

2007年春季广州城区黑碳气溶胶污染特征的初步研究

陶俊¹ 朱李华¹ 韩静磊¹ 谢文彰¹ 何建辉² 李顺诚² 许振成¹

¹ 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655

² 香港理工大学土木及结构工程系, 香港

摘要 2007年4月利用黑碳仪(Aethalometer)、颗粒物在线观测仪(TEOM1400a)和现时天气现象传感器(PWD22)获得了大气细粒子中每5 min黑碳气溶胶(BC)浓度以及每30 min PM_{2.5}浓度及大气能见度观测数据。结果发现:黑碳日均值浓度为 $7.4 \pm 2.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 变化范围分别为 $2.1 \sim 11.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。PM_{2.5}日均值浓度为 $77.4 \pm 35.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度变化范围分别为 $29.6 \sim 183.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。黑碳小时浓度变化具有2个明显的峰值, 主要与机动车尾气排放密切相关。黑碳浓度与PM_{2.5}浓度呈正相关, 与大气能见度呈负相关, 相关系数分别为0.707和-0.529, 表明黑碳是PM_{2.5}中的重要组成部分, 对大气能见度的影响较显著。

关键词 黑碳 PM_{2.5} 大气能见度

文章编号 1006-9585 (2008) 05-0658-05 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

Preliminary Study on Characteristics of Black Carbon Aerosol Pollution in Guangzhou during the Spring of 2007

TAO Jun¹, ZHU Li-Hua¹, HAN Jing-Lei¹, XIE Wen-Zhang¹, HO Kin-Fai²,
LEE Shun-Cheng², and XU Zhen-Cheng¹

¹ South China Institute of Environmental Sciences, Guangzhou 510655

² Department of Civil and Structural Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong

Abstract Black carbon (BC) aerosol and PM_{2.5} aerosols and visibility have been measured with an Aethalometer and TEOM1400a (Tapered Element Oscillating Microbalance) and Present Weather Detectors at Guangzhou station in April 2007. The results indicated that average BC daily concentration was found to be $7.4 \pm 2.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, ranged from 2.1 to $11.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ and average PM_{2.5} daily concentration was found to be $77.4 \pm 35.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, ranged from 29.6 to $183.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, respectively. Two notable peaks appeared in the hourly variations of BC, which has been related to the direct emissions from motor vehicles. Average BC and PM_{2.5} concentration has a good positive relationship and has a good negative relationship with visibility; the correlation coefficient was 0.707 and -0.529, respectively. BC was important component of PM_{2.5} and can reduce visibility.

Key words Black carbon, PM_{2.5} aerosols, visibility

1 引言

黑碳气溶胶是大气气溶胶中十分重要的成分,

粒径一般在 $0.01 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 之间, 主要来源于化石燃料和生物质的不完全燃烧^[1]。黑碳不仅能在大气输送过程中吸附二次污染物影响大气组成和大气化学过程, 还能通过改变云凝结核的特性影响

收稿日期 2008-07-27 收到, 2008-07-28 收到修定稿

资助项目 中央级公益科研院所基本科研业务专项基金 ZX20071201

作者简介 陶俊, 男, 1979年出生, 硕士, 高级工程师, 主要从事大气环境研究。E-mail: taojun@scies.org

云的生成, 从而影响区域气候^[2]。有研究表明, 中国南涝北旱可能与覆盖在中国上空的高浓度黑碳有关^[3]。由于黑碳能吸收太阳光能, 已经成为仅次于二氧化碳导致全球气候变暖的第二重要成分^[4]。黑碳对太阳辐射具有强烈的吸收和散射作用, 能降低大气透明度和能见度^[5,6]。黑碳粒子能吸附有毒有害物质如 PAHs 和重金属等, 通过呼吸道进入肺泡长期滞留, 从而影响人体健康^[7]。因此有关黑碳气溶胶的研究受到科学界的密切关注。

国外早在 20 世纪 70 年代就开展了黑碳气溶胶的研究, 国内直到 90 年代才逐步开展黑碳气溶胶的观测研究^[8,9]。秦世广等^[9]1991 年在我国临安大气本底污染监测站进行过短期的黑碳浓度观测; 王庚辰等^[10]1992~1997 年在北京北郊测量了黑碳浓度; 汤洁等^[11]1992~1994 年在青海瓦里关山地区进行本底地区大气黑碳浓度的观测; 许黎等^[12]2002 年在北京对黑碳粒子形态进行了初步探讨; 李杨等^[13]2003 年在西安进行了黑碳气溶胶的观测并进行黑碳的源解析研究; 姜淑娟等^[14]2003 年在北京进行了黑碳气溶胶的观测研究。刘新罡等^[15]在广州进行了大气能见度的主要影响因子研究。这些观测研究已经获得了很有价值的成果, 为我国进一步开展黑碳气溶胶和能见度的研究起到了很好的推动作用。但是有关黑碳气溶胶对大气能见度影响的研究很少。

本研究利用华南环境科学研究所大气观测研究站作为观测点, 经过 1 个月连续观测, 获得了黑碳气溶胶浓度等第一手观测数据, 并分析了 2007 年春季广州市大气中黑碳气溶胶污染特征以及对城市大气能见度的影响, 希望能为开展城市相关的大气污染防治工作提供科学依据。

2 实验与方法

2.1 采样地点

采样地点设在广州市天河区华南环境科学研究所综合大楼顶 (23°07'N, 113°21'E), 距离地面约 50 m, 采样点周围是集中居住区, 2 km 范围内无明显大气污染源, 周围无建筑物遮挡, 视野比较开阔, 监测数据在一定程度上代表了广州城市区域大气污染水平。

2.2 数据采集

采样仪器为美国 Magee 科学公司生产的 AE-30 型黑碳测量仪。其测量仪具有内制泵, 通过一根软管将 PM2.5 采样切割头和仪器相连, 仪器内部安装有滤纸带, 平均每 5 min 获取一组黑碳浓度数据。其工作原理是建立在石英滤纸带收集的粒子对光吸收造成的衰减, 属于光学灰度测量法, 仪器流量控制在 $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。本次观测数据以 880 nm 红外光作为黑碳的检测光, 其中黑碳质量衰减系数 σ 取 $16.6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

利用美国 Rp1400a 型 PM2.5 在线监测仪实时监测环境空气中的 PM2.5 质量浓度, 该仪器采用振荡天平法测量, 测量方法得到美国 EPA (Environmental Protection Agency, USA) 认可, 测量单元流量控制在 $1.01 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 温度控制在 50°C 。由于测量单元温度较高, 可以避免 PM2.5 中水分对浓度的影响, 但同时也使 PM2.5 中的挥发性物质有一定的损失, 因此本研究收集的 PM2.5 质量浓度比实际浓度略偏低。另外, 利用芬兰 VAISALA 公司的 PWD22 现时天气现象传感器 (红外前向散射原理) 观测大气能见度。

3 结果与讨论

3.1 黑碳日均值变化趋势

图 1 为 2007 年春季 (4 月) 黑碳和 PM2.5 质量浓度的日变化趋势。黑碳日均值浓度为 $7.4 \pm 2.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度变化范围为 $2.1 \sim 11.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。PM2.5 日均值浓度为 $77.4 \pm 35.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度变化范围为 $29.6 \sim 183.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由图 1 可知, 降雨使得黑碳和 PM2.5 的浓度明显降低, 可见降雨对大气中的黑碳和细颗粒物有一定的清除作用。总体来看, 黑碳和 PM2.5 浓度变化趋势基本一致, 其主要原因是机动车尾气不仅是黑碳的重要来源, 也是 PM2.5 的来源, 同时机动车引起的道路扬尘也是 PM2.5 的重要来源之一。但黑碳和 PM2.5 浓度变化趋势也有相反的情况, 如 4 月 2~6 日, 其中 2~3 日较大的降雨量, 使得黑碳浓度明显下降, 但 PM2.5 浓度却略有升高, 其主要原因是较大的降雨量虽然使得 PM2.5 浓度保持一个较低的水平, 但也大大增加了细颗粒物中的水分, 从而导致细颗粒物浓度略有升高。4 月 4~6

日黑碳浓度逐渐上升,而 PM2.5 浓度却逐渐下降,主要是由于这段时间较小的降雨量对黑碳的清除很少,但路面湿润大大减少了道路扬尘对 PM2.5 浓度的贡献。4 月 25 日和 26 日由于降雨强度较大,黑碳仪器故障,未能有数据。

3.2 黑碳小时浓度的变化趋势

图 2 为黑碳与 PM2.5 小时质量浓度的变化趋势。由图可知,黑碳的浓度变化具有明显的峰值和谷值,峰值分别出现在 9~10 时和 18~21 时(北京时间,下同),谷值分别出现在 0~2 时和 13~16 时。其中峰值最大值为 $9.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,出现在 21 时;谷值最小值为 $4.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,出现在 2 时。黑碳小时浓度变化主要取决于污染源的变化以及城市大气边界层内气象要素的变化。3~9 时黑碳浓度保持在相对较高的水平,这主要是由于凌晨进入广州城区的大型运输车辆较多,导致黑碳浓度增加。7~8 时出现一个次峰值,这主要是

由于上班高峰,交通车辆开始增多。9~10 时开始出现交通堵塞状况,交通车辆低速行驶化石燃料不完全燃烧,从而导致黑碳浓度升高。18~21 时是下班高峰期也是城市交通堵塞最为严重的时段,这是导致该段黑碳浓度达到一天中最大值的主要因素。0~2 时出现谷值,主要是城市居民活动减少,交通车辆数量减少的缘故。13~16 时出现谷值,主要原因是下午太阳辐射较为强烈,大气边界层高度较高,有利于污染物的扩散,其次该时段交通车辆数量比交通高峰期明显减少。

由图 2 可以看出,黑碳和 PM2.5 小时浓度变化趋势基本一致,但峰值并没有出现在同一时刻,而是 PM2.5 比黑碳浓度峰值分别早出现 1 h (8 时) 和 2 h (20 时)。其主要原因是黑碳和 PM2.5 主要贡献者不同,黑碳浓度与机动车尾气排放密切相关,而 PM2.5 浓度除了与机动车尾气相关外,还与工业烟(粉)尘、交通和建筑扬尘有关。

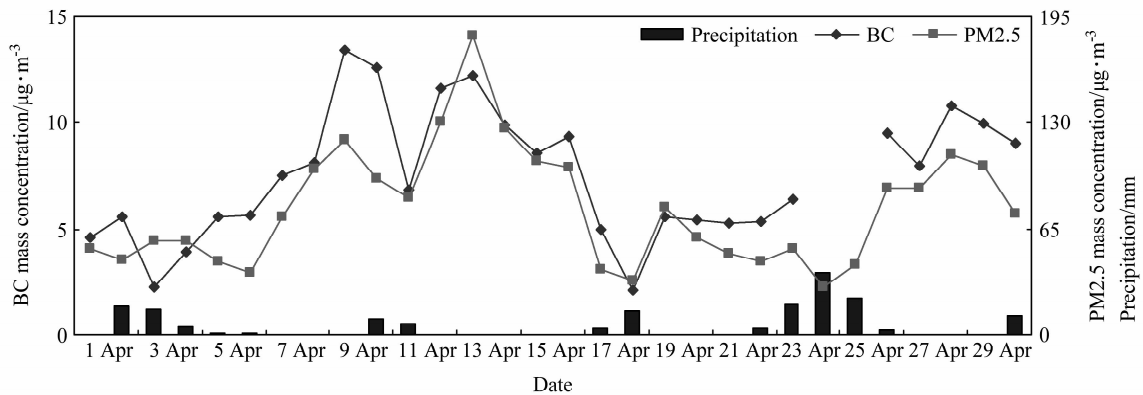


图 1 春季黑碳与 PM2.5 质量浓度日变化趋势

Fig. 1 Daily average variations of BC and PM2.5 and precipitation

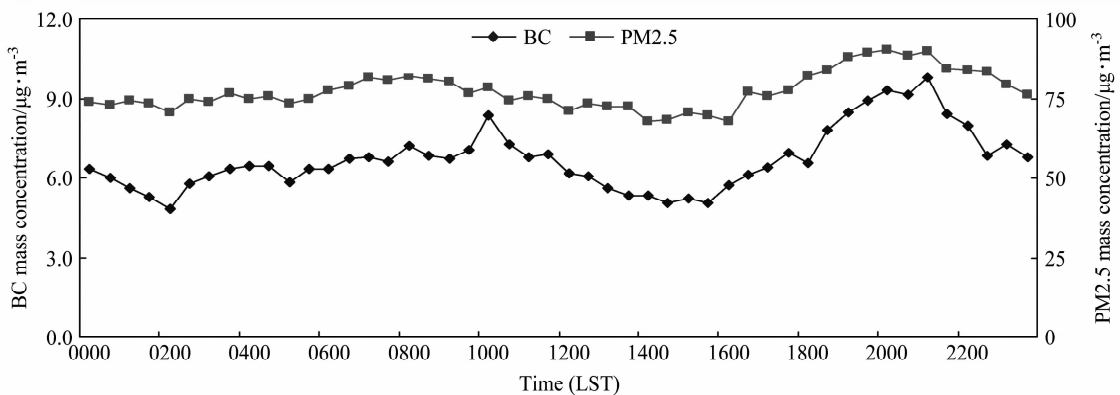


图 2 春季黑碳与 PM2.5 小时质量浓度变化趋势

Fig. 2 Hourly average variations of BC and PM2.5

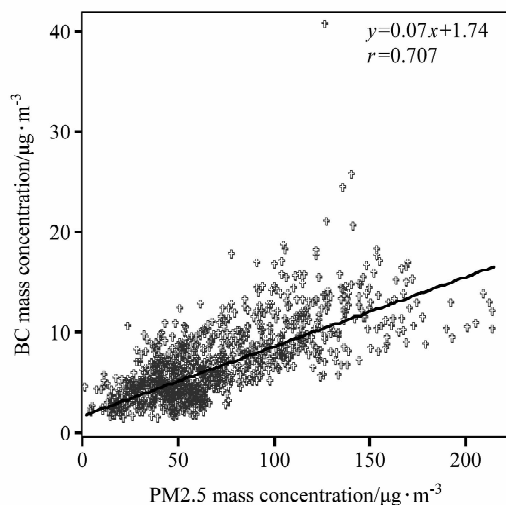


图3 黑碳浓度与PM2.5浓度的关系

Fig. 3 The relation between BC and PM2.5 mass concentration

13~16 时, 黑碳浓度变化幅度较大, 而 PM2.5 浓度变化幅度很小并保持 $68.0 \sim 72.4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 的较高浓度水平, 其主要原因是该时间段太阳辐射较为强烈, 二次气溶胶的生成率较高, 生成的二次气溶胶对 PM2.5 浓度贡献较大。

3.3 黑碳与 PM2.5 及大气能见度的关系

图 3 和 4 分别为黑碳浓度和 PM2.5 浓度与大气能见度的关系 (30 min 均值数据)。由图 3 和 4 可知, 黑碳浓度与 PM2.5 浓度呈正相关性, 与大气能见度呈负相关性, 相关系数分别为 0.707 和 -0.529, 双尾概率 $P < 0.01$, 有显著意义。由此可见, 黑碳是 PM2.5 中的重要组成部分, 虽然黑碳占 PM2.5 浓度的平均比重约 10% 左右, 但黑碳对大气能见度的影响却比较显著。黑碳一般来源于工业燃煤和机动车尾气及生物质燃烧等^[16]。本研究表明, 由于广州城区周围生物质燃烧很少, 而广州城区黑碳小时浓度变化与交通状况密切相关, 由此可推断春季广州黑碳主要来源于机动车尾气, 部分来源于工业燃煤等其他污染源。

4 结论

(1) 在春季观测期间, 黑碳和 PM2.5 的日均值浓度变化范围分别为 $2.1 \sim 11.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $29.6 \sim 183.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。降雨对黑碳和 PM2.5 有一定的清除作用, 但雨后黑碳和细颗粒物浓度又

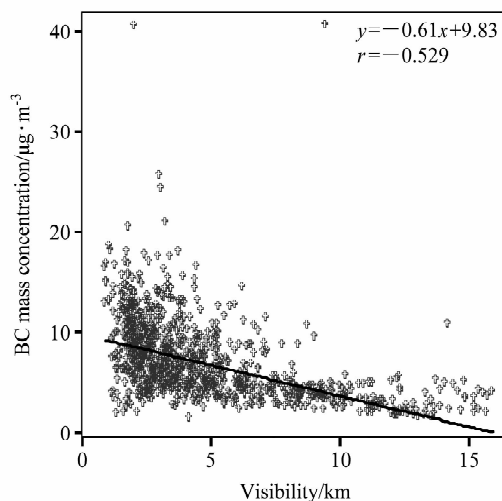


图4 黑碳浓度与大气能见度的关系

Fig. 4 The relation between BC mass concentration and visibility

逐渐升高。

(2) 黑碳的浓度变化具有明显的峰值和谷值, 峰值出现在 9~10 时和 18~21 时, 谷值出现在 0~2 时和 13~16 时。黑碳浓度出现峰值, 主要是由于交通车辆低速行驶导致了化石燃料不完全燃烧。黑碳浓度出现谷值, 主要是由于交通车辆黑碳排放量减少和有利的扩散条件。

(3) 黑碳浓度与 PM2.5 浓度呈正相关性, 与大气能见度呈负相关性, 相关系数分别为 0.707 和 -0.529, 双尾概率 $P < 0.01$, 有显著意义。黑碳是 PM2.5 中的重要组成部分, 且黑碳对大气能见度的影响较显著。

(4) 春季广州黑碳主要来源于机动车排放的尾气, 部分来源于工业燃煤。

参考文献 (References)

- [1] 许黎, 王亚强, 陈振林, 等. 黑碳气溶胶研究进展 I: 排放、清除和浓度. 地球科学进展, 2006, **21** (4): 352~360
Xu Li, Wang Yaqiang, Chen Zhenlin, et al. Progress of black carbon aerosol research I: Emission, removal and concentration. *Advances in Earth Science* (in Chinese), 2006, **21** (4): 352~360
- [2] Jacobson M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 2001, **409**: 695~697
- [3] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India. *Science*, 2002,

- 297: 2250~2253
- [4] Jacobson M Z. Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. *J. Geophys. Res.*, 2002, **107** (D19): 4410, doi:10.1029/2001JD001376
- [5] Martins J V, Artaxo P, Liousse C, et al. Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in Brazil. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103** (D24): 32041~32050
- [6] Chan Y C, Simpson R W, McTainsh G H, et al. Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques. *Atmos. Environ.*, 1999, **33**: 3237~3250
- [7] 白志鹏, 蔡斌彬, 董海燕, 等. 灰霾的健康效应. 环境污染与防治, 2006, **28** (3): 198~201
Bai Zhipeng, Cai Binbin, Dong Haiyan, et al. Adverse health effects caused by dust haze. *Environmental Pollution and Control* (in Chinese), 2006, **28** (3): 198~201
- [8] 白建辉, 王庚辰. 黑碳气溶胶研究新进展. 科学技术与工程, 2005, **5** (9): 585~591
Bai Jianhui, Wang Gengchen. The advance in black carbon aerosol. *Science Technology and Engineering* (in Chinese), 2005, **5** (9): 585~591
- [9] 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, 2001, **27** (11): 3~7
Qin Shiguang, Tang Jie, Wen Yupu, et al. Black carbon and its importance in climate change studies. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2001, **27** (11): 3~7
- [10] 王庚辰, 孔琴心, 任丽新. 北京地区大气中黑碳气溶胶及其变化. 过程工程学报, 2002, **11** (2) (增刊): 284~288
Wang Gengchen, Kong Qinxin, Ren Lixin, et al. Black carbon aerosol and its variations in the urban atmosphere in Beijing area. *The Chinese Journal of Process in Engineering* (in Chinese), 2002, **11** (2) (Suppl.): 284~288
- [11] 汤洁, 温玉璞, 周凌晞. 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): 160~170
Tang Jie, Wen Yupu, Zhou Lingxi, et al. Observational study of black carbon in clean air area of western China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1999, **10** (2): 160~170
- [12] 许黎, 冈田菊夫, 张鹏, 等. 北京地区春末-秋初气溶胶理化特性的观测研究. 大气科学, 2002, **26** (3): 401~411
Xu Li, Okada Kikuo, Zhang Peng, et al. An observational study of physical and chemical characteristics of atmospheric aerosol particles from late spring to early autumn over the Beijing area. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2002, **26** (3): 401~411
- [13] 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
Li Yang, Cao Junji, Zhang Xiaoye, et al. The variability and source apportionment of black Carbon aerosol in Xi'an atmosphere during the autumn of 2003. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (2): 229~237
- [14] 娄淑娟, 毛节泰, 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
Lou Shujuan, Mao Jietai, Wang Meihua. Observational study of black carbon aerosol in Beijing. *Acta Scientiae Circumstantiae* (in Chinese), 2005, **25** (1): 17~22
- [15] 刘新罡, 张远航, 曾立民, 等. 广州市大气能见度影响因素的贡献研究. 气候与环境研究, 2006, **11** (6): 733~738
Liu Xingang, Zhang Yuanhang, Zeng Limin, et al. Research on the influential factor of visibility reduction in Guangzhou. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (6): 733~738
- [16] Streets D G, Shalini G, Stephanie T, et al. Black carbon emissions in China. *Atmos. Environ.*, 2001, **35**: 4281~4296