

文章编号:1000-694X(2006)02-0295-05

陕北地区沙尘暴天气分析及预报

李 平, 刘 勇, 杜 继 稳, 侯 明 全, 侯 建 忠, 方 建 刚

(陕西省气象台, 陕西 西安 710015)

摘要: 分析了陕北 1960—2000 年沙尘暴的年际和年代变化情况。从高空环流形势图上, 可将该地区沙尘暴天气的影响系统分为三种类型。研究发现: 陕北沙尘暴的产生不仅受强风、大气的不稳定和沙源三大因子支配, 前期的干旱程度也是产生沙尘暴的一个重要因子。用降水和气温这两个要素构成的干旱指数 S 的变化与陕北沙尘暴的变化趋势基本一致。通过检验可以发现, 充分考虑该地区前期干旱指数 S 的变化, 将会明显提高强沙尘暴的预报准确率。

关键词: 强沙尘暴; 干旱指数; 强风; 沙源; 预报规则

中图分类号: P445.4 文献标识码: A

从 20 世纪 30 年代起, 气象学者就开始了对沙尘暴分布、形成、监测和对策的系统研究。美国等许多国家在 30 年代就开始了黑风分析, 现已形成了一系列分析和预测方法。日本、韩国等国家都在进行有关沙尘的监测和预报技术研究。国内对沙尘暴的研究始于 20 世纪 70 年代末, 徐国昌^[1]、徐建芬^[2]、王式功^[3]等先后对发生在我国西北地区的几次典型沙尘暴个例做了分析和数值模拟研究。通过对西北地区沙尘暴的成因, 沙尘暴的监测、预报方法以及沙尘暴天气的预警服务系统等方面的研究, 由方宗义、朱福康等编写了《中国沙尘暴研究》一书。由于沙尘暴的时空分布和强度变化很不均匀, 常规资料几乎无法获取其时空变化信息, 卢乃锰^[4]等研究了利用气象卫星监测沙尘暴, 从气象卫星遥感资料中提取沙尘天气的各种物理参数, 为预报沙尘暴天气的发生、发展、移动路径以及综合治理方案提供了科学依据。周秀骥^[5]等研究了沙尘暴天气在起沙、扬沙、水平输送以及沉降过程中涉及的关键的动力学问题。

1 自然概况

陕北地区包括榆林地区和延安地区, 位于“北山”以北, 是我国黄土高原的主要组成部分。地势西北高, 东南低, 海拔 900~1 500 m, 平均海拔 1 100 m。高原北部长城沿线以北为毛乌素沙漠, 长城沿线以南地表被黄土覆盖。因黄土疏松, 富含钙质, 易溶解于水, 经流水长期侵蚀, 在埋藏地形基础上形成

了塬、梁、峁、沟壑等交织的黄土地貌。植被稀少, 地面形态以流动、半固定、固定的各种沙丘、沙地、沙滩为主。近 150 a 来, 沙漠已伸展至长城以南部分地区。

本区属温带干旱和半干旱气候区, 年降水量为 450~600 mm。定边降水量是全省最少的地方, 年平均降水量只有 334 mm。陕西的沙尘暴主要集中在陕北地区, 榆林的西北部为全省年平均沙尘暴的多值区, 定边、横山、榆林高于 10 d, 定边达 24 d。研究陕北沙尘暴天气的发生、发展, 做好沙尘暴天气的预报、预警, 进而为综合治理沙尘天气服务, 就为气象工作者提出了更高的要求。目前国内外在沙尘暴天气预报方面, 只能作出定性的落区预报。许多专家认为, 沙尘暴的产生主要是受强风、大气不稳定和沙源三大因子支配, 笔者提出了一种对陕北沙尘暴定时、定点预报的有效方法, 并认为前期的干旱程度也是产生沙尘暴的一个重要因子, 并在预报中取得了明显的效果。

2 沙尘暴的时间分布

近年来, 对我国沙尘暴演变趋势的分析结果是: 自 20 世纪 50 年代以来, 沙尘暴发生次数或沙尘暴日数总体上呈波动式减少趋势^[6,7]。此处选择榆林、横山、定边、延安为代表站, 分析陕北 1960 年到 2000 年沙尘暴的年代变化情况(表 1)。我们可以发现, 60~70 年代, 沙尘暴日数的趋势为增多, 70 年代次数最多; 70~80 年代趋势为减少; 80~90 年代明显减少。

表 1 陕北部分代表站不同年代的沙尘暴日数

Tab. 1 Sandstorm days in different decade recorded by representative stations in north Shaanxi

代表站	1961—	1971—	1981—	1991—
	1970年	1980年	1990年	2000年
榆林	116	136	57	10
横山	141	153	77	25
定边	225	331	307	111
延安	19	25	10	1

陕北 1960—2000 年沙尘暴日数的年际变化(图 1),1976 年定边县年发生沙尘暴日数最多,为 35 d;其次是榆林,为 27 d。从 60 年代中期到 70 年代中期,沙尘暴发生次数呈逐年增多趋势;从 70 年代中期到 90 年代初期,沙尘暴年发生次数呈逐年减少趋势;从 90 年代初期到 90 年代中期,定边沙尘暴年发生次数呈逐年增多趋势,90 年代中期到 90 年代末期呈逐年减少趋势,其他代表站变化不大。1962 年、1966 年、1969 年、1971 年、1976 年、1982 年、1988 年、1995 年、2000 年为多沙尘暴年,1961 年、1964 年、1970 年、1975 年、1978 年、1986 年、1989 年、1990 年、1997 年为少沙尘暴年。

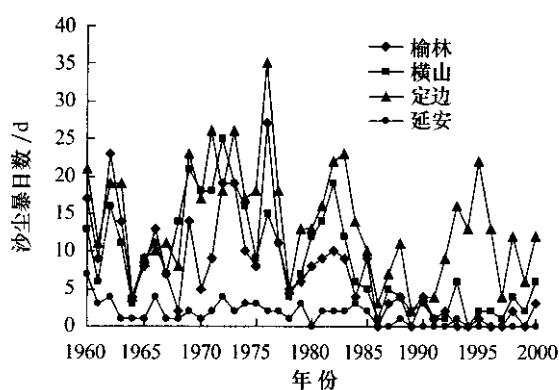


图 1 陕北 4 个代表站沙尘暴日数的年际变化

Fig. 1 Change of annual sandstorm days in 4 representative stations of north Shaanxi

3 高空环流形势及影响系统特征分布

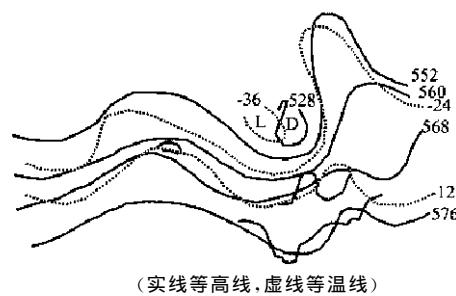
沙尘暴的发生与冷空气的移动密切相关,李岩瑛等^[8]分析了河西走廊东部沙尘暴发生的高低空环流形势,并对影响系统进行了分类;陈晓光等^[9]通过对宁夏春季典型沙尘暴年环流特征量的分析,认为多沙尘暴年和少沙尘暴年前期气象要素及环流特征量存在明显差异。对陕北 1960—1995 年沙尘暴天气的个例分析发现:在 500 hPa 高空环流形势图上,乌拉尔山附近为一高压脊,贝湖附近为一深厚的低槽区,脊前槽后^{无高数据}为西北气流,将极地附近的冷空气向

东南方向输送,造成了陕北的大风、沙尘暴天气。

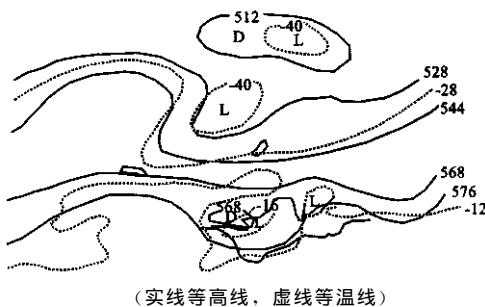
普查 1960—1995 年的沙尘暴天气的个例,我们定义某日 08 时到次日 08 时,陕北出现 10 站次以上沙尘暴时,该日为一次陕北的沙尘暴日,共计有 79 个沙尘暴日。通过对陕北出现沙尘暴时的前一日的 08 时(北京时)500 hPa 高空天气图和地面天气图的分析,可将该地区沙尘暴天气的影响系统分为西北气流型、巴湖槽型和蒙古冷槽型三类。

3.1 西北气流型

这是陕北沙尘暴最强的一种环流形势,79 个个例中出现了 11 个,占个例总次数的 14%。在前一日 08 时 500 hPa 高空图上,新地岛附近为一冷低压中心,乌拉尔山以东到新疆上空为暖高压脊控制,其脊前为西北气流,风速达 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大可达 $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,贝加尔湖到柴达木盆地为一低槽,槽位于关键区 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{N}, 95^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 内,里海附近为低压槽区,槽后风速较强且温度槽落后于高度槽(图 2),有较强的冷平流。14 时地面图上蒙古到南疆有冷锋存在。这种类型的沙尘暴天气的冷空气首先进入新疆,在天山以北堆积,然后进入柴达木盆地,翻越祁连山,向东南方向移动,影响陕北、关中、陕南地区。



这种类型的沙尘暴天气的冷空气首先进入我国北疆,再逐渐向东移动,影响陕北、关中地区。



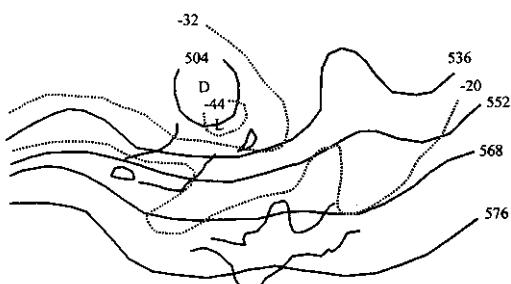
(实线等高线, 虚线等温线)

图 3 1981 年 4 月 30 日 08 时 500 hPa 形势

Fig. 3 The 500 hPa circulation for 00 GMT 30, April 1981

3.3 巴湖槽型

这种陕北沙尘暴天气的环流形势,79 个个例中出现了 42 个,占个例总次数的 53%。在前一日 08 时 500 hPa 高空图上,乌拉尔山到西西伯利亚、贝加尔湖为一宽广的低压槽区,槽位于关键区 40°~60° N, 75°~100°E 内,槽内有一-26℃的冷中心相配合(图 4)。从新地岛附近不断有冷空气沿乌拉尔山脊前下滑东移,冷空气位置偏北,14 时地面图上天山附近有弱冷锋,该型造成的沙尘暴只影响陕北地区。



(实线等高线, 虚线等温线)

图 4 1998 年 4 月 14 日 08 时 500 hPa 形势

Fig. 4 The 500 hPa circulation for 00 GMT 14, April 1998

4 前期干旱因子在沙尘暴预报中的应用

以气候干旱为主的环境因子是沙漠化的主要原因,王涛等在科尔沁地区沙漠化过程中指出,干旱作为大的天气系统影响的结果,可使区域受灾面积大,持续时间长;特别是连季干旱或连年干旱,单从自然因素方面也对土地沙漠化起到了推波助澜的作用^[10]。

从干旱形成的条件来看,除了与大气的降水减少有关外,还与土壤中含水量的过度蒸发有关。只有降水减少又产生大量的地面蒸发才能导致干旱。

我们用降水和气温这两个要素构成的 S 指数作为干旱的指标。S 指数定义为:

$$S = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R}$$

式中: $\Delta T = T - \bar{T}$, $\Delta R = R - \bar{R}$ 分别为某时段平均的气温和降水与相应多年的平均值之差; σ_T 和 σ_R 分别为相应的标准方差。一般来说,某时段 ΔT 越大, ΔR 越小, 即降水减少, 气温偏高时, S 就越大, 该时段偏向于干旱;某时段 ΔT 越小, ΔR 越大, 即降水增加, 气温偏低时, S 就越小, 该时段偏向于不干旱。

此处选取陕北地区的榆林、定边、横山、延安 4 个代表站 1959 年 12 月份、1960—2000 年的 1~5 月月平均气温和月降水量,考虑到陕北沙尘暴以每年的 12 月至翌年 5 月为主,计算了该 4 个站 12 月至翌年 5 月平均月干旱指数(图 5)。

我们可以发现,20 世纪 60 年代初期到 60 年代中期,陕北干旱趋势是逐渐减弱,沙尘暴也呈逐渐减少趋势;60 年代中期到 70 年代中期陕北干旱比较严重,对应着沙尘暴的高值区;70 年代中期到 2000 年陕北干旱趋势是逐渐减弱,除定边外,沙尘暴也呈逐渐减少趋势。

5 沙尘暴天气预报着眼点分析

5.1 沙源

陕北地处河套平原,毛乌素沙漠与其相邻,西北部有腾格里沙漠和黄土,这些地区冬春季降水较少,土壤疏松干燥,这就为沙尘暴发生提供了丰富的沙源。

5.2 强风

风对沙尘天气的形成的作用首先使沙尘在地表运动,这种运动方式往往以滚动、跳移方式出现。当沙尘开始运动后,受湍流上升气流的影响便会被卷起来。统计发现,当图 6 中两直线间至少有 2 站出现 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风天气时,陕北冬春季容易出现沙尘暴天气。

5.3 预报规则

对陕北这种出现 10 站次以上的沙尘暴日,我们也称之为一个强沙尘暴日。前面为此做了 500 hPa 的高空环流分型,下面建立其预报规则。

5.3.1 预报指标

(1) 根据前一日的 08 时 500 hPa 环流形势,判别

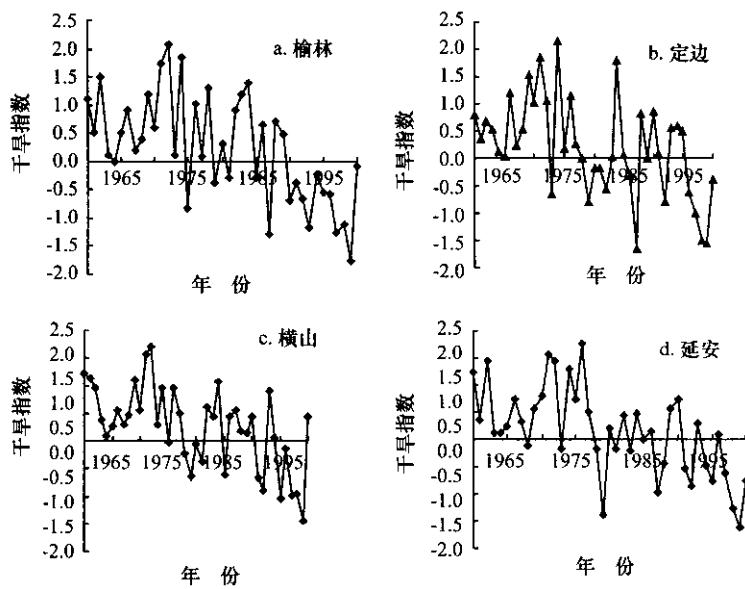


图 5 1960—2000 年 12 月至翌年 5 月平均月干旱指数

Fig. 5 Monthly average drought index of December-to-May from 1960 to 2000

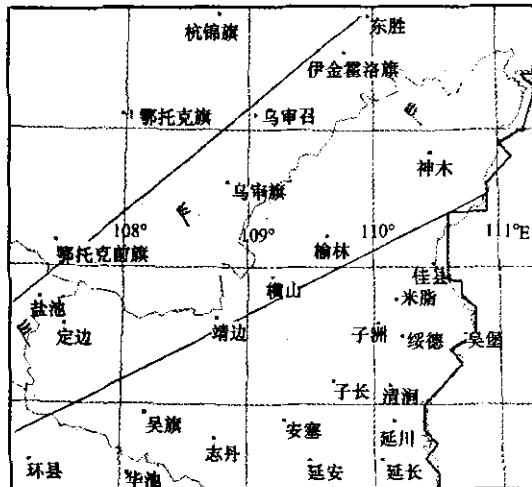


图 6 陕北沙尘暴发生前的大风分布

Fig. 6 Gale distribution ahead sandstorm occurring in north Shaanxi

属于西北气流型、巴湖槽型、蒙古冷槽型中的某一类。

(2) 前一日的 14 时地面天山附近或河套北部有冷锋出现。

(3) 前一日的 08 时地面冷空气前有较强暖空气, 有低气压发展, 锋前地面有较强的辐合。

(4) 前一日的 14 时邻近陕北的上游内蒙古、宁夏有沙尘暴出现,且大气处于不稳定状态。

5.3.2 消空指标

(1) 在前一日的 08 时 500 hPa 高空天气图上, 敦煌、酒泉、额济纳旗、民勤、银川、临河站中无 3 站以上吹 $\geq 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西北风。

(2) 陕北地区的榆林、横山、定边、延安 4 个代表站中有 2 个站以上在沙尘暴发生前这个月内干旱指数 S 大于 0。

在同时满足 4 条预报指标,而不满足任何一条削空指标的情况下,可预报陕北地区次日有 10 站次以上沙尘暴天气。用这 79 个个例资料对以上 3 种类型的预报规则进行了回代,预报准确率可达 97%。

6 检验分析

统计 1995—2000 年陕北日发生沙尘暴天气个例,发现日出现 10 站以上沙尘暴天气共有 4 次,分别是 1998 年 4 月 15 日(10 站)、1998 年 4 月 16 日(14 站)、2000 年 4 月 19 日(16 站)、2000 年 5 月 11 日(11 站);日出现 10 站以下沙尘暴天气共有 39 次。根据上述预报规则对其进行了统计检验(表 2)。

由表 2 可见,通过对这 5 a 来沙尘暴天气的检验,我们发现该预报规则对于陕北日发生 10 站次以上的强沙尘暴天气有着较好的预报效果;而对于日发生 10 站次以下的 39 次沙尘暴天气,预报出 33 次,预报准确率 85%;漏报 6 次,漏报率 15%,而这 6 次漏报的沙尘天气都是因为局地大风天气造成个别站点的天气现象。

7 结论与讨论

陕北出现沙尘暴时 500 hPa 高空环流形势图上, 乌拉尔山附近为一高压脊, 贝湖附近为一深厚的低槽

表2 1995—2000年陕北日发生沙尘暴天气预报统计检验表

Tab. 2 Statistical test table of sandstorm weather daily occurring in north Shaanxi from 1995 to 2000

项目	日出现 10 站次以上沙尘暴天气次数		日出现 10 站次以下沙尘暴天气次数	
	4	39	33	0
指标	同时满足 4 条预报指标	同时满足 4 条预报指标	不同时满足 4 条预报指标	不同时满足 4 条预报指标
消空指标	不满足任何一条消空指标	不满足任何一条消空指标	满足任何一条消空指标	满足任何一条消空指标
预报有沙尘暴天气次数/次	4	33	0	0
准确率/%	100	85	15	15
漏报率/%				

区,脊前槽后为西北气流,将极地附近的冷空气向东南方向输送,造成了陕北的大风、沙尘暴天气。影响系统分为西北气流型、巴湖槽型和蒙古冷槽型三类。

分析沙尘暴发生前的干旱指数 S ,发现 20 世纪 60 年代初期到 60 年代中期,陕北干旱趋势是逐渐减弱,沙尘暴也呈逐渐减少趋势;60 年代中期到 70 年代中期陕北干旱比较严重,对应着沙尘暴的高值区;70 年代中期到 2000 年陕北干旱趋势是逐渐减弱,除定边外,沙尘暴也呈逐渐减少趋势。

分析发现,陕北沙尘暴的产生不仅受强风、大气的不稳定状态和沙源三大因子支配,前期的干旱程度也是产生沙尘暴的一个重要因子。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 徐建芬,牛志敏,陈伟民,等.我国西北地区“4.5”沙尘暴研究

[J].中国沙漠,1996,16(3):281—285.

- [3] 王式功,杨德保,金炯,等.我国西北地区黑风暴的成因和对策[J].中国沙漠,1995,15(1):19—30.
- [4] 卢乃锰,胡秀清,邱红.利用静止气象卫星监测沙尘暴的业务方法[A].沙尘暴监测预警服务研究[C].北京:气象出版社,2002.34—39.
- [5] 周秀骥,徐祥德,颜鹏,等.2000 年春季沙尘暴动力学特征[A].沙尘暴监测预警服务研究[C].北京:气象出版社,2002.56—67.
- [6] 钱正安,宋敏红,李万元.近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2):106—111.
- [7] 丁瑞强,王式功,尚可政,等.近 45 a 我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J].中国沙漠,2003,23(3):306—310.
- [8] 李岩瑛,李耀辉,罗晓玲,等.河西走廊东部沙尘暴预报方法研究[J].中国沙漠,2004,24(5):607—610.
- [9] 陈晓光,赵光平,郑光芬,等.宁夏春季典型沙尘暴年环流特征量分析[J].中国沙漠,2004,24(5):570—575.
- [10] 王涛,吴薇,赵哈林,等.科尔沁地区现代沙漠化过程的驱动因素分析[J].中国沙漠,2004,24(5):519—528.

Sandstorm Weather Analysis and Forecasting in North Shaanxi

LI Ping, LIU Yong, DU Ji-wen, HOU Ming-quan, HOU Jian-zhong, FANG Jian-gang
(Shaanxi Meteorological Observatory, xi'an 710014, China)

Abstract: This paper analyzed the interannual and decadal changes of sandstorm from 1960 to 2000 in north Shaanxi. According to the upper air circulation pattern, we divided the impacting system on sandstorm weather of this region into three patterns. Sandstorm occurring in north Shaanxi was not only influenced by strong wind, thermal instability and sand source, but also by the drought degree of previous period, an important factor to sandstorm occurring. The change of drought index that is composed of precipitation and air temperature accorded with the change tendency of sandstorm occurring in this region. Through application test, we found out that the accuracy of sandstorm forecast could be improved if we take the prophase change of drought index into consideration.

Key words: strong sandstorm; drought index; gale factor; sand source; forecasting regulations