

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

**2012**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究 ..... 吴起鑫, 韩贵琳 (2145)

成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建 ..... 岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)

太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析 ..... 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)

环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征 ..... 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)

南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布 ..... 张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)

青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征 ..... 刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)

城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性 ..... 邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)

基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算 ..... 陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)

浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究 ..... 高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)

福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析 ..... 李雪丁 (2210)

HSPF 水文水质模型应用研究综述 ..... 李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)

城市降雨径流模拟的参数不确定性分析 ..... 黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)

利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度 ..... 姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)

嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定 ..... 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)

重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价 ..... 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张焯 (2251)

南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究 ..... 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)

宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究 ..... 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)

影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析 ..... 丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)

大型底栖动物生物评价指数比较与应用 ..... 耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)

青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征 ..... 王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)

青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征 ..... 郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)

用物理-生态集成技术局部控制富营养化 ..... 李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)

太湖氮素出入湖通量与自净能力研究 ..... 陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)

富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应 ..... 袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)

巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究 ..... 温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)

南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究 ..... 方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)

东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究 ..... 林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)

嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征 ..... 蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)

电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源 ..... 王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)

基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究 ..... 李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)

渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响 ..... 秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)

崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价 ..... 李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)

白洋淀底泥重金属形态及竖向分布 ..... 李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)

西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究 ..... 刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)

氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制 ..... 刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)

Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性 ..... 张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)

声电氧化处理扑热息痛的研究 ..... 戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)

粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究 ..... 白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)

利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究 ..... 张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)

Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究 ..... 王小蓉, 吴平霄 (2432)

核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究 ..... 武国正, 徐宗学 (2438)

A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究 ..... 翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)

系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究 ..... 蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)

氧化还原介体催化强化 *Paracoccus versutus* 菌株 GW1 反硝化特性研究 ..... 李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)

1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析 ..... 刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)

蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化 ..... 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)

双季稻田 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放特征及品种筛选研究 ..... 傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄璜 (2475)

闽江河口短叶茳芰湿地 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放对氮输入的短期响应 ..... 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)

青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征 ..... 彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)

不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律 ..... 吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)

土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响 ..... 吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)

多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应 ..... 潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)

不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究 ..... 梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)

废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究 ..... 伊元荣, 韩敏芳 (2522)

中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析 ..... 卢愿清, 史军 (2528)

《环境科学》征稿简则(2431) 《环境科学》征订启事(2532) 信息(2157, 2271, 2367, 2418)

# 南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究

方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏\*

(兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

**摘要:** 为研究典型有机污染物在南京地区的长距离输送潜力, 以  $p,p'$ -DDT、 $\gamma$ -HCH、BaP 和 HCB 为研究对象, 运用 TaPL3 模型计算了其在研究区大气及水体中的长距离输送潜力。结果表明, BaP 和  $p,p'$ -DDT 通过大气的特征迁移距离 (CTD) 较小, 分别为 198 km 和 255 km, 表现为大气污染长距离输送能力较小, 污染较难扩散; 而  $\gamma$ -HCH 和 HCB 则更倾向于通过水体或大气进行长距离输送, 其水体 CTD 分别为 91 558 km 和 19 056 km, 大气 CTD 分别为 1 858 km 和 21 104 km, 有利于其在研究区的扩散; 水对  $\gamma$ -HCH 和 HCB 的黏着度为负值, 分别为 -2.1 和 -54.86, 表明  $\gamma$ -HCH 和 HCB 更倾向于滞留在大气环境中, 其通过大气并达到稳态后在大气中的质量分数为 0.551% 和 2.2%; 通过水体且达到稳态后在大气中的质量分数为 0.149% 和 1.05%, 高于  $p,p'$ -DDT 和 BaP。

**关键词:** 南京地区; 典型有机污染物; 长距离输送潜力; 灵敏度分析; 不确定分析

**中图分类号:** X131 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)07-2330-05

## Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing

FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, MA Zi-long, LIU Min, GAO Hong

(College of Resource and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In this study, the long-range transport potentials (LRTP) of typical organic pollutants including  $p,p'$ -DDT,  $\gamma$ -HCH, BaP and HCB in air and water of Nanjing were estimated using the TaPL3 model. The research results showed that the characteristic travel distances (CTD) of BaP and  $p,p'$ -DDT through air were relatively low, 198 km and 255 km, respectively, indicating relatively low LRTP and difficulty in pollution dispersion. In contrast,  $\gamma$ -HCH and HCB tended to transport over longer distances through water and air, with CTD values of 91 558 km and 19 056 km in water and 1 858 km and 21 104 km in air, respectively, indicating that the dispersion of pollution in air and water of the studied area was relatively easy. Furthermore, the stickiness of  $\gamma$ -HCH and HCB in water was negative, and the values were -2.1 and -54.86, respectively, indicating that  $\gamma$ -HCH and HCB tended to remain in the atmosphere. The mass fractions in air after they passed air and achieved the steady state were 0.551% and 2.2%, respectively, whereas the mass fractions in air after they passed water and achieved the steady state were 0.149% and 1.05%, respectively, which were higher than those of  $p,p'$ -DDT and BaP.

**Key words:** Nanjing; typical organic pollutants; long-range transport potential; sensitivity analysis; uncertainty analysis

持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs) 具有高毒性和生物蓄积性, 能在水体或土壤中以蒸汽的形式挥发进入大气, 以气态或颗粒态形式存在。同时由于其难降解性, 因而能通过大气和水体进行长距离输送而不会被完全降解<sup>[1]</sup>。

南京地区是 20 世纪 50 ~ 60 年代我国最大的农药消耗城市之一, 且伴随着经济和人口的快速增长以及现代化工业的发展, 南京地区多环芳烃的污染状况也开始突显, 在各个环境相中都不同程度的检测到各类有机氯农药 (organochlorine pesticides, OCPs) 残留<sup>[2~4]</sup> 和多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)<sup>[5~7]</sup>。国内外有学者对持久性有机污染物在区域环境中的长距离输送潜力进行过研究, 任婷、王宣同<sup>[8,9]</sup> 等分别对兰州和天津地区的部分持久性有机污染物的长距离输送潜力进行了计

算。结果表明, 兰州地区的 2,3,7,8-TCDD 通过大气的 CTD 明显偏低, 为 126 km, 通过水体的 CTD 明显偏高, 为 6 633 km; 而天津地区  $p,p'$ -DDT 通过大气的 CTD 的结果分布比通过水体的 CTD 更集中, 其均值分别为 579 km 和 2 254 km; Wania 等<sup>[10]</sup> 利用 TaPL3 模型对 PBDEs 和 PCBs 的 CTD 计算发现, 包含少量溴原子的 PBDEs 的 CTD 与 PCBs 相当, 且溴原子较多的 PBDEs 的 CTD 则较小。但由于各研究区自然地理条件存在差异, 因而研究结果不尽相同。本研究拟以典型有机污染物:  $p,p'$ -DDT [2,2-双(4-氯苯基)-1,1,1-三氯乙烷,  $p,p'$ -dichlorodiphenyltrichloroethane],  $\gamma$ -HCH ( $\gamma$ -1,2,3,4,

收稿日期: 2011-09-28; 修订日期: 2011-10-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40971267/D010903); “春晖计划”国际合作科研项目 (Z2008-1-62025)

作者简介: 方利江 (1986 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为持久性有机污染物区域环境过程, E-mail: fljiang@yeah.net

\* 通讯联系人, E-mail: honggao@lzu.edu.cn

5,6-六氯环己烷,  $\gamma$ -hexachlorocyclohexane), BaP( 苯并[ a ] 芘, benzo[ a ] pyrene) 和 HCB( 六氯苯, hexachlorobenzene) 为对象, 运用 TaPL3 模型, 定量表征几种典型有机污染物在南京地区的长距离输送潜力, 结果对了解其在南京地区的区域环境过程及污染控制都具有一定的理论与实际指导意义, 以期为进行环境管理和环境决策提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

南京市位于长江下游中部, 江苏省西南部。 地域地理坐标为北纬  $31^{\circ}14' \sim 32^{\circ}37'$ , 东经  $118^{\circ}22' \sim 119^{\circ}14'$ , 全市行政区域总面积  $6\,582\text{ km}^2$ 。 与镇江市、扬州市、常州市及安徽省滁州市、马鞍山市、宣州市接壤, 水域面积达 11% 以上, 属北亚热带湿润气候, 四季分明, 雨水充沛, 常年平均降雨量  $1\,106.8\text{ mm}$ 。 秦淮河和滁河为南京市境内 2 条主要的长江支流, 其河谷平原为重要农业区。 南京地区的土壤在北、中部广大地区为黄棕壤, 南部与安徽省接壤处有小面积的红壤。

### 1.2 TaPL3 模型框架

该模型基于三级稳态多介质逸度模型, 以大气和水体为流动载体, 对污染物在环境中的总持久性 (overall persistence,  $P_{OV}$ ) 及长距离输送潜力 (long-range transport potential, LRTP) 进行估算。 模型建立在质量守恒与稳态假设的基础上, 假设污染源向大气或水体中稳定排放化学物质, 强度为  $1\,000\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , 忽略通过大气和水体的水平输入与输出。 环境中化学物质的消减主要为各环境相中的降解, 并且降解量和环境相中的残留量与排放量保持平衡。 化学物质进入环境后, 由逸度容量低的环境相向逸度容量高的环境相迁移, 最终达到稳定状态时, 化学物质在各环境相中的逸度相等。 模型模拟的环境介质主要包括大气、水体、土壤、沉积物、植物这 5 个环境主相, 其中植物相以蔬菜为研究对象。

### 1.3 模型参数识别

对于在各个环境相中都有分配的第 1 类化学物质<sup>[11]</sup>, TaPL3 模型共需输入 18 项污染物理化性质参数和 46 项研究区环境参数。 各目标污染物理化性质参数见文献[8,9]。 研究区主要环境参数见表 1。

## 2 结果与讨论

### 2.1 TaPL3 模拟结果

表 2、3 列出了典型有机污染物在大气和水体

介质中的特征迁移距离  $L$ , 总持久性  $t$ , 平均“跳跃”次数  $H$ , 及在各环境相中的黏着度  $S$ 。 其中气相、水相、土壤相、沉积物相和植物相分别以  $A$ 、 $W$ 、 $S$ 、 $SED$  和  $V$  表示。

表 1 研究区环境参数

参数	取值
温度/ $^{\circ}\text{C}$	15.4 <sup>[12]</sup>
大气面积/ $\text{m}^2$	$7.33 \times 10^9$ <sup>[13]</sup>
大气高度/ $\text{m}$	1 000 <sup>[14]</sup>
水体面积/ $\text{m}^2$	$7.5 \times 10^8$ <sup>[15]</sup>
水体深度/ $\text{m}$	2.48 <sup>[16]</sup>
土壤深度/ $\text{m}$	0.1 <sup>[14]</sup>
沉积物深度/ $\text{m}$	0.1 <sup>[14]</sup>
平均风速/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	9.00 <sup>[15]</sup>
水体流速/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	4.68 <sup>[17]</sup>
降水速率/ $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$	$1.23 \times 10^{-4}$ <sup>[15]</sup>
大气颗粒物浓度/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	0.194 <sup>[16]</sup>
水体悬浮物浓度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	55.61 <sup>[16]</sup>

表 2 典型有机污染物排放进入大气时 TaPL3 模型输出结果

参数	$p, p'$ -DDT	$\gamma$ -HCH	BaP	HCB
$L_A/\text{km}$	255	1 858	198	21 104
$t/\text{d}$	1 761	1 560	1 227	4 431
$H$	$9.62 \times 10^{-2}$	0.966	$8.89 \times 10^{-4}$	2.23
$S_W$	0.764	-2.1	0.996	-54.86
$S_S$	1	0.995	1	0.983
$S_V$	0.655	$5.26 \times 10^{-2}$	0.997	$5.46 \times 10^{-4}$

表 3 典型有机污染物排放进入水体时 TaPL3 模型输出结果

参数	$p, p'$ -DDT	$\gamma$ -HCH	BaP	HCB
$L_W/\text{km}$	7 877	91 558	6 725	19 056
$t/\text{d}$	1 926	2 385	2 367	4 627
$S_A$	0.913	0.963	0.913	0.993
$S_{SED}$	0.181	$1.40 \times 10^{-3}$	0.196	0.0748

从表 2 和表 3 分析, BaP 和  $p, p'$ -DDT 由于在大气中的半衰期较小, 因而其 CTD 较小, 进行长距离输送的潜力较弱, 说明其研究区污染相对较难被扩散, 更多的表现为对研究区的近源污染, 而其在水中的半衰期较大, 因而主要通过水体进行长距离输送;  $\gamma$ -HCH 和 HCB 由于在大气和水体中具有较长的半衰期, 其 CTD 较大, 长距离迁移潜力则较强, 它们能通过大气和水体扩散到较远区域, 便于污染物的扩散, 易于区域迁移而对其他区域环境产生影响。

南京属北亚热带湿润气候, 常年冬季以东北风为主, 夏季以东南风为主, 南北跨度为  $150\text{ km}$ , 中部东西宽度为  $50 \sim 70\text{ km}$ 。 从模型计算结果分析,

$p,p'$ -DDT,  $\gamma$ -HCH, BaP 和 HCB 通过大气的 CTD 分别为 255、1858、198 和 21 104 km, 具有跨区域迁移的能力. 夏季对安徽东北部及苏北部分地区的影响比较大, 冬季对安徽东南部地区影响比较大. 相对于 BaP 和  $p,p'$ -DDT,  $\gamma$ -HCH 和 HCB 的迁移距离更长, 因而在夏季可能会对河南、山西、陕西等地区产生影响, 冬季则会对江西、广东、广西等地区有部分影响. 通过水体的各化合物的 CTD 远远高于大气, 但由于南京地区河流主要注入东海, 因此其影响集中在海洋生态系统. 相关研究表明,  $p,p'$ -DDT 在南京地区大气中的含量较低, 并且逐年降解趋势比较明显<sup>[16]</sup>, 因而从其大气含量上考虑,  $p,p'$ -DDT 远距离迁移对周边省市的影响不大.

HCB 的总持久性在大气和水体中较接近, 并且普遍高于其他 3 种有机污染物, 其中  $\gamma$ -HCH 和 BaP 在水体中的总持久性近似, 在大气中则比较接近, 而其 CTD 却相差很大, 在一个对数级左右, 总持久性和 CTD 之间并没有呈现出一定的线性关系.

同时由于 HCB 较低的溶解度和大气降解速率, 其在大气中不易降解, 易于被气溶胶颗粒所吸附而发生沉降作用, 但在高挥发性的作用下, 又使其易于进入气相, 因而综合表现为“跳跃”现象较为明显.

黏着度描述化合物从大气相中沉降到地表的化合物中, 不再返回大气的那一部分, 显示化合物倾向于留在某个特定地表环境相而不返回大气相的程度<sup>[18]</sup>. 从表 2 可知, 水对  $\gamma$ -HCH 和 HCB 的黏着度为负值, 分别为 -2.1 和 -54.86. 说明  $\gamma$ -HCH 和 HCB 倾向于滞留在大气环境中, 并且 HCB 比  $\gamma$ -HCH 更容易存在于大气中, 其通过大气和水体达到稳态后在大气中的质量分数也证明这点. 通过大气并达到稳态后 HCB 在大气中的质量分数为 2.2%, 明显高于  $p,p'$ -DDT (0.067%),  $\gamma$ -HCH (0.551%), BaP (0.0748%), 通过水体且达到稳态后其质量分数为 1.05%, 而  $p,p'$ -DDT、 $\gamma$ -HCH 和 BaP 的质量分数分别为 0.0107%、0.1495% 和  $1.45 \times 10^{-4}$ %.

## 2.2 模型的灵敏度分析

参照 Mongan 等<sup>[19]</sup>提出的计算灵敏度系数的方法, 以 HCB 为例, 计算了其在研究区分别通过大气和水体时各个参数对模型输出结果的相对贡献. 各关键参数的代码见表 4, 其灵敏度系数见图 1.

由图 1 可知, 辛醇-水分配系数的对数对通过大气和水体的 CTD 的负影响较大, 分析原因可能是化合物进行长距离输送时, 由于  $\lg K_{ow}$  值较大, 化合物较易进入水体悬浮物、土壤、沉积物、植物等环境介

表 4 灵敏度分析中各关键参数的意义

Table 4 Meanings of the key parameters in the sensitivity analysis			
参数	代码	参数	代码
摩尔质量	X1	雨率	X13
沉积物中的半衰期	X2	沉积物中的半衰期	Y1
沉积物中降解活化能	X3	沉积物中降解活化能	Y2
辛醇-水分配系数的对数	X4	辛醇-水分配系数的对数	Y3
熔点	X5	熔点	Y4
气-水分配的焓变	X6	温度	Y5
温度	X7	水体深度	Y6
大气高度	X8	沉积物中水相体积分数	Y7
沉积物中水相体积分数	X9	水中鱼类体积分数	Y8
叶面面积指数	X10	水体流速	Y9
风速	X11	沉积物沉降速率	Y10
水侧气/水质量迁移系数	X12	雨率	Y11

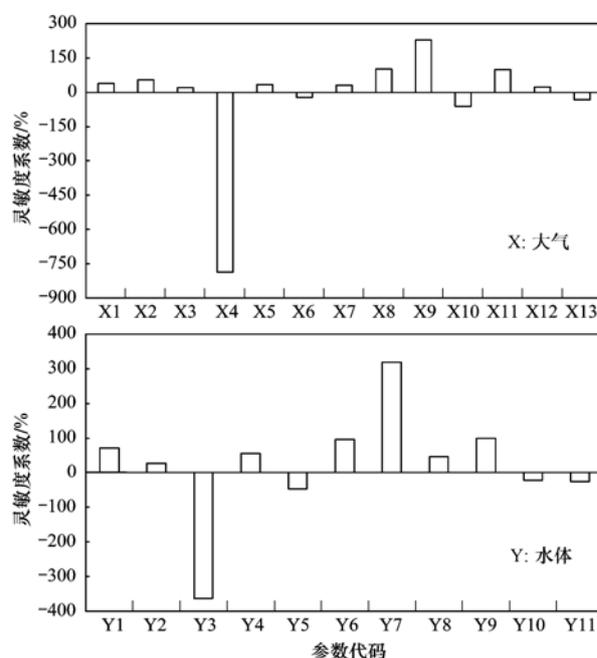


图 1 通过大气和水体的 CTD 的关键参数的灵敏度

Fig. 1 Sensitivity of key parameters of CTD in air and water

质, 导致其在大气和水体中衰减的速率更快, 因而减弱其通过大气和水体的 CTD 值. 大气高度、沉积物中水相的体积分数和风速及水体深度、沉积物中水相的体积分数和水体流速分别对 HCB 通过大气和水体进行长距离输送具有正影响.

## 2.3 模型的不确定分析

以 HCB 为例, 运用蒙特卡罗方法对模型进行了不确定分析, 模型输出的大气和水体的 CTD 值符合正态分布规律, 见图 2.

从模型输出结果的分布可知, 通过大气的 CTD 对数值主要分布于区间 4.05 ~ 4.42 之间, 小于研究区实际计算的对数值 4.32. 原因主要是通过大气的 CTD 的关键参数中, 起负影响作用的参数占主导地

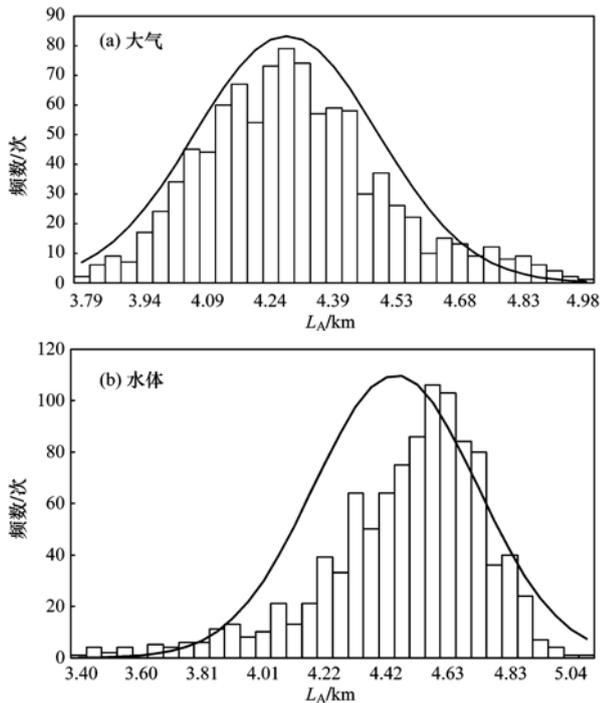


图2 经对数变换的通过大气和水体的CTD频率分布

Fig. 2 Log-normal distribution of CTD in air and water

位,在这些参数的影响下,使模型输出结果大部分偏小于实际值。而通过水体的CTD由于关键参数的正影响作用比较大,使得模型不确定对数值主要分布于4.17~4.88,高于实际通过水体的计算对数值4.28。

#### 2.4 与国内外研究比较

Beyer<sup>[20]</sup>利用模型计算得到的HCB通过大气和水体的CTD和本研究相比较,计算结果比较接近,均小于1个对数单位。其中南京地区HCB的 $L_A$ 低于Beyer的计算结果0.72个对数级,而 $L_W$ 则高于0.87个对数级。分析原因主要是Beyer计算时所需的环境参数为“EQC标准环境”,而非实际环境参数<sup>[21]</sup>。对模型结果影响较大的风速,水体流速,水体深度等环境参数,EQC环境和南京地区有较大差别,分别为 $14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $9.00 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , $3.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $4.68 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,20 m和2.48 m。而从灵敏度分析结果可知,南京地区的环境参数对 $L_A$ 和 $L_W$ 值的影响比理化参数大(表5)。兰州地区的HCB计算结果则与本研究相似,南京地区略高于兰州地区,其 $L_A$ 和 $L_W$ 值分别相差0.20和0.06个对数级。

表5 不同地区通过大气和水体的CTD值

Table 5 CTD values in air and water of different regions

研究区域	$L_A/\text{km}$	$L_W/\text{km}$
EQC标准环境	110 000	2 600
南京地区	21 104	19 056
兰州地区 <sup>[4]</sup>	13 307	16 658

### 3 结论

(1)BaP和 $p,p'$ -DDT在大气中的CTD较小,污染不易扩散,其主要表现为通过水体进行长距离输送,而 $\gamma$ -HCH和HCB则更倾向于通过大气和水体进行长距离输送,利于在研究区的扩散。

(2) $p,p'$ -DDT、 $\gamma$ -HCH、BaP和HCB夏季对安徽东北部及苏北部分地区的影响比较大,冬季对安徽东南部地区影响比较大。由于 $\gamma$ -HCH和HCB的大气迁移距离更长,因而在夏季可能会对河南、山西、陕西等地区产生影响,冬季则会对江西、广东、广西等地区有部分影响。

(3)水对 $\gamma$ -HCH和HCB的黏着度为负值,分别为-2.1和-54.86。表明 $\gamma$ -HCH和HCB倾向于滞留在大气环境中。通过大气和水体并达到稳态后在大气中的质量分数明显高于 $p,p'$ -DDT和BaP。

#### 参考文献:

- [1] Wania F, Mackay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutants [J]. Environmental Science & Technology, 1996, 30(9): 390A-396A.
- [2] 安琼,董元华,王辉,等.南京地区土壤中有机氯农药残留及其分布特征[J].环境科学学报,2005,25(4):470-474.
- [3] 郜红建,蒋新.有机氯农药在南京市郊蔬菜中的生物富集与质量安全[J].环境科学学报,2005,25(1):90-93.
- [4] 许士奋,蒋新,冯建,等.气相色谱法测定长江水体悬浮物和沉积物中有机氯农药的残留量[J].环境科学学报,2000,20(4):494-498.
- [5] 谢鸣捷,王格慧,胡淑圆,等.南京夏秋季大气颗粒物和PAHs组成的粒径分布特征[J].中国环境科学,2008,28(10):867-871.
- [6] 李秋歌,赵欣,Li A,等.南京大气中多环芳烃的相分布[J].环境科学与技术,2007,30(4):34-39.
- [7] Wang G H, Huang L M, Zhao X, et al. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons of atmospheric aerosols in five locations of Nanjing urban area, China [J]. Atmospheric Research, 2006, 81(1): 54-66.
- [8] 任婷,马祥林,杨志群,等.兰州地区典型有机污染物长距离迁移及其总持久性模拟[J].环境科学研究,2010,23(1):62-67.
- [9] 王宣同,唐孝炎,胡建信.利用TaPL3模型计算 $p,p'$ -DDT在天津地区的长距离传输潜力[J].环境科学学报,2005,25(4):491-496.
- [10] Wania F, Dugani C B. Assessing the long-range transport potential of polybrominated diphenyl ethers: a comparison of four multimedia models [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2003, 22(6): 1252-1261.
- [11] Mackay D, Guardo A D, Paterson S, et al. Evaluating the environmental fate of a variety of types of chemicals using the

- EQC Model [ J ]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1996, **15**(9): 1627-1637.
- [12] 中国气象局. 中国气象科学数据共享服务网: 中国(1971-2000年)气候标准值[EB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn/shishi/climate.jsp?stprovid=江苏&station=58238>, 2009-04-05.
- [13] 南京统计局. 南京统计年鉴[EB/OL]. <http://www.njtj.gov.cn/2004/2007/zonghe/index.htm>.
- [14] Mackay D. *Multimedia environmental models: the fugacity approach*[M]. Chelsea, MI: Lewis Pub, 1991/2001.
- [15] 中国农业全书总编辑委员会. 中国农业全书 江苏卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 112-135.
- [16] 方利江, 柳敏, 李向阳, 等. 南京地区 DDTs 跨界面迁移与归趋的研究[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(2): 307-315.
- [17] 刘国金, 王志辉, 马召坤, 等. 多介质逸度模型研究鄱阳湖流域  $p, p'$ -DDT[J]. *江西科学*, 2007, **25**(2): 141-146.
- [18] 姚焕炬. 基于逸度模型的持久性有机污染物多介质环境行为与生态风险研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009. 34-35.
- [19] Mongan M G, Henrion M, Small M. *Uncertainty-a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis* [M]. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1990.
- [20] Beyer A, Mackay D, Matthies M, *et al.* Assessing long-range transport potential of persistent organic pollutants [ J ]. *Environmental Science and Technology*, 2000, **34**(4): 699-703.
- [21] 王宣同. 基于长距离输送潜力的杀虫剂类 POPs 毒性潜力研究——以 DDT 为例[D]. 北京: 北京大学, 2005. 33-34.

## CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China .....	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring .....	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements .....	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai .....	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China .....	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao .....	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant .....	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model .....	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i> .....	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years .....	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes .....	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling .....	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake .....	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiashan .....	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing .....	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China .....	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake .....	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales .....	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment .....	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau .....	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau .....	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering .....	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu .....	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate .....	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake .....	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing .....	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants .....	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing .....	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area .....	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study .....	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay .....	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming .....	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake .....	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors .....	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Removal in Drinking Water Biofilter .....	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane .....	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation .....	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration .....	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater .....	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN .....	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body .....	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process .....	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System .....	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1 .....	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production .....	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i> .....	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields .....	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary .....	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province .....	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition .....	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils .....	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial .....	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops .....	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid .....	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China .....	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

# 《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)

2012年7月15日 33卷 第7期

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行