

文章编号: 0253-3782(2003)02-0199-06

# 地震统计区划分不确定性对场点地震危险性计算的影响<sup>\*</sup>

潘 华 黄玮琼

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

**摘要** 用 3 个不同的地震统计区划分方案, 采用概率地震危险性分析方法, 分别计算了研究区地震危险性, 并讨论了地震统计区划分方案的不确定性对地震危险性结果的影响. 结果表明, 地震统计区划分方案的不确定性, 对局部场点的地震危险性分析结果的影响是不容忽视的. 这些场点通常位于地震统计区边界, 以及不同方案震级上限变化大的区域.

**关键词** 地震带 地震统计区 划分方案 不确定性 概率地震危险性分析

**中图分类号**: P315.08

**文献标识码**: A

## 引言

地震统计区是考虑时空不均匀性的概率地震危险性分析方法(国家地震局, 1996; 国家技术质量监督局, 1999)特有的概念, 是确定地震活动性统计规律的基本统计单元. 它从空间上划分了地震统计样本, 从而决定了其相应的地震活动性参数, 最终影响到地震统计区内及其附近场点的概率地震危险性评估结果. 由于地震统计区在概念以及划分原则上存在较大的认识不确定性(潘华, 2000), 因此, 不同的研究人员往往会给出不同的划分方案. 这种不确定性对场点地震危险性分析结果会产生不可忽视的影响. 在以往的概率地震危险性分析不确定性研究中, 尚没有关于地震统计区划分方案不确定性影响的研究. 这主要是因为地震统计区划分尽管在认识上存在较大不确定性, 但在实际工作中使用的方案却是相对确定的(例如, 实际工作中普遍使用的《中国地震烈度区划图(1990)》的地震统计区划分方案), 这是对这种不确定性的一种简化处理. 其根源是由于地震统计区的划分是一项全局性、系统性研究工作, 并非仅涉及具体场地的地震安全性评价工作所能完成的, 只有全国性的地震区划工作才涉及全国地震统计区的划分研究. 自 1986 年《中国地震烈度区划图》编制以来, 已有 3 套具有统计区意义的划分方案在实际工作中得到应用. 就这 3 套方案而言, 划分的不确定性是非常明显的, 因此, 探讨这种不确定性的影响不仅必要而且也具有实际的意义.

本文的目的即研究地震统计区划分方案的不确定性对场点概率地震危险性分析结果的影响, 通过分析得到对这种影响的相对明晰的量化认识, 以利于实际工作参考.

<sup>\*</sup> 地震科学联合基金(100110)资助项目. 中国地震局地球物理研究所论著 03AC1006.  
2002-04-24 收到初稿, 2002-12-26 收到最后修改稿并决定采用.

1 地震统计区划分方案

自 1986 年以来,全国性的应用于概率地震危险性分析的具有统计区含义的地震统计区划分方案有 3 种,分别为:

方案 1. 1990 年版《中国地震烈度区划图》使用的地震统计区划分方案(国家地震局, 1996). 该方案自区划图颁布后,在场地地震安全性评价实际工作中得到相当广泛的应用.

方案 2. 国家地震局《2005 年前我国大陆强震预测方法研究和预测图编制》项目使用的地震统计区划分方案(时振梁等, 1997). 该方案在 2005 年前中国大陆中长期地震危险性预测工作中得到应用.

方案 3. 2001 年版《中国地震动参数区划图》使用的地震统计区方案<sup>①</sup>. 该方案是目前场地地震安全性评价实际工作中广泛使用的方案.

这 3 种方案大致反映了当前地震统计区划分研究的现状. 它们涉及本研究区域的部分绘于图 1. 地震统计区的划分基础是地震带,比较这几个方案,它们的大体格局具有一定的相似性,反映出我国地震带的基本分布特点,例如,汾渭地震带与汾渭地震统计区. 然而,地震带的规模通常都小于地震统计区,每个地震统计区通常都包括不止一个地震带,还包括地震带周围的弱地震活动区,因此,这几个方案在不同地震带的融合,以及带的边

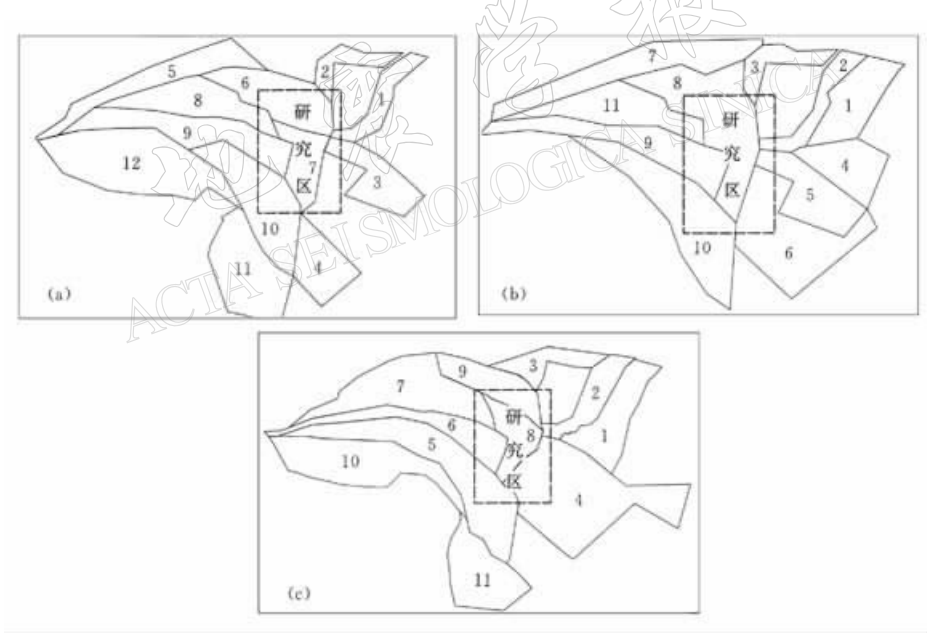


图 1 地震统计区划分方案

(a) 方案 1 —— 1. 汾渭, 2. 河套-银川, 3. 江汉, 4. 右江, 5. 阿尔金, 6. 祁连山-六盘山, 7. 西秦岭-龙门山, 8. 柴达木, 9. 昆仑山, 10. 川滇, 11. 腾冲-耿马, 12. 藏北高原; (b) 方案 2 —— 1. 河北平原, 2. 汾渭, 3. 银川, 4. 淮河, 5. 汉水, 6. 大娄山, 7. 阿尔金, 8. 祁连山, 9. 巴颜喀拉山, 10. 金沙江, 11. 柴达木; (c) 方案 3 —— 1. 华北平原, 2. 汾渭, 3. 银川-河套, 4. 长江中下游, 5. 喀鲜水河-滇东, 6. 巴颜喀拉山, 7. 柴达木-阿尔金, 8. 龙门山, 9. 六盘山-祁连山, 10. 藏中, 11. 滇西南

① 环文林. 1998. 中国及邻区地震区、带划分工作报告. 全国抗震设防区划图编制子专题工作报告.

界划分上均存在相当的不确定性. 例如, 南北地震带沿线的地震统计区划分以及西藏中部和北部地震统计区的划分等. 这种不确定性反映了对于地震统计区在科学认识上的差异. 本研究选择这 3 套不同的划分方案作为讨论的基础.

2 分析方法

本文以 100.5°~108.0°E、28.0°~38.0°N 范围为研究区. 该区域位于我国著名的南北地震带上, 地震构造背景和地震活动性复杂, 地震统计区划分认识不确定性较大. 该区域涉及我国东、西部多个地震带.

表 1 3 种方案地震统计区地震活动性参数

	编号	统计区	$M_0$	$b$ 值	$\nu_4$
方 案 1	1	汾渭	8.5	0.627	0.655 1
	2	河套-银川	8.0	0.725	0.950 6
	3	江汉	7.0	1.026	0.635 0
	4	右江	6.5	1.029	0.715 4
	5	阿尔金	8.5	0.591	1.488 4
	6	祁连山-六盘山	8.5	0.600	1.077 7
	7	西秦岭-龙门山	8.5	0.565	0.797 0
	8	柴达木	7.5	0.614	2.032 7
	9	昆仑山	8.5	0.684	5.739 6
	10	川滇	8.0	0.655	6.412 4
	11	腾冲-耿马	8.0	0.674	13.077
	12	藏北	8.5	0.803	19.017
方 案 2	1	河北平原	8.0	0.679	1.204 6
	2	汾渭	8.5	0.618	0.610 0
	3	银川	8.0	0.725	0.951 0
	4	淮河	7.0	0.706	0.255 0
	5	汉水	7.0	1.030	0.607 0
	6	大娄山	6.5	1.230	0.845 8
	7	阿尔金	8.5	0.521	1.078 0
	8	祁连山	8.5	0.619	1.752 0
	9	巴颜喀拉山	8.5	0.601	2.693 0
	10	金沙江	8.0	0.662	6.915 0
	11	柴达木	7.5	0.673	2.348 0
方 案 3	1	华北平原	8.0	0.697	1.410 2
	2	汾渭	8.5	0.648	0.780 0
	3	银川-河套	8.0	0.697	0.818 6
	4	长江中下游	8.0	0.778	6.572 4
	5	鲜水河-滇东	8.5	0.553	0.649 4
	6	巴颜喀拉山	8.0	0.568	0.897 4
	7	柴达木-阿尔金	8.5	0.565	2.388 0
	8	龙门山	7.5	1.252	1.910 0
	9	六盘山-祁连山	8.0	0.690	8.872 0
	10	藏中	8.0	0.616	10.104
	11	滇西南	8.5	0.777	15.344

由于地震统计区划分的不同, 必然导致潜在震源区划分的不同, 进而导致潜在震源区地震活动性参数的不同, 这些因素掺杂在一起, 很难清晰地了解地震统计区划分的不确定

性对最终结果不确定性的影响. 鉴于此, 本研究假设地震统计区内的地震空间分布满足均匀分布, 不再划分次级的潜在震源区.

将研究区域以  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  划分成网格, 计算各网格节点上的 50 年超越概率 10% 和 2% 的基岩水平加速度峰值 PGA 和地震烈度值  $I$ , 并计算各方案结果的总极差值, 绘制成等值线图(图 2,3), 分析其空间分布特点.

计算采用的地震统计区地震活动性参数, 分别依据各地震统计区的平均地震活动水平来确定, 其参数值列于表 1.

3 结果分析

3.1 地震统计区划分不确定性影响的大小

图 2, 3 分别给出 50 年超越概率 10% 和 2% 水平下空间各节点地震烈度值  $I$  和基岩水

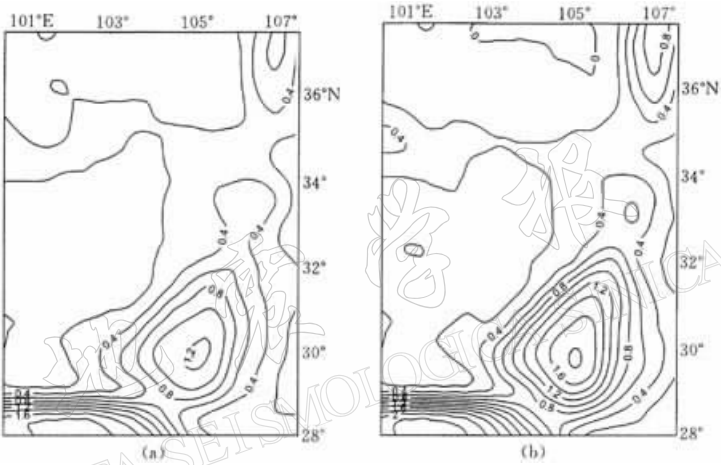


图 2 各方案的烈度极差分布

(a) 50 年超越概率 10%; (b) 50 年年超越概率 2%

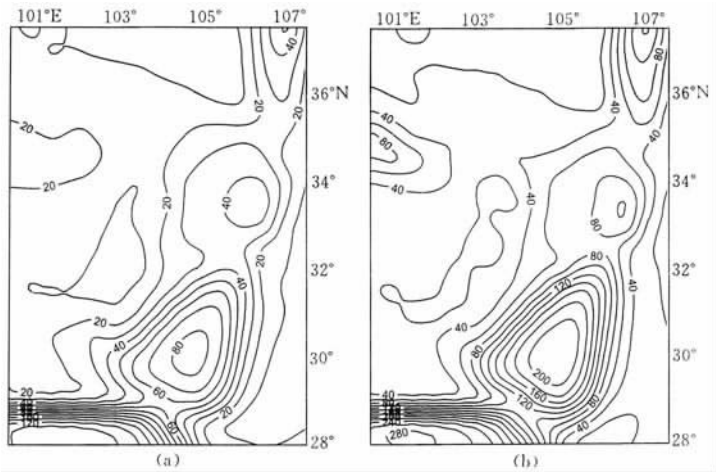


图 3 各方案的 PGA 极差分布

(a) 50 年超越概率 10%; (b) 50 年年超越概率 2%

平加速度峰值 PGA 的总极差等值线图. 图中显示, 在 10% 超越概率水平下地震统计区划分方案的不确定性, 导致场点  $I$  变化最大可达 1.2 度、PGA 变化最大可达  $0.08 \text{ cm/s}^2$  以上; 在超越概率 2% 水平下,  $I$  变化最大可达 1.8 度, 而 PGA 变化最大可达  $0.2 \text{ cm/s}^2$  以上. 地震统计区划分的不确定性导致场点地震动参数的变化相当显著, 且随着地震风险水平的增大, 其影响也随之放大, 但  $I$  和 PGA 的变化趋势是一致的.

### 3.2 地震统计区划分不确定性影响的空间特征

根据图 2 和图 3, 并比照图 1, 可知地震统计区划分不确定性影响存在以下一些显著的空间分布特征:

等值线梯度带大都沿地震统计区边界分布, 这表明边界附近的场点对划分的不确定性比较敏感.

位于高震级上限(或低震级上限)地震统计区内的场点, 一旦在另一方案中被划分到低震级上限(或高震级上限)地震统计区内, 其地震动参数的变化将非常显著. 例如图 2, 3 中的最高等值线分布区域, 在第二方案中属于 8.0 震级上限的地震统计区, 而在第三方案中被划分到了 6.0 震级上限的地震统计区内, 因此, 地震动参数的变化在研究区域内达到最大值. 由地震统计区边界向内部, 地震统计区划分不确定性的影响衰减较快, 说明地震统计区划分的不确定性影响区域主要局限于边界附近和震级上限变化较大的区域.

极差等值线的空间分布形态基本不受风险水平的影响, 但极差大小受风险水平的影响较大.

### 3.3 不确定性影响来源分析

本研究还比较了两两方案之间计算结果的差异, 以具体分析不确定性影响的来源. 方案 1 和方案 3 主要差别在龙门山和右江地震统计区交界区域, 震级上限的变化达到 0.5 级和 1 级, 是震级上限变化最大的区域. 这两方案的不确定性影响也主要表现在这一区域, 涉及的场点地震动参数的变化达到最大. 可见, 划分不确定性引起的震级上限变化是导致上述影响的重要因素. 方案 1 和方案 2 之间边界形态变化较小, 差异主要来源于龙门山地震统计区覆盖区域  $b$  值和  $\nu_4$  的变化, 以及右江地震统计区震级上限的变化, 这两块区域不确定性的影响表现较为显著. 方案 2 和方案 3 的变化主要是由于震级上限的变化引起的. 本研究所获得的结果, 与笔者在华北地区计算分析的结果是一致的(潘华, 2000).

## 4 结语

通过研究地震统计区划分的不确定性对场点地震危险性的影响, 可以得到以下认识:

50 年超越概率 10% 时, PGA 最大变化在  $0.08 \text{ cm/s}^2$  以上,  $I$  最大变化在 1.2 度以上; 2% 时, 两者分别为  $0.2 \text{ cm/s}^2$  以上和 1.6 度以上. 地震风险水平越高, 这种影响越大. 地震风险水平的变化, 对地震统计区划分不确定性造成的地震动参数不确定性的空间分布形态影响不大. 地震统计区划分不确定性的影响在边界处表现为梯度带, 向内部衰减很快. 同一场点在不同方案中可能所处地震统计区具有不同的震级上限, 这种不确定性对场点地震危险性的影响较大.

当前地震统计区划分存在着相当的不确定性, 而且, 这种认识上的不确定性当前尚难以消除. 地震统计区划分的不确定性, 从两个方面影响场点的地震危险性: 其一, 划分的不确定性导致地震统计样本的变化, 从而影响地震活动性参数的估计, 进而影响场点地震

危险性计算结果变化。当地震统计区边界附近存在有较大震级(例如 8.0 级)地震样本分布或地震空间分布较密集时,边界划分的变动对样本的划分影响可能较大,地震统计区划分方案不确定性的影响也可能较大;其二,地震统计区划分方案的不确定性,会改变场点与地震统计区的隶属关系,从而导致场点地震危险性估计结果的变化。

本文所进行的讨论,是基于地震统计区内的地震发生在空间上满足均匀分布这样一个假定前提,但实际上,在地震统计区这样一个较大空间范围内地震应是非均匀分布的。因此,潜在震源区的存在,在局部对本文的结论将会有一定的影响,但总体趋势依然存在(潘华, 2000)。

综上所述,在概率地震危险性分析方法中,对地震统计区划分不确定性的影响应该给予足够的重视。

### 参 考 文 献

- 国家质量技术监督局. 1999. 中华人民共和国国家标准 GB 17741-1999. 工程场地地震安全性评价技术规范, 18
- 国家地震局. 1996. 中国地震烈度区划(1990)概论[M]. 北京: 地震出版社, 66~67
- 潘华. 2000. 概率地震危险性分析中参数不确定性研究[D]: [学位论文]. 中国地震局地球物理研究所, 174
- 时振梁, 傅征祥, 金学申, 等. 1997. 中国大陆中长期强震危险性预测方法研究[M]. 北京: 海洋出版社, 25~26

## INFLUENCE OF UNCERTAINTY IN DELIMITATION OF SEISMIC STATISTICAL ZONE ON RESULTS OF PSHA

Pan Hua Huang Weiqiong

(Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The seismic hazard of research area is evaluated by probabilistic analysis method for three different seismic statistical zone scenarios. The influence of uncertainty in seismic statistical zone delimiting on the evaluation result is discussed too. It can be seen that for those local sites along zone's border or within areas with vast change of upper bound magnitude among different scenarios the influence on seismic hazard result can not be neglected.

**Key words:** seismic belt; seismic statistical zone; delimiting; uncertainty; probabilistic seismic hazard analysis