

信息量在地震活动研究中的应用*

朱令人 周仕勇 龚宇清¹⁾ 王海涛 白超英

(新疆维吾尔自治区地震局)

摘 要

本文从信息量的角度出发,研究了大震发生前后小震序列的时空分布特征,定义了缺信息量 I_0 值来反映这种分布所隐含的未来大震的异常信息。并以海城、唐山、和林格尔及玛纳斯地震为例,分析了这几次中强地震发生前后 I_0 值的动态变化。结果表明:在地震发生前,均出现了显著的 I_0 低值异常过程。本文认为, I_0 值能定量地表现出大震发生前小震活动时空分布的各种异常信息,分析和观测 I_0 值的变化对未来大震的监测预报不失为一种有效手段。

关键词: 信息量 缺信息量 自信量

一、引 言

人们在对地震活动的时空分布的研究中发现,大地震之前小地震活动分布呈现某些特征图象,如地震空区、条带、地震丛集、地震迁移和震中环形分布等等^{[1][2]}。然而这些不同的地震图象是否基于同一物理实质?本文的目的就是用系统信息论的方法,研究地震活动时空分布特征,试图引入缺信息量来定量描述大震前地震活动所隐含的预示未来大震发生的重要信息,并期望通过这个参量能将预示大震发生的各种地震活动异常图象一致地表现出来,并与地震正常活动图象相区别。

二、思路及方法

对于孕震系统的演变过程,我们不可能直接观测到。然而通过对地面上观测到的地震活动(信息)的分析可以感知孕震系统(信息源)的状态及变化。

我们定义被感知的事物出现概率的倒数的对数为信息量^[3],即

$$I(A_1) = \text{Log} \frac{1}{P(A_1)} \quad (1)$$

(1)式表明,事物出现的概率越小,若一旦出现(被认知),则其信息就越大。这种

*地震科学联合基金会资助项目。

1) 新疆电子计算中心。

定义是符合我们对地震活动的认识的。众所周知,大震的发生在时间进程上,本身就是一个小概率事件,因而,大震前小震活动时空分布的种种异常图象也是小概率的。由信息量的定义可知,一旦小概率的地震活动图象出现(被认知),则预示未来大震将发生的信息量就愈大。

在(1)式中, A_i 事件是信息源的一个样值,故是一个随机量, $I(A_i)$ 是 A_i 的函数,必然也是随机量, $I(A_i)$ 称为 A_i 的自信量。

通常情况下,地震区的小震活动的时空分布是可以视为完全随机的,即同时满足以下两个条件:

(1) 独立性。在任意不同的时段(或区间)内,各自发生的地震个数是彼此独立的。

(2) 均匀性。在时段(t_0, t_0+t)或区间($x, y; x+a, y+b$)发生 k 个地震的概率只与时段长 t 或空间大小 $a \cdot b$ 有关,而与时段起点 t_0 或空间起点(x, y)无关。

如果不满足上述条件(如前震、余震)则可能出现某种异常分布,而这正是我们所希望得到的。

我们将研究区域(或时段)分成 m 个相等的子区段,如果有 N 个地震随机分布在研究区段内,则其中 k_i 个落入 i 子区段的概率

$$P(k_i) = C_N^{k_i} \cdot \left(\frac{1}{m}\right)^{k_i} \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{N-k_i}; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

根据信息量的定义, k_i 个地震出现在某个子区段的自信量为:

$$I'(k_i) = \lg 1/P(k_i)$$

因各子区之间是相互独立的,根据信息的可加性,可求出研究区内合成自信量

$$I' = \sum_{i=1}^m I(k_i). \quad (3)$$

综合分析(1)、(2)和(3)式,不难看出,合成自信量实际反映了小震活动的分布状况。通常来说,小震正常活动在时空上的分布是较为随机、均匀的, $P(k_i)$ 较大,此时 $I(k_i)$ 和 I' 都很小,即大震将要发生的信息(根据)不足。反之,小震活动异常时,它们在时空分布上出现的种种异常图象均不同程度地反应这些小震分布极不均匀,则 $P(k_i)$ 大多很小, I' 很大,表明大震将要发生的信息(根据)较为可靠。

为了与信息熵及其他指标比较,我们取合成自信量的倒数作为判别量,并称之为合成缺信息量,即

$$I'_0 = \frac{1}{I'} = 1 / \left(\sum_{i=1}^m I(k_i) \right). \quad (4)$$

I'_0 表示信息的缺乏程度,其值愈小,大震发生的根据愈充足。

由(1)和(2)式可知,当研究区内的地震平均分布在各子区段时, $P(k_i)$ 最大,合成自信量最小,合成缺信息量最大。亦即

当 $k_1 = k_2 = \dots = N/m$ 时,

$$P(k_1) = P(k_2) = \dots = C_N^{N/m} \cdot (1/m)^{N/m} \cdot (1-1/m)^{N \cdot N/m} = P(N/m).$$

则

$$I' = m / \lg P(N/m);$$

$$I'_{0max} = \lg P(N/m) / m.$$

则得归一化的合成缺信息量

$$I_Q = I'_Q / I'_{Q_{max}} = m / [LgP(N/m)] \cdot \sum_{i=1}^m I(k_i) \quad (5)$$

三、资料及计算结果

本文分别选取唐山、海城、和林格尔、玛纳斯地震区作为研究区域。在这些区域内分别发生了1975年2月4日海城7.3级地震、1976年4月6日和和林格尔6.3级地震、1976年7月28日唐山7.8级地震和1980年11月6日玛纳斯5.8级地震。研究区范围的具体选取、研究时段的

表1 研究区和资料选取

研究区域	经度	纬度	起算震级 M _s	起止时段
唐山	114°42'—121°42'	36°06'—44°06'	2.4	1972.1—1978.12
海城	119°18'—126°18'	37°09'—46°09'	2.4	1971.6—1978.8
和林格尔	109°06'—115°06'	37°06'—43°06'	2.4	1971.8—1977.12
玛纳斯	83°43'—88°36'	41°24'—46°12'	2.0	1976.1—1981.12

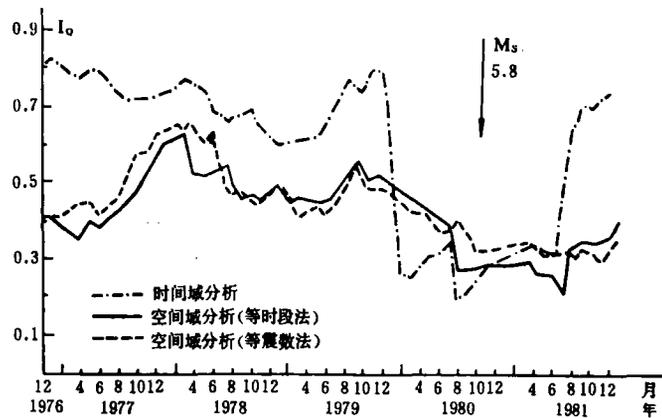


图1 玛纳斯地震前后小震活动缺信息量变化曲线
Fig. 1 Dynamic variation of seismic lack information amount of the Manasi earthquake

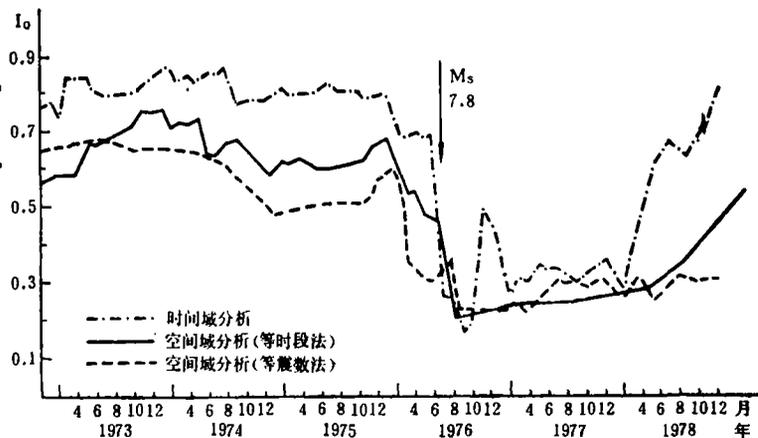


图2 唐山地震前后小震活动缺信息量变化曲线
Fig. 2 Dynamic variation of seismic lack information amount of the Tangshan earthquake

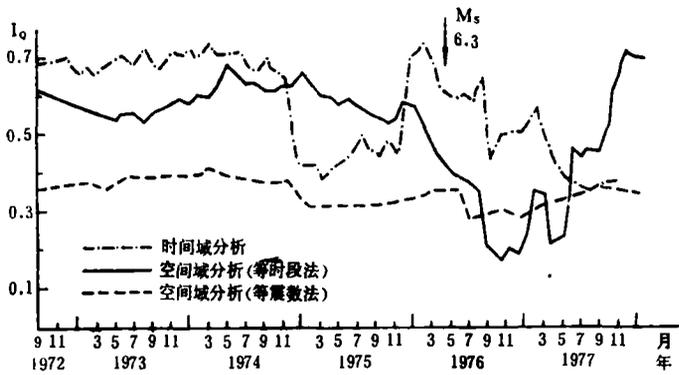


图3 和林格尔地震前后小震活动缺信息量分析

Fig. 3 Dynamic variation of seismic lack information of the Helingeer earthquake

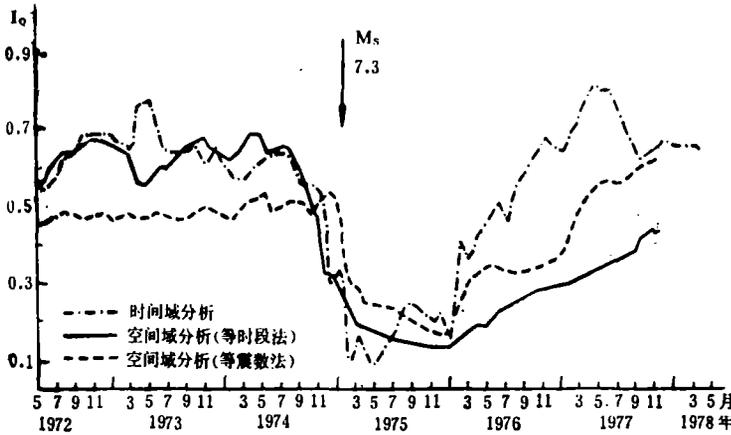


图4 海城地震前后小震活动缺信息量分析

Fig. 4 Dynamic variation of seismic lack information of the Haicheng earthquake

起止日期及地震资料的具体取用情况见表1。

我们以12个月为时间窗，1个月为子时段长，逐月滑动，对上述4个研究区的地震活动随时间分布的缺信息量 I_0 值进行了计算；用等时段法（时段长取12个月）及等震数法对地震活动在空间域分布的缺信息量 I_s 进行了计算，子区域尺度为 $1.2^\circ \times 1.2^\circ$ 。

所有计算结果详见图1—图4。

四、结果分析

若把大震前后的地震活动分为若干时段，分析各时段内地震活动时空分布的合成缺信息量值，可以看到大震前后这个物理量的动态变化。从图1—图4所展现出来的不同研究区内地震活动时、空分布缺信息量的动态变化曲线可以看到：

1. 在1980年11月6日玛纳斯5.8级地震发生前约1年左右，该研究区小震活动随时间的分布就呈现出异常。在1979年12月，其缺信息量突然下降，此后经历10个月的异常低值后主震发生。从该地震区主震前后小震活动在空间域的分布的动态变化来看，大震前约3个月即1980年7月，小震活动的空间图象开始呈现异常，反映这种异常活动的缺信息量在1980年7月呈现明显的下降异常，直至主震发生前 I_0 值一直维持低值。用等时段方法与等震数方法所

研究的结果基本一致(图1)。

2.1976年7月28日唐山7.8级大震前,该地震区的小震活动时空分布也有明显的异常。在1976年2月,该研究区的小震活动在时间轴上分布状态的缺信息量 I_0 值有明显的下降,且这种低值异常和下降趋势一直延续到唐山大震发生。有趣的是,由图2可以看到,无论是等震数法还是等时段法所研究出来的唐山地区小震活动在空间域与时间域内分布状态的缺信息量 I_0 值动态曲线变化一致,几乎同是从1976年2月开始突然下降,且均是维持异常低值和下降趋势直到唐山大震发生。

3.1976年4月6日和林格尔6.3级地震前,该地震区内的小震活动在时间域内的分布状态和空间域内的分布状态的 I_0 值先后出现明显下降。由图3可见,约从1975年1月开始,3条曲线同时出现突然下降,这种异常低值一直维持到震前2—3个月,在 I_0 值恢复到正常水平后发生了6.3级地震。

4.在海城地震区内,1975年2月4日海城7.3级地震前,从1974年9月起 I_0 值开始下降,强震前略有回升,但其值仍属异常低值。然而,用等震数法研究的空间域 I_0 动态变化在大震前没有出现明显的异常低值过程。相反,临震前, I_0 值突然上升。

综上所述,我们可以得到下列结论:

(1)大震前地震活动的时、空分布的各种异常图象均可用 I_0 值来量度。 I_0 值愈低,其所表现的地震分布图象愈趋近于异常。

(2)大震前,在震中周围一定范围内的小震活动的时空分布均会在一定阶段内呈现出低概率的分布状态。若用 I_0 值来量度这种状态,则大震发生前会出现长达几个月的 I_0 异常低值过程。

(3)在大震的前震阶段和余震阶段,小震活动的 I_0 值显著低于正常地震活动阶段。可见通常情况下,小震活动的时空分布是较为随机、无序的,在大震发生前几个月及大震发生后的余震阶段,这种分布受到一定的约束,表现得较为有序。

(4) I_0 值在时间域与空间域内的一致变化,反映了孕震系统的物理特征在时空域内的一致性,一旦震源体进入了失稳阶段,该震源区内的小震活动无论在空间上还是时间上都要进入异常状态。

小 结

将信息系统方法用于地震研究还是一个新课题,用缺信息量 I_0 量度地震活动时空分布特征,还是第一次提出。作为一种新的尝试,本文仅进行了回顾性的震例总结。通过上述4个震例及更多的研究结果^[4]来看,信息系统方法在探索复杂的地震前兆图象方面具有光明的前途, I_0 值也是一个较好的描述地震时空分布的物理量。

(本文1990年10月14日收到)

参 考 文 献

- [1]郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社,1979.
- [2]陆远忠等,地震预报的地震学方法,地震出版社,1985.
- [3]周硕恩,系统科学导引,地震出版社,1988.
- [4]朱令人、费宇清等,地震信息熵及地震分形的研究和探索,中国地球物理学会年刊,地震出版社,1990.

THE APPLICATION OF INFORMATION AMOUNT IN THE SEISMIC ACTIVITY STUDY

Zu lingren, Zhou Shiyong

(*Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous
Region, Urumqi, China*)

Gong Yuqing

(*Xinjiang Electronic Computer Center, Urumqi, China*)

Abstract

In this paper, we have researched the space-time distribution characteristics of small earthquakes sequence before and after large earthquakes from information amount, and defined lack information amount I_Q value to reflect the distribution which hides the anomalous information of large earthquake in future. As some examples of the Haicheng, Tangshan, Helingeer and Manasi earthquakes, we have analysed the dynamic variations of I_Q values before and after these strong earthquakes. The results show that the I_Q value had appeared notable low value phenomena before the strong earthquakes took place. We believed that I_Q value can quantitatively describe the information of various phenomena patterns of the seismic space-time distribution before large earthquake. It is a good way to monitor and forecast large earthquake.