

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第4期

Vol.36 No.4

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示 高庆先,刘俊蓉,李文涛,高文康(1141)

2013年1月北京市PM_{2.5}区域来源解析 李璇,聂滕,齐珺,周震,孙雪松(1148)

2013年1月北京市一次空气重污染成因分析 程念亮,李云婷,张大伟,聂滕,邱启鸿,徐文帅(1154)

上海大气总悬浮颗粒物中金属的可溶性特征 常燕,冯冲,瞿建国,张经(1164)

厦门春季PM₁₀中PAHs成分谱特征及其与气象要素相关性分析 张健,樊曙先,孙玉,张悦,魏锦成(1173)

硫氧同位素示踪南京北郊大气PM_{2.5}中硫酸盐来源 魏英,郭照冰,葛鑫,祝胜男,姜文娟,石磊,陈姝(1182)

结合激光雷达分析2014年春季南京地区一次大气污染过程 包青,贺军亮,查勇,程峰,李倩楠(1187)

春季华东高山背景区域PM_{2.5}和PM_{2.5-10}中水溶性无机离子特征 苏彬彬,张智胜,陶俊,许榕洋,纪贤鑫,刘心东,张若宇(1195)

落叶燃烧排放的颗粒物及有机碳、元素碳的研究 杨伟宗,刘刚,李久海,徐慧,吴丹(1202)

四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征 何敏,王幸锐,韩丽,冯小琼,毛雪(1208)

深圳市船舶排放清单与时空特征研究 杨静,尹佩玲,叶斯琪,王水胜,郑君瑜,区家敏(1217)

超细颗粒通过建筑狭缝的传输特性 孙在,陈秋方,蔡志良,杨文俊,汪晗(1227)

空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征 张华玲,冯鹤华,方子梁,王本栋,李丹(1234)

基于氢氧稳定同位素的黄土高原云下二次蒸发效应 靳晓刚,张明军,王圣杰,朱小凡,董蕾,任正果,陈粉丽(1241)

黄河小浪底水库水沙调控对DOC输送的影响 张永领,王明仕,董玉龙(1249)

调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响 王苗苗,孙志高,卢晓宁,王伟,王传远(1256)

春季生物作用对山地岩溶池水地球化学特征的影响 于正良,杨平恒,赵瑞一,李林立,张琳,童小容,罗刚(1263)

降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析 任坤,杨平恒,江泽利,王尊波,师阳,王凤康,李晓春(1270)

北江和珠江广州河段水体的三卤甲烷风险评价 钟惠舟,韦朝海(1277)

丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析 李昆,王玲,李兆华,王祥荣,陈红兵,吴忠,朱鹏(1285)

三峡库区典型干-支流相互作用过程中的营养盐交换:以梅溪河为例 操满,傅家楠,周子然,邓兵,王雨春,汪福顺(1293)

营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响 王睿喆,王沛芳,任凌霄,王超,王颖(1301)

一小型藻华池塘浮游植物群落动态及其影响因子研究 杨文,朱津永,张克鑫,万莉,陆开宏(1309)

昌黎生态监控区夏季浮游植物群落年际变化特征分析 梁晓林,杨阳,王玉良,张月明,赵志楠,韩晓庆,张鉴达,高伟明(1317)

河道曝气提升河流水质的WASP模型研究 朱文博,王洪秀,柳翠,张建,梁爽(1326)

γ辐射降解水中的盐酸环丙沙星的研究 祝胜男,郭照冰,赵永富,葛鑫,魏英,陈姝,王静(1332)

电化学氢化物发生法处理含镉废水及对镉的回收 陈京晶,张国平,李海霞,付志平,欧阳小雪,吴琼(1338)

Fe-MCM-41催化臭氧氧化间甲酚废水 孙文静,王亚曼,卫皇墨,王森,李旭宁,李敬美,孙承林,安路阳(1345)

生物阳极及其反转为生物阴极降解氯霉素 孔德勇,梁斌,云慧,王爱杰,任南琪(1352)

308 nm光作用下α-Fe₂O₃表面HNO₃的光解 陆军,孙云东,谢晶晶,赵军,邹家骥,朱承强(1359)

L-组氨酸-赤藓红复合膜修饰电极同时检测对苯二酚、邻苯二酚 何家洪,徐强,丁武泉,李强(1365)

酞基功能型高分子生物载体(PET-AQS)制备及催化生物反硝化特性研究 许晴,侯正浩,田秀蕾,牛春梅,郭延凯,廉静,郭建博(1374)

枯草芽孢杆菌对土臭素和2-甲基异冰片的降解动力学特性 马念念,罗国芝,谭洪新,姚妙兰,王晓用(1379)

嗜咪降解菌筛选及其对焦化废水强化处理 李静,李文英(1385)

Fe³⁺对同步硝化反硝化过程氮元素迁移转化及N₂O释放的影响 李浩,闫玉洁,谢慧君,贾文林,胡振,张建(1392)

内循环半短程亚硝化工艺运行条件与微生物群落研究 赵志瑞,焦海华,崔丙健,黄迪,曹世超,王云,刘上千,马斌,白志辉(1399)

利用处理含4-氯苯酚模拟废水的剩余污泥培养普通小球藻 王璐,陈秀荣,闫龙,何怡萱,施震东(1406)

进水渗滤液总氮和BOD₅/TN对填埋场反应器反硝化和厌氧氨氧化协同脱氮的影响 杨盈盈,陈奕,李明杰,谢冰(1412)

重庆金佛山土壤中PAHs含量的海拔梯度分布及来源解析 师阳,孙玉川,梁作兵,任坤,袁道先(1417)

湖南攸县典型煤矿和工厂区水稻田土壤镉污染特征及污染途径分析 张敏,王美娥,陈卫平,牛俊杰(1425)

沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响 苏文辉,于晓菲,王国平,栾金花,邹元春(1431)

施用磷酸盐和沸石对土壤镉形态转化的影响 王秀丽,梁成华,马子惠,韩月(1437)

不同条件下皂苷对污染壤土中Cu、Pb的淋洗修复 邓红侠,杨亚莉,李珍,许岩,李荣华,孟昭福,杨亚提(1445)

陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属积累特征及评价 齐雁冰,楚万林,蒲洁,刘梦云,常庆瑞(1453)

有机无机缓释复合肥对不同土壤微生物群落结构的影响 王菲,袁婷,谷守宽,王正银(1461)

玉米对铅胁迫的响应及体内铅化学形态研究 程海宽,张彪,景鑫鑫,杨素勤,赵鹏,孙晓雪,周志云(1468)

硼钨交互作用对水稻吸收积累镉和硼的影响 向猛,黄益宗,蔡立群,保琼莉,黄永春,王小玲,乔敏,胡莹,金姝兰,李季,王斐(1474)

丛枝菌根真菌对不同含盐量湿地土壤中芦苇生长的影响 郭江源,郭伟,毕娜,付瑞英,赵文静,赵仁鑫,王立新(1481)

滨海区芦苇和香蒲耐盐碱性及除氮磷效果对比研究 陈友媛,孙萍,陈广琳,王宁宁(1489)

不同温度下的土壤微生物呼吸及其与水溶性有机碳和转化酶的关系 吴静,陈书涛,胡正华,张旭(1497)

工业VOCs经济手段和工程技术减排对比性分析 王宇飞,刘昌新,程杰,郝郑平,王铮(1507)

《环境科学》征订启事(1216) 《环境科学》征稿简则(1248) 信息(1163,1194,1248,1424)

2013 年 1 月北京市 PM_{2.5} 区域来源解析

李璇, 聂滕*, 齐珺, 周震, 孙雪松

(北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037)

摘要: 2013 年 1 月, 北京地区经历了多次严重的灰霾天气, 细颗粒物污染已成为北京地区所面临的重要问题。了解和掌握北京细颗粒物的污染来源, 是解决细颗粒物污染的重要途径, 也是制定防治政策的重要依据。通过建立三维空气质量模型系统, 对 2013 年 1 月 20~24 日的污染过程进行模拟, 并运用 PSAT 技术探究北京市细颗粒物污染的区域来源。结果表明, 本地源排放是北京市 PM_{2.5} 的主要来源, 平均贡献率为 34%; 河北和天津的平均贡献率分别为 26% 和 4%; 京津冀周边地区及模拟边界外的贡献分别为 12% 和 24%。在重污染日, 区域传输对北京市 PM_{2.5} 的影响显著增强, 是北京 PM_{2.5} 污染的主要来源。PM_{2.5} 中的硝酸盐主要来自北京市周边地区的贡献, 而硫酸盐和二次有机气溶胶呈现远距离传输的特性, 铵盐和其他组分则主要来自北京本地的贡献。

关键词: PM_{2.5}; 来源解析; 北京; CAMx

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)04-1148-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.04.002

Regional Source Apportionment of PM_{2.5} in Beijing in January 2013

LI Xuan, NIE Teng*, QI Jun, ZHOU Zhen, SUN Xue-song

(National Engineering Research Center for Urban Environmental Pollution Control, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

Abstract: In January 2013, Beijing area experienced several severe haze weather events. The pollution of fine particles has become an important problem in Beijing. Understanding the sources of PM_{2.5} in Beijing is essential for solutions and related policy-formulations. Three-dimensional air quality modelling system was established to analyze the PM_{2.5} pollution during 20-24 January in 2013. PSAT technology was used to study the regional sources of Beijing PM_{2.5} pollution. The results showed that local emission was the major source of PM_{2.5} in Beijing City, with an average contribution rate of 34%. The average contribution rates of Hebei and Tianjin were 26% and 4%, respectively. The neighboring area and the boundary conditions contributed 12% and 24% to PM_{2.5} in Beijing. In the heavy pollution period, the influence of regional transportation increased significantly, and became the major source of PM_{2.5} pollution in Beijing. Nitrate in PM_{2.5} in Beijing mainly came from the surrounding area of Beijing City, while sulfate and secondary organic aerosols showed characteristics of long-distance transportation. Ammonium salt and other components were mainly from Beijing local contribution.

Key words: PM_{2.5}; source apportionment; Beijing; CAMx

2013 年 1 月, 我国中东部地区出现了长时间、大范围的雾霾天气^[1,2], 其中北京地区多次出现 AQI 超过 200 甚至 300 的重污染时段, 细颗粒物 (PM_{2.5}) 浓度较往年同期大幅升高^[3], 给自然和社会环境造成了巨大影响。此次污染过程引起了公众、学界以及政府的广泛关注, 同时也给 PM_{2.5} 的污染防治提出了挑战。

PM_{2.5} 的防治需要掌握其污染来源, 从而对污染源进行合理规划和源头控制。基于 CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extensions, CAMx) 模型的颗粒物来源解析技术 (particulate source apportionment technology, PSAT) 是一种较为成熟的源解析技术。该技术通过对不同区域或不同种类的污染源添加示踪物, 追踪从源排放到污染物生成的物理和化学过程, 从而得到不同源的贡献率。

PSAT 可以解析一次和二次污染物的来源, 能够在一定程度上弥补受体模型的不足, 已被应用于国内外的相关研究^[4~7]。

目前, 针对北京的 PM_{2.5} 尤其是在重污染条件下的区域来源研究较少, 北京市 PM_{2.5} 区域来源特征尚不明确^[8,9]。本研究利用 CAMx 模型及其 PSAT 技术对 2013 年 1 月一次重污染过程进行模拟, 并解析北京市 PM_{2.5} 的来源, 量化不同区域的贡献, 了解 PM_{2.5} 污染的区域性特征, 以期对 PM_{2.5} 污染的有效控制提供参考。

收稿日期: 2014-09-28; 修订日期: 2014-12-05

基金项目: 北京市环境保护科学研究院科技基金项目 (2014A04)

作者简介: 李璇 (1990~), 女, 硕士, 主要研究方向为区域大气污染, E-mail: lixuan@cee.cn

* 通讯联系人, E-mail: nieteng@cee.cn

1 材料与方法

采用中尺度气象模式 WRF、源排放处理模型 SMOKE 和化学传输模式 CAMx 建立起适用于北京及周边地区的大气污染模式系统. 模拟区域(图 1)以(34.53°N, 108.92°E)为中心, 采用双重嵌套网格, 网格分辨率分别为 36 km、12 km, 其中第二重网格覆盖了北京市全境及周边省市部分地区. 模式垂直方向分为 13 层. 采用 SAPRC99 气相化学反应机理和 AERO5 气溶胶机理. 第一重网格使用的污染源排放清单为 INTEX-B 清单^[10], 第二重网格使用基于环境统计数据 and 排放因子法建立的 2013 年京津冀地区源排放清单. 模拟时段为 2013 年 1 月 20~24 日, 该段时间经历了严重的污染过程^[3, 11-13].

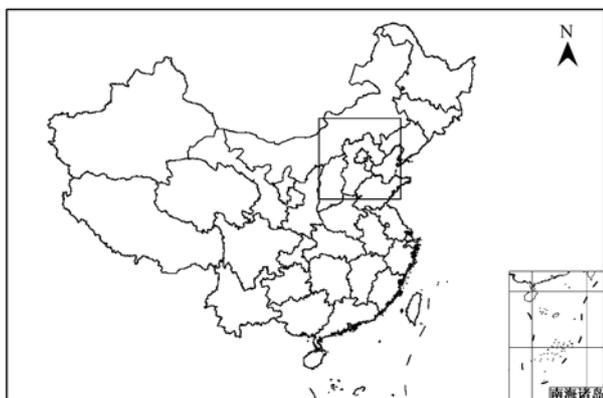


图 1 模式系统的双重嵌套网格模拟区域

Fig. 1 Double nested simulating regions of the model system

本研究对目标来源区域进行了划分(图 2). 将第二重模拟区域分为 14 个地区, 分别是北京市、天

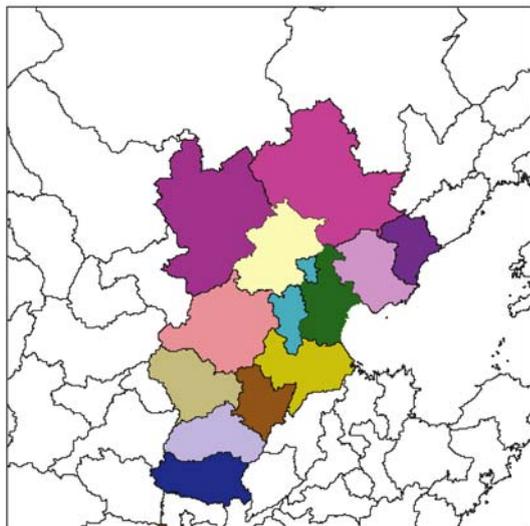


图 2 来源解析区域

Fig. 2 Districts of source apportionment

津市、河北省的 11 个地市(石家庄市、唐山市、秦皇岛市、邯郸市、邢台市、保定市、张家口市、承德市、沧州市、廊坊市、衡水市)以及除京津冀外的区域(图中白色区域). 同时定义第二重模拟区域以外的来源为边界条件.

2 结果与讨论

2.1 模拟效果评估

为了量化模拟结果的准确性, 使用标准化平均偏差(normalized mean bias, NMB)、标准化平均误差(normalized mean error, NME)和相关系数(correlation coefficient, COR)这 3 个统计指标对模拟结果进行验证. 计算公式如下:

$$\text{NMB} = \frac{\sum (c_i^p - c_i^o)}{\sum c_i^o}$$

$$\text{NME} = \frac{\sum |c_i^p - c_i^o|}{\sum c_i^o}$$

$$\text{COR} = \frac{\sum (c_i^p - \bar{c}^p)(c_i^o - \bar{c}^o)}{\sqrt{\sum (c_i^p - \bar{c}^p)^2 \cdot \sum (c_i^o - \bar{c}^o)^2}}$$

式中, c 为浓度, 上标 p 代表模拟值、 o 代表观测值. NMB 反映的是模拟值与观测值的平均偏离程度, 该值越接近于零, 表明模拟值越接近观测值; NME 表征了模拟值的平均绝对误差; 相关系数反映的是观测值与模拟值变化趋势的吻合程度, 该值越接近于 1, 表明模拟效果越好.

评估所用观测数据为 2013 年 1 月北京市 11 个站点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的逐时浓度. 表 1 中列出了本次颗粒物模拟与其他相关研究的模拟评估结果. 从中可以看出, 本研究中, 对 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的模拟分别偏低了 16% 和 40%, 与国内外相关的模拟研究中的偏差相比, 本研究的模拟偏差在可接受范围内. 同时, 与其他研究相比, 本研究中对颗粒物模拟的相关性较好.

图 3 是北京 11 个站点的 PM_{2.5} 观测值和模拟值对比时间序列图. 从中可以看到, 造成模型模拟偏差的主要原因在于对 22 日夜间的陡峭峰值的模拟偏低. 图 4 是 11 个站点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 日均模拟值和观测值比对的散点图. PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的模拟值分别有 83% 和 75% 落在观测值的 2 倍误差范围内. 在颗粒物浓度的高值区域, PM_{2.5} 的模拟效果与 PM₁₀ 的模拟效果相比相对较弱. 引起 PM_{2.5} 模拟偏低的原因可能是模拟的分辨率较低,

表 1 模拟时段颗粒物评估结果及与文献的比较

Table 1 Evaluation results of particulate matter during the simulation period and the comparison with literature

评估指标	NMB/%	NME/%	COR	文献
PM _{2.5}	-40	49	0.71	本研究
PM _{2.5}	-74 ~ -11	37 ~ 78	N/A	[14]
PM _{2.5}	-32	38	N/A	[15]
PM _{2.5}	-30	39	0.74	[16]
PM ₁₀	-16	49	0.63	本研究
PM ₁₀	-20	44	0.60	[17]
PM ₁₀	-10	N/A	0.52	[18]

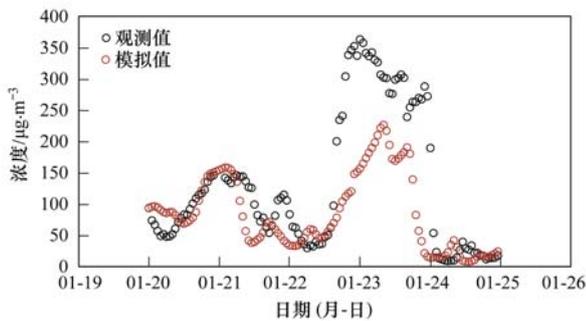
图 3 观测站点 PM_{2.5} 平均模拟值与观测值对比时间序列

Fig. 3 Comparison between simulated and observed average hourly values at all monitoring sites in time series

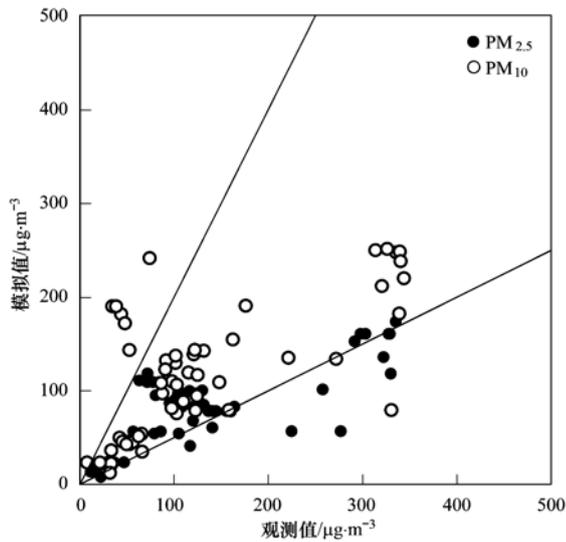


图 4 观测站点日均模拟值与观测值对比

Fig. 4 Comparison between simulated and observed average daily values at all monitoring sites

以及源清单的不确定性。同时,从国内外现有的模拟研究结果来看,模型所使用的化学机理对二次颗粒物的模拟偏低,也是造成模拟偏差的原因之一。

2.2 PM_{2.5} 污染过程分析

观测数据显示,2013年1月的20日夜间、22日夜间以及23日北京地区均出现了高浓度的

PM_{2.5} 污染,24日PM_{2.5}浓度骤降。结合图5,1月20日,北京出现不利于污染扩散的静稳天气,风速低于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,以偏东风为主,PM_{2.5}浓度高值主要集中在城区及西部地区。1月21日出现较强的偏北风,PM_{2.5}的浓度高值主要出现在北京城区和南部地区。经过1月21日偏北风的清洁作用,1月22日PM_{2.5}浓度有一定的降低。但该日受持续偏南风影响,北京南部开始出现PM_{2.5}的积累。1月23日,北京继续盛行偏南风,PM_{2.5}浓度进一步累积,形成重污染天气。1月24日,一股较强的冷空气带来强烈的北风,北京地区PM_{2.5}浓度迅速降低,出现清洁天气。

2.3 PM_{2.5} 区域来源解析

图6是本次污染过程中PM_{2.5}区域来源的解析结果。可以看出,北京本地源排放是北京市PM_{2.5}污染的主要来源,其贡献率在27%~60%,平均为34%。其中,本地源排放对PM_{2.5}贡献率的最大值出现在较为清洁的1月24日,而在污染最严重的1月23日,本地源排放对PM_{2.5}的贡献最低。河北省对北京PM_{2.5}的贡献率为20%~32%,是北京地区PM_{2.5}污染的重要来源。在河北省的11个地市中,唐山、张家口和保定是主要的贡献城市(图7),其对北京PM_{2.5}的贡献率分别为0~14%、1%~13%和0~7%。河北各地市对北京PM_{2.5}的贡献大小与风向密切相关。在1月20日偏东风为主的情况下,处于北京东部的唐山对北京的贡献明显增大;而在1月的21日、22日和24日出现北风的条件下,张家口对北京的贡献显著增大。重污染日(1月23日),河北南部地市(保定、沧州、石家庄)对北京的贡献占主导地位。在第二重模拟区域内,京津冀以外的省市对北京PM_{2.5}的贡献率在6%~16%,贡献率的最大值和最小值分别出现在北京地区的污染日和清洁日,反映出北京市的PM_{2.5}污染具有较强的区域性。

硫酸盐、硝酸盐、铵盐及二次有机气溶胶是 PM_{2.5} 的主要组分^[19,20]. 表 2 是北京地区 PM_{2.5} 中不同的组分的区域来源解析结果. 在 1 月 20 ~ 24 日的污染过程中, 北京地区的硫酸盐主要受边界外的影响 (60%), 本地排放的贡献率仅为 14%. 与硫酸盐相似, 二次有机气溶胶也主要受到边界外的影响 (42%), 其次是来自河北省的 20%. 硫

酸盐与二次有机气溶胶均呈现较为显著的远距离传输特点, 容易受到更大范围区域污染的影响, 这与 Wagstrom 等^[4] 在美国东部地区的研究结果一致. 对于硝酸盐, 河北省的贡献为 32%, 北京本地排放也是较大的来源 (17%). 铵盐和其他组分 (主要是地壳元素) 则主要受到北京本地的影响.

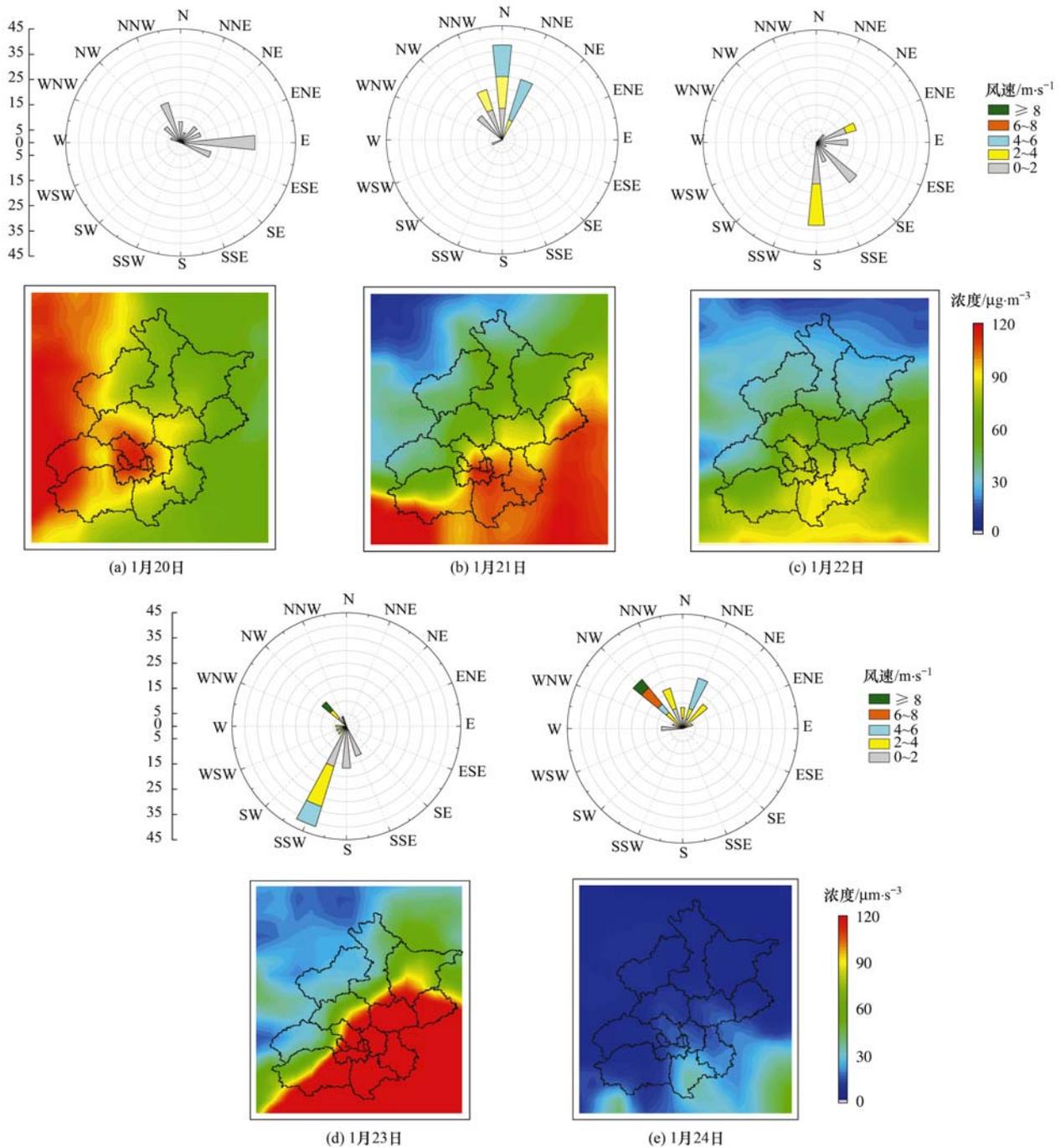


图 5 2013 年 1 月 20 ~ 24 日风玫瑰图及 PM_{2.5} 日均浓度分布

Fig. 5 Wind rose and the daily mean concentration of PM_{2.5} on 20-24 January in 2013

表 2 1月20~24日细颗粒物及其组分区域来源/%

Table 2 Source area of $PM_{2.5}$ and the components during 20-24 January/%

区域	硫酸盐	硝酸盐	铵盐	二次有机气溶胶	其他	$PM_{2.5}$
北京	14	17	35	13	48	34
天津	3	6	4	6	3	4
河北省	18	32	34	20	23	26
石家庄	2	3	3	2	1	2
唐山	4	9	4	4	5	6
秦皇岛	1	2	1	1	1	1
邯郸	0	1	1	1	0	1
邢台	1	1	1	1	0	1
保定	1	4	8	3	3	4
张家口	4	5	4	2	7	6
承德	1	1	2	1	2	2
沧州	0	1	1	1	0	1
廊坊	2	3	8	3	3	3
衡水	1	1	1	1	0	1
京津冀周边地区	6	14	15	19	10	12
边界条件	60	30	11	42	17	24
合计	100	100	100	100	100	100

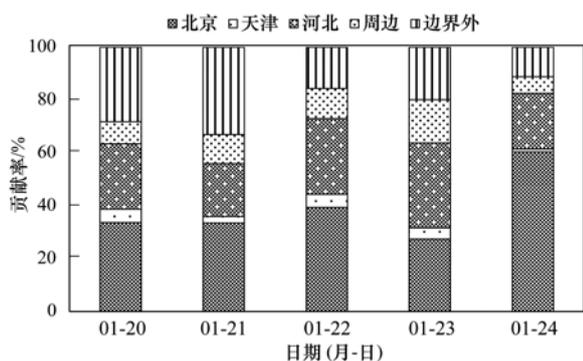
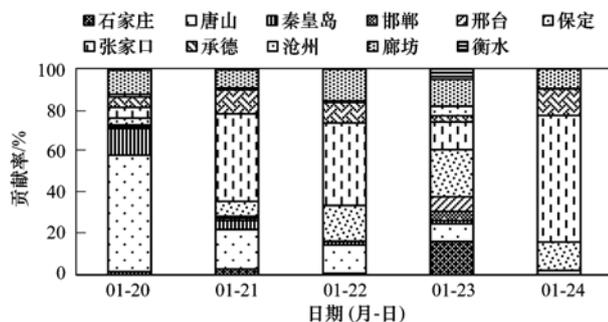
图 6 1月20~24日北京市 $PM_{2.5}$ 区域来源贡献率Fig. 6 Contribution rate of each source area to $PM_{2.5}$ in Beijing during 20-24 January

图 7 河北省 11 城市贡献率占比

Fig. 7 Proportion of contribution rates of all 11 cities in Hebei province

3 结论

(1)2013年1月20~24日,北京地区的 $PM_{2.5}$ 污染主要出现在北京城六区和南部地区. 持续的南

风天气是造成北京市重污染的重要原因.

(2)本地污染源排放是北京地区 $PM_{2.5}$ 的主要来源,平均贡献率为 34%. 天津和河北对北京市 $PM_{2.5}$ 的平均贡献率分别为 4% 和 26%. 京津冀周边地区及边界外来源贡献率分别为 12% 和 24%.

(3)污染过程中,北京 $PM_{2.5}$ 中的硫酸盐、硝酸盐和二次有机气溶胶主要来自周边省市的贡献,而铵盐和其他组分主要来自本地源排放.

参考文献:

- [1] 高健,王淑兰,柴发合. 我国大气灰霾污染特征及污染控制建议——以2013年1月大气灰霾污染过程为例[J]. 环境与可持续发展, 2013, (4): 14-16.
- [2] 李正强,许华,张莹,等. 北京区域2013严重灰霾污染的主被动遥感监测[J]. 遥感学报, 2013, 17(4): 924-927.
- [3] Ji D S, Li L, Wang Y S, et al. The heaviest particulate air-pollution episodes occurred in northern China in January, 2013: Insights gained from observation [J]. Atmospheric Environment, 2014, 92: 546-556.
- [4] Wagstrom K M, Pandis S N. Source receptor relationships for fine particulate matter concentrations in the Eastern United States [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(2): 347-356.
- [5] Wagstrom K M, Pandis S N. Contribution of long range transport to local fine particulate matter concerns [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(16): 2730-2735.
- [6] Wu D W, Fung J C H, Yao T, et al. A study of control policy in the Pearl River Delta region by using the particulate matter source apportionment method [J]. Atmospheric Environment, 2013, 76: 147-161.
- [7] 李璇. 浙江省大气污染源清单建立与二次污染来源研究 [D]. 北京: 北京大学, 2014. 73-100.
- [8] Streets D G, Fu J S, Jang C J, et al. Air quality during the 2008

- Beijing Olympic Games [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(3): 480-492.
- [9] 王自发, 李杰, 王哲, 等. 2013 年 1 月我国中东部强霾污染的数值模拟和防控对策 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, **44**(1): 3-14.
- [10] Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, *et al.* Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(14): 5131-5153.
- [11] 王跃思, 姚利, 王莉莉, 等. 2013 年元月我国中东部地区强霾污染成因分析 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, **44**(1): 15-26.
- [12] Wang L T, Wei Z, Yang J, *et al.* The 2013 severe haze over southern Hebei, China: model evaluation, source apportionment, and policy implications [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, **14**: 3151-3173.
- [13] 刘庆阳, 刘艳菊, 杨峥, 等. 北京城郊冬季一次大气重污染过程颗粒物的污染特征 [J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(1): 12-18.
- [14] Kwok R H F, Fung J C H, Lau A K H, *et al.* Numerical study on seasonal variations of gaseous pollutants and particulate matters in Hong Kong and Pearl River Delta region [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2010, **115**(D16), doi: 10.1029/2009JD012809.
- [15] Liu X H, Zhang Y, Xing J, *et al.* Understanding of regional air pollution over China using CMAQ, part II. Process analysis and sensitivity of ozone and particulate matter to precursor emissions [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(30): 3719-3727.
- [16] Mebust R M, Eder B K, Binkowski F S, *et al.* Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model aerosol component 2. Model evaluation [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2003, **108**(D6), doi: 10.1029/2001JD001410.
- [17] 刘宁, 王雪松, 胡泳涛, 等. 珠江三角洲秋季 PM₁₀ 污染模拟与形成过程分析 [J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(9): 1537-1545.
- [18] 李莉, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区大气 O₃ 和 PM₁₀ 的区域污染特征模拟 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 237-245.
- [19] 王雪松, 李金龙. 北京地区夏季 PM₁₀ 污染的数值模拟研究 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2003, **39**(3): 419-427.
- [20] 胡敏, 何凌燕, 黄晓锋, 等. 北京大气细粒子和超细粒子理化特征、来源及形成机制 [M]. 北京: 科学出版社, 2009. 59-95.

CONTENTS

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, LI Wen-tao, <i>et al.</i>	(1141)
Regional Source Apportionment of PM _{2.5} in Beijing in January 2013	LI Xuan, NIE Teng, QI Jun, <i>et al.</i>	(1148)
Formation Mechanism of a Serious Pollution Event in January 2013 in Beijing	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i>	(1154)
Soluble of Metals within TSP in Shanghai	CHANG Yan, FENG Chong, QU Jian-guo, <i>et al.</i>	(1164)
Analysis of Component Spectral Characteristics of PM ₁₀ -Bound PAHs and the Influence of Weather Conditions During Spring in Xiamen	ZHANG Jian, FAN Shu-xian, SUN Yu, <i>et al.</i>	(1173)
Tracing Sources of Sulfate Aerosol in Nanjing Northern Suburb Using Sulfur and Oxygen Isotopes	WEI Ying, GUO Zhao-bing, GE Xin, <i>et al.</i>	(1182)
Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014	BAO Qing, HE Jun-liang, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(1187)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} and PM _{2.5-10} in Mountain Background Region of East China in Spring	SU Bin-bin, ZHANG Zhi-sheng, TAO Jun, <i>et al.</i>	(1195)
Emission of Particulate Matter, Organic and Elemental Carbon from Burning of Fallen Leaves	YANG Wei-zong, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i>	(1202)
Emission Inventory of Crop Residues Field Burning and Its Temporal and Spatial Distribution in Sichuan Province	HE Min, WANG Xing-rui, HAN Li, <i>et al.</i>	(1208)
Marine Emission Inventory and Its Temporal and Spatial Characteristics in the City of Shenzhen	YANG Jing, YIN Pei-ling, YE Si-qi, <i>et al.</i>	(1217)
Characteristic of Ultrafine Particles Transferring Through Building Envelopes	SUN Zai, CHEN Qiu-fang, CAI Zhi-liang, <i>et al.</i>	(1227)
Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards	ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1234)
Effect of Below-cloud Secondary Evaporation in Precipitations over the Loess Plateau Based on the Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen	JIN Xiao-gang, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i>	(1241)
Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport	ZHANG Yong-ling, WANG Ming-shi, DONG Yu-long	(1249)
Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary	WANG Miao-miao, SUN Zhi-gao, LU Xiao-ning, <i>et al.</i>	(1256)
Influences of Biological Processes on Geochemical Characteristics: An Example of a Mountain Karst Pool in Spring Season	YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, ZHAO Rui-yi, <i>et al.</i>	(1263)
Variation Characteristics and Sources of Heavy Metals in an Urban Karst Groundwater System during Rainfall Event	REN Kun, YANG Ping-heng, JIANG Ze-li, <i>et al.</i>	(1270)
Risk Assessment of Trihalomethane Production Using the Beijiang River and the Pearl River, Guangzhou as Drinking Water Sources	ZHONG Hui-zhou, WEI Chao-hai	(1277)
Spatial Variability Characteristics of Water Quality and Its Driving Forces in Honghu Lake During High Water-level Period	LI Kun, WANG Ling, LI Zhao-hua, <i>et al.</i>	(1285)
Nutrient Exchange Between Meixi River and Yangtze River Due to the Typical Interaction Process of the Three Gorges Reservoir and Its Tributary	CAO Man, FU Jia-nan, ZHOU Zi-ran, <i>et al.</i>	(1293)
Effects of Nutrient Inputs on Changes of Phosphorus Forms and Phytoplankton Growth in Taihu Lake	WANG Rui-zhe, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, <i>et al.</i>	(1301)
Community Dynamics of Phytoplankton and Related Affecting Factors in a Eutrophicated Small Pond	YANG Wen, ZHU Jin-yong, ZHANG Ke-xin, <i>et al.</i>	(1309)
Yearly Changes of Phytoplankton Community in the Ecology-monitoring Area of Changli, Hebei in Summer	LIANG Xiao-lin, YANG Yang, WANG Yu-liang, <i>et al.</i>	(1317)
Improvement of River Water Quality by Aeration: WASP Model Study	ZHU Wen-bo, WANG Hong-xiu, LIU Cui, <i>et al.</i>	(1326)
Radiolytic Decomposition of Ciprofloxacin Hydrochloride in Aqueous Solution Using γ Irradiation	ZHU Sheng-nan, GUO Zhao-bing, ZHAO Yong-fu, <i>et al.</i>	(1332)
Removal of Antimony in Wastewater by Electrochemical Hydride Generation and the Recovery of Antimony	CHEN Jing-jing, ZHANG Guo-ping, LI Hai-xia, <i>et al.</i>	(1338)
Degradation of <i>m</i> -Cresol with Fe-MCM-41 in Catalytic Ozonation	SUN Wen-jing, WANG Ya-min, WEI Huang-zhao, <i>et al.</i>	(1345)
Bioanode and Inversion of Bioanode to Biocathode for the Degradation of Antibiotic Chloramphenicol	KONG De-yong, LIANG Bin, YUN Hui, <i>et al.</i>	(1352)
Photolysis of Gaseous HNO ₃ on the α -Fe ₂ O ₃ Films Under 308 nm UV Light	LU Jun, SUN Yun-dong, XIE Jing-jing, <i>et al.</i>	(1359)
Simultaneous Determination of Hydroquinone and Catechol Based on L-Histidine-Erythrosine Composite Film Modified Glassy Carbon Electrode	HE Jia-hong, XU Qiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i>	(1365)
Preparation and Characterization of Quinone Functional Polymer Biocarrier (PET-AQS) for Bionitrification Catalysis	XU Qing, HOU Zheng-hao, TIAN Xiu-lei, <i>et al.</i>	(1374)
Kinetic Characteristics of Degradation of Geosmin and 2-Methylisoborneol by <i>Bacillus subtilis</i>	MA Nian-nian, LUO Guo-zhi, TAN Hong-xin, <i>et al.</i>	(1379)
Screening of a Highly Efficient Quinoline-degrading Strain and Its Enhanced Biotreatment on Coking Waste Water	LI Jing, LI Wen-ying	(1385)
Effect of Ferric Iron on Nitrogen Immigration and Transformation and Nitrous Oxide Emission During Simultaneous Nitrification Denitrification Process	LI Hao, YAN Yu-jie, XIE Hui-jun, <i>et al.</i>	(1392)
Running Condition and Bacterial Community Associated with the Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, <i>et al.</i>	(1399)
Using Excess Activated Sludge Treated 4-Chlorophenol Contained Waste Water to Cultivate <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Lu, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i>	(1406)
Effects of Total Nitrogen and BOD ₅ /TN on Anaerobic Ammonium Oxidation-Denitrification Synergistic Interaction of Mature Landfill Leachate in Aged Refuse Bioreactor	YANG Ying-ying, CHEN Yi, LI Ming-jie, <i>et al.</i>	(1412)
Altitudinal Gradient Distribution and Source Analysis of PAHs Content of Topsoil in Jinfo Mountain, Chongqing	SHI Yang, SUN Yu-chuan, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i>	(1417)
Characteristics and Inputs of Cd Contamination in Paddy Soils in Typical Mining and Industrial Areas in Youxian County, Hunan Province	ZHANG Min, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i>	(1425)
Effects of Canalization on the Iron Deposition in Sanjiang Plain	SU Wen-hui, YU Xiao-fei, WANG Guo-ping, <i>et al.</i>	(1431)
Effects of Phosphate and Zeolite on the Transformation of Cd Speciation in Soil	WANG Xiu-li, LIANG Cheng-hua, MA Zi-hui, <i>et al.</i>	(1437)
Leaching Remediation of Copper and Lead Contaminated Lou Soil by Saponin Under Different Conditions	DENG Hong-xia, YANG Ya-li, LI Zhen, <i>et al.</i>	(1445)
Accumulation Characteristics and Evaluation of Heavy Metals in Soil-Crop System Affected by Wastewater Irrigation Around a Chemical Factory in Shenmu County	QI Yan-bing, CHU Wan-lin, PU Jie, <i>et al.</i>	(1453)
Effects of Organic and Inorganic Slow-Release Compound Fertilizer on Different Soils Microbial Community Structure	WANG Fei, YUAN Ting, GU Shou-kuan, <i>et al.</i>	(1461)
Response of Maize to Lead Stress and Relevant Chemical Forms of Lead	CHENG Hai-kuan, ZHANG Biao, JING Xin-xin, <i>et al.</i>	(1468)
Effect of Boron-antimony Interaction on the Uptake and Accumulation of Antimony and Boron by Rice Seedling	XIANG Meng, HUANG Yi-zong, CAI Li-qun, <i>et al.</i>	(1474)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Reeds in Wetland Soils with Different Salt Content	GUO Jiang-yuan, GUO Wei, BI Na, <i>et al.</i>	(1481)
A Contrastive Study on Salt-alkaline Resistance and Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by <i>Phragmites australis</i> and <i>Typha angustifolia</i> in Coastal Estuary Area	CHEN You-yuan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i>	(1489)
Soil Microbial Respiration Under Different Soil Temperature Conditions and Its Relationship to Soil Dissolved Organic Carbon and Invertase	WU Jing, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i>	(1497)
Comparison Analysis of Economic and Engineering Control of Industrial VOCs	WANG Yu-fei, LIU Chang-xin, CHENG Jie, <i>et al.</i>	(1507)

《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)

2015年4月15日 第36卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 4 Apr. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行