

文章编号: 1006-4354 (2004) 05-0001-05

一次强沙尘暴天气成因与诊断分析

纪晓玲¹, 孙田文², 胡文东¹, 刘庆军¹

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏银川 750002; 2. 铜川市气象局, 陕西铜川 727031)

摘要:利用常规气象资料,对2002-03-19西北地区出现的一次强沙尘暴天气过程,从天气成因、物理量诊断等方面进行分析。结果表明:西伯利亚强冷空气东移南压,在新疆至河西上空形成强锋区,地面蒙古气旋强烈发展是引发此次沙尘暴天气的主要原因。沙尘暴发生在冷锋后强下沉气流和较强气压梯度区。锋生函数和总能量的变化特征、高空急流与干暖舌的形成与维持,与这次沙尘暴过程实况、强度、落区等有良好的对应关系,对宁夏沙尘暴预报具有较好的指示意义。

关键词:强沙尘暴; 天气成因; 诊断分析

中图分类号: P458.1

文献标识码: B

西北地区是我国沙尘暴多发区。由于沙尘暴天气来势迅猛,造成的危害严重,并随着经济社会的发展,同等程度的沙尘暴天气造成的损失将越来越严重。因此,越来越引起社会各界的广泛关注和高度重视。

2002-03-19—21我国北方地区暴发了一场20世纪90年代以来强度最强、影响范围最广的沙尘天气过程。本文从观测事实出发,对此次强沙尘暴过程天气成因和形成机制进行了诊断分析,有助于深入了解沙尘暴天气的发生发展规律、形成机制,对进一步做好沙尘暴的预报监测和防灾减灾工作有着重要意义。

1 沙尘暴天气概况

1.1 沙尘暴过程概述

受西伯利亚强冷空气东移影响,2002-03-18—21,大风沙尘天气横扫我国长江以北几乎所有地区,其中内蒙古、甘肃中部、宁夏北部、河北北部、北京、吉林西北部等地出现了强沙尘暴。3月18日下午5时开始,新疆、青海、甘肃先后出现大风沙尘天气,随后沙尘天气东移并发展,3月19日14:05时宁夏的兴仁最先出现,随之宁夏大部受到风沙袭击,到20时沙尘暴天气逐渐结

束。宁夏全区有14站出现沙尘暴,其中石炭井、大武口、惠农、平罗、陶乐等5站为强沙尘暴,最低能见度为200 m,最大瞬时风力普遍达8~9级,大武口站瞬时极大风速达33.3 m/s,沙尘暴持续时间最长的是石嘴山站,为5 h 34 min,最短的贺兰站22 min,平均3 h。沙尘暴使宁夏多处小麦麦种移位或沙埋,塑料大棚等农业设施严重受损,全区直接经济损失达180多万元。

1.2 单站地面气象要素演变

从银川站地面气象要素变化来看,19日12时之前,其风速、水平能见度呈缓慢上升趋势,气温快速回升;12时之后,气温、风速继续保持上升态势,而水平能见度则呈明显的反位相,当气温上升到当日次高气温时,风速急剧增大,水平能见度则骤降,17时风速增大到当天定时观测的最大值12.4 m/s,水平能见度降低到当天的最低值800 m,然后风速开始减小,水平能见度缓慢增大,气温也开始下降。从气压演变来看,沙尘暴发生前,由于河套一直处于地面热倒槽中,气压变化幅度不大,几乎在884.0~888.9 hPa之间摆动,但随着冷锋的侵入并东移、沙尘暴的发生,气压开始迅速增大。

收稿日期: 2004-03-25

作者简介: 纪晓玲 (1967-), 女, 陕西富平人, 高级工程师, 从事短期天气预报及相关预报方法研究工作。

基金项目: 中国气象局“宁夏沙尘暴预警服务系统研究”、宁夏自治区自然科学基金项目 (A1019)

2 沙尘暴天气成因分析

2.1 气候背景

2001年冬至2002年春我国北方地区气温偏高,降水稀少。表1显示:宁夏惠农、陶乐、银川、中卫、盐池、同心6站,除2002年1月降水偏多外,其它各月降水普遍较常年偏少或持平,气温较常年偏高,尤其是1、2月,宁夏大部地区平均气温创历史极值,致使宁夏部分地区出现了持续的秋冬春三季连旱,从而造成土壤含水率低,土壤解冻的时间比往年提前,加速了土壤水分的蒸发和地表干土层的加厚,为此次沙尘暴的发生提供了有利的气候背景和环境场。

表1 2001年10月到2002年3月
宁夏6站温度及降水距平

时间/月份	10	11	12	1	2	3
温度距平 /°C	2.1	1.6	0.1	4.4	5.0	2.3
降水距平 /mm	-19.8	-3.8	-0.2	0.9	-1.3	0.7

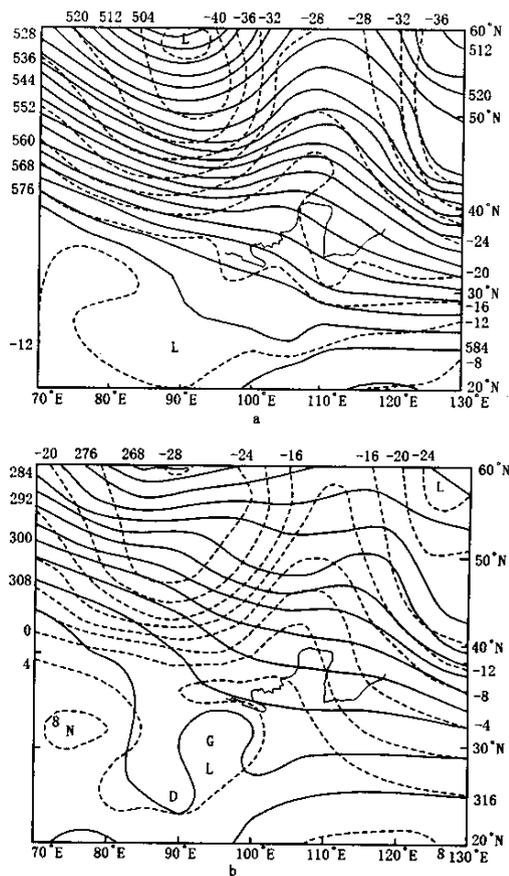
2.2 大尺度环流形势调整

沙尘暴天气的发生总伴随有一次大尺度环流的调整过程^[1]。从亚洲西风环流指数演变(图略)反映来看,3月中旬中期,亚洲地区西风环流指数呈上升趋势,到18日达到最高值338,19日开始大幅下降,环流经向度明显加大,槽脊发展,有利于冷空气活动,21日下降到最低点151,西风环流指数经历了一次由高值向低值演变过程,此次沙尘暴天气过程发生在纬向环流向经向环流调整过程中。

2.3 高空冷槽及强锋区

17日08时500 hPa层,亚洲中高纬为两脊两槽型,乌拉尔山及贝湖附近各为一低压槽,两槽之间为宽广的高压脊,乌山西侧有高压脊发展;18日08时,随着系统规律东移,乌山低槽东南移至西西伯利亚附近,由于中亚脊阻挡作用,新地岛附近南下冷空气在西西伯利亚堆积加强,形成深厚的高空冷槽和强锋区,冷中心达 -46°C ;18日20时,冷槽加强东移南压进入新西伯利亚,冷槽底部在巴湖至北疆形成一支风速大于 20 m/s 、

最大风速达 46 m/s 的强西风急流带,对应700 hPa,新西伯利亚也有一冷低压槽,锋区进一步加强,进入蒙古西部至北疆,温度槽明显落后于高度槽,槽后冷中心强度达 -29°C ,说明有较强的冷平流发展南压;19日08时500 hPa层(图1a),主体冷空气向东南爆发,冷槽移至蒙新一带,槽后有较强的24 h负变温中心和强西北气流,对应700 hPa(图1b),锋区移到蒙古至河西并再度加强,温度梯度非常密集,温度场与高度场交角几乎成 90° ,形成强力管;19日20时,强冷空气南下,冷中心移至河套西北部,河西至河套处于槽底强西风急流区里,对应700 hPa强锋区已完全进入河套,最大风速达 28 m/s ,温度梯度达 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ 。



实线为高度场,虚线为温度场

图1 2002-03-19-08 500 hPa(a)、700 hPa(b)
环流形势分析

2.4 蒙古气旋及地面冷锋

3月18日地面图上(图略),冷锋东移至蒙古国西部至新疆北部,锋前蒙古气旋形成,中亚地区被冷高压控制。19日08时,冷高压东移南下在乌兰巴托以南形成一闭合高压,我国东北、华北也维持一高压带,两高之间蒙古气旋强烈发展,中心在 46°N 、 108°E ,中心强度为996 hPa,地面冷锋伸展至河套地区,由于锋前动力和平流减压作用,出现了明显的减压增温,破坏了大气稳定层结,为上、下层之间冷暖空气交换提供了有利条件,而锋后干冷空气绝热下沉,出现加压降温,最大3h变压达+7.1 hPa,加剧了锋区前后的气压梯度;14时,冷锋翻越贺兰山,锋面西侧经向等压梯度密集,银川与民勤气压差达60 hPa,大风、沙尘天气出现在锋后下沉气流和强气压梯度区;20—21日,蒙古气旋和冷锋继续东移南下,所经之处,我国华北、东北、华南等地区也先后出现沙尘天气。

3 高空急流^[2]与沙尘暴落区

分析300 hPa高空全风速场(图2)演变,19日08时,沙尘暴发生前期,在 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 之间、蒙新高原有一支强风速带,急流轴线呈东北—西西南走向,中心轴风速大于56 m/s,宁夏周围风速在20 m/s左右。19日20时,随着强冷空气东移南下,急流区快速东移南压至河套地区,在河套西北部 43°N 、 104°E 附近有一风速达56 m/s的急流核,宁夏中北部风速达32~40 m/s。沙尘暴发生于这支高空急流右侧、包围在风速大于32 m/s的急流区里。

4 干暖舌与沙尘暴落区

从温度露点差分布情况来看(图3),18日从青藏高原西南侧有一干暖舌向东北方向伸展,干区东西向控制蒙新高原、河套及以东地区,这一带温度露点差均在 12°C 以上,在 96°E 、 44°N 附近有一 44°C 的干中心东移南压,同时在华北地区东北部 116°E 、 40°N 附近也有一 32°C 的干中心;19日,干暖区继续维持,华北东北部附近干中心基本上原地未动,而蒙新干中心东移南压,在宁夏西北侧又形成一干中心,导致西北地区东部及华北北部至我国东北形成两个强沙尘暴中心。

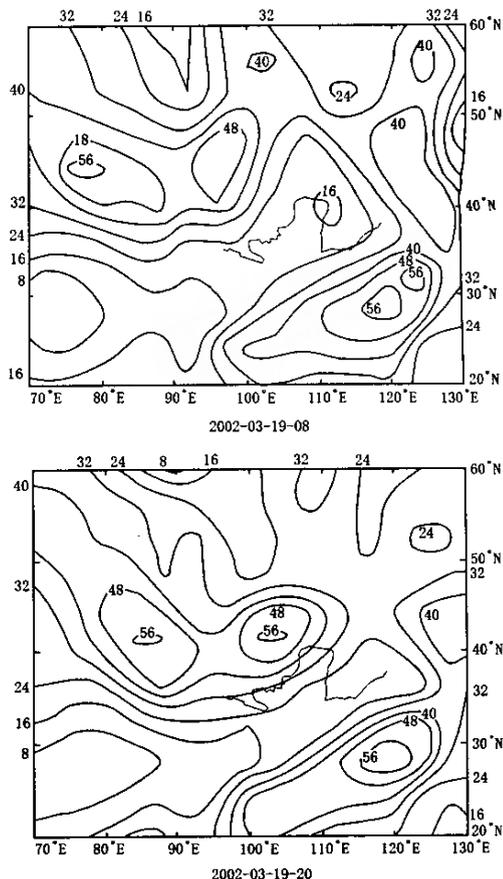


图2 300 hPa全风速场(单位:m/s)

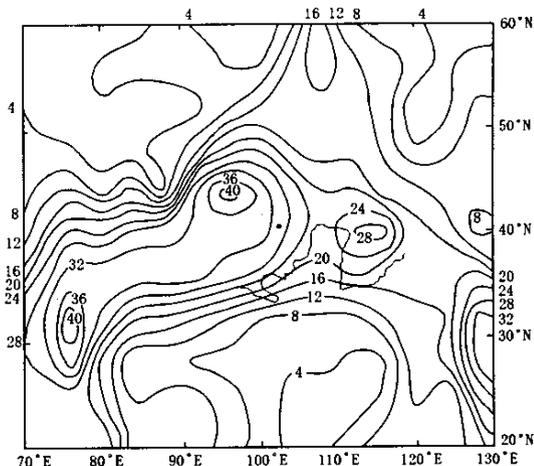


图3 2002-03-18-20 850 hPa温度露点差分布(单位:°C)

从沙尘暴发生期间850 hPa温度露点差分布与沙尘暴落区对比发现,沙尘暴区与干区走向十

分一致,强沙尘暴落区与干中心位置、移动路径非常吻合。可见,干区的存在和干中心的形成是沙尘暴形成的重要条件^[3]。

5 物理量诊断分析

5.1 锋生函数

锋生函数^[2]是反映锋区加强或减弱的物理量。由锋生函数(F)可知:当 F 大于0时,出现锋生,温度水平梯度增大, F 小于0时,高空锋消,天气转好。

从3月18日、19日由非地转湿 Q 矢量计算的500 hPa 锋生函数演变趋势(图4)可看出,

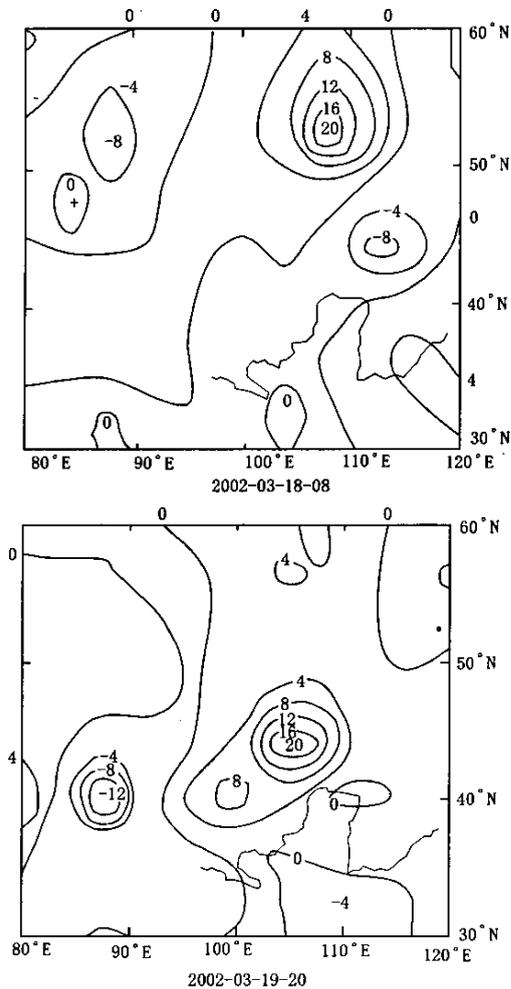


图4 2002-03-18—19 500 hPa 锋生函数演变图

(单位: $10^{-6}K^2/(m^2 \cdot s)$)

高空锋区由西北地区向东南移动,18日贝湖、蒙古中部至新疆为锋生函数正值区,其轴线为东北—西南向,与500 hPa 高空锋区相对应,意味着此区域温度水平梯度比周围大得多,高空锋区在加强,锋生明显,而我国西北地区东部为负区所控制。到19日08时,随着锋区东移南压,锋生函数正值区东移逐渐控制河套地区;19日20时,锋生函数正中心进一步南压,河套西北部有两个正值中心,其中一个在 $40^{\circ}N$ 、 $100^{\circ}E$ 附近,中心值最大为 $20 \times 10^{-6}K^2/(m^2 \cdot s)$;对应700 hPa 锋生函数正值中心区南部则控制宁夏北部,说明此处温度水平梯度增大,锋生明显。19—20日我国西北地区上空自西向东锋生函数逐渐由正转为负,高空锋消,天气转好。

5.2 涡度、散度、垂直速度

从500 hPa 涡度分布演变来看(图略),17日08时,乌拉尔山附近、贝加尔湖至河套东侧为正涡度区,其间蒙新一带为负涡度区,正负涡度中心相间向东南方向移动;19日08时, $105^{\circ}E$ 以西、 $40^{\circ}N$ 以北为正涡度和负垂直速度区,即辐合上升运动,其东南侧为东北西南向负涡度区和正垂直速度区,即下沉运动区,在 $100^{\circ}E$ 、 $40^{\circ}N$ 度附近有一下沉中心达 $-40.37 \times 10^{-5}cm/s$,冷空气在南压过程中,冷中心不断加强,与同时刻高空冷涡相吻合;19日20时,蒙古至河西走廊一带转为正涡度区,我国华北、河套、青藏高原为东北西南向负涡度区,与同时刻高空锋区吻合,此处是冷锋后冷空气引起的强下沉气流区。

从散度垂直分布看(图略),17日08时至18日20时,宁夏中北部上空500 hPa 及以下基本上为正散度,500 hPa 以上则为负散度;19日宁夏上空500 hPa 及以下转为负散度,以上则转为正散度,表明大气处于上升气流,有利于地面气旋的发展。在高空强引导气流和锋后强下沉气流及强气压梯度作用下,形成沙尘暴天气。

5.3 总能量

分析500 hPa 总能量演变趋势可见,19日08时冷锋到来之前,在东亚和新西伯利亚各有一总能量低值区,两低值区之间有一能量舌从青藏高原中东部向东北方向凸伸,总能量梯度密集区在

40°N 以北、90~100°E 附近, 贝湖至河套一带总能量普遍较高, 等值线稀疏。

19 日 20 时新西伯利亚总能量低值区东移南压, 河套附近总能量梯度大幅度增加, 宁夏处于总能量密集区底部, 冷空气已完全控制宁夏中北部, 南部等值线仍比较稀疏。

700 hPa 此种形势表现更为突出。如图 5, 19 日 08 时, 一近南北向的高能舌穿过河套西部、蒙古国中东部伸展至贝湖南部, 宁夏北端总能量在 293 K 左右, 处于高能舌轴附近, 整个呈“Ω”形状分布。20 时, 宁夏区域总能量明显下降, 北端在 288 K 左右, 而梯度迅速增加, 密集区位于河西至河套一带, 冷空气已完全控制宁夏全区。

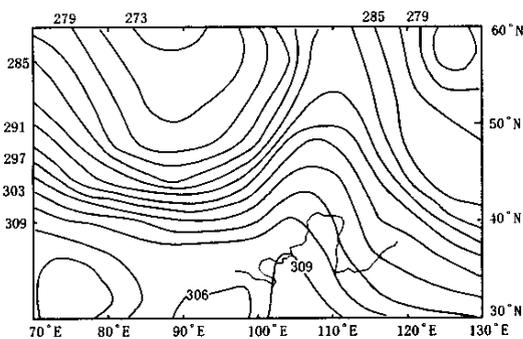


图 5 2002-03-19-08 700 hPa 总能量场 (单位: K)

分析表明, 总能量低值区与冷空气移动路径完全一致, 总能量梯度的变化反映了冷空气强弱变化, “Ω”状高能舌的出现, 加剧了锋前不稳定能量的积聚。从高低配置来看, 冷空气随高度向西倾斜, 冷空气斜压性显示了大气的不稳定。

另外, 从银川站探空图 (图略) 上发现, 在沙尘暴发生前一日 18 日 08 时, 近地面层出现逆温层, 到发生当日 08 时, 逆温层进一步加强, 逆温层的出现, 有利于不稳定能量的积聚。从风向风速垂直分布来看, 高层为西北风, 低层为西南风, 这种配置有利于风向风速切变的形成, 使得大气不稳定层结加剧, 有利于中小尺度天气系统对流发展^[4]。

6 小结

6.1 此次沙尘暴出现在午后至傍晚前后, 沙尘暴发生前后, 单站气象要素有明显的变化。前期气

温偏高、降水量偏少及地表干燥, 是此次沙尘暴发生的主要气候背景。

6.2 沙尘暴天气过程发生在纬向环流向经向环流调整过程中。触发系统是蒙古气旋后部西伯利亚强冷空气。“高层辐散、低层辐合”的配置有利于蒙古气旋的发生发展, 加剧了锋区前后的气压变压、温度梯度, 形成了锋区前后的较大的压温梯度。在动量下传和梯度偏差风的共同作用下, 使近地层风速陡升, 掀起地表沙尘, 在锋后强下沉气流和强气压梯度影响下形成沙尘暴或强沙尘暴天气。

6.3 高空急流与干暖舌的形成和维持, 与沙尘暴落区有良好的对应关系。沙尘暴出现在高空西风带急流轴出口区右侧的辐合上升运动区和干暖区。强沙尘暴落区与干暖中心位置、移动路径基本一致。

6.4 锋生函数变化情况与锋区、锋面运动相一致, 锋生函数的正负较好地反映了冷锋的加强或减弱。过程前期和沙尘暴结束之后, 宁夏区域锋生函数为负值区, 沙尘暴发生时, 锋生函数为正。

6.5 在冷锋影响前, 宁夏总能量普遍较高, 呈上升趋势, 且有“Ω”场或“高能舌”存在, 说明沙尘暴发生前期存在一个能量积聚期。冷锋影响后, 总能量迅速降低, 梯度大幅度增大。总能量低值区与冷空气移动路径完全一致, 总能量梯度的变化反映了冷空气强弱变化。

6.6 强沙尘暴发生前, 近地面层有明显的逆温层, 高低层有明显的风向风速切变。

参考文献:

- [1] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展. 中国沙漠 [J], 2000, (4), 349-356.
- [2] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1983: 161-162, 70-76.
- [3] 徐建芬, 陶建红, 杨民, 等. “4.12”特强沙尘暴天气综合分析 [A]. 沙尘暴监测预警服务研究 [C]. 北京: 气象出版社, 2002: 174-178.
- [4] 赵光平, 王凡, 杨勤, 等. 宁夏区域性强沙尘暴天气成因及其预报方法研究 [A]. 中国沙尘暴研究 [C]. 北京: 气象出版社, 1996: 52-58.