

成都市地震危险性分析

曾 勇

(四川省地震局)

摘 要

本文以第三代地震区划图的编图思路为基础,采用考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性分析方法进行成都市地震危险性评价。首先根据成都市及邻区的地震地质、地球物理和地震活动特征,确定不同震级上限 M_u 的潜在震源区;再估计各地震带的 b 值、地震年发生率及地震年均发生率分配函数;然后建立适合于成都市及邻区地震动(或烈度)衰减特征的等效圆、椭圆、长椭圆和断层破裂4种衰减模型。最后,采用考虑时空非均匀的地震危险性概率分析模型,评价了成都市不同超越概率的地震烈度。

成都市位于我国南北地震带中段东部边缘,其附近的龙泉山断裂带和蒲江—德阳断裂带在历史上曾发生过强震,另外川西地区各主要地震带上发生的地震对该市也有影响。地震部门多次将该市基本烈度定为Ⅶ度。但所采用的方法在某种程度上均为确定性的评价方法。随着成都市经济建设的迅速发展和地震研究基础资料的不断积累,重新评定该市的地震危险性已成为成都市国土规划、新区开发和旧城改造亟待解决的问题。为此作者以第三代地震区划图的编图思路为基础,结合川西地区的地震活动性及地震影响场特点,采用考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性分析方法,评价成都市的地震设防烈度。

一、川西潜在震源区的划分

笔者依据历史地震重演和构造外推原则,采用综合判别法划分潜在震源区,即首先由模式识别判定 $M_u \geq 6.0$ 地震潜在震源带,然后采用主观判断方法划分不同震级上限的潜在震源区。

本文采用 Cora-3 算法进行川西潜在震源带的模式识别。在因素选取方面,除考虑常用的地震地质、地球物理和背景地震活动等因素外,还将与地震孕育发生有直接联系的地应力—应变场有限元模拟成果⁽⁶⁾作为识别因素(表1)。

表 1 模式识别问题征询表

1. 是否有现代主要活动断裂?	9. 是否位于布格重力异常梯度带上?
2. 是否有现代次级活动断裂?	10. 是否位于航磁 ΔT 异常梯度带上?
3. 是否有第四纪以来活动断裂?	11. 是否位于地壳厚度等值线拐弯处?
4. 是否有 NW 向活动断裂?	12. 是否位于应变能密度高值区?*
5. 是否有 SN 向活动断裂?	13. 是否位于最大主应力集中区?*
6. 是否位于新生代盆地边缘?	14. 是否位于最大剪应力集中区?*
7. 是否处于活动断裂的特殊部位 (拐点、交点、端点)?	15. 是否位于最大剪应变集中区?*
8. 是否位于小震密集带上?	16. 是否位于地壳位移梯度带上?*

* 地壳应力—应变场有限元反演成果。

选择了 38 个发生过 $M_s \geq 6.0$ 地震的单元作为危险样本, 对该区 438 个单元进行了识别, 得到了如图 1 所示的 $M_u \geq 6.0$ 地震的潜在震源带。由图 1 可见, 它们几乎覆盖了川西各地震带, 识别结果是令人满意的。

在模式识别的基础上, 通过对川西及成都地区地震地质、地球物理及地震活性等资料的分析, 总结出不同震级上限 M_{ui} 的潜在震源判定标志 (见表 2), 并根据这些标志划分了川西不同震级上限的潜在震源区 (图 2)。

二、各地震带、潜在震源区地震活动性参数的估计

地震活动性参数应包括地震带的震级上限 M_u 、 b 值和地震年均发生率 v 及各潜在震源区的震级上限 M_{ui} 和不同震级地震的年均发生率分配系数 (即地震活动时空非均匀函数)。为了保证地震统计样本的完整性, 我们以地震带为统计单元, 得到地震带年均发生率 v 和震级—频度关系式中的 b 值后, 再按一定的原则将地震带年均发生率分配到地震带内各潜在震源区。

本文充分利用地震危险趋势有限单元模拟成果⁽⁵⁾和以往中长期地震危险性研究成果, 进行如下地震活动性参数估计工作 (表 3):

- (1) 地震带的 M_u 和带内潜在震源区的 M_{ui} , 由表 2 所示的潜在震源区划分标志确定。
- (2) 地震统计时段取公元 1500 年至 1987 年, 并经小震补漏处理后, 进行回归分析

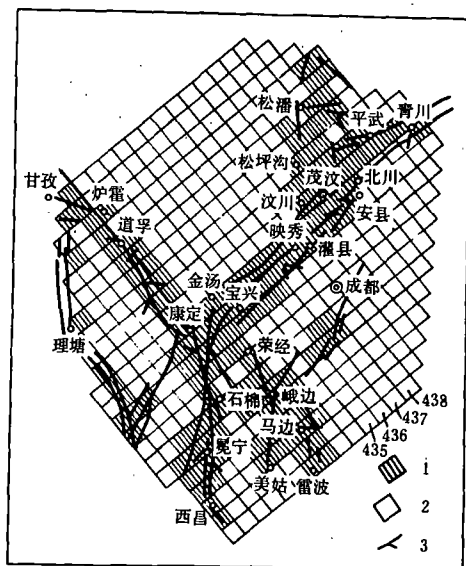


图 1 川西地区潜在震源带 ($M_u \geq 6.0$) 模式识别成果图

1. 潜在震源 2. 单元编号 3. 活动断裂

Fig. 1 Potential earthquake source zones ($M_u \geq 6.0$) in western Sichuan determined by Pattern recognition method

表2 潜在震源区划分标志

震级上限 M_u	地震地质及深部构造标志	地震活动性标志	中长期地震危险性研究成果
8.0	1. 全新世活动的大型块体边缘超壳断裂、壳内断裂交汇区或此类断裂与正在孕育的新生性深断裂交汇区 2. 大型块体边界走滑断裂滑动高速率段,其水平错动速率大于6mm/年	历史上发生过 $M_s > 7.5$ 地震	南北地震带攻关组*或本文判别为 $M_s > 7.0$ 的地震危险区
7.5	1. 全新世活动的大型块体边缘超壳断裂、壳内断裂闭锁段(包括断裂拐点、枢纽转折部位等) 2. 正在孕育的新生性深断裂 3. 大型块体边界走滑断裂,其水平错动速率为4—6mm/年的地段	历史上发生过 $7.5 > M_s > 7.0$ 地震	
7.0	1. 全新世活动的大型块体边缘壳内断裂闭锁段之间的过渡带 2. 次级块体内的复杂破碎区(如马边地区)	历史上发生过 $7.0 > M_s > 6.5$ 地震	南北地震带攻关组或本文判别为 $7.0 > M_s > 6.0$ 的地震危险区
6.5	全新世活动的大型块体边缘超壳断裂及大型推覆体	历史上发生过 $6.5 > M_s > 6.0$ 地震	
6.0	除以上被判定为 $M_u > 6.5$ 地震的潜在震源区外,由模式识别法判定为 $M_u > 6.0$ 地震的潜在震源	历史上发生过 $6.0 > M_s > 5.5$ 地震	
5.5	未被识别为 $M_u > 6.0$ 地震的潜在震源的全新世或第四纪活动断裂	历史上仅发生过 $M_u < 5.0$ 地震	

* 中国南北地震带构造、地震及近期强震危险区预测图(公元1986—2000年)。

三、川西地区地震烈度衰减模型的建立

根据川西历史地震等震线资料的分析,可将等震线形态归纳为等效圆、椭圆、长椭圆和断层破裂4种类型(图3),它们与所处的发震构造背景有着密切的关系。长椭圆型出现在只发育一条主断裂的壳内走滑活动断裂(如鲜水河断裂)带上;椭圆型出现在压扭性活动断裂或滑脱构造带上;断层破裂型等震线出现在安宁河裂谷带上;等效圆型则出现于马边—雷波复杂破碎区。以上现象表明,发震构造类型决定了地震能量扩散形态,可以由不同的发震构造类型确定各带的烈度衰减类型(表3)。

通过对川西历史地震烈度及南北地震带地震破裂带长度等资料的统计,得到了描述上述4种等震线类型的烈度衰减公式(表4)。

表3 川西地区潜在震源区地震活动性参数一览表

地震带					潜在震源区								
名称	地震年平均发生率 ν				b 值	震级上限 M_{01}	地震动衰减模型	编号	震级上限 M_{01}	起算震级 M_0	地震时空非均匀性系数 Q_i		
	$M_s > 4$	$M_s = 4-6$	$M_s = 6-7$	$M_s > 7$							$M_s = 4-6$	$M_s > 7$	$M_s = 6-7$
鲜水河	0.2537 0.2213 0.0234 0.0090 0.2385*	0.4175	8.0	长椭圆	1	8.0	4.0	0.199	0.160	0.226			
					2	7.5	4.0	0.224	0.212	0.305			
					3	7.0	4.0	0.496	0.468	0.000			
					4	8.0	7.0	0.000	0.000	0.469			
					5	6.5	4.0	0.081	0.160	0.000			
安宁河	0.0974 0.0861 0.0091 0.0022 0.0916*	0.4171	7.5	断层破裂	6	7.0	4.0	0.202	0.324	0.000			
					7	7.5	4.0	0.439	0.676	1.000			
					8	6.0	4.0	0.359	0.000	0.000			
松潘	0.2293 0.2032 0.0192 0.0069 0.1637*	0.4452	8.0	椭圆	9	8.0	4.0	0.309	0.247	0.321			
					10	7.5	4.0	0.369	0.407	0.393			
					11	7.5	4.0	0.322	0.346	0.286			
龙门山	0.1635 0.1576 0.0059 0.000 0.1167*	0.6713	7.0	椭圆	12	7.0	4.0	0.253	0.349	—			
					13	6.5	4.0	0.364	0.275	—			
					14	6.5	4.0	0.291	0.256	—			
					15	6.5	4.0	0.092	0.120	—			
马边	0.3933 0.3695 0.0203 0.0035 0.2145*	0.5796	7.5	等效圆	16	7.0	4.0	0.272	0.257	0.000			
					17	7.0	4.0	0.378	0.412	0.000			
					18	7.5	4.0	0.350	0.341	1.000			
四川盆地西南部	0.5451 0.5451 0.00 0.0000 0.3100*	1.1043	6.0	椭圆	19	5.5	4.0	0.048	—	—			
					20	6.0	4.0	0.055	—	—			
					21	6.0	4.0	0.199	—	—			
					22	5.5	4.0	0.113	—	—			
					23	5.5	4.0	0.066	—	—			
					24	6.0	4.0	0.049	—	—			
					25	5.5	4.0	0.069	—	—			
					26	6.0	4.0	0.224	—	—			
					27	6.0	4.0	0.177	—	—			
合计	1.6823	1.5804	0.0803	0.0216									

* 通常方法统计的地震年均发生率,统计时段为公元1500—1987年。

四、地震危险性分析及讨论

Cornell 和 Ang 的地震危险性概率计算模型未考虑地震活动的时空非均匀性以及我国特有的椭圆型地震烈度衰减特点。第三代烈度区划图的编制则考虑了上述两点，但其地震危险性概率计算方法显得较为繁琐，且仅用椭圆烈度衰减模型，未考虑地质构造条件所引起的烈度衰减形态的差异。因此笔者按第三代区划图的编图思路，沿袭 Ang 等（1977 年）所采用的按潜在震源条带进行积分的简易计算方法，并考虑了四川西部所具有的等效圆、椭圆、长椭圆和断层破裂 4 种烈度衰减形态特征，来进行地震危险性概率计算。具体计算原理和步骤可参见文献 [6]。

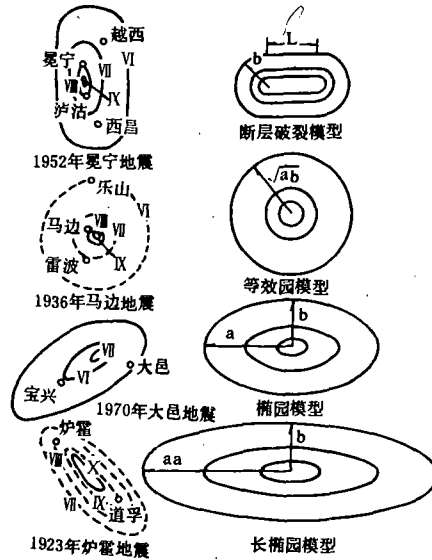


图3 川西地区4种典型的等震线及其理想化模型

Fig. 3 Four typical shapes of isoseismal and their idealized intensity declining models

表4 川西地震烈度衰减公式

名称	公式	统计数据组数	相关系数	标准差
长椭圆长轴 aa	$I_{aa} = 3.229 + 1.431M - 1.213 \ln(R^{(1)} + 25)$	17	0.811	0.703
椭圆长轴 a	$I_a = 5.299 + 1.414M - 1.794 \ln(R + 25)$	55	0.887	0.683
长椭圆、椭圆短轴 b	$I_b = 8.144 + 1.414M - 2.595 \ln(R + 25)$	55	0.887	0.683
等效圆半径 \sqrt{ab}	$I_{\sqrt{ab}} = 6.784 + 1.425M - 2.223 \ln(R + 25)$	55	0.894	0.670
震级—破裂长度关系	$S = \exp(1.695M - 8.613)$	19	0.773	0.649

* 表中 R 为震源距

根据前面提供的潜在震源区及其地震活动性参数，采用上述地震危险性概率计算方法，得到了成都市经地震烈度衰减不确定性校正后成都市不同概率水平的地震烈度和基岩峰值加速度（图4、图5）。本文得出的主要结论如下：

(1) 由地震活动趋势合理调整地震年均发生率的地震危险性概率计算值比年均发生率常规统计法得到计算值要高（图4），因为后者低估了较高震级地震的年均发生率。

(2) 采用了时空非均匀函数的地震危险性概率计算值高于未采用的计算值，因前者不会丢失高震级的贡献（图4）。

(3) 用断层破裂模型和等效圆模型计算的不同概率水平的烈度值可相差0.4度，因此合理选择地震烈度衰减模型是必要的（图5）。

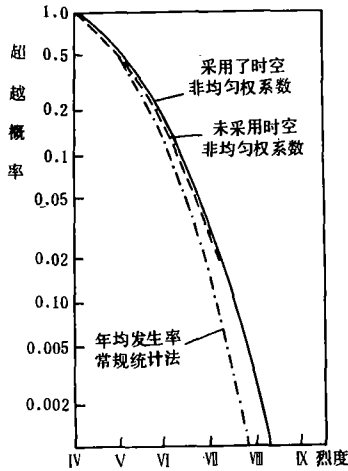


图4 成都市地震烈度概率水平图
($T=50$ 年)

Fig. 4 Probabilities of intensities which Chengdu City will suffer in coming 50 years

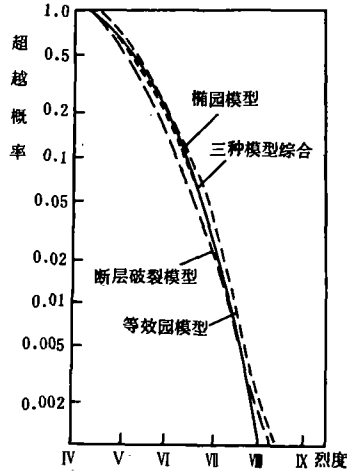


图5 用各种烈度衰减模型计算的成都市地震烈度概率水平图 ($T=50$ 年)

Fig. 5 Probabilities of intensities calculated by three intensity declining models for Chengdu City

(4) 成都市50年10%超越概率的烈度(设防烈度)为6.4度,即VI度强,比第二代烈度区划图确定的烈度值(VII度)略低。这是由于采取的研究思路和分析方法不同而造成的。第二代烈度图采用的是确定性方法,仅给出100年内可能遭遇的最大烈度,而未给出发生这一烈度的可能性大小。虽然成都市未来完全可能遭受VII度地震,但可能性却很小。而本文采用的是不确定性方法并充分吸取第二代烈度图的研究成果,所给出的50年10%超越概率的设防烈度反映了这一烈度发生的可能性大小。为工程决策提供了更科学的依据。

地震危险性分析是一项复杂的综合性很强的研究工作。评价结果的合理性取决于地震地质、地球物理及地震活动性等基础资料的可靠程度,因此必须加强基础性研究工作。就成都市来说,应对穿越该区的蒲江—德阳断裂的发震可能性作进一步的研究。

(本文1991年6月17日收到)

参考文献

- [1] C. A. Cornell, Engineering seismic risk analysis, BSSA, Vol. 58, No. 5, P. 1583—1606, 1968.
- [2] A. Der Kiureghian and A. H—S. Ang, A fault—rupture model for seismic risk analysis, BSSA, Vol. 67, No. 4, P. 1173—1194, 1977.
- [3] 黄玮琼等, 地震活动时空不均匀性年平均发生率估计, 中国地震, Vol. 5, No. 2, 1989.
- [4] 胡聿贤等, 参考唐山地震确定的华北地区地震动衰减关系, 土木工程学报, Vol. 19, No. 3, 1986.
- [5] 张倬元等, 川西地震幕的数值模拟研究, 地质灾害与环境保护, Vol. 1, No. 2, 1990.
- [6] 曾勇, 考虑时空非均匀性的地震危险性分析简易算法, 四川地震, No. 1, 1991.

EARTHQUAKE RISK ANALYSIS IN CHENGDU CITY

Zeng Yong

(*Seismological Bureau of Sichuan, Chengdu, China*)

Abstract

In this paper, a new method, which considers random occurrence and time—space nonuniformity of earthquakes, and different intensity declining shapes, is used to estimate the seismic intensity that Chengdu City will suffer in coming 50 years. First, the potential sources with different upper magnitudes are zoned by combining the pattern—recognition with subjective judgement according to the features of seismology, geophysics and seismicity. Second, the b value, and seismic frequency in potential zones, and nonuniform parameters of earthquake distribution are determined by seismicity analysis in history. Third, the equivalent round, ellipse, long ellipse and fault—rupture intensity declining models which are available in western Sichuan are set up in consideration of earthquake tectonics and isoseismal shapes. At last, a simplified method for calculating probability, which considers earthquake time—space nonuniformity, is suggested to estimate the possibility of intensity from IV to IX. The assessment will provide scientific basis for earthquake resistant project in the City.

(上接35页)

STUDY ON THE CROWDING INDEX SPECTRUM $F(\alpha)$ OF SEISMIC MULTI—FRACTAL

Zhu Lingren , Zhou Shiyong

(*Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, China*)

Abstract

This paper simply introduces the method of directly calculating the crowding index α and crowding index spectrum $f(\alpha)$ which can describe the complex fractal. Using $f(\alpha) - \alpha$ it also analyses the seismic temporal sequence data in Tangshan seismic region. The results show that using the index spectrum $f(\alpha)$ to study the multi-fractal is simple and available, and uneven fractal as the temporal distribution of earthquakes can be described better and completely. Based on the anomalous shape of the index spectrum $f(\alpha)$, it is possible to monitor and predict large earthquakes.