

杨帆,郑新梅,努尔阿米娜·依明,等.巴丹吉林沙漠北缘沙尘天气过程中近地面气象要素变化及风沙流结构分析[J].沙漠与绿洲气象,2015,9(4):67-74.

doi:10.3969/j.issn.1002-0799.2015.04.011

巴丹吉林沙漠北缘沙尘天气过程中近地面气象要素变化及风沙流结构分析

杨帆^{1,2},郑新倩³,努尔阿米娜·依明⁴,阿吉买买提·日西提⁴,杨兵⁵,王会青⁶

王毅⁷,崔勇超⁵

(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.塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站,新疆 塔中 841000;3.新疆农业气象台,新疆 乌鲁木齐 830002;4.喀什地区气象局,新疆 喀什 844000;5.乌鲁木齐市米东区环境保护局,新疆 乌鲁木齐 831400;6.皮山县气象局,新疆 皮山 845150;7.拐子湖气象站,内蒙古 阿拉善盟 735400)

摘要:利用2013年春季在巴丹吉林沙漠北缘拐子湖地区的沙尘暴加强观测资料,对比分析该地区典型流动沙面晴天、扬沙和沙尘暴三种天气背景下各气象要素的变化特征及差异,以便进一步了解沙尘天气过程中近地层风沙活动特征。结果表明:随风速增加沙尘天气强度逐步提升且沙尘天气来临前风速、风向均表现出明显的调整现象,风向调整时风速减弱,此后爆发过程中风速、风向相对稳定。随沙尘天气强度增加气温逐渐减小,同时地面气压不断升高。悬浮的沙尘颗粒削弱了到达地面的太阳辐射,进而导致研究区各层地温有减小趋势,但减小程度相对较弱,使沙尘天气下各层地温仍保持良好的梯度变化和正弦型日变化趋势。春季该研究区起沙风速为6.5 m/s,输沙通量垂直分布状况在20 cm左右具有明显的分段现象。地表100 cm内总输沙量的50%和90%分别集中在地表20 cm和56 cm高度以内。观测期间整个5月地表0~100 cm高度内的输沙通量为195.13 kg/m。

关键词:巴丹吉林沙漠;沙尘天气;气象要素;起沙风速;风沙流结构

中图分类号:P458

文献标识码:B

文章编号:1002-0799(2015)04-0067-08

沙尘暴是强风将地面大量沙尘吹起,使空气变得相当浑浊,地面水平能见度小于1 km的剧烈灾害性天气现象^[1],强风、热力不稳定和沙尘源是其形成的3个必要条件^[2-3]。人类不合理的活动是目前沙尘暴频发的主要原因之一^[4]。常发生于我国西北广袤的干旱、半干旱地区,能够对工农业生产、交通运输、人民生活 and 身体健康等多方面产生严重危害^[5],因此对沙尘暴的研究逐渐成为国内外众多学者关注的焦点问题之一。

近20 a,随着我国北方数次破坏性较强沙尘天气的发生,沙尘暴也得到了系统研究。众多学者分析了我国沙尘天气的气候特征及空间分布差异,均认为西北干旱、半干旱地区是沙尘暴的频发区,其中河西走廊、阿拉善高原、南疆盆地南缘及内蒙古中部是沙尘暴的主要源区^[6-9]。胡隐樵等分析了强沙尘暴过程的微气象特征,并指出大尺度的天气形势、中尺度的干飚线以及局地热力不稳定的相互作用是引起黑风暴形成和发展的物理机制^[10]。牛生杰^[11]认为沙尘暴的发生与冷空气的活动及其产生的大风密切联系,多发生在午后到傍晚地面处于明显的热力不稳定状态,热对流发展最为强盛,若遇冷空气过境,极易激发热对流发展从而产生沙尘暴天气。胡泽勇^[12]分析了敦煌地区一次沙尘暴过境时地面气象要素的变化情况,指出沙尘暴发生前后各气象要素均有明

收稿日期:2014-04-30;修回日期:2014-10-27

基金项目:国家自然科学基金(41175017、41175140);中国沙漠气象科学基金(SQJ2012015);公益性行业专项(GYHY201306066)联合资助。

作者简介:杨帆(1987-),男,助理研究员,主要从事地气相互作用野外观测研究。E-mail:yangfan309@yeah.net

显变化且地表能量平衡关系被打破。胡文峰等^[13]对内蒙古拐子湖地区沙尘暴过程中近地面气象要素进行分析,发现沙尘暴过境前风速、风向要经过一个波动调整加速过程且高温低湿的地面状态有利于地表起沙。在风沙活动方面,Dong等^[14]和俎瑞平等^[15]在塔克拉玛干沙漠周边及腹地进行了大量研究。何清、杨兴华等以塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站为基地,涵盖沙漠腹地塔中、北缘肖塘、哈德、东缘若羌,对自然条件下的风沙活动开展了较为长期的野外观测^[16-17]。这对于评价沙尘灾害和提出合理防治措施,分析沙尘暴的发生、演变和消弱有着十分重要的意义^[4]。总体来说,目前对沙尘暴的时空分布、形成和发展机制、监测、预报模拟、变化趋势及对环境气候的影响等方面均有报道且近地层风沙活动多集中于室内风洞模拟或短期野外观测,但对于沙尘暴过程中各气象要素的变化及恶劣沙尘天气下的风沙活动特征的研究却略显不足。

鉴于此,本文利用2013年春季巴丹吉林沙漠北缘拐子湖地区沙尘暴加强观测资料,通过对比分析典型流动沙面在晴天、扬沙和沙尘暴三种天气背景下各气象要素的变化及差异,以便进一步了解沙尘天气过程中近地层风沙活动特征,这对于深入理解沙尘暴的形成和危害及沙物质的输送具有重要意义,并对于改善人类生存环境具有现实意义。

1 数据来源与研究方法

拐子湖位于内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗地区,整体处于巴丹吉林沙漠北缘的戈壁沙漠中,属典型的内陆温带荒漠气候,干旱少雨,蒸发量大,年平均气温9.2℃,最高气温44.8℃,最低气温-30.7℃。年均降水量仅42.9 mm,蒸发量却高达4 217.9 mm,为降水量的近百倍^[13]。这里风沙活动频繁是内蒙古强和特强沙尘暴主要多发地区之一,同时也是我国沙尘暴北移路径的必经之地^[18],总体以西风为主,年均8级以上大风约58次,沙尘暴30 d左右,历史最高风速为38 m/s。干旱、高温、大风、沙尘暴多是这里的主要气候特点。

所用资料来自于拐子湖气象站以南800 m处,由中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所建立的通量观测系统,地处41°22'N,102°22'E,海拔960 m。整个系统处于流动沙面上,周围地势平坦开阔,包括梯度观测和风沙活动监测两部分(表1)。近地表风沙流输沙量的观测采用高度100 cm的直立式方口积沙仪,共分50层,每2 cm一个采样口,进沙口横截

面积为4 cm²,空气中的沙物质在通过采样口时可被收集在相应的积沙盒中,于每次沙尘天气结束后收取沙样并称重。

表1 观测设备及型号

设备名称	型号	生产厂家	观测高度/m
风速仪	010C-1	Met One Instruments, Inc.	0.5, 1, 2, 4, 10
风向仪	020C-1	Met One Instruments, Inc.	2, 10
空气温湿度	HMP45C	VAISALA	0.5, 1, 2, 4, 10
气压传感器	CS100	Setra Systems, Inc.	2
四分量辐射传感器	NR01	Hukseflux Thermal Sensors B.V.	1.5
土壤湿度	CS616	Campbell	-0.05, -0.1, -0.2, -0.4
土壤温度	109L	Campbell	0, -0.05, -0.1, -0.2, -0.4
风蚀传感器	H11-LIN	Sensit	0.05, 0.1
数采器	CR1000	Campbell/USA	1

根据气象对天气类型的定义,从2013年沙尘暴强化观测资料中选取4月26日、5月12日和5月8日作为拐子湖春季的典型晴天、扬沙和沙尘暴天气。扬沙天气实况为:6:35—18:17出现扬沙,风速为6.70~14.1 m/s。沙尘暴天气实况为:8:10—12:13为扬沙天气,风速为5.69~13.03 m/s,12:14—18:22由扬沙天气转为沙尘暴,其风速为7.41~17.81 m/s,能见度为100 m。通过这三种天气条件下各气象要素对比,从而了解沙尘天气过程对近地面气象要素的影响,以便对沙尘天气过程中的风沙活动特征有进一步认识。

2 结果与分析

2.1 不同天气背景下地面各气象要素特征对比分析

2.1.1 风速和风向

强风是吹起地面沙尘的主要动力,因此风是沙尘天气监测的重点要素之一。通过分析三种天气背景下研究区10 m高度处风速、风向随时间序列的变化可以看出(图1):晴天、扬沙和沙尘暴天气下地面风速和风向差异较大,其中晴天全天风速较小,多数时段保持在4.0 m/s以下,部分时段甚至出现静风现象,相应的风向却稳定度较差;扬沙天气背景下,00:00—4:27 10 m风速和风向较为稳定,均呈波动式起伏变化,风速维持在4.16~7.21 m/s之间,风向以西风为主,4:28风速突然降低,在5:33时达到3.78 m/s,进入调整期,此后风速急剧增加为13.37 m/s,并开始出现扬沙,直到18:04始终维持较高风速,相应时段内风向在风速急剧增加前也出现调整,

此后随着风速增加扬沙出现,风向保持相对稳定,始终围绕西北方向波动变化。从 18:05 开始风速迅速下降,19:42 风速下降到 4.21 m/s,在此期间风向也开始逐渐从西北方向向西西南过渡。此后风速变得平稳,维持在 5 m/s 左右;与扬沙天类似,沙尘暴出现前 10 m 高度风速也表现出迅速下降后急剧增加的调整期,随风速的不断增加,8:10—12:13 扬沙天出现,此后风速继续增加,最高时达到 17.81 m/s,扬沙天气逐渐升级为沙尘暴,能见度仅为 100 m。相应时段内风向的变化与风速较为一致,也表现出强风来临前的调整,西南—西西南—西西北,此后随着风速增加扬沙和沙尘暴的出现,风向在西北和西西北方向保持相对稳定。17:31 风速开始迅速下降,19:59 达到 3.47 m/s,随后风速虽有微弱上升过程,但总体仍处于不断降低状态,风向也由西北向西西南过渡,并在风速迅速降低过程中有两次较大调整。总体来看,随着 10 m 高度风速增加沙尘天气强度逐步提升。沙尘天气来临前地面水平风速会经历突然下降后迅速增加的过程,同时风向也表现出较明显的多次调整,风向调整时风速减弱,此后沙尘天气爆发过程中风速增加,风向相对较为稳定。

2.1.2 气温和相对湿度

晴天、扬沙和沙尘暴天气下研究区 2 m 高度气温和相对湿度虽各有不同,但均表现出明显的日变化趋势(图 2)。对于气温来说,三种不同天气背景下气温均表现出日出前波动减小,日出后迅速升高,午后达到日峰值后开始缓慢降低的趋势,但同时三者间也存在明显差异,晴天、扬沙和沙尘暴天气分别在中午 14:53、14:10 和 13:23 达到日最高气温 30.68 °C、27.60 °C 和 20.97 °C。然而对于相对湿度来说,其日变化趋势基本与气温相反,分别于 11:55、16:17、15:57 达到日最小值 3.24%、4.71%、5.02%。总体来说,三种不同天气背景下研究区 2 m 高度气温和相对湿度均表现出明显相反趋势且随着沙尘天气强度增加地面气温逐渐减小。

2.1.3 大气压强

通过对三种不同天气背景下研究区 2 m 高度气压进行分析(图 3),可以看出 5 月 5 日和 5 月 6 日气压较低,5 月 7 日到 5 月 9 日气压不断攀升,5 月 9 日以后气压迅速降低,其中 5 月 8 日发生强沙尘暴天气,其气压处于 905 hPa 以上,属高气压控制。与之相对,晴天和扬沙天气下气压相对较小且两者相差不大。总体来说,沙尘暴过境地面气压不断升高,逐渐从低气压向高气压过渡,总体增加了

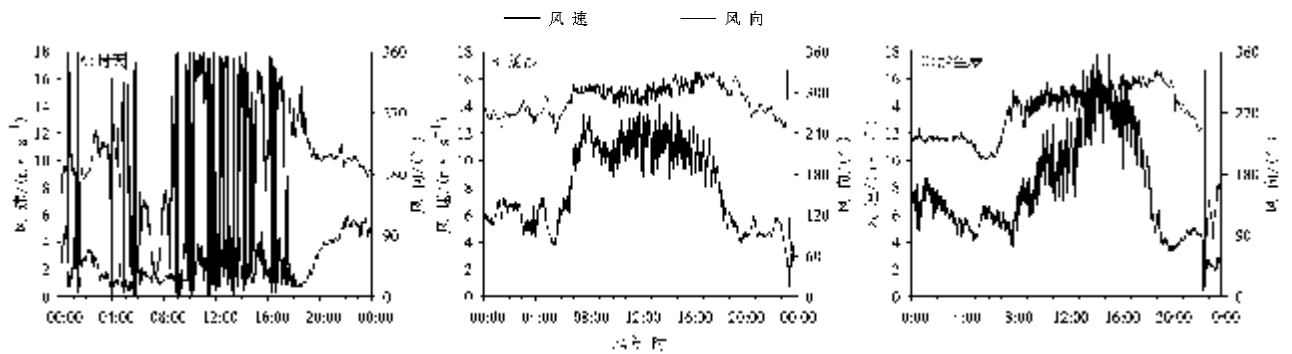


图 1 10 m 高度水平风场随时间的变化状况

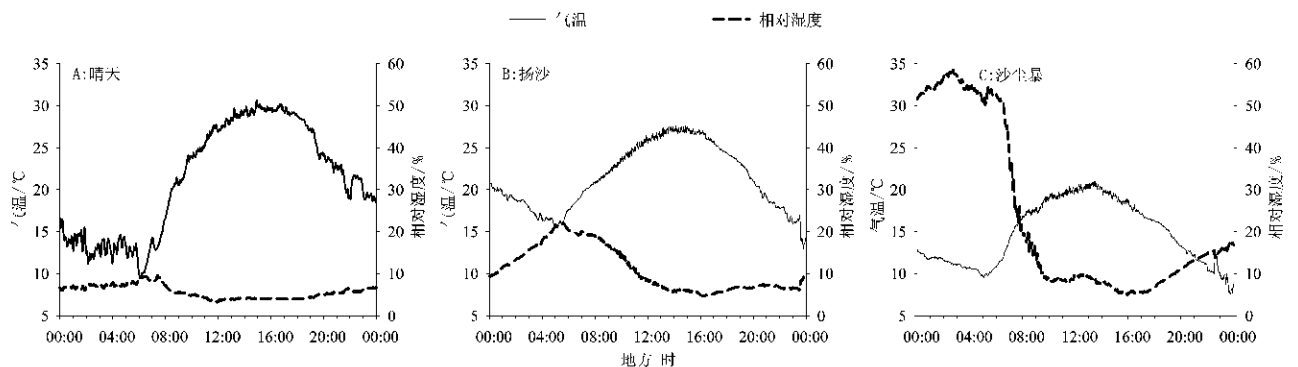


图 2 2 m 高度气温和相对湿度随时间的变化状况

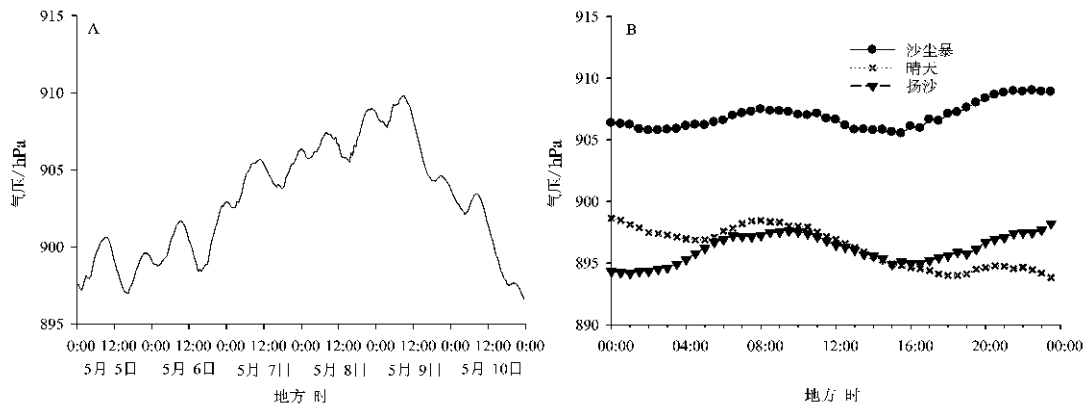


图3 2 m 高度气压随时间的变化状况

28 hPa。

2.1.4 土壤温湿度

地温的变化主要取决于太阳辐射和地表辐射的影响^[29]。从地温随时间序列的变化(图4)可以看出,晴天、扬沙和沙尘暴三种不同天气背景下研究区各层地温均表现出良好的梯度变化且正弦型日变化趋势明显,具有较高的相似性。其中,0 cm 地温变化与对应天气下的气温同步性较高,而5 cm 以下土层因热量传输相对于空气热对流效率较差,导致随土层深度增加地温变化的时滞现象越发明显。随着沙尘天气强度的增加,大气中悬浮沙尘颗粒的增多定会

影响到达地面的太阳辐射,因而导致从晴天—扬沙—沙尘暴,各层地温均有不同程度减小且随着土层深度的增加地温受到沙尘影响的作用也在减弱,其中0 cm 和5 cm 地温的减弱程度相对较大,而40 cm 几乎保持恒温,表明其基本不受沙尘天气影响。此外,从土壤湿度随时间序列变化可以看出,三种不同天气背景下各层土壤湿度均表现出随土层深度的增加而升高的梯度变化,同时日变化趋势减弱,20 cm 深度时土壤湿度基本保持稳定且维持在较高水平,不同天气背景对其的影响效应却并不明显。总体来看,相比李祥余等^[29]对塔中地区沙尘暴过程中地

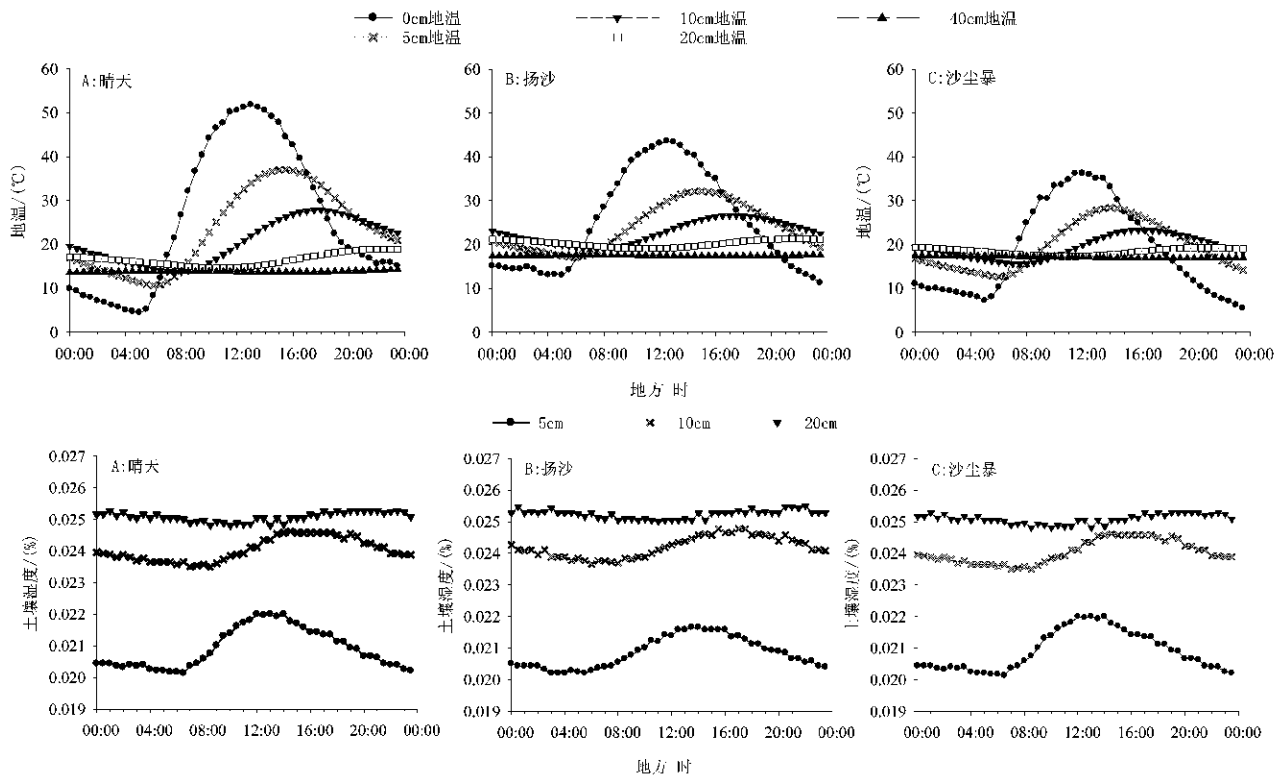


图4 地温和土壤湿度在不同天气背景下随时间的变化状况

温变化的研究来说,尽管悬浮的沙尘会导致拐子湖流动沙地各层地温有减小趋势,但减小程度相对塔中地区较弱,使扬沙和沙尘暴天气下各层地温仍保持良好的梯度变化和正弦型日变化趋势。

2.2 沙尘天气下的风沙活动特征

2.2.1 起沙风速

为了对拐子湖地区沙尘天气过程中近地层风沙活动特征有所了解,特利用 H11-LIN 型风蚀传感器对拐子湖地区 2014 年 5 月的 4 次沙尘天气进行监测,这 4 次沙尘天气分别发生于 5 月 8 日(沙尘暴)、12 日(扬沙)、18 日(沙尘暴)和 30 日(沙尘暴)正午前后。从图 5 给出的 4 次沙尘天气背景下地表 5 cm 处沙粒跃移数量与对应 2 m 高处 1 min 平均风速的关系可以看出,当风速增大到足以让地表沙粒开始运动时,便称此临界风速为起沙风速^[20]。研究区风速在 6.5 m/s 以下时,没有沙粒撞击传感器的记录,当风速大于 6.5 m/s 时,传感器监测到地表有沙粒发生跃移运动,并且随着风速的增加跃移沙粒数量也随之增加,两者间呈良好的幂函数关系。其中在 6.5~10 m/s 的风速区间内,撞击颗粒数随风速增长速率较慢,而大于 10 m/s 时急剧增加。在此可认为拐子湖地区 2 m 高度风速达到 6.5 m/s 时沙粒脱离地面发生跃移,以此风速近似作为该地区的临界起沙风

速。

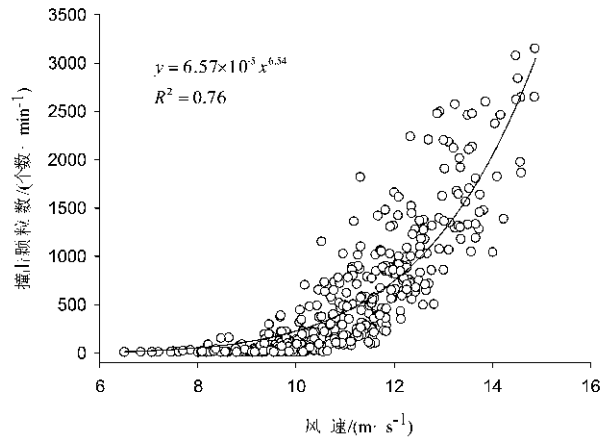


图 5 跃移撞击颗粒数与 2 m 高度风速的关系

2.2.2 风沙流结构特征

风沙流结构用于表征风沙流中沙粒随高度的变化特征,反映了不同轨迹运动沙粒在垂直方向上的宏观表现,在风沙研究中占据重要位置^[17]。在特定风速下,地形、沙物质粒度组成、矿物成分和下垫面性质等成为影响风沙流结构的主要因素^[21]。通过对 5 月 8 日、12 日、18 日和 30 日 4 次典型沙尘天气背景下方口集沙仪所收集的输沙数据进行分析后发现(图 6),尽管各次沙尘天气发生的时间、强度及风速

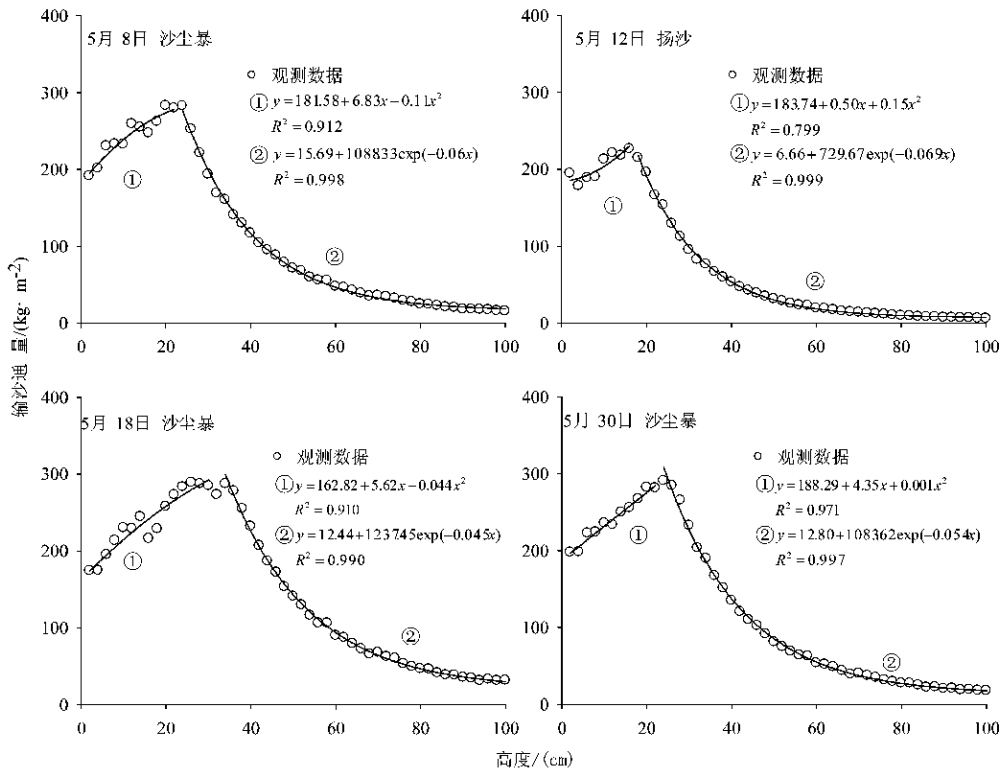


图 6 不同高度输沙通量分布状况

等均不相同,但输沙通量随高度变化的趋势却极为相似。其中值得注意的是地表输沙通量以 20 cm 左右为界,地表 0~20 cm 以内,输沙通量并非像其他研究所述的会随高度的增加而递减,与之相反输沙通量会随高度的增加呈波动型增加趋势。20 cm 以上,输沙通量随高度的增加整体均呈递减状态,其中 20~50 cm 范围内降低速率较高,此现象在张克存和屈建军对戈壁地区风沙流的研究中也有发现,并被称作“象鼻效应”^[23]。此外,通过对 4 次沙尘天气下输沙通量累计百分比的平均值进行分析后发现(图 7),地表 100 cm 内总输沙量的 50% 主要集中在 0~20 cm 以内,70% 和 90% 的输沙量主要集中在 0~30 cm 和 0~56 cm 高度以内。总体来看,拐子湖地区沙尘天气下地表 1 m 以内的输沙通量以 20 cm 左右为界,具有明显的分段现象即整体表现出明显的“象鼻效应”。

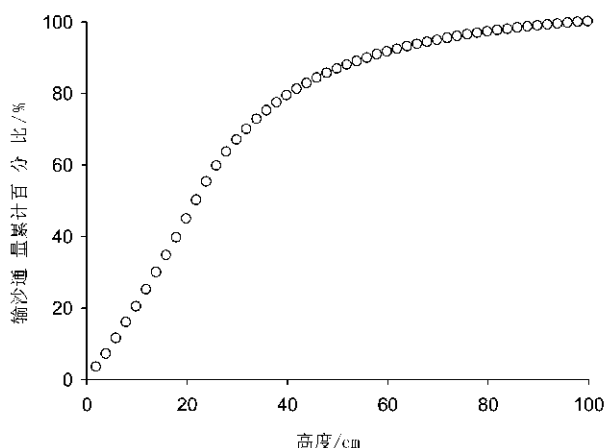


图 7 输沙通量累积百分数随高度的变化

2.2.3 实测输沙量

进一步对地表 100 cm 内输沙通量进行拟合分析,其输沙通量垂直分布整体较为符合方程:

$$\begin{cases} q(z) = az^2 + bz + c & 0 \leq z < 20 \\ q(z) = d \exp(ez) + f & 20 \leq z \leq 100 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $q(z)$ 为对应高度的输沙通量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$), z 为距离地表的高度 (cm), a, b, c, d, e, f 均为待定参数。根据方程,可估算拐子湖地区 2013 年 5 月共发生的 4 次沙尘天气下近地表 100 cm 高度内单位宽度的水平输沙通量:

$$\begin{cases} Q_1 = \int_0^{20} q(z) dz = \int_0^{20} (az^2 + bz + c) dz & 0 \leq z < 20 \\ Q_2 = \int_{20}^{100} q(z) dz = \int_{20}^{100} (d \exp(ez) + f) dz & 20 \leq z \leq 100 \end{cases} \quad (2)$$

通过此方程求解可得 2013 年 5 月 4 次沙尘天气下,地表 0~20 cm 高度以内的输沙量分别为: 40.11 kg/m、29.41 kg/m、49.10 kg/m、41.53 kg/m, 20~100 cm 输沙量分别为: 11.77 kg/m、5.39 kg/m、8.21 kg/m、9.61 kg/m。这 4 次沙尘天气下 0~100 cm 高度以内输沙量共 195.13 kg/m。

3 结论

初步研究了拐子湖地区典型流动沙面在沙尘天气背景下近地面各气象要素及沙尘天气过程中的风蚀起沙特征,发现风力作为沙尘天气爆发的动力因素,不仅随着地面风速的增加沙尘天气强度逐渐升级,而且沙尘天气来临前风速会经历突然下降后迅速增加的过程,同时风向也表现出较明显的多次调整,风向调整时,风速减弱,而调整后,风速增加。这样的调整现象与大多数沙尘暴风场分析的结果一致,如胡泽勇^[12]、温雅婷^[24]、李帅^[25]分别对敦煌和南疆沙尘暴风场的分析,其均指出沙尘暴过程中风向调整期间风速有减小趋势,甚至会有静风现象的发生,而在每次风向调整后的稳定期,风速有增加趋势。但对于其形成原因和发生过程并未深入探讨,因此对于风场调整现象的发生机制有待进一步深入研究。值得注意的是相对于敦煌 2000 年 6 月 4 日和塔中 2006 年 4 月 8 日两次沙尘暴天气,拐子湖此次沙尘暴过程中风速从最小值快速攀升至最大值的增加速率介于两者之间,10 min 内风速的最大增幅为 5.36 m/s,其中敦煌最大,可达 9.43 m/s,塔中最小,仅为 2.30 m/s。

随着沙尘天气强度的增加地面气温和各层土壤温度均有不同程度降低,这是由于强沙尘天气下更多悬浮的沙尘颗粒削弱了到达地面的太阳辐射,从而使土壤温度和近地面气温有所减小^[19]。然而值得注意的是,相对于塔克拉玛干沙漠^[19]、敦煌^[12]、锡林浩特^[26]等多地沙尘天气下对近地面气温和土壤温度较为强烈的影响来说,拐子湖地区沙尘天气对气温和土壤温度的影响相对较小,使沙尘天气下的气温和土壤温度虽有减小,但仍能保持良好的日变化趋势和梯度变化,这是由于巴丹吉林沙漠地表沙粒平均粒径 ϕ 值为 1.6~1.8, 250~500 μm , 根据霍文等^[27]对塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙地沙尘粒度参数进行分析比较,巴丹吉林沙漠沙粒平均粒径相对偏粗,沙尘天气下悬浮颗粒较少,扬尘少有发生,使沙尘天气对太阳辐射的削减程度相对较小造成的。同时也正因如此,

与敦煌^[12]、南疆^[24,28]等多地沙尘暴过程中的降温增湿不同,拐子湖沙尘天气过程中气温虽有减小,但并不强烈且日变化趋势明显,从而导致拐子湖沙尘天气下相对湿度始终较小且较为稳定,并无降温增湿的现象发生,这与胡文峰^[13]对拐子湖沙尘暴过程中气温和相对湿度的分析结论类似。此外,对于地面气压来说,拐子湖5月8日沙尘暴与敦煌2000年6月4日^[12]和南疆2006年4月10日^[24-25]沙尘暴过境前后,地面从受低气压控制变为高压控制的现象相同,说明这三次沙尘暴均是由高压过境所致,其中南疆沙尘暴地面气压增加幅度最大,拐子湖次之,敦煌最小,分别为41.2 hPa,拐子湖为28 hPa,敦煌为14 hPa,高压持续时间依次为26 h、22 h、12 h。

拐子湖地区春季2 m高度1 min时距的起沙风速为6.5 m/s,这一结果比塔克拉玛干沙漠多数地区的观测值都大^[17,20],分析其原因这依然是受当地沙粒粒径相对偏粗的影响。该地区沙尘暴过程中的输沙通量垂直分布状况在20 cm左右具有明显的分段现象即整体表现出明显的“象鼻效应”,20 cm以内输沙通量随着高度增加而增加,20 cm以上输沙通量随高度的增加呈指数递减。其中0~20 cm的输沙量占地表100 cm内总输沙量的50%左右,0~56 cm的输沙量占90%。此现象与屈建军^[29]和张克存^[30]在戈壁地表进行的输沙通量观测结果相似,但异于塔克拉玛干沙漠塔中、北缘过渡带肖塘及南缘策勒地区输沙通量随高度增加呈幂函数递减。这可能是由于拐子湖流动沙地地表沙粒粒径较粗,地面紧实,跃移的大沙粒在空中受到风力加速从而获得更多能量,下落后与戈壁地表类似,沙粒与地表近似弹性碰撞,自身反弹的同时溅起其他沙粒,反弹的沙粒集中在地表20 cm左右,从而使得地表输沙通量在垂直方向上发生明显的分段现象^[21-23]。此外,通过实测输沙通量拟合计算,得出2013年5月4次沙尘天气下地表0~100 cm以内输沙总量为195.13 kg/m。

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] 宋桂英,李彰俊,王德民,等.内蒙古一次特强沙尘暴大风成因分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):47-51.
- [3] 王式功,杨德保,周玉素,等.我国西北地区“94·4”沙尘暴成因探讨[J].中国沙漠,1995,15(4):332-338.
- [4] 张正恩,董治宝,赵爱国.2006年春季天气背景下腾格里沙漠近地面气象要素与输沙通量的变化趋势[J].科学通报,2008,53(16):1953-1960.
- [5] 岳虎,王锡稳,李耀辉.甘肃强沙尘暴个例分析研究[M].北京:气象出版社,2003:13-14.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(6):106-111.
- [9] He Qing, Zhao Jingfeng, Hideki Nagashima. The distribution of sandstorms in Taklimakan Desert[J]. Journal of Arid Land Studies, 1996, 5(1):185-193.
- [10] 胡隐樵,光田宁.强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.
- [11] 牛生杰,岳平,刘晓云.2004年春季两次沙尘暴期间地面气象要素变化特征对比分析[J].中国沙漠,2007,27(6):1067-1071.
- [12] 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.
- [13] 胡文峰,何清,杨兴华,等.一次沙尘暴过程中的沙地面微气象要素及起沙参数分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(5):73-78.
- [14] Dong Z B, Wang X M, Chen G T. Monitoring sand dune advance in the Taklimakan Desert [J]. Geomorphology, 2000, 35:219-231.
- [15] 俎瑞平,张克存,屈建军.塔克拉玛干沙漠风沙活动强度特征[J].地理研究,2005,24(5):699-707.
- [16] 何清,杨兴华,艾力·买买提明,等.塔克拉玛干沙漠风蚀起沙观测研究—试验介绍与观测结果初报[J].中国沙漠,2011,31(2):315-322.
- [17] 杨兴华,何清,丁国锋,等.塔克拉玛干沙漠腹地风蚀起沙观测试验[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(5):67-72.
- [18] 刘景涛,郑明倩.内蒙古中西部特强沙尘暴的气候学特征[J].高原气象,2003,22(2):54-62.
- [19] 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.
- [20] 杨兴华,何清,霍文,等.塔克拉玛干沙漠南缘风沙跃移运动研究——以策勒为例[J].中国沙漠,2012,32(4):910-914.
- [21] 何清,胡文峰,杨兴华,等.巴丹吉林沙漠拐子湖地区贴地层风速廓线和风沙流结构特征[J].干旱区研究,2012,29(3):517-523.
- [22] 屈建军,黄宁,拓万金,等.戈壁风沙流结构特性及其意义[J].地球科学进展,2005,20(1):19-23.
- [23] 张克存,屈建军,俎瑞平,等.戈壁、流沙地表风沙流特性研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(10):55-59.
- [24] 温雅婷,缪启龙,何清,等.南疆一次强沙尘暴的近地层特征和湍流输送分析[J].中国沙漠,2012,32(1):204-

- 2009.
- [25] 李帅,胡列群,何清,等.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[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(4):26-30.
- [26] 顾润源,武荣盛,周伟灿,等.内蒙古半干旱草原沙尘天气对近地层微气象学特征影响分析[J].中国沙漠,2012,32(3):815-823.
- [27] 霍文,何清,杨兴华,等.中国北方主要沙漠沙尘粒度特征比较研究[J].水土保持研究,2011,18(6):6-11.
- [28] 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.
- [29] 屈建军,黄宁,拓万金,等.戈壁风沙流结构特性及其意义[J].地球科学进展,2005,20(1):19-23.
- [30] 张克存,屈建军,俎端平,等.戈壁、流沙地表风沙流特性研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(10):55-59.
- [31] 杨兴华,何清,霍文,等.沙漠地区不同下垫面近地表沙尘水平通量研究[J].干旱区研究,2014,31(3):564-569.
- [32] 赵明瑞,杨晓玲,滕水昌.甘肃民勤地区沙尘暴变化趋势及影响因素[J].干旱气象,2012,30(3):421-425.

Impact of Sand-Dust Weather on Meteorological Elements and Study on Structure of Wind-blown Sand Flow in the Northern Margin of the Badain Jaran Desert

YANG Fan^{1,2}, ZHENG Xinqian³, Nuramina Imin⁴, Hajimamat Rexit⁴, YANG Bing⁵,
WANG Huiqing⁶, WANG Yi⁷, CUI Yongchao⁵

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2. Taklimakan Desert Atmosphere and Environment Station, Tazhong 841000, China; 3. Xinjiang Agro-metrololical Observatory, Urumqi 830002, China; 4. Meteoroligcal Bureau of Kashgr Prefecture, Kashar 844000, Xinjiang China; 5. Midong Environmental Protection Bureau, Midong 831400, China; 6. Meteoroligcal Bureau of Pishan Counry, Pishan 845150, Xinjiang China; 7. Alxa League Guaizi Lake Meteorological Station, Guaizi Lake 735400, China)

Abstract Based on the data of sandstorms in spring 2013 from flux observation stations at Guaizi lake region in the northern margin of the Badain Jaran desert, which was built by the Institute of Desert Meteorology of China Meteorological Administration, we analyzed the characteristics of blown-sand activites and meteorological elements of the near surface layer under different weather conditions (clear day, rising dust day and sandstorm day). The results showed that the higher wind speed brought about stronger dust process. The wind speed and direction showed significant adjustment process before the dust weather, but it was relatively stable when it outbreaked. The ground temperature decreased with dust weather intensity increased. The floating dust resulted in that each layer of soil temperature showed a decrease tendency, but the degree of reduction was relatively weak. Moreover, the each layer of soil temperature under dust weather maintained good gradient changes and showed a diurnal variation trend of sine function curve. At the height of 2 m above surface, the instant sand-laden wind velocity for naturally mixed sands was about 6.5 m/s at one-minute interval. In the sand drift structure, the vertical sand flux was all in an increase trend with the increase of height below 20 cm from the ground. The vertical sand flux at all the height was exponent function decreased with the increase of height above 20 cm. The 50% and 90% of the total sand flux occurred mainly in the air layer below 20 cm and 56 cm from the ground, respectively. The sand flux within 0~100 cm height was 195.13 kg/m during the observation period.

Key words Badain Jaran desert; sand-dust weather; meteorological elements; sand-laden wind velocity; structure of wind-blown sand flow