

东北地区 $M \geq 5.0$ 地震前中等地震集中活动的震兆研究^①

曹凤娟, 焦明若, 王亮, 王岩, 李彤霞

(辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 定义了描述东北地区中等地震活动增强的3个参量 E 、 T 和 R , 并对东北地区11次 $M \geq 5.0$ 地震进行了统计分析。结果显示, 东北地区地震活动具有明显的区域性特点: 辽宁地区和嫩江断裂以西地区 $M \geq 5.0$ 地震前均存在4级地震集中活动的现象, 且预期的5级以上地震大部分发生在最近1次4级地震后的半年内; 嫩江断裂以东地区5级地震前没有中等地震集中活动的特征。ETR方法在中等地震活跃后判定未来5级地震的震中时具有一定的指示意义。

关键词: 东北地区; 震兆; 嫩江断裂; 中等地震; 集中活动

中图分类号: P315.53

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)02-0385-09

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0385

Research on the Precursor of Moderate Earthquakes before $M \geq 5.0$ Seismic in the Northeast Region

CAO Feng-juan, JIAO Ming-ruo, WANG Liang, WANG Yan, LI Tong-xia

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

Abstract: In this paper, three parameters (E , T , and R) were used as tools to describe the activities of moderate earthquakes defined by statistical analysis of 11 earthquakes ($M \geq 5.0$) in the northeast region of China. The results showed that seismic activity in this area had obvious regional characteristics such that intense seismic activity of $M_L \geq 4.0$ earthquakes was observed prior to all $M \geq 5.0$ earthquakes in Liaoning and to the west of the Nenjiang fracture. The final moderate earthquakes prior to the $M \geq 5.0$ earthquakes generally occurred within six months. The interval average was three months; the shortest period was 0.7 month in Liaoning Province. In addition, the interval ranged from two to nine months with a four-month average west of the Nenjiang fracture. However, intensive moderate earthquake activity was not observed prior to $M \geq 5.0$ earthquakes east of the fracture. The probability of the expected $M \geq 5.0$ earthquake occurring in the area of Yingkou—Haicheng—Xiuyan was more than 75%, which was accompanied by enhanced moderate earthquake intensity. If a foreshock sequence existed, its epicenter was located in the scope of 22 km near the larger earthquake. Essentially, the epicenter of $M \geq 5.0$ earthquake occurring to the west of the Nenjiang fracture was located in the vicinity of the initial or latest moderate earthquake area, at a distance of 11~67 km. Therefore, the ETR method has some significance in determining the epicenter of next $M \geq 5.0$ earthquake after the occurrence of moderate seismic activity.

Key words: The northeast region of China; Precursor; Nenjiang fracture; Moderate earthquake; Activity of concentration

^① 收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 辽宁省地震局重点实验室项目(LZD1102)

作者简介: 曹凤娟(1970—), 女(汉族), 辽宁新民人, 高级工程师, 主要从事地震学分析与研究。E-mail: cao99@sina.com

0 引言

地震活动增强是大震前普遍存在的现象。在多数强震发生前数年区域地震活动会出现非随机性的增强^[1]。地震活动增强是短期阶段较为普遍的一种地震前兆,对区域地震短期预报具有实用价值^[2-4]。马殿军^[5]在川滇地区强震前中等地震活动异常图像研究中发现,主震前 2~4 年震中附近 200~300 km 范围内中等地震活动的频度和强度较正常活动背景明显增强;焦远碧^[6]对 1990—1996 年发生在我国大陆及边境地区 24 次 6 级上地震的分析研究也表明,80% 的强震前在震源区及附近有中等地震活动增强的过程;1996 年包头西 6.4 级地震前,在临河盆地出现了显著的中等地震活动增强和丛集异常,而且中等地震活动在时间上也表现出了集中的特征^[7];杨立明^[8]等在对甘东南甘青川交界地区中强地震前中等地震活动共性特征研究中发现 $M \geq 5.0$ 地震前一般存在中等地震持续活跃现象,活跃单元的空间尺度一般不超过 4 平方度,未来主震发生在活跃地区的边缘与活动构造的交汇部位或空段;刘小凤^[9]对甘东南地区 5~6 级地震时间判定指标的研究中也发现,该区 1970 年以来 8 次 5 级以上地震前,7 次震前 1~3 年出现明显的中等地震丛集活动。研究表明,中等地震活动增强是强震前区域应力场加强的一种表现形式。中等地震的次数越多,震级越大,持续时间越长,活动范围越大,则未来主震的震级也越大。郁曙君^[10]对大华北地区的研究结果显示,中等地震的活动规律可作为 $M_L \geq 5.0$ 地震的震兆,中等地震集中持续活动的地区是未来 $M_L \geq 5.0$ 地震发生的可能地点。由此定义了标志中等地震活动规模的三个参量(能量 E 、持续时间 T 和活动范围 R),并通过回归分析建立了它们与主震震级的定量关系。任雪梅^[11]在对宁夏及邻区 $M_L \geq 5.0$ 以上地震前中等地震活动增强特征研究中发现大多 5 级地震前存在中等地震活动增强特征,中等地震活动增强的 ETR 方法可以作为宁夏及邻区 5 级以上地震的中期预测方法。笔者等借助上述对中等地震活动增强的定义,对辽宁地区 5 级地震前中等地震活动特征进行了系统研究,也发现 $M_L \geq 5.0$ 地震前震中附近 200~300 km 范围内存在中等地震集中活动的现象,且未来主震位置往往靠近参加增强活动的最初或最后一次中等地震,主震的震级也可通过 E 、 T 和 R 的回归拟合来大概估计。

2008 年 11 月海城 4.8 级震群后,东北地区 4

级地震持续活跃,2009—2010 年共发生 $M_L \geq 4.0$ 地震 19 次,远远大于 1990 年以来年均 5~6 次的水平。2011 年东北地区 4 级地震略低于正常的背景水平(全年共发生 3 次),但 2012 年前 4 个月东北地区就陆续发生 4 次 $M_L \geq 4.0$ 地震(2 月 2 日辽宁盖州 $M_L 4.8$ 和 $M_L 4.3$ 、4 月 4 日辽阳灯塔 $M_L 4.1$ 以及 4 月 18 日内蒙牙克石 $M_L 4.4$ 地震)。因此希望借助上述的研究思路,详细分析东北地区中强震前中等地震的活动特征,以便为震情跟踪和趋势判定工作提供参考。

1 研究分区与资料

1970 年以来东北地区($117^\circ \sim 135^\circ \text{E}$, $38^\circ \sim 54^\circ \text{N}$, 不包括唐山地区)共发生 $M \geq 5.0$ 地震(不包括余震,下同)11 次,见表 1。按构造和活动断裂(邓启东等)划分,空间分布主要集中在三个地区,即赤峰—开原断裂以南地区(辽宁地区)、嫩江断裂以西地区和嫩江断裂以东地区。辽宁地区(I 区)位于中朝准地台,主要断裂为一系列发育在辽东隆起内部及边缘的 NE—NNE 向断裂,如金州断裂、鸭绿江断裂。NW 向断裂主要有海城河隐伏断裂(海城 7.3 级地震的发震构造)。1970 年以来发生 4 次 $M \geq 5.0$ 地震:即 1975 年海城 7.3 级、1978 年营口 5.9 级、1980 年朝鲜天摩山 5.7 级和 1999 年岫岩 5.4 级地震。嫩江断裂以西地区(II 区)大部分位于内蒙—大兴安岭褶皱系和吉黑褶皱系,该区除了 NE 向嫩江断裂外,大部分断裂为近 EW 向,如赤峰—开原断裂、西拉木伦断裂和海拉尔断裂,此外北部有 NW 向的阿伦河和雅鲁河断裂。1970 年以来发生 4 次 $M \geq 5.0$ 地震:即 1980 年 2 月 10 日博克图 5.3 级、2003 年巴林左 5.9 级、2004 年东乌珠 5.9 级和 2008 年阿荣旗北 5.2 级地震。嫩江断裂以东地区(III 区)的 3 次地震(1986 年德都 5.0 级、2005 年林甸 5.1 级和 2006 年前郭 5.0 级)均位于松辽盆地内部及边缘,断裂以 NW 向为主,如第二松花江断裂、富裕—明水断裂和勃利—北安断裂(图 1)。

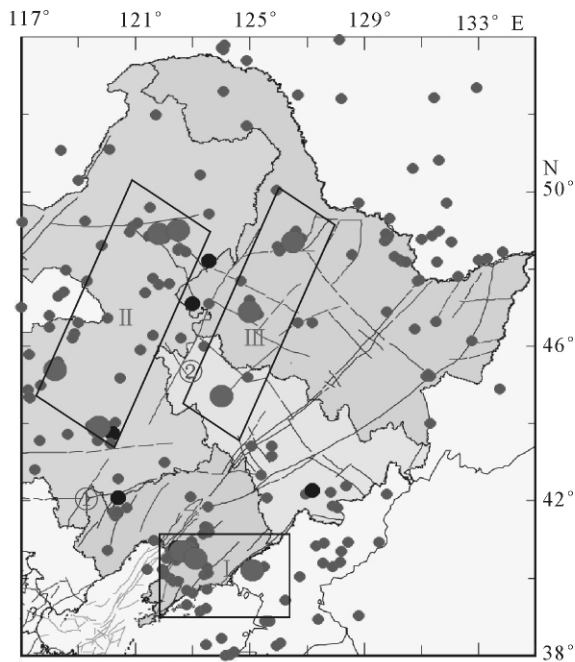
为了便于定量研究东北地区 $M \geq 5.0$ 地震前中等地震增强活动,在此结合东北地震活动特点和国内其他学者^[10-14]的研究结果,基于中短期预测的考虑,特定义表 1 中 $M \geq 5.0$ 地震前 1 天~2 年,距离 5 级地震震中约 200~300 km 范围内,发生中等地震($M_L 4.0 \sim 5.2$)的次数大于等于 4 次,可认为中等地震活动增强。由于各区地震活动特征的差别,研究时中等地震起算震级和中等地震次数可适当调

整,如 I 区若有地震序列出现,则中等地震次数大于等于 5 时才看做增强。III 区地震多以孤立型为主,中等地震次数和起算震级可分别定为 3 次和 $M_L 3.5$,详细情况见表 2。

表 1 1970 年以来东北地区 $M \geq 5.0$ 地震

Table 1 Earthquakes with $M_S \geq 5.0$ in northeast China since 1970

序号	时间	纬度/°	经度/°	震级/ M	地点
1	1975-02-04	40.7	122.8	7.3	辽宁海城
2	1978-05-18	40.7	122.6	5.9	辽宁营口
3	1980-01-08	40.2	125.1	5.7	朝鲜天摩山
4	1980-02-10	48.9	121.8	5.3	内蒙博克图
5	1986-02-09	48.7	126.5	5.0	黑龙江德都
6	1999-11-29	40.5	123.1	5.4	辽宁岫岩
7	2003-08-16	43.9	119.7	5.9	内蒙巴林左
8	2004-03-24	45.4	118.2	5.9	内蒙东乌珠
9	2005-07-25	46.9	125.0	5.1	黑龙江林甸
10	2006-03-31	44.7	124.0	5.0	吉林前郭
11	2008-06-10	49.0	122.5	5.2	内蒙阿荣旗北



I 为辽宁地区;II 为嫩江断裂以西地区;III 为嫩江断裂以东地区
①赤峰—开原断裂;②嫩江断裂 ● $M_L 4.0 \sim 5.2$ 地震 ● $M \geq 5.0$ 地震

图 1 研究分区及区域构造与地震分布
Fig.1 Study area division, distribution of regional tectonics and earthquakes.

2 研究方法

据参考文献[10-14],定义描述中等地震集中活动的定量指标如下:总能量 E 为 2 年内所有集中活动的中等地震能量总和,以 10^{12} J 为单位;持续时间 T 为集中活动期间的首尾 2 次中等地震的时间间隔(即最后一次 4 级地震的发震时间减去第一次 4 级

地震的发震时间),以月为单位;折合半径 $R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$,

其中 S 为所有集中活动的中等地震在空间上所围的凸多边形面积; R 单位为 km,如果中等地震集中活动时伴有震群,则 R 取值下线为 50~60 km。

根据上述对中等地震集中活动参量的定义,分区计算了东北地区 11 次 $M \geq 5.0$ 地震前的 E 、 T 和 R ,见表 3。

3 结果分析

(1)最大震级预测

根据表 3 的统计结果,最小二乘拟合得到辽宁地区 4 级地震集中增强后未来最大震级的估计公式为

$$M = 4.5 + 0.042T + 0.551E - 0.004R \quad (1)$$

若增强地震中 $M_L \geq 5.0$ 地震个数多于一个,则未来震级 M 相应增加 1~1.5 级。

同理,嫩江断裂以西地区未来最大震级参考公式为

$$M = 4.2 + 0.036T + 1.541E - 0.004R \quad (2)$$

嫩江断裂以东地区 5 级地震前基本上没有中等地震增强活动的现象(表 3),因此无法通过 ETR 来估计,但 1970 年以来该区最大震级多为 M_5 左右。

(2)震中位置预测

与表 2 中相应的辽宁地区 $M \geq 5.0$ 地震前中等地震集中活动图像如图 2。由图 2 可见,辽宁地区中等地震集中增强后,未来 $M \geq 5.0$ 地震均发生在 $N41^\circ$ 以南地区,其中发生在营—海—岫地区的概率约为 75%。同时也可以发现,除 1980 年朝鲜天摩山 5.7 级地震外, $M \geq 5.0$ 地震均发生在最近一次 4 级地震的集中活动区附近,若有 4 级地震序列,则未来震中位于序列中几次较大地震周围 22 km 范围内(表 4)。

与表 2 中相应的嫩江断裂以西地区 $M \geq 5.0$ 地震前中等地震集中活动图像如图 3。可见,该区中等地震增强后,未来 $M \geq 5.0$ 地震震中均靠近增强活动时段内最初或最近一次中等地震,除 2003 年巴林左 5.9 级地震外,黑吉蒙交界地区的 2 次地震(1980 年博克图 5.3 和 2008 年阿荣旗北 5.2)与震前各次中等增强地震的距离大都在 100 km 范围内,与最近一次中等地震的距离约 11~67 km(表 4),这可在判定未来 $M \geq 5.0$ 地震的发震地点时作为参考。

与表 2 中相应的嫩江断裂以东地区 $M \geq 5.0$ 地

表 2 1970 年以来东北地区 $M \geq 5.0$ 地震及相应 4 级地震目录Table 2 $M_s \geq 5.0$ earthquakes in northeast China since 1970 and corresponding catalogue of $M_L 4.0$ earthquake

地区	$M \geq 5.0$ 地震	中等地震 ($M_L 4.0 \sim 5.2$)				
		No.	年-月-日	纬度	经度	M_L
辽宁地区	1975 年 辽宁海城 7.3	1	1974-05-07	$39^{\circ}18'$	$119^{\circ}42'$	4.2
		2	1974-09-10	$38^{\circ}54'$	$120^{\circ}00'$	4.2
		3	1974-09-14	$38^{\circ}48'$	$120^{\circ}06'$	4.0
		4	1974-12-22	$41^{\circ}12'$	$123^{\circ}35'$	5.2
		5	1974-12-30	$41^{\circ}12'$	$123^{\circ}35'$	4.1
		6	1975-02-04	$40^{\circ}40'$	$122^{\circ}46'$	4.0
		7	1975-02-04	$40^{\circ}40'$	$122^{\circ}46'$	4.0
		8	1975-02-04	$40^{\circ}41'$	$122^{\circ}35'$	4.3
		9	1975-02-04	$40^{\circ}41'$	$122^{\circ}35'$	5.1
		10	1975-02-04	$40^{\circ}41'$	$122^{\circ}35'$	4.0
		11	1975-02-04	$40^{\circ}41'$	$122^{\circ}35'$	4.8
	1978 年 辽宁营口 5.9	1	1976-09-05	$41^{\circ}36'$	$120^{\circ}18'$	4.4
		2	1976-11-18	$39^{\circ}55'$	$122^{\circ}19'$	4.9
		3	1977-04-28	$41^{\circ}50'$	$120^{\circ}36'$	4.3
		4	1977-06-05	$41^{\circ}57'$	$121^{\circ}18'$	5.1
		5	1977-09-26	$40^{\circ}44'$	$122^{\circ}33'$	4.5
		6	1977-10-11	$40^{\circ}43'$	$122^{\circ}43'$	4.1
		7	1978-01-21	$40^{\circ}44'$	$122^{\circ}13'$	4.0
		8	1978-02-15	$38^{\circ}50'$	$121^{\circ}28'$	4.0
		9	1978-03-31	$40^{\circ}45'$	$122^{\circ}35'$	4.0
		10	1978-03-31	$40^{\circ}43'$	$122^{\circ}35'$	4.2
	1980 年 朝鲜天摩山 5.7	1	1978-02-15	$38^{\circ}50'$	$121^{\circ}28'$	4.0
		2	1978-08-30	$39^{\circ}18'$	$124^{\circ}07'$	5.2
		3	1978-12-25	$40^{\circ}38'$	$122^{\circ}58'$	4.7
	1999 年 辽宁岫岩 5.4	1	1998-01-29	$40^{\circ}08'$	$123^{\circ}31'$	4.6
		2	1998-02-08	$39^{\circ}55'$	$122^{\circ}28'$	4.2
		3	1998-06-08	$38^{\circ}30'$	$124^{\circ}01'$	4.3
		4	1998-09-06	$40^{\circ}44'$	$120^{\circ}01'$	4.1
		5	1999-11-06	$38^{\circ}34'$	$121^{\circ}28'$	4.1
		6	1999-11-09	$40^{\circ}32'$	$123^{\circ}01'$	4.1
		7	1999-11-09	$40^{\circ}32'$	$123^{\circ}01'$	4.2
		8	1999-11-25	$40^{\circ}32'$	$123^{\circ}01'$	4.0
		9	1999-11-25	$40^{\circ}32'$	$123^{\circ}01'$	4.4
		10	1999-11-26	$40^{\circ}33'$	$123^{\circ}01'$	4.4
嫩江断裂以西地区	1980 年 内蒙博克图 5.3 1981 年 内蒙博克图 5.4	1	1979-02-27	$47^{\circ}36'$	$121^{\circ}48'$	4.9
		2	1979-06-16	$49^{\circ}36'$	$121^{\circ}30'$	4.0
		3	1979-12-15	$48^{\circ}30'$	$122^{\circ}35'$	4.4
		4	1979-12-15	$48^{\circ}30'$	$122^{\circ}30'$	4.8
		5	1979-12-16	$48^{\circ}25'$	$122^{\circ}30'$	4.7
	2003 年 内蒙巴林左 5.9 2004 年 内蒙东乌珠 5.9	1	2002-10-20	$44^{\circ}41'$	$117^{\circ}20'$	5.2
		2	2002-10-20	$44^{\circ}40'$	$117^{\circ}20'$	4.5
		3	2002-10-21	$44^{\circ}40'$	$117^{\circ}16'$	4.1
		4	2002-12-03	$44^{\circ}24'$	$116^{\circ}45'$	4.2
	2008 年 内蒙阿荣旗北 5.2	1	2006-05-03	$48^{\circ}52'$	$121^{\circ}29'$	4.7
		2	2006-09-13	$49^{\circ}38'$	$121^{\circ}31'$	3.7
		3	2007-03-19	$47^{\circ}38'$	$122^{\circ}10'$	4.1
		4	2008-03-21	$49^{\circ}38'$	$121^{\circ}25'$	3.5
嫩江断裂以东地区	1986 年 德都 5.0 5.4 5.5	1	1985-03-23	$47^{\circ}24'$	$129^{\circ}53'$	3.5
		2	1985-07-22	$48^{\circ}48'$	$126^{\circ}48'$	4.3
	2005 年 黑龙江林甸 5.1	1	2004-06-22	$47^{\circ}15'$	$121^{\circ}28'$	3.5
		2	2005-02-02	$47^{\circ}41'$	$124^{\circ}41'$	4.2
	2006 年 吉林前郭 5.0	1	2004-07-27	$43^{\circ}32'$	$125^{\circ}13'$	3.5
		2	2006-02-22	$44^{\circ}31'$	$121^{\circ}46'$	3.5

表 3 中等地震集中活动参量计算结果

Table 3 The calculated results of parameters for moderate earthquake centralizing activities

分区	$M \geq 5.0$ 地震	持时 T /月	总能量 E / $\times 10^{12}$ J	半径 R /km	$M_L 4.0 \sim 5.2$ 地震
辽宁地区	1975 年海城 7.3	9.1	3.95	69.75	5.2 4.2 4.0 5.2 4.1 4.8 4.0 4.0 4.3 5.1 4.0
	1978 年营口 5.9	19.1	1.17	13.67	4.4 4.9 4.3 5.1 4.5 4.1 4.0 4.0 4.0 4.2
	1980 年天摩山 5.7	10.4	1.98	88.91	4.0 5.2 4.7
	1999 年岫岩 5.4	22.2	0.28	51.63	4.6 4.2 4.3 4.1 4.1 4.1 4.2 4.0 4.4 4.4
嫩江以西地区	1980 年博克图 5.3	9.7	0.71	59.66	4.9 4.0 4.4 4.8 4.7
	2003 年巴林左 5.9	1.5	1.08	4.52	5.2 4.5 4.1 4.2
	2008 年阿荣旗 5.2	22.93	0.15	14.8	4.7 3.7 4.1 3.5
嫩江以东地区	1986 年德都 5.0	10.77	0.03	3.5	4.3
	2005 年林甸 5.1	13.27	0.02	3.5	4.2
	2006 年前郭 5.0	20.4	0.0	3.5	3.5

震前中等地震集中活动图像如图 4。可见,该区 $M \geq 5.0$ 地震前几乎没有中等地震集中活跃的现象。

但值得一提的是,黑龙江境内的 2 次地震(1986 年德都 5.0 和 2005 年林甸 5.1)前半天左右,均发

生一次具有某种信号震意义的 $M_L \geq 4.0$ 地震(表 3),而之后的 5 级地震就位于该 4 级地震附近 100 km 范围内(表 4)。

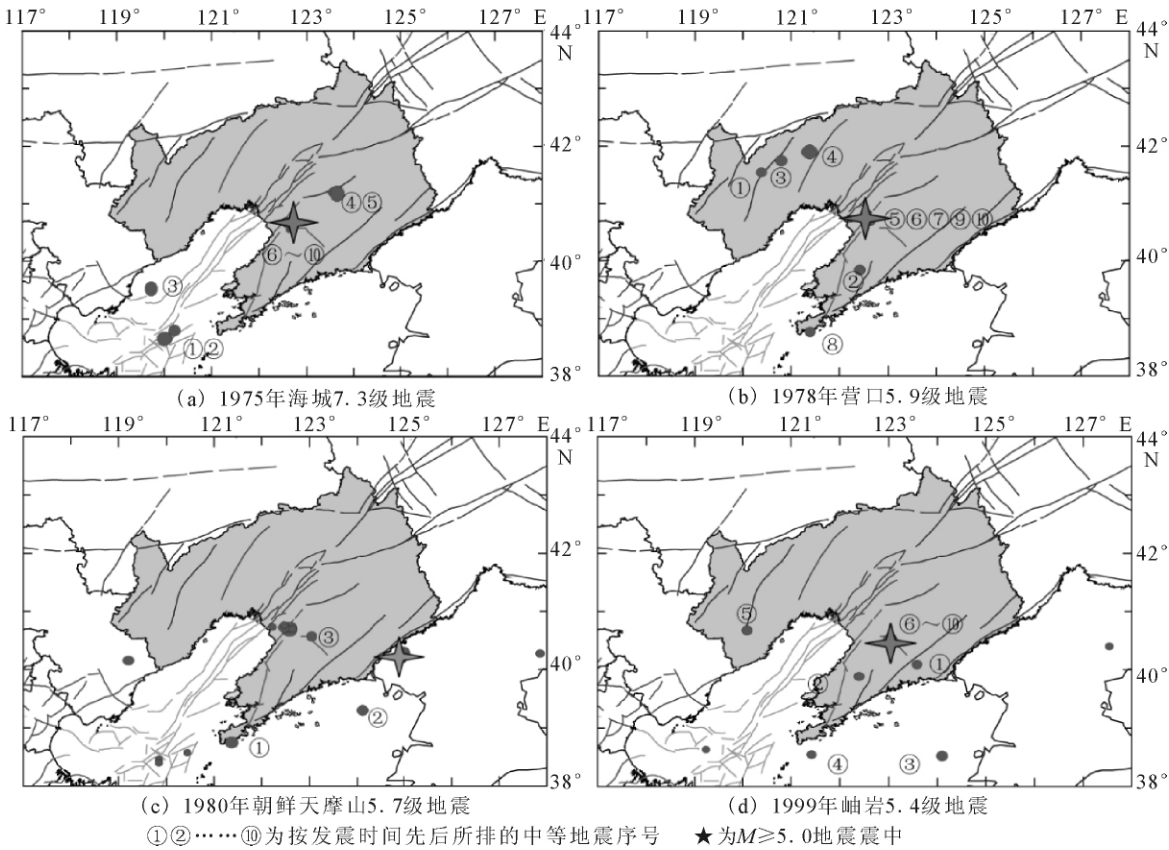


图 2 辽宁地区 $M \geq 5.0$ 地震及其震前中等增强地震活动图像

Fig. 2 The image of moderate earthquake increasing before big events in Liaoning subarea.

(3) 发震时间预测

表 5 为最后一次中等地震距未来 5 级以上地震的时间间隔(不含直接前震),可见东北地区 $M \geq 5.0$ 地震前,最后一次中等地震距这些 5 级以上地震

的发震时间大部分在半年内。其中辽宁地区平均约为 3 个月,最短的时间间隔为 0.7 个月;嫩江断裂以西地区为 2~9 个月,平均为 4.4 个月;嫩江断裂以东地区没有中等地震集中增强的现象,但该区若有

表 4 $M \geq 5.0$ 地震与各中等增强地震的距离

Table 4 Distances between the $M_s \geq 5.0$ earthquakes and moderate earthquakes

分区	$M \geq 5.0$ 地震			中等增强地震的震中距/km					
	时间	地点	震级/ M	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5	Δ_{6-10}
辽宁地区	1975 年	海城	7.3	367.9	359.8	356.8	104.8	104.8	<u>0~22.2</u>
	1978 年	营口	5.9	264.4	94.9	243.6	196.6	Δ_8 233.9	<u>0~11.1</u>
	1980 年	天摩山	5.7	409.1	<u>149.5</u>	227.5			
	1999 年	岫岩	5.4	62.8	94.3	233.7	325.1	266.0	<u>0~11.1</u>
嫩江以西地区	1980 年	博克图	5.3	144.4	84.6	99.4	89.6	<u>11.1</u>	
嫩江以东地区	2003 年	巴林左	5.9	<u>271.1</u>	271.1	271.1	338.9		
	2008 年	阿荣旗	5.2	<u>11.1</u>	66.7	173.9	67.6		
	1986 年	德都	5.0	384.4	<u>35.1</u>				
嫩江地区	2005 年	林甸	5.1	380.0	<u>94.9</u>				
	2006 年	前郭	5.0	188.5	245.4				

注：表中下划线所示为中等地震距 5 级地震的最短距离。

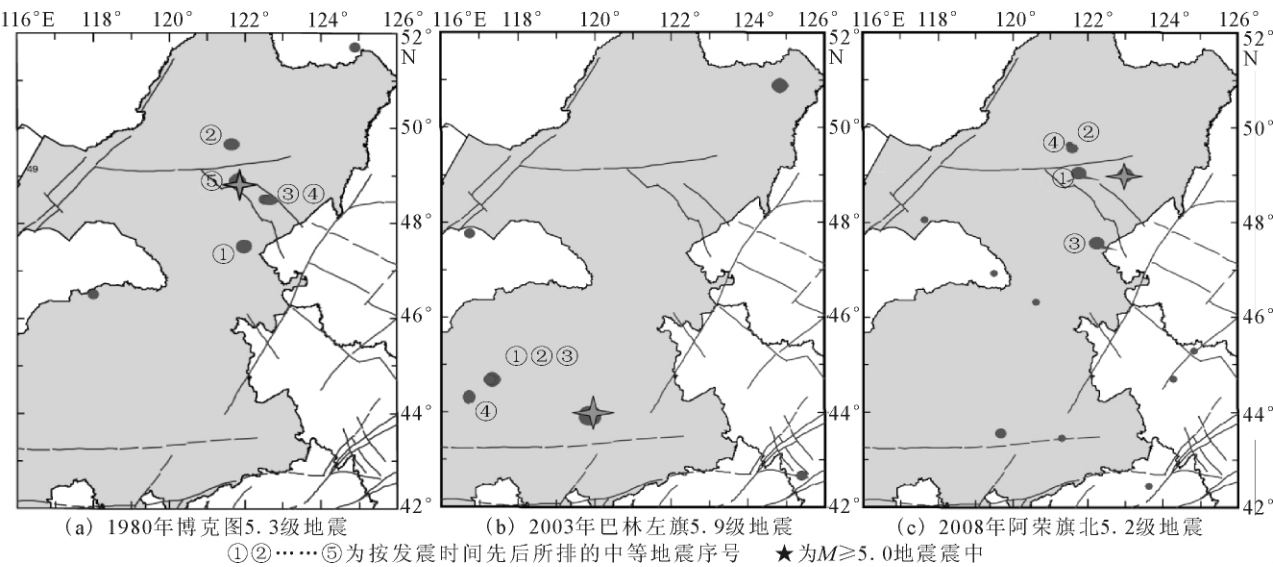


图 3 嫩江断裂以西地区 $M \geq 5.0$ 地震及其震前中等增强地震活动图像

Fig. 3 The image of moderate earthquake increasing before big events in west of Nenjiang fault subarea.

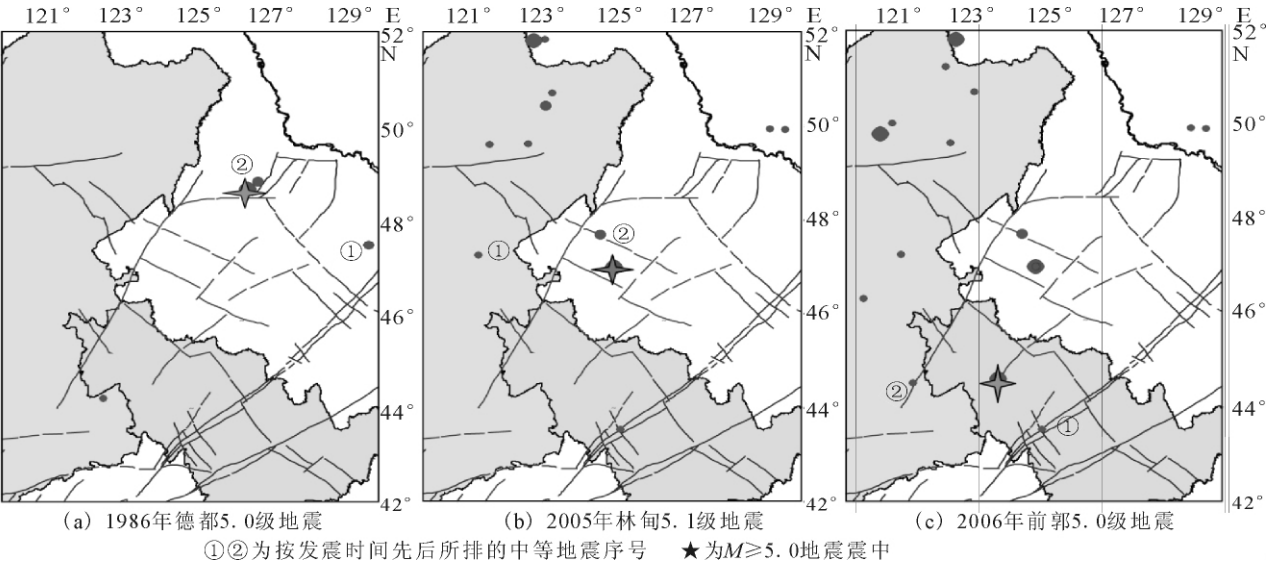


图 4 嫩江断裂以东地区 $M \geq 5.0$ 地震及其震前中等增强地震活动图像

Fig. 4 The image of moderate earthquake increasing before big events in east of Nenjiang fault subarea.

表 5 最后一次中等地震距 5 级以上地震的发震时间间隔统计

Table 5 The interval statistics from the last moderate earthquake to a earthquake with $M_s \geq 5.0$

分区	$M \geq 5.0$ 地震		最后一次 4 级地震 / M_L		5 级地震与最后一次 4 级 地震时间间隔/月	平均间 隔/月
辽宁 地区	1975 年	海城	7.3	1974-12-22	(5.2)	1.5
	1978 年	营口	5.9	1978-03-31	(4.2)	1.6
	1980 年	天摩山	5.7	1979-06-30	(4.5)	6.4
	1999 年	岫岩	5.4	1999-11-06	(4.1)	0.7
嫩江 断裂 以西	1980 年	博克图	5.4	1979-12-16	(4.7)	1.9
	2003 年	巴林左	5.9	2002-12-03	(4.2)	8.5
	2008 年	阿荣旗	5.2	2008-03-21	(3.5)	2.7
嫩江 断裂 以东	1986 年	德都	5.0	1985-07-22	(4.3)	6.7
	2005 年	林甸	5.1	2005-02-02	(4.2)	5.1
	2006 年	前郭	5.0	2006-02-22	(3.5)	1.23

4 级左右中等地震发生,则其后半年也有可能发生 M_5 左右地震。

4 预报效能检验

分别做东北三个地区的 4 级地震频次图(窗长 2 年,步长 1 年),从中发现辽宁地区 1970 年以来相邻 2 年 4 级地震频次 ≥ 5 次的高值时段共有 9 次(不包括余震年份),其中对应 $M \geq 5.0$ 地震的 4 次;如考虑 $M_L \geq 5.0$ 地震,则对应 7 次,对应率超过 78%;虚报 2 次,即 1995—1996 年和 2009—2010 年高值后 5 级左右地震对应,但从频次上看无漏报,详见表 6。嫩江断裂以西地区无虚报,但漏报率为 33%。如前文所述,嫩江断裂以东地区 5 级地震前没有中等地震增强活动的现象,若依此标准预测,则 1970 年以来该区的 3 次 M_5 左右地震均漏报,2009—2010 年该区存在 4 级地震增强的现象,但后续没有 M_5 左右地震与之对应,属虚报,因此该方法不适

用于嫩江断裂以东地区。其实以往很多研究也发现中强震前不只有中等地震活动密集增强,震前的地震平静也是一种较普遍的现象^[15-16],可见在地震发生机理仍不明了的探索阶段,任何一种预测方法都有其不可回避的局限性。

同时还需考虑震级测定本身的误差。以辽宁地区为例,将震级下线分别定为 $M_L 3.9$ 、 $M_L 4.0$ 和 $M_L 4.1$,分别作 2 年窗长 1 年步长的滑动频次(图 5),从中发现三条曲线在整体形态上基本一致,即增强的年份相同,不同的只是增强地震的数量略有差别,由此可见本文研究结果的稳定性和适用性较好。

5 结论

4 级地震集中活动对辽宁地区和嫩江断裂以西地区的 $M \geq 5.0$ 地震的中、短期预测有一定的指导意义。其中:

表 6 1970 年以来辽宁地区 4 级地震活动增强时段对应地震情况

Table 6 Seismic situation in the enhanced period of $M_s 4.0$ earthquake in Liaoning since 1970

地区	增强年份	震前 4 级 地震频次	后续一年内对应的地震	虚报	漏报
辽宁 地区	1971—1972	6	1972-04-14 盖县 $M_L 5.2$		
	1974—1975	11	1975-02-04 海城 7.3		
	1977—1978	10	1978-05-18 营口 5.9		
	1979—1979	6	1980-01-08 天摩山 5.7		
	1987—1988	5	1988-02-25 彰武 $M_L 5.2$	2 次	0 次
	1993—1994	6	1995-04-15 营口 $M_L 5.0$		
	1995—1996	5	—		
	1998—1999	10	1999-11-29 岫岩 $M_5 4$		
	2009—2010	5	—		
嫩江断 裂以西 地区	1979—1980	5	1980-02-10 博克图 5.3		2008-06-10
	2001—2002	5	2003-08-16 巴林左 5.9		阿荣旗北
	2003—2004	8	主要是 2003 年巴林左的余震		5.2
嫩江断 裂以东 地区	2009—2010	4	—	1 次	1986 年德都 2005 年林甸 2006 年前郭

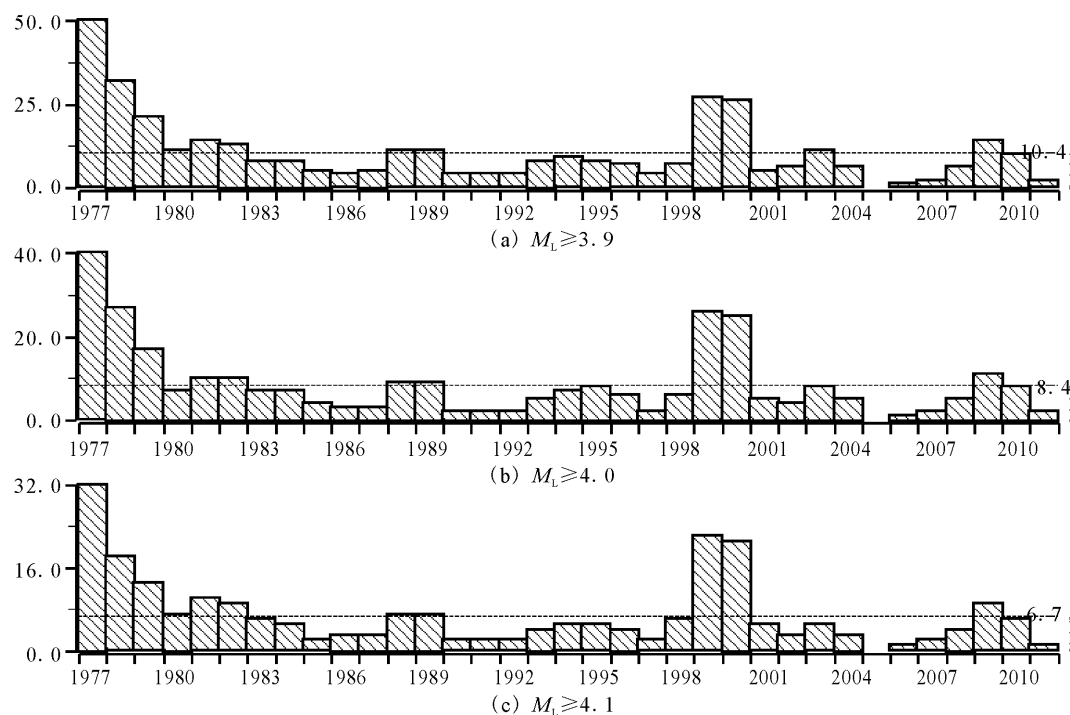


图5 辽宁地区各档震级频次图

Fig. 5 The frequency charts of earthquake with different magnitudes in Liaoning subarea.

(1) 时间预测:东北地区 $M \geq 5.0$ 地震前,最后一次中等地震距这些 5 级以上地震的发震时间大部分在半年内,辽宁地区平均约为 3 个月,最短的时间间隔为 0.7 个月。嫩江断裂以西地区最近一次中等地震距 5 级地震的间隔为 2~9 个月,平均为 4.4 个月。嫩江断裂以东地区,没有中等地震集中增强的现象,但该区若有 4 级左右中等地震发生,则其后半年也有可能发生 $M5$ 左右地震。

(2) 地点预测:辽宁地区 4 级地震集中增强后,预测 5 级地震的震中发生在营—海—岫地区的概率超过 75%,若有前震序列,则震中位于序列中较大地震附近 22 km 范围内。嫩江断裂以西地区中等地震增强后,未来 $M \geq 5.0$ 地震震中均靠近增强活动时段内最初或最后一次中等地震,与最后一次中等地震的距离约 11~67 km,这可在判定未来 $M \geq 5.0$ 地震的发震地点时作为参考。

嫩江断裂以东地区 5 级地震前基本没有中等地震集中活跃的现象,但值得一提的是,黑龙江境内的 2 次地震(1986 年德都 5.0 和 2005 年林甸 5.1)前半年来,均发生一次具有某种信号震意义的 $M_L \geq 4.0$ 地震,而之后的 5 级地震就位于该 4 级地震附近 100 km 范围内。

(3) 震级预测:辽宁地区和嫩江断裂以西中等

地震增强活动后,未来地震的最大震级可由前面给出的公式(1)和(2)来大概估计。若增强地震中 $M_L \geq 5.0$ 地震个数多于一个,则未来震级 M 相应增加 1~1.5 级。

(4) 由于地震资料样本量较少,因此本研究结果有待在今后实践中不断修改完善。

实际应用中,最难把握的是中等地震集中活动时段的选择,通常我们将所研究地区的最近的一次 4 级地震视为最后一个,由此往前推 2 年,期间最早的一个 4 级地震作为第一个,且只有 4 级地震频次 ≥ 4 时(辽宁地区 ≥ 5),才认为 4 级地震集中活动,方可进行计算预测。若之后再次发生 4 级地震,可随时进行补充调整,不断修正上述预测意见。

[参考文献]

- [1] 刘蒲雄,陈兆恩,高伟,等. 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,1997,17(2):113-125.
LIU Pu-xiong, CHEN Zhao-en, GAO Wei, et al. Evolution of Seismicity Patterns Before Strong Earthquakes And Short-term Indicator of Seismic Precursors. Earthquake, 1997, 17(2): 113-125.
- [2] 王琼,曲延军,聂晓红. 新疆北部构造区带地震活动状态分析[J]. 西北地震学报,2011,32(2):137-142.
WANG qiong, QU Yan-jun, NIE Xiao-hong. Analysis on Seismicity State of Tectonic Regions in the Northern Part of Xinjiang[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 32

- (2):137-142.
- [3] 杨立明,刘小凤,祁连山地震带地震短期综合预报方案研究[J]. 西北地震学报,2006,28(3):193-203.
YANG Li-ming, LIU Xiao-feng. A Composite Scheme of Earthquake Short-term Prediction in Qilianshan Seismic Belt[J]. Northwestern Seismological Journal, 2006, 28(3): 193-203.
- [4] 曹凤娟,焦明若. 辽宁地区震情预测预警层次分析模型研究[J]. 西北地震学报,2012,34(2):167-173.
CAO Feng-juan, JIAO Ming-ro. Study on Analytic Hierarchy Mode of Early-warning of Earthquake Activity in Liaoning Area[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 167-173.
- [5] 马殿军. 川滇地区强震前中等地震活动的异常图像[J]. 地震研究,1982,5(3):274-283.
MA Dian-jun. The Abnormal Patterns of the Moderate Earthquakes Before the Large Events in Sichuan and Yunnan[J]. Earthquake Research, 1982, 5(3): 274-283.
- [6] 焦远碧,丁鉴海. 中等地震活动增强作为强震标志的研究[J]. 地震,2000,20(2):15-19.
JIAO Yuan-bi, DING Jian-hai. Taking the Enhancement of Moderate Earthquakes as an Index for Future Strong Earthquakes[J]. Earthquake, 2000, 20(2): 15-19.
- [7] 薛丁,包头西6.4级地震前显著中等地震活动增强和丛集异常[J]. 地震,2003,23(4):71-76.
XUE Ding. Obvious Intensifying and Swarming Anomaly of Moderate Seismic Activity Before West Baotou Earthquake with $M=6.4$ [J]. Earthquake, 2003, 23(4): 71-76.
- [8] 杨立明,张勇,张富芳. 甘东南甘青川交界地区中强地震前中等地震活动共性特征研究[J]. 高原地震,2002,14(3):1-8.
YANG Li-ming, ZHANG Yong, ZHANG Fu-fang. Study on Mutual Features of Middle Earthquakes Activities Before Middle-strong Earthquakes in East-southern Gansu Province and Its Neighbor Regions[J]. Earthquake Research in Plateau, 2002, 14(3): 1-8.
- [9] 刘小凤,张辉,梅秀苹,等. 甘东南地区震情预警指标模型及方案研究[J]. 西北地震学报,2010,32(3):237-243.
LIU Xiao-feng, ZHANG Hui, MEI Xiu-ping, et al. Study on the Early Warning Index Model and Scheme of Seismic Situation in Southeast Area of Gansu Province[J]. Northwestern Seismological Journal, 2010, 32(3): 237-243.
- [10] 郁曙君. 华北5级以上地震的震兆—中等地震的集中持续活动[J]. 地震学报,1990,12(2):113-119.
YU Shu-jun. Precursor for Earthquakes of $M_L \geq 5.0$ in North China, Concentrative and Continuous Activity of Moderate Earthquakes[J]. Acta Seismologica Sinica, 1990, 12(2): 113-119.
- [11] 任雪梅,马禾青,赵知军,等. 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,2002,24(3):267-272.
REN Xue-mei, MA He-qing, ZHAO Zhi-jun, et al. Study on Characteristics of the Seismicity Enhancement of Moderate Earthquakes Before $M \geq 5$ Events in Ningxia and Its Adjacent Areas[J]. Northwestern Seismological Journal, 2002, 24(3): 267-272.
- [12] 曹凤娟,郭晓燕,乔艳芬,等. 辽宁地区 $M_L \geq 5.0$ 地震前中等地震集中活动的震兆研究[J]. 地震地磁观测与研究,2009,30(2):22-30.
CAO Feng-juan, GUO Xiao-yan, QIAO Yan-fen, et al. Research on the precursor of Medium Earthquake ($M_L \geq 5.0$) Activities in Liaoning Province[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2009, 30(2): 22-30.
- [13] 曹凤娟,徐心同. 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,2010,26(3):18-24.
CAO Feng-juan, XU Xin-tong. Research on the Precursor Activities of the concentrated $M_L \geq 4.0$ Earthquakes Before $M \geq 5.0$ in Liaoning Province[J]. Journal of Disaster Prevention and Reduction, 2010, 26(3): 18-24.
- [14] 谢智,刘尧兴,谢健健,等. 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,2001,21(2):70-74.
XIE Zhi, LIU Yao-xing, XIE Jian-jian, et al. Characteristics of the Enhancement of Activity of Moderate Earthquakes Before $M \geq 5$ Earthquakes in Henan Province and Its Adjacent Areas[J]. Earthquake, 2001, 21(2): 70-74.
- [15] 宋俊高,王伟,陆锦华. 前兆性地震平静在中期预报中的定量研究[J]. 西北地震学报,1997,19(3):38-43.
SONG Jun-gao, WANG Wei, LU Jin-hua. Quantitative Research of the Precursory Seismic Calm in the Medium-range Prediction[J]. Northwestern Seismological Journal, 1997, 19(3): 38-43.
- [16] 吴富春,徐俊奇,张宪,等. 中国地震预报中地震学异常的统计研究[J]. 西北地震学报,2000,22(2):105-109.
WU Fu-chun, XU Jun-qi, ZHANG Xian, et al. The Statistical Study on Seismological Anomalies in Earthquake Prediction of China[J]. Northwestern Seismological Journal, 2000, 22(2): 105-109.