

地震短临综合预报方法的研究

李文英 平建军 张清荣

(河北省地震局, 石家庄 050021)

摘要 本文在《中国震例》资料基础上, 详细分析了华北地区 17 次中强以上地震前的短临异常, 得到华北地区中强以上地震短临异常的三个综合特征, 在归纳出短临异常综合特征的基础上, 提出了两个判定孕震过程、前兆异常由中期向短期过渡的定量的综合标志。据中期异常的追踪分析和短临异常综合分析相结合的原则, 定义并计算了综合预报指标 S 值, 以此值作为是否发生中强以上地震的判据。本文的重点是在分析短临异常综合特征的基础上, 结合实用化攻关成果, 研究了地震短临综合预报方法。

关键词: 临震预报; 华北; 综合判断; 地震活动性; 预报判据

1 引言

地震孕育过程是震源区应变增长的过程^[1]。在孕震早期, 应力水平较低, 主要是弹性应变的积累, 此时岩体变形较弱, 不易出现前兆; 当进入非弹性变形阶段, 出现一些与应力、应变、微破裂有关的异常现象; 随着应力的增加, 非弹性变形会进一步发展, 而弹性应变增长减弱, 于是造成岩体中微破裂增长。在临近地震发生的时间内, 孕震过程处于高应力阶段, 此时, 将由中期阶段的裂隙增多、破裂缓慢扩展向发震时的断裂快速错断急剧发展——断裂的加速扩展阶段。此时随着断裂尖端越来越快的运动, 震源区的应力场亦发生越来越急剧的变化, 断裂两侧的岩石发生越来越大的相对滑动, 于是在震源区及其附近非弹性变形、宏观破裂、蠕滑等进行, 并伴有裂隙的迅速张合和流体的运移等, 从而引起孔隙压力、地下水位、物质组分等的急剧变化。本文据孕震过程中出现的异常数量及其相应的追踪分析与短临异常相对密集区及各指标的预报时长对未来地震的三要素进行预测。

2 短临异常的综合特征及综合指标^[2]

2.1 短临异常综合特征

地震孕育到后期阶段出现的异常为短临异常。我们详细分析了华北地区 17 次中强以上地震前短临异常的形态特征^[3,4,5], 得到 17 种短临前兆异常变化, 异常的形态具有非线性变化及突变性特征, 可以此作为判定短临异常的判据。通过分析地震前异常数量变化, 得到短临异常频次急剧增加特征。震前一个月和震前 20 天内异常频次急剧增加。震前

一个月内的值是前几个月最高值的 3 倍多，震前 20 (11~20) 天的值是震前 30 (21~30) 天值的 2 倍多，震前 10 (1~10) 天的值是震前 30 天的 3 倍多；反映出震前震源周围地区处于高应力状态以及应力场的急剧变化 (图 1)。图中“·”表示震前半年内异常月频次，“。”表示震前一个月内异常旬频次。

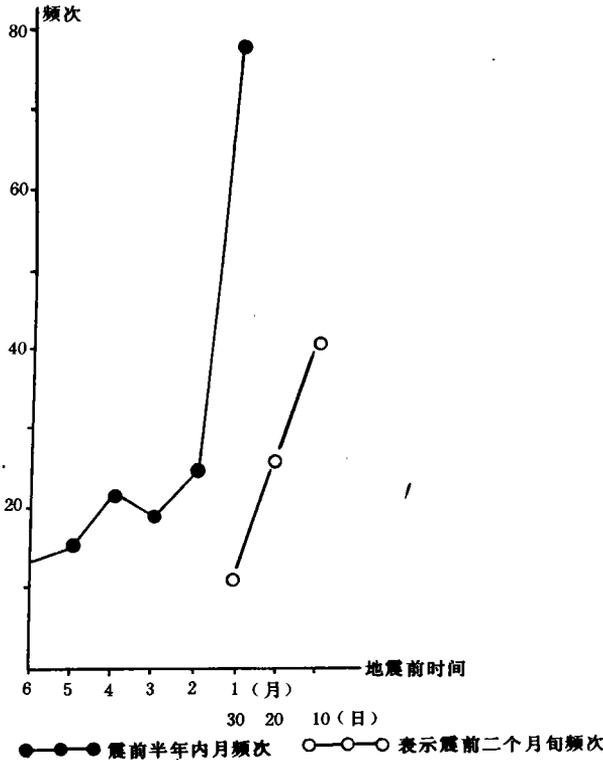


图 1 短临异常频次变化曲线

运用信息集成方法，计算第一个综合标志的无量纲化数值 (短临综合信息量)，以此值作为判定进入短临阶段的第二个定量综合标志。综合信息量的计算公式为：

$$y = \sum_{i=1}^n W_i \cdot a_i \quad (1)$$

其中 n 为选定的短临异常指标数目， W_i 和 a_i 分别表示第 i 个指标的权重和短临异常信息量，其确定方法参见文献 [2]。据震例检验结果，当综合信息量 $Y > 0.1$ 时认为孕震过程进入到短临阶段。

2.3 短临预报综合指标

在实际的短临阶段会商时，还要将中期异常追踪分析和短临综合异常综合标志结合起来。因此，当综合信息量超过其阈值时，还要考虑中期异常、地震活动性异常和异常台项比等因素 [6]，经过全面地分析以后，才能作出最后的决策，才能决定是否作出 5 级以上地震的短临预报。为此定义综合预报指标为：

$$S = b_1 f(y) + b_2 f(r) + b_3 f(r_{\text{中}}) + b_4 f(r_{\text{地}}) \quad (2)$$

通过分析短临异常空间分布，得到异常地点相对集中分布的特征。90% 以上短临异常相对集中在震中 300km 半径范围之内，并具有近震中异常频次更高的特点 (图 2)。其中 (a) 为半时空分布图，(b) 为异常频次随震中距变化曲线。(a) 中“。”表示震前半年内结束的 A 类异常，“·”表示 B、C 类异常。

2.2 中期向短期过渡的综合标志

用上述的短临异常频次加速变化特征作为第一个判定进入短期阶段的综合标志。当观测到数项地点相对集中的、用 17 种短临异常变化形态特征判定的短临异常以后，画出以月为单位的短临异常时间分布曲线，如果曲线出现显著的加速变化、加速点的值达到背景值的 2 至 3 倍，则认为孕震过程发展到短临阶段。

其中 $f(y)$ 、 $f(r)$ 、 $f(r_{\text{中}})$ 、 $f(r_{\text{地}})$ 分别表示关于短临综合信息量 y 、前兆异常台项比 r 、中期异常与全部异常的台项比 $r_{\text{中}}$ 、地震活动异常与全部异常的台项比 $r_{\text{地}}$ 的函数, b_1 、 b_2 、 b_3 和 b_4 分别表示其相应的权系数, 据各个因素 (y 、 r 、 $r_{\text{中}}$ 、 $r_{\text{地}}$) 在短临预报中的作用和预报经验, 分别给定 $b_1=0.4$, $b_2=0.3$, $b_3=0.2$, $b_4=0.1$ 。据地震震例检验, 取 0.27 为综合指标 S 值的阈值, 即当综合信息量 y 值大于 0.1 时, 又计算综合指标 S 值大于 0.27, 就可以决策发布 $M_s > 5$ 级地震预报意见。

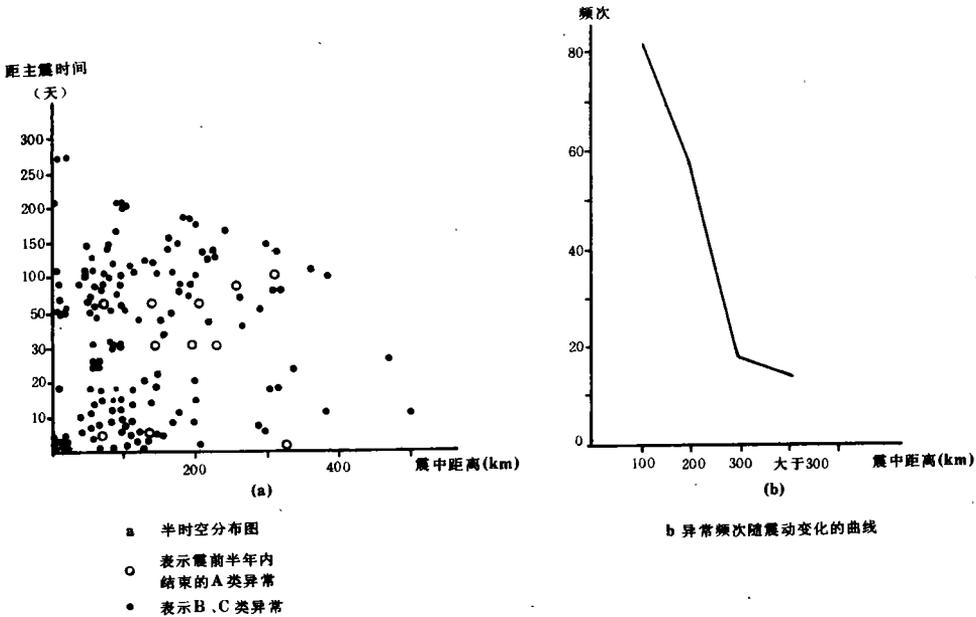


图 2 短临异常时空变化曲线

3 地震短临综合预报方法

3.1 震级预测方法

地震的孕育过程分为弹性变形阶段、非弹性变形阶段和破裂加速阶段^[1]。与此相适应, 地震前兆也分为四个阶段。长期前兆 (几年至几十年), 主要表现为地震活动性增强, 大地形变异常等; 中期 (半年~几年) 前兆, 主要表现为地震活动性异常、定点形变测量、水化组分、水位、重力、地磁、地电、地应力等方面出现的一些趋势性异常; 短期 (一个月~半年) 前兆, 主要是一些趋势异常的转折变化和前兆异常数量的增加; 临震 (一个月之内) 前兆主要是前震活动 (不一定每一个大震前都出现) 及多种前兆突发性异常。地震前兆异常的阶段性对不同震级地震, 表现也不尽相同。7 级以上地震可以观测到长、中、短、临四个阶段异常, 前兆异常的种类和数量丰富多样。而 5~6 级地震的长期异常不明显, 不同程度地具有长、中、短、临异常阶段^[7], 异常数量不及 7 级以上地震。因此, 据孕震过程的阶段性、地震前兆异常的阶段性 (前述 $r_{\text{中}}$ 、 $r_{\text{地}}$ 因素)、考虑异常数量 (异常密度 r)、短临异常数量 (综合信息量 y) 等因素, 建立包含以上因素的方程式 (见公式 (2)), 计算综合指标 S 值。从 S 值和震级 (M_s) 的关系来看, 具有一定的线性

关系 (图 3)。利用华北地区 9 个地震的 S 值计算其相关性, 得到下式:

$$M_s = 5.1032 + 3.1291 \cdot S \quad (3)$$

相关系数 $r = 0.8928$ 。利用公式 (3) 预测未来地震的震级。计算了华北地区 11 次地震的震级见表 1, 其中前 9 次为内符合检验, 后 2 次为外推检验。从表中看出, 误差 $|M - M_s|$ 绝大部分在 0.51 之内。

表 1 震级和时间预测表

发震年月	地点	震级 (M_s)	预测震级 M'	$ M' - M_s $	预测时段	评价
1976.7	唐山	7.8	8.01	0.21	76.4.19~76.9.19	正确
1975.2	海城	7.3	6.79	0.51	75.1~75.4	正确
1976.4	和林格尔	6.3	6.61	0.31	76.2~76.4	正确
1979.8	五原	6.0	6.07	0.07	79.7~79.10	正确
1981.8	丰镇	5.8	5.51	0.29	81.7~81.10	正确
1973.12	河间	5.3	5.51	0.21	73.12~74.3	正确
1981.11	隆尧	5.8	6.38	0.58	81.10~81.12	正确
1983.11	菏泽	5.9	5.92	0.02	83.10~84.1	正确
1969.7	渤海	7.4	6.79	0.61	69.1.21~69.6.10	不正确
1989.10	大同	5.8	6.67	0.87	89.6.1~89.11.19	正确
1991.3	大同 (等)	5.8	6.79	0.99	91.1.11~91.5.20	正确

3.2 地点预测方法

(1) 应用中短临异常的地点综合确定未来地震的地点

短临异常的综合信息量 (y 值) 高低表示了短临异常提供的短临信息的多少, 文献 [2] 的分析表明 90% 以上的短临异常相对集中在震中 300km 范围之内, 并具有近震中异常频次更高的特点; 牛志仁同志研究的滑动弱化地震失稳模型表明^[8], 震中区应力强度最大, 往外逐渐衰减, 因此震中区附近伴生前兆异常数量最多。这说明了震中附近地区短临异常的数量多必然会导致短临综合信息量增高的必然性。因此, 利用短临综合信息量的空间分布预测未来地震发生的危险地点。

以首都圈及其邻近地区为例说明此方法:

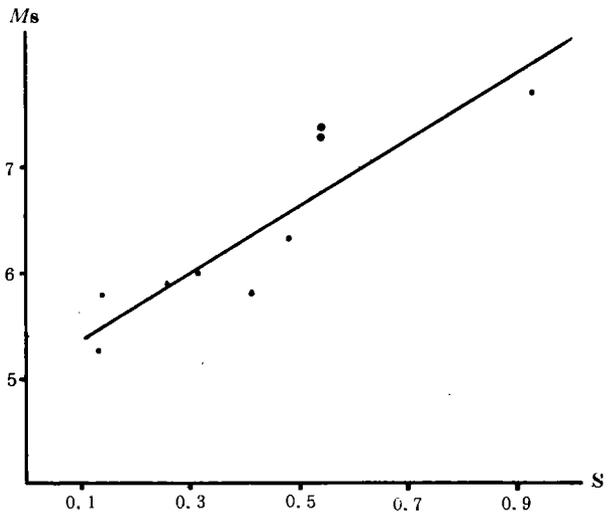


图 3 震级 (M_s) 和 S 值的关系图

因此, 利用短临综合信息量的空间分布预测未来地震发生的危险地点。

将首都圈及其邻近地区(北纬 $38^{\circ}\sim 42^{\circ}$,东经 $112^{\circ}\sim 120^{\circ}$)分为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的128个小区。当观测到数项、地点相对集中的、用17种临短异常形态判定为短临异常时,按前边所述的方法,首先计算短临综合信息量 y 值,如果 y 值大于等于0.1,接着计算预报指标 S 值,当 S 值大于等于0.27时,据观测到的短临异常以每个小区的左下节点为中心,用空间扫描的方法,利用公式(1)分别计算出128个小区的综合信息量 y_i 值($i=1,2,\dots,128$)。然后用SUEFER软件绘出二维等值线图,选取 y 值较高的区为初步的预测危险区。

据中期异常的追踪分析与短临异常的判定相结合的观点,上述得到的综合信息量的二维空间分布结果还应和中期预测的危险区相结合,分析考虑短临结果是否和中期结果相差甚远。当然,最理想的结果应该是短临结果就在中期预测的范围之内或其边缘。在中期地震危险区的研究^[9]中,我们考虑了地质构造(断陷盆地)、地震发生的年自然概率、大震以后的减震作用、以及实时观测到中期地震活动异常,利用综合概率方法预测未来一、二年可能发生中强以上地震的地点。因此综合考虑短临异常预测结果和中期地震危险区,预测未来地震的发震地点的方法既符合了孕震过程,又作了较全面的考虑。

设某一节点中期预测的结果为 P_i ,短期预测的结果为 y_i ,则最后预测的结果为:

$$D_i = \frac{1}{2} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} + \frac{y_i}{y_{\max}} \right) \quad (i=1, 2, \dots, 128) \quad (4)$$

式中 P_{\max} 为 P_i 中最大值, y_{\max} 为 y_i 中最大值,这里定义 D_i 为危险度,其值高表示发生中强以上地震的危险性大。应用公式(4)将中、短预测结果综合计算,将得到 D_i 值用SURFER软件绘制等危险度图,选出高 D 值区为未来中强以上地震的发震地点。

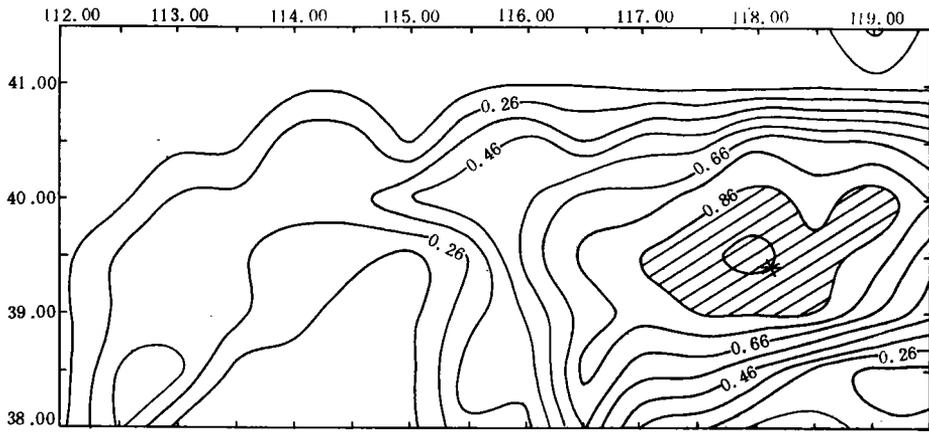
作为本研究方法的内符检验,应用中国震例提供的短临前兆异常,参考中期预测结果,计算并绘出1969年渤海地震、1976年唐山地震等四次地震前的 D 值分布图(图4)。从图中看出,地震发生在高值区的中间或边缘。地点预测详细情况见表2。

表2 地震危险地点的预测

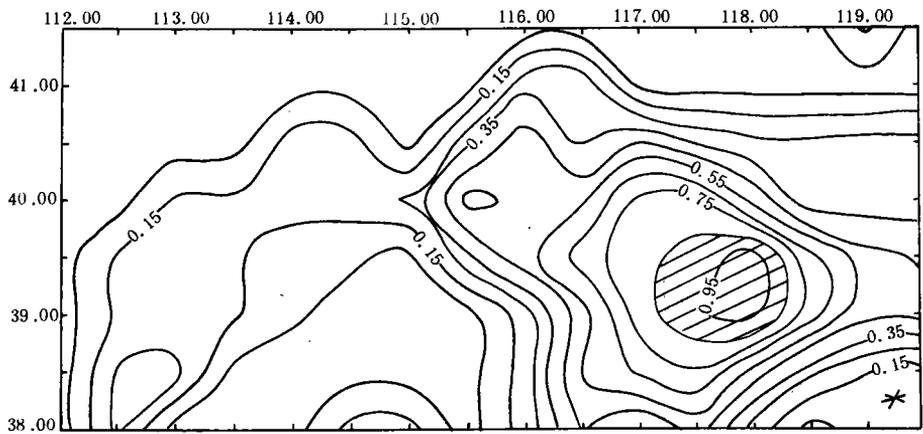
发震年月	地点	震级 M_s	中期预测 ^[9] (P)	短期预测 (D)
1969.7	渤海	7.4	震中在高P值区边缘	震中在高D值边缘
1976.7	唐山	7.8	震中在高P值区中间	震中在高D值中间
1989.10	大同	5.8	震中在高P值区中间	震中在高D值中间
1991.3	大同(等)	5.8	震中在高P值区中间	震中在高D值旁边

3.3 时间预测方法

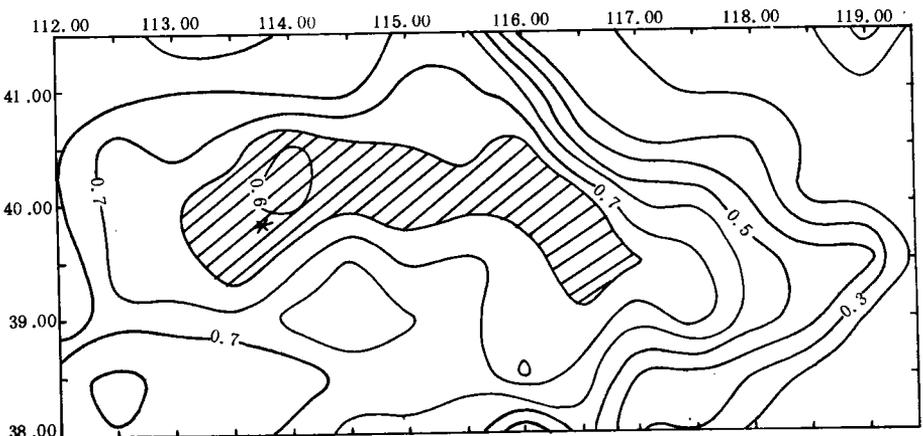
经过实用化攻关研究,各前兆学科、各异常项目(指标)总结归纳出了预报地震发生时间的方法。各指标在短临阶段预报时间的方法具有相似性:大体上都是当观测到趋势异常结束、短趋势异常急剧变化、突变异常发生之后预测未来一定时间段内有可能发生中强以上地震^[10]。不同学科预报的时间段不十分一样。通过实用化攻关研究得到的各短临指标的预报时长。预报实践证明,应用单指标的短临异常开始时间加上预报时长预测地震的发生时间具有不确定性。我们应用类似于系统科学中频率合成的方法^[11]综合预报未来地震的发生时间,可以提高信息增益,增加预测的确定性。



(a)



(b)



(c)

图 4 危险度 D 值分布图

(a) . 1976.7 唐山地震 (b) . 1969.7 渤海地震 (c) . 1989.10 大同地震

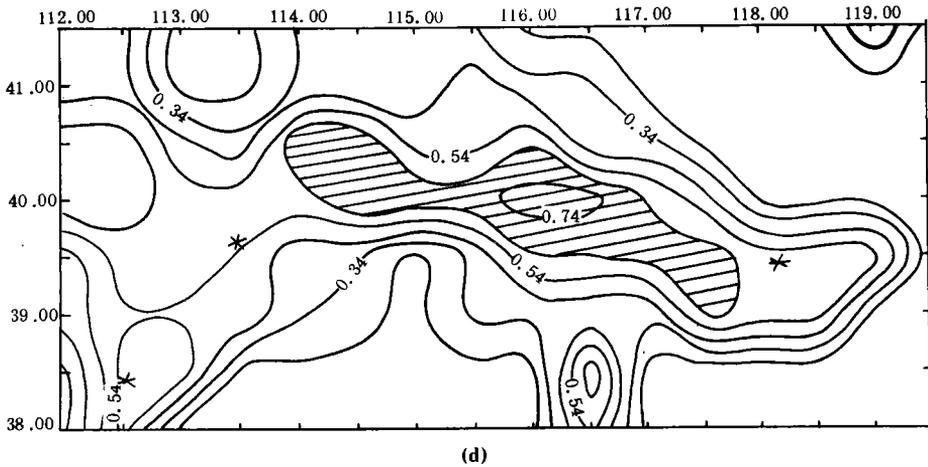


图4 危险度D值分布图 (d). 1991年大同等地震

设已观测到K项用17种短临异常形态判定的短临异常, 异常 i ($1 < i < K$)的开始时间为 t_i , 其预报时间长为 ΔT_i , 则其预测区间为 $(t_i + \Delta T_i)$, 于是就可以得到K个相应的开始时间不尽相同的预测区间。按异常开始时间的顺序, 把第一个异常开始时间点记为 t_1 , 最后一个异常开始时间加上相应预报时长的时间点($t_K + \Delta T_K$)记为 T_K , 将 t_1 至 T_K 的时间区间分成 q 个相等的时间单元(简称时元), S 为时元编号($1 < S < q$)则:

$$NT_s = \sum_{i=1}^K t_{si} \quad (5)$$

式中 t_{si} 是第 i 个短临异常在第 S 时元内具有的预测时长数。 NT_s 是 S 时元内所有短临异常预测时长数。计算出 q 个 NT_s , 之后, 可以作出 NT_s 的时间分布曲线, 求出 NT_s 的最大值 NT_{max} , 再求出 NT_{max} 两侧的 $\frac{1}{2}NT_{max}$ (1)和 $\frac{1}{2}NT_{max}$ (2)值, 这两个值相对应的时间区间为预测时间。利用短临异常开始时间和相应指标的预测时长, 计算了华北11次地震的预测区间(见表1), 绝大部分地震发生在预测时间之内。

4 结 论

本文在分析了短临异常综合特征及综合指标的基础上, 研究了地震短临综合预报方法。考虑孕震过程, 依据综合预报指标 S 值和震级的关系, 建立预报震级的关系式, 预测震级的误差绝大多数小于0.51; 综合使用中、短异常资料, 应用空间扫描方法, 计算地震危险度 D 值, 用 D 值的等值线预测地震的危险地点, 震例检验结果证明, 未来发生的地震在高 D 值区的中间或边缘; 综合考虑各指标的预测时间, 应用系统科学方法, 预测地震的危险时段, 震例检验结果90%以上符合。因此认为预报地震三要素的方法基本可行。

需要指出的是, 本文的关键是识别、提取短临异常, 其中包括了对中期异常的追踪分析与短临异常的综合判定, 即在实际分析资料时, 对中期异常随时掌握其发展变化的动态, 其中要特别注意趋势异常出现转折(包括速率的变化和方向的变化), 产生转折的

同时是否有一些新的异常出现。当在一定的局部的范围内观测到一定数量的短临异常之后，即可按本文的方法进行短临预报跟踪，进而进行地震三要素的预测。

(1994年11月1日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 张国民, 等. 孕震模型在综合预报中的应用. 综合预报专辑, 北京: 地震出版社, 1991.
- 2 李文英, 等. 华北地区地震短临异常综合标志及预报指标的研究, 地震, 1994, (1).
- 3 张肇诚, 等. 中国震例. 北京: 地震出版社, 1988.
- 4 张肇诚, 等. 中国震例. 北京: 地震出版社, 1990.
- 5 张肇诚, 等. 中国震例. 北京: 地震出版社, 1990.
- 6 国家地震局科技监测司等. 震情研究, 1989年增刊.
- 7 胡长和, 等. 华北地区地震前兆的主要特征及综合预报判据和指标, 综合预报专辑, 北京: 地震出版社, 1991.
- 8 牛志仁, 等. 含有一组粗糙面的走滑断层的滑动弱化不稳定模型. 地震学报, 1987, 9 (3).
- 9 李文英, 等. 利用中期地震活动综合预测地震危险地点的研究. 华北地震科学. 1995, 13 (1).
- 10 梅世蓉, 等. 中国地震预报概论. 北京: 地震出版社, 1993.
- 11 周硕愚, 等. 蕴震系统信息合成方法 (ZSSS). 中国地震, 1990, 6 (4).

A STUDY OF SHORT TERM AND IMMINENT COMPREHENSIVE PREDICTION METHOD OF EARTHQUAKES

Li Wenying Ping Jianjun Zhang Qingrong

(Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050021)

Abstract

Basing on the data of "Earthquake Examples in China", this paper analyzed the short term and imminent anomalies before 17 moderately strong or larger earthquakes in detail and obtained 3 comprehensive characteristics of short term and imminent anomalies of the moderately strong or larger earthquakes in North China area. Based on the summing up of comprehensive characteristics of the short term and imminent anomalies, 2 quantitative comprehensive marks to identify the seismogenic process and the transition of precusory anomalies from mid term to short term have been put forward. On the principle of combining the tracing analysis of mid-term anomalies with the comprehensive analysis of short-term anomalies, the comprehensive prediction index s value was defined and calculated, which is used as an criterion whether to make a prediction of moderately strong or larger earthquake or not. The stress of this paper is to study the short term and imminent comprehensive prediction method of earthquakes based on the analysis of the comprehensive characteristic of short term and imminent anomalies.

Subjective words: imminent earthquake prediction, North China, comprehensive identification, seismicity, prediction criterion.