

文章编号:1000 - 6060(2002)01 - 0165 - 05

# 塔里木盆地区域沙尘气溶胶特征分析

高卫东 魏文寿 刘明哲

(中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011)

**摘要** 沙尘天气是塔里木盆地地区常见的天气现象,对大气沙尘气溶胶的分析表明,沙尘暴期间,沙尘气溶胶浓度远大于非沙尘暴期间。由于两地地理环境的差异,沙尘暴期间,策勒站细颗粒质量百分比呈下降趋势;阿克苏站细颗粒质量百分比呈上升趋势。说明沙尘暴期间由于当地沙尘源丰富,细颗粒物较多,当风速达到起沙风速时,细颗粒物迅速被携带到高空,成为沙尘气溶胶的主要来源。阿克苏站大气气溶胶中 Al 等元素在不同高度的谱分布呈单峰型,浓度最大值出现在 4.7 - 7.0 $\mu\text{m}$  范围内,说明当地大气气溶胶颗粒主要来源于地表沙源。富集因子分析表明,阿克苏站和策勒站沙尘暴和扬尘天气的各地壳元素含量均高于浮尘和背景大气,而且能见度愈小,高出的比例愈大;各种沙尘天气发生时,均以亲地元素的浓度为最高。

**关键词** 塔里木盆地 气溶胶 TSP 浓度 谱分析 富集因子分析

**中图分类号** P425.5<sup>+</sup>5 **文献标识码** A

塔里木盆地位于亚洲大陆腹地,由于盆地距离海洋较远,四面高山环绕,地形比较闭塞,盆地内部干旱少雨,植被稀少,流沙广布,沙漠面积约占盆地面积的 60%<sup>[1]</sup>。因此,独特的气候条件和地理环境使塔里木盆地成为重要的沙尘暴发生源区<sup>[2]</sup>。

沙尘天气是塔里木盆地地区常见的天气现象,以春季居多,主要集中在 4 - 6 月份,沙尘是当地大气气溶胶的主要来源,沙尘暴特别是强沙尘暴天气出现时,大量的沙尘漂浮在大气中并受大气环流的影响,可以影响到我国的华北和华东地区,甚至更远。

大气中的大量沙尘,不仅影响着当地的环境、交通、工农业生产,而且沙尘和沙尘中携带的大量的有毒物质、细菌和病毒,还会给人类的健康造成不良影响<sup>[3]</sup>。根据中日沙尘暴合作项目对大气气溶胶的观测分析结果,作者对塔里木盆地地区的沙尘气溶胶的物理化学性质进行分析,以便进一步分析沙尘暴造成的环境影响。

## 1 沙尘气溶胶样品的采集<sup>[4]</sup>

中日沙尘暴合作项目分别在中国科学院阿克苏水平衡站和策勒治沙站安装了 Andersen 大气气溶胶

采样仪,其粒子采集粒径分为九级(单位  $\mu\text{m}$ ): < 0.43, 0.43 - 0.65, 0.65 - 1.01, 1.01 - 2.1, 2.1 - 3.3, 3.3 - 4.7, 4.7 - 7.0, 7.0 - 11.0, > 11.0。阿克苏水平衡站仪器安装在本站 34m 高的气象观测塔上,塔的 7m 高台和 17m 高台安装大流量空气采样仪(Sibata HV1000)和小流量 Andersen 气溶胶采样仪(Sibata AN200)各一台;策勒治沙站仪器安装在站内二楼楼顶。2001 年 3 ~ 8 月对塔里木盆地西缘南缘进行了大气气溶胶的采集,采集次数是沙尘暴期间,每月采集 2 次,非沙尘暴期间,每月采集 1 次。

## 2 沙尘气溶胶样品的分析

样品采集后立即称重,测量仪器采用日本精密电子天平,称重后的样品被立即放入清洁的聚乙烯封口袋中,所有过程均严格控制,防止一切人为污染。化学分析和测试主要在日本理化所进行,分析过程如下:把样品的 1/4 放入去离子纯水中,进行 20 分钟超声波振荡,使样品水溶性成分充分溶解,然后对水溶液进行离子浓度分析, $\text{NH}_4^+$  离子浓度用靛酚法测定,其它阳离子和  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  等离子用离子色谱分析法测定,去除水溶性离子后剩余的水不溶性成分

收稿日期:2001 - 11 - 16; 修订日期:2002 - 03 - 20

基金项目:本项目为中国科学院知识创新工程项目(No. kzcx2 - 305 and kzcx1 - 10 - 07)。

作者简介:高卫东 山东济宁人,新疆生态与地理研究所读硕士研究生,专业方向:环境科学, Tel:0991 - 3837274 E-mail:gaoweidong@westxj.net

被放入醋酸溶液中去掉碳酸盐,然后将酸不溶性成分放入装有 HF - HClO<sub>4</sub> - HNO<sub>3</sub> 组成的混合酸的聚四氟乙烯高压釜中并加热到 220 ,使酸不相溶成分完全分解,然后用感应耦合等离子体原子发射分光光度计(Nippon jarrel - Ash ICAP - 575II 和 SEIOSp7000 A)测量 Na、Mg、Al、K、Ca 和 Fe 等主要元素的含量。

### 3 分析结果与问题讨论

#### 3.1 沙尘气溶胶 TSP 特征分析

通过对采集的气溶胶样品的分析,阿克苏站 17m 高台和 7m 高台沙尘暴期间各粒径范围的大气气溶胶浓度都远大于非沙尘暴期间的浓度(图 1),约 5 倍左右,策勒站可达到 7 倍左右。沙尘暴期间的 TSP 浓度远高于非沙尘暴期间,阿克苏站沙尘暴期间(2001 年 4 月 15 日)的 TSP 浓度达到 2 044.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;非沙尘暴期间(2001 年 3 月 23 日)的 TSP 浓度只有 332.19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,前者是后者的 6 倍多;策勒站沙尘暴期间的(2001 年 4 月 20 日) TSP 浓度则高达 19 865.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,3 月 24 日非沙尘暴 TSP 浓度为 212.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,相差 93 倍多。沙尘暴期间,两站的 TSP 浓度差异显著,如前面所述策勒站为阿克苏站的 9.8 倍。

#### 3.2 不同粒径气溶胶百分比含量分析

浮尘天气条件下,粒径较大的颗粒物的比例增加明显,如策勒浮尘期间(2001 年 3 月 23 日)粗颗粒(>7.0 $\mu\text{m}$ )的质量百分比含量比非沙尘天气期间(2001 年 3 月 20 日)增加了 6%,但其峰值仍为 4.7 ~ 7.0 $\mu\text{m}$ 。在沙尘暴期间,大气负荷增大,粗颗粒质

量浓度开始大于细颗粒,阿克苏站各颗粒浓度峰值仍为 4.7 ~ 7.0 $\mu\text{m}$ (图 2),但是策勒站不同粒径颗粒质量浓度的峰值发生了改变,颗粒质量浓度最大值为 >11.0 $\mu\text{m}$ (图 3)。同样两地细颗粒百分比含量也存在显著差异,策勒站沙尘暴期间(2001 年 3 月 18 日)细颗粒(<1.01 $\mu\text{m}$ )质量百分比含量比非沙尘暴期间(2001 年 3 月 20 日)减少 0.12%,细颗粒质量百分比呈下降趋势;沙尘暴期间(2001 年 4 月 15 日),阿克苏站细颗粒(<1.01 $\mu\text{m}$ )质量百分比含量比非沙尘暴期间(2001 年 3 月 26 日)增大 0.8%(图 4),气溶胶的细颗粒质量百分比含量的增加说明,沙尘暴期间由于当地沙尘源丰富,地表细颗粒物较多,极细颗粒百分比含量可达 60%(表 1),在起沙风的作用下,细颗粒物迅速被携带到高空,成为沙尘气溶胶的主要来源;而策勒距沙漠较近,沙尘源丰富,风力较强,细颗粒物较容易被风携带到大气中,加之当地大风天气较多,细颗粒物被搬运后,地表介质中细颗粒物百分比含量比阿克苏地区要低一些<sup>[5]</sup>。所以沙尘暴发生时,策勒大气气溶胶中粗颗粒物百分比含量增加得快而阿克苏地区细颗粒质量百分比含量增加得快。

表 1 塔克拉玛干地区沙漠沙粒组成(%)

Tab.1 The granular composition of sand in Taklamakan Desert (%)

	粗沙	中沙	细沙	极细沙	粉沙
平均值	0.02	4.54	34.15	41.97	19.32
极大值	0.4	43.1	77.9	67.7	49.1
极小值	—	—	4.9	5.9	3.3

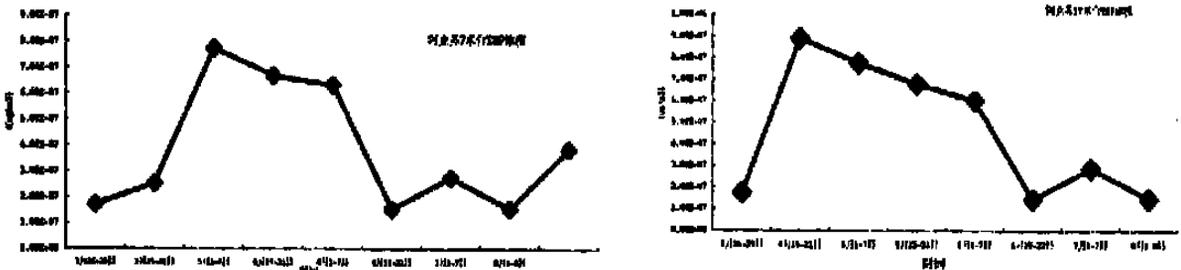
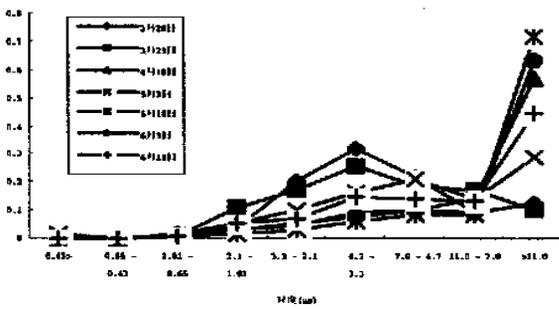


图 1 阿克苏不同高度沙尘气溶胶 TSP 浓度分布

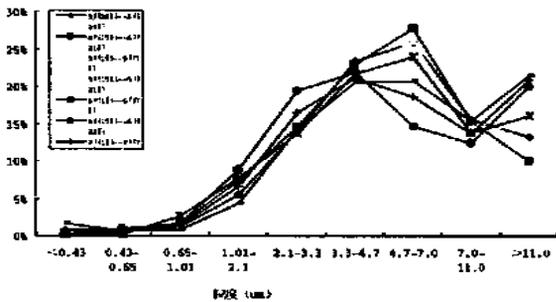
Fig. 1 Distribution of the TSP concentration in sand dust aerosol at the different heights over Aksu Station



注:4月18日、5月3日、5月18日、6月3日为沙尘暴天气

图2 策勒站不同粒径沙尘气溶胶谱分布图

Fig.2 Spectrum distribution of sand dust aerosol particles in the different sizes over Cele Station



注:4月15日、5月1日为沙尘暴天气

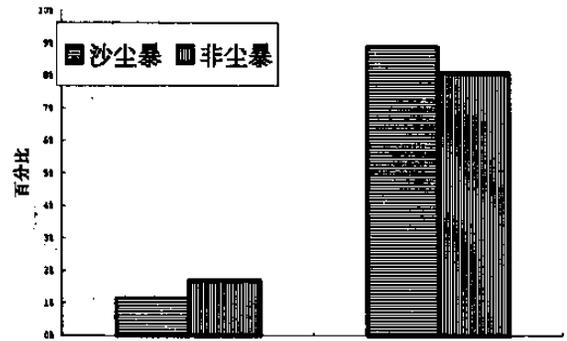
图3 阿克苏站不同粒径沙尘气溶胶谱分布图

Fig.3 Spectrum distribution of sand dust aerosol particles in the different sizes over Aksu Station

### 3.3 沙尘气溶胶元素浓度的谱分布<sup>[6,7]</sup>

大气气溶胶元素随粒径的分布可以在一定程度上反映其元素来源,图5是阿克苏站,2001年6月25

日,Al等元素在不同高度的谱分布图,谱分布呈单峰型,浓度最大值出现在4.7~7.0 $\mu\text{m}$ 范围内,说明当地大气气溶胶颗粒主要来源于地表沙源,7m台和17m台的各元素浓度十分相似,没有因高度的变化而改变,气溶胶的总浓度比策勒站要低的多。



注:1代表策勒,2代表阿克苏

图4 沙尘暴和非沙尘暴期间细颗粒物含量百分比对比

Fig.4 Comparison between the percentage concentrations of fine particles during a sandstorm and a period without sandstorm

### 3.4 大气气溶胶元素特征分析<sup>[8,9]</sup>

以Fe、Na、Ca、K对Al的比值表征塔克拉玛干沙漠地区大气气溶胶的元素特征,目的是将不同气象要素及排放量差异,不同传输过程的差异归一化。Al作为含量标尺比较合理,其含量比例不同地区差异不大。结果如表2其分析结果与张小曳等<sup>[8]</sup>的分析结果是一致的,说明该地区是沙尘气溶胶的主要源区之一。

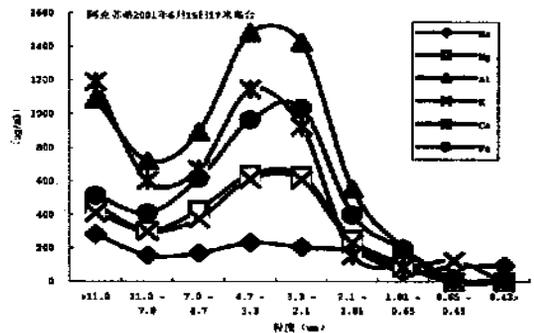
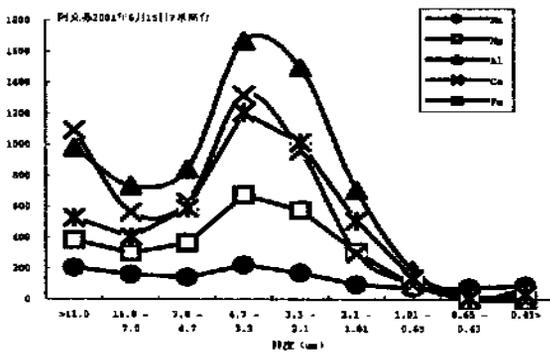


图5 阿克苏站沙尘气溶胶不同元素谱分布

Fig.5 Spectrum distribution of the different elements in sand dust aerosol particles over Aksu Station

### 3.5 富集因子分析

为了讨论不同地区气溶胶中元素浓度的变化特征,可定义一元素的富集因子  $Ef_x$  [4,6,8]:

$$Ef_x = \frac{\begin{matrix} C_x \\ C_r \end{matrix}}{\begin{matrix} C_x \\ C_r \end{matrix}} \begin{matrix} \text{质粒} \\ \text{参考} \end{matrix}$$

式中:  $C_x$  是所研究的元素浓度,  $C_r$  为参考元素浓度,下标“质粒”表示气溶胶,“参考”表示参考元素。为使富集因子能反映出所研究元素在沙尘气溶胶中所占的份量,参考元素和参考物质一般选择在地壳物质中含量丰富,受人为污染影响小的元素,常用的有 Al、Ti、Fe 等,本文中选用 Al 作为参考元素。以地壳平均为参考物质计算的富集因子称为相对于地壳的富集度,以土壤为参考物质计算的富集因子称为相当于土壤尘的富集度。阿克苏站 Na、Mg、K、

表 2 阿克苏站大气气溶胶样品元素特征

Tab. 2 The characteristics of the elements in the atmospheric aerosol over Aksu Station

粒径(um)	Na/ Al	Mg/ Al	K/ Al	Ca/ Al	Fe/ Al
>11.0	0.21	0.39	0.32	1.11	0.54
11.0 - 7.0	0.22	0.41	0.36	0.77	0.55
7.0 - 4.7	0.17	0.44	0.34	0.75	0.70
4.7 - 3.3	0.13	0.41	0.33	0.79	0.72
3.3 - 2.1	0.12	0.39	0.34	0.64	0.68
2.1 - 1.01	0.14	0.43	0.37	0.42	0.72
1.01 - 0.65	0.39	0.49		0.52	0.72
0.65 - 0.43	14.9				1.90
<0.43	1.26				0.48

表 3 阿克苏站大气气溶胶主要元素富集因子

Tab. 3 The richly concentrating factors of the main elements in the atmospheric aerosol over Aksu Station

元素	( $C_x/C_r$ )质粒	( $C_x/C_r$ )地壳	$E_f$
Na	0.49	0.31	1.59
Mg	0.57	0.23	2.50
K	0.38	0.31	1.24
Ca	1.11	0.44	2.51
Fe	0.59	0.57	1.03

Ca、Fe 五元素的富集因子均在 1~3 之间(见表 3),表明这些元素主要来源于地表岩石的风化物,并且阿克苏站和策勒站沙尘暴和扬尘天气的各地壳元素含量均高于浮尘和背景大气,而且能见度愈小,高出的比例愈大,各种沙尘天气发生时,均以亲地元素的浓度为最高。

## 4 结语

(1) 沙尘暴期间的沙尘气溶胶浓度远大于非沙尘暴期间;沙尘暴期间,策勒沙尘气溶胶 TSP 浓度远大于阿克苏沙尘气溶胶 TSP 浓度。

(2) 沙尘暴期间,大气负荷增大,粗颗粒质量浓度开始大于细颗粒,阿克苏站各颗粒浓度峰值仍为 4.7 - 7.0 $\mu\text{m}$ ,但策勒站不同粒径颗粒质量浓度的峰值发生了改变,颗粒质量浓度最大值为 >11.0 $\mu\text{m}$ 。

(3) 由于地理环境的差异,沙尘暴期间,策勒站细颗粒质量百分比呈下降趋势;阿克苏站细颗粒质量百分比呈上升趋势。

(4) 阿克苏站气溶胶中 Al 等元素在不同高度的谱分布呈单峰型,浓度最大值出现在 4.7~7.0 $\mu\text{m}$  范围内,7m 台和 17m 台的各元素浓度十分相似。表明当地大气气溶胶颗粒主要来源于地表沙源。

(5) 富集因子分析表明,阿克苏站大气气溶胶中 Na、Mg、K、Ca、Fe 五元素的富集因子均在 1~3 之间,表明这些元素主要来源于地表岩石的风化物;阿克苏站和策勒站沙尘暴和扬尘天气的各地壳元素含量均高于浮尘和背景大气,而且能见度愈小,高出的比例愈大;各种沙尘天气发生时,均以亲地元素的浓度为最高。

## 参 考 书 目

- [1] 周兴佳,李崇舜,钱亦兵.新疆沙漠环境的劣变、危害及对策[A].新疆生态环境研究[C].北京:科学出版社,1989,111~133.
- [2] 胡汝骥,樊自立,王亚俊等.近 50a 新疆气候变化环境影响评估[J].干旱区地理,2001,20(1):25~28.
- [3] 张仁健,王明星,张文等.北京冬春季气溶胶化学成分及其谱分布研究[J].气候与环境研究,2000,5(1):6~12.
- [4] 牛生杰,张澄昌.贺兰山地区春季沙尘气溶胶的化学组分和富集因子分析[J].中国沙漠,2000,20(3):264~268.
- [5] 赵元杰,王让会.塔里木河中游土地沙漠化与环境因子关系研究[J].干旱区地理,1999,18(1):17~21.
- [6] 张澄昌,周文贤.大气气溶胶教程[M].北京:气象出版社,1995,13~65.
- [7] 罗云峰,吕达仁,何晴等.华南沿海地区太阳直接辐射、能见度及大气气溶胶特征分析[J].气候与环境研究,2005(1):36~44.
- [8] 张小曳,张光宇,朱光华等.中国源区粉尘的元素示踪[J].中国科学(D辑),1999,26(5):423~430.
- [9] 庄国顺,郭敬华,袁蕙等.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,2001,46(2):191~195.

## ANALYSIS ON THE REGIONAL CHARACTERISTICS OF SAND-DUST AEROSOL OVER TARIM BASIN

GAO Wei-dong WEI Wen-shou LIU Ming-zhe

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

### Abstract

Sand-dust storms are common in Tarim Basin, Sand and dust are the main materials of the atmospheric aerosol. The analysis on the collected samples of aerosol shows that the atmospheric TSP content during the sand-dust storms is much higher than that during the periods without duststorms. During the duststorm on April 15, 2001, the atmospheric TSP content was  $2,044.33\mu\text{g}/\text{m}^3$  over Aksu Station, during the period without duststorm (March 23, 2001), however, it was  $332.19\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; during the duststorm on April 20, 2001, it was  $19,865.46\mu\text{g}/\text{m}^3$  over Cele Station, whereas it was only  $212.7\mu\text{g}/\text{m}^3$  during the period without duststorm (March 24, 2001).

The proportion of the coarse particles in aerosol increases evidently during sand-dust storms. For example, the percentage by weight of the coarse particles ( $>7.0\mu\text{m}$ ) in aerosol increased for 6% during the sand-dust storm on March 23, 2001 than that without duststorm (March 20, 2001) over Cele Station, the peak values varied in a range of  $4.7\sim 7.0\mu\text{m}$ . The atmospheric load increased during the sand-dust storm, the weight content of the coarse particles was higher than that of the fine ones, the peak values of the particles in the different sizes did not change over Aksu Station, but they changed to  $>11.0\mu\text{m}$  over Cele Station. The percentages of the fine particles are obviously different between the Cele and Aksu stations. During the sand-dust storm on March 18, 2001, the percentage by weight of the fine particles in aerosol over Cele Station was 0.12% less than that without duststorm (March 20, 2001); during the sand-dust storm on April 15, 2001, the percentage by weight of the fine particles in aerosol over Aksu Station was 0.8% higher than that without duststorm (March 26, 2001). The increase of the percentage of fine particles in aerosol over Aksu Station during sand-dust storms shows that the local sand and dust materials, especially the fine particles, are abundant and easy to be carried into the atmosphere under strong wind. Whereas the percentage of coarse particles in aerosol over Cele Station increases obviously during sand-dust storms because this area is close to a sand desert. The elements in atmospheric aerosol can reveal their sources to a certain extent. The curves of the spectrum distribution of Al, etc., in the aerosol samples collected from these two places are unimodal, and the maximum values of the content vary in a range of  $4.7\sim 7.0\mu\text{m}$ , which reveal that the atmospheric aerosol particles over the localities are mainly from the local sand sources. According to the analyzed results of the aerosol samples collected at the sampling platforms of 7 and 17 m in height respectively at Aksu Station, the contents of all the elements in the aerosol samples are quite similar, i.e. being independent of height, however, the total content of the aerosol over Aksu Station is much lower than that over Cele Station. The analysis on the richly concentrating factors of the elements in aerosol shows that the contents of all the crust elements in aerosol during the sand-dust storms and duststorms are higher than that during floating dust weather and in the background atmosphere. Moreover, the lower the visibility is, the higher the proportion will be, and the contents of the crust elements are high during all the sand-dust storms.

**Key words:** Tarim Basin; Aerosol; TSP content; Spectrum analysis; The enrichment factor analysis.