

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.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2020.02.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



河西走廊东部“2018·3·19”强沙尘暴特征分析

李玲萍¹,李岩瑛^{1,2},刘维成³

(1.武威市气象局,甘肃 武威 733000;2.中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020;3.兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020)

摘要:利用常规气象观测资料和 ECMWF 数值预报产品初始场资料,对 2018 年 3 月 19 日河西走廊东部的大风强沙尘暴天气过程进行了分析。结果表明:500 hPa 蒙古西部到新疆东部低槽是此次区域性大风沙尘暴发生的影响系统,700 hPa 河西走廊东部变形场是大风沙尘暴的触发系统,午后气温日变化加大了地面冷锋前后的气压梯度和温度梯度,冷锋前后 Δp_3 达 8.3 hPa,造成冷锋移至河西走廊东部产生强烈锋生是沙尘暴爆发的直接原因;随着河西走廊东部上空高空西风急流风速增大、高度降低,风速为 $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强风速带伸展到地面,将高空动量向下传播,加之北风前锋到达之处,沙尘暴爆发;沙尘区低层辐合、高层辐散,以及无辐散层和 $-52.6 \times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强上升运动一致,有利于增大近地面沙尘浓度; $V-3\theta$ 曲线显示强垂直风速切变和上干下湿的状态,为此次沙尘暴的发生发展提供了不稳定的环境条件;前期降水稀少,气温异常偏高的气候背景和边界层逆温层破坏,中低层干热及地面风速增大,为沙尘暴天气爆发提供了前期气候背景和不稳定及动力条件。

关键词:河西走廊东部;强沙尘暴;锋生;动量下传

中图分类号:P425.55

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2020)02-0010-08

沙尘天气是指强风从地面卷起大量沙尘,使空气混浊,水平能见度明显下降的天气现象,其可分为浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴和特强沙尘暴 5 个等级^[1-6]。沙尘暴是强风将地面尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度 $<1 \text{ km}$ 的一种天气现象,是危害极大的灾害性天气,它会人们的生活及生产带来巨大影响^[7-11]。如:20 世纪 30 年代发生在美国西南大平原的“黑风暴”,是一场危及人类的生态灾难^[12-15],其影响持续了 10 a,因“黑风暴”造成的农业荒废延长了美国的经济萧条。中国也是受沙尘暴危害最严重的国家之一,尤其是西北地区,几乎每年都有强沙尘暴发生。甘肃河西走廊(以民勤为中心)是我国三

大沙尘暴多发区之一^[17],特别是在河西走廊东部,沙尘暴已经成为春夏季最严重的气象灾害。

有关春季强沙尘暴天气的沙尘源地、沙尘输送、沙尘强度、沙尘暴气候特征和成因等方面国内外学者从各个角度做了大量的分析研究^[18-24]。2018 年 3 月 19 日出现在河西走廊东部的强沙尘暴天气,是继 2010 年 4 月 24 日以来河西走廊东部最严重的区域性大风强沙尘暴天气,但是此次沙尘暴天气并不是典型的槽型沙尘暴天气,因此,有必要对这次特强沙尘暴天气从天气学条件、物理量场诊断等方面做细致分析,总结此类型沙尘暴发生特征和形成机理,以期提高沙尘暴天气的预报准确率。

收稿日期:2019-01-19;修回日期:2019-03-11

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41975015);中国沙漠气象科学研究基金(sqi2017003)

作者简介:李玲萍(1977—),女,高级工程师,主要从事天气气候变化研究。E-mail:wwqxjlp@163.com

1 资料选取

选取 2018 年 3 月 19 日强沙尘暴前后民勤地面自动站 1 h 加密观测资料、19 日 08:00—20 日 08:00 强沙尘暴爆发前后亚欧范围内探空、地面监测以

及ECWMF 物理量场资料,强沙尘暴出现的区域以甘肃民勤(38°38'N,103°05'E)为中心,采用天气学诊断方法,分析这次强沙尘暴的活动规律和天气成因,总结强沙尘暴天气的预报着眼点。

2 前期气候特征及实况

2.1 前期气候特征

甘肃省河西地区地处干旱、半干旱的内陆地区,植被稀疏,沙漠戈壁众多,为沙尘暴提供了大量的沙源^[6]。此次强沙尘暴出现在早春,植被相当稀疏,前期连续三旬凉州、民勤未出现降水天气,气温异常偏高,有利于地面解冻回暖,裸露地表土质疏松,为此次继2010年4月24日以来河西走廊东部最严重的区域性大风沙尘暴天气提供了前期气候背景。

表1 河西走廊东部民勤、凉州前期气温/℃、降水量/mm 及距平

日期	民勤		凉州	
	降水	距平	降水	距平
2月下旬	0.0	-100	0.0	-100
3月上旬	0.0	-100	0.0	-100
3月中旬	0.0	-100	0.0	-100

日期	民勤		凉州	
	气温	距平	气温	距平
2月下旬	1.8	3.2	1.6	3.5
3月上旬	6.0	5.6	5.1	5.2
3月中旬	8.1	4.8	8.0	4.8

2.2 实况

从民勤逐时地面自动站观测显示(图1),3月19日11:00气压开始缓慢下降,到14:00降到最低,为859.1 hPa,15:00—16:00缓慢回升,17:00开始迅速升高,到20:00气压值最高,为868.1 hPa,4 h气压涌升了7.3 hPa;气温的变化与气压相反,

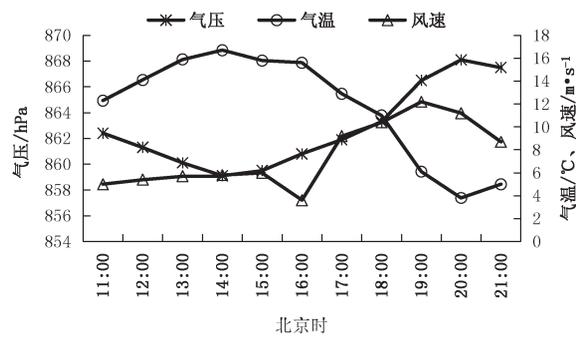


图1 3月19日11:00—21:00民勤地面自动站气象要素变化曲线

在14:00气压达到最低时,气温达到一日最高,为16.7℃,随着气压的升高,气温骤降,20:00气温降至3.8℃,4 h气温下降了11.8℃;风速随气压涌升开始迅速增大,区域内先后有2站出现沙尘暴,其中民勤16:45—17:52、18:30—18:54出现强沙尘暴,最小能见度为350 m,最大风速为19.8 m·s⁻¹,凉州16:16—16:36出现沙尘暴,最小能见度为879 m,最大风速为19.2 m·s⁻¹,永昌出现扬沙,最小能见度为3.4 km,最大风速为19.7 m·s⁻¹。

3 有利于强沙尘暴生成、发展的环流特征

3.1 500 hPa 低槽

500 hPa 亚欧范围内大的环流形势为两槽一脊型,3月19日08:00 500 hPa上(图2a)从欧洲东部到亚洲西部为一个广阔的低压带,并有-42℃的冷中心配合,影响此次强沙尘暴天气的是位于蒙古西部到新疆东部一带的低槽,冷空气较弱,冷中心强度为-28℃,低槽前后变高配置为西北—东南向,正负变高差仅为+8 dagpm,槽后最大风速为28 m·s⁻¹,低槽后西北气流不断携带欧洲东部到亚洲西部的冷空气分裂东移南下;到20:00低槽快速东移到河西走廊东部(图2b),槽后河西走廊气温下降,风速加

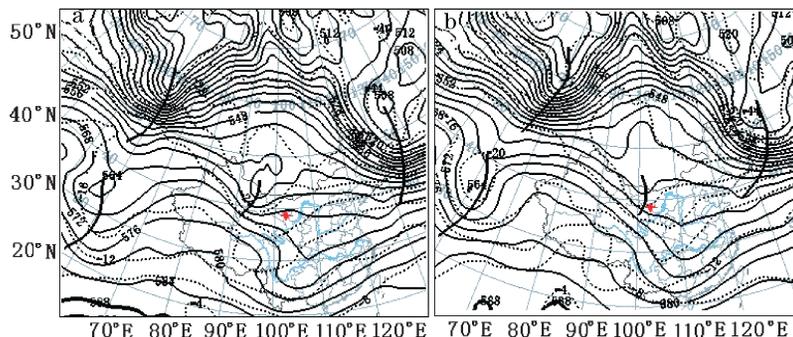


图2 3月19日8:00(a)和20:00(b)500 hPa 高度场、温度场(高度场单位:dagpm;温度场单位:℃;红十字为民勤,以下同)

大,河西走廊东部出现强沙尘暴。可见,500 hPa 低槽快速东移是造成此次区域性沙尘暴的影响系统。

3.2 700 hPa 辐合流场

对应在对流层低层 700 hPa,3月19日20时(图3),在河西走廊东部有一明显的变形场维持,变形场后部的强西北气流不断携带北部冷空气东移南下,使水平温度梯度加大,有利于地面锋生,造成冷锋前的抬升作用也相应加强,由于变形场的锋生作用,700 hPa 锋区加强,等温线密集,大气斜压性增强,有利于动量下传^[25]。河西走廊东部强沙尘暴天气出现在辐合上升最强、斜压性最强时段。由此可见,低层变形场的辐合及造成的强斜压性为此次强沙尘暴的形成和维持提供了辐合上升和动量下传条件。

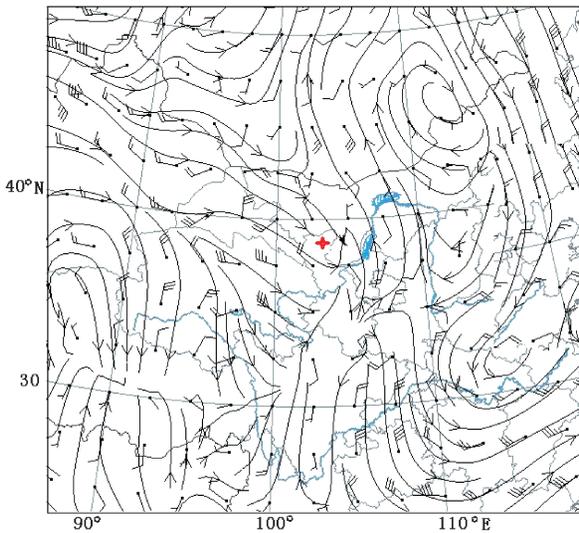


图3 3月19日20:00 700 hPa 全风速

3.3 地面冷锋

3月19日08:00地面图上,热低压中心位于河西走廊西部的玉门,地面冷锋位于酒泉到张掖之间,冷锋前后 Δp_3 为 4.9 hPa,冷锋后玉门、酒泉出现大风和浮尘天气;11:00热低压中心位于河西走廊东部,地面冷锋位于山丹和永昌之间,冷锋前后 Δp_3 由 08:00 的 4.9 hPa 增大到 5.2 hPa,冷锋后河西走廊中西部出现大风沙尘天气;14:00地面热低压中心继续东移,由于午后太阳辐射加强,热低压中心加强,热力作用加大了地面冷锋前后的气压梯度和温度梯度,地面冷锋增强,热低压中心数值由 11:00 的 1016.0 hPa 降到 1010.0 hPa,冷锋前后 Δp_3 增大到 6.4 hPa,地面冷锋位于河西走廊东部永昌到民勤之间,冷锋后永昌出现大风、扬沙天气;17:00地面热低压中心东移出武威(图4),热低压中心数值降为 996.0 hPa,地面冷锋位于乌鞘岭以东,冷锋前后 Δp_3

增大到 8.3 hPa,冷锋后河西走廊东部出现大风沙尘天气,其中民勤出现强沙尘暴,凉州出现沙尘暴。17:00—20:00热低压维持少动,所以河西走廊东部大风沙尘天气一直持续到 19:00,20:00后热低压迅速移除甘肃,河西走廊东部大风沙尘天气结束。午后气温日变化造成冷锋移至河西走廊东部产生强烈锋生是造成此次强沙尘暴爆发的主要原因。

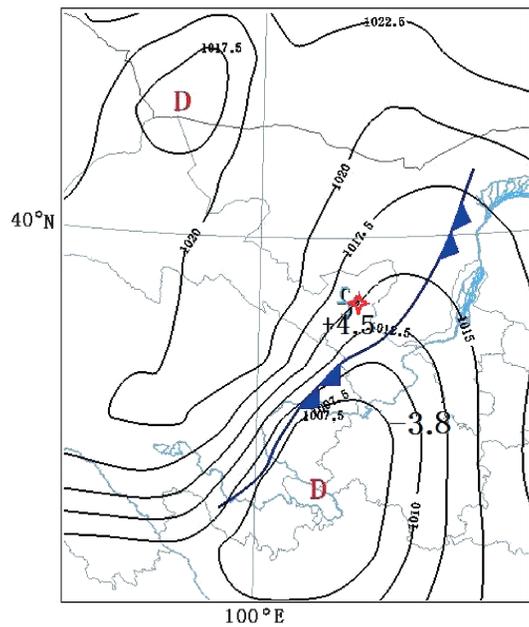


图4 3月19日17:00地面形势

4 整层大气风场分布特征

强风是产生沙尘暴的三要素之一,而强风能否产生沙尘暴,重点看大风是否动量下传,卷起地面沙尘,产生沙尘暴^[26-27]。所以本文利用 ECMW 分析场资料,在沙尘暴区域沿 38°N 分别做 u 、 v 分量的纬向垂直剖面图(图5),分析沙尘暴期间整层大气的风场结构特征。

4.1 u 分量的变化特征

由 u 分量垂直剖面可知,沙尘暴发生之前(图5a),90°E 以东整层大气几乎被西风控制,并在 250~300 hPa 存在一支西风急流,急流核在 300 hPa,95°E 附近,中心最大风速 u 为 $49.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速等值线在 95°E 附近伸展到接近地面(本文沙尘暴研究区 700~850 hPa 接近于地面),而河西走廊东部沙尘区近地面风速为 $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。沙尘暴爆发后(图5b),250~300 hPa 西风急流带范围扩大,存在 2 支急流核,最大风速轴线跟随其向东移动,急流风速减小,300 hPa 一支急流核在 95°E 附近,中心最大风速 u 为 $32.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,另一支急流核东移,在 102.5°E

附近,中心最大风速 u 为 $34.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,急流中心的最大风速带以“漏斗”状向地面伸展,将高空动量向下传播,在河西走廊东部沙尘区接近地面的风速增大到 $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,激发了河西走廊东部强沙尘暴发生。沙尘暴结束时,20日 08:00 急流中心最大风速减小东移。

4.2 v 分量的变化特征

从 v 分量的分布和变化来看,沙尘暴发生前(图 5c),河西走廊上空 500 hPa 以下受南风控制,风速较小,500 hPa 以上受北风控制,250 hPa 最大风速位于 97.5°E 附近,中心值达 $33.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。沙尘暴爆发后(图 5d),在强沙尘暴爆发区河西走廊东部,北风区域向东南扩展,沿西北—东南向插入到南风下部,将 600 hPa 以下的南风向上抬升,河西走廊东部 600 hPa 以下变为北风控制,近地面风速增大。当沙尘天气结束此后,河西走廊近地层慢慢被南风控制。由此可见,北风的入侵是造成此次沙尘暴的直接原因。

5 沙尘暴过程的大气边界层结构特征

利用民勤国家基准气候站 GTS1 型数字式探空仪探测的数据,对沙尘暴出现前一天(18日)、当天(19日)、后一天(20日)民勤 08:00 和 20:00 每隔 50 m 的温度、温度露点差、风速进行边界层特征分析。从温度廓线(图 6a)看出,沙尘暴爆发当日 08:00

温度明显高于沙尘暴爆发前一日 08:00 和后一日 08:00 的温度,且 19 日 08:00 边界层中出现了两层逆温,50 m 以上 100~300 m 中出现了明显的逆温,1450~1500 m 出现较弱的逆温,其中 200 m 处逆温最强,50~200 m 逆温强度达 $4.0 \text{ }^\circ\text{C}$,1450~1500 m 逆温强度为 $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 。随着冷空气的不断下沉,19 日 16:00 以后沙尘暴天气影响河西走廊东部,一直持续到 19:00,到 19 日 20:00 逆温层完全被破坏,此时边界层中的大气混合均匀,温度迅速降低,明显低于前一日 20:00 和后一日 20:00 的温度。

从温度露点差廓线(图 6b)看出,沙尘暴爆发当日 08:00 从低层到高层 2000 m 温度露点差都高于沙尘暴爆发前一日 08:00 和后一日 08:00,到沙尘暴爆发后 19 日 20:00 温度露点差迅速减小,小于沙尘暴爆发前一日 20:00 和后一日 20:00,150 m 以上 $T-T_d < 5 \text{ }^\circ\text{C}$,大气为湿区,450 m 以上 $T-T_d < 2 \text{ }^\circ\text{C}$,大气饱和,说明前期中低层干热有利于沙尘暴爆发。沙尘暴爆发后,中高层大气接近饱和。

从风速廓线(图 6c)看出,沙尘暴爆发当天 19 日 08:00 风速低层到高层开始增大,大于沙尘暴爆发前一日 08:00 和后一日 08:00 的风速,19 日 20:00 开始边界层风速急剧增大,0~600 m 处的风速都较 19 日 08:00 迅速增大,近地面风速由 19 日 08:00 的 $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急增到 20:00 的 $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,50 m 处风速

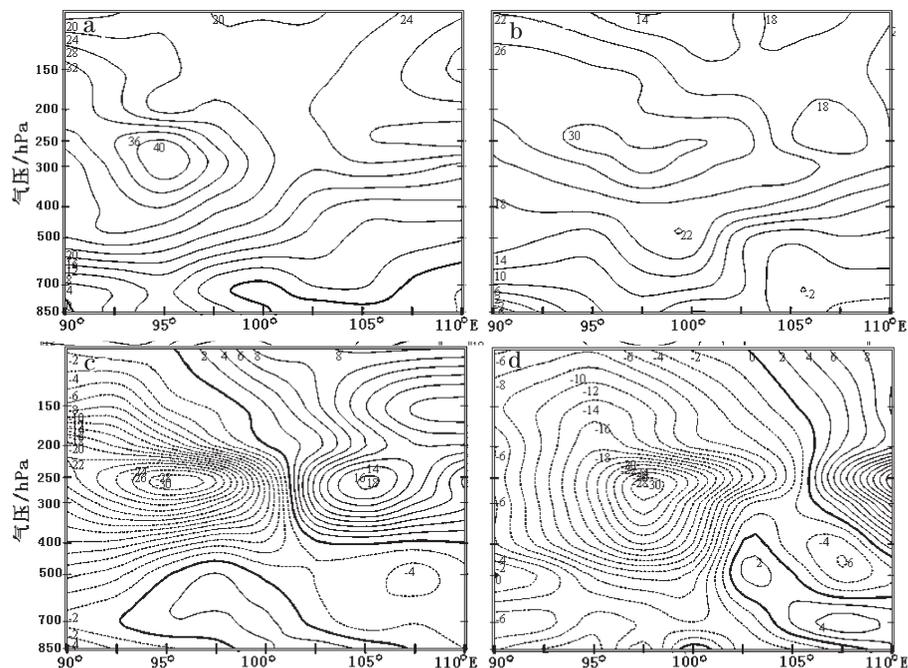


图5 3月19日沙尘暴过程中08:00(a)、20:00(b) u 分量和08:00(c)、20:00(d) v 分量沿 38°N 的纬向剖面(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

由19日08:00的 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急增到20:00的 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,为起沙提供了动力条件。沙尘暴结束后,风速快速下降,19日20:00从低层到高层风速明显大于沙尘暴爆发前一天20:00和后一天20:00的风速。

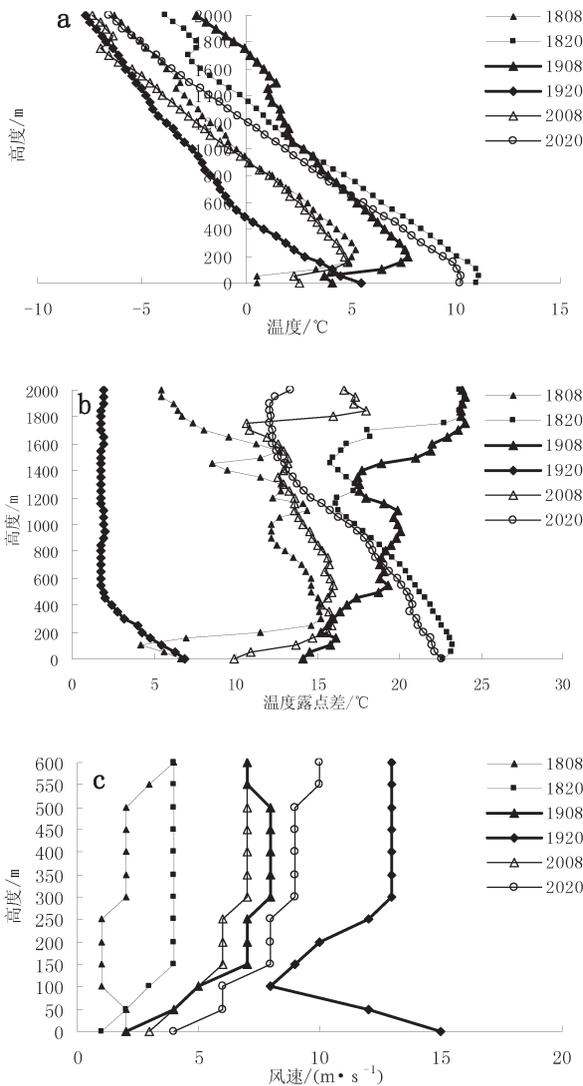


图6 3月18日—20日民勤站气温(a)、温度露点差(b)、风速(c)垂直廓线

6 环境物理量场特征

6.1 强烈的垂直上升运动

3月19日20:00民勤站散度和垂直速度的垂直剖面图(图7)显示,强沙尘暴区低层强辐合对应高层强辐散,最大辐合中心在500 hPa,强度为 $-14.6\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$;最大辐散中心在300 hPa,强度达到 $9.1\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$,无辐散层出现在400 hPa附近。垂直速度的垂直分布显示,近地面层850 hPa到对流层顶200 hPa均为上升运动,最强上升运动分别出现在500 hPa和400 hPa,最大值分别为 -52.6×10^{-3}

$\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-52.2\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,这与无辐散层高度一致。说明低空辐合、高层辐散有利于垂直运动的加强,使得上升运动到对流层中部达到最强。强烈的上升运动为强沙尘暴的形成、发展提供了必要的动力条件。

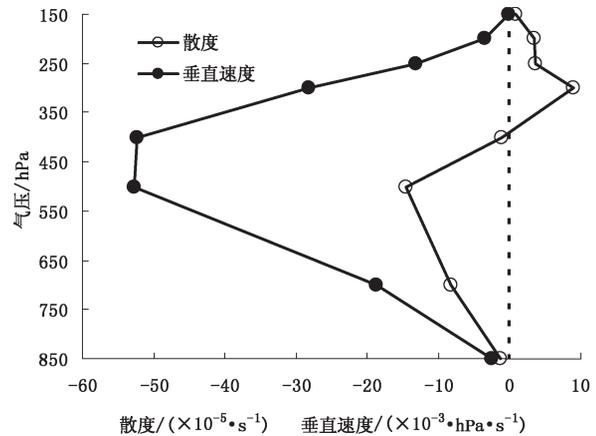


图7 3月19日20:00沙尘暴出现时民勤站散度和垂直速度的垂直剖面

6.2 稳定度

根据19日民勤站 $V-3\theta$ 曲线分析,在沙尘暴出现前19日08:00(图8a),上下层风垂直切变明显,低层850 hPa为东南风,700 hPa以上为偏西风,且上层风速大于低层风速,有利于垂直运动发展,满足潜在动力不稳定条件;850 hPa以上到400 hPa位温 θ 出现明显的向左弯曲现象,即随气压减小,表明垂直方向的温度递减率较大,且 θ_{se} 与 θ 线在850 hPa以下很接近,在中层850 hPa以上到600 hPa相差较大,表明低层大气为干热状态,满足热力不稳定条件。由 $V-3\theta$ 曲线分析,19日08:00存在动力和热力不稳定,一旦有冷平流冲击触发,则可释放能量,产生强的垂直运动,使高空动量下传,增大低层的风速,加剧强沙尘暴的发展。到19日20:00(图8b),上下层风垂直切变减弱,700 hPa以下为西北风,600 hPa以上为西南风,且低层风速加大,风向自下而上转变为逆时针,表示气层抑制上升运动发展; θ 低层出现向右弯曲现象,表明低层有冷空气进入, θ_{se} 与 θ 转变为自下而上很接近,特别是500 hPa等压面以上, θ_{se} 与 θ 两条曲线几乎重合,表明中高层大气接近饱和状态,大风沙尘天气减弱结束,河西走廊东部凉州及民勤部分乡镇出现降水天气。

6.3 锋生函数

锋生是使锋区温度水平梯度加大的过程,锋消是作用相反的过程。在不考虑非绝热加热的情况下,

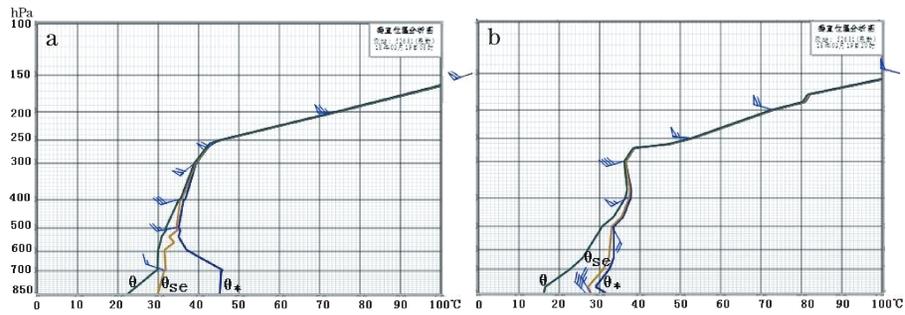


图 8 3月19日 08:00 和 20:00 民勤 V-3θ曲线
(θ:位温;θ_{se}:假相当位温;θ*_s:饱和假相当位温)

标量锋生函数表达式为:

$$F = F_1 + F_2, \quad (1)$$

$$F_1 = -\frac{1}{|\nabla\theta|} \left[\left(\frac{\partial\theta}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial\mu}{\partial x} + \left(\frac{\partial\theta}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial\theta}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial y} \left(\frac{\partial\mu}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right], \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{1}{|\nabla\theta|} \left(\frac{\partial\theta}{\partial x} \frac{\partial\omega}{\partial x} + \frac{\partial\theta}{\partial y} \frac{\partial\omega}{\partial y} \right) \frac{\partial\theta}{\partial p}. \quad (3)$$

式(2)表示大气水平运动对锋生的作用,式(3)表示大气垂直运动对锋生的作用。

锋生函数 $F > 0$ 为锋生, 预示未来锋区加强, 锋生函数 $F < 0$ 为锋消, 预示未来锋区减弱。本文利用 ECMWF 数值预报产品, 进一步分析了河西走廊沙尘出现时段内的锋生函数, 从 3 月 19 日 08:00 锋生函数图(图 9a)可以看出, 在内蒙西部、甘肃河西走廊西部酒泉到青海西北部一带有强的锋生区, 中心强度在马鬃山附近, 达 $63.6 \times 10^{-5} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$, 强锋生区处在 700 hPa 等温线密集带的前侧, 锋区温度梯度加大, 对应地面图上, 酒泉、玉门出现浮尘。到 19 日 20:00 (图 9b), 700 hPa 锋生带移到河西走廊东部, 配合 700 hPa 等温线密集带也移到河西走廊东部一带, 强锋生中心已经移到甘肃省东部, 随着强锋生带逐渐东移, 从 16:00 开始, 河西走廊东部凉州、民勤

相继出现大风沙尘暴天气, 到 20:00 风速逐渐减小, 河西走廊东部沙尘暴天气结束, 到 21:00 大风天气结束。锋生过程对沙尘暴的产生起着重要作用^[28], 即当冷锋移到这一地区时, 由于强烈的局地锋生加大了冷锋前后的变压和变温梯度, 锋生次级环流和地转偏差风也会不断加大, 并把沙尘吹起, 引起沙尘暴的发生。

7 讨论

与历史上春季区域性低槽强沙尘暴对比(表 2), 本次强沙尘暴过程的冷空气强度、槽前后变高梯度、冷锋前后变压梯度均为最弱, 河西走廊中西部只出现扬沙天气, 只有冷锋进入河西走廊东部后在民勤出现强沙尘暴, 强沙尘暴相比较也是最弱(2014 年 4 月 23 日民勤未出现沙尘暴), 为什么 500 hPa 如此弱的系统在河西走廊东部会出现强沙尘暴, 究其原因: 首先和冷锋进入河西走廊东部的时间有关, 此次过程冷锋进入河西走廊东部是 14:00, 是太阳辐射最强的时段, 所以气温日变化造成冷锋移至河西走廊东部产生强烈锋生引发强风是沙尘暴爆发的直接原因; 其次河西走廊东部 700 hPa 变形场造成的强烈辐合和强斜压为此次沙尘暴的爆发提供了

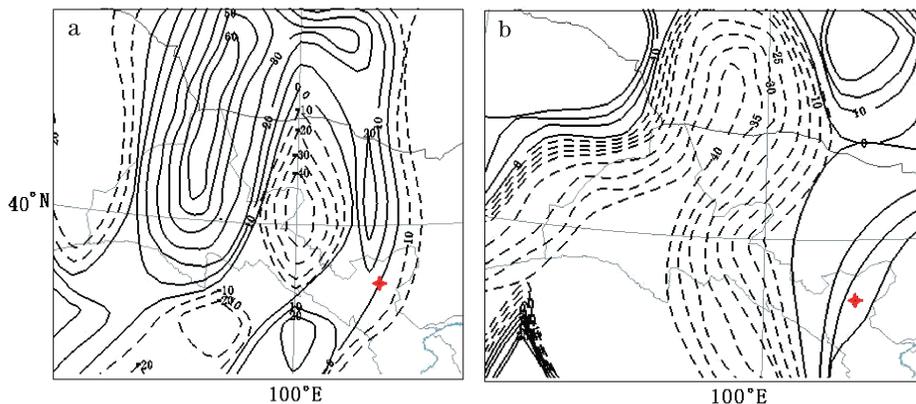


图 9 3月19日 08:00(a)和 20:00(b)700 hPa 锋生函数(单位: $10^{-5} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$)

辐合上升和动量下传条件;沙尘区域强烈的上升运动有利于增大近地面沙尘浓度;河西走廊东部上空随高空西风急流动量下传和北风插入南风下部,沙尘暴爆发;上湿下干、上冷下暖的分布特征,为沙尘暴爆发提供了潜在不稳定的环境条件;与河西走廊东部特殊地理位置有关,东、西、北三面被腾格里沙漠和巴丹吉林大沙漠包围,具备丰富的沙源;与前期气候背景有关,凉州、民勤前期连续一个月未出现降水天气,气温异常偏高,有利于地面解冻回暖,裸露地表土质疏松,为沙尘暴的爆发提供了温床。

表2 春季区域性低槽强沙尘暴历史个例谱

时间	冷中心 温度/℃ (500 hPa)	低压 中心值/ dagpm (500 hPa)	槽前后 ΔH_{24} / dagpm (500 hPa)	冷锋 前后 Δp_3 / hPa	地面热 低压中 心值/ hPa	锋面进入 河西走廊 东部时间
2008-05-02	-36	536	16	12.0	990.8	17时
2010-04-24	-33	549	27	9.7	1001.0	19时
2014-04-23	-37	541	46	10.8	997.0	02时
2018-03-19	-28	555	8	6.6	996.0	14时

8 结论

(1)此次沙尘暴天气出现在午后,因午后太阳辐射加强,热低压中心加强,热力作用加大了地面冷锋前后的气压梯度和温度梯度,冷锋前后 Δp_3 达 8.3 hPa,冷锋后河西走廊东部出现大风沙尘天气。因此日变化造成冷锋移至河西走廊东部产生强烈锋生引发强风是此次沙尘暴爆发的直接原因。

(2)500 hPa 蒙古西部到新疆东部低槽是此次区域性沙尘暴产生的影响系统,700 hPa 河西走廊东部存在变形场有利于锋生,造成强烈辐合和强斜压,为此次沙尘暴的形成和维持提供了辐合上升和动力条件。

(3)低空辐合、高层辐散,以及 400 hPa 的无辐散层和 $-52.2 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强上升运动区一致,有利于垂直运动的加强,强烈的上升运动为强沙尘暴的形成和发展提供了必要的动力条件。

(4)沙尘区域上空,随着高空西风急流动量下传,即风速为 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强风速带伸展到地面,以及北风插入到南风下部,600 hPa 以下为北风控制之处,沙尘暴爆发。

(5)V-3 θ 曲线显示,上下层风垂直切变和垂直方向大的温度递减率及上湿下干的状态,为此次沙尘暴的发生提供了动力不稳定和热力不稳定的环境条件。

(6)前期气温异常偏高、无降水的干旱气候和边

界层逆温层破坏,中低层干热及地面风速增大,为沙尘暴天气爆发提供了前期气候背景和不稳定及动力条件。

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.
- [2] 朱炳海,王鹏飞,束家鑫.气象学词典[M].上海:上海辞书出版社,1985.
- [3] 张凯,高会旺.东亚地区沙尘气溶胶的源和汇[J].安全与环境学报,2003,3(3):7-12.
- [4] 王式功,王金艳,周自江,等.中国沙尘天气的区域特征[J].地理学报,2003,58(2):193-200.
- [5] 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):9217.
- [6] 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):349-358.
- [7] 方宗义,朱福康.中国沙尘暴研究[M].北京:气象出版社,1997:1-10.
- [8] 张瑞军,何清,孔丹,等.近几年国内沙尘暴研究的初步评述[J].干旱气象,2007,25(4):88-94.
- [9] 王式功,杨得宝,金炯,等.我国西北地区黑风暴的成因和对策[J].中国沙漠,1995,15(1):19-20.
- [10] 王汝佛,冯强,尚可政.2010 春季我国一次强沙尘暴过程分析 [J].干旱区地理,2014,37(1):31-44.
- [11] 李岩瑛,杨晓玲,王式功.河西走廊东部近 50 a 沙尘暴成因、危害及防御对策[J].中国沙漠,2002,22(3):283-287.
- [12] Bonnifield M P. The Dust Bowl: Men, Dirt, and Depression[M].University of New Mexico Press,1979.
- [13] Howarth W. The okies: Beyond the dust bowl [J]. National Geographic,1984,166(3):322-349.
- [14] Lee J A, Gill T E, Mulligan K R. The 1930s dust bowl:The relative roles of people and the physical environment [J].Geological Society of Abstracts and Programs,1999,31(1):A11-A15.
- [15] Stallings F L.Black Sunday:The Great Dust Storm of April 14,1935 [M].Eakin Press,2001.
- [16] 许东蓓,杨民,孙兰东,等.西北地区 4.18 强沙尘暴、浮尘天气成因分析[J].甘肃气象,1999,17(2):6-9.
- [17] 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(2):106-111.
- [18] 徐国昌,陈敏莲,吴国雄.甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析[J].气象学报,1979,37(4):26-35.
- [19] 钱莉,杨金虎,杨晓玲,等.河西走廊东部“2008·5·2”强沙尘暴成因分析[J].高原气象,2010,29(3):719-725.
- [20] 李红军,汤浩.北疆春季沙尘暴极多与极少年环流场特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(1):35-40.

- [21] 汤绪,俞亚勋,李耀辉,等.甘肃河西走廊春季强沙尘暴与低空急流[J].高原气象,2004,23(6):840-846.
- [22] 王劲松,李耀辉,康凤琴,等.“4·12”沙尘暴天气的数值模拟及诊断分析[J].高原气象,2004,23(1):89-96.
- [23] 闵月,李娜,汤浩.2015年春季北疆沿天山一带一次强沙尘暴过程分析[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(5):30-37.
- [24] 钱莉,杨永龙,王荣哲,等.河西走廊“2010·4·24”黑风成因分析[J].高原气象,2011,30(6):1653-1660.
- [25] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(第三版)[M].北京:气象出版社,2000:249.
- [26] 赵庆云,张武,吕萍,等.河西走廊“2010·4·24”特强沙尘暴特征分析[J].高原气象,2012,31(3):688-696.
- [27] 尹树新,赵亚贤.西风急流异变对“5.5”西北地区沙尘暴的影响[M].中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:65-69.
- [28] 孙军,姚秀萍.一次沙尘暴过程锋生函数和地表热通量的数值诊断[J].高原气象,2002,21(5):488-494.

Characteristics of the Strong Sandstorm Process in the East of Hexi Corridor on 19 March 2018

LI Lingping¹, LI Yanying^{1,2}, LIU Weicheng³

(1.Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei 733000, China;

2.Institute of Arid Meteorology,CMA,Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020,China;

3.Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract Based on conventional observation data and ECMWF numerical forecast products, the causes of strong sandstorm was analyzed in the east of Hexi corridor on 19 March 2018. The results showed that: The lower groove trough in 500 hPa was influence system of this sandstorm. The 700 hPa deformation field in the east of Hexi corridor provides triggering system for development of sandstorm. The large gradients of pressure and temperature before and after cold front were caused by the variation of temperature in the afternoon, and the Δp_3 reached 8.3 hPa, the dust storm was a process of strong frontogenesis when the cold front moved to the east Gansu corridor. With the wind speed of the high-altitude westerly jet increases and the height decreases over the east of Hexi Corridor, the strong wind speed of $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ extends to the ground, and the high-altitude momentum is propagated downward, the dust storm erupts where the northerly forward arrives. Low level convergence and high-altitude divergence provides environmental conditions for the formation and development of this strong sandstorm. The $V-3\theta$ curve shows that the distribution characteristics of up wet and down dry and up cold and down warm provide potentially unstable environmental conditions for the occurrence and development of this strong sandstorm. Precipitation is scarce and the temperature is unusually high, providing a pre-climatic background for this strong sandstorm. Before the sandstorm broke out, the mean wind speed was very slow and the temperature was comparatively high and the humidity was comparatively low, and strong inversion layers existed in the upper atmospheric boundary layer (ABL), while after the sandstorm broke out, the wind speed increased sharply and the temperature decreased and the humidity increased sharply, consequently the inversion layer was rapidly destroyed.

Key words east of Hexi corridor; strong sandstorm; frontogenesis; momentum transportation downward