

2002年3月18~22日强沙尘暴过程分析^①

薛建军 刘月巍 牛若芸 杨贵名 李延香

(国家气象中心,北京 100081)

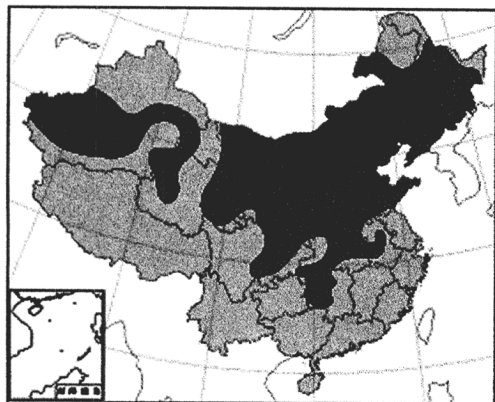
提 要

分析了2002年3月18~22日发生在我国北方地区的近几年来范围最大、持续时间最长且影响最大的一次强沙尘暴过程。主要进行了气候背景、天气形势和物理量诊断分析。分析表明这次强沙尘暴天气过程是在前期干旱少雨的气候背景下受强冷空气和蒙古气旋影响造成的。沙尘天气的产生原因包括:上游沙尘高空输送沉降、本地热力作用、蒙古气旋和锋面附近大风。

关键词: 强沙尘暴 气候背景 天气形势 诊断分析

1 沙尘天气实况

2002年3月18日下午到22日,我国北方大部地区及河南、湖北、湖南西部、四川东部、重庆、安徽中部等地的部分地区先后出现了大范围沙尘天气(图1),其中内蒙古、甘肃中西部、宁夏北部、河北北部、北京、吉林西北部等地的部分地区出现了强沙尘暴,甘肃鼎



浮尘、扬沙 沙尘暴 强沙尘暴

图1 3月18~22日沙尘天气分布图

新、内蒙古乌拉特后旗还曾一度出现能见度为零的特强沙尘暴^[1]。

这次沙尘暴过程的特点是:持续时间长、覆盖面积大、强度强、且伴随有明显的大风和大幅度的降温。这是近几年来范围最大、持续时间最长、影响最大的一次强沙尘暴过程。

与此同时,沙尘天气的发生和发展,产生并传输大量尘土,明显影响到当地及下游城市的空气质量状况。从分别位于西北、华北、东北、华东、西南地区的兰州、北京、哈尔滨、上海、重庆五城市3月10~30日空气质量状况变化图可明显看到:19~20日及21~22,22~23日兰州市可吸入颗粒物污染指数分别为500、500、424,均达到重污染级别;北京市20~21、21~22日可吸入颗粒物污染指数突然提高到500和370,均达到重污染级别;哈尔滨前期空气质量较好,污染指数一般在110以下,而在20~21、21~22日可吸入颗粒物污染指数竟也达到重污染级别;上海市在21~22日也受到浮尘天气影响,可吸入颗

① 本文得到国家气象中心 ZK2003A-01 课题资助。

颗粒物污染指数为 401; 由于沙尘天气影响到了四川盆地, 重庆市 20~21 日可吸入颗粒物污染指数为 300。

2 气候背景分析

2001 年, 我国为 1999 年和 2000 年连续大旱之后的又一个特大旱年, 尤其是北方地区又一次遭受了旱魔的严重威胁^[2]。

自 2002 年 1 月份以来, 由于影响我国的冷空气势力较弱, 全国大部地区持续偏暖^[3]。2 月份, 北方大部地区气温偏高幅度达 4~6℃, 东北地区偏高达 6~9℃。全国及 20 个省市区气温均创 1961 年以来历史同期最高记录, 其偏暖范围之广, 为近 40 年来同期之最^[4]。进入 3 月, 北方地区气温明显偏高的势头仍然持续^[1]。

在气候异常偏暖的同时, 我国北方大部地区降水明显偏少。2 月份北方大部地区月降水不足 10mm, 其中东北西部、华北大部、西北中部及南疆几乎无降水。3 月上中旬, 北方大部地区的浅层土壤相对湿度仍低于 60%, 内蒙古中东部、东北地区中西部部分地区的干土层厚度达 5~25cm。

这样, 前期持续的高温少雨多风天气, 加剧了土壤水份的散失, 使得地表更为干燥, 土质疏松, 为这次强沙尘天气的爆发创造了有利条件, 提供了丰富的物质源。

3 天气形势分析

这次强沙尘暴天气过程的发生发展主要是由强冷空气和蒙古气旋影响造成的。

在 3 月 11~15 日 500hPa 高度及温度场平均图上(图略), 我国大部地区受偏西或西偏北气流控制, 温度较高, 一般均在 0℃ 以上。而到了 16~20 日, 500hPa 高空气流经向度明显加大, 西北气流控制了北方大部地区, 同时出现了明显的降温, 0℃ 零度线一直南下到黄淮地区南部。

在地面图上, 18 日冷锋到达新疆北部, 中亚地区被高压控制, 南疆盆地有一个热低

压, 当天下午起, 受高压前部西北大风影响, 南疆盆地西部开始出现沙尘天气。到了 19 日白天, 高压中心继续加强并东移到新疆北部, 蒙古气旋在蒙古国中部开始发展, 冷锋东移南下扫过内蒙古西部、甘肃、宁夏等地, 上述地区出现强沙尘暴天气。20 日白天, 冷空气继续东移南下, 华北西部及西北地区被高压所控制, 冷锋一路扫过华北地区、东北西南部、黄淮、江淮直到江南北部。而蒙古气旋在蒙古国东部停滞少动并进一步加强, 06 时(世界时, 下同)中心气压降低到 981hPa。受上述系统共同影响, 华北等地出现了近几年来最强的沙尘天气, 北京北部遭遇强沙尘暴影响。随着蒙古气旋的东移及冷空气的东移南下, 21 日沙尘天气影响范围进一步扩大, 连长江以南及东北东部地区都出现了沙尘天气, 这是很少见的。同时, 又有一股冷空气补充东移南下, 西北部分地区再次出现沙尘天气。到了 22 日 12 时, 高压中心位于江南西部, 冷锋移到华南南部, 沙尘天气结束。

从地面温度场情况看, 冷锋前部区域由于暖平流和日照影响温度较高, 而锋区附近及后部由于强冷平流加上沙尘天气造成天空状况差日照弱导致温度偏低, 锋区前后温度差别很大, 强温度梯度也促进了地面风力的加大。

通过分析可以看出: 这次过程之所以很强, 主要是因为冷高压及蒙古气旋均很强, 锋区附近气压梯度、温度梯度大, 同时蒙古气旋 20 日在蒙古国东部出现了停滞。

4 地面气象要素分析

通过分析分别位于西北、华北、东北的几个测站的地面气象要素演变情况可大体发现沙尘天气自西向东发生发展的特点。

沙尘天气首先发生于南疆西部。此时北疆风虽然很大, 但沙源条件不好, 同时因空气湿度大, 出现了降雪, 基本无沙尘天气发生; 南疆在冷空气影响前风很小, 且有低压发展,

随着地面冷高压的东移,盆地西部风力明显加大,出现了沙尘天气。同样位于南疆西部的阿克苏与和田沙尘天气的发生各具特点:阿克苏受高压前部西偏北大风($8\sim 9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)影响,能见度明显下降,风力减小后,沙尘天气仍维持;和田的风一直很小($5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内),沙尘天气的发生有明显的日变化,主要发生在白天气温上升时段。

位于内蒙古西部的拐子湖,3月17日起气压不断下降,而能见度保持不变,且温度明显升高,升幅达 10°C ,18日21时气压达到最低,之后气压开始上升,风力明显加大,而能见度、露点温度、湿度明显下降(降温达 11°C)。气压升到一定程度风变小能见度恢复大值。沙尘天气发生在19日03~12时,是受蒙古气旋后部冷高压前大风影响造成的。

北京20日上午地面风很小,气压、温度

变化不大但能见度猛降(图2a),出现沙尘天气,06时风力最大时也只有 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。沙尘天气发生后露点温度明显下降,空气变得干燥。到了21日06时风速达 $9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,但能见度却变得较大(9km)。这表明,地面大风不是北京沙尘的启动因子,北京的沙尘天气主要是其上游即内蒙古中部到河北一带沙尘通过高空风输送尔后沉降造成的。现通过北京高低空风速变化加以说明:在19日对流层上下各层风很小,最大值不到 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;20日00时,高空急流出现,250hPa最大,达 $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,500hPa也有 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,但700hPa风速不足 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,12时,急流中心位于300hPa,速度加大;21日00时,高空急流进一步加强,中心位于300hPa,达 $71\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,同时中低层风速开始加大,12时近地面风速进一步加大,而此时中高层风速已开始减小。

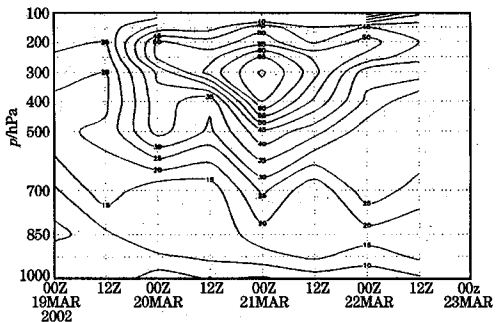
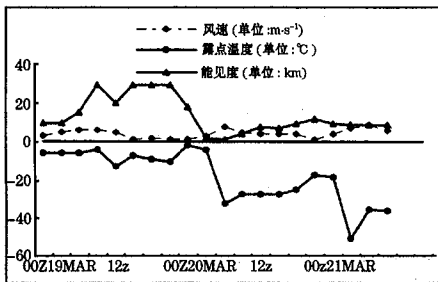


图2 北京地面气象要素(a)、垂直风速(b)(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)随时间变化图

受蒙古气旋东移影响,位于吉林西部的长岭19日晚上起气压明显下降,20日06时能见度猛降,此时受西南风影响,风力并不大,只有 $5\sim 6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,夜间能见度变大;21日气压继续下降,风力明显加大(西风 $11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),能见度再次下降。对比可见,当受西南风影响时由于沙源条件好,加上有上游沙尘输送,风虽小但能见度更低。

5 物理量诊断分析

为了研究这次沙尘天气过程的动力学、热力学特点,利用 T213 分析资料,进行了一

些物理量诊断分析。

5.1 温度平流、温度、假相当位温

分析19日00时沿 42°N 温度平流空间剖面图(图3a)可看出:在 102°E 以西500hPa以下有明显的强冷平流,最低值出现在850hPa,达 $-90\times 10^{-4}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下, 102°E 以东冷暖交替,低层暖平流为主。同时,在500hPa,新疆、蒙古国西部有强冷平流,在850hPa,南疆、内蒙古西部强冷平流,河套、蒙古国中部气旋附近有中心最大值达 $100\times 10^{-4}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ 的暖平流。到了19日12时,冷

平流区已东移到 113°E 以西,分两中心,前弱后强,700hPa 最大,113°E 以东低层为暖平流,在 500、850hPa,蒙古气旋东、北侧为暖平流,西、南侧冷平流。20 日 00 时冷平流前锋

到 122°E。

强冷平流一方面使低槽、冷锋东移发展,另一方面与暖平流共同作用促进了蒙古气旋的发展。

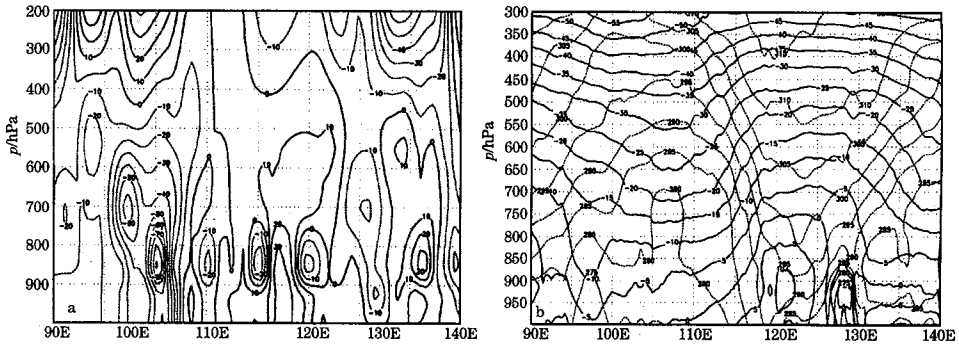


图3 沿 42°N 19 日 00 时温度平流(a)(单位: $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)、20 日 00 时温度(单位: $^\circ\text{C}$)、假相当位温(b)(单位: K)空间剖面图

为了了解热力场的空间结构,我们分析了沿 42°N 温度及假相当位温空间剖面图。在 18 日 00 时前受前一股冷空气影响,温度场基本上是西高东低,到了 18 日 20 时,随着冷空气东移变性,我国大部地区气温升高,特别在西部地区,低层温度达 20°C 以上,有较宽广的高温高 θ_{se} 值区域,中心位于 90°E 附近;19 日 00 时在 100°E 以西有两个冷堆,而高温高能区东移到 105°E 附近。19 日 20 时系统继续东移,85~105°E 为明显深厚冷堆(中心在 95~100°E),温度梯度不大,但位温梯度较大;20 日 00 时锋区附近温度、 θ_{se} 水平梯度明显加大, θ_{se} 线几乎直立,锋区后部为宽厚的冷堆,且中高层快于低层,锋区前高温高能结构明显,且有明显的低层中心比中高层偏西的特点(图 3b)。这种结构有利于不稳定能量释放,锋区附近大气运动强烈,自 20 日 12 时,在图上可清楚地看到又一股冷空气的补充东移。

华北西部,20 日 00 时蒙古气旋处为孤立低值,低值区位于东北西南部,而内蒙古西部到西北东部又出现低值。可见:在沙尘天气发生前,中低层大气升温明显,稳定度差,有不稳定能量积聚。

5.2 涡度平流、涡度、散度、垂直速度

5.2.1 涡度平流

在 19 日 00 时,涡度平流主要发生在 500hPa,蒙古国西部有 $100 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$ 的涡度平流,对应槽的东移发展,700、850hPa 无明显平流。19 日 12 时,500hPa 正涡度平流加强,中心在蒙古国中部,达 $150 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$,同时 700hPa、850hPa 也开始出现明显的平流,700hPa 强的正涡度平流发生在气旋东南部,且呈带状正负交替,在 850hPa,蒙古东部、内蒙古东部为正涡度平流区;20 日 00 时,500hPa 平流开始减弱,而 850hPa 蒙古国东部、内蒙古中东部涡度平流加强到 $100 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$,表明低层大范围涡旋维持条件好。

5.2.2 涡度

在此次沙尘天气过程中,北方地区基本未出现 $\theta_{se500} - \theta_{se850}$ 为负的强不稳定区域,但有明显的低值区东移,18 日 12 时低值区位于南疆及西北地区东部,19 日 12 时东移到

由于蒙古气旋大致沿 50°N 东移,我们就通过沿该纬度空间剖面图研究涡度的变化情况。19 日 00 时(图 4a),强涡度区位于 90

~100°E 之间,且自低向高有所西倾。高层涡度分布基本为西正东负,且正负区域都很宽。在 500hPa,出现两个大于 $10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心,两者之间为弱负涡度区,清晰地表明此时存在赶槽。在低层,涡度分布与高层正好相反,呈西负东正形势,在 98°E 附近 700hPa 有 $12 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心,而 850hPa 涡度值很小。东侧低层宽广的正涡度区有利于气旋的发展。到了 19 日 12 时,

500hPa 两个正涡度中心合并,同时 850hPa 正涡度值开始明显加大,达 $9 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$; 20 日 00 时,上下层正涡度中心基本位于同一经度,且 850hPa 明显发展,强达 $25 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。20 日 06 时正涡度区自下向上开始东倾,低层东部出现弱中心,12 时后出现明显的双正涡度中心,上下层均为宽广的正涡度区(图 4b)。

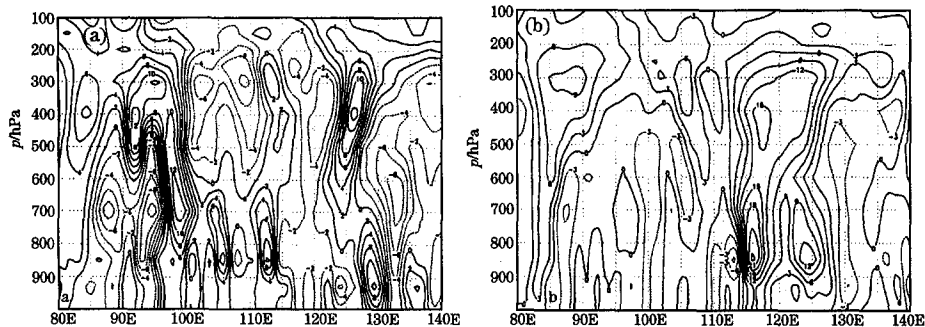


图 4 沿 50°N 涡度空间剖面图(单位: $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$) (a)19 日 00 时 (b)20 日 12 时

5.2.3 散度

从散度空间分布情况基本能看出气旋的东移发展和冷锋的活动情况。在 19 日 12 时,850hPa 气旋区为弱辐合,锋区附近有一明显的辐合带,锋后为大片辐散区。此时强沙尘天气主要出现在内蒙古中西部、陕西北部、宁夏、甘肃东部,基本位于辐合辐散区交界

界处附近及后部辐散区内;到了 20 日随着气旋及冷锋的东移发展,散度场结构更有利。从 20 日 06 时沿 42°N 空间剖面图(图 5a)可见:125°E 附近低层有强辐合,高层有强辐散,这种强辐合辐散空间结构导致辽宁部分地区出现强对流天气,而此时强沙尘天气主要发生在后部华北地区辐散区内。

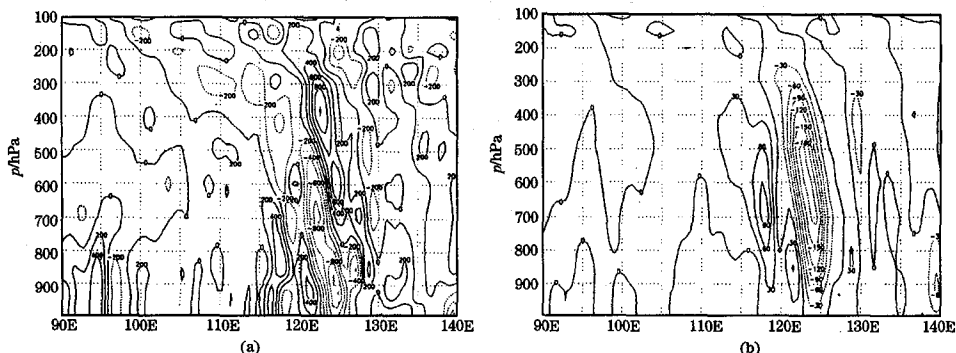


图 5 20 日 06 时沿 42°N 散度(a,单位: 10^{-7} s^{-1})、垂直速度(b,单位: $\times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{ s}^{-1}$)分布图

5.2.4 垂直速度

通过沿 42°N 垂直速度空间剖面图可

见:在 19 日 00 时,下沉气流很强,中心位于 84°E 附近 700hPa,达 $240 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{ s}^{-1}$,强

下沉运动有利于高空急流动量下传,使对流层中低层风力加大,散度场上反映为高层辐合低层辐散。同时其东侧为较弱的上升区,主要发生在700hPa以上,中心值只有 $-90 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,且自下向上有明显西倾。在系统东移过程中,由于气旋的发展及高空强辐散低空强辐合作用,上升运动不断加强,到了20日06时(图5b),下沉运动减弱到中心值只有 $90 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,而上升运动却明显加大到 $-180 \times 10^{-5} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。且低层也有明显的上升运动,由低到高上下各层中心基本一致。此时在500hPa,内蒙古东部、东北西南部伸向四川东部有带状强上升区,其后部为大片下沉区,而前部上升下沉交错。

物理量场分析表明:蒙古气旋非常深厚宽广、强度强;冷锋附近低层有强辐合,高层有强辐散,锋前上升运动强劲,锋后为大片下沉区,锋区附近温度、 θ_{se} 水平梯度大。沙尘天气主要出现在气旋、锋区附近及锋后因下沉气流导致的近地面辐散大风区内。

6 小 结

2002年3月18~22日强沙尘暴过程是在前期干旱少雨的气候背景下受强冷空气和

蒙古气旋影响造成的。沙尘天气的发生和发展,可产生并传输大量尘土,明显影响到当地及下游城市的空气质量状况。

这次过程之所以很强,主要是因为冷高压及蒙古气旋均很强,二者之间气压梯度大,同时蒙古气旋停滞少动,维持时间长。

各地沙尘天气发生发展各具特点,沙尘天气的产生原因包括:上游沙尘高空输送沉降,本地热力作用,气旋、锋面附近大风及锋后因下沉气流导致的近地面辐散大风。

物理量场分析表明蒙古气旋非常深厚宽广、强度强。冷锋附近低层有强辐合,高层有强辐散;锋前上升运动强劲,锋后为大片下沉区;锋区附近温度、 θ_{se} 水平梯度大。

参考文献

- 1 乔林,薛建军. 北方出现强沙尘暴 南方阴雨天气多. 气象,2002,28(6): 58~61.
- 2 陈峪. 2001年我国天气气候特点. 气象,2002,28(4): 29~33.
- 3 张明. 全国大部气温偏高 南方地区持续阴雨. 气象,2002,28(4):58~61.
- 4 张金艳. 全国气温持续偏高 北方大部雨雪稀少. 气象,2002,28(5):58~61.

Synoptic Analysis of Severe Dust Storm on March 18—22, 2002

Xue Jianjun Liu Yuewei Niu Ruoyun Yang Guiming Li Yanxiang

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

On March 18—22, 2002, a severe dust storm raided North China. The stricken area and the duration of the event are the maximum in recent years. The climate characteristics and the synoptic situation of the event are diagnosed. Some physical diagnostics are analyzed, too. The results show that strong cold air and the Mongolia cyclone are the main causes for the generation and development of the event.

Key Words: severe dust storm climate background synoptic situation diagnostic analysis