

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋(45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴(182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓(188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)
多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟(302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌(401)
《环境科学》征订启事(26)	《环境科学》征稿简则(68)
信息(76,144,301,400)	专辑征稿通知(394)

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究

窦红颖, 王书肖*, 王龙, 张磊, 郝吉明

(清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

摘要: 利用 Tekran 2537B 大气汞分析仪于 2009 年 9 月 15 日~2009 年 12 月 17 日对上海崇明岛大气气态总汞(TGM)进行了连续监测. 监测期间, 崇明地区气态总汞的平均含量为 $2.50 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3} \pm 1.50 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 高于北半球背景浓度 $1.5 \sim 1.7 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 月均浓度 9 月 < 10 月 < 11 月 < 12 月. 9~12 月, 崇明地区气态总汞含量的日变化规律为上午 08:00~10:00 出现峰值, 白天气态总汞浓度水平与夜间基本一致. 崇明地区气态总汞含量和一氧化碳含量具有较好的相关性, 表明崇明地区大气汞主要来自火电厂和工业锅炉的燃煤排放. 从风向和后向轨迹模型分析的结果来看, 崇明岛的大气汞主要来自西部的大陆地区, 尤其是位于崇明西北部的江苏、山东等地. 9 月和 10 月盛行来自海面的东风, 因而气态总汞含量较低, 11 月和 12 月盛行来自大陆工业区的西北风, 导致崇明气态总汞含量较高.

关键词: 气态总汞; 长江三角洲; 秋冬季; 日变化; 后向轨迹

中图分类号: X131.1; X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0001-07

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China

DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, ZHANG Lei, HAO Ji-ming

(State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The ambient concentrations of total gaseous mercury (TGM) in Chongming Island, Shanghai, were continuously observed using the Tekran 2537B mercury analyzer from 15th September to 17th December, 2009. The average concentration of TGM during our observation is $(2.50 \pm 1.50) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, much higher than the background TGM of north hemisphere. The TGM concentration increased from September to December. During September to December, the concentration peaks appear during 08:00-10:00 am and the daytime TGM concentration approximately equaled that in the night. The TGM in Chongming significantly correlated with concentrations of CO, which indicates that TGM most likely comes from the coal combustion of power plants and industrial boilers. The back trajectory analysis demonstrates the atmospheric mercury in Chongming Island mainly comes from inland China, especially Jiangsu province and Shandong province which locate in the northwest of Chongming. The mercury concentrations are lower in September and October since the airflow is mainly from the eastern ocean. In November and December, the atmospheric mercury content is much higher because the northwest wind brings the pollutants from the western industrial areas.

Key words: total gaseous mercury; Yangtze River Delta; autumn and winter; daily variation; back trajectory analysis

大气中的汞有 3 种存在形式: 气态元素汞(gaseous elemental mercury, GEM), 活性气态汞(reactive gaseous mercury, RGM), 颗粒态汞(particulate mercury, HgP). 气态元素汞和活性气态汞总称为气态总汞(total gaseous mercury, TGM), 其中气态元素汞占气态总汞含量的 95% 以上, 在大气中的停留时间为 $0.5 \sim 2 \text{ a}$ ^[1]. 燃煤(包括燃煤电厂、工业锅炉和家庭用煤)和金属冶炼(包括锌、铅、铜、金等)是我国两个主要的人为汞排放源^[2]. 经济的高速增长使得对于能源和工业原料的需求大大增加, 从而导致我国每年向大气中排放的汞也不断增加^[3]. 从 1995~2003 年, 我国人为汞排放量以每年 2.9% 的幅度增加, 并在 2003 年达到 696 t ^[4].

20 世纪 80 年代, 由于在北欧和北美的偏远湖

泊中发现高甲基汞含量的鱼类, 汞被正式确定为一种可以通过大气进行长距离传输的全球性污染物^[5,6]. 由此, 大气汞的研究受到了国际上的广泛关注. Fitzgerald^[7] 于 1995 年首先提出了建立全球范围的大气汞网络(atmospheric mercury network, AMNET)的设想. 之后, 在北半球和南半球相继开展了大量的大气汞监测工作, 其中以欧洲^[8~10]和北美^[11~14]的大气汞监测网络最为完善, 站点最多. 我国日益严峻的汞污染形势也吸引了大批研究者的注意, 尽管我国大气汞的监测工作起步较晚, 但近年来

收稿日期: 2012-03-12; 修订日期: 2012-05-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(20937002)

作者简介: 窦红颖(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向大气汞监测, E-mail: douhy77@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: shxwang@tsinghua.edu.cn

也有一些城市和背景区域的大气汞监测结果相继被报道,如贵阳^[15]、北京^[16]、上海^[17],以及贡嘎山^[18]、长白山^[19]和雷公山^[20]等。崇明岛位于我国东部沿海,地处长江入海口,是我国东部大气输出口,研究当地的大气汞含量对于分析我国的大气汞输出具有重要的意义。

1 研究区概况

本研究中观测站点(图1中圆点所示)位于上海市崇明东滩湿地鸟类保护区管理处大楼楼顶(北纬 $31^{\circ}31'20''$,东经 $121^{\circ}54'30''$,高度约11 m),距离东滩湿地约5 km。崇明东滩鸟类保护区是国家级自然保护区,主要保护对象为迁徙鸟类及其栖息地。保护区位于崇明岛(中国第三大岛)的最东端,地处长江入海口,远离市区,受大陆风和海风影响。崇明岛地处北亚热带南缘,属海洋性气候。全年温和湿润,四季分明,冬季干冷,盛行偏北风,夏季湿热,盛行东南风,春秋季节是气候转换的季节,具有明显的季风气候的特点。崇明东滩的年平均气温为 15.3°C ,7月和8月平均气温 27.5°C ;1月最冷,月平均气温 2.9°C 。



图1 监测站点地理位置示意

Fig. 1 Location of sampling site in Chongming Island

2 研究方法

2.1 采样时间及方法

崇明大气气态总汞的监测工作于2009年9月15日~2009年12月17日期间进行。利用加拿大Tekran公司生产的Tekran 2537B大气汞分析仪对大气气态总汞进行24 h的连续监测。Tekran 2537B是目前国际通用的测定环境大气气态总汞含量的仪器。该仪器的基本原理是以一定的流速(通常为 $1\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$)进行空气采样,当空气通过仪器内部的金管时,空气中的气态总汞被富集在金管中,采样时间一般为5 min。采样结束后进入分析阶段,通过加

热线圈对富集了汞的金管进行加热,使金管中富集的汞热解析出,再用冷原子荧光法测定汞含量。该仪器的最低检出浓度为 $0.10\text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$,远低于大气中的气态总汞浓度。

监测站安装了戴维斯气象站对温度、风向、风速以及太阳辐射等常规气象参数进行监测,以提供和大气汞监测数据同步的气象数据。另外还利用Thermo公司生产的Model 48i-TLE一氧化碳分析仪进行CO的监测。

2.2 数据质量控制

仪器的数据质量通过仪器本身的自动校正和利用外置汞源的手动校正进行控制。Tekran2537B内置标准汞蒸气发生源,每25 h进行一次自动校正,保证大气气态总汞的含量得到准确的测定。手动校正利用Tekran2505产生标准汞蒸气,将零气(不含汞的空气)通入采样口,然后吸取已知含量的汞蒸气注射到Tekran2537B中进行测定,将测定的汞浓度和计算值进行比较,并根据测量结果作标准曲线。

3 结果与讨论

3.1 大气汞含量基本特征

从2009年9月15日~2009年12月17日整个采样期间,共获得大气气态总汞(TGM)小时平均数据2111个(图2)。采样期间气态总汞的平均浓度为 $2.50\text{ ng}\cdot\text{m}^{-3} \pm 1.50\text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$,高于北半球大气气态总汞背景值 $1.5 \sim 1.7\text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[21],这表明崇明地区受到了一定程度的大气汞污染。较大的标准偏差表明当地气态总汞的浓度波动较大。

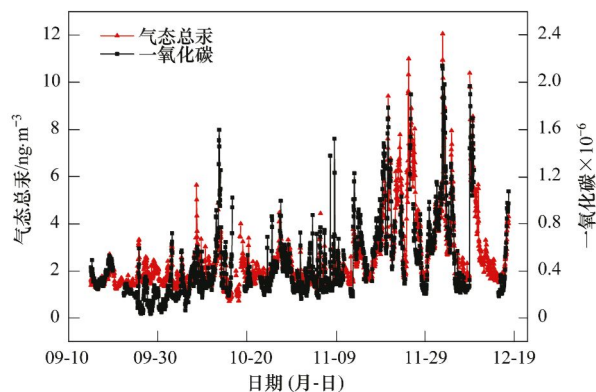


图2 崇明地区大气气态总汞和一氧化碳的时间分布

Fig. 2 Time series for TGM concentration and CO concentration in Chongming Island

表1为崇明地区大气气态总汞月均含量的分布情况,从中可以看出从9~12月,气态总汞含量逐月增加,9月和10月气态总汞含量较低,11月和12月

气态总汞含量则较高. 另外从标准偏差可以看出, 9 月和 10 月崇明气态总汞含量相对稳定, 波动较小 (标准偏差分别为 0.34 和 0.66), 11 月和 12 月气态总汞含量变化明显, 波动较大 (标准偏差分别为 1.73 和 1.98), 最大小时平均浓度分别达到 $10.99 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $12.05 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 说明 11 月和 12 月崇明大气汞含量受到更多的人为活动影响.

表 1 崇明地区大气气态总汞含量统计/ $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$

Table 1 Statistical summary of TGM concentration in Chongming Island/ $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$					
月份	样品数	平均值	最小值	最大值	标准偏差
9	383	1.69	1.23	3.32	0.34
10	643	1.99	0.70	5.64	0.66
11	688	2.96	1.19	10.99	1.73
12	397	3.31	1.43	12.05	1.98

3.2 大气气态总汞日变化规律

图 3 显示了崇明地区不同月份气态总汞的日变化规律. 为了避免重污染时段的影响, 气态总汞的日变化规律采用中值进行分析. 崇明 9 月的各气象条件比较稳定, 昼夜温差小, 气态总汞的浓度在北半球背景浓度水平附近上下波动, 日变化幅度非常小, 10 ~ 12 月气态总汞浓度更高, 日变化规律也更加显著. 9 ~ 12 月气态总汞均在上午 08:00 ~ 10:00 出现峰值, 原因为昼夜大气边界层高度的变化, 夜间温度和风速均低于白天, 边界层较低, 不利于大气污染物的扩散, 边界层内的气态总汞不断累积, 浓度从夜间开始不断升高, 日出以后随着温度和风速的增加, 边界层高度逐渐增加, 大气中的气态总汞浓度开始扩散降低.

11 月除了在上午 10:00 出现了气态总汞的浓度峰值, 在夜间 23:00 也出现了峰值, 气态总汞的浓度从 21:00 开始升高, 在 23:00 达到峰值, 从 21:00

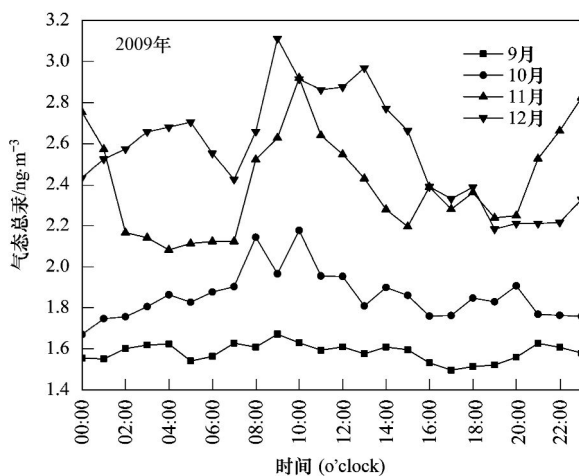


图 3 崇明地区大气气态总汞含量的日变化

Fig. 3 Daily variation of TGM in Chongming Island

~次日 01:00 气态总汞均处于较高的浓度水平. Schmolke 等^[22]研究者在欧洲的一些监测站点也发现了类似的气态总汞日变化规律, 研究认为夜间或清晨出现的气态总汞峰值与汞在夜间大气逆温层中的累积有关. 12 月高浓度气态总汞更多地出现在夜间 (21:00 ~ 03:00), 由于这一时段大气边界层高度低, 从而更容易发生重污染过程.

监测期间崇明气态总汞白天和夜间的平均浓度没有明显差异, 仅 10 月和 11 月白天略高于夜间. 主要原因是边界层高度引起的扩散条件和源排放强度的影响相互抵消. 白天工厂投入运行增加了人为源的汞排放, 另外白天较高的温度和光照 (图 4) 也促进土壤和水体中汞的释放^[23,24], 增加了自然源的汞排放, 但白天的气象条件更有利于污染物的扩散; 夜间土壤和水体释放汞强度大大降低, 电厂和锅炉燃煤排放的汞也大大减少, 但处于不利的扩散条件, 大气中的汞更容易累积.

3.3 污染来源分析

崇明岛受大陆风和海洋风影响, 风向和风速是影响大气汞含量分布的重要因素. 图 5 表示了监测期间崇明地区风向相对频率分布和大气气态汞含量的风向分布, 可以看出, 9 月盛行东南风, 10 月风向变换较为频繁, 但主要为来自东北、正东和正南方向的海洋风, 11 月和 12 月则盛行来自西北方向的大陆风. 从图 5(b) 可以看出, 来自东部海面的海洋风较为清洁, 因而 9 月和 10 月气态总汞含量较低; 来自大陆的西北风则携带了大量大气汞, 导致 11 月和 12 月崇明气态总汞含量较高. 另外, 从图 5(b) 可以看出 11 月和 12 月均在西南风向上表现出较高的气态总汞浓度, 这是因为来自上海市区的西南风也携带了大量气态汞, 但由于西南风向并非主导风向, 因而上海市区并不是这段时间崇明地区大气汞的主要来源. 需要指出的是, 11 月在东南风向上也显示了较高的气态总汞含量, 而风向相对频率很低, 推测为来自东北的风在接近监测点时在局地发生偏转, 变为东南风, 具体的论证将在 3.4 节中利用后向轨迹模型进行.

崇明岛西北方向为境内拥有大量火电厂的江苏、山东、河北等省, 燃煤污染是大气汞的主要来源, 所以监测期间崇明地区的大气汞污染主要受崇明西北各省的燃煤电厂排放的大气汞影响. 监测期间崇明地区气态总汞和一氧化碳具有很好的相关性 (图 6), 相关系数为 0.88, 进一步表明燃煤排放为崇明地区大气汞的主要来源. 图 6 为采样期间崇明

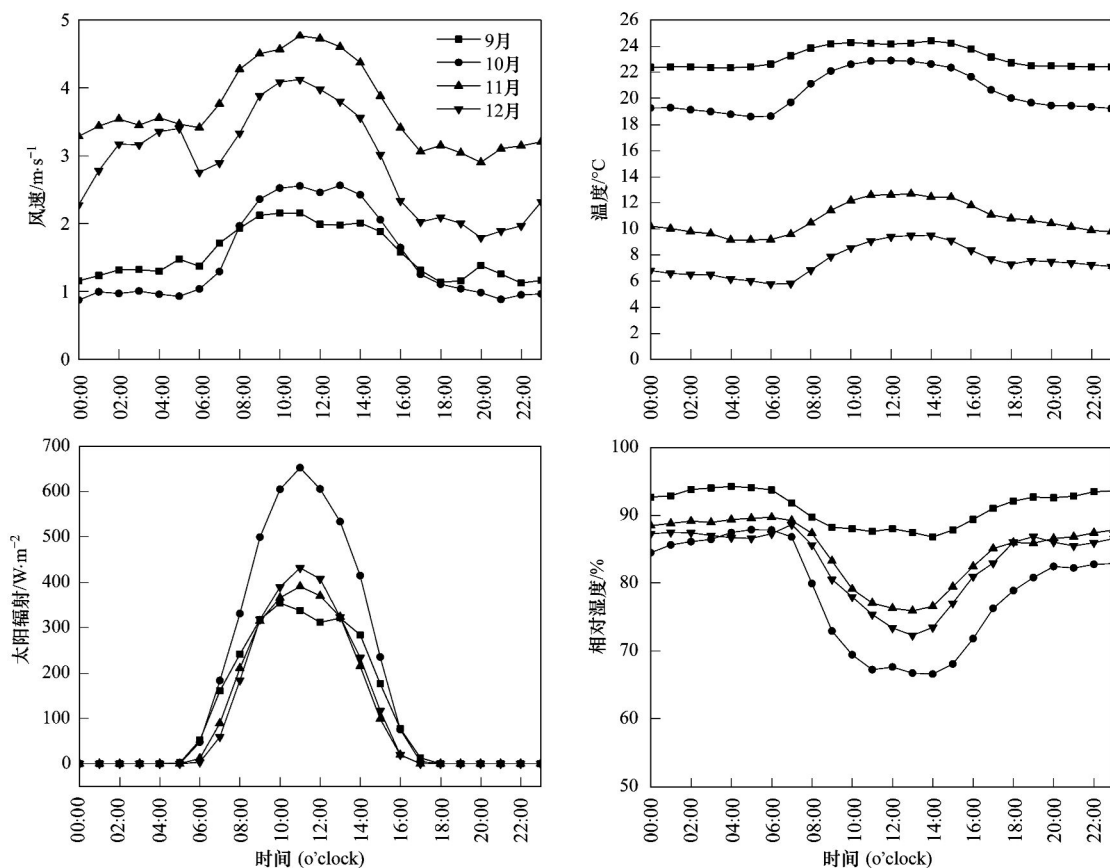


图4 崇明地区气象条件(风速、温度、太阳辐射强度、湿度)的日变化

Fig. 4 Daily variation of meteorological conditions (wind speed, temperature, solar radiation, humidity) in Chongming Island

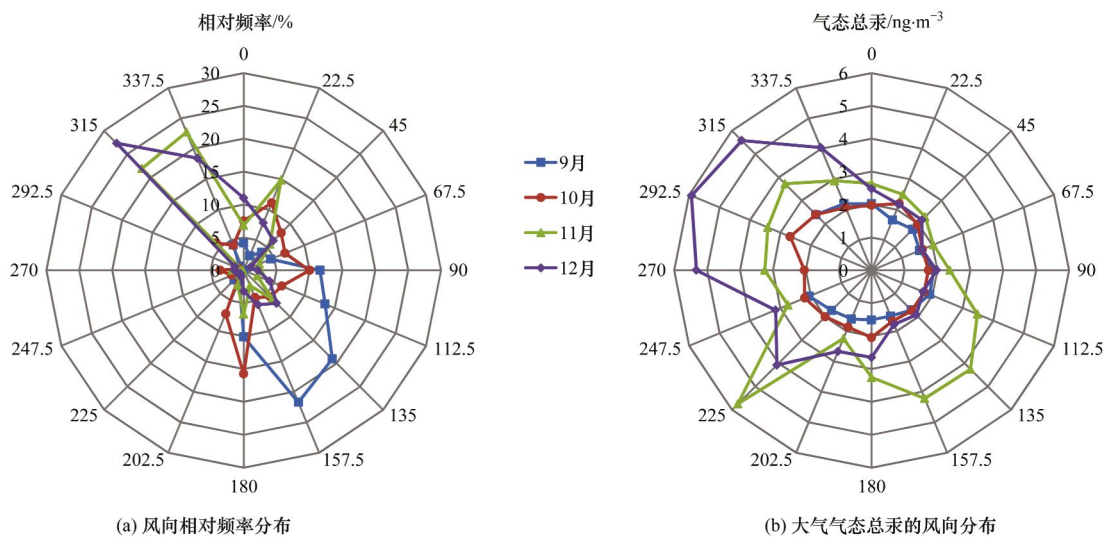


图5 监测期间崇明地区风向相对频率分布和大气气态汞含量的风向分布

Fig. 5 Frequency distribution of wind directions and concentration distribution of TGM at wind directions in Chongming Island

地区各月份气态总汞和一氧化碳的相关关系,相关性为9月<10月<11月<12月,9月和10月气态总汞和一氧化碳的相关系数较小,相关性较弱,表明这两个月崇明地区大气汞人为源排放影响较小;11

月和12月气态总汞和一氧化碳高度相关,表明这段时间崇明地区大气汞主要受人为源排放影响.

3.4 典型污染过程的后向轨迹分析

从图2可以看出,从11月19日~12月12日,

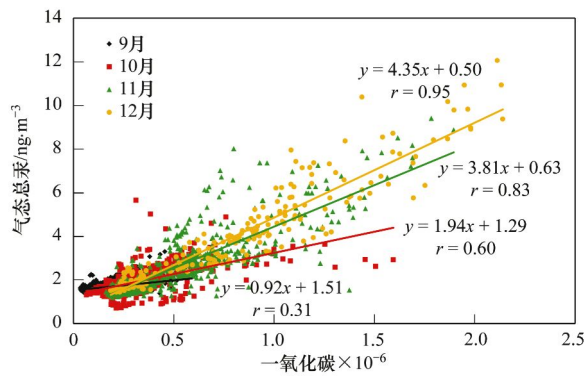


图6 崇明地区气态总汞和一氧化碳的相关关系

Fig. 6 Relationship between TGM concentration and CO concentration

崇明地区连续出现了几个重污染过程,因此将这一段时间气态总汞的 5 min 监测数据列出,以便进行更深入的分析,如图 7 所示. 从中可以看出,11 月 24~27 日,崇明地区经历了一个历时较长的重污染过程,这段时间崇明地区的风向变化较为频繁,且 3.3 节中提及的东南风向上出现的高浓度现象也主要发生在这段时间(11 月 26 日 06:00~23:00),所以利用美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)空气资源实验室(Air Resource Laboratory, ARL)的 HYSPLIT 后向轨迹模型对这段时间进行了后向轨迹分析,分析结果如图 8 所示.

根据气态总汞的监测结果,11 月 24 日 21:00 之前气态总汞浓度处于较低水平($< 3 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$),从图 8(a)可以看出,这段时间,气流主要来自东海海面;之后,来自海面的气流开始向陆地偏转,经过浙江时气流中的汞含量增加,崇明地区的气态

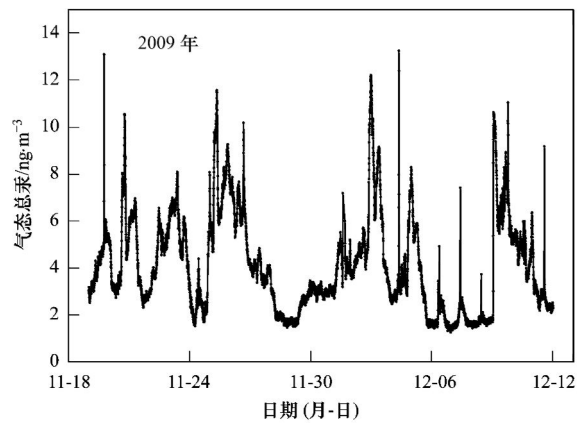


图7 崇明地区重污染时段气态总汞 5 min 平均含量的时间分布

Fig. 7 Time series for 5 min average TGM concentration in Chongming Island

总汞含量也随之升到了 $5 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上;至 11 月 25 日 05:00,气流主要来自福建省,并途径浙江省[图 8(a)中红线和蓝线所示],崇明地区的气态总汞含量进一步升至 $9 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上. 从 11 月 25 日 08:00[图 8(b)],崇明地区的风向继续顺时针偏转,气流主要来自浙江、安徽和江苏;从 11 月 25 日 20:00 开始,气流主要来自山东,并在海面改变方向从东北方向进入崇明地区;期间崇明地区气态总汞一直保持较高浓度($\sim 8 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$). 从图 8(c)可以看出,11 月 26 日 05:00~23:00 崇明地区持续东南风,气流主要来自江苏,在海面发生了 180° 偏转变成东南风将来自江苏的高浓度汞气流吹向崇明,造成该时段崇明地区气态总汞保持在较高浓度($6.03 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$).

对其它重污染时段进行后向轨迹分析的结果表明,崇明大部分重污染过程中的大气汞来自于崇

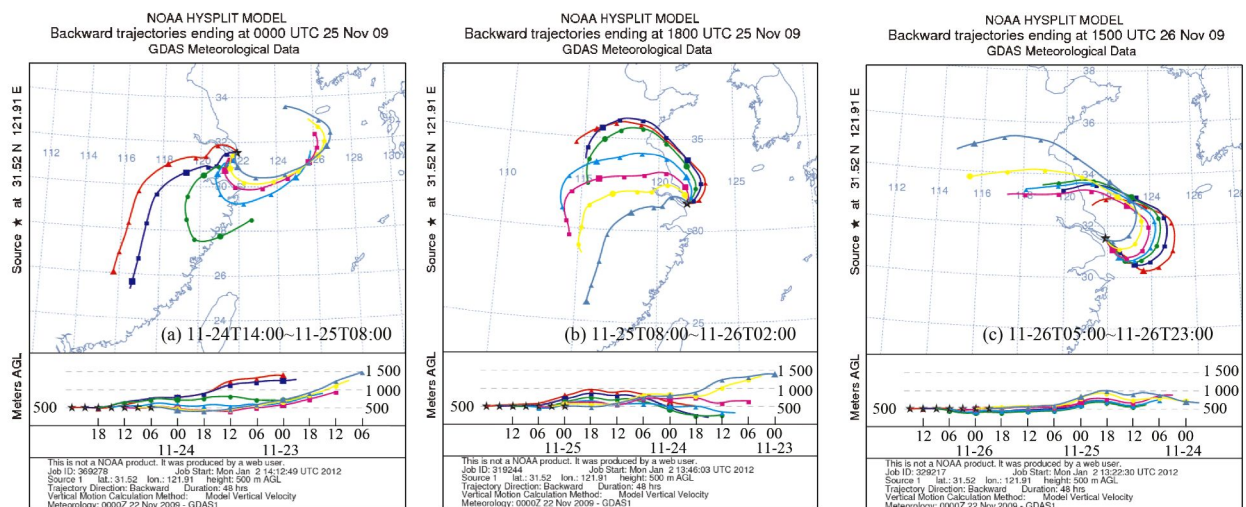


图8 崇明地区后向轨迹分析结果

Fig. 8 HYSPLIT model results for Chongming Island

明西北部的江苏和山东. 12月3日出现的重污染过程主要受来自我国北方的内蒙、河北等地的影响. 12月9日的重污染过程, 崇明的高浓度大气气态总汞主要来自江苏, 此外, 位于崇明西部的浙江、安徽和江西等地也有一定的贡献.

3.5 与其他监测站点的比较

表2列出了国内外一些城市点和背景点的大气

汞监测结果(TGM和GEM, GEM占TGM 95%以上). 监测期间, 崇明站的TGM浓度远低于国内的城市TGM浓度, 与国外一些城市相比, 崇明TGM的含量也较低. 崇明的TGM浓度低于国内长白山、贡嘎山和雷公山等部分背景点的监测结果, 但高于国外的一些背景点, 如日本的冲绳以及美国的Great Mountain Forest.

表2 国内外城市和背景点TGM和GEM监测结果统计

Table 2 Statistical summary of TGM/GEM at urban and rural locations in China and abroad

项目	地点	监测项目	浓度/ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$	采样时间	文献
城市	贵阳	TGM	8.4	2001-11~2002-11	[15]
	北京	GEM	8.3 ± 3.6	2005-01	[16]
			6.5 ± 5.2	2005-04	
			4.9 ± 3.3	2005-07	
			6.7 ± 3.5	2005-10	
	广州	GEM	13.5 ± 7.1	2005-01	[16]
	长三角地区	GEM	5.4 ± 4.1	2005-09	[16]
	上海	TGM	2.7 ± 1.7	2009-09	[17]
	韩国首尔	TGM	3.22 ± 2.10	2005-02~2006-02	[25]
	美国芝加哥	GEM	3.6 ± 2.9	1994-07~1995-10	[11]
背景	瓦里关	GEM	1.7 ± 1.1	2005-08	[16]
			0.6 ± 0.08	2005-12	
	贡嘎山	TGM	3.98	2005-05~2006-06	[18]
	长白山	TGM	3.22 ± 1.78	2005-08~2006-07	[19]
	雷公山	GEM	2.80 ± 1.51	2008-05~2009-05	[20]
	日本冲绳	GEM	2.04 ± 0.38	2004-03~2004-05	[26]
	Great Mountain Forest, 美国康涅狄格州	TGM	$1.4 \sim 1.6$	1999~2004	[12]

4 结论

(1) 监测期间崇明岛大气气态总汞平均含量 $2.50 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3} \pm 1.50 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 高于北半球背景值. 月变化规律: 9月<10月<11月<12月, 9月和10月气态总汞浓度较低, 受人为源影响较小; 11月和12月浓度较高, 受人为源影响较大.

(2) 崇明地区气态总汞含量表现出一定的日变化规律, 在上午08:00~10:00出现峰值, 白天与夜间气态总汞浓度无明显差异.

(3) 9月和10月崇明岛盛行来自海面的东风, 大气汞含量较低; 11月和12月来自大陆的西北风为主导风向, 携带大量来自江苏、山东等地燃煤排放的汞, 导致这段时间崇明大气汞含量较高.

参考文献:

- [1] Schroeder W H, Munthe J. Atmospheric mercury-An overview [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**(5): 809-822.
- [2] Streets D G, Hao J M, Wu Y, *et al.* Anthropogenic mercury emissions in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(40): 7789-7806.
- [3] Pirrone N, Cinnirella S, Feng X, *et al.* Global mercury

emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(13): 5951-5964.

- [4] Wu Y, Wang S X, Streets D G, *et al.* Trends in anthropogenic mercury emissions in China from 1995 to 2003 [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, **40**(17): 5312-531.
- [5] Meili M. The coupling of mercury and organic-matter in the biogeochemical cycle-towards a mechanistic model for the boreal forest zone [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, **56**(1): 333-347.
- [6] Lindqvist O, Johansson K, Bringmark L, *et al.* Mercury in the Swedish environment-recent research on causes, consequences and corrective methods [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, **55**(1-2): 23-32.
- [7] Fitzgerald W F. Is mercury increasing in the atmosphere? The need for an atmospheric mercury network (AMNET) [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, **80**(1-4): 245-254.
- [8] Kock H H, Bieber E, Ebinghaus R, *et al.* Comparison of long-term trends and seasonal variations of atmospheric mercury concentrations at the two European coastal monitoring stations Mace Head, Ireland, and Zingst, Germany [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(39): 7549-7556.
- [9] Wängberg I, Munthe J, Berg T, *et al.* Trends in air

- concentration and deposition of mercury in the coastal environment of the North Sea Area [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(12): 2612-2619.
- [10] Pirrone N, Ferrara R, Hedgecock I M, *et al.* Dynamic processes of mercury over the Mediterranean region: results from the Mediterranean Atmospheric Mercury Cycle System (MAMCS) project[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(S1): 21-39.
- [11] Landis M S, Vette A F, Keeler G J. Atmospheric mercury in the Lake Michigan basin: Influence of the Chicago/Gary urban area [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(21): 4508-4517.
- [12] Sigler J M, Lee X. Recent trends in anthropogenic mercury emission in the northeast United States [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, **111**: D14316, doi: 10.1029/2005JD006814.
- [13] Han Y J, Holsen T M, Lai S O, *et al.* Atmospheric gaseous mercury concentrations in New York State: relationships with meteorological data and other pollutants [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(37): 6431-6446.
- [14] Sprovieri F, Pirrone N, Ebinghaus R, *et al.* A review of worldwide atmospheric mercury measurements[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(17): 8245-8265.
- [15] Feng X B, Shang L H, Wang S F, *et al.* Temporal variation of total gaseous mercury in the air of Guiyang, China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**: D03303.
- [16] Wang Z W, Chen Z S, Duan N, *et al.* Gaseous elemental mercury concentration in atmosphere at urban and remote sites in China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**(2): 176-180.
- [17] Friedli H R, Arellano A F Jr, Geng F, *et al.* Measurements of atmospheric mercury in Shanghai during September 2009 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(8): 3781-3788.
- [18] Fu X W, Feng X, Zhu W, *et al.* Total gaseous mercury concentrations in ambient air in the eastern slope of Mt. Gongga, South-Eastern fringe of the Tibetan plateau, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(5): 970-979.
- [19] 万奇, 冯新斌, 郑伟, 等. 长白山地区大气气态总汞含量的季节性特征研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(2): 296-299.
- [20] Fu X W, Feng X, Dong Z Q, *et al.* Atmospheric gaseous elemental mercury (GEM) concentrations and mercury depositions at a high-altitude mountain peak in south China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(5): 2425-2437.
- [21] Lindberg S, Bullock R, Ebinghaus R, *et al.* A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2007, **36**(1): 19-32.
- [22] Schmolke S R, Schroeder W H, Kock H H, *et al.* Simultaneous measurements of total gaseous mercury at four sites on a 800 km transect: spatial distribution and short-time variability of total gaseous mercury over central Europe [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(11): 1725-1733.
- [23] Wang S F, Feng X B, Qiu G L, *et al.* Mercury emission to atmosphere from Lanmuchang Hg-Tl mining area, Southwestern Guizhou, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(39): 7459-7473.
- [24] Wang S F, Feng X B, Qiu G L, *et al.* Mercury concentrations and air/soil fluxes in Wuchuan mercury mining district, Guizhou province, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(28): 5984-5993.
- [25] Kim S H, Han Y J, Holsen T M, *et al.* Characteristics of atmospheric speciated mercury concentrations [TGM, Hg(II) and Hg(p)] in Seoul, Korea[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(20): 3267-3274.
- [26] Chand D, Jaffe D, Prestbo E, *et al.* Reactive and particulate mercury in the Asian marine boundary layer[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(34): 7988-7996.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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