

# 2002年春季沙尘暴对青岛大气气溶胶的影响

盛立芳<sup>1</sup>, 耿 敏<sup>2</sup>, 王园香<sup>1</sup>, 高会旺<sup>3</sup>, 石广玉<sup>4</sup>, 于 鹏<sup>5</sup>

(1. 中国海洋大学 物理海洋研究所, 山东 青岛 266003; 2. 青岛市气象台, 山东 青岛 266003; 3. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266003; 4. 中国科学院 大气物理研究所, 北京 100029; 5. 青岛市环境监测站, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 根据 TSP,  $PM_{10}$ , 分级粒子质量浓度观测资料, 分析了 2002 年春季发生于我国北方的 2 次沙尘天气过程对青岛大气环境的影响。在 3 月 15—19 日和 21—23 日的 2 次沙尘天气过程中 TSP 质量浓度分别为 0.488 和 0.721  $mg/m^3$ , 比平时增加了 2.8 和 4.1 倍。沙尘天气期间 2~7  $\mu m$  粒子为影响青岛的主要成分, 在第 2 次沙尘暴期间该粒径的粒子质量浓度增加了 30 倍, 其中 2.1~3.3  $\mu m$  粒子质量浓度达到 0.13  $mg/m^3$ 。根据地面气象资料和  $PM_{10}$  连续监测资料发现, 在地面风向转北之前, 高空气流携带的沙尘首先影响到青岛。

**关键词:** TSP;  $PM_{10}$ ; 分级采样器; 沙尘暴; 青岛

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2003)05-0011-03

## Effects of Dust Storms on Atmospheric Aerosols in Qingdao in Spring 2002

SHENG Li-fang<sup>1</sup>, GENG Min<sup>2</sup>, WANG Yuan-xiang<sup>1</sup>, GAO Hui-wang<sup>3</sup>, SHI Guang-yu<sup>4</sup>, YU Peng<sup>5</sup>

(1. Institute of Physical Oceanography, China Ocean University, Qingdao 266003, China; 2. Qingdao Meteorology Observatory, Qingdao 266003, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, China Ocean University, Qingdao 266003; 4. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 5. Qingdao Environmental Monitoring Station, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** Effects of two dust storms respectively in March 15~19 and March 21~23 on atmospheric aerosol concentrations are analyzed based on TSP,  $PM_{10}$  and size segregated aerosol concentrations obtained in the spring of 2002 in Qingdao. During the two dust storms, TSP mass concentration in Qingdao was 0.488  $mg/m^3$  and 0.721  $mg/m^3$ , being 2.8 and 4.1 times more than normal weather. The 2~7  $\mu m$  aerosols are main dust aerosol coming to Qingdao from northern dust source region. During the second dust storm, mass concentrations of particulates in the size range of 2~7  $\mu m$  increased to 30 times, with mass concentration of 2.1~3.3  $\mu m$  particulates as high as 0.13  $mg/m^3$ . Continuous observation of  $PM_{10}$  concentration and the surface meteorology data show that dust was transported to Qingdao city by upper air before the surface wind turned to north.

**Key words:** TSP;  $PM_{10}$ ; cascade impactor; dust storm; Qingdao

沙尘气溶胶是东亚对流层大气气溶胶的主要成分, 它主要来自干旱和半干旱地区, 通过沙尘暴等强烈天气过程造成广泛影响<sup>[1]</sup>, 影响范围包括交通、辐射、生态、健康等等。在沙尘气溶胶向下游的传播过程中, 较大粒子逐渐沉降, 而细粒子可以在空中漂浮很长时间, 并通过碰并、吸附等过程改变其理化性质。作为沿海城市, 青岛大气气溶胶具有海、陆共同特征, 研究青岛大气气溶胶成分对研究内陆气溶胶东移过程中的变化和海洋对气溶胶的影响非常有意义<sup>[2~5]</sup>。但是以往研究所采用的样品大多是在正常天气下采集的, 较少涉及沙尘天气所产生的浮尘对青岛大气气溶胶的影响<sup>[6]</sup>。沙尘暴天气下青岛大气气溶胶浓度变化的研究

还很缺乏, 多级气溶胶粒子的研究鲜见文献报道。

2002 年 3 月中下旬在我国北方发生了 2 次沙尘天气, 其中 3 月 21 日的沙尘天气是青岛近 10 年来强度最强、影响最严重的一次。在沙尘天气影响青岛前后, 笔者分别进行了 TSP 采样和分级粒子采样, 并利用所获得的 TSP 和分级粒子资料, 结合  $PM_{10}$  连续监测资料和常规气象观测资料分析这 2 次沙尘天气过程对青岛气溶胶的影响。

### 1 样品采集

TSP 和分级粒子采样在中国海洋大学校园内的八关山上进行, 观测点视野开阔, 人为干扰因素少(图 1)。其中 TSP 采样由日本柴田公司提供的大流量空气采样仪(HV-1000F)完成, 流量为 1 000 L/min, 采用 PF040 聚四氟乙烯膜。分级粒子采样由日本柴田公司的 Andersen 低流量撞击式分级空气采样器(AN-200)完成, 流量

为 28.3 L/min。粒子共分 9 级, 分别为  $>11$ ,  $11\sim7.0$ ,  $7.0\sim4.7$ ,  $4.7\sim3.3$ ,  $3.3\sim2.1$ ,  $2.1\sim1.1$ ,  $1.1\sim0.65$ ,  $0.65\sim0.43$ ,  $<0.43\text{ }\mu\text{m}$ 。采样器最后 2 级采用 2500QAT-UP 石英膜, 其他 7 级采用 PF050 聚四氯乙烯膜。采样时间分别在浮尘天气前后和浮尘天气中。大流量采样时间 3 月 2—5 日, 正常天气下 3 月 15—19 日, 第 1 次沙尘天气过程期间 3 月 21—23 日, 第 2 次沙尘天气过程期间。串级采样时间 3 月 8—14 日, 正常天气下 3 月 20—23 日, 第 2 次沙尘天气过程。采样连续进行, 采样前后将滤膜保存在装有硅胶的干燥器中, 待状态稳定后用电子天平称重, 得到灰尘的质量。

PM<sub>10</sub> 的监测结果由青岛市环境监测站提供, 监测点分别设在市南、市北、四方、李沧 4 个行政区内, 由美国 Met One 公司的 BAM-1020 型  $\beta$  射线测尘仪进行 24 h 连续监测, 获得每小时的 PM<sub>10</sub> 质量浓度。

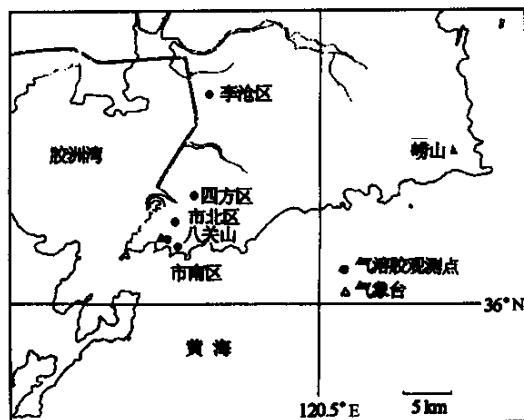


图 1 青岛气溶胶观测点位置示意图

Fig. 1 Map of aerosol sampling locations in Qingdao city

## 2 观测结果及分析

### 2.1 TSP

3 月 2—5 日青岛没有浮尘天气, TSP 质量浓度约为 0.172 mg/m<sup>3</sup>。第 1 次沙尘天气期间(3 月 15—19 日取样) TSP 质量浓度为 0.488 mg/m<sup>3</sup>。第 2 次沙尘天气比较强烈, 3 月 21—23 日 TSP 质量浓度达 0.721 mg/m<sup>3</sup>。2 次沙尘天气过程的 TSP 质量浓度约为正常天气下的 2.8 和 4.1 倍, 第 2 次过程强度大于第 1 次, 其原因见后面分析。

### 2.2 PM<sub>10</sub>

PM<sub>10</sub> 连续监测结果清楚地表明了 3 月 16—17 日, 20—22 日青岛遭受的 2 次沙尘天气过程。虽然 4 个区的 PM<sub>10</sub> 质量浓度变化幅度有所差异, 但都呈现出了相似的变化过程。3 月 16—17 日和 20—22 日 PM<sub>10</sub> 质量浓

度大幅度上升, 最大日平均质量浓度分别出现在 17 日和 21 日(图 2)。由观测数据可知, 与正常天气相比 17 日四区的 PM<sub>10</sub> 质量浓度上升幅度为 1.9~2.7 倍, 21 日上升了 3.8~4.0 倍。这 2 次过程都使青岛的大气环境质量超过正常标准的许多倍, 造成了重度污染。另外通过比较 PM<sub>10</sub> 和 TSP 的监测结果可以看出, 2 种仪器的监测结果具有一定的一致性, 青岛的浮尘天气主要是由粒径小于 10  $\mu\text{m}$  的粒子造成的。

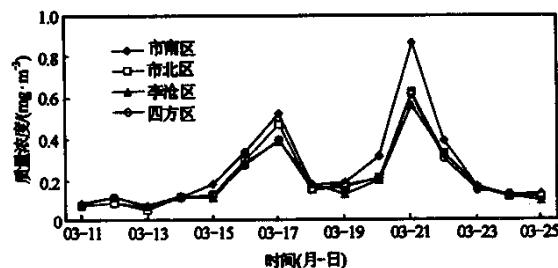


图 2 2002 年 3 月青岛 4 个行政区 PM<sub>10</sub> 日平均质量浓度演变

Fig. 2 Variation of daily averaged PM<sub>10</sub> concentration in four districts in March 2002 in Qingdao city

### 2.3 分级粒子

为了进一步弄清影响青岛大气环境的主要因子, 在沙尘暴过程前和过程中分别进行了分级粒子采样, 分析结果见图 3。图 3 反映出在沙尘暴天气到来之前, 细粒子是青岛大气气溶胶中的主要成分, 尤其是 0.65~1.1  $\mu\text{m}$  的细粒子具有最大质量浓度, 这一点符合城市气溶胶分布特点, 从青岛气溶胶长期监测资料中也能得到证实。在沙尘暴天气影响期间, 0.65~1.1  $\mu\text{m}$  粒子质量浓度变化很小, 2~7  $\mu\text{m}$  粒子的质量浓度

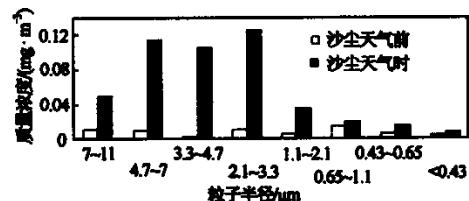


图 3 2002 年 3 月沙尘暴天气前后不同粒径粒子的质量浓度

Fig. 3 Size segregated mass concentrations before and after dust storm in March 2002

却增加了 30 多倍。以粒径为 2.1~3.3  $\mu\text{m}$  的粒子为例, 沙尘天气前其质量浓度约为 0.01 mg/m<sup>3</sup>, 在沙尘天气期间达到 0.13 mg/m<sup>3</sup>。7  $\mu\text{m}$  以上、2  $\mu\text{m}$  以下粒子质量浓度增加幅度相对较小, 但也是正常天气下的 5~

10 倍之多。根据沙尘暴源区的监测分析结果,沙尘暴天气下沙尘气溶胶质量浓度呈单峰型分布,并且倾向于较大粒子<sup>[8-9]</sup>,贡献较大的是 2  $\mu\text{m}$  以上的大粒子<sup>[10]</sup>。这一点可以从一定程度上解释青岛的观测结果。但是沙尘粒子源地的最终确定还需要天气形势分析、后向粒子追踪、元素分析等多种手段。

为了揭示气象条件与  $\text{PM}_{10}$  质量浓度之间的关系,图 4 给出 2 次浮尘天气期间市南区  $\text{PM}_{10}$  小时平均质量浓度和南-北向风速变化间的关系。2 次浮尘天气皆在 14:00 以后影响到青岛,1 h 之内使  $\text{PM}_{10}$  质量浓度增加了 2 倍,此后严重的浮尘天气一直持续了约 28 h,影响最严重时  $\text{PM}_{10}$  质量浓度在 1 h 之内较正常情况增加 10 倍以上。 $\text{PM}_{10}$  质量浓度的变化与风向变化间有很好的相关关系。浮尘天气出现之前,青岛主要受南风控制,空气质量良好,浮尘天气到来之后,风向变北,空气污染严重。2 次浮尘天气过程中,风速变化不同,浓度变化也不一样。图 4 还反映出在地面风向转换之前, $\text{PM}_{10}$  浓度已经开始上升,有可能是速度较快的高空气流挟带的浮尘先期而至。关于不同高度气流对沙尘输运的贡献,早有观测研究所证明<sup>[7]</sup>。在今后的研究中若能注意气象、气溶胶观测的同步进行,有可能会对不同距离传输来的粒子及其大小分布做出初步判断。

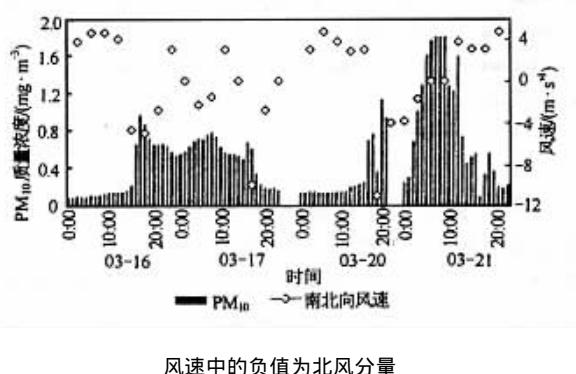


图 4 2002 年 3 月青岛(市南区)沙尘天气前后  $\text{PM}_{10}$  质量浓度和风速的变化

Fig. 4 Temporal Variation of  $\text{PM}_{10}$  concentration

and wind speed caused by dust weather in March 2002 in the south district of Qingdao city

应当指出的是当大气中沙尘浓度很高时, $\text{PM}_{10}$  实际质量浓度会超过所设定的仪器观测上限值,图 4 中 21 日 6:00—8:00  $\text{PM}_{10}$  质量浓度一直维持在 1.8  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,正是由于此原因造成的。

### 3 沙尘天气原因分析

利用 MICSAPS( Meteorological Information Compre-

hensive Analysis and Process System) 系统提供的高、低空气象观测资料和气象场分析结果可以发现,这 2 次过程都是由于蒙古气旋的东移造成的,由于 2 次气旋过程的强度不同,浮尘天气对青岛的影响也不同,后一过程对青岛影响较大,它在我国西北地区引起强沙尘暴过程,个别地区甚至出现黑风天气。

3 月 14 日 8:00 500 hPa 天气图显示出欧亚范围内受两槽一脊型天气形势控制(图略),脊位于贝湖至蒙古中部,一个槽位于脊的西部,西西伯利亚至巴湖;另一槽位于东北北部至内蒙北部,我国北方大部分地区为西北气流所控制。地面冷高位于新疆北部,蒙古国中部为蒙古气旋所控制。受此气旋的影响 14 日 14:00 在蒙古中部和内蒙的河套地区出现沙暴天气。此后随着蒙古气旋的东移,浮尘天气随之出现在内蒙东部和我国东北地区,16 日 17:00 地面冷高东移至蒙古西部,锋面位于我国东北到渤海湾一带,受锋后偏北气流的影响,浮尘向南扩散到山东半岛一带。随后冷高快速向东南方向移动,东部槽加深,锋面影响到青岛附近,受锋后北风影响 17 日青岛仍为浮尘天气,到 17 日夜随着高空槽东移入海青岛的浮尘天气也随之结束。3 月 18 日 8:00 500 hPa 天气图表明欧亚范围内仍为两槽一脊型,脊位于贝湖至蒙古中部,东部槽位于我国东北西部国境线上,天气形势与 3 月 14 日 8:00 类似,但是系统强度较以前增强了许多。18 日 17:00 在新疆西部和蒙古中部分别有地面冷高和气旋生成,24 h 之后高、低亚系统在向东南方向移动的同时其强度也有了进一步增强,冷高中心气压增加了 13 hPa,达到 1 040 hPa,低压中心降低 3 hPa,达 997 hPa。冷高前部锋面呈南北向,锋后西北风速较大,达 20 m/s,锋前低压较深。气旋在蒙古国境内向东移动过程中,低压带中的沙尘暴天气也随之向东移动。在内蒙等地受沙尘暴影响的同时,由于气旋路径偏北,青岛主要受副高西侧西南气流的控制。20 日下午,东移蒙古气旋所引导的西北气流影响到青岛,浮尘天气开始影响青岛(图 5)。

### 4 结论

a. 青岛受沙尘天气的影响程度与天气系统有关,2002 年 3 月沙尘天气期间 TSP 质量浓度上升 2.8~4.1 倍。

b. 影响青岛的沙尘气溶胶动力学直径主要在 2~7  $\mu\text{m}$  之间,该尺度粒子质量浓度增加了 30 多倍。

c. 由于高空气流的传输速度较快,地面  $\text{PM}_{10}$  质量浓度有可能在地面风向转北之前开始增加。

(下转第 17 页)

湖南省产煤的含硫量为2%~4%，个别地区的煤含硫量高达8%，是湖南省酸雨面积大、降水pH值低、酸雨频率高的主要原因。

### 3.3.2 机动车尾气的影响

湖南省汽车数量每年以近10%的速度增加。机动车尾气中的 $\text{NO}_x$ 对湖南酸雨的贡献率正在缓慢增加。

### 3.3.3 工业污染物的影响

湖南省的工业污染物排放中，有碱性物质进入大气，如株洲、岳阳两市的氮肥工业排放的氨，湘潭市建材生产中排放的含钙物质，可以局部降低降水的酸性。这可能是这3个城市酸性物质排放量大，降水pH值反而偏高的原因。

## 4 结论

a. 湖南省降水酸性强的地区主要分布在以长沙、湘潭和株洲为中心的中南部和以怀化、洪江为主的西南部，降水pH值小于5.0；酸性较弱的则分布在以邵阳为中心的湘中地区，降水pH值在5.6左右。

b. 湖南省2000年降水的 $c(\text{SO}_4^{2-})/c(\text{NO}_3^-)$ 为2.11~5.88，表明湖南为典型的硫酸型酸雨。除怀化和洪江两地外，降水阴阳离子基本平衡，导致怀化和洪江两地离子不平衡的原因可能是大气中酸性物质的排放量大大超过具有中和作用的碱性物质。

（上接第13页）

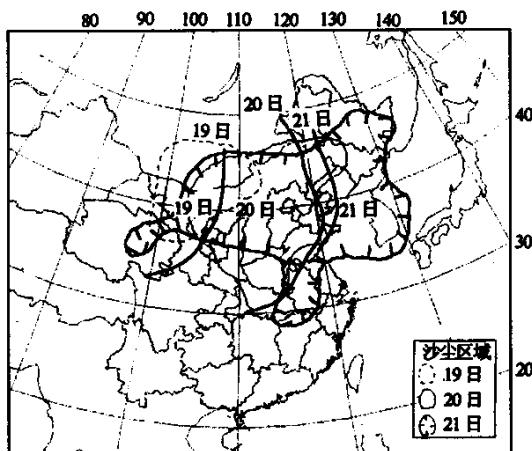


图5 2002年3月锋面移动及沙尘暴影响范围示意图

Fig. 5 The schematic map of the front movement and incidence of dust storm in March 2002

## 参考文献：

- 王明星,张仁健.大气气溶胶研究的前沿问题[J].气候与环境研究,2001,16(1):119~124.
- 湖南省酸雨的形成,局地源排放的致酸前体物是主要原因,土壤、地形、气候和中远距离输送的影响不能忽视,笔者认为能源结构、机动车和工业污染物等社会因素在酸雨的成因中具有决定性的作用。
- 参考文献:
- [1] 中国环境年鉴编委委员会.中国环境年鉴[Z].北京:中国环境年鉴出版社,1998,234~235.
- [2] 吴甫成,吴群为,王小燕,等.湖南酸雨污染特征[J].环境科学学报,2000,20(6):807~809.
- [3] Kuylenstierna J C I,Cambridge H,Cinderby S,et al.Terrestrial ecosystem sensitivity to acidic deposition in developing countries[J].Water Air Soil Pollut.,1995,85:2319~2324.
- [4] 张林波,曹洪法,沈英娃,等.苏、浙、皖、闽、湘、鄂、赣7省酸沉降对农业危害[J].环境科学,1998,18(1):12~15.
- [5] Qin Guoying,Huang Meiyuan.A study on rain acidification processes in the cities of China[J].Water Air Soil Pollut.,2001,130:163~174.
- [6] 蒋益民.湖南省酸雨污染的成因、危害及防治对策的初步研究[D].长沙:湖南大学,2001.
- [7] 唐孝炎.大气环境化学[M].北京:高等教育出版社,1989.
- [8] 刘炳江,郝吉明,贺克斌,等.中国酸雨和二氧化硫污染控制区划及实施政策研究[J].中国环境科学,1998,18(1):1~7.
- [9] 王文兴,丁国安.中国降水酸度和离子浓度时空分布[J].环境科学研究,1997,10(2):1~6.
- [10] 齐立文,王文兴.我国低纬度、亚热带地区的降水化学及其雨水酸化趋势分析[J].环境科学研究,1995,15(1):12~20.
- [11] 蒋大和.关于我国酸雨的污染物输送问题[J].中国环境科学,1996,16(4):246~253.
- [12] 刘咸德,封跃鹏,贾红,等.青岛市大气颗粒物来源的定量解析——化学质量平衡方法[J].环境科学研究,1998,11(5):51~54.
- [13] 王珉,胡敏.青岛沿海大气气溶胶中海盐源的贡献[J].环境科学,2000,21(5):83~85.
- [14] 王珉,胡敏.青岛沿海地区大气气溶胶浓度与主要无机化学组成[J].环境科学,2001,22(1):6~9.
- [15] Zhang Daizhou Shi Guangyu Jwasaka Yasunobu,et al.Mixture of sulfate and nitrate in coastal atmospheric aerosols:individual particle studies in Qingdao(36°04'N,120°21'E),China[J].Atmos Environ,2000,34:2669~2679.
- [16] 李安春,陈丽蓉,王丕洁.青岛地区一次浮尘过程的来源及向海输尘强度[J].科学通报,1997,42(18):1990~1992.
- [17] 邱金桓,孙金辉.沙尘暴的光学遥感及分析[J].大气科学,1994,18(1):1~10.
- [18] 牛生杰,章澄昌,孙继明.贺兰山地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究[J].大气科学,2001,25(2):243~252.
- [19] Yabuki S,Kanayama S,Fu F F,et al.Physical and chemical characteristics of aeolian dust collected over Asian dust source regions in China-comparison with atmospheric aerosols in an urban area at Wako,Japan[J].J Arid Studies,2002,11(4):273~289.
- [20] 牛生杰,孙继明,陈跃,等.贺兰山地区春季沙尘气溶胶质量浓度的观测分析[J].高原气象,2001,20(1):82~87.