

2000年4月5~7日浑善达克沙地 沙尘暴天气过程分析^①

王革丽 吕达仁 李鸿洲

(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

提 要

利用内蒙古浑善达克沙地 11 个代表站的观测资料以及 NCEP 再分析资料,对 2000 年 4 月 5~7 日发生在我国华北地区的扬沙、沙尘暴天气过程进行气象要素分析、环流特征分析以及物理量诊断分析,力图为今后沙尘暴的预报研究提供一定的科学依据。

关键词: 浑善达克沙地 沙尘暴天气 诊断分析

引 言

我国从 70 年代起开始对沙尘暴个例进行研究^[1,2]^②,但大多集中在西北地区,对华北特别是浑善达克地区的沙尘暴的研究少有涉及。下面我们将对 2000 年 4 月 5~7 日发生在我国内蒙古浑善达克沙地的沙尘暴天气过程进行分析。

2000 年 4 月 5~7 日,华北中北部、辽宁西部出现扬沙天气,其中内蒙古中部、河北中北部以及北京等地出现扬沙、沙尘暴天气。这次沙尘暴天气是历史同期最强的一次过程。从卫星云图估算 4 月 5 日沙尘暴影响我国的瞬时最大面积为 $55.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,此次沙尘暴的沙尘源在蒙古国中南部的戈壁地区和我国内蒙古的浑善达克沙地。影响内蒙古的沙尘暴的站数达 22 个,10 站出现扬沙天气。瞬时最大风速出现在赤峰市达 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最低能见度出现在位于浑善达克沙地境内的那仁站为 100m。下面我们以此个例从几个方面来分析其天气特征。

1 气象要素分析

表 1 给出 2000 年 4 月 6 日浑善达克沙地沙尘暴产生前后的一些气象要素的变化。由表可以看出,这一区域以西或西西北风为主导风向,最大风速在东苏为 $23.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,气压急速下降,大部分测站当日 14 时的气压较前一日下降了 10~15hPa,沙尘暴过境后,气温降低,大部分地区降温 12°C 左右,部分地区有微量降雪。

2 前期气候背景分析

扬沙、沙尘暴天气是在一定的气候背景下产生的。由我国历史时期降尘的天气气候分析表明,扬沙(沙尘暴)的频繁期对应于冷、干的气候期^③。从 1987~1998 年冬季持续暖冬,而 1999 年冬季气温突降,成为自 1987 年以来最寒冷的冬季。特别是 1999 年 1 月下旬到 2 月上旬一些测站旬平均气温出现历史同期最低值。另外 1999 年夏季以来,华北大部分地区降水量较常年偏少(除 1 月外),前冬寒冷干旱是 2000 年春季沙尘暴频

① 本文得到国家自然科学基金重大项目 49790020 和中国科学院重大项目 BKZ951-B1-451-02 的共同资助。

② 郑新江,罗敬宁等. 1998 年 4 月 14~15 日强沙尘暴过程分析. 西部大开发:气象科技与可持续发展学术研讨会会议文集. 2000 年 9 月,西安.

③ 周秀骥、徐祥德. 沙尘暴研究的科学问题. 西部大开发:气象科技与可持续发展学术研讨会会议文集, 2000 年 9 月,西安.

发的气候原因之一。

表2给出浑善达克沙地部分代表站的2000年3月气温距平与2~3月降水距平。由表看出,3月气温比历史同期高2℃左右,气温回升明显;这使土壤解冻时间提前,同时前期降水明显偏少,2~3月降水比历史同期

平均偏少近8成,其中西苏偏少9成。这样导致地表蒸发加大,造成地表裸露面积增加,土壤干燥疏松,干土层加厚。当冷空气过境时,这样疏松干燥的沙尘极易被大风扬起,从而形成扬沙和沙尘暴天气。

表1 2000年4月6日浑善达克沙地沙尘暴爆发气象要素统计

站名	朱日和	锡林浩特	阿旗	东苏	黄旗	白旗	克旗	多伦
沙尘暴爆发时间	05:22~06:20 01:38~01:57	07:20~08:20	07:00~11:00	05:50~11:57	08:20~16:20	05:00~18:00	08:00~14:00	09:40~16:30
能见度	02:00 600m 06:00 600m 09:00~10:00 600m 14:00 800m	08:00 800m	12:00 700m	08:00 800m	14:00 1300m	14:00 1500m	08:00 1500m	11:00~13:00 700m 10:00 800m 14:00 900m 16:00 900m
自记定时风	02:00 WNW 11m·s ⁻¹	08:00 W 13m·s ⁻¹	12:00 W 16m·s ⁻¹	09:00 WNW 23.7m·s ⁻¹	13:00 WNW 18m·s ⁻¹	12:00 WNW 17.0m·s ⁻¹	12:00 W 15.7m·s ⁻¹	09:00 WNW 17m·s ⁻¹
自记最大风	04:41 WNW 18.0m·s ⁻¹	07:22 W 15.3m·s ⁻¹	07:48 W 21.0m·s ⁻¹	09:00 WNW 23.7m·s ⁻¹	08:29 WNW 21.0m·s ⁻¹	12:00 WNW 17.0	10:09 WSW 18.0	09:47 W 22.0m·s ⁻¹
相对湿度	02:00 5%	08:00 57%	12:00 82%	08:00 67%	14:00 11%	14:00 24%	14:00 68%	09:00 64%
降水(雪)	无	08:25~13:20 *0.2	05:00~12:00 *0.2	10:00~10:43 *0.0	无	无	08:00~09:20 *0.2	08:00~09:00 *0.0
气压	02:00 875.1hPa 较上日低 10~15hPa	08:00 887.3hPa 较上日同 期低 15hPa	正常	08:00 889.4hPa 较上日同 期低 10hPa	正常	正常	正常	较上日同 期低 10hPa
气温	10:00至 次日03:00 降温 10~12℃	14:00至 次日08:00 降温 12℃以上	10:00至 次日08:00 降温 10~15℃	08:00至 次日02:00 降温 10~12℃	14:00至夜间 降温 11℃	14:00至夜间 降温 9~11℃	14:00至 次日08:00 降温 8~12℃	14:00至 次日08:00 降温 6~12℃

表2 浑善达克沙地部分代表站2000年3月气温距平与2~3月降水距平

站点	3月气温距平/℃	2~3月降水距平百分率/%
阿旗	2.3	-88
锡林浩特	2.7	-49
东苏	1.2	-79
西苏	2.6	-90
白旗	2.3	-75
黄旗	2.3	-83
朱日和	2.0	-85

另外,蒙古气旋的频繁活动也是造成当年扬沙、沙尘暴频发的重要原因。我国北方

地区1975~1999年25年间每年春季蒙古气旋平均为6个,而2000年3~4月间生成的蒙古气旋为13个,比多年平均多了1倍多,冷空气的频繁入侵是2000年春季扬沙、沙尘暴频发的重要影响因素。

3 环流形势分析

分析2000年3月下旬到4月上旬北半球500hPa候平均高度场(图略)可知,亚洲地区环流指数演变特征:经向环流指数加大,槽脊发展,有利于冷空气活动。5~7日的沙尘暴就发生在高空纬向环流向经向环流的转

变,500hPa 西风指数从高指数(5日的西风指数为 299)向低指数(6日的西风指数为 216)的调整过程中。

本文还利用 2000 年 4 月 5~7 日的 NCEP 再分析资料进一步作环流形势分析,结果如下:

(1)分析 500hPa 形势(图 1)我们可以看

出,在 2000 年 4 月 5 日 20 时位于 60°N、60°E 的槽 6 日 14 时发展成闭合的切断低压,诱发槽上游的脊位于乌拉尔山附近,随后该脊强烈发展,经向度加大,脊前冷空气南下,促使诱发槽向东南方向移动加深。在我国的华北地区也就是这次沙尘暴的爆发区域,由脊演变成槽,使正涡度明显加大。

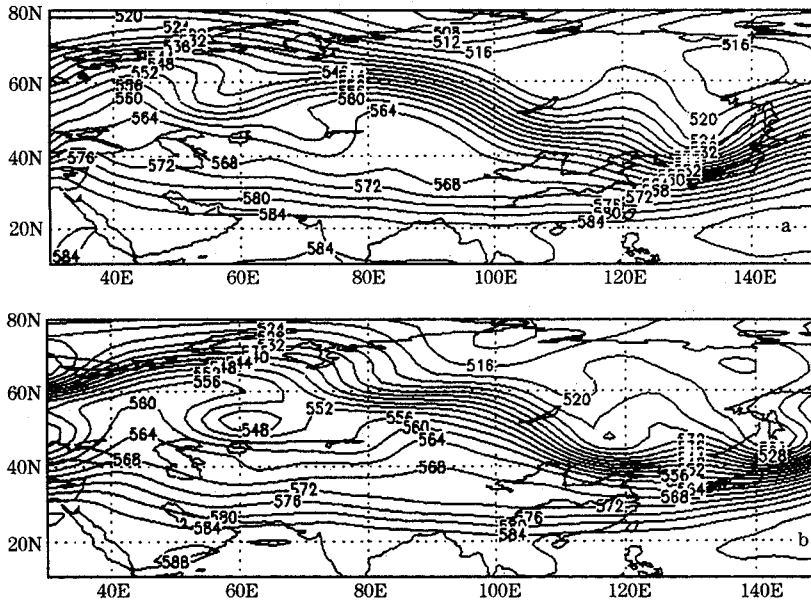


图 1 2000 年 4 月 5 日 12 时(a)及 6 日 06 时(b)(世界时)的 500hPa 形势

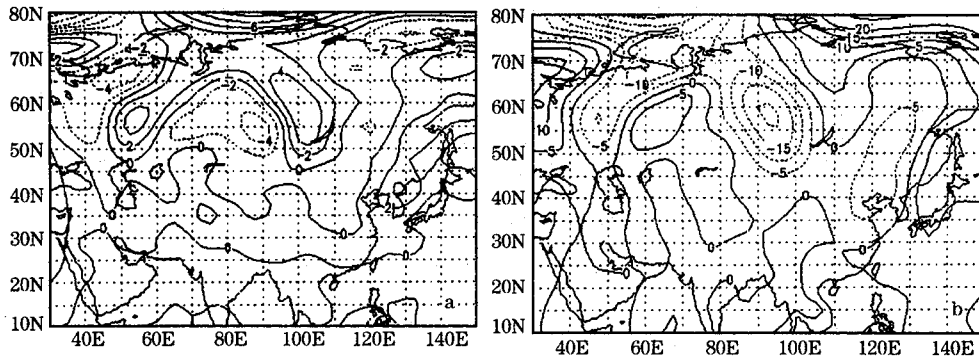


图 2 2000 年 4 月 5 日 14 时(北京时间)500hPa 涡度平流(a)和温度平流图(b)

(2)在 500hPa 涡度和温度平流图(图 2)上,我们也可以看出,贝加尔湖附近存在一个较强的正涡度平流中心(最大涡度平流为 $4 \times 10^{-9}/s$)和冷平流中心(最大温度平流为 $-15 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}/s$),这样就使贝加尔湖附近不稳定小槽在强的涡度和温度平流作用下东移

加深发展,并诱发了地面蒙古气旋的东移。从地面天气图(图略)来看,5日08时蒙古高原东部处在西西伯利亚冷高压与我国东部正在变性的冷高压之间的低压槽区,在获得高空小槽的动力减压和地面冷空气进入后,在蒙古国东部锋面气旋生成,之后该气旋沿

45°N 附近东移。6 日气旋移到内蒙古东部, 强度达到其生命史最强时期, 中心气压为 995.3hPa, 低压中心附近 24 小时降压 17hPa。6 月 14 日锋生, 同时位于阴山山脉附近的冷高加强, 冷高前部和气旋后部的西北大风卷挟着浑善达克沙地的沙土沿路扬起造成大范围的沙尘暴天气。尔后气旋锢囚, 并逐渐减弱东移。

(3)冷空气对比也反映在地面变压场上, 地面 3 小时变压场反映冷暖空气演变的最新趋势。6 日 14 时锋后 $+\Delta P_3$ 达到 5.8hPa 以上, 这与正常气压日变化 14 时本应为降压的趋势来说是非常大的变化, 显示了冷空气的强劲; 锋前的 $-\Delta P_3$ 也在 -2.2hPa 以下, 强于正常日变化, 预示着锋前热低压还在强烈发展中, 显示了暖空气的强劲。锋前后的变

压差大, 气压梯度亦大, 则利于强风产生。

这次沙尘暴产生的根本原因是冷空气活动异常, 强烈的气压梯度和变压梯度使冷空气能够推动暖空气加速运动, 冷空气活动伴有蒙古气旋的强烈发展东移, 而蒙古气旋的强烈发展是这次沙尘暴产生的重要地面天气系统。

4 物理量诊断分析

分析 500hPa 涡度图(图 3), 5 日与高空低压槽相对应在 $40^\circ\sim 55^\circ\text{N}$ 为大片正涡度区, 涡度中心位于 50°N 、 110°E 附近, 中心值达 $6\times 10^{-5}/\text{s}$ 。6 日正涡度中心向东南移动, 正涡度明显加强, 中心值为 $8\times 10^{-5}/\text{s}$, 而且从 500hPa 的 u 场来看(图 4), 500hPa 急流移动方向与正涡度中心移动方向一致, 沙尘暴就产生于正涡度中心的下风方, 即等涡度

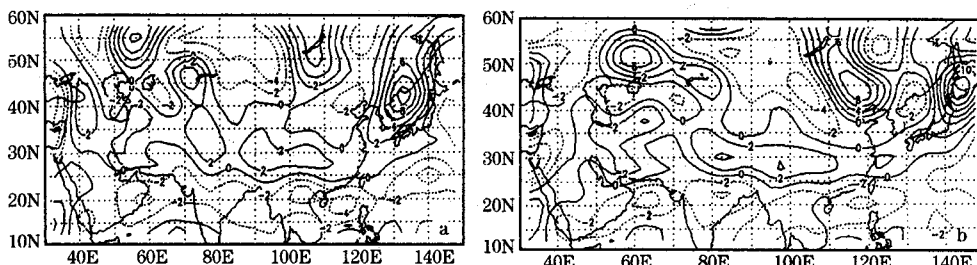


图3 2000年4月5日12时(a)及6日06时(b)(世界时)的500hPa 涡度场

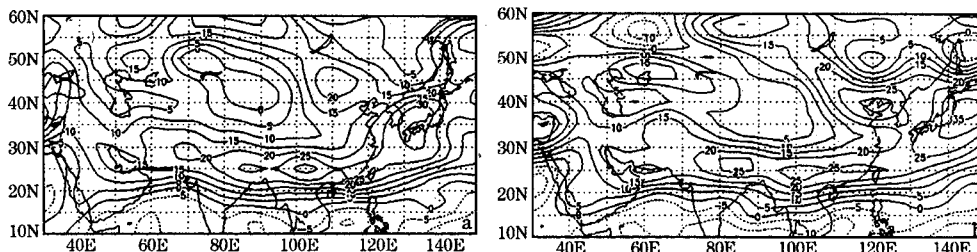


图4 2000年4月5日12时(a)及6日06时(b)(世界时)的500hPa的 u 场

线梯度较大的区域。

从 6 日 14 时散度沿 40°N 的垂直剖面图(图 5)来看, 120°E 附近低空的强辐合, 高空的强辐散, 反映了蒙古气旋在东移中得以获得发展。沙尘暴就发生在低层强辐合与强辐散的转换区域。对应 6 日 14 时的涡度的垂直剖面图(图 6), 可以看出沙尘暴上空整层为正涡度, 最大涡度层在 400hPa, 其西侧为整层的负涡度区, 中心在 500hPa 层, 反映出

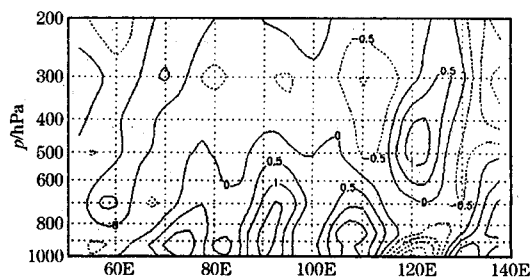


图5 2000年4月6日14时(北京时)散度沿 40°N 的垂直剖面图

此次沙尘暴过程影响系统的深厚。从6日14时的沿纬向40°N的 v 分量的垂直剖面图(图7),可以看出,在沙尘暴爆发区风切变很大,这种层结不稳定有利于沙尘暴天气的产生。

另外,由于太行山的地形作用,背风坡动力槽的影响也是不可忽视的。

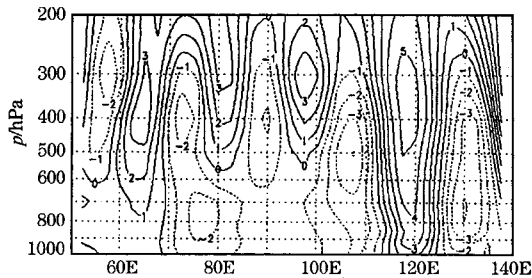


图6 2000年4月6日06时(北京时)的涡度沿40°N的垂直剖面图

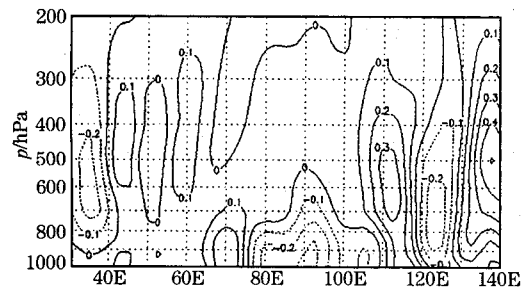


图7 2000年4月6日06时(北京时)的 v 沿40°N的垂直剖面图

从以上的分析我们认为,在浑善达克沙地这样丰富沙源条件下,一旦有强冷空气入侵,出现有利于大风的天气形势,同时配合不稳定的热力条件,出现扬沙或沙尘暴的天气在所难免。

5 小结

(1)浑善达克沙地部分代表站3月气温比历史同期高2℃左右,而2~3月降水平均偏少近80%,2000年3月气温偏高而前期降水明显偏少是此次沙尘暴产生的气候背景之一。

(2)蒙古气旋的活动频繁也是造成2000年春季扬沙、沙尘暴频发的重要原因。

(3)冷空气活动异常,蒙古气旋的强烈发展和冷高的加强是这次沙尘暴产生的重要地面天气系统。

(4)沙尘暴产生于500hPa正涡度中心的下风方,即等涡度线梯度较大的区域,另外,此次沙尘暴在低层强辐合与强辐散的转换区域产生,并且,背风坡动力槽的影响也是不可忽视的。

参考文献

- 1 徐国昌,陈敏连,吴国雄. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报,1979,37(4):26~35.
- 2 方宗义,朱福康,江吉喜,钱正安. 中国沙尘暴研究. 北京:气象出版社,1997:1~30.

An Analysis of a Sand Devil Event in Hunshandake Sandy Land

Wang Geli Lü Daren Li Hongzhou

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

With the help of observations of 11 stations in Hunshandake sandy land of the Inner Mongolian Autonomous Region and the NCEP reanalysis data, the weather conditions, circulation features and physical diagnosis for the dust storm and fly ash processes on 5—7 April, 2000 are investigated to put forward the scientific proofs in dust storm prediction research.

Key Words: Hunshandake dust dust storm weather diagnosis