

文章编号: 1000-694X(2010)05-1186-08

# 半干旱地区大气颗粒物浓度及粒径谱特征的观测研究

王振海, 张武\*, 史晋森, 黄建平, 陈艳, 闭建荣, 张北斗

(兰州大学 大气科学学院/半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 采用兰州大学半干旱气候和环境观测站(SACOL)2007年11月1日至2008年10月31日的APS-3321粒径谱仪的连续观测资料,对该地区大气颗粒物的浓度变化和粒径分布特征进行分析研究。结果表明,该地区颗粒物浓度年变化呈单峰值型,无论是数浓度还是质量浓度峰值均出现在12月,数浓度6月最低,质量浓度9月最低;和其他地区相比,无论数浓度还是质量浓度,均低于污染较严重的城市,但高于内陆清洁地区。数浓度和质量浓度平均日变化均呈单峰值型,都在上午11:00BST左右达到峰值,下午18:00BST左右达到谷值,但质量浓度峰值出现时间随季节而有所差异。颗粒物浓度的年变化和背景风场主导风向的年际变化有一定关系,而局地垂直风速及水平风向的昼夜转换对颗粒物浓度的日变化有较大的影响。数浓度粒径谱分布特征呈单峰值型,主要集中在 $0.673\ \mu\text{m}$ 左右;质量浓度粒径谱分布特征呈双峰值型,第一个峰值出现在 $0.777\ \mu\text{m}$ 左右,第二个峰值出现在 $5.048\ \mu\text{m}$ 左右。降水对大于 $1\ \mu\text{m}$ 的粒子的去除效果非常明显。当沙尘天气发生时,数浓度和质量浓度与背景天气条件下相比增大了22%和127%。

**关键词:** 大气颗粒物; 质量浓度; 数浓度; 粒径谱分布; 气象条件

中图分类号: P427.2 文献标识码: A

气溶胶颗粒物是指固态或液态微粒分散在气体中形成的相对稳定的悬浮体系,通常也称为大气颗粒物或者粒子,其空气动力学直径为 $0.003\sim 100\ \mu\text{m}$ <sup>[1]</sup>。它与气候变化及环境有着密切的关系,能够作为云的凝结核,通过改变云量、云的成分及其沉降来影响大气水循环<sup>[2-3]</sup>。同时,大气颗粒物又是造成大气污染的重要原因之一<sup>[4]</sup>。颗粒物影响能见度、降水和辐射平衡,产生“负温室效应”等。有些颗粒物本身就是致癌、致畸、致突变物质;有些颗粒物具有复杂的表面,对有毒物质的吸附特别强<sup>[5]</sup>;目前已有众多的流行病学研究证明城市颗粒污染物与人群中呼吸道疾病的发病率明显相关,而主要的研究都集中在直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的大气可吸入颗粒物方面<sup>[6-7]</sup>。

大气颗粒物浓度是表征颗粒物空间分布的基本参数之一,一般用质量浓度和数浓度来表示;颗粒物的粒径大小是关系到颗粒物在大气中的寿命、传输及对环境对人体健康影响的重要参数。进行颗粒物浓度和粒径分布的观测研究,可以为深入理解颗粒物的性质和及其对气候与环境的影响提供重要的参数。

黄土高原半干旱地区是半湿润与干旱地区的气候变化敏感过渡带<sup>[8]</sup>。近年来,干旱、半干旱地区的荒漠化问题正在加剧,风蚀荒漠化面积已经达到了 $160.7\ \text{万}\ \text{km}^2$ <sup>[9]</sup>。而黄土高原半干旱地区西北为西起吐鲁番、哈密地区,东至甘肃河西走廊的我国西北地区最大的强沙尘暴出现区域<sup>[10]</sup>。根据许炯心<sup>[11]</sup>的研究,年降水量为 $300\ \text{mm}$ 左右的半干旱区域也是原生沙尘暴带与次生沙尘暴带之间的超常不稳定带,存在着跃变现象。陶健红<sup>[12]</sup>等研究发现河西走廊的沙尘活动能使兰州沙尘影响日 $\text{PM}_{10}$ 浓度增加数倍,贾晓鹏<sup>[13]</sup>等根据1999—2001年监测资料,表明河西走廊城市空气中TSP含量年平均值在沙尘事件和非沙尘事件期间的比率约为4~8倍。任朝霞,杨达源<sup>[14]</sup>的研究也表明近50 a来由于气候变暖,使蒸发量增大,塔克拉玛干沙漠、河西走廊沙漠区和柴达木沙漠区的干旱危害加剧,这必然导致沙漠化进程的加速。而日趋严重的荒漠化在一定的天气条件下又会导致这一地区大气中沙尘气溶胶的增加,从而影响局地乃至全球能量收支和辐射平衡。

收稿日期:2009-12-15; 改回日期:2010-02-20

基金项目:国家自然科学基金重点项目(4063317)资助

作者简介:王振海(1978—),男,青海西宁人,工程师,硕士研究生,研究方向为大气辐射和遥感。Email: mydragonmine@163.com

\* 通讯作者:张武(Email: wzhang@lzu.edu.cn)

目前国内对大气颗粒物的研究大多集中沿海大城市,染较严重的内陆大城市<sup>[15-17]</sup>。李学彬<sup>[18]</sup>等对厦门地区的气溶胶变化特征进行了研究。王鑫<sup>[19]</sup>等利用 2002 年兰州地区春季背景大气、沙尘状况下大气气溶胶的实测资料,对不同天气状况下大气气溶胶(TSP)的质量浓度和飘尘(PM<sub>10</sub>)的粒径分布做了研究。严文莲<sup>[20]</sup>等对沈阳冬(2006 年 12 月和 2007 年 1 月)夏(2006 年 8 月)季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征进行了分析研究。这些工作都基本上集中在质量浓度的研究上,且是针对某一特定时间段。但据德国国家环境与医疗卫生研究中心(GSF)的研究表明,颗粒物数浓度与健康效应比质量浓度与健康效应更具相关性<sup>[21]</sup>。在国内颗粒物数谱的研究方面,牛生杰<sup>[22]</sup>、申彦波<sup>[23]</sup>等分别对贺兰山沙漠地区的沙尘气溶胶粒子谱分布和敦煌戈壁沙漠地区春季大气气溶胶粒子数浓度进行了研究。刘吉<sup>[24]</sup>采用 Anderson 分级采样器和 KB120 采样器对兰州城市大气气溶胶的浓度和粒子谱进行了观测研究。占明锦<sup>[25]</sup>对瓦里关地区 10~500 nm 超细颗粒物的数谱进行了观测研究。目前为止,对于半干旱地区气溶胶研究方面,主要集中在气溶胶光学特性方面<sup>[26-28]</sup>,数浓度和质量浓度以及粒子谱长期特性的研究较少。

鉴于以上原因,采用兰州大学半干旱气候与环境观测站(SACOL)2007 年 11 月 1 日到 2008 年 10 月 31 日的 TSI-3321 粒径谱仪的连续观测资料,对黄土高原半干旱地区的大气颗粒物的浓度的长期时间变化特征以及颗粒物粒径谱分布进行了初步的研究,揭示该地区气溶胶物理特性及其变化规律,为深入研究半干旱地区气溶胶物理化学特征及其气候效应进行有益的探索。

## 1 站点和仪器资料

### 1.1 站点介绍

兰州大学半干旱气候与环境观测站 SACOL 位于兰州市以东约 37 km 的兰州大学榆中校区的翠英山顶上(海拔 1 965.8 m, 35.946° N, 104.137° E)。观测场占地约 8 hm<sup>2</sup>,下垫面属于典型的黄土高原塬面梁峁地貌,地表基本为原生植被。观测站建立在山顶,距宛川河盆地相对高度 200 m,受校区和周围人类活动的影响较小。

### 1.2 仪器和资料

#### 1.2.1 采样仪器

观测采用的仪器是美国 TSI 公司的 APS-3321 型空气动力学粒径谱仪。APS-3321 型粒径谱仪通过测量在加速气流中不同大小粒子通过检测区域的飞行时间(TOF)来实时测量粒子的空气动力学粒径,其粒径测量范围为 0.5~20 μm,总共 52 个通道,采样流量为 5.0 L·min<sup>-1</sup>(其中样气 1.0 L·min<sup>-1</sup>,鞘气 4.0 L·min<sup>-1</sup>)。其测量基本原理如图 1 所示。样本气体经过喷嘴加速后,不同粒径的粒子获得了不同的初速度。在经过监测区域时,不同大小的粒子将对两束平行激光束产生不同的光学散射信号,通过将该信号转换成电子脉冲信号,脉冲信号波峰之间的时间(即粒子在两激光束间飞行的时间)提供了粒子空气动力学粒径的信息。通过专用的 AIM(Aerosol Instrument Manager)软件对每个样本进行计算和分析,可以显示每个样本的颗粒物数浓度,质量浓度以及粒径谱分布。

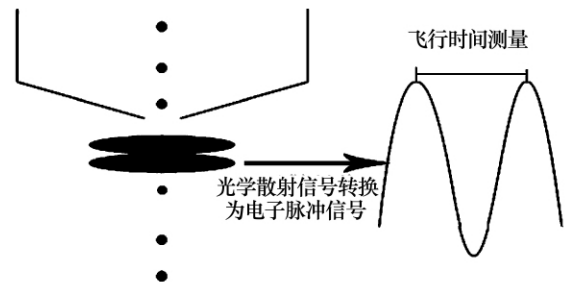


图 1 粒径谱仪基本工作原理简图

Fig. 1 Schematic diagram showing the working process of Aerodynamic Particle Sizer

#### 1.2.2 采样方案和数据

APS-3321 粒径谱仪安置在位于 SACOL 站西南角的大气成分观测室内,采样口距地 3.2 m,距离屋顶 0.8 m,每 5 min 采集一个样本,24 h 连续观测。资料样本取自 2007 年 11 月 1 日至 2008 年 10 月 31 日,实有样本 79941,其中已经剔除了一些不合理、不完整的野点资料样本。

## 2 结果和讨论

### 2.1 浓度变化特征

数浓度  $N$ (质量浓度  $M$ )为单位体积(1 cm<sup>3</sup>或者 1 m<sup>3</sup>)空气中一定粒径范围内的粒子总数  $N$ (粒子总质量  $M$ )。TSI-3321 粒径谱仪能检测并统计 0.5~

20  $\mu\text{m}$  粒径范围内每 5 min 内样气的累积平均数浓度,并计算统计相应的质量浓度值,从而实时显示并保存测量结果。

### 2.1.1 浓度的年变化特征

对各月样本分别进行统计,得颗粒物数浓度和质量浓度的年变化曲线(图 2)。从图 2 可以看出,数浓度的年变化呈单峰值分布的,最高值出现在 12 月( $453 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),最低值出现在 6 月( $71 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ )。质量浓度的年变化却呈现多峰值型,年最大值和数浓度一样出现在 12 月,达到  $0.209 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,9 月出现最低( $0.033 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )。在 2 月和 5 月出现两个次峰值,分别为  $0.174 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $0.163 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。2 月出现次峰值的原因主要是由于 1 月出现降水天气较多(共出现 10 d 降水天气,浓度的年变化连续性被破坏所致。而 5 月质量浓度出现的峰值则和该月出现的沙尘暴天气有关。数浓度年平均值为  $191 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,质量浓度年平均为  $0.107 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。按季节来看(根据这一地区的气候特点和采暖期时间,季节划分按如下:4—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—10 月为秋季,11 月至翌年 2 月为冬季),数浓度和质量浓度季节分布有明显区别。对季节进行平均后,数浓度值的大小依次是:冬季( $394 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ )>春季( $95 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ )>秋季( $92 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ )>夏季( $84 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ );而质量浓度是:冬季( $0.164 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )>春季( $0.129 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )>夏季( $0.054 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )>秋季( $0.037 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )。数浓度除了冬季以外的其他季节都较低,而质量浓度除了冬季较高外,春季也表现较高,这和春季频发的沙尘天气有关。

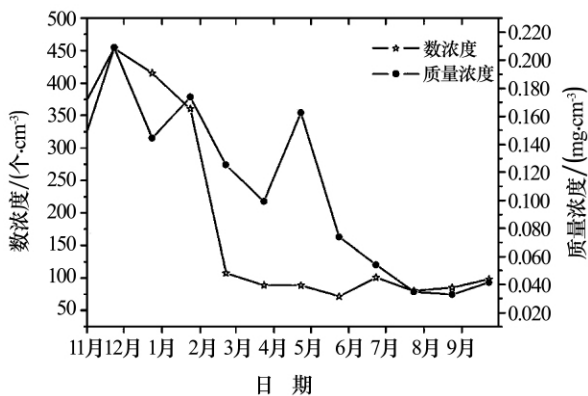


图 2 颗粒物浓度年变化

Fig. 2 Annual variation of particle concentration

总的来说,冬半年的浓度较夏半年高得多,这主要是由于冬季采暖期导致污染物加重,而冬季大陆多被

冷高压所控制,大气层结比较稳定,垂直运动较弱,不利于污染物的扩散。另一方面也与 SACOL 站所在区域冬夏半年风速大小和背景风场的转换有一定关系。

就日平均风速而言,夏季(日平均风速  $3.34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )较冬季(日平均风速  $2.94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )有利于污染物的扩散。从风向来看,我们对站点 SE 和 NW 风向做分析,发现 SE—NW 平均风向频率差(SE 风向频率和 NW 风向频率之差,其值为正时 SE 为主导风向,为负时 NW 为主导风向)和大气颗粒物浓度之间存在较好的负相关关系。说明当 SE 风强盛时,大气颗粒物浓度会减少,而当 NW 风增强时颗粒物浓度则增加。对质量浓度的影响尤为明显。SACOL 站冬半年的偏 NW 风向(包括 NNW, NW, WNW)频率(27.07%)较夏半年的偏 NW 风向频率(23.39%)来的大,而偏 SE 风向(SSE, SE, ESE)频率表现为夏季(52.41%)较冬季(46.82%)大。测站偏 NW 方向正是兰州市区,而偏 SE 方向并无较大的污染源。所以,冬季偏多的 NW 风很可能将冬季污染严重的市区污染物携带到站点,而夏季强劲且较为洁净的 SE 风有利于站点污染物的扩散和稀释。

### 2.1.2 浓度的日变化特征

对各季节样本分时次进行统计,得四季的浓度日变化特征(图 3)。从年平均状况来看,数浓度(图 3A)和质量浓度(图 3B)日变化均表现为单峰值型。峰值均出现在上午 11:00BST 左右,谷值出现在下午 18:00BST 左右。这种日变化特征和沈阳市区<sup>[20]</sup>数浓度和质量浓度的日变化特征非常相似,不过峰谷值出现时间稍有不同。

从季节的日变化来看,数浓度冬季为多峰多谷型,无论各个时段数值还是日较差都较其他季节高的多。其他季节表现较为一致的单峰值型,且日变化趋势以及日较差基本一致。但数浓度的峰值和谷值出现时间在不同季节较为一致(峰值为 11:00BST  $\pm 1:00$ ,谷值为 18:00BST  $\pm 1:00$ )。质量浓度的日变化在不同季节虽也表现为单峰值型,但峰值的出现时间却有较大不同。冬季和秋季的峰值时间为上午 10:00BST,春季为凌晨 6:00BST,而夏季则是在夜间 23:00BST 达到峰值。谷值则基本都出现在下午 18:00BST 左右。

这种浓度的日变化特征主要和各季节的天气特征以及测站周围人类活动特点有关,但也和站点垂

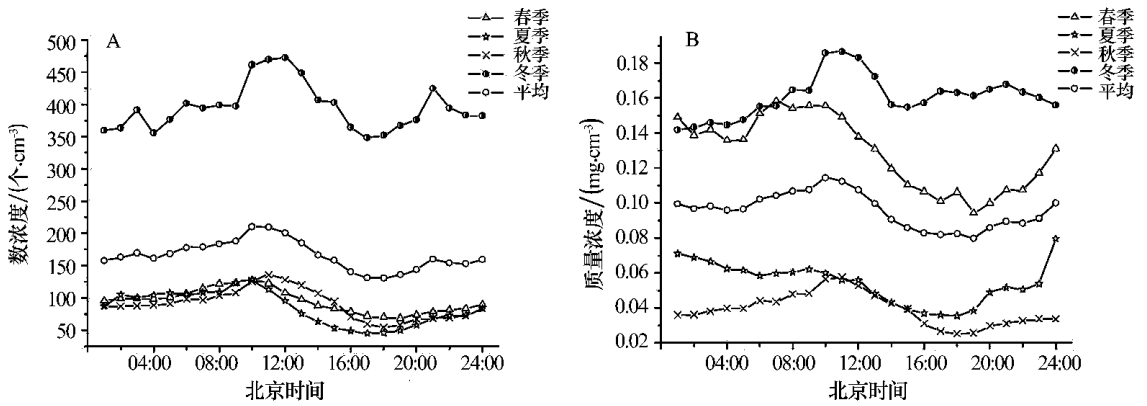


图 3 不同季节颗粒物浓度日变化

Fig. 3 Diurnal variation of particle concentration in different seasons

直气流以及风向的昼夜转换有较大的相关性。将对应时段内的涡动通量观测系统观测到的垂直风速做日变化分析(图 4)。由图 4 可见,垂直气流的大小和方向与颗粒物浓度谷值具有较好的相关性。在夜间(17:00BST 到次日日出前),大气层结稳定,垂直方向上以下沉气流为主,抑制了近地面颗粒物的垂直扩散,无论数浓度还是质量浓度,平均来说,都有上升趋势;白天由于地表加热,上升气流逐渐增强,对流容易发展,有利于颗粒物的扩散,颗粒物浓度在日出后开始降低。上升气流的峰值出现时间和浓度的谷值出现时间基本一致,但浓度谷值出现时间有一定的滞后。昼夜风向的转换与颗粒物浓度的峰值出现时间有更大的相关性。将全年对应时段的风向风速进行统计分析,发现站点昼夜风向转换表现很明显。夜间盛行 SE 风向,白天盛行 NW 风向,且转换时间是上午 11:00BST 左右和下午 18:00BST 左右,恰好与大气颗粒物浓度出现的峰值相对应。所以站点大气颗粒物浓度的日变化可以用昼夜风向的转换以及相应的人类活动来解释。从傍晚 17:00BST 左右开始的 SE 风将人类活动频繁的宛

川河盆地的污染物携带至站点,而这时正是上升气流减弱,下沉气流加剧的时间,污染物扩散条件差,且人类活动仍较强,二者叠加使污染物浓度开始上升,并在晚间 21:00BST 时左右出现一个较高值。此后,随着人类活动的减弱,浓度有一个下降期,但随着 SE 的增强,把谷地中的污染物不断地输送到站点,但此时下沉气流却不断增强,不利于污染物扩散,颗粒物浓度不断增大,故在次日人类活动较强的 11:00BST 左右达到峰值。此后,随着 NW 风向的增强和上升气流的增大,颗粒物浓度也随之开始降低,17:00BST 左右昼夜风转换时达到最低。随后 SE 风又开始强盛起来,下沉气流又开始增强,颗粒物浓度又开始增大。这种风向的昼夜转换和典型的山谷风很相似,但其风向恰好相反。其热力和动力原理有待进一步研究。

2.1.3 和其他观测地区的浓度比较

由表 1 可以看出(为了和其他地区保持观测时段上的可比较性,我们采用 SACOL 站冬春两季的平均值来比较),相比于其他城市和地区,位于半干旱地区的 SACOL 站点的气溶胶数浓度远低于污染较严重的兰州市区以及沈阳市区,和湿润地区的重庆市位于同一水平,而高于内陆清洁地区的西藏泽当,云南景洪等地区,也远高于沙漠,戈壁地区的数浓度值。从质量浓度看,半干旱地区较云南景洪和沙漠地区要高,但低于城市地区的质量浓度值。

2.2 粒径谱分布特征

由于实际测得的颗粒物粒径区间范围不等,且粒径范围跨越几个数量级,所以横坐标用对数来表示。数浓度谱函数和质量浓度谱函数分别表示为:

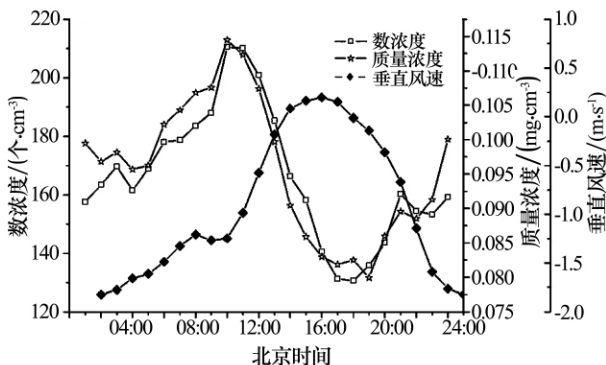


图 4 垂直风速和颗粒物浓度的日变化

Fig. 4 Diurnal changing of particle concentration with local vertical wind velocity

$$n_N(dD_p) = dN/d(\lg D_p)$$

表 1 我国其他观测地区的颗粒物浓度比较

Table 1 Comparison of particle concentration over SACOL and other study sites in China

地点	观测时间	仪器	粒径范围 / $\mu\text{m}$	样本量	数浓度 / $(\text{个} \cdot \text{cm}^{-3})$	质量浓度 / $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$
重庆 <sup>[29]</sup>	2001-12—2002-02	DLJ92	0.3~12	1 135	225	0.198
兰州市区 <sup>[24]</sup>	1999-12-01—12-10	Anderson	0~10	120	500	0.535
沈阳市区 <sup>[20]</sup>	2006-12—2007-01	Grimm180	0~10	—	6 669	0.253
西藏泽当 <sup>[30]</sup>	1999-02-09—1999-03-02	DLJ92	0.3~12	189	29	0.261
云南景洪 <sup>[30]</sup>	1997-11-23—11-29	DLJ92	0.3~12	247	98	0.111
敦煌戈壁 <sup>[23]</sup>	2002-04-05—04-21	Model550s	0.5~5	—	$10^4$	—
贺兰山沙漠 <sup>[22]</sup>	1996—1999(4,5月)	APS3310A	0.5~30.5	—	23	0.120
SACOL	2007-11—2008-05	APS3321	0.5~20	53 757	245	0.145

$$n_M(dD_p) = dM/d(\lg D_p)$$

式中： $n_N(dD_p)$ ,  $n_M(dD_p)$  为数浓度和质量浓度分布函数； $dN$ ,  $dM$  为粒径在  $\lg D_p \sim \lg D_p + d\lg D_p$  之间的粒子数和粒子质量； $d\lg D_p$  为粒径增量。

如果粒子的质量密度为  $\rho_p (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$  (仪器在  $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$  粒径范围内取平均粒子密度  $1 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )，在假设所检测粒子为理想球形时，则二者有如下换算关系：

$$n_M(dD_p) = (\rho_p/10^6)(\pi/6)D_p^3 n_N(dD_p)$$

APS-3321 粒子谱仪对每个 5 min 样本进行 52 粒径通道累积平均统计，我们把这 52 个统计值看成

近似的连续谱来分析  $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$  范围内的颗粒物谱分布特征。

### 2.2.1 不同季节粒径谱特征分析

对观测时段内样本按季节做样本平均，得如图 5A 所示的结果。可以看出，就年平均而言，该地区大气颗粒物数浓度谱呈单峰型分布，基本服从对数正态谱分布。主要集中在  $0.673 \mu\text{m}$  左右，以积聚模态为主。峰值为  $0.673 \mu\text{m}$ ，平均直径  $0.864 \mu\text{m}$ ，标准差  $1.407 \mu\text{m}$ ，中位直径为  $0.729 \mu\text{m}$ 。主要颗粒物为细粒子即  $\text{PM}_{2.5}$ ，99% 的颗粒物都分布在这个粒径范围内。按季节来看，虽然各季节谱型一致，

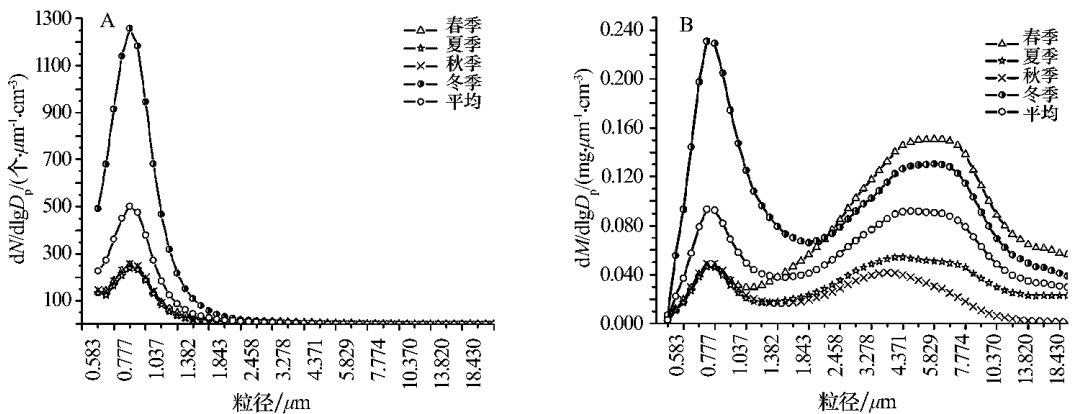


图 5 不同季节粒径谱分布

Fig. 5 The distribution of particle size in different seasons

但冬季的数谱值远大于其他季节谱值。

质量浓度(图 5B)平均谱分布呈双峰型，第一个峰值出现在  $0.777 \mu\text{m}$  左右，另一个峰值出现在  $5.048 \mu\text{m}$  左右，而且第二个峰值的粒径范围远大于

第一个峰值。按平均来看，粗粒子( $D_p > 2.5 \mu\text{m}$ )在质量谱中占了较大的比重，达到 67%。从不同季节的质量谱来看，夏季和秋季由于湿沉降过程较多(月平均降水量  $58.1 \text{mm}$ ，该年度夏秋两季降水量占全

年降水量 86.6%)，致使各个粒径段质量浓度都较低；而春季则因频发的沙尘天气使得大气颗粒物以粗粒子为主，呈现出数谱低而质量谱高的现象；冬季由于人类采暖和背景环流的影响，粗、细粒子的质量浓度都较大。冬季 0.777 μm 峰值为各季节最高，而在第一个峰值表现为最低的春季却在第二个峰值 5.829 μm 处为各季节最高(粗粒子质量占总质量的 79%)，这与春季沙尘天气较多有一定关系。

### 2.2.2 降水和沙尘天气对颗粒物浓度及粒径谱的影响

自然降水过程在降落时对空气中的气溶胶粒子有吸附和淋洗冲刷的作用。结合站点降水资料，选取了一次典型的春季降水过程进行分析。此次降水过程发生在 2008 年 4 月 11 日 9:00 BST 至 14:30 BST，过程降水量 9.2 mm。降水前 15 d 无降水过程和沙尘天气发生，天气较为稳定。将雨前雨后浓度和粒径谱进行分析。数浓度雨后(94 个·cm<sup>-3</sup>)，较雨前(111 个·cm<sup>-3</sup>)下降了 15%，质量浓度雨后(0.0054 mg·m<sup>-3</sup>)较雨前(0.1695 mg·m<sup>-3</sup>)降低了 97%。从图 6A 可见，雨后数浓度谱和雨前数浓度谱基本保持同一谱型，但粒径大于 1 μm 的粒子数明显减少，但小于 1 μm 的粒子数有所增加。质量浓度谱由雨前的双峰值型(主峰值 4.371 μm，次峰值 0.723 μm)转变为雨后的单峰值型(0.723 μm)。各个粒径段谱值都大幅度降低，大于 1 μm 的粒子的质量浓度降低尤为明显。可见，降水对大于 1 μm 的粒子的清除效果非常明显。

结合站点春季天气现象资料，将春季样本分为晴天背景天气样本(无天气现象，中云云量和低云云量日平均小于 5.0，无层状云)春季沙尘天样本(有浮尘，扬沙或者沙尘暴天气现象出现)，来讨论两种天气情况下的粒径谱分布。由图 6B 可以看出背景天气和沙尘天气下数浓度谱分布和质量浓度谱分布的区别。数浓度沙尘天样本平均为 108 个·cm<sup>-3</sup>，背景天气下是 84 个·cm<sup>-3</sup>，平均高 22%。从数浓度谱来看，沙尘天气下数浓度谱较晴天条件下数浓度谱在各个粒径段内都偏大，谱值平均要高 50%，尤其是大于 1 μm 范围内平均谱值要高 58%。质量浓度在背景天气下和沙尘天气下分别为 0.127 mg·m<sup>-3</sup>和 0.289 mg·m<sup>-3</sup>，增大 127%。质量谱分布曲线由背景天气下的双峰型(0.777 μm 和 5.829 μm)变为沙尘天气下的近似单峰型(6.732 μm)，由此可以更清楚地看到大于 1 μm 的粒子数急剧增多。和牛生杰<sup>[22]</sup>、成天涛<sup>[31]</sup>、申彦波<sup>[23]</sup>等对西北沙漠戈壁干旱地区的观测研究结果相比，虽然背景天气和沙尘天气在数量级上和 SOCAL 站的观测结果是一致的，但背景天和沙尘天的数浓度差值远没这些地区大。当 SACOL 站所在半干旱地区有沙尘天气发生时，大气颗粒物中主要是大于 1 μm 的粒子数急剧增多，但数谱总体还是和背景天气保持同一谱型(峰值均为 0.673 μm)。这估计和两类地区背景颗粒物组成不同有关(背景天气下，干旱地区和半干旱地区的细粒子数浓度占总量的百分比分别为 91%和 99%)。

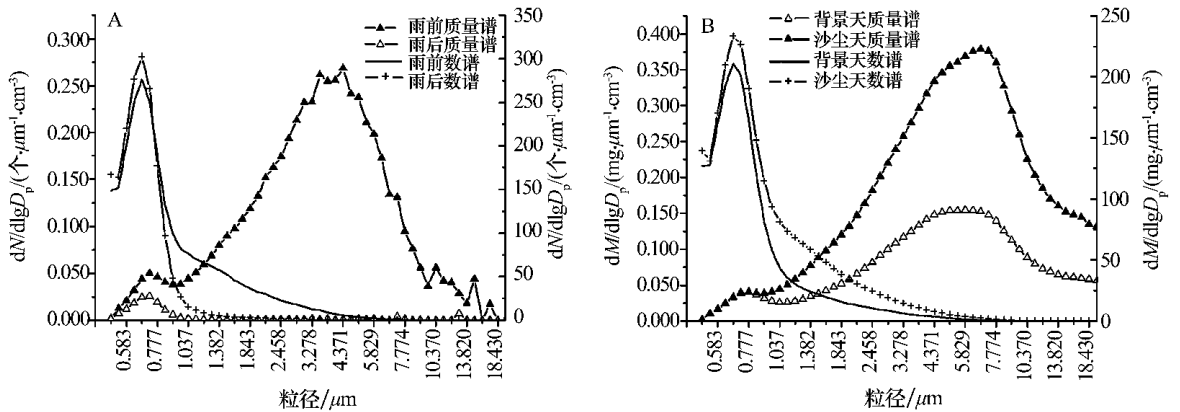


图 6 降水和沙尘天气对粒子谱的影响

Fig. 6 Distributions of particle size under rainfall and sand-dust events

## 3 结论

1) SACOL 站所在的西北半干旱地区大气颗粒

物数浓度年平均值为 191 个·cm<sup>-3</sup>，质量浓度年平均值为 0.107 mg·m<sup>-3</sup>。年变化为单峰值型。无论数浓度还是质量浓度均在 12 月为最高，数浓度 6

月最低,质量浓度9月最低。日变化也呈单峰值型,在上午11:00BST左右达到峰值,下午18:00BST达到谷值。

2)颗粒物浓度的年变化和日变化特征主要受人类活动影响较大,同时也和气象条件有一定关系。背景风场主导风向的改变可能对颗粒物年变化有一定影响。对颗粒物汇影响较大的垂直气流的强弱对颗粒物浓度日变化的谷值有影响,而对源有影响的昼夜风场的转换可能对峰值影响更大。

3)和其他观测地区相比,无论数浓度还是质量浓度,较之污染严重的内陆城市要低,但高于内陆清洁地区。

4)颗粒物粒径谱分布数浓度是近似服从正态对数谱分布的单峰值型,峰值为 $0.673 \mu\text{m}$ ,平均直径 $0.864 \mu\text{m}$ ,标准差 $1.407 \mu\text{m}$ ,中位直径为 $0.729 \mu\text{m}$ 。质量浓度谱分布呈双峰型,峰值分别出现在 $0.777 \mu\text{m}$ 和 $5.048 \mu\text{m}$ 左右。

5)降水对大于 $1 \mu\text{m}$ 的粒子的去除效果非常明显,但降水后小于 $1 \mu\text{m}$ 的粒子数却有所增长。当沙尘天气发生时,数浓度和质量浓度较背景天气下增大了22%和127%,主要是大于 $1 \mu\text{m}$ 的粒子数急剧增多。

## 参考文献(References):

[1] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:268.

[2] Jacobson M Z. Strong radioactive heating due to the mixing-state of black carbonization morphemic aerosols[J]. Nature, 2001,409:695-697.

[3] Hinz K P, Trimborn A, Weingartner E, et al. Aerosol single particle composition at the jungfrauoch[J]. Aerosol Science, 2005,36:123-145.

[4] 刘兆荣,陈志明,赵广英,等. 环境化学教程[M]. 北京:化学工业出版社,2003:12.

[5] Kaufman Y J, Tanre D, Boueher O. A satellite view of aerosols in the climate system[J]. Nature, 2002,12:215-223.

[6] 马洪宝,洪传洁. 大气颗粒物污染对慢性呼吸道疾病的影响[J]. 中国公共卫生学报, 1992,11(4):229-232.

[7] Ostro B D, Eskeland G S, Sanchez J M, et al. Air pollution and health effects: A study of medical visits among children in Santiago[J]. Environment Health Prospect, 1999, 107: 69-73.

[8] 符淙斌. 黄土高原首个半干旱国际气候与环境观测站揭牌[EB/OL]. (2006. 11. 5). <http://climate.lzu.edu.cn/chinese/shownews.asp?newsid=665>.

[9] 谭文岳. 我国土地荒漠化的类型,分布和防治[J]. 地理教育, 2007,6:34.

[10] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000,20(4):349-350.

[11] 许炯心. 黄土高原地区沙尘暴高发带的跃变现象[J]. 中国沙漠, 2008,28(1):150-153.

[12] 陶健红,黄玉露,陆登荣. 河西走廊沙尘活动对兰州 $\text{PM}_{10}$ 浓度的影响及其评估[J]. 中国沙漠, 2007,27(4):672-675.

[13] 贾晓鹏,王海兵. 甘肃河西地区大气沙尘成分及影响分析[J]. 中国沙漠, 2009,29(1):156-161.

[14] 任朝霞,杨达源. 近50 a西北干旱区气候变化趋势及对荒漠化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2008,22(4):91-94.

[15] 王荃,常卫民,杨丽波,等. 南京市大气气溶胶中部分无机离子的粒径分布[J]. 环境科学研究, 2004,17(6):12-14.

[16] 李令军,王英,李金香,等. 北京市冬春季大气颗粒物的粒径分布及消光作用[J]. 环境科学研究, 2008,21(2):90-94.

[17] 张淑珍,岳银铃,喻晓毅,等. 太原市大气颗粒物浓度分布特征[J]. 卫生研究, 2008,37(3):331-332.

[18] 李学彬,韩永,徐青山,等. 厦门地区大气气溶胶变化特征分析[J]. 大气与环境光学学报, 2006,1(3):161-165.

[19] 王鑫,奚晓霞,郭治龙,等. 2002年兰州市春季大气气溶胶特征分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2006,42(3):44-47.

[20] 严文莲,周德平,王扬峰,等. 沈阳冬夏季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征[J]. 应用气象学报, 2008,19(4):435-442.

[21] Tuch T, Brand P, Wichmann, et al. Variation of particle number and mass concentration in various size ranges of ambient aerosols in Eastern Germany[J]. Atmospheric Environment, 1997,31(24):193-197.

[22] 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):245-252.

[23] 申彦波,沈志宝,杜明远. 敦煌地区春季大气气溶胶粒子数浓度的分析[J]. 高原气象, 2007,26(1):158-163.

[24] 刘吉. 兰州城市大气气溶胶粒子谱的观测和遥感反演研究[D]. 兰州:兰州大学,2002.

[25] 占明锦. 瓦里关地区气溶胶数谱观测与研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2008.

[26] 常倬林,张武,史晋森,等. 黄土高原半干旱地区气溶胶特性[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2008,44(2):2-8.

[27] 章秋英,牛生杰,沈建国,等. 半干旱区气溶胶散射特性研究[J]. 中国沙漠, 2008,28(4):755-760.

[28] 章秋英,牛生杰,沈建国,等. 半干旱区冬春季黑碳气溶胶吸收特性的观测研究[J]. 中国沙漠, 2009,29(1):183-188.

[29] 朱彬,马力,杨军,等. 重庆冬季大气气溶胶的物理、化学特征[J]. 南京气象学院学报, 2006,29(5):662-667.

[30] 杨军,朱彬,李子华,泽当. 景洪大气气溶胶粒子的物理、化学特性[J]. 气象学报, 2001,59(6):797-802.

[31] 成天涛,吕达仁,陈洪滨,等. 浑善达克沙地沙尘气溶胶的物理化学特性[J]. 科学通报, 2005,50(5):469-472.

## Concentration and Size Distribution of Atmospheric Particles over Semi-arid Area

WANG Zhen-hai, ZHANG Wu, SHI Jin-sen, HUANG Jian-ping,  
CHEN Yan, BI Jian-rong, ZHANG Bei-dou

*(Key Laboratory of Sem-Arid Climate Change of Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)*

**Abstract:** Based on the continuous measurements with APS-3321 from November 1st, 2007 to October 31st, 2008 at Semi-Arid Climate and Environment Observatory of Lanzhou University (SACOL), the characteristics of particle concentration and the size distributions were studied. The results are as follows. The annual variation of the number concentration and mass concentration are single-peak, and the peaks of both types of concentrations appear in December. The number concentration reaches the valley point in June and the minimum mass concentration appears in September. Compared with other regions, both types of concentration over this area are less than that over urban area, but higher than that over clean inland regions. The diurnal variation of both types of concentrations is single-peak with the maximum appears around 11:00 BST and the minimum at about 18:00 BST. The time of mass concentration summit varies in different seasons. The annual variation of particle concentration is greatly related to annual shift of dominant wind direction between SE and NW. The daily variation of local vertical wind velocity and wind direction greatly affects the daily variation of particle concentration. The size distribution of number concentration is unimodal type and most of particles are centralized at  $0.673 \mu\text{m}$  or so. The size distribution of mass concentration has two peaks and the first peak appears near  $0.777 \mu\text{m}$ , and the second appears near  $5.048 \mu\text{m}$ . Precipitation is a very important factor scavenging particles with diameter larger than  $1 \mu\text{m}$ . Under dust weather condition, the number concentration and mass concentration increases by 22% and 127% respectively.

**Keywords:** atmospheric particles; mass concentration; number concentration; size distribution; weather condition