

2009年4月下旬蒙古气旋型大范围沙尘暴天气过程的诊断分析

宗志平, 张恒德, 马 杰

(中国气象局国家气象中心, 北京 100081)

摘 要:利用卫星资料、加密观测资料、NCEP再分析资料分析了2009年4月下旬我国北方地区大范围沙尘天气过程的成因,并对热力、动力及不稳定层结等条件作了物理量诊断,得到了一些结果。贝加尔湖阻高、高空冷涡及蒙古气旋是造成此次大范围沙尘天气的有利环流形势,其中蒙古气旋是关键影响系统。干暖舌位置对于沙尘落区有一定指示意义,沙尘暴落区与干暖舌的位置及移动方向一致;沙尘天气主要发生在高空急流入口右侧,高空急流加强东移南压对应着沙尘天气东扩南压加强;螺旋度反映出沙尘暴过程中气旋区旋转上升明显,且螺旋度大值区后倾;理查逊数下降并维持低值、风垂直切变增大,大气层结不稳定,易激发沙尘暴发生和向下游传输。

关键词:沙尘暴;蒙古气旋;诊断分析;高空急流**中图分类号:**P425**文献标识码:**A**文章编号:**1002-0799(2012)01-0001-09

沙尘暴是我国北方地区严重的灾害性天气,不仅可以在短时间内对当地环境以及社会生活带来很大的损失,沙尘也常随着西风和西北气流输送到华北及长江中下游地区,对这些地区带来不利影响。随着我国经济实力的增强,一次沙尘暴天气带来的经济损失会相应增加,而它的频繁发生也极大地影响了西部多民族地区的社会安定与经济发展^[1]。研究表明,造成沙尘天气的原因比较复杂,环流形势、冷空气强度等方面的差异可引发强度不同的沙尘天气^[2-3];以触发沙尘暴强风的主要地面天气系统为依据,可将形成我国北方强沙尘暴的天气系统划分成纯冷锋型、蒙古气旋与冷锋混合型、蒙古冷高压型、干飚线与冷锋混合型^[4]。在基本相同的大尺度环流背景下,由于乌拉尔山高压脊、贝加尔湖冷低压、蒙古气旋及地面冷高压等的强度和位置不同,造成宁夏沙尘暴强度有显著差异^[5];陈楠等进一步揭示了西北地区东部沙尘暴转型的大尺度环流演变及差异特征^[6];赵光平等^[7]则从强冷空气、热力不稳定、近地层环境分析入手建立了宁夏强沙尘暴监测与预报系

统。另外,高空急流对于沙尘暴的发生发展也有重要影响^[8-9]。胡隐樵等^[10-11]分析了1993年5月5日发生在西北的强沙尘暴天气过程的发生机理,指出强冷锋前发展一种干飚线过境是沙尘暴发生的原因。

沙尘暴的产生通常需满足3个条件:丰富的沙尘源、强风和大气层结不稳定。蒙古气旋的活动范围正是东亚地区几大沙漠、沙地及戈壁所在之地,只要在气旋发展过程中配合有利的物理条件就可能引发沙尘暴。孙燕等指出蒙古气旋的爆发性发展和冷锋后大风是2001年4月6—7日强沙尘暴过程起沙的主要动力^[12];在引发沙尘天气的蒙古气旋快速发展的因子中,对流层中低层的温度平流有重要的作用^[13];蒙古气旋内部的垂直环流与控制辽宁地区的冷平流对2007年3月底沙尘暴和降温过程具有一定的触发与维持作用^[14]。

综上所述,尽管气象工作者对沙尘暴作了大量研究,但每次沙尘暴过程及其产生的原因都存在一定差异,而沙尘暴预报一直也是业务上的难点和重点,为此需继续加强对其诊断分析,尤其对影响范围较大的沙尘天气过程更要深入加强分析和研究。2009年4月23—24日我国北方地区出现了一次大范围沙尘天气过程,造成了严重影响。为此,本文在前人工作的基础上利用卫星资料、加密观测资料、

收稿日期:2011-10-25**基金项目:**国家自然科学基金项目(40805021)资助。**作者简介:**宗志平(1974-),男,高级工程师,主要从事短期天气预报和研究工作。E-mail:zongzp@cma.gov.cn

NCEP/NCAR 提供的 $1^\circ \times 1^\circ \times 6\text{ h}$ 再分析资料,从土壤植被、积雪状况、气象干旱、气温、天气形势及蒙古气旋的活动等方面分析了此次沙尘天气的成因,并进一步作了物理量诊断(涡度及其平流、散度、螺旋度、理查逊数等),讨论蒙古气旋、高空急流与沙尘暴发生发展的关系,对认识此类沙尘暴的成因和预报有一定意义。

1 过程概况和成因分析

1.1 过程概况

2009年4月23日凌晨至25日白天,南疆盆地、内蒙古中西部、青海东北部、甘肃、宁夏、陕西北部、山西、河北西部和南部、河南大部、山东中西部、湖北东部、湖南北部、江西西北部、四川盆地等地先后出现了扬沙或浮尘,其中,甘肃中西部、内蒙古中西部、宁夏中部、陕西北部、南疆盆地等地的部分地区出现了沙尘暴,甘肃西部和内蒙古中西部局地出现了强沙尘暴,最强时段出现在23日白天。此次过程具有以下主要特点:(1)覆盖范围广,扬沙及浮尘天气南压到四川盆地、湖南北部、江西西北部,其中被沙尘暴覆盖的面积超过30万 km^2 ,强沙尘暴达3.1万 km^2 ;(2)强度大,以甘肃中西部和内蒙古中西部等地的区域性沙尘暴天气为主,局地出现了强沙尘暴,甘肃敦煌能见度仅有20 m,最大风速达9级;(3)区域性沙尘暴持续时间长,主要出现在23日凌晨至24日早晨,历时约27 h;(4)影响大,超过2千万人口遭受空气污染,局地农业受损,教育和旅游业也遭受不利影响。

1.2 环境背景

沙尘天气通常发生在一定的环境背景条件下,土质干燥松散、植被稀疏、地表裸露,再配合足够强大而持续的风将大量沙尘、土粒吹入空气中,易形成沙尘暴。因此土壤植被、积雪状况、气象干旱与降水、气温及天气形势等都与沙尘发生密切相关。

1.2.1 植被与积雪状况

植被覆盖与积雪状况对沙尘暴的发生有显著影响,是能否起沙的重要条件。气象卫星监测显示:内蒙古大部、西北地区中东部、华北大部、黄淮中部和西南部、江淮西部、西南南部、江南东部等地植被长势比去年同期偏差,部分地区与上年持平,植被状况总体较差,有利于起沙;而从积雪状况来看,南疆、内蒙古中西部、甘肃大部、青海北部、宁夏、陕西、华北等地没有明显积雪;尤其在南疆盆地、内蒙古西部、甘肃西部、宁夏等地的地表既没有植被覆盖,也无积

雪覆盖,更加有利于沙尘暴的发生。

1.2.2 降水及干旱情况

2009年4月中旬干旱监测图反映出:旱区主要分布在内蒙古中西部、甘肃大部、青海北部、宁夏大部、陕西北部、山西北部和中东部、河北北部、辽宁西部、吉林西部。与4月上旬相比,西北地区中东部的旱情持续发展。降水距平百分率则显示,南疆盆地大部、内蒙古中西部、西北地区大部、山西中西部等地降水偏少,其中,内蒙古西部、甘肃西部、青海北部、宁夏、陕西北部等地偏少5成以上。这些地区干旱趋势进一步加剧,使得地表土质更加干燥疏松,浮土更多,一旦有大风等动力条件出现,极易发生沙尘天气。

1.2.3 气温状况

2009年4月13—22日我国大部分地区气温普遍偏高,很多地区最高气温超过 25°C ,大部地区气温较常年同期偏高 2°C 以上,其中,内蒙古中西部、华北西部、西北大部偏高 $4\sim 6^\circ\text{C}$,局部偏高 6°C 以上,这些地区也是本次沙尘影响较严重的地区。北方大部地区前期气温偏高,造成春季土壤墒情快,地表浮尘进一步增多,有利于起沙,气温偏高为沙尘的发生提供了有利的热力条件。

1.3 天气形势分析

1.3.1 高空形势场

极涡是高纬大气环流中重要的系统之一,它的活动及其所在位置与冷空气活动及我国天气变化密切相关。在2009年4月22—24日平均500 hPa高度及温度场(图1a)上,极涡呈现多极型分布,极涡重心偏向东半球,极涡强度和面积均较大,中纬度短波槽也活动频繁,这种高空形势易引导高纬冷空气南下,此特征在22—24日500 hPa平均经向风(图1b)上也有明显反映,我国北方大部地区处于偏北气流控制,尤其在新疆东部、内蒙古中西部、甘肃、宁夏、陕西等地北风分量均超过 6 m/s ,部分地区达 $12\sim 20\text{ m/s}$,偏北气流非常强势,易引起北方地区大范围大风降温。22日08时500 hPa上,亚欧中高纬处于两槽一脊控制,高压脊 90°E 附近,贝加尔湖西北方存在明显阻塞形势,在阻塞东南方有冷涡存在,甘肃东部—四川中部一带也有高空槽存在,亚洲中东部环流的整体、经向度非常大,有利于冷空气爆发南下,造成蒙古国及我国北方地区大风降温及沙尘天气。

1.3.2 地面及低层形势场

2009年4月22—23日(图1c),亚洲中高纬地

区处于典型的北高南低形势,南北气压差及温度差明显,等压线及等温线密集,冷平流强,有利于冷空气不断补充南下影响我国。西伯利亚处于庞大冷高压控制,大部地区 850 hPa 温度低于 0°C ,高压中心强度超过 1 030 hPa,在蒙古国东南部至内蒙古中部有闭合环流中心,中心气压低于 1 005 hPa,从低压中心至内蒙古西部—甘肃西部—新疆东部一带存在较强的锋面气旋(蒙古气旋),它的发生、发展及移动对我国北方天气有重要影响。具体从 22 日 08 时实况来看(图 1d),庞大高压控制着中西西伯利亚,蒙古国南部的蒙古气旋发展南下,在 850 hPa 上锋面气旋附近伴随着低涡和切变线,这些地区等压线密集,气压梯度力大,造成气压梯度风大,有利于起沙,22 日白天蒙古国也相应地出现了大范围沙尘暴。随着高低空系统东移南下及锋面气旋的转竖发展,到了 23 日 08 时,东移至贝加尔湖以西的高压中心加强到 1 035 hPa 以上,气旋冷锋到达内蒙古河套地区—宁夏南部—甘肃东部一带,低于 995 hPa 的低压环流范围明显扩大,等压线继续加密,气压梯度力加大,地面风力也相应加大,气旋后部风速也明显加

大,蒙古国及内蒙古西部不少站点达到 12 m/s,部分站点甚至达到 16 m/s,午后到傍晚风力继续加大,大风区范围也继续扩大,沙尘暴强度达到极值,23 日夜间风力略有减弱,沙尘强度减弱;相应地,从 22 日 08 时到 23 日 14 时 850 hPa 低涡及切变继续加强,风速逐渐加大,尤其在低涡切变线左侧偏北风明显加大,不少区域达到急流标准,14 时内蒙古中西部地区不少测站风速超过 16 m/s,临河站达到 20 m/s,到了 23 日 20 时风速稍有变小。因此,23 日白天风速最大,也是沙尘天气最强时段。此后系统继续东移南下,锋面气旋经过的大部地区先后出现不同程度大风,并在华北西部、黄淮中西部、江淮西部、四川盆地等地的部分地区相继发生了扬沙和浮尘,局地出现沙尘暴,但由于锋面气旋减弱,风速减小,沙尘强度减弱。到了 25 日,随着锋面气旋东移入海,此次沙尘天气过程结束。

总体来说,贝加尔湖阻高、高空冷涡、蒙古气旋是造成此次大范围沙尘的有利天气形势,其中蒙古气旋是关键系统,阻塞高压的存在有利于其东南方向冷涡的加强与维持及冷空气东移南下,进一步有

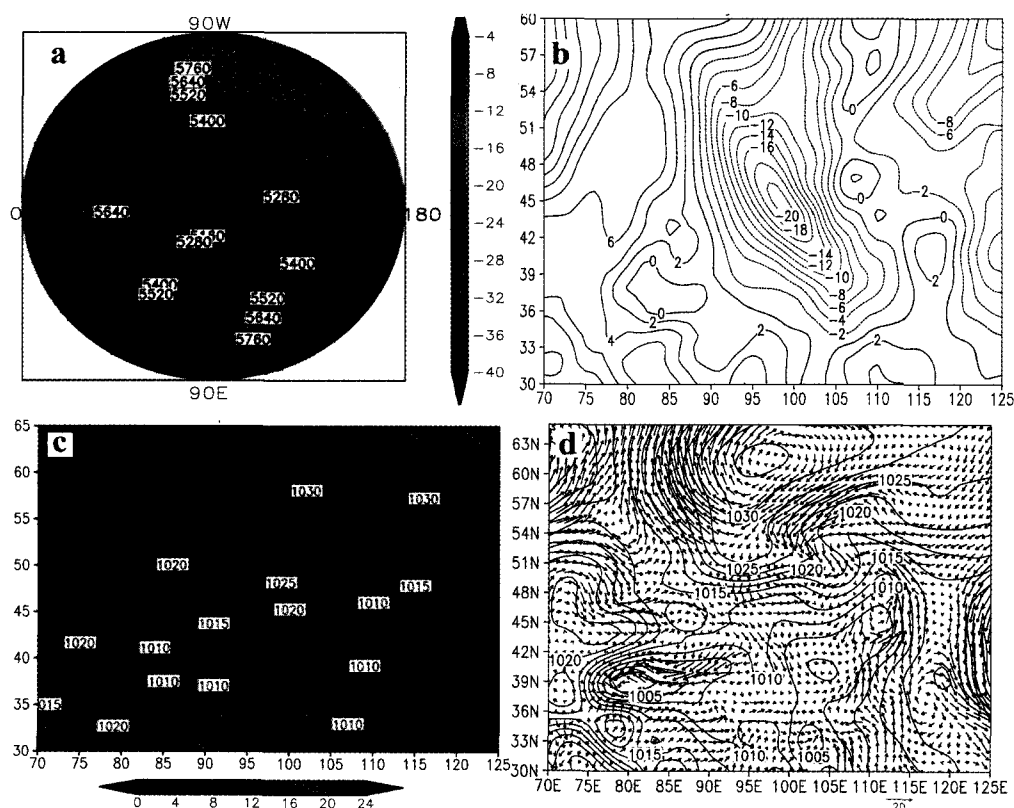


图 1 2009 年 4 月 22—24 日平均 500 hPa 的 $20^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$ 高度(实线)及温度(填色)投影(a),22—24 日平均 500 hPa 经向风(阴影区 <0)(b),22—23 日平均海平面气压(实线)及 850 hPa 温度(填色)(c),22 日 08 时地面气压场、850 hPa 风场(d)

利于蒙古气旋的东移发展,蒙古气旋的东移发展会引起低层强烈的垂直上升运动和大风,有利于起沙和沙尘传输。

2 物理量场的诊断分析

由前文分析可知,2009年4月中下旬北方大部地区前期迅速升温,土质松散、植被稀疏、地表裸露,使得起沙要求的临界摩擦速度降低,只要在气旋发展过程中配合有利的物理条件就可能引发沙尘暴。因此,下面对湿度、温度、动力及层结不稳定等物理条件进行诊断。

2.1 温湿条件

西北地区、山西北部、内蒙古中西部及蒙古国等地大部地区22日08时—24日02时平均2 m相对湿度均在30%以下,部分地区达10%以下;从内蒙古乌拉特中旗站的相对湿度剖面(图2a)可进一步看出,中、低层(400 hPa以下)相对湿度均在30%以下,22日白天至23日低层相对湿度在12%以下,空气非常干燥。温度露点差($T-T_d$)反映大气饱和程度,从夜间到早晨随着辐射降温 $T-T_d$ 会出现不同程度

减小,但23日08时内蒙古西部、甘肃西部、青海北部、新疆东北部及南疆盆地等地的大部地区 $T-T_d$ 仍在8℃以上,部分地区甚至达20℃以上,说明这些地区空气不饱和程度高(图2b)。

温度条件同样重要,尤其是干暖舌的建立。4月22日08时,印度半岛有一干暖舌向我国西藏西北部、新疆南部、青海西部、甘肃中西部和内蒙古西部一带延伸,暖中心位于印度半岛,中心最高温度为28℃,新疆南部及内蒙古西部的干暖舌温度都在14℃以上,而这些地区的相对湿度低于20%,到了20时(图2c),该暖舌加强北扩东伸,南疆盆地、甘肃中西部、青海北部、宁夏、陕西北部、内蒙古中西部均处在该干暖舌的控制下,部分地区相对湿度甚至低于10%。850 hPa干暖舌的存在,为沙尘暴的发生发展积累了充足的能量,一旦有冷空气入侵,即可释放能量,产生强的垂直运动,从而导致大范围沙尘暴。

对流层中低层的温度平流对沙尘暴有重要作用。从22日20时850 hPa温度平流分布可知22日20时蒙古国中西部及内蒙古西部有明显的冷平流,冷平流中心位于蒙古国西南部,高达56 Ks⁻¹以上,

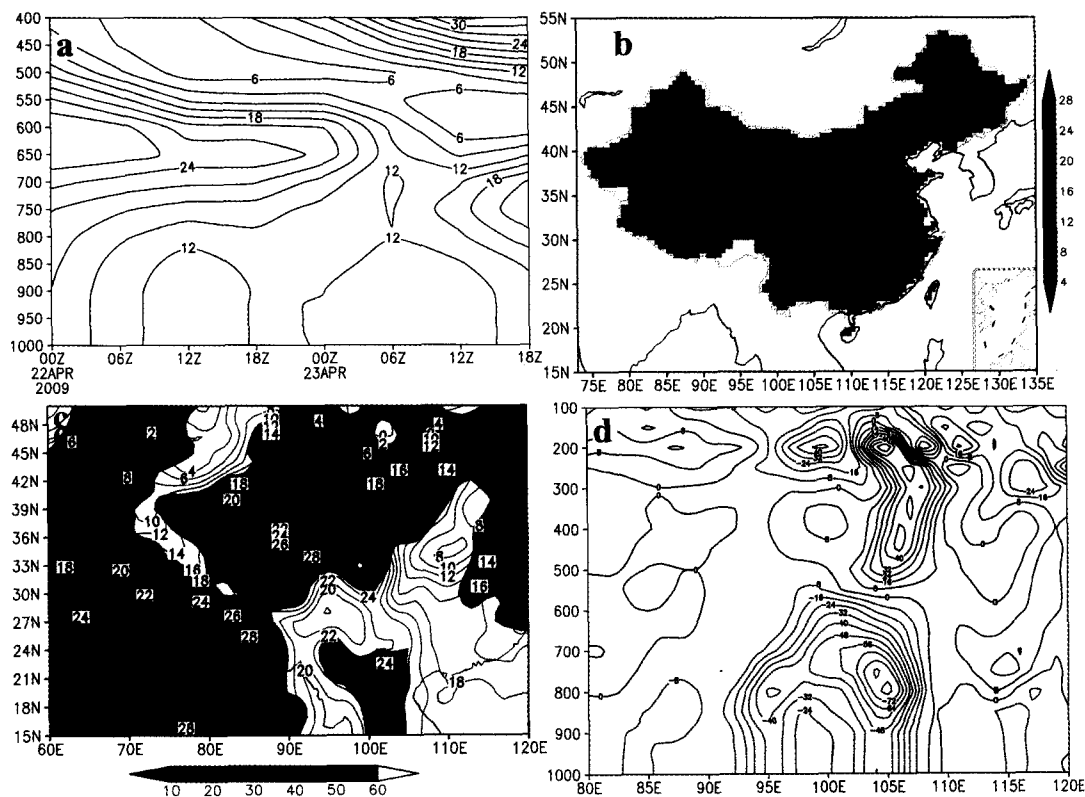


图2 2009年4月22日08时—24日乌拉特中旗站(41.34°N,108.31°E)相对湿度垂直—时间剖面(a),23日08时露点温度差(b),22日20时850 hPa温度(实线)及≤60%的相对湿度(阴影区)(c),23日02时沿42°N温度平流的纬向—垂直剖面(单位Ks⁻¹)(d)

此后冷平流东移南压,23日02时,冷平流中心已到达内蒙古西部的海力素站附近,中心值仍在 56 Ks^{-1} 以上,到了23日夜间冷平流进一步东移南压,但中心强度逐渐减弱,表明22日夜间至23日有较强冷空气入侵内蒙古、甘肃、宁夏、陕西及山西北部等地,配合这些地区22日的干暖舌,触发了大量能量释放,有利于产生强烈的垂直运动,23日白天上述地区沙尘暴也相应最强。此次大范围沙尘暴天气与干暖舌有一定联系,干暖区的建立先于沙尘暴的发生,空气达到最干暖状态早于沙尘暴达最强时刻,干暖区位置对于沙尘落区有一定指示意义,沙尘暴落区与干暖舌的位置及移动方向一致。

从通过气旋中心的温度平流的垂直剖面(图2d)进一步看出,4月23日02时冷暖平流都很强,槽后的中低层为宽广的冷平流区($94^{\circ}\sim 106^{\circ}\text{E}$),最大值在850 hPa附近,达 -80 Ks^{-1} ,其上为暖平流区,中心位于 106°E (高空槽附近),最大值超过 48 Ks^{-1} ,反映大气斜压性较强,有利于气压系统发展。低层冷平流有利于地面气旋后部冷高压发展,从而导致冷高压与蒙古气旋中心间的气压梯度加大,从而有利于大风和沙尘天气进一步发展和维持。

2.2 动力条件

2.2.1 高空急流作用

4月22日08时,300 hPa流场上在贝加尔湖冷涡以西的克拉斯诺亚尔斯克到蒙古国中部有急流建立,急流轴线呈西北—东南走向,中心最大风速达 50 m/s 以上,随着冷涡东移南压,急流范围扩大、强度增加,急流核略有东移南压,22日20时(图3a),急流核南压至蒙古国南部,蒙古国中西部相应出现沙尘暴,到了23日08时,高空冷涡和急流进一步东移南压,急流核已位于蒙古国西北部至内蒙古河套地区,中心最大风速超过 52 m/s ,内蒙古西部、甘肃中西部、宁夏、陕西北部均处于急流控制区,在急流入口区右侧,由于高空辐散强烈的抽吸作用,引起内蒙古西部和甘肃中西部多站出现了扬沙及沙尘暴,此后,随着急流核进一步东移南压,沙尘区东扩南压加强,到了20时(图3b)急流核转为东西向,位于内蒙古河套地区至华北北部一线,高空急流已控制西北地区中东部、内蒙古中西部、华北、黄淮,此时,内蒙古中西部、宁夏、陕西北部、山西北部等地也相应出现了沙尘天气。此次大范围沙尘天气主要发生在高空急流入口右侧,沙尘范围随急流东移南压向东南方向扩展,高空急流的发展演变与大范围沙尘天气密切相关,高空急流加强东移南压对应着沙尘天

气东扩南压加强。

为进一步解释高空急流与沙尘暴的关系,可分析纬向风及垂直速度的垂直分布。23日08时沿急流中心所在纬度(42°N)作纬向风分量及垂直速度的垂直剖面(图3c),在急流中心右侧的 $107^{\circ}\sim 113^{\circ}\text{E}$ 有较强的上升运动,上升运动中心位于400 hPa、 109°E 附近,速度达 1.2 Pas^{-1} ,这是冷锋前上升运动与急流下方次级环流上升支相叠加而形成,蒙古气旋中后部正好处于该区域,该地区出现了明显的沙尘暴天气。随着高空急流东移南压,23日20时(图3d)蒙古气旋前部处于急流中心前方($111^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$),急流下方的次级环流上升支最大上升速度中心位置降低到600 hPa,蒙古气旋前部开始出现沙尘暴,并逐渐增强,而蒙古气旋后部($100^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$)开始处于急流下方次级环流的下沉支中,沙尘天气开始减弱。

2.2.2 散度、相对涡度及平流、螺旋度

从散度和相对涡度分布来看,850 hPa上蒙古国南部和内蒙古西部处于明显的正涡度和负散度区,中心强度分别达 $14\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 和 $-9\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,表明该地区气旋性辐合上升明显。23日08时低涡中心位于($44^{\circ}\text{N}, 109^{\circ}\text{E}$),从涡度沿 109°E 的经向—垂直剖面(图4a)可进一步看出, $39^{\circ}\sim 46^{\circ}\text{N}$ 范围内,对流层中低层为正涡度,大值中心位于800 hPa附近,其值达 $12\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,700 hPa以上正涡度区变窄,在 $41^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 之间,大值中心在800 hPa附近,也达 $12\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$;由于低涡北部冷高压发展,正涡度区北侧有明显负涡度区,大值中心位于 48°N ,其中在400 hPa附近达 $-8\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,到了23日14时,正涡度区在中高层范围扩大,中心强度加大到 $25\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,正涡度区与气旋区相对应,且强度变化较一致。

为进一步了解蒙古气旋动力特征,可分析通过气旋中心的涡度平流的垂直剖面,从纬向—垂直剖面(图4b)来看,正涡度平流主要集中在槽前 $107^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$ 的对流层中上层,最大值在400~300 hPa,达 $12\times 10^{-9}\text{ ms}^{-2}$ 以上,在槽后有明显的负涡度平流,大值中心则在850 hPa附近,达 $-9\times 10^{-9}\text{ ms}^{-2}$;从经向—垂直剖面(图4c)来看,中低层在 $38^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 范围上对流层中上层主要是正涡度平流区,正涡度平流集中在高空槽南侧400 hPa附近;在低层 45°N 附近有明显的负涡度平流。负涡度平流集中在较低的层次,这反映出该过程有较强斜压性,同时槽后和气旋北部的负涡度平流亦有利于地面冷高压的发展,从而导致冷高压与蒙古气旋间的气压梯度加大,这有利于大风和沙尘天气的发展维持。

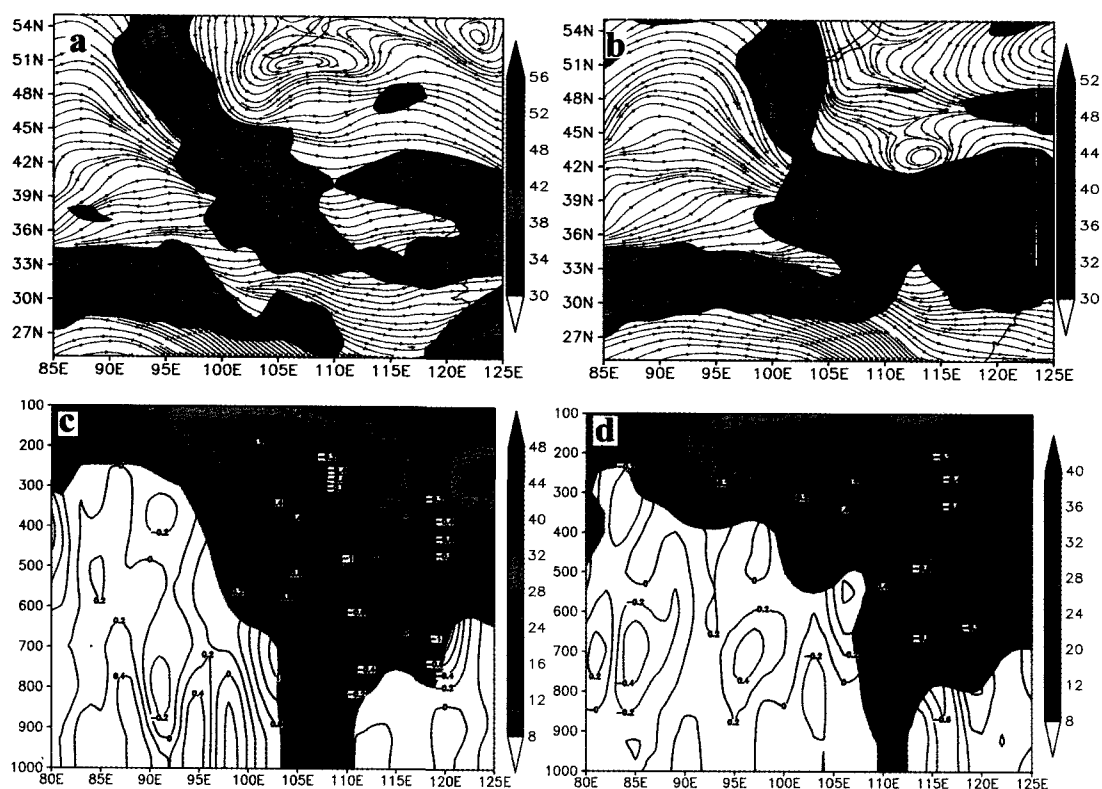


图3 2009年4月22日20时(a)、23日20时(b) 300 hPa 流线(阴影区风速 ≥ 30 m/s),23日08时沿 42°N (c)及20时沿 40.5°N (d)纬向风分量与垂直速度的纬向—垂直剖面(阴影部分为 ≥ 8 m/s的纬向风分量,粗实线为垂直速度,单位 $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

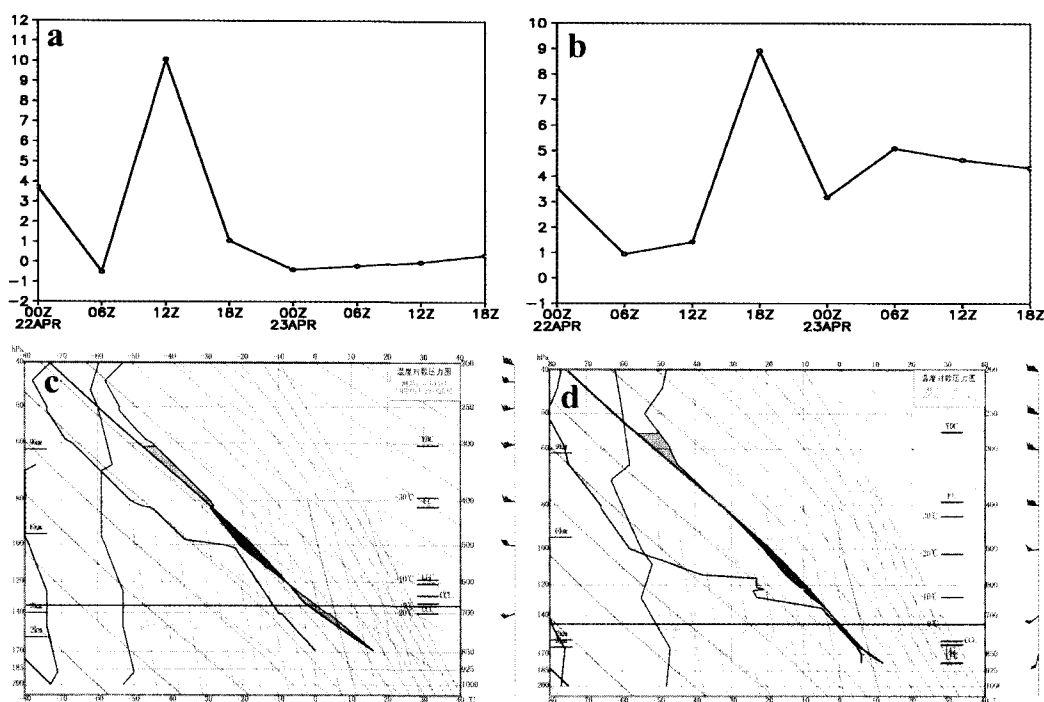


图4 2009年4月23日08时涡度垂直剖面图(a为沿 109°E 的经向—垂直剖面,单位 10^{-5} s^{-1});b为08时涡度平流沿 109°E 的经向—垂直剖面,单位 10^{-9} ms^{-2});c为沿 44°N 的纬向—垂直剖面,单位 10^{-9} ms^{-2});d为垂直螺旋度沿 109°E 的经向—垂直剖面,单位 $10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$);e为沿 44°N 的纬向—垂直剖面,单位 $10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$)

螺旋度将风矢量和涡度有效地结合起来,常用于诊断有旋系统,其大小反映了旋转及沿旋转方向运动的强弱程度。这里主要分析垂直螺旋度($h_z=w\zeta_k$)作用(由于此处计算时采用 p 坐标系,其单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,若为负值,表示上升运动)。可沿气旋中心(44°N , 109°E)作螺旋度垂直剖面, $105^\circ\sim 111^\circ\text{E}$ 上空200 hPa以下有显著的负螺旋度区(图4d),负值区跨越了气旋上空,负值中心出现在500 hPa附近,达到 $-30\times 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$,进一步反映出气旋区有显著的旋转上升运动;而在经向垂直剖面上(图4e), $42^\circ\sim 45^\circ\text{N}$ 上空250 hPa以下有显著的负螺旋度区,旋转上升运动明显,且负螺旋度大值区后倾,进一步反映出此次过程大气是斜压的,这些都是起沙的有利动力条件。

2.3 不稳定层结条件

沙尘暴产生时大气边界层极其不稳定,湍流发展旺盛,起沙过程边界层内可能有较强的风速垂直切变存在(即动力不稳定),扬沙过程边界层可能存在浮力上升运动即静力不稳定。将垂直动量锋生和垂直温度锋生结合起来考虑,就形成一个判定行星边界层稳定与否的一个重要参数,即理查逊数(R_i),若用气压坐标系来表示,并可以直接计算,则公式可改写为:

$$R_i = \frac{R_d \Delta p}{\bar{p}} \left(\Delta T_p - \frac{R_d \bar{T}}{C_{pd}} \frac{\Delta p}{\bar{p}} \right) / (\Delta u_p^2 + \Delta v_p^2), \quad (1)$$

式(1)中 R_i 是干空气比气体常数, Δp 为两层气压差, \bar{p} 为两层平均气压, ΔT_p 为两层温度差, \bar{T} 为两层平均温度, C_{pd} 为干空气的定压比热, Δu_p 和 Δv_p 为两等压面之间的风速分量差。 R_i 表示静力稳定度与垂直风切变的关系,包括热力及垂直切变造成的动力不稳定。 $R_i < 0$ 表示静力和动力不稳定,有利于湍流运动的发展,此种情况最有利于沙尘暴的产生,也有利于沙尘上扬到高空; $1 > R_i > 0$,表示易有动力乱流发展; $R_i > 1$ 表示不易有乱流发展。

从乌特拉中旗站附近的850~800 hPa和风切变的演变曲线(图5a, 5b)发现,4月22日夜间突然减小,到了23日02时已下降到1以下,说明有湍流发展,到了23日08时已达到负值,此时该站已出现沙尘暴天气,此后都 < 1 ,夜间有所回升,沙尘天气强度减弱;在绝对值较小的时段内,对应850 hPa垂直风切变明显变大,对流层低层冷空气势力强,地面气压梯度大引发地面强风,产生动力乱流,引发沙尘暴发生。垂直风切变与沙尘天气密切相关,下降并维持低值,风垂直切变增大,大气层结不稳定,易激发沙尘暴发生和向下游传输。从4月22日20时东胜站探

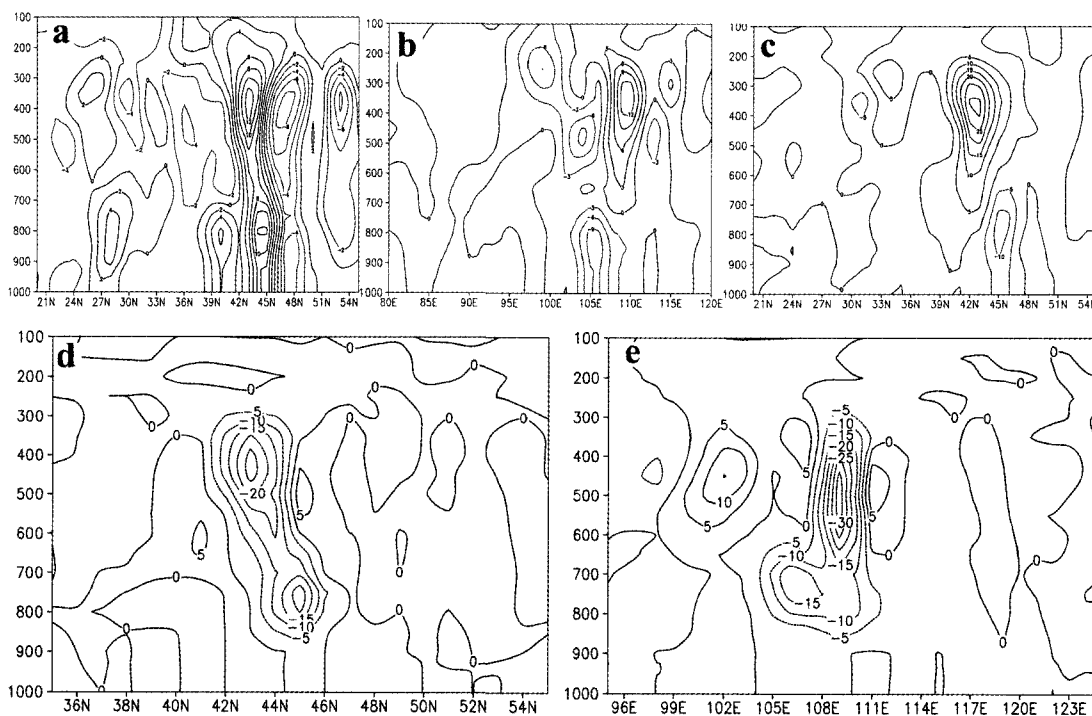


图5 乌特拉中旗站(108.5°E , 41.6°N)850~800 hPa 理查逊数(a)和风切变大小(b)、22日20时东胜站(c)及23日08时呼和浩特站(d)探空曲线

空曲线(图 5c)可知该站大气层结不稳定,存在显著的不稳定能量,且对流层低层与中高层风切变较大,整层空气较干燥,当有冷空气入侵,易触发不稳定能量释放,产生垂直动力,导致沙尘天气发生,实况场上,在 23 日上午,随着冷空气过境,东胜站开始出现沙尘天气。呼和浩特站(图 5d)也是如此,23 日 08 时,该站大气层结不稳定明显,随着冷空气入侵,中午出现了较强沙尘暴。

3 小结和讨论

基于 2009 年 4 月下旬我国北方地区大范围沙尘天气过程造成的严重影响,本文从多方面进行了成因分析,并进一步作了物理量诊断,主要揭示了蒙古气旋、高空急流与沙尘暴发生发展的关系,得到了以下主要结论:

(1)北方大部地区植被覆盖差、无积雪、旱情持续发展、前期气温偏高,造成地表裸露、土壤失墒快、土质干燥松散、地表浮尘增多,均有利于此次沙尘天气发生。

(2)贝加尔湖阻高、高空冷涡及蒙古气旋是造成了此次大范围沙尘天气的有利环流形势,其中蒙古气旋是关键系统。

(3)干暖舌对于沙尘落区有一定指示意义,沙尘暴落区与干暖舌的位置及移动方向一致;低层冷平流有利于蒙古气旋后部冷高压发展,导致气压梯度加大,从而有利于大风和沙尘天气的进一步发展和维持。

(4)沙尘天气主要发生在高空急流入口右侧,高空急流加强东移南压对应着沙尘天气东扩南压加强;低层正涡度、负散度与气旋区相对应,且强度变化较一致;螺旋度反映出气旋区旋转上升运动明显,且螺旋度大值区后倾。

(5)理查逊数、垂直风切变与沙尘天气密切相

关,理查逊数下降并维持低值、风垂直切变增大,大气层结不稳定,易激发沙尘暴发生和向下游传输。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陈豫英,赵光平.两次典型强沙尘暴过程的对比分析[J].气象, 2003, 29(9): 18-22.
- [3] 矫梅燕,牛若芸,赵琳娜.沙尘天气影响因子的对比分析[J].中国沙漠, 2004, 24(6): 696-700.
- [4] 刘景涛,钱正安,姜学恭.中国北方特强沙尘暴的天气系统分型研究[J].高原气象, 2004, 23(4): 540-547.
- [5] 陈楠,陈晓光,赵光平.宁夏不同强度沙尘暴环流差异特征的对比分析[J].高原气象, 2006, 25(4): 680-686.
- [6] 陈楠,陈豫英,范小明,等.西北地区东部沙尘暴转型的环流演变及差异特征分析[J].干旱区地理, 2010, 33(5): 676-683.
- [7] 赵光平,王连喜,杨淑萍.宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统[J].中国沙漠, 2001, 21(2): 175-181.
- [8] 陈晓光,纪晓玲,刘庆军,等.200 hPa 高空急流与宁夏春季沙尘暴过程的特征分析[J].中国沙漠, 2006, 26(2): 238-242.
- [9] 彭艳,王钊,许新田.西北地区一次大范围沙尘天气环流动力特征分析[J].中国沙漠, 2009, 29(4): 766-772.
- [10] 胡隐樵,光田宁.强沙尘暴发展与干飚线—黑风暴形成的一个机理分析[J].高原气象, 1996, 15(2): 178-185.
- [11] 胡隐樵,光田宁.强沙尘暴微气象特征和局地触发机制[J].大气科学, 1997, 21(5): 581-589.
- [12] 孙燕,沈桐立,李强,等.我国北方地区一次沙尘暴天气特征分析[J].沙漠与绿洲气象, 2007, 1(2): 6-9, 15.
- [13] 赵琳娜,赵思雄.一次引发华北和北京沙尘天气的快速发展气旋的诊断研究[J].大气科学, 2004, 28(5): 722-734.
- [14] 刘宁微,马雁军,刘晓梅,等.蒙古气旋引发辽宁沙尘暴天气过程的数值模拟[J].中国沙漠, 2011, 31(1): 217-222.

Diagnosis and Analysis of a Large-scale Sand-dust Storm Process Resulted from Mongolia Cyclone during Late April 2009

ZONG Zhi-ping, ZHANG Heng-de, MA Jie

(National Meteorological Center of CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: In this paper, using the meteorological satellite data, the dense observation and NCEP/NCAR re-analysis data, the cause of the large-scale sand-dust storm process over the north of

China during late April 2009 was analyzed. The dynamic, thermodynamic and stratified unstable conditions of the process were diagnosed. Baikal blocking, high-level cold vortex and Mongolia cyclone were propitious for the dust-sand storm, and Mongolia cyclone was the key. Dry and warm tongue indicated the location of the area impacted by the dust-sand storm and the moving direction of the dust-sand storm. The development of upper jet flow was closely related to the dust storm. The storm weather mainly occurred in the right of inflow area of upper jet. With the jet moving southeastward and intensification, the sand-dust weather extended southeastward and enhanced. The helicity reflected the revolving and ascending in cyclone area during the process, and the high helicity area tilted backward. Richardson Number and vertical wind shear are important to sand-dust storm. It is easy to make for the occurring and transferring of sand-dust storm when Richardson Number declined and kept low value, vertical wind shear enlarged, and atmosphere was stratified unstable.

Key words: sand-dust storm, Mongolia cyclone, diagnosis and analysis, upper jet

科技信息

新疆气象局发布 2011 年新疆气候公报 及影响评价

2012 年 1 月 12 日, 自治区气象局召开 2011 年气候公报及影响评价暨 2011 年度生态与农业气象年报新闻发布会。

新疆气候中心副主任江远安说, 2011 年全疆大部地区年平均气温略偏高; 冬季平均气温以偏低为主, 春、夏、秋季气温偏高。年降水量时空分布不均, 北疆略多南疆略少, 天山山区接近常年; 北疆各季以偏多为主, 南疆各季以偏少为主, 天山山区冬夏季偏多、春季接近常年、秋季偏少。开春期北疆大部偏晚, 南疆大部偏早; 终霜期北疆大部偏早, 南疆大部偏晚; 初霜期和入冬期全疆大部偏晚。日照时数北疆大部地区偏多, 天山山区和南疆大部地区偏少。12 月下旬, 北疆积雪面积接近常年略偏少; 南疆巴州偏少, 其它地区接近常年略偏多; 东疆地区明显偏少。

2011 年, 作物生长季(4—10 月)全疆大部地区光温水配置较平衡, 气象条件对大部分地区粮食作物及牧草生长、喜温作物中后期生长较有利。全区大范围的重大灾害性天气气候事件偏少, 但

局地强对流天气多、强度大、灾害重。年内对农牧业生产影响较大的气象灾害有: 隆冬 1 月低温以及 4 月南疆大部地区果树花期出现的高温天气, 致使东疆、南疆部分地区葡萄、红枣、苹果、香梨等林果受灾减产; 开春后南疆气温持续偏低、且冷暖变幅较大, 棉花播期较常年推迟; 冰雹灾害频次高、灾损重, 对局部地区农牧业生产影响较大。秋季气温偏高, 入冬期偏晚, 冬麦越冬开始期北疆大部比常年偏早, 南疆偏晚。播种以来气象条件对大部地区冬麦冬前生长及形成壮苗有利, 冬麦整体长势略差于去年。入冬后, 北疆大部分冬麦区有 5 cm 以上积雪覆盖; 南疆大部冬麦区极端最低气温在 -20°C 以上, 气象条件总体有利冬小麦安全越冬。北疆北部、西部以及南疆西部山区等地的牧区积雪深度在 10 cm 以上, 对当地放牧牲畜的采食有不利影响。

(潘继鹏)