

文章编号:1005-8656(2003)04-0016-04

一次蒙古气旋型强沙尘暴过程成因初步分析

胡英华,姜学恭

(内蒙古气象台,内蒙古呼和浩特 010051)

摘要:利用常规观测资料,对2002年11月10日由蒙古气旋强烈发展引发的强沙尘暴过程进行了分析。结果发现,本次过程蒙古气旋的发展具有两个不同的阶段。在10日白天蒙古气旋的第一个发展阶段,低层的斜压强迫是主要导致气旋发展的因素。在午夜之后出现的第二个发展阶段中,高层强迫是气旋发展的主要动力。第一阶段气旋发展强度明显强于第二阶段。沙尘暴强度与气旋发展强度并不完全一致,沙尘暴强度更明显地受到混合层的日变化因素的影响,使沙尘暴的出现和维持明显滞后于气旋强烈发展。对于具体测站而言,沙尘暴的强度与地面风速的大小具有非常明显的正相关关系。

关键词:蒙古气旋;沙尘暴;天气因素

中国分类号:P458.2 文献标识码:A

1 引言

沙尘暴作为一种对于人民生活和生态环境具有严重危害的天气越来越受到人们的关注。在我国常引发沙尘暴的主要天气系统有冷锋和蒙古气旋。春季是冷锋和蒙古气旋频发的季节,也是系统强度及其触发的沙尘暴强度最强的季节。在秋冬季节,一方面蒙古气旋的发生频数较少,另一方面,由于气候背景因素,沙尘暴也较少发生。然而,2002年11月10日发生在我区中部的沙尘天气过程是一次罕见的发生在初冬的强沙尘暴过程。在我区西部,出现了大范围的强沙尘暴天气(能见度小于100m)。本文希望通过本次过程的分析,揭示一些蒙古气旋爆发性发展及强沙尘暴的发生规律。

2 天气过程概况

2002年11月9日,在贝加尔湖北部有气旋东移减弱,其底部有闭合低压切断。9日14时后,低气压尺度逐渐增大,强度略有增强;9日23时,有冷空气越过山地,出现明显的气旋冷锋,蒙古气旋产生。之后,气旋缓慢加深,10日08时,气旋中心气压降至1001hPa(图1),这一阶段沙尘暴仅出现在

蒙古国南部少数地区。之后,气旋发展加速,至11时,中心值为995hPa(47°N,110°E),气旋后部、底部地面风速增大,个别地区大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,出现大范围扬沙和沙尘暴天气(图1),我区阿盟中北部、巴盟北部有沙尘暴,海力素能见度达到100m以下;14时气旋维持少动,其发展达到最强并形成锢囚,中心气压降至993hPa,位于47°N,110°E。沙尘暴范围达到最大,在我区巴盟北部、包头北部、乌盟北部、锡盟西北部均有沙尘暴出现,其中海力素、二连浩特、东苏能见度小于100m;17时后气旋东移,强度有所减弱,而沙尘暴强度却进一步增强。我区阿盟东北部、巴盟北部、包头北部、鄂尔多斯市北部、呼市北部、乌盟北部、锡盟中北部(锡林浩特)出现沙尘暴,其中临河、达茂、满都拉、二连浩特、东苏能见度小于100m;到20时气旋东移减弱更为明显,中心值为1001hPa,位于45°N,115°E,沙尘天气随之东移南压并有所减弱(沙尘暴站数减少),但是,强沙尘暴却进一步加强(强沙尘暴站数增加),在乌拉特中旗、达茂、满都拉、二连浩特、西苏、朱日和、锡林浩特能见度小于100m;23时气旋东移又有所增强,中心值为

收稿日期:2003-07-31

基金项目:国家重点科技项目2000K010302资助

作者简介:胡英华(1962-),男,辽宁气象职工大学毕业,工程师,现从事短期预报工作。

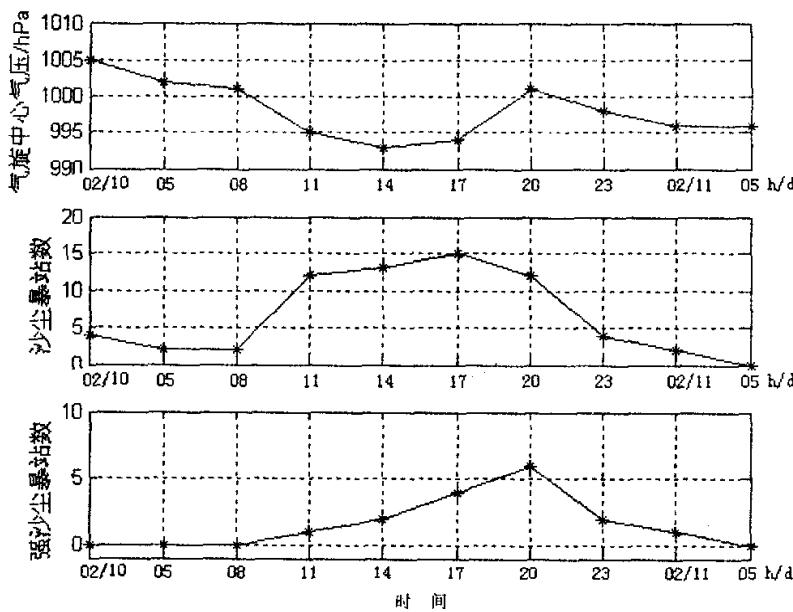


图1 2002年11月10日02时~11日05时地面气旋中心气压、沙尘暴和强沙尘暴站数时间演变

998hPa, 位于 $44^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{E}$, 沙尘暴范围大为缩小, 仅阿巴嘎、锡林浩特能见度小于100m; 11日02时气旋东移并加强至996hPa, 位于 $47^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{E}$, 沙尘暴区进一步缩小; 05时气旋继续东移, 强度维持(996hPa), 气旋顶部开始降雪, 沙尘暴移出我区, 强度继续减弱。

3 蒙古气旋发展

蒙古气旋的发展一般可以分为三个不同的阶段, 在蒙古气旋的触发阶段(形成闭合低压但未形成气旋冷锋), 地形影响是重要的强迫因素, 其影响方式主要通过位涡守恒强迫背风坡涡度的产生, 另外, 山地地形对冷空气的阻滞也引发高层辐散和上升运动等地转调整过程导致地面减压, 从而导致蒙古气旋发展。之后, 进入蒙古气旋的发展阶段, 此时, 低层冷空气越过山地, 形成对流层低层的地面气旋冷锋, 使斜压强迫成为该阶段气旋发展的主要强迫因素。在气旋发展后期, 由于对流层高层高空槽下坡加深, 急流加强, 导致对流层顶折叠, 引发高层等熵位涡的下传, 强迫地面气旋进一步发展。其中, 在爆发性蒙古气旋发展过程中, 等熵位涡平流往往具有非常重要的作用^[1]。

在本次过程中, 从图1可以看出10日02~14时气旋中心气压加深12hPa, 而08~14时气旋加深达到8hPa, 因此, 达到了爆发性气旋的标准。另外,

图中可以看出, 本次过程在气旋冷锋形成后的气旋发展阶段又可以明显分为三个不同的时期, 10日02~14时, 气旋第一次发展, 这一阶段中02~08时发展较缓慢, 08~14时气旋发展非常迅速; 第二阶段气旋强度减弱(14~20时); 20时后第三阶段气旋又开始进一步发展。因此, 下面将分析气旋发展的两个不同阶段的特点及影响它们的因素。

在气旋的第一次发展阶段(02~14时), 从高空形势(08时)可以看到, 此时高空气流非常平直, 仅有非常浅的短波槽位于地面气旋的上游(图略), 短波槽为典型的对称结构, 因此, 此时高空形势不利于地面气旋的发展。而此时在对流层低层, 从位温和假相当位温的分布可以看到, 位温和假相当位温的特点相似, 都显示此时大气中低层存在非常强的斜压性。图2中可以看到, 在500hPa以下等假相当位温线异常陡立, 此时, 沿等位温面下滑的气块将产生强的涡度增长, 并引发斜压位能向动能的转化^[2]。而这一阶段涡度垂直分布(图略)也显示此时低层涡度及其涡度增长明显强于高层。这一强迫导致的结果是在850hPa形成闭合的低涡, 而在高层却仅为浅的短波槽。可见, 在气旋第一次发展时期, 低层的斜压不稳定强迫是气旋发展的主要动因, 而高层系统的影响并不明显。

蒙古气旋的第二个发展阶段从10日20时开始,

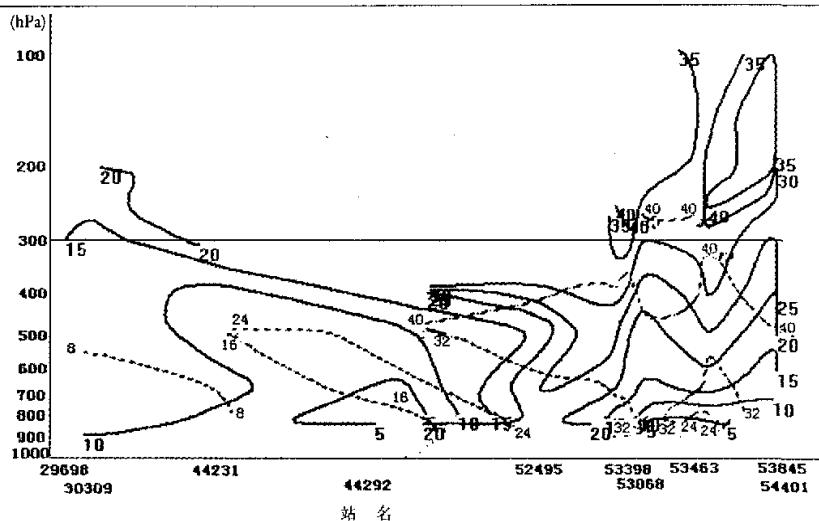


图2 2002年11月10日08时经过冷锋的垂直剖面图

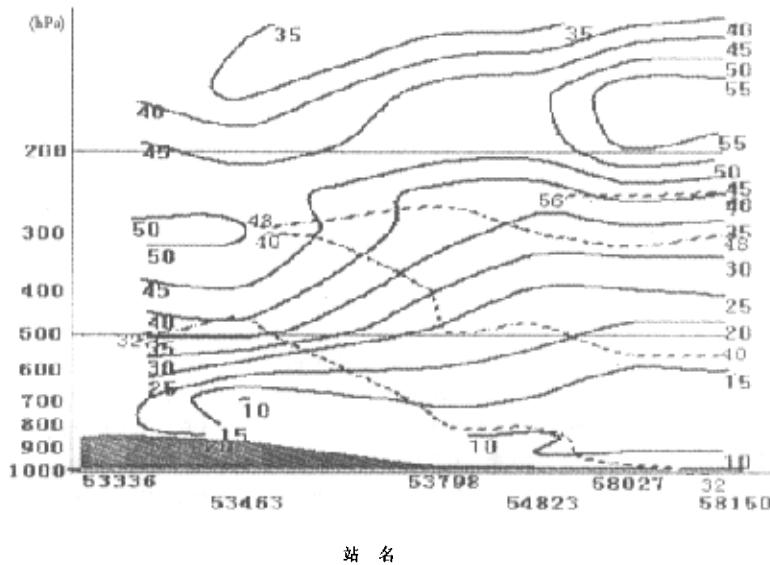


图3 2002年11月10日20时经过冷锋的垂直剖面图

图中实线为等风速线,虚线为等假相当位温线

此时高空浅槽已经移至背风坡,强度略有增强,较明显的变化是由对称结构变为疏散槽,这一结构特点在300~500hPa均表现的十分清楚。对流层低层的情况可以从图3看出,图中,等假相当位温面倾斜的层次明显抬高,出现在500~800hPa和300~600hPa间,同时倾斜程度明显减小,表明斜压强迫的层次抬高并明显减弱,主要出现在对流层中层,对流层低层的斜压强迫很微弱。从涡度分布可以看到,此时对流层中高层的涡度值和涡度增长速度明显强

于低层(图略)。这一强迫产生的结果是08时850hPa形成的闭合低压减弱成为低槽。此时地面气旋的强度与08时相同,但之后蒙古气旋的发展强度却明显弱于08~14时。可见,在10日20时后,蒙古气旋发展的斜压强迫的层次明显抬高,且强度减弱,导致气旋发展强度减弱(这是由于斜压强迫层次抬高,使这一强迫产生一种由直接强迫向间接强迫转化的趋势,因此使气旋发展强度减弱)。

一些统计结果表明,蒙古气旋的发展强度在白

天往往强于夜晚,这主要由于地面加热对斜压强弱的加强作用所致。就本次过程而言,从图1可以看出,在08~14时的气旋发展强度明显强于20~05时,可见本次过程气旋发展强度还受到地面加热的影响。另外,值得指出,在沙尘暴天气过程中,由于沙尘对大气辐射的影响,能够使冷锋在白天产生锋生,而在夜间产生锋消,这一影响显然也存在于本次过程中,且也使气旋发展在白天更强,而在夜间变弱。因此本次过程气旋的两个不同强度的发展阶段主要是由于以上这些因素的共同影响所致。

4 沙尘暴形成

首先,我们分析蒙古气旋发展与沙尘暴强度之间的关系。从图1可以看出,蒙古气旋的强度呈现非常明显的双波型,而沙尘暴和强沙尘暴则明显呈现单波型,说明蒙古气旋的发展和沙尘暴的形成并不是完全一致的。蒙古气旋在14时达到最强,而沙尘暴在17时达到最强,在20时蒙古气旋强度迅速减弱时,强沙尘暴反而增强,范围达到最大。之后,蒙古气旋又开始增强,但沙尘暴和强沙尘暴却迅速减弱。

可见,在蒙古气旋引发的沙尘暴过程中,蒙古气旋的发展强度并不是沙尘暴强度的唯一决定因素。

导致这一结果主要有如下几方面的原因。首先,地面冷锋是冷锋型和锋面气旋型沙尘暴过程中直接的沙尘暴触发系统,这是由于冷锋本身具有的动力学特点,即抬升因素、大风因素、混合层因素等决定的。本次过程中,在白天冷锋较强,其引发的沙尘暴强度也较强;而到夜间(20时后),尽管蒙古气旋又增强,但沙尘暴强度反而减弱,其主要原因是混合层的影响(沙尘暴在午后至傍晚达到最强是一个较普遍的现象)。由于混合层的中性层结不仅有利于对流产生,同时,混合层总与沙尘暴相伴随,决定了混合层的强度对沙尘暴强度具有最直接的影响。而影响混合层的最主要因素是地面加热,地面加热在午后达到最强,而其产生的混合层在傍晚达到最高。可见,本次过程沙尘暴和强沙尘暴在傍晚(17~20时)达到最强,并不是与蒙古气旋发展强度完全一致,主要是由于地面加热产生混合层的日变化决定的。

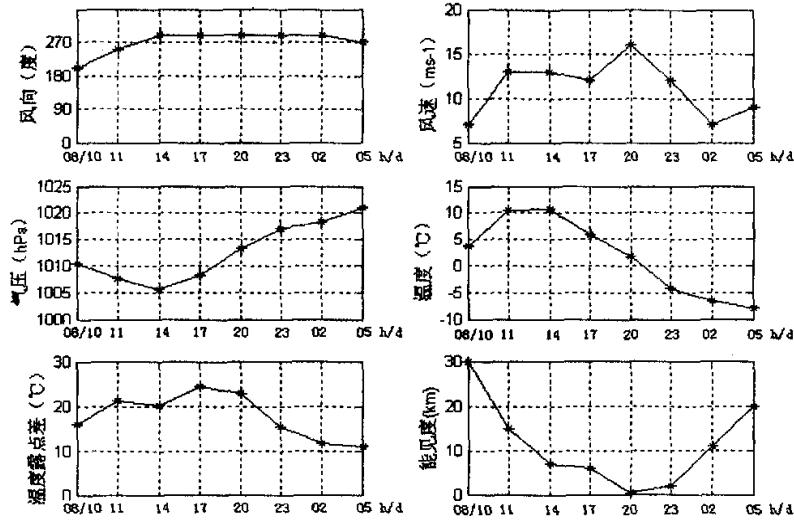


图4 2002年11月10日08时~11日05时内蒙古中部朱日和地面气象要素演变

通过对单站的分析,可以看到本次过程对沙尘暴强度产生影响的还包括其它一些天气因素。图4为本次过程内蒙古中部沙尘天气持续时间较长的朱日和地面气象因素时间演变。由图可见,在14时后,

出现气压升高、温度下降、风向由西南转为偏西等现象,说明14~17时为地面冷锋过境时间。冷锋过境后,地面风速并未出现明显增强,至20时,地面风速达到最强。而沙尘天气在锋前即(下转第21页)

以上4个因子中同时满足2条或以上时,则预报该年乌盟地区冬季降雪量比历年偏多3成或以上,共有12年。实况多3成以上的有7年,2年多2~3成,1年多1~2成,1年少1~2成,1年错。用现在评分评定 $TS = 91.7\%$, $SS_2 = 91.7\%$ 。

3.2 我们普查北半球500hPa高度、距平图,找出影响乌盟冬季少雪年关键区,用 X_1 、 X_2 、 X_3 表示。

X_1 : 3月份北半球500hPa位势高度、距平图上,在 $50\sim70^\circ\text{N}$, $80\sim110^\circ\text{E}$ 地区有 ≥ 110 位势什米的负变高中心。

X_2 : (1) 4月份北半球500hPa位势高度、距平图上,在 40°N 以北, $90\sim120^\circ\text{E}$ 有低槽; (2) 4月份北半球500hPa位势高度、距平图上,在 $40\sim70^\circ\text{N}$, $90\sim120^\circ\text{E}$ 有 ≥ 70 位势什米的负变高中心。

满足以上一条编为1。

X_3 : (1) 6月份北半球500hPa位势高度、距平图上,在 $50\sim70^\circ\text{N}$, $80\sim100^\circ\text{E}$ 地区有 ≥ 40 位势什米的负变高中心; (2) 6月份北半球500hPa位势高

(上接第19页)

开始出现,地面冷锋过境沙尘暴并未达到最强,能见度在20时随着地面风速的增强达到最低,形成强沙尘暴。可见,尽管冷锋作为沙尘暴主要触发系统,其强度与沙尘暴区的范围大小较为一致,但对具体测站来说,强沙尘暴形成则与锋后强地面风的出现较为一致。这里,使地面大风滞后于地面冷锋的原因主要是冷锋后不断增强的冷平流引发的下沉运动往往能够导致地面大风产生。另外,在傍晚前后形成的深厚混合层也有利于动量的下传。

从图4还可看到,导致本次过程20时之后沙尘暴强度减小还有另一因素,在20时后,温度露点差明显减小,湿度增大,相应地开始有降雪出现,这一湿沉降过程显然使大气中的沙尘气溶胶浓度降低,沙尘暴强度减弱。这一因素也是本次过程沙尘暴强度与蒙古气旋发展强度出现不一致现象的另一可能原因。

5 结论

本文通过对一次由蒙古气旋强烈发展引发的强沙尘暴过程进行的观测研究,发现:

(1) 根据蒙古气旋发展强度的不同,本次过程可以分为两个不同的发展阶段。白天,蒙古气旋的第一个发展阶段,低层的斜压强迫是导致气旋发展的

度、距平图上,在 $50\sim70^\circ\text{N}$, $80\sim100^\circ\text{E}$ 地区有浅槽。

满足以上一条编为1。

以上3个因子中同时满足2条或以上时,则预报该年乌盟地区冬季降雪量比历年偏少3成或以上,共有12年,实况少3成以上的有8年,3年少1~2成,1年错。用现在评分评定 $TS = 91.7\%$, $SS_2 = 91.7\%$ 。

4 结论

(1) 乌盟地区冬季降雪量与4月、5月乌拉尔山高压脊和青藏高原的变化有关,4月乌拉尔山高压脊强、5月青藏高原槽加深,有利冬季降雪的偏多。

(2) 该方法是我们使用多年的预报工具,预报效果好,具有很好的实用性。

参考文献:

- [1] 章基嘉. 中长期天气预报基础[M]. 北京: 气象出版社, 1981.
 [2] 朱乾根, 等. 天气学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1981.

主要因素。在午夜之后出现的第二个阶段的气旋加深,则主要是高层系统的发展产生的强迫所致。由于其所处层次的不同导致其强迫程度的差异,是气旋发展强度差异的形成原因。影响这一结果的因素还包括地面加热对冷锋强度的强迫及沙尘辐射的影响。

(2) 本次过程沙尘暴强度与气旋发展强度并不完全一致,由于不同阶段气旋发展机制的不同特点使气旋发展强度呈现明显的双波型,而沙尘暴强度更明显地受到混合层日变化因素的影响,从而使其强度变化呈现明显的单波型。另外,强沙尘暴的出现明显滞后于气旋强烈发展。

(3) 对于具体测站而言,本次过程沙尘暴的强度与地面风速的大小具有非常明显的正相关关系。这与有关文献的研究结果是一致的。

(4) 影响本次过程沙尘暴强度变化的因素还包括由于沙尘暴发生后期湿度较大产生的降水,其湿沉降过程使地面能见度增加。

参考文献:

- [1] 沈建国. 爆发性蒙古气旋若干统计特征[J]. 内蒙古气象, 1993, 4: 5~12.
 [2] 吴国雄, 等. 全型涡度倾向方程和倾斜涡度发展[J]. 气象学报, 1999, 57: 1~15.