

采暖期前后兰州城市气溶胶 光学特性变化特征

张 婕, 刘海文, 肖国杰, 冯 婉

(成都信息工程学院大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘 要:利用兰州市 2003~2004 年采暖期前后, 大气气溶胶散射系数和光学厚度(AOD)观测资料, 结合同期的环境质量常规监测资料, 分析了该地区大气气溶胶性质变化特征及其与空气污染的关系。结果表明:兰州市总散射系数和后向散射系数采暖期具有明显的 3 峰变化, 非采暖期呈双峰变化。采暖期和非采暖期绿光通道总散射系数最大值与最小值之比分别为 1.66 和 3.51; 采暖期光学厚度远大于非采暖期, 光学厚度和总散射系数具有较好的相关性, 相关系数为 0.483; 气溶胶的后向散射比日间变化随季节不同而改变; AOD 与空气污染指数(API)、可吸入颗粒物(PM₁₀)的变化在大多数情况下具有很好的相关性, AOD 与 PM₁₀变化趋势基本相同, 但其浓度值采暖期要高于非采暖期, 而且两者之间的比值采暖期要大于非采暖期。

关键词:城市气溶胶; 采暖期; 非采暖期; 光学特性; 空气污染

中图分类号: P421

文献标识码: A

引 言

大气气溶胶对气候的作用可分为直接影响和间接影响 2 方面。直接影响是指大气中的气溶胶粒子散射、吸收太阳辐射和长波辐射, 从而影响着地—气辐射收支; 间接影响是指气溶胶浓度的变化会影响云的特性(包括光学特性、云量、云的寿命等), 而云的变化反过来会影响气候^[1]。根据目前的研究结果, 由气溶胶引起的全球平均辐射强迫和温室气体引起的辐射强迫量级相等而性质相反^[2], 并且气溶胶的光学特性也是气候模式计算中最不确定的参数之一。

大气气溶胶粒子的光散射性质包含了丰富的气溶胶特征信息。气溶胶粒子的谱分布函数、复折射指数等特征参数可以通过 Mie 理论计算得到, 也可以用太阳辐射量的遥感观测来反演气溶胶的散射特征参数^[3]。目前, 在这方面已有了一些研究工作, 如用多波段光度计观测太阳直接辐射和太阳所在地平纬圈天空亮度的相对分布值, 反演气溶胶散射相函数、光学厚度和气溶胶消光特性^[4-5], 利用曙暮光光强反演平流层气溶胶的散射系数^[6]、从宽谱太阳

漫射辐射信息反演大气气溶胶折射率虚部^[7], 用积分浑浊度仪对气溶胶散射光学特性进行观测和研究等^[8-9]。兰州是典型的煤烟污染型工业城市, 机动车尾气排放问题日趋严重, 气溶胶颗粒物产生的辐射效应也十分明显^[10-11]。因此, 关注兰州地区气溶胶散射特性, 对进一步了解污染物性质, 进而开展城市气候研究和污染治理工作具有重要的意义。

通过对兰州地区 2003~2004 年采暖期前后气溶胶散射等光学特征进行观测, 结合同期的环境质量常规监测资料, 对该地区大气气溶胶性质及其与空气污染的关系进行了分析研究。

1 资料来源

研究数据采用美国 TSI 公司生产的 TSI-3563 (Integrating Nephelometer, Model 3563) 积分浑浊度仪 2003 年 12 月 14~27 日, 2004 年 3 月 4 日至 4 月 28 日在兰州大学本部进行连续采样所得散射系数资料, 以及多波段光度计 2003 年 11 月 22 日至 12 月 27 日, 2004 年 3~4 月在同一位置对晴天大气气溶胶光学厚度进行整点观测的资料。对资料分析期

收稿日期:2012-03-31; 改回日期:2012-05-22

作者简介:张婕(1975-), 女, 云南个旧人, 讲师, 研究方向为大气辐射与大气遥感. E-mail: zj3130@cuit.edu.cn

间划分为采暖期和非采暖期,12~3月为采暖期,4月为非采暖期,空气污染指数资料来自环保部门公布的数据。

2 结果分析

2.1 大气气溶胶散射系数日变化

将采暖期和非采暖期资料分别作整点平均,分析总散射系数和后向散射系数在绿光通道(550 nm处)的日变化规律,结果如图1、图2所示。

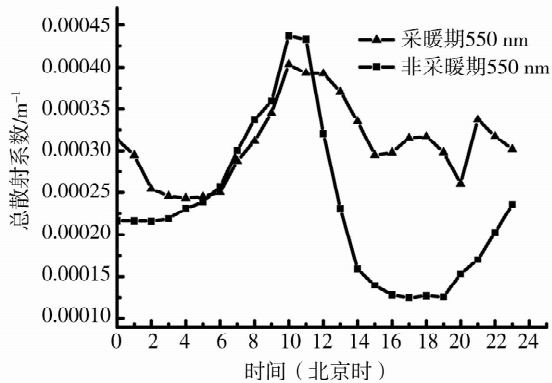


图1 采暖期和非采暖期总散射系数对比
Fig. 1 The diurnal variation of the total scattering coefficient during heating and non-heating period

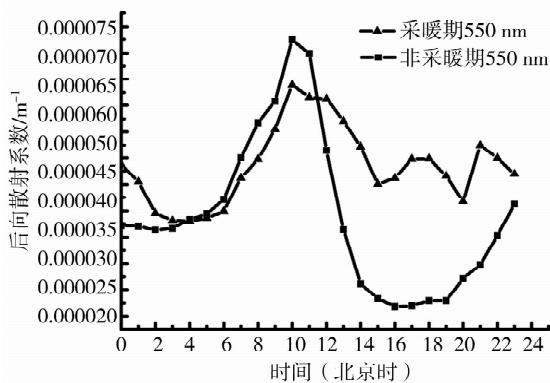


图2 采暖期和非采暖期后向散射系数对比
Fig. 2 The diurnal variation of the backscatter coefficient during heating and non-heating period

对于采暖期,总散射系数和后向散射系数都具有明显的3峰变化规律,第1峰出现在10时,第2峰出现在21时,第3峰出现在17~18时,第1极小值出现于凌晨4~5时,第2极小值为20时,第3极小值为15时。非采暖期总散射系数和后向散射系数呈双峰变化,峰值出现在10时和23~24时,极小值出现在下午16~19时。后向散射系数比总散射

系数大约小一个量级,采暖期总散射系数的变化范围为: $4.032 \times 10^{-4} \sim 2.434 \times 10^{-4}$,最大值为最小值的1.66倍。非采暖期总散射系数的变化范围为: $4.370 \times 10^{-4} \sim 1.245 \times 10^{-5}$,最大值为最小值的3.51倍。非采暖期总散射系数和后向散射系数的最大值分别为采暖期的1.08倍和1.14倍,而最小值分别为采暖期的0.51倍和0.57倍。

采暖期出现上述结果可能的原因是:兰大校园位于兰州城市居民区密集区(城关区),冬季颗粒物排放主要为取暖锅炉燃煤排放物,烟囱高度一般较低。在城市居民密集区,夜间会有明显的城市混合层^[10],限制污染物向上扩散,此时上部的逆温层高度比较低,从而累积形成夜间21时的峰值;清晨是人们生产、生活活动的高峰期,也是污染物排放的高峰期。日出后混合层开始发展,逆温层向上抬升,因此排放对地面影响比较小。晴天中午混合层高度约为300 m左右,中午10~12时常出现熏烟过程,而使近地面气溶胶浓度增加,出现散射系数的一个峰值。午后混合层停止发展,下午17~18时左右,生产、生活和交通高峰与供暖高峰重叠,在城市混合层作用下,地面污染物浓度增加,形成散射系数小的峰值。日落后到达地面的太阳辐射减小,逆温层开始从地面形成,夜间城市混合层重新出现,21时再次出现散射系数的相对峰值。

非采暖期的变化特征与春季的大气层结特性有关,4月份停止采暖后,大气中的煤烟粒子含量急剧下降,垂直方向上湍流发展比较强盛,大气中的污染物比较容易扩散,因此对应于采暖期傍晚的峰值消失,而夜间的峰值推迟1 h出现。但由于春季多发沙尘暴,空气中的浮尘、扬沙等粒子含量较大,兼有从外地输送过来的沙尘,粒子来源具有多样性,造成总散射系数和后向散射系数的变化范围比采暖期大。

2.2 气溶胶光学厚度日变化

图3为采暖期与非采暖期平均光学厚度的日变化。光学厚度日变化都随时间呈下降趋势,春季风速相对较大,午后对流层发展,气溶胶光学厚度迅速减小。采暖期气溶胶光学厚度平均为0.466,非采暖期均值为0.265;采暖期气溶胶光学厚度变化幅度较小,而非采暖期的变化达0.254。对气溶胶光学厚度与小时平均的气溶胶散射系数作线性回归,发现二者具有正相关性,相关系数为0.483,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验($n=177$)。

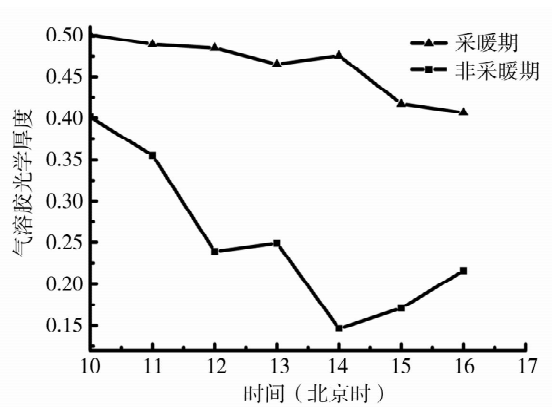


图3 采暖期与非采暖期平均光学厚度日变化
Fig.3 Diurnal variation of aerosol optical depth during heating period and non - heating period

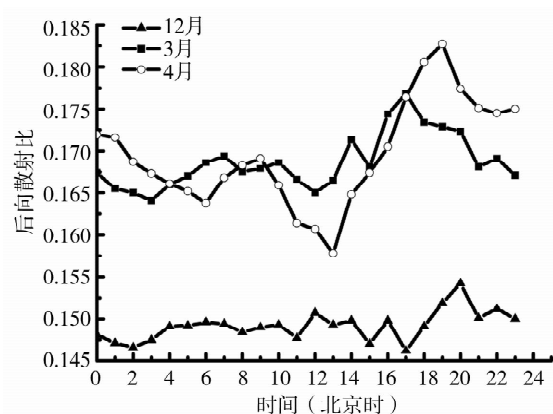


图4 后向散射比月平均日变化
Fig.4 Diurnal variation of the monthly average hemispheric backscatter fraction

2.3 后向散射比月平均变化

气溶胶粒子后向散射系数与总散射系数的比值是表征气溶胶中细粒子含量的一个重要参数,也是激光雷达探测必需的参数之一,会直接影响激光雷达探测精度,其比值愈大,表示气溶胶中的细微粒子的含量就愈高。根据 Mie 理论计算,当粒子直径 $< 1.5 \mu\text{m}$ 时,后向散射与总散射的比值 > 0.1 ,其计算公式为:

$$b = \sigma_{bsp} / \sigma_{sp} \quad (1)$$

其中, σ_{bsp} 和 σ_{sp} 分别是气溶胶粒子的后向散射系数和总散射系数。利用(1)式,根据实测的总散射系数和后向散射系数计算了气溶胶后向散射比,以绿光通道(550 nm)为例,分别将12月、3月、4月的资料做月平均,得出其日变化(图4)。12月、3月、4月的气溶胶后向散射比日间变化有逐月增大的趋势,12月、3月、4月后向散射比月平均值分别为0.1492、0.1687、0.1695,总体呈上升趋势,也就意味着气溶胶中细粒子含量有逐渐上升趋势。其可能原因是12月和3月同属采暖期,气溶胶来源以燃煤采暖为主,气溶胶来源单一,加上冬季天气干燥,降水少,大气层结稳定,颗粒物在空中停留时间长不易清除;3月末至4月进入春季,一方面风速增大,另一方面降水增多,干湿清除过程使得粒径较大的粒子含量减少。特别是4月份采暖结束后,气溶胶中的细粒子多来自汽车尾气、居民生活燃煤、风沙扬尘、飘尘等。因此3月与4月较接近,且4月的日变化率比3月大得多。

2.4 空气污染指数(API)、可吸入性颗粒物(PM_{10})浓度及与气溶胶光学厚度(AOD)的关系

空气污染指数是环保部门通过对可吸入性颗粒物(PM_{10})、二氧化硫、氮氧化物和臭氧等在城市不同地点的24 h监测结果发布的一个与污染物质量浓度相关并可被公众直观理解的一个指数,可以间接表征空气污染程度。它是首要污染物质量浓度经分段线性映射后的结果,在我们观测区间,兰州市首要污染物均为可吸入性颗粒物。

利用兰州城区晴天光学厚度的观测资料,结合同期API数据,并将API分段线性化为 PM_{10} 的质量浓度。分析了三者的逐日变化趋势,气溶胶光学厚度与API及 PM_{10} 的关系(图5)。

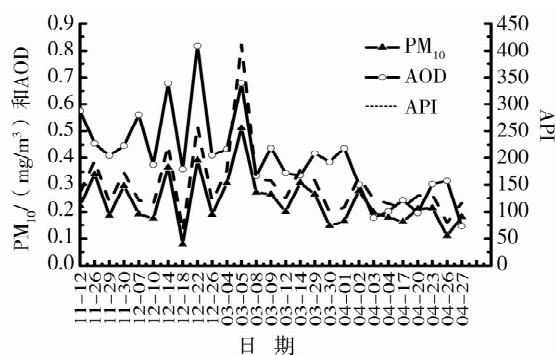


图5 采暖期和非采暖期 AOD 与 API 及 PM_{10} 的逐日变化
Fig.5 Daily variation of AOD, API and PM_{10} during heating period and non - heating period

从图5可看出, PM_{10} 与AOD变化趋势大致相同,以3月30日为界,采暖期光学厚度值和 PM_{10} 浓

度普遍高于非采暖期光学厚度值和 PM_{10} 浓度,3月30日以前 AOD 具有较高的数值,与 PM_{10} 浓度的比值比较大,3月30日后两者的比值较小。兰州地处峡谷地带,冬季静风频率较高,污染物不易扩散。采暖期燃煤多,造成城区煤烟粒子含量很高,因此总光学厚度增大,地面 PM_{10} 的浓度增大,同时燃煤所产生的粗粒子对光学厚度贡献较大,结果使光学厚度较高而相应的 PM_{10} 较低。4月份停止采暖后,大气中的煤烟粒子含量急剧下降,气溶胶光学厚度也随之下降,加之进入春季为沙尘暴多发季节,垂直方向上湍流发展比较强盛,煤烟粒子对光学厚度的影响减小了,根据上一节的分析结果,细粒子浓度比采暖期有所增加,造成 AOD 与 PM_{10} 的值比较接近。

AOD、API 与 PM_{10} 变化趋势基本一致,AOD 与 API 的相关系数为 0.648,AOD 与 PM_{10} 的相关系数为 0.637。两者各自具有比较明确的物理意义:气溶胶光学厚度代表垂直方向上消光系数的积分,与对流层垂直方向气溶胶总浓度相关;地面可吸入性颗粒物的质量浓度代表地面污染物浓度,它强烈地受到混合层发展、大气稳定度等大气扩散条件的影响。二者的比较和相应的相关系数说明 AOD 数据在同一季节里可以反映地面污染物浓度的变化,也提示我们采暖期和非采暖期的比较应该考虑混合层发展高度、气溶胶垂直分布特征、煤烟粒子贡献等因素。

3 结论与讨论

综上所述,兰州市区采暖期总散射系数和后向散射系数具有明显的 3 峰变化规律,非采暖期总散射系数和后向散射系数呈双峰变化。绿光通道总散射系数采暖期最大值为最小值的 1.66 倍,非采暖期最大值为最小值的 3.51 倍;非采暖期总散射系数和后向散射系数的最大值分别为采暖期的 1.08 倍和 1.14 倍,而最小值分别为采暖期的 0.51 倍和 0.57 倍。

采暖期光学厚度远大于非采暖期,光学厚度和总散射系数具有较好的相关性,相关系数为 0.483。

气溶胶的后向散射比日间变化随季节不同而改变,12月、3月、4月气溶胶中细粒子含量呈上升趋势,这可能与气溶胶的来源及清除过程有关。

AOD 与 API、 PM_{10} 的变化在大多数情况下具有很好的相关性,AOD 与 PM_{10} 变化趋势基本相同,AOD 与 PM_{10} 浓度值采暖期要高于非采暖期,而且两者之间的比值采暖期要大于非采暖期。

参考文献:

- [1] 康富贵,李耀辉.近 10a 西北地区沙尘气溶胶研究综述[J].干旱气象,2011,29(2):144-150.
- [2] Houghton J T. 全球变暖.戴晓苏、石广玉等译[M].北京:气象出版社,1998.239.
- [3] 宋薇,张镭.大气气溶胶光学厚度遥感研究概况[J].干旱气象,2007,25(3):76-81.
- [4] 黎洁,毛节泰.光学遥感大气气溶胶特性[J].气象学报,1989,47(4):450-456.
- [5] 胡文超,张文煜,郭振海,等.甘肃半干旱区城乡气溶胶光学特性的观测与分析[J].兰州大学学报,2009,45(6):45-50.
- [6] Wu Bei-ying, Lu Da-ren. Retrieval of stratospheric background aerosol scattering coefficient from twilight measurements[J]. Applied Optics, 1988,27:4899-4906.
- [7] Wei Dong-jiao, Qiu Jin-huan. Determination of the imaginary part of the complex refractive index of atmospheric aerosol by remote sensing from broad-band solar diffuse radiation[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 1998,22(5):677-685.
- [8] Patrick J Sheridan, John A Ogren. Observations of the vertical and regional variability of aerosol optical properties over central and eastern North America[J]. Journal of geophysical research, 1999,104(14):16793-16805.
- [9] 胡波,张婕,张武.应用积分浑浊度仪研究兰州城市冬季大气气溶胶[J].兰州大学学报(自然科学版),2005,41(3):19-25.
- [10] 张玉芬,陈长和.冬季兰州城市上空层结特征的分析研究[J].兰州大学学报(自然科学版),1998,34(2):104-110.
- [11] 刘治国,奚晓霞.兰州市区 2002 年春季 3~4 月近地层大气气溶胶的监测与分析[J].干旱气象,2006,24(2):49-54.

(下转第 248 页)

Climatic Characteristics of Cold Wave Weather and Warming Winter in Hebei Province During 1962 – 2008

ZHAO Yuguang¹, YU Changwen², HE Lihua¹, TIAN Guoqiang²

(1. *Meteorological Observatory of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;*
2. *Climate Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China*)

Abstract: Based on daily temperature observations at 142 meteorological stations in Hebei Province during 1962 – 2008, the temporal and spatial distribution and variation of cold wave weather occurred in Hebei Province were statistically analyzed. The results show that the cold wave weather in Hebei Province presented significant annual and monthly variability. Under the background of global warming, the frequency of cold wave weather declined in the whole Hebei Province. The cold wave frequency gradually decreased from the north-west to southeast region. There was a close relationship between temperature decrease and geographical characteristics, in the northern region temperature drop was more than that in southern region, but the low-lying and sand areas in the south of Hebei Province temperature drop was more too. The extreme minimum temperature was lower in inland areas than that in coastal areas. The reduction of cold wave weather correlated obviously with winter warming trend in Hebei Province, the mean temperature and the mean minimum temperature in winter presented increasing trend.

Key words: cold wave; statistics; climatic characteristics; warming winter



(上接第 181 页)

Variation Characteristics of Aerosol Optical Properties During and After the Heating Period over Lanzhou City

ZHANG Jie, LIU Haiwen, XIAO Guojie, FENG Wan

(*School of Atmospheric Sciences, Chengdu College of Information Science and Technology, Plateau
Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China*)

Abstract: According to the observation data of aerosol scattering coefficient and aerosol optical depth (AOD) during and after the heating period over Lanzhou and combined with the routine monitoring data of the environmental quality, this paper made a comparative analysis about the variation features of aerosol and its relationship with air pollution. The results show that the total scattering coefficient and the backscattering coefficient have three peaks during heating period, while two peaks appeared during the non-heating period. The ratio of the maximum and minimum value of the total scattering coefficient during heating and non-heating period is 1.66 and 3.51, respectively, and the aerosol optical depth during heating period was bigger than that during the non-heating period. The correlation coefficient between AOD and the total scattering coefficient is 0.483. The daily variation of the hemispheric backscattering fraction changes in different seasons. There was a good correlation among AOD, Air Pollution Index (API) and PM₁₀ in most cases. AOD and PM₁₀ concentration during heating period were higher than that in non-heating period. However, during heating period AOD presented a higher value and PM₁₀ concentration was lower value, but during non-heating period, they were very close.

Key words: urban aerosol; heating period; non-heating period; optical property; air pollution