

东北地区中强震前的小震频度特征分析*

李永振

(辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 1970年以来东北地区共发生13次5.0级以上地震, 其中8次地震在时间和空间上相对独立。通过系统研究东北及其邻区这8次中强地震前的小震, 发现这些中强地震前存在比较明显的小震增强现象。结合东北地区小震活动的特点, 提出根据小震活动空间格局是否改变统计小震频度的方法, 并进行了初步的应用。结果表明: 利用新方法统计小震的频度更能突出中强地震前的小震频度异常, 能够有效的提取东北地区中强地震前的中短期异常指标。

关键词: 中强地震; 小震活动; 中短期异常; 东北地区

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0012-06

0 引言

一般来说, 中强以上地震的孕育、发生、发展是一个系统的科学问题, 伴随着一系列的地球物理、地震活动、前兆反映等变化, 在震前、震时、震后以不同的形式体现出来。中强震前后小震活动格局变化和小震活动增强现象, 可能蕴含着地震孕育阶段的重要信息, 具有深刻的物理内涵。国内外地震学者针对不同区域不同中强地震前的小震增强现象进行了大量的研究(刘蒲雄等, 1982, 1997; 杨立明, 车时, 2004; 马宏生等, 2002; 宋治平等, 1999; 刁守中等, 2002; 黄圣睦, 董瑞英, 2005; 任雪梅等, 2002; 程建武等, 2002; 兰从欣等, 2003; 易桂喜, 韩渭宾, 2004; 李献智, 侯建盛, 2000)。曹凤娟和徐心同(2010)发现辽宁及邻区中强震前地震活动增强现象, 梅世蓉等(1993)认为中强震前小震活动增强现象是普遍存在的, 谢智等(2001)论证了河南及邻区5级以上地震存在中等地震活动增强, 茂木清夫(1994)也指出:“巨大地震发生前, 广大范围内的应力场要发生长期的变化, 与此同时还会有地震活动的变化”。

虽然在多数中强地震前普遍存在小震增强现象, 但是利用小震增强现象对未来中强地震进行预测的可行性不强。首先是空间窗的选择对结果的影响很大, 在震例总结中是以中强地震的震中

为中心进行研究的, 在对未来中强地震进行预测研究时, 中心点未知是预测研究中的主要问题, 有时候选择空间范围的大小不同, 可能会得出相反的结论; 其次在没有中强地震发生的时期, 小震活动也有增强—减弱—增强的起伏过程, 也就是说, 在一定的区域范围内小震有其自身的活动规律, 中强地震前的小震频度曲线是小震正常活动背景和中强地震前小震活动增强的叠加结果, 在研究一定范围内的小震活动增强时很难去除小震正常活动背景值。由于上述两方面的原因, 利用小震活动增强对未来中强地震的预测较难。

冯建刚等(2009)提出小震频度异常新方法, 在青藏块体东北缘中强震预测中取得较好的效果, 并认为这种方法具有普遍性。本文尝试根据小震频度异常新方法, 结合东北地区地震活动特点, 并对此方法进行必要的调整, 来研究东北地区中强地震前小震活动特征。

1 东北地区中强地震前小震活动增强

笔者首先利用主震震级法, 对1970年1月至2006年12月东北地区 $M_L \geq 2.0$ 的小震目录中的余震进行删除, 然后以 $M_S \geq 5.0$ 的中强地震震中为中心, 以1年为窗长、1个月为步长分别做出每次中强地震前不同空间范围的小震频度曲线, 只要4个不同扫描半径中有一个的小震频度曲线高于年频次均值线, 就定义该次中强地震前有小震增强

现象。

1970 年以来在东北地区共发生 13 次 $M_s \geq 5.0$ 地震，其中 8 次地震在时间和空间上相对独立，且发现这些中强地震前均有不同程度的小震增强现象。图 1 为 2005 年林甸 5.1 级地震前，半径分别为 80、120、160 和 200 km 的小震频度曲线。林甸 $M_{5.1}$ 地震是震前出现小震增强现象较理想的一次，4 个不同扫描半径内地震活动均出现了同步的增强现象，多数情况下只有一个或者两个扫描半径内会出现小震增强现象，因此必须寻找一种可靠的方法来突出小震增强现象。本文采用统计过去一定时间内不活动、现在开始活动的小震频度的方法，突出中强地震前小震活动的增强异常。

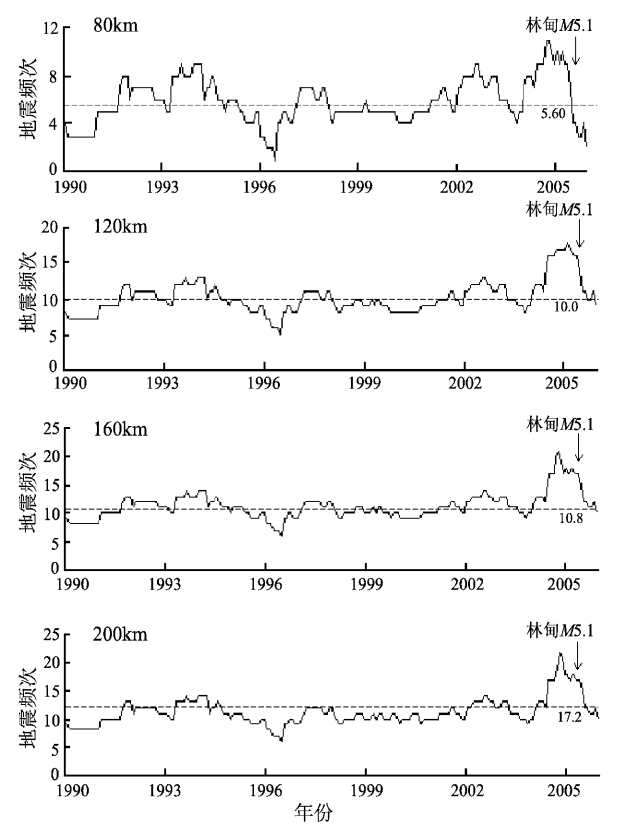


图 1 林甸地震前不同扫描半径的小震 ($M_L \geq 2.0$) 频度曲线

Fig. 1 Frequency curves of small earthquakes ($M_L \geq 2.0$) in different scanning radius before Lindian earthquake

1.1 研究方法

本文采用东北地区 $M_L \geq 2.0$ 的小震目录，首先根据中强地震确定一定的研究区域，统计过去一定时间内不活动、现在开始活动的小震频度，小震频度异常新方法主要反映的是小震在空间格

局上的变化。利用该方法进行小震频度扫描时，引入主要的 7 个参数，分别为空间范围： $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ；震级下限：2.0 级；窗长：1 年；步长：1 个月；对比时间：2 年；平静半径：20 km；允许地震次数：0 次。根据不同地区小震的活动特点，改变这 7 个参数的值来扫描小震的异常频度。

图 2 为以 2003 年 8 月 16 日巴林左旗 $M_s 5.9$ 地震为例，做出小震频度异常新方法说明示意图。图中研究区域为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的矩形区域，震级下限选 $M_L 2.0$ ，实心小圆为 2001 年 1 月 1 日至 2002 年 12 月 31 日（窗长：1 年）在该区域发生的 $M_L \geq 2.0$ 地震；空心小圆为 1999 年 1 月 1 日至 2000 年 12 月 31 日（对比时间：2 年），在该区域发生的 $M > 2.0$ 地震；大实线圆是以实心小圆为圆心、半径为 20 km（平静半径）的圆，假如允许地震次数为 0，小实心圆周围 20 km 范围内没有小空心圆的只有 4 个大实心圆，那么这 4 次小震异常频度值就作为 2002 年 12 月 31 日这一时间点的小震异常频度值。假如允许地震次数为 1，也就是说，在实线大圆内最多允许有一个空心小圆，满足条件的地震次数为 6 次，6 就作为 2002 年 12 月 31 日这一时间点的小震异常频度值。按照同样方法，以 1 个月为步长滑动，最后做出小震异常频度曲线。小震异常频度曲线的起伏，意味着该区域小震空间格局随时间的变化。

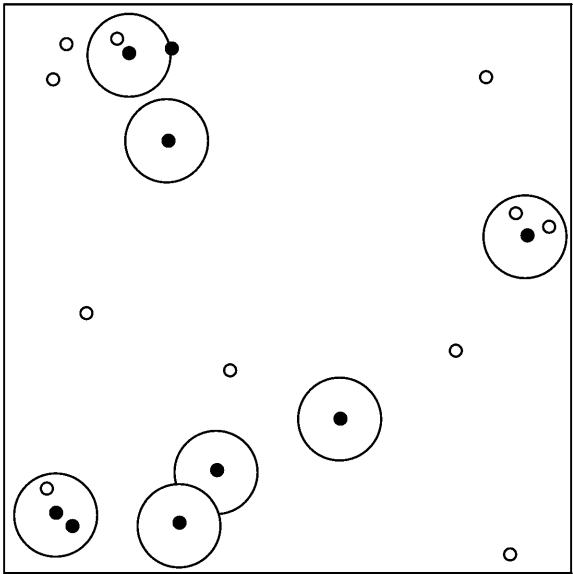


图 2 小震频度异常统计方法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of statistical method of small earthquakes frequency anomaly

1.2 东北中强震小震频度异常分析

利用小震频度异常新方法对 1970 年以来东北地区 $M_s \geq 5.0$ 地震进行了初步的应用研究。1970 年以来,东北地区共发生 13 次 $M_s \geq 5.0$ 地震,其中在时间和空间上相对独立的为 8 次,这 8 次地震前均有较明显的小震频度异常。图 3、图 4 给出了其中 2 次地震的研究结果。图 3a、图 4a 为所有小震的原始频度曲线,图 3b、图 4b 是利用新方法做出的小震异常频度曲线。图 3 为 2003 年 8 月 16 日巴林左旗 5.9 级地震前的小震频度曲线,研究范围是以巴林左旗地震震中为中心,研究区域为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的矩形区域,震级下限为 $M_L 2.0$ 。从图 3a 的小震原始频度曲线上可以看出,自 1990 年以来,该区域小震活动在衰减过程中有起伏变化,自 2002 年 8 月邻区小震活动频次开始转折增强,直至巴林左旗地震发生,历时 12 个月,从原始频度曲线上则很难判定中强地震的中短期异常。图 3b 是利用新方法做出的小震频度曲线和 1 倍方差线,小震活动出现大幅度异常的时间为 2002 年 8 月,在高值持续 10 个月下降,恢复过程中发震,很容易根据 1 倍方差线判定异常。

图 4 为 1999 年 11 月 29 日岫岩 5.4 级地震前的小震频度曲线,从图 4a 原始频度曲线上可以看出,自 1990 年以来研究区域内小震活动出现了两次增强,1999 年岫岩地震前小震增强幅度明显比 1990 年低,容易误认为这种现象是小震活动正常

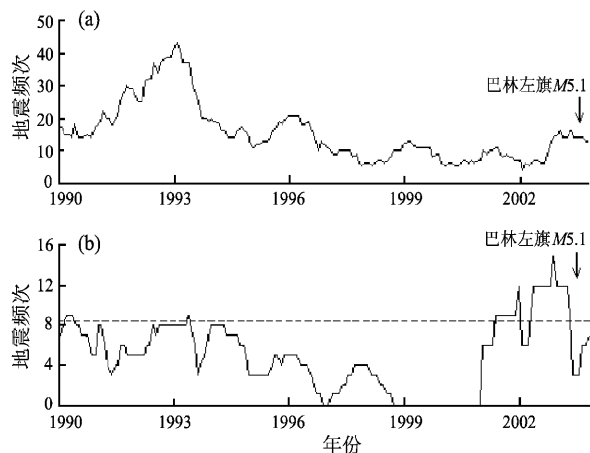


图 3 2003 年巴林左旗 5.9 级地震前小震频度异常曲线
(a) 原始频度曲线; (b) 新方法频度曲线

Fig. 3 Frequency anomaly curve of small earthquakes before Balinzuoqi $M5.9$ earthquake in 2003

(a) Original frequency curve; (b) Frequency curve by new method

的强弱交替。这种以几年为周期的小震活动强弱交替轮回过程,是普遍存在的,给单独利用小震频度预测未来中强地震带来困难。由图 4b 改变小震活动空间格局统计小震频度的新方法绘制的小震频度曲线中可以看出,相对图 4a,图 4b 中 1990 年的小震增强被压制了,这说明了这两次小震增强活动在空间格局上有很大的变化。也可以说,1999 年岫岩地震前在一些小区域内 (20 km 为半径的圆内) 前 2 年处于平静状态,在中强地震前突然出现小震的活动增强,小震活动从平静—增强的变化有可能成为中强地震的前兆信息。图 4a 与图 4b 对比可知:由图 4a 中的原始小震频度曲线是在 1997 年 2 月幅度达到极大值后回落,图 4b 中新方法小震频度曲线是在 1998 年 6 月达最大值,后者较前者滞后 16 个月。这说明了由于中强地震造成的小震增强是叠加在小震正常活动背景之上的,新方法统计的小震频度很好地去除了小震正常活动背景,突出了中强地震前的小震异常幅度。

采用与巴林左旗地震、岫岩地震震例相同的分析方法,引入主要的 7 个参数,分别是空间范围: $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 震级下限: 2.0; 窗长: 1 年; 步长: 1 个月; 对比时间: 2 年; 平静半径: 20 km; 允许地震次数: 0 次,绘制了其余 6 次地震 (1975 年海城 7.3 级地震、1980 年博克图 5.3 级地震、1986 年德都 5.0 级地震、2004 年东乌珠

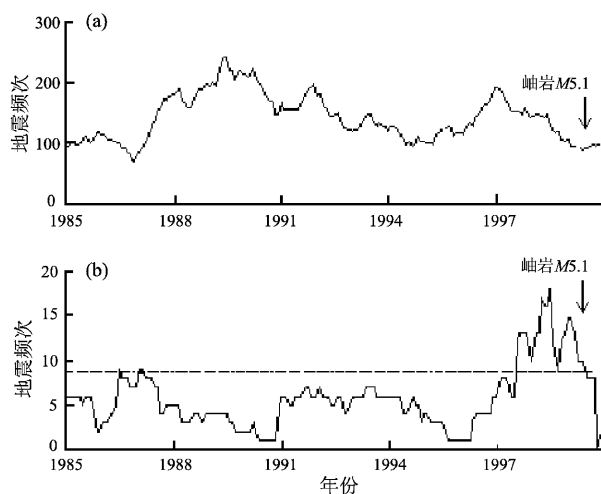


图 4 1999 年岫岩 5.4 级地震前小震频度异常
(a) 原始频度曲线; (b) 新方法频度曲线

Fig. 4 Frequency anomaly curve of small earthquakes before Xiuyan $M5.4$ earthquake

(a) Original frequency curve; (b) Frequency curve by new method

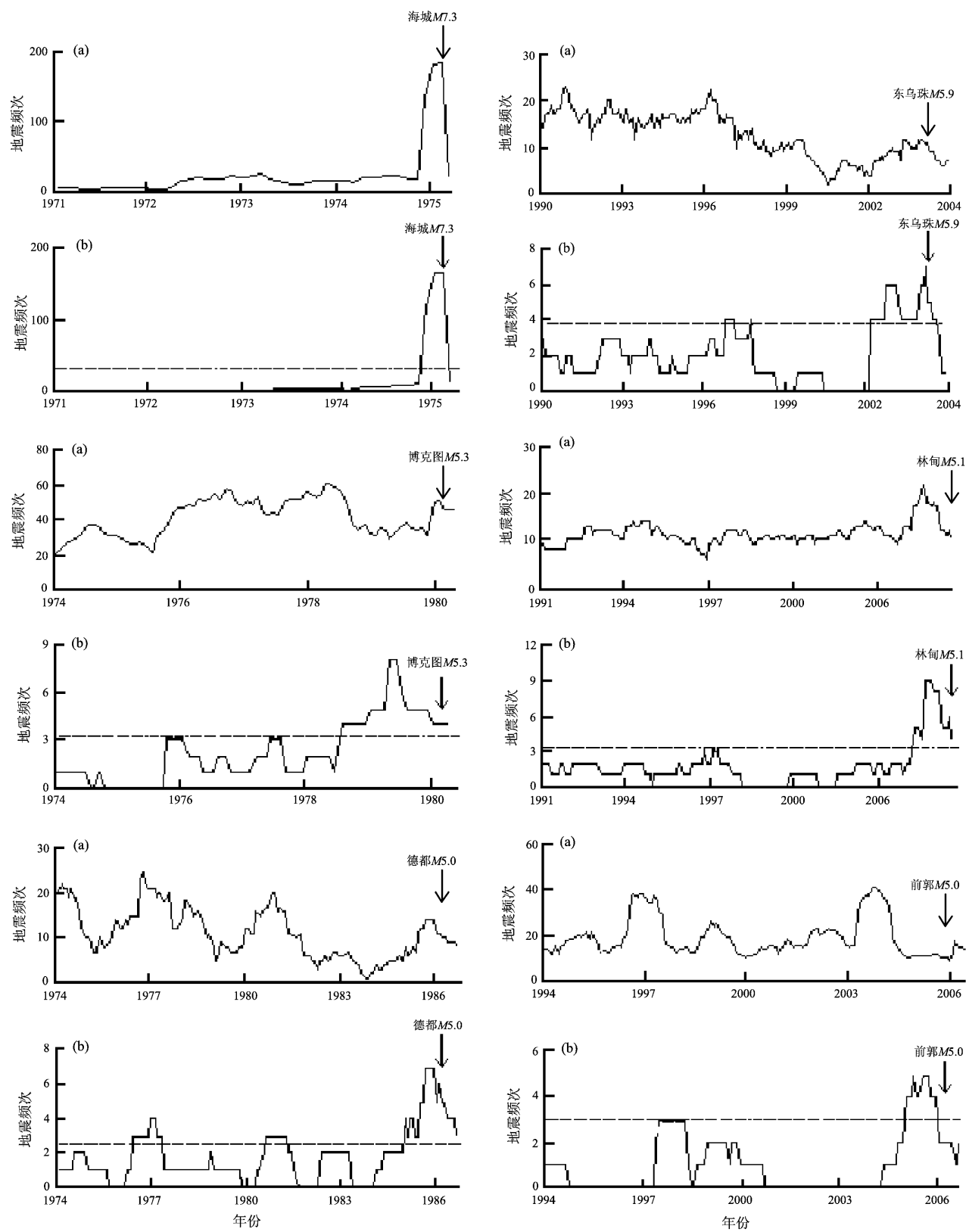


图 5 东北地区中强震前小震频度异常曲线

(a) 原始频度曲线; (b) 新方法频度曲线

Fig. 5 Frequency anomaly curve of small earthquakes before medium-strong earthquakes in Northeast China

(a) Original frequency curve; (b) Frequency curve by new method

5.9 级地震、2005 年林甸 5.1 级地震、2006 年前郭 5.0 级地震) 的小震频度异常曲线 (图 5)。由图 5 可知, 小震频度均表现为增高异常, 在中强地震发生前 0.5 ~ 3 a 的中期阶段, 小震频度都出现明显的增高, 异常幅值超过一倍方差。有的震例是在小震频度出现高值发震, 如海城、东乌珠地震; 有的震例是在小震频度出现高值恢复后发震, 如博克图、林甸、德都、前郭地震。这表明使用新方法统计的小震频度异常, 能够去除在空间格局上变化不大的正常小震活动背景, 从而突出中强地震前的小震增强。

2 讨论

中强地震前邻区小震频度曲线的起伏过程随空间范围的变化而变化, 因时空范围不同会导致相反的结论。为了检验新方法对空间范围大小的敏感程度, 在扫描小震频度时只改变空间范围大小, 观察中强地震前小震异常幅度是否还依然突出。图 6a、b 分别给出了巴林左旗地震前 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 和 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 的频度扫描结果, 除了空间范围改变以外, 其他参数保持与图 3b 中的扫描参数一致, 从图 6a、b 与图 3b 中可以看出, 小震频度异常空间范围大小改变时, 震前异常幅度依然很突出, 即小震频度曲线受空间范围影响不大。

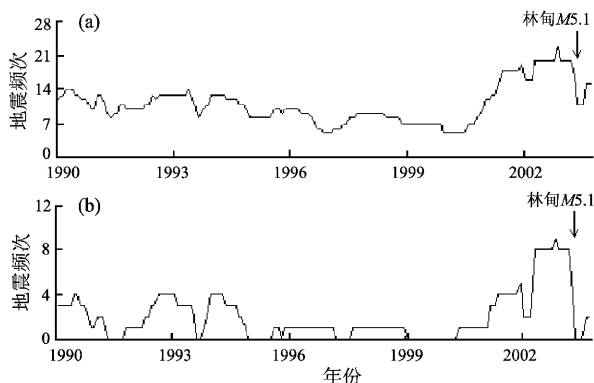


图 6 巴林左旗地震前不同空间范围的小震频度异常曲线

(a) $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 频度曲线; (b) $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 频度曲线

Fig. 6 Frequency anomaly curve of small earthquakes in different space range before Balinzuqi earthquake

(a) Frequency curve of $3^{\circ} \times 3^{\circ}$; (b) Frequency curve of $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$

3 结论

在某些中强地震前, 有些小区域过去几年小震活动很弱, 而在中强地震前出现增强, 这些小震增强的区域极有可能就是孕育中强地震过程中的应力集中区, 这种类型的小震频度增强有可能成为中强地震的可靠前兆信息。小震活动在没有中强地震发生的时期, 小震活动也有增强—平静—增强的轮回过程, 并且在轮回过程中小震的空间分布格局不会有太大的变化, 但是由于中强地震引起的小震增强在空间格局上会有较大的变化。在一定空间范围内, 所有的小震活动是小震正常活动背景和中强地震造成的小震增强相互叠加的结果, 新方法能够去除这种在空间格局上没有任何变化的正常小震活动背景, 从而突出中强地震前的小震增强。

利用新方法统计中强地震前小震活动频度具有以下优势: (1) 中强地震前小震频度异常幅度更加突出, 能够有效压制小震正常的强弱交替幅度; (2) 小震频度异常的时间缩短, 有利于提取中强地震的中短期异常指标; (3) 小震的异常幅度受空间范围的影响不大, 增强了对未来中强地震预测的可行性; (4) 新方法得到的小震频度曲线能够直观反映出一定区域内小震活动空间格局的变化情况。

参考文献:

- 曹凤娟, 徐心同. 2010. 辽宁地区 $M \geq 5.0$ 地震前 4 级地震集中活动的震兆研究[J]. 防灾减灾学报, 26(3): 18–24.
- 程建武, 杨立明, 王振亚. 2002. 祁连山地震带地震活动性增强现象研究[J]. 西北地震学报, 24(4): 330–334.
- 刁守中, 刘西林, 华爱军. 2002. 苍山 5.2 级地震异常群体时空演化特征[J]. 东北地震研究, 18(2): 1–9.
- 冯建刚, 周龙泉, 杨立明, 等. 2009. 青藏块体东北缘中强地震前小震频度异常研究[J]. 地震, 29(3): 19–26.
- 黄圣睦, 董瑞英. 2005. 地震活动图像特征与强震危险区经验性预测依据的初步研究[J]. 四川地震, (4): 12–20.
- 兰从欣, 朱红彬, 郭心. 2003. 首都圈地区中等地震前小震活动异常特征分析[J]. 华北地震科学, 21(1): 11–14.
- 李献智, 侯建盛. 2000. 20 世纪中国大陆 6 级以上地震活动图像及其意义[J]. 地震研究, 23(3): 263–268.
- 刘蒲雄, 陈兆恩, 高伟, 等. 1997. 大震前地震活动图像演变及中期向短期过渡的地震活动性标志[J]. 地震, 17(2): 113–125.
- 刘蒲雄. 1982. 强震前地震活动增强特征[J]. 地震, 2(2): 5–7.
- 马宏生, 刘杰, 张国民, 等. 2002. 用应变积累释放模型研究中国大陆

- 地块分区地震活动[J]. 地震学报, 24(6): 569–578.
- 茂木清夫. 1994. 地震前兆现象产生的机制[J]. 世界地震译丛, (4): 11–16.
- 梅世蓉, 冯德益, 张国民, 等. 1993. 中国地震预报概论[M]. 北京: 地震出版社.
- 任雪梅, 马禾青, 赵知军, 等. 2002. 宁夏及邻区5级以上地震前中等地震活动增强特征研究[J]. 西北地震学报, 24(3): 267–272.
- 宋治平, 梅世蓉, 尹祥础. 1999. 强大地震前地震活动增强区及其力学研究[J]. 地震学报, 21(3): 271–277.
- 谢智, 刘尧兴, 谢健健, 等. 2001. 河南及邻区5级以上地震前中等地震活动增强特征[J]. 地震, 21(2): 70–74.
- 杨立明, 车时. 2004. 大震前后中强地震活动格局变化及其预测意义初步研究[J]. 西北地震学报, 26(3): 212–217.
- 易桂喜, 韩渭宾. 2004. 四川及邻区强震前地震活动频度的变化特征[J]. 地震研究, 27(1): 8–13.

Analyse of Small Earthquakes Frequency Characteristic before Medium-strong Earthquakes in the Northeast China

LI Yong-zhen

(Earthquake Administration of Liaoning Province, Shenyang 110034, Liaoning, China)

Abstract

Since 1970, 13 earthquakes of $M \geq 5.0$ occurred in the Northeast China, of which 8 medium-strong earthquakes are independent in space and time. Having studied small earthquakes before the 8 medium-strong earthquakes systemically, we found that these small earthquakes activities increased. Combining with characteristics of the small earthquake activities in the Northeast China, we proposed and applied the new method whether the spatial changing pattern of small earthquake activities change the small earthquake frequency. The result showed that the small earthquake frequency calculated by using new method could pick up anomaly frequency of small earthquakes before medium-strong earthquake. We could get medium-short-term abnormal indexes effectively before the medium-strong earthquakes in Northeast China.

Key words: medium-strong earthquakes; small earthquake activity; medium-short-term anomaly; Northeast China