

2004年3月27—30日北方沙尘暴天气分析

程海霞 帅克杰 李毓富

(山西省晋城市气象局 048000)

摘要

本文对2004年3月27~30日发生在青海西北部、甘肃西部、内蒙古中西部等地的一次沙尘暴天气过程从天气事实、天气学成因等方面进行了分析和诊断,指出这次沙尘暴过程发生在大气环流调整过程中,前期持续增温为沙尘暴的发生提供了有利的热力条件;斜压槽及强锋区、蒙古气旋和冷锋是触发这次沙尘暴天气过程的重要天气系统;高空急流异变导致了对流层中下层锋区的加强和大气层结的不稳定,为中小尺度系统和沙尘暴的发生提供了有利的大尺度环流背景;高空急流的动能下传,导致下层西风气流明显加大;高空急流对沙尘暴的落区有很好的指示性。

关键词: 沙尘暴 蒙古气旋 急流异变

1 引言

沙尘暴天气是我国北方的灾害性天气之一,其强大的风力,裹挟着大量的沙尘给工农业生产、交通运输、人们生活及生态环境等都造成了严重的危害。从统计表明,近几十年来我国的沙尘暴天气发生呈波动减少的趋势,但近几年来,发生在我国的沙尘暴天气呈现出逐渐增多的趋势。1999—2002年,我国春季发生沙尘暴天气53次,仅2001年我国就出现了18次沙尘暴天气过程,给受沙尘暴侵袭的地区带来了严重的危害。2004年3月27—30日,在我国北方自西向东出现了一次大范围、高强度、持续时间长的大风和沙尘天气过程。27日—29日,西北地区东部、华北、黄淮、东北大部出现了5—7级偏北风,短时风力达到8—9级,致使内蒙古中部、宁夏东北部、南疆盆地、山西北部、河北西北部、北京、天津出现沙尘天气,沙尘暴和强沙尘暴主要出现在青海西北部、甘肃西部、内蒙古中西部等地,其中内蒙古锡林郭勒盟地区地震灾区的能见度仅为10—60米,是该地区近30年以来罕见的一次强沙尘暴天气过程。沙尘暴天气不仅给受灾最严重的内蒙古的城市建筑和环境、农牧业生产造成巨大损失,也对锡林郭勒盟的抗震救灾工作产生了严重影响。据当地抗震救灾总指挥部不完全统计,持续的强沙尘暴导致数千顶救灾蒙古包、帐篷损毁丢失,1万多名灾民被迫露天等待救援,5000多头牲畜失踪,500多头牲畜死伤。农牧民的房屋、棚圈、网围栏、蒙古包等被毁坏,直接经济损失达6千余万元。

沙尘天气(包括沙尘暴、扬沙、浮尘)是由大风造成的能见度恶劣的天气现象,尽管其产生的原因十分复杂,但很多学者研究表明,沙尘天气的发生需要三个必要条件:一是足够强的风力;二是热力不稳定(低层处于垂直不稳定状态);三是大风经过的区域内下垫植被稀疏,土质干燥疏松,存在着丰富的沙尘源。

2 沙尘暴天气概况

3月27—29日,受蒙古气旋及地面冷锋的共同影响,我国西北、华北的部分地区发生了2004年春天最强的一次大风沙尘暴天气。沙尘暴覆盖了32—48°N, 93—132°E范围内的广大区域。沙尘暴于25日产生于蒙古国西部及北部,范围较小,逐渐向东南扩展;27日05时,影响了我国甘肃的酒泉、金塔及内蒙古的海力素;27日上午一下午,蒙古气旋及地面冷锋继续东移南压,沙尘暴范围扩展到内蒙南部、西部,甘肃中部及山西北部等地;28—30日,随着蒙古气旋及地面冷锋的继续东移,被卷到空中的沙尘在高空强西北气流的输送下,迅速向东、向南扩散,导致辽宁中部、河北的部分地区、陕北、北京、天津等地出现了扬沙、浮尘天气;30日下午,浮尘飘移至朝鲜半岛,影响了朝鲜半岛中部和南部的大部分地区。

3 沙尘暴天气成因分析

3.1 前期西北地区上空大气异常增暖

2004年春季,我国西北地区气温偏高,降水偏少,加快了土壤含水量的蒸发速度,导致表层土壤疏松。3月下旬,我国西北地区出现了明显的增温。暖空气异常深厚,从地面一直延伸到500hpa高空,这可以从锡林浩特等站的高空温度~时间曲线图上清楚地看出(图略)。26日—27日,暖空气发展到鼎盛时期,东西跨距27个经距,笼罩了新疆、内蒙古中西部和蒙古国西部。在700hpa,锡林浩特27日08时的温度比24日上升了14℃,乌拉特中旗700hpa上的温度在24—27日也上升了13℃。沙尘暴过程前西北地区地面也异常增温,增温幅度多在8—14℃之间。前期西北地区上空大气异常增暖为地面热低压的发展和沙尘暴的发生提供了热能。南疆盆地为暖干气流输送,引起动力减压,再加上地面辐射增温,地面热低压发展,激发了沙尘暴天气,沙尘暴就发生在温度最高之时。

3.2 环流形势调整

3月下旬前期,北半球500hpa中高纬度为纬向环流,3月26日,乌拉尔山以东的冷低压加深发展并东移,由于上游能量频散,导致亚洲环流由纬向环流向经向环流调整。27—30日的大范围沙尘天气就发生在这个调整过程中。

3.3 斜压槽与强锋区

分析27日08时700hpa和850hpa的天气形势图(见图2(a)和图2(b)),在我国新疆及内蒙古高原西部,温度槽明显落后于高度槽,大气处于不稳定状态。500hpa上(见图1),27日08时在新疆北中部—蒙古高原西部形成了一支 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西北向强风速带,最大风速为 $44\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。强冷平流向内蒙及河西输送,扰动加强。

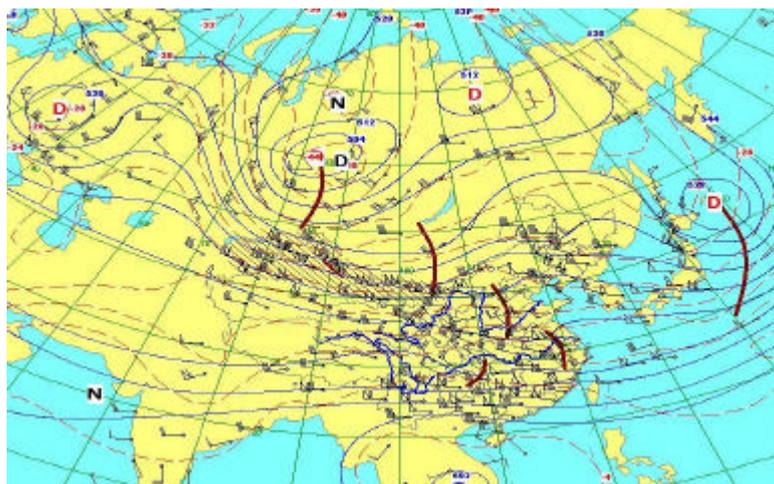


图1 3月27日08时亚欧500hpa高空天气图(虚线为等温线,实线为等高线)
(阴影区为风速 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强风速区)

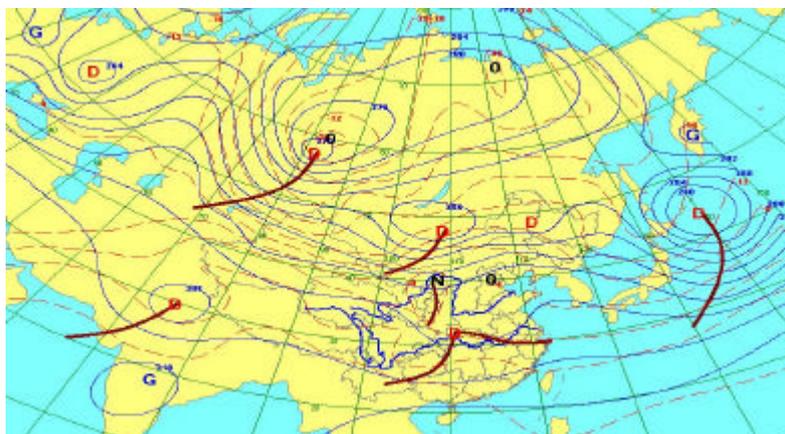


图2(a) 3月27日08时亚欧700hpa高空天气图(虚线为等温线,实线为等高线)

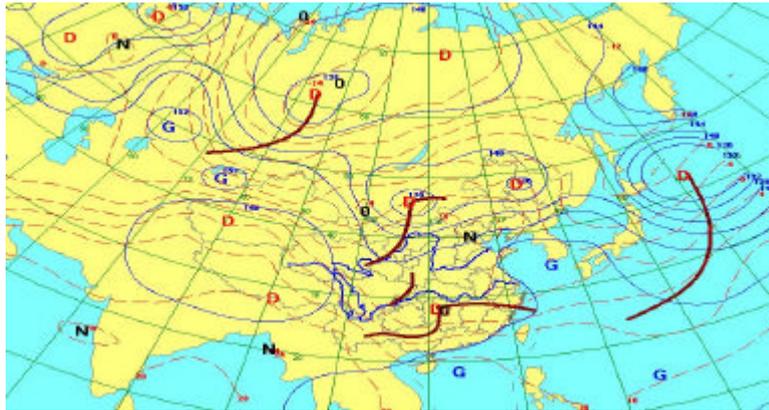


图2(b) 3月27日08时亚欧850hpa高空天气图(虚线为等温线,实线为等高线)

3.4 蒙古气旋和地面冷锋的形成、发展与移动

此次强沙尘暴天气过程属于蒙古气旋和冷锋共同作用引起的类型。气旋发展是产生地面大风的主要原因。气旋发展通过加大气压梯度导致地面风速增强。3月下旬前期,在贝湖以北有一低压生成,并有冷锋与之配合东移。26日08时,蒙古气旋还比较弱,主要盘踞在蒙古国,有两个低值中心,一个中心位于 106.62°E , 47.53°N ;另一个中心位于新巴尔虎右旗,中心气压均为1005hpa;26日20时,蒙古气旋向东扩展,并略有南压;27日05时,气旋明显发展,气压梯度力加大,两个中心分别位于 108.23°E , 45.08°N 和齐齐哈尔,中心值分别为1002.5hpa和1007.5hpa,张掖有扬沙出现,海力素出现了沙尘暴。27日11时,西部气旋快速发展,中心气压值降至997.5hpa,内蒙的乌拉特中旗、满都拉、朱日和出现了较大范围的沙尘暴;14时,蒙古气旋继续加强东移,西部低值区在东移过程中与东部低值区合并,沙尘暴区向北向东扩展,出现沙尘暴的测站增加至8个;17时,蒙古气旋继续东移,沙尘暴出现测站增加至9个,向东北延伸至东乌珠穆沁旗,但沙尘暴区面积略有减小;从27日23时—30日14时,蒙古气旋在我国东北地区稳定少动,由于高空强劲的西风急流,在华北出现了大面积的扬沙和浮尘。

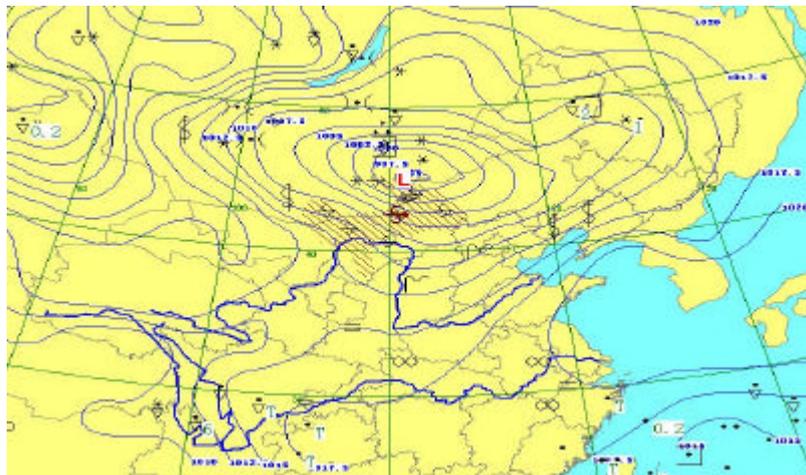


图3 3月27日14时东亚地面天气图(图中阴影区为沙尘暴区)

4 强沙尘暴中心成因分析

4.1 强沙尘暴中心分布特征

分析3月27—28日的沙尘暴,可以看出沙尘暴区主要发生在11时—17时(即地面增温最强的时段,热力不稳定对沙尘暴的形成具有重要作用),内蒙古的西部和中部(具有丰富的沙源)。

4.2 高空急流异变对沙尘暴的作用

分析 300hpa 高空形势可以看出：在这次沙尘天气过程中，在 40—50°N 有一支强极锋急流，这支西北急流由北欧经西西伯利亚进入新疆北中部，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 32—56m·s⁻¹ 的西风急流。合并后的急流强度加强，东移南压，使低层风速明显加大。急流的这种振荡合并对沙尘暴的发生发展具有重要作用：①使得对流层中下层 500hpa、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，从锡林浩特和乌拉特中旗各层温度的变化（表 1、表 2）均能分析出低层增温强烈，高层升温不明显或先降温，热能不断积蓄，在沙尘暴发生区形成了不稳定的大气层结。高空急流加强，自急流中心不断向下伸展，动能下传，导致下层西风气流明显加大。比如 27 日 08 时 500hpa 和 700hpa 内蒙西部和北部的风速分别从 26 日 08 时的 16m·s⁻¹ 和 12m·s⁻¹ 加大到 30m·s⁻¹ 和 20m·s⁻¹。对流层锋区加速东移，高层先降温，不仅有利于形成不稳定的大气层结，使上升气流得到维持和加强，而且引起地面减压，有利于地面中低压的发展。两支急流异变为中小尺度系统的发生、发展及沙尘暴的产生提供了有利的大尺度背景。

表 1 沙尘暴发生前期锡林浩特各层温度（单位：℃）

时间	300hpa	400hpa	500hpa	700hpa	850hpa	地面
24 日 08 时	-55	-42	-30	-17	-5	-6
25 日 08 时	-58	-38	-29	-12	-5	-3
26 日 08 时	-59	-38	-27	-7	3	4
27 日 08 时	-54	-42	-25	-3	7	8

表 2 沙尘暴发生前期乌拉特中旗各层温度（单位：℃）

时间	300hpa	400hpa	500hpa	700hpa	850hpa	地面
24 日 08 时	-50	-37	-25	-12	-3	-6
25 日 08 时	-51	-39	-27	-9	-1	-1
26 日 08 时	-50	-38	-27	-7	2	2
27 日 08 时	-52	-37	-24	1	4	4

4.3 高空急流与沙尘暴中心的对应关系：

在这次沙尘暴天气过程中，高空急流与沙尘暴中心的有很好的对应关系。27 日 08 时，在 300hpa 高空有一支西风急流，27 日的沙尘暴区位于 300hpa 急流中心右前方 3—4 个纬距内，急流出口区的右前侧，即急流下沉支所在区域。

4.4 物理量诊断分析

4.4.1 涡度场分布特征

分析 3 月 27 日 08 时 500hpa 的涡度图（图略），27 日 08 时与高空槽对应，在 43~63°N 范围内为大片正涡度区，有两个高值中心，一个位于 53°N，95°E 附近，中心值为 $80 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，另一个位于 48°N，100°E 附近，中心值为 $60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。27 日 20 时，正涡度区在东移过程中范围缩小，强度有所减弱，西部中心移至 60°N，100°E 附近，中心值减弱为 $40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，东部中心移至 47°N，109°E 附近，中心值为 $60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。涡度中心与 500hpa 急流移动方向一致，沙尘暴区出现在正涡度中心的下风方，等涡度线密集的区域。

4.4.2 高空西风急流的演变

沿 90°E 作 3 月 27 日 08 时风速 u 分量的经向剖面图（图 4 (a)），可以看出，在沙尘暴发生区，850hpa 以上有一支强西风急流，急流中心位于 42~45°N 之间，高度在 250hpa 附近。而沿 100°E 的 27 日 20 时风速 u 分量的经向剖面图（图 4 (b)）显示，急流中心位于 42~46°N 之间，范围扩大，中心强度也从 08 时的 $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增加到 20 时的 $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，高度降至 300hpa 附近。可见次次沙尘暴过程有明显的高空动量下传作用，且冷空气以向东偏北方向移动。因此，最强沙尘暴区的移动路径也是向东偏北方向，主要出现在南疆盆地、内蒙古中西部、甘

肃中部、山西北部、东北南部等地，而陕北、北京、天津等地则以扬沙、浮尘天气为主。

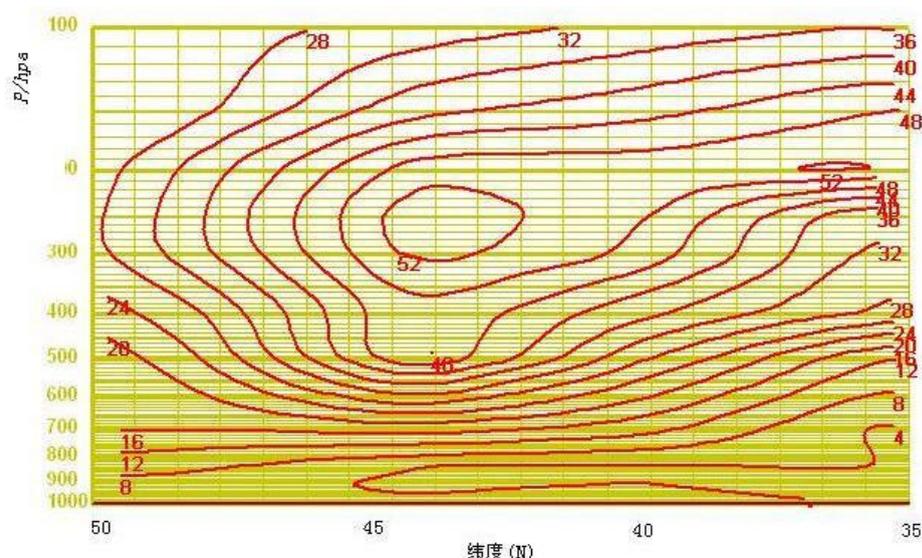


图4(a) 3月27日08时沿90°E的u分量经向剖面图

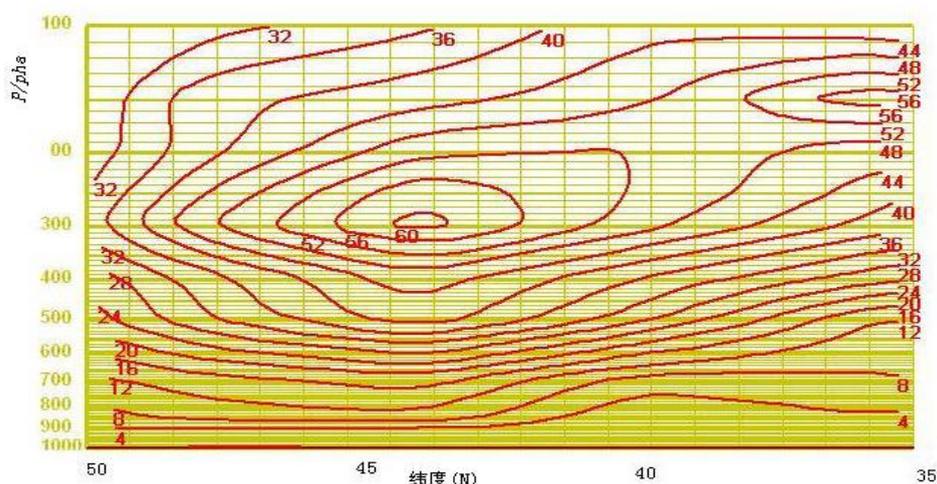


图4(b) 3月27日20时沿100°E的u分量经向剖面图

4.4.3 垂直环流特征

沿3月27日08时的52°N作垂直速度剖面图，可以看到：在600hpa以上，85°E以东为上升运动区，最大上升速度出现在350hpa附近，85°E以西为强烈的下沉运动区，最大下沉速度出现在300hpa附近。3月27日08时的锋区位于85°E附近，可见冷锋前为上升运动，冷锋后为下沉运动，冷锋后的强下沉气流推动其前面的暖气团强烈抬升，形成了本次沙尘暴天气。

5 小结

(1) 2004年3月27~29日的沙尘天气强度大、覆盖面积广，持续时间长，是2004年春季最强的沙尘暴过程。在高空西风急流的输送下，沙尘远距离输送到了东北、华北乃至朝鲜半岛。沙尘暴和强沙尘暴主要出现在青海西北部、甘肃西部、内蒙古中西部等地，发生时间主要集中在3月27日的11~17时，即地面增温最强的时段。本次沙尘天气的移动路径为向东偏北方向。

(2) 这次沙尘暴过程出现前，西北地区持续高温少雨，大气异常增暖，为地面热低压的发展和沙尘暴的发生提供了热能。这次大范围沙尘天气发生在在亚洲环流由纬向向经向调

整的过程中。斜压槽及强锋区、蒙古气旋和冷锋是触发这次沙尘天气过程的重要天气系统。

(3) 在这次沙尘天气过程中, 高空急流异变对沙尘暴的发生产生了重要作用; 使得对流层中下层 500hpa、700hpa 锋区明显加强, 导致大气层结不稳定和低层中低压的发展。

(4) 高空急流与沙尘暴中心有良好的对应关系, 强沙尘暴出现在急流出口区的右前侧, 即急流下沉支所在区域。

(5) 沙尘暴发生在 500hpa 正涡度中心下风方的等涡度线密集区。

参考文献

- 1 刘景涛, 郑新江, 康玲. 2002 年 4 月 6 日中国北方沙尘暴过程成因分析. 蒙古气旋无爆发性发展导致的强沙尘暴个案研究. 气候与环境研究, 2003, 8 (2): 218~229.
- 2 姜学恭, 沈建国, 刘景涛. 导致一例强沙尘暴的若干天气因素的观测和模拟研究. 气象学报, 2003, 61 (5): 606~610.
- 3 许东蓓, 康凤琴, 郑新江. 1998 年 "4.18" 强沙尘暴分析及数值模拟. 气象, 2002, 28 (8): 9~13.
- 4 徐建芬, 陶健红, 杨民. 2000 年 4 月 12 日特强沙尘暴天气分析. 气象, 2002, 27 (6): 23~25.

Northern Sandstorm Analysis on 27th to 30th March in 2004

Cheng HaiXia^{1,2} Ding Zhiying¹ Shuai Kejie² Li Yufu²

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, 210044;

2. Jincheng Weather bureau, Shanxi, 048000)

Abstract: Based on weather facts and synoptic cause for formation, a sandstorm weather case occurred in northern China on 27th to 30th of March, 2004 is analyzed and diagnosed. It found that this sandstorm occurred in the course of adjusting of atmospheric circulation, and continual temperature rising in earlier stage offered the favorable thermal condition for emergence of the sandstorm; Baroclinic trough, strong frontal zone, Mongolian cyclone and cold front are important weather systems which stimulated this sandstorm weather course; High altitude abnormal jet intensified the front over middle and lower troposphere and the unsteady atmosphere level, which provided a favorable large-scale circulation environment for emergence of medium and small scale system and sandstorm, and the spreading of kinetic energy of the jet of high altitude led to the fact that western atmosphere of lower troposphere strengthened obviously; High altitude jet is instructive to the settling area of the sandstorm.

Keywords: Sandstorm Mongolian cyclone Abnormal jet