

朱亮, 缪鹏. 基于应变能分析南北地震带中段地震活动对华东地区的影响[J]. 华南地震, 2017, 37(2): 53-57. [ZHU Liang, MIAO Peng. Analysis of the Influence of Seismic Activity in the Middle Part of the North-South Seismic Belt on Eastern China Based on Strain Energy[J]. South China Journal of Seismology, 2017, 37(2): 53-57.]

## 基于应变能分析南北地震带中段地震活动 对华东地区的影响

朱亮<sup>1</sup>, 缪鹏<sup>2</sup>

(1. 淮南市地震局, 安徽 淮南 23200; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

**摘要:** 通过分析南北地震带中段和华东地区的地震应变能释放, 定量分析两者之间的相互影响, 为华东地区地震预报提供较为可信的预报参考。计算结果显示, 华东地区受南北地震带中段强震影响较大, 预报效能  $R=0.453$  (大于 97.5% 的置信度  $R_0$ ), 预报尺度在 1~3 年左右。

**关键词:** 南北地震带; 华东地区; 应变能; 预报效能计算; 动力学背景

中图分类号: P315.2 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2017) 02-0053-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.02.009

## Analysis of the Influence of Seismic Activity in the Middle Part of the North-South Seismic Belt on Eastern China Based on Strain Energy

ZHU Liang<sup>1</sup>, MIAO Peng<sup>2</sup>

(1. Huai Nan Seismological Station, Huainan 232001, China;

2. Anhui Earthquake Agency, Hefei, 230031, China)

**Abstract:** By analyzing the strain energy release of the middle part of north-south seismic belt and eastern China, the paper quantitatively analyzed the interaction between them, which can help provide reference to the earthquake prediction of eastern China. The results show that the middle part of north-south seismic belt has strong earthquake activity, which has great influence on eastern China, the prediction efficiency is greater than the confidence ( $R=0.453>R_0$ ), the forecast scale is about 1~3 years.

**Keywords:** North-South Seismic Belt; Eastern China; Strain value; Prediction efficiency; Dynamic background

收稿日期: 2015-10-12

作者简介: 朱亮(1985-), 男, 工程师, 主要从事地震监测预报研究。

E-mail: 358356894@qq.com.

## 0 引言

一定时间、空间范围内的地震活动的应变能释放为人们了解该时空域内地壳应力变化、研究构造活动特征以及进行地震危险性预测提供了重要信息,因此关于地震活动应变能释放特征的研究一直受到地震研究者的重视<sup>[1]</sup>。而且应变能与地震能量释放密切相关,较频度等参数更全面地反映地震孕育过程。

南北地震带可分为三段:北段叫贺兰山~六盘山地震带,大致界限是以秦岭构造系的北边界开始,向北至明山构造系的南边界,即北纬 33°~40°;南段叫安宁河-滇东地震带,以南岭构造系的北边界开始,向南至海南岛纬向构造系的北边界,即北纬 21°~27°;中段叫天水-成都-文县-川西北地震带,处于秦岭构造系和南岭构造系构之间,即北纬 27°~34°。

本文将南北地震带(1970年1月至2015年9月,  $>M_L 3.0$ )中段地震活动的应变能释放与华东地区(1970年1月至2015年9月,  $>M_L 2.0$ )地震应变能释放曲线分组对比,以1个月为步长、3个月为窗长,做  $\sqrt{E}-t$  曲线图,统计其规律性,对预报效能进行评估。

## 1 南北地震带和华东地区空间与地震选取

### 1.1 南北地震带中段与华东地区空间分布

南北地震带中段主要是龙门山断裂带,此处受到华南块体的四川盆地的阻挡,因此,青藏高原的推挤作用便通过扬子板块向东传递;华东块体的主压应力分布主要呈近东西或东北方向,也表明该地区的应力主要来自于扬子板块传递的青藏高原的推挤作用<sup>[2]</sup>。因此,南北地震带尤其是中南段的应变能释放,通过物质传递影响了华东地区应变能的释放。

华东地区(29~37°N, 113~124°E)位于中国大陆的东部,晚第三纪以来近东西向的挤压活动,是其主要的动力学背景。华东块体位于华南块体和华北块体的交接部位,西边主要受扬子地台的动力作用。

根据传统南北地震带的划分范围,考虑历史强震分布特点、强震条带分布,结合纬向构造系横穿南北地震带等,决定研究区域选择为:南北地震带中段主要包括四川西部和其邻近地区,(27~32°N, 98~104°E; 32~34°N, 98~105°E);华

东地区(29~37°N, 113~124°E)。

### 1.2 南北带中段与华东地区最小完整性震级 $M_{\min}$

完整可靠的地震目录是研究地震活动图象所必需的,客观地选取相应的最小完整性震级  $M_{\min}$ ,也是地震活动性研究的基本前提之一。本文以中国南北地震带和华东地区1970年以来的地震资料,用古登堡-里克特的震级-频度关系式:  $\lg N = a - bM$ ,采用最小二乘法,分别求出南北带中段和华东地区的最小完整性震级  $M_{\min}$ <sup>[3]</sup>。

在地震活动性研究中,  $M$  为震级,  $N$  为震级为  $M$  的地震发生的次数。用  $y$  代古登堡-里克特公式中的  $\lg N$ ,  $bx$  代  $-bM$ ,则震级-频度关系式可写为:

$$y = a + bx \quad (1)$$

设有  $n$  个可用的数据,则用最小二乘法可求得:

$$b = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right] / \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5)$$

用最小二乘法计算  $b$  值的标准差为:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (\lg N_i - \lg \bar{N}_i)^2} \quad (6)$$

根据选取研究空间内的地震目录(1970年1月至2015年9月)经过计算得到各个研究空间内地震最小完整性震级:南北地震带中段  $M_{\min}=1.6$ ;华东地区  $M_{\min}=1.9$ 。

为了方便计算各区段应变能,同时保证数据的真实性,我们将选取大于各区段  $M_{\min}$  的地震目录,因此南北地震带中段选择  $M \geq 3.0$  的地震,华东地区选择  $M \geq 2.0$  的地震。根据新的地震目录,我们绘制了2个空间的震中分布图(图1),图中大红色部分为华东地区震中分布,蓝色部分为南北带中段。

## 2 南北地震带中段与华东地区应变能对比分析

### 2.1 应变能原理与公式

利用 Gutenberg 和 Richter 的简化经验公式

(Gutenberg, Richter), 根据震级计算地震释放能量(能量单位: J)

$$\lg E = 4.8 + 1.5M_s \quad (7)$$

以此计算地震释放应变能(应变能单位:  $\sqrt{J}$ ):

$$\varepsilon = \sqrt{E} \quad (8)$$

计算时间为: 1970 年 01 月至 2015 年 09 月。计算起始震级为: 南北带中段  $M \geq 3.0$  的地震, 华东地区  $M \geq 2.0$  的地震。

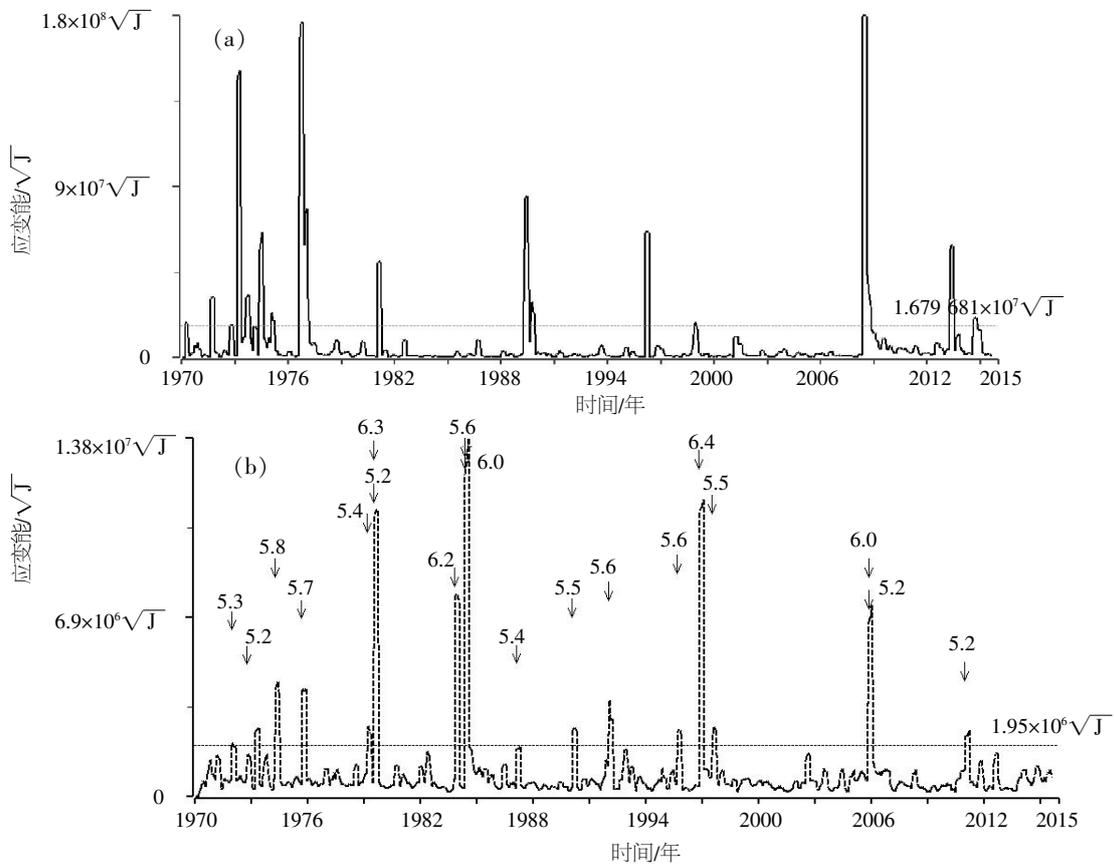
为了能与强震活动主体地区的比较, 既能够突出微动态时间范围内的强度释放应变能的规律, 同时滤掉过于细节的波动, 因此分别对每个研究空间, 以一年为窗长, 三个月为步长, 计算各区域的地震应变释放的滑动均值。

以时间为  $X$  轴, 应变能值为  $Y$  轴做出 2 个区域的  $\sqrt{E}-t$  图(见图 2)



图 1 南北地震带中段和华东地区震中分布图

Fig.1 The epicenter distribution in the middle part of north-south seismic belt and eastern China



(a: 南北地震带中段; b: 华东地区; 1970-01~2015-09)

图 2 应变能曲线

Fig.2 The curve of the strain energy release

图2中的南北地震带中段中强震都发生在大于  $1.679681 \times 10^7 \sqrt{J}$  的时段, 因此约定该区域的应变能阈值线值为:  $1.679681 \times 10^7 \sqrt{J}$ 。华东地区的应变能在高于  $1.95 \times 10^6 \sqrt{J}$  时, 一定会有  $M_L 5.2$  级以上地震发生, 所以华东地区阈值线定为:  $1.95 \times 10^6 \sqrt{J}$ 。

2.2 南北带中段与华东地区应变能分析

根据南北地震带中段应变能曲线图, 结合对

比华东地区应变能曲线图, 不难发现, 南北地震带中段的地震活动与华东地区地震活动的成组性对应较好。

把超出阈值的部分认定为异常时段, 以南北地震带中段异常出现为开始, 以对应的华东地区异常出现为结束 (图3中连线所对应)。从图3分析, 中段与华东地区地震活动相关性较好, 其应变能释放要比华东地区的大释放要早约 1~3 年。

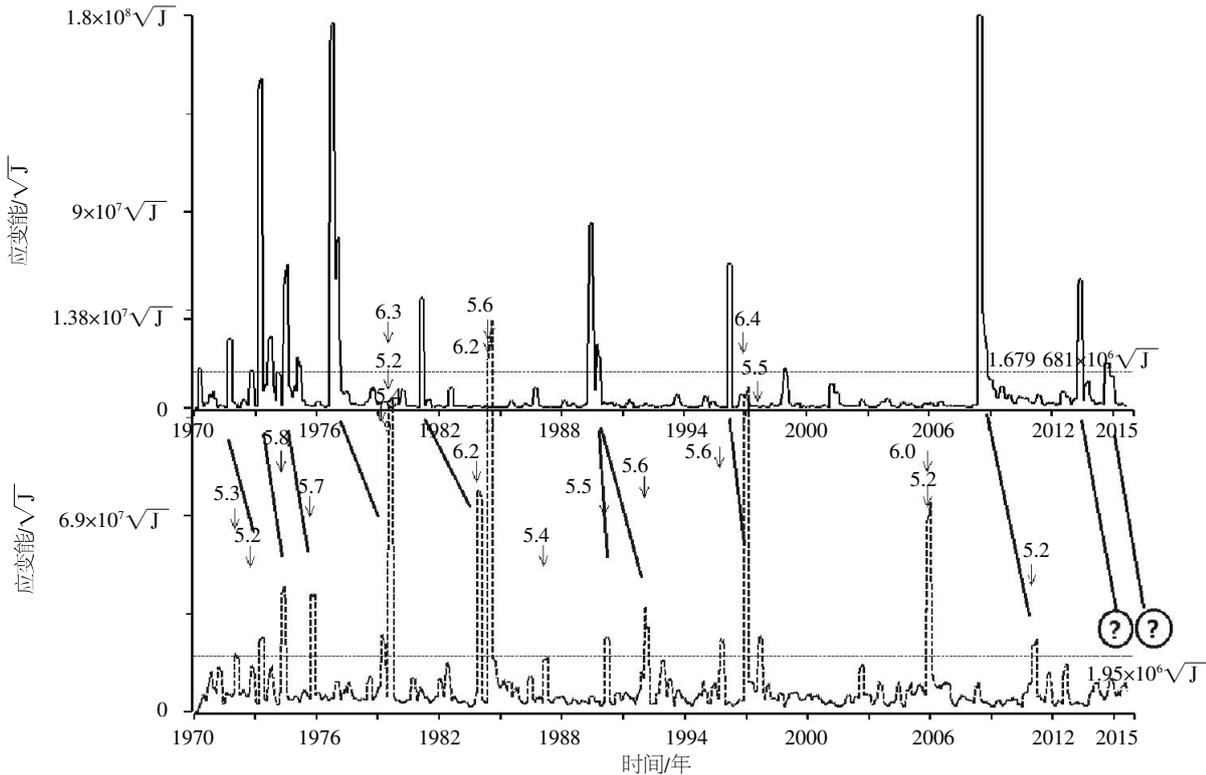


图3 南北地震带中段与华东地区应变能释放对比图

Fig.3 The comparison chart of strain energy in the middle part of north-south seismic belt and eastern China

表1 南北地震带 (中段) 与华东地区应变能关系统计表

Table 1 The Statistical table of strain energy in the middle part of north-south seismic belt and eastern China

预报 编号	预报起止时间/年-月		南北地震带(中段) 最高应变能值( $\sqrt{J}$ )	对应华东地区较大地震		时间 间隔/月	效能评估			
	开始	结束		发震时刻/ 年-月	震级		漏报	空报	有震报准	无震报准
1	1970-03	1971-12	$1.809\ 499 \times 10^7$	1971-12	5.3	22			1	
2	1971-08	1973-03	$3.174\ 969 \times 10^7$	1973-03	4.9	19			1	
3	1973-02	1974-04	$1.510\ 618 \times 10^8$	1974-04	5.8	14			1	
4	1974-05	1975-09	$6.617\ 539 \times 10^7$	1975-09	5.7	16			1	
5	1976-08	1979-07	$1.764\ 746 \times 10^8$	1979-07	6.3	35			1	
6	1981-01	1984-05	$5.044\ 542 \times 10^7$	1983-11	6.2	34			1	
				1984-05	6.2	40			1	
7	1989-04	1992-01	$8.499\ 529 \times 10^7$	1990-02	5.5	10			1	
				1992-01	5.6	28			1	
8				1995-09	5.6		1			

(转下表)

(接表 1)

预报 编号	预报起止时间/年-月		南北地震带(中段) 最高应变能值( $\sqrt{J}$ )	对应华东地区较大地震		时间 间隔/月	效能评估			
	开始	结束		发震时刻/ 年-月	震级		漏报	空报	有震报准	无震报准
9	1996-02	1997-07	6.594 283 $\times 10^7$	1996-11	6.4	9			1	
				1997-07	5.5	17			1	
10	1998-11		1.854 103 $\times 10^7$						1	
11				2005-11	6.0			1		
12	2008-05	2011-01	4.105 75 $\times 10^8$	2011-01	5.2	32			1	
13	2013-04	2013-06	5.888 $\times 10^7$							
14	2014-08	2014-10	2.091 474 $\times 10^7$	?	?					

### 2.3 预报的统计效能计算与可信度分析

从表 1~3 可知, 利用南北带中段地震预报华东地区地震的预报效能  $R > R_0$ , 因此该预报效能是可信的, 可以为华东地区中强震预报提供很好的参考价值, 更证明了南北带中段与华东地区在板块动力学上的相互作用关系。

板块动力学研究表明, 地壳上部作为弹性变形的脆性体, 在单独传力的情况下, 其最大作用距离约 200 km, 而与地幔塑性流动作用协同传力时可不受这一限制, 地幔的对流运动是缓慢的动力学过程, 强震活动的时空变化正是地幔运动在地表能量释放的时空演化过程<sup>[4]</sup>。南北地震带中段驱动力可借助岩石圈下层(含下地壳和岩石圈地幔)流动和曳

引上层的方式传递到华东地区, 即南北带中段的“力源”可通过应力传递对华东应力场产生触发作用, 进而影响后者的中强震孕育和发生。

表 2 利用南北地震带(中段)地震预报华东地区地震的情况统计

Table 2 The statistical table of earthquake prediction

预报情况		实际情况	
报有	报无	有震	无震
13	2	14	1

注: 日常预报中, 很少使用“无震预报”, 因此没有该数据的统计。

表 3 利用南北地震带(中段)地震预报华东地区地震的效能计算

Table 3 The efficiency of earthquake prediction

结果		数据统计				
漏报率 $a$	有震报准率 $c$	预报研究的总时间/月	预报占用时间/月	预报占时率 $b$	$R=c-b$	97.5%的置信 $R_0$
0.143	0.857	549	222	0.404	0.453	0.286

## 3 结语

(1) 华东地区地震活动情况受南北地震带中段强震影响较大, 预报效能  $R=0.453$  (大于 97.5%的置信度  $R_0$ ), 预报尺度在 1~3 年左右。

(2) 应变能与地震能量释放密切相关, 应变能作为阈值的物理意义明确, 较频度等参数可更全面地反映地震孕育过程, 而且容易辨识长期背景值, 也有利于提高震例统计的可靠性。

(3) 地震应变能释放揭示了不同区域间地震活动的相关性, 其结论与板块动力学相吻合, 因此可以利用南北地震带中段的地震活动情况, 为华东地区未来 1~3 年内中强震预报提供较为可信的参考。

### 参考文献:

[1] 陈时军, David Harte, 王丽凤, 等. 广义地震应变能释放的多重分形特征[J]. 地震学报, 2003, 25 (2): 182-190.

[2] 廖 鹏, 王行舟, 吴小平, 等. 汶川地震对华东地区中强震的影响分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31 (2): 6-11.

[3] 韩立波, 蒋长胜, 李艳娥, 等. 用于地震可预测性 CSEP 计划的南北地震带地区地震最小完整性震级  $M_c$  研究[J]. 地震, 2012, 32 (1): 17-27.

[4] 宋晓春, 姜 慧, 王立新, 等. 新丰江水库大坝强震动监测及其动力特性分析[J]. 华南地震, 2016, 36 (4): 34-41.