

文章编号: 1000-0534(2003)06-0545-06

## 沙尘暴期间戈壁沙地起沙率的观测结果

沈志宝<sup>1</sup>, 申彦波<sup>1</sup>, 杜明远<sup>2</sup>, 汪万福<sup>3</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 农业环境技术研究所, 日本 筑波 305-8604;  
3. 敦煌研究院保护研究所, 甘肃 敦煌 736200)

**摘要:** 利用中日合作“风送沙尘的形成、输送机制及其对气候与环境影响(ADEC)的研究”项目敦煌站的沙尘粒子数浓度观测资料, 估算了 2002 年 4 月敦煌地区两次沙尘天气过程中戈壁沙地的起沙率和起沙量, 并分析了地面起沙量(质量通量)的尺度分布。在两次强度较弱、持续时间较短的沙尘天气过程期间, 戈壁沙地的平均起沙率为  $1.58 \times 10^{-8}$  和  $9.95 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最大起沙率为  $2.77 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。地面沙尘释放量的 73% 以上为  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的大粒子。最后讨论了起沙率与摩擦速度的关系。

**关键词:** 沙尘暴; 戈壁沙地; 起沙率; 粒径尺度分布

中国分类号: P445<sup>1</sup>.4 文献标识码: A

### 1 引言

沙尘暴是一种自然现象, 又受到人类活动的严重影响。频繁发生的沙尘暴, 不仅严重恶化空气质量, 给人类身体健康带来危害, 而且具有重大、深刻气候、环境、社会和经济效应。沙尘暴产生的大气沙尘, 其对太阳短波辐射和地球长波辐射的散射和吸收, 可以产生重要的直接气候效应, 沙尘粒子还可以作为云凝结核(CCN)影响云的形成、云的辐射特性和降水, 产生间接的气候效应。为此, 要求我们准确地估算沙尘暴过程中沙尘粒子的释放量。源区地面沙尘的释放, 使土壤中的细颗粒和养分丧失, 导致土地退化, 沙漠化面积扩大, 进而使得原本比较脆弱的生态系统变得更加脆弱, 所以, 研究地面沙尘释放对水土保持也很重要。

对地面沙尘释放量的各种估算, 其结果差异甚大。Tegen 等<sup>[1]</sup>估计全球每年约有  $1000 \sim 5000 \text{ Tg}$  的沙尘粒子从地面释放到大气中, 而 Duce<sup>[2]</sup>估算的结果是  $1000 \sim 2000 \text{ Tg/yr}$ 。中国西北干旱沙漠地区是全球大气沙尘的主要源地之一<sup>[3]</sup>, 但对该地区释放到大气中的沙尘量所知甚少。Zhang 等<sup>[4]</sup>用中国 12 个沙漠站矿物尘的元素浓度(Al、Fe、Mg 和 Si), 估算每年注入大气的中国沙尘约为

$800 \text{ Tg}$ ( $500 \sim 1000 \text{ Tg}$ ), 约为文献[2]给出的全球地面年沙尘释放量的一半。本文利用中日合作“风送沙尘的形成、输送机制及其对气候与环境影响(ADEC)的研究”项目敦煌站便携式粒子计数器的观测资料, 估算 2002 年春季敦煌地区两次沙尘暴过程中戈壁沙地的起沙率和起沙量, 并给出了地面起沙量(质量通量)的尺度分布。

### 2 地面起沙率(量)的观测和估算方法

ADEC 敦煌站设有两台 Yamatronics 便携式粒子计数器(model 550s), 分别安装在戈壁沙地和绿洲农田(分别称之为沙漠站和绿洲站), 其采样高度均为 2 m。敦煌的自然地理环境和气候状况, 以及沙漠站和绿洲站的地表状况, 文献[5]有较详细介绍。Yamatronics 便携式粒子计数器能连续测定空气中粒子直径为  $d > 0.5 \mu\text{m}$ ,  $1.0 \mu\text{m}$ ,  $3.0 \mu\text{m}$  和  $5.0 \mu\text{m}$  的粒子数浓度。利用该观测资料, 可得到粒径为  $0.5 \mu\text{m} < d \leq 1.0 \mu\text{m}$ ,  $1.0 \mu\text{m} < d \leq 3.0 \mu\text{m}$ ,  $3.0 \mu\text{m} < d \leq 5.0 \mu\text{m}$  及  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的粒子数浓度。该仪器每分钟的抽气量为 1 升(L), 粒子计数的时间间隔可按需设定, 本文所用资料为 1 min, 因此, 测量到的粒子数浓度为  $N(d)/\text{L} \cdot \text{min}$ 。2002 年 4 月的观测结果显示, 沙地和农田上

收稿日期: 2003-05-09; 改回日期: 2003-06-05

基金项目: 中国科学院创新重大方向项目(KZCX2-305); 国家重点基础研究发展规划项目(G2000048703); 中国科学院中日合作项目共同资助

作者简介: 沈志宝(1942-), 男, 江苏江阴人, 研究员, 主要从事大气辐射与气候研究。E-mail: shenzb@ns.lzb.ac.cn

粒子数浓度基本相同, 细粒子数( $d \leq 1.0 \mu\text{m}$ )农田略大于沙地<sup>[5]</sup>。由于沙漠站的观测资料序列完整, 而绿洲站缺测较多, 本文仅用沙漠站的观测资料估算敦煌地区戈壁沙地的起沙量。

根据申彦波等<sup>[5]</sup>的分析结果, 取沙尘浓度指数  $\text{DCI} \geq 0.4$  为沙尘暴天气,  $0.2 \leq \text{DCI} < 0.4$  为扬沙浮尘天气。 $\text{DCI} \geq 0.2$  意味着开始出现沙尘(暴)天气。2002 年 4~5 月敦煌地区共出现 4 次沙尘暴天气过程, 其中 4 月 8 日和 13 日两次过程较为典型, 且有完整的粒子数浓度观测资料(图 1)。这两次沙尘天气过程都不强, 地面最大风速在  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以下, 地面摩擦速度最大在  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以下。4 月 8 日仅在 14:35~14:48(北京时, 下同)短短的 14 min 为沙尘暴天气( $\text{DCI} \geq 0.4$ ), 在此前后的 14:16~14:34 和 14:49~15:25 为扬沙天气( $0.2 \leq \text{DCI} < 0.4$ )。4 月 13 日沙尘暴天气发生在 14:23~18:32, 持续了 250 min, 在此前后的 12:59~14:22 和 18:33~19:03 则为扬沙天气。有关这两次沙尘天气过程中扬沙浮尘天气和沙尘暴天气的界定及变化特征, 详见文献[5]。

便携式粒子计数器测量到的是 2 m 高度上空气中的粒子数浓度  $N(d)$ , 而不是地面的起沙量  $N_s(d)$ 。为了从粒子数浓度观测资料  $N(d)$  得到  $N_s(d)$ , 我们作如下假定:

(1) 由图 1 可见, 在沙尘暴过程发生之前, 空气中的粒子数浓度  $N(d > 0.5 \mu\text{m})$  为低值 [ $N(d >$

$5.0 \mu\text{m})$  同样为低值], 且数值变化极小, 基本上保持不变。我们取沙尘暴过程发生之前约两个小时的平均值作为本区大气中沙尘粒子数浓度的本底值  $N_b(d)$ 。

(2) 基于沙尘暴过程中及其前后沙漠站和绿洲站测量到的粒子数浓度基本相同的观测事实, 可以认为在整个敦煌地区 2 m 高度上水平方向的粒子数浓度  $N(d)$  基本上是相同的, 因而, 沙尘的水平输送不改变该小体积单元中的粒子数浓度, 由地面向上的沙尘粒子数垂直通量  $N_s(d)$  的变化, 是造成该小体积单元中  $N(d)$  变化的唯一原因。也就是说, 在沙尘暴过程发生之前  $N(d) = N_b(d)$ , 在沙尘暴过程中  $N(d)$  为  $N_b(d)$  与  $N_s(d)$  之和。

基于上述假定, 在沙尘暴过程期间, 单位时间(1 min)内地面上的起沙量(沙尘粒子数的垂直通量)  $N_s(d)$  应为

$$N_s(d) = N(d) - N_b(d). \quad (1)$$

将沙尘粒子数垂直通量换算为质量垂直通量  $F_s(r)$ :

$$F_s(d) = 1/6 N_s(d) \pi d^3 \rho_p, \quad (2)$$

$$F_s = \sum F_s(d), \quad (3)$$

式中  $\rho_p$  为沙尘粒子的密度, 按文献[6]取  $\rho_p = 2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。 $F_s(d)$  即为沙尘暴过程期间的地面起沙率, 其单位为  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ , 为便于和其它结果比较, 最终取其单位为  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

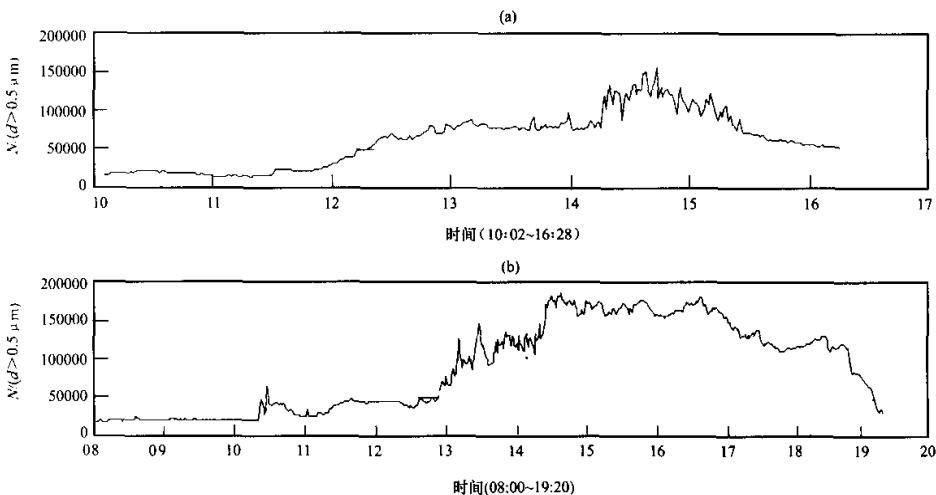


图 1 2002 年 4 月 8 日(a)和 13 日(b)两次沙尘暴过程中沙尘粒子数浓度  $N(d > 0.5 \mu\text{m})$  的时间变化

Fig. 1 The temporal variations of the dust particle number concentration ( $d > 0.5 \mu\text{m}$ ) during two dust storms on April 8 (a) and 13 (b), 2002

观测到的沙尘粒子数浓度资料中不包含直径  $d < 0.5 \mu\text{m}$  的粒子, 我们用拉格朗日差值法(二次)由  $d > 0.5 \mu\text{m}$  的沙尘粒度分布计算出  $d < 0.5 \mu\text{m}$  的粒子数。结果显示, 尽管  $d < 0.5 \mu\text{m}$  的粒子数浓度很大(略高于  $0.5 \mu\text{m} < d \leq 1.0 \mu\text{m}$  的粒子数浓度), 但其质量数浓度却极小(<1%)。因此, 本文未考虑地面起沙量中  $d < 0.5 \mu\text{m}$  的沙尘粒子对地面起沙率的贡献。

### 3 结果分析

#### 3.1 沙地的起沙率和起沙量

为使用公式(2), 将粒子数浓度  $N/(10 \text{ cm})^3$  转换为质量浓度  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 对于直径为  $0.5 \mu\text{m} < d \leq 1.0 \mu\text{m}$ ,  $1.0 \mu\text{m} < d \leq 3.0 \mu\text{m}$  及  $3.0 \mu\text{m} < d \leq 5.0 \mu\text{m}$  的沙尘粒子, 分别取它们的平均直径  $d = 0.75 \mu\text{m}$ ,  $2.0 \mu\text{m}$  和  $4.0 \mu\text{m}$ ; 对于直径  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的粒子, 分别取其平均直径  $d = 7.5 \mu\text{m}$ (方案 1, 以 F1 表示)和  $d = 10.0 \mu\text{m}$ (方案 2, 以 F2 表示), 在分析比较二者的计算结果后选择其中之一作为地面的起沙率。由表 1 给出的 2002 年 4 月 8 日和 13 日两次沙尘天气过程本底浓度(粒子数浓度  $N/(10 \text{ cm})^3$  和质量浓度( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ))以及地面起沙率( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )可见, 由 F2 计算的本底质量浓度和地

面起沙率均比 F1 大一倍多。张小曳等(个人通讯)在同一地点由 20 个局地沙尘事件的地面沙尘气溶胶样品得到沙尘气溶胶的平均尺度分布, 其结果是  $d > 16.0 \mu\text{m}$  的沙尘粒子约占总量的 30%, 在  $0.25 \sim 16.0 \mu\text{m}$  范围内呈对数-正态分布。如将表 2 给出的平均地面起沙率(质量通量)的尺度分布与张小曳等的测量结果作比较, F1 的平均地面起沙量(质量通量)尺度分布与其较接近。本文取 F1 的计算结果作为地面的起沙率。

由表 1 可见, 两次沙尘天气过程平均的地面起沙率其量级相同, 但 4 月 13 日约比 8 日大一倍, 分别为  $1.58 \times 10^{-8}$  和  $9.95 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在扬沙天气时段, 地面摩擦速度和风速都较小, 地面起沙率也较小, 分别为  $1.03 \times 10^{-8}$  和  $9.44 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在沙尘暴天气时段, 由于地面摩擦速度和风速增大, 地面起沙率比扬沙天气时段增大近一倍, 分别为  $1.89 \times 10^{-8}$  和  $1.18 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。地面起沙率最大值出现在 4 月 13 日沙尘暴天气时段, 达  $2.77 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。整个沙尘天气过程中地面总的起沙量, 4 月 13 日和 4 月 8 日分别为  $3.55 \times 10^{-4}$  和  $4.16 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

春季发生在我国西北的强沙尘暴, 地面风速常

表 1 2002 年 4 月 8 日和 13 日两次沙尘天气过程本底浓度(粒子数浓度  $N/(10 \text{ cm})^3$  及质量浓度( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ))和地面起沙率( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Table 1 The background concentration (particle number concentration  $N/(10 \text{ cm})^3$  and mass concentration( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )) and dust emission rate( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

during two dust storms on April 8 and 13, 2002

	$d/\mu\text{m}$	$0.5 < d \leq 1.0$	$1.0 < d \leq 3.0$	$3.0 < d \leq 5.0$	$d > 5.0$ (F2/F1)	$d > 0.5$ (F2/F1)
4 月 8 日						
本底浓度	$N/(10 \text{ cm})^3$	9095	5503	1421	771	16790
	$\text{m}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$5.32 \times 10^{-9}$	$6.11 \times 10^{-8}$	$1.26 \times 10^{-7}$	$1.07 \times 10^{-6}/0.45 \times 10^{-6}$	$1.26 \times 10^{-6}/0.64 \times 10^{-6}$
起沙率	沙尘暴时段( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$3.79 \times 10^{-11}$	$9.79 \times 10^{-10}$	$2.21 \times 10^{-9}$	$2.03 \times 10^{-8}/0.86 \times 10^{-8}$	$2.36 \times 10^{-8}/1.18 \times 10^{-8}$
	扬沙时段	$3.14 \times 10^{-11}$	$7.60 \times 10^{-10}$	$1.72 \times 10^{-9}$	$1.65 \times 10^{-8}/0.69 \times 10^{-8}$	$1.90 \times 10^{-8}/0.94 \times 10^{-8}$
	平均起沙率	$3.27 \times 10^{-11}$	$8.04 \times 10^{-10}$	$1.82 \times 10^{-9}$	$1.73 \times 10^{-8}/0.74 \times 10^{-8}$	$1.99 \times 10^{-8}/0.95 \times 10^{-8}$
	最大起沙率	$4.27 \times 10^{-11}$	$1.23 \times 10^{-9}$	$2.78 \times 10^{-9}$	$2.56 \times 10^{-8}/1.12 \times 10^{-8}$	$2.96 \times 10^{-8}/1.52 \times 10^{-8}$
4 月 13 日						
本底浓度	$N/(10 \text{ cm})^3$	9658	7773	1840	926	20197
	$\text{m}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$5.65 \times 10^{-9}$	$8.63 \times 10^{-8}$	$1.63 \times 10^{-7}$	$1.28 \times 10^{-6}/0.54 \times 10^{-6}$	$1.54 \times 10^{-6}/0.80 \times 10^{-6}$
起沙率	沙尘暴时段( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$3.07 \times 10^{-11}$	$1.19 \times 10^{-9}$	$3.33 \times 10^{-9}$	$3.34 \times 10^{-8}/1.44 \times 10^{-8}$	$3.79 \times 10^{-8}/1.89 \times 10^{-8}$
	扬沙时段	$2.49 \times 10^{-11}$	$7.42 \times 10^{-10}$	$1.92 \times 10^{-9}$	$1.80 \times 10^{-8}/0.76 \times 10^{-8}$	$2.07 \times 10^{-8}/1.03 \times 10^{-8}$
	平均起沙率	$2.90 \times 10^{-11}$	$1.06 \times 10^{-9}$	$2.51 \times 10^{-9}$	$2.88 \times 10^{-8}/1.22 \times 10^{-8}$	$3.24 \times 10^{-8}/1.58 \times 10^{-8}$
	最大起沙率	$3.52 \times 10^{-11}$	$1.59 \times 10^{-9}$	$4.62 \times 10^{-9}$	$5.00 \times 10^{-8}/2.15 \times 10^{-8}$	$5.62 \times 10^{-8}/2.77 \times 10^{-8}$

在  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上。如前所述, 2002 年 4 月 8 日和 13 日两次沙尘天气过程都不强, 地面最大风速在  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以下, 沙尘暴持续的时间也较短, 因此, 这两次沙尘天气过程中地面起沙率和总的起沙量, 肯定远低于强沙尘暴过程的地面起沙率和总的起沙量。

### 3.2 沙尘粒子的尺度分布

由上述可知, 从地面进入大气的沙尘粒子其尺度分布决定着地面起沙量(质量通量)和起沙率。不仅如此, 它同样影响沙尘的垂直输送高度和水平输送距离。表 2 给出 4 月 8 日和 13 日本底粒子数浓度和质量浓度, 以及地面起沙量(质量通量)的尺度分布。在沙尘暴发生之前, 大气中沙尘粒子本底数浓度随沙尘粒径的增大而减少, 直径为  $0.5 \mu\text{m} < d \leq 1.0 \mu\text{m}$  的沙尘粒子数浓度  $N_b(d)$  最大, 约占总数的一半(未包括  $d < 0.5 \mu\text{m}$  的粒子数, 如前所述,  $d < 0.5 \mu\text{m}$  的粒子数浓度略高于  $0.5 \mu\text{m} < d \leq 1.0 \mu\text{m}$  的粒子数)。然而, 由于细粒子质量太小, 所以本底质量浓度随沙尘粒径的增大而增大,  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的大粒子, 虽然其粒子数浓度仅为总数的

表 2 2002 年 4 月 8 日和 13 日两次沙尘天气过程  
本底粒子数浓度和质量浓度, 以及平均地面  
起沙量(质量通量)的尺度分布(%)

Table 2 The size distributions(%) of the background  
concentration (particle number and mass concentrations)  
and dust emission rate during two dust storms

on April 8 and 13, 2002

	$d \mu\text{m}$	$0.5 < d \leq 1.0$	$1.0 < d \leq 3.0$	$3.0 < d \leq 5.0$	$d > 5.0$
4 月 8 日					
本底数浓度		51	33	8	5
本底质量浓度	F1	$< 1.0$	10	20	70
	F2	$< 1.0$	5	10	85
地面起沙量	F1	$< 1.0$	8	18	73
	F2	$< 1.0$	4	9	87
4 月 13 日					
本底数浓度		48	38	9	5
本底质量浓度	F1	$< 1.0$	11	20	68
	F2	$< 1.0$	6	11	83
地面起沙量	F1	$< 1.0$	7	16	77
	F2	$< 1.0$	3	8	89

5%, 但其质量浓度(按 F1 的结果)为总质量浓度的 68% 以上(4 月 8 日和 13 日分别为 70% 和 68%),  $d \leq 1.0 \mu\text{m}$  的粒子其质量浓度不到总质量的 1%。在沙尘天气过程中(沙尘暴和扬沙天气时段), 地面起沙量(质量浓度)的尺度分布略有变化, 大粒子的质量浓度更大。4 月 8 日,  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的大粒子其质量浓度占总质量浓度的 73% 以上; 4 月 13 日沙尘暴天气强度较 4 月 8 日强, 达到 77%。由此可以推测, 在强沙尘暴期间, 地面起沙量大幅增大, 大粒子的贡献会变得更大。本文给出的戈壁沙地上地面起沙量的尺度分布, 与沙石地表有关, 估计在农田小粒子的贡献会略有增大。

### 3.3 起沙率与摩擦速度的关系

地面摩擦速度( $u^*$ )是确定地表能否起沙的有力判据。已有的风蚀起沙观测和试验结果指出, 当  $u^*$  超过某一阈值(临界摩擦速度,  $u_{*c}$ )时, 粒子便会脱离地面而悬浮于空中。理论研究和观测结果显示, 沙尘垂直通量( $F$ )与  $u^*$  成正比, 其中  $n$  的变化范围是从 2 到 5。Gillette 等<sup>[7]</sup>提出  $F$  与  $u^4$  成比例。Shao 等<sup>[8, 9]</sup>则认为,  $F$  应与  $u^3$  成比例。Lu 等<sup>[10]</sup>通过对土壤的可侵蚀性和适应压力的研究, 提出对于比较坚硬的地表, 沙尘排放率更近似于与  $u^3$  成正比; 而对于比较松软的地表, 沙尘排放率则更近似于与  $u^4$  成正比。同时, Lu 等<sup>[10]</sup>还认为, 由于土壤状况会发生较大的变化, 因此当利用沙尘排放率的场地观测来确定其与  $u^*$  的关系时, 数据资料会有较大的分散性, 因而  $F \propto u^4$  和  $F \propto u^3$  的关系都可以观测到。我们分析了 2002 年 4 月 8 日和 13 日两次沙尘暴过程中起沙率与摩擦速度( $u^*$ )的关系,  $u^*$  值取自文献[5]。由图 2 可见, 在 4 月 8 日的沙尘暴过程中, 取  $n=2$ ,  $F$  与  $u^2$  的线性关系最好, 相关系数  $R=0.77$ 。然而, 图 2 也显示, 若取  $n=3$  或 1,  $F$  与  $u^3$  的线性相关系数仅比取  $n=2$  减小 0.01, 即使取  $n=4$  或 5,  $F$  与  $u^4$  仍有较好的线性相关, 相关系数也仅减小 0.04~0.07。4 月 13 日  $F$  与  $u^*$  之间的线性关系不如 4 月 8 日好, 取  $n=1$  和 2,  $F$  与  $u^2$  的线性关系最好, 相关系数  $R=0.55$  和 0.52; 若  $n$  值继续增大, 相关系数就较快地减小。按上文的分析结果, 似乎在戈壁沙地上  $F$  与  $u^2$  的线性关系最好, 根据文献[10]的观测结果, 这很可能与戈壁沙地地表比较坚硬有关。

## 4 结论与讨论

本文尝试利用沙尘粒子数浓度观测资料估算

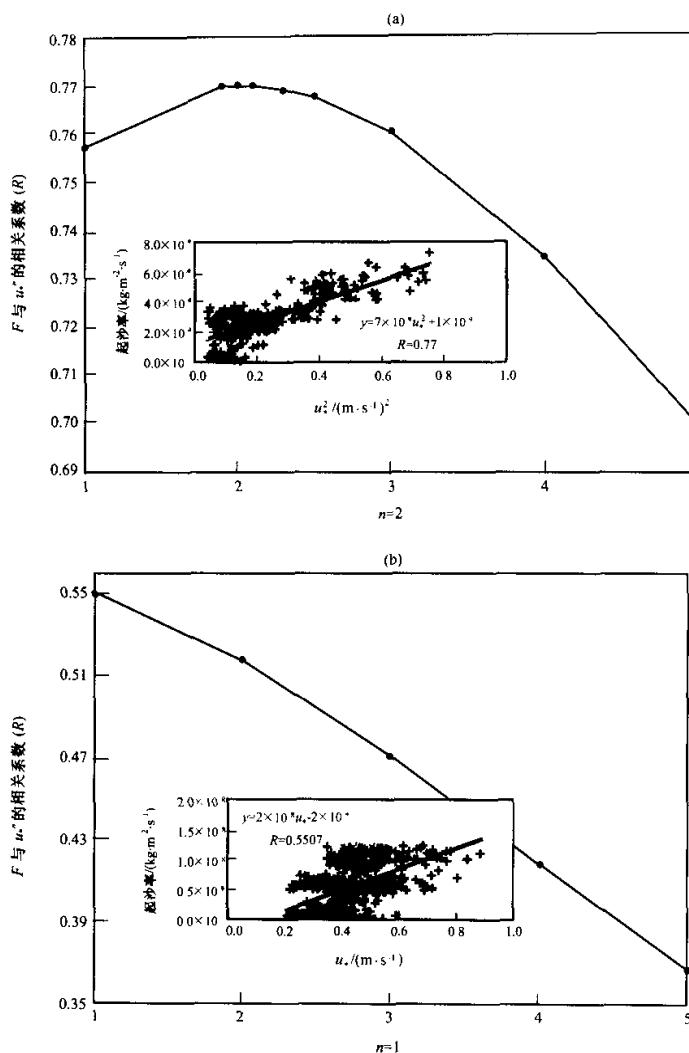


图 2 2002 年 4 月 8 日 (a) 和 13 日 (b) 两次沙尘暴过程中起沙率与摩擦速度 ( $u^*$ ) 的关系

Fig. 2 The relationship between dust emission rate and frictional velocity during two dust storms on April 8 (a) and 13 (b), 2002

2002年4月敦煌地区两次沙尘暴过程中戈壁沙地的起沙率和起沙量, 并分析了地面起沙量(质量通量)的尺度分布。在两次强度较弱、持续时间较短的沙尘暴天气过程期间, 戈壁沙地的平均起沙率为  $1.58 \times 10^{-8}$  和  $9.95 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最大起沙率为  $2.77 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 地面沙尘释放量的 73% 以上为  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的大粒子。起沙率与摩擦速度  $u^*$  成正比, 在戈壁沙地上  $F$  与  $u^2$  的线性

关系最好。

受观测资料的限制, 本文在估算地面起沙率时, 假定 2 m 高度上的沙尘粒子数垂直通量等于地面的起沙量。另外, 在计算地面起沙率(质量通量)时, 对于直径  $d > 5.0 \mu\text{m}$  的粒子, 取其平均直径  $d = 7.5 \mu\text{m}$ 。上述假定会对地面起沙率、地面起沙量(质量通量)的尺度分布, 以及起沙率与摩擦速度的关系有一定的影响。

## 参考文献

- [1] Tegen Ira, Inez Fung. Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness[J]. J G R, 1994, 99: 22897-22914
- [2] Duce R A. Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific temporal variability[J]. Science, 1980, 209: 1522-1524
- [3] Bergametti G, F Dulad. Mineral aerosols: Renewed interest for climate forcing and tropospheric chemistry studies[J]. IG-IP Newsletter, 1998, 33: 19-52
- [4] Xiao Y Zhang, Richard Arimoto, Zhi S An. Dust emission from Chinese desert sources linked to variations in atmospheric circulation[J]. J G R, 1997, 102(D23): 28041-28047
- [5] 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
- [6] Yaping Shao, Hua Lu. A simple expression for wind erosion threshold friction velocity[J]. J G R, 2000, 105(D17): 22437-22443
- [7] Gillette A D, R Passi. Modeling dust emission caused by wind erosion[J]. J G R, 1988, 93: 14233-14242
- [8] Shao Y, M R Raupach, P A Findlater. The effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind[J]. J G R, 1993, 98: 12719-12726
- [9] Shao Y, M R Raupach, J F Leys. A model for predicting aeolian sand drift entrainment on scales from paddock to region [J]. Aust J Soil Res, 1996, 34: 309-342
- [10] Lu H, Shao Y. A new model for dust emission by saltation bombardment[J]. J G R, 1999, 104: 16827-16841

## Observational Result of Dust Emission Rate over Sand Surface of Gobi Desert During Dust Storm

SHEN Zhi-bao<sup>1</sup>, SHEN Yan-bo<sup>1</sup>, DU Ming-yuan<sup>2</sup>, WANG Wan-fu<sup>3</sup>

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. National Institute for Agro-Environmental Science, Japan; 3. The Conservation Institute of Dunhuang Academy, Dunhuang 736200, China)

**Abstract:** Using the dust particle concentration data measured by portable dust particle counter, the dust emission rate over the sand surface of Gobi desert in Dunhuang was estimated. Two dust events occurred on April 8 and 13, 2002 were selected. Each event was divided into the dust storm stage ( $DCI \geq 0.4$ ) and 2 blowing dust stages ( $0.4 > DCI \geq 0.2$ ) before and after dust storm stage. For estimating the dust emission rate by use of the dust particle concentration data, we assumed that the vertical flux of dust particles through 2 m high level is equal to that emitted from the surface. The estimated dust emission rate of both cases (April 8 and 13) are as follows:  $0.94 \times 10^{-8}$  and  $1.03 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  during the blowing dust stage;  $1.18 \times 10^{-8}$  and  $1.89 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  during dust storm stage; the mean dust emission rate during whole dust event are  $1.00 \times 10^{-8}$  and  $1.58 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively; and the maximum emission rate on April 13 was  $2.77 \times 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The relationship between dust emission rate and frictional velocity was analyzed too.

**Key words:** Dust storm; Gobi desert; Dust emission rate; Particle size distribution