

## 灰色模型在甘肃东部地震预报中的应用

### 1. 前言

根据已有的地震活动资料可以看出,地震的发生在空间上极不均匀,在时间上也极不平稳,并且其过程随时间的发展也不是简单的周期性变化。因此地震的孕育和发生是随机性很强的复杂过程,用一般较简单的函数来拟合这种过程不可能得到很好效果。本文应用灰色系统中的灾变预测理论,以甘肃东部地震为例来研究地震的中长期预报问题。

### 2. 灰色预测模型的建立及应用

对一原始数列,如果指定某个定值,并认为原始数列中那些大于定值的点为具有异常值的点,然后将所有符合条件的数据挑选出来,组成另一组数列。因该数列为单变量数列,故建立一阶的灰色模型 GM (1,1),其白化形式方程为:

$$dx^{(1)}/dt + ax^{(1)} = u$$

按最小二乘法求解参数向量:  $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ ,

一次累加生成  $x^{(0)} = \sum_{i=1}^n x^{(1)}$

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(0)} + X^{(1)}) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)} + X^{(1)}) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)} + X^{(1)}) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)} + X^{(1)}) & 1 \end{pmatrix} \quad Y_n = \begin{pmatrix} X^{(1)} \\ X^{(1)} \\ \vdots \\ X^{(1)} \end{pmatrix}$$

白化形式方程的解为:

$$\hat{X}^{(1)} = (X^{(0)} - u/a)e^{-at} + u/a$$

对于甘肃东部地区取 N33°—37°, E102°—107°范围,按极值理论的作法,取该地区 1960—1989 年历年发生的年最大地震构成原始时间序列(表 1),取震级定值分别为 5.0、5.5,用灰色灾变预测理论进行灾变映射,得到 Ms ≥ 5.0、5.5 地震的发震年代数列,见表 2 (由于处理后 Ms ≥ 5.0 地震的效果不好,故略去)。

$$B = \begin{pmatrix} -7.5 & 1 \\ -20.5 & 1 \\ -39.5 & 1 \\ -65.0 & 1 \end{pmatrix} ; \quad Y_n = \begin{pmatrix} 11 \\ 15 \\ 23 \\ 28 \end{pmatrix}$$

表 1

年份	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
震级	5.2	5.7	5.0	4.7	5.0	3.8	3.9	5.0	3.6	3.9	5.5	3.8	3.8	4.4	5.6
年份	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
序号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
震级	3.9	3.8	3.3	3.9	4.7	4.3	3.9	5.6	3.8	3.6	5.0	3.9	5.9	4.3	5.1

表 2

年份	1961	1970	1974	1982	1987	年份	1961	1970	1974	1982	1987
K 值	0	1	2	3	4	X({})	2	13	28	51	79
X({})	2	11	15	23	28	t 值	1	2	3	4	5

经计算:

$$\hat{a} = [a, u]^T = \begin{bmatrix} -0.30324066 \\ 9.205153022 \end{bmatrix}$$

发震时间的预测模型为:

$$\hat{x}_{(k+1)}^{(1)} = 32.35593225e^{0.30324066k} - 30.35593225 \quad (1)$$

还原数列计算公式为:

$$\hat{x}_{(k)}^{(0)} = \hat{x}_{(k)}^{(1)} - \hat{x}_{(k-1)}^{(1)} \quad (2)$$

由公式(1)、(2)计算可得表 3、表 4。

表 3

表 4

K 值	模型计算值	实际累加值	K 值	实际值	模型还原值	误差	误差百分比
K=0	X({})=2.0000	X({})=2	K=0	X({})=2	X({})=2.000	0.000	0.0000
K=1	X({})=13.462	X({})=13	K=1	X({})=11	X({})=11.462	-0.462	0.419
K=2	X({})=28.984	X({})=28	K=2	X({})=15	X({})=15.522	-0.522	0.0347
K=3	X({})=50.004	X({})=51	K=3	X({})=23	X({})=21.022	1.978	0.861
K=4	X({})=78.471	X({})=79	K=4	X({})=28	X({})=28.467	-0.467	0.0166

由模型外推预测:  $\hat{x}_{(5)}^{(0)} = 117, \hat{x}_{(6)}^{(0)} = 38$ 。也就是说甘肃东部将在 1997 年发生  $M_s \geq 5.5$  地震, 考虑到计算误差, 给出外推预测误差为  $\pm 2$  年, 即甘肃东部可能在 1995 年后的几年中发生 5.5 级以上地震。

### 3. 预测模型的检验

由表 3、4 可知, 除一个点外, 相对误差均在 4% 以内, 最大绝对误差有一个点为 2 年, 其余都是半年左右。

为进一步验证模型的可靠性, 我们又作了后验差检验。

发震年代数列： 均值  $\bar{X} = 1/N \sum_{i=1}^n x_i = 15.8$  ；

方差  $S_1^2 = 1/N \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 16.592$  。

预测残差： 均值  $\bar{\varepsilon} = 1/N \sum_{i=1}^n \varepsilon_i = 0.1054$  ；

方差  $S_2^2 = 1/N \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 = 0.9122$  。

后验差比值为：  $C = S_2/S_1 = 0.2345$  。

小误差概率为：

$$P = P\{|\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_1\} = P\{|\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}| < 2.747\} = P\{|\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}|\} = 1.$$

由表5可知C值越小越好,P值越大越好。

表5

等级 \ 指标	P	C
好	>0.95	<0.35
合格	>0.80	<0.50
勉强	>0.70	<0.45
不合格	≤0.70	≥0.65

由于  $C=0.2345 < 0.35$ ,  $P=1 > 0.95$ , 故预测精度等级属于一级, 即“好”。说明预测模型是可靠的, 预测数据是可信的。

(本文1991年8月10日收到)

(天水市地震局 陈希泉 汤晓昌 贾晓鹰)

### 参考文献

- [1] 邓聚龙, 灰色系统基本方法, 华中理工大学出版社, 1987.
- [2] 刘希林, 灰色模型和回归分析在泥石流预测中的应用, 灾害学, Vol. 4, No. 2, 1989.
- [3] 彭美焯, 山西地震带地震危险性的灰色灾变预测, 山西地震, No. 1, 1989.

## APPLICATION OF GREY MODEL IN PREDICTING EARTHQUAKES IN THE EASTERN GANSU PROVINCE

Chen Xiquan, Tang Xiaochang, Jia Xiaoying  
(Seismological Bureau of Tianshui City, Gansu, China)