

森林火灾发生趋势及预测方法的探讨

韩恩贤,韩 刚,薄颖生

(西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**实现森林火灾的预测预报,减少森林火灾的发生及其给社会造成的危害。**【方法】**利用陕西省 17 年的火灾发生频数资料,采用 Markov 转移矩阵和 GM(1,1)灰色模型,对陕西森林火灾发生的趋势和预测方法进行了探讨。**【结果】**2008 年前陕西森林火灾基本处于 B 级稳定状态,最小级 A 出现于 2006 年,最大级 C 可能出现于 2008 年。**【结论】**采用 2001~2004 年实际火灾发生情况对预测模型进行了验证,预测结果与实际相符,为陕西省森林火灾防灾减灾奠定了基础。

【关键词】 森林火灾;灰色模型;趋势预测;陕西省

【中图分类号】 S762.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2008)02-0091-06

Forecasting and trend of forest fire occurance

HAN En-xian,HAN Gang,BO Ying-shen

(College of Forestry,Northwest A & F University,Yangling,Shaanxi 712100,China)

Abstract:**【Objective】** The study is to decrease the forest fire occurrence and its damages to the society by means of forest fire occurrence forecasting and prediction. **【Method】** The trend and forecasting of forest fire occurrence in Shaanxi Province was developed based on the 17 years' data of forest fire frequency in Shaanxi Province and by application of Markov transfer matrix,Grey model GM(1,1). **【Result】** The results showed that forest fires in Shaanxi Province will generally remain at stable Class B. The minimum Class A occurs in Year 2006 and the maximum Class C might occur in Year 2008. **【Conclucision】** The prediction model was validated by real forest fire data collected during the period between Year 2001—2004,and the test showed its prediction matched the actual situation,which would lay a foundation for the prevention and reduction of forest fires in Shaanxi Province.

Key words: forest fire;grey model;trend and forecasting; Shaanxi Province

森林火灾是人类所面临的最重要的自然灾害之一,据统计,全世界每年发生森林火灾几十万起,受灾森林面积达几百万公顷,约占森林总面积的 0.1%^[1]。特别是 20 世纪 80 年代以来,全球气候持续变暖,林火有上升的趋势,如 1987 年中国大兴安岭发生了特大火灾,1989 年美国黄石森林公园过火面积达 50 万 hm²,1988~1989 墨西哥的森林火灾导致 12 万 hm² 的热带雨林被毁,1999~2000 年美国西部森林大火

的过火面积超过 200 万 hm²,2001 年发生在澳大利亚悉尼的森林火灾过火面积达 70 万 hm²^[2];这些森林火灾均造成了巨大的经济损失和环境的破坏。因此,如何对森林火灾的发生和蔓延进行预测预报,为林火的预防和灭火指挥提供决策支持,已成为一个迫切需要解决的问题。对于森林火灾预测预报,国内外已进行了很多研究工作,但国内的研究大多侧重于森林火灾的指挥和调度以及林

* [收稿日期] 2006-12-20
[基金项目] 国家林业局天然林保护科技支撑项目(2001-11)
[作者简介] 韩恩贤(1952—),男,陕西扶风人,研究员,主要从事森林培育及森林经营研究。

火的蔓延预测等^[3-8]。前人也曾采用灰色静态 GM(1,1)模型和 Verhulst 动态模型进行森林火灾的预测分析^[8-9],但这些模型只能做短期(1~2步)预测,近期(2~3步)和中期(3~5步)预测效果均不甚理想。总的来看,目前森林火灾预测预报的研究尚难于满足实际的需要。

本研究依据陕西省火灾频数历史资料,用 GM(1,1)^[9-13]模型对陕西省森林火灾的发生趋势进行了预测,并对预测方法进行了探讨,以期对陕西省森林防火工作提供技术支持。

1 预测方法与资料来源

1.1 基本原理

对几种预测方法进行分析比较后,采用马尔柯夫(Markov)^[13]链预测年森林火灾,用 GM(1,1)模型预测年内各月森林火灾。这是因为马尔柯夫链转移矩阵是一种随机模型,其将各种关系以概率来表示,反映的结果是一种可能性,符合森林火灾发生的不确定性特点。GM(1,1)模型的特点是应用少量历史资料,可以预测未来 1~2 年的森林火灾情况。

1.1.1 马尔柯夫转移矩阵 转移矩阵模型是通过状态的初始概率和状态间的转移概率,来确定状态的变化趋势并预测未来状态的。转移概率矩阵 $\mathbf{P}$ 为:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \cdots & P_{1j} \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} \cdots & P_{2j} \cdots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mj} & P_{mm} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

式中: $P_{ij} = N_{ij} / N_i$, $i, j = 1, 2, \dots, m$; 其中 N_{ij} 为研究序列中状态由 S_i 转移到 S_j 的观测值个数, N_i 为序列中处于 S_i 状态的观测值总数;且有:

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1. \quad (2)$$

其预测模型为:

$$\mathbf{A}(n) = \mathbf{A}(0) \mathbf{P}^n. \quad (3)$$

式中: $\mathbf{A}(n)$ 为经 n 步转移后的状态概率向量, n 为转移步数, $\mathbf{A}(0)$ 为初始状态概率向量。对于 $\mathbf{P}^n$, 有:

$$\lim \mathbf{P}^n = \mathbf{P}'. \quad (4)$$

式中: $\mathbf{P}'$ 为极限概率。其与初始状态无关,由研究序列决定。

当 n 足够大时,概率向量将趋于一个惟一固定的概率向量,此向量称为固定概率向量($\bar{\mathbf{P}}$)。($\bar{\mathbf{P}}$)表示各种状态的平衡比例,($\bar{\mathbf{P}}$)满足:

$$(\bar{\mathbf{P}}) = \mathbf{P}(\bar{\mathbf{P}}). \quad (5)$$

由此得到 $(\mathbf{P} - \mathbf{I})(\bar{\mathbf{P}}) = 0$ ($\mathbf{I}$ 为单位矩阵)。由于 ($\bar{\mathbf{P}}$) 为定概率分布,又满足 $\sum_{i=1}^m \bar{P}_i = 1$, 所以齐次方程可以确定。即可由 $(\mathbf{P} - \mathbf{I})(\bar{\mathbf{P}}) = 0$ 求出 ($\bar{\mathbf{P}}$)。

1.1.2 GM(1,1)灰色模型 设原始数列为: $x^{(0)} = \{x^{(0)}(k) \mid k = 1, 2, \dots, n\}$ 。则 $x^{(0)}$ 的 AGO 序列 $x^{(1)}(k)$ 为:

$$x^{(1)}(k) = \{x^{(1)}(k-1) + x^{(0)}(k)\}. \quad (6)$$

由 $x^{(0)}(k)$ 和 $x^{(1)}(k)$, 有:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(2)] & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(n) + x_1^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

由此建立灰色 GM(1,1)模型,即:

$$x^{(0)} + ax^{(1)} = b(x^{(1)})^2. \quad (8)$$

式中: a, b 为参数。

其白化方程为:

$$dx^{(1)}/dt + ax^{(1)} = b(x^{(1)})^2 = u. \quad (9)$$

待估参数 a 由最小二乘法计算:

$$\hat{\mathbf{a}} = [\mathbf{B}^T \mathbf{B}]^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{y}_n = [a, u]^T. \quad (10)$$

式中: $\hat{\mathbf{a}}$ 是参数 a 的估计值。取 $\hat{x}^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$, 得灰色时间响应式为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(1)}(1) - u/a]e^{-ak} + u/a, \quad (k=1, 2, \dots). \quad (11)$$

采用小误差概率法对模型进行检验。 ϵ 为 $x^{(0)}$ 与 $x^{(1)}$ 的绝对关联度, S_0 为 $x^{(0)}$ 的标准差, 当 $p = |\epsilon_{(1)} - q| < 0.6745S_0$ 时,称模型为小误差概率合格模型,其中 q 为绝对关联度的容许误差。

1.2 原始资料

用于构造马尔柯夫转移矩阵的原始资料,是陕西省 1984~2000 年全省森林火灾频数资料的分级结果及各年火灾所处的火灾级别(即状态 S_i)。

用于建立 GM(1,1)模型的原始资料,是陕西省 1997~2000 年各月森林火灾的统计资料。

2 结果与分析

2.1 基于矩阵 $\mathbf{P}$ 的陕西省未来森林火灾趋势预测

对陕西省 1984~2000 年森林火灾频数资料进行分级,并确定各年所处火灾级别(即状态 S_i),其结果见表 1 和表 2。

表 1 陕西省 1984~2000 年森林火灾频数分级及序列 N_v 值

Table 1 Frequency classification of forest fires and their N_v values in Shaanxi Province during 1984—2000

火灾级别 Fire class	火灾频数 Fire frequency	N_v	火灾级别 Fire class	火灾频数 Fire frequency	N_v
A	≤ 50	2	D	251~350	2
B	51~150	8	E	351~450	1
C	151~250	2	F	>450	2

表 2 陕西省 1984~2000 年森林火灾的级别

Table 2 Forest fires Class in Shaanxi 1984—2000

年份 Year	火灾级别 Fire Class	年份 Year	火灾级别 Fire Class	年份 Year	火灾级别 Fire Class
1984	B	1990	C	1996	B
1985	F	1991	A	1997	B
1986	B	1992	B	1998	B
1987	B	1993	E	1999	B
1988	C	1994	F	2000	A
1989	D	1995	D		

根据表 1 和表 2 构造转移矩阵 $\boldsymbol{P}$ 。若用 $A \rightarrow A$ 表示上一年是 A 级火灾而今年也是 A 级火灾, $A \rightarrow B$, $A \rightarrow C$ 分别表示上一年为 A 级火灾而今年为 B 或 C 级火灾, 其他定义依此类推。到 2000 年 A 级火灾无后续状态, 所以 $A \rightarrow B, C, D, E, F$ 的转移分母要减去 1。由概率论中的大数定理可知频率近似于概率, 故可求出转移矩阵:

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.125 & 0.5 & 0.125 & 0 & 0.125 & 0.125 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

由表 2 可知, 2000 年火灾级别为 A, 即初始分布为: $\boldsymbol{A}_{(0)} = \boldsymbol{P}_{(0)} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ 。

1984 年(即 $n=1$)各级火灾发生概率为: $\boldsymbol{A}_{(1)} = \boldsymbol{P}_{(0)}\boldsymbol{P} = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, 即 1984 年 B 级火灾发生概率为 100%。

1985 年(即 $n=2$)火灾发生概率为: $\boldsymbol{A}_{(2)} = \boldsymbol{A}_{(1)}\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_{(0)}\boldsymbol{P}^2 = \left[\frac{1}{8} \ \frac{4}{8} \ \frac{1}{8} \ 0 \ \frac{1}{8} \ \frac{1}{8}\right]$ 。即 1985 年 B 级火灾发生概率为 50%, A、C、E、F 级火灾发生概率各为 12.5%, 只有 D 级火灾发生概率为 0。

依此类推, 若 2003 年火灾级别为 B, 则 2004 年火灾发生的概率为:

$$\boldsymbol{A}_{(3)} = \boldsymbol{A}_{(2)}\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_{(0)}\boldsymbol{P}^3 = [0.125 \ 0 \ 0.437 \ 5 \ 0.062 \ 5 \ 0.125 \ 0 \ 0.062 \ 5 \ 0.187 \ 5] \quad (13)$$

即 2004 年发生 B 级火灾的概率为 43.75%, 发生 F 级火灾的概率为 18.75%。可以看出, S_i 状态由一个状态向下一个状态的转移是很小的, 当 n 增大时趋向于固定概率向量 $\bar{P}$ 。本例 $\bar{P} = [\bar{P}_1 \ \bar{P}_2 \ \bar{P}_3 \ \bar{P}_4 \ \bar{P}_5 \ \bar{P}_6]$, 且 $\sum_{i=1}^6 \bar{P} = \bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 + \bar{P}_4 + \bar{P}_5 + \bar{P}_6 = 1$ 。

由 $\boldsymbol{P} = (\boldsymbol{P} - \boldsymbol{I}) = 0$ 得方程组:

$$\begin{cases} -\bar{P}_1 + 0.125\bar{P}_2 + 0.5\bar{P}_3 = 0, \\ \bar{P}_1 - 0.5\bar{P}_2 + 0.5\bar{P}_4 + 0.5\bar{P}_6 = 0, \\ 0.125\bar{P}_2 - \bar{P}_3 + 0.5\bar{P}_4 = 0, \\ 0.5\bar{P}_3 - \bar{P}_4 + 0.5\bar{P}_6 = 0, \\ 0.125\bar{P}_2 - \bar{P}_5 = 0, \\ 0.125\bar{P}_2 + \bar{P}_5 + \bar{P}_6 = 0. \end{cases}$$

计算结果为:

$$\bar{P} = [0.117 \ 0.470 \ 6 \ 0.117 \ 7 \ 0.117 \ 6 \ 0.058 \ 8 \ 0.117 \ 6] \quad (14)$$

现从 $\boldsymbol{P}$ 矩阵出发, 根据起始年火灾级, 求出各级火灾的转移概率如表 3 所示。

表 3 陕西省森林火灾的理论转移概率

Table 3 Transfer probability of forest fire classes in Shaanxi Province

火灾级 Fire class	起始年 Initial year	火灾转移概率 Fire transfer probability					
		A	B	C	D	E	F
A	1	0	1	0	0	0	0
	2	0.125 0	0.500 0	0.125 0	0	0.125 0	0.125 0
	3	0.125 0	0.437 5	0.062 5	0.125 0	0.062 5	0.187 5

续表 3 Contuned of table 3

火灾级 Fire class	起始年 Initial year	火灾转移概率 Fire transfer probability					
		A	B	C	D	E	F
B	1	0.125 0	0.500 0	0.125 0	0.125 0	0.012 5	0.125 0
	2	0.125 0	0.437 5	0.062 5	0.125 0	0.062 5	0.187 5
	3	0.085 9	0.500 0	0.117 2	0.125 0	0.054 7	0.117 2
C	1	0.500 0	0	0	0.500 0	0	0
	2	0	0.750 0	0.250 0	0	0	0
	3	0.218 8	0.375 0	0.093 8	0.125 0	0.093 7	0.093 7
D	1	0	0.500 0	0.500 0	0	0	0
	2	0.312 5	0.250 0	0.062 5	0.250 0	0.062 5	0.062 5
	3	0.062 5	0.593 7	0.156 3	0.062 5	0.031 3	0.093 7
E	1	0	0	0	0	0	1.000 0
	2	0	0.500 0	0	0.500 0	0	0
	3	0.062 5	0.500 0	0.312 5	0	0.062 5	0.062 5
F	1	0	0.500 0	0	0.500 0	0	0
	2	0.062 5	0.500 0	0.312 5	0	0.062 5	0.062 5
	3	0.218 8	0.343 7	0.062 5	0.187 5	0.062 5	0.125 0

根据表 3 和表 2 查出历史资料中,各年火灾的 其余的转移概率均在 0.437 5 以上。也就是说,除理论转移概率,将其列入表 4。从表 4 可以看出,除 1984 年被作为起始年外,在 1985~2000 年的 16 年中,实际转移概率为 0.75。

表 4 陕西省历史上各年火灾级实际转移概率

Table 4 Actual transfer probability of annual fire in history in Shaanxi

年份 Year	火灾级 Fire class	实际转移概率 Eire transfer probability	年份 Year	火灾级 Fire class	实际转移概率 Eire transfer probability	年份 Year	火灾级 Fire class	实际转移概率 Eire transfer probability
1984	B	0	1990	C	0.500 0	1996	B	0.500 0
1985	F	0.125 0	1991	A	0.500 0	1997	B	0.500 0
1986	B	0.500 0	1992	B	1.000 0	1998	B	0.437 5
1987	B	0.500 0	1993	E	0.125 0	1999	B	0.500 0
1988	C	0.125 0	1994	F	1.000 0	2000	A	0.125 0
1989	D	0.500 0	1995	D	0.500 0			

从历史资料回顾中也可以得出一个结论:当火灾 其转移概率不小于 0.125 0。据此,对 2008 年前后陕西省森林火灾频数作出了趋势预测,其结果见图 1。

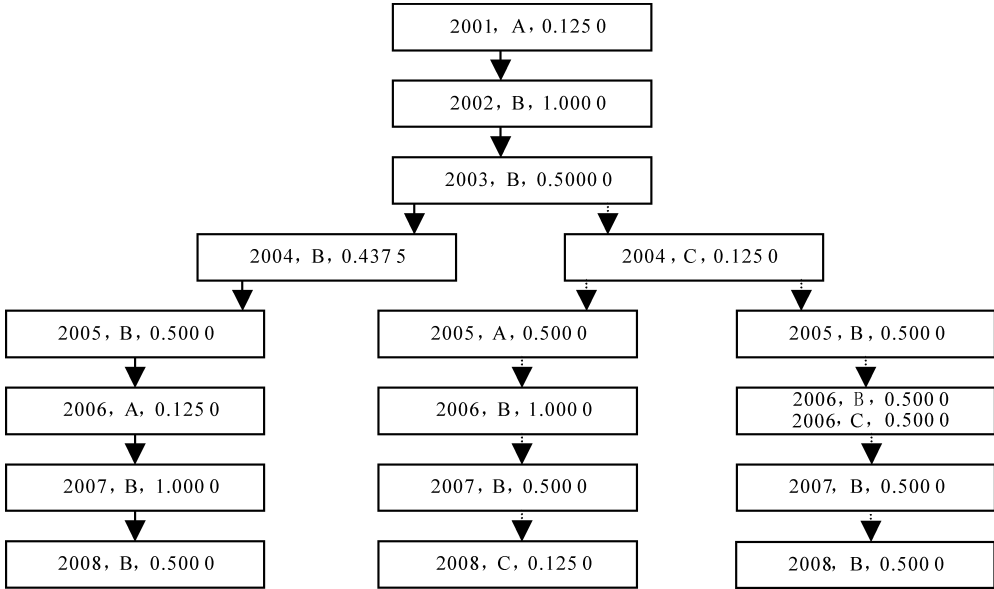


图 1 陕西省 2008 年前森林火灾趋势预测(虚线为可能状态)

Fig. 1 Forest fire prediction before 2008 in Shaanxi (Dashed line is possible state)

从图 1 可以看出,2008 年前陕西省森林火灾基本处于 B 级稳定状态,最小火灾级为 A,出现于 2006 年。如果 2004 年出现 C 级火灾,则 2008 年有可能发生 C 级火灾,其出现的概率为 0.125 0。

表 5 陕西省 1997~2000 年各月森林火灾统计资料
Table 5 Monthly forest fire statistics from 1991 to 2000 in Shaanxi

年份 Year	月份 Monthly												合计 Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1997	1	1	17	42	1	0	0	0	0	0	0	10	72
1998	2	1	14	26	18	3	0	0	0	0	12	14	90
1999	10	8	10	9	15	0	1	0	0	5	25	10	93
2000	6	71	20	32	6	0	1	0	0	0	6	2	144
合计 Total	19	81	61	109	40	3	2	0	0	5	43	36	399

根据表 5 原始资料,只能建立 1,2,3,4,5,11 和 12 月 7 个月的数学模型,其他月份因资料过少暂不能建立。现以 1 月为例说明 GM(1,1)灰色模型的建立方法。

有原始数列 $x^{(0)}(k)=\{1\ 2\ 10\ 6\}$,则 IAGO 序列为:

$$\begin{aligned} x^{(1)}(k) &= \{1\ 3\ 13\ 19\} [B^r B]^{(-1)} = \\ &\left\{ \begin{bmatrix} -2 & -8 & -16 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -2 & 1 \\ -8 & 1 \\ -16 & 1 \end{bmatrix} \right\}^{-1} = \\ &\begin{bmatrix} 324 & -26 \\ -26 & 3 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{|B|} (-1)^{i+j} \hat{B} = \\ &\frac{1}{296} \begin{bmatrix} 3 & +26 \\ +26 & 324 \end{bmatrix} = \\ &\begin{bmatrix} 0.010 & 135 & 0.087 & 838 \\ 0.087 & 838 & 1.094 & 595 \end{bmatrix}^{\circ} \end{aligned}$$

式中: $\hat{B}$ 为伴随矩阵。
有:

$$B^r y_n = \begin{bmatrix} -2 & -8 & -16 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 \\ 10 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -180 \\ 18 \end{bmatrix}^{\circ}.$$

则

$$\begin{aligned} [B^r B]^{-1} B^r y_n &= \begin{bmatrix} 0.010 & 135 & 0.878 & 838 \\ 0.087 & 838 & 1.094 & 595 \end{bmatrix} \times \\ &\begin{bmatrix} -180 \\ 18 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.243 & 216 \\ 3.891 & 87 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}^{\circ}. \end{aligned}$$

微分方程为:

$$dx^{(1)}/dt - 0.243\ 216x^{(1)} = 3.891\ 87.$$

时间响应方程为:

$$X^{(1)}(k+1) = (X^{(1)}(0) - u/a)e^{-ak} + u/a =$$

$$\begin{aligned} &(1 - \frac{3.891\ 87}{-0.243\ 216})e^{0.243\ 216k} + \frac{3.891\ 87}{-0.243\ 216} = \\ &17.001\ 7e^{0.243\ 216k} - 16.001\ 7. \end{aligned}$$

2.2 陕西省年内各月森林火灾趋势预测

陕西省 1997~2000 年各月森林火灾统计结果如表 5 所示。

对时间响应方程检查如下:先计算得理论值为 5.86,11.65,与 AGO 数列比较,残差为 2.68,1.35,1.37。再计算 $x^{(0)}(k)$ 数列的 $\bar{x} = 4.75$, S_0 为 4.113 0;残差的 $\bar{\epsilon} = 1.92$, $\delta_{\epsilon} = 0.685\ 1$ 。若用均方差检验法,令 $C_0 = \bar{\epsilon}/\bar{x}_0 = 0.404\ 2$, $C = S_{\epsilon}^2/S^2$,因 $C < C_0$,故模型为不合格模型。若用小概率误差检验法,令 $p_0 = \bar{\epsilon}/\bar{x}_0 = 0.404\ 2$, $p = |\epsilon(k) - \bar{\epsilon}|$ 分别为 0.76, 0.57, 0.19。除数列第 3 项外, $p < p_0$, 所以为不合格模型。

模型不合格,则需用残差数列 [2.68, 1.35, 1.73] 的 GM(1,1) 模型再进行建模,将所得时间响应方程加上或减去前述时间响应方程之后,得到新的时间响应方程。然后再进行检验,直至模型合格为止。残差数列时间响应方程是加上还是减去前述时间响应方程,具体由残差数列最后一项的正负来确定,若残差数列最后一项为正号则用减法,是负号则用加法。本例残差数列的最后一项为负号,所以用加法。则本例修正后的时间响应方程为:

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(1)}(k+1) &= 17.001\ 7e^{0.243\ 216\ 1k} - \\ &16.001\ 7 + (4.796\ 4e^{0.246\ 5k} - 2.116\ 4). \end{aligned}$$

经检验,修正后的时间响应方程合格。

先用时间响应方程计算出理论值,再用减数列 IAGO 还原为 $x^{(0)}(k)$ 数列。其计算式为:

$$x^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1).$$

计算结果表明,2001 年 1 月份预计发生森林火灾 13 次,2002 年 1 月份为 15 次。

利用此方法只能预测 1~2 年的火灾发生情况,由于资料时间截止 2000 年,现在为 2007 年,所以建立预测方程已无意义,因此略去。

3 预测结果验证

对陕西省 2001~2004 年森林火灾实际发生频

数进行统计,以验证模型预测结果的准确性。由表 6 可以看出,陕西省 2001~2004 年的森林火灾实际

级别分别为 A、B、B、B,基本处于稳定状态,与预测结果完全相符。

表 6 预测结果与陕西省 2001~2004 年森林火灾实际频数的比较
Table 6 Prediction and actual forest fire frequency in Year 2001—2004

预测年份 Prediction Year	预测火灾级别 Prediction forest Fire Class	实际发生频数 Actual forest fire frequency	实际火灾级别 Actual forest Fire Class
2001	A	35	A
2002	B	58	B
2003	B	55	B
2004	B	100	B

4 结论与建议

1)传统的气象学预报模型对短期森林火灾预报是有用的,但不能给出较详细的必要信息。而利用 Markov 转移矩阵、GM(1,1)灰色模型,依据地区多年林火发生资料,可对受瞬息万变的自然因素和社会因素制约的森林火灾,进行中长期发生趋势预测,这对预防和应对林区森林火灾的发生和蔓延具有重要的实际意义。

2)本研究依据陕西省 1984~2000 年森林火灾资料,采用马尔柯夫转移矩阵和灰色数学模型,对 2001~2008 年陕西省火灾发生趋势进行了预测。结果表明,2008 年前,陕西省森林火灾基本处于 B 级稳定状态,最小火灾级 A 出现于 2006 年,最大火灾级可能出现于 2004 和 2008 年。

3)为了验证采用马尔柯夫转移矩阵和灰色数学模型对陕西省森林火灾发生趋势预测的准确性,采用 2001~2004 年实际火灾的发生情况进行了比较验证。结果表明,预测结果符合实际情况,说明此方法是可行的。

4)建议陕西省林业决策与管理部门参考此预测方法,做好各地市森林火灾发生趋势的预测,为森林火灾防灾减灾服务。

[参考文献]

[1] 徐爱俊,李清泉,方陆明. 基于 GIS 的森林火灾预报预测模型的研究与探讨[J]. 浙江林学院学报,2003,20(3):285-288.
Xu A J, Li Q Q, Fang L M. Study on model about forest fire forecast and prediction based on GIS[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2003, 20(3): 285-288. (in Chinese)

[2] 舒立福,田晓瑞,寇晓军. 林火研究综述 I. 研究热点与进展[J]. 世界林业研究,2003,16(3):37-40.
Shu L F, Tian X R, Kou X J. The focus and progress on forest fire research. I. Research focus and advance[J]. World Forestry Research, 2003, 16(3): 37-40. (in Chinese)

[3] 张碘铨. 灰色拓扑预测方法在森林火灾预测中的应用[J]. 福建林学院学报,2005,25(1):1-4.
Zhang D Q. The application of topological forecasting method-

of grey theory on the prediction of forest fire disaster [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2005, 25(1): 1-4. (in Chinese)

[4] 茅史亮,杨幼平,贾伟江. 浙江森林火灾发生规律与发展趋势研究[J]. 浙江林业科技,2004,24(1):16-20.
Mao S L, Yang Y P, Jia W J. Study on regularity and trend of forest fire in Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang For Sci & Tech, 2004, 24(1): 16-20. (in Chinese)

[5] 赵俊卉,郭广猛,张慧东. 用 MODIS 数据预估森林可燃物湿度的研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(6):148-150.
Zhao J H, Guo G M, Zhang H D. Estimating fuel moisture content of forest with MODIS data[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(6): 148-150. (in Chinese)

[6] 王正旺,庞转棠,魏建军. 森林火险天气等级预测及火情检测应用[J]. 自然灾害学报,2006,15(5):154-160.
Wang Z W, Pang Z T, Wei J P. Forecast of weather grade in forest fire risk and application of fire monitoring[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(5): 154-160. (in Chinese)

[7] 肖化顺,张 贵. 模糊数据挖掘技术支持下的林火蔓延模型选择研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(6):93-97.
Xiao H S, Zhang G. Selecting forest fire spreading models based on the Fuzzy Data Mining technique[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(6): 93-97. (in Chinese)

[8] 张朝阳,林启训. 集成预测模型在森林火灾预测预报中的应用研究[J]. 中国农学通报,2006,12(2):400-403.
Zhang C Y, Lin Q X. Study on the application of integrated model in the prediction of forest fire[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 12(2): 400-403. (in Chinese)

[9] 居恩德,何忠秋,刘艳红. 森林可燃物灰色 Verhulst 模型动态预测[J]. 森林防火,1994(2):44-46.
Ju E D, He Z Q, Liu Y H. Grey Verhulst model dynamic forecasting of forest combustibles[J]. Forest Fire Prevention, 1994 (2): 44-46. (in Chinese)

[10] 傅泽强,孙启宏,蔡运龙. 基于灰色系统理论的森林火灾预测模型研究[J]. 林业科学,2002,38(5):95-100.
Fu Z Q, Sun Q H, Cai Y L. Research on forecasting model of forest fire based on grey-system theory[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(5): 95-100. (in Chinese)