

文章编号: 0253-3782(2003)03-0308-06

地震带与地震统计区关系探究^{*}

潘 华 金 严 胡聿贤

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

摘要 总结和分析了中国地震带划分的研究历史、目的和用途、划分原则、表现形式以及基本特点,指出地震带是以地震活动性区域划分研究为目的,它不同于概率地震危险性方法中的地震统计区的概念.文中对地震统计区概念及其演化历史进行了分析和论述,认为地震统计区与地震带在统计意义、物理内涵、层次性、划分规模的要求、对空间重叠的排斥性以及划分目的和用途等方面,均存在较大差异.现行工作中将两者不加区分地使用是不合适的,一方面造成地震统计区未形成自身的适应概率地震危险性分析方法的划分理论,另一方面也造成以地震活动特征和地震孕育发生环境、机制研究为目的的地震带划分研究的停滞不前.文中最后指出,地震统计区划分是以地震带划分研究为基础,它产生并服务于考虑地震活动时空不均匀性的概率地震危险性分析方法,应将其与地震带概念加以明确区分,并加强其划分原则、理论和方法的研究.

关键词 地震统计区 地震带 概率地震危险性分析 CPSHA 方法 划分

中图分类号: P315.08 **文献标识码**: A

引言

中国地震安全性评价工作使用的“考虑地震活动时空非均匀性的概率地震危险性分析方法”(本文简称为 CPSHA 方法)中(中国地震烈度区划图编委会,1992;国家地震局,1996),在潜在震源区层次之上,还有一个地震活动性参数统计单元,最早称为地震统计区.它的由来可以追溯到 Cornell 提出的概率地震危险性分析方法(PSHA)(Cornell, 1968; Kiureghuan, Ang, 1977)中的潜在震源区概念. PSHA 方法中隐含了假定潜在震源区范围内地震活动须遵从:空间上的均匀分布、发生次数的泊松分布及修正的 G-R 关系.这不能很好地反映中国板内地震活动存在的时空非均匀性特点.根据中国的地震活动特点,在应用该方法时如果潜在震源区范围太小,则难以满足地震活动的独立性要求(泊松过程)和 G-R 关系;如果范围太大,则难以满足地震活动的空间均匀性假定(潘华,鄢家全,1995).1987 年的“鲁南地区地震区划”工作中,考虑到以潜在震源区兼具地震活动性统计单元和空间不均匀性分布单元难以很好地解决上述矛盾,故在潜在震源区的层次上增加一个地震活动性的统计单元,称为地震统计区.这是首次正式提出“地震统计区”的概念.此概念具有以下特征:首先,在其范围内,地震活动在空间上是不均匀分布的,用潜在震源区可以划分出具有不同活动性的区域,以其震级上限和空间分布函数,刻画这种不均

^{*} 中国地震局地球物理研究所论著 03AC1005.
2002-06-07 收到初稿,2002-12-26 收到最后修改稿并决定采用.

匀性；其次，地震发生次数满足泊松分布；最后，其地震大小比例关系满足修正的 G-R 关系^①。考虑到地震统计区规模大小的要求以及地震活动性特征的统计要求，在鲁南地震区划工作中，采用了地震带作为地震统计区划分的基础。这是相当合理的选择，主要是考虑到地震带的特点与地震统计区具有一定的相似性。一方面地震带也是地震活动性与地质构造背景相对一致的区域；另一方面，地震带通常具有一定的规模和独具特色的地震活动性统计特征，而且地震活动性是不均匀分布的。这一作法在以后的工作中一直延续，并在编制《中国地震烈度区划图(1990)》过程中，最终形成了适合我国地震活动特点的 CPSHA 方法(国家地震局，1996)。地震统计区概念也是该方法特色之一。

然而值得注意的是，由于历史的原因，自《中国地震烈度区划图(1990)》编制工作开始，“地震统计区”说法不再出现，而直接以“地震带”替代并取同样的含义，在颁布的规范中亦是如此(国家质量技术监督局，1999)。地震带的划分研究也被等同于地震统计区概念的“地震带”划分研究所替代(国家地震局，1996；胡聿贤，1999)。

笔者认为，地震统计区是一个内涵和外延均非常清晰的、CPSHA 方法所特有的概念，地震带作为划分地震统计区的基础，是非常适宜的，而以地震带概念替代地震统计区，则存在不尽合理之处，下面将重点对此加以论述。

1 地震带的特征

地震研究中的地震带，通常是对地震的空间成带分布的一种表述。地震带划分也可以称为地震活动地理划分或地震活动性区域划分(李善邦，1981)。我国从 20 世纪初开始就有地震带的划分研究，大致可分为两类：一类比较注重考虑地质构造对地震活动的控制作用，划分依据也比较侧重于地质构造背景的一致性，兼具考虑地震活动特点(李善邦，1957，1981；时振梁等，1973；李志义，1974；黄汲清，1979；马宗晋等，1989；汪良谋等，1993)；另一类则侧重于研究地震活动规律，在划分地震带时，强调了地震活动性统计特点的一致性和地质构造背景的相似性(梅世蓉，1960；时振梁等，1974)。我国地震带划分研究具有以下一些基本的特点：

1) 划分的目的具有多样性：① 用于描述具有强烈地震活动的地理区域；② 用于区分具有不同地震活动性的区域。

2) 划分原则存在差异：① 强调地质构造对地震的控制，以构造背景一致性及其对地震密集分布的控制为原则划分地震带；② 强调地震活动性的分区分带特性，以地震活动性的一致性及其背景地质构造大体一致性为原则划分地震带。

3) 表现形式有差异：① 地震区带具模糊的边界。这类地震活动区域划分着重地理位置的宏观描述，在地图上以不封闭的区域示意；② 地震区带具清晰的边界。这类地震活动区域划分结果通常以具有清晰边界线的几何图形表示。

4) 划分的用途存在差异：① 用于表示地震密集带的地理位置；② 用于地震活动性的统计研究。

5) 划分具有层次性。我国的地震活动区域划分多采用多层次划分，地震区和地震带是常见的两级。也有更高的层次，例如，地震系、地震域；或一些中间的层次，例如，地震亚

① 国家地震局地球物理研究所，1987。鲁南项目二级课题工作研究报告之四——鲁南地区地震区划报告。

区等。值得注意的是,不同研究者即使使用同样等级名称,但指称的规模尺度有时也是不同的。例如,地震带对不同研究者而言,其规模大小可能是不同的,有些是区域性的地震带,规模甚至相当于地震区,而有些仅指与局部构造相关的地震带。

2 地震带和地震统计区使用中存在的问题

2.1 地震带概念的异化

由于地震统计区划分的基础是地震带划分,因此在实际工作中,两者往往没能得到很好地区分。地震统计区被称为地震带,但这时的地震带与以往的地震带概念相比已经产生了异化。

在编制中国地震烈度区划图 1990 年版的工作中,根据 CPSHA 方法对地震统计区的要求,在全国范围内重新划分了地震带。在划分中,地震区带的含义被概括为:“地震区是指区域地震活动性和地震孕育的地质环境和发生地震的构造条件相类似的地区。区域地震活动性包括地震活动强度、频度、周期、重复、迁移等特点。地震孕育和发生的地质环境和构造条件包括区域活动构造、区域地壳结构和区域应力场等特征。地震带一般是指地震集中成带分布,并受活动构造带或地壳变异结构控制的地带。地震带要求在地震活动性方面体现出它的基本特点,以区别于相邻的地震带。当然,在地质构造和地球物理等方面也要体现出相应的特点”(国家地震局,1996)。这里划分的地震带,是作为概率地震危险性分析地震活动性参数的统计单元,其实质就是地震统计区。

在 1998 年编制中国地震动参数区划图过程中,环文林在总结了前人地震区带划分工作的基础上,充分吸收我国及邻区地震活动性、地质构造、地球物理以及地球动力学等方面的最新研究成果,在中国及其邻区范围内划分了新的地震区带。这次划分中,“地震区、带是指地质构造和地震活动性具有类似特点的地区和条带。在地震区划中它的主要意义是地震危险性分析中地震活动性参数的统计单元和某一时段地震趋势的分析单元。地震区是指区域地震活动性、区域现代构造应力场、区域地质构造活动性及区域现代地球动力学环境相类似的区域。地震带是地震区的次级地震统计区域。一个地震带内的地震,具有相同的地震活动周期,大致相同的孕育发展过程,空间上连接成带或相对集中,受一条大的活动构造带或一组现代构造应力条件和变形条件相似的构造带所控制”^①。该划分与 1990 年版《中国地震烈度区划图》地震区带划分的特点,划分的原则、依据大致相同,有所区别的是在划分原则中,首次强调了地震区带应具有较好的大小地震比例及其它统计要求,明确了这里的地震带是与 CPSHA 方法使用相关的。从这点也可以认识到,地震区带的划分已经与地震活动性区域划分的原始意义出现了一定的偏离。

2.2 地震统计区划分原则上的不协调性

由于地震统计区的概念被等同于地震带概念,其理论上的划分原则也依然沿用了地震活动区域划分意义上的地震带确定的原则和依据(国家地震局,1996;胡聿贤,1999,2001)。但在实际划分时,虽对统计上的要求也给予了足够的重视,然而划分原则和依据在操作上仍存在一些不协调的地方。

首先,地震相对密集是地震带重要的划分原则,但满足统计要求的地震统计区往往需

^① 环文林. 1998. 中国地震动参数区划图编制子专题工作报告,中国及邻区地震区、带划分工作报告.

要更广阔的空间区域,不单纯是强震带或弱震带,而是兼而有之。因此,地震统计区划分采用这一原则时(国家地震局,1996;胡聿贤,1999,2001),难以实际操作;其次,在地震统计区划分时,不同震级地震所依赖的构造环境会有较大的区别,因此,大小地震共存的地震统计区,通常难以严格满足根据地震带划分要求确定的构造依据;再者,统计要求较大的区域范围以保证足够的统计样本,因此,多个局部地震带通常被包含在一个地震统计区内,从严格意义上讲,地震活动特征的一致性原则也往往难以满足。

这些认识上的矛盾并没有得到很好地解决,所以,划分中常常出现既要满足地震带的构造条件和地震密集分布要求,又要将就地震统计需要的尴尬,从而导致划分中存在较大的不确定性。

3 地震带与地震统计区的差异

通过上述对地震带和地震统计区概念及各自物理意义的研究和分析,笔者认为两者之间存在着显著的差异,需要在今后的应用中加以合理地区分。

1) 地震统计区是 CPSHA 方法中特有的概念,该方法强调区内大小地震的发生具有统计上的协调性,满足 G-R 关系。因此,地震统计区不单纯是强震带或弱震带,而是兼而有之。而地震带的划分通常需要强调地震活动特征的一致性,地震带往往是单纯的强震带或弱震带。

2) 地震统计区不具有层次性,它所包含的潜在震源区对其有物理上的依赖性,潜在震源区的地震活动性参数,受地震统计区的约束。而地震区带划分可以具有层次性,可以划分出细致的地震带,以表现更加局部的地震活动或构造成因差异。

3) 地震统计区的边界具有重要的意义,它决定地震样本的不同归属。而地震带则强调地理区域宏观描述,不需要对边界进行精确的划定,更加强调构造划分。

4) 地震统计区涉及统计可靠性等问题,受资料样本的限制,对划分区域的大小比较敏感。而地震带划分可大可小,大有大的构造背景,小有小的构造背景,且不受严格的统计要求的约束,例如 G-R 关系。

5) 地震带是可以相互交叉和贯穿的,重叠区域表明地震活动受到多组构造的共同作用,而且,不影响地震空间分布状况的描述。例如,燕山—渤海北西向地震带,是叠加在华北地区一系列北东向地震带上的,其中的大地震均与北东、北西向两组构造的联合作用相关。而地震统计区不仅是地理区域划分,而且是样本归属划分,交叉重叠区域的样本具有归属上的歧义,因此不可以相互交叉和贯穿。

6) 地震带的划分研究,其目的主要在于区分地震活动的孕育环境,探究地震发生的构造背景。地震统计区的主要目的,是在地震活动构造背景划分研究的基础上,确定具有满足统计要求的统计区。这个区内可能包括不同的构造背景,其地震活动性空间上的差异以空间不均匀分布单元(潜在震源区及其空间分布函数)来描述。

7) 地震活动统计特征具有层次性。在不同的层次上可能满足不同的 G-R 关系等统计特征。又由于样本和研究程度的差异,不同地区能够划分出的统计区在构造层次上是极不相同的。比如西部地区,相当于地震区或亚区的较大区域范围内, b 值统计才更加可靠。而在东部,一些地震带内的地震样本就能够得到满足统计要求的 b 值。因此,在都满足统计要求的划分依据下,得到的地震统计区在东部和西部,其相应的地震区带划分的层次可能

是不一样的。

4 结论

在我国长期的地震研究历史中,地震带的划分研究始终是一个非常重要的内容。通过上面的分析可知,在 1986 年前,地震带的划分具有的重要特征,就是用于地震活动区域划分研究,及不同区域地震活动性的特征研究。倚重的划分依据主要是地震地质构造背景和地震活动性的统计特征,这在历次划分研究中都得到体现。1986 年以后由于概率地震危险性分析方法的引入,以及结合我国地震活动特征对该方法进行的改进,地震带的概念被导入 CPSHA 方法,并且其概念也被极大地延伸并异化而等同于地震统计区。

地震统计区划分及其潜在震源区划分,在 CPSHA 中具有很强的应用目的,主要是为了获得空间位置上的地震发生率。如果在潜在震源区范围内能够统计得到这一发生率,理论上是完全没有必要再划分地震统计区的。由地震统计区进行统计,然后分配到区内的潜在震源区上,完全是由地震资料当前的积累状况所决定的。

为了获得统计参数而划分的地震统计区,没有必要局限在地震带规模上(实际划分中也确实没有局限在地震带的规模上),可以是多带联合构成,取决于统计描述的样本需要。而地震带的划分,也没有必要为了适应地震统计区的需要而划分的太大,而失去原有的地震活动性区域划分的功能。不幸的是,目前地震区带的划分研究已经被完全等同于地震统计区的划分,而脱离了原来的地震活动性区域划分的根本目的。

根据上面的种种比较和分析可以知道,概率地震危险性分析中所使用的地震统计区,实际上是在地震带划分基础上对地震带划分的一种简化和调整,目的是得到区域的地震活动性统计参数。而地震区带的划分研究,则需要对地震活动与地球介质、地壳结构、地质构造环境、地球动力学环境、地壳应力环境等关系进行更深层次的探讨,是地震学研究的一个重要方面,也是区域地震活动性研究的重要方面,对地震孕育与发生机制等地震学和地球物理学研究具有重大的意义。

综上所述,地震带的划分与地震统计区的划分应有明确的区分。地震统计区的划分理论是对地震区带划分理论的继承与发展,是服务于 CPSHA 方法的,是随着 CPSHA 方法的出现而产生的,也将随着 CPSHA 方法的发展而变化。但是,地震区带的划分研究应有自身的研究目的和发展方向,应为地震统计区的划分提供理论基础。同时,它也应随着地震现象研究的深入而发展。

鉴于此,本文建议在 CPSHA 方法中,应将地震统计区概念与地震带概念作明确地区分,将现行具有地震统计单元含义的地震带,统一称为地震统计区,并对地震统计区的划分理论进行深入地研讨。

参 考 文 献

- 国家地震局. 1981. 中国地震烈度区划工作报告[M]. 北京:地震出版社, 383
- 国家地震局. 1996. 中国地震烈度区划(1990)概论[M]. 北京:地震出版社, 176
- 国家质量技术监督局. 1999. 中华人民共和国国家标准 GB 17741-1999. 工程场地地震安全性评价技术规范[M]. 北京:中国标准出版社, 18
- 胡聿贤. 1999. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京:地震出版社, 387
- 胡聿贤. 2001. GB18306-2001 中国地震动参数区划图宣贯教材[M]. 北京:中国标准出版社, 114

- 黄汲清. 1979. 按大地构造观点进行中国地震地质区划的尝试[J]. 中国地质科学院院报, 1(1): 219~231
- 李善邦. 1957. 中国地震区域划分图及其说明[M]. 地球物理学报, 6(2): 127~158
- 李善邦. 1981. 中国地震[J]. 北京: 地震出版社, 612
- 李志义. 1974. 中国地震地质概论[M]. 北京: 科学出版社, 210
- 马宗晋, 陈章立, 薛峰. 1989. 中国及邻区浅源强震活动时序(1: 1400 万)[A]. 见: 国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会编. 中国岩石圈动力学地图集[C]. 北京: 中国地图出版社, 29
- 梅世蓉. 1960. 中国的地震活动性[J]. 地球物理学报, 9(1): 1~18
- 潘华, 鄢家全. 1995. 潜在震源区概念的界定[J]. 国际地震动态, (9): 1~5
- 时振梁, 环文林, 武宜英, 等. 1973. 我国强震活动和板块构造[J]. 地质科学, (4): 281~292
- 时振梁, 环文林, 曹新玲, 等. 1974. 中国地震活动的某些特征[J]. 地球物理学报, 17(1): 1~13
- 汪良谋, 刘培洵, 孟勇琦. 1993. 地震单元划分方案和原则讨论[A]. 见: 国家地震局震害防御司编. 中国地震区划文集[C]. 北京: 地震出版社, 1~9
- 中国地震烈度区划图编委会. 1992. 中国地震烈度区划图(1990)及其说明[J]. 中国地震, 8(4): 1~11
- Kiureghian A D, Ang A H-S. 1977. A fault-rupture model for seismic risk analysis[J]. *Bull Seism Soc Amer*, 67(4): 1 173~1 194
- Cornell C A. 1968. Engineering seismic risk analysis[J]. *Bull Seism Soc Amer*, 58(5): 1 583~1 605

DISCUSSION ABOUT THE RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC BELT AND SEISMIC STATISTICAL ZONE

Pan Hua Jin Yan Hu Yuxian

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

Abstract: This paper makes a summary of status of delimitation of seismic zones and belts of China firstly in aspects of studying history, purpose, usage, delimiting principles, various presenting forms and main specialties. Then the viewpoints are emphasized, making geographical divisions by seismicity is just the most important purpose of delimiting seismic belts and the concept of seismic belt is also quite different from that of seismic statistical zone used in CPSHA method. The concept of seismic statistical zone and its history of evolvement are introduced too. Large differences between these two concepts exist separately in their statistical property, actual meaning, gradation, required scale, property of refusing to overlap each other, aim and usage of delimitation. But in current engineering practice, these two concepts are confused. On the one hand, it causes no fit theory for delimiting seismic statistical zone in PSHA to be set up; on the other hand, researches about delimitation of seismic belts with purposes of seismicity zoning and studying on structural environment, mechanism of earthquake generating also pause to go ahead. Major conclusions are given in the end of this paper, that seismic statistical zone bases on the result of seismic belt delimiting, it only arises in and can be used in the especial PSHA method of China with considering spatially and temporally inhomogeneous seismic activities, and its concept should be clearly differentiated from the concept of seismic belt.

Key words: seismic statistical zone; seismic belt; probabilistic seismic hazard analysis; CP-SHA method; delimitation