

甘肃沙尘暴短期、短时业务化预报方法研究^{*}

王锡稳¹⁾ 牛若云²⁾ 冀兰芝¹⁾

孙兰东¹⁾ 张铁军¹⁾ 陆登荣¹⁾

¹⁾(兰州中心气象台,兰州 730020) ²⁾(国家气象中心,北京 100081)

摘 要

利用 1955~2002 年甘肃省 80 个站的观测资料,对发生在甘肃境内的 64 个强或特强沙尘暴个例逐个进行了天气气候分析,总结了甘肃沙尘暴天气气候特点,沙尘暴爆发的天气类型、移动路径。得出沙尘暴短期和临近预报的着眼点,建立了甘肃沙尘暴短期预报概念模型。通过用计算机语言和模块化设计方案,成功设计了中国西北地区沙尘暴监测预警人机交互预报平台,实现了沙尘暴监测预警预报业务化。

关键词:沙尘暴 地理分布 移动路径 概念模型

引 言

近年来,人们对我国西北地区沙尘暴天气的时空分布、变化趋势做了大量研究分析工作^[1,2,3]。指出我国西北地区沙尘暴多发区主要集中在两大区域:一个是位于塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠,另一个是东起巴丹吉林沙漠、经腾格里沙漠到毛乌素沙漠,南至河西走廊的广大地区^[4]。

甘肃位于我国大陆西北部的中纬度地带,远离海洋,地表状况东部是黄土高原,西部是狭长的河西走廊戈壁带,北边与蒙古高原相接,西邻南疆的塔克拉玛干大沙漠。地理环境造成气候干燥,雨量稀少,蒸发大的特点,是典型的大陆性气候。到了春季,甘肃的河西走廊常处于冷暖空气交绥地带,因为地表面干燥,加之受上游天气的影响,浮土层厚,极易形成大风沙尘暴,特别当强冷空气携带着大量沙源路经此地时,使沙尘天气再度加强。所以,这里的风日最多,风力最强,是甘肃沙尘暴发生最多的地区,也是全国沙尘暴天气的高发区之一。

本文利用 1955 年 1 月至 2002 年 6 月甘肃省 80 个站的观测资料,根据沙尘暴的定义和划分标准^[5],经统计,在甘肃境内共有 64 个强或特强沙尘暴个例。我们对其进行了天气气候分析,试图找出沙尘暴预报着眼点,并实现沙尘暴预警预报业务化。

1 甘肃沙尘暴的季节变化

图 1 是 1955~2002 年甘肃省沙尘暴、强沙尘暴总日数分布图。由图可见:甘肃境内

^{*} 本文由中国科技部科研院所社会公益类“西北干旱区沙尘暴预警、服务系统研究”项目(专题编号 2001 科技部)和国家气象中心资料室课题项目(编号 ZK2002B-20)共同资助。
2002-10-11 收到,2003-06-03 收到修改稿。

有两个沙尘暴中心,一个在民勤,41年共发生了1211次沙尘暴,一个在金塔、鼎新,分别为887、774次,其次在张掖、景泰,分别是612、569次。从沙尘暴的地理分布来看,很不均匀,民勤是甘肃沙尘暴发生最多的地方,年平均达29.5次,沙尘暴区由北向南递减,以兰州为界,36°N以南地区发生沙尘暴的次数少,以北地区次数多。山区少,平原多。兰州市年平均发生沙尘暴的次数是1.5次。

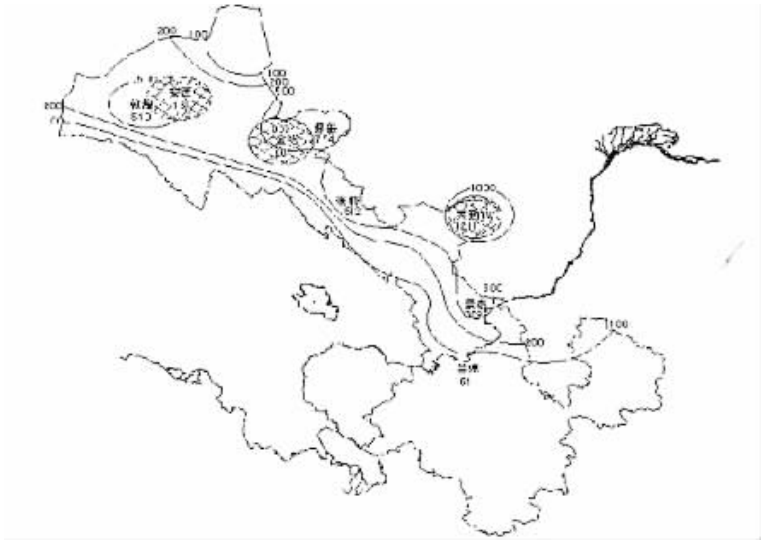


图1 1959~2000年甘肃沙尘暴、强沙尘暴总日数分布图
(阴影区为强沙尘暴区)

强沙尘暴和沙尘暴发生的范围比较吻合,主要集中在河西走廊的中部和东部,其它地方很少出现,最大强中心发生在河西走廊西部的金塔共28次,其次在民勤、安西等地为18和16次。

我们选取了五个有代表性的站点,绘制了沙尘暴日数的季节变化(图2)。

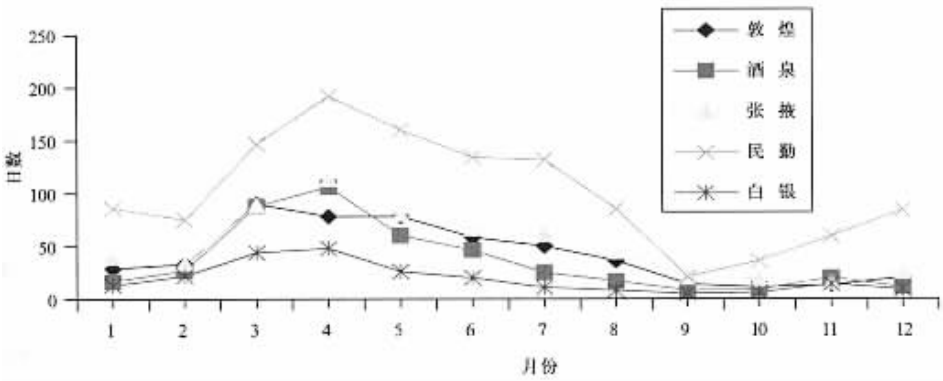


图2 各站沙尘暴日数季节变化

由图可见,沙尘暴天气甘肃一年四季均有发生。最多的季节是春季,而发生沙尘暴最多的月份是4月,占全年沙尘暴总数的26%,其次是3月和5月,分别占全年沙尘暴总数的22%和14%。8月、9月、10月、11月发生沙尘暴的次数最少,占全年沙尘暴总次数的2%左右。冬季占全年6%左右。

强沙尘暴的季节分布大致与沙尘暴相同,全年出现最多的季节是春季,出现最多的月份也是4月,占全年总次数的26%,其次是3月和5月,分别占全年的22%和14%,夏季6、7月份出现强沙尘暴的次数要比冬季高,约占全年的9%左右(图略)。

2 沙尘暴的天气分型

通过普查大量历史天气图,我们对发生在甘肃境内的64个强或特强沙尘暴个例进行了天气气候分析,对每一个个例从天气形势、影响系统、移动路径、影响范围、冷空气源地、云图特征、物理量诊断等方面深入总结分析,建立了强和特强沙尘暴个例过程档案库(表略)。

由于沙尘暴定义中对风速有一定要求,并且发生沙尘暴时,甘肃的情况一般同时也会出现大风,所以在天气分型中把大风和沙尘暴合在一起进行了划分。甘肃的沙尘暴可分为五种天气类型:冷锋后偏西型、强锋区下动量下传型、冷高压南部偏东型、热低压前部型、河西小槽东移型。

2.1 冷锋后偏西型大风沙尘暴

过程前一天500 hPa 08:00高空形势,乌拉尔山有高压脊发展,脊前巴尔喀什湖至新疆有明显低压槽加深,西北区上空为浅脊控制,北支环流经向度大,低压槽在 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 有 ≥ 8 个纬距的经向度,槽前负变高 $\Delta H_{24}\leq -4$ dagpm,槽后正变高 $\Delta H_{24}\geq 5$ dagpm,低槽冷中心 $\leq -32^{\circ}\text{C}$,最大风速 ≥ 26 m/s;700 hPa在 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 范围内有低压槽,冷中心 $\leq -16^{\circ}\text{C}$,最大风速 ≥ 15 m/s。随着巴尔喀什湖冷槽的东移,槽后西北气流中24 h正变高加强,槽前有24 h负变高进入高原。相应地面图上,冷锋过境,大风沙尘暴天气开始,且大风沙尘暴主要集中在气压、变压梯度较大以及高空冷平流较强的区域。尤其当冷空气翻越天山或帕米尔高原进入南疆盆地时,促使冷锋加强再东移,可造成河西较强的偏西大风沙尘暴。

另一种情况是,地面冷锋过境时,没有立即形成大风沙尘暴,而是在高空冷温度槽扫过时才开始。过程前降压升温,大风开始升压降温,风力大小视气压梯度,变压梯度而定,一般气压梯度要在20 hPa以上,这种大风如和高空急流配合,风力将加大,沙尘暴天气会更强。

2.2 强锋区下动量下传型大风沙尘暴

这类大风沙尘暴主要是由于大气低层热力增温造成大气层不稳定,使高层动量下传形成的。高空形势在乌拉尔山附近有一发展的高压脊,等高线和等温线非常密集,且二者走向基本一致,沙尘暴天气出现在强高空锋区下,在 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 有一支风速一般在20~30 m/s的西北风强风速带,形成较宽广的西风急流区。影响槽位于60°E以南,在 $80^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 之间,槽前 $\Delta H_{24}\leq -7$ dagpm,槽后 $\Delta H_{24}\geq 10$ dagpm。

在这支西北气流中,常有不稳定小槽,形成阶梯形“赶槽”,槽前暖平流促使地面蒙古气旋发展,甘肃河西地区处于蒙古气旋底部,降压升温明显,此类大风日变化明显,经常于午后开始,下午至黄昏时刻风力最大,夜间减弱。如高空大形势稳定不变,有时大风可连续 2~3 天,沙尘暴区位置少动,它们与高空强风速带一致。如果有冷锋配合风力还将进一步加大,沙尘暴增强,维持时间也会延长。

2.3 冷高压南部型偏东大风沙尘暴

此类大风沙尘暴系蒙古冷高压南压时随强冷空气入侵而产生的。

大风沙尘暴出现前 24 h,一般在新西伯利亚到巴尔喀什湖高空有冷槽,由于乌拉尔山暖脊的发展东移,促使脊前冷槽锋区加强并南压到蒙古人民共和国与河西走廊之间。当乌拉尔山暖脊向东北强烈发展,脊前在贝加尔湖至蒙古便形成横槽,并迅速东南下到达河套,对应的锋区呈东西向并南移。相应地面图上蒙古有较强的冷高压规律东南移,其前缘有东西向冷锋配合。此种形势下,祁连山脉的阻挡作用有利于冷空气在走廊地区堆积气压梯度增大,在地面迅速升压、降温的同时,冷高压底部偏东大风加强。此时,如冷空气偏西,主要影响甘肃河西西部、以酒泉西部最多,如冷空气偏东,自蒙古经河套东南下,主要影响内蒙古、宁夏、陕北等地区。当冷高压中心移至乌兰巴托以东时,酒泉地区大风沙尘暴结束,冷高中心移至乌兰巴托东南时,有利于走廊东部地区形成大风沙尘暴。如南疆有热低压东移,则将会导致沙尘暴天气的进一步加剧和持续。

2.4 热低压前部型偏东大风沙尘暴

此类大风沙尘暴系南疆热低压东移造成。

位于新疆或蒙古中西部从地面到 700 hPa 有较强的热倒槽东移,槽前暖平流促使 700 hPa 南疆暖性低压及地面热低压进一步发展。同时,蒙古人民公有变性冷高压南下,河西走廊处于南疆热低压前部和蒙古变性冷高压底部,气压梯度加大,造成偏东大风沙尘暴。此种类型往往和暖空气的强烈发展有关,暖空气自南疆东移发展,地面热低压位于和田附近,3 h 负变压中心所到之处,风力加大,午后加强,日落由于暖低压而风力减小,风力多在 6 到 7 级左右。由于热低压发展,同时可以引起强烈增温,能见度恶劣。此种类型多造成一般沙尘暴,不易造成强沙尘暴和特强沙尘暴。

2.5 河西小槽型大风沙尘暴

此类大风沙尘暴是高空短波槽脊东移造成。

沙尘暴发生前 48 h,在 08 00 500 hPa 图上,巴尔喀什湖至新疆西部为一小高压脊,甘肃的河西西部有浅槽,脊前从新疆东部至河西东部为西北气流,大风前 24 h,新疆高脊发展东移(脊线位于 84°E 附近),脊前蒙古西部有不稳定小槽或冷温槽沿西北气流东南下。大风沙尘暴当天,新疆脊东移到新疆东部(87°E 附近),08 00 地面图上,蒙古西北部为一高压中心,民勤北部为低压区,形成西北向气压差,使原在蒙古西部的不稳定小槽携带冷空气沿西北气流迅速扫过我区,造成对流不稳定及动量下传大风。这类大风沙尘暴,高空多为短波槽脊活动,风场反映并不明显,在预报值班中常不引起注意,往往会因疏忽而漏报。

我们对 1955~2000 年西北东部产生强或特强沙尘暴个例进行分型统计(表 1),从表 1 可以看到,影响西北东部的强或特强沙尘暴以冷锋型最多,占总次数的 73%,其次是动量

下传和河西小槽东移型 其它两种很少。

表 1 甘肃沙尘暴天气分型

天气分型	冷锋型	动量下传型	冷高压	热低压	河西小槽
次 数	46	7	4	1	5
百分率(%)	73.0	11.1	6.3	1.6	8.0

3 大风沙尘暴移动路径

沙尘天气的源地有两方面 就地起沙与外来沙源 ,甘肃天气沙尘的沙源大部分是外来的 ,本地只占有一部分 ,影响甘肃的沙源 ,多来自于蒙古或南疆盆地 ,由于沙尘暴移动路径的不同 ,对下游天气的影响也不同。我们将影响西北地区的沙尘暴划分为 :西方路径、西北路径和北方路径(图 3)。

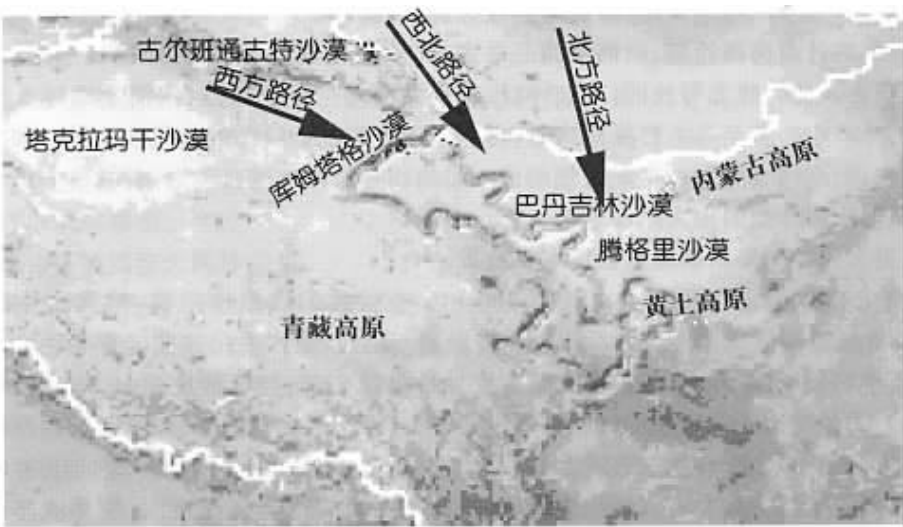


图 3 甘肃沙尘暴天气移动路径

(1) 西方路径类 冷空气从中亚翻越帕米尔高原进入南疆西部 ,沿塔里木盆地途经塔克拉玛干和古尔班通特古沙漠东移 ,影响南疆、甘肃河西及青海北部出现大风沙尘暴天气。此类沙尘暴共发生 21 次占 33.3%。

西方路径影响甘肃的主要站点有 :野马街、民勤、张掖、鼎新、金塔、酒泉、玉门、景泰、高台、民乐。

(2) 西北路径类 冷空气源于冰洋气团 ,强冷空气自西西伯利亚向东南经我国北疆、内蒙古西部入侵河西走廊 ,造成大风沙尘暴 ,冷空气穿过巴丹吉林和腾格里沙漠 ,然后东移至鄂尔多斯高原。此类沙尘暴具有范围广、强度大、灾害严重的特点。发生次数最多共发生 26 次占 41.3% ,但主要影响新疆、甘肃、宁夏、青海、内蒙古等省区 ,可形成很强的黑风暴。

西方数据
西北路径主要影响甘肃的站点有 :民勤、张掖、鼎新、金塔、酒泉、武威、玉门、敦煌、景

泰、白银、金昌、临泽、民乐。

(3) 北方路径类 此类冷空气来自极地气团或变性气团,经贝加尔湖、蒙古国南下,影响我国西北地区东部和华北等地,此类共发生 17 次占 25.4%。北方路径影响甘肃的主要站点有:民勤、张掖、高台、金塔、酒泉、玉门、武威、景泰。

大量统计事实表明,玉门、金塔、酒泉、张掖、民勤、景泰 6 站无论哪一种移动类型都容易出现沙尘暴天气,这些站点也是甘肃特强沙尘暴的高发站,其它站点则因移动路径而都各有侧重。

沙尘暴的发生与天气形势和移动路径密切相关,每一种天气类型都包括有三种不同的移动路径。由表 2 可知,在西北路径中,冷锋型和动量下传型次数较多。北方路径中冷高压型和河西小槽型较多。西方路径中热低压型最多,并且热低压型只出现在西方路径中。

西北路径类沙尘暴影响范围广、强度大,冷锋移经之地均可出现沙尘暴;北方路径类主要影响内蒙古、宁夏、陕北、甘肃河西东部、华北及东北等地;西方路径类沙尘暴多出现在南疆盆地、主要影响河西走廊西部及青海省。特别是沿祁连山一线的测站。

表 2 天气系统与移动路径统计结果

天气分型	冷锋型	动量下传型	冷高压	热低压	河西小槽
西北路径	20(43.5%)	5(71.4%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(20.0%)
北方路径	8(17.4%)	2(28.6%)	3(75.0%)	0(0.0%)	3(60.0%)
西方路径	18(39.1%)	0(0.0%)	1(25.0%)	1(100.0%)	1(20.0%)

4 沙尘暴预报概念模型

沙尘暴天气突发性强,危害广,社会各界都非常关注,但它的预报难度大,我们通过对 64 个强沙尘暴个例的合成分析,总结了 97 条(略)客观定量预报规则和沙尘暴概念模型。在此基础上,用计算机语言和模块化设计方案,成功设计了中国西北地区沙尘暴监测预警人机交互预报平台,实现了沙尘暴监测预警预报业务化,最终作出沙尘暴有无和强度预报(图 4)。我们利用沙尘暴分类建立的概念模型,对 2002 年 3 月 19 日沙尘暴进行了检验,能够准确预报,可用于业务检测预报和服务。具体检验结果另文发表。

5 沙尘暴预报着眼点

(1) 沙尘暴的形成及其强弱,直接取决于风力、气温、降水、冷空气活动及与其相关的土壤表层状况。强风是产生沙尘暴的动力,地面上裸露的疏松沙土是产生沙尘暴的物质基础,冷空气活动频繁,会导致风力增大沙尘天气加强。气温高、降水少、大风多是形成沙尘暴的主要原因。

(2) 欧亚大陆高空在一脊一槽或两槽一脊的环流形势下,乌拉尔山(或中亚)长波脊的建立、发展东移是关键,它的建立使其前部的长波槽加深发展,低槽斜压性强,槽后有一支风速 ≥ 20 m/s 的强风速带,易引起扰动动能的加强和动量下传。

(3) 地面关键区有冷锋过境,冷锋前后的正、负 ΔP_{24} 、 ΔP_3 反映了气压场的最新变

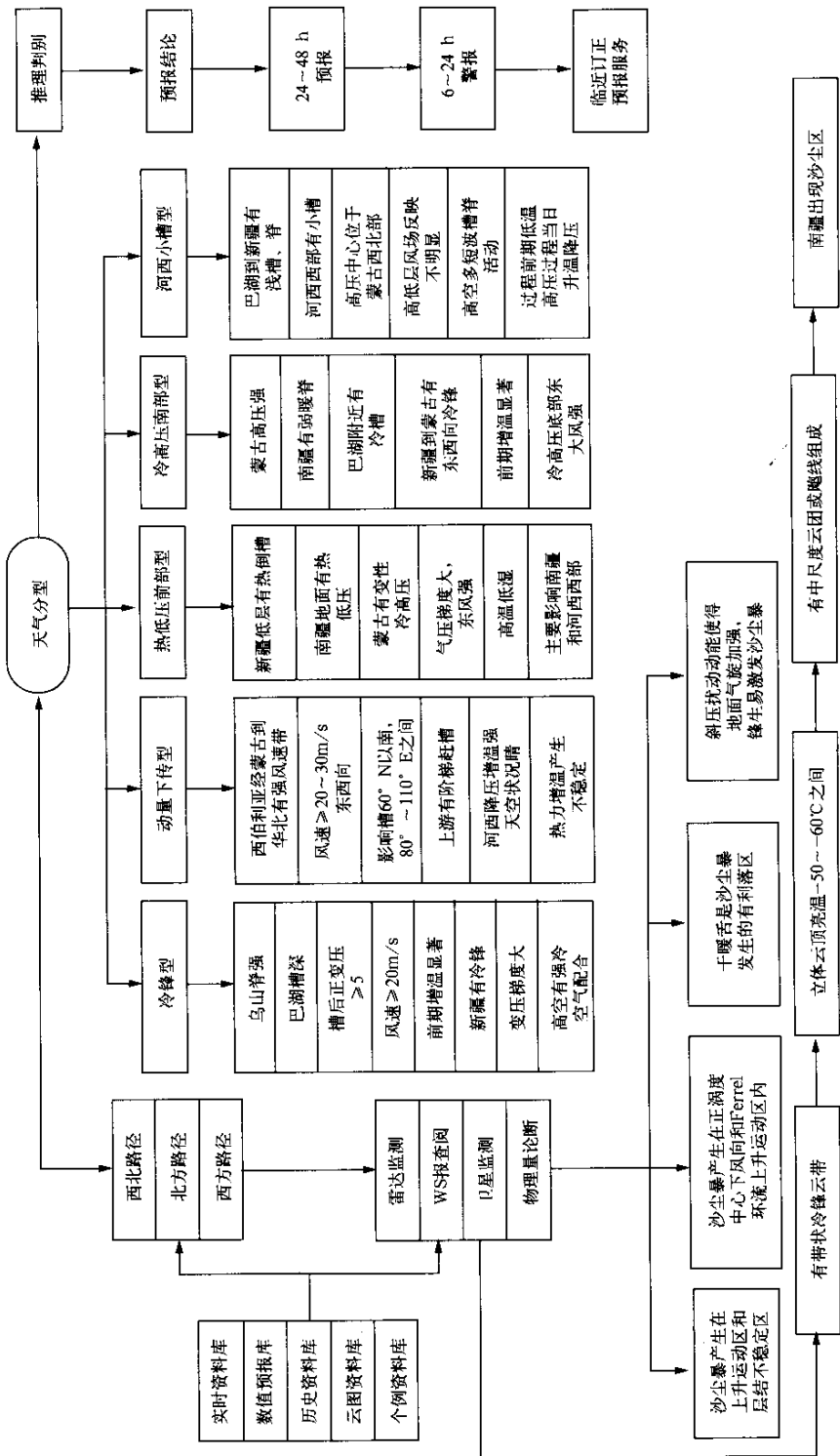


图4 甘肃短期短时沙尘暴预报概念模型

化,代表了冷暖空气演变的最新动态, ΔP_3 差值越大越有利大风沙尘暴加强,正负 ΔP_3 中心连线的方向代表着冷暖空气移动方向,也是大风沙尘暴移动的方向。

(4)沙尘暴爆发前期的气候背景增温显著,从地面到对流层中层持续增温大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,有时 24 h 增温达 $7\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,当有冷空气影响时,形成大气层结不稳定,进而激发沙尘暴。大风沙尘暴出现前水平温度梯度、气压梯度、变压梯度越大沙尘暴越强。

(5)沙尘暴发生在正涡度中心的下风方和 Ferrel 环流上升运动区内,斜压扰动动能使得地面气旋加强,锋生易激发沙尘暴。

(6)卫星云图上有明显的冷锋云带,云带由密实的中高云系组成,云顶亮温一般在 $-50\sim -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,锋面云带前边界较模糊,后边界较整齐,有时云带前边界或其前部有中尺度对流云团和中尺度爬线。冷空气移动路径不同,锋面云带的走向也有所区别。西北类锋面云带多为东北—西南走向,自西北方沿北疆而向东南直冲河西走廊,北方类云带走向呈东—西向,从贝加尔湖经蒙古国南压至河套一带,西方类云带一般呈南北向,云带尾部伸至 35°N 以南。

(7)当冷锋云系主体部分的云顶亮温出现 $\leq -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域,并且冷锋云系前缘亮温梯度 $\geq 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 时,有利于产生强沙尘暴天气。中尺度云团的不断生成和持续发展,表明对流运动增强,有利于强沙尘暴天气的出现和加强。

(8)正确估计冷锋过境时间,也是预报大风沙尘暴的关键。大风沙尘暴多发生在地面冷锋过境时或过境后,冷锋在午后到前半夜过境最有利沙尘暴的发展加强。

(9)“黑风”是发生在甘肃境内的一种特强沙尘暴天气,突发性强,破坏性极大,生命史短。一般“黑风”发生前天气尺度系统明显加强, 6 h 形势场单站要素会发生“跃变”,这个“跃变”的过程有很强的指示性。

(10)由于甘肃的沙尘暴以冷锋型最多,占总次数的 73% 。所以每年冬春季节,只要有强冷空气路经我省,就会出现沙尘暴。特别在高空干冷急流和强垂直风速、风向切变及热力不稳定层结条件下,引起锋区附近中小尺度系统生成、发展,加剧了锋区前后的气压、温度梯度,形成了锋区前后的巨大压温梯度,在动量下传和梯度偏差风的共同作用下,使近地层风速陡升,掀起地表沙尘,极易形成强沙尘暴或特强沙尘暴。

参 考 文 献

- 1 王式功,董光荣,杨德保,等.中国北方地区沙尘暴变化趋势初探.自然灾害学报,1996,(2):86~94.
- 2 徐启运,胡敬松.我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征.应用气象学报,1996,(4):479~482.
- 3 杨东贞,房秀梅,李兴生.我国北方沙尘暴变化趋势的分析.应用气象学报,1998,(3):352~358.
- 4 “西北干旱区沙尘暴预警服务系统研究”课题组.我国西北地区沙尘暴分析.北京:气象出版社,2002.134.
- 5 陈晓光,张存杰,董安祥,等.甘肃沙尘暴过程的划分和研究.高原气象,待发表.

SHORT-TERM SAND-DUST STORM FORECASTING
METHOD RESEARCH IN GANSU PROVINCE

Wang Xiwen¹⁾ Niu Ruoyun²⁾ Ji Lanzhi¹⁾
Sun Landong¹⁾ Zhang Tiejun¹⁾ Lu Dengrong¹⁾
¹⁾(*Lanzhou Central Meteorological Observatory , Lanzhou 730020*)
²⁾(*National Meteorological Center , Beijing 100081*)

Abstract

According to the observational data from 1955 to 2002 at 80 stations in Gansu Province , 64 ex-
amples of stronger sand-dust storm occurring in the province are analyzed. Their climate , weather
circumstances , influential system , influential range , the cold air source , cloudy features , and con-
ception diagnosis are studied. The climate characteristics , the weather patterns and the moving
tracks of sandstorm in Gansu province are summarized. The short-term forecasting methods of sand-
dust storm are built , and the short-term forecasting conception model is given. Applying the com-
puter language and model design method , the sand-dust storm monitoring and forecasting platform is
successfully built to achieve the practical need of sand-dust storm monitoring and forecasting .

Key words : Sand-dust storm Geography distribution Weather dividing type Moving track
Conception model