

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^[1-3]。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,极容易形成大风沙尘暴,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。

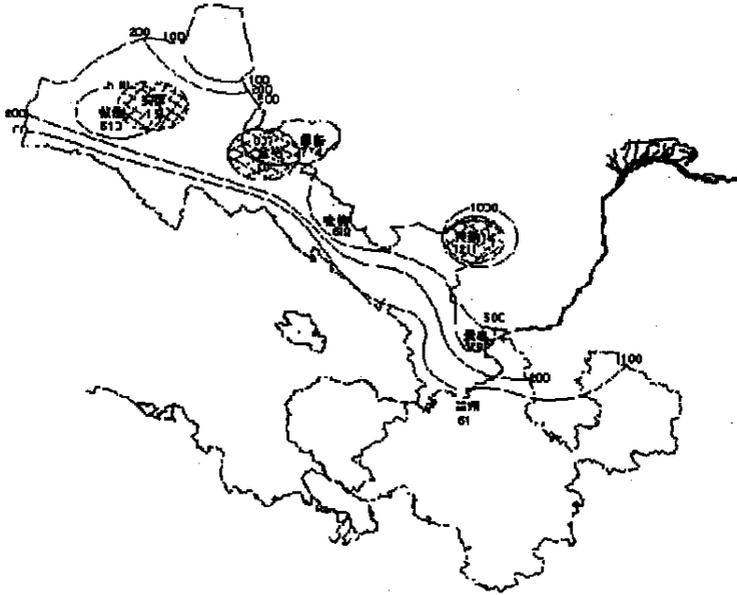


图1 1959~2000年甘肃沙尘暴、强沙尘暴总日数分布图
(阴影区为强沙尘暴区)

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)。

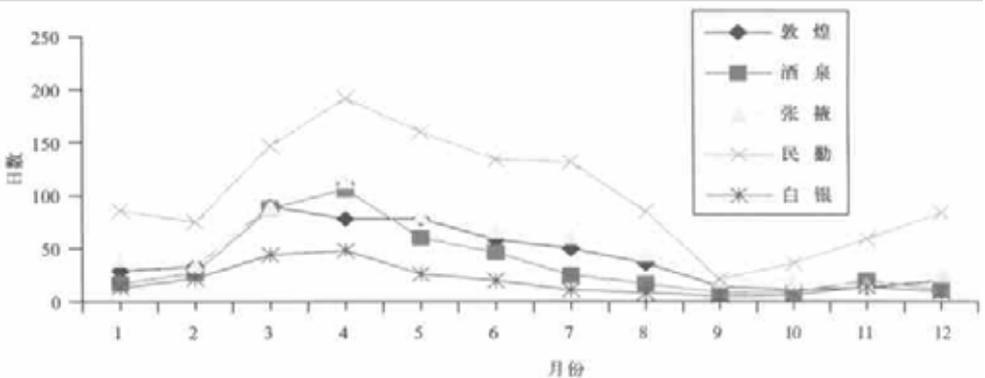


图2 各站沙尘暴日数季节变化

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 $\Delta H_{24} \leq -4 \text{ dagpm}$,槽后正变高 $\Delta H_{24} \geq 5 \text{ dagpm}$,低槽冷中心 $\leq -32^{\circ} \text{C}$,最大风速 $\geq 26 \text{ m/s}$;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 $\geq 15 \text{ m/s}$ 。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,大风开始升降降温,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 $20 \sim 30 \text{ m/s}$ 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°N 以南,在 $80^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$ 之间,槽前 $\Delta H_{24} \leq -7 \text{ dagpm}$,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,蒙古人民共和国有变性冷高压南下,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西部为西北气流,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 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

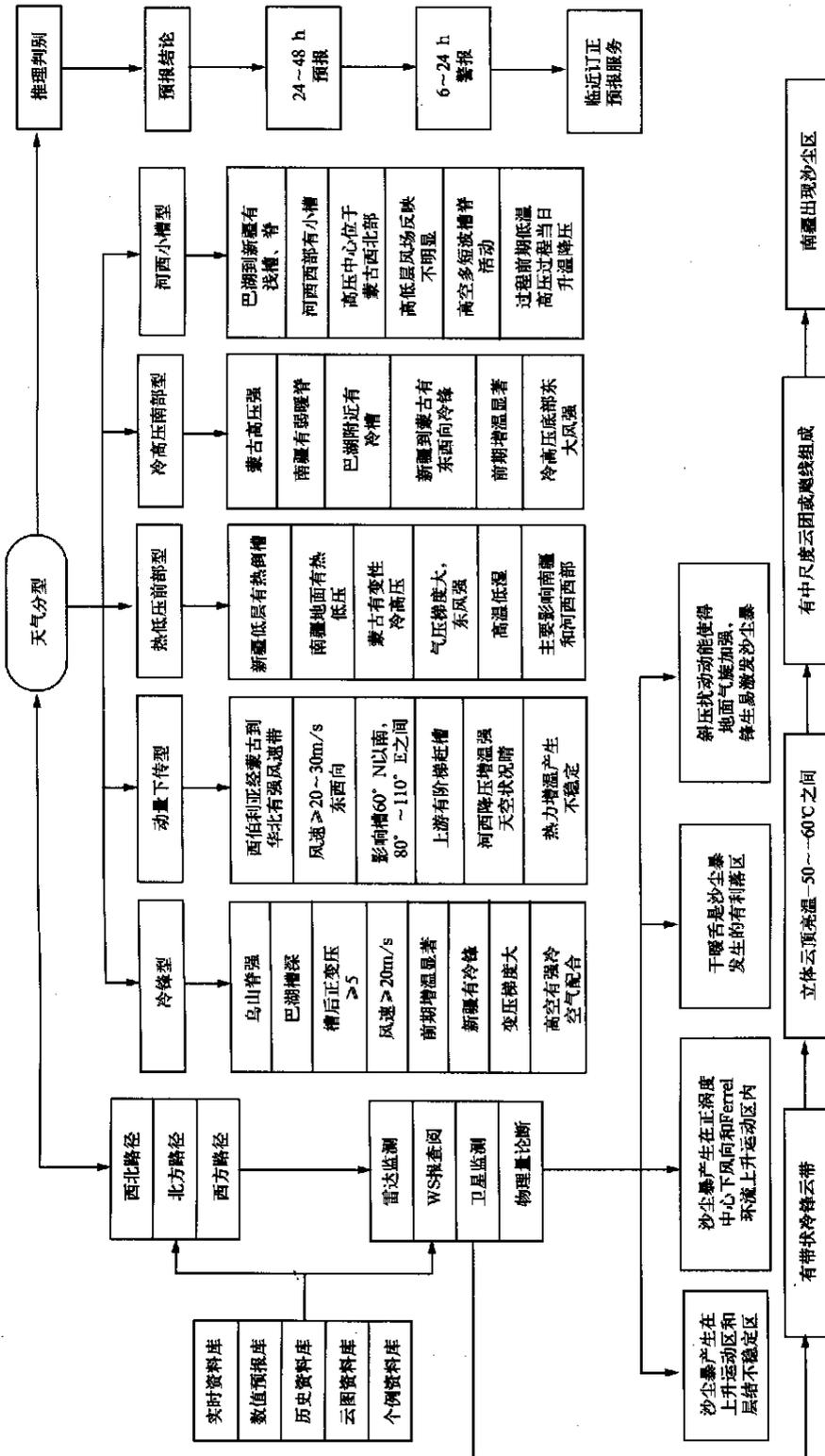


图4 甘肃短期短时沙尘暴预报概念模型

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飑线。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, 5(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, 7(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, 9(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 examples 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 conception 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 computer 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