

文章编号: 0253-3782(2004)05-0529-04

月际地震趋势的数值预测法^{*}

黎令仪^{1, 2)} 刘德富^{1, 2)} 康春丽¹⁾ 韩延本²⁾

1) 中国北京 100036 中国地震局地震预测研究所

2) 中国北京 100012 中国科学院国家天文台

摘要 考虑到目前地震月趋势以模糊用语进行预测的缺陷, 本文提出采用数值预测法能更好地适应社会需求. 这种方法是基于地震有自律现象, 通过建立非线性的数学模型予以实现的. 模型试验结果表明, 我国大陆地震活动存在有 7~8 个月左右的循环结构, 逐月比较预测与实况的震级误差平均低于 0.2 级, 因而该方法比经验性预报更适宜社会的实际利用.

关键词 地震趋势 地震自律 数值模型 预测

中图分类号: P315.75 **文献标识码**: A

引言

地震预报作为一项重要公益性事业, 在技术尚未过关的情况下如何适应社会的需求, 是当前应认真研究的对策问题. 目前有关月度地震趋势预测, 预报方大多使用“模糊”用语, 如“5~6 级”、“6 级左右”等, 但实际可能发生了 6.8 级甚至 8.1 级强震, 或者只有 3~4 级水平, 造成社会方难以适从的局面. 因此如何从经验性的“模糊预测”法过渡到客观性的“数值预测”法, 是本文首要探讨的问题.

1 地震数值预测的可行性

地震数值预测要求预测对象可数字化, 信息要充分化, 方法应数学化. 目前条件下开展月度地震趋势的数值预测有以下现时基础:

1) 月地震趋势的预测可以数字化标识. 例如, 对确定的监视区域, 可用“未来某月地震活动将比多年平均(或比上月)水平偏高, 最高可达 6.8 级, 或偏低仅为 4 级水平”来标识.

2) 地震活动事件要素信息丰富. 此外, 大量事实统计不仅证实地震活动频度与震级间基本遵循“古登堡定律”, 而且发现大、小地震活动之间具有显著的自律结构, 强震是按律有节奏地依序发生的. 这种关联特征是数值预测信息的基础.

3) 地震活动现象在内外非线性相互作用下充满着多种尺度的涨落, 且一次次地因远离平衡态而突变, 从一种有序结构演进到新的有序结构. 地震活动这种时强时弱非重复性的循环现象, 可以通过数学建模的方法予以描述. 在找出控制其结构演变的参量后, 按所

^{*} 国家自然科学基金项目(10373017)资助.

黎令仪在中国科学院国家天文台客座研究成果.

2003-06-02 收到初稿, 2004-01-16 收到修改稿并决定采用.

选模型通过输入最新信息就可获得数值预测计算结果.

2 月度地震趋势的数值预测试验

据中国地震局监测预报司整编的《中国强地震目录》，选取 1997 年 11 月~2003 年 4 月每月发生的最大震级(包括深源地震事件)作为趋势演变的特征，并按时序排列进行短期(3 个月尺度)的滑动平均预处理，构成了表 1 中 64 组数字信息阵列.

表 1 中国大陆区域逐月最大地震事件的震级滑动平均数据(1998 年 1 月~2003 年 4 月)

| 年份 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
|------|-------|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-------|-------|------|------|-------|
| 1998 | [6.3] | 5.3 | 5.6 | 5.1 | 5.6 | 5.4 | 5.9 | 6.0 | [6.3] | 6.0 | 5.9 | 5.5 |
| 1999 | 5.4 | 4.9 | 5.0 | 5.7 | [6.1] | 6.0 | 5.3 | 5.2 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.4 |
| 2000 | [5.8] | 5.8 | 5.7 | 5.3 | 4.6 | 5.1 | 5.2 | 5.5 | [5.8] | 5.7 | 5.8 | 5.2 |
| 2001 | 4.9 | 5.2 | 5.6 | [6.1] | 6.0 | 5.8 | 5.5 | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 6.4 | [6.5] |
| 2002 | 6.0 | 4.9 | 4.6 | 4.6 | 4.7 | 5.6 | 5.5 | [5.7] | 4.9 | 5.3 | 5.0 | 5.2 |
| 2003 | 5.2 | 6.0 | 6.0 | [6.4] | | | | | | | | |

从表 1 可以清晰地发现，我国大陆月际地震活动趋势水平的增强似有明显的以 7~8 个月为节奏的自然律动特征，即 1998 年 1~9 月，1998 年 9 月~1999 年 5 月，1999 年 5 月~2000 年 1 月，2000 年 1 月~9 月，2000 年 9 月~2001 年 4 月，2001 年 4 月~12 月，2001 年 12 月~2002 年 8 月，2002 年 8 月~2003 年 4 月. 这种总体似有周期但局部震幅不等的复杂律动现象，与地震活动是开放系统又与外界有物质和能量交换引起的非平衡状态有关，尤其在远离平衡态时非线性作用可使地震活动从原有序态突变进入到新的有序结构. 对这种演化过程，刘德富和黎令仪(1989)、黎令仪和刘德富(1985)、刘德富(1987)以及康春丽等(2001)都曾采用“地震自激励门限建模法”，在有关地震趋势预测上取得过相当良好的结果. 为此，我们试将这种数学建模方法，拓展用于短期月度地震趋势的数值预测中. 根据上述信息数据，得到以下地震自激励门限建模的数学表达式. 它是一种由门限参量控制的，可分解为 9 阶、7 阶、7 阶三层模型组合而成的非线性模型，简记为：SETAR (3, 9, 7, 7)：

$$M_i = 9.008 + 0.750M_{(i-1)} + 0.310M_{(i-2)} - 1.085M_{(i-3)} + 0.493M_{(i-4)} + 0.104M_{(i-5)} - 0.509M_{(i-6)} - 0.104M_{(i-7)} - 0.046M_{(i-8)} - 0.549M_{(i-9)} \quad 4.5 < (d-5) < 5.2 \quad (1)$$

$$M_i = -0.086 + 0.889M_{(i-1)} - 0.216M_{(i-2)} - 0.210M_{(i-3)} + 0.160M_{(i-4)} - 0.057M_{(i-5)} + 0.137M_{(i-6)} + 0.296M_{(i-7)} \quad 5.1 < (d-5) < 5.8 \quad (2)$$

$$M_i = 10.473 + 0.438M_{(i-1)} - 0.006M_{(i-2)} - 1.008M_{(i-3)} + 0.709M_{(i-4)} - 1.032M_{(i-5)} - 0.664M_{(i-6)} + 0.742M_{(i-7)} \quad 5.7 < (d-5) < 6.6 \quad (3)$$

式中， M_i 为第 i 月的平均震级预测值；下标 $(i-1)$ ， $(i-2)$ ， \cdots ， $(i-9)$ 为预测月之前第一，第二， \cdots ，第九个月的平均震级信息值； $(d-5)$ 为门限延迟控制参量，视 i 值月前第五个月平均震级的信息值阈值定计算方程(1)，(2) 或(3).

据此按表 1，将已知的实况信息输入模型进行运算，其结果从图 1 可看出：

1) 各月实况震级值(实线)与模拟预测值(虚线)比较，趋势演变特征基本相符. 模拟预

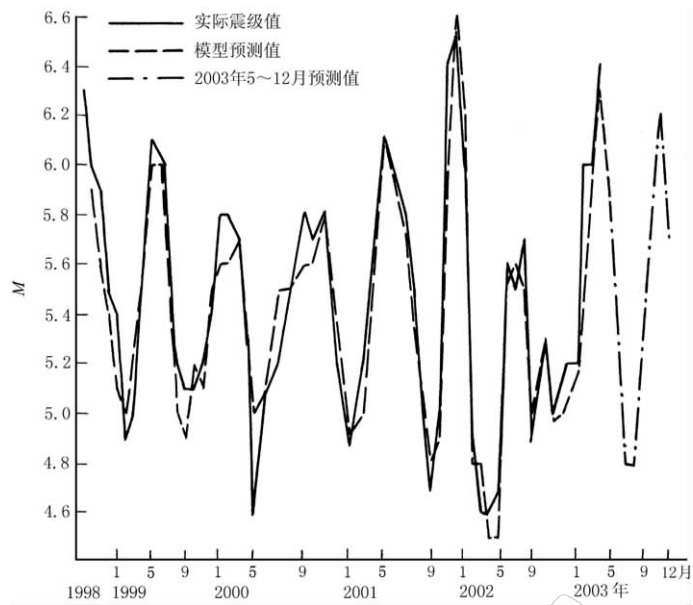


图1 中国大陆月地震趋势 SETAR(3, 9, 7, 7)模型计算结果

测高低点的涨落可清晰看到也有 7~8 个月的循环，只有个别的循环出现相位误差和震级误差，但相位拟合误差也仅有 1 个月，震级误差除在 2000 年 5 月相差最大达 0.4 级外，大多数拟合误差均在 0.2 级以内。从而表明这种建模方法有效，模型可信。

2) 依此模型对未来进行外延预测，从图中可发现自 2003 年 5 月~12 月各月的预测值（虚点线），不仅清晰地显示出可与前期月际趋势演变相链接的 7~8 个月循环特征，而且也能较精细地给出未来各月间的变化趋势和可能达到的震级水平。与目前经验性的“模糊”预测相比，更有益于社会需求。

上述试验结果，一方面表明我国大陆月际地震活动强度的涨落确实存在有“极限环”；另一方面正因为存在有极限环，对地震行为可以通过建立数学模型实现客观化的数值预测。

4 结语

本研究所揭示的中国大陆地震活动的循环特征，实质上是地震自组织形成的，是从一种时空有序结构经突变进入到另一种时空有序结构的现象。从一维化的计算结果看，地震活动从一种有序结构经突变进入到新的有序结构，地震“自激励”可能起着重要作用。而各循环结构之间发生突变又是非线性激励起主导作用（这种时而线性时而非线性的演变过程在许多自然现象中普遍存在着，地震活动也不例外，以往有关研究对此特征有所忽略），这种线性—非线性的转化可以通过选择“门限”阀加以控制。本研究经多种模型计算后最终选中的“d-5”就是起着关键作用的控制阀。其作用是各月度的地震趋势如何自激励循环演变，最高震级如何确定，取决于前第五个月份的地震活动状态（最高震级水平）。至于地震自激励现象为什么会有这种时序性的关联，还有待从物理学的角度深入研究。

参 考 文 献

- 康春丽, 刘德富, 杜建国. 2001. 地震趋势预测的一种新模型研究[J]. 地球信息科学, **3**(1): 43~45
- 黎令仪, 刘德富. 1985. 震级序列的门限建模[J]. 地球物理学报, **28**(3): 303~310
- 刘德富, 黎令仪. 1989. 地震活动的自律现象[J]. 中国科学, B辑, **32**(6): 749~756
- 刘德富. 1987. 气候多雨与强震发生的延时关系[J]. 地球物理学报, **30**(5): 488~491

A NUMERICAL PREDICTING METHOD ON MONTHLY SEISMIC TENDENCY

Li Lingyi^{1, 2)} Liu Defu^{1, 2)} Kang Chunli¹⁾ Han Yanben²⁾

1) *Center for Analysis and Prediction, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*

2) *National Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China*

Abstract: Considering the deficiency of using vague language in predicting monthly seismic tendency, we propose a numerical predicting method in the paper, which may be more applicable to the society. The method is based on the “self-rhythm” phenomenon of earthquake activities, which calculates monthly seismic tendency through nonlinear mathematical model. The result of modeling test shows that there exists a kind of seismic cyclic process of every 7 to 8 months in Chinese mainland, and the average error from comparing monthly predicted and observed earthquake magnitudes is below 0.2. Thus the method is more applicable to the society than the experiential prediction.

Key words: seismic tendency; self-rhythm; numerical model; prediction