

地震综合预测物元模型及其应用^{*}

蒋 淳 田 山 陈化然 王建国

(中国天津 300201 天津市地震局)

摘要 可拓学始于研究各种主客观相矛盾的不相容问题, 本文将它引进地震综合预报当中. 通过建立多维地震综合预测物元模型, 计算各类指标的关联函数, 给出预测指标的定量数值评定结果, 研究解决地震综合预测中的不相容问题. 初步结果说明, 该方法在地震综合预测中有较好的应用前景.

关键词 可拓学 综合预测 物元模型 关联函数 异常指标

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A

引言

可拓学是我国学者蔡文于 1983 年创立的一门新学科. 它始于研究不相容问题的转化规律和解决方法. 在理论方面初步形成了以物元理论和可拓数学为支柱的可拓论框架; 在应用方面初步形成了自己特有的可拓方法. 它们在各个领域的应用技术称为可拓工程, 目前已进入完成阶段, 形成了一门新的学科(蔡文等, 1997). 蔡文所研究的不相容问题, 是指主观与客观相矛盾的问题. 例如, 只有少量的资金, 却想建一个大型水库; 只有一个笼子, 却想同时装运狼与鸡; 只有一杆小称, 却想称大象的重量等等. 可拓学通过类似于曹冲称象那样的转化手段, 使不相容问题最终能得到解决.

众所周知, 地震活动是一种复杂现象, 其前兆表现则更为复杂. 地震活动与单项前兆观测值的变化之间不存在一一对应的关系, 而各类前兆观测值反映出的地震异常之间, 因性质和观测值单位的不同而无法进行直接的定量评判. 所以, 要用这些前兆变化来“综合”预测地震难度很大, 属于主、客观相矛盾的不相容问题. 本研究用基于物元理论的可拓方法, 通过引进物元 $R=(N, C, V)=(\text{事物}, \text{特征}, \text{量值})$, 并对物元进行变换和运算来解决地震综合预测中的主、客观不相容问题. 其基本思路是将研究对象作为一个变化的元素参加各类变换, 即为了预测地震活动水平, 把各种物理和化学的观测值, 变换成统一的可定量评估的数值, 以建立多指标地震综合预测物元模型. 通过计算关联度值, 综合预测地震发生的强度.

1 多维地震预测物元模型

设 P_0 是 P 的一个子集, $P_0 \subset P$. 对任何 $p \in P$, 判断 p 是否属于 P_0 , 并计算 p 属于 P_0 .

^{*} 地震科学联合基金资助项目(196006).
1999-08-20 收到初稿, 1999-12-10 收到修改稿, 2000-01-25 决定采用.

的程度，其方法如下：

1.1 确定经典域和节域

(1) 经典域. 设

$$R_0 = (P_0, C, X_0) = \begin{bmatrix} P_0 & c_1 & X_{01} \\ & c_2 & X_{02} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{0n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 & c_1 & \langle a_{01}, b_{01} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{02}, b_{02} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{0n}, b_{0n} \rangle \end{bmatrix}$$

其中, c_1, c_2, \dots, c_n 是 P_0 的 n 个不同特征, 而 $X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n}$ 分别是 P_0 关于 c_1, c_2, \dots, c_n 取值的范围, 即经典域. 并且有

$$X_{0i} = \langle a_{0i}, b_{0i} \rangle \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中, a_{0i} 为第 i 个量值中的最大值, b_{0i} 为第 i 个量值中的最小值.

(2) 节域. 设

$$R_p = (P, C, X_p) = \begin{bmatrix} P & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix}$$

其中, $X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{pn}$ 分别为 P 关于 c_1, c_2, \dots, c_n 取值的范围, 即 P 的节域. 记

$$X_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle \quad i = 1, 2, \dots, n$$

因为 $P_0 \subset P$, 所以

$$X_{0i} \subset X_{pi} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3) 预测物元. 对要识别的对象 P , 把预测结果用物元

$$R = (P, C, V) = \begin{bmatrix} P & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

表示.

1.2 根据距的定义(蔡文, 1994), 计算关联函数值

由

$$\rho(v_i, X_{0i}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{0i} + b_{0i}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0i} - a_{0i}) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\rho(v_i, X_{pi}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

计算关联函数值

$$K(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, X_{0i})}{|X_{0i}|} & v_i \in X_{0i} \\ \frac{\rho(v_i, X_{0i})}{\rho(v_i, X_{pi}) - \rho(v_i, X_{0i})} & v_i \notin X_{0i} \end{cases}$$

1.3 确定权系数与计算隶属程度

对大量实际地震活动与地震前兆资料进行统计分析, 即可得出各类前兆异常反映未来

较大地震的能力,从而确定各个特征的权系数 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, 计算

$$K(p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_i(v_i)$$

此处, $K(p)$ 表示 p 属于 P_0 的程度.

1.4 判断

当 $K(p) \geq 0$ 时, $p \in P_0$; 当 $-1 \leq K(p) \leq 0$ 时, $p \in P$, $p \notin P_0$; 当 $K(p) \leq -1$ 时, $p \notin P$.

2 在地震综合预测中的应用

地震前兆十分复杂,上千条前兆异常各具特色,其与未来发震的强度、时间的精确值之间很难找到一些有明确对应关系的特征量. 如何从复杂的前兆现象中提取带有共性的特征,从而建立综合预测的判据,是综合预测研究的难题. 本研究利用震例资料,系统分析历次地震的前兆异常特征,发现地震学异常和前兆异常时段长短及种类的多少与未来地震震级的大小有一定关系. 通过引进物元分析方法,建立多维地震综合预测物元模型,探索多种地震学异常和前兆异常指标时间变化的长度(从异常起始到异常终止之间的时间间隔),即异常时段和多元指标组合与中强地震震级的关系,为预测某地区某时间段将要发生的地震震级提出综合预测判据.

2.1 建立地震综合预测物元模型

根据物元的定义,地震综合预测物元可用下式描述:

$$R = (M, C, V) = \begin{bmatrix} M & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

式中, M 为地震活动水平, C 为特征参数(指标), V 为各项特征参数的量值. 本研究作为方法探讨,首先检验利用异常时间预测震级的情况,为此,将 M 按中强地震活动水平分为 3 类,即 $M_{01}=5.0 \sim 5.9$, $M_{02}=6.0 \sim 6.9$, $M_{03} \geq 7.0$; 特征参数(指标) C 初步选 12 项:应力释放、地震空区、地震频次、地震条带、 b 值、波速比、地应力、地电、水氡、水位、地倾斜、短水准,由此得到不同震级范围的物元集合;然后检验利用异常指标预测震级的情况,从而将 M 按中强地震活动水平分为 5 类,即 $M_{01}=5.0 \sim 5.4$, $M_{02}=5.5 \sim 5.9$, $M_{03}=6.0 \sim 6.4$, $M_{04}=6.5 \sim 7.0$, $M_{05} \geq 7.0$. 特征参数(指标) C 选用一些中期预测较好的指标(蒋淳等, 1999),如平静异常 μ_q 值、自相似从属函数 μ_s 值和自助统计方差 σ_{BM} 值,组成不同震级范围的物元集合.

2.2 应用检验

(1) 利用异常持续时间预测震级. 本研究以《中国震例》(张肇诚, 1990a, b)一书中的震例异常数据为基础资料,在 44 个震例中筛选了 35 个. 通过统计上述 12 项指标的异常时间段(以月为单位),建立多维地震综合预测物元模型,预测某地区未来某时间段可能发生的最大地震的震级范围. 由于每个震例出现的异常指标不一定是同样的,要求每个震例至少有 5 个台项以上异常指标,没有异常的指标赋值为 0(表 1).

表 1 震例异常时间统计表（异常时间以月为单位）

序 号	震 例			应力 释放	地震 空区	地震 条带	<i>b</i> 值	频次	波速 比	应力	地电	水氡	水位	地倾 斜	短水 准	异常 数
	年份	地名	震级													
1	1975	康定	6.2	0	0.5	3	0	4	0	3	7	0	0	0	0	6
2	1975	海城	7.3	0	60	0	0	13	39	23	20	16	0	18	17	17
3	1976	和林格尔	6.3	131	131	164	33	5	0	11	0.2	0	11	1	0	16
4	1976	龙陵	7.4	0	71	16	0	19	39	10	20	8	11	10	0	15
5	1976	唐山	7.8	12	55	37	39	60	24	36	35	12	25	0	13	30
6	1976	松潘	7.2	0	22	23	5	3	47	10	7	11	0	0	24	16
7	1976	巴音木仁	6.2	0	21	32	60	0	0	0	0	0	0	0	39	7
8	1976	盐源	6.7	0	56	12	10	58	5	6	2	12	12	2	12	18
9	1977	库车	5.4	0	0	0	28	0	14	10	0	0	0	0	14	7
10	1977	平果	5.0	21	0	0	29	0	0	3	0	4	0	0	0	6
11	1977	伽师	6.0	0	9	0	19	0	23	0	0	0	0	2	0	5
12	1978	库尔勒	5.4	0	0	0	20	0	22	0	0	2	0	0.5	0	10
13	1978	营口	5.9	0	33	3	33	0	19	0	2	4	1	4	3	10
14	1978	下关	5.3	0	4	0	0	15	0	0	0	3	0	0	0	6
15	1978	黑水	5.4	0	5	0	0	8	7	0	0	0	0	0	0	5
16	1979	固镇	5.0	11	22	0	24	16	16	0	0	0	0	0.5	0	8
17	1979	普洱	6.8	0	24	0	4	5	0	0	69	10	12	12	6	11
18	1979	介休	5.2	0	29	0	49	0	0	0	0	0.2	0	0.2	6	7
19	1979	溧阳	6.0	46	36	0	60	24	24	15	0	14	0.3	0	12	20
20	1979	五原	6.0	0	32	12	0	12	0	0	14	0	0.6	0	0	10
21	1980	青海	5.2	0	72	0	24	0	0	0	2	5	0	6	0	6
22	1980	新疆	5.8	0	0	0	15	1	0	0	0	3	5	0	36	9
23	1981	道孚	6.9	0	36	0	6	12	0	0	0	0	0	0.1	22	11
24	1981	丰镇	5.8	0	0	12	0	12	0	0	5	0	0.3	0	0	8
25	1981	隆尧	5.8	0	0	10	0	0	0	3	10	6	0	1	0	12
26	1982	海原	5.0	0	0	9	0	36	19	0	1	1	0	0	0	8
27	1982	甘孜	6.0	0	0	3	0	12	0	0	0.5	0	0	0.2	0	9
28	1982	剑川	5.4	0	11	1	0	12	0	0	0	1	0	0	0	7
29	1983	新疆	5.4	0	0	0	11	0	12	0	0	3	2	0	0	6
30	1983	菏泽	5.9	18	39	7	11	13	12	0	3	2	0	0	0	10
31	1984	武威	5.3	5	47	0	0	0	8	8	3	2	0	0	0	11
32	1984	祁连	5.1	0	37	0	1	0	0	0	1	1	0.5	0	0	7
33	1984	南黄海	6.2	60	108	8	72	0	0	0	13	24	0	47	9	19
34	1984	灵武	5.3	0	0	10	0	12	0	0	2	0	0	0	12	8
35	1985	禄劝	6.3	0	48	0	0	12	0	2	0.2	10	3	3	3	12

通过对表 1 的震例异常时段的统计分析，选 25 个震例作为学习内检样本、10 个震例作为外推预测样本，计算各震级类别的关联度 $K(x_j)$ ，得出结果见表 2。

表 2 利用异常持续时间进行物元分析预测效果统计表

震 级	内检结果		外推预测结果	
	发生该类地震	判准该类地震	发生该类地震	判准该类地震
	总次数	总次数	总次数	总次数
$M_{01}=5.0\sim5.9$	13	12	6	4
$M_{02}=6.0\sim6.9$	9	5	3	1
$M\geq 7.0$	3	1	1	1
合计	25	18	10	6

由表 2 可以看出，内检结果震级判定的对应率为 72%，外推预报结果的对应率为

60%.

(2) 利用归一化的异常指标预测震级. 以往的研究结果表明, 平静异常 μ_q 值、自相似从属函数 μ_s 值和自助统计方差 σ_{BM} 值, 虽然各自包含的物理含义不同、表现的异常形态不同, 但它们都是在区间(0, 1)内变化的归一化指标, 在中强地震前均出现特征性变化, 在时间上异常出现是准同步的, 故将它们联合应用作为地震活动综合预测物元模型的输入, 预测某地区未来某时间段内可能发生的最大地震的震级范围. 以华北地区(31~43°N, 108~124°E)为例, 统计了 1970~1998 年 $M_0 \geq 5.0$ 地震, 计算各震级类别的关联度 $K(x_j)$. 1970~1989 年作为内检样本, 1990~1998 年为外推预测样本, 用前 3 年指标预测下一个年度将发生的最大震级范围, 结果见表 3.

表 3 利用归一化指标进行物元分析预测效果统计表

震 级	内检结果		外推预测结果	
	发生该类地震	判准该类地震	发生该类地震	判准该类地震
	总次数	总次数	总次数	总次数
$M_{01}=5.0\sim 5.4$	6	4	1	1
$M_{02}=5.5\sim 5.9$	4	6	5	3
$M_{03}=6.0\sim 6.4$	7	3	2	1
$M_{04}=6.5\sim 7.0$	1	1	1	1
$M_{05}\geq 7.0$	2	1	0	0
合计	20	15	9	5

由表 3 可以看出, 内检结果震级判定的对应率为 75%, 外推预测结果的对应率为 56%.

3 讨论与结论

目前的地震综合预测是在各单项手段的基础上, 应用现有的震例经验研究地震孕育、发生过程中多种异常现象之间的关联和组合及其与孕震过程的内在联系, 从而综合判断震情, 并进行地震综合预测. 但在多年地震预测探索中, 很难找出一种前兆可以与地震的发生有确定的关系, 各种观测手段物理量不同, 每个震例出现的异常不同, 而目前地震预测所依据的指标以及所采用的方法又很多, 往往互不相容乃至互相矛盾. 因此, 本研究旨在把解决不相容问题的可拓学方法应用于地震综合预测研究中, 通过建立多维地震综合预测物元模型, 探讨了可拓学在地震综合预测中的应用, 研究结果表明:

(1) 表 2, 3 作为方法研究, 通过震例检验筛选了 R 评分 ≥ 0.5 (许绍燮等, 1989) 的一些映震能力较强的指标, 来进行优化组合, 即在多数相同震例中均有相近的特征性变化的指标组合在一起. 但各预测指标的取值范围只是初步试定, 且各项指标的权系数仅进行了一般的调整, 其应用检验基本达到预想的结果, 说明可拓学在地震预测研究中有较好的应用前景.

(2) 在建立多维地震综合预测模型, 构造各类样本的经典域和节域时, 事物特征的量值范围可以根据实际问题的需要, 用人机对话方式加以调整. 如当个别的量值出现畸变或干扰时, 可凭经验进行调整输入, 在模型综合评判中使其具有代表性和普适性. 因此, 该方法与神经网络预测模型和 PP 投影寻踪预测模型相比, 更具有灵活性和实用性.

(3)综合预报的基础来自各单项前兆的观测资料,但各单项前兆由于物性不同,其响应的特征也不一样,很难直接用于综合预测,而引进物元变换则解决了这个问题.通过大量震例分析,可以找出其共同的震兆信息.例如,本研究所用的以各单项前兆异常时段或归一化的指标作为多维地震综合预测物元模型的输入,其输出为预测某地区某时段发生地震震级,体现了综合预测重在提炼多种前兆的关联和组合关系的特点;探索使综合预测从“拼盘式”、“表决式”等初步综合,逐步走向有一定物理基础的定量化的综合途径.

参 考 文 献

- 蔡文. 1994. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 275
- 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 1997. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 228
- 蒋淳, 田山, 陈化然, 等. 1998. 中强地震预报综合评判物元模型及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 18(1): 135~138
- 蒋淳, 陆远忠, 王建国, 等. 1999. 地震活动中期预测指标研究及其空间图像演化[J]. 地震, 19(1): 65~70
- 许绍燮, 陆远忠, 朱传镇, 等. 1989. 地震预报能力评分[A]. 见: 国家地震局科技监测司编. 地震方法实用化研究文集——地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 586~590
- 张肇诚主编. 1990a. 中国震例(1970~1980)[M]. 北京: 地震出版社, 421
- 张肇诚主编. 1990b. 中国震例(1981~1985)[M]. 北京: 地震出版社, 294

MATTER-ELEMENT MODELS FOR COMPREHENSIVE EARTH- QUAKE PREDICTION AND THEIR APPLICATIONS

Jiang Chun Tian Shan Chen Huaran Wang Jianguo

(Seismological Bureau of Tianjin, Tianjin 300201, China)

Abstract: Extenics was a branch of mathematics for studying the incompatible problems. In this paper, basing on calculating the associative functions of all various indexes, we have obtained the quantitative assessment results of prediction indexes by introducing this theory into the comprehensive earthquake prediction through establishing the matter-element model for comprehensive prediction, so that the incompatible problems can be solved. The preliminary results demonstrate that this method has better prospects in comprehensive earthquake prediction.

Key words: extenics; comprehensive prediction model; associative function; anomaly index CLC number