

苏晨, 张小玲, 刘强, 等. 上甸子本底站气溶胶散射系数变化特征的初步分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (5): 537–545. Su Chen, Zhang Xiaoling, Liu Qiang, et al. 2009. Analysis of the characteristics of aerosol scattering coefficient at Shangdianzi background station [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (5): 537–545.

上甸子本底站气溶胶散射系数变化特征的初步分析

苏晨¹ 张小玲^{1,2} 刘强³ 汤洁⁴

1 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

2 北京上甸子大气本底污染监测站, 北京 101507

3 北京市气象局大气探测技术保障中心, 北京 100089

4 中国气象科学研究院, 北京 100081

摘 要 根据上甸子大气成分本底站从2004~2006年的连续观测数据, 分析了区域大气粒子光散射系数的变化特点, 以了解本底地区大气气溶胶粒子的基本特征。上甸子地区3年数据比较表明, 散射系数平均水平较低, 但在2006年有所升高, 主要表现在受春季沙尘天气的影响, 污染次数增多。其次, 散射系数日变化规律表现为白天低夜间高, 午后出现最低值, 此变化与大气层结的日变化趋势一致。从季节变化看, 冬季和春季的散射系数相对较低, 而夏季和秋季的值较高, 这与气象条件及内外源的影响都有关系。天气对粒子变化的影响表现为, 晴天无云时的大气状况有利于污染物的垂直输送, 散射系数远远低于阴天时的数值。另一方面, 风向对本底站粒子浓度影响也较明显。来自东北方向的空气较干净, 散射系数值通常较低, 而西南西风向通常会引起散射系数值的增大, 说明位于西南方向上的北京等城镇的污染输送对上甸子本底站的大气状况有一定影响。最后, 通过拟和散射系数小时平均值出现频率曲线, 对上甸子地区本底浓度值作了初步估算, 其范围在 $10\sim 20\text{ Mm}^{-1}$ 。

关键词 气溶胶光散射系数 浊度仪 华北地区 本底站

文章编号 1006-9585 (2009) 05-0537-09 **中图分类号** P49 **文献标识码** A

Analysis of the Characteristics of Aerosol Scattering Coefficient at Shangdianzi Background Station

SU Chen¹, ZHANG Xiaoling^{1,2}, LIU Qiang³, and TANG Jie⁴

1 *Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089*

2 *Beijing Shangdianzi Atmospheric Background Station, Beijing 101507*

3 *Technological Support Center of Atmospheric Detection, Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089*

4 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*

Abstract The aerosol scattering coefficient (σ_{sp}) data observed at Shangdianzi atmospheric background station from 2004 to 2006 have been used to analyze the characteristics of aerosol in the background region. The results show that the mean annual σ_{sp} was relatively low with a slight increase in 2006, which is specially caused by frequent dust pollutions happening during the spring. Diurnal change has a dropping trend in the daytime and a rising trend at

收稿日期 2008-01-11 收到, 2009-07-08 收到修定稿

资助项目 科技部公益类重点项目 2001DIA10009、公益性行业 (气象) 科研专项经费项目 GYHY200806027、国家重点基础研究发展计划项目 2006CB403703 和北京区域气象科技创新基金项目 BRMCCX200604

作者简介 苏晨, 女, 1980 年出生, 硕士, 工程师, 从事城市环境科学与城市气象方面的研究。E-mail: csu@ium.cn

night, which accords with the daily change of atmospheric stratification. Seasonally, the values of σ_{sp} in winter and spring were lower than that in summer and autumn. Moreover, weather impacts aerosol obviously. The mean σ_{sp} in sunny days was much lower than that in cloudy condition, due to the strong convection that can increase the aerosol diffusion in sunny days. The air from east-northeast was clean, which could decrease σ_{sp} , while south-west wind could bring more polluted air and cause the increase in σ_{sp} , which shows that the city activities had an effect on the atmosphere at the observing site. Finally, the background value was calculated through the most frequent statistics value, which was in the range of 10–20 Mm^{-1} .

Key words aerosol scattering coefficient, nephelometer, North China, background station

1 引言

大气气溶胶是悬浮于大气中的微小粒子,在大气中具有重要并且广泛的作用。近年来对气溶胶的研究范围较广(刘毅等,1999),涉及对其特征、分布方面的探讨,对天气和气候变化的影响(罗云峰等,1998),以及其在大气环境污染(邵龙仪等,2000;于凤莲,2002)、沙尘气溶胶等方面的研究(Zhou et al., 1996; 刘毅等,1998)。其中在近年来最受关注的是气溶胶在气候变化方面的影响,表现为其在地气辐射系统中起到的重要作用,即气溶胶的直接辐射强迫(毛节泰等,2005)。在大气中,气溶胶可散射太阳的短波辐射,使到达地面的热量减少,产生冷却效果(石广玉,1996),而另一方面对长波辐射的吸收又可导致大气加热率的改变,从而产生增温效果(胡波等,2003)。气溶胶粒子自身的复杂性、分布和变化的不均匀性,以及下垫面反射特性的不同等因素,使得气溶胶的直接辐射强迫也复杂多变。城市化的快速发展,增加了大气气溶胶粒子的排放量,导致粒子污染日益严重,随之引起的气候效应越来越明显,所以对气溶胶的研究也尤为重要。

对气溶胶辐射特性的观测手段,包括太阳光度计测量大气气溶胶光学厚度、浊度仪测量散射系数和黑碳仪测量吸收系数以及从空间利用卫星遥感观测等方法(毛节泰等,2002)。其中,利用浊度仪观测地面气溶胶散射系数是一种相对简单、经济并且有效的手段。Arun et al. (2003) 研究比较了积分浊度计测量的大气消光系数与 $PM_{2.5}$ 的质量浓度变化,发现两者成较好的线性关系,从而验证了积分浊度仪这种测量方法的可靠性,

说明其可成为一种更简单的大气颗粒物浓度测量手段。国内对于气溶胶浊度的观测研究起步较晚,胡波等(2003)曾对兰州城市不同天气条件下的浊度变化特点进行讨论。本文利用北京上甸子大气成分本底国家野外站连续3年的积分浊度仪观测数据,对区域本底的地面气溶胶散射特性进行分析,初步获得了上甸子本底站气溶胶散射系数的年变化、季节变化和基本日变化特征以及气象因素对其变化的影响。最后,利用小时浓度数据,讨论了气溶胶散射系数的本底值。

2 观测方法和数据获取

观测所用仪器为澳大利亚 Ecotech 公司生产的 M9003 型积分式浊度仪,测量波长为 525 nm。观测地点位于上甸子区域大气本底站($40^{\circ}39'N$, $117^{\circ}07'E$),海拔 287 m。作为反映我国华北及京津地区大气本底成分及其变化的观测站,上甸子本底站位于密云县境内,距北京城区约 150 km,远离市区和主要公路,周围无明显污染源。本底站的观测室坐落在上甸子村北侧的缓坡上,北面和东面为连续的丘陵山峰,西南方向的坡地为耕地,以南 1200 m 左右为上甸子村居民生活区,与本底站的相对高差约为 50 m。浊度仪安装在观测室内,采样口位于工作站屋顶,距地面 7 m 高,顶端装有 PM_{10} 的空气动力学切割器。

分析所用散射系数(σ_{sp})数据为 2004~2006 年的观测资料。仪器的数据记录频率为 5 min。观测过程中,每 10 天对仪器进行一次常规的零检查(zero check)和跨检查(span check),当零检查值或跨检查值超出允许范围时,对仪器进行校准。零检查使用经仪器内置高效颗粒过滤器过滤的环境空气,跨检查使用 R-134a 标准气体。由于气溶

胶对水汽的吸收极大地影响其散射特性(孙景群, 1983; 杨军等, 1999; William et al., 2001), 在受湿度影响粒径增加 1 倍时, 湿气溶胶的消光系数为干气溶胶的 4 倍。所以仪器装有加热进气管, 当进气湿度超过 60% 时, 仪器可自动控制加热器工作, 可使测量腔内的湿度维持在 60% 以下。数据处理时根据零检查值对初始观测数据进行适当的零点补偿, 并根据日常的检测记录, 对异常值进行剔除。例如, 由于局地、人为等因素的影响, 可能导致散射系数出现几分钟至半小时时间尺度上的数据突增、突减; 零检查或跨检查前后受影响的数据; 以及因仪器维护、维修、仪器重启等原因造成的不合理数据。所得到的散射系数数据与站上同期观测的 PM_{2.5} 数据比较, 作为其可信度考察的一个方面, 二者的相关度在不同季节有所变化, 但都具有较一致的变化趋势, 其中冬季的相关度最高, 可达 95% 以上(基于小时平均值数据, 超过 2200 个样本点), 说明观测数据具有可信度。同期的气象数据来自上甸子本底站自动气象站观测资料和每日人工观测所得数据。2004 年 1 月、5 月和 6 月有效数据获取率低于 75%, 未包括在月统计分析中。此外, 除了 2004 年 4 月和 7 月有效数据获取率为 80% 和 93%, 其他月份都在 95% 以上。

3 年、季节散射系数变化特征

气溶胶散射系数的变化主要受粒子浓度和粒子尺度等因素影响, 可以作为了解一个区域大气粒子状况的参数。根据 2004~2006 年的小时平均数据, 计算得出逐月平均散射系数及其 5%、25%、50%、75%、95% 百分位的散射系数值, 如图 1 所示。2004 年 1 月、5 月和 6 月数据缺失较多, 未参与月变化的讨论。总体来看, 2004 和 2005 年的年气溶胶散射系数平均值分别为 175、174 Mm^{-1} , 两者基本持平, 而 2006 年升高为 219 Mm^{-1} , 具体表现在春季和夏季中的散射系数值较前两年同期有所增长。从逐月统计值来看, 3 年的月平均值在 200 Mm^{-1} 上下波动, 但 50% 统计值低于月平均散射系数值, 为 140 Mm^{-1} 左右, 同时 90% 百分位值会出现较高的峰值。这说明上甸子地区气溶胶浓度通常状况下会维持在较低水平,

是因为观测站局地排放源少, 但也会受到污染因素的干扰, 从而引起散射系数有不同程度的升高。与北京市郊颗粒物变化的分析(王淑英等, 2002)相比, 市区及近郊区颗粒物浓度由于沙尘和燃煤采暖等因素, 在春季和冬季呈现较高水平, 而在夏、秋季由于降雨的清洗作用使得颗粒物浓度相对较低。但上甸子观测区的情况与之不同, 从图 1 中看到, 年度变化特点为冬、春季的月平均值和 50%、75% 的统计值相对较低, 如 2004 年 2~4 月, 2005 年 1~4 月、12 月, 和 2006 年 2、3、12 月的月平均值都在 100 Mm^{-1} 以下; 而较高的散射系数值多出现在夏、秋季节, 较明显的表现为 2004 年 7、10 月, 2005 年 7~10 月, 和 2006 年 7、8 月, 月平均值超过 250 Mm^{-1} 。

在冬季, 上甸子观测站周边没有明显的燃煤排放源, 主导风向为东北东(如图 2a), 主要城镇等污染源处于观测站的下风方向, 且冬季平均风力较弱, 外地源的输送活动比较弱, 从而本地及外源的影响几率都大大减少。另外, 气象资料显示, 冬季晴天较多, 降水少。晴天中本地垂直对流较强, 有利于污染物的向上扩散, 这些条件使得冬季的散射系数多维持在较低水平。如 2005 年 12 月, 晴好天气有 23 天, 高于其他月份, 其散射系数月均值也达到 3 年中最低, 为 93 Mm^{-1} 。但在图中也看到 2006 年 1 月的平均值高于往年, 分析其原因是因为在当月中下旬整个华北地区出现了一次持续小风、高温、多雾天气, 十分不利于污染物的扩散, 散射系数日均值出现了 2 次高于 1 000 Mm^{-1} 的峰值, 说明天气条件对气溶胶的变化有重要的影响。

春季各月的散射系数均值较冬季有所升高, 主要是小峰值出现频率高于冬季。北京春季气候特点为干燥、多风, 其中 4 月的平均风力为全年最强(如图 2b), 在强风条件影响下, 西南部的农田在春耕前由于土地裸露, 易产生局地扬尘。另外主导风向转为西南西(如图 2a), 由于上甸子本底站西南多是城镇、市区, 使得城镇源的输送有所增加, 导致散射系数升高。除此之外, 3 月和 4 月是北京地区扬尘和浮尘天气的多发时期, 这对气溶胶的增长也存在影响。比较 3 年春季的气溶胶散射系数变化, 2006 年明显高于前两年, 其中 4 月最高。根据上甸子气象站的观测数据统

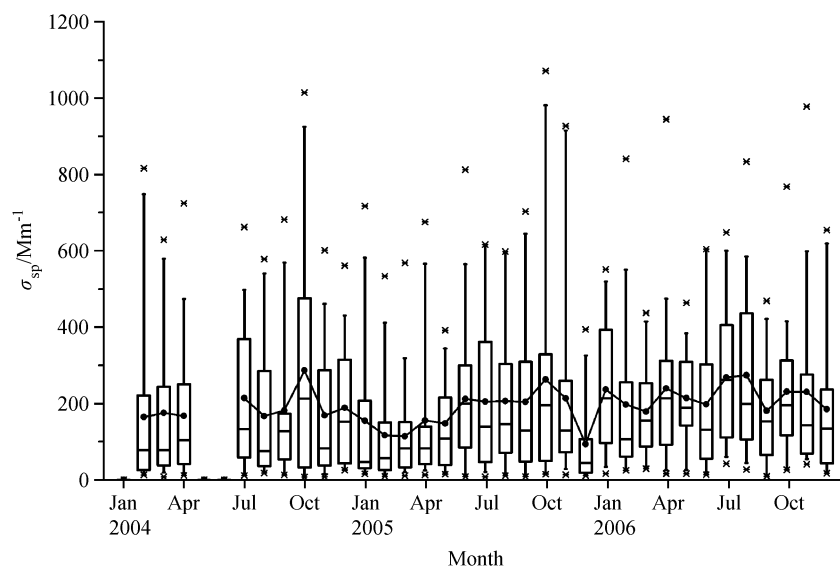


图1 上甸子本底站 2004~2006 年散射系数月平均变化特征及 5%、25%、50%、75%和 95%统计值。图上折线上各点为每月平均值；上下×点为每月最大值和最小值；线段的上、下端点为每月 95%和 5%统计值；方框的上、下线及中线分别为 75%、25%、50%统计值

Fig. 1 Monthly mean values of scattering coefficient from 2004 to 2006 and the 5%, 25%, 50%, 75%, 95% statistic values at Shangdianzi. The points on the curve are the monthly mean value; × points represent maximum and minimum value; the two points of the line is 95%, 5% statistic value, respectively; the upperline, under line, and the center line of the square frame is 75%, 25%, 50% statistic value, respectively

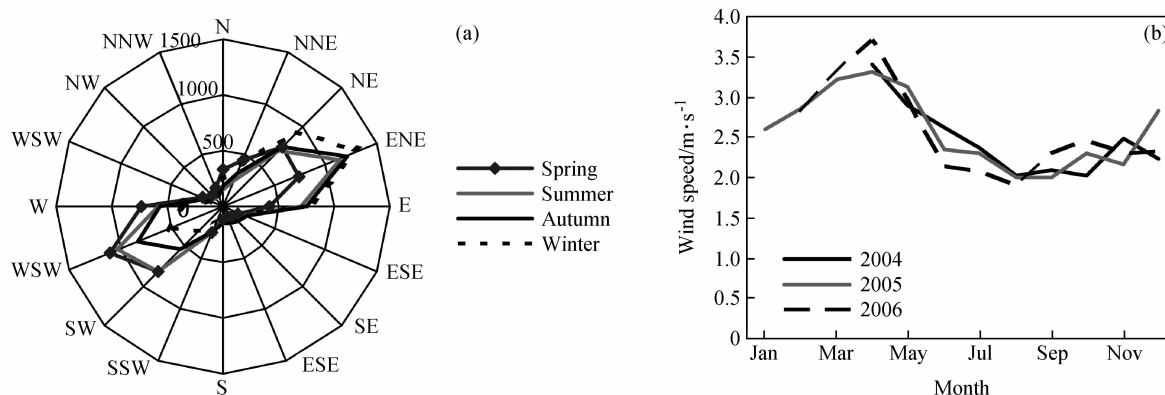


图2 上甸子区域风向风速特点：(a) 各季节平均风向频率玫瑰图；(b) 3 年平均月风速

Fig. 2 Characteristic of wind around Shangdianzi: (a) Wind direction rose map in each season; (b) mean wind speed of each month of 2004, 2005, and 2006

计, 2004、2005 和 2006 年春季发生浮尘、扬沙天气的天数分别为 0、4 和 12 天, 其中 2006 年有 9 天发生在 4 月, 发生期间, 散射系数有明显升高的过程。频繁的沙尘天气是使 2006 年春季粒子散射系数高于以往的主要原因。

夏季的散射系数值表现出较高的水平。其影响因素是多方面的, 首先, 降雨对气溶胶粒子有一定沉降作用, 表现为降雨开始后, 粒子的散射

系数会有显著降低。另一方面, 夏季气温较高, 气溶胶易发生气粒转化过程, 生成二次气溶胶, 且随着辐射的加强, 反应过程会加剧, 使得气溶胶粒子浓度在夏季, 尤其是午后时段会有增加的趋势。除此之外, 北京地区夏季天气闷热, 风力较弱, 静风出现频率增加, 这样的天气状况, 大气粒子的扩散能力较差, 加上高湿的环境, 使气溶胶粒子易于在区域凝结悬浮增长 (Hanel et al.,

1981)。这些因素可导致夏季散射系数出现连续多天高浓度的情况。所以从总体上看, 夏季散射系数的平均水平要高于其他季节, 也反映出后两种影响因素对夏季气溶胶的变化起主导作用。

进入秋季, 降雨减少, 气温开始回落, 湿度降低。从图 1 中看到, 秋季的散射系数平均值依然偏高, 并且 3 年的最高日平均散射系数都出现在秋季, 较明显的为 2004 和 2005 年 10 月, 粒子散射系数月平均值均达到全年最高。但秋季的 25% 统计值较夏季有所降低, 说明秋季的散射系数水平趋于降低。除了天气因素的影响, 一些特殊源在此季节中的影响不可忽视。秋收过后, 上甸子附近农田以及北京、河北区域的农田普遍会出现焚烧秸秆的现象, 污染源范围较广, 受影响的范围也会较大。在观测记录中, 2004 及 2005 年上甸子村从 9 月开始出现焚烧现象。当出现焚烧现象时, 如果观测站处于下风方向 (西南西风), 散射系数有显著的增长。在 2005 年 10 月出现了几次严重污染过程, 当时北京以及周边地区出现了持续的稳定性天气, 风力小, 湿度偏大, 不利于污染的扩散, 加之焚烧产生的污染, 使得峰值达到 $1\,000\text{ Mm}^{-1}$ 。进入 11 月后, 焚烧现象逐渐结束, 天气条件也趋向于对大气扩散有利的方向, 使得散射系数升高的频率减少, 从而月均值也减小了。2006 年, 北京对焚烧现象加强了控制, 上甸子秋季散射系数值没有出现像往年的高值过程。所以在对秋季散射系数分析中, 要考虑外源的影响, 但在今后, 这种情况将会有所减少。

4 散射系数日变化特征

4.1 年度总体日变化特征及季节特点

图 3 中分别显示了上甸子区域 2004~2006 年四个季节散射系数的平均日变化曲线以及温度、湿度和风速三年平均的日变化曲线。可以看出, 上甸子区域气溶胶散射系数总体变化趋势为白天低夜间高, 最低值出现在 13 时 (北京时间, 下同) 前后, 最高值出现在夜间。这种变化趋势与天气要素以及大气层结的日变化规律有很好的相关性。白天随着辐射强度的增强, 气温升高, 湿度减小, 近地层对流活动逐渐增强, 13~14 时达到最强。气象信息显示 (如图 3b), 温度和湿度分别在 14 时左右达到一天中的最大和最小值。平均风速从日出后开始加强, 15 时左右达到一天中的最高值, 较好的扩散条件使散射系数在日间减小。而后随着日照逐渐减弱, 相对湿度增大, 地面散失热量较快, 近地层对流减弱, 风力也逐渐减小, 夜间 0 时前后, 平均风速降到最小, 夜间的大气层结多处于稳定状态, 不利于粒子的向上输送, 使得粒子浓度在夜晚通常较高。

另外, 气溶胶散射系数的季节变化显示, 夏季和秋季的平均值要高于冬、春两季。此结果符合前面年变化讨论中的季节变化趋势。一天之中散射系数日夜的差值, 在秋季和冬季较大, 春季和夏季的日变化曲线相对平缓。从气象条件的影响来看, 夏季温度高, 日夜温差相对减小, 夜间逆温不易形成, 在扩散能力上使得日夜间的差别

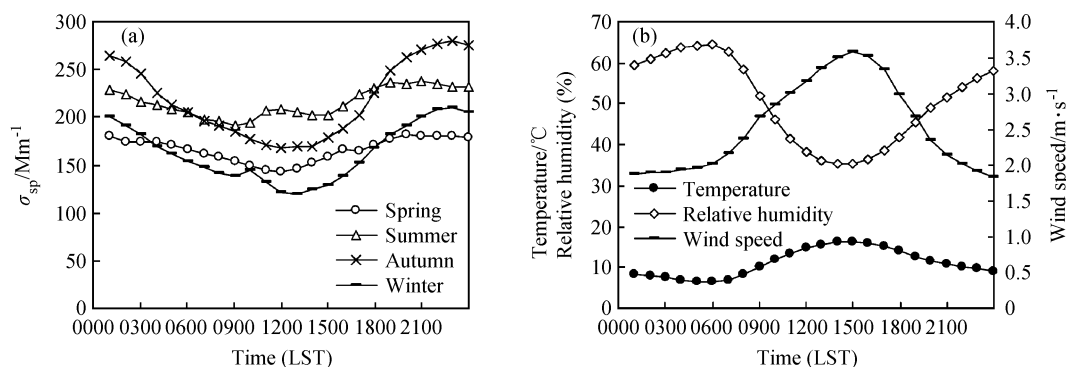


图 3 2004~2006 年 (a) 各季节中散射系数, (b) 三年平均温度、湿度、风速逐时变化

Fig. 3 Diurnal mean variation of (a) scattering coefficient in four seasons and (b) temperature, relative humidity and wind speed averaged from 2004 to 2006

缩小,所以白天与夜晚散射系数差也相对较小。其次,夏季散射系数在中午时分出现峰值,主要原因是夏日的高温、光照导致气粒转化产生二次气溶胶。一天中随着日照的增强,污染物转化的光化学过程也逐渐增强,直至午后。但午后风力达到最大,各种综合影响的结果,使夏日散射系数在正午时分出现峰值。

冬季的散射系数日变化平均值最低,说明冬季污染较其他季节少。另外,冬季出现晴天的次数较多,大气透明度较好,日间的辐射使低层大气的垂直对流较强烈,对地面的气溶胶颗粒物扩散非常有利。而在夜间,地面热量散失很快,大气的对流逐渐减缓,甚至发生逆温情况,造成地面大气颗粒物的堆积。大气在冬季日夜间的这种明显差异,也使得气溶胶散射系数表现出明显的日夜差异。除此之外,冬季气溶胶日变化还表现出不同于其他季节的一个特点:在 9~10 时出现一个小峰值。对城市气溶胶的研究中(王淑英等, 2002; 王京丽等, 2004),显示出气溶胶粒子浓度在 8、9 时也会出现一个小峰值,并认为这是由于交通早高峰造成的,但由于上甸子区域远离这种人为污染源,其清晨风速通常较弱,所以其产生原因与城市有所不同。冬季,位于观测站西南方向山谷处的上甸子村,会因燃煤取暖产生一定污染,夜间的逆温使污染气团聚集于山谷。日出后,地面混合层由于加热作用逐渐向上发展,产生爬坡风,将聚集的污染气团带至观测站的高度,造成散射系数在这一时段的升高。而其他季节中,村中不存在燃煤现象,产生的污染少,且在夜间逆温的频率少,故发生此现象的几率较少。

春季和秋季的特点介于两者中间,在此不再赘述。

4.2 晴天及阴天天气条件下散射系数日变化

对上甸子气溶胶的数据统计中发现,大部分晴天的散射系数平均值偏低,而高浓度的污染状况,多发生在阴天多云的天气条件下。于是分别对晴天和阴天的散射系数日变化做分析(图 4),对晴天与阴天的判断分别以当日云量在 3 以下和 8 以上为标准,结果发现阴天中的平均散射系数要比晴天状态下高 100~200 Mm^{-1} 。且晴天中的散射系数日变化较好地符合气象要素日变化规律,即在午后最低、夜间最高,而阴天则没有这样的

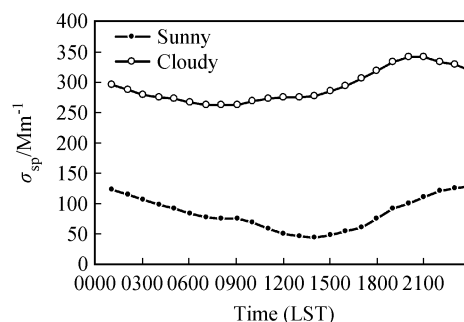


图 4 上甸子本底区域晴天、阴天平均散射系数日变化

Fig. 4 Diurnal variation of aerosol scattering coefficient in sunny and cloudy days

规律,其变化较晴天的小,最大值出现在 20 时左右,入夜后有所降低。上述差异一方面与晴天阴天中大气对流强度有关,另一方面也反映了不同天气系统对区域气溶胶的影响作用各异。由于观测站周围环境是土地和植被,且位于南坡面,受辐射影响比较敏感,使得晴天与阴天中的低层大气对流强弱有明显区别,从而影响到低层气溶胶粒子的扩散程度。而在没有外源影响的条件下,这种本地的扩散活动是影响气溶胶浓度的一个主要因素。在上甸子区域,晴天出现率在冬季和秋季都为 34%,而春季和夏季只有 18%和 15%;与之相对,阴天出现率在春季和夏季高,分别为 27%和 33%,冬季和秋季都只占 21%。这也是秋季与冬季具有晴天日变化特点,而春季与夏季逐时散射系数变化趋于阴天特性的原因。

5 风向对散射系数的影响

外源污染的输送对上甸子区域散射系数存在较明显的影响,风向的改变通常会引起散射系数发生变化。图 5 显示了 3 年中各风向出现频率以及各风向上气溶胶散射系数的平均值,SWW 风向上的平均散射系数是 NNE 风向上的 2.5 倍左右,足见不同方向来源的气团性质差异之大。上甸子区域的主导风向为 NEE,次主导风向为 SWW,分别占全年风向比例的 39.4%和 31.9%。其中冬季的主要风向为 NEE,春季的主要风向为 SWW,秋季和夏季这两种风向所占比率各半。从图中可以看到,在 WSW 风向上和静风时的平均散射系数最高,而在东北风向时较低。从本底站

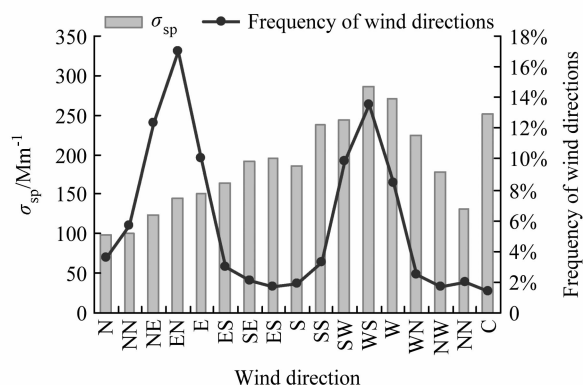


图5 上甸子区域风向频率及各风向上平均散射系数值

Fig. 5 The frequency of wind directions during the three years and mean scattering coefficients in each wind direction

所处的地理环境来看，北部到东部方向上，几十公里内主要为山地等自然环境，人为污染因素较少，使得东北方向风的含尘量较少，较干净；而像密云、怀柔等郊区城镇以及北京城市地区都处在甸子观测站的西南方向，较多排放源的存在，使气团中的粒子污染物含量也较高，导致西南风向时，本地大气中粒子含量大大增加。

通过对气溶胶散射系数和风向的时间序列做比较，发现气溶胶的变化随风向的变化规律较明显。在西南风时，散射系数呈升高趋势，且发生较重污染情况时的主导风向也大都处在西南风，风向转为东北风时，散射系数则通常出现下降趋势。这种浓度随风向的变化，反应时间通常在2~3 h以内。如果按照平均风速 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 计算，污染物传输距离可达到18 km左右，西南方向上

包括了几个郊区县城以及北京城区。说明在西南风的作用下，上风方向的城市、乡镇等地的排放源输入对观测区域的粒子散射系数的增加产生影响。可以看出，城市化发展及人类活动所造成的气溶胶浓度升高是不容置疑的，城镇源的输送对甸子区域的影响是不可忽视的。

6 本底浓度分析

大气本底成分值反映的是在远离城市及工业区而不受局地污染影响下的大气平均情况。对本底地区的观测可以监测到在较大范围内，因人类活动而造成的大气成分变化。甸子大气本底观测站是设在我国华北地区的唯一大气本底站，该站的观测结果可以充分反映中国华北地区大气成分本底状况。通过前面的分析，可以看出，甸子区域气溶胶散射系数变化受到不同方位的外地源输送和本地对流扩散等因素的共同影响，其影响强度和持续时间也都不尽相同。对于气溶胶散射系数本底值的分析，本文参考了汤洁等（1999）对瓦里关山地区黑碳本底浓度的分析方法，即拟合黑碳浓度出现频率分布曲线，选取最大分布频数的浓度值。对上甸子本底气溶胶散射系数情况的统计，利用3年的小时平均值数据，以 5 Mm^{-1} 的间隔进行分组，并分别计算了3年的浓度频数分布，如图6。散射系数的小时平均值范围是0~1710 Mm^{-1} ，由于讨论集中在最大频数浓度部分，且大于300 Mm^{-1} 的出现频数依然是逐渐递减趋

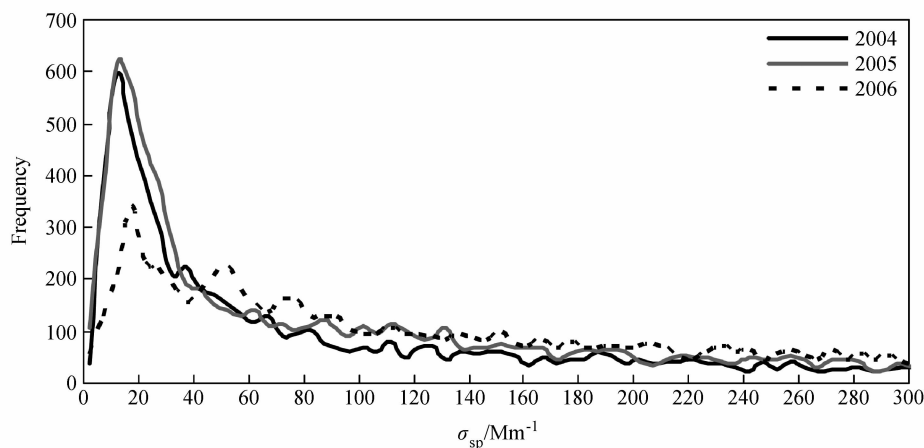


图6 2004~2006年气溶胶散射系数小时平均值出现频数分布

Fig. 6 Frequency distribution of hourly average scattering coefficient during 2004—2006

势,故图中只显示了 $0 \sim 300 \text{ Mm}^{-1}$ 范围。可以看出,3 年出现频数最高的散射系数小时平均值都集中在 $10 \sim 20 \text{ Mm}^{-1}$,可以认为其代表了华北地区气溶胶粒子的散射系数本底值范围。但也可以看到 2006 年散射系数值在这一范围出现的次数明显低于 2004 和 2005 年,并且最高出现频率处的散射系数值较前两年有所升高。同时,在 $50 \sim 100 \text{ Mm}^{-1}$ 范围内的出现频率有所升高。这说明 2006 年上甸子区域,污染因素和气象条件对大气的干扰有所增加,虽然是在轻微污染范围,但也使得散射系数的本底值有所增加。

7 结论

利用上甸子 3 年的气溶胶光散射系数的观测资料,对华北地区本底站气溶胶粒子散射特性的年变化、季节变化、日变化特点进行统计分析,并根据小时均值对华北地区气溶胶散射系数本底值进行讨论。得出主要的结论为:

1) 上甸子本底站气溶胶散射系数的月平均值在 200 Mm^{-1} 左右,2006 年散射系数比 2004 年和 2005 年的散射系数有所增加,主要表现为春季气溶胶平均浓度增长较多,除了其他干扰过程,2006 年沙尘天气增多是主要原因。

2) 气溶胶散射系数季节变化,表现为春季多风干燥,易受到外地污染源输送的影响,轻微污染发生频率较高;夏季高温潮湿、气压较低以及二次污染过程是导致散射系数升高的主要原因;秋季受到局地及周围区域中焚烧秸秆现象的影响,伴随稳定性天气过程会产生较严重的污染过程;冬季寒冷干燥,气压高,多晴天,气象条件利于污染物的扩散,使得散射系数为全年最低。

3) 本底区域散射系数平均日变化为白天低,夜间高。最低值出现在 13 时,最高出现在 23 时左右,这种变化与气象因素及大气层结的日变化规律有较好的一致性。

4) 上甸子本底站全年平均的主导风向为东北东和西南西。由于上甸子西南方向主要以城镇、大城市群居多,其污染物的排放量大,西南风时,散射系数平均值较高,而东北风时,浓度很低。

5) 根据最大出现频数统计得出,上甸子气溶胶本底散射系数范围在 $10 \sim 20 \text{ Mm}^{-1}$,且 2006 年

较前两年有所升高。

致谢 上甸子本底站的工作人员周怀刚、王振发、董璠提供了详尽气象资料和大气成分的观测信息,对数据的处理有很大帮助;徐晓峰副研究员为文章提供了 PM_{2.5} 分析数据,徐敬工程师对文章提出了宝贵的修改意见,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- Arun D, William K. 2003. Integrating nephelometer measurements for the airborne fine particulate (PM_{2.5}) mass concentrations [J]. *Atmos. Environ.*, 37: 1383–1392.
- Hanel G, Lehmann M. 1981. Equilibrium size of aerosol particles and relative humidity: New experimental data from various aerosol types and their treatment for cloud physics applications [J]. *Atmos. Phys.*, 54: 57–71.
- 胡波, 张武, 张镭, 等. 2003. 兰州市西固区冬季大气气溶胶粒子的散射特征 [J]. *高原气象*, 22 (4): 354–360. Hu Bo, Zhang Wu, Zhang Lei, et al. 2003. A study on scattering properties of aerosol particle over Xigu district of Lanzhou [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 22 (4): 354–360.
- 刘毅, 王明星, 张仁健. 1999. 中国气溶胶研究进展 [J]. *气候与环境研究*, 4 (4): 406–414. Liu Yi, Wang Mingxing, Zhang Renjian. 1999. The present status of aerosol research in China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 4 (4): 406–414.
- 刘毅, 周明煜. 1998. 北京沙尘浓度与气象条件的关系及其应用 [J]. *气候与环境研究*, 3 (2): 142–146. Liu Yi, Zhou Mingyu. 1998. Studies of the relation between mineral aerosol concentration and meteorological conditions over Beijing and its applications [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 3 (2): 142–146.
- 罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 1998. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状 [J]. *地球科学进展*, 13 (6): 572–581. Luo Yunfeng, Zhou Xiuji, Li Weiliang. 1998. Advances in the study of atmospheric aerosol radiative forcing and climate change [J]. *Advance in Earth Sciences (in Chinese)*, 13 (6): 572–581.
- 毛节泰, 张军华, 王美华. 2002. 中国大气气溶胶综述 [J]. *气象学报*, 60 (5): 625–634. Mao Jietai, Zhang Junhua, Wang Meihua. 2002. Summary comment on research of atmospheric aerosol in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 60 (5): 625–634.
- 毛节泰, 李成才. 2005. 气溶胶辐射特性的观测研究 [J]. *气象学报*, 63 (5): 622–635. Mao Jietai, Li Chengcai. 2005. Observation study of aerosol radioactive properties over China [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 63 (5): 622–635.

- 邵龙仪, 时宗波, 黄勤. 2000. 都市大气环境中可吸入颗粒物的研究 [J]. 环境保护, (1): 24 - 26. Shao Longyi, Shi Zongbo, Huang Qin. 2000. A study of inhalable particles in the urban ambient air [J]. Environmental Protection (in Chinese), (1): 24 - 26.
- 石广玉. 1996. 气候变化的辐射强迫研究的最新进展 [A]. 现代大气科学前言与展望. 北京: 气象出版社. Shi Guangyu. 1996. The new development of radioactive forcing on climate change research [A]. Introduction and Outlook on Modern Atmospheric Research (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press.
- 孙景群. 1983. 湿气溶胶的光散射特性 [J]. 高原气象, 2 (1): 49 - 54. Sun Jingque. 1983. The scattering property of humid aerosol [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 2 (1): 49 - 54.
- 汤洁, 温玉璞, 周凌晞, 等. 1999. 中国西部大气清洁地区黑碳气溶胶的观测研究 [J]. 应用气象学报, 10 (2): 160 - 170. Tang Jie, Wen Yupu, Zhou Lingxi, et al. 1999. Observational study of black carbon in clean air area of western China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 10 (2): 160 - 170.
- 王京丽, 谢庄, 张远航, 等. 2004. 北京市大气细粒子的质量浓度特征研究 [J]. 气象学报, 62 (1): 105 - 111. Wang Jingli, Xie Zhuang, Zhang yuanghang, et al. 2004. The research on the mass concentration characteristics of fine particles in Beijing [J]. Acta Meteorological Sinica (in Chinese), 62 (1): 105 - 111.
- 王淑英, 张小玲. 2002. 北京地区 PM10 污染的气象特征 [J]. 应用气象学报, 13: 177 - 184. Wang Shuying, Zhang Xiaoling. 2002. Meteorological features of PM10 pollution in Beijing [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 13: 177 - 184.
- William C, Derek E. 2001. Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity [J]. Atmos. Environ., 35: 2845 - 2860.
- 杨军, 李子华, 黄世鸿. 1999. 相对湿度对大气气溶胶粒子短波辐射特性的影响 [J]. 大气科学, 23 (2): 239 - 247. Yang Jun, Li Zihua, Huang Shihong. 1999. The impact of relative humidity on the radiative property and radiative forcing of sulfate aerosol [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 23 (2): 239 - 247.
- 于风莲. 2002. 城市大气气溶胶细粒子的化学成分及其来源 [J]. 气象, 28 (11): 3 - 6. Yu Fenglian. 2002. Chemical composition and its source of fine particles in atmospheric aerosol of urban areas [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 28 (11): 3 - 6.
- Zhou Mingyu, Okada K, Qian Fenlan, et al. 1996. Characteristics of dust-storm particles and their long-range transport from China to Japan-case studies in April 1993 [J]. Atmos. Res., 40: 19 - 311.