

台湾强震的灰色拓扑预测

高 华 根

(福建省泉州市地震局)

P315.2

P315.0

摘要 台湾地震东带是我国地震活动性最高的地区,其东部海域曾发生过两次8级特大地震。本文根据灰色系统理论,利用台湾地震东带1945—1990年期间每3年中的最大地震发生时间构成的序列,建立了台湾强震($M_s \geq 7.5$)的灰色拓扑预测模型。

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = (17.0 + 271.81)e^{0.066118t} - 271.81$$

结果表明,本带可能在1994年—1996年段再次发生强震。经模型检验结果表明,其拟合精度属第一级“好”。

关键词 台湾地震东带 地震拓扑预测 模型检验

预测模型灰色系统,

一、前 言

地质构造,

台湾岛位于亚洲东大陆架,毗连西太平洋,是新生代岛弧——大陆碰撞地区,其东部与东北部,由于板块俯冲的极性变化,致使菲律宾海板块从琉球海沟沉降进入欧亚板块下方。而台东纵谷是这两板块相互冲撞的缝合处,经常发生地震,形成了从宜兰东北海底起,往南西方向延伸,经花莲、新港到台东(继续南伸)的台湾东部地震带,是我国地震活动最强地区。

本文应用灰色系统理论中的拓扑预测方法研究台湾东部地震带强震(指 $M_s \geq 7.5$,下同)的未来发生时间。灰色建模是就相对独立的系统而言,属于板缘地震带的台湾地震东带,与台湾地震西带和东南沿海地震带相比,地震活动的频度和强度都有显著差异,却具有独特的地质构造背景,故可应用灰色系统加以探讨。

二、灰色建模应用

地震的孕育和发生是一个随机性很强的复杂过程,对这类起伏变化的非周期或似周期过程,已有不少学者证明适合于指数型的灰色预测模型^{[1][2]}。本文选用的灰色拓扑预测,所用的建模数据已不是行为特征量本身,而是异常特征值发生的时间(一般非等间隔),这是一种用“有序对”构造的二维平面上的点集,在设定阈值后作映射,再建立灰模进行预测的方法。

1. 资料选取

为建立台湾地震东带的强震拓扑预测型,估计其未来地震危险性,先取本世纪以来该带历年最大地震的发生时间为原始序列:

$$\{T^{(0)}_{(1)}\} = \{T^{(0)}_{(1)}, T^{(0)}_{(2)}, \dots, T^{(0)}_{(N)}\}$$

其中最大样本量N即所采用资料的总年份数。随后将原始序列按每3年为单位时段,求出各

时段内最大地震的发生时, 组成新序列:

$$\{A^{(0)}(i)\} = A^{(0)}(1), A^{(0)}(2), \dots, A^{(0)}(n)$$

其中 $n=N/3$ 。选取震级阈值 $\xi=Ms7.5$, 可得到 $\{A^{(0)}(i)\}$ 在 ξ 横轴上的交点集, 构成如图1所示的灰数列集。现将 $Ms \geq 7$ 的地震简目列于表1, 资料取自文献^[3]和《福建省地震台网观测报告》(1986年起)。

表1 台湾地区 $Ms \geq 7$ 地震目录(1947—1990年)
Tab. 1 The earthquake catalogue of $Ms \geq 7$ in Taiwan region

序号	发震日期	震中(东经、北纬)	震级	参考地名
1	1947. 09. 27	123.0 24.7	7.4	宜兰以东
2	1951. 11. 25	121.5 22.9	7.5	新港东南
3	1957. 02. 24	121.6 22.9	7.2	•
4	1959. 04. 27	122.7 24.8	7.5	宜兰以东
5	1963. 02. 13	122.2 24.4	7	南澳以东
6	1966. 03. 13	122.7 24.2	7.8	•
7	1972. 01. 25	122.3 22.6	8.0	火烧岛东
8	1975. 03. 23	122.7 22.8	7.0	"
9	1978. 07. 23	121.4 22.2	7.3	兰屿西北
10	1986. 11. 15	121.8 24.1	7.6	•
11	1990. 12. 14	121.8 24.1	7.1	•

注: •花莲以东

从图1的拓扑预测灰数列集曲线变化和图2的强震间隔年份频度统计可知, 由于历史地震史料的限制或地震活动规律变化影响, 1947年后7级以上地震平均间隔年份明显增大(统计年份数一致), 说明其前后时间分布特征存在差异。鉴于灰模无需大样本特点, 尤其是考

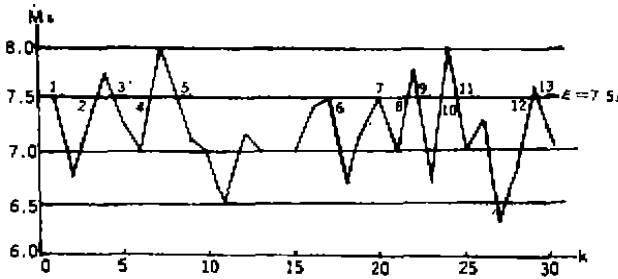


图1 地震拓扑预测灰数列集曲线
Fig. 1 Curves of seismological topologic prognostic grey

注: (1) 公元年份 $Y=1900+30k$, 其中 k 为时间段序号; (2) 交点号1—13为横坐标($\xi=7.5$)与最大地震(每3年)交点集序号

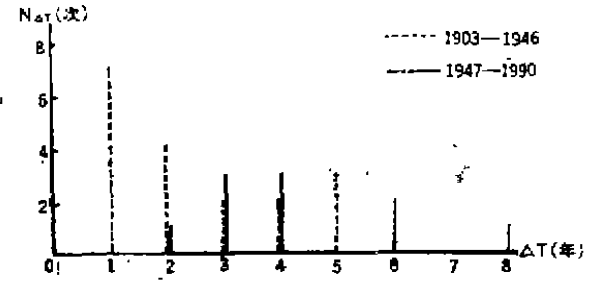


图2 台湾强震($Ms \geq 7$)间隔年份频度($N\Delta T$)统计图
Fig. 2 The statistics frequency ($N\Delta T$) about strong earthquakes $Ms \geq 7$ in Taiwan region (1903—1946 and 1947—1990)

虑老旧资料可能引入干扰,在兼顾资料精度和地震活动规律统一性前提下,本文选取了1945—1990年的原始目录,从图1求得当 $\xi = Ms7.5$ 时的灰数白化后数列集:

$$X^{(0)}(t) = \{17.0, 20.0, 21.6, 22.3, 23.6, 24.5, 28.9, 29.2\}$$

以上数列已作以年为单位和保留两位整数的简化。

2. 模型计算

(1) 一次累加生成 按下式

$$X^{(1)}(t) = \sum_{t=1}^n X^{(0)}(t) \quad (1)$$

求得 $\{X^{(1)}(t)\}$ 列于表2,从图1可知横座标 $Ms7.5$ 上的实际交点总数 $n=8$ 。

(2) 均值生成 按下式

$$Z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1) \quad (2)$$

($k=2, 3, \dots, n$ 下同)

求得 $\{Z^{(1)}(k)\}$ 列于表2。

表2 GM(1, 1)模型参数计算表
Tab. 2 Calculated parameters based on the GM(1, 1) model

k	(1)	2	3	4	5	6	7	8
$x^{(0)}(k)$	17.0	20.0	21.6	22.3	23.6	24.5	28.9	29.2
$x^{(1)}(k)$	17.0	37.0	58.6	80.9	104.5	129.0	157.9	187.1
$Z^{(1)}(k)$		27.0	47.8	69.8	92.7	116.8	143.4	172.5
$\frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k-1)}$		1.18	0.58	0.38	0.29	0.23	0.22	0.18
$\frac{x^{(0)}(k)}{z^{(1)}(k)}$		0.74	0.45	0.32	0.25	0.21	0.20	0.17

(3) 光滑性检验^[4]

设 $(X, F-t)$ 为关联次子空间, $X^{(0)}$ 为 X 上的离散函数,因为灰色动态模型一般是由有限个数据得到的,实际上只要求 $X^{(0)}(k) / \sum_{t=1}^{k-1} x^{(0)}(t)$ 是 k 的递减函数,就说明

$\{X^{(0)}(k)\}$ 是光滑函数。实际检验结果见表2,无疑检验通过。

(4) 建立GM(1, 1)算式

GM(1, 1)为单变量一阶灰色模型,其相应的动态微分方程为:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = u \quad (3)$$

根据最小二乘法求参数向量 \hat{a} , 整理后得:

$$\hat{a} = [a, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (4)$$

其中 B 矩阵和 Y_N 向量为:

$$B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & -Z^{(1)}(3) & \dots & -Z^{(1)}(n) \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

$$Y_N = [X^{(0)}(2) \quad X^{(0)}(3) \quad \dots \quad X^{(0)}(n)]^T \quad (6)$$

代入实际数据后有:

$$B = \begin{bmatrix} -27.0 & 1 \\ -47.8 & 1 \\ -69.8 & 1 \\ -92.7 & 1 \\ -116.8 & 1 \\ -143.4 & 1 \\ -172.5 & 1 \end{bmatrix}, \quad Y_N = \begin{bmatrix} 20.0 \\ 21.6 \\ 22.3 \\ 23.6 \\ 24.5 \\ 28.9 \\ 29.2 \end{bmatrix}$$

代入 (4) 式后经逐步计算得:

$$\hat{a} = \begin{Bmatrix} a \\ u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.066119 \\ 17.972 \end{Bmatrix}$$

$$u/a = 271.81$$

已知预测模型的时间函数为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(1)}(0) - \frac{u}{a}] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

取 $X^{(1)}(0) = X^{(0)}(1)$, 并代入相应数据后得:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = (20.0 + 271.81) e^{0.066119k} - 271.81$$

表3 模型精度检验表

Tab. 3 Precision examination of the model

k	$X^{(0)}(k)$	$\hat{X}^{(1)}(k)$	$e(k)$	$\sigma(k) \%$	$ e(k) - \bar{e} $
2	20.0	19.74	0.26	1.30	0.35
3	21.6	21.09	0.51	2.36	0.10
4	22.3	22.53	0.23	1.03	0.38
5	23.6	24.08	0.48	2.03	0.13
6	24.5	25.72	1.22	4.98	0.61
7	28.9	27.47	1.43	4.95	0.82
8	29.2	29.35	0.15	0.51	0.46
9		31.37			
	$\bar{X}^{(0)} = 24.3$ $S_1 = 3.55$	$P = 1$	$\bar{e} = 0.61$ $S_2 = 0.51$	$\bar{\sigma} = 2.45$ $C = 0.14$	0.6745 $S_1 = 2.39$

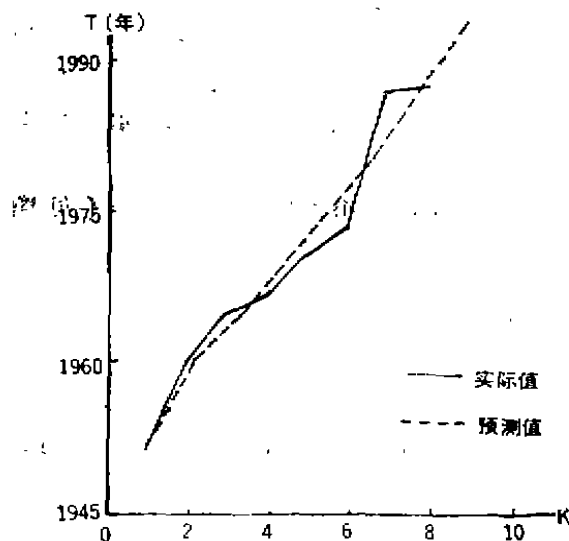


图3 发震时段的拓扑预测值与实际值
Fig. 3 Topologic predicted and actual values of seismogenic periods

由 $\hat{X}^{(1)}(k)$ 可求出一级累减还原值 $\hat{X}^{(0)}(k)$;

$$\hat{X}^{(0)}(k) = \hat{X}^{(1)}(k) - \hat{X}^{(1)}(k-1) \quad (8)$$

计算结果列于表3, 拟合值与实际值的对比结果示于图3。

经模型外推后, 还原成实际公元年份, 预测台湾地震东带将于1994—1996年段再次发生Ms7.5级以上地震。

三、模型检验

为检验模型是否可用及其精度高低, 现采用残差辨识(内符检验)和后验差的检验方法。

1. 残差检验^[6]

已知残差和相对误差分别为:

$$\varepsilon(k) = \hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k) \quad (9)$$

$$\sigma(k) = \varepsilon(k) / X^{(0)}(k) \times 100\% \quad (10)$$

结果列示表3。从表可知, 最大残差为1.43, 平均残差0.61; 最大相对误差为4.98%, 平均值2.45%, 可见模型有较高精度。

2. 后验差检验^[6]

(1) 后验差比值C 先分别求出原始数列和残差的均方差 S_1 和 S_2 (见表3), 再求C值:

$$C = S_2 / S_1 \quad (11)$$

得 $C=0.047$ 。根据灰色系统理论的后验差检验指标, $C \leq 0.35$ 时已达最小, 故无需作残差修正。

(2) 小误差概念P 已知

$$P = P\{|\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_1\} \quad (12)$$

其中 $0.6745S_1=2.39$, 从表3可知 $P=1$, $C=0.047$ 时, 符合后验差指标中的第一级($P>0.95$, $C<0.35$)要求, 所以判断本模型的精度为“好”。

四、结 语

灰模的特点是将杂乱无章的原始数据通过生成数列方法, 将信息不全的离散数据转换成信息齐全, 时间连续的动态微分模型。但灰模只对具有指数变化性质的时间序列有效^[8],

不应任意扩大其使用范围;而且本模型较适于中长期预测,且实际精度有一定限制,若能与其它预测方法(尤其是短临预测方法)相配合则效果更佳。从检验结果可知,台湾地震东带的拟合精度较高,主要原因在于本带具有相对独立的构造体系,资料段的活动过程又接近于指数变化的起伏规律,原始资料充分且光滑性好。但外推时一般以限于“下一次事件”为宜,新一轮预测宜留待增加新信息时继续进行。

根据本模型预测,台湾地震东带可能在1994—1996年段发生 $M_s 7.5$ 级以上地震(见图3)。

参 考 文 献

- [1] 谭承业等,地震拓扑预测,地震研究,1989,12(3)。
- [2] 赵兴兰,应用地震拓扑预测对华北地区进行地震危险性估计,1990,地震研究,13(4),337。
- [3] 许绍燮等,根据西德戈丁根地震台仪器记录编制的中国地震目录,地震学报,1988,10(3)。
- [4] 陈涛捷,灰色预测模型的一种拓广,系统工程,1990,8(4)。
- [5] 彭美煊,灰色预测理论在中长期地震预报中的应用,地震,1988,(6)。
- [6] 李可人等,灰色预测为何不准,预测,1991,10(2)。

THE GREY TOPOLOGIC PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES ($M_s \geq 7.5$) IN TAIWAN REGION

Gao Huagen

(Seismological Bureau of Quanzhou, Fujian)

[Abstract] The seismic zone at the east of Taiwan is the region of highest seismicity in China and there were two large earthquakes of $M=8$ in the eastern sea area.

In this paper, based on the grey system theory, a topologic prognostic model of Taiwan strong earthquakes ($M_s \geq 7.5$) is established by using the time series of the annual maximum magnitudes (per three years) during 1947—1991 in the east of Taiwan seismic zone, that is,

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = (17.0 + 271.81) \text{Exp}(0.066119 t) - 271.81$$

The results show that next event ($M_s \geq 7.5$) will occur again during 1994—1996 in the zone and the fitting accuracy of the model is “Good” by test.

[Key word] The seismic zone at the east of Taiwan; Topologic prediction; Model test