

2000年4月12日特强沙尘暴天气分析

徐建芬 陶健红 杨 民 杨建才

(兰州中心气象台, 730020)

提 要

对2000年4月12日发生在甘肃、青海、宁夏的一次强沙尘暴天气进行了天气成因分析。分析指出,“4.12”沙尘暴是西北路径强冷空气引发的锋后西大风沙尘暴天气过程。前期持续增温为沙尘暴的发生提供了有利的热力条件;河西气旋性涡旋的生成、发展是激发沙尘暴的中尺度天气系统;西北地区干暖舌的形成和维持对沙尘暴的发生以及落区有很好的指示性。高空急流发生异变时的非平衡状态变化导致对流层中下部锋区加强和大气层结不稳定,为中小尺度系统和沙尘暴的产生提供了有利的大尺度环流背景。河西狭管地形和特殊的流沙、尾矿砂地表为沙尘暴形成提供了有利的地理环境。

关键词: 沙尘暴 中低压 干暖区 急流异变

前 言

2000年春季西北地区干旱少雨,大风、沙尘暴发生频繁,3~5月发生区域性大风沙尘暴12次,其中4次为强沙尘暴。

4月12日是最强的一次区域性大风沙尘暴天气。甘肃、青海、宁夏等省区风力达8级以上,能见度普遍低于400m。从图1看出,沙尘暴强中心位于甘肃河西中、东部和青海

省柴达木盆地,其中甘肃的永昌、金昌、武威、民勤、古浪、乌鞘岭等地最低能见度接近0m。沙尘暴覆盖了36~42°N、90~107°E范围内40多万km²的区域。强沙尘暴13时42分西起肃南,经张掖、民乐、山丹以平均60~70km·h⁻¹的速度向东推移;16时43~45分到达永昌和金昌,金昌瞬间最大风速25m·s⁻¹;从山丹到金昌移速最快,达85~

100km·h⁻¹,与“1993.5.5”黑风相近,但沙尘暴加强时速度减慢。17~18时先后到达武威、民勤、古浪等地;19~21时移过乌鞘岭、景泰、白银,然后减弱东移。随着沙尘的向东南扩散,甘肃的中部、陇东、天水、甘南等地以及陕西部分地区均出现浮尘、扬沙天气。沙尘暴给甘肃、青海等省区的工农业生产、交通运输带来极大影响。

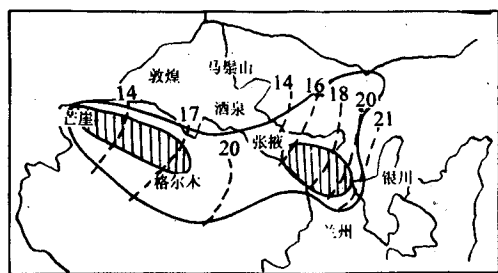


图1 2000年4月12日沙尘暴前沿等时线移动图
实线区为大风沙尘暴区,阴影区为强沙尘暴区

1 高空环流特点及影响系统

分析北半球500hPa高空图(略)可知,2000年4月上中旬,极涡一直位于东半球新地岛附近,其底部不断分裂冷空气东移南下,欧亚中高纬度多短波槽脊活动,我国西北地区处在西西北气流中。同期700和300hPa西北地区均受暖脊控制,整层增温显著。4月10日,新地岛以北的冷气团南下,在西西伯利亚堆积,形成深厚的低压槽和强锋区。11日08时,由于冰岛冷空气加强,促使下游中亚至乌拉尔山的高压脊迅速发展,西西伯利亚低槽加强东南移,低槽附近出现-140gpm的 ΔH_{24} 中心。11日20时,低槽进入北疆,锋区进一步加强,低槽前后正负 ΔH_{24} 差达280gpm,冷槽底部在天山至河西走廊形成一支风速大于20m·s⁻¹的强西风带;对应700hPa高空锋区位于北疆东部,槽后有大片降温区,槽前为升温区, ΔT_{24} 中心达7℃。12

日08时,500hPa高空低槽与锋区再度加强,槽后出现-30℃冷中心。高空强风中心达到40m·s⁻¹。12日20时500hPa高空锋区进入河西走廊和柴达木盆地。形势演变中,北支锋区及强风带不断南压加强影响甘肃、青海。13日08时,冷空气减弱东移至河套地区。

2 冷空气源及地面触发机制

2.1 地面冷高压及其冷锋

以往分析表明,影响西北地区沙尘暴的冷空气移动路径有三条^[1]。一是西北路径:强冷空气来源于冰洋气团,自西西伯利亚经新疆、内蒙古西部东移入侵河西走廊造成大风沙尘暴,然后移至鄂尔多斯。此类沙尘暴范围广、强度大、发生次数最多,如:“1993.5.5”黑风属此类型。二是北方路径:冷空气来自极地气团或变性气团经贝加尔湖、蒙古国南下直冲我国西北东部、华北等地造成大风沙尘暴,2000年春季华北以及北京的沙尘天气多为此类,如:“2000.4.6”北京扬沙、浮尘天气。三是西方路径:冷空气从中亚翻越帕米尔高原进入南疆沿塔里木盆地东移,影响南疆及河西西部,如:“1999.5.13~14”沙尘暴。

“2000.4.12”强沙尘暴属于西北路径强冷空气引发的锋后西大风沙尘暴。冷空气源于新地岛以北的冰洋气团(图略)。4月10日,当新地岛冷空气沿乌拉尔山脊南下加深时,西西伯利亚冷高压形成并东移,其前部的地面冷锋位于巴尔喀什湖附近。11日08时,冷高压东移加强,中心达1035hPa。地面冷锋移至北疆西部。11日20时,冷高压中心在53°N、80°E,强度为1033hPa,其前部冷锋迅速东南下,进入北疆沿天山一线,冷锋前后气压梯度开始加大,北疆部分地区出现大风天气。12日08时,冷高压东移加强并分裂成两个中心,北部中心强度达1040hPa,南部中心快速向东南移至乌鲁木齐,强度达1026hPa,

冷锋翻越天山进入内蒙古西部热倒槽,猛烈加强,直冲河西走廊,冷锋附近 ΔP_3 差达 6.7hPa。14 时冷锋移至河西中部再度加强,冷锋前后的 ΔP_3 差达 7.1hPa,17 时 ΔP_3 差增强到 10.7hPa,16~20 时冷锋先后过金昌、武威、民勤等地,冷锋所经之处出现大风沙尘暴。16 时 45 分冷锋移过金昌时还爆发了黑风。另一股冷空气从天山东麓灌入南疆东部,并迅速东移影响柴达木盆地,锋后正 ΔP_3 达 6.0 hPa,进入柴达木盆地的冷空气继续东移,使青海大部分地方出现了大风、沙尘暴天气,茫崖最大风速达 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,能见度为 0m。13 日 00 时冷高压及其冷锋减弱东移,大风沙尘暴天气结束。

2.2 地面中尺度环流

分析 12 日 14 时地面流场(图略)可以看出,冷锋前在河西东部有一对气旋和反气旋环流中心,气旋性涡旋中心在永昌、民勤和乌鞘岭之间,中心气压为 998 hPa,低压前部 ΔP_3 为 -4.1hPa,涡旋中心位于锋前约 2 个纬距。反气旋环流在涡旋北侧。12 日 17 时涡旋原地维持,范围缩小,形成水平尺度约 200km 的中尺度低涡(图略)。此时冷锋进入低涡,永昌由东北风转为西北风,风速为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,明显加大,并伴有沙尘暴。同时升压降温,锋后 ΔP_3 迅速增强到 +6.3hPa。民勤处在锋前升温区,温度达 23°C ,气压下降至 996hPa, ΔP_3 为 -4.4hPa,变压梯度加强。冷锋侵入暖性低涡,触发不稳定能量释放,从而产生沙尘暴。低压中心沙尘暴最强,持续时间也最长,达 90~160min。金昌沙尘暴持续了 95min、永昌 152min,之后低涡变性迅速减弱。反气旋环流沿涡旋东侧南移。20 时中低压消亡,生命史约 5~6h。由上可知,河西东部中尺度系统的生成、发展与沙尘暴的发生、加强和持续时间密切相关。中低压的形成使

冷锋前后气压梯度加强,其中心强辐合上升运动支持沙尘在空中悬浮,从而造成持续时间长、强度大的沙尘暴天气^[1,2]。

3 干舌与沙尘暴

分析沙尘暴期间湿度分布(图 2)可看出,12 日 14 时河西西部有一个露点温度大于 -5°C 的湿中心。从内蒙古西部有一个干舌向河西中、东部伸展,本省中部及以北地区露点温度均在 -10°C 以下。柴达木盆地是一个 -25°C 的干中心,沙尘暴区与两个干区分布十分一致,柴达木盆地沙尘暴位于 -15°C 的包围区内,河西沙尘暴在 -10°C 的等值线所包围的干区中,大于 -5°C 的湿区内无沙尘暴。因此,当冷锋自北疆经河西走廊东移时,河西西部的湿区中没有出现沙尘暴,而在河西东部和柴达木盆地的干区形成强沙尘暴天气。可见,除了冷锋及其前部中低压的影响外,干区的存在是沙尘暴形成的重要条件。

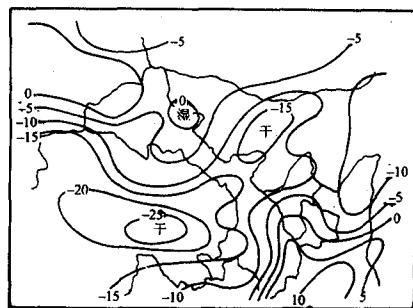


图 2 2000 年 4 月 12 日 14 时地面露点图

4 气象要素变化和 不稳定能量的释放

沙尘暴随地面冷锋自西向东迅速推移历经 8 个小时,冷锋过境前后气象要素变化剧烈。冷锋前部温度高、气压低、空气干燥、天气晴朗。冷锋一到,气象要素发生跳跃性变化。从沙尘暴发生前期 8 日 08 时~12 日 08 时温度(图略)一直呈上升趋势,邻近沙尘暴发生时(12 日 15 时)温度达到 23°C (图 3),本站气压降至 851.0hPa,湿度降到 15% 以下,

空气暖而干燥。冷锋过境,风速突然加大,瞬间风速达 $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,能见度降至 0m ,15min 气压猛升了 1.8hPa ,温度下降 4.8°C ,这与“1993.5.5”黑风要素变化相似。前期升温降压和晴朗干燥的大气为沙尘暴的形成积蓄了热能。从民勤地面至高空各层温度变化(图略)也可看出,12日08时以前整层持续增温显著,低层增温强于高层,不断积蓄热能。到12日08时300hPa开始降温,低层仍然增温,因而在河西东部形成了下暖上冷的不稳定大气层结。因此,冷锋过境,扰动加强,触发不稳定能量释放,顿时狂风大作,沙尘四起,出现强沙尘暴。格尔木要素变化基本相似,不再赘述。

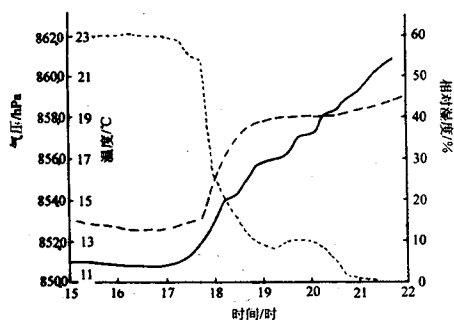


图3 2000年4月12日民勤逐时压温湿演变曲线
实线:气压 段线:相对湿度 虚线:温度

5 高空急流异变对沙尘暴的作用

分析300~200hPa高空形势(图略)看出,沙尘暴期间,在 $55\sim 60^\circ\text{N}$ 有一支强的极锋急流,这支西北急流由北欧经西西伯利亚进入新疆北部,与从 35°N 附近北上的副热带西风急流在我国西北地区汇合,形成一支风速达 $25\sim 50\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西风急流。急流合并后东移南压,强度加强,急流以下的风速加大。急流的这种振荡合并^[3],对沙尘暴发生起到重要作用:①对流层中、下层500和700hPa锋区明显加强。②导致大气层结不稳

定和低层中低压的发展。民勤和格尔木各层温度变化(图略)均能反映低层增温强烈,高层升温不明显或先降温的特点。在沙尘暴发生区上空形成不稳定大气层结。从张掖高空风随时间变化(图略)也能得到解释。高空急流加强,张掖等风速线自急流中心不断向下伸展,动能下传,下层西风气流加大。12日500hPa风速加大到 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对流层锋区加速东移,高层先降温,不仅利于形成不稳定的大气层结,上升运动加强,而且引起地面减压,有利于地面中低压发展。可见两支急流异变时非平衡状态的变化为中小尺度系统的发生、发展以及沙尘暴的产生提供了有利的大尺度背景。

6 地形地表与沙尘暴

沙尘暴的发生除了热力和动力因素外,地形和沙尘源的类型对沙尘暴的影响也十分重要。河西走廊呈西北东南走向,长1100多公里。南有祁连山、阿尔金山,北边马鬃山、合黎山、龙首山,南北山之间形成较窄的狭管。当冷空气经过时,地形引起的狭管效应,使风力明显加大。金昌位于龙首山与祁连山之间的狭窄处,南北宽度仅数十公里,狭管效应更为显著。到河西东部开口处狭管效应减弱,风力减小,沙尘暴也逐渐减弱。另外,沙尘源的类型和表面硬度是决定起沙量的重要因素。据观测,民勤、金昌等地属流沙和尾矿砂物源类型,表面硬度小,为 $0.2\sim 0.5\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$,出现大风时容易扬沙起尘,为沙尘暴提供丰富的沙尘源。戈壁和固定沙丘表面硬度大,可达 $7.9\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$,一般不易起沙^[4]。如果戈壁表面遭受人为破坏,表面支持强度就大大减小,与流沙相近。因此12日下午冷空气侵入时,金昌、永昌等地风力最大,沙尘暴最强。可见河西狭管地形和特殊的流沙、尾矿砂地表为沙尘暴形成提供了极为有利的条件。

7 小结

(1)这是一次西北路径冷空气引发的锋后西大风沙尘暴天气过程。不断加强的西西伯利亚低压槽和地面冷锋入侵是沙尘暴爆发的重要动力机制。

(2)地面流场上,河西气旋性涡旋的生成、发展是激发沙尘暴的中尺度天气系统,前期持续增温和降压为沙尘暴爆发提供了有利的热力条件。

(3)西北地区干暖舌的形成和维持对沙尘暴的发生以及落区有很好的指示性。当有冷锋过境时,干暖区是沙尘暴发生的最有利的环境和落区。

(4)高空急流发生异变时非平衡状态的变化导致对流层中下部锋区加强和大气层结

不稳定,为中小尺度系统的发生、发展和沙尘暴的产生提供了有利的大尺度环流背景。

(5)河西走廊地形的狭管效应和特殊的流沙、尾矿砂地表为沙尘暴形成提供了极为有利的地理环境。

参考文献

- 1 徐国昌,吴国雄等. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报, 1979,37(4):26~35.
- 2 徐建芬等. 我国西北地区“4.5”沙尘暴研究. 中国沙漠,1996,16(3):281~285.
- 3 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. 中国沙尘暴研究,北京:气象出版社,1997:65~69.
- 4 夏训诚,杨根生等. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治. 北京:中国环境科学出版社,1996:27~31.

An Analysis of Strong Sandstorm on 12th April

Xu Jianfen Tao Jianhong Yang Min Yang Jiancai

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, Gansu Province 730020)

Abstract

A strong sandstorm weather process occurred on the 12th April 2000 in Gansu, Shanxi and Ningxia provinces is analyzed. The results show that the event was caused by the northwest strong cold air. Before the occurrence of sandstorm, continual temperature rising was the favorable thermal condition, and the development of Hexi cyclonic eddy was meso-scale system which stimulated the sandstorm. The development and persistence of dry-warmer sector in northwest is the index of its occurrence. Unbalanced state of the abnormal jet intensified the front over middle and lower troposphere and the unsteady atmospheric level which provided a favorable large-scale circulation environment. Moreover, the long and narrow terrain and special quicksand, quick ore-sand over the ground surface also provided a favorable condition geographically.

Key Words: sandstorm meso-low dry-warm sector abnormal jet