

文章编号: 0253-3782(2006)03-0269-08

地震危险性分析中几个重要 环节的关联性^{*}

黄 玮 琼^{*} 吴 宣

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

摘要 为进一步揭示地震统计区划分、潜在震源区划分和地震活动性参数确定三者的关联性, 在 $100^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 和 $29^{\circ}\text{N} \sim 42^{\circ}\text{N}$ 范围内, 寻找出 21 个位于不同位置、具有一定代表性的场点, 研究在非均匀分布与均匀分布两种模型下, 地震统计区活动性参数的不确定性对这些场点危险性估计的影响。综合本次与以往的研究结果表明, 不同的地震统计区划分方案会改变一个统计区所包含的地震资料, 加上地震统计时段选取的不确定性, 会导致统计区地震活动性参数估计的不确定性。这种不确定性变化越大, 均匀分布模型对场点危险性估计所产生的不确定影响也越大, 也即地震统计区划分环节起主要作用。在一个地震统计区内, 划分潜在震源区和空间分布函数的不等权分配, 提高了有可能发生大地震地方及其附近地区地震动参数的估计值。在这些地方, 潜在震源区划分不确定性的影响是很明显的, 尤其对场点地震动参数(如烈度)绝对值的影响更为显著, 也即潜在震源区划分环节起主要作用。一般来说, 潜在震源区划分环节的影响仅对最高和次高震级上限潜在震源区内的场点及最高震级上限潜在震源区附近的场点起主要作用, 而对那些处于低震级上限潜在震源中的场点, 则还是地震统计区划分不确定性的影响大于潜在震源区划分不确定性的影响。

关键词 地震统计区 活动性参数 潜在震源区 均匀分布 非均匀分布 不确定性 关联性

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A

引言

在我国通用的考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性概率分析方法(国家地震局, 1996)(以下简称非均匀分布模型)中, 地震统计区划分、潜在震源区划分与地震活动性参数确定是几个重要的环节, 对场点地震动参数的估计起着十分重要的作用。

黄玮琼和吴宣(2005)已探讨了在非均匀分布模型(即在一个地震统计区内进一步划分出具有不同震级上限的潜在震源区)中, 地震统计区活动性参数确定与潜在震源区划分之间的关联性及对区内各场点地震危险性估计的影响。研究表明, 地震统计区活动性参数的不确定性, 对各场点危险性估计的影响是不均衡的。它与潜在震源区划分的方案有密切关系, 尤其在 8 级以上的高震级潜在震源区及附近, 往往会出现地震动参数不确定性最大变化值的异常区。这充分说明运用非均匀分布模型, 统计区地震活动性参数的不确定性, 对

* 地震科学联合基金(103051)资助。中国地震局地球物理研究所论著 06AC1017。

2005-11-03 收到初稿, 2006-01-06 决定采用。

◆ 通讯作者。E-mail: weiqiong-huang@yahoo.com.cn

具备可能发生大地震条件的地方的影响是显著的。而运用国际上通用的均匀分布模型(即在一个地震统计区内不再划分出不同震级上限的潜在震源区)(Cornell, 1968), 它对统计区内各场点危险性估计的影响是均衡的, 但对位于或靠近不同统计区交界处的场点, 则同时受到几个统计区活动性参数不确定性的综合影响。潘华和黄玮琼(2003)的研究结果也表明, 在均匀分布模型下, 主要是统计区边界附近的场点, 对地震统计区划分不确定性的影响较敏感, 从边界到统计区内部, 其影响衰减较快。那么, 在非均匀分布模型中, 地震统计区划分、潜在震源区划分和地震活动性参数确定三者相互间的关系如何? 是本文要进一步研究的目的。为此, 在以往研究的基础上, 进行以下两方面的探讨: 其一, 寻找若干位于不同地震统计区交界处的场点, 探讨在两种分布模型下, 与场点相邻的各地震统计区活动性参数的不确定变化对这些场点危险性估计的影响; 其二, 在一个地震统计区内, 寻找几个有代表性的处于不同震级上限(震级上限为最大、次大、第三大)潜在震源区内场点, 研究在两种分布模型下, 地震活动性参数不确定变化对这些场点危险性估计的影响。并进一步从中揭示以上三者的关联性。

1 研究范围与对象

研究范围定为 $100^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$, $29^{\circ}\text{N} \sim 42^{\circ}\text{N}$ 。在此范围中共涉及 11 个地震统计区。它们是: 长江下游—南黄海统计区(01 区)、郯庐统计区(02 区)、华北平原统计区(03 区)、汾渭统计区(04 区)、银川河套统计区(05 区)、祁连山统计区(06 区)、龙门山统计区(07 区)、柴达木统计区(08 区)、巴颜喀拉山统计区(09 区)、鲜水河统计区(10 区)、长江中游统计区(11 区)(图 1)。括号内编号为便于下面作图与描述。针对研究目的, 共选取了处于 2 或 3

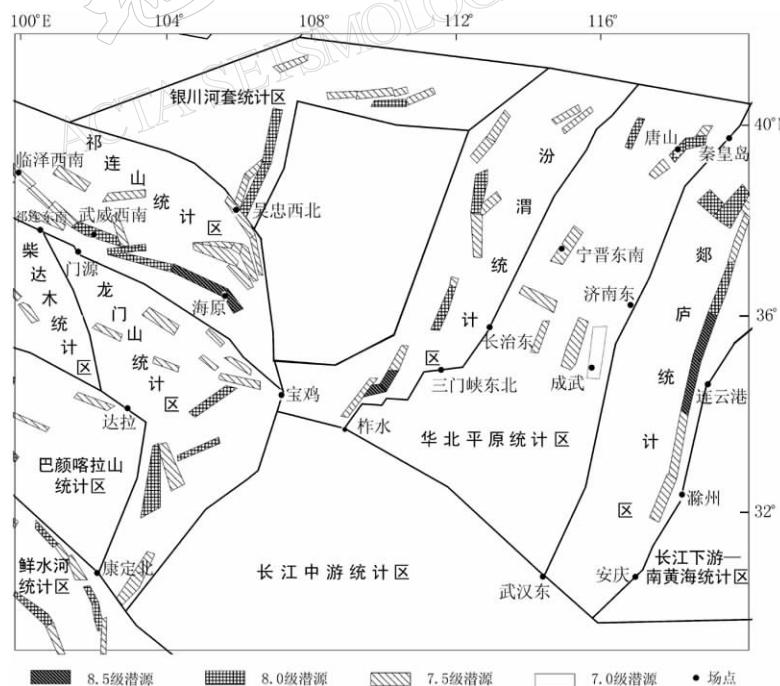


图 1 地震统计区、高震级上限潜在震源区及场点分布图

图中仅有的 7.0 级潜源为成武场点所在潜源

个统计区交界处的 15 个场点及华北平原统计区和祁连山统计区中各 3 个在不同震级档潜在震源内的场点。表 1 和表 2 列出了有关信息。地震统计区、高震级上限潜在震源区和场点位置如图 1 所示。

表 1 统计区交界处 15 个场点所在位置说明

场点参考地名	相邻统计区	附近 7.5 级以上潜源
连云港	郯庐、长江下游—南黄海	郯庐区 8.5 级潜源
滁州	郯庐、长江下游—南黄海	郯庐区 7.5 级潜源
安庆	郯庐、长江下游—南黄海	
秦皇岛	华北平原、郯庐	华北平原区 8.0, 7.5 级潜源
济南东	华北平原、郯庐	
武汉东	华北平原、郯庐、长江中游	
长治东	华北平原、汾渭	
三门峡东北	华北平原、汾渭	
柞水	华北平原、汾渭、长江中游	汾渭区 7.5 级, 8.5 级潜源
宝鸡	祁连山、龙门山、汾渭	龙门山区 7.5 级潜源
吴忠西北	银川河套、祁连山	银川河套区 8.0 级, 7.5 级和 祁连山区 7.5 级潜源
康定北	鲜水河、龙门山、巴颜喀拉山	鲜水河区 8.0 级, 7.5 级潜源
达拉	龙门山、巴颜喀拉山	巴颜喀拉山区 7.5 级潜源
门源	龙门山、祁连山	祁连山区 8.0 级潜源
祁连东南	龙门山、祁连山、柴达木	祁连山区 7.5 级, 8.0 级潜源

2 计算方法与举例说明

根据作者在“地震统计区活动性参数与潜在震源区划分的关联性及对危险性估计的影响”一文中的研究结果, 本文选取 50 年超越概率为 10% 的烈度最大变化值作为参照对象, 进行计算、对比与分析。

每一个交界处上的场点, 对与其有关的各地震统计区, 运用使场点危险性估计结果产生最大与最小值的地震活动性参数组合(黄玮琼, 吴宣, 2003), 分别按非均匀分布和均匀分布两种模型, 逐一改变某一地震统计区的活动性参数值(其它统计区暂不变), 研究该场点 50 年超越概率为 10% 的烈度最大变化值随活动性参数改变的变化规律, 以此法得到交界处各统计区对同一场点危险性估计不确定性影响的差异程度。表 2 中的场点只涉及到一个统计区, 其计算方法同上。

下面以秦皇岛场点为例, 说明计算步骤。

表 2 两个统计区内 6 个场点所在位置说明

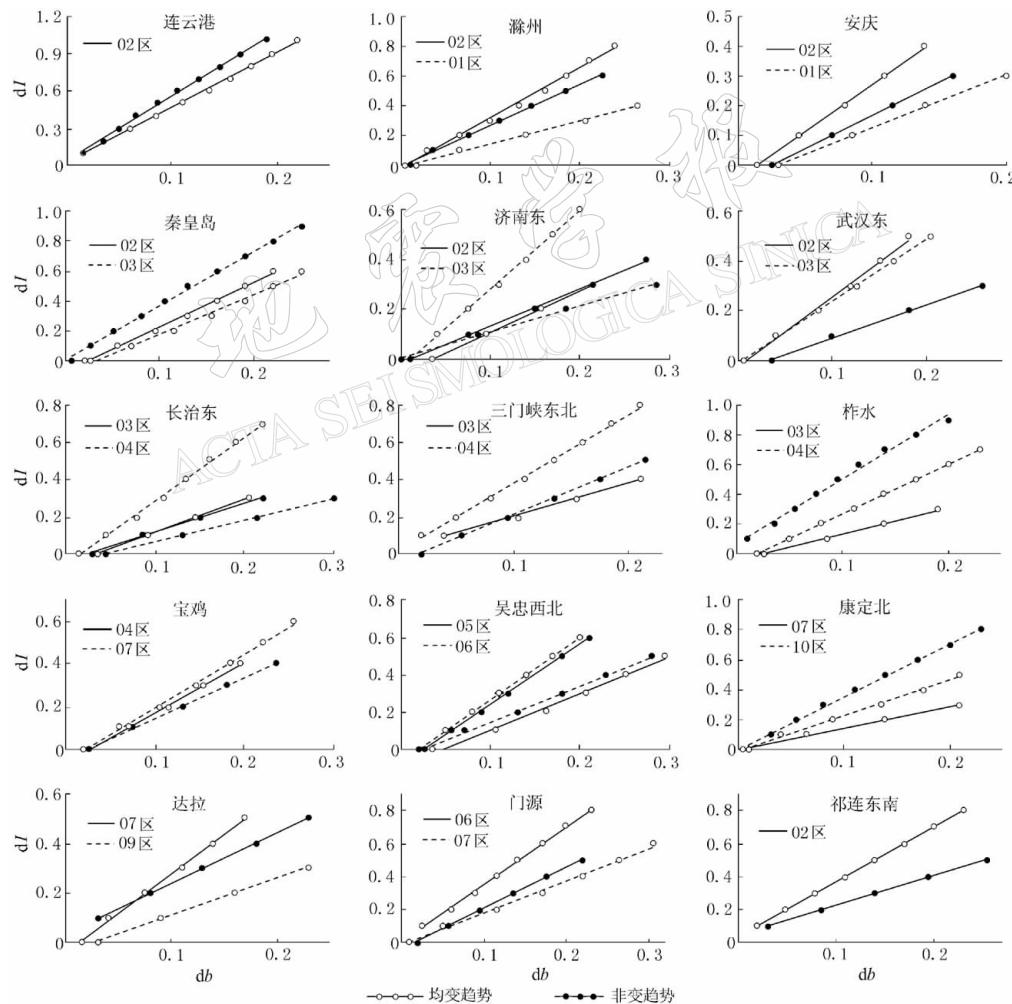
所在统计区	场点参考地名	场点所在潜源的上限	备注
华北平原	唐山	8.0 级	华北平原区中潜在震源的 最大震级上限为 8.0
	宁晋东南	7.5 级	
	成武	7.0 级	
祁连山	海原	8.5 级	祁连山区中潜在震源的 最大震级上限为 8.5
	武威西南	8.0 级	
	临泽西南	7.5 级	

秦皇岛位于华北平原统计区与郯庐统计区交界处，并靠近华北平原统计区的8.0级和7.5级地震潜在震源区(图2). 与秦皇岛场点相关的这两个统计区，使场点危险性估计结果产生最大与最小值的活动性参数组合如表3所示.

由于 b 值与 ν_4 值有一定的函数关系，这里只讨论 b 值的改变对结果的影响情况. 分别对两种分布模型进行计算：首先固定郯庐统计区的 b 值不变，以 $\Delta b = -0.01$ 为步长，逐一改变华北平原统计区最大值参数中的 b 值，计算出秦皇岛场点50年超越概率水平为10%的烈度最大变化值，得到该场点地震烈度最大变化值随华北平原区 b 值变化的规律，即 $dI-db$ 的关系；其次，固定华北平原统计区 b 值不变，用同样方法计算出该场点50年超越概率为10%的烈度最大变化值随郯庐统计

表3 两个地震统计区的活动性参数组合

地震统计区	最大值的参数组合		最小值的参数组合	
	b_{\max}	$\nu_{4\max}$	b_{\min}	$\nu_{4\min}$
华北平原	0.638	1.786	0.696	1.429
郯庐	0.612	1.523	0.641	0.626

图2 15个场点 $dI-db$ 关系曲线(50年超越概率为10%). b 值变化对 I 值无影响的线条不予绘出

区 b 值变化的规律。计算结果如图 2 所示, 图例中“非变”与“均变”分别对应非均匀和均匀分布模型, 编号 02 区和 03 区代表郯庐地震统计区和华北平原地震统计区。计算结果表明, 在非均匀分布模型中, 只有华北平原区 b 值的不确定性, 对秦皇岛场点烈度估计产生明显的影响, 而郯庐区对其没有什么影响(在图上不予绘出)。在均匀分布模型中, 两个统计区 b 值的不确定性对该场点烈度的估计都有影响, 郯庐区的影响稍大于华北平原区的影响。

3 计算结果与分析

3.1 表 1 中 15 个场点的结果与分析

类似于秦皇岛场点的计算方法, 对其余 14 个场点逐一作了计算。其结果一并绘于图 2。分析图 2 可归并为如下几类情况:

1) 秦皇岛、连云港、柞水、康定北等场点, 它们的 50 年 10% 烈度估计值的不确定性, 受其附近 8 级以上潜在震源区所在的统计区 b 值不确定性的影响最大, 也即, 受非均匀分布模型中潜在震源区划分这一环节的影响最大。

2) 门源、吴忠西北、祁连东南 3 个场点, 与 1) 类中 4 个场点相仿, 附近均存在 8 级以上潜在震源。尤其吴忠西北场点紧挨银川河套统计区的 8 级潜在震源, 但它们却是受均匀分布模型下, 祁连山统计区 b 值不确定性的影响最大, 也即, 受地震统计区划分环节的影响最大。

3) 滁州、安庆、济南东、武汉东、长治东、三门峡东北、宝鸡和达拉等场点的共同点是其周围没有 8 级以上高震级潜在震源。这种情况下一般是均匀分布模型的影响大于非均匀分布模型的影响, 也即, 受地震统计区划分环节的影响大, 对附近有 7.5 级潜在震源的滁州、宝鸡和达拉 3 个场点也不例外。

以上 1) 类和 2) 类的 7 个场点, 同样是邻近存在 8 级以上潜在震源区。为什么 2) 类中 3 个场点与 1) 类中 4 个场点的情况不同? 以下进一步分析其原因。下面将与 2) 类中 3 个场点有关的地震统计区活动性参数的变化作一对比分析。表 4 列出了银川河套、祁连山、龙门山和柴达木 4 个地震统计区, 使场点地震危险性估计结果产生最大与最小值的活动性参数组合。

对这 4 个统计区, 分别用最大值和最小值参数组合, 计算出不同震级区间 ($M \geq 4.0$, $M \geq 5.0$, $M \geq 6.0$, $M \geq 7.0$, $M \geq 8.0$) 地震的年平均发生率, 并给出各震级区间地震年平均发生率的比值, 即

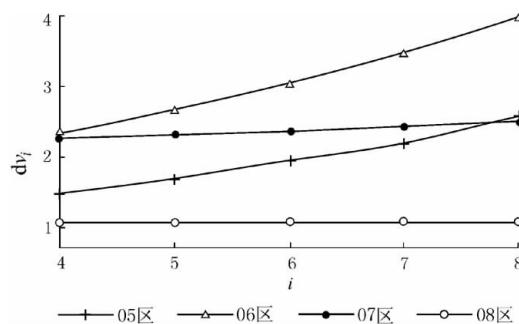
$$d\nu_i = \frac{\nu_{i\max}}{\nu_{i\min}}$$

式中, $i = 4, 5, 6, 7, 8$, $\nu_{i\max}$ 和 $\nu_{i\min}$ 分别代表最大值与最小值参数下的计算值。图 3 给出了这 4 个统计区 $d\nu_i$ 的线性拟合图。

从图 3 看出, 无论是 $d\nu_4$, 还是直线的斜率, 都是祁连山统计区(06 区)的最大。 $d\nu_4$ 代表 $\nu_{4\max}$ 和 $\nu_{4\min}$ 的比值, 斜率代表不同震级档地震受 b 值不确定性变化的影响。 b_{\max} 和 b_{\min} 的差值越大, 高震级档地震的年平均发生率的比值也越大。祁连山区地震活动性参数不确定

表 4 几个统计区的活动性参数组合

地震统计区	最大值的参数组合		最小值的参数组合	
	b_{\max}	$\nu_{4\max}$	b_{\min}	$\nu_{4\min}$
银川河套(05 区)	0.759	2.066	0.820	1.409
祁连山(06 区)	0.493	1.488	0.551	0.641
龙门山(07 区)	0.591	1.979	0.601	0.875
柴达木(08 区)	0.820	9.123	0.829	9.038

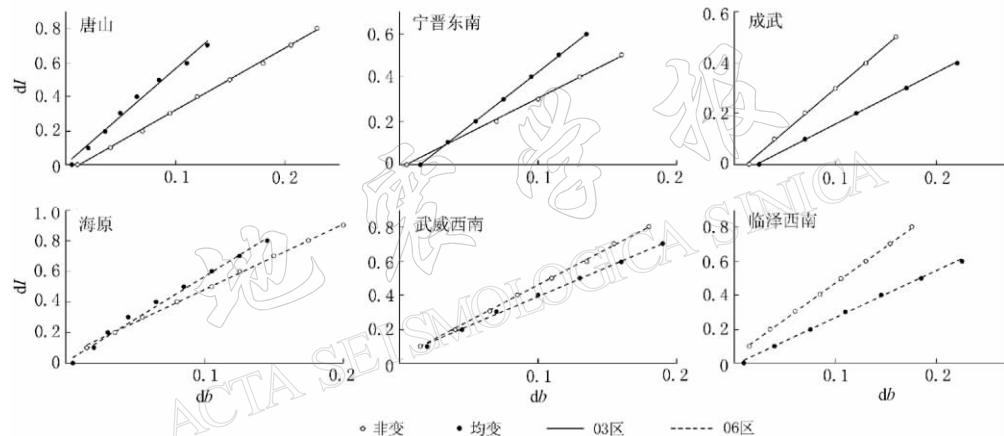
图 3 4个统计区 $dI_i - i$ 的线性拟合图

性的变化比其它区的显著得多,这可能是2)类中3个场点与1)类中4个场点不同的原因.

3.2 表2中6个场点的计算结果与分析

图4示出计算结果.从图4看出,非均匀分布模型对华北平原统计区中的唐山(8.0级潜源内)、宁晋东南(7.5级潜源内)和成武(7.0级潜源内)3个场点的影响依次减弱,而且在成武场点已是均匀分布模型的影响大于非均匀分布模型的影响.对

祁连山统计区而言,情况虽相仿,但在该统计区中,非均匀分布模型的影响仅在8.5级潜源上有所体现,这与前面提到的吴忠西北等3个场点的情况相吻合.说明当一个地震统计区活动性参数不确定性变化的范围很大时,该统计区划分环节的影响力强.

图 4 6个场点 dI - db 关系曲线(50年超越概率为10%的烈度估计值)

b 值变化对 I 值无影响的线条不予绘出

从以上分析结果看,统计区划分、潜在震源区划分和地震活动性参数确定3个环节的不确定性对不同地区场点的影响是不一样的.

4 结论

综上及以往研究的结果可得出,在非均匀分布模型中,地震统计区划分、地震潜在震源区划分和地震活动性参数确定这3个环节是相互关联的.不同的地震统计区划分方案,会改变一个统计区所包含的地震资料,加上地震统计时段选取的不确定性,会产生地震活动性参数估计值的不确定性(黄玮琼,吴宣,2001).这种不确定性越大,地震统计区划分不确定性所产生的影响也越大(如祁连山统计区).在一个地震统计区内,潜在震源区划分和空间分布函数的不等权分配(国家地震局,1996),提高了有可能发生大地震地方(8级以上潜在震源)及附近地区的地震危险性估计值.在这些地方,潜在震源区划分的不确定性影响是很明显的,如图1所示的海原、唐山、连云港、秦皇岛等位于8级以上潜在震源或附

近的场点, 尤其对它们地震动参数不确定性绝对值的影响更为显著, 如海原(50年10%的烈度不确定性绝对值达1.9度)、唐山(1.1度)(黄玮琼, 吴宣, 2005), 即, 潜在震源区划分环节起了主要作用, 但这个环节的影响范围有限。对一个统计区而言, 一般来说, 仅对最高和次高震级上限的潜在震源区内的场点及最高震级上限潜在震源区附近的场点, 该环节起主要作用(祁连山区例外)。而对那些处于较低震级上限潜在震源(如成武、临泽西南)中, 或周围没有8级以上甚至更低震级上限潜在震源存在的场点(如滁州、济南东等), 主要是地震统计区划分不确定性的影响大于潜在震源区划分不确定性的影响, 也即统计区划分环节起主要作用。

总之, 在进行工程场点地震安全性评价时, 合理划分地震统计区和选取合适的地震统计时段, 对估计一个统计区未来百年地震活动水平, 采用合理的地震活动性参数是关键的。此外, 在地震统计区内如何划分不同震级档上限的地震潜在震源区, 对具体场点所产生的影响也是很直接的。故在参考我们研究结果的同时, 针对具体地区要作具体分析。

参 考 文 献

国家地震局. 1996. 中国地震烈度区域划分图(1990)概论[M]. 北京: 地震出版社, 11~14

黄玮琼, 吴宣. 2005. 地震统计区活动性参数与潜在震源区划分的关联性及对危险性估计的影响[J]. 地震学报, 27(4): 409~413

黄玮琼, 吴宣. 2003. 地震活动性参数不确定性对城镇危险性估计的影响[J]. 地震学报, 25(6): 615~620

黄玮琼, 吴宣. 2001. 统计时段对地震活动性参数估计的影响[J]. 地震学报, 23(6): 588~595

潘华, 黄玮琼. 2003. 地震统计区划分不确定性对场点地震危险性计算的影响[J]. 地震学报, 25(2): 199~204

Cornell C A. 1968. Engineering seismic risk analysis[J]. *Bull Seism Soc Amer*, 58(1): 1 583~1 606

INTERRELATION AMONG SEVERAL IMPORTANT LINKS IN SEISMIC RISK ANALYSIS

Huang Weiqiong Wu Xuan

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to further reveal the interrelation among division of seismic statistical regions, delimitation of potential seismic sources and estimation of seismicity parameters, we select 21 representative sites located in different places within the range of 100°E~120°E, 29°N~42°N to study the influences of seismicity parameter uncertainties of statistical regions on seismic risk estimations of these sites in the inhomogeneous and homogeneous distribution models. Combining the results from this study and previous ones, we can see that different schemes for dividing seismic statistical regions can change the seismic data in a statistical region. The uncertain data and additional uncertainty in selecting time intervals for seismic statistics will result in uncertainty of seismicity parameters estimation in a statistical region. For the homogeneous model, the larger the variation of this uncertainty is, the greater the uncertain influence on the seismic risk estimation of a site will be, which means that the division of seismic statistical regions makes a major contribution. In

a seismic statistical region, the delimitation of potential sources and variant weight assignment of spatial distribution functions can raise the estimated values of ground motion parameters in the place where great earthquake might occur and its vicinity. In these places, the influence of uncertainty in potential source delimitation is very obvious, especially on the absolute magnitude of ground motion parameters (*e.g.*, intensity), which means that the link of potential source delimitation makes a major effect. Generally speaking, the link of potential source delimitation affects mainly the sites located in the potential sources with the highest and second-high upper-limit earthquake magnitudes or in the vicinity of those with the highest upper-limit magnitude. While for the sites located in the potential source with low upper-limit magnitudes, the uncertainty influence of statistical region division is larger than that of potential source delimitation.

Key words: seismic statistical region; seismicity parameter; potential seismic source; homogeneous distribution; inhomogeneous distribution; uncertainty; interrelation

地 震 学 报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA