

黄山山底大气气溶胶数浓度日变化

陈潇潇¹, 金莲姬^{1*}, 朱靖民^{1,2} (1.南京信息工程大学中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 江苏 南京 210044; 2.唐山市气象灾害防御指挥中心, 河北 唐山 063000)

摘要: 利用美国 MSP 公司生产的宽范围粒径谱仪(WPS)于 2011 年 5 月至 9 月在黄山山底(寨西)采集的气溶胶观测数据, 分析了黄山山底大气气溶胶数浓度的日变化特征. 结果表明晴天气溶胶数浓度日变化特征明显, 气溶胶粒子总数浓度在 6:00, 12:00 和 18:00 达到峰值. 人为活动, 湍流混合及山谷风是影响黄山山底气溶胶日变化的主要因素. 剔除交通污染时段后, 气溶胶粒子数平均浓度减少 319 个/cm³, 即减少 12.17%. 其中, 0.01~0.02 μm, 0.02~0.05 μm, 0.05~0.1 μm, 0.1~0.5 μm, 0.5~1.0 μm, 1.0~2.5 μm 粒径段气溶胶粒子数浓度分别降低了 31.32%, 20.29%, 6.59%, 7.49%, 1.23%, 2.51%. 机动车尾气排放对 0.01~0.05 μm 粒径段气溶胶的影响最明显, 其气溶胶浓度降低百分比为 25.81%.

关键词: 黄山; 大气气溶胶; 数浓度; 日变化; 旅游交通污染

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)07-1167-07

Daily variation of atmospheric aerosol number concentrations at the foot of Mount Huangshan. CHEN Xiao-xiao¹, JIN Lian-ji^{1*}, ZHU Jing-min^{1,2} (1.Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2.Tangshan Meteorological Disaster Prevention Command Center, Tangshan 063000, China). *China Environmental Science*, 2013,33(7): 1167~1173

Abstract: The number concentrations for atmospheric aerosol and its daily variation were discussed by the data collected with a Wide-Range Particle Spectrometer (WPS) (manufactured by MSP. Ltd.) at the foot of Mount Huangshan (Zhaixi) from May to September, 2011. Obvious diurnal variation for atmospheric aerosol number concentrations was found in sunny days. The total aerosol number concentrations exhibited peak values at 6:00, 12:00 and 18:00. Human activities, turbulence and the mountain-valley wind were the main reasons for the daily variation. Excepted for the pollution periods mainly raised by traffic emission, the average total aerosol number concentrations decreased by 319 per cubic centimeter, and the decreased percentage for the daily average aerosol number concentrations was 12.17%. For particles within the size ranges of 0.01~0.02 μm, 0.02~0.05 μm, 0.05~0.1 μm, 0.1~0.5 μm, 0.5~1.0 μm, 1.0~2.5 μm, their number concentrations decreased by 31.32%, 20.29%, 6.59%, 7.49%, 1.23%, 2.51%, respectively. It indicated that traffic emission mainly influenced the concentrations of particles in the size of 0.01~0.5 μm, which occupied 25.81%.

Key words: Mount Huangshan; atmospheric aerosol; number concentration; daily variation; traffic pollution

PM_{2.5} 不仅能造成大气能见度的下降, 而且聚集了大量有毒有害物质, 危害人体的健康^[1-5]. 细粒子中直径<0.1 μm 的粒子称为超细粒子, 在同等质量下对人类健康的影响更大^[6]. 大气气溶胶数浓度的日变化受很多因素的影响, 如气象条件和局地排放源(如交通源)等, 并且城市地区和山地地区的变化也有可能不同. 翟晴飞等^[7]对石家庄地区的研究表明, 气溶胶的数浓度日变化主要受太阳辐射、温度、边界层日变化和建筑地施工的影响. 钱凌等^[8]对南京北郊的大气气溶胶研究

表明数浓度在正午达到峰值, 这是光化学反应的结果. 银燕等^[9]对黄山山顶的研究表明气溶胶数浓度的值下午高于上午, 主要原因是湍流交换使得垂直输送加强.

黄山是我国重要的旅游城市, 主要产业为旅游业, 受工业污染影响较小. 受地形的影响, 黄山

收稿日期: 2012-10-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41030962, 41075029, 41275143), 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

* 责任作者, 副教授, jlj@nuist.edu.cn

地区山高谷深,气候呈垂直变化.以往黄山的研究^[9-10]都是在黄山光明顶,并且没有关于气溶胶数浓度日变化的详细研究.本文利用美国 MSP 公司生产的 WPS 于 2011 年 6 月至 9 月在黄山山底(寨西)进行的气溶胶观测资料,分析黄山山底大气气溶胶各粒径段的数浓度日变化,具体分析了日变化的影响因素.

1 资料与方法

1.1 实验仪器

本实验采用 Model 1000XP WPS, WPS 与 APS(Aerodynamic Particle Sizer) 及 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)在总体数浓度变化趋势上有较好的一致性,并且各类气象条件及降水对仪器间的测量误差影响不大^[11]. WPS 测量范围为 $0.01\sim 10.0\mu\text{m}$,对不同粒径大小的气溶胶粒子采用不同的测量原理,测量范围能够基本涵盖大气气溶胶中的粗细粒子.

1.2 观测资料及处理

观测时间为 2011 年 5 月 25 日至 9 月 14 日,使用 WPS 在黄山山底的寨西村对大气气溶胶进

行了为期 3 个半月的观测,并记录了每天的观测日志.观测地点($30^{\circ}3'31''\text{N}$; $118^{\circ}09'56''\text{E}$; 海拔 485m)距离寨西自动气象站 60m,同期气象资料来自该气象站,包含逐小时的降水量、气温、风速、湿度和气压等气象要素资料.观测期间风向主要以西北风和西风为主,西南风也占到一定比例.风速比较稳定,日平均风速为 0.6m/s .

为去除相对湿度对气溶胶数浓度谱的影响,本次观测试验都加了干燥剂.为了保证数据的有效性,去除每天开机后的前 20min 数据,并剔除异常数据.由于 5 月份的观测属于试运行,对其结果仅作参考和比较.

2 结果与讨论

2.1 晴天气溶胶数浓度的日变化

从图 1 可以看出,不同粒径范围的粒子日变化程度不同, $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ 的超细粒子随时间的变化与总气溶胶粒子变化一致.相比于总气溶胶粒子和超细粒子日变化的量级, $0.1\sim 10.0\mu\text{m}$ 的气溶胶粒子变化的量级很小,说明气溶胶的日变化主要是由超细粒子的日变化引起.

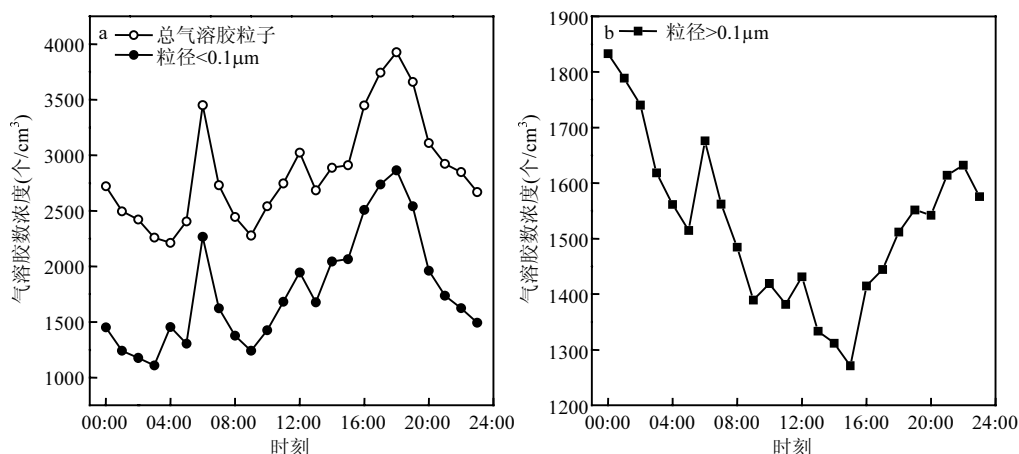


图 1 晴天总气溶胶粒子与粒径 $<0.1\mu\text{m}$ 、粒径 $>0.1\mu\text{m}$ 气溶胶粒子数浓度的日变化

Fig.1 Diurnal variation for the number concentrations of total particles and particles with $D_p<0.1\mu\text{m}$ and $D_p>0.1\mu\text{m}$ in sunny days

总数浓度和超细粒子日变化呈现出 3 峰分布,数浓度在 6:00、12:00 和 18:00 达到峰值,在 9:00 和 14:00 分别达到白天的谷值.黄山山底地

区总气溶胶日变化与北京、上海、济南、石家庄等^[7-8,2-13]城市的观测结果不一致.城市地区的晴天总气溶胶日变化浓度最高峰值出现在 12:00,

主要是受边界层高度日变化和光化学反应的影响.黄山地区晴天总气溶胶日变化浓度最高峰值出现在 18:00,其主要原因可能不只是边界层高度的日变化和光化学反应.

本次观测站黄山寨西属于汤口镇,2004 年全镇财政收入的 87%来源于旅游业,居民生活的 80%也来源于此^[14].旅游业发展的同时伴随的是更多的交通污染,故由此推测影响黄山山底晴天气溶胶日变化的另一个重要原因可能是旅游交通污染.

2.2 日变化影响因素分析

2.2.1 人为交通污染影响

CO 和 NO_x 是机动车主要排放的污染物.结合图 2 与图 3 能更好的说明晴天大气气溶胶总数浓度日变化原因.

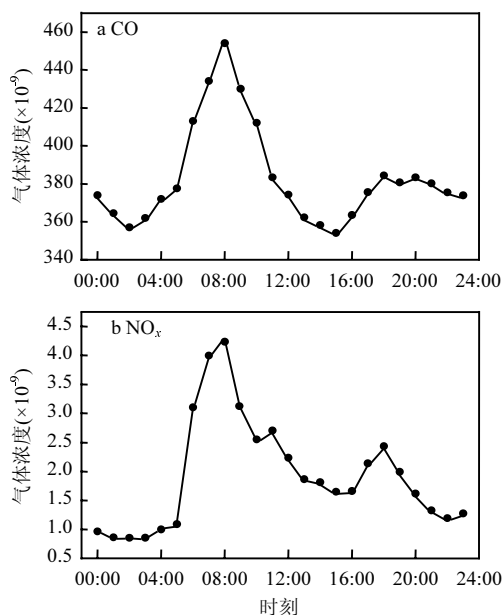


图 2 观测期间 CO 与 NO_x 浓度日变化

Fig.2 Daliy variation of CO and NO_x mass concentrations during the observation period

由交通排放的污染气体进入大气,参加大气中的化学反应,同时受到气象条件的影响.由图 2 可以看出,CO 和 NO_x 的变化趋势基本相同,都是双峰型.这 2 个时刻基本对应游客汽车上山和下山交通高峰期.从 5:00 开始 2 种气体的浓度开始增加,这时候大气处于逆温状态,不利于气溶胶

粒子的扩散,气溶胶的数浓度因为受气体排放影响而增加,气溶胶粒子峰值出现在 6:00 左右.在 12:00~16:00,气体变化出现谷值,是因为光照强烈,易发生光化学反应,消耗气体,但是光化学反应将产生新粒子,故气溶胶粒子在 12:00 出现个小峰值.气体从 16:00 又开始增加,在 18:00 达到峰值.18:00 时强光照、高温、低湿度有利于气体向气溶胶转化,气溶胶粒子在 18:00 出现峰值.由于温度和湿度气象要素的影响,在 18:00 比 6:00 更易发生气-粒转化,虽然气体第 2 个峰值没有早晨的峰值明显,但是气溶胶数浓度的峰值却是下午 18:00 比早晨 6:00 明显.

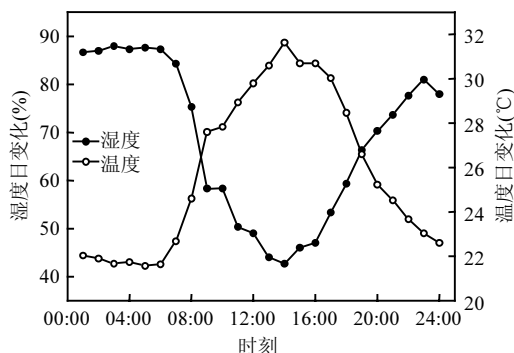


图 3 观测期间温度和湿度的日变化

Fig.3 Daliy variation of temperature and relative humidity during the observation period

研究表明,机动车尾气排放的颗粒物主要是粒径段为 0.01~0.5μm 的细粒子^[12],计算观测期间气溶胶细粒子与交通污染气体 CO 和 NO_x 的相关系数,2 种气体与细粒子的相关系数分别为 -0.21 和 0.56,相关系数均超过 0.01 的置信度.这进一步说明,旅游交通污染是气溶胶日变化的另一个主要因素.

2.2.2 湍流混合影响

除了旅游交通污染的因素,影响因素还有湍流混合.在 6:00,大气处于逆温状态,湍流混合不强烈,不利于气溶胶粒子的扩散,再加上是游客上山高峰期,气溶胶粒子浓度较高.正午 12:00,光化学反应比较强,能形成很多新粒子.但是污染气体背景浓度不高,湍流混合强,地表大气中的气溶胶粒子会随湍流扩散到高层,综合三者 12:00 时气溶胶浓度峰值不明显.在

18:00,太阳辐射减小,地面湍流混合减弱,湍流混合层高度降低,高层气溶胶粒子回到地面,促使地表气溶胶浓度进一步升高.

2.2.3 山谷风影响 山谷风也是影响黄山地区气溶胶日变化的重要因子之一.由于山谷风的作用,白天谷风从山底吹向山峰,使山底的气溶胶粒子向山坡输送,一定程度上抑制了山底白天气溶胶数浓度上升,在日落后山风又将山坡空气中的气溶胶输送回山底,使山底气溶胶浓度升高.为了明确山谷风的影响,选取不同太阳辐射条件下(即晴天和阴天)气溶胶粒子日变化(图 4).从图 4 中可以看出,阴天时气溶胶粒子日变化的第 1 个峰值比晴天高很多,这是因为阴天白天太阳辐射不强烈,谷风不明显,致使山底的气溶胶向山坡输送的少,气溶胶粒子数浓度就高,而晴天则相反.在 20:00 日落以后,阴天时气溶胶粒子数浓度比晴天低,这是因为阴天太阳辐射不强烈,山风不明显,致使山坡的气溶胶向山底输送的少,气溶胶粒子数浓度就低,晴天则相反.

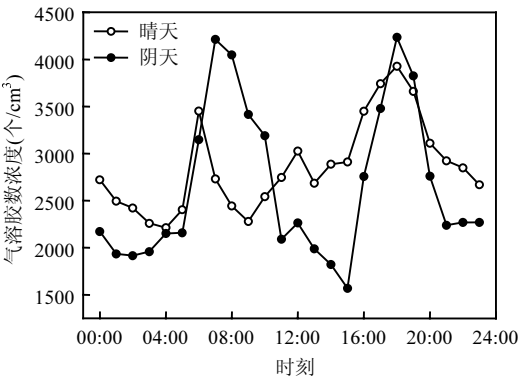


图 4 不同太阳辐射条件下气溶胶粒子数浓度日变化
Fig.4 Diurnal variation of the aerosol number concentration under different solar radiation

2.2.4 VOCs 的影响 黄山地区植被覆盖良好,植物在生理过程中会向大气释放出大量挥发性有机物(VOCs),这些挥发性有机物高的化学活性会影响低层大气的化学组成^[15-16].为了详细了解 VOCs 对黄山地区的影响,选取背景天气情况相同(多云),但一天中最高温不同的天气作对比,得到图 5.之所以选择一天中最高温不同(是否高于 30℃),因为温

度是衡量人体舒适度的一个重要指标,这将直接影响旅游季节的长短和客流量的变化^[17].

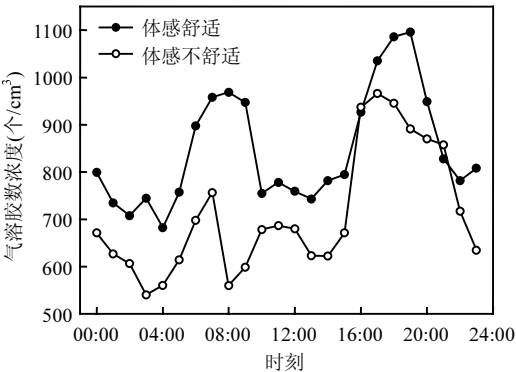


图 5 不同体感舒适度的气溶胶粒子数浓度日变化
Fig.5 Diurnal variation of the aerosol number concentration for different comfortable feeling of human

由图 5 可看出,体感舒适度高时候就是对应客流量多的时候,这时候气溶胶的第 1 个浓度峰值明显高于体感不舒适的时候,这应该是旅游交通污染的影响.而对于气溶胶的第 2 个峰值,这种差异略显得小一些,虽然客流量多带来了高的旅游交通污染,但温度高端流混合更强烈,综合两者气溶胶差值小一些.这也说明,VOCs 对于黄山山底地区的影响不是很明显.

由此可知,晴天气溶胶粒子 6:00 峰值主要是受旅游交通污染的影响,12:00 峰值主要受光化学反应影响,18:00 的峰值则是受旅游交通污染、山谷风和湍流混合的综合影响.

黄山是我国重要的旅游城市,其周围环境受人为因素的影响较大,特别是处于旅游高峰期时段,大气中气溶胶浓度的随时间的变化与人类活动关系密切.山底观测点设在寨西自动气象站附近 60m,位于公路东边 500m.人为活动、湍流混合及山谷风的共同作用,成为影响黄山山底地区气溶胶日变化的主要因素.

2.3 旅游交通污染的影响程度

根据 CO 和 NO_x 的日变化,将产生交通污染气体的时刻气溶胶数据进行剔除(5:00~10:00, 16:00~20:00),将剔除后的数据与未剔除的数据

进行比较.

2.3.1 气溶胶各档数浓度的变化 WPS 测量范围为 0.01~10.0 μm ,根据空气学动力直径将气溶胶粒子分为 7 个粒径段:0.01~0.02 μm ,0.02~0.05 μm ,0.05~0.1 μm ,0.1~0.5 μm ,0.5~1.0 μm ,1.0~2.5 μm ,2.5~10.0 μm .

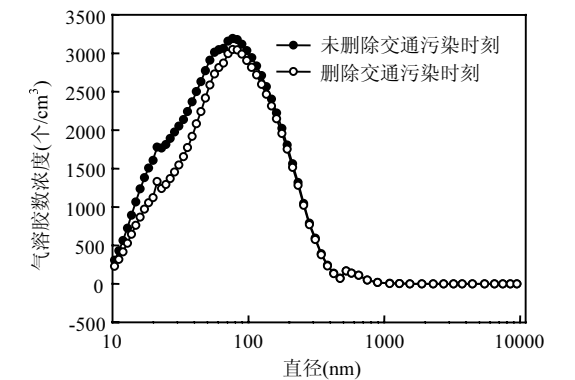


图 6 剔除交通污染前后气溶胶数浓度谱

Fig.6 Comparison of aerosol number concentration spectrum for the periods with or without the influence of traffic pollution

由图 6 可以看出,剔除交通污染时刻对气溶

胶数浓度谱影响不大,谱型没有变化,只是在 0.01~2.5 μm 段,气溶胶数浓度值变小了.由表 1 可以看出,剔除交通污染时段后,气溶胶粒子数平均浓度减少 319 个/ cm^3 ,减少 12.17%.粒径范围 0.01~2.5 μm 的气溶胶剔除交通污染后平均值均减少,每个粒径段减少百分比分别 31.32%、20.29%、6.59%、7.49%、1.23%、2.51%,交通污染对 0.01~0.05 μm 粒径段的气溶胶影响较大,其气溶胶浓度降低百分比为 25.81%.百分比平均值所占百分比有变化的粒径范围是 0.01~1.0 μm ,但是在 0.01~0.05 μm 范围百分比减少,0.05~1.0 μm 百分比增加,这更说明,交通污染对 0.01~0.05 μm 的粒径影响更大.

这个结果和国外很多学者的研究结果接近,Almeida 等^[18]指出,用主成分分析和多重线性回归法得到的里斯本市在 PM_{2.5} 总量中机车尾气排放占到 22%.Chan 等^[19]指出,布里斯班市排放源清单中由机动车排放部分在 PM₁₀ 占到 13%.城市交通运输量比山区大,但是气溶胶来源丰富.黄山交通运输量小,但是气溶胶来源相对城市单一,故旅游交通污染还是影响较大.

表 1 观测期间剔除交通污染前后各档气溶胶数浓度对比

Table 1 Comparison of aerosol number concentration in various size ranges with or without the influence of traffic pollution during the observation period				
粒径范围(μm)	平均值(前)(个/ cm^3)	平均值所占百分比(前)(%)	平均值(后)(个/ cm^3)	平均值所占百分比(后)(%)
0.01~0.02	239.836	7.85	164.725	6.06
0.02~0.05	776.144	25.42	618.701	22.77
0.05~0.10	996.032	32.62	930.415	34.24
0.10~0.50	1014.794	33.23	979.373	36.05
0.50~1.00	22.851	0.75	22.571	0.83
1.00~2.50	0.918	0.03	0.859	0.03
2.50~10.0	0.004	0.0001	0.004	0.0001
0.01~10.0	2806.744	100.00	2541.501	100.00

2.3.2 回归模型方法 分别建立气溶胶粒子(0.01~0.5 μm)与交通污染气体(CO、NO_x)、气溶胶与综合因素(气体及气象要素)的回归模型,通过回归模型的结果对比气体和气象要素对气溶胶日变化的影响程度.2 种气体与气溶胶粒子的相关系数分别为-0.21 和 0.56,温度与气溶胶粒子的相关系数为 0.25,湿度与气溶胶粒子的相关系

数为 0.25,这些相关系数均超过 0.01 的置信度.风向和风速与气溶胶粒子的相关系数很低,并且没有超过 0.01 的置信度.利用逐步回归的方法.自变量 CO(x₁),NO_x(x₂),T(x₃),RH(x₄),时间长度为 2011 年 6 月 21 日 00:00 至 7 月 3 日 23:00,共 312 个样本,建立气溶胶粒子(y)的多元回归方程.为了检验各个自变量对气溶胶粒子的作用是否

显著,需要对自变量进行检验.构造统计量^[20]:

假设 $H: b_i=0 (i=0,1,2\cdots m)$ 时

$$F_i = \frac{a_i^2 / C_i}{Q(n-2)} \quad (1)$$

式中, $C_i = [\sum_{i=1}^n (x_{it} - \bar{x}_i)^2]^{-1} n$ 为样本长度, m 为自

变量个数, Q 为残差平方和, a_i 为回归系数估计值. 统计量 F_i 遵从自由度为 1, 分母自由度为 $n-2$ 的 F 分布. 若 $F_i > F_{\alpha}$, 则拒绝原假设, 认为 x_i 在显著性水平 α 上对 y 的作用是显著的. 根据上式可得, $F_1=128.73, F_2=81.096, F_3=56.70, F_4=48.73$, 均大于 $F_{0.05}$, 因此认为 $CO(x_1), NO_x(x_2), T(x_3), RH(x_4)$ 对方程的作用显著.

得到气溶胶粒子与污染气体的回归方程:

$$y = 1536.582 - 1.973x_1 + 274.982x_2 \quad (2)$$

(负相关系数 $R=0.605$)

得到气溶胶粒子与综合因素的回归方程:

$$y = -4344.496 - 0.761x_1 + 248.597x_2 + 132.734x_3 + 28.553x_4$$

$$(\text{负相关系数 } R=0.641) \quad (3)$$

为了更直观的看出气象要素和污染气体的影响程度, 用两个回归方程拟合了 2011 年 6 月 21 日 00:00 至 7 月 3 日 23:00, 共 312 个时次的气溶胶粒子浓度, 得到图 7, 并对模拟的两者差值百分比进行比较.

从图 7a 中可以看出, 气溶胶粒子浓度相差不大, 这说明交通污染在综合因素中所占的百分比很大. 从图 7b 中还可以看出, 除了个别天数, 百分比基本在 0 左右浮动, 平均百分比为 9%. 有 2 个比较明显的差值较大点, 第 1 个点温度值比较低, 湿度值也比较低, 结合回归方程式可知, 综合回归方程得出的气溶胶粒子浓度会降低, 差值比较大. 第 2 个点温度值比较低, 但是湿度值比较高, 结合回归方程式, 综合回归方程得出的气溶胶粒子浓度也会降低, 但是没有第 1 个点降低的多, 差值也没有第 1 个点明显. 因为这种回归模型并不成熟, 没有考虑地形、排放源等因素, 只能作为参考, 来肯定旅游交通污染的影响较大.

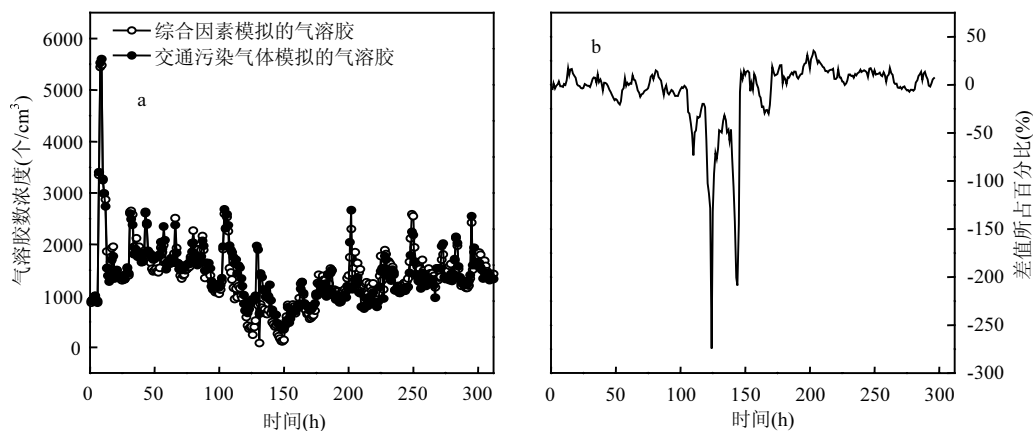


图 7 两个回归模型模拟结果及两者差值的百分比

Fig. 7 Results for two regression model and the percentages for their diversities

3 结论

3.1 观测期间黄山山地晴天气溶胶数浓度日变化呈现出 3 峰分布, 气溶胶粒子数浓度在 6:00, 12:00 和 18:00 达到高峰, 9:00、14:00 和 2:00 至 5:00 达到谷值. 人为活动、湍流混合及山谷风的共同作用, 是影响黄山山底地区气溶胶日变化的主要因素.

3.2 剔除交通污染时段后, 气溶胶粒子数平均浓度减少 319 个/cm³, 减少 12.17%. 0.01~0.02μm, 0.02~0.05μm, 0.05~0.1μm, 0.1~0.5μm, 0.5~1.0μm, 1.0~2.5μm 粒径段气溶胶粒子数浓度分别降低了 31.32%、20.29%、6.59%、7.49%、1.23%、2.51%. 机动车尾气排放对 0.01~0.05μm 粒径段气溶胶的影响最明显, 其气溶胶浓度降低百分比为

25.81%.

参考文献:

- [1] Pope C A, Dockery D W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect [J]. Air and Waste Management Association, 2006, 56: 709–742.
- [2] Hand J L, Kreidenweis S M, Sherman D E, et al. Aerosol size distributions and visibility estimates during the Big Bend regional aerosol and visibility observational (BRAVO) study [J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 5043–5055.
- [3] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价 [J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 410–415.
- [4] 张 勇, 银 燕, 肖 辉, 等. 石家庄春季大气气溶胶的散射特性 [J]. 中国环境科学, 2012, 32(5): 769–779.
- [5] 孙玉稳, 孙 霞, 银 燕, 等. 华北地区气溶胶数浓度和尺度分布的航测研究 [J]. 中国环境科学, 2012, 32(10): 1736–1743.
- [6] Wichmann H E, Peters A. Epidemiological evidence of the effects of ultra fine particle exposure [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2000, 358: 2751–2769.
- [7] 翟晴飞, 金莲姬, 林振毅, 等. 石家庄春季大气气溶胶数浓度和谱的观测特征 [J]. 中国环境科学, 2011, 31(6): 886–891.
- [8] 钱 凌, 银 燕, 董尧青, 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.
- [9] 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.
- [10] 陈金荣. 黄山大气气溶胶浓度和尺度谱分布研究 [J]. 南京气象学院学报, 1991, 14(3): 354–358.
- [11] 王 飞, 朱 彬, 康汉青, 等. APS-SMPS-WPS 对南京夏季气溶胶数浓度的对比观测 [J]. 中国环境科学, 2011, 31(9): 1416–1423.
- [12] 高 健, 王 进, 程淑会, 等. 济南夏季大气颗粒物粒径分布特征及来源机理分析 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 650–657.
- [13] 高 健, 王 韬, 王文兴. 中国城市大气超细颗粒物浓度及粒径分布研究 [C]//中国气象学会 2006 年年会“大气成分与气候、环境变化”分会场论文集成都: 中国气象学会, 2006: 879–885.
- [14] 陈 烁. 汤口镇产业发展研究 [J]. 硅谷, 2009, 06(1): 171–173.
- [15] 蔡志全, 秦秀英. 植物释放挥发性有机物的研究进展 [J]. 生态科学, 2002, 21(1): 086–090.
- [16] 赵 静, 白郁华, 王志辉, 等. 我国植物 VOCs 排放速率的研究 [J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 654–657.
- [17] 陈冬冬, 章锦河, 刘法建. 黄山旅游气候舒适度与客流量变化相关性分析 [J]. 资源开发与市场, 2008, 24(7): 607–617.
- [18] Almeida S M, Pio C A, Freitas M C, et al. Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a suburban area at the Western European Coast [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(17): 3127–3138.
- [19] Chan Y C, Simpson R W, McTainsh G H, et al. Source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane (Australia) by receptor modeling [J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 3251–3268.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.

作者简介: 陈潇潇(1989–), 女, 新疆吐鲁番人, 南京信息工程大学大气物理学院硕士研究生, 主要从事云降水物理学研究。

关于《中国环境科学》网上投稿的通知

《中国环境科学》编辑部为提高稿件处理的网络化水平和采编工作的效率, 及时让作者了解稿件的处理情况, 自 2008 年 3 月 1 日起已开通网上投稿查稿系统, 请登陆网址: <http://www.zghjcx.com.cn> 点击“作者在线投稿”进行注册后再按要求投稿, 点击“作者在线查稿”进行查询. 本刊不再接受纸件投稿和电子版稿件的 E-mail 投稿. 特此通知.

《中国环境科学》编辑部