

文章编号: 1006-4354 (2011) 02-0005-05

陕西春季区域性沙尘暴过程趋势预测方法研究

王 越, 雷向杰, 肖科丽

(陕西省气候中心, 西安 710014)

摘 要: 分析了陕西春季沙尘暴过程分布特征、变化趋势、突变前后环流特征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, 在春季沙尘暴过程趋势预测业务中应用, 连续 9 a 预测结论正确。

关键词: 陕西; 春季; 区域性沙尘暴过程; 趋势预测方法

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

1 资料来源及区域性沙尘暴过程的定义

利用陕西省各地市沙尘暴 A 文件, 统计全省 58 个国家基本站春季 (3—5 月) 沙尘暴过程出现时段及站次。资料年代为 1961—2009 年, 资料来源于陕西省气象资料档案馆。1960—2008 年 74 个环流特征量资料和 1960—2007 年 100 hPa 和 500 hPa 高度场资料 ($10^{\circ} \times 10^{\circ}$) 来自中国气象局国家气候中心。

按中国气象局《沙尘天气预警业务服务暂行规定 (修订)》规范, 同一次天气过程, 区域内 3 个或 3 个以上国家基本 (准) 站在同一时次出现了沙尘暴天气, 定义为一个区域性沙尘暴过程^[1]。

2 沙尘暴过程的基本特点

2.1 春季沙尘暴过程变化趋势及突变分析

1961—2009 年陕西 58 个气象站春季沙尘暴过程年平均 4.9 次, 沙尘暴次数 x 与时间 t 之间的相关系数 $R = -0.6138$, 通过信度为 0.001 的显著性检验, 线性趋势 -0.1850 。也就是说, 陕西春季沙尘暴过程总次数以平均每年 0.1850 次的速率减少。

陕西春季沙尘暴过程变化趋势 (见图 1) 在 1982 年出现由多到少的突变。用滑动 t 检验法^[2] 根据历年距平值设置 1982 年为基点, 将前后两个时段作为两个子序列进行总体平均值差异的显著性检验, 通过信度为 0.01 的显著性检验。陕西春

季沙尘暴过程最多的 6 个年份 (1976 年、1962 年、1972 年、1969 年、1977 年和 1971 年) 全部出现在 1982 年以前, 最少的 6 个年份 (2008 年、2004 年、2003 年、2002 年、1999 年与 1997 年) 全部出现在 1982 年以后。

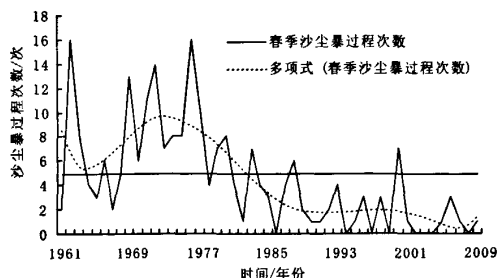


图 1 1961—2009 年陕西春季沙尘暴过程变化趋势

2.2 春季沙尘暴过程分布

陕西属我国沙尘暴较多的省份, 位于毛乌素沙漠南缘的陕北长城沿线是我国北方主要沙源区之一, 年平均沙尘暴过程日数 1~7 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^[3-5], 其空间分布特征与年沙尘暴过程基本一致。

1982—2009 年春季逐日沙尘暴出现的站次 (图 2) 反映出, 沙尘暴极值出现在 3 月中旬与 4 月中旬, 高发区集中出现在 4 月中下旬, 次高发

收稿日期: 2010-09-14

作者简介: 王越 (1974—), 女, 陕西宜川人, 硕士, 高工, 从事短期气候预测。

区出现在4月上旬。陕西春季大风天气主要发生在这一时段,对于沙尘暴的发生,大风是最直接、最主要的原因,这在日变化、年变化和年际变化中都有明显表现,大风与沙尘暴的相关性非常好,有关作者也都有详细的分析^[6]。

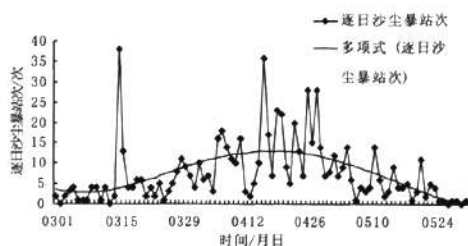


图2 1982—2009年春季(3—5月)
逐日沙尘暴站次

3 沙尘暴过程与大气环流的关系

3.1 沙尘暴过程突变前后大气环流场的差异

陕西春季沙尘暴过程与全国春季沙尘暴过程在总的变化趋势和突变时间上基本一致。利用500 hPa环流资料($10^{\circ} \times 10^{\circ}$)分别计算1961—1981年春季平均场和1982—2007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(见图3)。这与李威、杨建玲、李海英等的研究结果^[7-9]相近。

3.2 沙尘暴过程典型年环流场特征的差异

陕西春季沙尘暴过程典型多发年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、蒙古国及中国北方 40°N 以北地区偏低;典型少发年正好相反,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,从西北路和北路影响陕西,陕西沙尘暴较多;少发年与之相反。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,这一点对短期气候预测业务很有意义。



图3 1961—1981年春季和1982—2007年春季500 hPa
平均环流差值场(单位: dagpm)

4 沙尘暴过程与环流特征量的关系

将1961—2009年陕西春季沙尘暴过程作为预测对象,用求相关的方法在74个环流特征量中普查因子(见表1),发现陕西春季沙尘暴过程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5月及7—8月为多,且均通过0.001的信度检验。陕西沙尘暴多发区陕北5月经常干旱少雨且大风天气多,土壤含水量得不到有效的补充,迅速损耗,从而使土壤表层干燥疏松,干土层不断增厚。大风易将地表疏松的浮土沙尘粒子卷到空中,形成沙尘和沙尘暴天气^[10-11]。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。这两时期的环流形势是影响沙尘暴的关键因素。

4.1 印缅槽指数

印缅槽指数存在偏低和偏高两个时期(见图4)。

表 1 陕西春季沙尘暴与部分环流特征量的相关系数

| 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 | -0.309 0 | -0.373 3 | -0.360 9 | -0.282 3 | -0.582 3 | -0.447 7 | -0.486 9 | -0.507 2 | -0.419 3 | -0.490 2 | -0.397 7 | -0.423 6 |
| 北半球副高强度指数 | -0.283 4 | -0.302 5 | -0.269 5 | -0.223 7 | -0.541 7 | -0.421 7 | -0.459 4 | -0.445 8 | -0.362 8 | -0.417 1 | -0.330 8 | -0.364 7 |
| 印度副高面积指数 | -0.342 8 | -0.355 5 | -0.317 8 | -0.268 9 | -0.524 5 | | | | | -0.356 0 | -0.279 9 | -0.326 6 |
| 印度副高强度指数 | -0.311 7 | -0.327 6 | -0.209 7 | -0.279 5 | -0.475 2 | | | | | -0.322 2 | -0.192 2 | -0.287 2 |
| 北半球极涡面积指数 | 0.156 2 | 0.304 8 | 0.349 8 | 0.223 8 | 0.285 5 | 0.097 7 | 0.428 4 | 0.512 0 | 0.280 9 | 0.227 1 | 0.145 7 | 0.194 6 |
| 北半球极涡强度指数 | 0.029 8 | -0.002 6 | 0.168 6 | 0.198 4 | 0.346 1 | 0.410 0 | 0.417 3 | 0.553 6 | 0.379 7 | 0.336 6 | 0.327 8 | 0.191 2 |
| 东亚槽位置 | -0.152 1 | -0.256 4 | 0.129 5 | 0.033 1 | -0.106 3 | | | | -0.095 7 | 0.146 4 | 0.116 5 | -0.228 3 |
| 西藏高原位势高度 | -0.077 3 | -0.227 9 | -0.149 2 | 0.102 0 | -0.377 0 | -0.276 3 | -0.433 0 | -0.426 0 | -0.398 0 | -0.321 5 | -0.282 1 | -0.374 4 |
| 印缅槽指数 | -0.408 4 | -0.373 0 | -0.278 5 | -0.281 1 | -0.434 1 | -0.488 3 | -0.589 9 | -0.619 1 | -0.598 8 | -0.508 7 | -0.296 2 | -0.460 6 |

说明: 样本数 $n=49$ 时, 通过 0.05 信度检验的相关系数判别标准 $r_c=0.276 1$, 通过 0.01 信度检验的相关系数判别标准 $r_c=0.357 7$, 通过 0.001 信度检验的相关系数判别标准 $r_c=0.447 7$ 。凡大于 0.357 7 的相关系数都通过检验。

1967—1982 年印缅槽指数以偏低为主, 16 a 中 1 a 偏高, 15 a 偏低, 对应沙尘暴 (1968—1983 年) 3 a 偏少, 13 a 偏多; 1983—2008 年印缅槽指数以偏高为主, 26 a 中 22 a 偏高, 4 a 偏少, 对应沙尘暴 (1984—2009 年) 2 a 偏多, 24 a 偏少; 1960—2008 年的 49 a 中, 印缅槽指数距平 20 a 为负, 29 a 为正, 陕西春季沙尘暴过程次数距平 (以下简称陕西春季沙尘暴过程距平; 1961—2009 年) 31 a 为负, 18 a 为正; 两者异号 37 a, 同号 12 a, 异号年份占 76%。所以, 前一年 1—12 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, 前一年印缅槽指数距平为正, 沙尘暴偏少的概率较大。

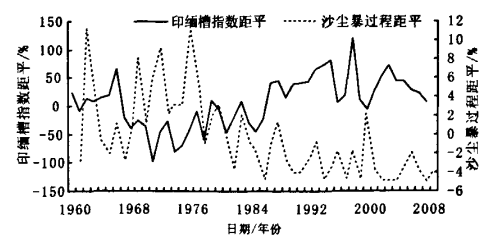


图 4 印缅槽指数距平和陕西春季沙尘暴过程距平曲线

1961—2009 年陕西春季沙尘暴过程距平与 1—12 月印缅槽指数距平 (1960—2008 年) 的线性回归方程为: $y=-0.04-0.06x$, 式中: x 为印缅槽指数距平, y 为陕西春季沙尘暴距平, y 与 x 的相关系数 $R=-0.624 7$, 通过信度为 0.001 的显著性检验。

4.2 副高面积指数和强度指数

陕西春季沙尘暴过程和 5—12 月北半球副高面积、强度指数有明显负相关关系。5—12 月北半球副高面积指数累计距平和陕西春季沙尘暴过程距平相关系数 $R=-0.553 4$, 距平异号年份达 34 a, 约占 69%; 5—12 月北半球副高强度指数距平和陕西春季沙尘暴过程距平相关系数 $R=-0.515 3$, 距平异号年为 32 a。北半球副高面积指数距平和强度指数距平二者同号 43 a, 43 a 中与沙尘暴过程距平异号 31 a, 约占 72%。1—5 月、10—12 月印度副高面积指数和强度指数与陕西春季沙尘暴过程都存在明显的负相关关系, 相关系数为 $-0.537 9$ 与 $-0.461 0$ 。

4.3 北半球极涡、西藏高原位势高度

前一年 2—9 月北半球极涡面积指数累计距平、5—11 月北半球极涡强度指数距平与陕西春季沙尘暴过程距平存在正相关关系, 相关系数分别为 0.486 5 和 0.545 8。陕西 6 个典型多沙尘暴过程年前一年 2—9 月北半球极涡面积指数累计距平除 1971 年外, 全部为正距平, 5—11 月强度指数全部为正距平; 6 个典型少沙尘暴过程年前一年 2—9 月北半球极涡面积指数累计距平全部为负距平, 5—11 月强度指数全部为负距平。陕西春季沙尘暴和前一年 5—12 月西藏高原位势高度存在负相关关系, 相关系数为 $-0.528 4$; 6 个典型多沙尘暴过程年西藏高原位势高度全部为负值, 6 个少沙尘暴过程年西藏高原位势高度全部

为正值。

4.4 东亚槽位置、强度

前一年2月、12月东亚槽位置累积距平与陕西春季沙尘暴过程距平相关系数为 -0.3197 , 陕西春季5个典型多沙尘暴过程年前一年2月与12月东亚槽平均位置4a偏西, 2a偏东; 5个典型少沙尘暴过程年前一年东亚槽平均位置4a偏东, 2a偏西。陕西春季典型多沙尘暴过程年前一年2月与12月东亚槽平均强度5a偏强, 1a偏弱; 典型少沙尘暴过程年前一年东亚槽平均强度4a偏强, 2a偏弱。

4.5 冷空气活动次数

当年春季冷空气活动次数距平对应陕西当年春季沙尘暴过程距平同号率为 $27/49$, 其中正距平概率较小, 为 $9/27$, 负距平概率较大, 为 $18/27$; 前一年冬季冷空气活动次数对应陕西当年春季沙尘暴过程距平同号率为 $30/49$, 正距平概率与负距平概率相差不明显; 前一年秋季冷空气活动次数距平对应陕西当年春季沙尘暴过程距平异号率为 $30/49$, 其中正距平概率较大为 $23/30$, 负距平概率较小为 $7/30$ 。陕西春季5个典型多(少)沙尘暴过程年前一年冬季冷空气活动次数距平均为正(负)。

5 沙尘暴预测模型的建立

5.1 沙尘暴过程的年代际变化

陕西春季沙尘暴过程存在明显的偏多、偏少时期, 预测时必须加以考虑。偏多、偏少时期的存在, 使春季沙尘暴过程偏多、偏少后, 第二年仍然偏多、偏少的可能性很大。1961—1980年陕西春季沙尘暴过程出现正距平15a, 其中出现正距平后第二年仍为正距平的有12a, 占80%; 1981—2009年29a中负距平26a, 特别是1989年后除2000年外均为负距平年, 出现负距平后第二年春季仍为负距平的22a, 占85%。

5.2 沙尘暴过程预测概念模型

陕西春季沙尘暴过程与前一年秋季、秋冬降水量成显著正相关关系。前一年6—9月欧亚积雪面积与陕西春季沙尘暴过程存在显著的正相关关系。春季沙尘暴过程与冷空气活动次数、东亚槽位置也有一定关系。

根据前述分析, 建立了陕西春季沙尘暴过程预测概念模型(见图5), 首先将模型中前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。当前6个因子预测结论矛盾, 得不出结论, 则考虑强度指数和后3个因子, 方法是将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。

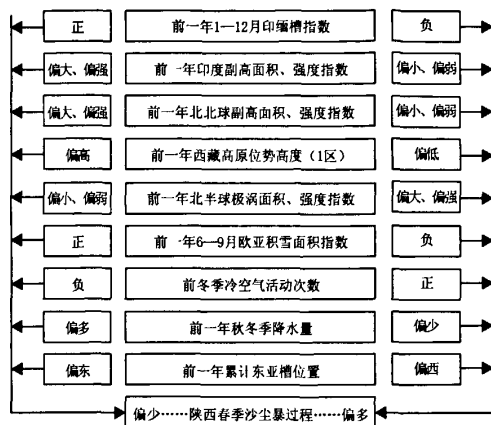


图5 陕西春季沙尘暴过程预测概念模型

5.3 沙尘暴回归统计模型

将陕西春季沙尘暴过程和前一年12个月北半球逐月500、100 hPa高度场以及500、100 hPa的厚度场之间求相关, 选出相关系数大于 0.3698 的区域作为预报因子, 用多元回归方程对陕西春季沙尘暴过程进行预测, 效果较好。选取的因子共9个, 分别为2、3月100 hPa高度场和7月500、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2、3月100 hPa高度场因子分别对应大西洋、太平洋及新疆塔克拉玛干沙漠与宁夏腾格里沙漠。因为沙尘暴天气的发生一般需要有足够强劲持久的风力及充足的沙源。新疆塔克拉玛干沙漠与宁夏腾格里沙漠是陕西沙尘暴发生的主要沙源。通常陕西省2月气温回升较快, 造成土壤解冻时间提前, 干土层大量出现。这时, 雨季尚未来临, 在拉尼娜现象影

响下,赤道东太平洋水温偏低,东亚经向环流异常,造成入春以来北方地区偏北气流盛行,而东南暖湿气流相对较弱。于是,北方强寒潮大风频繁出现,降雨持续偏少,气温也居高不下,连续出现大风天气,陕西沙尘暴随即形成。

根据 1961—2009 年资料建立回归方程:

$$y = 2.980 + 0.503x_1 - 1.052x_2 + 0.351x_3 - 0.06x_4 - 0.024x_5 - 0.226x_6 + 0.165x_7 - 0.723x_8 + 0.386x_9$$

方程的复相关系数为 0.799 4,相对于 1961—2009 年年平均值,49 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 40 a,定性拟合率 82%,1981—1987 年,1993—1999 年与 2001—2009 年预测准确率 100%。

5.4 沙尘暴过程趋势预测业务流程

根据上述分析建立陕西春季沙尘暴预测业务流程(图略)。年代际变化考虑 1982 年以前偏多,1982 年及其以后偏少,等权重考虑年代际变化、概念模型和统计模型预测结果,1961—2009 年整个系统的回代率为 84%,在 2001—2009 年业务中应用,偏多偏少的定性预测准确率为 100%。

6 结论与讨论

6.1 陕西沙尘暴过程减少趋势明显,1982 年发生由多到少的突变,1982 年以前为多发时期,1982 年起进入少发期,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—2009 年整个预测业务系统的回代拟合率 84%,错误年份分别为 1970 年、1980—1981 年、1984 年、1986—1988 年与 2000 年。突变前连续两年出错,突变后有 4 a 出错,其中 3 a 连续出错。所以从一定意义上说,陕西沙尘暴过程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。2000 年陕西春季沙尘暴过程偏少,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。

6.2 陕西春季沙尘暴过程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、100

hPa 高度场及厚度场明显相关。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 2001—2009 年春季沙尘暴过程趋势预测,连续 9 a 预测结论正确。

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

6.4 沙尘暴过程趋势预测是沙尘暴预测业务服务的重要内容,但沙尘暴预测的重点与难点是沙尘暴过程出现时段的预测,此项工作将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 矫海燕,张金艳,乔林.沙尘暴天气年鉴[M].北京:气象出版社,2006:1-2.
- [2] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:19-24.
- [3] 王越,雷向杰,栗柯,等.陕西沙尘暴时空变化特征与环流背景分析[J].陕西气象,2008(4):1-3.
- [4] 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):13-14.
- [5] 王越,方建刚,范建勋,等.陕西近 30 年沙尘天气空间分布特征[J].陕西气象,2005(4):22-25.
- [6] 王小宁.陕西沙尘暴与大风关系分析[J].陕西气象,2003(3):51-52.
- [7] 李威,翟盘茂.我国春季沙尘暴发生次数与 500hPa 大气环流关系的研究[J].天气与气候,2003(12):282-288.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 李平,刘勇,杜继稳,等.陕北地区沙尘暴天气分析及预报[J].中国沙漠,2006,26(02):295-296.