

两次典型强沙尘暴过程的对比分析^①

陈豫英 赵光平

(宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002)

提 要

利用常规气象资料,应用天气分析及诊断分析方法,对2001年4月8~9日和2002年3月19~21日的两次强沙尘暴天气过程,从天气气候背景、单站地面气象要素、环流形势、冷空气的强度及影响路径、沙尘暴的起沙源地、影响时间和范围等进行深入分析。结果表明:两次强沙尘暴过程的沙尘暴源地基本相同,但由于环流形势、冷空气的强度、影响时间、蒙古气旋的位置及前期气候背景有所差异,因此对宁夏造成了不同的影响。

关键词: 强沙尘暴 天气分析 诊断分析

引 言

2002年3月19~21日,20世纪90年代以来一场强度最强、影响范围最广的沙尘暴天气席卷了我国北方八省(区、市)的120多个县,同时还波及其它近10个省(区、市)。虽然这次沙尘暴天气过程对全国造成了极大的影响,但通过与2001年4月8~9日的强沙尘暴过程进行对比分析的结果表明:这次过程,从大风、沙尘暴的范围、强度、造成的损失及过程后降温幅度等,对宁夏的影响要小于2001年的过程。本文对2001年4月8~9日和2002年3月19~21日两次强沙尘暴天气过程的天气气候背景、环流形势、冷空气强度及影响路径、沙尘暴起沙源地、影响时间和范围及沙尘暴前后银川站的地面气象要素变化等方面进行对比,深入分析了两次过程的异同点。这对进一步揭示宁夏沙尘暴天气的天气成因和形成机制,做好沙尘暴的预报监测及防灾减灾工作有着重要的现实意义。

1 沙尘暴天气事实对比分析

受从新疆快速东移强冷空气影响,2001年4月8日宁夏出现了该年强度最强、影响范围最大的一次沙尘暴天气过程(表1)。全

区有20站出现沙尘暴,其中能见度 $\leq 500\text{m}$ 的达13站,瞬时最大风速为 $31\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,最低能见度为200m,平均持续时间6h。同时这次过程还对新疆、青海、甘肃、内蒙古、陕西及山西等省区造成了一定的影响,内蒙古阿拉善盟出现了强沙尘暴(能见度 $\leq 50\text{m}$)。风沙过后宁夏全区气温骤降,24、48小时日平均气温下降 $10\sim 12^{\circ}\text{C}$,伴随降温全区还出现了入冬以来最大的一次降雪天气。此次过程是宁夏多年不遇的强寒潮和沙尘天气,共造成直接经济损失约1.5亿元。

2002年3月19日宁夏出现了该年影响范围最大、强度最强的一次沙尘暴过程(表1)。全区有14站出现沙尘暴,其中能见度 $\leq 500\text{m}$ 的有5站,瞬时最大风速为 $33\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,最低能见度为200m,平均持续时间3小时。这次过程,我国长江以北地区均不同程度遭受沙尘天气的影响,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,甘肃鼎新、内蒙古乌拉特后旗能见度曾经为零。风沙过后,宁夏全区气温有所下降,24、48小时日平均气温下降 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$,宁夏南部山区出现了不足2mm的降水。

^① 国家自然科学基金项目(40065002)、宁夏自然科学基金项目(A1017)资助。

但由于此时农耕没有完全开始,因此,对农业生产影响不大。

表1 两次天气过程主要指标对比

| 过程日期 | 2001年4月8~9日 | 2002年3月19~21日 |
|--------|---------------------|---------------------|
| 影响范围 | 北方7省 | 长江以北18省 |
| 大风站数 | 20 | 17 |
| 最大瞬时风速 | 31m·s ⁻¹ | 33m·s ⁻¹ |
| 沙尘暴站数 | 20 | 14 |
| 强沙尘暴站数 | 13 | 5 |
| 平均持续时间 | 6h | 3h |
| 过程后降温 | 10~12℃ | 5~6℃ |
| 降水站数 | 22 | 8 |
| 平均降水量 | 2.3mm(雪) | 0.9mm(雨) |

从两次过程主要天气指标得到,虽然2002年过程是近10年来影响我国强度最强、范围最广的一次沙尘天气,但对宁夏的影响却要小于2001年过程。

2 气候背景对比分析

表2给出宁夏6站(惠农、陶乐、银川、中卫、盐池、同心)前期10月到次年3月平均温度及降水距平,从表2可以看到:两次过程前期温度持续偏高,降水偏少,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,地表土层干燥、疏松,植被覆盖率低,且大风到来之前没有出现可抑制扬沙的明显降水,进而多次出现了沙尘肆虐的景象;同时由于宁夏周边分布着腾格里沙漠、毛乌素沙漠、巴丹吉林沙漠,在强风干燥等气象条件下就容易形成沙尘暴天气。另外,低层大气的强烈不稳定,不断出现的局地热旋,以及冷暖空气的交替出现,也是造成当年沙尘天气频发的重要原因。

表2 两次过程前期温度及降水距平对比

| 时间 | 项目 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|-----------|------|-------|------|------|-----|------|------|
| 2001.4.8 | 温度距平 | 0.3 | -0.1 | 4.3 | 3.2 | 3.1 | 1.2 |
| 2002.3.19 | 温度距平 | 2.1 | 1.6 | 0.1 | 4.4 | 5.0 | 2.3 |
| 2001.4.8 | 降水距平 | -26.1 | -2.6 | -0.8 | 1.7 | -1.4 | -4.9 |
| 2002.3.19 | 降水距平 | -19.8 | -3.8 | -0.2 | 0.9 | -1.3 | 0.7 |

2000年10月~2001年3月间,宁夏除11月份气温偏低、1月降水偏多外,其它各月直至4月上旬前期,气温仍明显偏高,降水明显偏少。因此,4月8日,当一股较强冷空气东移南下影响宁夏时,造成了一次明显的全

区域性大风、强沙尘暴过程。

2001年10月~2002年2月,宁夏气温明显偏高,尤其是1、2月,气温偏高达4.4℃和5.0℃;降水除1月外,其它各月均偏少。3月上、中旬,全区气温仍显著偏高。这为沙尘天气的发生提供了有利的条件。但3月3日和12日,宁夏出现了两次明显降水天气过程,使得全区特别是宁夏南部地区的土壤墒情明显转好,有效遏止了本地地表的沙尘,因此,当3月19日出现了近10年来影响范围最广、强度最强的一次沙尘暴天气过程时,对宁夏的影响却弱于2001年过程。

3 环流形势对比分析

有关研究表明^[1-3],大风、沙尘源和不稳定的空气状态是沙尘暴形成的三个基本条件,沙尘暴的发生是在一定的气候和下垫面条件下,配合有利的环流形势和天气影响系统出现的。

3.1 500hPa环流背景及演变特征

2001年4月,中高纬度环流呈4波型分布,月内,乌拉尔山高脊强度明显偏强,环流经向度较大,极地冷空气沿脊前西北气流南下,频繁影响我国北方地区。2001年4月6日在西西伯利亚形成了深厚低压槽和强锋区,随着乌拉尔山脊强烈发展和环流经向度加大,使脊前冷空气南下,促使诱发槽向东南方向移动加深,并于7日在新疆形成切断低压,生成横槽,同时锋区加强南压。8日(图1a),冷槽移至天山一带,高空急流带在河西中部,温度槽和高度槽重合,横槽转竖,冷空气大举南下,宁夏处在强锋区和强风带控制之下。

2002年3月,中高纬度环流为三槽三脊型,对应距平场上,由于亚洲中低纬地区有大片正距平区,使得月内影响我国的多股冷空气强度明显减弱。2002年3月17日在乌拉尔山西侧形成深厚的低压槽和强锋区,由于贝加尔湖高压脊的阻挡,18日冷空气在东移过程中分两股前进,较强的冷空气在消弱了高压脊后到达蒙古西北部,较弱的冷空气穿脊到达河西走廊,强锋区位于45°N北地区。

19日(图1b),冷槽移至甘肃西北部,高空急流带在新疆至甘肃西北部到内蒙古中北部一

带,强锋区位于新疆至甘肃西北部一带,宁夏处在蒙古弱高压脊控制的暖区里。

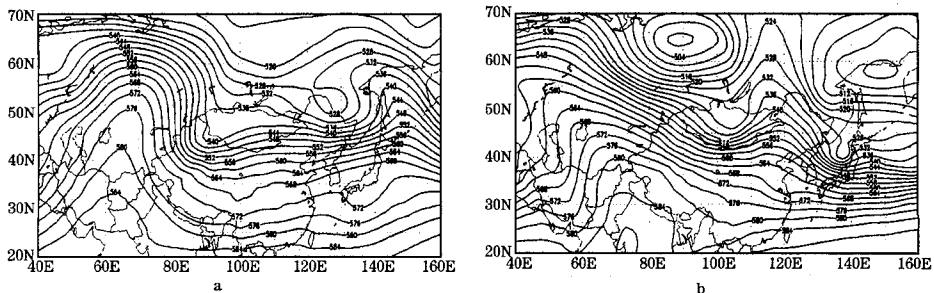


图1 2001年4月8日08时(a)和2002年3月19日08时(b)500hPa形势

上述分析表明:形成两次过程的动力机制均为高空低压槽与强锋区,其主要差异是2001年过程中,高空低压槽与强锋区的强度更强,位置偏南,并形成了切断低压,当横槽转竖、冷空气整体南压后,造成了全区性沙尘暴及多年不遇的强寒潮天气;而2002年过程中,高空低压槽与锋区在影响宁夏前,以分股扩散方式东移南压,影响宁夏的冷空气强度不强,高空低压槽发展浅薄,强锋区和高空急流带位置偏西偏北,从而造成过程的强度、范围及之后的降温均弱于2001年过程。

3.2 影响系统的生成、发展和移动路径

2001年4月7日,新疆到河套地区处于低压槽区,在获得高空小槽的动力减压和地面冷空气进入后,在蒙古中南部生成两个锋面气旋,地面冷高压中心强度为1043hPa,已达到4月宁夏寒潮过程的冷高压强度指标(1035hPa)^[4],同时地面冷锋逼近天山,新疆部分地区出现大风、沙尘暴和强沙尘暴天气。8日,高压在东移南压过程中加强至1050hPa,冷锋翻越天山进入内蒙古西部热倒槽后,猛烈加强,直冲河西走廊,经过河套时再度加强,冷锋前后 Δp_3 达9.7hPa,此时蒙古气旋东移南下至河套地区时异常发展,中心气压值降至999hPa,低压中心附近最大 Δp_{24} 为负14hPa,经过河套时气旋强度有所减弱,但扬沙和沙尘暴天气却达到最强时刻。

2002年3月18日,南疆盆地有一个热低压,冷高压中心强度为1039hPa,未达到3

月宁夏寒潮过程的冷高压强度指标(1045hPa)^[4],冷锋即将到达哈密,当天下午南疆盆地西部开始出现沙尘天气。19日,高压东移过程中加强至1041hPa,蒙古气旋在蒙古中北部生成后,沿50°N东移至蒙古国东部时停滞少动,中心气压值997hPa,低压中心附近最大 Δp_{24} 为负11hPa,冷锋东移过程中分成两段,经过河套时合并但强度有所减弱,冷锋前后 Δp_3 为6.7hPa,沙尘暴和强沙尘暴区主要集中在内蒙古中北部。

上述分析表明:两次过程影响系统均为强冷空气和锋面气旋,二者之间的气压梯度和变压梯度都很大,差异是2001年过程中,冷高压中心为1052hPa,并向东南方向移动,锋面气旋在河套附近发展强烈,冷锋和锋面气旋主体在东移过程中南压影响宁夏;2002年过程冷高压中心为1041hPa,锋面气旋在蒙古中北部生成发展,冷锋和锋面气旋主体偏北并以东移为主,而且在移过河套后进一步发展加强,所以这次过程虽然对全国造成了极大的影响,但对宁夏的影响却小于2001年的过程。

4 动力不稳定因子对比分析

当气层处于不稳定状态时,湍流发展旺盛,沙尘靠空气浮力和湍流混合作用,不断被带到空中,并随着天气系统的移动而带到很远的地方^[5]。理查逊数 R_i 是判断某层不稳定的一个重要判据^[6],其公式为:

$$R_i = \frac{g}{\bar{T}} \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} + \gamma_d \right) / \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]$$

其中, \bar{T} 为两个高度上绝对温度的平均值, $\frac{\partial u}{\partial z}$ 和 $\frac{\partial v}{\partial z}$ 为两个高度之间的风速分量随高度的变化, $\frac{\partial \bar{T}}{\partial Z}$ 为大气温度随高度的变化率, γ_d 为大气干绝热温度直减率, g 为重力加速度。若 $R_i > 1$, 则不易有乱流发展。若 $0 < R_i < 1$, 易有动力乱流发展。计算两次过程7时地面到400hPa五层的 R_i 值, 从图2可以看出: 两次过程除了700~500hPa的 $R_i > 1$ 外, 其它四层的 $0 < R_i < 1$, 且2001年4月8日过程的 R_i 值小于2002年3月19日, 大气层结更趋于不稳定状态, 动力乱流更容易发展。

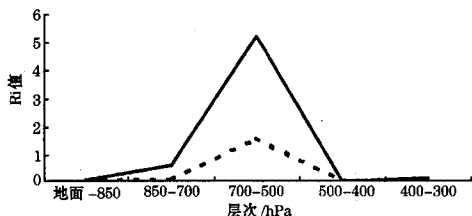


图2 两次沙尘暴过程的理查逊数 R_i 对比图
实线:2002年3月19日; 虚线:2001年4月8日

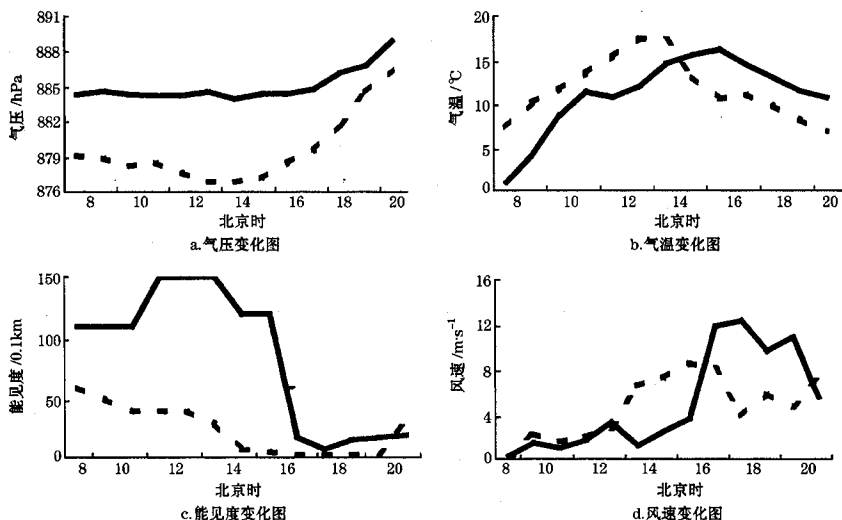


图3 两次沙尘暴过程银川站08~20时地面气象要素对比图
实线:2002年3月19日 虚线:2001年4月8日

5 单站气象要素对比分析

银川站是宁夏唯一沙尘暴监测点,也是本区气象观测资料最全、最详细的两个国家基准站之一。因此,以银川站为例,对两次过程前后各气象要素的实况及变化进行详细的分析。

5.1 实况

2001年4月8日13:55开始出现沙尘暴,16:17结束,持续2小时22分,瞬时最大风速 $16.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,最低能见度300m,与前一日14时气压差11.1hPa,24、48小时日平均气温下降 $10\sim 12^\circ\text{C}$,伴随降温还出现了2.4mm的降雪天气。

2002年3月19日16:02开始出现沙尘暴,17:10结束,持续1小时8分,瞬时最大风速 $20.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,最低能见度800m,与前一日14时气压差9.6hPa,24、48小时日平均气温下降 $1\sim 4^\circ\text{C}$,无降水。

对比两次过程,2001年过程比2002年开始时间早、持续时间长、强度强、变压降温明显、能见度低,但瞬时最大风速小于2002年过程。

5.2 气压、气温、能见度、风向风速

对两次沙尘暴发生当天08时~20时的气压、气温、能见度、风向风速演变(图3)分

析发现:从08时起,地面气压值和能见度均开始下降,而气温和风速开始增大;沙尘暴发生时气压达到最小值,之后开始显著增大,气温和风速则达到当天最大值,之后开始明显下降,并持续降低;能见度到沙尘暴结束时达到当天最低值,之后开始回升。风向的演变都是在沙尘暴爆发前两小时由偏南风转为偏北风,然后一直持续偏北风。不同的是:第一,2001年过程从08时起,能见度就一直开始降低,到沙尘暴结束时达到当天最低值300m,并持续了3小时,之后开始回升,能见度 $<1\text{km}$ 的过程维持了6小时;而2002年过程08~13时能见度在增加,从14时才开始降低,沙尘暴结束时达到当天最低值800m,仅持续了1小时,之后开始明显回升,能见度 $<1\text{km}$ 的过程只维持了1小时;第二,2002年过程从08时到沙尘暴发生气压值无明显变化,基本呈均压趋势,到沙尘暴结束后气压值才开始显著增大,与2001年过程相比,沙尘暴发生前后气压变化不十分明显。

从图3看出:两次过程发生前后,气压、气温、能见度、风速风向的变化都很明显,这是因为两次过程都发生在午后地面增温最强时段,致使沙尘暴的日变化极为显著;但由于影响两次过程的冷空气和蒙古气旋的强度、路径、时间不同,在变化程度上,2001年过程更明显。

6 结论

(1)两次过程前期气候背景均为:气温偏高、降水偏少、冷空气活动频繁,但发生当月

气温、降水变化程度不同,从而造成两次过程强弱不同。

(2)两次过程当月500hPa环流特征不同,对宁夏造成的影响也有所不同。虽然两次过程的动力机制和影响系统基本一致,但由于系统强弱、发展、移动及影响方式不同,所以造成两次过程的强度、影响范围和程度也不同。

(3)两次过程地面到300hPa的热力不稳定因子除了700~500hPa外,其它四层 R_i 都小于1,大气层结都处于动力乱流容易发展的不稳定状态,但2001年过程的大气层结更不稳定。

(4)两次过程前后银川站的气压、气温、能见度、风速、风向等地面气象要素变化明显,但在变化程度上,2001年过程更明显。

参考文献

- 1 徐启远,胡敬松.我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征分析.中国沙尘暴研究,北京:气象出版社,1997:11~15.
- 2 赵光平,王连喜等.宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统.中国沙漠,2001,(2):175~181.
- 3 王式功,董光荣等.沙尘暴研究的进展.中国沙漠,2000,(4):349~356.
- 4 文润琴.宁夏寒潮3~6天的客观因子模式预报方法.宁夏气象台建台40周年科技论文选编,1987~1996年:31~33.
- 5 保广裕,高顺年.西宁地区沙尘暴天气的环流特征及其预报.气象,2001,(6):27~31.
- 6 朱乾根等.天气学原理和方法.北京:气象出版社,1979:452~453.

Comparative Analysis of Two Typical Severe Sandstorm Events

Chen Yuying Zhao Guangping

(The Ningxia Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002)

Abstract

Based on normal meteorological observations, synoptic and diagnostic analysis of two typical severe sandstorm processes on March 19~21st 2002 and April 8~9th 2001 is made. The results show that the circulation patterns and sand source terrain of the two processes are nearly similar, but, their intensity, duration of cold wave and the position of Mongolian cyclone, as well as early climatic background are different.

Key Words: severe sandstorm synoptic analysis diagnostic analysis