

菏泽 M_s 5.9 地震前后地震前兆 综合加权信息量的变化

张昭栋¹, 刘庆国², 张 华²

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 山东省建筑工程学院, 山东 济南 250014)

摘要: 地震前兆综合加权信息量是利用“地震预报专家系统”的思想对每一异常事件进行综合评估, 考虑到异常的可靠性、有效性、显著性及相互关联性给予不同的权重, 以每一异常事件的最可能发震时间来估算异常出现的概率. 计算了山东地区 1977 年以来地震前兆综合加权信息量, 分析了 1983 年 11 月 7 日菏泽 M_s 5.9 地震前信息量变化的特点.

关键词: 地震前兆; 综合加权; 信息量; 菏泽地震

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)02-0157-05

0 前言

地震的综合预报目前已成为中国监测预报工作的重要环节. 近年来, 概率性综合预报方法取得了一些新的进展, 系统论、控制论和信息论为代表的系统理论及其实际应用(系统工程), 已逐步运用于地震前兆观测资料质量评定、异常判别、“群体”异常和大陆强震短临前兆区域动态特征的研究等方面, 可能为地震预报向定量化和实用化发展发挥作用.

本文在地震综合信息量方法的基础上, 改进了地震前兆异常出现概率的计算方法. 以每一异常的最可能发生地震的时间前后的正态分布曲线来估算异常出现的概率. 利用“地震预报专家系统”的思想, 对每一异常事件进行综合评估, 考虑到异常的可靠性、有效性、显著性及相互关联性给予不同的权重, 给出综合加权后的异常出现概率. 然后以这种改进后的概率计算地震综合信息量, 分析了菏泽 M_s 5.9 地震前这种信息量的变化特点.

1 地震前兆综合加权信息量

1.1 地震前兆异常概率

经验性的综合预报经常遇到的一个难题是, 当一批地震前兆异常出现后, 如何判定它们到底反映了多少地震信息; 如何用一种量化、无量纲、归一化的指标来描述它. 这已成为地震综合预报工作者关心的课题.

收稿日期: 2001-09-10

基金项目: 地震科学联合基金资助课题(198060)的部分成果

作者简介: 张昭东(1942-), 男(汉族), 山东烟台人, 研究员, 现从事固体潮、地下流体、地壳形变及地震综合预报等方面工作.

罗兰格提出了用地震综合信息量来描述地震信息^[1].他认为一个异常出现后,它存在于一年当中的某一个月的概率为

$$P_1 = 1/12 \quad (1)$$

当 k 个异常出现后,它们同时存在于一年当中的某一个月的概率为

$$P_k = (1/12)^k \quad (2)$$

计算的基本方法是,以年度为时间区间,哪个月里有异常则该月里的概率为 $1/12$,而不考虑该月的异常概率与未来地震发生时间的关系.

一个地震前兆异常可分为出现、发展、转折、恢复等几个不同时期.由“八五”攻关成果可知,大多数情况下未来地震发生在异常转折恢复以后的某一段时间里.可以根据地震预报方法“指南”^[2]和“八五”攻关成果,对每一异常找出一个未来可能发震的时间.统计结果表明,在这个时间段里发震的时间大体是正态分布,因此我们用一个正态分布曲线来描述异常反映未来地震的概率^[3].例如,某一井水位出现地震前兆异常,其水位异常时段为 Δt_1 ,该异常对应的可能发震时间为 t_e ,则在 t_e 左右的正态分布曲线可作为可能发震的概率(图1).

1.2 异常概率的加权

由式(1)和(2)可以知道,其概率的大小与学科观测项目之间无关.多年来的地震预报经验表明,测震学、形变学、流体学和电磁学四大学科在预测地震中起的作用不同;同一学科在不同地点的两个台站出现异常的作用不同,同一测站在不同时间段内出现异常的作用也不同.因此对于每一地震前兆异常事件要进行综合评估分析,使它更好的反映地震信息.例如,测震学异常多来自多个测震台站的观测资料,这些地震异常直接与震源区的信息有关;而其它前兆手段观测给出的异常,多是震源区对地壳产生的应力、应变的次生效应.所以测震学异常应比前兆手段及宏观异常有更大的孕震信息贡献.结合山东地区性以往的经验,对各观测项目异常给予不同的权重(表1).

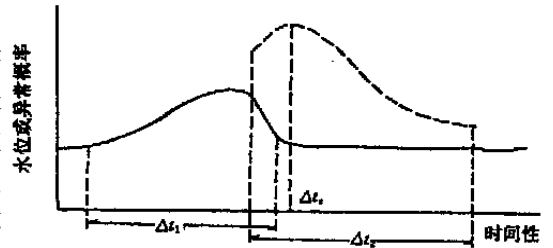


图1 异常概率示意图(实线为异常曲线;虚线为异常概率)

Fig.1 Sketch of anomalous probability.

表1 各种观测项目的加权

手段	水准	短水准	形变倾斜	应力应变	水化	水位	流动地磁	地磁	流动重力	地电	宏观异常	测震
加权	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.0

同一种科学手段中的不同异常之间对映震信息贡献也存在着明显的不同.所以需要综合考查分析每一异常,对其进行全面评估.首先,考查每一异常的可靠性,要看其是几类台站观测的结果,台站观测员的技术水平,台站外界环境干扰因素情况,干扰影响的可知程度和可排除程度,观测资料的连续性及长度等,综合各方面因素给出一个综合权重.其次,考查每一异常的有效性.要看其异常与以前震例的重现性,或与其它台站震例的可类比性,异常是否在地震“灵敏点”上,异常是否经过调查核实,台站或观测项目上对异常给的可信度多大等,综合以上因素给出一个异常的有效性权重.第三,考查每一异常的显著性.这主要看异常出现的幅度,异常产生的时间、空间的有序性,宏观异常分布的范围及密度等,综合这些因素给出一个异常的显著性权重.第四,异常事件的相互关联性.测震学异常一般不取决于某一单台的观测,而是测震台网综合给出的异常.根据山东多年来的地震预报经验,结合实用化攻关指南^[4]和“八五”攻关成

果,对测震学异常也给予不同的权重(表 2).

表 2 测震学异常指数加权

项目	频度	能量	b 值	空区 条带	响应比	c 值 D 值	S 值 η 值	波速比	熵、 分维	a 值	p 轴 转向	前兆 震群	缺震、 调制比	其它
加权	0.5	0.8	1.0	1.0	0.9	0.8	0.6	0.8	0.5	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5

当有多个异常事件出现时,每一异常与其它异常之间可能存在一定的关联性.如果一个异常与其它异常之间的关联性弱,即独立性强,则它对映震信息的贡献应大一些.例如,山东沂水泉的水氡观测,只是进行单项观测,相对独立性强,其映震信息的贡献应大.而山东聊城水化站是一口水井做氦、氮、氩、氯离子等 20 多项观测,各项之间是密切相关的,相互有较大影响,所以若其中超过一项以上出现异常时,其映震信息贡献应小一些.异常项目同时出现的越多,每一项的映震信息贡献应越小.

1.3 地震前兆综合加权信息量

通过以上四方面的综合评估后,可以给出每一异常的综合权重.每一异常的可能发震概率可表达为

$$P_i = (W_j \sum_{m=1}^4 W_m) P_{ei} / 4 \tag{3}$$

其中 W_j 为第 i 个异常的学科观测项目差异的权重,即表 1 和表 2 中列举的那些,取其中之一为权重. W_m 为通过上述四方面的综合评估后,可以给出每一异常的四方面的权重,当 $m = 1$ 时,为异常的可靠性权重;当 $m = 2$ 时,为异常的有效性权重;当 $m = 3$ 时,为异常的显著性权重;当 $m = 4$ 时,为和异常的关联性权重. P_{ei} 为该异常对应的最可能发震时间估算的异常概率.

P_i 是每一异常的可能发震概率.由于观测值偏离正常均值越远出现的概率越小,即每一异常出现的概率与该异常的可能发震概率大小相反,所以可以定义每一异常出现的概率为

$$P_{ai} = 1 - P_i = 1 - (W_j \sum_{m=1}^4 W_m) P_{ei} / 4 \tag{4}$$

当系统内有 k 个异常同时存在时,其概率为

$$P_{ak} = \prod_{i=1}^k P_{ai} = \prod_{i=1}^k [1 - (W_j \sum_{m=1}^4 W_m) P_{ei} / 4] \tag{5}$$

显然, k 越大,概率 P_{ak} 越小.由于地震的发生也是一个小概率事件,如果 P_{ak} 确实反映了地震信息,那么应有较大的信息量.于是取 P_{ak} 的倒数作为 k 个异常时的前兆综合加权信息量,即

$$I_k = 1 / P_{ak} \tag{6}$$

如果 k 个异常是在 n 个观测项目中出现的,那么在 n 个观测项目中同时存在 k 个异常的可能性为 C_{kn} .而震前存在的 k 个异常仅是 C_{kn} 中的一种,于是这种情况所提供的地震前兆综合加权信息量为

$$\begin{aligned} I_{nk} &= 1 / C_{kn} P_{ak} = \frac{k!(n-k)!}{n!} \cdot \frac{1}{P_{ak}} \\ &= \frac{k!(n-k)!}{n} = \left\{ \prod_{i=1}^k [1 - (W_j \sum_{m=1}^4 W_m) P_{ei} / 4] \right\}^{-1} \end{aligned} \tag{7}$$

为了便于对比,我们将信息量归一化.当系统内没有一个台站出现地震前兆异常时,系统的地震前兆综合加权信息量为极小值零.当系统内所有的台站都出现异常时,信息量取极大值

1, 此时信息量由式(7)可得

$$I_m = \left\{ \prod_{l=1}^n \left[1 - \left(W_j \sum_{m=1}^4 W_m \right) P_{el} / 4 \right] \right\} - 1 \quad (8)$$

那么归一化的地震前兆综合加权信息量为

$$I = \frac{I_{nk}}{I_{nn}} = \frac{k!(n-k)! \prod_{l=1}^n \left[1 - \left(W_j \sum_{m=1}^4 W_m \right) P_{el} / 4 \right]}{n! \prod_{l=1}^k \left[1 - \left(W_j \sum_{m=1}^4 W_m \right) P_{el} / 4 \right]} \quad (9)$$

由于式(9)是经过归一化的, 所以它的值只据有相对意义, 并不是绝对值.

2 菏泽 $M_S 5.9$ 地震前地震前兆综合加权信息量的变化

2.1 菏泽 $M_S 5.9$ 地震前地震前兆异常事件的选取

把山东内陆作为一个系统, 考察从 1977 年到 1991 年每一项地震前兆异常事件. 由于震后的震例总结报告论文等给出的异常和每年年底地震会商报告给出的异常数量相差悬殊, 为了总结出有预报意义的经验, 我们只采用山东省地震局会商报告给出的异常.

2.2 菏泽 $M_S 5.9$ 地震前地震前兆综合加权信息量的变化

在考查和评价了 1977~1991 年山东地区各项地震前兆异常事件后, 用前述方法计算了地震前兆综合加权信息量(图2). 在此期间山东地区发生了大于 $M_S 5.5$ 地震只有一次, 即 1983 年 11 月 7 日菏泽 $M_S 5.9$ 地震.

由图 2 可见, 山东地区性地震前兆综合加权信息量随时间的变化过程大体上可以划分为 5 个阶段: 第一是缓慢变化阶段, 第二是加速升高变化阶段, 第三是高位失稳变化阶段, 第四是加速下降变化阶段, 第五是恢复缓慢变化阶段.

第一阶段从 1977 年初开始到 1983 年 3 月, 信息量缓慢地在 0.2 到 0.8 之间波动, 总体处于低值区. 说明系统与外界产生了少量的能量交换, 出现了极少量的地震前兆异常, 系统处于相对稳定的状态.

第二阶段从 1983 年 3 月开始到 10 月, 信息量由 0.23 迅速增加, 11 月达到极大值. 变化速度的明显加快说明系统与外界产生了较多的能量交换, 系统内出现了较多的地震前兆异常, 由稳定状态迅速转化为非稳定状态(失稳状态).

第三变化阶段是在 1983 年 11 月, 系统发展到了临界状态, 即处于震前一触即发的失稳状态. 信息量在高值突然转折变化, 说明系统发生了质的变化, 结果在 1983 年 11 月 7 日发生了菏泽 $M_S 5.9$ 地震.

第四阶段从 1983 年 12 月开始到 1985 年 3 月, 信息量由极大值迅速下降到 0.2 以下. 反映了区域应力场震后的迅速恢复调整变化, 系统由非稳定状态迅速向稳定状态转化.

第五阶段从 1985 年 3 月开始到 1991 年底, 信息量缓慢地在 0.2 到 0.7 之间波动, 处于低

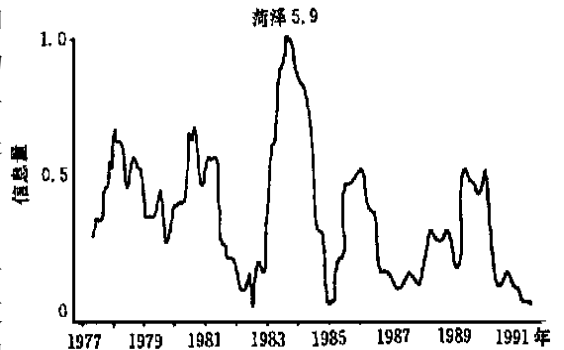


图 2 菏泽 $M_S 5.9$ 地震前后地震前兆综合加权信息量变化曲线

Fig. 2 Variation of comprehensive weighted information content of seismic precursors before and after Heze $M_S 5.9$ earthquake.

值区. 系统又处于相对稳定的状态.

由此我们可以得出结论, 山东地区性地震前兆综合加权信息量在地震平静时期处于低值, 一般低于 0.8. 当信息量急速上升超过 0.8 时, 为发生地震的危险线. 信息量达到极大值时发震. 可以把山东地区性地震前兆综合加权信息量的警戒值定为 0.8.

4 结语

(1) 本文改进了地震前兆异常出现概率的计算方法. 以每一异常的最可能发生地震的时间前后的正态分布曲线来估算异常出现的概率, 这将使计算结果更接近实际情况.

(2) 利用“地震预报专家系统”的思想, 对每一异常事件进行综合评估, 根据异常的可靠性、有效性、显著性及相互关联性给予不同的综合加权, 然后计算综合加权后的信息量, 可以更好的突出孕震信息.

(3) 地震前兆综合加权信息量是一种无量纲的、归一化的和量化的综合预报新方法. 如何使用它进行地震三要素预报还需进一步深入研究.

(4) 本研究结果说明, 山东地区性地震前兆综合加权信息量在地震平静时期一般低于 0.8; 当信息量急速上升超过 0.8 时, 为发生地震的危险线; 当信息量达到极大值时发震. 可以把山东地区性地震前兆综合加权信息量的警戒值定为 0.8.

[参考文献]

- [1] 罗兰格, 曾炬, 侯建明, 等. 地震综合计算预报方法及其物理实质 [A]. 见: [C]. : , 1989. 196—205
- [2] . [C]. : , 1991. 3—89.
- [3] . [J]. , 1994, 10(): 141—147.
- [4] . [M]. : , 1990. 55—65.

VARIATION OF COMPREHENSIVE WEIGHTED INFORMATION CONTENT OF SEISMIC PRECURSORS BEFORE AND AFTER HEZE M_S 5.9 EARTHQUAKE

ZHANG Zhao-dong¹, LIU Qing-guo², ZHANG Hua²

(1. *Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China;*

2. *Shandong Building Engineering College, Jinan 250014, China*)

Abstract: Comprehensive weighted information content of seismic precursors is a new method, in which anomaly event is comprehensive estimated by using "seismic prediction expert system", and considering the reliability, validity, significance and dependence every anomaly is given a weighted count. The comprehensive weighted information contents of seismic precursory since 1977 in Shandong province are calculated and the information content variation before and after the Heze M_S 5.9 earthquake on Nov. 7, 1983, is analysed.

Key words: Seismic precursor; Comprehensive weight; Information content; Heze earthquake