

文章编号:1005-8656(2014)05-0016-04

# 2010 年内蒙古中西部地区一次强沙尘暴的天气分析

杨彩云

(呼和浩特市气象局,内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要** 文章对 2010 年 3 月 19 日发生在内蒙古中西部地区的一次强沙尘暴天气进行了分析,结果表明,此次强沙尘暴是北路强冷空气引发的锋后西北大风沙尘暴天气过程,不断加强的蒙古冷高压和地面冷锋入侵是沙尘暴爆发的动力机制,强烈地上升运动和暖平流使得沙尘暴发生前内蒙古中西部地区上空积累了大量的不稳定能量,高空冷平流的侵扰促使不稳定能量释放,沙尘天气爆发。此外,高空急流的维持促使低层风速明显加大,有利于沙尘天气发展。沙尘暴发生前在对流层中层出现了逆温层,伴随着沙尘暴的发展,对流层中低层形成了深厚的混合层。沙尘天气结束后,大气层结趋于稳定。

**关键词** 沙尘暴;环流形势;高空急流;大气层结

中图分类号:P458.1+23 文献标识码:A

## 引言

内蒙古地区的春季是沙尘天气的频发期,给农牧业生产、生态环境以及人们的生活带来极大的危害。杨根生<sup>[1]</sup>指出,沙尘暴的形成需要三个基本条件:一是大风,二是裸露的沙尘物质,三是不稳定的空气层。其中,风是动力条件,沙尘源是物质基础,不稳定空气是重要的热力条件。唐国利等<sup>[2]</sup>的研究指出:沙尘暴主要分布于 100°E 以西和长江以北的大部分地区,其中频数较高的区域主要集中在内蒙古中西部、新疆大部、甘肃、宁夏和青藏高原等地区。陆政等<sup>[3]</sup>对中国北方沙尘暴与气象要素的关系研究表明,沙尘暴日数与地面大风日数和大风修正指数存在明显的正相关关系。牛生杰等<sup>[4]</sup>、王鹏祥等<sup>[5]</sup>通过风蚀观测得到的贺兰山、盐池地区起沙风速均为  $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。张立功等<sup>[6]</sup>指出大风是沙尘暴形成的必要动力条件,不稳定的大气环流是沙尘暴形成的必要热力条件。

## 1 沙尘天气实况

2010 年 3 月 19—20 日出现的沙尘暴天气是这一年我国北方地区遭受的强度最强、影响范围最广的一次过程。据气象卫星遥感资料显示,此次沙尘暴起源于蒙古国。3 月 19 日清晨,我国南疆盆地东部、甘肃河西走廊和内蒙古西部阿拉善盟的部分地区首先出现沙尘天气,此后,沙尘暴向东扩散,强度逐渐增强,宁夏北部、陕西北部及内蒙古中西部地区相继出现沙尘天气,其中巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、包头市、呼和浩特市、集宁市的部分地区发生沙尘暴,能见度低于 1000m,局部地区发生强沙尘暴,能见度低于 500m。20 日清晨,沙尘天气扩散到华北地区,京津出现明显浮尘天气,局部地区强度较大,此

后,沙尘天气向南波及到河南、山东及长江流域。

## 2 环流背景分析

### 2.1 高空环流特征

此次天气过程是北路强冷空气引发的锋后西北大风沙尘暴天气过程。分析北半球 500hPa 高空图可以发现,沙尘暴发生前 18 日 20 时(图 1),欧亚大陆为两槽一脊,新疆北部为一短波槽,低槽前部内蒙古中西部地区处于暖高脊中,整个槽脊系统较等高线分布较为密集,温、压场呈反位相叠加。实况监测显示,此时蒙古国中南部已经出现了沙尘天气,大风区位于我国新疆及其以北地区。到 19 日 20 时(图 2),短波槽东移至内蒙古中西部地区,强烈的高空锋区向东南方向发展,大风、沙尘暴天气发展到了我区中西部大部地区。

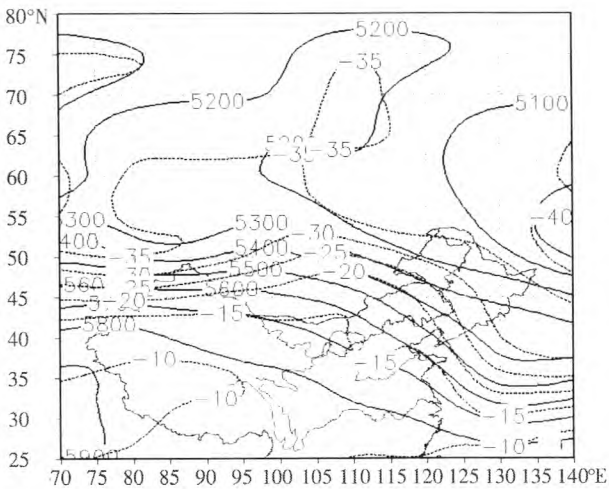


图 1 18 日 20 时 500hPa 温、压场配置  
(——等高线,单位:m;- - 等温线,单位: $^{\circ}\text{C}\cdot 10^{-1}$ )

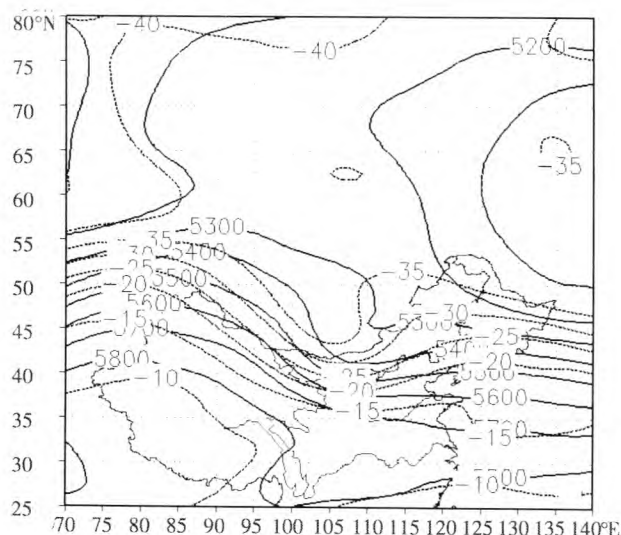


图2 19日20时500hPa温、压场配置

(—等高线,单位:m;- -等温线,单位: $K \cdot 10^{-1}$ )

## 2.2 冷锋与地面大风

王式功等<sup>[7]</sup>、钱正安等<sup>[8]</sup>研究指出,影响我国的沙尘暴的移动路径主要有三条,分别为西路、西北路、北路。通过分析得出“2010.03.19”强沙尘暴属于北路强冷空气引发的锋后西北大风沙尘暴。3月18日,整个地面系统呈现出东低西高的形势,高压系统发展非常强盛,中心气压值为1037.5hPa,高低压中心之间气压梯度很大(图略)。通过分析地面冷锋发现,沙尘天气恰好出现在冷锋后部的西北大风区域中。19日20时冷锋移动到125°E附近,冷锋后均出现地面大风。地面大风是影响沙尘暴的最为关键的因素。地面大风导致地面起沙,是沙尘暴形成的基础。通过对沙尘暴出现区域及地面大风区域的对比发现,本次天气过程中二者有着非常吻合的对应关系(图略)。冷锋发展增强的同时,在冷锋后形成地面大风,大风随着冷锋东移,扫过具备地面起沙条件的沙尘源区,引起沙尘暴。

## 3 物理量场诊断

### 3.1 动力条件

从沙尘爆发时涡度场的配置可以看到(图3),沙尘暴发生时内蒙古中西部地区辐合中心位于对流层顶,越往下层涡度值越小,这样的配置说明,高层强烈辐合,引起空气堆积,强迫产生下沉气流,动量下传,使地面风速加大,引发沙尘天气。

绘制110°E、41°N垂直速度随时间变化的剖面图(图略),可以看到,从18日14时到19日02时,整层大气维持着垂直上升运动,为暖气流的上升提供了良好的动力条件;19日08时之后,中低层大气开始转变为下沉运动,沙尘天气爆发。

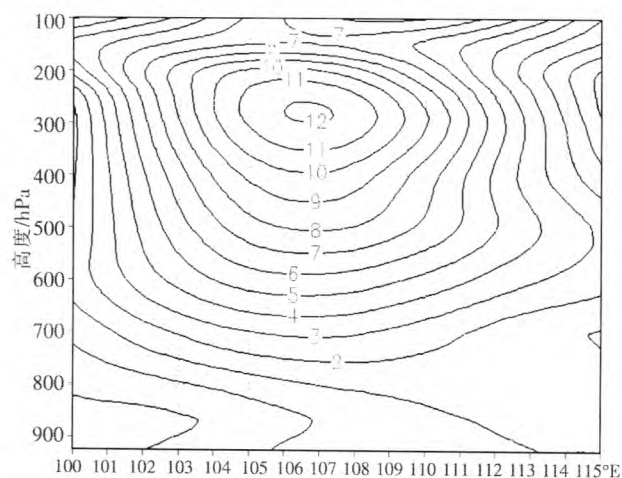


图3 19日20时涡度场垂直剖面图

### 3.2 热力条件

温度平流时间剖面图(见图4)显示,沙尘爆发前期18日08时到19日08时我区中西部地区整层大气基本处于暖平流区。暖平流使得上空积累了大量的不稳定能量,一旦有冷空气扰动,不稳定能量会瞬时爆发。19日08时之后,我区西部200hPa处开始有冷平流侵扰,随后冷平流逐渐占据我区中西部上空。高空强烈冷平流激发高空动量下传,使地面风速加大,引发沙尘天气。

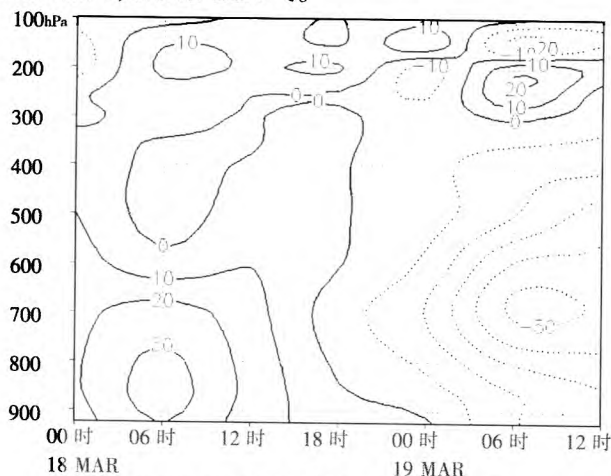


图4 2010年3月18—19日温度平流时间剖面图

### 4 高空急流与沙尘暴

分析沿强沙尘暴中心所在经度(110°E)作垂直环流的高度—纬度剖面图(见图5)。可以看出,沙尘暴发生期间(19日20时),45°N上空,从200hPa有明显的急流下传到850hPa附近,整个急流轴随高度向北倾斜,这支高空急流的维持、南压,对沙尘暴发生起到非常重要的作用。包括两方面,一方面为低层大气的加速运动提供动量,高空急流是一支高速风带,蕴含着巨大的能量,并且能量主要集中在急流轴附近,当高空强冷平流引起动量下传时,高空急流的动量就会传递到低层,使低层风速明显加大。分析19日20时200hPa高空急流和地面观测资料可

知:高空急流区与地面大风区以及沙尘暴出现区域三者的垂直位置基本吻合,说明:高空急流可以使地面风速明显加大,而地面大风又是导致沙尘暴发生的动力条件,因此高空急流的形成是诱发沙尘暴的一个重要因子。

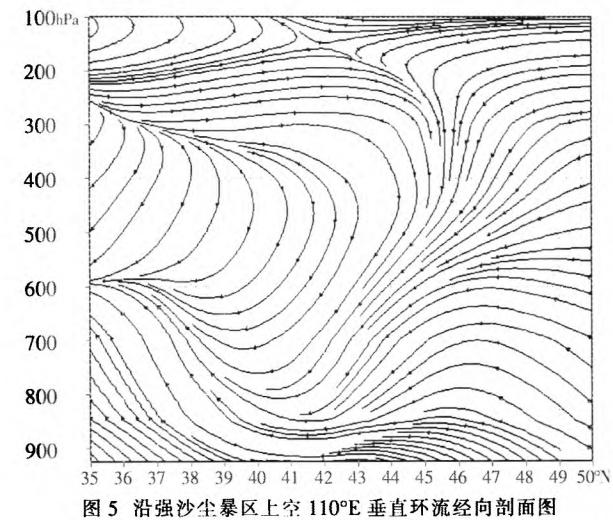


图5 沿强沙尘暴区上空110°E垂直环流经向剖面图

从呼和浩特高空风随时间变化也能得到:19日20时高空急流加强,呼和浩特上空等风速线自急流中心不断向下伸展,动能下传,下层西风气流加大,此时地面风速加大到 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。另一方面,此次沙尘暴期间内蒙古中西部地区处于高空急流出口区右侧,即急流出口区下沉支区域,高空急流出口区次级环流下沉支能够导致对流层高层动量下传,而动量下传直接导致地面风速加强,引发沙尘天气。此时地面冷锋的位置已东移到 $125^{\circ}\text{E}$ 附近,即高空急流下沉支落在地面冷锋后,与锋面次级环流的下沉气流叠置,进一步加强了我区中西部地区的大风、沙尘

暴天气。

5 沙尘暴天气层结条件分析

大气层结条件是影响沙尘暴发生发展的主要热力因素。分析表征大气层结稳定度的三个物理量,位温( $\theta$ )、假相当位温( $\theta_e$ )与饱和假相当位温( $\theta_{se}$ )的垂直分布特征,揭示沙尘天气从发生前(19日08时)、发展中(19日20时)到结束后(20日08时)大气层结稳定度的变化。本文选取53336站作探空资料分析,由于探空时次限制,只做08时和20时的分析。

沙尘暴发生前(见图6a)550~500hPa高度层内,出现了逆温层,逆温层的出现使大气低层内部储存能量,当受到中高空冷平流的触发,不稳定能量释放,产生深厚的对流,由于大气相对湿度小,没有水汽输送,因此只有干对流产生,即沙尘暴天气。到19日20时(见图6b)沙尘暴发展增强阶段 $\theta$ 和 $\theta_{se}$ 线在500hPa以下距离接近, $\theta_{se}$ 和 $\theta_e$ 之间距离较大,表明低层大气较为干燥;500hPa以下 $\theta$ 和 $\theta_{se}$ 几乎垂直于横坐标,表明大气层结非常接近绝热状态,并且这种层结延续到500hPa等压面高度<sup>[9]</sup>,即在对流层中低层形成了非常深厚的中性层结—混合层,由于中性层结能够减小气块抬升所需的能量,因而有利于干对流产生。姜学恭<sup>[10]</sup>和赵琳娜<sup>[11]</sup>的研究中均发现我国北方沙尘暴过程触发前,混合层是一种较为普遍的层结形态。而本次沙尘天气个例中,沙尘暴发生前,在对流层中层出现了逆温层;伴随着沙尘暴的发展增强,对流层中低层形成了深厚的混合层。沙尘天气结束后(见图6c),大气层结趋于稳定; $\theta_{se}$ 和 $\theta_e$ 非常接近,整层大气的湿度有了很大增加,53336站在20日02时还出现了微量降水。

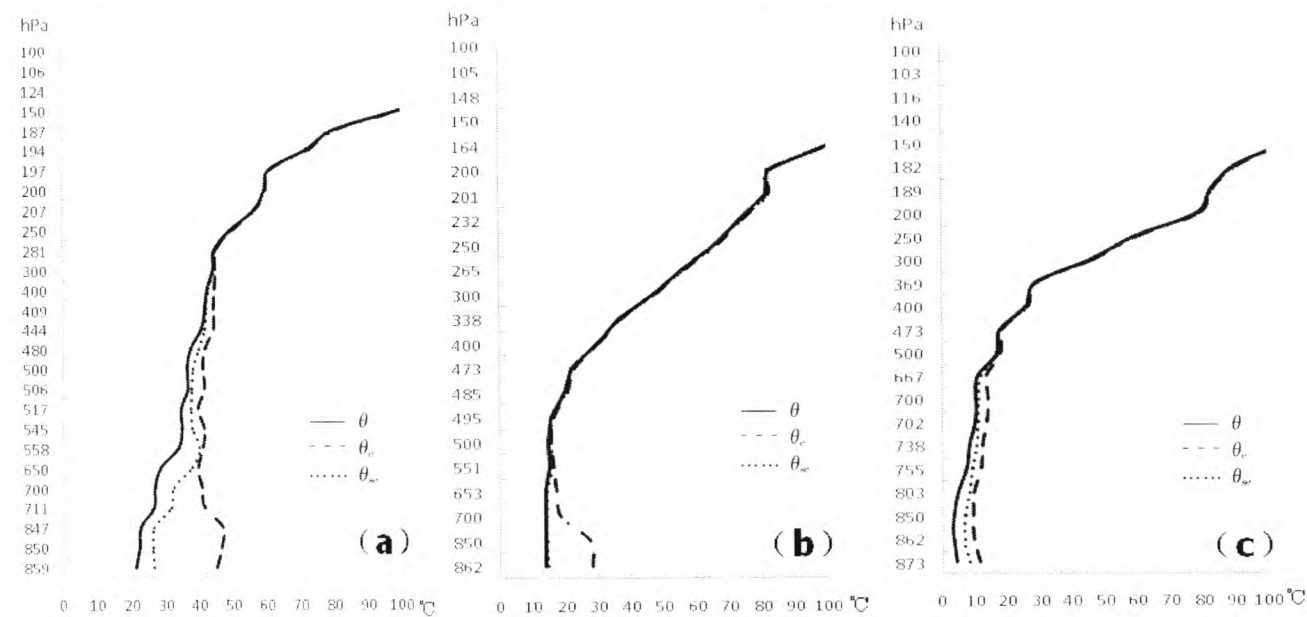


图6 19日08时(a)、20时(b)、20日08时(c) $\theta$ 、 $\theta_e$ 和 $\theta_{se}$ 垂直分布廓线

6 小结

- (1)2010年3月19日的沙尘暴是一次由北路冷空气引发的锋后西北大风天气过程,不断加强的蒙古冷高压和地面冷锋入侵是沙尘暴爆发的动力机制。
- (2)涡度、垂直速度的调整说明,沙尘天气爆发前期,整层大气为上升运动,为干暖气流的上升提供了有利条件;下沉运动是沙尘天气发生、发展的动力条件。
- (3)沙尘发生前,暖平流使得上空积累了大量的不稳定能量,为沙尘天气的发生提供了有利的热力条件;冷平流有利于动量下传,引起地面大风,导致沙尘暴。
- (4)高空急流的动量下传以及其下沉支与锋面次级环流的下沉支叠置,导致对流层中下部锋区加强,使低层风速明显加大,有利于沙尘天气发展。
- (5)大气层结条件是影响沙尘暴发生发展的主要热力因素。通过对53336站“3θ”垂直廓线的分析,得出本次沙尘暴发生前,在对流层中层出现了逆温层;伴随着沙尘暴的发展增强,对流层中低层形成了深厚的混合层。沙尘天气结束后,大气层结趋于稳定。

参考文献

[1]杨根生.我国西北地区沙尘暴[J].科学对社会的影响,2000(4):37-41.

[2]唐国利,巢清尘.近48年中国沙尘暴的时空分布特征及其变化[J].应用气象学报,2005,16(Z1):128-132.

[3]陆政,刘凑华.中国北方沙尘暴与气象要素关系的初步研究[J].气象,2006,32(9):35-41.

[4]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.

[5]王鹏祥,孙兰东,岳平,等.盐池地区沙尘暴期间风沙运动若干特征研究[J].中国沙漠,2007,27(6):1077-1079.

[6]张立功,薛万孝,许霞.西北沙尘暴的成因探讨和防治对策[J].资源环境与发展,2007(1):14-23.

[7]王式功,杨德保,金炯,等.我国西北地区黑风暴的成因和对策[J].中国沙漠,1995(15):19-30.

[8]钱正安,蔡英,刘景涛,等.中国北方沙尘暴研究的若干进展[J].干旱区资源与环境,2004(s1):1-8.

[9]章东华.螺旋度——预报强风暴的风场参数[J].气象,1993,19(8):46-48.

[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):606-619.

[11]赵琳娜,赵思雄.一次引发华北和北京沙尘暴天气的快速发展气旋的诊断研究[J].大气科学,2004,28(5):722-735.

Weather Analysis on a Server Sand-dust Storm in 2010 in Central and Western Regions of Inner Mongolia

Yang Caiyun

(Hohhot Meteorological Bureau, Inner Mongolia Hohhot 010020)

**Abstract** The paper analyzed the server sandstorm occurred in central and western Inner Mongolia on Mar 19, 2010. The results showed that the server sand-dust storm occurred by the northwest wind behind the cold front. The dynamic mechanism of the server sand-dust storm was the strengthening of Mongolian cold anticyclone and the invasion of the ground cold front. Before the sand-dust storm broke out, the upward movement and warm advection made the sand-dust storm gather abundant unstable energy in the central and western Inner Mongolia. The invading and harassing of high altitude cold advection promoted the release of unstable energy and the sand-dust storm weather outbreak. The maintaining of upper jet stream prompted the low-level wind speed increased, and sand-dust storm development. The inversion layer appeared in the middle troposphere before sandstorm happened. Following the sand-dust storm, the deep mixed layer formed in the middle and low troposphere. After the sand-dust storm, the atmospheric stratification tends to be stable.

**Key Words** sand-dust storm; circulation situation; upper jet stream; atmospheric stratification