

高孟潭, 肖和平, 燕为民, 俞言祥, 陈鲲, 陈学良, 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.

# 中强地震活动地区地震区划重要性及 关键技术进展<sup>1</sup>

高孟潭<sup>1)</sup> 肖和平<sup>2)</sup> 燕为民<sup>2)</sup> 俞言祥<sup>1)</sup> 陈 鲲<sup>1)</sup> 陈学良<sup>1)</sup>

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 湖南省地震局, 长沙 410004

**摘要** 本文分析了中强地震活动地区的地震灾害特点, 指出了加强中强地震活动地区地震区划的重要性, 回顾了中强地震活动地区的地震活动性参数确定、潜在震源区确定、地震动衰减关系等方面的研究进展, 并对主要技术环节的方法改进提出了建议。

**关键词:** 中强地震 地震区划 地震构造 地震活动性

## 引言

第三代区划图和第四代区划图的编制工作均采用了考虑时空非均匀性的地震危险性分析方法 CPSHA (高孟潭, 2006; 时振梁等, 2001; 高孟潭, 2003)。该方法是在 Cornell (1968) 提出的方法基础上发展起来的, 其基本技术思路是考虑潜在震源区的二级划分, 即在地震带划分的基础上划分潜在震源区, 并在地震带内统计地震年平均发生率和  $b$  值, 通过地震空间分布函数, 将各震级档的年平均发生率分配到各个潜在震源区 (高孟潭, 1988; 时振梁等, 1991)。根据随机场方法统计检验, 采用 CPSHA 得到的全国范围地震区划结果, 在统计上是可靠的 (高孟潭等, 1993), 但是不排除在具体地区由于资料 and 具体处理方法的局限, 区划结果需要不断改进和更新。

CPSHA 方法的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。近年来一些中强地震活动地区发生的地震表明, 潜在震源区划分及地震活动性确定方法确实需要不断改进, 如 1994 年张北 6.2 级地震, 2004 年九江—瑞昌 5.7 级地震, 2002 年内蒙巴林左旗 5.9 级地震, 均发生在区划编图所划分的潜在震源区外。现行地震区划图在一些中强地震活动地区的结果也存在明显不合理的地方, 例如在鄂尔多斯块体内部画出了一个  $V$  度区 ( $<0.05g$ ), 而恰好在这个  $V$  度区曾发生 2 次 5.5 级地震, 所在背景潜源的震级上限只有 5 级。

1 基金项目 科技部科技支撑项目 (2006BAC13B01) “强震危险区划关键技术研究” 资助

【收稿日期】 2008-02-13

【作者简介】 高孟潭, 男, 生于 1957 年。研究员, 博士生导师。主要研究领域: 工程地质和地震区划。E-mail: gaomt@vip.sina.com

## 1 中强地震活动地区地震区划的重要性

中等地震活动地区普遍具有地震危险性相对低而地震损失风险大的特点。一般情况下,小震就可能成灾,中等地震就可能造成人员伤亡和较大的经济损失。这种情况在全世界都比较普遍,但我国的情况尤甚。

1998年1月在河北省张家口市的张北县境内发生6.2级地震,重灾区有37个乡镇,585个行政村,1824个自然村。农房倒塌1316万间,严重破坏2514万间。地震共造成49人死亡,656人重伤,10783人轻伤,414万人无家可归(蔡华昌等,1999;王彤等,1998)。

2003年8月16日,在内蒙古赤峰市巴林左旗与阿鲁科尔沁旗间发生了 $M_s5.9$ 级地震,宏观震中位于巴林左旗白音沟乡与阿鲁科尔沁旗乌兰哈达乡,震中烈度为Ⅷ度,该地震造成4人死亡,60人重伤,104人轻伤,财产损失严重,直接经济损失高达80649.25万元(刘芳等,2004)。

2005年11月26日江西九江、瑞昌间发生5.7级地震,共造成江西、湖北、安徽等省数百万人受灾,13人死亡,重伤67人,轻伤546人。此次地震造成的房屋破坏情况严重,仅江西省就倒塌房屋1.8万多间,损坏房屋15万间,紧急转移安置60万人,紧急避险群众近300万人,部分县市电力、通信和城市供水一度中断(姚大全等,2006)。

2006年10月27—28日湖北随州连续发生的 $M_L4.7$ 、4.2级地震,导致三里岗镇及周边震感较强烈,居民普遍感到惊慌、露宿室外;房屋普遍产生裂缝、掉瓦掉灰,少数土坯房墙体垮塌,还有的房屋水泥预制板与承重墙错动拉开,地震烈度达到Ⅵ度(李锋等,2007)。现场调查表明,地震造成倒塌房屋3间,损坏居民住房13981间,公众生活受到严重影响(据湖北省地震局地震现场调查资料)。

1997年9月23日在广东省三水市东北约14km的隔坑附近发生的3.7级地震,使震中区的隔坑、奉恩、麦村等地房屋大多损坏,震中烈度达Ⅵ度。当地民房多数为砖石结构或砖混结构,上世纪80年代以后建的房屋大都属砖混结构的二、三层楼房。如隔坑小学二层砖混结构教学楼,地震时一楼墙壁成“X”型开裂;奉恩村三层砖混结构民房,地震时三楼墙壁开裂最大达3cm,墙壁水平裂开并外移约3cm,门框震倒;Ⅵ度区长轴2.11km,短轴1.12km,有感范围长轴43km,短轴19km(魏柏林等,1999)。虽然地震震级较小,但却造成直接经济损失7000多万元,在珠江三角洲产生了较大的影响(徐起浩等,1998)。

2008年1月11日湖南吉首发生一次2.5级地震,震中附近5个村庄有感,两栋两层楼房严重破坏,直接经济损失达到数10万元。此次地震是小震成灾的典型实例。

中等地震活动地区地震造成人员伤亡的主要原因为:①震源一般较浅,地面运动加速度峰值较大。②房屋建筑抗震性能较差。一般房屋建筑没有采取抗震措施,房屋构造、材料、砌筑方法等一般都非常不利于抗震。例如,华南地区许多建筑普遍采用空斗墙,灰浆多采用三合浆(白灰、黄土、水泥),屋顶采用预制板,没有构造柱等等。地震破坏往往与上述因素有较大关系。

根据我国现行规定,地震区划图Ⅵ度以下( $<0.05g$ )地区,房屋建筑不要求采取抗震措施。因为区划图烈度较低,政府部门不重视防震减灾工作,疏于管理和指导,房屋普遍不具备抗震性能。因此,在地震区划中合理地确定0.05g分区界限是非常重要的。为此,应加强中强地震活动地区的地震区划研究,提高区划结果的科学性和合理性。

## 2 中强地震活动地区地震区划的关键技术研究进展

### 2.1 地震活动性及其参数确定

中强地震活动具有弥漫性与成丛性特点。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。湖南省是典型的中强地震活动地区，图 1 所给出的湖南省及其邻区震中分布图，便具有典型的弥漫性和成丛性特点。

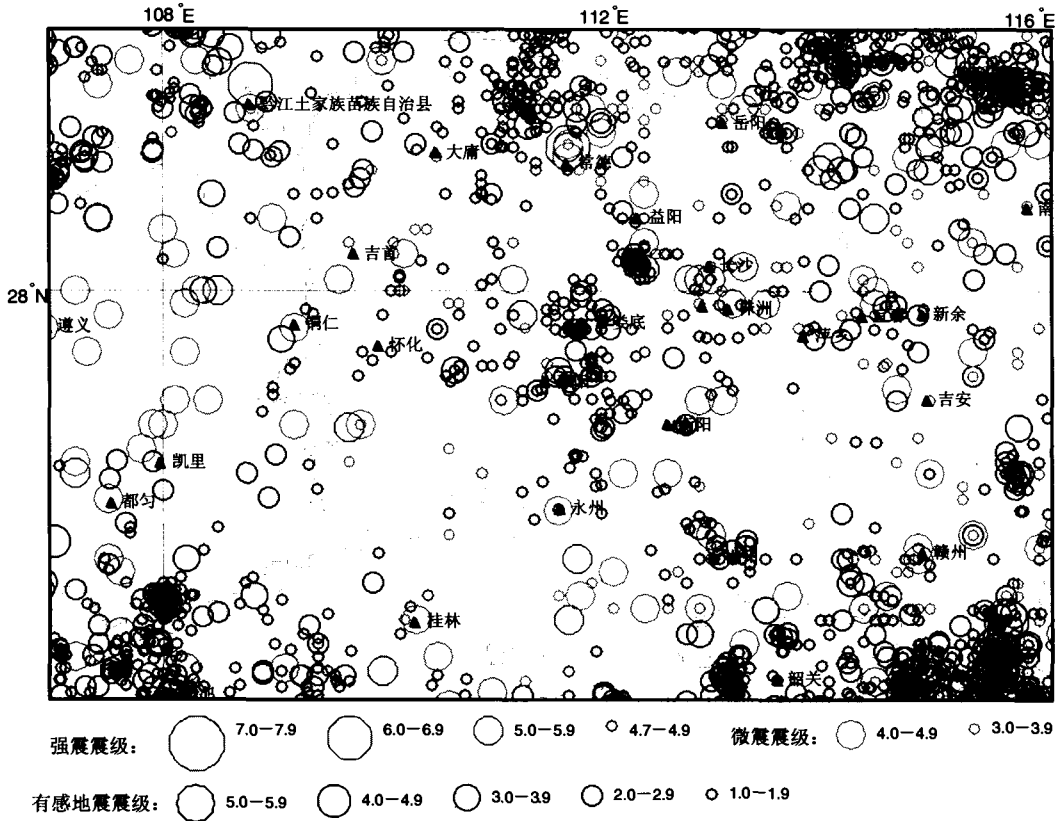


图 1 湖南省及其邻区地震震中分布图

Fig.1 Epicenter distribution map of Hunan Province and its adjacent area

根据有感历史地震和破坏性历史地震资料的研究，中强地震的发生在时间上具有非均匀性。如图 2 给出的长江中下游地震带的有感历史地震、破坏性历史地震和微震的  $M-T$  图，具有显著的上述特性。

考虑到地震活动性的上述特点，确定中强地震活动地区的地震活动性参数时，要特别注意破坏性历史地震资料、有感历史地震资料（金学申等，2004）和现代仪器记录小震资料的联合使用。建议采用黄玮琼等（1988）提出的方法，确定  $b$  值等地震活动性参数。现在普遍采用的 6 级以下地震空间分布函数按面积分配的方法，不符合中强地震活动地区的地震活动性特点。潜在震源区空间分布函数的确定应充分考虑地震活动性空间分布资料，如频度的空间分布情况。

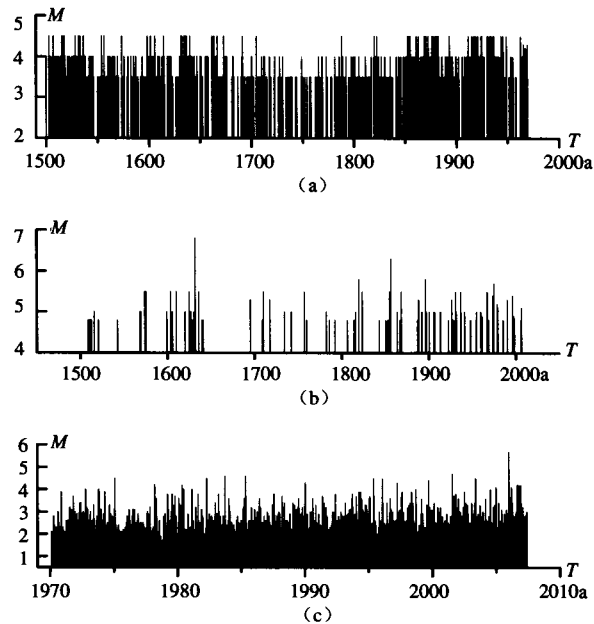


图2 长江中下游地震带有感历史地震 (a)、破坏性历史地震 (b) 和微震 (c)  $M$ - $T$  图

Fig.2  $M$ - $T$  plots of sensible earthquakes (a), destructive earthquakes (b), and weak earthquakes (c) in the mid-lower Changjiang River seismic belt

在 1996 年版美国地震区划图编制工作中, 对美国中东部中强地震活动地区的地震活动性参数确定采用了格点高斯光滑法 (Frankel, 1995)。其基本假定为, 首先将中东部地区划分成若干个具有震级上限和  $b$  值的背景潜在震源区 (一般面积较大)。将每个背景潜在震源区划分为若干个格点 (5—10km 间距), 采用格点高斯函数光滑法确定每个格点的年平均发生率。分别采用不同时期的地震目录进行计算, 并进行了加权处理。加权系数的确定考虑了地震目录的完整性。近年来地震活动参数的格点光滑研究, 已经成为国际上的研究热点 (Beauval 等, 2006; Hagos 等, 2006; Montilla 等, 2003; Lapajne 等, 2003; Rong 等, 2002)。上述方法的优点是, 可以充分利用丰富的地震资料反映地震空间分布非均匀性。我国地震资料比较丰富, 共有破坏性历史地震资料 6000 多条、有感历史地震资料 8000 多条和可供使用的仪器记录资料 13 万条。中强地震活动地区地震活动性参数的确定, 应借鉴国际上相关的研究进展。

## 2.2 地震构造背景与潜在震源区划分

根据全国资料统计, 只有 6.5 级以上的地震才能造成地表断裂。中国东部广泛分布的  $Q_1$  和  $Q_2$  地表断裂表明, 这些地区在新构造运动的早期构造活动非常强烈, 6.5 级以上地震活动比较频繁。随着新构造运动在这些地区逐渐减弱, 发生地震的强度也越来越低, 发生的地震不足以造成地表断裂。因此, 以地表断裂标志判断地震潜在震源区非常困难。尽管如此, 现今地震仍然是新构造运动的延续, 采取新构造运动的地表形迹和深部地球物理场特征综合判断潜在震源区就显得非常重要。张裕明 (1992) 认为, 新构造运动造成的盆地和控制盆地的构造、与新构造活动相关的区域性断裂是判定潜在震源区的重要标志。鄢家全等 (1996) 系

统研究了中国东部和华北地区中强地震活动的构造标志,指出地震活动与新构造运动具有共生性,第四纪区域性断裂、盆地以及新生代玄武岩的分布等,与中强地震的发生具有密切的关系。周荣军等(2005)研究了四川盆地的中强地震构造背景,认为褶皱构造与基底断裂与中强地震的发生密切相关。韩竹君等(2002)研究了江淮地区的中强地震构造背景,发现布格重力异常高梯度区与中强地震的空间分布有很好的一致性,与低梯度分布区的弱地震活动性形成鲜明的对比。李一兵等(1999)研究了中强地震震源区的水文地球化学环境,探讨了中强地震发生的水文地球化学标志。沈得秀(2007)系统研究了华南地区的中强地震发震构造判别标志,并探讨了这些标志在工程地震中的应用。上述研究表明,应综合利用新构造运动以来所有的构造形迹、深部地球物理场特征,包括区域性  $Q_1$  和  $Q_2$  断裂、新构造盆地、新构造运动相关的褶皱构造、玄武岩分布、新构造运动地貌特征等来划分潜在震源区。笔者认为应该进一步研究相应的定性定量相结合的评判方法,并降低中强地震活动地区潜在震源区划分的不确定性。同时,针对中强地震空间弥漫性分布特点,应要求潜在震源区范围不应划分的较小。

### 2.3 中强地震地震动衰减关系

地震动衰减关系是影响地震区划结果的重要因素。我国现行区划图采用的衰减关系主要是根据 6 级以上地震的地面运动资料统计得到的,并没有考虑中强地震的衰减特性。

近年来许多作者对中强地震衰减关系进行了研究。

王海江(2002)研究了现行的地震动参数衰减关系,认为由于这些衰减关系所使用资料的震级与距离的范围均较大,且一般以大震为主要研究对象,其结果对近源中小地震动参数( $M5$ 左右)估计的可靠性相对较差,为此选取了一些震级介于 4.0—6.5 之间,距离小于 70km 的中小地震的近场记录,对这些地震的衰减规律进行了研究。研究所选用的资料来源于 3 个部分,分别是:1992 年以前美国加州地区的强震记录、SCEC(南加州强震观测网)和 NSMP(美国国家强震观测网)。

李小军等(2005)利用一些中小地震的近场实际记录资料,对 10 种地震动衰减关系进行了对比分析,讨论了它们对中小地震近场地震动参数估计的适用性。研究表明,不同衰减关系在近场(震中距小于 10km)的差异性较大,并认为中小地震的衰减关系区域性不大,建议不采用烈度转换方法。

华中、华南地区的中小地震烈度资料表明,这些地区近场地震烈度明显高于其它地区,这可能与该地区地壳介质特点密切相关。高孟潭、姜慧(2005)的研究表明,震源区介质的特性,特别是介质刚度系数  $\mu$  对强地面运动的影响显著,而且,一般情况下不同地区的  $\mu$  值不同。陈培善等(1993)研究了地震动衰减与环境应力的关系,认为两者之间具有明显的关系。因此,笔者认为,针对地震地面运动记录仍然比较缺乏的实际情况,还应该通过烈度转换方法确定中强地震的衰减关系。

事实上,地震的震源深度对地面运动的影响也是非常大的。一般而言,中强地震的震源深度相对较浅,容易在地表产生较强的地震地面运动。因此,笔者建议采用震源距形式的衰减关系。

李颖等(2007)的研究表明,不同的地震动衰减关系对湖南地区的地震区划结果具有显著的影响,直接关系到一些大中城市的抗震设防要求的制定。研究适合于中强地震并考虑区域特点的地震动衰减关系,已经成为中强地震活动地区地震区划工作的关键因素之一。

### 3 讨论

中强地震活动地区具有危险性低而风险性高的特点。我国约三分之一地区位于中强地震活动地区,科学合理地确定这些地区的抗震设防要求,对这些地区的地震安全,特别是农村地区的地震安全起到关键作用。地震区划是制定抗震设防要求的基础,中强地震活动地区的地震活动性分析方法、潜在震源区划分及其震级上限的确定和地震动衰减关系的研究,仍然是制约地震区划科学性和合理性的关键因素,应该进一步加强研究。笔者认为,应该结合国内外中强地震地区潜在震源区划分及地震活动性参数确定的最新进展,发展一种以新构造运动特征为加权因素的活性空间光滑方法,加强地震资料、地质资料和地球物理场资料的融合使用,加强经验判断与数理统计方法的结合,提高潜在震源区划分的科学性。

### 参考文献

- 蔡华昌,杨家亮,彭远黔等,1999.张北6.2级地震生命损失.华北地震科学,17(1):47—53.
- 陈培善,Duda S.J.,1993.峰值速度和峰值加速度对环境剪应力的依赖性.地球物理学报,36(2):185—194.
- 高孟潭,2003.新的中国地震区划图.地震学报,25(6):630—636.
- 高孟潭,姜慧,俞言祥等,2005.震源机制和断层面的介质刚度对强地面运动的影响.岩石力学与工程学报,24(17):3101—3107.
- 高孟潭,2006.关于下一代地震区划图的编制原则与关键技术的探讨.震害防御技术,1(1):1—6.
- 高孟潭,1988.关于地震年平均发生率的探讨.国际地震动态,1期:1—5.
- 高孟潭,潘华,1993.地震区划结果随机场特征.地震学报,15(1):53—60.
- 黄玮琼,时振梁,曹学锋,1989. $b$ 值统计中的影响因素经危险性分析中 $b$ 值的选取.地震学报,11(4):351—361.
- 韩竹君,郭伦,于贵华等,2002.江淮地区重力布格异常与中强地震发生的构造环境分析.中国地震,18(3):230—238.
- 金学申,刁建新,高淑云,2004.历史有感地震目录及其在地震预报和安全性评价中的应用.中国地震,20(3):306—313.
- 刘芳,薛丁,曹井泉等,2004.2003年8月16日巴林左旗与阿鲁科尔沁旗间 $M_s 5.9$ 级地震参数及序列特征.华北地震科学,22(3):44—46.
- 李峰,李垠,薛军蓉等,2007.湖北随州 $M_L 4.7$ 地震序列基础资料分析.大地测量与地球动力学,27(专刊):60—61.
- 李小军,阎秀杰,潘华,2005.中小震近场地震动估计中地震动衰减关系的适用性分析.地震工程与工程振动,25(1):1—7.
- 李一兵,庞群英,1999.天津及邻近地区中强地震震源区水文地球化学环境与特征的研究.华北地震科学,17(2):72—78.
- 李颖,晋广银,陈鲲等,2007.湖南省中南部地区地震区划研究.中国地震,23(1):17—24.
- 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.中国地震局地质研究所硕士论文.
- 时振梁,李裕澈,2001.中国地震区划.中国工程科学,3(6):65—68.
- 时振梁,鄢家全,高孟潭,1991.地震区划原则和方法的研究——以华北地区为例.地震学报,13(4):179—189.
- 王海江,2002.中小地震地震动衰减关系的研究.中国地震局地球物理研究所硕士论文.

- 王彤, 陈晓东, 艾树生等, 1998. 张北—尚义 6.2 级地震建筑工程震害调查. 工程抗震, 3 期: 44—47.
- 魏柏林, 郭钦华, 李纯清等, 1999. 论三水地震成因. 中国地震, 15 (3): 247—255.
- 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.
- 姚大全, 凌学书, 蒋春曦等, 2006. 九江—瑞昌 5.7 级地震调查及其思索和启示. 国际地震动态, 3 期: 5—11.
- 徐起浩, 左开挺, 吴名彬等, 1998. 1997 年 9 月三水 4.4 级地震影响场与构造背景. 华南地震, 18 (1): 44—46.
- 周荣军, 唐荣昌, 雷建成, 2005. 四川盆地潜在震源区的细致划分. 四川地震, 3 期: 1—6.
- 张裕明, 1992. 在确定潜在震源区中地震与地震资料的应用. 地震地质, 14 (3): 275—278.
- Beauval C., Scotti O. and Bonilla F., 2006. The role of seismicity models in probabilistic seismic hazard estimation: comparison of a zoning and a smoothing approach. *Geophysical Journal International*, 65 (2): 584—595.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58:1583—1606.
- Frankel A., 1995. Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. *Seismol. Res. Lett.*, 66 (4): 8—21.
- Hagos L., R. Arvidsson and R. Roberts, 2006. Application of the spatially smoothed seismicity and Monte Carlo methods to estimate the seismic hazard of Eritrea and the surrounding region. *Natural Hazards*, 39 (3): 395—418.
- Lapajne J., Motnikar B.S. and Zupancic P., 2003. Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93 (6): 2502—2515.
- Montilla J.A.P., Hamdache M. and Casado C.L., 2003. Seismic hazard in Northern Algeria using spatially smoothed seismicity. Results for peak ground acceleration. *Tectonophysics*, 372 (1-2): 105—119.
- Rong Y.F. and Jackson D.D., 2002. Earthquake potential in and around China: Estimated from past earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 29 (16): 1780.

## The Importance of Seismic Zonation in Moderate Earthquake Area and the Recent Technical Progress

Gao Mengtan<sup>1)</sup>, Xiao Heping<sup>2)</sup>, Yan Weimin<sup>2)</sup>, Yu Yanxiang<sup>1)</sup>,  
Chen Kun<sup>1)</sup> and Chen Xueliang<sup>1)</sup>

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

2) Earthquake Administration of Hunan Province, Changsha 410004, China

**Abstract** In this paper, the seismic disaster characteristics of moderate seismic activity area are analyzed, and the importance of strengthening seismic zonation in moderate seismic activity area are pointed out. After summation of the recent development in determining seismic activity parameters, seismic potential area and attenuation relationship of ground motion, we propose some suggestions on method improvements for the key techniques.

**Key words:** Moderate earthquake; Seismic hazard mapping; Seismic structure; Seismicity