

# 沙尘暴天气对兰州市环境影响的个例分析

杨 民<sup>1,2</sup> 王式功<sup>1</sup> 李文莉<sup>3</sup> 刘治国<sup>3</sup> 尚景文<sup>3</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 2. 甘肃省专业气象台; 3. 兰州中心气象台)

## 提 要

利用实时气象观测资料、空气质量监测资料及兰州市太阳辐射资料,从沙尘天气实况、天气气候成因和对兰州市空气质量、太阳辐射强度影响等多方面,对2001年4月6~10日兰州上游发生的一次强度较大、范围较广、持续时间较长的沙尘天气过程做了初步探讨。结果表明:(1)西西伯利亚南下强冷空气与南疆、蒙古地面热低压的相互作用为沙尘天气的发展提供了有利的动力和热力条件;前期持续增暖少雨,导致表层土质干燥疏松,沙尘源丰富,是此次沙尘天气发生的物质基础;(2)此次沙尘天气导致兰州市出现严重的大气污染事件,使兰州市空气质量恶化2~5倍;(3)沙尘天气对兰州市太阳总辐射有着正、负两方面的作用;沙尘天气白天减小地面净辐射能收入,抑制地面增温;夜间减小地面净辐射能支出,抑制地面冷却。

**关键词:** 沙尘暴 大气污染事件 空气质量 太阳总辐射

## 引 言

沙尘暴天气是在特定的地理环境和下垫面条件下,由特定的大尺度环流背景和某种天气系统发展所诱发的一种小概率、大危害的灾害性天气。它不仅对工农业生产造成巨大的直接危害和经济损失,还可诱发大气污染事件使空气质量急剧恶化,并对大气能见度、大气光学特性、地气辐射平衡等多方面形成较为严重的影响,导致自然生态环境破坏,

从而影响人类健康。现在人们已经认识到沙尘暴是不可忽视的大气和生态环境问题之一<sup>[1]</sup>。

兰州上游的河西走廊分布有众多的戈壁、沙地和已退化或正在退化的草原或耕地,是我国三大沙尘暴高频区之一。当上游发生沙尘天气时,兰州市会受到极其严重的影响。这些影响将会对兰州市的投资环境、经济发展和居民身体健康带来严重的危害,已引起

省、市各级政府和社会公众的高度重视。本文对2001年4月6~10日河西走廊发生的沙尘天气对兰州市环境的影响进行了初步探讨。

## 1 天气实况

2001年4月6~10日,受西伯利亚强冷空气的影响,甘肃省大部分地区出现了大风、扬沙、沙尘暴、雨(雪)和寒潮、降温天气。这次天气过程来势凶猛,灾害性天气种类繁多,影响范围广,持续时间长,对甘肃工农业生产和人民生活造成了严重影响。

2001年4月6日,甘肃省偏北地区出现扬沙天气,4月7日20时,马鬃山出现沙尘暴,8日02~08时,敦煌、玉门镇、酒泉、金昌、张掖等地市先后出现沙尘暴天气;其中永昌(07:13)出现了黑风,最大风速为 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10分钟平均风速达到 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,打破了40年的气象纪录),金昌、张掖等地为强沙尘暴。此后,沙尘暴天气向东移动,乌鞘岭、白银、景泰、靖远、兰州、环县先后出现沙尘暴;4月9日凌晨地面冷锋移出甘肃省,沙尘暴天气过程基本结束。但9日到13日期间,受槽后梯度风及动量下传的影响仍有扬沙、浮尘天气,至14日此过程才真正结束(沙尘暴天气的区域分布图略)。

此次过程中,甘肃省酒泉、张掖、金昌、武威、兰州、白银、临夏、定西、平凉、庆阳等地州市(22个气象站观测)先后出现扬沙和沙尘暴天气。兰州市4月8日15时35分出现沙尘暴,能见度小于150m。

## 2 天气、气候成因简介

### 2.1 前期气候特征

2000年入冬后,甘肃河西各地的日平均气温(2000年11月中、下旬开始)偏高 $1\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,持续偏高的气温使下垫面变得疏松,更加快了土壤蒸发速度。与此同时,2001年入春后,甘肃酒泉以东地区降水偏少,加剧了该区域的干旱程度,为大风、沙尘暴提供了热力条件。

2001年4月上旬,河西地区最高温度和最低温度都呈直线上升趋势(图略)。4月1~7日,全省大部分地方气温异常偏高( $2^{\circ}\text{C}$ 以上),7日出现最高值,因此当冷锋过境时,

形成大气的极端不稳定,加速地面扰动,加剧大气辐合上升运动,将地面沙土卷入空中,导致沙尘暴的发生(见图1)。

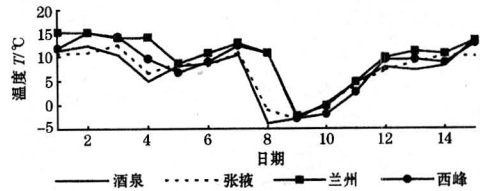


图1 甘肃省4地市2001年4月1~15日平均温度变化曲线

### 2.2 高空环流形势分析

从500hPa高空环流演变来看,这次过程大致可分为三个阶段。4月5~6日为能量的储备阶段,此时中西伯利亚有一低涡发展,乌拉尔山有一高压脊,经新地岛来的冷空气沿脊前气流在中西伯利亚堆积并发展加深、形成中西伯利亚—巴尔喀什湖的东北—西南向的大槽,冷空气中心位于巴尔喀什湖以北(中心为 $-40^{\circ}\text{C}$ ),其底部不断有小股冷空气分裂南下,使甘肃省偏北地区出现了沙尘天气。

7~9日是能量的加深、发展及释放阶段。冷空气在槽区堆积,储备了相当的能量,槽后脊前气流的经向度不断加大(为东北—西南向),有利于系统的南压。7日20时,冷空气中心南压至新疆北部阿尔泰山附近,冷空气中心值为 $-41^{\circ}\text{C}$ ,原来的槽区变窄,冷平流加强,温度梯度加大(北疆到河西中部 $\Delta T_{24} < -13^{\circ}\text{C}$ )。高空槽前后 $\Delta H_{24}$ 达到480gpm,形成很强的梯度风,高空实际风速多在 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,最大为 $38\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。8日08时,高空锋区南压到新疆东部至河西西部(图2),槽前温度场与高度场的交角变大,冷空气中心南压至天山以北地区,强冷空气翻越天山,一部分灌入南疆盆地,另一部分(主力)继续东移南压,使甘肃、青海北部、宁夏、陕西等地出现了大风、沙尘暴、强降温及降水天气。9日以后,高空低槽减弱变宽东移,冷中心减弱为 $-32^{\circ}\text{C}$ ,槽后风梯度减弱,大风沙尘暴天气随之减弱。

4月10~13日为调整阶段,500hPa高空槽区已经移出甘肃省,但由于槽后气流的经

向度较大,在气流调整过程中,甘肃省依然受高空急流动量下传作用出现了浮尘、扬沙天气。

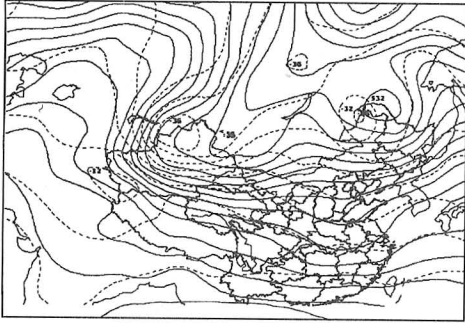


图2 2001年4月8日08时东亚  
500hPa 高空天气图  
虚线为等温线 实线为等高线

### 2.3 地面系统分析

从地面系统变化分析:过程前期,新地岛以北的冷空气沿乌拉尔山脊南下加强时,西伯利亚冷高压形成并东移,其前部的地面冷锋位于巴尔喀什湖附近。自7日起,地面冷高压从北方路径南压至新疆北部,冷高压中心达1035hPa。与此同时,蒙古有一中心为987.1hPa的低压发展,7日,在有利的高空形势下,南疆盆地又生成一地面热低压,7日20时,其中心值达995.1hPa,两低压在东移中逐渐接近,锋面前部热低压和后部冷高压之间形成了北高南低的气压形势,锋线前后正负 $\Delta P_3$ 为10hPa,冷锋附近的气压梯度达7.0hPa/100km,产生强气压梯度风,冷空气深厚且地面气压梯度大,很快就翻越天山进入甘肃河西西部。7日05时锋面位于巴尔喀什湖附近,8日02时位于新疆北部,然后迅速翻越天山,8日05时,地面冷锋以 $200\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度移到河西西部,之后受蒙古国低涡云系的影响,锋面以 $50\sim 100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度缓慢东移南压,由于涡旋云系和冷锋附近上升运动的共同作用,使锋区携带大量的沙尘。持续的强辐合上升运动支持沙尘在空中悬浮,从而造成强度大、范围广、持续时间长的沙尘暴天气。8日14时,锋面快速移至宁夏、甘肃南部,8日23时,冷锋移到华北—中原—西南一带,西南气流配合锋后强

冷空气造成了西北、华北等地大范围的降雪、寒潮天气。9日随冷空气及冷锋逐渐东移,各地沙尘暴大风天气基本结束<sup>[2]</sup>。

## 3 对兰州市环境的综合影响

### 3.1 对兰州市空气质量的影响

兰州市3月28~4月5日,空气质量一直为3级属轻微污染(图略)。6日受上游沙尘天气影响,兰州市空气质量开始恶化为4级中度污染。7~10日随沙尘天气发展东移,兰州市出现了大气污染事件,空气质量极度恶化达到了5级重度污染,首要污染物的浓度指数连续4天都为500。11日,甘肃省沙尘天气减弱,首要污染物浓度指数小于500,但仍为5级重度污染。12日,兰州市空气质量有所好转,为3级轻微污染,此后河西走廊再次出现沙尘天气使兰州市空气质量再次恶化。

分析4月6~10日兰州市首要污染物 $\text{PM}_{10}$ 浓度变化:8日是污染事件的高峰期,24小时 $\text{PM}_{10}$ 平均浓度为 $1.99\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,是5级重度污染(污染指数为300时, $\text{PM}_{10}$ 浓度值为 $0.42\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )的4.7倍,7日污染浓度相对较低,但24小时 $\text{PM}_{10}$ 的平均浓度也为 $0.94\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,是5级重度污染的2.3倍。6~10日 $\text{PM}_{10}$ 的平均浓度为 $0.95\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,是2001年3月下旬 $\text{PM}_{10}$ 平均浓度的3.2倍,是兰州市4月 $\text{PM}_{10}$ 平均浓度的2.8倍。由此可以得出沙尘天气可使兰州市出现严重的大气污染事件,使空气质量恶化2~5倍。

由4月8日09时到9日24时,每5分钟监测得到的 $\text{PM}_{10}$ 浓度数据可知(图3):兰州市 $\text{PM}_{10}$ 在8日15时25分浓度骤升了近4倍(与前一时刻相比),达 $3.97\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,5分钟后又升到 $6.412\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,标志兰州市沙尘暴天气出现,这比兰州市气象局观测的沙尘暴发生早10分钟(兰州市环境监测站在兰州市气象观测站以西约15km),说明此次沙尘暴天气是自西向东影响兰州市区,而且移速极快,约 $90\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。16时25分, $\text{PM}_{10}$ 的浓度出现极值为 $8.042\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,是5级重度污染时浓度的19.2倍,是对外发布最大污染指数500( $0.60\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )时浓度的13.4倍。此

后兰州市的  $PM_{10}$  浓度缓慢下降,但到当日 24 时前浓度仍在  $1mg \cdot m^{-3}$  以上,仍然是 5 级重度污染浓度的 2 倍多。9 日 1 时 05 分,  $PM_{10}$  浓度出现此次过程的次高值,是 5 级重度污染浓度的 6 倍多,随后  $PM_{10}$  浓度一直下降,在 9 日 7 时 35 分达到最低为  $0.136mg \cdot m^{-3}$ 。

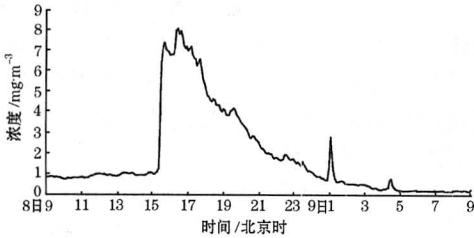


图3 2001年4月8日9时到9日9时  
兰州市  $PM_{10}$  逐时变化曲线

综上所述,由兰州市  $PM_{10}$  的观测值可以得到沙尘暴前锋到达的精确时间,沙尘暴天气能形成严重的大气污染事件,对人类健康可造成巨大危害。8 日 15 至 24 时兰州市高浓度的  $PM_{10}$  是由沙尘暴天气造成的,9 日 1 时前后  $PM_{10}$  又出现高值,是由兰州降水天气出现前的阵风天气形成的二次扬沙造成的。此后,沙尘天气逐渐减弱消失,随后出现的降水天气对空气中的颗粒物有巨大的冲刷作用,使兰州市的  $PM_{10}$  浓度急剧下降。

### 3.2 对兰州市接收辐射量的影响

4 月 8 日,沙尘暴到达兰州市时,天空颜色由蓝转黄,再转黑,在傍晚时分天空颜色为诡异的暗红色。这是因为,大气中的尘埃微粒对太阳光有很强的散射、反射和吸收作用,从而造成我们视觉的变化。8 日早晨,太阳光中的蓝色光部分被中层大气中的微粒散射,因此天空呈现最常见的蔚蓝色。沙尘暴来临前,兰州市开始出现浮尘天气,因浮尘颗粒使太阳光中的黄色光散射,所以此时天空呈现黄色。当沙尘暴到达后,空气中颗粒物大量增加,此时太阳光基本全都被散射、反射和吸收了,因此天空呈现黑色。傍晚太阳光斜射地球,此时空气中大颗粒物仍然很多,所以长波段的红色光或橙色光易被散射,所以此时我们看到的就是暗红色的天空<sup>[3]</sup>。

大气中的沙尘粒子不仅可使天空的颜色发生变化,而且对太阳总辐射,地面净辐射等都有着显著的影响。2001 年 4 月 8 日 15 时,兰州市太阳总辐射量开始下降,此后随沙尘暴天气加剧,大气中沙尘颗粒含量增加,太阳总辐射量加速减弱(见表 1)。8 日 17 时兰州市太阳总辐射量是 4 月 17 时兰州市平均太阳总辐射量的 1/6,19 时则仅剩平均值的 1/26。再由太阳直接辐射和散射辐射的对比可知:(1)沙尘粒子对太阳直接辐射有着非常显著的吸收和阻挡作用;(2)在浮尘期,沙尘粒子增加了太阳散射辐射,此时散射辐射量明显高于平均值;(3)沙尘暴期,过量的沙尘粒子虽然也增大了太阳散射辐射,但明显小于它们吸收的散射辐射量,所以此时散射辐射是减小的,但减小的速度远小于直接辐射<sup>[4]</sup>。

表 1 2001 年 4 月 8 日兰州市逐时辐射量与  
4 月平均逐时辐射量对比( $J \cdot m^{-2}$ )

北京时	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
总辐射	0.56	1.09	1.73	2.13	2.34	2.41	1.62	0.62	0.19	0.06	0.01
4月平均	0.59	1.08	1.58	1.93	2.09	2.04	1.81	1.56	1.14	0.7	0.26
散射辐射	0.55	0.94	1.28	1.49	1.62	1.64	1.45	0.6	0.19	0.06	0.01
4月平均	0.46	0.75	1	1.15	1.19	1.12	1.05	0.93	0.7	0.5	0.22
直接辐射	0.02	0.26	0.62	0.79	0.82	0.88	0.2	0.02	0	0	0
4月平均	0.31	0.57	0.79	0.94	1.02	1.04	0.92	0.86	0.73	0.48	0.16
反射辐射	0.12	0.23	0.35	0.44	0.48	0.5	0.33	0.12	0.04	0.01	0
4月平均	0.13	0.24	0.34	0.42	0.45	0.43	0.39	0.33	0.23	0.13	0.04

综上所述可知,沙尘粒子对地面接收的太阳辐射有正、负两方面的作用:它的吸收和阻挡作用,减弱到达地面的太阳直接辐射,其散射作用则增强散射辐射,但二者综合计算是减少了地面收入的总辐射。由兰州市 4 月 8 日温度自记资料知(图略):从 15 时 ( $19.6^{\circ}C$ )温度开始下降,到 9 日 06 时降至  $-4.6^{\circ}C$ ,其中在沙尘暴期(15~17 时)温度下降最剧烈,温度下降梯度为  $5.8^{\circ}C/h$ 。这与太阳总辐射量急剧下降段吻合,可推知沙尘粒子使到达地面的太阳总辐射量减小,会加剧兰州市近地层温度的下降程度。

我们再分析沙尘粒子对地面辐射的影响(图 4),可以发现;(1)4 月 8 日 14~19 时,地面净辐射明显小于平均值。虽然沙尘粒子有助于向下的长波辐射增大(表 1 中太阳散射

辐射)和地面向上的长波辐射减小(表1中地面反射辐射),但这比不上入射太阳辐射的减小,所以地面净辐射明显减小。(2)8日20时~9日08时,地面净辐射明显大于平均值,这说明夜间在沙尘天气条件下,向下的长波辐射增大幅度远大于地面向上长波辐射的增大,因此地面净辐射的增大极为显著。

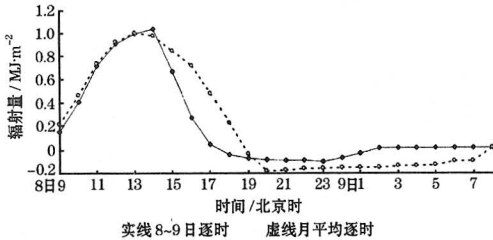


图5 兰州市2001年4月8日09时~9日08时地面净辐射与同时次月平均值对比曲线  
实线:8~9日逐时 虚线:月平均逐时

白天地面净辐射减小意味着地面辐射能收入减小,而夜间地面净辐射增大意味着地面辐射能支出减小。由此可以得出:严重浑浊的沙尘大气,白天抑制地面增温,夜间抑制地面冷却<sup>[5]</sup>。

#### 4 小结

(1)西伯利亚南下强冷空气与南疆、蒙古地面热低压相互作用为沙尘天气的发展提供了有利的动力和热力条件;前期持续增暖少雨,导致表层土质干燥疏松,沙尘源丰富,是此次沙尘天气发生的物质基础。

(2)沙尘暴天气使兰州市出现严重的大气污染事件,空气质量恶化2到5倍,瞬间可达数十倍,利用PM<sub>10</sub>的监测可以准确判断沙尘暴前沿的到达时间。

(3)沙尘天气对太阳光有着很强的散射、反射和吸收作用,天空随沙尘天气的发展会呈现不同的颜色。

(4)沙尘天气对太阳辐射有正、负两方面的作用,它吸收、阻挡到达地面的太阳直接辐射,但增强到达地面的散射辐射,二者综合作用是严重削弱了到达地面的太阳总辐射,加速了近地层温度下降。

(5)沙尘天气对地面净辐射也有不同的作用。白天它使地面净辐射能收入减小,抑制地面增温;夜间它使地面净辐射能支出减小,抑制地面冷却。

#### 参考文献

- 1 祁斌,张志元,朱学义等. 生态环境与空气污染. 兰州:甘肃民族出版社,2001:256~258.
- 2 殷雪莲,付有智,曹玲等. “4.8”西北地区强沙尘暴天气成因分析,天气预报技术文集,北京:气象出版社,2002:264~267.
- 3 王式功,董光荣,陈惠忠等. 沙尘暴研究的进展,中国沙漠. 2000,20(4):349~356.
- 4 文军. 甘肃省河西黑河流域沙漠、戈壁地区夏季大气浑浊度与沙尘特性分析,应用气象学报. 1994,5(1):27~33.
- 5 沈志宝,文军. 沙漠地区春季的大气浑浊度及沙尘大气对地面辐射平衡的影响,高原气象. 1994,13(3):330~337.

## A Case Study of Sand-storm Effect on Environment of Lanzhou

Yang Min<sup>1,2</sup> Wang Shigong<sup>2</sup> Li Wenli<sup>3</sup> Liu Zhiguo<sup>3</sup> Shang Jingwen<sup>3</sup>

- (1. Gansu Specialized Meteorological Observatory, Lanzhou 730020;
2. Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University;
3. Lanzhou Central Meteorological Observatory)

#### Abstract

A sand-storm event occurred on the 6th April 2001 in North China is discussed. The results show, (1) the strong cold wave of the west Siberia and the surface warm and low pressure in southern Xinjiang and Mongolia offered the event dynamic and thermodynamic conditions, therefore the warmness and dryness made topsoil not been frozen, which provided lots of sand to the sandstorm weather. (2) The sandy weather caused serious accident of air pollution and made the air quality in Lanzhou even worse by 2 to 5 time. (3) The sand weather had positive and negative effect on the total solar radiation in Lanzhou. In the daytime, the sandy weather would diminish the absorbability of the surface net radiation and restrain the surface temperature. In the evening, it would diminish the emanation of the net radiation and restrain the surface temperature dropping.

**Key Words:** sandstorm air pollution accident air quality the total solar radiation