

# 基于信息扩散理论的云南省地震 风险评估及管理研究

全 俊, 王玲珍, 黄成敏

(四川大学建筑与环境学院, 四川 成都 610065)

**摘要:**利用信息扩散的方法,从破坏性地震次数风险和震级风险的角度对云南各地区进行了风险评估,并提出相应的风险管理策略。

**关键词:**地震风险评估; 信息扩散法; 云南

中图分类号: P315.75 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0180-04

## The Assessment and Management of Seismic Risk Based on Information Diffusion Method in Yunnan Province, China

QUAN Quan, WANG Ling-zhen, HUANG Cheng-min

(College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Using information diffusion method, the risk on earthquake frequency and magnitude in Yunnan province is evaluated, and based on the calculate results, tactics for the management of earthquake risk are put forward.

**Key words:** Seismic risk assessment; Information diffusion method; Yunnan province

### 0 引言

云南省是中国大陆内部地震活动最强烈的场所之一。有历史记载以来,全省 128 个县市几乎全都遭受过烈度 VI 度以上地震的破坏,其中有 110 多个县曾经发生过 5 级以上地震,有 30 多个县发生过 6 级以上地震,10 多个县发生过 7 级以上大地震。20 世纪云南省共发生 5 级以上破坏性地震 300 多次,其中 7 级以上大震 13 次<sup>[1]</sup>。据不完全统计,20 世纪由于地震造成了约 3 万人死亡,近 20 万人受伤,直接经济损失高达 300 亿元人民币(折合成 1995 年可比价),灾害损失巨大。为此,本文拟利用基于信息扩散理论的风险评估方法,对云南省地震的风险水平作一评估并提出相应的风险管理策略。

### 1 地震风险分析的研究方法

地震风险分析是对研究区遭受不同强度地震灾害的可能性及其可能造成的后果进行的定量的分析和评估。

对地震发生的可能性风险分析可从地震成因导致的地震风险进行分析,此类方法主要是从地震的成因方面,如地质构造、板块运动活跃程度等来预测地震发生的可能性及范围,但就地震规律来说,其物理机制的解释大多还停留在假说阶段,现有的物理手段不足以可靠地进行地震预报。

另一类地震风险发生的可能性的分析方法就是基于历年地震统计状况的地震风险分析。此类方法主要是针对已发生过地震的区域,统计出一定时间阶段的历史地震数据,再利用统计学的方法(主要有参数估计法、直方图法、核扩散法等)进行风险评估分析。这是目前进行地震风险分析的主要方法。

由于自然灾害系统是由孕灾环境、致灾因子和承灾体共同构成的复杂系统,存在着大量的不确定性和模糊性,单纯用传统方法统计出来的输入输出关系常常与真实情况很不吻合;另一方面一个系统的复杂性与分析它能达到的精度之间服从一个粗略的反比关系,若一味地追求精确,常常陷入困境。

而信息扩散方法是一种可以弥补信息不足,考虑优化利用样本模糊信息的一种对样本进行集值化的模糊数学处理方法。利用模糊数学中有关信息扩散的理论,将一个单值地震样本(大于一定震级以上的地震)的资料信息扩散到地震指标论域中所有点,从而获得较好的风险分析效果。信息扩散的方法已运用到多种灾害风险分析,如风雹<sup>[2]</sup>、城市火灾<sup>[3]</sup>、黄土湿陷性<sup>[4]</sup>、大暴雨<sup>[5]</sup>、热带气旋<sup>[6]</sup>等方面。目前,也有少数学者运用此方法对不同时间段的地震样本进行了风险分析<sup>[7-8]</sup>,但分析样本所取的时段长度和精度有待提高。本文以云南省为例,对其16个市(州)自1900-1999年的地震次数及震级作为样本进行分析,并用2000-2005年实际发生的地震进行验证。

## 2 基于信息扩散理论的风险评估模型

信息扩散方法是一种对样本进行集值化的模糊数学处理方法,它可以将单值样本变成集值样本<sup>[9]</sup>。最简单的模型是正态扩散模型。

设地震灾害指标论域为

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (1)$$

式中  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$  为控制点。按照下式,一个单值观测样本  $y_j$  可以将其携带的信息扩散给  $U$  中的所有点:

$$f_j(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y_j - u_i)^2}{2h^2}\right] \quad (2)$$

式中  $h$  为扩散系数,可根据样本集合中的最大值  $b$  和最小值  $a$  以及样本个数  $m$  来确定:

$$h = \begin{cases} 1.423 0(b - a)/(m - 1) & m < 10 \\ 1.420 8(b - a)/(m - 1) & m \geq 10 \end{cases} \quad (3)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^n f_j(u_i) \quad (4)$$

相应的模糊子集的隶属函数为

$$\mu_{y_j}(u_i) = f_j(u_i)/c_j \quad (5)$$

称  $\mu_{y_j}(u_i)$  为样本  $y_j$  的归一化信息分布。

对  $\mu_{y_j}(u_i)$  进行处理,便可得到一种效果较好的风险评估结果。

$$\text{令 } q(u_i) = \sum_{j=1}^m \mu_{y_j}(u_i) \quad (6)$$

其物理意义是:由  $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$  经信息扩散推断出,如果灾害观测值只能取  $\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$  中的一个,在将  $y_j$  均看作是样本代表时,观测值为  $u_i$  的样本个数为  $q(u_i)$ 。显然,  $q(u_i)$  通常不是一个正数,但一定是一个不小于零的数。

$$\text{再令 } Q = \sum_{i=1}^n q(u_i) \quad (7)$$

$Q$  事实上就是  $u_i$  点上的样本数的总和,从理论上讲,必有  $Q = m$ ,但在计算时因有误差,所以  $Q$  与  $m$  之间略有差别。

$$\text{易知 } p(u_i) = \frac{q(u_i)}{Q} \quad (8)$$

就是样本落在  $u_i$  处的频率值,可作为概率的估计值。

对于地震灾害指标  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ ,通常将  $X$  取为(1)式中的灾害指标论域,  $x_i$  取为论域中的一个元素  $u_i$ 。显然,超越  $u_i$  的概率值应为

$$p(u \geq u_i) = \sum_{k=1}^n p(u_k) \quad (9)$$

$p(u_i)$  就是我们所要求的风险估计值。

## 3 云南省各地区破坏性地震次数和地震震级风险评估

本文选取震级大于5级的地震为破坏性地震统计样本进行风险评价。

### 3.1 地震次数风险评价

根据云南省1900-1999年的破坏性地震次数、破坏性地震次数的变化范围把一维实数空间上的集合  $[0, 20]$  作为  $x_i$  的论域,利用信息扩散的方法可得出云南省各地区破坏性地震次数的风险估计值。

具体算法以大理地区为例。大理地区1900—1999年  $M_s \geq 5.0$  的中强震次数情况见表1,以五年为单位。根据其次数的变化范围,把一维实数空间上的集合  $[0, 20]$  作为  $x_i$  的论域。将连续论域  $[0, 20]$  按等间距取点,转变为离散论域。考虑到计算精度的要求,取21个控制点 ( $n = 21$ ),构成离散论域:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} = \{0, 1, 2, 3, \dots, 20\}$$

此时样本个数  $m = 20$ ,样本最大值  $b = 4$  次,最小值  $a = 0$  次,根据公式(2)可得扩散系数  $h = 0.299 12$ 。再根据公式(1)~(9)计算,可得到大理地区中强震次数的风险估计值。其结果见表2。

由表2可以看出,大理地区当风险水平为1时,风险估计值是0.601 5,由于是以五年为单位计算,故这一项意为今后每五年,大理地区发生中强震次数  $\geq 1$  次的概率是0.60。同理,风险水平为2时,发生中强震次数  $\geq 2$  次的概率是0.35。同时可以直观地看到今后每5年内,云南省范围内再次发生破坏性地震次数风险较大的地区主要是红河地区、保山

表1 大理地区1900—1999年  $M_s \geq 5.0$  的中强震次数

年份	1900~1904	1905~1909	1910~1914	1915~1919	1920~1924	1925~1929	1930~1934
次数	3	1	0	0	0	4	2
年份	1935~1939	1940~1944	1945~1949	1950~1954	1955~1959	1960~1964	1965~1969
次数	0	1	1	3	1	2	0
年份	1970~1974	1975~1979	1980~1984	1985~1989	1990~1994	1995~1999	
次数	0	4	2	1	0	0	

地区、思茅地区、丽江地区、昭通地区、大理地区、玉溪地区以及楚雄地区。

表2 云南各地区破坏性地震次数风险估计值(次/%)

市(州)	1	2	3	4	5	6
大理	0.60	0.35	0.20	0.10	0	0
玉溪	0.60	0.27	0.10	0.05	0.05	0.05
昭通	0.61	0.32	0.16	0.08	0.05	0.05
文山	0.05	0	0	0	0	0
红河	0.75	0.28	0.17	0.05	0.05	0
思茅	0.68	0.54	0.39	0.20	0.16	0.16
西双版纳	0.40	0.20	0	0	0	0
临沧	0.20	0.10	0	0	0	0
德宏	0.25	0.15	0.05	0	0	0
曲靖	0.30	0.05	0	0	0	0
保山	0.72	0.46	0.29	0.20	0.16	0.15
楚雄	0.55	0.10	0.05	0.0	0	0
昆明	0.40	0.15	0.10	0	0	0
丽江	0.61	0.32	0.21	0.15	0.12	0.10
迪庆	0.34	0.11	0.06	0.05	0.04	0
怒江	0.36	0.20	0.10	0.05	0.05	0

3.2 地震震级风险评价

基于次数风险的震级风险评价是假定该区域发生破坏性地震,但还不确定其震级,可以用信息扩散的方法确定各震级下发生的概率。本文取  $M_s \geq 5.0$  的破坏性地震,可计算出各个震级下的概率估计值(风险估计值)。

以红河地区为例,根据文献可得到该地区1900年-1999年  $M_s \geq 5.0$  的中强震记录共25条: {5.0, 6.5, 5.0, 5.75, 5.5, 5.5, 5.0, 5.25, 5.5, 5.25, 5.25, 5.0, 6.0, 5.5, 6.0, 5.0, 5.25, 5.75, 5.0, 5.0, 5.5, 5.2, 5.4, 5.3, 5.6}; 根据实际震级的分布域,把一维实数空间上的集合[5,10]作为  $x_i$  的论域。考虑到计算精度的要求,取21个控制点( $n=21$ ),构成离散论域:  $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} = \{5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, \dots, 10\}$ ; 样本个数  $m=25$ , 样本最大值  $b=6.5$ , 最小值  $a=5.0$ , 根据公式(2)可得扩散系数  $h=0.0888$ 。根据公式(1)-(9)计算,可得到红河地区中强震的风险估计值(见表3)。

对于上述发生破坏性地震风险较大的8个地区来说,强震(6级以上地震)的出现几率较大的地区主要是思茅地区(40%)、保山地区(24%),玉溪地

区(21%),丽江地区(20%),大理地区(20%)。7级以上大震的出现几率玉溪最高,达到8%,思茅和保山地区为5%。红河、楚雄地区几乎没有发生7级以上地震的风险。

表3 云南各地区破坏性地震风险的估计值

震级	红河	保山	思茅	丽江	昭通	大理	玉溪	楚雄
5	1	1	1	1	1	1	1	1
5.2	0.74	0.74	0.80	0.65	0.69	0.73	0.81	0.83
5.4	0.53	0.58	0.66	0.40	0.46	0.55	0.58	0.69
5.6	0.34	0.44	0.54	0.30	0.36	0.34	0.39	0.50
5.8	0.19	0.32	0.45	0.25	0.24	0.21	0.28	0.26
6	0.12	0.24	0.40	0.20	0.12	0.20	0.21	0.16
6.2	0.05	0.18	0.31	0.11	0.08	0.16	0.15	0.13
6.4	0.04	0.12	0.22	0.09	0.08	0.10	0.13	0.08
6.6	0.02	0.09	0.16	0.06	0.08	0.06	0.11	0.04
6.8	0	0.05	0.11	0.04	0.06	0.04	0.09	0.01
7		0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.080	
7.2		0.05	0.05	0	0.02	0.01	0.05	
7.4		0.04	0.04		0	0	0.04	
7.6		0.02	0.02				0.04	
7.8		0	0				0.02	
8							0	

4 地震风险评价与地震发生情况的比较

为评价信息扩散方法的准确性,以2001-2005年云南省实际发生地震的情况与上述计算结果进行对照,2001-2005年云南省各地区发生破坏性地震情况见表4。

表4 2001-2005年云南省各地区发生破坏性地震统计表

市(州)	玉溪	丽江	红河	昭通	思茅	楚雄	保山
次数	1	1	1	3	3	4	5
震级	5.1	6.0	5.3	5.3	5.0	5.0	5.0
				5.6	5.0	5.1	5.0
				6.2	5.0	5.0	6.1
						5.3	5.2
							5.9

从次数风险来看,2001-2005年5年期间在云南省再次发生破坏性地震的地区为玉溪、丽江、红河、昭通、思茅、保山、楚雄7个地区,都属于上述分析中风险较大的8个地区(见表1);而发生一次以上的地区是昭通、思茅、保山、楚雄4个地区,其中昭

通、思茅、保山3个地区都属于表1中高风险地区,计算结果基本与地震实际发生的情况基本相吻合。

在基于次数的震级风险评价方面,丽江、昭通、保山3个地区发生了6级以上的强震,丽江、保山都属于表2中强震高风险地区,计算结果也基本与地震实际发生的情况相吻合。

多次地震风险较小的楚雄地区却在上5年中发生了4次破坏性地震,强震风险较小的昭通地区却在上5年中发生了1次强震,与计算中出现了偏差,一则是因为上述的验证中只是取了一个世纪的前5年,也存在一定的偶然性;再则我国周边地震活动对中国大陆地震也有一定的影响<sup>[10]</sup>,云南的思茅、保山、楚雄、昭通地区所受影响比内陆地区较大,风险也应有一定程度的增加。

## 5 地震风险管理

地震风险管理的目的是为了最大限度的减轻地震灾害。国际上包括我国通常采用三种方法:(1)加强地震预报(2)在危险地区加强工程建设质量,提高建筑物的抗震能力,或者干脆避开风险较大的地区,不在危险区修建大型工程。(3)加强震时的应急指挥和救援工作。从目前国际以及我国现状来看,普遍采取了加强工程建设和应急指挥能力的措施来抗御地震灾害,但即使是在美国、日本等发达国家,也没有财力去加固所有的工程。对于欠发达的云南省来讲,用于防震减灾的物资本来就有限,不可能把每个地区都作为重点工作区,因此进行地震风险评估的研究能将有限的投入应用到损失较大风险较高的地区。

地震预测预报是防震减灾的基础,预测预报的准确性愈高,防震减灾的效益就越大。利用信息扩散的方法可比较精确的计算出各地区破坏性地震次数的风险估计值以及各个震级下的概率估计值,以便重点对风险较高和损失较大的地区采取相应对策。因此,可建立一个地震发生概率的数据库,从历年地震的发生情况计算出各地区具体的风险估计

值,再着重对风险大的区域进行地震风险管理,这样有预见性和针对性进行地震风险管理又可达到降低地震灾害的目的,也大大的节约了投入的财力物力。

减轻地震灾害主要工作应放在风险相对较大的地区,根据行为主体的不同,采用不同的管理决策。首先,应将重点放在次数风险水平为1时,风险大的地区(红河、保山、思茅、丽江、大理、玉溪、楚雄地区)防震减灾工作的加强,由于思茅、保山、丽江、大理地区破坏性地震发生多次的风险较大,注意多次地震的防范。对于强震(震级6.0级以上)出现几率相对较大的地区(思茅、保山、丽江、玉溪地区)应注意加强建筑物的防震能力,提高大地震出现时的应急指挥工作。同时合理安排各项建设工程,避免在高风险区修建大型工程水库,对于必须在高风险区修建的各项工程,应对工程场址开展地震安全性评估,提高建设标准,切实加强其抗震能力。

### [参考文献]

- [1] 黄甫岗,石邵先,苏有锦. 20世纪云南地震活动研究[J]. 地震研究,2000,23(1):1-9.
- [2] 雷晓云,张立新,邓西宝. 新疆生产建设兵团农业风雹灾害风险评估[J]. 干旱区研究,2005,22(3):341-344.
- [3] 郑双忠,邓云峰,蒋清华. 基于火灾统计灾情数据的城市火灾风险分析[J]. 中国安全生产科学技术,2005,1(3):15-18.
- [4] 谢婉丽,王家鼎,张新军,等. 模糊信息优化方法在黄土湿陷性评价中的应用[J]. 西北大学学报,2005,35(1):95-99.
- [5] 吴息,杨静. 利用信息扩散模式对浙江省大暴雨的风险分析[J]. 灾害学,2002,17(4):7-10.
- [6] 冯利华. 热带气旋的风险评估[J]. 海洋通报,1999,18(2):40-43.
- [7] 汪雪泉,李罡风. 利用信息扩散模式对安徽及华东地区地震的风险分析[J]. 灾害学,2004,19(3):30-34.
- [8] 冯利华,程归燕. 基于信息扩散理论的地震风险评估[J]. 地震学刊,2000,20(1):19-22.
- [9] 黄崇福,王家鼎. 模糊信息优化处理技术及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1995.
- [10] 金镇洪,张翔,左艳,等. 我国周边地震活动对中国大陆地震的影响[J]. 东北地震研究,2004,20(4):33-42.