

刘浩,张家泉,张勇 等. 2014. 黄石市夏季昼间大气 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中有机碳、元素碳污染特征[J]. 环境科学学报, 34(1): 36-42
Liu H, Zhang J Q, Zhang Y, et al. 2014. Pollution characteristics of organic carbon and elemental carbon in atmospheric particles during the summer day in Huangshi city [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 34(1): 36-42

黄石市夏季昼间大气 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中有机碳、元素碳污染特征

刘浩¹, 张家泉^{1,2,*}, 张勇¹, 占长林², 郑敬茹¹, 姚瑞珍¹, 肖文胜¹, 曹军骥²

1. 湖北理工学院环境科学与工程学院, 矿区环境污染控制与修复湖北省重点实验室, 黄石 435003
2. 中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075

收稿日期: 2013-04-07 修回日期: 2013-06-23 录用日期: 2013-07-11

摘要: 2012 年 7 月, 对黄石市城区夏季昼间大气颗粒物 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 样品进行采集, 并用热/光反射法(TOR)分析其中的有机碳(OC)、元素碳(EC)。结果显示, 新老城区 PM₁₀ 中 OC 平均含量分别为 14.60 μg·m⁻³ 和 18.70 μg·m⁻³, EC 平均含量分别为 4.70 μg·m⁻³ 和 11.02 μg·m⁻³; PM_{2.5} 中 OC 平均含量分别为 11.89 μg·m⁻³ 和 13.66 μg·m⁻³, EC 平均含量分别为 2.28 μg·m⁻³ 和 4.96 μg·m⁻³。研究结果表明, 夏季昼间黄石市新老城区大气 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中碳组分浓度变化趋势相同, 且老城区大气 PM₁₀、PM_{2.5} 中的 OC 和 EC 含量普遍要比新城区高, 且 PM₁₀ 中 OC、EC 在总碳(TC)的质量分数均高于在 PM_{2.5} 中, 说明黄石市老城区碳污染状况较新城区要严重, 其夏季昼间大气粗颗粒物中碳的含量更高。通过对 OC/EC 及 8 个碳组分进行探讨, 发现黄石市大气颗粒物中 OC 易形成二次污染, 而 EC 排放以烟炱为主, 夏季燃煤和机动车尾气是黄石碳污染的重要污染源, 生物质燃烧也具有一定影响。

关键词: 黄石市; 夏季; PM₁₀; PM_{2.5}; 有机碳; 元素碳; 污染特征

文章编号: 0253-2468(2014)01-36-07 中图分类号: X132 X513 文献标识码: A

Pollution characteristics of organic carbon and elemental carbon in atmospheric particles during the summer day in Huangshi City

LIU Hao¹, ZHANG Jiaquan^{1,2,*}, ZHANG Yong¹, ZHAN Changlin², ZHENG Jingru¹, YAO Ruizhen¹, XIAO Wensheng¹, CAO Junji²

1. School of Environmental Science and Engineering, Hubei Polytechnic University, Hubei Key Laboratory of Mine Environmental Pollution Control and Remediation, Huangshi 435003
2. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Xi'an 710075

Received 7 April 2013; **received in revised form** 23 June 2013; **accepted** 11 July 2013

Abstract: The atmospheric particle samples from the old and new towns of a typical mining city, Huangshi, were collected by miniVol (5 L·min⁻¹, 12 h, Airmetrics USA) during the summer day in July 2012. The carbonaceous components were quantified with the thermal/optical reflectance (TOR) method, which produced five organic carbon (OC) fractions, OC1, OC2, OC3, OC4, and pyrolyzed organic carbon (OP), and three elemental carbon (EC) fractions, EC1, EC2, and EC3. The results indicated that OC in PM₁₀ from the new and the old town were 14.60 μg·m⁻³ and 18.70 μg·m⁻³, respectively, and the EC were 4.70 μg·m⁻³ and 11.02 μg·m⁻³, respectively. OC in PM_{2.5} from the new and the old town were 11.89 μg·m⁻³ and 13.66 μg·m⁻³, respectively, and the EC were 2.28 μg·m⁻³ and 4.96 μg·m⁻³, respectively. OC and EC in the old town were significantly higher, but sharing the same trend of variability with that in the new town. OC and EC in PM₁₀ mass fraction were higher than in PM_{2.5}. This suggested that carbon pollution in the old town was more serious, and carbon contents in big size particles of the summer day were higher. Based on the ratios of OC/EC and char-EC/soot-EC, we found that OC was largely secondary, while EC was usually soot-EC based. Coal combustion and motor vehicle tail gas are the important pollution sources in the summer day, with certain contribution from biomass combustion.

Keywords: Huangshi City; summer; PM₁₀; PM_{2.5}; organic carbon (OC); elemental carbon (EC); pollution characteristics

基金项目: 湖北省教育厅科学技术科研项目(No. Q20123002); 湖北理工学院科学研究项目(No. 12xjz05R); 矿区环境污染控制与修复湖北省重点实验室开放课题(No. 2012102)

Supported by the College Science Technology Research Project of Hubei Province (No. Q20123002), the Talent Introduction Projects of Hubei Polytechnic University (No. 12xjz05R) and the Open Foundation of Hubei Key Laboratory of Mine Environmental Pollution Control & Remediation(No. 2012102)

作者简介: 刘浩(1990—), 男, E-mail: liuhao251125426@163.com; * 通讯作者(责任作者), E-mail: jiaquanzh@163.com

Biography: LIU Hao (1990—), male, E-mail: liuhao251125426@163.com; * **Corresponding author**, E-mail: jiaquanzh@163.com

1 引言(Introduction)

碳是大气颗粒物中主要富含元素之一,通常以有机碳(OC)和元素碳(EC)的形式存在. OC包括多环芳香烃和其它一些致癌有机物质,它主要由污染源直接排放的一次有机颗粒物和经过大气化学反应生成的二次有机颗粒物组成. EC则只存在于化石燃料或生物质不完全燃烧直接排放的一次大气颗粒物中,单就直接驱动因子而言,已成为全球大气系统中仅次于CO₂的增温组分(Jacobson, 2001). 由于大气颗粒物中OC和EC在大气能见度、气候和人体健康等方面的重要影响,近年来已成为学术界关注的热点(Zhang, 2004; 黄虹等, 2006; 段凤魁等, 2007).

研究发现,PM₁₀、PM_{2.5}与医院就诊率、呼吸器官疾病发病率、心肺发病率及死亡率等诸多不利健康效应之间关系密切(Huggins *et al.*, 2000),同时对大气能见度、全球变暖等生态环境问题也有显著影响. 随着大气颗粒物污染的日趋严重和对大气颗粒物研究的不断深入,人们意识到不同粒径颗粒物对人体健康造成的危害也不同,尤其是PM_{2.5}对地球环境和人体健康带来了巨大的危害(Janssen *et al.*, 2011). 近年来,国内外学者针对大气颗粒物碳组分进行了大量研究,周敏等(2013)获得了秋季典型大气灰霾污染过程中含碳气溶胶的变化特征,发现灰霾期间OC/EC与O₃具有良好的线性关系,且OC浓

度的升高与含碳组分的光化学反应有关;樊晓燕等(2013)采用热碳分析仪测定了有机碳和元素碳的质量浓度,发现OC在粗细粒子中含量相当,EC主要存在于细粒子中,且发现冬季OC和EC的主要来源为燃煤排放,夏季EC的主要来源为机动车尾气;周变红等(2013)通过采集西安春节期间PM_{2.5}样品,对春节期间西安城区大气PM_{2.5}的质量浓度、元素碳、有机碳及水溶性有机碳的浓度分布特征展开了研究.

综上所述,目前国内学者对大气颗粒物碳组分的研究还主要集中在北京、上海、西安等大城市,中部中等城市大气颗粒物碳组分的研究还相对较少,部分地区尚未起步. 作为我国长江中下游重要的资源型工矿城市,黄石市的工业经济规模不断扩大及城市机动车保有量不断增加,大气颗粒物成为影响该区域空气质量和危害人体健康的主要污染物之一. 目前,有关黄石市大气颗粒物污染的研究还处于起步阶段,而对于大气颗粒物中有机碳和元素碳的研究更是鲜有报道,因此,本研究拟通过对黄石城区大气中PM₁₀和PM_{2.5}样品采集,分析黄石城区夏季昼间大气颗粒物中OC和EC的污染特征,旨在为工矿资源型城市大气颗粒物碳污染研究及防治提供借鉴.

2 样品采集与分析(Samples and analysis)

2.1 样品采集

采样点分别位于黄石市磁湖东西两岸(如图1

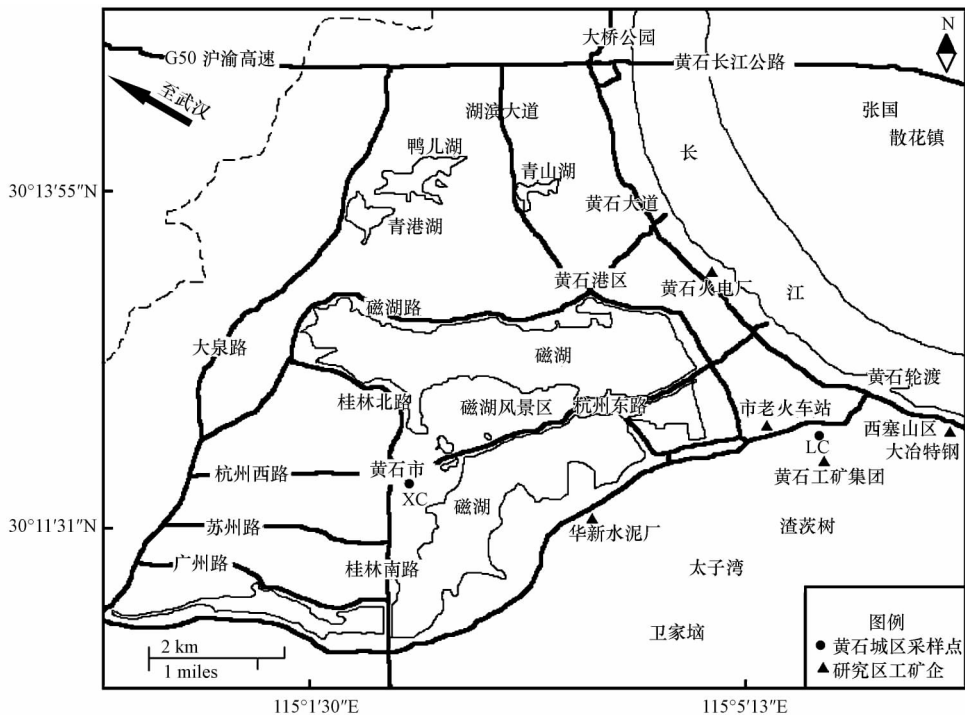


图1 采样点位图

Fig. 1 Locations of the sampling sites

所示), 新城区采样点(XC)位于磁湖西岸人民广场, 老城区采样点(LC)位于磁湖东岸黄石十中操场. 两采样点周围均无高楼和工厂, 空气流通自然, 没有特殊污染干扰. 其中, 人民广场采样点属于黄石市团城山集政治、文教、金融、高新技术产业于一体的经济开发区, 而黄石十中采样点则属于西寨山集煤矿开采和工业于一体的旧城区, 两采样点分别能反映黄石市新老城区大气污染状况. 分别于2012年7月12、15、18日和7月10、13、16采集昼间大气PM₁₀与PM_{2.5}样品(7:00~19:00), 共获得12件样品. 采样仪器为便携式大气粉尘颗粒采样器(美国Airmetrics), 采样流量为5 L·min⁻¹, 滤膜直径为47 mm 石英滤膜(英国Whatman), 采样时两采样器基本均位于地面1.5 m左右.

2.2 样品分析

样品分析由DRI Model 2001热光反射碳分析仪(美国Atmoslytic公司)用IMPROVE(Interagency Monitoring of Protected Visual Environment)分析协议获得. 从采样滤膜上截取适量面积圆形滤膜用于OC、EC的化学分析, 具体分析过程为: 样品在纯氮气中分4步加热到550℃, 依次为120℃(OC1)、250℃(OC2)、450℃(OC3)及550℃(OC4); 然后在2%氧气、98%氮气的环境中, 分3步升温, 依次为550℃(EC1)、700℃(EC2)、800℃(EC3); 每一过程均氧化含碳物质得到CO₂, 再转变为CH₄, 用火焰离子检测器(FID)测定含碳量. 在第一次纯氮环境的加热过程中, 随着温度的升高, 有一部分有机碳(OPC)被热解成黑碳, 这一部分有机碳量可通过氦-氟激光光源光度计来定量, 波长设在632 nm. 550℃后氧气被加入, 颗粒物本身含有的黑碳及有机碳转变而成的黑碳开始燃烧, 反射开始增加. 从氧气被加入直到反射能力回到它原来的值的过程中测得的碳量, 就是光学原理检测出的裂解碳(OPC). 因此, 有机碳OC = OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OPC, 元素碳EC = EC1 + EC2 + EC3 - OPC, 总碳则为TC = OC + EC(Cao *et al.*, 2005).

2.3 质量控制与质量保证

石英纤维滤膜使用前在马沸炉中灼烧2 h以上, 温度为850℃, 以去除可能的碳污染, 然后放入铝箔包装, 密封贮存. 采样前后将石英纤维滤膜放置于天平平衡48 h后, 进行称重. 样品采集后于-20℃保存至分析.

每天在进行样品的OC与EC分析之前, 采用

CH₄/He标准气体(体积比为1:19)对仪器进行校准, 当天样品分析结束后仍采用CH₄/He标准气体校准仪器. 每10个样品中随机抽取1个进行平行分析, 测量全程空白并在结果中扣除(Cao *et al.*, 2005).

3 结果与讨论(Results and discussion)

3.1 PM₁₀与PM_{2.5}污染特征

由课题组前期报道可知(刘浩等, 2012), 黄石新老城区大气PM₁₀、PM_{2.5}浓度夏季昼间变化趋势相同, 而新城区大气PM₁₀、PM_{2.5}的质量浓度均比老城区低. 这与老城区不仅是商业中心而且还有众多工矿企业的城市布局有关, 也说明在同一城市区域, 排放源的种类、源强不同是造成局部浓度差异的主要原因. 同时, 少量降雨对大气PM₁₀、PM_{2.5}的质量浓度影响不大, 大雨天气则对其具有显著的冲刷和清除作用, 而雨后空气相对湿度的增加对大气PM₁₀、PM_{2.5}浓度增加有一定影响.

3.2 OC与EC的浓度水平与分布特征

黄石新老城区大气PM₁₀与PM_{2.5}中的OC、EC含量如表1所示. 由表1可知, 新、老城区PM₁₀中OC的平均含量分别为14.60 μg·m⁻³和18.70 μg·m⁻³, EC平均含量分别为4.70 μg·m⁻³和11.02 μg·m⁻³, TC平均含量分别为19.30 μg·m⁻³和29.72 μg·m⁻³. 新城区OC、EC、TC分别占PM₁₀质量浓度的10%、3%和13%, 老城区OC、EC、TC分别占PM₁₀质量浓度的11%、6%和17%. 新老城区PM_{2.5}中OC的平均含量分别为11.89 μg·m⁻³和13.66 μg·m⁻³, EC平均含量分别为2.28 μg·m⁻³和4.96 μg·m⁻³, TC平均含量分别为14.16 μg·m⁻³和18.62 μg·m⁻³. 新城区OC、EC、TC分别占PM_{2.5}质量浓度的14%、3%和17%, 老城区OC、EC、TC分别占PM_{2.5}质量浓度的13%、5%和18%. 此外, 由表1可以看出, 除2012年7月13日老城区OC含量(13.29 μg·m⁻³)比新城区(13.51 μg·m⁻³)要低, 其他时间老城区PM₁₀与PM_{2.5}中OC、EC与TC含量均比新城区中高, 且OC、EC与TC在PM₁₀中的质量分数均高于在PM_{2.5}中, 说明黄石老城区碳污染状况较新城区要严重, 其夏季昼间大气粗颗粒物中碳的含量更高.

对比国内外研究现状(表2)可知, 黄石新老城区PM₁₀中OC含量比杭州(13.54 μg·m⁻³)和克罗地亚(11.90 μg·m⁻³)要高, 而比广州(22.20

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 要低, EC 含量均比杭州 ($2.82 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 和瑞典 ($1.40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 要高, 而老城区 EC 含量则与奥地利维也纳含量 ($10.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 相当; 新老城区 PM_{2.5} 中 OC 含量比上海 ($11.30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 和韩国汉城 ($10.00 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 要高, 而比广州 ($19.90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

要低, EC 含量比美国亚特兰大 ($0.50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 要高, 比广州 ($6.60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 和日本大阪 ($6.80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 要低, 这说明黄石市作为典型的工矿型城市, 导致其碳污染状况较为严重.

表 1 2012 年黄石市新老城区大气 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中 OC、EC 含量

Table 1 OC and EC in PM₁₀ and PM_{2.5} of the new and the old town of Huangshi City (2012)

采样点	化合物	PM ₁₀ 中碳含量 / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)				PM _{2.5} 中碳含量 / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)			
		7-12	7-15	7-18	平均值	7-12	7-15	7-18	平均值
新城区	TC	24.04	15.85	18.01	19.30	12.76	16.75	12.98	14.16
	OC	18.58	11.85	13.37	14.60	11.53	13.51	10.62	11.89
	EC	5.46	4.00	4.64	4.70	1.23	3.24	2.36	2.28
老城区	TC	29.49	25.43	34.25	29.72	17.16	19.34	19.35	18.62
	OC	20.77	16.53	18.81	18.70	13.70	13.29	13.98	13.66
	EC	8.72	8.90	15.44	11.02	3.46	6.05	5.37	4.96

表 2 国内外其他城市 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中 OC、EC 含量

Table 2 OC and EC in PM₁₀ and PM_{2.5} of other cities worldwide

颗粒物	地区	OC / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	EC / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	参考文献
PM ₁₀	杭州	13.54	2.82	焦荔等, 2007
	广州	22.20	7.80	Cao <i>et al</i> , 2003; Cao <i>et al</i> , 2004
	克罗地亚	11.90	1.80	Ranka <i>et al</i> , 2012
	瑞典	4.40	1.40	Krecl <i>et al</i> , 2007
	奥地利维也纳	7.60	10.70	Aymoz <i>et al</i> , 2007
PM _{2.5}	上海	11.30	5.20	Ye <i>et al</i> , 2003
	韩国汉城	10.00	7.60	Lin <i>et al</i> , 2001
	广州	19.90	6.60	黄虹等, 2005
	美国亚特兰大	6.60	0.50	Butler <i>et al</i> , 2003
	日本大阪	5.90	6.80	Funasaka <i>et al</i> , 2000

3.3 碳组分的特征分析

本实验采用热/光反射法 (TOR) 进行碳测定, 采用程序升温的方法测量每个样品同时给出 8 个碳组分 (OC1、OC2、OC3、OC4、EC1、EC2、EC3、裂解碳 (OPC)), 则 OC、EC 的含量分别为 OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OPC 和 EC1 + EC2 + EC3 - OPC. 样品中 8 个碳组分的丰度可表现其一定的源谱特征, 如 Cao 等 (2005) 研究认为, OC1 和 OPC 在生物质燃烧样品中最丰富, OC2、OC3、OC4 及 EC1 是燃煤和机动车尾气中丰富的碳组分, EC2 和 EC3 是柴油车尾气中丰富的碳组分. 因此, 可据此来初步识别污染源. 本文分别给出了黄石市新老城区中 8 个碳组分的构成特征 (图 2). 由图 2a 可知, 黄石市新城区夏季昼间大气颗粒物中 OC1、OC2、OC3、OC4、EC1、

EC2、EC3 和 OPC 在 TC 中的平均质量分数分别为 0.3%、13.5%、32.2%、17.5%、25.8%、9.4%、1.4%、15.7%. 由图 2b 可知, 黄石市老城区夏季昼间大气颗粒物中 OC1、OC2、OC3、OC4、EC1、EC2、EC3 和 OPC 在 TC 中的平均质量分数分别为 0.2%、11.5%、26.5%、14.7%、28.7%、18.4%、0.0%、14.1%. 黄石市新老城区大气颗粒物中 OC2、OC3、OC4 及 EC1 含量相对较高, 且 OPC 也具有较高含量. 说明黄石市夏季燃煤和机动车尾气是重要的污染源, 生物质燃烧也具有一定影响. 这与黄石城区密集分布有火力发电、水泥制造、钢铁冶炼等矿的典型工业型城市布局有关, 虽然新城区远离污染源, 但仍然受到显著影响.

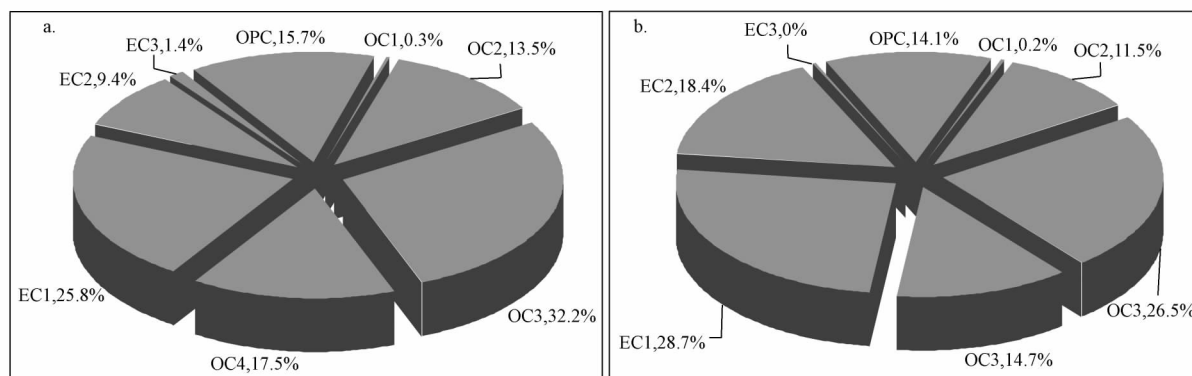


图2 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 中碳组分的质量分数(a. 新城区 b. 老城区)

Fig. 2 The mass fraction of the carbonaceous components in PM_{10} and $PM_{2.5}$ (a. new town b. old town)

3.4 OC与EC的来源分析

目前,我国区域大气颗粒物中的OC与EC主要有3个人为排放源,即燃煤、机动车尾气和生物质燃烧(Streets *et al.*, 2001). Appel等(1976)研究表明,由于EC为惰性污染物,全部为一次排放,而OC在空气中由于适宜的温度、光照容易发生各种光化学变化,形成次生有机碳(SOC),使OC/EC升高. Chow等(1996)研究发现,当OC/EC大于2时,存在次生有机碳(SOC),因此,OC/EC比值的变化特征可识别碳颗粒物的排放和转化特征. 由图3可以看出,除2012年7月15日和7月18日老城区OC/EC小于2外,其他比值均超过2,表明黄石市大气颗粒物中OC基本均存在二次来源,这与采样期间的气象条件等因素有关. 由于目前对SOC的定量计算并没有一种简单直接的方法,本文常采用Castro等(1999)得出的经验公式对SOC的含量进行估算:

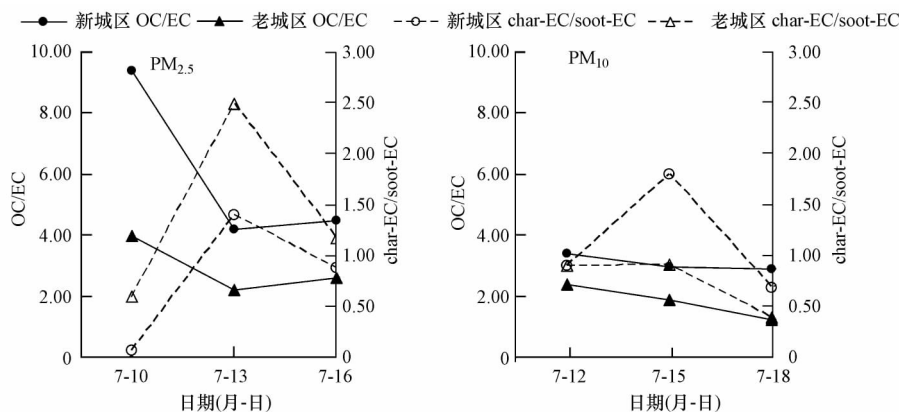
$$C_{SOC} = C_{OC} - C_{EC} \times (OC/EC)_{min}$$

式中, C_{SOC} 为SOC的质量浓度($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), C_{OC} 、 C_{EC} 分别为OC、EC的质量浓度($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), $(OC/EC)_{min}$ 为OC/EC的最小值. 采样期间,新老城区 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 中OC/EC最小值分别出现在2012年7月18日和7月16日. 由上述经验公式可以得出,新老城区 PM_{10} 中SOC平均质量浓度分别为 $1.59\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $7.92\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,分别占OC的10.4%和42.5%; $PM_{2.5}$ 中SOC平均质量浓度分别为 $3.59\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $4.14\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,分别占OC的32.4%和29.9%. 可以看出,新老城区 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 中SOC相对含量不是很高,老城区 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 中SOC含量均较新城区要高,而新城区 $PM_{2.5}$ 中SOC占OC的百分比则高于老城区,说明不同地区粗细颗粒物SOC污染规律有所不

同,且较高的OC/EC主要与直接排放源有关.

大气中SOC的形成主要受控于温度,温度愈高,SOC愈容易形成. 采样期间,黄石市日平均温度变化范围为 $25.3\sim 32.8\ ^\circ\text{C}$ (刘浩等,2012),处于易形成SOC温度范围,但新老城区 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 中SOC的含量却较低. 这一方面可能是由于采样期间的季风促进了大气扩散,降低了大气滞留时间,导致一些气态前体物无法转化为有机颗粒物;另一方面也可能是当时的温度、光照、湿度、气压等综合环境因素导致二次污染的光化学反应不够活跃,从而降低了大气中SOC的含量(李建军等,2009).

此外,由于热光反射法可以在不同的温度条件下逐步氧化不同的碳组分,Han等(2009)用该方法区分焦炭和烟炱,其中焦炭为 $\text{char-EC} = \text{EC1-OPC}$,烟炱为 $\text{soot-EC} = \text{EC2} + \text{EC3}$. 烟炱相比于焦炭,有更大的比表面积、更高的C含量和更小的H/C摩尔比,因此,烟炱对人体健康和大气环境影响更大. Chow等(2004)研究表明,当 $\text{char-EC}/\text{soot-EC}$ 为22.6时,贡献源指示为生物质燃烧源,为0.60时指示为机动车燃烧源;Cao等(2005)研究发现,西安大气 $\text{char-EC}/\text{soot-EC}$ 为11.6时指示生物质燃烧源,为1.9时指示煤燃烧源;Cao等(2006)还发现,香港路边大气 $\text{char-EC}/\text{soot-EC}$ 为0.3和0.7时,分别指示了柴油机尾气源和汽油排放源的贡献,因此, $\text{char-EC}/\text{soot-EC}$ 比值变化可用来识别EC的来源. 因此, $\text{char-EC}/\text{soot-EC}$ 比值变化可用来识别EC的来源. 由图3可知, PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中 $\text{char-EC}/\text{soot-EC}$ 最高值分别出现在7月13日的老城区和7月15日的新城区,且比值均在2.5以下. 因此,新老城区EC排放以烟炱为主,且贡献源主要为机动车排气、工业煤燃烧和少量生物质燃烧.

图3 PM₁₀与PM_{2.5}中OC/EC和char-EC/soot-EC值Fig.3 OC/EC and char-EC/soot-EC ratios in PM₁₀ and PM_{2.5}

4 结论(Conclusions)

1) 通过对黄石市夏季昼间大气颗粒物 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 样品采集, 对其中的有机碳(OC)、元素碳(EC)污染特征展开研究并作来源解析, 结果表明, 新城区大气 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 的质量浓度均比老城区低, 表明老城区颗粒物污染更为严重, 体现了旧城改造后功能区划的优越性。

2) 对比国内外研究发现, 黄石市大气颗粒物中 OC、EC 污染较为严重, 老城区大气颗粒物 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中 OC、EC、TC 含量普遍要比新城区中高, 且 OC、EC 与 TC 在 PM₁₀ 中的质量分数均高于在 PM_{2.5} 中, 说明黄石老城区碳污染状况较新城区要严重, 其夏季昼间大气粗颗粒物中碳的含量更高, 就黄石市 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中 OC、EC 污染状况而言, 有必要进一步提高警惕, 加强防治。

3) 通过 OC/EC 和 char-EC/soot-EC 值及相关经验公式对 OC 与 EC 进行源解析可知, 黄石市夏季大气微细颗粒物中 OC 易形成二次污染, 而有机颗粒物的转化率和二次污染光化学反应的活度导致大气中 SOC 的含量有所降低。EC 排放以烟炱为主, 其大气颗粒物中 OC 和 EC 主要来源为燃煤和机动车尾气, 间或有生物质燃烧污染。

责任作者简介: 张家泉, 男, 博士, 讲师, 研究领域为环境污染环境行为及来源, 发表科研论文 30 余篇。

参考文献(References):

Appel B R, Colodny P, Wesolowski J J. 1976. Analysis of carbonaceous materials in southern California atmospheric aerosols [J]. *Environmental Science & Technology*, 10(4): 359-363

Aymoz G, Jaffrezou J L, Chapuis D, et al. 2007. Seasonal variation of PM₁₀ main constituents in two valleys of the French Alps. I: EC/OC fractions [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7: 661-675

Butler A J, Andrew M S, Russell A G. 2003. Daily sampling of PM_{2.5} in Atlanta: results of the first year of the assessment of spatial aerosol composition in Atlanta study [J]. *Journal of Geophysical Research*, 108(D7): 8415

Cao J, Wu F, Chow J, et al. 2005. 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*, 5: 3127-3137

Cao J, Lee S, Ho K, et al. 2003. Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta region, China during 2001 winter period [J]. *Atmospheric Environment*, 37: 1451-1460

Cao J, Lee S, Ho K, et al. 2004. Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta region [J]. *China Atmospheric Environment*, 38: 4447-4456

Cao J, Lee S, Ho K, et al. 2006. Characterization of roadside fine particulate carbon and its eight fractions in Hong Kong [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 6(2): 106-122

Castro L M, Pio C A, Harrison R M, et al. 1999. Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations [J]. *Atmospheric Environment*, 33(17): 2771-2781

Chow J C, Watson J G, Lu Z, et al. 1996. Descriptive analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX [J]. *Atmospheric Environment*, 30(12): 2079-2112

Chow J C, Watson J G, Kuhns H, et al. 2004. Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the big bend regional aerosol visibility and observational study [J]. *Chemosphere*, 54(2): 185-208

段凤魁, 贺克斌, 刘咸德, 等. 2007. 含碳气溶胶研究进展: 有机碳和元素碳 [J]. *环境工程学报*, 1(8): 1-8

樊晓燕, 温天雪, 徐仲均, 等. 2013. 北京大气颗粒物碳质组分粒径分布的季节变化特征 [J]. *环境化学*, 32(5): 742-747

Funasaka K, Miyazaki T, Tsuruho K, et al. 2000. Relationship between

- indoor and outdoor carbonaceous particulates in roadside households [J]. *Environmental Pollution*, 110(1): 127-134
- Godec R, Čačković M, Šega K, *et al.* 2012. Winter mass concentrations of carbon species in PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in zagreb air, Croatia [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(5): 1087-1090
- Han Y, Lee S, Cao J, *et al.* 2009. Spatial distribution and seasonal variation of char-EC and soot-EC in the atmosphere over China [J]. *Atmospheric Environment*, 43(38): 6066-6073
- 黄虹, 李顺诚, 曹军骥, 等. 2005. 广州市夏季室内外 PM_{2.5} 中有机碳, 元素碳的分布特征 [J]. *环境科学学报*, 25(9): 1242-1249
- 黄虹, 李顺诚, 曹军骥, 等. 2006. 大气气溶胶中有机碳和元素碳监测方法的进展 [J]. *分析科学学报*, 22(2): 225-229
- Huggins F E, Huffman G P, Robertson J D. 2000. Speciation of elements in NIST particulate matter SRMs 1648 and 1650 [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 74(1): 1-23
- Jacobson M Z. 2001. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols [J]. *Nature*, 409(6821): 695-697
- Janssen N A, Hoek G, Simic-Lawson M, *et al.* 2011. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM₁₀ and PM_{2.5} [J]. *Environmental Health Perspectives*, 119(12): 1691-1699
- 焦荔, 祁国伟. 2007. 杭州 PM₁₀ 中有机碳和元素碳变化特征 [J]. *中国科学院研究生院学报*, 24(5): 625-629
- Krecl P, Strom J, Johansson C, *et al.* 2007. Carbon content of atmospheric aerosols in a residential area during the wood combustion season in Sweden [J]. *Atmospheric Environment*, 41(33): 6974-6985
- 李建军, 沈振新, 同帆, 等. 2009. 西安冬春季 PM₁₀ 中碳气溶胶的昼夜变化特征 [J]. *环境科学*, 30(5): 1506-1513
- Lin J, Tai H S. 2001. Concentrations and distributions of carbonaceous species in ambient particles in Kaohsiung City, Taiwan [J]. *Atmospheric Environment*, 35(15): 2627-2636
- 刘浩, 张家泉, 周俊杰, 等. 2012. 黄石城区夏季昼间大气 TSP/PM₁₀/PM_{2.5} 污染水平及相关性 [J]. *湖北理工学院学报*, 28(6): 13-16
- Streets D G, Gupta S, Waldhoff S T, *et al.* 2001. Black carbon emissions in China [J]. *Atmospheric Environment*, 35(25): 4281-4296
- Ye B, Ji X, Yang H, *et al.* 2003. Concentration and chemical composition of PM_{2.5} in Shanghai for a 1-year period [J]. *Atmospheric Environment*, 37(4): 499-510
- 周敏, 陈长虹, 王红丽, 等. 2013. 上海秋季典型大气高污染过程中有机碳和元素碳的变化特征 [J]. *环境科学学报*, 33(1): 181-188
- 周变红, 张承中, 王格慧, 等. 2013. 春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 [J]. *环境科学*, 34(2): 448-454
- Zhang M. 2004. Modeling of organic carbon aerosol distributions over East Asia in the springtime [J]. *China Particuology*, 2(5): 192-195