

# 塔中一次强沙尘暴边界风场变化特征

王柯<sup>1,2</sup>, 何清<sup>1</sup>, 王敏仲<sup>1</sup>, 胡月宏<sup>2</sup>, 韩燕<sup>2</sup>

(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. 63655 部队, 新疆 乌鲁木齐 841700)

**摘要:** 利用风廓线雷达探测资料对 2010 年 4 月 19 日塔中一次强沙尘暴过程中的边界层三维风场进行分析研究。沙尘暴爆发前, 塔中 1 000 m 高度内空中风主导风向由偏东风转为偏西风; 沙尘暴爆发时, 地面至 1 500 m 高度内为偏东风。近地面风速在沙尘暴爆发初期迅速增大至 18.3 m/s, 中后期逐渐变小, 但依然保持 10 m/s 左右的较大风速; 300~1 000 m 高度, 沙尘暴爆发时段的风速小于过程前后; 1 000~2 000 m 高度内, 沙尘暴爆发前风速达到最大, 然后随时间变化呈递减趋势; 3 000 m 以上高空风在沙尘暴爆发期间风速可达 20 m/s。沙尘暴过程中塔中上空存在明显的沙尘颗粒沉降运动, 平均下沉速度为 1.2 m/s。

**关键词:** 塔中; 边界层; 沙尘暴; 风廓线雷达; 风向; 风速

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2013)01-0006-06

沙尘暴是指强风将地面大量尘沙吹起, 使水平能见度小于 1 km 的天气现象<sup>[1]</sup>, 是干旱和半干旱地区常出现的灾害性天气。沙尘暴能导致荒漠化加剧, 直接影响人类的生存环境, 危害极大<sup>[2]</sup>。我国很多学者对沙尘暴的发生源地、产生机制、环境影响及危害进行了多方面的研究和探索<sup>[3-7]</sup>。沙尘暴具有显著的地域性, 我国北方干旱、半干旱地区是沙尘暴的易发区。新疆地处中国西北边陲, 远离海洋, 气候干燥, 沙漠广阔, 是中国沙尘暴的多发区之一<sup>[8]</sup>。塔里木盆地塔克拉玛干沙漠是中国大陆沙尘暴活动最频繁的地方<sup>[9]</sup>。因此, 从气候与环境的角度分析沙尘暴与大风的时空分布特征, 研究沙尘暴发生时的最多风向和最小风速指标, 探讨高空风场与沙尘暴之间的关系, 对于预防沙尘暴对气候和环境的灾害性影响显得尤为重要<sup>[10]</sup>。

乌鲁木齐沙漠气象研究所于 2003 年在塔中架设了 80 m 铁塔梯度观测系统, 可以细致地探测沙漠近地层气象要素垂直梯度的变化<sup>[11-12]</sup>, 其后建立了系留气艇探测系统对塔中边界层进行过一些探测

收稿日期: 2011-04-07

基金项目: 公益性气象行业专项(GYHY201006012); 中国沙漠气象科学研究基金课题(sqj2009013); 国家科技支撑计划项目课题子课题(2008BAC40B05-01); 新疆维吾尔自治区科技攻关项目(200833119); 新疆气象局业务新技术项目(YX200912)共同资助。

作者简介: 王柯(1981-), 男, 工程师, 主要从事气候与环境方面的研究。E-mail: hh070512@sina.com

研究。为了更深入地了解沙漠腹地大气边界层的风场结构, 于 2009 年引入边界层风廓线雷达探测系统并于当年在塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站开展了连续的边界层风场探测研究<sup>[13]</sup>。本文利用风廓线雷达的连续探测资料, 分析了 2010 年 4 月 19 日塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴过程边界层风场变化特征, 有益于深入了解非均匀流动沙漠腹地的风沙活动。

## 1 塔中 4 月 19 日沙尘暴过程描述

2010 年 4 月 19 日, 塔中爆发了一次沙尘暴。4 月 17、18 日塔中为浮尘扬沙天气, 19 日 00:00—13:05 为浮尘天气, 13:05—14:12 出现了短暂的扬沙天气, 沙尘暴于 19 日 14:12 爆发, 其间塔中能见度为 450 m, 16:11 能见度转好, 16:11—18:42 转为扬沙天气, 随后又发展为沙尘暴(18:42—20:18), 能见度降为 450 m, 其间(18:52—19:25)加大至 11.1 m/s。沙尘暴过后, 4 月 20—21 日均为浮尘扬沙天气, 地面风速减弱, 能见度增大, 21 日出现结冰现象。

## 2 塔中 4 月边界层风场特征

4 月, 塔中春季, 边界层风场情况见图 1。总体而言, 高空风从低空到高空, 风速变化呈递增状态, 从地面到 5 000 m 高空, 风速随高度逐渐增加, 地面风最小, 为 1.5 m/s, 主导风向偏东, 到 5 000 m 附近风速达到最大, 为 14.4 m/s, 风向偏西。5 000 m 高度内

空中风的平均风速为 6.3 m/s。1 000 m 高度以下存在着风速切变现象,风切变区分别出现在 100 m 以及 400~500 m 两个高度层,切变区风速为 4 m/s。除去这两个风速切变区外,风速从地面到 1 000 m 高度的变化较小,基本维持在 1.5 m/s 左右。2 800~3 000 m 以及 3 600~3 800 m 为两个风速增幅较大区,与相邻 100 m 高度相比风速增加了 2.2 m/s。1 000 m 高度内平均风速为 2.1 m/s, 2 000~5 000 m 高度内平均风速为 10.7 m/s, 低层风速远小于高层风速。

1 000 m 高度内空中风主导风向偏东,1 000~5 000 m 高度空中风主导风向偏西。

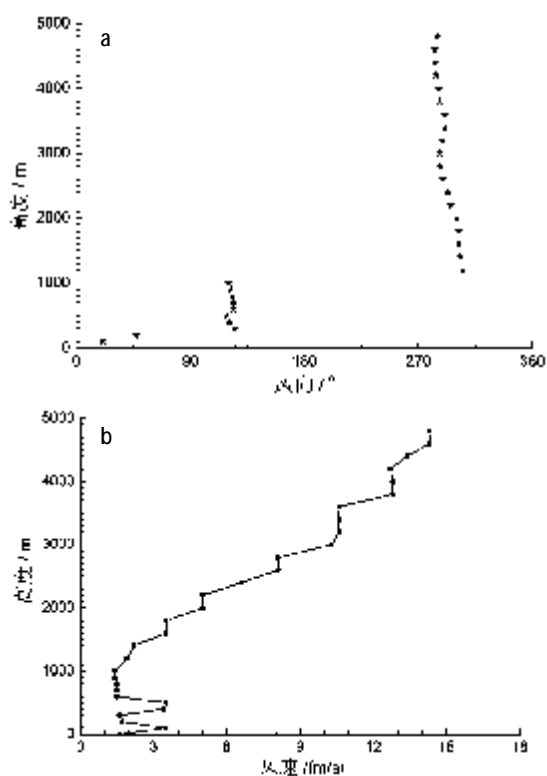


图1 2010年4月塔中边界层风向(a)风速(b)高度分布

### 3 沙尘暴前后 3 d 风向风速随时间变化特征

图 2~5 为沙尘暴前后连续 3 d (2010 年 4 月 18 日至 4 月 20 日) 4 个不同高度层上 (地面、500 m、1 000 m 和 1 500 m) 的风速、风向随时间变化曲线。

4 月 18 日,塔中地面风向多为 NE,风向随时间顺时针偏转,20:00 后转为偏西风;地面风速多在 3.0 m/s 以下,1:41—5:12 塔中出现扬沙天气,风速明显增大,达到 6~8 m/s,18 日全天平均风速为 2.5 m/s (图 2)。

4 月 19 日夜间塔中地面维持静风,风向继续随

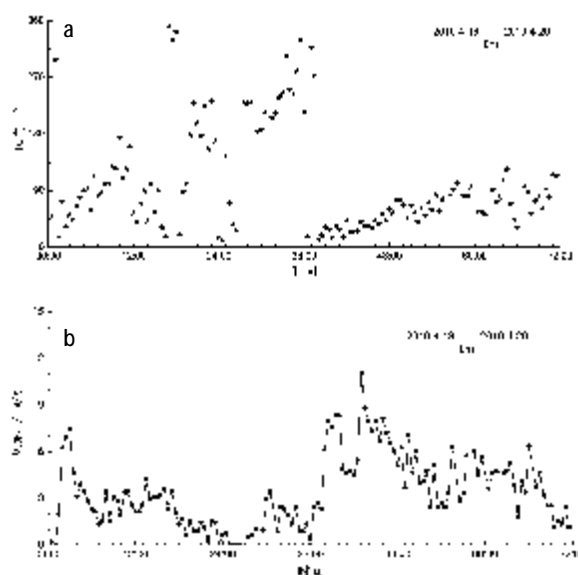


图2 塔中沙尘暴前后 3 d 地面风向(a)、风速(b)变化曲线

时间顺时针偏转,由 SW 转为 NW,19 日 14:12,沙尘暴爆发,风向瞬时转为 NE,风速由 2 m/s 增大至 8 m/s 以上,其后维持为偏东风,16:11—18:42 扬沙天气期间风速减至 4.5 m/s,18:42 沙尘暴再次爆发时,风速迅速增大至 11 m/s,20:18 沙尘暴转为扬沙,风速逐渐减小,整个沙尘暴过程中(14:12—16:11; 18:42—20:18)的风速均在 7.8 m/s 以上。

沙尘暴过后,4 月 20 日塔中地面为偏东风,全天平均风速由 19 日的 4.3 m/s 减至 4.0 m/s。

图 3a 为塔中沙尘暴前后 3 d 500 m 高度层风向变化曲线,从图中可知,4 月 18 日 0:00—12:00,塔中 500 m 高度层风向由 NE 顺时针变化为 S,18 日 13:00 至 19 日沙尘暴爆发前为偏西风,19 日沙尘暴过程中风向迅速转为 NE,沙尘暴过后为偏东风。

图 3b 为塔中沙尘暴前后 3 d 500 m 高度风速变化曲线,4 月 18 日 1:41 塔中出现扬沙天气,500 m 高度风速开始增大,10:30 后风速从 15.3 m/s 开始回落,至 12:00 时减为 1 m/s,之后回升,至 19 日达到沙尘暴前后 72 h 过程中的最大值 21 m/s。18 日平均风速为 7.7 m/s。

19 日 500 m 高度风速变化曲线与 18 日相仿,10:00 达到一个风速波峰后回落,沙尘暴出现前风速减至最小,沙尘暴爆发后风速增大,14:30 达 9 m/s,之后波动上升,至 19 日 24:00 达到 12.9 m/s(19 日最大风速值)。19 日平均风速为 6.5 m/s,沙尘暴过程中(14:12—16:11; 18:42—20:18)风速均值为 4.9 m/s。

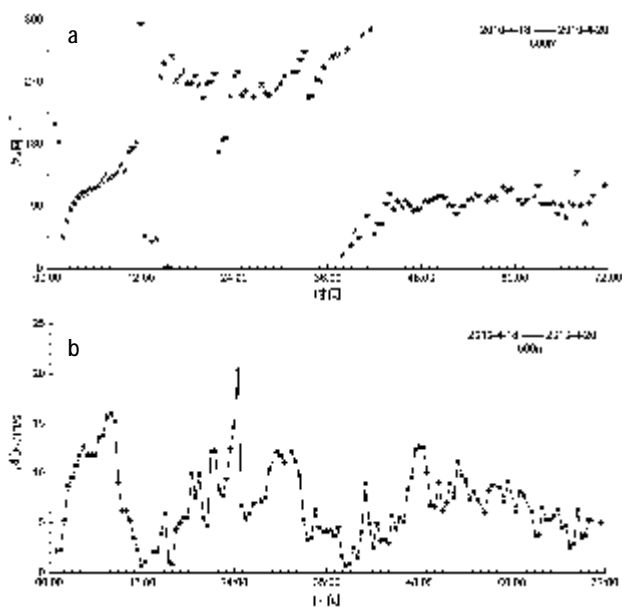


图3 塔中沙尘暴前后3 d 500 m 高度风向(a)、  
风速(b)变化曲线

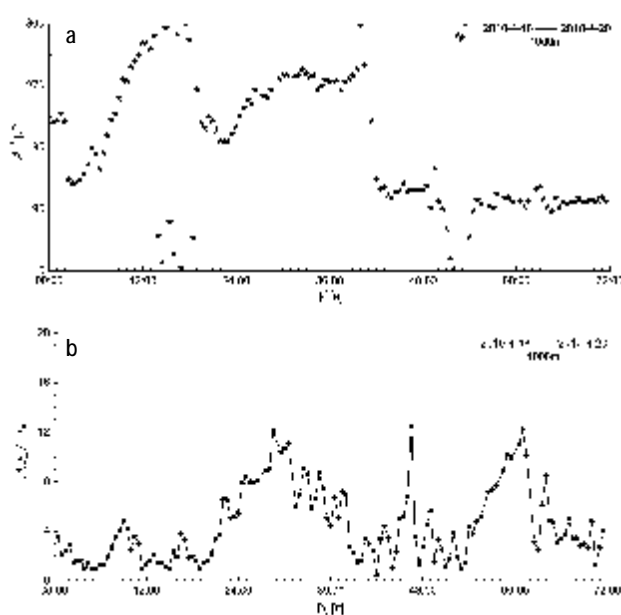


图4 塔中沙尘暴前后3 d 1 000 m 高度风向(a)、  
风速(b)变化曲线

4月20日全天,500 m 高度上的风速平稳减小,风速均值为7.0 m/s。

不同于地面、1 000 m 和 1 500 m 3 个高度层,在 500 m 高度上,塔中沙尘暴天(4月19日)风速均值小于过程前后两天(4月18日、4月20日)。

图4为塔中沙尘暴前后3 d 1 000 m 高度层风向风速变化曲线。与500 m 高度风向变化曲线相仿,4月18日00:00—18:00,塔中1 000 m 高度层风向从SE顺时针变化为NW;18:00—23:00,风向逆时针改变,从NW转化为SW。4月19日00:00—15:00,1 000 m 高度层上为偏西风,沙尘暴爆发过程中,风向转变为偏东风。

4月18日全天,1 000 m 高度层风速较小,平均风速为2.5 m/s。18日23:00至19日3:00风速增大到12 m/s,之后开始减小,沙尘暴开始时降至1.7 m/s,沙尘暴过程中风速变化不大,在1.7~4.3 m/s 间波动,沙尘暴结束后,1 000 m 高度层风速迅速增大,19日23:00达到3 d 内最大值13 m/s。之后的1 h 风速迅速减小,至当日24:00风速减至2 m/s。

4月20日,1 000 m 高度层风速总体呈先增后减的趋势,13:25扬沙天气开始时风速达到当天最大值12.5 m/s。20日的平均风速由19日的6.0 m/s 减至4.7 m/s。

图5为塔中沙尘暴前后3 d 1 500 m 高度层风向风速变化曲线,4月18日00:00至4月19日15:00,塔中1 500 m 高度层风向较为稳定,多为

SW;4月19日沙尘暴过程中风向逆时针改变为SE,20:30沙尘暴过后,风向开始顺时针转为SW。4月20日2:00起,风向从NW顺时针转为NE,随后,4月20日全天为偏东风。

4月18日1 500 m 高度层全天风速较小,平均为4.0 m/s。4月19日00:00起,风速迅速增大,1:00—14:00,风速稳定在9~12 m/s 间。第一个沙尘暴过程中(14:12—16:11),14:30、15:00、15:30、16:00 的风速分别为:8.3、8.8、7.5、6.3 m/s,小于沙尘暴爆

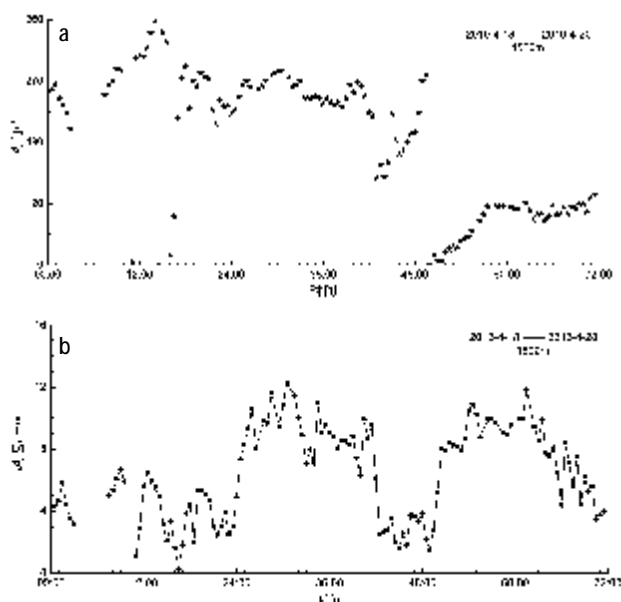


图5 塔中沙尘暴前后3 d 1 500 m 高度风向(a)、  
风速(b)变化曲线

发之前的风速均值;在 13:05—14:12 短暂的扬沙天气过程中,风速迅速减小;第二个沙尘暴过程中,19:00、19:30 和 20:00 的风速分别为:2.7、2.8、3.5 m/s,达到了 19 日全天风速的最小值。

4 月 20 日 1 500 m 高度层风速变化趋势与 1 000 m 高度层相似,总体呈先增后减的趋势,13:25 扬沙天气开始时风速增至当天最大值 11.8 m/s,之后波动减弱,24:00 风速降至 4.0 m/s。4 月 20 日 1 500 m 高度的平均风速与 19 日相同,均为 7.4 m/s。

#### 4 沙尘暴过程中风向风速随高度分布特征

前面已对塔中各高度层风向风速在沙尘暴过程前后 3 d 内随时间的变化情况进行了分析,为进一步了解强沙尘暴天气过程中边界层风场变化特征,需对沙尘暴天气风场高度分布特征进行研究。雷达资料显示 4 月 19 日 17:00(沙尘暴过程中)测站下沉运动较为强烈,平均下沉速度达到 1.2 m/s,经过分析认为产生较强沉降运动的原因为:塔中地区不是本次沙尘暴的源头区域,沙尘暴产生后,上游地区沙尘被地面大风吹起,经空中风传送到本场时,沙尘粒子由于重力效应产生沉降。

现在对 4 月 19 日 15:00、16:00、19:00 和 20:00 的风向风速随高度分布的特征展开分析,所选 4 个时间点都处于沙尘暴过程中。

图 6 为 4 月 19 日 15:00 风向风速随高度的分布曲线,15:00 为沙尘暴爆发初期,地面及近地层风速很大,地面、50 m 和 100 m 高度的风速分别为:7.6、13.2、18.2 m/s。随高度增大风速迅速减小,150~900 m 高度内风速很小,平均值仅为 0.9 m/s,1 000~2 200 m 高度风速随高度升高而增大,2 200 m 以上风速变化较小,稳定在 13.0 m/s 左右。

15:00 时,700 m 高度以下风向较乱,各个风向均有出现,700 m 以上风向为偏西风,随高度升高风向由 NW 逆时针变化为 SW。

图 7 为 4 月 19 日 16:00 风向风速随高度的分布曲线,由图可知:16:00 地面及近地层风速减小,地面和 200 m 的风速分别为:8.3 m/s 和 5.1 m/s,但依然明显大于 1 200 m 内其他高度层的风速。250~1 200 m 高度内风速很小,平均值为 1.3 m/s,1 200~2 200 m 高度内,风速与高度成正比,2 200 m 高度风速为 14.1 m/s,与 15:00 相同,2 200 m 高度以上风速变化较小,稳定在 13.4 m/s 左右。

700 m 高度以下风向为 NE,800~1 200 m 高度风向逆时针变化为 NW,其上多为 SW。

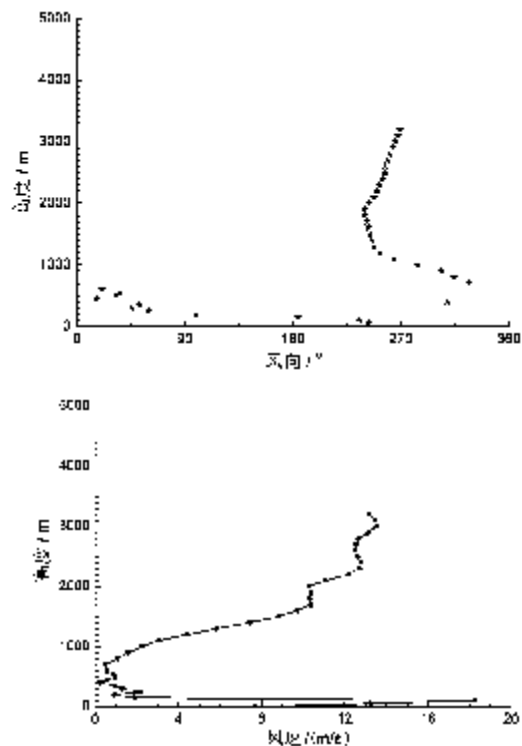


图 6 4 月 19 日 15:00 沙尘暴过程中风向、风速随高度分布

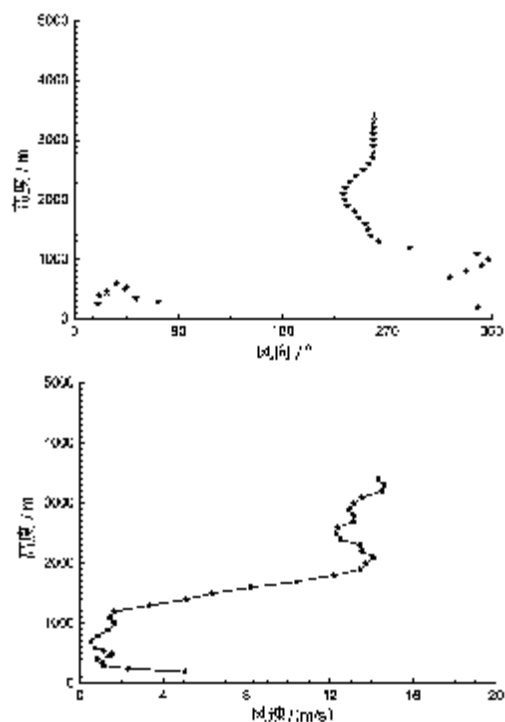


图 7 4 月 19 日 16:00 沙尘暴过程中风向、风速随高度分布

图 8 为 4 月 19 日 19:00 风向风速随高度分布曲线,由图可知:地面风速较大,近地层风速稍小于地面风速,地面、50 m 和 100 m 高度上的风速分别

为:11.1、7.5、4.6 m/s。“低风速层”厚度增高至 1 700 m,风速平均值为 2.9 m/s。“风速快速增大层”随之升高,16:00“风速快速增大层”范围为 1 200~2 200 m,19:00的“风速快速增大层”范围升高为 1 800~3 100 m,此高度范围内风速与高度成正比,风速从 1 700 m 高度层的 1.9 m/s 快速增加到 3 100 m 高度层的 20.8 m/s。3 100 m 高度以上风速变化不大,稳定在 20.0 m/s 左右。19:00 时整层内的最大风速从 16:00 的 14.6 m/s 增大至 20.9 m/s。

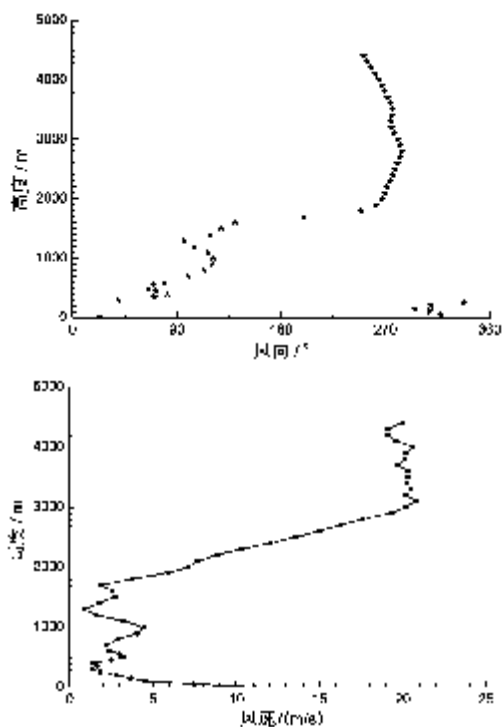


图8 4月19日19:00沙尘暴过程中风向、风速随高度分布

300 m 高度以下风向为 NW,300 m 高度以上风向顺时针变化,350~1 700 m 高度内多为偏东风,其上转为偏西风。

图9为4月19日20:00风向风速随高度的分布曲线图,由图可知:20:00近地层风速已经很小,但地面风速依然保持 7.9 m/s 的较大值,1 800 m 高度内风速变化不大,平均值为 2.2 m/s,1 900~4 100 m 风速随高度升高迅速增大,至 4 100 m 高度层风速增至整层最大值 22.2 m/s。

20:00 时 300 m 高度以下为偏西风,350~1 500 m 高度内多为偏东风,1 800 m 高度以上多为偏西风。

图10为塔中4月19日沙尘暴日11、15、19、23时的风速廓线图,11:00为沙尘暴过程前,15:00、

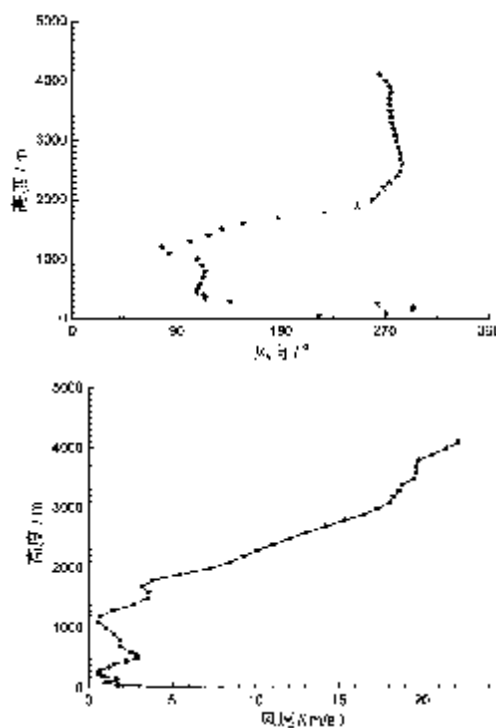


图9 4月19日20:00沙尘暴过程中风向、风速随高度分布

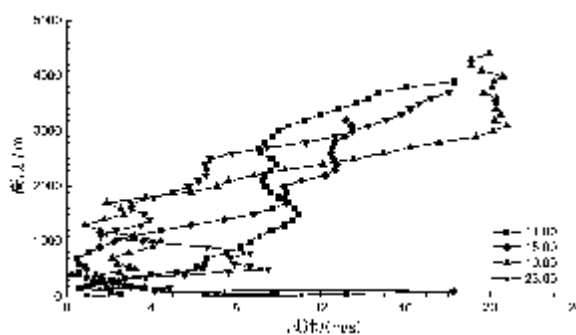


图10 沙尘暴日11、15、19、23时风速廓线

19:00为沙尘暴爆发过程中,23:00为沙尘暴过程后。从图中可知,沙尘暴过程中各高度层风变化剧烈,15:00沙尘暴爆发初期,近地面风速由11时的 2.6 m/s 激增至 18.3 m/s,19、23时逐渐变小,但依然保持 10 m/s 左右的较大风速;在 300~1 000 m 高度,沙尘暴爆发过程中风速小于过程前后;1 000~2 000 m 高度内,11、15、19、23时风速随时间推进呈递减趋势;整个沙尘及过程前后,3 000m 以上高度风速较大。

### 5 结论

4月,塔中在没有明显天气过程的情况下,1 000 m 高度以内多为偏东风,其上多为偏西风;

0~1 500 m 风速一般不超过 4 m/s, 平均风速为 2.1 m/s。

此次强沙尘暴天气过程中,沙尘暴爆发前,1 000 m 高度内风向由东转西,在沙尘暴开始爆发时,1 500 m 高度内地面及空中风都转为偏东风。近地面风速在沙尘暴爆发时迅速增大,地面最大风速为 11 m/s,100 m 高度层的风速达到了 18 m/s,沙尘暴过后近地面风速缓慢减小;500~1 500 m 高度层上,沙尘暴爆发前后风速迅速增大,最大风速为 12 m/s,沙尘暴爆发期间风速较弱,稳定在 5 m/s 以内;3 000 m 以上高空风在沙尘暴爆发期间风速可达 20 m/s。

另外,沙尘被地面大风吹起后由于重力产生沉降的拖曳作用,沙尘暴过程中塔中上空存在明显的沙尘颗粒沉降运动,平均下沉速度为 1.2 m/s。

#### 参考文献:

- [1] 中央气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,1979:21-27.
- [2] 侯少龙,侯春艳,高勇.沙尘暴的成因与危害及防治对策[J].陕西环境,2003,10(3):19-20.
- [3] 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.
- [4] 王式功,董光荣,杨德保,等.中国北方地区沙尘暴爆发趋势初探[J].自然灾害学报,1996,5(2):86-94.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 陈洪武,王旭,马禹.大风对新疆沙尘暴的影响[J].北京大学学报,2003,39(2):187.
- [9] 王旭,马禹,陈洪武,等.南疆沙尘暴气候特征分析[J].中国沙漠,2003,23(2):147-149.
- [10] 徐海量,陈亚宁.塔里木盆地风沙灾害危险性评价[J].自然灾害学报,2003,12(2):36-37.
- [11] 何清,魏文寿,李祥余,等.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[J].沙漠与绿洲气象,2008,2(6):6-11.
- [12] 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):22-28.
- [13] 王敏仲,魏文寿,何清,等.边界层风廓线雷达资料在沙尘天气分析中的应用[J].中国沙漠,2010,31(2):352-356.

## The Wind Character of Boundary Layer During a Strong Sandstorm in Tazhong

WANG Ke<sup>1,2</sup>, HE Qing<sup>1</sup>, WANG Minzhong<sup>1</sup>, HU Yuehong<sup>2</sup>, HAN Yan<sup>2</sup>

(1. Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2.63655 unit, Urumqi 841700, China)

**Abstract** The wind character of Boundary layer during sandstorm in Tazhong was given by using the wind profiler radar. The main results are given as follows: April 19 2010 in Tazhong, wind direction changed from east to west below the 1 000 m altitude before the outbreak of the sandstorm. When the sandstorm occurs the wind direction was east below the 1 500 m altitude. Wind speed near ground increased rapidly to 18.3 m/s during the forming of sandstorm. When the sandstorm occurs the wind speed decreased to 10 m/s. In the altitude range of 300 m to 1 000 m the wind speed was lower during the sandstorm. In the altitude range of 1 000 m to 2 000 m the changes of wind speed was the same as near ground. Wind speed in above 3 000 m was as high as 20 m/s during the sandstorms. There was a significant sedimentation of sand over the area during the sandstorms, the average sinking speed was 1.2 m/s.

**Key words** Tazhong; boundary layer; sandstorm; wind profiling radar; wind direction; wind speed