第6卷 第4期 西北地震学报 Vol.6,No.4
1984年12月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Dec.,1984

一种短临地震预报的综合方法

王增甲 陈化成 张忠辅
（兰州铁道学院）

摘 要

本文利用模糊逻辑理论，提出一种对多种地震前兆信息的综合处理方法，并用于短临地震预报，方法简便易行，效果较为理想。

一、前 言

目前的地震预报方法一般是仅考虑某些单纯的信息。这样做存在的根本问题是：考虑地震预报时往往只侧重于某些信息，而对其余信息则缺乏综合考虑。这样预报的准确率显然是不会很高的。面对如此众多的宏观前兆信息和微观前兆信息，如果加以综合考虑，则有可能更好地反映出地震前兆的客观规律，提高地震预报的准确率。我们初步尝试把宏观、微观所得到的各种信息加以综合分析处理，利用模糊逻辑理论，提出了一种宏微对应的短临地震预报的数学方法。並应用此法对已发生的一起震例进行验算，效果较好，与实际情况基本相符。本文所提出的方法简单易行，既可手算，亦可通过计算机进行快速处理。

本文所提方法是试探性的，难免有各种缺陷，有待进一步改进。

二、信息源的处理

为了简化问题，我们采用了离散化的方法，即将每个宏观、微观的信息处理成多值逻辑变元。为简单起见，本文基本处理成三值逻辑变元，对少数信息也有的采用了二值逻辑变元。

例如，对微观信息地电流的高频摆动观测值作如下规定：

$$L_{D_h}=\begin{cases}0, & \text{振幅 } T<1\text{ mm}\\ 1, & \text{振幅 } 1\text{ mm}\leqslant T<5\text{ mm}\\ 2, & \text{振幅 } T\geqslant 5\text{ mm}\end{cases}$$

并规定当摆动频率$f\geqslant 5$/秒时为高频摆动。

而对地电流的倒向信息则按如下二值逻辑来赋值：

$$L_{D_{a1}}=\begin{cases}0, & \text{地电流无倒向}\\ 1, & \text{地电流有倒向}\end{cases}$$

对宏观信息源如对冬眠蛇爬出洞的次数这一信息作如下处理：

$$L_{S_i}=\begin{cases}0, & \text{蛇不出洞}\\ 1, & \text{一天内蛇出洞1—2次}\\ 2, & \text{一天内蛇出洞3次以上}\end{cases}$$

为了便于分析问题，并能更符合客观规律，将宏观信息与微观信息又各分为两类，即一级判别信息与两级判别信息。所谓一级判别信息仅用于对地震预报的初步判别，而两级判别信息不仅用于地震的初步判别，而且还作用于地震预报的最终判别。例如，地电流的高频摆动信息为一级判别信息，而地电流的倒向信息则是两级判别信息。

我们将微观一级判别信息记为向量

$$M=\{m_1, m_2, \cdots, m_k\}$$

将微观两级判别信息记为向量

$$X=\{x_1, x_2, \cdots, x_p\}$$

而将宏观一、两级判别信息分别记为向量

$$B=\{b_1, b_2, \cdots, b_g\}$$

$$Y=\{y_1, y_2, \cdots, y_r\}$$

上述向量中每个分量均为三值或二值逻辑变元

三、判别方法

1.几个主要参数

微观信息的大震频度A_1由下式计算：

令
$$A_1'=F_1(M, X)=\sum_{i=1}^{k}(m_i)+\sum_{i=1}^{p}(x_i)$$

式中

$$(m_i)=\begin{cases}0, & m_i\neq 2\\ 1, & m_i=2\end{cases}$$

$$(x_i)=\begin{cases}0, & x_i=0\\ 1, & x_i=1\end{cases}$$

则

$$A_1=\frac{A'}{k+r}$$

微观信息的小震频度A_2由下式计算：

令

$$A_2'=F_2(M)=\sum_{i=1}^{k}[m_i]$$

式中

$$[m_i]=\begin{cases}0, & m_i\neq 1\\ 1, & m_i=1\end{cases}$$

则

$$A_2=\frac{A_2'}{k}$$

微观信息的无震频度A_3由下式计算：

令

$$A_3'=F_3(M)=\sum_{i=1}^{k}\{m_i\}$$

式中

$$\{m_i\}=\begin{cases}0, & m_i\neq 0\\ 1, & m_i=0\end{cases}$$

则

$$A_3=\frac{A_3'}{k}$$

显然A_1、A_2、$A_3\in[0,\ 1]$。

宏观信息的大震频度B_1由下式计算：

令

$$B_1'=\phi(B,\ y)=\sum_{i=1}^{q}(b_i)+\sum_{i=1}^{r}(y_i)$$

式中(b_i)、(y_i)的规定同A_1'中的(m_i)、(x_i)。则

$$B_1=\frac{B_1'}{q+r}$$

宏观信息的小震频度B_2由下式计算：

令

$$B_2'=\phi_2(B,\ Y)=\sum_{i=1}^{q}[b_i]+\sum_{i=1}^{r}[y_i]$$

式中$[b_i]$，$[y_i]$的规定同A_2'中的$[m_i]$、$[x_i]$。则

$$B_2=\frac{B_2'}{q+r}$$

宏观信息的无震频度B_3由下式计算

$$B_3'=\phi_3(B)=\sum_{i=1}^{q}\{b_i\}$$

式中$\{b_i\}$的规定同A_3'中的$\{m_i\}$。则

$$B_3=\frac{B_3'}{q}$$

显然，B_1、B_2、$B_3\in[0,\ 1]$。

2.标志函数

标志函数由下式规定：

$$P(S_1, S_2, S_3)=i,\text{当且仅当}S_i=\underset{1\leqslant j\leqslant 3}{Max}(S_j)。$$

3.决策函数

本方法需给出七种地震预报的决策，为此相应给出七个决策函数，其值按模糊逻辑理论给出[1][2]，列举如下：

（1）距测点50公里左右有3级以上地震或150公里左右有5级以上地震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_1[P(A_1, A_2, A_3), A_1, P(B_1, B_2, B_3)]=[2-P(A_1, A_2, A_3)]\wedge[0.8-A_1]\wedge[3-P(B_1, B_2, B_3)]\wedge[P(B_1, B_2, B_3)-1]$$

（2）距测点50公里左右有小震或150公里左右有4级以上地震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_2[P(A_1, A_2, A_3), P(B_1, B_2, B_3)]=[3-P(A_1, A_2, A_3)]\wedge[P(A_1, A_2, A_3)-1]\wedge[P(B_1, B_2, B_3)-2]$$

（3）距测点50公里左右有5级左右地震或150公里左右有6级左右地震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_3[P(A_1, A_2, A_3), A_1, P(B_1, B_2, B_3), B_1]=[2-P(A_1, A_2, A_3)]\wedge[A_1-0.8+\varepsilon]\wedge[2-P(B_1, B_2, B_3)]\wedge[B_1-0.8+\varepsilon^*]$$

其中

$$\varepsilon=\begin{cases}0, & \text{当}A_1\neq 0.8\\ \dfrac{1}{1000}, & \text{当}A_1=0.8\end{cases}\qquad \varepsilon^*=\begin{cases}0, & \text{当}B_1\neq 0.8\\ \dfrac{1}{1000}, & \text{当}B_1=0.8\end{cases}$$

（4）半月内在测点×方向50里公左右有5级左右地震或150公里左右有6级左右地震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_4(D_3, X, Y)=D_3\wedge(\bigvee_{i=1}^{p}x_i)\wedge(\bigvee_{i=1}^{r}y_i)$$

（5）半月内在测点×方向50里公左右有3级左右地震或150里公左右有5级左右地震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_5(D_1, X, Y)=D_1\wedge(\bigvee_{i=1}^{p}x_i)\wedge(\bigvee_{i=1}^{r}y_i)$$

（6）半月内在测点×方向50公里左右有小震或150公里左右有4级左右地震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_6(D_2, X, Y)=D_2\wedge(\bigvee_{i=1}^{p}x_i)\wedge(\bigvee_{j=1}^{r}y_j)$$

（7）无震，其决策函数和具体表达式为：

$$D_7[P(A_1, A_2, A_3)]=[P(A_1, A_2, A_3)-2]$$

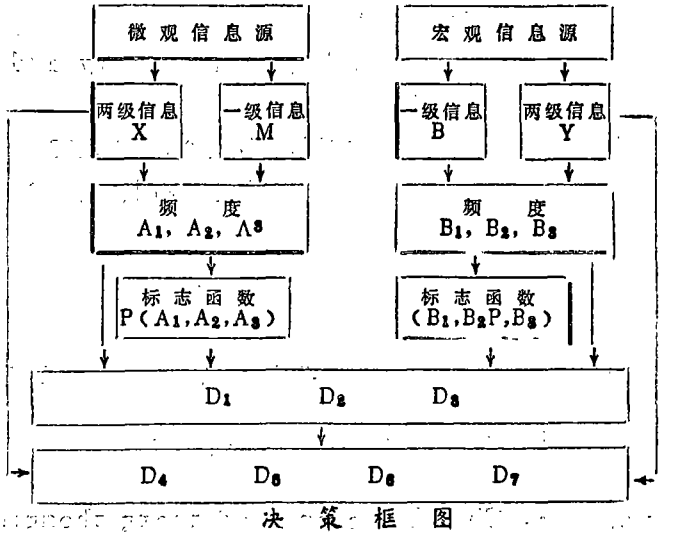
对于以上七种决策函数，由已有经验规定：

若$D_i>0$（$i=1, 2, \cdots, 7$）时，则第i种情况发生；若$D_i\leqslant 0$（$i=1, 2, \cdots, 7$）时，则第i种情况不发生。

必须指出，上述七个决策函数中，D_1、D_2、D_3为初级决策函数；D_4、D_5、D_6、D_7为最终决策函数。显然D_1、D_2、D_3相互排斥，D_4、D_5、D_6、D_7相互排斥。实际中若有两个决策函数均有效时，则以最终决策函数为预报决策。

四、决策框图

我们可将上述预报决策方法用如下框图来表示，以便直观地了解本方法的决策步骤。



决　策　框　图

五、震　　例

1982年 4 月14日甘肃海原5.5级地震，测点为兰化303地震站。

震前微观信息：

（1）地应力：29/3 上升→ 4/7 平稳→ 14/4，突跳 9 天曲线出现全异常，故$m_1 = 2$。

（2）地电：13/4出现明显上升，日幅差超过正常变化的100%，故$m_2 = 2$。

（3）倾斜：13/4 两次速率增大，方向相反，故$m_3 = 2$，$x_1 = 1$。

（4）地植电：11/4—13/4三天出现突跳，故$m_4 = 2$。

（5）垂直电：10/4记录到一次大脉冲，故$m_5 = 2$。

震前宏观信息：

（1）13/4下午老鼠成群乱跑，故$b_1 = 2$。

（2）震前景泰地区一年来发生100余次小震，官川河小震成系列状，故$y_1 = 1$。

由以上数值可算得：

$$A_1 = B_1 = 1,\quad A_2 = A_3 = B_2 = B_3 = 0$$

再由这些数值可算得：

$$P(A_1, A_2, A_3) = 1$$
$$P(B_1, B_2, B_3) = 1$$

从而

$D_1=-0.2$, $D_2=-1$, $D_3=0.2$, $D_4=0.2$, $D_5=-0.2$, $D_6=-1$, $D_7=1$

其中$D_3>0$, $D_4>0$。但D_4为最终决策函数，故预报决策应为D_4：“距测点50公里左右有5级左右地震或150公里左右有6级左右地震”。

实际结果是距测点160公里处发生5.7级地震，与预报基本一致。

（本文1983年6月28日收到）

参 考 文 献

〔1〕D.Dubois, H.Prade, Fuzzy sets and systems, Theory and Applications, 1980.

〔2〕冯德益等，模糊数学方法在烈度评定中的应用，Vol.2，№3，1982.

〔3〕郭增建等，震源孕育模式的初步探讨，地球物理学报，Vol.17，№2，1973.

SYNTHETIC METHOD FOR SHORT—TERM AND IMMINENT TERM PREDICTION OF EARTHQUAKES

Wang zengjia, Chen Huacheng and zhang zhongfu

(*Lanzhou Railway Institute*)

Abstract

In terms of fuzzy logic theory, a new method which can synthefically Process the precursory information is presented.It can be applied to the short—term and immenent term prediction of earthquakes.It seems to the authors that the method used is convenient.