

文章编号:1005-8656(2013)01-0008-08

## 2011年5月11日内蒙古地区强沙尘暴天气过程分析

马素艳<sup>1,2</sup>,丁治英<sup>1</sup>,韩经纬<sup>2</sup>,苏日娜<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院,江苏 南京 210044;2. 内蒙古气象台,内蒙古 呼和浩特 010051;  
3. 包头市气象局,内蒙古 包头 014030)

**摘要:**基于 $1^\circ \times 1^\circ$ NCEP资料、常规气象观测资料及地面加密观测资料,对2011年5月11日发生在锡林郭勒盟地区的强沙尘暴过程进行天气学分析和诊断,得出如下结论:(1)此次强沙尘暴过程特点是落区集中、强度大、强沙尘暴持续时间长、沙尘暴区与大风区(6级以上)非常一致。冷涡及强锋区、蒙古气旋和冷锋是触发这次强沙尘暴天气过程的重要天气系统,此次强沙尘暴天气过程则属于蒙古气旋和冷锋共同作用引起的类型;(2)高空急流左中和左后方的辐合区,及左前侧的高空辐散区均出现了沙尘暴,下沉只在动量下传中起到了重要作用。垂直螺旋度在东移的过程中正值中心与强沙尘暴区域对应较好,且具有典型的上负下正的垂直结构,构成了低空强辐合、高空强辐散的深厚上升运动区,这样螺旋度垂直分布是十分有利于沙尘暴发展的一种形式;(3)在沙尘暴发生前,具有不稳定特征。沙尘天气开始时,等位温线几乎垂直于横坐标,表明此时大气层结非常接近绝热状态(中性层结),由于中性层结能够减小抬升所需的能量,因而有利于干对流的产生。

**关键词:**强沙尘暴;天气形势;诊断分析

中图分类号:P445+.4 文献标识码:A

### 1 资料来源及沙尘天气过程概况

分析中所用的资料为 $1^\circ \times 1^\circ$ NCEP资料,该资料每6h一次;常规气象观测资料中,地面资料为3h一

次,高空资料为12h一次,加密观测资料为1h一次。

2011年5月10日11时,蒙古国南部首先出现强沙尘暴。11日08时,锡林郭勒盟沙尘天气开始,

## Analysis of Circulation Influencing Factors of Extreme Climatic Event in Winter in Inner Mongolia

Li Haiying<sup>1</sup>, Si Yaobing<sup>2</sup>, Li Yang<sup>2</sup>

(1. Inner Mongolia Climatic Center, Inner Mongolia Hohhot 010051;  
2. Inner Mongolia Meteorological Service Center, Inner Mongolia Hohhot 010051)

**Abstract:** In the past decades, few of the extreme climatic event has been recorded in winter (from November to next February) in Inner Mongolia. Extreme microtherm events rarely occurred in the central and western region, mostly in central and eastern areas of the Xilin Gol League in Inner Mongolia. Especially, the extreme microtherm events were less under the climate warming since the 1986. The episodes of extreme rainfall have been occurred each month in winter, but each month has its own characteristics. This paper focuses on analysis the episodes of extreme rainfall in November. Through analysis on the SST and the atmospheric circulation anomaly be found that the crucial factor of affects extreme precipitation and extreme low temperature in winter in Inner Mongolia for prediction the extreme climatic events as a reference.

**Key Words:** winter season; extreme climatic event; extreme precipitation; extreme low temperature

11 时已经扩展到锡林郭勒盟大部,其中,那仁宝力格、苏尼特左旗及阿巴嘎出现了强沙尘暴。14 时,沙尘天气进一步加强,锡林浩特出现了强沙尘暴,并且在苏尼特左旗及阿巴嘎出现了黑风暴。赤峰大部、北京、河北北部也都出现扬沙天气(见图 1)。17 时强沙尘暴覆盖区达到最大,强度有所减弱,那仁宝力格、苏尼特左旗、阿巴嘎、锡林浩特、东乌珠穆沁和西乌珠穆沁均有强沙尘暴天气。20 时,沙尘天气覆盖地区东移,但锡林浩特、西乌珠穆沁及乌拉盖仍有强沙尘暴出现。12 日,沙尘天气影响区域为赤峰市北部、通辽市北部、兴安盟及东北三省东部地区,强度为浮尘和扬沙。

从此次过程的最低能见度分布图(图 1(a))和

最大风速分布图(图 1(b))可以看出,沙尘暴与 6 级以上(风速 $\geq 10.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )的大风区域几乎重合,主要原因是此次过程属于偏北路径,西部地区的沙源地位置比较偏南,因此西部地区仅偏北个别站点出现沙尘天气,而最主要的沙源地是位置更偏北的浑善达克沙地,因此,当有系统性大风经过就能形成较强沙尘天气过程,这也是沙尘暴(强沙尘暴)集中在锡林郭勒盟的重要原因,即锡林郭勒盟地区沙尘天气主要是本地起沙造成,而下游地区的沙尘主要是从锡林郭勒盟传输过来,随着距离沙尘源越来越远及系统至 11 日 20 时之后移速加快并开始减弱,使得沙尘天气强度开始减弱。

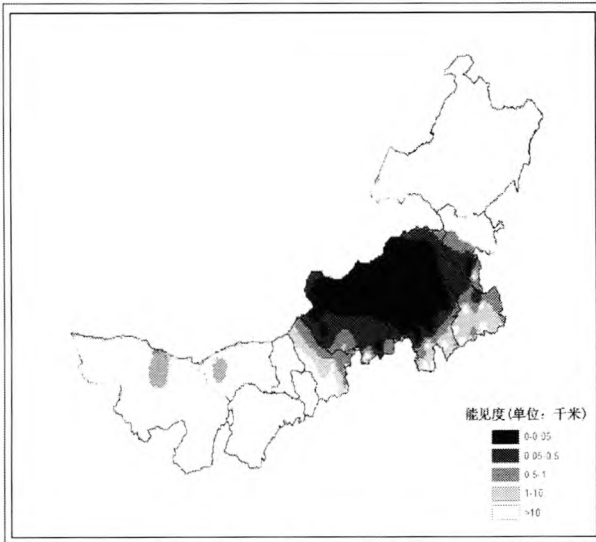


图 1(a)沙尘暴过程最低能见度分布图

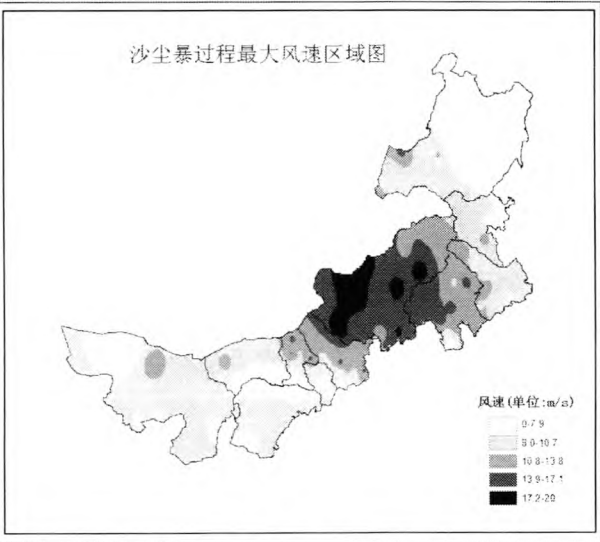


图 1(b)沙尘暴过程最大风速分布图

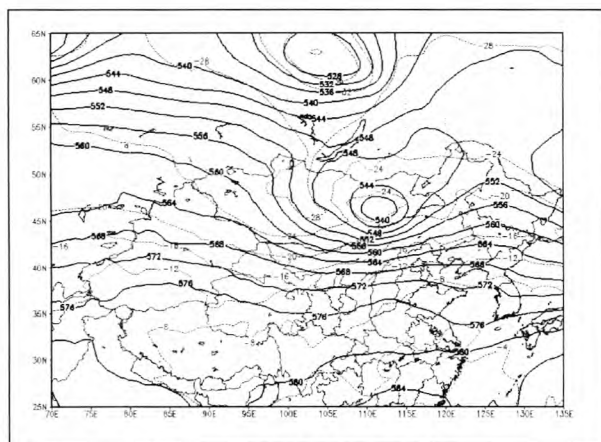
综上所述,此次强沙尘暴过程属于偏北路径,其特点是影响范围集中、强度大、持续时间长。

2 天气形势分析

10 日 08 时,500hPa 天气图上,欧亚大陆为两槽两脊,乌拉尔山附近为高压脊,冷涡中心位于 60°N 附近,并开始影响我国新疆北部,地面西西伯利亚为冷高压,蒙古气旋在蒙古国中部形成,20 时气旋中心值从 1003hPa 迅速降低到 997.5hPa,同时 500hPa 冷涡底部槽在蒙古国境内发展为低涡,开始影响内蒙古西部地区,且温度槽落后于高度槽,具有典型的斜压不稳定结构,内蒙古河套以东地区处于暖区中。

11 日 08 时(图 2(a)),500hPa 上冷涡位于锡林郭勒盟以北,内蒙古中东部大部地区转为西南气流,700hPa 和 850hPa 均有冷涡存在,在蒙古国南部至内蒙古中部地区,温度场和高度场的交角几乎为 90°,形成强的力管,因此形成深厚的高空

冷涡和强锋区。20 时冷涡移至内蒙古呼伦贝尔市西部,700hPa 和 850hPa 均有冷涡相配合,温度场仍落后于高度场,内蒙古中部偏北地区 850hPa 温压场接近垂直,冷平流强。地面冷高压发展迅速,至 11 日 08 时的 12h 高压中心值从 1025hPa 增加至 1032hPa,使得内蒙古中部以北地区的气压梯度迅速增加。气旋在 11 日 08—20 时移动缓慢,20 时之后移动速度加快,至 23 时移出锡林郭勒盟。08 时气旋中心位于呼伦贝尔市西南部及锡林郭勒盟东北部附近(图 2(b)),且锡林郭勒盟北部已经有  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的大风出现,11 时,冷锋后部 3h 正变压中心值为 +3.7hPa,锋前负变压中心值为 -2.5hPa,变压差达 6.2hPa,14 时 3h 变压差为 4.7hPa,17 时达到 7.7hPa(+4.3-(-3.3)),锡林郭勒盟大部均出现 6 级以上的大风,即,蒙古气旋东移形成的大的气压梯度和变压梯度是地面大风形成的重要因素。



综上所述:沙尘区位于高空急流左侧、低空急流的正下方。沙尘天气发生前,高低层有明显的风向风速切变,使大气不稳定层结加剧。沙尘区上空高空急流已经形成,高空动量下传引起低层风速迅速增加<sup>[2]</sup>、低空急流形成,及低空急流形成后的强迫抬升作用是这次沙尘过程的主要原因之一。

### 3.2 层结条件分析

#### 3.2.1 温度平流

10日14时,500hPa冷平流使得系统在20时加强为低涡,此后冷平流中心一直位于低涡中心的西南侧,冷涡附近为弱冷平流,使得冷涡维持。

沙尘暴发生前(图4(a)),在锡林郭勒盟西北部,

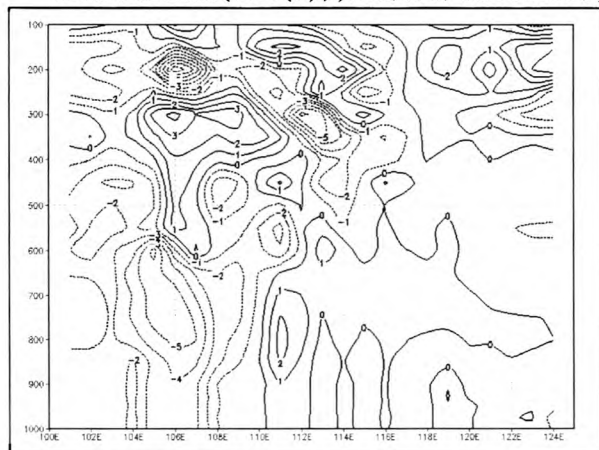


图4(a) 10日20时沿43°N温度平流剖面

#### 3.2.2 相当位温

与地面气旋所对应的是上空高相当位温区,即是维持气旋发展的重要热力因子,也是影响沙尘暴发生发展的主要热力因子。10日20时700hPa(图5(a))及以下锡林郭勒盟西部形成高相当位温区,表明高能区已经形成,且相当位温梯度很大,达6K以上,高能舌后部为明显低值区,位温锋区明显,说明沙尘暴发生前增暖显著,即沙尘暴发生前有不稳定能量的累积。当低空冷切变和地面冷锋接近时,激发能量释放,有利于中小尺度

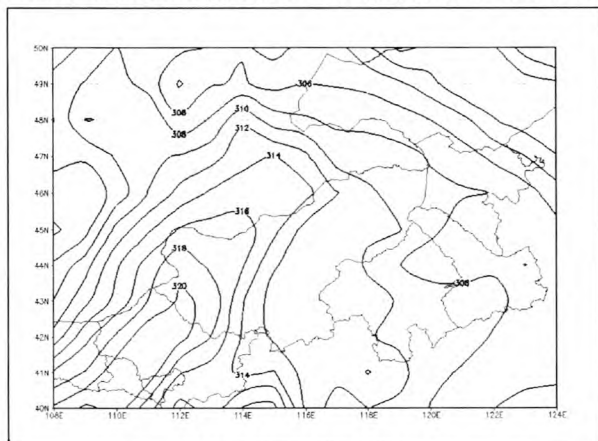


图5(a) 10日20时700hPa相当位温

直到600hPa为暖平流,500hPa平流较弱,以上有一个冷平流中心,冷平流叠置在暖平流之上,具有不稳定特征<sup>[3]</sup>,当低空冷切变和地面冷锋接近时,激发能量释放,有利于中小尺度天气系统对流发展<sup>[4]</sup>。锡林郭勒盟以西地区低层有一明显的冷平流,冷平流中心随高度向后倾斜,并逐渐东移。

02时,冷平流前缘开始影响锡林郭勒盟西部,至08时(图4(b)),冷平流明显加强,冷平中心仍随高度向后倾斜,随后继续加强,最强为 $-10 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而在低层113°E附近形成一冷平流中心,此时地面风速迅速增大,并出现沙尘天气。可见,温度平流的垂直配置和强冷空气下冲对地面大风和沙尘天气的形成很关键。

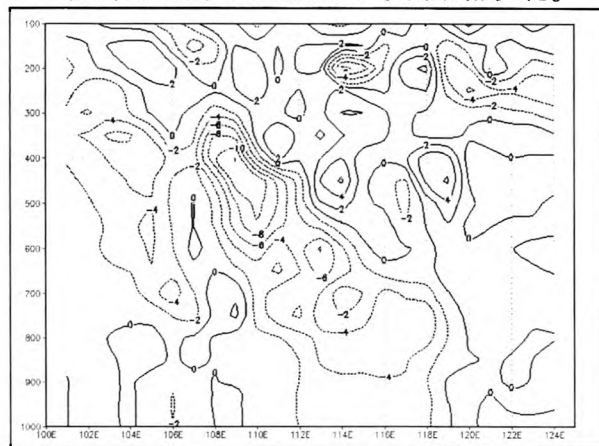


图4(b) 11日08时温度平流沿43°N剖面

天气系统对流发展<sup>[4]</sup>。

08时(图5(b))500hPa以下等位温线几乎垂直于横坐标,表明大气层结非常接近绝热状态(中性层结),由于中性层结能够减小抬升所需的能量,因而有利于干对流的产生,这也是沙尘暴发生即将发生时500hPa以下一种较为普遍的层结形态,08时850hPa高位温区域移至锡林郭勒盟东北部,在111°E、44°N附近有明显冷堆,从高低层位温变化来看由中性向稳定层结转变,也是能量释放的过程,在冷堆下方首先出现沙尘天气。

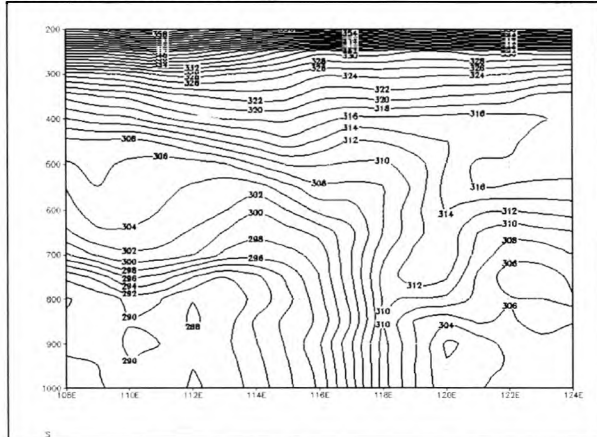


图5(b) 11日08时沿44°N相当位温剖面



### 3.3 动力条件分析

#### 3.3.1 涡度平流和涡度

由于蒙古气旋大致沿  $47^{\circ}\text{N}$  东移,我们就通过沿该纬度空间剖面图分析涡度的变化情况。10日20时,强涡度区位于  $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$  之间,且自低向高有所西倾。11日08时(图6(a)),  $111^{\circ}\text{E}$  附近正涡度明显增加,并且从低层向高层正涡度区范围增大,即形成了深厚的涡旋系统,在  $500\text{hPa}$  高度附近出现两个大于  $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  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槽。另一个位于  $117^{\circ}\text{E}$ ,在低空  $900\text{hPa}$  附近,中心强度为  $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,正涡度

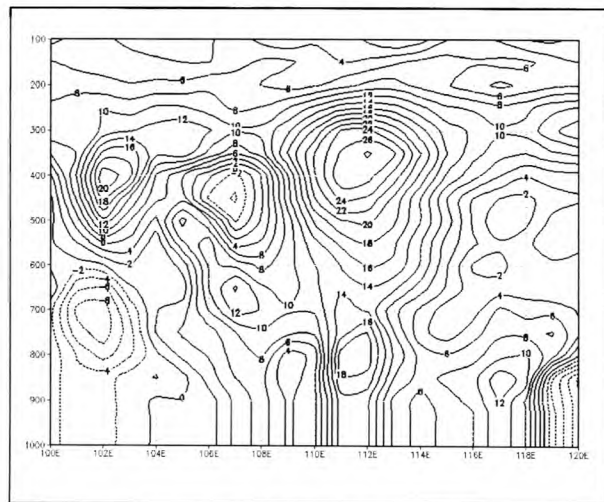


图6(a) 11日08时时涡度沿  $47^{\circ}\text{N}$  剖面

#### 3.3.2 散度

10日20时内蒙古锡林郭勒盟地区,散度随高度的变化比较大。 $500\text{hPa}$  散度分布图上,锡林郭勒盟上空为辐散,  $700$ 、 $850\text{hPa}$  上均为散度负值。从散度沿  $44^{\circ}\text{N}$  垂直剖面图还可以看出,最大辐散中心位于  $43^{\circ}\text{N}$ 、 $114^{\circ}\text{E}$  附近,最大辐散强度为  $8 \times 10^{-5}$ ,  $600\text{hPa}$  以下散度值明显下降,在  $111^{\circ}\text{E}$ 、 $114^{\circ}\text{E}$  附近各有一个散度负值中心,其值为  $-6 \times 10^{-5}$ 。低层散度为负值,中高层大部为散度正值,形成了低层辐合、中高层辐散。这样散度分布说明在沙尘暴发生前,其区域已经形成中高空辐散、低空辐合形势,对垂直气流的发生极为有利。

#### 3.3.3 垂直速度

不论是上升气流还是下沉气流均有可能产生沙尘暴:低层辐合、高层辐散导致的抽吸作用,可在近地层形成大风和沙尘暴,强的下沉气流可导致高层动量有效下传有利于沙尘暴的产生<sup>[1]</sup>。从10日20时的垂直速度分布图上可以看出:在锡林郭勒盟,直到  $200\text{hPa}$  基本上维持上升运动。08时(图7

区与气旋区域相对应,有利于气旋的维持。

11日02时  $500\text{hPa}$  涡度平流场上,正涡度平流中心移至锡林郭勒盟西部以北地区,正涡度中心位于  $46^{\circ}\text{N}$ 、 $108^{\circ}\text{E}$  附近。11日08时(图6(b))锡林郭勒盟西部涡度已经由负值转为正值,涡度值迅速增大,并位于正涡度中心南侧等涡度线密集处,14时正涡度中心位于  $46^{\circ}\text{N}$ 、 $115^{\circ}\text{E}$  附近,整个锡林郭勒盟均位于正涡度中心南侧等涡度线密集带中,因此沙尘暴发生在正涡度中心前部的正涡度平流中心附近,且开始于由负涡度转为正涡度并受正涡度控制时。

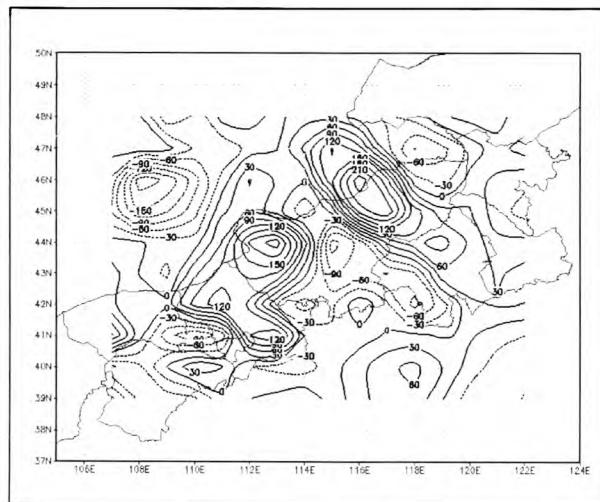


图6(b) 11日08时时  $500\text{hPa}$  涡度平流场

(a)),在沙尘天气开始区低层为上升气流,但在中高层有一中心值为  $10 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  的一支下沉气流,且高度不断下降,14时,下沉气流接地且中心高度下降至  $700\text{hPa}$  (位于  $113^{\circ}\text{E}$ ),并把上升气流分裂为前后两支,此时沙尘暴强度达到最大,且正好对应下沉气流中心和上升气流中心,沿  $113^{\circ}\text{E}$  作垂直速度剖面图(图7(b)),在  $43^{\circ}\sim 46^{\circ}\text{N}$  之间存在上升运动中心和下沉运动中心,中心高度均位于  $700\text{hPa}$  高度附近,且值相当 ( $8 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  与  $-10 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ),而最大上升和下沉区正好是黑风暴的发生区(苏尼特左旗( $113.716^{\circ}\text{E}$ 、 $43.833^{\circ}\text{N}$ ),阿巴嘎旗( $114.95^{\circ}\text{E}$ 、 $44.017^{\circ}\text{N}$ )).由于下沉气流的强迫抬升使得上升气流加强,至20时,上升气流中心值加强为  $6 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  且范围明显变大并向东扩展,下沉支中心减小为  $4 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,此时沙尘暴范围明显向东扩展。

由以上分析可见,沙尘暴中心与上升运动中心、下沉运动中心有很好的对应关系,下沉运动中心高度逐渐下降也说明高层动量下传至低层。

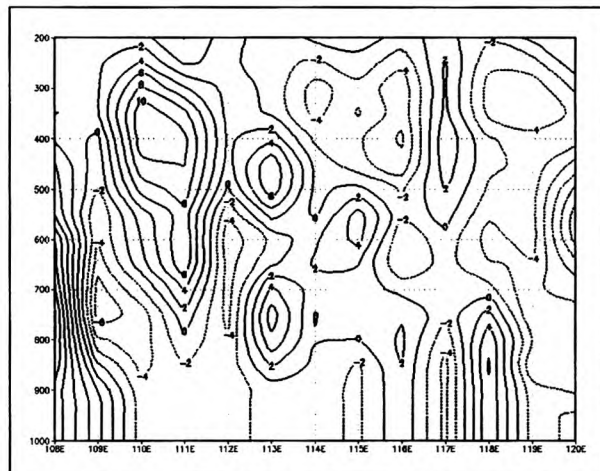


图 7(a) 11 日 08 时垂直速度沿 44°N 剖面图

#### 4 螺旋度

螺旋度概念最早源自流体力学中研究湍流问题<sup>[9]</sup>。王劲松<sup>[6]</sup>、申红喜<sup>[7]</sup>、陶健红<sup>[8]</sup>、张海霞<sup>[9]</sup>、李戈<sup>[10]</sup>等通过对螺旋度场的分析,得出螺旋度的分布特征与沙尘暴的发生、发展有一定的对应关系,可作为沙尘暴预报的参考依据。

螺旋度是一个用来衡量风暴入流气流的强弱及沿入流方向的涡度分量大小的参数。其严格定义为速度与涡度的体积分:

$$H = \iiint_V \mathbf{V} \nabla \times \mathbf{V} d\tau \quad (1)$$

其中,  $\mathbf{V}$  为三维风速矢量,  $\nabla$  为三维微分算子,  $\nabla \times \mathbf{V}$  为涡度。

螺旋度比涡度包含了更多风的效应,更能体现大气的运动状况,其值的正负情况反映了涡度和速度的耦合程度。

$p$  坐标中的完全螺旋度定义为<sup>[11-12]</sup>:

$$h = \left[ \frac{\partial \omega}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial p} \right] u + \left[ \frac{\partial u}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \right] v + \left[ \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right] \omega = h_x + h_y + h_z \quad (2)$$

式(2)中,  $h_x$ 、 $h_y$  及  $h_z$  分别代表完全螺旋度  $h$  在  $i$ 、 $j$  以及  $k$  三个方向的分量。且  $h_{xy} = h_x + h_y$  称为水平螺旋度,  $h_z$  称为垂直螺旋度。

垂直螺旋度充分反映了两个与天气现象紧密联系的物理量的配合情况,在一定程度上不仅能反映系统的维持状况,还能反映系统发展、天气现象的剧烈程度<sup>[13]</sup>。

由计算结果发现,沙尘暴发生前(11日02时),400hPa上内蒙古中东部为正螺旋度,沙尘天气开始出现时,11日08时,400hPa上锡林郭勒盟西部螺旋度迅速从正值变为负值,且在西北部形成了一螺旋度低值带,中心值达  $-28 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ,沙尘暴区域位于螺旋度负值中心值南侧。至14时(图8(a)),负

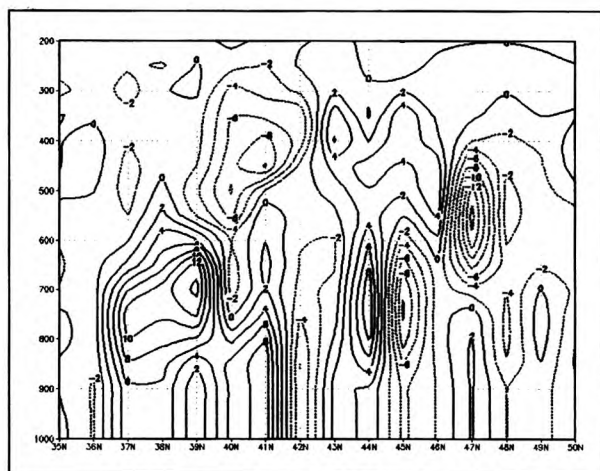


图 7(b) 11 日 14 时垂直速度沿 113°E 剖面图

螺旋度区域东移,且分裂成两个中心值为  $-20 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  的中心,一个位于  $112^\circ\text{E}$ 、 $44^\circ\text{N}$  附近,另一位位于  $115^\circ\text{E}$ 、 $44^\circ\text{N}$  附近,而此处正是强沙尘暴发生区域(苏尼特左旗及阿巴嘎附近出现能见度为0的黑风暴),20时,两个负值中心合并,中心值为  $-36 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ 、位于  $115^\circ\text{E}$ 、 $44^\circ\text{N}$  附近,此处(锡林浩特附近)仍有能见度不足200m的强沙尘暴出现。12日02时,螺旋度值迅速减小,对应沙尘天气也明显减弱。因此,螺旋度的强中心与沙尘暴强中心有很好的对应关系,中高层螺旋度负值区的发展和移动,反映了沙尘暴的发生和消亡过程,螺旋度是可以作为一个反映动力参数的综合物理量,在沙尘暴预报中有一定的指示意义。

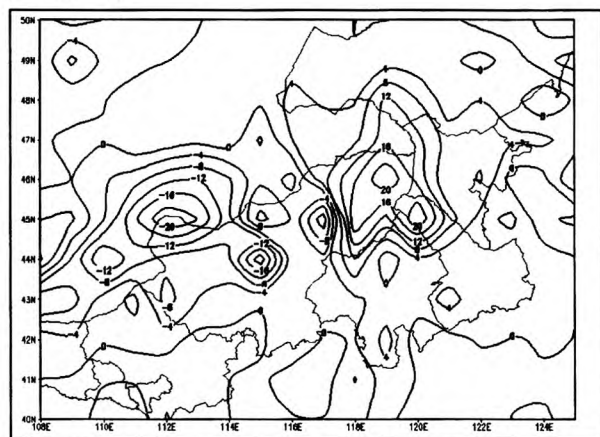


图 8(a) 11 日 14 时 400hPa 螺旋度分布图

沙尘天气开始前,锡林郭勒盟西部地区上空螺旋度分布对流层低层有正负变化,低层为负值(中心值为  $-4 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ 、位于800hPa附近)、中高层为正值(中心值为  $12 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ 、位于400hPa附近),08时螺旋度垂直分布来看,首先发生扬沙的区域(二连浩特,  $111.967^\circ\text{E}$ 、 $43.65^\circ\text{N}$ )上空螺旋度在垂直方向存在分层结构发生明显变化,低层为弱的正值区,700~

200hPa 为负值,中心值为 $-28 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ,即形成上负下正的结构。至 14 时(图 8(b)),正螺旋度值增加,负螺旋度中心分裂(两个较大中心位于 700hPa 附近),绝对值减小、范围扩大、高度降低,仍具有上负下正的结构。20 时,高层负值中心移至 117°E、300hPa 高度附近,锡林郭勒盟西部 700hPa 存在中心值为  $20 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  正值中心,300hPa 附近为弱负值,在 116°E 移动地区仍存在上负下正的结构(中心值分别为 $-36 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  和  $16 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ )。

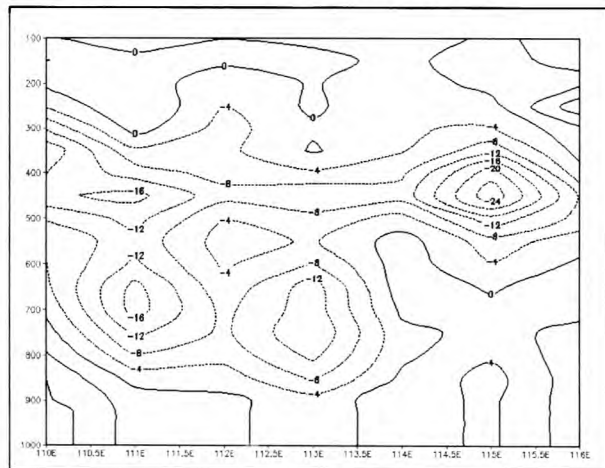


图 8(b)11 日 14 时螺旋度沿 44°N 垂直剖面

综合分析:沙尘暴发生前低层螺旋度有正负变化,从沙尘暴开始到沙尘暴鼎盛期,沙尘暴区上空螺旋度值是典型的上负下正配置。螺旋度的负值区表明了上升运动区与中高空辐散、低空辐合稳定配合,从而造成沙尘暴天气的发生,上升运动中心与下沉运动中心值相当,再与中空辐合、低空辐散相配合,导致沙尘暴强度达到最大,因而这种螺旋度垂直空间分布和演变揭示了沙尘暴发生发展过程的动力特征。

## 5 结论

此次强沙尘暴过程是在有利的大尺度环流形势、高空急流、强垂直风切变、及有利的层结条件下发生的,而冷高压和蒙古气旋加剧了锋区前后的气压、温度梯度,形成了锋区前后的强温、压梯度。在动量下传作用下,使近地层风速陡升,造成起沙,同时在高空引导气流的作用下向下游传输,具体结论如下:

(1)中、低空温度槽落后于高度槽的这种斜压结构,使该冷槽不断加深为深厚冷涡系统,尤其 850hPa 温度场与高度场几乎垂直,斜压性强,形成强锋区,而地面冷高压及蒙古气旋均较强,二者之间气压(变压)梯度大,同时蒙古气旋 11 日移动缓慢,使得锡林郭勒盟 11 日位于强气压(变压)梯度区,即大风区(6 级以上),本地又存在沙源(浑善达克沙地),综上所述,是这次(沙尘暴)强沙尘暴过程落区

集中、强度大、强沙尘暴持续时间长的主要原因。

(2)物理量场分析表明(动力条件分析):11 日 08 时正涡度平流东侧低层的正涡度区有利于气旋的维持和发展,而在 500hPa 锡林郭勒盟西北部已经有一正涡度平流中心移入,且位于正涡度中心南侧等涡度线密集处,沙尘天气过程开始。螺旋度比涡度包含了更多风的效应,强沙尘暴区域上空 400hPa 螺旋度在沙尘天气开始时明显增加,在东移的过程中正值中心与强沙尘暴区域对应较好,从垂直分布来看,08 时高空螺旋度正值达到最大且维持,而低层负螺旋度明显增加,这种垂直结构,为形成强沙尘天气提供了深厚的上升运动,且低层负值中心的大小与沙尘暴强弱有较好对应关系。对于单急流型(西风急流型)沙尘暴多发生于急流左中和左后方,因为左中和左后方是辐合区,能引起动量下传,加大低层风速,使地面出现大风和沙尘暴,此次过程,在左前侧的高空辐散区也出现了沙尘暴,下沉运动和冷锋强迫抬升使上升运动不断加强,至 14 时下沉支和上升支量级相当,在下沉中心和上升中心附近均出现强沙尘暴,这是此次沙尘暴过程强度大、强沙尘暴持续时间长的动力条件。

(3)物理量场分析又表明(层结条件分析):在沙尘暴发生前,锡林郭勒盟地区形成高能舌,且相当位温梯度大,位温锋区明显,说明沙尘暴发生前增暖显著,不断积累能量,地面到高层相当位温的中心值越大、其后部的锋区越强,沙尘暴越强。锡林郭勒盟西北部有冷平流叠加在暖平流之上,即沙尘暴发生前具有不稳定特征。因此当有低层冷切变或冷锋侵入时,激发能量释放,有利于产生沙尘暴。沙尘暴开始时,等位温线几乎垂直于横坐标,表明此时大气层结非常接近绝热状态(中性层结),由于中性层结能够减小抬升所需的能量,因而有利于干对流的产生,而后部有明显冷堆,当有冷空气侵入时,中性层结向稳定层结转变,也是能量释放的过程,即沙尘天气开始。这是此次沙尘暴过程强度大、强沙尘暴持续时间长的层结条件。

## 参考文献:

- [1]程海霞,丁治英,帅克杰,等.沙尘暴天气的高空急流统计特征及动力学分析[J].南京气象学院学报,2006,29(6):806-814.
- [2]帅克杰,程海霞,张红霞.2004 年最强沙尘暴天气诊断分析[J].山西气象,2005,(3):4-5.
- [3]薛建军,刘月巍,牛若芸,等.2002 年 3 月 18~22 日强沙尘暴过程分析[J].气象,2004,30(9):38-44.
- [4]Moffat H K.The degree of knottedness of tangled vortex lines [J].J. Fluid Mech, 1969, 35:117-129.
- [5]王劲松,耀辉,康凤琴,等."4.12"沙尘暴天气的数值模拟及诊断分析



- [J].高原气象,2004,23(1):89-96.
- [6]申红喜,李秀连,石步鸿.北京地区两次沙尘暴天气过程的对比分析[J].气象,2004,30(2):12-16.
- [7]陶健红,王劲松,冯建英.螺旋度在一次强沙尘暴天气分析中的应用[J].中国沙漠,2004,24(1):83-87.
- [8]张海霞,尤凤春,周伟灿,等.强沙尘暴天气形成机制个例分析[J].气象,2007,35(1):101-106.
- [9]李戈,寿绍文,张广周,等.2006年4月11~12日平顶山市沙尘天气中尺度动力机制分析[J].气象与环境科学,2007,30(1):66-71.
- [10]赵兴梁,杨民,祁斌,等.甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J].中国沙漠,1999,19.19(4):354-358.
- [11]Thomas Litman T.Dust storm frequency in Asia:Climatic control and variability[J].International Journal of Climatology, 1991, 11:393-412.
- [12]Sutton I.J.Haboob Quart.J.Roy.Meteor.Soc.1925, 51:25-30.

## Synoptic Analysis of Severe Sand-dust Storm on May 11, 2011 in Inner Mongolian

Ma Suyan<sup>1,2</sup>, Ding Zhiying<sup>1</sup>, Han Jingwei<sup>2</sup>, Su Rina<sup>3</sup>

(1.Department of Atmospheric Sciences, NUIST, Jiangsu Nanjing 210044;

2.Inner Mongolian Meteorological Station, Inner Mongolian Hohhot 010051; 3. Baotou Meteorological Bureau, Inner Mongolian Baotou)

**Abstract:** Using the NCEP reanalyzes data, the conventional observation data and ground encryption observation data, the strong sand-dust storm process was analyzed and diagnosed which occurred on May 11, 2011 in Xilin Gol league. The results show that: (1) There are several features of the severe sand-dust storm process: Concentrating of sand-dust storm area, strong intensity, long duration and the distribution of the severe sand-dust storm area and gale (Level 6 or above) are consistent. The cold vortex and strong frontal zone, Mongolia cyclone and cold front are important weather system to the severe sand-dust storm process. The severe sand-dust storm process belongs to the type of common effects of the Mongolia cyclone and cold front. (2) The severe sand-dust storm occurred in the left middle and the left rear of high jet which is convergence zone, and the left front which is divergence region. Descending branch played an important role in momentum spreading, and severe sand-dust storm occurred at the center of the descending and the rising branch and near by. Over the severe dust storm area the helicity was negative at higher levels and positive at lower levels, this vertical distribution of helicity is very conducive to form the development of the severe dust storm; (3) Before the occurrence of the severe sand-dust storm, it was instable. At the beginning of the severe sand-dust storm, the potential temperature line was almost perpendicular to the horizontal axis, so the air is close to adiabatic, which is conducive to the dry convection generated because the neutral layer can reduce the energy of ascending motion.

**Key Words:** severe dust storm; synoptic situation; diagnostic analysis