

# 西北黄土地区及其邻区烈度影响 范围的模糊信息分析

刘若琪

(中国市政工程西北设计研究院, 兰州 730000)

石玉成 孟夏

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

**摘要** 本文以西北黄土地区(陕、甘、宁、青)及其邻区历史地震等震线资料为基础,采用模糊信息分析方法,建立震级与烈度分布范围的模糊关系,并将其用于甘肃境内近年发生的迭部地震和景泰地震,计算结果与实际震害情况较为接近。本文还将研究结果同前人的工作进行了对比。

**关键词:** 黄土地区 模糊信息分析 震级—烈度关系

## 1 前言

地震烈度随震中距的衰减规律是合理评定工程场地地震危险性的必要信息之一,鉴于我国破坏性地震的近场强震记录甚少,大量的历史等震线资料就成为我们探讨强地面运动衰减特征的基础。根据震级估算地震影响场,对于建立某一地区的地震动参数经验衰减规律及烈度区划图的编制均具有重要的应用价值。同时,随着我国地震工作方针逐步向“预防为主,综合防御”的转变,高烈度(七度或七度以上)影响范围的确定,对于大区域范围内地震减灾综合防御体系的建立和震后震情的快速调查均具有一定的指导意义。西北黄土地区是我国地震多发区之一,包括陕、甘、宁、青四省(区)及邻区,由于受未来地震震源机制的未知性、地震震源位置的不确定性和地震烈度衰减快慢的区域性变化以及黄土地区复杂的地形地貌和覆盖层厚度的影响,地震烈度的分布范围具有很大的随机性,传统的回归统计计算结果与实际震害情况有相当大的差异。本文采用模糊信息分析方法<sup>[1]</sup>,寻求震级与烈度分布范围的关系,以期达到正确反映西北黄土地区及其邻区烈度分布特征的目的。

## 2 历史地震资料的选取及分析方法

### 2.1 资料选取

合理提取历史地震信息是正确建立模糊关系矩阵的关键。基于此,按以下三点选取历史地震资料:(1)发生在西北黄土地区的地震;(2)有较明确的震级及较完整的等震线图;(3)烈度不小于Ⅶ度,震级范围为4.7—8.5级。遵循以上原则选用的21个历史地震资料<sup>[2]</sup>详见表

1. 为便于运算,面积  $E$  取为  $\lg E$  的形式,其范围为 1.85—5.45。

等震线面积的换算采用等效椭圆。在预测未来地震影响场时,将根据预测推导出的等震线面积换算为等效圆或椭圆。

表 1 选用的历史地震资料

序号	发震时间	震中	震级	$I \geq VI$ 等震线区域 长短轴之比	等效椭圆面积 对数值
1	1477-03-28	甘肃临洮	5.5	107/60	3.70
2	1739-01-03	宁夏平罗	8.0	240/113	4.33
3	1748-11-21	宁夏固原北	5.5	72/40	3.35
4	1765-09-02	武山、甘谷	6.5	187/120	4.25
5	1819-02-24	青海化隆	5.75	87/50	3.53
6	1879-07-01	甘肃武都南	8.0	255/180	4.56
7	1881-07-20	甘肃舟曲东	6.5	62/44	3.33
8	1888-11-02	甘肃景泰	6.25	54/17	2.85
9	1920-12-16	宁夏海原	8.5	520/430	5.24
10	1927-05-23	甘肃古浪	8.0	416/162	4.72
11	1936-02-07	甘肃康乐	6.75	51/21	2.94
12	1936-08-11	甘肃天水	6.0	25/6	2.04
13	1954-02-11	山丹红寺湖	7.25	78/61	3.56
14	1959-08-11	陕西韩城	5.4	48/24	2.95
15	1961-10-01	岷县闻井	5.7	23/12	2.32
16	1962-12-07	宁夏灵武西	5.4	31/13	2.48
17	1962-12-18	宁夏灵武	5.5	52/28	3.06
18	1963-01-15	青海门源	4.75	27/14	2.42
19	1970-12-03	宁夏西吉	5.5	23/6	2.03
20	1974-09-23	甘肃玛曲	5.6	14/6	1.85
21	1982-04-14	宁夏海原北	5.7	15/6	1.85

## 2.2 分析方法

根据上述资料,应用模糊信息分析方法,建立西北黄土区震级与等烈度面积的模糊关系。

### 2.2.1 建立离散的震级和面积对数值的论域和模糊关系矩阵

设  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_9\} = \{4.7, 5.2, 5.7, 6.2, 6.7, 7.2, 7.7, 8.2, 8.7\}$

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_9\} \\ = \{1.85, 2.30, 2.75, 3.20, 3.65, 4.10, 4.55, 5.00, 5.45\} \quad (1)$$

采用二维信息分配法,分配原始信息。

设  $(m, e)$  为一组数据资料,  $m$  为震级,  $e$  为等震线面积并取以 10 为底的对数值(具体数值参见表 1)。用  $M, E$  单元形成的矩阵  $Q(9 \times 9)$  来贮存原始信息。

信息  $(m, e)$  分配给  $Q_{s,t}$  按下式进行:

$$Q_{s,t} = \left(1 - \frac{|m - m_s|}{\Delta_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{|e - e_t|}{\Delta_2}\right) \quad (2)$$

其中  $s = i, i+1; t = j, j+1; \Delta_1 = m_{i+1} - m_i; \Delta_2 = e_{j+1} - e_j$ 。

将所有数据按(2)式处理,将  $Q_{s,t}$  贮存的信息按单元累加,得原始信息分布矩阵  $Q$ :

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$	$E_9$
	(1.85)	(2.30)	(2.75)	(3.20)	(3.65)	(4.10)	(4.55)	(5.00)	(5.45)
$M_1(4.7)$	0	0.67	0.23	0	0	0	0	0	0
$M_2(5.2)$	0.44	0.59	0.73	0.80	0.50	0.04	0	0	0
$M_3(5.7)$	2.39	1.61	0.55	1.23	1.41	0.07	0	0	0
$M_4(6.2)$	0.35	0.25	0.70	0.51	0.18	0.26	0.13	0	0
$M_5(6.7)$	0	0	0.60	0.83	0.16	0.40	0.19	0	0
$M_6(7.2)$	0	0	0.06	0.22	0.72	0	0	0	0
$M_7(7.7)$	0	0	0	0.02	0.08	0.19	0.84	0.16	0
$M_8(8.2)$	0	0	0	0	0	0.29	1.26	0.42	0.21
$M_9(8.7)$	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0.31

对  $Q$  作正则化处理,得模糊关系矩阵  $R$  和  $Q$  的正则化因子( $Q$  各列的最大值)。

$$\bar{e} = \{\bar{e}_1, \bar{e}_2, \dots, \bar{e}_9\}$$

$$= \{2.39, 1.61, 0.73, 1.23, 1.41, 0.40, 1.26, 0.42, 0.31\}$$

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$	$E_9$
	(1.85)	(2.30)	(2.75)	(3.20)	(3.65)	(4.10)	(4.55)	(5.00)	(5.45)
$M_1(4.7)$	0	0.42	0.31	0	0	0	0	0	0
$M_2(5.2)$	0.18	0.37	1	0.65	0.35	0.10	0	0	0
$M_3(5.7)$	1	1	0.75	1	1	0.17	0	0	0
$M_4(6.2)$	0.15	0.16	0.95	0.41	0.12	0.65	0.10	0	0
$M_5(6.7)$	0	0	0.82	0.67	0.11	1	0.15	0	0
$M_6(7.2)$	0	0	0.08	0.17	0.51	0	0	0	0
$M_7(7.7)$	0	0	0	0.02	0.06	0.47	0.66	0.38	0
$M_8(8.2)$	0	0	0	0	0	0.72	1	1	0.21
$M_9(8.7)$	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1

2.2.2 因果近似处理,即由已知震级  $M_0$  求  $E$  值

$$E = M \circ R \quad (4)$$

式中  $\circ$  表示一种合成运算;

$$e_j = \min \left\{ 1 \cdot \sum_{i=1}^9 m_i r_{ij} \right\} \quad (5)$$

根据最大隶属度值,可给出多值预测和信息集中后的单值预测;

$$E_0 = \frac{\sum_{j=1}^9 e_j e_j^*}{\sum_{j=1}^9 e_j^*} \tag{6}$$

$e^*$  为  $\bar{e} \cdot E$  所得(1×9)矩阵的正则化处理。

### 3 分析结果与对比

设有  $m=7.5$  级地震, 则经信息分配:

$$M_0 = \frac{0.4}{7.2} + \frac{0.6}{7.7}$$

由(5)式可给出多值预测:

$$E = \frac{0}{1.85} + \frac{0}{2.30} + \frac{0.03}{2.75} + \frac{0.08}{3.20} + \frac{0.24}{3.65} + \frac{0.28}{4.10} + \frac{0.39}{4.55} + \frac{0.23}{5.00} + \frac{0}{5.45}$$

由(6)式可求得单值预测:

$$E_0 = \frac{\sum_{j=1}^9 e_j e_j^*}{\sum_{j=1}^9 e_j^*} =$$

$$\frac{1.85 \times 0 + 2.30 \times 0 + 2.75 \times 0.04 + 3.20 \times 0.18 + 3.65 \times 0.69 + 4.10 \times 0.22 + 4.55 \times 1 + 5.00 \times 0.18 + 5.45 \times 0}{0 + 0 + 0.04 + 0.18 + 0.69 + 0.22 + 1 + 0.18 + 0} = 4.13$$

即当震级为 7.5 时, 西北黄土区烈度不小于 VII 度区面积为  $10^{4.31}$ 。对西北地区的烈度分布面积, 文献<sup>[3]</sup>采用统计回归法得到烈度不小于 VII 度的面积为:

$$\lg A(\text{VII}) = 1.01M - 3.64 \tag{7}$$

式中  $A(\text{VII})$  为震级为  $M$  时, 烈度不小于 VII 度的面积。

当  $M=7.5$  时,  $\lg A(\text{VII}) = 1.01 \times 7.5 - 3.64 = 4.11$

图 1 中, 曲线 a 为由模糊关系求得, 直线 b 代表公式(7)的回归统计结果。

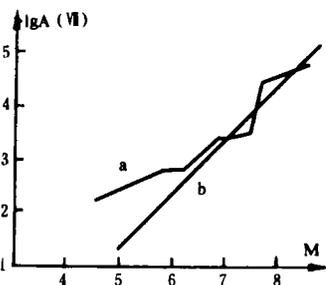


图 1 震级与 I>VII 度等震线面积关系

- a. 模糊信息分析方法求得;
- b. 统计关系求得

Fig. 1 The relationship between magnitude and isoseismal area (I>VII).

可以看出:(1)震级较大时两种方法求得的曲线, 差别相对较小; 而震级较小时差别较大, 这说明大量不确定性因素的存在对较小震级的烈度分布影响更为明显。(2)由于影响等震线面积的因素很多, 如震源机制、震源位置的不确定性、地形地貌条件、历史地震的烈度评定误差、调查点的多寡等, 即使是相同的震级, 其等震线差别亦很大。(3)在地质构造、地形地貌复杂多变的黄土地区, 模糊信息分配法可以较好地保留原始数据资料所携带的信息, 所得结果更接近实际情况。

为检验本文所介绍的分析方法的可信度, 以 1987 年甘肃迭部 5.9 级地震\* 和 1990 年景泰 6.2 级地震\*\* (等震线图分别见图 2、图 3) 为实例, 引入前文中建立的模糊关系矩阵, 推算等烈度 (I>VII 度) 线分布面积, 并与实际

\* 兰州地震研究所, 1987 年甘肃迭部地震, 1987.  
 \*\* 兰州地震研究所, 1990 年 10 月 20 日天祝、景泰地震考察报告, 1991.

震害情况进行对比,结果见表 2。从表 2 可以看出,用模糊信息分析方法计算出来的两次地震的等震线面积与实际调查的结果较为吻合。

#### 4 结束语

本文给出了西北黄土地区及其邻区等震线面积分布的模糊信息分析方法,克服了传统分析方法中的一些缺陷,对于地质构造条件复杂、地形地貌多变的黄土地区,该方法更为客观、准确、全面地反映实际震害情况,具有很好的

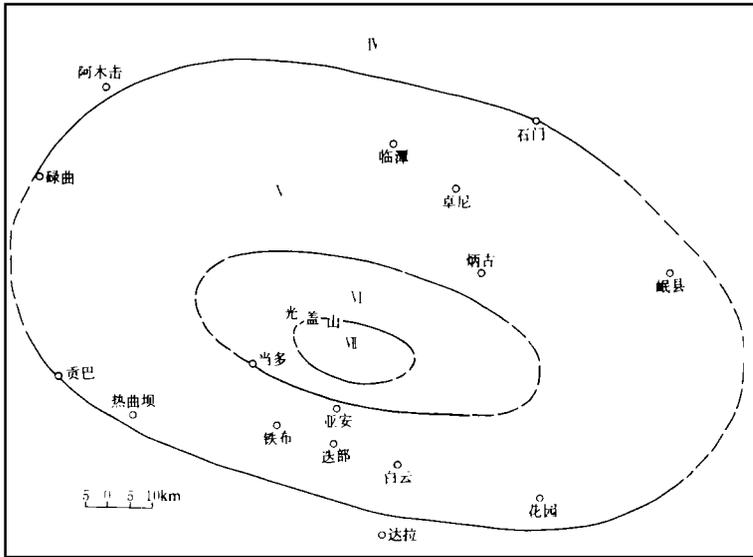


图 2 1987 年 1 月 8 日迭部地震等震线图

Fig. 2 The isoseismal map of the Diebu earthquake on Jan. 8, 1987.

的实用性。

本文所介绍的分析方法的可靠程度依赖于历史地震考察资料的精度和数据的多寡,大量的样本点能提高信息的隶属度。随着本地区地震资料的不断积累,可逐步完善模糊关系矩阵,进一步计算分析不同烈度的等震线分布特征,为研究黄土地区地震动衰减规律及合理地划分烈度区划提供依据。

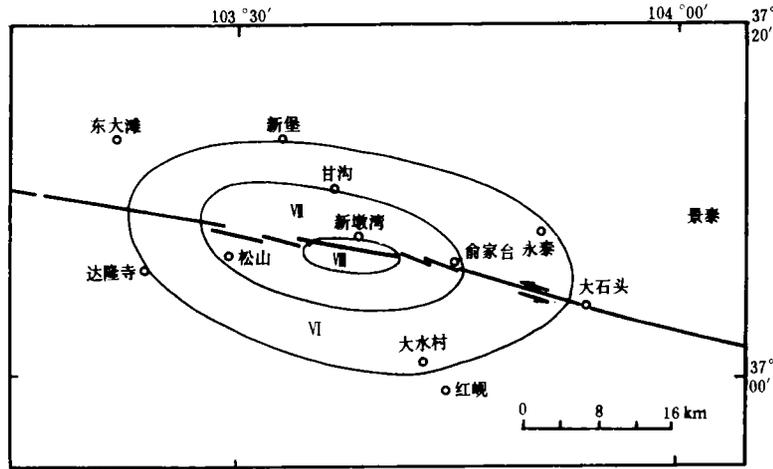


图 3 1990 年 10 月 20 日景泰地震等震线图

Fig. 3 Isoseismal map of the Jingtai earthquake on Oct. 20, 1990.

表2 实际和推算的等震线面积比较

地震名称	震级	实际 I ≥ VI 度 等震线面积 A (km <sup>2</sup> ) 及 lgA (VI) 值	推算 I ≥ VI 度等震线面积 (km <sup>2</sup> )			
			利用回归公式 (7)推算	误差	利用模糊关系式 (6)推算	误差
1987年1月8日 迭部地震	5.9	300 (2.48)	208 (2.31)	-0.27	457 (2.66)	+0.18
1990年10月20日 日景泰地震	6.2	228 (2.36)	418 (2.62)	+0.26	340 (2.53)	+0.27

## 参考文献

- 1 黄崇福,王家鼎.模糊信息分析与应用.北京:北京大学出版社,1992,124-190.
- 2 国家地震局兰州地震研究所.陕甘宁青四省(区)强地震目录.西安:陕西科学技术出版社,1985,5-150.
- 3 卢荣俭,等.等震线图与震级的统计关系,地震工程研究报告集(第四集).北京:科学出版社,1981,14-34.
- 4 陈达生,等.地震烈度椭圆衰减关系.华北地震科学.1989,7(3);31-38.

(本文 1993 年 10 月 26 日收到)

FUZZY SETS METHOD ON EVALUATING ISOSEISMAL MAP  
OF LOESS AREA IN NORTHWEST CHINA

Liu Ruoqi

(Northwestern Municipal Engineering Design Institute, China)

Shi Yucheng and Mengxia

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

## Abstract

Based on the historical earthquake data of the loess area in Northwest China and by using the fuzzy sets method, the fuzzy information relation between magnitude and isoseismal area in the loess area is established. According to the fuzzy relation, two recent earthquakes' isoseismal areas are examined, and the results are more corresponding to the reality than that using the least squares method. Finally, the results are compared with the former's.

**Key Words:** Loess area in Northwest China; Fuzzy information analysis; Magnitude-intensity relation