

塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴过境时近地层 风速、温度和湿度廓线特征

何清¹, 魏文寿², 李祥余³, 艾力·买买提明¹, 李帅⁴

(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. 新疆气象局, 新疆 乌鲁木齐 830002;
3. 中国科学院城市环境研究所, 福建 厦门 361003; 4. 乌鲁木齐气象卫星地面站, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 利用塔中 80m 梯度观测塔探测系统采集的资料, 详细的分析了 2006 年 4 月 10 日沙尘暴过境时, 塔克拉玛干沙漠腹地近地层风速、温度和湿度廓线的演变特征。结果表明: 风速廓线满足风速值随高度增高而增大, 风速梯度随高度增高而减小的对数律关系; 沙尘暴由爆发前到过境时, 温度廓线的温度值由随高度增高而增大转变为温度值随高度增高而减小, 同时在贴地层 2m 处存在一微弱拐点; 沙尘暴过境时, 近地层大气出现微弱逆湿现象, 并在不同高度上存在多处拐点, 比湿增减在时间上与风速的增减呈负相关性, 且整个沙尘暴天气是一个降温增湿的过程。

关键词: 塔克拉玛干沙漠; 沙尘暴; 近地层; 廓线; 逆温; 逆湿

中图分类号: P412.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0799(2008)06-0006-06

Profile Characteristics of Wind Velocity, Temperature and Humidity in the Surface Layer during a Sandstorm Passing Taklimakan Desert Hinterland

HE Qing¹, WEI Wen-shou², LI Xiang-yu³, Aili·Maimaitiming¹, LI Shuai⁴

(1. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China; 2. Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China; 3. Institute of Urban Environmental, CAS, Xiamen 361003, China;
4. Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, Urumqi 830011, China)

Abstract: Using the latest data which gathered from the meteorological gradient tower by the height 80m in the hinterland of Taklimakan Desert, we detailedly analyzed the evolution characteristics of wind velocity, temperature and humidity profiles in the surface layer during a sandstorm passing Taklimakan Desert hinterland on April 10, 2006. The results indicated: the wind velocity profiles satisfied logarithmic rule that the wind speed value increased and the wind speed gradient decreased with increasing height; during the sandstorm erupted and passed, the temperature value of profiles changed from increasing to decreasing with height increasing, and simultaneously, a weak

收稿日期: 2008-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(40775019); 新疆维吾尔自治区科技攻关项目(200833119); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(idm2006002)联合资助项目。

作者简介: 何清(1965-), 男, 研究员, 主要从事沙漠气象研究。E-mail: qinghe@idm.cn

inflection point existed at the height of 2 m near the ground; when this sandstorm was passing, the phenomena of weak inverse humidity appeared in the atmospheric surface layer and there were many inflection points at different height, the fluctuation between the specific humidity and the wind speed assumed negative correlation along with the time. The weather of sandstorm is a process which temperature decreases and humidity increases.

Key words: Taklimakan Desert; sandstorm; surface layer; profile; inversion; inverse humidity

1 引言

沙尘暴是指由于强风将地面大量尘沙吹起,使空气相当浑浊,水平能见度 $<1.0\text{km}$ 的天气现象^[1],它是干旱和半干旱地区常出现的一种灾害性天气。我国众多学者对沙尘暴的发生源地^[2]、形成发展的机制与原因^[3-5]、时空分布^[4,8]、发展变化趋势^[4,7-9]、遥感监测^[9]、环境影响与气候效应^[2,7-8]、危害^[4-5]、防治措施^[2,5]以及对沙尘暴个例进行了地面气象要素场演变、天气学分析、卫星云图分析和数值模拟等研究^[10-14]。但是,由于常规气象站观测手段的限制,缺乏地面气象要素梯度探测资料,因而对沙尘暴爆发、过境时近地面气象要素廓线的研究很少,只有极少数文献略有提及^[11-13],但没有做详细的分析。

塔克拉玛干沙漠是我国沙尘暴的主要起源地之一,位于我国新疆南部塔里木盆地的中心,地处 $77^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$, $37^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 之间,东西长约 $1\,070\text{km}$,南北宽 410km ,面积 $3.376\times 10^6\text{km}^2$,其中流动沙丘面积占 82.2% ,是我国最大的沙漠,也是世界上面积仅次于阿拉伯半岛鲁卜哈利沙漠($5.6\times 10^6\text{km}^2$)的第二大流动沙漠。年平均出现沙尘暴 30d 以上,扬沙天气多达 70d ,浮尘天气高达 200d ,发生期可跨越整个春夏季节;因而对我国西北干旱区的气候变化和生态环境有着重要影响。

本文利用目前世界上唯一深入流动沙漠腹地 200km 以上的塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站($39^{\circ}00'\text{N}$, $83^{\circ}40'\text{E}$,海拔高度 $1\,099.3\text{m}$)的 80m 观测塔梯度探测系统探测的资料,分析了2006年4月10日塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴过境时近地层风速、温度、湿度廓线分布特征,这有益于对沙尘暴爆发机制的进一步了解。

2 资料与方法

2.1 仪器设置

80m 观测塔梯度探测系统共有10个层次观测平台,高度分别为 $0.5, 1, 2, 4, 10, 20, 32, 47, 63, 80\text{m}$,

分别装有风速、风向、温度和湿度传感器。但风速风向探头感应部分的实际高度高出安装平台 46cm ,因此,在 1m 高度上的风速风向探头的实际高度为 1.46m ,其它层次依次类推。温湿度探头感应部分的实际高度高出安装平台 24cm (即安装在 1m 高度上的温湿度探头的实际安装高度为 1.24m ,其它层次也依次类推)。在 0.5m 高度上的风速探头感应部分(没有安装风向传感器)实际高度为 0.75m ,温湿度探头感应部分为 0.53m 。

通量探测仪器采用国际公认标准,主要仪器选购芬兰 Vaisala、英国 ADC、Gill 等公司提供的主要仪器部件和外设及其数据采集软件,具有良好的开放性和数据采集与处理选择功能,可保证不同时间尺度的数据采集设置与预处理分析。安装之前所有仪器都经过校准,达到厂家提供的精度,大气中温度和湿度传感器都采用了防辐射和通风措施。

2.2 数据的采集

风、温、湿梯度探测数据有瞬时数据、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 3s 一组;温度和湿度为每 10s 一组;三维超声风速和 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的瞬时数据采样频率为 20Hz 。为了更准确的反映天气变化的平均状态,文中采用小时平均数据(北京时间)。但由于探测系统发生故障,08:08—09:47 这一个半小时内的数据缺失。

2.3 天气状况

2006年4月10日,笔者当时正在塔中,有幸亲身经历了这场沙尘暴。当天,整个天空上下一片昏黄,狂沙肆虐,漫天飞舞,风沙吹过板房及附近怪柳丛时发出啾啾声响;人行走在路上,风沙扑面而来,如海浪一般,浑身上下被沙粒裹得严严实实,脸上胳膊上被沙粒打得隐隐作疼,双眼无法睁开;从地窝(住所)走到距离不到 30m 路程的数据采集机房,头发里、嘴里、鼻孔和耳窝都积有沙粒。

这次沙尘暴是自1996年6月塔中气象站建站以来持续时间最长、强度最大的一次。根据塔中气

象站地面气象观测记录,该日天气过程如表1所示。

表1 4月10日沙尘暴过境时塔克拉玛干
沙漠腹地的天气过程

天气现象		发生状况
扬沙	发生时段	0:40—1:08,3:45—5:20,21:16—22:24
沙尘暴	发生时段	01:08—03:45,05:20—21:16,22:24—23:10,最小能见度达40m 6:42—6:44,8:42,8:59—9:06,9:39,10:23—10:32,
大风	发生时段	11:31,12:06—12:15,12:48—13:14,13:38—13:54, 14:12,15:00—15:10,16:49—17:02,18:12
2min 平均风速		8.1m/s
10min 平均风速		8.0m/s
地面基本 最大风速		12.3m/s
气象要素 瞬时极大风速		21.1m/s(风向ESE)
日平均气温		13.4℃,
最高气温		26.7℃
最低气温		6.7℃
日平均相对湿度		18%
最低相对湿度		5%

3 结果与分析

3.1 沙尘暴过境时近地层风速廓线特征

图1(a)给出了塔克拉玛干沙漠腹地(以下简称塔中)春季沙尘暴过境时近地层平均风速廓线曲线。

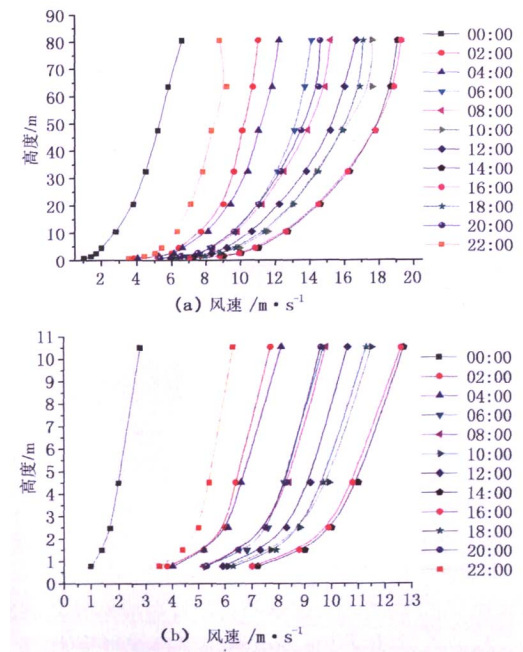


图1 2006年4月10日沙尘暴过境时塔中
近地层风速廓线

图1(b)是近地层10m内风速廓线放大图。如图所示,总体上风速廓线分布规律是风速值随高度的增高而增大,风速梯度随着高度的增高而减小,满足对数律关系。同时风速廓线分布规律根据沙尘暴的发生、发展和消亡可分为3个阶段:爆发前(00:00—01:00)、过境时(02:00—21:00)、间歇过渡时(22:00—24:00)。沙尘暴过境时的风速值变化幅度比爆发前及间歇过渡的时段都要大。

沙尘暴爆发前的00时风速较小,约在3m/s(测量高度为10.46m,下同)左右,01时风速已经增加到了6m/s;但还没有达到塔克拉玛干沙漠沙尘暴的启动风速8m/s^[9]。这两个小时的平均风速廓线基本上是满足风速值随高度的增高而增大,风速梯度随着高度的增高而减小的对数律关系。

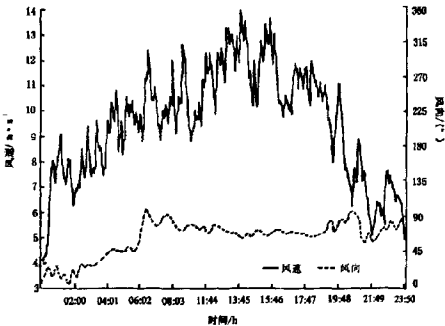


图2 2006年4月10日沙尘暴过境时塔中
近地层水平风场(10.46m)时间演变实况

沙尘暴过境时,风速明显增大。从图2的水平风场演变实况可以看出,风速是呈波动式上升。在01时以前风速在8m/s以下,风向主要是东北偏北;在1:20左右沙尘暴已经来临时,风速跃然增至9m/s,风向也转变为北风;04—07时,风速依次出现两个峰值10.8m/s、12.2m/s,此时风向也迅速由东北偏北转变为东北偏东至东风;08时风速有所下降,09—10时风速继续上升,10时风速又增至11.4m/s,风向一直维持在东北偏东;之后11时风速又下降,12—14时,风速呈直线上升,在14时风速达到一天中的最大风速13.8m/s,15时风速下降至10.0m/s左右,在15:45风速又回升到14时的水平;16:30风速又急剧下降到10.0m/s;17:20—18:30风速维持在11.0m/s左右;然后一直下降到19:30的8.0m/s;19:50略有回升,然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,风向也在东北偏东和东风之间摆动。可见,风向在每次调整之后风速

都有所增减。尽管这段时间内风速值时升时降,但每个时段的风速廓线分布都满足风速值随高度的增高而增大,风速梯度随着高度的增高而减小的对数律。

沙尘暴在顶峰时期过去后,进入一段过渡时期(22:00—24:00),尽管在中间有近 50min 的沙尘暴时期,但此时平均风速已经下降到了 6m/s 左右,沙尘暴基本上结束。整体上这一时期的廓线分布规律仍然满足对数律;但 22 时的风速廓线在 63m 处存在一拐点。

3.2 沙尘暴过境时近地层温度廓线特征

在沙尘暴爆发之前,温度廓线分布规律是温度值随高度的增高而增大,大气呈逆温状态;沙尘暴过境时,廓线转变为温度随着高度的增高而减小(见图 3)。大气层结在沙尘暴爆发前后发生了由稳定到不稳定的转变。

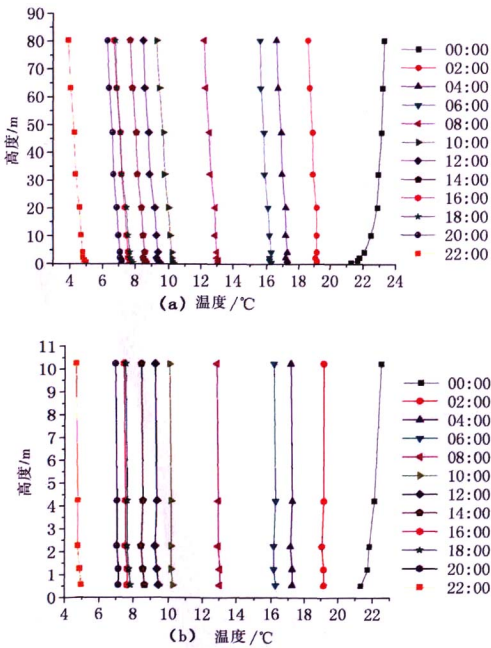


图 3 2006 年 4 月 10 日沙尘暴过境时塔中近地层温度廓线

沙尘暴爆发前的 00 时,整个近地层的大气层结还处于弱稳定的逆温状态,近地面 20m 高度以内温度递减率约为 $-0.08^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,20m 以上温度梯度较小。01 时,沙尘暴即将来临,这时近地层上层大气开始冷却,只有近地面 32m 以内的大气还处于弱逆温

状态;此时在 32m 处存在一微弱拐点,32m 以上廓线温度由 32m 下的随着高度的增高而缓慢增大转变为随着高度的增高而缓慢减小。整个大气温度较前一 h 下降了 1°C 左右。

在沙尘暴过境时段内,大气温度持续快速下降,是一个降温^[10-11]的过程。在沙尘暴刚刚过境时,1h 内平均气温就下降了将近 2°C 。在 02—07 时,气温稳定下降,维持在每小时约降低 0.5°C ,而各个时段廓线都是温度随着高度的增高而缓慢减小,并且它们之间几乎保持相互平行的状态。但是在贴地层 2m 处存在一微弱拐点(如图 3b 所示)。在清晨日出后的 08—10 时,气温不但没有随太阳辐射的增强而升温,反而是连续两个小时跳跃性的下降了 6°C 左右;但是廓线的形状变化不大,与前面几个时段的廓线几乎保持相互平行的状态。此时从沙尘暴刚爆发到日出后 10 时,气温约下降了 11°C 之多。10 时以后,随着太阳辐射的进一步加强,温度进入一个稳定下降时期。一直到日落后 21 时的近 11h 里,气温才下降了 3.5°C 左右。这段时期内温度廓线的形状和变化趋势与前面时段一样,仍然是温度随着高度的增高而缓慢减小;但在 11—14 时及 21 时的贴地层 2m 处存在微弱拐点。在沙尘暴过境的整个连续时期内(07—21 时),近地层 80m 的温度梯度在 $-1.4\sim-1.1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之间。处于中性状态,而事实上大气是处于不稳定状态的,这从三维超声风速仪测定的地面垂直风速(见图 4)的脉动可以证实。所以单纯用温差法来判断大气稳定度对于不稳定层结时是不适用的^[10]。同时,从图 4 可以得知,沙尘暴过境时,除了在 11:30、12:30 和 21:00 气流有微弱的上升运动外,其余大部分时间气流的运动都是下沉的。这似乎与沙尘暴爆发时是大量地面沙尘被上升气流带入空中相

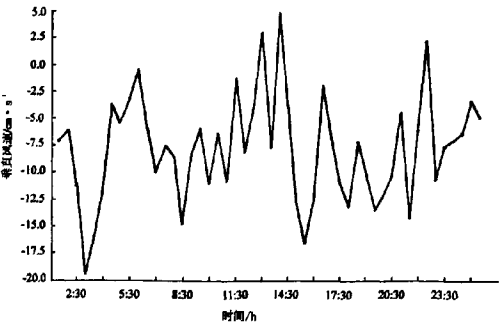


图 4 2006 年 4 月 10 日沙尘暴过境时塔中近地层超声风速仪(离地面 9.5m)记录的地面垂直风速日变化

矛盾^[1];因此,这其中的原因需要进一步深入研究。

在沙尘暴的过渡停息时期(22:00—24:00)内,廓线依然保持过境时的状态,但是温度较过境时又下降了1.5℃左右,这与傍晚太阳落后地面辐射平衡由正转为负相关。同样,22时和23时这两个时段,廓线在贴地层2m处微弱拐点仍然存在。此时温度到达一日中的最低气温,并得知,沙尘暴过境前后的温差高达20℃。

3.3 沙尘暴过境时湿度廓线特征

图5(a)给出了塔中春季沙尘暴过境时近地层平均比湿廓线曲线。图5(b)是近地层10m的比湿廓线放大图。如图所示,比湿廓线分布规律与沙尘暴过境时风速增减波动时间上有很好的-致性。整体上,风速在增大时,比湿在减小;风速变小时,比湿在增大。各时段廓线的分布形状略有差异,但整个沙尘暴过程是一个增湿^[10-11,17]过程(相对湿度变化趋势尤为显著)。在沙尘暴来临前的00和01时,在近地面2m处存在一拐点(极小值),极小值出现高度以上比湿随高度增加而增加,廓线呈逆湿^[18-19]特征,极小值出现高度以下比湿随高度减小而增加。从图中可以看出在贴地层2m内的比湿差达0.17g/kg。

沙尘暴刚来临的02时,随着较冷气团的到来,

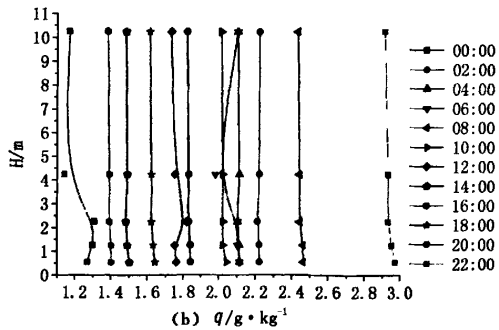
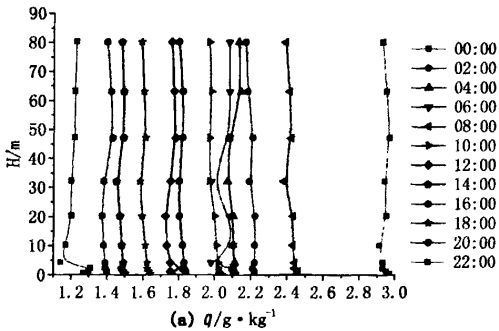


图5 2006年4月10日沙尘暴过境时塔中近地层比湿廓线

比湿由1.2g/kg急速增大到2.2g/kg;比沙尘暴来临前1h增加了1.0g/kg。夜间沙尘暴停息的04—06时,比湿一直在减小,且在4m和32m高度处存在拐点。07—08时比湿突然增大,与清晨日出前风速有所下降、大气温度突然降低一致,08时32m处有一微弱拐点,该时段内整体上比湿随高度增加变化不大。

清晨日出后09时至16时这段时间内比湿一直在减小,与日出后太阳高度上升辐射增强及该段时间内风速一直在持续增大相对应。这段时间内多处出现拐点,如12时2m的拐点,13时32m的拐点,14、15、16、17时47m的拐点。可知,拐点出现高度逐渐在上升,同时也得知这段时间内地面沙层不断向大气输送水汽。

18时至沙尘暴第二停息阶段22时,随地面辐射平衡慢慢由正转为负及风速逐渐变小,比湿也在变大,并在22时骤然增大到一天中的最大湿度(约2.95g/kg,相对湿度为50%),比前1h约增加了1.1g/kg;与晴天(最大湿度出现在清晨08时)的规律截然相反^[20]。22时后,沙尘暴颠峰时期已过,比湿又逐渐减小,到23时降到了2.46g/kg。21—23时这段时间内在32m处也存在微弱拐点,22时在10m处也有一微弱拐点。

此场沙尘暴是一次系统性东灌天气过程,发生的范围比较广,覆盖了整个南疆盆地。随着系统性锋面进入沙漠腹地,冷气团中含有相对较高的水汽。当沙尘暴过境时,湿度增加;而离境时,逐渐恢复到沙漠干热低湿的状态。总体上,本次沙尘暴在沙漠腹地表现为增湿的过程。

4 结论

从上述对塔中春季沙尘暴过境时近地层风速、温度和湿度廓线特征的分析,可得到如下一些初步结论:

(1)根据沙尘暴爆发前后、过境和离境的时间顺序,地面水平风速呈波动式升降;风向调整时,风速也随着增减;气流在垂直方向上大部分时间是向下运动的;尽管风速廓线的形状有一些微小变化,但其分布规律都满足风速值随着高度的增高而增大,风速梯度随着高度的增高而减小的对数律关系。

(2)沙尘暴爆发前,大气呈逆湿状态;过境时,廓线温度值由随高度增高而增大转变为温度值随高度增高而减小,并在贴地层2m处存在一微弱拐点。沙尘暴爆发前后大气层结发生了由稳定到弱不稳定转

变;用温度梯度法判断大气稳定度对于不稳定天气是不妥当的。

(3)沙尘暴过境时,近地层大气比湿在不同高度上存在多处拐点(极小值),并出现微弱逆湿现象。比湿廓线的分布规律与沙尘暴爆发、过境、离境时风速的增减在时间上有很好的同步性,并且整体上是一个增湿的过程。

参考文献:

- [1] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:21-27.
- [2] 石广玉,赵思雄.沙尘暴研究中的若干科学问题[J].大气科学,2003,27(4):591-606.
- [3] 张仁健,韩志伟,王明星,等.中国沙尘暴天气的新特征及成因分析[J].第四纪研究,2002,22(4):374-380.
- [4] 史培军,严平,高尚玉,等.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报,2000,9(3):71-77.
- [5] 王式功,董光荣,陈惠忠,等.沙尘暴研究的进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349-356.
- [6] 康杜娟,王会军.中国北方沙尘暴气候形势的年代际变化[J].中国科学D辑:地球科学,2005,35(11):1096-1102.
- [7] 李栋梁,钟海玲,魏丽,等.中国北方年沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应[J].高原气象,2003,2(4):337-345.
- [8] 周自江,章国材.中国北方的典型强沙尘暴事件(1954—2002年)[J].科学通报,2003,48(11):1124-1128.
- [9] 王式功,董光荣,杨德保,等.中国北方地区沙尘暴变化趋势初探[J].自然灾害学报,1996,5(2):86-94.
- [10] 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.
- [11] 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能量平衡特征的变化[J].大气科学,2002,26(1):1-8.
- [12] 高庆先,李令军,张运刚,等.我国春季沙尘暴研究[J].中国环境科学,2000,20(6):495-500.
- [13] 肖贤俊,刘还珠,宋振鑫,等.2002年3月19日沙尘暴爆发条件分析[J].应用气象报,2004,15(1):1-9.
- [14] 胡隐樵,光田宁.沙尘暴微气象特征和局地触发机制[J].大气科学,1997,21(5):581-589.
- [15] He Qing, Zhao Jinfeng, Nagashima Hideki. The Distribution of Sandstorms in Taklimakan Desert [J]. Journal of Arid Land Studies, Japan, 1996, 5:185-193.
- [16] 袁素珍,雷孝恩.320米塔上测定的大气稳定度类和风速廓线[J].中国环境科学,1982,2(3):29-34.
- [17] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等.我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征 [C]//中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:1-10.
- [18] Wang Jiemin Y, Mitsuta. Peculiar Downward Water Vapor Flux over Gobi Desert in the Daytime [J]. Journal Meteor Soc, 1990, 68(3):399-401.
- [19] 阎宇平,王介民,玛·曼乃提,等.黑河实验区沙漠戈壁上空“逆湿”的数值模拟[J].气象科学,2001,21(1):36-43.
- [20] 李祥余,何清,艾力·买买提明,等.塔中春季阴天近地层温度、湿度和风速廓线特征分析[J].干旱气象,2007,25(2):22-42.