

# 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘气溶胶质量浓度的观测研究

刘新春<sup>1,2\*</sup>, 钟玉婷<sup>1,2</sup>, 何清<sup>1,2</sup>, 艾力·买买提明<sup>1,2</sup> (1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2.塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站, 新疆 塔中 841000)

**摘要:** 对塔克拉玛干沙漠腹地塔中地区进行了长达 6a 的试验观测研究, 获得了该地区沙尘气溶胶的基本特征: 塔中地区浮尘、扬沙出现日数呈上升趋势, 而沙尘暴日数呈下降趋势, 沙尘天气出现的频率和强度是影响沙漠地区沙尘气溶胶浓度的主要因素。可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)月平均质量浓度峰值区分布在春夏两个季节, 3~5 月是主峰值区域, 7~8 月是次峰值区, 春季 PM<sub>10</sub> 平均浓度在 1000 μg/m<sup>3</sup> 左右变化, 夏季在 400~900 μg/m<sup>3</sup> 之间, 秋冬两季浓度较低基本上在 200~400 μg/m<sup>3</sup> 之间变化。每年的 3~9 月是总悬浮颗粒物(TSP)质量浓度较高的月份, 4~5 月是主峰值区, 7~8 月为次峰值区; 2005 年 TSP 质量浓度最低, 年平均值为 1105.0 μg/m<sup>3</sup>, 2009 年略高于 2008 年, 年平均浓度为 1878.0 μg/m<sup>3</sup>, 2008 年 5 月 TSP 平均质量浓度是全年最高值, 浓度值达到 7415.0 μg/m<sup>3</sup>。沙尘天气过程中大气颗粒物浓度变化具有以下规律: 晴天<浮尘天气<浮尘、扬沙天气<沙尘暴天气。风速大小直接影响大气中颗粒物浓度, 风速越大颗粒物浓度越高。气温、相对湿度和气压是影响沙尘暴强度的重要因素, 也间接影响大气中颗粒物浓度的变化。

**关键词:** 沙尘气溶胶; 沙尘天气; 质量浓度; 塔克拉玛干沙漠

**中国分类号:** X16; X831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2011)10-1609-09

**Observation study on mass concentration of dust aerosols in the Taklimakan Desert Hinterland.** LIU Xin-chun<sup>1,2\*</sup>, ZHONG Yu-ting<sup>1,2</sup>, HE Qing<sup>1,2</sup>, ALI Mamtimin<sup>1,2</sup>, (1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2. Desert Atmosphere and Environment Observation Experiment of Taklimakan Station, Tazhong 841000, China). *China Environment Science*, 2011, 31(10): 1609~1617

**Abstract:** An over 6 years dust aerosol investigation had been carried out in Tazhong area of Taklimakan Desert hinterland, which is one of the most important dust sources in China. The fundamental characteristics of dust aerosol's concentration were summarized as below: the floating and blowing dust appeared an increasing tendency in day time, meanwhile, the sandstorm appeared a decreasing tendency. The frequency and intensity dust weather were major factors which were significantly affected the concentration of dust aerosols in the desert region. The monthly peak values of PM<sub>10</sub> concentration distributed in spring and summer: the largest peak value range was between March to May and the second peak value range occurred between July to August. Average concentration of PM<sub>10</sub> varied around 1000 μg/m<sup>3</sup> in spring and changed between 400 to 900 μg/m<sup>3</sup> in summer. Lower concentrations appeared in autumn and winter with about 200~400 μg/m<sup>3</sup>. The TSP concentration was higher between March and September. The largest peak value range of TSP concentration was between April to May and the second peak value range occurred between July to August. The lowest TSP concentration took place in 2005 with the annual average of 1105.0 μg/m<sup>3</sup>. The TSP concentration value was slightly higher in 2009 than in 2008 with annual average of 1878.0 μg/m<sup>3</sup>. And the monthly average concentration of TSP in May was the highest with the value of 7415.0 μg/m<sup>3</sup>. The mass concentration increased with the following sequences in the sandstorm weather: sunshine, floating dust, blowing dust and sandstorm. Wind speed had the influential role to mass concentration, and the higher speed of wind was, the higher mass concentration was. The temperature and air humidity were also the driving forces of sandstorm intensity, which were indirectly influence the mass concentration variation as well.

**Key words:** dust aerosol; dust weather; mass concentration; Taklimakan Desert

大气气溶胶和气态大气污染物是影响空气质量的两大基本因素。中国沙尘暴源区及其影响的大城市的空气质量已受到广泛关注。大气中悬

收稿日期: 2011-01-06

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY20100612)

\* 责任作者, 副研究员, liuxinchun2001@163.com

浮的气溶胶粒子,不仅对人体健康造成危害,而且对区域和全球气候与环境系统产生显著影响<sup>[1-2]</sup>.

由沙尘暴、扬沙造成的浮尘天气有 2 种:一种由当地沙尘天气发生后,空气中粒径较小的沙尘尚未下落形成;一种是沙尘源地发生沙尘天气,卷扬起的细粒沙尘随上层气流传播,到一定距离,以降尘的方式形成.在西北地区,塔克拉玛干沙漠是沙尘天气发生的主要源区,沙尘天气对本地乃至整个西北部环境空气质量产生严重的污染.目前,对于城市大气气溶胶浓度、成分分析及其影响方面的研究较多<sup>[3-6]</sup>;有关塔克拉玛干沙漠沙尘天气的研究主要集中在沙尘天气产生的条件、变化特征等方面<sup>[7-14]</sup>,对于沙尘气溶胶浓度变化、化学组分及其影响因素方面的研究较少<sup>[15-19]</sup>.本研究利用多种大气颗粒物浓度监测仪器,对新疆塔中地区近 6 年来沙尘气溶胶进行连续观测,分析沙尘气溶胶变化特征.同时对典型沙尘天气(沙尘暴)发生前后大气中不同粒径颗粒物浓度变化及其主要影响因素进行分析,旨在进一步了解塔中地区沙尘气溶胶分布特征及对环境空气质量影响程度.

## 1 研究方法

### 1.1 试验仪器

采用美国生产的 Thermo RP 1400a 型  $PM_{10}$  自动监测仪、武汉天虹智能仪表厂生产的 TH-1000C 型大气总悬浮颗粒物采样器以及德国 Grimm 公司生产的 Grimm1.108 型在线环境粉尘监测仪,分别观测大气中不同粒径的沙尘气溶胶粒子.其中 Thermo RP 1400a 型  $PM_{10}$  自动监测仪是直接和实时测量室内(外)环境中直径小于  $10\mu m$  粒子浓度,系统由 TEOM 传感器单元和 TEOM 控制单元两个主要部分组成.当微粒聚集于滤膜上时,锥形管的自然震荡频率相应减少,根据质量和频率间的相关变化,微处理器能及时计算出滤膜上所累计颗粒物的总质量、质量流量和质量浓度.TH-1000C 型大气总悬浮颗粒物采样器,通过抽取一定体积的空气(采样器入口高度距地面  $1.5m$ ),通过已称重的滤膜,使空气中粒径在  $100\mu m$  以下的悬浮颗粒物阻留在滤膜上,测定

滤膜采样前后质量差及采样体积,从而计算出大气中总悬浮颗粒物的质量浓度.Grimm1.108 监测仪采用半导体激光光源,应用激光散射技术测量每一个颗粒的尺寸并进行计数.粒径范围: $0.3\sim 20\mu m$ ,共分 15 个通道,计算出每个通道颗粒物总体积,然后通过平均密度计算得到每个通道的总质量,最后根据质量粒径分布曲线,积分得到质量浓度.本实验中采取质量浓度监测,监测浓度为: $>0.23\mu m, >0.30\mu m, >0.40\mu m, >0.50\mu m, >0.65\mu m, >0.80\mu m, >1.0\mu m, >1.6\mu m, >2.0\mu m, >3.0\mu m, >4.0\mu m, >5.0\mu m, >7.5\mu m, >10.0\mu m, >15.0\mu m, >20.0\mu m$  15 个通道,观测频率为 6s.

### 1.2 观测地点

观测地点选在塔中气象站( $38^{\circ}58'N, 83^{\circ}39'E$ , 海拔  $1090m$ ),该站建立在深入沙漠近  $200km$  的塔克拉玛干沙漠腹地,是我国在塔克拉玛干沙漠腹地建立的首个国家沙漠气象站,承担着对沙漠天气气候的监测任务.其中  $PM_{10}$  自动监测仪安放在室内,进气管通过软管转接伸到屋顶之上,离屋顶约  $1.5m$  高,距离地面高度约  $4m$ .总悬浮颗粒物监测仪(采样器入口高度距地面  $1.5m$ )安装在沙尘暴观测房东侧的平地,Grimm1.108 安装在平房楼顶(高  $3m$ ),进气管高  $1.5m$ .所有仪器安装点地形视野开阔,观测数据具有代表性.

### 1.3 观测方法及数据处理

$PM_{10}$  观测从 2004 年 1 月 8 日开始,至 2009 年 12 月 31 日结束.其中 2004 年 6 月 27 日至 2005 年 1 月 25 日,2005 年 4 月 27 日至 2005 年 8 月 14 日,由于观测仪器出现故障,造成数据缺失,其余观测时段都是连续的.对于  $PM_{10}$  质量浓度的原始数据进行了检查,剔除明显有误的数据(主要是  $PM_{10}$  质量浓度为负数的数据).Grimm1.108 选择质量浓度在线连续观测模式,每 6s 采集 1 次,选择平均 min 数据,  $PM_{10}$  选择每 5min 观测 1 次.TSP 采样滤膜为孔径  $0.45\mu m$  玻璃纤维滤膜,采样流量为  $1.05m^3/min$ .采样前后,将空白及采样后滤膜放入烘干箱,控制烘干箱在  $(50\pm 2)^{\circ}C$  的温度下恒温干燥 2~6h,电子天平选用北京赛多利斯天平有限公司的 Bs210s 型,精度为  $0.1mg$ .称量之后,采样滤膜用铝箔纸包好放进塑料袋和信封存放,以备样品处理和

分析.在沙尘暴观测期(春季),每日进行 1 次 TSP 采样,每日采 1 个样品(沙尘暴发生时,仪器产生报警的情况下,须及时更换采样膜,并将该日内采集的所有样品膜,合并称量和计算).非沙尘暴观测期,每周进行 2 次 TSP 采样,即在上旬的 1 日和 6 日,中旬的 11 日和 16 日,下旬的 21 日和 26 日各采 1 个样品.样品采集时间为 1d,即北京时间 08:30 至次日 06:30,计算结果作为日平均值,其他数据则首先求得小时数据和每日数据,最后得到月平均值,沙尘天气过程选择的时间为 2008 年 4 月 17 至 23 日.

## 2 结果分析

### 2.1 塔中地区环境及沙尘天气特征

**2.1.1 塔中地区环境特征** 塔中位于塔克拉玛干沙漠腹地.沙漠腹地环境具有以下特征:高温:年平均气温  $12.4^{\circ}\text{C}$ ,最热月(7 月份)的平均气温为  $28.2^{\circ}\text{C}$ ,最冷月(12 月份)的平均气温  $-8.1^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温  $45.6^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温  $-22.2^{\circ}\text{C}$ ;气候干燥,降水稀少.年降水量  $11.05\text{mm}$ ,平均相对湿度  $29.4\%$ ,蒸发量  $3\,638.6\text{mm}$ .风沙活动频繁,风力强劲,年起沙风( $6.0\text{m/s}$ ,地面  $10.0\text{m}$  高的风速)达 500 次以上,年平均风速  $2.5\text{m/s}$ ,最大瞬时风速达到  $20.0\text{m/s}$ ,风沙活动指数达到 8 000 以上,年起沙风向以 ENE,NE, NNE 和 E 风向组合为主;植被稀少,沙源丰富,绝大部分部分地面裸露,只在垄间地有零星的柽柳灌丛和芦苇分布.主要为流动风沙土,

土体干燥(土壤水分含量不足  $0.5\%$ )、结构松散,表层裸露呈流动状.极易产生风蚀;地表沙物质机械组成以细沙和极细沙( $0.1\sim 0.05\text{mm}$ )为主,丘间地表层粗化,含有  $0.5\text{mm}$  甚至有  $>2\text{mm}$  的细砾成分;地表发育高大复合型纵向沙垄,沙垄呈东北-西南走向,沙垄高  $30\sim 70\text{m}$ ,沙垄上覆次级沙丘链高  $5\sim 15\text{m}$ ,垄间地宽  $1\sim 3\text{km}$ ,分布有新月形沙丘、沙丘链和线性沙垄<sup>[10]</sup>.

**2.1.2 塔中地区沙尘天气特征** 依据《地面气象观测规范》<sup>[20]</sup>,将沙尘天气划分为:①浮尘:尘土、细沙均匀地浮游在空中,使水平能见度  $< 10.0\text{km}$ ;②扬沙:由于大风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度在  $1.0\sim 10.0\text{km}$  以内;③沙尘暴:由于强风将地面大量尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度  $< 1.0\text{km}$ .统计分析得出,塔中地区 1997~2009 年浮尘日数年变化非常大,13a 平均为 102.1d,2003 年最少(49d),2007 年最多(161d).1997~2004 年,除 2003 年浮尘日数明显偏少外,其他年份变化不大,但自 2005 年后浮尘日数明显增多.扬沙日数 13a 平均为 60.2d,扬沙的年变化日数呈波动式上升趋势.1998~2000 年呈逐年上升趋势,2000~2002 年扬沙年变化日数趋近于次峰值,2003 和 2004 年扬沙日数有所减少,但自 2005 年开始扬沙日数再次呈逐年上升趋势,2009 年达到最高值(95d).沙尘暴 13a 平均日数 15.2d,1998 年最多,为 36d,2001 年最少,仅为 8d,沙尘暴年变化呈缓慢下降趋势(图 1).

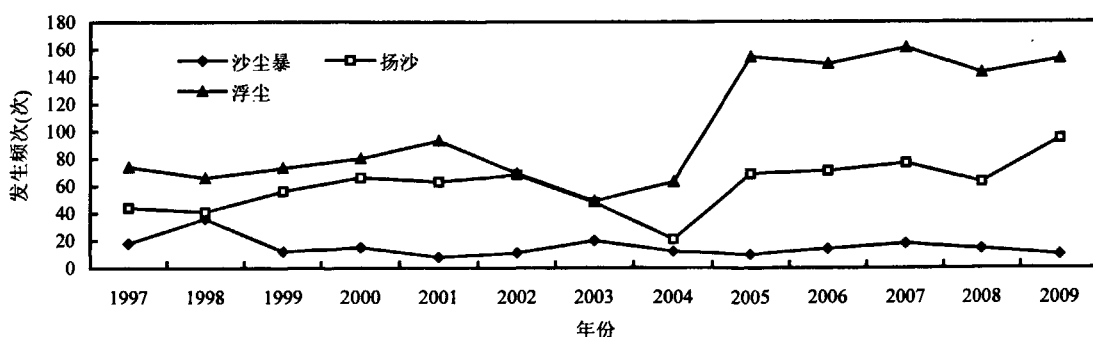


图 1 塔中地区沙尘天气日数年变化

Fig.1 Annual variation of sand weather in the area of Tazhong

塔中沙尘天气中浮尘、扬沙出现日数呈上升趋势,而沙尘暴日数却呈下降趋势,这种变化特征与塔中站周边环境的变化有很大关系.2001 年以

来塔中站周边绿化带不断扩大至各大沙丘顶端,形成一个局地的盆地小气候,同时随着塔中地区石油勘探力度的加大,沙漠公路两旁和塔中作业

区东西两面沙坡上大面积的绿化以及人类活动增加,造成对下垫面的破坏,加大了浮尘、扬沙发生的次数,同时也抑制了沙尘暴的发生。

## 2.2 塔中地区 $PM_{10}$ 质量浓度特征

2004~2009 年塔中地区  $PM_{10}$  月平均质量浓度表明(图 2),月平均质量浓度全年变化中存在 2 个峰值区,3~5 月是主峰值区域,7~8 月是次峰值区。由于沙漠地区沙尘天气主要发生在每年的 3~8 月之间,因而  $PM_{10}$  质量浓度在这段时间内浓度较高,尤其是每年春季的 3~5 月浓度非常高,沙尘天气主要受系统性天气的影响,而 7~8 月主要是局地性天气影响  $PM_{10}$  质量浓度的变化。除 2004 年外, $PM_{10}$  质量浓度最高值出现在每年的 5 月,其浓度值基本上在  $1000\mu g/m^3$  以上。2004~2009 年中造成各年最高浓度月份不同的主要原

因是每年沙尘天气天数分布不均,有些年份 3 月份沙尘天气较多,但出现最多的是每年的 5 月;8 月份受局地性天气的影响, $PM_{10}$  质量浓度也比较高。从每年的变化看出,2006 年月平均质量浓度基本上是 2004~2009 年中最高的一年,3~8 月  $PM_{10}$  平均质量浓度为  $1053.3\mu g/m^3$ ,其他月份平均值在  $70\sim 650\mu g/m^3$ ;2008 和 2009 年  $PM_{10}$  月平均质量浓度在所有年份中较低,3~8 月  $PM_{10}$  平均质量浓度分别为  $694.4, 678.1\mu g/m^3$ ,全年平均浓度分别为  $444.5, 481.1\mu g/m^3$ 。主要原因与塔中站周边绿化带不断扩大,形成一个局地的盆地小气候,及人为活动的增加有关。沙尘天气中对  $PM_{10}$  质量浓度影响最大的是沙尘暴,2008~2009 年浮尘和扬沙天气频率增加,但沙尘暴天气减少,因而造成  $PM_{10}$  月平均质量浓度较低。

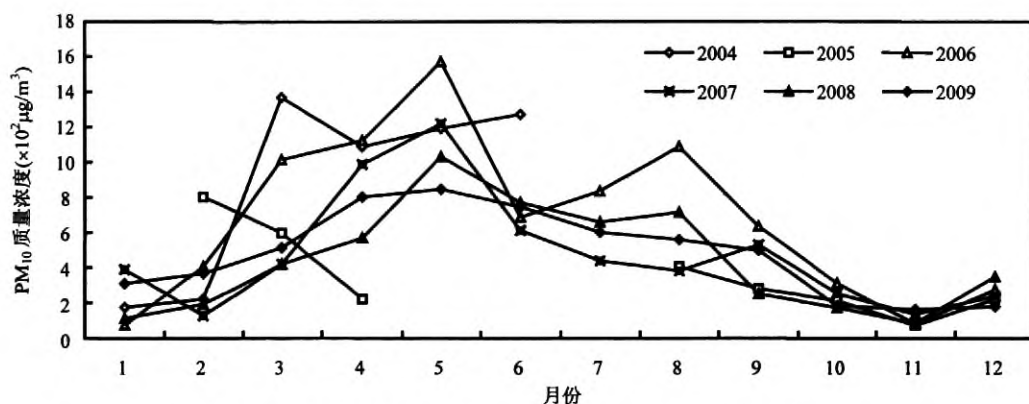


图 2 2004~2009 年塔中地区  $PM_{10}$  月平均质量浓度变化

Fig.2 Monthly variation of  $PM_{10}$  mass concentration from 2004 to 2009 in the area of Tazhong

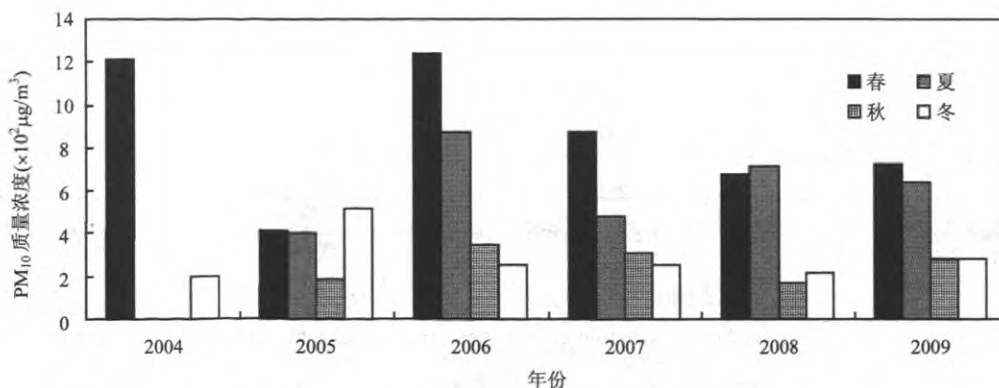


图 3 2004~2009 年塔中地区  $PM_{10}$  季节平均质量浓度变化

Fig.3 Seasonal variation of  $PM_{10}$  mass concentration from 2004 to 2009 in the area of Tazhong

春夏季是塔中地区沙尘天气发生比较频繁的季节,因而春夏季塔中的  $\text{PM}_{10}$  平均浓度非常高(图 3),其中春季尤为突出.2004 年和 2006 年春季  $\text{PM}_{10}$  平均浓度相当,都超过  $1200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,是 2004~2009 年中平均浓度最高的两年.2007 年平均质量浓度略高于 2009 年和 2008 年,为  $876.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最低的 2005 年平均浓度也在  $410.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ .夏季  $\text{PM}_{10}$  平均浓度基本上都低于春季,最低的仍为 2005 年的  $406.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,与春季相当;2007 年略高于 2005 年,2008 年稍高于 2009 年,最高的还是 2006 年( $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).相对而言秋季和冬季是沙漠地区沙尘天气发生的较少的季节,  $\text{PM}_{10}$  平均浓度较低,因而空气质量较好.2004~2009 年中除了 2005 年冬季  $\text{PM}_{10}$  平均浓度较高外,其他年份秋冬两季变化并不显著,基本上在  $200\sim400\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 2.3 塔中地区 TSP 质量浓度特征

由图 4 可看出,2005~2009 年每年的 3~9 月份是 TSP 质量浓度较高的时间,其中分两个峰值区,3~5 月是主峰值区,7~8 月为次峰值区;10~12 月为全年中浓度最低的时段,2 月份开始随着沙

尘天气的逐渐增多,TSP 质量浓度又不断上升.影响 TSP 浓度变化的主要因素为沙尘天气的频次和强度,沙尘暴天气前后的浮尘天气对 TSP 质量浓度的影响最大,其次为沙尘暴天气,最后为扬沙天气.这是因为沙尘天气过程中飘浮在大气中的细颗粒物( $<100\mu\text{m}$ )是决定 TSP 浓度的关键因素,扬沙和沙尘暴过程中大气中颗粒物粒径较大,在大气中飘浮时间短,而浮尘天气主要是细颗粒在大气中停留时间相对较长.年际变化情况表明,2005 年为 2005~2009 年中 TSP 质量浓度最低的年份,年平均值为  $1105.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,其中浓度最高的月份为 4 月( $2404.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),最低月份为 11 月( $66.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).2009 年略高于 2008 年,年平均浓度为  $1878.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,其中 5 月的 TSP 浓度为  $4358.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  是全年中最高的月份,最低的 10 月浓度值也达到  $526.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ .2008 年的 5 月 TSP 平均质量浓度为所有月份最高的,其浓度值达到  $7415.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ .通过查询沙尘天气资料发现,该月发生浮尘天数为 25d、扬沙 11d,为沙尘暴为 3d,这充分说明了塔中地区 TSP 质量浓度完全取决于该地区的沙尘天气频率和强度.

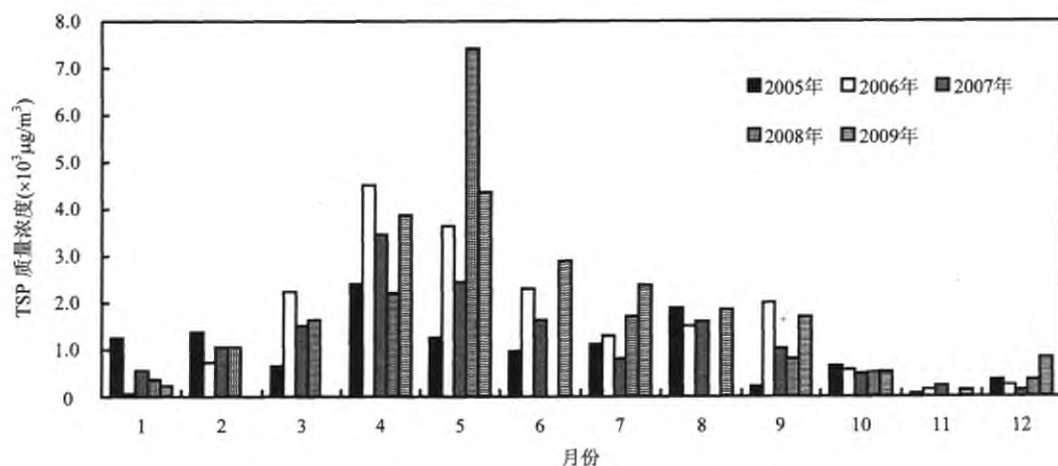


图 4 2005~2009 年塔中地区 TSP 月平均质量浓度变化

Fig.4 Monthly variation of TSP mass concentration from 2005 to 2009 in the area of Tazhong

### 2.4 塔中地区 $\text{PM}_{10}$ 与 TSP 质量浓度对比分析

由图 5 看出,2005~2009 年 1~12 月  $\text{PM}_{10}$ /TSP 百分比值各不一样,最低的仅为 9.3%,发生在 2005 年 4 月,最高的为 2008 年 12 月达到 98.6%,其他年

份每月的变化基本上在 30%~50%之间变化.  $\text{PM}_{10}$ /TSP 百分比反映出该月天气状况,每年的 10 月至翌年 2 月,塔中地区天气比较平和,很少发生沙尘天气;从每年的 3 月份开始沙尘天气逐渐增

多,5月份沙尘天气出现几率最高;6月份开始沙尘天气逐步回落,7~8月基本上容易发生局地性沙尘天气,无沙尘天气天数越多,则 $PM_{10}/TSP$ 百分比越高;如果发生沙尘天气,浮尘天气天数越多, $PM_{10}/TSP$ 百分比越高;扬沙天气与沙尘暴天气

天数较多则 $PM_{10}/TSP$ 百分比相对较低。2005年4月发生浮尘、扬沙和沙尘暴天气分别为15,11,0d,因而 $PM_{10}/TSP$ 百分比相对较低;2008年12月发生浮尘、扬沙和沙尘暴天气分别为13,2,0d,浮尘天气明显高于扬沙天气,因而比值非常高。

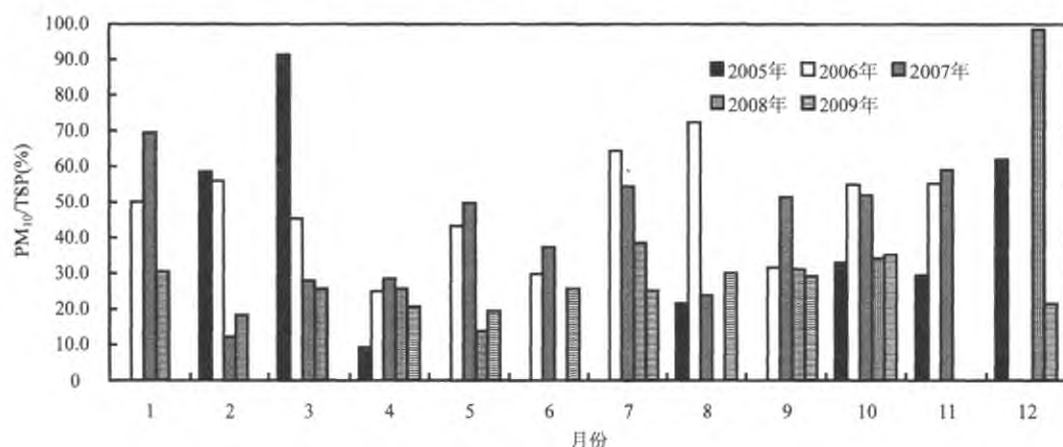


图5 2005~2009年塔中地区 $PM_{10}/TSP$ (%)月变化

Fig.5 Monthly variation of  $PM_{10}/TSP$  percentage from 2005 to 2009 in the area of Tazhong

## 2.5 沙尘天气过程气溶胶质量浓度特征

### 2.5.1 Grimm1.108 监测不同粒径颗粒物质量浓度变化

自2008年4月15日开始出现浮尘天气,16日浮尘天气逐渐增强,17日同时伴有扬沙天气,18日浮尘扬沙天气继续,19日出现沙尘暴,20日沙尘天气开始减弱但仍有扬沙,21~22日仍为浮尘天气,能见度逐渐增大,23日沙尘天气过程结束,天气晴好。

从Grimm1.108颗粒物分析仪监测结果可以得出:在整个沙尘天气过程中,颗粒物日均浓度出现两个峰值区,主峰值出现在20日,次峰值出现在18日,并且主峰值远远超过次峰值。同时分析结果发现,在整个沙尘天气过程中,颗粒物粒径基本上分布在 $0.23\sim 10\mu m$ 之间,小于 $10\mu m$ 的颗粒物质量浓度占总颗粒物的60%以上。同时,不同粒径颗粒物日均质量浓度高峰在4月20日,而不同粒径颗粒物浓度小时平均高峰明显在4月19日,这说明了日均质量浓度和小时平均质量浓度的峰值并不同步,究其源发现19日出现强的沙尘暴导致不同粒径颗粒物小时平均质量浓度出现峰值,随着沙尘暴的减弱,出

现浮尘天气,空气中的颗粒物聚集从而导致日均质量浓度的高峰出现在20日。

4月20日 $>0.23\mu m$ 总颗粒物日均浓度达到 $5753.4\mu g/m^3$ ,是4月18日浓度( $2784.5\mu g/m^3$ )的两倍多; $>20.0\mu m$ 总颗粒物浓度4月20日为 $1422.1\mu g/m^3$ ,4月18日 $1205.8\mu g/m^3$ ,给当地人们(主要是石油工人)的生活和生产造成了严重的影响。4月18日颗粒物浓度较高,其重要原因是前2d的扬沙和浮尘天气在空气中积累了大量细颗粒物;颗粒物浓度日均最高值并未出现在沙尘暴发生的4月19日,而是在沙尘暴后的浮尘天气,其主要原因为沙尘暴发生时由于风速较大,漂浮在空气中的细颗粒物数量少而大部分为较粗颗粒,浮尘天气悬浮在空气中的主要为细颗粒物,因此浮尘天气细颗粒物浓度远远大于沙尘暴天气;沙尘暴结束后,由于大气中颗粒物逐渐沉降,漂浮于大气中的细颗粒物逐渐减少,到4月23日 $>0.23\mu m$ 总颗粒物日均浓度已经下降到 $887.9\mu g/m^3$ , $>20.0\mu m$ 总颗粒物浓度也下降到 $52.4\mu g/m^3$ 。虽然浓度相对下降,但仍远高于城市的颗粒物浓度值。



4月17~23日沙尘天气过程中不同粒径颗粒物浓度小时平均变化分析结果表明:不同颗粒物浓度变化剧烈,高值区主要集中在4月19~20日,21日中午存在一个峰值区,其他时段浓度相对较低.小时平均浓度时段分布与日变化具有很大的差别,4月19日上午10:00颗粒物浓度达到最高值, $>0.23\mu\text{m}$ 颗粒物总浓度为 $30716.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,随着颗粒物粒径增大,浓度逐渐减低, $>20.0\mu\text{m}$ 颗粒物总浓度为 $4249.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ .伴随沙尘暴强度的逐渐减弱,颗粒物总浓度也逐渐变小,16:00颗粒

物浓度降到最低, $>0.23\mu\text{m}$ 颗粒物总浓度为 $11651.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $>20.0\mu\text{m}$ 颗粒物总浓度为 $4006.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ .由于风速减小,大气中细颗粒物浓度积累相对增加,总颗粒物浓度又逐渐增大,当天23:00浓度达到第2个高峰,但该时间的峰值远低于第1个峰值区,随着时间的推移,颗粒物逐渐下沉,颗粒物浓度逐渐下降.4月21日13:00前后由于风速增大,有扬沙天气发生,使得颗粒物浓度又出现1个峰值,但由于扬沙强度较小,颗粒物浓度很快下降.

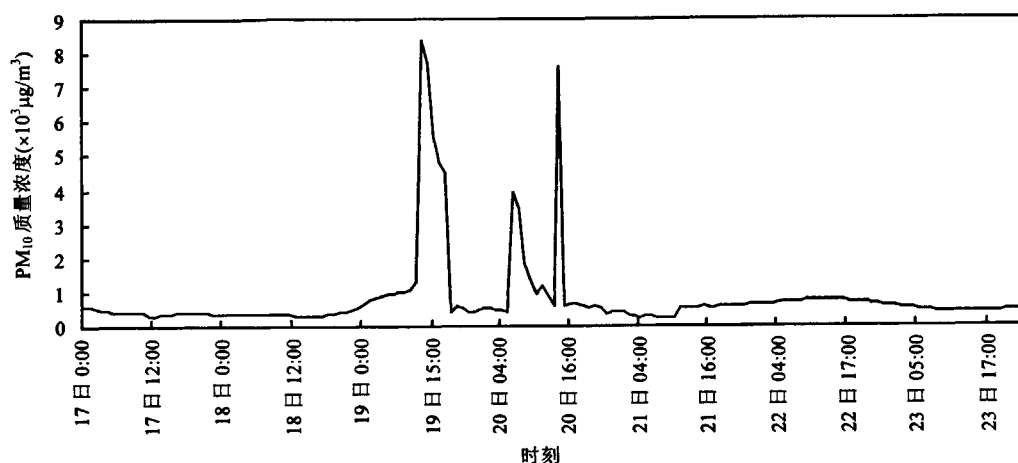


图6 2008年4月17~23日沙尘天气前后 $\text{PM}_{10}$ 浓度小时平均变化

Fig.6 Hourly variation of  $\text{PM}_{10}$  mass concentration in sandstorm weather from 17<sup>th</sup> to 23<sup>rd</sup> in April 2008

**2.5.2  $\text{PM}_{10}$  与 TSP 质量浓度变化**  $\text{PM}_{10}$  和 TSP 的浓度变化同样可以反映沙尘天气的过程和强度(图6).从4月17开始出现浮尘天气,大气中 $\text{PM}_{10}$ 浓度基本保持在 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,是城市浓度的3~4倍(乌鲁木齐市).4月18日傍晚开始随着扬沙过程的发生,大气中细颗粒物数量逐渐增多, $\text{PM}_{10}$ 质量浓度含量也逐步升高,4月19日凌晨开始出现强沙尘暴, $\text{PM}_{10}$ 质量浓度急剧增加,出现第1个峰值区,最大平均值为4月19日10:00的 $8339.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,为4月17~18日小时平均值的近20倍.随着沙尘暴的结束,大气细颗粒物逐渐沉降, $\text{PM}_{10}$ 质量浓度很快下降,到20:00时左右下降到平常浓度并持续到20日凌晨5:00时左右.此时再次出现时断时续的扬沙天气, $\text{PM}_{10}$ 浓度也随之出现波动,其中出现2个峰

值区,分别为11:00时的 $1160.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和14:00时的 $7606.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,从20日下午15:00时开始再未出现扬沙天气,浮尘天气逐渐减弱, $\text{PM}_{10}$ 浓度减小到常规水平.

4月17~23日TSP和 $\text{PM}_{10}$ 日平均质量浓度分布表明(图7),4月17日出现弱的浮尘天气,大气中的颗粒物较少,TSP和 $\text{PM}_{10}$ 浓度相对较低,分别为 $716.8, 445.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;18~20日沙尘暴期间TSP和 $\text{PM}_{10}$ 质量浓度高,尤其是4月19日强沙尘暴发生时两者浓度非常高,其中TSP浓度达 $11879.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{PM}_{10}$ 浓度为 $4614.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;4月20日两者浓度明显下降,TSP和 $\text{PM}_{10}$ 浓度分别为 $3068.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $2693.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;21~23日沙尘天气逐渐减弱并恢复晴好天气,大气中颗粒物不断沉降,两者浓度下降明显;4月23日TSP和 $\text{PM}_{10}$ 质

量浓度分别下降到  $985.6\mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $716.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 稍高于 17 日. 观测数据表明, 沙尘暴前期大气中颗粒物浓度远低于强沙尘暴期间, 随着沙尘天气减弱, 颗粒物浓度明显下降.

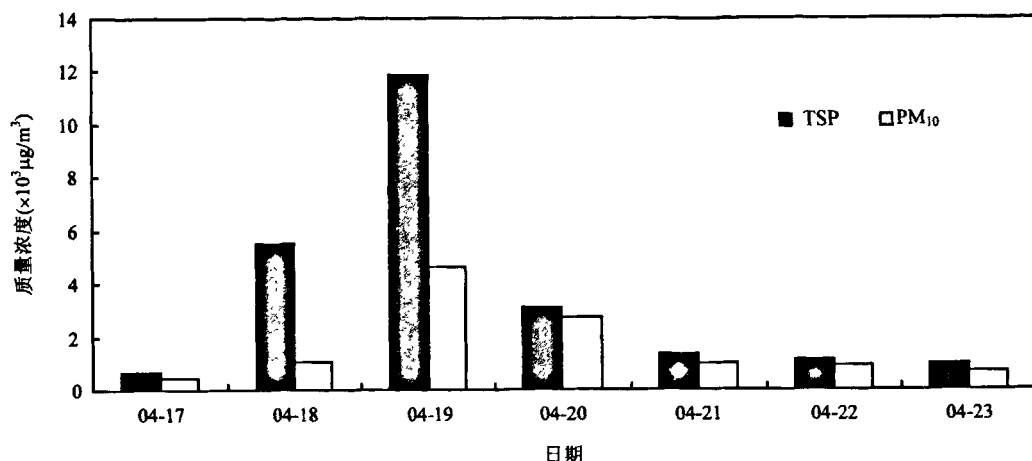


图 7 2008 年 4 月 17~23 日沙尘天气前后 TSP 与 PM<sub>10</sub> 浓度日平均变化

Fig.7 The daily variation of TSP and PM<sub>10</sub> mass concentration in sandstorm weather from 17th to 23rd in April 2008

在整个沙尘天气前后, 大气中不同粒径颗粒物所占比例具有一定的规律. 从 PM<sub>10</sub>/TSP 值可以看出, 浮尘天气中 PM<sub>10</sub>/TSP 值远高于扬沙和沙尘暴天气, 其中 4 月 17 日比值为 62.2%, 18 和 19 日分别为 19.1% 和 38%, 20~23 日比值升高, 在 70% 以上. 其原因是: 在浮尘天气中悬浮于大气中的粒子主要是细颗粒物, 粗颗粒物由于重力作用而沉降; 扬沙和沙尘暴期间风速较大, 粗颗粒物被扬起而悬浮于大气中.

**2.5.3 气象条件对颗粒物浓度变化的影响** 4 月 17~23 日, 在沙尘暴形成前风速突然降低, 甚至处于静风状态, 4 月 17 日平均风速为 0, 18 日平均风速略有增加, 日平均风速为 1.8m/s; 在沙尘暴形成阶段, 风速陡然增大, 很快达到沙尘暴临界风速 [塔克拉玛干沙漠沙尘暴的起尘临界风速为 8.0m/s (距地表 10m 高度 10min 平均风速)<sup>[10]</sup>, 本实验观测中为 2m 风速, 通过经验公式换算出 2m 高度的起尘临界风速为 5.6m/s], 形成沙尘暴, 4 月 19 日日平均风速为 3.6m/s, 但瞬时风速达 7.2m/s; 在沙尘暴持续阶段, 风速发生轻微波动, 一般都高于临界风速, 4 月 19 日沙尘暴持续阶段风速基本上保持在 6.0m/s 左右; 在沙尘暴消退阶段, 风速缓慢降低, 逐渐低于临界风速, 4 月 20 日开始风速逐

渐减弱, 日平均风速为 2.5m/s. 风速大小直接关系到沙尘天气的产生, 而沙尘天气也直接影响大气中颗粒物浓度含量, 风速越大则大气中颗粒物浓度越高.

4 月 17~23 日沙尘天气过程中主导风向为偏北风, 沙尘暴形成前期风向为 NNW, 沙尘暴形成时风向转变为 N, 再转变为 NNE, E 和 ENE, 逐渐与主风向一致. 由于观测点为塔克拉玛干沙漠腹地, 视野开阔没有任何障碍物, 因而风向对大气中细颗粒物浓度的测量结果没有直接影响. 天气状况变化对大气中细颗粒物的积累具有明显的影响, 颗粒物浓度存在: 晴天 < 浮尘天气 < 浮尘、扬沙天气 < 沙尘暴天气. 沙尘暴形成前后, 气温、相对湿度和气压都发生相应变化, 是影响沙尘暴强度的重要因素, 因而也间接影响大气中颗粒物浓度的分布.

### 3 结论

**3.1** 2004~2009 年期间, 塔中地区沙尘天气中浮尘、扬沙出现日数呈上升趋势, 而沙尘暴日数却呈下降趋势. 沙尘天气出现的频率和强度是影响沙漠地区沙尘气溶胶浓度的主要因素.

**3.2** PM<sub>10</sub> 月平均质量浓度全年变化中 3~5 月是



主峰值区域,7~8 月是次峰值区;影响 3~5 月浓度高的主要因素是系统性天气,而 7~8 月主要受局地性天气影响。

3.3 每年的 3~9 月 TSP 质量浓度较高,4~5 月是主峰值区,7~8 月为次峰值区。沙尘天气资料表明塔中地区 TSP 质量浓度完全取决于该地区的沙尘天气频率和强度。

3.4  $\text{PM}_{10}$  和 TSP 的浓度变化同样反映沙尘天气的过程和强度,沙尘暴前期大气中颗粒物浓度远低于强沙尘暴期间,随着沙尘天气减弱,颗粒物浓度明显下降。浮尘天气小时  $\text{PM}_{10}$  浓度基本上保持在  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$  左右。强沙尘暴时, $\text{PM}_{10}$  质量浓度急剧增加,最大平均值为  $8339.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;浮尘天气时 TSP 和  $\text{PM}_{10}$  日平均浓度相对较低,分别为  $716.8\mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $445.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,沙尘暴期间质量浓度高,TSP 浓度达  $11879.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{PM}_{10}$  浓度为  $4614.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

3.5 天气状况变化对大气中细颗粒物的积累具有明显的影响,颗粒物浓度呈现出:晴天<浮尘天气<扬尘、扬沙天气<沙尘暴天气。

#### 参考文献:

- [1] 李 杨,张小曳,车慧正,等. GRIMM1.107 颗粒物分析仪和 RP2000 气溶胶采样仪在北京城区的测试对比 [J]. 中国粉体技术, 2005,(3):8-10.
- [2] Li X, Shen Z, Cao J J, et al. Distribution of carbonaceous aerosol during spring 2005 over the Horqin Sandland in northeastern China [J]. China Particology, 2006,4(6):316-322.
- [3] Cao J J, Shen Z X, Judith C Chow, et al. Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for  $\text{PM}_{10}$  aerosol in Hangzhou, China [J]. China Particology, 2009,7:161-168.
- [4] Zhang R J, Xu Y F, Han Z W. Inorganic chemical composition and source signature of  $\text{PM}_{2.5}$  in Beijing during ACE-Asia period [J]. Chinese Science Bulletin, 2003,48(10):1002-1005.
- [5] Zhang R J, Han Z W, Cheng T T. Chemical properties and origin of dust aerosols in Beijing during springtime [J]. China Particology, 2009,7:61-67.
- [6] 徐 虹,林丰妹,毕晓辉,等.杭州市大气降尘与  $\text{PM}_{10}$  化学组成特征的研究 [J]. 中国环境科学, 2011,31(1):1-7.
- [7] 张正德,董治宝,赵爱国,等.沙漠地区风沙活动特征——以中国科学院风沙观测场为例 [J]. 干旱区研究, 2007,24(4):550-555.
- [8] 李 锋.沙尘源区示踪方法及分布研究进展 [J]. 干旱区研究, 2007,24(4):550-555.

- [9] 李晋昌,董治宝,王训明,等.塔里木盆地沙尘天气的季节变化及成因分析 [J]. 中国沙漠, 2008,28(1):142-148.
- [10] 李生字,雷加强,徐新文.塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴发生条件分析 [J]. 应用气象学报, 2007,18(4):490-496.
- [11] 韩致文,王 涛,董治宝,等.塔克拉玛干沙漠公路沿线风沙活动的时空分布 [J]. 地理科学, 2005,25(4):455-460.
- [12] 陈 霞,魏文寿,刘明哲.塔里木盆地沙尘气溶胶对短波辐射的影响 [J]. 中国沙漠, 2008,28(5):920-926.
- [13] 王敏仲,魏文寿,杨莲梅,等.塔里木盆地一次东灌型沙尘暴环流动力结构分析 [J]. 中国沙漠, 2008,28(3):370-376.
- [14] 肖劲风.塔克拉玛干地区春季沙尘演变及气候因素分析 [J]. 中国环境科学, 2007,27(1):19-23.
- [15] 邓祖琴,韩永翔,白虎志,等.中国大陆沙尘气溶胶对海洋初级生产力的影响 [J]. 中国环境科学, 2008,28(10):872-876.
- [16] 沈建国,刘 菲,牛生杰,等.一次沙尘暴过程 TSP 质量浓度的连续观测和分析 [J]. 中国沙漠, 2006,26(5):786-791.
- [17] 高卫东,袁玉江,刘志辉,等.新疆沙尘源状况及其沙尘气溶胶释放条件分析 [J]. 中国沙漠, 2008,28(5):969-973.
- [18] 岳 平,牛生杰,沈建国,等.一次特强沙尘暴的微气象要素及  $\text{PM}_{10}$  观测分析 [J]. 自然灾害学报, 2009,18(1):118-123.
- [19] 韩永翔,陈勇航,方小敏,等.沙尘气溶胶对塔里木盆地降水的可能影响 [J]. 中国环境科学, 2008,28(2):102-106.
- [20] 中国气象局.地面气象观测规范 [M]. 北京:气象出版社, 2003:23.

致谢: 本文英文摘要及英文图题得到丹麦奥尔堡大学在读博士刘雯女士的修改和润色,在此表示感谢。

作者简介: 刘新春(1977-),男,湖南邵阳人,副研究员,博士,主要从事大气环境科学及相关学科研究,发表论文 40 余篇。