

SQIP方法在华北地区地震 中、短期预测中的应用研究

周翠英, 王红卫, 张继红, 李红, 许萍
(山东省地震局, 山东济南 250014)

摘要:对SQIP地震学中期预测方法在华北地区的中期预测效果进行了重新评价,回溯性全时空扫描检验报准率 R 值约为0.67~0.68。做了方法中短期和短期预测指标的提取尝试。结果表明综合参量 P 值异常区由最大出现收缩后,平均约7个月左右发生未来主震,其中6个月内的震例约占“收缩”震例的53%~54%,在3个月内的约占33%~35%;部分震例发生在异常区消失后7~8个月内。表明 P 值异常区“收缩”(或消失)一定程度上可以作为中、强地震的中短期预测标志。

关键词: SQIP方法; 华北; 地震预报; 综合参量; 预测指标

中图分类号: P315.75 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0167-05

Application of SQIP Method on the Medium-short Range Earthquake Prediction in Northern China

ZHOU Cui-ying, WANG Hong-wei, ZHANG Ji-hong, LI Hong, XU Ping
(Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China)

Abstract: The effect of SQIP method on the medium range earthquake prediction in Northern China are reevaluated, the R values calculated by Xu grade criterion are 0.67~0.68 using the retrospective all time-space scan. And the medium-short and short range prediction index of this method is also extracted. The results show that after the anomaly region of synthetical parameter P shrinking about 7 months in average, main earthquake would accure. Among them 53%~54% events accured in 6 months after the shrinking, the 33%~35% events were in 3 months, and a few of events accured after the anomaly region disappeared for 7~8 months. Therefore, the anomaly region of synthetical parameter P shrinking or disappearing can be the medium-short range or short range predicting index for moderate strong earthquake.

Key words: SQIP method; Northern China; Earthquake prediction; Synthesis parameter; Prediction index

0 引言

地震学定量综合预测方法(Seismological Quantitative Integrated Prediction Method,简称SQIP方法)是笔者等在中国地震局“九五”攻关中研制的地震学综合预测方法^[1],主要用于中期地震预测。近几年来该方法在华北部分省市的中期地震预报中得到

应用,并收到一定效果。为了进一步验证方法的预测效能,并探索其在中短期和短期预测中的应用,本文在增加了近几年震例资料的基础上,对方法的中期预测效能重新作了评价,同时进行了方法中短期和短期预测指标的提取尝试。

1 SQIP方法简介

收稿日期:2005-12-092

基金项目:“十五”国家重点科技攻关项目子专题(2004BA601B01-01-01)

作者简介:周翠英(1952—),女(汉族),山东蓬莱人,研究员,主要从事地震学、地震预报方法的研究应用及震源机制与应力场研究。

使用 N 、 $E(\lg E$ 和 $\sqrt{E})$ 、 Q_z (缺震)、 S 值 (地震活动度)、 b 值、 C_1 值 (地震集中度)、 η 值、 Q_1 (地震时间熵)、 β_n (平静指数) 和 δ_H 值等 10 类参数, 以两种归一化方法归化后, 按不同时间组合形成了几十项参量, 其中每一个参量为一个参数在某个时间尺度上的取值。如 $Yb1$ 、 $Yb3$ 、 $Yb6$ 和 $Yb12$ 分别为研究“对象”前 1 个月、3 个月、6 个月和 12 个月的 b 值的归一化量值; 同样 $YN1$ 、 $YN3$ 、 $YN6$ 和 $YN12$ 分别为研究“对象”前 1 个月、3 个月、6 个月和 12 个月地震频度的归一化量值。以华北地区 20 个有中、强地震区 (以震中为中心的 $3^\circ \times 3^\circ$ 范围) 作为“有大震”和 35 个无中强以上地震区作为“无大震”对象, 用对比筛选法^[2] 在上述几十种参数中对比筛选出 13 项地震信息强的较好参量, 确定了相应指标阈值, 按报准率高对各项参数进行加权后, 作为该方法的综合定量预报指标。取待预测区 ($3^\circ \times 3^\circ$) 内震级下限以上的地震 (去余震) 计算 13 项参量, 以方法给出的指标阈值确定每一项参量在待预测时段前的属性 (即异常或正常), 超出异常指标限的为异常 (a), 否则为正常 (n)。

我们定义综合预报参量 P 为 13 项参量中异常项数比值, 其物理含义可理解为某一对象前所显示的有震异常的信息量, 数学表示为

$$P = N_a / N \quad (1)$$

式中 $N_a = \sum_i c_i n_{ai}$ 为加权后的异常参量数; N 为参量总数; c 为各异常参量的权系数。

据统计检验 $P = 50\%$ 可为判断参量“异常”和“正常”的定量阈值指标。

2 资料及其处理

使用中国地震局内部网上发布的全国 $M_L \geq 1.0$ 地震目录 (1970 - 2004 年) 作为基础资料, 剔出 $M_s \geq 5.0$ 地震序列的余震。按 $3^\circ \times 3^\circ$ 滑动 1° 将大华北区 ($30^\circ \sim 42^\circ N$, $110^\circ \sim 124^\circ E$, 选取地震目录时边界向外扩展 1°) 划分为 168 个子区, 分别使用 $\lg N - M$ 关系线确定各个子区的震级下限 M_0 。使用 $M_L \geq M_0$ 的地震以 WINDOW 版的 SQIP 方法软件进行各个子区的综合参量 P 值计算, 绘制相应等值线图, 同时标绘扫描截止时间后两年内的华北 $M_s \geq 4.6$ ($M_L \geq 5.0$) 地震以作震例, 进行检验。

3 中期预报效果再评价

3.1 SQIP 方法原来的检验情况

在“九五”研制期间及其以后, 曾对该方法进行

过较多检验, 包括内符、外推和实用检验。如内符预测检验是针对 55 组学习对象进行的, 以许氏评分标准评分 (下同) 报准率 R 值为 0.771。外推检验是在华北 130 个子区中随机抽出 42 个子区按不同时间组合组成 59 个检验对象进行的, 其中 11 个有震对象报错 4 个, 48 个无震对象报错 8 个, 符合率 0.797, R 值为 0.468。在华北地区进行时空扫描检验, 4.6 级以上地震 R 值为 0.65, 异常时空域占预报总时空域的 20% ~ 23% 左右。在实际预测工作中曾以 1997 至 2002 年在山东省年度震情会商中提出的预测意见进行实际检验^①, 有 12 个 4.6 级以上震例, R 值在 0.44 ~ 0.52 间, 异常时空域占预报总时空域的 25% 左右。但在此之前主要的检验均是针对该方法的中期预报效果进行的, 而此次的工作重点是尝试提取对于中短期和短期预测的指标。

3.2 SQIP 方法中期预报效果再评价

考虑方法计算中的滑动延迟效应, 检验时间从 1973 年计起, 截止时间为 2004 年, 在这期间华北统计区内共发生 $M_s \geq 4.6$ 地震 75 个。每月计算并绘制 1 幅 P 值 ($P \geq 50\%$) 等值线图, 共得到图件 384 幅 (图 1 给出两幅实例)。以 $P \geq 50\%$ 为异常指标, 一般以两年内异常区出现后在异常区内 (异常发展至最大时) 或边缘 (不超出 0.5°) 发生的地震均作为有异常对应震例作统计 (统计表略)。

经统计 384 幅图中的异常时、空域为 $13\ 541$ 度²·月, 总时、空域为 $64\ 512$ 度²·月, 减掉其中地震数少资料不可靠时空域 326 度²·月, 总时空域为 $64\ 186$ 度²·月。统计 75 个震例中震前出现异常的为 68 个, 作为报对地震。 R 值为

$$R = 68/75 - 13\ 541/64\ 186 = 0.696$$

查表^[3] 得到 97.5% 置信限下的 $R_0 < 0.103$ 。

为了减少虚报, 将异常指标取 $P \geq 60\%$ 同样逐月计算并绘制 P 值空间分布等值线图。这时异常区明显减少, 去掉不可靠的时空域 (360 个度²·月), 异常时空域为 $5\ 619$ 度²·月; 但漏报增加了, 75 个震例中震前出现异常的有 58 个, 其 R 值为 0.686。查表^[3] 得到 97.5% 置信限下的 $R_0 < 0.108$ 。

由此看到, 将异常指标 P 值定为 50% 和 60%, 对于报准率影响不太大, 后者稍高一些。但前者虚报多一些, 后者漏报率高一些。因此可以根据需要

① 周翠英, 等. 地震学定量综合 SQIP (原 ZSIP) 方法实际预测检验报告. 2003.

自行选取异常指标的控制限。

进一步的统计表明,部分地震前会出现持续1~2年的1次异常,取 $P \geq 50\%$ 和 $P \geq 60\%$ 时分别平均为14.1和13.2个月。这类地震约占出现异常地震总数的61%~64%。有些还出现两次(以上)异常,第一次异常多出现在震前2年左右,分别取 $P \geq 50\%$ 和 $P \geq 60\%$ 为异常指标时,平均在震前22.3和20.2个月出现(剔除离散点);收缩(甚至个别结束)后又在原地附近出现第二次异常,距发震时间一般在震前9个月左右。这类地震约占出现异常地震总数的36%~39%(表1)。

3.3 SQIP方法中期预测规则和判据

由上述研究结果,可以大体归纳总结出SQIP方法的中期预测规则和判据:

(1) 在 P 值空间扫描图中出现超过 $1^\circ \times 1^\circ$ 的异常区时记为异常开始,异常开始后1~1.5年内异常区内或其边缘(不超过 0.5°)可能发生 $M_s \geq 4.6$

地震,其报对的可能性大约为0.5~0.7(据表2);若报2年内发震,报对的比例约为0.7~0.8;

(2) 如果异常在发展至最大出现收缩现象(甚至结束)后预期地震没发生,而异常区又扩大(或又在原地出现),则在二次异常出现后的9个月内或左右可能发生 $M_s \geq 4.6$ 地震。

4 中短期和短期预报指标的提取尝试

4.1 主震前 P 值异常区的演变特征

仔细分析震前异常的演变情况,可以看到,无论震前出现1次还是2次异常,地震绝大多数是发生在异常收缩以后;出现2次异常的是发生在第二次异常收缩后;有少量地震是在异常消失后发生;异常未出现收缩的地震仅有10%左右(表2)。异常收缩时间距发生主震的时间间隔一般在半年左右,有的甚至更短些(表1、2),这就给我们提取中短期或短期信息提供了可能。

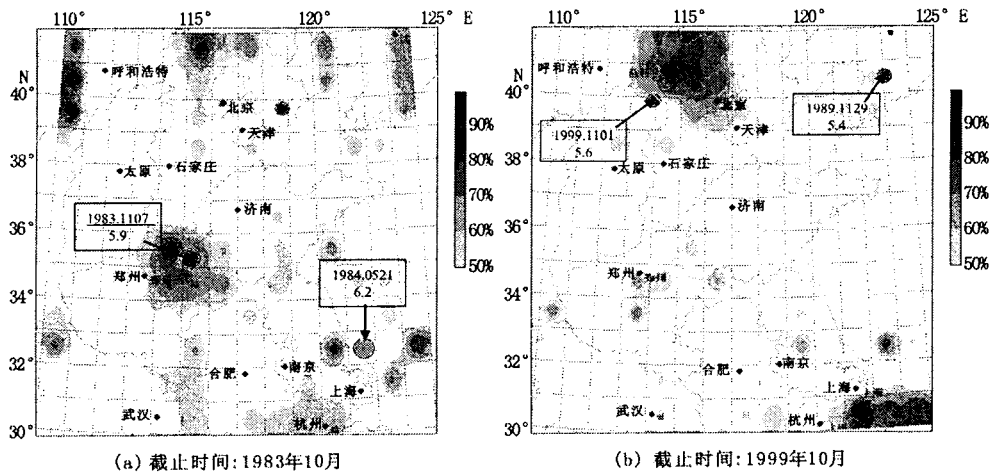


图1 大华北地区 P 值等值线图实例(图中圆圈为之后1年内发生的 $M_s \geq 5.0$ 地震)

Fig.1 The examples of the isoline of P values in Northern China(the circle denotes are earthquake with $M_s \geq 5.0$ happened in one year).

表1 华北 $M_s \geq 4.6$ 地震前SQIP方法的综合参量 P 值异常持续时间统计表

项目	$P \geq 50\%$		$P \geq 60\%$		异常变化与发震间隔时间($P \geq 50\%$)			异常变化与发震间隔时间($P \geq 60\%$)			备注
	次数	比例/%	次数	比例/%	开始/月	收缩/月	结束/月	开始/月	收缩/月	结束/月	
一次异常震例	41	60.3	37	63.8	16.5	10.2	8.8	14.65	9.7	9.5	
					14.1	8.2	8.2	13.2	7.8	6.4	
									6.1		
两次异常中的第一次	27	39.7	21	36.2	25.4	18.1	15.4	21.2	16.5	13.3	按 $P \geq 60\%$ 统计,震前出现>2次异常的震例有1个;按 $P \geq 50\%$ 计,类似情况有6个震例。其中第二次异常的开始和收缩距发震时间分别为20.5个月和15.3个月
					22.3	16.0	13.4	20.2	14.8	12.3	
								18.8			
两次以上异常中的最后一次					9.1	4.5	7.5	8.6	5.5	6.0	
一次异常与两次异常中的第二次合并统计					13.6	8.2	8.7	12.4	8.3	8.7	
					12.4	6.8	8.1	11.1	7.1	6.8	
								5.8			

表2 华北 $M_s \geq 4.6$ 地震前 SQIP 方法的综合参量 P 值异常情况和效能检验统计表

项目	取 $P \geq 50\%$		取 $P \geq 60\%$		备注
	次数	比例/%	次数	比例/%	
震例(次或组)	75		75		
震前有异常	68	90.7	58	77.3	
震前无异常	7	9.3	16	22.7	
出现两次异常	27	39.7	21	36.2	
震前1年内出现异常的	36	52.9	38	65.5	$R_{p50} = 0.319, R_{p60} = 0.567$
震前1.5年内出现异常的	51	75.0	45	77.6	$R_{p50} = 0.540, R_{p60} = 0.688$
震前2年内出现异常的	60	88.2	52	89.7	$R_{p50} = 0.672, R_{p60} = 0.809$
震前大于2年出现异常的	8	11.8	6	10.3	
震前出现收缩	60	88.2	52	89.7	
震前未出现收缩	8	11.8	6	10.3	
结束后发震	20	29.4	26	44.8	
未结束发震	48	70.6	32	55.2	
$R_{46} = 68/75 - 13541/(64512 - 326) = 0.697$		$R_{46} = 58/75 - 5619/(64512 - 360) = 0.686$			
$R_{50} = 34/38 - 13541/(64512 - 326) = 0.685$		$R_{50} = 29/37 - 5619/(64512 - 360) = 0.696$			
$R_{57} = 14/14 - 13541/(64512 - 326) = 0.790$		$R_{57} = 14/14 - 5619/(64512 - 360) = 0.912$			

注: R_{46} 、 R_{50} 、 R_{57} 分别代表对于 $M_s \geq 4.6$ 、 $M_s \geq 5.0$ 、 $M_s \geq 5.7$ 时的中期预报效能。

由表2可以看出,出现1次异常的震例,异常多在震前8个月左右出现收缩;出现2次异常的震例,第二次异常的收缩时间一般出现在震前4.5~5.5个月左右。将二者合并统计,异常的收缩时间平均在震前7个月左右出现。在震前出现 P 值异常的震例中,大约有30%(取 $P \geq 50\%$ 时)和40%(取 $P \geq 60\%$ 时)的震例是发生在异常结束以后。同样将出现1次和出现2次异常的震例合并统计,异常结束距发震时间平均约为7~8个月。

统计了震前异常出现收缩和结束距主震不同时间间隔的比例:在收缩后6个月发震的占53%(取 $P \geq 50\%$ 时)和54%(取 $P \geq 60\%$ 时);在3个月内的比例分别为33%(取 $P \geq 50\%$ 时)和35%(取 $P \geq 60\%$ 时)(图2)。在异常结束后6个月发震的占33%(取 $P \geq 50\%$ 时)和42%(取 $P \geq 60\%$ 时);在结束后3个月内发震的分别为24%(取 $P \geq 50\%$ 时)和39%(取 $P \geq 60\%$ 时)(图3)。据此可以在提出6

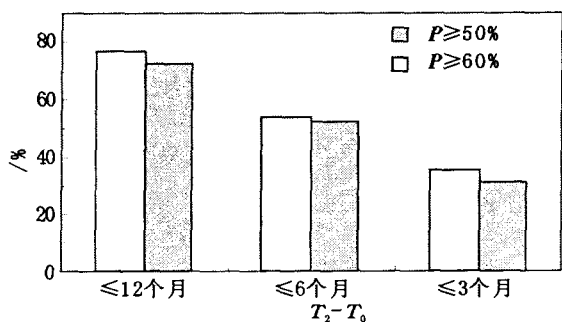


图2 P 值异常区收缩至发震不同时间间隔比例统计

Fig.2 The statistic of different intervals between shrinking of anomaly region and occurrence of earthquakes.

个月和3个月内发震预测意见时大致估计可能报对的比例(或概率)。

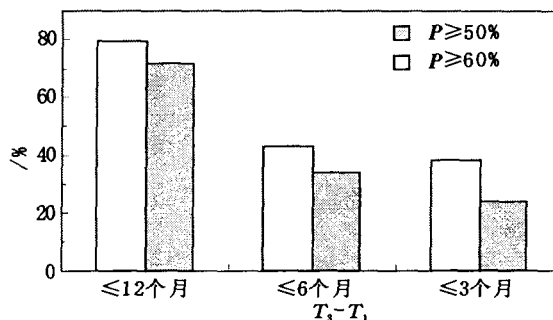


图3 P 值异常区消失至发震不同时间间隔比例统计

Fig.3 The statistic of different intervals between disappear of anomaly region and occurrence of earthquakes.

4.2 SQIP 方法的中短期和短期预报指标

根据上述检验统计结果及其分析,可以初步给出 SQIP 方法的异常区域判定规则和中短期和短期预测判据:

(1) 在 P 值空间扫描图中出现超过 $1^\circ \times 1^\circ$ 的异常区时记为异常开始,异常随时间推移发展达到最大区域时出现收缩,一般收缩至最大区 $2/3$ 或 $1/2$ 时为中短期标志出现;

(2) 出现了异常收缩的中短期标志后,可预测其后7个月左右异常区内或其边缘可能发生 $M_s \geq 4.6$ 地震。

(3) 如果在预测时限内未发生预期地震且异常结束了,可以再延续预测异常结束后7个月(取 $P \geq 60\%$ 时)或8个月(取 $P \geq 50\%$ 时)内异常区内或其边缘可能发生 $M_s \geq 4.6$ 地震;

(4) 如果异常区在收缩一段时间后(或结束后)又开始扩大(或又在原地出现)且没有发生 $M_s \geq 4.6$ 地震,则在此异常开始收缩后 4.5 个月(取 $P \geq 50\%$ 时)和 5.5 个月(取 $P \geq 60\%$ 时)内异常区内或其边缘可能发生 $M_s \geq 4.6$ 地震。

5 结论和存在问题分析

(1) 增加震例资料重新检验结果表明, SQIP 方法作为中期地震预测方法有较好的预测效果,可以在年度或稍长时间的地震预报中应用。

(2) P 值异常区“收缩”(或消失)一定程度上可以作为中、强地震的中短期预测标志,本文据此提出了综合参量 P 值的中短期预测指标。

(3) 根据 P 值异常的震前演变特征,可以实现地震由中期到中短期甚至短期的连续跟踪预测,本文提供了具体的跟踪判断依据。

(4) 研究表明,使用该方法提取低于 6 个月或更短时间尺度的预测指标有困难。这说明建立在以地震活动性参数为主要支柱的 SQIP 方法,由于所使用的单项参量和所取时空域对资料时间长度的限制,更大程度上是反映的地震中期和中短期-短期异常效应,由此寻求短临或临震的预测指标是不太现实的。这也是其它一些基于地震学参数的预测方法共同存在的问题。

(5) 根据方法的空间和时间扫描(限于篇幅,这部分文中未作介绍)检验结果对比分析,认为该方法对于地震地点(区)的预测效果更好些,大约有 77%~80% 的地震震中周围或附近震前显示 P 值异常。其主要原因可能是因为方法中所使用的单项参数可能仍参杂较多的地震场兆信息,因此在限定较小区域进行时间扫描时,时间曲线常常在周围邻区甚至华北大区较强地震前出现异常反应,它与本区地震前出现的异常参杂在一起,对本区地震的预测带来困难。因此改进方法,加入更多的可以反应源区信息的单项参量是必要的,但由于 SQIP 方法资料预处理方式的限制,只能使用地震目录作为原始资料,因此包含源兆信息较多的小震震源参数等原始资料的加入受到限制,有待于今后进一步的改进。

[参考文献]

- [1] 周翠英,朱元清,王红卫,等. 华北地区地震学指标的定量对比筛选及其综合预报方法研究[J]. 地震学报, 1999, 21(2): 208-213.
- [2] 周翠英,蒋海昆,姜早峰,等. 地震学综合定量预报指标的一种提取方法——对比筛选法[J]. 地震, 1994, (4): 14-22.
- [3] 许绍燮. 地震预报能力评分[A]. 见: 国家地震局科技监测司编. 地震学预报方法实用化研究文集(地震学专辑)[C]. 北京: 学术期刊出版社, 1989. 586-590.