第12卷 第2期 西北地震学报 Vol.12, No.2
1990年6月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL June, 1990

地震综合预报中各手段的权重分配的近似确定

实践表明，单靠一项手段来预测地震往往是行不通的，比较可取的办法是把多项预报手段的预报意见加以综合分析。在地震的综合预报中，如何确定各手段的权重是一个关键的问题。以往所用的方法带有一定的局限性。本文试图根据模糊数学中的“贴近度”概念，提出一种比较客观的算法，利用这个算法可以近似地求得各手段的权重分配。

记H为预报手段的集合，E为预报意见的集合：

$$H=\{h_1, h_2, \cdots, h_n\},$$

$$E=\{e_1, e_2, \cdots, e_m\}。$$

设

$$R=\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12}\cdots r_{1m} \\ r_{21} & r_{22}\cdots r_{2m} \\ \cdots\cdots\cdots & \\ r_{N1} & r_{N2}\cdots r_{Nm} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdots \\ R_N \end{pmatrix}$$

是从H到E的模糊关系矩阵。其中$R_i=r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{im}$，$i=1, 2, \cdots, n$，$r_{ij}$表示第i项手段$h_i$发出第j种预报意见$e_j$的可靠程度，$0\leqslant r_{ij}\leqslant 1$。为归一化，应使$\sum_{j=1}^{m} r_{ij}=1$（$i=1, 2, \cdots, n$）。对于固定的i，$R_i=(r_{i1}, \cdots, r_{im})$是E上的一个模糊子集，它表示第i项手段$h_i$所发出的预报意见，故R是由各个单项手段预报意见所组成的矩阵，简称为预报矩阵。要根据各项手段的预报意见得出综合预报意见，除需要知道预报矩阵R外，还要知道各项手段在综合预报中所处的地位，也即各项手段的权重分配。

设各手段的权重分配向量为$W=(W_1, W_2, \cdots, W_n)$，其中$W_i\geqslant 0$，且$\sum_{i=1}^{n} W_i=1$（归一化）。由模糊数学的理论可知，在已知预报矩阵R和各手段之权重分配向量W的情况下，综合预报意见$P=(P_1, P_2, \cdots, P_m)$为W通过R的变换：

$$P=W\circ R \quad ,$$

其中“o”表示模糊矩阵的“广义复合运算”。

由于预报矩阵R及权重分配向量W都是归一化的，在对所有因素依权重大小均衡兼顾的情况下，模糊关系方程$P=W\circ R$的广义复合运算实际上就是向量与矩阵的普通乘法，计算起来十分简便。

为了确定各预报手段的权重分配向量W，有必要先简单讨论一下模糊数学中的“贴近度”概念。为了描述两个模糊子集A与B彼此靠近的程度，通常利用公理化的方法建立“贴近度”的概念，并记σ（A，B）为模糊子集A与B的贴近度。一般认为用A与B的“距离”来描述“贴近度”σ（A，B）是比较合适的，本文采用哈明（Hamming）距离下的贴近度

计算公式：

$$\sigma(A,\ B) = 1 - d(A,\ B)。$$

其中$d(A,\ B)$是A与B的哈明距离，

$$d(A,\ B) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}|A(X_i) - B(X_i)|。$$

对某次地震，设其预报矩阵为R，地震实际发生情况为P^*，其中$P_i^* \geqslant 0$，$\sum_{i=1}^{m}P_i^* = 1$。$P^* = (P_1^*,\ P_2^*,\cdots,P_m^*)$。如前所述，预报矩阵的行向量$R_i$（$i=1,\ 2,\ 3,\cdots,\ n$）是第i项预报手段$h_i$的预报意见，它是E上的一个模糊子集。从直观上讲，哪一项手段的预报意见R_i与P^*比较贴近，那么该手段的权重W_i就应该大一些，或者说，若R_i与P^*的距离越小则相应的权重W_i应越大。

借助负指数函数e^{-kX}的性质，可以根据R_i与P^*的距离$d(R_i,\ P^*)$来逐步调整权重W_i，使得$W \circ R$尽可能贴近P^*（或者说，使$W \circ R$与P^*的距离尽量小），从而可以获得权重分配向量W的近似解。下面举例说明具体算法。

设预报矩阵R和地震实际发生情况P^*分别为：

$$R = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 \end{pmatrix};$$

$$P^* = (0.4,\ 0.5,\ 0.1)。$$

（1）计算$\alpha_i = d(R_i,\ P^*)$　$(i=1,\ 2,\ 3,\ 4)$

$$\alpha_1 = |0.5 - 0.4| + |0.3 - 0.5| + |0.2 - 0.1| = 0.4^*;$$

$$\alpha_2 = 0.2,\ \alpha_3 = 0.8,\ \alpha_4 = 0.4。$$

（2）计算$W_K = (e^{-k\alpha_1},\ e^{-k\alpha_2},\ \cdots,\ e^{-k\alpha_n})$

当$k=1$时，　$W_1 = (e^{-\alpha_1},\ e^{-\alpha_2},\ e^{-\alpha_3},\ e^{-\alpha_4})$

$= (0.67,\ 0.82,\ 0.45,\ 0.67)$

$= (0.26,\ 0.31,\ 0.17,\ 0.26)$（归一化）。

（3）计算$d_k = d(W_k \circ R,\ P^*)$

当$k=1$时，　$W_1 \circ R = (0.33,\ 0.42,\ 0.25)$，

$d_1 = d(W \circ R,\ P^*) = |0.33 - 0.4| + |0.42 - 0.5| + |0.25 - 0.1| = 0.30$。

现将$K=1,\ 2,\ \cdots,\ 10$时的计算结果列表如下：

---

* $\alpha_i = d(R_i,\ P^*) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left|r_{ij} - P_j^*\right|$，其中$\frac{1}{m}$是相同的，为节省计算量，可略去且不影响结果。

K	W_K				d_K^-
	W_1	W_2	W_3	W_4	
1	0.26	0.31	0.17	0.26	0.30
2	0.25	0.38	0.11	0.25	0.24
3	0.24	0.44	0.07	0.24	0.21
4	0.23	0.50	0.05	0.23	0.17
5	0.21	0.56	0.03	0.21	0.14
6	0.19	0.61	0.02	0.19	0.12(最小)
7	0.16	0.66	0.01	0.16	0.13
8	0.14	0.71	0.01	0.14	0.15
9	0.12	0.75	0	0.12	0.15
10	0.10	0.79	0	0.10	0.16

从上表可知，当K＝6时，d达到极小值（0.12），相应的W_6＝（0.19，0.61，0.02，0.19）为W的近似解。

（本文1989年5月10日收到）

（厦门大学 蔡经球）

参 考 文 献

〔1〕贺仲雄，模糊数学及其应用，天津科技出版社，1983.
〔2〕蔡经球，利用模糊数学的方法探索地震的综合预报问题，西北地震学报，Vol.4，No.1，1982.
〔3〕陈永义、刘云丰、汪培庄，综合评判的数学模型，模糊数学，No.1，1983.

APPROXIMATE DETERMINING ON WEIGHT DISTRIBUTION OF OBSERVING ITEM IN COMPREHENSIVE EARTHQUAKE PREDICTION

Cai Jingqiu
(*The Xiamen University, Fujian, China*)

勘误：

本刊今年第一期刊登的《地震前水氡短临异常判别指标及预报三要素的方法探讨》一文，因校对失误，文内表4中中国大陆异常点数一栏的91应改为175。