

200 hPa 高空急流与宁夏春季沙尘暴过程的特征分析

陈晓光¹, 纪晓玲^{1,2}, 刘庆军², 刘建军¹, 胡文东^{1,2}

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 利用 NCAR/NCEP 全球再分析资料, 首先分析了 1955 年到 2003 年宁夏春季沙尘暴过程与 200 hPa 急流的关系, 发现 2 月、3 月 200 hPa 的 U 、 V 风场与宁夏春季沙尘暴关系密切。然后对 1970—1999 年 66 次宁夏强和特强沙尘暴过程发生前 200 hPa 急流的演变情况进行了分析, 结果表明: 宁夏强和特强沙尘暴过程发生前后, 高空急流主要表现为 3 种类型: 一是西风急流型; 二是副热带急流型; 三是西风急流与副热带急流振荡合并型。最后以 2001 年 4 月 8 日宁夏特强沙尘暴天气过程为例, 对其发生前后高空急流演变与沙尘暴落区、垂直环流特征及其对沙尘暴的作用进行了分析和探讨, 得到了一些新的启示。

关键词: 高空急流; 沙尘暴过程; 相关分析; 春季

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

沙尘暴天气是在特定的地理环境和气候条件下形成的一种特殊的灾害性天气现象。它所引发的大气气候变化和生态环境问题、社会问题以及对经济社会造成的重大损失等, 已经得到全社会的高度关注, 并相继开展了大量的研究工作, 取得了较大进展。这些研究涉及沙尘暴的气候特征^[1~6]、变化趋势^[7~10]、形成机制^[11,12]、成灾规律及沙尘暴灾害的防治^[13~17]、气象要素变化^[18]、环流特征^[19,20]、区域性强沙尘暴短期预报^[21]等。这些成果的取得, 对沙尘暴天气过程预报预警及防灾减灾、保护生态环境起到了积极地推动作用。

由于沙尘暴发生时受多种因素的制约和影响, 需要从多方面了解沙尘暴形成的物理机制以及沙尘暴与多种因素之间的关系, 为预报和防治沙尘暴提供科学依据。宁夏作为我国沙漠化比较严重、沙尘天气发生频率较高的地区之一, 沙尘暴天气具有明显的时空分布特点。本文根据宁夏沙尘暴天气季节分布特点, 通过对 1955 年到 2003 年宁夏春季沙尘暴过程与高空急流的关系, 宁夏强和特强沙尘暴过程发生前高空急流演变特征, 以及高空急流与沙尘暴落区的对应关系等方面进行深入分析和探讨, 以期提高沙尘暴过程的预报能力和水平。

1 资料和方法

使用的资料为 1955 年到 2003 年 NCAR/

NCEP 月平均全球再分析资料和 NCAR/NCEP 逐日全球再分析资料。宁夏沙尘暴过程是根据文献^[22]的划分标准确定的。并以 1970 年至 1999 年宁夏 66 次强和特强沙尘暴过程为研究对象, 对其发生前 36 h、24 h、12 h、0 h 各时刻的 200 hPa U 场进行了普查和分析。其中, 0 h、12 h、24 h、36 h 分别指沙尘暴过程发生当日 08 时、发生前一日 20 时、发生前一日 08 时、发生前两日 20 时。

2 高空急流与沙尘暴过程的相关分析

从 1955—2003 年, 宁夏春季的沙尘暴天气过程占全年的 62%, 而春季 4 月份的沙尘暴过程最多。因此, 我们利用 1955 ~ 2003 年 2 月、3 月的 NCAR/NCEP 月平均再分析资料, 计算了 200 hPa 的 U 、 V 月平均场与宁夏 4 月沙尘暴过程的相关场。图 1 中相关场的数值扩大了 10 倍, 当信度水平取 0.05 和 0.01 时, 相关系数的临界值分别为 2.846 和 3.685。

图 1 中 a、b 是 2 月、3 月 U 平均场与 4 月宁夏沙尘暴过程序列的相关场。由图 1 中 a 可以看出, 有 3 个负相关中心, 分别位于新西伯利亚、里海和我国东海, 在蒙古国和我国的云贵高原有 2 个正相关中心。其中, 新西伯利亚相关场的信度水平超过了 0.01, 蒙古国和云贵高原的相关场信度水平超过了 0.05。从

天气学角度来看,这种相关场实际上反映的是宁夏沙尘暴爆发前期在新西伯利亚和蒙古国之间要有很强的低值系统,为沙尘暴爆发提供必备的冷空气条件。到了3月份(图1中b),原在新西伯利亚的负相关区减弱,云贵高原正相关区逐渐被负相关区所替代,从

里海、新疆北疆到蒙古国是大片的正相关区,相关中心位于北疆附近,信度水平超过了0.01。这说明不断有暖空气从云贵高原向北伸展,西风气流增强,范围扩大,意味着新疆附近要有强反气旋环流系统,才能为北部冷空气东移南压创造有利条件。

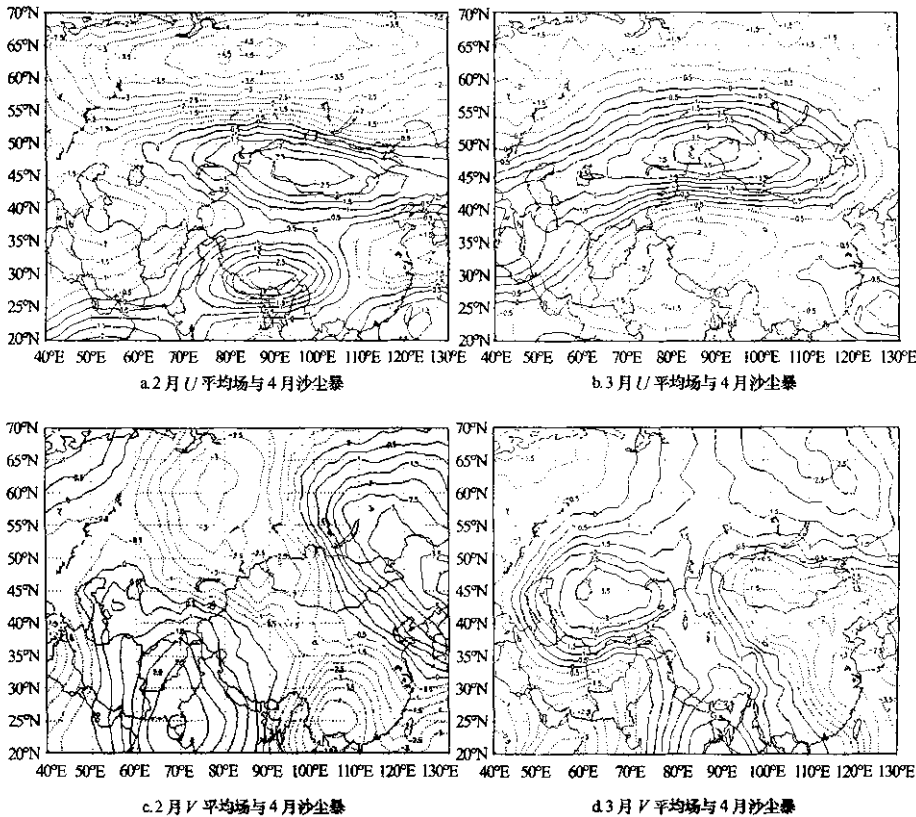


图1 200 hPa 急流与宁夏沙尘暴过程的相关场

Fig. 1 Correlation between 200 hPa jet and sandstorm in Ningxia

分析表明,2月份在新西伯利亚的东风和蒙古国、云贵高原上的西风越强,3月份在云贵高原上的东风和里海、北疆到蒙古国的西风越强时,4月份宁夏出现沙尘暴过程的次数就越多。

图1中c、d是2月、3月V平均场与4月宁夏沙尘暴过程的相关场。由图1中c可见,从我国东北到贝加尔湖是信度水平超过了0.01的正相关区,在新西伯利亚是信度水平超过了0.05的负相关区,在印度和我国华南还有一对正负相关区,它们的置信度水平也超过了0.05和0.01。从天气学角度来看,从印度到帕米尔高原和我国东北到贝加尔湖的大片正相关区,反映出这些地区有较强的南风将暖空气向北输送,而新西伯利亚至我国华南一带的负相关区说明有向南的冷空气输送,正负相关程度越大,说明新西伯利亚至中亚冷槽越深,冷空气越强,越有利于沙尘暴过程的爆发。3月份(图1中d)我国东部地区被负相关区所覆盖,范围较大,并向北伸展,威海至巴尔喀什湖附近是信度水平超过了0.01的正相关区,说明我

国东部地区北风越强,东亚槽越深,而威海至巴尔喀什湖附近有很强的南风使新疆高脊维持和发展,河西走廊以东地区处在脊前较强的西北气流里,这种形势越明显4月份宁夏沙尘暴过程次数就越多。

分析表明,2月份在新西伯利亚至我国华南一带的北风和我国东北至贝加尔湖、印度的南风越强,3月份在我国东部的北风和威海至巴尔喀什湖附近的南风越强时,4月份宁夏出现沙尘暴过程的次数就越多。

从2月、3月200 hPa这种相关分布特征来看,为宁夏沙尘暴过程的预测预报提供了超前征兆和着眼点。

4月份(图略),高层U、V月平均场与宁夏同期沙尘暴过程的相关程度逐渐减小,但中底层表现更清楚一些。这一点完全符合天气学特点。

3 沙尘暴过程期间高空急流的演变特征

为了进一步深入研究高空西风急流与宁夏沙尘暴过程的关系,我们对1970年至1999年宁夏66次

强和特强沙尘暴过程发生前不同时刻的 200hPa 高空 U 场进行普查分析,发现宁夏强和特强沙尘暴过程发生前,均有高空急流存在,主要表现为三种方式:西风急流型、副热带急流型、西风急流与副热带急流振荡合并型。其中,西风急流型 25 次,占总次数的 37.9%;副热带急流型 23 次,占总次数的 34.8%;西风急流与副热带急流振荡合并型 18 次,占总次数的 27.3%。

图 2 为 3 种不同高空急流类型、春季典型沙尘暴过程发生当日 200 hPa 高空 U 场 0 h 合成图(图中十字标记为宁夏所在地)。

3.1 西风急流型

沙尘暴发生前 36 h,一般在 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $50^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 范围内有东西向急流轴东移南压,急流轴在 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 附近摆动,急流轴中心风速往往大于 $35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。由于西风急流移动路径不同,沙尘暴发生当日 0 h 场,西风急流一般呈东北西南向或东西向控制蒙新一带,急流在东移南压过程中强度有所增大,宁夏位于急流轴右侧 $35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上风速的范围区内,距中心轴约 3~10 个纬距(图 2 中 a)。

3.2 副热带急流型

沙尘暴发生前 36 h~0 h,在 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 80°E 以东一般维持有一支较强的副热带西风急流,急流轴在 $25^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 附近摆动,急流轴中心风速往往大于 $45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,副热带西风急流或是缓慢西伸北抬,或者只是北抬。沙尘暴发生当日 0 h 场,宁夏位于这支副热带西风急流轴左后侧急流区里,风速在 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,距副热带急流轴约 3~10 个纬距(图 2 中 b)。

3.3 西风急流与副热带急流振荡合并型

沙尘暴发生前 36 h,在 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 有一支西风急流带,同时在 90°E 以东, 40°N 以南有一支副热带急流区。随着北支西风急流东移南下,副热带西风急流缓慢西伸北抬,这两支急流在我国西北地区逐渐振荡合并。从 0 h 场来看,宁夏一般位于北支西风急流右前侧与副热带西风急流左后侧交界区域,风速在 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或以上,距北支西风急流轴约 5~10 个纬距(图 2 中 c)。

4 高空急流演变与沙尘暴落区的关系

由上述分析可知,宁夏强和特强沙尘暴过程在 200 hPa 都伴有高空急流。我们以 2001 年 4 月 8 日宁夏出

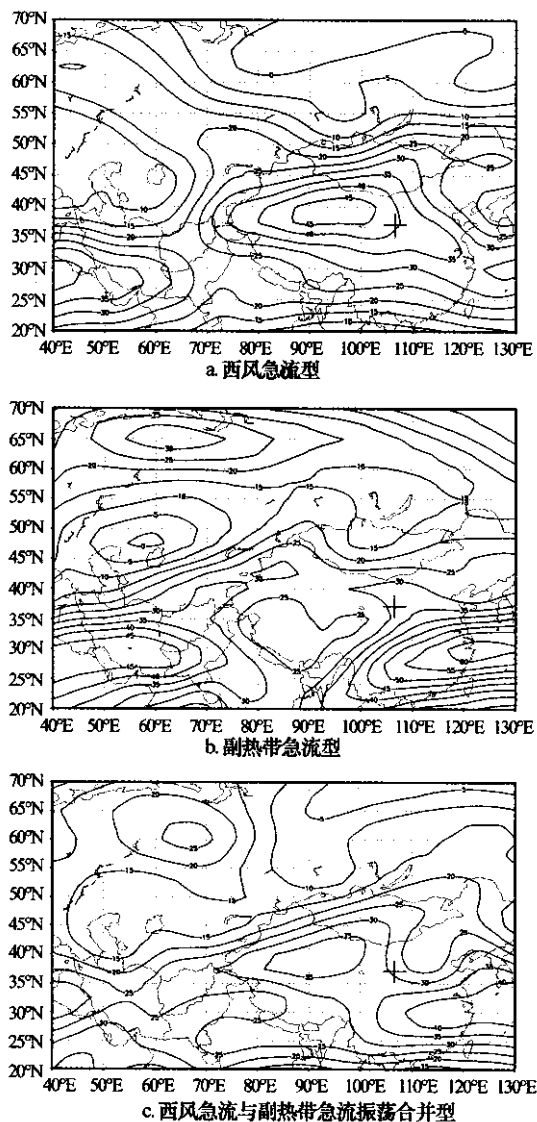


图 2 沙尘暴发生时三种高空急流类型

Fig. 2 Three types of high jet

现的一次特强沙尘暴天气过程为例,进一步研究高空急流的垂直环流特征以及与沙尘暴落区的关系。

这是一次比较典型的西风急流与副热带急流振荡合并爆发的沙尘暴天气过程。4 月 7 日 08 时 200 hPa 高空有两支急流,一支位于 $37^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{N}$ 之间,急流轴位于 42°N 附近,中心风速为 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,另一支位于 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间,急流轴位于 27°N 附近,中心风速为 $55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

4 月 8 日 08 时(图 3 中 a),北支西风急流轴南压至 40°N 附近,略呈东北西南向,副热带急流轴北抬至 28°N 附近,两支西风急流在我国西北地区东部汇合。两支急流中心强度分别增大到 $50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $60\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,急流中心不断向低层伸展,动量不断下传。由图 3 中 b 可见,两支急流的 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 等风速线分别向下伸展至 630 hPa、590 hPa 左右。宁夏位于北支

西风急流南侧、副热带西风急流北侧, 距离北支西风急流轴约 3~5 个纬距, 风速在 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。

图 3 中 c 给出了同时刻散度场的分布。沿 40°N 线、 $85^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 西风急流入口区, 空气质点加速, 两侧散度场表现为北负南正, 即北侧辐合, 南侧辐散。由质量连续原理可知^[23], 急流低层必然出现

与高空相反的辐合辐散配置, 高层的辐合使低层北侧出现下沉气流, 使得地面高压加强, 而高层的辐散必然使低层南侧出现上升气流有利于减压, 引起地面气旋发生发展。而地面高压的加强和气旋的发展, 使得高、低压之间的压温梯度增强, 地面风力加大, 使地面沙尘有足够的动力抬升悬浮于空中。

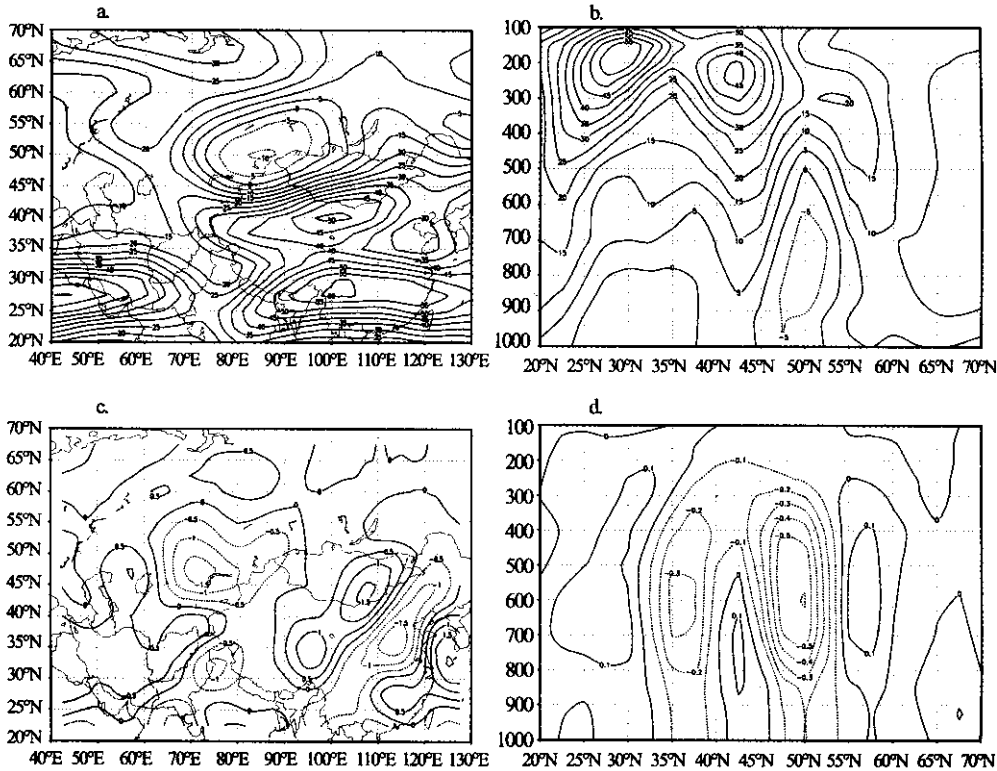


图 3 2001 年 4 月 8 日 08 时 200 hPa 高空 U 分量(a)、沿 105°E 的 U 垂直剖面(b)、散度(c)和垂直速度剖面(d)

Fig. 3 The U field at 200 hPa(a), U vertical cross-section along 105°E (b), divergence(c) and vertical velocity(d) at 08:00 of April 8, 2001

而在高空西风急流出口区则相反, 空气质点减速, 两侧散度场为北正南负(图 3 中 c), 即北侧辐散, 南侧辐合, 其低层北侧必然为上升气流, 南侧为下沉气流。对应同时刻垂直速度剖面图(图 3 中 d), 在西风急流出口区低层, 北侧表现为上升气流, 上升运动区域位于 $46^{\circ}\sim 54^{\circ}\text{N}$ 之间, 最大上升速度位于 600 hPa, 达 $-0.6\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 南侧为下沉气流, 下沉运动区域位于 $40^{\circ}\text{N}\sim 46^{\circ}\text{N}$ 之间, 最大下沉速度为 $0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

随着西风急流的东移南压, 4 月 8 日我国新疆、青海、甘肃、宁夏等地先后出现强沙尘暴。强沙尘暴区出现在高空西风急流右前侧。

在本例中, 高空西风急流在东移南压过程中与西伸北抬的副热带急流发生振荡合并, 有利于急流的增强和高空动量向下传递^[24], 也使得西风急流出口区南侧与副热带西风急流北侧的辐合上升支相互叠加, 加剧了上升运动和抽吸效应, 使对流层中下层锋区加强和大气层结不稳定加剧, 有利于沙尘暴天气的发生。

5 小结

(1) 2 月、3 月, 在对流层上层, 当新西伯利亚(北疆到蒙古国)U 月平均场与 4 月宁夏沙尘暴过程呈负(正)相关时, 相关值越大, 4 月宁夏发生沙尘暴的次数越多。当咸海到巴尔喀什湖的南风越强, 我国中东部地区的北风越强, 东亚大槽的位置越偏西时, 宁夏春季沙尘暴过程的次数越多。

(2) 宁夏强和特强沙尘暴天气过程发生时, 一般均有高空急流存在。表现为三种类型: 一是高空西风急流型, 宁夏位于高空西风急流出口区的右侧; 二是高空副热带急流型, 宁夏位于副热带高空急流入口区的左侧; 三是高空西风急流与副热带急流振荡合并型, 宁夏位于高空副热带急流入口区的左侧与西风急流出口区右侧相交区域。

(3) 沙尘暴区一般距高空急流轴约 3~10 个纬距, 宁夏位于高空急流大于 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等风速线

区域内。

(4) 高空西风急流入口区两侧的散度场表现为北负南正,即南侧辐散,北侧辐合,有利于地面高压的加强和气旋的发展。西风急流出口区相反,即为南侧辐合,北侧辐散,其低层的北侧为辐合上升,南侧为辐散下沉。强沙尘暴区一般出现在高空西风急流出口区右前侧。

(5) 西风急流与副热带急流的振荡合并,使西风急流右前侧与副热带急流左后侧的两支辐合上升气流相互叠加,加剧了上升运动和抽吸效应,有利于急流轴以下的风速加大和高空动量下传,为沙尘暴天气的发生发展提供了强有力的动力条件。

参考文献 (References):

[1] 周自江,王锡稳,牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征分析[J]. 应用气象学报,2002,13(2):193—200.

[2] 李栋梁,钟海玲,魏丽,等. 中国北方沙尘暴日数的气候特征及对春季地面感热的响应[J]. 高原气象,2003,22(4):420—427.

[3] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和各例谱及其统计特征[A]. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1997. 1—10.

[4] 刘立超,安兴琴,李新荣,等. 宁夏盐池沙尘暴特征分析[J]. 中国沙漠,2003,23(1):33—37.

[5] 周自江,章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954—2002 年)[J]. 科学通报,2003,48(11):1224—1228.

[6] 方宗义,王伟. 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.

[7] 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.

[8] 丁瑞强,王式功,尚可政,等. 近 45a 我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J]. 中国沙漠,2003,23(3):306—310.

[9] 牛生杰,孙继明,桑建仁. 贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势[J]. 中国沙漠,2000,20(1):55—58.

[10] 陈楠、陈豫英. 宁夏近 40 年大风、沙尘天气变化趋势[A]. 中国气象局预测减灾司主编. 沙尘暴监测预警服务研究[C]. 北京:气象出版社,2002. 421.

[11] 张玉林,赵光平,杨淑萍. 宁夏强沙尘暴形成机制的探索和研究[J]. 中国沙漠,1996,16(4):352—355.

[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—203.

[13] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报,2000,55(5):513—521.

[14] 王涛. 西部大开发中的沙漠化研究及其灾害防治[J]. 中国沙漠,2000,20(4):345—348.

[15] 王涛,陈广庭,钱正安,等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠,2001(4):322—327.

[16] 赵光平,郑广芬,王卫东. 宁夏特强沙尘暴气候背景及其成灾规律研究[J]. 中国沙漠,2003,23(4):420—427.

[17] 赵光平,王连喜,杨淑萍. 宁夏强沙尘暴生态调控对策的初步研究[J]. 中国沙漠,2000,20(4):448—450.

[18] 常兆丰,梁从虎,韩福贵,等. 民勤沙区沙尘暴的分布特征及前期特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2002,16(2):107—112.

[19] 陈晓光,赵光平,郑广芬,等. 宁夏春季典型沙尘暴年环流特征量分析[J]. 中国沙漠,2004,23(6):642—645.

[20] 赵光平,陈楠,杨建玲,等. 环流及冷空气类型与宁夏沙尘暴落区的对应关系[J]. 中国沙漠,2003,23(6):642—645.

[21] 赵光平,王连喜,杨淑萍. 宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统简介[A]. 中国气象局预测减灾司主编. 沙尘暴监测预警服务研究[C]. 北京:气象出版社,2002. 245—248.

[22] 陈晓光,刘庆军,张智,等. 宁夏与甘肃沙尘暴过程的时空分布对比研究[J]. 干旱气象,2004,22(2):1—5.

[23] 寿绍文,励申申,姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社,2003. 235—239.

[24] 尹树新,赵亚贤. 西风急流异变对“5. 5”西北地区沙尘暴的影响[A]. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1996.

Relationship between 200 hPa Jet and Sandstorm during Spring in Ningxia

CHEN Xiao-guang¹, JI Xiao-ling^{1,2}, LIU Qing-jun², LIU Jian-jun¹, HU Wen-dong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)

Abstract: The relationship between 200 hPa jet and sandstorm in Ningxia in spring from 1955 to 2003 was analyzed by using NCAR/NCEP reanalyzed data. Results showed that the U, V fields at 200 hPa in March and April are significant to spring sandstorm in Ningxia. The evolution of 200 hPa jet was studied during 66 cases of severe and very severe sandstorms during 1955—2003 in Ningxia. Results show that there are 3 types of jet pattern: westerly jet, subtropical jet and combination of westerly and subtropical jet. A case study was conducted on a sandstorm event occurred on April 8, 2001. Its jet evolution, vertical circulation and their impact on sandstorm were analyzed and some new clues were concluded.

Key words: high jet; sandstorm; correlation analysis; spring
万方数据