

明虎,王敏仲,刘新春,等.基于 Grimm180 粒子仪对塔克拉玛干沙漠沙尘暴的定量观测[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):26-33.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.02.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于 Grimm180 粒子仪对塔克拉玛干沙漠沙尘暴的定量观测

明 虎^{1,2},王敏仲^{1*},刘新春¹,杨慧娟³

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;

2.山东理工大学电气与电子工程学院,山东 淄博 255000;

3.中国民用航空西北地区空中交通管理局,陕西 西安 710082)

摘 要:为了得到沙尘粒子和沙尘质量浓度的实时定量特征,利用 Grimm180 粒子仪在塔克拉玛干沙漠对沙尘暴进行了实时观测。通过分析 Grimm180 粒子仪在 2018 年 5 月 20 日和 24 日两次沙尘暴过程观测的数据得到:在浮尘、扬沙和沙尘暴期间,PM_{2.5} 的质量浓度值随时间变化不大,一般 PM_{2.5} 浓度值<1 500 μg·m⁻³,而 PM₁₀ 在不同阶段的变化比较明显,数值在 2 000~6 000 μg·m⁻³。沙尘粒子谱和沙尘质量浓度谱的分布形状在浮尘、扬沙和沙尘暴基本相同,当粒子直径>0.35 μm 时,粒子数浓度随直径的增大近似符合 M-P 分布。从浮尘到扬沙再到沙尘暴,小粒子区(D≤1 μm)的占比越来越小,而中粒子区(1 μm<D≤10 μm)和大粒子区(D>10 μm)的粒子数越来越多并且占比越来越大。当粒子直径为 0.35 μm 左右时,粒子数浓度达到最大值;当粒子直径在 25~32 μm 时,沙尘质量浓度的值最大。在浮尘和扬沙阶段,PM_{2.5}/PM₁₀>25%;每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子总数大约是 4×10⁵,最大沙尘质量浓度<20 μg·L⁻¹。在沙尘暴阶段,PM_{2.5}/PM₁₀<15%;每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子总数>5×10⁵,最大沙尘质量浓度>25 μg·L⁻¹。这些结论为准确地分析沙尘暴的定量特征提供了科学依据。

关键词:沙尘粒子谱;沙尘质量浓度;Grimm180 粒子仪;塔克拉玛干沙漠

中图分类号:P425.55

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)02-0026-08

沙尘暴是干旱和半干旱地区常见的一种自然灾害天气,是大气运动和自然地理环境的综合产物^[1]。沙尘暴的影响范围不仅是发生地,而是更大的区域甚至扩展到整个地球^[2]。沙尘暴发生时,会使能见度下降,从而破坏交通和工业生产^[3]。沙尘粒子悬浮在大气中,不但会造成大气质量下降影响人类的生活

习惯和身体健康,还会影响太阳辐射平衡和云的生成^[4-5]。因此,分析沙尘暴的特征和定量监测沙尘暴对防灾减灾、生态环境保护具有重要的科学和经济意义。

早在 20 世纪 20 年代国外就开始对沙尘暴成因、结构以及如何有效地监测和预报进行了研究^[6]。Idso 等^[7]对沙尘暴的气候特征和平均风速等多方面进行了研究。Jauregui^[8]对墨西哥城沙尘暴的时空分布也进行了系统研究,指出了沙尘暴在墨西哥的 3 月出现频率最大。Giannadaki 等^[9]、Ginoux 等^[10]先后分析了影响沙尘暴的要素,并将这些要素参数化进而建立了沙尘暴的模型。中国 20 世纪 70 年代开始对沙尘暴进行研究^[11],董庆生^[12]在 90 年代系统分析

收稿日期:2019-02-26;修回日期:2020-10-18

基金项目:国家自然科学基金项目(41775030);新疆天山青年计划项目(2017Q042)

作者简介:明虎(1986—),男,讲师,主要从事气象雷达的应用研究。

E-mail: minghu0538@126.com

通信作者:王敏仲(1979—),男,研究员,主要从事沙漠气象研究。

E-mail: wangmz@idm.cn

了中国典型沙区中沙尘的物理特征,并得到了沙尘的粒子分布特点。游来光^[13]等根据飞机观测的一次沙尘暴资料,分析得到了沙尘暴天气下大气中沙尘粒子空间分布特点及其微结构。虽然近几十年对沙尘暴的建模和预报有了一定的发展,但是由于受沙尘暴监测手段的限制,对沙尘暴定量监测和预报的效果都不是很好^[14-15]。

卫星遥感和激光雷达是监测沙尘暴最主要的技术手段^[16-17]。卫星遥感可以监测到沙尘暴的起源、空间分布和移动路径,但不能准确地获得沙尘暴的精细垂直结构特征、沙尘粒子浓度和沙尘质量浓度等定量特征^[18]。激光雷达虽然可以得到沙尘天气过程中沙尘的空间分布结构和光学特征等信息,但由于发射功率较小,在强沙尘暴期间激光不能穿透整个沙尘暴剖面,无法进行准确探测^[19]。

塔克拉玛干沙漠是中国最大的沙漠,也是沙尘暴频发的地区,刘新春^[20]、王敏仲^[21-22]等利用 80 m 铁塔资料、风廓线雷达等探测设备对该地区的沙尘暴进行了探测研究,并取得了一定成果,但沙尘暴的定量监测仍然是一个科研问题。为了准确得到塔克拉玛干沙漠沙尘暴期间粒子谱和沙尘质量浓度的实时定量变化特征,本文利用 Grimm180 粒子仪在 2018 年 5 月对发生在塔克拉玛干沙漠的沙尘暴进行了实时观测,并利用 Grimm180 粒子仪观测的数据,分析 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 的时间变化特征以及沙尘粒子谱和沙尘质量浓度谱的分布特征。这些特征可为以后定量研究沙尘暴提供一定的依据。

1 观测地点和设备

1.1 观测地点

塔克拉玛干沙漠位于北半球中纬度欧亚大陆腹地,坐落于中国新疆塔里木盆地中央,是亚洲最大的流动沙漠,面积达 33.76 万 km^2 ,占我国沙地总面积的 1/2;北临天山山脉、南邻昆仑山、西邻帕米尔高原;地理坐标为 $39^{\circ}00'N, 83^{\circ}40'E$ (图 1a),海拔高度在 1 100 m 以上。塔克拉玛干沙漠植被很少,常年干旱少雨,在春季和初夏经常发生沙尘暴,对当地和附近地区的生活和环境造成了严重的影响;沙尘粒子向中、东部移动,到青藏高原后,会影响我国的气候变化。因此,实时定量监测该地区的沙尘暴对我国的防灾减灾和生态保护具有重要意义。本研究的试验地点位于塔克拉玛干沙漠腹地塔中地区(图 1b),该地区常年干旱少雨,沙尘暴频繁,植被稀疏,具有很好的塔克拉玛干沙漠地貌代

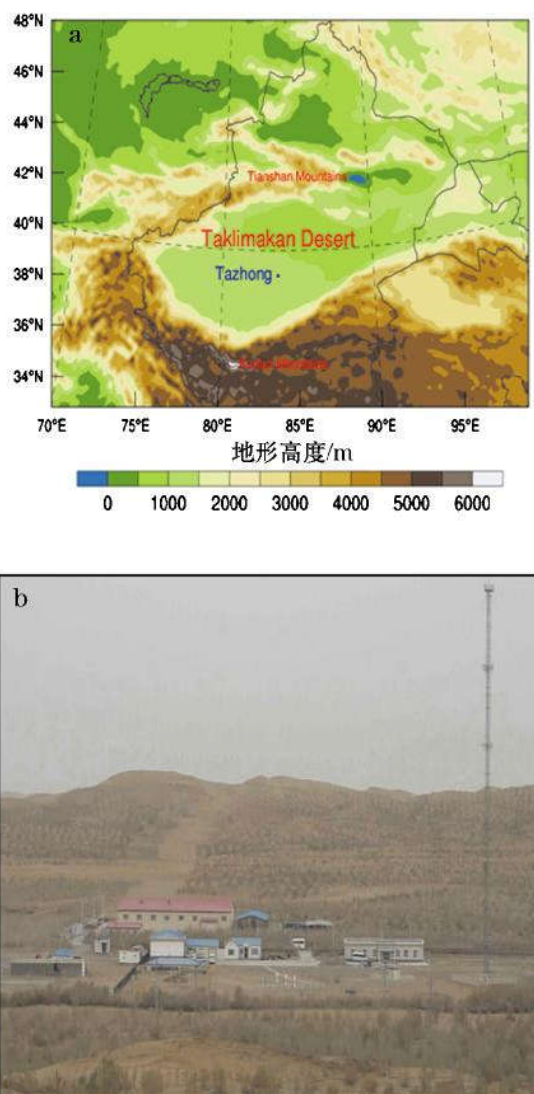


图 1 试验位置

(a 为塔克拉玛干沙漠地理位置;b 为塔中气象站)

表性。

1.2 观测设备和数据

本文主要采用的设备是德国 GRIMM 公司生产的 Grimm180 型粒子仪。该仪器有 31 个通道,利用激光散射原理可以精确地测量沙尘质量浓度和沙尘数浓度。Grimm180 粒子仪的数据输出周期是 1 min。实时输出的数据包括:沙尘质量浓度(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$),每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子直径 $>0.25 \mu m$ 的总个数和 31 个通道的粒子数(表 1)。

将 Grimm180 粒子仪安装在距地面高度 1.5 m 处,在 5 月 20 日 15:40—16:30 和 5 月 24 日 14:50—17:30 两次沙尘暴过程进行了连续观测。本文利用 Grimm180 探测的数据对沙尘粒子和沙尘质量浓度的变化特征进行分析。

表 1 Grimm180 粒子仪 31 个粒子通道

通道 编号	直径 / μm	通道 编号	直径 / μm	通道 编号	直径 / μm	通道 编号	直径 / μm	通道 编号	直径 / μm
1	>0.25	8	>0.58	15	>2.0	22	>7.5	29	>25
2	>0.28	9	>0.65	16	>2.5	23	>8.0	30	>30
3	>0.3	10	>0.7	17	>3.0	24	>10	31	>32
4	>0.35	11	>0.8	18	>3.5	25	>12.5		
5	>0.4	12	>1	19	>4.0	26	>15		
6	>0.45	13	>1.3	20	>5.0	27	>17.5		
7	>0.5	14	>1.6	21	>6.5	28	>20		

2 结果分析

2.1 天气背景概括

塔克拉玛干沙漠沙尘暴的天气背景基本相同。从 5 月 18 日(图 2a)和 23 日(图 2c)08 时 500 hPa 高度场风场图中可以得到,在西西伯利亚地区出现了低槽,其后部有较强的冷空气。随着时间的推移,槽线延西—东移动,并进一步发展加强,到 20 日(图 2b)和 24 日(图 2d)08 时,在 500 hPa 的高度场可以看到槽线进入了塔中地区,高空主导风向也逐渐由西北转向西南,由于受到槽线东移的影响,地面风速增大,塔克拉玛干沙漠出现了沙尘暴。

为了进一步分析沙尘暴期间的大气结构特征,

利用距离塔中最近的民丰探空站(代码 51839,距离塔中约 200 km,位于塔克拉玛干沙漠的南缘)2018 年 5 月 20 和 24 日的探空资料得到 T-logP 图和风矢位温($V-3\theta$)图^[23]。

由图 3a 可知,在 5 月 20 日 20 时,700 hPa 以下大气较干,不稳定能量稍强,700~400 hPa 水汽接近饱和,地面气温为 20℃。从图 3b 的 $V-3\theta$ 也可以看出,在 700 hPa 以下大气较干,不稳定能量明显,700~400 hPa 水汽接近饱和;200 hPa 高空风速达 40 m/s,强的高空急流对地面的水汽和沙尘有很强的抽吸作用,促进对流上升。所以,5 月 20 日沙尘暴的形成原因是动力抬升为主,热力不稳定为辅。5 月 24 日 08 时,热力不稳定层高达 500 hPa,500 hPa 以下很干,地面气温高达 25℃,水汽层在 500~300 hPa,高空风速<20 m/s(图 3c,3d)。所以,24 日的沙尘暴主要形成原因是热力不稳定为主,动力抬升为辅。

根据地面风速(图 4)和能见度的不同,塔中气象站人工观测记录为:5 月 20 日 16:15—16:30 和 24 日 17:20—19:00 为浮尘(风速<6 m/s,能见度>1 km),20 日 16:08—16:15,24 日 14:40—16:05 和 17:00—17:20 为扬沙(6 m/s<风速<8 m/s,能见度>1 km),20 日 15:40—16:08 和 24 日 16:05—17:00 为沙尘暴(风速>8 m/s,能见度<1 km)。

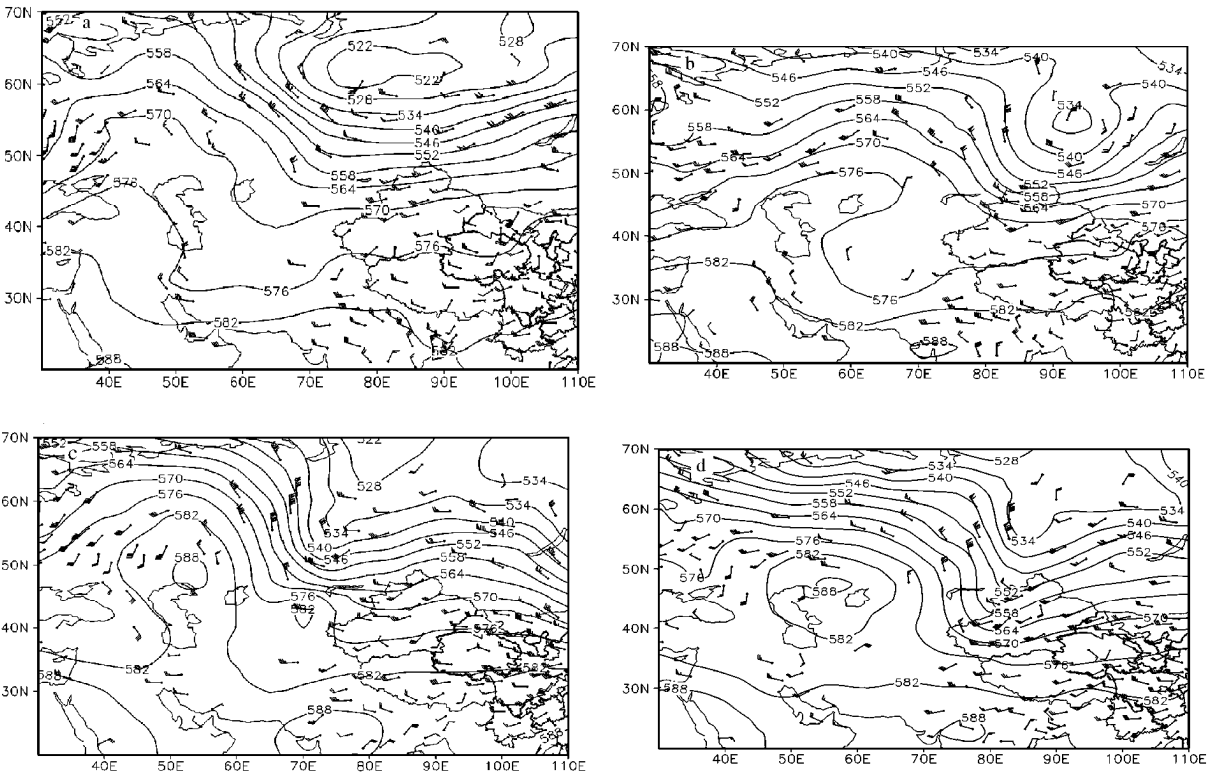


图 2 沙尘暴过程 500 hPa 风场和高度

(a 为 05 月 18 日 08 时 BT;b 为 05 月 20 日 08 时;c 为 5 月 23 日 08 时;d 为 5 月 24 日 08 时)

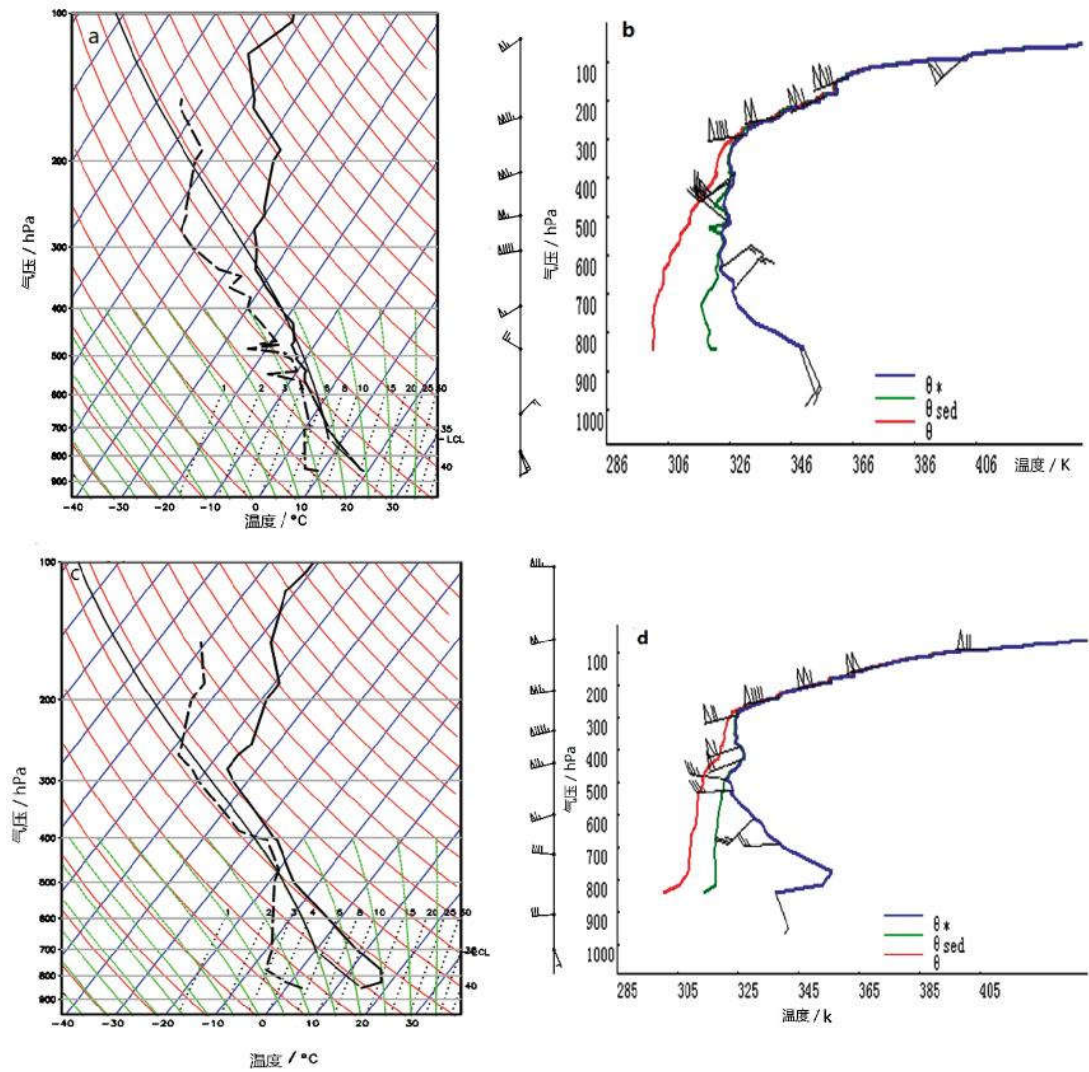


图3 民丰探空资料

(a为2018年5月20日20时T-logP;b为2018年5月20日08时V-3θ;c为2018年5月24日08时T-logP;d为2018年5月24日08时V-3θ)

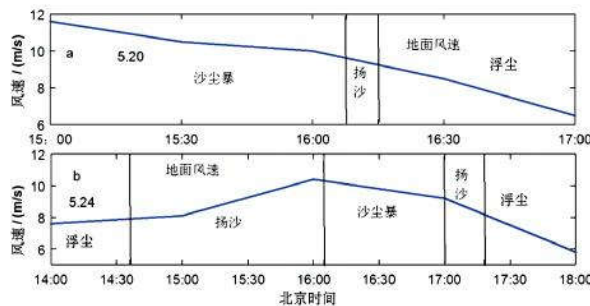


图4 人工观测地面风速

(a为5月20日15:00—17:00;b为5月24日14:00—18:00)

2.2 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$

PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 分别为粒子直径 $<10\mu m$ 和 $<2.5\mu m$ 的沙尘质量浓度。图5是Grimm180粒子仪观测的

PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度随时间的变化特征。结合地面风速(图4)可知:整体上, PM_{10} 的浓度值在不同阶段变化比较明显,并且数值分布在 $2\ 000\sim 6\ 000\mu g\cdot m^{-3}$,而 $PM_{2.5}$ 的浓度值随时间变化不大,一般 $<1\ 500\mu g\cdot m^{-3}$ 。在浮尘和扬沙期间(风速 $<8\ m/s$), PM_{10} 的浓度值一般 $<3\ 000\mu g\cdot m^{-3}$,由于沙尘粒子主要由小直径粒子组成, $PM_{2.5}/PM_{10} > 25\%$ 。在沙尘暴期间(风速 $>8\ m/s$), PM_{10} 的浓度值一般 $>4\ 000\mu g\cdot m^{-3}$, $PM_{2.5}/PM_{10} < 15\%$ 。

2.3 沙尘粒子分布特征

2.3.1 沙尘粒子总数特征

利用Grimm180实时观测的沙尘粒子总数绘制出图6。结合图4和图5可以得到,沙尘粒子总数和 PM_{10} 随时间变化的趋势是一致的。在浮尘和扬沙期

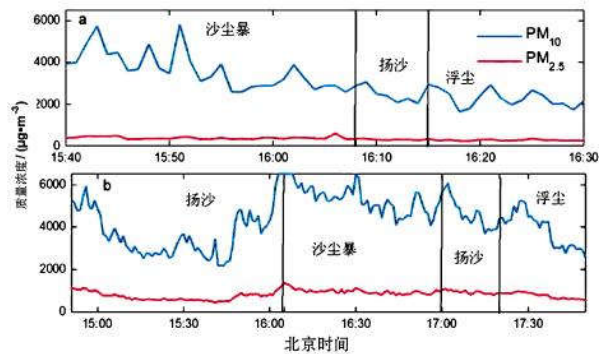


图 5 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 随时间变化
(a 为 5 月 20 日 15:40—16:30; b 为 5 月 24 日 14:50—18:00)

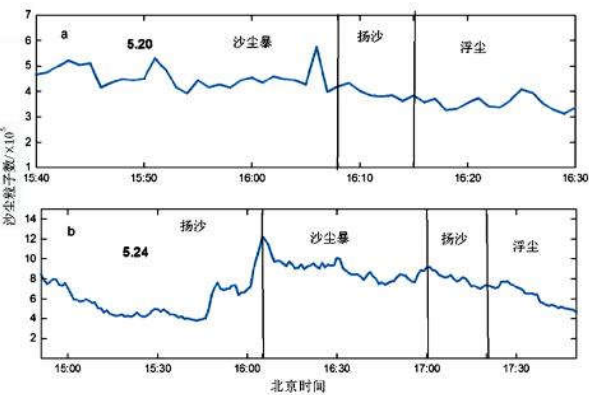


图 6 沙尘粒子总数的时间变化特征
(a 为 5 月 20 日 15:40—16:30; b 为 5 月 24 日 14:50—18:00)

(风速 $<8\text{ m/s}$), 每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子总数一般在 4×10^5 左右; 在沙尘暴期, 当风速 $>8\text{ m/s}$ 时, 每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子总数 $>5\times 10^5$, 最大可以超过 10×10^5 。

2.3.2 沙尘粒子谱

沙尘粒子谱是指沙尘粒子个数随粒子直径的分布。利用 Grimm180 粒子仪 31 个通道测量的沙尘粒子个数, 通过式(1)计算得到表 2 中 30 个粒子直径区间的个数。

$$N_i = n_i - n_{i+1}, \quad i = [1, 30] \quad (1)$$

式中, N_i 表示第 i 个粒子区间的粒子个数, n_i 表示 Grimm180 第 i 个通道测量的粒子个数。

选取 5 月 20 日 16:25 浮尘期、5 月 24 日 15:20 扬沙期和 5 月 24 日 16:30 沙尘暴期, 通过公式(1)计算得到沙尘粒子谱 (图 7, 30 个粒子区间粒子分布)。由图 7 可知, 在浮尘、扬沙和沙尘暴期间, 沙尘粒子谱的分布形状变化不大。当粒子直径为 $0.35\text{ }\mu\text{m}$ 左右时, 粒子数浓度达到最大值, 在浮尘和扬沙期, 每分钟 1 L 的体积内粒子数为 5×10^4 , 在沙尘暴期, 每分钟 1 L 体积内粒子数 $>10\times 10^4$; 当粒子直径 $>0.35\text{ }\mu\text{m}$

时, 粒子数浓度随直径增大的曲线近似符合 M-P 分布。

为了更好地分析不同阶段沙尘谱的区别, 设定粒子直径 $D\leq 1\text{ }\mu\text{m}$ 为小粒子区、粒子直径 $1\text{ }\mu\text{m}<D\leq 10\text{ }\mu\text{m}$ 为中粒子区、粒子直径 $D>10\text{ }\mu\text{m}$ 为大粒子区。表 3 为不同阶段的沙尘谱 (图 7) 在不同区间的粒子数和占比。从浮尘—扬沙—沙尘暴, 小粒子区的占比越来越小, 中粒子区和大粒子区的粒子数越来越多并且占比越来越大, 这是由于不同阶段地面风速不同 ($V_{\text{浮尘}}<V_{\text{扬沙}}<V_{\text{沙尘暴}}$) 导致的。

表 2 Grimm180 粒子仪 30 个粒子直径区间

编号	直径/ μm	编号	直径/ μm
1	(0.25, 0.28]	16	(2.5, 3.0]
2	(0.28, 0.3]	17	(3.0, 3.5]
3	(0.3, 0.35]	18	(3.5, 4.0]
4	(0.35, 0.4]	19	(4.0, 5.0]
5	(0.4, 0.45]	20	(5.0, 6.5]
6	(0.45, 0.5]	21	(6.5, 7.5]
7	(0.5, 0.58]	22	(7.5, 8.0]
8	(0.58, 0.65]	23	(8.0, 10]
9	(0.65, 0.7]	24	(10, 12.5]
10	(0.7, 0.8]	25	(12.5, 15]
11	(0.8, 1.0]	26	(15, 17.5]
12	(1, 1.3]	27	(17.5, 20]
13	(1.3, 1.6]	28	(20, 25]
14	(1.6, 2.0]	29	(25, 30]
15	(2.0, 2.5]	30	(30, 32]

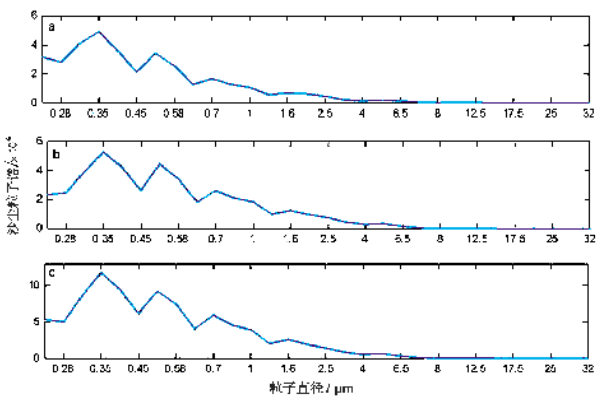


图 7 沙尘粒子谱

(a 为 5 月 20 日 16:25 浮尘期; b 为 5 月 24 日 15:20 扬沙期; c 为 5 月 24 日 16:30 沙尘暴期)

表 3 浮尘期、扬沙和沙尘暴不同粒子直径范围粒子数和占比

天气现象 阶段	D≤1 μm		1 μm<D≤10 μm		D>10 μm	
	粒子数	占比	粒子数	占比	粒子数	占比
浮尘	310 260	87.5%	43 665	12.3%	769	0.2%
扬沙	352 015	82.7%	71 536	16.8%	1 900	0.5%
沙尘暴	700 534	75.7%	215 610	23.3%	9 087	1.0%

2.4 沙尘质量浓度谱

沙尘质量浓度谱指沙尘质量浓度随不同直径的分布。由于沙尘粒子的直径非常小,沙尘粒子可以近似为球形,所以单个直径为 D_i 的沙尘粒子的质量(m_{i0})可以表示为:

$$m_{i0} = \frac{4}{3} \pi \rho D_i^3 \quad (2)$$

式中, ρ 为沙尘粒子密度,根据王敏仲等人^[21-22]对塔克拉玛干沙漠的研究 $\rho=2.65 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。利用沙尘粒子谱 $N(D_i)$ 和单粒子质量 m_{i0} 得到沙尘质量浓度谱 $M(D_i)$ 为:

$$M(D_i) = N(D_i) m_{i0}, \quad i=[1, 30] \quad (3)$$

选取 5 月 20 日 16:25 浮尘期、5 月 24 日 15:20 扬沙期和 5 月 24 日 16:30 沙尘暴期的沙尘粒子谱,利用公式(3)计算得到相应时刻的沙尘质量浓度谱(图 8)。

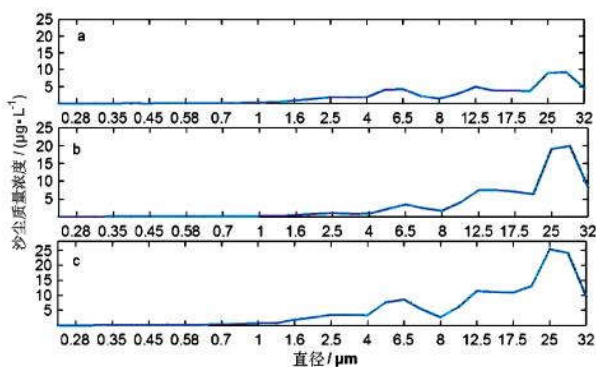


图 8 沙尘质量浓度谱

(a 为 5 月 20 日 16:25 BT 浮尘期;b 为 5 月 24 日 15:20 BT 扬沙期;c 为 5 月 24 日 16:30 BT 沙尘暴期)

由图 8 可知,在浮尘、扬沙和沙尘暴期间,沙尘质量浓度的分布形状基本相同。当沙尘粒子直径为 25~32 μm 时,沙尘质量浓度达到最大值。浮尘阶段每分钟最大沙尘质量浓度 $<15 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,扬沙阶段每分钟最大沙尘质量浓度在 $20 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,沙尘暴阶段每分钟最大沙尘质量浓度 $>25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。当粒子直径 $>1.6 \mu\text{m}$ 时,沙尘暴阶段的沙尘质量浓度大于扬

沙阶段,并且扬沙阶段大于浮尘阶段,因此沙尘暴期间,大直径的沙尘粒子所占比重更大。

3 结论

通过分析 Grimm180 粒子仪在塔中气象站 2018 年 5 月 20 和 24 日沙尘暴过程中实时观测的数据,得到了以下结论:

(1) 在沙尘暴过程中, $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度值随时间变化不大,一般 $<1 500 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$;而 PM_{10} 在不同阶段的变化比较明显,数值在 $2 000 \sim 6 000 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(2) 在浮尘和扬沙阶段,由于沙尘粒子比较小, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} >25\%$;在沙尘暴阶段, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} <15\%$ 。

(3) 在浮尘和扬沙期,每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子总数一般在 4×10^5 左右;在沙尘暴期,每分钟 1 L 体积内的沙尘粒子总数 $>5 \times 10^5$,最大可超过 10×10^5 。

(4) 在浮尘、扬沙和沙尘暴期间,沙尘粒子谱的分布形状变化不大。当粒子直径为 0.35 μm 左右时,粒子数浓度达到最大值;当粒子直径 $>0.35 \mu\text{m}$ 时,粒子数浓度随直径的增大近似符合 M-P 分布。

(5) 在浮尘、扬沙和沙尘暴期间,沙尘质量浓度的分布形状基本相同。粒子直径在 25~32 μm 时,沙尘质量浓度的值最大。

根据霍文^[24]利用 80 m 铁塔资料对 10 次塔克拉玛干沙漠沙尘暴的沙尘粒子谱研究得到,沙尘暴期间近地面的沙尘谱分布和沙尘数浓度变化不大。本文得到的沙尘暴期间 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、沙尘粒子谱和沙尘质量浓度对塔克拉玛干沙漠沙尘暴具有一定的普遍性,可为以后定量研究该地区的沙尘暴提供事实依据。但由于 Grimm180 粒子仪只能探测到粒子直径 $<32 \mu\text{m}$ 的分布特征,而实际的粒子谱范围要更大,所以本文的结论更适合小直径粒子的特征。

参考文献:

- [1] WANG M Z, WEI W S, RUAN Z, et al. Application of wind -profiling radar data to the analysis of dust weather in the Taklimakan Desert [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(6): 4819-4834.
- [2] 马建勇,何清,杨兴华,等. 塔克拉玛干沙漠区域性与塔中局地性沙尘暴特征比较 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(2): 36-42.
- [3] 李玲萍,李岩瑛,刘维成. 河西走廊东部“2018.3.19”强沙尘暴特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(2): 10-17.
- [4] Uno I, Eguchi K, Yumimoto K, et al. Asian dust transported one full circuit around the globe [J]. Nat Geosci, 2009, 2: 557-560.
- [5] YU H, Remer L A, Chin M, et al. Aerosols from overseas

- rival domestic emissions over North [J]. *America Science*, 2012, 337: 566–569.
- [6] Hankin E H. On dust raising winds and descending currents [J]. *India Met Memoirs*, 1921, 22: 210–213.
- [7] Idso S B, Ingram RS, Pritchard JM. An American Haboob [J]. *Bull AMS*, 1989, 53: 930–935.
- [8] Jauregui E. The dust storms of Mexico City [J]. *Inter J Climatology*, 1989, 9: 169–180.
- [9] Giannadaki D, Pozzer A, Lelieveld J. Modeled global effects of airborne desert dust on air quality and premature mortality [J]. *Atmos Chem Phys*, 2014, 14: 957–968.
- [10] Ginoux P, Chin M, Tegen I, et al. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model [J]. *J Geophys Res*, 2001, 106: 20255–20273.
- [11] 徐国昌, 陈敏连, 吴国雄. 甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析 [J]. *气象学报*, 1979, 37: 26–35.
- [12] 董庆生. 中国典型沙区中沙尘的物理特性 [J]. *电波科学学报*, 1997(12): 15–25.
- [13] 游来光, 马培民, 陈君寒, 等. 沙尘天气下大气中沙尘粒子空间分布特点及其微结构 [J]. *应用气象学报*, 1991, 2: 13–21.
- [14] DING R D, LI J P, WANF S G, et al. Decadal change of the spring dust storm in Northwest China and the associated atmospheric circulation [J]. *Geophys Res Lett*, 2015, 32: 1–4.
- [15] YANG X H, SHEN S H, YANG F, et al. Spatial and temporal variations of blowing dust events in the Taklimakan Desert [J]. *Theor Appl Climatol*, 2015, 125: 669–677.
- [16] Reid J S, Koppmann R, Eck T K, et al. A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles [J]. *Atmos Chem Phys*, 2005, 5: 799–825.
- [17] Mamouri R E, Ansmann A, Nisantzi A, et al. Extreme dust storm over the eastern Mediterranean in September 2015: satellite, lidar, and surface observations in the Cyprus region [J]. *Atmos Chem Phys*, 2016, 16: 13711–13724.
- [18] Naeger A R, Christopher S A, Johnson B T. Multiplatform analysis of the radiative effects and heating rates for an intense dust storm on 21 June 2007 [J]. *J Geophys Res Atmos*, 2013, 118: 9316–9329.
- [19] 李红军, 郑伟, 巩庆. 塔克拉玛干沙尘天气的激光雷达探测个例分析 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 2013, 7(1): 1–5.
- [20] 刘新春, 钟玉婷, 何清, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴过程大气颗粒物浓度及影响因素分析 [J]. *中国沙漠*, 2011, 31(6): 1548–1553.
- [21] WANG M Z, MING H, RUAN Z, et al. Quantitative detection of mass concentration of sand–dust storms via wind–profiling radar and analysis of Z–M relationship [J]. *Theor Appl Climatol*, 2018, 131: 927–935.
- [22] WANG M Z, MING H, HUO W, et al. Detecting sand–dust storms using a wind–profiling radar [J]. *J Arid Land*, 2017, 9: 753–762.
- [23] 欧阳首承, 陈刚毅, 林益. 信息数字化与预测 [M]. 北京: 气象出版社, 2009: 287–305.
- [24] HUO W, HE Q, YANG F, et al. Observed particle sizes and fluxes of Aeolian sediment in the near surface layer during sand dust storms in the Taklamakan Desert [J]. *Theor Appl Climatol*, 2017, 130: 735–746.

Quantitative Detection of Dust Storms with the Grimm180 Particle Monitor in the Taklimakan Desert

MING Hu^{1,2}, WANG Minzhong¹, LIU Xinchun¹, YANG Huijuan³

(1. Institute of Desert Meteorology, Chinese Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2.School of Electrical & Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;

3. The Northwest Regional Air Traffic Administration Bureau, Civil Aviation Administration of China, Xi'an 710082, China)

Abstract In order to obtain the real time quantitative characters of dust particles and dust mass concentration, the Grimm180 particle monitor was used to observe the dust storms in the Taklimakan Desert. Through analyzing the data detected by Grimm180 particle instrument on May 20th and May 24th, 2018, the results showed that: during the period of floating dust, blowing sand and dust storm periods, the mass concentration of $PM_{2.5}$, which generally was less than $1\ 500\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, didn't change obviously; while the mass concentration of PM_{10} changed obviously in different periods, between $2\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $6\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The distributions shapes of the dust particles spectrum and dust mass concentration spectrum were consistent in the floating dust, blowing sand and dust storm periods; when the particles' diameter (D) was larger than $0.35\ \mu\text{m}$, the distributions of dust particle conformed to M-P basically. From floating dust to blowing sand and then to dust storm, the proportion of small particle area ($D \leq 1\ \mu\text{m}$) was smaller and smaller, while that of medium particle area ($1 < D \leq 10\ \mu\text{m}$) and large particle area ($D > 10\ \mu\text{m}$) was more and more. When the diameter of particle was $0.35\ \mu\text{m}$, the particle number was the largest; whereas, when the diameter of particle was within $25\text{--}32\ \mu\text{m}$, the particle mass concentration was the maximum. In the floating dust and blowing sand, the $PM_{2.5}/PM_{10}$ was larger than 25%; also, the sum of particles were about 4×10^5 and the largest mass concentration was less than $20\ \mu\text{g}$ in 1 L per minute. In dust storm period, the $PM_{2.5}/PM_{10}$ was less than 15%; also, the sum of particles were larger than 5×10^5 and the largest mass concentration was larger than $25\ \mu\text{g}$ in 1 L per minute. These conclusions provide a scientific basis for accurate analysis of the quantitative characteristics of dust storms.

Key words dust particle spectrum; ; dust mass concentration; Grimm180 particle monitor; Taklimakan Desert