

# 基于层次分析法的地震预警分级研究<sup>\*</sup>

张双凤<sup>1</sup>, 孙佩卿<sup>2</sup>, 李守勇<sup>1</sup>

(1. 河北省地震局邯郸中心台, 河北 邯郸 056006; 2. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 地震预警是利用地震预报的骨干指标, 采用层次分析法, 计算分析在区域(分区)和震级已确定的情况下发生地震的紧迫程度。通过把华北地区分为不同的预警区域(南部、西北部和东北部), 建立区域地震震情指标预警模型, 确定了华北地区 14 个地震预警判据, 利用层次分析法, 通过震情指标的相应运算, 建立区域指标预警系统, 根据预警等级判断标准得出每次震例的红、橙、黄、蓝预警等级。最后对华北地区不同区域的强震进行回顾性检验, 在震前得到预警等级较为理想, 为政府采取相应防震和应急措施提供依据。

**关键词:** 地震预警; 层次分析法; 华北强震

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)03-0389-07

## 0 引言

地震是人类面临的严重的自然灾害之一。我国是一个地震灾害极为严重的国家, 地震具有频度高、强度大、震源浅、分布广等特点。地震预报是个世界难题, 目前我国公认的预报水平是“在目前的科学水平下, 我们还只能在某些有利的条件下, 对某种类型的地震做出一定程度的预报”(张国民, 2003)。所谓一定程度, 是指当前所做的预报并不是时间、地点和震级都非常精确的预报, 而是有一定误差的、具有一定概率的预报。很明显, 地震预报现状与政府部门、社会公众的要求之间具有很大差距。

借鉴国内外处理和解决不确定性突发灾害的实践经验(新华网, 2003; 夏珺, 2003), 杨马陵等(2004)根据地震可能造成的灾害和社会影响程度、预测意见的准确程度等多种因素, 将预警概念引入地震预报。预警机制的目的并不是严格区分危险和安全的界线, 相反它的目的在于使危险和安全之间具有分层的等级, 而不是毫无过渡的“有震”或“无震”的转换。地震分级预警是在地震活动具有一致性, 经济发展程度、人口密集程度具有相似性的一定区域, 对已确定震级的地震发生的紧迫程度, 分等级进行地震预警。当任何一种可能的危险变得可以量化、可针对性应

对, 那么就可以把损失降到最低, 同时使社会恐慌降到最低(杨马陵等, 2004, 2005)。

基于以上思想, 笔者把华北地区分为不同的预警区域, 建立区域地震震情指标预警模型。地震预警方法属于统计预警的范畴, 是利用地震活动和前兆变化的相关统计分析结果作为建立预警模型的基础(梅世蓉, 1993, 2000; 孙加林, 2003; 张晓东, 张国民, 2004)。笔者在对社会现状和地震预测理论充分理解的基础上, 结合以往科技攻关课题中建立的有一定映震效果的中短期预测指标(孙佩卿等, 1998; 张跃刚等, 2003; 平建军等, 2003; 张双凤等, 2009; 陆明勇等, 2009), 提取了华北地区 14 项地震预警判据, 利用层次分析法, 提出华北地区强震分区分级预警的等级。

## 1 层次分析法

### 1.1 层次分析法

层次分析法(The analytic hierarchy process, 简称 AHP)是一种新的定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法, 特别是将决策者的经验判断给予量化, 对于在目标结构复杂且缺乏必要的情况数据下更为实用。目前所研究的强震分级预警是假定在区域(分区)和震级已确定的情况下, 表示地震可能发生的紧迫程度。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2010-07-19.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAC01B03-04-03)资助.

## 1.2 层次分析法的结构

在实际工作中, 研究人员针对异常相对集中的区域(分区)和可能预测的震级, 做关于时间(长、中、短临)的预警。

地震震情时间指标预警模型结构见图1。对于震情预警的时间模型, 分为三个层次: 目标层A、准则层B和指标层C。目标层A表示地震发生的紧迫程度; 准则层B表示时间为长期B<sub>1</sub>、中期B<sub>2</sub>、

短期B<sub>3</sub>……; 指标层C表示指标主要选取目前对地震时间预测有一定效果的预测方法的对应率; 长期C<sub>1</sub>是活动周期、发震的自然概率等; 中期C<sub>2</sub>是一年内发生地震的不同预测方法的对应率, 如某强震后一年内再次发生地震的对应率, 某些指标出现异常后某个地区一年内发生N级地震对应率; 短期C<sub>3</sub>是三个月内发生地震的不同预测方法的对应率。

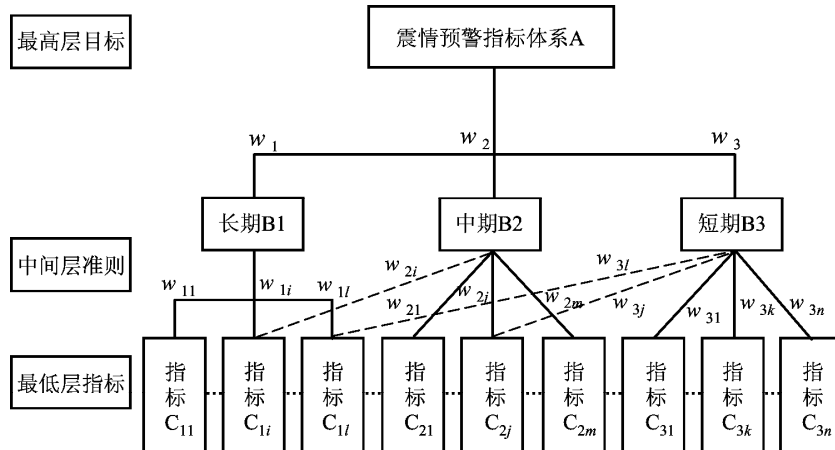


图1 预警模型: 时间要素的预警指标体系(震级、区域已定)

Fig. 1 Early warning model: the early-warning index system with the elements (the magnitude and the area is determined)

## 1.3 指标的无量纲数字化及不同层次指标的计算

### (1) 指标的无量纲数字化

将各类地震预测定量和定性指标转化为无量纲的5个等级, 以0~4表示, 数值越高, 表示发生预期地震的可能性越大。具体如下: 0表示无异常; 1表示有异常, 但不突出或不能完全排除干扰, 震例效果较好; 2表示有异常, 但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表示异常显著, 震例效果较好; 或异常较显著, 震例效果好; 4表示异常显著, 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 $x_{ij}$ , 建立比较矩阵, 计算权重向量, 权重记为 $w_{ij}$ , 其中 $i$ 代表准则层,  $i=1, 2, \dots, m$ , 是准则的个数;  $j$ 代表指标层,  $j=1, 2, \dots, n$ , 是指标的个数。准则层各准则值为 $y_i$ , 权重记为 $w_i$ , 其中 $i$ 代表准则层,  $i=1, 2, \dots, m$ , 是准则的个数。

### (2) 不同层次指标的计算

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

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

$$y_{i\max} = 4 \sum_{j=1}^n w_{ij}. \quad (2)$$

准则层对目标层的计算有

$$y = \sum_{i=1}^m y_i w_i = \sum_{i=1}^m w_i \sum_{j=1}^n x_{ij} w_{ij}, \quad (3)$$

$$y_{\max} = \sum_{i=1}^m y_{i\max} w_i = w_1 y_{1\max} + \dots + w_m y_{m\max}. \quad (4)$$

### (3) 矩阵的一致性检验

对判断矩阵进行一致性检验, 以检查所构造判断矩阵及由之导出的权重向量的合理性。利用一致性比率指标 $CR$ 进行检验, 其公式为

$$CR = CI/RI. \quad (5)$$

式中,  $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$  为一致性指标;  $RI$  为平均随机一致性指标, 是通过大量试验确定的。部分平均随机一致性指标 $RI$ 值见表1。

表 1 对应 1~9 的平均随机一致性指标  $RI$  值  
Tab. 1 Average random consistency index  $RI$  for 1-9

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

一致性比例  $CR < 0.1$  时，认为判断矩阵的一致性可以接受，否则应修正判断矩阵。不仅各层次用该方法检验，层次总排序也用该方法作一致性检验，都要满足  $CR < 0.1$  时才能接受。

(4) 预警等级的判断标准

根据  $y_{\max}$ ，预警等级分为红、橙、黄、蓝 4 个等级。红： $y \geq (3/4) y_{\max}$ ，表示地震危险级别最高；橙： $(2/4) y_{\max} \leq y < (3/4) y_{\max}$ ，表示地震危险级别较高；黄： $(1/4) y_{\max} \leq y < (2/4) y_{\max}$  表示有一定不安全因素；蓝： $y < (1/4) y_{\max}$ ，表示比较安全。

1.4 根据预警等级设计和相应预警对策

地震预警分级预报，可为政府部门采取相应的防震和应急措施提供信息，为社会公众的自我保护提供指导。初步的地震 4 级预警等级划分（张晓东，张国民，2004）见表 2。

表 2 地震预警等级及对策等级表  
Tab. 2 Earthquake early-warning level and countermeasures level

预警等级	紧迫程度	预警对策	预报准确程度
红色预警	相当紧迫	疏散人员、关闭危害系统	明确的中强震三要素临震预报
橙色预警	比较紧迫	准备救援和重要系统应急	较明确的中强震三要素临震预报
黄色预警	一般紧迫	检查危房、精密系统	模糊的中强震三要素短期预报
蓝色预警	不紧迫	不必采取措施	明确的无震预报

2 预警计算方法在华北地区的震例回顾性检验

从地震活动的一致性、经济发展程度等因素，把小华北地区（ $32^{\circ} \sim 43^{\circ}N$ ， $108^{\circ} \sim 125^{\circ}E$ ）分为南部（邢台—冀鲁豫）、西北部（京西北—晋冀

蒙）和东北部（河间—唐山—渤海），研究在某一时刻，依据指标异常的危险程度和可信程度给出预警判据的  $X_{ij}$ ，计算  $y/y_{\max}$ ，判定该区预警级别。

2.1 华北地区预警判据

通过对预测指标的反复研究、筛选，笔者最终确定华北地区选用的 14 个预警判据如下指标（表 3）。

表 3 华北地区选用的预警判据的 14 个指标  
Tab. 3 14 indicators of warning criterion in North China

预测指标	14 个预警判据
长期预测指标	出现空区、条带、地震窗口、频度和缺震等中期异常及其组合
	地震活动性状态参量偏离背景状态
	综合异常指数出现高值分布区且异常信息逐步增高
中期预测指标	出现超过 90 天 4 级地震平静异常
	出现空区、条带和信号震的组合异常
	地震学参数综合图像出现增强或收缩
	前兆异常台项比加速增多
	骨干测点出现明显异常
短期预测指标	华北地区地震综合前兆信息量时序曲线出现大于 0.277 的异常
	RTL 方法出现超过 3 倍均方差
	出现局部地震频度异常或前震
	条带形成后的平静或加速
	前兆异常突增，出现从“震中→外围→震中+外围”的现象
	数字前兆高频异常

## 2.2 华北西北部（京西北—晋冀蒙）地区震例检验——1998 年张北 6.2 级地震前预警等级

### 2.2.1 比较矩阵的建立

根据小华北西部地震的区域性特点，建立以下比较矩阵（表 4~7）。

表 4 C 层对 B 层的（长期指标）比较矩阵  $x_{1j}$

Tab. 4 Comparative matrix  $x_{1j}$  of layer C for layer B (long-term index)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$a_1$	1	1/3	2
$a_2$	3	1	4
$a_3$	1/2	1/4	1

表 5 C 层对 B 层的（中期指标）比较矩阵  $x_{2j}$

Tab. 5 Comparative matrix  $x_{2j}$  of layer C for layer B (mid-term index)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$
$a_1$	1	2	7	1/3	1/3	3	5
$a_2$	1/2	1	9	1/3	1/3	2	3
$a_3$	1/7	1/9	1	1/5	1/3	1/2	2
$a_4$	3	3	5	1	1/2	3	4
$a_5$	3	3	3	2	1	2	5
$a_6$	1/3	1/2	2	1/3	1/2	1	2
$a_7$	1/5	1/3	1/2	1/4	1/5	1/2	1

### 2.2.2 计算结果

首先对各指标无量纲数字化  $x_{ij}$ ，按表 4~7 的比较矩阵计算相应的权重向量  $w_{ij}$ ，由公式（1）、（2）计算 B 层各准则值，获得长、中、短阶段时间预警指标  $y_i$ ，计算结果为，张北 6.2 级地震前长期准则值  $y_1 = 2.24$ ， $y_{\max} = 4$ ，中期准则值  $y_2 = 2.50$ ， $y_{\max} = 4$ ，短期准则值  $y_3 = 2.23$ ， $y_{\max} = 4$ （表 8）；再由公式（3）、（4）计算目标层 A 的预估值  $y = 2.32$ （表 9）。

表 6 C 层对 B 层的（短期指标）比较矩阵  $x_{3j}$

Tab. 6 Comparative matrix  $x_{3j}$  of layer C for layer B (short-term index)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$a_1$	1	5	1/2	4
$a_2$	1/5	1	1/4	1/2
$a_3$	2	4	1	3
$a_4$	1/4	2	1/3	1

表 7 B 层对 A 层的比较矩阵

Tab. 7 Comparative matrix of layer B for layer A

	长	中	短	$W_i$
长	1	1/3	1/4	0.12
中	3	1	1/2	0.32
短	4	2	1	0.56

表 8 C 层对 B 层（指标层对准则层）的指标值

Tab. 8 Index value of layer C for layer B (index layer for rule layer)

	$x_{ij}$ 名称	无量纲化	权重 $w_{ij}$		$y_i = \sum_j x_{ij} w_{ij}$
			C 层对 B 层	C 层对 A 层	
长期 $x_{1j}$	$x_{11}$ : 空区条带背景异常	3	$w_{11} = 0.240$	$w_{11} = 0.029$	$y_1 = 2.24$ $y_{\max} = 4$
	$x_{12}$ : 地震活动性状态参量	2	$w_{12} = 0.623$	$w_{12} = 0.076$	
	$x_{13}$ : 综合异常指数	2	$w_{13} = 0.137$	$w_{13} = 0.017$	
中期 $x_{2j}$	$x_{21}$ : 90 天 4 级地震平静	3	$w_{21} = 0.176$	$w_{21} = 0.057$	$y_2 = 2.50$ $y_{\max} = 4$
	$x_{22}$ : 空区条带信号震组合	2	$w_{22} = 0.139$	$w_{22} = 0.044$	
	$x_{23}$ : 地震学综合图象收缩	2	$w_{23} = 0.050$	$w_{23} = 0.016$	
	$x_{24}$ : 前兆异常台项比增多	3	$w_{24} = 0.238$	$w_{24} = 0.076$	
	$x_{25}$ : 骨干测点明显异常	2	$w_{25} = 0.276$	$w_{25} = 0.089$	
	$x_{26}$ : 综合前兆信息量异常	3	$w_{26} = 0.081$	$w_{26} = 0.026$	
	$x_{27}$ : RTL 方法异常	2	$w_{27} = 0.040$	$w_{27} = 0.013$	
短期 $x_{3j}$	$x_{31}$ : 局部地震频度异常	3	$w_{31} = 0.354$	$w_{31} = 0.197$	$y_3 = 2.23$ $y_{\max} = 4$
	$x_{32}$ : 条带平静或加速	2	$w_{32} = 0.080$	$w_{32} = 0.045$	
	$x_{33}$ : 前兆异常突增	2	$w_{33} = 0.437$	$w_{33} = 0.243$	
	$x_{34}$ : 数字前兆高频异常	1	$w_{34} = 0.129$	$w_{34} = 0.072$	

表 9 A 层（目标层）的预警值  
Tab. 9 Early-warning value of layer A (target layer)

$y_i$	长期 $y_1 = 2.24, y_{\max} = 4$	中期 $y_2 = 2.50, y_{\max} = 4$	短期 $y_3 = 2.23, y_{\max} = 4$
华北地区的目标值 $Y$	$Y = 2.24 \times 0.12 + 2.50 \times 0.32 + 2.23 \times 0.56 = 2.32$		$y_{\max} = 4$
			$(2/4) y_{\max} \leq y < (3/4) y_{\max}$

每个矩阵都进行了一致性检验，检验通过。

计算预警值  $Y = 2.32$ ， $(2/4) y_{\max} \leq y < (3/4) y_{\max}$ ，根据预警等级判断标准，此次预警等级分为橙色，达到较高的危险级别，短期内发生地震的可能较大，建议政府准备救援和重要系统做好应急准备工作。

2.3 华北东北部（河间—唐山—渤海）地区震例检验——1976 年唐山 7.8<sub>xe</sub> 地震前预警等级

2.3.1 比较矩阵的建立

根据小华北东北部地震的区域性特点，建立以下比较矩阵（表 10~13）。

表 10 C 层对 B 层的（长期指标）比较矩阵  $x_{ij}$

Tab. 10 Comparative matrix  $x_{ij}$  of layer C for layer B (long-term index)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$a_1$	1	1/3	2
$a_2$	3	1	4
$a_3$	1/2	1/4	1

表 11 C 层对 B 层的（中期指标）比较矩阵  $x_{ij}$

Tab. 11 Comparative matrix  $x_{ij}$  of layer C for layer B (mid-term index)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$
$a_1$	1	2	7	1/3	1/3	3	5
$a_2$	1/2	1	9	1/3	1/3	2	3
$a_3$	1/7	1/9	1	1/5	1/3	1/2	2
$a_4$	3	3	5	1	1/2	3	4
$a_5$	3	3	3	2	1	2	5
$a_6$	1/3	1/2	2	1/3	1/2	1	2
$a_7$	1/5	1/3	1/2	1/4	1/5	1/2	1

表 12 C 层对 B 层的（短期指标）比较矩阵  $x_{ij}$

Tab. 12 Comparative matrix  $x_{ij}$  of layer C for layer B (short-term index)

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$a_1$	1	5	2	4
$a_2$	1/5	1	1/4	1/2
$a_3$	1/2	4	1	3
$a_4$	1/4	2	1/3	1

表 13 B 层对 A 层的比较矩阵

Tab. 13 Comparative matrix of layer B for layer A

	长	中	短	$W_i$
长	1	1/3	1/4	0.12
中	3	1	1/2	0.32
短	4	2	1	0.56

2.3.2 计算结果

通过指标的无量纲化和权重向量，计算唐山 7.8 级地震前长期准则值  $y_1 = 2.86$ ， $y_{\max} = 4$ ，中期准则值  $y_2 = 3.16$ ， $y_{\max} = 4$ ，短期准则值  $y_3 = 3.05$ ， $y_{\max} = 4$ （表 14），计算目标层 A 的预警值为  $Y = 3.06$ （表 15）。

在计算过程中，每个矩阵都进行了一致性检验，并且检验通过。计算预警值  $Y = 3.06$ ， $y \geq (3/4) y_{\max}$ ，根据预警等级判断标准，此次预警等级为红色，达到最高危险级别，短期内发生地震的可能性很大，建议政府疏散人员、关闭危害系统，做好临震的一切准备工作。

2.4 华北南部（邢台—冀鲁豫）地区震例检验

由于 1966 年邢台地震时我国的地震事业刚刚起步，保留下的资料较少，而地震预警研究需要 14 项的指标，因此，这一区域暂无法做震例检验。

3 结语

一般来讲，如果能做出非常准确的地震预报，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。如果依据不完全的信息做出的预报又非常不精确，那就只能发出预警并做出有限的安排（Bruce，2000）。地震预警分级的预报是在充分利用地震监测资料的基础上，兼顾经验判断的指标量化，假定在区域（分区）和震级已确定的情况下，预测地震可能发生的紧迫程度。地震预警是一个复杂的系统，由许多指标组成，一些指标难以定量描述或不可定量描述，而用层次分析法可以充分考虑各指标和权重的关系，通

表 14 C 层对 B 层 ( 指标层对准则层) 的指标值

Tab. 14 Index value of layer C for layer B ( index layer for rule layer)

$x_{ij}$ 名称	无量纲化	权重 $w_{ij}$		$y_i = \sum_j^n x_{ij} w_{ij}$
		C 层对 B 层	C 层对 A 层	
长期 $x_{1j}$	$x_{11}$ : 空区条带背景异常	3	$w_{11} = 0.240$	$y_1 = 2.86$ $y_{\max} = 4$
	$x_{12}$ : 地震活动性状态参量	2	$w_{12} = 0.623$	
	$x_{13}$ : 综合异常指数	2	$w_{13} = 0.137$	
中期 $x_{2j}$	$x_{21}$ : 90 天 4 级地震平静	3	$w_{21} = 0.176$	$y_2 = 3.16$ $y_{\max} = 4$
	$x_{22}$ : 空区条带信号震组合	2	$w_{22} = 0.139$	
	$x_{23}$ : 地震学综合图象收缩	2	$w_{23} = 0.050$	
	$x_{24}$ : 前兆异常台项比增多	3	$w_{24} = 0.238$	
	$x_{25}$ : 骨干测点明显异常	2	$w_{25} = 0.276$	
	$x_{26}$ : 综合前兆信息量异常	3	$w_{26} = 0.081$	
	$x_{27}$ : RTL 方法异常	2	$w_{27} = 0.040$	
短期 $x_{3j}$	$x_{31}$ : 局部地震频度异常	3	$w_{31} = 0.490$	$y_3 = 3.05$ $y_{\max} = 4$
	$x_{32}$ : 条带平静或加速	2	$w_{32} = 0.079$	
	$x_{33}$ : 前兆异常突增	2	$w_{33} = 0.305$	
	$x_{34}$ : 数字前兆高频异常	1	$w_{34} = 0.126$	

表 15 A 层 ( 目标层) 的预警值

Tab. 15 Early-warning value of layer A ( target layer)

$y_i$	长期	中期	短期
	$y_1 = 2.86, y_{\max} = 4$	$y_2 = 2.16, y_{\max} = 4$	$y_3 = 3.05, y_{\max} = 4$
华北地区的目标值 $Y$	$Y = 2.86 \times 0.12 + 3.16 \times 0.32 + 3.05 \times 0.56 = 3.06$	$y_{\max} = 4$	$y \geq (3/4) y_{\max}$

过震情指标的相应运算, 建立区域指标预警系统, 形成红、橙、黄、蓝预警标准, 为政府采取相应措施提供依据。通过对华北地区 2 个不同区域震例检验, 在震前得到的预警等级较为理想。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, 参照借鉴应对恐怖袭击、地质灾害、气象灾害以及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 ( 张晓东等, 2008; 刘小凤, 张辉, 2010)。

#### 参考文献:

- 刘小凤, 张辉. 2010. 2003 年民乐—山丹 6.1 级地震震情预警检验研究[J]. 地震研究, 33(2): 131—137.
- 陆明勇, 刘耀炜, 范雪芳, 等. 2009. 地下流体长趋势异常变化与强震预测的初步研究[J]. 地震研究, 32(4): 323—332.
- 梅世蓉. 1993. 中国地震预报概论[M]. 北京: 地震出版社: 52—59.
- 梅世蓉. 2000. 地震预报究竟有无可能[C]//中国地震学会普及工作委员会. 院士专家谈地震. 北京: 地震出版社: 52—59.
- 平建军, 曹肃朝, 张清荣, 等. 2003. 华北某些地区地震活动特征的研究[J]. 地震, 23(3): 105—112.
- 孙加林. 2003. 对中国地震预报现状和未来的思考[J]. 国际地震动态, 4(4): 4—12.
- 孙佩卿, 李钦祖, 戴英华, 等. 1998. 地震序列震级结构的特征研究[J]. 地震学报, 20(1): 36—48.
- 夏珺. 2003. 地质灾害气象预报预警防灾效果明显[N]. 人民日报, 2003—12—17(6).
- 杨马陵, 沈繁奎, 王正尚. 2004. 预警等级预报——一种新的地震预报发布形式和对策的思考[J]. 国际地震动态, 8(8): 1—12.
- 杨马陵. 2005. 地震海啸监测预警现状与进展[J]. 华南地震, 25(2): 22—29.
- 新华网. 我国台风预报水平居世界前列, 有效降低灾害损失[EB/OL]. (2003—10—07) [2010—07—19]. [http://news.xinhuanet.com/newscenter/2003-10/07/content\\_1111758.htm](http://news.xinhuanet.com/newscenter/2003-10/07/content_1111758.htm).
- 张国民. 2003. 关于加强地震预报基础研究的思考[J]. 国际地震动态, 11(1): 1—4.
- 张双凤, 孙晴, 张小涛. 2009. 邯郸地形变与地下水位动态相互关系研究[J]. 西北地震学报, 31(4): 367—373.

- 张晓东, 蒋海昆, 黎明晓. 2008. 地震预测与预警探讨[J]. 中国地震, 24(1): 67-76.
- 张跃刚, 陈绍绪, 孙佩卿, 等. 2003. 成组地震前兆异常特征[J]. 华北地震科学, 21(4): 5-9.
- 张晓东, 张国民. 2004. 关于地震预警的思考[J]. 国际地震动态, (6): 42-46.
- Bruce A B. 2000. 地震九讲[M]. 马杏垣, 等, 译. 北京: 地震出版社: 140-158.

## Classification of Earthquake Warning Based on Analytic Hierarchy Process

ZHANG Shuang-feng<sup>1</sup>, SUN Pei-qing<sup>2</sup>, LI Shou-yong<sup>1</sup>

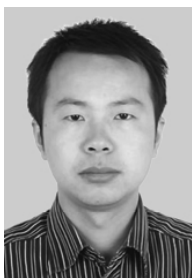
(1. Center Station of Handan, Earthquake Administration of Hebei Province, Handan 056006, Hebei, China)

(2. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China)

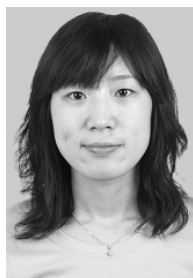
### Abstract

Earthquake early warning is defined as using the main indexes of earthquake prediction to calculate and analyze the urgency of a given-magnitude earthquake by the analytic hierarchy process (AHP) for a given region (or sub-region). We divide the North China into 3 earthquake-early-warning regions—the South, the North-west, and the Northeast, and build early-warning models of indexes of regional seismic situations to determine 14 early-warning criterion in North China. Using AHP, and performing the calculation of indexes of seismic situations, we build an early-warning system of regional indexes and get the early warning level—Red, Orange, Yellow, and Blue for each earthquake by early-warning criterion. Finally, we check the early-warning system with the historical strong earthquake in North China and get the ideal result.

**Key words:** earthquake warning; AHP; the strong earthquakes in North China



董燕生 北京农业信息技术研究中心助理研究员。2010 年毕业于北京师范大学，获博士学位。主要从事地震灾害遥感、农业灾害遥感等领域的研究，尤其是灾后遥感监测与损失评估。



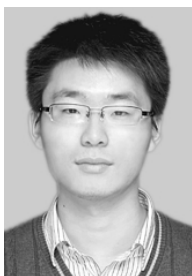
兰双双 北京工业大学建筑工程学院博士后。2005 年、2007 年、2010 年毕业于吉林大学环境与资源学院，并分别获学士、硕士、博士学位。主要从事水环境与地震地下流体方面的研究。



倪红玉 安徽省地震局工程师。2008 年毕业于中国科技大学化学物理系，获硕士学位。主要从事地震预报研究工作。



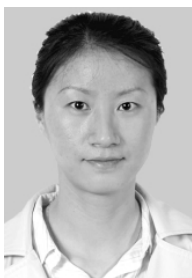
王伟涛 中国地震局地球物理研究所助理研究员。2009 年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学系，获博士学位。主要从事重复震源和 4D 地震学研究。



魏运浩 中国地震局地震研究所硕士研究生。2007 年毕业于武汉理工大学资源与环境工程学院，获学士学位；2008 年 9 月至今，在中国地震局地震研究所水库诱发地震研究室攻读硕士学位。主要从事地震工程研究工作。



许晓庆 宁夏回族自治区地震局工程师。2004 年毕业于成都信息工程学院计算机科学与技术专业，获学士学位；2010 年毕业于中国科学技术大学地球和空间科学学院固体地球物理专业，获硕士学位。现主要从事地震预测和计算地震学等研究工作。



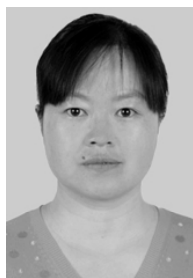
张风霜 中国地震局第一监测中心工程师。2006 年毕业于天津师范大学数学与应用数学专业，获理学硕士学位；2009 年 2 月至 6 月于中国科学院上海天文台学习利用 Gamit/Globk 软件进行 GPS 数据处理的基础理论与方法。现主要从事 GPS 数据处理与地震预测研究。



张双凤 河北省地震局邯郸中心台工程师。1999 年毕业于河北工程大学计算机专业，获学士学位。主要从事地震观测及分析预报工作。



张新东 河北省地震局高级工程师。1988 年毕业于云南大学地球物理系，获理学学士；2003 年毕业于中国科技大学地球物理专业，获硕士学位。曾参与首都圈地震台网建设、十五河北数字地震台网改造等项目。主要从事地震台网的勘选、设计与建设，数字化地震波形资料的应用研究等。



李 琼 云南省地震局工程师。2008 年毕业于云南大学固体地球物理系，获硕士学位，主要从事地震前兆和地震预报等方面的研究工作。