

文章编号:1005-8656(2008)03-0003-07

内蒙古沙尘暴的调查事实、气候预测因子分析和春季沙尘暴预测研究(下)

高涛

(内蒙古气象科学研究所,内蒙古 呼和浩特 010051)

5 预测模型和预测试验

5.1 预测模型与算法

5.1.1 模型结构

预测模型结构中包括两个处理过程:在第一步处理过程中主要考虑的是实时样本与历史样本前期大气环流场和其他影响因素的前期场(如:前一年2月—当年1月,或前一年的4个季度)的动态变化过程的相似情形,经过第一步处理后我们可以获得两个描述指标,

即各个历史样本相对于实时样本的各个影响因素的优越程度排序表和相似程度评价表。第二步处理的目的是对所有影响因子描述指标的一种综合,最终获得一个综合的优先排序。我们根据最终的综合评价结果,认为排在第一位的那个历史样本是与实时样本的前期气候背景最相似的样本,很可能产生类似的天气现象。参照该历史样本所对应春季沙尘暴天气过程的发生实况做出预测(见图11)。

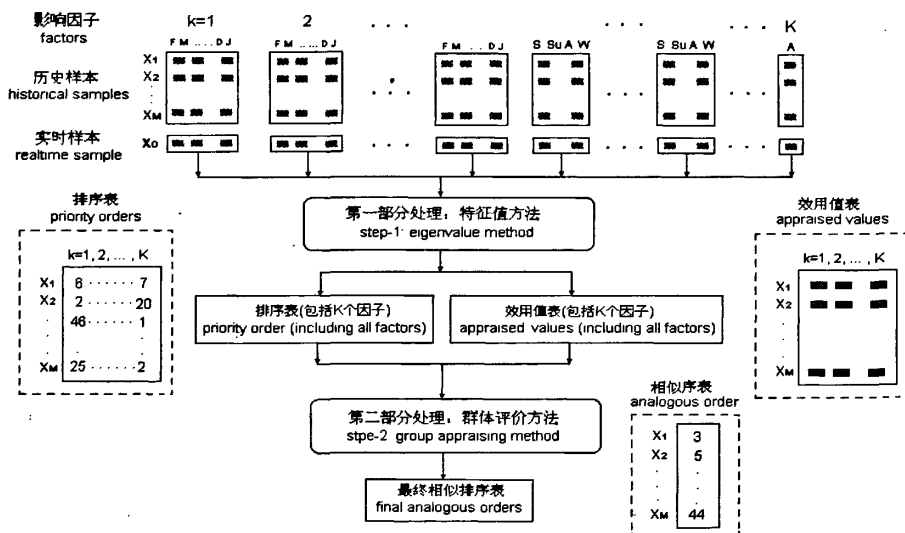


图 11: 预测模型的结构图

5.1.2 模型与算法

模型和算法中涉及的主要变量有: $N(j=1, 2, \dots, N)$ 在第一步处理的程序中代表几个月的月数(要素个数), 或季度个数; $M(i=1, 2, \dots, M)$ 在整个算法和程序中代表样本总数; $K(k=1, 2, \dots, K)$ 在整个算法和程序中代表影响因子数或在后置群体评价算法中代表个体评价数。

设 U 为样本空间 (论域), $A \subset U$ 为历史样本集, $X_i \in A$ 为集合 A 的元素 ($i=1, 2, \dots, M$), $X_0 \in A$ 为集合 A 的一个标准元素, M 为集合 A 的范数, $\forall i(i=1, 2, \dots, M)$ 都有 N 个描述指标。

注: 本研究受国家自然科学基金(No.40465001)和内蒙古自然科学基金(No.20040802517)的资助。

$\forall j(j=1, 2, \dots, N)$, 建立模糊优先矩阵^[25] $R_{M \times M}$ (记作 R_j)。

即: $\forall X_i, X_l \in A (i, l=1, 2, \dots, M)$, 其元素

$$\begin{cases} r_{il} = |x_i - x_0| / (|x_i - x_0| + |x_l - x_0|) & (i \neq l) \\ r_{li} = 1 - r_{il} & (i \neq l) \\ r_{ii} = 0 & (i = l) \end{cases}$$

其中: $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})$; $X_l = (x_{l1}, x_{l2}, \dots, x_{lN})$; $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0N})$ 。

$\forall j(j=1, 2, \dots, N)$, 设: $\lambda \in [0, 1]$, 令 λ 从 1 变到 0, λ 的步长为 $\Delta\lambda$ (程序中设 $\Delta\lambda=0.01$), 用 λ 对矩阵 R_j 进行截割, 截割结束条件为 $\lambda=0$ 。按如下公式可获得在 λ 下的截割矩阵 R_λ :

$$b_{ij} \begin{cases} r_{ij} = \lambda & (r_{ij} \geq \lambda) \\ r_{ij} = 0 & (r_{ij} < \lambda) \end{cases} (i, j=1, 2, \dots, M)$$

当截割结束后,可获得一个由 b_{ij} 组成的优先关系矩阵,记为 $B_{M \times N}$,简记为 B 。截割算法如下:

(1)对 $\forall j(j=1, 2, \dots, N)$,当 $j=N$ 时,截割过程结束。

(2)令 $\lambda=1$ 。

(3)判断矩阵 R_{λ} 是否是零矩阵?(当 $\lambda=1$ 时,对 $R_{M \times M}$ 执行此操作),是,转(8),否则继续。

(4)对 λ ,在矩阵 R_{λ} 中执行如下操作(当 $\lambda=1$ 时,对 $R_{M \times M}$ 执行),如果 $r_{ij} \geq \lambda$,则 $r_{ij}=1$;否则 r_{ij} 保持原值($i, j=1, 2, \dots, M$),操作后生成新的 R_{λ} 矩阵。

(5)判断 R_{λ} 的所有行中是否存在除对角线以外,其余元素全部为 1 的行(有可能同时存在两个以上这样的行)存在则继续;否则转(7)。

(6)若 R_{λ} 中第 i 行是(5)中的情形,则令 $b_{ij} = \lambda$ (这里 $b_{ij} \in B_{M \times N}$),并且,令 $r_{ij}=0(i=1, 2, \dots, M)$ 。

(7)令 $\lambda = \lambda - \Delta\lambda$ 。判断 $\lambda \neq 0$ 是否成立,是,继续;否则转(3)。

(8)转(1),计算下一个 j 。

对 $B_{M \times N}$ 进行赋权:

$weight(j)=1+co-efficiency(j)$, ($j=1, 2, \dots, N$),赋权后仍记为 $B_{M \times N}$,即 $B_{M \times N}=weight(j) \cdot B_{M \times N}$ $weight(j)=(w_1, w_2, \dots, w_N)$, $co-efficiency(j)$ 是第 j 个要素与某个尺度沙尘暴过程频数序列的相关系数。

设: $bb_{ik} \in BB_{M \times K}$, 令 $bb_k = \sum_{i=1}^M \lambda (i=1, 2, \dots, M; k=1, 2, \dots, K)$

实数空间上的线性映射 $f: R^{M \times N} \rightarrow R^N$ 按照如下公式构造: $W = B^T B$

其中: $w_0 = \sum_{i=1}^M b_{ik} \cdot b_{ik}$ B^T 为 B 的转置矩阵, W 是一个 $N \times N$ 的实对称矩阵。

求解 W 的 N 个特征值。设 $\alpha_0 = (\alpha_0^1, \alpha_0^2, \dots, \alpha_0^N)$ 为最大特征向量,对其进行标准化处理。令 $Y = \alpha_0 \cdot B^T$ 其中 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$, 对 y_i 进行从大到小排序可获得一组排序值, K 个因子就产生了 K 组排序值,即产生了一个 $M \times K$ 的序表。

后置群体评价方法采用了 Borda 数分析法^[20],在考虑各个被评价对象优序关系的同时,也考虑了每个个体评价对它的评价值,这样更能体现整个群体对每个被评价对象的整体偏好。具体评价模型和算法如下:

前面的处理后所获得的序表(记作 $A_{M \times K}$)和效用值表中(记作 $B_{M \times K}$),我们可以认为 K 个影响因子即认为是 K 个个体评价, M 个样本即为 M 个被评价对象。

在第 k 个评价中,对 $B_{M \times K}$ 求出第 i 个被评价对象属于“优”的隶属度 μ_k :

$$\mu_k = bb_{ik} / \max_{i=1, \dots, M} \{bb_{ik}\} \quad bb_{ik} \in BB_{M \times K}, \quad i=1, 2, \dots, M; k=1, 2, \dots, K$$

对 μ_k 根据其对应的第 k 个因子的年平均值与各个尺度沙尘暴天气过程频率的相关系数进行赋权:权重 $W(k)=1+abs(coefficiency(k))$,赋权后的隶属度仍记为

μ_k , 即 $\mu_k = W(k) \cdot \mu_k$ 。

A^T 是 A 的转置矩阵, $a_{ki} \in A^T$ 。

$\forall k, (k=1, 2, \dots, K)$, 按如下公式构造优先级矩阵 P_k , 其元素:

$$p_k'(i) = \begin{cases} 1 & (\text{如果 } a_{ki} = 1) \\ 0 & (\text{否则}) \end{cases} \quad (k=1, 2, \dots, K; i, j=1, 2, \dots, M)$$

按照如下公式构造模糊频数矩阵 $F_{M \times M}$, 其元素:

$$f_{ij} = \sum_{k=1}^K p_k'(i) \cdot \mu_k, \text{ 其中 } (i, j=1, 2, \dots, M)。$$

$$FBN(i) = \frac{1}{S_i} \left(\sum_{l=1}^M \frac{1}{2} (M-l+1) \cdot f_{il} \right)$$

$$(i=1, 2, \dots, M) \text{ 其中: } S_i = \sum_{l=1}^M f_{il}$$

对 $FBN(i)$ 从大到小排序即获得每个被评价对象的综合优先排序。

设样本自己与自己的 Borda 数为最大 Borda 数 (Biggest-Borda number, 简记为 BBN), 我们将各个历史样本与实时样本的相似程度用百分率定义为:

$$Analogous-degree(i) = 100 \times FBN(i)/BBN$$

5.2 预测试验

5.2.1 预测标准和预测正误判断准则

预测标准:在我们设计的 11 组汇报试验中,给出了两种预测标准作预测,预测标准-1:在预测试验中,我们根据所有年份(1962—2006 年)春季沙尘暴天气过程发生的平均频数,分成“正常偏多”和“正常偏少”两级预测标准对春季不同尺度沙尘暴天气过程发生频数做预测,具体如下:10 站以上沙尘暴过程,过去 46 年(1961—2006 年)的平均频数为 7.0 次,所以规定当找出的被参照年份的频数在 $[0, 6]$ 之间,报“正常偏少”;在 $[7, \infty)$ 之间,报“正常偏多”;20 站以上沙尘暴过程,平均频数为 3.5 次,所以规定当找出的被参照年份的频数在 $[0, 3]$ 之间,报“正常偏少”;在 $[4, \infty)$ 之间,报“正常偏多”;预测标准-2:根据模型输出结果中排序第一历史年份的发生频数对于不同尺度沙尘暴天气过程频数做“在某个频数左右”的预测(如,被参照年份频数是 3 次,则做“3 次左右”的预测);当超过某一确定频数时,做“沙尘暴频发年”预测。具体标准:10 站以上沙尘暴过程,过去 45 年该尺度沙尘暴过程频数超过 8 次的年份占有所有年份的 37.8%,当被参照年份的频数超过 8 次(包括 8 次)时,则报“10 站以上沙尘暴过程频发年(8 次以上)”;20 站以上沙尘暴过程,过去 45 年该尺度沙尘暴过程频数超过 5 次的年份占有所有年份的 31.1%,当被参照年份的频数超过 5 次(包括 5 次)时,则报“20 站以上沙尘暴过程频发年(5 次以上)”。

预测正误判别准则:对于标准-1,当被预测年和历史参照年的频数落在相同的区间内,则算报对,否则,报错。对于标准-2,对 10 站和 20 站以上沙尘暴过程,当被预测年与历史参照年的频数上下相差 2 次时,或者被预测年和历史参照年的频数同时超过 8 次或 5

次时,则算报对,否则,报错。

5.2.2 回报试验(hindcast)

根据前面对预测因子的分析结果,我们选择了一些具有较强预测信号的气候因子,设计了 11 组不同因子组合的回报试验,采用上述预测模型对 1962—2006 年中每一年春季分两种不同尺度沙尘暴天气过程发生频率进行预测试验,对应背景场的年份是 1961—2005 年。对两种尺度的沙尘暴天气过程在试验中所使用因子的相关信息见表 12。

从 11 组回报试验的总共 44 组计算结果看(表

13),第 3、4 组和第 4—1 组回报试验的预测准确率相对较高。在不同的预测正误判断标准下,统计出的预测结果准确率不同,依照预测标准 1 进行预测的条件比较宽松,对于 10、20 站沙尘暴过程的预测预测准确率总体上高于按照标准 2 做出预测的准确率。在实际预测中,对于 10 站沙尘暴天气过程的预测对当地比较有意义,而对于 20 站强沙尘暴天气过程的预测不但对当地有意义,而且可能对内蒙古下游的广大地区更有意义,这种尺度的沙尘暴几乎都会对京津地区构成不同程度的影响。

表 12 回报试验中使用因子相关信息表

因子代码	因子名称	数据范围	格点精度	使用格点数
1	北半球副高面积指数	5°E~360°		
2	北半球副高强度指数	5°E~360°		
3	北非大西洋北美副高面积指数	110°W~60°E		
4	北非大西洋北美副高强度指数	110°W~60°E		
5	太平洋副高面积指数	110°E~115°W		
6	太平洋副高强度指数	110°E~115°W		
7	西太平洋副高面积指数	110°E~180°		
8	西太平洋副高强度指数	110°E~180°		
9	西太平洋副高西伸脊点指数			
10	北半球极涡面积指数	0°~360°		
11	北半球极涡强度指数	0°~360°		
12	西藏高原位势高度指数	25°N~35°N,8°E~100°E		
13	印槽指数	15°N~20°N,80°E~100°E		
14	太平洋海 SSTA	10°S~60°N,140°E~180°~115°W	5°×5°	273
15	东北太平洋 SSTA	15°N~55°N,180°W~115°W	5°×5°	117
16	赤道西太平洋暖池 SSTA	5°S~10°N,140°E~180°E	5°×5°	24
17	大西洋 SSTA	EQ~45°N,0~80°W	5°×5°	144
18	东大西洋 SSTA	5°S~50°N,0~45°W	5°×5°	99
19	北印度洋 SSTA	20°S~20°N,50°E~100°E	5°×5°	80
20	南纬 30 度以北北半球 SSTA	30°S~90°N,0~360°	5°×5°	806
21	亚洲地区格点温度距平	15°N~55°N,60°E~120°E	5°×5°	104
22	内蒙古两沙尘源区 R%			
23	内蒙古中西部 42 站降水量			

表 13 回报试验相关信息表

回报试验 组号	使用的 因子数	选用因子代码	依照标准-1 的准确率/%		依照标准-2 的准确率/%	
			10 站沙尘暴过程	20 站沙尘暴过程	10 站沙尘暴过程	20 站沙尘暴过程
试验-1	10	1,2,10-13,15,16,18,19	66.7	71.1	62.2	75.6
试验-2	11	1,2,10-13,15,16,18,19,21	73.3	73.3	62.2	75.6
试验-3	8	1,2,11,13,14,17,19,21	80.0	75.6	64.4	75.6
试验-4	12	1,2,9-13,14,17,19,21,22	77.8	84.4	64.4	77.8
试验-(4-1)	9	1,2,9,11,13,14,17,19,22	75.6	75.6	68.9	71.1
试验-5	10	1,2,9,11,13,14,17,19,21,22	66.7	77.8	62.2	75.6
试验-6	13	3-6,9,11,13,15-17,19,21,22	80.0	75.6	62.2	75.6
试验-7	12	3-6,9,11,13,15-17,19,22	80.0	73.3	60.0	73.3
试验-8	12	1,2,7-11,13,14,17,19,23	68.9	77.8	57.8	75.6
试验-9	10	1,2,9,11,13,15-17,19,22	68.9	75.6	60.0	73.3
试验-10	7	1,2,9,11,13,20,22	71.1	73.3	57.8	68.9

注:表中的选用因子代码是表 12 中的预测因子代码。

表 14 确定的较好预测因子组合的相关信息

因子序号	因子名称	数据范围	格点精度	使用格点数	数据说明
1	北半球副高面积指数	5°E~360°			直接使用各月指数,从头一年2月至当年1月
2	北半球副高强度指数	5°E~360°			同上
3	北半球极涡强度指数	0°~360°			同上
4	印槽指数	15°N~20°N,80°E~100°E			同上
5	太平洋海 SSTA	10°S~60°N,140°E~180°~115°W	5°×5°	273	做 EOF 分解,使用第一特征量数据(PC1),从头一年1月至12月
6	大西洋 SSTA	EQ~45°N,0~80°W	5°×5°	144	同上
7	北印度洋 SSTA	20°S~20°N,50°E~100°E	5°×5°	80	同上
8	内蒙古两沙尘源区降水量	见图 6			同上

在分析前面 11 组回报结果的基础上,最终确定了一组较佳的预测因子组合(8 因子组合,见表 14),并对 1975—2004 年春季的沙尘暴逐年进行了预测(回报试验)。并根据过去 45 年(1962—2006 年)10 站和 20 站春季沙尘暴天气过程发生频数确定了更符合气候预测实际要求的 3 级预测分级(3 categorical forecast)和预测正误判断准则。

3 级预测的具体方法是将 45 年春季沙尘暴天气过程发生频数进行从大到小排序,将 45 年分成 3 组(15 年一组),根据频数高的一组的频数区间确定沙尘暴“频发年(Above normal)”的发生频数区间,频数低的一组的频数区间用于确定沙尘暴“不频发年(Below normal)”的频数区间,中间的一组用于确定沙尘暴发

生频数“正常年(Normal)”的频数区间。被确定的 3 级预测频数区间见表 15。

3 级沙尘暴预测正误的判断准则如下:如果被预测年春季沙尘暴发生频数与被参考历史样本年的发生频数落在同一个频数区间内,或者被预测年和被参考历史样本年沙尘暴的发生频数对于 10 站沙尘暴天气过程相差 2 次以下,对 20 站沙尘暴相差 1 次均认为预测正确,否则,预测错误。对于 1975—2004 年春季沙尘暴回报试验的预测正确率见表 16。在对 30 年(1975—2004 年)的回报试验中对于 10 站沙尘暴天气过程预报正确年为 21 年,正确率为 70.0%;对于 20 站沙尘暴预报正确年为 22 年,正确率为 73.3%。

表 15 内蒙古春季沙尘暴过程 3 级预测频数区间 / 次

预测分级	10 站沙尘暴过程	20 站沙尘暴过程
频发年 Above Normal(AN)	[9,∞)	[5,∞)
正常年 Normal(N)	[6,8]	[3,4]
不频发年 Below Normal(BN)	[0,5]	[0,2]

在分析前面 11 组回报结果的基础上,最终确定了一组较佳的预测因子组合(8 因子组合,见表 14),并对 1975—2004 年春季的沙尘暴逐年进行了预测(回报试验)。并根据过去 45 年(1962—2006 年)10 站和 20 站春季沙尘暴天气过程发生频数确定了更符合气候预测实际要求的 3 级预测分级(3 categorical forecast)和预测正误判断准则。

3 级预测的具体方法是将 45 年春季沙尘暴天气过程发生频数进行从大到小排序,将 45 年分成 3 组(15 年一组),根据频数高的一组的频数区间确定沙尘暴“频发年(Above normal)”的发生频数区间,频数低的一组的频数区间用于确定沙尘暴“不频发年(Below normal)”的频数区间,中间的一组用于确定沙尘暴发生频数“正常年(Normal)”的频数区间。被确定的 3 级预测频数区间见表 15。

3 级沙尘暴预测正误的判断准则如下:如果被预

测年春季沙尘暴发生频数与被参考历史样本年的发生频数落在同一个频数区间内,或者被预测年和被参考历史样本年沙尘暴的发生频数对于 10 站沙尘暴天气过程相差 2 次以下,对 20 站沙尘暴相差 1 次均认为预测正确,否则,预测错误。对于 1975—2004 年春季沙尘暴回报试验的预测正确率见表 16。在对 30 年(1975—2004 年)的回报试验中对于 10 站沙尘暴天气过程预报正确年为 21 年,正确率为 70.0%;对于 20 站沙尘暴预报正确年为 22 年,正确率为 73.3%。

表 15 内蒙古春季沙尘暴过程 3 级预测频数区间 / 次

预测分级	10 站沙尘暴过程	20 站沙尘暴过程
频发年 Above Normal(AN)	[9,∞)	[5,∞)
正常年 Normal(N)	[6,8]	[3,4]
不频发年 Below Normal(BN)	[0,5]	[0,2]

表 16 按照 3 级沙尘暴预测模型的输出结果及预测正 / 误信息表

被预测年份	10 站沙尘暴过程模型 输出参考年份	10 站沙尘暴预测的正/误	20 站沙尘暴过程模型 输出参考年份	20 站沙尘暴预测的正/误
1975(AN,AN)	1972(AN)	√	1972(AN)	√
1976(AN,AN)	1972(AN)	√	1972(AN)	√
1977(N,AN)	1968(N)	√	1968(AN)	√
1978(N,N)	1970(AN)	√	1970(N)	√
1979(N,N)	1978(N)	√	1978(N)	√
1980(BN,N)	1970(AN)	×	1964(N)	√
1981(N,N)	1980(BN)	√	1970(N)	√
1982(AN,N)	1980(BN)	×	1980(N)	√
1983(N,BN)	1964(N)	√	1964(N)	√
1984(N,N)	1981(N)	√	1981(N)	√
1985(N,N)	1968(N)	√	1968(AN)	×
1986(BN,BN)	1985(N)	×	1985(N)	√
1987(AN,N)	1983(N)	√	1983(BN)	×
1988(BN,N)	1984(N)	×	1984(N)	√
1989(BN,BN)	1981(N)	√	1981(N)	×
1990(N,N)	1980(BN)	√	1980(N)	√
1991(BN,BN)	1982(AN)	×	1980(N)	×
1992(BN,BN)	1989(BN)	√	1989(BN)	√
1993(BN,N)	1970(AN)	×	1970(N)	√
1994(BN,BN)	1988(N)	√	1988(N)	×
1995(N,BN)	1994(BN)	×	1994(BN)	√
1996(BN,BN)	1991(BN)	√	1991(BN)	√
1997(BN,BN)	1967(N)	×	1967(BN)	√
1998(BN,BN)	1988(N)	√	1988(N)	×
1999(BN,BN)	1996(BN)	√	1996(BN)	√
2000(N,AN)	1990(N)	√	1990(N)	√
2001(N,AN)	2000(N)	√	1990(N)	×
2002(N,N)	1991(BN)	×	1991(BN)	×
2003(BN,BN)	1992(BN)	√	1998(BN)	√
2004(BN,BN)	1996(BN)	√	1996(BN)	√

注:在被预测年份列中括号内第一、二个符号分别表示 10 站、20 站沙尘暴发生频数级别,在模型输出参考年份列中括号内的符号表示该年 10 站、20 站沙尘暴发生频数级别。

5.2.3 预报评分

我们对上述针对 1975—2004 年分成 3 级沙尘暴天气过程的回报试验结果做了预报技巧评分 SS(skill score)和 POD(probability of detection)评分^[27-28],结果如下。

预报技巧评分 SS 根据如下公式进行计算:

$$SS_{perf} = \frac{A - A_{ref}}{A_{perf} - A_{ref}} \times 100\%$$

$$A_{ref} = \sum_{i=1}^I F_i \times A_i$$

其中: F_i 为气候概率($i=1,2,3$; 分别代表沙尘暴“不频发年 Below normal”, “正常年 Normal” 和 “频发年 Above normal”); A_{perf} 代表样本数; A_i (i 同上) 为预报出现该种天气的次数; A 代表该种天气报对的次数。

当 $SS_{perf} > 0$ 表示该预报方法比气候概率预报效果优越。模型回报试验对于 10 站沙尘暴天气过程的预报技巧评分结果为 $SS_{perf}=0.521$; 对于 20 站沙尘暴天气过程的预报技巧评分为 $SS_{perf}=0.537$ 。

POD 评分按照如下公式计算结果:

$$POD = \frac{a}{a+c}$$

其中: a 表示预报与实况相吻合的次数 (报对次数), c 表示预报与实况不吻合的次数 (报错次数)。

POD 计算结果见表 17。当 $POD=1$ 时为最完美预报, $POD=0$ 时为最糟糕预报。30 个样本随机预测试验 0.05 显著性水平的临界值为 0.36, 从表 17 可以看出, POD 的计算值远远超过了这个临界值。

表 17 3 级沙尘暴预报的 POD(Probability of detection)评分结果

POD	不频发	正常	频发
	Below normal	Near normal	Above normal
10 站沙尘暴	0.75	0.75	0.50
20 站沙尘暴	0.78	0.71	0.75

5.2.4 2005—2007 年春季预测

使用所确定的较好预测因子组合(8 因子)运行了预测模型,并对内蒙古地区 2005,2006,2007 年春季 10 站和 20 站沙尘暴天气过程做了预测,按照前面给出的 3 级预测标准及其预测正 / 误的判别准则,这 3 年春季的预测均为正确预测,预测正确率为 100%,预测信息见表 18。

表 18

2005—2007年春季沙尘暴天气过程预测结果信息表

被预测年份	10 站沙尘暴天气过程			20 站沙尘暴天气过程		
	模型输出历史参考年	预测描述	预测的正/误	模型输出历史参考年	预测描述	预测的正/误
2005(0,0)	2004(2,72.9)	不频发年 (低于 5 次)	✓	2004(1,74.6)	不频发年 (低于 2 次)	✓
2006(5,2)	2005(0,77.4)	不频发年 (低于 5 次)	✓	1996(1,77.5)	不频发年 (低于 2 次)	✓
2007(2,1)	1998(4,76.1)	不频发年 (低于 5 次)	✓	1998(1,77.6)	不频发年 (低于 2 次)	✓

注:在被预测年份列中括号内第一个数字是 10 站沙尘暴发生频数,第二个数字是 20 站沙尘暴发生频数;在 10 站和 20 站模型输出

参考年份列中括号内第一个数字是沙尘暴发生频数,第二个数据是参考年份气候背景场与实时样本背景场的相似度(%)。

5.2.5 关于 2008 年春季预测

在 2008 年 2 月获得了有效的实时气候背景观测资料后,我们通过预测模型的计算对 2008 年内蒙古春季沙尘暴做了预测,模型的输出结果显示 2008 年春季为沙尘暴的不频发年,发生状况预计将与 2005 年春季的情形类似。

6 小结、讨论和说明

6.1 小结

合理客观的沙尘暴定义是进行沙尘暴研究的基础,我们所做的关于气候对沙尘暴影响的研究都是在此基础上进行的。就前期气候影响因子与沙尘暴发生频数关系的研究和分析对于沙尘暴的季节预测远比对同期因子的研究具有实际意义。文中谈及的预测模型是对区域沙尘暴季节预测方法的一个有益尝试,预测结果较理想。因此,该预测模型有望作为内蒙古春季沙尘暴短期气候预测的一个预测工具使用。

6.2 说明和讨论

6.2.1 沙尘暴发生频率的统计及发生范围的说明

目前我们对沙尘暴的统计主要是根据水平能见度的观测数据进行的。关于沙尘暴天气过程频数的统计,由于在 1961 年和 1980 年对于沙尘暴气象观测日界和记录方法有所变更,沙尘暴资料的均一性受到影响,这种影响在定义沙尘暴天气过程和进行沙尘暴发生频数统计时可能会产生一定影响。此外,由于当前对于沙尘暴更精确、客观的观测数据(如:沙尘天气的总悬浮颗粒物(TSP)、大气中粒径小于等于 $10\mu\text{m}$ (PM_{10})和粒径小于等于 $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)细颗粒物浓度)的时间序列长度就年际尺度而言相对较短,尚不适合在我们设计的模型中使用。基于上述考虑,在现有数据的条件下,为了对内蒙古沙尘暴有比较客观的统计描述,我们在统计了沙尘暴发生日数的基础上,经过分析,计算了其发生过程的频数作为沙尘暴的频数序列,如在 2.1 中所描述的那样。

在此项研究中我们使用的能见度观测数据是一

日 4 个时次的定时观测记录,而一般沙尘暴的日变化规律是在午后到傍晚时段发生,即在 14 时和 20 时之间,这样,可能在定时观测记录并没有把沙尘暴发生时的最差能见度客观地反映出来,因此,对沙尘暴发生过程的统计由于上述原因可能存在一定误差。

6.2.2 关于预测因子的选择和分析

目前模型中所使用的因子组合并不见得是最好的预测因子组合,但在我们目前可以获得的各种历史数据和有效的实时数据的范围之内,仍然是比较理想的因子组合。

根据对内蒙古春季沙尘暴影响因素的大量分析结果推断影响内蒙古春季沙尘暴天气过程频数变化的确切主要原因我们更倾向于大气环流变化的影响,动力因素是决定因素,地表物质虽然提供了沙尘暴必不可少的物质条件,但并不是决定因素。

由于本文对因子分析的目的是筛选具有预测指示意义的前期气候因子,因此,就这些因子对沙尘暴构成影响的物理机制分析不是此文的目的。

6.2.3 关于样本库的更新

历史背景样本数据库中的样本数也是决定该模型预测准确率高低的一个重要因素,样本库大、所包含样本趋于多样化,通过此模型找到具有有效参考价值的历史背景样本的几率就会增加。目前我们有两种关于预测模型和样本库更新办法,一种是把每年的新样本加入样本库,对需要作 EOF 分解的影响因子重新做分解,然后再对新获得的主分量场与沙尘暴天气过程发生频数做相关分析,模型中使用的权重系数按照新算出的相关系数确定。另一种是使用原有样本 EOF 分解的主分量场作为历史样本因子数据,然后用实时样本的数据向历史样本 EOF 分解出的特征向量上作投影求出实时样本的经验正交函数值作为实时样本前期场的数据使用,每过 2~3 年,增加了 2~3 个新样本后则需要按照第一种方法进行更新。

6.2.4 关于预测标准和判断准则

预测的正确率直接受到预测正误判断标准的影响,判断标准制定得宽松一些,预测的正确率就高一些,否则,相反。由于目前我们没有找到可以参照的依据,我们所给出的预测标准和预测正误的判断标准并不一定是最合理的标准,有待于在今后的预测实践中进行修改。

7 结束语

已有很多研究表明人类活动已经对地球的气候造成了影响,温室气体的排放使得全球变暖,干旱地区的干旱加剧,人类对土地和草原的不合理利用扩大了土地的荒漠化面积和自然草场的退化面积,这些因素都对沙尘暴的发生起着直接或间接的作用。气候预测相对于中短天气预报的难度更大,由于气候的变化不仅包含地球气候本身的自然变化,而且包含了人类活动影响的变化,又由于观测资料的局限和我们能够获得的实时观测资料的时效限制,这些都无疑增加我们对沙尘暴季节预测的难度。此项研究仅是对内蒙古沙尘暴预测方法有实际应用价值的一个探索,模型仍在今后的实际应用中不断地改进和完善。

志谢:该文是多个研究成果的总结介绍,在数据收集、图形制作、流场分析和信息查询等方面曾得到过多人的帮助,他们是肖苏君,乌兰,薄玉华,李海英,苏立娟,李一平,姜学恭,宋桂英,白美兰,卢士庆,康玲,周小萍,刘爱霞,马清霞,王海梅,张秀峰,宋学锋,乌日娜,王莲凤,郝文俊,司瑶冰,巴彦等,衷心感谢他们在我近年的研究工作中所给予的支持。

参考文献:

- [1] Gao Tao, Yu Xiao, Ma Qingxia, et al. Climatology and trends of the temporal and spatial distribution of sandstorms in Inner Mongolia [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2003, Focus3(2): 51-66.
- [2] Gao Tao, Xu Yongfu, Bo Yuhua, et al. Synoptic characteristics of dust storms observed in Inner Mongolia and their influence on the downwind areas (the Beijing-Tianjin Region) [J]. Meteorological Applications, 2006(13): 393-403, doi:10.1017/S1350482706002404.
- [3] 钱正安,胡隐樵,恭乃虎,等.“93.5.5”特强沙尘暴的调查报告及其分析[M]//钱正安,方宗义,朱福康,等.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:37-43.
- [4] 周秀骥,徐祥德,颜鹏,等.2000年春季沙尘暴动力学特征[J].中国科学(D辑),2002,32(4):327-334.
- [5] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5):513-521.
- [6] 郑新江,刘诚,陆文杰,等.沙尘暴监测方法研究[M]//钱正安,方宗义,朱福康,等.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:82-87.
- [7] 邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001,56(3):316-322.
- [8] 黄美元,王自发.东亚地区黄河长距离输送模式设计[J].大气科学,1998,22(4):625-637 (SCIENTIA ATMOSPHERICA SINICA).
- [9] Shao YP, Yang Y, Wang JJ, Song ZX, Lance M. Leslie, Dong CH, Zhang ZH, Lin ZH, Yutaka Kanai, Sadayo Yabuki, Chun YS (2003) Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation [J]. J. Geophys. Res.: 108, NO. D22, 4691, doi: 10.1029/2003JD003667.
- [10] 张仁健,王明星,浦一芬,等.2000年春季北京特大沙尘暴物理学特性的分析[J].气候与环境研究,2000,5(3):259-266.
- [11] 江吉喜,项续康,王子厚,等.以卫星资料为主的强沙尘暴超短期预报方法初探[M]//钱正安,方宗义,朱福康,等.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:98-102.
- [12] 杨东贞,颜鹏,徐祥德.北京风沙天气的气溶胶特征[J].应用气象学报,2002,13(T):185-194.
- [13] Wang Zifa, Itsushi Uno, Fuying Xie. Preliminary results of dust model scheme comparison, Exchange paper of the Second International Workshop on Sandstorms and Associated Dustfall, Nagoya, Japan (Nov.13-15,2003).
- [14] 史培军,严平,高尚玉,等.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报,2000,9(3):71-77.
- [15] 纪飞,秦瑜.东亚沙尘暴的数值模拟,I模式建立[J].北京大学学报:自然科学版,1996,32(3):384-392. II 个例分析[J].北京大学学报(自然科学版),1998,34(5):639-645.
- [16] Niimura, N. et al.(1998),Formation of Asian dust-storm Particles mixed internally with sea-salt in the atmosphere[J]. Journal of the Meteorological society of Japan,76: 275-288.
- [17] Chung Y S, Yoon M B. On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings [J]. Atmospheric Environment,30 (1996): 2387-2397.
- [18] McTainsh G H, Lynch A W, Tews E K. Climatic Controls upon dust storm occurrence in Eastern Australia [J]. Journal of Arid Environments, 1998, Vol.39, Iss.3: 457-466.
- [19] Y. Iwasaka, Dust particle diffusion in the free troposphere over the Taklamakan Desert: Potential of pool of KOSA Particle, Exchange paper of the Second International Workshop on Sandstorms and Associated Dustfall, Nagoya, Japan (Nov.13-15,2003).
- [20] 李晓东,张庆红,叶瑾琳.气候学研究的若干理论问题[J].北京大学学报:自然科学版,1999,35(1):101-106.
- [21] 曾庆存,董超华,彭公松,等.千里黄云—东亚沙尘暴研究[M].北京:科学出版社,2006:227.
- [22] 杨培才,周秀骥.气候系统的非平稳行为和预测理论[J].气象学报,2005,63(5):556-570.
- [23] 赵平,南素兰.气候和气候变化领域的研究进展[J].应用气象学报,2006,17(6):725-735.
- [24] 严华生.气候变化分析预测[M].北京:气象出版社,2003:246.
- [25] 汪培庄.模糊集合论与应用[M].上海:科技出版社,1983,345.
- [26] 杨季美,史本山.群体评价的合并方法[J].系统工程理论与实践,1992(1): 49-50.
- [27] Hans von Storch, Francis W. Zwiers. Statistical Analysis in Climate Research [M]. UK: Cambridge University Press, 1999,484.
- [28] William H. Press, Saul A. Teukolsky and William T. Vetterling et al. Numerical Recipes in Fortran 77 (Second Edition: The art of Scientific Computing) [M]. UK: Cambridge University Press, 2005 reprint-ed, 449-487.