

简报

北京一次浮尘事件的沙尘化学特征^{*}

周家茂^{1,2,3†} 张仁健² 石磊² 刘阳²

(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,西安 710075;

2 中国科学院大气物理研究所,北京 100029; 3 中国科学院研究生院,北京 100049)

(2007 年 3 月 2 日收稿; 2007 年 6 月 11 日收修改稿)

Zhou JM, Zhang RJ, Shi L, *et al.* Chemical characterization of dust in a floating dust event over Beijing. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2007, 24(5): 720 ~ 723

摘 要 以 2000 年 4 月北京一次浮尘天气完整的观测资料为例,进行元素化学分析.本次浮尘期间 20 种元素总质量浓度为 $181.49\mu\text{g}/\text{m}^3$,小于同一监测分析方法下沙尘暴期的总元素质量浓度,浮尘过后与 1999 年 3 月非沙尘期的元素总质量浓度相近.浮尘后 Al, Fe, K, Ca, Si, Ti, Mn 元素质量浓度谱分布图形状发生改变,可能暗示着新一轮的大气污染物积累.浮尘事件中粗细粒子中外来源的贡献量各不相同,分别为 82.8% 和 34.5%.

关键词 浮尘,元素质量浓度,谱分布,外来源

中图分类号 X13161

1 引言

沙尘天气是北京地区比较常见的一种天气现象,主要发生在春季^[1].浮尘天气过程中空气质量受到影响,颗粒物质量浓度显著提高^[2].受沙尘天气影响较大的北方城市,其空气污染指数明显高于南方城市^[3].沙尘现在已成为气象常规观测中必须监测项目之一.

虽然相对于沙尘暴,浮尘的直接威胁较小,但浮尘出现的频率更高^[4,5].浮尘的持续时间较沙尘暴更长,沙尘暴一般只有几个小时,而浮尘可持续数日甚至数十日,因此对其危害不可小视,值得进行深入的探讨.本文以 2000 年 4 月北京地区发生的一次浮尘事件为例进行了分析.根据气象报道,从 2000 年 4 月 24 日下午开始,内蒙古自治区西部大范围内遭受了 6 到 7 级偏西风袭击,出现了沙尘暴.呼和浩特市下午两点半左右,能见度降为 600 米.北京地区则在 25 日出现浮尘天气,黄土弥漫,到 25 日晚间结束.

2 观测方法

采样地点位于北京市北三环和北四环之间的中国科学院大气物理所南小楼二楼楼顶,高度约 8m.采用美国 PIXE 公司生产单孔分级式撞击采样仪^[6]进行采样,粒子采集直径依次为 $<0.25\mu\text{m}$, $0.25 \sim 0.5\mu\text{m}$, $0.5 \sim 1\mu\text{m}$, $1 \sim 2\mu\text{m}$, $2 \sim 4\mu\text{m}$, $4 \sim 8\mu\text{m}$, $8 \sim 16\mu\text{m}$, $>16\mu\text{m}$,分别对应 0 ~ 7 级,流量为 1.1L/min.本次观测共得到 4 组样品.采样时段为 2000 年 4 月 25 日 09:40 ~ 13:40, 13:40 ~ 17:40, 25 日 17:40 ~ 26 日

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB407303)和国家自然科学基金项目(40675074)资助

[†]E-mail: zjm@ieccas.cn

08:40,26 日 08:40~15:45.分别记为 4-25A,4-25B,4-25C,4-26.采集到的样品在北京师范大学低能核物理研究所的 $2\times 1.7\text{MV}$ 串列加速器上进行质子激发 X 荧光(PIXE)分析,得到 Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Se、Br 和 Pb 共 20 种元素的质量浓度.

3 结果与分析

3.1 元素质量浓度分析

这次沙尘天气过程集中在 2000 年 4 月 25 日白天.可以将这次采样记录划分为 2 个阶段:浮尘期(4-25A,4-25B)和浮尘后(4-25C,4-26),见图 1.取前 2 个阶段 20 种元素质量浓度平均值作为浮尘期元素的质量浓度,为 $181.49\mu\text{g}/\text{m}^3$.4 月 25 日晚间到 26 日早上,元素质量浓度迅速下降,仅为 $59.61\mu\text{g}/\text{m}^3$.说明此时沙尘过程已基本结束,取 4-25C 和 4-26 2 个阶段平均值作为浮尘后元素质量浓度,其值为 $47.49\mu\text{g}/\text{m}^3$.浮尘期是浮尘后元素质量浓度的 7 倍左右.

为了对比浮尘天气与其他沙尘事件期间元素质量浓度的高低,表 1 给出了相同地点采集到的北京地区不同沙尘时期的 20 种元素的总质量浓度.样品均采用相同的采样仪器及分析方法,因此元素质量浓度的比较具有可行性.从表

1 可以看出,浮尘期元素质量浓度比 2002 年 3 月的沙尘暴期相比小了 3 倍,与沙尘暴过后质量浓度值 $206.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 相近.与 2000 年 4 月 6 日发生的沙尘暴相比,浮尘期比沙尘暴期 $1536\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的质量浓度小了 8 倍还多,与沙尘暴过后 $338.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的质量浓度相近.浮尘后,元素质量浓度迅速下降,与 1999 年 3 月份非沙尘期相近,空气质量好转.可以看出,在相同的采样与分析方法下获得的本次浮尘天气的元素质量浓度要远远小于沙尘暴时期,而与沙尘暴过后的元素质量浓度相当.这与浮尘天气的形成过程较为相似,即沙尘暴过后,细粒子常悬浮于空中形成浮尘天气现象.

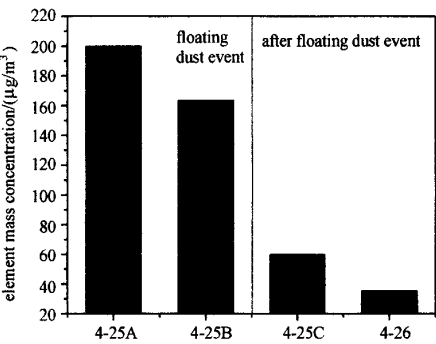


图 1 北京浮尘天气不同时段
20 种元素总质量浓度

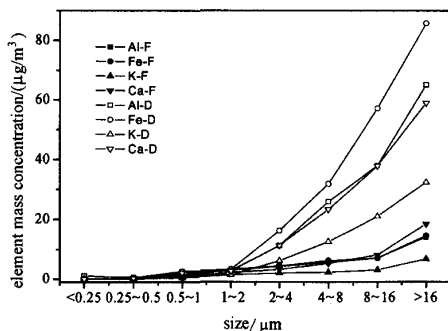
表 1 北京不同沙尘时期元素质量浓度比较

类型	时间	20 种元素总质量浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
浮尘期	2000 年 4 月 25 日 白天	181.49
浮尘后	2000 年 4 月 25 日晚间至 26 日	47.49
沙尘暴期	2000 年 4 月 6 日 ^[7]	1536
	2002 年 3 月 20 日 ^[6]	616.3
沙尘暴后	2000 年 4 月 7 日 ^[7]	338.7
	2002 年 3 月 20 日 ^[6]	206.6
非沙尘期	1999 年 3 月 ^[7]	48.5

3.2 元素谱分布

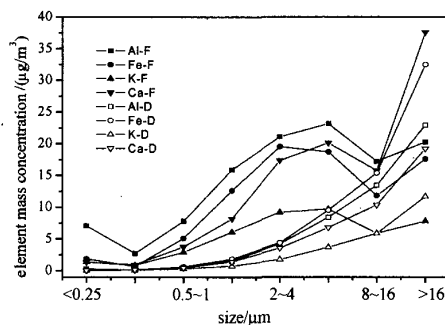
图 2 为 2002 年 3 月沙尘暴期与本次浮尘期两种沙尘天气类型的 Al、K、Ca 和 Fe 元素质量浓度谱分布图.从图 2 可以看出,4 种元素在谱分布趋势上非常一致.从小粒径到大粒径元素质量浓度逐渐上升,第 7 级最高,各级之间差距较小.Si、Ti 和 Mn 等分布图与此类似,说明这些元素的来源是相同的.

图 3 给出的是 2002 年 3 月沙尘暴后和本次浮尘过后 Al、Fe、K 和 Ca 元素质量浓度谱分布图.可看出沙尘暴后除元素质量浓度减小外,与沙尘暴期的元素质量浓度谱分布是一致的.而浮尘后与浮尘期的元素谱分布相比发生了变化.Al 和 K 的元素质量浓度最高峰值出现在 $4\sim 8\mu\text{m}$ 处;Fe 的元素质量浓度最高峰值则出现在 $2\sim 4\mu\text{m}$ 处;Si、Ti 和 Mn 元素的浓度谱分布也出现类似情况;而 Ca 元素虽然粒径大于 $16\mu\text{m}$ 的质量浓度仍最大,却在 $4\sim 8\mu\text{m}$ 有了一个次峰.



F 代表本次浮尘事件;D 代表 2002 年 3 月 20 日沙尘暴。

图 2 沙尘暴与浮尘期 Al、Fe、K、Ca 元素
质量浓度与粒径谱分布图



F 代表本次浮尘事件;D 代表 2002 年 3 月 20 日沙尘暴。

图 3 沙尘暴后与浮尘过后 Al、Fe、K、Ca 元素
粒径谱与质量浓度分布图

本次浮尘期元素质量浓度与 2002 年 3 月沙尘暴后相近,两者的粒度谱分布模式也相近,因此有可能 2002 年 3 月沙尘暴后由于风力减小,沙尘尚未沉降而有一个浮尘过程.浮尘过后,元素总质量浓度只有约 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$,其粒度谱分布基本代表本地大气清洁状况.浮尘后元素质量浓度谱最高峰往细粒子方向发展,可能暗示经历一次沙尘事件之后,大气中又进行着新一轮污染物的积累.

3.3 外来源和本地源贡献分析

浮尘天气过程中外来源与本地源各自占多大的比例也是一个值得探讨的问题.韩力慧等的研究表明^[8],气溶胶中 Mg/Al 的元素比值是区分北京地区矿物气溶胶本地源与外来源的有效元素示踪体系.设北京地区矿物气溶胶本地源的百分含量为 X ,外来源的百分含量为 Y ,假设源区物质形成矿物气溶胶在长距离输送中,其成分保持不变,可得:

$$(\text{Mg}/\text{Al})_{\text{气溶胶}} = X \times (\text{Mg}/\text{Al})_{\text{本地}} + Y \times (\text{Mg}/\text{Al})_{\text{外来}}, \quad (1)$$

$$X + Y = 1. \quad (2)$$

以北京地区地面扬尘 Mg/Al 的平均值 0.45 作为本地源代表,以内蒙古黄土和多伦沙土的 Mg/Al 的平均值 0.16 作为外来源代表,代入上式解方程则可得大气颗粒物中本地源与外来源的相对贡献量.

通过计算得出此次浮尘大气颗粒物中外来源的贡献量在粒径小于 $2 \mu\text{m}$ 细粒子中为 34.5%,在粒径大于 $2 \mu\text{m}$ 的粗粒子中为 82.8%,在采集的所有粒子中为 75.9%.小于 $2 \mu\text{m}$ 的细粒子的外来源贡献量较少,说明此次浮尘天气过程中细粒子主要为本地污染源,可能来源于燃煤等所产生的细小颗粒物、汽车尾气排放的污染物在大气中反应生成的二次气溶胶,或是北京地区地表随风扬起的细小粒子.粗粒子则主要为外来源,可能是上游沙尘暴颗粒物随气流输送至京.对 2000 年 4 月 6 日沙尘暴采集的所有粒子中的 Mg 、 Al 元素作同样计算,外来源的贡献量高达 98.3%,比 4 月 25 日浮尘天气中大气颗粒物的外来源贡献量高出 20 多个百分点.暗示了北京地区沙尘暴期间大气颗粒物可能大部分来自北京以外的地区.蒙古及冷涡移动路径上的沙漠戈壁地区是京区沙尘暴的重要源地^[9],而浮尘天气中大气颗粒物则可能有更多一些的本地污染源.因此对浮尘天气大气质量的控制不应忽视对本地环境的治理.

4 结果与讨论

本文对 2000 年 4 月一次典型的浮尘天气观测资料进行气溶胶化学特性的分析,总结如下:

(1) 将本次浮尘事件的元素质量浓度与北京地区其他沙尘事件相比较,可以看出,浮尘期元素质量浓度小于同一监测分析方法下已有的沙尘暴期元素质量浓度记录,浮尘过后与 1999 年 3 月非沙尘期的元素总质量浓度相近.可以大致看出,浮尘与其他类型的沙尘事件在元素质量浓度上是有差异的.浮尘过后,Al、Fe、K、Ca、Si、Ti、Mn 元素的谱分布图形状发生改变,可能暗示了新一轮的大气污染积累.

(2) 通过 Mg/Al 比值元素示踪,得出本次浮尘事件中粒径小于 $2 \mu\text{m}$ 的细粒子的外来源的贡献量为

34.5%,粒径大于 $2\mu\text{m}$ 的粗粒子的外来源的贡献量为82.8%。说明细粒子主要来源于本地污染,对浮尘天气大气质量的控制不应忽视对本地环境的治理。

参考文献

- [1] Yang DZ, Yan P, Xu XD. Characteristics of aerosols under dust and sand weather in Beijing. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13 (Supplement): 185 ~ 193 (in Chinese)
杨东贞, 颜 鹏, 徐祥德. 北京风沙天气的气溶胶特征. 应用气象学报, 2002, 13(特刊): 185 ~ 193
- [2] Fang XQ, Li LJ, Xie Y. Difference of air pollution during the duststorm process in Beijing. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2003, 39(3): 407 ~ 411 (in Chinese)
方修琦, 李令军, 谢 云. 沙尘天气过境前后北京大气污染物质量浓度的变化. 北京师范大学学报(自然科学版), 2003, 39(3): 407 ~ 411
- [3] 鲁然英, 田 良, 刘铁军, 等. 沙尘天气对我国城市环境空气质量的影响. 甘肃科技, 2005, 21(2): 1 ~ 4
- [4] Guo FH, Hao JF, Xuan J. Characteristic analysis of sandy and dust weather in Beijing Area. *Meteorological Monthly*, 2002, 28(8): 51 ~ 54 (in Chinese)
郭发辉, 郝京甫, 宣 捷. 北京风沙天气基本特征. 气象, 2002, 28(8): 51 ~ 54
- [5] Li QC, Xie P, Wu ZH. Synoptic and climatological analysis of sand-dust storms in Beijing area. *Meteorological Science and Technology*, 2003, 31 (6): 328 ~ 333 (in Chinese)
李青春, 谢 璞, 吴正华. 北京地区沙尘天气的气候特征分析. 气象科技, 2003, 31(6): 328 ~ 333
- [6] Zhang RJ, Arimoto R, An JL, et al. Ground observations of a strong dust storm in Beijing in march, 2002. *J Geophys Res*, 2005, 110, D18S06, doi:10.1029/2004JD004589
- [7] Zhang RJ, Wang MX, Pu YF, et al. Analysis on the chemical and physical properties of "2000.4.6" super dust storm in Beijing. *Chimatic and Environmental Research*, 2000, 5(3): 259 ~ 266 (in Chinese)
张仁健, 王明星, 浦一芬, 等. 2000年春季北京特大沙尘暴物理化学特性分析. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 259 ~ 266
- [8] 韩力慧, 庄国顺, 孙业乐, 等. 北京大气颗粒物污染本地源与外来源的区分——元素比值 Mg/Al 示踪法估算矿物气溶胶外来源的贡献. 中国科学(B辑), 2005, 35(3): 237 ~ 246
- [9] Li LJ, Gao QS. Source analysis of Beijing sand-dust in 2000. *Research of Environmental Sciences*, 2001, 14(2): 1 ~ 3 (in Chinese)
李令军, 高庆生. 2000年北京沙尘暴源地解析. 环境科学研究, 2001, 14(2): 1 ~ 3

Chemical characterization of dust in a floating dust event over Beijing

ZHOU Jia-Mao^{1,2,3} ZHANG Ren-Jian² SHI Lei² LIU Yang²

(1 Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China;

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China;

3 The Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The chemical characteristics of a floating dust event in April 2000 over Beijing were analyzed based on observation data. The total mass concentration of 20 elements in floating dust period was $181.49\mu\text{g}/\text{m}^3$, which is much smaller than that in dust storm with the same measurement and analysis method, bigger than that in non-dust period in Mar 1999. The size distributions of Al, Fe, K, Ca, Si, Ti, Mn were changed after the passage of floating dust, which may imply a new accumulation of atmospheric particles. The contributions of remote sources to coarse and fine particles in this case were 82.8% and 34.5%, respectively.

Key words floating dust, elemental mass concentration, size distribution, sources identification