

南京大气 PM_{2.5} 中碳组分观测分析

陈魁¹, 银燕^{1*}, 魏玉香², 杨卫芬¹ (1.南京信息工程大学, 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏南京 210044; 2.南京市环境监测中心, 江苏南京 210013)

摘要: 为了解南京地区大气细颗粒物及化学成分在灰霾期间的污染水平及可能来源, 于 2007 年 6 月至 2008 年 5 月, 采集 PM_{2.5} 样品, 并测定了其中有机碳(OC)和元素碳(EC)的含量, 并考察了有机碳和元素碳的季节变化特征, 比较分析了南京地区灰霾与非灰霾期间含碳气溶胶的污染特征. 结果显示, 南京大气中 PM_{2.5}、OC 和 EC 浓度变化范围分别是 12.1~287.1、2.6~47.0 和 1.0~33.6 μg/m³, 其中夏季 PM_{2.5}(109.6 μg/m³) 和 OC(20.8 μg/m³) 的值在四个季度中最高, 呈现出夏季>秋季>冬季>春季的季节变化特征; EC 则具有秋季>春季>冬季>夏季的季节变化特征. 霾日的 OC、EC、总碳含量(TC)浓度及 OC 与 EC 比值分别是非霾日的 2.0、1.8、1.9 和 1.7 倍. 后向轨迹分析表明, 在有利的天气背景下, 具有丰富水汽和污染物的混合气团最易使南京产生霾天气.

关键词: PM_{2.5}; 有机碳(OC); 元素碳(EC); 霾; 南京

中图分类号: X131.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2010)08-1015-06

Characteristics of carbonaceous aerosols in PM_{2.5} in Nanjing. CHEN Kui¹, YIN Yan^{1*}, WEI Yu-xiang², YANG Wei-fen¹ (1.Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2.Nanjing Environmental Monitoring Center, Nanjing 210013, China). *China Environmental Science*, 2010,30(8): 1015~1020

Abstract: Chemical characteristics and possible sources of fine particulate matter (PM_{2.5}) was investigated for 1 year in Nanjing. PM_{2.5} was collected from June 2007 to May 2008, which carbonaceous species, organic carbon (OC) and elemental carbon (EC), in the samples were analyzed. Seasonal variations of OC and EC concentrations were investigated; the pollution degree and characteristics of carbonaceous aerosols during haze and no haze period were analyzed and compared. Results showed that yearly PM_{2.5} and carbonaceous concentrations varied in wide ranges with 12.1~287.1 μg/m³ for PM_{2.5}, 2.6~47.0 μg/m³ for OC and 1.0~33.6 μg/m³ for EC. On seasonal average, the highest PM_{2.5} (109.6 μg/m³) and OC (20.8 μg/m³) levels occurred during summer. The seasonal average concentrations of PM_{2.5} and organic carbon levels ranked by the order of summer > autumn > winter > spring, while the seasonal average concentrations of EC were in the order of autumn, spring, winter and summer. The OC/EC ratio and concentrations of carbonaceous species such as, OC, EC and total carbon (TC) in haze days were 1.7, 2.0, 1.8, and 1.9 times higher than those in non-haze days. Backward air trajectories indicated that haze formation in Nanjing was attributable to air masses with abundant water vapors and pollutants.

Key words: PM_{2.5}; organic carbon (OC); elemental carbon (EC); haze; Nanjing

在城市地区,碳气溶胶是大气颗粒物中最重要的重要组成部分,碳气溶胶可以通过光散射和光吸收(如黑炭)直接影响气候变化^[1-2],太阳辐射的减少又导致水分蒸发量减少,影响水循环,并且大气颗粒物能够改变云的光学性质,进而间接影响气候^[2-4].此外,碳气溶胶是对人体和动物有害有毒物质的潜在载体,危害人体健康^[5-6].因此碳气溶胶是近十几年来研究热点^[7-11].Cao 等^[12]研究了 2003 年冬、夏两季我国 14 个城市的 OC 和 EC

浓度分布,显示 OC 和 EC 分布具有时空特征.

南京位于长江三角洲地区,是我国存在四大霾严重地区之一^[13-14],许多学者对该市大气颗粒物中的碳组分^[15-18]进行了研究.但关于南京碳气

收稿日期: 2009-12-07

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2006226);南京市环境保护局环境保护科技项目(200609);江苏省高校优秀创新团队科技计划;国家“973”项目(2009CB426313)

* 责任作者, 教授, yinyan@nuist.edu.cn

溶胶长期观测的相关研究还鲜见.基于此,本研究考察了南京 2007 年 6 月至 2008 年 5 月 $PM_{2.5}$ 、OC 和 EC 特征,重点研究了霾天气下,南京 $PM_{2.5}$ 中 OC 与 EC 的浓度变化,为了解南京大气气溶胶 OC 和 EC 的时空分布特征、来源及区域传输提供参考.

1 采样与分析

$PM_{2.5}$ 采样点设在南京市环境监测中心站楼顶(32.05°N,118.76°E),距地高度约 18m.采用 Rupprecht & Patashnick 公司生产的 TEOM1400a $PM_{2.5}$ 自动监测仪监测 $PM_{2.5}$ 的质量浓度.另外采用 ACCU 自动采样器对 $PM_{2.5}$ 进行采样.采样滤膜为 47mm 石英微纤维滤膜(英国 Whatman 公司),采样时间为 24h.采样期间为 2007 年 6 月至 2008 年 5 月,共采集 66 组样本.根据采样前后滤膜的质量差和大气采样体积得到气溶胶的质

量浓度.样品中 EC 和 OC 浓度在南开大学采用热光碳分析仪测定^[19].

2 结果与讨论

2.1 $PM_{2.5}$ 、OC 和 EC 浓度总体特征

由图 1 可知,采样期间 $PM_{2.5}$ 日均浓度为 12.1~287.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间变化,均值为 $(98.8 \pm 51.8) \mu\text{g}/\text{m}^3$.我国还没有 $PM_{2.5}$ 浓度的国家环保标准,如采用美国 1997 年颁布的 $PM_{2.5}$ 空气质量标准^[20]来评价 $PM_{2.5}$ 的超标程度,即 $PM_{2.5}$ 的 24h 标准 $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 计算,则南京 $PM_{2.5}$ 日均值是美国标准的 1.54 倍,最高值是美国 1997 年颁布的 $PM_{2.5}$ 空气质量的 4.42 倍,全年有 52d $PM_{2.5}$ 超标,占采样天数 78.8%.OC 和 EC 的浓度分别为 2.6~40.5, 0.6~33.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 1).日均 OC 和 EC 分别占 $PM_{2.5}$ 的 15.9% 和 10.5%,说明 OC 和 EC 是 $PM_{2.5}$ 重要的组成部分.

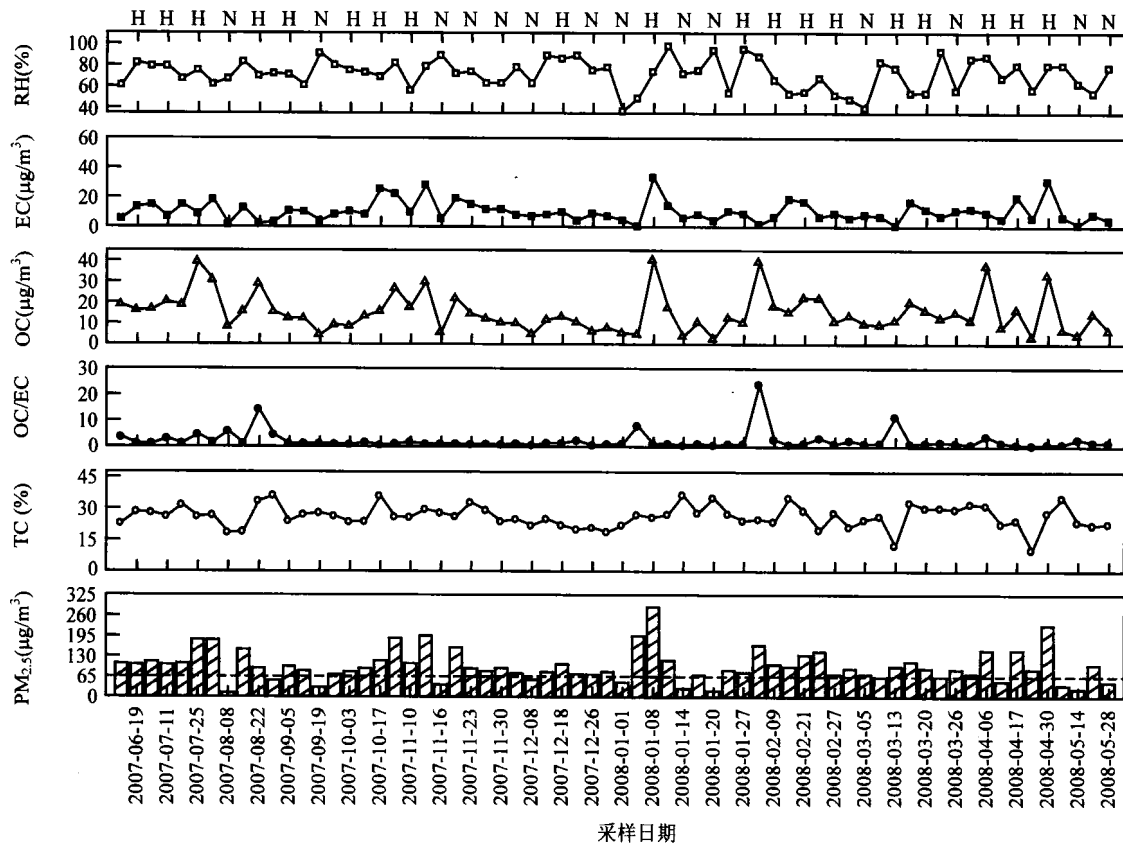


图 1 观测期间 $PM_{2.5}$ 、TC、OC/EC、OC、EC、RH 日变化

Fig.1 Diurnal variations of chemical components in $PM_{2.5}$ and relative humidity for Nanjing

图中虚线为美国 1997 年颁布的 $PM_{2.5}$ 空气质量标准($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$);顶端横坐标中 N 代表非霾日, H 代表霾日

2.2 PM_{2.5}、OC 和 EC 的季节变化特征

PM_{2.5}、OC 和 EC 的季节变化特征如图 2 所示.因为在 2007 年 6 月南京附近存在严重的秸秆焚烧情况,而秸秆焚烧会产生大量的大气颗粒和有机气体,会产生二次气溶胶^[21-22].夏季 PM_{2.5} 和 OC 平均浓度达到 109.6,20.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,是四季中最高值.说明南京城市周边秸秆焚烧对城市大气有着重要的影响.其余季节 PM_{2.5} 和 OC 呈现秋季>冬季>春季的特征,这个结果与 Feng 等^[23]研究的同属于长三角地区上海这 3 季的 OC 变化一致.由于南京的深秋和冬季位于东亚大槽的后部,地面为更迭的冷高压控制,下沉气流使低层大气生成稳定层结,随气流上传的颗粒物累积在稳定层下层.所以 PM_{2.5} 和 OC 呈现夏季>秋季>冬季>春季的季节特征.

表 1 观测期间 PM_{2.5}、TC、OC/EC、OC、EC 均值、标准方差、中值、最小值和最大值

Table 1 Statistics of PM_{2.5} mass, EC and OC concentration, TC and OC/EC ratio in samples collected during the sampling periods

项目	平均值	标准差	中值	最小值	最大值
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	98.8	51.8	90.9	12.1	287.1
TC (%)	26.	5.2	26.3	10.3	36.6
OC/EC	2.36	3.56	1.22	0.54	23.90
OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15.7	9.9	13.4	2.6	40.5
EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10.4	6.9	8.6	0.6	33.6

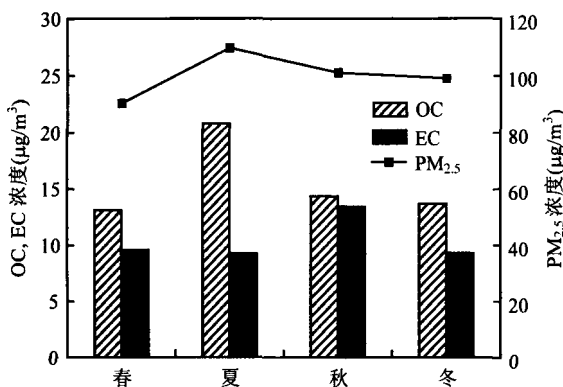


图 2 PM_{2.5}、OC 和 EC 浓度的季节变化

Fig.2 Seasonal variations of EC, OC, TC concentrations

研究表明^[24-25],EC 来源于汽车尾气(约占 50%),煤燃烧(约占 15%),烹饪废气(约占 10%)等.

排放源和气象条件决定着 EC 的季节变化.南京秋季平均 EC 值(13.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)最高,夏季平均 EC 值(9.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)最低.夏季南京降水量高于年平均 243mm(年平均 1000mm),一般南京 3~9 月为雨季,降水量较高^[26-27],而秸秆焚烧对 EC 影响很小,所以夏季的 EC 值最小.在深秋和冬季南京的气温较低,南京虽然没有统一的供暖,但为了取暖居民和单位自行供暖,这样增加煤的燃烧;还有温度低,机动车的启动时间变长了,增加了尾气排放量^[28-29].另外秋冬季节易产生逆温层,使得污染物不易扩散,所以秋季 EC 值最高.EC 呈现秋季>春季>冬季>夏季.这一结果与同纬度的上海观测结果^[30]相似.

与其他城市比较,采样期间南京的 PM_{2.5} 和 OC 值,低于北京,高于上海,高于 2003 年 6~7 月全国夏季平均值,低于 2003 年 1 月全国冬季平均值;EC 值高于北京、上海和 2003 年全国夏冬两季平均值(表 2).因为观测点在西面靠近虎踞路,车流量较高,东西和北面靠近西康路和北京西路,所以 EC 值较高.本研究的 PM_{2.5}、OC 和 EC 值高于 2001 年 2 月和 9 月 Yang 等^[15]观测值,因为 Yang 的每日采样时间只有 12 小时.

表 2 统计各地 PM_{2.5} 中碳组分浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 2 Average OC, EC and PM_{2.5} at different sites ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

采样地	采样时间	OC	EC	PM _{2.5}	文献
北京	1999 年 7 月~2000 年 6 月	23.9	8.79	116.8	[25]
上海	1999 年 3 月~2000 年 3 月	14.9	6.5	66.1	[30]
全国	2003 年 1 月	38.1	9.9	163.9	[12]
	2003 年 6~7 月	13.8	3.6	71.2	
南京	2001 年 2 月	15.6	3.33	67.1	[15]
	2001 年 9 月	10.8	4.01	46.9	
南京	2007 年 6 月~2008 年 5 月	15.7	10.4	98.8	本研究

2.3 霾日和非霾日 OC 和 EC 分布特征

观测期间,南京有 40d 发生了霾天气现象,占观测天数的 60.6%(图 1),统计分析数据见图 3.在霾日中,OC/EC 日均值为 2.81,PM_{2.5}、OC、EC、TC 浓度日均值分别为 121.0, 19.5, 12.6, 32.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,分别是非霾日,PM_{2.5}(64.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)的 1.9 倍,OC/EC (1.67)的 1.7 倍,OC(9.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)的 2.0 倍,EC(7.0 $\mu\text{g}/$

m³)的1.8倍和TC(16.8μg/m³)的1.9倍.使用单因素方差分析霾日和非霾日PM_{2.5},OC和EC值,得到PM_{2.5}和OC具有极显著差异(P<0.01),EC具有显著差异性(P<0.05).说明南京大气中PM_{2.5},OC和EC对霾的产生具有重要影响,而PM_{2.5},OC的影响更为显著.

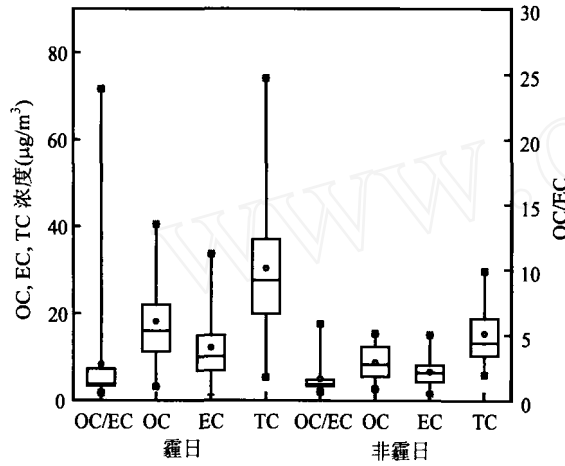


图3 霾日和非霾日OC、EC、TC浓度和OC与EC比值.

Fig.3 Box plots for haze and non-haze day EC, OC, TC concentrations and OC/EC ratio

图中圆点为均值,上下星号分别为最大、最小值,方块范围25%~75%

2.4 OC和EC来源分析

采样期间地面风速一般较小,平均风速为1.7m/s,风向大多数集中在NW-NE-SE方向(图4).在观测位置的东北部是南京大型工业区,集中许多化工厂、炼钢厂和电厂等污染企业.东北风正好带来了该地区的污染物.但是玫瑰图不能区分本地污染和远距离输送污染.

为了分析南京OC和EC远距离输送来源,采用NOAA (<http://www.arl.noaa.gov/>)的后向轨迹(2007年6月~2008年5月).应用HYSPLIT_4模式进行计算,选取高度距地面1000m,时间为72h,每天取2:00, 8:00, 14:00, 20:00.将得到的后向轨迹用聚类分析进行分类,得到4组平均后向轨迹(图5),从簇1到簇4.簇1至4霾发生概率分别为90%,51.8%,62.5%和53.8%.各簇不同季节发生霾的比率见表3.

簇1,起源海上,由上海登录,经过江苏南部进

入南京.上海和江苏南部是长三角经济和工业较发达的地区,排放的大气污染物较多,海上的水汽夹杂着污染物进入南京后,容易形成霾,所以簇1霾发生概率为90%.

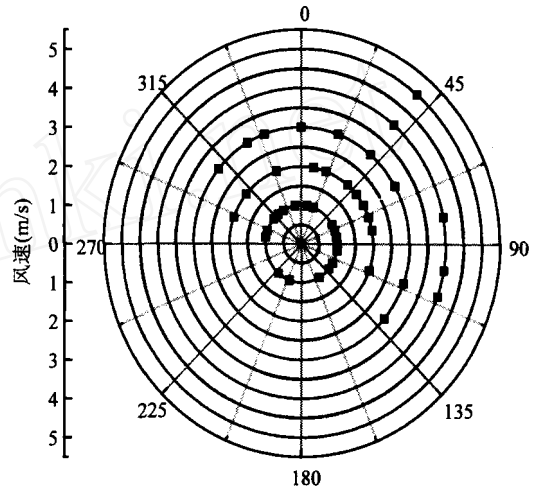


图4 采样期间风速玫瑰图

Fig.4 Wind speed rose during the study period

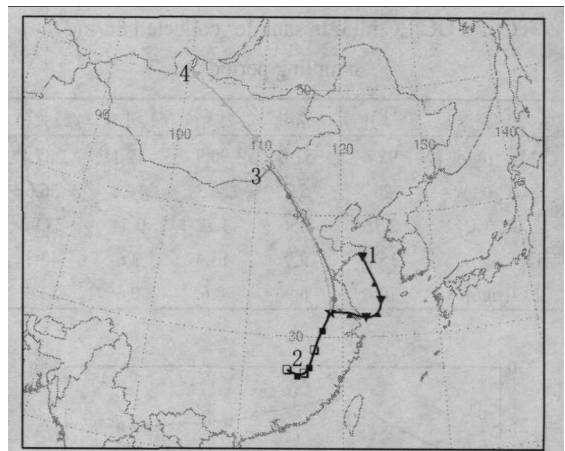


图5 南京低层大气的4种基本路径来源

Fig.5 72h backward air trajectories arriving at Nanjing during the sampling period

表3 各组不同季节发生霾的比率(%)

Table 3 Haze probability in different seasons(%)

季节	簇1	簇2	簇3	簇4
春	11.1	50	30	0
夏	11.1	35.7	20	0
秋	55.6	7.1	50	14.3
冬	22.2	7.2	20	85.7

簇2,从江西,经安徽,进入南京.这一带以农业为

主,大气污染物存在季节效应.在春末夏初季节,有秸秆焚烧现象,所以春夏季霾发生占该簇的 85.7%.秋季虽然也会有秸秆焚烧发生,但受南京季风影响,受该方向的污染影响会远远小于春末夏初.

簇 3,从蒙古与内蒙交界处开始,经内蒙,河北,北京,山东,江苏北部,进入南京.所经地区,既有工业区也有农业区,污染源较为复杂.所以各季发生霾较为均衡.

簇 4,起源自蒙古北疆,进入内蒙后,路径与簇 3 有些类似.统计各季轨迹,夏季没有轨迹属于该簇,发生霾主要是冬季,占该簇 85.7%.因为冬季,一般植被枯死,扬尘较多,并且冬季北方开始供暖,燃煤较多,污染物排放也较多,污染物远距离输送至南京,在合适的气象条件下形成霾.

3 结论

3.1 南京大气中 PM_{2.5}、OC 和 EC 浓度分别为 12.1~287.1, 2.6~47.0, 1.0~33.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.按 1997 年 USEPA 颁布的 24h PM_{2.5} 标准 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 计算,则南京 PM_{2.5} 日均值是美国标准的 1.54 倍,有 52dPM_{2.5} 超标,占采样天数的 78.8%.

3.2 夏季 PM_{2.5} 和 OC 平均浓度达到 109.6, 20.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 和 OC 呈现夏季>秋季>冬季>春季的季节特征. EC 呈现秋季>春季>冬季>夏季的季节特征.

3.3 霾日的 OC/EC 日均值为 2.81;OC、EC 和 TC 浓度日均值分别为 19.5, 12.6, 32.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,是非霾日 OC/EC、OC、EC 和 TC 的 1.7, 2.0, 1.8 和 1.9 倍.方差分析结果表明 PM_{2.5}、OC 和 EC 对霾的产生具有重要影响.

3.4 大气污染源是本地污染源和远距离输送源.本地污染源位于东北部的工业区.远距离输送源,运用后向轨迹,将采样期 72h 后向轨迹分为 4 组.簇 1 霾发生概率为 90%,因为经工业发达地区且气团夹杂大量水汽.簇 2,春夏季霾发生几率为 85.7%.簇 4,冬季发生霾几率为 85.7%.

参考文献:

- [1] Kanakidou M, Seinfeld J H, Pandis S N, et al. Organic aerosol and global climate modelling: a review [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005,5:1053-1123.
- [2] Schwartz S E. The Whitehouse effect - Shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols: An overview [J]. *Journal of Aerosol Science*, 1996,27(3):359-382.
- [3] Rosenfeld D, Lohmann U, Raga G B, et al. Flood or drought: How do aerosols affect precipitation? [J]. *Science*, 2008,321:1309-1313.
- [4] Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution [J]. *Science*, 2000,287:1793-1796.
- [5] Kan H D, London S J, Chen G H, et al. Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China: The public health and air pollution in Asia (PAPA) study [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008,116(9):1183-1188.
- [6] Nel A, Xia T, Madler L, et al. Toxic potential of materials at the nanolevel [J]. *Science*, 2006,311(5761):622-627.
- [7] Nunes T V, Pio C A. Carbonaceous aerosols in industrial and coastal atmospheres [J]. *Atmospheric Environment Part A-General Topics*, 1993, 27(8): 1339-1346.
- [8] Cao J J, Shen Z X, Chow J C, et al. Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for PM₁₀ aerosol in Hangzhou, China [J]. *Particuology*, 2009,7(3):161-168.
- [9] Zhang R J, Cao J J, Lee S C, et al. Carbonaceous aerosols in PM₁₀ and pollution gases in winter in Beijing [J]. *Journal of Environmental Sciences-China*, 2007,19(5):564-571.
- [10] 吴琳,冯银厂,戴莉,等.天津市大气中 PM₁₀、PM_{2.5} 及其碳组分污染特征分析 [J]. *中国环境科学*, 2009,29(11):1134-1139.
- [11] 李伟芳,白志鹏,魏静东,等.天津冬季大气中 PM_{2.5} 及其主要组分的污染特征[J].*中国环境科学*, 2008,28(6):481-486.
- [12] Gustafsson O, Krusa M, Zencak M. Brown clouds over South Asia biomass or fossil fuel combustion [J]. *Science*, 2009, 323: 495-498.
- [13] Cao J J, Lee S C, Chow J C, et al. Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China [J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2007,112,D22S11,doi:10.1029/2006JD008205.
- [14] Chang D, Song Y, Liu B. Visibility trends in six megacities in China 1973-2007 [J]. *Atmospheric Research*, 2009,94(2):161-167.
- [15] Yang H, Yu J Z, Ho S S H, et al. The chemical composition of inorganic and carbonaceous materials in PM_{2.5} in Nanjing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005,39(20):3735-3749.
- [16] Wang G, Wang H, Yu Y, et al. Chemical characterization of water-soluble components of PM₁₀ and PM_{2.5} atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, 37(21):2893-2902.
- [17] 谢鸣捷,王格慧,胡淑圆,等.南京夏秋季大气颗粒物和 PAHs 组成的粒径分布特征 [J]. *中国环境科学*, 2008,28(10):867-871.

- [18] 钱凌, 绍燕, 李尧青, 等. 南京北郊大气细颗粒物的粒径分布特征 [J]. 中国环境科学, 2008, 28(1): 18-22.
- [19] Chow J C, Watson J G, Pritchett L C, et al. The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U.S. Air quality studies [J]. Atmospheric Environment, 1993, 27(8): 1185-1201.
- [20] US EPA. Office of air quality planning and standards fact sheet-EPA's recommended final ozone and particulate matters standards [S]. 1997.
- [21] Chen K, Yin Y, Hu Z H, et al. Analysis on the causes of the heaviest pollution episode of Nanjing in 2007 [C]// International Workshop on Education Technology and Training/International Workshop on Geoscience and Remote Sensing (ETT and GRS 2008). Shanghai, PEOPLES R CHINA: Ieee Computer Soc, 2008: 452-455.
- [22] Wang G, Kakawamura K, Xie M, et al. Organic molecular compositions and size distributions of Chinese summer and autumn aerosols from Nanjing: Characteristic haze event caused by wheat straw burning [J]. Environmental Science and Technology, 2009, 43(17): 6493-6499.
- [23] Feng Y, Chen Y, Guo H, et al. Characteristics of organic and elemental carbon in PM_{2.5} samples in Shanghai, China [J]. Atmospheric Research, 2009, 92(4): 434-442.
- [24] Fang G C, Wu Y S, Chou T Y, et al. Organic carbon and elemental carbon in Asia: A review from 1996 to 2006 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 150(2): 231-237.
- [25] Yang F, He K, Ye B, et al. One-year record of organic and elemental carbon in fine particles in downtown Beijing and Shanghai [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2005, 5(6): 1449-1457.
- [26] 闫旭, 丁鸣鸣, 王凯. 从雨水利用谈南京市排水方案的完善 [J]. 江苏水利, 2006, (5): 34-35.
- [27] 张国存, 查良松. 南京近 50 年来气候变化及未来趋势分析 [J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2008, 31(6): 580-584.
- [28] Chow J C, Watson J G, Lowenthal D H, et al. PM₁₀ and PM_{2.5} compositions in California San Joaquin Valley [J]. Aerosol Science and Technology, 1993, 18(2): 105-128.
- [29] Singer B C, Kirchstetter T W, Harley R A, et al. A fuel-based approach to estimating motor vehicle cold-start emissions [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1999, 49(2): 125-135.
- [30] Ye B, Ji X, Yang H, et al. Concentration and chemical composition of PM sub(2.5) in Shanghai for a 1-year period [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(4): 499-510.

作者简介: 陈魁(1975-), 男, 江苏镇江人, 讲师, 在职博士研究生, 主要从事大气成分变化与区域气候效应. 发表论文 5 篇.

中国城市的绿色未来

在《大城市的清洁大气》一文中, Parrish 和 Zhu 强调了大城市在解决大气质量和气候变化问题中存在的机遇和挑战. 在中国, 2007 年监测到 287 个大城市中只有 60.5% 的城市空气质量能够达到环境保护部的标准要求. 然而, 还是有令人振奋的迹象表明中国正努力建设更多的低碳城市. 2008 年初, WWF(世界野生动物基金会)与上海和保定 2 个城市进行联合试点方案, 致力于研究如何在中国的城市区域实现低碳发展. 随后, 北京、上海、天津、沈阳、武汉、杭州及深圳都拿出了各自的低碳发展计划蓝图.

在 2010 年 5 月开幕的世博会给大家提供了 1 个展现上海绿色未来的窗口. 在构建上海世博园区的时候, 规划、建筑、交通运输等各种活动优先采用节能减排的理念. 举个例子, 世博园采用了 4.5MW 的整体太阳能系统来为各建筑供应电能. 这种清洁能源的应用, 与煤炭火力发电相比, 预计 1 年可减少 4 100t 二氧化碳的排放.

要解决中国城市空气污染物和气候作用力介质的问题, 需要拟定战略性的城市规划、投入大量的资金和技术、制定新的法规以及改变不良生活习惯等方面的配合. 低碳城市(主要是现有的地级市和较大城市)发展中的碳排放也要加以考虑. 中国最近已经发布了一些新的法规来消除与低碳城市发展相关的、在统计学上存在的腐败和通货膨胀. 如果这些法规能够被认真执行, 我们相信, 不久的将来在中国会出现越来越多的低碳城市.

王川译自《Science》, March 5: 1199 (2010)