

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

长江经济带PM_{2.5}空间异质性和驱动因素的地理探测

王丽丽, 刘笑杰, 李丁, 孙颖琦



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年3月

第43卷 第3期

Vol.43 No.3

目次

2000~2020年天津PM_{2.5}质量浓度演变及驱动因子分析 蔡子颖, 郝团, 韩素芹, 唐颖潇, 杨旭, 樊文雁, 姚青, 邱晓滨(1129)

天津市PM_{2.5}-O₃复合污染特征及来源分析 肖致美, 徐虹, 高璟寰, 蔡子颖, 毕温凯, 李鹏, 杨宁, 邓小文, 戴运峰(1140)

基于随机森林模型的武汉市城区大气PM_{2.5}来源解析 张志豪, 陈楠, 祝波, 陶卉婷, 成海容(1151)

华北南部重污染城市周边区域二次气溶胶的化学特征及来源解析 任秀龙, 胡伟, 吴春苗, 胡偲豪, 高娜娜, 张崇崇, 岳亮, 王金喜, 樊景森, 牛红亚(1159)

“大气十条”实施结束川南城市群秋季霾污染过程中水溶性离子特征 吴安南, 黄小娟, 何仁江, 李金建, 叶秋麟, 吴涛, 肖智丹, 刘子锐, 王跃思, 张小玲, 张军科(1170)

郑州市典型污染过程PM₁₀中重金属浓度、来源及健康风险评估 翟诗婷, 王申博, 张栋, 赵孝因, 杨洁茹, 刘洋, 陈红阳, 张瑞芹(1180)

长江经济带PM_{2.5}空间异质性和驱动因素的地理探测 王丽丽, 刘笑杰, 李丁, 孙颖琦(1190)

长三角地区PM_{2.5}浓度对土地利用/覆盖转换的空间异质性响应 周丽霞, 吴涛, 蒋国俊, 张建珍, 濮励杰, 徐飞, 解雪峰(1201)

“2+26”城市春节和元宵节期间污染特征、气象影响和预报回顾分析 朱媛媛, 王晓斐, 汪巍, 刀谔, 王帅, 陈善荣(1212)

基于小波变换的山西省PM_{2.5}污染特征及影响因素 张可可, 胡冬梅, 闫雨龙, 彭林, 段小琳, 尹浩, 王凯, 邓萌杰(1226)

中国地表臭氧浓度估算及健康影响评估 赵楠, 卢毅敏(1235)

湖南省臭氧污染基本特征分析及长期趋势变化主控因素识别 刘妍妍, 杨雷峰, 谢丹平, 泽仁央宗, 黄志烟, 杨俊, 赵鹏, 韩静磊, 贾文超, 袁自冰(1246)

山东半岛近地面O₃浓度时空变化及潜在源区解析 李乐, 刘旻霞, 肖仕锐, 王思远, 米佳乐(1256)

COVID-19疫情期间雄安新区VOCs的变化特征、臭氧生成潜势及来源解析 刘新军, 王淑娟, 刘程, 范莉茹, 付翠轻, 齐莹, 宿文康(1268)

淄博市城区臭氧超标期间的VOCs污染特征与来源解析 王帅, 王秀艳, 杨文, 王雨燕, 白瑾丰, 程颖(1277)

淄博市夏季城区与背景点VOCs污染特征比较 秦涛, 徐勃, 王信梧, 李丽明, 杨文, 王晓丽, 耿春梅(1286)

四川省餐饮源挥发性有机物组分特征和清单 钱骏, 韩丽, 陈军辉, 王斌, 姜涛, 徐晨曦, 李英杰, 王成辉, 王波(1296)

餐饮源气相与颗粒相多环芳烃排放特征 李源速, 吴爱华, 童梦雪, 栾胜基, 李鹭(1307)

堆肥厂不同工作区空气真菌的多样性与群落结构 于奥园, 邢礼军, 孙兴滨, 仇天雷, 王旭明, 高敏(1315)

城市扬尘污染主要成因与精准治尘思路 李廷昆, 冯银厂, 毕晓辉, 张裕芬, 吴建会(1323)

黄河干流水质评价与时空变化分析 刘彦龙, 郑易安(1332)

典型山地城市河流营养元素空间分布特征及影响因素分析:以重庆市清水溪为例 王超, 叶秋, 贾伯阳, 何文战, 党超军, 黄焱, 杜浪(1346)

三峡库区支流的河-湖两态及其对沉积物不同形态磷含量的影响 黄伟, 张研, 罗晓佼, 张磊(1356)

派河及其支流溶解性有机质分子组成特征 詹亚, 尹浩, 冯景伟, 冯艾荣, 胡艳云, 张刘, 郑刘根(1365)

粤港澳大湾区典型潮间带环境多介质中Cd形态空间分布特征及其影响因素 崔新月, 莫武秋, 廖建波(1375)

骆马湖及主要入湖河流表层水体中抗生素的赋存特征及风险评估 龚润强, 赵华璋, 高占欣, 胡冠九, 卜元卿, 张圣虎, 邱惠(1384)

宁夏第三排水沟中抗生素的污染特征与生态风险评估 李富娟, 高礼, 李凌云, 卜兰香, 陶红, 杨桂钦(1394)

百年来北方湖泊沉积物PAHs的变化特征及其对人类活动的响应 龚雄虎, 赵中华, 丁琪琪, 张路, 姚书春, 薛滨(1404)

长江流域河流和湖库的浮游细菌群落差异 胡愈忻, 张静, 黄杰, 段春建, 李天翠, 刘威, 王英才, 胡圣(1414)

河套平原灌溉间歇期乌梁素海水体细菌群落结构特征 史玉娇, 李文宝, 张博尧, 姚国旺, 史小红(1424)

不同空间尺度的景观结构对袁河浮游细菌群落的影响 舒旺, 王鹏, 丁明军, 张华, 黄高翔, 聂明华(1434)

鄱阳湖白鹤保护区微塑料表面微生物群落结构特征 刘淑丽, 简敏菲, 邹龙, 胡启武(1447)

微塑料对变形杆菌生物膜生长发育的影响 陶辉, 戚怡婷, 于多, 杨兰, 顾颖, 厉彦辉(1455)

乌梁素海低密度微塑料聚合物沉降规律 刘禹, 史小红, 张生, 郝若男, 孙标, 赵胜男(1463)

老化前后微塑料对富里酸的吸附 宋亚丽, 俞娅, 郑磊, 汪华, 朱文芳(1472)

天津市滨海河流N₂O扩散通量及控制因子 汤梦瑶, 胡晓康, 王洪伟, 王云仓, 常素云, 王松庆, 钟继承(1481)

铁矿石和生物炭添加对潜流人工湿地污水处理效果和温室气体排放及微生物群落的影响 陈鑫童, 郝庆菊, 熊艳芳, 胡剑, 江长胜(1492)

降雨径流污染风险等级识别与优化方法 齐小天, 张质明, 赵鑫, 胡文翰, 刘迪(1500)

基于贝叶斯网络的给水管网消毒副产物生成因素分析 江杉杉, 王臻宇, 高权, 杨愿愿, 高方舟, 华佩, 应光国(1512)

聚硫代酰胺修饰活性炭对Au(III)的选择性吸附效果与机制 赵文金, 张顺, 安晓强, 兰华春, 刘会娟, 曲久辉(1521)

F/M对活性污泥微生物生态网络的影响 张冰, 孙展翔, 文湘华(1529)

城乡融合区土壤元素地球化学特征与源解析:以天府新区青龙片区为例 刘书准, 王德伟, 施泽明, 唐亮, 章凤英, 廖程, 李晓雨, 徐文斌(1535)

基于总量与形态的矿区周边土壤重金属生态风险与健康风险评估 王蕊, 陈楠, 张二喜(1546)

湖南锡矿山周边土壤-农作物系统镉迁移转换特征及污染评价 张龙, 宋波, 黄凤艳, 肖乃川, 顿梦杰(1558)

生物炭负载氧化石墨烯对离子型稀土土壤中重金属的阻控效应 杨士, 刘祖文, 龙培, 毕永顺, 林苑, 左华伟(1567)

溶解性有机质强化棉花修复镉污染土壤 闵涛, 罗彤, 陈丽丽, 茹思博, 李俊华(1577)

铁锰氧化物-微生物负载生物炭材料对镉和砷的吸附机制 连斌, 吴骥子, 赵科理, 叶正钱, 袁峰(1584)

不同冬小麦品种镉富集转运及离子组特征差异 刘畅, 徐应明, 黄青青, 陶雪莹, 王林, 孙灼兵, 赵立杰(1596)

镉胁迫下不同小麦品种对镉的积累特性 任超, 任或仲, 王浩, 朱利文, 李竞天, 杜倩倩, 李萍(1606)

嘉陵江滨岸带不同土地利用类型对土壤细菌群落多样性的影响 刘坤和, 薛玉琴, 竹兰萍, 徐飞, 朱志豪, 张拓, 张富斌(1620)

蚯蚓/钾改性生物炭对As污染红壤中细菌多样性和群落结构的影响 苏倩倩, 李莲芳, 朱昌雄, 叶婧, 刘雪, 耿兵, 田云龙, 黄晓雅(1630)

DA-6和EDDS施用对龙葵生长、Cd吸收和土壤细菌群落结构的影响 罗洋, 孙丽, 刘方, 任军, 郭金梅, 闫修民(1641)

地膜覆盖对农田土壤养分和生态酶计量学特征的影响 胡志娥, 肖谋良, 王双, 童瑶瑶, 鲁顺保, 陈剑平, 葛体达(1649)

增温和增雨对黄土丘陵区撂荒地土壤呼吸的影响 王兴, 钟泽坤, 朱玉帆, 王佳懿, 杨改河, 任成杰, 韩新辉(1657)

秸秆还田、地膜覆盖及施肥对冬小麦田N₂O和N₂排放的影响 彭毅, 李惠通, 张少维, 阳婷, 王筱斐, 周春菊, 王林权(1668)

基于Meta分析的不同生产条件下秸秆还田对土壤挥发性的影响 赵政鑫, 王晓云, 田雅洁, 王锐, 彭青, 蔡焕杰(1678)

施肥对农田土壤抗生素抗性基因影响的整合分析 冉继伟, 肖琼, 黄敏, 蔡岸冬, 张文菊(1688)

《环境科学》征订启事(1331) 《环境科学》征稿简则(1403) 信息(1462, 1511, 1605)

“2 + 26”城市春节和元宵节期间污染特征、气象影响和预报回顾分析

朱媛媛^{1,2}, 王晓斐¹, 汪巍¹, 刁谔¹, 王帅¹, 陈善荣^{1*}

(1. 中国环境监测总站, 北京 100012; 2. 北京科技大学能源与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 分析2021年春节至元宵节前后“2 + 26”城市PM_{2.5}污染过程特征, 对比2016~2021年春节和元宵节前后3 d的PM_{2.5}日均浓度和小时浓度, 2019~2021年PM_{2.5}组分特征, 讨论2016~2021年春节至元宵节前后气象因素对PM_{2.5}浓度的影响, 并分析了影响2021年春节期间北京地区预报结果的关键因素。结果表明, 烟花爆竹燃放叠加不利气象条件导致“2 + 26”城市在2021年春节期间出现了一次中至重度污染过程, 在元宵节期间出现了一次轻至中度污染过程。2021年腊月二十九至正月初一期间, “2 + 26”城市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值为111 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 小时峰值为156 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 为2016~2021年最低。2021年元宵节前后3 d, “2 + 26”城市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值为85 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 小时峰值为125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 重度及以上污染小时数量为2016~2021年最低。组分观测结果表明, 2021年春节和元宵节烟花爆竹燃放影响降低, 禁限放成效显著, 污染以常规污染累积为主, 且为硝酸盐主导, 部分城市春节期间有机物浓度较高, 可能与本地工业排放叠加烟花爆竹燃放影响有关。气象因子与PM_{2.5}浓度对比分析表明, 风速风向、地面气压和相对湿度等气象条件均会影响PM_{2.5}浓度和区域污染过程的长短。华北平原边界层输送汇的摆动对扩散条件的影响, 华北小高压的位置、强度和其高空移动气流的强度, 烟花爆竹燃放的不确定性, 以及冬春季节交替期间气象变化频繁导致的气象预报准确度较低等, 均是影响北京地区空气质量预报结果的关键因素。综上, 虽然近年来烟花爆竹燃放影响降低, 但为促进环境质量持续改善, 建议进一步加强烟花爆竹燃放管控, 特别是北京五环外及其周边城市烟花爆竹燃放管控。

关键词: 京津冀; “2 + 26”城市; 污染特征; PM_{2.5}化学组分; 春节; 烟花爆竹; 气象影响

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)03-1212-14 DOI: 10.13227/j.hjxx.202104329

Analysis of Pollution Characteristics, Meteorological Impact, and Forecast Retrospective During the Spring Festival and the Lantern Festival in “2 + 26” Cities

ZHU Yuan-yuan^{1,2}, WANG Xiao-fei¹, WANG Wei¹, DAO Xu¹, WANG Shuai¹, CHEN Shan-rong^{1*}

(1. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China; 2. School of Energy and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The PM_{2.5} concentration characteristics of “2 + 26” cities in Beijing-Tianjin-Hebei and the surrounding region during the Spring Festival and the Lantern Festival in 2021 were analyzed. The average daily concentration and hourly concentration of PM_{2.5} in the three days before and after the Spring Festival and the Lantern Festival from 2016 to 2021 and the characteristics of the PM_{2.5} chemical components during the Spring Festival and the Lantern Festival from 2019 to 2021 were comparatively analyzed. In addition, the impact of meteorological factors on PM_{2.5} concentration from 2016 to 2021 and the key factors affecting the forecast result of Beijing during the Spring Festival in 2021 were discussed. The results showed that the combination of fireworks and firecrackers and adverse weather conditions resulted in a moderate to heavy pollution process during the Spring Festival in 2021 and a light to moderate pollution process during the Lantern Festival in “2 + 26” cities. The average $\rho(\text{PM}_{2.5})$ was 111 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The hourly peak $\rho(\text{PM}_{2.5})$ was 156 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, which was the lowest in 2016 to 2021. The three days before and after the Lantern Festival in 2021, the average $\rho(\text{PM}_{2.5})$ of “2 + 26” cities was 85 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and the hourly peak $\rho(\text{PM}_{2.5})$ was 125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. During this period, the hour number of heavy and severe pollution was the lowest in 2016 to 2021. Component observation results showed that the impact of fireworks and firecrackers during the Spring Festival and the Lantern Festival in 2021 was gradually reduced, and the effect of bans and restrictions for fireworks and firecrackers was significant. The regional pollution was dominated by conventional pollution accumulation and nitrate. The concentration of organic matter in some cities during the Spring Festival was relatively high, which may be related to local industrial emissions and the impact of blasting fireworks and firecrackers. The comparative analysis of meteorological factors and PM_{2.5} concentration showed that the factors such as wind speed and direction, ground pressure, and relative humidity all affected PM_{2.5} concentration and the duration of the regional pollution process. The influence of oscillation of the boundary layer transport sink on diffusion conditions in the North China Plain, the location and intensity of the small high pressure in North China and the intensity of its high-altitude moving airflow, and the uncertainty of fireworks displays, as well as the low accuracy of weather forecasts caused by frequent weather changes during the alternate period of winter and spring, could affect the accuracy of air quality forecast results in the northern Beijing-Tianjin-Hebei region. In summary, although the impact of fireworks and firecrackers has been reduced in recent years, in order to improve the air quality, it is recommended to further strengthen the control of fireworks and firecrackers, especially outside the Beijing Fifth Ring Road and Beijing’s surrounding cities.

Key words: Beijing-Tianjin-Hebei region; “2 + 26” cities; pollution characteristics; PM_{2.5} chemical composition; the Spring Festival; fireworks and firecrackers; meteorological impacts

收稿日期: 2021-04-29; 修订日期: 2021-08-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0213203); 国家自然科学基金项目(41875164)

作者简介: 朱媛媛(1981~), 女, 博士研究生, 正高级工程师, 主要研究方向为环境质量预报与环境健康, E-mail: zhuyy@cnemc.cn

* 通信作者, E-mail: chensr@cnemc.cn

有研究表明,污染物排放和不利气象条件是京津冀及周边重污染的主要原因^[1-10].春节和元宵节期间,我国大多数地区都有燃放烟花爆竹的传统习俗,烟花爆竹燃放会在短时间内释放大量颗粒物和气态污染物,导致空气质量迅速恶化,即使是在有利于扩散的气象条件下,烟花爆竹燃放仍可使污染物浓度短时迅速上升^[11-15],如果遇到不利气象条件,可能进一步加剧污染状况^[16-21],危害人体健康和生态环境质量^[22-24].近年来,京津冀及周边城市相继出台了系列烟花爆竹燃放管控规定,推动区域环境空气质量持续改善,如北京市自2018年加强对烟花爆竹燃放的管控后空气质量显著改善,与烟花爆竹相关的一次离子组分浓度增长倍数和对 $PM_{2.5}$ 及其组分的贡献率逐年降低^[25],淄博和济宁等城市2018年春节期间烟花燃放对 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献也有所下降^[26].因此,研究春节及元宵节期间京津冀及周边地区污染过程特征和主要影响因素,对区域生态环境管理和污染防治具有重要意义.

目前,有研究针对春节和元宵节这个特殊污染时段展开,如石琳琳等^[27]基于激光雷达大气颗粒物消光系数实时数据和颗粒物自动监测数据,研究了2016年北京市春节期间大气颗粒物的污染特征;孙婷婷等^[28]的研究利用近地面污染物浓度数据和激光雷达组网观测数据,结合WRF气象要素、颗粒物输送通量和HYSPLIT气团轨迹,综合分析了2018年春节期间京津冀地区污染过程;Wang等^[29]研究了2006年元宵节期间空气主要污染物及其组分的特征,并改进了量化烟花燃放污染贡献的方法.但多数研究仅关注单一城市或单一年份^[30-38],少有对区域污染程度的整体讨论和连续多年状况的比较分析,缺少对春节和元宵节期间预报关键因素的回顾分析讨论.为此,本文在复盘2021年春节和元宵节期间气象影响条件和 $PM_{2.5}$ 浓度演变过程的基础上,分析了“2+26”城市污染过程特征、2016~2021年春节和元宵节前后3d的 $PM_{2.5}$ 日均浓度和小时浓度特征以及2019~2021年两节期间 $PM_{2.5}$ 组分特征,考察了气象因素对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响,探讨了影响北京地区预报结果的关键因素,以期对今后环境空气质量预报、区域污染防治和精细化管控提供科学参考.

1 材料与方法

1.1 研究对象

研究区域为京津冀及周边大气污染传输通道上的28个城市(“2+26”城市),包括北京市,天津市,河北省的石家庄、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、

邢台和邯郸市,山西省的太原、阳泉、长治和晋城市,山东省的济南、淄博、济宁、德州、聊城、滨州和菏泽市,河南省的郑州、开封、安阳、鹤壁、新乡、焦作和濮阳市.

1.2 数据来源与评价方法

京津冀及周边“2+26”城市 $PM_{2.5}$ 日均值、小时均值及空气质量指数AQI,采用中国环境监测总站国家空气质量监测网城市空气质量自动监测审核数据,并依据《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)和《环境空气质量评价技术规范(试行)》(HJ 663-2013)进行评价. $PM_{2.5}$ 组分数据采用国家大气颗粒物组分网“2+26”城市组分观测数据.气象观测数据和静稳天气指数来源于国家气象中心共享数据,空气质量预报相关数据为国家空气质量预报业务系统模拟数据.

2 结果与讨论

2.1 2021年春节至元宵节期间区域污染过程分析

2021年春节,“2+26”城市在2月10~14日(腊月二十九至正月初三)期间出现了一次中至重度污染过程(图1).腊月二十九(2月10日),京津冀及周边地面由弱东北风转为偏南风,晚间相对湿度逐步上升,大部城市空气污染等级在前一天基础上上升了一个级别,主要为轻至中度污染.除夕(2月11日), O_3 浓度达到近一周(2月5~11日)最高值,大气氧化性增加,有利于 NO_x 向 NO_3^- 转化,导致 $PM_{2.5}$ 浓度进一步上升[图2(a)].除夕夜间至正月初一(2月12日)凌晨,烟花爆竹燃放叠加较高湿度有利于 SO_4^{2-} 大量生成.正月初一夜间至正月初三(2月14日)凌晨,相对湿度快速上升并维持在较高水平,导致 SO_4^{2-} 大量生成,区域污染过程持续.初三早晨起,东北风加强,扩散条件逐步转好,污染缓解.正月初四[2月15日,图2(b)]起至正月十三(2月24日)期间,区域大部城市空气质量优良,个别城市轻度污染.

2021年元宵节前后,“2+26”城市在2月25~28日(正月十四至正月十七)期间出现了一次轻至中度污染过程(图1).正月十四(2月25日),地面由东北风转为东南风,相对湿度快速上升,扩散条件转差.元宵节当日[2月26日,图2(c)],地面转为偏南风,且风力较小,有利于污染物积累,叠加晚间烟花爆竹燃放影响,污染物浓度进一步抬升,大部城市空气质量以良至轻度污染为主,北京、安阳、鹤壁、阳泉和菏泽等城市在元宵节至次日期间出现中度污染.直至正月十七(2月28日),在西北风作用下,整个区域污染逐步缓解,到2月28日晚间22:00,大部城市空

AQI级别		优		良		轻度污染		中度污染		重度污染																		
日期(年-月-日)	北京	天津	石家庄	唐山	邯郸	邢台	保定	沧州	廊坊	衡水	太原	阳泉	长治	晋城	济南	淄博	济宁	德州	聊城	滨州	菏泽	郑州	开封	安阳	鹤壁	新乡	焦作	濮阳
2021-02-07	51	49	77	59	77	69	71	45	56	56	59	76	69	82	78	63	93	59	81	52	108	111	119	88	87	108	96	85
2021-02-08	45	67	69	83	55	60	72	56	64	51	59	65	88	73	55	63	48	59	60	62	55	56	59	68	62	59	72	54
2021-02-09	87	89	102	127	65	79	109	71	93	65	137	97	102	95	57	60	55	72	65	87	68	84	80	80	83	70	98	77
2021-02-10	100	133	148	178	134	143	144	97	124	119	88	114	107	114	82	107	87	114	89	112	97	152	134	176	145	122	145	134
2021-02-11	215	170	217	228	123	147	229	124	218	114	175	114	85	98	95	112	129	145	130	199	123	112	110	134	124	112	125	117
2021-02-12	249	219	239	208	206	238	242	183	267	216	155	148	130	137	57	77	97	192	127	119	109	153	193	242	189	133	144	160
2021-02-13	257	155	247	198	178	254	244	144	182	139	158	198	144	132	54	62	79	117	72	87	62	178	92	186	130	114	156	74
2021-02-14	132	72	223	77	245	228	144	69	87	155	149	156	87	72	83	89	107	88	119	83	138	98	123	275	255	149	137	208
2021-02-15	37	40	80	39	59	69	61	42	44	48	44	46	41	41	46	43	60	45	53	44	64	80	73	69	73	73	118	60
2021-02-16	39	40	67	40	63	64	56	59	45	53	52	51	53	63	57	53	59	66	64	53	66	59	63	68	65	67	63	61
2021-02-17	36	37	53	38	48	46	44	40	42	39	41	59	46	56	42	40	49	43	47	40	66	62	61	59	59	64	66	52
2021-02-18	38	58	83	57	79	82	80	60	58	58	56	56	51	61	58	62	72	67	68	63	73	117	95	113	100	89	88	89
2021-02-19	60	108	71	124	66	51	79	76	95	66	66	64	55	59	72	73	75	80	83	82	78	72	72	74	60	81	69	80
2021-02-20	72	80	74	125	70	62	80	76	81	73	90	73	61	63	84	83	72	93	89	88	76	63	66	78	66	72	71	74
2021-02-21	118	134	84	173	75	69	118	122	121	96	91	85	70	76	69	74	69	99	78	104	66	62	62	85	71	68	72	69
2021-02-22	59	61	94	67	96	79	80	62	70	71	87	94	90	97	85	67	84	77	94	62	110	117	118	109	97	111	102	93
2021-02-23	49	50	60	57	59	57	55	43	53	48	90	62	68	64	68	56	51	55	66	49	63	61	61	62	64	66	68	56
2021-02-24	62	58	63	63	59	60	60	52	57	52	93	72	70	63	60	54	48	59	62	52	50	55	48	64	65	71	68	48
2021-02-25	107	98	104	103	82	84	94	69	110	88	102	104	64	84	78	82	60	69	79	67	93	100	117	123	120	89	108	124
2021-02-26	173	119	145	135	104	113	108	80	144	85	95	137	119	105	129	144	98	105	114	87	140	134	144	162	159	129	144	134
2021-02-27	159	114	132	145	104	99	144	79	117	102	102	169	107	102	68	104	83	103	110	108	170	130	134	149	140	119	145	149
2021-02-28	125	105	120	103	77	84	109	94	117	89	113	145	58	54	58	53	63	90	73	60	69	68	90	94	80	74	83	89
2021-03-01	34	42	46	43	36	38	40	41	43	40	44	49	50	44	39	39	35	42	36	45	39	40	39	49	48	42	55	35
2021-03-02	83	90	115	79	67	87	92	83	89	88	69	58	51	57	57	68	72	93	90	65	68	68	60	80	79	68	85	65

图1 2021年春节和元宵节前后“2+26”城市AQI日均值

Fig. 1 Air quality index for “2+26” cities during the Spring Festival and the Lantern Festival in 2021

气质量恢复至优良水平[图2(d)].

2.2 近年春节期间空气质量分析

2021年春节期间(农历腊月二十九至正月初一)“2+26”城市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值为 $111 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,其中10个城市空气质量日均浓度达到重度至严重污染水平,相比2020年同期, $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值下降了 $43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,重污染城市数量减少了13个.比较2016~2021年农历历史同期,2016年“2+26”城市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值最低,为 $76 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,重污染城市数量最少,为6个;2017年和2020年 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值相对较高,分别为 $161 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $154 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,重污染城市数量也较高,均超过20个,分别为22个和23个(图3).

2016~2021年春节前后3 d小时 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 变化趋势表明(图4), $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化受烟花爆竹燃放影响显著.2016年除夕当日 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 最低,未出现小时浓度超标($<75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),2018、2019和2020年除夕 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 水平较低($<150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),2017年和2020年除夕 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 水平较高,在 $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右.总体上,除夕当日10:00~17:00期间 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈下降趋势,18:00~21:00 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度迅速升高,一般至正月初一02:00左右达到高峰,随后稍有下降,在正月初一09:00左右又出现一个峰值.

2021年除夕夜间至正月初一凌晨,受到烟花爆竹集中燃放影响,“2+26”城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度明显升高,在正月初一(2月12日)09:00达到峰值,小时 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 为 $156 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,24个城市小时 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度达到重度及以上污染,其中北京、唐山、保

定、廊坊、衡水、德州、滨州和安阳等8个城市小时 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度达到严重污染.正月初一白天,大气扩散条件持续不利,导致污染持续时间较长,但对比近6年正月初一 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度水平,2021年“2+26”城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度明显下降,浓度峰值也为近6年最低.

“2+26”城市春节期间前后3 d重度及以上污染小时数统计结果表明(图5),2021年累计31 h出现严重污染,为近6年最低;360 h出现重度污染,为近3年最低;重度及以上污染小时数较2020年明显下降.

2.3 近年元宵节期间空气质量分析

2021年“2+26”城市元宵节前后(正月十四至正月十六) $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值为 $85 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,期间无城市空气质量日均浓度达到重度及以上污染,相比2020年同期, $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值下降了 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,重污染城市数量减少了6个.比较2016~2021年历史同期,2018年“2+26”城市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值最低,为 $76 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;2019年 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值最高,为 $133 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;2019年重污染城市数量最多,为19个,2021年重污染城市数量为0(图6).

2016~2021年元宵节前后3 d $\text{PM}_{2.5}$ 小时浓度变化趋势见图7.整体上,近6年元宵节当日00:00~10:00, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈缓慢上升趋势,在10:00~16:00 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度有所下降,17:00起明显上升,22:00左右出现一个高峰,随后稍有下降,在第二天09:00左右又出现一个峰值, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化受烟花爆竹燃放影响较为显著,与除夕至正月初一期间变

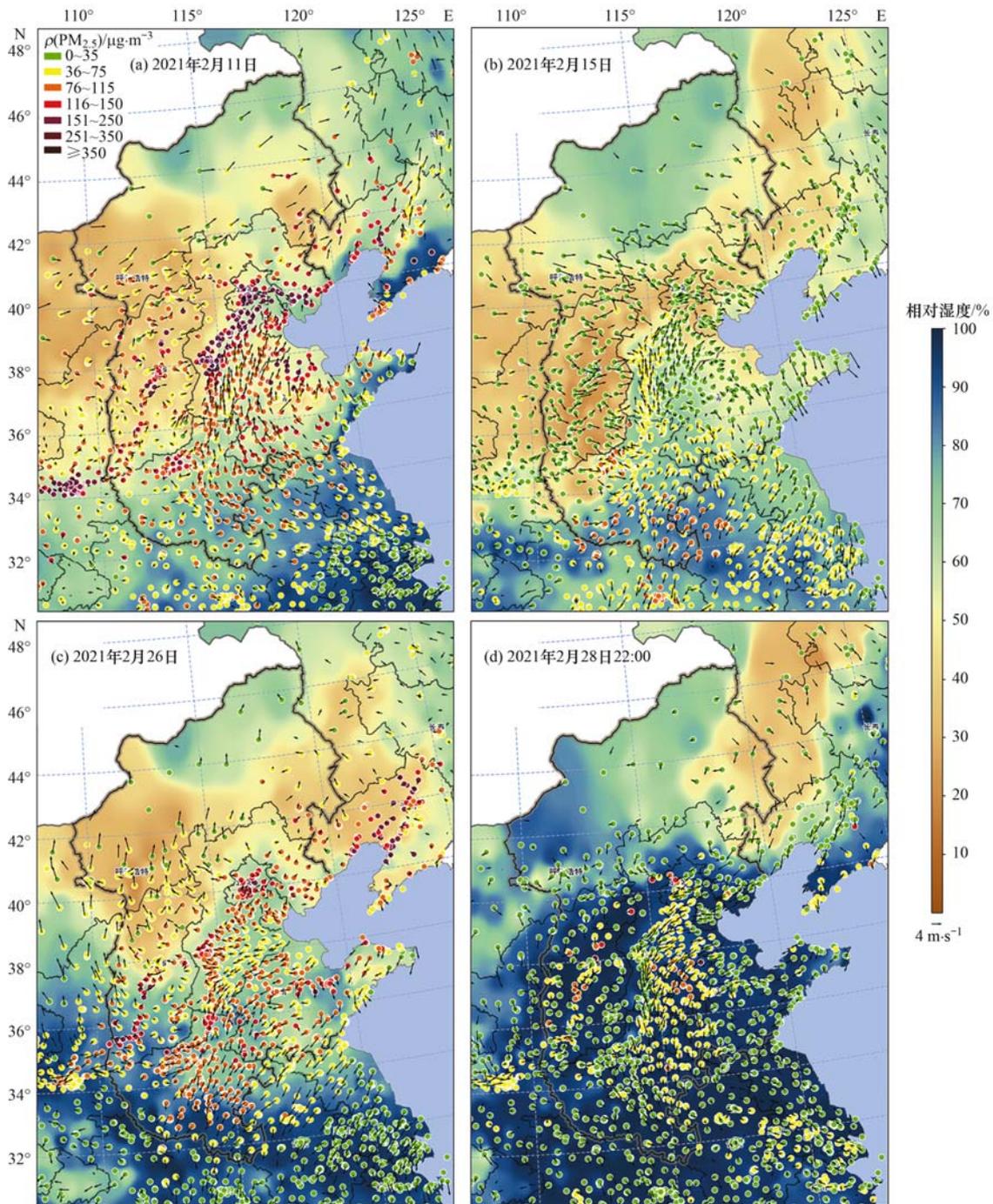


图2 2021年春节和元宵节期间 $PM_{2.5}$ 浓度、风场和相对湿度分布

Fig. 2 Concentration distribution of $PM_{2.5}$, wind speed and direction, and relative humidity during the Spring Festival and Lantern Festival in 2021

化趋势相近. 2021年元宵节当天小时 $PM_{2.5}$ 浓度总体较低,未出现超过 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的情况. 2016年和2017年,元宵节当日17:00 $PM_{2.5}$ 浓度上升迅速,2018~2021年逐年趋缓.

2021年元宵节夜间至正月十六凌晨,受到烟花爆竹集中燃放影响,“2+26”城市 $PM_{2.5}$ 浓度明显升高,在元宵节后1d的07:00达到峰值,小时 $\rho(PM_{2.5})$ 为 $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (低于正月初一峰值09:00的 $156 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),以轻度污染为主,北京、

阳泉、菏泽、安阳和鹤壁等5个城市出现小时中度污染,未出现重度及以上污染.对比近6年元宵节后1d的 $PM_{2.5}$ 浓度水平,2021年“2+26”城市 $PM_{2.5}$ 浓度较前4年明显下降,浓度峰值为近6年最低.

从“2+26”城市元宵节前后3d的重度及以上污染小时数量分析,2021年区域严重污染小时数累计为3h,重度污染累计为69h,均为近6年最低,重度及以上污染呈下降趋势(图8).

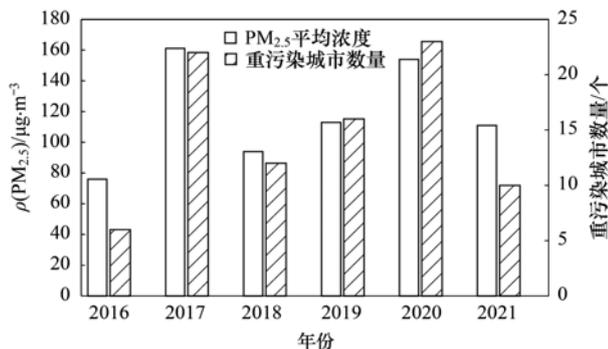


图3 2016~2021年春节期间“2+26”城市PM_{2.5}浓度及重度污染城市数量

Fig. 3 Concentration of PM_{2.5} and the number of heavily polluted cities during the Spring Festival in “2+26” cities in 2016-2021

2.4 近年PM_{2.5}组分特征分析

2019~2021年春节及元宵节期间国家大气颗粒物组分网“2+26”城市组分观测结果见表1.京津冀及周边区域2019~2021年春节及元宵节前后3d,除2019年春节期间为 ρ (有机物)最高(30.41 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、2020年元宵节期间为 ρ (硫酸盐)最高(21.19 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)外,其余时段均为 ρ (硝酸盐)最高,达26.69~33.77 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,体现出烟花爆竹燃放叠加扩散条件不利下的污染累积的特征.2021年春节和元宵节期间,烟花爆竹燃放特征组分氯盐较2019年分别下降22.1%和43.9%,微量元素分别下降为37.7%和52.3%,表明春节和元宵节烟花爆竹燃放影响逐步降低,烟花爆竹禁限放成效显著.

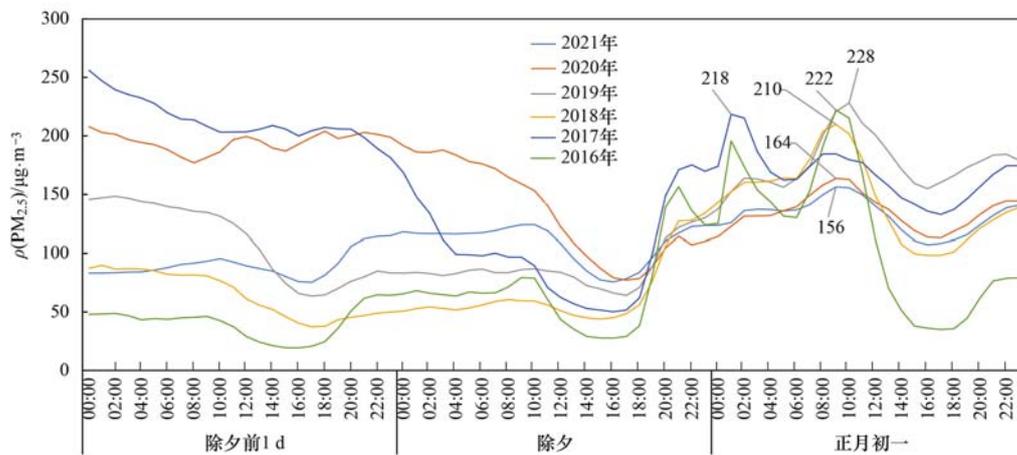


图4 2016~2021年春节“2+26”城市PM_{2.5}小时浓度变化

Fig. 4 PM_{2.5} hourly concentration in “2+26” cities during the Spring Festival in 2016-2021

表1 2019~2021年春节及元宵节期间“2+26”城市区域组分均值/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Mean value of PM_{2.5} during the Spring Festival and the Lantern Festival in 2019-2021 in “2+26” cities/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

污染物	春节期间			元宵节期间		
	2019年 (2月3~5日)	2020年 (1月23~25日)	2021年 (2月10~12日)	2019年 (2月18~20日)	2020年 (2月7~9日)	2021年 (2月25~27)
有机物	30.41	28.63	26.19	24.82	16.87	13.79
硝酸盐	19.60	33.77	27.57	30.13	17.65	26.69
硫酸盐	16.61	25.38	13.91	24.92	21.19	12.54
铵盐	13.86	21.72	14.49	21.05	16.90	13.94
元素碳	6.48	5.74	4.01	4.52	2.80	1.56
氯盐	7.49	7.41	5.83	5.04	3.18	2.83
地壳物质	3.25	1.49	1.75	2.28	1.13	1.20
微量元素	10.23	7.37	6.38	5.46	2.91	2.60

2019~2021年春节和元宵节期间“2+26”城市组分占比情况见图9.从中可知,烟花爆竹燃放直接排放的组分氯盐、微量元素和元素碳组分均为春节期间占比高于元宵节,表明春节受烟花爆竹影响大于元宵节.2021年春节及元宵节的硝酸盐占比均为近3年最高值,分别为27.5%和35.5%,与秋冬季非烟花爆竹燃放阶段的特征相似,表明2021年春节和元宵节的污染以常规污染累积为主导,且为硝酸盐主导.

2019~2021年春节和元宵期间,德州、保定和廊坊为“2+26”城市中污染较重的城市,其烟花爆竹燃放特征组分 ρ (钾离子)峰值分别为87.61、85.87和56.71 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,除春节及除夕烟花爆竹燃放影响,其余时段特征组分浓度处于较低水平.德州、保定和廊坊2021年春节前后PM_{2.5}质量浓度重构见图10,污染最重城市廊坊 ρ (有机物)较高,为50.20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,可能与本地工业排放叠加烟花爆竹影响有关.

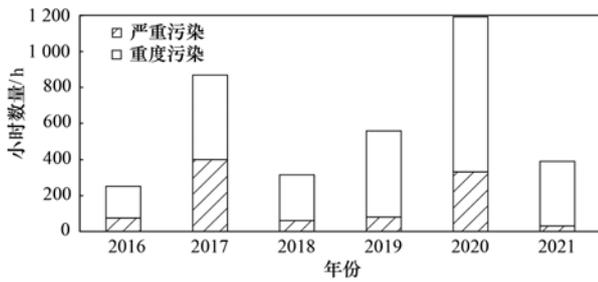


图5 2016~2021年春节期间“2+26”城市重度及以上污染小时数量

Fig. 5 Hours of heavy pollution and severe pollution in “2+26” cities during the Spring Festival in 2016-2021

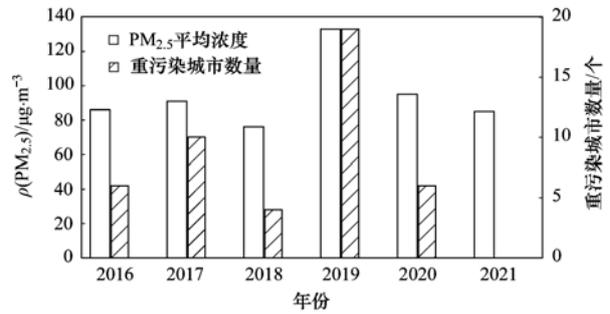


图6 2016~2021年元宵节期间“2+26”城市PM_{2.5}浓度及重度污染城市数量

Fig. 6 Concentration of PM_{2.5} in “2+26” cities and the number of heavily polluted cities during the Lantern Festival in 2016-2021

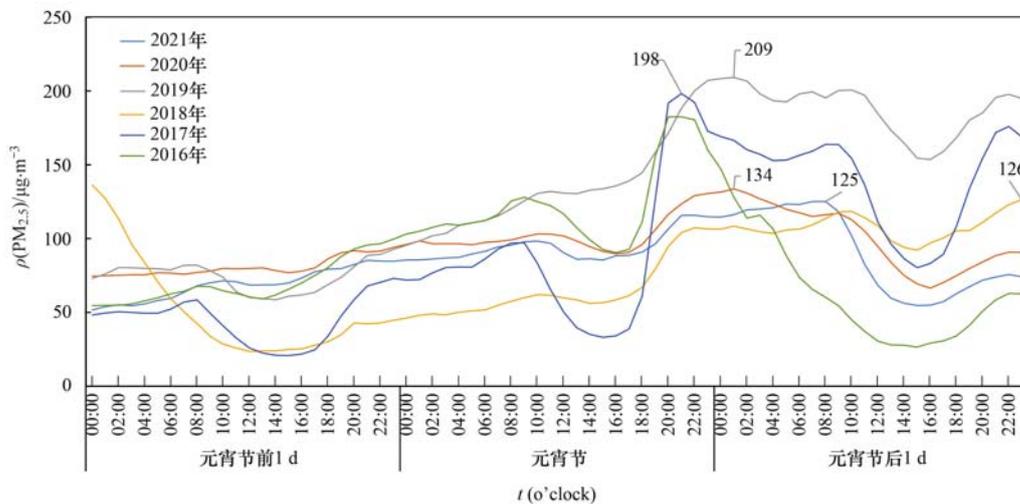


图7 2016~2021年元宵节期间“2+26”城市PM_{2.5}小时浓度变化

Fig. 7 PM_{2.5} hourly concentration in “2+26” cities during the Lantern Festival in 2016-2021

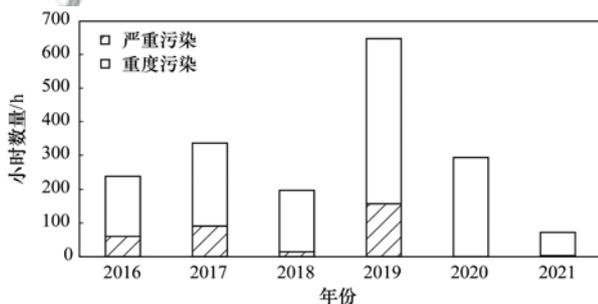


图8 2016~2021年元宵节期间“2+26”城市重度及以上污染小时数量

Fig. 8 Hours of heavy pollution and severe pollution in “2+26” cities during the Lantern Festival in 2016-2021

2.5 气象条件对两节期间空气质量影响分析

春节和元宵节期间的空气质量一方面受到烟花爆竹集中燃放等污染源排放变化影响,另一方面,气象因素导致的污染扩散形势变化也是影响空气质量和污染过程长短的主要因素。“2+26”城市2016~2021年PM_{2.5}平均浓度与部分气象因子均值见表2,近6年春节和元宵节期间气象因子与PM_{2.5}平均浓度趋势见图11和图12。通常,地面风向和风速主导

污染的水平扩散方向和速度,相对湿度影响污染物二次反应的生成速度。

如图11所示,总体上近6年除夕傍晚起至正月初一上午PM_{2.5}浓度均呈波动上升趋势,但2016~2019年上升幅度明显高于2020年和2021年。2016年和2018年春节期间相对湿度较低,PM_{2.5}浓度受除夕烟花爆竹燃放影响,2016年在正月初一凌晨和早间两次达到高值、2018年在正月初一上午达到峰值后,地面气压逐步增加,污染物的垂直扩散条件改善,PM_{2.5}浓度随后快速下降。2017年,受除夕傍晚烟花爆竹燃放影响,PM_{2.5}在正月初一凌晨达到峰值后,相对湿度由50%左右逐步增加到80%左右,地面气压同时逐步降低,导致区域 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值近40h维持在140~220 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右,随后在偏北风作用下,相对湿度逐步下降,地面气压逐步增加, $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值快速下降。2019年, $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值在正月初一白天达到峰值后,相对湿度维持在40%~60%左右,地面气压较低,不利于污染物垂直扩散,直至正月初二白天地面转为偏北风控制、气

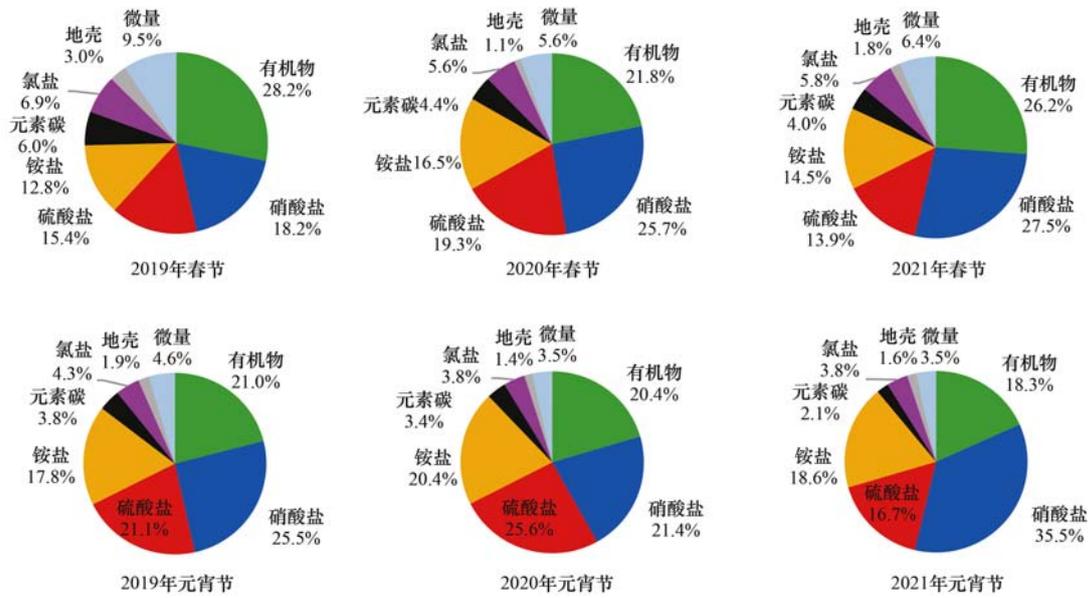


图9 2019~2021年春节和元宵节期间区域组分占比情况

Fig. 9 Proportion of regional components during the Spring Festival and the Lantern Festival in 2019-2021

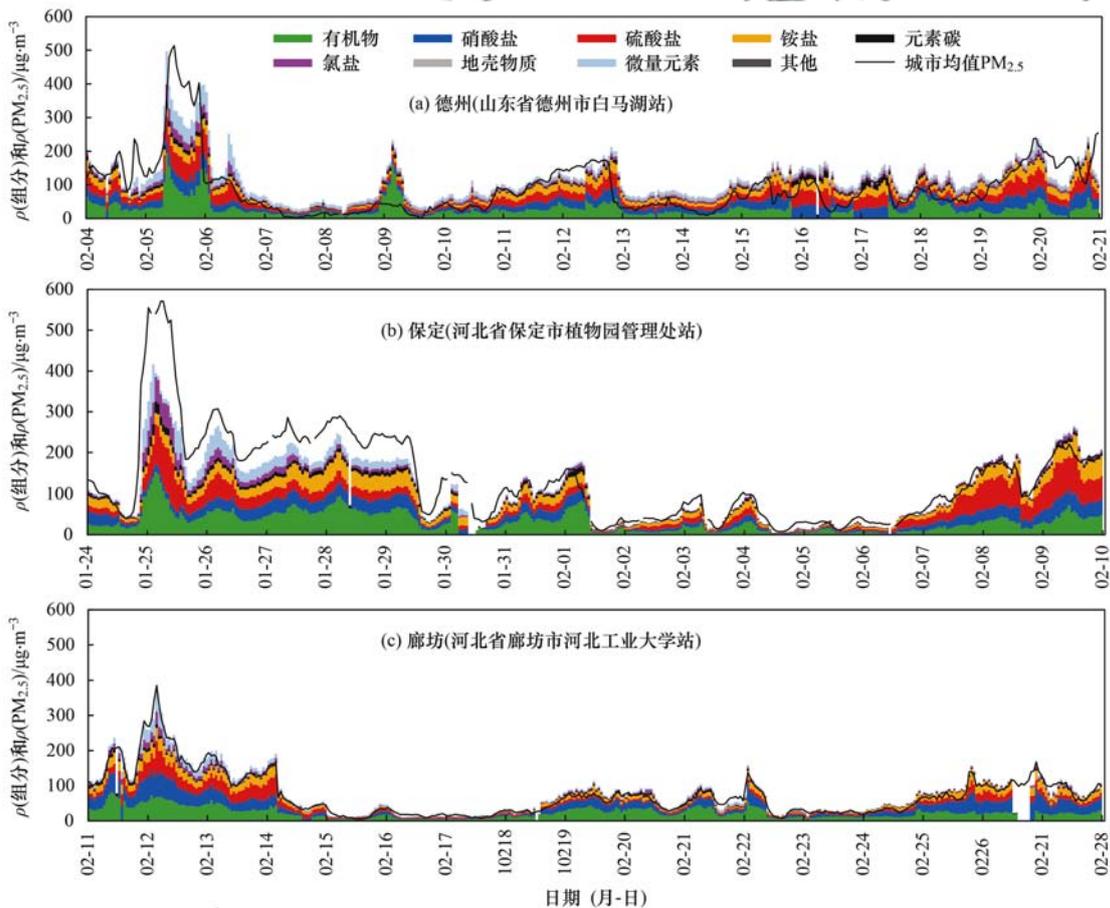


图10 2019~2021年春节和元宵节期间污染较重城市PM_{2.5}组分小时浓度重构

Fig. 10 Reconstruction of the hourly concentration of PM_{2.5} components in heavily polluted cities during the Spring Festival and the Lantern Festival in 2019-2021

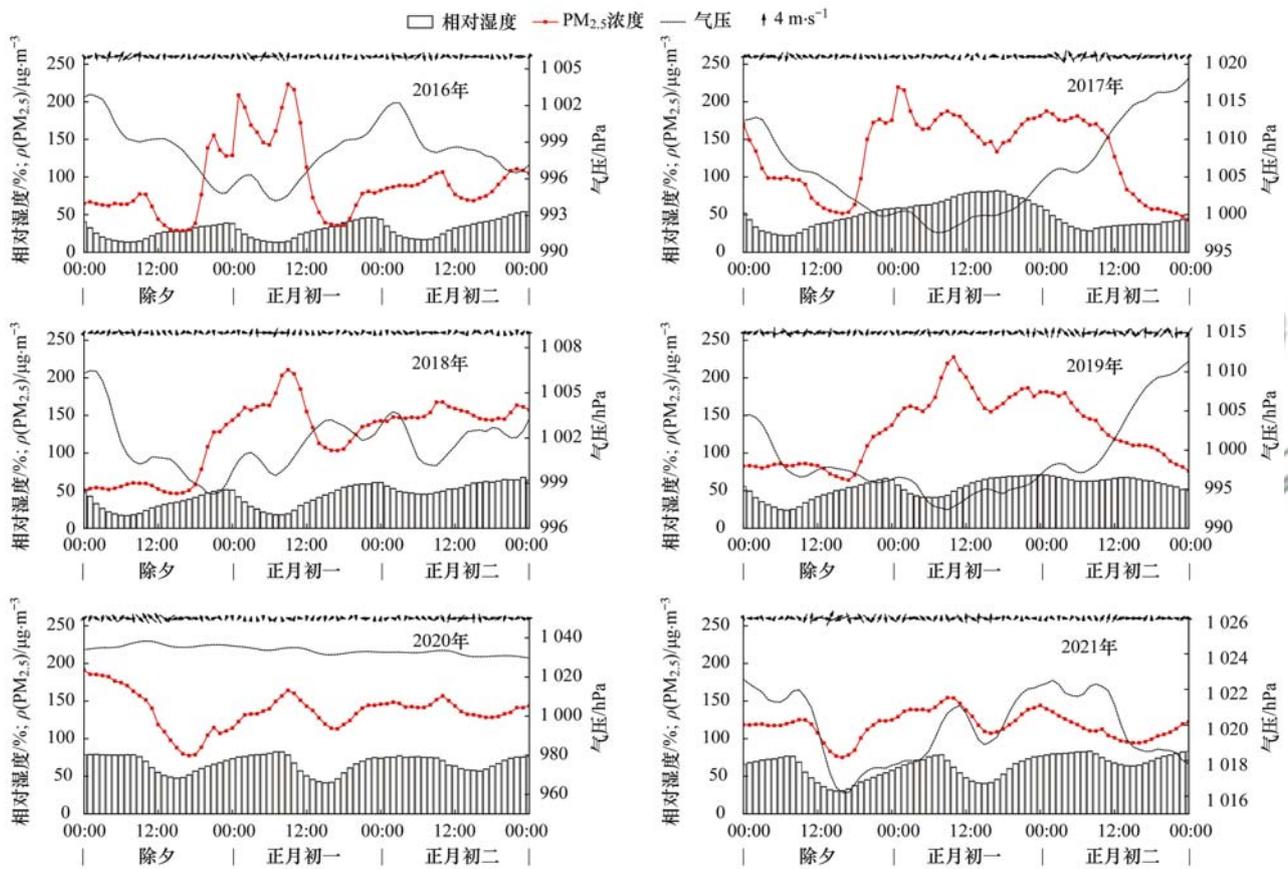
压上升时, PM_{2.5}平均浓度才开始逐步下降. 2020年和2021年春节期间,相对湿度较前4年明显偏高,地面以偏南风为主,不利于污染物扩散, PM_{2.5}平均浓度在正月初一白天到达峰值后,未出现大幅

下降,在不利气象条件下,区域污染过程持续.

如图12所示,总体上近6年元宵节傍晚起至正月十六上午PM_{2.5}浓度均呈波动上升趋势,但2016、2017和2019年上升幅度明显高于其他3 a. 2016

表 2 2016~2021 年“2+26”城市 PM_{2.5} 平均浓度与气象因子均值Table 2 Average concentration of PM_{2.5} and the average value of meteorological factors in “2+26” cities from 2016 to 2021

年份	春节(除夕-正月初二)				元宵节(正月十四-正月十七)			
	$\rho(\text{PM}_{2.5})$ / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	平均风速 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	压力 /hPa	相对湿度 /%	$\rho(\text{PM}_{2.5})$ / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	平均风速 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	压力/hPa	相对湿度/%
2016	92.5	2.24	998.3	29.7	85.3	2.29	1 010.6	46.0
2017	130.9	2.31	1 005.6	49.3	90.4	1.69	1 007.8	36.4
2018	122.7	2.70	1 001.6	42.8	79.6	3.10	990.7	55.7
2019	130.7	2.78	998.8	55.1	130.8	1.45	1 004.5	74.1
2020	137.0	2.13	1 033.8	67.6	94.6	0.67	1 026.7	67.8
2021	117.9	2.49	1 019.9	63.9	84.1	2.57	1 025.4	84.4

图 11 2016~2021 春节期间气象条件与 PM_{2.5} 浓度Fig. 11 Meteorological conditions and PM_{2.5} concentration during the Spring Festival in 2016-2021

年元宵节期间相对湿度较低, PM_{2.5} 浓度在元宵节烟花爆竹燃放影响下快速升高, 随后在偏北风影响下迅速回落. 2017 和 2019 年, PM_{2.5} 浓度平均值在元宵节当晚达到峰值后, 浓度波动下降, 正月十六傍晚时起, 随相对湿度增加, 浓度再次快速上升. 2018 年, PM_{2.5} 浓度平均值在元宵节当晚达到峰值后, 地面气压一直相对较低, 大部地区相对湿度维持在 70% 左右, 不利于污染扩散, PM_{2.5} 平均浓度未明显下降. 2020 年和 2021 年元宵节期间, 相对湿度较前 2016~2018 年明显偏高, 不利于污染物扩散, 但 PM_{2.5} 浓度平均值在元宵节晚间至次日凌晨小幅升高外, 在次日午后明显下降, 从侧面反映出近两年烟花爆竹燃放对元宵节期间空气质量影响程度降低.

静稳天气是指当大范围近地面大气层持续或超过 24 h 出现气压较均匀, 静风或风速特小的天气^[39]. 静稳天气时, 受高低层大气综合影响, 有利于污染物和水汽在排放源附近和近地层累积, 从而造成重污染天气. 因此, 为定量描述气象条件是否有利于形成重污染天气, 基于湿度、风速、逆温强度、混合层高度等反映大气温湿条件及动力状况的气象因子, 构建了静稳天气指数^[40~42]. 该指数能定量反映大气静稳程度, 表征大气水平与垂直扩散能力大小, 客观反映气象条件对污染物的扩散能力和污染形成的影响. 选取北京、石家庄、邯郸和郑州从北至南 4 个典型城市, 对比 2021 年春节至元宵节前后 PM_{2.5} 浓度与静稳天气指数关系(图 13). 总体上 PM_{2.5} 浓

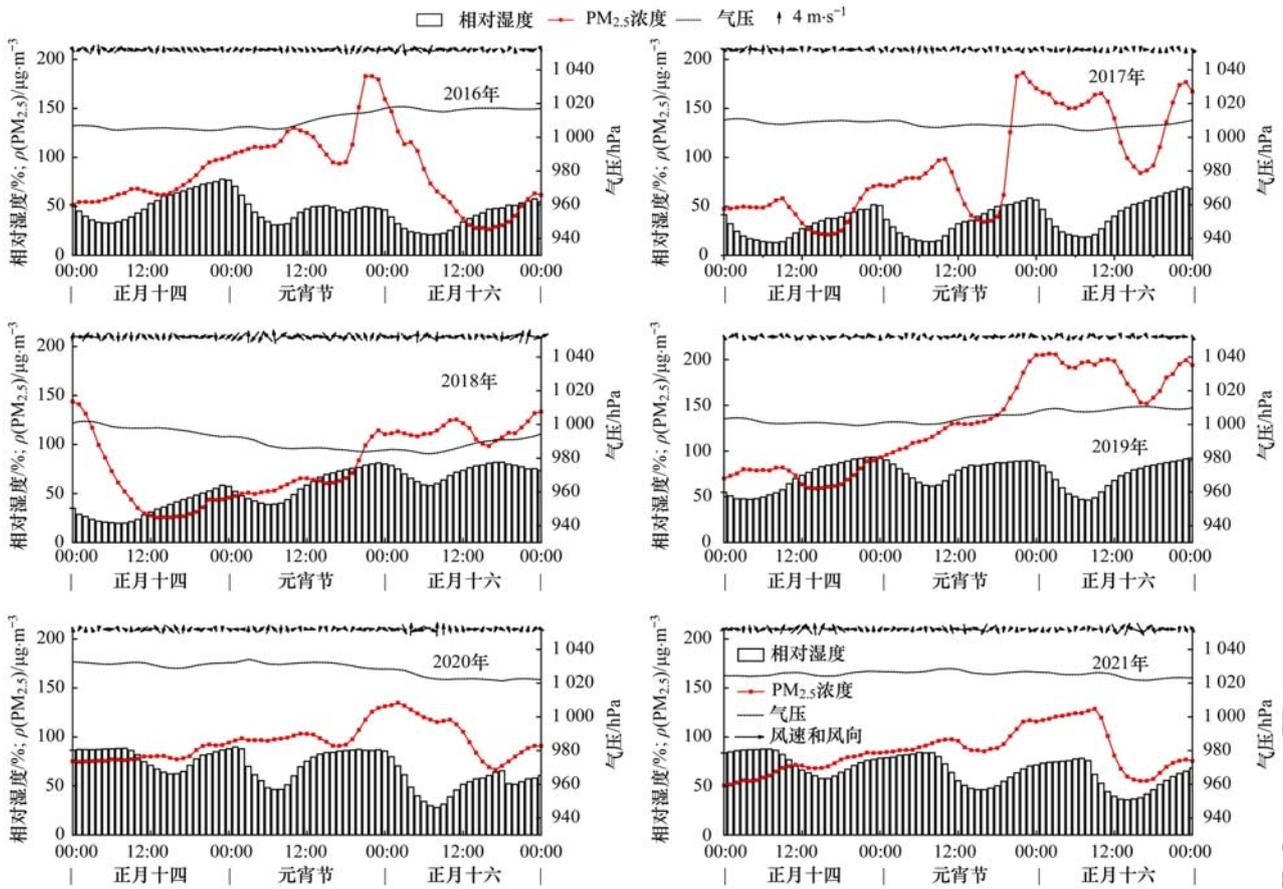


图 12 2016 ~ 2021 元宵节期间气象条件与 $PM_{2.5}$ 浓度

Fig. 12 Meteorological conditions and $PM_{2.5}$ concentration during the Lantern Festival in 2016 ~ 2021

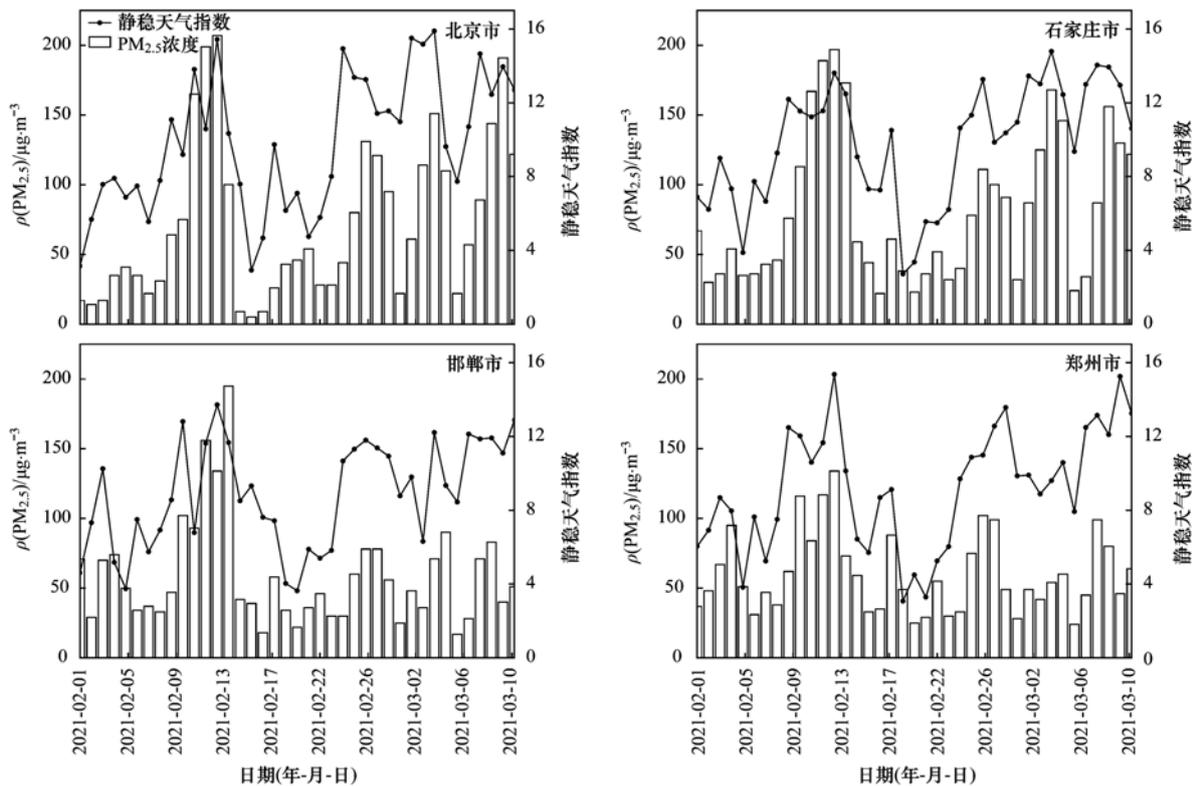


图 13 2021 春节至元宵节前后 $PM_{2.5}$ 浓度与静稳天气指数

Fig. 13 $PM_{2.5}$ concentration and static stability index during the Spring Festival and Lantern Festival in 2021

度与静稳天气指数变化趋势一致,春节和元宵节期间静稳天气指数相对较高,扩散条件较差,均不利于污染物扩散.

2.6 2021 年春节期间北京地区预报关键影响因素分析

北京地区环境空气质量与其预报准确率受多种因素影响,首先,在各类天气型控制下,输送汇的演变、移动和相继的或交替的移入特征,都会对空气质量的分布有明显的影响^[43,44],也会影响预报的准确率.在高空稳定西风带天气型控制下,北京所处的燕山和太行山前输送汇形成后,受边界层天气系统演变和移动的影响,常形成输送汇及其伴随的风向在河北平原的区域性摆动及风向转换现象,造成各类重污染中心的同步转移,使预报结果与监测实况有一定偏差^[45,46].

其次,华北中尺度气象预报,特别是华北小高压的位置、强度和其高空移动气流的强度,以及连续多日预报产品的稳定性等因素均可影响到包括北京

在内的京津冀北部地区空气质量能否受到弱冷空气的影响,增加了预测的不确定性.腊月二十七(2月6日)预测春节期间北京地区环境空气质量时,根据该日起报正月初一(2月12日)500 hPa 高度场气象资料显示[图 14(a)],北京位于高压中心底部南端,风力较大,预计此种气象条件下地面高压向南移动,弱冷空气能够改善北京地区空气质量,因此当时预测北京2月12日空气质量有所改善.但腊月二十九(2月9日)预报时,500 hPa 高度场气象预报资料显示华北小高压消失,风力明显减弱[图 14(b)],因此2月9日时预测北京地区2月12日污染可能在前一日基础上维持或加重.影响北京地区空气质量的华北地面小高压强度一般较低,地面一般会有弱冷空气影响,有时能明显改善北京地区环境空气质量,但有时也存在一定的不确定性.目前,环境质量业务预报实践中分析地面天气形势所依靠的国内外主流气象预报产品,对于华北小高压这种中小尺度天气系统的预测还存在一定偏差,不同时

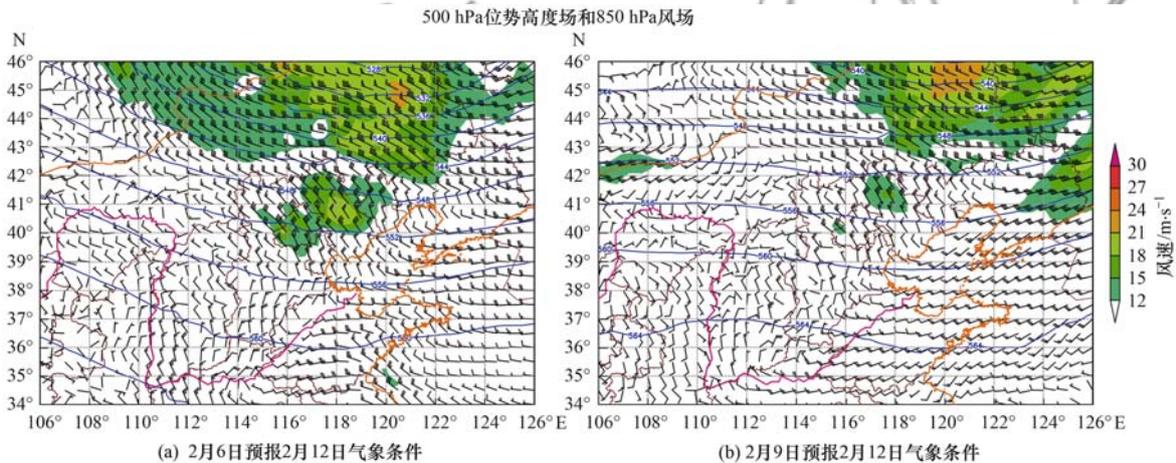


图 14 2021 年 2 月 6 日和 2 月 9 日预测 2 月 12 日的气象条件

Fig. 14 Weather conditions for February 12th forecasted on February 6th and 9th, 2021

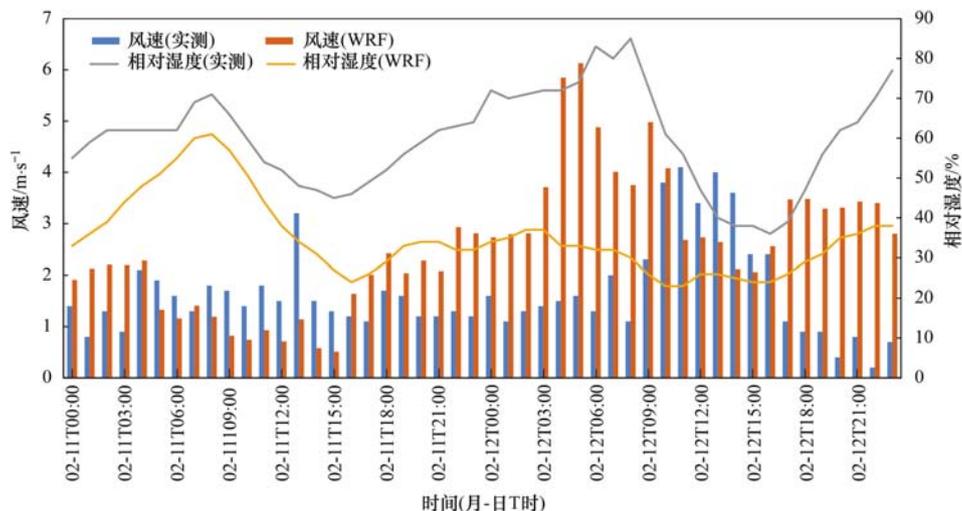


图 15 2021 年 2 月 9 日起报提前 72 h 气象模式预报与实测结果对比

Fig. 15 Comparison of 72 h advance meteorological model forecast and measured results from February 9, 2021

次和时效预报产品变化较大,导致气象预报产品准确性和稳定性降低,从而影响空气质量预报效果。

再次,冬春季节交替期间气象变化较为频繁,降低了气象预报的准确度,影响环境质量预报效果。从2月9日起报提前72 h WRF 气象模式对风速和相

对湿度的预报值与实况值比较可以看出(图15),春节前后气象预报偏差较大,WRF 气象模式对12日风速和相对湿度的预测与实况差别较大,从而导致空气质量模式预报结果偏差较大(图16)。其他气象预报参考产品也存在一定偏差,进而影响预报员人工订正结果的准确度。

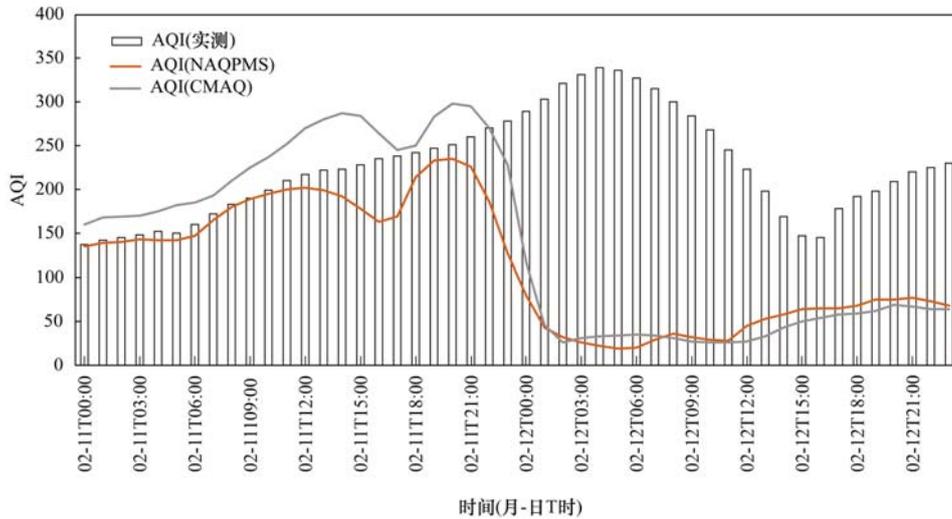


图 16 2021 年 2 月 9 日起报提前 72 h 空气质量模式预报与实测结果对比

Fig. 16 Comparison of the model air quality forecast 72 h in advance and the measured results from February 9, 2021

此外,春节期间烟花爆竹燃放的不确定性也是影响预报结果的重要因素。近年来,京津冀及周边地区烟花爆竹管控总体逐年加严,从京津冀及周边三省烟花爆竹管控情况可以看出(图17),北京的五环内、大兴区、顺义区和石景山区以及天津、山西和河南在2021年春节和元宵节期间全域禁燃。除个别城市或区县实行较为宽松的限燃燃放(仅重点区域

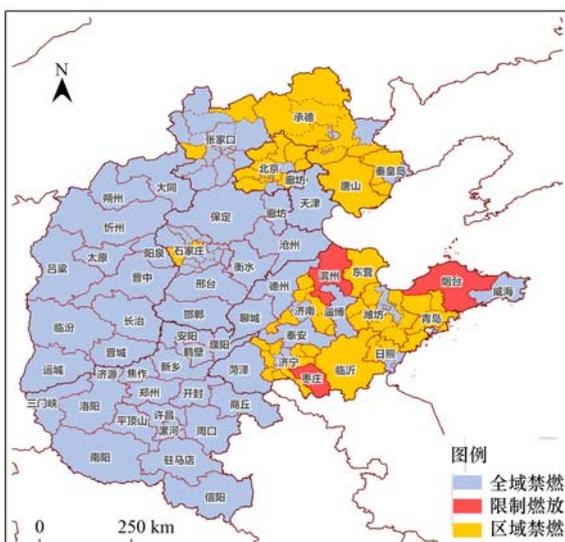
或场所禁燃,其他区域在规定时间内限制燃放)措施外,北京、河北和山东的大部区域实行区域禁燃政策(规定禁放区内禁止燃放,规定限放区内限制燃放)。由于部分地区实行区域禁燃和限制燃放政策,烟花爆竹燃放规模和强度具有较大的不确定性,也会影响空气质量预报结果。尽管近年来烟花爆竹燃放影响降低,但为促进环境质量持续改善,建议进一步加强烟花爆竹燃放管控,特别是北京五环外及其周边城市烟花爆竹燃放管控。

3 结论

(1) 2021 年春节期间(腊月二十九至正月初一),“2+26”城市 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 变化受烟花爆竹燃放影响显著,平均值为 $111 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 10 个城市日均浓度达到重度至严重污染水平,相比2020年同期下降了 $43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,重污染城市数量减少了13个。尽管扩散条件持续不利,但小时峰值 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 仍为2016~2021年最低,为 $156 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

(2) 2021 年“2+26”城市元宵节前后3 d的 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 平均值为 $85 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,小时峰值为 $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,期间无城市空气质量日均浓度达到重度及以上污染,重度及以上污染小时数量为2016~2021最低。

(3) 组分观测结果表明春节和元宵节烟花爆竹燃放影响逐步降低,烟花爆竹禁燃放成效显著,污染



限燃燃放指重点区域或场所禁燃,其他区域在规定时间内限制燃放

图 17 2021 年京津冀及周边三省烟花爆竹管控分布示意

Fig. 17 Distribution of fireworks and firecrackers prohibited in Beijing-Tianjin-Hebei and the surrounding three provinces in 2021

以常规污染累积为主导,且为硝酸盐主导.部分城市春节期间有机物浓度较高,可能与本地工业排放叠加烟花爆竹影响有关.

(4)气象因子与 $PM_{2.5}$ 浓度对比分析表明,风速风向、地面气压和相对湿度等气象条件均会影响 $PM_{2.5}$ 浓度,影响环境空气质量和区域污染过程的长短.华北平原边界层输送汇及其摆动、华北小高压的位置、强度和其高空移动气流的强度、烟花爆竹燃放的不确定性,以及冬春季节交替期间气象变化频繁导致的气象预报准确度较低等,均是影响北京地区空气质量预报结果的关键因素.

(5)为进一步改善区域环境质量,保护人民身体健康,建议北京及其周边城市实行更为严格的烟花爆竹燃放管控措施.

参考文献:

- [1] 薛文博,史旭荣,严刚,等. 气象条件和排放变化对 2020 年春节前后华北地区重污染过程的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, **51**(2): 314-324.
Xue W B, Shi X R, Yan G, *et al.* Impacts of meteorology and emission variations on the heavy air pollution episode in North China around the 2020 Spring Festival[J]. *Science China Earth Sciences*, 2021, **64**(2): 329-339.
- [2] 肖致美,蔡子颖,李鹏,等. 2020 年春节期天津市重污染天气污染特征分析[J]. 环境科学学报, 2020, **40**(12): 4442-4452.
Xiao Z M, Cai Z Y, Li P, *et al.* Characterization of heavy air pollution events during the 2020 Spring Festival in Tianjin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(12): 4442-4452.
- [3] 朱媛媛,高愈霄,柴文轩,等. 京津冀及周边区域 $PM_{2.5}$ 叠加沙尘重污染过程特征及预报效果分析[J]. 环境科学, 2020, **41**(2): 574-586.
Zhu Y Y, Gao Y X, Chai W X, *et al.* Heavy pollution characteristics and assessment of $PM_{2.5}$ predicted model results in Beijing-Tianjin-Hebei region and surrounding areas during November 22 to December 4, 2018[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(2): 574-586.
- [4] 朱媛媛,高愈霄,汪巍,等. 2019 年 10~12 月京津冀及周边“2+26”城市重污染减排效果评估[J]. 环境科学, 2020, **41**(10): 4402-4412.
Zhu Y Y, Gao Y X, Wang W, *et al.* Assessment of emergency emission reduction effect during the heavy air pollution episodes in Beijing, Tianjin, and surrounding area (“2+26” cities) from October to December 2019[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(10): 4402-4412.
- [5] 尹晓梅,乔林,朱晓婉,等. 北京地区偏南风 and 偏东风条件下污染特征差异[J]. 环境科学, 2020, **41**(11): 4844-4854.
Yin X M, Qiao L, Zhu X W, *et al.* Differences in pollution characteristics under the southerly and easterly wind in Beijing[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(11): 4844-4854.
- [6] 吕梦瑶,张恒德,王继康,等. 2015 年冬季京津冀两次重污染天气过程气象成因[J]. 中国环境科学, 2019, **39**(7): 2748-2757.
Lv M Y, Zhang H D, Wang J K, *et al.* Analysis of meteorological causes of two heavily polluted weather processes in Beijing-Tianjin-Hebei Region in winter of 2015 [J]. *China Environmental Science*, 2019, **39**(7): 2748-2757.
- [7] 李欢欢,牛璨,张凯,等. 保定市 2013~2019 年秋冬季污染物浓度变化特征[J]. 中国环境科学, 2021, **41**(7): 3076-3087.
Li H H, Niu C, Zhang K, *et al.* Variation characteristics of pollutant concentration in autumn and winter from 2013 to 2019 in Baoding City [J]. *China Environmental Science*, 2021, **41**(7): 3076-3087.
- [8] 焦亚音,孟凯,杜惠云,等. 气象条件对颗粒物污染定量贡献的时空特征分析:以京津冀中南部重点城市为例[J/OL]. 中国环境科学. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210706.009>, 2021-09-10.
Jiao Y Y, Meng K, Du H Y, *et al.* Analysis on spatial-temporal characteristics of the quantitative contributions of meteorological conditions to the particle pollution: a case study of key cities of central and southern Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region [J/OL]. *China Environmental Science*. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210706.009>, 2021-09-10.
- [9] 梅梅,徐大海,朱蓉,等. 减排措施与气象因子对 2013—2019 年中国大陆地区 $PM_{2.5}$ 浓度变化的贡献[J]. 环境科学学报, 2021, **41**(7): 2519-2529.
Mei M, Xu D H, Zhu R, *et al.* Contributions of emission reduction measures and meteorological factors to the changes in $PM_{2.5}$ concentration over mainland China from 2013 to 2019 [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021, **41**(7): 2519-2529.
- [10] 武文琪,张凯山. 区域气象条件和减排对空气质量改善的贡献评估[J]. 环境科学, 2021, **42**(2): 523-533.
Wu W Q, Zhang K S. Contributions of emissions reduction and regional meteorological conditions to air quality improvement [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(2): 523-533.
- [11] 郝天依,韩素芹,蔡子颖,等. 天津春节期间烟花爆竹燃放对空气质量的影响[J]. 环境科学研究, 2019, **32**(4): 573-583.
Hao T Y, Han S Q, Cai Z Y, *et al.* Impacts of fireworks on air pollution during the Spring Festival in Tianjin city [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2019, **32**(4): 573-583.
- [12] 谢瑞加,侯红霞,陈永山. 烟花爆竹集中燃放的大气细颗粒物($PM_{2.5}$)成分图谱[J]. 环境科学, 2018, **39**(4): 1484-1492.
Xie R J, Hou H X, Chen Y S. Analysis of the composition of atmospheric fine particles ($PM_{2.5}$) produced by burning fireworks [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1484-1492.
- [13] 李立伟,肖致美,杨宁,等. 天津市 2020 年冬季重污染过程气溶胶消光特性及其来源[J]. 环境科学, 2021, **42**(9): 4158-4167.
Li L W, Xiao Z M, Yang N, *et al.* Extinction characteristics of aerosol and the contribution of pollution source to light extinction during three heavy pollution episodes in the winter of 2020 in Tianjin [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(9): 4158-4167.
- [14] 许刚,龚晨,张博恩,等. 北京市除夕烟花燃放对 $PM_{2.5}$ 浓度时空变化的影响[J]. 环境科学与技术, 2020, **43**(11): 36-44.
Xu G, Gong C, Zhang B E, *et al.* Spatio-temporal variability of $PM_{2.5}$ concentrations influenced by fireworks on Chinese New Year's eve in Beijing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2020, **43**(11): 36-44.
- [15] 徐冉,张恒德,杨孝文,等. 北京地区秋冬季大气污染特征及成因分析[J]. 环境科学, 2019, **40**(8): 3405-3414.
Xu R, Zhang H D, Yang X W, *et al.* Concentration characteristics of $PM_{2.5}$ and the causes of heavy air pollution events in Beijing during autumn and winter [J]. *Environmental*

- Science, 2019, **40**(8): 3405-3414.
- [16] Yao L, Wang D F, Fu Q Y, *et al.* The effects of firework regulation on air quality and public health during the Chinese Spring festival from 2013 to 2017 in a Chinese megacity [J]. *Environment International*, 2019, **126**: 96-106.
- [17] Pang N N, Gao J, Zhao P S, *et al.* The impact of fireworks control on air quality in four Northern Chinese cities during the Spring Festival [J]. *Atmospheric Environment*, 2021, **244**, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117958.
- [18] 程念亮, 陈添, 张大伟, 等. 2015 年春节北京市空气质量分析 [J]. *环境科学*, 2015, **36**(9): 3150-3158.
Chen N L, Chen T, Zhang D W, *et al.* Air quality characteristics in Beijing during Spring Festival in 2015 [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(9): 3150-3158.
- [19] 王占山, 李云婷, 孙峰, 等. 烟花爆竹燃放对北京市空气质量的影响研究 [J]. *中国环境监测*, 2016, **32**(4): 15-21.
Wang Z S, Li Y T, Sun F, *et al.* Study on the effect of burning of fireworks on air quality in Beijing [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2016, **32**(4): 15-21.
- [20] 马小会, 孙兆彬, 丁海燕, 等. 烟花爆竹燃放和气象条件对北京市空气质量的影响 [J]. *气象与环境学报*, 2015, **31**(3): 50-55.
Ma X H, Sun Z B, Ding H Y, *et al.* Effect of fireworks and meteorological conditions on air quality during Spring Festival in Beijing [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2015, **31**(3): 50-55.
- [21] 赵晴, 李岩岩, 贺克斌, 等. 2019 年元宵节重污染期间济宁市 PM_{2.5} 化学组分特征及污染成因分析 [J]. *环境化学*, 2020, **39**(4): 900-910.
Zhao Q, Li Y Y, He K B, *et al.* Analysis of PM_{2.5} chemical characteristics and causes during heavy pollution in Jining City around the Lantern Festival of 2019 [J]. *Environmental Chemistry*, 2020, **39**(4): 900-910.
- [22] Fu H M, Yang Z, Liu Y J, *et al.* Ecological and human health risk assessment of heavy metals in dust affected by fireworks during the Spring Festival in Beijing [J]. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2021, **14**(1): 139-148.
- [23] Ji D S, Cui Y, Li L, *et al.* Characterization and source identification of fine particulate matter in urban Beijing during the 2015 Spring Festival [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **628-629**: 430-440.
- [24] Singh A, Pant P, Pope F D. Air quality during and after festivals: aerosol concentrations, composition and health effects [J]. *Atmospheric Research*, 2019, **227**: 220-232.
- [25] 张章, 刘保献, 安欣欣, 等. 北京市传统春节假期空气质量特征研究 [J]. *中国环境科学*, 2021, **41**(1): 102-113.
Zhang Z, Liu B X, An X X, *et al.* A study on the air quality in Beijing during the Spring Festival [J]. *China Environmental Science*, 2021, **41**(1): 102-113.
- [26] 胡丙鑫, 段菁春, 刘世杰, 等. 2018 年春节期间京津冀及周边地区烟花燃放效果评估 [J]. *环境科学研究*, 2019, **32**(2): 203-211.
Hu B X, Duan J C, Liu S J, *et al.* Evaluation of the effect of fireworks prohibition in the Beijing-Tianjin-Hebei and surrounding areas during the Spring Festival of 2018 [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2019, **32**(2): 203-211.
- [27] 石琳琳, 李令军, 李倩, 等. 2016 年北京市春节大气颗粒物污染特征激光雷达监测分析 [J]. *环境科学*, 2017, **38**(10): 4092-4099.
Shi L L, Li L J, Li Q, *et al.* Analysis of atmospheric particulate matter pollution characteristics by LIDAR in Beijing during Spring Festival, 2016 [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(10): 4092-4099.
- [28] 孙婷婷, 张天舒, 项衍, 等. 2018 年春节期间京津冀地区污染过程分析 [J]. *中国环境科学*, 2020, **40**(4): 1393-1402.
Sun T T, Zhang T S, Xiang Y, *et al.* Analysis of the pollution process in the Beijing-Tianjin-Hebei region during the Spring Festival of 2018 [J]. *China Environmental Science*, 2020, **40**(4): 1393-1402.
- [29] Wang Y, Zhuang G S, Xu C, *et al.* The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(2): 417-431.
- [30] Wang X Q, Wei W, Cheng S Y, *et al.* Evaluation of continuous emission reduction effect on PM_{2.5} pollution improvement through 2013-2018 in Beijing [J]. *Atmospheric Pollution Research*, **12**(5), doi: 10.1016/j.apr.2021.101055.
- [31] Li N, Han W Z, Wei X, *et al.* Chemical characteristics and human health assessment of PM₁ during the Chinese Spring Festival in Changchun, Northeast China [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10**(6): 1823-1831.
- [32] Wang C, Huang X F, Zhu Q, *et al.* Differentiating local and regional sources of Chinese urban air pollution based on the effect of the Spring Festival [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, **17**(14): 9103-9114.
- [33] 刘威杰, 胡天鹏, 毛瑶, 等. 汾渭平原临汾市 2019 年春节期间大气污染特征与来源解析 [J]. *环境科学*, 2021, **42**(11): 5122-5130.
Liu W J, Hu T P, Mao Y, *et al.* Characteristics and origin analysis of air pollution during the Spring Festival in Linfen, Fenwei Plain [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(11): 5122-5130.
- [34] 方天歌, 姚小红, 孟赫, 等. 青岛春节期间大气污染特征及烟花燃放一、二次贡献分析 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(10): 4345-4354.
Fang T G, Yao X H, Meng H, *et al.* Analysis of pollution characteristics and primary, secondary contributions of firework burnings in Qingdao during the Spring Festival [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(10): 4345-4354.
- [35] 吕文丽, 张凯, 曹晴, 等. 烟花爆竹燃放对大气污染物及 PM_{2.5} 组分影响 [J]. *中国环境科学*, 2020, **40**(8): 3303-3311.
Lü W L, Zhang K, Cao Q, *et al.* Impacts of fireworks burning on atmospheric pollutants and water-soluble inorganic ions in PM_{2.5} [J]. *China Environmental Science*, 2020, **40**(8): 3303-3311.
- [36] Kong S F, Li X X, Li L, *et al.* Variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM_{2.5} during winter haze period around 2014 Chinese Spring Festival at Nanjing: Insights of source changes, air mass direction and firework particle injection [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **520**: 59-72.
- [37] 赵承美, 邵龙义, 侯聪, 等. 元宵节期间北京 PM_{2.5} 单颗粒的物理化学特征 [J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(4): 1004-1012.
Zhao C M, Shao L Y, Hou C, *et al.* Physicochemical characteristics of individual particle in PM_{2.5} of Beijing during the Lantern Festival [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(4): 1004-1012.
- [38] Wang S S, Yu R L, Shen H Z, *et al.* Chemical characteristics, sources, and formation mechanisms of PM_{2.5} before and during the Spring Festival in a coastal city in Southeast China [J]. *Environmental Pollution*, 2019, **251**: 442-452.
- [39] 张建忠, 孙瑾, 缪宇鹏. 雾霾天气成因分析及应对思考 [J].

- 中国应急管理, 2014, (1): 16-21.
- [40] 张恒德, 张碧辉, 吕梦瑶, 等. 北京地区静稳天气综合指数的初步构建及其在环境气象中的应用[J]. 气象, 2017, **43**(8): 998-1004.
Zhang H D, Zhang B H, Lv M Y, *et al.* Development and application of stable weather index of Beijing in environmental meteorology[J]. Meteorological Monthly, 2017, **43**(8): 998-1004.
- [41] 张恒德, 吕梦瑶, 张碧辉, 等. 2014年2月下旬京津冀持续重污染过程的静稳天气及传输条件分析[J]. 环境科学学报, 2016, **36**(12): 4340-4351.
Zhang H D, Lv M Y, Zhang B H, *et al.* Analysis of the stagnant meteorological situation and the transmission condition of continuous heavy pollution course from February 20 to 26, 2014 in Beijing-Tianjin-Hebei [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, **36**(12): 4340-4351.
- [42] 熊亚军, 徐敬, 孙兆彬, 等. 基于数据挖掘算法和数值模拟技术的大气污染减排效果评估[J]. 环境科学学报, 2019, **39**(1): 116-125.
Xiong Y J, Xu J, Sun Z B, *et al.* Air pollution reduction effect evaluation based on data mining algorithm and numerical simulation technology[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, **39**(1): 116-125.
- [43] 苏福庆, 杨明珍, 钟继红, 等. 华北地区天气型对区域大气污染的影响[J]. 环境科学研究, 2004, **17**(3): 16-20.
Su F Q, Yang M Z, Zhong J H, *et al.* The Effects of synoptic type on regional atmospheric contamination in North China[J]. Research of Environmental Sciences, 2004, **17**(3): 16-20.
- [44] 苏福庆, 任阵海, 高庆先, 等. 北京及华北平原边界层大气中污染物的汇聚系统——边界层输送汇[J]. 环境科学研究, 2004, **17**(1): 21-25, 33.
Su F Q, Ren Z H, Gao Q X, *et al.* Convergence system of air contamination in boundary layer above Beijing and North China: transportation convergence in boundary layer [J]. Research of Environmental Sciences, 2004, **17**(1): 21-25, 33.
- [45] 陈朝晖, 程水源, 苏福庆, 等. 北京地区一次重污染过程的大尺度天气型分析[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(2): 99-105.
Chen Z H, Cheng S Y, Su F Q, *et al.* Analysis of large-scale weather pattern during heavy air pollution process in Beijing [J]. Research of Environmental Sciences, 2007, **20**(2): 99-105.
- [46] 陈朝晖, 程水源, 苏福庆, 等. 华北区域大气污染过程中天气型和输送路径分析[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(1): 17-21.
Chen Z H, Cheng S Y, Su F Q, *et al.* Analysis of synoptic patterns and transports during regional atmospheric pollution process in North China [J]. Research of Environmental Sciences, 2008, **21**(1): 17-21.



CONTENTS

Analysis of Change and Driving Factors of PM _{2.5} Mass Concentration in Tianjin from 2000 to 2020	CAI Zi-ying, HAO Jian, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics and Sources of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Tianjin	XIAO Zhi-mei, XU Hong, GAO Jing-yun, <i>et al.</i> (1140)
Source Analysis of Ambient PM _{2.5} in Wuhan City Based on Random Forest Model	ZHANG Zhi-hao, CHEN Nan, ZHU Bo, <i>et al.</i> (1151)
Chemical Characteristics and Sources of Atmospheric Aerosols in the Surrounding District of a Heavily Polluted City in the Southern Part of North China	REN Xiu-long, HU Wei, WU Chun-miao, <i>et al.</i> (1159)
Characteristics of Water-soluble Ions in an Autumn Haze Process in the Southern Sichuan Urban Agglomeration After the Implementation of China's Air Pollution Prevention and Control Action Plan	WU An-nan, HUANG Xiao-juan, HE Ren-jiang, <i>et al.</i> (1170)
Concentration, Source, and Health Risk Assessment of PM ₁ Heavy Metals in Typical Pollution Processes in Zhengzhou	ZHAI Shi-ting, WANG Shen-bo, ZHANG Dong, <i>et al.</i> (1180)
Geographical Detection of Spatial Heterogeneity and Drivers of PM _{2.5} in the Yangtze River Economic Belt	WANG Li-li, LIU Xiao-jie, LI Ding, <i>et al.</i> (1190)
Spatial Heterogeneity of PM _{2.5} Concentration in Response to Land Use/Cover Conversion in the Yangtze River Delta Region	ZHOU Li-xia, WU Tao, JIANG Guo-jun, <i>et al.</i> (1201)
Analysis of Pollution Characteristics, Meteorological Impact, and Forecast Retrospective During the Spring Festival and the Lantern Festival in "2 + 26" Cities	ZHU Yuan-yuan, WANG Xiao-fei, WANG Wei, <i>et al.</i> (1212)
Pollution Characteristics and Influencing Factors of PM _{2.5} in Shanxi Province Based on Wavelet Transform	ZHANG Ke-ke, HU Dong-mei, YAN Yu-long, <i>et al.</i> (1226)
Estimation of Surface Ozone Concentration and Health Impact Assessment in China	ZHAO Nan, LU Yi-min (1235)
Analysis of Ozone Pollution Spatio-temporal Evolution Characteristics and Identification of Its Long-term Variation Driving Factor over Hunan Province	LIU Yan-yan, YANG Lei-feng, XIE Dan-ping, <i>et al.</i> (1246)
Temporal and Spatial Variation in O ₃ Concentration Near the Surface of Shandong Peninsula and Analysis of Potential Source Areas	LI Le, LIU Min-xia, XIAO Shi-ni, <i>et al.</i> (1256)
Characteristics, Ozone Formation Potential, and Source Apportionment of VOCs During the COVID-19 Epidemic in Xiong'an	LIU Xin-jun, WANG Shu-juan, LIU Cheng, <i>et al.</i> (1268)
Characteristics and Source Analysis of VOCs Pollution During the Period of Ozone Exceeding the Standard in Zibo City	WANG Shuai, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> (1277)
Comparison of VOCs Pollution Characteristics Between an Urban Site and a Background Site in Summer in Zibo	QIN Tao, XU Bo, WANG Xin-wu, <i>et al.</i> (1286)
Emission Characteristics and Inventory of Volatile Organic Compounds from Cooking in Sichuan Province	QIAN Jun, HAN Li, CHEN Jun-hui, <i>et al.</i> (1296)
Emission Characteristics of Gas-and Particle-Phase Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Cooking	LI Yuan-ju, WU Ai-hua, TONG Meng-xue, <i>et al.</i> (1307)
Diversity and Community Structure of Airborne Fungi in Different Working Areas of Composting Plants	YU Ao-yuan, XING Li-jun, SUN Xing-bin, <i>et al.</i> (1315)
Main Problems and Refined Solutions of Urban Fugitive Dust Pollution in China	LI Ting-kun, FENG Yin-chang, BI Xiao-hui, <i>et al.</i> (1323)
Water Quality Assessment and Spatial-temporal Variation Analysis in Yellow River Basin	LIU Yan-long, ZHENG Yi-an (1332)
Spatial Distribution and Influential Factors of Nutrients in Rivers of a Typical Mountainous City: A Case Study of the Qingshuixi River in Chongqing	WANG Chao, YE Qiu, JIA Bo-yang, <i>et al.</i> (1346)
River-Lake States in the Tributary of the Three Gorges Reservoir Area and Their Effects on the Phosphorus Content of Different Forms in the Sediment	HUANG Wei, ZHANG Xing, LUO Xiao-jiao, <i>et al.</i> (1356)
Molecular Signatures of Dissolved Organic Matter in the Paihe River and Its Tributaries	ZHAN Ya, YIN Hao, FENG Jing-wei, <i>et al.</i> (1365)
Multiphase Spatial Distribution Characteristics of Cd Morphology in Typical Intertidal Zones in the Guanglong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and Its Influencing Factors	CUI Xin-yue, MO Wu-qiu, LIAO Jian-bo (1375)
Occurrence Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics in the Surface Water of Luoma Lake and Its Main Inflow Rivers	GONG Run-qiang, ZHAO Hua-jin, GAO Zhan-qi, <i>et al.</i> (1384)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Antibiotics in the Third Drain of Ningxia	LI Fu-juan, GAO Li, LI Ling-yun, <i>et al.</i> (1394)
Historical Changes and Responses to Human Activities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Sediments from Northern China During the Past 100 Years	GONG Xiong-hu, ZHAO Zhong-hua, DING Qi-qi, <i>et al.</i> (1404)
Characteristics of Bacterioplankton Community Between River and Lake/Reservoir in the Yangtze River Basin	HU Yu-xin, ZHANG Jing, HUANG Jie, <i>et al.</i> (1414)
Characteristics of Bacterial Community Structure in Wuliangs Lake During an Irrigation Interval in Hetao Plain	SHI Yu-jiao, LI Wen-bao, ZHANG Bo-yao, <i>et al.</i> (1424)
Effects of Landscape Structures on Bacterioplankton Communities at Multi-spatial Scales in the Yuanhe River	SHU Wang, WANG Peng, DING Ming-jun, <i>et al.</i> (1434)
Microbial Community Structure on Microplastic Surface in the <i>Grus leucogeranus</i> Reserve of Poyang Lake	LIU Shu-li, JIAN Min-fei, ZOU Long, <i>et al.</i> (1447)
Influence of Microplastics on the Development of <i>Proteus</i> Biofilm	TAO Hui, QI Yi-ting, YU Duo, <i>et al.</i> (1455)
Deposition Law of Low-Density Microplastics Aggregation in Wuliangs Lake	LIU Yu, SHI Xiao-hong, ZHANG Sheng, <i>et al.</i> (1463)
Adsorption of Fulvic Acid on Virgin and Aging Microplastics	SONG Ya-li, YU Ya, ZHENG Lei, <i>et al.</i> (1472)
Diffusive Fluxes and Controls of N ₂ O from Coastal Rivers in Tianjin City	TANG Meng-yao, HU Xiao-kang, WANG Hong-wei, <i>et al.</i> (1481)
Effects of Hematite and Biochar Addition on Wastewater Treatment Efficiency, Greenhouse Gas Emission, and Microbial Community in Subsurface Flow Constructed Wetland	CHEN Xin-tong, HAO Qing-ju, XIONG Yan-fang, <i>et al.</i> (1492)
Identification and Optimization Method of Rainfall-Runoff Pollution Risk Level	QI Xiao-tian, ZHANG Zhi-ming, ZHAO Xin, <i>et al.</i> (1500)
Factor Analysis of Disinfection Byproduct Formation in Drinking Water Distribution Systems Through the Bayesian Network	JIANG Shan-shan, WANG Zhen-yu, GAO Quan, <i>et al.</i> (1512)
Selective Adsorption of Au(III) by Activated Carbon Supported Polythioamides and Adsorption Mechanism	ZHAO Wen-jin, ZHANG Shen, AN Xiao-qiang, <i>et al.</i> (1521)
Impacts of F/M Ratio on Microbial Networks in Activated Sludge	ZHANG Bing, SUN Chen-xiang, WEN Xiang-hua (1529)
Geochemical Characteristics and Source Apportionment of Soil Elements in an Urban-rural Integration Area: A Case Study in the Qinglong Area of Tianfu New District	LIU Shu-huai, WANG De-wei, SHI Ze-ming, <i>et al.</i> (1535)
Ecological and Health Risk Assessments Based on the Total Amount and Speciation of Heavy Metals in Soils Around Mining Areas	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi (1546)
Characteristics of Antimony Migration and Transformation and Pollution Evaluation in a Soil-Crop System Around a Tin Mine in Hunan Province	ZHANG Long, SONG Bo, HUANG Feng-yan, <i>et al.</i> (1558)
Effect of Controlling Heavy Metals in Soil of Rare Earth Mining Area by Biochar Supported Graphene Oxide	YANG Shi, LIU Zu-wen, LONG Bei, <i>et al.</i> (1567)
Enhanced Remediation of Cd Contaminated Soil by Cotton with DOM	MIN Tao, LUO Tong, CHEN Li-li, <i>et al.</i> (1577)
Novel Insight into the Adsorption Mechanism of Fe-Mn Oxide-Microbe Combined Biochar for Cd(II) and As(III)	LIAN Bin, WU Ji-zi, ZHAO Ke-li, <i>et al.</i> (1584)
Variations in Cadmium Accumulation and Transport and Ionic Traits Among Different Winter Wheat Varieties	LIU Chang, XU Ying-ming, HUANG Qing-qing, <i>et al.</i> (1596)
Cadmium Accumulation Characteristics of Different Heat Varieties Under Cadmium Stress	REN Chao, REN Yu-zhong, WANG Hao, <i>et al.</i> (1606)
Effect of Different Land Use Types on the Diversity of Soil Bacterial Community in the Coastal Zone of Jialing River	LIU Kun-he, XUE Yu-qin, ZHU Lan-ping, <i>et al.</i> (1620)
Effects of Earthworms/Biochar on Bacterial Diversity and Community in As-contaminated Red Soil	SU Qian-qian, LI Lian-fang, ZHU Chang-xiong, <i>et al.</i> (1630)
Effects of DA-6 and EDDS on Growth and Cd Uptake by <i>Solanum nigrum</i> L. and on the Soil Bacterial Community Structure	LUO Yang, SUN Li, LIU Fang, <i>et al.</i> (1641)
Effects of Plastic Mulch Film on Soil Nutrients and Ecological Enzyme Stoichiometry in Farmland	HU Zhi-e, XIAO Mou-liang, WANG Shuang, <i>et al.</i> (1649)
Effects of Warming and Increased Precipitation on Soil Respiration of Abandoned Grassland in the Loess-Hilly Regions	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, ZHU Yu-fan, <i>et al.</i> (1657)
Effect of Film Mulching, Straw Retention, and Nitrogen Fertilization on the N ₂ O and N ₂ Emission in a Winter Wheat Field	PENG Yi, LI Hui-tong, ZHANG Shao-wei, <i>et al.</i> (1668)
Effects of Straw Returning on Soil Ammonia Volatilization Under Different Production Conditions Based on Meta-analysis	ZHAO Zheng-xin, WANG Xiao-yun, TIAN Ya-jie, <i>et al.</i> (1678)
Impacts of Fertilization on Soil Antibiotic Resistance Genes Across Croplands: A Meta-Analysis	RAN Ji-wei, XIAO Qiong, HUANG Min, <i>et al.</i> (1688)