

肖秀珠, 刘鹏飞, 耿福海, 等. 上海市区和郊区黑碳气溶胶的观测对比. 应用气象学报, 2011, 22(2): 158-168.

上海市区和郊区黑碳气溶胶的观测对比

肖秀珠¹⁾²⁾ 刘鹏飞²⁾ 耿福海^{3)*} 高伟³⁾ 甄灿明³⁾ 赵春生²⁾

¹⁾(福建省龙岩市气象局, 龙岩 364000) ²⁾(北京大学物理学院, 北京 100871)

³⁾(上海市浦东新区气象局, 上海 200135)

摘 要

为了探讨上海市区和郊区黑碳气溶胶质量浓度、分布以及来源和输送等特征, 利用上海浦东(市区)和东滩(郊区河口湿地)2007年12月—2008年11月的黑碳气溶胶小时平均质量浓度数据, 对比分析了两地黑碳气溶胶浓度在不同时间尺度上的变化特征以及气象要素对黑碳质量浓度的影响。结果表明: 观测期间浦东和东滩两地黑碳气溶胶小时质量浓度平均值分别为 $3.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, $1.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。两地黑碳气溶胶浓度具有类似的季节变化特征, 均为冬季较高、夏季较低; 同时浦东黑碳气溶胶浓度日变化呈现出明显的双峰结构, 并具有显著的周末效应, 体现了局地人为源排放的影响。受源排放影响为主的市区与受输送影响为主的郊区, 黑碳气溶胶浓度在不同风向向上与风速的关系表现出不同特征。

关键词: 上海; 黑碳; 气溶胶; 空气质量

引 言

大气气溶胶是影响气候和环境变化的重要因子^[1-3], 大气气溶胶来源广泛并具有不同的光学特性^[4-5], 在云微物理过程中的作用也不同^[6]。黑碳气溶胶作为大气气溶胶的重要组成部分, 不仅能够吸收太阳辐射, 加热大气, 直接影响地气系统的辐射平衡^[7], 还可以与大气中硫酸盐、硝酸盐等成分混合形成云凝结核^[8], 或直接作为冰核改变云物理过程^[9], 间接改变大气气溶胶的辐射特性, 从而对区域和全球气候变化产生重要影响。同时, 大量的黑碳气溶胶会降低大气能见度, 且以亚微米颗粒为主的黑碳气溶胶可以深入人体的呼吸系统, 严重危害人体健康。

黑碳气溶胶主要由化石燃料和生物质燃烧过程产生, 其来源可分为自然源和人为源两种^[10]。自然源包括火山爆发、森林大火等自然现象产生的黑碳气溶胶; 而人类在全球范围内大量使用煤、石油等化石燃料、以及出于农业目的的生物质燃烧是主要的

人为源排放^[11], 其中机动车, 特别是柴油车尾气排放是城市大气中黑碳气溶胶的重要来源。

20世纪70年代国际上就开始对黑碳气溶胶进行研究, 开展了包括南极、北极等人类活动影响小的地区以及城市污染大气、大气本底站等地的观测试验和研究分析^[12-15]。自20世纪90年代, 我国在西部大气清洁地区、珠江三角洲地区、四川盆地、塔克拉玛干沙漠以及北京、上海、陕西西安、吉林长春、浙江临安等地开展了黑碳气溶胶的观测和研究工作^[16-24], 在黑碳气溶胶的变化特征和来源解析方面有一定研究基础。对黑碳气溶胶的辐射特性及气候效应的研究^[25-28]也取得了较大进展。但是, 目前国内对黑碳气溶胶特征的分析多局限于单站分析或不同地区的对比, 并且分析资料多以单一季节为主, 而对于利用某地市区和郊区不同测站整年观测数据分析黑碳气溶胶质量浓度季节变化和日变化特征, 并加以对比的研究仍较少见。

上海位于经济发达的长江三角洲地区, 人们对该区域的环境污染问题越来越重视。分析黑碳气溶胶质量浓度的季节变化、日变化及其与气象要素的

2010-05-31 收到, 2010-12-15 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(40875001), 2007年度气象局公益性行业科研专项“上海世博会大气成分监测、预报和高污染应急预警技术研究”

* 通信作者, E-mail: fuhaieng@263.net

黑碳仪的采样流量为 $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 5 min 测量 1 次。黑碳仪安装在观测集装箱内, 进气口位于箱顶, 采样口离地面高度为 15~20 m, 周围无障碍物遮挡, 进气管路无明显弯折。通过 1.5 m 内壁涂有特富龙的黑管与仪器相连, 可以忽略样品在管壁附着的损失, 观测时使用了 $2.5 \mu\text{m}$ 的切割头。黑碳仪每 3 个月进行 1 次流量检查和零点数据检查, 依据流量检查结果对观测数据进行流量订正; 在进气口前加入粒子涂除器检查零气状态下的测量值, 测量时及时检查光源的稳定性情况。另外, 通过仪器参数设定控制测量滤膜上黑碳气溶胶的载荷量(控制透射光衰减不超过 100%) 保证观测数据质量的准确性。

由于光线在滤膜中多次散射, 造成比衰减系数 σ_a 偏大引起浓度值偏高, 因此, 即使有上述质量控制, 黑碳仪仍可存在观测误差。吴兑等^[25] 在珠江三角洲利用 AE-31 黑碳仪 (880 nm) 与德国 Max Planck 研究所的多向散射法进行平行比对, 拟合得到了新的黑碳数据订正公式并对数据进行订正。虽然本文观测仪器与吴兑等^[25] 的观测研究所用仪器为同一型号, 但未与其他方法进行比对, 所以本文仍

采用厂家的推荐值, 880 nm 黑碳质量衰减系数 σ_a 取 $16.6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.2.2 数据处理

本文分析了 2007 年 12 月 1 日—2008 年 11 月 25 日为期约 1 年的黑碳观测数据。仪器原始采样频率为 5 min, 数据处理为 1 h 平均值, 平均过程中对明显的异常值(与该小时平均值之差的绝对值超过 3 倍标准差)以及仪器标记为坏点的值(通常由于更换滤膜等原因)进行了剔除, 同时若该小时可用数据点数目小于应测数目的 $2/3$, 则认为该小时数据无效。通过这些数据质量控制手段可有效地保证数据的可靠性。在观测期间, 浦东站黑碳仪运行状况理想, 数据完整率达到了 97.4%; 而东滩站仪器在 2008 年 2 月、4 月、5 月、6 月和 7 月由于仪器故障在一些天有数据缺失, 但总体数据完整率也达到了 73.8%, 可以满足统计需要。

2 黑碳气溶胶质量浓度变化特征

2.1 日变化和季节变化特征

从图 2 黑碳气溶胶质量浓度的月、日二维变化

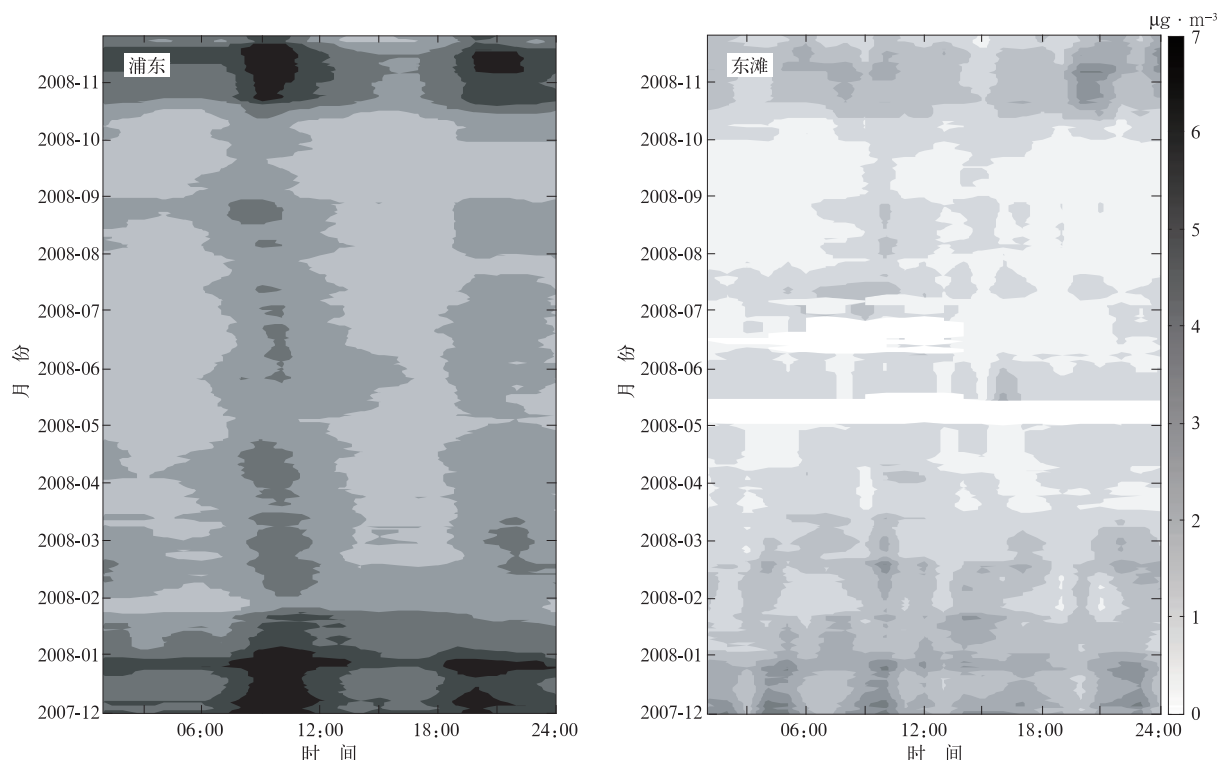


图 2 黑碳质量浓度月、日变化特征图(数据按月份取 30 d 滑动平均)

Fig. 2 Monthly and diurnal variations of BC mass concentrations in Pudong and Dongtan (the data are smoothed along the month-axis using 30-d moving average)

图(图中时间均为北京时,下同)可以看出,浦东和东滩黑碳气溶胶质量浓度有明显的季节变化特征:总体特征为秋、冬季(2007年12月—2008年1月,2008年11月)相对较高,而夏季(2008年5—8月)相对较低。浦东黑碳气溶胶质量浓度明显高于东滩,但两站表现出的季节变化较为类似。两站日变化特征有比较明显的区别,由图2可以看出,浦东黑碳气溶胶质量浓度具有双峰结构的日变化特征,而东滩却没有明显的日变化特征。

图3显示,浦东黑碳气溶胶月平均质量浓度较高值出现在2007年12月—2008年1月及2008年11月(月平均质量浓度为 $5.0\sim 6.1\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),其他月份黑碳气溶胶质量浓度较低(月平均质量浓度为 $2.6\sim 3.9\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);东滩黑碳气溶胶的月平均质量浓度相对较低,其季节变化特征与浦东相似,月平均质量浓度较高值出现在2007年12月—2008

年2月及2008年11月(月平均质量浓度为 $2.2\sim 2.6\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),其他月份黑碳气溶胶质量浓度较低(月平均质量浓度为 $0.8\sim 1.8\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。浦东和东滩黑碳小时平均浓度的月中位数显示出与月平均质量浓度类似的季节变化,仍为冬季较高、夏季较低,但数值均小于相应月平均值,季节变化幅度也相对较小。75%和95%分位数浓度季节变化十分明显;浦东黑碳气溶胶质量浓度在2007年12月、2008年1月和11月出现了大于 $13\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的95%分位数,明显高于其他各月相应值($<10\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);东滩黑碳气溶胶质量浓度在2007年12月、2008年1月、2月和10月、11月出现了大于 $6\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的95%分位数,明显高于其他月份相应值(多小于 $4\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。这说明两站的月平均质量浓度变化受到高值影响较大,而冬季易出现黑碳气溶胶质量浓度高值,形成污染事件。

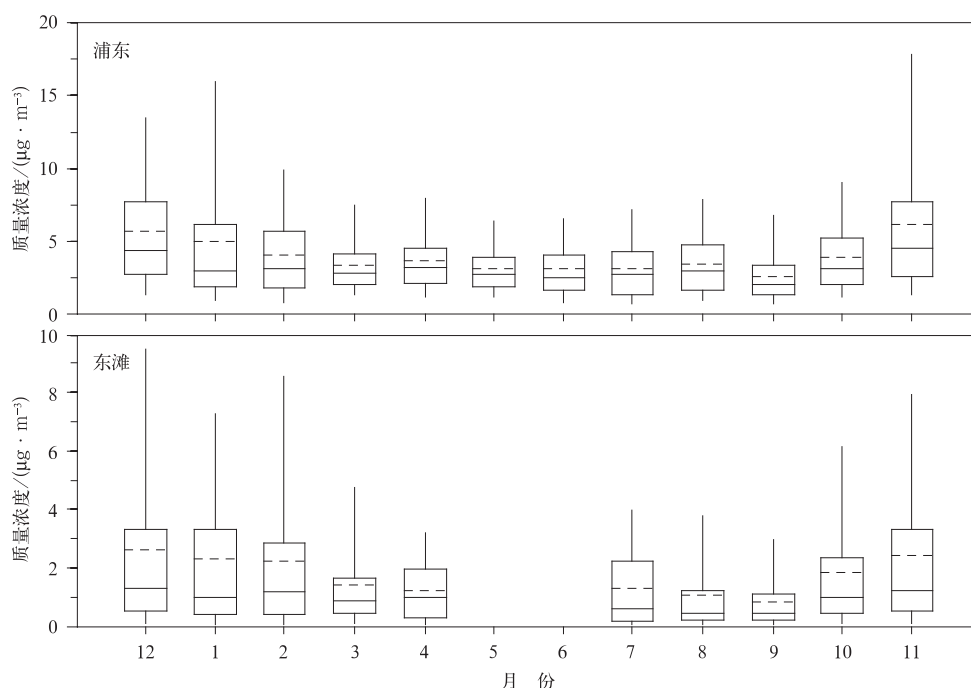


图3 黑碳气溶胶质量浓度月变化(长方形框中的虚横线表示月平均值;实横线表示中位数;长方形上、下边分别表示75%和25%分位数;竖线上、下端分别表示95%和5%分位数)

Fig. 3 The monthly mass concentrations of black carbon aerosols

(dashed and solid horizontal lines in the boxes represent mean and median values, respectively; the upper and lower sides of the boxes represent the 75% and 25% percentiles; while the upper and lower points of the vertical lines are 95% and 5% percentiles)

为了更好地分析浦东和东滩各季节的日变化特征,本文对冬季(2007年12月—2008年2月)、春季(2008年3—5月)、夏季(2008年6—8月)、秋季

(2008年9—11月)两地黑碳气溶胶小时质量浓度资料进行分析,绘制出不同季节黑碳气溶胶质量浓度的日变化特征对比图(图4)。

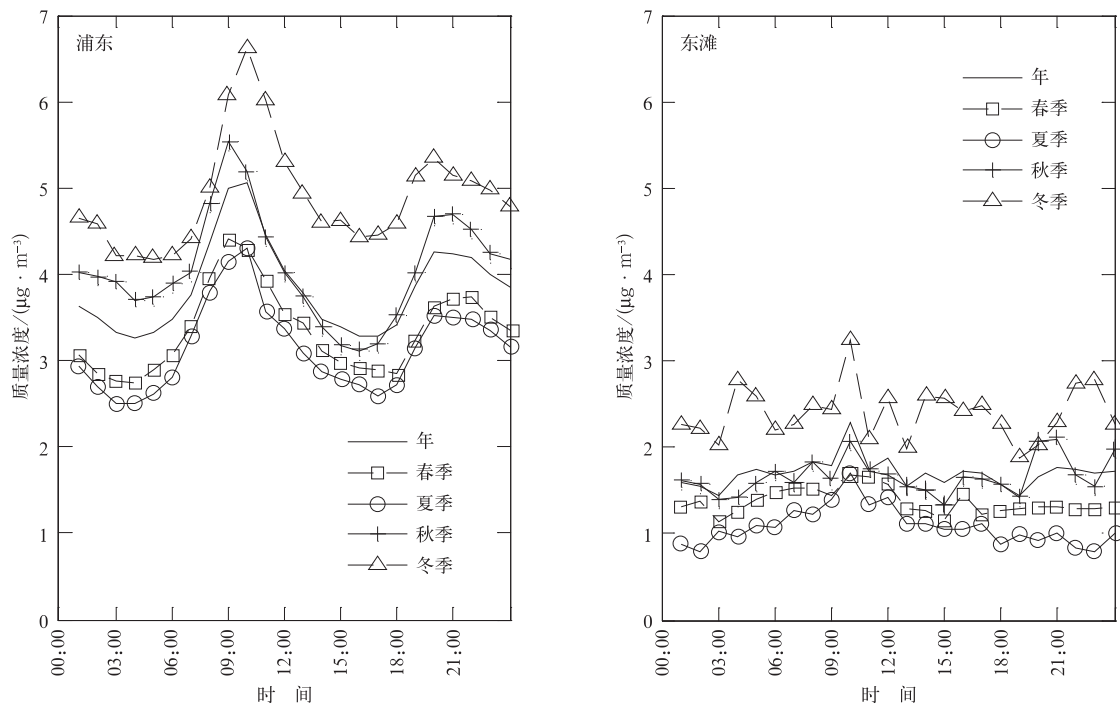


图4 不同季节黑碳气溶胶质量浓度日变化

Fig. 4 Average diurnal variations of BC mass concentration in different seasons

由图4中浦东各季节黑碳气溶胶质量浓度日变化特征可以看出,4个季节中以冬季质量浓度最高、秋季次之,春、夏季质量浓度较低;同时4个季节的黑碳气溶胶质量浓度日变化特征均具有明显的双峰结构,最高峰值出现在09:00—10:00,次高峰值出现在20:00—21:00,凌晨和午后黑碳气溶胶质量浓度较低,秋季最低值出现在午后,其余季节最低值出现在03:00—05:00。四季日变化特征中的峰值和谷值出现时间略有差别,冬季和夏季的第1高峰值出现在10:00,较春季和秋季迟1h;而次高峰值除了春季出现在21:00,其余3个季节均出现在20:00。浦东黑碳气溶胶质量浓度呈现明显的双峰结构与广州^[25]、长春^[21]等城市的日变化特征一致,但是早、晚峰值出现的时间均比广州和长春推迟约1h。

浦东黑碳气溶胶质量浓度的季节变化特征与降水有一定的对应关系。就常年状况来说,上海地区冬季降水最少,其次是秋季,夏季降水丰沛。降水对黑碳气溶胶起到沉降清除作用,因此干、湿季节分别对应黑碳气溶胶质量浓度的高值和低值,这与Latha等^[15]以及Babu等^[29]研究的热带环境的黑碳气溶胶季节变化特征相似。另外,黑碳气溶胶质量浓度的季节变化还可能与排放和输送特征的变化有

关。上海地区秋、冬季在偏西或偏北风控制下,使得天气系统上游区的农作物秸秆燃烧、冬季燃煤取暖、工业排放产生的大量黑碳气溶胶输送到上海地区;而夏季盛行的偏东或偏南风携带洁净的海洋气团,对当地的污染物起到稀释作用,黑碳浓度总体较低。

浦东黑碳气溶胶质量浓度的日变化特征与局地人为活动和大气扩散日变化规律相关。夜间至凌晨人为活动减少,黑碳气溶胶质量浓度处于持续降低阶段,出现一天中黑碳气溶胶质量浓度最低的谷值;日出后人为活动相对增多,特别是上班高峰期09:00前后机动车尾气排放,使得黑碳排放显著增加;上午大气混合层高度持续增加,大气对流活动增强,地面的黑碳气溶胶在湍流作用下向上扩散,地面黑碳气溶胶质量浓度降低;午后相对于早高峰时段交通流量有所下降,最终在太阳落山前达到黑碳气溶胶质量浓度的第2个谷值;18:00开始处于下班高峰期,机动车尾气排放增多,黑碳气溶胶质量浓度增高,同时日落后对流边界层迅速崩溃,混合层高度降低,造成黑碳气溶胶容易在近地面堆积而使其质量浓度增加,20:00—21:00逐渐形成黑碳气溶胶质量浓度的次高峰值。仅从大气扩散日变化规律分析,如果排放源强度恒定,正午时段的黑碳气溶胶质量浓度应最低,

夜间黑碳气溶胶质量浓度应最高,但由于人为活动及上下班高峰期大量的机动车尾气排放,使得白天的黑碳气溶胶质量浓度比黑夜高,因此可以认为人为活动,特别是机动车尾气排放是浦东黑碳的主要排放源,其排放强度的日变化以及大气边界层在一天内的演变决定了黑碳气溶胶质量浓度的日变化。

由图 4 中东滩黑碳气溶胶质量浓度的季节和日变化可以看出,东滩黑碳气溶胶质量浓度显著低于浦东;4 个季节的变化规律与浦东相同,即冬季最高、秋季次之,夏季最低;东滩测得的黑碳气溶胶质量浓度低,日变化较小,日变化特征不明显,东滩黑碳气溶胶质量浓度的日变化特征与美国波士顿地区郊区和乡村站点的黑碳气溶胶质量浓度日变化特征较为相似^[30],仅能看出在早晨黑碳气溶胶质量浓度略微高于其他时段,但没有与其他大城市(包括上海市区浦东)交通高峰期所对应的双峰结构特征,日变化不明显。这是由于东滩处于远离城市人为排放源的河口湿地,局地源排放很弱,其污染物浓度更多受到输送等过程的影响,而与源排放的日变化和大气扩散过程关系不大。但由于东滩与浦东所处的地理

位置及天气系统相同,因此在黑碳气溶胶质量浓度的四季变化中两地具有一致性。

2.2 周末效应

为了探讨人为源排放对黑碳气溶胶质量浓度的影响,将浦东和东滩两站资料按照工作日(星期一至星期五)和非工作日(星期六至星期日)进行分组,分析各时次黑碳气溶胶平均质量浓度日变化(如图 5a 所示)。由图 5a 可以发现,浦东(城区)工作日和非工作日黑碳气溶胶的日变化特征均为双峰结构,非工作日的第 1 高峰出现时次比工作日迟 1 h,双休日人为活动减少,黑碳气溶胶质量浓度比工作日偏低约 13%;而东滩(郊区)工作日和非工作日黑碳气溶胶质量浓度的日变化幅度小,而且工作日与非工作日其质量浓度差别不大。图 5b 给出了工作日和非工作日黑碳气溶胶质量浓度小时平均两组数据的平均值和分位数值的统计结果,可以看出,对于浦东工作日黑碳气溶胶质量浓度小时平均值、中位数值以及 5%,25%,75%,95% 等各分位数质量浓度值均略高于非工作日;而东滩两组数据差别相对较小。对浦东工作日和非工作日小时平均黑碳气溶胶质量

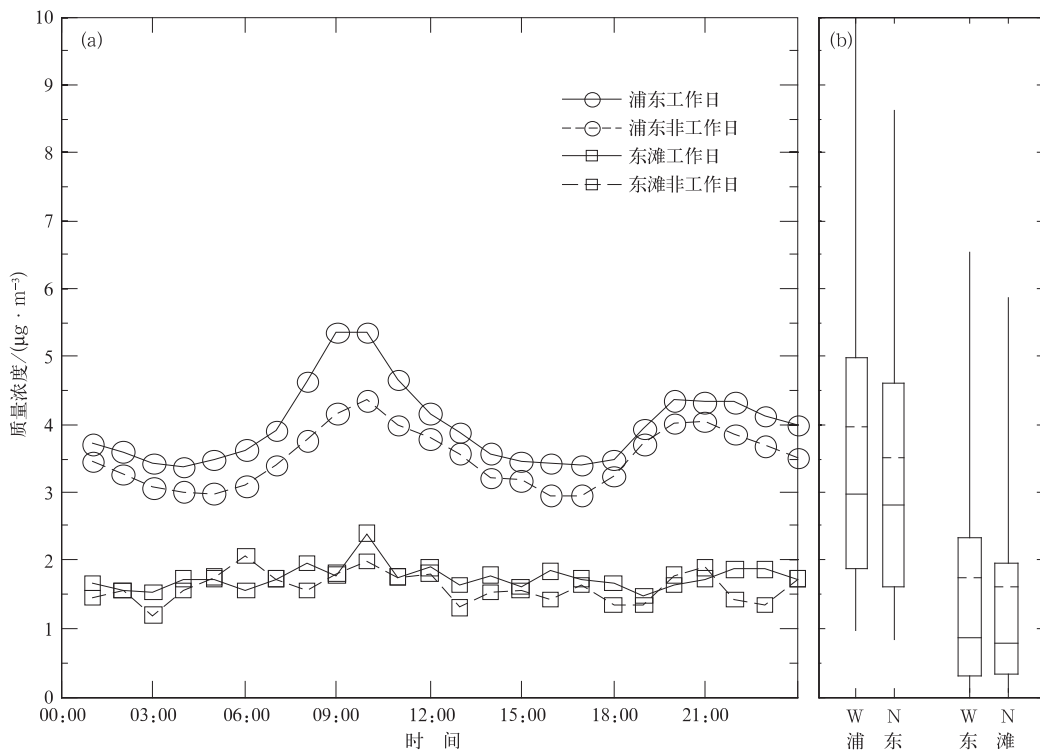


图 5 工作日(W)和非工作日(N)黑碳气溶胶质量浓度日变化(a)及小时平均(b)特征(其他说明同图 3)

Fig. 5 Average diurnal variations (a) and hourly variations (b) of BC mass concentration on workday (W) and non-workday (N) (others same as in Fig. 3)

浓度进行平均值的比较检验(z 检验)^[31],得到检验的 p 值为 2×10^{-11} ,即工作日与非工作日小时黑碳气溶胶质量浓度的平均值有显著差别,非工作日的黑碳气溶胶质量浓度平均值显著低于工作日,有明显的周末效应;同样对东滩站工作日和非工作日小时平均黑碳气溶胶质量浓度进行平均值的比较检验,得到检验的 p 值为0.028,即在0.01显著性水平下,东滩工作日和非工作日黑碳气溶胶小时质量浓度的平均值没有显著性差异。

上海市区和郊区不同的周末效应也可以反映出黑碳气溶胶的源排放特征:浦东黑碳气溶胶主要为当地人为源排放(主要是机动车)贡献,因此工作日和非工作日均呈现明显的双峰结构,但由于周末人为活动减少,因此黑碳气溶胶质量浓度较低;而东滩位处河口湿地的郊区,人为活动较弱,黑碳气溶胶质量浓度和输送关系较大,因而工作日和非工作日的黑碳气溶胶质量浓度差别不明显,不具有周末效应。这一比较结果和Allen等^[30]在美国波士顿地区9个不同城市化站点得到的结果较为类似,即城区周末效应明显而郊区不明显,所不同的是,波士顿地区的城区站点在非工作日没有观测到明显的双峰分布,而我国上海城区站点在非工作日黑碳气溶胶质量浓度日变化仍呈

现双峰分布。这与两地人为活动的差异有关,说明上海在非工作日交通流量仍较大且呈现明显日变化。

2.3 气象因子对黑碳气溶胶质量浓度的影响

由图6可以看出:风速固定时,风向对东滩黑碳气溶胶质量浓度的影响与浦东一致,黑碳气溶胶质量浓度的高值区分布在偏西风方向($225^\circ \sim 315^\circ$),低值区主要分布在偏东风方向($45^\circ \sim 135^\circ$)。偏东风方向的风携带来海上的洁净气团,有利于稀释当地的黑碳气溶胶质量浓度,而偏西方向的风输送带来长江三角洲一带人为活动产生的污染物,因此黑碳气溶胶质量浓度偏高。而风速对东滩和浦东黑碳气溶胶质量浓度的影响却不同,对于风向,浦东黑碳气溶胶质量浓度随着风速增大而减小,说明风对污染物的稀释起主导作用;而东滩黑碳气溶胶质量浓度与风速变化在各风向上的变化规律不同,在偏西风方向上可以看出黑碳气溶胶质量浓度随着风速增大先增大、后减小。由图6还可以发现,浦东在静风时各个不同风向上黑碳气溶胶质量浓度均较高(超过 $4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$),而东滩在静风时黑碳气溶胶质量浓度较低(低于 $2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。可以推断,在浦东局地污染源排放是黑碳气溶胶的重要来源,而东滩黑碳气溶胶来源主要是风输送带来的外地污染源。

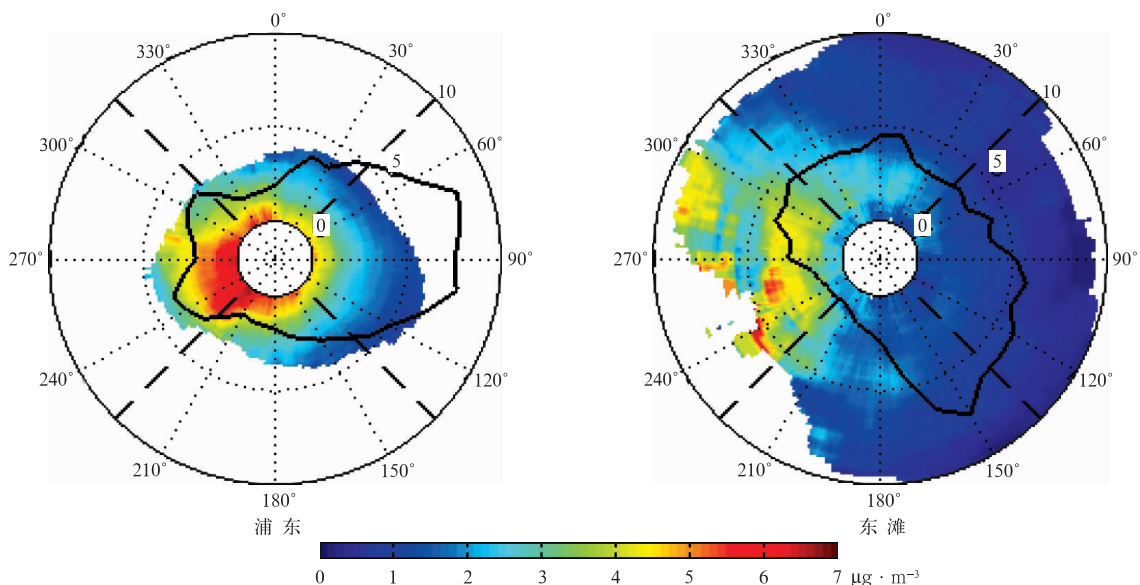


图6 黑碳气溶胶质量浓度和风向及风速的关系

(半径表示风速,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;彩色填充区代表黑碳气溶胶质量浓度;黑色实线代表风的频次)

Fig. 6 The relationship of BC mass concentration to wind direction and speed

(the radius represents wind speed, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; the color represents BC mass concentration;

the solid black line shows the frequencies of wind from different directions)

为了进一步研究风向、风速对浦东和东滩两地黑碳质量浓度的影响,本文分偏北($316^{\circ}\sim 360^{\circ}$, $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$)、偏东($46^{\circ}\sim 135^{\circ}$)、偏南($136^{\circ}\sim 215^{\circ}$)、偏西($216^{\circ}\sim 315^{\circ}$)4个方位对黑碳气溶胶质量浓度随风速的变化特征进行分析。

图 7 表明:浦东在各方位风向上黑碳气溶胶质量浓度基本是随着风速增大近似呈反比曲线下降趋势,反映了风对浦东黑碳气溶胶质量浓度的稀释作用;但在偏西风方向时,同等风速下平均黑碳气溶胶质量浓度明显高于其他风向,特别是风速在 $1.5\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时较为明显,这说明了分布在浦东以西的上海其他城区(如徐汇区)的排放对浦东的污染有一定贡献,反映了区域内的污染物输送作用。东滩也

是在偏西风时的黑碳气溶胶质量浓度最大,但是黑碳气溶胶质量浓度在 $0\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内随着风速增大而增大,说明风对污染物起输送作用,而当风速为 $3\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,黑碳气溶胶质量浓度随着风速增大而减小,说明风对污染物的稀释作用开始变得显著;东滩在偏东风向上黑碳气溶胶质量浓度最低,并且黑碳气溶胶质量浓度随着风速增加呈减小的趋势,主要是因为偏东风携带海上清洁气团,对东滩黑碳气溶胶起稀释作用;在偏南和偏北风向黑碳气溶胶质量浓度的变化没有明显的规律,由于在北偏西及南偏西方向上有污染气团的输送作用,因此黑碳气溶胶质量浓度随着风速的增大而变化特征有小幅波动。

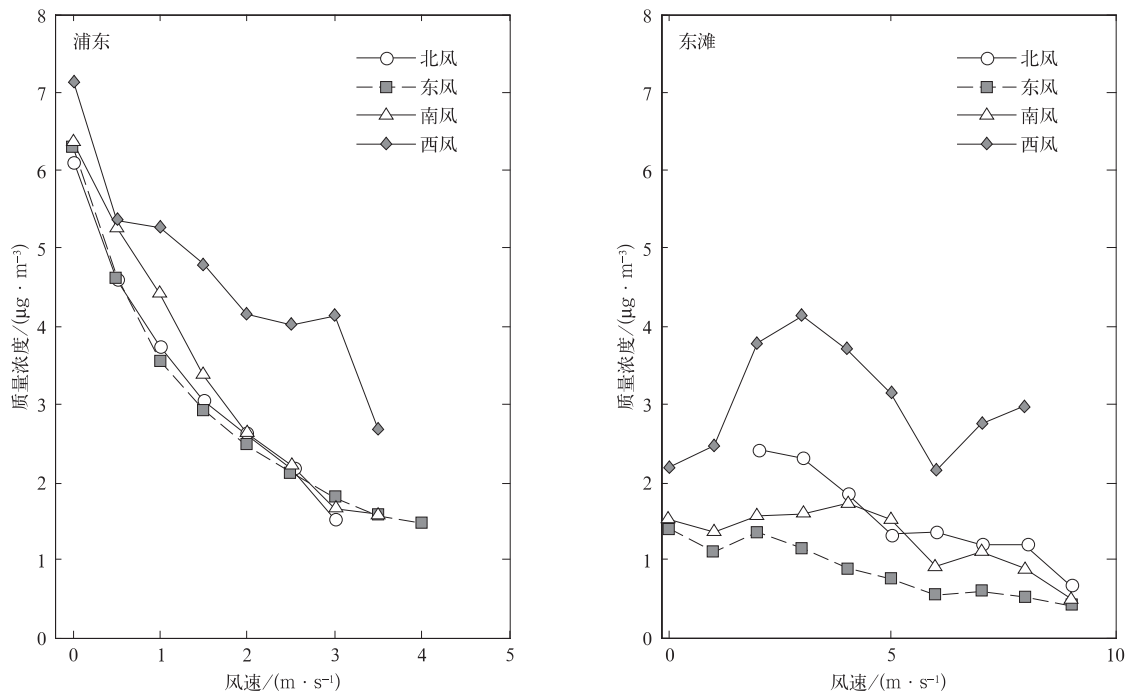


图 7 不同风向条件下风速与黑碳气溶胶质量浓度的关系

Fig. 7 Relationships of BC mass concentrations to wind speed under different wind directions

风速与黑碳气溶胶质量浓度的关系既与测站当地的源排放强度有关,又与风来向地区的污染程度有关。浦东和东滩两地风向、风速与黑碳气溶胶的浓度变化关系可以解释为各方位的风对局地排放的黑碳气溶胶均有稀释扩散作用,特别是在风速较大时其稀释作用更加显著;当风从相对清洁地区吹来时,本地排放较强,风对黑碳气溶胶的稀释作用占主导,其质量浓度和风速呈较好的反比关系,如浦东风向为偏东、偏北和偏南的情况;当风来自污染地区方

向时,而本地相对清洁,随着风速增加,风对黑碳气溶胶质量浓度先以输送作用为主而后转为以稀释作用为主,如东滩黑碳气溶胶质量浓度在偏西方向上的变化;当局地排放较强,风的来向污染也较为严重时,风对黑碳气溶胶起稀释作用的同时也存在输送作用,如浦东在偏西方向上黑碳气溶胶质量浓度明显大于其他风向方位上的黑碳气溶胶质量浓度。以上变化关系较好地反映了风对城市地区污染物稀释和输送作用,可以用于城市空气质量的统计预报。

3 小 结

本文利用2007年12月—2008年11月上海市区(浦东)和郊区河口湿地(东滩)两个不同站点观测的黑碳气溶胶质量浓度数据,分析了上海市区和郊区黑碳气溶胶质量浓度的季节变化、日变化特征以及周末效应,并讨论了其与风速、风向等气象要素的关系,主要结论如下:

1) 浦东和东滩在观测期间黑碳气溶胶小时质量浓度分布范围分别为 $1.2\sim 7.6\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.1\sim 4.4\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (10%~90%分位数),两个站黑碳气溶胶小时质量浓度平均值分别为 $3.8\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $1.7\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,标准差分别为 $3.2\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $2.3\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2) 由于浦东和东滩两站相距约50 km,具有相近的气候特征,因此两站测量的黑碳气溶胶质量浓度在季节尺度上呈现类似变化,均为冬季相对较高,夏季相对较低。

3) 两站黑碳浓度的日变化呈现明显不同的特征:对于市区(浦东),黑碳气溶胶质量浓度受局地源排放和大气扩散条件的日变化影响呈现出明显的双峰结构,早高峰出现在09:00—10:00,晚高峰出现在19:00—21:00;而对于河口湿地的东滩,由于局地很少有源排放,黑碳浓度没有明显的日变化。

4) 城市地区浦东站测量的黑碳气溶胶质量浓度呈现明显的周末效应,即非工作日(周六、周日)的质量浓度明显低于工作日(周一到周五),平均偏低约13%;对于东滩,由于人为活动较少,黑碳气溶胶质量浓度变化未体现明显的周末效应。

5) 位于市区的浦东,局地源排放较强,风对黑碳气溶胶主要起稀释作用,黑碳气溶胶质量浓度随风速增大而减小,但当风来自污染较重的偏西方向时,会对黑碳气溶胶有一定输送作用。位于郊区河口湿地的东滩,黑碳气溶胶质量浓度主要由输送贡献,当风来自污染较重的偏西方向时,黑碳气溶胶质量浓度随风速增大先增大后减小。

综上所述,受到源排放、输送、扩散、清除等过程的影响,上海市区浦东和郊区东滩的黑碳气溶胶质量浓度在不同时间尺度上呈现不同变化特征。黑碳气溶胶来源较为单一、寿命时间相对较长,通过长期观测研究市区和郊区不同站点黑碳气溶胶质量浓度变化,可以清晰地揭示不同尺度过程对人为排放污染物变化的作用,从而为提高空气质量预报水平、合

理治理空气污染提供科学依据。

参 考 文 献

- [1] Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, et al. Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 1992, 255: 423-430.
- [2] Ramanathan V, Crutzen P J, Kiehl J T, et al. Atmosphere-aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, 2001, 294: 2119-2124.
- [3] Dockery D W, Pope C A, Xu X P, et al. An association between air pollution and mortality in 6 United States cities. *New Engl J Med*, 1993, 329: 1753-1759.
- [4] 温玉璞,徐晓斌. 青海瓦里关大气气溶胶元素富集特征及其来源. *应用气象学报*, 2001, 12(4): 400-408.
- [5] 徐祥瑞,丁国安,卞林根. 北京城市大气环境污染机理与调控原理. *应用气象学报*, 2006, 17(6): 815-828.
- [6] 赵春生,彭大勇,段英. 海盐气溶胶和硫酸盐气溶胶在云微物理过程中的作用. *应用气象学报*, 2005, 16(4): 417-425.
- [7] Ramanathan V, Carmichael G. Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geosci*, 2008, 1: 221-227.
- [8] Dusek U, Reischl G P, Hitzinger R. CCN activation of pure and coated carbon black particles. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40: 1223-1230.
- [9] Kärcher B, Möhler O, DeMott P J, et al. Insights into the role of soot aerosols in cirrus cloud formation. *Atmos Chem Phys*, 2007, 7: 4203-4227.
- [10] 张华,王志立. 黑碳气溶胶气候效应的研究进展. *气候变化研究进展*, 2009, 5(6): 311-317.
- [11] 秦世广. 我国大陆地区大气黑碳气溶胶观测研究. 北京: 中国气象科学研究院, 2001.
- [12] Hansen A D A, Novakov T. Aerosol black carbon measurements over the western Atlantic Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 1988, 2(1): 41-45.
- [13] Hansen A D A, Novakov T. Real-time measurement of aerosol black carbon during the carbonaceous species methods comparison study. *Aerosol Science and Technology*, 1990, 12: 194-199.
- [14] Parungo F, Nagamoto C, Zhou M Y. Aeolian transport of aerosol black carbon from China to the ocean. *Atmos Environ*, 1994, 28(20): 3251-3260.
- [15] Latha K M, Badarinath K V S. Black carbon aerosols over tropical urban environment—A case study. *Atmospheric Research*, 2003, 69: 125-133.
- [16] 汤洁,温玉璞,周凌峰. 中国西部大气清洁地区黑碳气溶胶的观测研究. *应用气象学报*, 1999, 10(2): 160-169.
- [17] 秦世广,汤洁,温玉璞. 黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义. *气象*, 2007, 27(11): 3-7.
- [18] 李杨,曹军骥,张小曳,等. 2003年秋季西安大气中黑碳气溶胶的演化特征及其来源解析. *气候与环境研究*, 2005, 10(2): 229-237.
- [19] 娄淑娟,毛节奏,王美华. 北京地区不同尺度气溶胶中黑碳含

- 量的观测研究. 环境科学学报, 2005, 25(1): 17-22.
- [20] 杨溯, 张武, 韩晶晶, 等. 上海市浦东新区秋冬季黑碳气溶胶特性. 兰州大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 66-70.
- [21] 高枫亭, 张仁健, 苏丽欣. 长春秋冬季大气黑碳气溶胶的特征分析. 高原气象, 2009, 28(4): 803-807.
- [22] 陶俊, 朱李华, 韩静磊, 等. 广州城区冬季黑碳气溶胶污染特征及其来源初探. 中国环境监测, 2009, 25(2): 53-56.
- [23] 薛福民, 李娟, 黄侃, 等. 塔克拉玛干沙漠黑碳气溶胶的特性及来源. 中国科学(化学), 2010, 40(5): 556-566.
- [24] 高润祥, 牛生杰, 张华, 等. 2006年春季西北地区黑碳气溶胶的观测研究. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 655-661.
- [25] 吴兑, 毛节泰, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特性的观测研究. 中国科学(D辑), 2009, 39(11): 1542-1553.
- [26] 张瑛, 高庆先. 硫酸盐和黑碳气溶胶辐射效应的研究. 应用气象学报, 1997, 8(增刊): 87-91.
- [27] 张美根, 徐永福, 张仁健, 等. 东亚地区春季黑碳气溶胶源排放及其浓度分布. 地球物理学报, 2005, 48(1): 46-51.
- [28] 宿兴涛, 王汉杰. 中国黑碳气溶胶分布特征与辐射强迫的模拟研究. 大气科学学报, 2009, 32(6): 798-806.
- [29] Babu S S, Moorthy K K. Aerosol black carbon over a tropical coastal station in India. *Geophys Res Lett*, 2002, 29: 2098.
- [30] Allen G, Johnson P R S. Spatial and Temporal Aspects of Black Carbon Concentrations over the Boston Metro Area; An Update of Work in Progress. The 22nd Annual Conference of the American Association of Aerosol Research, Anaheim, CA, 2003.
- [31] 何书元. 概率论与数理统计. 北京: 高等教育出版社, 2006: 252-253.

Comparison of Black Carbon Aerosols in Urban and Suburban Areas of Shanghai

Xiao Xiuzhu¹⁾²⁾ Liu Pengfei²⁾ Geng Fuhai³⁾ Gao Wei³⁾ Zhen Canming³⁾ Zhao Chunsheng²⁾

¹⁾ (*Longyan Meteorological Bureau of Fujian Province, Longyan 364000*)

²⁾ (*School of Physics, Peking University, Beijing 100871*)

³⁾ (*Pudong New Area Weather Office, Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200135*)

Abstract

Black carbon (BC) aerosols influence climate by absorbing incoming solar radiation resulting in a warming effect with large uncertainties. To better understand the anthropogenic BC pollution and its transport in the region of Shanghai, the BC mass concentrations are measured at Pudong (the urban site) and Dongtan (the suburban wetland site), during a one-year period from December of 2007 to November of 2008. The diurnal and seasonal variations of BC mass concentration and the wind-concentration relationships at two sites are compared. According to the Aethalometers, the hourly BC mass concentration of Pudong is $1.2\text{--}7.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (10%—90% percentiles), with an average value of $3.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, which is significantly higher than that of Dongtan ($0.1\text{--}4.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, with an average of $1.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). The BC concentrations show similar variation patterns at both sites in seasonal scale, with the highest concentrations usually observed in winter and the lowest concentrations in summer. However, different diurnal patterns are usually observed at different sites. The average diurnal variation measured at the urban (Pudong) site revealed a dual-peak pattern, with peaks between 09:00 and 10:00 and between 20:00 and 21:00, while the minimum values generally appear in the afternoon and midnight. The morning peaking is attributed to enhanced traffic during rush hour, while the evening rush hour combined with the collapse of convective boundary layer result in the evening peak. Additionally, pronounced “weekend effect” is observed at the urban (Pudong) site, when the average BC concentration of non-workdays is about 13% lower than that of workdays. These results indicate that the BC concentration at Pudong site is mainly influenced by the local anthropogenic emissions. In contrast, neither significant diurnal variation nor significant “weekend effect” is observed at the suburban (Dongtan) site, indicating that the local anthropogenic emissions at Dongtan are

relatively weaker. Surface wind direction and wind speed has substantial effects on the BC concentrations. Wind could either dilute BC aerosols or transport them from other places and contribute to the measured concentration, depending on different wind directions and speeds. Different characteristics of wind-concentration relationships are observed for urban and suburban areas in which the BC concentrations are mainly influenced by the local emissions and by the regional pollutant transport, respectively.

Key words: Shanghai; black carbon; aerosol; air quality

欢迎订阅《应用气象学报》

《应用气象学报》是由中国气象科学研究院、国家气象中心、国家卫星气象中心、国家气候中心、国家气象信息中心和中国气象局气象探测中心联合主办的大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊。《应用气象学报》将向您提供有关我国大气科学领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,内容包括气象预报、卫星气象、农业气象、海洋气象、航空气象、环境气象、人工影响天气、应用气象、大气探测、遥感技术以及计算机应用技术等学科;还将向您介绍国内外现代科技的新理论与新技术在大气科学中应用的研究论文及信息。主要栏目有论著、短论、综合评述、业务系统、学术论坛、研究简报、书刊评介等。本刊被《中文核心要目总览》确认为大气科学(气象学)类核心期刊,并已首批入选“中国科学引文数据库”(CSCD),中国科学技术期刊文摘(CSTA)国家数据库(英文版)收录的刊源名单,并被美国气象学会“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国科学文摘(英文版)等多种文摘摘录。本刊还首批入选“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。《应用气象学报》面向广大的气象科研、业务技术人员、在校有关专业的研究生、大专院校师生等专业人员。

《应用气象学报》为双月刊,逢双月出版,可以随时汇款订阅或购买(户名:中国气象科学研究院,账号:11001028600056086013,开户行:建行北京白石桥支行)。2011年6期(每期定价30.00元),总订价180.00元(含邮资)。

订阅地址:北京市中关村南大街46号中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部;邮政编码:100081。

联系电话:(010)68407086,68408638。网址:qk.cams.cma.gov.cn。

E-mail: yyqxxb@cams.cma.gov.cn, yyqxxb@163.com。