

# 新地震区划图潜在震源区划分的主要技术特色<sup>1</sup>

周本刚<sup>1)</sup> 陈国星<sup>2)</sup> 高战武<sup>2)</sup> 周庆<sup>1)</sup> 李姜一<sup>1)</sup>

1) 中国地震局地质研究所, 北京 100029

2) 中国地震灾害防御中心, 北京 100029

**摘要** 简要介绍了新地震区划图潜在震源区划分方案的形成过程, 重点分析了潜在震源区三级划分、东西部地区潜在震源区划分技术途径的差异、不同级别活动块体边界带对高震级潜在震源区划分的控制作用、发震构造模型及其在潜在震源区划分中的应用等主要技术特色。共划分出 29 个地震带、77 个地震构造区和 1199 个潜在震源区。与中国地震动参数区划图(2001)中综合方案相比, 东西部地区潜在震源区的个数都有较大的增加, 其中东部地区体现在震级上限 6.0、6.5 和 7.0 级的中强潜在震源区个数的明显增加, 与划分工作中加强了该地区中强地震发震构造的判识研究相关; 而西部地区体现在震级上限 7.5 和 8.0 级的高震级潜在震源区个数的大幅度增加, 与划分工作中注重了活动块体边界带高震级潜在震源区划分, 以及强调应用发震构造模型指导潜在震源区划分的技术特色相协调。

**关键词:** 新地震区划图 潜在震源区 技术特色 三级划分

## 引言

在 Cornell (1968) 建立考虑多个震源的工程场地概率地震危险性分析方法时, 提出了潜在震源区 (Potential Sources of Earthquakes) 的概念, 并探讨了点源、线源和面源 (环形或扇形) 的地震危险性计算方法。其后数 10 年, 该方法经不断改进, 在工程场地地震安全性评价以及各国采用概率地震危险性分析方法编制地震区划图中得到了广泛的应用<sup>2</sup> (McGuire, 1987; Reiter, 1991; 国家地震局, 1996; Gao Mengtan, 2000; Valentin, 2000; Mark 等, 2008)。作为概率地震危险性分析结果最为关键的控制性因素, 潜在震源区划分及其地震活动性参数确定成为采用概率地震危险性分析方法编制地震区划图的关键技术环节。

中国地震动参数区划图(2001)在潜在震源区划分时, 基于不同断层性质类型的强震构造机制与时空过程提出了不同类型潜在震源区的识别方法, 加强了断层分段性及其强震复发

1 基金项目 国家科技支撑计划项目专题“特大地震震源模型参数研究”(2012BAK15B0103)资助

【收稿日期】 2013-05-23

【作者简介】 周本刚, 男, 生于 1964 年。研究员。主要研究方向: 地震区划与工程地震。E-mail: zhoubg@ies.ac.cn

2 中国地震局地球物理研究所, 中国地震局地质研究所, 中国地震局工程力学研究所等, 2001. 中国地震动参数区划图编制报告。

模型的应用,考虑了强、弱地震活动区潜在震源区划分规则的差异,采用潜在震源区划分多方案进行地震危险性分析,并在其中一个方案中采用中强地震活动区高、低震级上限潜在震源区嵌套方式,以反映构造活动的层次结构认识(高孟潭,2002;2003;Zhou Bengang等,2000)。

新一代地震区划图的潜在震源区划分工作始于2007年底,2010年初形成咨询方案,历经专家咨询、广泛征求意见和补充新资料,于2011年完成最终划分方案。在中国地震动参数区划图(2001)潜在震源区划分成果的基础上,吸收了新的地震、地质和地球物理方面的基础资料与研究成果,特别是在西部地区2001年青海昆仑山8.1级地震与2008年四川汶川8.0级地震、东部地区内蒙2003年巴林左旗5.9级地震与2005年江西瑞昌5.7级地震等一系列代表性震例震后调查、发震构造分析及相应潜在震源区划分反思的基础上,借鉴国际上潜在震源区划分的技术进展,采取明确技术思路与要求→分区负责→集中研讨→协调核定→方案咨询→征求意见→全面检视与补充→方案形成的七阶段工作机制,潜在震源区划分最终方案的形成具有如下特色。

(1)为更合理地反映潜在地震活动的不均一性和深化构造类比,潜在震源区划分采取三级划分的技术思路:首先划分出用于地震活动性参数统计的地震带(地震统计区);再在地震区带内划分出不同背景地震活动特征的地震构造区(背景源);然后在地震构造区内划分潜在震源区(包括构造源和地震聚集源)。潜在震源区三级划分方法是本次潜在震源区划分中最为突出的特色。

(2)重视基础资料的完备性及可靠性。在编图基础资料工作组提供的地震、地质构造和地球物理场等基础资料平台上,对关键资料和数据进行审核、修订及补充,对西部资料较缺乏的构造活动区利用卫星影像解译可能存在的发震构造。

(3)中国地震动参数区划图(2001)采用中震(50年超越概率10%)作为编图基准,而本次区划图同时还考虑了以大震(50年超越概率2%)为基准的控制,因而高震级潜在震源区划分及其震级上限确定是其中关键技术之一(高孟潭等,2006)。从而加强了考虑地震构造模型与震级上限不确定性对漏判高震级潜在震源区情况的控制。

(4)考虑到东西部地区构造活动环境的差异,对西部强震区及东部中强地震区在地震构造划分、潜在震源区划分方法与依据的侧重点有所差异。在西部地区重视不同级别活动块体边界对高震级潜在震源区划分的控制作用,建立了不同类型发震构造模型,并在发震构造模型框架下充分运用构造类比原则,力求划分出潜在的新区和不低估高震级潜在震源区的发震能力;在东部地区加强中强地震构造带的判别,充实中强地震潜在震源区划分的依据。

(5)考虑到与中国地震动参数区划图(2001)潜在震源区划分的衔接,本次潜在震源区划分以中国地震动参数区划图(2001)潜在震源区划分综合方案为基本框架,还吸收了该区划图编图中其他潜在震源区划分方案的合理成份作为形成本次方案的划分基础。

下面对其中一些主要技术特色作简要分析。

## 1 潜在震源区三级划分

中国地震烈度区划图(1990)和中国地震动参数区划图(2001)均采用了潜在震源区两级划分方案,即首先划分出地震区带,然后在地震区带中划分潜在震源区,以合理反映地震带中构造活动与地震活动的不均一性。我国潜在震源区三级划分的思想最早来源于陈家庚和鄢

家全等人关于“论弱地震活动区评定最大潜在地震的原则和方法”一文，该文提出以三级构造单元来划分地震构造区，将四川盆地划分为 5 个地震构造区，并给出了各地震构造区相应的弥散地震震级（陈家庚等，1999）。其后，研究者考虑到在以地震活动性参数统计为划分目的的地震带一般都划分得比较大，地震统计区内可能包含了不同地震活动性的活动块体，这些活动块体包含了不同震级上限的发震构造，块体内与特定发震构造无关的最大弥散地震震级比地震活动性参数统计区的本底地震震级要大，如东北地震统计区内的辽西地区和长江中游地震统计区内的成都平原，明确提出了存在这些相对活动块体的地震统计区考虑三级划分才能更进一步地反映地震活动的不均一性（周本刚，2002；2004）。2008 年出版的美国地震区划图在潜在震源区划分中，划分了网格地震活动性源（S1）、背景震源区（S2）、特殊地震活动性带（S3）、剪切变形区（S4）和断层源与断层源带（S5）等 5 类震源，这 5 类震源在空间上是层叠的（Mark 等，2008；潘华等，2009），体现了对潜在震源区划分不确定性的处理及地震活动空间分布不均性的合理考虑。在我国新地震区划图编制过程中，编委会讨论决定将三级划分的方法应用于潜在震源区划分工作，并由潜在震源区划分组负责具体实施<sup>1</sup>。

### 1.1 地震构造区的涵义及其划分原则

相对于我国前两代地震区划图中采用的潜在震源区两级划分方法，三级划分增加了地震构造区划分的中间环节。地震构造区是指在现今地球动力学环境下，地震构造环境和发震构造模型一致的地区。地震构造环境一致是指在统一的现今地球动力学环境、新构造活动特点、构造应力场及深部地球物理场等条件下，发震构造模型具有一致性或相似性的特点。发震构造模型一致是指同一地震构造区内的发震构造和主要地震事件可以归纳为统一的发震构造模型来解释，可能包括了统一动力学与运动学模式下活动性质相同或不同的一组发震构造。地震构造区内与发震构造模型不相关，随机发生的地震则确定为背景性地震。

地震构造区通过边界、背景地震、背景地震频度及其大小地震的比例关系来描述，其中背景地震是指地震构造区内与发震构造不相关的最大地震震级，背景地震既要考虑地震构造区内历史地震大小，又要结合构造活动环境与地震活动特点，采用构造类比的方法综合评定。地震构造区划分需考虑以下划分原则：

（1）区别出地震带内发震构造模型不同的地区，以利于构造类比判定潜在震源区，如龙门山地震带内甘东南地震构造的发震构造模型与其他地震构造区有明显的区别（图 1）。

（2）区别出地震带内背景地震不同的地区，如龙门山地震带内陇中盆地、甘东南、龙门山和成都盆地地震构造区的背景地震分别为 6 级、6.5 级、6.5 级和 6 级（图 1）。

（3）同一地震带内背景地震相同的地区，如果其背景地震年发生频度（或年发生率）有差别，如北天山地震带内巴里坤、依连哈比尔尕地震构造区等，也应划分为不同地震构造区。

（4）划分地震构造区需要考虑构造活动性与研究程度的差异，对于研究程度较低的西部地区，尤其是资料缺乏地区，地震构造区的范围可大一些，相应背景地震应考虑不确定性评定得偏高一些，如位于板块边界且资料较缺乏的喜马拉雅地震构造区的背景地震确定为 7 级。

### 1.2 三级潜在震源区的划分步骤及三类源的关系

在三级潜在震源区划分模型中，三个级别的源的空间关系明确，呈叠置关系：底层是地

1 中国地震灾害防御中心，中国地震局地质研究所，中国地震局地质预测研究所，中国地震局地壳应力研究所，四川省地震局，甘肃省地震局，陕西省地震局，辽宁省地震局，新疆维吾尔自治区地震局，2010. 中国及邻区地震区带和潜在震源区划分工作报告. 报告汇总由陈国星、周本刚、高战武、周庆完成。

震带；中间层是地震构造区；上层为潜在震源区（图2）。

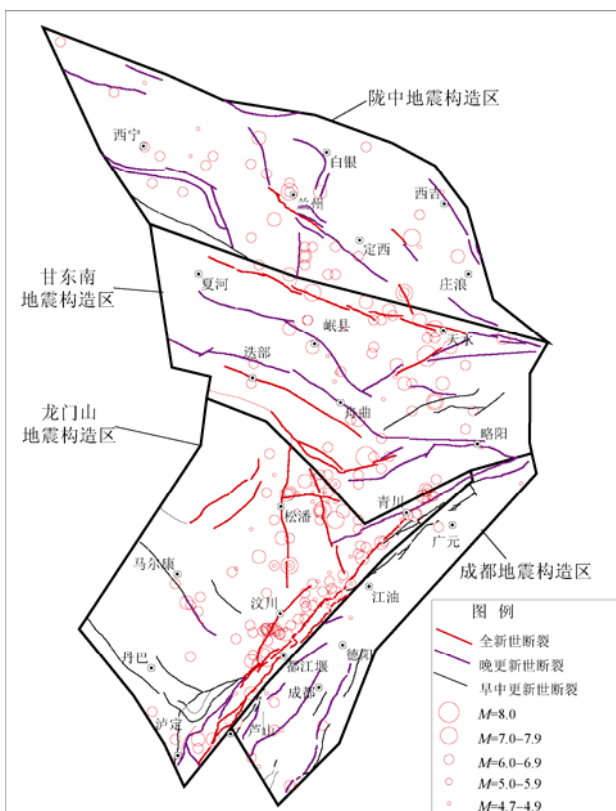


图 1 龙门山地震带地震构造区划分简图

Fig. 1 Sketch map of the seismotectonic province in Longmenshan seismic belt

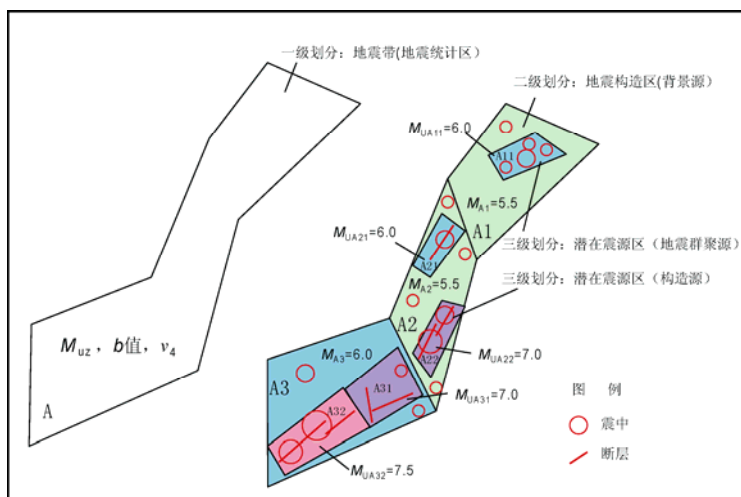


图 2 潜在震源区三级划分示意图

Fig. 2 Illustration of three-level delineation of the potential seismic sources

首先，根据地震活动、地质构造等环境的一致性，并考虑地震统计样本的充分性，划分

出地震带（图 2 中的 A）。地震带是地震活动性参数的统计单元，又称地震统计区，除划分出边界与范围，还需要确定其震级上限  $M_{uz}$ 、 $b$  值和 4 级以上的地震年平均发生率  $\nu_4$ 。

图 2 中 A 为地震带；A1、A2、A3 为地震构造区；A<sub>11</sub> 至 A<sub>32</sub> 为潜在震源区。

其次，在地震带内划分地震构造区，各地震构造区边界相互衔接，并覆盖整个地震带的区域（图 2 中的 A1、A2、A3），它们主要反映了地震带内背景地震活动特征有差异的区域，因而又称背景地震源（或背景源），同时也反映了地震带内地震构造模型有差异的区域。背景源需要确定其背景地震大小  $M_b$ ，并要分析背景地震及其以下各震级档地震活动频度关系。

最后，在各地震构造区内根据地震活动与构造活动特征划分出不同的潜在震源区，潜在震源区无需覆盖整个地震构造区，在该划分层次内有两种类型的潜在震源区：一种为主要依据地质构造特性，结合历史地震活动划分出的潜在震源区，又称构造源，如图 2 中的 A21 至 A32；另一种为主要依据地震活动密集带（如大兴安岭地区的二七柴河 6.5 级潜在震源区）或中强地震活动条带（如大兴安岭地区的雅鲁河 6 级潜在震源区）划分出的潜在震源区，又称地震群聚源，如图 2 中的 A11，这类潜在震源区构造标志不清晰或缺乏深入研究，数量也不多，震级上限一般相对低一些。划分出的潜在震源区除要给出位置、方向与边界外，更主要的是评估其震级上限  $M_0$ ，同时还需要分析高震级档的地震发生模型，为确定高震级档地震活动性参数提供依据。

上述地震统计区的震级上限  $M_{uz}$  应为其所包括的所有潜在震源区震级上限  $M_0$  的最大值，背景源的背景地震  $M_b$  一般小于其所包括的所有潜在震源区震级上限  $M_0$  的最小值，在一些特殊情况下， $M_b$  可能等于背景源中所有  $M_0$  的最小值。

## 2 东西部地区划分潜在震源区的技术途径有所差异

西部地区现今地球动力学背景相对简单，不同地区地震构造环境具有鲜明的特点，晚第四纪以来构造活动与地震活动较强烈，强震特别是大地震的构造标志较为明确，易于建立发震构造模型。而东部地区现今地球动力学背景较复杂，除华北地区外，其余地区晚第四纪以来构造活动不明显，地震活动以中强地震为主，中强地震构造标志不清晰，大部分地区建立明确的发震构造模型有难度。东西部地区的上述差异决定了在划分潜在震源区时遵循的技术途径侧重点应有差别。

在划分地震构造区时，西部地区主要通过活动块体划分及其地球动力学环境分析、现今地壳变形资料反映的变形方式与强度差异、发震模型建立、晚第四纪以来断裂活动性与地震活动性分区等途径来进行；东部中强地震构造区，则通过新构造活动分区、地震构造背景差异分析、地球物理场分区、第四纪以来断裂活动性与地震活动性分区等途径来进行。

潜在震源区划分所采用的总体原则是一致的，即“地震活动重复原则”和“地震构造类比原则”的综合运用。西部地区主要通过同一地震构造环境单元内所处发震构造模型的位置、高震级发震构造带的识别、断层带活动性分段与级联特征判别、基于古地震与历史地震资料分析发震构造的地震复发特征等途径来划分潜在震源区。东部地区则采用基于新构造以来地震构造环境样式与强弱的总体分析与定位、发震构造条带识别与分段、不同段落潜在发震能力的判别、历史地震与仪器记录中小地震活动特征分析等途径来进行。

以华南广西地区防城-灵山断裂带为例，该断裂带是斜贯桂东南的 1 条规模较大的区域性

北东向断裂带,长约 350km。断裂带第四纪以来有明显的活动,其中灵山段推断晚更新世以来有过断错地表的的活动,历史上曾发生过 4 次 5 级以上的地震,最大地震为 1936 年灵山东北的  $6\frac{3}{4}$  级地震。在划分潜在震源区时,首先将该断裂带识别为中强地震发震构造带,并将活动最为明显的灵山段判别为 7 级潜源,然后根据不同段落差异性的对比,再依次划分出 1 个 6.5 级、2 个 6.0 级的潜源(图 3)(周本刚等, 2008)。

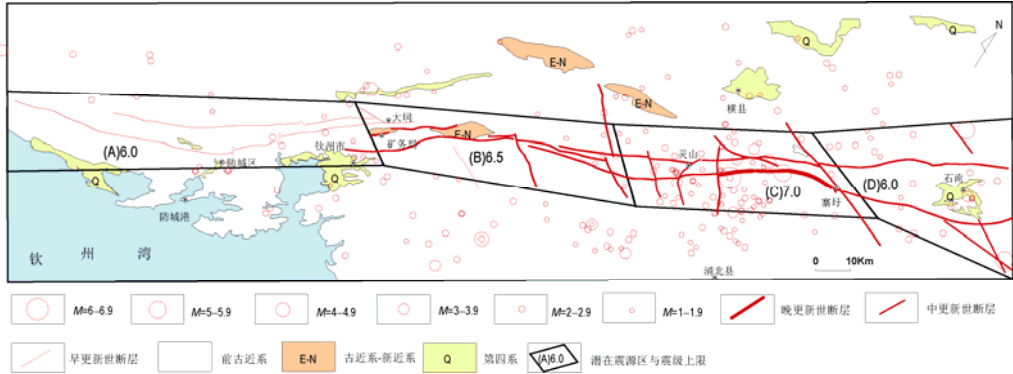


图 3 防城-灵山断裂带潜在震源区划分

Fig. 3 Map of the potential seismic sources along Fangcheng-Lingshan fault zone

### 3 重视不同级别活动块体边界对高震级潜源划分的控制作用

高震级潜在震源区划分及其震级上限的判定是本次潜在震源区划分工作中十分注重的内容。我国西部(经度  $105^\circ$  以西)地区 2001—2008 年间发生了 6.5 级以上强震共 12 组,其中 7 级以上 ( $M_s \geq 7.0$ ) 地震 4 次。以 2001 年以前潜在震源区划分方案的震级上限为基准,将上述地震震级与其所处潜在震源区的震级上限对比,共有 5 次突破了原震级上限(占总数的 41%),其中有 3 次 7 级以上的地震突破了原震级上限,分别高出原震级上限 0.4 级、0.6 级和 1.0 级,这 3 次 7 级以上的地震均位于西部地区 I、II 级活动块体边界带上,说明对于缺乏断层活动性调查资料的西部地区,考虑构造背景对潜在震源区震级上限的控制十分必要。据统计,在西部地区 57 次 7.5 级以上的地震中,有 98.2% 发生在 I、II 级活动块体边界带上;90 次 7.0—7.4 级地震有 81% 发生在 I、II 级活动块体边界带上<sup>1</sup>。

基于上述原因,在潜在震源区划分工作中,十分重视构造背景对高震级潜在震源区划分的控制,加强了构造类比原则的应用。考虑到基础地质资料的不平衡性和历史地震记载的不完备性,特别注意了利用所处构造位置、不同级别活动块体边界动力学与运动学特征对潜在震源区震级上限与边界划分的控制,甄别出高震级地震构造带,并在此基础上根据地震构造带不同段落的差异,划分不同震级上限的潜在震源区。

在西部地区划分潜在震源区实际操作中,对 I、II 级活动块体边界带一般以震级上限 7.5 级为基准,然后依据边界带上构造部位、断层结构、古地震地表破裂长度与位移、深部构造等,按照构造类比识别出更高震级的潜在震源区。例如,在形成划分方案咨询稿的过程中,

1 周本刚,王明明等,2009.强震区高震级潜在震源区震级上限综合判定方法.科技支撑计划课题“强震危险区划关键技术研究”的子专题研究报告.

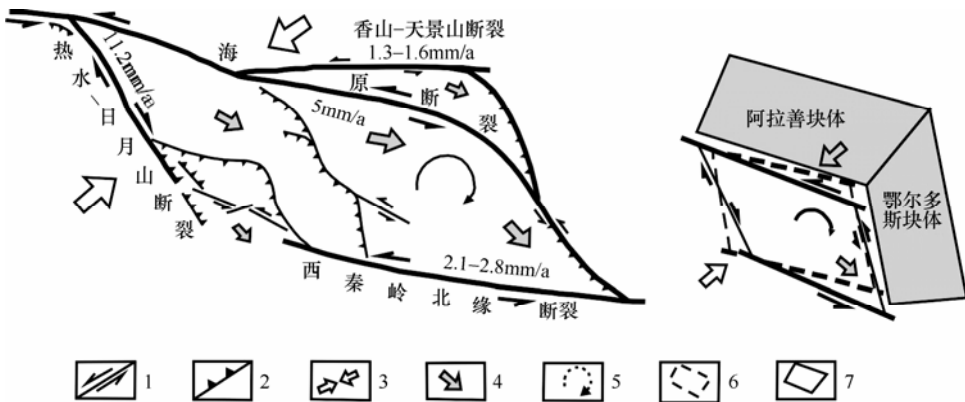
发现甘孜-玉树断裂带玉树段和金沙江断裂带缺乏有说服力的断裂活动性调查工作，前者现有资料显示晚第四纪以来没有明显活动，后者仅有零星的全新世以来活动的资料，但活动规模不明确，二者历史上都没有大地震的记载，以前相应潜在震源区震级上限均为 7 级。但考虑到前者位于巴彦喀拉活动块体的南边界，后者位于川滇活动块体的西边界，根据上述判别原则，将它们均判别为上限为 7.5 级的潜在震源区，咨询会后不久，发生了玉树 2010 年 7.1 级地震，该地震就位于新划分出的 7.5 级潜在震源区内。

### 4 注重发震构造模型分析及其在潜在震源区划分中的应用

发震构造模型是指在考虑研究区现今构造活动的动力学与运动学背景条件下，基于构造（或断裂带）深浅部展布、变形方式与强度，解析区内构造变形模式，同时结合古地震与历史地震分析，给出的反映不同部位潜在发震能力的构造变形模式（体系）。发震构造模型不是指单一的断层的发震模型，而是区内多个发震构造组成的发震构造集合体。完善的发震构造模型能更好地控制同一地震构造背景单元内潜在震源区的分布，目前发震构造模型研究主要限于地震构造背景单元内构造变形样式的模式分析（图 4），还没有达到建立完善模型的程度，尽管如此，也对潜在震源区划分具有明显的推进作用。

在应用发震构造模型划分潜在震源区时，重点关注了以下 4 个方面的问题：

(1) 发震构造模型体系中不同构造带潜在发震能力的差异，如图 4 中的海原断裂带潜在发震能力要高于其北面的香山-天景山断裂带。在潜在震源区划分中需体现这一特点。



1. 走滑断裂；2. 逆断裂；3. 区域应力方向；4. 块体挤出方向；5. 块体旋转方向；6. 变形前块体；7. 变形后块体

图 4 陇中盆地构造转换模式图（袁道阳等，2004）

Fig. 4 The deformation style of the geological structures in Longzhong Basin (Yuan Daoyang et al.,2004)

(2) 同一构造带中的一些特殊构造部位潜在发震能力相对增强，如图 4 中的海原断裂带和香山-天景山断裂带的弧形拐折部位附近，分别发生过 1920 年 8.5 级和 1709 年 7 $\frac{1}{2}$  级地震，该部位距离断裂带走滑运动为主的西段向以逆冲运动为主的东段的转换部位较近，也是构造变形较强烈的地段。在这类地段划分潜在震源区时，应在考虑断裂活动规模与位移的基础上适当提高震级上限。如香山一天景山 7 $\frac{1}{2}$  级地震地表破裂长度仅 68km（陈国星等，2006），但考虑到其位于特殊构造部位，相应段落潜在震源区震级上限确定为 8 级。

(3) 相似发震构造模型变形规模与强度有差异时，对整个模型体系内的潜在震源区潜在

发震能力有控制作用, 评定潜在震源区震级上限时需要考虑这一因素。例如, 发生 1906 年玛纳斯 7.7 级地震的北天山活动推覆褶皱系与发生 1902 年阿图什  $8\frac{1}{4}$  级地震的西南天山活动推覆褶皱系, 前者的构造变形规模与强度均小于后者, 在自根部向前缘褶皱背斜划分系列潜在震源区时, 前者划分为 8.0 级和 6.5 级 2 排潜源 (周本刚等, 1997; 杨晓平等, 1998), 后者划分为 8.5 级、7.5 级和 7.0 级 3 排潜源 (杨晓平等, 2010)。

(4) 大型活动断裂带的分段与级联破裂是其两个重要的属性, 在以前的潜在震源区划分实践中, 比较注重大型活动断裂带的分段问题, 但对段落的稳定性问题重视不够, 容易导致低估这些断裂带上潜在发震能力。2001 年昆仑山 8.1 级地震和 2011 年日本东北海域 9.0 级地震显示的级联破裂特性, 揭示了考虑破裂级联问题的必要性。在本次潜在震源区划分中, 加强了对该问题的分析与应用。

## 5 潜在震源区划分结果分析与对比

### 5.1 地震带与地震构造区划分

根据地震区带 (或地震统计区) 的划分原则, 在中国及邻区共划分出 29 个地震带。

除东海地震统计区和南海地震统计区没有进一步划分出地震构造区外, 在其余 27 个地震带内共划分出 77 个地震构造区 (背景源), 其中东部地区 41 个, 西部地区 36 个 (图 5)。东部地区主要为 5.0 级、5.5 级的地震构造区, 6.5 级的地震构造区仅 1 个, 即台湾东部地震构造区; 西部地区主要为 6.0 级和 6.5 级的地震构造区, 没有 5.0 级地震构造区, 背景最高的地震构造区有 2 个, 背景地震为 7.0, 即喜马拉雅、兴都库什地震构造区。这反映了西部地区背景地震活动明显高于东部地区。

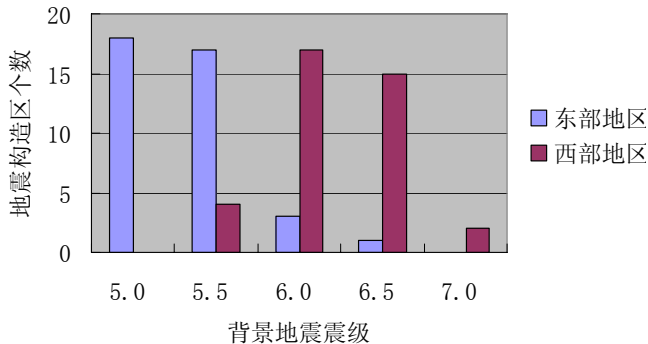


图 5 各级背景地震的地震构造区个数

Fig. 5 Number of seismotectonic provinces in corresponding background earthquake

### 5.2 潜在震源区划分

本次共划分出 1199 个潜在震源区, 其中东部地区 629 个, 西部地区 570 个, 无论东部还是西部地区潜在震源区个数都比中国地震动参数区划图 (2001) (四代图) 中潜在震源区综合方案划分出的潜在震源区个数多 (表 1)。



表 1 各级震级上限对应的潜在震源区个数

Table 1 Number of the potential seismic sources in corresponding upper limit

震级上限		5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	总计
东部地区	五代图	127	202	148	86	49	15	2		629
	四代图	98	152	116	71	38	12	2		489
西部地区	五代图		5	78	209	184	73	13	8	570
	四代图	2	14	110	208	113	58	13		518

图 6 直观显示了东部地区各级震级上限的潜在震源区个数与四代图的差异，震级上限 6.0、6.5 和 7.0 级的潜在震源区增加较多，说明东部地区在加深对中强地震发震构造带的识别后，增强了对中强地震潜在震源区的控制。东、西部地区震级上限 7.0 级的潜在震源区个数大体是平衡的，6.0 级和 6.5 级潜在震源区个数有所减少，主要是由于增加了背景源划分环节。西部地区 7.5 级潜在震源区大幅度增加，相比四代图潜在震源区增加了 63%，这与本次工作中注重活动块体边界带构造类比，以及加强了应用发震构造模型来识别高震级潜在震源区的技术特点有关。8.0 级地震增加了 26%，由于原来一些 8.5 级的潜在震源区震级上限升到了 9.0 级，8.5 级潜在震源区的个数没有变化（图 7）。此外，在板块边界带部位新划分出 8 个 9.0 级潜在震源区。总体上看，西部地区高震级潜在震源区增加幅度较大，主要为采用构造类比判定出的“新区”。

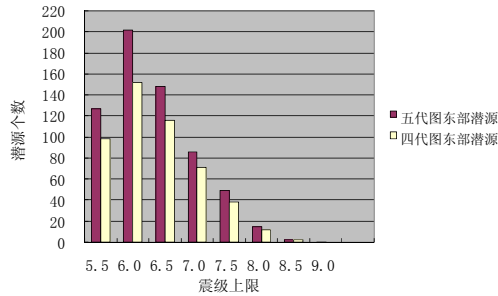


图 6 东部地区各级震级上限的潜源个数与四代图比较

Fig. 6 Comparison of the numbers of the potential seismic sources of corresponding upper limit magnitude between current seismic zonation map and the previous seismic zonation map in eastern China

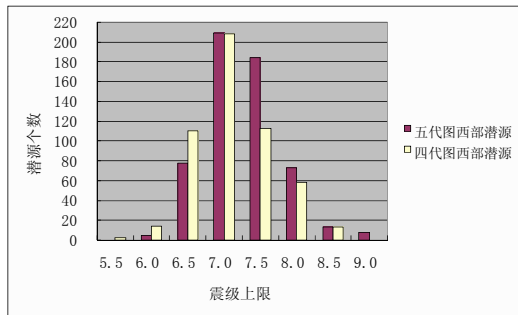


图 7 西部地区各级震级上限的潜源个数与四代图比较

Fig. 7 Comparison of the numbers of the potential seismic sources of corresponding upper limit between current seismic zonation map and the previous seismic zonation map in western China

图 8 显示了无破坏性地震记录、震级上限与已发生地震最高震级差值大于或等于 0.5 级、震

级上限与已发生破坏性地震最高震级三种情况下的潜在震源区相对比例,后两种情况之和的比例在震级上限为 5.5 至 7.5 级潜在震源区中所占比例达 80% 以上,在震级上限为 8.0 至 9.0 级潜在震源区中所占比例也在 60% 以上,说明本次潜在震源区划分中构造条件类比成为了主要控制因素。

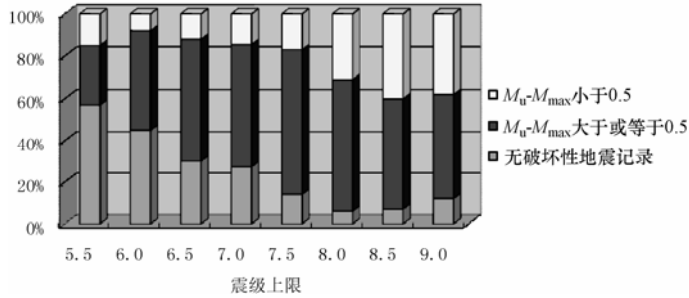


图 8 震级上限与历史最大地震震级的比较

Fig. 8 Comparison between the upper limit magnitude and the maximum magnitude of earthquakes in potential seismic sources

## 6 结语与讨论

新地震区划图中潜在震源区划分采用七阶段工作机制,反映了潜在震源区方案形成是一个有序的过程,即使总体划分技术思路得到了有效的贯彻,又充分发挥了熟悉不同区域地震构造环境的专家的作用,更保证了各方合理建议的吸纳。本次划分工作在重视基础资料的完备性及可靠性的基础上,采用三级划分的技术思路,东西部地区采用了不同的划分技术途径,重视了不同级别活动块体边界带对高震级潜在震源区划分的控制作用,加强了发震构造模型研究及其在潜在震源区划分中的应用等,使得本次潜在震源区划分方案既进一步反映了地震活动的不均一性特征,又增强了对高震级潜在震源区的识别,有利于新地震区划图编图目标的实现。

继 2008 年 5 月 12 日龙门山断裂带中段发生汶川 8.0 级地震后,2013 年 5 月 20 日,该断裂带南段又发生了芦山 7.0 级地震。尽管地震区划图结果的客观检验问题尚在讨论之中 (Seth 等, 2011; 2012; Mark, 2012),但作为编制地震区划图中间环节的潜在震源区划分图中有潜在震源区的具体位置,且标注的震级上限代表潜在震源区内可能发生地震的上限值,因此每次大地震的发生既是对划分工作的一次实际检验,也是反思与改进的最好机遇。幸运的是,根据此次芦山 7.0 级地震的主震和余震重新定位的结果 (房立华等, 2013),主震位于新一代地震区划图划分的相应潜在震源区内,震级低于相应的震级上限 7.5 级,余震分布方向也与潜在震源区方向相协调,主体位于潜在震源区内,而该潜在震源区明确的历史地震记载尚不超过 6.5 级 (中国地震局震害防御司, 1995),说明了采用构造类比方法识别潜在震源区的重要性。不过无论检验结果如何都要清醒地认识到,划分潜在震源区的合理性既依赖于基础资料的完备程度,更与发震构造识别和潜在发震能力的认识水平密切相关,具有一定的不确定性,而深化发震构造研究,尽可能提高认识的准确性,并客观地反映地震的随机不确定性,是有助于提高潜在震源区划分水平的有效途径。

**致谢:** 感谢新地震区划图编委会专家对潜在震源区划分工作的指导与贡献。潜在震源区划分方案在形成过程中得到了许多咨询专家、征求意见单位的领导与专家的大力支持,他们为完

善潜在震源区划分方案提出了诸多指导性意见和有益的建议。潜在震源区划分方案的形成得益于潜在震源区划分工作组所有专家的努力。审稿人在百忙之中为完善本文提出了宝贵的建议, 在此致以衷心的感谢。

## 参考文献

- 陈国星, 田勤俭, 周本刚, 2006. 黄河黑山峡大柳树坝址若干地震地质问题研究. 震灾防御技术, **1** (3): 186—197.
- 陈家庚, 鄢家全, 胥广银, 郝玉芹, 1999. 论弱地震活动区评定最大潜在地震的原则和方法. 中国地震, **15** (3): 220—228.
- 房立华, 吴建平, 龙晓凯等, 2013. 四川芦山 7.0 级地震及其余震序列重定位研究. 科学通报, (出版中).
- 高孟潭, 2002. 中国地震动参数区划图 (GB 18306-2001) 主要特色与地震区划新动向. 见: 中国地震局地球物理所等, 新世纪地震工程与防震减灾. 北京: 地震出版社, 173—178.
- 高孟潭, 2003. 新的中国地震区划图. 地震学报, **25** (6): 630—636.
- 高孟潭, 卢寿德, 2006. 关于下一代地震区划图编制原则与关键技术的初步探讨. 震灾防御技术, **1** (1): 1—6.
- 国家地震局, 1996. 中国地震烈度区划图 (1990) 概论. 北京: 地震出版社.
- 潘华, 高孟潭, 李金臣, 2009. 新版美国地震区划图源及其参数模型的分析与评述. 震灾防御技术, **4** (2): 131—140.
- 袁道阳, 张培震, 刘百箴等, 2004. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换. 地质学报, **78** (2): 270—278.
- 杨晓平, 邓起东, 张培震等, 1998. 北天山地区逆断裂—褶皱带构造与潜在震源区估计. 地震地质, **20** (3): 193—200.
- 杨晓平, 冉洪流, 2010. 活动推覆构造区潜在震源的边界和震级上限——以 1902 年阿图什 8.1/4 级地震构造区为例. 震灾防御技术, **5** (2): 145—156.
- 周本刚, 张裕明, 董瑞树等, 1997. 划分潜在震源区的地震地质规则研究. 中国地震, **13** (3): 241—252.
- 周本刚, 2002. 发震构造特性在潜在震源区中的应用研究 (博士学位论文). 北京: 中国地震局地质研究所.
- 周本刚, 2004. 论发震构造特性在潜在震源区参数确定中的应用. 地震地质, **26** (4): 750—760.
- 周本刚, 杨晓平, 杜龙, 2008. 广西防城-灵山断裂带活动性分段与潜在震源区划分研究. 震灾防御技术, **3** (1): 8—19.
- 中国地震局震害防御司, 1995. 中国历史地震目录 (公元前 23 世纪—公元 1911 年). 北京: 地震出版社.
- Cornell C.A., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis. Bulletin of Seismological Society of America, **58** (5): 1583—1606.
- Gao Mengtan, 2000. Seismic Zonation in China: Methodology and Application. Journal of Earthquake Prediction Research, **8** (1): 1—7.
- McGuire R.K., 1987. Effects of uncertainty in seismicity on estimations of seismic hazard for the east of the United States. Bulletin of Seismological Society of America, **67** (3): 1123—1136.
- Mark W Stirling, 2012. Earthquake hazard maps and objective testing: The hazard mapper's point of view. Seismological Research Letters, **83** (2): 2231—2232.
- Mark D. Petersen, Arthur D. Frankel, Stephen C. Harmsen et al., 2008. Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps. U.S. Geological Survey open-file report 2008-1128,

<http://www.usgs.gov>.

Reiter L., 1991. *Earthquake Hazard Analysis-Issues and Insights*. Columbia University Press, New York.

Seth Stein, Robert J. Geller and Main Liu, 2011. Bad assumptions or bad luck: Why earthquake hazard maps need objective testing. *Seismological Research Letter*, **82** (5): 623—626.

Seth Stein, Robert J. Geller and Main Liu, 2012. Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it. *Tectonophysics*, **562-563**: 1—25.

Valentin I. Ulomov, 2000. Regional Seismicity and Identification of Earthquake Source Zones for Seismic Zoning of Northern Eurasia. *Journal of Earthquake Prediction Research*, **8** (1): 79—91.

Zhou Bengang and Sun Jianbao, 2000. Advances in Delineation of Potential Seismic Sources in China. *Journal of Earthquake Prediction Research*, **8** (1): 92—103.

## The Technical Highlights in Identifying the Potential Seismic Sources for the Update of National Seismic Zoning Map of China

Zhou Bengang<sup>1)</sup>, Chen Guoxing<sup>2)</sup>, Gao Zhanwu<sup>2)</sup>, Zhou Qin<sup>1)</sup> and Li Jiangyi<sup>1)</sup>

1) Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

2) China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China

**Abstract** After a brief introduction to the working process in identifying the potential seismic sources for the update of National Seismic Zoning Map of China, this paper summarizes four technical highlights, i.e. adopting the principle of three-level delineation, developing different technical approaches for higher seismic activity areas (e.g. the western China) and lower seismic activity areas (e.g. eastern China) separately, enhancing the upper limit magnitude of the potential seismic sources along the boarding zone of larger active blocks, and emphasizing establishment of the seismogenic models in each seismotectonic province and its application on delineating potential seismic source. The principle of three-level delineation was adopted in order to illustrate special irregularity of earthquake distribution. The first level of delineation is seismic belt which size is large enough to containing adequate earthquake data for statistical analysis. The second level is seismotectonic province that is delineated in each seismic belt for distinguishing different seismic activity background. The third level is potential seismic source that is identified according to clearer structural and seismic features in corresponding seismotectonic province. There are 29 seismic belts, 77 seismotectonic provinces, and 1199 potential seismic sources identified in China and adjacent region. Compared to the previous national seismic zoning map, the number of the potential seismic sources with higher-rank upper limit magnitude in western region is increased greatly. The number of the potential seismic sources of middle-rank magnitude in eastern region is increased too.

**Key words:** The update of National Seismic Zoning Map of China; Potential seismic source; Technical highlights; Three-level delineation