

# 利用转移概率作青岛近海 海雾的短期预报

滕学崇 林滋新

(青岛市气象局)

## 摘 要

本文采用气象和水文相结合的方法筛选出具有物理意义的4个预报因子,使用综合转移概率和气候转移概率两种方法作出逐日海雾的概率预报。效果尚好,对本区海雾的短期预报有一定的参考价值。

## 前 言

海雾是我国黄海沿岸主要灾害性天气之一。青岛近海地处山东半岛南部,面临浩瀚的黄海,是我国海雾较多的海区。如:青岛市年平均雾日为53天,1951年海雾日数曾达92天,而处于近海的朝连岛年平均雾日是51天,1961年海雾日数也达66天。该区的海雾以平流雾为主,多集中在4—7月份,约占全年雾日的80%,它有较明显的日变化,一般发生在后半夜,以4—6时最多。由多年历史资料统计可见:青岛沿海4—7月份逐日天气以有雾与无雾的交替出现为主。通过分析发现这两种天气出现与不出现存在着相互转移的规律,且仅与前一时刻有关,实际上这是一种简单的马尔柯夫过程。本文应用马尔柯夫过程在建立预报模式时,首先考虑各因子在不同的状态下计算各种天气相互转移概率,然后用气候转移概率和综合转移概率比较法,作出逐日海雾的概率预报。

## 一、方法概述

### (一) 基本原理

马尔柯夫过程是这样一个过程:设随机过程 $x(t)$ ,如果已知在时刻 $t$ 系统处于状态 $x$ 的条件下,在时刻 $\tau(\tau > t)$ 系统所处状态与时间 $t$ 以前系统所处的状态无关,那么称这个随机过程为马尔柯夫过程,有时也称为无后效的随机过程。由于我们研究的对象是时间离散,状态也离散的马尔柯夫过程。即,状态的转移只能在离散时间 $t = t_n (n = 1, 2, 3, \dots)$ 的情况下才能发生,且将来状态仅与现在状态有关,而与过去状态无关。因此,这种时间离散,状态也离散的马尔柯夫过程就称为马尔柯夫链。一般情况下,把所有可能状态分别记为 $E_1, E_2, E_3, \dots$ ,把可发生转移的时间记为 $t_1, t_2, t_3, \dots$ ,如果用 $P_{ij}$ 表示由状态 $E_i$ 经过一次转移到 $E_j$ 的概率,则转移概率可排成一个矩阵:

本文于1987年9月1日收到,修改稿于1988年4月19日收到。

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \cdots \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \cdots \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \cdots \\ \dots\dots\dots \end{pmatrix}$$

由于从任何状态  $E_i$  出发, 经过一次转移后必然出现状态  $E_1, E_2, E_3, \dots$  中的一个, 故有  $\sum P_{ij} = 1 (P_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots)$ 。因此, 如初始状态已知, 就可以计算上述的转移概率矩阵。

### (二) 天气状态的确定

在青岛历年 4—7 月份的逐日天气状态中, 往往晴、雨、雾等天气交替出现, 但它们出现的可能性大小不同, 总的说来以无雾与有雾出现的频率最大。因此, 为了考虑问题的方便, 我们对天气状态进行了简化处理: 即把逐日天气划分为有雾和无雾二种, 且每天仅出现其中的一种天气, 同时根据马尔柯夫链的定义, 认为明日的天气仅与今日的天气有关, 而与昨日的天气无关, 因而本文所研究的天气状态是今日雾, 明日连续雾还是无雾? 今日无雾, 明日连续无雾还是有雾为主要内容。为了使气象资料在预报中能更有效地发挥作用, 在时间的划分上也作了如下规定: 今日天气是指昨日 14 时至今日 14 时之间出现的天气, 明日天气是指今日 20 时至明日 20 时之间出现的天气, 在该时间范围内划分为二种主要天气, 即无雾或有雾。

### (三) 预报因子的选取及其状态划分

青岛近海的海雾大多数为平流雾, 因此在选择预报因子时, 对形成平流雾的水气象条件(如: 海水温度、空气的温湿度、风场等)进行了分析, 同时也考虑了上游(如上海)的湿度情况。这样, 根据预报员的经验和形成平流雾的物理机制及历史资料的统计分析, 我们选取了以下 4 个预报因子:

$X_1 = (T - T_w)$ ——当日 14 时朝连岛的气温与海水温度的差值。

$X_2 = T_w$ ——当日 14 时朝连岛的水温。

$X_3 = (T_d - T)$ ——当日 14 时上海的露点温度减青岛 14 时的温度。

$X_4 = dd$ ——当日 14 时朝连岛的风向(按 16 方位计)。

在进行资料统计过程中, 朝连岛和青岛二个测站其中有一个测站出现大雾就作为一个雾日。为了反映预报因子的变化对天气状态的影响, 首先对上述 4 个因子的逐日变化按月进行了状态划分并编码。前 3 个预报因子的状态划分与编码规定如表 1 所示, 而第 4 个预报因子的状态划分和编码见表 2。

表 2 中风向的 4 个范围是统计历史资料, 根据各风向与雾出现的频率大小而确定的。

表 1

状 态	编 码	状 态	编 码
升 1 日	11	降 1 日	01
连升 2 日	12	连降 2 日	02
连升 3 日或 3 日以上	13	连降 3 日或 3 日以上	03

表 2

编 码 状 态	风 向	1	2	3	4
		NNW—WSW	N—NE	E—S	C—SSW—SW—ENE
01 日		11	21	31	41
连到 2 日		12	22	32	42
连到 3 日或 3 日以上		13	23	33	43

## 二、计算结果

### (一) 各预报因子在某种状态下两种天气的转移概率

#### 1. 逐日各预报因子的状态与资料编码

根据上述所选定的 4 个预报因子，并对这些因子的逐日升降趋势进行编码，编码规定见表 1 和表 2。然后分别统计各因子在某种状态下的转移次数。

#### 2. 逐日各预报因子在某种状态下天气状态的转移概率计算

现以 4 月份  $x_1$  预报因子在 01 状态下为例说明其计算方法，根据 1971—1980 年共计  $N=290$  天(4 月 1 日资料除外)，其中  $x_1$  的 01 状态共出现  $n_{01}=82$  次，这其中今日无雾有  $n_{01}^{(1)}=59$  次，且转明日：无雾为  $m_{11}=42$  次，有雾为  $m_{12}=17$  次。 $n_{01}^{(1)}=m_{11}+m_{12}=59$  次。而今日有雾有  $n_{01}^{(2)}=23$  次，且转明日：无雾  $m_{21}=8$  次，有雾  $m_{22}=15$  次。 $n_{01}^{(2)}=m_{21}+m_{22}=23$  次。显然  $n_{01}=n_{01}^{(1)}+n_{01}^{(2)}=59+23=82$  次。同理， $x_1$  的 02, 03 及 11, 12, 13 状态也按上述方法进行计算，则有  $N=n_{01}+n_{02}+n_{03}+n_{11}+n_{12}+n_{13}=290$  天。有了  $x_1$  的 01 状态下的天气状态转移次数，就可以计算出它的转移概率矩阵： $P_{01}=\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}$ ，此称为一阶转移概率矩阵，且有  $P_{11}+P_{12}=1$  和  $P_{21}+P_{22}=1$  的性质。

$P_{01}$  中的  $P_{11}=m_{11}/n_{01}^{(1)}$ ； $P_{12}=m_{12}/n_{01}^{(1)}$ ； $P_{21}=m_{21}/n_{01}^{(2)}$ ； $P_{22}=m_{22}/n_{01}^{(2)}$  (1)  
根据已统计好的转移次数，代入式(1)就可计算出  $x_1$  在 01 状态下的天气状态转移概率矩阵。记为：

$$P_{01} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7118 & 0.2882 \\ 0.3478 & 0.6522 \end{bmatrix} \quad (2)$$

用同样方法可以算出  $x_1$  在 02, 03 及 11, 12, 13 状态下的天气状态转移概率矩阵，它们分别记为：

$$P_{02} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, P_{03} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, P_{11} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, P_{12} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, P_{13} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \text{其它 3 个预报因子的计算方法与此相同，这里不再赘述。}$$

### (二) 某种天气状态下的气候转移概率

把规定观测到的天气状态划分为无雾和有雾两种，时间间隔为一天，则可得到雾，无雾，无雾，雾，雾……的序列。以  $D_1$  表示无雾， $M_2$  表示有雾，把  $D_1$  转  $D_1$  的转移概率记为  $P_{11}$ ； $D_1$  转  $M_2$  的概率记为  $P_{12}$ 。同样把  $M_2$  转  $D_1$  的转移概率记为  $P_{21}$ ； $M_2$  转  $M_2$

的概率记为 $P_{22}$ ，则转移概率 $P_{ij}$ 可排成一阶转移概率矩阵 $P' = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}$ ，我们称此为气候转移概率矩阵。把4—7月的天气状态转移次数分别代入 $P'$ 矩阵，便可得到4—7月的各月气候转移概率矩阵。它们分别记为：

$$P_4' = \begin{bmatrix} 0.8028 & 0.1972 \\ 0.4935 & 0.5065 \end{bmatrix}, \quad P_5' = \begin{bmatrix} 0.8019 & 0.1981 \\ 0.3786 & 0.6213 \end{bmatrix},$$

$$P_6' = \begin{bmatrix} 0.6982 & 0.3017 \\ 0.3816 & 0.6183 \end{bmatrix}, \quad P_7' = \begin{bmatrix} 0.7485 & 0.2515 \\ 0.3458 & 0.6542 \end{bmatrix}$$

从以上4—7月的四个气候转移概率矩阵可以明显地看出今日无雾，次日仍是无雾的概率较大，今日有雾，次日仍是雾的概率也较大。这表明天气状态本身转移的规律性。

### 三、预 报 方 法

根据以上求出的各因子在某种状态下的天气状态转移概率和某种天气状态下的气候转移概率，我们便可作出次日雾的预报。

#### (一) 气候转移概率法

如果某月某日天气无雾，则根据当日14时的各预报因子观测值状态，从已算好的转移概率矩阵中查出4组转移概率，并求其综合转移概率，然后再与本月的的气候转移概率比较，就可作出次日的预报。凡计算出的综合转移概率大于表中本月的气候转移概率就报无雾或雾。

例如：1971年4月12日没有雾，当日14时各预报因子的观测值分别为： $x_1 = 1.5$ ， $x_2 = 6.2$ ， $x_3 = 4.0$ ， $x_4$ 的风向为SE，首先将各因子的值按规定划分状态并编码即： $x_1 = 01$ ， $x_2 = 01$ ， $x_3 = 11$ ， $x_4 = 32$ ，然后根据各因子的编码，从已算好的转移概率矩阵中查得4组转移概率列于表3。

表 3

预 报 因 子	编 码	转 移 概 率	
		$P_{11}$	$P_{12}$
$x_1$	01	0.8551	0.1449
$x_2$	01	0.7118	0.2881
$x_3$	11	0.6923	0.3076
$x_4$	32	0.5500	0.4500
综合转移概率		$P_{11} = 0.7023$	$P_{12} = 0.2977$
本月气候转移概率		$P_{11}' = 0.8028$	$P_{12}' = 0.1972$
本月综合转移概率		$P_{11}' = 0.7740$	$P_{12}' = 0.2260$

从表3可知：今日无雾转明日无雾的综合转移概率为 $P_{11} = 0.7023$ ，今日无雾转明日雾的综合转移概率为 $P_{12} = 0.2977$ ，对应本月的气候转移概率分别为 $P_{11}' = 0.8028$ 和 $P_{12}' = 0.1972$ ，显然 $P_{12} > P_{12}'$ ，故报雾，实况也是雾。

## (二) 综合转移概率法

所谓综合转移概率是表示4个预报因子在不同状态下同时作用的转移概率。每日的综合转移概率是统计逐日4个预报因子在各种状态下的转移概率,并求其每日的和,然后被4除而得。那么综合转移概率究竟多大才可以报无雾或雾呢?这里存在着一个判断问题。

根据逐日综合转移概率与逐日天气状态的对比求出判据,凡计算出来的综合转移概率大于表4中的 $P_{11}'$ 或 $P_{12}'$ ,就报无雾或雾,同样当大于表5中的 $P_{21}'$ 或 $P_{22}'$ ,就报转无雾或继续报雾。

仍用1971年4月12日为例,从表3可知今日无雾转明日无雾的综合转移概率为 $P_{11}=0.7023$ ,今日无雾转明日有雾的综合转移概率为 $P_{12}=0.2977$ ,对应本月的综合转移概率分别为 $P_{11}'=0.7740$ 和 $P_{12}'=0.2260$ ,显然 $P_{12}>P_{12}'$ ,故报雾,实况也是雾。

表4  $P_{11}', P_{12}'$ 气候转移概率法和综合转移概率法比较表

月 份	项目	样 本 数	气候转移概率法		错 报			报 拟 合 率	综合转移概率法		错 报			报 拟 合 率
			$P_{11}'$	$P_{12}'$	漏	空	对		$P_{11}'$	$P_{12}'$	漏	空	对	
4		213	0.8028	0.1972	8	62	143	67.6%	0.7740	0.2260	12	35	166	77.9%
5		202	0.8020	0.1980	8	67	127	62.9%	0.7644	0.2356	14	36	152	75.2%
6		169	0.7024	0.2976	17	54	98	58%	0.6893	0.3107	17	40	112	66.3%
7		167	0.7485	0.2515	12	48	107	64.1%	0.7362	0.2638	15	34	118	70.6%
合 计		761			46	231	475	63.2%			58	145	548	72.5%

表5  $P_{21}', P_{22}'$ 气候转移概率法和综合转移概率法比较表

月 份	项目	样 本 数	气候转移概率法		错 报			报 拟 合 率	综合转移概率法		错 报			报 拟 合 率
			$P_{21}'$	$P_{22}'$	漏	空	对		$P_{21}'$	$P_{22}'$	漏	空	对	
4		77	0.4935	0.5065	12	9	56	72.7%	0.4611	0.5389	12	7	58	75.3%
5		103	0.3786	0.6214	11	13	77	74.8%	0.3893	0.6107	12	13	78	75.7%
6		131	0.3864	0.6136	9	36	86	65.6%	0.3997	0.6003	19	16	96	73.3%
7		135	0.3458	0.6542	16	35	84	62.2%	0.3498	0.6502	26	17	92	68.1%
合 计		446			48	95	303	68.8%			69	53	324	73.1%

比较以上两种方法可见:如果从准确率来讲,综合转移概率法较好,如果希望少漏报雾日,则可采用气候转移概率法,但是这样作就要空报得多一些,其结果见表4和表5。

由于资料所限,我们仅对1981年4月和1982年4,5月分别用气候转移概率法和综合转移概率法进行了逐日试报。从试报的结果可见:这两种方法预报海雾的准确率都在70%左右,与文中所统计的情况相符,看来这两种方法预报海雾还是比较稳定的。通过实况分析,持续性大雾一般都能报出,效果尚好。

#### 四、结 束 语

本文的特点是在考虑预报因子逐日变化的条件并计算天气状态的转移概率,从而作出海雾的概率预报。实践证明:这种既考虑外界预报因子,又考虑预报现象自身的转移规律的统计预报模型作海雾短期预报客观、方便,效果尚好。文中用两种方法进行了研究,其结果表明:用综合转移概率法优于单纯用气候转移概率法,因为它能包含更多的信息,而预报效果比气候转移概率要好,作为一种新方法的尝试,用它来作短期海雾预报,有一定的参考价值。

#### 参 考 文 献

- (1) 胡基福:应用马尔柯夫链作海雾频率预报,海洋通报,(1)1984。
- (2) 王宗皓、裴麦村:天气预报中的概率统计方法,科学出版社,1974:116—125。
- (3) 谭冠日:气象站数理统计预报方法,科学出版社,1978:279—290。

### SHORT-RANGE FORECAST OF SEA FOG OVER THE SEA OFF QINGDAO USING CONVERSION PROBABILITY

Teng Xuechong Lin Zixin  
(Qingdao Meteorological Office)

#### Abstract

In this paper four predictors which have physical meaning are sieved out from meteorological and hydrologic data. The climatic conversion probability and the incorporating conversion probability were used to make daily forecast of probability of sea fog. The results obtained as yet are good. This method can be used for reference to make short-range forecast of sea fog over the sea off Qingdao.