

唐山地震前地震活动模糊熵值的异常特征

马淑芹 牟光迅 赵惠君

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要 定义了地震活动模糊熵概念, 计算了唐山地震前地震活动模糊熵随时间、空间的变化, 发现唐山 $M_s7.8$ 地震发生前, 地震活动模糊熵值下降, 唐山 $M_s7.8$ 地震发生在地震活动模糊熵值较低的地方。这符合大地震前震源地地震活动性从无序趋向有序的规律。地震活动模糊熵把模糊因子与震群活动熵统一起来, 比震群活动熵能更突出地反映地震活动异常。

关键词: 唐山地震; 模糊识别; 地震活动性; 信息熵

0 引言

1976 年唐山发生 $M_s7.8$ 级地震, 震源只有 11km。由于发生在夜间, 人们正在睡觉, 所以造成 24 万余人死亡, 16 万余人重伤。震中区烈度达 XI 度。其中天津死亡 2 万余人, 重伤 1 万余人, 经济损失 80 亿元以上。由于大地震在时间、空间上都很少, 地震预报实践的机会不多, 因此地震预报国内外都没过关, 仍处于研究、探索阶段。对于大地震前地震活动的异常, 已有多人用多种方法进行了研究。朱传镇^[1]提出了震群信息熵的概念, 冯德益^[2]提出了预报地震的模糊数学方法。地震从孕育到发生的过程, 是一种由随机性到确定性的过程, 由构造应力场向震源应力场演变的过程。在各类前兆异常特征上, 就是由无序状态转入有序状态的过程。在临震阶段, 常出现一些短时间突发异常, 这些短临异常持续时间短, 幅度大。这种现象往往标志着大震即将发生。使用震群信息熵的方法很难将这种重要信息提取出来。因此, 本文使用地震活动模糊熵方法研究唐山地震前的地震活动异常。与震群活动熵相比, 地震活动模糊熵的改进在于增加了一个模糊因子。模糊因子 μ 在地震活动处于无序状态时, 具有模糊平滑的效用, 一旦出现短临异常, 又具有清晰放大的作用。因此地震活动模糊熵比震群信息熵能更突出地反映地震活动异常。

1 唐山地震前的地震活动

唐山地震前的地震活动分为两个方面。一方面, 从长期背景 (1900~1976 年) 看, 唐山附近中强地震活动增强。唐山地震前的几年, 在华北大范围内 4 级以上地震相对平静的背景上, 唐山地区中强地震却有所增强。从燕山带 4 级以上地震的空间分布 (图 1) 可

以看出,在1945年滦县发生 $6\frac{1}{4}$ 级地震后的五十年代至六十年代,中强地震集中分布在燕山带的西段,唐山附近相对平静。1970年至1976年,中强地震则明显东移,向未来大震震中——唐山附近集中。此外,1966年邢台地震后,北东向河北断陷带上的中强地震,亦有向东北向发展集中的趋势。唐山地震就发生在燕山隆起带与河北断陷带的交汇部位。另一方面,唐山附近区域小地震活动平静。唐山地震前,震区的地震台网可以监测该区 $M_L \geq 1$ 的地震,以及台网周围50km以内的地震。在 $M_s 7.8$ 级地震前三个月内,唐山地区没有出现小地震活动。自1976年4月后,当地地震活动水平很低。

7月26日昌黎西南发生了0.7、0.8、0.1三次小地震^[3],震级很小,与平时常出现的零星地震没有区别,无法看成前震序列。5月5日至7月25日的80天内,连这样的微震也没有,可谓异常平静(表1)。而邢台地震、海城地震前震则明显而强烈。从1965年底开始,邢台区就有2~3级地震发生,1966年3月1日发生4.5级地震,3月6日发生5.2级地震。从3月1日起,邢台地区3级以上地震频度、强度明显增大,经过小震活动密集平静后,发生了3月8日的6.8级地震,3月22日发生了7.2级强震。1975年2月4日19时海城地震的前震活动更加突出。从2月4日至4日大震前,石硼峪地震台共记录

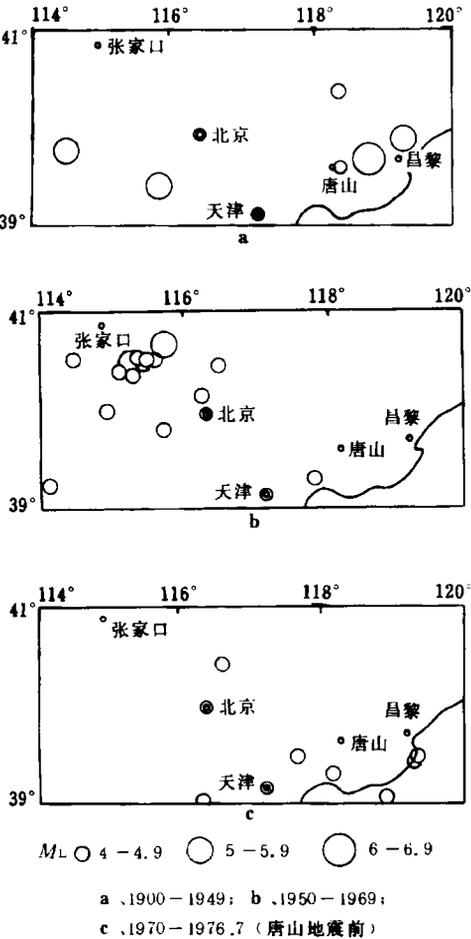


图1 燕山带附近地区震中分布图 ($M_L \geq 4$)^[3]

表1 大震前三个月唐山地区微震目录^[3]

年月日	时分秒	北纬	东经	震级	震中地名
1976年4月4日	09-30-03.5	39°42'	118°45'	1.4	滦县
1976年4月7日	05-34-36.4	39°24'	117°50'	0.4	芦台
1976年4月10日	14-23-14.7	39°53'	118°43'	1.6	滦县
1976年5月5日	04-28-21.4	39°40'	118°29'	0.9	滦县西
1976年7月26日	10-01			0.7	昌黎西南
1976年7月26日	10-04			0.8	昌黎西南
1976年7月26日	10-22			0.1	昌黎西南

到地震500多次。2月4日01时至11时的10小时内地震活动达到高峰,相继发生两次4级多地震。2月4日12时后,地震频度和强度又急剧下降,在前震序列经过密集一平

静后发生了 7.3 级主震。唐山地震前，小震活动未出现“密集—平静”现象。前震活动微弱。

2 地震活动模糊方法及计算

地震活动模糊熵公式为

$$H = - \sum_{i=1}^R (\mu_i^* P_i \text{Log} P_i) / \text{Log} R$$

式中 $P_i = n_i / N$

N : 给定区域、一定时间内发生的地震个数。

n_i : 第 i 个子空间内发生的地震个数

R : 研究区域划分的子空间数

μ_i : 第 i 个子空间内的模糊从属函数

$$\mu_i^* = 1 - \mu_i$$

$$\mu_i = \left[1 + \frac{\alpha}{|k_i| |r_i|} \right]^{-1}$$

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij} \sum_{j=1}^n y_{ij} - n \sum_{j=1}^n t_{ij} y_{ij}}{(\sum_{j=1}^n t_{ij})^2 - n \sum_{j=1}^n t_{ij}^2}$$

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij} y_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_{ij} \sum_{j=1}^n y_{ij}}{\left[\sum_{j=1}^n t_{ij}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n t_{ij})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n y_{ij})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

式中, α 为经验常数, k_i 为曲线斜率, r_i 为相关系数, n 为时间窗长度 (以月为单位)。对唐山地震前地震活动图象的计算, 作者从两个方面进行, 第一方面为时间扫描跟踪分析, 第二方面为空间扫描分析。从时间滑动扫描可得到唐山地震前的地震活动模糊熵时间进程图, 空间扫描可得到唐山地震前地震活动模糊熵值的空间分布图象。

唐山地震前的地震目录取自中国东部地震目录。 k_i 、 r_i 式中, y_{ij} 为 t_{ij} 时段内发生的地震个数。在滑动扫描计算中, 取 $\alpha=1$ 。时间窗长取 2 年, 时间滑动步长取了 3 个月。空间窗长取 $2^\circ \times 2^\circ$, 空间滑动步长为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。时间扫描跟踪分析与空间扫描跟踪分析的程序设计思路见图 2、图 3。

3 结果及其分析

本文计算了海城地震、唐山地震的地震活动模糊熵。唐山地区地震活动模糊熵值时间进程图见图 4。由图 4 可见, 唐山地震前, 从 1975 年下半年开始, H 值急剧下降到 0.2 以下。 H 低值持续到 1976 年上半年, 有所回升后, 发生了 1976 年 7 月 28 日唐山 $M_s 7.8$ 级地震。紧接着, 发生了 1976 年 7 月 28 日滦县 7.1 级地震及 1976 年 11 月 15 日宁河 6.9 级地震。可见唐山地震前, 小震活动从无序转向有序, 地震活动模糊熵值明显降低。唐山地震前, 地震活动模糊熵有 2 个低值区, 第一个低值区中心处于 (38°N , 118°E) 处, 第二个低值区中心处于 (40°N , 118°E) 处。第二个低值区与唐山地震震中基本吻合。可

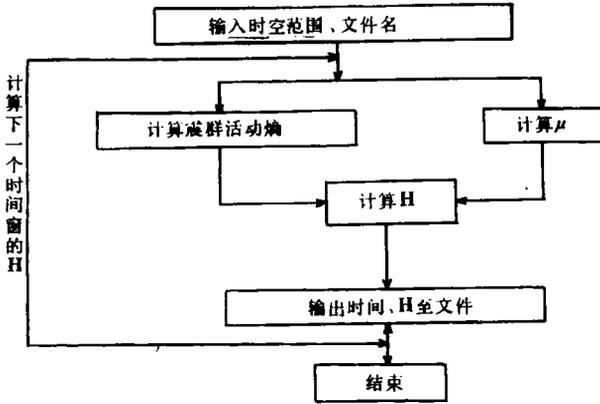


图2 H时间扫描滑动程序流程框图

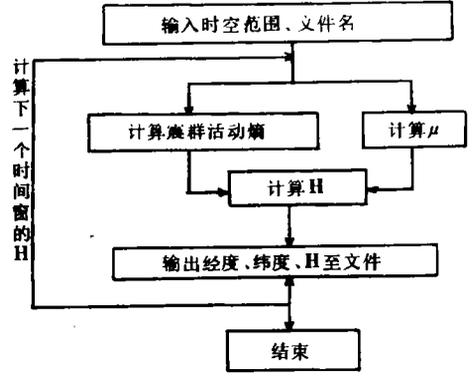


图3 H空间扫描滑动程序流程框图

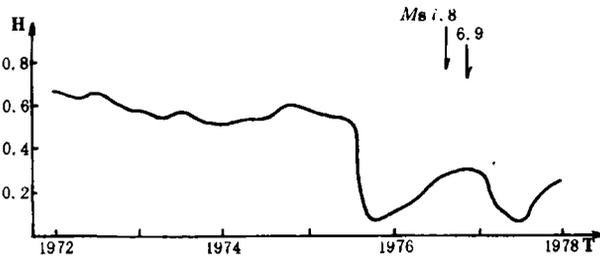


图4 唐山地区H值时间进程图

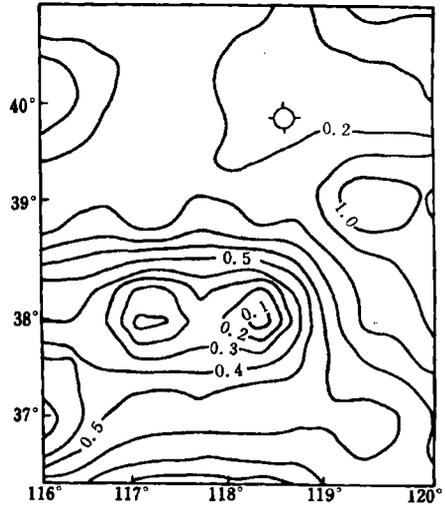


图5 唐山地震前H值空间分布图

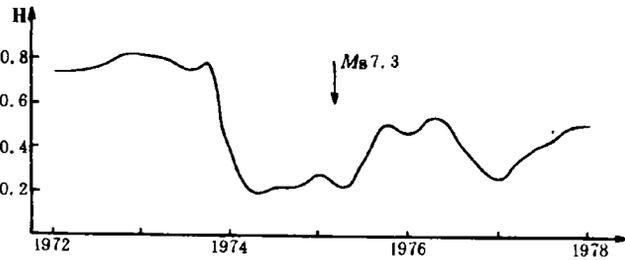


图6 海城地区H值时间进程图

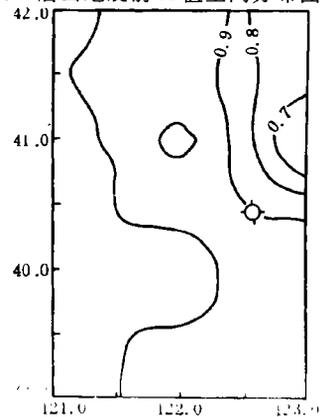


图7 海城地震前H值空间分布图

见唐山地震前，在空间上，地震活动从外围向震中迁移、集中。唐山地区地震活动模糊熵值比外围地区低（图5）。

海城地区地震模糊熵图形见图 6、图 7。

本文得到了冯德益教授的悉心指导。吴晓芝高工帮助提取地震目录。在此一并致谢。

(1995 年 9 月 10 日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 朱传镇, 等. 震群信息熵与地震预测. 地震学预报方法实用化攻关研究报告. 1988.
- 2 冯德益, 等. 模糊数学方法在地震综合预报中的应用. 地震学报, 1984, 6 (2).
- 3 国家地震局. 一九七六年唐山地震. 北京: 地震出版社, 1982.

RESEARCHES ON SEISMICITY FUZZY ENTROPY ANOMALY CHARACTERISTICS BEFORE TANGSHAN EARTHQUAKE

Ma Shuqin Mu Guangxun Zhao Huijun
(Seismological Bureau of Tianjin, Tianjin, 300201)

Abstract

Seismicity fuzzy entropy H is defined in this paper. That seismicity fuzzy entropy values change with time, with space before Tangshan earthquake is computed in this paper. It is discovered that seismicity fuzzy entropy values fell down before Tangshan earthquake, and Tangshan earthquake occurred at the area of low seismicity fuzzy entropy value. This result fits well with the law that seismicity in earthquake source area changes from disorder to order before large earthquake. Seismicity fuzzy entropy unifies the fuzzy factor and the seismicity entropy as one, it can reflect seismicity anomaly better than seismicity entropy itself.

Subject words: Seismicity fuzzy entropy; earthquake source area; Tangshan earthquake