

彭艳菊、张力方、吕悦军等 2011, 中强地震活动区地震年平均发生率确定方法的比较, 中国地震 27(4) 376 ~ 385。

# 中强地震活动区地震年平均发生率 确定方法的比较

彭艳菊 张力方 吕悦军 谢卓娟

中国地震局地壳应力研究所 北京市海淀区安宁庄路 1 号, 100085

**摘要** 目前确定地震活动性参数的方法有 2 种, 即潜在震源区划分法和格点空间光滑法。本文针对格点空间光滑法, 重点介绍了高斯空间光滑法及其改进后的方法, 并对比较了这些方法的优缺点及适用性; 然后以华中为研究区, 分别采用高斯空间光滑法和潜在震源区法建立地震活动性模型计算地震年平均发生率, 并利用概率地震危险性分析方法计算地震危险性, 对比两种方法所得区划结果的差异并分析了引起差异的原因。结果表明: 空间光滑法适用于中强地震活动区地震危险性或由背景地震引起的地震危险性的计算; 潜在震源区划分法适用于考虑明确的发震构造的地震危险性。将 2 种方法相结合, 综合考虑地震和已知构造信息是判断中强地震活动区地震危险性的可行方法。

**关键词:** 中强地震活动区 年平均发生率 格点空间光滑法 潜在震源区法

[文章编号] 1001-4683(2011)04-0376-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

中强地震活动区的地震活动呈弥漫性或成丛性。弥漫性是指地震空间分布比较分散, 绝大多数地区都不能排除发生中强地震的可能; 成丛性是指地震的发生在空间上是不均匀的, 某些地区发生的可能性大, 某些地区发生的可能性小(高孟潭等 2008)。中强地震活动区地震震级通常小于 6 级, 一般不产生明显的地表断错现象, 发震构造判别的断层活动性标志不明显。

根据现行的抗震设防原则, 设计地震动峰值加速度小于 0.05g 的区域可以不考虑抗震设防, 但这些区域大都位于我国大陆东部人口密集、经济发达的省市, 一旦发生地震, 会造成严重的经济损失, 引起社会动荡。近年来我国东部大陆地区发生过多次破坏比较严重的中强地震, 震中烈度最高达 VII 度, 1 次地震的直接经济损失会达到数千万元。如 2005 年 11 月江西九江瑞昌 5.7 级地震造成江西、湖北、安徽等省数百万人受灾, 死亡 10 余人, 倒塌房屋近 2 万间, 直接经济损失逾 20 亿元; 2001 年 6 月 23 日重庆荣昌 4.9 级地震, 直接经济损失近 4 千万元。由此可见, 中强地震活动区的地震灾害问题不容忽视, 应对地震区划、抗震设防等相关技术开展深入研究。

[收稿日期] 2011-05-05

[项目类别] 国家科技支撑计划课题(2006BAC13B01)

[作者简介] 彭艳菊, 女, 1976 年生, 博士, 副研究员, 主要从事地震活动性、地震危险性方面的研究。

E-mail: pengyj408@126.com

我国地震区划研究中采用考虑时空非均匀性的地震危险性分析方法,其核心技术是划分潜在震源区和确定相应的地震活动性参数,如 $b$ 值、震级上限、年平均发生率等。划分潜在震源区的一个重要依据就是是否存在晚更新世以来的活动断层,对于以6级以下的中强地震活动为主的地区,这条原则难以应用,而且地震活动频度低、样本量小,确定的参数存在着较大的不确定性,尤其是年平均发生率,其合理与否直接影响地震危险性区划结果,是中强地震活动区开展区划研究的关键技术问题之一(郗家全等,1996)。

本文首先对比分析了目前常用的两类确定中强地震活动地区地震年平均发生率的方法。一类是借助地质构造、地震活动等信息以划分潜在震源区的方法研究地震活动的空间不均匀性,但将潜在震源区内地震发生的概率看作是均等的;另一类是直接根据地震发生的实际空间不均匀性来计算地震年平均发生率,如格点光滑法、历史地震震中光滑法。本文以地震活动较弱的华中地区为例,采用高斯光滑法计算地震年平均发生率,进行危险性区划计算,并与潜在震源区划分法所得结果进行对比,分析引起差异的原因。本文用这两种地震活动性模型计算了黔江、常德两个城市的地震动峰值加速度超越概率,分析了其中的异同点,最后给出作者对中强地震活动区地震活动性模型的几点认识。

## 1 地震年平均发生率计算方法比较

### 1.1 潜在震源区法

潜在震源区的概念是Cornell(1968)提出来的。他认为地震活动在空间上不是随机分布的,而是有一定的空间范围,即潜在震源区,未来的地震将发生在潜在震源区内。潜在震源区内大小地震的比例关系符合 $G-R$ 关系,地震活动在时间上符合泊松分布,空间上符合均匀分布。

为了考虑地震活动的空间非均匀性,我国自第三代区划图开始采用二级划分方法。首先根据区域地震活动、地震地质条件、地球物理场等资料,将地震活动强度、频度、空间分布和地震地质构造环境明显相关的区域划分为不同的地震带,然后在地震带上再划分出不同震级上限的潜在震源区。根据地震带内统计的 $b$ 值和大于等于某震级地震的年平均发生率,采用多因子综合评判技术确定各潜在震源区的空间分布函数,将各震级档的年平均发生率分配到潜在震源区中(高孟潭,1988)。

因为假设潜在震源区内部地震的发生是均匀的,潜在震源区划得过大,均匀分布会造成危险性的稀释,导致对危险性的低估;划得过小,则会导致未来发生的地震突破震级上限(胥广银等,1996)。由于潜在震源区划分的主要依据是地震活动的空间分布特征和地质构造特征,对于地震地质构造不清晰、地震活动水平较弱的地区,划分潜在震源区的依据相对不充分,存在着较大的不确定性。

目前,地震活动水平较弱地区的地震活动性模型研究已经引起众多学者的兴趣,为避免潜在震源区划分,充分考虑地震活动空间不均匀性的格点光滑法成为国际上有关地震活动性参数的研究热点,在美国、法国、中国等国家开展了众多研究(Frankel,1995; Beauval et al.,2006; 胥广银,2003; 张力方等,2008)。

### 1.2 格点空间光滑法

在发震构造不清晰,地震活动比较弱的地区, Frankel(1995)提出了用空间光滑法建立

地震活动性模型的方法,分别采用现代中小地震、破坏性历史地震和均匀背景地震区建立的模型,然后加权确定地震活动性参数。该方法的基本假设是未来破坏性地震将发生在历史地震附近。第一个模型表示现代中小地震的分布可能反映了可引起较大破坏性地震的构造特征;第二个模型强调在历史地震附近未来还会发生破坏性地震;第三个模型代表了历史上未发生过地震的地区发生中强地震的概率。首先将研究区进行网格化,计算每个网格内大于起始震级的地震数,然后利用 Herrman(1977)公式将累计地震数转换为各震级档的增量数,采用 Gauss 函数对网格点的地震数进行空间光滑,形式如下

$$\tilde{n}_i = \frac{\sum_j n_j e^{-\Delta_j^2/c^2}}{\sum_j e^{-\Delta_j^2/c^2}} \quad (1)$$

$\tilde{n}_i$  为第  $i$  个网格内地震数,  $c$  为相关距离,  $\Delta$  为光滑半径(取  $3c$ ),  $j$  表示以第  $i$  个网格周围、光滑半径为  $3c$  范围内网格的个数。

Gauss 函数在一定程度上既反映了地震的空间不均匀性,又比较符合地震发生的随机性,该方法避免了潜在震源区的划分,体现了地震活动的空间不均匀性,已应用到 1996 年、2002 年、2007 年美国地震区划图的编制中。

Cao 等(1996)根据 Frankel(1995)的基本假设,分别以指数光滑函数和高斯光滑函数建立南加州 6.5 级以下背景地震的活动性模型,进行背景地震的年发生率计算,系统地分析了两种光滑函数的差异。结果发现,在地震活动性高的地区,用高斯函数得到的结果高于指数函数,但在低地震活动区,指数函数所得结果略高,这是由函数本身的特征造成的。作者建议:在地震活动强度大的地区,由于地震分布本身就比较光滑,所以不必做太多的光滑处理,用指数光滑处理已经足够,而用高斯函数会造成过度的光滑处理;另一方面,在中强地震活动区,地震分布很稀疏,需要更多的光滑处理,宜采用高斯函数。

Lapajne 等(2003)针对中强地震活动区的地震活动特征,改进了圆形高斯光滑方法,提出了两步椭圆光滑法和等效圆形光滑法。两步光滑法即第一步先进行圆形高斯光滑,根据震中误差确定光滑半径,相关距离取光滑半径的  $1/3$ ,第二步假设地震发生在断层上,尽管弥散性的地震活动与已知断层或历史地震没有直接或明确的关系,但可以根据经验关系确定假想断层长度,然后根据地质资料确定断层的类型和走向,由断层长度确定椭圆的长轴,由发震构造区的宽度确定椭圆短轴,长半轴和短半轴的长度相当于圆形光滑中的相关距离;等效圆形光滑法是传统的圆型光滑法的变体,在没有构造资料的情况下,该方法可以近似代替椭圆光滑法,利用等效光滑区与椭圆形光滑区面积相等的假设,根据震中误差和假想断层的规模相对客观地确定相关距离,然后按圆形光滑法进行计算。结果表明,这两种方法非常适用于建立中强地震活动区的地震活动性模型。

Kagan 等(1980)研究发现中强地震活动区的地震震中以非常复杂的形式排列,呈现出空区、团簇或条带特征。基于此, Woo(1996)认为地震可以呈现出集群分布,表现出分形特点,距离任一地震  $R$  处单位面积上的地震数目与  $R^{-\lambda}$  成正比,指数  $\lambda$  与分形维数  $D$  有关,根据地震空间分布的分形特征,提出了历史地震震中光滑方法。其光滑函数形式如下

$$K(m, r) = \frac{\lambda - 1}{\pi} \frac{1}{r_s^2(m)} \left( 1 + \frac{r^2}{r_s^2(m)} \right)^{-\lambda} \quad \lambda \in [1.5, 2.0] \quad (2)$$

$$r_s(m) = He^{km} \quad (3)$$

其中  $m$  为震级,  $\lambda$  控制光滑程度,  $r_s$  为震级相关的光滑半径, 对每一个震级档, 统计每个地震到距其最近的地震的距离, 求均值得到平均距离, 然后由同一震级档的平均距离和震级非线性回归得到系数  $H$  和  $k$ 。

该方法中震级相关的概率密度函数的引入体现出以下优势: 可以根据新构造资料或专家判断系统计算高于历史最大震级的地震的发生率; 可以包含地震震级的不确定性以及震级本身与断层关系的随机性, 同时震级相关的概率密度函数的构建可以用实际地震的频度与强度来表示研究区的地震活动特征, 而不必用严格的 G-R 关系来表示, 避免了  $b$  值的计算, 客观地体现了研究区地震活动的特征。

Beauval 等(2006) 采用历史地震震中光滑法和划分潜在震源区法建立两种不同的地震活动性模型, 对比地震危险性差异, 结果表明: 在地震活动性低的地区, 两种方法所得危险性结果相当, 但在活动性高的地区, 光滑法所得结果低于潜在震源区法。

上述光滑方法的主要资料是地震目录, 对资料的完整性要求较高, 要根据原始地震目录建立某一起始震级的完整性目录用于计算。但是在中强地震活动区, 地震样本量较少, 再剔除不完整时段的数据, 无法利用历史较久远的大震资料, 而高震级档资料本身就少, 仅靠中小地震不足以充分判定未来强震的发生区域。为了解决这一问题, Lapajne 等(1997) 提出了基于地震释放能量的地震活动性模型, 释放地震能量高的地区应是未来大地震的发生区。假设所有高震级地震在整个资料时段内没有遗漏, 即把大震目录看作完整的, 中小地震释放的能量可以忽略而不必考虑其完整性, 将研究时段内所有地震释放的能量总和折算成某一震级档的发生率, 与其它地震活动性模型一起进行多模型加权计算地震危险性。

## 2 应用实例

本节选择华中地区(106.5°~114.5°E、24.5°~30.7°N) 作为研究区, 采用空间光滑的地震活动性模型计算地震动参数, 进行地震危险性计算, 得到峰值加速度的分布图, 然后与划分潜在震源区法所得的《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001) 的结果进行对比。

在地理位置上, 研究区包括湖南、贵州东部、重庆以及湖北南部。该区第四纪以来断层活动较弱, 断层活动时代主要为早、中更新世, 断层规模较小, 一般为隐伏性质(沈得秀, 2007); 地壳厚 35~40km, 地震震源浅, 一般不超过 20km, 这也是该地区中小地震容易成灾的原因之一。

研究区内记录到 4¼级以上历史地震 44 次,  $M_s$ 5.0~5.9 地震 20 次,  $M_s$ 6.0 以上 2 次, 分别为 1631 年 8 月湖南常德 6¼级地震、1856 年湖北咸丰-四川黔江间 6¼级地震。自 1970 年~2008 年 12 月, 记录到  $M_L$ 2.0 以上地震 1696 次, 其中  $M_L$ 3.0~3.9 219 次,  $M_L$ 4.0~4.9 27 次,  $M_L$ 5.0 以上 4 次, 最大为 5.7 级。图 1 即震中分布图, 可以看出历史地震和现代中小地震活动的强度和频度均比较低, 空间分布相对弥散, 同时有一定的集群特征。

对历史地震目录和现代地震目录进行完整性分析并删除前余震, 选取完整时段的地震资料分别建立历史地震活动性模型和现代中小地震活动性模型, 利用 Frankel(1995) 提出的高斯空间光滑法计算研究区 4 级以上地震年平均发生率。具体做法为: 根据地震样本的分布, 将研究区划分为  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  的网格, 在网格  $i$  内, 计算  $M \geq M_0$  的地震个数, 然后采用高

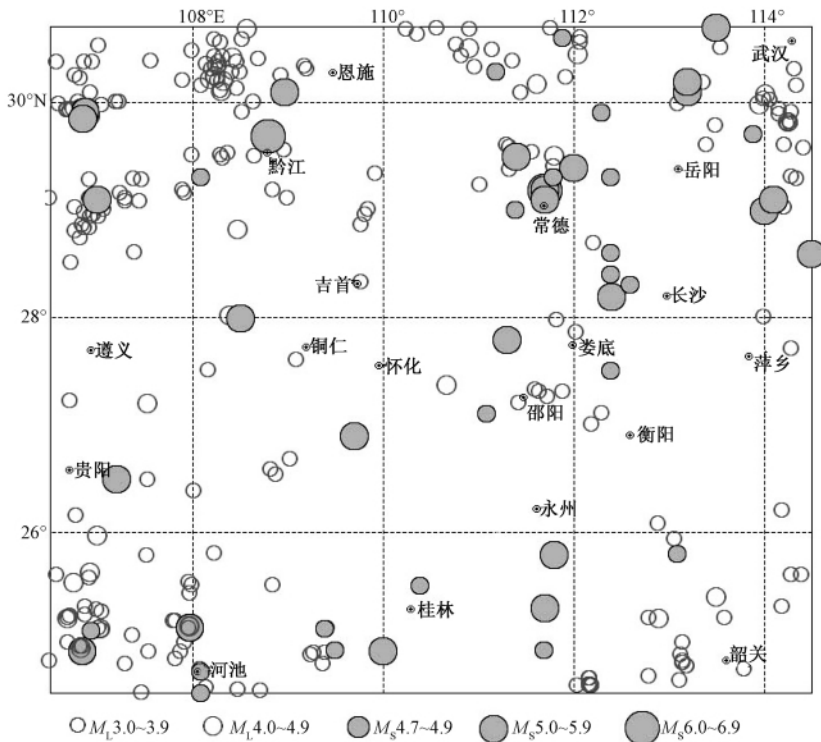


图1 研究区历史地震及现代中小地震震中分布

斯光滑函数对  $n_i$  进行光滑处理( (1) 式) ,得到  $\tilde{n}_i$  的空间分布。图 2 所给出的是由历史地震目录计算得到年平均发生率分布。

用与《中国地震动参数区划图》( GB18306-2001) ( 国家质检总局, 2001) 相同的地震动参数衰减关系和上述 2 个地震活动性模型, 采用概率地震危险性计算方法进行如下计算:

(1) 根据 Herrmann ( 1977) 的公式, 把累积地震个数  $\tilde{n}_i$  转换为网格单元内震级区间 ( $M + \Delta M$ ) 的地震个数增量值  $N_i(M)$ ;  $\Delta M$  为震级增量, 本文取 0. 2;

(2) 对所有网格的  $N_i(M)$ , 在距离场点  $D_x$  到  $D_x + \Delta$  的区域内进行分配, 并且将这个以场点为中心的环面内  $N_i(M)$  的部分求和定义为  $N_x$ ;

(3) 对所有震级档和距离求和, 计算地震动  $\mu$  超过  $\mu_0$  的年超越概率  $P(\mu > \mu_0)$

$$P(\mu > \mu_0) = \sum_D \sum_M 10^{\lfloor \log(N_x/T) - bM_y \rfloor} p(\mu > \mu_0 | D_x, M_y) \quad (4)$$

其中,  $T$  是所用地震目录的时长,  $p(\mu > \mu_0 | D_x, M_y)$  是在距离场点  $D_x$  处发生震级为  $M_y$  的地震时, 地震动  $\mu$  超过  $\mu_0$  的条件概率。  $D$  取 0 ~ 150km,  $M$  的值取决于地震震级的上下限。计算得到研究区 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度分布, 对两个地震活动性模型得到的结果进行加权, 得到图 3 ( a) 所示的地震区划结果。

为了便于对比, 图 3 ( b) 给出采用潜在震源区法得到的地震区划结果。

比较图 3 ( a) 与图 3 ( b) , 可以看出二者所得地震动峰值加速度区划的整体格局比较一致, 但存在一定差异。空间光滑法所得结果明显呈连续性变化, 体现了空间光滑的特点。如

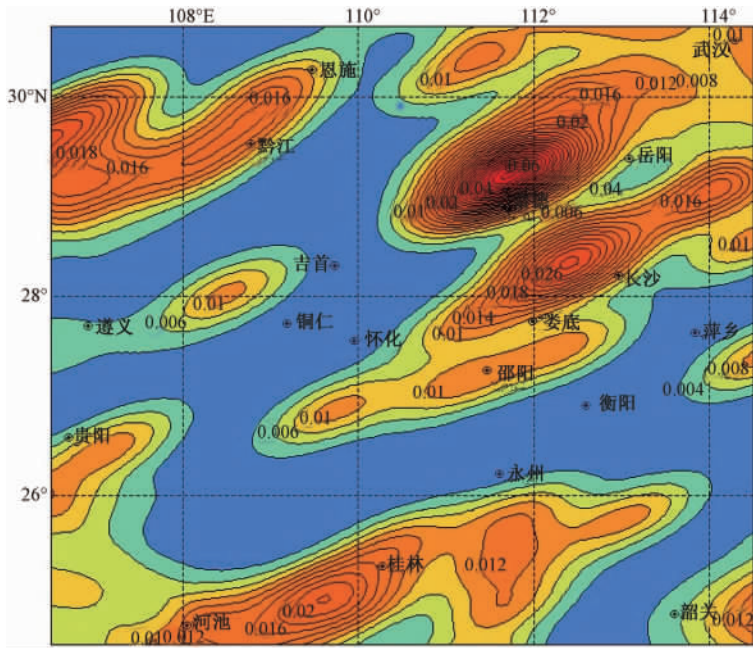


图 2 历史地震高斯光滑法  $M_L 4.0$  以上地震年平均发生率等值线

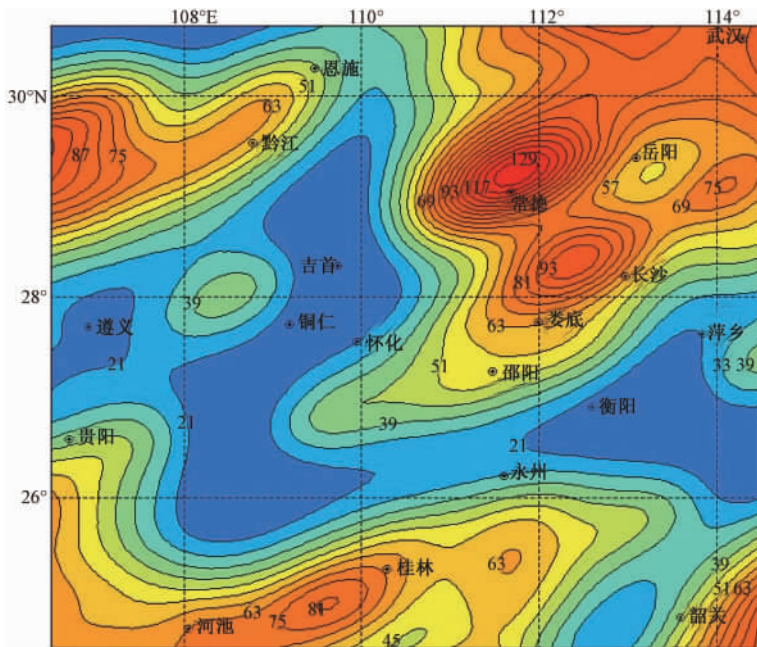


图 3 (a) 高斯光滑法地震动峰值加速度区划图(单位: gal)

从邵阳至怀化,是逐渐降低的,而在图 3(b)中,由于在怀化一带划了 1 个北东向的 5.5 级潜在震源区,使该处地震动峰值加速度有所提高,属于 0.05g 区,体现了构造因素的影响;在岳

阳附近,同样如此,由于考虑构造因素划分了潜在震源区,使得结果高于空间光滑法所得结果。在研究区的左上部,在图 3(a) 出现 1 个小于 0.05g 的北东向条带,在图 3(b) 中也显示了这种趋势,但结果相对较高,这是由于前者在此处没有潜在震源区,而后者由于周围地震的空间光滑,使这一带的结果不会过低。在常德地区,图 3(b) 中出现了 0.15g 区,这是由于此处因 1631 年发生了 6 $\frac{3}{4}$  级地震而划出了 1 个 7.0 级潜在震源区,而图 3(a) 中相对较低。图 3(a)、(b) 的对比说明,潜在震源区的划分对中强地震活动区的地震危险性结果影响较大,而这类地区的潜在震源划分的依据并不充分,由此引入潜源边界与震级上限判定的主观不确定性。空间光滑法避免了这类不确定性,但由于在更大的范围内光滑地震活动,在一定程度上降低了地震活动性高的地区的地震危险性。

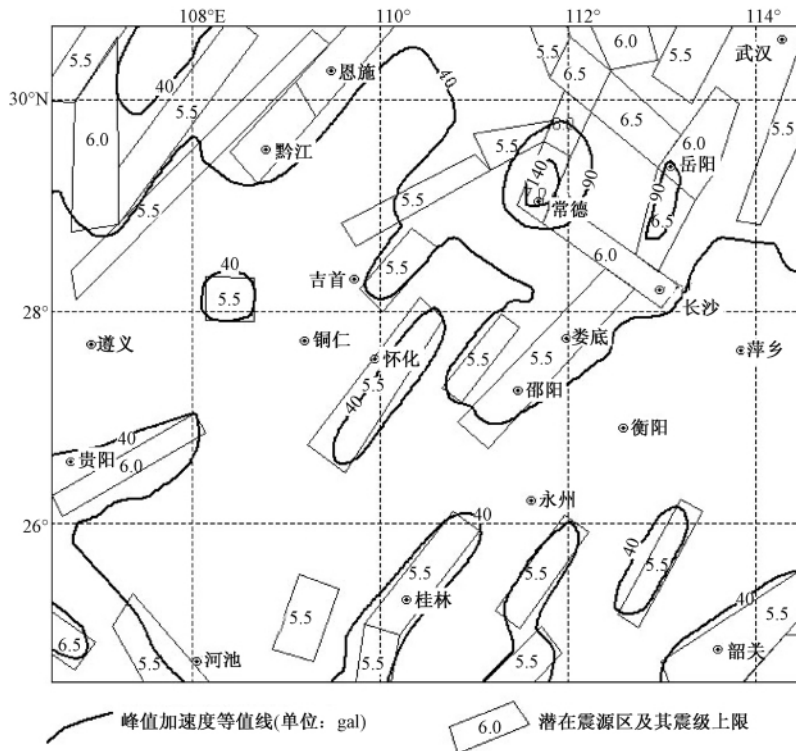


图 3(b) 中国地震动参数区划图结果及潜在震源区划分(改编自《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)(国家质检总局,2001))

用两种方法的地震活动性模型计算了黔江、常德两个城市的峰值加速度超越概率曲线,结果如图 4 所示。可以看出,在超越概率较高的区段,空间光滑法的结果大于或接近潜在震源区法的结果;而在超越概率低的区段,空间光滑法结果较小。这是由于潜在震源区法包含了较多的地质构造资料,其代表的时间段要长于历史地震资料时段,对低超越概率水准的危险性贡献较大,这也印证了 Beauval 等(2006)所认为的用网格空间光滑法进行地震危险性评价得到的是区域地震危险性估计的下限值的说法。在利用网格空间光滑模型时应适当地考虑构造信息,如先进行空间光滑,再考虑与潜在震源区的关系,加入地质构造的权重,或者光滑时根据构造资料采用椭圆模型,可以更准确地反映未来地震危险性水平。图 4 还表明,

即在低超越概率区段,潜在震源区法所得两地的危险性差别较大,这是因为二者地震环境不同,2个地区潜源的震级上限不同,体现了潜在震源区法对潜源划分的影响。

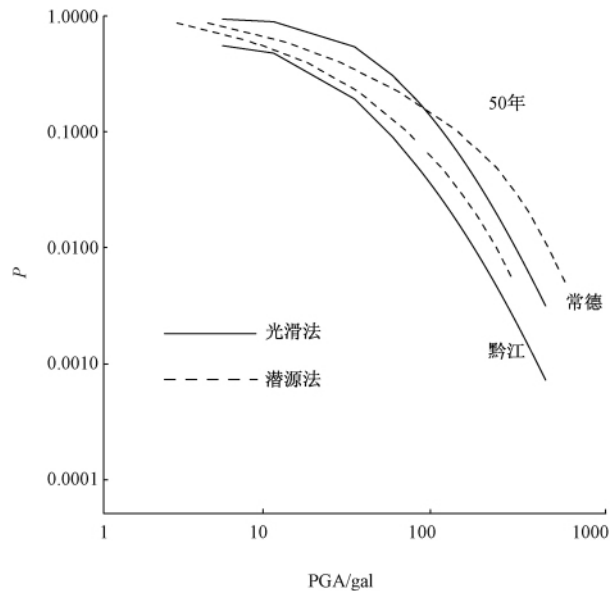


图4 不同方法所得地震动峰值加速度超越概率曲线

### 3 讨论与结论

本文分析比较了目前广泛使用的地震年平均发生率确定方法,并以华中地区为例,对比了高斯光滑法和潜在震源区划分法所得地震危险性结果,分析了造成这些差异的原因。对于中强地震活动区地震年平均发生率及地震危险性计算问题形成了以下认识:

#### (1) 关于中强地震活动区地震年平均发生率的确定方法

网格空间光滑法直接利用地震目录资料,尤其是现代中小地震目录。地震活动本身就是构造运动的一种表现形式,震中分布一定程度上反映了地质构造活动的信息,因此,该方法在某种程度上隐性地考虑了地震构造因素,可用于发震构造不清晰的中强地震活动区的地震危险性或者强震活动区的背景地震危险性的确定。

网格空间光滑法避免了确定潜在震源区边界和震级上限引入的不确定性。空间光滑法以地震目录为主要资料,对于已有的地震构造资料,可以通过采用椭圆形光滑模型,根据断层破裂区来确定椭圆的长短轴,以考虑构造因素的影响,如 Lapajne 等(2003),或者在网格光滑的基础上,对发震构造清晰的区域,划分潜在震源区,对潜在震源区内外的网格取不同权重,以便更充分地体现地质构造信息,如胥广银(2003)。网格空间光滑法和划分潜在震源区法各有其优势,将二者适当结合,可以相辅相成,较好地反映地震危险性水平。

对于网格空间光滑法中的相关距离,可以根据历史地震资料 and 现代地震资料的精度,通过主观经验确定,更客观的做法是根据研究区内地震分布,统计回归确定,如 Cao 等(1996)、Woo(1996)等根据距离某震中一定范围内的地震个数遵循幂律关系的原则,统计每个震级档地震对之间的最小距离,求均值,然后由平均距离和震级参数回归得到与震级相



关的光滑半径表达式。

每种网格空间光滑方法各有其特色,笔者认为最客观的是 Woo(1996)关于历史地震震中的光滑方法,除了对不同震级档统计回归确定不同的光滑半径这一特色外,震级相关的概率密度函数的引入使其可以根据新构造信息或通过专家判断系统来计算高于历史最大震级的地震的发生率,这是解决中强地震活动区高震级档资料稀缺的一种办法,同时,震级相关的概率密度函数本身包含了地震目录中震级的不确定性,而且可以直接采用由地震目录得到的频度与强度来表示地震活动特征,不必建立 G-R 模型,避免了因  $b$  值计算引入的不确定性,体现了研究区实际的地震活动特征。

## (2) 关于高震级档地震年平均发生率问题

受历史资料限制,地震目录是有限的,即使在历史记录相对丰富的华北地区,4.7 级以上破坏性历史地震目录完整的时段仅 500 多年,而该地区地震活动大致存在 300 年左右的周期性(黄玮琼等,1994),也就是说,资料完整时段不足以覆盖两个地震活动周期,短时期内这种状况不可能有较大的改善。

目前我国正在编制以抗倒塌为目标的地震区划图,要求考虑更低的超越概率水平的地震动参数,为 50 年超越概率 2%,相当于重现期为 2500 年左右的地震影响。而高风险水平的地震危险性,其控制因素一般来自周围或远场较高震级地震活动性,但在中强地震活动区,史料记载时段仅 500 年左右,且其地震活动频次和强度均比较低,高震级档样本量极其缺乏,采用这些资料来确定 2500 年一遇的地震动参数,其不确定性可想而知;而且高震级档地震活动性参数对低超越概率水准的地震动参数起决定性作用。因此,高震级档地震年平均发生率问题是中强地震活动区地震动参数区划中的一个难以解决的问题。

目前只有求助于现代仪器记录的地震目录,提高对中强地震活动区发震构造的判别技术,与历史地震相结合,研究确定地震活动性参数。发震构造的研究已不限于地表发震构造的类比分析,已发展到对地震活动性与隐伏构造、地球物理场、地壳深部构造横向不均匀性关系的研究。一些研究发现对某些 6 级左右的地震虽然找不到明显的地表构造标志,但与隐伏褶皱活动存在一定关系。多手段相结合将是确定中强地震活动区地震动参数的发展趋势。

## 参考文献

- 高孟潭,1988,关于地震年平均发生率问题的探讨,国际地震动态,1,1~5。
- 高孟潭、肖和平、燕为民等,2008,中强地震活动地区地震区划重要性及关键技术进展,震灾防御技术,3(1),1~7。
- 国家质检总局,2001,中国地震动参数区划图(GB18306-2001),北京:中国标准出版社。
- 黄玮琼、李文香、曹学峰,1994,中国大陆地震资料完整性研究之一——以华北地区为例,地震学报,16(3),273~280。
- 沈得秀,2007,华南地区中强地震发震构造的判别及其工程应用研究,硕士论文,北京:中国地震局地质研究所。
- 胥广银,2003,潜在震源三维空间模型及其在地震危险性概率分析中的应用研究,博士论文,北京:中国地震局地球物理研究所。
- 胥广银、高孟潭,1996,潜在震源区内部非均匀特征研究,中国地震,12(3),294~299。
- 鄢家全、贾素娟,1996,我国东北和华北地区中强地震潜在震源区的划分原则与方法,中国地震,12(2),173~194。
- 张力方、吕悦军、彭艳菊等,2008,用空间光滑方法评估弱地震活动区的地震活动性参数,震灾防御技术,3(1),27~36。
- Beauval C, Scotti O, Bonilla E, 2006, The role of seismicity models in probabilistic seismic hazard estimation: comparison of a zoning and a smoothing approach, Geophys J I, 65(2), 584~595。
- Cao T Q, Petersen M D, Reichle M J, 1996, Seismic hazard estimate from background seismicity in Southern California, Bull Seism

- Soc A **86**(5) ,1372 ~ 1381.
- Cornell C A ,1968 ,Engineering seismic risk analysis ,Bull Seism Soc A **58** ,1583 ~ 1606.
- Frankel A ,1995 ,Mapping seismic hazard in the central and eastern United States ,Seism Res Lett **6**(4) ,8 ~ 12.
- Herrmann R B ,1977 ,Recurrence relations ,Earthquake Notes **48** 47 ~ 49.
- Kagan Y Y ,Knopoff L ,1980 ,Spatial distribution of earthquakes: the two point correlation function ,Geophys J R Astr Soc **62** ,303 ~ 320.
- Lapajne J K ,Motnikar B S ,Zabukovec B ,et al ,1997 ,Spatially smoothed seismicity modeling of seismic hazard in Slovenia ,J Seism **1** 73 ~ 85.
- Lapajne J K ,Motnikar B S ,Zupancic P 2003 ,Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed seismicity ,Bull Seism Soc A ,**93**(6) 2502 ~ 2515.
- Woo G ,1996 ,Kernel estimation methods for seismic hazard area source modeling ,Bull Seism Soc A **86**(2) 353 ~ 362.

## Methods on the calculation of annual seismic activity rate in moderate strong seismicity region

*Peng Yanju Zhang Lifang Lv Yuejun Xie Zhuojuan*

Institute of Crustal Dynamics , China Earthquake Administration , Beijing 100085 , China

**Abstract** Two kinds of methods for the determination of seismic parameters are presented in this paper , i. e. seismic source zoning method and grid-spatially smoothing method. The Gaussian smoothing method and the modified Gaussian smoothing method are described in detail , and a comprehensive analysis of the advantages and disadvantages of these methods are made. Then we take the central China as the study region , and use the Gaussian smoothing method and seismic source zoning method to build the seismic model for the calculation of annual seismic activity rate , calculate the seismic risk from the models to get the ground motion acceleration zoning map. The differences between the maps from the models are discussed and the causes are investigated. The results show that the spatially smoothing method is suitable for the seismic hazard estimate of moderate strong seismicity regions or the seismic hazard caused by background seismicity , and the seismic source zoning method is suitable for the estimate of seismic hazard caused by determined seismotectonics. The combination the two methods and the consideration of seismicity and known seismotectonics make up a feasible method to estimate the seismic hazard of moderate strong seismicity region.

**Key words:** Moderate strong seismicity region Annual seismic activity rate Grid-spatially smoothing method Potential seismic source zoning method