

地震前兆异常证据可信度的应用^{*}

郑兆蕊 张军 庆梅

(中国合肥 230031 安徽省地震局)

主题词 专家系统 地震前兆 可信度

我们曾就确定地震前兆异常证据可信度(以下简写为 $CF(E)$)的原则、思路和计算方法进行了研究(郑兆蕊, 1994)。根据各学科地震分析预报方法指南的内容, 考虑专家系统的推理过程, 采用较统一的确定方法计算 22 项地震前兆异常(空区、条带、 b 值、 C 值、波速比、地震活动异常增强、地震活动异常平静、地震窗、震群、地震序列、尾波、P 波初动、应力降、地电、地磁、地应力、地倾斜、水物理、水氡和水化、重力、空间环境、宏观异常)的 $CF(E)$, 配合地震预报专家系统的推广应用。现在我们又根据与以上相同的原则和思路, 给出地震学分析预报方法程式指南附录中的中等地震集中持续活动、 η 值、小地震活动的 $A(b)-N$ 值、调制小震以及分析人员较常用的 D 值、 S 值、地震迁移速率、 P 轴取向、缺震、模糊聚类、 M_f 值等 11 项 $CF(E)$ 的计算方法。应用这一套方法处理了安徽省地震局 1990~1994 年各次年度地震趋势报告中的 69 个异常, 计算它们的 $CF(E)$ 值。应用庄昆元等研制的地震预报专家系统计算软件进行了综合推理和局部推理, 得到各年的综合预报结果和可信度空间分布图。将这些结果与原各年会商报告比较, 综合结果基本一致。说明由我们研究的这一套确定 $CF(E)$ 的方法较好地概括了分析人员的分析思路及经验, 并与各学科指南相一致。该方法可操作性强, 一般分析人员易于掌握。由于确定 33 项 $CF(E)$ 的分析思路统一, 并且以学科指南为根据, 因而避免了确定 $CF(E)$ 时由于分析人员考虑的因素不同、处理方法不同等造成的随意性, 提高了专家系统的使用效果, 使得综合预报三要素的结果更加符合分析人员的思路。

1 确定地震前兆异常证据可信度原则及方法举例

庄昆元等(1991)和郑兆蕊(1994)详细地论述了专家系统的结构和推理、证据、规则、结论及其可信度, 以及确定异常证据可信度的原则、方法和计算公式。本文仅简要强调以下三点, 以便理解表 1 中的内容: ① 我们研究了各学科地震分析预报方法指南, 将影响确定 $CF(E)$ 的因素归纳为两个大类: a. 所使用的观测资料的可靠程度对 $CF(E)$ 的影响; b. 满足各学科指南中所规定的异常判据的程度和异常的典型程度。这两类因素在分析中属两个不同的层次, 信度互相影响, 计算时以“乘”的关系处理; 而每一类中的不同因素是并列的关系, 计算时以“取小”的方法处理; ② 由于是确定证据的信度, 因而与规则有关的因素(如预报效能)未考虑进去; ③ 33 项异常涉及多学科的众多方法, 不同的项目所用的资料、处理方法和异常判据不同, 因而确定 $CF(E)$ 的具体方法不同。我们均遵从指南的内容未做扩展及改动, 以突出各项异常自身的特点。由于安徽省地震局 1990~1994 年度会商报告中共出现了 21 项 69 个异常, 确定它们的 $CF(E)$ 值涉及 300 多个单因素及取值细则, 本文不可能一一详述。表 1 中仅给出了 3 个实例, 列出了测震学中使用的地震条带、空间集中度 C 值和前兆方法中重力异常的 $CF(E)$ 值计算中的各单因素内容和单因素

* 1994-10-05 收到初稿, 1995-01-14 收到修改稿。

信度值、 $CF(E)$ 计算公式和信度值。这3项异常是安徽省地震局1991年度和1993年度趋势报告中提出的异常。

表1 异常证据可信度值计算举例

证据名	条 带	C 值	重 力
$CF(E_1)$	震级下限选取为 $M_{L2.0}$ 符合指南要求 1.0	资料已剔除余震 符合指南要求 1.0	仪器观测精度和稳定性符合 指南要求 1.0
单	$CF(E_2)$ 构成条带的地震 数目大于 6, 1.0	计算参数选取受局部条 件限制与指南有差异 0.75	格值测量精度符合指南要求 1.0
因	$CF(E_3)$ 条带长度约 900 km, 基 本符合指南要求 0.8	异常幅度大于 $\bar{c} + \sigma(C)$ 符合指南要求 1.0	仪器零漂改正对数据的影响 可能不太大, 0.8
素	$CF(E_4)$ 条带长宽比 L/D 为 6 符合指南要求 1.0	异常持续时间为 41 个月 符合指南异常判据 1.0	仪器高改正对数据的影响可 能不太大, 0.8
信	$CF(E_5)$ 条带无明显空段 符合指南要求 1.0		固体潮改正对数据的影响尚 不确定, 0.5
度	$CF(E_6)$ 条带内外频度比略低于 75% 基本符合指南要求 0.8		异常量为 $50 \sim 60 \text{ } 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 异常显著, 1.0
	$CF(E_7)$ 条带持续时间为 6 个月 符合指南异常判据 1.0		
$CF(E)$ 计算公式	$CF(E) = CF(E_1) \times \min\{CF(E_2), \dots, CF(E_7)\} = 1.0 \times \min\{1.0, 0.8, 1.0, 1.0, 0.8, 1.0\}$	$CF(E) = \min\{CF(E_1), CF(E_2), \dots, CF(E_7)\} \times CF(E_6)$ $(E_4) = \min\{1.0, 0.75\} \times \min\{1.0, 1.0\}$	$CF(E) = \min\{CF(E_1), \dots,$ $CF(E_5)\} \times CF(E_6)$
$CF(E)$	0.8	0.75	0.5

2 实际应用及结果分析

用与条带、C值、重力类似的方法确定 $CF(E)$ ，我们计算了安徽省地震局1990~1994年各年度地震趋势会商报告中提出的异常共计69个证据的可信度值。将这些值与原分析人员凭经验给出的结果相比较，其结果大体相近，说明这一套确定 $CF(E)$ 的方法能够概括分析人员在分析异常时的思路以及考虑的因素和分析过程。图1给出了以证据可信度为基础，用专家系统推理得出的5年的空间分布可信度图，其中每平方度中的值为新的计算结果，括号内为原计算结果。以大于0.1为预报危险的区域，用粗线框出。可以看到，除个别小格外两种结果是一致的，但新的结果系统地偏高，这是由于原某些 $CF(E)$ 考虑了预报效能这一与规则信度有关的因素而使得信度值较低造成的。如图1中1992年空间分布信度图中大于0.1的区域有6平方度，新老结果中有5平方度都大于0.1，仅1平方度为0.105与0.098，相差很小。1991年空间分布信度图中新老结果都大于0.1的有9平方度，而有差异的2平方度其新、老值均为0.100与0.082。表2列出了安徽省地震局1990~1994年对苏鲁交界至南黄海重点监视区的综合预报部分结果，其表内给出的信度值均是一年内发生5~5.9级地震的可信度，表中括号内为老结果。从表2可见，与已发生的地震实际情况相比，除1991年差异较大外，其余各年预报都比较好。1990年是除1991年外综合信度最高的，达0.599。根据这一结果，安徽省地震局在1990年度的趋势报告中提出将苏北沿海及黄海海域作为重点监视区，并认为该区以较大可能性进入孕震的中期阶段。此后于1990年的2月10日发生了常熟5.1级地震。1992年和1994年的综合信度值相近，分别为0.480和0.471，这两年内分别发生了1992年1月23日的黄海5.3级和1994年7月26日的北黄海5.3级地震。尤其是1993年，安徽省地震局根据综合信度值低、空间信度分布图无大于0.1的危险区及分析了常熟及黄海两次地震前后的异常发展过程给出了低调的预报意见，事实证明是正确的。值得分析的是，1991年的综合信度值最高，但无5.0级以上

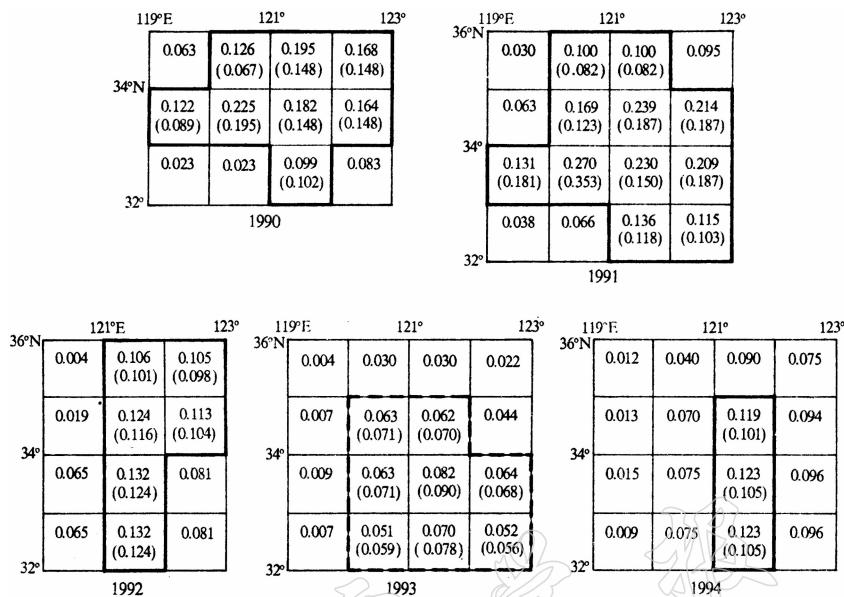


图 1 1990~1994 年空间分布信度图
括号内数字为原计算结果

表 2 1990~1994 年度综合信度及 $M_S \geq 5.0$ 以上地震简表

时 间	1990	1991	1992	1993	1994
$t \leq 1$ 年	0.599	0.809	0.480	0.440	0.471
$M_S = 5.0 \sim 5.9$	(0.517)	(0.752)	(0.417)	(0.318)	(0.402)
$M_S \geq 5.0$ 地震	1990-02-10		1992-01-23		1994-07-26
	常熟 $M_S 5.1$		黄海 $M_S 5.3$		黄海 $M_S 5.3$
	31°41'N		35°12'N		34°54'N
	121°00'E		121°04'E		124°36'E

上地震发生。其问题主要在于，1990 年常熟地震与 1992 年黄海地震相隔仅 2 年，常熟地震前出现的异常如孕震空区、条带、 b 值时间扫描、空间集中度 C 值、 D 值等在常熟地震后虽然已逐渐恢复但仍在预报的有效期内，加之此区域存在 6 级左右地震的背景，分析人员尚不能轻易地将这些异常看作只是常熟震前的前兆；同时又出现了 P 轴取向表明华北应力场加强、低 S 值和地震迁移速率低值等新的异常；同时还有 η 值、前兆震群、地震窗等项一直处于异常中的项目，使异常项目达 11 项，因而综合信度值很高。这实质上反映出在较小的范围内、不太长的时间段上两次中等地震的异常发展。如果有重叠的话，目前还很难识别哪些异常是震后效应，哪些是未来地震的前兆异常。这一难题目前也还没有有效的解决方法。由于专家系统及异常可信度是以专家的经验为基础的，不可能超越专家的认识水平，因而，1991 年度综合信度值偏高而又无 5 级地震对应这一现象是目前预报水平尚不够高的真实反映。

感谢王炜、戴维乐、宋俊高、夏瑞良对本项工作提出的有益指导和宝贵建议。

参 考 文 献

- 郑兆蕊，1994. 地震前兆异常证据可信度. 地震学报, 16(3): 376~380
庄昆元, 王炜, 黄冰树等, 1991. 地震预报专家系统. 北京: 地震出版社. 28~91