

文章编号:1000-694X(2008)03-0567-05

甘肃中部强沙尘暴成因分析

杨先荣^{1,2}, 王劲松^{1,2}, 何玉春³, 邓吉录³, 任余龙^{1,2}, 杨文月³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 3. 甘肃省临夏州气象局, 甘肃 临夏 731100)

摘要: 利用1970—2006年甘肃中部13个县(市)的21例沙尘暴天气过程的各时次高空和地面资料, 通过分析沙尘暴过程的影响系统, 来研究甘肃中部近年来强沙尘暴天气频繁入侵的成因及特点。结果表明: 甘肃武威东南部发生沙尘暴天气时, 500 hPa高空出现一支风速 $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 西北向的急流轴; 河西走廊地形的“狭管效应”作用, 使沙尘暴移速增快, 强度增强, 沙尘在翻越乌鞘岭后, 相继侵袭白银、兰州、临夏等广大地区; 进入21世纪以来, 甘肃中部沙尘暴和强沙尘暴次数逐年增多, 强度增强、影响范围扩大。

关键词: 甘肃中部; 强沙尘暴; 急流轴

中图分类号: P445.4 **文献标识码:** A

沙尘暴是中国北方春季多发的气象灾害之一, 其强风场动力破坏性很强, 常对工农业生产、电力、通讯、航空、交通运输和人民生命财产造成严重危害。甘肃中部地区上游河西走廊是我国一个很特殊的自然地理区域, 它被巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和塔克拉玛干三大沙漠包围着, 若上游发生大规模风沙天气, 500 hPa新疆脊前会建立一支西风带急流(风速 $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)轴, 当此急流轴到达甘肃河西走廊上空时, 引导近地面沙尘暴云团向甘肃中部侵袭^[1-2]。由于局地小尺度沙尘暴发生、发展的内部实况难以掌握, 尤其近地面50 m内是雷达扫描盲区, 更无法监测。然而, 近地面50 m内正是沙尘暴发展变化剧烈、对社会经济与人类生存产生危害的区域^[3]。

特别是进入2000年以来, 强沙尘暴频繁侵袭甘肃中部, 并且强度和影响范围越来越大, 严重威胁着甘肃中部以兰州大工业城市为中心的广大地区。出现这一趋势的重要原因首先是亚洲范围内超长波的风带急流向南摆动幅度加大, 大气环流局地异常发展, 造成扰动气流频次增加, 促使冷空气向沙尘暴多发区强度加大, 速度加快; 其次, 近年来由于全球气候变暖和不合理的人类活动等因素, 使此区域自然生态环境进一步恶化, 从而导致沙尘暴天气更容易发生^[4]。从预报、预警和理论研究角度考虑, 深入了解强沙尘暴发生、发展过程中的一些机理和物理本质是十分必要的。为此, 本文从环流背景、气象要素特征、沙尘暴天气地理分布、起终时段、年际和季

节变化、物理量场诊断等来进行综合, 揭示强沙尘暴发生、发展的机制。

1 沙尘暴近年来入侵甘肃中部的事实

选取甘肃中部的永登、白银、皋兰、靖远、兰州、榆中、临夏、东乡、和政、康乐、临洮、定西、华家岭等13个县(市)37 a(1970—2006年)春季21例沙尘暴和强沙尘暴天气过程, 主要从沙尘暴出现的时段、地理分布形势、大气环流特征、发展路径、成因等进行分析研究。

从沙尘暴出现的实况、时段的研究来看, 近几年来甘肃省中部地区沙尘暴有频繁入侵的事实, 特别是2000—2006年之间, 兰州市出现了7次沙尘暴, 其中两次是强沙尘暴; 皋兰出现了5次沙尘暴; 白银出现了4次沙尘暴, 其中两次是强沙尘暴; 临夏市出现了两次沙尘暴; 和政、康乐、华家岭各出现了1次强沙尘暴; 定西出现了1次沙尘暴。这一事实清晰地表明, 在甘肃中部地区包括兰州这个人口密集的工业大城市及周边的白银、皋兰、永登、临夏等地(市), 沙尘暴强沙尘暴频繁入侵袭击(表1)。尤其是兰州市区情况更为严重, 仅2006年3—4月沙尘暴就出现了3次, 2001—2002年强沙尘暴出现了两次。根据沙尘暴出现的频次、特点、发展和移动方向、出现时间和范围、强度等分析表明: 自进入2000年以后, 在甘肃中部地区以兰州市为中心包括周边县(市), 沙尘暴(强沙尘暴)有明显增强的趋势(图1), 其危害越来越大。

收稿日期: 2007-05-04; 改回日期: 2007-08-07

基金项目: 中国气象局气候研究开放实验室开放课题(LCS-2006-10)资助

作者简介: 杨先荣(1953—), 男(汉族), 甘肃临夏市人, 高级工程师, 主要从事灾害性天气研究。Email: wjsgs@hotmail.com

表 1 2000—2006 年春季沙尘暴(强沙尘暴)侵袭甘肃中部地区频次

Table 1 Distribution of sandstorm and strong sandstorm invasion frequency in the central regions of Gansu in spring of 2000—2006

地 名	永登	白银	皋兰	靖远	兰州	榆中	临夏	东乡	和政	康乐	临洮	定西	华家岭
沙尘暴总次数	2	4	5	1	7	0	2	0	1	1	0	1	1
强沙尘暴次数	1	2	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	1

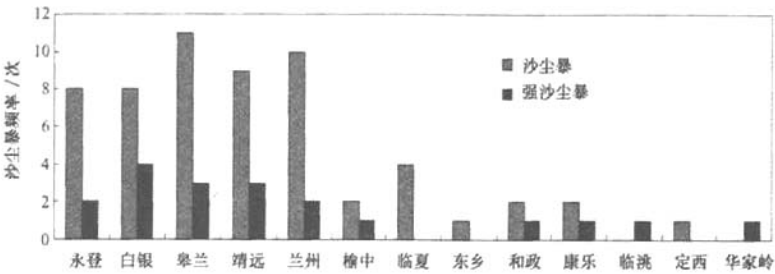


图 1 1970—2006 年春季沙尘暴(强沙尘暴)侵袭甘肃中部地区频次

Fig. 1 Sandstorm frequency in the central regions of Gansu in spring from 1970 to 2006

2 造成沙尘暴的大气流场特征

在春季影响甘肃的 500 hPa 环流系统,不仅有西风带长波系统,同时也有短波槽和青藏高原南支锋区中的暖湿气流,大尺度流场中高、低压相间出现,冷空气活动频繁,尤其强冷空气在春季表现的比较明显。春季大气环流向夏季过渡时,高空急流逐渐减弱向北收缩,中高纬度由冬季盛行的三波向夏季盛行的四波过渡。在此期间,流体动力很不稳定,西风带移动性槽、脊明显增多,导致冷空气活动频繁^[5-7]。

经过对 1970—2006 年甘肃中部沙尘暴天气特征的普查、统计、分析、追踪相关强沙尘暴个例系统表明,特别在 3—5 月欧亚 500 hPa 大尺度环流调整时,对调整区下游大气环流的动力、热力和流体旋度物理量场等造成极不稳定形势,导致异常天气出现,尤其在乌拉尔右侧较强的高压脊和阻塞高压发展时,脊前从新地岛突发南下的西风带急流轴(风速 $\geq 20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),迅速向巴尔喀什湖右侧发展,由急流轴引导下滑的强冷空气,受到我国天山山脉的阻挡,在北疆准噶尔盆地至蒙古国西部堆积,此时在地面形成 $\geq 1\,045\text{ hPa}$ 的冷高压,在南疆塔里木盆地至柴达木盆地形成 $\leq 1\,000\text{ hPa}$ 的暖低压场,高低压之间形成了一个很强的气压梯度带,对应此区域上空 500 hPa 高空锋区明显加强,当西风带急流轴在巴尔喀什湖底部“C”型转折向东南发展,新疆东部、青海大部及甘肃大部 $\Delta H_{24}\leq 0, \Delta T_{24}\leq 0$, 变量场发展,将预示着要在短时间内出现一次强冷空气袭击。当巴尔

喀什湖右侧的“C”型转折深厚低压场变形东移时,其中的急流轴冲破稳定流场形势,促使我国北疆的冷气团一泻千里,迅速向青海东部及甘肃中部发展,在移动和发展过程中,产生强大的流体动力的惯性作用,出现大范围的大风及沙尘暴天气,在高空急流引导的动力量很强时,这种大范围的强沙尘暴翻越乌鞘岭后,侵袭以兰州为中心包括周边的白银、临夏、定西等甘肃中部的广大地区,给当地人民的正常生活造成很大的危害^[8]。

3 沙尘暴天气分型和影响路径

3.1 天气分型

由于沙尘暴和强沙尘暴定义中对风速有严格的要求,在一般情况下甘肃发生沙尘暴同时会出现大风,所以天气分型中把大风和沙尘暴结合在一起划分为 5 种,造成甘肃中部的沙尘暴主要是以下 3 种天气分型(图 2): I. 冷锋型、II. 动量下传型、III. 河西小槽型。

3.2 沙尘暴入侵的路径

一般入侵甘肃中部的强沙尘暴,24 h 前 850 hPa 图上,乌拉尔山有明显的高压脊发展,脊前巴尔喀什湖至北疆的低压槽加深,西北区上空为高压脊前的西北气流控制,北支气流经向度加大。造成沙尘暴的强冷空气自西伯利亚向中国的北疆发展,这股冷空气移动到甘肃河西走廊造成所经之处的大风、沙尘暴天气。冷空气穿越巴丹吉林和腾格里大

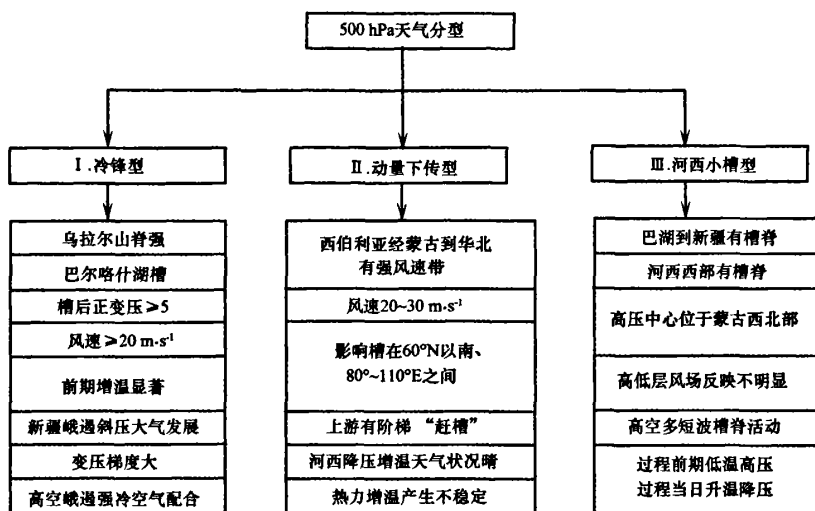


图2 甘肃中部形成沙尘暴天气系统模型

Fig. 2 Weather system models forming sandstorm in middle Gansu province

沙漠,形成具有范围广、移速较快的强沙尘暴,前锋到达乌鞘岭北坡,在得到新的冷空气补充后翻越乌鞘岭,此后速度明显加快,强度加大,此时,甘肃中部的广大地区,过程前降压升温,过程到来时升压降温非常明显。当中部区上空有高空急流配合,沙尘暴影响范围更广、强度更加剧烈^[9-10]。

3.3 个例分析

2001年4月7—8日,受西伯利亚强冷空气的影响,甘肃省自西向东出现了大风、沙尘暴天气。先是影响甘肃西部的11个县(市),其次,造成甘肃中部的靖远、白银、临夏、康乐、东乡、定西出现了大范围沙尘暴,永登、兰州、景泰、和政等地区出现了强沙尘暴。这次强沙尘暴过程的特点是:影响范围广、强度剧烈、局地损失重、持续时间长(图3)、能见度急剧下降,给移过区域普降了一次0.2~0.5 mm厚的沙土。

造成这次强沙尘暴过程主要的天气系统是:近地面至700 hPa低空大气不稳定性很强^[11],其干暖舌伸展到青海湖至乌鞘岭之间,致使低空大气不稳定性增强,在垂直方向上,青海中部至甘肃河西地区间,500 hPa上有支 $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流轴扰动,形成流体的突发性流场增强,引起地面气压差密集的梯度带前沿产生强烈的大风,吹起民勤腾格里大沙漠东南部干燥疏松黄砂土,形成了一支宽广的黄沙气流团^[12],翻越乌鞘岭后,向永登、白银、兰州、临夏等地区发展,所经之处沙尘遮天蔽日,危害很大。

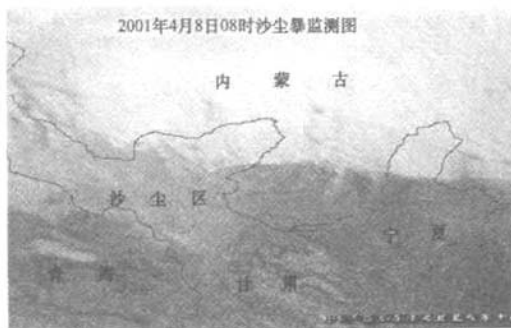


图3 2001年4月8日08时沙尘暴监测图

Fig. 3 Sandstorm monitoring map at 08:00 April 8, 2001

4 用位势涡度实例分析

用2006年3月30日00时至31日00时(世界时)、31日00时至4月1日00时(世界时)、4月10日00时至11日00时(世界时),每隔6 h NCEP资料,选取 35°N 、 103°E 经纬度网格中心为格点,用 18×18 个网格点,网格格距为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,作等压面干、湿位势涡度叠加分析。位势涡度是由绝对涡度和位温梯度的乘积决定的^[13]。在 p 坐标下忽略 ω 水平变化,等压面上干位势涡度的表达式是:

$$PV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right)$$

干位势涡度PV是综合大气动力学和热力学的物理量,可分解为第一项与静力稳定度有关的正压项和第二项与风垂直切变、位温水平梯度有关的斜压项。

在 ρ 坐标下忽略 ω 水平变化,等压面上湿位势涡度的表达式是:

$$\begin{aligned} MPV = & -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) \\ = & const \end{aligned}$$

式中:第一项是湿位势涡度的垂直分量(其中 ζ_p 为垂直方向涡度; f 为地转涡度; θ_{se} 为相当位温),其值取决于空气气块绝对涡度的垂直分量和相当位温的垂直梯度的乘积;第二项是湿位势的水平分量,其值由风的垂直切变(水平涡度)和水平梯度决定,表征大气的湿斜压性。

叠加分析3次甘肃中部大范围的沙尘暴天气过程的干湿位势涡度,当沙尘暴侵袭甘肃中部地区时,其共同的特征是:青海省中东部至甘肃酒泉地区东南部、黄河以北的广大地区,500 hPa干位势涡度 >0.66 PVU场向西宁东南伸展,在 ΔPV_z 变量场0.18中心出现在兰州附近,表明沙尘暴移动的路径与变量场相一致。这就说明沙尘暴出现前^[14],500 hPa河西走廊的强冷空气倾斜性向近地面在乌鞘岭附近堆积,垂直方向的物理量场同时也有着清晰的显示。

5 形成沙尘暴的动力成因

按照沙尘暴在甘肃中部出现的时间、次序、发展和移动路径、影响范围、出现的次数等进行分析研究表明,近年来甘肃中部发生沙尘暴的频率越来越高,尤其是进入2000年以后,随着全球气候异常变暖,局地气候异常变化等因素,促使强沙尘暴袭击甘肃中部的“频率加快、间隔变短、强度加大”,是甘肃西部、河西走廊、腾格里沙漠中发展的沙尘暴翻越乌鞘岭后向东南发展的次数增多^[15],同时范围逐渐扩大。

风沙活动是干旱气候和裸露地表的背景下,由流体动力的不稳定性所引起的。西北地区沙尘暴天气发生一般需要足够强劲持久的风力场作用,平均风速 $\geq 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;强冷空气是形成沙尘暴天气的启动动能,只有足够的冷空气团才有可能形成很强的气压梯度力,推动局地大气流体动力的水平运动。空气在流动中,沿垂直方向的风速差异较大,以及低层产生强烈的辐合,强迫冷空气在垂直方向流动,从而产生强烈的水平和垂直运动。瞬时最大风速 $\geq 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,短时间内大风的范围加大,当6~8级的西北大风向甘肃东南方向发展,500 hPa西风带中若有 $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流轴引导,通过沙漠的大风卷带沙尘和黄沙,迅速向甘肃中部方向逼近,所经之处若

无 $\geq 5.0 \text{ mm}$ 的降水,这种沙尘暴云团在移动中就有加强的趋势。2001年4月7—8日甘肃中部区域性的强沙尘暴过程,充分证明了这一现象。

6 形成沙尘暴的地理成因

甘肃中部区域位于青藏高原东北侧的边坡地带,近年来频繁遭受沙尘暴及强沙尘暴天气过程的袭击^[16-17]。经1983—2006年13例强沙尘暴过程的个例普查、追踪分析,清楚地表明沙尘暴天气的地理分布与其特殊的地理条件有很大的关系。西部是狭长的河西走廊戈壁沙漠,北边与蒙古高原相接,西邻南疆的塔克拉玛干大沙漠,东邻巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠,是沙尘暴天气多发地带。甘肃中部位三个主要沙尘暴爆发源区的下游,当沙尘暴发生时,随着高空急流轴流体动力的引导作用,沙尘暴向中部地区人口密集的兰州、白银、永登、临夏、定西等地区移动,所经之处,能见度急剧下降,将会造成交通中断,引发恶性交通事故;强大的风场动力摧毁电力设施,通信中断,吹毁温棚,给工农业生产和人民生命财产造成巨大损失,也给当地居民在心理上造成了一种荒凉可怕的景象。

7 结论

4月是我国北方广大地区沙尘暴天气日数最多、强沙尘暴过程频繁入侵甘肃中部地区的受灾月,即使是沙尘日数和沙尘天气过程最少的年份,4月也会有沙尘天气发生。气候变暖趋势在甘肃中部表现明显。春季北方处于季节性回暖过程中;甘肃中部在此时段中降水稀少、气候干燥、温度升降剧烈,频繁发生大风和突发性寒潮天气。这些都为沙尘暴的发生创造了有利的条件^[18]。

甘肃中部地区三面被沙漠包围,沙尘源区丰富,又处在冷空气南下的西北通道上,尤其是河西走廊为强冷空气南下起着“狭管效应”的作用,当春季有势力强大的冷空气入侵时,很容易形成强沙尘暴天气。而这种强冷空气伴随的沙尘暴云团发展到河西走廊东南段时,移动速度加快,迅速南下,往往造成以兰州为中心包括周边地县的甘肃中部沙尘暴天气。形成这种天气,既有特定的自然环境造成的原因,也有人类活动对生态环境破坏所引起的加剧作用,为此,全社会要引起高度重视,多方努力,共同减少和防御这种自然灾害给人类所带来的危害。

参考文献(References):

- [1] 张建平,王道杰,杨忠,等.元谋干热河谷区森林消长与生态环

- 境变化研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 79-87.
- [2] 张建平, 高玉葆. 区域沙漠化研究中的沙漠化数量表征[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 106-110.
- [3] 魏文寿, 何清, 刘明哲, 等. 准格尔盆地的气候变化与荒漠环境研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 1-5.
- [4] 赵性存. 西北地区是我国沙尘暴的多发区[A]. 北京: 气象出版社, 1997: 27-30.
- [5] 郑新江, 徐建芬, 罗敬宁, 等. 利用风云-1C 气象卫星监测南疆沙尘研究[J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 286-287.
- [6] 杨先荣, 李正明, 等. 临夏州“010408”强沙尘暴、寒潮天气过程分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 191-194.
- [7] 王式功, 董光荣, 陈惠利, 等. 沙尘暴研究进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349-356.
- [8] 方宗义, 朱福康, 江吉席, 等. 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社, 1997: 1-158.
- [9] 张社奇, 张广军, 雷瑞德. 沙漠化土地振子模型研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 72-75.
- [10] 贾铁飞, 银山, 何雨, 等. 乌兰布和沙漠东缘全新世湖泊沉积结构分析及其环境意义[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 165-170.
- [11] 王涛, 陈庭光, 钱正安, 等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 322-327.
- [12] 牛生杰, 孙继明, 桑建人. 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.
- [13] 尤红, 曹中和, 王式功, 等. 2004 年云南秋季强降水水位涡诊断分析[J]. 气象, 2006, 32(7): 95-101.
- [14] 董光荣, 吴波, 慈龙聪, 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.
- [15] 赵景波, 杜娟, 黄春长. 黄土高原侵蚀期研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 257-261.
- [16] 赵兴梁. 甘肃特大沙尘暴危害与对策[J]. 中国沙漠, 1993, 13(3): 1-7.
- [17] 朱震达, 刘恕. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 40-41.
- [18] 李岩瑛, 杨晓玲, 王式功, 等. 河西走廊东部近 50 a 沙尘暴成因、危害及防御对策[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 283-287.

Analysis on Cause of Strong Sandstorm Occurring in Middle Gansu Province

YANG Xian-rong^{1,2}, WANG Jin-song^{1,2}, HE Yu-chun³, DENG Ji-lu³,
REN Yu-long^{1,2}, YANG Wen-yue³

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Open Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, Gansu, China)

Abstract: This paper researched the characteristics and causes of strong sandstorms invading the middle area of Gansu through analyzing the weather system by using the high and surface data from 1970 to 2006. The results show that a 500 hPa air jet ($\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) came forth when sandstorm occurred in the southeast of Wuwei city of Gansu. The sandstorm speeded up and became more intense in effect of Hexi Corridor topography. Sandstorm climbed across the Wushaoling Mountain, then swept large extent of Baiyin, Lanzhou and Linxia etc. Entering the 21st Century, the frequency of sandstorm and strong sandstorm increases, the intensity strengthens and the influencing region widens.

Keywords: middle Gansu province; strong sandstorm; air jet axis