

贺兰山地区沙尘气溶胶粒子谱分布的 观测研究^{*}

牛生杰¹⁾ 章澄昌²⁾ 孙继明¹⁾

1) (宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002)

2) (北京气象学院, 北京 100081)

摘 要 1996年至1999年4年间的4月和5月, 在贺兰山的東西两侧沙漠地区用APS-3310A型激光空气动力学粒子谱仪进行了大气气溶胶数浓度和质量浓度的观测, 取得了大量背景大气、浮尘、扬沙和沙尘暴天气条件下的沙尘粒子谱分布资料, 通过统计分析研究, 总结出不同沙漠地区不同沙尘天气条件下的大气气溶胶粒子谱的分布规律。

关键词: 贺兰山地区; 沙尘气溶胶; 谱分布

1 引言

大量的观测和研究表明, 气溶胶对全球气候的冷却效应在量级上是可与温室气体的加热效应相比拟的。气溶胶通过影响辐射过程来影响气候, 它的辐射强迫可分为两个方面, 一是直接强迫, 即通过散射和吸收太阳辐射来直接影响地球的辐射平衡; 二是间接强迫, 气溶胶可作为云凝结核, 通过改变云的微结构、延长云的生命史和改变云的光学性质来影响辐射收支。但气溶胶对气候的影响极其复杂, 目前还无法用气候模式很好地定量估计, 原因是除了气候系统存在许多反馈机制外, 如热力强迫引起大气环流的变化、空气运动引起热输送的改变、气溶胶与云的相互作用等; 另一个重要的原因是目前还缺乏足够的具有全球代表性的气溶胶的物理化学和光学性质的资料。大气气溶胶是一种很重要的大气微量成分, 它在许多大气化学过程中起催化作用, 是诸多大气化学过程的中间产物或最终产物。大气气溶胶还与太阳辐射、地球和大气辐射、云和降水的形成等许多大气物理过程密切相关。为了定量研究大气气溶胶在大气物理和大气化学过程中的作用, 需要详细分析大气气溶胶的物理化学特征, 这包括气溶胶粒子的数浓度、相态、粒子谱分布以及化学成分等。广泛分布的沙尘气溶胶是全球背景大气气溶胶的重要组成部分, 因此, 获得具有地区代表性的沙尘气溶胶物理化学特征的资料是十分重要的。

自80年代初期以来, 国内学者对我国的大气气溶胶进行了很多研究。利用光学粒子计数器观测不同天气条件下的背景气溶胶^[1,2], 研究大气气溶胶粒子谱分布及其随高度的变化^[3]; 利用KB-120型和Anderson采样器观测不同天气条件和沙尘天气下的气

1999-09-15收到, 2000-01-14收到修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目 49565010

溶胶质量浓度分布规律^[4]；利用光学粒子测量系统(PMS)观测背景大气和沙尘天气下气溶胶的空间分布^[5~7]；利用美国制造的 APS-3310A 型激光空气动力学气溶胶粒谱仪，在污染较重的冬季观测研究了气溶胶的粒子谱分布谱型及随时间的演变特征^[8]；利用日本制造的 PM-730 光学粒子计数器观测研究了沙漠地区不同条件下背景气溶胶的浓度和谱分布特征^[9]。1993 年和 1995 年分别出版了大气化学和大气气溶胶研究的著作^[10,11]。这些研究，对我国大部分地区的背景气溶胶和污染物气溶胶的谱分布及演变规律有了深入的了解。但这些研究大部分集中在市区、城市近郊和植被较好的我国中东部地区，而对西部地区尤其是沙漠面积占有较大比重的西北地区的气溶胶，研究得较少，深入沙漠源地对沙尘天气条件下沙尘气溶胶的研究就更少。国外至今在沙漠现场对其气溶胶尺度分布的测量资料甚少，仅有 d'Almeida 和 Gillette 等^[12,13]汇集了包括沙漠的全球气溶胶光学性质的气候研究。Porter 和 Clarke^[14]的外场测量表明源自亚洲的沙尘，尽管是远离源地(11 000 km)的夏威夷冒纳罗亚站，其峰值尺度仍远大于撒哈拉沙尘的长距离输送的相应值，同时表现出气溶胶峰值直径随气溶胶质量浓度的增大而移向较大值的趋势。最近 Karyampudi 等^[15]利用大孔径扫描星载光达(LASAL)和欧洲中期天气预报中心资料证实了撒哈拉沙尘羽概念模式，明确提出东风波槽过境形成的强气压梯度引发低空急流触发新的沙尘暴，撒哈拉沙尘气溶胶在北非上空组成低浓度背景尘，而且在西非西岸形成分离的窄的沙尘羽(不同于原模式中的单一尘羽)，尘层顶在东大西洋迅速降低高度且大颗粒下沉消失，光学厚度迅速减小。表现出与我国西北沙尘明显不同的特征。1996~1999 年 4、5 月间，分别在内蒙古的吉兰泰(105°45'E, 39°47'N, 海拔高度 1 013.8 m)、阿拉善右旗(101°41'E, 39°13'N, 1 511.5 m)、宁夏的盐池(107°24'E, 37°47'N, 1 347.8 m)、银川(106°00'E, 38°29'N, 1 152.0 m)和内蒙古的阿拉善左旗巴音浩特(105°40'E, 38°50'N, 1 561.4 m)及其西北 30 km 处的通古淖尔，综合观测和分析了沙尘气溶胶的物理化学特性和数浓度、质量谱特征，其中，用 APS-3310A 型激光空气动力学气溶胶粒谱仪观测背景大气、浮尘、扬沙和沙尘暴天气下的气溶胶粒子谱分布及其演变规律。由于在阿拉善右旗近一个月的观测期间，没有遇到过一次沙尘天气，因此本文是对除阿拉善右旗以外其余 5 地观测资料的分析和总结。

2 仪器和资料

测量仪器为美制 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，且只同粒子的空气动力学直径有关，故通过测量粒子速度即可决定粒子的空气动力学直径。而粒子速度由分离的激光束通过电子测量技术，并且于计算粒子的空气动力学直径。该仪器在 0.5~30.5 μm 范围内分为 58 档，还包括小于 0.5 μm 和大于 30.5 μm 两档，可用于测量各种固体颗粒谱分布，包括数浓度谱、表面积谱和体积谱(在对密度假设条件下，可转化为质量谱)。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。因重叠引起的数浓度误差一般可忽略，主要是对峰值稍有减少，但对表面积和质量分布的影响较大，因 0.5 μm 与 30 μm 相比放大了 27 000 倍。当 APS 取样时，尽量使显示的浓度水平调低，维持在 100 个/ m^3 以下，此时 20 s 取样时段实际要测量 33 000 个粒子。在沙尘暴的取样观测

中, 实际浓度资料偏低, 表面积和质量误差甚大, 主要是数浓度高, 重叠效应使视值偏小甚大。但对背景大气和浮尘、扬沙天气一般比较准确。采样高度距地 1~4 m, 每个样本采样时间为 30 s。采样点的地理位置和贺兰山地区沙漠分布见图 1。



图 1 贺兰山地区沙漠分布示意图 (阴影区为沙漠区)

3 沙漠地区近地层气溶胶谱分布特征

1996 年至 1999 年 4 年间的 4 月和 5 月, 对背景大气采样 3 次, 观测到浮尘天气 2 次, 扬沙天气 6 次, 沙尘暴天气 4 次。有关采样情况、不同天气条件下沙尘气溶胶平均数浓度、平均质量浓度、平均半径等参量见表 1。

3.1 背景大气气溶胶谱分布特征

由表 1 可知, 巴音浩特、通古淖尔背景大气气溶胶数浓度谱和质量浓度谱均为单峰谱, 质量浓度、数浓度分别为 0.14 mg/m^3 、 27 个/cm^3 和 0.1 mg/m^3 、 26 个/cm^3 , 均高于银川的 0.05 mg/m^3 和 15 个/cm^3 ; 银川背景大气气溶胶数浓度谱和质量浓度谱也呈单峰型, 其平均直径 ($1.5 \mu\text{m}$) 大于巴音浩特和通古淖尔的背景大气气溶胶平均直径 (两者均为 $1.4 \mu\text{m}$), 但峰值数浓度以巴音浩特为最高 (27 个/cm^3), 通古淖尔次之 (26 个/cm^3), 银川最低 (15 个/cm^3)。1998 年 5 月 27 日银川的观测点设在紧靠贺兰山东侧的机场, 当天无飞行活动, 该测站气溶胶粒子平均直径较大的原因可能是翻山气流携带的气溶胶粒子越过山峰后大颗粒先下沉所致。巴音浩特的观测点设在阿拉善盟气象局院内, 此处是巴音浩特的最高点, 向西约 2 km 即是戈壁, 向西约 10 km 处即是腾格里沙漠, 而通古淖尔则位于腾格里沙漠边缘, 观测是在沙漠中进行的, 因沙源充足, 沙尘粒子经湍流输送至近地层大气, 造成沙尘气溶胶质量浓度和数浓度均较贺兰山东侧的机场的值高。通古淖尔和巴音浩特两地沙尘气溶胶浓度差异不大, 平均直径相同, 而巴音浩特沙尘气溶胶的峰值直径、中值直径、峰值浓度均大于通古淖尔的相应值, 这可能是天气状况不尽相同造成的, 使巴音浩特沙尘气溶胶质量浓度为 0.14 mg/m^3 , 大于通古淖尔的 0.11 mg/m^3 , 但属同一量级。三次背景大气的沙尘气溶胶

表 1 APS 采样情况及沙尘气溶胶有关物理量的统计结果

地 点	日 期	采样时间	样本数	天 气 现 象	最大 风速 (m/s)	平均 直径	峰值 直径	中值 直径	峰 值 粒 子 数	平均 数浓度 (个/cm ³)	平均 质量浓度 (mg/m ³)
吉兰泰	1996-04-23	03:57~18:30	102	扬沙	11.3	1.5	1.0	1.2	15.5	227	0.94
盐池	1998-04-22	09:00~21:32	90	沙尘暴	10.8	1.2	1.8	0.9	18.3	288	0.78
	1998-04-23	06:42~09:43	316	沙尘暴	13.1	1.3	0.9	1.1	10.5	185	0.66
	1998-04-25	09:36~10:33	102	扬沙	8.7	1.5	0.9	1.1	5.1	101	0.43
	1998-04-27	03:18~09:21	552	沙尘暴	7.8	1.6	1.3	1.3	9.1	186	1.01
	1998-04-28	07:08~09:31	250	浮尘	4.2	1.3	0.8	1.0	8.3	140	0.51
	1998-04-28	09:56~11:20	152	扬沙	12.1	1.4	0.9	1.1	6.1	114	0.45
	1998-05-01	14:21~18:10	400	扬沙	12.1	1.4	1.0	1.1	3.7	62	0.26
	1998-05-05	10:21~19:52	561	扬沙	14.2	1.7	1.2	1.4	2.6	48	0.22
	1998-05-19	23:53~00:49	100	浮尘	3.7	1.6	1.1	1.3	2.6	35	0.12
阿拉善左旗	1998-05-27	06:54~19:23	369	背景	14.0	1.5	1.0	1.2	1.2	15	0.05
	1999-04-10	12:11~12:20	3	沙尘暴	8.0	1.7	1.3	1.4	16.3	284	2.10
	1999-04-11	12:26~12:28	6	背景	0.7	1.4	1.0	1.4	1.7	27	0.14
	1999-05-11	09:18~14:03	299	扬沙	15.0	1.6	1.0	1.2	1.4	31	0.21
	1999-04-28	10:06~16:18	300	背景	4.0	1.4	0.9	1.1	1.3	26	0.11
				背景		1.4	1.0	1.2	1.4	23	0.10
				浮尘		1.4	1.0	1.2	5.4	88	0.32
				扬沙		1.5	1.0	1.2	5.7	97	0.42
				沙尘暴		1.5	1.3	1.2	13.5	236	1.14
按天气现象平均											

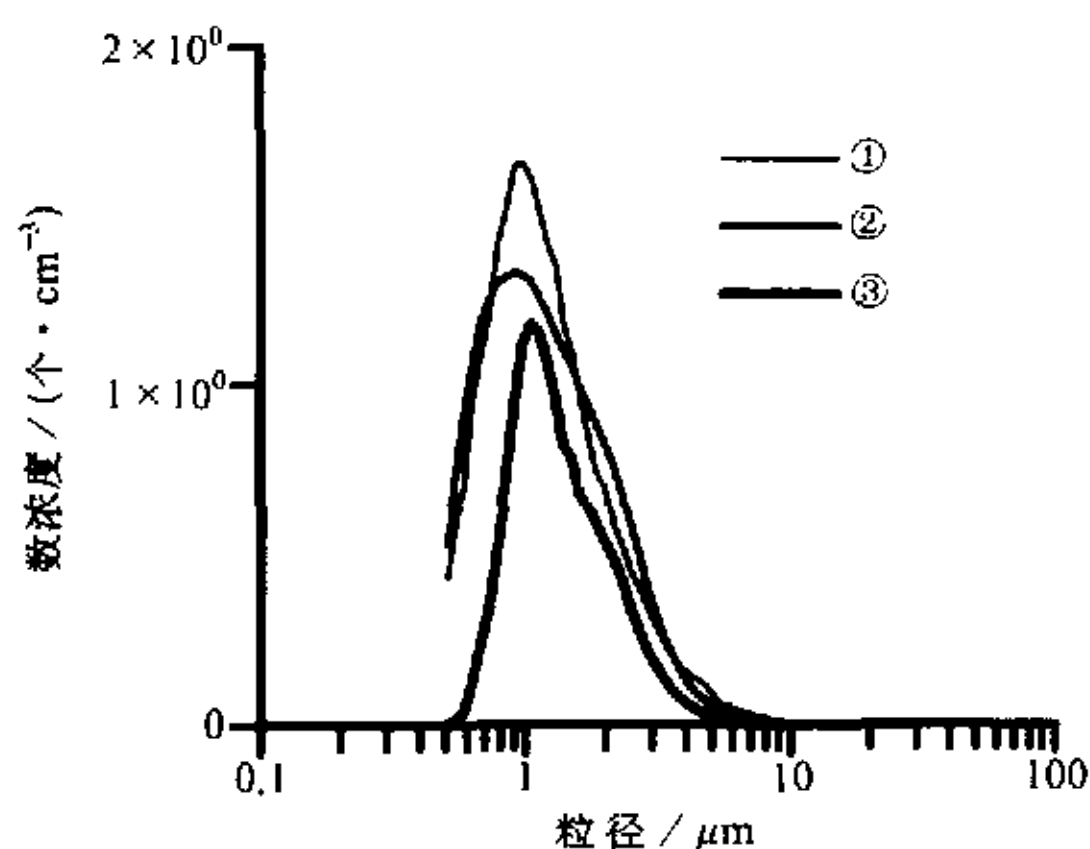


图 2 背景大气沙尘气溶胶数浓度平均谱

① 巴音浩特 (1999-04-11); ② 通古淖尔 (1999-04-28); ③ 银川 (1998-05-27)

其平均直径为 $1.4 \mu\text{m}$, 平均数浓度为 $23 \text{ 个}/\text{cm}^3$, 平均质量浓度为 $0.10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。图 2 给出了三地背景大气的沙尘气溶胶数浓度平均谱, 基本呈对数正态分布。

沙漠地区背景大气气溶胶物理特征与城区污染物气溶胶有明显差异。沙漠地区背景大气气溶胶数浓度谱和质量谱呈单峰型, 与北京城区污染物气溶胶三峰型质量谱^[8]和国外^[16]给出的城市双峰型质量谱差别显著。表 2 给出了直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 粒子的物理特征。沙漠地区背景大气气溶胶粒子其直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的粒子质量浓度占总质量浓度的 32.8%, 与文献^[9]

的结论基本相同。北京城区冬季污染物气溶胶质量浓度平均约为 $0.29 \text{ mg}/\text{m}^3$, 是腾格里沙漠 (巴音浩特、通古淖尔) 背景大气气溶胶平均质量浓度 $0.13 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的 2.2 倍。

3.2 浮尘、扬沙天气条件下沙尘气溶胶粒子谱分布特征

地面气象观测规范^[17]定义: 浮尘是由于尘土、细沙均匀地浮游在空中, 使水平能

表 2 直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 粒子的平均浓度及占总量的百分比

地 点	日期	采样时间	样本数	天气现象	数浓度 (个 / cm ³)	数浓度占 总量百分比 (%)	质量浓度 (mg / m ³)	质量浓度占 总质量百分比 (%)
吉兰泰	1996-04-23	03:57~18:30	102	扬沙	205	90.6	0.33	34.7
盐池	1998-04-22	09:00~21:32	90	沙尘暴	263	91.3	0.29	36.4
	1998-04-23	06:42~09:43	316	沙尘暴	169	91.4	0.23	35.1
	1998-04-25	09:36~10:33	102	扬沙	91	89.9	0.13	31.4
	1998-04-27	03:18~09:21	552	沙尘暴	154	83.0	0.34	33.7
	1998-04-28	07:08~09:31	250	浮尘	128	91.5	0.16	30.9
	1998-04-28	09:56~11:20	152	扬沙	103	90.8	0.14	31.0
	1998-05-01	14:21~18:10	400	扬沙	56	90.8	0.08	31.1
	1998-05-05	10:21~19:52	561	扬沙	41	86.6	0.09	39.2
银川	1998-05-19	23:53~00:49	100	浮尘	32	91.1	0.06	49.0
	1998-05-27	06:54~19:23	369	背景	14	91.9	0.02	45.4
阿拉善左旗								
巴音浩特	1999-04-10	12:11~12:20	3	沙尘暴	240	84.5	0.48	22.7
	1999-04-11	12:26~12:28	6	背景	24	91.0	0.03	22.5
	1999-05-11	09:18~14:03	299	扬沙	26	85.9	0.04	19.6
通古渥尔	1999-04-28	10:06~16:18	300	背景	24	90.4	0.03	30.5
				背景	21	91.1	0.03	32.8
				浮尘	80	91.3	0.11	40.0
				扬沙	87	89.1	0.13	31.2
				沙尘暴	207	87.6	0.33	32.0
按天气现象平均								

能见度小于 10.0 km 。浮尘多为远处尘沙经上层气流传播而来, 或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的细粒浮游在空中而成。扬沙是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 km 至 10.0 km 以内。浮尘、扬沙天气其强度、造成的灾害程度一般均低于沙尘暴天气, 故将此两类天气条件下沙尘气溶胶粒子谱特征放在一节中讨论。

3.2.1 浮尘天气条件下沙尘气溶胶粒子谱分布特征

1998 年 4 月 28 日在盐池、5 月 19 日在银川分别观测到浮尘天气各 1 次。盐池的观测点设在盐池县气象局院内, 位于毛乌素沙地边缘。4 月 28 日浮尘天气沙尘气溶胶数浓度和质量浓度分别为 $140 \text{ 个} / \text{cm}^3$ 和 $0.51 \text{ mg} / \text{m}^3$, 均大于 5 月 19 日银川浮尘的数浓度 $35 \text{ 个} / \text{cm}^3$ 和 $0.12 \text{ mg} / \text{m}^3$, 前者分别是后者的 4.0 倍和 4.2 倍, 这说明从天气条件看同属浮尘天气, 但沙尘气溶胶质量浓度和数浓度可相差约 4 倍。盐池浮尘天气沙尘气溶胶粒子平均直径 ($1.3 \mu\text{m}$)、峰值直径 ($0.8 \mu\text{m}$)、中值直径 ($1.0 \mu\text{m}$) 分别小于银川浮尘天气沙尘气溶胶的平均直径 ($1.6 \mu\text{m}$)、峰值直径 ($1.1 \mu\text{m}$) 和中值直径 ($1.3 \mu\text{m}$)。这是因为位于毛乌素沙地的盐池, 其浮尘天气是由本地沙尘浮扬所致, 平均数浓度较大而颗粒粒径较小; 而银川浮尘天气沙尘气溶胶是自远处输送来的, 其平均直径较大再次说明了贺兰山对沙尘远距离输送的影响。

平均而言, 浮尘天气的数浓度、质量浓度分别为 $88 \text{ 个} / \text{cm}^3$ 和 $0.32 \text{ mg} / \text{m}^3$, 浮尘天气沙尘气溶胶粒子数浓度谱其过程平均谱呈单峰型, 质量浓度谱呈单峰型, 两者均服从对数正态分布, 图 3 给出了平均数浓度谱。浮尘天气直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 粒子的数密度和质量浓度平均为 $80 \text{ 个} / \text{cm}^3$ 和 $0.11 \text{ mg} / \text{m}^3$, 分别占总数密度的 91.3% 和总质量

浓度的 40.0%。

盐池吹偏东风或偏南风时, 浮尘天气发生的初期, 沙尘气溶胶粒数浓度谱呈双峰型。

3.2.2 扬沙天气条件下沙尘气溶胶粒子谱分布特征

从表 1 可知, 不同扬沙天气过程沙尘气溶胶谱分布的有关物理量差异较大。过程平均质量浓度和数浓度分别为 $0.21 \sim 0.94 \text{ mg/m}^3$ 之间和 $31 \sim 227 \text{ 个/cm}^3$, 6 次扬沙过程平均其平均值分别为 0.42 mg/m^3 和 97 个/cm^3 ; 过程平均质量浓度和数浓度可分别相差 4.4 和 7.4 倍。扬沙天

气下沙尘气溶胶粒子平均直径为 $1.4 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 之间, 平均为 $1.5 \mu\text{m}$ 。对不同扬沙过程而言, 一般来说, 最大风速越大, 沙尘气溶胶粒子平均直径也越大, 但与平均质量浓度没有这种对应关系, 因为质量浓度的大小除取决于粒子平均直径外, 还与粒子数浓度的大小有关。

扬沙天气条件下吉兰泰、巴音浩特沙尘气溶胶粒子数浓度谱和质量浓度谱均呈单峰型, 峰值偏向小粒子, 近似服从对数正态分布。盐池吹偏东风或偏南风时, 有个例

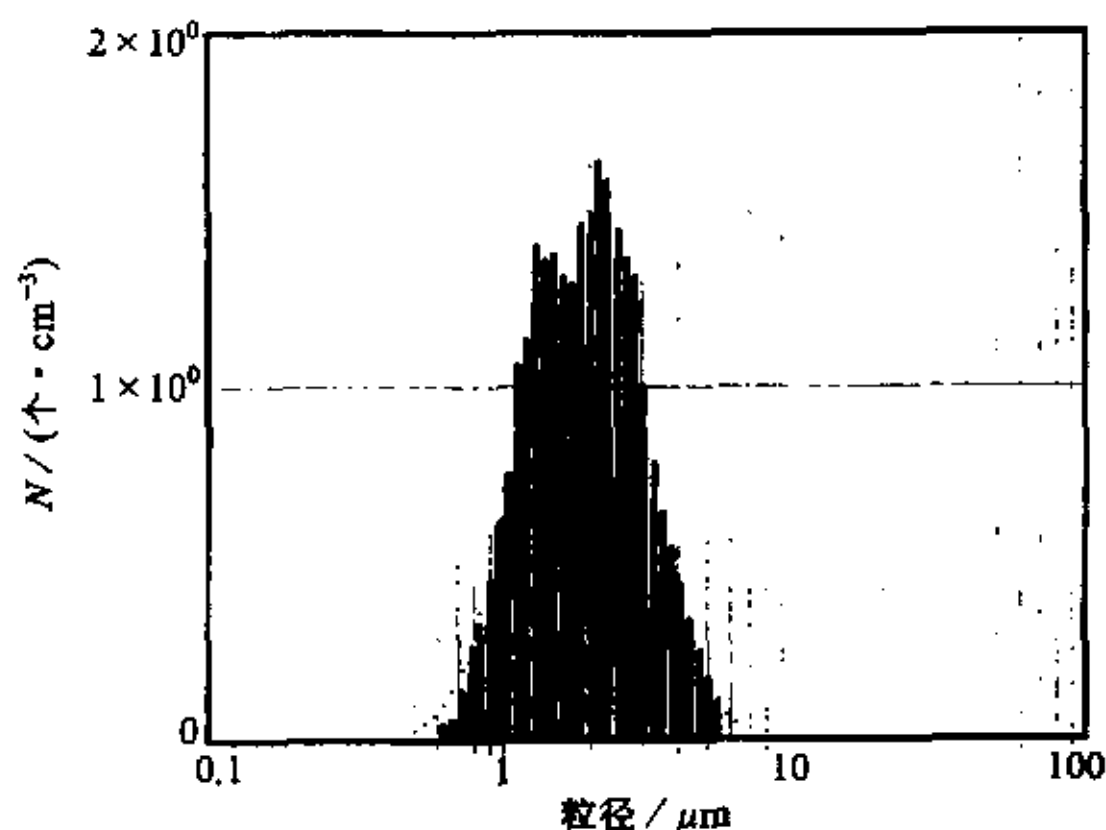


图 4 扬沙条件下沙尘气溶胶数浓度瞬时谱 (1998-05-05, 盐池)

89.1%和 31.2%。

3.3 沙尘暴天气条件下沙尘气溶胶粒子谱分布特征

从表 1 可知, 4 次沙尘暴过程平均数浓度和质量浓度分别为 $185 \sim 288 \text{ 个/cm}^3$ 和 $0.66 \sim 2.10 \text{ mg/m}^3$, 平均为 236 个/cm^3 和 1.14 mg/m^3 。沙尘气溶胶粒子过程平均直

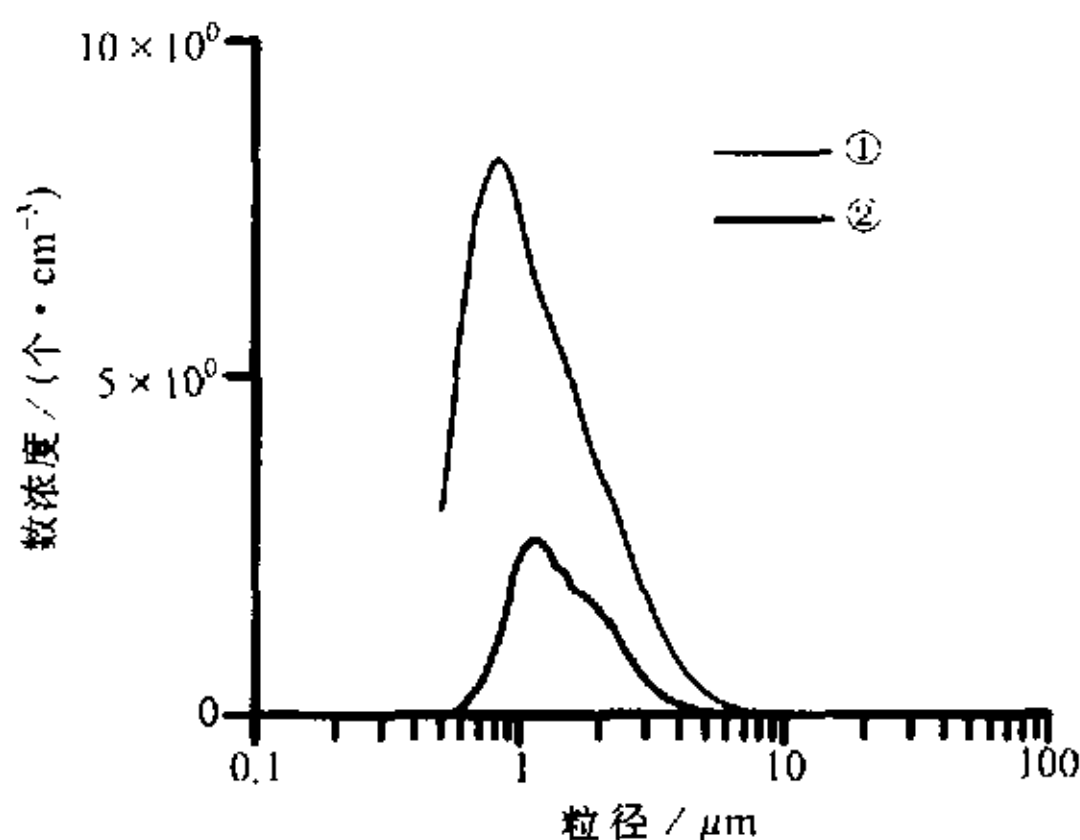


图 3 浮尘天气沙尘气溶胶粒子数浓度平均谱
① 盐池 (1998-04-28); ② 银川 (1998-05-19)

(1998-05-05) 表明, 在扬沙天气发生的初期, 数浓度谱呈双峰型 (图 4), 但数浓度的过程平均谱呈单峰型, 质量浓度谱均为单峰谱, 服从对数正态分布。数密度谱出现双峰的原因可能是偏东风或偏南风吹起并运输的沙尘气溶胶模态与背景大气气溶胶的模态不同所致, 经过一段时间的混合后, 成为一种模态, 数浓度谱演变为单峰型。其平均谱如图 5 所示。直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的粒子数浓度和质量浓度分别为 $26 \sim 205 \text{ 个/cm}^3$ 和 $0.04 \sim 0.33 \text{ mg/m}^3$, 平均分别为 87 个/cm^3 和 0.13 mg/m^3 , 分别占总数浓度和总质量浓度的

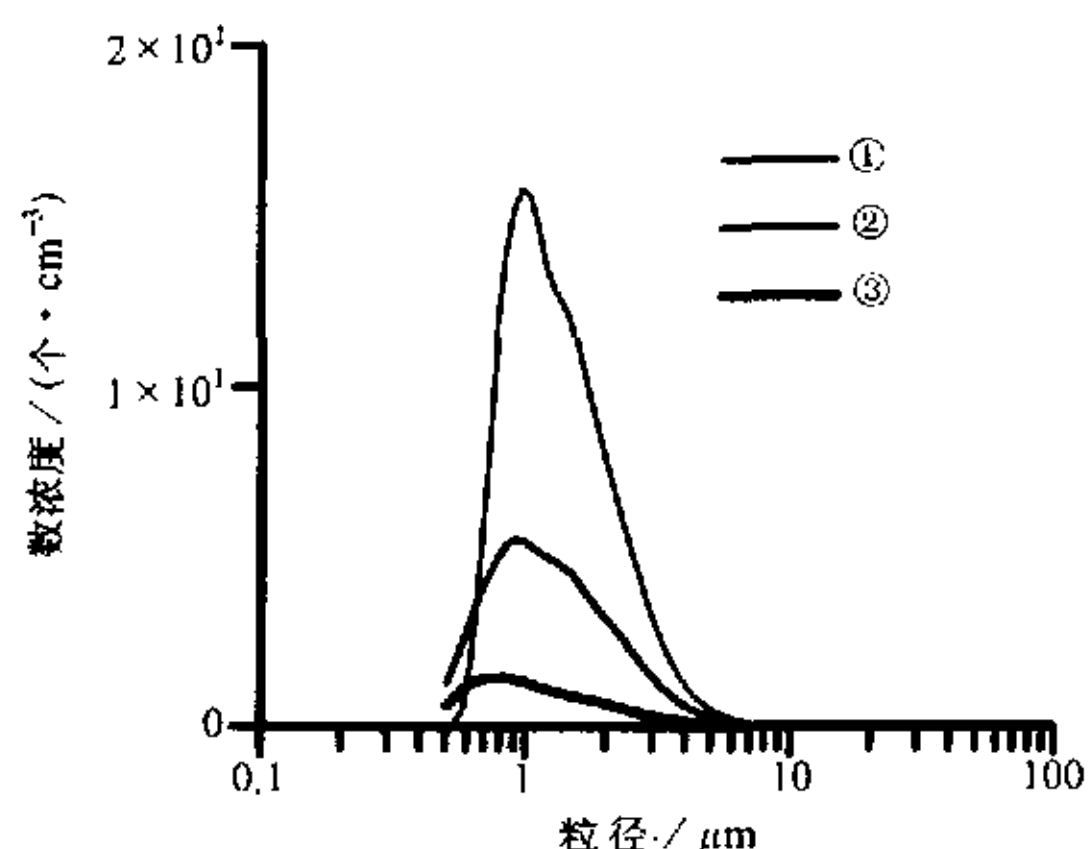


图5 扬沙大气条件下沙尘气溶胶数
密度平均谱

① 吉兰泰 (1996-04-23); ② 盐池 (1998-04-25);
③ 巴音浩特 (1999-05-11)

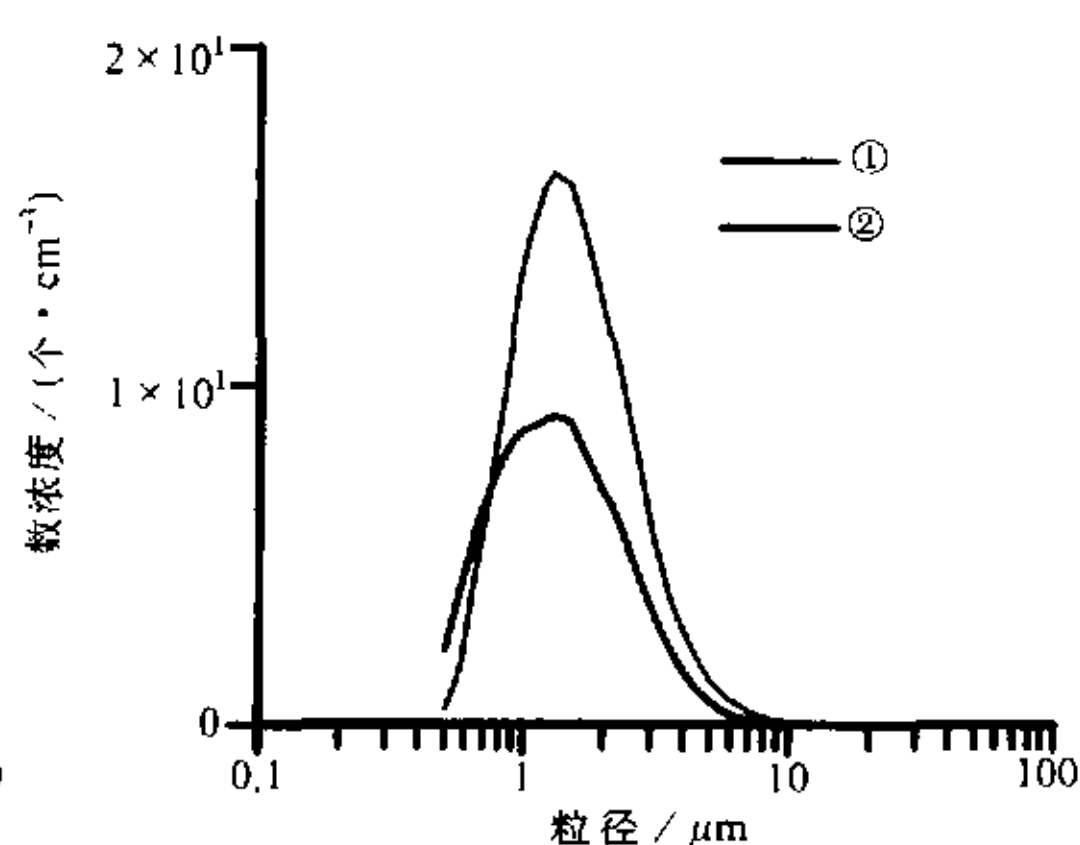


图6 沙尘暴大气条件下沙尘气溶胶粒子数
浓度平均谱

① 巴音浩特 (1999-04-10); ② 盐池 (1998-04-27)

径为 $1.2\ \mu\text{m} \sim 1.7\ \mu\text{m}$, 平均为 $1.5\ \mu\text{m}$ 。过程平均谱的峰值数浓度在 $9\ \text{个}/\text{cm}^3$ 和 $18\ \text{个}/\text{cm}^3$ 之间, 平均为 $14\ \text{个}/\text{cm}^3$ 。图6给出了两次沙尘暴过程沙尘气溶胶粒子数浓度的平均谱。数浓度平均谱服从对数正态分布。巴音浩特沙尘暴沙尘气溶胶粒子数浓度和质量浓度的平均谱呈单峰型, 盐池沙尘暴在其发生的初期, 有个例 (如1998年4月27日) 表明其数浓度瞬时谱呈双峰型。但在沙尘暴生命史的中后期其数浓度谱演变为单峰型, 质量浓度谱自始至终为单峰型。两地沙尘暴沙尘气溶胶粒子数浓度谱, 质量谱基本服从对数正态分布。由表2可知, 直径小于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的沙尘气溶胶粒子平均数浓度和质量浓度分别在 $154 \sim 240\ \text{个}/\text{cm}^3$ 和 $0.23 \sim 0.48\ \text{mg}/\text{m}^3$ 之间, 其平均值分别为 $207\ \text{个}/\text{cm}^3$ 和 $0.33\ \text{mg}/\text{m}^3$, 分别占总数浓度和总质量浓度的 87.6% 和 32.0% 。

在沙尘暴发生、发展和消亡的整个过程中, 沙尘气溶胶粒子数浓度、质量浓度和水平风速随时间的起伏较大。以1998年4月27日盐池发生的沙尘暴为例, 该日吹东南风, 能见度为 $700\ \text{m}$, 最大风速为 $7.8\ \text{m}/\text{s}$ 。04时23分发生沙尘暴, 沙尘气溶胶质量浓度增加很快, 约在 $20\ \text{min}$ 之内达到其最大值 $11.3\ \text{mg}/\text{m}^3$ (图6, 图中数值乘以沙尘密度 2.7)。此后在波动中有升有降, 数浓度在波动中逐渐升高。在本次沙尘暴发生的初期, 数浓度瞬时谱为双峰型, 峰值分别位于 $0.9 \sim 1.0\ \mu\text{m}$ 和 $1.0 \sim 1.2\ \mu\text{m}$ 之间, 形成双峰的原因可能是背景大气沙尘气溶胶和东南风吹起并输送过来的沙尘气溶胶属不同的模态所致; 经过约 $2\ \text{h}$ 的充分混合后, 在沙尘暴发生的中期, 数浓度谱演变为单峰型。在沙尘暴的整个生命期其质量浓度谱均为单峰型, 峰值直径在 $4.0 \sim 4.4\ \mu\text{m}$ 之间。该阶段沙尘气溶胶数浓度和质量浓度平均谱见图7a、b所示, 其数浓度平均谱呈现出了双峰的特点。

图8给出了沙尘暴发生中期的沙尘气溶胶粒子瞬时数浓度 C_n 、瞬时粒子谱的平均直径 R_d 和 $10\ \text{min}$ 平均风速 V 的时间演变 (质量浓度可由数浓度乘以 2.7 得到, 故未列入)。从图8可知, 三者随时间的起伏较大, 数浓度 (质量浓度) 和平均风速具有较好的正相关关系, 即平均风速越大时, 数浓度 (质量浓度) 也越大, 反之亦然。 R_d 的峰

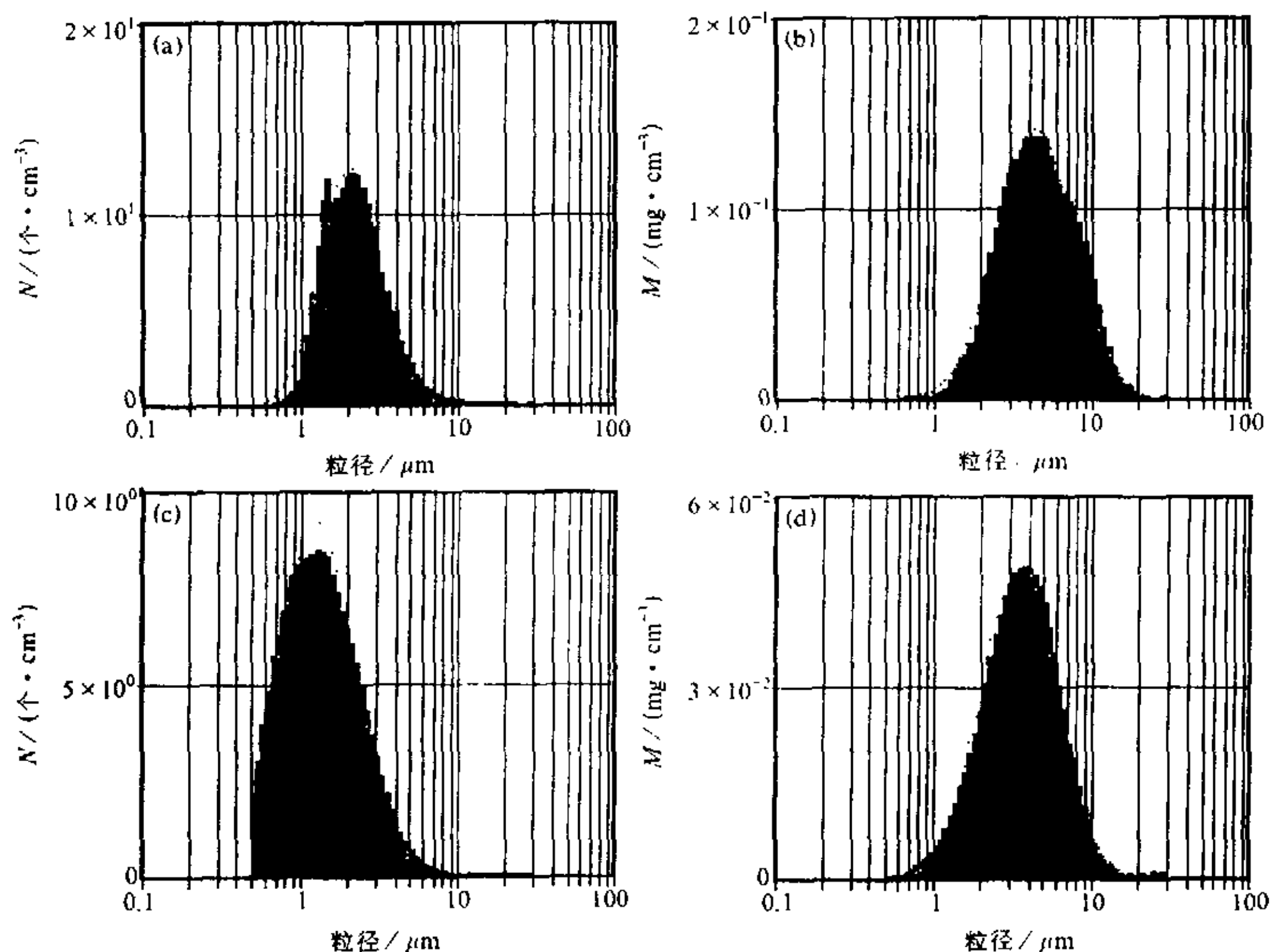


图7 1998年4月27日盐池沙尘暴天气条件下沙尘气溶胶数浓度 N 和质量浓度 M 的平均谱分布
(a)、(b): 4:23~5:20; (c)、(d): 6:20~7:15

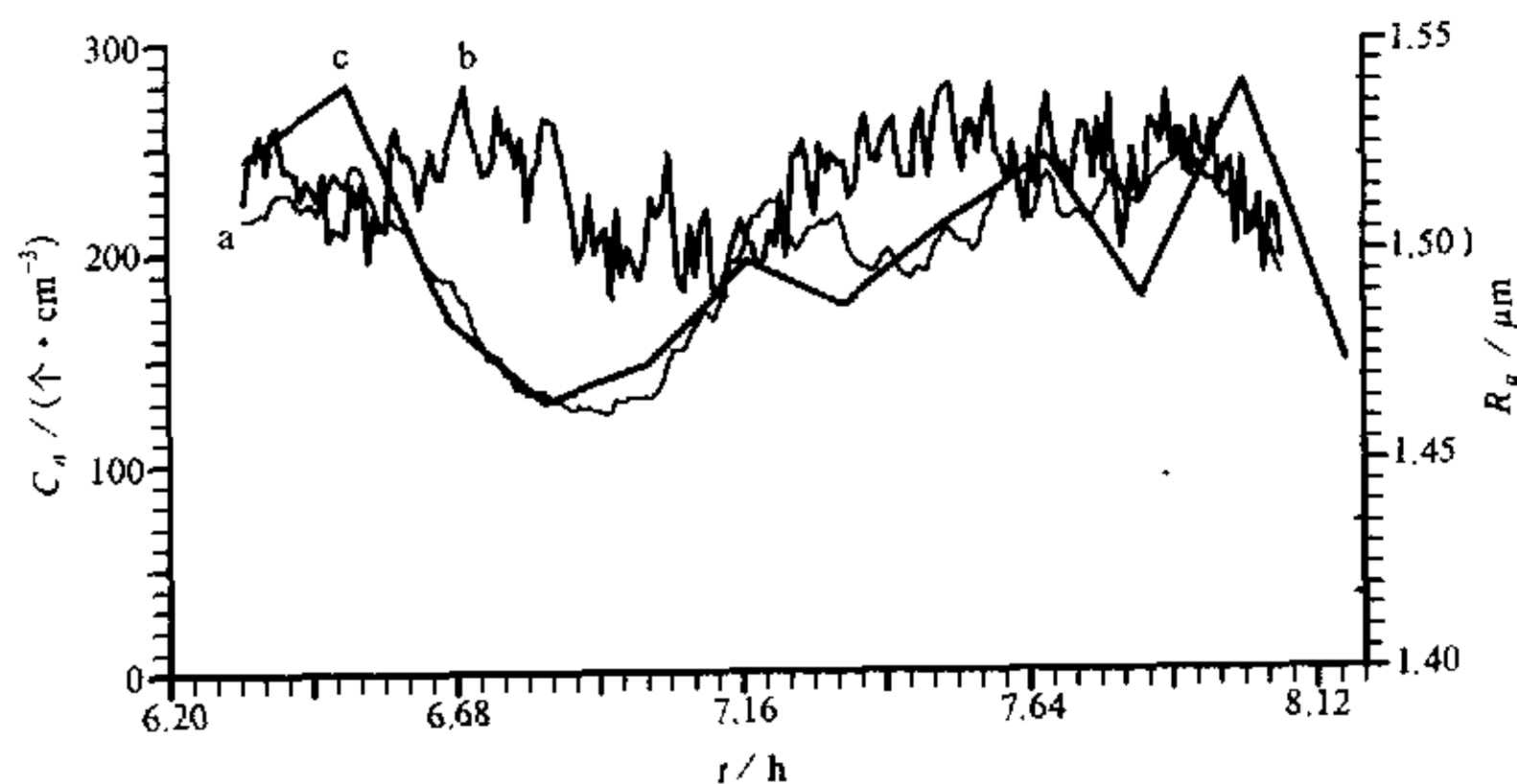


图8 (a) 沙尘暴发生中期沙尘气溶胶粒子数浓度 C_n ; (b) 沙尘暴发生中期沙尘气溶胶粒子平均直径 R_a ;
(c) 沙尘暴发生中期10 min 平均风速 V 演变图, 最大值8 m/s, 最小值4 m/s

值较 C_n 和 V 的峰值有一定的滞后。沙尘暴发生中期的沙尘气溶胶粒子数浓度谱峰值直径位于1.3~1.4 μm , 质量浓度峰值直径位于3.5~4.0 μm 之间, 数浓度、质量浓度的平均谱见图7c、d, 两者均为单峰型。沙尘暴的消亡期其数浓度和质量浓度谱均呈单峰谱。

4 小结

(1) 银川、巴音浩特和通古淖尔三地背景大气沙尘气溶胶粒子的数浓度谱和质量浓度谱均呈单峰型, 服从对数正态分布, 与城市污染物气溶胶三峰、双峰质量谱明显不同。三地沙尘气溶胶平均数浓度和质量浓度依次分别为 $15 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $0.05 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $27 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $0.14 \text{ mg}/\text{m}^3$ 及 $26 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $0.11 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。三地小于 $2.5 \mu\text{m}$ 粒子的数浓度和质量浓度占总量的百分比依次分别为 91.9% 和 45.4%、91.0% 和 22.5% 及 90.4% 和 30.5%。

(2) 浮尘、扬沙、沙尘暴天气条件下, 平均数浓度和质量浓度是依次增加的, 分别为 $88 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $0.32 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $97 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $0.42 \text{ mg}/\text{m}^3$ 及 $236 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $1.14 \text{ mg}/\text{m}^3$; 其峰值浓度也是依次增加的, 分别为 $5 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 、 $6 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 和 $14 \text{ 个}/\text{cm}^3$; 小于 $2.5 \mu\text{m}$ 粒子数浓度和质量浓度占总量的百分比依次分别为 91.3% 和 40.0%、89.1% 和 31.2% 及 87.6% 和 32.0%。

(3) 在不同地理位置观测到的沙尘天气下沙尘气溶胶粒子谱分布有一定差异。除盐池外, 其他观测点沙尘气溶胶粒子数浓度谱和质量浓度谱均呈单峰型。盐池在浮尘、扬沙天气条件下, 质量浓度谱呈单峰型; 一般吹偏东风和偏南风时数浓度谱为双峰型, 吹西北风或偏北风时, 其数浓度为单峰型; 当吹东南风时, 在沙尘暴发生的初期数浓度谱也为双峰型, 但质量浓度均为单峰型。数浓度谱出现双峰的原因可能是东南风、偏东风或偏南风吹起并输运的沙尘气溶胶粒子其模态与背景大气气溶胶的模态不同所致, 经过一段时间的充分混合后, 数浓度谱演变为单峰型, 这需进一步研究。

(4) 同一地点同一沙尘现象其沙尘气溶胶数密度和质量浓度可相差 4~7 倍。在沙尘暴的生命史中, 沙尘气溶胶数浓度 (由此可推算出质量浓度)、平均直径和 10 min 平均风速随时间的起伏较大; 在沙尘暴发展的中期, 数浓度和平均风速具有较好的正相关关系。

参 考 文 献

- 1 朱文琴, 气溶胶粒子谱的观测分析, 大气科学, 1982, 6(2), 217~223.
- 2 陈金荣等, 南京冬季大气气溶胶的物理特征, 南京气象学院学报, 1996, 19(3), 374~378.
- 3 王明星等, 大气气溶胶的粒度谱分布函数及其随高度的变化, 大气科学, 1984, 8(4), 435~442.
- 4 周明煜等, 北京城区秋冬季节气溶胶浓度分布规律及其与天气类型的关系, 大气科学, 1983, 7(4), 450~455.
- 5 游来光等, 沙尘天气下大气中沙尘粒子空间分布特点及其微结构, 应用气象学报, 1991, 2(1), 13~21.
- 6 何绍钦, 西安市一次晴空气溶胶粒子的观测分析, 气象, 1987, 13(5), 19~22.
- 7 孙玉稳等, 石家庄秋季大气气溶胶物理特征分析, 气象, 1996, 22(2), 40~43.
- 8 赵德山等, 北京市冬季大气气溶胶空气动力学尺度谱分布的研究, 大气科学, 1988, 12(2), 140~146.
- 9 雷文方等, 黑河地区沙漠气溶胶浓度和谱分布特征, 高原气象, 1993, 12(2), 170~179.
- 10 章澄昌, 大气气溶胶教程, 北京: 气象出版社, 1995, 1~328.
- 11 王明星, 大气化学 (第二版), 北京: 气象出版社, 1999, 1~467.
- 12 d'Almeida, G. A. et al., *Atmospheric Aerosols: Global Climatology and Radiative Characteristics*, Hampton, Va: A Deepak, 1991, 25~31.
- 13 Gillette, D. A., Soil aerosol, in: *Aerosol Effects on Climate*(Jennings, S. J. ed.), Chapter 2, The University of

- Arizona Press, 1993, 73~109.
- 14 Porter, J. N. and A. D. Clarke, Aerosol size distribution models based on in situ measurements, *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**(D5), 6035~6045.
- 15 Karyampudi, V. M. et. al., Validation of the Saharan dust plume conceptual model using Lidar Meteorol and ECMWF data, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1999, **80**(6), 1045~1076.
- 16 Whitby, K. T., R. B. Husar and B. Y. Liu, The aerosol size distribution of Los Angeles smog, *J. Colloid Interface Sci.*, 1972, **39**(1), 177~204.
- 17 中央气象局, 地面气象观测规范, 北京: 气象出版社, 1979, 22.

Observational Researches on the Size Distribution of Sand Aerosol Particles in the Helan Mountain Area

Niu Shengjie¹⁾, Zhang Chengchang²⁾ and Sun Jiming¹⁾

1) (Ningxia Meteorological Science Institute, Yinchuan 750002)

2) (Beijing Meteorological College, Beijing 100081)

Abstract Sand aerosol particle size distribution has been measured by APS-3310A (U.S.A. made) in the desert area of both sides of the Helan Mountains during April to May of 1996 to 1999. A lot of data have been collected under different weather conditions, i.e., background, dust, sand-blowing and sandstorm. The rules of sand aerosol particle size distributions are found through statistical analysis.

Key words: Helan mountain area; sand aerosol; size distribution