ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第11期

Vol.35 No.11

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE) ENVIRONMENTAL SCIENCE
第35卷 第11期
2014年11月15日

目 次

南京北郊夏季近地层臭氧及其前体物体积分数变化特征 …… 邵平,安俊琳,杨辉,林旭,吉东生(4031)
亚青会期间南京污染气体与气溶胶中水溶性离子的分布特征 …… 邹嘉南,安俊琳,王红磊,邵平,段卿,薛国强,庞博(4044)
亚青会期间南京地区气溶胶浓度变化及其与能见度的关系 …… 袁亮,银燕,李琦,肖辉,李力(4052)
2013年10月长株潭城市群一次持续性空气污染过程特征分析 …… 廖志恒,范绍佳,黄娟,孙家仁(4061)
在线单颗粒气溶胶质谱SPAMS对细颗粒物中主要组分提取方法的研究 …… 付怀于,闫才青,郑玫,蔡靖,李小滢,张延君,周振,傅忠,李梅,李磊,张远航(4070)
PM_{10}可替代源成分谱的建立方法及其应用 …… 陈强,景毅,吴焕波,王芳(4078)
夏季东海和南黄海一氧化碳的浓度分布、海-气通量和微生物消耗研究 …… 王敬,陆小兰,杨桂朋,徐冠球(4085)
三峡库区典型农田小流域水体汞的时空分布特征 …… 王娅,赵铮,木志坚,王定勇(4095)
浑太水系水体中不同粒径有机胶体荧光光谱特性 …… 刘娜娜,李斌,刘瑞霞,宋永会, 吴畏(4103)
深圳湾流域TN和TP入海年通量变化规律研究 …… 赵晨辰,张世彦,毛献忠(4111)
滇池沉积物有机磷垂直分布特征及其生物有效性 …… 熊强,焦立新,王圣瑞,彭希珑(4118)
金山湖闸坝型水体表层沉积物重金属分布特征及生态风险评价 …… 周晓红,刘龙梅,陈曦,陈志刚,张金萍,李义敏,刘彪(4127)
西藏普莫雍错湖芯沉积物中重金属的垂向分布特征及生态风险评估 …… 谢婷,罗东霞,杨瑞强(4135)
西安市雨水径流中重金属季节性污染特征及分析 …… 袁宏林,李星宇,王晓昌(4143)
城市不同下垫面降雨径流多环芳烃(PAHs)分布及源解析 …… 武子澜, 杨毅,刘敏,陆敏,于英鹏,汪青,郑鑫(4148)
粗放型绿色屋面填料的介质组成对出水水质的影响 …… 陈昱霖,李田,顾俊青(4157)
饮用水处理中不同来源生物活性炭微生物群落多样性和结构研究 …… 杜尔登,郑璐,冯欣欣,高乃云(4163)
压力强化混凝除藻工艺中藻毒素安全性研究 …… 蒋新跃,栾清,丛海兵,徐思涛,刘玉娇,朱学源(4171)
基于膜特征参数变化的蛋白质超滤过程膜污染研究 …… 王旭东,张银辉,王磊,张慧慧,夏四清(4176)
臭氧氧化水溶液中对乙酰氨基酚的机制研究 …… 曹飞, 袁守军, 张梦涛, 王伟, 胡真虎(4185)
电辅助微生物反应器降解苯并噻唑效能的研究 …… 刘春苗,丁杰,刘先树,程旺斌(4192)
铁镧复合氧化物纳米吸附剂的制备、表征及As(Ⅲ)吸附性能研究 …… 张伟,陈静,张高生(4198)
重金属铬胁迫下水蚯蚓的生理响应研究 …… 楼菊青,杨东叶,曹永青,孙培德,郑平(4205)
光质对蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)生长特征及生化组成的影响研究 …… 唐青青,方治国,嵇雯雯,夏会龙(4212)
常温低基质下碱度和溶解氧对厌氧氨氧化的影响 …… 任玉辉,王科,李相昆,马凯丽,张杰(4218)
Fe^{2+}和Fe^{3+}对厌氧氨氧化污泥活性的影响 …… 李祥,黄勇,巫川,王孟可,袁怡(4224)
CSTR中亚硝化颗粒污泥的变化过程研究 …… 阴方芳,刘文如,王建芳,吴鹏,沈耀良(4230)
盐度对好氧颗粒污泥硝化过程中N_2O产生量的影响 …… 王珊珊,梁红,高大文(4237)
硫酸盐还原反应器污泥驯化过程中微生物群落变化分析 …… 曾国驱,贾晓珊,郑小红,杨丽平,孙国萍(4244)
利用铅同位素方法量化不同端元源对南京土壤和长江下游悬浮物铅富集的影响 …… 王成,夏学齐,张义,廖启林,杨忠芳,季峻峰(4251)
北京东南郊土壤剖面氟喹诺酮类抗生素分布特征 …… 苏思慧,何江涛,杨蕾,乔肖翠,崔亚丰(4257)
环境因素对土壤中几种典型四环素抗性基因形成的影响 …… 张俊,罗方园 ,熊浩徽,焦少俊,叶波平(4267)
稻田土壤不同水分条件下硝化/反硝化作用及其功能微生物的变化特征 …… 刘若萱,贺纪正,张丽梅(4275)
典型岩溶土壤微生物丰度与多样性及其对碳循环的指示意义 …… 靳振江, 汤华峰, 李敏, 黄炳富, 李强, 张家喻, 黎桂文(4284)
变温环境对典型石灰土有机碳矿化的影响 …… 王莲阁,高岩红,丁长欢,慈恩,谢德体(4291)
铁氧化物与电子供体基质交互作用对红壤性水稻土中DDT还原脱氯影响 …… 刘翠英,徐向华,王壮,姚童言(4298)
植物套种及化学强化对重金属污染土壤的持续修复效果研究 …… 卫泽斌,郭晓方,吴启堂,龙新宪(4305)
不同取样尺度下亚高山草甸土壤呼吸的空间变异特征 …… 李洪建,高玉凤,严俊霞,李君剑(4313)
不同开垦年限黑土温室气体排放规律研究 …… 李平,郎漫,徐向华,李煜姗,朱淑娴(4321)
转Cry1Ac基因抗虫棉与其亲本棉花根际真菌多样性的比较 …… 潘建刚,焦海华,白志辉,齐鸿雁,马安周,庄国强,张洪勋(4329)
天津污灌区内气态汞的污染特征及在叶菜类蔬菜中的富集 …… 郑顺安, 韩允垒, 郑向群(4338)
1-硝基芘和1,2-萘醌的联合细胞毒性和致DNA损伤 …… 尚羽,蒋玉婷,张玲,李怡(4345)
鸡粪堆肥有机物演化对重金属生物有效性影响研究 …… 卜贵军,于静,邸慧慧,罗世家,周大寨,肖强(4352)
污泥预植重金属Cu炭化及炭中重金属的稳定性研究 …… 窦晓敏,陈德珍,戴晓虎(4359)
上层曝气式生物反应器填埋工艺特性的研究 …… 田颖,王珅,徐期勇(4365)
硝酸盐连续回灌对生物反应器填埋场N_2O产生的影响 …… 卞荣星,孙英杰,李晶晶,张欢欢(4371)
中国碳强度下降和碳排放增长的行业贡献分解研究 …… 蒋晶晶,叶斌,计军平,马晓明(4378)
泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究 …… 赵海霞,蒋晓威,崔建鑫(4387)
基于污染防治技术模拟的造纸行业环境管理方法研究 …… 张雪莹,温宗国(4395)
大气棕色碳的研究进展与方向 …… 闫才青, 郑玫, 张远航(4404)
《环境科学》征稿简则(4094) 《环境科学》征订启事(4126) 信息(4243, 4266, 4274, 4328)

泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究

赵海霞[1], 蒋晓威[2], 崔建鑫[1]

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2. 江苏省环境科学研究院, 南京 210036)

摘要: 工业污染重心路径演变是制造业转移过程中形成的环境空间响应形式, 为探明经济发达的泛长三角地区工业污染重心对制造业转移的响应关系, 采用 2000 ~ 2010 年工业污染排放数据, 运用重心模型, 测算各年份工业废水、废气和固废排放重心坐标, 分析工业污染重心转移路径及演变规律, 探讨重心演变的驱动机制. 结果表明: ①泛长三角地区的工业污染重心发生了偏移, 其中工业固废偏移距离最大, 为 180.18 km, 而工业废水、废气偏移的方向最大, 分别为 0.40°、0.17°; ②工业污染重心轨迹偏移受多种因素的驱动影响. 其中, 安徽、江西地区重工业的高速发展加剧了污染重心朝西部偏移; 以江苏、上海、浙江为代表的长三角地区产业结构优化与调整在一定程度上缓解了该地区的工业污染, 安徽、江西地区高污染产业份额的增加及宽松的宏观区域政策助推了工业污染向西部地区偏移; 而大规模的清洁化生产、较强的环境治理力度和完善的环保监测制度在一定程度上减缓了工业污染朝东部地区偏移.

关键词: 工业"三废"; 污染重心; 演变路径; 驱动机制; 泛长三角地区

中图分类号: X32 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2014)11-4387-08 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.2014.11.048

Shifting Path of Industrial Pollution Gravity Centers and Its Driving Mechanism in Pan-Yangtze River Delta

ZHAO Hai-xia[1], JIANG Xiao-wei[2], CUI Jian-xin[1]

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China)

Abstract: Shifting path of industrial pollution gravity centers is the response of environmental special formation during the industry transfer process, in order to prove the responding of industrial pollution gravity centers to industry transfer in economically developed areas, this paper calculates the gravity centers of industrial wastewater, gas and solid patterns and reveals the shifting path and its driving mechanism, using the data of industrial pollution in the Pan-Yangtze River Delta from 2000 to 2010. The results show that the gravity center of the industrial waste in Pan-Yangtze River Delta shifts for sure in the last 10 years, and gravity center of solid waste shifts the maximum distance within the three wastes, which was 180.18 km, and shifting distances for waste gas and waste water were 109.51 km and 85.92 km respectively. Moreover, the gravity center of the industrial waste in Pan-Yangtze River Delta shifts westwards, and gravity centers of waste water, gas and solid shift for 0.40°, 0.17° and 0.03° respectively. The shifting of industrial pollution gravity centers is driven by many factors. The rapid development of the heavy industry in Anhui and Jiangxi provinces results in the westward shifting of the pollutions. The optimization and adjustment of industrial structures in Yangtze River Delta region benefit to alleviating industrial pollution, and high-polluting industries shifted to Anhui and Jiangxi provinces promotes pollution gravity center shifting to west. While the development of massive clean enterprise, strong environmental management efforts and better environmental monitoring system slow the shifting trend of industrial pollution to the east in Yangtze River Delta. The study of industrial pollution gravity shift and its driving mechanism provides a new angle of view to analyze the relationship between economic development and environmental pollution, and also provides academic basis for synthetical management and control of environmental pollution in Pan-Yangtze River Delta, especially in the transition period.

Key words: three industrial wastes; pollution gravity center; evolution path; drive mechanism; Pan-Yangtze River Delta

随着区域经济一体化的不断深入发展, 产业转移成为推动各种要素在全球范围内优化配置的主要方式. 在此背景下, 我国跨区域产业转移成为推动产业结构优化升级、实现区域均衡发展的重要途径[1]. 然而, 产业转移特别是制造业转移必然形成一定的环境空间响应, 其中最重要的是污染物排放空间格局的动态变化[2,3], 污染的区域间转移是主要表现形式[4]. 由此, 污染排放格局变化已成为学术界关注的焦点, 同时也是政府决策支持的重要内容[5~9]. 目前, 学者们多运用重心模型, 定量刻画全国或某一特定区域的环境重心转移路径及其演变规

收稿日期: 2014-03-17; **修订日期**: 2014-05-27

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41130750); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-315); 中国科学院南京地理与湖泊研究所"一三五"重点项目(2012135006)

作者简介: 赵海霞(1976 ~), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境经济与环境地理学, E-mail: zhhx0183@163.com

律,并结合经济、产业重心转移与其对比研究,试图探究环境污染重心转移与经济发展的关联性[10,11],如 Grther 等[12]运用重心模型分析贸易交往过程中的污染转移现象, Moussiopoulos 等[13]、Lehmijoki 等[14]、赵晨曦等[15]、李莉等[16]研究社会经济发展、自然因素对大气污染排放转移的影响;丁焕峰等[17]、黄建山等[18]、赵小风等[19]基于全国、省域视角,分别从移动方向、距离、路径对比等多角度阐述社会经济重心与环境污染重心的动态变化及空间联系. 区域经济发展一体化的驱动下,跨区域的环境重心轨迹研究逐渐成为热点[20,21],黄海峰[22]、王怀成等[23]、赵海霞等[24]分别对我国的珠三角、长三角与泛长三角地区环境污染重心轨迹进行较为详细的分析. 综上所述,已有研究多侧重不同区域污染重心变化轨迹的描述,甚至有学者从经济发展角度分析其形成过程与机制[25],而实际上区域环境污染重心转移路径驱动因素复杂多样[26],尤其近年来国家愈加重视经济与环境协调发展的规划引导和政策调控,需要加强区域发展与环境管理等方面多因素协同驱动机制的研究.

作为我国经济发展最活跃的地区之一,泛长三角地区率先实施了国家宏观区域发展战略与环境规划管理,对推动区域产业转移乃至污染排放格局变化产生了较大影响. 由此,以泛长三角地区为例,揭示与评估工业污染排放格局变化,探讨宏观区域政策、环境规划管理等因素的驱动机制,可进一步深化和扩展经济发展与环境污染之间关系的研究,以期为转型期泛长三角地区环境污染的综合管控提供理论依据.

1 研究区范围

泛长三角起初指的是自然地理概念,涉及范围包含长江汇入东海的入海口周边区域以及下游支流流经区域(图 1),即行政区域下的上海市、江苏、浙江两省的大部以及江西省和安徽省的部分地区[23]. 在 2006 年《泛长三角区域合作框架协议研究》课题中,第一次赋予泛长三角区域经济属性. 目前,关于泛长三角的空间范围,各界的划定范围并不统一,其中主要的范围界定有 4 种:①“3 +2”模式,即苏、浙、沪 3 省(市)加皖、赣 2 省;②“5 +1”模式,即苏、浙、皖、赣、闽 5 省加上海市;③“6 +1”模式,即苏、浙、沪、皖、赣、闽 6 省(市)加台湾地区;④“7 +1”模式,认为在“6 +1”模式范围的基础上再加上山东省. 本研究对于泛长三角范围的划定采用“3 +2”模式范围,即苏、浙、沪 3 省(市)加皖、赣 2 省,全区范围总面积约 57.66 万 km^2,占全国土地总面积的 6%. 截至 2010 年底,泛长三角地区总人口约 2.5 亿人,占全国总人口的 20.15%,GDP 达到 108 281.6亿元,占全国的 25.15%,是全国经济最发达的地区之一. 在全球产业转移浪潮的推进下,泛长三角地区经济将迎来新一轮产业结构调整与优化重组. 目前产业转移主要表现为传统制造业从上海、浙江和江苏转移到苏北、浙西,甚至是安徽乃至江西等地区[27]. 与此同时,上海、南京、杭州等城市工业废水、废气等排放量有所下降,无锡、合肥等次级城市显著上升,呈现由中心城市向外围扩散的趋势[28],污染排放格局发生了变化[24]. 由此,以泛长三角地区为实证,揭示与评估工业污染排放重心转移路径及其驱动机制,具有一定的典型性和代表性.

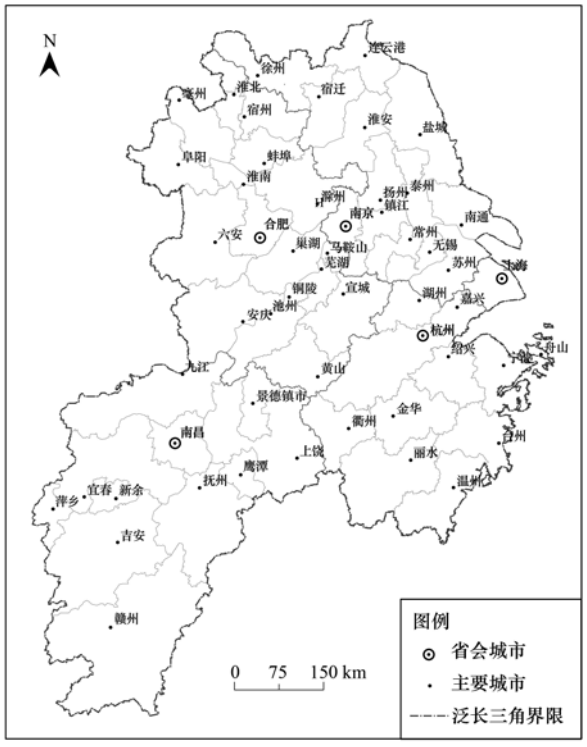

图 1 泛长三角地区的区域位置及范围

Fig. 1 Location of Pan-Yangtze River Delta

2 研究方法与数据处理

2.1 研究方法

2.1.1 区域重心

“重心”在物理学意义上是指物体内各点所受重力产生合力的作用点. 采用几何重心法衡量工业污染排放属性的空间分布状况. 假设一个区域由 n

个次级区域构成,第 i 个次级区域中心城市的地理坐标为(X,Y),计算公式如下[29]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i},\ Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \quad (1)$$

式中,X、Y 分别是某属性重心坐标的经度和纬度,X_i、Y_i 为第 i 个次级区域中心城市的经度和纬度坐标,W_i 为第 i 次级区域的某种属性的量值.

2.1.2 重心转移路径

当某一地区某一属性值在总体中所占比例较大而且增长较快,则区域重心就会向该地区移动,表明此活动空间属性的不均衡分布,即"重心偏离". 区域重心偏离方向指向某一经济社会活动空间属性的"高密度"增长部位,偏离的距离指示了该经济社会活动的不均衡程度. 假若区域重心向某一个方向移动,则表明在这一方向上该经济社会属性发展速度更快,经济社会活动属性实力增强更多. 如果各地区经济社会活动实力持续增长并且发展不均衡,那么区域重心就处于一种不断变化的状态之中. 由区域重心的变动便能清楚地反映出该区域经济社会属性发展变化的轨迹及空间差异性. 假设 d 表示第 $k+1$ 年重心移动的距离(相对于第 k 年),具体公式如下[18]:

$$d_{(k+1)-k} = C \times \sqrt{(\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k)^2 + (\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k)^2} \quad (2)$$

式中,常数 $C = 111.111$,表示由地球表面坐标单位(°)转化为平面距离(km)的系数; $\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k$、$\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k$ 分别表示从第 k 年到第 $k+1$ 年重心坐标的变化大小,$C \times (\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k)$、$C \times (\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k)$分别表示重心经纬方向上移动的实际距离,则:

$$\frac{C \times (\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k)}{C \times (\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k)} = \frac{\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k}{\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k} = \frac{\text{纬度变化速度}}{\text{经度变化速度}}$$

当 $\left|\frac{\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k}{\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k}\right| < 1$ 时,重心移动方向在(-45°, 45°)、(135°, 180°)、(-135°, -180°)范围内,说明重心在经度上变化速度大于维度上的变化速度; 当 $\left|\frac{\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k}{\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k}\right| > 1$ 时,重心移动方向在(45°, 135°)或(-45°, -135°)范围内,说明重心在经度上变化速度小于维度上变化速度; 当 $\left|\frac{\mathrm{lat}_{k+1} - \mathrm{lat}_k}{\mathrm{long}_{k+1} - \mathrm{long}_k}\right| = 1$ 时,重心移动方向在45°或135°对角线上,说明重心在经纬度方向上变化速度相当; 当重心移动方向在0°或90°坐标轴上时,重心只在经度上或纬度上变化,或者说重心在纬度或经度方向上速度为零.

2.2 数据收集与处理

所涉及的经济、环境数据主要来源于2001~2011年《中国城市统计年鉴》[30]、《中国环境统计公报》[31]和江苏省、浙江省、上海市、安徽省、江西省(四省一市)相关年份统计年鉴; 部分环境污染数据则参考相关年份四省一市的环境统计公报,其中舟山市的环境污染排放数据主要从《长三角统计年鉴》[32]、《舟山市统计年鉴》[33]获取. 环境数据及指标的选取上,收集了53个城市2000~2010年的工业废水、工业废气和工业固体废物排放量,用以表征工业污染重心的变化; 为考察工业经济、污染治理等驱动因素的区域差异性,收集了2000~2010年53个城市重工业产值,同时收集了四省一市制造业分行业工业增加值,而53个城市环境污染治理投资额仅收集到2007年数据. 在地理坐标的选取上,则假定研究期间地理位置保持不变,采用各城市政府所在地作为该地区的重心位置,其坐标数据源自 Google Earth. 最后,建立以地级市为单元的泛长三角经济、环境污染属性地理数据库,根据ArcGIS属性数据库中的距离计算工具,进行污染重心移动距离的相关分析和制图.

3 结果与分析

3.1 工业污染重心偏移轨迹

根据2000~2010年工业废水、废气以及固废重心地理坐标及其动态演变轨迹的测算(如表1、图2),泛长三角地区的工业污染重心主要分布在江苏省南京市、安徽省境内的芜湖市、马鞍山市及宣城市,位于区域几何重心的东北方向; 近10年来,工业污染重心总体呈现向西部方向偏移的态势,其中工业固废偏移距离最大,为180.18 km,工业废水、废气分别偏移85.92 km和109.51 km.

3.2 工业污染重心经纬度变化

根据经度方向上的移动轨迹与距离变化,2000~2010年工业废水、废气、固废重心经度均有所减少,即污染重心有向西部的安徽、江西地区偏移的态势. 工业废水重心持续向西偏移0.40°,其中2000~2005年偏移0.17°, 2006~2010年偏移较大,为0.23°; 工业废气重心总体向西偏移0.17°,虽然2000~2005年向东偏移0.05°,但2006~2010年

表 1 2000 ~ 2010 年工业污染重心移动方向和距离

Table 1 Direction and distance of industrial gravity center shifting (2000-2010)

年份	工业废水				工业废气				工业固废			
	经度/(°)	纬度/(°)	方向	距离/km	经度/(°)	纬度/(°)	方向	距离/km	经度/(°)	纬度/(°)	方向	距离/km
2000	118.89	31.52	—	—	118.99	31.57	—	—	118.49	30.97	—	—
2001	118.95	31.60	东北	11.13	119.08	31.67	东北	14.39	118.68	31.18	东北	30.75
2002	118.87	31.57	西南	9.03	119.10	31.59	东南	8.68	118.51	31.00	西南	26.56
2003	118.71	31.61	西北	18.28	118.97	31.59	西北	15.06	118.42	30.96	西南	11.57
2004	118.72	31.56	东南	5.70	118.97	31.55	东南	4.51	118.54	31.04	东北	15.97
2005	118.72	31.58	西北	1.80	119.05	31.51	东南	9.69	118.82	31.05	东北	31.77
2006	118.64	31.52	西南	10.43	118.96	31.60	西北	14.12	118.82	31.18	西北	14.43
2007	118.57	31.48	西南	9.24	118.78	31.45	西南	26.81	118.66	31.20	西北	17.59
2008	118.51	31.46	西南	6.59	118.80	31.41	东南	5.37	118.65	31.20	西南	1.17
2009	118.56	31.47	东北	4.92	118.78	31.38	西南	3.83	118.62	31.11	西南	10.17
2010	118.48	31.50	西北	8.81	118.82	31.34	东南	7.05	118.47	31.21	西北	20.19

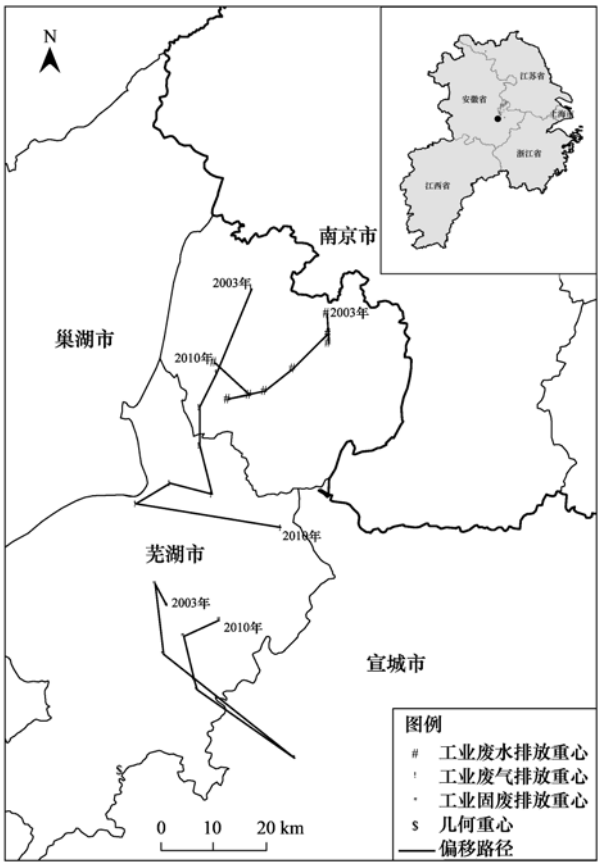

图 2 2000 ~ 2010 年工业污染重心轨迹

Fig. 2 Shifting path of industrial pollution gravity center

则朝西部的安徽、江西地区偏移加快,共偏移 0.23°;工业固废重心总体向西偏移 0.03°,其中 2006 年后重心向西偏移速度加快,共偏移 0.35°,表明未来工业固废重心呈现向安徽、江西等西部地区偏移的趋势在加强.

根据纬度方向上的移动轨迹与距离变化,2000 ~2010 年工业废水、废气排放重心纬度均有所减少,而工业固废重心则有所增加. 工业废水总体向南偏移 0.02°,其中 2000 ~ 2005 年先向北偏移 0.05°,受安徽省南部城市工业废水污染排放加剧的影响,2006 ~2010 年向南偏移较大,为 0.07°;工业废气持续向南偏移 0.23°,其中 2000 ~2005 年偏移 0.06°,2006 ~2010 年偏移 0.17°,工业废气污染排放量的增加受江西、安徽部分城市钢铁、热力、电力等废气重行业发展的影响;此外,北部的徐州、淮南等地区,由于采矿、黑色及有色金属冶炼等行业比较发达,仍然是工业固废产生的主要区域,推动区域工业固废总体向北偏移 0.24°.

3.3 工业污染重心路径演变的驱动因素

空间位置和属性值是决定重心的关键因素. 由于城市空间位置的固定不变,因而重心的变化取决于属性值的变化. 如上述分析可知,近 10 年来泛长三角地区污染重心总体朝西部的安徽和江西地区偏移. 在此,试图从工业经济发展、污染产业转移、环境治理力度、清洁化生产、环保监测制度完善性及宏观区域政策等因素对这一现象进行深入剖析.

3.3.1 工业经济发展

长期以来,泛长三角地区是我国重要的工业基地,工业经济发展总体比较迅速,但发展具有不均衡性. 其中,安徽、江西两省的工业发展较为落后,工业重心始终位于江苏、浙江和上海为代表的长三角地区. 自 2004 年国家对中部崛起战略提出与实施以来,受惠于国家政策支持的安徽、江西地区工业经济进入了快速发展阶段,两省工业总产值由 2004 年2 846.73亿元增长至 2010 年9 694.16亿元,年均增长率达 22.66%,高出泛长三角地区年均增长率 6.33%. 与此同时,工业重心轨迹在 2000 ~2010 年间向西南方向共偏移 42.97 km,工业经济发展开始朝安徽、江西等地区转移.

相对其他产业，工业发展带来的环境污染影响较为显著，其中工业增加值比重每增加 1 个百分点，相对污染密度就会增加 0.847 个百分点[34]．而在工业内部，重工业对于资源环境的影响远远高于轻工业，特别是原材料工业是大耗能、耗材、大运量、大污染型产业，对资源环境的影响大很多．2000～2010 年，泛长三角地区重工业增速较为迅速（如图 3），特别是受中部崛起的国家政策引导和承接部分长三角地区的化工、钢铁等产业，安徽、江西地区重工业发展增速显著，年均增长率分别为 30.91%、37.02%，其中安徽的芜湖、池州、蚌埠、阜阳、宿州，江西的萍乡、吉安、上饶等城市均超过 35%，而上海、江苏、浙江等城市的重工业增速相对较低，分别为 19.44%、24.36%、24.29%．由此可以看出，泛长三角地区重工业发展重心开始朝西部方向移动，在此影响下，工业污染正逐步朝安徽、江西地区转移．

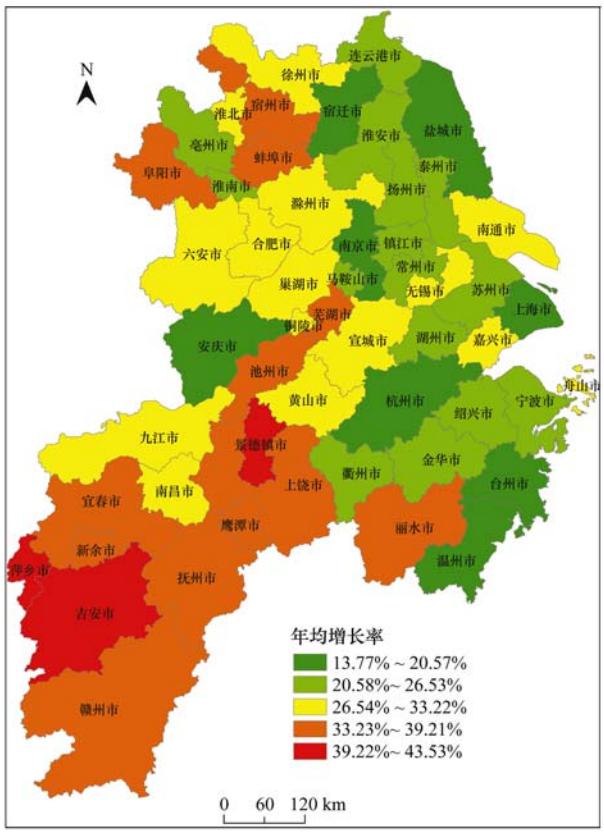

图 3　2000～2010 年城市重工业产值年均增长率

Fig. 3　Average annual growth rate of heavy industry output value in various cities (2000-2010)

3.3.2　污染产业转移

泛长三角内部区域之间因经济基础、生产要素禀赋、产业分工等存在差异，区域间竞争与合作的过程中必然面临产业的梯度转移．随着上海、江苏、浙江为代表的长三角地区产业结构的优化与调整，高科技含量、高附加值的新兴产业逐渐增加，而外围欠发达地区则承接污染环境高、低附加值的夕阳产业，“东移西进”的高污染产业转移模式使得工业污染逐步朝相对欠发达的安徽、江西等地区蔓延．

目前产业转移表现为传统制造业重心从上海、苏南等发达城市向安徽、江西等欠发达地区转移．由 2000～2010 年各行业产值份额变化（图 4），上海市除烟草加工业、电子及通信设备制造业等产值份额有所上升，其余行业的产值份额均下降，制造业比重趋于减少；江苏省则大力发展交通运输设备、电气机械及器材、电子及通信设备制造业等轻污染行业的同时，大大缩减了纺织、食品、塑料制品、有色金属冶炼及压延加工、非金属矿制品等重污染行业的占比；浙江省虽有纺织、化学纤维制造、塑料制品等重污染行业的份额上升，但造纸及纸制品业、石油加工及炼焦业等高污染行业份额有所减少；安徽和江西两省的制造业份额增加较为迅速，除石油加工及炼焦业、化学纤维制造等产值份额有所减少，其余各行业的产值份额均增加，其中印刷业记录媒介的复制业、金属制品业等高污染行业的产值份额增加较为显著．对于安徽、江西省来说，污染密集型行业发展很快，临近的江苏、浙江和上海的重污染行业比较优势却在萎缩，说明安徽、江西作为产业转移的转入区发展较快，由于区域间的邻近和经济要素的流动，加之较为宽松的环境政策，安徽、江西省的重污染行业发展必然有一部分是来自于江苏、浙江和上海的产业转移．

3.3.3　环境治理力度

环保投资是用于环境资源的恢复和增值、保护和治理的费用，代表一个地区的环境治理力度．随着经济的增长，各城市的环保投资不断增加，对控制环境污染起到一定作用．但根据发达国家经验，要使环境质量有明显改善，环保投资占 GDP 的比例应达到 1.5%，而目前泛长三角地区总体上还有一定差距，不仅如此，各地区环保投资存在很大的区域差异．环保投资比重较高的地区主要分布在长三角地区，其中上海、南京、苏州等地区环保投资额占 GDP 比重均高于 2.5%，而安徽、江西地区环保投资比重都比较低，除淮北、巢湖、池州和南昌市，其余地区的环保投资比重均在 1% 以下（图 5），全省平均只有 0.54% 和 0.50%．

此外，工业污染治理投资额代表一个地区的工

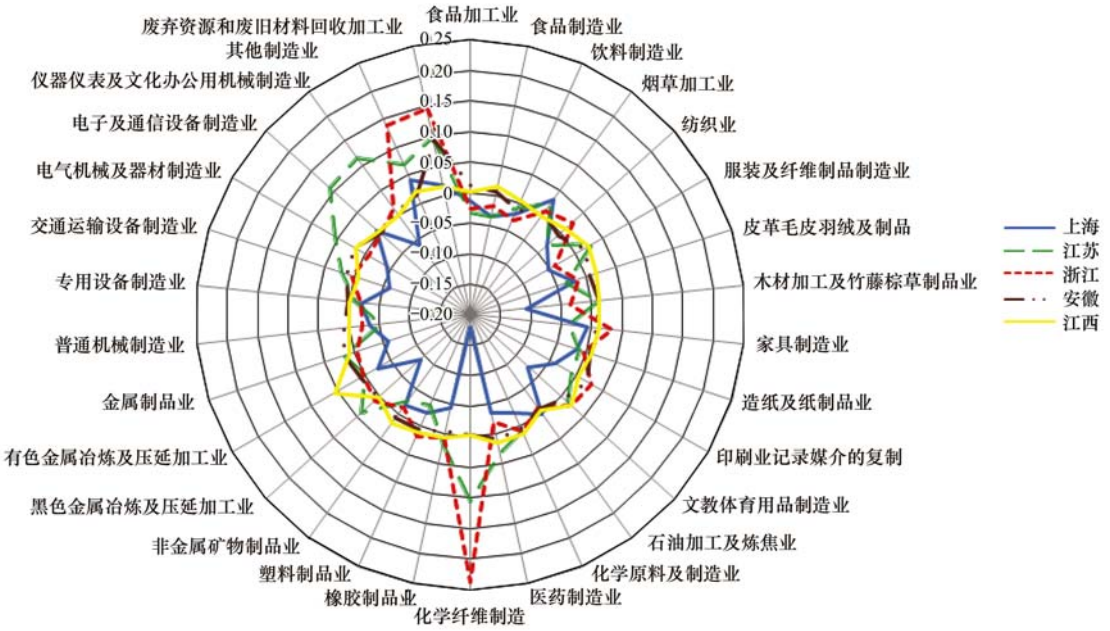

图 4 2000 ~ 2010 年制造业产值份额变化

Fig. 4 Share changes of manufacturing output value (2000-2010)

业企业污染治理强度,是缓解工业污染与有效防治的资金保障措施. 2010 年,泛长三角地区的工业污染源治理投资额为 52.3 亿元,其中以上海、江苏、浙江为代表的东部地区接近 40 亿元,占总量的 76.48%,江苏省就占到一半,是工业污染治理投资的主体,而安徽、江西等西部区域工业污染的防治力度偏弱. 环保投资比重高的东部地区有利于缓解和遏制工业污染的排放,而安徽、江西地区较低的环保投资不利于工业污染的治理,一定程度地促进工业污染重心朝安徽、江西地区移动.

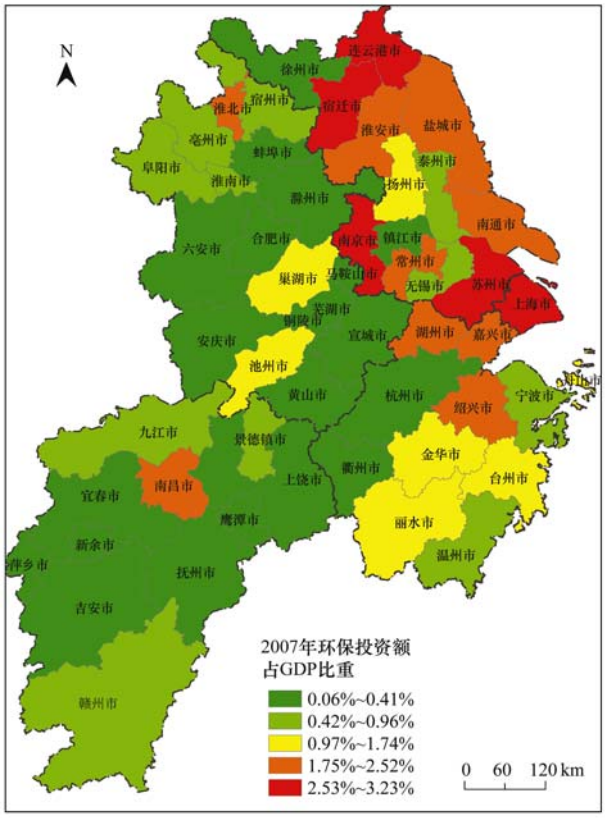

图 5 2007 年环保投资占 GDP 比重

Fig. 5 Environmental investments in GDP in 2007

3.3.4 清洁化生产

清洁生产是一种新的污染防治战略,是将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中,以增加生态效率和减少人类及环境的风险. 通过清洁生产转变为资源低消耗、环境轻污染为特征的集约型经营和通过内涵增长追求企业效益的发展战略,是今后抑制和缓解环境污染的一种有效措施. 2010 年江苏省清洁生产审核重点企业数最多,为 676 家,其次为浙江省(526 家),而江西省企业数量最低,仅为 124 家. 上海、江苏和浙江省的清洁生产审核重点企业占总量的 72.68%,是清洁生产企业的主要来源,东部地区清洁生产企业的大规模建设与运行有利于降低工业污染的排放.

3.3.5 环保监测制度完善性

环保监测制度的完善性对有效控制工业污染与治理起到较为积极的作用. 根据 2010 年环保机构与人员对比,江苏省和浙江省每万平方公里环保机构数量分别为 70.82 个、55.21 个,明显高于泛长三角地区的平均值 41.01 个,而安徽、江西省均低于 30 个. 而且每万人拥有的环保人员数量,浙江省最

高,1.40 人,而安徽省最低,0.84 人. 环保机构与人员的数量则能够反映该地区环境治理的重视水平,有利于宣传公共环保意识、加大环保制度创新,是减少和控制环境污染排放的有效途径. 江苏、浙江、上海地区的环保监测制度较为完善,而安徽、江西地区则相对落后,加剧了工业污染重心朝西部地区的移动.

3.3.6 宏观区域政策

宏观区域政策是影响区域污染转移的决定性因素之一. 在国家宏观政策相同的状态下,区域产业转移可以从产业发展高梯度地区向低梯度地区转移,最终引致污染重心的偏移. 但是当区域间宏观政策存在较大差异时,具有较差政策环境的区域,即使具有较好的地理位置、人员素质和廉价的原材料资源也不会成为大多数企业迁移所选择的区位. 近年来,随着长三角区域一体化的发展,宏观区域政策不断创新,上海、江苏及浙江省发达城市的政策环境不断改善,对产业发展类型要求逐渐严格,而安徽省和江西省在中部崛起的区域政策大背景下,推动经济乃至产业发展居首位,甚至以较为宽松的产业政策吸引周边产业的转移,结果会不可避免地转入污染密集型产业,最终导致污染排放的增加.

4　结论

(1)泛长三角地区的工业污染重心轨迹发生了变化. 其中,工业固废排放重心偏移距离最大,为180.18 km,是工业废水的两倍多.

(2)泛长三角地区的工业污染重心总体向西偏移. 其中,工业废水、废气排放重心偏移方向较大,分别为0.40°、0.17°,而固废只有0.03°.

(2)泛长三角地区工业污染重心轨迹的变化受多种因素的驱动影响. 其中,安徽、江西地区重工业的高速发展加剧了污染重心朝西部偏移;以江苏、上海、浙江为代表的长三角地区产业结构优化与调整在一定程度上缓解了该地区的工业污染,安徽、江西地区高污染产业份额的增加及宽松的宏观区域政策助推了工业污染向西部地区偏移;而大规模的清洁化生产、较强的环境治理力度、完善的环保监测制度在一定程度上减缓了工业污染朝东部地区偏移.

参考文献:

[1] 陆大道, 樊杰. 区域可持续发展研究的兴起与作用[J]. 中国科学院院刊, 2012, (3): 290-300, 319.

[2] 马士伟, 蒋学文. 对污染产业跨国转移的经济学分析及我国对策[J]. 经济前沿, 2006, (12): 32-34.

[3] Guo J, Zhang Z K, Meng L. China's provincial CO_2 emissions embodied in international and interprovincial trade[J]. Energy Policy, 2012, **42**: 486-497.

[4] 龚峰景, 柏红霞, 陈雅敏, 等. 中国省际间工业污染转移量评估方法与案例分析[J]. 复旦学报(自然科学版), 2010, **49**(3): 362-367.

[5] 赵海霞, 曲福田, 朱德明, 等. 经济快速增长阶段环境污染的特点及福利损失[J]. 干旱区资源与环境, 2008, **22**(1): 97-101.

[6] 王宜虎, 崔旭, 陈雯. 南京市经济发展与环境污染关系的实证研究[J]. 长江流域与资源环境, 2006, **15**(2): 142-146.

[7] 陈雯, Dietrich S, 左文芳. 工业绿色化: 工业环境地理学研究动向[J]. 地理研究, 2003, **22**(5): 601-608.

[8] 曹卫东, 王梅, 赵海霞. 长三角区域一体化的环境效应研究进展[J]. 长江流域资源与环境, 2012, **21**(12): 1427-1433.

[9] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. 地理学报, 2012, **67**(10): 1299-1307.

[10] 范俊韬, 李俊生, 罗建武, 等. 我国环境污染与经济发展空间格局分析[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(6): 742-746.

[11] 段晓峰, 许学工. 山东省污染物排放与经济发展水平的关系[J]. 地理科学进展, 2010, **29**(3): 342-346.

[12] Grther J M, Mathys N, de Melo J. A gravity analysis of the pollution content of trade[EB/OL]. http://www.etsg.org/ETSG2005/papers/mathys.pdf.

[13] Moussiopoulos N, Helmis C G, Flocas H A, *et al*. A modeling method for estimating transboundary air pollution in southeastern Europe[J]. Environmental Modeling & Software, 2004, **19**(6): 549-558.

[14] Lehmijoki U, Rovenskaya E. Air pollution in Europe 2020: the gravity model and EKC decomposition[J]. Helsinki Center of Economic Research, 2010, **292**: 1-21.

[15] 赵晨曦, 王云琦, 王玉杰, 等. 北京地区冬春 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染水平时空分布及其与气象条件的关系[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 418-427.

[16] 李莉, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区大气 O_3 和 PM_{10} 的区域污染特征模拟[J]. 环境科学, 2008, **29**(1): 237-245.

[17] 丁焕峰, 李佩仪. 中国区域污染重心与经济重心的演变对比分析[J]. 经济地理, 2009, **29**(10): 1629-1633.

[18] 黄建山, 冯宗宪. 陕西省社会经济重心与环境污染重心的演变路径及其对比分析[J]. 人文地理, 2006, **21**(4): 117-122.

[19] 赵小风, 黄贤金, 张兴榆, 等. 区域经济重心及 COD、SO_2、TSP 排放重心演变路径分析——以江苏省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(3): 225-230.

[20] 苗长虹. 区域发展理论: 回顾与展望[J]. 地理科学进展, 1999, **18**(4): 296-305.

[21] 张蕾, 陈雯, 陈晓, 等. 长江三角洲地区环境污染与经济增长的脱钩时空分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, **21**(3): 275-279.

[22] 黄海峰. 珠三角地区环境与经济协调发展研究及 GIS 技术应

用[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
[23] 王怀成, 张连马, 蒋晓威. 泛长三角产业发展与环境污染的空间关联性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, **24**(3): 259-263.
[24] 赵海霞, 蒋晓威. 长江三角洲经济与工业污染重心演变及脱钩机理[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(10): 1911-1919.
[25] 李小飞, 张明军, 王圣杰, 等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学, 2012, **33**(6): 1936-1943.
[26] 李名升, 孙媛, 陈远航, 等. 污染排放与环境质量关系模型构建与应用[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 1198-1204.
[27] 李蔚然, 朱凯. 泛长三角背景下欠发达地区承接产业转移研究——以安徽省望江县为例[A]. 见: 转型与重构——2011中国城市规划年会论文集[C]. 北京: 中国城市规划学会, 2011. 11.
[28] 范剑勇. 长三角一体化、地区专业化与制造业空间转移[J]. 管理世界, 2004, (11): 77-84, 96.
[29] 冯宗宪, 黄建山. 重心研究方法在中国产业与经济空间演变及特征中的实证应用[J]. 社会科学家, 2005, (2): 77-80.
[30] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2011.
[31] 中华人民共和国环境保护部. 中国环境统计年报[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001-2011.
[32] 长三角联合研究中心. 长三角统计年鉴[M]. 南京: 河海大学出版社, 2001-2011.
[33] 舟山市统计局, 国家统计局舟山调查队. 舟山市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2011.
[34] 赵海霞. 经济发展、制度安排与环境效应[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 35 No. 11

Nov. 15, 2014

CONTENTS

Variation Characteristics of Surface Ozone and Its Precursors During Summertime in Nanjing Northern Suburb ····· SHAO Ping, AN Jun-lin, YANG Hui, *et al.* (4031)

Distribution Characteristics of Pollution Gases and Water Soluble Ion in Aerosol During the Asian Youth Games of Nanjing, China ····· ZOU Jia-nan, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, *et al.* (4044)

Aerosol Concentration Variation in Nanjing During Asian Youth Games and the Relationship Between Aerosol Concentration and Visibility ····· YUAN Liang, YIN Yan, LI Qi, *et al.* (4052)

Characteristic Analysis of a Multi-day Pollution Event in Chang-Zhu-Tan Metropolitan Area During October 2013 ····· LIAO Zhi-heng, FAN Shao-jia, HUANG Juan, *et al.* (4061)

Application of On-line Single Particle Aerosol Mass Spectrometry (SPAMS) for Studying Major Components in Fine Particulate Matter ····· FU Huai-yu, YAN Cai-qing, ZHENG Mei, *et al.* (4070)

Establishment and Application of Replaceable Source Profiles of PM_{10} ····· CHEN Qiang, JING Yi, WU Huan-bo, *et al.* (4078)

Distribution, Flux and Biological Consumption of Carbon Monoxide in the East China Sea and the South Yellow Sea in Summer ····· WANG Jing, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng, *et al.* (4085)

Spatial and Temporal Distribution of Mercury in Water of a Small Typical Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region ····· WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, *et al.* (4095)

Fluorescence Characteristics of Fractionated Colloidal Organic Matter in Freshwater from Hunhe and Taizihe Watersheds ····· LIU Na-na, LI Bin, LIU Rui-xia, *et al.* (4103)

Variations of Annual Load of TN and TP in the Deep Bay Watershed, Shenzhen ····· ZHAO Chen-chen, ZHANG Shi-yan, MAO Xian-zhong (4111)

Characteristics and Bioavailability of Organic Phosphorus from Different Sources of Sediments in Dianchi Lake ····· XIONG Qiang, JIAO Li-xing, WANG Sheng-rui, *et al.* (4118)

Heavy Metals Distribution Characteristics and Ecological Risk Evaluation in Surface Sediments of Dammed Jinshan Lake ····· ZHOU Xiao-hong, LIU Long-mei, CHEN Xi, *et al.* (4127)

Vertical Distribution Pattern and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in a Sediment Core from Pumoyum Co, Tibet ····· XIE Ting, LUO Dong-xia, YANG Rui-qiang (4135)

Heavy Metals Pollution and Analysis of Seasonal Variation Runoff in Xi'an ····· YUAN Hong-lin, LI Xing-yu, WANG Xiao-chang (4143)

Distribution and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Rainfall Runoff ····· WU Zi-lan, YANG Yi, LIU Min, *et al.* (4148)

Influence of the Substrate Composition in Extensive Green Roof on the Effluent Quality ····· CHEN Yu-lin, LI Tian, GU Jun-qing (4157)

Investigation of the Microbial Diversity and Structure of Biological Activated Carbon from Different Sources in Drinking Water Treatment Process ····· DU Er-deng, ZHENG Lu, FENG Xin-xin, *et al.* (4163)

Microcystin Safety Study During *Cyanobacteria* Removal by Pressure Enhanced Coagulation Process ····· JIANG Xin-yue, LUAN Qing, CONG Hai-bing, *et al.* (4171)

Membrane Fouling Based on Change of Membrane Characteristic Parameters During Ultrafiltration of Protein ····· WANG Xu-dong, ZHANG Yin-hui, WANG Lei, *et al.* (4176)

Impact Factors and Degradation Mechanism for the Ozonation of Acetaminophen in Aqueous Solution ····· CAO Fei, YUAN Shou-jun, ZHANG Meng-tao, *et al.* (4185)

Degradation of Benzothiazole in Electro-Assisted Microbial Reactor ····· LIU Chun-miao, DING Jie, LIU Xian-shu, *et al.* (4192)

Preparation and Evaluation of Fe-La Composite Oxide Nanoadsorbent for As(Ⅲ) Removal from Aqueous Solutions ····· ZHANG Wei, CHEN Jing, ZHANG Gao-sheng (4198)

Physiological Responses of Tubificidae to Heavy Metal Chromium Stress ····· LOU Ju-qing, YANG Dong-ye, CAO Yong-qing, *et al.* (4205)

Effects of Light Quality on the Growth Characteristics and Biochemical Component of *Chlorella pyrenoidosa* ····· TANG Qing-qing, FANG Zhi-guo, JI Wen-wen, *et al.* (4212)

Influence of Alkalinity and DO on ANAMMOX Bioreactor at Normal Temperature and Low Substrate Concentration ····· REN Yu-hui, WANG Ke, LI Xiang-kun, *et al.* (4218)

Effect of Fe^{2+} and Fe^{3+} on the Activity of ANAMMOX ····· LI Xiang, HUANG Yong, WU Chuan, *et al.* (4224)

Research on Change Process of Nitrosation Granular Sludge in Continuous Stirred-Tank Reactor ····· YIN Fang-fang, LIU Wen-ru, WANG Jian-fang, *et al.* (4230)

Effects of Salinity on N_2O Production During Nitrification Using Aerobic Granular Sludge ····· WANG Shan-shan, LIANG Hong, GAO Da-wen (4237)

Analysis of Microbial Community Variation in the Domestication Process of Sludge in a Sulfate-reducing Reactor ····· ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan, ZHENG Xiao-hong, *et al.* (4244)

Quantifying the Influence of Different Matrices on Pb Accumulation in the Soil from Nanjing and Suspended Matter from the Lower of the Yangtze River with Pb Isotopic Technique ····· WANG Cheng, XIA Xue-qi, ZHANG Yi, *et al.* (4251)

Contamination Characteristics of Fluoroquinolones in Different Kinds of Soil Profiles in Southeast Suburb of Beijing ····· SU Si-hui, HE Jiang-tao, YANG Lei, *et al.* (4257)

Effect of Environmental Factors on the Formation of Several Typical Tetracycline Resistance Genes in Soil ····· ZHANG Jun , LUO Fang-yuan, XIONG Hao-hui, *et al.* (4267)

Response of Nitrification/Denitrification and Their Associated Microbes to Soil Moisture Change in Paddy Soil ····· LIU Ruo-xuan, HE Ji-zheng, ZHANG Li-mei (4275)

Microbial Community Abundance and Diversity in Typical Karst Ecosystem to Indicate Soil Carbon Cycle ····· JIN Zhen-jiang, TANG Hua-feng, LI Min, *et al.* (4284)

Effects of Variable Temperature on Organic Carbon Mineralization in Typical Limestone Soils ····· WANG Lian-ge, GAO Yan-hong, DING Chang-huan, *et al.* (4291)

Influence of the Interaction Between Iron Oxide and Electron Donor Substances on 1,1,1-Trichloro-2,2-bis(*p*-chlorophenyl)ethane (DDT) Reductive Dechlorination in Hydragric Acrisols ····· LIU Cui-ying, XU Xiang-hua, WANG Zhuang, *et al.* (4298)

Continuous Remediation of Heavy Metal Contaminated Soil by Co-Cropping System Enhanced with Chelator ····· WEI Ze-bin, GUO Xiao-fang, WU Qi-tang, *et al.* (4305)

Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow at Different Sampling Scales ····· LI Hong-jian, GAO Yu-feng, YAN Jun-xia, *et al.* (4313)

Study on Regularity of Greenhouse Gas Emissions from Black Soil with Different Reclamation Years ····· LI Ping, LANG Man, XU Xiang-hua, *et al.* (4321)

Comparison Between Transgenic Insect-Resistant Cotton Expressing Cry1Ac Protein and Its Parental Variety in Rhizospheric Fungal Diversity ····· PAN Jian-gang, JIAO Hai-hua, BAI Zhi-hui, *et al.* (4329)

Concentrations of Mercury in Ambient Air in Wastewater Irrigated Area of Tianjin City and Its Accumulation in Leafy Vegetables ····· ZHENG Shun-an, HAN Yun-lei, ZHENG Xiang-qun (4338)

Combined Effects of 1-Nitropyrene and 1,2-Naphthoquinone on Cytotoxicity and DNA Damage in A549 Cells ····· SHANG Yu, JIANG Yu-ting, ZHANG Ling, *et al.* (4345)

Influence of Organic Matter Evolution During Composting on the Bioavailability of Heavy Metals ····· BU Gui-jun, YU Jing, DI Hui-hui, *et al.* (4352)

Carbonization of Heavy Metal Cu Implanted Sewage Sludge and Stability of Heavy Metal in the Resulting Char ····· DOU Xiao-min, CHEN De-zhen, DAI Xiao-hu (4359)

Technological Characteristics of Bioreactor Landfill with Aeration in the Upper Layer ····· TIAN Ying, WANG Shen, XU Qi-yong (4365)

Impact of Nitrate Continuous Injection on N_2O Releases from Bioreactor Landfill ····· BIAN Rong-xing, SUN Ying-jie, LI Jing-jing, *et al.* (4371)

Research on Contribution Decomposition by Industry to China's Carbon Intensity Reduction and Carbon Emission Growth ····· JIANG Jing-jing, YE Bin, JI Jun-ping, *et al.* (4378)

Shifting Path of Industrial Pollution Gravity Centers and Its Driving Mechanism in Pan-Yangtze River Delta ····· ZHAO Hai-xia, JIANG Xiao-wei, CUI Jian-xin (4387)

Method for Environmental Management in Paper Industry Based on Pollution Control Technology Simulation ····· ZHANG Xue-ying, WEN Zong-guo (4395)

Research Progress and Direction of Atmospheric Brown Carbon ····· YAN Cai-qing, ZHENG Mei, ZHANG Yuan-hang (4404)

《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 11 月 15 日　第 35 卷　第 11 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 35　No. 11　Nov. 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