机污染物的分布特征与季节变化	143
5.4.1 大气浓度的季节变化与年际差异	143
5.4.2 卧龙山区和成都的比较	144
5.5 运用持久性有机氯污染物组成探针技术研究区域性大气传输	145
5.5.1 大气中有机氯污染物的组成特征	145
5.5.2 区域大气中有机氯污染物的相对组成的聚类分析	146
5.5.3 关于持久性有机氯污染物组成探针的讨论	147
本章小结	149
参考文献	149
第6章 持久性有机污染物的山区冷捕集效应:川西山区案例	152
本章导读	152
6.1 实验部分	153

6.1.1	研究区概况	153
6.1.2	土壤样品的采集	154
6.1.3	提取、净化和分析	157
6.2	巴郎山土壤中有机氯农药的区域分布	159
6.2.1	有机氯农药的浓度水平	159
6.2.2	有机氯农药的季节变化	160
6.2.3	山区冷捕集效应	164
6.2.4	有机氯农药污染的来源识别	164
6.3	巴郎山区土壤中有机氯污染物的冷捕集效应	166
6.3.1	有机氯污染物的土壤浓度	166
6.3.2	有机氯农药的土壤浓度沿海拔的分布	168
6.3.3	Mountain-POP 模型预测	172
6.3.4	现场观测与模型预测的比较	173
6.3.5	其他的影响因素	174
6.3.6	与意大利阿尔卑斯山区研究的比较	175
6.4	巴郎山区土壤中 PCBs、PBDEs 的冷捕集效应	176
6.4.1	PCBs 和 PBDEs 浓度水平	176
6.4.2	土壤总有机碳的作用	178
6.4.3	PCBs 和 PBDEs 浓度沿海拔的分布	179
6.4.4	PCBs 和 PBDEs 同类物组成沿海拔的分布	186
6.5	巴郎山区 POPs 土壤-大气交换	187
6.5.1	逸度与逸度分数的计算	187
6.5.2	卧龙山区 POPs 的气-土交换	188
	本章小结	189
	参考文献	190
第 7 章	POPs 相对组成探针技术应用实例	196
	本章导读	196
7.1	应用实例:博茨瓦纳,南部非洲	196
7.1.1	博茨瓦纳全国区域研究背景介绍	196
7.1.2	结果与讨论	197
7.1.3	小结:区分两类采样点位	199
7.2	应用实例:加拿大西部山区,北美洲	199
7.2.1	加拿大西部山区研究背景介绍	199

7.2.2 结果与讨论	200
7.2.3 小结:识别两种大气传输过程	201
7.3 应用实例:智利,南美洲	202
7.3.1 智利南、中、北部三个海拔梯度研究背景介绍	202
7.3.2 结果与讨论	202
7.3.3 小结:研究 POPs 的来源与大气传输现象	204
7.4 应用实例:北美洲	205
7.4.1 北美洲大区域研究背景介绍	205
7.4.2 结果与讨论	205
7.4.3 小结:梳理大范围被动采样网络的数据	206
7.5 应用实例:全球大气被动采样网络	207
7.5.1 全球大气被动采样网络研究背景介绍	207
7.5.2 结果与讨论	209
7.5.3 小结:在全球尺度上观测区域差异	210
7.6 关于 POPs 相对组成探针技术方法的几点讨论	211
7.6.1 组成数据和浓度数据的比较	211
7.6.2 平行样的作用	213
7.6.3 关于高权重化合物的讨论	214
7.6.4 如何比较不同的区域性研究的结果	215
本章小结	217
参考文献	217
第 8 章 持久性有机污染物被动采样与大气传输:前景展望	219
本章导读	219
8.1 大气被动采样的原理、技术开发与完善	219
8.1.1 被动采样原理的研究	219
8.1.2 被动采样器设计的改进	220
8.1.3 被动采样技术与绿色化学的理念	220
8.1.4 被动采样技术与先进分析技术的组合	220
8.2 应用研究的探索与创新	221
8.2.1 新的 POPs 化合物的观测与研究	221
8.2.2 来源研究的新思路:综合研究 POPs 和大气颗粒物(PM)的技术途径	222
8.2.3 有机氯污染物相对组成探针的应用	222

8.2.4 区分当地点源排放和区域性长距离传输的贡献	223
8.3 关于技术途径和研究思路的展望	224
8.3.1 同位素指纹技术应用的可能性	224
8.3.2 多介质协同的综合性研究	225
8.3.3 现场观测、模型计算与实验室模拟研究的紧密结合	225
8.3.4 从“时空分布”到“环境过程”研究	225
8.3.5 POPs 时空分布基础数据的积累与分析、使用:对履约工作的技术支持	226
8.3.6 加强国内协作和国际合作的机制	226
本章小结	226
参考文献	226

彩图

第1章 持久性有机污染物的大气传输

本章导读

本章首先介绍了持久性有机污染物的背景情况,包括持久性有机污染物的理化性质、国际《斯德哥尔摩公约》和中国典型持久性有机污染物的污染状况这三个方面(1.1节)。

1.2节集中介绍了持久性有机污染物长距离大气传输的典型实例,诸如跨太平洋的传输,在南极洲观测的传输以及在青藏高原开展的大气传输研究成果。

1.3节主要介绍了大陆尺度、区域尺度、城市-郊区-农村剖面等不同空间尺度的区域性分布和大气传输研究的观测与成果。这些研究大多数是依托大气被动采样技术实现的。这方面内容是本书的重点。

大气传输过程以及有关的其他环境过程研究是1.4节的主题,这些过程包括土-气交换过程、森林过滤效应和山区冷捕集效应等。

模型研究是持久性有机污染物大气传输研究的一个独具特色的重要方面。在1.5节我们选择介绍了反向风迹模型、环境多介质模型、大气扩散模型和演变趋势模型。

1.1 持久性有机污染物的国际公约

持久性有机污染物(POPs)是专指那些一旦进入环境便持久存在于其中的化合物。这些化合物多数是半挥发性的物质,可以长距离传输并且在全世界广泛分布。它们同时具有生物蓄积性,能够通过食物链产生生物放大作用,随时间累积有可能在生物体内达到足够高的浓度,对野生动物或人类产生负面影响。有一些 POPs 因为其特殊的性质可用于特定的工业或商业目的而被合成、生产。例如,滴滴涕(DDT)生产成本不高,是一种有效的杀虫剂,用于热带地区蚊虫等疾病传播媒介的防治。多氯联苯(PCBs)具有良好的热稳定性,是电力系统很好的绝缘材料。全氟辛烷磺酸盐(PFOS)具有很高的表面活性、很强的热稳