

线性合成概率方法在华北地区 地震趋势研究中的应用

于伟¹, 张双凤², 孙晴², 屈银生¹, 吴小平³

- (1. 邢台市地震局, 河北 邢台 054001;
2. 河北省地震局邯郸中心台, 河北 邯郸 056001;
3. 河北省地震局保定中心台, 河北 保定 071000)

摘要: 华北地区历史地震频繁, 2000 年以来出现地震平静现象, 为了更好地对这一现象进行分析, 我们利用基于地震周期谱分析的线性合成概率预测方法, 针对晋冀蒙交界地区、冀鲁豫交界地区、唐山老震区、阴山燕山地震带进行研究。研究表明, 这一方法对这些地区的地震活动有一定的预测能力, 并给出了 R 值评分检验效果。

关键词: 周期谱; 线性合成概率; 地震预测

中图分类号: P315.3 文献标识码: A

0 引言

大量研究表明地震活动在时间上具有一定的准周期性, 但其周期结构是复杂的, 对同一研究区而言, 一个地震的发生, 往往可能是多个周期综合作用的结果。借助各种数学方法进行地震活动的周期性分析是地震预测研究的常用手段。王海涛研究员提出的基于地震周期谱分析的线性合成概率方法, 是在强震周期谱分析的基础上, 提取相应间隔周期的经验概率分布, 进而以一定数量的已发生地震时间与未来预测时段的时间间隔(周期)的经验概率值进行线性合成概率计算, 并根据计算结果判断未来强震发生的优势时段。王海涛研究员等人应用该方法对新疆及邻区强震活动周期进行了分析^[1], 并给出了计算结果, 显示与强震对应效果较好。本文试用该方法对华北部分地区地震活动进行研究和分析, 并探讨该方法的预测效能。

1 预测方法

线性合成概率方法的基本前提是假定一定区域内各个地震之间是互有联系的, 并不是完全随机的。

1.1 地震活动间隔周期计算

设某一研究区一定震级以上地震时间序列为:

$$\{T_i\} = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\} \quad (1)$$

首先统计两地震之间的时间间隔, 通用计算式为:

$$\Delta T_{ij} = T_{i+1} - T_j \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n-1; i \geq j) \quad (2)$$

式中, T 为地震时间; n 为参与计算的地震总数。

1.2 地震活动周期谱和间隔周期经验概率的计算

为进行谱分析, 需进行固定间隔周期的分布统计。设基本单位周期间隔为 $\Delta\tau$, 生成时间间隔周期序列 $\{\tau_i\}$:

$$\{\tau_i\} = \{\Delta\tau, 2\Delta\tau, 3\Delta\tau, \dots, k\Delta\tau\} \quad (3)$$

k 的选取以保证 $k\Delta\tau$ 大于序列首尾地震时间间隔即可。

在(2)式计算的基础上, 统计所有时间间隔分别落入固定间隔周期序列 $\{\tau_i\}$ 的频次, 即可得到相应的周期谱。

在周期谱计算的基础上, 以所有时间间隔分别落入固定间隔周期序列 $\{\tau_i\}$ 的频次百分比作为间隔周期出现的概率, 即可得到相应的间隔周期的经验概率序列 $\{P_{\tau_i}\}$,

$$\{P_{\tau_i}\} = \{P_{\Delta\tau}, P_{2\Delta\tau}, P_{3\Delta\tau}, \dots, P_{k\Delta\tau}\} \quad (4)$$

以晋冀蒙交界地区 5 级以上地震活动区为例, k 取 200, $\Delta\tau$ 为 0.5 年, 经验概率序列 $\{P_{\tau_i}\}$ 为:

$$\{P_{\tau_i}\} = \begin{pmatrix} 0.5a, & 1.0a, & 1.5a, & 2.0a, & 2.5a, & 3.0a, & 3.5a, & 4.0a, & 4.5a, & 5.0a, & 5.5a, \\ 0.0091, & 0.0091, & 0.0091, & 0.0091, & 0, & 0, & 0, & 0.0091, & 0, & 0, & 0.0091, \\ 6.0a, & 6.5a, & 7.0a, & 7.5a, & 8.0a, & 8.5a, & 9.0a, & 9.5a, & 10.0a, & 10.5a, & 11a, \\ 0, & 0, & 0.091, & 0, & 0.273, & 0.182, & 0, & 0.182, & 0.091, & 0.091, & 0, \\ 11.5a, & 12.0a, & 12.5a, & 13.0a, & 13.5a, & 14.0a, & 14.5a, & 15.0a, & \dots & & \\ 0, & 0, & 0.091, & 0, & 0.091, & 0.091, & 0.091, & 0.091, & \dots & & \end{pmatrix}$$

经验概率序列的计算获取是线性合成概率预测分析的基础。以上经验概率值序列表明, 不同的周期具有相应的概率意义, 但部分设定周期没有概率意义。

1.3 线性合成概率计算

在上述工作的基础上, 定义线性合成概率 P 的计算式:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

式中, P_i 为预测时间到已发生地震的间隔周期所对应的概率, n 为从预测时间开始倒推选定的地震个数。实际上线性合成概率值即是预测时段与该预测时段之前的 n 个倒推选定的地震间隔周期的经验概率值的算术平均。

2 华北部分地区地震资料分析

本研究使用由新疆省地震局王海涛研究员提供的方法、计算软件。根据华北部分地区地质构造、地震活动及震例试算等实际情况, 分别选取 1900 年以来晋冀蒙交界地区 ($39^{\circ} \sim 41.5^{\circ}N, 112^{\circ} \sim 115.8^{\circ}E$) $M5$ 级以上地震、冀鲁豫交界地区 ($34.5^{\circ} \sim 37.5^{\circ}N, 114.5^{\circ} \sim 116^{\circ}E$) $M5$ 级以上地震、燕山—阴山地震带 ($39^{\circ} \sim 41.5^{\circ}N, 111^{\circ} \sim 120.5^{\circ}E$) $M6$ 级以上地震, 以及 1988 年以来的唐山地区 ($39^{\circ} \sim 41^{\circ}N, 117.5^{\circ} \sim 119.5^{\circ}E$) $M4.5$ 级以上地震进行分析。选取的地震目录资料为全国地震目录。进行线性合成概率计算时剔除前震、余震、双震(震群)及续发震, 研究中 $\Delta\tau$ 取 0.5 年, 地震间隔周期样本量取 5 (即从预测时段倒推选定参与计算的地震个数为 5)。

首先分别计算各区域的地震活动周期间隔和进行周期谱分析, 图 1 即为晋冀蒙交界地区 5 级以上地震活动间隔周期谱, 横坐标为间隔周期, 纵坐标为所有时间间隔分别落入固定间隔周期序列的频次。

由图 1 可见, 8 年和 23.5 年左右是晋冀蒙交界地区 5 级以上地震活动最显著的周期, 其次为 8.5、9.5、29、32.5 年左右的周期成份。另外, 冀鲁豫交界地区 5 级以上地震活动周期谱显示没有显著周期, 主要是 2、18、48 年左右的周期成份; 燕山—阴山

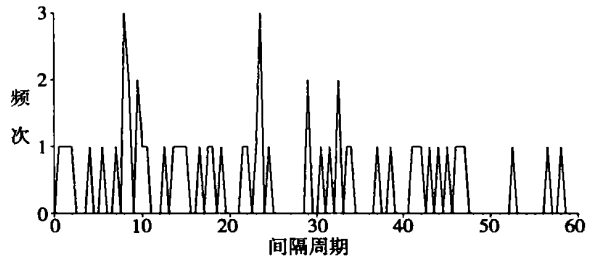


图 1 晋冀蒙交界地区 5 级以上地震活动周期谱图

地震带 6 级以上地震活动周期谱显示 6.5、20、21.5 年是其显著周期; 唐山地区 4.5 级以上地震没有显著周期, 主要是 1、2、3、5、5.7 年左右的周期成份。

根据周期谱分析结果计算各地震间隔周期的经验概率和各时段的线性合成概率, 以此为基础对各个区域的线性合成概率进行分析研究, 图 2~4 即为各个研究区的线性合成概率时间进程图。横坐标为时间, 纵坐标为相对固定起始时间点的线性合成概率值, 图中标注的为研究时段已发生的地震。震例总结分析表明, 线性合成概率的高值时段为相应地震发生的优势时段, 亦即高概率时段。分析表述中将高概率时段分为一般高概率时段和显著高概率时段。本文显著高概率时段是指合成概率值高于某一阈值的时段; 一般高概率时段是指合成概率值低于显著高概率给定阈值, 但明显高于相邻时段概率值

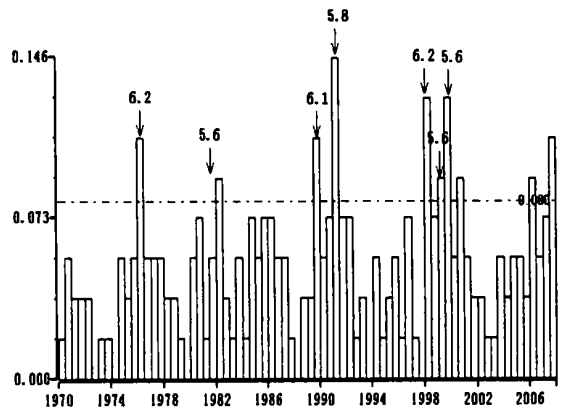


图 2 晋冀蒙交界地区 5 级以上地震线性合成概率时间进程图

的时段。本文图中给定阈值为参考研究时段震例而定。

由图2可见,1970年以来,以0.08作为阈值,共出现8次(7组)显著高概率时段,其中有6次(组)很好地对应了相应地震。7次地震6次发生在显著高概率时段,对应率达85.7%,另1次在时间上误差小于半年。图2还表明,2006年上半年和2007年下半年是该区5级以上地震活动的高概率时段。

由图3可见,在研究时段内,以0.09作为阈值,共出现8次(6组)显著高概率时段,其中5次5级以上地震有4次发生在显著高概率时段,对应率为75%,另1次在时间上误差小于2个月。该图还显示在2001年下半年出现一次显著高概率时段,虽然没有对应5级以上地震,但2002年上半年邢台老震区发生了一次M4.8级地震,表明该方法在该区有一定的预测能力。图3还表明,2008年前该区不处于5级以上地震活动的高概率时段。

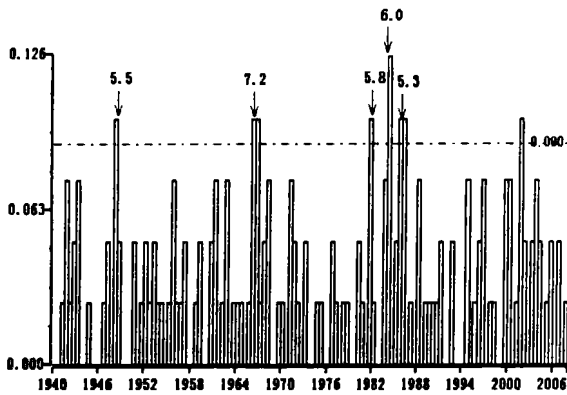


图3 冀鲁豫交界地区5级以上地震线性合成概率时间进程图

由图4可见,在研究时段内,以0.10作为阈值,共出现8次(7组)显著高概率时段,其中有6次(组)很好地对应了相应地震。7次地震6次发生在显著高概率时段,对应率达85.7%,另1次在时间上误差小于2个月。图4还表明,2007年下半年是该区6级以上地震活动的高概率时段。

由图5可见,在研究时段内,以0.18作为阈值,共出现4次显著高概率时段,3次地震都发生在高概率时段,对应率为100%。图5表明,2008年以前该区不处于4.5级以上地震活动的高概率时段。

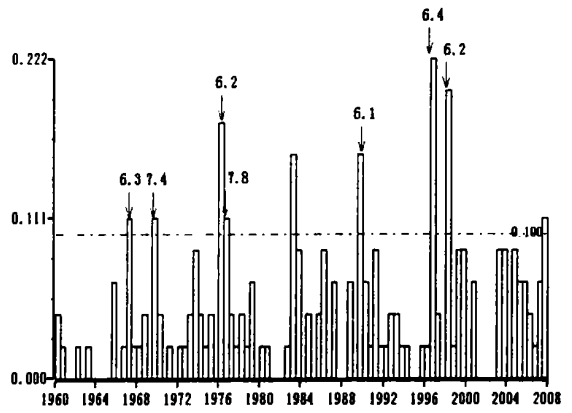


图4 燕山-阴山地震带6级以上地震线性合成概率时间进程图

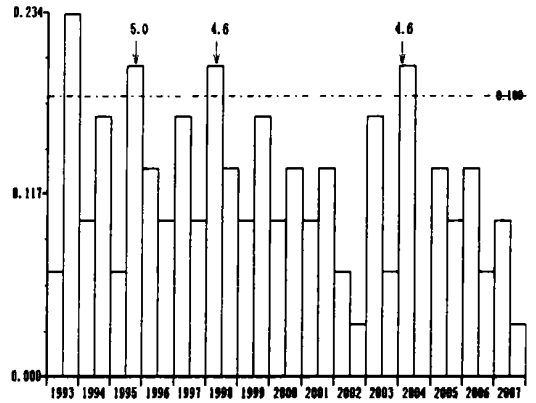


图5 唐山地区4.5级以上地震线性合成概率时间进程图

3 预报效能分析

为研究该方法在研究区范围内的预测能力,本文采用许绍燮提出的评分方法。其计算公式为:

$$R = \frac{n_1^1}{N_1} - \frac{n_0^1}{N_0} \quad (6)$$

式中: N_1 为有震时段数, N_0 为无震时段数, n_1^1 为有震报准时段数, n_0^1 为无震虚报时段数。该式表明 R 值为有震被报准率减去无震被虚报率。本文中, (6)式右边各参量单位为半年。

本文在作评分时,严格规定:每出现一个显著高概率时段(半年),则应对应一次地震;若出现一组显著高概率时段(一年),则算作两个显著高概率时段。统计结果见表1。

从表1中看出,各研究区的 R 值评分均大于各自的 R_0 ,表明该方法在本文各研究区均具有一定的预测能力。

表 1 预报效能统计表

区域	研究时段	检验时段	N_1	N_0	n_1^1	n_0^1	R	R_0
晋冀蒙交界地区	1911-2004	1970-2004	7	63	6	2	0.825	0.437
冀鲁豫交界地区	1900-2004	1940-2004	5	125	4	4	0.768	0.516
燕山阴山地震带	1922-2004	1960-2004	7	83	6	2	0.832	0.402
唐山地区	1988-2004	1993-2004	3	21	3	1	0.952	0.556

4 结论

本文利用基于地震周期谱分析的线性合成概率预测方法, 针对晋冀蒙交界地区、冀鲁豫交界地区、唐山老震区、阴山燕山地震带进行研究。研究表明: 这一方法对这些地区的地震活动有一定的预测能力, 并给出了 R 值评分检验效果; 该方法通过计算一定区域地震活动的不同周期结构的概率分

布, 可以较好地提取研究区内地震活动周期优势分布时段, 用于地震优势时段的判定, 是一种效果较好的周期分析方法。研究结果是初步的, 仅供今后工作中参考。

在本文的完成过程中, 河北省地震局孙佩卿研究员和新疆省地震局王海涛研究员给予了大量的指导帮助, 在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 王海涛, 龙海英. 基于地震周期谱分析的线性合成概率预测方法研究[J]. 内陆地震, 2003, 17(4): 289-293.
- [2] 张永久. 用线性合成概率方法研究川滇地震趋势[J]. 高原地震, 2004, 16(3): 16-22.
- [3] 周翠英, 李栋梁, 等. 基于周期谱分析的线性合成概率预测方法在山东地区的应用[J]. 内陆地震, 2005, 19(3): 215-222.

Application of linear synthetic probability method in the study of earthquake tendency in North China area

YU wei¹, ZHANG Shuang-feng², SUN Qing², QU Yin-sheng¹, WU Xiao-ping³

(1. Earthquake Administration of Xingtai city, Xingtai 054001, China;

2. Handan Central Seismostation, HEA, Handan 056001, China;

3. Baoding central Seismostation, Baoding 071000, China)

Abstract: Strong earthquakes occurred frequently in North China area in history, but it showed tranquil since 2000. In order to analyze this phenomenon, we studied the joint area of Shanxi, Hebei and Inner Mongolia, the joint area of Hebei, Shandong and Henan province, Tangshan earthquake region, Yinshan Mountain and Yan-shan Mountain earthquake belt with linear probability method that based on spectral analysis of earthquake. The results show that the method has prediction ability in some extent, and the ability is tested with R-value.

Key words: spectrum; linear synthetic probability; earthquake prediction