

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第10期

Vol.35 No.10

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

基于虚拟撞击原理的固定源 PM₁₀/PM_{2.5} 采样器的研制 蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 张强, 李振, 陈小彤, 李兴华, 郝吉明 (3639)

1992~2012年福州市和厦门市酸雨变化特征及影响因素 郑秋萍, 王宏, 陈彬彬, 隋平, 林文 (3644)

青岛近海不同天气状况下大气气溶胶中金属元素浓度分布特征研究 陈晓静, 祁建华, 刘宁, 张翔宇, 申恒青, 刘明旭 (3651)

化学合成类制药行业工艺废气 VOCs 排放特征与危害评估分析 李嫣, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 许明珠, 徐威力 (3663)

烧结过程 NO_x 和 SO₂ 形成规律及烧结料组成对 NO_x 排放的影响 任重培, 朱天乐, 朱廷钰, 吕栋 (3669)

废茶活性炭脱硫脱硝性能的应用研究 宋磊, 张彬, 邓文 (3674)

黑河中游边缘荒漠-绿洲非饱和带土壤质地对土壤氮积累与地下水氮污染的影响 苏永中, 杨晓, 杨荣 (3683)

海河流域河流生态系统健康评价 郝利霞, 孙然好, 陈利顶 (3692)

台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析 刘树元, 郑晨, 袁琪, 王先兵, 王稀炎 (3702)

山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究 包静玥, 鲍建国, 李立青 (3709)

岩溶地下水水文地球化学对降雨的响应: 以重庆雪玉洞地下河系统为例 王凤康, 梁作兵, 于正良, 江泽丽 (3716)

岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价 蓝家程, 孙玉川, 田萍, 卢丙清, 师阳, 徐昕, 梁作兵, 杨平恒 (3722)

废旧电器拆解区河流沉积物中多溴联苯醚 (PBDEs) 的污染特征与生态风险 陈宣宇, 薛南冬, 张石磊, 李发生, 龚道新, 刘博, 孟磊 (3731)

海河流域中南部河流沉积物的重金属生态风险评价 王瑞霖, 程先, 孙然好 (3740)

大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素 杨福霞, 简慧敏, 田琳, 姚庆祯 (3748)

辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究 邵田田, 赵莹, 宋开山, 杜嘉, 丁智 (3755)

伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响 刘丹丹, 李正魁, 叶忠香, 张万广 (3764)

地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究 陈娇, 白晓慧, 卢宁, 王先云, 章永辉, 吴潘成, 郭心驰 (3769)

地下水循环井技术修复硝基苯污染含水层效果模拟 白静, 赵勇胜, 孙超, 秦传玉, 于凌 (3775)

茶叶基水合氧化铁吸附水体中 Pb(II) 的性能 万顺利, 薛瑶, 马钊钊, 刘国斌, 余艳霞, 马明海 (3782)

紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨 王文东, 王亚博, 范庆海, 丁真真, 王文, 宋珊, 张银婷 (3789)

水中普萘洛尔的紫外光降解机制及其产物毒性 彭娜, 王开峰, 刘国光, 曾令泽, 姚锟, 吕文英 (3794)

二氧化钛 (P25) 光催化降解二苯砷酸的研究 王阿楠, 滕应, 骆永明 (3800)

碳氮比对聚氨基酯生物膜反应器短程硝化反硝化的影响 谭冲, 刘颖杰, 王薇, 邱珊, 马放 (3807)

城市污泥中温厌氧消化过程中厌氧耐药菌的分布与去除研究 佟娟, 王元月, 魏源送 (3814)

快速城市化区域表层土壤中杀虫剂的空间分布及风险评估 韦燕莉, 鲍志君, 巫承洲, 曾永平 (3821)

重庆铁山坪马尾松林土壤汞排放特征的现场测试 杜宝玉, 王琼, 罗遥, 段雷 (3830)

应用 X 射线吸收近边结构谱研究东北农耕地土壤中的氯种态及含量 李晶, 郎春燕, 马玲玲, 徐殿斗, 郑雷, 路雨楠, 崔丽瑞, 张晓萌 (3836)

植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化 李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 薛江, 唐骏 (3842)

硫素对氧化还原条件下水稻土氧化铁和砷形态影响 唐冰培, 杨世杰, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3851)

外生菌根真菌对 Al³⁺ 胁迫和低钾土壤的响应 张薇, 黄建国, 袁玲, 李阳波, 何林卫 (3862)

长期施用猪粪水稻土抗生素抗性基因污染研究 黄福义, 李虎, 韦蓓, 欧阳纬莹, 苏建强 (3869)

外源添加磷和有机酸模拟铅污染土壤钝化效果及产物的稳定性研究 左继超, 高婷婷, 苏小娟, 万田英, 胡红青 (3874)

污染场地六价铬的还原和微生物稳定化研究 郑家传, 张建荣, 刘希雯, 许倩, 施维林 (3882)

热强化气相抽提对不同质地土壤中苯去除的影响 李鹏, 廖晓勇, 阎秀兰, 崔骁勇, 马栋 (3888)

O₃ 浓度升高对南方城市绿化树种氮素的影响 杨田田, 张巍巍, 胡恩柱, 王效科, 田媛, 冯兆忠 (3896)

施氮强度对不同土壤有机碳水平按树林温室气体通量的影响 李睿达, 张凯, 苏丹, 逯非, 万五星, 王效科, 郑华 (3903)

¹³C₂O 示踪臭氧胁迫对水稻土壤微生物的影响 陈展, 王效科, 尚鹤 (3911)

表面活性剂 *Burkholderia xenovorans* LB400 体系对低氯代 PCBs 的好氧强化降解 陈少毅, 张静, 汪涵, 任源 (3918)

耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌 TN-14 的鉴定及其脱氮性能 信欣, 姚力, 鲁磊, 冷璐, 周迎芹, 郭俊元 (3926)

微氧环境中电化学活性微生物的分离与鉴定 吴松, 肖勇, 郑志勇, 郑越, 杨朝晖, 赵峰 (3933)

电极活性菌分离过程中微生物群落结构动态特征解析 王敏, 赵阳国, 卢珊珊 (3940)

铜对草鱼及花鲢的毒性预测: 基于生物配体模型 王万宾, 陈莎, 吴敏, 赵婧 (3947)

天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价 马秀娟, 沈建忠, 王腾, 王海生, 黄丹, 孙广文, 龚成 (3952)

水生生物基准推导中物种选择方法研究 张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3959)

生产源区人血清中六溴环十二烷水平与甲状腺激素相关性研究 李鹏, 杨从巧, 金军, 王英, 刘伟志, 丁问微 (3970)

金属氧化物-Laponite 黏土复合材料负载氧化钴催化剂的制备及对苯的催化消除性能 牟真, 麻春艳, 程杰, 李进军 (3977)

CuO(-CeO₂)/Al₂O₃ 催化剂对苯催化氧化性能研究 查键, 周宏仓, 何都良, 单龙, 张露, 谢婕 (3984)

生物毒性检测在水质安全评价中的应用 徐建英, 赵春桃, 魏东斌 (3991)

某城市城镇污水处理厂 COD 排放现状评价分析 周羽化, 卢延娜, 张虞, 朱静, 雷晶, 申晨, 武雪芳 (3998)

北京市再生水利用生态环境效益评估 范育鹏, 陈卫平 (4003)

我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建 王琳, 吕永龙, 贺桂珍, 王铁宇 (4009)

环境损害评估: 构建中国制度框架 张红振, 王金南, 牛坤玉, 董璟琦, 曹东, 张天柱, 骆永明 (4015)

《环境科学》征稿简则 (3887) 《环境科学》征订启事 (4008) 信息 (3730, 3739, 3774, 3895)

我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建

王琳^{1,2}, 吕永龙^{1*}, 贺桂珍¹, 王铁宇¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 面对严峻的持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs) 环境污染问题, 以及不断提升的化学品风险管理要求, 我国对于 POPs 污染事故预警管理的需求日益迫切。基于生命周期理论及 POPs 生成机制, 针对不同的 POPs 和污染事故的种类, 构建出 POPs 污染事故的预警指标体系, 以期完善我国 POPs 污染事故预警管理提供决策支持。预警指标体系主要包括两部分: POPs 预警指标和运行保障机制。POPs 预警指标包括了警源指标、警兆指标和警度指标。为保障预警体系的有效实施, 构建了预警响应机制及政策保障机制, 包括对风险源的动态清单管理和定期评估, 及时有效的警情上报, 各部门的协调合作等。

关键词: 持久性有机污染物; 预警指标; 生命周期理论; 污染风险管理; 应急响应

中图分类号: X32 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)10-4009-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.10.052

Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China

WANG Lin^{1,2}, LÜ Yong-long¹, HE Gui-zhen¹, WANG Tie-yu¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Early warning of pollution incidents caused by persistent organic pollutants (POPs) is urgently needed for China in the circumstances of serious POPs pollution and in increasing demand for improvement in chemical risk management. Given different categories of POPs and pollution incidents, the index system for early warning of POPs pollution accidents was built based on lifecycle theory and POPs formation mechanisms. It will be helpful for decision makers to enhance the early warning management of POPs pollution incidents in China. The index system for early warning includes two parts, early warning and mechanism for system operation. The indices include risk source indicators, warning indicators and warning level indicators. To ensure the effective implementation of this system, the mechanisms for response and policy guarantee were also formulated. These mechanisms contain dynamic inventory management and periodical assessment of risk sources, timely and effective report of warning conditions, as well as coordination and cooperation among the relevant departments.

Key words: persistent organic pollutants (POPs); early warning index; lifecycle theory; pollution risk management; emergency response

预警在环境管理中的作用被越来越多的国家重视, 并被广泛应用于应对化学品泄漏、大气污染等环境污染事故^[1-4]。自 2005 年松花江水污染事件和 2007 年无锡太湖水污染事件之后, 我国政府和社会公众更加重视突发性环境事件的预防和响应, 相关法规政策也在不断完善^[5]。

我国面临着新、老持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs) 并存的双重压力^[6]。虽然自 20 世纪 70 ~ 80 年代我国即停止了多氯联苯 (polychlorinated biphenyls, PCBs)、毒杀芬、七氯、滴滴涕的生产或使用, 但受到经济、技术、管理水平的限制, 未及时处置的、含上述 POPs 的废物和污染场地仍然存在^[7, 8]。而且全氟辛烷磺酸 (perfluorooctane sulfonate, PFOS) 等新型 POPs 还在我国生产和使用, 并在很多地区的河流、土壤等环

境介质中被检出^[9, 10]。这些未妥善处置的 POPs 废物和 POPs 生产、使用企业都是潜在的 POPs 污染源, 如若发生污染事故, 将对周边环境和人体健康产生严重危害, 甚至通过长距离迁移过程造成更大范围的影响。

随着我国对化学品管理要求的不断提高, 加强化学品环境风险防控已成为化学品管理的重点内容^[11]。我国 POPs 管理体系仍处于发展和完善阶段, 并已逐步提升加强 POPs 风险防控与管理的水平^[12-15]。在《全国主要行业持久性有机污染物污染防治“十二五”规划》(2012) 中, POPs 污染场地和二

收稿日期: 2014-01-11; 修订日期: 2014-04-03

基金项目: 中国科学院重点部署项目 (KZZD-EW-TZ-12); 国家自然科学基金项目 (41371488)

作者简介: 王琳 (1987 ~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为环境管理, E-mail: wanglincas@163.com

* 通讯联系人, E-mail: yllu@cees.ac.cn

二噁英重点排放企业的风险管理已被列为规划任务之一。尽管我国已建立了突发性环境污染事故的预警、应急制度,相继出台了《国家突发公共事件总体应急预案》(2006)、《国家突发环境事件应急预案》(2006)、《中华人民共和国突发事件应对法》(2007)、《先进的环境监测预警体系建设纲要(2010~2020年)》(2009)、《突发环境事件信息报告办法》(2011)等法规政策,但由于 POPs 在化学性质、检测技术等方面与常规化学品污染物存在差异,因此十分有必要为 POPs 构建更有针对性的预警体系。综上,本研究的目的是在我国现有化学品、工业企业风险预警管理的基础上,结合 POPs 污染事故的特点,构建我国 POPs 污染事故预警指标体系。

1 研究方法

POP_s 污染结构比较复杂。POP_s 对人体和生态环境的危害,根据事故发生的类型,既有突发性的,也有累积性的;根据 POP_s 污染源的类型,既有工业企业的点源污染事故,也有 POP_s 污染场地产生的面源污染事故;根据 POP_s 种类的不同,POP_s 污染事故还可发生在水、大气、土壤等各种环境介质中。因此,在构建 POP_s 预警指标时必须考虑不同种类 POP_s 及不同环境介质之间的差异性。

生命周期理论已被引入到 POP_s 有关研究中,主要用于分析管理体系能力建设方面的现状和不

足、评价对生态环境的影响等^[16~18]。而清单调查研究有助于 POP_s 污染的总体评估及控制^[19]。因此本研究综合了生命周期理论及 POP_s 清单调查分析法,对预警指标体系、预警运行及保障机制两部分内容进行了重点分析。POP_s 预警指标体系包括警源指标、警兆指标和警度指标^[20]。运行机制主要讨论了预警响应机制,并有针对性地提出了指标体系应用的政策保障机制。

2 POP_s 预警指标

2.1 POP_s 污染事故的警源指标及影响因素

有别于可禁止或限制生产、使用、流通的杀虫剂类和工业化学品类的 POP_s,副产物类 POP_s 是伴随着一些特定的工业生产、生活过程生成的,在控制过程中只能尽可能地减少生成并在规定范围内排放。因此,需对杀虫剂类和仍在少量生产的工业化学品类 POP_s 生命周期中的生产、使用、排放、处置等环节,及副产物类 POP_s (主要是二噁英)主要排放源,分别进行风险源筛选,从而确定警源指标。

2.1.1 杀虫剂类和工业化学品类 POP_s

结合生命周期理论(见图1),故意生产的杀虫剂类和工业产品类 POP_s 的潜在风险源主要包括:POP_s 生产排放源(主要是我国仍在生产、使用的 PFOS 等新型 POP_s)、POP_s 移动运输源、POP_s 库存储存地、POP_s 废物暂存地及含 POP_s 的污染场地。在各环节中影响上述风险源的影响因素如图1所示。

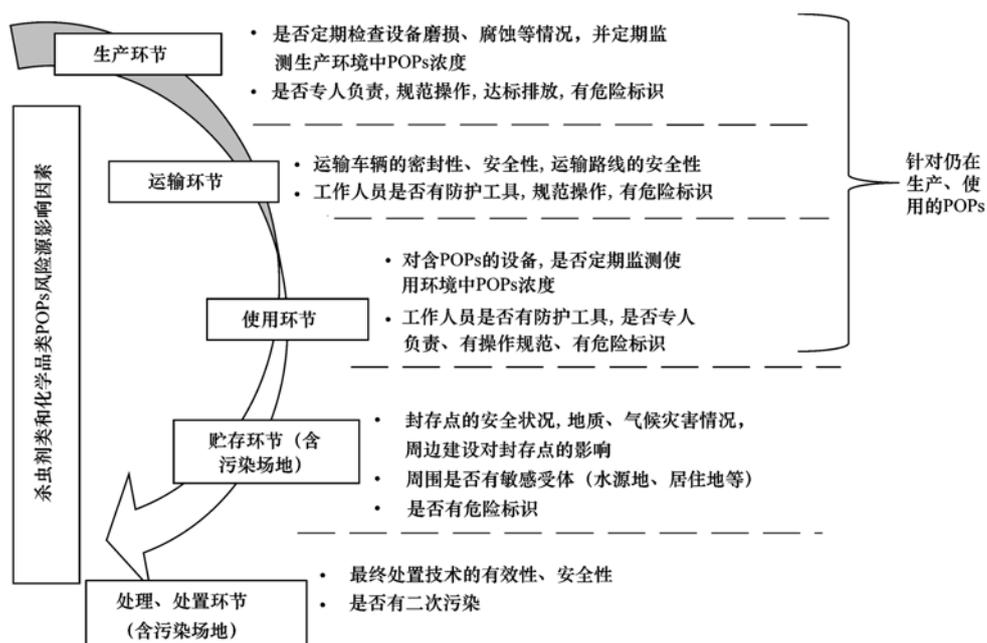


图1 杀虫剂类和工业化学品类 POP_s 风险源及其影响因素

Fig. 1 Risk sources of pesticides and industrial POP_s and their influencing factors

2.1.2 副产物类 POPs

公约中受控的副产物类 POPs 包括二噁英、六氯苯、多氯联苯和五氯苯,本研究以讨论二噁英的预警为主。根据二噁英的来源途径和生成机制,二噁英排放风险源主要存在于工业生产的燃烧加热过程、除尘设施中、使用含氯元素化合物进行漂白的纸浆生产等^[21, 22](见表 1)。为全过程控制这些风险源产生和排放二噁英,可采取以下措施:①源头消减,减少含氯原料使用;②过程控制,避免二噁英的

生成;③末端治理,减少二噁英排放(见表 1)。因生产过程、设备等方面的不同,二噁英风险源在各行业中存在较大差异,本研究分析整理了 UNEP 的《最佳可行技术导则》(2006)、我国的《二噁英污染防治技术政策》(2013)等技术政策文件及相关文献,列举出主要的二噁英排放源及其影响因素(见表 1)。由此看出,工业过程中的原料组成、温度、停留时间、含氧量、氯含量等因素对二噁英的生成影响较大。

表 1 主要二噁英排放源及其影响因素

Table 1 Main emission sources of PCDD/Fs and their influencing factors

项目	风险源		影响因素		
	二噁英可能生成处	源头控制	过程控制	末端控制	
铁矿石烧结	<ul style="list-style-type: none"> √ 烧结料层中 √ 集尘设备入口处 	<ul style="list-style-type: none"> √ 原料铁矿石中的氯含量 √ 氯化钙熔剂的使用量 √ 是否对原料进行除油等预处理 	<ul style="list-style-type: none"> √ 烧结料层各层的温度 √ 烧结设施是否有自动控制系统和烟气在线监测系统 	<ul style="list-style-type: none"> √ 是否采用烧结烟气循环技术 √ 烟气热量回收利用时的温度 √ 是否配置高效除尘设施 √ 集尘设备入口废气温度、停留时间、是否配置烟气急冷设施 √ 烟气净化设施中含二噁英的烟尘在综合利用时,是否采取措施以防止二次污染 	
电弧炉炼钢	<ul style="list-style-type: none"> √ 废钢预热工艺 √ 烟气冷却过程 √ 集尘设备入口处 	<ul style="list-style-type: none"> √ 废钢原料中涂层、油污等有机物及含氯物质的含量 √ 废钢预热工艺是否配套安装高效除尘设施 	<ul style="list-style-type: none"> √ 电弧炉炼钢设施是否有自动控制系统和烟气在线监测系统 	<ul style="list-style-type: none"> √ 烟气热量回收利用时的温度 √ 是否配置高效除尘设施 √ 集尘设备入口废气温度、停留时间、是否配置烟气急冷设施 √ 烟气净化设施中含二噁英的烟尘在综合利用时,是否采取措施以防止二次污染 	
再生有色金属	<ul style="list-style-type: none"> √ 熔炉内 √ 烟气冷却过程 √ 集尘设备入口处 	<ul style="list-style-type: none"> √ 原料中塑料等含氯物质的含量 	<ul style="list-style-type: none"> √ 冶炼过程中是否保持高温、采用富氧燃烧技术 √ 是否采用全过程负压状态或封闭化生产 √ 生产设备是否有自动控制系统和烟气在线监测系统 	同上	
废物燃烧	<ul style="list-style-type: none"> √ 焚烧炉内 √ 烟气冷却过程 √ 集尘设备入口处 	<ul style="list-style-type: none"> √ 原料中被二噁英污染的废物的含量 √ 入炉废物的均质性 	<ul style="list-style-type: none"> √ 焚烧过程的温度、烟气停留时间、助燃空气的风量和注入位置、炉内湍流程度 √ 非正常工况的次数,如启动和停炉 √ 焚烧设施是否有自动控制系统和烟气在线监测系统 	<ul style="list-style-type: none"> √ 烟气热量回收利用时的温度 √ 是否配置高效除尘设施 √ 集尘设备入口废气温度、停留时间、是否配置烟气急冷设施 √ 飞灰的无害化处置 	
遗体火化	<ul style="list-style-type: none"> √ 火化机和烟道中 √ 烟气冷却过程 √ 集尘设备入口处 	<ul style="list-style-type: none"> √ 随葬品中聚氯乙烯(PVC)、金属等成分的含量 	<ul style="list-style-type: none"> √ 是否配备再燃室 √ 一燃室和再燃室的炉膛温度、烟气停留时间、助燃空气风量 √ 火化设施是否有自动控制系统和烟气在线监测系统 	<ul style="list-style-type: none"> √ 是否配置高效除尘设施 √ 集尘设备入口废气温度、停留时间、是否配置烟气急冷设施 	
制浆造纸	<ul style="list-style-type: none"> √ 有氯漂白工艺 	<ul style="list-style-type: none"> √ 油基消泡剂的使用量 √ 原料中是否含被多氯苯酚等污染的木材碎片 	<ul style="list-style-type: none"> √ 是否采用深度脱木素或氧脱木素工艺、强化漂前浆洗涤工艺等,来提高木素脱除效率,减少化学漂白剂的使用 √ 是否废除元素氯漂白,而采用无元素氯漂白(ECF)工艺或全无氯漂白(TCF)工艺等 	—	
特定化工生产 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> √ 化工反应合成过程和蒸馏过程中 	—	<ul style="list-style-type: none"> √ 主体合成反应、蒸馏等的工艺条件 	—	

1) 特定化工生产包括 2,4-滴类产品生产、三(五)氯苯酚生产、氯苯生产、乙烯氯化法生产聚氯乙烯等

2.2 POPs 污染事故的警兆指标

从环境污染产生的性质上可将环境污染预警分为渐变性和突发性环境污染预警^[23]。POPs 种类繁多,以上两类预警模式都存在。而即便是同一种 POPs,也可能同时存在以上两类预警模式。例如,由于二噁英可在环境中积累,排放源低浓度的排放仍会对周边的生态环境及人类产生一定影响;若存在操作失误等情况,还可导致短时间内二噁英污染的突发和迅速扩散。

人体健康和生态环境的定期监测数据,可作为 POPs 渐变性污染事故的指示性指标。母乳、血液、头发中的 POPs 含量是评价人体暴露的常用指标^[24, 25],大气、底泥、水生生物中的 POPs 含量可反映生态环境的污染水平及生物暴露水平^[26]。

突发性的 POPs 污染事故需要一些实时性较强的警兆指标。对于库存或贮存的杀虫剂类和化学品

类 POPs,除直接监测贮存点附近环境介质中 POPs 浓度、生态毒理效应外,能反映贮存设施工作稳定性和安全性的一些定性描述性的因素也可作为此类 POPs 突发性污染事故的警兆指标,如设备的裂痕、腐蚀程度等。对于副产物类 POPs 来说,除了在生产过程中对 POPs 含量进行直接的浓度监测外,也可通过监测与 POPs 生成有关联性的一些间接指标,来判断是否有 POPs 生成的警情^[27, 28]。针对 POPs 的在线快速监测技术还未像常规污染物一样普及,这些间接的、易测量的警兆指标在预警中的作用就显得尤其重要。本研究以二噁英排放源为例,列出燃烧过程中二噁英突发性污染事故的间接警兆指示性指标^[29](见表 2)。只要这些指标满足其中一条,预警机制应马上启动,对工业生产活动进行相应的调整,以减少二噁英的生成和排放。

表 2 燃烧过程中二噁英突发性污染事故的间接警兆指示性指标

Table 2 Indirect warning indicators for emergency pollution incidents of PCDD/Fs in combustion process

项目	间接的警兆指标	对二噁英生成及排放的影响
源头处	原料中氯含量	对原材料中的塑料、油污进行预处理,减少原料中的氯含量,可从源头控制二噁英生成
过程中	燃烧温度	二噁英可在 200 ~ 450℃ 生成, > 850℃ 时可分解
	烟气停留时间	足够的停留时间(一般 > 2 s)可使二噁英分解
	燃烧过程中的气体组成	保证富氧燃烧,充分分解二噁英
末端处	集尘设备入口废气温度	< 200℃ 可避免二噁英再次合成
	烟气中粉尘排放浓度	反映除尘器运行状况,减少二噁英排放
	焚烧炉出口烟气中氧气含量	一般 > 6%, 以保证二噁英分解
	焚烧炉渣热灼减率	反映焚烧炉运行效率,保证原料中二噁英分解率

2.3 POPs 污染事故的警度分级

造成 POPs 污染事故的原因主要有两种:一类是仍在生产的 POPs 及 POPs 废物的泄漏,另一类是生产过程的违规超标排放。根据造成的污染事故的严重程度、可控性和影响范围等情况,可将 POPs 污染事故预警的警度分为四级:特别重大(I级)、重大(II级)、较大(III级)和一般(IV级)。对污染事故造成的经济损失、生态破坏的影响范围及上报机制的分析,主要参考《突发环境事件信息报告办法(环境保护部令 第 17 号)》(2011)、《生产安全事故信息报告和处置办法(国家安全生产监督管理总局令 第 21 号)》(2009)、《浙江省突发多氯联苯污染事件应急预案(试行)》(2009)等相关政策的规定。结合 POPs 污染事故的特性,制定出警度划分依据及各级事故的上报响应机制(见表 3)。凡符合警度划分依据中任一情形的,即将事故确定为相应级别。

3 POPs 污染事故预警框架的响应及保障机制

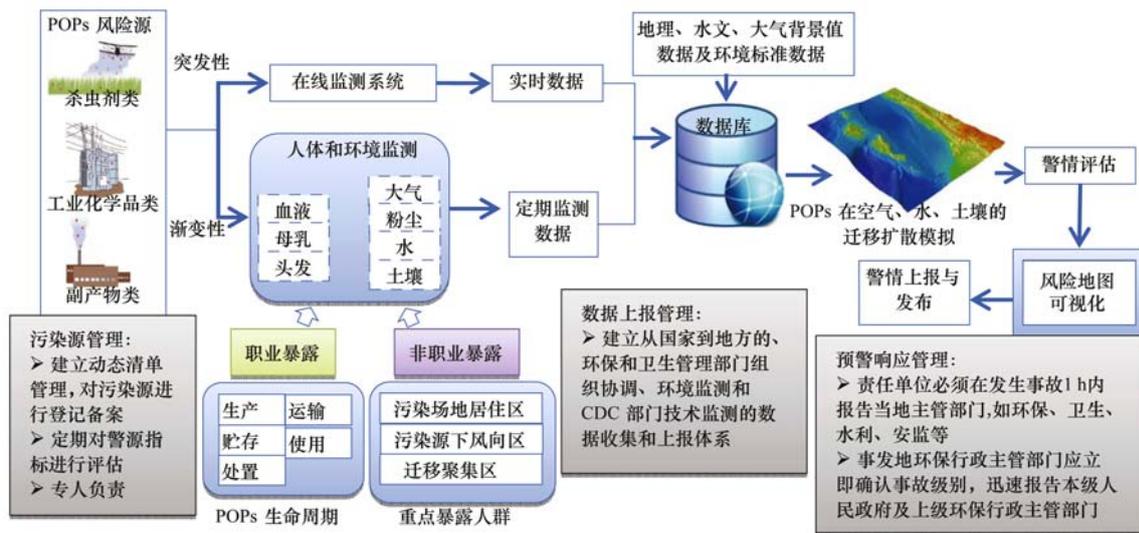
不同种类的 POPs 污染源,其对预警指标的数据收集及上报机制略有不同。为预防 POPs 风险源可能发生的渐变性污染事故,应确保每年至少一次对风险源周边受体(人类和生态环境)进行采样监测,并形成从国家到地方的数据上报机制(见图 2)。考虑到某些 POPs 仍在我国生产和使用流通,人体健康和环境监测数据的收集和上报可从职业暴露和非职业暴露两方面进行考虑(见图 2)。对于突发性 POPs 污染事故,仍然要以通过在线监测和分析设施获取实时数据为主来构建预警平台^[30](见图 2)。对风险源进行动态清单管理并定期评估,及时有效的警情上报,各部门的协调合作等,都是 POPs 预警框架有效运行的保障(见图 2)。

表 3 POPs 污染事故警度分级依据及应急响应机制

Table 3 Warning level indicators and emergency response mechanism for POPs pollution incidents

警度分级	警度划分依据				预警上报响应机制
	对生态环境的影响		对经济、社会的影响 ¹⁾		
	饮用水水源地	区域生态功能	需疏散群众数	跨界影响	
特别重大 (I级)	因 POPs 排放污染等造成地市级以上取水中断的	因 POPs 污染造成区域生态功能长期严重丧失或国家重点保护物种生存环境受到长期严重污染	因 POPs 污染需疏散转移群众 > 5 万人的	跨国界突发环境污染事件	事发地的市级或县级人民政府环境保护主管部门在 < 2 h 向本级和省级人民政府环境保护主管部门报告, 同时上报环境保护部。省级人民政府环境保护主管部门接到报告后, 应进行核实并在 < 1 h 内报告环境保护部
重大 (II级)	因 POPs 排放污染等造成县级城市取水中断的	因 POPs 污染造成区域生态功能部分丧失或国家重点保护野生动植物种群大批死亡的	因 POPs 污染需疏散转移群众 > 1 万人且 < 5 万人	事件发生在国家重点流域、国家级自然保护区、风景名胜区或居民聚集区、医院、学校等敏感区域的; 或跨省(区、市)界突发环境污染事件	
较大 (III级)	因 POPs 排放污染等造成乡镇取水中断的	因 POPs 污染造成国家重点保护的动植物物种受到破坏的	因 POPs 污染需疏散转移群众 > 5 000 人且 < 1 万人	跨地市界突发环境污染事件	事发地的市级或县级人民政府环境保护主管部门在 < 4 h 向本级和上一级人民政府环境保护主管部门报告
一般 (IV级)	除特别重大突发环境事件、重大突发环境事件、较大突发环境事件以外的突发环境事件				

1) 对因 POPs 污染事故造成的人员伤亡和直接经济损失, 按照《突发环境事件信息报告办法(环境保护部令 第 17 号)》(2011) 规定确定事故级别



CDC(Centers for Disease Control) 包括职业病防治机构、疾病预防控制中心、卫生防疫站

图 2 POPs 污染事故预警体系运行及保障机制

Fig. 2 Operation and maintenance mechanism for early warning system of POPs pollution incidents

4 结论与展望

(1)为增强 POPs 预警指标体系的实用性和针对性,本研究在构建时重点考虑了以下方面:①由于不同种类的 POPs 在生成机制、污染排放等方面的差异,将 POPs 分为两类:农药类及工业化学品类 POPs、副产物类 POPs,分别分析风险源及警源指标;②基于生命周期理论、POP生成和排放机制,使风险源识别覆盖整个 POPs 生成、使用、排放、处

置的过程;③针对污染事故类型的不同,将 POPs 污染事故的警兆指示指标分为渐变性和突发性污染事故指标,就目前技术水平而言,本研究讨论了一些易监测、与 POPs 生成有关联的间接指示指标.同时,在构建污染事故数据收集体系时,也充分考虑了两类污染事故的差异性.

(2)鉴于目前我国在 POPs 监测数据、风险评价研究方面的不足,本研究预警指标体系中大多数是定性指标.专业的数学模型,如 POPs 污染物迁移

扩散模型,可给出定量分析,但对水文、气象等基础数据要求很高,这方面的研究将是 POPs 污染事故预警的新挑战。为 POPs 预警单独建立一套管理体系是不科学也是不现实的,所有的预警元素应该是建立在现有环境污染预警体系的硬件及软件基础上的,因此,如何将 POPs 预警体系融合到现有化学品、工业企业预警体系中,是政府管理部门面临的重大考验之一。

参考文献:

- [1] Bae M J, Park Y S. Biological early warning system based on the responses of aquatic organisms to disturbances: A review [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **466-467**: 635-649.
- [2] Jiang J P, Wang P, Lung W S, *et al.* A GIS-based generic real-time risk assessment framework and decision tools for chemical spills in the river basin [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **227-228**: 280-291.
- [3] Kelly F J, Fuller G J W, Walton H A, *et al.* Monitoring air pollution: Use of early warning systems for public health [J]. *Respirology*, 2012, **17**(1): 7-19.
- [4] Pintér G G. The Danube accident emergency warning system [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **40**(10): 27-33.
- [5] Zhang X J, Chen C, Lin P F, *et al.* Emergency drinking water treatment during source water pollution accidents in China: Origin analysis, framework and technologies [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **45**(1): 161-167.
- [6] 周京花, 马慧慧, 赵美蓉, 等. 持久性有机污染物 (POPs) 生殖毒理研究进展——从实验动物生殖毒性到人类生殖健康风险 [J]. *中国科学: 化学*, 2013, **43**(3): 315-325.
- [7] Xing G H, Liang Y, Chen L X, *et al.* Exposure to PCBs, through inhalation, dermal contact and dust ingestion at Taizhou, China-A major site for recycling transformers [J]. *Chemosphere*, 2011, **83**(4): 605-611.
- [8] Zhang K, Wei Y L, Zeng E Y. A review of environmental and human exposure to persistent organic pollutants in the Pearl River Delta, South China [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **463-464**: 1093-1110.
- [9] 孟晶, 王铁宇, 王佩, 等. 淮河流域土壤中全氟化合物的空间分布及组成特征 [J]. *环境科学*, 2013, **34**(8): 3188-3194.
- [10] 陈春丽, 王铁宇, 吕永龙, 等. 河流及污水处理厂全氟化合物排放估算 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(4): 1073-1080.
- [11] He G Z, Zhang L, Lu Y L, *et al.* Managing major chemical accidents in China: towards effective risk information [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **187**(1-3): 171-181.
- [12] Shi Y J, Lu Y L, Zhang H, *et al.* Persistent organic pollutants control strategy in China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, **17**(2): 309-314.
- [13] Wang T Y, Lu Y L, Zhang H, *et al.* Contamination of persistent organic pollutants (POPs) and relevant management in China [J]. *Environment International*, 2005, **31**(6): 813-821.
- [14] Zhang H, Lu Y L, Shi Y J, *et al.* Legal framework related to persistent organic pollutants (POPs) management in China [J]. *Environmental Science & Policy*, 2005, **8**(2): 153-160.
- [15] Lau M H Y, Leung K M Y, Wong S W Y, *et al.* Environmental policy, legislation and management of persistent organic pollutants (POPs) in China [J]. *Environmental Pollution*, 2012, **165**: 182-192.
- [16] 王宣同, 唐孝炎, 胡建信. 杀虫剂类 POPs 的生命周期评价方法研究现状与发展趋势 [J]. *环境科学动态*, 2005, (1): 60-63.
- [17] 王宣同, 唐孝炎, 胡建信. 中国杀虫剂类 POPs 生命周期评价方法框架研究 [J]. *环境科学与技术*, 2005, **28**(3): 78-80.
- [18] Wei D B, Kameya T, Urano K. Environmental management of pesticidal POPs in China: Past, present and future [J]. *Environment International*, 2007, **33**(7): 894-902.
- [19] 王斌, 邓述波, 黄俊, 等. 我国新兴污染物环境风险评价与控制研究进展 [J]. *环境化学*, 2013, **32**(7): 1129-1136.
- [20] 杨帆. 突发性水污染事故预警指标筛选及体系构建研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009. 14-19.
- [21] Fiedler H. Persistent organic pollutants [M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003. 164-173.
- [22] Kulkarni P S, Crespo J G, Afonso C A M. Dioxins sources and current remediation technologies-A review [J]. *Environment International*, 2008, **34**(1): 139-153.
- [23] 吕永龙, 贺桂珍. 现代环境管理学 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2009. 286-288.
- [24] Hooper K. Breast milk monitoring programs (BMMPs): Worldwide early warning system for polyhalogenated POPs and for targeting studies in children's environmental health [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1999, **107**(6): 429-430.
- [25] Ni K, Lu Y L, Wang T Y, *et al.* A review of human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in China [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2013, **216**(6): 607-623.
- [26] 黄业茹, 田洪海, 郑明辉, 等. 持久性有机污染物调查监控与预警技术 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009. 151-198.
- [27] Liu G R, Zheng M H. Perspective on the inclusion of polychlorinated naphthalenes as a candidate POP in Annex C of the Stockholm Convention [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(15): 8093-8094.
- [28] 刘科. 指示物与二噁英生成关联机理研究及其在线监测 [D]. 杭州: 浙江大学, 2008. 89-91.
- [29] Cheng H F, Hu Y A. Curbing dioxin emissions from municipal solid waste incineration in China: Re-thinking about management policies and practices [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158**(9): 2809-2814.
- [30] 许健, 吕永龙, 王桂莲. GIS/ES 技术在突发性环境污染事故应急管理中的应用探讨 [J]. *环境科学学报*, 1999, **19**(5): 567-571.

CONTENTS

Development of a Two Stage Virtual Impactor for Stationary Source PM ₁₀ and PM _{2.5} Sampling	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, DUAN Lei, <i>et al.</i> (3639)
Characteristics and the Impact Factors of Acid Rain in Fuzhou and Xiamen 1992-2012	ZHENG Qiu-ping, WANG Hong, CHEN Bin-bin, <i>et al.</i> (3644)
Concentration Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosol Under Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	CHEN Xiao-jing, QI Jian-hua, LIU Ning, <i>et al.</i> (3651)
Emission Characteristics and Hazard Assessment Analysis of Volatile Organic Compounds from Chemical Synthesis Pharmaceutical Industry	LI Yan, WANG Zhe-ming, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3663)
NO _x and SO ₂ Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO _x Emissions	REN Zhong-pei, ZHU Tian-le, ZHU Ting-yu, <i>et al.</i> (3669)
Application of Activated Carbon from Waste Tea in Desulfurization and Denitrification	SONG Lei, ZHANG Bin, DENG Wen (3674)
Effect of Soil Texture in Unsaturated Zone on Soil Nitrate Accumulation and Groundwater Nitrate Contamination in a Marginal Oasis in the Middle of Heihe River Basin	SU Yong-zhong, YANG Xiao, YANG Rong (3683)
Health Assessment of River Ecosystem in Haihe River Basin, China	HAO Li-xia, SUN Ran-hao, CHEN Li-ding (3692)
Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province	LIU Shu-yuan, ZHENG Chen, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3702)
Spatiotemporal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Mountainous Urban Lake	BAO Jing-yue, BAO Jian-guo, LI Li-qing (3709)
Formation of Geochemistry in Underground River Under Rainfall Conditions: An Example for Underground River at Xueyu Cave, Chongqing	WANG Feng-kang, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (3716)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and in Karst Underground River Catchment	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, TIAN Ping, <i>et al.</i> (3722)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediments from an Electrical Equipment Dismantling Area	CHEN Xuan-yu, XUE Nan-dong, ZHANG Shi-lei, <i>et al.</i> (3731)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in the Southern and Central Haihe River Basin	WANG Rui-lin, CHENG Xian, SUN Ran-hao (3740)
Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary	YANG Fu-xia, JIAN Hui-min, TIAN Lin, <i>et al.</i> (3748)
Seasonal Variation in the Absorption and Fluorescence Characteristics of CDOM in Downstream of Liaohe River	SHAO Tian-tian, ZHAO Ying, SONG Kai-shan, <i>et al.</i> (3755)
Nitrogen Uptake and Denitrification Study on the Joint Treatment of Aquatic Vegetation and Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria in Taihu Lake	LIU Dan-dan, LI Zheng-kui, YE Zhong-xiang, <i>et al.</i> (3764)
Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai	CHEN Jiao, BAI Xiao-hui, LU Ning, <i>et al.</i> (3769)
Laboratory Evaluation of Remediation of Nitrobenzene Contaminated Aquifer by Using Groundwater Circulation Well	BAI Jing, ZHAO Yong-sheng, SUN Chao, <i>et al.</i> (3775)
Sorption Characteristics of Tea Waste Modified by Hydrated Ferric Oxide Toward Pb(II) in Water	WAN Shun-li, XUE Yao, MA Zhao-zhao, <i>et al.</i> (3782)
Effects of UV Radiation on the Aggregation Performance of Small Molecular Organic Acids	WANG Wen-dong, WANG Ya-bo, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (3789)
UV Photolysis of Propranolol in Aqueous Solution: Mechanism and Toxicity of Photoproducts	PENG Na, WANG Kai-feng, LIU Guo-guang, <i>et al.</i> (3794)
Photo-catalytic Degradation of Diphenylarsinic Acid by TiO ₂ (P25)	WANG A-nan, TENG Ying, LUO Yong-ming (3800)
Effect of Carbon/Nitrogen Ratio on Short-Cut Nitrification and Denitrification of Polyurethane Biofilm Reactor	TAN Chong, LIU Ying-jie, WANG Wei, <i>et al.</i> (3807)
Distribution and Removal of Anaerobic Antibiotic Resistant Bacteria During Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge	TONG Juan, WANG Yuan-yue, WEI Yuan-song (3814)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Insecticides in Surface Soil from a Rapidly Urbanizing Region	WEI Yan-li, BAO Lian-jun, WU Cheng-zhou, <i>et al.</i> (3821)
Field Measurement of Soil Mercury Emission in a Masson Pine Forest in Tieshanping, Chongqing in Southwestern China	DU Bao-yu, WANG Qiong, LUO Yao, <i>et al.</i> (3830)
Chlorine Speciation and Concentration in Cultivated Soil in the Northeastern China Studied by X-Ray Absorption Near Edge Structure	LI Jing, LANG Chun-yan, MA Ling-ling, <i>et al.</i> (3836)
Soil Organic Carbon Storage Changes with Land Reclamation Under Vegetation Reconstruction on Opencast Coal Mine Dump	LI Jun-chao, DANG Ting-hui, GUO Sheng-li, <i>et al.</i> (3842)
Effect of Sulfur on the Species of Fe and As Under Redox Condition in Paddy Soil	TANG Bing-pei, YANG Shi-jie, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (3851)
Response of Ectomycorrhizal Fungi to Aluminum Stress and Low Potassium Soil	ZHANG Wei, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3862)
Long-Term Manure Application Induced Shift of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in Paddy Soil	HUANG Fu-yi, LI Hu, WEI Bei, <i>et al.</i> (3869)
Effect of Phosphate and Organic Acid Addition on Passivation of Simulated Pb Contaminated Soil and the Stability of the Product	ZUO Ji-chao, GAO Ting-ting, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3874)
Bioremediation of Chromium(VI) Contaminated Site by Reduction and Microbial Stabilization of Chromium	ZHENG Jia-chuan, ZHANG Jian-rong, LIU Xi-wen, <i>et al.</i> (3882)
Effect of Thermal Enhanced Soil Vapor Extraction on Benzene Removal in Different Soil Textures	LI Peng, LIAO Xiao-yong, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (3888)
Effects of Elevated O ₃ Concentration on Nitrogen in Greening Tree Species in Southern China	YANG Tian-tian, ZHANG Wei-wei, HU En-zhu, <i>et al.</i> (3896)
Effects of Nitrogen Application on Soil Greenhouse Gas Fluxes in <i>Eucalyptus</i> Plantations with Different Soil Organic Carbon Content	LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, <i>et al.</i> (3903)
Ozone Effects on Soil Microbial Community of Rice Investigated by ¹³ C Isotope Labeling	CHEN Zhan, WANG Xiao-ke, SHANG He (3911)
Enhanced Aerobic Degradation of Low Chlorinated Biphenyls by Constructing Surfactants <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 Based System	CHEN Shao-yi, ZHANG Jing, WANG Han, <i>et al.</i> (3918)
Identification of a High Ammonia Nitrogen Tolerant and Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterial Strain TN-14 and Its Nitrogen Removal Capabilities	XIN Xin, YAO Li, LU Lei, <i>et al.</i> (3926)
Isolation and Identification of Electrochemically Active Microorganism from Micro-Aerobic Environment	WU Song, XIAO Yong, ZHENG Zhi-yong, <i>et al.</i> (3933)
Characteristics of Microbial Community Structure During Isolation of Electrical Active Bacteria	WANG Min, ZHAO Yang-guo, LU Shan-shan (3940)
Predicting Copper Toxicity to <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Based on Biotic Ligand Model	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (3947)
Macrozoobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows	MA Xiu-juan, SHEN Jian-zhong, WANG Teng, <i>et al.</i> (3952)
Species Selection Methods in Deriving Water Quality Criteria for Aquatic Life	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3959)
Correlations Between HBCD and Thyroid Hormone Concentrations in Human Serum from Production Source Area	LI Peng, YANG Cong-qiao, JIN Jun, <i>et al.</i> (3970)
Preparation of Cobalt Oxide Mesoporous Metallic Oxide-Clay Composites and Their Catalytic Performance in the Oxidation of Benzene	MU Zhen, MA Chun-yan, CHENG Jie, <i>et al.</i> (3977)
Catalytic Degradation of Naphthalene by CuO(-CeO ₂)/Al ₂ O ₃	ZHA Jian, ZHOU Hong-cang, HE Du-liang, <i>et al.</i> (3984)
Toxicity Tests and Their Application in Safety Assessment of Water Quality	XU Jian-ying, ZHAO Chun-tao, WEI Dong-bin (3991)
Assessment on the COD Discharge Status of Municipal Wastewater Treatment Plant in a City of China	ZHOU Yu-hua, LU Yan-na, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (3998)
Assessment of Ecological Environment Benefits of Reclaimed Water Reuse in Beijing	FAN Yu-peng, CHEN Wei-ping (4003)
Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China	WANG Lin, LU Yong-long, HE Gui-zhen, <i>et al.</i> (4009)
Environmental Damages Assessment: Establishment of System Framework in China	ZHANG Hong-zhen, WANG Jin-nan, NIU Kun-yu, <i>et al.</i> (4015)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年10月15日 第35卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 10 Oct. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行