

# 上海城区交通干道黑碳污染调查

王忠诚

(上海市静安区环境监测站,上海 200072)

**摘要:**采用设置在上海市中心城区交通主干道旁空气质量自动监测站2018年1—12月的观测数据,分析黑碳气溶胶(BC)污染特征及其与 $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、CO、 $O_3$ 、苯、甲苯、乙苯、二甲苯和气象参数的相关性。结果表明,观测期间内,BC小时均值为 $(3\ 038 \pm 22)$  ng/m<sup>3</sup>, $\rho(BC)$ 在 $\rho(PM_{2.5})$ 中占比为 $(11.48 \pm 0.12)\%$ 。日内 $\rho(BC)$ 变化呈双峰型,各月份之间 $\rho(BC)$ 变化不大。 $\rho(BC)$ 与风速呈负相关,与 $PM_{2.5}$ 、 $NO_x$ 、CO、苯、甲苯、乙苯和二甲苯呈正相关。

**关键词:**黑碳气溶胶;交通干道;上海城区

中图分类号:X513

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2019)06-0047-05

## Preliminary Study on Black Carbon Pollution of Main Road in Urban Area of Shanghai

WANG Zhong-cheng

(Shanghai Jing'an District Environmental Monitoring Station, Shanghai, 200072, China)

**Abstract:** The characteristics of black carbon (BC) aerosol pollution and its relationship with the mass concentration of  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , CO,  $O_3$ , benzene, toluene, ethylbenzene, xylene and meteorological parameters were studied by using the observation data of roadside air quality automatic monitoring station located beside the main traffic road in downtown Shanghai from January 2018 to December 2018. The results showed that the mean hourly concentration of BC was  $(3\ 038 \pm 22)$  ng/m<sup>3</sup> and the ratio of BC to  $PM_{2.5}$  was  $(11.48 \pm 0.12)\%$ . The change of BC concentration in the day was bimodal, and it did not change much between months. BC concentration was negatively correlated with wind speed and positively correlated with  $PM_{2.5}$ ,  $NO_x$ , CO, benzene, toluene, ethylbenzene and xylene.

**Key words:** Black carbon aerosol; Main traffic road; Urban area of Shanghai

黑碳气溶胶(BC)是细颗粒物( $PM_{2.5}$ )的重要组成部分,其主要来源可分为自然源和人为源2种。在城市地区,大气中BC主要来源于工业排放、汽车尾气、生物质燃烧以及居民生活炉灶<sup>[1-2]</sup>,交通源是BC的重要来源<sup>[3-6]</sup>。上海是中国的经济、金融、贸易和航运中心,随着经济发展,汽车保有量逐年上升。根据上海市交通行业发展报告(2018),至2017年末,上海市注册机动车保有量390.5万辆。文献[7]表明,上海 $PM_{2.5}$ 来源中本地污染排放占74%左右,其中,流动源(机动车、船舶、飞机、非道路移动机械等燃油排放)是首要污染源,占29.2%。据测算,机动车排放约占流动源15%左右。

现采用设置在交通主干道旁的路边空气质量自动监测站实时监测数据,研究交通道路BC变化

特征以及其与相关污染物和气象参数的关系,初步了解该测点BC对周围环境的影响,以为环境管理提供科学依据。

### 1 研究方法

#### 1.1 监测时间和地点

监测时间为2018年1月1日—12月31日,24 h连续监测。

监测点(31°16'44" N, 121°27'6" E)属北亚热带季风性气候,冬季多西北风、夏季多东南风,为市区交通主干道旁的路边空气质量自动监测站,采样高度4.3 m。测点东面的共和新路和北面的广中西路是2条交通主干道,其中共和新路分地面和高架二层,交通繁忙,车流量大。测点距共和新路8.2 m,距广中西路15.6 m。测点附近没有工业排

收稿日期:2019-04-10;修订日期:2019-10-29

作者简介:王忠诚(1987—),男,助理工程师,学士,从事环境监测工作。

放源,南面和西面是商业区和大型绿地公园。

## 1.2 监测项目、仪器和质控

BC 的监测采用 AE-31 型黑碳测定仪(美国 Magee 公司),采用 880 nm 通道的数据进行分析。 $PM_{2.5}$  的监测采用 1405-F-BVF  $PM_{2.5}$  测定仪(美国 ThermoFisher 公司)。氮氧化物( $NO_x$ )、二氧化硫( $SO_2$ )、一氧化碳(CO)、臭氧( $O_3$ )的监测分别采用 42i  $NO_x$  分析仪(美国 ThermoFisher 公司)、43i  $SO_2$  分析仪、48i CO 分析仪和 49i  $O_3$  分析仪。苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯和对/间二甲苯的监测采用 GC 5000 在线气相色谱分析系统(德国 AMA 公司)。相对湿度、风向、风速、气压和气温的测定采用 WS-500 5 参数气象测定仪(德国 LUFFT 公司)。

在监测过程中,按照环境空气自动监测方法要求做好数据采集和审核工作,并对各分析仪进行定期巡检、维护、单点校准和多点校准,确保各分析仪线性状况、精度和运行状况正常。

## 2 结果与讨论

### 2.1 BC 小时均值分布特征

2018 年 BC 小时均值缺失数据 302 个,有效数据 8 458 个,数据有效率 96.6%。BC 小时均值为 39~20 647  $ng/m^3$ ,平均值为  $(3\ 038 \pm 22) ng/m^3$ 。对 BC 小时均值频率分布进行统计,见图 1。

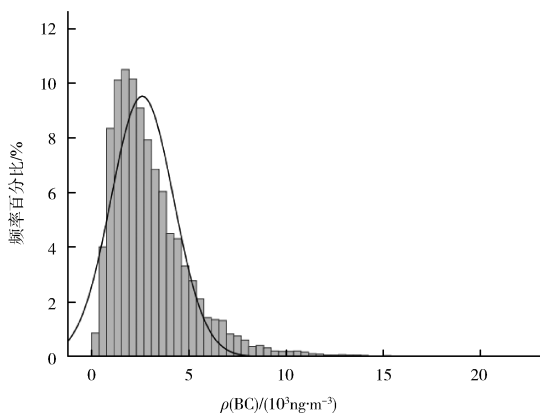


图 1 2018 年 BC 小时均值频率总体分布

由图 1 可见,BC 小时均值呈右偏态分布,BC 本底值为出现最大频率对应的值 2 217  $ng/m^3$ ,第 50 百分位数据为 2 557  $ng/m^3$ ,第 90 百分位数据为 5 549  $ng/m^3$ 。

### 2.2 BC 日均值及变化趋势

2018 年 BC 日均值缺失数据 2d,有效数据

363 d,数据有效率 99.5%。BC 日均值为 704~9 534  $ng/m^3$ ,平均值为  $(3\ 037 \pm 68) ng/m^3$ 。图 2 是 BC 日均值时间变化序列,由图 2 可见,日均值随时间变化幅度大,其中 11 和 12 月观测到的 BC 高值可能与该时间段内持续静稳天气增加有关。

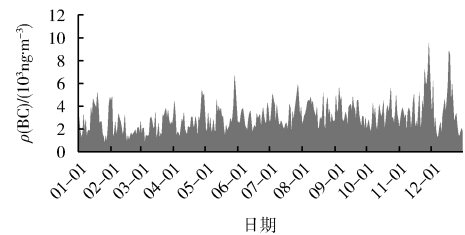


图 2 2018 年 BC 日均值时间序列变化

图 3 是 BC 日变化。由图 3 可见,BC 在 24 h 中呈双峰分布,与一日中的交通流量峰值相对应,06:00 的峰值略高于 16:00—20:00 的峰值,01:00 值最低。06:00 出现的峰值与上班高峰造成车流量较大以及清晨逆温现象尚未完全消失导致的不利扩散有关。16:00—20:00 出现的第二峰值也与下班高峰造成的车流量较大有关,傍晚的大气对流开始减弱,大气层逐渐趋于稳定,不利于 BC 向外扩散。然而,BC 的日变化特征并不是在任何天气形势下都能呈现的。在对流变化比较强烈的天气中,BC 的日变化特征不明显。

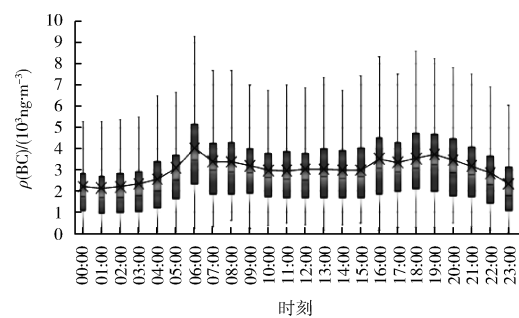


图 3 BC 日变化

$\rho(BC)$  和  $\rho(BC)$  在  $\rho(PM_{2.5})$  中占比月均值变化见图 4。由图 4 可见,BC 月均值年内略程上升趋势,各月份之间 BC 值变化不大,11 月最高值为 4 031  $ng/m^3$ ,2 月最低值为 2 052  $ng/m^3$ 。其中 2 和 10 月 BC 月均值有 2 个低谷,这可能是 2 月份和 10 月份适逢春节和国庆节长假,路上的机动车较

少的原因。

2018 年 BC 在 PM<sub>2.5</sub> 中占比月均值在年内呈单峰型, 平均值为 (11.48 ± 0.12)%, 1—5 月基本为 5% ~ 7%, 变化幅度较小。6 月起 BC 在 PM<sub>2.5</sub> 中占比月均值开始大幅度上升, 8 月达到年内最大值 20.3% 后逐渐下降, 但 12 月仍略高于 11%, 是 1—5 月数据的近 2 倍。此统计结果表明 1—5 月二次气溶胶转化率较高从而导致一次气溶胶 BC 在 PM<sub>2.5</sub> 中占比较低, 而 8 月的结果则相反。

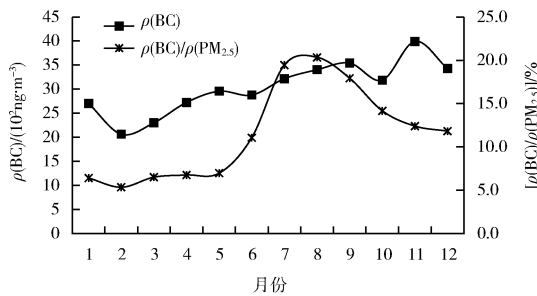


图 4  $\rho(BC)$  和  $\rho(BC)$  在  $\rho(PM_{2.5})$  中占比月均值变化

### 2.3 BC 与风向风速的关系

2018 年测点风向频率玫瑰图见图 5。图中 N、S、E 和 W 分别表示北、南、东和西。2018 年测点的静风频率为 35.3%, 由图 5 可见, 主导风向是 N 风, 频率为 30.7%。其他主要风向和频率分别是 SE 风 10.0%、ENE 风 8.4% 和 NE 风 4.1%。此风向监测结果可能是测点位置比较低, 其他方向的风受到高架桥、高大的商业建筑物和绿地公园高大茂密的树木遮挡。

BC 均值玫瑰图见图 6。由图 6 可见各个风向上的 BC 分布情况。相比之下, 测点 NNE 至 SSW

方向测得的 BC 值较高, 首先 NNE 方向上的 BC 值最高, 为 4 371 ng/m<sup>3</sup>, 其次是 NE 方向 BC 值为 3 840 ng/m<sup>3</sup>, 再次是 ENE 方向 3 189 ng/m<sup>3</sup>。这可能是由于监测点位于道路西侧, 而且测点比较低, 受地面车流影响比较大, 处于车流的下风向时, 测得的 BC 值较大。

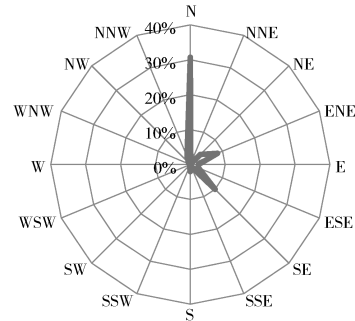


图 5 2018 年测点风向频率玫瑰图

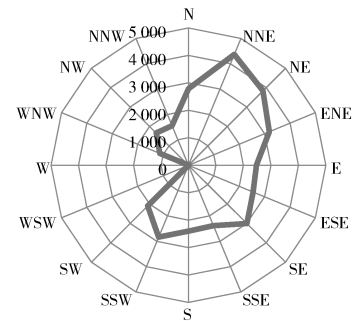
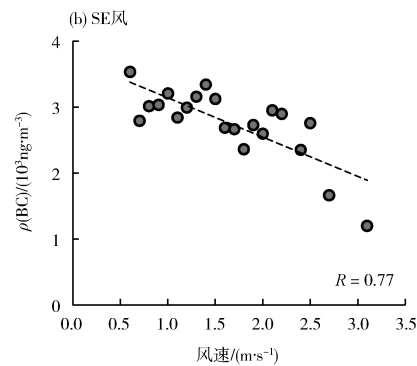
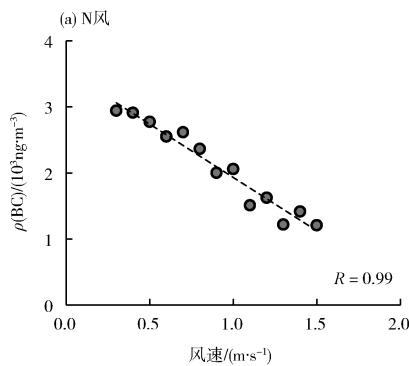


图 6 BC 均值玫瑰图 (ng/m<sup>3</sup>)

4 个主要风向下 BC 均值与风速的关系见图 7 (a)(b)(c)(d)。由图 7 可见, BC 变化受风速的影响显著, 其值随风速增大而逐步减小。



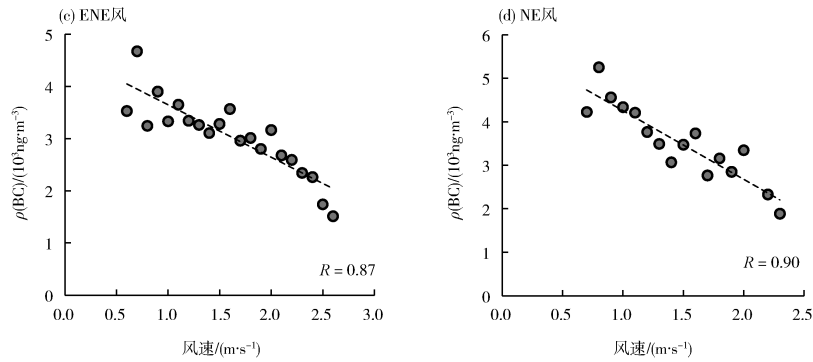


图 7 四个主要风向下 BC 均值与风速的关系

2.4 BC 与 PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、O<sub>3</sub>、苯、甲苯、乙苯和二甲苯的关系

采用 Spearman 方法对 2018 年 BC 与 PM<sub>2.5</sub> 日均值进行相关性分析,结果见图 8。由图 8 可见,BC 与 PM<sub>2.5</sub> 的日均值显著正相关 ( $P < 0.01$ ),说明 BC 和 PM<sub>2.5</sub> 的排放源大致相同;一年中除了 6 月、8—10 月以外的其他月份 BC 与 PM<sub>2.5</sub> 的相关系数 ( $R$ ) 均  $> 0.7$ ,其中 2 月份的  $R > 0.9$ ,说明当月 BC 与 PM<sub>2.5</sub> 有极强的相关性。BC 与 PM<sub>2.5</sub> 的 6 月份最低 ( $< 0.4$ ),8—10 月也明显低于其他月份,可能是夏秋季空气对流强烈,污染物扩散条件好,加上路面加强了洒水作业,BC 作为汽车尾气排放的一次污染物得到了快速清除,使其与 PM<sub>2.5</sub> 的相关性下降。

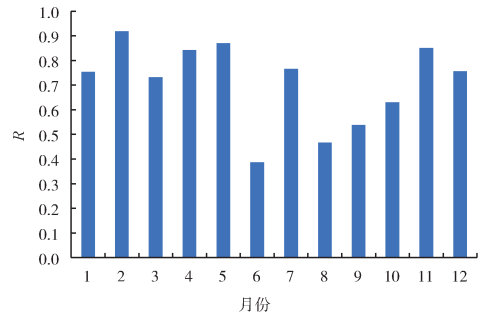


图 8 BC 与 PM<sub>2.5</sub> 相关系数

用 Spearman 方法对 2018 年 BC 与 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO 和 O<sub>3</sub> 日均值进行相关性分析,BC 与 NO<sub>x</sub>、CO 的相关性结果见图 9(a)(b)。

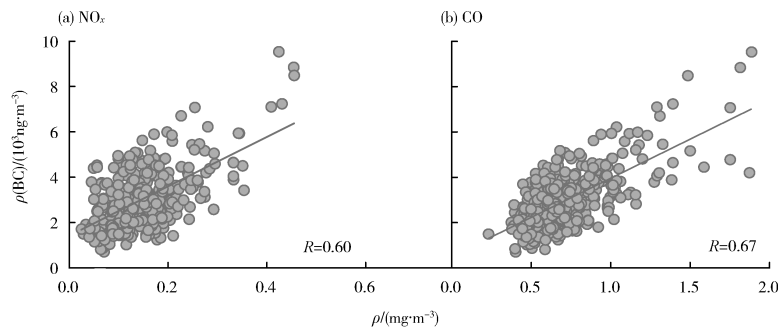


图 9 BC 与 NO<sub>x</sub>、CO 的相关性

由图 9 可见,BC 与 NO<sub>x</sub> 和 CO 的  $R$  分别为 0.60 和 0.67,显著正相关 ( $P < 0.01$ )。而 BC 与 SO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的  $R$  分别为 0.17 和  $-0.25$ ,无相关性。NO<sub>x</sub> 和 CO 主要来源于汽车尾气的排放,SO<sub>2</sub> 主要来源于燃煤的排放,O<sub>3</sub> 是一种典型的光化学产物,由此可以推断本地的 BC 主要来源于汽车尾气。

采用 Spearman 方法对 2018 年 BC 与苯、甲苯、乙苯和二甲苯日均值进行相关性分析,结果见图

10(a)(b)(c)(d)。

由图 10 可见,BC 与苯、甲苯、乙苯和二甲苯的相关系数分别为 0.52,0.56,0.65 和 0.69,显著正相关 ( $P < 0.01$ ),说明其来源相近。有研究表明<sup>[8-12]</sup>,苯、甲苯、乙苯和二甲苯是汽油车和柴油车挥发性有机物(VOCs)成分谱主要物种,说明 BC 也主要来源于机动车排放的尾气。

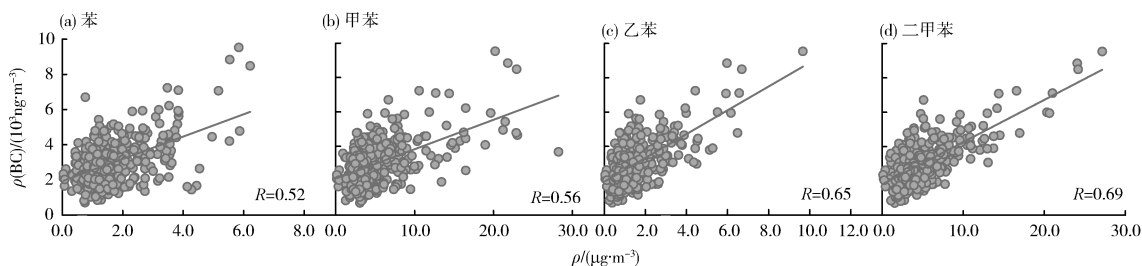


图 10 BC 与苯、甲苯、乙苯、二甲苯的相关性

### 3 结论

(1) 对上海中心城区交通主干道 BC 污染调查表明, BC 小时均值为  $39 \sim 20\,647 \text{ ng/m}^3$ , 平均值为  $(3\,038 \pm 22) \text{ ng/m}^3$ , 呈右偏态分布, BC 本底值为  $2\,217 \text{ ng/m}^3$ , 90% 的 BC 小时均值  $< 5\,549 \text{ ng/m}^3$ 。

(2) BC 日均值随时间变化幅度大, 11 和 12 月出现 BC 高污染日, 可能与该时间段内持续静稳天气增加有关。BC 在日内变化呈双峰型, 06:00 和 16:00—20:00 的峰值略高于其他时段。 $\rho(\text{BC})$  昼夜变化差异受排放源强度、污染物扩散能力和近地面大气边界层昼夜垂直升降差异有关。BC 月均值为  $2\,052 \sim 4\,031 \text{ ng/m}^3$ , 年内略呈上升趋势, 各月份之间 BC 值变化不大。BC 在  $\text{PM}_{2.5}$  中占比月均值在年内呈单峰型, 平均值为  $(11.48 \pm 0.12)\%$ , 8 月最高值为 20.3%, 12 月略高于 11%, 但仍比 1—5 月数据 5%~7% 高出近 2 倍。此比值特征也反映了二次生成的气溶胶的转化率年内变化, 1—5 月较高, 而 8 月份较低。

(3) 受测点位置和周围环境影响, 在观测期间测得的测点风向与上海市常年的风向特征不同。风向频率计算结果显示测点的主导风向是 N 风, 其他主要风向是 SE 风、ENE 风和 NE 风。风向风速对 BC 的积累和扩散有重要影响。当测点处于车流下风向时, NNE、NE 和 ENE 风向是影响测点 BC 高值的几个主要风向。在 N、SE、ENE 和 NE 4 个主要风向下, BC 值基本上随着风速的增大而逐渐减小。

(4) BC 与  $\text{PM}_{2.5}$  显著正相关, 除了 6 月、8—10 月 BC 与  $\text{PM}_{2.5}$  的相关系数略低以外, 其他月份相关系数均  $> 0.7$ 。BC 与气态污染物  $\text{NO}_x$ 、CO、苯、甲苯、乙苯和二甲苯也显著正相关, 说明其具有同源性, 主要都来源于机动车排放的尾气。

### 【参考文献】

- [1] LI K, LIAO H, MAOY H, et al. Source sector and region contributions to concentration and direct radiative forcing of black carbon in China [J]. Atmospheric Environment, 2016(124): 351–366.
- [2] CHEN Y, SCHLEICHER N, FRICKER M, et al. Long-term variation of black carbon and  $\text{PM}_{2.5}$  in Beijing, China with respect to meteorological conditions and governmental measures [J]. Environmental Pollution, 2016(212): 269–278.
- [3] 唐杨, 韩贵琳, 徐志方. 北京及其北部地区大气降尘中的黑碳含量特征[J]. 环境科学学报, 2013, 33(2): 332–338.
- [4] WANG Y, XING Z Y, ZHAO S H, et al. Are emissions of black carbon from gasoline vehicles overestimated? Real-time, in situ measurement of black carbon emission factors [J]. Science of the Total Environment, 2016(547): 422–428.
- [5] UHEREK E, HALENKA T, BORKEN-KLEEFELD J, et al. Transport impacts on atmosphere and climate: land transport [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44: 4772–4816.
- [6] KULKARNI S, SOBHANI N, MILLER-SCHULZE J P, et al. Carmichael Source sector and region contributions to BC and  $\text{PM}_{2.5}$  in Central Asia [J]. Atmospheric Chemistry Physics Discussions, 2014, 14(8): 11343–11392.
- [7] 伏晴艳, 张懿华, 崔虎雄, 等. 上海市  $\text{PM}_{2.5}$  来源解析和防治对策研究[J]. 中国科技成果, 2016, 17(18): 20–22.
- [8] 乔月珍, 王红丽, 黄成, 等. 机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性[J]. 环境科学, 2012, 33(4): 1071–1079.
- [9] 鲁君, 王红丽, 陈长虹, 等. 上海市机动车尾气 VOCs 组成及其化学反应活性[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(6): 19–26.
- [10] 姚森, 魏巍, 程水源, 等. 轻型汽油车 VOCs 排放特征及其大气反应活性[J]. 中国环境科学, 2016, 36(10): 2923–2929.
- [11] 陈天增, 葛艳丽, 刘永春, 等. 我国机动车排放 VOCs 及其大气环境影响[J]. 环境科学, 2018, 39(2): 478–492.
- [12] 刘丽莉, 姚志良. 机动车尾气排放 VOCs 研究进展[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(3): 68–74.

栏目编辑 李文峻