

晋冀蒙交界地区中强地震危险性的灰色拓扑预测

王秀文¹, 赵丽华²

(1. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026; 2. 太行中学, 山西 太原 030006)

摘要: 应用灰色系统理论, 建立了晋冀蒙交界地区的5级和6级以上地震的灰色预测模型. 利用上述模型对该地区未来几年内中强地震的活动趋势进行了预测.

主题词: 灰色理论; 中期预报; 趋势预报; 数学模型

中图分类号: P315.5; P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)01-0079-04

0 引言

从系统论的角度可以认为, 地震前兆场是一个复杂的动态大系统. 在信息传递与输出时, 部分因素是已知的, 部分是未知的, 即是一个灰色系统. 因此可以利用灰色控制系统理论解决地震预报中的某些问题. 晋冀蒙交界地区多年来一直被列为全国地震重点监视区. 该地区未来地震活动趋势如何, 是人们十分关注的问题. 本文应用灰色系统理论对该地区未来几年内中强地震的活动趋势进行了预测. 在研究中还对GM模型从函数变换的观点给予了理论解释. 按不同的震级区间对地震序列进行了分档, 给出了不同震级区间的微分方程的解. 通过大量的计算给出了不同震级区间建模时所应取的最佳样本量, 对最佳小量样本建模的优越性从信息论的观点进行了解释.

1 方法概述与资料处理

在地震趋势预测中, 人们往往利用历史地震预测未来地震的活动趋势, 用所给定的某一震级区间发震时刻序列 $t_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 预测下一时刻精度较高的动态变化值. 但是, 实际计算时往往要求有大量的观测序列作为样本, 且序列 t_i 具有典型的概率分布. 这些条件在实际资料中是很难满足的. 倘若以某一时刻 t_1 为起算点, 便得到一组新数列 $t_i - t_1 (i = 1, 2, \dots, n)$, 并记为 $x^{(0)}(t_i)$. 对此数列进行数学变换 Φ (如直接累加、加权累加、遗忘因子累加等), 生成比较有规律的数列 $x^{(1)}(t_i) (i = 1, 2, \dots, n)$, 则可采用灰色微分方程进行拟合 (建模). 以该模型预测数列 $x^{(1)}(t_i) (i = 1, 2, \dots, n)$ 下一时刻的值 $x^{(1)}(t_i) (i > n)$, 然后以逆变换 Φ^{-1} 将 $x^{(1)}(t_i) (i > n)$ 还原, 便得到 $x^{(0)}(t_i) (i = 1, 2, \dots, n)$ 下一时刻的预测值, 从而得到数列 t_i 下一时刻的预测值.

晋冀蒙交界地区的范围取 $39^\circ \sim 41^\circ \text{N}$, $111^\circ 30' \sim 116^\circ \text{E}$. 选取 1338 年至 1999 年 8 月每月

$M_s \in [5.0, 6.0)$ 和 $M_s \geq 6.0$ 地震集合的时间序列作为数列 t_i , 见表 1 和表 3 .

表 2 和表 4 为上述震级范围的数列 $x^{(0)}(t_i)$. $x^{(0)}(t_i) = t_i - t_1$. 对 5 级地震记为 $x_1^{(0)}(t_i)$, 对 $M_s \geq 6.0$ 地震记为 $x_2^{(0)}(t_i)$.

表 1 1338~1999 年 8 月每月 $M_s \in [5.0, 6.0)$ 地震集合的时间序列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
年	1338	1467	1506	1524	1542	1545	1578	1580	1581	1582	1583	1615	1621	1628	1662
月	8	6	1	5	1	5	7	9	5	3	5	12	5	10	4
序号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
年	1664	1673	1678	1724	1765	1898	1919	1923	1952	1957	1967	1981	1989	1991	
月	3	10	1	1	7	9	1	9	10	1	7	8	10	3	

表 2 5 级地震的 $x_1^{(0)}(t_i)$ 序列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$x_1^{(0)}(t_i)$	0	1546	2009	2229	2441	2481	2879	2905	2913	2923	2937	3328	3393	3482	3884
序号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
$x_1^{(0)}(t_i)$	3907	4022	4073	4625	5123	6721	6869	7021	7370	7421	7547	7716	7814	7831	

表 3 1000~1999 年 8 月每月 $M_s \geq 6.0$ 地震集合的时间序列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
年	1022	1305	1337	1618	1626	1658	1720	1929	1976	1989
月	4	5	9	11	6	2	7	1	4	10

表 4 6 级以上地震的 $x_2^{(0)}(t_i)$ 序列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_2^{(0)}(t_i)$	0	3397	3785	7159	7250	7630	8379	10881	11448	11610

2 模型的建立^[1]与预测结果

2.1 建立模型

设 $x^{(0)}(t_i)$ 是 $i = 1, 2, \dots, n$ 的离散函数, (X, F_{-1}) 为关联因子空间, f_{-1} 为特定映射, $x^{(1)}(t_i)$ 为 $x^{(0)}(t_i)$ 的 1-AGO (Accumulated Generating Operation).

当 $x^{(0)}(t_i)$ 为 f_{-1} 下的光滑离散函数, g_m 为 f_{-1} 下的一种建模映射时, 则

$$\text{AGO } x^{(0)}(t_i) = \sum_{m=1}^{t_i} x^{(0)}(m) = x^{(1)}(t_i)$$
$$g_m: \{x^{(1)}(t_i)\} \rightarrow \{\hat{x}^{(1)}(t_i)\}$$

(1)

而 $\hat{x}^{(1)}(t_i)$ 可由微分方程

$$\frac{\partial \hat{x}^{(1)}}{\partial t} + a \hat{x}^{(1)} = u$$

(2)

解得, 时间响应

$$\hat{x}^{(1)}(t) = [x^{(1)}(0) - u/a] e^{-at} + u/a$$

(3)

离散响应

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(1)}(0) - u/a] e^{-ak} + u/a$$

(4)

a 和 u 满足辨识算子

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = [(A \vdots B)^T (A \vdots B)]^{-1} (A \vdots B)^T y_N$$

其中:

$$(A \vdots B) = \begin{pmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{pmatrix}, \quad y_N = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

$Z^{(1)}$ 为 $x^{(1)}(t)$ 的均值生成

$$Z^{(1)}(k) = 0.5[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)], \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, n\}$$

2.2 预测模型精度的计算——关联度

令 $\{x_k(t)\}$ 为 $\{x_1(t)\}$ 的预测序列, 记序列 $\{x_k(t)\}$ 与 $\{x_1(t)\}$ 在 $t = l$ 点的绝对差为 $\Delta_{k_1}(l)$, 有 $\Delta_{k_1}(l) = |x_k(l) - x_1(l)|$ ($l = 1, 2, 3, \dots$), 差值中的最小值为 $\Delta_{k_1}(\min)$, 即

$$\Delta_{k_1}(\min) = \min_l \{ |x_k(l) - x_1(l)| \}$$

差值中的最大值为 $\Delta_{k_1}(\max)$, 即

$$\Delta_{k_1}(\max) = \max_l \{ |x_k(l) - x_1(l)| \}$$

则序列 $\{x_k(t)\}$ 与 $\{x_1(t)\}$ 的关联系数

$$\epsilon_{k_1}(l) = \frac{\Delta_{k_1}(\min) + \sigma}{\Delta_{k_1}(l) + \sigma} \quad (l = 1, 2, \dots, N_k)$$

$$\sigma = \begin{cases} \text{指定正实数, 若 } \forall k \in \{1, 2, \dots, m\}, \text{ 有 } x_k \text{ 与 } x_1 \text{ 平行} \\ \xi \Delta(\max), \exists x_k \in \{x_t\} \text{ 与 } x_1 \text{ 不平行, } \xi \in [0, 1] \end{cases}$$

关联度 R 为 ϵ_{k_1} 的均值, 即

$$R = \frac{1}{N_k} \sum_{l=1}^{N_k} \epsilon_{k_1}(l)$$

一般认为 $R \geq 0.6$ 模型较为可靠. 在计算中通常取 $\xi = 0.5$.

按照公式(1)~(4), 对 $x_j^{(0)}(t_i)$ ($j = 1, 2$) 分别用不同样本量建模, 预测未来同一时间尺度的值, 以及用相同的样本量建模, 预测未来不同时间尺度的值. 经过反复计算, 结果表明: 对于 $M_s \in [5.0, 6.0)$ 震级区间选 5~6 个样本建模, 预测未来一二个值效果较好. 对 $M_s \geq 6.0$ 的地震, 取 4~5 个样本建模, 预测未来一二个值效果最佳^{2,3}.

对 $5.0 \leq M_s < 6.0$ 的震级区间, 选 5 个样本建模, 所得模型的参数 $a = 1.733 \times 10^{-2}$, $u = 7.237.632$, 离散响应

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = 425\,059.4 e^{-0.018k} - 417\,689.4 \quad (5)$$

关联度 $R = 0.73$, 满足 $R > 0.6$, 说明模型精度较高.

对 $M_s \geq 6.0$ 的地震, 选 4 个样本建模, 所得模型离散响应

$$\hat{x}_2^{(1)}(k+1) = 798\,106.3 e^{0.015k} - 789\,727.3 \quad (6)$$

关联度 $R = 0.69$, 满足 $R > 0.6$, 同样说明模型精度较高.

2.3 检验

在文献[2]中, 采用本方法对大同-阳高地震及其余震的发展趋势进行了预测, 提出在晋冀蒙交界地区“1989年2月至12月将发生6.0级以上地震”的预报意见, 实际情况是1989年10

月19日在大同-阳高发生了6.1级地震.主震后,在1989年10月26日山西省地震局地震趋势会商会上,提出“根据灰色预测,近1~2个月本区再次发生5级以上地震的可能性很小,但发生4级地震的危险性仍然存在,最危险的发震时间为10月29日”的预测意见(见短临预报卡片).结果是10月29日发生了4.7级余震.在文献[4]中,用此模型预测1989年7月至10月在日本将有 $M_s \in (6.0, 7.0)$ 的地震发生.实际情况是1989年10月29日日本发生了 $M_s 7.0$ 地震.另外对全国数次6级以上强震的预测^[2]及建模样本的内符检验^[2,3,4]均表明,该方法对发震时刻的预报有一定的意义.

2.4 预测结果

用式(5)和式(6)对晋冀蒙交界地区未来地震趋势进行预测,其结果为:2000年2月 ± 0.5 年和2004年3月 ± 1 年可能分别有 $5.0 \leq M_s < 6.0$ 和 $M_s \geq 6.0$ 地震发生.

3 结束语

在计算中发现,建模样本多,模型精度不一定高,预测效果也不一定好.而选取预报时段前4~6个样本建模就能达到较好的预测效果.这可能是由于靠近预报时段的少量样本含有较多的信息,而远离预报时段的样本含有的信息少.本文提出的预报方法和模型对于地震的时间预报特别是地震现场监视预报有一定的意义.

[参考文献]

- [1] 邓聚龙.灰色控制系统[M].武汉:华中工学院出版社,1985.
- [2] 王秀文.大同-阳高地震及其发展趋势的灰色预测[J].地震,1994,(3):78~84.
- [3] 陈大业,王秀文.灰色控制系统GM(1,1)动态模型预测发震时刻的一种方法[J].华北地震科学,1990,8(3):47~54.
- [4] 王秀文,陈大业.日本发生中强地震的灰色预测[J].山西地震,1994,(2):8~11.

GREY PREDICTION FOR MODERATE AND STRONG EARTHQUAKE TREND OF THE JUNCTURE OF SHANXI, HEBEI AND INNER MONGOLIA

WANG Xiu-wen¹, ZHAO Li-hua²

(1. *University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;*

2. Taihang Middle School, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The dynamic model forecasting the origin time of earthquake is established by using the grey control system and choosing $M_s 5.0$ seismic sequences as samples. The best model is chosen to forecast moderate and strong earthquakes of the juncture of Shanxi, Hebei and Inner Mongolia. Trend of strong earthquakes of the area is forecasted by using the models.

Key words: Grey theory; Medium-term prediction; Trend prediction; Mathematical model