

# 2010年春季民勤沙地近地面沙尘气溶胶浓度特征

康富贵<sup>1,2</sup> 李耀辉<sup>1,2</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为了更好地研究沙尘气溶胶起沙和输送特征, 2010年4—5月, 在民勤周边沙地利用EZ LIDAR ALS300&ALS450型激光雷达和GRIMM 180型颗粒物采样器进行了大气气溶胶的外场连续观测, 取得了晴天、浮尘、扬沙和沙尘暴天气条件下沙尘气溶胶总后向散射垂直剖面图和 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$ 质量浓度采样资料, 其中包2010年4月24日特强沙尘暴过程资料。结果表明: 春季民勤近地层大气中沙尘气溶胶浓度较高, 且随气象要素的变化很大; 在整个观测期内,  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 的平均质量浓度分别为202.3、57.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和16.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在不同天气条件下,  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 质量浓度的变化有较好的相关性, 但变化趋势有所不同。在沙尘暴天气条件下,  $PM_{10}$ 的日平均质量浓度高达2469.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 是背景天气条件下 $PM_{10}$ 日平均质量浓度的100多倍, 是浮尘天气条件下 $PM_{10}$ 日平均质量浓度的8倍, 是扬沙天气条件下 $PM_{10}$ 日平均质量浓度的2倍。 $PM_{2.5}$ 在沙尘暴天气下日平均质量浓度为460.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 是背景天气条件下 $PM_{2.5}$ 日平均质量浓度的45倍, 是浮尘天气条件下 $PM_{2.5}$ 日平均质量浓度的6倍, 是扬沙天气条件下 $PM_{2.5}$ 日平均质量浓度的1.4倍。 $PM_{1.0}$ 在沙尘暴天气条件下的日平均浓度为92.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 是背景天气条件下 $PM_{1.0}$ 日平均浓度的13倍, 是浮尘天气条件下 $PM_{1.0}$ 日平均浓度的7倍, 是扬沙天气条件下 $PM_{1.0}$ 日平均浓度的1.3倍。可见, 风速增大时, 沙尘粒子浓度的增加对粒子粒径是有选择的, 小粒子比重随沙尘浓度增加而相对减小, 大粒子比重随沙尘浓度增加而相对增多。通过对2010年4月24日特强沙尘暴过程的研究表明, 一次沙尘暴过程往往包括沙尘暴、扬沙和浮尘天气中的两种类型。通过对激光雷达数据分析发现, 在强沙尘暴发生过程当中, 民勤沙地发生了非常严重的风蚀起沙现象。

**关键词:**近地面沙尘气溶胶; 天气类型; 质量浓度; 天气类型; 民勤

**中图分类号:**X513 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2010)06-0006-07

## 1 引言

世界范围内有中非、北美、澳大利亚和中亚四大沙尘源区, 中国西北地区是中亚沙尘源的一部分, 是东亚主要的沙尘源区之一<sup>[1]</sup>。据估计, 每年有8亿t的沙尘气溶胶被输送到大气<sup>[2]</sup>。每年全球输入大气层的气溶胶总量在10亿t—30亿t左右<sup>[3]</sup>, 这个比例是相当大的, 大概占50%。这些进入大气的沙尘粒子对环境有显著影响, 首先沙尘使空气中颗粒物增加, 从而对环境造成污染; 其次通过散射和吸收太阳辐射, 使到达低层大气和地面的太阳辐射减少, 此外沙尘气溶胶自身也可以发射和吸收长波辐射, 使大气层加热, 改变大气能量平衡, 对气候产生影响<sup>[4]</sup>。

近年来中国科研人员在沙尘气溶胶方面进行了大量研究。庄国顺等<sup>[5]</sup>对近年来中国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响作了详细

的分析。牛生杰等<sup>[6]</sup>对贺兰山地区春季典型天气条件下沙尘气溶胶的质量浓度、光学特征、化学组成和粒子谱分布等进行了试验观测研究。但是, 由于地表风蚀过程的物理机制非常复杂, 国内在这方面的研究还有待深入。

石羊河流域是我国生态与环境极其脆弱的地区, 对气候变化和人为因素影响的反应十分敏感。而民勤又是石羊河流域的核心区域, 是影响范围最广的我国沙尘暴多发区。地表(风蚀)起沙是民勤环境恶化的重要因素之一, 进而直接威胁石羊河流域乃至其下游的生态安全。民勤及其周边集中分布着沙漠、沙漠—绿洲过渡带和绿洲等不同下垫面景观, 层次分明, 递变有序, 构成了干旱区主要的起沙地表条件, 在西北干旱区十分具有代表性。本文选择民勤沙尘野外观测实验数据对沙尘暴起沙过程中的浓度进行分析, 为沙尘暴起沙机理和远程输送研究提供参考。

**收稿日期:**2010-08-26; **修订日期:**2010-11-15。

**基金项目:**国家重点基础研究发展规划项目“973”项目“资源利用与环境安全的基础研究”子课题“民勤的生态变化对(风蚀)起沙影响的特征观测与数值基础研究(2008CB417213)”共同资助。

**作者简介:**康富贵, 男, 1986年生, 主要从事沙尘气溶胶研究, E-mail: kfq2009@126.com。

2 资料与方法

2.1 研究区概况

民勤位于巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠中间,地理位置为102°59′05″E,38°34′28″N(图1)。本区

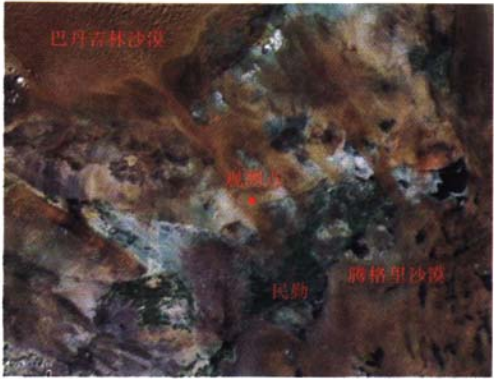


图1 研究区地形

气候干旱,年平均降水量为113.8 mm,年平均气温为7.6℃,极端最高气温为39.4℃,年平均风速为2.45 m·s<sup>-1</sup>,瞬时最大风速为22.35 m·s<sup>-1</sup>,主导风向为NW,每年8级以上大风日数为27.7 d。土壤以风沙土为主,风蚀严重。常年来,由于石羊河上游来水逐年减少,地下水超量开采,地下水位已下降至20 m以下,荒漠植被以白刺、梭梭为主,植被衰败、退化现象较为严重,生态环境非常脆弱,是我国干旱区荒漠化最严重的地区之一<sup>[7]</sup>。由于干燥的气候、不稳定的空气状态、稀疏的植被、丰富的沙源、因缺水和滥垦造成的疏松地表物质使该区域成为我国境内的强沙源区中心之一,也是入境沙尘暴的必经之路。本文观测点位于民勤北部沙地<sup>[8-9]</sup>。

2.2 仪器和资料

所用资料来自 GRIMM EDM 180 环境细粉尘采样器( GRIMM 公司,德国)和 EZ LIDAR ALS300&ALS450 型激光雷达( LEOSPHERE 公司,法国)的观测数据。观测时间为2010年4月1日至5月31日,观测点为中国甘肃民勤周边沙地。仪器架设高度约4 m,这一高度能够有效地避免地表土壤颗粒的影响,同时能较好地观测源地近地面沙尘粒子的浓度。观测点距民勤县城25 km,四周是平坦沙地,基本无居民活动,很少受人为活动的影响,因此观测点大气能够代表民勤大气的自然状况。观测期间,发生了一次特强沙尘暴过程和一次沙尘暴过程。观测结果较好地反应了此类源地沙尘粒子浓度特征。

3 结果分析

3.1 春季民勤近地层沙尘气溶胶日平均质量浓度变化

从本次观测数据分析来看,春季民勤沙尘天气发生频繁。在2010年4月1日至5月31日观测得到的58个样本中(其中由于停电缺失几天观测资料),沙尘天气日数为19 d(根据气象资料和观测结果分析),占总日数的32.8%。近地层大气中的沙尘气溶胶含量较高,随气象要素变化很大(图2)。图2给出了整个观测期内PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1.0</sub>

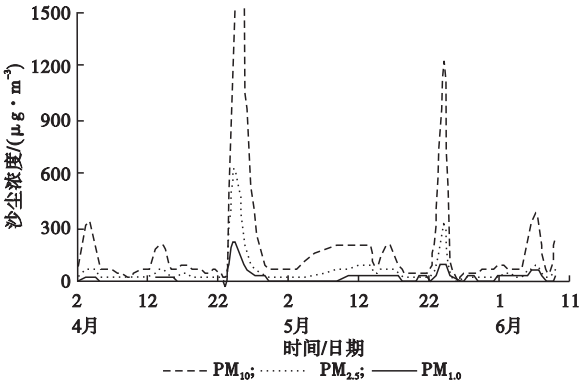


图2 2010年4—6月民勤PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>及PM<sub>1.0</sub>质量浓度变化

日平均质量浓度的变化曲线,可以看出在4月25日和5月24日沙尘浓度均比平时有较大的增加。在整个观测期内,PM<sub>10</sub>的平均质量浓度为202.3 μg/m<sup>3</sup>,PM<sub>2.5</sub>的平均质量浓度为57.4 μg/m<sup>3</sup>,PM<sub>1.0</sub>的平均质量浓度为16.7 μg/m<sup>3</sup>。沙尘天气过程将导致沙尘浓度的成倍增加,4月25日沙尘暴过程期间,PM<sub>10</sub>日平均质量浓度达到了2469.1 μg/m<sup>3</sup>,是5月19日晴天天气条件下质量浓度的100倍。PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度达到460.3 μg/m<sup>3</sup>,是5月19日晴天背景天气条件下的45倍。PM<sub>1.0</sub>日平均浓度为92.7 μg/m<sup>3</sup>,是5月19日晴天背景天气条件下的13倍。4月26日沙尘暴过程结束后,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>质量浓度迅速下降至780.8、161.3 μg/m<sup>3</sup>和40.5 μg/m<sup>3</sup>,下降幅度为70%。通过激光雷达资料(图3)分析发现,在沙尘暴发生期间民勤沙地发生了非常严重的风蚀起沙现象。从图3可以看出,4月25日晨00:00—05:00和09:00—13:00地表均发生了非常严重的起沙现象。与图4中4月25日PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1.0</sub>质量浓度日变化曲线有较好的对应关系。从图4可以看出,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>质量浓度在4月25日03:00和09:00—18:00均都出现了明显升高的趋势。这充分说明在沙尘暴期间,民勤沙地的风蚀起沙对近地

层沙尘粒子浓度增加有相当大的贡献。如果配合大型天气系统可以使这些沙尘粒子进入到边界层,向

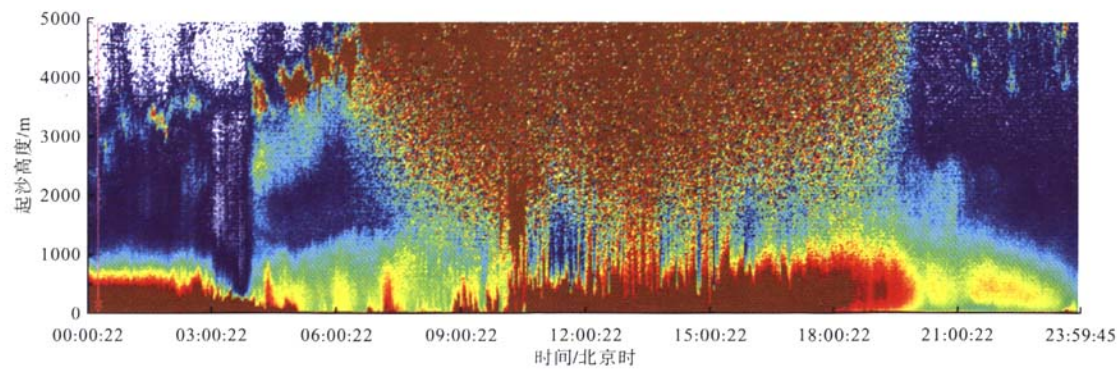


图3 2010年4月25日逐时总后向散射系数垂直剖面

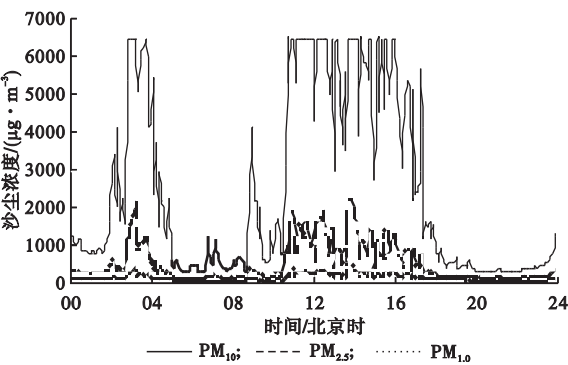


图4 2010年4月25日民勤沙尘暴过程颗粒物质量浓度日变化下游方向传输。因此认为,民勤等半干旱沙地是西北沙尘源地中重要的组成部分。在整个观测过程

中,5月26日由于降水作用,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>质量浓度分别降到观测以来的最低值8.4、4.9 μg/m<sup>3</sup>和2.6 μg/m<sup>3</sup>,其中PM<sub>10</sub>质量浓度减少幅度最大,可见雨雪天气对大粒子有更好的清除作用。

3.2 不同天气条件下PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>及PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度比较

为进一步了解沙尘天气发生过程,比较不同天气情况下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度的分布情况。将典型(晴天、浮尘、扬沙、沙尘暴)天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>1.0</sub>和PM<sub>2.5</sub>的日平均浓度、最大浓度、最小浓度分别统计(表1)。

根据气象资料和颗粒物浓度观测资料,选取4月

表1 2010年4—5月民勤沙地近地层沙尘气溶胶浓度变化 mg·m<sup>-3</sup>

项目		观测时刻	平均浓度	最大浓度	最小浓度	观测次数/次
4月4日 浮尘	PM <sub>10</sub>	00:01:00—23:56:00	311.8	633.9	101.0	288
	PM <sub>2.5</sub>	00:01:00—23:56:00	78.6	135.9	29.7	288
	PM <sub>1.0</sub>	00:01:00—23:56:00	16.4	23.9	8.0	288
4月25日 沙尘暴	PM <sub>10</sub>	00:01:00—23:56:00	2469.1	*	268.8	288
	PM <sub>2.5</sub>	00:01:00—23:56:00	460.3	2254.7	60.0	288
	PM <sub>1.0</sub>	00:01:00—23:56:00	92.7	457.1	16.1	288
5月19日 晴天	PM <sub>10</sub>	00:01:00—23:56:00	32.8	81.4	12.6	288
	PM <sub>2.5</sub>	00:01:00—23:56:00	11.2	17.4	3.0	288
	PM <sub>1.0</sub>	00:01:00—23:56:00	7.0	36.7	1.5	288
5月24日 扬沙	PM <sub>10</sub>	00:01:00—23:56:00	1234.1	3667.8	518.3	288
	PM <sub>2.5</sub>	00:01:00—23:56:00	324.2	860.1	103.4	288
	PM <sub>1.0</sub>	00:01:00—23:56:00	69.0	132.1	24.7	288

注: \* 为沙尘浓度超过监测范围 6500 μg·m<sup>-3</sup>。  
4日和25日及5月19日和24日为典型的浮尘、沙尘暴、晴天和扬沙4种天气类型。分析发现,不同天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度有较大差别。从表1可以看出,浮尘天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度分别为311.8、78.6 μg/m<sup>3</sup>和16.4 μg/m<sup>3</sup>,是晴天背景天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度的10、7倍和2

万方数据

倍。扬沙天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度分别为1234.1、424.2 μg/m<sup>3</sup>和69 μg/m<sup>3</sup>,是晴天背景天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度的40、30倍和10倍;是浮尘天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度的4、4倍和4倍。沙尘暴天气条件下PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>1.0</sub>日平均质量浓度分别为2469.1、460.3 μg/m<sup>3</sup>和

92.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。是晴天天气背景条件下  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{1.0}$  日平均质量浓度的 100、45 倍、13 倍,是浮尘天气条件下  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{1.0}$  日平均质量浓度的 8、6 倍和 6 倍。是扬沙天气条件下  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{1.0}$  日平均质量浓度的 2.2 倍和 1.4 倍。

以上可以看出,随着浮尘、扬沙、沙尘暴天气的发生, $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{1.0}$  质量浓度均在成倍地增加。其中  $\text{PM}_{10}$  的增幅最大,在沙尘暴发生时,相对背景天气  $\text{PM}_{10}$  质量浓度增加 100 倍,而  $\text{PM}_{2.5}$  为 45 倍, $\text{PM}_{1.0}$  增加 13 倍。这与风速增大时沙尘浓度的增加对粒子的选择性有关,小粒子比重随沙尘浓度增加而相对减小,大粒子比重随沙尘浓度增加而相对增多。

3.3 不同天气条件下  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  及  $\text{PM}_{1.0}$  质量浓度日变化

图5给出了4个典型天气条件下风速的变化,结合观测期间4个典型天气条件下  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{1.0}$  质量浓度日变化情况和其他气象要素变化(图6),可以得出4种天气类型特征:第1种类型(5月

19日)前后几日内均无沙尘暴、降水等极端天气情

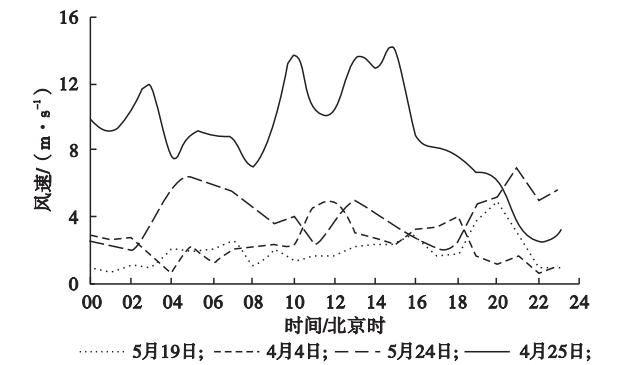


图5 2010年4—5月民勤不同天气条件下对应风速的日变化情况出现,当日云量为0.2,天气情况晴好,全天风速较小,中午风速偏大加上局地热力环流,沙尘浓度有所升高,20:00左右有短时大风,沙尘浓度迅速升高,但全天总体沙尘浓度比较低,可以认为是背景天气。第2种类型(4月4日)由于上游沙尘传输、沉降,使得早晨空气中沙尘浓度很高,白天天气晴朗,全天风速较小,没有发生雨雪等冲洗作用,所以整天沙尘浓度呈缓慢降低趋势,中午由于局地热力环流

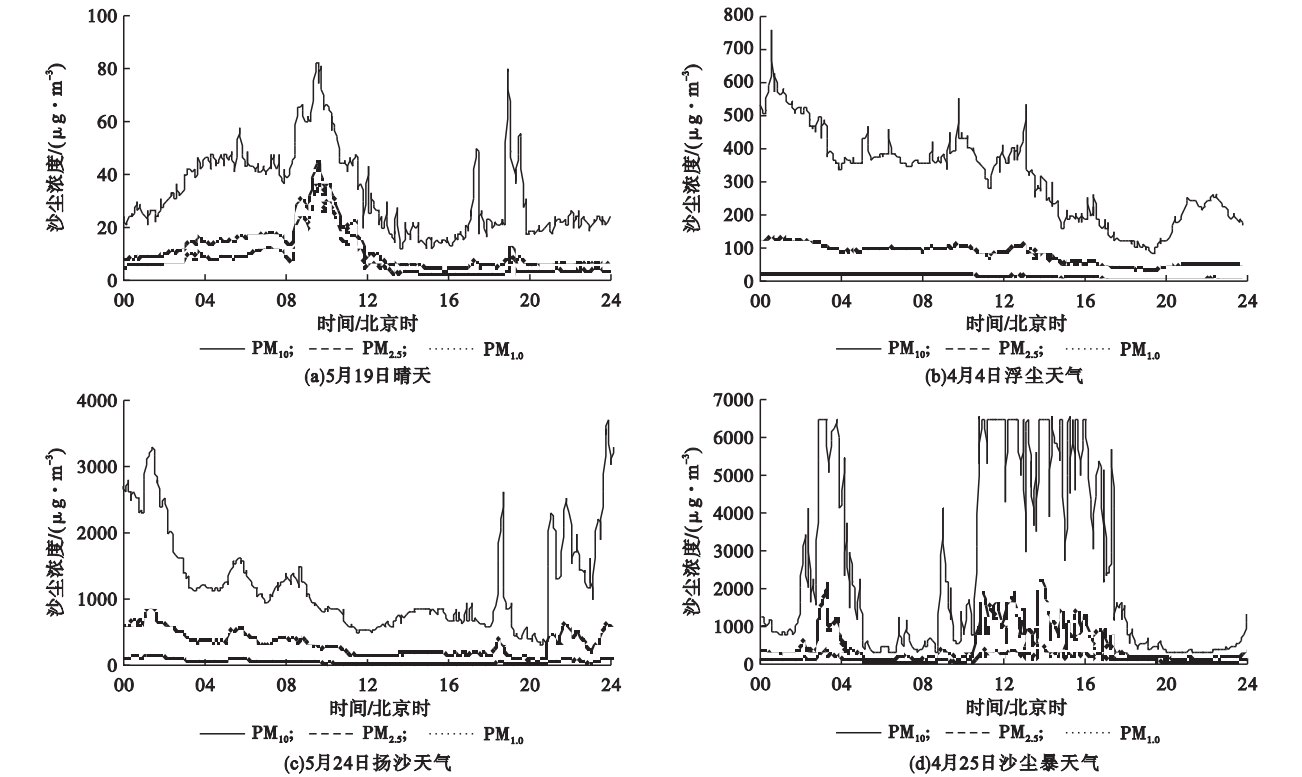


图6 2010年4—5月  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  及  $\text{PM}_{1.0}$  质量浓度在不同天气下的日变化

沙尘浓度有所回升,但总体呈下降趋势,日平均沙尘浓度较高,这种天气多为浮尘天气。第3种(5月24日)早晨有大风出现,使得沙尘浓度迅速升高,之后风速减小,沙尘浓度下降,但傍晚又遇大风,使得沙尘浓度迅速升高,全天沙尘浓度很高。这种天气多为扬沙天气;如遇大尺度天气系统配合,将会出现沙

尘暴过程。第4种(4月25日)由于冷空气过境,使得大气层结极不稳定,早晨和午后均出现强风,使得沙尘浓度迅速升高数十倍。这种天气可定为沙尘暴天气。

沙尘气溶胶浓度及其日变化取决于风速、地表热力状况、源强、大气扩散和湍流交换能力、降雨等



以及大尺度天气过程等因素。通过对图 6 中 4 个典型天气条件下  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  5 min 平均质量浓度日变化分析发现,在不同天气条件下, $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  质量浓度变化有较好的对应关系,但增加的比例有所不同。

3.4 一次特强沙尘暴过程分析

3.4.1 实况

受新疆强冷空气东移南压影响,2010 年 4 月 24 日 19:09 民勤县出现特强沙尘暴(黑风),最小能见度为 0,22:13 结束,持续达 3 h 4 min,大风从 18:56 开始,至 22:38 结束。大风持续时间达 3 h 42 min,10 min 最大风速达 18.4 m/s(8 级),瞬间极大风速达 28.0 m/s(10 级),这是民勤有气象记录以来最强一次特强沙尘暴天气过程。

3.4.2 特强沙尘暴过境时地面水平风场的变化

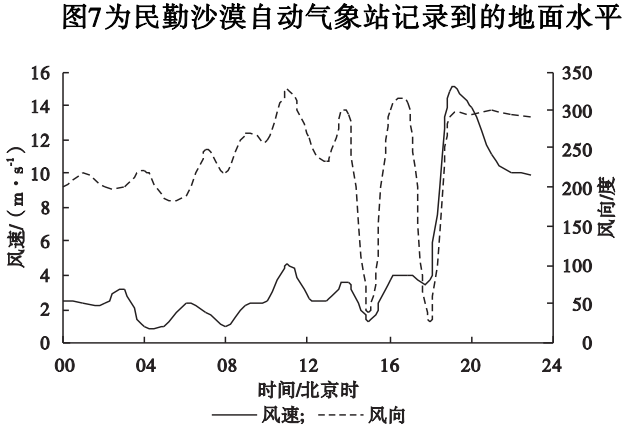


图 7 2010 年 4 月 24 日特强沙尘暴过程逐时风速风向变化

风场在 2010 年 4 月 24 日特强沙尘暴过境时的时间演变实况。可以看出,早晨 10:00 之前,基本上盛行西南,风速较小且比较稳定,风速维持在 1—2 m/s。在特强沙尘暴来临前,风速经过了 3 次变化:第 1 次变化从 10:00 开始至 11:00 结束,风向由西南转为西北偏北,风速增大,由原来的 2 m/s 增大到 5 m/s。第 2 次变化从 11:00 左右开始至午后 13:00 左右,风向由西北又逐渐转为西南,风速有所减小。前 2 次调整均属于缓慢振荡调整。第 3 次变化开始于午后 14:00,这次变化属于快速振荡调整,风向由西北偏西迅速转为东北偏北,经过了 80°左右的快速调整,之后,又经过从东北偏北向西北和从西北向东北再向西北调整的过程,直到特强沙尘暴的来临,风向开始稳定转为西北。在上述风向调整过程中,风速也有相应的调整。从图 7 可以看出,当风向由西南转为西北时,风速均有增大的趋势;相反,当风向由西北转为西南时,风速又有所减小。同时发现,当风向由西北转为东北时,风速也有所下降。经过上述变化,至傍晚 17:10 左右风速突然迅速增大,发展成为此次沙尘暴过境时的强风天气<sup>[12]</sup>。

3.4.3 特强沙尘暴过程沙尘浓度的变化

表 2 是本文观测到的此次特强沙尘暴过程前后 5 d 内  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  质量浓度状况。将沙尘暴前后 7 d 内  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  日平均质量浓度变化曲线和 4 月 24 日  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  质量浓度日变化分别绘成曲线(图 8 和图 9)。

表 2 2010 年 4 月 24 日特强沙尘暴过程沙尘气溶胶浓度						$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
项目		观测时刻	平均浓度	最大浓度	最小浓度	观测次数/次
4 月 23 日	$PM_{10}$	00:01:00—23:56:00	36.7	87.6	10.1	288
	$PM_{2.5}$	00:01:00—23:56:00	10.5	17.3	5.2	288
	$PM_{1.0}$	00:01:00—23:56:00	5.4	10.7	3.0	288
4 月 24 日	$PM_{10}$	00:01:00—23:56:00	1093.4	*	42.0	288
	$PM_{2.5}$	00:01:00—23:56:00	599.2	*	12.4	288
	$PM_{1.0}$	00:01:00—23:56:00	147.5	2286.8	4.7	288
4 月 25 日	$PM_{10}$	00:01:00—23:56:00	2469.1	*	268.8	288
	$PM_{2.5}$	00:01:00—23:56:00	460.3	2254.7	60.0	288
	$PM_{1.0}$	00:01:00—23:56:00	92.7	457.1	16.1	288
4 月 26 日	$PM_{10}$	00:01:00—23:56:00	780.8	4640.1	142.6	288
	$PM_{2.5}$	00:01:00—23:56:00	161.3	955.2	49.6	288
	$PM_{1.0}$	00:01:00—23:56:00	40.5	190.3	18.4	288
4 月 27 日	$PM_{10}$	00:01:00—23:56:00	390.4	2237.2	59.2	288
	$PM_{2.5}$	00:01:00—23:56:00	72.1	232.9	20.2	288
	$PM_{1.0}$	00:01:00—23:56:00	19.7	51.0	8.8	288

注: \* 为沙尘浓度超过监测范围  $6500\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

通过表2可以看出,在此次特强沙尘暴到来之

将会持续一段时间。

4 结论

(1)民勤春季沙尘天气发生频繁,在观测的 58 个样本天气中,其中沙尘天气日数为 19 d,占 32.8%,平均 3 d 产生 1 次沙尘天气。近地层沙尘浓度较高,整个观测期内  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  的日平均质量浓度分别为  $202.3 \mu g/m^3$ 、 $57.4 \mu g/m^3$  和  $16.7 \mu g/m^3$ 。

(2)沙尘浓度主要与风速、地表热力状况、天气现象及大尺度天气系统等因素有关,其 4 种天气日变化属于不同类型。

(3)对应不同的天气状况,沙尘浓度有较大波动;沙尘天气发生时,风速增大对沙尘粒子的增加具有选择性。雨雪天气对大粒径粒子去除效果最好。

(4)在 2010 年 4 月 24 日特强沙尘暴过程当中,地表发生了非常严重的风蚀起沙过程,大量小粒子被输送到高层大气中。

参考文献

[1] 王涛,陈广庭,钱正安,等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠,2001,21(4):322-327.

[2] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学分析[J]. 中国科学(B辑:化学),1984(3):278-288.

[3] Duce R A. Sources, distributions and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate[M]//Charlson R J, Heintzenberg J, edit. Aerosol Forcing of Climate. New York: John Wiley, 1995:43-72.

[4] Martin J H. Glacial-interglacial  $CO_2$  change: The iron hypothesis[J]. Paleoceanography, 1990, 199(5):1-13.

[5] 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(3):191-197.

[6] 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.

[7] 张克存,屈建军,马中华. 近 50 a 来民勤沙尘暴的环境特征[J]. 中国沙漠,2004,24(3):257-260.

[8] 钱正安,费慧霞,瞿章,等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准、个例谱及其统计特征[C]//方宗义,编. 中国沙尘暴研究. 北京:气象出版社,1997:1-10.

[9] 邱新法,曾燕,缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报,2001,56(3):316-322.

[10] 胡隐樵,光田宁. 强沙尘暴微气象特征和局地触发机制[J]. 大气科学,1997,21(5):581-589.

[11] 孙素琴,苗春生,王坚红. 一次飚线过程的数值模拟及诊断分析[J]. 气象与环境学报,2010,26(2):21-26.

[12] 王丽荣,杨荣珍,李朝华. 许宏利多普勒雷达三维拼图资料在强对流天气监测中的应用[J]. 气象与环境学报,2009,25(5):18-23.

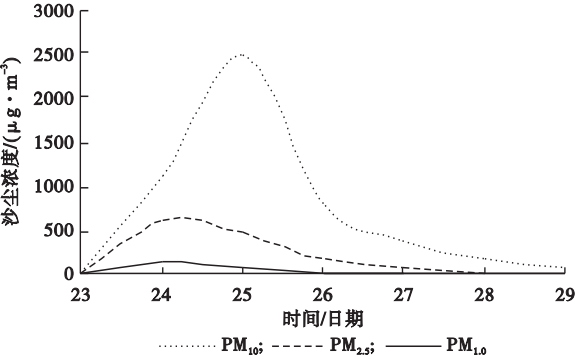


图8 2010年4月23—29日强沙尘暴过程沙尘浓度逐日变化

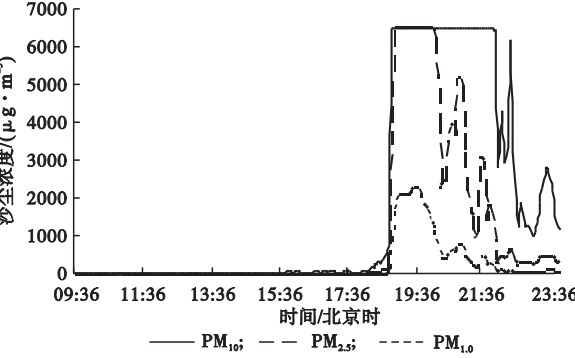


图9 2010年4月24日强沙尘暴沙尘浓度日变化

前的 4 月 23 日,  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  日平均质量浓度分别为  $36.7 \mu g/m^3$ 、 $10.5 \mu g/m^3$  和  $5.4 \mu g/m^3$ , 沙尘浓度维持在较低的水平,说明当日天气晴好。结合 4 月 24 日当天沙尘浓度日变化曲线分析可以发现,在沙尘暴到来的 19:10 之前,沙尘浓度一直都维持在非常低水平;从 19:10 开始随着风速的增大,沙尘浓度突然迅速升高 200 多倍,  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  均超过了本观测仪器的检测范围  $6500 \mu g/m^3$ 。可见,此次沙尘暴来的非常迅速,强度非常大。与胡隐樵等<sup>[10]</sup>对“19930505”特强沙尘暴过程的分析对比可以得出,此次特强沙尘暴与“19930505”特强沙尘暴过程在发生机理上有很多相似之处,因此可以认为此次特强沙尘暴也应该是由冷锋前飚线引起<sup>[11]</sup>。

由于受此次冷空气过境影响,2010 年 4 月 25 日民勤也发生了非常严重的沙尘暴过程,当日  $PM_{10}$  日平均质量浓度达到了观测以来的最大值  $2469.1 \mu g/m^3$ 。在沙尘暴过程过后,空气中沙尘浓度迅速下降,4 月 26 日  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  日平均质量浓度分别降低至  $780.8 \mu g/m^3$ 、 $161.3 \mu g/m^3$  和  $40.5 \mu g/m^3$ , 4 月 27 日  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_{1.0}$  的日平均质量浓度分别降至  $390.4 \mu g/m^3$ 、 $72.1 \mu g/m^3$  和  $19.7 \mu g/m^3$ 。可以看出,每次强沙尘暴过程结束之后,如果没有遇到雨雪等天气的清洗作用,浮尘天气

## Concentration characteristics of sand dust aerosol in atmospheric boundary layer in spring of 2010 at Minqin, Gansu province

KANG Fu-gui<sup>1,2</sup> LI Yao-hui<sup>1,2</sup>

- ( 1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;  
2. School of Environmental and Municipal Engineering; Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China )

**Abstract:** In order to study transportation and outbreak mechanism of sand dust particles, the aerosol particles were continuously sampled from April to May in 2010 at Minqin of Gansu province using a laser radar ( EZ LIDAR ALS300&ALS450 type ) and a particulate sampler instrument ( GRIMM 180 ). The altitude-orbit cross section of total backscattering of sand dust aerosol and mass concentrations of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and  $PM_{1.0}$  were analyzed under clear, floating dust, blowing dust and sandstorm weather conditions, including the extremely strong sandstorm process occurring on 24 April ( 0424 ). The results show that the concentrations of sand dust aerosol are high in spring near the ground surface layer in the study area. The concentration changes largely with variation of some meteorological elements. Mean mass concentrations of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and  $PM_{1.0}$  are  $202.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $57.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $16.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively during the observational period. The correlation among  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and  $PM_{1.0}$  is significant under the different weather conditions, while variation trends of these variables are different. The mean daily mass concentration of  $PM_{10}$  reaches  $2469.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  under sandstorm weather, and this is about 100 times higher than that under normal weather condition, 8 times higher than under floating dust condition and 2 times higher than under blowing sand condition. The concentration of  $PM_{2.5}$  is  $460.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  under sandstorm weather, and it is about 45 times higher than that under normal weather condition, 6 times higher than under floating dust condition and 1.4 times higher than under blowing dust condition. That of  $PM_{1.0}$  is  $92.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  under sandstorm weather, which is 13 times higher than under normal weather condition, 7 times higher than under floating dust condition and 1.3 times higher than under blowing dust condition. It is seen that the dust particle concentration increases with the increase of wind speed, but small particle proportion decreases and large particle proportion increases with the increase of dust concentration. Analysis of the “0424” strong sandstorm process reveals that a sandstorm process usually includes two types of sandstorm, blowing dust and floating dust. The analysis of lidar data indicates that the serious dust wind erosion occurs at Minqin during the sandstorm.

**Key words:** Sand dust aerosol in boundary layer; Weather type; Aerosol mass concentration; Minqin