

南京夏季清洁与污染区气溶胶微物理特征分析

谭稳, 银燕*, 郭莉, 顾敬, 伏珊, 董良鹏, 张明明, 郭艳君, 李凌

(南京信息工程大学中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室, 江苏 南京 210044)

摘要:为研究南京地区大气气溶胶粒子的微物理特征,于2008年8月~2008年9月在南京北郊和南京紫金山对照点进行了大气气溶胶观测。文章分析了气溶胶的浓度、谱分布、日变化特征以及降水对其数浓度的影响。结果表明,南京北郊大气气溶胶日平均数浓度约是紫金山的2.6倍,最大值数量级高达 10^6 ,比紫金山高出2个量级,南京北郊气溶胶数浓度谱分布呈单峰分布,紫金山观测区呈双峰分布,峰值都集中在爱根核模态,气溶胶的表面浓度分布集中在积聚模态,质量浓度则主要集中在积聚模态和粗粒子模态,气溶胶表现出明显的日变化,紫金山观测区上午达到全天最大值,南京北郊午后达到全天最大值,受人为活动影响较大,气溶胶的数浓度与降水强度呈负相关性,降水对粒径范围为 $0.02\mu\text{m}$ ~ $0.1\mu\text{m}$ 的气溶胶有很强的清除作用。

关键词: 大气气溶胶; 清洁区; 污染区; 微物理特征

中图分类号: X51 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2010.6E.074 文章编号: 1003-6504(2010)6E-0280-07

Analysis of the Micro-physical Characteristics of Aerosol Particles in Clean and Pollution Area in Summer of Nanjing

TAN Wen, YIN Yan*, GUO Li, GU Jing, FU Shan, DONG Liang-peng,

ZHANG Ming-ming, GUO Yan-jun, LI Ling

(Key laboratory for Atmospheric Physics and Environment of China Meteorological Bureau, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Using the data of ambient aerosols observed in Nanjing Area in August and September, 2008. The concentration, Diurnal variations, spectrum distribution characteristics of Aerosols and the relationship of aerosol particles number concentration with precipitation were analyzed in this paper. The results indicated that the daily average concentration of ambient aerosol in northern suburb of Nanjing was much higher than in Purple Mountain of Nanjing, which were about 2.6 times higher than Purple Mountain, and its quantitative of the aerosols was reached to 10^6 was more than two quantitative in Purple Mountain; the aerosol spectrum in northern suburb of Nanjing showed a single peak distribution, but a double peak in Purple Mountain, the peak of the aerosol spectrum were both in Aitken mode; The mainly distribution of surface concentration was under the Accumulation mode, and the mass concentration was distributed in the Accumulation and Coarse mode; the number concentration of aerosols in the observation area showed a significant diurnal variation, And the concentration of ambient aerosol reached the maximum in the morning of the day. In the northern suburb of Nanjing, the concentration of ambient aerosol reached the maximum in the afternoon, Human production activities made a greater impact on the change of the concentration of ambient aerosol; the number concentration of aerosols was negatively correlated to the precipitation intensity, the precipitation process on the wiping off action to the particle was obvious, especially to the particle size range of $0.02\mu\text{m}$ ~ $0.1\mu\text{m}$.

Key words: ambient aerosol; clean area; pollution area; micro-physical characteristics

大气气溶胶(Ambient Aerosol)是大气与悬浮在空气中的固体和液体微粒共同组成的多相体系。通常把粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物称为 PM_{10} ,又称为可吸入颗粒物或飘尘。可吸入颗粒物(PM_{10})在环境空气中存留

的时间很长,对人体健康和大气能见度影响都很大^[1]。近年来,大气气溶胶作为环境问题中的热点,日益受到人们的关注,国内外对大气气溶胶进行了大量的研究。大气气溶胶不仅引起气候的变化,还与臭氧层的

收稿日期: 2010-02-08; 修回: 2010-05-27

基金项目: 江苏省大学生创新实践项目(N1885008231), 国家973预研课题(2009CB426313), 江苏省高校科技创新团队项目

作者简介: 谭稳(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气成分变化与区域气候效应。(电子信箱)tbayern@126.com * 通讯作者, 男, 教授, 博士, 主要研究方向为大气气溶胶与云降水相互作用, 大气成分及其气候效应。(电子信箱)yinyan@uist.edu.cn

Copyright reserved. <http://www.cnki.net>

破坏^[2-5]、酸雨的形成、光化学烟雾等事件的发生相关。气溶胶作为悬浮在大气中的颗粒物是影响气候变化的重要因素之一,它不仅能够散射和吸收太阳辐射,而且还可以作为云凝结核,改变云的微物理结构和光学特性并延长云的寿命^[6-7]。另外,PM_{2.5}颗粒物极易被人体吸入并沉积在肺部,其自身的毒性和携带的细菌将有可能严重危害人体的健康。因此,加强对气溶胶的研究,制定相应的预防措施,不仅有利于生态环境的改善,对人们的身体健康也具有重要的意义。

南京市是我国重要的工业城市之一,随着城市的快速发展,工业、生活、交通和建筑等各类人为源向空气中排放了大量的烟尘和粉尘粒子,使得大气污染物的逐年增加。国内学者对南京地区的气溶胶进行了大量的研究,近十几年来,南京地区大气气溶胶污染日趋加重,直径为 0.01 μm ~1 μm 的细颗粒物浓度显著增加,且具有明显的日变化与日际变化^[8]。而在 1993 年^[9],南京北郊冬季粒径范围为 0.3 μm ~10 μm 的气溶胶粒子平均数浓度仅为 135.5 个/cm³。南京市城区的气溶胶的谱分布呈双峰,在不同的季节的变化差异也很大,具有显著的季节变化,气溶胶浓度秋季比夏秋要大^[10],不同粒径的气溶胶夏季和冬季的变化趋势一致,且粒径小于 2.1 μm 的细粒子占很大比例^[11]。在前人工作的基础上,本文在南京市区和郊区各自设立了观测点,希望以此来加强对比,说明南京地区地面大气气溶胶粒子的微物理特征。另外,本文观测所采用的宽范围颗粒粒径谱仪(Wide range Particle Spectrometer,简称 WPS),也是当前测量大气气溶胶较先进的仪器之一,在观测的数据精度上比以往更高。最后,本文结合自动气象站资料分析了南京地区大气中气溶胶(粒径范围 0.01 μm ~10 μm)的粒径分布、日变化及降水冲刷作用等微物理特征。通过本文的研究,希望能为南京市大气气溶胶及大气环境的研究提供一个基础的参考资料。

1 资料与方法

1.1 观测仪器

本文观测所用的仪器是美国 MSP 公司生产的宽范围粒径谱仪(WPS),可对 0.01 μm ~10 μm 粒径范围的气溶胶颗粒进行自动计数和粒径分级,同时可计算颗粒物的表面积浓度和体积浓度。该仪器有两种配置可供选择:配置 A(WPS):测量的颗粒范围宽 0.01 μm ~10 μm (本次观测所采样的配置);配置 B(Scanning Mobility Spectrometer,简称 SMS):测量粒度在 0.01 μm ~0.5 μm 的气溶胶颗粒。WPS 仪器的采样流量为 1.0L/min,其中 DMA 流量 0.3L/min、LPS 流量为

0.70L/min,分辨率为 120 个颗粒粒径通道。

1.2 采样时间与方法

为了增强对南京污染地区大气气溶胶微物理特征的认识,本研究特地选定了—个相对清洁的区域进行了观测,该观测地点位于南京东郊紫金山风景区内四方城(后文中简称紫金山观测区),该观测区空气相对清洁,在本研究中代表南京市市区清洁地区与南京北郊进行对比,仪器观测位置距离地面高度约为 1.5m,观测时间是 2008 年 8 月 20 日~8 月 28 日;南京北郊的观测点位于南京信息工程大学农业气象试验站二楼,仪器观测位置距离地面高度约为 3.0m,南京北郊有扬子石化公司、南化集团公司、南钢集团公司等一批大型石化、钢铁、电力企业,这些企业在生产期间每天都会向空气中排放大量的细颗粒物;另外南京北郊观测点附近有宁—六高速公路,汽车尾气的排放会使得南京北郊地区大气污染程度相对较高,此观测点代表南京北郊污染地区,观测时间是 2008 年 9 月 1 日~9 月 15 日。

观测期间 WPS 仪器设定的循环时间为 5min,观测期间进行了定期检修和标定,以确保测量结果的准确可靠。WPS 仪器全天不间断观测,同时还使用自动气象站同步观测的气象要素资料。观测期间,天气状况多为晴朗,期间发生三次降雨,为了使观测期间 2 个观测点所观测的资料具有可比性,这三次数据挑出来进行单独处理。由于 WPS 在相对湿度为 0~90%范围内能有效工作,根据观测期间自动气象站的资料除去了相对湿度大于 90%情况下的观测数据,最后选取了 8 月 20 日~8 月 28 日,9 月 1 日~9 月 15 日观测期间的 22 个观测日的有效数据并结合自动气象站的资料进行了分析。

2 结果与讨论

2.1 气溶胶的粒径分布、数浓度、质量浓度和表面积浓度

大气颗粒物或称气溶胶粒子,Whitby^[12]概括提出了气溶胶粒子的三模态模型。按照这种模型,大气颗粒物通常呈三模态分布,即粒径(空气动力学直径 D_p)小于 0.08 μm 的爱根核模态(Aitken mode)、粒径为 0.08 μm ~2.0 μm 的积聚模态(Accumulation mode)和粒径大于 2.0 μm 的粗粒子模态(Coarse mode)。本文为了研究爱根核模态中 0.01 μm ~0.02 μm 范围的气溶胶数浓度的比例,特地将爱根核模态分为 0.01 μm ~0.02 μm 和 0.02 μm ~0.08 μm 两个粒径范围来对气溶胶粒径分布进行统计。本文根据 Whitby 的三模态模型,结合国内学者的研究,将所观测的大气气溶胶粒子按直径

(D_p) 分为 4 档来进行统计, 即 $0.01\mu\text{m} < d \leq 0.02\mu\text{m}$ 、 $0.02\mu\text{m} < d \leq 0.08\mu\text{m}$ 、 $0.08\mu\text{m} < d \leq 2.0\mu\text{m}$ 和 $2.0\mu\text{m} < d \leq 10\mu\text{m}$ 。

粒径范围为 $0.01\mu\text{m} \sim 0.08\mu\text{m}$ 气溶胶的数浓度南京北郊大约占 92.225%、紫金山观测区大约占 79.120%(表 1), 可见, 爱根核模态的粒子在气溶胶体系中是最主要的部分, 这与济南(2007)^[13]观测结果相一致。紫金山观测区空气质量较为良好, 与南京北郊相比, 超细粒子在大气气溶胶中所占的比例有相似之

处, 积聚模态的粒子的数浓度两地相差不大。产生这种结果的主要原因是南京北郊观测区附近宁——六高速公路每天都有大量的汽车尾气排放、周边居民区燃料燃烧排放的一次气溶胶, 以及空气中污染气体通过化学反应均相成核生产大量的二次气溶胶粒子, 而紫金山观测区的人类生产活动相对较少。

与国内部分城市相比较(表 2), 南京地区的气溶胶污染都处于一个较高的水平。

粒径为 $0.08\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 的气溶胶质量浓度在南京

表 1 观测区不同粒径范围内气溶胶的数浓度、质量浓度及表面积浓度

浓度	粒径范围 (μm)	平均值		最大值		最小值		平均值所占百分率(%)	
		紫金山	北郊	紫金山	北郊	紫金山	北郊	紫金山	北郊
数浓度 (cm^{-3})	0.01~0.02	6436	17394	78140	889017	110	155	31.063	32.831
	0.02~0.08	9957	31467	82152	4442625	1960	2058	48.057	59.394
	0.08~2.0	4325	4118	37714	995750	1	1	20.875	7.773
	2.0~10	1	1	6	8	0	0	0.005	0.002
质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	0.01~0.02	0.015	0.037	0.370	3.610	0.000	0.000	0.000	0.165
	0.02~0.08	2.120	1.413	10.560	203.230	0.010	0.010	2.025	6.235
	0.08~2.0	90.737	18.446	296.490	574.560	13.140	0.290	86.668	81.385
	2.0~10	11.824	2.769	96.450	574.560	0.290	0.000	11.294	12.215
表面积浓度 ($\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$)	0.01~0.02	5.76	14.64	113.41	1794.58	0.00	0.10	0.92	2.54
	0.02~0.08	76.44	200.40	745.65	27122.77	2.80	3.12	12.23	34.70
	0.08~2.0	532.81	356.16	2748.53	53739.02	10.60	32.30	85.22	61.68
	2.0~10	10.20	6.23	140.89	105.98	0.00	0.00	1.63	1.08

注 * 假定气溶胶密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

表 2 国内不同地区夏季 PM_{10} 数浓度比较

地区	济南 ^[13] (2007)	沈阳 ^[14] (2008)	南京紫金山 (本文)	南京北郊 (本文)
数浓度(cm^{-3})	3594	2212.2	5180	13245

地区气溶胶体系中所占比例最大, 南京北郊约占 93.6%、紫金山观测区约占 98.0%。从质量浓度上看, 积聚模态的气溶胶粒子在三个模态中所占比例最大, 这与气溶胶数浓度恰恰相反, 爱根核模态的细粒子所占比例几乎可以忽略。从不同粒径范围的气溶胶的质量浓度看, 除了 $0.01\mu\text{m} \sim 0.02\mu\text{m}$ 南京北郊高于紫金山观测区, 其他粒径段都小于紫金山地区, 这说明紫金山地区颗粒物污染仍很严重, 虽然是植被覆盖率较高, 但在城市边缘, 受城市的影响很大, 且是旅游发达地区, 人为污染仍较严重。

气溶胶的表面积浓度分布与气溶胶质量浓度分布状况相似, 依然是积聚模态的气溶胶粒子所占的比例最大, 由表 1 可见, 表面积浓度的分布情况是, 南京北郊积聚模态的气溶胶表面积浓度占 61.68%, 紫金山观测区占 85.22%。粗粒子在气溶胶表面积浓度上所占的比例并不大, 南京北郊和紫金山观测区所占比例分别 1.08% 和 1.63%。

综上, 无论是在南京北郊污染区, 还是在紫金山清洁区, 气溶胶的数浓度分布有相似之处, 即爱根核模态的气溶胶粒子所占的比例最大, 大气气溶胶中的粗粒子所占比例非常小, 大气中颗粒物向更小的粒子变化已经非常明显; 在质量浓度上看, 积聚模态的气溶胶粒子所占比例最大, 超细粒子所占的质量浓度比例很少, 而表面积浓度几乎全部集中在爱根核模态与积聚模态的气溶胶粒子。从数浓度、质量浓度和表面积浓度三者的浓度分布来看, 粗粒子模态的气溶胶所占的比例都较小, 这表明, 粗粒子在大气中所占有的比例较小, 大气颗粒物有向更小的粒子变化的趋势。

另外, 2008 年 8 月~9 月, 南京北郊气溶胶数浓度最大值高达 4442625cm^{-3} , 紫金山观测区的气溶胶数浓度最大值为 82152cm^{-3} , 与南京北郊相比, 低了约 2 个数量级。南京北郊大气气溶胶数浓度比南京市高的多, 可能的原因是南京北郊观测点附近重工业工厂较多, 向空气中排放的烟尘、颗粒物较多, 总体污染比较严重; 另外, 汽车尾气的排放、居民区生活燃煤燃烧, 这也是气溶胶粒子增加的一个很重要的原因。有研究表明, 近年来南京地区频繁发生轻雾、霾等能使天气能见度下降的现象, 也可能与大气气溶胶数浓度的增

加和气溶胶粒子的细化有很大的关系^[14-15]。因此,提倡人们使用清洁能源、加强对工厂排放颗粒物的监管、保护我们所生存的环境势在必行。

2.2 谱分布特征

2.2.1 气溶胶的数浓度谱分布

图 1 是观测期间两个观测区的大气气溶胶日平均谱分布。

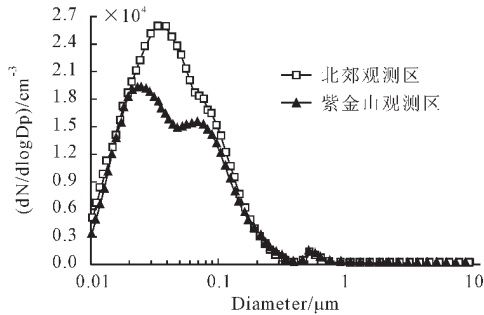


图1 气溶胶的数浓度谱分布

由图 1 可见,南京北郊气溶胶数浓度高于紫金山观测区,南京北郊气溶胶日平均数浓度谱谱型成单峰型结构,峰值集中在 $0.03\mu\text{m}\sim 0.04\mu\text{m}$ 粒径范围,而紫金山观测区气溶胶数浓度谱分布呈双峰(或者称为向单峰过渡的双峰),峰值分别集中在 $0.02\mu\text{m}\sim 0.03\mu\text{m}$ 、 $0.07\mu\text{m}\sim 0.09\mu\text{m}$ 的粒径范围, $0.07\mu\text{m}\sim 0.09\mu\text{m}$ 粒径范围的气溶胶数浓度少于 $0.02\mu\text{m}\sim 0.03\mu\text{m}$ 粒径范围的气溶胶数浓度。由于两个观测区的大气所受污染程度不同,气溶胶的数浓度谱表现出明显的差异。钱凌等^[8]利用 WPS 观测研究了 2006 年南京北郊 $\text{PM}_{2.5}$ 的分布特征,得到南京北郊气溶胶数浓度谱分布峰值集中在 $0.02\mu\text{m}\sim 0.05\mu\text{m}$,与本文南京北郊观测区的气溶胶数浓度谱相比较,南京北郊气溶胶谱的峰值变化特征向更小的粒径范围变化。

2.2.2 气溶胶的质量浓度谱分布

气溶胶的质量浓度指单位体积空气中粒子的总质量,是评价城市大气污染程度的重要指标,在 WPS 的观测原理中,假定气溶胶密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$,得到了两个观测区的质量浓度平均分布(见图 2)。

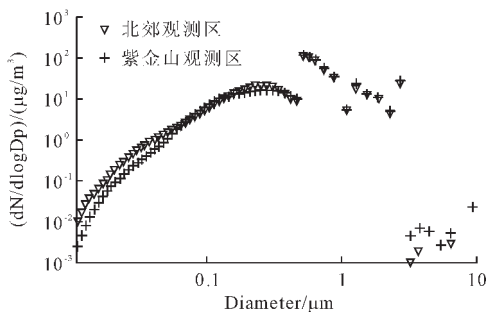


图2 气溶胶的质量浓度谱分布

由图 2 可见,南京北郊气溶胶的质量浓度在爱根

核模态高于紫金山观测区,而在积聚模态内二者相差不多,在粗粒子模态,南京北郊气溶胶质量浓度明显低于紫金山观测区。且气溶胶的质量浓度谱峰值在 $0.3\mu\text{m}$ 左右。从气溶胶的质量浓度谱线,并结合表 1 可以看出,粒径 $0.4\mu\text{m}$ 以上的气溶胶粒子虽然数浓度不是很多,但在粒子质量谱中却占很大的比重,是不可忽视的一部分。

2.2.3 气溶胶的表面积浓度谱分布

气溶胶的表面积浓度为单位体积空气中粒子的总表面积,气溶胶的表面积浓度是大气非均相化学反应的重要参数。

由图 3 可见,气溶胶的表面积浓度与气溶胶的质量浓度分布有相似之处,粗粒子模态的气溶胶表面积浓度南京北郊要小于紫金山观测区,而在细粒子范围,南京北郊气溶胶表面积浓度高,南京北郊气溶胶表面积浓度谱峰值在 $0.2\mu\text{m}$ 左右,紫金山观测区气溶胶表面积浓度谱峰值在 $0.1\mu\text{m}$ 左右。

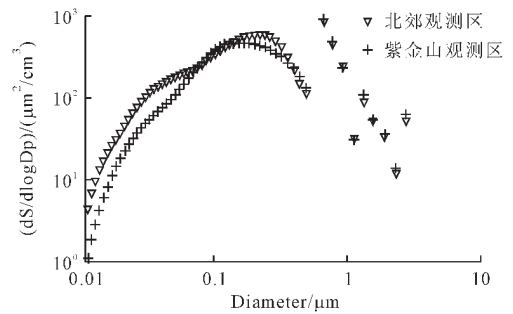


图3 观测区气溶胶的表面积浓度谱比较

2.3 日变化特征

大气细颗粒物数浓度日夜变化主要受气象条件、局地排放源(如交通源)以及局地颗粒物成核现象的影响较大,气溶胶粒子数浓度受源排放、平流、湍流等多种因素影响^[16-17]。图 4 是观测期间南京北郊和紫金山观测区大气气溶胶的平均日变化。

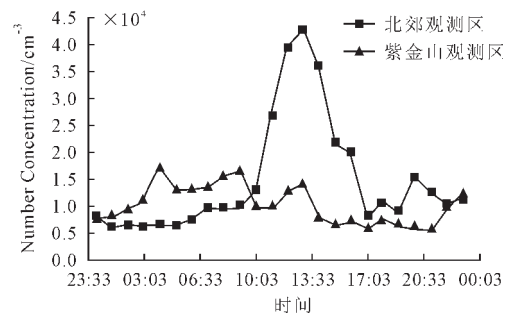


图4 南京夏季气溶胶数浓度的日变化

由图 4 可见,南京北郊观测区的大气气溶胶数浓度从凌晨开始缓慢上升,到午间 9:00 左右上升的趋势增强,到下午 13:00 左右,气溶胶数浓度达到当天的最大值,主要原因是周边地区的工厂生产排放大量

的烟尘及污染气体,且午后气温较高,这些污染气体在空气中发生二次反应,生成大量的二次气溶胶粒子,使得大气中细粒子增多,另外,观测区位于宁—六高速公路一侧,汽车尾气排放、道路交通扬尘的累积以及周边居民区人类生活活动影响也较大;其后气溶胶数浓度开始下降,可能的原因是通常午后湍流强,空气处于不稳定状态时,有利于扩散;到 16:00 左右气溶胶数浓度下降趋势减缓,可能的原因是下班高峰期汽车尾气排放以及居民区化石燃料燃烧,使得大气细颗粒物不断增多;夜间气溶胶数浓度会有所上升,是因为夜间温度较低,随着形成逆温层,近地面逆温层使得大气污染物在地面上停滞积聚。

紫金山观测区气溶胶数浓度日变化总体比较平缓,从凌晨开始不断上升,4:00 左右到当天的最大值,可能的原因是夜间温度较低、大气层结处于稳定状态,垂直气流较弱,且容易出现逆温,不利于污染物扩散,使得污染物积聚。有研究表明,低空气溶胶浓度与稳定度呈正相关关系^[18]。因此夜间稳定的大气层结使得大气气溶胶数浓度增高;其后气溶胶数浓度稍稍下降,至上午 9:00 时段达到当天的一个极大值,是因为上午 6:00~9:00 时段正是人们上班出行的高峰期,人类生产活动增多、汽车尾气排放以及周边居民区化石燃料的燃烧,都会使空气中气溶胶颗粒物的数浓度上

升;其后气溶胶数浓度会下降,到午后 13:00 左右气溶胶数浓度上升到当天的另一个峰值,可能的原因是午后 13:00 左右气温较高,有利于大气中光化学反应的进行,通过气—粒转化生产大量的二次气溶胶粒子;其后下降,到夜间 21:00 后气溶胶数浓度会有所上升,可能的原因是夜间气温降低,边界层上层形成稳定的逆温层结,由于逆温层结阻挡左右,造成污染物汇聚。

综上所述,南京市夏季清洁区与污染区的大气气溶胶日变化特征明显不同,除受日夜交替引起的大气边界层结构变化影响外,人为活动对气溶胶的日变化有着明显的影响。污染区的日变化受人活动的较大影响,清洁区日变化则主要受自然大气物理变化过程的影响。

2.4 降雨对细粒子的湿清除作用

2008 年 8 月 20 日~2008 年 9 月 15 日观测期间,共有三次降水发生。在南京北郊的观测中发生了 2 次降水,分别是 2008 年 9 月 4 日下午 13:30 左右有小雨,持续时间约 45min;以及 2008 年 9 月 8 日上午 9:30 左右有小雨,9:50 左右雨停,天气转为阴天。在南京市观测的期间,2008 年 8 月 21 日夜晚 23:23 左右有降水,持续时间约 1 小时。表 3 是对这三次降雨前、雨中和雨后大气气溶胶平均数浓度的统计。

表 3 降雨对大气气溶胶数浓度的影响

观测区	观测时间	气溶胶平均数浓度(cm^{-3})			天气现象		
		雨前	雨中	雨后	雨前	雨中	雨后
北郊	2009-9-4	9405	7836	6160	阴	小雨	阴
	2008-9-8	6939	5017	2939	阴	小雨	多云
紫金山	2009-8-21	8973	6279	3501	多云	中雨	多云

由表 3 可见,降水初期,气溶胶的数浓度整体较高;降雨中,气溶胶粒子的数浓度会下降;降水停止后,气溶胶的数浓度降到最低。在降水的冲刷下,空气中气溶胶的粒子数迅速降低。比较三次降雨的天气现象,中雨天气气溶胶数浓度比小雨天气减少的更多,初步确定降水强度越大,气溶胶数浓度减少的越多,即气溶胶的数浓度与降水强度呈负相关性。

降水对气溶胶的浓度有明显的影,降水强度越大对气溶胶冲刷作用越大^[19]。在 2008 年 8 月~9 月观测期间的三次降水中,有两次小雨,一次中雨,为了明显的将雨前、雨中、雨后气溶胶的数浓度谱分布清楚的表示出来,图 4 给出了三次降水雨前、雨中、雨后气溶胶数浓度的谱分布状态。

由前文分析,大气中粗粒子模态的气溶胶无论是在数浓度、质量浓度,还是表面积浓度上都比爱根核模态和积聚模态的气溶胶粒子少。图 5、图 6 描述了爱根核模态及积聚模态降水前后气溶胶的变化。从图中

可以明显的看出,三次降水后气溶胶的数浓度明显的降低了,雨前、雨中及雨后相比,0.01 μm ~0.2 μm 范围的气溶胶数浓度明显降低,这与钱凌等^[8]分析的降水对南京北郊大气细颗粒物数浓度谱的分布相吻合,但降雨对大于 0.3 μm 的粒子冲刷效果并不明显。8 月 21 日的降水中,降水对 0.01 μm ~0.2 μm 粒径范围的气溶胶粒子冲刷作用较大,9 月 4 日的降水中,0.02 μm ~0.1 μm 粒径范围的颗粒物降水前后明显减少,9 月 8 日的降水中,0.01 μm ~0.3 μm 粒径范围的气溶胶粒子被大量冲刷,降水前、后的气溶胶数浓度谱变化可以很清楚的反应冲刷的效果。比较三次降水气溶胶数浓度谱分布图,降雨对 0.02 μm ~0.1 μm 粒径范围的气溶胶数浓度冲刷效果显著。

综上所述,降水对气溶胶的冲刷作用是非常明显的,降水过程中及降水后气溶胶的数浓度迅速降低,降水对粒径范围为 0.01 μm ~0.3 μm 的气溶胶有明显的去除作用,对粒径范围为 0.02 μm ~0.1 μm 的气溶胶

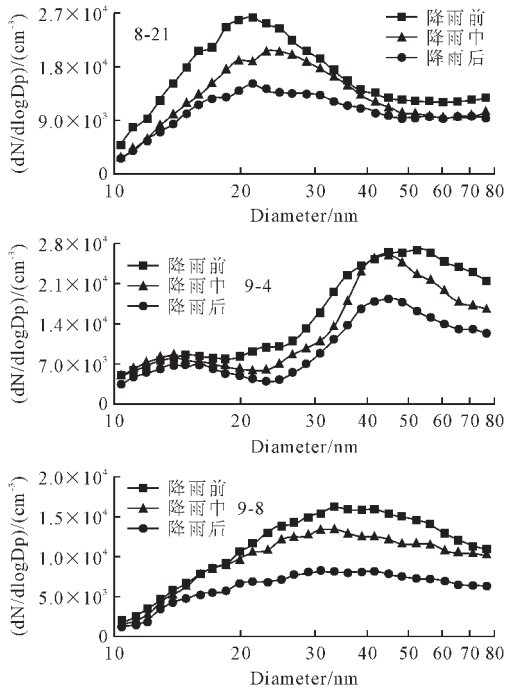


图5 降水对爱根核模态气溶胶的冲刷作用

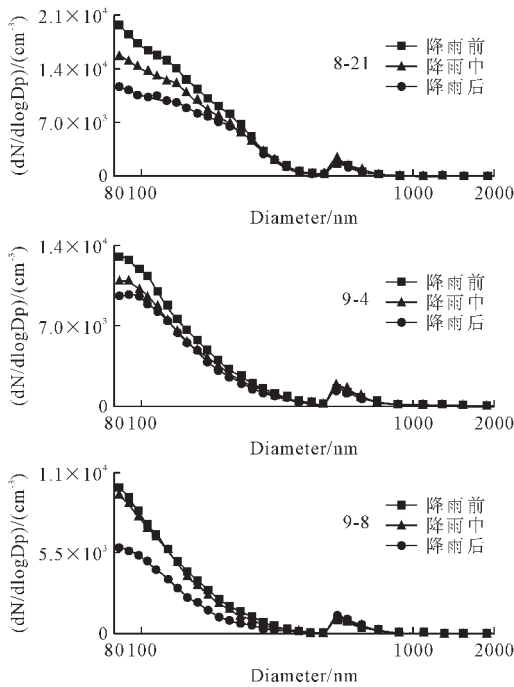


图6 降水对积聚模态气溶胶的冲刷作用

有很强的清除作用。三次降水对气溶胶粒子的冲刷程度各不相同, 作者认为这与气溶胶粒子谱的类型、观测区域的大气污染程度以及降雨的强度等因素有很大关系。本节对三次降水的分析, 说明了南京地区降雨对气溶胶的清除作用。但由于观测期间降水次数的限制, 所收集到的观测资料有限, 对于说明南京地区降水对气溶胶的湿清除状况, 以及分析更细致的降水对气溶胶粒子谱的冲刷状况, 存在一定的局限性。对于降水对气溶胶的湿清除作用, 还需开展大量的观测

和研究。

3 结论

本文对南京市夏季污染程度不同的区域进行了观测, 得到了不同污染区大气气溶胶的微物理特征。有以下结论:

(1) 南京北郊气溶胶数浓度平均值约为 13245cm^{-3} , 约是紫金山清洁区的 2.6 倍; 南京北郊气溶胶数浓度最大值量级达到 10^6 , 比紫金山清洁区高出 2 个量级, 大气气溶胶污染比较严重, 南京地区气溶胶粒子向细粒子方向变化趋势明显, 爱根核模态的大气气溶胶在整个大气气溶胶体系中所占比例最大。

(2) 南京北郊污染大气气溶胶数浓度谱分布主要呈单峰型, 峰值主要集中在 $0.02\mu\text{m}\sim 0.04\mu\text{m}$ 的粒径段; 紫金山相对清洁区大气气溶胶数浓度谱分布呈向单峰过渡型的双峰, 表明紫金山观测区大气受到了一定的污染, 但与南京北郊相比, 所受的污染程度相对较小, 南京北郊细粒子气溶胶的质量浓度与表面积浓度小于紫金山观测区, 大粒子方面, 二者相反。

(3) 紫金山观测区大气气溶胶日变化上午达到全天最大值, 受人类活动和局地交通源的影响较大, 南京北郊大气气溶胶午后达到全天最大值, 主要受工业粉尘、人类生产活动, 汽车尾气等因素的影响。

(4) 降水对气溶胶的数浓度的影响非常明显, 降水过程中及降水后气溶胶的数浓度迅速降低, 降水对细粒子的冲刷作用较大, 特别是对粒径范围为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.3\mu\text{m}$ 的气溶胶有明显的去除作用, 对粒径范围为 $0.02\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 的气溶胶有很强的清除作用, 气溶胶的数浓度与降水强度呈负相关性。

(5) 在南京地区选取具有代表意义的地点进行长期的观测, 得出大气气溶胶四季的变化特征, 以及探索南京地区大气气溶胶的源汇机制, 是今后需要开展的工作, 有待于进一步去深入研究。

[参考文献]

- [1] Harrison RM, Shi JP, Jones MR. Continuous measurement of aerosol physical properties in the urban atmosphere [J]. Atmospheric Environment, 1999, 33(7): 1037-1047.
- [2] Fendel W, Matter D, Burtscher H, et al. Interaction between carbon or iron aerosol particles and ozone [J]. Atmospheric Environment, 1995, 29(9): 967-973.
- [3] Solomon S, Garcia RR, Thomason LW, et al. The role of aerosol variations in anthropogenic ozone depletion at northern mid-latitudes [J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(D3): 6713-6727.
- [4] Magda C, Bim G, Gyorgy V, et al. Formation of Secondary Organic Aerosols through Photo-oxidation of Isoprene [J].

Science, 2004, 300(5661): 1173-1176.

- [5] 王革丽, 吕达仁, 杨培才. 人类活动对大气臭氧层的影响[J]. 地球科学进展, 2009, 24(3): 331-337.

Wang ge-li, Lv da-ren, Yang pei-cai. On the Effect of Atmospheric Ozone by the Human Activities[J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(3):331-337. (in Chinese)

- [6] 刘强, 王明星, 李晶, 等. 1999.大气气溶胶研究现状和发展趋势[J]. 中国粉体技术, 5(3):17-23.

Liu qiang, Wang ming-xing, Li jing, et al. Present research on atmospheric aerosol and its trends[J]. China Powder Science and Technology, 1999, 5(3):17-23. (in Chinese)

- [7] 王明星, 张仁健. 大气气溶胶研究的前沿问题[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(1): 119-124.

Wang ming-xing, Zhang ren-jian. Frontier of atmospheric aerosols researches[J]. Climatic and Environmental Research, 2001, 6(1): 119-124. (in Chinese)

- [8] 钱凌, 银燕, 童尧青, 等. 南京北郊大气细颗粒物的粒径分布特征[J]. 中国环境科学, 2008, 28(1): 18-22.

Qian ling, Yin yan, Tong yao-qing, et al. Characteristics of size distributions of atmospheric fine particles in the north suburban area of Nanjing[J]. China Environmental Science, 2008, 28(1): 18-22. (in Chinese)

- [9] 陈金荣, 周文贤, 安强. 南京冬季大气气溶胶的物理特征[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(3): 374-378.

Chen J R, Zhou W X, An Q. Physical characteristic of winter time atmospheric aerosols at suburbs of Nanjing [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1996, 19(3): 374-378. (in Chinese)

- [10] 王荟, 王格慧, 高士祥, 等. 南京市城区气溶胶粒子分布特征[J]. 江苏环境科技, 2002, 15(3): 4-5.

Wang hui, Wang ge-hui, Gao shi-xiang. et al. Distribution characteristics of aerosol particle in Nanjing city proper[J]. Jiangsu Environment Science and Technology, 2002, 15(3): 4-5. (in Chinese)

- [11] 张予燕, 黄辉军, 刘红年, 等. 南京市大气气溶胶颗粒物污染特点[J]. 环境科学导刊, 2009, 28(1): 57-58.

Zhang yu-yan, Huang hui-jun, Liu hong-nian, et al. Characteristics of aerosol particles pollution in Nanjing[J]. Environmental Science Survey, 2009, 28(1): 57-58. (in Chinese)

- [12] Whitby K T. The physical characteristics of sulfur aerosols [J]. Atmospheric Environment, 1978, 41(supp.1): 25-49.

- [13] 高健, 王进, 程淑会, 等. 济南夏季大气颗粒物分布特征及来源机理分析 [J]. 中国科学院研究生学报, 2007, 24(5): 680-687.

Gao jian, Wang jin, Cheng shu-hui, et al. Studies on characteristics of size distribution and formation mechanism of fine particle matters in summer of Ji'nan[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2007, 24(5): 680-687. (in Chinese)

- [14] 严文莲, 周德平, 王扬峰, 等. 沈阳冬夏季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征[J]. 应用气象学报, 2008, 19(4): 435-443.

Yan wen-liang, Zhou de-ping, Wang yang-feng, et al. Concentrations and Size Distributions of Inhalable Particles in summer and winter in Shenyang [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19 (4): 435-443. (in Chinese)

- [15] 童尧青, 银燕, 钱凌, 等. 南京地区灰霾天气特征分析[J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 584-588.

Tong yao-qing, Yin yan, Qian ling, et al. Analysis of the characteristics of hazy phenomena in Nanjing area[J]. China Environmental Science, 2007, 27(5): 584-588. (in Chinese)

- [16] 闵敏, 王普才, 宗雪梅, 等. 灰霾过程中的气溶胶特性观测研究[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(2): 153-160.

Min min, Wang pu-cai, Zong xue-mei, et al. Observation and study on aerosol properties in hazy days[J]. Climatic and Environmental Research, 2009, 14 (2): 153-160. (in Chinese)

- [17] Kim S, Shen S, Sioutas C, et al. Size distributions and diurnal and seasonal trends of ultra fine particles in source and receptor sites of the Los Angeles basin[J]. Journal of the Air and Waste Management, 2002, 52(3): 297-307.

- [18] Morawska L, Jayarantne 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.

- [19] 孙玉稳, 段英, 吴志会. 石家庄秋季大气气溶胶物理特征分析[J]. 气象, 1999, 22(2): 40-43.

Sun yu-wen, Duan ying, Wu zhi-hui. The analysis of physical feature of aerosol particles in autumn over Shijiazhuang area [J]. Meteorological Monthly, 1999, 22 (2): 40-43. (in Chinese)

- [20] 吴玉霞, 沈志来, 黄美元. 重庆地区降水对气溶胶浓度及雨水中离子浓度的影响[J]. 高原气象, 1993, 10(1): 52-60.

Wu yu-xia, Shen zhi-lai, Huang mei-yuan. Effect of precipitation on the concentrations of both the aerosol and the Ion of rainwater in Chongqing area[J]. Plateau Meteorology, 1993, 10(1): 52-60. (in Chinese)