

# 塔克拉玛干沙漠一次强沙尘暴的辐射特性及气象要素分析

李 帅<sup>1</sup>, 胡列群<sup>1</sup>, 何 清<sup>2</sup>, 胥志德<sup>3</sup>, 吴新萍<sup>4</sup>

(1. 中国气象局乌鲁木齐气象卫星地面站, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 3. 中国民用航空新疆管理局, 新疆 乌鲁木齐 830016; 4. 塔中气象站, 新疆 且末 841000)

**摘 要:**应用遥感资料及塔中 80 m 观测塔探测系统采集的数据,对塔克拉玛干沙漠一次强沙尘暴过境前后情况进行了监测,并分析了近地层短波辐射特性以及风速、风向、温度、湿度、气压的演变特征。结果表明:沙尘暴过境前后,总辐射、反射辐射明显降低,且达到峰值的时间滞后,短波辐射日变化与地面风速日变化相对应,主要受控于湍流作用,沙尘暴不仅严重影响能见度,而且还严重影响到达地表的太阳辐射,从而影响到天气气候。沙尘暴过境前,地面水平风风向经历了多次调整,风向调整时,风速减弱,调整之后,风速加大;沙尘暴过境时风速急剧增强,但风向较为稳定。沙尘暴来临前夕,地面空气干热,处于低压控制之下;而沙尘暴过境时和过境后,地面空气呈湿冷状态,气压急剧上升,最终处于高压控制之下。整场沙尘暴过程是一个降温增湿增压的过程。

**关键词:**塔克拉玛干沙漠;沙尘暴;短波辐射;气象要素

中图分类号:P445.4

文献标识码:B

文章编号:1002-0799(2011)04-0026-05

## Analysis on Characteristics of Radiation and Meteorological Elements during a Strong Sandstorm Passing Taklimakan Desert

LI Shuai<sup>1</sup>, HU Lie-qun<sup>1</sup>, HE Qing<sup>2</sup>, XU Zhi-de<sup>3</sup>, WU Xin-ping<sup>4</sup>

(1. Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, Urumqi 830011, China; 2. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China; 3. Xinjiang Regional Administration of Civil Aviation of China, Urumqi 830016, China; 4. Tazhong Meteorological Station, Qiemo 841000, China)

**Abstract:** Using the remote sensing data and the observed data from the 80m meteorological tower in the hinterland of Taklimakan desert, we monitored the process of a strong sandstorm passing through Taklimakan desert hinterland, and analyzed the evolution characteristics of shortwave radiation, wind velocity, wind direction, temperature, humidity and pressure in detail in the near-surface. The results indicated that, at preand post sandstorm periods, the total radiation and reflective radiation decreased obviously, and the peak time lagged. The daily range of shortwave corresponded with wind speed, and was controlled by the turbulence. The sandstorm not only seriously influenced the visibility, but also the total radiation, As a result it affected the climate. The wind direction

收稿日期:2010-09-01

基金项目:新疆气象局青年基金(201036),公益性行业科研专项(GYHY201006012),国家自然科学基金(40775019)联合资助。

作者简介:李帅(1982-),女,硕士,主要从事气候与环境研究。E-mail:rainlishuai@yahoo.com.cn

changed several times before the sandstorm. The wind speed decreased at the change time of wind direction, it increased after that. The wind velocity increased rapidly and the wind direction was stable when the sandstorm passing. Before the onset of sandstorm, the air mass was hot and under the control of low pressure. When the sandstorm passing by, the air mass became cold and wet, and the pressure increased sharply. The weather of sandstorm was a process in which temperature decreased, and humidity and pressure increased.

**Key words:** Taklimakan desert; sandstorm; shortwave radiation; meteorological elements

沙尘暴是干旱和半干旱地区常出现的一种灾害性天气现象,能引起一系列生态与环境问题。沙尘天气产生的悬浮于对流层的沙尘微粒是大气气溶胶的重要来源之一,并随着大气运动输送、扩散至很远的地区,引起辐射平衡过程的变化,进而引起区域乃至全球的气候变化。沙尘暴对于大气边界层有很特殊的影响,主要体现在对大气边界层两个强迫上:(1)强的干对流活动引起的宏观垂直运动对边界层结构的强迫作用和对输送过程的贡献;(2)大气边界层内超常沙尘分布对辐射过程的强迫作用<sup>[1]</sup>。近年来,关于沙尘暴发生的条件、过程、危害以及等级的划分已有不少研究<sup>[2-7]</sup>,还有部分学者利用卫星遥感对沙尘暴进行了反演<sup>[8-10]</sup>,取得了一些可喜的成果<sup>[11-12]</sup>,为政府决策提供了依据。但是,由于沙尘暴等特殊天气事件出现概率比较少,在边界层观测中很少捕捉到这些过程,并且对它们的观测还存在一些技术上的困难,因而对沙尘暴爆发、过境时地面气象要素及大气辐射特性的研究很少<sup>[13-16]</sup>,利用遥感手段和地面资料相结合实现对沙尘暴监测的更少<sup>[17]</sup>。因此,利用遥感资料对沙尘暴进行监测并结合地面实测数据分析其过程,对进一步揭示沙尘暴的最新事实特征和深入研究沙尘暴与气象要素特征之间的关系具有科学性和现实意义。

塔克拉玛干沙漠是世界第二大流动沙漠,是我国沙尘暴的主要源地,是影响我国东部下游区域乃至全球气候和环境变化的原因之一,一直为广大的地球科学工作者所关注。2001—2004年中国科学院与日本科技厅联合开展了国际合作项目“风送沙尘的形成、输送机制及其对气候与环境影响的研究”<sup>[18-19]</sup>。2005年乌鲁木齐沙漠气象研究所在塔中建立了80 m铁塔梯度探测系统,随后开展了一系列关于“塔克拉玛干沙漠近地层大气垂直结构特征分析”的研究,如:李祥余等利用塔中80 m铁塔梯度探测系统监测的气象梯度数据分析了沙漠阴天<sup>[20]</sup>、沙尘暴天气<sup>[21]</sup>的温度、湿度、风速等廓线特征,王敏仲等

<sup>[22]</sup>对此次沙尘暴形成的天气背景和动力结构进行了研究。但对于沙尘暴过境时辐射特性及气象要素等方面的研究很少。

本文就是利用遥感资料并结合塔中气象站(39°00'N, 83°40'E, 海拔高度1 099.3 m)80 m观测塔梯度探测系统以及能量收支探测系统的探测资料,对塔克拉玛干沙漠2006年4月10日一场强沙尘暴过境前后的情况进行了监测,并分析了强沙尘暴过境前后的大气辐射特性、地面气象要素的演变过程及特征。这有益于对沙尘暴爆发机制的进一步了解。

## 1 资料与方法

本文使用的数据包括:沙尘暴过境前后的FY1D和NOAA资料、80 m观测塔梯度探测系统探测的地面气象数据以及地表能量收支探测系统探测的辐射数据。

80 m观测塔探测的风、温、湿数据有瞬时数据、分钟平均数据和小时(整点)平均数据。瞬时数据采样频率为风速、风向每3 s一组;温度和湿度为每10 s一组;为了更准确的反映天气变化状态,本文气象要素采用的都是分钟平均数据,且采用北京时间。地表能量收支探测系统测得的数据包括总辐射、反射辐射的瞬时数据、分钟平均数据和小时(整点)平均数据。瞬时数据采样频率为每10 s一组。利用面积法,用每分钟6组瞬时数据算出分钟平均数据,同样的方法得到整点小时平均数据。本文辐射数据采用的是小时平均数据,且为了更好地反映当地的变化状况,辐射采用地方时。

本文利用卫星资料对此次沙尘暴进行了监测,并结合地面实测数据对比分析了2006年4月8日和4月9日沙尘暴爆发前,4月10日沙尘暴过境时,4月11日沙尘暴影响时与4月12日沙尘暴过境后的浮尘天气,连续5 d地面气象要素、总辐射、反射辐射的变化情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙尘暴过境时的大气辐射特性及遥感监测

#### 2.1.1 沙尘暴过境前后的遥感监测

由于强冷空气活动,我国南疆地区4月10日出现强沙尘天气。由于天空云系较多,该地区沙尘天气发生时,气象卫星没有获取到较好的监测效果。从4月11日不同时次的沙尘暴监测图中可以看出,与10日相比,虽然该地区风力已经减弱,但南疆地区上空依然笼罩着厚重的沙尘。11日13:17NOAA与上一时次的监测图像相比,沙尘范围有了明显的扩大。已有研究表明<sup>[2]</sup>,此次沙尘暴是由于里咸海脊、乌拉尔脊、新地岛脊同位向叠加,西西伯利亚横槽转竖南下,引导泰米尔半岛强冷空气爆发直插新疆,东灌进入南疆盆地而造成的大范围沙尘暴天气;西西伯利亚地面冷高压爆发性南下并强烈发展是造成此次沙尘天气的根本原因;盆地前期的干暖形势为沙尘暴的产生提供了有利的热力条件;沙尘暴区上空螺旋度垂直分布为低层正值、高层负值,构成低空强辐合、高空强辐散的上升运动区;高空急流入口区次级环流下沉导致高层动量下传,促使对流层中低层风力加大,冷锋南压,驱动沙尘天气的发生。

#### 2.1.2 沙尘暴过境前后的辐射特性

4月8日,总辐射和反射辐射日总量分别为 $24.17, 7.02 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{P} \cdot \text{d}^{-1}$ ,均于12时到达最大值,分别为 $908.9, 255.7 \text{ WJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ;4月9日沙尘暴爆发前,总辐射和反射辐射略微降低,日总量为 $19.69, 5.67 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;而当4月10日沙尘暴过境时,总辐射和反射辐射骤减,日总量仅为 $0.71, 0.25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,碧空约为其30倍,其最大值出现在午后14时,达到 $50.29, 16.82 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,分别比晴空时低 $858.7, 238.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。短波辐射达到最大值的时间滞后,主要是由于正午时的强风作用,使大气中沙尘含量最高值提前出现,天空呈现避光状况,只有垂直方向尚可接受部分辐射的缘故。4月11日为沙尘暴减弱期,伴随有扬沙和浮尘,4月12日为沙尘暴过境后的浮尘天气,总辐射和反射辐射量都略微升高,日变化基本稳定,日总量分别为 $10.68, 3.69 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,因热力湍流作用滞后,总辐射和反射辐射均于10时达到最大值 $451.8, 155.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (图1)。

沙尘暴过境时形成这种辐射现状主要是由于:塔克拉玛干沙漠形成风沙的大气状况主要有两种,一种是因气压梯度力引起的地面扬沙;另一种是高空冷空气与地面热空气强烈的对流作用,以及符合上升气流的抽吸作用,是形成大规模沙尘暴的主动

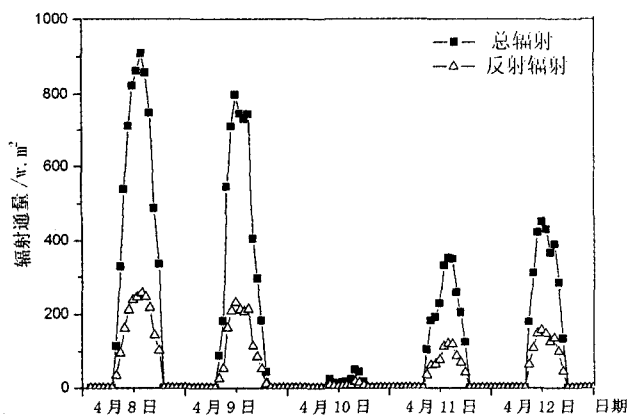


图1 沙尘暴过境前后塔中近地层总辐射及反射辐射变化

力,本次沙尘暴属于此种状况。风沙季节总辐射日变化对应地面风速日变化,且主要受控于湍流作用,风沙作用提供给大气的沙尘,一方面降低了大气透明度,使太阳直接辐射消弱,另一方面大气沙尘也增加了散射辐射,致使达到地表的总辐射和反射辐射明显减弱。因此,沙尘暴不仅严重影响能见度,而且还严重影响到达地表的太阳辐射,从而影响到天气气候。

### 2.2 沙尘暴过境时气象要素的特征

#### 2.2.1 沙尘暴过境前后地面水平风场的变化

4月8日下午9:15—20:52,风速由静止跳至 $5 \sim 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水平,随后风速略微降低,4月9日23:44风速突然急增,呈折角式上升,4月10日13:55达 $11.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的极大值。随着这次沙尘暴的过境,风速逐渐减弱,此时风向也由东北偏北转变为东北偏东至东南;之后,风速虽然有所波动,但是一直在下降并持续到沙尘暴结束。从4月12日晚1:12以后,地面水平风风向的稳定结构崩溃,并出现为期半天的静风天气(图2)。从图3风向玫瑰图的连续变化中也可以看出,沙尘暴过境前,地面水平风风向经历了多次调整;沙尘暴过境时,风向较为稳定,主要以东东北风为主;沙尘暴过境后,风向发生变化,先以东东南为主,而后,风向逐渐多元化。

因此,沙尘暴过境前风向变化较为频繁,风速随风向的变化而变化;沙尘暴过境时地面风急剧增强,风向较为稳定。

#### 2.2.2 沙尘暴过境前后地面温湿场的变化

沙尘暴来临前的4月8日和4月9日白天气温较高,最高气温分别达到了 $29.1^\circ\text{C}$ 和 $30.1^\circ\text{C}$ ,而4月10日的气温较低只有 $18.5^\circ\text{C}$ ,比同期平均值小,

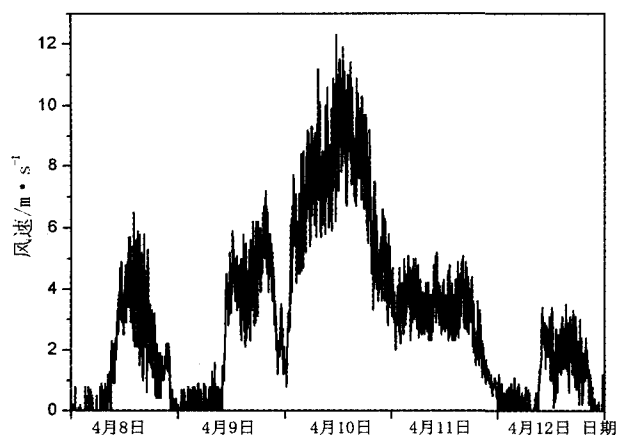


图2 沙尘暴过境前后塔中近地层水平风场时间演变实况

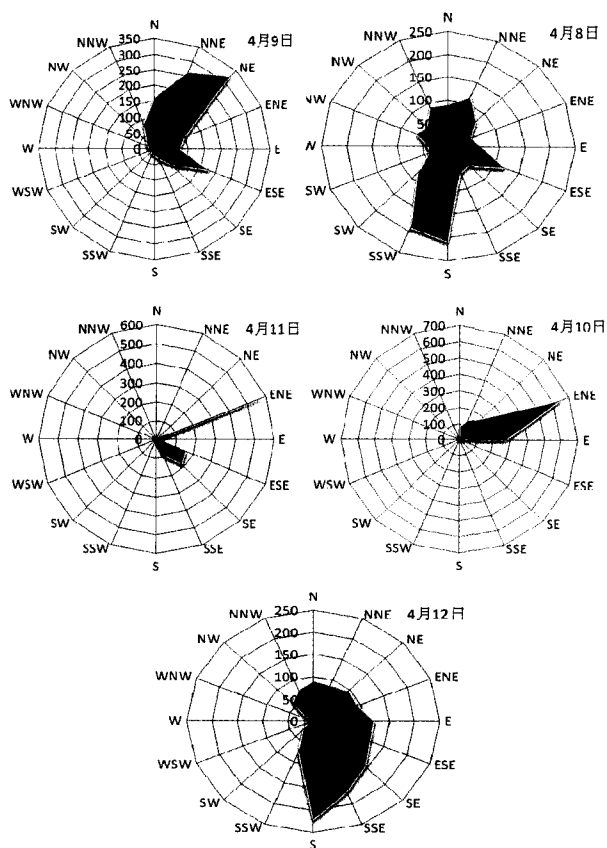


图3 沙尘暴过境前后塔中近地层水平风场风向玫瑰演变实况

且这期间空气较干燥,沙尘暴过境前,相对湿度只有10.6%,地面空气处于暖干的状态,这对起沙、扬尘极为有利。沙尘暴过境时,大气温度持续快速下降,是一个降温增湿<sup>[13-14]</sup>的过程,4月10日沙尘暴前缘过境时,气温成折角式急剧下降,空气湿度增大,之后,气温持续快速下降,而相对湿度逐渐增大达

52%;4月11日白天气温持续降低,达2.9℃,相对湿度稳定在13%左右,空气进入相对冷湿状态;4月11日19:00左右至4月12日8:22,气温继续下降,相对湿度继续上升,最低气温达-2.2℃,最大相对湿度达37%。至此,此次沙尘暴在地面气温和相对湿度的反映基本结束(图4)。

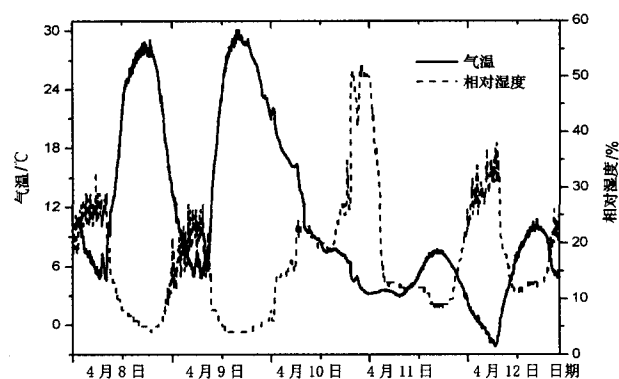


图4 沙尘暴过境前后塔中近地层地面气温和空气相对湿度演变实况

因此,沙尘暴过境前地面温度升高,湿度降低,地面处于干热状态,而沙尘暴过境时是一个降温增湿的过程。

### 2.2.3 沙尘暴过境前后地面气压的变化

沙尘暴来临前,地面受到低压控制,4月9日18:24气压达到最低值864.3 hPa;之后,由于沙尘暴过境,气压迅速增高,10 min内增幅最大值2.7 hPa,出现在4月10日8:00左右,沙尘暴前缘过境后的30 min左右出现了振幅0.7 hPa的变化;4月11日13:05气压增大到905.5 hPa后,增长趋势基本停止,变化较为稳定,地面开始受到高气压的控制。

因此,沙尘暴过境前气压下降,而伴随着沙尘暴过境,地面从受低气压控制到受到高气压的控制,气压增大了20 hPa左右,是一个气压上升的过程。

## 3 结论

从上述对塔中春季沙尘暴过境前后的遥感监测以及近地层辐射特性、气象要素的特征分析,可得到如下一些初步结论:

(1)沙尘暴爆发前,总辐射、反射辐射略微降低;沙尘暴过境时,总辐射、反射辐射明显降低,且达到峰值的时间滞后;沙尘暴过境后较为扬沙浮尘天气时,总辐射、反射辐射缓慢升高;当仅为浮尘时,要比有扬沙伴随时略微增高。短波辐射日变化与地面风

速日变化相对应,且主要受控于湍流作用,沙尘暴不仅严重影响能见度,而且还严重影响到达地表的太阳辐射,从而影响到天气气候。

(2)沙尘暴过境前,地面水平风风向经历了多次调整,风向调整时,风速减弱,而调整之后,风速加大。沙尘暴过境时地面风急剧增强,但风向较为稳定。沙尘暴来临前夕,地面空气呈干热状态,处于低压控制之下,而沙尘暴过境时和过境后,地面空气湿冷,气压呈急剧上升,处于高压控制之下,是一个降温增湿增压的过程。

#### 参考文献:

- [1] 张强.大气边界层气象学研究综述[J].干旱气象,2003,21(3):74-78.
- [2] McNaughton D L.Possible connection between anomalous anticyclones and sandstorms [J].Weather,1987,42(1):8-13.
- [3] Isdo S, Brazel A. Planetary radiation balance as a function of atmospheric dust. Climate logical consequence [J]. Science,1977,198:731-733.
- [4] 顾卫,蔡雪鹏,谢峰,等.植被覆盖与沙尘暴日数分布关系的探讨—以内蒙古中西部地区为例 [J]. 地球科学进展,2002,17(2):273-277.
- [5] 范一大,史培军,周涛,等.中国北方沙尘灾害影响因子分析[J].地球科学进展,2007,22(4):350-356.
- [6] 张广兴,李霞.沙尘暴观测及分级标准研究现状[J].中国沙漠,2003,23(5):586-591.
- [7] 周自江.近45年中国扬沙和沙尘暴天气[J].第四纪研究,2001,21(1):9-17.
- [8] 范一大,史培军,罗敬宁.沙尘暴卫星遥感研究进展[J].地球物理学报,2003,18(3):367-373.
- [9] 罗敬宁,范一大,史培军,等.多源遥感数据沙尘暴强度监测的信息可比方法[J].自然灾害学报,2003,12(2):28-34.
- [10] 张增祥,周全斌,刘斌,等.中国北方沙尘灾害特点及其下垫面状况的遥感监测[J].遥感学报,2001,5(5):377-382.
- [11] 李耀辉,张书余.我国沙尘暴特征及其与干旱关系的研究进展[J].地球科学进展,2007,22(11):1169-1176.
- [12] 钱正安,蔡英,刘春涛,等.中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J].地球物理学报,2006,49(1):83-92.
- [13] 何清,向鸣,唐淑娟.塔克拉玛干沙漠腹地两次强沙尘暴天气分析[J].中国沙漠,1998,18(4):320-327.
- [14] 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素及地表能量平衡特征的变化[J].大气科学,2002,26(1):1-8.
- [15] 胡非,洪钟祥,陈家宜,等.白洋淀地区非均匀大气边界层的综合观测研究—实验介绍及近地层微气象特征分析[J].大气科学,2006,30(5):883-893.
- [16] 康凤琴,李耀辉,吕世华.2001年4月8日强沙尘暴天气的数值模拟研究[J].中国沙漠,2003,23(6):681-685.
- [17] 刘志丽,马建文,张国平,等.沙尘暴过程观测数据与实测数据的综合分析 [J]. 兰州大学学报:自然科学版,2005,41(3):26-30.
- [18] Masao MIKAMI, Teruo AOKI. Observation of number concentration of desert aerosols in the south of the Taklimankan Desert [J].China. Journal of the Meteorological Society of Japan,2005.Vpi.83A, pp.31-43.
- [19] Kazuhiro HARADA, Shinsuke SATAKE, Yukari HARA, et al. Meteorological characteristics and dust distribution of the Tarim Basin simulated by the Nesting RAMS/CFORS Dust Model [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan,2005.Vol.83A, pp.219-239.
- [20] 李祥余,何清,艾力·买买提明,等.塔中春季阴天近地层风速、温度和湿度廓线特征分析[J].干旱气象,2007,25(2):22-28,42.
- [21] 李祥余,何清,黄少鹏,等.南疆一次强沙尘暴前后塔中近地面各气象要素的变化特征 [J]. 高原气象,2009,28(3):652-662.
- [22] 王敏仲,魏文寿,杨莲梅,等.塔里木盆地一次东灌型沙尘暴环流动力结构分析[J].中国沙漠,2008,28(2):370-376.