

文章编号: 0455-2059(2006)03-0044-04

2002 年兰州市春季大气气溶胶特征分析

王 鑫, 奚晓霞, 郭治龙, 刘治国, 陈秀玲

(兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 利用 2002 年兰州地区春季背景大气、沙尘天气状况下大气气溶胶的实测资料, 得到了不同天气状况下大气气溶胶(TSP)的质量浓度和飘尘(PM₁₀)的粒径分布, 着重分析了不同天气状况下大气气溶胶的分布规律及其物理特征. 研究发现: TSP 中细粒子质量浓度沙尘暴期间比非沙尘暴期间相对减少; 背景大气条件下, 飘尘对人体健康影响比较严重.

关键词: 沙尘天气; 沙尘气溶胶; 粒径分布

中图分类号: P421

文献标识码: A

浮尘、扬沙和沙尘暴统称为沙尘天气, 沙尘天气主要发生在春季, 3, 4 月份尤为严重. 继 2000 年春季发生 10 多次频率高、范围广、强度大的沙尘天气后^[1], 2002 年又出现了数次大范围的沙尘天气. 2002 年 3 月 18~22 日, 伴随着强降温和强降水过程, 甘肃省爆发了当年第一次大范围、区域性强沙尘暴. 河西五市地、白银、兰州、定西、临夏、平凉等地出现了不同程度的沙尘天气, 白银、武威、皋兰、兰州等地出现了强沙尘暴天气, 其中鼎新和金昌为特强沙尘暴^[2].

大气气溶胶是由粒径不同的粒子组成的, 粒径小于 100 μm 的粒子称为总悬浮颗粒(TSP), 粒径小于 10 μm 的粒子称为飘尘. 不同粒径的粒子对人体健康的影响不同, 已发现城市大气中小于 10 μm 的颗粒物中含有多环芳香烃, 其中 95% 为致癌物和基因毒性诱变物, 对健康造成严重危害^[3,4], 小于 2 μm 的细粒子中富集多种有害物质, 并且可以通过呼吸道进入人体, 在不同的呼吸部位沉积, 被血液和人体组织吸收, 尤其是粒径为 0.10~0.25 μm 的粒子对大气能见度和人体健康影响最大, 因此对大气气溶胶粒子不同粒径的研究有重要意义.

本文通过对 2002 年兰州春季沙尘天气期间的大气气溶胶进行连续监测, 使用重量法测定了大气中总悬浮颗粒物(TSP)和飘尘的质量浓度, 使用安德森分级采样器测定不同粒径范围飘尘的质量浓度, 并对监测结果进行了分析与讨论, 为进一步

了解沙尘天气的成因及其物理特征等提供了一些依据.

1 资料和方法

1.1 采样地点

采样点位于兰州大学大气科学学院小二楼楼顶, 距地面 9 m.

1.2 采样方法

使用美国全自动 Partisol-plus 2025 型智能大气总悬浮颗粒物采集器, 对 2002 年兰州春季沙尘天气进行监测, 采样时间为 2002 年 3 月 2 日~4 月 15 日(在每次沙尘天气期间进行采样, 滤膜置于定常温湿环境中, 采样流量为 16.7 L/min, 每 2 h 采集 1 次样品, 得到 TSP 有效样品 63 个). 使用美国 Anderson 公司制造的 FA-3 型气溶胶粒度分布采样器进行采样, 采样时间为 11:00 到第 2 天 9:00(收集到有效样品 72 个), 流量为 28.3 L/min, 样品共分为 9 级, 从 0~8 级粒径分布为: 10~9.0, 5.8~9.0, 4.7~5.8, 3.3~4.7, 2.1~3.3, 1.1~2.1, 0.65~1.1, 0.43~0.65, 0~0.43 μm . 采用重量法测量大气 TSP 与 PM₁₀ 的质量浓度, 用采样前后滤膜的质量差除以采样体积, 即得到沙尘气溶胶的质量浓度. 考虑到数据间的可比性, 还要将采样的累积体积化为标准体积

$$PV/T = P_0V_0/T_0,$$

其中 P_0 , V_0 , T_0 分别是标准状况下的压强、体积和

收稿日期: 2004-12-27. **修改稿收到日期:** 2005-11-04.

基金项目: 国家重大基础研究发展规划项目(2005CB422001, G2000048703)和国家自然科学基金项目(40075025)资助.

作者简介: 王鑫(1980-), 男, 辽宁本溪人, 博士研究生, 研究方向为气候变化, e-mail: wangxin03@st.lzu.edu.cn.

奚晓霞(1960-), 女, 重庆人, 副教授, 研究方向为环境科学, e-mail: xixiaoxia@lzu.edu.cn, 通讯联系人.

温度, P, V, T 为当时的压强、累积体积和温度.

$$c_{TSP} = (W - W_0)/V_0,$$

$$c_{\text{各级飘尘}} = (W - W_0)/V_0 \Delta D,$$

其中 W_0, W 分别为采样前后滤膜的重量, ΔD 为各级所采集粒子的直径间隔.

2 监测结果分析与讨论

2.1 2002年兰州春季大气 TSP 质量浓度分析

2002年3月2日~4月15日, 出现沙尘天气8次(沙尘暴天气2次, 浮尘天气5次, 扬沙天气1次), 共8天, 占监测总天数的17.8%. 对采集的样品进行分析后发现, 除3月2日与3月29日的2次浮尘天气发生在上午外, 其他6次沙尘天气过程均发生在下午以及晚上, 也就是说除浮尘以外的大风、沙尘暴, 扬沙等几种天气现象日变化都比较明显. 王式功等^[5]也得到过类似的结论.

对每一次沙尘天气过程都进行连续监测, 把所得数据进行处理, 得到2002年兰州春季沙尘天气 TSP 质量浓度分布(图1). 在得到的有效样品中, TSP 平均质量浓度为 2.15 mg/m^3 , 与国家环境空气质量标准相比, 其质量浓度超过国家环境空气质量三级标准(0.50 mg/m^3), 是三级标准质量浓度的4.20倍, 超标率为79.4%. 最大日平均质量浓度为 2.79 mg/m^3 , 是国家环境空气质量三级标准(1.50 mg/m^3)的1.90倍. 监测到的大气背景、浮尘、扬沙、沙尘暴天气下 TSP 平均质量浓度存在较大差异, 分别为0.65, 3.33, 2.15, 5.06 mg/m^3 , 均超过国家 TSP 质量浓度三级标准. 兰州春季发生沙尘天气时, 大气中 TSP 质量浓度会明显升高, 大气污染极其严重, 空气中污染物主要以 TSP 为主. 浮尘天气时 TSP 质量浓度是背景大气时的5.12倍, 是扬沙天气的1.55倍, 沙尘暴天气时 TSP 质量浓度是扬沙天气时的2.35倍, 在沙尘暴天气过后兰州转为浮尘天气.

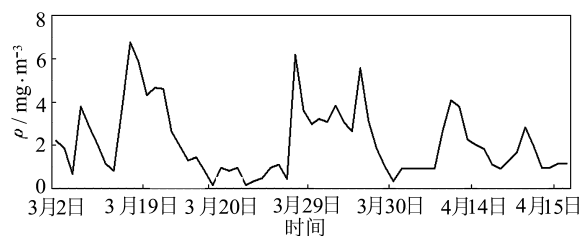


图1 2002年兰州春季 TSP 质量浓度分布

Fig. 1 Distribute of mass concentrations of TSP in 2002

造成其污染严重的主要原因与兰州地理环境有关. 兰州地处河西走廊东南方, 陇西黄土高原和祁连山东沿余脉相连接处, 北部临近巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠, 周边为黄河及其水系所连接, 形成哑铃型带状河谷盆地, 东西长35 km, 南北约5 km, 具特有的盆地型沿河带状气候. 根据气象资料显示, 兰州常年主导风向为东风, 年平均风速只有 1.6 m/s . 兰州风速小, 静风率高, 逆温层厚, 强度大, 大气层结稳定, 冬春季降水较少, 气候干燥, 植被覆盖率低, 地表土质疏松. 长时间的干旱少雨, 气温不断升高, 气压不断降低, 一旦有冷空气过境, 强烈的气压差产生大风天气, 为沙尘暴天气产生提供了动力起沙条件^[6]. 因此, 易受西面河西沙尘暴和浮尘天气的影响, 造成 TSP 浓度严重超标.

2.2 各种天气条件下 PM_{10} 质量浓度粒度分布

在背景天气条件下, 兰州地区 PM_{10} 的质量浓度的粒度分布呈双峰型, 主峰值在第8级, 次峰值出现在第3级, 而主峰值远远高于次峰值, 其中 $2.1 \mu\text{m}$ 以下的粒子质量浓度占总质量浓度的70.2%. 主要以细粒子(小于 $2.1 \mu\text{m}$)为主, 而细粒子可能主要来自于冬春季燃煤产生的 SO_2 和 NO_x 等有害物质^[7], 对人体健康的危害极大(表1).

浮尘天气条件下, 兰州地区 PM_{10} 的质量浓度的粒度分布呈3峰型, 0级与8级的峰值比较明

表1 各类沙尘天气和背景大气的飘尘质量浓度的粒度分布

Table 1 Segregated mass concentration with size of PM_{10} dust and sand aerosol under different weather conditions and background atmosphere mg/m^3

	0级	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级
背景(4月5日)	0.0286	0.0191	0.0382	0.0477	0.0286	0.0191	0.0477	0.1050	0.2101
沙尘暴(3月19日)	0.7171	0.5439	0.1732	0.2148	0.1282	0.0931	0.0104	0.0069	0.0035
沙尘暴(3月3日)	0.943	0.5911	0.2966	0.2975	0.2005	0.3720	0.4453	0.4835	1.2275
浮尘(3月2日)	0.733	0.133	0.1690	0.332	0.113	0.0972	0.0245	0.0088	0.0177
浮尘(3月17日)	0.117	0.2650	0.294	0.344	0.471	0.3434	0.234	0.113	0.0589
浮尘(3月26日)	0.2797	0.2429	0.1325	0.1399	0.0589	0.0221	0.0074	0.0074	0.0221
浮尘(3月29日)	0.5282	0.2113	0.0838	0.1093	0.1056	0.1202	0.2769	0.2076	0.5100
浮尘(3月30日)	0.5912	0.2922	0.0747	0.1563	0.1359	0.1087	0.1971	0.1359	0.2514

显,中间的次峰值则分布不均,主要分布在4级左右,总质量浓度为 $0.9128\sim 2.3263\text{ mg/m}^3$,平均质量浓度为 1.7020 mg/m^3 ,0级和8级的平均质量浓度分别为 0.3640 mg/m^3 和 0.1720 mg/m^3 ,分别占 PM_{10} 总质量浓度的21.4%和13.0%,其中 $2.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒子质量浓度占总质量浓度的25.9%,占飘尘总质量浓度的1/4.说明在浮尘天气条件下,细颗粒也有所增加,这可能是由于在产生沙尘暴期间由于来自于沙尘源区的大颗粒粒子在传输过程中不断沉降,细颗粒被大风吹起到高空中,向其下游产生沙尘暴地区沉降的结果.

沙尘暴天气条件下,兰州地区 PM_{10} 的质量浓度的粒度分布是双峰型,4月3日的沙尘暴天气呈现3峰型,其中细颗粒质量浓度非常高,沙尘暴期间的 PM_{10} 总质量浓度为 $1.8811\sim 5.5793\text{ mg/m}^3$,其平均值为 3.7402 mg/m^3 , $2.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下粒子占 PM_{10} 总质量浓度的5.5%.2次沙尘暴期间的细粒子质量相差很大,3月19日强沙尘暴的0级粗粒子质量非常高(图2),这是因为此次沙尘暴的沙尘源自沙

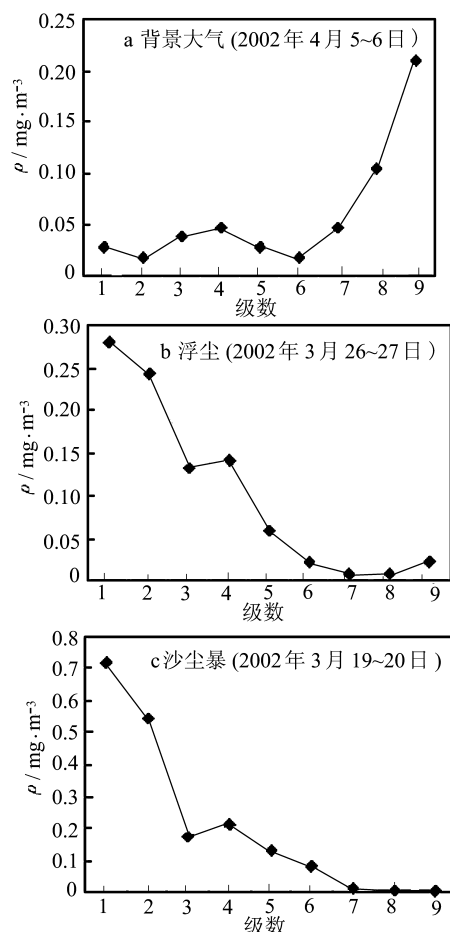


图2 兰州2002年不同天气下的 PM_{10} 质量浓度粒度分布特征

Fig. 2 Segregated mass concentration with size of PM_{10} under different weather conditions

漠地区,主要成分是沙砾,气溶胶粒子大都大于 $9\text{ }\mu\text{m}$ ^[8],因此,强沙尘暴较弱沙尘暴质量浓度增加部分主要是 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上的粒子.把3月19日的沙尘暴天气与4月5日的背景大气比较,可以明显看出,沙尘暴期间大气中的TSP主要以粗粒子为主, $2.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒子占 PM_{10} 总质量浓度的5.5%,而背景大气条件下则以细粒子为主, $2.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒子占 PM_{10} 总质量浓度的70.2%.据权建农等^[9]研究发现,沙尘暴期间TSP中细粒子质量浓度比非沙尘暴期间的质量浓度相对减少.

2.3 沙尘暴天气TSP质量浓度分析

采集了3~4月的沙尘暴样本,影响比较大的有4次,其中以2002年3月19~20日出现的沙尘暴天气最为典型,这次过程持续时间长,影响范围广,几乎覆盖了整个北方地区.这次沙尘暴产生的主要原因是由于受强冷空气和补充南下冷空气影响,并伴有蒙古气旋的产生,在沙尘天气发生前,低层气温的上升所导致的热力不稳定容易造成局地上升运动,促使了这次沙尘天气的发生与发展.

由图3可知,从19日15:30开始,兰州上空的TSP质量浓度迅速升高,到17:00左右质量浓度达到最大值,为 6.74 mg/m^3 ,是国家环境空气质量三级标准的13.5倍.此高峰值是这次沙尘暴天气过程中监测到的最低值的42倍,说明在沙尘暴到来时,空气污染极其严重.瞬时风力最大达到 50 m/s ,已远远超过强沙尘暴标准风速值.伴随着气温的迅速下降,在16:00开始下雪,起到了一定的净化效果.在19日采集的10个样品当中,样品呈现土黄色,表明此次沙尘主要来自兰州市区及其周围的黄土高原,主要成分为粗颗粒的黄土,其平均质量浓度达到 2.79 mg/m^3 ,均超过国家环境空气质量三级标准,超标率为100%.20日凌晨监测的8个样品中,平均质量浓度为 0.44 mg/m^3 ,低于国家环境空气质量三级标准,沙尘暴过后,空

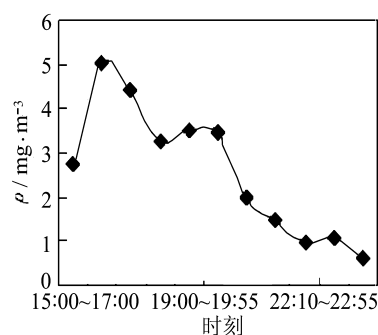


图3 2002年3月19日沙尘暴天气过程

Fig. 3 The process of dust storm on March 19, 2002

气中的大气气溶胶粒子明显下降,此次沙尘暴过程到20日凌晨7:00左右逐渐消失。沙尘暴过程有一次次峰值在19日19:55左右形成(图3),这可能主要与当时的局地大风天气有关(图4),强风将兰州局地沙尘吹起带入空中,使空气中的TSP质量浓度增加,形成了又一次峰值。

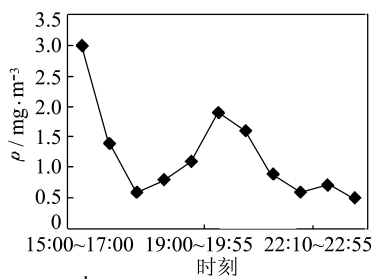


图4 2002年3月19日沙尘暴过程风速图

Fig. 4 The wind speed of dust storm on March 19, 2002

3 小结

监测到的背景大气、浮尘、扬沙、沙尘暴天气平均质量浓度存在较大差异,在背景大气、浮

尘、扬沙和沙尘暴天气下,沙尘气溶胶平均的TSP质量浓度分别为0.65, 3.33, 2.15, 5.06 mg/m^3 . 浮尘天气时TSP质量浓度是背景大气的5.12倍,是扬沙天气的1.55倍,沙尘暴天气时TSP质量浓度是扬沙天气时的2.35倍。

兰州大气 PM_{10} 粒度分布在背景大气、沙尘暴天气均为双峰型,而浮尘天气则呈3峰型分布,背景大气峰值出现在3级和8级,沙尘暴天气时出现在0级和3级,浮尘天气时的峰值主要出现在0级或1级和8级,次峰值主要出现在4级。兰州背景大气、浮尘、沙尘暴中,细粒子($<2.1 \mu\text{m}$)所占 PM_{10} 的比重分别为70.2%, 25.9%, 30.8%。

兰州春季发生沙尘天气时,大气中TSP质量浓度会明显升高,大气污染极严重,空气中污染物主要以TSP为主。沙尘暴期间,大气中TSP的最大质量浓度值为 $6.74 \text{ mg}/\text{m}^3$,超过国家环境空气质量三级标准,是三级标准($0.50 \text{ mg}/\text{m}^3$)的13.5倍,表明在沙尘暴期间,兰州大气中的TSP污染非常严重,在沙尘暴天气过后兰州转为浮尘天气。

参考文献

- [1] 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的分析[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(1): 259-266.
- [2] 牛若芸,薛建军. 2002年春季我国沙尘天气特征及成因分析[J]. 气象学报, 2003, 29(7): 43-48.
- [3] 李红,曾凡刚,邵龙义,等. 可吸入颗粒物对人体健康危害的研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(1): 85-87.
- [4] 汪安璞. 大气气溶胶研究新动向[J]. 环境科学, 1999, 18(1): 10-15.
- [5] 王式功,杨德录,周玉素,等. 我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨[J]. 中国沙漠, 1995, 15(4): 332-338.
- [6] 刘淑梅,王学良. 2001年兰州地区春季沙尘暴天气的对比分析[J]. 甘肃气象, 2002, 20(2): 5-8.
- [7] 胡波,张婕,张武,等. 应用积分浑浊度仪研究兰州城市冬季大气气溶胶[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2005, 41(3): 19-25.
- [8] 奚晓霞,郭治龙,姚卡玲,等. 兰州皋兰山顶春季大气气溶胶的监测与分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, 39(5): 101-104.
- [9] 权建农,奚晓霞,王鑫,等. 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.

Analysis of the sand-stormy weather in Lanzhou during the spring of 2002

WANG Xin, XI Xiao-xia, GUO Zhi-long, LIU Zhi-guo, CHEN Xiu-ling

(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Asian dust storms carry a large amount of particles from desert areas. The aim of this study is to retrieve data by sampling under different atmospheric conditions such as sand-blowing and dust storm in Lanzhou. The rule of particle size distribution under different conditions were also obtained with the conclusion that PM_{10} can be inhaled into the lung of people and other animals, doing harm to their health.

Key words: sand-stormy weather; sand aerosol; particle size distribution