

长江中下游—南黄海地震带地震趋势研究

李 强, 徐桂明, 范桂英

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要: 运用灰色理论对长江中下游—南黄海地震带从 1971 年开始的 20 世纪第 2 个地震活跃幕的结束时间进行了研究. 结果表明, 该次地震活跃幕的结束时间大约在 2019 年. 还运用灰色理论对该地震带未来的地震形势进行了预测. 所得结果可供华东地区地震大形势分析和地震的中期预报参考.

关键词: 南黄海地震带; 地震活跃幕; 地震趋势预测; 灰色理论

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—0844(2001)03—0265—04

0 引言

长江中下游—南黄海地震带位于华北地震区的东南部. 自从该带于 1996 年 11 月 9 日发生 M_S 6.1 地震和 1997 年 7 月 28 日发生 M_S 5.1 地震以来, 一些学者先后对该地震带的地震活动趋势进行了分析^[1]. 所用方法包括地震活动分期研究、地震活动性指标及地震活动加速模型等. 由于所用的方法不同, 分析的侧重点是不一样的. 鉴于目前人们对发震构造、震源机制和发震原因的认识还有很大的模糊性, 在传播介质、震源环境等方面还有较多的未知因素, 因而用灰色理论来分析和研究地震发生的规律可能是有效的途径之一.

1 方法简介

1.1 GM(1, 1)灰色预测模型

设 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ 为一组时间序列, 若对其进行一阶累加生成, 即:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

得到生成数列: $x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$.

对于 $x^{(1)}$ 可以建立下述白化形式的方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (2)$$

式(2)是一个一阶一个变量的微分方程模型, 故记为 GM(1, 1). 该方程的解为^[2]:

$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(1)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$x^{(1)}$ 与原始数据初值无关, 故 $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$. 经还原, 即:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) \tag{4}$$

便得到用 GM (1, 1)灰色预测模型计算出来的理论值. 还原数列的最后一个点称为原点.

1.2 模型检验

检验方法如下:

(1) 残差大小检验: 求出残差 $q^0(k) = x^0(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$. 残差大, 说明精度低; 反之, 说明模型的精度高.

(2) 后验差检验:

实际值方差 $S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[x^{(0)}(i) - \overline{x^{(0)}} \right]^2$, 其中: $\overline{x^{(0)}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^{(0)}(i)$

残差方差 $S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[q^{(0)}(i) - \overline{q^{(0)}} \right]^2$, 其中: $\overline{q^{(0)}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q^{(0)}(i)$

后验差比值 $c = S_2 / S_1$

小误差概率 $P = P \left\{ |q^{(0)}(k) - \overline{q^{(0)}}| < 0.6745 S_2 \right\}$

按 c 和 P 2 项指标检验, 模型的精度等级见表 1.

表 1 模型精度后验差检验表		
模型精度等级	P	c
好	> 0.95	< 0.35
合格	> 0.80	< 0.50
勉强	> 0.70	< 0.65
不合格	≤ 0.70	≥ 0.65

1.3 GM(1, 1)模型的修正

如果所建立模型的理论值与实际值误差较大, 可以考虑建立残差的 GM (1, 1)模型, 以便对原模型进行修正. 用残差 GM (1, 1)模型修正后的预测值按下式计算:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (-\alpha) \left\{ x^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha} \right\} e^{-\alpha k} + \delta(k-i)(-\alpha') \left\{ q^{(0)}(1') - \frac{u'}{\alpha'} \right\} e^{-\alpha' k} \tag{5}$$
$$\begin{cases} \delta(k-i) = 1, & k \geq i \\ \delta(k-i) = 0, & k < i \end{cases}$$

其中: u' 和 α' 可从对残差 (绝对值)序列

$$\mu q^{(0)} = \{ |\mu q^{(0)}(1')|, |\mu q^{(0)}(2')|, \dots, |\mu q^{(0)}(n')| \} \quad \mu \in [0, 1]$$

建立的 GM (1, 1)模型得出. 修正的结果是否妥当, 与 i 及 μ 的取值有关. 一般用残差模型只修正原点附近的数, 而不要求修正所有的数.

2 长江中下游—南黄海地震带下一次 5 级以上地震的发震时间预测

建立灰色模型不要求有大量的样本数, 可以用下一时刻前足够少量样本进行建模. 因为足够少量的样本包含有下一时刻动态变化的最新信息, 预测效果反而较好. 20 世纪长江中下游—南黄海地震带的第 2 个地震活跃幕从 1971 年开始. 自 1971 年以来, 该带已发生 $M_s 5.0$ 地震 11 次(表 2). 本文在选取样本时采用如下方法: 分别对不同数量的样本进行内符检验和外推检验, 从中选取 1 组精度最高的样本进行建模. 对表 2 中所列的 5 级以上地震取不同样本数

进行内符和外推检验. 结果表明, 用最后 5 次地震进行建模, 即用 1990 年 2 月常熟 M_S 5.1 地震及其以后的地震建模, 能获得较好的建模效果. 考虑到建模精度和预测效果等因素, 将 1990 年 2 月常熟地震作为时间序列的基点并将其值定为 490, 即 $x^{(0)}(1) = 490$. 以后的 $x^{(0)}(k)$ 值可在此基础上按月推算确定, 见表 2.

表 2 长江中下游—南黄海地震带 1971 年以来 5 级以上地震的发震时间及 $x^{(0)}(k)$

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
发震时间	1974-04	1975-09	1976-10	1979-07	1984-05	1987-02	1990-02	1992-01	1994-07	1996-11	1997-07
震级 (M_S)	5.5	5.3	5.4	6.0	6.1	5.1	5.1	5.3	5.3	6.1	5.1
发震地点	溧阳	黄海	黄海	溧阳	黄海	射阳	常熟	黄海	黄海	南黄海	黄海
$x^{(0)}(k)$	—	—	—	—	—	—	490	513	543	571	579

取 $x^{(0)} = (490, 513, 543, 571, 579)$, 建立 GM (1, 1) 灰色预测模型, 可求得参数 $\alpha = -4.063\ 9$, $u = 487.909$. 其原始数据预测值序列为:

$$\{x^{(0)}(k) \mid_{k=1, 2, 3, 4, 5}\} = \{490, 518, 539, 562, 585\}$$

其残差序列为:

$$q^{(0)} = (0, 5.28, -3.22, -8.83, 6.48)$$

为了提高建模精度, 采用式(5)进行修正. 修正后得到的原始数据预测值序列为:

$$\{x^{(0)}(k) \mid_{k=1, 2, 3, 4, 5}\} = \{490, 519, 535, 567, 578\}$$

其残差序列为:

$$q^{(0)} = (0, 6.83, -7.10, -3.39, -0.51)$$

后验差检验的结果为: $S_1 = 4.59$, $S_2 = 33.81$, $c = 0.135 < 0.35$, $|q^{(0)}(k) - \bar{q}^{(0)}|$ 的最大值为 7, 小于 $0.674\ 5S_2$, 模型的检验结果为“好”, 因而可用于预测.

用该模型预测长江中下游—南黄海地震带下一次 5 级以上地震发生的时间为 2001 年 5 月. 由残差序列可知, 预测的最大误差为 7 个月, 因而预测的未来 5 级以上地震发生时间为 2000 年 10 月~2001 年 12 月.

3 长江中下游—南黄海地震带地震活跃幕结束时间研究

根据谢华章等人^[1]的分析, 自从该地震带有完整的地震观测资料以来, 共经历了 6 个活跃幕, 即: (1)1491~1585 年; (2)1651~1679 年; (3)1712~1764 年; (4)1839~1872 年; (5)1905~1949 年; (6)1971 至今. 根据上述选取样本的原则, 取后 4 个地震活跃幕的结束时间并作变换 $x = x - 700$, 可得时间序列:

$$x^{(0)} = (979, 1\ 064, 1\ 172, 1\ 249)$$

建立其 GM (1, 1) 灰色预测模型, 可求得参数 $\alpha = -7.923$, $u = 950.922$. 其原始数据预测值序列为:

$$\{x^{(0)}(k) \mid_{k=1, 2, 3, 4}\} = \{979, 1\ 070, 1\ 158, 1\ 254\}$$

其残差序列为:

$$q^{(0)} = (0, 6.33, -13.41, 5.12)$$

为了提高建模精度, 采用式(5)进行修正. 修正后预测模型的残差序列为:

$$q^{(0)} = (0, 6.12, -6.49, 4.34)$$

后验差检验的结果为： $S_1 = 4.859, S_2 = 102.83, c = 0.025 < 0.35, |q^{(0)}(k) - \bar{q}^{(0)}$ 的最大值为 6.4，小于 $0.6745S_2$ ，模型的检验结果为“好”，因而可用于预测。

用该模型预测该地震带最近一次地震活跃幕结束时间为 2025 年。由残差序列可知，预测的最大误差为 6 年，因而预测的该地震带最近一次地震活跃幕结束的时间最早为 2019 年。

4 结束语

对于地震这样一个部分因素已知、部分因素未知的灰色系统，运用灰色理论来分析和预测具有很多优越性。在建模过程中可以通过对数据不断地更新，使模型保持最优，以便得到较好的预测结果。另外，为了得到较好的建模精度，根据具体情况对模型进行修正是必要的。

本文通过灰色理论建模得出的长江中下游—南黄海地震带最近一次地震活跃幕结束的最早时间为 2019 年，与用其它方法^[1]得出的结束时间有所不同。在具体分析地震形势时可根据不同方法、不同物理模式及不同依据来综合判定。

[参考文献]

[1] 谢华章, 田建民. 长江中下游—南黄海地震带地震趋势分析[J]. 地震学刊, 1998, 12(3): 1—12.
[2] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1987. 43—162.

STUDY ON SEISMICITY TENDENCY FOR SEISMIC ZONE FROM MID-LOWER REACHES OF THE YANGTZE RIVER TO SOUTH YELLOW SEA

LI Qiang, XU Gui-ming, FAN Gui-ying

(*Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The end-time of the recent earthquake active episode and future earthquake tendency for seismic zone from mid-lower reaches of the Yangtze river to south Yellow sea are studied with the grey theory. The result shows that the end-time of the episode is about 2019 year. The conclusions obtained can be taken for reference in analysis of earthquake tendency and medium-term prediction of earthquake of east China.

Key words: South Yellow Sea seismic zone; Earthquake active episode; Earthquake tendency prediction; Grey theory