

新版美国地震区划图源及其 参数模型的分析与评述¹

潘 华 高孟潭 李金臣

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要 2008年版《美国地震危险性图》(本文称“美国地震区划图”)采用5种类型震源区模型。本文全面分析了这些震源模型的划分目的、划分原则、基本特征、用途、各类型源间的相互关系,及其地震活动性参数确定的原则与基本方法。评述了美国地震区划图震源区模型及其地震活动性参数确定的特点和存在的问题。以期为我国新一代地震动参数区划图编制提供参考。

关键词: 地震区划图 美国地震区划图 震源区 地震活动性 潜在震源区

引言

美国地质调查局(U.S. Geological Survey, USGS)2008年公布了最新版《美国地震危险性图(United States National Seismic Hazard Maps, USNSHM)》。该图表示了美国境内不同概率水准的地震动水平,将应用于建筑规范的抗震规定、保险费率构建、风险评估及其他公共政策(Petersen等,2008)。

美国地震区划图最重要的版本是由美国地质调查局(USGS)主导编制的美国地震危险性图(National Seismic Hazard Maps, NSHM)(类似于我国的地震动参数区划图,为便于论述,以下称为“美国地震区划图”)。早在1976年,由美国地质调查局(USGS)的Algermissen和Perkins出版了第一张概率含义的美国地震区划图(Algermissen and Perkins, 1976),1990年他们对该图又进行了更新(Algermissen and Perkins, 1990)。此后,每6年对全国区划图进行一次更新,至今已经更新了3次,分别为1996年版(Frankel等,1996)、2002年版(Frankel等,2002)、2008年版(Petersen等,2008)。其中,1996年版地震区划图,在美国地震区划图编制历史上较为重要,它发展了一套与以往编图相当不同的方法(Frankel等,1996),奠定了现今美国地震区划图编制的基本理论、方法、模型以及表达方式,其采用的震源区划分方案和地震活动性模型,除了一些局部的微调外,一直沿用至今。

2008年新版美国地震区划图是在1996年版和2002年版基础上,在基础资料、模型和地

1 基金项目 国家科技支撑计划项目(2006BAC13B01)和地震行业专项《核电厂地震安全问题研究》(200708003)资助

[收稿日期] 2009-05-19

[作者简介] 潘华,男,生于1966年。博士,硕士研究生导师。主要研究领域:工程地震。E-mail: panhua.mail@163.com

震动衰减、不确定性处理等方面进行大量更新后编制的。该区划图与我国地震动参数区划图的表达方式类似,但概率水平和标示的地震动参数更多。其采用的超越概率水平为 50 年 2%、5% 和 10%,标示的地震动参数除了峰值加速度外,还有反应谱数个周期的谱加速度值,主要有 0.2s 和 1s 两个周期点。与我国地震动参数区划图不同的还有,其提供的参数是针对一般基岩场地(地下 30m 内等效剪切波速为 760m/s)。2008 年版美国地震区划图,反映了地震区划领域的新动态,其采用的技术方法和理论,对我国正在编制的第五代地震动参数区划图可以提供重要的参考。

本文将对美国地震区划图编制采用的源及其地震活动性参数模型进行分析和评述。

1 美国地震区划图的震源区模式

1.1 源的意义

潜在震源区(seismic potential sources)作为专有名词被强化和应用,主要体现在我国的概率地震危险性分析方法(CPSHA)中(卢寿德,2006)。在以美国地震区划图为代表的国际上的概率地震危险性分析方法中,通常采用震源(seismic sources)或震源区(seismic source zones)代指未来具有不同地震特征和地震活动性的区域,并不是专有名词,其中,位置较为具体的通常称为“sources”,而覆盖一定面积的面源通常称为“zones”,更大的也有称为“provinces”。

1.2 源的类型

自 1996 年版美国地震区划图以来,其采用的概率地震危险性分析方法的一个重要特点,就是采用了多种形式的震源区,应用不同的地震活动性模型,来表征不同地区的地震活动特征,并参与概率地震危险性计算。大致有 5 类震源区(本文为便于论述,分别简称为 S1、S2、S3、S4、S5):

S1: 网格地震活动性源(Gridded-Seismicity Sources)

S2: 背景震源区(Background Source Zones)

S3: 特殊地震活动性区(Special Zones)

S4: 剪切形变震源区(Shear Source Zones)

S5: 断层源或断层源区(Fault Sources or Fault Source Zones)

上述震源区模型分为两类:一类直接用于表述由地震目录资料所反映的地震危险性,包括 S1、S2、S3,其中 S1 主要设计用于刻画历史地震活动性的空间分布;S2 主要设计用于赋予低水平地震活动区一个平均的基本地震活动性;S3 设计用于对 S1 进行补充,用于圈定具有特殊地震活动特征的地区。另一类则主要用于表述断裂构造和特定的地震构造背景具有的地震危险性,包括 S4、S5,其中 S4 源主要考虑剪切变形地区的地震危险性;S5 源用来刻画断层上的地震危险性。

这 5 类源区在空间上是层叠的,最下层为 S1+S3,上覆 S2,再叠加 S4+S5。

S1 和 S2 适用的震级范围均为 5.0—7.0,部分地区最大震级为 7.5 级或根据 S3 源进行调整;在 S4 或 S5 源叠置的地区,S1 和 S2 最大震级降低至 6.5 级,以避免重复计算。S4 和 S5 源主要用于考虑 6.5 级以上地震的危险性。

1.3 源的基本几何形式

美国区划图采用的震源或震源区有 3 种基本的几何形式:网格、面和线。

网格：直接应用于模型 S1，空间上为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 的网格，覆盖全美国。

面源：有两种，一种应用于 S2 模型，为面积较大的面源，空间上不重叠，基本上覆盖全美国；另一种应用于 S3、S4 以及 S5 模型的个别断层带，为面积稍小的局部面源，仅覆盖局部地区和断裂带。

线源：用于 S5 模型，直接以断层线勾画，主要用于美国西部地区数百条全新世活动断层和晚更新世活动断层，在东部地区仅个别断层采用。线源为了表示对未来地震位置估计的不确定性，个别还采用一束平行的断层线，如：中东部的 New Madrid Fault Zone，用 5 条平行的断层迹线来表示未来地震发震构造在空间上的不确定性。

1.4 各类源分述

S1：网格地震活动性源（Gridded-Seismicity Sources）

网格地震活动性源（简称网格源）可以看成是离散化的震源区，划分时并不考虑具体构造背景和地震活动特征，直接以 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 网格划分。网格源应用的重要假定是未来大地震主要发生在历史上中小地震丛集的地区，强调的是历史地震重演，地震活动在时间上呈稳态分布，高地震活动区在不远的将来依然是高地震活动区。网格源采用截断的 G-R 关系来刻画地震震级分布，需要确定的地震活动性模型参数为 G-R 关系的 a 值和 b 值。

S2：背景震源区（Background Source Zones）

背景震源区（简称背景源）主要用于为缺乏历史地震活动性资料或较弱地震活动地区提供基础地震活动水平的估计。它以大区域平均的地震活动性赋给全区，相当于给弱地震区赋予地震危险性的本底值（floor）。背景源通常是地质条件和地震活动特征的明确分区特征来划分。背景源也应用截断的 G-R 关系来刻画地震震级分布，需要确定的地震活动性模型参数为 G-R 关系的 a 值和 b 值。

S3：特殊地震活动性区（Special Zones）

特殊地震活动性区（简称特殊源）作为一种震源区，用于对网格源和背景源进行补充。特殊源主要是指那些在地震活动性方面表现出显著差异的地区，用网格源和背景源均无法充分地表达。当某一地区在地震资料完备程度、平均地震活动水平、最大震级、 b 值、震源深度等方面表现出明显的局部变化时，就需要划分特殊源。特殊源圈定了地震活动性发生变化的地区，其参数替代特殊源所覆盖的网格源的相应地震活动性参数。例如，在美国中东部地区划分的特殊源中，两个源是考虑平均地震活动性水平与中东部其它地区不同，一个源是最大震级相对其它地区需要提高，另一个源是地震资料完备程度与其它地区不同。在美国西部地区划分的特殊源中，一个是平均地震活动水平与西部其它地区不同，一个是最大震级需要提高，一个是考虑俯冲带地区深源地震。

S4：剪切形变震源区（Shear Source Zones）

剪切形变震源区（简称剪切源）主要应用于美国西部地区。在美国西部的一些地区，断层并不明显，但地形变测量（如 GPS 数据）和地震活动都表明具有较高的剪切应变率，由地质依据估算的矩释放率远小于由 GPS 数据估计的值。这些地区仅采用地震活动性数据或地质依据还不足以刻画其未来的地震危险性。因此，在这些地区划分出一种特定的震源区——剪切形变震源区，该源整体上具有剪切变形的特征，其地震发生率也根据剪切变形率来估算。

S5：断层源或断层源区（Fault Sources or Fault Source Zones）

断层源主要用于考虑活动断裂的地震危险性，应用于具有明确古地震数据或具有较明确

的分段性特征和滑动速率等地质信息的断层。该类源需要根据分段性、滑动速率或古地震信息来构建未来地震位置、大小和发生率。大部分断层源为线源,个别为面源,比较特殊的断层源,如: New Madrid Fault Source,采用了一束平行折线来表示; Cascadia Subduction Zone,为面源,沿 Cascadia 俯冲带划分;东部的 Charleston SC Zone 采用了一宽一窄两个嵌套的面源来反映这里并不明确的 1886 年 $M7.3$ 级地震的发震构造背景。断层源采用特征的或 G-R 分布的震级-频度关系 (Frankel 等, 1996), 断层长度、面积以及滑动速率是断层源的重要参数。断层源的地震复发率藉由地质量测以及地震活动性、地形变测量与分析来获得,并根据断层长度和面积采用经验关系来估算 G-R 关系的最大震级或特征地震模型的特征震级 (Wells and Coppersmith, 1994)。

2 美国区划图地震活动性参数确定

美国地震区划图采用的基本的地震活动性模型为泊松模型;震级分布采用两种:截断的 G-R 分布模型和断层源上的特征地震分布模型。因此,美国地震区划图计算需要确定的主要地震活动性参数为:各震级地震的年平均发生率、G-R 关系最小震级 M_{\min} 、最大震级 M_{\max} 和 b 值、特征地震模型的特征地震震级 M_{char} 。

M_{\min} 是在截断的 G-R 震级频度关系中考虑的最小震级,相当于震级下限。美国地震区划图采用 5.0 级为最小震级。

M_{\max} 是在截断的 G-R 震级频度关系中考虑的最大震级 M_{\max} ,相当于震级上限。美国地震区划图中,除了断层源和一些特殊源区外,大部分地区最大震级为 7.0 级。

M_{char} 用于断层源的特征地震分布模型,它通常根据断层段长度或面积与震级的关系来确定。

地震的年平均发生率在不同类型震源模型中采用不同的方法来获得。基于地震活动性的震源区,直接采用地震目录来统计得到;基于剪切变形或断裂构造划分的震源区,通常需要结合地质依据和地震活动性数据来估算。

美国地震区划图在美国中东部地区和美国西部地区采用了不同的地震活动性模型,下面分别进行分析。

2.1 美国中东部地区 (CEUS)

美国中东部地区地震活动性统计,采用去除了前震和余震数据的非丛集的地震目录,包括自 1700 年以来至 2006 年 $M \geq 3$ 级地震共计 3350 次。根据该目录确定中东部地区 b 值为 0.95。美国区划图在地震危险性计算中,中东部地区除个别地区外,均统一使用该 b 值。

美国中东部地区采用了除剪切源外的其它 4 种震源类型:

(1) 网格源 S1 的地震活动性参数

网格源震级分布采用截断的 G-R 震级-频度关系, b 值=0.95。

地震年平均发生率统计在每个网格单元内完成,采用最大似然法估算,并采用空间二维高斯光滑函数外推至周围网格 (Frankel, 1995)。根据不同震级地震资料完备程度的不同,采用了 3 种统计计算方案:1924 年以来 $M \geq 3$ 级地震资料 (M1); 1860 年以来 $M \geq 4$ 级以上地震资料 (M2); 1700 年以来 $M \geq 5$ 级以上地震资料 (M3)。最终以逻辑树综合计算不同方案结果。

网格源最大震级的确定与背景源一致。

(2) 背景源 S2 的地震活动性参数

划分背景源是作为对网格源的补充，在中东部称为 M4 模型。在中东部分别划分有 4 个背景源：克拉通区 (Craton Zone)；扩张边缘区 (Extended Margin Zone)；落基山脉区 (Rocky Mountains Zone)；科罗拉多高原区 (Colorado Plateau Zone)。

背景源震级分布采用截断的 G-R 震级-频度关系， b 值=0.95。

地震年平均发生率在每个背景源内统计，采用 1976 年以来地震目录资料，并将得到的年平均发生率值按面积规准，然后拆解到一系列的网格中（即：网格源模型的网格单元）。背景地震活动性参数主要作为网格源地震活动性的一种补充，以避免网格源确定的地震活动性水平过低。因此，在实际计算中，当网格源上三种方案加权地震活动性 (M1 (0.5)、M2 (0.25)、M3 (0.25)) 高于背景源时，则在逻辑树计算中背景源方案加权系数为 0，即不考虑背景源，M1—M3 权重不变；当三种方案加权地震活动性低于背景源时，应考虑背景源活动性参数，则在逻辑树计算中 M1、M2、M3、M4 四种参数权重分别为 0.4、0.2、0.2、0.2。而只有一个区为特例，即落基山脉区 (Rocky Mountains Zone)，当背景源地震发生率大时，只采用背景源发生率，不考虑网格源发生率。

最大震级在扩张边缘区 (Extended Margin Zone) 为 7.5，其它区均为 7.0。在实际计算中，还考虑了克拉通区 (Craton Zone) 和扩张边缘区 (Extended Margin Zone) 最大震级的不确定性，采用了多个震级值及其权重方案，以逻辑树加以综合。

(3) 特殊源 S3 的地震活动性参数

特殊源用以表述地震活动性方面具有特殊性的区域，用于对网格源模型进行调整，被包括在特殊源内的网格单元或其参数由特殊源替代。特殊源本身不参与危险性计算。美国中东部划分有 5 个特殊源。

Eastern Tennessee Zone 和 New Madrid Zone 两个特殊源，直接替代其覆盖的网格源，且地震年平均发生率直接在源内采用 1976 年以来 3 级以上地震数据统计得到，并假定地震年平均发生率在源内均匀分布，但在边界处开始采用光滑处理；Wabash Valley Zone 特殊源将最大震级由 7.0 提高至 7.5，并以该最大震级替代其覆盖的各网格单元的最大震级，网格源的其他参数不变；Charlevoix Zone 特殊源是考虑丛集地震活动性的面源，地震活动性水平较高，因此， b 值与东部其它地区不一致，采用 $b=0.76$ ，其覆盖的网格源均调整为该 b 值，其他参数不变；在 105°W 以西的地区，地震资料完备的时段比中东部其它地区更短，因此，作为一个特殊区，地震年平均发生率统计的 3 个方案 (M1、M2、M3) 的起始年代分别调整为 1976 年、1924 年和 1860 年，其覆盖的网格源年平均发生率的统计均采用此调整方案，其他参数不变。

(4) 断层源 S5 的地震活动性参数

美国中东部地区仅包括 4 个断层源：新马德里震源区 (New Madrid Seismic Zone)；米尔斯断层源 (Meers Fault Source)；契罗断层源 (Cheraw Fault Source)；查尔斯顿震源区 (Charleston Seismic Zone)。它们是中东部仅有的 4 个具有古地震数据可用于建立地震复发率的断层。前 3 个为线源或多线源，后 1 个为嵌套面源。

新马德里震源区 (New Madrid Seismic Zone) 和查尔斯顿震源区 (Charleston Seismic Zone) 属于比较特殊的断层源区。

新马德里震源区 (New Madrid Seismic Zone)：采用特征地震模型，参数采用了多方案，

计算中利用逻辑树方法加以综合。首先断层源采用由西而东平行排列的5条断层迹线来表示,以反映新马德里地区3次大地震发震构造的认识不确定性,中线权重最大,向两侧递减;其次,特征地震震级也采用多方案,断层线由北而南分为3段,北段采用7.1—7.8之间的4个震级值,分别赋予不同权重,7.5级权重最大;中段和南段震级比北段高,采用7.3—8.0间的4个震级值,赋不同权重,7.7级权重最大。复发间隔也采用多方案加权,根据每条迹线各段单独破裂和联合破裂情况的判定,确定了1000年、750年、1500年、500年等多种方案,分别赋予不同权重。断层考虑为倾角为西南倾 38° 的倾斜断层。

查尔斯顿震源区(Charleston Seismic Zone):采用特征地震模型,参数也采用了多方案,计算中利用逻辑树方法加以综合。首先围绕1886年地震划分一宽、一窄2个嵌套的面源,以反映对发震构造认识的不确定性,分别赋予同等的权重;地震复发期取为550年;特征震级取6.8—7.5之间的4个震级值,赋予不同的权重,7.3级权重最大。

2.2 美国西部地区(WUS)

美国西部地区地震活动性统计,采用去除了前震和余震数据的非丛集的地震目录,包括自1850年以来至2006年 $M \geq 4$ 级地震共计3260次。根据该目录确定西部地区 b 值为0.8。美国区划图在地震危险性计算中,西部地区均统一使用该 b 值。美国西部地区与中东部地区相比,还考虑了俯冲带上的深源地震。

美国西部地区震源类型包括前述的5种源类型,但西部地区比较突出的是断层源模型,其地震活动性参数的确定也较东部更加复杂。

(1) 网格源S1的地震活动性参数

网格源地震活动性参数基本要求与中东部一致,不同之处主要在:

①采用美国西部的 b 值0.8;

②地震年平均发生率统计只采用一种方案(称为M1),即采用1933年以来 $4.0 \leq M < 5.0$ 级地震资料,1900年以来 $5.0 \leq M < 6.0$ 级地震资料和1850年以来 $M \geq 6$ 地震资料。

③当上覆断层源时,如网格源与断层源确定的发生率之和超出实际历史地震发生率,则网格单元的发生率要降低至统计值的 $2/3$ 。

④最大震级 M_{\max} :对于浅源地震大多数地区取为7.0。在断层源分布区,为避免重复计算,要降低网格源的 M_{\max} 。当断层源采用特征地震模型计算时,网格源的 M_{\max} 设定为与断层源的特征震级一致或7.0;当断层源采用G-R关系模型计算时,网格源的 M_{\max} 设定为6.5,这也是断层源G-R关系采用的震级下限。深源地震地区 $M_{\max}=7.2$ 。

(2) 背景源S2的地震活动性参数

美国西部基于地质条件分别划分有5个背景源(称为M2):盆地山脉省地区背景源(BSNRNG, Basin and Range);卡斯卡底古陆地区背景源(CASCAD, Cascadia);斯内克河平原地区背景源(SNAKRP, Snake River Plain);黄石地震活动区背景源(YSPARA, Yellowstone parabola);南加利福尼亚和亚利桑那地区背景源(SCARIZ, Southern California and Arizona)。西部背景源的用途与中东部地区一致,采用的震级分布模型为截断的G-R震级-频度关系, b 值=0.8。

西部每个背景源通过统计每个源内1963年以来 $M \geq 4$ 级地震事件的数目来确定年平均发生率,并按面积规准,然后拆解到一系列的网格单元中(与网格源模型的网格单元一致),进行计算。为避免降低历史地震活动性较高地区的地震活动性参数,西部也采用了与东部同样

的自适应加权方案，在每个网格单元上比较背景源得到的地震发生率和网格源地震发生率，当前者高时，采用加权方案 M1 (0.63)、M2 (0.33)，反之，则不考虑背景源，直接采用网格源地震发生率值。

最大震级确定与网格源模型一致。

(3) 特殊源 S3 的地震活动性参数

美国西部同样也划分出若干特殊地震活动性区源，这些特殊源在地震活动性方面具有不同于上述两种源区的特征，用于对网格源模型参数进行调整。在特殊源内的网格源或其参数，由特殊源相应参数替代。特殊源本身不参与危险性计算。

在普吉特低地 (Puget Lowland) 区域划分一个特殊源 (P Zone, Puget Lowlands Seismic Zone)，用于考虑地震变形率 (seismic deformation rates) 与测量形变率之间明显的差距。该区平均的地震发生率由区域内 1928 年以来 5 级以上地震来统计， M_{\max} 也由 7.0 级提高到 7.3 级，以适应该区的变形速率。

普吉特海峡 (Puget Sound) 区域也划分一个特殊源 (N Zone, Central Nevada Seismic Zone)， M_{\max} 由 7.0 级提高到 7.5，以适应该区的变形速率。

靠近卡斯卡底俯冲带 (Cascadia subduction zone) 地区和靠近俄勒冈海岸地区 (coastal Oregon) 划分了考虑深源地震影响的特殊源，采用深源地震目录进行活动性参数统计。

(4) 剪切源 S4 的地震活动性模型

剪切源 (也称为 C Zones) 是美国西部地区独有的源类型。2008 年版美国地震区划图共划分有 6 个剪切源，分别为东加利福尼亚源 (EC, Eastern California)、圣哥弓尼奥峰区源 (SG, San Gorgonio zones); Z1-Z4 源 (Zones of distributed shear)。这些震源区利用大地形变测量资料，将应变率转换为矩率 (Moment rate)。该类震源区采用 G-R 震级-频度关系，最大震级取为 $M_{\max}=7.6$ ，下限震级取为 $M_{\min}=6.5$ ， b 值取 0.8。

(5) 断层源 S5 的地震活动性参数

美国西部地区考虑的断层源，仅包含那些可以估计平均滑动速率或平均复发间隔的构造。为模拟一个破裂，需要估计出断层的破裂长度和宽度，这些参数均由地质填图 (提供断层几何形状和长度信息) 和地震活动性特征 (提供断层倾角和破裂深度信息) 得到。断层源的地震震级分布，采用了特征地震模型和截断的 G-R 震级-频度关系模型的加权综合。

最大震级的估计，在加利福尼亚地区采用 Ellsworth B 公式 (Ellsworth, 2003) 和 Hanks and Bakun (2002) 公式；而在西部其它地区则采用 Wells and Coppersmith (1994) 破裂长度与震级关系式，该关系式适用于所有类型断层。对特征震级 M_{char} 和 G-R 关系中的最大震级 M_{\max} ，均考虑了估计值的 ± 0.2 震级单位的不确定性，采用多方案以不同权重在逻辑树运算中考虑， -0.2 震级单位权重为 0.2，均值权重为 0.6， $+0.2$ 震级单位权重为 0.2。同时还采用标准差为 0.12 的正态分布来考虑特征地震震级随机不确定性，考虑 2 倍方差 (0.24 震级单位) 内的震级值 (WGCEP, 2003)。对于 G-R 关系的最大震级，则不再考虑任何的随机不确定性。

断层源特征地震的发生率，由根据断层长度和面积确定的特征性错动的滑动率来估计。对于 G-R 模型，采用了滑动速率与各震级档震级及其发生率的标准公式来估算发生率 (Frankel 等, 2002; Petersen 等, 1996)。加州地区断层源，分为 A 型断层和 B 型断层，A 型断层为特征地震行为明显的断层，其地震活动性参数直接采用断层滑动形变速率、特征地震

重复间隔等资料直接进行估算；B型断层特征地震行为并不十分明显，这类断层采用特征地震模型和G-R关系模型同时进行估算，两者估算结果按特征模型2/3权重、G-R模型1/3权重加权综合。在加利福尼亚沿岸地区以及Intermountain West地区，采用2/3特征模型、1/3G-R模型的加权方案来综合；在其它地区两个模型权重均为1/2。

对于断层源采用的G-R关系， b 值取西部地区的统一 b 值0.8。在靠近圣安德列斯断层(San Andreas Fault)地区， b 值取为0.9。

3 美国区划图地震活动性参数模型评价

上文简要分析了美国地震区划图编制采用的震源区类型、各类震源区用途及其地震活动性参数确定方法。通过对美国地震区划图地震活动性参数确定工作的分析，笔者也得到了以下的一些认识：

(1) 在美国地震区划图工作中，对地震危险性评价中地震活动性参数一些问题的考虑是较为深入的，工作也较为细致，比如：对背景地震风险水平的重视；对地震活动特征和信息的重视；对不确定性的重视；对断层特征性活动的重视等等。

(2) 美国地震区划图比较重视地震活动性资料，采用了多种地震活动性相关的震源区，如：网格源、背景源、特殊源。对这些源的地震活动性参数的确定也采用了多种不同的方案。

(3) 美国地震区划图对于地震活动性震源与断层源，采用了不同的地震发生率评估技术和方法。对于地震活动性源区，基本上不采用地质资料信息；对于断层源，则主要考虑断层地质属性信息。这种方法针对性强，能充分发掘各类信息的特点，但同时也有失之偏颇的缺陷。尤其在断层资料和研究程度较差的地区，过分依赖可信时间短、完备性差的地震活动性资料，可能会带来对地震危险性估计的偏差。

(4) 在美国地震区划图中，只要不能确定滑动速率或古地震复发信息的断层，基本上就不划分断层源。从这点上看，美国地震区划图似乎过分强调了原地重复的原则，对构造类比应用和重视不够，这是与我国的地震区划方法有较明显差异的地方。

(5) 美国地震区划图地震活动性参数的确定，实际上的处理是非常复杂的。在震源区参数的确定中，在许多具体细节上还考虑了大量的不确定性方案，如：地震目录震级校正方案；地震震级小数点后数字舍入(rounding)方案；由断层特性估计特征地震震级的小数点位数精度方案；多种经验关系的方案；同一地区不同地震资料处理方案；复发周期方案；破裂分段方案；断层源划分方案；最大震级方案等等。只要存在不同认识或争论，就会形成多方案，这些不确定性基本上都以权重在逻辑树分析中得以反映。这种处理虽然充分考虑了认识的不确定性，但往往使得主要问题被繁复的方案所湮没。实际上，依据现有概率地震危险性分析的精度，大多数细节对地震危险性的贡献几乎可以忽略，一些关键性因素的微小变动(如衰减关系的变化、震源区的变化等)就足以涵盖其他次要因素的影响。因此，科学性和工程性需要有机地结合。

(6) 在地震活动性模型方面，与我国以往地震区划图编制工作相比，美国地震区划图具有自身的特色，其对地震活动性资料以及对弱地震区地震危险性的重视，更是值得我国新一代地震区划图借鉴。

以上浅见，仅供从事地震安全性评价和地震区划工作的同仁参考。

参考文献

- 卢寿德主编, 2006. 《工程场地地震安全性评价 (GB17741-2005)》宣贯教材. 北京: 中国标准出版社.
- Algermissen S.T. and Perkins D.M., 1976. A probabilistic estimate of the maximum acceleration in rock in the contiguous United States: U.S. Geological Survey Open-File Report 76—416, 45p., 2 pls., scale 1:7,500,000.
- Algermissen S.T., Perkins D.M., Thenhaus P.C., Hanson S.L. and Bender B.L., 1990. Probabilistic earthquake acceleration and velocity maps for the United States and Puerto Rico: U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2120, 2 sheets, scale 1:7,500,000.
- Ellsworth W., 2003. Appendix D—Magnitude and area data for strike slip earthquakes, in Working Group on California Earthquake Probabilities, Earthquake probabilities in the San Francisco Bay region—2002–2031: U.S. Geological Survey Open-File Report 03–214, 6p.
- Frankel A.D., 1995. Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. Seismological Research Letters, **66**: 8—21.
- Frankel A.D., Mueller C., Barnhard T., Perkins D., Leyendecker E., Dickman N., Hanson S. and Hopper M., 1996. National Seismic Hazard Maps—Documentation June 1996: U.S. Geological Survey Open-File Report 96–532, 110 p.
- Frankel A.D., Petersen M.D., Mueller C.S., Haller K.M., Wheeler R.L., Leyendecker E.V., Wesson R.L., Harmsen S.C., Cramer C.H., Perkins D.M. and Rukstales K.S., 2002. Documentation for the 2002 update of the National Seismic Hazard Maps: U.S. Geological Survey Open-File Report 2002–420, 39 p.
- Hanks T.C. and Bakun W.H., 2002. A bilinear source-scaling model for M -log A observations of continental earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, **92**: 1841—1846.
- Petersen M.D., Bryant W.A., Cramer C.H., Cao T., Reichle M.S., Frankel A.D., Lienkaemper J.J., McCrory P.A. and Schwartz D.P., 1996. Probabilistic seismic hazard assessment for the State of California: California Division of Mines and Geology Open-File Report 96–08, U.S. Geological Survey Open-File Report 96–706.
- Petersen M.D., Cramer C.H., Reichle M.S., Frankel A.D. and Hanks T.C., 2008. Discrepancy between earthquake rates implied by historic earthquakes and a consensus geologic source model for California. Bulletin of the Seismological Society of America, **90**: 1117—1132.
- Wells D.L. and Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements. Bulletin of the Seismological Society of America, **84**: 974—1002.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (WGCEP), 2003. Earthquake probabilities in the San Francisco Bay region—2002–2031: U.S. Geological Survey Open-File Report 03-214.

Comments on the Models of Seismic Source and Parameters Used in the New Edition of United States National Seismic Hazard Maps

Pan Hua, Gao Mengtan and Li Jinchun

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

Abstract In this paper, we introduce the goals and principles of the five different earthquake source models used in 2008 United States National Seismic Hazard Maps (USNSHM). The routine and the methodology of seismicity parameters obtaining for each source model are discussed in detail. Both significant characteristics and disadvantage of the source and seismicity rate models used in USNSHM are commented here. What we learned from USNSHM is helpful for us to compile the new generation map of seismic ground motion hazard of China in future.

Key words: Seismic Zoning Map; United States National Seismic Hazard Maps; Seismic sources; Seismicity; Seismic potential sources