

文章编号: 1003-1375(2001) 04-0059-06

中等地震前信息增益时空变化特征

孙瑞玲 常祖峰 赵 新 邵玉花 宋 宁 王明富

(河南省新乡市地震局, 河南 新乡 453003)

摘要: 着重研究了河南省及邻区 6 次 M_L 4.7 级以上地震前信息增益变化图像和信息增益时空变化特征, 依据这些特征将地震分为 I 型(异常-发震型)和 II 型(异常-消失-发震型)两种类型。在此基础上, 根据信息增益的时、空扫描图像, 对异常地区的地震趋势和将要发生的地震的震级(是否大于 5 级)、震中位置和发震时间进行了探讨。

关键词: 中等地震; 信息增益; 时空变化

中图分类号: P315.75 文章标识码: A

0 引言

地震孕育过程是一个从无序到有序的增能、减熵过程。有人提取熵变化来进行地震预报曾取得了较好的效果, 但在地震序列的应用中一直存在着如何同时合理应用地震频度和强度两个参数的问题。若仅采用频度参数, 则过分强调了小震的作用, 若仅采用能量参数, 又过分夸大了大震的作用。沈萍等人应用信息论中的信息增益的概念, 将地震中的能量和频度作为一个整体考虑, 研究了全球 1900~1992 年 $M \geq 6.0$ 级地震, 较好的解决了上述问题^[1]。为了进一步探讨信息增益方法的适用性, 本文应用该方法探讨了晋冀鲁豫交界地区 1970 年 1 月—1997 年 7 月 $M \geq 2.0$ 级地震的信息增益, 发现中等以上地震前异常信息明显, 预报效能显著。在此基础上, 着重研究了河南省及邻区 6 次 4.7 级以上地震前信息增益变化图像和信息增益时、空变化特征, 并依据这些特征对中短期地震三要素进行了粗浅探讨。

1 信息熵与信息增益

1.1 信息熵的概念

设随机变量 $x = x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, x_i 其中的概率为 P_i , 且有 $\sum_{i=1}^n p_i = 1$, 则定义 x 的熵为

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

上式称为 Shannon 熵^[2]。当取 2 为底的对数时, 熵的单位为 bit。当取以 e 为底的自然对数时, 熵的单位为 nit。

收稿日期: 2001-07-17

作者简介: 孙瑞玲(1944-), 女(汉族), 河北景县人, 高级工程师, 主要从事测震学分析预报等研究工作。

1.2 信息增益

对于任意的

$$\{(p_1, \dots, p_n), \sum_{i=1}^n p_i = 1, p_i \geq 0, i = 1, \dots, n\} \text{ 和任意的}$$

$$\{(q_1, \dots, q_n), \sum_{i=1}^n q_i \leq 1, q_i \geq 0, i = 1, \dots, n\}$$

$$\text{有 } H^n(p_1, \dots, p_n) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i < -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 q_i \quad (2)$$

称(2)式为 shannon不等式。上式中,定义 $0 \log_2 0 = 0$ (2)式的证明利用了凹函数及 jensen不等式^[3]。

在(2)式基础上引入两个定义:

$$(1) \text{ 不准确度 } -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 q_i \quad (3)$$

$$(2) \text{ 信息增益 (误差) } \text{En}(P // Q) = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{p_i}{q_i} \quad (4)$$

信息增益的物理意义为信息可靠的增加程度或误差的减小程度

2 河南省及邻区 $M_L 4.7$ 级以上地震前信息增益时空变化特征

2.1 地震序列的信息增益

为利用地震序列中更多的信息,采用熵中信息增益的方法。

由(4)式知,信息增益为

$$\text{En}(P // Q) = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{p_i}{q_i}$$

约束条件为

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = 1$$

p_i 取为地震能量概率, q_i 取为地震频度概率

信息增益中同时包含了地震能量和地震频度,因此,它既考虑了地震强度信息,又考虑了地震频度信息。

2.2 信息增益空间扫描特征

选取 1970年以来发生在河南省及邻区不同地区的 6个 $M \leq 4.7$ 级地震震例,分别对其进行震前信息增益空间扫描计算。震级下限取 $M_L = 2.3$,空间窗为经 纬 $2^\circ \times 2^\circ$,滑动步长 $1^\circ \times 1^\circ$,时间窗长 12个月,步长 1个月。根据信息增益的空间扫描特征,可以分为两个类型:

I 型地震:称为异常-发震型。震前 15-9个月在震中及其附近地区开始形成异常图像,随着时间的推进,图像逐步发展,一直持续到地震发生乃至震后 3个月才消失。象 1978年 6月 5日新乡 4.9级地震(图 1)、1992年 1月 14日登封 4.7级地震和 1994年 4

月 26日灵石 4.8级地震,均呈同一类型变化特征

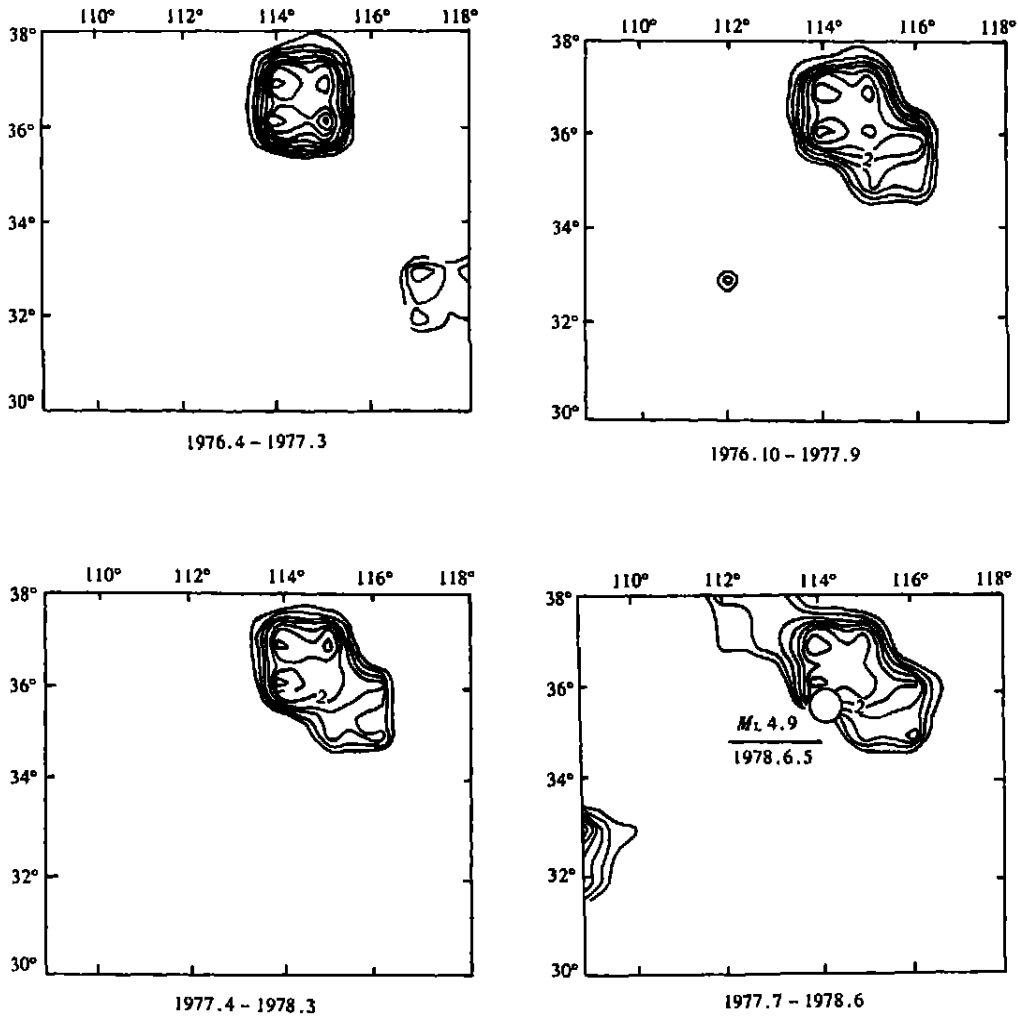


图 1 新乡 $M_{4.9}$ 级地震信息增益空间扫描图 (35°27' N, 114°08' E)

II 型地震: 称为异常 消失-发震型 象 1973年 11月 30日浙川 5.0级地震 1980年 8月 2日林州 5.1级地震 1983年 11月 7日菏泽 6.2级地震等,在震前 24- 36个月,震中及其附近地区就开始形成异常图像,异常图像持续出现,但在震前 6- 3个月消失,然后发生地震 (图 2)

值得注意的是, I 型地震 (异常-发震型) 的几个震例的震级均小于 5.0级, 而 II 型地震 (异常-消失-发震型) 的震级均大于 5.0级 这似乎说明信息增益异常图像嬗变模式与震级之间有着很好的对应关系, 换言之, 根据信息增益空间异常图像的变化特征, 就能够大概推断将来发生的地震是大于 5.0级或是小于 5.0级.

2.3 信息增益时间扫描特征

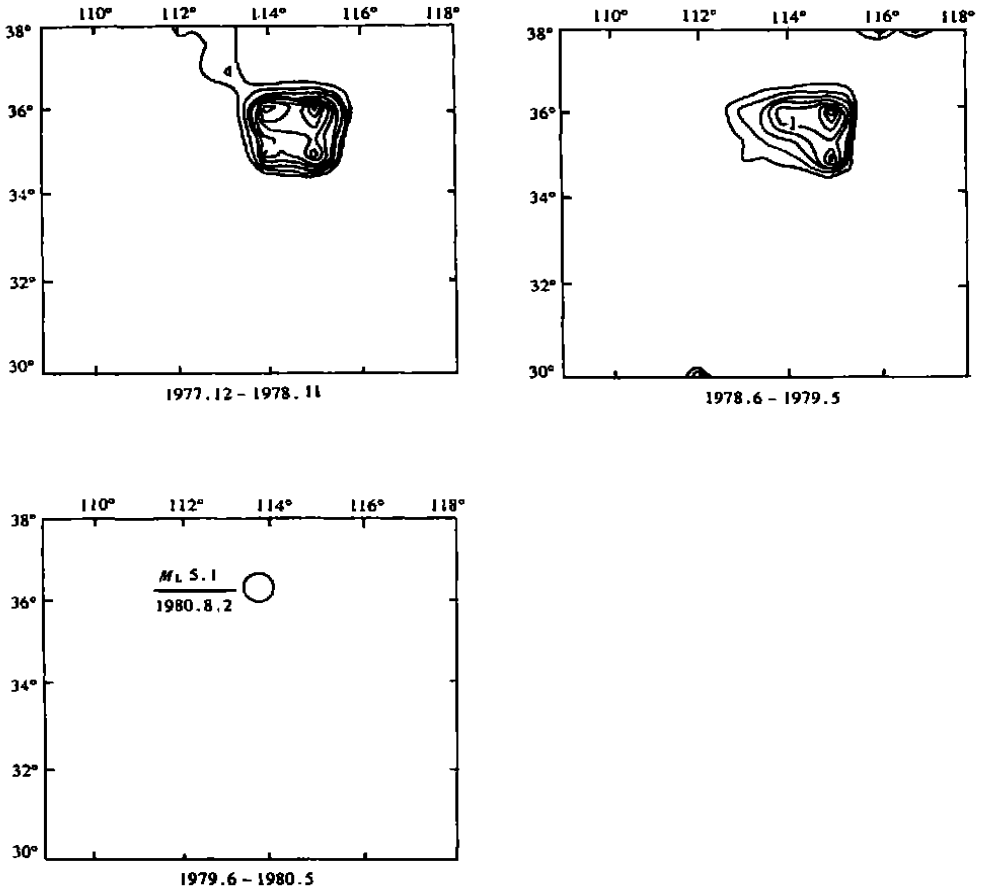


图 2 林州 $M_L 5.1$ 级地震信息增益空间扫描图 ($36^{\circ}03'N, 113^{\circ}57'E$)

图 3 是河南省及邻区 6 次 $M_L \geq 4.7$ 级地震前信息增益随时间变化曲线。计算时采用的参数: 取每个震例震前 5 年的资料, 以其震中为中心, 扫描范围 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$, 时间窗长 1 年, 滑动步长 2 个月, 其它参数的选取均与空间扫描计算中所取的相同。

从图中可以看出, 多数震例于震前 12~24 个月出现明显的高值异常, 这与空间扫描图像异常出现的时间大体同步。地震发生在高值异常段或者发生在异常恢复后一段时间。

有趣的是, 在空间扫描图像上属于 I 型地震 ($M_L < 5.0$), 如新乡地震、登封地震和灵石地震, 在时间扫描图上, 地震无一例外地发生在高值异常上 (图 3a); 而空间扫描图像上属于 II 型的地震 ($M_L > 5.0$), 在时间扫描图上, 地震均发生在高值异常恢复以后 (图 3b)。由此可以看出, 以 $M_L = 5.0$ 为界, 大于 5.0 级和小于 5.0 级的地震, 分别具有不同的时间和空间扫描特征。

3 结论与讨论

(1) 对河南及邻区 6 次中等以上地震前信息增益时空扫描结果分析表明, 信息增益在该地区中等以上地震前有较明显的异常特征, 信息增益方法是中短期预报的有效手段。

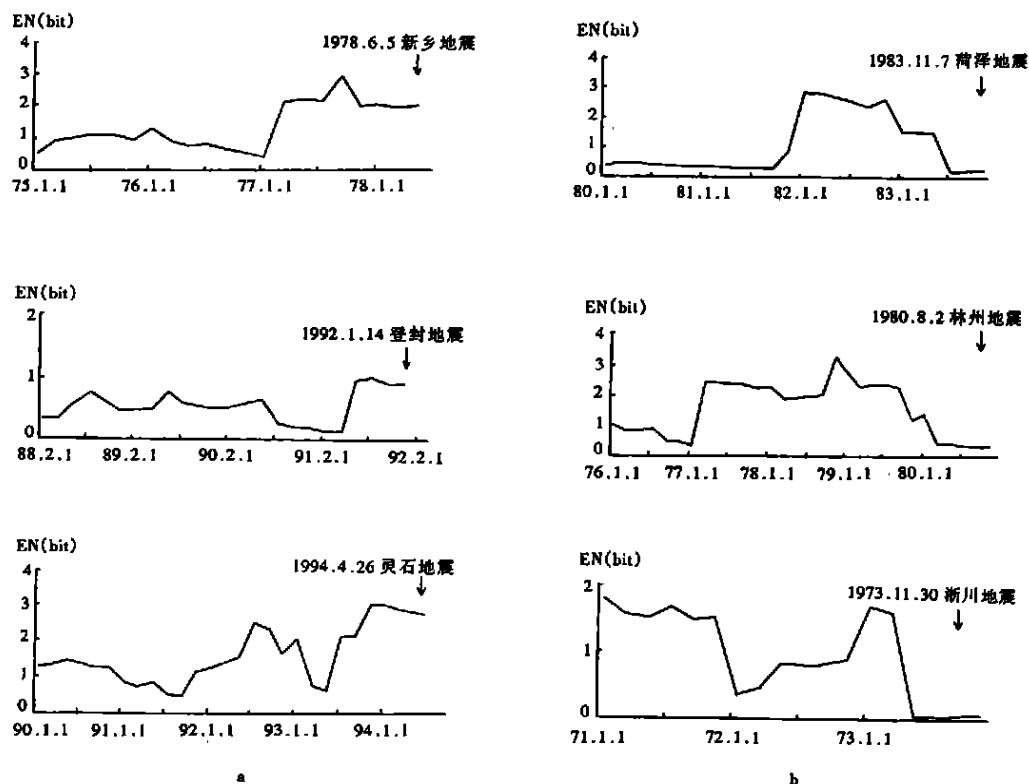


图 3 信息增益随时间变化曲线

(2)在空间信息图像上,常在震前出现较明显的高值异常,地震一般发生在异常区内或其边缘上。依照异常图像分为I型地震(异常-发震型)和II型地震(异常-消失-发震型)两种类型。I型地震的震级一般小于5.0级,而II型地震的震级一般大于5.0级。这似乎说明信息增益异常图像嬗变模式与震级之间有着很好的对应关系。

(3)时间扫描出现异常的时间大体与空间扫描同步,多数震例于震前12~24个月出现明显的高值异常。I型地震($M_L < 5.0$),由于震级较小,出现异常的时间也短,一般在震前9~15个月,而且,在时间扫描图上,地震无一例外地发生在高值异常上;II型地震($M_L > 5.0$),震级相对较大,地震前24~36个月就可出现异常,在时间扫描图上,地震均发生在高值异常恢复以后。

(4)根据信息增益的时、空扫描图像,就可对异常地区将要发生的地震的震级(是否大于5级)、震中位置和发震时间作出中、短期预报。

(5)鉴于所选的震例有限,以上结论是否带有普遍性,还有待实践的检验。

参考文献:

- [1] 沈萍,冯国政. 信息增益在地震趋势估计中的应用[J]. 中国地震, 1996, 4.
- [2] 宋俊杰. 统计信息分析[C]. 天津: 南开大学出版社, 1986.
- [3] 郑治真,张少英. 瞬态谱估计理论及其应用[C]. 北京: 地震出版社, 1993.

The spatial-temporal characteristics of information gain before medium earthquakes

SUN Rui-ling, CHANG Zu-feng, ZHAO Xin,

SHAO Yu-hua, SONG Ning, WANG Ming-fu

(Seismological Bureau of Xinxiang City, Henan Province, Xinxiang 453003, China)

Abstract the variation of information gain and its spatial-temporal characteristics for six $M \leq 4.7$ earthquakes in Henan Province and its adjacent area are mainly studied. Based on these characteristics, The earthquakes are classified into two categories; I type (anomaly appearance-earthquake occurrence) and II type (anomaly appearance-anomaly disappearance-earthquake occurrence). According to the spatial-temporal images of information gain, the tendency of potential earthquake, as well as its magnitude (if larger than 5), epicentral position and occurrence time in the abnormal area is discussed.

Key words moderate earthquakes; information gain; spatial-temporal variation