

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第4期

Vol.34 No.4

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

唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究	苗红妍, 温天雪, 王丽, 李杏茹, 王跃思 (1225)
鼎湖山 PM ₁₀ 中水溶性离子浓度特征分析	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 刘全 (1232)
北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征	黄怡民, 刘子锐, 陈宏, 王跃思 (1236)
深圳市 PM ₁₀ 化学组成与时空分布特征	云慧, 何凌燕, 黄晓峰, 兰紫娟, 李响, 曾立武 (1245)
福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究	易志刚, 黄幸然, 毕峻奇, 郭萍萍, 郑丽丽 (1252)
河西走廊及兰州地区典型有机氯农药的大气残留及时空分布特征	丁中原, 毛潇萱, 马子龙, 田慧, 郭强, 黄韬, 高宏, 李军, 张干 (1258)
淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算	薛文博, 王金南, 杨金田, 雷宇, 燕丽, 贺晋瑜, 韩宝平 (1264)
香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析	黄文敏, 朱孔贤, 赵玮, 余博识, 袁希功, 冯瑞杰, 毕永红, 胡征宇 (1270)
变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响	赵微, 林健, 王树芳, 刘记来, 陈忠荣, 寇文杰 (1277)
基于 ArcSWAT 模型的长乐江流域非点源氮素污染源识别和分析	邓欧平, 孙嗣咏, 吕军 (1284)
西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探	郭威, 李祥忠, 刘卫国 (1291)
滇池流域宝象河暴雨径流初始冲刷效应	郭怀成, 向男, 周丰, 王永华, 李发荣, 朱翔, 毛国柱, 于书霞, 李娜, 盛虎, 杨永辉, 何成杰, 王翠榆 (1298)
三峡库区沉积物秋冬初的磷释放通量估算	牛凤霞, 肖尚斌, 王雨春, 刘德富, 黎国育, 王亮, 纪道斌, 杨正健 (1308)
海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况	辛成林, 任景玲, 张桂玲, 郭亚平, 张国玲, 刘素美 (1315)
黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征	吴斌, 宋金明, 李学刚 (1324)
扎龙湿地沉积物重金属空间分布特征及其潜在生态风险评价	叶花香, 臧淑英, 张丽娟, 张玉红 (1333)
上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价	唐庆丽, 程金平, 高昊旻, 姚磊, 蒋真毅, 吴旻, 谢翠松, 梁海, 王鹤, 皮帅帅, 余朝毅 (1340)
我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析	张灿, 陈虹, 余忆玄, 王立军, 韩建波, 陶平 (1345)
江苏某地长江、太湖水源水及出厂水中有机物雌激素活性的比较	金涛, 吕学敏, 曾一凡, 张冰冰, 马鲲鹏, 姜朴, 唐非 (1351)
北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋	周益奇, 刘云霞 (1357)
降解 DMF 引起污泥毒性及其毒性空间分布特性研究	胡园园, 杨娜, 丁毅, 徐文璐, 陈秀荣, 艾奇峰, 陈善佳, 王利鹏, 黄华 (1363)
渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险	安立会, 张燕强, 宋双双, 刘玥, 高俊敏, 陈浩, 赵兴茹, 雷坤, 郑丙辉 (1369)
巨牡蛎 (<i>Crassostrea</i> sp.) 对燃煤电厂脱硫海水中汞的生物累积	刘锡尧, 袁东星, 陈耀瑾 (1374)
咪唑盐离子液体对蚯蚓急性毒性及体重影响研究	黄若男, 范军杰, 涂宏志, 谭凌燕, 刘惠君, 徐冬梅 (1380)
铝盐混凝除砷影响因素及机制研究	陈桂霞, 胡承志, 朱灵峰, 童华卿 (1386)
混凝和活性炭吸附去除微污染源水中 DON 的研究	刘冰, 余国忠, 古励, 赵承美, 李清飞, 翟慧敏 (1392)
活性炭催化臭氧氧化扑热息痛的机制研究	王佳裕, 戴启洲, 鱼杰, 颜亦舟, 陈建孟 (1402)
氯酚溶液的 γ 辐照还原降解研究	彭云霞, 何仕均, 龚文琪, 王建龙 (1411)
C/N 比对反硝化过程中亚硝酸盐积累的影响分析	袁怡, 黄勇, 邓慧萍, 盛学敏, 潘杨, 李祥 (1416)
以甲醇为碳源生物反硝化过程释放一氧化二氮的试验研究	翟晓峰, 蒋成爱, 吴光学, 曾运涛 (1421)
固体纤维素类废物作为反硝化碳源滤料的比选	李斌, 郝瑞霞 (1428)
基于能源回收的城市污水厌氧氨氧化生物脱氮新工艺	卢健聪, 高大文, 孙学影 (1435)
多模式厌氧/缺氧/好氧污水处理工艺的稳态与动态模拟	周振, 吴志超, 王志伟, 杜兴治, 蒋玲燕, 邢灿 (1442)
高氨氮废水与城市生活污水短程硝化系统菌群比较	赵志瑞, 马斌, 张树军, 李滨, 白志辉, 王晓辉, 庄国强, 张洪助 (1448)
活性污泥絮体的分形结构分析	阮晓东, 刘俊新 (1457)
负荷交替法快速培养好氧硝化颗粒污泥的研究	沈娜, 杨昌柱, 濮文虹, 罗应东 (1464)
预加不同比例不同粒径好氧颗粒对 SBR 中好氧颗粒污泥形成的影响	熊光城, 濮文虹, 杨昌柱 (1472)
同时回收氮磷提高碱性发酵污泥脱水性能的机制研究	张超, 陈银广, 顾国维 (1479)
利用流式细胞仪分选技术研究湖泊真核超微藻的遗传多样性	谢薇薇, 龚伊, 王张伟, 孔繁翔, 史小丽 (1485)
阿魏酸和香豆素对铜绿微囊藻的化感作用	郭亚丽, 傅海燕, 黄国和, 高攀峰, 柴天, 严滨, 廖欢 (1492)
象山港国华电厂强增温海域浮游动物群落结构和多样性的时空特征	朱艺峰, 黄简易, 林霞, 杨莹, 邢超, 严小军 (1498)
环氧树脂降解嗜盐菌的筛选及其处理高盐环氧树脂废水的特性研究	王进, 徐真, 彭书传, 夏明山, 岳正波, 陈天虎 (1510)
铜绿假单胞菌胞内酶粗提液对十溴联苯醚的降解	史广宇, 尹华, 叶锦韶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1517)
酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 的影响	黄翔峰, 王凯, 黎明霞, 王彩林, 陆丽君, 刘佳 (1524)
玉米秸秆厌氧降解复合菌系的微生物群落结构	乔江涛, 郭荣波, 袁宪正, 师晓爽, 许晓晖, 范晓蕾, 邱艳玲 (1531)
红霉素对产甲烷菌的抑制及其驯化	刘子旭, 孙力平, 李玉友, 邱春生 (1540)
4 种 NAPLs 污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究	杨宾, 李慧颖, 伍斌, 杜晓明, 李发生 (1545)
污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布及可能来源	姚林林, 张彩香, 李佳乐, 廖小平, 王焰新 (1553)
呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价	郭伟, 孙文惠, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 张君 (1561)
水稻光合同化碳在土壤不同粒径、密度分组中的分配特征	李苗苗, 聂三安, 陈晓娟, 罗璐, 朱捍华, 石辉, 葛体达, 童成立, 吴金水 (1568)
亚热带不同稻田土壤微生物量碳的剖面分布特征	盛浩, 周萍, 袁红, 廖超林, 黄运湘, 周清, 张杨珠 (1576)
施用堆腐有机肥对水稻土中六氯苯脱氯降解影响	刘翠英, 蒋新 (1583)
螯合剂和生物表面活性剂对 Cu、Pb 污染壤土的淋洗修复	刘霞, 王建涛, 张萌, 王力, 杨亚提 (1590)
不同温度下烧制的秸秆炭对可变电荷土壤吸附 Pb(II) 的影响	蒋田雨, 姜军, 徐仁扣, 周立祥, 王世梅 (1598)
绿色木霉改性玉米秸秆溢油吸附剂的制备及其性能研究	蓝丹琳, 彭丹, 郭楚玲, 朱超飞, 薛秀玲, 党志 (1605)
改性与成型层状氢氧化镁铝对不同水体中 PO ₄ ³⁻ 的脱除性能	邢坤, 王海增 (1611)
羧基化碳纳米管载铂催化剂对微生物燃料电池阴极氧还原性能的影响	涂丽杏, 朱能武, 吴平霄, 李平, 吴锦华 (1617)
新型生物质活性炭烟气脱硫研究	刘洁岭, 汤争光, 陈杰, 蒋文举, 江霞 (1623)
城市工业行业能源消费强度等级划分方法及应用	毛建素, 马兰 (1628)
厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷	闫祯, 崔胜辉, 李桂林, 任引, 徐礼来 (1636)
《环境科学》征订启事 (1283) 《环境科学》征稿简则 (1332) 信息 (1350, 1509, 1582, 1644) 专辑征稿通知 (1523)	

淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算

薛文博^{1,2}, 王金南^{2*}, 杨金田², 雷宇², 燕丽², 贺晋瑜², 韩宝平¹

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221008; 2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012)

摘要: 为在我国构建基于“浓度控制、总量控制、质量控制”相结合的大气污染防治新模式, 结合国家《重点区域大气污染防治规划(2011-2015年)》及《淄博市环境保护“十二五”规划》的编制工作, 利用 CALPUFF 空气质量模型模拟了淄博市及其周边地区大气污染特征, 并基于模型模拟结果采用多目标线性优化方法估算了淄博市 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 这3项污染物的环境容量。研究表明, 淄博市大气污染受外来污染源影响大, 外来污染源对淄博全市 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 年均浓度贡献率分别达 26.34%、21.23%、14.58%。淄博市各区县之间存在显著的相互影响关系, 其中周边区县对张店中心城区的 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 年均浓度贡献率分别为 35.96%、43.17%、17.69%。淄博市不同区县的空间敏感性差异较大, 其中周村区、桓台县、张店区、淄川区单位污染物排放量对城市空气质量的综合影响明显大于其它区县。淄博市要达到《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)的要求, SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 的环境容量分别仅为 8.03×10^4 、 19.16×10^4 、 3.21×10^4 t。因此, 在山东半岛实施区域大气污染联防联控是确保淄博市空气质量达标的必要途径。

关键词: CALPUFF; 空气质量模拟; 跨界传输; 空间敏感性; 环境容量

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1264-06

Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City

XUE Wen-bo^{1,2}, WANG Jin-nan², YANG Jin-tian², LEI Yu², YAN Li², HE Jin-yu², HAN Bao-ping¹

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Chinese Academy For Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: To develop a new pattern of air pollution control that is based on the integration of “concentration control, total amount control, and quality control”, and in the context of developing national 《2011-2015 air pollution control plan for key areas》and 《Environmental protection plan of Zibo municipality for the “12th Five-Year Plan” period》, a simulation of atmospheric dispersion of air pollutants in Zibo City and its peripheral areas is carried out by employing CALPUFF model, and the atmospheric environmental capacity of SO_2 , NO_x and PM_{10} is estimated based on the results of model simulation and using multi-objective linear programming optimization. The results indicates that the air pollution in Zibo City is significantly related to the pollution sources outside of Zibo City, which contributes to the annual average concentration of SO_2 , NO_2 and PM_{10} in Zibo City by 26.34%, 21.23%, and 14.58% respectively. There is a notable interaction between districts and counties of Zibo municipality, in which the contribution of SO_2 , NO_x and PM_{10} emissions in surrounding counties and districts to the annual average concentrations of SO_2 , NO_2 and PM_{10} in downtown area are 35.96%, 43.17%, and 17.69% respectively. There is a great variation in spatial sensitivity of air pollutant emission, and the environmental impact of unit pollutant emissions from Zhoucun, Huantai, Zhangdian and Zichuan is greater than that released from other districts/counties. To meet the requirement of 《Ambient air quality standard》(GB 3095-2012), the environmental capacities of SO_2 , NO_x and PM_{10} of Zibo City are only 8.03×10^4 t, 19.16×10^4 t and 3.21×10^4 t, respectively. Therefore, it is imperative to implement regional air pollution joint control in Shandong peninsula in order to ensure the achievement of air quality standard in Zibo City.

Key words: CALPUFF; air quality simulation; trans-boundary transport; space sensitivity; environmental capacity

我国大气污染控制大致经历了“浓度控制(排放标准)”与“浓度、总量双控制”两个阶段,但污染物排放浓度控制及排放总量控制均是针对污染源自身的约束,且主要基于当前经济承受能力及治理技术可行性,并未过多考虑污染源与环境质量之间的响应关系及环境质量改善的客观需求。从我国“十一五”大气污染防治的经验来看,割裂污染源与环境质量之间的关系,仅依靠行政命令式的污染减排手段,难以有效解决我国日益复杂的大气环境问题,特别是跨界传输

的区域性及复合型大气环境问题。针对上述问题,我国正在编制《重点区域大气污染防治规划(2011~2015年)》,该规划以改善区域及城市环境空气质量为核心,力图在我国构建基于“浓度控制、总量控制、质量控制”相结合的大气污染防治新模式。因此,在

收稿日期: 2012-06-21; 修订日期: 2012-08-17

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201209001)

作者简介: 薛文博(1981~),男,博士研究生,主要研究方向为环境质量模拟, E-mail: xuewenboyah@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wangjin1962@126.com

当前探索研究基于环境影响的大气污染防治技术方法体系,对于创新环境管理手段、提高环境管理水平具有非常重要的意义^[1].

淄博市是我国空气污染最严重的城市之一,大气污染呈现典型的煤烟型污染和复合型污染并存的特征^[2,3],此外淄博市已被纳入国家《重点区域大气污染防治规划(2011~2015年)》,因此选取淄博市为对象,研究基于环境影响的大气污染防治技术方法体系,探索在我国构建基于“浓度控制、总量控制、质量控制”相结合的大气污染防治新模式.本研究结合《重点区域大气污染防治规划(2011~2015年)》、《淄博市环境保护“十二五”规划》的编制工作,利用 CALPUFF 空气质量模型模拟了淄博市各类污染源在气象场作用下的污染扩散过程,解析了各类污染物的来源及跨界传输规律,确定了各类排放源对 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 年均浓度的贡献率,并对污染源空间布局的环境敏感性进行了定量分析.在此基础上,基于不同污染控制情景计算了淄博市 SO_2 、 NO_x 及 PM_{10} 的环境容量.

1 研究方法与数据

1.1 方法设计

主要研究方法为:①利用 CALPUFF 空气质量模型分别模拟淄博市各区县及外来污染源排放对淄博市 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 年均浓度的影响;②利用淄博市空气质量实测数据对 CALPUFF 模型模拟结果的准确性进行验证;③依据验证后的模拟结果,分析各区县大气污染相互影响关系,确定各区县污染源及外来污染源对全市 SO_2 、 NO_2 及 PM_{10} 年均浓度贡献率;④依据 2009 年各区县污染物排放量及其对全市 SO_2 、 NO_2 及 PM_{10} 年均浓度的贡献率,计算各区县单位污染物排放量对全市 SO_2 、 NO_2 及 PM_{10} 年均浓度的影响强度,分析污染源排放的空间布局对空气质量影响的敏感性;⑤基于各区县间的相互影响关系及污染源排放布局的环境敏感性,以空气质量标准为约束条件,采用多目标线性优化技术估算淄博市 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 环境容量.

1.2 模型参数

(1) 模拟时段 模拟时段为 2009 年 1 月 1 日~2009 年 12 月 31 日全年,模拟时间间隔设为 1 h.

(2) 模拟范围 模拟区域采用 UTM 投影坐标系,UTM 投影带为 50°N,中心经度为 117°E. 水平区域模拟范围为 X 方向(532~652 km)、Y 方向(3 970~4 130 km),网格间距 4 km,共将模拟区域

划分为 30×40 个网格.模拟区域涉及的地区包括淄博市所有辖区及济南市、莱芜市、滨州市、东营市、临沂市、潍坊市及泰安市部分地区,具体范围见图 1 所示.模拟区域垂直方向共设置 6 层,层间距自下向上逐渐增大.

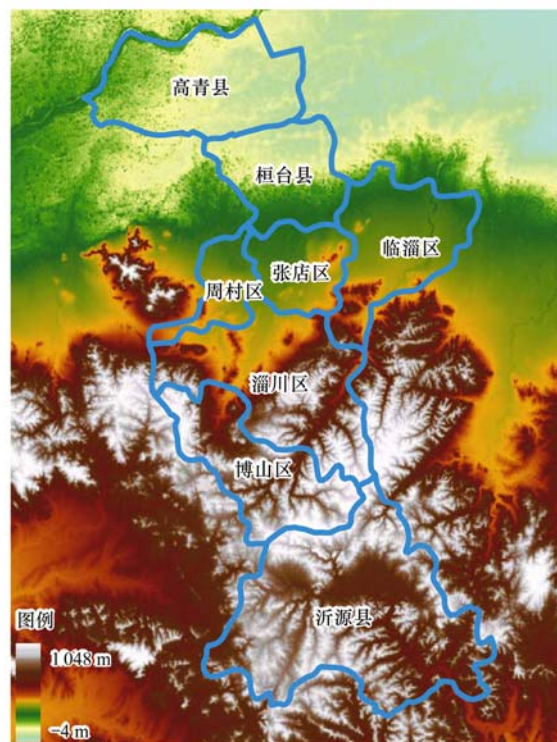


图1 模拟范围及地形地貌示意

Fig. 1 Domain of modeling and its topography

(3) 地表数据 地形高程数据采用 GOTOP30 数据^[4],土地利用数据采用美国地质勘探局(USGS)提供的数据库^[5].

(4) 浓度受体点 共设定 30×40 共计 1 200 个网格点、16 个受体点(将 16 个空气质量监测点位作为受体点),合计 1 216 个浓度输出点.

1.3 气象数据

CALPUFF 模拟系统采用诊断风场模块 CALMET 生成气象场,CALMET 模块对原始气象数据的最低要求为至少 2 个地面观测站资料和 1 个探空站观测资料^[6~10].本研究所用地面观测数据采用 2009 年张店站、淄川站两个地面观测站全年逐时气象数据,气象参数主要包括风向、风速、温度、湿度、气压、云量(低云和总云)、降水等要素.所用探空气象数据采用 2009 年中尺度气象学模型 mm5^[11~13] 输出的全年每天 2 次(分别为 08:00、20:00)、21 层的高空数据.地面观测及探空气象数据见表 1 所示.

表 1 采用的气象资料

Table 1 Meteorological data used for modeling

数据来源	经度 E/(°)	纬度 N/(°)	类型	静风频率/%	主导风向
张店气象站	118.000	36.830	逐时资料	12.0	西南风
淄川气象站	117.950	36.630	逐时资料	13.9	南风偏西
mm5 模型	118.015	36.392	每天 2 次	—	—

1.4 排放数据

依据淄博市环保局提供的污染源排放数据,将淄博市辖区内所有污染源划分为重点工业源、非重点工业源、生活源及机动车源四类^[14,15],其中重点工业

源作为点源模拟,非重点工业源、生活源及机动车源均作为面源模拟。淄博市辖区外污染源仅考虑了工业源,并将辖区外所有工业污染源作为点源进行模拟。模拟范围内各污染物排放状况见表 2 所示。

表 2 2009 年模拟范围内各污染物排放量 $\times 10^4/t$ Table 2 Emissions of the pollutants in 2009 in the modeling domain $\times 10^4/t$

污染源	辖区内					辖区外	总计
	重点源	非重点源	生活源	机动车	小计		
SO ₂ 排放量	18.06	1.17	0.87	0.00	20.09	20.40	40.49
NO _x 排放量	15.91	0.64	0.20	2.33	19.07	13.13	32.20
PM ₁₀ 排放量	4.83	0.54	0.98	0.12	6.46	7.21	13.67

1.5 模型验证

将模型模拟结果与地面观测数据进行比对是评价模型优劣的主要方式。2009 年淄博市共设有 16 个空气质量自动监测点位,其中张店、博山、淄川、周村、临淄 5 区共设有 13 个监测点位,桓台、沂源、高青这 3 县各设 1 个监测点位。由于张店新区监测点从 2009-04-01 ~ 2009-12-26 因故障停止运行,因此将全年正常运行的 15 个空气质量监测点位 SO₂、NO₂、PM₁₀ 年均浓度观测值与模型模拟结果进行对比分析。分析结果表明:SO₂、NO₂、PM₁₀ 年均浓度观测值与模拟值的相关系数分别为 0.62、0.59 及 0.52, SO₂、NO₂ 年均浓度相比观测值平均低估 20.17%、25.31%。由于 PM₁₀ 模拟过程未考虑扬尘源及二次颗粒物的影响,所以 PM₁₀ 年均浓度模拟结果相比实际观测值平均偏小 69.47%,该结论与淄博市颗粒物源解析已有研究成果(扬尘对 PM₁₀ 的贡献率约为 50% 左右)相互得以印证^[16],证实了 PM₁₀ 模拟结果的可靠性。总体来看,SO₂ 模拟结果的准确性高于 NO₂、PM₁₀,模型模拟结果准确反映了 SO₂、NO₂、PM₁₀ 年均浓度的空间分布特征,相关验证参数见表 3 所示。

表 3 模型准确性验证

Table 3 Assessment of the modeling performance

污染物	样本	相关系数	显著水平	平均偏离率/%
SO ₂	15	0.62	0.01	20.17
NO ₂	15	0.59	0.02	25.31
PM ₁₀	15	0.52	0.05	69.47

2 结果与分析

2.1 各区县间相互影响关系分析

2.1.1 二氧化硫

SO₂ 年均浓度模拟结果表明:本地源排放对淄博全市 SO₂ 年均浓度的贡献率为 73.66%,其中张店区(22.64%)、临淄区(21.09%)、淄川区(12.00%)对全市 SO₂ 年均值的贡献率均超过 10%,累计贡献率达到 55.73%,占到本地源贡献率的 75.66%。除受本地污染源影响外,外来源对淄博全市 SO₂ 年均值的贡献率为 26.34%。从各区县之间的相互影响来看,各区县及外来源之间均存在着显著的相互影响关系。以张店区为例,张店区自身源排放对张店区 SO₂ 年均浓度的贡献率为 42.56%,其他周边区县对张店区 SO₂ 年均浓度的贡献率为 35.96%,淄博市辖区外污染源对张店区 SO₂ 年均浓度的贡献率达到 21.48%。各区县及外来源之间的相互影响关系见图 2。

2.1.2 二氧化氮

NO₂ 年均浓度模拟结果表明:淄博市本地源排放的 NO_x 对全市 NO₂ 年均浓度的平均贡献率为 78.77%,其中贡献率较大的区县有张店区(23.76%)、临淄区(14.92%)、淄川区(14.70%)及桓台县(11.32%),上述 4 区县累计对全市 NO₂ 年均值的贡献率为 64.70%,占本地源贡献率的 82.14%。辖区外污染源对淄博全市 NO₂ 年均浓度的贡献率为 21.23%,外来源对 NO₂ 浓度的贡献率

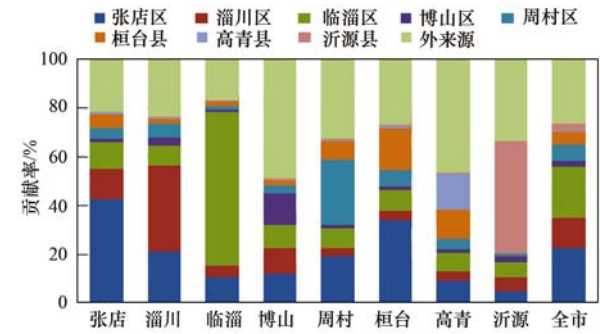


图2 各区县 SO_2 之间的相互影响

Fig. 2 Contribution of SO_2 emissions to the ambient concentration among the counties of Zibo City

小于对 SO_2 浓度的贡献率,主要原因是:①电力行业、机动车均是 NO_x 排放大户,致使高架源 NO_x 排放量占 NO_x 排放总量的比例小于 SO_2 高架源排放量占 SO_2 排放总量的比例,因此 NO_x 远距离传输能力较 SO_2 弱;② NO_x 具有较高的化学活性,在空气中的寿命较 SO_2 短,不利于长距离传输^[17]. 与 SO_2 相似,各区县及外来源同样存在着明显的相互影响,其中张店中心城区 NO_2 年均浓度受张店自身源排放、周边区县污染源、淄博市辖区外污染源的影响分别为 41.12%、43.17%、15.71%. 各区县及外来源之间的相互影响关系如图 3 所示.

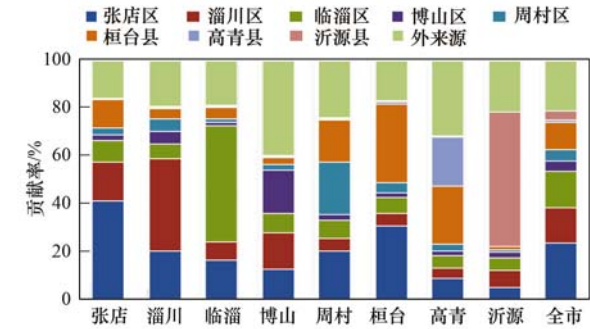


图3 各区县 NO_2 之间的相互影响

Fig. 3 Contribution of NO_2 emissions to the ambient concentration among the counties of Zibo City

2.1.3 可吸入颗粒物

本研究计算了工业源、生活源及机动车源排放的颗粒物,未计算扬尘对 PM_{10} 浓度的贡献. PM_{10} 年均浓度模拟结果表明:淄博市本地源排放的颗粒物对全市 PM_{10} 年均浓度贡献率为 35.42%. 考虑到扬尘排放对 PM_{10} 浓度贡献为局地影响^[18,19],因此加上扬尘对 PM_{10} 浓度的贡献率 50%^[16],本地源合计对全市 PM_{10} 年均浓度的平均贡献率为 85.42%,外来源对淄博全市 PM_{10} 年均浓度的贡献率为 14.58%.

外来源对 PM_{10} 的影响明显小于对 SO_2 及 NO_2 浓度的影响,证实了 PM_{10} 污染以局地污染为主的特点. 因此,要降低空气中 PM_{10} 浓度的关键在于控制本地扬尘污染. 从张店区来看,张店中心城区 PM_{10} 年均浓度受张店区自身源排放、周边区县污染源及淄博市辖区外污染源的影响分别为 72.06%、17.69%、10.25%. 各区县及外来源之间的相互影响关系见图 4 所示.

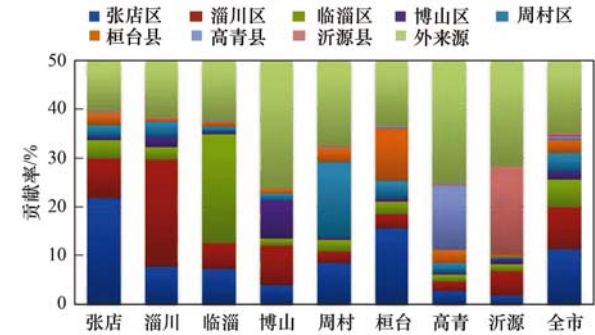


图4 各区县 PM_{10} 之间的相互影响

Fig. 4 Contribution of PM_{10} emissions to the ambient concentration among the counties of Zibo City

2.2 各区县空间布局敏感性分析

各区县污染源排放空间布局的环境敏感性系数定义为:“该区县每万吨某污染物排放量对全市该污染物年均浓度的贡献量或影响强度”,该指标可直接反映空间布局对空气质量的敏感性,是优化城市污染源布局的重要指标,也是估算环境容量的关键参数. 从模拟结果来看,不同地区排放相同量的污染物对城市空气质量的影响存在显著差异. 以 SO_2 为例,不同地区每万吨 SO_2 排放对 SO_2 年均浓度的贡献量由高到低依次为:周村区 $[9.11 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、桓台县 $[9.02 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、张店区 $[8.57 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、淄川区 $[5.77 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、沂源县 $[4.78 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、临淄区 $[4.67 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、博山区 $[4.59 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、高青县 $[4.09 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$ 、外来源 $[2.37 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4 \text{t})^{-1}]$. 各区县单位污染物排放对城市 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 年均浓度的影响强度见表 4.

2.3 基于新标准的环境容量估算

2.3.1 设计控制情景

大气环境容量不仅受气象、地形等自然因素的影响,同样受污染源布局及排放特征等人为因素的影响,因此环境容量的计算需基于一定的假设条件^[20~24]. 尤其是对于城市尺度的大气环境容量而言,由于城市的空间范围相对较小,环境容量受外来

表 4 各区县环境敏感性系数/ $\mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4\text{t})^{-1}$
Table 4 Environment sensitivity coefficient of
each county/ $\mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4\text{t})^{-1}$

地区	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
张店区	8.57	1.67	13.73
淄川区	5.77	1.48	6.81
临淄区	4.67	1.78	8.82
博山区	4.59	1.68	6.52
周村区	9.11	1.89	14.44
桓台县	9.02	2.79	12.90
高青县	4.09	1.25	8.98
沂源县	4.78	1.15	6.92
外来源	2.37	0.57	3.78

表 5 污染控制情景

Table 5 Assumptions for different emission control scenarios

污染控制情景	基本特征	基本假定
情景 1	统筹考虑本地源、外来源对环境质量的影响,通过对区域污染源排放最优化控制实现空气质量达标	
情景 2	外来源主要大气污染物排放量不发生变化,通过对本地污染源排放最优化控制实现空气质量达标	假定扬尘对 PM ₁₀ 浓度贡献率保持在 50% 不变. 意味着扬尘与工业源颗粒物同步控制
情景 3	外来源 SO ₂ 排放量削减 20%, NO _x 排放量削减 20%, 颗粒物排放削减 20%; 通过对本地污染源排放最优化控制实现空气质量达标	
情景 4	外来源 SO ₂ 排放量削减 40%, NO _x 排放量削减 40%, 颗粒物排放削减 40%; 通过对本地污染源排放最优化控制实现空气质量达标	

空气质量标准》(GB 3095-2012)要求的年均浓度二级标准为约束条件,通过多目标线性优化技术^[25],计算公式如下.

目标函数:

$$\text{Max } F(Q) = \sum_{i=1}^8 Q_i \quad (1)$$

约束方程:

$$\sum_{i=1}^8 Q_i a_i + D \leq c_0 \quad (2)$$

式中,Max $F(Q)$ 为淄博市各污染物排放量最大化目标函数($\times 10^4\text{t}$); Q_i 分别为淄博市 8 个区县的污染物最大允许排放量($\times 10^4\text{t}$); a_i 为第 i 个区县单位污染物排放量对全市污染物年均浓度贡献量 [$\mu\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot10^4\text{t})^{-1}$],依据表 4 取值; D 为各污染物年均浓度背景值及模型模拟误差 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),依据模型模拟结果与实际监测值的差值确定; c_0 为空气质量年均浓度二级标准 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),SO₂、NO₂、PM₁₀ 分别执行 60、40、70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

依据公式(1)和(2)计算出不同情景下淄博市 SO₂、NO_x 及 PM₁₀ 的环境容量见表 6 所示. 考虑到山东省已被纳入《重点区域大气污染防治规划(2011~2015 年)》,规划明确要求山东省各城市间建立大气污染联防联控机制,实施城市间的统筹协调控制,因此基于情景 1 计算的环境容量能够反映

源变化的影响较大,外来源的同步削减同样能为本地腾出更大的环境容量空间. 基于以上原因,结合《重点区域大气污染防治规划(2011~2015 年)》对山东省的具体要求以及《中国环境宏观战略研究》确定的国家中长期污染减排目标,设定 4 个污染控制情景,分别核算不同情景下 SO₂、NO_x、PM₁₀ 的环境容量(表 5).

2.3.2 环境容量估算

SO₂、NO_x、PM₁₀ 这 3 项污染物环境容量的计算,以各污染物放量最大化为目标函数(充分利用环境容量资源,尽可能地减少减排成本),以《环境

淄博市未来实际环境容量,即全市 SO₂、NO_x、PM₁₀ 环境容量(不含扬尘)分别为 8.03×10^4 、 19.16×10^4 、 $3.21 \times 10^4\text{t}$.

表 6 淄博市环境容量 $\times 10^4/\text{t}$

Table 6 Environmental capacity of Zibo City $\times 10^4/\text{t}$

不同情景	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4
SO ₂	8.03	3.06	6.04	8.19
NO _x	19.16	29.57	31.81	34.05
PM ₁₀	3.21	3.11	3.71	3.98

3 结论

(1) 淄博市各区县之间存在着显著的相互影响关系,其中周边区县对张店中心城区的 SO₂、NO₂、PM₁₀ 年均浓度贡献率分别为 35.96%、43.17%、17.69%. 此外,淄博市南北狭长的地理特征致使外来污染源对淄博全市 SO₂、NO₂、PM₁₀ 年均浓度的贡献率分别达 26.34%、21.23%、14.58%. 如外来源不能得到有效控制,淄博市很难通过自身的努力从根本上改善本地空气质量. 淄博市应积极参与山东半岛城市群区域大气污染联防联控工作,通过区域大气污染联防联控机制逐步实现空气质量达标.

(2) 淄博市不同区县的环境敏感性差异较大,周村区、桓台县、张店区、淄川区单位污染物排放量对空气质量的综合影响明显大于其它区县. 淄博

市应严格控制上述四区县 SO_2 、 NO_x 及颗粒物排放量,将上述四区县划分为高污染燃料禁烧区,禁止高硫煤使用,大力推广清洁燃料,提高环境准入门槛,对辖区的高污染企业逐步迁出。

(3)在不考虑二次污染和扬尘的情况下,淄博市 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 的环境容量分别为 $8.03 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $19.16 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $3.21 \times 10^4 \text{ t}$ (不含扬尘),其中 SO_2 、 PM_{10} 环境容量分别为 2009 年淄博市排放量的 40%、50% 左右, NO_x 环境容量基本与 2009 年持平。从淄博市经济发展水平、产业结构及能源消费状况来看, SO_2 、 PM_{10} 实际排放量在短期内很难降至环境容量以下。淄博市结合本市空气质量改善的客观需求,“十二五”期间应制定远严于国家及山东省所下达的污染物总量控制目标。

参考文献:

- [1] 中国工程院,环境保护部. 中国环境宏观战略研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [2] 环境保护部. 2009 年度全国城市环境管理与综合整治年度报告[EB/OL]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201011/20101104_197137.html.
- [3] 山东省环保厅. 2009 年山东省环境质量状况公报[EB/OL]. http://www.sdein.gov.cn/art/2010/8/17/art_140_239079.html.
- [4] Atmospheric Studies Group. SRTM30_GTOPO30_DATA [EB/OL]. http://www.src.com/datasets/datasets_terrain.html#SRTM30_GTOPO30_DATA, 2009-08-26.
- [5] Atmospheric Studies Group. LAMBERT_AZIMUTHAL_LULC_DATA [EB/OL]. http://www.src.com/datasets/datasets_lulc.html#LAMBERT_AZIMUTHAL_LULC_DATA, 2007-05-14.
- [6] Scire J S, Robe F R. A User's guide for the CALMET meteorological model[EB/OL]. <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>, 2011-04-25.
- [7] Scire J S, Stimaitis D G. A User's guide for the CALPUFF dispersion model [EB/OL]. <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>, 2011-11-03.
- [8] Gilliam R C, Huber A H, Raman S. Metropolitan-scale transport and dispersion from the New York World Trade Center following September 11, 2001. Part II: An application of the CALPUFF plume model [J]. Pure and Applied Geophysics, 2005, 162 (10): 2005-2028.
- [9] Fushimi A, Kawashima H, Kajihara H. Source apportionment based on an atmospheric Dispersion model and multiple linear regression analysis [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39 (7): 1323-1334.
- [10] 王淑兰,张远航,钟流举,等. 珠江三角洲城市间空气污染的相互影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(2): 133-137.
- [11] National Center for Atmospheric Research. MM5 Community Model Homepage [EB/OL]. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>, 2008-11-01.
- [12] 白晓平,李红,方栋,等. 资料同化方法在空气污染数值预报中的应用研究[J]. 环境科学, 2008, 29(2): 283-289.
- [13] 王艳,柴发合,王永红,等. 长江三角洲地区大气污染物输送规律研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1430-1435.
- [14] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查技术报告[M]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [15] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查数据集[M]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [16] 淄博市环境监测站. 淄博市城市环境空气可吸入颗粒物源解析研究报告[R]. 淄博:淄博市环境监测站,2004.
- [17] 戴树桂. 环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- [18] 白志鹏,王宝庆,王秀艳,等. 空气颗粒物污染与防治[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [19] 贺克斌,杨复沫,段凤魁,等. 大气颗粒物与区域复合污染[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [20] 陈丁江,吕军,金培坚,等. 非点源污染河流水环境容量的不确定性分析[J]. 环境科学, 2010, 31(5): 1215-1219.
- [21] 王金南,潘向忠. 线性规划方法在环境容量资源分配中的应用[J]. 环境科学, 2005, 26(6): 195-198.
- [22] 徐鹤,丁洁,冯晓飞. 基于 ADMS-Urban 的城市区域大气环境容量测算与规划[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2010, 43(4): 67-72.
- [23] 高朋,冯俊文. 工程网络计划的 LR 型模糊系数线性规划方法[J]. 中国工程科学, 2009, 11(2): 70-74.
- [24] 肖杨,毛显强,马根慧,等. 基于 ADMS 和线性规划的区域大气环境容量测算[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 13-16.
- [25] 李云生,谷清,冯银厂. 城市区域大气环境容量总量控制技术指南[M]. 北京:中国环境科学出版社,2005.

CONTENTS

Water-soluble Inorganic Salts in Ambient Aerosol Particles in Tangshan	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Li, <i>et al.</i> (1225)
Characterization of Water-soluble ions in PM _{2.5} at Dinghu Mount	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1232)
Characteristics of Mass Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Winter Haze Days of Beijing	HUANG Yi-min, LIU Zi-rui, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM _{2.5} Species in Shenzhen	YUN Hui, HE Ling-yan, HUANG Xiao-feng, <i>et al.</i> (1245)
Characteristics of PAHs in the Atmosphere in Winter and Summer in the Urban and Suburban of Fuzhou	YI Zhi-gang, HUANG Xing-ran, BI Jun-qi, <i>et al.</i> (1252)
Seasonal Variation and Spatial Distribution of Typical Organochlorine Pesticides in the Atmosphere of Hexi Corridor and Lanzhou, Northwest China	DING Zhong-yuan, MAO Xiao-xuan, MA Zi-long, <i>et al.</i> (1258)
Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City	XUE Wen-bo, WANG Jin-nan, YANG Jin-tian, <i>et al.</i> (1264)
Diurnal Changes in Greenhouse Gases at Water-Air Interface of Xiangxi River in Autumn and Their Influencing Factors	HUANG Wen-min, ZHU Kong-xian, ZHAO Wei, <i>et al.</i> (1270)
Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method	ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1277)
Nitrogen Non-Point Source Pollution Identification Based on ArcSWAT in Changhe River	DENG Ou-ping, SUN Si-yang, LÜ Jun (1284)
Study on the Content and Carbon Isotopic Composition of Water Dissolved Inorganic Carbon from Rivers Around Xi'an City	GUO Wei, LI Xiang-zhong, LIU Wei-guo (1291)
First Flush Effects of Storm Events of Baoxiang River in Lake Dianchi Watershed	GUO Huai-cheng, XIANG Nan, ZHOU Feng, <i>et al.</i> (1298)
Estimation of Releasing Fluxes of Sediment Phosphorous in the Three Gorges Reservoir During Late Autumn and Early Winter	NIU Feng-xia, XIAO Shang-bin, WANG Yu-chun, <i>et al.</i> (1308)
Distributions and Pollution Status of Heavy Metals in the Suspended Particles of the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	XIN Cheng-lin, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (1315)
Environmental Characteristics of Heavy Metals in Surface Sediments from the Huanghe Estuary	WU Bin, SONG Jin-ming, LI Xue-gang (1324)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Zhalong Wetland	YE Hua-xiang, ZANG Shu-ying, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (1333)
Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals of the Typical Dredged Mud in Shanghai	TANG Qing-li, CHENG Jin-ping, GAO Hao-min, <i>et al.</i> (1340)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas	ZHANG Can, CHEN Hong, YU Yi-xuan, <i>et al.</i> (1345)
Comparison of the Estrogenic Activity of Organic Compounds in Source Water and Finished Water from the Yangtze River and Taihu Lake in Certain Areas of Jiangsu Province	JIN Tao, LÜ Xue-min, ZENG Yi-fan, <i>et al.</i> (1351)
Occurrence and Fate of Phthalates in Wastewater Treatment Plants in Beijing, China	ZHOU Yi-qi, LIU Yun-xia (1357)
Research on Sludge Toxicity Caused by DMF Biodegradation and Toxicity Spatial Distribution in Sludge Flocs	HU Yuan-yuan, YANG Na, DING Yi, <i>et al.</i> (1363)
Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk (<i>Rapana venosa</i>) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, SONG Shuang-shuang, <i>et al.</i> (1369)
Bioaccumulation of Mercury in <i>Crassostrea</i> sp. Exposed to Waste Seawater Discharged from a Coal-fired Power Plant Equipped with a Seawater Flue-gas Desulfurization System	LIU Xi-yao, YUAN Dong-xing, CHEN Yao-jin (1374)
Effects of Imidazolium Chloride Ionic Liquids on the Acute Toxicity and Weight of Earthworm	HUANG Ruo-nan, FAN Jun-jie, TU Hong-zhi, <i>et al.</i> (1380)
Influencing Factors and Mechanism of Arsenic Removal During the Aluminum Coagulation Process	CHEN Gui-xia, HU Cheng-zhi, ZHU Ling-feng, <i>et al.</i> (1386)
Removal of DON in Micro-polluted Raw Water by Coagulation and Adsorption Using Activated Carbon	LIU Bing, YU Guo-zhong, GU Li, <i>et al.</i> (1392)
Mechanism of Catalytic Ozonation for the Degradation of Paracetamol by Activated Carbon	WANG Jia-yu, DAI Qi-zhou, YU Jie, <i>et al.</i> (1402)
Reductive Degradation of Chlorophenols in Aqueous Solution by Gamma Irradiation	PENG Yun-xia, HE Shi-jun, GONG Wen-qi, <i>et al.</i> (1411)
Effect of C/N Ratio on Nitrite Accumulation During Denitrification Process	YUAN Yi, HUANG Yong, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (1416)
Nitrous Oxide Emission During Denitrification for Activated Sludge Acclimated with Methanol as the Organic Carbon	ZHAI Xiao-feng, JIANG Cheng-ai, WU Guang-xue, <i>et al.</i> (1421)
Comparison and Optimization of Cellulose Carbon Source for Denitrification Filter	LI Bin, HAO Rui-xia (1428)
A Novel Municipal Wastewater Treating Process for Energy Production and Autotrophic Nitrogen Removal Based on ANAMMOX	LU Jian-cong, GAO Da-wen, SUN Xue-ying (1435)
Modeling and Dynamic Simulation of the Multimode Anaerobic/Anoxic/Aerobic Wastewater Treatment Process	ZHOU Zhen, WU Zhi-chao, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1442)
Comparing Microbial Community of High Ammonia Wastewater and Municipal Sewage in a Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, MA Bin, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (1448)
Analysis of the Fractal Structure of Activated Sludge Flocs	RUAN Xiao-dong, LIU Jun-xin (1457)
Rapid Cultivation of Aerobic Nitrifying Granular Sludge with Alternate Loading Method	SHEN Na, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1464)
Acceleration of the Formation of Aerobic Granules in SBR by Inoculating Different Proportions and Different Diameters of Mature Aerobic Granules	XIONG Guang-cheng, PU Wen-hong, YANG Chang-zhu (1472)
Mechanisms of the Improvement in Dewaterability of Alkaline Fermented Sludge by Simultaneous Ammonium and Phosphate Recovery	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei (1479)
Use of Flow Cytometric Sorting to Assess the Diversity of Eukaryotic Picophytoplankton of Lakes	XIE Wei-wei, GONG Yi, WANG Zhi-xue, <i>et al.</i> (1485)
Allelopathy Effects of Ferulic Acid and Coumarin on <i>Microcystis aeruginosa</i>	GUO Ya-li, FU Hai-yan, HUANG Guo-he, <i>et al.</i> (1492)
Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and Diversity in the Strong Temperature Increment Seawaters near Guohua Power Plant in Xiangshan Bay	ZHU Yi-feng, HUANG Jian-yi, LIN Xia, <i>et al.</i> (1498)
Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment	WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (1510)
Biodegradation of Decabromodiphenyl Ether by Intracellular Enzyme Obtained from <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SHI Guang-yu, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1517)
Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, <i>et al.</i> (1524)
Phylogenetic Analysis of Methanogenic Corn Stalk Degrading Microbial Communities	QIAO Jiang-tao, GUO Rong-bo, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (1531)
Inhibition of Methanogenium by Erythromycin and Its Domestation	LIU Zi-xu, SUN Li-ping, LI Yu-you, <i>et al.</i> (1540)
Sand Box Study on Fingering Front Morphology for NAPLs Infiltrated in Homogeneous Porous Media	YANG Bin, LI Hui-ying, WU Bin, <i>et al.</i> (1545)
Vertical Distribution and Possible Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sewage Area Soil	YAO Lin-lin, ZHANG Cai-xiang, LI Jia-le, <i>et al.</i> (1553)
Characteristic and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot	GUO Wei, SUN Wen-hui, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1561)
Distribution Characteristics of Rice Photosynthesized Carbon in Soil Aggregates of Different Size and Density	LI Miao-miao, NIE San-an, CHEN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1568)
Profile of Soil Microbial Biomass Carbon in Different Types of Subtropical Paddy Soils	SHENG Hao, ZHOU Ping, YUAN Hong, <i>et al.</i> (1576)
Effect of Composting Organic Fertilizer Supplies on Hexachlorobenzene Dechlorination in Paddy Soils	LIU Cui-ying, JIANG Xin (1583)
Remediation of Cu-Pb-Contaminated Loess Soil by Leaching with Chelating Agent and Biosurfactant	LIU Xia, WANG Jian-tao, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (1590)
Effects of Different Temperatures Biochar on Adsorption of Pb(II) on Variable Charge Soils	JIANG Tian-yu, JIANG Jun, XU Ren-kou, <i>et al.</i> (1598)
Preparation and Performance Investigation of <i>Trichoderma viride</i> -Modified Corn Stalk as Sorbent Materials for Oil Spills	LAN Zhou-lin, PENG Dan, GUO Chu-ling, <i>et al.</i> (1605)
Removal of PO ₄ ³⁻ from Solution, Wastewater and Seawater by Modification and Granulation Magnesium and Aluminium Layered Double Hydroxide	XING Kun, WANG Hai-zeng (1611)
Influence of Carboxylic Carbon Nanotube Supported Platinum Catalyst on Cathode Oxygen Reduction Performance of MFC	TU Li-xing, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1617)
Flue Gas Desulfurization by a Novel Biomass Activated Carbon	LIU Jie-ling, TANG Zheng-guang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1623)
Method for Grading Industrial Sectors in Energy Consumption and Its Application	MAO Jian-su, MA Lan (1628)
Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China	YAN Zhen, CUI Sheng-hui, LI Gui-lin, <i>et al.</i> (1636)

《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4月15日 34卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 4 Apr. 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