

前兆信息的系统结构及其在地震 综合预报中的应用

张启明

(云南大理州地震办公室,大理 671000)

摘要 本文讨论了地震前兆信息的系统结构,指出了系统结构在系统整体上获得信息增益的作用,并用层次分析法来确定系统结构矩阵。通过在滇西地区的实际应用,表明前兆信息的系统结构对地震综合预报具有一定意义。

关键词: 系统结构 层次分析法 系统结构因子 系统结构矩阵

1 引言

地震前兆系统是一个由若干相互联系和相互作用的部分(要素、过程)所构成的一个整体。它存在着多种输入、多种输出的关系,并且是在运动变化着的,它的未来不仅取决于当前,也取决于过去。它不仅是多手段、多因子的综合,空间联系和时间联系的综合,也是各种前兆信息流的综合。

地震前兆信息系统并非各种前兆信息的杂乱无序的偶然堆积,而是由各种前兆信息组成的有机整体。整体的性质和规律存在于各种前兆信息的相互联系中,系统的整体功能并不等于各种前兆手段信息的功能总和,它具有各种前兆手段所没有的新功能。因此,地震前兆信息系统有可能通过最优化途径从整体上获得增益。

每一种前兆观测手段,由于观测点均位于地壳层和大气层的界面附近,不可避免地会受到各式各样干扰与噪声的影响,这些影响源及影响途径,有的已经认识,有的尚认识不清。因此,对每一种前兆手段来说,其“信噪比”可能难以达到理想的程度。如果把每一种手段视为一个“元件”,那它就是一个可靠性不够高的元件。所以,作者运用系统工程学方法,在地震预报中实施整体优化原则,即用可靠性不够高的元件(前兆手段)组成可靠性较高的整体(信息系统),通过组合来获得信息增益,达到提高“信噪比”的目的。采用整体(综合)分析,进行多信息互补合成。此合成在对前兆观测值的时间序列进行滤波、识别异常的基础上找出系统内各手段的组织形式,即系统的结构^[1]。

2 前兆信息的系统结构

设综合预报方程为:

$$P=WR \quad (1)$$

其中 $R = [R_1 \ R_2 \ \dots \ R_i \ \dots \ R_n]^T$ 为预报矩阵; $W = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_i \ \dots \ W_n]$ 为各手段的权重矩阵。

预报矩阵是反映有无前兆信息的信息矩阵, 即有信息时取 $R_i = 1$, 无信息时取 $R_i = 0$ 。权重矩阵反映了系统信息的组织形式, 故作者将手段的权重定义为前兆信息的系统结构因子, 将结构因子构成的矩阵称为系统结构矩阵。

3 系统结构矩阵的确定

系统结构矩阵是前兆信息系统从整体上获得增益的关键, 因此, 作者引入层次分析法^[2], 以期较客观、科学地求出系统结构矩阵。

层次分析法(简称 AHP)的思路是, 首先找出解决问题所牵连的主要因素, 将这些因素按关联隶属关系构造成递阶层次模型, 通过对层次结构中各因素之间相对重要性判断及简单的排序计算解决问题。

若设同一层次间有几个元素, 则决策者通过两两比较各元素的重要关系后, 可得出如下的比较判断矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{其中: } C_{ij} = \begin{cases} 2 & (\text{第 } i \text{ 元素比第 } j \text{ 元素重要}) \\ 1 & (\text{第 } i \text{ 元素和第 } j \text{ 元素同样重要}) \\ 0 & (\text{第 } i \text{ 元素没有第 } j \text{ 元素重要}) \end{cases}$$

($i, j = 1, 2, \dots, n$) 且有 $C_{ii} = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 即元素的自身比较结果为 1。

然后通过计算各元素的排序指数来排序各元素的重要性程度。排序指数可用下式计算:

$$r_j = \sum_{j=1}^n C_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

若用 r_{\max} 表示最大的排序指数, r_{\min} 表示最小的排序指数, A_{\max} 表示排序指数最大的元素, A_{\min} 表示排序指数最小的元素, 当选取这两个元素作为基点比较元素, 经决策者比较, 用 1~9 的标度给出这个基点的相对重要性程度 b_m (大于 1) 后, 通过下面的交换式可以求得各元素间的相对重要性程度:

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} (b_m - 1) + 1 & r_i - r_j \geq 0 \\ 1 / \left[\frac{r_j - r_i}{r_{\max} - r_{\min}} (b_m - 1) + 1 \right] & r_i - r_j < 0 \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

以 b_{ij} 为基本元素, 构成一新的判断矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

再解方程组:

$$B \cdot G = \lambda_{\max} G \quad (6)$$

式中 λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值。

得到的特征向量为: $G = [G_1 \ G_2 \ \dots \ G_n]^T$ (7)

这里 G_1, G_2, \dots, G_n 就是该层次的相对排序度, 即权重值, 且符合 $\sum_{i=1}^n G_i = 1^{(2)}$ 。

那么, 系统结构矩阵为: $W = [G_1 \ G_2 \ \dots \ G_n]$ (8)

4 应用

地震预报指标是对观测值进行滤波及识别异常后所提炼的结果。故作者选取了滇西地区12项短临预报指标(表1), 将前述讨论结果在该区(24° 20' N ~ 28° 00' N, 97° 40' E ~ 101° 10' E)作实际应用。

4.1 滇西地区短临指标系统结构矩阵

客观、科学地反映出指标的预报效果, 单凭某一种因素(如对应率)是不够的, 必须考虑尽可能多的因素, 得出一个组合权重值来体现指标的预报功能。对应率反映的是指标出现后对应地震的概率, 因而它是权重因素中最重要的因素, 但是它无法反映出指标漏报地震的情况, 而概括率恰好可以弥补这一点, 因为概括率反映的是研究区域内所发生地震的报准率, 所以, 它是权重因素中较重要的因素; 资料的时间长短, 基本上可以反映出地震的样本数的多少, 因而它可弥补对应率和概括率在这方面的不足, 是权重因素中不可忽略的因素。所以, 作者认为用对应率、概括率、资料使用时间三项作为衡量指标预报效能的准则, 基本上可以体现出指标的能力, 并可用指标层次结构图反映出(图1)。

表1 短临指标概况表

序号	指标名称	对应率	概括率	资料长度(起始年)
1	滇西北 $M \geq 3.0$ 地震平静密集过程指标	12/19	12/23	1975
2	滇西北3级地震滑动 b 值指标	13/16	13/23	1975
3	滇西北3级地震滑动幅度指标	14/22	14/23	1975
4	洱源九台水氡突变异常指标	11/12	11/23	1975
5	鹤庆水氡旬均值系统结构指标	4/10	4/23	1985
6	滇西北“N-T”可能满意度指标	8/10	8/23	1975
7	鹤庆化龙水色发浑异常指标	9/13	9/23	1976
8	剑川滇6井水位日差分指标	6/10	6/23	1982
9	下关水氡旬均值指标	11/18	11/23	1976
10	下关4144机井水位变化指标	8/9	8/23	1975
11	兰坪3.0级地震窗指标	10/16	10/23	1976
12	龙陵巴纳享温泉氡异常指标	7/11	7/23	1978

*《云南震情研究》, 3, 1990

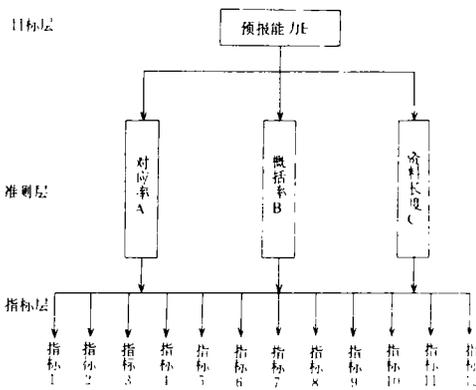


图1 指标预报效能层次结构图

Fig. 1 The levels structure of index prediction efficacy.

然后据层次分析法原理计算出各准则和各准则下各指标的权重, 最后计算出指标的综合权重值, 计算结果见表2。表中

W_B, W_C 代表各指标相对准则层的权重; G 是各指标相对目标层的综合权重值。

则由表2可得: $G = [0.083 \ 0.155 \ 0.119 \ 0.200 \ 0.014 \ 0.096$
 $0.075 \ 0.026 \ 0.032 \ 0.110 \ 0.054 \ 0.034]^T$

那么,系统结构矩阵为:

$$W = \begin{bmatrix} 0.083 & 0.155 & 0.119 & 0.200 & 0.014 & 0.096 \\ 0.075 & 0.026 & 0.032 & 0.110 & 0.054 & 0.034 \end{bmatrix} \quad (11)$$

4.2 预报

因为所选指标均为短临预报指标(预报期限为3个月),所以计算综合预报 P 值时,若研究区内无 $M_s \geq 5.0$ 地震,则以3个月为限计算,若有 $M_s \geq 5.0$ 地震,则以此地震后3个月为限计算,依此可由(1)式和(11)式计算出 P 值(图2)。

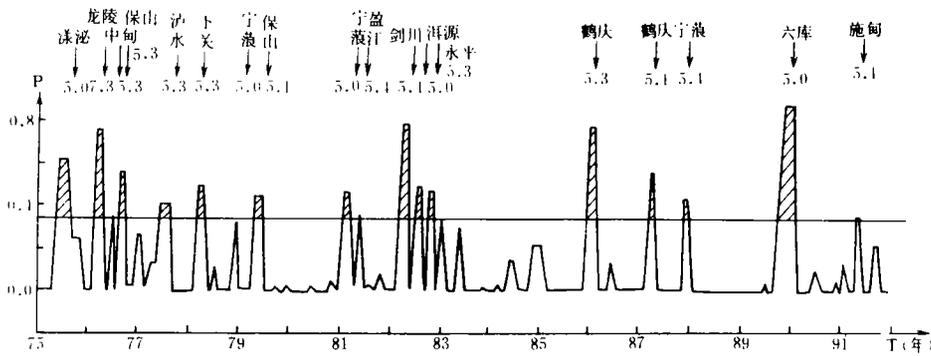


图2 滇西地区 P 值变化图

Fig. 2 The change of P-value in western Yunnan.

表2 权重计算结果表

指标序号	对应率 ($W_{AE}=0.637$) W_A	概括率 ($W_{BE}=0.258$) W_B	资料长度(起始年) ($W_{CF}=0.105$) W_C	综合权重 G
1	0.023	0.172	0.224	0.083
2	0.155	0.172	0.116	0.155
3	0.069	0.245	0.116	0.119
4	0.250	0.116	0.116	0.200
5	0.014	0.014	0.018	0.014
6	0.119	0.033	0.116	0.096
7	0.090	0.050	0.043	0.075
8	0.030	0.017	0.022	0.026
9	0.018	0.063	0.043	0.032
10	0.140	0.033	0.116	0.110
11	0.052	0.063	0.043	0.054
12	0.040	0.022	0.027	0.034
Σ	1.000	1.000	1.000	0.998

由于地震区域、地震类型、构造环境和震区受力过程等差异,不同地震其异常有不少差别,同时,许多研究结果表明在震中周围无疑应该是应力变化较强烈的地区,在这里必然有较多的物理单元进入弹塑性形变阶段,因而可以观测到较多的异常,由图2可清楚地看出这一点。

根据以最大预报准确率为选取起报点的原则,可取 $P=0.328$ 为起报值,此时,预报研究区内发生 $M_s \geq 5.0$ 地震的对应率为 94.7% (18/19),概括率为 78.3% (18/23),预报效能评分 $R=0.674$,置信度为 97.5% 的 $R_0=0.219$,可见 $R > R_0$,预报效能显著^[3]。具体预报实况见表 3。

表3 预测实况表

序号	P 值	地震实况			备注
		时间	震级	地点	
1	0.608	1975-09-04	5.0	漾濞(25°49'N,99°51'E)	
2		1975-12-01	5.0	丽江(27°06'N,100°17'E)	漏
3	0.766	1976-05-29	7.3	龙陵(24°22'N,98°38'E)	
4	0.438	1976-09-03	5.3	中甸(27°32'N,100°12'E)	
5	0.488	1976-11-03	5.3	保山(25°00'N,99°15'E)	
6		1976-11-07	6.7	宁蒗(27°30'N,101°05'E)	漏
7		1977-03-17	5.2	洱源(25°51'N,99°46'E)	漏
8	0.409	1977-10-17	5.3	泸水(26°00'N,98°56'E)	
9	0.514	1978-05-19	5.3	下关(25°32'N,100°18'E)	
10		1978-08-31	5.2	盐源(27°35'N,101°07'E)	漏
11	0.328	1979-03-07	5.0	宁蒗(27°35'N,100°54'E)	
12	0.450	1979-08-09	5.1	保山(25°10'N,98°56'E)	
13	0.476	1981-05-22	5.0	宁蒗(27°19'N,101°09'E)	
14	0.360	1981-07-07	5.4	盈江(25°08'N,97°55'E)	
15	0.788	1982-07-03	5.4	剑川(26°36'N,99°45'E)	
16	0.496	1982-10-08	5.0	洱源(26°16'N,100°00'E)	
17	0.463	1982-12-28	5.3	永平(25°30'N,99°23'E)	
18	0.328				虚
19	0.792	1986-03-13	5.3	鹤庆(26°12'N,100°10'E)	
20	0.556	1987-05-18	5.1	鹤庆(26°11'N,100°11'E)	
21	0.440	1988-01-10	5.4	宁蒗(27°12'N,100°43'E)	
22	0.886	1990-02-14	5.1	六库(25°57'N,98°57'E)	
23		1991-04-12	5.0	宁蒗(27°15'N,100°59'E)	漏
24	0.365	1991-07-21	5.1	施甸(24°50'N,99°01'E)	

表4 单项指标与综合预报值 P 预报效果对比表

实发地震	单项指标序号(名称见表1)												P 值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1975-09-04溧溧5.0	√		√	√		√				√			0.608
1975-12-01丽江5.0	√	√											0.238
1976-05-29龙陵7.3		√	√	√					√	√	√		0.766
1976-09-03中甸5.3	√	√		√									0.438
1976-11-03保山5.3	√		√	√					√		√		0.488
1976-11-07宁蒗6.7						√							0.096
1977-03-17洱源5.2							√		√	√	√		0.271
1977-10-17泸水5.3		√		√							√		0.409
1978-05-19下关5.3			√	√			√		√		√	√	0.514
1978-08-31盐源5.2	√								√				0.115
1979-03-07宁蒗5.0		√	√								√		0.328
1979-08-09保山5.1		√	√						√	√		√	0.450
1981-05-22宁蒗5.0	√	√				√			√	√			0.476
1981-07-07盈江5.4		√	√						√		√		0.360
1982-07-03剑川5.4	√	√	√	√		√	√	√				√	0.788
1982-10-08洱源5.0	√	√		√			√	√	√				0.496
1982-12-28永平5.3				√		√	√	√	√			√	0.463
1986-03-13鹤庆5.3	√	√	√	√	√		√	√	√		√	√	0.792
1987-05-18鹤庆5.1	√	√	√		√		√			√			0.556
1988-01-10宁蒗5.4			√		√	√	√	√		√			0.440
1990-02-14六库5.1	√	√	√	√	√	√	√			√		√	0.886
1991-04-12宁蒗5.0			√					√			√		0.199
1991-07-21施甸5.1	√		√				√				√	√	0.365
对应率(%)	63.2	81.3	63.6	91.7	40.0	80.0	69.2	60.0	61.1	88.9	62.5	63.6	94.7
概括率(%)	52.2	56.5	60.9	47.8	17.4	34.8	39.1	26.1	47.8	34.8	43.5	30.4	78.3

5 结语

由上述讨论及应用结果可看出,系统结构矩阵是控制 P 值变化的关键因素,它表明了系统(12项指标)信息的结构及组合形式,通过它达到了信息的系统合成,使整体预报能力大大优于单项指标(手段),见表4,达到了信息增益的目的,所以,该方法在地震综合预报中具有积极的意义。

(本文1993年12月26日收到)

参考文献

- 1 周硕愚:《系统科学导引》,北京:地震出版社,1988
- 2 左军:层次分析法中判断矩阵的间接给出法,《系统工程》,6(6),1988:56-63
- 3 国家地震局科技监测司:《地震学分析预报方法程序指南》,北京:地震出版社,1990:72-75

**THE SYSTEMATIC STRUCTURE OF PRECURSORY INFORMATION
AND ITS APPLICATION TO COMPREHENSIVE
EARTHQUAKE PREDICTION**

Zhang Qiming

(*Seismological Office of Dali County, Yunnan Province*)

Abstract

This paper discusses the systematic structure of seismically precursory information, points out the effect by which systematic structure gets information gain in systematic entirety and determines the matrix of systematic structure by using AHP method. The results from practical application in western Yunnan Province show that the structure has some positive significance in comprehensive earthquake prediction.

Key words: Systematic structure. Layer analysis method. Systematic structure factor. Systematic structure matrix

(上接第46页)

**RESEARCH ON THE CHARACTERISTICS OF FAR-FIELD PRECURSOR BEFORE
THE MANLAI M6.1 EARTHQUAKE, MONGOLIA, IN 1992**

Ma Guifang, Sun Jialin and Yuan Xiaoling

(*Seismological Bureau of Baotou City, Baotou, 014010*)

Abstract

Based on the analysis of a portion of the far-field ($\Delta = 300-450\text{km}$) precursory data before the Manlai M 6.1 earthquake occurring in Mongolia on Aug. 31, 1992, this paper puts forward that an anomaly group with regional concentration and time-domain quasi-synchronism will probably be a universalism character of medium-term and short-term precursors during earthquake-pregnant process and, based on this concept, makes a research on the three seismic factors of time, space and strength.

Key words: Far-field precursor. Regional concentration. Time-domain quasi-synchronism. Anomaly group

• Seismological Bureau of the Nei Monggol Autonomous Region, Huhehot, 010051