

关于下一代地震区划图编制原则 与关键技术的初步探讨¹

高孟潭¹⁾ 卢寿德²⁾

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 中国地震局震害防御司, 北京 100036

摘要 本文在回顾我国四代地震区划编图原则的基础上, 结合对未来我国社会经济发展状况和国家地震安全政策变化的分析, 同时对国际上地震区划研究进展与编图工作的现状了解, 探讨了下一代地震区划编图的基本原则, 提出了与之相关的基本科学技术问题, 对第五代地震区划图的编制提出了初步的建议。

关键词: 地震区划 原则 抗倒塌 城市化

引言

地震区划图是震灾防御的基础。地震区划图的编制技术是震灾防御的核心技术之一。到目前为止, 我国已经编制完成了四代地震区划图。1954年为了国家大规模经济建设的需要, 国家成立了中国地震工作委员会, 并着手地震区划编图工作。编图采用了两条基本的原则, 即历史上发生过的地震, 将来还可能重复发生; 在相同的地质构造条件下, 可能发生同样强度的地震。依据此原则编制的全国性的地震烈度区划图及其相应的说明书, 发表在《地球物理学报》上(李善邦等, 1957)。按上述原则编制的地震区划图, 实质上给出的是工程场地可能遭遇的最大的地震烈度。由于与建设部门沟通不够, 该图没有被建设部门正式采纳。

1966年邢台地震后, 地震预测研究工作得到了国家的大力支持, 取得了很多研究成果。在1957年地震区划图编制原则的基础上, 正式将地震中长期预测纳入地震区划编图的基本原则。编制该图时明确“在未来一百年内, 在一般场地条件下, 该地区可能遭遇的最大地震烈度”为地震基本烈度。并以地震基本烈度为指标编制了《中国地震烈度区划图》。该图编制的基本原则为(国家地震局, 1981): 根据区域地震活动、地震地质条件的共同特征和相关程度, 划分地震区、带, 作为研究地震活动规律、发震构造条件及地震影响场的基本单元; 评价出各区、带未来百年的地震活动趋势和各级地震的次数; 研究确定各区、带不同强度

1 中国地震局“十五”重点项目“地震安全性评价研究与结构抗震研究”资助, 中国地震局地球物理研究所论著号 06AC 2003
[收稿日期] 2005-12-20

[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: 工程地质和地震规划。E-mail: gaomt@vip.sina.com

地震的发震构造标志；综合确定各区带内的地震危险区；根据危险区和地震烈度影响场编制地震烈度区划图。其核心原则是依据地震中长期预测结果编图。该区划图被国家建委和国家地震局批准作为国家建设部门规划、中小型工程的抗震设防时参考使用。

1968年 Cornell 提出了地震危险性概率分析方法 (Cornell C.A., 1968)。1976年 S.T. Algermissen 等采用该方法编制了美国地震峰值加速度区划图 (Algermissen S.T., 1976), 该方法后来不断得到发展, 并逐步成为地震区划编图的主导方法。我国地震工作者对此也开展了许多研究工作^{1,2}(鲍霭斌等, 1985; 国家地震局, 1988; 丁原章等, 1988; 时振梁等, 1989)。在此基础上, 国家地震局组织专家采用地震概率分析方法, 编制了《中国地震烈度区划图 (1990)》(国家地震局, 1996)。该区划图的编制原则为: 采用地震危险性概率分析方法; 反映我国地震活动时、空不均匀性的特点; 吸收地震预测方面的研究成果。该区划图编制的核心是采用地震危险性概率分析方法, 并结合中国地震活动特点加以改进。该区划图由建设部和国家地震局联合颁布, 并作为一般工业与民用建筑抗震设防的依据。

考虑到工程设计工作中已经广泛使用地震动参数进行抗震设防, 地震烈度区划已经不适合工程抗震的需要, 中国地震局组织编制了《中国地震动参数区划图 (2001)》(胡聿贤等, 2001; 高孟潭, 2003)。该区划图编制的基本原则为: 使用地震危险性概率分析方法, 充分吸收大量的地震、地质和地球物理资料和地震预测的新成果; 编图时考虑地震参数的不确定性影响; 采用地震峰值加速度和反应谱特征周期双参数编制地震区划图; 考虑场地土层的影响。该区划图作为国家强制性标准, 用于新建、扩建、改建一般建设工程的抗震设防要求, 为编制社会经济发展和国土利用规划提供依据(胡聿贤等, 2001)。该区划图的最核心的内容是采用地震动参数编图, 直接给出工程设计所需的地震反应谱的关键参数。

几代区划图的编制反映了我国地震科学发展的不同阶段, 以及与国际地震区划研究与实践不断接轨的过程。编图方法从简单的“地震重复”、“百年尺度地震预测”发展到有中国特色的地震危险性概率分析方法; 编图参数由地震烈度发展到地震动参数; 区划图的使用由“参考”、“依据”发展到“强制性的国家抗震设防标准”。同时, 应该注意到, 几代编图原则关注的重点在地震科学方面, 对社会发展的不同阶段没有考虑, 对地震区划的综合防震减灾作用没有考虑, 特别是对地震区划图对保障国民生命安全的作用没有充分的考虑, 已经越来越不适应我国社会经济的快速发展。必须对地震区划的原则做进一步的探讨, 为编制我国第五代地震区划图做好准备。

1 第五代地震区划图编制原则探讨

目前我国正处于社会经济快速发展的时期, 国家对地震灾害的防御方针发生了重要的变化。政府提出的“以人为本”的执政思想, 是地震灾害防御的基本原则。如何考虑保障公众在地震中的生命安全应该成为地震区划首先考虑的问题。我国现行的地震区划和抗震设计规范, 主要是考虑抗震设防投入与经济损失的关系, 同时兼顾抗地震倒塌问题。地震区划图给出的是 50 年超越概率为 10% 的结果 (中震), 抗倒塌水平的地震动参数 (罕遇地震) 由中震乘以一定的系数直接外推 (中华人民共和国城乡建设与环境保护部, 1989; 中华人民共和国

1 高孟潭, 1984. 京津唐地区地震危险性分析, 国家地震局地球物理研究所硕士论文.

2 陶夏新, 1981. 基岩场地地震危险性分析, 中国科学院工程力学研究所硕士论文.

建设部, 2001)。居民住宅抗震设计基本是以弹性设计(小震)为主, 一般不做抗倒塌验算。研究表明, 罕遇地震与中震的关系十分复杂, 主要与地震构造环境有关, 不同地区两者之间的比例系数相差非常大。不同场点之间, 不但有某一风险水平的地震动参数的大小之分, 而且不同风险水平的地震动参数之间也有差异。其中, 50 年超越概率 2% 与 50 年超越概率 10% 的基岩加速度的比值为 1.4—2.4, 平均值为 1.8, 除了台湾等仅占全国总陆地面积 2% 的少部分地区比值在 1.5 以下, 其它地区空间分布没有明显的分区差异。即使按加速度分区(烈度)统计, 在某一加速度区间, 这一比值仍是一个较离散分布。所以, 由中震的比例定义的大震没有统一的超越概率水平, 按目前的抗震设计结果, 导致抗倒塌风险水平实际差异较大; 相当多地区达不到对 50 年超越概率 2% 的罕遇地震抗倒塌的抗震设计目标(高孟潭等, 1992; 胡聿贤, 1993; 高孟潭等, 1998)。以中震为标准编制地震区划, 在相当多的地区罕遇地震参数估计过低, 难以保证抗倒塌目标的实现, 而这些地区往往是大地震活动的地区。因此, 未来地震区划编制的基本原则应首先考虑将抗倒塌地震动参数作为编图的基准, 保证抗倒塌水准的地震动参数的科学性和合理性。事实上, 美国 1996 年编制完成的美国地震区划图(Frankel A., 1996), 就是以抗倒塌参数作为基准编制的。该区划图提出了将 50 年超越概率 2% 作为抗倒塌的基准, 相应的地震动参数成为最大考虑地震(MCE), 将最大考虑地震 $2/3$ 作为中震考虑, 保证全国具有均一的抗倒塌水平(FEMA, 1997)。即将于 2007 年完成的美国新一代的地震区划图仍然采用这一原则。

我国正处在一个城市化快速发展的时期。据预测, 我国到 2020 年城市化率将从目前的 41.8% 增长到 57%, 将有 3 亿农民进城。每年平均需要竣工的住宅面积达到 15 亿平方米, 相当于要新建 30 个深圳市。同时, 还需要建设大量市政设施、商业设施、教育设施等公用设施。显然, 将抗倒塌作为地震区划的基本原则, 对保障公众生命安全具有十分重大的意义。

在未来的 15 年内, 中国将形成京津环渤海、长三角和珠三角 3 个城市群, 并以若干个大城市为核心形成区域性的经济带或经济走廊。仅在 3 个城市群就将以 3% 的国土, 承载近 50% 的人口, 创造 65% 的 GDP 和 90% 的进出口值。这些地区, 一旦遭受地震的冲击, 则间接的经济损失将十分巨大。据不完全统计, 如果 2004 年北京停产一天将造成 12 亿元的经济损失, 长三角停产一天将造成 73 亿的损失, 珠三角停产一天将造成 34 亿元的经济损失。有效地减轻地震对经济发达地区的冲击, 将是新的地震区划必须要考虑的重要的问题。发生大地震要尽量控制破坏的空间范围和破坏程度, 发生小的地震应在尽可能短的时间内尽快恢复。严格按抗倒塌设计, 对控制地震破坏的空间范围和破坏程度有重要的作用, 将大大减少地震应急处理的时间。在经济发达地区, 特别是在三大城市群地区, 适当地提高弹性设计地震动参数标准(小震), 以保证发生 6.0 级以下地震建筑物不坏, 将对降低地震对社会的冲击同样具有重要的作用。对于以中强地震活动为主的珠三角地区, 如果实现了这一目标, 经济投入不会很多, 但得到的回报将是十分巨大的。事实上, 在地震灾害预防工作较好的日本和美国, 5—6 级地震一般不会对社会造成大的冲击。而 2005 年 11 月 26 日发生在江西九江的 5.7 级地震, 不仅造成了 13 人死亡和 20 多亿的直接损失, 而且一度有 40 多万人露宿街头, 地震对当地社会生活的冲击可能要持续 3—4 个月。这种情况如果发生在珠三角地区, 所造成的间接的经济损失将是十分巨大的。仅仅因为数百万民工避震, 造成的工厂停工都是无法承受的, 其

1 张晓梅, 2001. 基于抗倒塌设防目标的设计地震动区划研究, 中国地震局地球物理研究所硕士论文.

影响可能遍及全球。新的地震区划图的编制应当将减轻地震对社会的冲击作为一个重要的原则。

与中国地震动参数区划图(2001)的编图原则相比,毋庸置疑,新的地震区划图仍将采用地震危险性概率分析方法,采用“双参数”标定地震反应谱的方法,最大的差别是:中国地震动参数区划图(2001)用中震(50年超越概率10%)作为编图基准,罕遇地震参数和小震地震参数用中震参数外推;新的地震区划图将提出最大考虑地震的概念(初步可考虑为50年超越概率2%),以其作为编图的基准,将最大考虑地震的 $2/3$ 作为中震,一般将最大考虑地震的 $1/5—1/6$ 作为小震。不同经济发展水平的地区,可适当考虑小震的取值,具体数值可经过研究论证后确定。

与我国第一代和第二代地震区划图的编图原则相比,新的地震区划恢复了与“最大可能遭遇地震”相近的概念,即最大考虑地震,但不是简单的回归。新的地震区划图编制采用的最大考虑地震直接用于抗倒塌设计,同时根据该参数折减给出小震以满足弹性阶段的设计需要,并按一定比例给出中震以满足采取构造措施的需要。

2 编制下一代区划图的关键技术

现有研究表明,以抗倒塌为基准编制地震区划图,高震级潜在震源区及其震级上限、高震级的地震事件的复发周期、大地震近场衰减关系以及大震近场的土层影响确定将是最关键的技术问题,必须加强技术攻关研究力度。

(1) 高震级潜在震源区划分及其震级上限判定技术

主要包括:研究大型地表活动断裂带的规模、破裂分段、活动性质及深浅部构造相关性等因素与强震发生的关系,建立综合判定高震级潜在震源区的位置、边界和震级上限的原则与方法;研究活动褶皱及其深部逆断层的发育特征,分析强震与深部逆断层结构特征的关系,提出盲断裂潜在震源区划分与震级上限评定的方法;研究中强地震构造带发震构造条件,重点解剖中强地震构造带新构造活动特征,建立中强地震活动性模型,提出中强地震构造带高震级潜在震源区的识别依据及震级上限的评价方法;研究构造盆地的发育特征、隐伏断裂的构造组合及其活动性,综合分析隐伏构造的强震发震条件,提出隐伏构造区潜在震源区划分及震级上限判定的方法;研究高震级潜在震源区震级上限判定的不确定性因素,分析其对地震区划结果的影响,提出评价震级上限不确定性的实用性方法;提出利用历史疑难大震考证结果划分高震级潜在震源区的原则与方法等。

(2) 大地震复发周期与年平均发生率的评价技术

主要包括:研究大型地表活动断裂带的活动性参数、活动褶皱区与隐伏区的强震构造模型、古地震数据等,确定典型强震构造类型的大震复发行为,建立相应的大震复发周期的评价方法;统计分析历史地震活动性,建立不同地震区带的强震活动性模型,提出不同强震活动性模型的高震级档地震年平均发生率的评价方法;研究地震构造带强震复发特性及地震活动特点,分析现代地壳应力应变分布状态,建立相应的地震矩率释放模型,提出基于地震矩率释放模型的大震复发周期评价方法;研究不同地震构造区大震复发周期和年发生率的综合评价技术,利用重大工程地震安全性评价结果,研究大震复发周期对地震危险性的敏感性,提出大震复发周期与年平均发生率不确定性的评估方法。

(3) 近场地震动衰减关系确定技术

主要包括：研究地震震源特性、近场地震波传播机制对地震动衰减特征的影响，利用强震观测资料，分析近场地震动特征和影响因素，提出地震动衰减关系模型，建立大震近场地震动参数衰减关系的确定原则与方法；研究弱震与中等地震的地震动资料，分析地震构造环境、介质特性和地震破坏特征，建立弱震与中等地震活动地区地震动衰减关系确定技术；基于理论分析与地震动观测数据，研究地震动衰减关系方差与震级或地震动大小的关系，提出地震动参数衰减关系方差的确定技术；针对不同地区的地震构造环境，综合近场与中远场地震动衰减特征，研究提出我国分区地震动参数衰减关系。

(4) 场地条件影响评估技术

主要包括：深入分析研究强地震动加速度记录资料，研究国内外不同场地分类方法特点以及内在联系，给出利用国外强震资料的技术方法；研究震级、距离和场地条件对地震动参数的影响特征，给出场地条件与峰值加速度及反应谱之间的定量关系；研发适用于大震近场的场地地震反应分析新技术，研究大地震近场场地地震反应的特点，分析土体非线性特性及土层剪切波速与土动力参数的不确定性对场地地震反应的影响规律，建立场地地震动反应谱特征与场地类别、地震动强度之间的定量关系。

(5) 地震区划概率水准确定技术研究

主要包括：研究地震区划概率水准对人员伤亡、直接经济损失、间接经济损失和社会影响的控制作用，确定不同区域地震区划的原则与概率水准，以及不同设防水准之间的关系。

3 编制第五代地震区划图的建议

建议分两个阶段完成第五代地震区划图的编制及其相应的国家标准的修订。

第一个阶段为提出和完善我国第五代地震区划图编图的基本原则，对其中的关键科学技术问题进行攻关研究，形成相应的编图技术。建议第一个阶段的工作纳入国家科技攻关计划。第二个阶段为搜集、整理资料、编图和修订国家标准阶段，完成编图的主体技术工作和国家标准的修订。建议第二个阶段工作纳入科技部基础平台项目或重大公益性研究项目。争取 2008 年完成若干关键性的技术攻关结果，并给出新的地震区划图的试验研究结果，部分成果在 14 届世界地震工程大会上发表，征求国内外相关专家的意见。2010 年完成第五代区划图的编制及其国家标准的修订。争取 2010 新的地震动参数区划图国家标准颁布实施。地震区划图更新仍相隔十年左右。

参考文献

- 鲍霭斌, 周锡元, 1985. 我国部分地区基本烈度的概率标定. 地震学报, 7(1): 100—109.
- 丁原章, 李坪, 时振梁, 林纪曾, 朱振宇, 1988. 见: 海南岛北部地震研究文集. 北京: 地震出版社.
- 高孟潭, 2003. 新的中国地震区划图. 地震学报, 25(6): 630—636.
- 高孟潭, 韩伟, 1992. 抗震设计中大、中、小地震的确定. 见: 地震工程研究文集. 北京: 地震出版社.
- 高孟潭, 张晓梅, 1998. 关于地震动参数区划图几个重要参数的讨论. 见: 中国地震区划学术讨论会文集. 北京: 地震出版社.

- 国家地震局, 1981. 中国地震烈度区划报告. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局, 1988. 鲁南地震危险性评定专辑. 中国地震, 4(3).
- 国家地震局, 1996. 中国烈度区划图(1990)概论. 北京: 地震出版社.
- 胡聿贤, 1993. 有关设计地震动的几个问题. 土木工程学报, 26(2): 1—8.
- 胡聿贤, 高孟潭, 杜玮等, 2001. GB18306-2001 《中国地震动参数区划图》宣贯教材. 北京: 中国标准出版社.
- 李善邦, 1957. 中国地震烈度区域划分图说明. 地球物理学报, 6(2): 127—158.
- 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(2): 179—188.
- 中华人民共和国原城乡建设与环境保护部, 1989. 建筑抗震设计规范 GBJ 11-89. 北京: 中国建设工业出版社.
- 中华人民共和国建设部, 2001. 抗震设计规范 GB50011-2001. 北京: 建筑出版社.
- Algermissen S.T., Perkins D.M., 1976. A Probabilistic Estimate of Maximum Acceleration in Rock in the Contiguous United States. U.S. Geological Survey, Open File Report, 76-416.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. BSSA, 58(5).
- Frankel, Arthur, Mueller, Charles, Barnhard, Theodore, Perkins, David, Leyendecker, E.V., Dickman, Nancy, Hanson, Stanley, Hopper and Margaret, 1996. National Seismic Hazard Maps, June 1996, Documentation: U.S. Geological Survey, Open-File Report. 96-532.
- FEMA, 1997. Background Commentary Development of Maximum Considered Ground Motion Maps NEHPR Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, 1997. Edition DRAFT.

The Discussion on Principles of Seismic Zonation of the Next Generation

Gao Mengtan¹⁾ and Lu Shoude²⁾

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

2) Division of Disaster Mitigation, China Earthquake Administration, Beijing, 100036

Abstract Based on the review of seismic zonation in China and the situations of the development of society and economy in China in the future decades as well as the earthquake safety policy of the government, the principles of seismic zonation of the next generation are discussed in this paper. The earthquake ground motion parameters will be used to the seismic zonation as the last once. The first principle is the consideration of anti-collapse of the buildings. We proposed the Maximum Considered Earthquake (MCE) with exceeding probability 2% within 50 years as the basic design level for anti-collapse of the building. The parameter with the value of 1/5—1/6 MCE will be used as the elastic deformation design. The key techniques for compiling the new seismic zonation map of China are also discussed in this paper.

Key words: Seismic zonation; Principle; Anti-collapse; Urbanization