

陕西春季沙尘暴预测方法分析

雷向杰, 黄祖英, 蔡新玲, 田武文, 胡春娟

(陕西省气候中心, 陕西 西安 710015)

摘 要: 分析了陕西春季沙尘暴的变化趋势、突变和突变的可能原因以及影响陕西春季沙尘暴的环流特征量和其他要素; 提出了预报思路, 建立了预测概念模型和回归统计模型及其相应的业务流程, 在春季沙尘暴趋势预测业务中应用, 连续 3 a 预测结论正确。

关键词: 沙尘暴; 基本特征; 环流特征; 预测方法; 陕西

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

1 基础资料

研究所用资料包括: 陕西 58 个气象站 1961—2007 年历年春季沙尘暴站次数^[1]; 中国气象局国家气候中心整理下发 1960—2007 年 74 个环流特征量资料和 1960—2007 年 100 hPa 和 500 hPa 高度场资料($10^{\circ} \times 10^{\circ}$)。

2 沙尘暴的基本特点

2.1 沙尘暴的分布

陕西是我国沙尘暴较多的省份之一, 位于毛乌素沙漠南缘的陕北长城沿线年平均沙尘暴日数 5~10 d, 定边达 25 d。沙尘暴春季(3—5 月)最多, 占全年的近 70%, 其中 4 月最多, 占全年的近三分之一^[2], 其空间分布特征与年沙尘暴基本一致。

2.2 春季沙尘暴变化趋势

陕西 58 个气象站春季沙尘暴站次数 1961—2004 年 44 a 平均值 46.1 次, 沙尘暴 x 与时间 t 之间的相关系数 $R = -0.690$, 通过信度为 0.01 的显著性检验, 线性趋势 -1.668。也就是说, 陕西春季沙尘暴总次数以平均每年 1.668 次的速率在减少。

2.3 沙尘暴突变及其原因分析

陕西春季沙尘暴在 1985 年出现由多到少的突变, 与全国沙尘暴突变年份一致^[3]。用滑动 t 检验法, 分别取 $n_1 = n_2 = 7, 8, 9, 10$, 检测出 1985 年前后

发生突变, 根据历年距平值设置 1985 年为基点, 将前后两个时段作为两个子序列作检验, 通过信度为 0.01 的显著性检验。图 1 两条细直线分别为 1961—1984 年平均值和 1985—2004 年平均值。陕西春季沙尘暴最多的 5 个年份(1983 年、1969 年、1971 年、1962 年和 1966 年)全部出现在 1985 年以前, 最少的 5 个年份(2003 年、1997 年、1991 年、1999 年和 2004 年)全部出现在 1985 年以后。

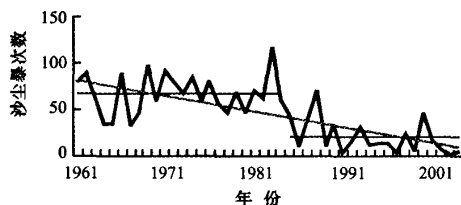


图 1 陕西历年春季沙尘暴站次数

Fig. 1 Annual change of sandstorms number in spring in Shannxi

突变的原因是什么? 是大范围气候变化、资料不均一、还是环境变化? 我们认为大范围气候变化是主要原因, 一些学者对中国近百年气候变化的原因进行综合分析之后得出了类似的结论^[4]。一方面, 我们的分析和杨建玲等人的研究都表明 1961—1984 年春季 500 hPa 高度场和 1985—2003 年高度场存在明显差别, 特别是在我国北方和蒙古国上空的环流场, 表明环流特征发生了显著变化。另一方面, 观测事实在一定程度上印证这一时期气候发生了转型, 冬暖自 20 世纪 80 年代后期变得更明显、大部分地区进入相对干暖时期。雷暴、扬沙、尘卷风等

收稿日期: 2007-10-01; 改回日期: 2008-02-25

基金项目: 中国气象局项目; 主体功能区规划中的气象灾害防御政策措施的制定; 陕西省气象局基金项目(2005M-14)资助

作者简介: 雷向杰(1965—), 男(汉族), 陕西西安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事气候分析、短期气候预测业务和科研工作。

Email: lei_xiang_jie@sina.com

天气现象在20世纪80年代前期或中期发生突变。国内学者针对全国或者某一地区大风、沙尘暴、扬沙、浮尘以及降水等的分析,证实了气候要素发生突变的客观存在^[5-9]。

如果环境是主要原因,我国环境总体上没有大的好转,沙漠化面积实际上是逐年增加的,沙尘暴应该增加而不是减少。陕西在1980年发生由少到多的突变,1980年开始使用的《地面观测规范》有较大修订引起资料不均一是突变的主要原因。但1985年不是,多种气象要素在同一时期出现资料不均一可能性很小。

3 沙尘暴与大气环流的关系

3.1 沙尘暴突变前后大气环流场的差异

陕西春季沙尘暴和全国春季沙尘暴在总的变化趋势和突变时间上基本一致(图略)。利用500 hPa

环流资料($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)分别计算1961—1984年春季平均场和1985—2003年春季平均场及其差值场,发现后者高度场较前者明显偏高,差值场负距平范围很大,说明两个时期环流场存在明显差别,特别是在我国北方和蒙古国上空的环流场,呈明显的负距平(图2)。杨建玲、李威等曾就这个问题进行研究,与本文结果相近^[10-12]。

3.2 沙尘暴典型年环流场特征的差异

陕西春季沙尘暴典型多发年500 hPa环流高度场欧洲至乌拉尔地区偏高,而乌拉尔地区以东的西伯利亚地区、蒙古国以及中国北方 40°N 以北地区偏低;典型少发年正好相反,中国长江以北,蒙古国,西伯利亚至北极都偏高。沙尘暴多发年春季西伯利亚地区、蒙古国以及中国北方 40°N 以北地区环流高度偏低,说明该地区不断有槽东移,蒙古国槽活动频繁,强度较强,频繁携带极区冷空气东移和南下,

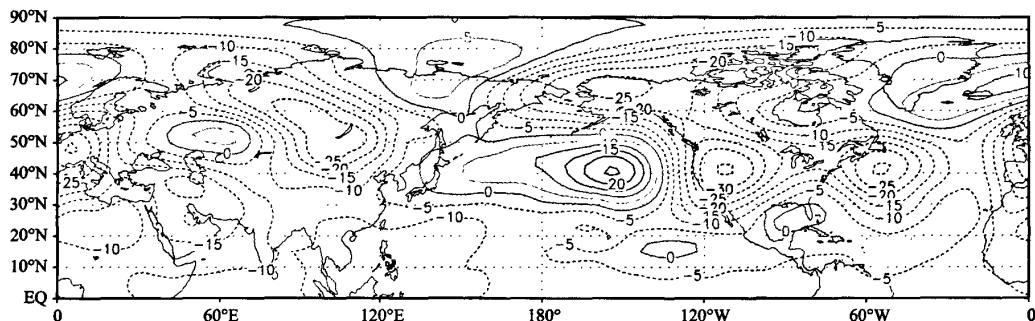


图2 1961—1984年春季和1985—2003年春季500 hPa平均环流差值场

Fig. 2 Difference between 500 hPa circulation characters of spring in 1961—1984 and 1985—2003

从西北路和北路影响陕西,陕西沙尘暴较多;少发年上述地区气压槽弱,陕西沙尘暴较少。陕西沙尘暴典型多发年和少发年前冬季大气环流特征和春季基本一致,说明沙尘暴多发年和少发年前冬季,北半球500 hPa环流高度场已经开始调整,多发年和少发年已经表现出各自的特征,两种类型的年份已表现出明显差异,这一点对预测业务很有意义。

3.3 沙尘暴与74个环流特征量的关系

将1961—2004年陕西春季沙尘暴作为预测对象,用求相关的办法在74个环流特征量中普查因子(表1),发现陕西春季沙尘暴与副高面积指数和副高强度指数、西藏高原位势高度、印缅槽指数等存在反相关关系,与北半球极涡面积指数、强度指数等存在正相关关系。通过0.01信度检验的环流特征量

多分布在5—10月,尤其以7—8月为多,我们推测这与陕西、乃至整个西北地区降水多集中在这一时期有关。环流影响降水,降水影响植被和深层、表层土壤湿度,进而影响陕西沙尘暴多少。

3.3.1 印缅槽指数与陕西春季沙尘暴的关系

印缅槽指数存在偏低和偏高两个时期(图3)。1967—1986年印缅槽指数以偏低为主,20 a中3 a偏高,17 a偏低,对应沙尘暴(1968—1987年)5 a偏少,15 a偏多;1987—2003年印缅槽指数以偏高为主,17 a中15 a偏高,2 a偏少,对应沙尘暴1 a偏多,16 a偏少;1960—2003年的44 a中,印缅槽指数20负,24正,陕西春季沙尘暴(1961—2004年)24负,20正;两者异号32 a,同号12 a,异号年份占73%。所以,前一年1—11月印缅槽指数累计值距平为负,陕西春季沙尘暴偏多的概率较大。反之,前

表 1 陕西春季沙尘暴与部分环流特征量的相关系数

Table1 Correlation coefficients between sandstorm frequency and several circulation characters in spring in Shannxi

环流特征量名称	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
北半球副高面积指数	-0.2	-0.22	-0.32	-0.19	-0.41*	-0.26	-0.4*	-0.45*	-0.26	-0.4*	-0.2	-0.29
印度副高面积指数	-0.33	-0.3	-0.41*	-0.25	-0.52*	/	/	/	/	-0.17	-0.07	-0.24
南海副高面积指数	-0.17	-0.09	-0.25	-0.2	-0.16	-0.33	-0.51*	-0.43*	-0.32	-0.36	-0.21	-0.13
北美大西洋副高面积指数	0.14	-0.15	-0.07	0.13	-0.27	-0.2	-0.42*	-0.38	-0.18	-0.16	-0.13	-0.17
太平洋副高面积指数	-0.28	-0.19	-0.3	-0.3	-0.35	-0.28	-0.4*	-0.42*	-0.24	-0.47*	-0.13	-0.27
东太平洋副高强度指数	-0.19	-0.12	-0.18	-0.15	-0.33	-0.17	-0.41*	-0.41*	-0.1	-0.13	0.2	-0.28
南海副高强度指数	-0.25	-0.08	-0.28	-0.26	-0.27	-0.38	-0.43*	-0.39*	-0.32	-0.29	-0.17	-0.15
太平洋副高强度指数	-0.31	-0.18	-0.28	-0.31	-0.42*	-0.26	-0.4*	-0.36	-0.23	-0.34	-0.07	-0.2
北非大西洋北美副高脊线	0.13	0	-0.25	0.01	0.06	-0.24	-0.4*	-0.4*	-0.19	-0.15	0.11	-0.08
太平洋副高脊线	0.28	0.03	-0.02	0.09	-0.1	-0.08	-0.39*	-0.4*	-0.25	0.03	0.1	-0.1
北半球极涡面积指数	0.17	0.29	0.44*	-0.02	0.27	0.09	0.33	0.45*	0.07	0.24	0.22	0.13
西藏高原(25°—35°N, 80°—100°E)	-0.01	-0.12	-0.12	0.04	-0.26	-0.27	-0.43*	-0.39*	-0.4*	-0.24	-0.35	-0.2
印缅槽(15°—20°N, 80°—100°E)	-0.33	-0.34	-0.44*	-0.26	-0.37	-0.43*	-0.58*	-0.63*	-0.5*	-0.35	-0.25	-0.19

说明:样本数 $n=44$ 时,通过 0.01 信度检验的相关系数判别标准 $r_c=0.385$,凡大于 0.385 的相关系数都通过检验。

一年印缅槽距平为正,沙尘暴偏少的概率较大。

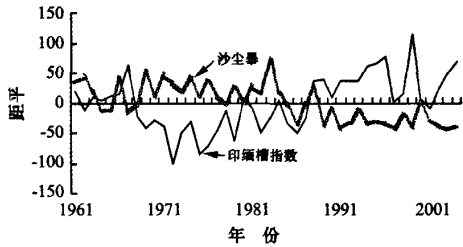


图 3 印缅槽指数和陕西春季沙尘暴距平曲线
Fig.3 Anomaly curves of Indian-Myanmar Trough Index and spring sandstorms in Shannxi

1961—2004 年陕西春季沙尘暴距平与 1—11 月印缅槽指数距平(1960—2003)之间的线性回归方程为:

$$y = 2.0 - 0.4077x$$

式中: x 为印缅槽指数距平, y 为陕西沙尘暴距平, y 与 x 之间相关系数 $R=-0.61$,通过信度为 0.01 的显著性检验。

3.3.2 副高面积指数和强度指数与沙尘暴的关系

陕西春季沙尘暴和 1—5 月印度副高面积指数、强度指数有明显负相关关系。1—5 月印度副高面积指数累计距平和陕西春季沙尘暴距平相关系数 $R=-0.45$,距平异号年份达 30 a,约占 70%;1—5 月印度副高强度指数距平和陕西春季沙尘暴距平相关

系数 $R=-0.42$,距平异号年也为 30 a。印度副高面积指数距平和强度指数距平二者同号 42 a,42 a 中与沙尘暴距平异号 29 年,约占 70%。

6—10 月南海副高面积指数和强度指数、1—10 月太平洋副高面积指数和强度指数、前一年 5—10 月北半球副高面积指数和强度指数距平与陕西春季沙尘暴都存在明显的负相关关系,相关系数分别为 -0.39 和 -0.37 、 -0.38 和 -0.35 、 -0.42 和 -0.37 。

3.3.3 沙尘暴和北半球极涡、西藏高原位势高度的关系

前一年 3 月、8 月北半球极涡面积指数累计距平、6 月北半球极涡强度指数距平与陕西春季沙尘暴次数存在正相关关系,相关系数分别为 0.61 和 0.45。陕西 5 个典型多沙尘暴年前一年 3 月、8 月北半球极涡面积指数累计距平全部为正距平,6 月强度指数全部为正距平;5 个典型少沙尘暴年前一年 3 月、8 月北半球极涡面积指数累计距平全部为负距平,6 月强度指数除 2003 年外,其余 4 a 全部为负距平。

陕西春季沙尘暴和前一年 7—9 月西藏高原位势高度存在负相关关系,相关系数为 -0.51 。

3.3.4 沙尘暴和东亚槽强度、位置的关系

前一年 5 月东亚槽位置与陕西春季沙尘暴次数相关系数 -0.32 。陕西春季 5 个典型多沙尘暴年前

一年5月东亚槽位置4 a 偏西, 1 a 偏东; 5个典型少沙尘暴前一年东亚槽位置3 a 偏东, 2 a 偏西。陕西春季典型多沙尘暴前一年5月东亚槽强度3 a 偏强, 2 a 偏弱; 典型少沙尘暴前一年5月东亚槽强度4 a 偏强, 1 a 偏弱。

3.3.5 沙尘暴和冷空气活动次数关系

当年春季冷空气活动次数正距平对应陕西当年春季沙尘暴次数正距平的概率较大, 为14/23; 当年春季冷空气活动次数负距平对应陕西当年春季沙尘暴次数负距平的概率为12/21; 前一年冬季冷空气活动次数正距平对应陕西当年春季沙尘暴次数正距平的概率为18/26; 前一年冬季冷空气活动次数负距平对应陕西当年春季沙尘暴次数负距平的概率为13/18; 前一年秋季冷空气活动次数正距平与陕西当年春季沙尘暴次数正距平的对应关系不明显, 为13/24; 前一年秋季冷空气活动次数负距平对应陕西当年春季沙尘暴次数负距平的概率较大, 为13/20。陕西春季5个典型多沙尘暴前一年冬季冷空气活动次数距平4 a 为正, 1 a 为负, 5个典型少沙尘暴前冷空气活动次数距平5 a 全都为负。

4 沙尘暴预测方法研究及预测试验

4.1 沙尘暴的年代际变化

陕西春季沙尘暴存在明显的偏多、偏少时期, 在预测时必须加以考虑。偏多、偏少时期的存在, 使春季沙尘暴偏少后, 第二年仍然偏少的可能性很大。1961—2004年陕西春季沙尘暴出现正距平23 a, 其中出现正距平后的第二年仍为正距平18 a, 占78%; 21个负距平年份后第二年春季仍为负距平的17 a, 占81%。

沙尘暴预测准确与否的关键在于对下一个突变时间的预测是否准确, 即什么时候转型。图3印缅槽指数的低值期1963—1986年共23 a, 与太阳黑子活动的主周期22 a 基本吻合; 1986—2004年印缅槽指数的高值期已经持续18 a, 如果印缅槽指数的变化与太阳黑子的44 a 活动周期密切联系, 则可考虑2010年前后, 陕西春季沙尘暴可能出现由偏少向正常偏多转型。有专家认为太阳黑子周期长度开始变长, 新一轮的太阳活动弱期开始, 我国北方进入沙尘暴相对活跃期^[13]。

4.2 沙尘暴预测概念模型

陕西春季沙尘暴与其他因子的关系。春季沙尘

暴与前一年夏季、秋冬季降水量和同期降水量存在一定的反相关关系, 说明前期和同期降水偏多对陕西春季沙尘暴的发生有一定的抑制作用^[14]。前期降水的多少和对当年春季降水趋势的预测结论对春季沙尘暴趋势预测有一定的参考意义。前一年1—11月赤道东太平洋海温与陕西春季沙尘暴存在一定的反相关关系。厄尔尼诺和拉尼娜事件与陕西春季沙尘暴的多少也有一定关系。

根据前述分析, 建立了陕西春季沙尘暴预测概念模型(图4), 该模型中前6个预测因子的预测结果等权重集成, 少数服从多数, 取多数预测因子的预测结果。副高、极涡面积指数和强度指数以面积指数为主, 取面积指数的预测结果。强度指数和后3个因子仅在前6个因子预测结论矛盾, 得不出结论, 而且不考虑预测概念模型预测结果, 整个预测业务流程仍难以形成结论时加以参考, 方法是将前面提到的3个强度指数和后3个因子预测结果等权重集成, 结果仍然相左时则重点考虑3个强度指数的预测结果, 其次是海温距平。

1961—2004年44 a 中前6个预测因子的预测结果难以集成的共有5个年份, 占11.4%, 预测正确29 a, 占65.9%, 预测错误9 a, 占20.5%。难以集成的5 a 中整个预测业务系统仍难以决定, 需要使用参考因子的仅1980年。2005—2007年在业务中应用, 定性预测准确率100%。

4.3 沙尘暴回归统计模型

用陕西春季沙尘暴和前一年12个月北半球逐月500 hPa、100 hPa 高度场以及500 hPa 与100 hPa 的厚度场之间求相关, 选出相关系数大于0.45以上的区域作为预报因子, 用多元回归方程对陕西春季沙尘暴进行预测, 效果较好。选取的因子共8个, 分别为7月、8月100 hPa 高度场, 9月、5月、10月500 hPa 高度场和2月、11月、12月500 hPa 与100 hPa 厚度场的相关区域。选中因子所在区域多具有一定的物理意义, 如5月、10月500 hPa 高度场因子分别对应该时段的太平洋副热带高压和印缅槽等。

根据1961—2004年资料建立回归方程:

$$y = 639.5541 - 0.75985x_1 - 0.37233x_2 - 3.13954x_3 - 0.03373x_4 - 0.89027x_5 + 0.188341x_6 + 0.274668x_7 - 0.23748x_8$$

方程的复相关系数0.8326, 相对于1961—2004年平均, 44 a 中陕西春季沙尘暴拟合值与实际观测

值距平正负符号相同的 36 a, 定性拟合率 82%, 2005—2007 年预测准确率 100%。



图4 陕西春季沙尘暴预测概念模型

Fig. 4 Conceptual prediction model of spring sandstorms in Shannxi

4.4 沙尘暴预测业务流程

根据上述分析建立陕西春季沙尘暴预测业务流程(图5)。

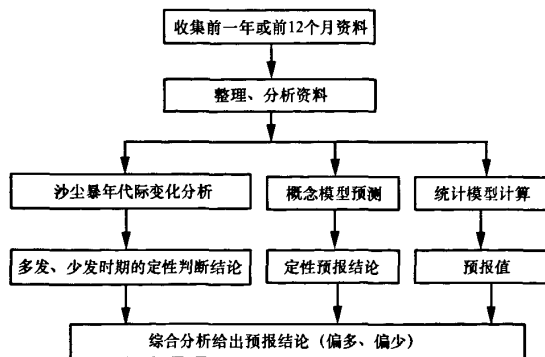


图5 陕西春季沙尘暴预测业务流程

Fig. 5 Prediction operation flow chart of spring sandstorms in Shannxi

年代际变化考虑 1985 年以前偏多, 1985 年及其以后偏少, 等权重考虑年代际变化、概念模型预测结果和统计模型预测结果, 1961—2004 年整个系统的回代率 86.4%, 在 2005—2007 年业务中应用, 偏多偏少的定性预测准确率 100%。

5 结论

1) 陕西沙尘暴减少趋势明显, 1985 年发生由多到少的突变, 1985 年以前为多发时期, 1985 起进入少发期, 2000 年接近常年值, 此后又持续偏少, 这一特点与中国北方沙尘暴的变化情况基本一致。

1961—2004 年整个预测业务系统的回代拟合率 86.4%, 错误年份分别为 1965 年、1968 年、1985—1988 年, 特别是陕西沙尘暴 1985 年发生由多到少的突变后, 连续 4 a 预测错误。所以从一定意义上讲, 陕西沙尘暴预测准确与否的关键在于对下一个突变时间的预测是否准确, 突变前后的预测难度较大。2007 年陕西春季沙尘暴偏少, 但预测系统中出现了指示沙尘暴偏多的因子, 这是近 20 a 少有的, 值得注意。

2) 陕西春季沙尘暴与副高面积指数和副高强度指数、西藏高原位势高度、印缅槽指数等存在反相关关系, 与北半球极涡面积指数、强度指数等存在正相关关系。与一些区域的 500 hPa、100 hPa 高度场以及 500 hPa 与 100 hPa 的厚度场明显相关。据此建立预测概念模型和回归统计模型, 考虑年代际变化, 对陕西 2005—2007 年春季沙尘暴趋势进行预测, 连续 3 a 预测结论正确。

3) 陕西春季沙尘暴连续多年偏少, 目前的预报思路和方法没有经过偏多年份的考验。

参考文献(References):

- [1] 雷向杰, 杜继稳, 李亚丽, 等. 陕西业务用春季沙尘暴序列的整理和选取[J]. 陕西气象, 2005(4): 13—15.
- [2] 雷向杰, 胡春娟, 田武文. 陕西沙尘天气的气候特征及其影响分析[J]. 气象, 2003, 29(12): 33—44.
- [3] 周自江, 王锡稳, 牛若云. 近 47 年中国沙尘暴和扬沙天气[C] // 中国气象局预测减灾司. 沙尘暴监测预警服务研究. 北京: 气象出版社, 2002: 13.
- [4] 白爱娟, 翟盘茂. 中国近百年气候变化的自然原因讨论[J]. 气象科学, 2007, 27(05): 584—588.
- [5] 杨青, 何清, 李红军, 等. 艾比湖流域沙尘气候变化趋势及其突变研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 506—507.
- [6] 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—309.
- [7] 马晓波, 胡泽勇. 青藏高原 40 年来降水变化趋势及突变的分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 137—138.
- [8] 王劲松, 魏锋. 西北地区 5—9 月极端干旱长度异常的气候特征[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 514—519.
- [9] 林纾, 王懿荣. 中国黄土高原地区降水时空演变[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 502—508.
- [10] 李威, 翟盘茂. 我国春季沙尘暴发生次数与 500 hPa 大气环流关系的研究[J]. 天气与气候, 2003(12): 282—288.
- [11] 杨建玲, 何金海, 赵光平. 宁夏春季沙尘暴与北海极冰之间的遥相关关系[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 300.
- [12] 李海英, 高涛, 薄玉华. 内蒙古中西部春季沙尘暴预测初探[J]. 气象, 2003, 29(10): 22—25.
- [13] 李栋梁, 王涛, 钟海玲. 中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J]. 中国沙漠, 2004, 24(3): 376—379.
- [14] 郭菊娥, 王玮, 郭小平, 等. 我国西北部水资源对沙尘天气的影响机理研究[J]. 水利经济, 2004, 22(02): 38—41.

Analyses on Prediction Method of Spring Sandstorms in Shannxi Province

LEI Xiang-jie, HUANG Zu-ying, CAI Xin-ling, TIAN Wu-wen, HU Chun-juan

(Shannxi Climate Centre, Xi'an 710015, China)

Abstract: The paper analyzed the temporal change trend, abrupt change and abrupt change reason of sandstorms occurring in spring in Shannxi Province, also analyzed the circulation characters and other factors effecting spring sandstorms in Shannxi Province. Then the prediction method was suggested, and the conceptual and regression models were established. The method was proved to be effective after continuously 3-year predicting practice applying with the models.

Keywords: sandstorm; elementary characters; circulation characters; prediction method; Shaanxi Province