

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.1
第41卷 第1期

目次

近20年来中国PM _{2.5} 污染演变的时空过程	时燕, 刘瑞梅, 罗毅, 杨昆 (1)
2007~2016年上海颗粒物浓度特征与气候背景异同分析	郑庆峰, 史军, 谈建国, 段玉森, 林燕芬, 徐卫忠 (14)
夏季大气PM _{2.5} 中元素特征及源解析:以华中地区平顶山-随州-武汉为例	刘威杰, 石明明, 程敏, 黎莹, 朱戈昊, 邢新丽, 孔少飞, 张家泉, 祁士华 (23)
呼包鄂地区冬季、夏季PM _{2.5} 污染特征	李伊明, 刘佳媛, 史国良, 皇甫延琦, 张昕, 杨奕, 冯银厂 (31)
2019年元旦前后石家庄市重污染过程PM _{2.5} 污染特征及来源解析	周静博, 段青春, 王建国, 杨鹏, 刘煥武, 李梅, 靳伟 (39)
基于模型模拟的成都市PM _{2.5} 污染来源解析	许艳玲, 易爱华, 薛文博 (50)
北京市PM _{2.5} 中砷污染特征	石绍萱, 杨艳蓉, 秦娟娟, 周雪明, 段青春, 谭吉华, 陈荣志 (57)
夏秋季宁波市气态元素汞(GEM)污染特征及潜在源区贡献分析	易辉, 林佳梅, 蔡秋亮, 王克强, 陈进生, 佟磊, 李建荣, 肖航 (65)
安阳市大气PM _{2.5} 中水溶性离子季节特征及来源解析	孙有昌, 姜楠, 王申博, 段时光, 张瑞芹 (75)
新乡市夏冬季节PM _{2.5} 稳定碳同位素特征分析	闫广轩, 宋鑫, 张靖雯, 张朴真, 王力鹏, 张佳羽, 杨争, 曹治国, 樊静, 王跃思, 刘子锐 (82)
基于颗粒物化学组分粒径分布特征的源解析方法构建与评估	梁永莉, 田瑛泽, 刘童, 冯银厂 (90)
超低排放改造后燃煤电厂细颗粒物排放特征	王润芳, 马大卫, 姜少毅, 朱仁斌, 何军, 张本耀 (98)
京津冀地区城市臭氧污染趋势及原因探讨	余益军, 孟晓艳, 王振, 周崑, 于红霞 (106)
安阳市近地面臭氧污染特征及气象影响因素分析	杨健, 尹沙沙, 于世杰, 王丽娟, 张瑞芹, 郝建尤, 苏方成, 齐艳杰 (115)
长江三角洲2017年机动车IVOCs排放清单构建及其对SOA的生成影响	王倩, 黄凌, 王杨君, 殷司佳, 张琪, 易鑫, 李莉 (125)
华东典型城市非道路移动机械排气烟度	鲁君, 胡馨遥, 杨强, 唐伟, 夏阳, 井宝莉, 陈昀, 黄成 (133)
国内外储油库VOCs排放现状与标准分析	胡玮, 任碧琪, 黄玉虎, 秦建平, 卞吉玮, 吴清柱 (139)
四乙基愈创木酚液相·OH氧化SOA产率及特征分析:初始浓度的影响	庄雨, 陈彦彤, 李旭东, 马帅帅, 赵竹子, 叶招莲, 盖鑫磊 (146)
乌鞘岭南、北坡降水稳定同位素特征及水汽来源对比	徐秀婷, 贾文雄, 朱国锋, 马兴刚, 张显, 袁瑞丰, 张志远, 石阳 (155)
长江源多年冻土区地下水氢氧稳定同位素特征及其影响因素	汪少勇, 何晓波, 丁永建, 常福宣, 吴锦奎, 胡召富, 王利辉, 杨贵森, 邓明珊 (166)
巴尔喀什湖流域水化学和同位素空间分布及环境特征	沈贝贝, 吴敬禄, 吉力力·阿不都外力, A. S. Saparov, Gulnura Isanova (173)
城市湖泊水环境整治对改善水质的影响:以蠡湖近30年水质变化为例	田伟, 杨周生, 邵克强, 潘辉, 胡洋, 白承荣, 姜星宇, 高光, 汤祥明 (183)
典型药物及个人护理品在黄东海海域水体中的检测、分布规律及其风险评估	陈贤, 张彩杰, 杨桂朋, 张婧, 刘梦 (194)
长江南京段水源水中有机磷酸酯的污染特征与风险评估	李栋, 张圣虎, 张芹, 王博, 卜元卿, 赵欣, 李辉, 宋宁慧, 郭瑞昕 (205)
雄安新区-白洋淀冬季冰封期水体溶解性有机物的空间分布、光谱特征及来源解析	周石磊, 孙悦, 张艺冉, 蒋永丰, 尹璐, 黄廷林, 李再兴, 罗晓, 战江, 王函 (213)
白洋淀表层沉积物元素的空间特征、风险评价及来源分析	汪敬忠, 刘卓, 魏浩, 吴玉会, 占水娥, 朱迟, 张益森 (224)
松花江表层沉积物PAEs分布特征及生态风险评价	王欢, 杨永哲, 王海燕, 董伟丰, 闫国凯, 常洋, 李泽文, 赵远哲, 凌宇 (232)
鄱阳湖湖口-长江段沉积物中微塑料与重金属污染物的赋存关系	李文华, 简敏菲, 刘淑丽, 江玉梅, 邓艳彬, 朱琳 (242)
臭氧对生物活性炭中微生物及出水消毒副产物的影响	刘宝明, 王夕希, 张晓夏, 顾艳芳, 李雨平, 阮文权, 缪恒峰, 潘杨 (253)
兰州市西固区儿童饮水重金属暴露与健康风险精细化评估	陈月芳, 孙善伟, 段小丽, 许锦荣, 王娟, 康艺瑾, 梁为纲, 曹素珍 (262)
镁铁层状双金属氢氧化物对磷酸盐的吸附作用及对内源磷释放的控制效果及机制	吴俊麟, 林建伟, 詹艳慧, 程永前, 柏晓云, 辛慧敏, 常明玥 (273)
一硫代磷酸盐在介质上的吸附特征及机制	廖丹雪, 单慧媚, 彭三曦, 潘敖然, 黄健, 陈辉, 赵超然 (284)
酸碱复合改性海泡石亚结构特征及其对Cd(II)吸附性能	谢厦, 徐应明, 闫翠侠, 罗文文, 孙约兵 (293)
脱氮菌剂在低溶解性黑臭水体中氮代谢特征	赵志瑞, 刘硕, 李铎, 李海萍, 李方红, 张佳瑶, 白志辉 (304)
宏基因组方法分析医药化工废水厂中抗生素耐药菌及耐药基因	陈红玲, 张兴桃, 王晴, 姚沛琳 (313)
淀粉废水处理系统中活性污泥的微生物群落结构及多样性分析	赵婷婷, 乔凯, 王蕾, 张伟, 竺建荣, 唐一, 胡滨, 王香莲, 杨静, 景在涛 (321)
基于SBR-ABR实现PN-SAD耦合工艺的运行与优化调控	陈重军, 张敏, 姜滢, 郭萌蕾, 谢嘉玮, 谢军祥, 沈耀良 (330)
基于间歇饥饿的SNAD工艺运行	李冬, 刘志诚, 徐贵达, 王玉颖, 张杰 (337)
反硝化-高效部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺处理老龄垃圾渗滤液	陈小珍, 汪晓军, Karasuta Chayangkun, 周松伟, 钟中, 陈振国, 陈晓坤 (345)
硝化微颗粒污泥快速培养及其亚硝化功能快速实现	刘文如, 宋家俊, 王建芳, 沈耀良 (353)
高频曝停下曝时间对亚硝化颗粒污泥性能的影响	张杰, 劳会妹, 李冬, 魏子清 (360)
中国东北沈抚地区土壤中PBDEs的残留、来源及风险评价	向鑫鑫, 鲁垠涛, 阮起扬, 赖偲, 孙绍斌, 姚宏, 张战胜 (368)
某焦化场地非均质包气带中多环芳烃(PAHs)来源及垂向分布特征	孟祥帅, 吴萌萌, 陈鸿汉, 岳希, 陶抒远 (377)
北京蔬菜地土壤中抗生素抗性基因与可移动元件的分布特征	张汝凤, 宋渊, 高浩泽, 程首涛, 孙艳梅, 王旭明 (385)
长期施肥和耕作下紫色土坡耕地土壤C、N、P和K化学计量特征	杜映妮, 李天阳, 何丙辉, 贺小容, 付适 (394)
亚热带稻田土壤碳氮磷生态化学计量学特征	宋佳龄, 盛浩, 周萍, 段良霞, 周清, 张杨珠 (403)
宛山荡农田土壤氮迁移过程反硝化与厌氧氨氧化	陈志浩, 覃云斌, 丁帮琛, 胡优优, 陈湜, 李正魁 (412)
秸秆炭化还田对滴灌棉田土壤微生物代谢功能及细菌群落组成的影响	王晶, 马丽娟, 刘泽华, 陆伟, 侯振安 (420)
基于PMF模型的九龙江流域农田土壤重金属来源解析	黄华斌, 林承奇, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 陈枫桦 (430)
塔里木盆地东南缘绿洲区土壤砷空间分布及农作物砷富集特征	陈云飞, 周金龙, 曾妍妍, 王松涛, 杜江岩, 孙英, 顾思博 (438)
广西典型碳酸盐岩区农田土壤-作物系统重金属生物有效性及迁移富集特征	马宏宏, 彭敏, 刘飞, 郭飞, 唐世琪, 刘秀金, 周亚龙, 杨柯, 李括, 杨峥, 成杭新 (449)
不同钝化剂对微碱性土壤镉、镍形态及小麦吸收的影响	张静静, 朱爽阁, 朱利楠, 柳海涛, 杨金康, 化党领 (460)
不同钝化剂对鸡粪堆肥重金属钝化效果及其腐熟度指标的影响	栾润宇, 高珊, 徐应明, 纪艺凝, 闫翠侠, 孙约兵 (469)
黄土丘陵区退耕草地土壤呼吸及其组分对氮磷添加的响应	周俊杰, 陈志飞, 杨全, 赖帅彬, 王智, 徐炳成 (479)
炉渣与生物炭施加对福州平原水稻田温室气体排放的后续影响	蓝兴福, 王晓彤, 周雅心, 金强, 许旭萍, 王维奇 (489)
《环境科学》征订启事(89)	
《环境科学》征稿简则(97)	
信息(303, 329, 344)	

基于模型模拟的成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染来源解析

许艳玲^{1,2}, 易爱华³, 薛文博^{2*}

(1. 北京工业大学区域大气复合污染防治北京市重点实验室, 北京 100124; 2. 生态环境部环境规划院区域空气质量模拟与管控研究中心, 北京 100012; 3. 生态环境部环境工程评估中心, 北京 100012)

摘要: 在建立成都市大气污染物排放清单的基础上, 采用源开关敏感性分析法, 设置 8 个排放情景, 基于 WRF-CMAQ 模型模拟分析了 2015 年 1、4、7 和 10 月这 4 个典型代表月份的大气污染传输和不同行业对成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染贡献。结果表明成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染较重, 特别是 1 月达到 $130 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上; 浓度的高值集中在中心城区, 且与周边城市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染连接成片。由于气团比较稳定, 大气污染物的区域传输能力较弱, 成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染以本地源的贡献为主, 占比为 61%。从行业贡献来看, 移动源、扬尘源和生活源对成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度贡献率分别为 29%、26% 和 24%, 是影响 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的主要污染源, 下一步应强化对这 3 类源的污染控制。

关键词: 成都; $\text{PM}_{2.5}$; WRF-CMAQ 模型; 区域传输; 行业贡献

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)01-0050-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.201905041

Modeling Studies of Source Contributions to $\text{PM}_{2.5}$ in Chengdu, China

XU Yan-ling^{1,2}, YI Ai-hua³, XUE Wen-bo^{2*}

(1. Key Laboratory of Beijing on Regional Air Pollution Control, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Center for Regional Air Quality Simulation and Control, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 3. Center for Environment & Engineering, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: This study establishes eight emission scenarios in the air pollutant emissions inventory of Chengdu City, China. We use the Weather Research and Forecasting and Community Multiscale Air Quality (WRF-CMAQ) models and a “zero-out” approach to investigate contributions of air pollution transport and sources to aerosol fine particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$) pollution in Chengdu City during January, April, July, and October 2015. The results showed that $\text{PM}_{2.5}$ pollution in Chengdu City was serious during these months and reached $>130 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in January. Highest concentrations were measured in the city center. $\text{PM}_{2.5}$ pollution in Chengdu and the surrounding cities was found to exhibit regional characteristics. Since the air mass was stable during the monitoring periods, the interregional transmission capability of air pollution was poor, and thus local sources were the main contributors (61% of the annual average concentration) to $\text{PM}_{2.5}$ pollution in Chengdu City. The contributions of local sources in April and July were higher than those in January and October. We found that the main sources of $\text{PM}_{2.5}$ pollution in Chengdu City were automobile emission (29% of the total), dust (26%), and domestic pollution (24%), and should be further controlled in the future.

Key words: Chengdu; $\text{PM}_{2.5}$; WRF-CMAQ model; regional transport; source contributions

$\text{PM}_{2.5}$ 污染已经成为影响我国城市空气质量的重要环境问题, 呈现区域性污染特征, 限制了经济可持续发展, 并对人体健康产生严重危害^[1~3]。开展 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的来源解析可为制定针对性防治措施和实现精准污染管控提供科学依据。一种常见的方法是采用受体模型法分析不同行业污染物排放对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的贡献^[4~8], 该方法的不确定性主要来自于模型方法假设、大气 $\text{PM}_{2.5}$ 采集和化学成分测量的不确定性、源成分谱的共线性(即不同排放源可能有相似的源成分谱)以及对二次来源正确判定等^[9~11]。另一种比较常见的方法是采用数值模型模拟跨区域传输对区域 $\text{PM}_{2.5}$ 污染影响及不同行业对城市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染贡献^[12~16]。模型法的优点是不局限于观测点位, 可以根据需求选择目标点开展源解析和污染传输特征等研究, 其不确定性主要来自气象场模拟和排放清单等。目前, 有关京津冀、长三角和

珠三角等地区的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染来源解析研究较多。成都市位于四川盆地西部, 是西南地区科技、金融中心和交通枢纽, 位于亚热带湿润季风气候区, 风速低, 静风频率高, 造成大气扩散条件差, 污染物容易累积^[17,18]。目前, 已有学者采用 PMF 方法、主成分分析法(PCA)等受体模型法对成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组分污染特征及来源进行了研究^[19,20], 但还没有基于模型模拟法对成都市区域传输和行业贡献解析的报道。本研究采用 WRF-CMAQ 模型系统, 识别成都市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的主要贡献源, 以期当地政府制定针对性的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染控制政策提供科学支撑。

收稿日期: 2019-05-07; 修订日期: 2019-08-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0207502, 2016YFC0208805)

作者简介: 许艳玲(1980~), 女, 博士研究生, 副研究员, 主要研究方向为空气质量模型、大气污染控制对策, E-mail: xuyanling@caep.org.cn

* 通信作者, E-mail: xuwb@caep.org.cn

1 材料与方法

1.1 模型设置

(1)模拟时段 为2015 年的1、4、7 及10 月共4 个典型月,结果输出时间间隔为1 h.

(2)空气质量模拟 空气质量模型选择 CMAQ 模型.区域采用 Lambert 投影坐标系,中心点经度为 108.3°E,中心纬度为 33.9°N,两条平行纬度分别为 27.9°N 和 39.9°N.模拟范围采用三层嵌套,空间分辨率分别为 27、9 和 3 km.垂直方向共设置 14 个气压层,层间距自下而上逐渐增大.采用的化学机制为 CB-05 气相化学反应机制和 AERO5 气溶胶反应机制.

(3)气象模拟 CMAQ 模型所需要的气象场由中尺度气象模型 WRF 提供,WRF 模型与 CMAQ 模型采用相同的模拟时段和空间投影坐标系,但模拟范围大于 CMAQ 模拟范围,垂直方向共设置 30 个气压层,层间距自下而上逐渐增大. WRF 模型的初始输入数据采用美国国家环境预报中心(NCEP)提供的 6 h 一次、1°分辨率的 FNL 全球分析资料,利用 NCEP ADP 观测资料进行四维同化.

(4)模型参数 CMAQ 模型、WRF 模型参数设置如表 1 和表 2 所示,该模型参数在已有研究中得到验证^[21,22].

表 1 CMAQ 模型参数化方案

Table 1 Parameterization scheme of CMAQ model

模型参数	CMAQ	模型参数	CMAQ
模型版本	5.0.2	气溶胶化学机制	AERO5
网格嵌套方式	单层网格	光化学速率	In-line
水平分辨率	20 km	风沙尘	off
垂直分层数	14	边界条件	默认
气相化学机制	CB-05	初始条件	逐日重启

表 2 WRF 参数化方案

Table 2 Parameterization scheme of WRF model

参数化方案	所选方案名称	参数化方案	所选方案名称
微物理过程	WSM6	陆面过程	Pleim Xiu
长波辐射	New Goddard scheme	边界层	ACM2
短波辐射	RRTM	积云对流	Kain-Fritsch
近地层	Pleim Xiu		

1.2 排放清单

CMAQ 模型所需排放清单的化学物种主要包括 SO₂、NO_x、颗粒物(PM₁₀、PM_{2.5}及其组份)、NH₃ 和 VOCs(含多种化学组份)等多种污染物.成都市 2015 年人为源大气污染物排放清单是在 2014 年排放清单、环境统计及现场调研资料等数据基础上,采用物料衡算法、排放系数法、模型估算法等方法,通过对 2014 年排放清单更新而建立的(图 1).周边城市排放数据均采用 2015 年 MEIC 排放清单

(<http://www.meicmodel.org/>),风沙尘排放基于 CMAQ 在线计算,生物源 VOCs 排放清单利用 MEGAN 天然源排放清单模型计算^[23].

1.3 模型验证

利用成都市环境空气质量自动监测站 2015 年实际观测数据,验证空气质量模型模拟结果的准确性,见图 2 所示.结果表明,1、4、7 和 10 月这 4 个典型月的模拟与观测日均浓度之间有很高相关性, R 值均大于 0.75,NMB 和 NME 处于 -12%~5% 和 18%~29% 范围内,模拟误差处在可接受范围内,说明本研究所选用的空气质量模型及模拟参数设置等对 PM_{2.5} 模拟效果较好,可用于分析成都市 PM_{2.5} 的时空分布特征.

1.4 情景设计

采用源开关敏感性分析法,设置 8 个排放情景,基于 WRF-CMAQ 模型模拟分析区域大气污染传输规律以及不同行业对成都市 PM_{2.5} 污染贡献.模拟情景的具体设置见表 3.①将污染源分为本地源排放和外地源排放两大类.②根据产业结构和污染物排放行业构成特点,将本地源分为 6 类,包括重点工业(火电、钢铁、建材)、工业锅炉、生活源(民用燃烧、生物质燃烧、餐饮油烟)、移动源(机动车、非道路机械)、扬尘源和其他等.

表 3 模拟情景设置

Table 3 Simulation scenarios

情景编号	情景内容
0	基本情景(含所有源)
1	关闭所有本地源
2	关闭全市重点工业
3	关闭工业锅炉
4	关闭生活源
5	关闭移动源
6	关闭扬尘源
7	关闭其他行业

外地源对成都市 PM_{2.5} 月均浓度贡献的计算方法为:

$$\omega_{ei} = \frac{\rho_{1i}}{\rho_{0i}} \tag{1}$$

式中, ω_{ei} 为第*i*月外地源对成都市 PM_{2.5}月均浓度贡献比例,%; ρ_{0i} 为基准情景下第*i*月成都市 PM_{2.5}月均浓度,μg·m⁻³; ρ_{1i} 为关闭本地源后第*i*月成都市 PM_{2.5}月均浓度,μg·m⁻³.扣除外地源贡献后,可得到本地源对 PM_{2.5} 污染的影响.

对于本地源中 6 类污染源对 PM_{2.5} 浓度贡献可以基于表 3 中情景 2~7 模拟结果进行计算:

$$\omega_{ni} = \frac{\rho_{0i} - \rho_{ni}}{\rho_{0i} - \rho_{1i}} \tag{2}$$

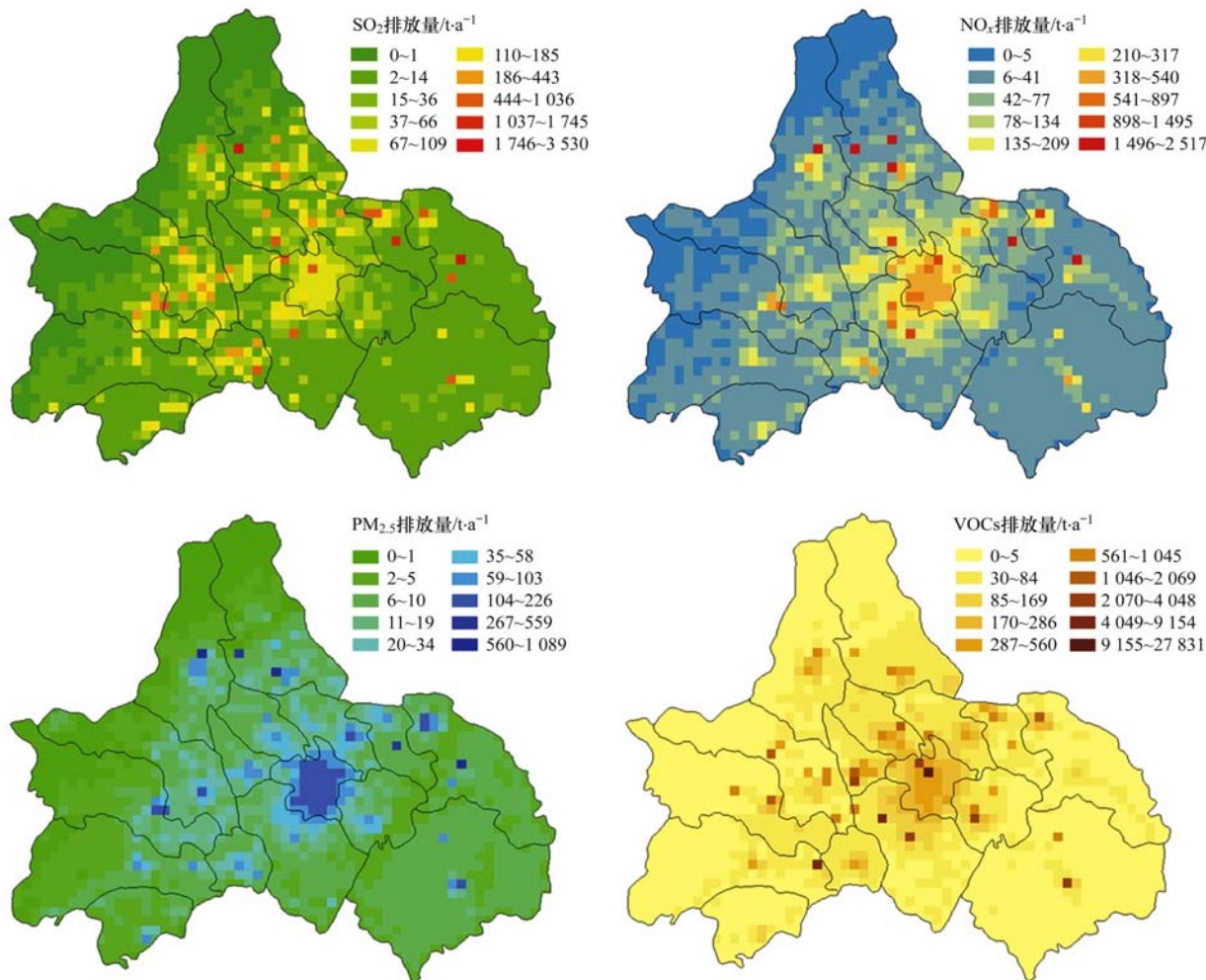


图1 成都市主要污染物排放清单

Fig. 1 Air pollutants emissions inventory in Chengdu City

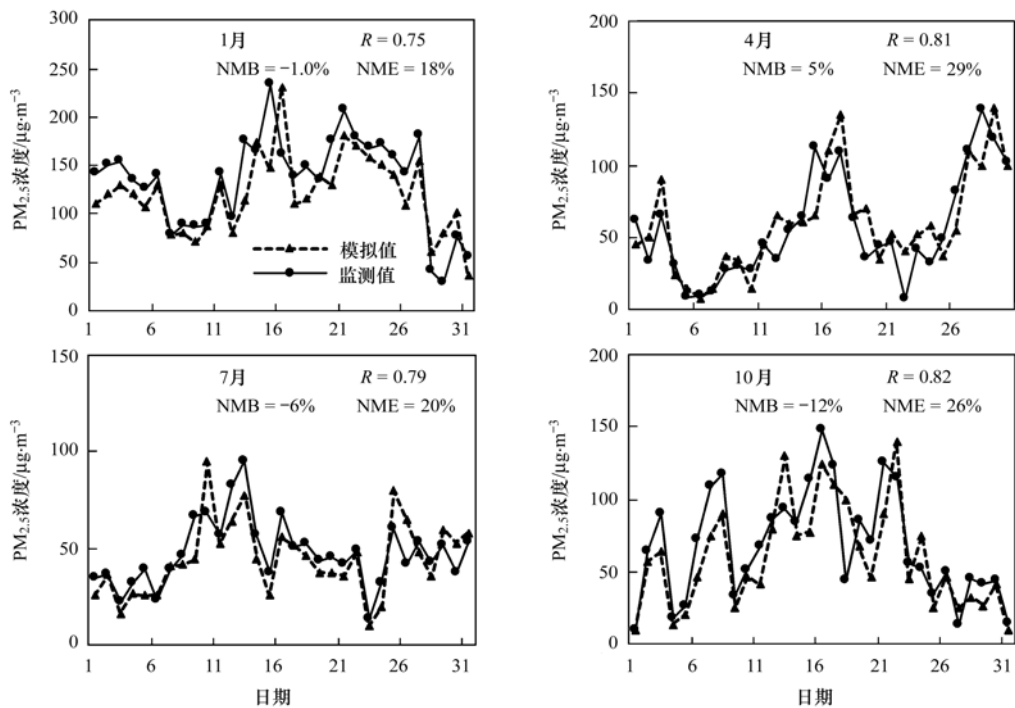


图2 成都市 PM_{2.5} 模拟与监测日均浓度比对

Fig. 2 Comparisons of the simulated and observed mean daily PM_{2.5} concentrations in Chengdu City

式中, ω_{ni} 为第 i 月第 n 类源对成都市 PM_{2.5} 月均浓度贡献占本地源贡献量的比例, %; ρ_{ni} 关闭 n 类源后第 i 月成都市 PM_{2.5} 月均浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

1、4、7 和 10 这 4 个典型月分别代表冬季、春季、夏季和秋季, 并通过对 4 个月的模拟结果取平均值, 得到年均浓度. 参考公式(1)和(2), 可计算各类源对 PM_{2.5} 年均浓度贡献.

2 结果与讨论

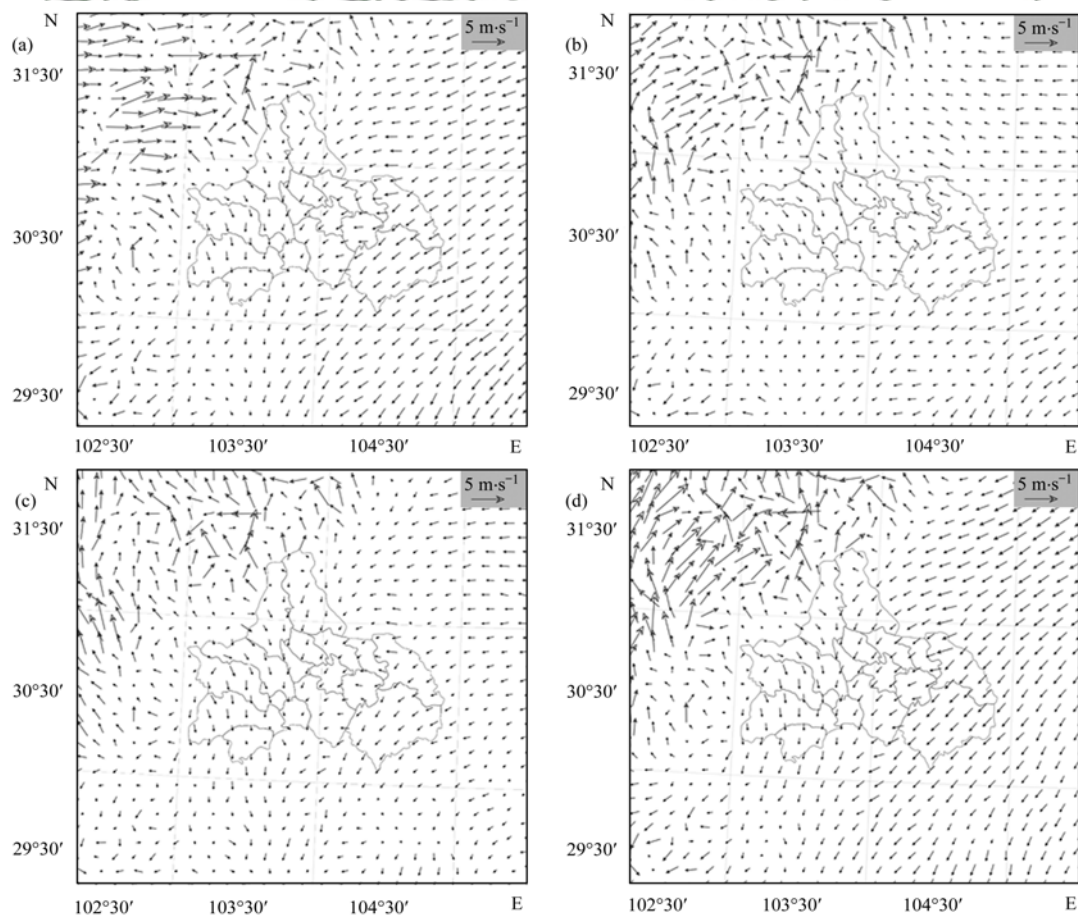
2.1 污染气象特征分析

成都市地处四川盆地西部边缘, 地势西高东低, 东侧为龙泉山脉, 西北侧为邛崃山脉, 地形比较封闭, 阻挡和削弱了冬季北方冷空气和寒潮侵袭, 导致平均风速较小, 特别是冬季降雨大幅减少, 近地面逆温频率上升, 冷空气强度弱, 盆地内的污染物不易稀释扩散, 容易造成污染物浓度快速增长^[24~26]. 2015 年 1 月成都市 PM_{2.5} 污染最严重, PM_{2.5} 月均浓度高达 $130\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右, 然后依次是 4、10 和 7 月. 由于中心城区的人口和道路集中, 造成城区的污染比区县严重. 此外, 成都市与周边城市(雅安市、眉山市、德阳市、绵阳市和达州市等) PM_{2.5} 污染连接成片,

呈现区域性高污染特征. 图 3~4 是基于 WRF 气象模型模拟的 2015 年的 1、4、7 和 10 月风场和边界层高度的空间分布. 整个区域的风向基本呈现出偏东北-东气流, 风速在成都地区明显减弱, 呈现了局地辐合特征. 风场的季节差异不显著, 风速多在 $1\sim 1.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. 受山体等影响, 成都市大气边界层高度呈现出“中间高、东西低”条状梯度分布的总体特征. 位于成都市西部的区县边界层高度低于其他地区, 低于 400 m, 不利于污染物垂直扩散. 4 月边界层高度相对较大, 有利于污染物垂直扩散.

2.2 区域传输贡献分析

模拟结果表明, 本地源对成都市 PM_{2.5} 年均浓度的贡献约占 61%, 外地源的贡献占 39%, 见图 5. 不同月份的区域污染传输特征存在差异, 4 月和 7 月区域传输对成都市 PM_{2.5} 浓度贡献率较低, 均为 30% 左右. 相关研究表明, 京津冀和长三角等区域间污染输送规律显著^[13], 天津、石家庄、秦皇岛、邯郸、邢台和保定等城市 PM_{2.5} 年均浓度受外来源的贡献高达 44%~67%^[27]. 与京津冀等地区的污染传输特征相比, 成都市 PM_{2.5} 污染以本地源贡献为主, 外地源对其影响较小, 这主要是因为成都市位于四



(a) 1 月; (b) 4 月; (c) 7 月; (d) 10 月

图 3 风场的分布特征

Fig. 3 Distributions of the wind field

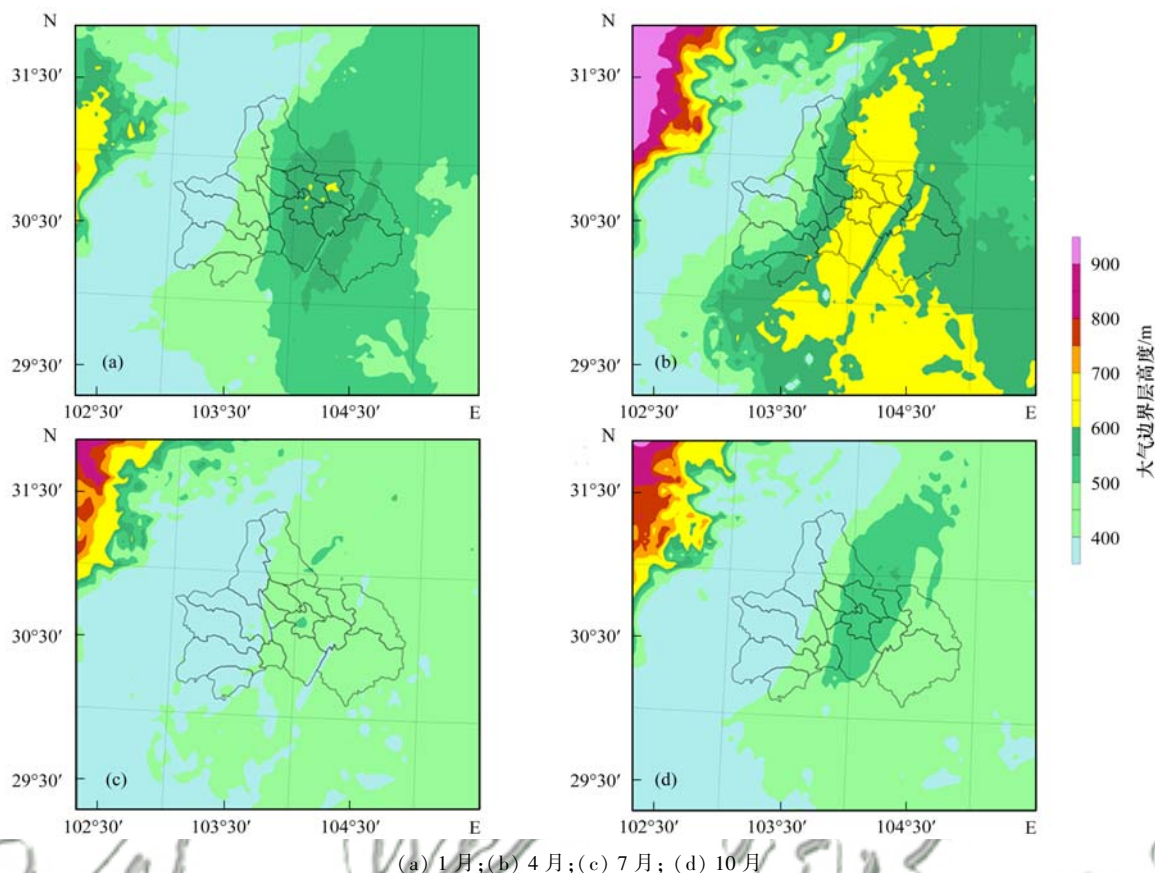
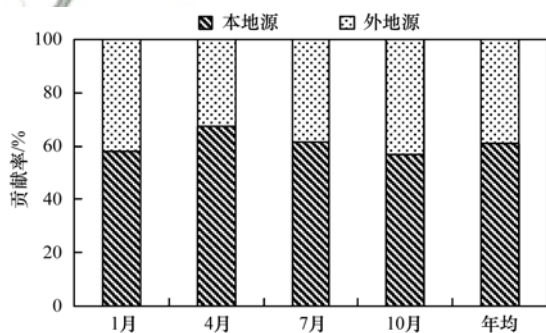


图4 边界层高度的分布特征

Fig. 4 Distributions of the boundary layer height

川盆地,地理位置相对独立,同时风速偏小且长期处于均压场控制,不利于大气水平扩散和污染物长距离输送。

图5 区域传输对 $PM_{2.5}$ 污染的贡献率Fig. 5 Contribution of regional transport to $PM_{2.5}$

2.3 行业贡献分析

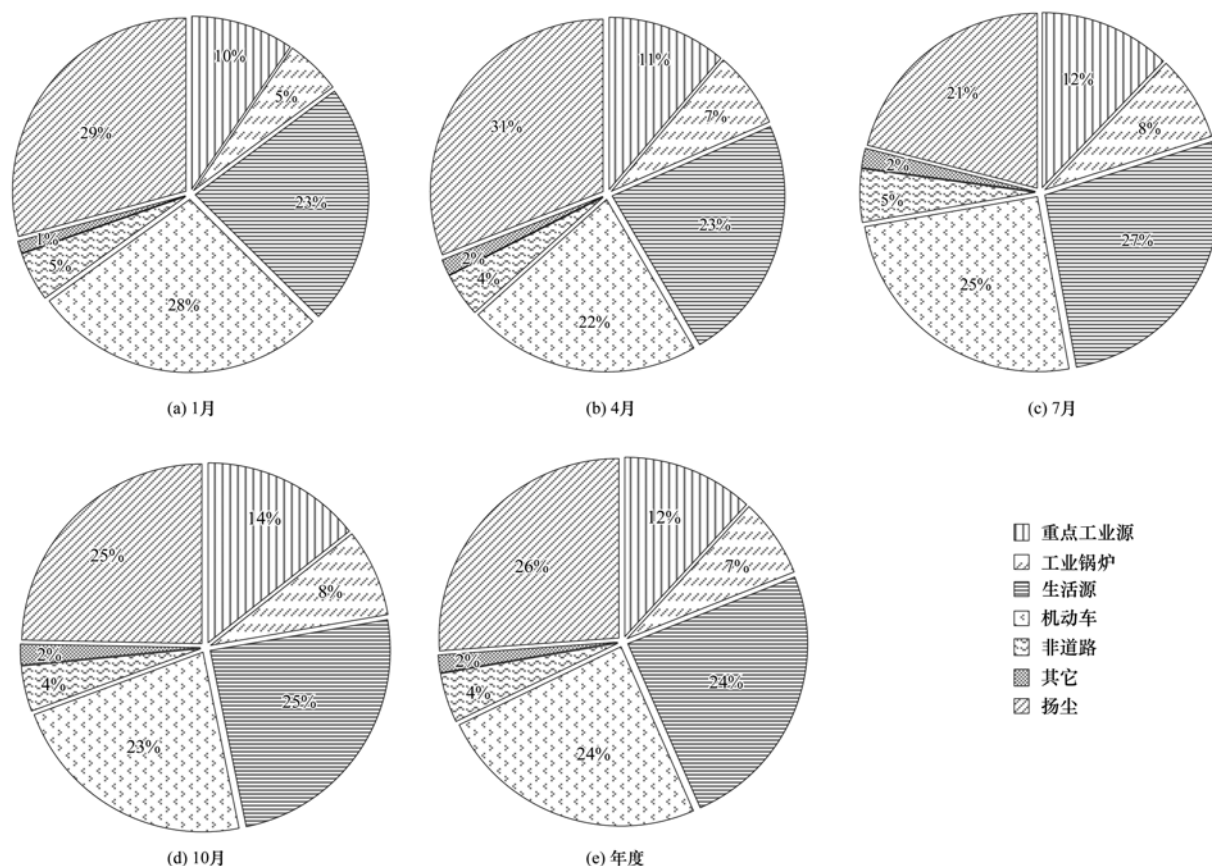
采用源开关敏感性分析法,基于 WRF-CMAQ 模型模拟结果,分析不同类别污染源对成都市 $PM_{2.5}$ 浓度贡献。成都市 $PM_{2.5}$ 年均浓度受本地源贡献约为 61%,其中重点工业、工业锅炉、生活源、移动源、扬尘源对 $PM_{2.5}$ 年均浓度贡献分别占本地源贡献总量的 12%、7%、24%、29% 和 26%,具体如图 6 所示。从工业源来看,成都市建材企业较多,且主要集中在成都市区和位于城市上风向的温江区、郫都区

和都江堰等中北部区域,颗粒物排放量大,对 $PM_{2.5}$ 贡献较大。工业锅炉包括燃煤、燃气及生物质锅炉等,在彭州北部和新津县内分布比较集中。生活源包含民用燃烧、生物质燃烧和餐饮油烟等污染源排放,7月污染排放对 $PM_{2.5}$ 浓度贡献高达 27%,主要原因是7月是成都市餐饮业经营更加活跃,餐饮油烟排放是成都地区的特征排放源,餐饮油烟产生的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 排放量均占生活源排放量的 50% 左右。移动源主要包括机动车和非道路移动源,在成都市区、双流区南部等成都市中部地区,路网密集,车流量大,机动车排放对 $PM_{2.5}$ 浓度贡献较大。总体来看,对成都市 $PM_{2.5}$ 影响较大的三类污染源分别是移动源、扬尘源和生活源,贡献率总计高达 79%。

3 结论

(1) 成都市地处四川盆地,特殊地形和较差的大气扩散条件造成 $PM_{2.5}$ 污染较重,中心城区 $PM_{2.5}$ 污染程度高于区县。

(2) 成都市 $PM_{2.5}$ 污染以本地污染源贡献为主。2015 年成都市 $PM_{2.5}$ 年均浓度受本地源贡献约为 61%,外地源贡献为 39%。4 个典型月的区域传输对成都市 $PM_{2.5}$ 浓度贡献率分别为 42%、32%、38% 和 43%。

图 6 各行业对 PM_{2.5} 浓度贡献占本地源贡献的比例Fig. 6 Contributions from different sources to PM_{2.5} concentrations in Chengdu City

(3)重点工业、工业锅炉、生活源、移动源和扬尘源对 PM_{2.5} 年均浓度贡献分别占本地源贡献总量的 12%、7%、24%、29% 和 26%。其中,移动源、扬尘源和生活源三者的贡献率之和达到 79%,是成都市 PM_{2.5} 污染的来源,因此需将其作为降低 PM_{2.5} 污染的主要控制对象。

参考文献:

- [1] Han X, Liu Y Q, Gao H, *et al.* Forecasting PM_{2.5} induced male lung cancer morbidity in China using satellite retrieved PM_{2.5} and spatial analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **607-608**: 1009-1017.
- [2] Liao Z H, Gao M, Sun J R, *et al.* The impact of synoptic circulation on air quality and pollution-related human health in the Yangtze River Delta region [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **607-608**: 838-846.
- [3] 韩士杰, 王佳, 燕启社, 等. 2014~2016 年间郑州市控制 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染的健康效益评估[J]. *环境科学*, 2019, **40** (6): 2565-2571.
- [4] Han S J, Wang J, Yan Q S, *et al.* Health benefit evaluation for PM₁₀ and PM_{2.5} pollution control in Zhengzhou, China, 2014-2016[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(6): 2565-2571.
- [5] 刘童, 王晓军, 陈倩, 等. 烟台市环境受体 PM_{2.5} 四季污染特征与来源解析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1082-1090.
- [6] Liu T, Wang X J, Chen Q, *et al.* Pollution characteristics and source apportionment of ambient PM_{2.5} during four seasons in Yantai City[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1082-1090.
- [7] 赵雪艳, 杨文, 王静, 等. 典型物流城市 2016 年冬季 2 次污

染过程 PM_{2.5} 污染特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2019, **40** (3): 1052-1061.

- [8] Zhao X Y, Yang W, Wang J, *et al.* Source apportionment and pollution characteristics of PM_{2.5} during the two heavy pollution episodes in the winter of 2016 in a typical logistics city [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1052-1061.
- [9] 王彤, 华阳, 许庆成, 等. 京津冀郊区站点秋冬季大气 PM_{2.5} 来源解析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1035-1042.
- [10] Wang T, Hua Y, Xu Q C, *et al.* Source apportionment of PM_{2.5} in suburban area of Beijing-Tianjin-Hebei region in autumn and winter [J]. *Environmental Science*, 2019, **40** (3): 1035-1042.
- [11] 张云峰, 于瑞莲, 胡恭任, 等. 泉州市大气 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2017, **38**(10): 4044-4053.
- [12] Zhang Y F, Yu R L, Hu G R, *et al.* Seasonal variation and source apportionment of water-soluble ions in PM_{2.5} in Quanzhou city[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(10): 4044-4053.
- [13] 黄凡, 陈楠, 周家斌, 等. 2016—2017 年武汉市城区大气 PM_{2.5} 污染特征及来源解析[J]. *中国环境监测*, 2019, **35** (1): 17-25.
- [14] Huang F, Chen N, Zhou J B, *et al.* Characteristics and source apportionment of PM_{2.5} in urban areas of Wuhan during 2016-2017[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2019, **35**(1): 17-25.
- [15] 张延君, 郑玫, 蔡靖, 等. PM_{2.5} 源解析方法的比较与评述[J]. *科学通报*, 2015, **60**(2): 109-121.
- [16] Zhang Y J, Zheng M, Cai J, *et al.* Comparison and overview of PM_{2.5} source apportionment methods [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, **60**(2): 109-121.

- [10] Yu S Y, Liu W J, Xu Y S, *et al.* Characteristics and oxidative potential of atmospheric PM_{2.5} in Beijing: source apportionment and seasonal variation[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **650**: 277-287.
- [11] Karnae S, John K. Source apportionment of PM_{2.5} measured in South Texas near U. S. A.-Mexico border[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10**(5): 1663-1676.
- [12] Lu X C, Chen Y A, Huang Y Q, *et al.* Differences in concentration and source apportionment of PM_{2.5} between 2006 and 2015 over the PRD region in southern China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **673**: 708-718.
- [13] 薛文博, 付飞, 王金南, 等. 中国 PM_{2.5} 跨区域传输特征数值模拟研究[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(6): 1361-1368.
Xue W B, Fu F, Wang J N, *et al.* Numerical study on the characteristics of regional transport of PM_{2.5} in China[J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(6): 1361-1368.
- [14] Wang Y J, Bao S W, Wang S X, *et al.* Local and regional contributions to fine particulate matter in Beijing during heavy haze episodes[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **580**: 283-296.
- [15] Pirovano G, Colombi C, Balzarini A, *et al.* PM_{2.5} source apportionment in Lombardy (Italy): comparison of receptor and chemistry-transport modelling results [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, **106**: 56-70.
- [16] 杨再东, 朱云, 陶谨, 等. 基于曲面响应建模的 PM_{2.5} 可控人为源贡献解析[J]. *环境科学学报*, 2018, **38**(10): 3877-3887.
Yang Z D, Zhu Y, Tao J, *et al.* Response surface modeling based PM_{2.5} source contribution analysis on anthropogenic controllable emission[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(10): 3877-3887.
- [17] Liao T T, Wang S, Ai J, *et al.* Heavy pollution episodes, transport pathways and potential sources of PM_{2.5} during the winter of 2013 in Chengdu (China)[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **584-585**: 1056-1065.
- [18] Xu Y L, Xue W B, Lei Y, *et al.* Impact of meteorological conditions on PM_{2.5} pollution in China during winter [J]. *Atmosphere*, 2018, **9**(11): 429.
- [19] 张智胜, 陶俊, 谢绍东, 等. 成都城区 PM_{2.5} 季节污染特征及来源解析[J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(11): 2947-2952.
Zhang Z S, Tao J, Xie S D, *et al.* Seasonal variations and source apportionment of PM_{2.5} at urban area of Chengdu [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(11): 2947-2952.
- [20] 吴明, 吴丹, 夏俊荣, 等. 成都冬季 PM_{2.5} 化学组分污染特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(1): 76-85.
Wu M, Wu D, Xia J R, *et al.* Analysis of pollution characteristics and sources of PM_{2.5} chemical components in Chengdu in winter[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(1): 76-85.
- [21] 许艳玲, 薛文博, 雷宇, 等. 中国氨减排对控制 PM_{2.5} 污染的敏感性研究[J]. *中国环境科学*, 2017, **37**(7): 2482-2491.
Xu Y L, Xue W B, Lei Y, *et al.* Sensitivity analysis of PM_{2.5} pollution to ammonia emission control in China [J]. *China Environmental Science*, 2017, **37**(7): 2482-2491.
- [22] 许艳玲, 薛文博, 王燕丽, 等. 基于减排敏感性的武汉市 PM_{2.5} 污染控制研究[J]. *环境污染与防治*, 2018, **40**(8): 959-964.
Xu Y L, Xue W B, Wang Y L, *et al.* Study on the PM_{2.5} pollution control based on sensitivity analysis of emission reduction in Wuhan [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2018, **40**(8): 959-964.
- [23] Guenther A, Karl T, Harley P, *et al.* Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (model of emissions of gases and aerosols from nature)[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, **6**(11): 3181-3210.
- [24] Li L L, Tan Q W, Zhang Y H, *et al.* Characteristics and source apportionment of PM_{2.5} during persistent extreme haze events in Chengdu, southwest China[J]. *Environmental Pollution*, 2017, **230**: 718-729.
- [25] Liu F, Tan Q W, Jiang X, *et al.* Effects of relative humidity and PM_{2.5} chemical compositions on visibility impairment in Chengdu, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, **86**: 15-23.
- [26] Liu R C, Zeng J, Jiang X Y, *et al.* The relationship between airborne fine particle matter and emergency ambulance dispatches in a southwestern city in Chengdu, China[J]. *Environmental Pollution*, 2017, **229**: 661-667.
- [27] 王燕丽, 薛文博, 雷宇, 等. 京津冀区域 PM_{2.5} 污染相互输送特征[J]. *环境科学*, 2017, **38**(12): 4897-4904.
Wang Y L, Xue W B, Lei Y, *et al.* Regional transport matrix study of PM_{2.5} in Jingjinji region, 2015 [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(12): 4897-4904.

CONTENTS

Spatiotemporal Variations of PM _{2.5} Pollution Evolution in China in Recent 20 Years	SHI Yan, LIU Rui-mei, LUO Yi, <i>et al.</i>	(1)
Characteristics of Aerosol Particulate Concentrations and Their Climate Background in Shanghai During 2007-2016	ZHENG Qing-feng, SHI Jun, TAN Jian-guo, <i>et al.</i>	(14)
Characteristics and Sources of Elements in PM _{2.5} During Summer for Three Typical Cities in Pingdingshan-Suizhou-Wuhan, Central China	LIU Wei-jie, SHI Ming-ming, CHENG Cheng, <i>et al.</i>	(23)
PM _{2.5} Pollution Characteristics During Winter and Summer in the Hohhot-Baotou-Ordos Region, China	LI Yi-ming, LIU Jia-yuan, SHI Guo-liang, <i>et al.</i>	(31)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of PM _{2.5} During Heavy Pollution in Shijiazhuang City Around New Year's Day 2019	ZHOU Jing-bo, DUAN Jing-chun, WANG Jian-guo, <i>et al.</i>	(39)
Modeling Studies of Source Contributions to PM _{2.5} in Chengdu, China	XU Yan-ling, YI Ai-hua, XUE Wen-bo, <i>et al.</i>	(50)
Chemical Characteristics of Arsenic in PM _{2.5} in Beijing	SHI Shao-xuan, YANG Yan-rong, QIN Juan-juan, <i>et al.</i>	(57)
Pollution Characteristics and Potential Source Contributions of Gaseous Elemental Mercury (GEM) During Summer and Autumn in Ningbo City	YI Hui, LIN Jia-mei, CAI Qiu-liang, <i>et al.</i>	(65)
Seasonal Characteristics and Source Analysis of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} of Anyang City	SUN You-chang, JIANG Nan, WANG Shen-bo, <i>et al.</i>	(75)
Analysis of Stable Carbon Isotope Characteristics of PM _{2.5} in Summer and Winter Season in Xinxiang City	YAN Guang-xuan, SONG Xin, ZHANG Jing-wen, <i>et al.</i>	(82)
Construction and Evaluation on Size Resolved Source Apportionment Methods Based on Particle Size Distribution of Chemical Species	LIANG Yong-li, TIAN Ying-ze, LIU Tong, <i>et al.</i>	(90)
Fine Particulate Emission Characteristics of an Ultra-Low Emission Coal-Fired Power Plant	WANG Run-fang, MA Da-wei, JIANG Shao-yi, <i>et al.</i>	(98)
Driving Factors of the Significant Increase in Surface Ozone in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China, During 2013-2018	YU Yi-jun, MENG Xiao-yan, WANG Zhen, <i>et al.</i>	(106)
Characteristic of Surface Ozone and Meteorological Parameters Analysis in Anyang City	YANG Jian, YIN Sha-sha, YU Shi-jie, <i>et al.</i>	(115)
Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds from Vehicles in the Yangtze River Delta in 2017 and the Impact on the Formation Potential of Secondary Organic Aerosols	WANG Qian, HUANG Ling, WANG Yang-jun, <i>et al.</i>	(125)
Exhaust Smoke of Non-Road Vehicles in Typical Cities of Eastern China	LU Jun, HU Qing-yao, YANG Qiang, <i>et al.</i>	(133)
Emission Status and Standards of Volatile Organic Compounds from Chinese and Foreign Bulk Petroleum Terminals	HU Wei, REN Bi-qi, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i>	(139)
Secondary Organic Aerosol Mass Yield and Characteristics from 4-ethylguaiaacol Aqueous •OH Oxidation: Effects of Initial Concentration	ZHUANG Yu, CHEN Yan-tong, LI Xu-dong, <i>et al.</i>	(146)
Stable Isotope Characteristics and Vapor Source of Precipitation in the South and North Slopes of Wushaoling Mountain	XU Xiu-ting, JIA Wen-xiong, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i>	(155)
Characteristics and Influencing Factors of Stable Hydrogen and Oxygen Isotopes in Groundwater in the Permafrost Region of the Source Region of the Yangtze River	WANG Shao-yong, HE Xiao-bo, DING Yong-jian, <i>et al.</i>	(166)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics of the Lake Balkhash Catchment, Kazakhstan	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, Jilili Abuduwali, <i>et al.</i>	(173)
Effect of a Comprehensive Improvement Project on Water Quality in Urban Lakes: A Case Study of Water Quality Variation in Lihu Lake Over the Past 30 Years	TIAN Wei, YANG Zhou-sheng, SHAO Ke-qiang, <i>et al.</i>	(183)
Detection Method, Distribution, and Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Yellow Sea and the East China Sea	CHEN Xian, ZHANG Cai-jie, YANG Gui-peng, <i>et al.</i>	(194)
Occurrence and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Source Water of the Nanjing Section of the Yangtze River	LI Dong, ZHANG Sheng-hu, ZHANG Qin, <i>et al.</i>	(205)
Spatial Distribution, Spectral Characteristics, and Sources Analysis of Dissolved Organic Matter from Baiyangdian Lake in Xiong'an New District During the Winter Freezing Period	ZHOU Shi-lei, SUN Yue, ZHANG Yi-ran, <i>et al.</i>	(213)
Spatial Characteristics, Risk Assessment, and Source Analysis of Elements in Surface Sediments from the Baiyangdian Lake	WANG Jing-zhong, LIU Zhao, WEI Hao, <i>et al.</i>	(224)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters in Surface Sediments of the Songhua River	WANG Huan, YANG Yong-zhe, WANG Hai-yan, <i>et al.</i>	(232)
Occurrence Relationship Between Microplastics and Heavy Metals Pollutants in the Estuarine Sediments of Poyang Lake and the Yangtze River	LI Wen-hua, JIAN Min-fei, LIU Shu-li, <i>et al.</i>	(242)
Effect of Ozonation on Microorganism in the Biological Activated Carbon and Disinfection By-Products in the Effluent	LIU Bao-ming, WANG Xi-xi, ZHANG Xiao-xia, <i>et al.</i>	(253)
Refined Assessment of Exposure and Health Risks of Heavy Metals in Water for the Children in Xigu District, Lanzhou	CHEN Yue-fang, SUN Shan-wei, DUAN Xiao-li, <i>et al.</i>	(262)
Adsorption of Phosphate on Mg/Fe Layered Double Hydroxides (Mg/Fe-LDH) and Use of Mg/Fe-LDH as an Amendment for Controlling Phosphorus Release from Sediments	WU Jun-lin, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i>	(273)
Characteristics and Mechanism of Monothioarsenate Adsorption on Sand, Sediment, and Goethite	LIAO Dan-xue, SHAN Hui-mei, PENG San-xi, <i>et al.</i>	(284)
Substructure Characteristics of Combined Acid-Base Modified Sepiolite and Its Adsorption for Cd(II)	XIE Sha, XU Ying-ming, YAN Cui-xia, <i>et al.</i>	(293)
Characteristics of Nitrogen Metabolism by Denitrifying Bacterial Agents in Low Dissolved Oxygen Black Odor Water	ZHAO Zhi-rui, LIU Shuo, LI Duo, <i>et al.</i>	(304)
Metagenomic Analysis of Antibiotic Resistant Bacteria and Resistance Genes in a Pharmaceutical and Chemical Wastewater Treatment Plant	CHEN Hong-ling, ZHANG Xing-tao, WANG Qing, <i>et al.</i>	(313)
Measurements of Bacterial Community and Biodiversity from Activated Sludge for a Wastewater Treatment Containing Starch	ZHAO Ting-ting, QIAO Kai, WANG Lei, <i>et al.</i>	(321)
Process Control and Operation Optimization of PN-SAD Coupling Process Based on SBR-ABR	CHEN Chong-jun, ZHANG Min, JIANG Ying, <i>et al.</i>	(330)
Effects of Intermittent Starvation on the Operation of the SNAD Process	LI Dong, LIU Zhi-cheng, XU Gui-da, <i>et al.</i>	(337)
Nitrogen Removal from Mature Landfill Leachate via Denitrification-Partial Nitrification-ANAMMOX Based on a Zeolite Biological Aerated Filter	CHEN Xiao-zhen, WANG Xiao-jun, Karasuta Chayangkun, <i>et al.</i>	(345)
Rapid Achievement of Nitrifying Micro-granular Sludge and Its Nitrification Function	LIU Wen-ru, SONG Jia-jun, WANG Jian-fang, <i>et al.</i>	(353)
Effect of On/Off Aeration Time Ratio Under High Frequency On/Off Aeration on Performance of Nitrosated Granular Sludge	ZHANG Jie, LAO Hui-mei, LI Dong, <i>et al.</i>	(360)
Occurrence, Distribution, Source, and Health Risk Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers in Surface Soil from the Shen-Fu Region, Northeast China	XIANG Xin-xin, LU Yin-tao, RUAN Qi-yang, <i>et al.</i>	(368)
Vertical Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Heterogeneous Unsaturated Zone Under a Coking Plant	MENG Xiang-shuai, WU Meng-meng, CHEN Hong-han, <i>et al.</i>	(377)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Beijing Vegetable Base Soils	ZHANG Ru-feng, SONG Yuan, GAO Hao-ze, <i>et al.</i>	(385)
Stoichiometric Characteristics of Purple Sloping Cropland Under Long-term Fertilization and Cultivation	DU Ying-ni, LI Tian-yang, HE Tian-hui, <i>et al.</i>	(394)
Ecological Stoichiometry of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Subtropical Paddy Soils	SONG Jia-ling, SHENG Hao, ZHOU Ping, <i>et al.</i>	(403)
Denitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation in Soil Nitrogen Migration Process in a Farmland of Wanshangang Lake	CHEN Zhi-hao, QIN Yun-bin, DING Bang-jing, <i>et al.</i>	(412)
Effects of Straw Biochar on Soil Microbial Metabolism and Bacterial Community Composition in Drip-irrigated Cotton Field	WANG Jing, MA Li-juan, LONG Ze-hua, <i>et al.</i>	(420)
Source Appointment of Heavy Metals in Agricultural Soils of the Jiulong River Basin Based on Positive Matrix Factorization	HUANG Hua-bin, LIN Cheng-qi, HU Gong-ren, <i>et al.</i>	(430)
Spatial Distribution of Soil Arsenic and Arsenic Enrichment in Crops in the Oasis Region of the Southeastern Tarim Basin	CHEN Yun-fei, ZHOU Jin-long, ZENG Yan-yan, <i>et al.</i>	(438)
Bioavailability, Translocation, and Accumulation Characteristic of Heavy Metals in a Soil-Crop System from a Typical Carbonate Rock Area in Guangxi, China	MA Hong-hong, PENG Min, LIU Fei, <i>et al.</i>	(449)
Effects of Different Amendments on Fractions and Uptake by Winter Wheat in Slightly Alkaline Soil Contaminated by Cadmium and Nickel	ZHANG Jing-jing, ZHU Shuang-ge, ZHU Li-nan, <i>et al.</i>	(460)
Effect of Different Passivating Agents on the Stabilization of Heavy Metals in Chicken Manure Compost and Its Maturity Evaluating Indexes	LUAN Run-yu, GAO Shan, XU Ying-ming, <i>et al.</i>	(469)
Response of Soil Respiration and Its Components to Nitrogen and Phosphorus Addition in Farming-Withdrawn Grassland in the Semiarid Loess Hilly-Gully Region	ZHOU Jun-jie, CHEN Zhi-fei, YANG Quan, <i>et al.</i>	(479)
Subsequent Effects of Slag and Biochar Application on Greenhouse Gas Emissions from Paddy Fields in the Fuzhou Plain	LAN Xing-fu, WANG Xiao-tong, ZHOU Ya-xin, <i>et al.</i>	(489)