

文章编号:1000-694X(2001)04-0403-04

## 新世纪第一场沙尘暴初探

杨民<sup>1</sup>, 王式功<sup>2\*</sup>, 陶健红<sup>1</sup>, 杨建才<sup>1</sup>, 李文莉<sup>1</sup>

(1. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州大学 大气科学系, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 利用实时和历史常规气象观测资料与大气颗粒物污染监测资料, 从沙尘暴天气实况、天气气候成因和对城市空气污染影响三方面, 对世纪之交发生在我国北方的一次速度较快、强度较大的沙尘暴天气过程做了初步探讨。结果表明: ①大型天气环流系统调整时的上下游效应, 使乌拉尔山高压脊迅速发展东移, 推动西伯利亚的一股较强冷空气南下, 影响我国北方地区, 加之高空急流动量的下传, 是这次沙尘暴天气发生的环流背景和动能基础; ②前朝: 12月我国北方较正常年份温暖干燥, 表层土质干燥疏松, 沙尘源丰富, 这是此次沙尘暴天气发生的物质基础; ③沙尘天气的发生使我国北方城市空气污染雪上加霜, 造成部分城市空气污染异常严重, 大气颗粒物污染浓度增加100%~300%。

**关键词:** 沙尘暴; 天气实况; 天气气候成因; 空气污染

**中图分类号:** P455.4      **文献标识码:** A

一场历史上在严冬季节罕见的强沙尘暴天气与新、旧世纪的更替不期而遇。2000年12月31日到2001年1月1日我国北方中部大部分城市笼罩在朦胧沙尘天气之中, 给当地的工农业生产、交通运输、大气环境质量和人民的日常生活及新世纪的庆祝活动都带来了很大的危害和不便。为此, 本文对此次沙尘暴天气过程概况、天气气候成因及其对我国内部主要城市空气污染的影响做了初步探讨。

### 1 沙尘暴天气过程概况

众所周知, 沙尘暴天气主要发生在春季(约占总数的50%), 冬季发生的则较少, 特别是强沙尘暴更是少见。因此, 在世纪之交的严冬季节(2000年12月31日至2001年1月1日)发生如此大范围的沙尘暴(局部有强沙尘暴)天气是历史上罕见的, 据对有关气象资料的普查分析, 这次沙尘暴是近几十年在严冬季节出现最早最强的沙尘暴。

在此次沙尘天气过程中, 虽然仅甘肃北部、内蒙古中、西部和蒙古国中南部出现了沙尘暴天气, 但大风浮尘天气影响了我国北方大部分地区和华东少部分地区。由图1可知, 2000年12月31日02时(北京时, 下同)北疆地区开始出现大风沙尘天气, 08时内蒙古西部及甘肃河西西北部出现大风沙尘天气, 局地出现沙尘暴天气, 14时沙尘暴天气东移至河西中部及内蒙古中西部, 此时甘肃中北部(民勤)和内蒙

古中部(二连浩特以西)的部分地区出现强沙尘暴, 风力达8级以上, 能见度小于100 m, 17时沙尘暴区分为两部分: 南部转变为浮尘区向东南移动使甘肃河东、宁夏、陕西的部分地区出现扬沙或浮尘天气; 北部沙尘暴区继续向东扩展, 在其后20 h内使蒙古国东部、内蒙古中部相继出现沙尘暴, 1日11时后使山西北部、河北北部、北京、天津、辽宁西南部及黄淮的部分地区相继出现大风、扬沙、浮尘天气。2日14时沙尘天气基本结束, 但浮尘天气的影响在我国东部地区仍然持续了1~2 d。

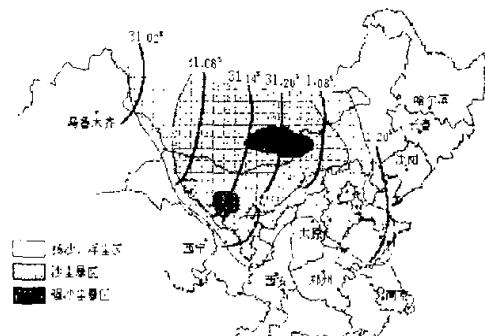


图1 沙尘暴前沿等时线及分布图  
(2000年12月31日02时~2001年1月1日20时)

Fig. 1 Distributing figure and front edge isochrone of sand-dust storms from 02:00 in 2000-12-31 to 20:00 in 2001-01-01

收稿日期:2000-11-16; 改回日期:2001-03-12

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(kzcx1-y-05); 国家重点基础研究发展规划项目(G2000048703)资助

作者简介:杨民(1976—),男(汉族),新疆昌吉人,助工,主要从事天气预报及灾害性天气研究。

\* 通讯联系人

## 2 天气和气候成因

严冬季节,大气环流形势比较稳定,强冷空气爆发的频率相对减少。从2000年12月欧亚西风指数的演变看,12月中上旬西风指数的振荡振幅减缓,无大规模的大气环流形势调整。12月29日500 hPa高空图上,东亚大槽还不明显,欧亚中高纬为两脊一槽型,东欧平原至乌拉尔山维持有一较强发展的高压脊,东西伯利亚至白令海也有一较小的高压脊,二者之间为一宽广的槽区,同时欧亚中低纬在伊朗高原有一较浅的槽,新疆有一较弱的暖高压脊。30日乌山脊和新疆暖脊同时发展,使西伯利亚冷槽加深与伊朗冷槽合并,同时出现明显的东亚大槽,此

时高空锋区位于蒙古高原西部,从西伯利亚至日本海有偏西急流存在,风速在 $20\sim46 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,31日由于乌山脊快速发展东移,促使蒙古高原处的高空锋区和急流区迅速加强,同时刻700 hPa高空图上等高线与等温线垂直(图2),温度梯度达每100 km 3.4°C,蒙古高原至天山河西走廊一带风速迅速增强达 $20\sim32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,地面图上冷锋前后的变压梯度达每100 km 4.6 hPa,并根据变压风公式计算变压风达 $16.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 但小于实际瞬时风速;此时高空冷空气已东移南下入侵我国北方地区,并且由于前期新疆暖脊的存在使冷空气对我国 $35^{\circ}\text{N}$ 以南地区影响不大。因此仅造成我国北方有一次较强、较快的冷空气活动并形成以蒙古国和内蒙古区域为主的

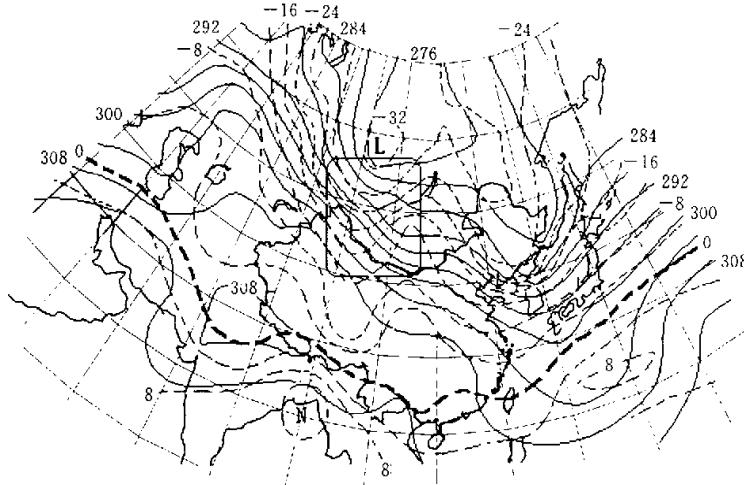


图2 2000年12月31日08时700 hPa天气图

(实线为等高线,虚线为等温线)

Fig. 2 The 700 hPa synoptic chart at 8:00 am in 2000-12-31

沙尘暴天气。

由2000年12月26日至2001年1月2日北半球500 hPa环流演变可知,26日北美有一次较强冷空气的爆发,使北美大槽强度加大,29日大西洋东岸的冷槽加强并东移至西欧,30日东亚大槽突然加强,在这几个大型天气系统调整时,由于上下游效应为乌山脊的加强和快速东移提供了能量基础。

由2000年12月29日至2001年1月2日500 hPa天气图上欧亚上空急流变化可知,高空急流位置有一次南移,31日20时急流中心南移至 $37^{\circ}\text{N}$ 附近,中心风速达 $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,同时刻700 hPa蒙古高原至天山、河西走廊一带风速骤增至 $20\sim32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,因此高空动量下传是此次沙尘暴天气的主要能量来源。

## 3 2000年12月我国北方的温湿状况

冬季我国北方由于气温较低且大部分地方发生降雪天气并形成积雪,在这种情况下土地表面冻结,大大减少了沙尘源的存在,同时冬季环流比较稳定,大风天气发生较少,因此沙尘暴天气也发生较少。

我国北方2000年12月月降水量明显减少,空间分布呈西北和东北多,中部少的趋势。由12月月降水量及距平图得知,我国北方除东北东南部、北疆,河西西部的月降水量在 $10\sim50 \text{ mm}$ 以上,比常年同期偏多5成至数倍外;其余大部分地区降水量不足 $10 \text{ mm}$ 比常年同期偏少5成以上,尤其华北北部、河套地区、南疆、青藏高原大部地区基本无雨雪。

2000年12月影响我国北方(除北疆、东北大

部)的冷空气过程次数较少且强度较弱,降温后,气温回升很快,所以北方大部分地区月平均气温较常年偏高。从12月平均温度图看,新疆东部、河西走廊地区、内蒙古西部、河套地区、华北北部、黄淮等地区的月平均温度显著偏高2~4℃。12月北疆、东北大部分地区因受频繁冷空气影响,月平均温度比常年显著偏低2~4℃,部分地区偏低5℃。

综合上述分析可知,北疆、河西西部、东北大部分地区12月降水量较大,温度较低,因此地表土层冻结使沙尘源减少,所以在月末的冷空气活动中未发生沙尘天气;而北方其余各地12月温度较高降水稀少,故这些地区表层土疏松;尤其甘肃北部及内蒙古冬季有大量裸露的干旱耕地和草地,在高温少雨的背景下,这些地区地表土质疏松,为沙尘天气的发生提供了大量的物质基础,所以在冷空气东移过程中发生了沙尘暴天气。

#### 4 沙尘暴对城市空气质量的影响

我国北方冬季取暖主要以燃煤为主,因此有大量的粉尘释放到大气中对环境造成污染,所以冬季北方城市主要污染物为可吸入性微粒,此次发生的

沙尘天气使得本来就污染严重的空气中加霜。据中国环境监测总站公布的中国主要城市空气质量日报资料(表1),2000年12月31日至2001年1月3日我国北方大部分城市的空气污染呈加重趋势,首要污染物为可吸入性微粒,浓度最高时的污染指数大都超过100,空气质量均在Ⅲ级轻度污染以上;其中乌鲁木齐、大连2城市污染指数超过200,空气质量为Ⅳ中度污染;兰州、西宁、呼和浩特、太原、石家庄、南京6城市污染指数超过300,其中兰州市和西宁市污染指数达500,空气质量为V级重度污染。由表1和图3分析知,处于沙尘暴区和浮尘区城市的空气污染指数在沙尘天气发生时有一跃变,大都比12月污染指数的平均值高出200%~400%,由此得出沙尘天气对此段时间内的空气质量起着至关重要的作用。由图1还知此次沙尘天气影响范围主要以我国北方中部为主,对南部影响不大;较南的西安、郑州等城市在此次沙尘天气过程中未受到太大影响;东北的哈尔滨、长春等城市由于此段时间内发生了降水天气,故空气污染指数变化也不大,有些还呈下降趋势(图4);在浮尘区内的城市之间也由于地形和局地天气的不同,空气质量有很大的差异,如

表1 2000年12月30日至2001年1月6日我国北方主要城市空气污染指数

Tab. 1 Air pollution index and air pollution grade of the main cities in North China from 2000-12-20 to 2001-01-06

城市	污 染 指 数 与 等 级															
	30日	31日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	30日	31日	1日	2日	3日	4日		
乌鲁木齐	106	Ⅲ	109	Ⅲ	123	Ⅲ	226	Ⅳ	122	Ⅲ	185	Ⅲ	114	Ⅲ	114	Ⅲ
西宁	123	Ⅲ	149	Ⅲ	500	V	500	V	446	V	160	Ⅲ	112	Ⅲ	139	Ⅲ
兰州	315	V	395	V	500	V	500	V	500	V	500	V	490	V	322	V
银川	123	Ⅲ	101	Ⅲ	192	Ⅲ	115	Ⅲ	88	Ⅱ	108	Ⅲ	172	Ⅲ	157	Ⅲ
呼和浩特	139	Ⅲ	133	Ⅲ	369	V	112	Ⅲ	110	Ⅲ	154	Ⅲ	144	Ⅲ	163	Ⅲ
西安	108	Ⅲ	108	Ⅲ	106	Ⅲ	110	Ⅲ	114	Ⅲ	107	Ⅲ	121	Ⅲ	101	Ⅲ
太原	335	V	179	Ⅲ	238	Ⅳ	176	Ⅲ	108	Ⅲ	119	Ⅲ	235	Ⅳ	170	Ⅲ
郑州	132	Ⅲ	145	Ⅲ	146	Ⅲ	183	Ⅲ	159	Ⅲ	74	Ⅱ	104	Ⅲ	95	Ⅱ
石家庄	306	V	349	V	250	Ⅳ	204	Ⅳ	133	Ⅲ	134	Ⅲ	194	Ⅲ	145	Ⅲ
北京	137	Ⅲ	81	Ⅱ	100	Ⅱ	126	Ⅲ	56	Ⅱ	87	Ⅱ	108	Ⅲ	88	Ⅱ
天津	117	Ⅲ	123	Ⅲ	101	Ⅲ	174	Ⅲ	76	Ⅱ	102	Ⅲ	114	Ⅲ	104	Ⅲ
上海	69	Ⅱ	95	Ⅱ	53	Ⅱ	103	Ⅲ	169	Ⅲ	108	Ⅲ	62	Ⅱ	56	Ⅱ
南京	110	Ⅲ	110	Ⅲ	81	Ⅱ	138	Ⅲ	325	V	153	Ⅲ	92	Ⅱ	52	Ⅱ
济南	79	Ⅱ	109	Ⅲ	100	Ⅱ	143	Ⅲ	81	Ⅱ	82	Ⅱ	102	Ⅲ	120	Ⅲ
青岛	52	Ⅱ	86	Ⅱ	58	Ⅱ	117	Ⅲ	63	Ⅱ	60	Ⅱ	66	Ⅱ	59	Ⅱ
长春	150	Ⅲ	82	Ⅱ	139	Ⅲ	89	Ⅱ	79	Ⅱ	105	Ⅲ	124	Ⅲ	129	Ⅲ
大连	74	Ⅱ	61	Ⅱ	57	Ⅱ	288	Ⅳ	85	Ⅱ	66	Ⅱ	65	Ⅱ	61	Ⅱ
沈阳	101	Ⅲ	149	Ⅲ	183	Ⅲ	98	Ⅱ	140	Ⅲ	158	Ⅲ	197	Ⅲ	190	Ⅲ
哈尔滨	146	Ⅲ	110	Ⅲ	118	Ⅲ	122	Ⅲ	129	Ⅲ	155	Ⅲ	184	Ⅲ	188	Ⅲ

兰州、北京、天津等。

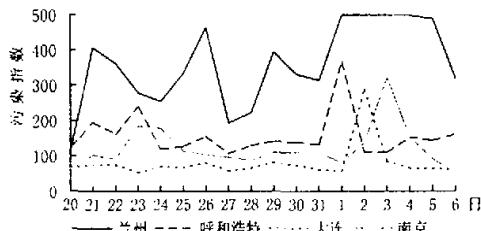


图3 2000-12-20至2001-01-06北方四城市污染指数演变图

Fig. 3 Evolvement of air pollution index of four north cities from 2000-12-20 to 2001-01-06 in China

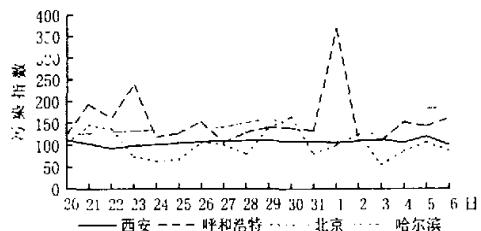


图4 2000-12-20至2001-01-06北方四城市污染指数演变图

Fig. 4 Evolvement of air pollution index of four north cities from 2000-12-20 to 2001-01-06 in China

## 5 小结

大气环流形势调整时的上下游效应,使乌拉尔山高压脊迅速发展东移,推动西伯利亚的一股较强冷空气影响我国,是造成我国北方中部这次较强沙尘暴的天气气候背景。

高空急流的动量下传是此次沙尘暴天气发生动能基础;前期12月我国北方温暖干燥,表层土质干燥疏松,沙尘源丰富,这是此次沙尘暴天气发生的物质基础。

沙尘天气的发生使我国北方城市空气污染雪上加霜,污染浓度骤然升高;但由于所处位置,地形和局地天气的不同,相关城市污染物浓度的变化也有所差异。污染物的变化也不同。

## 参考文献(References):

- [1] Xu Qiyun, HU Jingsong. Analyses of time-space distribution's characteristics of the strong sand-dust stormy weather in North-west China[A]. Studies on Sand-dust Storms in China[C]. Meteorology Press, 1997. 11-16. [徐启运,胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气的时空分布特征分析[A]. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1997. 11-16.]
- [2] Wang Shigong, Yang Min, Qi Bin, et al. Influence of sand-dust storms occurring over the Gansu Hexi district on the air pollution in Lanzhou city[J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(4):354-358. [王式功,杨民,祁斌,等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠,1999, 19(1):354-358.]
- [3] Yin Shuxin, Zhao Yaxian. Infection of the different change of west jet on the sand-dust storms in North-west China on May 5, 1993[A]. Studies on Sand-dust Storms in China[C]. Meteorology Press, 1997. 65-69 [尹树新,赵亚贤. 西风急流对“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,1997. 65-69.]
- [4] Liu Yihua, Dong Yuxiang. Tentative study on desertification and sustainable development in China[J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(1):17-22. [刘毅华,董玉祥. 尝试我国的荒漠化与可持续发展[J]. 中国沙漠,1999, 19(1):17-22.]
- [5] Dong Guangrong, Wu bo, Ci longjun, et al. Present situation, cause and control way of desertification in China[J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(4):318-332. [董光荣,吴波,蔡龙骏,等. 我国荒漠化现状、成因与防治对策[J]. 中国沙漠,1999, 19(4):318-332.]

## Preliminary Analysis of the First Sandstorm in the New Century, China

YANG Min<sup>1</sup>, WANG Shi-gong<sup>2</sup>, TAO Jian-hong<sup>1</sup>, YANG Jian-cai<sup>1</sup>, LI Wen-li<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China; 2. Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** A strong and rapid sandstorm weather process occurred on the 31 December 2000 in North China. It has been initially discussed in respect of real weather, synoptic climatological cause and air pollution through making use of real time and historical routine weather and air polluting data. The initial results show that: (1) the downdrive of momentum of high-level jet stream was the energetic base of this sandstorm weather process; (2) plentiful sand source on dry and soft topsoil that caused by the drier weather before sandstorm process was the substance base; (3) the occurring of sandstorm weather exaggerated air pollution of cities in North China, and the concentration of air pollutant increased by 100%~300% in the process.

**Key words:** sandstorm; real weather; climatological cause; air pollution