

兰州沙尘暴过程对 PM_{10} 组成变化的影响

肖正辉^{1,2}, 邵龙义², 张 宁³, 李卫军²

(1.湖南科技大学 地质研究所, 湖南 湘潭 411201; 2.中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;

3.甘肃省环境监测中心站, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 为了研究兰州市 2006 年 3 月 31 日沙尘暴过程对大气 PM_{10} 组成变化的影响, 利用场发射扫描电镜 (FESEM) 和图像分析技术研究了该沙尘暴期间及其发生前后 PM_{10} 中的单颗粒特征。结果表明, 沙尘暴发生前后, PM_{10} 主要由燃煤飞灰、烟尘集合体组成, 其次是少量的矿物颗粒, 而沙尘暴高峰期则相反。与沙尘暴发生前后相比, 沙尘暴高峰期矿物颗粒的数量百分比(59.31%)和体积百分比(99.39%)有明显增加, 而其数量和体积粒度分布则相反。根据该沙尘暴过程中 PM_{10} 的组成变化特征, 可将其划分为四个不同的阶段: 本地污染物清除阶段、新污染物携入阶段、本地新污染物吹入及外来沙尘颗粒减少阶段、沙尘颗粒基本清除阶段。

关键词: 沙尘暴; 单颗粒; 兰州; 颗粒物组成; 粒度分布

中图分类号: X 823

文献标识码: A

Composition variation of PM_{10} during a dust storm episode in Lanzhou, Northwestern China

XIAO Zhenghui^{1,2}, SHAO Longyi², ZHANG Ning³, LI Weijun²

(1. Institute of Geology, Hunan University of Science and Technology, Hunan Xiangtan 411201; 2. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Environmental Monitoring Central Station of Gansu, Lanzhou 730030, China)

Abstract: To investigate the composition variation of airborne inhalable particulate matters (PM_{10}) collected in the non-dust storm and the dust storm episode occurred in Lanzhou city on March 31, 2006, a high resolution Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) and image analysis (IA) were used to study the characteristics of individual particles. The results show that the particles in PM_{10} collected in the non-dust storm are composed of coal fly ash, soot aggregate and little mineral while the particles in PM_{10} collected during the peak of the dust storm episode are dominated by various minerals, followed by a small amount of fine coal fly ash and soot aggregate. Comparing with the non-dust storm episode, the percentage of mineral particle numbers and volume in PM_{10} collected during the peak of the dust storm episode increases significantly (59.31% and 99.39%, respectively), while its number-size and volume-size distribution decreases. All these reveal that the dust storm episode can be divided into four stages: 1) clean-out of local pollutants; 2) input of new non-local pollutants; 3) input of new local pollutants and reduction of dust and 4) clean-out of dust.

Key words: dust storm episode; individual particles; Lanzhou; composition; size distribution

0 引言

沙尘暴是一种突发性强、破坏力大、在较短时间内能够造成重大经济损失和惨重人员伤亡, 且预报难度大的天气现象。研究沙尘暴过程中 PM_{10} 的组成变化特征不仅有利于弄清楚沙尘暴的来源、输送机制及其发展阶段, 而且还有助于了解沙尘暴对所经地区大气环境的影响。以往兰州市有关沙尘暴

的研究主要集中在沙尘暴天气下大气颗粒物的质量浓度特征和质量浓度粒度分布特征^[1-4], 以及沙尘暴的成因、监测与防治等方面^[5-6], 而有关大气 PM_{10} 的组成随沙尘暴的不同阶段而变化的研究较少。本文利用场发射扫描电镜 (FESEM) 和图像分析技术等单颗粒分析方法研究兰州市 2006 年 3 月 31 日沙尘暴期间及其发生前后 PM_{10} 的微观形貌和粒度分布变化特征。

1 样品采集和室内实验

1.1 样品采集

2006年3月31日兰州市出现了三月份规模最大的一次沙尘暴。沙尘暴期间及其发生前后的一段时间内, 在兰州市市区东方红广场附近的格桑花饭店四楼楼顶平台($103^{\circ}50' E$, $36^{\circ}03' N$)采集了沙尘

暴和非沙尘暴 PM_{10} 样品。采样仪器使用美国生产的 Minivol 大气采样器, 滤膜为 Millipore 公司(英国)生产的聚碳酸脂滤膜(核孔径 $0.67 \mu m$)。采样期间用 NK4 000 (USA) 自动记录每小时的温度、湿度、气压等气象参数。用于研究 PM_{10} 的微观形貌和粒度分布特征的主要样品信息如表 1。

表 1 沙尘暴期间及发生前后 PM_{10} 的样品信息

Tab.1 information of PM_{10} samples collected during the dust storm and non-dust storm episode

样品号	样品编号	采样日期	采样起止时间	采样时间/h	平均风速/(m·s ⁻¹)	平均温度/℃	平均湿度/%	质量浓度/($\mu g m^{-3}$)	能见度/m	备注
1	2006-3-8	2006.3.30	16:30~18:00	2	0.2	24	10.7	100	>1000	沙尘暴之前
2	2006-3-9	2006.3.30	19:30~22:00	2.5	0.2	18.4	16.6	333.33	>1000	沙尘暴之前
3	2006-3-10	2006.3.31	8:30~12:30	4	0.6	14.1	25.4	500.00	>1000	沙尘暴之前
4	2006-3-11	2006.3.31	13:30~14:30	1	8	17.2	17.3	1466.67	<500	沙尘暴高峰期
5	2006-3-12	2006.3.31	14:30~15:30	1	2.5	17.2	20.8	866.67	<1000	沙尘暴期间
6	2006-3-13	2006.3.31	15:40~16:40	1	1.6	17	20.2	800.00	<1000	沙尘暴期间
7	2006-3-14	2006.3.31	17:00~18:00	1	1.2	15.4	24.8	733.33	<1000	沙尘暴期间
8	2006-3-15	2006.3.31	20:00~21:00	1	2.5	19.1	35.9	833.33	<1000	沙尘暴期间
9	2006-3-17	2006.4.1	8:30~10:30	2	0.6	12.7	35.4	466.67	>1000	沙尘暴之后
10	2006-3-18	2006.4.1	15:30~18:30	3	1.6	22.9	9.3	188.89	>1000	沙尘暴之后
11	2006-3-19	2006.4.1	20:30~23:30	3	1.3	16.4	15.8	322.22	>1000	沙尘暴之后

1.2 室内实验

从采集的样品中选取约 10 张滤膜, 每张滤膜剪下 $1/10$ 左右, 用导电胶将其粘贴在金属桩上, 将样品镀金, 然后在 JSM-6700F 型场发射扫描电子显微镜(日本电子公司)下进行颗粒物的微观形貌分析。每个样品随机拍摄十张 FESEM 图像(二次电子像), 供做颗粒物的粒度分析用。

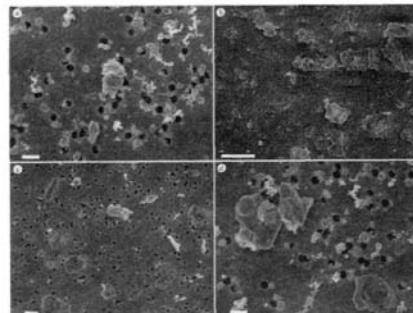
颗粒物的粒度分析是利用中国矿业大学(北京)“煤炭资源与安全开采国家重点实验室”的显微数字图像粒度分析软件系统完成, 见李卫军等(2004年)发表的论文^[7]。

2 结果与分析

2.1 沙尘暴期间及发生前后 PM_{10} 的微观形貌特征

沙尘暴期间及其发生前后, 兰州市 PM_{10} 的微观形貌特征如图 1。可以看出, 沙尘暴发生之前, PM_{10} 主要由燃煤飞灰、烟尘集合体及少量的矿物颗粒组成(图 1a); 沙尘暴期间, PM_{10} 中的颗粒物类型以矿物颗粒为主, 其次为少量较细的烟尘集合体和燃煤飞灰(图 1b 和 c)。沙尘暴过后的一段时间内, PM_{10} 中的颗粒物类型与沙尘暴之前基本一致, 但是矿物颗粒的相对数量有所增加(图 1d)。

2.2 沙尘暴不同阶段 PM_{10} 的组成变化特征



(a)沙尘暴之前的 PM_{10} , 比例尺 $1 \mu m$; (b)沙尘暴高峰期的 PM_{10} , 比例尺 $10 \mu m$; (c)沙尘暴期间的 PM_{10} , 比例尺 $2 \mu m$; (d)沙尘暴之后的 PM_{10} , 比例尺 $1 \mu m$

图 1 沙尘暴期间及发生前后 PM_{10} 的 FESEM 显微图像

Fig.1 FESEM images of duststorm and non-dust storm particles

(1) 本地污染物清除和新污染物携入阶段

研究结果表明, 沙尘暴发生之前, PM_{10} 中的燃煤飞灰、烟尘集合体、未知颗粒和矿物颗粒分别占统计颗粒物数量的 55.14%、22.59%、18.46% 和 3.81%, 且分别主要分布在 $0.1\sim0.2 \mu m$ 、 $0.2\sim0.5 \mu m$ 、小于 $0.1 \mu m$ 和 $1\sim2.5 \mu m$ 之间。沙尘暴高峰期, 矿物颗粒占统计颗粒物数量的 59.31%, 比沙尘暴之前的非沙尘暴期有明显增加, 且主要分布在

0.1~0.4 μm 之间, 而燃煤飞灰和烟尘集合体两者所占的比例则有明显减少, 为 40.69%, 且均主要分布在粒径小于 0.1 μm 的范围内。

研究结果表明, 沙尘暴发生之前, PM_{10} 中燃煤飞灰、烟尘集合体、矿物和未知颗粒所占的体积百分比分别为 3.54%、35.02%、61.41% 和 0.03%, 燃煤飞灰的体积主要分布在 0.1~0.7 μm 和 1.0~2.5 μm 之间, 烟尘集合体、矿物和未知颗粒的体积则分别主要分布在 1.0~2.5 μm 、大于 1 μm 和小于 0.2 μm 的范围内。沙尘暴高峰期, PM_{10} 的体积主要由矿物颗粒组成, 占总体积的 99% 以上, 且主要分布在小于 1 μm 的范围内, 明显小于沙尘暴发生前后 PM_{10} 中矿物颗粒的粒径, 其原因可能是此次沙尘暴期间的风速相对较小(表 1), 沙尘暴从沙尘源和沿途携带的较粗矿物颗粒在长途输送过程中由于重力作用而逐渐发生了沉降。

不难发现, 虽然沙尘暴之前的非沙尘暴期和沙尘暴高峰期 PM_{10} 中的颗粒物类型无明显差异, 但是它们的数量、体积百分比以及它们的数量—粒度、体积—粒度分布明显不同, 污染物明显出现了一次“置换”过程, 即表明沙尘暴在这段时间内至少经历了两个不同的阶段, 即本地污染物的清除阶段和新污染物(主要是外来矿物)的侵入阶段。这一结果与一些研究者利用大气颗粒物中一些微量元素浓度或浓度比值的变化来确定沙尘暴阶段的研究结果基本一致^[8]。

(2) 本地新污染物吹入及外来沙尘颗粒减少阶段

沙尘暴高峰期过后及其结束之前, PM_{10} 中的燃煤飞灰和烟尘集合体的数量百分比较沙尘暴高峰期有明显增加, 其数量—粒度与沙尘暴之前大体一致, 表明它们主要来自本地污染源; 矿物颗粒所占的数量百分比较沙尘暴高峰期有所减少, 但主要分布在大于 1 μm 的范围内, 与沙尘暴发生前的粒度分布基本一致, 明显大于沙尘暴期间矿物颗粒的粒度分布, 表明其主要来自本地扬尘。不仅如此, 该期间 PM_{10} 中不同类型颗粒物的体积—粒度与沙尘暴高峰期明显不同, 该期间矿物颗粒的体积主要分布在大于 1 μm 的范围内, 与沙尘暴发生之前基本一致。出现这些变化的主要原因是沙尘暴高峰期过后, 兰州市上空的风速迅速减弱, 而地表风速明显增大, 导致本地扬尘和其它污染物不断吹入大气中, 而从沙尘源摄入的矿物颗粒由于相互碰撞和重力作用等原因而逐渐发生沉降, 从而出现本地新污染物吹入及外来沙尘颗粒逐渐减少阶段。

(3) 沙尘颗粒基本清除阶段

与沙尘暴高峰期相比, 沙尘暴过后采集的 PM_{10} 中不同类型颗粒物的数量、体积百分比以及它们的数量—粒度、体积—粒度分布发生了明显变化, 但与沙尘暴发生之前基本一致。燃煤飞灰和烟尘集合体所占的数量百分比之和超过 74%, 与沙尘暴之前差异不大, 且其数量—粒度也基本一致; 矿物颗粒的数量百分比为 8.08%, 主要分布在大于 1 μm 的范围内, 与沙尘暴发生之前也相差不大。同样, PM_{10} 中不同类型颗粒物的体积百分比和体积—粒度分布均与沙尘暴之前基本一致。这些结果表明该期间颗粒物基本上由本地吹入的燃煤飞灰、烟尘集合体和矿物颗粒组成, 为沙尘颗粒基本消除阶段。

3 结 论

兰州市 2006 年 3 月一次沙尘暴过程对 PM_{10} 的组成变化有较大影响: 沙尘暴发生前后, PM_{10} 主要由燃煤飞灰、烟尘集合体组成, 其次是少量的矿物颗粒, 而沙尘暴高峰期则相反; 沙尘暴高峰期矿物颗粒的数量和体积百分比分别为 59.31% 和 99.39%, 比非沙尘暴期有明显增加, 而其数量和体积粒度分布则相反。根据该沙尘暴过程对 PM_{10} 组成变化的影响, 可将其划分为四个不同阶段: 本地污染物清除阶段、新污染物携入阶段、本地新污染物吹入及外来沙尘颗粒减少阶段、沙尘颗粒基本清除阶段。

参考文献:

- [1] 刘淑梅, 杨泓, 傅朝, 等. 兰州市冬春两季 PM_{10} 重度污染的气象条件分析研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(5): 80-83.
- [2] 吴晓霞, 李杰, 权建农. 兰州市春季沙尘气溶胶质量浓度的若干研究[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 112-116.
- [3] 权建农, 吴晓霞, 王鑫. 兰州市 2001 年沙尘气溶胶质量浓度的特征分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 93-97.
- [4] 王鑫, 吴晓霞, 郭治龙, 等. 2002 年兰州市春季大气气溶胶特征分析[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2006, 42(3): 44-47.
- [5] 顾静, 周杰, 赵景波. 西北地区不同等级沙尘暴的空间变化与防治[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 27-31.
- [6] 张炜. 沙尘暴天气成因分析[J]. 甘肃科技纵横, 2005, 34(2): 10-11.
- [7] 李卫军, 邵龙义, 吕森林. 北京西北城区 2002 年春季大气可吸入颗粒物的粒度分布特征[J]. 电子显微学报, 2004, 23(5): 589-593.
- [8] Guo Jinghua, Rahn Kenneth A., Zhuang Guoshun. A mechanism for the increase of pollution elements in dust storms in Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 855-862.