

文章编号: 0253-3782(2003)06-0630-07

综 述

新的国家地震区划图^{*}

高 孟 潭

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

摘要 新的国家地震区划图即中国地震动参数区划图已于 2001 年 8 月正式出版。该地震区划图包括峰值加速度区划图和反应谱特征周期区划图。该区划图风险水平为 50 年超越概率 0.1, 比例尺为 1:400 万。该区划图已经作为国家标准颁布。本文介绍了该区划图编制的背景、编图的技术思路以及主要科学问题、基本特征和使用。

关键词 地震危险性 地震区划 抗震设计 反应谱 烈度 特征周期

中图分类号: P315.9 文献标识码: A

1 编制新区划图的背景

中国大陆减轻地震灾害的方针是预防为主。根据《中华人民共和国防震减灾法》的要求, 一般工程结构的抗震设计必须满足国家地震区划图的要求(汤泉, 1998; 邬福肇等, 1998)。

随着科学技术进步和资料的积累, 地震区划图必须不断更新。此次区划图颁布之前, 我国已进行了 3 次全国地震区划图的编制。1957 年, 李善邦教授编制我国第一代地震区划图, 该图给出了全国最大地震影响烈度的分布; 第二版全国地震区划图于 1977 年出版。该区划图是用中长期地震预测的方法编制的, 给出未来一百年内场地可能遭遇的最大地震烈度。该区划图已正式被抗震设计规范引用; 第三版全国地震区划图是 1990 年颁布的。编图采用了概率分析方法, 给出了 50 年超越概率 10% 的烈度值。该图被建筑抗震规范和其它抗震设计规范所采用。新的全国地震区划图的颁布是正常的国家地震区划图的更替。前 3 次区划图编制均采用地震烈度作为编图参数。目前, 抗震设计早已进入反应谱阶段, 用单一的烈度参数难以构成设计反应谱。为此, 许多国家均采用地震地面运动参数进行地震区划。中国目前正处于经济迅速发展, 城市化进程迅速加快的阶段, 每天都有大量的新型结构和中高层建筑出现。因此, 非常需要提供与地震环境相关的地震反应谱, 以满足新形势下的抗震设计需求。国家地震区划图必须提供地震地面运动参数。根据这些参数, 应该很容易地形成抗震设计反应谱。根据社会的需求, 地震烈度区划图必须被取代。本版地震区划图的颁布完全是社会发展所要求的。

上一次国家地震区划图编制所使用的基础资料(包括地质、地震和地球物理资料)截止

* 中国地震局地球物理研究所论著 03AC1020.

2003-02-19 收到初稿, 2003-06-06 收到修改稿, 2003-06-17 决定采用。

日期是 1987 年 12 月 31 日。从那时起，在基础资料的搜集、整理和获取方面进行了大量的工作。由于地震观测台网的建设，仪器地震资料增加了一倍，记录了将近 10 万次地震事件。新增 5 级以上的破坏性地震事件资料 491 份，在中国西部、西北和华北地区进行了更详细的活动断层研究工作。为了解地震孕震环境，在东部地区还进行了大量的人工地震测深工作。大量新资料和新成果的积累，也是编制新的国家地震区划图的原因之一。

进行国家地震区划图更替的另外一个重要原因，是重大工程地震危险性评价和城市小区划方面取得的重要进展，特别是地震危险性分析方法方面取得的重要进展（中国地震局科技发展司，中国抗震设防区划图编委会，1998）。在这些工作中，包括地震反应谱和峰值加速度的地震动参数得到广泛应用。我们已积累了确定地震动参数衰减关系的经验。这使得编制地震动参数区划图从技术上成为可能。

编制国家地震动参数区划图的工作从 1996 年底开始，由胡聿贤院士任主编、高孟潭、张培震、陈国星、薄景山、谢富仁为副主编，5 个研究所，28 个地方地震局和 168 位科研人员参加了这项工作。编制工作于 2000 年完成，之后与广大的用户和地方地震局进行了广泛的讨论。

2 编图技术途径与关键科学问题

中国地震动区划图编制的总体思路是，在充分吸收国内外有关地震区划的最新科研成果，特别是“七五”和“八五”期间取得的新成果和新资料的基础上，采用多学科综合研究的手段，充分考虑中国地震环境和地震活动区域性差异以及不同时间尺度的地震预测结果，科学地考虑各环节的不确定性因素及影响，编制完成以地震动参数表示的，综合反映场地影响和地震环境特点，适用于一般工程的地震动参数区划图。在此基础上，充分考虑抗震设防政策的延续性，抗震设防标准的先进性以及地方对抗震设防要求的特殊性，对预编结果进行合理修订，最终给出正式的中国地震动参数区划图。编图的技术途径如图 1 所示。

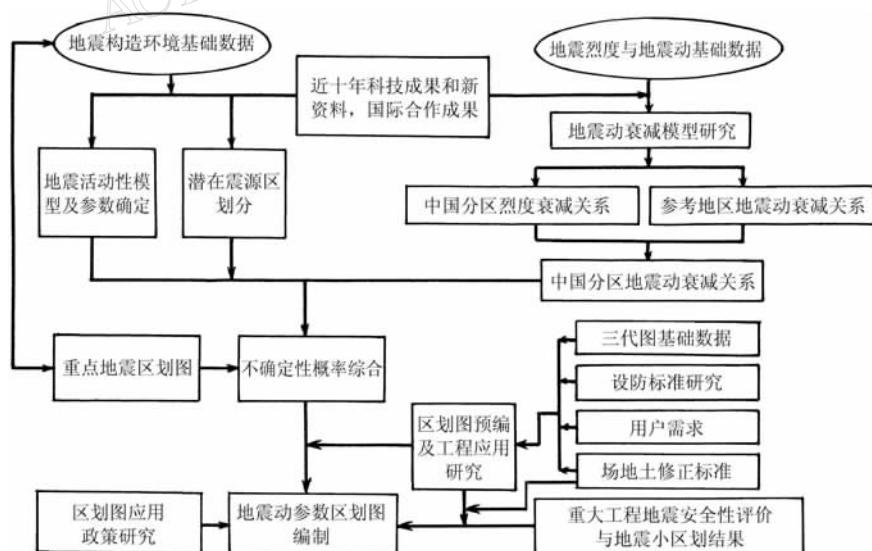


图 1 中国地震动参数区划图编制技术方案

本次编图的关键科学问题为：①如何处理地震活动性参数确定、潜在震源区划分及地震动衰减关系确定中的不确定性；②如何选择适当的地震动参数编图，以满足抗震设计的需要；③如何充分利用国内外资料，确定地震动参数衰减关系。

为了处理概率分析方法各个环节上的不确定性，采用了逻辑树的方法。由于潜在震源区地震活动性参数 b 值、地震年平均发生率、地震空间分布函数等之间具有相关性，不能采用国外一般的逻辑树方法。本次编图采用了潜在震源区（包括地震活动性参数）多方案处理方法。根据掌握的资料和背景的不同，有 4 个专家小组参加了潜在震源区划分工作。4 个专家小组对地震发生背景和地震活动性参数的确定方面，都有鲜明的特点。以地质研究所专家为主体的专家组在地震构造和活断层研究方面积累了大量的成果，特别注重构造模型新成果的应用；以地球物理研究所专家为主体，更加注重地震活动性研究成果和强震孕育的层次结构模型在潜在震源区划分中的应用；分析预报中心牵头组织的重点地区专家组则注重全国重大工程地震安全性评价工作中积累的大量资料的应用。在上述工作的基础上，潜在震源区专题组还组织编制了综合方案。因此，逻辑树分析中共采用了 4 套潜在震源区划分方案。

一般工业与民用建筑的抗震设计的基本依据是场地相关地震反应谱。而场地相关反应谱与地震环境密切相关，同时与工程建设场地的土层条件密切相关，用地震烈度或用单一峰值加速度都很难科学合理地确定地震反应谱，特别是场地相关反应谱。通过对大量工程场地资料的分析研究，对一般工业与民用建筑，用于以确定场地相关反应谱为目的的地震区划编图的基本参数为峰值加速度和地震反应谱拐点周期值。

为了确定地震动参数衰减关系，搜集了大量的国内外强震记录。首先用美国西部地区的强地面运动资料统计衰减关系。根据编图需要，首先计算每一条强震记录的地震加速度反应谱和地震速度反应谱；分别确定两个反应谱的平台值 S_a 和 S_v ；定义反应谱相关的加速度值和速度值

$$a = \frac{S_a}{2.5} \quad (1)$$

$$v = \frac{S_v}{2.5} \quad (2)$$

根据地震加速度反应谱特征周期的定义可得

$$T_g = 2\pi \frac{S_a}{S_v} = 2\pi \frac{a}{v} \quad (3)$$

利用美国基岩强震记录，由上面定义获取 a 和 v 及其与震级和距离的数据库。利用统计方法分别得到 a 和 v 的衰减关系。然后，根据中国地震烈度与美国地震烈度衰减关系的差异，对美国西部地区的衰减关系进行修正，最终得到编图使用的中国东部地区和西部地区地震动参数衰减关系（ a 和 v ）。

将全国划分成 40 000 个计算格点，对每个格点进行地震危险性分析，得到 50 年超越概率 10% 的地震动参数值（ a 和 v ）。依据这些数据，采用“双参数分区标定”的方法最终编制完成峰值加速度和反应谱特征周期两张区划图。

在编图的不同阶段，包括基础资料管理、潜在震源区划分、结果显示和结果合理性论证等阶段，都使用了 GIS 技术。该技术手段的引入，使我国的地震区划编图技术有了革命性的飞跃。

3 区划图的基本特征

新的国家地震区划图是用概率分析方法编制的。新的区划图的概率水平是 50 年超越概率 10%，比例尺采用 1:400 万，场地条件是硬土(胡聿贤等，2001)。

新的区划图由两张图组成：①与反应谱平台相关的加速度(a)区划图，该加速度值定义为反应谱平台值除以 2.5；②反应谱特征周期区划图(T_g)。根据这两个参数可以方便地确定设计地震反应谱。图 2 是反应谱示意图。反应谱特征周期以后的反应谱值的下降方式为 $1/T_g^2$ 。考虑到一般结构的自振周期，上述区划参数不单一的烈度值和加速度峰值更加合理。

3.1 加速度区划图

加速度区划图分为 7 个区(图 3)。1 区加速度值 $\leq 0.05 \text{ g}$ ；2 区加速度值为 0.05 g ；3 区加速度值为 0.10 g ；4 区加速度值为 0.15 g ；5 区加速度值为 0.20 g ；6 区加速度值为 0.30 g ；7 区加速度值为大于或等于 0.40 g 。与中国地震烈度区划图相比，加速度区划图多出了两个分区，即加速度值为 0.15 g 的分区和 0.30 g 的分区。考虑到概念设计的需要，3 区和 4 区的烈度值为Ⅶ，5 区和 6 区的烈度值为Ⅷ。

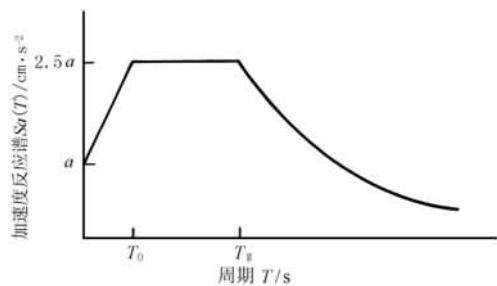


图 2 设计反应谱示意图

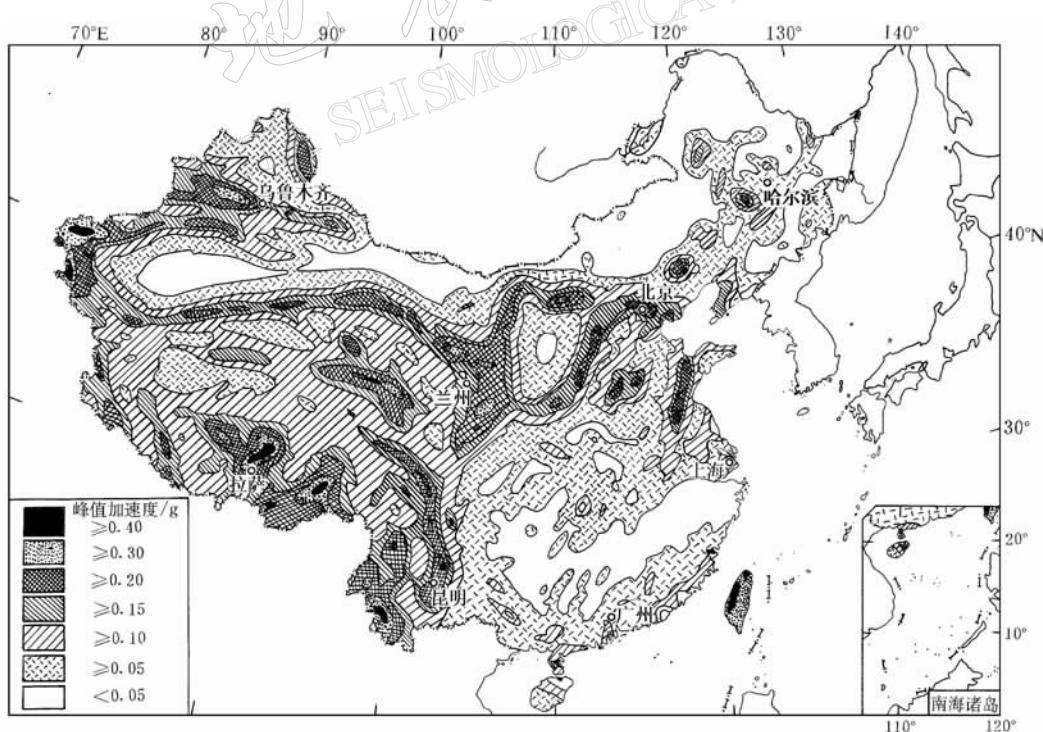


图 3 中国地震动峰值加速度区划示意图

7 区 (≥ 0.40 g) 是地震危险性最高的区域。全国共有 16 个地区位于 7 区，这些区域分布在主要地震带的 8 级潜在震源区内，包括台湾西部、甘肃古浪、宁夏海原、青海玛多和都兰、新疆塔什干和新源以及西藏的羊八井附近。

6 区 (0.30 g) 也是地震危险性较高的地区，包括 22 个地区，面积近 21 万平方公里，占国土面积的 2.6%。主要分布在台湾、南北天山、河西走廊、南北地震带。海南的海口市和内蒙的包头市也位于 6 区。山东临沂市是 6 区中人口最为稠密的地区。

5 区 (0.20 g)、4 区 (0.15 g) 和 3 区 (0.10 g) 占国土面积的 46%，很多人口稠密的地区都位于该分区内。中国西部许多地区和华北一些地震为 5 区 (0.20 g)。

2 区 (0.05 g) 占国土面积 20%，主要位于中国东部地区。80% 的国土必须考虑抗震问题。

全国大部分城镇位于高地震危险区。海口市和台北市的基本设防加速度达到 0.30 g，面临很大的地震危险性。首都北京、太原、呼和浩特、西安、兰州、拉萨、昆明、银川、乌鲁木齐等大城市位于 5 区。天津、郑州和香港南部地区位于 4 区，包括沈阳、长春、上海、石家庄、南京、合肥、澳门、成都、广州和西宁在内的 11 个大城市也位于 4 区，位于高危险区 (加速度值大于或等于 0.10 g) 的省会城市达到 25 个，约占省会城市的 74%。根据加速度区划图统计，约有 194 个 50 万人口以上的城市和 1 073 个小城镇位于高地震危险性区 (加速度值大于或等于 0.10 g)。

3.2 反应谱特征周期区划图

反应谱特征周期区划图分为 3 个区 (图 4)：1 区特征周期为 0.35 s，2 区特征周期为

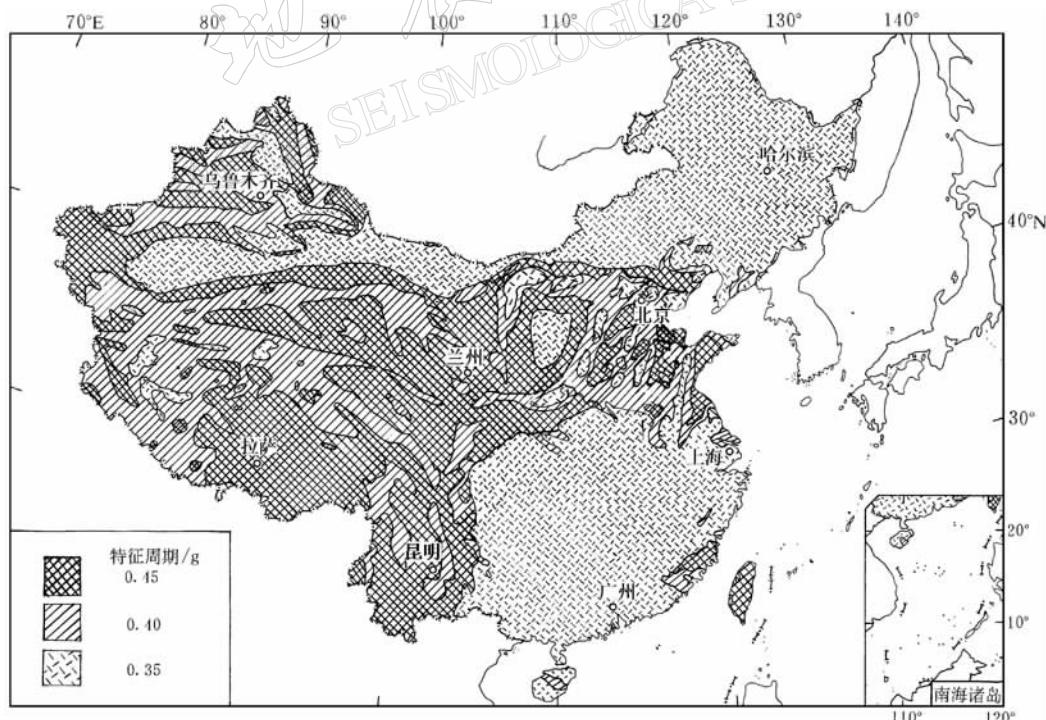


图 4 中国地震动反应谱特征周期区划示意图

0.40 s, 3 区特征周期为 0.45 s.

特征周期区划图刻画了有地震环境控制的地震反应谱的形状。地震特征周期值主要由控制地震的震级决定，震级越高， T_g 越大。粗略地讲，0.45 s 的特征周期与 7 级以上的地震有关；0.40 s 特征周期与 6.5~7 级地震有关；0.35 s 的特征周期与 6.5 级以下的地震有关。在反应谱特征周期区划图上，中国西部地区主要位于 0.45 s 和 0.40 s 分区内，而中国东部大部分地区位于 0.35 s 分区内。这一结果与中国的地震构造背景相一致。

在美国和日本，特征周期值分别为 0.58 和 0.60。根据强震记录分析和对中国近年来的地震危险性分析结构的统计， T_g 值比刚刚更新之前的建筑物抗震设计规范要大得多。新的区划图的分区取值，既考虑了实际资料中 T_g 值情况，也考虑了抗震设计规范对 T_g 值的考虑。本区划图给出的是最低的安全要求。

1 区(0.35 s)主要分布在中国东部地区，面积约 436 万平方公里，占国土面积的 45%。有 21 个省会城市位于 1 区，占全部省会城市的 62%。

2 区(0.40 s)沿潜在震源区分布，面积约 220 万平方公里，占国土面积的 23%。7 个省会城市位于 2 区。

3 区(0.45 s)分布在华北和西部地区，面积约 304 万平方公里，占国土面积的 32%。6 个省会城市包括西宁、兰州、拉萨、昆明、台北和济南位于 3 区。这些城市的特征周期主要与 8 级或 8 级以上的潜在震源区有关。

据统计，国家整体抗震设防水平略有提高。约 17% 的中小城镇提高了设防水平。200 个原来不考虑抗震设防的城镇调整为需要抗震设防。这些城镇的设防加速度值为 0.05 g，在中硬场地条件下特征周期为 0.35 s。约 160 个位于原烈度区划图 VI 度区的城镇，在新的区划图上设防加速度值为 0.10 g。上述变化的主要原因是基础资料的变化。

采用双参数反应谱进行地震区划在国际上是先进的。美国已经将双参数反应谱区划图用于抗震设计规范。中国是继美国之后采用双参数反应谱编制地震区划图的主要国家之一。

4 新的地震区划图的使用

新的国家地震区划图已作为国家标准(GB18306-2001)于 2001 年 8 月 1 日正式颁布。新建建筑必须满足国家标准(GB18306-2001)的要求。该国家标准中规定了如何使用国家地震区划图。

标准抗震设计反应谱表示为

$$S_a(T) = 2.5a \begin{cases} 6T + 0.4 & 0 \leqslant T < 0.1 \\ 1 & 0.1 \leqslant T < T_g \\ 1/T_g & T \geqslant T_g \end{cases} \quad (4)$$

其中， a 是由加速度区划图规定的加速度值， T_g 是由反应谱特征周期区划图规定的特征周期值。

对于不同的场地土层条件，反应谱特征周期应按表 1 调整。不同场地土层条件，加速度值不调整。

表 1 不同土层条件的 T_g 值

s

| 区号 | 土 层 条 件 | | | |
|-----|---------|------|------|------|
| | 硬 | 中硬 | 中软 | 软 |
| 1 区 | 0.25 | 0.35 | 0.45 | 0.65 |
| 2 区 | 0.30 | 0.40 | 0.55 | 0.75 |
| 3 区 | 0.35 | 0.45 | 0.65 | 0.90 |

根据新的国家地震区划图,某些地区的抗震设防标准已经进行调整,必须考虑已有建筑的抗震加固问题。

新的国家地震区划图也可用于国土利用规划、社会发展规划和重大工程的初步选址工作。

参 考 文 献

汤泉. 1989. 防震减灾法律教程[M]. 北京: 中国法制出版社, 217

邬福肇, 曹康泰, 陈章立. 1998. 中华人民共和国防震减灾法释义[M]. 北京: 法律出版社, 7~10

胡聿贤, 高孟潭等. 2001. 国家标 GB 18306-“中国地震动参数区划图”宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 84~98

中国地震局科技发展司, 中国抗震设防区划图编委会编. 1998. 中国地震区划学术讨论会论文集[C]. 北京: 地震出版社, 1~100

NEW NATIONAL SEISMIC ZONING MAP OF CHINA

Gao Mengtan

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

Abstract: A new set of seismic zoning maps were published in August 1, 2001. It includes two maps, one is the seismic zoning map of peak acceleration, the other is the zoning map of the characteristic period of the response spectrum. The exceeding probability of the map is 10% within 50 years. The scale of the map is 1:4 000 000. These maps serve as the national standard. The background of this project, technical approach and key scientific measures, the basic feature and the application of the maps are introduced in this paper.

Key words: seismic hazard; seismic zoning; earthquake design; response spectrum; intensity; characteristic period