

于文金, 于步云, 苏荣, 等. 青奥会期间南京市雾霾灾害事件及气溶胶特性分析[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 95–100, 109. [YU Wenjin, YU Buyun, SU Rong, et al. Study on Characteristics of Aerosols during Nanjing Youth Olympic Games[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(3): 95–100, 109.]

## 青奥会期间南京市雾霾灾害事件 及气溶胶特性分析<sup>\*</sup>

于文金, 于步云, 苏荣, 谢涛

(南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 气溶胶对可见度、人体健康、气候变化有重要影响。基于2014年夏季南京江心洲地区外场观测实验数据, 对气溶胶的数浓度、粒径谱分布, 粒子密度、混合状态, 以及黑碳含量进行了分析。结果表明, 观测期间气溶胶粒径集中分布在50~120 nm之间, 平均粒径79 nm, 总数浓度波动较大, 范围为2 000~50 000 cm<sup>-3</sup>, 平均值在9 000 cm<sup>-3</sup>左右; 在本次观测中, 新粒子生成事件较少; 气溶胶主要为内混状态, 存在少量外混状态(约占1.5%); 气溶胶密度主要分布在1.2~1.7 g/cm<sup>3</sup>之间, 气溶胶粒径越大, 密度越大, 表明大粒子中无机物含量多, 有机物含量低; 粒子密度日变化与化学成分日变化相关性较好; 70%的气溶胶中含有黑碳, 200 nm气溶胶中黑碳质量分数最高为7.07%。气象因素对气溶胶微物理特性有明显影响。

**关键词:** 气溶胶; 粒径谱分布; 雾霾; 混合状态; 南京

**中图分类号:** X43; P407; X517 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)03-0095-07

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.03.016

气溶胶是指均匀分散在气体中的液体或固体微粒形成相对稳定的悬浮体系, 分散其中的粒子被称为气溶胶粒子或大气颗粒物。气溶胶的微物理特性主要包括气溶胶的粒子谱分布、密度分布及混合状态, 粒子粒径的大小可以反映粒子的来源, 影响粒子的光学性质和气候效应<sup>[1]</sup>。Hussein<sup>[2-3]</sup>等将气溶胶按照数浓度粒径谱分布特征分为四个模态: 核模态(Nucleation mode, 3~20 nm)、爱根核模(Aitken mode, 20~100 nm)、积聚模(Accumulation mode, 100~1 000 nm)和粗粒子模(Coarse mode, 1.0~10 μm)。气溶胶的粒径大小及谱分布特征对其在大气环境中的行为、停留时间、传输距离等有直接影响<sup>[4-6]</sup>。

雾霾事件是困扰我国东部地区的重要气象灾害, 其中, 气溶胶又是造成雾霾天气灾害的重要因子。研究气溶胶的形成、演化、迁移以及影响因素对于预报、治理雾霾具有重要的理论意义和现实意义, 国际上对于气溶胶的研究已经成为热点问题<sup>[4-12]</sup>, 其中对雾霾天气气溶胶的变化及迁移最为集中<sup>[13-21]</sup>。南京近三年来空气质量达标率逐年下降, 雾霾发生频率高。2014年夏季正值南京青奥会举行, 青奥会前为保证空气质量, 实施了一系列减排管控措施, 因此深入研究气溶胶粒

子谱分布、混合状态及影响因素有利于了解南京夏季气溶胶粒子的变化规律, 同时正确评价青奥会减排措施的效果可为区域污染控制提供依据。

## 1 实验及方法

### 1.1 观测时间及地点

2014年青奥会期间, 南京市气象局(32.04°N, 118.70°E)对该地区气溶胶微物理特性进行了连续观测。观测地点位于距离江心洲东岸大约100 m的南京市气象局观测场内(图1)。在观测点东南方向大约3 km处为奥体中心。该观测点具备规范化的气象要素观测设施, 基础设施完善, 周围交通源排放较少。由于江心洲东岸为南京市自来水采水点, 禁止航运通行, 因此船舶航运相关排放不会对该处造成影响。周边没有明显的污染源, 因此具有一定代表性。

### 1.2 观测方法

#### 1.2.1 粒径谱观测

在观测期间, 应用美国TSI公司的扫描电迁移率粒径谱仪(Scanning Mobility Particle Sizer,

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2015-12-02 修回日期: 2016-03-24

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2013CB430202); 国家自然科学基金(41276187); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

第一作者简介: 于文金(1967-), 男, 山东淄博人, 博士, 教授, 研究方向为区域经济与可持续发展。

E-mail: yuwj@nuist.edu.cn



图1 观测点位置

SMPS)在线测量记录了气溶胶数浓度、粒径谱分布信息,测量粒径范围为10~346 nm,时间分辨率为3 min。SMPS是利用不同带电粒子具有不同电迁移性的原理测定气溶胶粒径分布,其主要由静电分级器(Electrostatic Classifier, EC)(图2)、和凝结核粒子计数器(Condensation Particle Counter, CPC)组成。CPC用于记录分级气溶胶的数浓度。

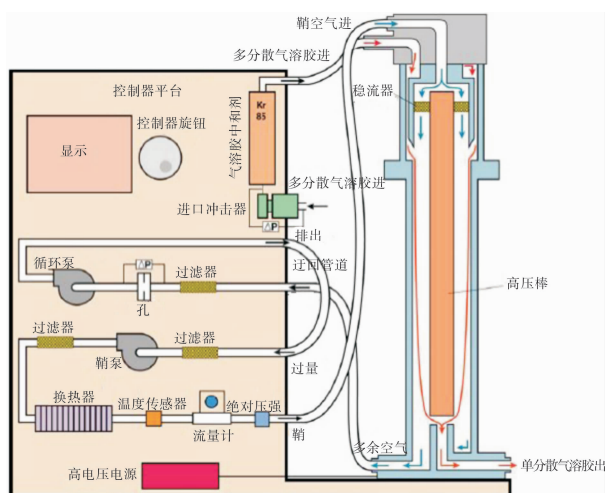


图2 EC内部结构图

### 1.2.2 密度观测

在外场观测中,气溶胶粒子的有效密度由DMA—APM—CPC系统测量。仪器连接如图2所示。气溶胶质量分析仪(aerosol particle mass analyzer, APM)由2根250 mm高的以相同角速度旋转的电极柱组成,内电极柱带正电,外电极柱不带电,从而产生径向电场。通过DMA筛选出的指定粒径的带电粒子进入两电极柱间的环形间隙,在间隙中受到向内的静电力和向外的离心力,当两力平衡时,粒子穿过间隙。APM可通过设置扫描电压及转数测定粒子的质量。本文对粒径为50 nm, 80 nm, 120 nm, 150 nm, 200 nm, 250 nm粒子进行了测量,通过假设气溶胶粒子为球体,根据已知粒径、测定的质量计算得出粒子有效密度。在2014年8月24日~9月3日观测期间,部分样品(120 nm, 150 nm, 200 nm, 250 nm)在进入APM前先进入加热器加热,温度设定为300℃。在150℃下,除硫酸铵外的大气有机成分会挥发<sup>[21]</sup>。在温度为300℃条件下,覆盖成分基本被

去除,去年在江心洲进行的实验中发现温度升高至350℃时,质量几乎没有变化,因此设定加热温度为300℃,并认为剩余的未挥发的内核为黑碳。通过对比加热前后气溶胶质量和数量的变化可得出粒子中的黑碳含量。

### 1.3 数据质量控制

#### (1) SMPS 粒径校正

SMPS本身所测粒径的准确性直接影响所测结果的可靠程度,所以在使用SMPS做外场观测之前需对粒径进行校正。本次校正实验结果如图3所示。

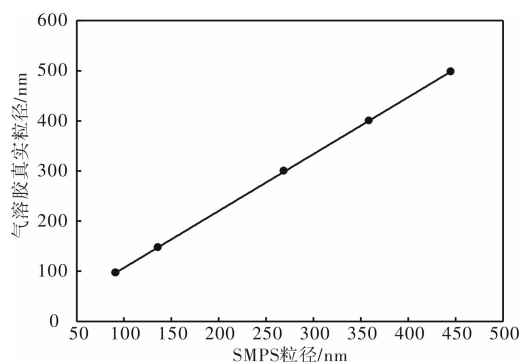


图3 SMPS粒径校正线性回归

校正基本原理是:将一滴固定粒径的PSL(Polystyrene latex spheres, PSL)小球溶解入超纯水里,经雾化器产生气溶胶,干燥后的气溶胶由DMA全扫描,可以得到SMPS测量粒径结果。校正过程中DMA鞘气样气流量分别是3 L/min和0.3 L/min,一次全扫描设置时间为3 min。将SMPS所测得的粒径结果和真实的PSL粒径一一对应起来,得到SMPS显示粒径和气溶胶真实粒径的关系。

#### (2) APM 粒径校正

APM通过设置扫描电压和转数,电场力和离心力平衡可以测量颗粒物的质量,在实验开始之前用已知粒径和密度大小的PSL小球对APM进行校正。

## 2 结果与讨论

### 2.1 气象条件

气象条件影响气溶胶的积累、转化、去除<sup>[22]</sup>,从而影响气溶胶的性质。图4为8月13日至9月3日观测点的各气象要素的时间序列图。总体来看,观测期间南京风向改变频繁,主要以东风为主,风速较低,基本在5 m/s以下,平均风速为2.0 m/s,污染物易于累积,不利于扩散清除。观测期内湿度与温度呈现明显的日变化规律,相对湿度明显较高,平均约为88.3%,高湿度环境下有利于气溶胶的吸湿增长。温度平均值约为24.2℃,与2013年夏季相比,温度明显降低。通常认为水平能见度小于5 km时有轻雾或霾,观测期间能见

度小于 5 km 的情况占 65%, 能见度平均值为 4 620 m, 说明观测期间能见度水平较低。观测期间的降水情况如图 4 所示, 共有 8 d 有明显降水, 总降水量达 153 mm, 降水过程持续 2 h 到 24 h 不等, 其中 10 min 最大降水量达 11.8 mm。

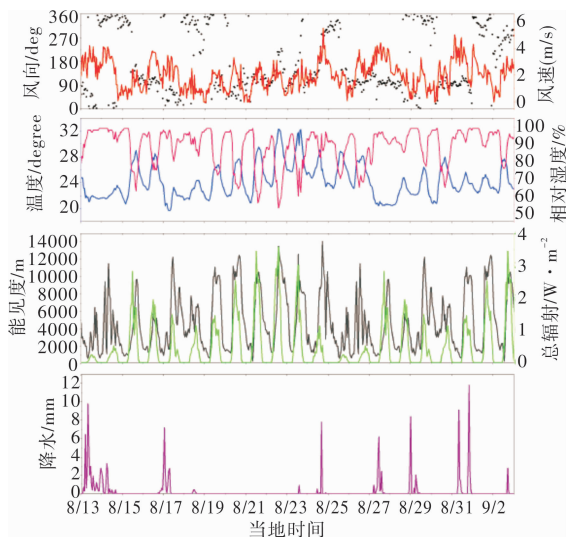


图4 观测期间气象要素数据: 风向(黑点)、风速(红线)、温度(蓝线)、相对湿度(粉线)、能见度(灰线)、总辐射(绿线)、降水(紫线)

## 2.2 气溶胶数浓度、粒径谱分布

### 2.2.1 气溶胶粒径、数浓度分布

图 5 展示了观测期间气溶胶粒径及总数浓度的时间变化序列。由图 5a 可知观测期间气溶胶粒径集中分布在 50 ~ 120 nm 之间, 平均粒径为 79 nm, 这与南京气溶胶粒子以超细粒子(10 ~ 120 nm)为主的结论相符。相比于其他时间, 17 ~ 19 日之间的气溶胶粒径整体较低, 均在 80 nm 以下, 可能是由于 17 日的降水过程对颗粒物有一定清除作用, 而且青奥会实施的减排措施也减少了颗粒物的排放。粒径分布的时间序列中偶有低值出现, 如 28 日出现粒径为 30 nm 的粒子, 很可能与新粒子生成有关。如图 5b 所示, 气溶胶总数浓度波动较大, 范围为 2 000 ~ 50 000  $\text{cm}^{-3}$ , 平均值在 9 000  $\text{cm}^{-3}$  左右。同样在 17 ~ 19 日, 气溶胶数浓度较低, 原因可能是 17 日的降雨过程及略高的风速使得污染物浓度较低, 同时正值青奥会, 周边加强了减排措施, 施工工地停工, 这应该是多方面共同影响的结果。在 22 ~ 23 日出现了较高数浓度值, 平均在 10 000  $\text{cm}^{-3}$  以上, 最高值接近 50 000  $\text{cm}^{-3}$ 。结合后向轨迹发现, 22 ~ 23 日为典型的局地污染气团, 气团从海上向内陆移动, 经过一次污染物排放较多的城区, 携带大量颗粒物, 且气团移动速度缓慢, 移动轨迹短, 污染物易于积累转化, 因此使得区域气溶胶数浓度升高, 能见度降低。

### 2.2.2 新粒子生成事件

在气溶胶数谱分布中, 如果有峰值出现在小于 30 nm 粒径范围内, 这可能与新粒子生成事件有

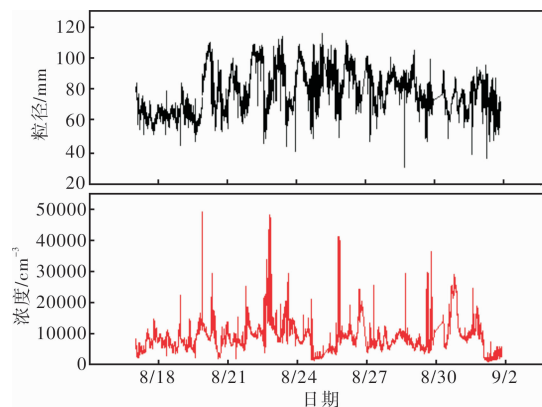


图5 观测期间粒径及数浓度分布

关。目前, Dal maso 基于长期观测提出的新粒子生成事件判定标准被广泛接受, 具体标准是: ①气溶胶的粒径谱分布中出现一个新模态; ②新模态最初出现在 3 ~ 25 nm 的核模态范围内; ③该模态不会立即消失, 会在大气中存留一段时间; ④新模态会在短时间内迅速增长。本次江心洲观测设置的 SMPS 仪器精度为 8.2 ~ 346 nm, 对小粒子(< 10 nm)数浓度变化的观测不够准确, 但是可以根据所测的粒径范围内粒子数浓度及其增长趋势的变化, 判断新粒子的生成。基于 Dal maso 的判断标准, 对江心洲观测期间的数据进行分析发现在 8 月 22 日有一次新粒子生成事件(图 6)发生。

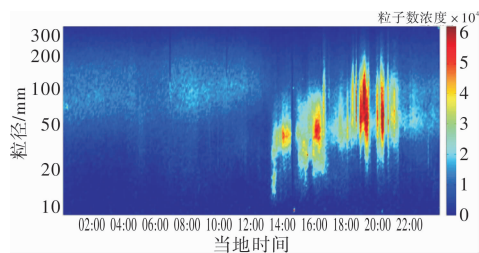


图6 气溶胶粒径谱分布

8 月 22 日早上风向为东风, 之后风向一直向南方偏转, 至夜晚转变为南风, 东风向南风的转变过程, 使得气象因素不稳定, 往往此时会有新粒子生成事件发生。图 6 展示了 8 月 22 日气溶胶的粒径谱分布, 反映了一次新粒子生成事件。此次事件始于中午 12 点左右, 持续至晚间结束。最初气溶胶粒径谱分布峰值在 10 ~ 30 nm 左右, 在较短时间内, 粒子迅速增长至 50 nm, 同时数浓度也随之增加, 在下午 17:00 左右, 粒子增长至 100 nm, 增长结束, 期间最大数浓度达  $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 。此时正值夏季, 午后太阳辐射最强, 光化学反应活跃, 气-粒转化过程加快, 会产生大量如硫酸盐, 硝酸盐等二次气溶胶物质, 凝结在颗粒物表面, 粒子粒径会在短时间内迅速增长。

### 2.2.3 降雨对粒径谱分布的影响

在降雨过程中, 雨滴会将空气中的气溶胶微粒携带至地面, 从而会影响其数谱分布。已有研究

发现降水量过大或过小对气溶胶粒子的清除作用都不明显,雨量适中且降雨持续时间久,有利于气溶胶粒子的去除。图7展示了8月27日降雨前后的气溶胶数谱分布情况。8月27日从早上5:00开始降雨,直至下午17:00降雨结束,降雨过程持续了12 h,累积降水量为16.2 mm。由下图可知,降雨前后,气溶胶数谱分布发生明显变化,数浓度峰值由 $10\,000\text{ cm}^{-3}$ 降至 $8\,000\text{ cm}^{-3}$ ,数浓度峰值对应粒径由降雨前的60 nm增加至100 nm。粒径在30~100 nm的气溶胶数浓度下降明显,而粒径大于120 nm的气溶胶数浓度无明显变化,这与谭稳等在南京的观测结论一致。这表明降雨对30~100 nm气溶胶有明显去除作用,而对120 nm以上的粒子几乎没有影响。

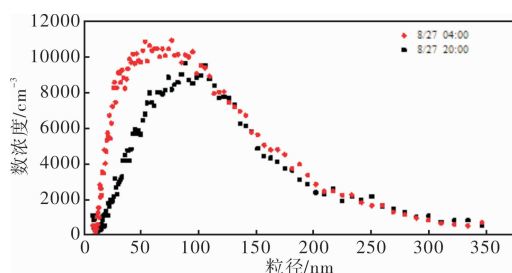


图7 降雨前后气溶胶数谱分布

## 2.3 气溶胶密度及混合态

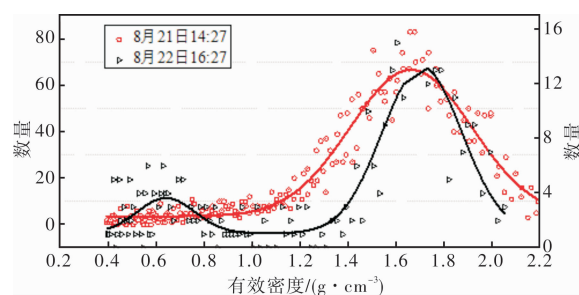
### 2.3.1 粒子混合状态

由于不同物质密度不同,可根据气溶胶的密度分布了解其大致的化学组成。气溶胶中常见物质的密度有:新鲜排放的黑碳密度仅为 $0.1\sim0.6\text{ g/cm}^3$ ,因此在外场观测中,通常将密度 $<1$ 的峰定义为新鲜排放或轻微老化的黑碳;海盐粒子密度较高,约为 $2.17\text{ g/cm}^3$ ;硝酸铵、硫酸铵的密度为 $1.76\text{ g/cm}^3$ ;大部分有机物的密度在 $1.2\sim1.6\text{ g/cm}^3$ 范围内;硫酸铵与有机物内混后密度约为 $1.65\text{ g/cm}^3$ 。

图8为150 nm粒子在8月21日和8月22日不同时间的密度分布图。在8月21日,密度呈单峰分布,表明粒子为内部混合状态。密度峰值范围为 $1.5\sim2.0\text{ g/cm}^3$ ,峰值位于 $1.68\text{ g/cm}^3$ 处。由此可以推测,气溶胶粒子中可能含有硝酸铵、硫酸铵、及小部分有机物等成分。在8月22日,密度分布为典型的双峰分布,即为颗粒物的外混状态。一个峰值位于 $1.66\text{ g/cm}^3$ 处,表明颗粒物中含有大部分的硫酸盐和部分有机物;另一个较低峰值出现在 $0.66\text{ g/cm}^3$ 处,说明有新鲜排放或轻微老化的黑碳存在。

### 2.3.2 不同粒径气溶胶的密度分布

图9为观测期间的气溶胶密度的时间变化序列图,包括粒径为50 nm, 80 nm, 120 nm, 150 nm, 200 nm, 250 nm的气溶胶,其中200 nm、250 nm气溶胶的观测时间为8月24日~9月3日。由图9



(红线为8月21日14:27,黑线为8月22日16:27)

图8 150 nm粒子的密度分布

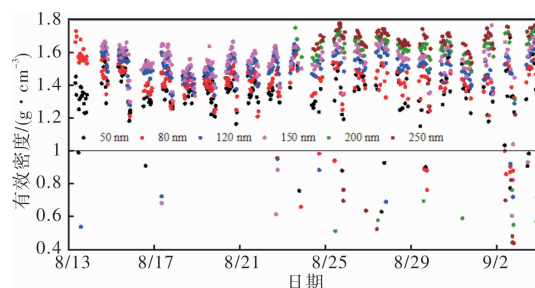


图9 观测期间不同粒径的气溶胶密度分布

可知,整个观测期内,粒子密度集中分布在 $1.2\sim1.7\text{ g/cm}^3$ 范围内,与2013年夏季江心洲观测结果一致。50 nm, 80 nm, 120 nm, 150 nm, 200 nm, 250 nm气溶胶粒子的平均密度依次为 $1.38\text{ g/cm}^3$ ,  $1.43\text{ g/cm}^3$ ,  $1.51\text{ g/cm}^3$ ,  $1.55\text{ g/cm}^3$ ,  $1.64\text{ g/cm}^3$ ,  $1.67\text{ g/cm}^3$ ,可以看出粒径越大,密度越大。无机盐,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的密度约 $1.76\text{ g/cm}^3$ ,有机物密度约 $1.2\sim1.6\text{ g/cm}^3$ ,因此,表明大颗粒物中无机盐所占的比例较大,有机物的比例较小。密度变化较平稳,无明显波动。统计得出98.5%的时间气溶胶密度呈单峰分布,即气溶胶主要为内混状态,存在少量外混状态(约占1.5%)。除50 nm粒子外,其他气溶胶粒子均存在双峰分布的情况,双峰分布与新鲜排放的黑碳有关,这说明新鲜排放的黑碳在小粒径气溶胶中出现概率极低。需要注意的是,在双峰没有出现的情况下,不能说明黑碳不存在,只能说明存在的黑碳已经老化或处于内混状态。

图9中9月2日密度低于 $1\text{ g/cm}^3$ 的粒子较多,是明显的外混情况,说明存在大量新鲜排放或轻微老化的黑碳。9月2日主要为西南风向,风速较低,约为 $1.7\text{ m/s}$ ,不利于污染物的扩散清除。结合后向轨迹发现9月2日(图10蓝线所示)为典型的局地污染型气团。气团最初来源于海上,进入内陆后经过安徽、江苏其他城市等地到达南京。其中,安徽为秸秆燃烧的集中区域,当地还存在火电厂,说明会有大量新鲜黑碳气溶胶被排放。局地污染气团经过时,会携带这些未及老化的黑碳气溶胶到达南京,因此出现了较多的密度低值。

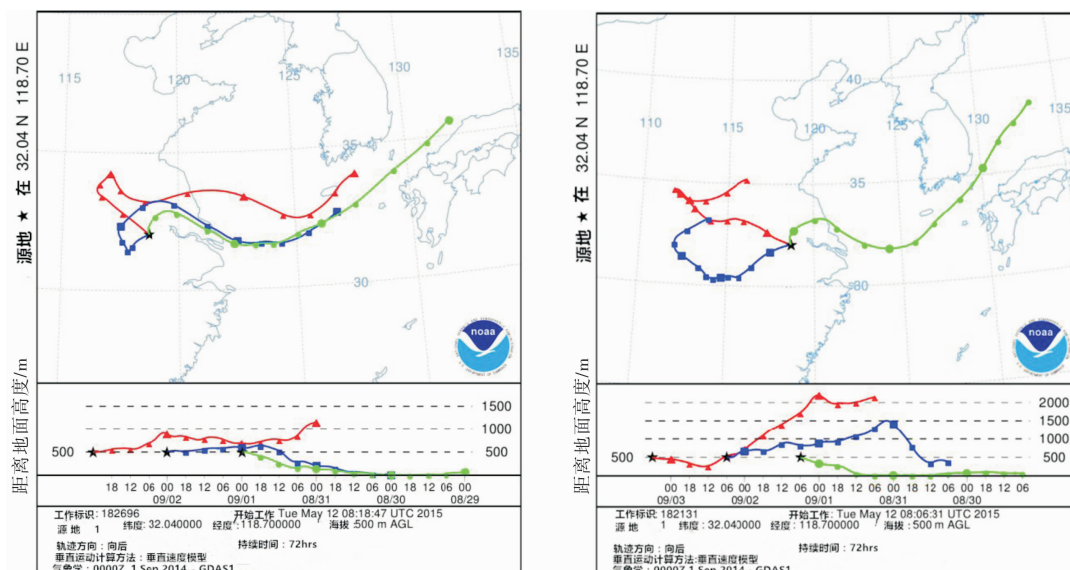


图10 9月1-3日后向轨迹图

### 2.3.3 气溶胶密度的日变化

图11展示了观测期间50 nm, 80 nm, 120 nm, 150 nm粒子密度日变化情况。各粒径粒子的密度主要分布在 $1.35 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 之间, 密度分布整体较为平稳, 相较于大粒径气溶胶, 小粒径气溶胶密度变化幅度大。气溶胶密度日变化的规律是: 密度从12:00开始上升, 在下午15:00左右达到密度峰值, 随后逐渐下降。密度下降的原因可能与晚高峰交通源排放的BC及居民烹饪排放的有机物增加有关。结合气溶胶质谱仪(AMS)观测数据(图12), 发现中午时段硫酸盐粒子质量浓度较上午明显增长, 同时密度较低的BC及有机物在此时段质量浓度不断下降。午后太阳辐射剧烈, 光化学反应增强, 较多密度大的组分与气溶胶混合, 可能是导致气溶胶密度升高的原因。在16:00以后, 低密度的BC( $0.6 \text{ g/cm}^3$ )与有机物( $1.2 \text{ g/cm}^3$ )质量浓度迅速升高, 这与晚间交通源及生活源排放增加的结果一致, 说明气溶胶粒子密度降低与之相关。

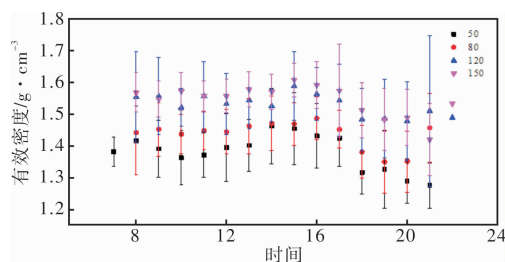


图11 观测期间气溶胶密度日变化

### 3.4 青奥会减排措施的有效性

为保证南京青奥会期间空气质量达标, 南京市及周边地区在青奥会期间采取了一系列减排措施, 主要包括对工业排放和扬尘的严格管控。为应对不利气象条件的影响, 江苏全省及安徽三市

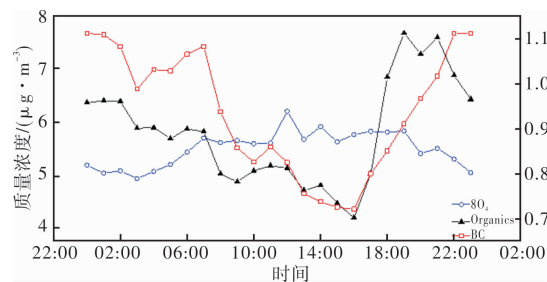


图12 硫酸根、有机物、BC的质量浓度日变化

在8月11-28日先后四次(11-12日、15-16日、21-23日、26-28日)启动特别加强方案, 要求重点企业应急限产、停产, 施工工地停工。由于这些减排措施的启动, 南京市在青奥会期间的空气质量100%达标, 为历年最高。因此可说明这一系列减排措施对保障空气质量、降低空气污染有明显的效果。AMS观测数据如图13所示。由图13a可以看出, 在启动加强方案后, PM1及其中的化学组分均有下降, 说明减排措施对降低细粒子含量具有一定有效性。PM1中各成分的质量分数如图13b所示, 其中, 硝酸盐的质量分数为17.3%, 高于2013年江心洲的观测结果(5.38%)。硝酸盐的一个主要来源为交通排放, 分析原因可能是南京近年来机动车保有量持续上升, 青奥会期间未对机动车采取限行等管控措施, 导致交通源排放贡献率增加。这表明若对交通源进行严格管控可得到更好的减排效果。

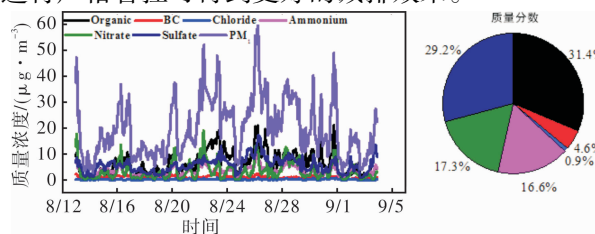


图13 PM1中各化学成分的质量浓度及质量分数

### 3 结论

(1) 观测期间, 气溶胶粒径集中分布在 50 ~ 120 nm 之间, 平均粒径 79 nm, 总数浓度波动较大, 范围为 2 000 ~ 50 000  $\text{cm}^{-3}$ , 平均值在 9 000  $\text{cm}^{-3}$  左右。8 月 22 日出现典型的新粒子生成事件, 新粒子在下午 14:00 开始生成, 17:00 左右增长结束, 粒子增长至 100 nm, 期间数浓度最大值为  $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ , 但在整个观测期间新粒子生成事件较少。

(2) 观测期间, 50 nm, 80 nm, 120 nm, 150 nm, 200 nm, 250 nm 气溶胶粒子的平均密度分别为 1.38  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1.43  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1.51  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1.55  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1.64  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1.67  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 可以看出气溶胶粒径越大, 密度越大。大颗粒物中无机盐所占的比例较大, 有机物的比例较小。密度分布中低于 1  $\text{g}/\text{cm}^3$  的密度出现与新鲜排放的黑碳有关。南京夏季气溶胶主要为内混状态, 存在少量外混状态 (约占 1.5%)。密度有明显日变化规律, 密度从 12:00 开始上升, 在下午 15:00 左右, 达到密度峰值, 随后逐渐下降。这与硫酸盐、有机物、黑碳的日变化有良好的相关性。相较于大粒径气溶胶, 小粒径气溶胶密度变化幅度更大。

(3) 70% 的气溶胶中有黑碳存在, 粒径越大, 以黑碳为核的气溶胶越多, 250 nm 气溶胶中以黑碳为核的气溶胶比例最高, 为 76%。气溶胶中黑碳的质量分数在一定范围内随粒径增加而增大, 在 200 nm 的气溶胶中黑碳质量分数最高, 为 7.07%。

(4) 气象因素对气溶胶微物理特性有显著影响。其中, 降雨对 30 ~ 100 nm 气溶胶有明显去除作用, 而对 120 nm 以上的粒子几乎没有影响。不同来源的气团对气溶胶数谱分布影响较大, 局地污染气团会导致气溶胶数浓度升高, 能见度下降。

(5) 青奥会期间的减排措施对保障空气质量有明显效果, 若对交通源采取管控措施, 可以达到更好的效果。

本次论文仍有一定不足之处, ①对气溶胶粒径谱分布的分析, 数据选取的时间序列较短, 不能全面反映该地区气溶胶的粒径特征; ②气象因素对气溶胶特性影响复杂, 本文着重对降雨、风向及风速进行了分析, 未能对各项因素综合分析。

### 参考文献:

- [1] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [2] Hussein T. Indoor and outdoor aerosol particle size characterization in Helsinki [J]. Report Series in Aerosol Science, 2005, 21(6): 41–53.
- [3] Hussein T, Dal Maso M, Petaja T, et al. Evaluation of an automatic algorithm for fitting the particle number size distributions [J]. Boreal environment research, 2005, 10(5): 337–355.
- [4] Heinzenberg J, Covert D C, Dingenen R V, et al. Size distribution and chemical composition of marine aerosols: a compilation and review [J]. Tellus B, 2000, 52(4): 1104–1112.
- [5] 周生圳. 我国典型城市和高山地区碳质气溶胶及单颗粒混合状态研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [6] Zhang R Y, Khalizow A F, Pagels J, et al. Variability in morphology, hygroscopicity, and optical properties of soot aerosols during atmospheric processing [J]. PNAS, 2008, 105(30): 10291–10296.
- [7] Woo K S, Chen D R, Pui D Y H, et al. Measurement of Atlanta aerosol size distributions: Observations of ultrafine particle events [J]. Aerosol Science and Technology, 2001, 34(1): 75–87.
- [8] Kim S. Size distribution and diurnal and seasonal trends of ultrafine particles in source and receptor sites of the Los Angeles basin [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, 52(3): 297–307.
- [9] Ruuskanen J, Tuch T, Ten Brin H, et al. Concentrations of ultrafine, fine and PM<sub>2.5</sub> particles in three European cities [J]. Atmospheric Environment, 2013, 5(21): 3729–3738.
- [10] Morawska L, Jayaratne E R, Mengersen K, et al. Differences in airborne particle and gaseous concentrations in urban air between weekdays and weekends [J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(27): 4375–4383.
- [11] Kikas U, Mirme A, Tamm E, et al. Statistical characteristics of aerosol in Baltic Sea region [J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 1996, 101(D14): 19319–19327.
- [12] 王红磊. 南京市大气气溶胶理化特征观测研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
- [13] 张养梅. 京津冀地区亚微米气溶胶特征及其变化的观测分析研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2011.
- [14] 银燕, 陈晨, 陈魁, 等. 黄山大气气溶胶微观特性的观测研究[J]. 大气科学学报, 2010, 33(2): 129–136.
- [15] 胡敏, 刘尚, 吴志军, 等. 2004 年北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J]. 环境科学, 2006, 27(11): 2293–2298.
- [16] 李军霞, 银燕等, 李培仁, 等. 山西夏季气溶胶空间分布飞机观测研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(8): 1950–1959.
- [17] 银燕, 郭莉, 顾敬, 等. 南京夏季清洁与污染区气溶胶微物理特征分析[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(6): 280–286.
- [18] 尚倩, 李子华, 杨军等. 南京冬季大气气溶胶粒子谱分布及其对能见度的影响[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2750–2760.
- [19] Levy M E, Zhang R Y, Khalizow A F, et al. Measurements of submicron aerosols in Houston, Texas during the 2009 SHARP field campaign [J]. Geophysical Research. Atmosphere, 2013, 118: 10518–10534.
- [20] Kuwata M, Kondo Y, Takegawa N, et al. Critical condensed mass for activation of black carbon as cloud condensation nuclei in Tokyo [J]. Geophysical Research: Atmosphere, 2009, 114, D20202.
- [21] Kuwata M, Kondo Y. Dependence of size-resolved CCN spectra on the mixing state of nonvolatile cores observed in Tokyo, J. Geophys. Res., 2008, 113, D19202, doi: 10.1029/2007JD009761.
- [22] 刘子锐, 孙杨, 李亮, 等. 2008 奥运和后奥运时段北京大气颗粒物质量浓度和数浓度比研究[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 913–923.

(下转第 109 页)

## The Drought and Flood Evolution Law in the Guanzhong Area and the Analyses of the Present Century's Drought and Flood Characteristics

LEI Xiangjie<sup>1</sup>, LI Qian<sup>1</sup>, WANG Juan<sup>1</sup>, LI Hualong<sup>2</sup>,  
LI Hongmei<sup>2</sup> and LEI Tianjiao<sup>3</sup>

(1. Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014, China; 2. Shaanxi Province Agriculture Information Center for Remote Sensing, Xi'an 710014, China; 3. Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** Based on the 1961 – 2014 precipitation data in Guanzhong area, integrated the existing research results of meteorological drought and flood, the drought and flood of agricultural and hydrology in Guanzhong area, the use of statistical methods of linear trend analysis of drought and flood in Guanzhong area, the status and evolution were analyzed, results showed that: ① the general trend of drought and flood changes of nearly 50 years of Guanzhong area as less rainfall, the meteorological drought days the number, intensity, hydrological drought, agricultural drought tended to be serious. ② Drought and flood in Guanzhong area are significant differences in twentieth Century 90, the least rainfall, hydrological, meteorological drought and agricultural drought is the most serious, the early 80's the most precipitation, flood is the most serious. ③ since the beginning of this century in Guanzhong area showed an increasing trend in precipitation, meteorological drought days decreased, intensity, flood frequency increased. ④ 5 years in the future is expected to Guanzhong area rainfall may increase slightly, flood frequency.

**Key words:** Guanzhong area; drought and flood; variation tendency; decadal variability; spatial and temporal distribution; trend forecast

(上接第 100 页)

## Study on Characteristics of Aerosols during Nanjing Youth Olympic Games

YU Wenjin, YU Buyun, SU Rong and XIE Tao

(Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Aerosols have major impacts on visibility, human health, and climate. During the field observation in Nanjing Meteorological Bureau last summer, SMPS and APM are used to measure microphysical characteristics of aerosols, including particle number concentration, size distribution, density, mixing state, black carbon. During the measurement period, the particle size ranges from 50 nm to 120 nm, and the average particle size is 79 nm. The total concentration varies between  $2000 \text{ cm}^{-3} \sim 50\,000 \text{ cm}^{-3}$ , and the average concentration is around  $9000 \text{ cm}^{-3}$ . The new particle formation has little occurrence during this period. Aerosols are often internally mixed, while the externally mixed aerosols only account for 1.5%. The particles' density mainly concentrates between  $1.2 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ . The density increases with the particle size, indicating a large mass fraction of sulfate and a small concentration of organics in larger particles. The density shows a distinctive diurnal cycle, which corresponds to the diurnal cycle of chemical compositions. 70% of aerosols containing black carbon, BC mass fraction increase with particle size, reaching a peak at 200 nm, then decreases. The meteorological factors have a significant effect on aerosol properties.

**Key words:** aerosol; particle size distribution; fog; mixing state