

西安市春季大气颗粒物 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的特征

王 平^{1,2}, 曹军骥¹, 刘随心¹, 沈振兴³, 张 婷¹, 王启元³, 占长林¹, 杨素霞¹

(1. 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, 陕西 西安 710075;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西安交通大学 环境科学与工程系, 陕西 西安 710049)

摘要: 2010 年 4 月在西安市区 4 个点使用低流量采样器同步连续采集 2 周 (24 h/d) 细颗粒物 PM_{2.5} 和可吸入颗粒物 PM₁₀ 样品, 分别利用热光碳分析仪、离子色谱和 X 射线荧光光谱仪分析其含碳组分 (有机碳和元素碳)、水溶性无机离子 (NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻) 和元素 Ca、Fe 等浓度。结果表明, 沙尘暴期间, PM₁₀ 的质量浓度是 PM_{2.5} 的 3 倍, PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中有机碳浓度大于正常天气的, SO₄²⁻-NO₃⁻-NH₄⁺ 浓度急剧减小, 明显小于正常天气, 这与干燥沙尘暴的稀释作用有关; 后向轨迹、气溶胶指数和 Ca 与 Fe 元素质量浓度比验证了沙尘暴颗粒物来源西部戈壁沙尘和黄土高原; 阴阳离子平衡计算显示沙尘事件颗粒物呈碱性, 阴阳离子差异估算的 CO₃²⁻ 含量与 Ca²⁺ 具有强相关性, 表明沙尘暴颗粒物以 CaCO₃ 为主。

关键词: 细颗粒物 (PM_{2.5}); 可吸入颗粒物 (PM₁₀); 沙尘暴

中图分类号: X513 **文献标志码:** A

文章编号: 1008-5548(2013)06-0058-06

Characteristics of Atmospheric Particles PM_{2.5} and PM₁₀ over Xi'an in Spring

WANG Ping^{1,2}, CAO Junji¹, LIU Suixin¹,
SHEN Zhenxing³, ZHANG Ting¹,
WANG Qiyuan³, ZHAN Changlin¹, YANG Suxia¹

(1. State Key Lab of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;
3. Department of Environmental Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To evaluate the chemical profiles and sources of spring aerosol over Xi'an, 24 h a day fine particulate matter PM_{2.5} and inhalable particulate matter PM₁₀ samples were collected at 4 urban sites simultaneously in 2 weeks using minival samplers. PM_{2.5} and PM₁₀ mass concentrations, carbon analyses (organic and elemental carbon), water inorganic ion (NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻) and trace elements (Ca and Fe) were determined by gravimetry, ion chromatography, thermal-optical carbon analyzer and ED-XRF spectrometry, respectively. The results show that the average mass concentration of PM₁₀ is 3 times larger than that of PM_{2.5}. Comparing with that in the non-dust period a sharp increase in organic carbon level is observed during the dust period.

收稿日期: 2013-04-23, **修回日期:** 2013-04-28。

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程项目, 编号: 2012KTZB03-01。

第一作者简介: 王平 (1971-), 男, 博士研究生, 研究方向为大气气溶胶等。电话: 029-88313690, E-mail: wangping@ieecas.cn。

SO₄²⁻-NO₃⁻-NH₄⁺ concentration is much higher in dust storm events than in normal days, mainly due to dilution of enhanced particulates in dry dust storm. The transport pathways and sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in dust storm period are identified on the basis of the air mass trajectories and the ratio of Ca and Fe elements. CO₃²⁻ concentration is estimated using the method of ion balance. A strong relationship is observed between evaluated CO₃²⁻ and measured Ca²⁺, which indicates that CaCO₃ is a main composition during dust storm period.

Key words: fine particulate matter (PM_{2.5}); inhalable particulate matter (PM₁₀); dust storm

沙尘暴指强风将地面大量沙尘吹起, 导致水平能见度小于 1 km 的空气浑浊的天气现象, 是沙尘暴和沙尘两者兼有的总称^[1]。源于亚洲干旱与半干旱地区的沙尘暴频发于每年的春季, 在强烈西风的作用下^[2], 粉尘能够长距离传输到韩国、日本、北太平洋、北美甚至北极地区^[3]。沙尘暴导致能见度减小, 引发呼吸道疾病和眼部不适^[4-5], 沙尘散射和吸收太阳光的辐射强度为 -0.1 W/m²^[6]。此外, 沙尘暴不仅夹带大量的碱性阳离子中和气溶胶的酸性, 沉降到地面缓冲土壤酸化^[7], 而且还给海洋生物提供营养物质磷和铁^[8]。正因为沙尘暴带来的健康、气候、生态和海-陆-气系统耦合等效应, 一直是大气科学研究的热点之一^[9-12]。

西安市 (北纬 34°16', 东经 108°54') 位于我国内陆腹地黄河流域中部的关中盆地, 南倚秦岭, 北临渭河, 总面积为 10 108 km²。西安市辖 9 区 (未央、碑林、临潼、新城、莲湖、阎良、长安、雁塔、灞桥) 4 县 (蓝田、高陵、户县、周至), 全市人口密度约 830 人/km²。西安市平原地区属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均气温为 13.0~13.7 °C, 最冷的 1 月份平均气温为 -1.2~0 °C, 最热的 7 月份平均气温为 26.3~26.6 °C。年降水量为 522.4~719.5 mm, 常年主导风向为东北风, 频率为 14%。多年平均风速为 1.7 m/s, 春季风沙较大, 冬季常出现逆温天气。

关于经过西安及附近区域的沙尘暴的主要研究如下: 2002 年 4 月 14 日, 严重沙尘暴入侵西安, 黄土高原采样点细颗粒物 PM_{2.5} 质量浓度达到 740 μg/m³, 是非沙尘暴观测期的 3 倍多^[13]; 2005 年春季沙尘暴事件监测期间, 4 月 13 日通榆监测点 PM_{2.5} 的质量浓

度达到 399 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[14];2009 年 4 月 20、24 日的 2 次沙尘暴事件中,西安(海拔不超过 400 m)和华山(海拔 2 060 m)同步监测,可吸入颗粒物 PM₁₀ 的平均质量浓度分别为 527、589 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,城市点主要离子(SO₄²⁻-NO₃⁻-NH₄⁺)浓度是高山点的 2~22 倍^[15]。上述春季沙尘暴事件监测空间区域是单点采样,沙尘暴的时间分辨率是 24 h。本文中在西安市 4 个采样点同步监测 72 h 沙尘暴事件,分析沙尘暴 Ca 与 Fe 元素质量浓度比特征及轨迹来源,并对离子平衡及 CO₃²⁻含量进行估算,有助于为当地沙尘暴的防治提供科学决策。

1 样品采集与分析

1.1 样品采集

根据西安市重点污染源的分布及西安的主导风向,城区 4 个采样点分别如下:城东在浐灞,以农业为主,位于浐灞生态园内,采样点距离地面 7.5 m;城南在中国科学院地球环境研究所(简称地环所),以文化和高新产业为主,位于高新技术开发区,采样点在 2 楼楼顶,距离地面约 8 m;城西是微电机研究所(简称微电机所),以工业为主,位于电气工业区内,采样点在某厂房楼顶,距离地面 14.0 m;城区中心位于市政府,以政府办公和居民区为主,采样点在政府前广场某楼顶,距离地面 12.0 m,周围主要是办公区,车流量大。

2010 年 4 月进行 2 周连续同步(4 个样点)采集 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 样品,时间为每日的 10:00 到次日的 10:00,使用配有 2.5 μm (空气动力学直径不超过 2.5 μm)切割头的小流量便携式采样仪(美国 Air metrics 公司),流速为 5 L/min。所有气溶胶样品使用微纤维石英滤纸(直径为 47 mm,英国 Whatman 公司)采集。4 个站点均采有野外空白样(相当于采样点的背景值),共收集 14 对 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 样品。

1.2 样品分析和质量保证

采用 DRI Model 2001 型热光碳分析仪(美国沙漠研究所)测定 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 样品中的含碳组分(有机碳(简称 OC)和元素碳(简称 EC));采用 Dionex-600 型离子色谱仪(美国戴安公司)测定 5 种阳离子(Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺)和 4 种阴离子(F⁻、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻);采用 Epsilon 5 型 X 射线荧光光谱仪(XRF,荷兰帕纳科公司)测试元素 Ca 和 Fe,具体分析方法和质量保证见文献^[13,16]。

2 结果与讨论

2.1 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 质量浓度的总体变化

图 1 所示为 4 个采样点在非沙尘暴和沙尘暴期间 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的质量浓度及其比值。由图可知,在春季采样期 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的平均质量浓度分别为 (166.4±91.5)、(350.4±218.8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$,二者相差 2 倍多;在非沙尘暴期间分别为 (151.1±81.5)、(272.8±114.8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$,二者相差 1 倍多;在沙尘暴期间分别为 (211.9±66)、(662.1±287.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$,二者相差 3 倍多。粒径方面,PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的质量浓度比在非沙尘暴、沙尘暴期间分别为 0.6、0.4,表明沙尘暴带来更多粗颗粒物,而正常天气主要以细粒子污染为主,这与已有的关于北京等地的研究^[17]相一致。空间方面,4 个采样点 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的质量浓度在非沙尘暴期间由大到小的顺序分别是浐灞、微电机所、市政府、地环所与微电机所、浐灞、市政府、地环所,4 个采样点 PM_{2.5} 的质量浓度相差不大,PM₁₀ 的更趋于一致,表明非沙尘暴期间大气颗粒物空间扩散具有一致性。在沙尘暴期间 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的质量浓度大小顺序分别是浐灞、微电机所、地环所、市政府与浐灞、政府、微电机所、地环所,城郊结合点(浐灞) PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的质量浓度在沙尘暴期间大于其他城区 3 个采样点的,表明沙尘暴传输过程中,城

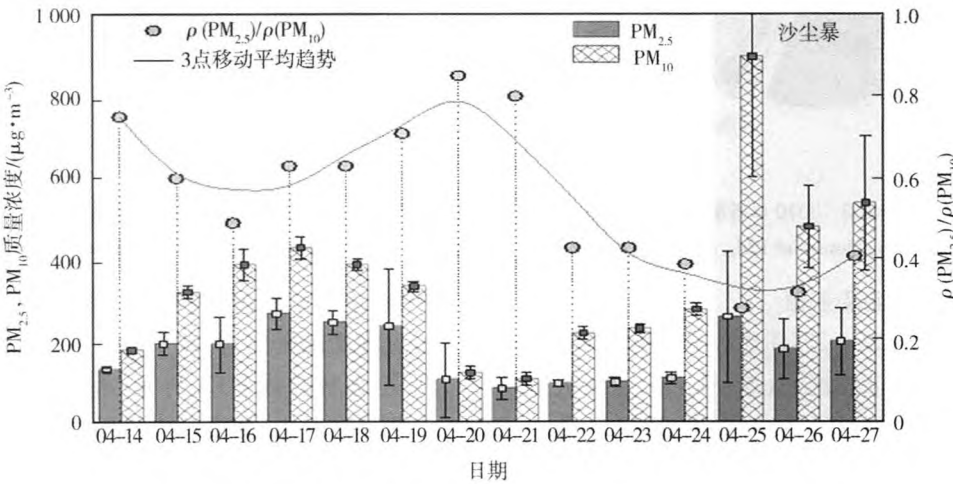


图 1 2010 年春季采样期间(非沙尘和沙尘暴期间)PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的质量浓度及其比值

Fig. 1 Mass concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀ and their ratios during sampling periods (in non-dust and dust storm period) in spring 2010

· 气溶胶研究 ·

市地面建筑物可能减小风速,减少扩散。这体现在细模态 $PM_{2.5}$ 较明显,如沪灞细模态 $PM_{2.5}$ 质量浓度 ($346.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 是市政府的 ($117.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 3 倍。

2.2 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的质量平衡

图 2 所示为 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 在非沙尘暴和沙尘暴期间质量平衡中各物种的质量分数。有机物质 (简称 OM) 的质量浓度 $\rho(\text{OM})=1.6\rho(\text{OC})$ (系数 1.6 为有机物质与有机碳的质量比); 非沙尘暴期间土壤尘的质量浓度 $\rho_s=\rho(\text{Fe})/0.04$ (Fe 元素在非沙尘暴期间上地壳中平均质量分数为 4%)。考虑到沙尘暴期间高沙尘含量,沙尘暴期间土壤尘的质量浓度 $\rho_d=\rho(\text{Fe})/0.055$ (Fe 元素在沙尘暴期间上地壳中平均质量分数为 5.5%)。由图可知, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中 OM 和 EC 的质量分数在沙尘暴期间均略有减小,但是 OM 在沙尘暴期间 PM_{10} 中质量浓度却增大。这种沙尘暴期间 PM_{10} 中 OM 的质量浓度增大, OM 占 $PM_{2.5}$ 或 PM_{10} 的质量分数减小的现

象,可能与沙尘暴颗粒中碳酸盐在碳热光法 (TOR 法) 高温裂解有关。另一方面,主要离子组分是 $\text{SO}_4^{2-}-\text{NO}_3^--\text{NH}_4^+$ 组合 (简称 SNA), SNA 在 $PM_{2.5}$ 中的质量分数在非沙尘暴、沙尘暴期间分别是 33%、4.8%, 在 PM_{10} 中的质量分数分别是 25.3%、3.1%。非沙尘暴与沙尘暴期间相比较, NH_4^+ 的质量分数减小值最大, 在 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中分别是 4.2% (质量浓度为 $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 减小为 0 (质量浓度为 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2.7% (质量浓度为 $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 减小为 0 (质量浓度为 $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (见图 2)。这种在沙尘暴期间 SNA 质量浓度急剧减小的现象,可能的原因是干燥的沙尘天气不利于 SO_4^{2-} 的前体物 SO_2 的均相或非均相反应。大浓度沙尘颗粒对 NH_4^+ 的稀释作用表现在减少了 NH_3 , 进一步稀释半挥发性的 NO_3^- 浓度 ($\text{HNO}_3(\text{g})+\text{NH}_3(\text{g})=\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$), 这种解释与 Wang 等^[15]2009 年研究西安沙尘暴中 SNA 的减小原因相一致。

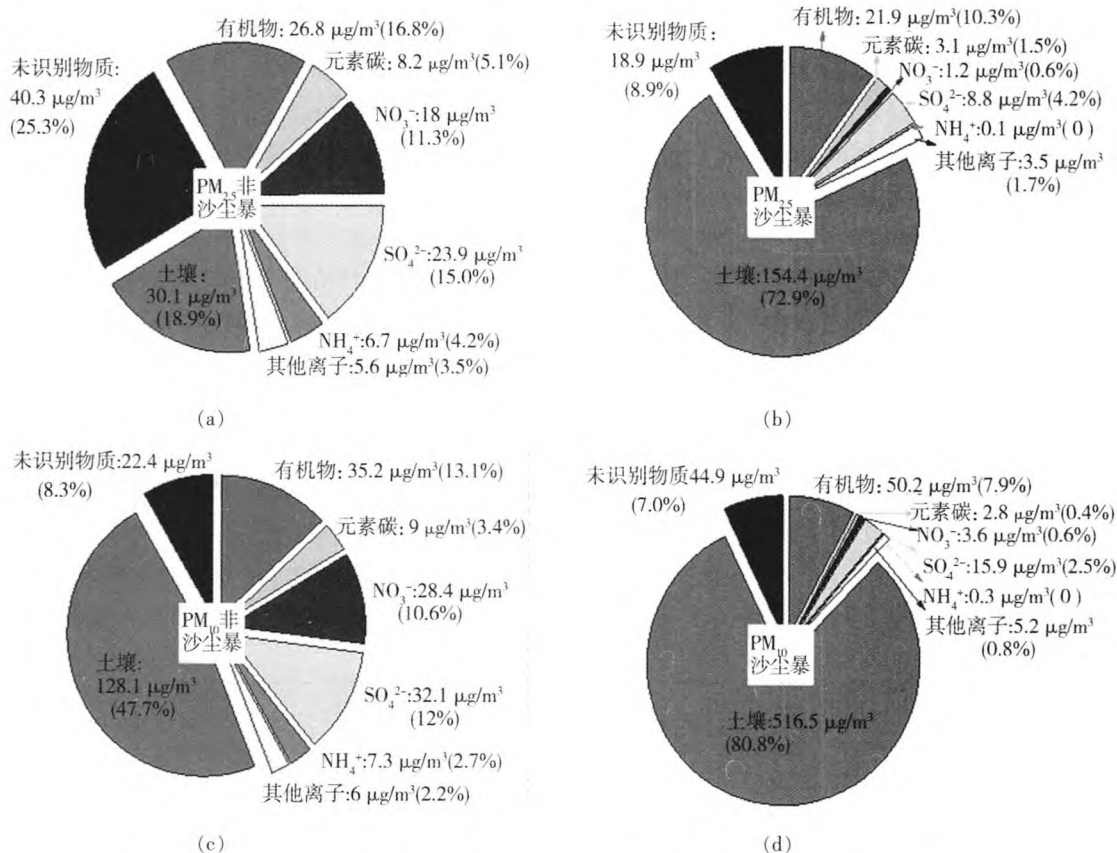


图 2 2010 年春季采样期间(非沙尘和沙尘暴期间) $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量平衡中各物种质量分数

Fig. 2 Mass closure of $PM_{2.5}$ and PM_{10} during sampling periods (in non-dust and dust storm period) in spring 2010

2.3 沙尘暴事件特征及来源

观测期内 4 月 25—27 日是 3 天沙尘暴事件日。表 1 所示为不同沙尘源区 Ca 与 Al、Ca 与 Fe 元素质量浓度比^[18],由于未测元素 Al 的含量,所以仅列出 Ca 与 Fe 元素质量浓度比。沙尘暴期间 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中 Ca 与 Fe 元素质量浓度比分别为 1.53 ± 0.15 、 1.36 ± 0.18 , 介于西北部沙尘源 (巴丹吉林沙漠:2.3) 和北方沙尘源

(浑善达克沙地:0.99;科尔沁沙地:1.45)之间。从地理位置和文献研究看,源于北方沙地的沙尘暴很少途经西安,而我国黄土 Ca 与 Fe 元素质量浓度比为 1.85^[19],由此可以看出,西安沙尘暴颗粒来源于内蒙古的戈壁沙地和黄土高原。细颗粒 $PM_{2.5}$ 中 Ca 与 Fe 元素质量浓度比大于粗颗粒 PM_{10} 中 Ca 与 Fe 元素质量浓度比,加之粗、细颗粒传输距离,表明粗颗粒 PM_{10} 可能更

表 1 我国沙尘源附近采样点 Ca 与 Fe 元素质量浓度比
Tab. 1 Mass concentration ratios of Ca and Fe elements during dust storms in China

沙尘源	采样点	颗粒物	Ca 与 Al 元素质量浓度比	Ca 与 Fe 元素质量浓度比 ^{a)}	参考文献 ^{b)}
西部沙尘源	塔克拉玛干沙漠	气溶胶	1.99	3.81	(Zhang 等,1996 年)
	新疆塔中	TSP ^{c)}	1.56	2.98	(Huang 等,2010 年)
西北沙尘源	巴丹吉林沙漠	气溶胶	1.20	2.30	(Zhang 等,1996 年)
	黄土高原	气溶胶	1.14	2.18	(Zhang,2003 年)
	黄土高原	TSP	1.22	2.33	(Cao 等,2008 年)
	戈壁土壤	沙尘 ^{d)}	1.17	2.24	(Ta 等,2003 年)
	陕西榆林	PM _{2.5}	1.00	1.91	(Arimoto 等,2004 年)
	陕西榆林	TSP	1.09	2.09	(Huang 等,2010 年)
北部沙尘源	浑善达克沙地	气溶胶	0.52	0.99	(Zhang 等,1996 年)
	科尔沁沙地	PM _{2.5}	0.76	1.45	(Shen 等,2007 年)
	内蒙古通辽	TSP	0.52	0.99	(Huang 等,2010 年)
	西安	PM _{2.5}		1.53±0.15	本研究
	西安	PM ₁₀		1.36±0.18	本研究

注:a) Ca 与 Fe 元素的质量浓度比通过中国土壤(A 层)中氧化物换算得到^[20]; b) 参考文献来自文献^[18]; c) TSP 指空气中总悬浮颗粒,粒径小于 100 μm; d) 沙尘指土壤样品,粒径小于 100 mm。

多来自黄土高原。

后向轨迹模型常用来识别受体点受到外来气团源。运用美国国家海洋及大气局/空气资源实验室在线轨迹模型 HYSPLIT4.8 (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.8.html>) 识别西安春季沙尘暴期间(2010 年 4 月 25—27 日)的外来气团轨迹(高度 500 m,间隔 6 h 轨迹显示 1 个点,共向前推演 3 d,即 72 h)(<http://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>)。图 3 所示为西安春季沙尘暴期间(2010-04-25—27)后向轨迹和臭氧紫外线气溶胶指数。通过臭氧传感器遥感反演紫外线气溶胶指数(美国宇宙和航天局-戈尔德地球科学数据和信息服务中心,<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/index.html>),更能识别沙尘暴期的沙尘源和传输路径,因为紫外线气溶胶指数对沙尘或烟羽较敏感。由图可知,源于长距离传输的新疆塔克拉玛干沙漠和内蒙古西北部戈壁沙地的沙尘暴源经过河西走廊,以及短距离传输的黄土高原到达西安,导致 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的大浓度(见图 1),这与研究东亚或亚洲沙尘源识别相一致^[21]。

2.4 离子平衡及 CO₃²⁻ 估算

离子平衡常用来研究气溶胶酸碱性^[14]。阳离子和阴离子物质的量浓度之和分别通过下式计算:

阳离子物质的量浓度和= $\frac{\rho(\text{NH}_4^+)}{18} + \frac{\rho(\text{Na}^+)}{23} + \frac{\rho(\text{K}^+)}{39} + \frac{\rho(\text{Ca}^{2+})}{20} + \frac{\rho(\text{Mg}^{2+})}{12}$, (1)

阴离子物质的量浓度和= $\frac{\rho(\text{SO}_4^{2-})}{48} + \frac{\rho(\text{NO}_3^-)}{62} + \frac{\rho(\text{Cl}^-)}{35.5} + \frac{\rho(\text{F}^-)}{19}$ 。 (2)

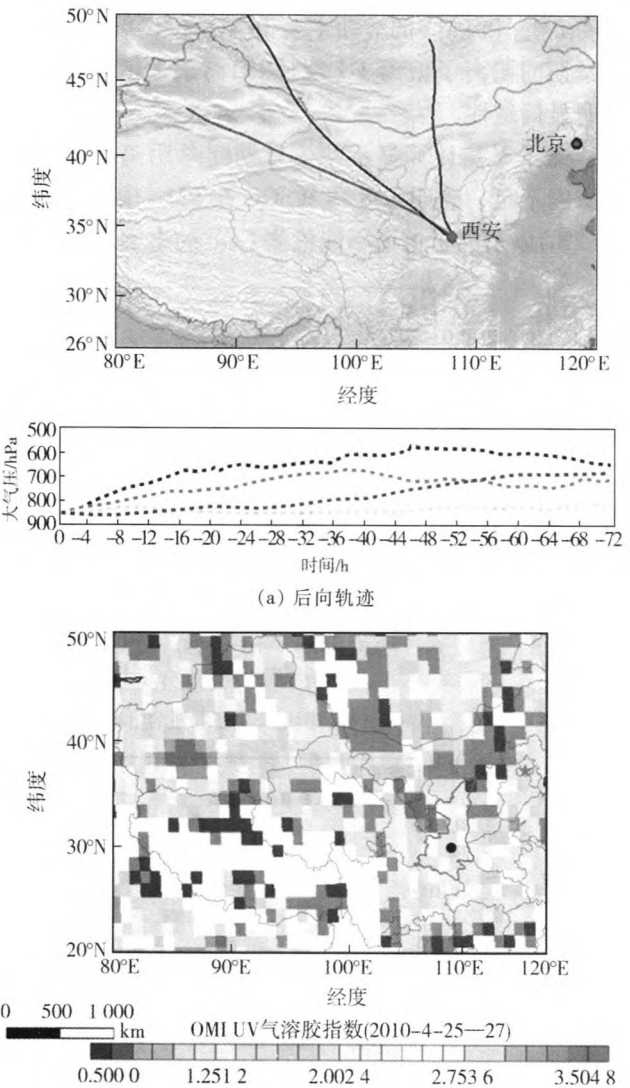


图 3 西安春季沙尘暴期间(2010-04-25—27)后向轨迹和臭氧紫外线气溶胶指数
Fig. 3 Backward trajectories and ozone UV aerosol indexes during dust storm period (2010-04-25—27) in Xi'an, China

气溶胶研究

式(1)中各物种的质量浓度单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 具体计算是阳离子质量浓度除以阳离子相对分子质量, 再乘以阳离子价态; 式(2)中阴离子的物质的量浓度之和计算原理同式(1)。图 4 所示为 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 在非沙尘和沙尘暴期间阴、阳离子物质的量浓度与沙尘暴期间在 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 中 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 的相关性。由图可知, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 阴阳离子的各自相关性(阴阳离子相关系数在 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 中非沙尘暴期间分别为 0.98 和 0.58, 斜率分别为 1.25 和 10.98; 在沙尘暴期间分别为 0.71 和 0.15, 斜率分别为 0.86 和 0.16)(图 4(a)和(b)中虚黑线为非沙尘暴期间, 实黑线为沙尘暴期间), 表明大气颗粒物在非沙尘暴期间呈酸性, 在沙尘暴期间呈碱性。虽然 HCOO^- (甲酸根) 和 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ (草酸根) 等 8 种酸根离子未调查, 但是研究表明, 8 种水溶性有机酸(WSOC)其各自质量浓度为 $0.02\sim 1.13\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, 各自占 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的 $0.02\%\sim 1.05\%$, 8 种 WSOC 之和占 $\text{PM}_{2.5}$ 质量的 2% 左右^[2]。现有离子平衡计算方程至少表明 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的酸性主要由 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 决定。沙尘暴期间阳离子偏离 1:1 线(阴阳离子平衡), 表明样品明显偏碱性。

离子平衡计算显示沙尘暴期间总阴离子物质的量浓度不足, 表明了 8 种 WSOC 在 $\text{PM}_{2.5}$ 中质量分数小(2%)以及离子色谱不能检测 CO_3^{2-} 的事实。据此, 一

些研究将沙尘暴期间的阴阳离子平衡差异(阳离子物质的量浓度总和减去阴离子物质的量浓度总和)估算为 CO_3^{2-} 的物质的量浓度。Cao 等^[13]将估算的沙尘暴碳酸盐含量与 TOR 法实测的碳酸钙含量进行对比, 研究发现沙尘暴事件中 TOR 测试的 OC 浓度被高估; Huang 等^[18]根据碳酸根和主要离子相关性确定物种分子式, 研究当地源与沙尘暴混合状况。图 4((c)和(d))是在沙尘暴期间, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 中测试的 Ca^{2+} 与估测的 CO_3^{2-} 相关性 (Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 的相关系数在 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 中分别为 0.77、0.82)。强相关性验证了沙尘暴期间沙尘颗粒以碳酸钙颗粒为主, 也间接地验证阴阳离子平衡差异的假设。估算的 CO_3^{2-} 的平均质量浓度(每个样品 CO_3^{2-} 的质量浓度等于 CO_3^{2-} 物质的量浓度乘以 120, 取平均值)在 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 中分别为 26.4 、 $42.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。将估算的 CO_3^{2-} 质量浓度与前人研究汇总代表性沙尘暴事件中 CO_3^{2-} 含量比较^[13]: 2002 年春季 Cao 等关于西安 $\text{PM}_{2.5}$ 的研究中, 非沙尘暴时 CO_3^{2-} 的质量浓度为 $9.7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, 沙尘暴时 CO_3^{2-} 的质量浓度为 $36\ \mu\text{g}/\text{m}^3$; Venkataraman 等关于印度 1999 年沙尘暴 PM_{10} 的研究中, CO_3^{2-} 的质量浓度为 $1.3\sim 1.5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$; Zappoli 等关于意大利 Po 峡谷 1996 年秋季沙尘暴 $\text{PM}_{2.5}$ 的研究中, CO_3^{2-} 的质量浓度为 $0.4\sim 3.0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, 这些均表明西安沙尘暴中碳酸盐浓度较大。

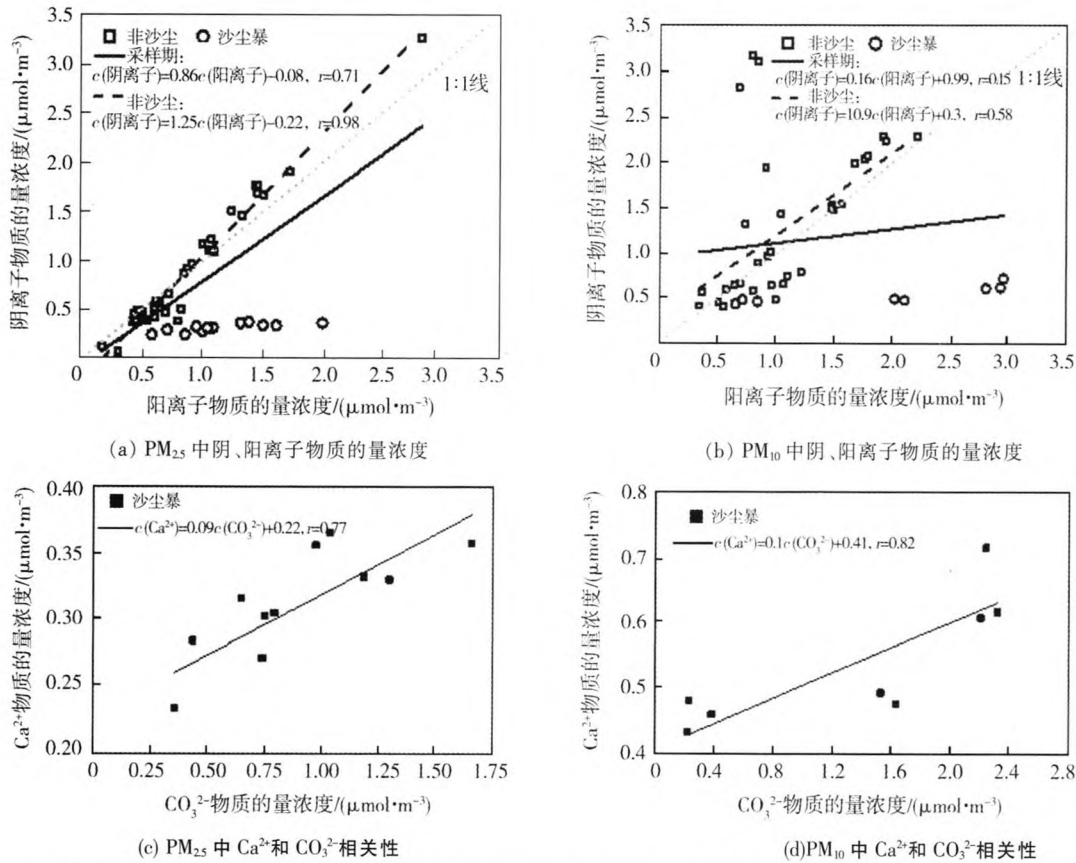


图 4 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 在非沙尘和沙尘暴期间阴阳离子物质的量浓度以及在沙尘暴期间 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 相关性
Fig. 4 Total anion microequivalents versus total cations microequivalents in non-dust and dust storm period and correlation of Ca^{2+} and CO_3^{2-} for $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} in dust storm period

3 结论

1)西安市春季3天沙尘暴事件中,PM₁₀的质量浓度是PM_{2.5}的3倍,PM_{2.5}与PM₁₀中有机碳的质量浓度增大,可能与碳热光测试中碳酸盐高温裂解有关;SO₄²⁻-NO₃⁻-NH₄⁺的质量浓度减小,与干燥沙尘暴的稀释作用有关。

2)后向轨迹、气溶胶指数和Ca与Fe元素质量浓度比验证了西安市沙尘暴颗粒来源于西部戈壁沙尘和黄土高原;阴阳离子平衡计算中阳离子在沙尘暴期间偏离1:1线(阴阳离子平衡),表明了大浓度沙尘暴强烈的稀释作用;阴阳离子差异估算CO₃²⁻含量与Ca²⁺具有强相关性,表明沙尘暴颗粒以CaCO₃为主。

参考文献(References):

[1] 王式功,董光荣,陈惠忠,等.沙尘暴研究的进展[J].中国沙漠,2000,20(4):5-12.

[2] 张仁健,周家茂,曹军骥.中国沙漠化及其防治[J].中国粉体技术,2007,66(1):6-10.

[3] 袁中新,邵承宗,陈敏宗,等.亚洲沙尘影响台湾期间大气悬浮微粒之粒径大小及化学组成变化趋势[J].中国粉体技术,2005,11(3):14-18.

[4] 陶俊,陈刚才,赵琦,等.重庆市大气TSP中重金属分布特征[J].重庆环境科学,2003,25(12):15-19.

[5] 车慧正,张小曳,石广玉,等.沙尘和灰霾天气下毛乌素沙漠地区大气气溶胶的光学特征[J].中国粉体技术,2005,11(3):8-11.

[6] 吴润,符淙斌,蒋维楣,等.东亚地区矿物尘气溶胶直接辐射强迫的初步模拟研究[J].地球物理学报,2005,48(6):1250-1260.

[7] 丁国安,徐晓斌,房秀梅,等.中国酸雨现状及发展趋势[J].科学通报,1997(2):169-173.

[8] 庄国顺,郭敬华,袁惠,等.2000年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响[J].科学通报,2001(3):191-197.

[9] 张强,王胜.论特强沙尘暴(黑风)的物理特征及其气候效应[J].中国沙漠,2005,25(5):675-681.

[10] 董俊玲,张仁健,符淙斌.中国地区气溶胶气候效应研究进展[J].中国粉体技术,2010,16(1):1-4.

[11] 符淙斌,安芷生,郭维栋.我国生存环境演变和北方干旱化趋势预

测研究: I: 主要研究成果[J].地球科学进展,2005,20(11):1158-1168.

[12] 王伟,方宗义.沙尘暴天气及其研究进展综述[J].应用气象学报,2004,15(3):366-380.

[13] CAO Junji, LEE Shunchen, ZHANG Xiaoye, et al. Characterization of airborne carbonate over a site near Asian dust source regions during spring 2002 and its climatic and environmental significance[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2005, 110: 1-8.

[14] SHEN Zhenxing, WANG Xin, ZHANG Renjian, et al. Chemical composition of water-soluble ions and carbonate estimation in spring aerosol at a semi-arid site of tongyu, China[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2011, 11(4): 360-368.

[15] WANG Geihui, ZHOU Bianhong, CHENG Chunlei, et al. Impact of Gobi desert dust on aerosol chemistry of Xi'an, inland China during spring 2009: differences in composition and size distribution between the urban ground surface and the mountain atmosphere[J]. Atmos Chem Phys, 2013, 13(2): 819-835.

[16] CAO Junji, LEE Shunchen, HO K F, et al. Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(11): 1451-1460.

[17] ZHANG Renjian, WANG Mingxing, ZHANG Xiaoye, et al. Analysis on the chemical and physical properties of particles in a dust storm in spring in Beijing[J]. Powder Technology, 2003, 137(1/2): 77-82.

[18] HUANG Kan, ZHUANG Guoshun, LI Juan, et al. Mixing of Asian dust with pollution aerosol and the transformation of aerosol components during the dust storm over China in spring 2007[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010, 115: 1-13.

[19] 迟清华, 鄯明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007.

[20] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等.中国土壤环境背景值研究[J].环境科学,1991,12(4):12-19.

[21] ARIMOTO R., KIM Y J, KIM Y P, et al. Characterization of Asian dust during ACE-Asia[J]. Global and Planetary Change, 2006, 52(1/2/3/4): 23-56.

[22] KAWAMURA K, SAKAGUCHI F. Molecular distributions of water soluble dicarboxylic acids in marine aerosols over the Pacific Ocean including tropics[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1999, 104: 3501-3509.

《Particuology(颗粒学报)》入选中国科技期刊国际影响力提升计划

日前,由中国颗粒学会和中国科学院过程工程研究所共同主办的英文期刊《Particuology(颗粒学报)》入选“中国科技期刊国际影响力提升计划”,荣获该计划B类支持(<http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/15134546.html>)。

“中国科技期刊国际影响力提升计划”是由中国科协、财政部、教育部、国家新闻出版广电总局、中国科学院、工程院等6家机构联合推出的科技期刊提升项目。项目将对国内行业领先、具有较好国际化基础的科技期刊进行选拔支持。此次选拔共有200个期刊项目进行了申报,其中76种英文科技期刊入选。