

物元分析在地震预报中的应用试验^{*}

冯利华

(中国浙江金华市 321004 浙江师范大学地理系)

摘要 利用前期的地震活动性指标进行计算,可以使物元分析具有预报功能。通过反复调整各指标的等级分界值,可以使年最大震级计算等级和实际等级的历史拟合率达到最大,其结果是比较理想的。

关键词 关联函数 物元分析 年最大震级 地震预报

引言

地震危害极其严重,而地震预报却又十分困难。长期以来,虽然经过地震工作者坚持不懈的努力,但由于地震影响因素的纷繁复杂,以及地震前兆的判断困难,地震预报的准确率始终难以提高。地震的活动趋势是人们普遍关注的问题,在地震的成因机制尚难认识的今天,一条比较有效的途径是利用数学方法来处理地震的各种活动性指标,从而进行地震预报。关于这方面已有许多有益的探讨,本文则利用新近出现的物元分析(蔡文, 1994)来研究这个问题。

1 物元分析的原理和方法

在物元分析中,把事物 N 及其特征 c 和量值 x 的三元有序组合

$$\mathbf{R} = (N, c, x) \quad (1)$$

作为描述事物的基本元,简称为物元。如果事物 N 需要用 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和对应量值 x_1, x_2, \dots, x_n 来描述,那么称 \mathbf{R} 为 n 维物元,并用矩阵表示为

$$\mathbf{R} = (N, c_i, x_i) = \begin{vmatrix} N & c_1 & x_1 \\ c_2 & x_2 \\ \cdots & \cdots \\ c_n & x_n \end{vmatrix} \quad (2)$$

物元分析的具体步骤如下:

(1) 确定经典域

$$\mathbf{R}_{0j} = (N_{0j}, c_i, x_{0ij}) = \begin{vmatrix} N_{0j} & c_1 & x_{01j} \\ c_2 & x_{02j} \\ \cdots & \cdots \\ c_n & x_{0nj} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{01j}, b_{01j} \rangle \\ c_2 & x_{02j} & \langle a_{02j}, b_{02j} \rangle \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ c_n & x_{0nj} & \langle a_{0nj}, b_{0nj} \rangle \end{vmatrix} \quad (3)$$

* 1997-09-30 收到初稿, 1998-08-20 收到修改稿, 1998-09-04 决定采用。

式中, N_{0j} 为事物的第 j 个等级 ($j=1, 2, \dots, m$); c_i 为事物第 j 个等级的第 i 个特征; x_{0ij} 为 N_{0j} 关于 c_i 的量值范围, 即各等级关于对应特征的经典域 $\langle a_{0ij}, b_{0ij} \rangle$.

(2) 确定节域

$$\mathbf{R}_P = (P, c_i, x_{Pi}) = \begin{vmatrix} P & c_1 & x_{P1} \\ & c_2 & x_{P2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & x_{Pn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P & c_1 & \langle a_{P1}, b_{P1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{P2}, b_{P2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle a_{Pn}, b_{Pn} \rangle \end{vmatrix} \quad (4)$$

式中, P 为事物等级的全体; x_{Pi} 为 P 关于 c_i 的量值范围——节域 $\langle a_{Pi}, b_{Pi} \rangle$. 这里, 要求 $x_{0ij} \in x_{Pi}$.

(3) 列出待评物元. 对于待评事物, 用物元表示为

$$\mathbf{R}_k = (P_k, c_i, x_i) = \begin{vmatrix} P_k & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & x_n \end{vmatrix} \quad (5)$$

式中, P_k 为待评事物 ($k=1, 2, \dots, l$); x_i 为 P_k 关于 c_i 的量值, 即各特征的实际数据.

(4) 计算权系数. 这里利用成对比较法来确定权系数, 即根据专家咨询意见, 对 n 个特征中任意两个特征之间的重要性进行两两比较, 给出比值 d_{ij} (可以取专家赋值的均值) ($i, j=1, 2, \dots, n$), 得到判断矩阵

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{vmatrix} \quad (6)$$

对矩阵 \mathbf{D} 的每一行元素先相乘, 再求 n 次方根, 得一向量 $\mathbf{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)^\top$, 其中 $b_i = (\prod_{j=1}^n d_{ij})^{1/n}$ ($i=1, 2, \dots, n$). 作归一化处理, 即令 $a_i = b_i / \sum_{i=1}^n b_i$, 从而得到权系数 $\mathbf{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)^\top$, 并且满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$.

(5) 确定关联函数. 令

$$Y_j(x_i) = \rho(x_i, x_{0ij}) / [\rho(x_i, x_{Pi}) - \rho(x_i, x_{0ij})] \quad (7)$$

式中

$$\rho(x_i, x_{0ij}) = |x_i - (a_{0ij} + b_{0ij})/2| - (b_{0ij} - a_{0ij})/2 \quad (8)$$

$$\rho(x_i, x_{Pi}) = |x_i - (a_{Pi} + b_{Pi})/2| - (b_{Pi} - a_{Pi})/2 \quad (9)$$

则待评事物 P_k 关于第 j 个等级的关联函数

$$Y_j(P_k) = \sum_{i=1}^n a_i Y_j(x_i) \quad (10)$$

(6) 评定事物等级. 根据最大隶属原则, 在 $Y_j(P_k)$ 中寻求最大的关联函数值

$$Y_{j'}(P_k) = \max[Y_1(P_k), Y_2(P_k), \dots, Y_m(P_k)] \quad (11)$$

则待评事物 P_k 应归属于第 j' 个等级.

2 应用实例

现以江苏及其邻近地区的地震预报为例, 说明物元分析在地震预报中的应用。表1列出了江苏及其邻近地区的年最大震级和有关的地震活动性指标, 原始资料来源于冯德益等(1992)文献。这里, 待评事物为江苏及其邻近地区的年最大震级 M_{\max} ($k=1, 2, \dots, 7$)。特征为地震的活动性指标: c_1 为上一年次数最多的地震震级(级); c_2 为上一年的 b 值($b=0.4343/(\bar{M}-M_{\min})$); c_3 为上一年地震的平均纬度偏差(度); c_4 为上一年地震的平均经度偏差(度); c_5 为上一年的最大震级(级); c_6 为上一年 $M_L > 1.5$ 的地震次数(次); c_7 为相邻前两年的地震次数差(经过一定的加权处理); c_8 为相邻前两年最大地震的震级差, 当其为负数时作乘以-0.1处理($i=1, 2, \dots, 8$)。根据江苏及其邻近地区年最大震级 M_{\max} 的多年变化情况, 将其分为4个等级: ① $M_{\max}=3.1 \sim 4.0$; ② $M_{\max}=4.1 \sim 5.0$; ③ $M_{\max}=5.1 \sim 6.0$; ④ $M_{\max}=6.1 \sim 7.0$ 。各地震活动性指标也相应地分为4个等级($j=1, 2, 3, 4$)。根据年最大震级的计算等级与实际等级的历史拟合率最大的原则, 在计算过程中, 反复调整各地震活动性指标的等级分界值, 最后得到历史拟合率最大时, 各地震活动性指标的等级分界值(表2)。

表1 江苏及其邻近地区年最大震级和地震活动性指标

年份	M_{\max}	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8
1981	3.9	1.8	0.65	1.18	0.96	3.5	84	0.03	0.28
1982	5.0	1.8	0.60	1.10	0.94	3.9	68	0.2	0.4
1983	3.5	2.1	0.50	0.89	0.80	5.0	73	1.0	1.1
1984	6.3	1.8	0.62	1.05	0.96	3.5	52	0.2	0.15
1985	4.1	3.4	0.36	0.46	0.53	6.3	200	15	2.8
1986	5.1	2.6	0.43	0.57	0.70	4.1	200	0	0.22
1987	5.4	2.1	0.42	1.03	1.12	5.1	58	0.02	1.0

表2 历史拟合率最大时年最大震级与地震活动性指标的等级分界值

等级	1	2	3	4
M_{\max}	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1~7.0
c_1	2.1~2.4	2.4~2.6	2.0~3.2	2.0~2.2
c_2	0.41~0.47	0.27~0.45	0.54~0.61	0.55~0.69
c_3	0.4~0.5	0.38~0.54	0.79~1.19	0.9~1.19
c_4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.6~0.8	1.0~1.2
c_5	3.0~3.8	3.5~4.3	3.0~5.1	7.0~8.0
c_6	52~88	50~86	130~140	130~140
c_7	0.28~4.0	0.1~0.3	8.0~12	12~15
c_8	0.22~0.7	0.7~1.4	1.4~2.1	4.0~5.0

(1) 确定经典域。根据江苏及其邻近地区年最大震级的多年变化情况, 确定出地震活动性指标4个等级的经典域, 如地震活动性指标第1等级($M_{\max}=3.1 \sim 4.0$)的经典域为

$$\mathbf{R}_{01} = (N_{01}, c_i, x_{0i1}) = \begin{vmatrix} N_{01} & c_1 & < 2.1 & 2.4 > \\ & c_2 & < 0.41 & 0.47 > \\ & \dots & \dots & \dots \\ & c_8 & < 0.22 & 0.7 > \end{vmatrix}$$

其它等级的经典域见表 2.

(2) 确定节域. 根据 $x_{0ij} \in x_{Pi}$ 的要求, 确定出各指标的节域为

$$\mathbf{R}_P = (P, c_i, x_{Pi}) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline P & c_1 & < 0 \quad 4.2 > \\ & c_2 & < 0 \quad 0.75 > \\ & c_3 & < 0 \quad 1.3 > \\ & c_4 & < 0 \quad 1.3 > \\ & c_5 & < 0 \quad 8.1 > \\ & c_6 & < 0 \quad 230 > \\ & c_7 & < 0 \quad 18 > \\ & c_8 & < 0 \quad 5.2 > \\ \hline \end{array}$$

(3) 列出待评物元. 根据表 1 所列数据, 把 1981 年江苏及其邻近地区年最大震级的 8 个指标用物元表示为(其余类似)

$$\mathbf{R}_1 = (P_1, c_i, x_i) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline P_1 & c_1 & 1.8 \\ & c_2 & 0.65 \\ & \dots & \dots \\ & c_8 & 0.28 \\ \hline \end{array}$$

(4) 计算权系数. 利用式(6), 根据专家咨询意见, 得到 8 个指标的权系数 $\mathbf{A} = [0.12(c_1), 0.13(c_2), 0.10(c_3), 0.10(c_4), 0.16(c_5), 0.12(c_6), 0.13(c_7), 0.14(c_8)]$.

(5) 计算关联函数值. 利用式(7)~(9), 计算得到 1981 年江苏及其邻近地区年最大震级各等级的 $Y_j(x_i)$: $Y_1(x_1) = -0.1429$, $Y_2(x_1) = -0.2500$, $Y_3(x_1) = -0.1000$, $Y_4(x_1) = -0.1000$, 其余的 $Y_j(x_i)$ 见表 3.

表 3 1981 年江苏及其邻近地区年最大震级各等级的 $Y_j(x_i)$

指标	1	2	3	4
c_1	-0.1429	-0.2500	-0.1000	-0.1000
c_2	-0.6429	-0.6667	-0.2857	0.6667
c_3	-0.8500	-0.8421	0.0909	0.0909
c_4	-0.5143	-0.3200	-0.3200	-0.1053
c_5	0.0938	0.0000	0.1667	-0.5000
c_6	0.0500	0.0244	-0.3538	-0.3538
c_7	-0.8929	-0.7000	-0.9962	-0.9975
c_8	0.2727	-0.6000	-0.8000	-0.9300

再利用式(10), 计算得到 1981 年江苏及其邻近地区年最大震级各等级的关联函数值 $Y_j(P_1)$.

$$\begin{aligned} Y_1(P_1) &= \sum_{i=1}^8 a_i Y_1(x_i) = a_1 Y_1(x_1) + a_2 Y_1(x_2) + \dots + a_8 Y_1(x_8) \\ &= 0.12 \times (-0.1429) + 0.13 \times (-0.6429) + \dots + 0.14 \times 0.2727 \\ &= -0.29 \end{aligned}$$

$$Y_2(P_1) = -0.40$$

$$Y_3(P_1) = -0.33$$

$$Y_4(P_1) = -0.31$$

其余年份年最大震级各等级的关联函数值见表 4.

(6) 评定年最大震级的等级. 根据最大隶属原则, 在 $Y_j(P_k)$ 中寻求最大的关联函数值 $Y_{j'}(P_k)$, 则各年的年最大震级应归属于第 j' 个等级. 就 1981 年江苏及其邻近地区年最大震级各等级的关联函数值而言

$$Y_{j'}(P_1) = \max[-0.29, -0.40, -0.33, -0.31] = -0.29$$

由于 $j' = 1$, 则 1981 年江苏及其邻近地区的年最大震级属于第 1 等级. 从表 4 可知, 在 1981~1987 年的 7 年中, 江苏及其邻近地区年最大震级的计算等级和实际等级全部符合, 可见计算结果是比较理想的.

表 4 江苏及其邻近地区年最大震级各等级的关联函数值、计算等级和实际等级

年份	1	2	3	4	j'	M_{\max}	实际等级	符合情况
1981	-0.29	-0.40	-0.33	-0.31	1	3.9	1	✓
1982	-0.09	-0.07	-0.18	-0.26	2	5.0	2	✓
1983	0.19	-0.09	-0.17	-0.38	1	3.5	1	✓
1984	-0.27	-0.18	-0.22	-0.16	4	6.3	4	✓
1985	-0.41	-0.35	-0.36	-0.38	2	4.1	2	✓
1986	-0.27	-0.29	-0.24	-0.54	3	5.1	3	✓
1987	-0.32	-0.19	-0.18	-0.22	3	5.4	3	✓

为了预报江苏及其邻近地区 1988 年的年最大震级, 可以加入上一年(1987 年)的 8 个地震活动性指标: $x_1 = 2.6$ 级, $x_2 = 0.43$, $x_3 = 0.93^\circ$, $x_4 = 0.89^\circ$, $x_5 = 5.4$ 级, $x_6 = 58$ 次, $x_7 = 0$, $x_8 = 0.3$, 再次进行物元分析, 得到

$$Y_{j'}(P_8) = \max[-0.22, -0.30, -0.24, -0.46] = -0.22$$

由于 $j' = 1$, 则预报 1988 年江苏及其邻近地区的年最大震级应归属于第 1 等级, 即 M_{\max} 在 3.1~4.0 之间; 而实际上该区 1988 年的年最大震级 $M_{\max} = 4.0$, 属于第 1 等级, 因此预报正确.

4 结语

从上面的分析可以看到, 本研究利用前期的地震活动性指标进行计算, 使物元分析具有了预报功能. 同时在计算过程中, 通过反复调整各指标的等级分界值(经典域), 可以使年最大震级计算等级和实际等级的历史拟合率达到最大, 其结果是比较理想的. 物元分析是新近出现的一个数学分支, 由于它能够解决客观世界中大量的实际问题, 因而在许多领域都得到了推广应用. 因此, 在地震活动趋势的物理成因尚未完全认识的今天, 利用物元分析来进行地震预报, 并与其它方法配合使用, 则可望提高地震综合预报的水平.

参 考 文 献

- 蔡文, 1994. 物元模型及其应用. 北京: 科学技术文献出版社. 267~275
冯德益, 林命周, 顾瑾平, 等, 1992. 模糊地震学. 北京: 地震出版社. 49