

# 地震前兆异常证据可信度<sup>\*</sup>

郑兆芝

(中国合肥 230026 安徽省地震局)

## 摘要

就确定地震前兆异常证据可信度的原则、思路和计算方法进行了研究，并举例说明。目的是根据各学科地震分析预报方法指南的内容，采用较统一的确定方法来获得 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)的异常证据可信度，配合地震预报专家系统的推广应用。

**关键词** 证据可信度；地震异常；专家系统

## 前 言

“地震预报专家系统”在地震界已从研制阶段进入实用阶段，它成为综合预报的一项重要方法(庄昆元等, 1991)。构成专家系统推理的基础是可信度。可信度分证据、规则和结论可信度。在“地震预报专家系统”中，各项规则的可信度已由研制者基本确定，存入专家系统中，这些给定的数值随着经验的累积可以通过学习不断修定。但是，各项异常证据可信度  $CF(E)$ ，一般需由专家系统的使用者给定。由于各学科地震分析预报方法指南(以下简称《指南》)是与专家系统同时研究的，所以，在《指南》中给出确定  $CF(E)$  方法的很少，并且分析思路不统一。分析人员确定  $CF(E)$  时任意性过大，影响到专家系统的使用效果。为此，我们对测震学和各前兆学科确定  $CF(E)$  的方法进行了研究。主要目的是根据各学科《指南》的内容，采用较统一的确定  $CF(E)$  的方法，给出了确定 22 项地震前兆异常证据可信度的思路和计算方法，并编制了相应和计算机应用软件。

## 1 确定 22 项地震前兆 $CF(E)$ 的原则

(1) 为了配合全国每年的地震趋势会商，选择了 22 项地震学和前兆异常作为主要研究内容。由本方法得到的结果，可作为“各种前兆异常软盘录入方法说明”中的 SCF 值录入软盘，也可作为异常证据可信度输入地震预报专家系统。

(2) 着重研究证据的可信度。在确定 22 项  $CF(E)$  时着重考虑了以下两方面可能对

\* 地震科学联合基金公资助项目。

1992 年 9 月 29 日收到初稿，1993 年 9 月 25 日收到修改稿并决定采用。

$CF(E)$ 产生影响的因素：① 所使用的观测资料的可靠程度对  $CF(E)$  的影响；② 满足指标中所规定的异常判据的程度和异常的典型程度。

(3) 着重研究  $CF(E)$ ，一些与确定规则可信度有关的因素没有考虑在内。例如，各异常项目的预报效能没有考虑在内。这是因为在确定规则可信度时已考虑了这些因素，如果重复考虑将使结论的可信度降低。

(4) 着重研究一条证据可信度的确定，证据之间的相互关系不考虑在内。这是因为各条证据之间的相互关系在专家系统中已做了考虑，如果重复考虑将使结论的可信度提高。

(5) 着重研究证据存在的可信度，一条证据对预报三要素所起的作用没有考虑在确定这一条证据的可信度之内。这是因为在专家系统推理时，将根据各项异常的具体指标来综合确定预报三要素。

## 2 确定 22 项前兆 $CF(E)$ 中各种因素的选择及相互关系

### 2.1 各种因素的选取

在确定 22 项前兆  $CF(E)$  时，涉及到十大学科的 22 项地震前兆，不同的前兆异常项目所使用的资料不同，不同的前兆异常判据和判定方法不同。为此，在确定 22 种前兆  $CF(E)$  时，除必须满足上文中所提到的(2), (3), (4), (5) 条原则外，采用了各自不同的确定  $CF(E)$  的方法，以及定量标准，突出各项异常自身的特点。所选因素均以各学科《指南》和各学科《地震预报方法实用化研究文集》为依据，因为这两套书概括了 20 多年来地震分析预报的主要方法和经验。同时，《指南》也是目前分析预报实用化的指导、分析人员共同遵守的规则。由于在各学科《指南》中，各项异常对资料预处理的要求有粗细之分，异常判定的判据的定量化程度有的较精确、有的较模糊。在选取确定  $CF(E)$  的因素时，遵从《指南》的规则，未做进一步展开。

### 2.2 各因素之间的关系

要确定某一项前兆的  $CF(E)$  值，从资料的预处理到异常判定要涉及到很多因素，如何把这些不同的因素对确定异常的贡献加以综合，通过推理计算给出某项证据的可信度数值是研究的主要内容。首先要提取出确定每项  $CF(E)$  的全部影响因素，并依不同因素的不同影响程度用定量的方法给出  $CF(E)$  的值；然后根据分析人员的思路给出综合这些因素的计算方法。以下做一简要讨论和说明。

在确定异常证据可信度时，主要涉及两类因素：第一类是影响到所选资料可靠性的因素；第二类是满足《指南》中判据和异常判定规则的程度或异常形态的典型程度。这两类因素分属于分析推理的第一、二两个层次。当选取的资料不可靠时，根本不需要去研究异常情况，只有在选取的资料符合《指南》所定各标准时，才具备了研究异常的基本条件。资料可靠性的不同程度对第二层次的分析结果有直接的影响。因此，这两个层次之间的可信度的关系以“相乘”为宜。在每一层中，所有不同的因素，它们之间是相互独立的，这些在每一层次中相互独立的因素之间的逻辑关系相“与”，其综合方式以“取小”的

方法处理较为适宜。

对每一因素来说,由于涉及的内容不同,在《指南》中描述的方式不同,我们给出三种确定单因素可信度值的方法:① 在选取资料时对于某些因素,《指南》给出了起码的要求,当不满足这些最基本条件时,无需进行异常分析,这样的资料不可用,可信度为0,否则为1;② 某些因素《指南》中给出了确切的定量指标,这类因素我们完全依照《指南》中给定的数值标准给出相应的可信度;③ 大部分因素我们采用用模糊语言描述的方法,依程度不同给出不同的可信度。

### 3 确定前兆 $CF(E)$ 举例

限于篇幅,不可能将22项地震前兆  $CF(E)$  的确定方法在此全部列举,下面以地震学中的空区和波速比,前兆学科中的地磁为例举例说明。

#### 3.1 地震空区

(1) 确定地震空区  $CF(E_{\text{空}})$  时应考虑的因素及单因素可信度值的分档:

- 1) 空区所处构造背景是否有发震的可能  $CF(E_1)$ : (a) 可能性很大(1.0); (b) 可能性大(0.75); (c) 有可能(0.5).
- 2) 使用的资料中已剔除余震  $CF(E_2)$ : (a) 是(1.0); (b) 不清楚(0.75); (c) 否(0.5).
- 3) 空区内平静时间已达或接近平均重现期  $CF(E_3)$ : (a) 是(1.0); (b) 不清楚(0.75); (c) 否(0.5).
- 4) 资料的震级精度  $CF(E_4)$ : (a) 完全符合要求(1.0); (b) 基本符合要求(0.8); (c) 勉强符合要求(0.6).
- 5) 资料的定位精度  $CF(E_5)$ : (a) 完全符合要求(1.0); (b) 基本符合要求(0.8); (c) 勉强符合要求(0.6);
- 6) 空区长轴小于600 km,短轴大于定位精度  $CF(E_6)$ : (a) 是(1.0); (b) 否(0.5).
- 7) 围空的最大不闭合角小于120°  $CF(E_7)$ : (a) 是(1.0); (b) 否(0).
- 8) 应变释放速率比  $R$   $CF(E_8)$ : (a) 完全符合要求(1.0); (b) 基本符合要求(0.75); (c) 勉强符合要求(0.5).
- 9) 空区内外频度比  $k_2/k_1$   $CF(E_9)$ : (a) 完全符合要求(1.0); (b) 基本符合要求(0.75); (c) 勉强符合要求(0.5).
- 10) 空区形成后持续时间  $t$  年  $CF(E_{10})$ : (a)  $t \leq 2.0$ (1.0); (b)  $2.0 < t \leq 4.0$ (0.75); (c) 否则(0.5).

(2) 计算  $CF(E_{\text{空}})$  的方法:

以上1)~5)项因素与使用的资料的可靠程度有关,属分析的第一层次;6)~10)项因素与确定空区的判据和描述空区的特性有关,属分析的第二层次,因而其计算公式为

$$CF(E_{\text{空}}) = \min \{CF(E_1), \dots, CF(E_5)\} \times \min \{CF(E_6), \dots, CF(E_{10})\}$$

(3) 举例:

若某一空区, 根据实际资料, 使用者选择的是: ① (a); ② (a); ③ (a); ④ (b); ⑤ (b); ⑥ (a); ⑦ (a); ⑧ (b); ⑨ (a); ⑩ (a), 则

$$CF(E_{\text{空}}) = \min\{1.0, 1.0, 1.0, 0.8, 0.8\} \times \min\{1.0, 1.0, 0.75, 1.0, 1.0\} \\ = 0.8 \times 0.75 = 0.6$$

### 3.2 波速比

(1) 确定  $CF(E_{\text{波}})$  时应考虑的因素及单因素可信度值的分档:

1) 台站观测精度  $CF(E_1)$ :

精度分类	$N$	$\alpha$	$\Delta/\text{km}$	可信度
A	$\geq 4$	$\alpha \leq 90^\circ$	$\Delta \leq 30$	1.0
B	$\geq 4$	$90^\circ < \alpha \leq 135^\circ$	$30 < \Delta \leq 100$	0.9
C	$\geq 4$	$135^\circ < \alpha \leq 180^\circ$	$100 < \Delta \leq 200$	0.8

2) 计算波速比值精度  $CF(E_2)$ :

精度 分类	$N$	$\sigma$	S-P (最近)	S-P (最远)	$(S-P)_{\text{远}}/(S-P)_{\text{近}}$	相关系数	可信度
1	$\geq 8$	$\pm 0.03$	$\leq 3\text{s}$	$\leq 25\text{s}$	$\geq 5$	$\leq 0.9990$	1.0
2	$\geq 6$	$\pm 0.04$	$\leq 4\text{s}$	$\leq 25\text{s}$	$\geq 4$	$\leq 0.9900$	0.9
3	$\geq 4$	$\pm 0.05$	$\leq 5\text{s}$	$\leq 25\text{s}$	$\geq 3$	$\leq 0.9800$	0.8

3) 异常显示  $CF(E_3)$ : (a) 完全符合要求(1.0); (b) 基本符合要求(0.75); (c) 勉强符合要求 0.5.

(2) 计算  $CF(E_{\text{波}})$  的方法. 以上三项属分析的三个层次, 因此

$$CF(E_{\text{波}}) = CF(E_1) \times CF(E_2) \times CF(E_3)$$

### 3.3 地磁

地震前兆各学科中都涉及到干扰因素, 它们对资料和异常可信度的影响目前还难于用定量的方法描述. 我们采用模糊描述的办法给出不同档次的可信度: 干扰肯定不存在, 对数据无影响(1.0); 干扰存在的可能性很小, 对数据的影响不大(0.8); 干扰是否存在、是否对数据有影响尚难证实(0.6); 干扰存在的可能性很大, 对数据影响很大(0.3); 干扰肯定存在且使数据异常(0). 使用者对每一干扰因素都需在上述五个档次中选择一个. 地磁学科中不同的分析处理方法有不同的计算  $CF(E_{\text{磁}})$  的方法.

(1) 差值法和月均残差法: ① 观测仪器性能稳定性和可靠性; ② 仪器差校正; ③ 台站环境改变; ④ 台网布设是否符合规范要求; ⑤ 正常背景场的排除; ⑥ 异常形态.

$$CF(E_{\text{磁}}) = \min\{CF(E_1), \dots, CF(E_5)\} \times CF(E_6)$$

(2) 测区平均改正法和统计参数法: ① 观测仪器性能稳定性和可靠性; ② 仪器差校正; ③ 野外测点环境(桩标)变化; ④ 野外测点周围电磁干扰; ⑤ 主副样点位差是否符合要求; ⑥ 磁测资料的通化处理是否符合要求; ⑦ 测点足够密集、复测周期足够短、测网内测点布设合理; ⑧ 异常形态.

$$CF(E_{\text{磁}}) = \min\{CF(E_1), \dots, CF(E_7)\} \times CF(E_8)$$

(3) 幅度比法和转换函数法: ① 磁变仪标度值稳定性和可靠性; ② 事件选择原则符

合《指南》要求；③ 分析处理方法符合《指南》要求；④ 季节变化干扰排除；⑤ 异常形态.

$$CF(E_{\text{选}}) = \min\{CF(E_1), \dots, CF(E_4)\} \times CF(E_5)$$

(4) 低点位移法：① 低点位移分界线明显程度；② 特大天气变化干扰；③ 特大磁暴干扰.

$$CF(E_{\text{选}}) = CF(E_1) \times \min\{CF(E_2), CF(E_3)\}$$

以上各例中不同程度档次的选择原则，如空区中应变释放速率比  $R$  值中的(a)，(b)，(c) 三档的选取原则，我们在“地震前兆异常证据可信度计算软件使用说明‘附录’选择项详细说明”中，逐条给出了具体的参考标准，以及条目所适用的情况，例如空区第 8)，指明此条目仅应用于孕震空区。当  $R \geq 3.0$  时，可选(a)； $2.0 \leq R < 3.0$  时选(b)；否则选(c)。用户并可依本地经验适当调整以上定量标准。

感谢张国民、刘德富、姜秀娥、刘蒲雄、朱传镇、王碧泉、韩渭宾、顾瑾平、王炜、刘文龙、张炜、吴翼麟、李瑞浩、林云方、欧阳祖熙等专家对本研究工作提出的宝贵意见。

### 参 考 文 献

庄昆元、王炜、黄冰树、夏仕华，1991. 地震预报专家系统，28—91. 地震出版社，北京。