

徐鑫强, 王鑫, 黄建平. 张掖及兰州榆中地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究[J]. 高原气象, 2011, 30(1): 208-216

# 张掖及兰州榆中地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究

徐鑫强, 王鑫\*, 黄建平

(兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 选取张掖和兰州榆中两地春季沙尘气溶胶连续观测资料, 主要对 2008 年 5 月发生的一次强沙尘天气过程中气溶胶粒子浓度变化和谱分布特征进行了分析。结果表明, 此次沙尘天气过程的发生与锋面过境有关; 对比分析背景天气下气溶胶浓度, 发现榆中站气溶胶浓度主要受人为源的影响, 而张掖站主要受自然源的影响。两地沙尘过程的发生时间与物理属性不完全相同。通过对气团轨迹的分析, 发现此次沙尘气溶胶有多个来源。由于受河西走廊一带地理位置和地形的影响, 张掖地区沙尘天气比兰州榆中地区更为频繁和严重。

**关键词:** 张掖和兰州榆中地区; 沙尘过程; 质量浓度; 数浓度; 粒径分布; 气团轨迹; 锋面

**文章编号:** 1000-0534(2011)01-0208-09 **中图分类号:** P445<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A

## 1 引言

大气中的气溶胶颗粒物可对大气物理过程产生影响, 在天气和气候变化方面尤为明显, 其浓度变化将直接影响到人们的健康和生存环境。沙尘气溶胶作为一种在我国北方广泛存在的气溶胶颗粒, 其浓度春季较高, 对很大范围内的环境和居民健康都具有重要影响<sup>[1-6]</sup>。为了定量研究沙尘气溶胶在大气物理和大气化学过程中的作用, 需要详细分析沙尘气溶胶的物理特性, 包括沙尘粒子的质量浓度、数浓度、粒子谱分布等, 因此获得具有地区代表性的沙尘气溶胶物理特征的资料是十分重要的<sup>[7]</sup>。牛生杰等<sup>[8]</sup>通过对贺兰山地区大气背景、浮尘、扬沙和沙尘暴天气的采样, 得到在不同天气条件下的气溶胶质量浓度; 权建农等<sup>[9]</sup>分析了 2001 年沙尘暴期间兰州与武威的沙尘浓度和粒径分布特征, 揭示了河西走廊沙漠对兰州市沙尘暴的影响; 刘立超等<sup>[10]</sup>在敦煌地区进行了长达 30 个月的试验观测研究, 获得了该地区沙尘气溶胶质量浓度和粒径分布等基本特征; 邱玉珺等<sup>[11]</sup>利用 WPS 粒谱仪对内蒙古朱日和地区春季沙尘气溶胶进行观测, 得到不同天气条件下的气溶胶谱分布。

我国西北地区属于中亚沙尘暴区的一部分, 是全球沙尘气溶胶主要排放源地之一, 源于该地区的沙尘也是全球大气气溶胶的重要组成部分<sup>[12]</sup>。甘肃河西走廊北临腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠, 是我国沙尘暴天气的四大源区之一。兰州位于其出口, 代表了沙尘经过一定距离输送后的状况<sup>[13]</sup>, 张掖位于其中部, 对比两地的大气气溶胶状况能很好地反映西北地区沙尘气溶胶的时间和空间分布、沙尘气溶胶的物理特征以及发生和传输机制, 对沙尘暴期间沙尘气溶胶的变化有重要指示作用。因此本文对 2008 年 5 月 2 日发生在我国西北地区的一次区域性强沙尘天气过程进行分析, 并对张掖、兰州两地沙尘天气过程中的气溶胶物理属性进行深入讨论。

## 2 仪器、采样站点及资料

### 2.1 仪器介绍

本文主要使用的观测仪器是 APS-3310A 型激光空气动力学气溶胶粒子谱仪。由于粒子被空气加速, 而其速度滞后, 且只与粒子的空气动力学直径有关, 故通过测量粒子速度即可确定粒子的空气动力学直径。该仪器在 0.523~19.81  $\mu\text{m}$  范围内

收稿日期: 2010-03-29; 改回日期: 2010-07-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAC40B05); 中央高校基本科研业务费专项资金(860443)共同资助

作者简介: 徐鑫强(1986-), 男, 浙江湖州人, 硕士研究生, 主要从事气象学研究. E-mail: xuxq05@lzu.edu.cn

\*通信作者: 王鑫, E-mail: wxin@lzu.edu.cn

分为 51 档再加上  $<0.523$  档, 可用于测量各种固体颗粒谱分布, 包括数浓度谱、表面积谱和质量谱。APS 不同于光学粒子计数, 因粒子以高速通过可视体积, 其重叠计数误差远小于光学粒子计数。

## 2.2 采样站点

兰州大学半干旱气候与环境观测站(SACOL)是按国际标准建设的气候观测平台, 拥有先进的气候和环境观测设备和仪器。观测站位于兰州大学榆中校区海拔 1961 m 的翠英山顶上(35.946°N, 104.137°E)。采样点下垫面属于典型的黄土高原地貌, 塬面梁峁基本为原生植被。属温带半干旱气候, 年平均气温为 6.7°C, 平均年降雨量为 381.8 mm, 相对湿度为 63%。山顶全年盛行西北风和东南风。

张掖属温带干旱气候, 平均年降水量 198 mm, 全年盛行西北风。采样点设在张掖市郊区, 人烟稀少, 下垫面属于荒漠草原, 地势平坦开阔, 植被稀少, 在有风的天气下易起沙。图 1 给出了采样点位置和周围沙漠分布。

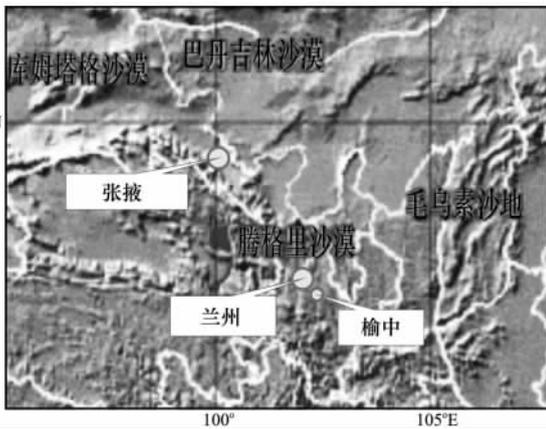


图 1 采样点及周围沙漠分布

Fig. 1 Distributions of sampling point and peripheral desert

## 2.3 资料选取

本文采用兰州榆中和张掖两地 2008 年 3~5 月的春季气溶胶粒子观测资料, 其中榆中资料来源于兰州大学半干旱气候与环境观测站(SACOL), 观测时间为 90 天, 每 5 min 测量一次。张掖资料由兰州大学大气科学学院、中国科学院大气物理所、中国气象局、美国能源部大气辐射计划和马里兰大学等单位联合进行的西北沙尘暴观测所得, 从 4 月 8 日开始, 6 月 23 日结束, 观测天数总计 76 天, 每 20 s 测量一次, 为对比的方便, 统计为 5 min 平均值。

## 3 结果分析

观测资料显示, 2008 年 5 月 2 日张掖、兰州榆中等地都有强沙尘过程, 强度大且影响范围广。本文对该次典型沙尘过程的起沙原因、沙尘来源以及  $PM_{10}$  粒子谱分布等进行深入分析。

### 3.1 沙尘过程天气形势分析

图 2a、b 是 5 月 1 日凌晨 02:00(北京时, 下同)700 hPa 和 850 hPa 位势高度图。从 700 hPa 图上可以看到(图 2a), 我国以北地区等高线比较平直, 偶有小槽波动影响到我国北方, 850 hPa 图上在蒙古地区上空有一个低压中心存在(图 2b)。850 hPa 槽线位置稍落后于 700 hPa 槽线, 在榆中站上空, 地面锋线落后于高空槽线, 位于张掖站与榆中站之间, 这是很明显的锋面过境天气。但此天气系统并不深厚, 移动速度较快, 持续的时间不会太长。图 2c、d 是 5 月 1 日 20:00 的 700 hPa 和 850 hPa 位势高度图。从 700 hPa 图上可以看到(图 2c), 在甘肃西部上空已形成一个弱高压, 张掖站上空为其中心, 而榆中站在其边缘; 原来的槽线已南移至四川、云南一带。在 850 hPa 图上可看到(图 2d), 低压中心向东移动, 靠近我国东北, 其槽线刚移出甘肃就进入陕西上空; 张掖站受高压控制, 而榆中站处在高压与低压的过渡点, 在这样的天气形势下北风强劲, 加大了沙尘从北面输送侵入的可能性。因此 5 月 2 日两地发生的沙尘过程是受冷锋过境影响。这与王锡稳等<sup>[14]</sup>分析 2000 年 4 月 12 日强沙尘暴的主要影响系统相一致。

### 3.2 沙尘过程和背景天气分析

飘尘是大气中长期漂浮的悬浮物, 其不同的气溶胶粒径对应不同的组成、来源及对人体的危害程度<sup>[15-17]</sup>, 本文选取  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  资料进行分析。选取兰州榆中和张掖采样点 5 月 2 日及前一天的资料进行连续性对比分析, 榆中站以 4 月 18 日资料作为背景资料, 张掖站以 5 月 7 日资料作为背景资料, 数据如表 1 所示。

由表 1 可见, 张掖地区  $PM_{2.5}$  春季月平均质量浓度大于兰州榆中地区的  $PM_{2.5}$  的质量浓度,  $PM_{10}$  浓度更是达到了兰州榆中地区的 7.9 倍, 表明张掖地区更容易受到沙尘天气的影响,  $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  的比重分别为 3.9% 和 28.0%, 而张掖地区的气溶胶的粒子数浓度为兰州榆中地区的一半左右。与张掖地区相比, 兰州榆中地区主要受局地污染的影响, 以污染型气溶胶为主。两地背景天气下,  $PM_{2.5}$  质

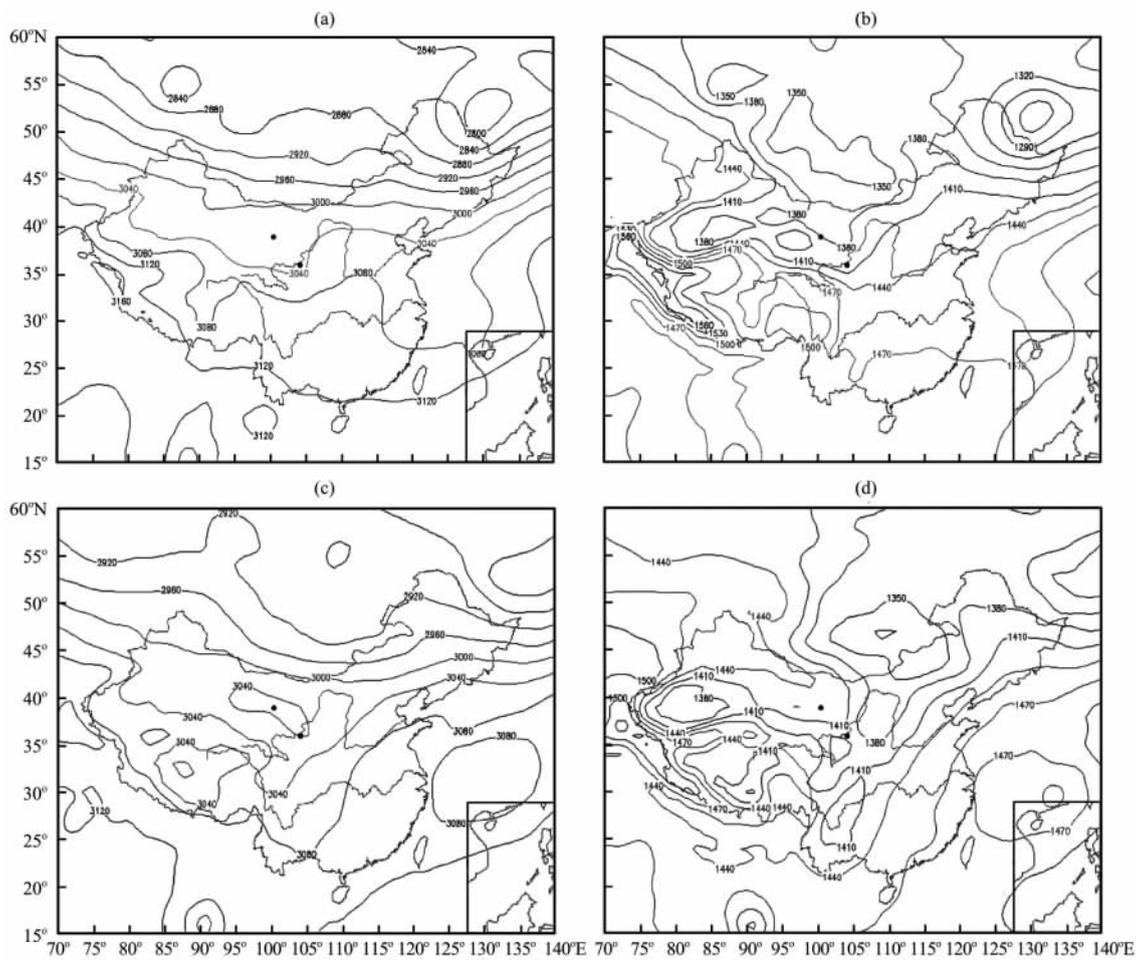


图 2 2008 年 5 月 1 日 02:00(a、b)和 20:00(c、d)沙尘过程高度场

(a)和(c) 700 hPa, (b)和(d) 850 hPa, 黑点是采样点位置

Fig. 2 700 hPa (a, c) and 850 (b, d) height fields in dust weather process at 02:00 (a, b) and 20:00 (c, d) on 1 May 2008. Black point is location of the selected sample

表 1 APS 采样资料统计结果

Table 1 The statistical result of the data sampled by APS

地点	日期 /(年-月-日)	采样时间	样本数 /个	质量浓度/( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )			数浓度/( $\text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$ )		
				PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	比值/%	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	比值/%
兰州榆中	2008-05-01	00:00:49~23:57:27	288	0.104	0.172	60.5	20.0	21.6	92.6
	2008-05-02	00:02:28~23:59:34	288	0.744	1.240	60.0	123.9	135.4	91.5
	2008-05-03	00:04:34~23:56:21	287	0.421	0.705	59.7	66.0	73.2	90.2
	2008-04-18	00:03:12~23:55:02	287	0.023	0.029	79.3	15.6	15.7	99.4
	春季月平均			0.030	0.107	28.0	58.5	60.4	96.9
张掖	2008-05-01	00:00:04~07:59:40 14:44:48~23:59:48	3106	0.619	1.181	52.4	28.8	35.5	81.0
	2008-05-02	00:00:06~23:59:48	4320	0.246	0.405	60.7	45.1	48.7	92.6
	2008-05-03	00:00:06~23:59:48	4320	0.341	0.555	61.4	63.5	68.8	92.3
	2008-05-07	00:00:16~23:59:52	4320	0.029	0.046	63.0	5.7	6.2	91.9
春季月平均			0.033	0.844	3.90	26.9	34.4	78.2	

量浓度相当，PM<sub>10</sub>浓度张掖地区仅是兰州榆中地区的1.6倍，PM<sub>2.5</sub>占PM<sub>10</sub>的比重分别为62.5%和78.7%，同时数浓度只有兰州榆中地区的36.5%和39.5%。可以看出，张掖地区的气溶胶粒子总体较兰州榆中地区大(无论是细粒子还是粗粒子)，并且张掖地区沙尘天气更加频繁，致使在背景天气相差不大的情况下月平均值相差较大，尤其是粗粒子。这与两地所处的地理位置有关。从图1可以看出，张掖距离北部巴丹吉林沙漠很近，距离腾格里沙漠的位置也较榆中站近，因此张掖地区更容易受沙尘源地的影响。

榆中站5月2日的沙尘天气形势明显，PM<sub>10</sub>质量浓度达到1.24 mg·m<sup>-3</sup>，数浓度是背景天气的8.6倍，为135个·cm<sup>-3</sup>。张掖站5月1日的质量浓度与榆中站相当，数浓度却是它的26.2%。可见该日空气中气溶胶粒子直径总体比明显处于沙尘天气下的榆中站粒子还要大。榆中站3日和张掖站2~3日的质量浓度和数浓度都相当，但都小于前面介绍的2天。该两地在3天中，除张掖站1日质量浓度PM<sub>2.5</sub>占PM<sub>10</sub>的52.4%和81.0%外，其他都在60%左右，数浓度在92%左右。一般认为<sup>[18]</sup>，

沙尘气溶胶粗细粒子的比例相当，那么其沙尘来源可能是一致的。

### 3.2.1 沙尘过程PM<sub>10</sub>日变化和气团轨迹追踪

图3为榆中站和张掖站5月1~3日3天的PM<sub>10</sub>质量浓度和数浓度日变化图，每5 min一个数据点。从图3中可以看出，榆中站在5月2日凌晨00:00左右出现沙尘天气，持续到早上07:00开始回落，受沙尘天气影响全天PM<sub>10</sub>浓度较高。22:00以后沙尘再次袭来，持续至3日03:00回落，全天PM<sub>10</sub>浓度较高。而张掖站在这3天中亦出现了两次沙尘天气，一次在1日00:00左右开始，至凌晨05:00 PM<sub>10</sub>浓度骤降，之后维持在较低浓度水平。2日18:00以后第二次沙尘天气过境，22:00开始回落，之后PM<sub>10</sub>浓度处在一个较高水平，直至3日12:00沙尘天气影响结束。可以发现，两站发生沙尘天气过程的时间与冷锋过境时间较为吻合。

图4显示，榆中站的两次沙尘天气和张掖站第二次沙尘天气过程质量浓度和数浓度的变化趋势相吻合，并且气溶胶的质量浓度也比较相近，质量浓度峰值在2.5 mg·m<sup>-3</sup>左右，数浓度峰值为300个·cm<sup>-3</sup>左右，张掖站数值略高。但这3次过程都弱

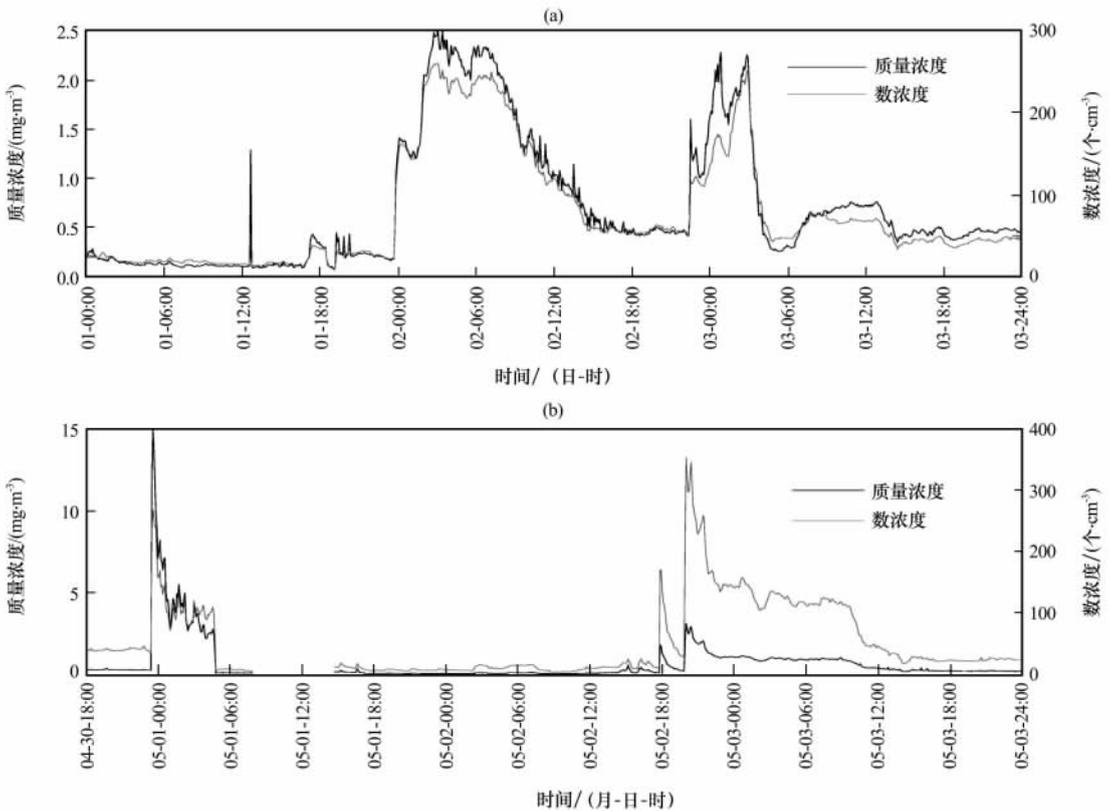


图3 2008年5月1~3日榆中站(a)和张掖站(b)PM<sub>10</sub>浓度变化

Fig. 3 The variation of the PM<sub>10</sub> concentration on 1~3 May 2008

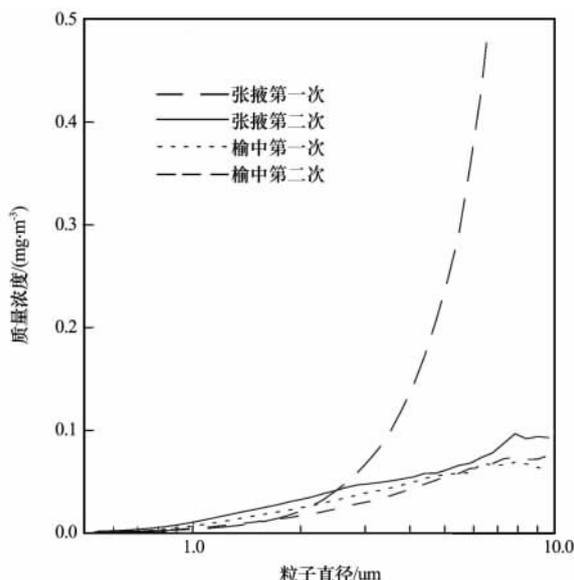


图4 两站  $PM_{10}$  质量浓度峰值粒子谱分布

Fig. 4 The particle size distribution of peak value of  $PM_{10}$  mass concentration at two stations

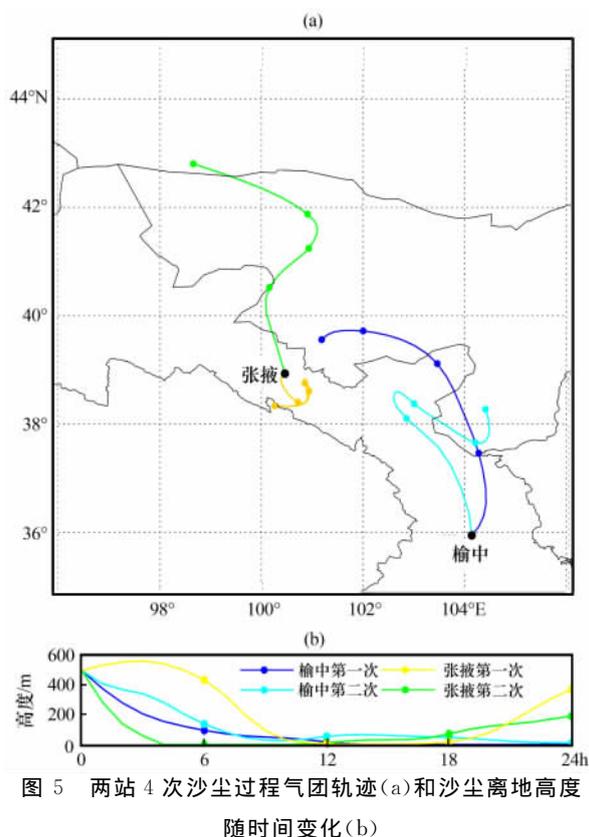


图5 两站4次沙尘过程气团轨迹(a)和沙尘离地高度随时间变化(b)

Fig. 5 Air mass trajectories(a) and change of dust from surface height with time (b) for four dust processes at two stations

当。可见, 该次沙尘过程中大粒子含量远远大于其他3次。从图4还可以看到, 张掖站第一次沙尘过程谱分布明显有别于其他3次, 其粒子质量浓度主要分布在直径  $1.2 \mu\text{m}$  以上, 且一直按指数形势快速增加, 在最大直径  $9.6 \mu\text{m}$  处达到最大值  $1.13 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (图略), 高出其他3次该粒径浓度一个量级。而其他3次峰值质量浓度分布形势较为一致, 最大值都出现在直径  $7.8 \mu\text{m}$  处, 数值在  $0.09 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  左右, 张掖站第二次总体略高。从前面对张掖站5月1日质量浓度和数浓度的日平均值、日变化曲线的分析, 再结合这3天的天气形势状况, 初步认为张掖站第一次沙尘过程是由于冷锋过境伴随的环境对流场不稳定和局地短时大风在当地或附近起沙形成, 而张掖站周围稀疏的植被条件和干燥的土地特征提供了丰富的沙尘源。其他3次过程则是在其他地方产生, 经过一定的传输距离才到达采样点。沙尘在移动过程中沙尘有明显的输送和沉降作用<sup>[19]</sup>, 粗、细粒子有较大区别, 粗粒子往往沉降较快, 进而造成粒子谱分布的变化。

对4次沙尘过程质量浓度峰值时刻气团后向轨迹进行追踪, 探究沙尘粒子来源。如图5所示, 4条线段分别是峰值时刻测点上空离地500 m高度上的气团在前24 h的运动轨迹, 每6 h一个标注点。图5b则是它们离地高度随时间变化曲线。从运动轨迹图上可以看到, 张掖站第一次的运动轨迹比较混乱, 没有固定方向的持续运动, 一直在张掖站周围运动。而其他3次都有明显的传输过程。结合图5b的接地时间, 可以看出, 张掖站第二次传输时间较短, 在之前4 h左右接地; 榆中站的两次传输时间较长, 在之前12 h左右基本接地。对应到地图上可以看到, 榆中站两次接地点都在腾格里沙漠西侧, 第一次更靠沙漠中心。而张掖站第二次接地点在巴丹吉林沙漠西侧。根据气团轨迹分析, 可以证实虽然处在同样的天气背景下, 但是张掖站沙尘过程有别于其他3次, 可能是由于大风作用在当地或附近起沙形成, 而其他3次则经过了一定距离的传输到达观测点。前面提到  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  比值在一定程度上能够反映沙尘气溶胶的来源, 除张掖站第一次外其他3次虽然源地都有一定距离, 但相距不远, 且都属于沙漠类型。相关研究表明<sup>[20]</sup>, 巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠有合并的趋势, 造成它们的比值较为相近。

### 3.2.2 背景天气下气溶胶浓度分析

背景天气下, 榆中站和张掖站的气溶胶含量都

于张掖站第一次沙尘过程, 从图4中可看到, 其质量浓度峰值为  $15.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 是其他3次的5倍左右; 数浓度峰值是  $269 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 与其他3次相

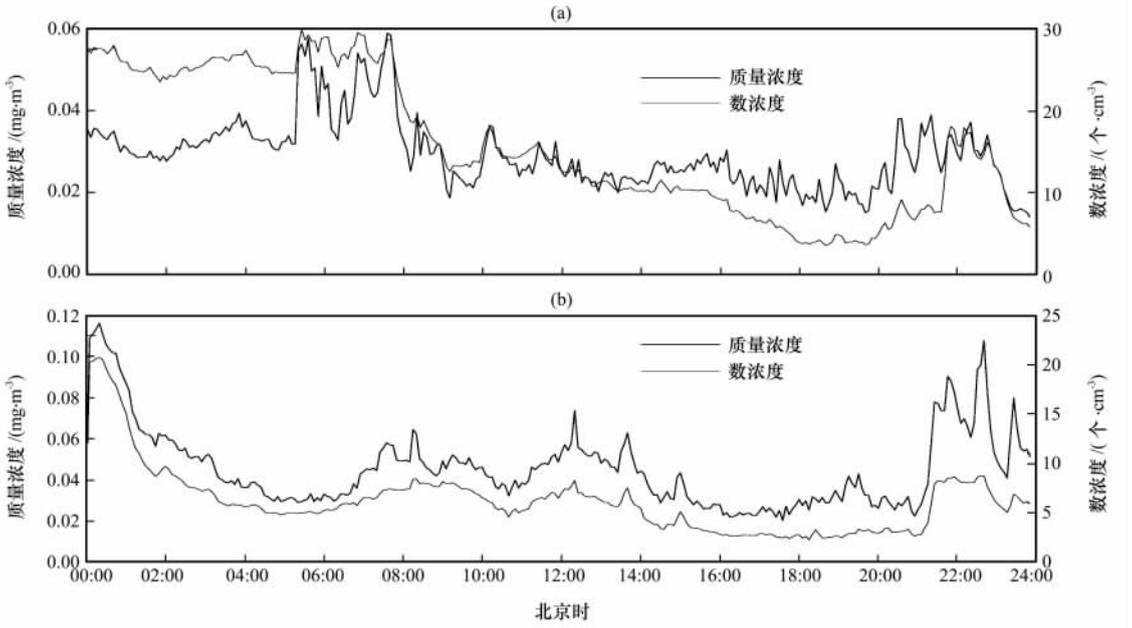


图 6 榆中(a)和张掖(b)两地背景天气的 PM<sub>10</sub> 浓度变化

Fig. 6 The changes of PM<sub>10</sub> concentration in the background weather of Yuzhong (a) and Zhangye (b)

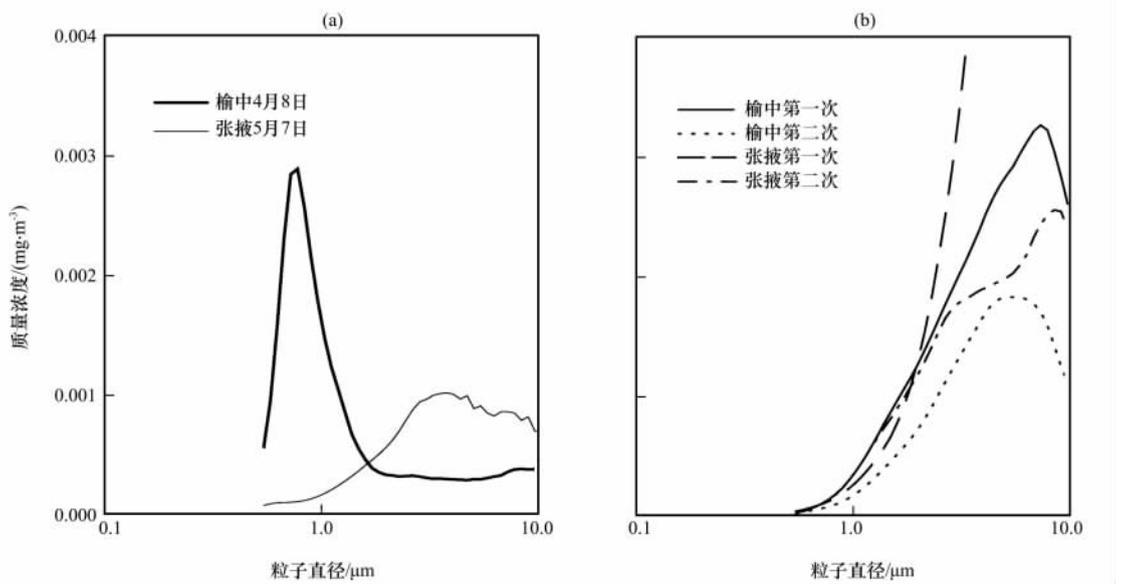


图 7 背景天气(a)和沙尘天气(b)下两站 PM<sub>10</sub> 质量浓度粒子谱分布

Fig. 7 The particle size distributions of PM<sub>10</sub> mass concentration in the background(a) and sandstorm(b) weathers at Yuzhong and Zhangye stations

比较低，日平均 PM<sub>10</sub> 数浓度只有 16 个 · cm<sup>-3</sup> 和 6 个 · cm<sup>-3</sup>，因此图 6 中质量浓度和数浓度变化趋势较为显著。榆中地区 4 月 18 日 PM<sub>10</sub> 质量浓度日变化呈明显双峰型，峰值分别出现在早晨 07:00 和傍晚 21:00，早晨峰值高于傍晚峰值。相关研究表明<sup>[21]</sup>，这两个峰值是由人类活动产生的。夜间质量浓度略高于白天，而数浓度要高出许多。可见，

晚上细粒子含量较白天高。王开燕等<sup>[22]</sup>研究认为，造成这一现象的原因是白天垂直对流比较强，对细粒子的扩散有利，在没有大风的情况下，不会将地面沙尘吹起，对粗粒子的影响不大。进一步观察发现，若在数浓度变化上去除质量浓度变化的影响（视质量浓度变化为大粒子浓度变化，引起的数浓度变化较小），00:00-18:00 数浓度值一直在减

小,也就是说这段时间内细粒子浓度不断下降。结合前一天的  $PM_{10}$  变化图(图略),发现前一天有弱的沙尘天气,从而导致这一变化。对比 5 月 7 日张掖站的情况可以发现明显不同,质量浓度并不呈双峰型,夜间浓度要高出白天许多,且数浓度的变化并不像榆中站那么大。结合两地  $PM_{2.5}$  质量浓度日变化的分析发现(图略),榆中站  $PM_{10}$  的日变化主要是由细粒子浓度变化造成,粗粒子浓度变化不大。而张掖站细粒子、粗粒子以及  $PM_{10}$  的变化趋势一致。产生这种情况可能是由于榆中地区主要受人为源影响,细粒子较多且粒子直径较小,受空气湍流扰动影响大;而张掖站主要受自然源影响,粒子较少且粒子直径较大。

### 3.2.3 不同天气形势粒子谱分布对比

图 7 为榆中站和张掖站背景天气和沙尘过程的质量浓度粒子谱分布图。在背景天气下,榆中站的质量浓度峰值出现在  $0.8 \mu\text{m}$  处,张掖站出现在  $3.0 \mu\text{m}$ ,且  $>2.0 \mu\text{m}$  谱段内含量比较高。根据粗、细粒子的划分和来源分析,认为在背景天气下,榆中站的粒子谱主要受人为源的影响,而张掖站则主要受天然源的影响。

4 次沙尘过程榆中站分别取 5 月 2 日 00:00~22:00 时段和当天 22:00~3 日 24:00 时段的数据,张掖站取 4 月 30 日 23:00~5 月 1 日 05:00 时段和

5 月 2 日 18:00~3 日 11:00 时段的数据进行平均。可以看到,图 7b 与图 4 峰值质量浓度粒子谱分布较为相似,但也有不同。张掖站第二次过程质量浓度一直随粒径值增大,也是在分析资料的最大直径  $9.6 \mu\text{m}$  处达到最大值为  $0.31 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。而榆中站第一次、第二次和张掖站第二次分别在粒子直径  $7.2, 5.0$  及  $8.4 \mu\text{m}$  处达到最大值,浓度分别为  $0.03, 0.02$  及  $0.03 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。可以看到,榆中站两次过程谱分布呈明显的单峰型,最大值出现的谱段都小于峰值时刻最大值出现谱段  $7.8 \mu\text{m}$ ;而张掖站第二次却不同,而且谱分布形状也有差别。结合图 5 可见,张掖站的沙尘传输时间较短,起沙点离站点较近,影响起沙点的大风可能也影响到了采样点或附近环境,此次过程中的沙尘粒子不是来自一个地方,在传输路径上有新的沙尘粒子加入。榆中站和张掖站的第一、第二次沙尘过程  $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  质量浓度比值分别为  $21.4\%, 20.5\%, 5.3\%, 24.8\%$ 。

上述分析表明,  $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  质量浓度的比值在一定程度上能够反映出沙尘的来源。处于河西走廊中部的张掖明显受周围沙漠的影响较大,该地的沙尘天气由于距离起沙源地较近,强度较大,沙尘粒子直径也比较大。而兰州地区的沙尘天气基本属于传输型,若能做好上游的监测预警工作,对该地

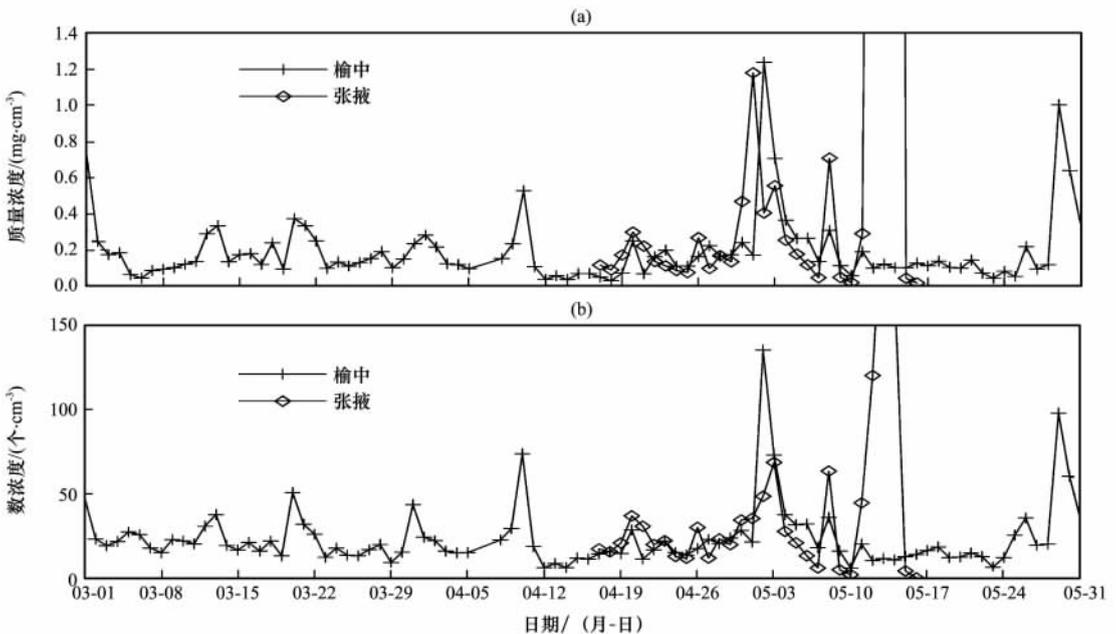


图 8 两站春季  $PM_{10}$  日平均质量浓度(a)及数浓度(b)变化

Fig. 8 Variations of the daily average  $PM_{10}$  mass concentration (a) and number concentration (b) in spring at Yuzhang and Zhangye stations

沙尘天气的防治有着重要意义。

### 3.3 春季沙尘暴爆发频率分析

春季沙尘天气爆发次数多, 持续时间长。图 8 是对两观测点春季  $PM_{10}$  日平均的统计图。从图中可以看到  $PM_{10}$  浓度的变化很明显。将日平均质量浓度达到  $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  以上归为沙尘暴天气, 发现榆中站有 2 天是沙尘暴天气, 而张掖站有 4 天。由于张掖站的采样时间未包含整个春季, 该站点观测到的春季沙尘暴天数远大于榆中站, 其中观测到强度最大的一次沙尘暴过程是张掖站 5 月 12~14 日的这一次, 13 日的日平均质量浓度达到了  $18.39 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 数浓度为  $236 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 其他小的峰值都预示着沙尘天气的出现, 验证了我国西北地区春季沙尘天气发生频率较高。数浓度变化趋势与质量浓度变化趋势大致相同, 其中个别峰值的变化程度有差异。在无沙尘天气下, 两地日平均质量浓度在  $0.15 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  左右, 数浓度在  $20 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$  左右, 而沙尘天气下质量浓度和数浓度数值均是平时的 2 倍以上, 可作为区分是否出现沙尘天气的粗略判据。

## 4 结论

(1) 在背景天气下, 榆中站主要受人为源的影响,  $PM_{10}$  日变化趋势呈明显的双峰型, 早晨和傍晚各有一峰值; 张掖站主要受自然源的影响。两地质量浓度粒子谱峰值分别出现在直径  $0.8 \mu\text{m}$  和  $3 \mu\text{m}$  处;  $PM_{2.5}$  的日平均质量浓度相当,  $PM_{10}$  浓度张掖站略大, 但张掖站的日平均数浓度仅有榆中站的 36.5% 和 39.5%。无论是细粒子还是粗粒子, 张掖地区的沙尘粒子直径均比榆中地区的大。

(2) 5 月 2 日的沙尘过程主要是由冷锋过境天气影响产生。张掖站第一次沙尘过程属于局地大风起沙产生, 其他 3 次都属于传输输入型。榆中站 2 次沙尘过程沙尘都源于腾格里沙漠, 而张掖站第二次沙尘过程源于巴丹吉林沙漠, 且传输时间较短, 传输路径上也有沙源。

(3) 4 次沙尘过程, 榆中站和张掖站第一、二次的质量浓度峰值分别出现在粒子直径  $7.2, 5.0, 9.6, 8.4 \mu\text{m}$  处达到最大值, 浓度分别为  $0.03, 0.02, 0.31$  和  $0.03 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  比值分别为 21.4%, 20.5%, 5.3%, 24.8%。 $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  质量浓度的比值在一定程度上能够反映出沙尘的来源。

(4) 将日平均质量浓度达到  $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  以

上归为沙尘暴天气, 在观测期发现榆中站有 2 天是沙尘暴天气, 而张掖站有 4 天。强度最大一次沙尘暴发生在张掖站, 日平均质量浓度达到了  $18.39 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 数浓度为  $236 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。该年春季河西走廊地带沙尘暴发生频率比兰州地区高, 强度更大。

## 参考文献

- [1] 成天涛, 沈志宝. 中国西北大气沙尘的辐射强迫[J]. 高原气象, 2002, 21(5): 473-478.
- [2] 成天涛, 吕达仁, 徐永福. 浑善达克沙地沙尘气溶胶的辐射强迫[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 920-926.
- [3] 申彦波, 沈志宝, 汪万福. 2001 年春季中国北方大气气溶胶光学厚度与沙尘天气[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 185-190.
- [4] 孟紫强, 卢彬, 周义, 等. 沙尘天气对呼吸系统疾病日入院人数影响的时间序列研究(1995~2003 年)[J]. 环境科学学报, 2006, 26(11): 1900-1908.
- [5] 田磊, 张武, 史晋森, 等. 河西春季沙尘气溶胶散射特性的初步研究[J]. 高原气象, 2010, 29(4): 1050-1057.
- [6] 曹贤洁, 张镭, 李霞, 等. 张掖地区气溶胶吸收和散射特性分析[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1246-1253.
- [7] 牛生杰, 章澄昌, 孙继明, 等. 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.
- [8] 牛生杰, 孙继明, 陈跃. 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.
- [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.
- [10] 刘立超, 沈志宝, 王涛, 等. 敦煌地区沙尘气溶胶质量浓度的观测研究[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 765-771.
- [11] 邱玉珺, 牛生杰, 岳平, 等. 半干旱区春季沙尘气溶胶谱分布的观测研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(10): 1021-1028.
- [12] 宿兴涛. 中国沙尘气溶胶研究新进展[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(3): 72-77.
- [13] 奚晓霞, 李杰, 权建农. 兰州市春季沙尘气溶胶质量浓度的若干研究[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 112-116.
- [14] 王锡稳, 李宗义, 王宝鉴. “4.12”强沙尘暴中小尺度天气分析[J]. 甘肃气象, 2001, 19(2): 27-30.
- [15] 汪安璞. 大气气溶胶研究新动向[J]. 环境科学, 1999, 18(1): 10-15.
- [16] 奚晓霞, 邓张胤, 黄建国, 等. 兰州市城关区冬季春季大气气溶胶与大气污染[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1994, 30(3): 145-149.
- [17] 刘吉, 陈长和. 兰州城市冬季大气气溶胶特征的综合观测研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, 39(4): 104-108.
- [18] 雷洋, 袁九毅, 奚晓霞, 等. 兰州市春季沙尘气溶胶的监测与分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9): 65-70.
- [19] 杨东贞, 颜鹏, 徐祥德. 沙尘气溶胶物理化学特征及其输送路径的研究[C]. 西部大开发科教先行与可持续发展——中国科协 2000 年学术年会文集. 2000.

- [20] JIN Yaqiu, YAN Fenghua. Monitoring the sandstorm during spring season 2002 and desertification in northern China using SSMI data and Getis statistics[J]. Progress in Natural Science, 2003, 13(5): 374—378.
- [21] 奚晓霞, 李杰. 兰州市城关区 2000 年春季大气气溶胶特征及

分析[J]. 环境科学研究, 2002, 15(6): 33—38.

- [22] 王开燕, 王雪梅, 张仁健, 等. 北京市冬季气象要素对气溶胶浓度日变化的影响[J]. 环境科学研究, 2008, 21(4): 132—135.

## Observational Study on the Particle Size Distribution of Sand Aerosol in Zhangye and Yuzhong of Lanzhou

XU Xin-qiang, WANG Xin, HUANG Jian-ping

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

**Abstract:** Based on the aerosol data in Zhangye and Yuzhong of Lanzhou in spring, the characteristics of the sand aerosol concentration change and particle size distribution of a typical severe dust weather process happened in May have been principally analyzed. The analysis indicates that the occurrence of this sandstorm is related to the frontal passage. Comparing with the aerosol concentration in the background weather, it is found that the aerosol concentration is predominantly affected by anthropogenic source at the Yuzhong station and natural source at the Zhangye station. The occurrence time and physical properties of dust weather process are not exactly the same in these two places. The backward trajectory method shows that, many different sources existed in this dusty weather. Owing to the influences of geographical location and landform of Hexi Corridor, the dust weather occurs more frequent and serious in Zhangye than in Lanzhou.

**Key words:** Zhangye and Yuzhong of Lanzhou; Sand process; Mass concentration; Number concentration; Particle size distribution; Air mass trajectory; Frontal surface