

灰色系统方法在地震预报中的应用

万存绪 刘廷慧

(甘肃省平凉地区地震局)

摘 要

本文利用灰色系统理论中的 $GM(1, 1)$ 建模法, 以南北地震带不同地域内不同震级层次地震的发生时间为样本, 建立了 13 个预测模型, 用于对未来地震的发生时间进行预测。利用其中关于 $5.0 < M < 5.9$ 地震的模型较为准确地预报了 1989 年 11 月宁夏固原 5.0 级地震的发生时间。

关键词: 灰色平面预测; 南北地震带; 地震时间预测

一、引言

中长期预报是地震预报的重要内容之一。作者从 1987 年以来, 对南北地震带 $M > 8.0$, $7.0 < M < 7.9$, $6.0 < M < 6.9$ 和 $5.0 < M < 5.9$ 4 个震级范围, 用不同空间范围内地震发生的时间序列进行 $GM(1, 1)$ 建模和灰平面预测^[1], 对未来时间内上述震级范围内地震的发生时间作出预测估计。用其中 $5.0 < M < 5.9$ 的预测模型对 1989 年宁夏固原 5.0 级地震的发生时间作出了较为准确的中期预报。

二、方法简介

$GM(1, 1)$ 模型为一阶模型^[1], 它的形式为一元一阶微分方程。对于变量

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

作累加 (AGO) 或逆累加 (IAGO) 生成后, 可得到生成变量

$$X^{(1)}(i) = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\} \quad (1)$$

其中

$$X^{(1)}(K) = \sum_{m=1}^K X^{(0)}(m) \quad .$$

对于 $X^{(0)}(i)$, 其相应的微分模型为:

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

因为它是一元模型, 故模型中只能包括唯一的独立变量, 因而 u 为内生变量。这样, 便得到有待辨识参数列

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad .$$

将 u 作为内生变量后, 上述微分方程就成了 $\frac{d\hat{x}}{dt}$ 与背景量 ξ 的线性组合, 即有

$$a^{(1)}(X^{(1)}(K+1)) + a\xi^{(1)}(K+1) = u \quad (3)$$

对上式, 令 $a^{(1)}(X^{(1)}(K+1)) = X^{(0)}(K+1)$,

则 $\xi^{(1)}(K+1) = \frac{1}{2}(X^{(1)}(K) + X^{(1)}(K+1))$,

于是有

$$Y_n = B\hat{a}$$

其中 Y_n 、 B 、 $\hat{a}$ 定义见文献[1]。 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ 。

从而求出 a 、 u , 并得到预测模型

$$X^{(1)}(K+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-aK} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

在此基础上, 确定灰平面分岔上下边界参数 $\delta_{\min}$ 和 $\delta_{\max}$, 分别以

$$X_{\max}^{(1)}(n+K) = X^{(1)}(n) + K\delta_{\max}$$

和

$$X_{\min}^{(1)}(n+K) = X^{(1)}(n) + K\delta_{\min}$$

为上下界, 建立灰平面进行预测。最后, 再对成数据进行还原, 得到和原序列相一致的预测数据。

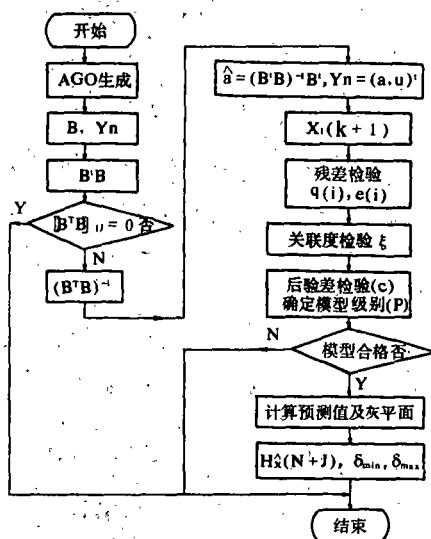


图1 灰色平面预测模型程序框图

Fig.1 Program of prediction model by the Grey Theory

为了保证模型有较高的可靠性, 采用了残差检验 (算术检验)、后验差检验 (统计检

验)和关联度检验(几何检验)三种检验方法,进行模型精度检验。对于上述检验方法,限于篇幅不再赘述。

全部计算均由微机进行,计算程序由 BASIC 语言编写,该程序有建模、检验和预测等功能,程序框图如图 1 所示。

三、对南北地震带未来地震的预测结果

对不同的震级范围选取不同的区域进行建模预测。对南北地震带整体以 $M \geq 8.0$ 地震为样本;分别对南北地震带北段(甘宁地区)、中段(四川)和南段(云南)以 $7.0 \leq M \leq 7.9$ 地震为样本;对北段以 $6.0 \leq M \leq 6.9$ 和 $5.0 \leq M \leq 5.9$ 地震为样本。并且每个样本又分为包括最近一次地震事件的预测未来型样本 N (NEW) 和去掉最近一次地震事件的拟合过去型样本 O (old),其中 $M \geq 8.0$ 地震仅有 N 型样本。全部样本资料见表 1。

在样本选取上,既要考虑地震时间分布的非线性效应,又要考虑进入地震活动期时地震的密集分布特征对时间序列的干扰因素,因此,尽量选取一批密集地震中的特征地震或标志地震作样本,这样的地震符合模型的拓朴特征,能够较客观地反映其分布状况。

此外,对于距今年代较远的地震,考虑到因资料不完全而予以舍弃。以样本 7 为例,实际时间序列中还有 1536、1733 和 1970、1974 4 个数据,由于 1733 年以前资料不完全,而 1970、1974 与 1976 三个数据呈密集分布,对模型的拓朴形态引起干扰,故予以舍弃。其余部分样本的选取与此类似。甘、宁地区由于有较为完整的历史资料记载,故在样本选取时间上较川、滇区为早。

对上述 13 个样本进行 GM (1, 1) 建模处理得到了形如 (1) 式的模型 13 个,经残差检验、灰色关联度检验和后验差检验,模型均为一级,可以用于预测。全部处理结果见表 2。

以甘宁地区自公元 734 年至 1718 年的 $7.0 \leq M \leq 7.9$ 地震样本为例。

预测模型为:

$$X^{(1)}(K+1) = 21707.62e^{0.05745K} - 20973.62$$

取 $K=8$ 得: $X^{(1)}(9) = 13399.1$, 而下次地震的发生时间

$$\begin{aligned}\hat{X}^{(0)}(9) &= X^{(1)}(9) - X^{(1)}(8) \\ &= 13399.1 - 11480.17 \\ &= 1918.93 \approx 1919\end{aligned}$$

事实上下一次地震发生于 1920 年,仅一年之差,作为一种中长期预报方法,可见其预测精度是比较高的。

从表 2 中可以看出,三个震级层次的 6 个拟合过去地震的模型中,除样本 8 拟合值和实际相差 4 年外,其余 5 个模型中一个相差两年,三个相差一年,一个年份不差,均达到了较高的精度。

值得指出的是,1988—1989 年,我们采用模型 10 和 12 对西海固地区未来 5.0—5.9 级地震作了预报,预报的时间为 1990 年前后。实际地震发生于 1989 年 11 月 2 日。

各预测模型对南北地震带及不同地段未来地震发生时间的预测结果见表 2。

表1 南北地震带地震时间序列样本构成表

样本编号及名称	震级 Ms	区域范围	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. 南北带八级	$M_s \geq 8.0$	$99^\circ - 107^\circ \text{E}, 21^\circ - 40^\circ \text{N}$	1515	1739	1833	1920						
2. 北段七级拟合	7.0-7.9	$103^\circ - 107^\circ \text{E}, 33.6^\circ - 38.5^\circ \text{N}$	734	1125	1352	1561	1622	1654	1709	1718		
3. 北段七级预测	7.0-7.9	$103^\circ - 107^\circ \text{E}, 33.6^\circ - 38.5^\circ \text{N}$	734	1125	1352	1561	1622	1654	1709	1718	1920	
4. 中段七级拟合	7.0-7.9	$98^\circ - 106^\circ \text{E}, 29^\circ - 33.6^\circ \text{N}$	1786	1866	1879	1923	1933	1948				
5. 中段七级预测	7.0-7.9	$98^\circ - 106^\circ \text{E}, 29^\circ - 33.6^\circ \text{N}$	1786	1866	1879	1923	1933	1948	1976			
6. 南段七级拟合	7.0-7.9	$98^\circ - 104^\circ \text{E}, 21.5^\circ - 29^\circ \text{N}$	1850	1925	1941	1950	1976					
7. 南段七级预测	7.0-7.9	$98^\circ - 104^\circ \text{E}, 21.5^\circ - 29^\circ \text{N}$	1850	1925	1941	1950	1976	1988				
8. 北段六级拟合	6.0-6.9	$103^\circ - 107^\circ \text{E}, 34^\circ - 37.4^\circ \text{N}$	1306	1573	1604	1634	1704	1765	1837	1885	1920	
9. 北段六级预测	6.0-6.9	$103^\circ - 107^\circ \text{E}, 34^\circ - 37.4^\circ \text{N}$	1306	1573	1604	1634	1704	1765	1837	1885	1920	1990
10. 北段五级拟合 1	5.0-5.9	$104^\circ - 107^\circ \text{E}, 34^\circ - 37^\circ \text{N}$	1934	1959	1962	1970	1982					
11. 北段五级拟合 2	5.0-5.9	$104^\circ - 107^\circ \text{E}, 34^\circ - 37^\circ \text{N}$	1934	1962	1970	1982						
12. 北段五级预测 1	5.0-5.9	$104^\circ - 107^\circ \text{E}, 34^\circ - 37^\circ \text{N}$	1934	1959	1962	1970	1982	1989				
13. 北段五级预测 2	5.0-5.9	$104^\circ - 107^\circ \text{E}, 34^\circ - 37^\circ \text{N}$	1934	1962	1970	1982	1989					

表 2 南北地震带地震序列灰色预测及检验结果表

编号	模型名称	a	u	$X(1) - u/a$	u/a	残差	关联度	后验差 比值	实际值	预测值	预测值
1	南北带八级预测	-0.0494	1623.2	34377	32862	0.2302	0.9140	0.0179			2019 (2008, 2037)
2	北段七级拟合	-0.0575	1205.0	21708	20974	-14.10	0.8490	0.2833	1920	1919	1919 (1909, 1932)
3	北段七级预测	-0.0575	1204.8	21692	20958	-14.09	0.8662	0.2517			2033 (2024, 2047)
4	中段七级拟合	-0.0114	1835.5	162852	161066	0.7012	0.9763	0.1409	1976	1976	1976 (1971, 1982)
5	中段七级预测	-0.0114	1835.5	162814	161028	0.7004	0.9768	0.1189			1999 (1993, 2004)
6	南段七级拟合	-0.0083	1900.3	230122	228272	-0.309	0.9839	0.0852	1988	1989	1989 (1985, 1994)
7	南段七级预测	-0.0082	1900.8	232673	230823	-0.301	0.9841	0.0726			2005 (2001, 2010)
8	北段六级拟合	-0.0309	1493.9	49722	48416	-1.423	0.9478	0.0751	1990	1994	1994 (1988, 2014)
9	北段六级预测	-0.0307	1494.9	50029	48723	-1.433	0.9489	0.0664			2054 (2046, 2072)
10	北段五级拟合 1	-0.0039	1945.3	498718	496784	-0.123	0.9923	0.1417	1989	1988	1988 (1985, 1991)
11	北段五级预测 1	-0.0041	1944.6	481066	479132	0.1324	0.9921	0.1152			1997 (1995, 2000)
12	北段五级拟合 2	-0.0051	1946.5	385546	383612	-0.067	0.9900	0.0530	1989	1991	1991 (1988, 1994)
13	北段五级预测 2	-0.0047	1948.1	415883	413949	0.0836	0.9908	0.0557			1999 (1997, 2003)

备注: 全部模型的小误差频率 $P=1$, 后验差比值 $C<0.35$, 模型均为一级 (GOOD)。

四、结论

灰色预测方法具有一般数理统计方法所不具备的优越性,一般的统计方法必须通过大样本量才能取得信度较高的统计规律,而灰色方法通过数据生成,可以发现系统的有序性和整体功能,以较小的样本找出系统的规律性,其信息利用率是比较高的。因此,它是一种较好的预测方法。

本文利用灰色预测方法,对南北地震带不同层次震级的地震进行了预测,取得了较为满意的结果。在拟合过去的模型中,拟合精度是较高的。

在具体应用过程中,样本时空范围的选取是极为关键的。在确定空间范围时,要结合其区域大面积构造特征。只有这样,地震发生的时间序列才会呈现出有序性和规律性。其次,有序性也是对不同震级层次而言的^[2],因此,必须对不同震级层次的地震分类,各自形成样本。此外,在地震非常活跃时,地震时间序列的有序性有可能被打破,这时,就应当适当地选取与时间序列拓朴特征相一致的标志地震或特征地震作为代表加入样本,而舍弃那些干扰因素,以便于预测。

本文的预测方法和预测结果还有待于未来事实的进一步检验。在样本空间的选取上是否合理,也有待于实践的进一步检验。此外,还存在个别样本容量偏小,其模型稳定性较差等缺陷。

(本文 1992 年 2 月 11 日收到)

参考文献

- [1]邓聚龙,灰色预测与决策,华中工学院出版社,1986.
- [2]李海华,地震活动的有序性和层次性,地球物理学报,Vol.30, No.5, 1987.

APPLICATION OF GREY SYSTEM METHOD IN EARTHQUAKE PREDICTION

Wan Cunxu, Liu Tinghui

(Seismological Bureau of Pingliang County, Gansu, China)

Abstract

In this paper, taking the origin times of earthquakes with different magnitudes, which occurred in different areas of North-South Seismic Belt as samples, the GM (1, 1) building model method of the grey theory is used to build 13 prediction models. Using these models, the origin times of coming earthquakes have been predicted. The origin time of Guyuan M5.0 earthquake, Ningxia on Nov. 2, 1989 was predicted betterly using the model with $5.0 < M < 5.9$.

Key Words: North-South Seismic Belt; Prediction of Grey Theory; Seismic Time Prediction