

克州地区春季一次强风沙天气成因分析

王金辉¹, 刘海涛², 王东¹, 赵智鹏^{1,3}

(1. 克州气象局, 新疆 阿图什 845350; 2. 和田地区气象局, 新疆 和田 848000;

3. 新疆信息工程学校, 新疆 乌鲁木齐 830013)

摘要:利用常规观测资料、数值预报物理量场和 NCEP/NCAR 每日 4 次全球再分析网格点资料, 对 2010 年 3 月 28 日发生在克州境内的一场罕见大风、沙尘暴天气过程进行了诊断分析, 探讨了这次强风沙天气的成因。结果表明: 高空低压槽和地面冷锋及锋后强冷平流、高空急流的加强及高空形成的次级环流使高空动量有效下传到地面起到了积极的动能作用, 大风沙尘上空螺旋度上负下正的垂直分布与大风沙尘的出现有很好的对应关系, 大风沙尘发生前后压、温、湿要素出现的剧烈突变对预报也有很好的指示意义。

关键词:动量下传; 螺旋度; 要素突变

中图分类号: P445+.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2012)01-0041-05

大风、沙尘天气是一种严重的灾害性天气, 它不仅给国民经济带来危害, 而且威胁到人们的生存环境。王式功、丁瑞强等很多气象学者对此作了大量的研究^[1-13], 尽管有关沙尘暴的研究取得了丰硕的成果, 但是对引起沙尘暴的驱动因子——地面大风很少有人作深入分析。克州是一个大风、沙尘多发地区, 尤其在春季, 因此对它的探讨很有必要。本文利用常规观测、数值预报物理量场和 NCEP/NCAR 每日 4 次全球再分析网格点资料对 2010 年 3 月 28 日发生在克州境内的罕见大风沙尘天气过程进行分析, 揭示克州地区形成灾害性风沙天气的机理, 为今后预报大风、沙尘天气提供一定的理论依据。

1 天气实况

2010 年 3 月 28 日 03—18 时克州地区普遍出现 8~11 级西北大风, 其中阿图什市瞬间极大风速达 31.8 m/s, 风力 11 级, 达历史同期极值, 其中有 3 个站出现沙尘暴。阿图什乡自动站测得瞬间极大风速达 25.0 m/s, 风力为 10 级, 阿克陶县布伦口乡、阿克陶县布伦口乡苏巴什村、阿合奇县哈拉布拉克乡 3 个自动站分别测得瞬间极大风速为 18.4 m/s、16.8 m/s、24.3 m/s。

2 天气形势分析

3 月 26 日 08 时高空 500 hPa 上, 欧亚范围为两脊两槽的经向环流, 高压脊分别位于欧洲沿岸到黑海一带, 高压脊前深厚的低涡槽区位于新地岛到里咸海以南, 西西伯利亚到新疆为高压脊控制。3 月 26 日 20 时副热带高压略有北挺, 欧洲脊发展东移导致里咸海低槽东移, 槽后出现冷平流。3 月 27 日 08 时, 乌拉尔山东部低涡得到新地岛冷空气补充, 在 60°N 附近的 -40℃ 的冷中心南落到 50°N, 65°E 附近。随着中亚到新疆的锋区不断加强, 35°~50°N, 55°~75°E 内有 5 条等温线。3 月 27 日 20 时(图 1a) 西西伯利亚到咸海巴湖一带低槽沿锋区不断东移南压, 开始影响克州天气, 且槽前与槽后温差在 12℃ 以上, 说明冷空气势力很强, 克州已处于 18 m/s 的西南气流的影响下。低涡槽在东移的过程中不断得到北方冷空气的补充加强东移南压, 且温度场基本和高度场重合, 同时高空槽前的等温线和等压线分布密集, 说明温度梯度、气压梯度都大, 这都预示着强冷空气影响克州。

3 月 27 日 08 时, 地面冷高压位于东欧平原到里咸海一带, 冷高压中心为 1 035 hPa, 随后不断加强东移, 到 14 时, 冷高压的前锋已到达了中亚到帕米尔高原一带, 中心数值为 1 035 hPa, 至 20 时冷高压不断东移南压, 在西天山一带已形成了等压线密集区, 10 个经度内有 10 条等压线。前期在青藏高原一带已经有一个数值为 1 010 hPa, 呈鼻突状的低压

收稿日期: 2011-09-20; 修回日期: 2011-10-28

作者简介: 王金辉(1973-), 女, 工程师, 从事天气预报与气象服务工作。E-mail: wjhwd.2006@163.com

进入南疆的和田地区,此时本站3 h 变压达10 hPa,锋前后变压差加大,气压梯度也大,有利于大风的产生。到3月28日08时地面热低压向北发展旺盛(图1b),冷高压不断加强,中心位于巴湖一带,中心数值为1 047.5 hPa,锋面前部的热低压和后部的强冷高压之间形成了北高南低的气压形势,气压梯度爆发性加强,冷空气已翻山进入克州境内,此时已出现大风天气,西北大风造成大范围的沙尘,局部地区伴随着沙尘暴。

这次强大风、沙尘天气产生的根本原因是冷空气活动异常,强大的气压梯度和变压使冷空气加速运动。

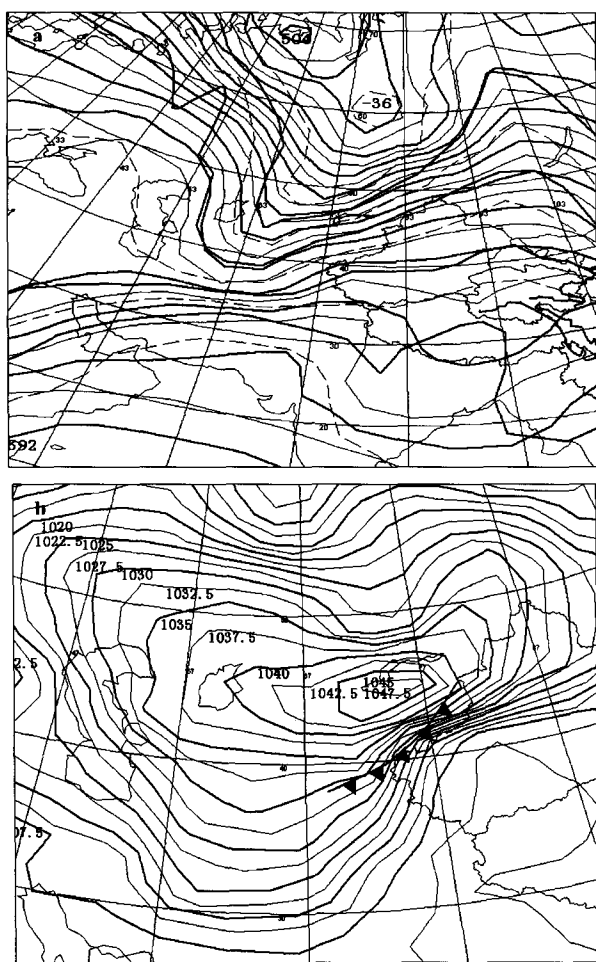


图1 高空、地面影响系统

(a 为3月27日20时500 hPa环流形势;b 为3月28日08时海平面气压场)

3 动力诊断分析

3.1 高空急流演变

分析200~300 hPa高空形势发现,3月26日08时在50~60°N,34~54°E附近有一支强的极锋急流,

风速达22~52 m/s,这支西北急流不断加强东移南压,到20时强风带明显加强且南压,其中心强度也加强,300 hPa 44~54°E范围内风速增至24~64 m/s。在3月27日08时300 hPa全风速图上,45~60°N,54~74°E附近从乌拉尔山到巴湖一带有一支东北向的急流带,有两个急流核:一个位于乌拉尔山附近,另一个位于巴湖附近,风速均为60 m/s,由于冷空气的不断补充,到20时在西天山一侧形成了一个东北—西南向的急流带,高空存在多个急流中心,风速为56 m/s,克州处于急流入口区的右侧。由于地转偏差的作用,在高空急流区的左侧有辐散,根据连续方程,高空急流入口区左侧伴有下沉运动。另外分析3月27日20时垂直剖面图上在急流中心下方存在强的垂直风切变和垂直温差,可以形成湍流或中尺度上升下沉区,发生上下层风速交换,使动量下传,加大低层风速。因此,风速的变化对能量的释放、沙尘的输送和沉降有着重要的影响^[14]。

3.2 垂直速度场

从垂直速度场来看,3月26日20时,克州地区的西南部和帕米尔的西部都表现为上升运动区,其中上升运动大值区在塔什库尔干,而下沉气流区在敦煌—若羌—且末一带和塔里木盆地,到3月27日20时,大的上升气流区位于巴湖南部,中心数值为 -112×10^{-3} Pa/s,也就是冷锋前表现为明显的上升运动。此时克州位于下沉气流区内。大风沙尘当日3月28日08时垂直速度图上,克州的阿图什、乌恰正好处于 160×10^{-3} Pa/s的大值区即下沉气流区的控制下,大值区一直维持到20时,到3月29日克州转为上升运动区。由此可见冷锋前为上升运动,冷锋后为下沉运动,导致大风、沙尘天气的冷空气强大,它推动前部的暖气团强烈抬升,造成此次天气出现。

3.3 螺旋度

螺旋度是一个表征流体边旋转边沿旋转方向运动的动力特性的物理量,常用于暴雨等强对流天气的诊断,很少用于大风、沙尘。赵光平等^[15]指出螺旋度在沙尘暴预报中有重要的作用,对沙尘暴发生、发展的落区有很好的指示性,因此对螺旋度的研究很有必要。文中计算讨论螺旋度^[16],试图找出螺旋度在本次大风沙尘天气发生中的指示意义。

根据大风和沙尘发生的区域,选取范围37°~42°N,74°~78°E,利用NCEP再分析资料(水平分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$)计算发生区的螺旋度。

3.3.1 螺旋度的高度时间分布

为了了解大风、沙尘发生前后螺旋度的变化分

布,计算了发生地 2010 年 3 月 27 日 20 时—3 月 29 日 08 时的螺旋度。图 2 给出了阿图什(a)、乌恰(b)站大风沙尘发生前后螺旋度随时间的变化。分析发现,螺旋度的高度时间变化与大风沙尘出现的时间及强度有着很好的对应关系,阿图什、乌恰大风沙尘出现前(3 月 28 日 02 时),螺旋度在高度和时间变化上都相对稳定,整层呈“+ - +”的垂直分布,正、负螺旋度值较小且接近于 0,负值区域同处在 400~550 hPa 之间;大风、沙尘开始后(3 月 28 日 08—14 时)正、负螺旋度值区均迅速扩大,呈现出明显的上负下正配置,600 hPa 以上均为负值控制,负值中心在 500 hPa(阿图什)和 400 hPa(乌恰),均出现在 2010 年 3 月 28 日 14 时前后,表明在此时大风、沙尘发生区旋转运动达到最强;大风、沙尘结束后(3 月 28 日 20 时—3 月 29 日 08 时),螺旋度上负下正的配置消失,正、负值区均迅速变为 0 值区。从大风沙尘发生地的阿克陶、阿合奇站也分析出同样的特征。

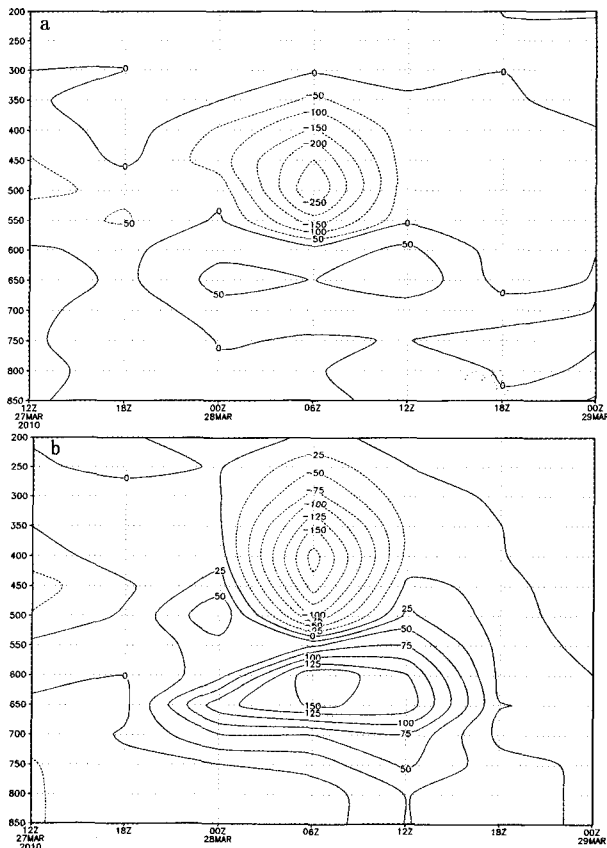


图 2 螺旋度高度时间(世界时)变化
(a 为阿图什;b 为乌恰)

3.3.2 螺旋度的垂直分布

图 3a 是大风沙尘发展最强(3 月 28 日 14 时)

时刻,沿发生区中心经度(75°E)作的螺旋度经向垂直剖面图。可以看出,39°~41°N,即大风沙尘发生范围内,螺旋度上负下正配置结构十分清楚,550 hPa 以上为较强的负值,负值中心位于 400 hPa,550~750 hPa 为较强的正值,正值中心在 600~650 hPa,正、负中心值均达到 $-150 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,最强的上负下正的配置位于 40°N 上空,此时阿克陶站正发生大风伴沙尘暴的强风沙天气,极大风速达 23.2 m/s,能见度低至 300 m。

图 3b 是 3 月 28 日 14 时,沿发生区中心纬度(40°N)作的螺旋度纬向垂直剖面图,较清楚地看出,74~76.5°E 区域上负下正配置分布整层,550 hPa 以下为正值区,正螺旋度中心在 75°E 上空的 600~650 hPa,中心值达 $150 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,负值区域分布呈 NW-SE 走向,中心东南落到在 75.5~76°E 上空的 450~550 hPa 之间,强度值达 $-250 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

对大风沙尘发生前、后(3 月 28 日 08 时、20 时)沿发生区中心经度(75°E)和中心纬度(40°N)作的螺旋度经、纬向剖面显示,大风沙尘发生前发生区上空螺旋度无上负下正配置,发生后上负下正配置消失。

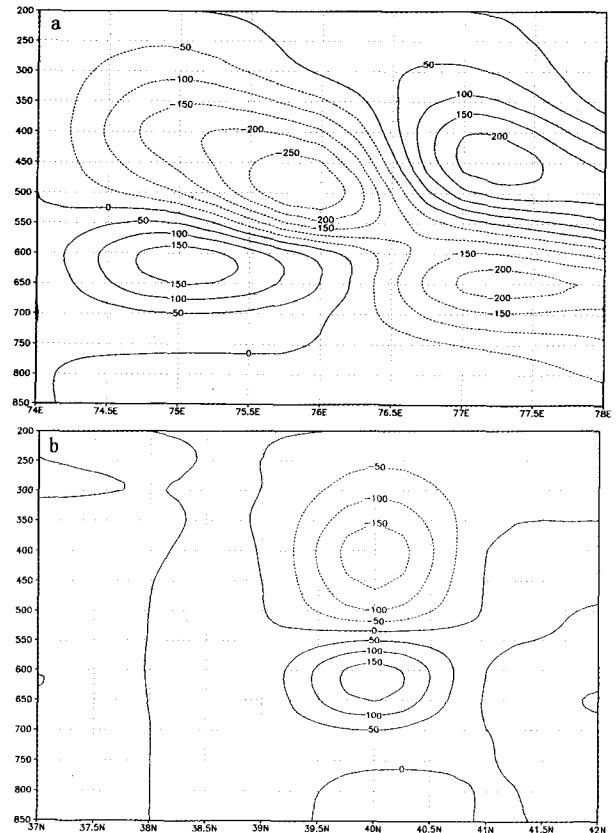


图 3 3 月 28 日 14 时大风沙尘中心所在经度(75°E,a)和纬度(40°N,b)垂直剖面图

4 大风沙尘天气发生前后的地面气象要素变化

通过对此次大风沙尘天气发生前后(3月23日至3月30日)阿图什本站平均地面气压、日平均气温、日最低气温及日平均相对湿度的统计分析,给出以下变化特征。

4.1 日平均气压、日平均相对湿度的变化

由图4a可以看出,3月23日至3月24日气压呈上升趋势,1 d上升2.7 hPa。3月24日至3月27日气压迅速下降,3 d下降8.3 hPa。分析认为,造成气压迅速下降的主要原因是由于大风、沙尘天气来临前,地面受低气压控制。随后由于冷空气不断南压,气压呈上升趋势,从大风、沙尘天气过境前1 d到过境后1 d,气压上升了8.1 hPa。由此可以看出,伴随着大风、沙尘天气过境,地面气压出现剧烈的变化。

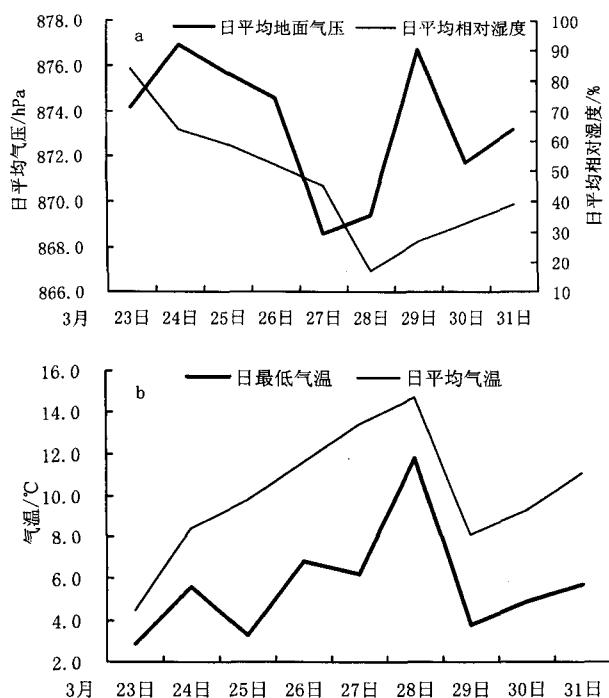


图4 平均气压(a)、日相对湿度(b)变化

大风出现的当天是相对湿度最小的一天。在大风沙尘天气到来前期,空气湿度存在明显的下降过程,从3月23日至3月28日下降了67%。从天气过后到3月31日呈缓慢上升,上升了22%。

分析认为,随着春季气温的不断升高,地表加热迅速,造成空气相对湿度减小,在风沙到来之前,地面空气处于干暖状态,当有冷空气过境时,对起风沙十分有利。当冷空气过境后,虽然相对湿度略有上升,但仍维持较低的状态。

4.2 日平均气温变化

在大风、沙尘天气来临前后的3月23—28日,日最低气温和日平均气温处于上升阶段,尤其是日平均气温上升很快,从3月23日的4.5℃上升到3月28日的14.7℃,共上升了10.2℃,而日最低气温3月23日—3月26日,从2.9℃上升到6.8℃,3月27日略有下降,到天气发生的当天,日最低气温上升到11.8℃,上升了8.9℃。在天气结束第二天,日最低气温下降了8℃,日平均气温下降了6.6℃,降温幅度剧烈。随后气温开始明显回升。

5 结论

(1)此次大风沙尘天气过程覆盖面大,影响范围广,灾情重,能见度低,瞬时风速大,这也是历史同期最为严重的一次天气过程。影响系统主要是高空低压槽和地面锋区。高空急流下沉造成的高空动量的有效下传是另一个重要原因。

(2)垂直速度场上冷锋前表现为明显的上升运动。此时克州地区位于下沉气流区内。克州地区的阿图什、乌恰正好处于下沉气流区的控制下,冷锋后为下沉运动,导致大风、沙尘天气的冷空气强大,它推动前部的暖气团强烈抬升,造成此次天气出现。

(3)螺旋度的变化对大风沙尘天气具有较好的指示意义,大风沙尘上空螺旋度垂直分布表现为高层负值,低层正值,高层螺旋度的负值的演变和大风沙尘的出现有对应关系。

(4)大风沙尘天气过境前后,地面气象要素表现出明显的突变:降压—升压—降压、升温—降温—升温及减湿—略增湿的特点。

参考文献:

- [1] 王式功,董光荣.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.
- [2] 王式功,王金燕,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.
- [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] 杨民,蔡玉琴,王式功,等.2000年春季中国北方沙尘暴天气气候成因研究[J].中国沙漠,2001,21(增刊):6-11.
- [5] 郑新江,徐建芬,罗敬宁,等.1998年4月14—15日强沙尘暴过程分析[J].高原气象,2001,20(2):180-185.
- [6] 徐国昌,陈敏莲,吴国雄.甘肃省4.22特大沙尘分析[J].气象学报,1979,37(4):26-35.
- [7] 岳平,牛生杰,张强.民勤一次沙尘暴的观测分析[J].高原气象,2008,27(2):401-407.

- [8] 杨莲梅,张广兴,杨青.南疆盆地翻山型沙尘暴环流动力结构分析.中国沙漠,2006,26(1):71-75.
- [9] 王旭.新疆大风的时空统计特征[J].新疆气象,2002,25(1):1-3.
- [10] 杨东贞,纪湘明,徐小斌.一次黄沙天气过程的分析[J].气象学报,1991,49(3):334-342.
- [11] 江吉喜.1993年5月5日甘肃等地特大沙尘暴成因分析[J].应用气象学报,1995,6(2):177-184.
- [12] 腾跃,王万瑞,贺皓,等.陕西一次强沙尘暴过程诊断分析[J].中国沙漠,2008,28(4):770-774.
- [13] 姜学恭,沈建国,刘景涛,等.导致一例强沙尘暴的若干天气因素的观测和模拟研究[J].气象学报,2003,61(5):606-620.
- [14] 强明瑞,肖舜,张家武,等.柴达木盆地北部风速对沙尘暴事件降尘的影响[J].中国沙漠,2007,27(2):290-295.
- [15] 赵光平,王连喜,杨淑萍.宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统[J].中国沙漠,2001,21(2):175-181.
- [16] 陶健红,王劲松,冯建英.螺旋度在一次强沙尘暴天气分析中的应用[J].中国沙漠,2004,24(1):83-87.

An Analysis of a Strong Wind in Kezhou Area

WANG Jin-hui¹, LIU Hai-tao², WANG Dong¹, ZHAO Zhi-peng^{1,3}

(1.Kezhou Meteorological Bureau, Atushi 8453500, China; 2.Hotan Meteorological Bureau, Hotan 848000, China; 3.Xinjiang Information Science and Technology School, Urumqi 830013, China)

Abstract: Using the conventional observation data, numerical prediction physical quantity field and NCEP/NCAR reanalysis grid points data, this paper carried through diagnostic analysis on an infrequent weather process with gale and sandstorm happened in Kezhou of Xinjiang in March 28th 2010, and explored the reasons for the extreme weather. The results showed that: The combination of the upper low trough, surface cold front, strong cold advection after front, intensified upper-level jet and secondary circulation in upper-air made the upper momentum downward transfer efficiently to land surface. The vertical helicity distribution with the feature of positive upper-level and negative lower-level was well related to the gale and sandstorm weather. The intense variations of weather factors such as pressure, temperature, humidity before and after the extreme weather showed good instructive significance for forecasting.

Key words: momentum downward transfer, helicity, abrupt change of weather factors