

# 地震非均匀度在华北地震中短期预报中的应用

王 炜<sup>1</sup>, 宋先月<sup>1</sup>, 王峥峥<sup>2</sup>

(1. 上海市地震局, 上海 200062; 2. 江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 利用空间扫描方法研究了华北地区中强以上地震前地震非均匀度  $GL$  值的中短期异常变化特征. 结果表明在中强地震前 1 年左右, 未来震中周围的  $GL$  值中期异常区通常出现明显的收缩或消失, 一些地震临震前数月还再次出现  $GL$  值异常区. 讨论了使用  $GL$  值进行地震中短期预报的有关问题.

**关键词:** 华北地区; 地震非均匀度; 异常特征; 中短期预报

中图分类号: P315.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-0244(2001)04-0339-07

## 0 前言

岩石实验和实际地震活动表明, 较强地震发生前中小地震活动在时间分布方面的特征通常会发生明显的变化, 因此已有不少学者对此进行了研究<sup>[2,3]</sup>. 文献[4]和[5]研究认为, 单位时间内发生  $k$  次地震的概率服从泊松分布(即时间间隔的分布服从负指数分布), 并将拟合优度检验的实际值与一定置信水平下的  $\chi^2$  分布值之比定义为地震非均匀度  $GL$  值.  $GL$  值反映了实际地震分布偏离泊松分布的程度. 作者在文献[1]中使用较小起始震级和较小的时空域对  $GL$  值进行空间扫描, 系统地研究了华北地区中强以上地震前  $GL$  值的动态变化过程. 结果表明, 在孕震中期阶段, 未来地震震中附近通常出现明显的  $GL$  值中期异常区. 本文将在此基础上, 进一步研究  $GL$  值在中强地震前 1 年左右的中短期阶段的变化特征, 并讨论了使用  $GL$  值进行地震中短期预报的有关问题.

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

所用资料取自中国地震局分析预报中心编辑的《中国地震目录》. 为避免余震序列对计算结果的影响, 计算时剔除了所有  $M_s \geq 5.0$  地震序列的余震.

### 1.2 方法

假定某一区域在一定时间范围内的地震具有独立性和平稳性, 则单位时间  $\Delta T$  内发生  $k$  次地震的概率服从泊松分布, 即

$$P(\zeta = k) = \frac{(\lambda \Delta T)^k}{k!} e^{-(\lambda \Delta T)} \quad k = 1, 1, 2, \dots \quad (1)$$

为检验该过程是否服从泊松分布, 可进行拟合优度检验. 引入统计量

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{[O_i(\zeta) - E_i(\zeta)]^2}{E_i(\zeta)} \sim \chi^2(f) \quad (2)$$

式中:  $f$  为自由度,  $O_i(\zeta)$  为实际观测值(观测到的  $\zeta = k$  次事件的实际段落数),  $E(\zeta)$  为根据泊松分布得到的理论值. 对比一定置信水平下 ( $\alpha = 0.05$ ) 的临界值  $\chi_{0.05}^2(f)$ , 若  $\chi^2 < \chi_{0.05}^2(f)$ , 则表明该过程为泊松分布. 为此定义地震非均匀度  $GL$  为:

$$GL = \frac{\chi^2}{\chi_{\alpha}^2(f)} \quad (3)$$

$GL$  值反映了地震活动偏离泊松分布的程度. 当  $GL \leq 1$  时, 表明地震活动服从泊松分布; 当  $GL > 1$  时, 表明地震活动偏离泊松分布. 强地震发生前震中附近地区的地震活动将明显偏离泊松分布, 因此这些地区的地震非均匀度  $GL > 1$ .

本文通过空间扫描研究华北中强地震前  $GL$  值的异常变化过程. 通常扫描单元时空域的选取要求既应包含有一定的地震样本, 又不宜过大, 以避免平滑掉可能出现的地震异常. 根据华北地区的地震活动水平, 本文取资料累积时间为 18 个月, 扫描单元取半径为 120 km 的圆形区域, 起始震级取为  $M_L 2.0$ .

较大地震事件之间通常具有独立性, 因此文献[4]和[5]取  $GL > 1.0$  为异常. 但是较小地震的这种独立性较差, 不完全服从泊松分布, 因此经检验后本文取  $GL \geq 1.5$  为异常.

## 2 地震非均匀度 $GL$ 值在华北中强以上地震前的中短期异常变化

文献[1]研究了华北地区 1975~1998 年共发生的 32 次  $M_S \geq 5.0$  地震前的  $GL$  值中期异常空间变化图像. 结果表明, 这 32 次地震中有 25 次地震大体于震前 1~3 年在震中附近开始出现明显的  $GL$  值中期异常区, 其中 15 次  $M_S \geq 5.5$  地震中有 13 次震前出现明显异常. 这些异常区的面积通常大于 3~4 平方度, 异常持续时间在 1 年以上. 本文在文献[1]研究的基础上通过对  $GL$  值的空间扫描发现, 进入震前 1 年左右的中短期阶段后,  $GL$  值异常变化形态可分为 3 类: 一类为中期异常区出现明显的缩小乃至消失; 第二类为中期异常区在出现明显的缩小或消失后, 临震前数月再次出现或扩大; 第三类为中期异常区并不发生明显的变化. 显然在实际地震预报中, 第一、二类中短期变化形态是较易识别的, 而根据第三类形态则不易判断是否已进入中短期异常阶段. 因此判断是否进入中短期阶段的主要标志是看  $GL$  值中期异常区是否出现第一或第二类异常. 为定量地描述上述 3 类异常在中短期阶段的变化, 定义中期异常区的收缩率  $\eta$  为:

$$\eta = 1 - S_{\min}/S_{\max} \quad (4)$$

式中:  $S_{\max}$  为中期阶段异常区域的最大面积,  $S_{\min}$  为中短期阶段(或当前时段)异常区的最小面积. 由上式可知, 当  $\eta > 0$  时, 异常区缩小;  $\eta = 0$  时, 异常区面积不变;  $\eta < 0$  时, 异常区面积扩大. 据此本文定义当  $\eta \geq 0.5$  时, 异常区出现明显缩小, 可认为出现中短期异常. 第二类中短期异常也应满足此条件.

根据上述定义, 华北地区出现  $GL$  值中期异常的 25 次  $M_S \geq 5.0$  地震中, 有 23 次于震前 1 年左右出现中期异常区明显缩小的第一、二类异常(表 1). 图 1 给出了其中 13 次  $M_S \geq 5.5$  地震前的  $GL$  值中短期异常变化过程. 由于篇幅所限, 对各次震例前的  $GL$  值异常变化给出了地震所在区域的 3 幅扫描图像, 即中期阶段、震前 1 年左右的中短期阶段和临震前半年内 3 个阶段的变化情况. 由图 1 可以看到, 这 13 次地震的  $GL$  值中短期异常大部分为第一类异常, 仅

1975年海城7.3级、1979年五原6.0级、1981年邢台5.8级和1998年张北6.1级地震前出现第二类异常.

表1 1975~1998年华北地区  $M_s \geq 5.0$ 地震及其地震非均匀度  $GL$  值中短期异常情况

编号	发震时刻	震中位置			震级	异常类型	备注
		纬度	经度	地点			
1	1975-02-04	40°42′	122°42′	辽宁海城	7.3	第二类	
2	1975-09-02	32°54′	121°48′	黄海勿南沙	5.3	第二类	
3	1976-04-06	40°14′	112°12′	内蒙和林格尔	6.3	第一类	
4	1976-07-28	39°38′	118°11′	河北唐山	7.8	第三类	
5	1976-09-23	40°05′	106°21′	内蒙巴音木仁	6.3		中期异常不明显
6	1979-03-02	33°11′	117°25′	安徽固镇	5.0	第一类	
7	1979-05-22	31°06′	110°28′	湖北秭归	5.1		中期异常区较小
8	1979-06-19	37°06′	111°52′	山西介休	5.1	第一类	
9	1979-07-09	31°27′	119°15′	江苏溧阳	6.0	第一类	
10	1979-07-25	34°29′	105°18′	甘肃礼县	5.0		中期异常不明显
11	1979-08-25	41°14′	108°07′	内蒙五原	6.0	第二类	
12	1981-08-13	40°30′	113°25′	内蒙丰镇	5.8	第一类	
13	1981-11-09	37°24′	114°54′	河北邢台	5.8	第二类	
14	1982-04-14	36°45′	105°30′	宁夏海原	5.7	第一类	
15	1983-01-17	40°22′	107°01′	内蒙磴口	5.1	第一类	
16	1983-11-07	35°18′	115°36′	山东菏泽	5.9	第一类	
17	1984-05-21	32°38′	121°36′	南黄海	6.2	第一类	
18	1984-11-23	38°04′	106°13′	宁夏灵武	5.3	第一类	
19	1987-02-17	33°35′	120°32′	江苏射阳	5.1	第三类	
20	1987-08-10	38°03′	106°17′	宁夏灵武	5.5	第二类	
21	1987-10-25	34°03′	105°10′	甘肃礼县	5.1		中期异常不明显
22	1989-10-19	39°57′	113°49′	山西大同	6.1	第一类	
23	1989-11-02	35°38′	106°17′	宁夏固原	5.0	第一类	
24	1990-02-10	31°41′	121°00′	江苏常熟	5.1	第一类	
25	1991-01-13	40°33′	106°03′	内蒙阿拉善左旗	5.2		中期异常不明显
26	1991-01-29	38°28′	112°32′	山西忻州	5.1	第一类	
27	1992-01-23	35°12′	121°04′	北黄海	5.3		中期异常不明显
28	1995-09-02	35°00′	118°00′	山东苍山	5.2		中期异常不明显
29	1996-05-31	40°42′	109°36′	内蒙包头	6.2	第一类	
30	1996-11-09	31°42′	123°06′	南黄海	6.1	第一类	
31	1997-07-28	33°43′	122°10′	南黄海	5.1	第一类	
32	1998-01-10	41°06′	114°18′	河北张北	6.2	第二类	

### 3 结论与讨论

综上所述,华北地区78%以上的中强以上地震前1~3年存在着 $GL$ 值中期异常区.在震前1年左右的中短期阶段,中期异常区出现3类不同的形态变化.通常可以将中期异常区面积是否出现明显收缩作为中短期预报指标.在实际地震预报中如果出现面积大于3~4平方度、时间超过1年的 $GL$ 值中期异常区,并且其后异常区出现明显收缩( $\eta \geq 0.5$ ),则认为当前可能已进入短期异常阶段.如果异常区再次出现明显增大,即可能为第二类异常,那么未来数月内可能发生中强以上地震.因此在实际地震的短期和临震预报中,应注意中期异常区在出现



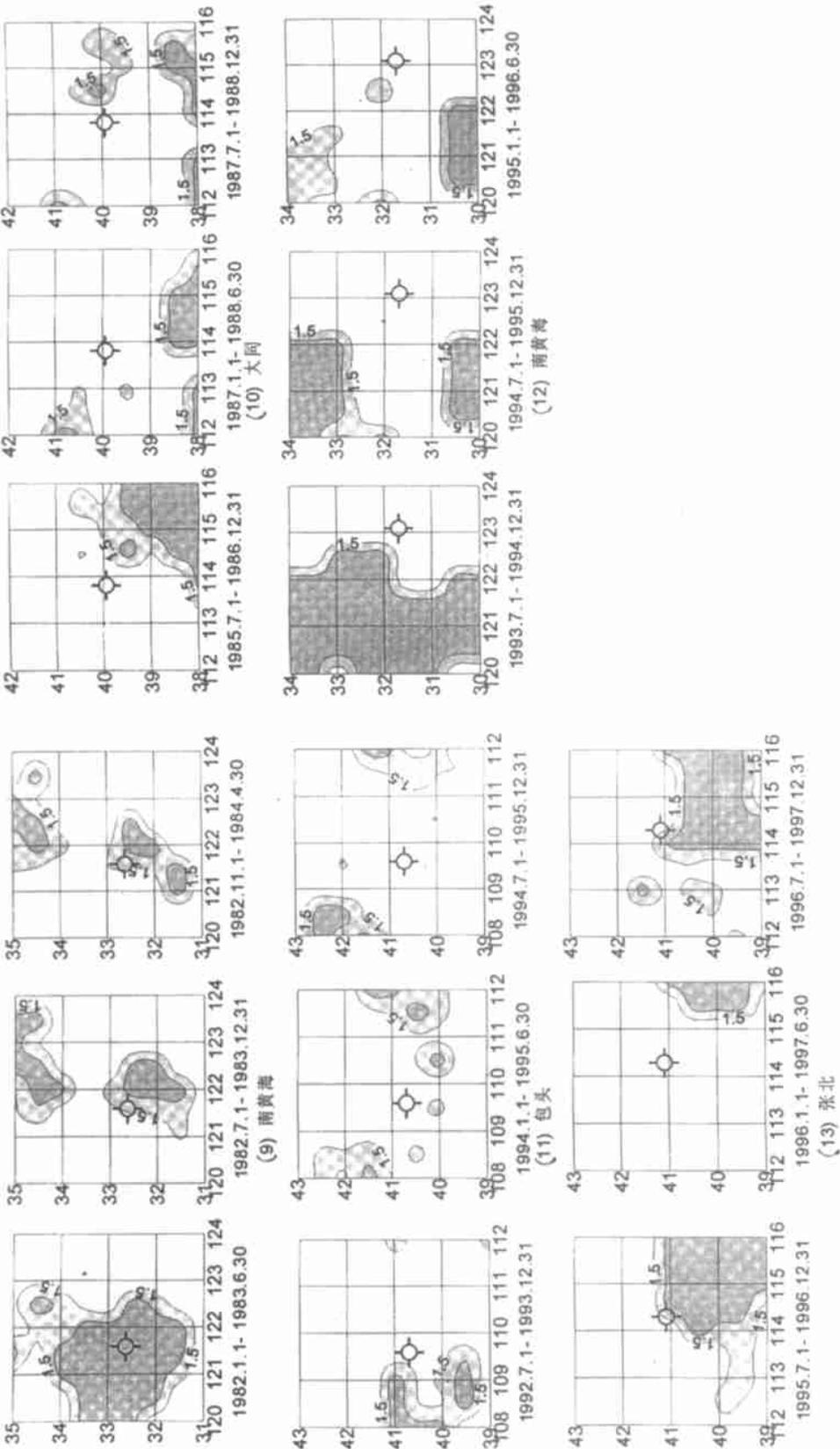


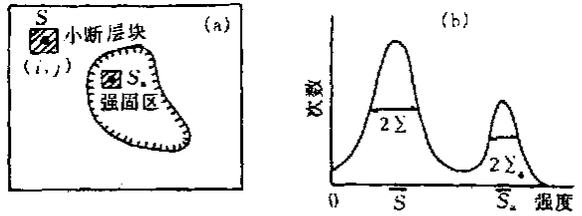
图 1 1975-1998 年华北地区 13 次  $M_s \geq 5.5$  地震前中短期阶段  $GL$  值的异常变化

Fig. 1 Anomalous changes of the  $GL$  value in the mid-short term before 13  $M_s \geq 5.5$  earthquakes in North China from 1975 to 1998.

明显收缩后是否再次明显增大。

由前述分析可知,在华北地区的25次  $M_S \geq 5.0$  地震中,有23次于中短期阶段出现  $GL$  值中期异常区的明显收缩( $\eta \geq 0.5$ ),因此出现异常区明显收缩的中短期异常地震所占比例为  $23/25 = 0.92$ .由此可以看出,  $GL$  值具有很好的中短期预报效果。

$GL$  值在中期和中短期阶段的变化过程可用强固区模型来解释<sup>[1]</sup>.通常大地震及其周围地区可分为震源区和源外区(图2).在各个区域都存在不同尺度的断层系,各断层还可由一些更小的断层单元构成.通常断层面的强度是不均匀的,这样可以用均值为  $S$ 、标准差为  $\Sigma$  的正态分布来描述断层强度.震源区为未来的大震主破裂区,该区断层强度高于周围区域,称之为强固区.同样可用均值为  $S_a(S_a > S)$ 、标准差为  $\Sigma_a$  的正态分布描述.这样整个区域内断层强度的总体分布为双峰分布(图2).



(a) 含有微突体强固区的单元断面示意图;  
(b) 强固区内及其周围小断层的强度分布

图2 强固区模型示意图

Fig.2 The sketch of model of consolidated area.

当构造应力较低,即  $\sigma \ll S$  时,仅有少量小断层发生破裂,构成为数不多的背景地震活动(图3a).当构造应力接近并开始超过  $S$  时,有大量的小断层发生破裂,从而表现为地震活动的增强、频次增高或发生前兆震群(图3b),使得在震源附近地区出现  $GL$  值和一系列地震学参数

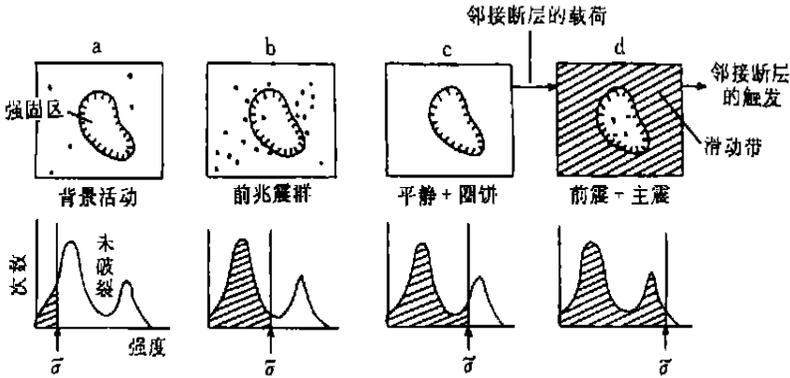


图3 根据强固区模型得到的地震活动图象变化过程

Fig.3 The variation process of seismicity from the model of consolidated area.

的中期异常.第二阶段结束后,源外区大部分小断层已发生破裂.因此当构造应力继续增加时,只有极少数断层发生破裂,出现地震活动平静(图3c).此时强固区周围地区已基本处于解耦状态,区域构造应力的增加,都由强固区承担,即它处于应力集中状态.因此这一阶段强固区周围地区所发生的地震活动又可基本服从泊松分布,从而使得  $GL$  值中期异常恢复.随着源外区大量小断层的破裂和能量释放,应力进一步集中于震源区,当  $\sigma = S_a$  时,发生较强地震(图3d).

[参考文献]

[1] 王炜,宋先月,谢瑞,等.地震非均匀度在华北地震中期预报中的应用[J].中国地震,2001年,17(3):263-270.

- [2] 王炜, 刘震华. 地震时间间隔的统计分布及其地震危险度  $D$  值在华北地震前的异常变化[J]. 地震学报, 1987, 9(2): 113—127.
- [3] 戴维乐, 王炜, 宋俊高. 地震危险度  $D$  值在华北中强以上地震前的中期异常变化[J]. 西北地震学报, 1997, 19(2): 1—6.
- [4] 李志雄, 高旭. 地震非均匀度研究及在强震中期预报中的应用[J]. 地震, 1994, (6): 11—17.
- [5] 刘桂萍. 地震非均匀度方法在华北地区中强地震中期预报中的应用[J]. 地震, 1999, 19(1): 54—58.
- [6] Kanamori H. The nature of seismicity patterns before large earthquakes. Earthquake Prediction——an international review[C]. Maurice Ewing Series (AUG4), 1981. 1—19.

## SEISMIC INHOMOGENEOUS DEGREE AND ITS APPLICATION TO MID-SHORT TERM EARTHQUAKE PREDICTION IN NORTH CHINA

WANG Wei<sup>1</sup>, SONG Xian-yue<sup>1</sup>, WANG Zheng-zheng<sup>2</sup>

(1. *Seismological Bureau of Shanghai, Shanghai 200062, China;*

2. *Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

**Abstract:** The seismicity data of moderate or small earthquakes in North China are used to space scanning of seismic inhomogeneous degree  $GL$ -value. Characteristics of mid-short term anomalous changes of the value before mid-strong earthquakes in the region are studied. The result shows that the mid-term anomalous area of the  $GL$ -value obviously contracts or disappears in mid-short term of about 1 year before moderate or strong earthquakes in generally. The anomalous area appears again in several months before some earthquakes. Some problems about mid-short term prediction by using the  $GL$ -value are also discussed.

**Key words:** North China; Seismic inhomogeneous degree; Anomalous character; Mid-short term prediction of earthquake