

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

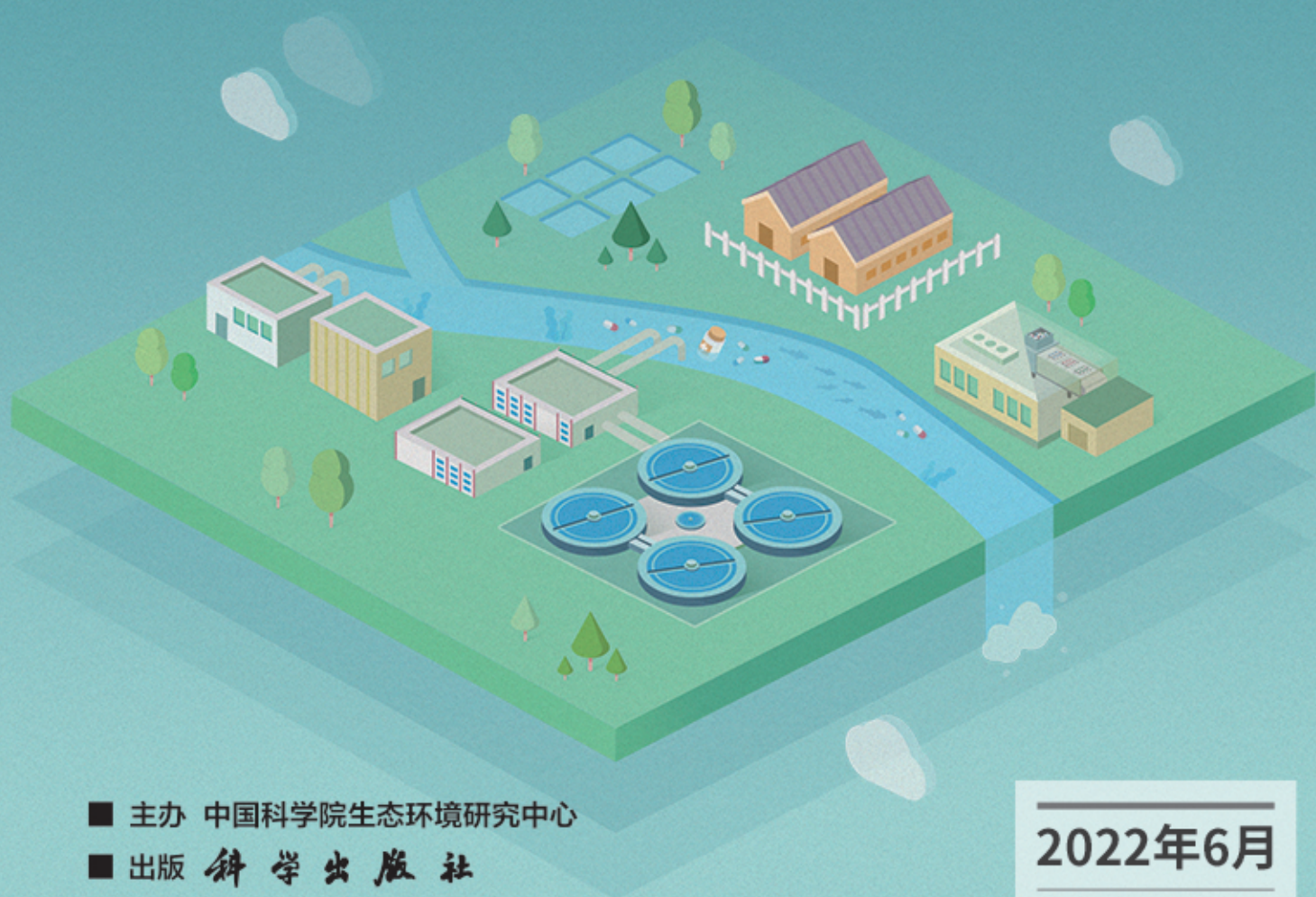
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

长江中游典型饮用水水源中药物的时空分布及风险评价

武俊梅, 魏琳, 彭晶倩, 何鹏, 施鸿媛, 汤冬梅, 吴振斌



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年6月

第43卷 第6期
Vol.43 No.6

目次

COVID-19 管控期间气象条件变化对京津冀 PM _{2.5} 浓度影响	邱雨露, 陈磊, 朱佳, 马志强, 李梓铭, 郭恒, 唐颖潇 (2831)
新冠疫情管控措施对郑州市 PM _{2.5} 浓度、粒径分布、组分和来源的影响	黄兵役, 王申博, 和兵, 薛若雨, 高更宇, 张瑞芹 (2840)
COVID-19 管控期间苏州市 PM _{2.5} 中金属元素浓度变化及来源解析	缪青, 杨倩, 吴也正, 魏恒, 周民锋, 张晓华, 邹强 (2851)
2015 ~ 2019 年南京北郊碳质气溶胶组成变化	谢添, 曹芳, 章炎麟, 林煜祺, 范美益, 宋文怀, 鲍孟盈, 项妍琨, 赵祝钰, 杨笑影, 谢锋, 张煜炯, 俞浩然, 张子金, 邢佳莉 (2858)
基于受体和化学传输的综合模型解析重庆 PM _{2.5} 来源	彭超, 李振亮, 曹云攀, 蒲茜, 方维凯, 王晓宸, 汪凌韬 (2867)
保定市冬季 PM _{2.5} 的氧化潜势特征及其影响来源分析	吴继炎, 杨池, 张春燕, 范美益, 吴爱坪, 章炎麟 (2878)
南京江北新区 PM _{2.5} 中水溶性有机氮的污染特征及其来源	关璐, 丁铖, 张毓秀, 胡建林, 于兴娜 (2888)
广西十万大山背景点 PM _{2.5} 中非极性有机气溶胶组成及来源解析	邢佳莉, 曹芳, 王谦, 张煜炯, 章炎麟 (2895)
大气多环芳烃区域迁移转化模型比较与关键影响因素: 以京津冀地区为例	张馨露, 刘世杰, 韩美丽, 苏超, 张志鹏, 马琳琳, 李洋, 程苗苗 (2906)
基于过程分析的京津冀区域典型城市臭氧成因	唐颖潇, 姚青, 蔡子颖, 丁净, 樊文雁, 杨旭, 韩素芹 (2917)
天津市 PM _{2.5} -O ₃ 复合污染特征及气象影响分析	肖致美, 李源, 孔君, 李鹏, 蔡子颖, 高璟, 徐虹, 戴运峰, 邓小文 (2928)
2016 ~ 2020 年山东省空气质量时空分布特征及影响因素分析	周梦鸽, 杨依, 孙媛, 张凤英, 李永华 (2937)
河南省臭氧污染趋势特征及敏感性变化	晏洋洋, 尹沙沙, 何秦, 秦凯, 张瑞芹 (2947)
热带气旋对珠三角秋季臭氧污染的影响	赵伟, 吕梦瑶, 卢清, 高博, 梁小明, 刘明, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳 (2957)
武汉市夏季大气挥发性有机物实时组成及来源	苏维峰, 孔少飞, 郑煌, 陈楠, 祝波, 全继宏, 祁士华 (2966)
运城市夏季大气挥发性有机物污染特征及来源解析	温肖宇, 赵文婷, 罗淑贞, 张强, 王姝涛, 马俊杰, 刘新罡 (2979)
我国地表水新烟碱类杀虫剂对水生生物安全的威胁	范丹丹, 刘红玲, 杨柳燕 (2987)
长江中游典型饮用水水源中药物的时空分布及风险评价	武俊梅, 魏琳, 彭晶倩, 何鹏, 施鸿媛, 汤冬梅, 吴振斌 (2996)
内蒙古东北部地区地下-地表饮用水源多环芳烃污染特征与风险	张坤峰, 昌盛, 付青, 樊月婷, 王思瑞, 孙兴滨, 王山军 (3005)
不同尺度土地利用方式对地表水环境质量的影响及驱动机制	宋静雯, 张学霞, 姜东旸, 赵丞豪, 李鹏飞 (3016)
高原湖泊周边浅层地下水: 氮素时空分布及驱动因素	李桂芳, 杨恒, 叶远行, 陈清飞, 崔荣阳, 陈安强, 张丹 (3027)
青海湖沉积物重金属分布及其潜在生态风险分析	张雅然, 车霏霏, 付正辉, 许野, 李薇 (3037)
东江湖表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评价	赵晓亮, 李响, 卢洪斌, 卢少勇, 王涛, 张森霖, 国晓春, 张静, 弥启欣, 刘晓贺, 宋书峰 (3048)
湖泊沉积物有机磷释放动力学特征及水质风险	刘哲哲, 倪兆奎, 刘思儒, 李晓秀, 王圣瑞 (3058)
长三角一体化示范区青浦区水体表层沉积物有机质分布特征、来源解析及污染评价	张智博, 段艳平, 涂耀仁, 罗鹏程, 高峻 (3066)
香溪河流域微塑料的分布特征及其迁移规律分析	陈圣盛, 李卫明, 张坤, 熊伟唯, 张续同, 刘子健 (3077)
城市水体微塑料垂向分布下附着细菌群落结构和功能响应	陈玉芳, 闫振华, 张燕, 赵海洲 (3088)
2015 ~ 2020 年洪泽湖浮游植物群落结构及其环境影响因子	屈宁, 邓建明, 张祯, 蔡永久, 龚志军, 李明 (3097)
嘉兴南湖不同湖区浮游植物群落结构特征与环境因子关系	王雅雯, 李迎鹤, 张博, 郭云艳, 陈俊伊, 韩松 (3106)
近 20 年来广东省农业面源污染负荷时空变化与来源分析	葛小君, 黄斌, 袁再健, 王栋栋, 王泉泉, 陈佳村, 谢真越 (3118)
长江上游平原丘陵区农业非点源污染输出特征和驱动机制	谭少军, 刘洋, 朱小婕, 刘荷, 邵景安, 邓华 (3128)
高分辨率数据驱动的流域非点源污染输出风险评估方法	顾晶晶, 冶涛涛, 董甲平, 蒋云钟, 曹引, 赵红莉 (3140)
不同面源强度影响下城市河流溶解性有机质光谱特征变化	陈旭东, 高良敏 (3149)
生态沟渠-生物滞留池组合控制农村径流污染	石雷, 杨小丽, 吴青宇, 王亦铭, 徐佳莹 (3160)
不同水力扰动强度对老化 PSMPs 在泥水两相间迁移的影响	吴香香, 艾萍, 李大鹏 (3168)
北京市中心城区屋面径流污染特征及来源分析	席玥, 郭婧, 陶蕾, 田颖, 陈吉吉, 吴悦, 徐露, 荆红卫, 刘保献 (3177)
不同植被绿色屋顶径流水质年际变化特征	章孙逊, 张守红, 葛德, 闫婧, 杨航, 王任重远, 魏良怡, 张成玉 (3187)
可见光促有机物诱导铁还原的多相类芬顿体系强化效能与机制	曹丝雨, 许路, 付权超, 金鑫, 石炬, 金鹏康 (3195)
4 种典型抗生素在反硝化体系中的去除特性	唐佳, 陈茜, 覃牧川, 唐溪, 唐崇俭 (3204)
农业废弃物基生物炭对水溶液中镉的吸附效果与机制	龚沛云, 孙丽娟, 宋科, 孙雅菲, 秦秦, 周斌, 薛永 (3211)
腐殖酸-重金属对 ANAMMOX 菌脱氮性能的影响及其动力学分析	李芸, 崔楠, 熊星星, 黄志远, 李泽兵, 王东亮, 李朝明, 许丹, 李军 (3221)
2000 ~ 2020 年西南地区植被 NDVI 对气候变化和人类活动响应特征	徐勇, 黄雯婷, 窦世卿, 郭振东, 李欣怡, 郑志威, 靖娟利 (3230)
黄河三角洲湿地不同植被类型下土壤营养元素空间分布及其生态学特征	孙德斌, 栗云召, 于君宝, 杨继松, 杜朝红, 孙丹丹, 凌越, 马元庆, 周迪, 王雪宏, 赵佳怡 (3241)
青藏高原东北部地区表层土壤中全氟化合物的分布特征及来源解析	温祥洁, 陈朝辉, 徐维新, 吴小娟, 郝云庆, 刘伟, 印红玲, 方淑红 (3253)
西南典型“退耕还林”区土地利用/覆被变化对土壤中硒及重金属含量的影响	刘永林, 刘属灵, 吴梅, 田兴磊, 刘双燕 (3262)
贵州普定喀斯特关键带土壤重金属形态特征及风险评价	张倩, 韩贵琳 (3269)
南丹盆地东部山区土壤锆分布特征及其影响因素分析	董秋瑶, 赖书雅, 宋超, 温皓天, 严明疆, 杨振京 (3278)
神农架川金丝猴栖息地重金属污染特征及风险评价	严佳莉, 于紫玲, 余辉亮, 向明灯, 王传华 (3288)
石灰泡石钝化后两种轮作模式对重度镉污染农田土壤的利用及修复	许璐, 周春海, 刘梅, 孔辉, 李元, 黄志红 (3299)
水稻磷盈亏对镉吸收转运的影响	谭文韬, 霍洋, 周航, 仇银燕, 曾鹏, 辜娇峰, 廖柏寒 (3308)
改良剂调控下水稻镉累积和土壤溶解性有机质光谱特征的响应	罗会龙, 陈娟, 张云慧, 袁贝, 杨宾, 张昊, 杜平 (3315)
土壤真菌群落对五台山亚高山草甸退化的响应	罗正明, 赫磊, 刘晋仙, 胡砚秋, 周妍英, 郑庆荣, 柴宝峰 (3328)
小麦与不同作物多样化轮作对土壤真菌群落的影响	靳海洋, 岳俊芹, 闫雅倩, 张德奇, 杨程, 张素瑜, 李向东, 邵运辉, 方保停, 王汉芳, 秦峰 (3338)
重庆农田土壤有机碳稳定性同位素空间分布特征	廖宇琴, 龙娟, 木志坚, 文首鑫, 李翠莲, 杨志敏, 赵秀兰 (3348)
长江三角洲 2018 年土壤 NO 排放特征	廖加强, 薛金, 王文锦, 朱永慧, 朱安生, 黄凌, 王杨君, 李莉 (3357)
基于多源数据的城市扩张中热环境演变及响应	梁建设, 白永平, 杨雪蕊, 高祖桥, 李玲蔚, 张春悦, 王倩 (3365)
《环境科学》征订启事 (3004) 《环境科学》征稿简则 (3047) 信息 (3252, 3298, 3327)	

COVID-19 管控期间苏州市 $PM_{2.5}$ 中金属元素浓度变化及来源解析

缪青^{1,2}, 杨倩^{1,2}, 吴也正^{1,2}, 魏恒^{1,2}, 周民锋^{1,2}, 张晓华^{1,2}, 邹强^{1,2}

(1. 江苏省苏州环境监测中心, 苏州 215004; 2. 江苏省环境保护空气复合污染监测重点实验室, 苏州 215004)

摘要: 为了解 COVID-19 管控期间苏州市 $PM_{2.5}$ 中金属元素浓度变化和来源, 利用多金属在线监测仪于 2019 年 12 月 1 日 ~ 2020 年 3 月 31 日测定了 14 种金属元素小时浓度, 分析停产前、停产期和复工期金属元素浓度变化, 并采用 PMF 模型分析其污染来源. 结果表明, 停产期 Cr、Mn、Zn 和 Fe 浓度降幅最大, 较停产前分别降低了 87.6%、85.6%、78.3% 和 72.2%; 复工期 Mn、Cr、Zn 和 Fe 浓度升幅最大, 较停产期分别增加了 227.0%、215.4%、147.4% 和 113.4%. K 在 3 个阶段日变化均不相同; Zn 在 3 个阶段日变化均呈单峰形, 但峰宽和峰值出现时间有所不同; Fe、Mn、Pb、Se 和 Hg 日变化无明显变化, 仅仅是浓度发生了变化; Ca、Ba、Cu、As、Cr 和 Ni 停产期和复工期日变化较停产前变化较大. PMF 模型来源解析结果表明, 金属元素主要来源于扬尘、机动车、燃煤、工业冶炼和混合燃烧源, 其中工业冶炼源浓度变化最大, 停产期浓度下降了 89.0%, 复工期浓度较停产期上升了 358.0%.

关键词: 新冠疫情; $PM_{2.5}$; 金属元素; 正定矩阵因子分解法 (PMF); 来源

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)06-2851-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.202109126

Concentration Variation and Source Analysis of Metal Elements in $PM_{2.5}$ During COVID-19 Control in Suzhou

MIAO Qing^{1,2}, YANG Qian^{1,2}, WU Ye-zheng^{1,2}, WEI Heng^{1,2}, ZHOU Min-feng^{1,2}, ZHANG Xiao-hua^{1,2}, ZOU Qiang^{1,2}

(1. Jiangsu Suzhou Environmental Monitoring Center, Suzhou 215004, China; 2. Key Laboratory of Atmospheric Combined Pollution Monitoring, Environmental Protection Department of Jiangsu Province, Suzhou 215004, China)

Abstract: To study the variation in concentration and source analysis of metal elements during COVID-19 control in Suzhou, a multi-metal online monitor was used to determine hourly online data of 14 metal elements from December 1, 2019 to March 31, 2020. This study analyzed variation in concentration and source analysis of metal elements using a PMF model before, during, and after shutdown during COVID-19 control. The results showed that the concentrations of Cr, Mn, Zn, and Fe during shutdown decreased the most, by 87.6%, 85.6%, 78.3%, and 72.2%, respectively, compared with those before shutdown. The concentrations of Mn, Cr, Zn, and Fe after shutdown increased the most, by 227.0%, 215.4%, 147.4%, and 113.4%, respectively, compared with those of the previous stage. The diurnal variation in K differed at three stages. Zn showed a single peak shape at three stages, but the peak width and peak time were different. Unlike the concentrations, the diurnal variations in Fe, Mn, Pb, Se, and Hg were not significantly changed. The daily variation characteristics of Ca, Ba, Cu, As, Cr, and Ni during and after shutdown were significantly different from those before shutdown. The results of source analysis by the PMF model showed that metal elements mainly came from dust, motor vehicle, coal burning, industrial smelting, and mixed-combustion sources. Among them, the concentration of industrial smelting sources changed greatly, with the concentration decreasing by 89.0% during shutdown and increasing by 358.0% after shutdown.

Key words: COVID-19; $PM_{2.5}$; metal elements; positive matrix factorization (PMF); source

国内新冠疫情暴发后, 为防止新冠肺炎疫情扩散和蔓延, 各地采取了限制人口流动、学校停课和企业停产停工等一系列管控措施, 这些管控措施对居民生活和工业生产产生了重大影响, 大气污染物浓度也发生了显著变化. 国内城市封锁期间, $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_x 和 CO 浓度均有不同程度下降^[1~3]. 在 2020 年 3 月 11 日, 世界卫生组织宣布新冠肺炎为全球大流行后, 世界上许多国家实施了隔离措施, 全球 50 个污染最严重的首都城市在疫情期间 $PM_{2.5}$ 浓度平均下降了 12%^[4], 可见新冠疫情对 $PM_{2.5}$ 浓度产生了较大影响.

金属元素作为 $PM_{2.5}$ 的一部分, 占 $PM_{2.5}$ 比例虽然不高^[5,6], 但其对人体健康和环境污染有着重要

影响. 常见的有毒重金属元素如铅、汞、镉和镍等可通过颗粒物为载体, 危害人体健康^[7~9]. 金属元素浓度和来源与城市的工业排放、汽车保有量和煤炭燃烧排放量等密切相关^[10~12], 通常重工业大城市金属元素污染高于中小型、轻工业城市和农村地区^[13,14]. 此次疫情引起人类生产活动变化, 使得 $PM_{2.5}$ 浓度产生了变化, $PM_{2.5}$ 中金属元素浓度和来源也随之发生变化.

本研究根据江苏省政府“一级响应”和“二级响应”启动时间, 将观测时间分为停产前 (12 月 1 日 ~

收稿日期: 2021-09-14; 修订日期: 2021-11-01

基金项目: 江苏省 $PM_{2.5}$ 与臭氧协同控制重大专项 (2019023); 苏州市科技发展计划项目 (SS202141)

作者简介: 缪青 (1990 ~), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气颗粒物化学组分监测, E-mail: 654255266@qq.com

次年1月23日)、停产期(2月1~24日)和复工期(2月25日~3月31日),对COVID-19管控期间苏州市PM_{2.5}中金属元素浓度变化和来源进行对比分析,以期获得疫情引发的人类活动变化对金属元素浓度和来源的影响。

1 材料与方法

1.1 样品采集

采样点位于苏州市环境科学研究所四楼顶,距地面高度约为15 m,为苏州市南门超级站(120°38'E, 31°17'N)观测站,采样点周边主要为居民区。观测时间段为2019年12月1日~2020年3月31日。

金属元素采用美国Cooper Environment Services公司Xact-625型环境空气多金属在线监测仪^[15,16],采集并分析PM_{2.5}中22种金属元素(K、Fe、Zn、Ca、Co、Ga、V、Cr、Mn、Ni、Cu、As、Se、Cd、Ag、Sn、Sb、Ba、Au、Hg、Tl和Pb)浓度,时间分辨率为1 h,样品采集时相对湿度控制在45%以下,每日00:00~00:30进行自动化质量校准,包含能量校准和稳定性测试。样品中80%的Ga、Sn、Sb、V、Au和Tl数据低于检测限,50%的Ag和Cd数据低于检测限,因此本研究选择剩余14种元素讨论。PM_{2.5}浓度同步环境空气质量国家控制监测点位为南门点位数据。

1.2 PMF模型

PMF模型被国内外广泛应用于源解析工作^[17~20],本研究采用美国国家环境保护署(EPA)发布的PMF5.0模型^[21],PMF模型不需要污染源谱信息,只需输入化学组分浓度和不确定度即可完成

计算。

PMF模型基本方程为:

$$X = GF + E \quad (1)$$

式中, X 为样品浓度矩阵($n \times m$, n 为采集组分数, m 为化学采集样品数); G 为因子(污染源)贡献矩阵($n \times p$, p 为析出因子数); F 为因子的指纹谱矩阵; E 为残差矩阵($n \times m$)。

为得到最优解析结果,模型定义目标函数 Q ,最终解析得到使这个目标函数 Q 的值最小的 G 矩阵和 F 矩阵:

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (E_{ij}/\sigma_{ij})^2 \quad (2)$$

式中, σ_{ij} 为 j 各样品第 i 个化学组分的标准偏差或不确定度。

2 结果与讨论

2.1 气象条件与金属元素总体分析

由图1可知,观测期间平均相对湿度为74%,其中1月22~27日相对湿度均在85%以上。整个观测期间风速变化范围在0.5~4.0 m·s⁻¹,平均风速为3.4 m·s⁻¹,主导风向为偏北风和偏东风。观测期间平均气温为9.2℃,12月和1月温度相对较低,3月平均温度最高,达12.6℃;平均能见度为12.6 km,2月下旬和3月中下旬能见度相对较高。

观测期间PM_{2.5}浓度的平均值为43.4 μg·m⁻³,金属元素浓度的平均值为1576.6 ng·m⁻³,占PM_{2.5}总质量的3.6%,受春节烟花爆竹燃放影响,1月25日凌晨金属元素浓度出现峰值,达到15469.3 ng·m⁻³。根据江苏省政府“一级响应”和“二级响应”

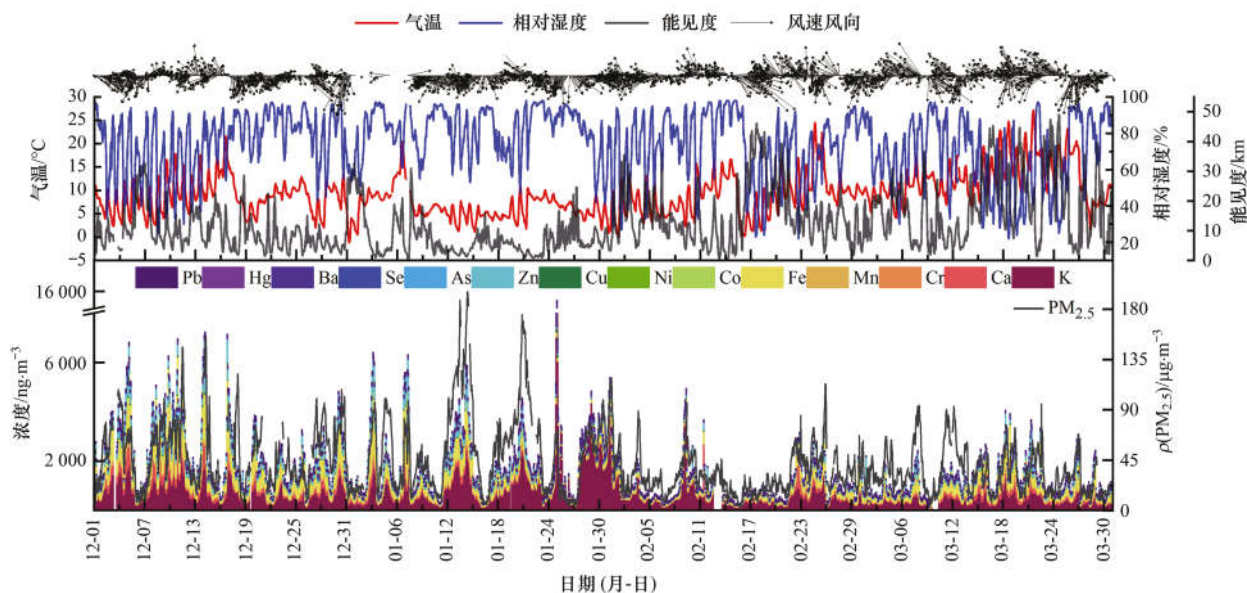


图1 观测期间气象要素、PM_{2.5}和金属元素小时浓度变化时间序列

Fig. 1 Hourly time series of meteorological element, PM_{2.5}, and metal elements concentrations during the observation period

启动时间,本研究将观测时间分停产前(12月1日~次年1月23日)、停产期(2月1~24日)和复工期(2月25日~3月31日).1月24~31日由于春节期间烟花爆竹的影响,且该时间段内存在持续降水过程,PM_{2.5}和金属元素受湿清除的影响较大,因此停产期不包含1月24~31日.

3个阶段PM_{2.5}和金属元素浓度见表1.14种金属元素中浓度最高的前4种的元素分别为K、Fe、Ca和Zn,浓度之和约占金属元素浓度的92.2%;As、Cr、Ni、Hg、Se和Co浓度相对较低.停产期PM_{2.5}和各金属元素浓度较停产前均下降,停产期

PM_{2.5}浓度降幅为45.0%,金属元素浓度降幅最高的前4种元素分别为Cr、Mn、Zn和Fe,降幅分别为87.6%、85.6%、78.3%和72.2%,周边城市上海这4种元素在疫情控制期降幅均达到了50%以上^[22];降幅最少的3种元素为Ba、K和Hg,降幅分别为28.5%、32.4%和34.3%.复工期PM_{2.5}浓度较停产期上升15.5%;各元素中,除K和Ba浓度较停产期浓度有所下降,降幅分别为19.7%和2.8%;其余元素浓度均上升,其中Mn、Cr、Zn和Fe升幅最高,升幅分别为227.0%、215.4%、147.4%和113.4%.

表1 3个阶段PM_{2.5}和金属元素的浓度平均值¹⁾

Table 1 Average mass concentration of PM_{2.5} and metal elements at three stages

组分	停产前	停产期	复工期
PM _{2.5}	55.3 ± 35.2	30.4 ± 16.3	35.1 ± 19.2
K	859.8 ± 537.3	581.1 ± 506.2	466.6 ± 254.1
Fe	595.1 ± 482.6	165.4 ± 144.9	353.0 ± 220.4
Ca	222.8 ± 248.8	93.4 ± 162.9	138.3 ± 135.3
Zn	168.5 ± 134.3	36.5 ± 53.1	90.3 ± 81.9
Mn	61.9 ± 58.9	8.9 ± 7.3	29.1 ± 23.5
Ba	24.9 ± 19.8	17.8 ± 24.9	17.3 ± 12.9
Pb	31.3 ± 22.9	11.7 ± 7.1	14.8 ± 14.2
Cu	18.8 ± 19.6	7.0 ± 10.8	8.9 ± 9.2
As	11.1 ± 9.1	3.7 ± 2.9	5.8 ± 5.0
Cr	10.5 ± 18.2	1.3 ± 1.9	4.1 ± 5.1
Ni	4.9 ± 4.5	2.0 ± 1.5	3.0 ± 2.2
Hg	3.5 ± 1.7	2.3 ± 0.9	2.7 ± 1.3
Se	3.5 ± 2.7	1.5 ± 1.1	1.7 ± 1.6
Co	1.4 ± 1.4	0.8 ± 1.1	1.1 ± 0.9

1) PM_{2.5}浓度单位为μg·m⁻³,金属元素浓度单位为ng·m⁻³

2.2 日变化特征

从图2中PM_{2.5}和金属元素日变化看,PM_{2.5}停产前11:00~18:00浓度较低,停产期和复工期日变化平稳.

K在3个阶段峰形均不相同,表明受排放源变化影响较大.停产前20:00~09:00浓度较高;停产期呈单峰形分布,03:00~13:00浓度较高;复工期浓度最低且无明显日变化.

Fe、Mn、Pb、Se和Hg在3个阶段峰形变化不大,仅浓度发生变化,表明这5种元素来源较为稳定.

Ca、Ba和Cu停产前峰形相似,均在上午出现第一个峰值,12:00~17:00浓度最低,18:00~23:00浓度迅速上升.3个元素停产期和复工期峰形与停产前不同,但停产期峰形和复工期相似. Ca停产期和复工期均为白天高,夜间浓度低. Ba复工期12:00~21:00浓度高于停产期. Cu复工期05:00~10:00和19:00~21:00浓度相对较高,停产期07:00~09:00浓度最高,与交通早高峰时间一致.

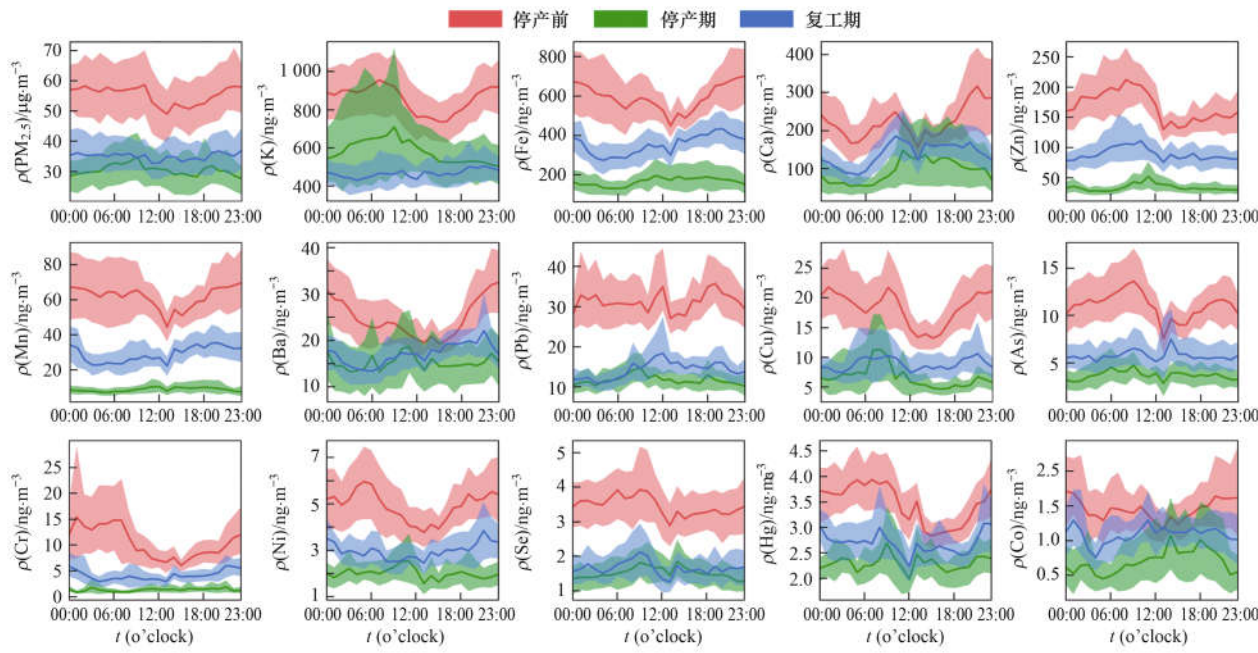
Zn在3个阶段均呈单峰形,但峰宽和峰值出现时间有所不同. 停产前峰宽最宽,其次为复工期,停产期峰宽最窄;停产前、停产期和复工期峰值分别出现在08:00、11:00和10:00. 峰宽和峰值时间变化发生在00:00~12:00,这可能与停产期夜间渣土车和运输车减少有关.

As、Cr和Ni停产前日变化较大,有明显的峰值和低值,而停产期和复工期浓度变化较为平稳,无明显峰值. As停产前为双峰形,峰值时间分别为09:00和21:00,与交通早高峰时间一致;Cr停产前呈单峰分布,夜间22:00~06:00浓度高,白天浓度低;Ni停产前呈双峰分布,峰值时间分别为05:00和22:00,停产期和复工期日变化平稳;

Co浓度较低,3个阶段00:00~06:00变化趋势一致,而停产前下午浓度较低,停产期和复工期白天浓度较高.

2.3 来源解析

根据PMF模型分析结果,观测期间金属元素来源共分为5个因子,如图3所示. 因子1中Ca



实线表示平均值,阴影表示 95% 置信区间

图 2 3 个阶段 $PM_{2.5}$ 和金属元素日变化

Fig. 2 Diurnal variation in $PM_{2.5}$ and metal elements at three stages

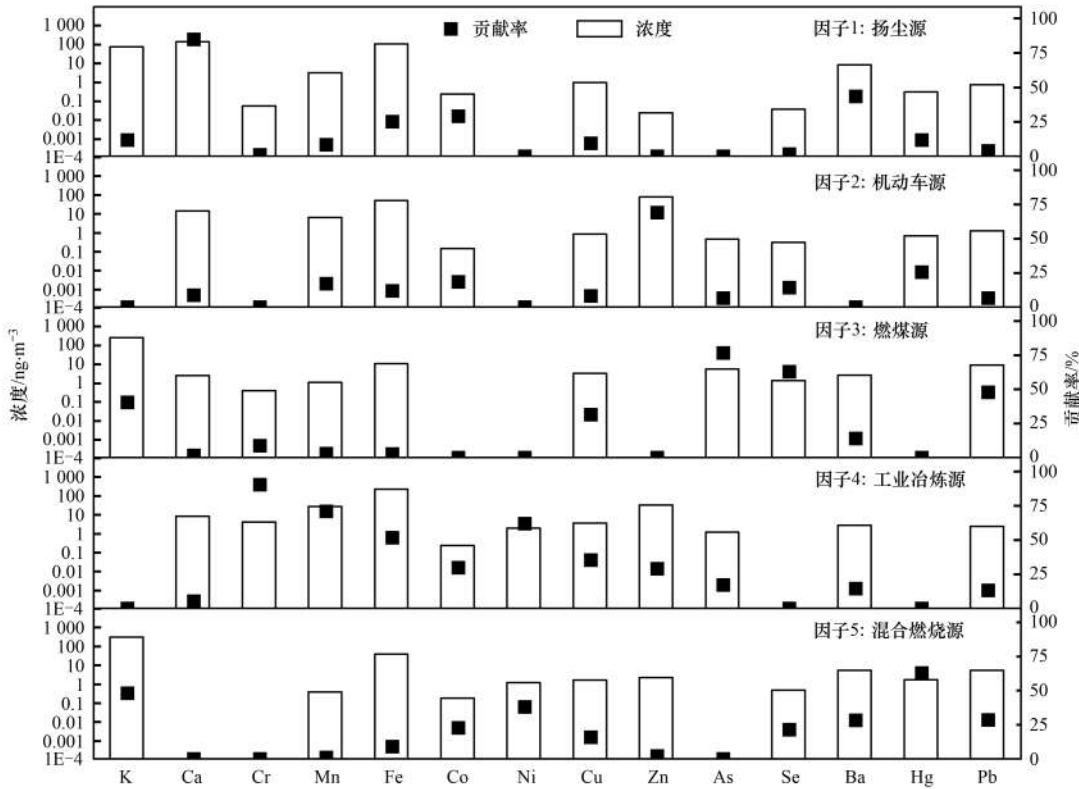


图 3 基于 PMF 模型的金属元素来源谱图

Fig. 3 Source profiles of metal elements based on PMF model

(84.6%) 和 Ba(43.4%) 的贡献率最大, Ca 和 Ba 为矿物元素,主要来自于沙尘、道路扬尘和建筑扬尘^[10,23],因此将因子 1 识别为扬尘源,占比平均值为 23.1%。因子 2 中 Zn(69.0%) 的贡献最大,Zn 与轮胎胎面磨损和尾气排放有关^[24],因此将因子 2 识

别为机动车源,占比平均值为 13.3%。因子 3 中 As(76.5%)、Se(62.7%) 和 Pb(47.8%) 的贡献率最大,As、Se 和 Pb 是煤炭燃烧示踪剂^[25,26],因此将因子 3 识别为燃煤源,占比平均值为 18.1%。因子 4 中 Cr(90.2%)、Mn(70.7%)、Ni(61.9%) 和

Fe(50.5%)贡献率最大,Cr 主要来源于燃料燃烧和冶金工业^[27],Mn 和 Fe 与工业过程有关,如钢铁行业和低品化石燃料燃烧^[28],Ni 来自于工业冶炼和燃油^[29],因此将因子 4 识别为工业冶炼源,占比平均值为 21.3%。因子 5 中 Hg(62.8%)和 K(48.0%)贡献率最大,K 主要来自于生物质燃烧^[30],Hg 主要来自于化石燃料和垃圾焚烧^[31],因此将因子 5 识别为混合燃烧源,占比平均值为

24.2%。

停产前、停产期和复工期 5 种源的浓度时间序列和占比如图 4 所示。扬尘源在停产前、停产期和复工期的浓度平均值分别为 438.6、199.4 和 296.6 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$,占比分别为 21.9%、25.1%和 25.7%。扬尘源在停产期较停产前浓度下降了 54.5%,复工期较停产期浓度上升 48.7%,3 个阶段扬尘源占比变化较小。

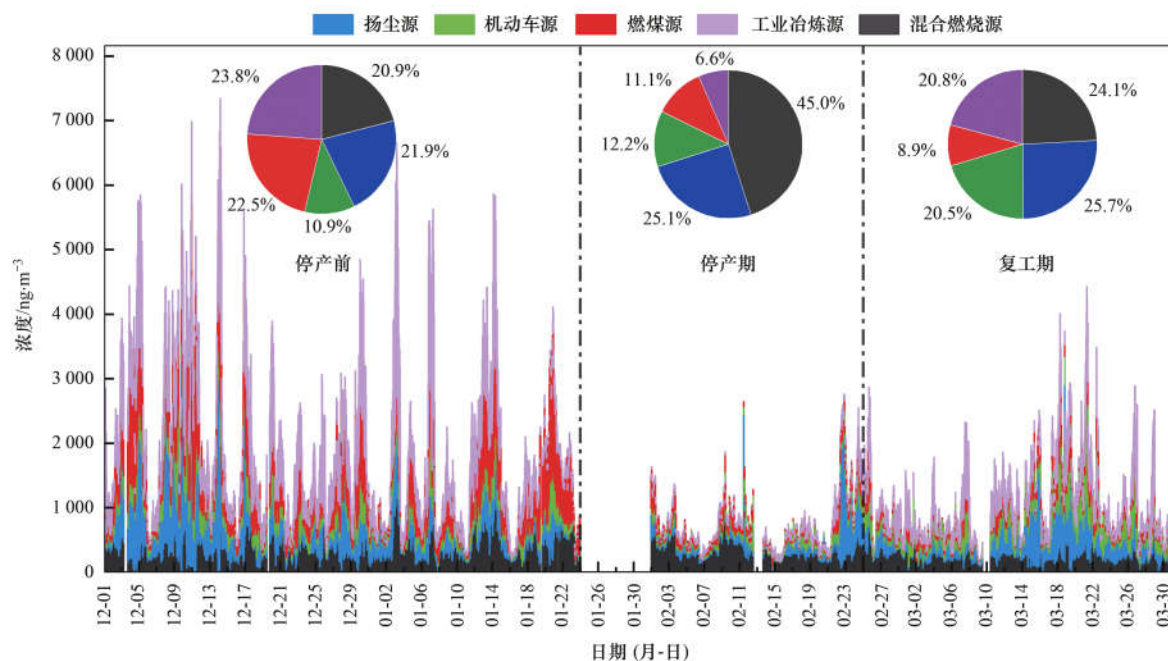


图 4 金属元素来源浓度时间序列和占比

Fig. 4 Time series and proportion of metal element sources

机动车源在停产前、停产期和复工期的浓度平均值分别为 218.3、97.1 和 236.9 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$,占比分别为 10.9%、12.2%和 20.5%。机动车源在停产期较停产前浓度下降了 55.5%,复工期较停产期浓度上升了 144.0%。停产前和停产期机动车源占比相对较小,复工期机动车源浓度和占比均最高,这可能和疫情影响了人们出行方式有关。

燃煤源在停产前、停产期和复工期的浓度平均值分别为 450.9、88.5 和 102.3 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$,占比分别为 22.5%、11.1%和 8.9%。燃煤源在停产期浓度最低,较停产前下降了 80.4%,复工期浓度较停产期仅上升了 15.6%。燃煤源浓度和占比停产前最高,停产期和复工期较低,表明燃煤源在停产前贡献较大。

工业冶炼源在停产前、停产期和复工期的浓度平均值分别为 477.1、52.4 和 240.0 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$,占比分别为 23.8%、6.6%和 20.8%。工业冶炼源在停产期较停产前浓度下降了 89.0%,复工期较停产期浓度上升 358.0%。工业冶炼源占比停产期最低,复工期和停产前占比相当,表明停产期因停工停产导致

工业排放显著减少。

混合燃烧源在停产前、停产期和复工期的浓度平均值分别为 419.4、358.3 和 278.7 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$,占比分别为 20.9%、45.0%和 24.1%。混合燃烧源在停产期较停产前浓度下降了 14.6%,复工期较停产期浓度下降了 22.2%,与其他 4 种源相比,混合燃烧源在观测期间浓度变化较小。停产期混合燃烧源占比达 45.0%,表明混合燃烧源在停产期贡献较大。

3 结论

(1) 停产期各金属元素浓度较停产前均下降,Cr、Mn、Zn 和 Fe 浓度降幅最大,分别为 87.6%、85.6%、78.3%和 72.2%;复工期,Mn、Cr、Zn 和 Fe 浓度升幅最大,分别为 227.0%、215.4%、147.4%和 113.4%。

(2) 从金属元素日变化看,K 在 3 个阶段峰形均不相同;Zn 在 3 个阶段均呈单峰形,但峰宽和峰值出现时间有所不同;Fe、Mn、Pb、Se 和 Hg 日变化无明显变化,仅仅是浓度发生了变化;Ca、Ba 和

Cu 停产前峰形相似,停产期和复工期峰形均与停产前不同,但停产期和复工期峰形相似;As、Cr 和 Ni 停产前有明显的峰值和低值,而停产期和复工期浓度变化较为平稳,无明显峰值。

(3)PMF 模型来源解析结果表明,观测期间金属元素主要来源于扬尘、机动车、燃煤、工业冶炼和混合燃烧源。从浓度看,各金属元素源浓度停产期较停产前均下降,降幅为 14.6%~89.0%,其中工业冶炼源降幅最大,混合燃烧源降幅最小;与停产期相比,复工期混合燃烧源浓度有所下降,其余污染源浓度均有所上升,上升幅度为 15.6%~358.0%,其中工业冶炼源升幅最大,燃煤源升幅最小。从占比变化看,停产期工业冶炼源和燃煤源占比较停产前显著下降。与停产期相比,复工期工业冶炼源升幅最大,其次为机动车源。

参考文献:

- [1] Lian X B, Huang J P, Huang R J, *et al.* Impact of city lockdown on the air quality of COVID-19-hit of Wuhan City[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **742**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140556.
- [2] Chen H, Huo J T, Fu Q Y, *et al.* Impact of quarantine measures on chemical compositions of PM_{2.5} during the COVID-19 epidemic in Shanghai, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **743**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140758.
- [3] Chu B W, Zhang S P, Liu J, *et al.* Significant concurrent decrease in PM_{2.5} and NO₂ concentrations in China during COVID-19 epidemic [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, **99**: 346-353.
- [4] Rodríguez-Urrego D, Rodríguez-Urrego L. Air quality during the COVID-19; PM_{2.5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world[J]. *Environmental Pollution*, 2020, **266**, doi: 10.1016/j.envpol.2020.115042.
- [5] 杨毅红,贾燕,卞国建,等. 珠海市郊区大气 PM_{2.5} 中元素特征及重金属健康风险评价[J]. *环境科学*, 2019, **40**(4): 1553-1561.
Yang Y H, Jia Y, Bian G J, *et al.* Elemental characteristics and health risk assessment of heavy metals in atmospheric PM_{2.5} in a suburb of Zhuhai City[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(4): 1553-1561.
- [6] Talbi A, Kerchich Y, Kerbach R, *et al.* Assessment of annual air pollution levels with PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and associated heavy metals in Algiers, Algeria[J]. *Environmental Pollution*, 2018, **232**: 252-263.
- [7] 郭墨霞,耿红,张晋宏,等. 山西省武乡县城大气 PM_{2.5} 痕量重金属的生态和健康风险分析[J]. *环境科学*, 2018, **39**(3): 1004-1013.
Guo Z X, Geng H, Zhang J H, *et al.* Ecological and health risks of trace heavy metals in atmospheric PM_{2.5} collected in Wuxiang town, Shanxi Province[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(3): 1004-1013.
- [8] 董世豪,谢扬,皇甫延琦,等. 扬州市 PM_{2.5} 中重金属来源及潜在健康风险评估[J]. *环境科学*, 2019, **40**(2): 540-547.
Dong S H, Xie Y, Huangfu Y Q, *et al.* Source apportionment and health risk quantification of heavy metals in PM_{2.5} in Yangzhou, China[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(2): 540-547.
- [9] 雷文凯,李杏茹,张兰,等. 保定地区 PM_{2.5} 中重金属元素的污染特征及健康风险评价[J]. *环境科学*, 2021, **42**(1): 38-44.
Lei W K, Li X R, Zhang L, *et al.* Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in PM_{2.5} collected in Baoding[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(1): 38-44.
- [10] 徐青. 上海市浦东新区大气细颗粒物中重金属污染特征及来源解析[J]. *环境监控与预警*, 2020, **12**(1): 44-51.
Xu Q. Characteristics and sources of heavy metals in air fine particulate matter in Pudong new area, Shanghai [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2020, **12**(1): 44-51.
- [11] 邓林俐,张凯山,殷子渊,等. 基于 PMF 模型的 PM_{2.5} 中金属元素污染及来源的区域特征分析[J]. *环境科学*, 2020, **41**(12): 5276-5287.
Deng L L, Zhang K S, Yin Z Y, *et al.* Characterization of metal pollution of regional atmospheric PM_{2.5} and its sources based on the PMF model[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(12): 5276-5287.
- [12] 杨麒,傅致严,刘湛,等. 郴州市大气 PM_{2.5} 中无机元素污染特征及来源分析[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2019, **46**(6): 133-140.
Yang Q, Fu Z Y, Liu Z, *et al.* Characteristics and sources of inorganic elements in atmospheric PM_{2.5} at Chenzhou City[J]. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 2019, **46**(6): 133-140.
- [13] Kulshrestha A, Massey D D, Masih J, *et al.* Source characterization of trace elements in indoor environments at urban, rural and roadside sites in a semi arid region of India[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2014, **14**(6): 1738-1751.
- [14] Aldabe J, Elustondo D, Santamaría C, *et al.* Chemical characterisation and source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain) [J]. *Atmospheric Research*, 2011, **102**(1-2): 191-205.
- [15] Furger M, Minguillón M C, Yadav V, *et al.* Elemental composition of ambient aerosols measured with high temporal resolution using an online XRF spectrometer[J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2017, **10**(6): 2061-2076.
- [16] Zhang B Y, Zhou T, Liu Y, *et al.* Comparison of water-soluble inorganic ions and trace metals in PM_{2.5} between online and offline measurements in Beijing during winter[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10**(6): 1755-1765.
- [17] 孙天乐,邹北冰,黄晓锋,等. 深圳市大气 PM_{2.5} 来源解析[J]. *中国环境科学*, 2019, **39**(1): 13-20.
Sun T L, Zou B B, Huang X F, *et al.* Source apportionment of PM_{2.5} pollution in Shenzhen[J]. *China Environmental Science*, 2019, **39**(1): 13-20.
- [18] 张扬,王红磊,刘安康,等. 南京市不同天气过程下颗粒物中水溶性离子分布特征及其来源解析[J]. *环境科学*, 2021, **42**(2): 564-573.
Zhang Y, Wang H L, Liu A K, *et al.* Distribution characteristics and source analysis of water-soluble ions in particulate matter under different weather processes in Nanjing[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(2): 564-573.
- [19] 任万辉,李云丹,苏枫枫,等. 沈阳市大气 PM_{2.5} 中重金属污染特征、来源解析及健康风险评价[J]. *环境化学*, 2021, **40**(4): 1029-1037.
Ren W H, Li Y D, Su C C, *et al.* Pollution characteristics, source apportionment and health risk assessment of heavy metals

- in PM_{2.5} in Shenyang[J]. *Environmental Chemistry*, 2021, **40** (4): 1029-1037.
- [20] 肖致美, 徐虹, 李立伟, 等. 基于在线观测的天津市 PM_{2.5} 污染特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2020, **41** (10): 4355-4363.
- Xiao Z M, Xu H, Li L W, *et al.* Characterization and source apportionment of PM_{2.5} based on the online observation in Tianjin [J]. *Environmental Science*, 2020, **41** (10): 4355-4363.
- [21] Norris G N, Duval R, Brown S, *et al.* EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 fundamentals and user guide prepared for the US environmental protection agency office of research and development[R]. Washington: U. S. EPA Office of Research and Development, 2014.
- [22] 程凯, 常运华, 旷雅琼, 等. 上海市 PM_{2.5} 中重金属元素对 COVID-19 控制的高频响应[J]. *环境科学*, 2021, **42** (8): 3644-3651.
- Cheng K, Chang Y H, Kuang Y Q, *et al.* High-frequency responses to the COVID-19 shutdown of heavy metal elements in PM_{2.5} in Shanghai[J]. *Environmental Science*, 2021, **42** (8): 3644-3651.
- [23] Wang Q Q, Qiao L P, Zhou M, *et al.* Source apportionment of PM_{2.5} using hourly measurements of elemental tracers and major constituents in an urban environment: Investigation of time-resolution influence [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2018, **123** (10): 5284-5300.
- [24] Fomba K W, van Pinxteren D, Müller K, *et al.* Assessment of trace metal levels in size-resolved particulate matter in the area of Leipzig[J]. *Atmospheric Environment*, 2018, **176**: 60-70.
- [25] Liu J W, Chen Y J, Chao S H, *et al.* Emission control priority of PM_{2.5}-bound heavy metals in different seasons: A comprehensive analysis from health risk perspective[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **644**: 20-30.
- [26] Cui Y, Ji D S, Maenhaut W, *et al.* Levels and sources of hourly PM_{2.5}-related elements during the control period of the COVID-19 pandemic at a rural site between Beijing and Tianjin [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **744**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140840.
- [27] Cui Y, Ji D S, Chen H, *et al.* Characteristics and sources of hourly trace elements in airborne fine particles in urban Beijing, China [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2019, **124** (21): 11595-11613.
- [28] Park M B, Lee T J, Lee E S, *et al.* Enhancing source identification of hourly PM_{2.5} data in Seoul based on a dataset segmentation scheme by positive matrix factorization (PMF) [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10** (4): 1042-1059.
- [29] Huang X J, Tang G Q, Zhang J K, *et al.* Characteristics of PM_{2.5} pollution in Beijing after the improvement of air quality [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, **100**: 1-10.
- [30] Hao Y F, Meng X P, Yu X P, *et al.* Characteristics of trace elements in PM_{2.5} and PM₁₀ of Chifeng, northeast China: Insights into spatiotemporal variations and sources [J]. *Atmospheric Research*, 2018, **213**: 550-561.
- [31] Wang Y, Cheng K, Wu W D, *et al.* Atmospheric emissions of typical toxic heavy metals from open burning of municipal solid waste in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2017, **152**: 6-15.

CONTENTS

Impacts of Changes in Meteorological Conditions During COVID-19 Lockdown on PM _{2.5} Concentrations over the Jing-Jin-Ji Region	QIU Yu-lu, CHEN Lei, ZHU Jia, <i>et al.</i> (2831)
Influence of COVID-19 Prevention and Control Measures on PM _{2.5} Concentration, Particle Size Distribution, Chemical Composition, and Source in Zhengzhou, China	 HUANG Bing-yi, WANG Shen-bo, HE Bing, <i>et al.</i> (2840)
Concentration Variation and Source Analysis of Metal Elements in PM _{2.5} During COVID-19 Control in Suzhou	MIAO Qing, YANG Qian, WU Ye-zheng, <i>et al.</i> (2851)
Changes in Carbonaceous Aerosol in the Northern Suburbs of Nanjing from 2015 to 2019	XIE Tian, CAO Fang, ZHANG Yan-lin, <i>et al.</i> (2858)
Source Apportionment of PM _{2.5} Based on Hybrid Chemical Transport and Receptor Model in Chongqing	PENG Chao, LI Zhen-liang, CAO Yun-qing, <i>et al.</i> (2867)
Analysis on the Characteristics of Oxidation Potential and Influence Sources of PM _{2.5} in Baoding City in Winter	WU Ji-yan, YANG Chi, ZAHNG Chun-yan, <i>et al.</i> (2878)
Pollution Characteristics and Sources of Water-soluble Organic Nitrogen in PM _{2.5} in Jiangbei New Area, Nanjing	GUAN Lu, DING Cheng, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i> (2888)
Organic Aerosols and Source Analysis of Fine Particles in the Background of Shiwanda Mountain, Guangxi	XING Jia-li, CAO Fang, WANG Qian, <i>et al.</i> (2895)
Comparison of Regional Transportation and Transformation Models of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Research on Key Influencing Factors: Take the Beijing-Tianjin-Hebei Region as Example	ZHANG Xin-lu, LIU Shi-jie, HAN Mei-li, <i>et al.</i> (2906)
Exploring Formation of Ozone in Typical Cities in Beijing-Tianjin-Hebei Region Using Process Analysis	TANG Ying-xiao, YAO Qing, CAI Zi-ying, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics and Meteorological Factors of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Tianjin	XIAO Zhi-mei, LI Yuan, KONG Jun, <i>et al.</i> (2928)
Spatio-temporal Characteristics of Air Quality and Influencing Factors in Shandong Province from 2016 to 2020	ZHOU Meng-ge, YANG Yi, SUN Yuan, <i>et al.</i> (2937)
Trend Changes in Ozone Pollution and Sensitivity Analysis of Ozone in Henan Province	YAN Yang-yang, YIN Sha-sha, HE Qin, <i>et al.</i> (2947)
Effects of Tropical Cyclones on Ozone Pollution in the Pearl River Delta in Autumn	ZHAO Wei, LÜ Meng-yao, LU Qing, <i>et al.</i> (2957)
Real-time Composition and Sources of VOCs in Summer in Wuhan	SU Wei-feng, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2966)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Summer in Yuncheng City	WEN Xiao-yu, ZHAO Wen-ting, LUO Shu-zhen, <i>et al.</i> (2979)
Neonicotinoid Insecticides Threaten Surface Waters at the National Scale in China	FAN Dan-dan, LIU Hong-ling, YANG Liu-yan (2987)
Spatiotemporal Distribution and Risk Assessment of Pharmaceuticals in Typical Drinking Water Sources in the Middle Reaches of the Yangtze River	 WU Jun-mei, WEI Lin, PENG Jing-qian, <i>et al.</i> (2996)
Pollution Characteristics and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Underground and Surface Drinking Water Sources in Northeast Inner Mongolia	 ZHANG Kun-feng, CHANG Sheng, FU Qing, <i>et al.</i> (3005)
Impact of Land Use Types at Different Scales on Surface Water Environment Quality and Its Driving Mechanism	SONG Jing-wen, ZHANG Xue-xia, JIANG Dong-yang, <i>et al.</i> (3016)
Shallow Groundwater Around Plateau Lakes: Spatiotemporal Distribution of Nitrogen and Its Driving Factors	LI Gui-fang, YANG Heng, YE Yuan-hang, <i>et al.</i> (3027)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Lake Qinghai	ZHANG Ya-ran, CHE Fei-fei, FU Zheng-hui, <i>et al.</i> (3037)
Analysis of Heavy Metal Pollution Characteristics and Potential Ecological Risks of Surface Sediments in Dongjiang Lake	ZHAO Xiao-liang, LI Xiang, LU Hong-bin, <i>et al.</i> (3048)
Kinetic Release Characteristics of Organic Phosphorus of Sediment-water and Water Quality Risks	LIU Zhe-zhe, NI Zhao-kui, LIU Si-ru, <i>et al.</i> (3058)
Distribution Characteristics, Source Analysis, and Pollution Evaluation of Organic Matter in Surface Sediments of Qingpu District, Yangtze River Delta Integration Demonstration Area	 ZHANG Zhi-bo, DUAN Yan-ping, TU Yao-jen, <i>et al.</i> (3066)
Distribution Characteristics of Microplastics and Their Migration Patterns in Xiangxi River Basin	CHEN Sheng-sheng, LI Wei-ming, ZHANG Kun, <i>et al.</i> (3077)
Community Structure and Microbial Function Responses of Biofilms Colonizing on Microplastics with Vertical Distribution in Urban Water	 CHEN Yu-fang, YAN Zhen-hua, ZHANG Yan, <i>et al.</i> (3088)
Community Structure of Phytoplankton and Environmental Impact Factors in Lake Hongze from 2015 to 2020	QU Ning, DENG Jian-ming, ZHANG Zhen, <i>et al.</i> (3097)
Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in Different Regions of Nanhu Lake in Jiaxing City	 WANG Ya-wen, LI Ying-he, ZHANG Bo, <i>et al.</i> (3106)
Temporal and Spatial Variation Characteristics and Source Analysis of Agricultural Non-point Source Pollution Load in Guangdong During the Past 20 Years	 GE Xiao-jun, HUANG Bin, YUAN Zai-jian, <i>et al.</i> (3118)
Output Characteristics and Driving Mechanism of Agricultural Non-point Source (AGNPS) Pollutant in Plain and Valley Region of Upper Yangtze River, China	 TAN Shao-jun, LIU Yang, ZHU Xiao-jie, <i>et al.</i> (3128)
Risk Assessment Method of Non-point Source Pollution Output for Watershed Using High Resolution Data	GU Jing-jing, YE Yun-tao, DONG Jia-ping, <i>et al.</i> (3140)
Spectral Characteristics Change in Dissolved Organic Matter in Urban River Under the Influences of Different Intensities of Non-point Source Pollution	CHEN Xu-dong, GAO Liang-min (3149)
Combination of Ecological Ditch and Bioretention Pond to Control Rural Runoff Pollution	SHI Lei, YANG Xiao-li, WU Qing-yu, <i>et al.</i> (3160)
Influence of Different Hydraulic Disturbance Intensities on the Migration of Aged PSMPs Between Sediment and Water	WU Xiang-xiang, AI Ping, LI Da-peng (3168)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of Rainfall Runoff from Roofs in the Central District of Beijing	XI Yue, GUO Jing, TAO Lei, TIAN Ying, <i>et al.</i> (3177)
Inter-annual Changes in Runoff Quality from Green Roofs with Different Vegetation	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, GE De, <i>et al.</i> (3187)
Effectivity of Multiphase Fenton-like System of Iron Reduction Induced by Bisphenol A Authigenic Photoelectron	CAO Si-yu, XU Lu, FU Quan-chao, <i>et al.</i> (3195)
Removal Characteristics of Four Typical Antibiotics in Denitrification System	TANG Jia, CHEN Xi, QIN Mu-chuan, <i>et al.</i> (3204)
Adsorption Capacity and Mechanism of Biochar Derived from Typical Agricultural Wastes for Cadmium in Aqueous Solutions	GONG Pei-yun, SUN Li-juan, SONG Ke, <i>et al.</i> (3211)
Effect of Humic Acid-Heavy Metals on the Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX Bacteria and Its Kinetic Analysis	LI Yun, CUI Nan, XIONG Xing-xing, <i>et al.</i> (3221)
Responding Mechanism of Vegetation Cover to Climate Change and Human Activities in Southwest China from 2000 to 2020	XU Yong, HUANG Wen-ting, DOU Shi-qing, <i>et al.</i> (3230)
Spatial Distribution and Eco-stoichiometric Characteristics of Soil Nutrient Elements Under Different Vegetation Types in the Yellow River Delta Wetland	 SUN De-bin, LI Yun-zhao, YU Jun-bao, <i>et al.</i> (3241)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Perfluoroalkyl Substances in Surface Soils of the Northeast Tibetan Plateau	 WEN Xiang-jie, CHEN Zhao-hui, XU Wei-xin, <i>et al.</i> (3253)
Effect of Land Use/Land Cover Change on the Concentration of Se and Heavy Metals in Soils from a "Return Cropland to Forest" Area, Southwest China	 LIU Yong-lin, LIU Shu-ling, WU Mei, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Characteristics and Risk Assessment of Soil Heavy Metals from Puding Karst Critical Zone, Guizhou Province	 ZHANG Qian, HAH Gui-lin (3269)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Germanium in Soil in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin	DONG Qiu-yao, LAI Shu-ya, SONG Chao, <i>et al.</i> (3278)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Risk Assessment of Golden Snub-nosed Monkey (<i>Rhinopithecus roxellana</i>) Habitat in Shennongjia Mountains	 YAN Jia-li, YU Zi-ling, YU Hui-liang, <i>et al.</i> (3288)
Utilization and Remediation of Heavily Cadmium-Contaminated Agricultural Soils by Two Crop Rotation Patterns After Lime and Sepiolite Passivation	 XU Lu, ZHOU Chun-hai, LIU Mei, <i>et al.</i> (3299)
Effects of Phosphorus Sufficiency and Deficiency on Cadmium Uptake and Transportation by Rice	TAN Wen-tao, HUO Yang, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (3308)
Responses of Cd Accumulation in Rice and Spectral Characteristics of Soil Dissolved Organic Matter Regulated by Soil Amendments	LUO Hui-long, CHEN Juan, ZHANG Yun-hui, <i>et al.</i> (3315)
Responses of Soil Fungal Communities to Subalpine Meadow Degradation in Mount Wutai	LUO Zheng-ming, HE Lei, LIU Jin-xian, <i>et al.</i> (3328)
Response of Soil Fungal Communities in Diversified Rotations of Wheat and Different Crops	JIN Hai-yang, YUE Jun-qin, YAN Ya-qian, <i>et al.</i> (3338)
Spatial Characterization of Stable Isotope Composition of Organic Carbon from Farmland Soils in Chongqing	LIAO Yu-qin, LONG Juan, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (3348)
Characteristics of Soil NO Emissions in the Yangtze River Delta Region for Year 2018	LIAO Jia-qiang, XUE Jin, WANG Wen-jin, <i>et al.</i> (3357)
Thermal Environment Evolution and Response Mechanism of Urban Sprawl Based on Multi-source Data	LIANG Jian-she, BAI Yong-ping, YANG Xue-di, <i>et al.</i> (3365)