

文章编号:1000-694X(2007)06-1062-05

## 毛乌素沙漠边缘地区春末夏初 沙尘暴天气的物理量场结构

贺皓, 刘宇, 滕跃, 黄宝霞

(陕西省专业气象台, 陕西 西安 710014)

**摘 要:** 沙尘暴天气是毛乌素沙漠边缘内蒙古、甘肃、宁夏、陕西等地区春末夏初特有的一种灾害性天气。应用欧洲中心再分析资料的气压场和各种物理量场,选取了5个沙尘暴个例,分析了沙尘暴时期各层气压场的特征和物理量的空间结构。结果表明:蒙古高压是影响沙尘暴的主要天气系统。在沙尘暴发生时,蒙古高压前部整层都为宽广而强劲的西北气流,从地面可伸展到200 hPa附近,其物理属性是干、冷,其前部近乎于东北—西南向的区域,是锋区的密集带,也是各种物理量表现最为敏感的区域,垂直速度场为上升运动区,涡度场为正涡度区,高一低层散度差值场为正值,这些物理量都为沙尘暴的发生起到了推动和加强作用。

**关键词:** 沙尘暴; 春末夏初; 物理量场; 空间结构

**中图分类号:** P445.4

**文献标识码:** A

沙尘暴是沙漠及其邻近地区特有的一种灾害性天气<sup>[1-3]</sup>,以毛乌素沙漠地区为例,其边缘地区有内蒙古、甘肃、宁夏等省(区),陕西紧邻毛乌素沙漠地区的边缘,每年都会受其危害,特别是陕北榆林、延安地区,更是首当其冲。当这些地方发生沙尘暴时,大多数会影响西安及以南许多地方。我国从20世纪70年代开始对沙尘暴的时空分布、成因与结构,以及监测与对策方面进行了研究<sup>[4-10]</sup>。我国沙尘暴主要发生在春季,约占全年的50%~60%<sup>[11-12]</sup>。陕西3—5月强沙尘暴发生几率占全年沙尘暴总次数的80%<sup>[13]</sup>。王式功等<sup>[14-15]</sup>通过对沙尘暴形成的宏观天气气候条件和下垫面状况的系统分析,认为沙尘暴主要发生在春季和初夏季节的原因是:首先是特殊的地形条件和丰富的沙尘源;春末夏初这段时间,极易形成干旱,加剧了地表土质疏松的程度;春季北方冷空气还具有相当的实力,容易形成吹大风的环流形势。

笔者利用陕、甘、宁、蒙1980—2002年的沙尘暴资料以及相应的天气探空资料、物理量场资料,对发生于春末夏初(4—5月)毛乌素沙漠边缘地区的沙尘暴从地面到高空的环流形势、物理量空间结构进行了分析,总结提出沙尘暴时期的空间物理量模型,旨在提高沙尘暴的预测预报能力,达到更有效的防灾、减灾目的。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

沙尘暴资料取自我国北方内蒙古、甘肃、宁夏和陕西气象站1980—2002年4—5月沙尘暴发生日期资料,为了避免孤立个例的局限性,减少随机因素的影响,选取了1980-05-24—05-25,1981-05-01—05-02,1982-04-07—04-08,1983-04-27—04-28,2000-04-28—29这5次强沙尘暴作为分析对象,为了考察沙尘暴时期的空间结构,使用ECMWF 40 a再分析资料(20°—60°N,50°—130°E)范围1 000 hPa、850 hPa、700 hPa、500 hPa和200 hPa的位势高度场、温度场、东—西风分量 $u$ 、南—北风分量 $v$ 、比湿场、垂直速度场、涡度场和散度场作为特征量描述。

### 1.2 计算方法

主要采用统计平均和合成分析方法,这主要是对于大量资料组成的场,减少了随机干扰和噪声的影响,分析的结果更具代表性。

## 2 沙尘暴发生时各层的天气形势

冷空气(冷高压)是沙尘暴产生的驱动力。图1给出了沙尘暴期间1 000~200 hPa各层的平均环流形势

收稿日期:2007-04-03; 改回日期:2007-06-05

基金项目:国家自然科学基金项目(40575004)资助

作者简介:贺皓(1953—),男,陕西合阳人,高工,主要从事天气预报和气候应用研究。E-mail:shanxihehao@163.com

图。1 000 hPa,西起乌拉尔山,东到鄂霍茨克,即蒙古国和俄罗斯广大地区,盘踞了一强大而完整的高压,高压长轴呈西北—东南向,这是冷空气的移动方向,高压中心位于贝加尔湖西部,中心数值达到 240 gpm,高压前部从呼伦贝尔高原经太行山到陕南为暖低压区,这就是锋面位置,暖低压中心数值 70 gpm,和高压中心相差 140 gpm,气压梯度力呈西北—东南向,等温线呈东—西向分布,等压线和等温线之间交角很大,呈现斜压作用,气压梯度力和温度梯度作用几乎一致,毛乌素沙漠边缘地区遭受沙尘暴侵袭是不难想象了。

图 1b 与图 1a 是相对应的流场图,两大天气系统清晰地展现在图面上,一个为和高压中心配合的辐散流场,另一个是和高压前部暖低压区相对应的辐合流场,特别是高压前部的偏北气流成为主导气流和引导气流。图 1c 和图 1d 分别是沙尘暴时期的 500 hPa 和 200 hPa 形势图。可以看到,蒙古国地区整个为高压脊控制,横跨了 60 个经距。脊的顶部伸展到 60°N 以北,脊前在贝加尔湖到河套整层为宽广的西北气流,配合等温线,锋区强度达到 1.6~2.0 °C/100km,这就是影响沙尘暴的系统。

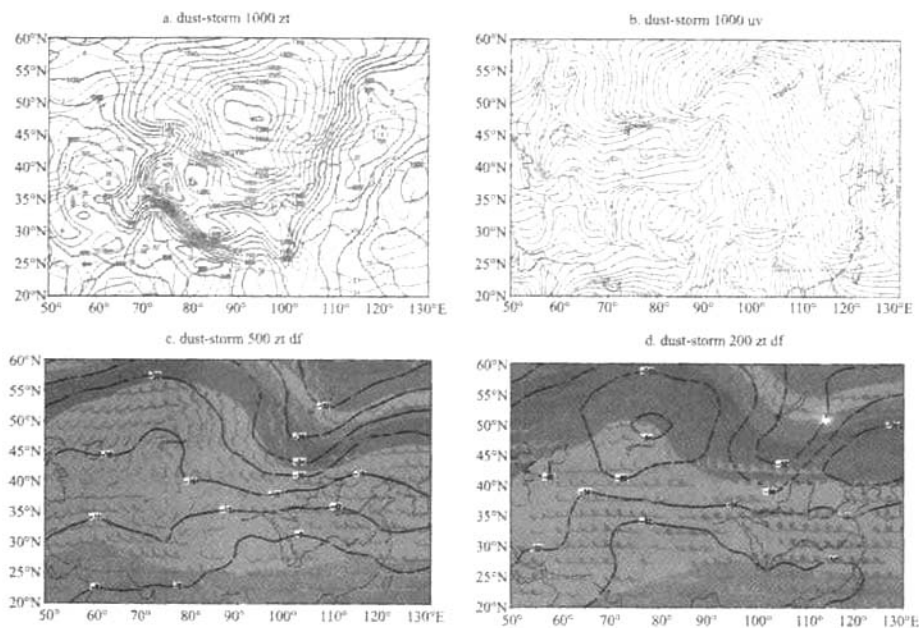


图 1 沙尘暴时期各层的环流形势

(a. 1 000 hPa 气压场和温度场; b. 1 000 hPa 流场; c. 500 hPa 气压场(阴影区)温度场(黑实线)和流场; d. 同 c, 但为 200 hPa)

Fig. 1 Circumfluence patterns at 1 000 hPa, 500 hPa and 200 hPa during the dust-storm event

### 3 沙尘暴时期物理量的空间结构

#### 3.1 850 hPa 温度和比湿

温度场反映了冷空气的强度,比湿场说明冷空气的干、湿程度。图 2 给出了 5 次沙尘暴时期 850 hPa 温度场和比湿场的平均场。可以看到,蒙古冷空气前沿,经陕西—宁夏—甘肃一带,等温线在 12 °C,而冷高压中心达到了 -8 °C,在贝加尔湖到蒙古为冷温度槽区,锋区前沿在河套到河西。整个冷高压比湿场为干的,数值仅仅达到 0.002 g · kg<sup>-1</sup>,而在陕西中部到陇东,比湿场为 0.007 ~ 0.008 g · kg<sup>-1</sup>。

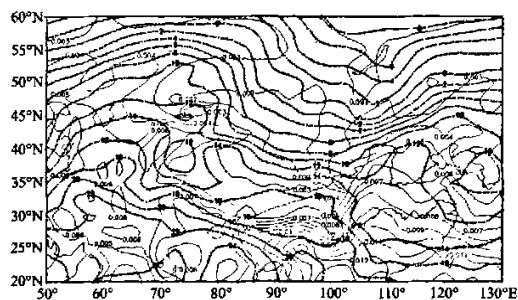


图 2 沙尘暴时期的比湿场和温度场

(细实线为等比湿线、点线为等温线)

Fig. 2 Fields of specific humidity (solid line) and temperature (dotted line) during the dust-storm event

### 3.2 沙尘暴时期的垂直速度场

在研究的区域范围( $20^{\circ}$ — $50^{\circ}$ N,  $50^{\circ}$ — $130^{\circ}$ E)出现了大大小小的垂直速度中心,有的属于中尺度甚至成为小尺度天气系统。但主层次是清晰的,这就是从西北到东南,底层到高层,垂直速度排列为“—+—+—”,“—”代表上升运动区,“+”代表下沉运动区。沙尘暴时期,和蒙古冷高压相对应的垂直速度场为正值(表示下沉气流),强度达到  $0.25 \text{ mb} \cdot \text{s}^{-1}$ ,冷高压前部,在东北—华北—四川盆地,为负的垂直速度带,表

示上升气流区(图 3),在此上升气流区中,出现了 3 个中心,第一个位于贝加尔湖前部,在 700 hPa 表现为最强,中心强度  $-0.15 \text{ mb} \cdot \text{s}^{-1}$ ,第二个中心位于华北地区太原附近,中心数值更强,500 hPa 达到  $-0.25 \text{ mb} \cdot \text{s}^{-1}$ ,第三个中心在四川盆地,中心数值相对小一点。和风场配合分析,此垂直速度上升区,势必要被蒙古高压的下沉气流所替代,就是说,冷空气肯定是向上升运动区移动,在这样的形势下,沙尘暴不但影响毛乌素沙漠边缘的内蒙古、宁夏、甘肃、陕西等地,也会影响东北、华北,甚至到达四川盆地。

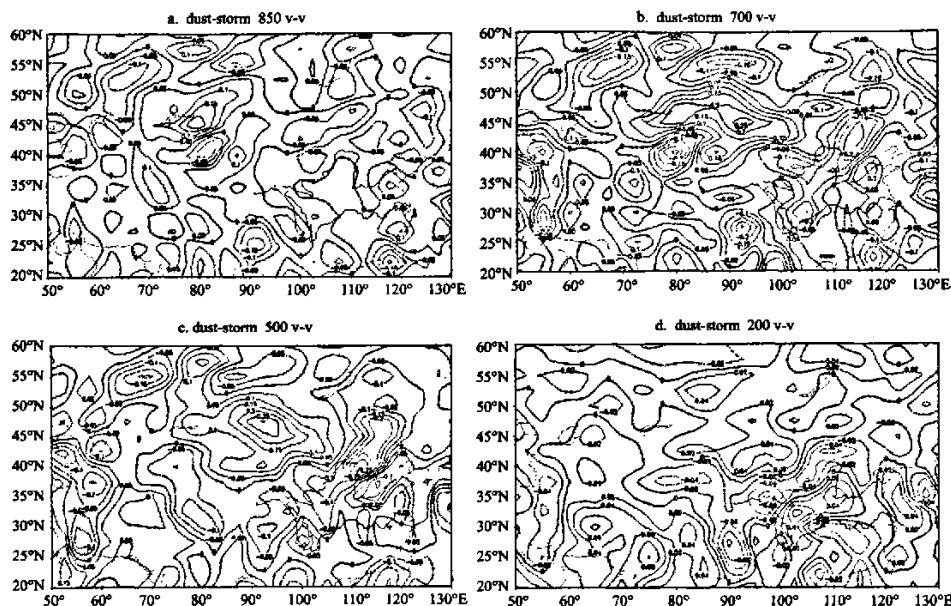


图 3 沙尘暴时期垂直速度场

Fig. 3 Fields of vertical velocity during the dust-storm event

为了考察沙尘暴期间整层垂直速度的情况,选择了 1980 年 5 月 24—25 日沙尘暴的个例,计算了 1 000—200 hPa,沿着  $20^{\circ}$ — $50^{\circ}$ N,  $108^{\circ}$ E 的垂直速度剖面(图 4)。

可以看到,  $27^{\circ}$ N 以南,即云贵高原地区,垂直速度为正值,为下沉运动区,其以北,从 850 hPa 以上,整层都为上升运动区,但有三个高值中心,第一个位于 500 hPa,  $33^{\circ}$ N 附近,即秦岭北麓的关中盆地;第二个位于 700 hPa,  $38^{\circ}$ N 附近,这里就是长城沿线;第三个位于 500 hPa,  $45^{\circ}$ N 附近,即内蒙古东部。可见,由于地理位置的差异,上升运动出现的极大中心高度是不一样的。

### 3.3 沙尘暴时期涡度场的垂直结构

沙尘暴时期,低层到高层,涡度场排列有序

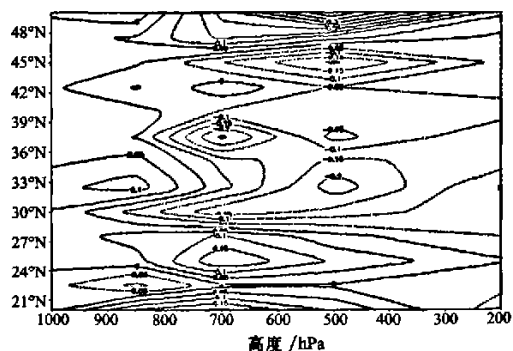


图 4 沙尘暴时期沿着  $108^{\circ}$ E,  $20^{\circ}$ — $50^{\circ}$ N 范围在 1000—200 hPa 的垂直速度剖面

Fig. 4 The vertical cross-section of vertical velocity along  $108^{\circ}$ E,  $20^{\circ}$ — $50^{\circ}$ N at 1 000 hPa to 200 hPa during the dust-storm event

(图 5),形成和天气系统相对应的涡列,和蒙古冷高压相配合的涡度场为负涡度,有三个负涡度中心,成为三足鼎立之态势,这里有冷平流和负涡度平流,对下沉运动有贡献,使得蒙古高压稳定加强。从贝加尔湖到乌兰巴托有一条东北—西南向的正涡度分布带,这是天气系统表现的最强烈地区,也可以看到,沿着蒙古冷高压长轴方向,即西北—东南方向,涡度分布为“—+—”结构,但正涡度区绝对数值是最大的。特别是 200 hPa,涡度场分布和长波系统的槽、

脊相对应。为了研究沙尘暴时期涡度整层的结构,选择了 1980 年 5 月 24—25 日沙尘暴的个例,计算了 1 000—200 hPa,沿着 20°—50° N,108° E,垂直速度剖面图(图 6),整层大致有三个涡度带:第一个位于 27°—36° N,为正涡度区,中心在 700 hPa,数值为  $4E-05/s$ ,此区域恰好是四川盆地到延安南部的广大地区;第二个区域在 39°N 附近,为负涡度区,中心位于 500 hPa;第三个区域在 42°—47° N,是正涡度区,中心位于 700 hPa,数值达到  $6E-05/s$ 。

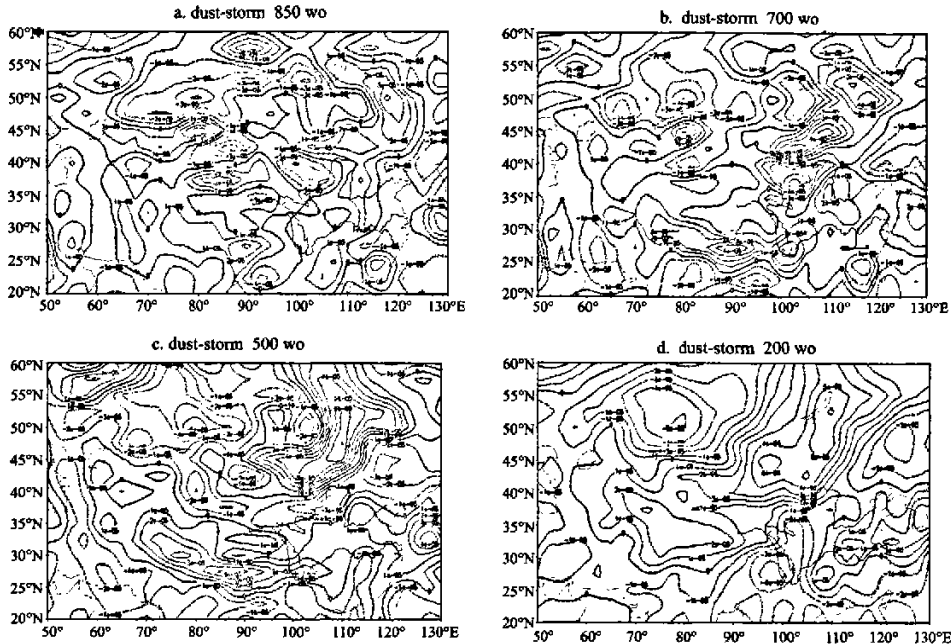


图 5 沙尘暴时期的涡度场  
Fig. 5 Fields of vorticity during the dust-storm event

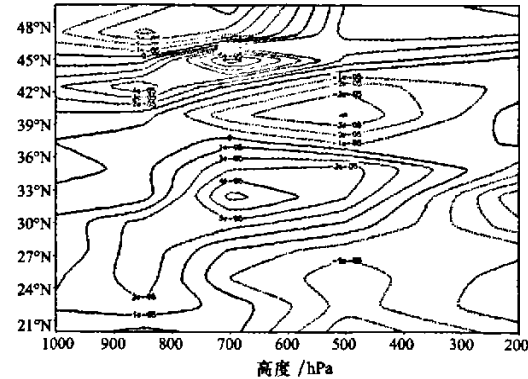


图 6 沙尘暴时期沿着 108° E, 20°—50° N 范围  
在 1 000—200 hPa 的涡度剖面  
Fig. 6 The vertical cross-section of vorticity along 108° E,  
20°—50° N at 1 000 hPa to 200 hPa  
during the dust-storm event

### 3.4 200 hPa 散度场与 850 hPa 散度场

用 5 次沙尘暴资料计算了 200 hPa 平均散度场和 850 hPa 平均散度场,然后计算了两个场之差值。按照中纬度天气系统发生、发展的理论,当高层辐散底层辐合时,天气系统是发展加强的。图 7 给出了沙尘暴发生时的 200—850 hPa 散度场。在蒙古高压区,散度场差值为负值,只是在鄂霍茨克经河套北部到张掖、民勤,散度场差值为正值,这是天气系统的发展区,也是沙尘暴的主要影响区。

## 4 结论

通过对发生于毛乌素沙漠边缘地带春末夏初沙尘暴天气的分析,可以得到如下结论:

- 1) 蒙古高压是沙尘暴出现的驱动力,也是影响

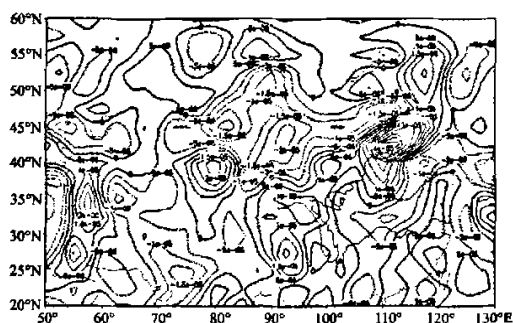


图7 沙尘暴时期 200 hPa 与 850 hPa 散度差值场

Fig. 7 Field of divergence difference between 200 hPa and 850 hPa during the dust-storm event

沙尘暴的主要天气系统。因此,在业务实践中,一定要注意蒙古高压的生成、移动和发展,要注意蒙古高压的强度、长轴方向、中心气压的变化、高压前部的锋生等,这样,才能在天气预报中取得主动。

2)沙尘暴出现时,从低层到高空盛行一支宽广而深厚的偏北气流,这是主导气流,也是引导气流,这支气流所经之处,也是沙尘暴出现之时。

3)沙尘暴天气出现时,蒙古冷高压前部的物理量结构为:垂直速度场为上升运动区,也是流场辐合区,涡度场为正值,高低层散度差为大于0的正值区,说明天气系统正在发展和加强。

#### 参考文献(References):

[1] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与

- 治理对策[J].地理学报,2001,55(5):513-520.
- [2] 钱正安,蔡英,刘景涛,等.中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J].地球物理学报,2005,49(1):83-92.
- [3] 郭慧,王式功,李栋梁,等.甘肃春季沙尘暴环流特征及其时间尺度诊断分析[J].中国沙漠,2004,24(5):593-595.
- [4] 康凤琴,李耀辉,吕世华.2001年4月8日强沙尘暴天气的数值模拟研究[J].中国沙漠,2003,23(6):681-684.
- [5] 王劲松,俞亚勋,赵建华.中国北方典型强沙尘暴的地面加热场特征分析[J].中国沙漠,2004,24(5):599-602.
- [6] 石广玉,赵思雄.沙尘暴研究中的若干问题[J].大气科学,2003,27(4):591-606.
- [7] 徐国昌,陈敏连,吴国雄.甘肃省特大沙尘暴分析[J].气象学报,1979,37(4):25-35.
- [8] 郑新江,徐建芬,罗敬宁,等.1998年4月14-15日强沙尘暴过程分析[J].高原气象,2001,20(2):180-185.
- [9] 王小玲,翟盘茂.中国春季沙尘天气频数的时空变化及其与地面风压场的关系[J].气象学报,2004,62(1):96-103.
- [10] 姜学恭,沈建国,刘景涛,等.导致一例强沙尘暴的若干天气因素的观测和模拟研究[J].气象学报,2003,61(5):606-613.
- [11] 王金艳,王式功,马艳,等.我国北方春季沙尘暴与气候因子之关系[J].中国沙漠,2007,27(2):296-300.
- [12] 周自江,章国材.中国北方的典型强沙尘暴事件(1954-2002年)[J].科学通报,2003,48(11):1224-1228.
- [13] 雷向杰,李亚丽,王小宁,等.陕西强沙尘暴特强沙尘暴天气气候特征分析[J].中国沙漠,2005,25(1):118-122.
- [14] 王式功,董光荣,陈惠忠,等.沙尘暴研究的进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349-356.
- [15] 李耀辉.近年来我国沙尘暴研究的新进展[J].中国沙漠,2004,24(5):616-622.

## Physical Parameter Fields Structure of Dust-Storm Event in Late Spring to Early Summer in Margin Region of Mu Us Desert

HE Hao, LIU Yu, TENG Yue, HUANG Bao-xia

(Shaanxi Specialized Meteorological Observatory, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** Dust storm event is a kind of proper harmful weather phenomenon in late spring to early summer in the margin region of Mu Us desert. Based on the ECMWF re-analysis data of fields of pressure and physical parameters and the data of five dust-storm cases, the characteristics of pressure field and spatial structure of physical parameter fields at different layers during the dust-storm event are analyzed. The results show that Mongolia anticyclone is the main synoptic system impacting dust-storm. During the dust-storm event, the front of Mongolia anticyclone is controlled by the wide strong northwest wind from surface to 200 hPa. The physical property of it is dry and cold. The front of Mongolia anticyclone is the northeast-southwest frontal surface, which is not only a dense belt but also a sensitive region of the physical parameters. In this region, the vertical velocity field is upward, the field of vorticity is positive and the field of divergence difference between 200 hPa and 850 hPa is positive. All these physical parameters have a promotive and fortified effect on the occurrence of dust-storm.

**Keywords:** dust-storm; late spring to early summer; physical parameter fields; spatial structure