

# 南京市溧水区夏季大气细颗粒物来源解析

谈健康, 于小平

南京市溧水区生态环境局, 江苏 南京  
Email: tanjiankang2002@163.com

收稿日期: 2020年9月18日; 录用日期: 2020年10月8日; 发布日期: 2020年10月15日

## 摘要

利用在线气溶胶质谱仪(SPAMS)于2019年7月16日至2019年8月31日对南京市溧水区环境空气细颗粒物开展高时间分辨化学成分监测。结果显示, 在监测时段内, 监测点空气质量细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)污染较2018年同期变差, PM<sub>2.5</sub>均值浓度为21.0 μg·m<sup>-3</sup>。通过对细颗粒物成分分类, 最终确定了八类颗粒物。根据对细颗粒物排放源分类分析, PM<sub>2.5</sub>主要来源于机动车尾气源(34.9%)、扬尘源(20.0%)、工业工艺源(10.1%)。此外, 考虑到气象因素, 在静稳天气条件下区域内更易发生细颗粒物浓度升高。结合不同风向判断, 不同时段PM<sub>2.5</sub>数量浓度的升高会分别受到机动车尾气源、工业工艺源、扬尘源、燃煤源、生物质燃烧源等不同类型源的排放累积影响, 说明溧水区颗粒物来源综合性较强。

## 关键词

细颗粒物, 在线监测, 化学成分, 源解析

# Source Analysis of Atmospheric Fine Particulate Matter in Lishui District, Nanjing in Summer

Jiankang Tan, Xiaoping Yu

Nanjing, Lishui Bureau of Ecological Environment, Nanjing Jiangsu  
Email: tanjiankang2002@163.com

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2020; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Online aerosol mass spectrometer (SPAMS) was used to monitor the chemical composition of fine particles in ambient air in Lishui district in Nanjing with a high time resolution, from July 16<sup>th</sup> to

**August 31<sup>st</sup>, 2019. The results showed that during the monitoring period, fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) pollution at the monitoring points became worse than the same period in 2018, with the mean concentration of PM<sub>2.5</sub> being 21.0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Through the classification of fine particulate composition, eight kinds of particulate matter were finally determined. According to the classification analysis of fine particulate matter emission sources, PM<sub>2.5</sub> mainly comes from automobile exhaust source (34.9%), dust source (20.0%) and industrial process source (10.1%). In addition, considering the meteorological factors, higher concentration of fine particulate matter were more likely to happen in the static stable weather conditions. Combined with different wind direction, the increase of PM<sub>2.5</sub> concentration in different time periods will be affected by the emission accumulation of different types of sources, such as automobile exhaust source, industrial process source, dust source, coal burning source and biomass combustion source, indicating that the sources of particulate matter in Lishhui district were relatively comprehensive.**

## Keywords

**Fine Particulate Matter, Online Monitoring, Chemical Composition, Source Analysis**

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

大气污染问题是环境的突出问题。随着工业发展和资源环境过度利用,空气、水、土壤这些人类赖以生存的环境要素被不同程度地破坏,城市各类环境问题逐渐显现,其中大气污染问题尤为严重,这不仅影响了人们的生活质量,更限制了中国经济的发展。十八大后,党中央、国务院高度重视大气污染防治工作,发布《大气污染防治行动计划》,着重强化以细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)为重点的大气污染防治工作。党的十九大报告提出“坚持全民共治、源头防治,持续实施大气污染防治行动,打赢蓝天保卫战”。如何有效的防止大气污染,已成为越来越多人关注的重要课题[1][2]。由于大气气溶胶的来源和化学转化过程不同,其形态、大小、化学组成和混合状态有着明显的特征,因此对单颗粒气溶胶的分析和研究对于认识气溶胶的形成机制、老化过程以及识别和解析排放来源有着重要意义[3]。与目前发展迅速的颗粒物在线观测相比,许多研究学者对于气溶胶粒子分析仍然主要采用离线采集-分析方法,即利用 Teflon 膜、石英纤维滤膜等采集大气颗粒物,样品经处理后用离子质谱、离子色谱、热光碳分析仪、X 射线荧光法、ICP-MS 等仪器分析样品化学成分[4][5][6][7][8],但以上方法时间分辨率较低,颗粒物的理化性质可能会在分析过程中发生改变[9][10]。南京作为长三角经济区重要的大都市之一,同时也是国家重要的区域中心城市,虽长期进行大气污染治理工作,但在极为有限的环境容量下,当前的污染排放总量仍旧较大,大气污染形势依旧严峻。近年来溧水区大气污染防治工作呈现良好发展态势。但溧水区空气质量情况不容乐观,截至到 2019 年底溧水区细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)月平均浓度距离年均达标浓度还有一定差距,考虑到冬季重污染高发季节,又给 PM<sub>2.5</sub> 的达标增加了很大的不确定性。2019 年溧水区大气污染防治工作面临巨大挑战,需要积极应对。目前对于南京地区单颗粒质谱的研究已有诸多成果,如龚宇麟等[11]利用单颗粒气溶胶质谱仪于 2015 年秋季对南京北郊大气细颗粒物的连续观测发现,污染天气下 EC 和 Metal (富金属颗粒)颗粒对细颗粒污染贡献较大。秦鑫等[12]通过对含 Pb 气溶胶粒子数据进行质谱分类分析发现,南京北郊含 Pb 气溶胶粒子主要来自于钢铁冶炼、城市扬尘、燃油排放和化工排放。单颗粒气溶胶质谱仪(single particle aerosol mass spectrometry, SPAMS)具备检测单

个颗粒物粒径大小及其化学组成的能力, 并具备极高的时间分辨率, 已有众多研究将其应用于颗粒物源解析[13] [14]、颗粒物化学组分以及颗粒物的混合状态等领域[15] [16] [17] [18]。因此, 本研究采用广州禾信分析仪器有限公司研制的单颗粒气溶胶质谱仪, 对溧水区 PM<sub>2.5</sub> 进行在线源解析和污染成因分析, 更系统化、科学化、精细化分析溧水区大气污染成因、污染来源、污染迁移规律等。监测结果力争对溧水区 PM<sub>2.5</sub> 的下降工作提供科学依据和技术支撑。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 观测采样

本次观测的采样时间为 2019 年 7 月 16 日~2019 年 8 月 31 日, 监测地点为南京市溧水区环保局 5 楼顶, 测点离地高度约 20 m。本次以单颗粒气溶胶质谱仪型号: (SPAMS 0515)进行采样, 环境空气经 PM<sub>2.5</sub> 切割头切割后进入 SPAMS 实时在线检测。

单颗粒气溶胶质谱仪主要包含进样系统、测径系统、电离系统和质谱分析系统, 基本原理为: 气溶胶颗粒通过进样管进入仪器, 在三级差动真空条件下, 不同颗粒由于粒径的不同导致不同的速度, 然后颗粒在空气动力学透镜的作用下聚焦成为准直颗粒束, 在离开空气动力学透镜后进入测径区, 在测径区颗粒连续经过两束 532 nm 测径激光器发射的激光束, 产生的散射光分别被椭球面镜反射聚焦到光电倍增管(PMT)上得以检测, 通过时序电路测量两个 PMT 信号的时间间隔, 就可以计算颗粒的飞行速度, 进而换算出颗粒的空气动力学直径, 另外颗粒的速度还用来控制当颗粒到达电离区中心的时候电离激光出射激光将颗粒电离。颗粒进入电离区后, 被 266 nm Nd:YAG 紫外脉冲激光电离产生正负离子, 然后离子被双极型飞行时间质量分析器检测, 可同时得到颗粒物的正负离子信息[19]。

### 2.2. 质量控制与保证

仪器安装调试时, 分别利用标准的聚苯乙烯(PSL)小球产生粒径为 0.30 μm、0.50 μm、0.72 μm、1.00 μm、2.00 μm 的气溶胶颗粒, 并将这些气溶胶以约 80 ml·min<sup>-1</sup> 的流速引入单颗粒气溶胶质谱仪, 对进入仪器的颗粒物进行粒径校正, 校正后的拟合曲线的拟合系数要达到 0.995 以上, 记录进样口压力, 当采样过程中进样口压力超出 ± 0.1 Torr 以后就要清洗微孔片, 若洗后仍达不到要求则重新进行粒径校正。利用硝酸铅和碘化钠颗粒对仪器进行质谱图校正。在采样的同时观察电离激光能量和谱图有无质漂, 使电离能量稳定在 0.5 mJ 左右, 质荷比(m/z)漂移在 ± 0.5 以内。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 空气质量分析

如表 1 所示, 2019 年 7 月 16 日~2019 年 8 月 31 日, 南京市溧水区优良天数为 18 天, 比去年同期降低 8 天; PM<sub>2.5</sub> 均值浓度为 21.0 μg·m<sup>-3</sup>, 与去年同期(20.0 μg·m<sup>-3</sup>)相比增加了 5%。

**Table 1.** Overview of air quality from 16<sup>th</sup> July to 31<sup>st</sup> August 2019 and the same period last year\*

**表 1.** 2019 年 7 月 16 日~8 月 31 日及去年同期空气质量概况\*

日期	PM <sub>2.5</sub> (μg·m <sup>-3</sup> )	PM <sub>10</sub> (μg·m <sup>-3</sup> )	O <sub>3-sh</sub> (μg·m <sup>-3</sup> )	CO(mg·m <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (μg·m <sup>-3</sup> )	NO <sub>2</sub> (μg·m <sup>-3</sup> )	优良率(%)
2019 年 7 月 16 日~8 月 31 日	21.0	35.8	142.7	0.655	8.3	12.3	69.6
2018 年同期	20.0	40.3	119.3	0.759	7.3	11.9	84.8
同比变化	+5.0%	-11.2%	19.6%	-13.7%	13.7%	3.4%	-15.2

\*注: O<sub>3-sh</sub> 浓度值为滑动 8 小时最大值, 其余污染物浓度为日均值; CO 浓度单位 mg·m<sup>-3</sup>, 其余污染源浓度单位均为 μg·m<sup>-3</sup>。

图1为2019年7月16日-2019年8月31日南京市溧水区PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>质量浓度小时变化趋势,从图中可以看出PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>质量浓度均呈波动变化趋势,PM<sub>2.5</sub>质量浓度在每日夜间19时~23时时段稍高;PM<sub>10</sub>质量浓度在每日上午7时~9时及傍晚19时~20时时段稍高于其余时段。

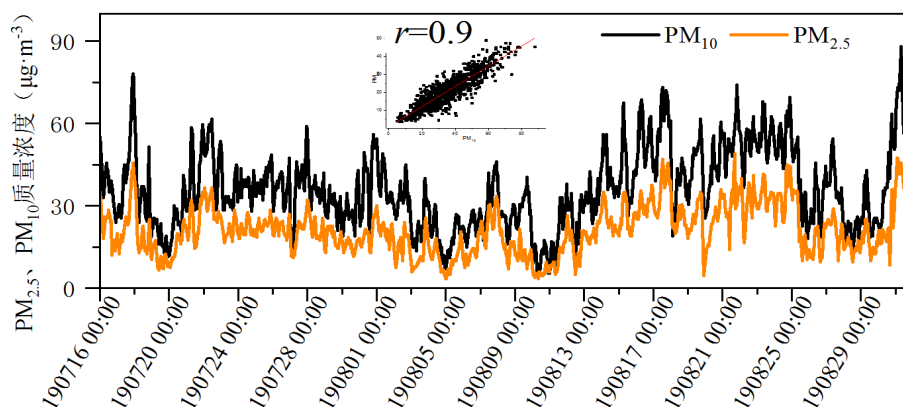


Figure 1. Hourly variation pattern of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> mass concentration from 16th July to 31st August 2019

图1. 2019年7月16日~8月31日PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>质量浓度小时变化规律图

## 3.2. 监测结果分析

### 3.2.1. 整体颗粒物信息

监测期间获得具有测径信息的颗粒物(SIZE)共14,632,319个,同时有正、负谱图的颗粒(MASS)共1,421,000个。由图2可以看出,SPAMS所测得颗粒物数浓度与实际PM<sub>2.5</sub>质量浓度变化趋势较为一致(相关系数 $r = 0.62$ ),说明SPAMS所得颗粒物数浓度在一定程度上可以反映大气细颗粒物的污染状况。

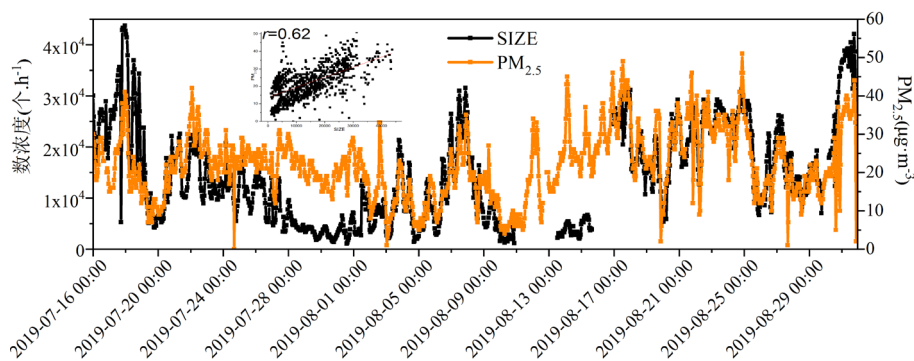


Figure 2. Comparison diagram of SPAMS number concentration with PM<sub>2.5</sub> mass concentration

图2. SPAMS数浓度与PM<sub>2.5</sub>质量浓度对比图

### 3.2.2. 颗粒物成分分析

从图3颗粒物的平均质谱图中可知,监测期间采样点测得的颗粒物中均有较为明显C<sup>+</sup>、C<sub>3</sub><sup>+</sup>、C<sub>4</sub><sup>+</sup>、C<sub>5</sub><sup>+</sup>、C<sub>2</sub><sup>-</sup>、C<sub>3</sub><sup>-</sup>、C<sub>4</sub><sup>-</sup>、C<sub>5</sub><sup>-</sup>等EC的信息( $m/z = 12, 36, 48, 60, 120, 132, -24, -36, -48, -60$ ),同时NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ( $m/z = 18$ ), OC ( $m/z = 27/37/43/51/63$ ), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ( $m/z = 18$ ), Na<sup>+</sup> ( $m/z = 23$ ), Al<sup>+</sup> ( $m/z = 27$ ), CaO<sup>+</sup>/Fe<sup>+</sup> ( $m/z = 56$ ), CN<sup>-</sup> ( $m/z = -26$ ), NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ( $m/z = -46$ ), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $m/z = -62$ ), SiO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $m/z = -76$ ), PO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $m/z = -79$ ), SO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $m/z = -80$ ), HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> ( $m/z = -97$ )等离子的信号明显。

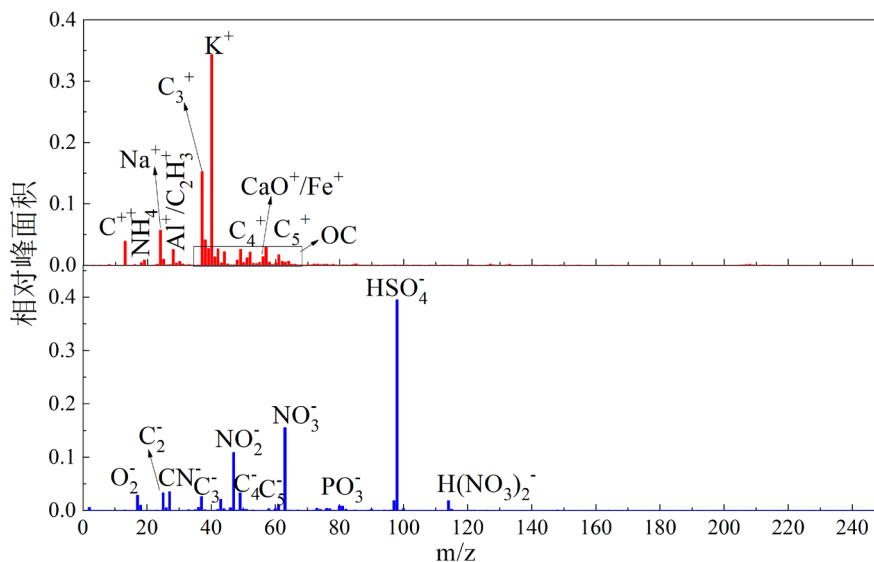


Figure 3. Mean mass spectrum of holistic particulate matter

图 3. 整体颗粒物平均质谱图

利用自适应共振神经网络分聚类方法(Art-2a)对整体颗粒物进行了颗粒物类别成分分类, 图 4 是监测期间的颗粒物成分类别构成, 从图中可见本次监测期间颗粒物主要颗粒类别为元素碳(EC)颗粒(47.3%), 其次是有机碳(OC)颗粒(12.3%), 第三为左旋葡聚糖(LEV)颗粒, 占比为 10.2%, 矿物质(MD)、重金属(HM)和富钾(K)颗粒占比分别为 8.8%、7.8%、7.4%, 混合碳(ECOC)颗粒占比为 5.5%。

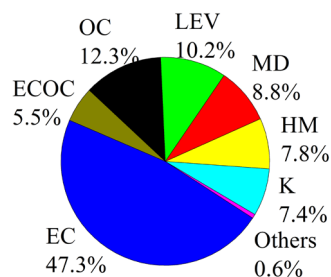


Figure 4. Pie chart of particulate composition classification

图 4. 颗粒物成分分类饼图

### 3.2.3. 颗粒物在线源解析结果分析

基于监测结果, 参照《大气颗粒物来源解析技术指南》, 结合当地的能源结构, 利用自适应共振神经网络分类方法(Art-2a)将 2019 年 7 月 16 日~2019 年 8 月 31 日溧水区细颗粒物污染来源归结为八大类, 分别为餐饮、扬尘、生物质燃烧、机动车尾气、燃煤、工业工艺源、二次无机源和其它。从图 5 中可得细颗粒污染主要来源于机动车尾气源(34.9%)、扬尘源(20.0%)、工业工艺源(10.1%), 其次为燃煤源(8.9%)、二次无机源(7.2%)、生物质燃烧源(3.6%)、餐饮源(2.8%)。分类过程中使用的分类参数为: 相似度 0.75, 学习效率 0.05 [20]。

### 3.2.4. 源解析贡献小时变化特征

图 6 为 2019 年 7 月 16 日~2019 年 8 月 31 日细颗粒物来源占比及数浓度与  $PM_{2.5}$  质量浓度小时变化图, 由图可知, 监测期间,  $PM_{2.5}$  质量浓度整体呈波动变化特征,  $PM_{2.5}$  平均质量浓度为  $21.0 \mu g \cdot m^{-3}$ , 质

量浓度峰值为  $51 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ，出现在 8 月 24 日 21 时。

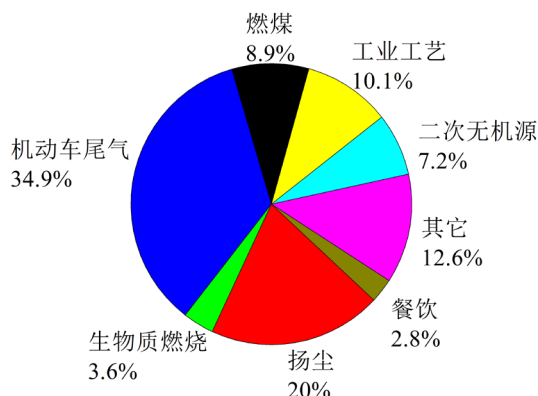


Figure 5. Pie chart of source analysis of fine particulate matter

图 5. 细颗粒物来源解析饼图

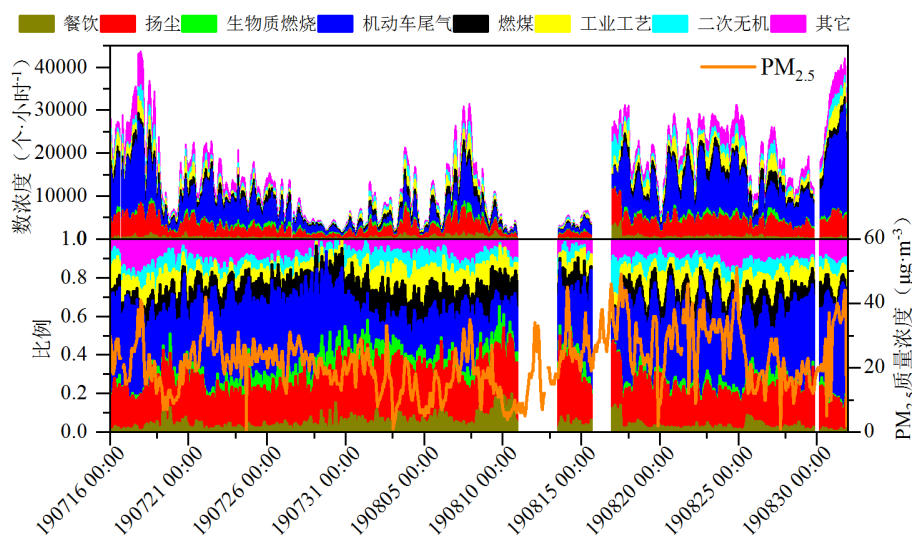


Figure 6.  $\text{PM}_{2.5}$  source and hourly variation of  $\text{PM}_{2.5}$  mass concentration

图 6.  $\text{PM}_{2.5}$  来源及  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度小时变化图

### 3.2.5. 重点污染源随风速风向分布情况

结合各污染源占比和数浓度分析污染源的分布情况，如图 7 所示，图中左图为源类占比分布图，右图为源数浓度分布图，源占比和数浓度同时较高的方位是应予以重点关注的方位。机动车尾气源占比和数浓度高值重合区主要集中在静风天气下或西南、东北风向区域；扬尘源占比和数浓度高值重合区主要集中在静风天气下或东南、东北风向区域；燃煤源占比和数浓度高值重合区主要集中在偏南风向区域；工业工艺源占比和数浓度高值重合区主要集中在静风天气下或东南、偏北风向区域；生物质燃烧源占比和数浓度高值重合区主要集中在东南、东北风向区域。

### 3.2.6. 细颗粒物浓度增长时段的污染源贡献率

如表 2 所示：

2019 年 7 月 21 日，东南风下， $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度从 12 时  $19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  逐步升高至 22 日 2 时  $42 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ，主要是由于机动车尾气源、工业工艺源颗粒逐渐累积导致。（机动车尾气源占比从 22.7% 升高至 32.5%，

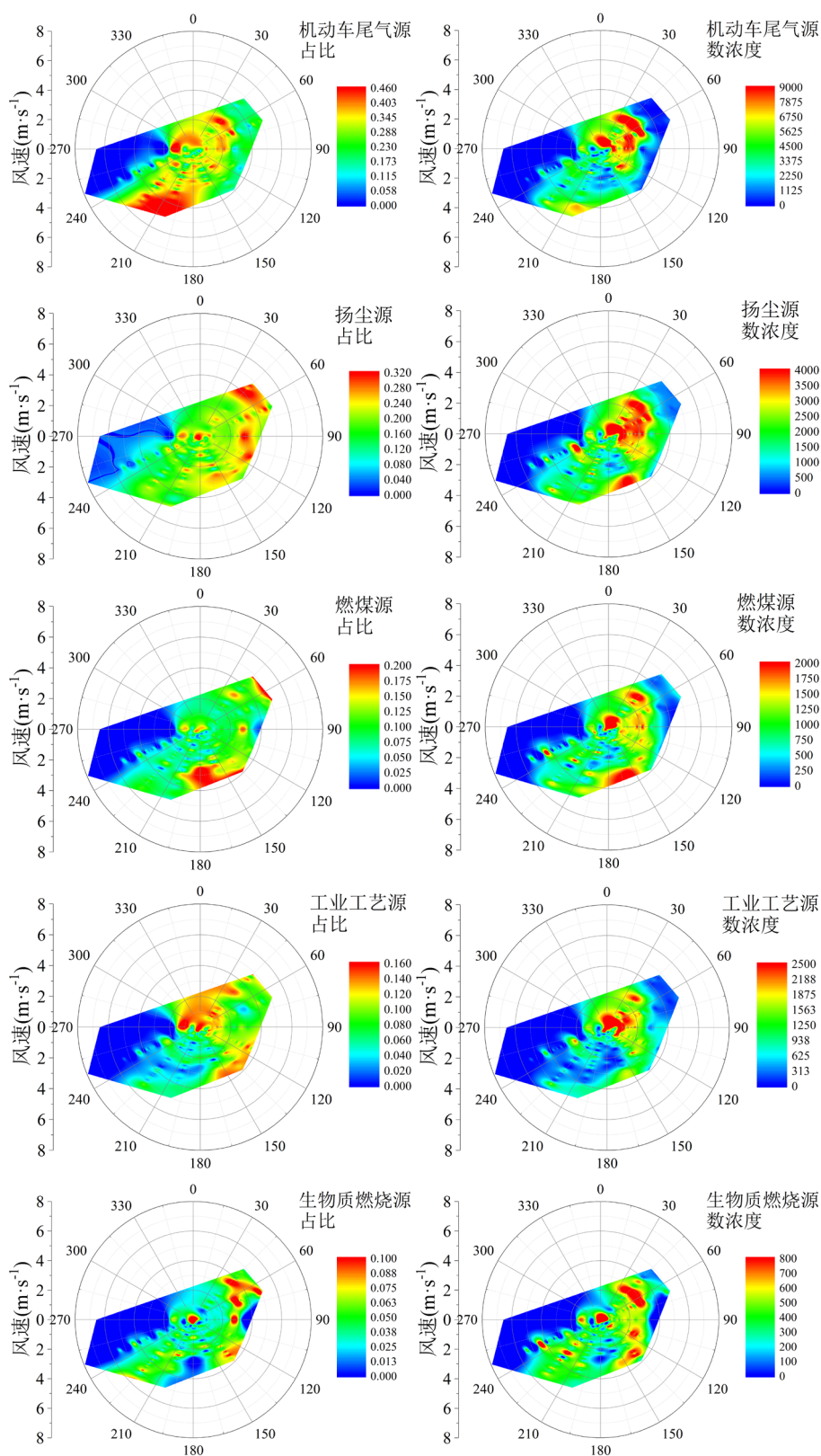


Figure 7. Distribution of wind speed and direction of key pollution sources  
 图 7. 重点污染源风速风向分布情况

升高 9.8 个百分点, 数浓度从 2393 个·小时<sup>-1</sup> 升高至 7062 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.0 倍; 工业工艺源占比从 5.9% 升高至 8.4%, 升高 2.5 个百分点, 数浓度从 619 个·小时<sup>-1</sup> 升高至 1830 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.0 倍)。

2019 年 7 月 27 日, 西南风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 5 时 12 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 11 时 31 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于扬尘源、燃煤源、生物质燃烧源颗粒逐渐累积导致。(扬尘源占比从 14.0% 升高至 21.1%, 升高 7.1 个百分点, 数浓度从 802 个·小时<sup>-1</sup> 升高至 2797 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.5 倍; 燃煤源占比从 15.2% 升高至 21.8%, 升高 6.6 个百分点, 数浓度从 871 个·小时<sup>-1</sup> 升高至 2887 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.4 倍; 生物质燃烧源占比从 4.8% 升高至 7.9%, 升高 3.1 个百分点, 数浓度从 277 个·小时<sup>-1</sup> 升高至 1046 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.8 倍)。

2019 年 8 月 2 日, 东南风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 1 时 8 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 15 时 33 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于机动车尾气源颗粒逐渐累积导致。(机动车尾气源占比从 11.6% 升高至 14.7%, 升高 3.0 个百分点, 数浓度从 388 个·小时<sup>-1</sup> 升高至 1025 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 1.6 倍)。

2019 年 8 月 7 日, 东南风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 6 时 16 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 12 时 32 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于机动车尾气源、扬尘源、生物质燃烧源颗粒逐渐累积导致。(机动车尾气源占比从 28.3% 升高至 38.3%, 升高 10.0 个百分点, 数浓度从 3776 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 11862 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.1 倍; 扬尘源占比从 17.0% 升高至 19.7%, 升高 2.7 个百分点, 数浓度从 2270 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 6103 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 1.7 倍; 生物质燃烧源占比从 2.0% 升高至 3.3%, 升高 1.3 个百分点, 数浓度从 263 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 1025 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.9 倍)。

2019 年 8 月 13 日, 东南风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 20 时 23 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 14 日 3 时 45 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于燃煤源、工业工艺源、餐饮源颗粒逐渐累积导致。(燃煤源占比从 4.8% 升高至 11.8%, 升高 7.0 个百分点, 数浓度从 120 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 613 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 4.1 倍; 工业工艺源占比从 6.6% 升高至 10.2%, 升高 3.7 个百分点, 数浓度从 162 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 530 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 2.3 倍; 餐饮源占比从 1.0% 升高至 3.6%, 升高 2.6 个百分点, 数浓度从 26 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 187 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 6.3 倍)。

2019 年 8 月 20 日, 东南风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 1 时 9 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 14 时 33 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于机动车尾气源颗粒逐渐累积导致。(机动车尾气源占比从 20.3% 升高至 54.4%, 升高 34.1 个百分点, 数浓度从 1097 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 13645 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 11.4 倍)。

2019 年 8 月 22 日, 偏东风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 6 时 9 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 13 时 38 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于机动车尾气源颗粒逐渐累积导致。(机动车尾气源占比从 25.4% 升高至 53.2%, 升高 27.8 个百分点, 数浓度从 3227 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 15167 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 3.7 倍)。

2019 年 8 月 24 日, 偏东风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 11 时 23 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 21 时 51 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于扬尘源、工业工艺源颗粒逐渐累积导致。(扬尘源占比从 14.8% 升高至 19.2%, 升高 4.4 个百分点, 数浓度从 3035 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 5989 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 1.0 倍; 工业工艺源占比从 5.8% 升高至 8.8%, 升高 3.0 个百分点, 数浓度从 1188 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 2760 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 1.3 倍)。

2019 年 8 月 26 日, 偏南风下, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度从 17 时 10 μg·m<sup>-3</sup> 逐步升高至 27 日 2 时 29 μg·m<sup>-3</sup>, 主要是由于工业工艺源颗粒逐渐累积导致。(工业工艺源占比从 5.0% 升高至 13.1%, 升高 8.1 个百分点, 数浓度从 447 个·小时<sup>-1</sup> 增加至 3282 个·小时<sup>-1</sup>, 增加 6.3 倍)。

综上所述, 2019 年 7 月 16 日~2019 年 8 月 31 日不同时段 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的升高会分别受到机动车尾气源、工业工艺源、扬尘源、燃煤源、生物质燃烧源等不同类型源的排放累积影响, 说明溧水区颗粒物来源综合性较强。



**Table 2.** The contribution of pollution sources changed during the period of sharp increase of PM<sub>2.5</sub>  
**表 2.** PM<sub>2.5</sub> 大幅增长时段的污染源贡献变化

日期	风向	初始 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	终止 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	主要增长源
7月21日	东南风	19	42	机动车尾气源、工业工艺源
7月27日	西南风	12	31	扬尘源、燃煤源、生物质燃烧源
8月2日	东南风	8	33	机动车尾气源
8月7日	东南风	16	32	机动车尾气源、扬尘源、生物质燃烧源
8月13日	东南风	23	45	燃煤源、工业工艺源、餐饮源
8月20日	东南风	9	33	机动车尾气源
8月22日	偏东风	9	38	机动车尾气源
8月24日	偏东风	23	51	扬尘源、工业工艺源
8月26日	偏南风	10	29	工业工艺源

#### 4. 结论

1) 监测期间, PM<sub>2.5</sub> 平均质量浓度为 21.0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 质量浓度峰值为 51  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , PM<sub>2.5</sub> 主要来源于机动车尾气源(34.9%)、扬尘源(20.0%)、工业工艺源(10.1%)。

2) 不同时段 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的升高会分别受到机动车尾气源、工业工艺源、扬尘源、燃煤源、生物质燃烧源等不同类型源的排放累积影响, 说明溧水区颗粒物来源综合性较强。

3) 机动车尾气源占比和数浓度高值重合区主要集中在静风天气下或西南、东北风向区域; 扬尘源占比和数浓度高值重合区主要集中在静风天气下或东南、东北风向区域; 燃煤源占比和数浓度高值重合区主要集中在偏南风向区域; 工业工艺源占比和数浓度高值重合区主要集中在静风天气下或东南、偏北风向区域; 生物质燃烧源占比和数浓度高值重合区主要集中在东南、东北风向区域。

#### 参考文献

- [1] 穰敏. 我国大气污染防治工作的思考[J]. 应用能源技术, 2018(5): 5-7.
- [2] 雷宇, 宁淼. 对“十三五”时期挥发性有机物污染防治路径的系统思考[J]. 环境保护, 2017, 45(13): 14-17.
- [3] 黄子龙, 曾立民, 董华斌, 等. 利用 SPAMS 研究华北乡村站点(曲周) 夏季大气单颗粒物老化与混合状态[J]. 环境科学, 2016, 37(4): 1188-1198.
- [4] 王苏蓉, 喻义勇, 王勤耕, 等. 基于 PMF 模式的南京市大气细颗粒物源解析[J]. 中国环境科学, 2015, 35(12): 3535-3542.
- [5] 郑玫, 张延君, 闫才青, 等. 中国 PM<sub>2.5</sub> 来源解析方法综述[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(6): 1141-1154.
- [6] Zhang, G., Bi, X., Li, L., et al. (2013) Mixing State of Individual Submicron Carbon-Containing Particles during Spring and Fall Seasons in Urban Guangzhou, China: A Case Study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **13**, 4723-4735. <https://doi.org/10.5194/acp-13-4723-2013>
- [7] 赵辉, 郑有飞, 吴晓云, 等. 江苏省大气复合污染特征与相关气象驱动[J]. 中国环境科学, 2018, 38(8): 2830-2839.
- [8] 贾梦唯, 赵天良, 张祥志, 等. 南京主要大气污染物季节变化及相关气象分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(9): 2567-2577.
- [9] 沈毅, 王体健, 韩永, 等. 南京近郊主要大气污染物的观测分析研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2009, 45(6): 746-756.
- [10] 吴万宁, 查勇, 王强, 等. 南京地区冬夏季大气重污染个例对比分析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(3): 581-587.
- [11] 龚宇麟, 银燕, 陈魁, 等. 南京北郊秋季气溶胶理化特征及潜在源区分布[J]. 中国环境科学, 2017, 37(11):

4032-4043.

- [12] 秦鑫, 张泽锋, 李艳伟, 等. 南京北郊春季含 Pb 气溶胶粒子来源分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(3): 641-646.
- [13] 张俊, 吉祝美, 咸月, 等. 大气细颗粒物实时在线源解析技术解析盐城市大气细颗粒物来源[J]. 污染防治技术, 2015, 28(2): 18-22.
- [14] 李梅, 李磊, 黄正旭, 等. 运用单颗粒气溶胶质谱技术初步研究广州大气矿尘污染[J]. 环境科学研究, 2011, 24(6): 632-636.
- [15] Jia, M.W., Zhao, T.L., Cheng, X.H., *et al.* (2017) Inverse Relations of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> in Air Compound Pollution between Cold and Hot Seasons over an Urban Area of East China. *Atmosphere*, **8**, 59. <https://doi.org/10.3390/atmos8030059>
- [16] Wang, H.L., Zhu, B., Shen, L.J., Xu, H.H., An, J.L., Xue, G.Q. and Cao, J.F. (2015) Water-Soluble Ions in Atmospheric Aerosols Measured in Five Sites in the Yangtze River Delta, China: Size-Fractionated, Seasonal Variations And Sources. *Atmospheric Environment*, **123**, 370-379. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.070>
- [17] Ming, L., Jin, L., Li, J., Fu, P.Q., Yang, W.Y., Liu, D., Zhang, G., Wang, Z.F. and Li, X.D. (2017) PM<sub>2.5</sub> in the Yangtze River Delta, China: Chemical Compositions, Seasonal Variations, and Regional Pollution Events. *Environment Pollution*, **223**, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.013>
- [18] 周静博, 任毅斌, 洪纲, 等. 利用 SPAMS 研究石家庄市冬季连续灰霾天气的污染特征及成因[J]. 环境科学, 2015, 36(11): 3972-3980.
- [19] 蔡靖, 郑玫, 闫才青, 等. 单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪在细颗粒物研究中的应用和进展[J]. 分析化学. 2015, 43(5): 765-774.
- [20] 付怀于, 闫才青, 郑玫, 等. 在线单颗粒气溶胶质谱 SPAMS 对细颗粒物中主要组分提取方法的研究[J]. 环境科学, 2014, 36(11): 4070-4077.