

# 2013 年春季一次沙尘暴天气成因分析

武 威<sup>1</sup>, 顾佳佳<sup>2</sup>, 牛淑贞<sup>3</sup>

(1. 驻马店市气象局,河南 驻马店 463000; 2. 漯河市气象局,河南 漯河 462300; 3. 河南省气象台,郑州 450003)

**摘要:** 利用常规观测资料和 NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  格点分析资料, 对 2013 年春季北方一次大范围沙尘暴过程天气成因进行了分析。结果表明: 这次沙尘暴过程是在前期降水稀少、地表疏松、气温偏高的气候背景下, 由槽后冷空气补充南下, 伴随地面冷锋移动引发的。强冷空气由西北路径入侵, 蒙古气旋的发展, 配合强冷空气形成的密集气压梯度区, 为大风的产生提供了良好的条件。地面气象要素的剧烈变化, 往往超前于沙尘暴的暴发, 可作为沙尘暴预报的重要依据。强烈的上升运动和低层辐合、高层辐散的配置, 为起沙提供了动力条件。沙尘暴区螺旋度分布为高层负值、低层正值, 中低层螺旋度正值中心区与沙尘暴发生区具有较好的一致性。冷暖平流之间的转化使地面气压发生变化, 产生变压风, 风力加大导致锋面附近激发出气流的垂直运动, 容易将地面沙尘吹起上扬, 形成沙尘天气。

**关键词:** 沙尘暴; 强冷空气; 成因分析; 动力和热力特征

中图分类号: P458.3; P445<sup>+</sup>.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2014)04-0071-09

## 引 言

沙尘天气分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴四类。浮尘是指尘土、细沙均匀地浮游在空中, 使水平能见度小于 10 km 的天气现象; 扬沙是指风将地面尘沙吹起, 使空气相当混浊, 水平能见度在 1~10 km 以内的天气现象; 沙尘暴是强风将地面大量尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度 < 1 km 的天气现象; 强沙尘暴是大风将地面尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度 < 500 m 的天气现象。沙尘暴是我国北方的灾害性天气之一, 尤其在春季发生最为频繁, 也最为严重<sup>[1-2]</sup>。沙尘暴所引起的气候学效应<sup>[3-5]</sup>对人们生活、社会活动均构成一定的影响, 是不可忽视的大气和生态环境问题之一。从 20 世纪 70 年代开始, 我国就开展了对沙尘暴的一系列研究, 包括沙尘暴起因、影响因子、路径、强度、动力机制、数值模拟等, 得到了一些有利于提高沙尘暴预报水平的结论<sup>[6-12]</sup>, 指出沙尘暴天气的发生与强对流密切相关, 动力因子和热力因子在其过程中有着重要作用。钱莉等<sup>[13]</sup>对河西走廊东部一次飑线引发

的大风、强沙尘暴进行了天气分析, 认为飑线是导致沙尘暴发生的根本原因。姜学恭等<sup>[14]</sup>对内蒙古两类持续型沙尘暴的天气分析得知, 其系统的稳定是这类沙尘暴长时间在同一地区维持的原因。贺哲<sup>[15]</sup>在“2006 年 3 月末河南的一次沙尘暴过程的天气成因分析”中认为冷锋南下加剧了不稳定能量的释放, 沙尘在强风、强湍流混合和强的上升气流作用下形成沙尘暴。

沙尘暴主要集中在我国的西北地区<sup>[16-19]</sup>, 2013 年 3 月发生的沙尘暴过程自西向东影响到新疆、青海、甘肃、内蒙、宁夏、陕西、山西、河北、北京、天津、辽宁、河南、山东等地, 范围之广、时间之长、强度之大, 实属罕见。本文就这次沙尘暴天气气候条件、环流形势和地面影响系统、地面气象要素等进行分析, 对动力、热力因子进行诊断, 以期为沙尘暴天气分析和预报提供参考。

## 1 沙尘天气过程简述

这次沙尘天气过程始于 2013 年 3 月 8 日 08 时, 主要影响甘肃的西北部, 之后随着地面风力的加

收稿日期: 2014-01-23; 修定日期: 2014-08-08

基金项目: 河南省科学技术厅 2011 年度重要科研项目(112102310033); 河南省气象局项目(Z201201)资助

作者简介: 武威(1987-), 男, 河南漯河人, 助理工程师, 学士, 从事短时和短期天气预报。E-mail: ww-0824@163.com

大系统的移动,强度不断增强,影响范围也逐渐向南扩大至华北、华中等区域,主要影响时段集中在9日08时到20时之间(图1),西北、华北和华中等大部分地区都受到沙尘天气的影响。9日20时之后沙尘天气有所减弱,到10日08时沙尘天气基本消失,仅仅在西北地区的南部有一些浮尘天气。

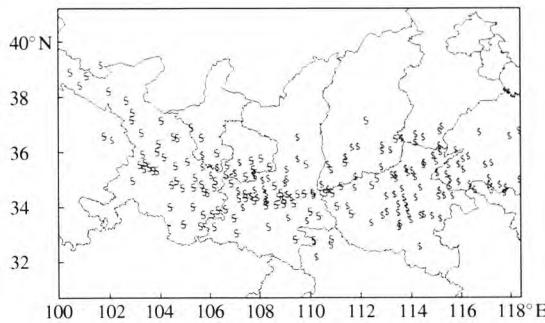


图1 2013年3月9日08—20时沙尘实况分布

—表示沙尘暴, \$表示扬沙

## 2 天气成因分析

沙尘暴天气的形成要具备三个基本条件:一是要有沙源,二要有强冷空气即大风,三是冷暖空气相互作用。沙源来自于沙漠、退化的林草地或没有植被覆盖的干松土地和城乡建筑工地的泥沙。气旋和低压产生垂直上升运动,把沙尘吹扬起来,形成沙尘暴天气。

### 2.1 前期气候条件

北方地区2013年自2月下旬到3月上旬降水稀少,新疆地区塔克拉玛干沙漠无降水,古尔班通古特沙漠降水量不足1 mm,中部地区巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠及毛乌素沙漠无降水,偏东地区的浑善达克沙地、科尔沁沙漠及呼伦贝尔沙地降水量均不足1 mm。北方主要沙地前期的降水稀少,为沙尘的产生提供了良好的起沙条件<sup>[20]</sup>。

3月上旬整个北方不仅降水稀少,气温也异常偏高,平均最高气温达到15℃左右,与历史同期相比显著偏高。北京站3月上旬气温也异常偏高,使得地表加速解冻,地表土壤松散。该季节降水稀少且植被稀疏,地表裸露,气温偏高,使地表土壤颗粒疏松,容易起沙,同时也容易造成垂直层结的不稳定,当有强冷空气南下时,气团性质的巨大差异易产生强的大风天气,是产生沙尘天气的有利条件。

### 2.2 大尺度环流背景分析

#### 2.2.1 高空环流形势

2013年3月9日,西北、华北、华中甚至华南部

分地区大范围沙尘暴、强沙尘暴天气主要由低槽移动过程中槽后带来的冷空气不断补充南下,伴随着地面冷锋移动引发的。

8日20时,500 hPa中高纬度地区以经向环流为主,贝加尔湖附近有一低槽,温度槽落后于高度槽,槽后有冷平流,贝加尔湖附近出现急流,急流核风速达到40 m/s。9日08时(图2a),贝加尔湖的低槽加强发展,东移过程中分裂成两段,一段移至蒙古国与我国东北交界地带,另外一段则位于河南、陕西地区,冷空气暴发,加之急流比较强,从而引发了大范围的大风沙尘天气;20时,北槽几乎移出东北地区,南槽比较弱,导致西南暖湿气流在向北输送的过程中受到抑制,沙尘天气逐渐减弱。

8日20时,700 hPa中高纬地区受两个低涡控制,蒙古地区有明显的正变温,西西伯利亚有明显的正变高,等温线明显落后于等高线,交角较大,斜压性很强,系统东移加深。9日08时(图2b),华北低槽加深东移,槽前暖湿气流加强,增温幅度比较大,槽后降温明显,24 h变温高达-22℃(蒙古国与我国内蒙交界),槽前及附近(华北南部)24 h变温中心为13℃,24 h变温正负中心差值达到35℃,温度梯度大,同时等温线与等高线交角几乎垂直,低槽与南支槽同位相叠加,导致脊前西北气流增强。综上所述,此次冷空气势力比较强。

8日20时,850 hPa我国中东部大部地区受暖脊控制,近地面层温度较高,蒙古国有气旋发展,气旋前部暖平流较强;冷空气位于新疆地区,高空锋区等温线密集,风向与等温线近乎垂直,冷平流较强,地面锋线位于新疆东部到甘肃西部一带。9日08时(图2b),锋面位于华北北部到西北地区东部一线,锋区快速东移进入气旋,气旋前部暖平流、后部冷平流都得到加强,气旋明显发展。

#### 2.2.2 地面形势演变

3月8、9、10日的沙尘天气具有明显的日变化,大多发生在午后气温明显上升的阶段。冷锋过境时引起的地面大风是沙尘生产的重要条件。图3a、b和c是8日20时、9日08时、9日20时850 hPa假相当位温、10 m风场和海平面气压水平分布,从假相当位温梯度大值区和风场的辐合可以看出地面冷锋移动位置。8日20时,新疆西部有一强大的高压中心,中心强度为1035 hPa。此时蒙古气旋已经形成,从气旋里引出的冷锋位于甘肃西北部,冷锋两侧气压差较大,并且有明显的西北风、东南风辐合。9

日08时,高压中心强度加强为1037.5 hPa,冷锋移至河套地区;20时,高压中心强度继续增强,冷锋后气压梯度迅速加大,3 h变压增大到12.3 hPa。冷锋前后的强气压梯度引发大部分地区发生了沙尘暴。

蒙古气旋虽不是引发河套沙尘的直接原因,但是其稳定少动阻挡了地面高压的移动,使得冷锋前后的气压梯度迅速加大,造成大风,引发了沙尘暴天气。

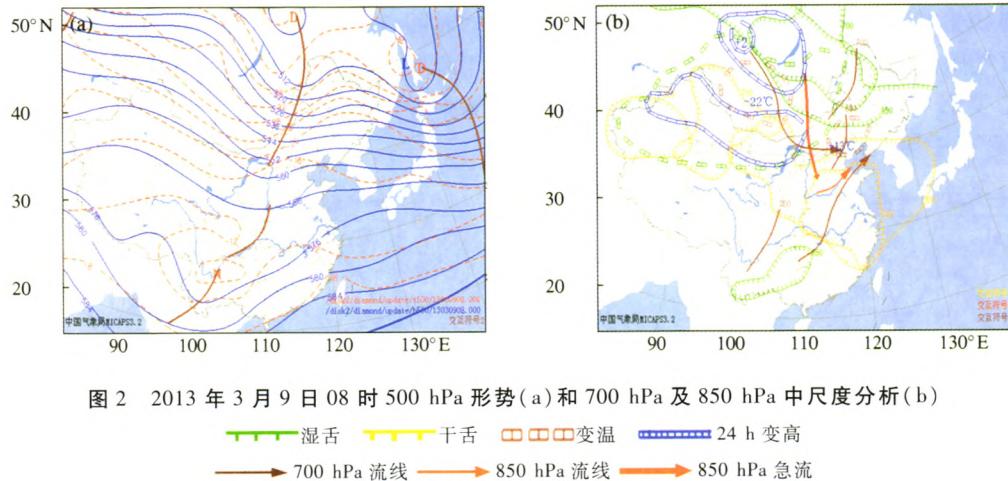


图2 2013年3月9日08时500 hPa形势(a)和700 hPa及850 hPa中尺度分析(b)

— 湿舌 — 干舌 — 变温 — 变高  
— 700 hPa 流线 — 850 hPa 流线 — 850 hPa 急流

从地面系统的演变图(图3d)上可知,这次沙尘天气主要是从西北路入侵我国,由于高空槽前正涡度平流的作用,蒙古气旋不断发展,高低压之间气压

梯度增加,冷锋后偏北大风增强,为此次沙尘天气提供了动力条件。

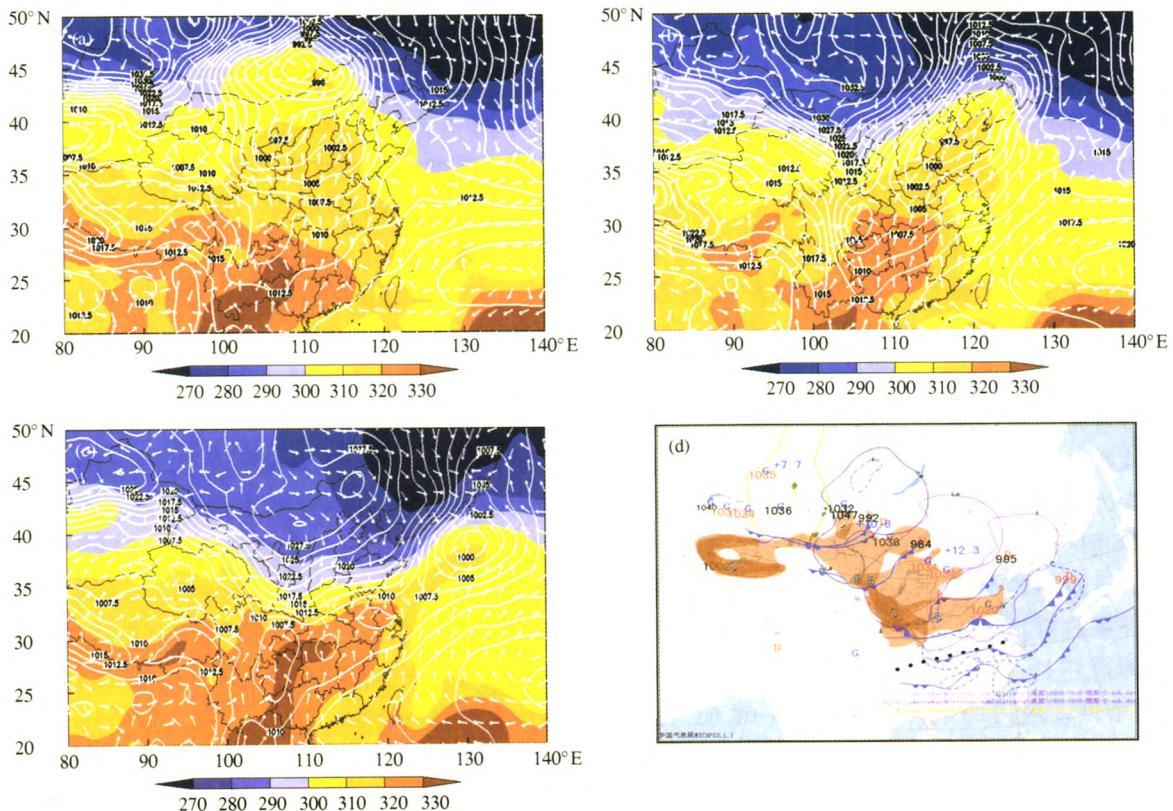


图3 2013年3月8日20时(a)、9日08时(b)、9日20时(c)850 hPa  $\theta_{se}$ (阴影)、10 m风场和海平面气压场

和冷锋与沙尘天气的配置图(d)

$\theta_{se}$ 单位:K,风速单位: $m \cdot s^{-1}$ ,气压单位:hPa

### 3 地面气象要素变化特征

分析此次过程可知:冷锋过境时,气温下降,气压和露点温度有所增大。处于河西走廊最西边的敦煌,由于受冷锋入侵影响较早,地面气象要素变化较早,最先受到沙尘天气的影响。8日17时,敦煌站(图4a)地面气压涌升,气温骤减,20时敦煌站沙尘暴开始暴发。9日08时,敦煌沙尘暴减弱,地面气象要素变化趋于平缓。9日14时冷锋正位于郑州

一带,郑州气压升高、气温降低,17时前后郑州站(图4b)暴发沙尘暴天气。由此可见,当沙尘暴来临之前,气压持续降低,气温升高;当沙尘暴暴发时,气压先升高而后下降,形成“气压鼻”现象。冷锋过境前后,地面气象要素变化剧烈。地面气象要素变化的时间,往往超前于沙尘暴的暴发时间。因此,地面气象要素的剧烈变化,可作为沙尘天气预报中的重要参考依据。

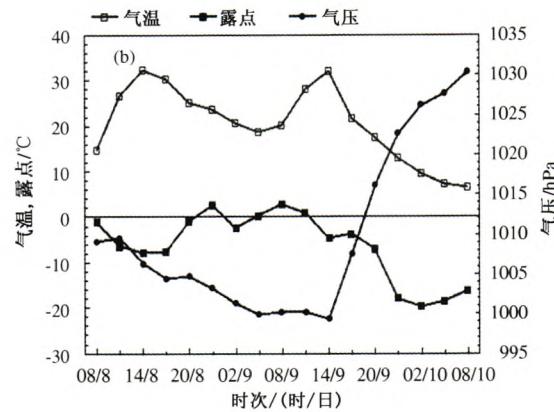
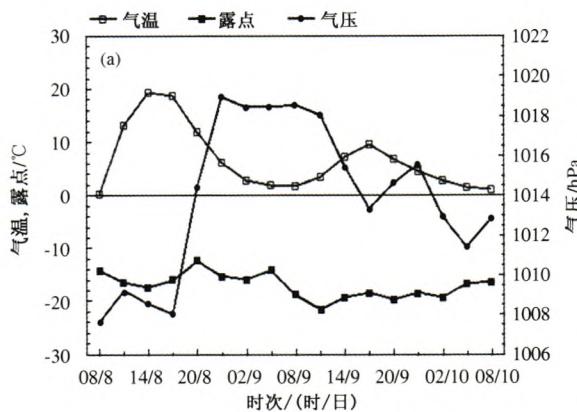


图4 2013年3月8—10日敦煌(a)和郑州(b)沙尘暴过程中气象要素的变化

### 4 沙尘天气的动力、热力学特征

#### 4.1 涡度和散度的配置

沙尘暴作为一种强烈的对流天气(一般意义上的对流天气通常指的是短时强降水、雷雨大风或冰雹、龙卷等由小尺度天气系统影响所致的灾害天气,沙尘暴天气过程中,有强烈的辐合辐散特征,属于广义上的强对流天气),辐合辐散分布显著,用散度和涡度表征沙尘暴天气的辐合辐散,对了解沙尘暴天气的动力学特征等具有一定的指示意义<sup>[21]</sup>。

通过分析发现,本次沙尘天气与涡度、散度的对应关系非常好,均发生在正涡度区和强辐合区内。8日的沙尘天气除本地沙尘因大风而向空中扬起外,从9日08时(图5a)起,还有上游地区沙尘向本地的输送。这是因为8日20时,850 hPa上强辐合中心位于甘肃的西北地区,中心值为 $-4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,同时这个地区还是一个中心为 $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度区,有利于该区域内的上升运动。9日08时,正涡度中心移至内蒙古南部、陕西地区,中心强度为 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,甘肃南部和宁夏中北部为 $-4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的辐合区,上升运动加强,沙尘天气正是发生在内蒙古南部、宁夏大部分地区和陕西等区域;20时(图5b),随着沙尘天气的东移扩散,中心为 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

的正涡度区和中心为 $-4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 辐合区一致位于河南与河北的交界处和河南的西部地区,河南逐渐受到沙尘天气的影响。10日08时,强辐合区移出河南,沙尘天气基本结束。

从涡度和散度沿 $38^{\circ}\text{N}$ 的经向分布来看,9日08时(图5c),河套地区 $1000-200 \text{ hPa}$ 的涡度为一致的正涡度,这有利于该区域的上升运动。同时,在散度场上,陕甘地区低空散度为负值、高空为正值,而在其西北的上游地区高低层散度虽然基本上为零,但低层存在较强的正涡度,为上升运动区,可以迫使上游地区沙尘向空中扬起,通过高空西北气流向下游输送,造成9日华中区域的强沙尘天气。9日20时(图5d),陕西东部、河南的西部和中北部上空 $1000-700 \text{ hPa}$ 为正涡度区,低层散度为负、 $700 \text{ hPa}$ 以上散度为正,表明这一地区存在上升运动,而在上游地区高空为正涡度区,低层散度为正值、高空为负值,表明沙尘天气发生前该地存在上升运动,可以迫使本地的沙尘向高空扬起。

#### 4.2 垂直运动

垂直运动与沙尘暴的发生发展有着密切的联系,上升运动的最强阶段,也对应着沙尘暴发展最强阶段,但早于沙尘暴范围达到最大的时刻,随着上升运动的减弱,沙尘暴的强度和范围也逐渐减弱。图

6中A、B、C、D四个阶段分别代表沙尘暴开始发生、逐渐增强、强度最大和开始减弱时期,4个阶段也和上升运动中心的移动及强度的变化较为一致。8日08时,44°N以北开始出现上升运动,中心值达 $-0.3 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,此时新疆东部、甘肃及内蒙古北部出现沙尘暴天气,并逐渐向南扩展。从9日02时到20时,上升运动中心由38°N南下到34°N,强度逐渐加大,20时达到 $-1.5 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,上升运动

不断发展,使地面和低空水平风速持续增强,沙尘暴强度和范围进一步加大,甘肃、陕西、山西和河南西部出现沙尘天气;20时上升运动到达最强阶段,沙尘暴也达到最强阶段,其后上升运动逐渐减弱,但沙尘天气仍然持续南下,到10日02时沙尘范围最大。10日08时,上升运动转为下沉运动,沙尘天气消失。

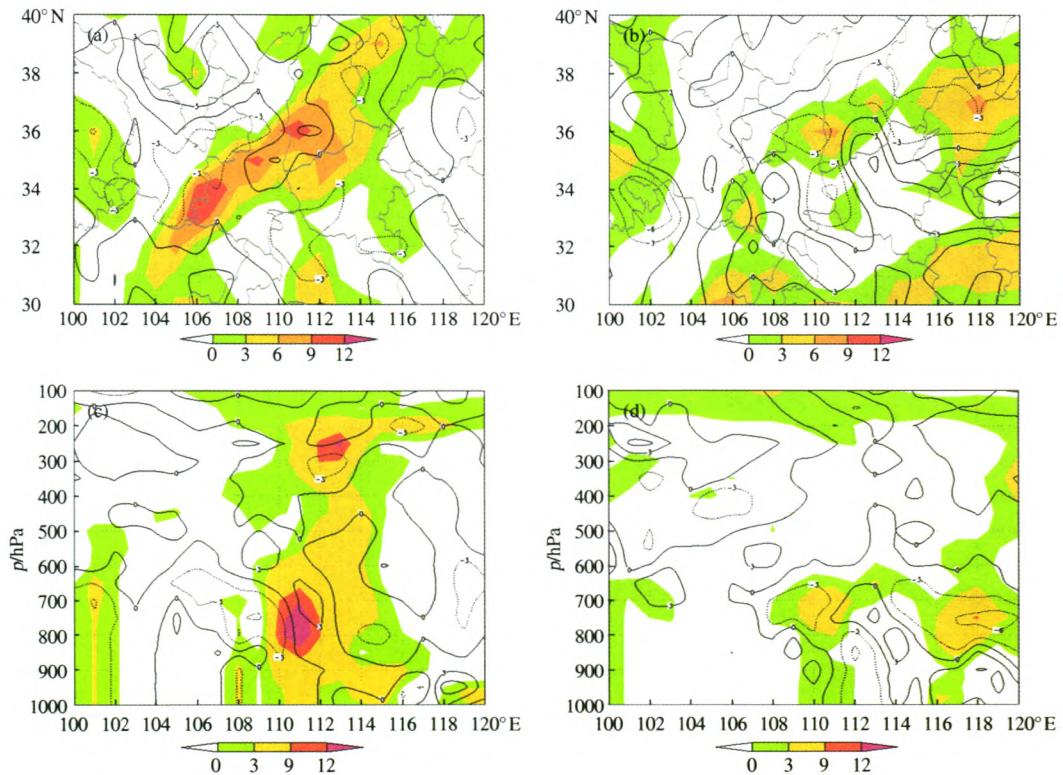


图5 2013年3月9日08时(a)、20时(b)850 hPa涡度(填色)和散度(等值线)分布

和9日08时(c)、20时(d)沿38°N涡度和散度剖面图

涡度单位: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,散度单位: $10^{-6} \text{ s}^{-1}$

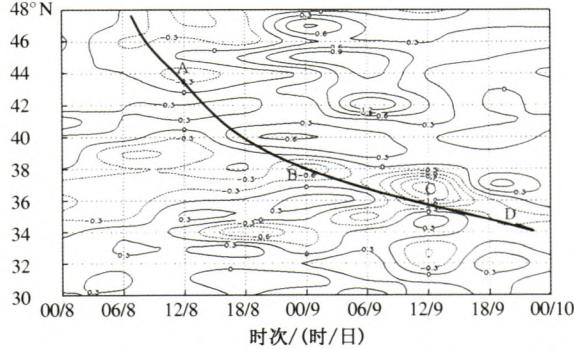


图6 2013年3月8—10日沿108°E垂直速度的时间演变  
曲线表征沙尘暴移动路径,垂直速度单位: $10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$

#### 4.3 垂直螺旋度

近年来螺旋度被广泛应用到天气动力学研究中,特别是强对流天气、中小尺度暴雨、台风和沙尘

暴等研究中。螺旋度分布对沙尘暴暴发区有较好的指示意义<sup>[22-24]</sup>。

考虑到实际应用,本文定义 $p$ 坐标下的垂直螺旋度 $H_p$ 为

$$H_p = -\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)\omega = -\zeta\omega$$

9日08时(图7a),700 hPa等压面上有两个螺旋度正值中心:一个位于甘肃中部,中心值为 $60 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ;另外一个中心位于陕西南部、山西大部分地区和重庆等区域,中心值也为 $60 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ,并有向南伸展趋势。同时,这些地区沙尘暴暴发,沙尘暴发生区与中低层螺旋度正值中心对应。20时(图7b),正螺旋度中心东移南下到陕西、河南中部一带,中心值较08时减弱,但正值区范围扩大,整个

华中地区均处于正螺旋度区域内,此时华中地区出现大范围沙尘暴天气。这表明中低层螺旋度正值中心东移南下时,沙尘暴同时也随之东移南下。

从垂直螺旋度沿  $38^{\circ}\text{N}$  纬向剖面分布上来看,9 日 08 时(图 7c), $106\text{--}114^{\circ}\text{E}$  范围内螺旋度明显为上负下正分布:500 hPa 以下为正值区,中心值为  $60 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ,中心高度位于 800 hPa;500—300 hPa 之间为负值区,300 hPa 附近以上有一正值区。这种垂直结构有利于上升运动发展,有利于沙尘暴

的维持和发展。20 时(图 7d), $106\text{--}114^{\circ}\text{E}$  范围内螺旋度没有明显的上负下正的分布,整层基本上为正值区,强度减小为  $20 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ,此时沙尘暴明显减弱。综上所述,沙尘暴区上空垂直螺旋度分布的特征是高层为负值、低层为正值,对流层中低层螺旋度正的大值区与沙尘暴发生区具有较好的一致性。因此,螺旋度分布可作为沙尘暴暴发时间、持续过程和移动路径的预报参考依据。

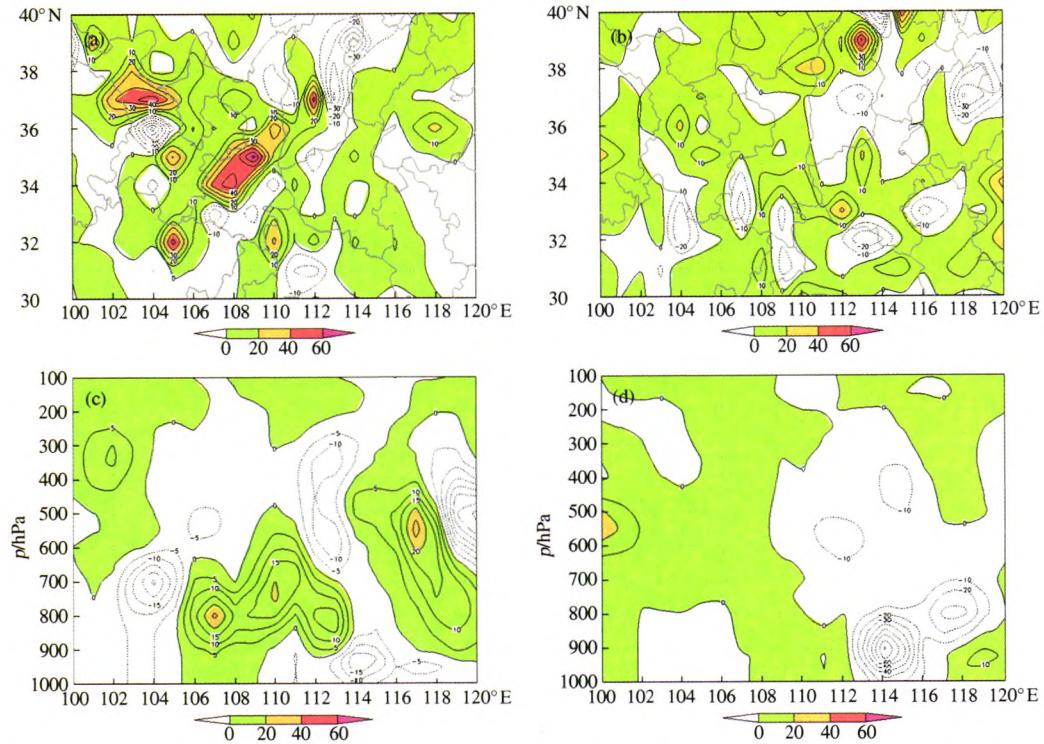


图 7 2013 年 3 月 9 日 08 时(a)、20 时(b) 700 hPa 螺旋度和 08 时(c)、20 时(d) 沿  $38^{\circ}\text{N}$  螺旋度剖面图  
填色为正值区,螺旋度单位:  $10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$

#### 4.4 温度平流

温度平流可以直接引起某地大气热力结构的变化,对天气系统的发生发展及天气现象的产生起重要作用,并且对大气层结的稳定度也有影响。研究表明,沙尘暴来临前期到沙尘暴过境的前半期,大气温湿结构和垂直风的分布有利于沙尘暴的发生和发展;沙尘暴过境的后期,大气层结调整到稳定状态,抑制了干对流的发展<sup>[25]</sup>。

8 日 08 时(图 8a),沙尘暴天气主要位于新疆西部、甘肃和宁夏地区,在华中区域整层基本为暖平流控制,至 8 日 20 时(图 8b) $100\text{--}110^{\circ}\text{E}$  范围内低层转为冷平流, $800 \text{ hPa}$  出现冷平流中心,强度为  $-2 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ ,河南省、河北省仍为暖平流区,且暖平流有所加强,此时沙尘暴天气主要位于甘肃南部、陕

西中北部,河南未受到沙尘天气的影响。9 日 08 时(图 8c)陕西东部等地开始出现沙尘天气,并向东蔓延至河南西部地区, $700 \text{ hPa}$  以下河南中部以西均为冷平流控制,冷平流强度增加至  $-5 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ , $600 \text{ hPa}$  以上为较弱的暖平流。20 时(图 8d)中低层冷平流区东移加强,同时大值区有所南压,华中、西部地区已被冷平流控制,强中心位于河南、安徽和山东三省交界处,表明冷空气前锋已经越过河南地区,主要影响安徽等地,低层冷平流、高层暖平流,大气层结已经转为稳定状态,说明此时已达沙尘后期。上述分析表明,随着高空槽的东移发展,槽后冷空气南下,偏北风加大,产生了强烈的冷平流。此外,低层在冷空气南下之前为暖平流控制,冷空气影响时,温度下降。由气压倾向方程可知,冷平流导致地面

气压上升,暖平流使地面气压下降;由 $\omega$ 方程又知,暖平流区内有上升运动,冷平流区内有下沉运动。冷暖平流之间的转化使得地面气压发生变化,从而产生变压风,风力加大,还能够在锋面附近激发出气流的垂直运动,成为将地面沙尘吹起上扬的有利条件<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 高空急流

高空急流是沙尘暴发生的动力条件之一。高空急流加强,风速加大,再加上动量下传作用,使得地面上出现大风和沙尘暴,强沙尘暴天气的发生与高空急流总是相伴出现。9日08时,甘肃、宁夏、内蒙古南

部、陕西等地出现了大风,200 hPa(图9a)以上地区出现了急流,急流核风速达到 $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,相比8日20时急流范围增大、速度增加,沙尘区主要位于高空急流动量下传的地方(图9中红色粗线所示)。20时沿36°N的高空急流的剖面(图9b)上,高空急流两侧的次级环流,使得地面锋区加强,高层的动量不断向东、向下传送,从而使发生沙尘的区域地面风速显著增加,风向由东逐渐转为偏北,20时高空急流有所减弱,沙尘也相对减弱。可见,急流和最大风速中心位置的变化,决定沙尘暴天气落区的走向。

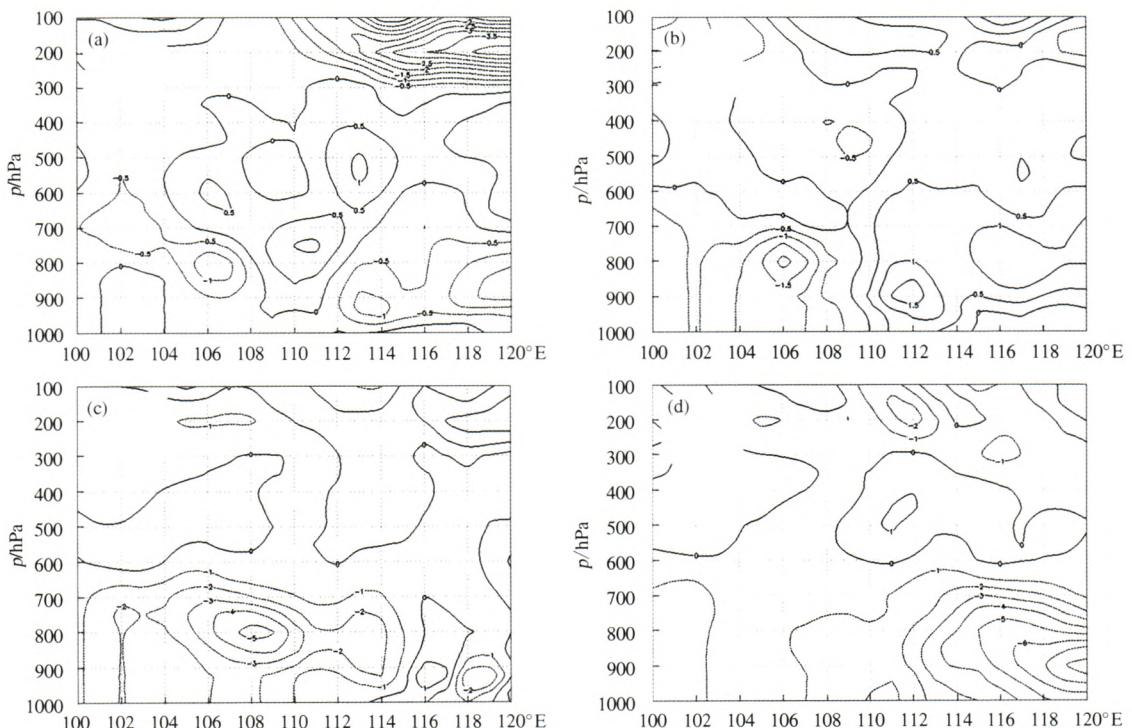


图8 2013年3月8日08时(a)、20时(b)和9日08时(c)、20时(d)温度平流

单位:  $\text{K} \cdot \text{s}^{-1}$

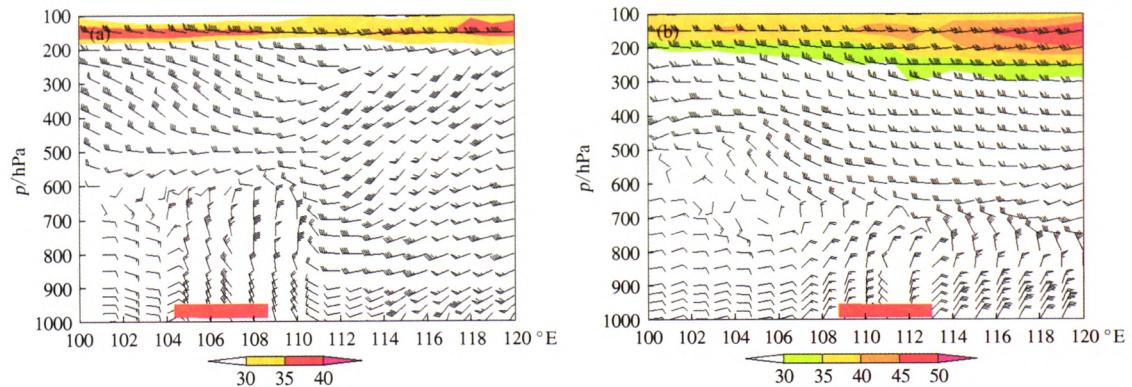


图9 2013年3月9日08时(a)沿38°N、20时(b)沿36°N风场剖面图

红色粗线表示沙尘暴区域

## 5 地形与地表对沙尘暴的影响

沙尘天气的发生除了热力和动力条件之外,地形和地表的影响也十分重要。这些地形地表条件对沙尘天气影响系统的移动和发展会产生动力和热力作用。如图10所示,山脉前冷空气堆积和越过山脉后的俯冲作用、盆地的低层加热作用、狭长地带的狭管效应等,对风力的加大、方向路径的改变、垂直运动的发展都有很大的影响<sup>[25]</sup>。

另外,沙尘源的类型和表面硬度是决定起沙量的重要因素。据监测,民勤、金昌等地物源类型属流沙和尾矿砂,硬度小,出现大风时容易扬沙起尘,为沙尘暴提供丰富的沙尘源。

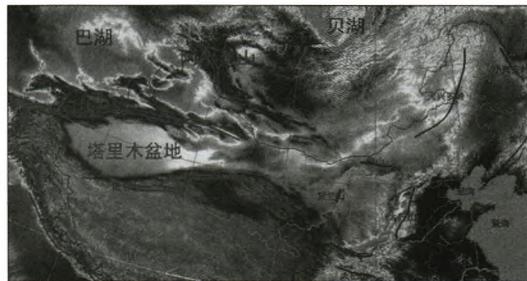


图10 中国北方地形和地表

## 6 结论

(1)本次沙尘天气过程具有影响范围广、影响时间长及强度大等特点。

(2)本次过程发生在早春季节,北方大部地区植被尚未开始生长,地表裸露,北方地区气温偏高,地表化冻较早,土壤疏松,加之前期长期无降水,地面干燥,为沙尘天气提供了较好的热力与起沙条件。

(3)强冷空气自新疆地区由西北路径入侵我国,蒙古气旋的发展,配合强冷空气形成地面非常密集的气压梯度区,同时高空急流动量下传为大风的产生提供了良好的条件。

(4)沙尘暴暴发前后地面要素有剧烈变化,而地面气象要素剧烈变化超前于沙尘暴暴发时间的特征,可作为沙尘天气预报中的重要参考依据。

(5)沙尘暴暴发区低层辐合、高层辐散,存在强烈的上升运动,为起沙提供了动力条件;同时上升运动最强阶段,对应着沙尘暴发展最强阶段,且早于沙尘暴范围达到最大的时刻。

(6)沙尘暴区上空垂直螺旋度分布的特征是高层为负值、低层为正值,对流层中低层螺旋度正的大

值区与沙尘暴发生区具有较好的一致性。从垂直螺旋度分布中可获悉沙尘暴的暴发时间、持续过程和移动路径,垂直螺旋度的分布可作为预报沙尘暴的参考依据。

(7)沙尘暴暴发时,中低层以冷平流为主。冷暖平流之间的转化使得地面气压发生变化,产生变压风,风力加大使得锋面附近激发出气流的垂直运动,容易将地面沙尘吹起上扬。

## 参考文献

- [1]高庆先,李令军,张运刚,等.我国春季沙尘暴研究[J].中国环境科学,2000,20(6):495-500.
- [2]盛立芳,耿敏,王园香,等.2002年春季沙尘暴对青岛大气气溶胶的影响[J].环境科学研究,2003,16(5):11-13.
- [3]尹晓惠.我国沙尘天气研究的最新进展与展望[J].中国沙漠,2009,29(4):728-733.
- [4]张瑞军,何清,孔丹,等.近几年国内沙尘暴研究的初步评述[J].干旱气象,2007,25(3):88-94.
- [5]任朝霞,杨达源.西北干旱区近50年气候变化特征与趋势[J].地球科学与环境学报,2007,29(1):99-102.
- [6]王劲松,李耀辉,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.
- [7]程鹏,李光林,刘抗,等.河西走廊一次区域性大风强沙尘暴天气诊断[J].干旱气象,2009,27(3):245-249.
- [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].气象科技,2007,35(1):101-106.
- [9]申红喜,李秀连,石步鸿.北京地区两次沙尘(暴)天气过程对比分析[J].气象,2004,30(2):12-16.
- [10]王雁鹏,陈岩,殷惠民,等.中国北方沙尘天气气象场的数值模拟[J].干旱气象,2007,25(4):12-17.
- [11]王建鹏,沈桐立,刘小英,等.西北地区一次沙尘暴过程的诊断分析及地形影响的模拟试验[J].高原气象,2006,25(2):259-267.
- [12]牛生杰,章澄昌.贺兰山地区沙尘暴沙尘起动和垂直输送物理因子的综合研究[J].气象学报,2002,60(2):194-204.
- [13]钱莉,杨永龙,殷玉春,等.一次飑线引发的大风强沙尘暴诊断分析[J].气象,2009,35(3):42-48.
- [14]姜学恭,沈建国.内蒙古两类持续型沙尘暴的天气特征[J].气候与环境研究,2006,11(6):509-513.
- [15]贺哲.2006年3月末河南一次沙尘暴过程的天气成因分析[J].气象,2012,38(8):932-942.
- [16]钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2):106-111.
- [17]方宗义,王炜.2002年我国沙尘暴的若干特征分析[J].应用气象学报,2003,14(5):513-521.
- [18]邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001,56(3):316-322.
- [19]王式功,王金艳,周自江,等.中国沙尘天气的区域特征[J].地理学报,2003,58(2):193-200.
- [20]张冲,赵景波.我国西北近50年春季沙尘暴活动的变化与气候

- 因子相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8):129-132.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 陆慧娟, 高守亭. 螺旋度及螺旋度方程的讨论[J]. 气象学报, 2003, 61(6):684-691.
- [24] 李岩瑛, 张强, 李耀辉, 等. 水平螺旋度与沙尘暴的动力学关系研究[J]. 地球物理学报, 2008, 51(3):692-703.
- [25] 姚学祥. 天气预报技术与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 262-263.

## Cause Analysis of a Sandstorm Process in 2013 Spring

Wu Wei<sup>1</sup>, Gu Jiajia<sup>2</sup>, Niu Shuzhen<sup>3</sup>

(1. Zhumadian Meteorological Office, Zhumadian 463000, China;  
 2. Luohe Meteorological Office, Luohe 462300, China;  
 3. Henan Provincial Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** By use of the conventional observation data and NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  grid reanalysis data, the weather cause for the large scale sandstorm process in northern occurred in the spring of 2013 is analyzed. The results showed that the dust weather was caused by the cold air from the supplement in the low press trough along with the cold front of the surface in the climate background of scarce precipitation, surface porosity and high temperature. Strong cold air invasion from the northwest path, Mongolian cyclone development, with the pressure gradient zone caused by the cold air, provided good conditions for the generation of the wind. The dramatic changes in the surface meteorological elements often ahead of the outbreak of the sandstorms could be used as an important basis for the forecasting of the sandstorms. Strong upward motion and low-level convergence, upper-level divergence configuration, provided the impetus for the sand conditions. The helicity in the sandstorm district was high-lever negative and low-lever positive. The positive helicity in the middle-low center area and sandstorms had better consistency. The transformation between warm and cold advection changed the ground pressure and transformer wind was generated, the vertical airflow movement near frontal resulted by increased wind, was easy to blow up sand and dust in the ground.

**Key words:** sandstorm; strong cold air; cause analysis; dynamic and thermodynamic characteristics