

# 地震区划原则和方法的研究—— 以华北地区为例

时振梁 鄢家全 高孟潭

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

## 摘要

本文基于对我国华北地区地震活动在时间和空间不均匀分布的认识,吸收了近 20 年来地震预测方面的科研成果,采用目前国际通用的地震危险性概率分析方法,通过对华北区划的试验,对地震区划的原则和方法提出了如下改进:

1. 以地震带作为地震活动性参数的统计单元。引入地震活动趋势估计因素,评定表征地震活动水平的年平均发生率,以使区划结果同预测未来时间段地震活动水平相适应;
2. 采用按震级档次分配各潜在震源区的年平均发生率,可以合理地评估高震级地震的危险程度;
3. 采用以震级档次为条件概率的空间分布函数,刻画地震带内各潜在震源区之间发生相应震级档次地震的相对危险程度,使区划结果更好地反映地震活动在时间和空间上不均匀性分布的特点;
4. 在地震危险性分析计算中,引入了方向性函数项,使得分析模型更接近我国地震震源的实际情况。

**关键词** 地震区划; 地震时空不均匀性; 地震危险性分析

## 一、引言

地震区域划分图,是一切多地震的国家在经济建设中必不可少的基础性资料。1983 年,国家地震局提出要编制新的中国地震区划图,本课题也正是为响应此号召而设置的。

华北地区是我国人口密度高、工业发达的地区之一,同时又是历史上和近代频繁发生大地震的地区。本区不仅有近 3000 年的历史地震资料,还有 20 余年的区域地震观测资料可用。本区也是地球物理、地震地质等有关学科研究程度较高的地区。因此,本课题试图以剖析华北地区地震活动在时间、强度、空间分布上的不均匀性特征,利用多学科研究成果,建立某些统计模型,从中总结出适合我国情况的新的地震区域划分原则和方法。

1989 年 10 月 26 日收到本文初稿,1990 年 4 月 11 日决定采用。

## 二、研究方法

我国在 1920 年海原大地震后，翁文灏首次编制了中国地震区域图<sup>[1]</sup>；李善邦等在 1957 年编制了中国地震烈度区域划分图，该图采用了历史地震重演和构造类比的二条原则，提出了对没有记载大地震的地方，如果在同一构造带上，将来也可能有同样强度地震发生的概念<sup>[2]</sup>；1977 年，由国家地震局编图组发表的中国地震烈度区域划分图<sup>[3]</sup>，给出了我国各地自 1973 年起未来百年内可能遭受的最大地震烈度，该图被批准作为国家建设规划和中小型工程抗震设计参考使用。

1976 年，Algermissen 和 Perkins 采用 Cornell 提出的地震危险性概率分析方法，编制了美国地震区域划分图<sup>[4]</sup>，该图被美国 ATC (Applied Technology Council) 采纳，作为开展综合地震设计规定，应用于抗震建筑规范 (ATC-3) 计划。嗣后，我国有不少研究人员采用地震危险性概率分析方法进行过局部地区的地震区划<sup>[5,6]</sup>。世界上许多国家也相继以此方法编制了本国的地震区划图<sup>[7,8,9]</sup>。这些地震区划图的基本思路都是采用概率分析方法，以地震烈度和峰值加速度的区划图居多，个别也有用峰值速度编制的区划图，它们大多被本国建设部门所采用，作为本国的抗震设计依据。

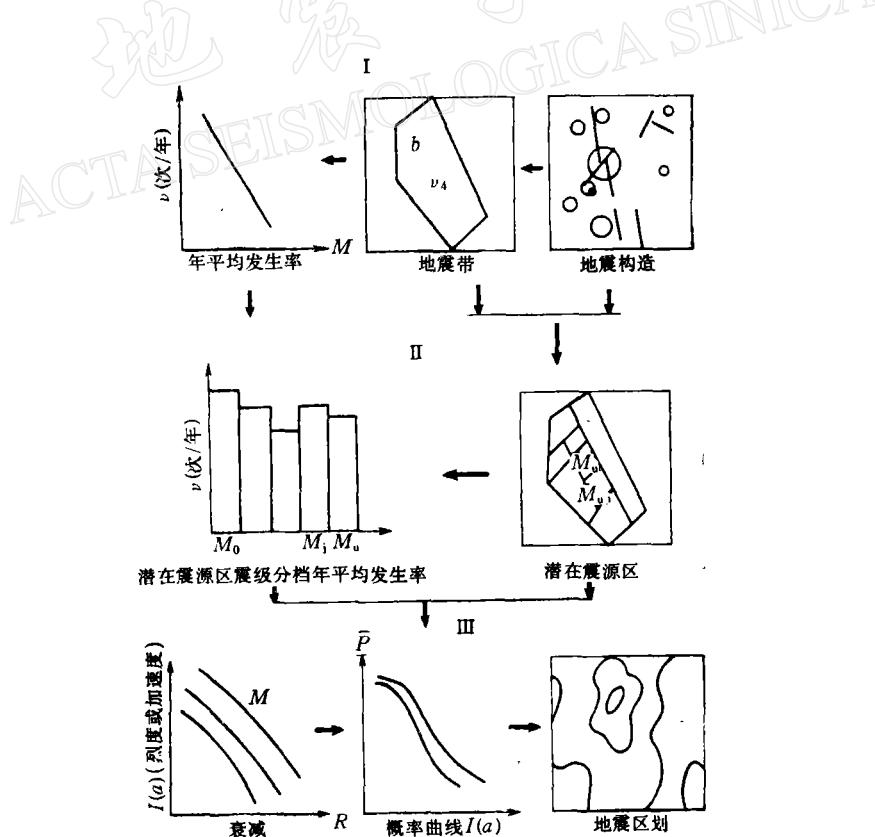


图 1 地震区划技术途径

目前,国际上采用的地震危险性分析方法有两个假设前提:1)历史上场区附近发生的地震代表该区未来的地震危险性,即场区给定地震烈度的重现率和历史的一样;2)地区的地震活动可以用该地区构造上的地震作为代表,即一定地震构造区内或活动断层上的地震活动是均匀分布的。这两个假设前提与我国常用的历史地震重演和构造外推两条原则基本上是一致的,所不同的是在地震危险性分析方法中增加了给定地震重现率的概念,用概率统计方法评定未来发生地震的危险程度。该方法提供了工程场地在指定时间内遭受到不同强度地震动(烈度、加速度等)的超越概率水平,从而使建设部门可以根据工程使用年限,重要性程度和工程结构类型选择不同的抗震设防标准。我国华北地区的地震活动属于板内地震活动,大地震发生在时间和地点上都是不均匀的。为了更好地在运用概率方法的同时,反映华北地区地震活动的时空不均匀性,本文提出如下三方面的技术途径(图1):

1. 以地震趋势估计及其活动特征分析作为衡量地震带内总的地震活动水平,确定地震带内大小地震比例关系和总的地震年平均发生率;
2. 采用刻画地震带内各潜在震源区之间相对危险程度的空间分布函数来确定潜在震源区各震级档次的地震年平均发生率;
3. 考虑震源特性、结合地震动衰减的方向性,以椭圆衰减模型计算各场点给定时段和概率水平下的地震烈度和基岩水平峰加速度值。

### 三、地震带地震趋势及其参数

#### 1. 地震带

地震活动,特别是大地震的发生是大范围、长时期应变积累和释放的过程。根据震中分布、地震活动强度的相关性,强震发生时间的一致性和地震构造条件的相似性,将全国划分为23个强震活动带<sup>[10]</sup>。指出在同一地震带内,地震有平静期和活动期之分;从地震序列演变看,它还有一个由应变积累到释放的过程。并且认为,各地震带大释放阶段的应变总量约相当于一次 $8-8\frac{1}{2}$ 级的地震。在地震危险性分析中,为了评价地区地震活动

水平和确定大小地震的统计关系,要求有一定的样本量。象潜在震源区那样的小范围、短时间内所统计的结果,难以反映地震活动的实际情况。为此,我们认为,在地震区划中,应以地震带作为确定上述地震活动性参数的统计单元。

#### 2. 地震活动趋势分析

地震活动趋势分析,为的是评估一个地区未来一段时间内(例如100年)可能的地震强度和频度。这样的评估,似乎和传统的地震危险性分析方法的基本假定不一致。该假定将地震活动在时间上的进程作为泊桑过程处理,即认为大小地震活动在时间上是平稳分布的。鉴于我国地震历史记载丰富悠久,在漫长的地震历史期间,地震活动有平静期和活跃期之分。如果判定未来地震活动趋势是活跃期,在危险性分析中,若按地震活动的平均水平来计算,将会低估地震的危险程度,反之亦然。

自公元1000年以来,华北一些地震带都经历了2—3次从应变积累—应变加速释放

一大释放一剩余应变释放的四个阶段<sup>[10]</sup>, 我们可以根据该地震带当前所处地震活动阶段, 分析趋势, 评估未来一段时期的地震活动水平。例如, 河北平原带, 在唐山地震后, 即转入剩余释放阶段, 此带未来地震趋势不宜估计过高; 而汾渭带, 自 1950 年以来发生的 10 次 5 级左右地震和近 20 次地震震群, 可能预示着本带即将进入应变释放加速阶段, 然后进入大释放阶段。因此, 我们认为, 汾渭带应按活跃期的地震活动水平来评估该带的趋势, 河北平原带则可按平均水平来评估。

### 3. 地震活动性参数

为了满足地震危险性分析的基本假定, 在统计时, 应尽可能地保持地震事件的独立性, 消除余震和震群的影响。

(1) **震级-频度关系中的  $b$  值**  $b$  值代表着一个地区内不同大小地震频数的比例关系, 其关系式为:

$$\log N = a - bM$$

其中  $M$  为震级,  $N$  为大于和等于  $M$  的地震数,  $a$ ,  $b$  为常数。在地震危险性分析中,  $b$  值是一个重要的参量, 以此确定统计区内有效震级范围地震震级的分布密度函数和各级地震的年平均发生率。 $b$  值统计结果, 受到实际资料的完整性、可靠性、统计量的大小、样本的起始震级、取样的震级间隔及时空范围等诸因素的影响<sup>[12]</sup>。在  $b$  值统计中, 还应考虑历史地震资料的不完备性, 要同时利用现代地震记录资料, 按不同时间段内的可信震级域来处理, 以求得合理的  $b$  值。

(2) **地震活动的年平均发生率 ( $\nu$ )** 地震年平均发生率, 是指一定地区范围内每年发生等于和大于震级  $M_0$  (通常确定为 4 级) 以上的地震数。地震年平均发生率直接代表该带内的地震活动水平。影响地震年平均发生率的主要因素是该带的震级-频度关系和统计时段的选取要求在该时段内所统计的各震级地震资料尽可能完整、可靠, 还要考虑地震活动在时间分布上的非平稳性。

如汾渭地震带在 1800 年以来仅发生过一次  $6\frac{3}{4}$  级的地震 (1815 年平陆地震), 但本

带在同一时期内所发生的 5 级左右地震有 22 次之多, 不低于河北平原带和郯庐带; 从趋势分析看, 预期该带在未来百年内将进入应变加速释放阶段, 并可能进入大释放阶段, 其地震活动的总水平将高于平均值。根据 1400—1986 年发生的  $M \geq 5$  地震统计, 得  $\nu_4 = 0.40$ , 远小于山西带上一次活动高潮期 (1614—1754) 的年平均发生率 ( $\nu_4 = 1.29$ )。为此, 我们认为应当根据该带未来一段时期内地震活动的趋势来分析选取地震年平均发生率。

(3) **关于本底地震** 绝大多数  $M \geq 6$  的历史地震, 都在已划分的潜在震源区内, 但仍有一部分小于 6 级的地震分布在已划定的潜在震源区外, 称这种分布在潜在震源区外的地震为本底地震。

为了充分估计本底地震对场点地震危险性的贡献, 需要确定本底地震单位面积的年平均发生率, 华北地区本底地震区面积约占全区的  $\frac{2}{3}$ , 按该区震级-频度关系式统计得到

$\nu_4 S_B = 0.328$  (其中  $S_B$  为本底地震区总面积), 其震级上限确定为 6 级。

## 四、潜在震源区、震级分挡和地震空间区分布函数

### 1. 潜在震源区和震级上限

潜在震源区系指未来有可能发生破坏性地震的区域，并假定在每个潜在震源区范围内，地震活动的强度和频度分布是相对均匀的。潜在震源区的几何形状，主要取决于对地震发生环境的认识程度。对大多数地区来说，由于①大地震发震构造条件常是由2—3条成雁行排列的活动断层组成，或在窄形的地堑带内，它们具有一定宽度；②地表出露断层和震源处断错位置的差距；③历史震中位置的误差；④据地球物理、地形变或微震带确定的震源都有一定的宽度。因此确定的潜在震源区形状，多数情况下可确定为沿断层方向的长方形，其长轴方向代表了发震断层的方向。

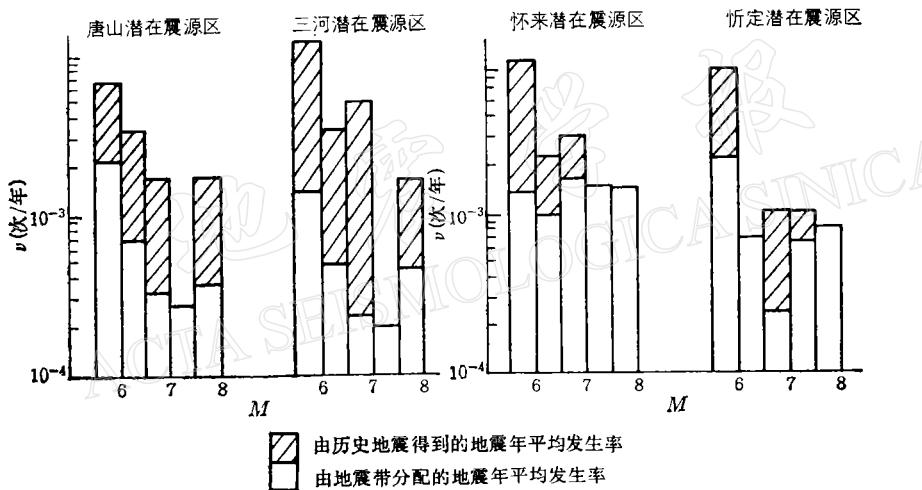


图2 潜在震源区内分震级档的地震年平均发生率比较

潜在震源区的震级上限，是指该区内可能发生的最大地震震级。可根据该区地震活动和地震构造的特征与所在地震带上同类特征相比较确定。在发生过大地震或发现有古地震遗迹的地区，可根据实际记载地震强度或所判断的古地震震级来确定。潜在震源区的震级上限与过去烈度区划图或地震烈度评定中所指的地震危险区可能发生的最大地震概念全然不同。在危险性分析中，需要考虑低概率事件的可能性，引进趋势预测概念来对震级上限进行限制的作法是不可取的。

### 2. 按震级分挡确定潜在震源区中的地震年平均发生率

通常，在地震危险性分析中，对于各潜在震源区的地震年平均发生率 $v$ ，均采用震级-频度关系式自 $M_0$ 到 $M_s$ 积分计算得到。这种方法存在二个方面问题：①不能反映地震强度空间分布不均匀性。在一个较大的区域内，大小地震存在某种比例关系。然而，对于各个潜在震源区内，震级-频次分布是不规则的，尤其是具有高震级上限的潜在震源区，这种现象更为明显。图2是唐山、三河、怀来、忻定潜在震源区（统计历史地震时，范围略大

于潜在震源区)的统计结果。可以看出,强震的空间分布不均匀性现象是普遍存在的;②高震级地震在计算中有部分漏失。若按各潜在震源区以统一的 $b$ 值平均分配,将导致只

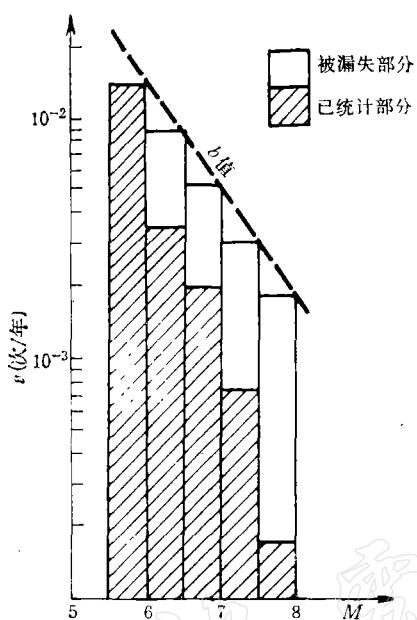


图3 鄱庐带的地震年平均发生率  
统计方法比较

有少部分高震级地震年平均发生率落在相应的潜在震源区内,大部分被平分给不能发生此类高震级地震的潜在震源区而被漏失。图3表示了鄱庐带上根据该带 $b$ 值分布应含有的各级地震年平均发生率。有斜线的直方图内表示按通常的危险性分析方法所得到的各级地震年平均发生率,空白部分即为由此方法计算中被漏失部分。从图中还可以看到,震级愈高,被漏失部分愈多。为此,本文提出采用分震级档次,考虑空间概率分布的方法,可以如实反映地震带内的地震活动水平,以及潜在震源区内各级地震分布的不均匀性。

为了不低估高震级地震对场点危险性分析的贡献,并能更好地吸收地震预测方面的科研成果,比较客观地反映地震强度、空间分布的不均匀性,本文推荐以震级挡( $M_j$ )为条件概率的空间分布函数( $f_{iMj}$ )来分配地震年平均发生率<sup>[13]</sup>。地震带内 $M_j$ 挡震级的地震年平均发生率可以表示为:

$$\nu_{Mj} = \frac{2\nu e^{-\beta(M_j-M_0)} \operatorname{sh}\left(\frac{1}{2}\beta\Delta M\right)}{1 - e^{-\beta(M_u-M_0)}}$$

式中 $M_u$ 为地震带震级上限, $M_0$ 为起算震级,通常取 $M_0=4$ , $\beta=b \ln 10$ , $b$ 为该地震带累积频度关系式中的 $b$ 值, $\operatorname{sh}\left(\frac{1}{2}\beta\Delta M\right)$ 为以 $\left(\frac{1}{2}\beta\Delta M\right)$ 为变量的正弦双曲函数,

$\Delta M$ 为震级分挡间隔,本研究中取 $\Delta M=0.5$ , $M_j$ 是分挡间隔中心对应的震级值。

对于地震带中第*i*个潜在震源区, $M_j$ 震级档的年平均发生率可表示为:

$$\nu_{iMj} = \begin{cases} 0 & (\text{其他情况}) \\ \frac{2\nu e^{-\beta(M_j-M_0)} \operatorname{sh}\left(\frac{1}{2}\beta\Delta M\right)}{1 - e^{-\beta(M_u-M_0)}} f_{iMj} & (M_0 < M_j < M_u) \end{cases}$$

式中 $M_u$ 为地震带震级上限, $\nu_{iMj}$ 为第*i*个潜在震源区 $M_j$ 震级档的地震年平均发生率。

### 3. 地震空间分布函数( $f_{iMj}$ )确定方法

本研究中,震级分挡采用 $M_j \leq 6$ , $6.1 \leq M_j \leq 6.5$ , $6.6 \leq M_j \leq 7$ , $7.1 \leq M_j \leq 7.5$ , $M_j > 7.5$ 共为5挡:

(1)  $Mj \leq 6$  震级档的空间分布函数 由于 6 级以下的地震受构造因素控制不明显, 它们的发生, 往往具有一定的“随机性”, 但其中的大多数仍发生在地震带内。因此, 在确定  $Mj \leq 6$  地震的空间分布函数时, 仍采用面积等权分配的原则, 即

$$f_{iMi} = S_i / \sum_i S_i$$

式中  $S_i$  为第  $i$  个潜在震源区的面积, 单位为  $\text{km}^2$ ,  $\sum S_i$  是整个地震带内所有潜在震源区总和。

(2)  $6.1 \leq Mj \leq 6.5$  震级档的空间分布函数 6 级以上地震发生的构造条件比较明朗些, 可根据历史地震重复和构造类比原则划分。本文主要依据统计识别、中长期预报结果和大地震的减震作用<sup>1)</sup> 三方面的判据, 对每项判据和三项判据之和分别在地震带内归一化。最终得到各潜在震源区分布函数  $f_{iMi}$ 。

(3)  $6.6 \leq Mj \leq 7.5$  震级档的空间分布函数 本档次地震发生的构造标志和地震活动性标志更加清楚, 为此, 除采用上述三条判据外, 还增加了地震重复和构造空段以及背景地震<sup>[4]</sup> 和小震活动的判据。五项判据均在地震带内归一化, 综合评判确定。

(4) 7.5 级以上震级档空间分布函数 由于 7.5 级以上地震的潜在震源区为数很少, 而它对地震区划结果的影响比较大。对于刚发生过  $M \geq 7.5$  大地震的潜在震源区, 由于其复发间隔长, 若按上述方法则会导致过高估计该潜在震源区的危险性。本文取该带比较保守的  $M \geq 7.5$  地震复发周期或已知古地震复发周期, 减去从上一次大地震到未来 100 年的间隔时间, 求得该潜在震源区  $M \geq 7.5$  地震的年平均发生率, 以此与该地震带相应的  $v_7$ , 比较, 即可得到该震源区  $M \geq 7.5$  地震空间分布函数。

## 五、地震动衰减和方向性

地震动衰减具有明显的地区性特点, 它受控于地震波传播途径中地壳介质的物理力学性质, 同时也和震源错动性质有关。华北众多的地震烈度等震线资料表明, 本区地震烈度衰减具有明显的方向性。故本文采用椭圆衰减模型和共轭椭圆衰减模型, 给出沿椭圆长轴和短轴方向的衰减关系式, 以及椭圆长轴取向及其概率分布。

### 1. 地震烈度衰减关系

地震烈度衰减和震级、距离相关。我国历史地震记载丰富, 不少地震有详细等震线图。但历史地震目录所给的震级不是仪器测定的, 而是依赖于震中烈度或等震线推算, 震级不是独立参数。为此, 本文采用 1937 年以来本区有仪器测定震级并有详细宏观调查报告的地震资料。

华北地区的地震等震线呈椭圆状居多, 测量每条等震线的长、短轴半径  $R_a$  和  $R_b$ , 通过二元回归分析, 分别得出烈度随震级和等震线长、短轴半径的衰减关系, 并据此推算烈度沿平均轴的衰减关系。

在选取地震时, 优先选用 6 级以上的现代强震; 有主震等震线的一般不选用余震的;

1) 鄢家全、贾素娟, 华北地区大地震的减震作用, 中国地震, 待刊。

在没有强震的部位也选用 5 级以上的中强地震。整个华北地区共选用 17 个地震, 震级范围 5.4—7.8, 共 57 条等震线。根据这些数据回归得到的衰减公式和标准差  $s$  如下<sup>[15]</sup>:

$$\text{长轴衰减 } I_a = 4.432 + 1.355M - 1.542 \ln(R_a + 15) \quad s = 0.455$$

$$\text{短轴衰减 } I_b = 2.633 + 1.306M - 1.205 \ln(R_b + 6) \quad s = 0.509$$

$$\text{平均轴衰减 } I = 3.528 + 1.333M - 1.381 \ln(R + 10) \quad s = 0.467$$

## 2. 地震加速度衰减关系

我国缺乏近场强震记录。本文采用胡聿贤教授建议的方法估算华北地区加速度衰减关系<sup>[16]</sup>。选择烈度和强震加速度记录都丰富的美国西部作为参考区, 并在多个加速度衰减关系式中选用 Boore 和 Joyner 1984 年给出的公式和 Choumlia 1979 年给出的美国西部烈度衰减关系式, 将这些关系式变换为统一的形式, 计算得到华北地区基岩水平加速度长轴衰减公式<sup>[15]</sup>:

$$\ln A_a = 7.399 + 0.526M - 1.566 \ln(R_a + 15)$$

$$\sigma_{\ln A_a} = 0.58$$

短轴衰减为

$$\ln A_b = 5.658 + 0.531M - 1.320 \ln(R_b + 7)$$

$$\sigma_{\ln A_b} = 0.560$$

## 3. 椭圆长轴取向及其概率分布

震源到场点的影响因素, 除地震强度 ( $M$ ) 和距离外, 等震线长轴取向也起着一定作用。通常内圈等震线比较狭长, 到外圈等震线逐渐趋于圆形。由此看出, 长轴走向对近场影响较大, 对远场区影响较小。

华北地区等震线长轴取向有二个明显的优势方向, 即北北东和北西西方向, 二者频数之比约为 7:3。在危险性分析计算中, 可依据潜在震源区所在地的构造条件选取: ①沿区域构造, 取单一断层走向; ②北东和北西向呈共轭断层形式, 椭圆长轴走向取两个方向, 权重各占 50%; ③北北东、北东走向为主, 北西西走向为辅, 椭圆长轴走向权重各占 70% 和 30%。

## 六、参数的敏感性分析和结果的不确定性校正

为了对概率分析结果的可靠性进行估计, 需要知道各种输入参数结果的影响。同时, 还需要对一些主要影响因素进行不确定性校正。

限于篇幅, 这里仅以郯庐地震带为例, 就计算结果进行讨论:

### 1. 地震年平均发生率 $\nu$

取 50 年 10% 超越概率水平(下同), 若年平均发生率  $\nu$  值增减一倍, 其结果是在低震级潜在震源区或远场区, 烈度值相差在 0.1—0.3 度间; 在高震级潜在震源区内, 差值可达 0.5—0.8 度。可见, 地震年平均发生率的选取是地震危险性分析中值得注意的。

### 2. $b$ 值

$b$  值变化, 相应的地震年平均发生率也要随之变化。 $b$  值增加后, 相应的  $\nu_4$  值也增加, 实际上增加了中强震的发震概率, 而降低了高震级地震的发震概率。 $b$  值减小的情况

恰与此相反。计算结果表明，对于距离震级潜在震源区较远的场点， $b$  值变化 0.05，烈度变化 0.1 度；高震级潜在震源区内部， $b$  值变化 0.05，烈度变化达 0.2 度。

### 3. 等震线长轴走向

等震线的形态一般内圈较狭长，外圈逐渐趋于圆。中等强度地震的等震线形态一般与圆较为接近。因此，只有高震级在潜在震源区等震线长轴走向的变化，才能对它周围场点烈度值有影响，若取走向变化  $10^\circ$  范围，烈度值相差小于 0.1 度。

### 4. 由经纬度坐标换对计算结果的影响

本课题采用将积分化为离散求和的方式进行危险性分析计算。在计算微面源到场点之间距离时，是按直角坐标进行的。这种处理方法有一定近似性，计算结果的误差一般在 0.1 度左右。

### 5. 衰减关系的不确定性及校正

烈度和加速度衰减关系都具有一定的离散性，危险性分析中使用的衰减公式，只是给出烈度或加速度的期望值。为了使工程抗震更为安全合理，必需考虑衰减关系的离散性。

本文采用了目前工程地震危险性分析中普遍使用的校正方法。即按烈度衰减关系的离散性符合正态分布，加速度衰减关系的离散性符合对数正态分布进行校正。衰减关系的校正问题，已在危险性分析计算程序中考虑了，计算输出的数值，即为经过校正的结果。

输入参数的不确定性对结果产生的误差和计算中的误差，在最后进行地震区划时需要加以考虑。

## 七、地震区划结果的讨论

根据上述编图原则和方法以及所确定的各种参数，对华北地区按经纬度各  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  的格点逐个进行地震危险性分析，给出了各格点 50 年内超越概率分别为 0.1 和 0.05 水平的地震烈度和峰值加速度值。由于本文旨在探讨区划原则和方法，这里略去了区划的实际图件，只对区划结果进行讨论。

1. 对于历史上发生过大地震的地方，如海城、唐山、郯城、三河、临汾、华县等地都发生过 8 级左右地震，由于大地震在华北地区的重复间隔时间很长，因此，在低概率水平上的烈度较高，而在高概率水平上的烈度值却比较低。

2. 对于某些历史上未发生过大地震，但存在发生大震的构造条件，并有某些地震征兆显示的场点，如新乡、宿迁、怀来、太原、包头等地，无论是高概率还是低概率水平上的烈度值都是较高的。

3. 本文推荐的考虑时空非均匀性的地震危险性分析方法，能够较好地反映大震重复时间较长的“免疫性”又能体现大地震发生的“新生性”，体现了我国板内地震活动震级高、复发时间长、分布广的特点。

参加本项目基金课题研究的还有：金严、汪素云、环文林、黄玮琼、何淑韵、贾素娟、章

淮鲁、常向东、葛民、曹学峰、李文香、韩炜等。

本研究为地震科学联合基金会资助项目。

### 参 考 文 献

- [1] 翁文灏, 1921. 锥指集, 商务印书馆。
- [2] 李善邦, 1957. 中国地震烈度区域划分图说明. 地球物理学报, **6**, 2, 127—158.
- [3] 国家地震局, 1981. 中国地震烈度区划工作报告. 地震出版社, 北京。
- [4] Algermissen, S. T. and Perkins, D. M., 1976. A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States. U. S. Geol. Surv. Open-File Rept., **45**, 76—416.
- [5] Song, L. Y. and Wei, G. Y., 1981. A Probabilistic estimate of maximum acceleration in North China, 中美地震小区划讨论会会议录, 哈尔滨, 27-1—27-10.
- [6] 丁原章、李坪、时振梁、林纪曾、朱振宇编, 1988. 海南岛北部地震研究文集, 地震出版社, 北京。
- [7] Basham, P. W., Weichert, D. H., Anglin, F. M. and Berry, M. I., 1985. New probabilistic strong seismic ground motion maps of Canada Bull. Seism. Soc. Am., **75**, 2, 563—595.
- [8] Erdik, M., Erdik, M., Doyuran, V., Akuas, N. and Gulkan, P., 1987. 土耳其地震危险性的概率评定, 地震区划与抗震防灾研究, 高孟潭等译. 地震出版社, 北京, 336—366.
- [9] Бунэ, В. И., 1980. 苏联地震区划研究《地震区划与抗震防灾研究》, 金严等译, 1987. 地震出版社, 北京. 1—113.
- [10] 时振梁、环文林、曹新玲、武宦英、刘耀斌、黄纬琼, 1974. 中国地震活动某些特征. 地球物理学报, **17**, 1, 1—13.
- [11] 中国地震简目汇编组, 1988. 中国地震简目 (B. C. 780—A.D. 1986  $M \geq 4.7$ ), 云南省地震局。
- [12] 黄玮琼、时振梁、曹学锋, 1989,  $b$  值统计中的影响因素及危险性分析中  $b$  值的选取. 地震学报, **11**, 351—361.
- [13] 高孟潭, 1988. 关于地震年平均发生率的探讨. 国际地震动态, 1: 1—5.
- [14] 章淮鲁, 1987. 华北地区强震的背景地震活动性研究. 地震学报, **11**, 225—234.
- [15] 汪素云、武宦英, 1987. 鲁南地区地震动参数的衰减关系. 中国地震, **4**, 3, 183—187.
- [16] 胡丰贤、张敏政, 1984. 缺乏强震观测资料地区地震动参数的估计方法. 地震工程与工程震动, **4**, 1, 1—11.

## RESEARCH ON THE METHODOLOGY AND PRINCIPLE OF SEISMIC ZONATION ——RESULTS OF THE TRIALS IN NORTHERN CHINA

Zhenliang Shi, Jiaquan Yan and Mengtan Gao

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

### Abstract

Based on the cognizance of the temporal-spatial inhomogeneity of seismicity in Northern China, adopting the results of earthquake prediction in the past two decades and the currently used methods of seismic hazard analysis, and after some seismic zonation trials in Northern China, some improvements on the zonation principle and methodology were made:

(1) Seismic zones were taken as statistic units where seismicity parameters were obtained. Tendency analysis was introduced. Earthquake annual average occurrence rates were estimated corresponding to the seismicity level in the future period;

(2) Average annual earthquake occurrence rates for a given magnitude interval of a specific seismic zone were assigned to potential sources in the same zone considering the relative risk levels among these sources. Thus, the risk of great earthquakes can be estimated.

(3) The probabilistic spatial distribution function under the condition of magnitude interval was suggested to reflect the temporal and spatial inhomogeneity of seismicity.

(4) An orientation function in the seismic hazard analysis model was adopted, which reflects the real conditions of earthquake foci in China.