

甘东南地区震情预警指标模型及方案研究

刘小凤, 张辉, 梅秀苹, 郑卫平

(甘肃省地震局 甘肃 兰州 730000)

摘要:依据甘东南地区中强以上地震活动及前兆异常特征,分别确定了判定时间、地点和强度的预测指标体系,并对各指标的预测效能进行了评估,据此建立了甘东南地区5~6级地震的中短期预报方案。在此基础上利用层次分析法确定了甘东南地区5级地震的震情指标预警模型。依据预警模型及指标分层结果,将各类定量和定性指标转化为以无量纲的1~4表示的指标值,按成对比较法比较下层各指标两两之间对上层某指标的重要程度,计算权重向量,并对模型的整体层次进行一致性检验。研究结果显示,甘东南地区5级地震的预警值为3.11,依据预警等级划分标准,若满足各项预测指标,则震情预警级别为红色。

关键词:甘东南地区;地震预测;预报方案;预警指标;预警级别

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)03-0237-07

Study on the Early Warning Index Model and Scheme of Seismic Situation in Southeast Area of Gansu Province

LIU Xiao-feng, ZHANG Hui, MEI Xiu-ping, ZHENG Wei-ping

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: According to seismic activity and precursor anomaly characteristics of mid-strong earthquakes in southeast area of Gansu province, the forecasting index systems for determining seismic time, site and intensity are confirmed separately, and the prediction efficiencies of each index are evaluated. Based on this work, we constitute scheme of $M5 \sim 6$ earthquake medium-short term prediction in this area. Then using level analysis, early warning index system model of seismic situation about $M5$ earthquakes is ensured. On the basis of the early warning model and leveled index, we translate all qualitative and quantitative index into non-dimensional parameters with 1~4, get importance of comparing substrate two adjacent targets to a upper layer target using paired comparison, calculate cell weight vector, and check up the coherence of model's whole levels. The results show that the early warning value of $M5$ earthquake is 3.11 in the area, and by classification standards of early warning scale, early warning lever of seismic situation is red as if each forecasting index be satisfied.

Key words: Southeast area of Gansu province; Earthquake prediction; Prediction scheme; Early warning index; Early warning level

0 引言

甘东南地区位于青藏块体东缘,地处南北地震带中段,其边界和内部发育多组活动断裂。在NE~NEE向区域应力场作用下,南北边界断裂发生左旋

走滑运动,西部边界断裂发生右旋走滑活动,导致整个地块向SE方向挤出,在东南部遇到龙门山中央隆起带,造成东部边界地区地壳的缩短和山体的隆升,是青藏高原东北部区域构造活动强烈的地区之

收稿日期:2009-04-13

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划子专题(2006BAC01B03-04-02);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2010034

作者简介:刘小凤(1965-),女(汉族),甘肃静宁人,研究员,主要从事地震预报和地震地质研究工作。

一,也是中强震和强震发生的主要场所。

地震预警主要借鉴了海啸、气象、森林防火、农业病虫害等已建立预警机制的基本概念及属性,根据不同区域地震活动基本特征、短临阶段预报指标做出预警意见,事先向政府发出警报,以便采取有效措施将各种损失降到最低。如日本目前使用的地震预警概念主要是指地震发生后,利用地震波传播比电磁波慢或地震P波比S波和面波的到达时间早的特点进行地震紧急处置。

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。地震预警要依据地震自然属性的预测结果,充分考虑地震预测本身的不确定性,考虑发布地震预报造成的社会影响、建(构)筑物和生命线工程的抗震能力等复杂因素,考虑地震预测的风险,同时提出针对地震预警级别的相关措施^[1-2]。地震预警如果按照时间进行分类,大体可以分为中长期预警、中期预警、短期预警和临震预警等。若按照功能进行分类,则可以仅有考虑地震预测自然属性和预测不确定性的震情预警;在震情预警基础上考虑区域抗震能力的地震危险性预警;还有考虑人口和经济状况的地震灾害预警^[3]。预警系统具体操作的方式主要有3类,即指标预警法、模型预警法和统计预警法。地震预警方法属于统计预警法的范畴,绝大多数是利用

地震活动和前兆变化的相关统计分析结果,并以此作为建立预警模型的基础^[1-2]。

本文在区域活动构造定量数据和地震活动基本特征研究基础上,结合甘东南地区地震活动和前兆中短期预测指标效能评估和中短期预测方案研究成果,利用层次分析法,建立了震情指标时间预警模型,定量计算出甘东南地区5~6级地震震情预警值,确定了震情预警级别。

1 区域地震活动基本特征

有史以来甘东南地区一直是强震发生的主要场所之一,历史上曾发生过1654年天水8级和1789年武都8级地震。自历史地震资料记载相对完整的1570年开始,甘东南-甘青川交界地区5级以上地震具有平静和活跃交替活动特征,大体可划分为6个活跃阶段(图1)。第一阶段为1573-1654年,发生4次6级地震和1次8级地震(1654年天水8.0级);第二阶段为1718-1765年,发生2次6级地震和1次7级地震(1718年通渭7.5级);第三阶段为1819-1850年,发生1次6级地震(1837年岷县6.0级);第四阶段为1879-1936年,发生4次6级地震和1次8级地震(1879年武都8.0级);第五阶段为1957-2006年,发生3次6级地震和2次7级地震(1976年松潘7.2级双震)。每个活跃阶段持续

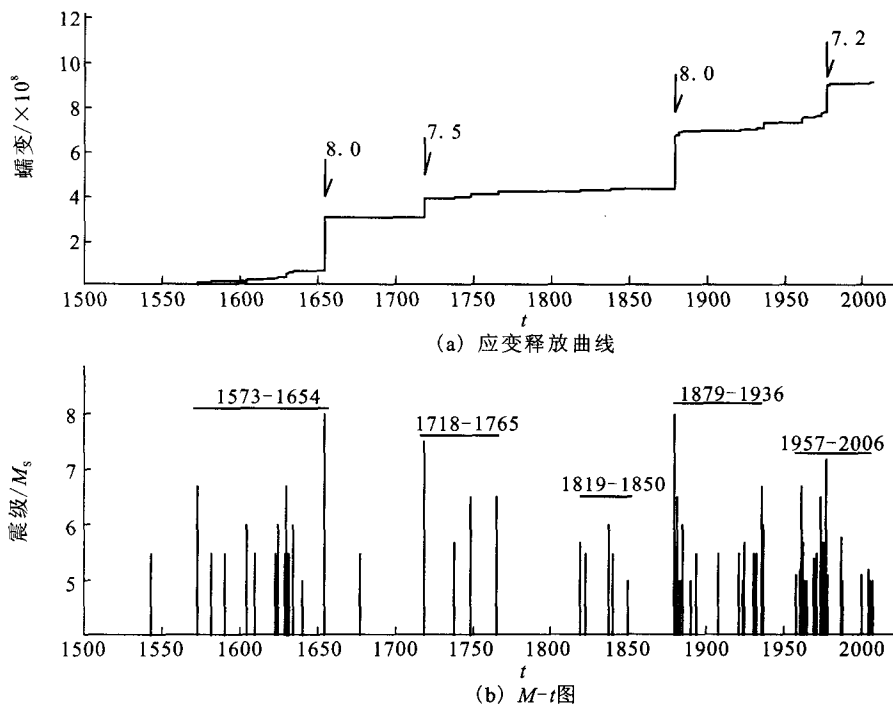


图1 甘东南地区 $M-t$ 图及应变释放曲线

Fig. 1 $M-t$ diagram and release curve of strain in southeast area of Gansu province.

时间一般为31~81年,平均约50年。每个活跃阶段至少发生4次5.5级以上地震或1次6级以上地震。活跃阶段之间为21~64年的平静时间,一般无5级以上地震发生。1900年以来区域地震活动处在一个相对较弱的阶段,仅发生了1976年松潘7.2级双震,中强以上地震主要以成组活动为主,如1921~1924年、1930~1936年、1957~1964年、1973~1978年、1987年和2003~2006年,持续时间一般为3~6年。

2 中短期预测指标及效能评价

2.1 时间判定指标

1970年以来甘东南地区发生5级以上地震8次,主要以5~6级地震为主。根据这些震例研究结果,确定了甘东南地区5~6级地震时间判定指标。

(1) 地震空区。震前中期阶段一般存在地震空区或空段,围空震级为2~3级,围空时间1.5~4.5年,空区或空段长轴与区域构造基本一致。

(2) 中期阶段中等地震丛集活动。活跃单元小震活动具有较明显的成丛性。本区7次地震前1~3年一般出现5~9丛活动,最后一丛距主震一般为2~9个月。发生在迭部-玛曲构造带的5级以上地震,其开始活跃时间距发震在1年左右或超过30个月,其月频次最高点距主震6~27个月。

(3) 短期阶段出现逼近地震或前兆地震(群)活动。甘东南地区发生的6次地震中有5次震前出现显著地震活动,这些地震震级一般为 M_s 3.2~4.5,与主震震级差为1.1~2.6,空间距离6~145 km,与主震之间的时间间隔一般1~5个月。逼近地震一般在震前20个月~4.8年平静的基础上,在震前8天~数月内发生。

(4) 临震阶段异常不明显,主要表现为小震活动平稳。在震前1~5个月无3级以上地震发生,表现为平静异常。

(5) 前兆异常的准同步性变化。甘东南地区8个持续观测的水氡资料,即通渭、武山1号泉和22号井、平凉附件厂、清水、天水花牛、西和、武都水氡等,分别于1998~2000年开始出现趋势性下降或转平,年变基本消失,其转折时间大致由南向北依次推后,又大致同步于2008年年初再次出现趋势性上升,年变开始恢复。前兆异常的准同步性趋势变化更接近震中,而短临异常往往在外围出现,其中震前5~8个月出现平静和持续异常,震前4个月均出现了异常项次的准同步性快速增加。

(6) 重点前兆出现显著变化。如清水流量、武山1号泉和22号井水氡、武都水氡等,流体异常一般为破年变异常背景上出现尖峰形态。在异常开始至发震的时间间隔上,5.0~5.9级地震的异常平均间隔时间范围为4.3~6.3个月,平均间隔时间基本随震级减小而减小。在异常的平均持续时间上,各学科的异常平均持续时间大部分集中在4~8个月。将异常出现时间按震前3个月内、3~12个月、1年以上分段,震前1年以上的异常平均持续12~14个月,震前3~12个月的异常其平均持续时间为6~8个月,而震前3个月内的异常平均持续时间大部分为2.3个月。

2.2 地点判定指标

(1) 中等地震持续活跃的地区。本区5.0级以上地震前一般存在中等地震持续活跃现象,其中活跃单元的空间尺度一般不超过4平方度,未来主震发生在活跃地区的边缘与活动构造的交汇部位或空段处。

(2) 在地震活跃地区及其附近,出现小震空段或空区,未来主震发生在空段附近、空区内部或边缘。

(3) 出现显著地震或震群,主震一般发生在100~300 km范围内。

(4) 前兆异常空间分布集中的地区,异常时间较长的前兆异常集中区,或异常时间最长的台站附近是最可能的地震震中区域。

2.3 强度判定指标

(1) 地震活动增强。根据地震增强活动的震级大小,若5~6级地震增强活动,未来震级为7级以上,如1976年松潘7.2级地震前于震前2年在松潘-马尔康地区中强地震活动明显增强。若2~4级地震增强,则未来震级为5~6级。

(2) 地震成组活动。根据区域地震的成组活动,可以预测中期~短期阶段可能发生的最大地震。

(3) 空区大小、围空震级大小、持续时间。甘东南及边邻地区空区大小一般为100~300 km,围空震级为2.0~5.5级,持续时间为1~3.5年,对应地震为5~6级。

(4) 前兆异常持续时间。若多数异常持续时间小于1年则震级为5~6,若多数异常持续时间在1年左右则震级可能为6级左右或6级以上,如果持续时间较长的前兆异常表现为较平稳的趋势性变化,异常时间大于1年,则对应甘东南及附近地区的7级以上地震。

2.4 预报指标效能评价

甘东南地区地震活动性预测指标效能评价采用地震对应率来评估,前兆异常指标效能评价采用R值评分方法^[4]。

2.4.1 长期预报指标效能评价

表1 长期预报指标效能评价

序号	异常项目	判定指标 $5 \leq M \leq 6$		效能评价
		t/a	S/km	
1	活动构造定量数据	1~10年	活动断层闭锁段	0.4
2	历史地震活动特征	1~3年	强震集中活动区	0.5
3	GPS形变观测	1~3年	剪应变率增强区	0.4
4	库仑破裂应力	1~10年	应力增强区	0.7

基于前述不同阶段地震预报指标研究,确定了甘东南地区预报指标效能评估结果(表1)。活动构造定量研究结果主要考虑了不同断层段的活动习性 & 大震离逝时间;震源机制解用于确定区域应力状态;历史地震活动特征指不同演化阶段强震主体活动地区;GPS形变观测主要侧重于1~10年尺度在时间和地点判定上的预报能力。根据汶川8.0级地震后对区域库仑破裂应力变化的计算结果^[5],该地震可能使部分鲜水河断层、东昆仑断层大部以及部分岷江断层更加接近破裂的状态,有可能触发或加速这些断层带上新的7级以上强震的发生,从而可能造成从四川省康定至道孚,青海省玛沁至甘肃省迭部以及邻近区域的强烈震动。并使用由计算得到的汶川地震引起的应力变化以及过去十年里观测到的背景地震发生率,对该地区在未来十年里发生破坏性地震的概率以及可能的空间分布进行预测。结果表明,该分析区域内在未来十年里发生6级以上地震的概率为57%~71%。

由于该地区活动构造研究基础较弱,加之1900年以来中强以上地震频度较低,导致各种预报指标效能不高。

2.4.2 中期预报指标效能评估

甘东南地区中强以上地震前在震源区或附近一般存在地震背景空区或孕震空区,具有较好的映震效能。1900年以来该区5级以上地震存在成组活动的特征,最为典型的是1921年、1936年、1961~1963年、1987年、2003~2006年等。此外该地区地震活动增强是具有一定预报效能的中短期预测方法,如1976年松潘7.2级地震前从1973年开始甘青川交界地区地震活动明显增强。中短期阶段前兆异常的一个主要特征是准同步性变化,异常特征以长趋势性下降为主,如武山1号泉和22号井水氡、天水水氡、武都水氡等。根据甘东南地区地震中短

期预报指标研究结果,得到该地区地震活动性和前兆异常指标效能评价(表2)。

表2 中期预报指标效能评价

序号	异常项目	判定指标 $5 \leq M \leq 6$		效能评价
		t/a	S/km	
1	背景空区	0.5~2年	空区内部或边缘	0.4
2	进入活跃期及成组活动	1~3年	300~500 km	0.7
3	地震活动增强	1~3年	≤ 300 km	0.4
4	前兆异常准同步性变化	1~2年	500 km	0.5

2.4.3 短期预报指标效能评估

1970年以来本区主要以5级地震为主,在已有的8次震例中除1976年松潘7.2级地震外,最大地震为1987年迭部5.8级。震前地震活动性异常主要为地震空区和条带、地震活动增强、前兆震群、频度、b值和地震窗等,其效能评价采用映震率来表述。前兆测项中,刘家峡应力、天水应力、武都应变、天水地磁等至2008年全部完成数字化改造,武山1号泉和22号井水氡、天水水氡、武都水氡等主要表现为长趋势性的中期异常,短临异常不明显。因此在该地区大量前兆异常观测资料中,具有短期预报意义的仅为天水、临夏电阻率和清水流量。依据前述重点前兆异常指标特征及震例研究结果,得到预报效能评估。数字化测震资料中震源深度、应力降和震源机制解等具有一定的短临预报效能;数字化前兆中钻孔应变和电磁场功率谱在区域中强地震前有一定的异常显示。由于资料积累时间较短,有些异常识别方法还不太成熟,没有提炼出共性特征,仅为1~2次震例前出现的异常特征,仍需要进一步完善。

综合测震、前兆及数字化前兆观测在短期-短临阶段预报指标,并对其进行效能评估,其中地震活动性指标主要用对应率来表示,前兆观测以单台R值评分方法为主,而数字化前兆资料主要根据2003年岷县5.2级、2006年文县5.0级及2008年汶川8.0级地震前异常特征研究结果确定(表3)。

3 中短期预报方案

基于甘东南及边邻地区活动构造定量数据、历史地震活动特征、GPS和跨断层形变观测、库仑破裂应力计算等长期预测指标研究结果,结合中强地震活动具有平静与活跃交替活动、中强地震成组活动及前兆异常准同步性变化等中期预测指标,通过对区域中强以上地震前短期阶段地震活动性及前兆异常特征的综合分析,确定了小震活动增强(或平静)、地震条带、地震空区(空段)、前兆震群、逼近地

震、重点前兆的突变或阶变等时间预测指标,建立了甘东南地区用于判定时间、地点和强度的短期预报方案(图2)。由于1970年以来甘东南地区主要以5~6级地震为主,因此,该预报指标及方案仅适用于5~6级地震。

表3 短期预报指标效能评价

序号	异常项目	判定指标 $5 \leq M \leq 6$		效能评价	
		t/a	S/km		
1	地震空区	几天~3个月	空区内部或边缘	0.8	
2	地震条带	1~6个月	条带端部或交汇处	0.2	
3	小震活动持续增强	3~4个月	增强区附近	0.5	
4	前兆震群	1~5个月	≤ 200 km	0.7	
5	显著地震8天~数月	≤ 200 km	0.4		
6	频度	1~6月	≤ 300 km	0.6	
7	b值	1~6月	≤ 300 km	0.6	
8	地震窗	1~6月	≤ 300 km	0.2	
9	重点前兆	临夏电阻率	1~3个月	≤ 300 km	0.2
		天水电阻率	1~3个月	≤ 500 km	0.3
		清水流量	1~6个月	300~500 km	0.3
10	跨断层形变观测	3~4个月	西秦岭北缘断裂	0.2	
11	数字测震	震源深度	几天~十几天	≤ 200 km	0.20
		应力降	几天~1个月	≤ 200 km	0.15
		震源机制解	1~3个月	≤ 300 km	0.20
12	数字前兆	钻孔应变	几小时~几天	200 km	0.30
		电磁场功率谱	30~80小时	300 km	0.4

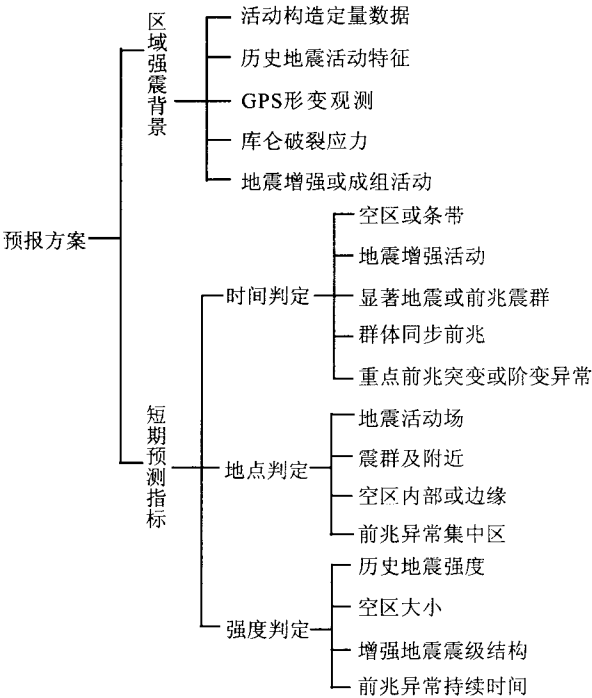


图2 甘东南及其邻区中短期地震预报方案
Fig. 2 The scheme of mid-short term earthquake prediction in southeast area and adjacent region of Gansu.

4 地震预警模型及方案

基于甘东南地区地震活动和前兆异常中短期预测指标及效能评价,我们利用层次分析法建立具有区域特征的震情预警指标模型,提取出甘东南地区

5~6级地震震情预警指标,确定震情时间预警级别。

4.1 建立层次预警模型

地震预测包括发生的时间、地点和强度三个方面,各方面的评价指标又具有层次结构,这就得采用多层次单目标的决策方法。由于短期阶段判定地点和强度的指标相对较少,震情指标预警模型只考虑震级和地点已确定的时间预警模型^①。具体将预测指标分为三个层次:目标层A、准则层B、指标层C。准则层B可再分为长期B1、中期B2、短期B3等;指标层C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,也可分为长期C1、中期C2、短期C3等(表4)。

4.2 判定预警级别

4.2.1 建立比较矩阵逐层计算权重

采用1~5为量度对各个指标数字化,按成对比较法比较下层各指标两两之间对上层某指标的重要程度;1表示两个元素具有相同重要性;2~5表示两个元素相比,前者比后者分别为稍重要、明显重要、强烈重要和极端重要。据此建立比较矩阵,计算权重向量。

(1) B层对A层

① 杨马陵,沈繁玺,等. 基于层次分析法的地震预警评价模型. 2009.

表 5 为 B 层对 A 层的权重计算结果,通过了一致性检验。

表 4 时间预警层次模型

指标分层	指标分层	
	时间尺度指标	代号
长期判别指标 C1	活断层定量数据	C11
	历史地震活动特征	C12
	GPS 形变观测	C13
	库仑破裂应力	C14
中期判定指标 C2	背景空区	C21
	中强震成组活动	C22
	蠕变加速	C23
	前兆异常同步变化	C24
短期判定指标 C3	空区	C31
	条带	C32
	显著地震	C33
	震群	C34
	小震活动增强	C35
	频度	C36
	b 值	C37
	临震电阻率	C38
	天水电阻率	C39
	清水流量	C40
	跨断层形变	C41
	电磁场功率谱	C42

表 5 长、中、短期预报指标权重

A	长 B1	中 B2	短 B3	权重 W
长 B1	1	1/2	1/4	0.137
中 B2	2	1	1/3	0.24
短 B3	4	3	1	0.623

(2) C 层对 B 层

依据前述预测指标及预报效能的大小,各个指标分别对长期准则 B1、中期准则 B2 和短期准则 B3 的重要性进行比较,建立比较矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ (长期 $n = 4$, 中期 $n = 4$, 短期 $n = 12$)。其中长期、中期采用 1~5 的量度,短期采用 1~7 的量度。求解权重后比较矩阵的一致性通过检验(表 6、7、8)。

表 6 长期预报指标权重

B1	C1	C2	C3	C4	权重 W
C1	1	1/3	1	1/5	0.014
C2	3	1	3	1/3	0.036
C3	1	1/3	1	1/4	0.015
C4	5	3	4	1	0.074

表 7 中期预报指标权重

B2	C1	C2	C3	C4	权重 W
C1	1	1/5	1	1/2	0.027
C2	5	1	4	3	0.133
C3	1	1/4	1	1/2	0.029
C4	2	1/3	2	1	0.051

对总层次的一致性检验,由高层到低层逐层进行。指标层 C 对目标层 A 的层次结构通过了一致性检验,并得到了各指标的权重计算结果(表 9)。

(3) 计算组合权向量及指标无量纲化

利用公式(1)计算组合权向量

$$P_{ij} = w_i^{(k)} w_{ij}^{(k-1)} \quad (1)$$

表 8 短期预报指标权重

B3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	权重 W
C1	1	6	3	1	4	2	2	7	6	5	7	2	0.123
C2	1/6	1	1/4	1/7	1/3	1/6	1/6	11	1/2	1	1/5	0.147	
C3	1/3	4	1	1/3	1	1/2	1/2	4	2	2	5	1	0.048
C4	1	7	3	1	4	2	2	7	5	5	6	2	0.121
C5	1/4	3	1	1/4	1	1/2	1/2	3	2	2	3	1	0.041
C6	1/2	6	2	1/2	2	1	1	4	3	3	4	2	0.073
C7	1/2	6	2	1/2	2	1	1	4	3	3	4	2	0.073
C8	1/7	1	1/4	1/7	1/3	1/4	1/4	1	1/2	1/2	1	1/2	0.016
C9	1/6	1	1/2	1/5	1/2	1/3	1/3	2	1	1	2	1/2	0.024
C10	1/5	2	1/2	1/5	1/2	1/3	1/3	2	1	1	2	1/3	0.024
C11	1/7	1	1/5	1/6	1/3	1/4	1/4	1	1/2	1/2	1	1/4	0.015
C12	1/2	5	1	1/2	1	1/2	1/2	2	2	3	4	1	0.051

这里 $w_i^{(k)}$ 代表上一层的权重; $w_{ij}^{(k-1)}$ 代表下一层的权重; P_{ij} 代表指标层对目标层的权重。

同时将最底层(指标层 C)的各类定量和定性指标转化为以整数表示的指标值。即以无量纲的 1~4 表示,分别对应较低、一般、较高、高四种发震可能性(表 9)。

4.2.2 计算预警值 Y

预警目标值^①

$$y_{\max} = \sum_{i=1}^m y_{i\max} w_i \quad (2)$$

$$y = \sum_{i=1}^m w_i \sum_{j=1}^n x_{ij} w_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij}, \quad n = n_1, n_2, \dots, n_n \quad (3)$$

其中, $y_{i\max} = 4 \sum_{j=1}^n w_{ij}$; $p_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_i w_{ij}$ 。

表9 指标层C对目标层A的权重及指标无量纲化

指标层	准则层			指标层对目标层的权重	指标无量纲化
	B1	B2	B3		
	0.137	0.24	0.623		
C11	0.014			0.002	1
C12	0.036			0.005	3
C13	0.015			0.002	2
C14	0.074			0.010	4
C21		0.027		0.005	1
C22		0.133		0.032	4
C23		0.029		0.007	2
C24		0.051		0.012	3
C31			0.123	0.077	4
C32			0.147	0.092	1
C33			0.048	0.030	3
C34			0.121	0.075	4
C35			0.041	0.026	2
C36			0.073	0.046	2
C37			0.073	0.046	2
C38			0.016	0.010	2
C39			0.024	0.015	2
C40			0.024	0.015	3
C41			0.015	0.009	2
C42			0.051	0.032	4

建立预警等级的判断标准。将预警等级分为红、橙、黄、蓝四个等级,分别对应的预警目标值范围(表10)。

按照公式(2)、(3)计算预警值 $Y=3.11$ 。依据预警等级划分标准,当上述指标全部满足时,甘东南地区震情预警等级为红色。

5 结论和讨论

5.1 结论

(1) 根据甘东南地区不同阶段实用化地震预测指标研究结果,结合区域中强地震前地震活动和前兆场动态图像和演化特征,提炼出地震前不同阶段判定时间、强度和地点较为有效的地震活动和前兆异常指标,进一步拓展了甘东南地区地震预测指标体系,进而建立了甘东南地区中强地震短期预报方案。由于1970年以来甘东南地区主要以5~6级地震为主,因此该预报指标及方案仅适用于5~6级地震。

表10 预警值划分范围

等级颜色	蓝	黄	橙	红
数值范围	$y < (1/4)y_{\max}$	$(1/4)y_{\max} \leq y < (2/4)y_{\max}$	$(2/4)y_{\max} \leq y < (3/4)y_{\max}$	$y \geq (3/4)y_{\max}$

(2) 在对甘东南地区地震活动和前兆中短期预测指标效能评估和分区中短期预测方案研究的基础上,利用层次分析法建立了甘东南地区5~6级地震的震情指标预警模型。依据分级预警模型及震情预警指标分层结果,将指标层C的各类定量和定性指标转化为以无量纲的1~4表示的指标值,按成对比较法比较下层各指标两两之间对上层某指标的重要程度,计算权重向量。对比较矩阵进行一致性检验,从低向高逐层建立比较矩阵,按步骤计算权重向量,对模型的整体层次进行一致性检验。在此基础上分别计算出各个构造区的预警目标值,进而确定了震情预警级别。研究结果显示东南地区5~6级地震的预警值为3.11。依据预警等级划分标准,若满足各项预测指标则震情预警级别为红色。

5.2 讨论

综观整个研究过程,仍然有一些问题需要今后开展深入工作。

(1) 在研究过程中依据甘东南地区中短期预测指标体系建立的震情指标预警模型,主要选取具有一定预测效能或重现性较好的预测指标,而本区震例研究结果显示并非所有的震情预测指标在某一次地震前同时出现,因此在实际震情短临跟踪过程中要做出橙色或红色预警仍有一定的困难。

(2) 本文初步建立了震级和地点已确定的震情指标时间预警模型,计算出了甘东南地区的预警值。由于选取的研究区范围较大,在实际应用中仍有一定的局限性。

(3) 各种预测指标的效能评价及震情指标的量化仍属于经验性的,包含了一定的人为因素,进一步的研究可侧重于完善短期-短临震情指标的提取,使预测指标的效能评估更趋于科学合理。

致谢:本文采用杨马陵“区域强震预测预警技术研究”课题中有关预警模型和预警值定量计算方法,在此表示感谢!

(下转 291 页)

[参考文献]

- [1] 王吉易,张炜,邢玉安,等. 水化地震短临前兆标志体系的研究[J]. 中国地震,1996,12(3):316-324.
- [2] 刘耀炜. 水氡非随机干扰定量排除[J]. 地震学报,1989,11(4):411-422.
- [3] 王长岭,张慧,张世琴,等. 不同深度断层气氡、汞等的稳定性研究及其潮汐波分量[J]. 地震学报,1994,16(增刊):118-124.
- [4] 王志高. 深井水氡主要干扰因素及映震效能分析[J]. 西北地震学报,2002,24(3):251-257.
- [5] 高立新,车用太,纪建国,等. 抽水对地下水位、汞、氡的影响[J]. 西北地震学报,2006,28(2):144-148.
- [6] 姚玉霞,王建荣,田继孝. 甘肃礼县盐关井水位短临异常与滇北强震的关系[J]. 西北地震学报,2007,29(2):197-199.
- [7] 汪万红,张慧,苏鹤军. 秦岭北缘断裂带温泉水循环深度与地震活动性的关系研究[J]. 西北地震学报,2008,30(1):36-42.
- [8] 王永义,王专翠,胡以高. 降雨入渗补给规律分析[J]. 地下水,1998,20(2):74-75.
- [9] 赵小茂,黄辅琼,王新,等. “集中降雨”与浅层承压井水位及区域地震活动关系的初步研究[J]. 西北地震学报,2009,31(3):259-264.

(上接 243 页)

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 张晓东,张国民. 关于地震预警的思考[J]. 国际地震动态,2004,6:42-46.
- [3] 杨马陵,沈繁鑫,王正尚. 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,2004,8:1-12.
- [4] 国家地震局科技监测司. 地震学分析预报方法程序指南[M]. 北京:地震出版社,1990.
- [5] Shinji Toda, Jian Lin, Mustapha Meghraoui, et al. . Stein 12 May 2008 $M = 7.9$ Wenchuan, China, earthquake calculated to increase failure stress and seismicity rate on three major fault systems [J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35: L17305, doi:10.1029/2008GL034903.
- [6] 郑文俊,刘小凤,赵广坤,等. 2003年11月13日甘肃岷县 $M_s 5.2$ 地震基本特征[J]. 西北地震学报,2005,27(1):61-65.
- [7] 高曙德,杜学彬,苏永刚,等. 甘川交界地区近年地震活动与武都地震台前兆资料变化特征[J]. 西北地震学报,2009,31(2):167-173.