

# 西安市 PM<sub>2.5</sub> 和碳气溶胶质量浓度变化特征研究

程 燕<sup>1</sup>, 樊巍巍<sup>1</sup>, 刘随心<sup>2</sup>, 肖 波<sup>3</sup>, 郭伟<sup>1</sup>, 李文武<sup>1</sup>, 王 妮<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 中国科学院地球环境研究所, 陕西 西安 710075;  
3. 西安市气象局, 陕西 西安 710016)

**摘要:** 为了探讨西安市 PM<sub>2.5</sub> 和碳气溶胶质量浓度变化特征, 从 2012 年 3 月~2013 年 2 月对西安市大气 PM<sub>2.5</sub> 进行了为期一年的观测, 并分析了有机碳 (OC) 和元素碳 (EC) 的质量浓度变化特征. 结果显示, 西安市 2012 年 3 月~2013 年 2 月日均 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度变化幅度为 26.9~505.1 μg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 年平均质量浓度为 114.0±86.6 μg/m<sup>3</sup>, 是中国 PM<sub>2.5</sub> 空气质量标准 (GB 3095-2012) 年平均二级标准值 (35 μg/m<sup>3</sup>) 的 3.3 倍. PM<sub>2.5</sub> 季节变化特征为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季. OC 和 EC 年平均浓度值为 21.44±15.76 μg/m<sup>3</sup> 和 6.16±3.38 μg/m<sup>3</sup>, OC/EC 年平均值为 3.37±0.95, 变化范围为 1.80~5.84, 表明有二次有机碳气溶胶的存在. 主成分分析法表明, 西安市大气中的碳气溶胶主要来自汽油车和柴油车尾气、二次碳气溶胶以及生物质燃烧.

**关键词:** 西安; PM<sub>2.5</sub>; 有机碳 (OC); 元素碳 (EC)

**中图分类号:** X13

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)06-0888-06

近些年来, PM<sub>2.5</sub> 的理化性质以及对人体健康的危害程度是大气环境研究的突出问题, 受到越来越多人的关注. 大气颗粒物 PM<sub>2.5</sub> (空气动力学等效直径<2.5μm) 因其具有较大的比表面积, 且能够作为良好地载体吸附大气中的有毒污染物质, 所以在大气中迁移扩散时能够导致二次污染, 对大气产生严重的污染<sup>[1]</sup>. 相关研究表明, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度大小与人体健康具有紧密的联系<sup>[2-3]</sup>, 人体通过呼吸作用将 PM<sub>2.5</sub> 吸入体内, 损伤呼吸系统和心血管系统<sup>[4]</sup>. 同时, 通过消光作用降低大气能见度<sup>[5-6]</sup>, 不仅影响城市形象, 而且也作为城市交通埋下隐患.

碳气溶胶是 PM<sub>2.5</sub> 的重要组成成分, 对大气质量和环境变化等有着不容忽视的作用<sup>[7]</sup>. 碳气溶胶由有机碳 (OC) 和元素碳 (EC) 组成, OC 的结构组成非常复杂, 是大量有机物的混合物, 包含有大量的芳烃、烷烃、有机酸、醛类、酮类等化合物, 可分为一次有机碳气溶胶 POC (Primary Organic Carbon) 和二次有机碳气溶胶 SOC (Secondary Organic Carbon), 一次气溶胶有机碳是指直接由污染物排放出来的有机碳, 二次气溶胶有机碳是指在特定条件下, 一次气溶胶有机碳在大气中经过一系列的光化学反应所生成的物质. OC 对大气中的硫酸盐、硝酸盐具有很强的捕获能力, 进而改变自身的吸湿性, 最终成为云凝结核, 增加云量、球的气候变化<sup>[8]</sup>. 由于 EC 具有较大的比表面积, 因此在大气中迁移、扩散时容易捕集其他污染物, 使得它的自身体积越来越大, 形成结核状物质, 其中含有一些有毒化合物, 可以对人体造成严重的威胁<sup>[9]</sup>, 对人体的鼻腔粘膜具有强烈的刺激作用.

西安是中国西北部重要城市, PM<sub>2.5</sub> 质量浓度对空气质量的影响越来越重要. 对西安市 2012 年 3 月~2013 年 2 月 PM<sub>2.5</sub> 进行了监测, 目的是研究西安市 PM<sub>2.5</sub> 和碳气溶胶随时间的变化特征, 并利用主成分分析法确定碳气溶胶的主要污染来源.

## 1 采样与化学分析

### 1.1 样品采集与仪器

该实验采样点布设于西安交通大学曲江校区西二楼楼顶, 楼高六层, 采样口离楼顶地面约 1.5 m. 该采样点位于交大文教区内, 周围有少量机关和居民区, 向西约 300 m 有马路, 车流量较大, 南部为大面积农田和林地. 采用美国沙漠研究所 (Desert Research Institute, USA) 研制的大流量颗粒物采样器采集大气中 PM<sub>2.5</sub> 样品, 采样时流量为 113 L·min<sup>-1</sup>, 滤膜为石英滤膜 (90 mm, Whatman, UK). 采样时间从 2012 年 3 月 3 日~2013 年 2 月 9 日, 每 6 天采集一个颗粒物样品. 采样时间由定时器 (MD-K11, China) 设定为当日 00:00 开始到 23:59 结束, 连续采集 24 h. 本研究共收集样品 55 个, 空白样 3 个, 并将每个样品用锡箔纸包好放入密封袋, 在将其放入冰箱冷藏室 (-4℃) 以免样品污染或挥发.

**收稿日期:** 2014-06-18

**修改稿日期:** 2014-12-02

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目 (21107084)

**作者简介:** 程燕 (1977-), 女, 博士, 副教授, 主要从事大气化学与全球环境变化的研究. E-mail:chengyan@mail.xjtu.edu.cn

1.2 称重和化学分析

为去除石英滤膜本身的碳杂质, 采样前将石英滤膜在马弗炉内升温至800℃, 并保持3h, 另外, 为确定样品的质量浓度, 采样前后对石英滤膜进行温湿平衡和称重, 首先将滤膜放入温湿平衡箱内, 并充分暴露在空中至少24h, 平衡箱内温度控制在20~30℃, 相对湿度控制在30%~40%, 之后取出称重, 滤膜采样前后各称重至少2次, 取平均值作为初始和采样后重量。

颗粒物样品称重后, 进行有机碳 (OC) 和黑碳 (EC) 的化学成分分析. 取面积为0.53 cm<sup>2</sup>的石英滤膜, 根据美国通用的IMPROVE\_A TOR 协议, 利用热光碳分析仪 (Thermal/Optical Carbon Analyzer, AtmAA Inc. Calabasas, 美国) 对OC和EC进行分析. 在每张滤膜上颗粒物沉积处随机采集1个0.53 cm<sup>2</sup>的滤膜, 进行化学分析. IMPROVE\_A TOR 协议采用分段升温法, 即在100 %氦气环境下分四个温度段 (140℃、280℃、480℃、580℃) 升温, 检测到的碳分别记做OC1、OC2、OC3和OC4, 这个阶段产生的碳为OC; 然后注入2 %的氧气, 分3个温度段 (580℃、740℃、840℃) 进行升温, 检测到的碳分别记做EC1、EC2和EC3, 这个阶段产生的碳为EC. 根据IMPROVE\_A TOR 协议, 样品加热期间, 少部分OC会由于温度升高变成黑色, 这部分OC在100 %氦气环境下难以被氧化, 当2 %的氧气注入的时候他们最先分解被检测到, 为校正这部分有机碳, 一组632.8的激光和信号检测仪连续对样品表面的黑度反射信号变化进行监测, 记录了激光反射信号离开和回归基线位置的时间, 这个时间段内检测到的碳记做OP, 可以从EC中扣除, 重新校正到OC中, 因此, 总有机碳为OC1、OC2、OC3、OC4和OP的总和, 总元素碳为EC1、EC2和EC3之和与OP的差值。

1.3 气象数据

所使用的气象数据 (例如: 温度, 湿度, 压力, 风向, 风速, 能见度, 雨量, 总云量等) 为每日 24 小时 (0:00~23:59) 平均值, 均由西安市气象局提供. 监测站位于 108°59' E, 34°13' N, 距地面高度 10 m.

2 结果与讨论

2.1 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度变化特征

观测站位于西安市曲江区, 与西安市环保局监测站-曲江文化集团监测站距离较近, 为检验本研究观测数据, 首先将观测数据与曲江文化集团监测站所公布的数据进行 Pearson 相关性分析, 分析结果显示二者在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关, 相关系数为 0.70, 也即说明, 研究数据可信。

采样期间西安市PM<sub>2.5</sub>质量浓度年平均值为114.0±86.6 μg/m<sup>3</sup>, 并且波动幅度较大, 最低值为26.9 μg/m<sup>3</sup>, 出现在夏天 (2012 年 8 月 18 日), 最高值为505.1 μg/m<sup>3</sup>, 出现在冬天 (2013 年 1 月 28 日). 采样期间, 共有 2 天 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度超过 500 μg/m<sup>3</sup>, 分别发生在冬季与春季. 本研究期间采集 55 的个样品中, 与中国 2012 年 2 月 29 日发布的 PM<sub>2.5</sub> 空气质量的标准的 24 h 平均值 75 μg/m<sup>3</sup> 相比较, 本研究大于国家标准的样品个数为 33 个, 超标率为 60.0 %. 其中春季 8 个, 夏季 4 个, 秋季 11 个, 冬季 10 个, 春季超标率为 53.3 %, 夏季超标率为 28.6 %, 秋季超标率为 73.3 %, 冬季超标率为 90.9 %, 超标率冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季. 这说明冬季 PM<sub>2.5</sub> 污染最为严重, 夏季最轻, 这与北京 PM<sub>2.5</sub> 的变化规律<sup>[1]</sup>类似. 春秋季超标情况比冬季超标情况有所降低, 但污染现象仍然非常严重。

研究对不同年份西安市 PM<sub>2.5</sub> 年平均 质量浓度进行了对比. 由表 1 可知, 2009–2012 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均质量浓度先减小后增大, 2011<2010<2009<2012, 并无明显规律, 波动范围较小, 从 93.0 μg/m<sup>3</sup> 到 114.0 μg/m<sup>3</sup>. 表 1 中文献 10 的采样点设在西安建筑科技大学环境与市政工程学院楼顶, 距地面 23 m, 样品采集仪器为 TEOM 系列 RP-1400a 环境颗粒物监测仪及 ACCU (The Automatic Cartridge Collection Unit 缩写) 系统, 采样时间为 24 h 连续采样。

2012.3–2013.2 西安市不同季节的 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度分别为春季 89.3±46.6 μg/m<sup>3</sup>, 夏季 69.6±50.1 μg/m<sup>3</sup>, 秋季 140.4±112.4 μg/m<sup>3</sup>, 冬季 230.6±119.3 μg/m<sup>3</sup> (图 1), 即: 冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季. 冬季 PM<sub>2.5</sub> 浓度为夏季 PM<sub>2.5</sub> 浓度的 3.3 倍. 西安市这种 PM<sub>2.5</sub> 浓度的季节变化特征与北方典型天气气候以及能源的季节性使用关系密切. 除了机动车为一个持续的污染源外, 冬季居民通过使用大量的燃煤来进行采暖, 导致大量颗粒物进入空气, 并且冬季逆温天气较频繁, 辐射弱, 气温低, 气压高, 不易形成对流, 雨量少 (西安

表 1 西安市 PM<sub>2.5</sub> 年平均质量浓度对比  
Tab. 1 Annual average PM<sub>2.5</sub> concentration in Xi'an in different years

时间		PM <sub>2.5</sub> /μg·m <sup>-3</sup>
年 均 值	2009 <sup>[10]</sup>	102.2
	2010 <sup>[10]</sup>	95.7
	2011 <sup>[10]</sup>	93.0
	2012 (本研究)	114.0±86.6

2012年冬季累计雨量为0.0 mm),所以污染物不容易扩散与沉降,长期悬浮于空气中,因此导致冬季 $PM_{2.5}$ 浓度最高。西安地处北方,春、秋两季天气气候极不稳定,春季时而有大风、沙尘现象发生,秋季存在秸

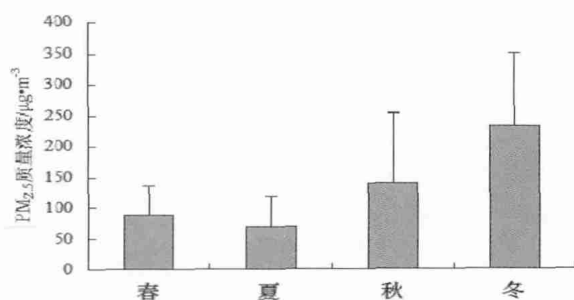


图1 2012.3 - 2013.2 西安市不同季节 $PM_{2.5}$ 的质量浓度  
Fig. 1 Seasonal variation of  $PM_{2.5}$  mass concentration in Xi'an during 2012.3 - 2013.2

秆燃烧以及其它农业活动<sup>[11]</sup>,从而促使空气中颗粒物浓度骤然上升,所以春、秋两季 $PM_{2.5}$ 质量浓度也较高。夏季燃料使用少,排放源减少,雨量增多,温度升高,气压较低,气象条件利于污染物的扩散,因此夏季 $PM_{2.5}$ 质量浓度最低。

$PM_{2.5}$ 质量浓度与气象因素有着紧密的联系。利用 Pearson 相关性分析讨论了 $PM_{2.5}$ 质量浓度与风速、湿度、能见度、气压及温度的关系,显著性( $P$ 值)和相关系数如表2所示。 $PM_{2.5}$ 浓度与风速及相对湿度无显著相关。能见度和 $PM_{2.5}$ 质量浓度呈显著负相关,这主要是由于细颗粒具有一定消光作用,当空气中含有大量的细颗粒物时,大气的能见度明显下降<sup>[12]</sup>。气压与 $PM_{2.5}$ 质量浓度呈显著的正相关,气压高时, $PM_{2.5}$ 质量浓度则高,反之则相反。从表2知, $PM_{2.5}$ 浓度与温度存在非常显著的相关性;同时,由图2知,温度较高时, $PM_{2.5}$ 浓度则较低;温度较低时 $PM_{2.5}$ 浓度则较高。这主要是由于在大气这个开放体系中,温度升高时,气体膨胀,空气向上运动,而附近高压带的气流下沉循环至此进行补充,使污染物容易垂直扩散;而冬季温度低,污染物不容易扩散,并且受到燃煤取暖影响,颗粒物污染更加严重。夏季温度和湿度高时,空气在上升的过程中容易冷凝降雨,进而促进了污染物的湿沉降。因此,夏季 $PM_{2.5}$ 的浓度大大降低。

## 2.2 碳气溶胶质量浓度变化特征

全年中,OC浓度年平均值为 $21.4 \pm 15.8 \mu g/m^3$ ,变化范围为 $6.26 \mu g/m^3$ 到 $90.8 \mu g/m^3$ ,最高浓度值出现在2012年12月05日,最低浓度值出现在2012年08月18日。EC浓度年平均值为 $6.16 \pm 3.38 \mu g/m^3$ ,变化范围为 $1.87 \mu g/m^3$ 到 $19.5 \mu g/m^3$ ,其最高浓度值出现在2012年12月05日,与OC最高浓度值出现在同一天,而最低浓度值出现在2012年08月30日。图3显示了采样期间OC和EC随时间的

表2  $PM_{2.5}$ 质量浓度与气象因素相关分析  
Tab. 2 The P-value and correlation coefficient ( $R$ )

	$P$ 值	$R$
平均风速/ $m \cdot s^{-1}$	0.30	0.00
平均相对湿度 (RH) /%	0.69	0.00
能见度/km	0.05	0.33
气压/ $10^5 Pa$	0.003	0.47
温度/K	0.005	0.59

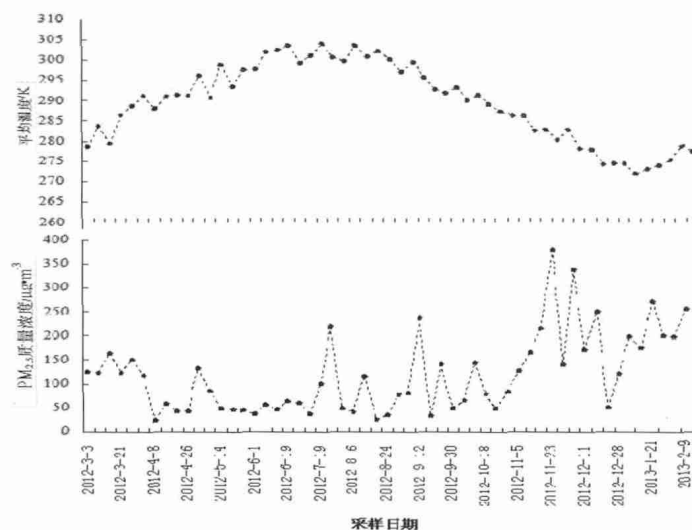


图2 2012.3 - 2013.2 西安市 $PM_{2.5}$ 与温度随时间变化的趋势图  
Fig. 2 Temporal variations of  $PM_{2.5}$  and temperature during 2012.3 - 2013.2

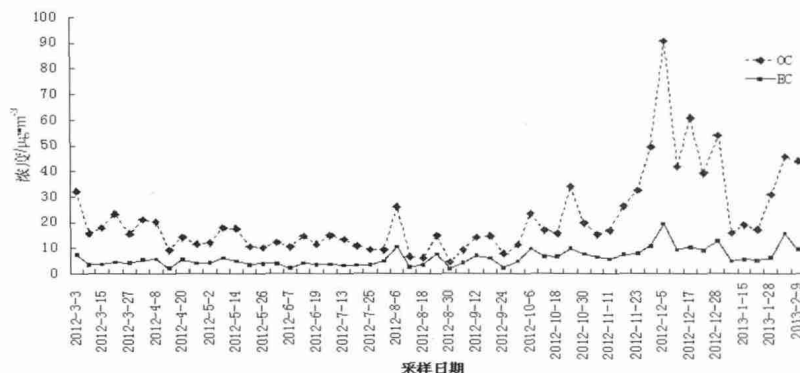
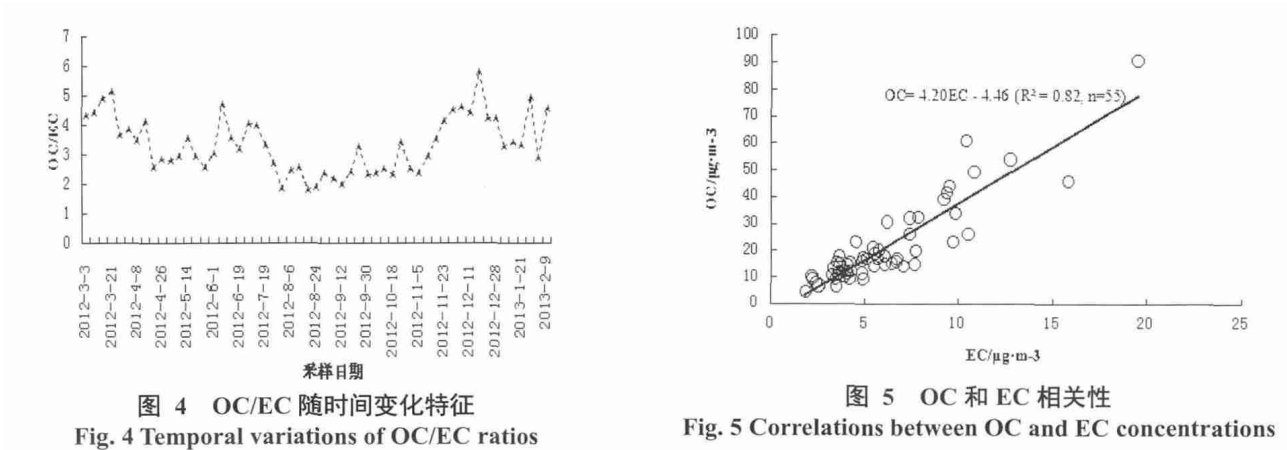


图3 2012.3 - 2013.2 有机碳(OC)和元素碳(EC)质量浓度随日期变化图  
Fig. 3 Temporal variations of OC & EC concentrations by 2012.3 - 2013.2

变化特征, OC 浓度在 3 月份到 6 月份期间浓度值缓慢降低, 月平均浓度值分别为 20.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、15.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、13.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、12.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 7 月份降到最低浓度 10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8 月份和 9 月份浓度逐渐上升, 10 月份、11 月份、12 月份 OC 浓度快速上升, 12 月份达到峰值 57.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2 月份在全年中出现一个副峰值, 其浓度为 44.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . EC 浓度在全年中的变化特征与 OC 基本相似, EC 月均浓度峰值为 12.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 出现在 12 月份, 谷值为 3.49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 出现在 6 月份. 因此可得出结论, OC、EC 浓度夏季最低, 春季次之, 冬季最高. 全年中 OC 含量占了总碳 TC 含量的大部分, 最低为 8 月 (69.1 %), 最高为 12 月 (82.4 %); EC 含量占总碳 TC 含量的最低值为 17.6 %, 出现在 12 月份, 所占比例最高值为 30.9 %, 出现在 8 月.



如图 4 所示, 本研究采样期间, 西安市大气中 OC/EC 比值的变化范围为 1.80~5.84, OC/EC 比值的年平均值为  $3.37\pm0.95$ , 其中, 大部分时间 OC/EC 比值均大于 2, 只有 3 天小于 2, 该结果与以往的研究<sup>[13-14]</sup>类似. 比值小于 2 的日期分别是 2012 年 7 月 31 日和 8 月 18 日、24 日, OC/EC 比值为 1.87、1.80、1.93. OC/EC 比值最大值为 5.84, 出现在 2012 年 12 月 17 日. 以往的研究<sup>[13-14]</sup>表明, 当 OC/EC 比值超过 2 时, 显示有二次有机碳气溶胶 SOC 的生成, 因此, 采样期间, 西安市上空含有大量的二次有机碳气溶胶, 而冬季二次气溶胶浓度较高.

图 5 对本研究中所采集的 55 个样品中 OC、EC 进行了相关性分析, 得出, 西安市 OC 和 EC 浓度具有显著的相关性. Turpin 等<sup>[15]</sup>认为, 通过对 PM<sub>2.5</sub> 中 OC、EC 关系的研究, 进而可以来区别碳气溶胶的不同来源, 如果 OC、EC 显著相关, 则可以说明 OC、EC 具有共同的污染源, 反之则污染源来源不同, 亦即说明, 不同的污染源对 OC 和 EC 分别有贡献. 本研究中, 西安市的大部分 OC 和 EC 的来源一致, 有共同的排放源.

2.3 碳气溶胶来源辨析

为了研究西安市碳气溶胶的主要来源, 应用主成分分析法对 8 个碳组分 (OC1, OC2, OC3, OC4, EC1, EC2, EC3, OP) 进行分析, 获得了不同来源对碳气溶胶的贡献情况. 主成分可以代替原来多个有

表 3 各成分解释方差						
Tab. 3 The explained variance of eight fractions						
组 份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差 /%	累积 /%	合计	方差 /%	累积 /%
OC1	9.94	76.5	76.5	9.94	76.5	76.5
OC2	1.57	12.1	88.6	1.57	12.1	88.5
OC3	0.59	4.58	93.1	—	—	—
OC4	0.41	3.13	96.2	—	—	—
EC1	0.17	1.27	97.5	—	—	—
EC2	0.13	0.97	98.5	—	—	—
EC3	0.08	0.61	99.1	—	—	—
OP	0.10	0.92	100.0	—	—	—

表 4 主成分分析结果		
Tab. 4 Results of Principal Component Analysis		
组 份	成分	
	1	2
OC1	0.95	-0.14
OC2	0.97	-0.10
OC3	0.95	0.17
OC4	0.55	0.66
EC1	0.98	-0.15
EC2	0.51	0.60
EC3	0.45	0.71
OP	0.96	-0.11

一定相关性的原始指标,提取出来的每个主成分即是原始指标的线性组合,又互不相关,这要就使得对问题的研究进一步的简化,由于提取后的主成分可以反映和解释原始大量数据的主要信息,更容易揭示所研究目标的本质和变化特征.结果如表3所示,8个碳组分中OC1, OC2, OC3, OC4, EC1, EC2, EC3, OP各自的方差贡献率分别为76.5%, 12.1%, 4.58%, 3.13%, 1.27%, 0.97%, 0.61%, 0.92%,可以通过两个主成分(表4)来解释样本的大量信息,其中成分1中贡献率较大的组分是OC1, OC2, OC3, OP和EC1.根据以往的研究<sup>[16,17]</sup>, OC1主要指示了生物质燃烧和二次有机碳气溶胶的贡献, OC2, OC3, OP和EC1代表了汽油车尾气的贡献, OC2, OC3, OP也指示燃煤的贡献.成分2中贡献率较大的组分是OC4, EC2, EC3,主要代表了柴油车尾气的排放,因为柴油车尾气中通常还有大量的高温EC组分.由此可见,西安市大气中的碳气溶胶来源主要来自汽油车尾气、柴油车尾气、二次碳气溶胶和生物质燃烧.

### 3 结论

通过对西安市2012年3月至2013年02月PM<sub>2.5</sub>的监测研究,得到以下结论:

(1) 采样期间,PM<sub>2.5</sub>质量浓度变化幅度为26.9~505.1 μg/m<sup>3</sup>,不同季节的PM<sub>2.5</sub>平均质量浓度分别为春季89.3±46.6 μg/m<sup>3</sup>,夏季69.6±50.1 μg/m<sup>3</sup>,秋季140.4±112.4 μg/m<sup>3</sup>,冬季230.6±119.3 μg/m<sup>3</sup>.本研究中日均PM<sub>2.5</sub>质量浓度大于75 μg/m<sup>3</sup>(国标)的样品个数为33个,超标率为60.0%.其中,春季超标率为53.3%,夏季超标率为28.6%,秋季超标率为73.3%,冬季超标率为90.9%,表明冬季PM<sub>2.5</sub>污染最为严重,夏季最轻.

(2) OC浓度年平均值为21.4±15.8 μg/m<sup>3</sup>,变化范围为6.26~90.8 μg/m<sup>3</sup>.EC浓度年平均值为6.16±3.38 μg/m<sup>3</sup>,变化范围为1.87 μg/m<sup>3</sup>~19.5 μg/m<sup>3</sup>.OC/EC比值的年平均值为3.37±0.95,因此在采样期间,西安市上空含有二次有机碳气溶胶,而冬季二次气溶胶浓度较高.

(3) 主成分分析法表明,西安市大气中的碳气溶胶主要来自汽油车和柴油车尾气、二次碳气溶胶以及生物质燃烧.

### 参考文献

### References

- [1] 杨复沫, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京PM<sub>2.5</sub>浓度的变化特征及其与PM<sub>10</sub>、TSP的关系[J]. 中国环境科学, 2002, 22(6): 505-510.  
YANG Fumo, HE Kwbin, MA Yongliang, et al. Variation characteristics of PM<sub>2.5</sub> concentration and its relationship with PM<sub>10</sub> and TSP in Beijing[J]. China Environmental Science. 2002,22(6): 506-510.
- [2] KOCH M. Airborne fine particulates in the environment: a review of health effect studies, monitoring data and emission inventories [R]. Laxengurg, Austria: IIASA IR-00-004, 2000.
- [3] PANYACOSIT L. A review of particulate matter and health: focus on developing countries[R]. Laxengurg, Austria: IIASA IR-00-005, 2000.
- [4] SHWARTZ J, DOCKERY D W, NEAS L M, et al. Is daily mortality associated with specially the particles? [J]. Air and Waste Management Association, 1996(46): 927-939.
- [5] CHRISTOFOROU C S, SALMON L G, HANNIGAN M P, et al. Trends in fine particle concentration and chemical composition in southern California [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2000(50): 43-53.
- [6] CHAN Y C, SIMPSON R W, MCTAINSH, G H, et al. Characterization of chemical species in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosols in Brisbane, Australia [J]. Atmospheric Environment, 1997(31): 3773-3785.
- [7] JOHN T. Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios [M]. New York: Cambridge University Press, 1995: 60-90.
- [8] VAIDA V, TUCK A F, ELLISON G B. Optical and chemical properties of atmospheric organic aerosols [J]. Physical Chemistry Earth, 2000, 25(3): 195-198.
- [9] STREETS D G, GUPTA S, WALDHO S T, et al. Black carbon emissions in China [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(25): 4281-4296.
- [10] 李芳. 西安市大气颗粒物PM<sub>2.5</sub>污染特征及其与降水关系研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.  
LI Fang. Analysis on characteristics of atmospheric particles PM<sub>2.5</sub> and the relationship between PM<sub>2.5</sub> and the precipitation of Xi'an [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. and Tech, 2012.
- [11] 刘随心, 曹军骥, 安芷生. 西安大气细粒子(PM<sub>2.5</sub>)质量浓度变化特征及其影响因素[C]//中国颗粒学会第六届学术年会暨海峡两岸颗粒技术研讨会. 台湾: 2008.  
LIU, Suixin, CAO, Junji, AN Zhisheng. Analysis on Characteristics of atmospheric particles PM<sub>2.5</sub> and the relationship between PM<sub>2.5</sub> and the precipitation of Xi'an[C]//6<sup>th</sup> Annual Conference of Chinese Society of Particology cum Symposium on Particle Technology across. Taiwan Straits, 2008.
- [12] WATSON J G. Visibility: Science and Regulation [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002,52(6):628-713.
- [13] 张承中, 丁超, 周变红, 等. 西安市冬、夏两季PM<sub>2.5</sub>中碳气溶胶的污染特征分析[J]. 环境工程学报, 2013,7(4): 1477-1481.  
ZHANG Chengzhong, DING Chao, ZHOU Bianhong, et al. Pollution characteristics of carbon aerosol in PM<sub>2.5</sub> of Xi'an dur-

- ing winter and summer[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013,7(4): 1477-1481.
- [14] 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]. Atmos. Chem. Phys., 2005(5): 3127-3137.
- [15] TURPIN B J, CARY R A, HUNTZICKER J J. An in-situ, time-resolved analyzed for aerosol organic and elemental carbon [J]. Aerosol Science Technology, 1990, 12(1):161-171.
- [16] WATSON J G, CHOW J C, LOWENTHAL D H. Difference in the carbon composition of source profile for diesel- and gasoline-powered vehicles [J]. Atmospheric Environment, 1994(28): 2493-2505.
- [17] KIM E, HOPKE P K, EDGERTON, E S. Improving source identification of Atlanta aerosol using temperature resolved carbon fractions in positive matrix factorization [J]. Atmospheric Environment, 2004(38): 3349-3362.

## Characteristics of PM<sub>2.5</sub> and carbonaceous aerosols in Xi'an

CHENG Yan<sup>1</sup>, FAN Weiwei<sup>1</sup>, LIU Suixin<sup>2</sup>, XIAO Bo<sup>3</sup>, GUO Wei<sup>1</sup>, LI Wenwu<sup>1</sup>, WANG Ni<sup>1</sup>

(1. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Science, Xi'an 710075, China;

3. Xi'an Meteorological Bureau, Xi'an 710016, China)

**Abstract:** Daily PM<sub>2.5</sub>, organic carbon (OC), and elemental carbon (EC) were measured during 2012.3 – 2013.2 to study the temporal variations of PM<sub>2.5</sub> and carbonaceous aerosols. PM<sub>2.5</sub> showed a fluctuation from 26.9 to 505.1 µg/m<sup>3</sup> during the sampling period. The annual average PM<sub>2.5</sub> mass concentration was 114.0±86.6 µg/m<sup>3</sup>, exceeding the Chinese air quality standard (GB 3095-2012) for PM<sub>2.5</sub> (35 µg/m<sup>3</sup>) by a factor of 3.3. The seasonal patterns ranked in descending order as follows, winter>autumn>spring>summer. The average concentrations for OC and EC were 21.44±15.76 and 6.16±3.38 µg/m<sup>3</sup>. OC/EC ratios ranged from 1.80 to 5.84, with the average being 3.37±0.95, suggesting the presence of secondary organic aerosols in atmosphere. Results of principal component analysis showed that major sources of carbonaceous aerosols include gasoline- and diesel-fueled vehicles, secondary aerosols and biomass burning.

**Key words:** Xi'an; PM<sub>2.5</sub>; organic carbon (OC); elemental carbon (EC)

(本文编辑 沈波)

中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊

收录证书

西安建筑科技大学学报. 自然科学版

依据文献计量学的理论和方法,通过定量与定性相结合的综合评审,  
贵刊被收录为中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,特颁发此证书。

证书编号: CSCD2013C-0746

有效期: 2013年-2014年

发证日期: 2013年7月

查询网址: www.sciencechina.ac.cn

中国科学院文献情报中心

中国科学引文数据库

引文数据库