

辽宁地区震情预测预警层次分析模型研究^①

曹凤娟, 焦明若

(辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110034)

摘要:根据辽宁及邻区地质构造与区域地震活动特点,在震例研究和预报实践的基础上分别提炼了辽南和辽西—辽蒙交界两个区域的中强震预警判据,构建了基于时间尺度的震情预警指标模型;采用层次分析法对预警模型各指标进行了无量纲数字化,得出了各指标的相对重要性排序,确定了各指标的具体权重;最后通过判断矩阵及矩阵运算的数学方法得出辽宁地区中强震预测预警等级。

关键词: 辽宁; 震情; 层次分析; 判据; 预测预警; 判断矩阵

中图分类号: P315.71

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2012)02-0167-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2012.02.0167

Study on Analytic Hierarchy Model of Early-warning of Earthquake Activity in Liaoning Area

CAO Feng-juan, JIAO Ming-ruo

(Earthquake Administration of Liaoning Province, Liaoning 110034)

Abstract: According to characteristic of geologic structure and seismic activity in Liaoning and the neighboring area, based on the earthquake cases studies and prediction works, the warning criterions of moderate-strong earthquake in the southern Liaoning province and the Liaoning—Inner Mongolia boundary region are extracted, and the earthquake early-warning model based on time-scales is constructed. All kind of indicators used in early-warning model are processed with non-dimensional method by the analytic hierarchy process. The relative order of importance and weighs of each indicator are calculated. Finally, the early-warning level of moderate-strong earthquakes in Liaoning area are obtained by judgment matrix and mathematical method for matrix operation.

Key words: Liaoning; Seismic activity; Analytic Hierarchy Process(AHP); Criterion; Early-warning; Judgment matrix

0 前言

我国是个地震频发的国家。自“七五”攻关以来,地震工作者在地震预测预报上做了大量工作,但距离攻克地震预报这一世界性难题差得还很远。鉴于地震预报的艰巨性和不确定性,有关地震预测预警方面的研究工作应运而生。目前,无论是在国内还是在国际上大都将“预警”定义为“指事件已经发

生,但尚未到达所关注的地点时发出的警报”。而本文的地震预测预警是对发生地震灾害事件的早期评估和不确定性预报,它给出的是发生破坏性地震的趋势条件已经具备的程度,目的是通过提前警告,使社会和公众预先采取心理和行动上的必要防御和应急措施^[1]。因此地震预测预警的准确程度(概率)低于地震预报,属于非确定性预报。但地震预测预警

^① 收稿日期:2011-02-14

基金项目: 国地震局“十一”五科技支撑课题(2006BAC01B03-04-03); 辽宁省地震局中青年科研基金(K0701)

作者简介: 曹凤娟(1970—),女,辽宁沈阳人,高工,主要从事地震学研究及预报。

和地震预报都以地震预测为基础。预测预警也属于预报的范畴,是一种特殊的预报。一般来讲,如果能做出非常准确的预报,就可以严格且充分地实施预防措施,从而大大减少生命财产损失。如果我们依据不完全的信息做出的预报非常不精确,那就只能发出预警并做出有限的安排^[2]。国内外处理和解决不确定性突发灾害的实践表明,采取预警模式实行分级管理是一种有效的方法。因此,参照借鉴国内外应对恐怖袭击、地质灾害、气象灾害、森林火灾等预警工作的经验,建立地震分级分区预警制度具有重要的现实意义^[3]。

辽宁地区位于郯庐和张渤地震带附近。2008年5月12日汶川8.0级地震以及2008年11月3日海城4级震群的发生使得辽宁及邻近地区的震情形势趋于紧张。根据辽宁社会经济快速发展的现状,需要加强中强震预测预警关键技术研究,适时判断出预测预警的级别,从而提高辽宁地区地震预测预警水平和能力,最大限度地减轻地震灾害。

在构建决策系统时,最常用的是层次分析法(Antalytic Hierarchy Process,简称AHP),即将决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。其基本原理就是把复杂系统问题中的各种因素划分为相互关联的有序层次;根据各层次及其因素的相对重要性构造判断矩阵;然后利用求最大特征值的方法求出每个因素的相对重要性权值;并经一致性检验后确定各个因素的重要性排序,为决策者提供依据^[4-5]。

本文根据辽宁地区的地质构造与地震活动特点,结合1970年以来辽宁地区中强震震例,分区提炼了中强震预警判据。在此基础上利用层次分析法建立辽宁地区中强震震情预测预警模型。

1 预警判据提炼

1.1 测震学指标提取

1970年以来辽宁及邻区(38°~44°N,119°~126°E,下同)共发生 $M \geq 5.0$ 地震6次(不包括余震),即1975年2月4日海城7.3级、1978年5月18日营口5.9级、1980年1月8日朝鲜天摩山5.7级、1982年2月14日朝鲜殷栗5.4级、1999年11月29日岫岩5.4级以及2003年8月16日内蒙巴林左旗5.9级地震。由于辽西地区震例较少,因此将1988年2月25日彰武M4.8地震作为辽西地区比较典型的一次地震也列入研究对象^[6](图1)。

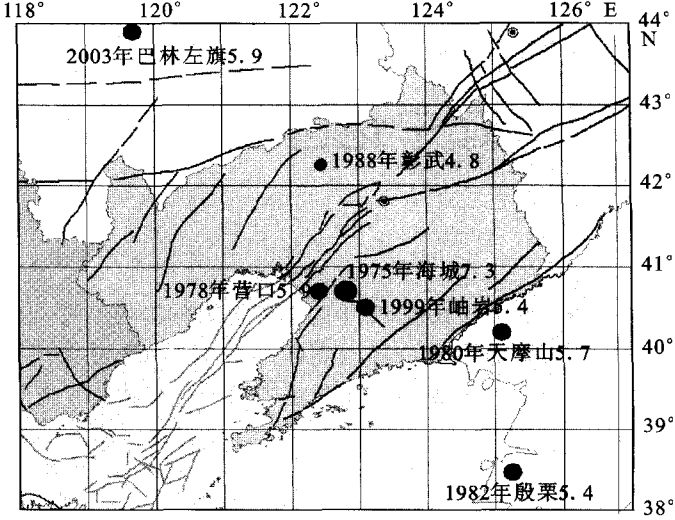


图1 1970年以来辽宁及邻区 $M \geq 5$ 地震分布

Fig.1 Distribution of $M \geq 5.0$ earthquakes in Liaoning and adjacent regions since 1970.

研究中我们应用Mopsis软件,对这7次中强震前相对独立的测震学参数做时间扫描,结果发现5种参数(缺震、 $A(b)$ 、 b 值、 GL 值和 XY 值)震前映震效果较好,同时考虑地震空区和条带等空间活动图像^[7],综合起来将其作为辽宁地区 $M \geq 5.0$ 地震的震前地震学预测预警判据(表1)。

表1 辽宁地区地震学指标映震情况

	海城	营口	天摩山	殷栗	岫岩	巴林左旗	彰武	对应次数
空区	√		√	√	√	√		5
条带	√		√	√		√		4
缺震	√	√			√	√	√	5
$A(b)$ 值	√	√	√		√	√	√	6
b 值	√	√	√	√	√	√	√	7
GL 值	√	√	√		√	√		5
XY 值	√	√	√		√	√	√	6

注: √表示震前有异常显示

1.2 前兆指标研究

图1中辽西—辽蒙交界地区发生的2次显著地震(1988年2月25日彰武4.8级、2003年8月16日巴林左旗5.9级)前,前兆异常群体性特征不明显,多出现单点异常特征。研究还发现辽西—辽蒙交界中强地震前朝阳倾斜都有一定的异常显示^[8]。辽南地区 $M5.0$ 以上地震前兆异常在空间上有一定的集中,并伴有中期、短期异常配套的特征,群体异常特征较为明显。而 $M7.0$ 以上地震则前兆异常有明显的集中和突出显示^[9]。

1.3 分区预警判据提炼

由图1可见,辽宁地区的中强震以郯庐断裂为界,主要集中在辽西—辽蒙交界和辽南地区(主要在

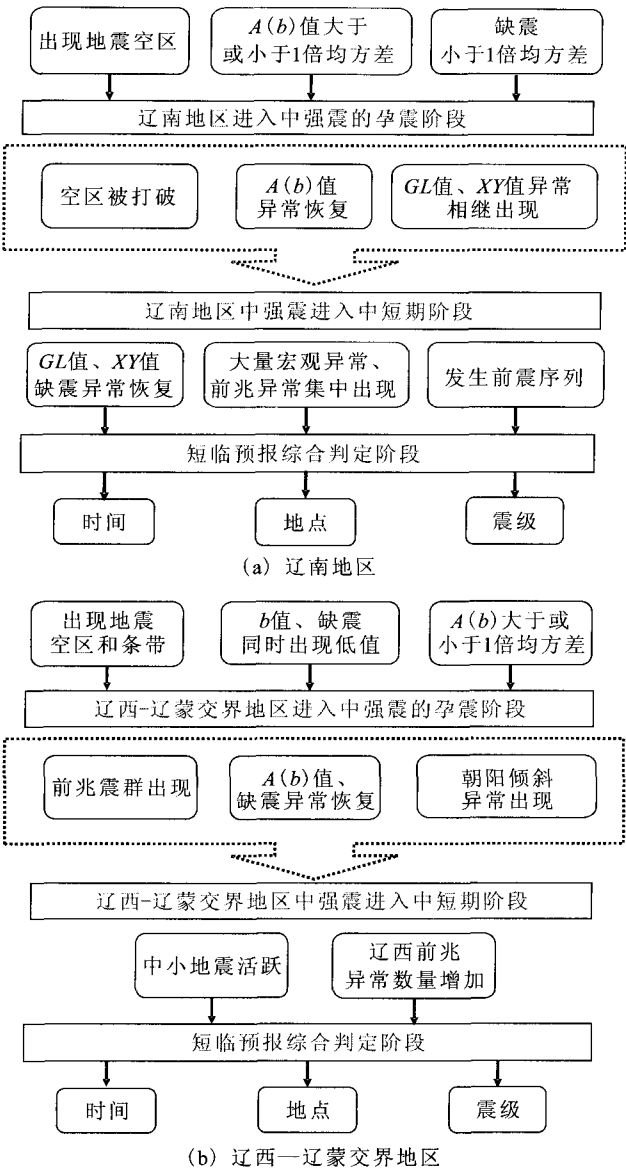


图 2 辽南和辽西地区 $M \geq 5.0$ 地震预测预警判据
Fig. 2 The criteria for $M \geq 5.0$ earthquake in the southern Liaoning province and the western Liaoning and Liaoning—Inner Mongolia boundary region.

营—海—岫地区)。地震活动有明显的区域性特征, 辽南地区的两次地震(1975 年 2 月 4 日海城 7.3 和 1999 年 11 月 29 日岫岩 5.4 地震)均有前震序列, 辽西—辽蒙交界地区的 2 次地震基本上属孤立型地震。同时震前的前兆异常显示也明显不同, 辽南地区地震前前兆异常的群体性特征较显著, 辽西地区地震前均出现标志性异常——朝阳倾斜异常。此外, 由于辽西地区的人口密度和经济发达程度均弱于辽南地区, 即便发生同等震级的地震, 相比之下, 辽南地区的社会影响和灾害损失程度会比辽西地区大。因此在提炼辽宁地区地震预测预警判据时, 我

们将辽宁地区分成辽南和辽西—辽蒙交界两个小区域来分别研究, 这样也便于进一步开展危险区的震情跟踪工作(辽西—辽蒙交界地区 2006 年以来一直被中国地震局列为年度地震危险区), 实际应用中更有针对性和实用性。基于上述考虑, 提炼得到辽南和辽西—辽蒙交界地区 $M \geq 5.0$ 地震的预警判据如图 2。

2 辽宁地区震情预警模型构建

2.1 预警指标体系建立

层次分析法是由美国运筹学家 T. L. Satty 于上世纪 70 年代末提出来的, 目的是综合利用定性、定量和经验判断方法解决复杂决策问题。层次分析法的基本思想是根据问题的性质和要求达到的总目标把问题层次化, 建立起一个有序的递阶系统, 然后对系统中各相关问题进行两两比较评判, 通过这种比较评判结果的综合计算处理, 把系统分析归结为最低层相对于最高层的相对重要性权数的确定或相对优劣次序的排序问题^[10]。

参考恐怖袭击、地质灾害、台风等的预警模式, 可见预警等级中通常包含有两方面的概念, 即灾害所造成的危险程度和发生的时间尺度; 随着预警等级的增高, 危险程度也增高, 时间尺度也更加临近。因此, 对于特定地区中强震的震情预警问题, 在只考虑时间的情况下可以利用层次分析把决策问题条理化、层次化, 从而得到图 3 的决策系统。其中的目标层是选择预警的等级; 准则层是不同时间尺度的预测准则(长期、中期、短期……); 指标层是不同预测方法得到的预测指标(地震条带、空区、缺震、前兆异常……)。

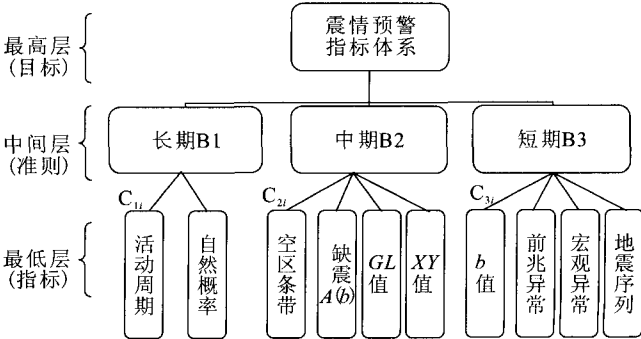


图 3 时间要素的预测预警指标体系
(震级和区域已定)
Fig. 3 Early-warning indicator system on time elements
(Magnitude and Region has been determined).

在层次分析过程中最重要步骤就是指标体系建立和对同一层次各元素的重要性进行两两比较,从而构造判断矩阵。

2.2 预警判据 C_{ij} 的确定和指标的无量纲数字化

将图 2 中各类定量和定性指标转化为无量纲的 4 个等级,以 1~4 表示,数值越高表示发生预期地震的可能性(对某种预测方法可以是对应率的高低)越大。1~4 分别对应较低、一般、较高、高四种发展可能性的内涵。具体为:1 为有异常,不突出或不能完全排除干扰,震例效果较好;2 为有异常,不突出或不能完全排除干扰,震例效果好,或异常较显著震例效果较好;3 为异常显著,震例效果较好,或异常较显著,震例效果好;4 为异常显著,异常表现符合标准,震例效果好。

数字化后的指标层各指标分别记为 x_{ij} ,权重记为 w_{ij} ,其中 i 代表准则层, $i=1,2,\cdots,m$,是准则的个数, j 代表指标层, $j=1,2,\cdots,n$,是指标的个数。表 2 为图 2(a)辽南地区预警判据的无量纲化显示。

表 2 辽南地区预测预警判据和指标无量纲化

x_{ij}			
		名称	无量纲化
长期 C_{1j}	C_{11}	活动周期	2
	C_{12}	自然概率	1
中期 C_{2j}	C_{21}	地震空区	2
	C_{22}	$A(b)$ 值/缺震	2
	C_{23}	XY 值	3
	C_{24}	GL 值	3
短期 C_{3j}	C_{31}	b 值	3
	C_{32}	前兆异常	3
	C_{33}	宏观异常	2
	C_{34}	地震序列	3

记准则层各准则为 y_i ,权重记为 w_i ,其中 i 代表准则层, $i=1,2,\cdots,m$,是准则的个数。

然后,使用 1~9 比率标度法^[11]将定性或定量的各个指标数字化并求权重。再用“成对比较法”确定各因素对目标的权重,即比较各个因素对同一目标的影响,确定它们在目标中占的权重。因为不同准则对于不同的决策有不同的重要程度,而不同的因素在相同的准则上也有不同的适合程度。层次结构反映了因素之间的关系,但准则层中的各准则在目标衡量中所占的比重并不一定相同。

所谓成对比较法,就是如果要比较 n 个因素 $Y=\{y_1,y_2,\cdots,y_n\}$ 对同一目标的影响,每次取两个因素 y_i 和 y_j , a_{ij} 表示 y_i 和 y_j 对目标的影响程度之比,其中 a_{ij} 的取值由 Saaty 的 1~9 值法决定^[12-13]。

表 3 1~9 比率标度法

标度	含义
1	表示两个元素相比,具有相同重要性
3	表示两个元素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 y_i 与元素 y_j 的重要性之比为 a_{ij} ,那么元素 y_i 与元素 y_{ji} 重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

2.3 矩阵 A 的一致性检验和权重系数 W_{ij} 的计算

2.3.1 辽南地区

由上述的成对比较法可建立成对比较矩阵,在进行权重系数 W_{ij} 的计算前首先需要计算矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$,和一致性指标 CI : $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$, $\lambda_{\max}=\sum[(AW)_i/w_i]/n$,其中 $(AW)_i$ 是向量 AW 的第 i 个元素。

由于主观因素的存在。任何判断矩阵都不可能完全达到一致,因此,我们只能规定一定的范围来判定判断矩阵的合理性,于是提出了随机性指标(Random Index) RI ^[14]。对应 n 为 1~9,给出的相应的平均随机一致性指标 RI 值见表 4^[15-16]。

表 4 n 为 1~9 时对应的 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

一般而言,1 或 2 阶的判断矩阵总是具有完全一致性的。对于 2 阶以上的判断矩阵,将其一致性指标 CI 与同阶的平均随机一致性指标 RI 之比 (CI/RI) ,称为判断矩阵的随机一致性比例,记为 CR 。当 $CR<0.10$ 时,就认为判断矩阵具有令人满意的一致性;否则需要调整判断矩阵 A ,直到满意为止^[17]。

(1) 指标层对准则层

由上面介绍的成对比较法可以得到表 2 中辽南地区的比较矩阵:

长期 C_{1j}

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

解得该矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=2$,权向量 $W=(0.75,0.25)T$, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(2-2)/(2-1)=0$,由于该矩阵是 2 阶的,所以无需做一致性检验。

设权重的向量形式为 $W=(w_1,\cdots,w_n)T$,可采用算术平均(和法)求权重:

取
$$w_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

求得长期指标层对准则层的权重如下:

	a_1	a_2	w_k
a_1	1	3	0.75
a_2	1/3	1	0.25

中期 C_{2j}

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

解得该矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=4.060\ 6$, 权向量 $W=(0.169, 0.288, 0.338, 0.205)T$, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4.060\ 6-4)/(4-1)=0.020$, 查表有 $RI(4)=0.90$, 则 $CR=CI/RI=0.020/0.90=0.022<0.1$, 得知矩阵的一致性可以接受。

由此求得中期指标层对准则层的权重如下:

	a_1	a_2	a_3	a_4	w_k
a_1	1	1/2	1/2	1	0.169
a_2	2	1	1	1	0.288
a_3	2	1	1	2	0.338
a_4	1	1	1/2	1	0.205

短期 C_{3j}

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 & 1 \\ 5 & 1 & 2 & 1/3 \\ 3 & 1/2 & 1 & 1/5 \\ 7 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

解得该矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=4.077\ 6$, 权向量 $W=(0.056, 0.239, 0.131, 0.574)T$, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4.077\ 6-4)/(4-1)=0.026$, 查表有 $RI(4)=0.90$, 则 $CR=CI/RI=0.026/0.90=0.029<0.1$, 得知矩阵的一致性可以接受。

由此求得长期指标层对准则层的权重如下:

	a_1	a_2	a_3	a_4	w_k
a_1	1	1/5	1/3	1/7	0.056
a_2	5	1	2	1/3	0.239
a_3	3	1/2	1	1/5	0.131
a_4	7	3	5	1	0.574

将各准则对应的指标的数值与相应的权重相乘并线性求和, 有

$$y_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}w_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$y_{i\max} = 4 \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (3)$$

最终得到辽南地区指标层对准则层的计算结果, 见表 5。

表 5 辽南地区指标层对准则层的计算结果

C_{ij}			对准则层		$y_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}w_{ij}$
代码	指标名称	指标定量化	权重 W_{ij}		
长期 C_{1j}	C_{11} 活动周期	2	0.75	$y_1 = 1.75$	
	C_{12} 自然概率	1	0.25		
中期 C_{2j}	C_{21} 地震空区	2	0.169	$y_2 = 2.54$	
	C_{22} $A(b)$ 值 / 缺震	2	0.288		
	C_{23} XY 值	3	0.338		
	C_{24} GL 值	3	0.205		
短期 C_{3j}	C_{31} b 值	3	0.056	$y_3 = 2.87$	
	C_{32} 前兆异常	3	0.239		
	C_{33} 宏观异常	2	0.131		
	C_{34} 地震序列	3	0.574		

(2) 准则层对目标层

构造长、中、短期期准则层对目标层的比较矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 \\ 5 & 1 & 1/3 \\ 7 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

解得该矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=3.064\ 9$, 权向量 $W=(0.072, 0.279, 0.649)T$, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.064\ 9-3)/(3-1)=0.035$, 查表有 $RI(3)=0.58$, 则 $CR=CI/RI=0.035/0.58=0.060<0.1$, 得知矩阵的一致性可以接受。

A	$B1$	$B2$	$B3$	W
$B1$	1	1/5	1/7	0.072
$B2$	5	1	1/3	0.279
$B3$	7	3	1	0.649

准则层对目标层的计算有

$$y = \sum_{i=1}^m y_i w_i = \sum_{i=1}^m w_i \sum_{j=1}^n x_{ij}w_{ij} \quad (4)$$

$$y_{\max} = \sum_{i=1}^m y_{i\max} w_i = w_1 y_{1\max} + \dots + w_m y_{m\max} \quad (5)$$

结合表 5 最终计算得到辽南地区的中强震的预测预警值

$$Y = 1.75 \times 0.072 + 2.54 \times 0.279 + 2.87 \times 0.649 = 2.72$$

对层次总排序也需作一致性检验, 检验仍要象层次总排序那样由高层到低层逐层进行。这是因为虽然各层次均已经过层次单排序的一致性检验, 这些判断矩阵也都已经具有较为满意的一致性。但当综合考虑时, 各层次的非一致性仍有一定的可能性, 引起最终的分析结果较为严重的非一致性。

与前面各层类似,最终可构造 3 级指标层对最高指标体系的矩阵 A ,解得该矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=10.0176$,权向量 $W=(0.054,0.018,0.047,0.080,0.094,0.057,0.036,0.155,0.085,0.373)$
 $T, CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(10.0176-10)/(10-1)=0.002$,查表有 $RI(10)=1.49$,则 $CR=CI/RI=0.002/1.49=0.0013<0.1$,表明指标层 C 对目标层 A 的层次结构通过了一致性检验(表 6)。

表 6 震情预测预警指标体系中各级指标权重

目标 A	准则 B	B 层权重	指标 C	C 层权重
震情 预警 指标 体系	长期	0.072	活动周期 0.75	0.054
			自然概率 0.25	0.018
	中期	0.279	地震空区 0.169	0.047
			A(b)值/缺震 0.288	0.080
			XY 值 0.338	0.094
			GL 值 0.205	0.057
	短期	0.649	b 值 0.056	0.036
			前兆异常 0.239	0.155
			宏观异常 0.131	0.085
			地震序列 0.574	0.373

2.3.2 辽蒙交界地区

以此类推,通过了一致性检验后,得到的辽蒙交界地区指标层对准则层的计算结果见表 7。

3 确立辽宁地区中强震预测预警等级

表 8 预警等级表

区域	长期 C_{1j}		中期 C_{2j}		短期 C_{3j}		预警值 Y	预警等级
	y_1	w_1	y_2	w_2	y_3	w_3		
辽南地区	1.75	0.072	2.54	0.279	2.87	0.649	2.72	橙色
辽蒙交界	1.75	0.094	2.19	0.626	2.54	0.280	2.24	橙色

4 问题与讨论

(1) 由于辽宁台网的大部分数字观测资料开始于 2000 年前后,观测以来中强震例较少(只有 1999 年岫岩 5.4 地震前有部分数字资料),因此在本次建立的预警模型时判据中暂没考虑数字资料。即便目前选定的一些判据也只是从一两次震例的总结中提炼的,有待进一步完善。

(2) 理论上地震预测的内容包括地震发生的时间、地点和强度三个方面,而且各方面的评价指标都具有层次结构,因此需要采用多层次单目标的决策方法。但本研究应用层次分析建立的辽宁地区中强震预测预警模型是在地点(辽南和辽西—辽蒙交界)和震级($M \geq 5.0$)基本确定的情况下基于时间尺度的紧迫程度与危险程度来建立的。虽然大地震发生的时间还不能预测,但是根据目前的研究水平,大地震一旦发生所造成的影响是可以在一定的精度范围

根据地震发生的紧迫程度、危险程度、灾害程度和可信程度,将辽宁地区中强震预测预警等级确定为红、橙、黄、蓝四个等级^[18]：

$$\text{红: } y \geq \frac{3}{4} y_{\max}; \text{橙: } \frac{2}{4} y_{\max} \leq y < \frac{3}{4} y_{\max}; \text{黄: } \frac{1}{4} y_{\max} \leq y < \frac{2}{4} y_{\max}; \text{蓝: } y < \frac{1}{4} y_{\max}。$$

将各区计算所得的预测预警值 Y 与上述四个等级相比较,由此确定预警等级。之后将表 5、6 中得到准则层对目标层的 y_i 值加权后,通过公式(4)计算可得各区目标层的预测预警值及相应的预警等级如表 8。

表 7 辽蒙交界地区指标层对准则层的计算结果

	代码	C_{ij}		对准则层 权重 W_{ij}	$y_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} w_{ij}$
		指标名称	指标定量化		
长期	C_{11}	活动周期	2	0.75	$y_1 = 1.75$
	C_{1j}	自然概率	1	0.25	
中期	C_{21}	地震空区	2	0.475	$y_2 = 2.19$
	C_{22}	地震条带	2	0.088	
	C_{23}	缺震	3	0.186	
	C_{24}	A(b)值/缺震	2	0.170	
	C_{25}	b 值	2	0.082	
短期	C_{31}	朝阳倾斜	3	0.540	$y_3 = 2.54$
	C_{32}	辽西前兆	2	0.297	
	C_{33}	小震活动	2	0.163	

内事先预测的^[19]。

(3) 从层次分析法步骤中可以看出,为形成判断矩阵,通常引入 1~9 比率标度方法,这使得决策者判断思维数学化^[20]。这种将判断思维数学化的方法大大简化了问题的分析,使复杂定量问题分析成为可能。此外这种数学化方法还有助于决策者检查并保持判断思维的一致性,充分体现了定性定量相结合的思想,也即合理地对两两比较的重要性程度进行定量测量。如果定量测量可以做到,就可以发挥数学中定量分析的作用,决策过程也会比较容易。

(4) 由表 8 可知震情预警模型中辽南地区中强震的临界预警值为 2.72(橙色),从危险区跟踪的角度,通过辽南地区现有的异常指标计算得到的预警值为 1.90(黄色),可见目前辽南地区中强震在时间上还不具备发震的紧迫程度

[参考文献]

- [1] 杨马陵,沈繁奎. 预警等级预报[J]. 国际地震动态, 2004, 8: 1-12.
- [2] Bruce A B 著, 马杏垣, 等. 译. 地震九讲[M]. 北京: 地震出版社, 2000: 140-158.
- [3] 张晓东, 蒋海昆, 黎明晓. 地震预测与预警探讨[J]. 中国地震, 2008, 24(1): 67-76.
- [4] 王晓青, 高孟潭. 中长期地震预测方案综合信度评价的层次分析法[J]. 中国地震, 1995, 11(3): 257-265.
- [5] 李军涛. 基于层次分析与模糊综合评判的突出危险程度预测[J]. 煤矿安全, 2010: 101-104.
- [6] 曹凤娟, 郭晓燕, 乔艳芬, 等. 辽宁地区 $M_L \geq 5.0$ 地震前中等地震集中活动的震兆研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30(2): 22-30.
- [7] 李芳, 王安东, 尹涛. 东北地震活动性短期预报方法研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2006, 27(3): 47-55.
- [8] 王玉莹, 王爱东, 赵永志, 等. 中强地震前朝阳地震台地倾斜异常特征分析[J]. 东北地震研究, 2008, 24(1): 1-7.
- [9] 王安东, 谷光裕, 黄河. 1999年11月29日和2000年1月12日辽宁省海城一岫岩5.4和5.1级地震[A]//中国震例1997-1999[G]. 北京: 地震出版社, 2000: 429-467.
- [10] 刘树枫, 袁海林. 环境预警系统的层次分析模型[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2001, 29: 132-135.
- [11] 吕燕. 关于层次分析法的理论与应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2000.
- [12] 张伟, 张莉. 层次分析法在西气东输工程地质灾害风险评估中的应用[J]. 石油工程建设, 2010, 36(4): 4-8.
- [13] 钟江荣, 张令心, 赵振东, 等. 基于震害的地震次生火灾高危害区模型研究[J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(3): 108-114.
- [14] 顾全根. 基于层次分析法的财务预警指标权重设置方法[J]. 统计与决策, 2008, 23: 176-178.
- [15] 刘小芳, 唐永林. 基于层次分析法的企业预警指标及其权重的确定[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(36): 80-81.
- [16] 张彬, 张佳. 基于最优传递矩阵的层次分析法在桥梁震害评估中的应用[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 32-36.
- [17] 唐飞, 胡隆华, 霍然, 等. 基于层次分析法的城中村区域火灾风险评估模型[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(6): 533-537.
- [18] 刘小凤, 张辉, 梅秀苹, 等. 甘东南地区震情预警指标模型及方案研究[J]. 西北地震学报, 2010, 32(3): 237-244.
- [19] 黄河, 廖旭, 赵伯明. 沈阳活断层地震危害性预测结果与分析[J]. 西北地震学报, 2010, 32(3): 292-299.
- [20] 王立民, 杨振宇, 白汉斌, 等. 层次分析法中的指数型标度问题研究[J]. 无线电工程, 2010, 40(8): 62-64.