

doi: 10.7702/dlydxkx20140110

徐州市区主干道黑炭气溶胶浓度移动观测实验

白杨¹, 秦凯¹, 吴立新^{2,1*}, 吕鑫¹, 黄文声³, 胡明玉¹

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学物联网(感知矿山)中心, 江苏 徐州 221116;

3. 香港理工大学土地测量及地理资讯学系, 中国 香港)

摘要:将 AE-42 便携式黑炭(BC)仪和 GPS 接收机同时搭载到汽车平台上组成移动观测系统, 测量徐州市区主干道路的 BC 气溶胶浓度。观测及分析揭示: 徐州市外环区域的 BC 气溶胶浓度较高, 主要来源于工业排放和机动车尾气, 尤其是柴油机动车尾气的排放; 市中心区的 BC 气溶胶质量浓度较低, 与人的出行活动密切相关; 主要交通干道的 BC 气溶胶浓度取决于交通密度和街道特点, 在不同时段内会呈现明显的高低分布差异。实验表明, AE-42 便携式 BC 仪和 GPS 接收机组成的移动观测平台便捷有效, 具有灵活机动性和推广应用价值。

关键词:便携式黑炭仪; GPS; 移动观测; 气溶胶; 徐州市区

中图分类号: X169; P228.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0504(2014)01-0045-05

0 引言

环境中的黑炭(Black Carbon, BC)是含炭燃料不充分燃烧而生成的一种气溶胶难熔成分, 是大气细颗粒物(Fine Particulate Matter, PM_{2.5})的主要组分之一^[1]。BC 又称为元素炭(Element Carbon, EC), 主要来源于工业污染、机动车尾气、森林火灾、燃煤及农业废弃物燃烧^[2]。大气中的 BC 气溶胶不仅因其在可见光到近红外波段范围内的强烈吸光效应对辐射平衡和区域气候产生重要影响^[3,4], 而且在人口密集区域, 其亚微米颗粒组成部分可深入人体呼吸系统, 对人体健康产生严重危害^[5,6]。因此, 近年对 BC 气溶胶浓度的监测与特性研究, 成为科学界共同关注的热点。

目前, 对城市环境中 BC 气溶胶的监测主要通过一个或多个站点的固定平台进行长周期量测, 进而对 BC 气溶胶的时空分布特征及理化特性进行分析。杨溯等^[7]利用观测站点的资料研究了上海浦东新区秋冬季 BC 气溶胶的日变化、月变化及影响因素; Cheng 等^[8]通过台北市路边固定监测平台, 同时获得 BC 质量浓度和相应粒子数的观测值, 发现城市中 BC 大部分属于超细粒子; Cao 等^[9]采用中国西安 2003 年 9 月至 2005 年 8 月每 5 min 间隔的 BC 气溶胶观测值, 分析了 BC 与排放物和气象环境条件之间的关系。然而, 固定台监测方法不能提供城市道路网及市区大气环境质量指标的空间分布数据集, 移

动观测方法则可弥补这一不足, 提高数据获取的灵活性、便捷性。近年, 一些学者利用移动平台对影响城市环境的颗粒物进行了实时动态观测, 探讨城市街道 BC 气溶胶含量对人体暴露的影响^[10-12]。以上研究为在复杂城市环境监测中采用移动平台快速获取高时空分辨率的空气质量数据提供了参考。

本文采用 AE-42 便携式 BC 仪和 GPS 组成移动车载平台, 用不加切割头的 BC 仪对 BC 气溶胶的质量浓度进行观测, 并结合同步获取的 GPS 空间地理位置信息及气象资料, 对徐州市区主干道路的 BC 气溶胶浓度分布进行移动观测与制图表达。据此, 分析徐州市区 BC 气溶胶的时空变化特征, 为揭示徐州市区 BC 污染原因、预防和控制 BC 污染提供依据。

1 移动观测方案

本文以徐州市区主干道为移动观测区, 采用 AE-42 便携式 BC 仪和 GPS 组合形成移动车载平台, 于 2013 年 10 月 1 日、2 日对徐州城区主干道的 BC 排放情况进行移动观测。为监测分析主干道 BC 气溶胶的空间、时间分布特征, 顾及影响其浓度高低的交通状况和车流量等因素, 将每天的实验观测分为 Run1-上午(8:00-10:00)、Run2-中午(11:00-13:00)、Run3-下午(14:00-17:00)3 个时段。

1.1 实验区及观测路线

徐州市(东经 116°22'~118°40', 北纬 33°43'~

收稿日期: 2013-11-11; 修回日期: 2013-11-25

基金项目: 国家 973 计划项目(2011CB707102); 江苏省高校优势学科建设项目(PAPD)

作者简介: 白杨(1988-), 女, 博士研究生, 从事矿区环境与城市大气遥感观测研究。* 通讯作者 E-mail: awulixin@263.net

34°58′)地处苏、鲁、豫、皖 4 省交界,连霍、京福、京沪 3 条国家高速公路主干线在此交汇,京沪、陇海两大干线铁路于此相交,是我国重要的综合交通枢纽。徐州不仅是我国华东地区重要的门户城市和电力基地,也是全国重要的煤炭产地。市区总人口近 280 万,市区机动车拥有量近 40 万辆。

徐州地处亚热带和暖温带地区,气候温和,具有寒暑变化,年平均气温 13~16℃,夏季最高气温为 40℃,冬季最低气温为-10℃;受季风气候的影响,降水充沛,年降水量为 724~1 210 mm,但地区差异明显;年蒸发量为 900~1 050 mm;年均风速 3.5 m/s。2013 年实验期间,10 月 1 日天气多云,最低气温为 16℃,最高气温为 24℃,风速为北风转东北风 4—5 级;10 月 2 日天气晴朗,最低气温为 11℃,最高气温为 25℃,风速为东北风转东南风 3—4 级。

本次观测选取徐州市区主干道路作为监测路段,分成 5 个典型区域。其中,解放南路和淮塔东路为区域 1,该路段平时交通流量大,上下班高峰经常出现拥堵,监测时正在进行道路拓宽改造工程;复兴路为区域 2,该路段为贯穿徐州市区南北的主要交通线,车流量大且车速较慢;三环北路和三环西路为区域 3,该路段为环绕徐州主城区的主要交通线,车流量大、大型货车较多;黄河南路至动物园为区域 4,该路段位于市中心,平时车流量大;区域 5 为环云龙湖路段,该段车辆主要环绕云龙湖行驶,路面较宽、车流量相对较小。

1.2 移动监测平台

BC 仪是一种使用差分光学透射方法观测悬浮在大气中的光吸收物质 BC 气溶胶浓度的分析仪器。其原理为:当用一束光源照射在吸附有 BC 的石英滤膜上时,由于 BC 对光具有吸收衰减特性,通过计算一个采样周期的光学衰减增量 ΔATN_{λ} ,得到该测量周期内收集的 BC 质量,再除以这段时间的采样空气体积,即可确定空气流样品中 BC 的平均质量浓度。公式为:

$$M_{\lambda} = \frac{\Delta M_{\lambda} \times A}{F \times T} \times 10^9 = \frac{\Delta ATN_{\lambda} \times A}{\sigma_{\lambda} \times F \times T} \times 10^9 \quad (1)$$

式中: M_{λ} 表示波段 λ 所测 BC 质量浓度(ng/m^3); ΔATN_{λ} 表示在波段 λ 处采样一个周期的光学衰减量的增量; A 表示采样点空气流的通过面积(cm^2); F 表示采样的体积流速(m^3/min); T 表示采样时间(min); σ_{λ} 表示 BC 在波段 λ 处的当量衰减系数(cm^2/g),其与吸收系数有关,本文采用厂家推荐值; ΔM_{λ} 表示采样点的 BC 沉积增量(g/cm^2)。

实验采用 Magee 公司生产的 AE-42 便携式 BC 仪(共 7 个测量通道:370 nm、470 nm、520 nm、590 nm、660 nm、880 nm、950 nm,能获得细致的气溶胶光学信息)。本文利用标准通道 $\lambda=880 \text{ nm}$ 监测 BC 气溶胶质量浓度,时间分辨率为 1 s。利用中海达 Hi-Q7 手持 GPS 接收机同步获取研究区的实时位置信息(采样间隔也调整为 1 s),单点定位精度为米级;汽车近似匀速行驶,速度控制在 30 km/h 左右。

2 观测结果及分析

2.1 BC 气溶胶观测值降噪处理

由于 AE-42 获取高时间分辨率测量值时会受到噪声信号影响,且在 BC 浓度较低时尤为突出,故采用 Optimized Noise-reduction Averaging (ONA) 算法^[13]对实时量测的 BC 气溶胶浓度值进行系统去噪。ONA 是一种时间自适应降噪方法,选取 BC 仪一个测量周期内的光衰减增量 ΔATN 作为指标。文献^[13]将 ONA 算法用于多组高时间分辨率的 BC 数据集,去噪结果表明:当取 $\Delta ATN_{\min}=0.05$ 时,BC 在保留原始数据集变化趋势的同时,能够有效地去除噪声。因此,本文在 MATLAB 平台下,将经验值 $\Delta ATN_{\min}=0.05$ 输入 ONA 降噪流程,对原始 BC 浓度值进行后处理(图 1、图 2)。通过对降噪结果分析可知:ONA 算法可去除原始 BC 中出现的负值异常,降低噪声;当原始 BC 浓度值为负时,降噪所需的均值点个数较多;对于高采样频率的 BC 数据集,环境中 BC 浓度值较低时,BC 仪一个周期的光衰减增量 $\Delta ATN < \Delta ATN_{\min}$,达到 $\Delta ATN_{\min}=0.05$ 所需的时间较长,滤波所需的采样点个数较多。

2.2 BC 气溶胶时空分布特征及影响因素分析

降噪后,取每个平均窗口内中间时刻的 BC 气溶胶浓度值,将其与同时刻获取的 GPS 位置信息一一对应,对徐州市区主干道路的 BC 气溶胶空间分布进行移动制图(图 3,见封 3),得到相应的时间分布结果(图 4)。图 3a—c 和图 4a—c 分别为 2013 年 10 月 1 日 Run1、Run2、Run3 时段的 BC 浓度空间分布及相应的时间序列分布;图 3d—f 和图 4d—f 分别为 2013 年 10 月 2 日 Run1、Run2、Run3 时段的 BC 浓度的空间分布及相应的时间序列分布。其中,卫星图像采用覆盖徐州的资源三号图像,将主干道路上的 BC 浓度及相应的地理坐标在 ArcGIS 中进行叠加,并赋以不同的颜色来表示 BC 浓度值的大小,绿色表示低值,红色表示高值。

分析 10 月 1 日的监测数据可知:1)BC 浓度高值

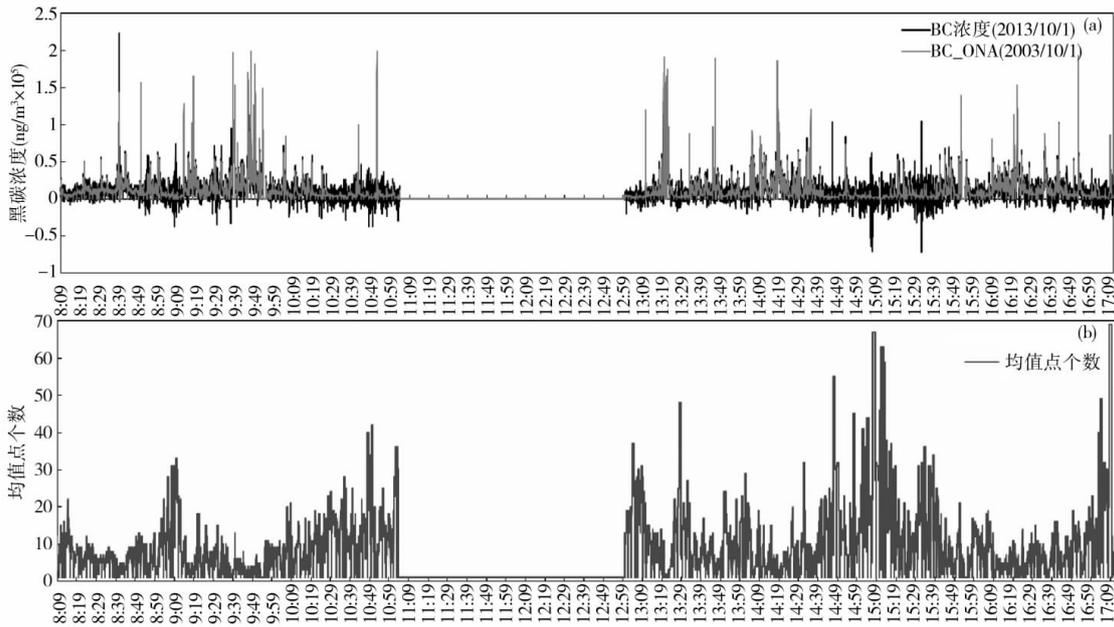


图 1 BC 值 ONA 后处理结果(2013/10/1)
Fig. 1 Post-processed results of BC data using ONA approach(2013/10/1)

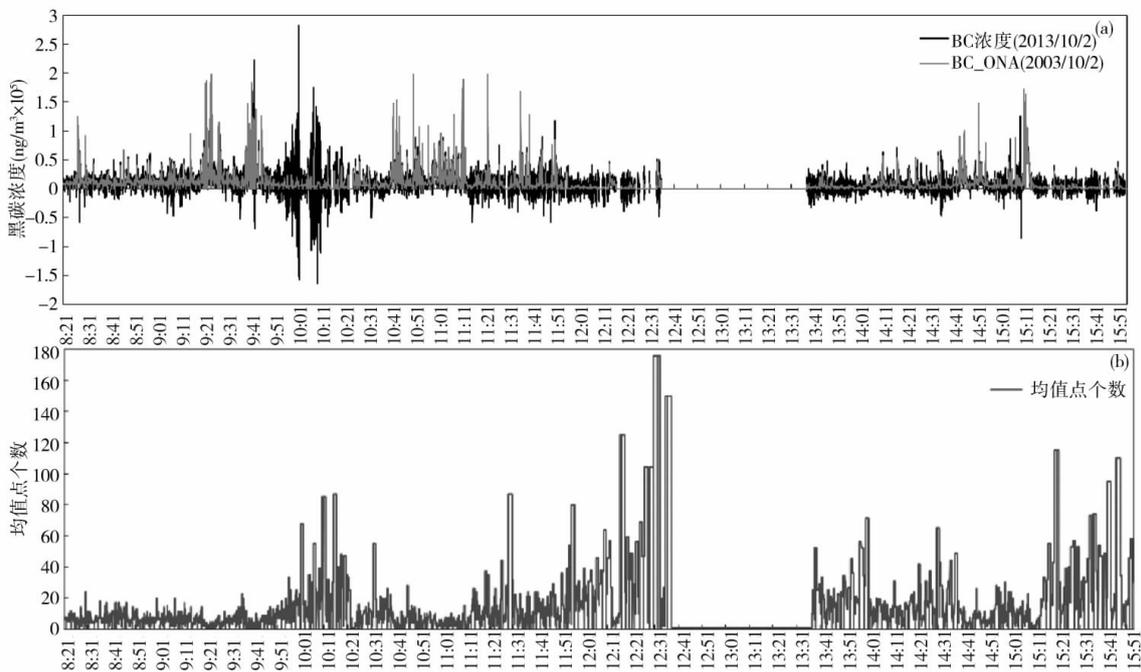


图 2 BC 值 ONA 后处理结果(2013/10/2)
Fig. 2 Post-processed results of BC data using ONA approach(2013/10/2)

区主要集中在三环西路、黄河南路和二环西路区域(图 3a),原因是这些路段为外环城路,没有对大型卡车实行限行政策,路面行驶的柴油发动机货车较多,造成 BC 排放量的增加;2)13—15 时,城区主干道中三环西路、二环北路和解放南路存在 BC 浓度高值区(图 3b、图 4b),因为此时段解放南路正在进行道路拓宽工程,造成 BC 排放量增加,形成高值区;3)15—17 时,在复兴路中段、三环北路和三环西路交汇口、解放北路存在 BC 浓度高值区(图 3c、图 4c),因为复兴

路中段位于火车站附近,车流量很大,机动车尾气排放较多,解放北路位于市中心,且国庆节人流量大、道路拥堵;4)市区主干道 BC 高值只在 9 时后出现,这和人们的出行习惯相关;在城市外环路上,则 3 个时段都有 BC 高值出现,不仅因为三环北路和西路环城路上大型卡车流量大,而且与周边工厂和燃煤电厂持续排放 BC 有关。

分析 10 月 2 日的监测数据可知:1)早上监测区的 BC 排放量(图 3d)与图 3a 相似,高值区主要集中在

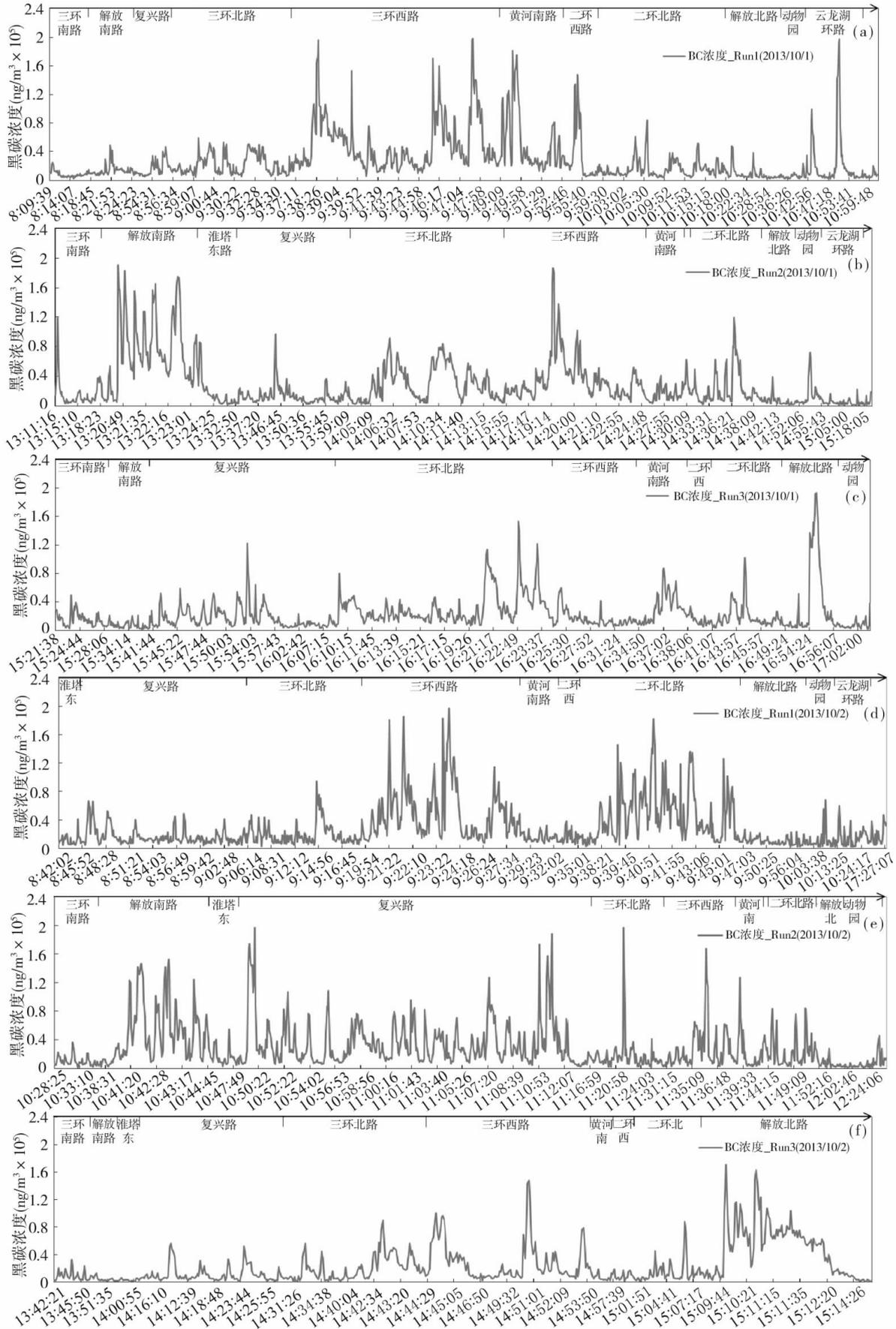


图 4 徐州市移动 BC 测量值的时间分布
 Fig. 4 Temporal fluctuations of mobile BC measurements in Xuzhou

在三环西路和二环北路上;2)10:30 至中午时段,复兴路段 BC 排放量整体较高,解放南路和淮塔东路也出现高值(图 3e、图 4e),因为该时段内这些路段的车流量较大;3)13:42—15:00,三环北路、西路车流量相对减少,市区出现 BC 高值区(图 3f、图 4f)。

综上,徐州市区 BC 气溶胶浓度变化的基本特征为:1)城北工业区较多,城南绿化程度好,城区 BC 气溶胶浓度整体呈北高南低的空间分布格局;2)三环西路和三环北路周边不仅存在大量工厂和燃煤电厂的工业排放,而且机动车(尤其是柴油机动车)尾气排放量大,BC 气溶胶浓度大于其他地区;3)市中心路段 BC 排放量主要与人的出行规律有关,9 时之前 BC 排放量较低,之后呈上升趋势。

3 结论

本文采用 AE-42 便携式 BC 仪和 GPS 接收机组成的移动观测平台,对徐州市道路 BC 气溶胶进行实时动态观测,实现了复杂城市环境的 BC 气溶胶浓度的移动观测与制图。本方法便捷有效、灵活机动,可在其他城市推广应用;不足之处在于:由于观测次数少、观测路线有限,未能得出徐州市区 BC 气溶胶的时空分布全貌。后续研究中,将弥补上述不足,并对夜间 BC 气溶胶浓度进行移动制图,进一步研究徐州市区 BC 气溶胶浓度分布的时空特征,进而详细揭示市区道路 BC 气溶胶的分布规律及其来源,并与其他颗粒物的分布规律进行对比分析。

参考文献:

- [1] 孙天乐,何凌燕,曾立武,等. 2008 北京残奥会期间大气黑碳气溶胶污染特征[J]. 中国环境科学,2012,32(12):2123—2127.
- [2] SAHAA, DESPIAN S. Seasonal and diurnal variations of black carbon aerosols over a Mediterranean coastal zone[J]. Atmospheric Research,2009,92(1):27—41.

- [3] MENON S, HANSEN J, NAZARENKO L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. Science,2002,297(5590):2250—2253.
- [4] BOND T C, DOHERTY S J, FAHEY D W, et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment[J]. Geophysical Research: Atmospheres,2013,118(11):5380—5552.
- [5] DONS E, INT PANIS L, VAN POPPEL M, et al. Personal exposure to Black Carbon in transport microenvironments[J]. Atmospheric Environment,2012,55:392—398.
- [6] GALDOS M, CAVALETT O, SEABRA J E A, et al. Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol production considering black carbon emissions[J]. Applied Energy,2013,104:576—582.
- [7] 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[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2008,44(4):66—70.
- [8] CHENG Y H, SHIU B T, LIN M H, et al. Levels of black carbon and their relationship with particle number levels-observation at an urban roadside in Taipei City[J]. Environmental Science and Pollution Research,2013,20(3):1537—1545.
- [9] CAO J J, ZHU C S, CHOW J C, et al. Black carbon relationships with emissions and meteorology in Xi'an, China[J]. Atmospheric Research,2009,94(2):194—202.
- [10] PETERS J, THEUNIS J, VAN POPPEL M, et al. Monitoring PM₁₀ and ultrafine particles in urban environments using mobile measurements[J]. Aerosol and Air Quality Research,2013,13:509—522.
- [11] DONS E, TEMMERMAN P, VANN POPPEL M, et al. Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon[J]. Science of the Total Environment,2013,447:72—79.
- [12] VAN POPPEL M, PETERS J, BLEUXI N. Methodology for setup and data processing of mobile air quality measurements to assess the spatial variability of concentrations in urban environments[J]. Environmental Pollution,2013,183:224—233.
- [13] HAGLER G S W, YELVERTON T L B, VEDANTHAM R, et al. Post-processing method to reduce noise while preserving high time resolution in Aethalometer real-time black carbon data[J]. Aerosol and Air Quality Research,2011,11(5):539—546.

A Mobile Measurement on Black Carbon Concentrations along the Main Roads of Xuzhou Downtown

BAI Yang¹, QIN Kai¹, WU Li-xin^{2,1}, LV Xin¹, WONG Mansing³, HU Ming-yu¹

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116;

2. IoT/Perception Mine Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116;

3. Department of Land Surveying and Geo-Informatics, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: In this paper, a black carbon (BC) concentration measurement experiment along the main roads of Xuzhou downtown is done by using a mobile measuring system, which is consisted of an AE-42 portable BC Aethalometer and a GPS receiver carried by a moving car. Analysis to the measurements revealed that: 1) the BC aerosol concentration along the main roads of Xuzhou tends to be higher, and comes mainly from industrial emission and vehicle exhaust, especially the exhaust from diesel vehicle; 2) the BC aerosol concentration at downtown center is lower, and is closely related to citizens' activities; 3) the BC aerosol concentration along the main roads of Xuzhou is dependent on traffic density and road limitation, and it gets variable with time difference. The experiment and results illustrate that the mobile measuring platform, consisted of an AE-42 portable BC Aethalometer and a GPS receiver, has characteristics of convenience, effectiveness and flexibility, and has potential application in other cities.

Key words: portable BC Aethalometer; GPS; mobile measurement; aerosol; Xuzhou downtown

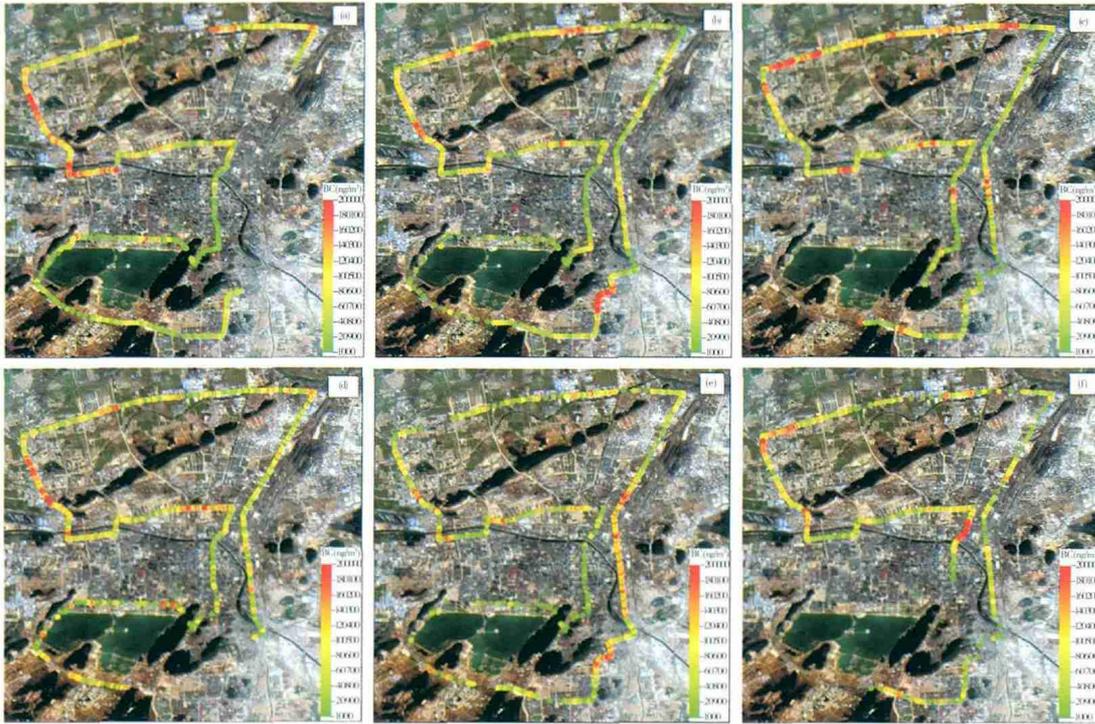


图 3 徐州市区移动 BC 测量值的空间图
Fig. 3 Spatial maps of mobile BC measurements in Xuzhou downtown

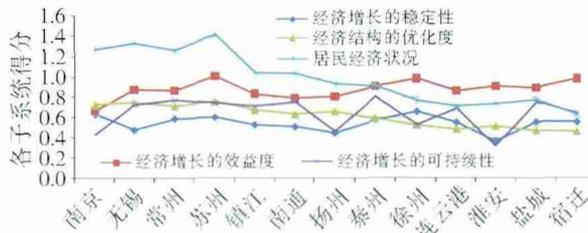


图 2 2011 年江苏省经济增长质量综合得分构成
Fig. 2 The structure about comprehensive scores of the economic growth quality in Jiangsu Province in 2011

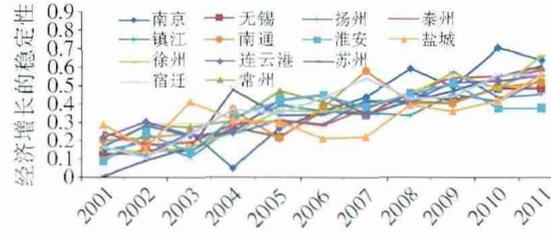


图 3 江苏省经济增长稳定性的动态变化
Fig. 3 Dynamic changes of the stability of economic growth in Jiangsu Province

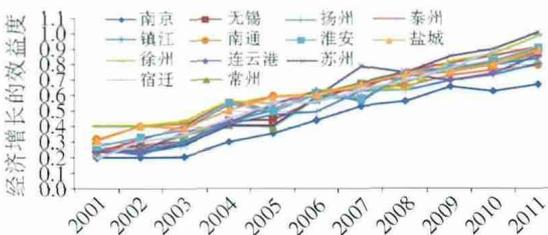


图 4 江苏省经济增长效益度的动态变化
Fig. 4 Dynamic changes of the benefit degree of economic growth in Jiangsu Province

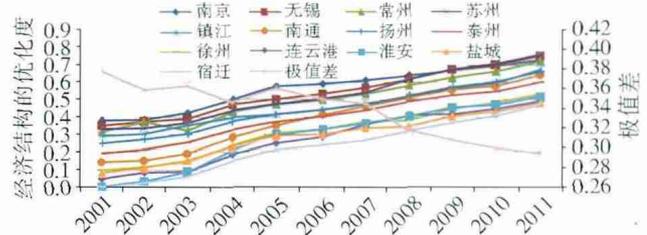


图 5 江苏省经济结构优化度的动态变化
Fig. 5 Dynamic changes of the optimization of economic structure in Jiangsu Province

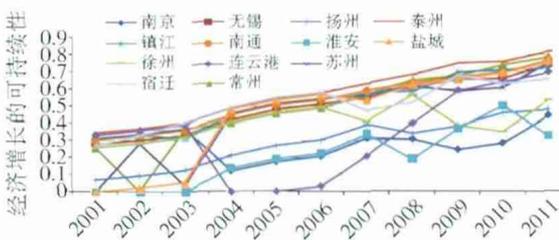


图 6 江苏省经济增长的可持续性的动态变化
Fig. 6 Dynamic changes of the sustainability of economic growth in Jiangsu Province

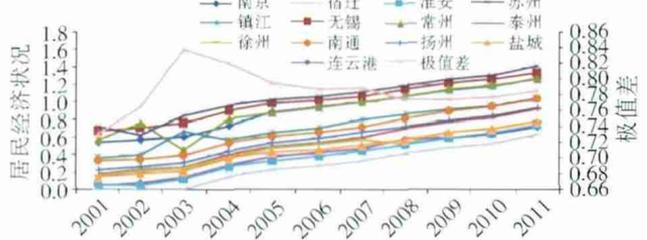


图 7 江苏省居民经济状况的动态变化
Fig. 7 Dynamic changes of the economic situation about resident in Jiangsu Province