

## 武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 的碳组分与源解析

成海容<sup>1</sup>, 王祖武<sup>1\*</sup>, 冯家良<sup>2</sup>, 陈宏玲<sup>1</sup>, 张帆<sup>1</sup>, 刘佳<sup>1</sup>

1. 武汉大学资源与环境科学学院环境工程系, 湖北 武汉 430079; 2. 上海大学环境污染与健康研究所, 上海 200444

**摘要:** 大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)和碳组分(OC, EC)是影响大气能见度、气候变化以及人体健康的重要污染物, 研究大气颗粒物及其中碳组分的污染特征及各类典型污染源对大气细颗粒物及碳组分的贡献, 对于认识区域和城市大气污染状况, 控制细颗粒物的污染, 具有重要意义。2011年7月至2012年2月, 利用大流量 PM<sub>2.5</sub> 采样器采集武汉市大气细颗粒物样品并对其碳组分进行测定。武汉市城区大气中 PM<sub>2.5</sub>、OC 和 EC 的质量浓度平均值分别为(127±48.7)、(19.4±10.5)和(2.9±1.48) μg·m<sup>-3</sup>。其 PM<sub>2.5</sub> 的浓度处于我国主要城市的中等偏高水平, 而 OC、EC 的浓度则属中等偏下水平, 但均高于国外城市。武汉市大气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的季节性变化呈现出秋季>冬季>夏季的趋势, 是气象因素和污染源排放综合影响的结果。OC 浓度和 EC 浓度具有较好的相关性 ( $r^2=0.69$ ), 表明二者存在来源联系。OC/EC 的比值为 6.7, 指示武汉市大气中 OC 和 EC 的来源受汽车尾气排放和生物质燃烧的共同影响。SOA 的平均质量浓度值为 12.5 μg·m<sup>-3</sup> 约占 PM<sub>2.5</sub> 平均质量浓度的 9.8%, 表明 SOA 对武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 具有重要贡献。结合 PM<sub>2.5</sub> 所含的水溶性离子、微量元素组成, 利用正矩阵因子分析 (PMF) 模型对武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 来源进行解析, 结果表明, 其主要来源及贡献率分别为机动车源 (27.1%)、二次硫酸盐和硝酸盐 (26.8%)、工厂排放 (26.4%) 和生物质燃烧 (19.6%)。

**关键词:** 武汉市; PM<sub>2.5</sub>; OC; EC; 源解析

**中图分类号:** X131.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2012) 09-1574-06

**引用格式:** 成海容, 王祖武, 冯家良, 陈宏玲, 张帆, 刘佳. 武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 的碳组分与源解析[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1574-1579.

CHENG Hairong, WANG Zuwu, FENG Jialiang, CHEN Hongling, ZHANG Fan, LIU Jia. Carbonaceous species composition and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in urban atmosphere of Wuhan [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(9): 1574-1579.

大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)和碳组分是影响大气能见度、气候变化以及人体健康的重要污染物<sup>[1-4]</sup>。通过对光的吸收和散射影响大气能见度<sup>[1]</sup>; 通过对太阳辐射的散射和吸收和作为云凝结核在大气中改变云滴的浓度和云滴在大气中的寿命, 影响全球气候<sup>[3]</sup>; 细颗粒物粒径小且可吸附对人体健康有害的微量元素、硫酸盐、硝酸盐和碳组分, 毒性大<sup>[4]</sup>。研究表明, 碳组分是大气细颗粒物的主要组分, 包括有机碳 (OC) 和元素碳 (EC), 约占颗粒物总质量的 10%~50%。其中 OC 由燃烧等过程直接排放的一次有机碳, 和挥发性有机物通过光化学反应生成的二次有机碳构成; EC 则主要由各种燃料不完全燃烧产生<sup>[6]311-327</sup>。大气颗粒物和碳组分的基本特征及其对气候、空气质量和人类健康的危害, 已经成为当前国际环境科学研究的热点之一<sup>[7]</sup>。研究大气颗粒物及其中碳组分的污染特征, 及各类典型污染源对大气细颗粒物及碳组分的贡献, 对于认识区域和城市大气污染

状况, 控制细颗粒物的污染, 都有重要意义<sup>[8]</sup>。

大气细颗粒物的来源复杂, 用于解析其来源的方法主要包括源清单、扩散模型和受体模型<sup>[6]39-44</sup>。正矩阵因子分析 (PMF) 模型是受体模型的一种, 其优点是能够同时确定污染源剖面和贡献, 而无须依赖源成分谱, 是美国国家环保局 (EPA) 推荐的源解析工具。

目前, 对京津冀、珠江三角洲、长江三角洲大气中 PM<sub>2.5</sub> 及其 OC/EC 的源解析研究已有一些报道<sup>[9-13]</sup>, 但在以武汉市为代表的华中城市圈, 还鲜有针对大气 PM<sub>2.5</sub> 化学组分和源解析等的相关研究。随着我国中部崛起战略的逐步实施和东部经济相对发达地区的产业转型, 为数众多的企业开始向我国中部城市如武汉转移, 这可能加重我国中部地区的环境污染程度。有限的研究表明, 武汉市空气质量的整体水平欠佳。本文报道了武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub>、OC 和 EC 的组成特征与浓度水平, 并运用 PMF 模型, 对 PM<sub>2.5</sub> 进行源解析,

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (41103061); 博士点基金项目 (20110141120015); 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室开放基金项目 (OGL-201110)

**作者简介:** 成海容 (1981年生), 女, 讲师, 博士, 主要从事大气空气质量的研究。E-mail: hairong.cheng@163.com

\*通信作者: 王祖武, 教授, 博士。E-mail: hjgc1891@163.com

**收稿日期:** 2012-08-06

供制定相应的污染控制对策时参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集和分析方法

采样地点设在武汉市武昌区, 位于武汉大学校园内测绘工程与遥感国家重点实验室楼顶(30°30'N, 14°21'E)。周边人口聚集, 商贸发达, 交通流量大, 是较为典型的城区站点。采样仪器为大流量 PM<sub>2.5</sub> 采样器, 以石英纤维滤膜收集样品。采样时间从 2011 年 7 月至 2012 年 2 月份, 每 3 天采集 1 次样品, 共采集了 55 个细颗粒物样品。每个样品的采样时间为 24 h, 采样流速为 0.3 m<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup>。采样前, 将石英纤维滤膜置于 450 °C 的马弗炉中灼烧 4 h, 于干燥器中冷却 24 h 后称质量。样品密封后保存于 -18 °C 的冰箱中备用。

PM<sub>2.5</sub> 的质量浓度经采样前后滤膜的质量差和大气的采样体积计算获得。PM<sub>2.5</sub> 中的有机碳(OC)和元素碳(EC), 由热/光学碳分析仪(Sunset Laboratory Inc., Forest Grove, OR)分析获得。该仪器的工作原理是热/光吸收, 是目前可比性较好、应用较广的 OC 和 EC 测定方法之一。详细工作程序可参见文献[14]。

### 1.2 正矩阵因子分析(PMF)

PMF 的基本原理是假设  $X$  为  $n \times m$  矩阵,  $n$  为样品数,  $m$  为化学成分, 那么  $X$  可以分解为  $X=GF+E$ , 其中  $G$  为  $n \times p$  的矩阵,  $F$  为  $p \times m$  的矩阵,  $p$  为主要污染源的数目,  $E$  为残数矩阵。定义:

$$e_{ij} = X_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} \quad (i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; k=1, \dots, p) \quad (1)$$

$$Q(E) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \frac{e_{ij}}{s_{ij}} \right)^2 \quad (2)$$

式中:  $X_{ij}$  为第  $i$  天第  $j$  种物质在受体的浓度;  $g_{ik}$  为第  $i$  天第  $k$  个因素对于受体的影响;  $f_{kj}$  为第  $j$  种物质在第  $k$  个因素的分数;  $e_{ij}$  为第  $i$  天第  $j$  种物

质的残余;  $s_{ij}$  为  $X$  的标准偏差。

约束条件为  $G$  和  $F$  中的元素都为非负值, 最优化目标是使  $Q$  趋于自由度值, 这样可以确定出  $G$  和  $F$  来。通常, 认为  $G$  为源的载荷,  $F$  为主要污染源的源廓线。在 PMF 中可以提供“重要性”来表示不同化学成分在源廓线中的重要性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 及其碳组分的浓度特征

武汉市大气中 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度平均值为 (127±48.7) μg·m<sup>-3</sup>, 远高于国家大气环境质量标准限值 (75 μg·m<sup>-3</sup>), 在我国城市中, 处于中等偏高水平, 但远高于其他国家的城市(表 1)[11,15-21]。例如, 武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度高于厦门、上海等城市, 但低于北京、太原、西安等城市。武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的季节性变化如表 2, 呈现出秋季>冬季>夏季的趋势, 其中, 秋季均值与冬季均值相当, 分别为(133±47.1)和(131±53.5) μg·m<sup>-3</sup>。这种季节变化特征, 可能是气象因素和污染源排放的综合影响造成的。秋季是武汉市灰霾的频发季节, 灰霾天气发生时, 大气边界层较低, 不利于污染物的扩散。而冬季由于采暖, 燃煤的使用量增高, 颗粒物的排放增加, 并且在冬季大气边界层较稳定, 逆温现象多, 污染物不易扩散。

武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 中 OC、EC 的质量浓度平均值为(19.4±10.5)和(2.9±1.48) μg·m<sup>-3</sup>, 分别占 PM<sub>2.5</sub> 总质量的 15.3%和 2.3%, 可见 OC 和 EC 是 PM<sub>2.5</sub> 的主要成分之一。武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 中 OC 和 EC 的质量浓度在我国城市中处于中等偏下水平, 高于其它国家的城市(表 1)[11,15-21]。如, 武汉市大气中 OC 和 EC 的质量浓度低于太原、西安、北京等城市, 与上海、厦门等城市相当。有机碳、元素碳浓度的季节性变化趋势与 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度一致, 即秋季>冬季>夏季。这也是气象因素和污染源排放综合影响的结果。在秋季灰霾发

表 1 武汉市大气 PM<sub>2.5</sub> 及其 OC 和 EC 平均质量浓度(μg·m<sup>-3</sup>)与其他城市相比较  
Table 1 Comparison of the average PM<sub>2.5</sub>, OC and EC concentrations (μg·m<sup>-3</sup>) in Wuhan with those in other cities

地名	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	OC/EC	文献
武汉(Wuhan)	127±48.7	19.4±10.5	2.9±1.48	6.7±1.8	本研究
太原(Taiyuan)	193.4±102.3	28.9±14.8	4.8±2.2	7.0±3.9	Meng et al., 2007 <sup>[15]</sup>
西安(Xi'an)	258.7	61.9±33.2	12.3±5.3	5.1	Cao et al., 2005 <sup>[16]</sup>
厦门(Xiamen)	72.1±34.2	24.2	3.7	6.6	Zhang et al., 2011 <sup>[17]</sup>
北京(Beijing)	171.7±141.7	36.0±21.5	9.8±6.7	4.8	Dan et al., 2004 <sup>[18]</sup>
上海(Shanghai)	90.3 ±54.9	14.7±10.1	2.8±1.3	5.0±1.9	Feng et al., 2009 <sup>[11]</sup>
Vancouver, Canada	6-12	3.59	0.32	11.2	Fan et al., 2004 <sup>[19]</sup>
Helsinki, Finland		3	1.2	2.5	Viidanoja et al., 2002 <sup>[20]</sup>
Missoula, USA	13.7	4.49	1.76	2.6	Ward et al., 2004 <sup>[21]</sup>

生时,逆温天气较多,二次有机碳的前驱物浓度增加,滞留时间长,导致光化学反应加剧,有利于有机碳的富集和二次有机碳的生成;在冬季,OC、EC浓度高的原因是冬季燃煤供暖,且冬季气温较低,有利于更多的有机碳物质凝结在颗粒物上。

## 2.2 PM<sub>2.5</sub>中OC、EC的相关性及OC/EC比值的分析

一般认为,化石燃料燃烧直接排放的一次有机气溶胶,和经过大气化学反应生成的二次有机气溶胶,是OC两大主要来源;而EC则主要来源于化石燃料的不完全燃烧。因此,可通过OC和EC间的关系,初步判断气溶胶粒子的来源特性。Turpin等<sup>[22]</sup>认为,若OC与EC的相关性很好,则说明OC主要为一次有机碳,二次有机碳对OC贡献相对较小。武汉市城区大气中OC和EC的相关性较好( $r^2=0.76$ ),说明两者有相似的一次来源。

OC/EC比值可用于判断其来源。如有文献报道,汽车尾气排放气溶胶的OC/EC比值范围为1.0~4.2<sup>[23-24]</sup>;木材燃烧OC/EC的比值范围为16.8~40.0<sup>[25]</sup>;生物质燃烧OC/EC的比值为7.7<sup>[26]</sup>。武汉市城区大气OC/EC的均值为6.7±1.8,可能指示武汉市大气中OC和EC的来源受汽车尾气排放和生物质燃烧的共同影响。

为了对SOC的贡献率进行定量描述,Turpin等<sup>[22]</sup>还提出了以下经验公式:

$$SOC=OC_{tot}-EC\times(OC/EC)_{min} \quad (3)$$

式中,SOC为二次有机碳;OC<sub>tot</sub>为总有机碳;(OC/EC)<sub>min</sub>为所观测到的OC/EC最小值。当OC/EC的比值超过2.0时,即表明二次有机碳的存在<sup>[22]</sup>。武汉市大气OC/EC最小值为4.0,说明武汉市城区存在二次有机碳(SOC)污染。

表2 武汉市大气各季节PM<sub>2.5</sub>及其OC和EC质量浓度

Table 2 The seasonal concentrations of PM<sub>2.5</sub>, OC and EC in the atmosphere of Wuhan  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

物种	夏季	秋季	冬季
PM <sub>2.5</sub>	114.0±42.1	133.5±47.1	131.0±53.5
OC	14.1±7.1	22.6±12.8	20.6±9.9
EC	2.7±1.3	3.1±1.7	2.9±1.2

由以上公式计算可得,武汉市城区SOC的平均值为7.8  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,占OC质量浓度的40%。进一步计算二次有机气溶胶(SOA=1.6×SOC)的平均质量浓度为12.5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,约占PM<sub>2.5</sub>平均质量浓度的9.8%,表明SOA对武汉市城区大气PM<sub>2.5</sub>具有重要贡献。

## 2.3 武汉市大气PM<sub>2.5</sub>的源解析

结合研究中同时进行的PM<sub>2.5</sub>中的水溶性离

子和微量元素分析结果,可利用PMF模型对武汉市大气PM<sub>2.5</sub>进行初步的来源解析。考虑到检测下限以及数据的有效性,在PMF模型中,仅采用OC、EC、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Se、Cd、Sn、Ba和Pb等共27个物种。其中,PM<sub>2.5</sub>中水溶性离子(Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)和微量元素(Sc、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Se、Cd、Sn、Ba、Pb)的相关研究结果,未在本文列出。

经过多次模型运行,解析出武汉市城区空气中PM<sub>2.5</sub>的主要来源有4个:机动车源、二次硫酸盐和硝酸盐、工业源和生物质燃烧,其对PM<sub>2.5</sub>的贡献率分别为27.1%、26.8%、26.4%和19.6%,相应的源廓线如图1所示。

第1个源中,Pb、Zn、OC、EC等元素和组成的贡献率较大。Pb、Zn和EC是机动车污染源的标志元素。Zn来自于润滑油、刹车片和轮胎,Pb被用在汽油中做为抗爆剂,而EC常来自于机动车引擎。因此,可依此判定第1个源来为机动车源。随着经济的快速发展,武汉市机动车拥有量在近年快速增加,2002年突破50万辆,2006年突破70万辆,2010年突破100万辆。机动车排放的大量污染气体,可在空气中通过一系列光化学反应,生成二次细颗粒物。源解结果表明,机动车源对武汉市城区大气PM<sub>2.5</sub>的贡献率最大,达27.1%,已成为武汉市城区空气PM<sub>2.5</sub>最主要的污染源。

第2个源中,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>等离子的贡献率较大。高K<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>为二次硫酸盐和硝酸盐的基本特征,由此,可判定该因子代表了大气气态污染物通过光化学反应所形成的二次污染。源解析结果表明,其贡献率为26.8%,说明主要来自燃煤排放的SO<sub>2</sub>和机动车排放的NO<sub>x</sub>经大气化学转化形成的二次气溶胶对武汉市城区空气PM<sub>2.5</sub>的贡献较大。

第3个源中,V、Cr、Ni、Mn、Cu等元素的贡献率较大。Cu和Mn代表钢铁冶炼源,V、Cr、Ni代表了金属/非金属制造工厂。因此,判定第3个源为工业源。武汉市拥有众多的大型工业企业,例如位于城区的武汉钢铁(集团),是新中国成立后兴建的第1个特大型钢铁联合企业,生产规模近4000×10<sup>4</sup>t。工业源对武汉市城区大气PM<sub>2.5</sub>的贡献率达26.4%。

第4个源中,K<sup>+</sup>、OC、EC等元素的贡献率较大。高OC、EC和K<sup>+</sup>是生物质燃烧排放的主要

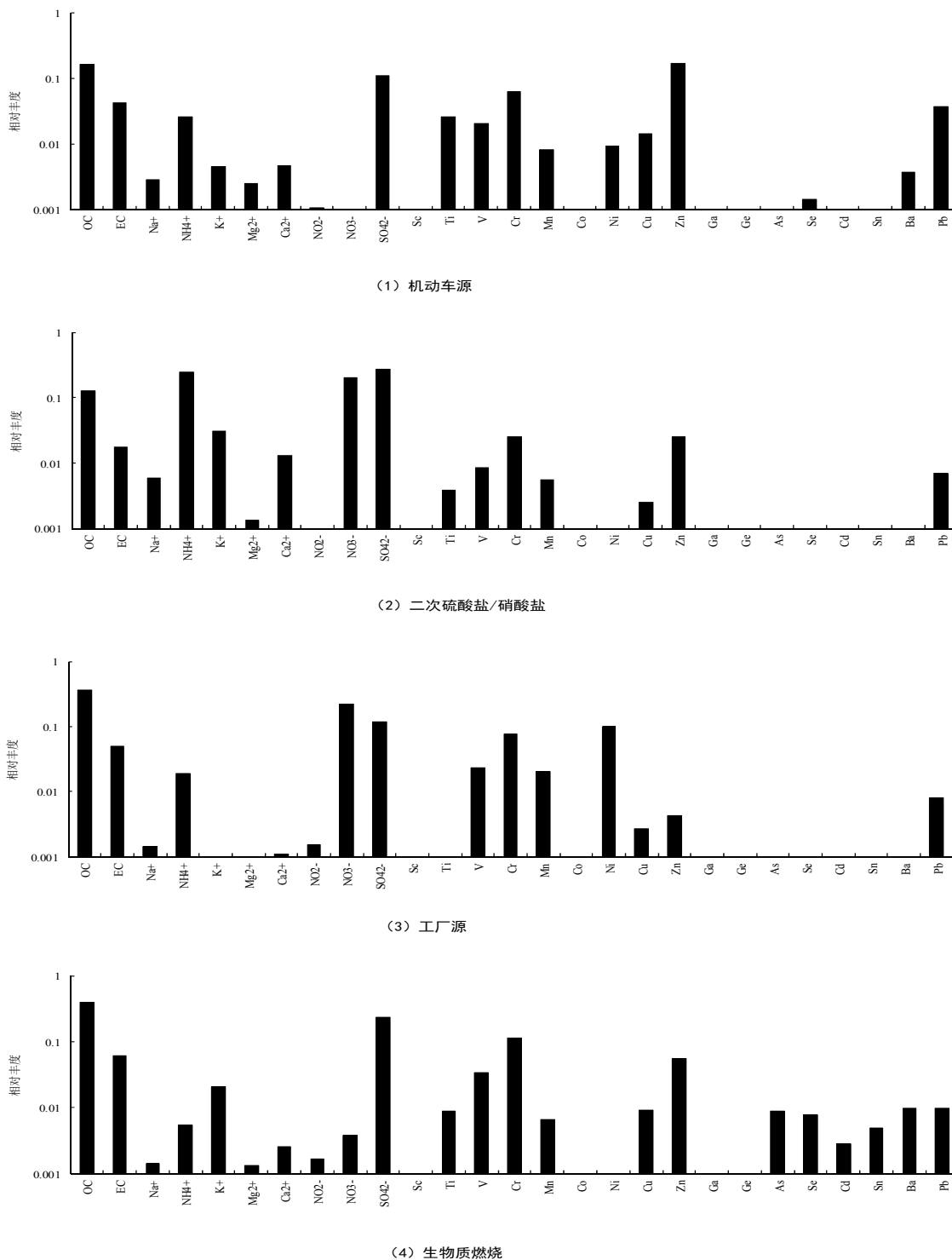


图1 机动车源、二次硫酸盐/硝酸盐、工厂源、生物质燃烧对武汉市大气 PM<sub>2.5</sub> 贡献的源柱状图  
 Fig.1 Source profiles resolved from PM<sub>2.5</sub> samples in the atmosphere of Wuhan for vehicle emission, secondary sulfate and nitrate aerosol, industrial emission, and biomass burning emission

特征，表明第 4 个源与生物质燃烧有关。武汉市秋季 K<sup>+</sup>、OC 和 EC 含量较高，与源解析结果一致。原因主要是秋收时，武汉市周边郊区为了解决大量秸秆闲置，将秸秆在田间露天焚烧，产生大量焚烧烟雾可以传输到城区，且在秋季灰霾发生时，逆温天气较多，不利于污染物的扩散。生

物质燃烧排放对武汉市城区空气 PM<sub>2.5</sub> 的贡献率为 19.6%。

### 3 结论

通过对武汉市大气中 PM<sub>2.5</sub> 及其碳组分的分析，得到如下主要结论：

(1) 武汉市大气 PM<sub>2.5</sub> 的浓度在我国城市主要

中处于中等偏高水平, OC 和 EC 浓度处于中等偏下水平, 均高于其他国家的城市。

(2) 武汉市大气 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的季节性变化呈现出秋季 > 冬季 > 夏季的趋势, 是气象因素和污染源排放综合影响的结果。

(3) 武汉市大气中 OC 和 EC 具显著的相关性, OC/EC 比值平均为 6.7±1.8, 表明武汉市大气中 OC 和 EC 主要源于汽车尾气排放和生物质燃烧。而计算所得 SOA 的平均质量浓度, 约占 PM<sub>2.5</sub> 平均质量浓度的 9.8%, 表明 SOA 亦对 PM<sub>2.5</sub> 具重要贡献。

(4) 基于 PMF 的源解析表明, 武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 主要来源及贡献率分别为机动车源 (27.1%)、二次硫酸盐和硝酸盐 (26.8%)、工厂排放 (26.4%) 和生物质燃烧 (19.6%)。

#### 参考文献:

- [1] CHEUNG H C, WANG T, BAUMANN K, et al. Influence of regional pollution outflow on the concentrations of fine particulate matter and visibility in the coastal area of southern China[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(34):6463-6474.
- [2] CHOW J C, WATSON J G, PARK K, et al. Comparison of particle light scattering and fine particulate matter mass in central California[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2006, 56(4): 398-410.
- [3] KEIM B D, MEEKER L D, SLATER J F. Manual synoptic climate classification for the East Coast of New England (USA) with an application to PM<sub>2.5</sub> concentration[J]. *Climate Research*, 2005, 28(2): 143-154.
- [4] POPE C A, BURNETT T, THUN M J, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. *Journal of the American Medical Association*, 2002, 287(9): 1132-1141.
- [5] MAYNARD A D, MAYNARD R L. A derived association between ambient aerosol surface area and excess mortality using historic time series data[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(36/37): 5561-5567.
- [6] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] 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.
- [8] OGULEI D, HOPKE P K, ZHOU L M, et al. Source apportionment of Baltimore aerosol from combined size distribution and chemical composition data [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40: S396-S410.
- [9] 姚振坤, 冯满, 吕森林, 等. 上海城区和临安本底站 PM<sub>2.5</sub> 的物化特征及来源解析[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(3): 289-295.
- [10] 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 北京市大气细粒子的来源分析[J]. *环境科学*, 2002, 23(6): 11-16.
- [11] FENG Y L, CHEN Y J, GUO H, et al. Characteristics of organic and elemental carbon in PM<sub>2.5</sub> samples in Shanghai, China[J]. *Atmospheric Research*, 2009, 92(4):434-442.
- [12] 丁晴, 刘建国, 陆亦怀, 等. 广州亚运期间鹤山大气颗粒物及碳组分的分析[J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(7):43-49.
- [13] GUO H, DING A J, SO K L, et al. Receptor modeling of source apportionment of Hong Kong aerosols and the implication of urban and regional contribution[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(6): 1159-1169.
- [14] 刘新民, 邵敏, 曾立民, 等. 珠江三角洲地区气溶胶中含碳物质的研究[J]. *环境科学*, 2002, 23:54-59.
- [15] MENG Z Y, JIANG X M, YAN P, et al. Characteristics and sources of PM<sub>2.5</sub> and carbonaceous species during winter in Taiyuan, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, 41(32): 6901-6908.
- [16] CAO J J, WU F, CHOW J C, et al. Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, 5:3127-3137.
- [17] ZHANG F W, ZHAO J P, CHEN J S, et al. Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM<sub>2.5</sub> in Xiamen, China[J]. *Journal of Environmental Sciences-China*, 2011, 23(8): 1342-1349.
- [18] DAN M, ZHUANG G S, LI X X, et al. The characteristics of carbonaceous species and their sources in PM<sub>2.5</sub> in Beijing[J]. *Atmospheric Environment* 2004, 38 (21):3443-3452.
- [19] FAN X H, BROOK J R, MABURY S A. Measurement of organic and elemental carbon associated with PM<sub>2.5</sub> during Pacific 2001 study using an integrated organic gas and particle sampler[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(34): 5801-5810.
- [20] VIIDANOJA J, SILLANPAA M, LAAKIA J, et al. Organic and black carbon in PM<sub>2.5</sub> and PM10: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(19):3183-3193.
- [21] WARD T J, HAMILTON R F, SMITH G C. The Missoula, Montana PM<sub>2.5</sub> speciation study - seasonal average concentrations[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(37):6371-6379.
- [22] TURPIN B J, HUNTZICKER J J. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS[J]. *Atmospheric Environment*, 1995, 29(23):3527-3544.
- [23] SCHAUER J J, KLEEMAN M J, CASS G R, et al. Measurement of emissions from air pollution sources. 1. C-1 through C-29 organic compounds from meat charbroiling[J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, 33(10):1566-1577.
- [24] SCHAUER J J, KLEEMAN M J, CASS G R, et al. Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C-1-C-32 organic compounds from gasoline-powered motor vehicles[J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(6):1169-1180.
- [25] SCHAUER J J, KLEEMAN M J, CASS G R, et al. Measurement of emissions from air pollution sources. 3. C-1-C-29 organic compounds from fireplace combustion of wood[J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, 3(9):1716-1728.
- [26] ZHANG Y X, SHAO M, ZHANG Y H, et al. Source profiles of particulate organic matters emitted from cereal straw burnings[J]. *Journal of Environmental Sciences-China*, 2007, 19(2):167-175.

## Carbonaceous species composition and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in urban atmosphere of Wuhan

CHENG Hairong<sup>1</sup>, WANG Zuwu<sup>1</sup>, FENG Jialiang<sup>2</sup>, CHEN Hongling<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>1</sup>, LIU Jia<sup>1</sup>

1. Department of Environmental Engineering, School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China

2. Institute for Environmental Pollution and Health, Shanghai University, Shanghai 200444, China

**Abstract:** Fine particles (PM<sub>2.5</sub>) and carbonaceous aerosol (OC, EC) are important pollutants due to their adverse effects on visibility, climate change, and human health. To identify the regional pollution condition and develop effective control strategies to manage and maintain the urban air quality, it is important to study the characteristics of fine particles and carbonaceous aerosol and the relative contributions of typical emission sources to fine particles and carbonaceous aerosol. Wuhan city is a highly industrialized city in Central China. 24 hrs air samples were collected consecutively by a Hi-Volume PM<sub>2.5</sub> air sampler every three days from July 2011 to February 2012, to determine the carbonaceous species compositions and potential sources of PM<sub>2.5</sub> in urban atmosphere of Wuhan. The average concentrations of PM<sub>2.5</sub>, OC and EC in the urban air were (127.1±48.7), (19.4±10.5) and (2.9±1.48) μg·m<sup>-3</sup>, respectively. The concentration of PM<sub>2.5</sub> was relatively higher compared to other major cities in China, while the OC and EC concentrations were lower. However, the concentrations of PM<sub>2.5</sub>, OC and EC were much higher than reported values of cities in other countries in the world. The PM<sub>2.5</sub> concentrations showed the highest in autumn, followed by winter and spring due to the combined effects of meteorological factors and source emissions. A significant correlations ( $r^2=0.69$ ) between OC and EC was found in the PM<sub>2.5</sub> of the urban air, indicating potential similar OC and EC sources. The average ratio of OC/EC was 6.7, suggesting that the main sources of OC and EC were vehicle emission and biomass burning. Average level of secondary organic aerosol (SOA) was 12.5 μg·m<sup>-3</sup>, accounting for 9.8% of PM<sub>2.5</sub> concentrations. The result of positive matrix factor (PMF) analysis suggested four source categories had contributed to the PM<sub>2.5</sub> in the urban air, i.e. vehicle emission (27.1%), secondary sulfate and nitrate aerosol (26.8%), industrial emission (26.4%), and biomass burning emission (19.6%), respectively.

**Key words:** Wuhan; PM<sub>2.5</sub>; OC; EC; source apportionment