

· 监测技术 ·

单颗粒本地排放源谱在上海新冠感染防控期间的监测应用

杨帆¹, 杨奕莹¹, 徐建平¹, 李梅^{2*}

(1. 上海市浦东新区环境监测站, 上海 200135; 2. 暨南大学, 广东 广州 510632)

摘要:采用单颗粒飞行时间质谱分析上海市2022年3月—5月新冠感染防控期间大气颗粒物来源, 重点关注移动排放源的时空分布规律, 并对防控期间、春节期间和防控前正常生产生活期间的监测结果做比对分析。结果表明, 防控期间细颗粒物质量浓度较春节期间和正常生产生活时段下降了23.3%; 受防控减排措施影响明显的移动源、扬尘、燃煤和工业工艺源排放的细颗粒物质量浓度相较另外两个时段都有不同程度的降低。

关键词: 细颗粒物; 本地排放源谱; 单颗粒气溶胶飞行时间质谱法; 新冠感染防控; 上海

中图分类号: X513 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-2009(2024)01-0049-04

Monitoring Application of Single Particle Spectrum from Local Emission Source During COVID-19 Infection in Shanghai

YANG Fan¹, YANG Yinying¹, XU Jianping¹, LI Mei^{2*}

(1. Shanghai Pudong New Area Environmental Monitoring Station, Shanghai 200135, China; 2. Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China)

Abstract: Single particle time-of-flight mass spectrometry was used to analyze the sources of atmospheric particulate matter during COVID-19 infection in Shanghai from March to May 2022, focusing on the spatio-temporal distribution of mobile emission sources, and comparing the monitoring results during the periods of prevention and control of COVID-19, the Spring Festival and normal production and daily life before the infection. The results showed that PM_{2.5} concentration decreased by 23.3% during the prevention and control period compared with that during the Spring Festival and normal production and daily life. The mass concentration of PM_{2.5} from mobile sources, dust, coal burning and industrial sources, which significantly affected by prevention and emission reduction measures, decreased to different degrees compared with the other two periods.

Key words: PM_{2.5}; Local emission source spectrum; Single-particle aerosol time-of-flight mass spectrometry; COVID-19 infection prevention and control; Shanghai

大气复合污染是人类生产生活造成的直接结果, 对颗粒物来源的定性定量是科学有效地开展颗粒物污染防治、保障大气污染治理工作高效实施的基础和前提^[1-3]。大气颗粒物源解析已经成为制定城市大气颗粒物污染控制对策不可缺少的科学依据^[4-6], 解析结果有助于环境决策者提高对颗粒物污染防治的针对性、科学性和合理性^[7-9]。

近年来, 利用典型事件研究环境空气污染特征和变化成因已成为研究区域性环境空气问题的热点之一。沈利洪等^[10]研究了进博会期间吴江地区减排措施对当地颗粒物浓度降低的影响。由于全

球新冠感染大流行导致的大气污染被动减排效应近两年也被陆续报道^[11-12]。上海市2022年3月—5月实行了全市范围内新冠感染防控措施, 为极端减排条件下超大城市污染物排放源特征变化和成因分析提供了参考条件。今依托单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪(SPAMS), 利用浦东新区大气复合

收稿日期: 2022-12-15; 修订日期: 2023-12-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41827804); 上海市“科技创新行动计划”自然科学基金资助项目(20ZR1449700)

作者简介: 杨帆(1982—), 男, 辽宁新民人, 高级工程师, 博士, 主要从事环境监测领域研究。

* 通信作者: 李梅 E-mail: limei2007@163.com

污染超级观测站和常规大气污染物观测组网现有的观测设备及数据,重点研究防控期间本地环境空气颗粒物来源,并针对机动车和船舶排放这两个城区主要大气细颗粒物污染贡献源^[13-14],研究防控期间本地移动排放源的时空分布规律,分析成因。同时,将该时段源解析结果与 2022 年春节期和 2022 年 2 月中旬—3 月正常生产生活阶段源解析结果进行对比分析,进一步检验单颗粒本地排放源谱的可靠性与适用性。

1 研究区域与研究方法

1.1 监测时段和区域

监测时段为 2022 年 2 月 1 日—5 月 1 日。2022 年 3 月 28 日 0:00 起,上海市浦东新区开始执行新冠疫情防控措施。由此将整个监测时段划分为 2 月 1 日—2 月 15 日农历春节期间,2 月 16 日—3 月 27 日正常生产生活阶段,3 月 28 日—5 月 1 日防控期间。

监测地点为上海市浦东新区环境监测站楼顶,测点离地高度约 30 m,测点以南 50 m 为灵山路,以西 100 m 为源深路,东北方向均为多层住宅小区,行政属地为陆家嘴商圈,可以代表典型市区状况。

1.2 监测方法

采用 SPAMS 0515 型单颗粒气溶胶质谱仪(广州禾信仪器股份有限公司)采样,环境空气经 PM_{2.5} 切割头切割后进入 SPAMS 实时在线检测。整个监测时段,监测点共采集具有测径信息的单颗粒(SIZE)3 996.7 万个,同时获取正、负谱图的颗粒(MASS)393.2 万个。细颗粒物数浓度与环境空气细颗粒物质量浓度变化趋势相关系数 r 值为 0.84,达到高度相关,表明 SPAMS 的数浓度变化趋势对反映大气污染状况具有较强的代表性。

1.2.1 颗粒物 Art-2a 组分分类

自适应共振神经网络分类方法(Art-2a)是基于人工神经网络设计发展出来的一套理论方法,即模仿生物神经网络的人工信号处理系统,通过使用人工神经元的权值变化来模仿人类的神经信号处理过程,具有学习、分类、预测的能力^[15]。利用 Art-2a 法对整体颗粒物进行组分分类,使用的分类参数为相似度 0.75,学习效率 0.05。将颗粒物进行分类后再合并,考虑到需要基本能够囊括大气颗粒物中的主要组分,且能够更好地辅助颗粒物的溯源,最终确定 10 类颗粒物,分别为矿物质、重金属、

左旋葡聚糖、富钠、富钾、高分子有机物、有机碳、元素碳、混合碳、其他。

1.2.2 细颗粒物排放源分类

基于监测结果,参照《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》,结合已获得的本地交通排放源谱和综合排放源谱信息,按照环境管理需求对细颗粒物排放源进行分类,将细颗粒物污染来源归结成 8 大类,分别为海盐源、扬尘源、生物质燃烧源、移动排放源、燃煤源、工业工艺源、二次无机源、其他源。海盐源包含由海面风浪作用产生的一次海沫和海盐颗粒,以及经海面传送老化形成的二次颗粒物;扬尘源包含建筑扬尘、道路扬尘、土壤尘等颗粒;生物质燃烧源主要是农作物秸秆、野草等露天焚烧及生物燃料锅炉排放的颗粒;移动排放源包含柴油车、汽油车、船舶等交通工具排放的颗粒;燃煤源包含燃煤电厂、锅炉、散煤燃烧、煤工艺制造过程等排放的颗粒;工业工艺源包含化工、金属冶炼等工艺过程排放的颗粒;二次无机源主要指从单颗粒谱图分析,除钾离子外,只含有二次无机组分(硫酸盐、硝酸盐等)的颗粒,此类颗粒物中的硫酸盐、硝酸盐等二次组分主要是在高湿条件下由大气中的二氧化硫、二氧化氮等气态污染物转化而成;未包含在上述源类及未被识别的颗粒物归于其他源。

2 结果与讨论

2.1 颗粒物组分

SPAMS 整个监测时段的细颗粒物组分构成分别为元素碳(49.3%)、富钾(30.1%)、左旋葡聚糖(7.6%)、矿物质(6.1%)、重金属(3.7%)、富钠(1.3%)、混合碳(0.8%)、有机碳(0.6%)、其他(0.4%)、高分子有机物(0.1%)。不同监测时段细颗粒物成分占比见表 1。由表 1 可知,防控期间与春节期间相比,元素碳占比大幅增长,从 41.6% 上升至 50.7%,而富钾颗粒则降低了约 10 个百分点;防控期间与正常生产生活时段相比,左旋葡聚糖占比偏高,矿物质和重金属占比偏低;其余成分 3 个时段占比变化不明显。

2.2 细颗粒物来源分析

整个监测时段细颗粒物污染来源构成为移动排放源(25.3%)、扬尘源(22.9%)、燃煤源(15.9%)、二次无机源(12.7%)、工业工艺源(10.8%)、生物质燃烧源(6.4%)、海盐源(3.8%)、其他源(2.2%)。不同监测时段细颗粒

表 1 颗粒物成分占比 %

Table 1 Proportion of particulate matter components %

颗粒物成分	春节期间	正常生产生活阶段	防控期间
元素碳	41.6	50.7	50.7
富钾	40.1	27.0	29.9
左旋葡聚糖	7.3	7.0	8.3
矿物质	5.1	7.2	5.3
富钠	1.2	1.2	1.3
重金属	2.1	4.7	3.2
混合碳	1.1	0.9	0.4
有机碳	0.7	0.8	0.3
高分子有机物	0.5	0.1	0.1
其他源	0.3	0.4	0.5

物来源对比见表 2。由表 2 可知,防控期间与春节期间、正常生产生活时段细颗粒物质量浓度分别为 $22.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 与 $30.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $30.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$,防控期间细颗粒物质量浓度较另外两个监测时段分别下降了 23.9% 和 23.7%。防控期间较另外两个监测时段,移动排放源、扬尘源、燃煤源和工业工艺源的污染物质量浓度都有不同程度的降低。其中,防控期间与正常生产生活时段相比,扬尘源下降了 22.1%,移动排放源下降了 26.6%,工业工艺源下降了 18.8%,燃煤源下降了 19.1%;防控期间与春节期间相比,扬尘源下降了 25.4%,移动排放源下降了 13.4%,工业工艺源下降了 7.1%,燃煤源下降了 15.6%。

2.3 移动排放源时空分布规律

基于移动排放源源谱,把移动源排放划分为柴油车、汽油车和船舶尾气类别,其中柴油车和船舶为柴油发动机排放颗粒物的贡献占比,汽油车为汽油发动机排放颗粒物的贡献占比。

从春节期间至防控期间,柴油车占比基本呈现逐渐上涨的趋势,汽油车占比呈现逐渐下降的趋

势,防控期间汽油车占比最低,为 22.9%;防控期间船舶源占比高于春节期间,而较正常生产生活时段却基本持平。表明防控期间,虽然日常人员活动使用的小型汽油车明显减少,但大中型柴油运输车辆和船舶为保障全市物资物流的流通仍保持着日常高运作量。不同监测时段汽油车、柴油车和船舶风向来源三维分布见图 1(a)–(i)。

由图 1(a)(b)(c)可见,防控期间汽油车占比白天较低,高值主要出现在夜间 22:00—次日 8:00,高值区域分布较分散,风速较小时有一定累积;春节期间汽油车比例高峰主要出现在 3:00—12:00 之间,高值区域主要分布在点位的西北方向和东部;正常生产生活时段早晚高峰 8:00—11:00 和 19:00—21:00 占比相对较高,高值主要出现在西北方向。

由图 1(d)(e)(f)可见,防控期间柴油车占比高值主要出现在 11:00—19:00,高值区域主要出现在西北、东部和东南方向;春节期间柴油车比例高峰主要出现在 18:00—次日 2:00,高值区域主要分布在点位的东南方向;正常生产生活时段高值主要出现在 0:00—9:00,高值主要出现在点位东北、东部和东南方向。

由图 1(g)(h)(i)可见,防控期间船舶占比高值主要出现在 9:00—20:00,高值主要出现在东南方向,可能受海上船舶尾气传输的影响;春节期间船舶的高值主要出现在 17:00—次日 0:00,傍晚至凌晨时段应该是黄浦江上游船舶运营高峰期,导致船舶源占比升高,占比峰值主要出现在点位西北黄浦江码头方向;正常生产生活时段占比高值主要出现在 13:00—23:00,高值区域主要出现在点位北部、东北和东南方向,应该是受到黄浦江上游船舶和海上轮船的共同影响。

表 2 细颗粒物来源解析对比

Table 2 Analysis and comparison of sources of fine particles

来源	污染物质量浓度 $\rho/(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$			污染物占比/%		
	春节期间	正常生产生活阶段	防控期间	春节期间	正常生产生活阶段	防控期间
移动排放源	6.7	7.9	5.8	22.3	26.3	25.3
扬尘源	7.1	6.8	5.3	23.6	22.7	23.1
燃煤源	4.5	4.7	3.8	15.0	15.7	16.6
二次无机源	5.4	3.7	2.5	17.9	12.3	10.9
工业工艺源	2.8	3.2	2.6	9.3	10.7	11.4
生物质燃烧源	1.7	1.8	1.6	5.6	6.0	7.0
海盐源	1.4	1.1	0.8	4.6	3.7	3.5
其他源	0.5	0.8	0.5	1.7	2.6	2.2

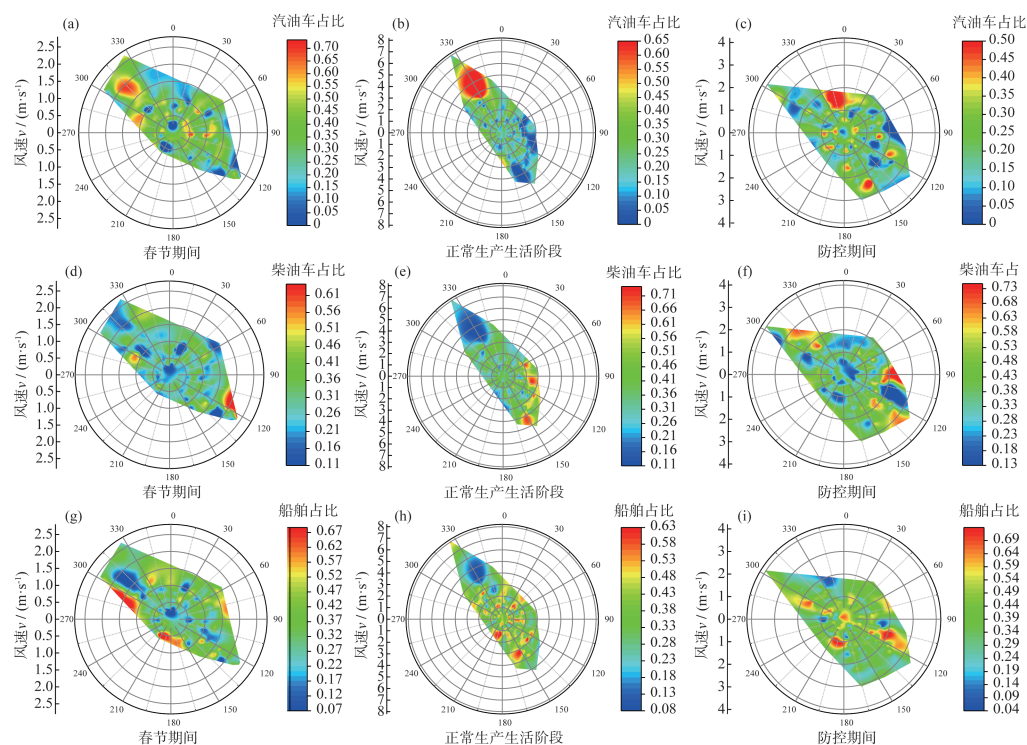


图1 汽油车、柴油车和船舶风向来源三维分布

Fig. 1 Three dimensional distribution of wind direction sources for gasoline vehicles, diesel vehicles and ships

3 结语

防控期间的细颗粒物质量浓度较春节期间和正常生产生活时段下降了23.3%，受防控措施影响明显的移动排放源、扬尘、燃煤和工业工艺源的细颗粒物质量浓度都有不同程度的降低。从春节期间至防控期间，柴油车占比基本呈现逐渐上涨的趋势，汽油车占比呈现逐渐下降的趋势，表明防控期间柴油车和船舶等运输主力仍保持着与正常生产生活时段一样的高运作量。利用单颗粒精细化源谱，结合风速风向等气象条件，可以对移动源（包括船舶排放）进行较为准确的溯源及特征变化分析，具有较强的实用性。

[参考文献]

- [1] 兰剑, 乔利平, 郝继宗, 等. 上海市大气污染物时间分布特征及影响因子分析[J]. 广州化工, 2020, 48(24): 123-127.
- [2] 刘瑞琪, 贾海鹰. 北京地区气象条件与区域传输对PM_{2.5}浓度影响研究[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(5): 16-20.
- [3] 姚亦舟, 张先宝. 镇江市挥发性有机物污染特征及来源分析[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(5): 60-63.
- [4] 沈寅. 高精度船舶排放清单在城市空气质量中的应用[J]. 中国环境监测, 2020, 36(5): 72-79.
- [5] 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.

- [6] 伏晴艳, 沈寅, 张健. 上海港船舶大气污染物排放清单研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(5): 57-64.
- [7] 杨帆. 机动车排放细颗粒物精细化源谱构建及应用[J]. 环境监测管理与技术, 2022, 34(4): 68-71.
- [8] 王慧慧, 曾维华, 吴开亚. 上海市机动车尾气排放协同控制效应研究[J]. 中国环境科学, 2016, 36(5): 1345-1352.
- [9] 章强, 颜凯, 郑中琪. 上海港和天津港船舶排放控制区政策的有效性分析[J]. 上海海事大学学报, 2021, 42(1): 63-70.
- [10] 沈利洪, 袁静, 乔浩, 等. 进博会期间吴江地区污染特征分析[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(12): 72-78.
- [11] 谢剑锋, 朱永磊, 刘力敏, 等. 新冠肺炎疫情期间冀南地区空气质量时空变化特征[J]. 中国环境监测, 2022, 38(3): 32-42.
- [12] BAO R, ZHANG A. Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China[J]. Science of the Total Environment, 2020, 731: 112-116.
- [13] 张霖琳, 王超, 吕怡兵, 等. 单颗粒气溶胶质谱和手工监测分析环境空气颗粒物特征组分的比对[J]. 环境化学, 2018, 37(11): 2419-2424.
- [14] LIU S, RUSSELL L M, SUEPER D T, et al. Organic particle types by single-particle measurements using a time-of-flight aerosol mass spectrometer coupled with a light scattering module[J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2013, 6(47): 187-197.
- [15] LI L, LI M, HUANG Z, et al. Ambient particle characterization by single particle aerosol mass spectrometry in an urban area of Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2014, 94: 323-331.