

文章编号: 1000-0534(2005)05-0765-07

敦煌地区沙尘气溶胶质量浓度的观测研究

刘立超¹, 沈志宝¹, 王涛¹, 周茅先¹,
矢吹贞代², 金山晋司²

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;
2. 理化学研究所表面解析研究室, 日本 和光市, 351-0198)

摘 要: 在沙尘源区进行长期监测是获取区域代表性沙尘气溶胶质量浓度特征的重要研究方法。敦煌位于甘肃省河西走廊的西端, 是中国北方主要沙尘源区之一, 利用大流量采样器和安德森采样器进行了长达 30 个月的试验观测研究, 获得了该地区沙尘气溶胶的基本特征。其年变化特征与气象资料的年变化关系密切; 针对典型天气过程的观测结果表明, 不同天气条件(背景大气、浮尘、扬沙和沙尘暴)下 TSP 浓度存在倍数关系和量级的差异, 其质量浓度随粒径的分布特征也明显不同; 并与 2001 年 9 月—2004 年 3 月在腾格里沙漠东南缘沙坡头地区的一些观测结果进行了比较分析。

关键词: 沙尘气溶胶; 沙尘暴; 敦煌地区

中图分类号: P445⁺.4 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 亚洲的沙尘天气及环境效应已受到广泛关注。源于亚洲内陆的沙尘及其输送对东亚甚至北半球的大气、土壤及海洋环境产生重要影响。到目前为止, 获得具有区域代表性的沙尘气溶胶的理化特征仍然是该领域的研究重点。中国北方沙漠及其周边地区是亚洲沙尘源区的重要组成部分, 但对该地区的研究起步相对较晚, 而且大部分的研究都是基于典型季节或典型事件的试验观测^[1~6], 缺少对沙尘源区的长期监测数据。

河西走廊位于祁连山北侧, 它的东、北、西三面分别为腾格里、巴丹吉林和库姆塔格三大沙漠包围, 风沙线长达 1600 km。该地区丰富的沙尘源和独特的地形狭管效应, 使其成为中国北方沙尘暴的第二个高发区和强沙尘暴的主要输送路径之一^[7]。河西走廊沙尘暴的高发期与兰州市总悬浮颗粒物(TSP)浓度有良好的对应关系, 表明该地区对兰州市春季颗粒物污染的贡献也不容忽视^[8]。

敦煌位于河西走廊西端, 是研究河西走廊沙尘气溶胶综合特征的良好场所, 我们对该地区已进行了大量的研究工作, 胡泽勇等^[9]对沙尘暴期间的地

面微气象因子及辐射平衡特征进行了观测; 沈志宝等^[10]利用粒子计数器对敦煌地区戈壁下垫面起沙率进行了观测研究; 申彦波等^[11]针对沙尘暴常规观测中主观误差比较大的特点, 利用仪器观测结果来替代能见度指标; Zhang 等^[12]分析了该地春季沙尘气溶胶化学组成特点。本文在 2001 年 9 月—2004 年 3 月的监测基础上, 对该地区沙尘气溶胶的质量浓度特征进行了较为详细的分析。

2 研究方法

2.1 观测仪器

利用 HV-1000 型大流量采样器(日本柴田株式会社)收集沙尘气溶胶(TSP)样品, 其瞬时流量为 1000 L/min, 采用聚四氟乙烯滤纸(Tokyo Toshi Kaisha, Ltd)作为采样膜, 其尺寸大小为 25 cm×20 cm。

利用 AN-200 型安德森采样器(柴田株式会社, 日本)收集不同粒径段的沙尘样品, 其瞬时流量为 28.3 L/min, 按照空气动力学截断直径, 可以得到 9 个粒径组级, 分别为 0 级: >11.0, 1 级: 7.0~11.0, 2 级: 4.7~7.0, 3 级: 3.3~4.7, 4 级: 2.1~3.3, 5 级: 1.01~2.1, 6 级: 0.65~1.01, 7

收稿日期: 2004-05-13; 改回日期: 2004-09-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000048703); 国家自然科学基金项目(40005002); 中日合作项目“Studies on Origin and Transport of Aeolian Dust and its Impact on Climate(ADEC)”共同资助

作者简介: 刘立超(1969—), 男, 甘肃镇原人, 副研究员, 主要从事沙区气象与干旱环境研究。E-mail: lichao@ns.lzb.ac.cn

级：0.43~0.65，8 级：<0.43 μm。采用聚四氟乙烯(Polyflon)滤纸(Tokyo Toshi Kaisha, Ltd)作为采样膜，滤膜半径为 80 mm。

在称重前后，采样滤膜均在恒温恒湿箱内存存 24 h 以上。

采集点位于敦煌气象站二层房顶，采样器相对高度为 1.5 m。

2.2 观测方法

采样地点设在敦煌气象站二楼楼顶(40°08'N, 94°41'E)，海拔高度为 1100 m，相对地表高度 10 m，观测点没有明显的污染源。

(1) 自 2001 年 9 月份开始，对敦煌地区沙尘气溶胶的质量浓度进行长期监测。大流量采样器每月间隔均匀地采集 5 个样品，每次持续时间为 48~60 h；安德森采样器于每月的 1 日和 15 日采集两个样品，采样时间为 60~120 h；

(2) 对典型沙尘事件(沙尘暴、扬沙、浮尘)进行加强观测，观测时段由沙尘事件的持续时间确定。

仪器操作和标定过程严格按照说明书的要求和生产厂家工程师的建议进行。

2.3 数据处理方法

(1) 为了便于比较，将所有样品的实际采样体积按照(1)式校正到标准体积(标准大气压和 25℃条件下)。

$$V_{sta} = V_{vol} \times \frac{25 + 273.15}{AveTem + 273.15} \times \frac{AvePre}{1013.5},$$

(1)

其中 V_{vol} 为实际采样体积， $AveTem$ 为采样期间平均气温， $AvePre$ 为采样期间平均气压。

(2) 沙尘气溶胶质量浓度为采样前后滤膜重量的差值与采样体积之比。

(3) 对多个样品进行平均时，考虑到各样品的采样时段不尽相同，对平均值的权重也不相同，为避免由此造成的误差，采用(2)式计算沙尘质量浓度的平均值，即：

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (W_{2i} - W_{1i})}{\sum_{i=1}^n V_i},$$

(2)

其中， W 为采样滤膜的重量，下标 2 和 1 分别表示采样前和采样后， i 表示参与平均统计的样品数， V 表示由(1)式得到的标准采样体积。

3 结果分析

3.1 敦煌地区气候背景

根据当地气象站资料，该地区多年平均气温为 9.3℃，年均降水量仅为 38.7 mm，潜在蒸发量高达 2476.4 mm，年均风速 2.2 m·s⁻¹，年均大风日数 14.9 天；1955—2003 年年均沙尘暴日数为 14.1 天。自 20 世纪 50 年代开始，沙尘暴的总变化趋势是在波动中递减，50 年代年均沙尘暴日数高达 25 天，60 年代和 70 年代分别为 15.9 天和 15.8 天，到 90 年代迅速递减为 5.6 天。逐年变化显示，沙尘暴日数迅速递减的趋势开始于 80 年代中期，1998 年全年无沙尘暴记录。

该地区多年平均降水量峰值出现在 7 月份，占全年降水的 32.2%。但不同年份之间变异较大，在进行观测的 3 年内，2001 年 7 月份无降水记录，最大降水量月份为 8 月(13.3 mm)；2002 年 6 月份降水量高达 44.4 mm，远高于 7 月份的 5.1 mm，占全年总量的 67.1%；2003 年最多月份为 5 月份(12 mm)，而 7 月份只有 5.6 mm。这些特点说明该地区降水具有较大的随机性。对 2001—2003 年月降水量和沙尘事件日数(沙尘暴、扬沙与浮尘的总和)的年变化特征的统计显示(图 1)，沙尘日数在 4 月出现最大值，最小值出现在 11 月；最大降水量出现在 6 月，最小风速出现在 10 月；2001—2003 年平均沙尘日数在 7 月出现一个次大值，表明降水量对沙尘事件具有重要的制约作用。

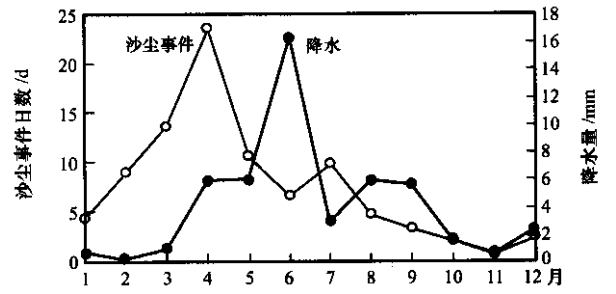


图 1 2001—2003 年敦煌平均沙尘事件日数与降水量的年变化特征

Fig. 1 Annual variations of precipitation and days with dust events during 2001—2003

3.2 敦煌地区沙尘(TSP)质量浓度特征

大流量采样器正式启动于 2001 年 9 月底，到 2004 年 3 月份为止，观测方法和数据记录都符合监测规范的样品共有 116 个，累计采样时间为 7123.3

h, 约合 297 天。样品在各月的分配情况如表 1 所示。按照(2)式对全部样品进行平均, 其结果为 $374.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。这一结果可以代表该地区的年均沙尘质量浓度值, 超过了国家环境空气质量二级标准(GB3095—1996), 表明沙尘污染是敦煌地区大气质量的基本特征。

表 1 TSP 样品基本情况
Table 1 Description of the TSP sampler

月份	样品数	采样总时间/d
1	8	25.1
2	7	20.0
3	9	18.2
4	13	19.5
5	8	20.4
6	9	25.5
7	12	25.0
8	9	21.3
9	10	27.2
10	9	26.8
11	11	33.1
12	11	34.8
合计	116	296.6

在长达两年多的采样中, 最大 TSP 浓度为 $12457.82 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 超过国家环境空气质量二级标准的 40 倍以上, 该样品采集于 2002 年 4 月 29~30 日的沙尘暴过程。根据气象站的观测记录, 这次沙尘暴过程中最小能见度为 0.8 km, 最大瞬时风速为 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最多风向为 WNW, 典型的天气现象为沙尘暴和大风; 监测期间最小 TSP 浓度仅为

$25.64 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 样品采集于 2002 年 10 月 2~5 日。这两次采样结果表明, 敦煌地区 TSP 质量浓度可以相差 485 倍以上。

由于仪器故障, 2002 年 3 月份和 2003 年 2 月份缺测。根据(2)式对其他月份的观测结果按照采样时间进行加权平均, 得到监测期间沙尘质量浓度的逐月变化特征(图 2)。由图 2 可以看出, 2002 年 TSP 浓度总体上大于 2003 年。全年的平均结果显示得到同样结果, 即 2002 年平均 TSP 质量浓度为 $514.89 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 而 2003 年仅为 $337.28 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 约为 2002 年的 65%。同期气象资料支持了这一特征。2002 年平均风速为 $1.86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 沙尘暴日数为 7 天, 沙尘事件总日数为 102 天; 2003 年平均风速为 $1.83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 沙尘暴日数为 4 天, 沙尘事件总日数仅为 49 天。这一分析表明, 背景气候特征对沙尘浓度具有明显的制约作用, 而在敦煌地区, 降水量具有较强的随机性和变异性, 从这个意义上讲, 要获取具有区域代表性的 TSP 特征, 进行多年长期监测是至关重要的方法。

为了进一步分析 TSP 质量浓度的年变化特征, 我们对 2001—2004 年所有样品按照对应的月份(表 1)进行时间加权平均(图 3), 并与同期气象资料(图 1)比较。由图 3 可以看出, TSP 质量浓度与沙尘事件总日数的年变化基本一致。春季是该地区沙尘事件的高发区, 2002—2003 年春季沙尘事件总日数占全年的 52.5%, 4 月份占到全年的 26%, 与之对应的是 TSP 浓度在春季最大, 4 月份 TSP 质量浓度高达 $1196.4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 为全年平均值的 3.2 倍; 7 月份 TSP 浓度高于 5, 6 月份, 与 7 月份较多的沙尘事件频次相对应; 自 8 月开始, 沙尘事件日数

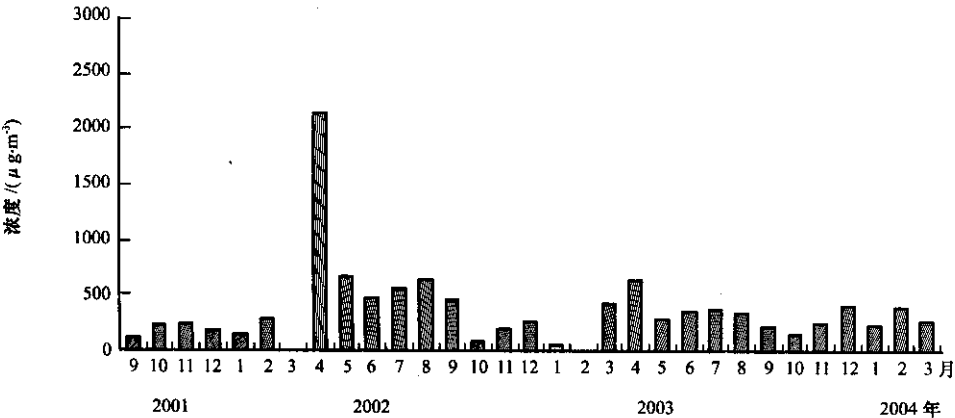


图 2 监测期间逐月 TSP 质量浓度变化特征

Fig. 2 Variation of month-to-moth TSP mass concentration during monitoring period

很快减少,降水量也相对较大,TSP 质量浓度随之减少,到 10 月份达到全年最小值;随着 11 月份风速开始增加,TSP 质量浓度出现另外一个峰值;但冬季温度极低,地表冻结和降雪覆盖抑制了沙尘释放过程,使沙尘浓度在冬季持续降低,并在 1 月份出现极小值。

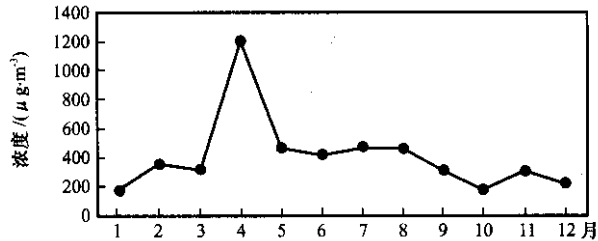


图 3 敦煌地区 TSP 质量浓度年变化特征
Fig. 3 The annual variation of TSP mass concentration in Dunhuang

正因为沙尘质量浓度与风速、降水等气象资料的良好对应关系,利用气象资料估算或预测 TSP 浓度具有可靠依据^[13],但干旱地区降水的随机性可能是预测工作的困难所在。

为了加深了解敦煌地区沙尘质量的浓度特征,利用腾格里沙漠东南缘沙坡头(37°28'N, 105°00'E)的监测结果进行对比分析,两地的观测仪器和方法完全相同,沙坡头地区的监测日期开始于 2001 年 3 月份至今。按照同步进行的气象观测结果,将能够代表典型天气过程的采样结果分为 4 组,分别代表清洁大气、浮尘大气、扬沙和沙尘暴过程(表 2)。同一地区不同天气下 TSP 质量浓度存在着量级差别,背景大气的量级一般为 10¹ μg·m⁻³,浮尘为 10² μg·m⁻³,扬沙和沙尘暴的量级均为 10³~10⁴ μg·m⁻³。

沙坡头和敦煌地区都位于由河西走廊—宁夏平原的沙尘输送通道上,沙坡头地区位于下游。在沙尘季节,特别是沙尘暴过程中,敦煌地区 TSP 质量浓度通常大于沙坡头地区。2002 年 4 月 7~21 日在沙坡头和敦煌气象站进行了沙尘气溶胶的同步观

测,累计采样时间为 300 h。结果显示,观测期间敦煌站平均 TSP 浓度为 1177.86 μg·m⁻³,沙坡头站为 1128.15 μg·m⁻³;而在 4 月 13~15 日的沙尘暴过程中,敦煌最大 TSP 浓度为 6197.29 μg·m⁻³,沙坡头地区为 3901.6 μg·m⁻³,当大范围的沙尘暴由河西走廊输送到沙坡头地区时,TSP 质量浓度明显减小。但是在清洁大气中,敦煌地区 TSP 质量浓度小于沙坡头地区,主要原因可能是敦煌采样点位于紧邻市区的绿洲区,而沙坡头地区紧邻腾格里沙漠,这可能是绿洲城市沙尘污染的特点。

3.3 沙尘质量浓度的粒径分布特征

Andesen 采样器正式启动于 2002 年 4 月 7 日,到 2004 年 3 月底,累积采样时间为 274.2 天。本试验所用 Andesen 采样器的粒径分布上限大致为 16 μm,所以有关 Andesen 采样结果中的总沙尘浓度都是指空气动力学直径<16.8 μm 的沙尘粒子,其各粒径段浓度总和也小于 TSP 浓度。已有的研究也表明,参加远距离输送的沙尘粒子的粒径范围<10 μm,所以本采样器能够满足研究要求。在不同天气条件下,沙尘质量浓度随粒径的分布特征存在较大的差异。图 4 为典型沙尘暴过程、清洁大气及平均质量浓度—粒径的分布特征。其中清洁大气样品收集于 2003 年 10 月 1~6 日,沙尘暴样品采集于 2002 年 4 月 29 日,平均结果是对所有观测结果不同粒径段的质量浓度按照(2)式进行平均获得。为了方便对比,图 4 中沙尘暴的质量浓度采用次坐标轴表示。可以看出,在沙尘暴过程中,最大峰值出现在粒径最大 0 级(>11 μm),最小值出现在 6 级(0.65~1.0 μm),与沙坡头地区的观测结果一致;清洁大气峰值出现在 4 级(2.1~3.3 μm),次峰值出现在 8 级(<0.43 μm),而沙坡头地区分别出现在 2 级(3.3~4.7 μm)和 6 级(0.65~1.0 μm),反映出两地在清洁大气条件下大气气溶胶的不同特点;所有观测结果的平均质量浓度随粒径的变化特征与沙尘暴更为相似,表明沙尘事件对敦煌地区大气 TSP 浓度起主导作用。与清洁大气相比,

表 2 敦煌和沙坡头地区不同天气条件下 TSP 质量浓度特征(单位: μg·m⁻³)
Table 2 The characteristics of TSP mass concentration during different weather conditions in Shapotou and Dunhuang areas. (Unit: μg·m⁻³)

监测点	清洁大气		浮尘		扬沙		沙尘暴	
	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
沙坡头	64.9~125.8	91.8	187.6~669.3	347.3	1515.7~2073.6	1613.1	2417.87~6272.6	4301.9
敦煌	25.6~105.7	72.1	344.6~855.8	664.7	1213.9~2770.8	2092.9	3019.5~12457.8	6951.1

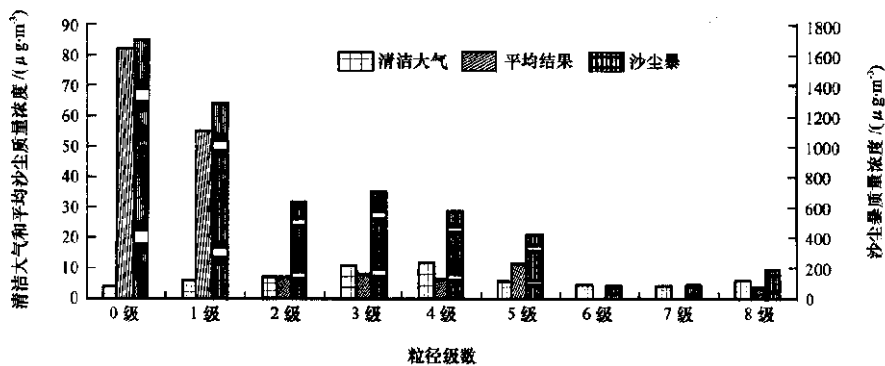


图 4 典型沙尘暴、清洁大气和平均质量浓度一粒径的分布特征

Fig. 4 Distribution of typical duststorm, clear atmosphere and averaged mass concentration-particle size

在沙尘暴过程中，不同粒径段的质量浓度均有明显增加，但粗粒子增加的幅度更为明显。

为了进一步比较不同天气过程中沙尘气溶胶质量浓度的粒径分布特征，对典型的清洁大气、浮尘、扬沙和沙尘暴过程的观测结果按照(2)式进行分组平均(表 3)。结果显示，不同天气条件下，Andesen 采样器总浓度存在明显的差异，其变化趋势为沙尘暴>扬沙>浮尘>清洁大气。其粒径分布特征也具有明显的不同：(1)在采样过程中，利用延长采样时间的方法获取足够的样品以备今后的化学组成分析。在沙尘多发的敦煌地区，只获取了一个没有沙尘事件干扰的清洁大气观测结果，结果显示，沙尘质量浓度具有两个峰值，分别位于4级(2.1~3.3 μm)和8级(<0.43 μm)，粗模态($d\setminus\% > 2.0$)所占比例小于总浓度的 50%，表明清洁大气气溶胶以积聚模态的细粒子为主；(2)在浮尘条件下，粗模态粒子质量浓度的总和占到总浓度的 89.5%，最明显的两个峰值分别出现在 0 级($d > 11$

μm)和 2 级(4.7~7.0 μm)，最小浓度值出现在 7 级(0.43~0.65 μm)，>11 μm 的粒子占到总浓度的 24%；(3)在扬沙过程中，最大峰值出现在 0 级，出现在 4 级的次峰值并不显著，0 级浓度占总浓度的比例为 32.5%，表明粗粒子在大气气溶胶中占主导地位；(4)在沙尘暴过程中，0 级为最大的峰值区，其平均浓度为 672.28 μm，占总浓度的 36%，是扬沙条件下的 2.6 倍，是浮尘条件下的 10 倍，且粗模态浓度总和占总浓度的 87%；(5)利用 Asderson 采样器的长期监测平均总浓度为 281.70 μm，最大峰值出现在 0 级，粗模态浓度总和占总浓度的 86.5%。其浓度一粒径分布特征与清洁大气明显不同，而与沙尘天气更为相似，表明敦煌地区大气气溶胶特征受到沙尘事件的强烈影响；(6)不同天气条件下利用 Anderson 采样器获得的总浓度之间存在明显的倍数关系，沙尘暴分别是扬沙、浮尘和清洁大气的 2.9 倍，6.8 倍和 32.8 倍；扬沙是浮尘和背景大气的 1.82 倍和 14.1 倍；浮尘是背景大气的 4.8 倍。

表 3 不同天气条件下沙尘气溶胶的粒径分布特征

Table 3 Size distribution of dust aerosol under different weather processes

	级 数								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	粒 径/μm								
	>11.0	7.0~11.0	4.7~7.0	3.3~4.7	2.1~3.3	1.01~2.1	0.65~1.0	0.43~0.65	<0.43
清洁	3.63	5.20	7.02	10.57	11.50	5.45	4.07	3.87	5.57
浮尘	67.40	40.11	53.88	51.64	33.68	14.89	4.23	2.66	7.06
扬沙	261.20	190.43	82.24	78.64	93.64	56.07	21.28	7.25	11.69
沙尘暴	672.28	477.66	176.45	168.76	121.57	90.25	29.88	3.11	122.65
平均	84.78	63.87	31.62	34.94	28.44	20.74	3.83	4.09	9.39

本研究采用 Anderson 采样器的粒径上限为 $17.6\text{ }\mu\text{m}$ ，各粒径段质量浓度的总和与 TSP 浓度并不一致，可以近似地将两者之差认为是 $>17.6\text{ }\mu\text{m}$ 粒子的质量浓度。比较两种采样器的观测结果，可以得到一些有意义的结果(表 4)。在清洁大气条件下，利用 Anderson 采样器获得的总浓度 C_A 与 TSP 浓度 C_H 的比值最大，其次为浮尘、扬沙和沙尘暴过程。可以看出，在沙尘过程中，不同粒径段的质量浓度均有增加的趋势，但粗粒子增加的幅度更为明显，特别是 $>17.6\text{ }\mu\text{m}$ 粒子的增加幅度更为明显，而这部分粒子主要影响到局地大气环境质量。沙坡头的观测结果与此略有不同， C_A/C_H 的比值按照从大到小的顺序依次为清洁大气 $>$ 浮尘 $>$ 沙尘暴 $>$ 扬沙。作为沙尘暴过程的输送通道，当沙尘暴由上游源区输送到沙坡头地区时，粗粒子更容易沉降到源区附近，导致下游沙坡头地区沙尘暴过程中 C_A/C_H 比值大于扬沙过程。这也是源区和输送通道上沙尘质量浓度—粒径分布特征的区别所在。

表 4 两种采样器获得的沙尘质量浓度的比较

Table 4 Comparison of dust mass concentration collected by two kinds of samplers

	C_A	C_H	$C_H - C_A$	$(C_A/C_H) \times 100\%$
背景大气	56.9	72.1	15.2	78.9
浮尘	275.6	664.7	389.1	41.5
扬沙	802.4	2092.9	1290.5	38.3
沙尘暴	1862.6	6951.1	5088.5	26.8
所有样品的平均	281.7	374.5	92.8	72.5

4 结论

对沙尘源区进行长期监测，是获取具有区域代表性的沙尘气溶胶理化特征的重要研究方法，本研究在河西走廊西端的敦煌气象站进行了长达两年多的试验观测研究，获得了该地区沙尘气溶胶质量浓度的基本特征。主要结论如下：

(1) 大流量采样器长期监测表明，敦煌地区平均 TSP 质量浓度高达 $374.5\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ，超过了国家环境空气质量浓度的二级标准，而且大部分月份(2~9 月)的平均值也超过这一标准，表明沙尘污染是该地区大气环境的基本特征。

(2) 不同天气条件下 TSP 质量浓度存在明显差异，最大值为最小值的 485 倍左右。通常表现为沙尘暴 $>$ 扬沙 $>$ 浮尘 $>$ 清洁大气，而且存在量级差

别：背景大气一般为 $10^1\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ，浮尘为 $10^2\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ，扬沙为 $10^3\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ，沙尘暴为 $10^3 \sim 10^4\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(4) TSP 浓度的年变化特征与降水、沙尘事件日数等气象资料在季节上的搭配比较一致，最大峰值出现在沙尘事件最多的 4 月份，是全年平均的 3.2 倍，并在 10 月份达到全年的最小值。

(5) Anderson 采样器的观测结果表明，不同天气条件下沙尘质量浓度的粒径分布特征具有显著的差异。清洁大气气溶胶组分主要为 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 的积聚模态，其最大峰值出现在粒径段 4 级，次峰值为 8 级；在沙尘事件中，不同粒径段的质量浓度均有增加的趋势，但粗粒子的增加趋势更为明显，最大峰值出现在粒径段 0 级。

(6) 与紧邻沙漠的沙坡头的观测结果进行对比，敦煌地区在清洁大气条件下 TSP 质量浓度更低，可能与绿洲防护体系有关；但在沙尘暴过程中，远超过沙坡头地区，更多的表现出沙尘源区的特点。

参考文献

[1] 牛生杰, 孙继明. 贺兰山地区大气气溶胶光学特征研究[J]. 高原气象, 2001, 20(3): 298—301

[2] 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]. 气候与环境变化, 2000, 5(1): 6—12

[3] 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

[4] 陈晓光, 张存杰, 董安祥等. 甘肃省沙尘暴过程的划分及统计分析[J]. 高原气象, 2004, 23(3): 374—381

[5] 江灏, 吴虹, 尹宪志等. 河西走廊沙尘暴的时空变化特征与其环流背景[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 548—552

[6] 汤绪, 俞亚勋, 李耀辉等. 甘肃河西走廊春季强沙尘暴与低空急流[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 840—846

[7] 夏训诚, 杨根生编著. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996, 1—127

[8] 王式功, 杨民, 祁斌等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠, 1999, 19(3): 354—358

[9] 胡泽勇, 黄荣辉, 卫国安等. 2000 年 6 月 4 日沙尘暴过境时敦煌地面气象要素及地表热量平衡特征的变化[J]. 大气科学, 2002, 26(1): 1—8

[10] 沈志宝, 申彦波, 杜明远等. 沙尘暴期间戈壁沙地起沙率的观测结果[J]. 高原气象, 2003, 22(6): 545—550

[11] 申彦波, 沈志宝, 杜明远等. 敦煌春季沙尘天气过程中某些参量和影响因子的变化特征[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 378—384

[12] Zhang X Y, Shen Z, Zhang G et al. Remote mineral aerosol in westerlies and their contributions to the Chinese loess[J]. Science in China (Series D), 1996, 39(1): 67—76

Observation Study on Mass Concentration of Dust Aerosols in Dunhuang

LIU Li-chao¹, SHEN Zhi-bao¹, WANG Tao¹, Zhou Mao-xian¹,
Sadayo Yabuki², Shinji Kanayama²

(1. Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. The Institute of Physical and Chemical Research(RIKEN), Wako, 351—0198, Japan)

Abstract: The physical and chemical characteristics of dust aerosols originated from desert area of northern China attracted more and more attentions in recent year, whereas most of studies are based on the short-term observation or typical dust events. In the last 30 months, a long-term study on dust aerosol was conducted using high-volume sampler and Anderson sampler in Dunhuang, which is located in the west part of Hexi corridor and well known as one of the most important dust source in China. The basic mass concentration characteristics of dust aerosol are obtained. The annual change features of total mass concentration of dust aerosol shows the close correlation with those of meteorological data. On the average, the amounts of TSP mass concentration shows different quantitative levels and distinct distributions of mass concentration-particle size during different weather conditions. The comparative analysis with experimental results from Shapotou regions shows that mass concentration of the dust aerosol is lower in clear atmosphere and much higher during dust events.

Key words: Dust aerosol; Dust storm; Dunhuang region