

夏季强沙尘暴天气成因分析及预报

李玲萍^{1,2,3}, 罗晓玲^{1,2,3}, 王锡稳¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733000; 3. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用常规气象观测资料, 对 2005 年 7 月 17 日发生在甘肃省河西走廊的近 20 年夏季最强的一次区域性强沙尘暴天气过程, 从气候成因、天气形势和动力诊断等方面进行了分析探讨。并与历史同期个例和春季沙尘暴天气进行了对比分析, 结果表明, 夏季强沙尘暴天气是在河西走廊地区长时间极端干旱的气候背景下, 新疆冷空气分裂东移南下, 配合当地极有利的热力不稳定层结条件引发的大风沙尘暴天气。最后给出了夏季沙尘暴天气的短期预报指标, 为夏季沙尘暴预测、预警提供了一定的科学依据。

关键词: 夏季沙尘暴; 气候特点; 诊断分析; 个例对比; 短期预报

中图分类号: P445.⁺⁴ 文献标识码: A 文章编号: 1004-0366(2007)03-0057-05

A Causal Analysis of the Formation of the Summer Sandstorm and the Forecast

LI Ling-ping^{1,2}, LUO Xiao-ling^{1,2}, WANG Xi-wen¹

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, Institute of Arid Meteorology CMA,
Lanzhou 730020, China; 2. Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei 733000, China;
3. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Mitigation, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Using the conventional observatory data, we analyzed the strongest regional sandstorm process in nearly 20 years which occurred in Hexi Corridor of Gansu province on July 17th, 2005. The climatic causes, the weather situation and the diagnosis of momentum were explored. A contrast was made with the corresponding period in history and the sandstorm weather in spring. The results showed that this sandstorm occurred under the extremely dry weather background in the region of the Hexi Corridor, and as the cold air moving eastward from Xinjiang together with the advantageous conditions of the instable layer of earth, the strong wind and the sandstorm were formed. The short-term forecast indicator of the summer sandstorm is given to provide a scientific basis for forecasting and warning.

Key words: summer sandstorm; weather characteristic; causal analysis; short-term forecast

沙尘暴是河西地区一种危害极大的灾害性天气, 它的频繁发生既是环境状况恶化的重要表现, 又大大加快了土地沙漠化的进程, 对当地工农业生产造成了严重的危害^[1~3]。特别是随着全球气候变暖的加剧, 强沙尘暴发生频率明显增加, 危害越来越大^[4]。国外从 20 世纪 20 年代开始对沙尘暴的时空分布、成因、结构以及监测、对策方面进行了研究, 我

国起步较晚, 甘肃省沙尘暴研究是 20 世纪 70 年代才开始沙尘暴方面的研究工作, 尤其是对河西走廊西部沙尘暴个例分析则是沙尘暴多发季节的春冬季, 夏季的沙尘暴分析研究较少。在人们的影响中, 沙尘暴是河西地区春季特有的产物, 其他季节出现的频率低, 强度弱, 使人们形成了一种麻痹思想。2005 年 7 月 16~17 日出现在甘肃河西走廊的强沙

尘暴天气给我们敲响了警钟，我们应用大量详实的气象资料，以此为例，对夏季沙尘暴的发生发展从气候成因、天气形势和动力诊断等方面进行了分析探讨，旨在对其做出准确的预报预警。

1 天气实况

2005年7月17日受地面热低压和新疆东移弱冷空气共同影响，甘肃省河西走廊和内蒙古西部的部分地方先后出现大风、沙尘天气。截至17日14

时，甘肃省河西走廊5市共有13个气象观测站观测到沙尘暴，其中6站达强沙尘暴，金塔、鼎新、张掖、永昌、山丹、金昌等站出现能见度小于500 m的强沙尘暴。金塔从17日2时43分开始出现强沙尘暴，持续到7时12分结束，最小能见度200 m，最大风速达25.1 m/s；张掖6时40分开始出现强沙尘暴，8时00分左右结束，最小能见度只有100 m，最大风速18.7 m/s（见表1）。查阅历史资料可知，此次强沙尘暴天气过程是自1975年以来强度最强、范围最大

表1 2005年7月16~17日沙尘天气实况

序号	站名	天气现象	风力/级	能见度/m	持续时间/t
1	敦煌	沙尘暴	7	900	16日22:03~23:01
2	肃北	沙尘暴	9	700	16日23:17~23:35
3	安西	扬沙	6	8 000	16日23:20
4	玉门	沙尘暴	9	700	17日1:10~2:40
5	金塔	强沙尘暴	10	200	17日2:43~7:12
6	鼎新	强沙尘暴	8	300	17日3:28~4:34
7	高台	沙尘暴	8	800	17日4:15
8	临泽	扬沙	8	1 000	17日4:30
9	肃州	沙尘暴	7	900	17日4:34~6:13
10	甘州	强沙尘暴	8	100	17日6:40
11	永昌	强沙尘暴	7	200	17日7:39
12	山丹	强沙尘暴	8	400	17日7:46
13	金昌	强沙尘暴	7	不足200	17日8:40
14	凉州	沙尘暴	7	700	17日9:05
15	肃北	浮尘	—	9 000	16日23:00
16	肃南	浮尘	—	1 000	17日08:00
17	民乐	浮尘	—	400	17日08:00
18	乌鞘岭	浮尘	—	8 000	17日11:00
19	民勤	沙尘暴	5	600	17日11:46
20	古浪	浮尘	—	400	—

的一次夏季沙尘暴天气过程。

2 前期气候特征与历史同期对比

甘肃省河西地区地处干旱、半干旱的内陆地区，尤其是北部，降水量特少，植被稀疏，沙漠戈壁众多，冬春连旱、春末夏初干旱频繁发生，为沙尘暴提供了大量的沙源。冷空气进入河西走廊，在其“狭管效应”的作用下^[5]，风力可被加速1.6倍，在有利的天气动力条件下，对形成沙尘暴有推波助澜的作用。

以武威市为例，通过对20世纪70年代以来夏季沙尘暴历史个例的前期气候特征分析对比可知：区域性夏季沙尘暴天气发生前期气温较高，降水较少，不同程度发生过干旱。前期气温偏高是夏季沙尘暴爆发的共同点，由于2005年7月前期气温为历史之最高，又出现了有气象资料记载以来仅次于2001

年的严重干旱，而且在沙尘暴天气出现前5天武威连续出现了34℃以上高温天气，在历史上少见，因此次沙尘暴天气为近20年夏季之最强。

以2005年7月16~17日甘肃省河西走廊的沙尘暴为例做以分析。

2.1 干旱加剧了沙漠化进程

资料显示，从2004年冬季到2005年7月中旬前期河西地区降水偏少，气温偏高，植被稀疏，返青推迟。特别是2005年春季以来河西地区干旱严重，降水时空分布极不均匀，总体上在春季（4月到5月上旬）、春末夏初（5月下旬到6月底）和伏期（7月中旬）出现了3个明显的降水偏少时段，气温持续偏高，地表蒸发加大。干旱严重，为沙尘暴的出现提供了前期气候背景^[6,7]。

2.2 前期气候特征与历史同期对比

与历年同期相比,2005年1月至6月武威市气温偏高 1.6°C ,张掖市偏高 2.4°C ,酒泉市偏高 0.8°C ,7月上旬武威、酒泉气温偏高 1.2°C ,张掖偏高 1.4°C ,同时在沙尘暴发生前6天内河西持续出现了 34°C 左右高温天气,特别一提的是武威、张掖6月气温是1970年以来的最高值,酒泉仅次于2004年位居次高;7月中旬降水量武威偏少9成,张掖偏少8成,酒泉偏少0.2成,高温少雨,为沙尘暴爆发,提供了温床^[6,7]。

2.3 干土层加厚,加剧了下垫面的沙尘化程度

据武威市气象局在凉州区东沙窝荒漠地段测定正常情况 $0\sim50\text{ cm}$ 平均土壤绝对湿度 $\leqslant 3.7\%$ 时,土壤即处于重旱状态。2005年7月武威市气象局在凉州区东沙窝荒漠地段测定 $0\sim50\text{ cm}$ 平均土壤绝对湿度只有 $0.9\% \sim 1.6\%$,长时间土壤处于重旱状态,干旱严重。高温干旱的气候条件,造成了浅层土壤水分强烈蒸发、干土层厚度增加、加剧了下垫面的沙尘化程度。低层大气热能增加,导致河西走廊出现了自1975年以来夏季最强的一次沙尘暴天气过程。

3 与春季沙尘暴的对比分析

经分析,河西走廊东部武威市5站(凉州区、民勤县、永昌县、古浪县和乌鞘岭)1971年~2000年春季(3~5月)沙尘暴日数占全年沙尘暴总日数的61.9%,夏季(6~8月)沙尘暴日数占全年沙尘暴总日数的13.4%,沙尘暴天气主要集中在春季。春夏季沙尘暴有如下异同点:

春夏季沙尘暴的强弱都主要由风力大小和水平能见度来决定,强风是产生沙尘暴的动力,而风力大小主要取决于高低空风速的强弱;夏季沙尘暴地面气压场所反映的冷高压与热低压之间相互作用与春季沙尘暴相同;春夏季沙尘暴过境时,气象要素都表现为气压跃升、气温下降、湿度增加和地温下降等特征。

根据冷空气的来向,春季沙尘暴有3条路径(西北路径、西方路径、北方路径),夏季沙尘暴有2条路径(西北路径、西方路径);根据影响系统,夏季沙尘暴影响天气系统主要是高空小槽、切变线、强锋区、热低压和地面冷锋,春季沙尘暴影响天气系统主要是高空槽、强锋区、蒙古冷涡、热低压和地面冷锋;春季沙尘暴发生区对应垂直螺旋度反映明显(负值较大),夏季沙尘暴发生区对应垂直螺旋度反映不明显(负值较小)。

4 天气学成因分析

从高低空环流形势对比分析知,夏季沙尘暴天气的高低空环流形势基本相似(1986年一次例外),在 500 hPa 高空图上在巴湖西北方附近有一深厚冷槽,变高场和变温场都是西北—东南走向,冷槽分裂小槽或冷槽主力东移南压至乌鲁木齐到哈密之间,对应 700 hPa 在高原和整个河西地区或者河西西部都是暖气团所包围,有 18°C 以上的暖中心存在;地面热低压强盛,偏东风强;冷锋前后变压差大;锋面过境引发沙尘暴天气。

2005年7月16~17日发生在甘肃省河西走廊的强沙尘暴天气过程,低层最暖,热低压最强,冷锋前后3h变压差最大。因此,成为近20年之最强。

4.1 高空环流形势演变

16日08时 500 hPa 天气图上在巴湖一带有一深厚的冷槽,冷中心强度达 -20°C ,与民勤站温差达 17°C ,温差大,冷空气势力强;16日20时, 500 hPa 天气图上冷中心强度加强为 -21°C ,冷空气势力进一步加强;16日08时 500 hPa 天气图上最大正负变高差为 20.0 hPa ,变温差为 12.0°C ,在西北—东南向强变高、变温场的作用下,冷空气主力在东移过程中逐渐南压;17日08时 500 hPa 天气图上分裂小槽到哈密一带,冷空气自西向东开始影响河西走廊,相继出现大风、沙尘暴天气。

大风、沙尘暴天气出现前 $24\sim48\text{ h}$, 700 hPa 天气图上,从高原到河西走廊温度偏高,大部分站点温度都在 18°C 以上,最高的达 25°C ,在其暖中心的抵挡下,冷空气移速缓慢。

因此,在整个形势演变过程中可以看出,冷空气虽然很强,但其主力主要停留在新疆以及以西地区,在西北—东南向变高变温场配置下,其小股冷空气分裂东移南压,冷锋过境造成河西走廊区域性的大风、强沙尘暴天气。

4.2 地面形势演变

7月16日14时地面图上,锋面在哈密附近,地面热低压中心值强度为 888 hPa ,冷锋前后最大3h变压差达 6.6 hPa ,气压梯度大,酒泉有 35°C 高温天气。17时地面热低压加强为 858 hPa ,冷锋前后最大3h变压差达 7.0 hPa ,20时冷锋位于敦煌附近,地面热低压东移至高台并进一步加强为 852 hPa ,从23时开始,锋面进入河西走廊,随着锋面过境,河西走廊自西向东相继出现大风、沙尘暴天气^[8]。

此次沙尘暴天气的主要特点是地面热低压强,

冷锋前后变压差大，地面东风大。

4.3 物理量诊断分析

(1) 涡度、散度 我们选取 2005 年 7 月 16 日 20 时 400 hPa 和 700 hPa 的涡度、散度场做一分析,发现这次区域性大风、沙尘暴的分布与高空涡度、散度场有很好的对应关系。通过涡度散度的诊断可知,沙尘暴发生区对应 700 hPa 以下都是正涡度,强辐合;500 hPa 以上都是负涡度,强辐散,有利于上升运动的维持和发展^[3]。

(2) 大气层结状态分析 研究指出, 沙尘暴发生时, 大气层结多表现为不稳定状态^[10]. 根据 V-3θ 曲线分析, 在出现沙尘暴前 6~12 h, 700 hPa、上风切变明显, 低层东南风大, 高层偏西风和西北风强, 有利于启动抬升机制, 以 16 日敦煌站为例(见

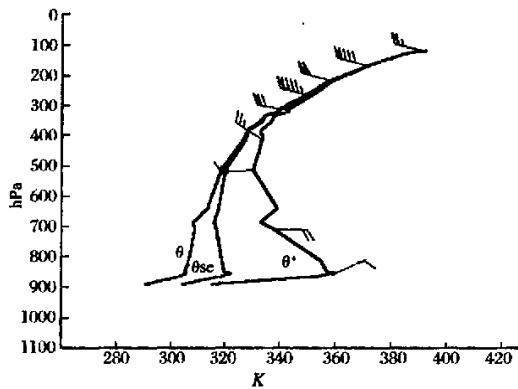


图1 7月16日08时敦煌V-38曲线

图1). θ_{se} 与 θ^* 线在 850 hPa 以下很接近, 在中层 600 hPa 附近相差较大, 反映了低层饱和程度高也是强对流的重要特征, θ_{se} 在 500 hPa 以下随高度递减, θ_{se} 线较陡, 反映低层较暖、高层较冷。低层暖湿, 高层干冷, 表现出明显的对流不稳定层结, 为沙尘暴的发生提供了潜在不稳定的环境条件, 一旦有冷平流冲击触发, 则可释放能量, 产生强的垂直运动, 使高空动量下传, 增大低层的风速, 加剧强沙尘暴的发展。

5 夏季沙尘暴的预报着眼点

做好短期 24 h 和短时 6 h 临近预报是预防沙尘暴天气灾害的关键。首先分析前期气候特点：降水和气温情况；是否持续高温干旱；然后看高空有无大风的天气形势；高空变高、变温差大小及冷空气走向；地面上游有无冷锋及锋面前后变压差大小；热力不稳定程度。

根据夏季沙尘暴发生的天气形势和日际特点，将其按冷空气路径分为西北路径和西方路径。

5.1 短期预报(24 h)

(1) 西北路径(占 90%)

冷空气自巴湖北部向东南方向移动，在我国新疆天山发生堆积过程，然后整体或分裂东移，影响河西走廊。

① 高空 500 hPa 新疆附近 45~60°N, 60~90°E 或 35~50°N, 80~95°E 有冷温槽存在, 冷中心强度在一 20°C 以上, 槽前后正负变高差和变温差较大, 民勤与冷中心的温差在 15°C 以上; ② 对应 700 hPa 高原到河西是暖中心控制, 暖中心达 15°C 以上, 强沙尘暴暖中心都在 20°C 以上, 有较强的密集型等温线, 锋区较强; ③ 地面有冷锋存在, 锋面前后正负 3 h 变压差较大, 常在 4 hPa 左右(强对流天气 3 h 变压差不明显); ④ 地面热低压中心较强, 在 840~960 之间。满足以上 3 条, 即可考虑报沙尘暴(见图 2)。

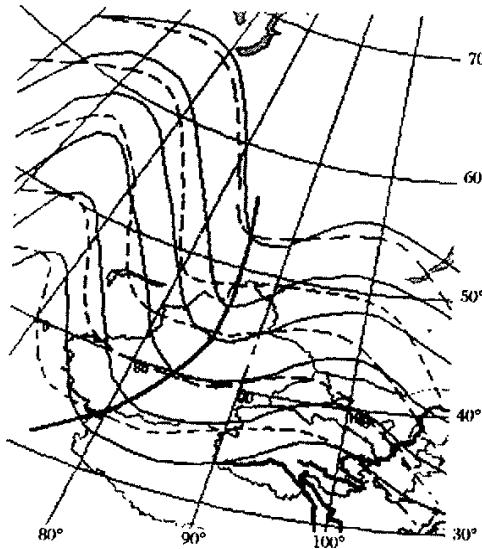


图2 西北路径 500hPa 高空形势场
—实线为高度场 —虚线为温度场

(2) 西方路径(占 10%)

冷空气自巴湖南部向东南方向移动，经新疆然后东移，影响河西走廊。

①高空500 hPa 30°~50°N, 70°~90°E为西风气流,有冷槽存在,冷中心强度在18°C以上;②对应700 hPa高原到河西走廊是暖中心控制,暖中心达20°C以上;③地面有冷锋存在,锋面前后正负3 h变压差较大,常在3.1 hPa以上;④地面热低压中心较强,达917 hPa以上。此类沙尘暴日数出现较少,但

常常在东移过程中不断加强发展,常会造成武威市较强的大风沙尘暴天气。满足以上3条,即可考虑报沙尘暴(见图3)。

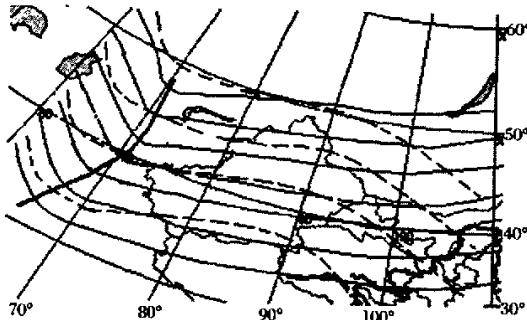


图3 西方路径 500 hPa 高空形势场
—实线为高度场 …虚线为温度场

5.2 短时临近预报(6 h)

由于沙尘暴天气是一种中小尺度天气系统,生命史在几十分钟至十几小时,爆发快、来势猛、灾情重,特别是发生在白天的沙尘暴对人们的生产生活影响极大^[11]。作出短时临近预报指标,对强沙尘暴天气的发生有较强的预测预警能力。

短时指标主要考虑高空地面有无大风的天气形势,主要看高空变高场分布、地面冷锋强度、变压场分布及热力不稳定因子等。预报指标:①地面图上河西上游有大风沙尘暴天气产生;②地面图上河西走廊有6 hPa以上3 h变压差。满足以上2条,6 h内有区域性大风、沙尘暴。

6 结论

(1) 与历史同期比较,发生在2005年7月16日~17日甘肃省河西走廊的强沙尘暴天气是近20年之最。

作者简介:

李玲萍,(1977-)女,甘肃省定西人,2002年毕业于西北师范大学地理系获学士学位,现任武威气象局助理工程师,主要从事天气预报和研究工作。

(2) 前期高温少雨的干旱气候,是夏季沙尘暴天气爆发的必备条件。

(3) 夏季沙尘暴与春季沙尘暴有异同点。

夏季沙尘暴天气主要表现为高空有冷空气分裂东移南压,地面冷锋前后3 h变压较大。

(4) 大气层结强烈不稳定,为夏季沙尘暴天气爆发提供了热力机制。

(5) 夏季沙尘暴天气的预报主要从前期气候特点、冷空气强度和地面3 h变压等方面着眼。

(6) 夏季沙尘暴天气按冷空气路径分为西北路径和西方路径,西北路径占90%,西方路径占10%。

参考文献:

- [1] 赵景波,杜娟,黄春长.沙尘暴发生的条件和影响因素[J].干旱区研究,2002,19(1):58-62.
- [2] 文倩,戴君峰,崔卫国,等.关于现代浮沉的研究与进展[J].干旱区研究,2001,18(4):68-71.
- [3] 董安祥,白虎志,俞亚勋,等.影响河西走廊春季沙尘暴的物理因素初步分析[J].甘肃科学学报,2003,15(3):25-30.
- [4] 瞿益茂,李晓燕.中国北方沙尘天气的气候条件[J].地理学报,2003,58(增刊):125-131.
- [5] 岳平,牛生态,刘晓云.“7·12”特异沙尘暴成因研究[J].干旱区研究,2005,22(3):345-349.
- [6] 瞿益茂,李晓燕.中国北方沙尘天气的气候条件[J].地理学报,2003,58(增刊):125-131.
- [7] 张德二,孙霞.我国历史时期降尘记录南界的变动及其对北方干旱气候的推断[J].第四纪研究,2001,21(1):1-7.
- [8] 岳虎,王德稳,李耀辉,等.甘肃强沙尘暴个例分析研究[M].北京:气象出版社,2003.
- [9] 朱乾根.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2000.
- [10] 徐国昌,陈敏连,吴国雄.甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析[J].气象学报,1979,37(4):26-35.
- [11] 王式功,杨德保,周玉素,等.我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨[J].中国沙漠,1995,15(4):332-338.