

“抗大地震”与低超越概率水准地震动关系的讨论¹

陈 鲲 高孟潭

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要 本文阐明“大地震”与罕遇、极罕遇地震作用的区别与联系。并以龙门山地震带中段的北川-映秀潜在震源区为例, 揭示“大地震作用”与罕遇、极罕遇地震作用的联系。指出了当前抗震设防体系存在的科学技术问题, “抗大地震作用”应该考虑极罕遇地震动的影响。

关键词: 大地震 罕遇地震动 极罕遇地震动 超越概率

引言

小地震由于释放的能量有限, 基本上不太可能成灾, 而大地震, 特别是震级大于 7.5 级的地震已成为地震灾害的主要原因。中国位于世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间, 受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压, 地震断裂带十分发育。这样的地质环境造成我国大地震(震级大于 7.5 级)分布广、频度高、活动强、危害大(时振梁等, 1973; 马宗晋等, 1991; 蔺明河等, 2006; 张培震, 2008)。

《中国地震动参数区划图(GB 18306-2001)》(国家质量技术监督局, 2001)是以概率性地震危险性分析方法, 采用单一超越概率(50 年 10%)的加速度值确定的(高孟潭等, 2006)。同时我国现行的《中国地震动参数区划图(GB 18306-2001)》(国家质量技术监督局, 2001)、《建设抗震设计规范(GB J11-89)》(中华人民共和国建设部, 1989)、《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》(中华人民共和国建设部, 2001)、《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)局部修订》(中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2010)的抗震设防体系, 是三水准功能要求(即“小震不坏、中震可修、大震不倒”)和两阶段设计思想(即小震下的截面抗震验算和大震下的结构变形验算)。一般建设工程抗震设计时, 是依据 50 年 10% 的地震动参数值和加速度分区给定的地震影响系数最大值 α_{\max} 来确定罕遇地震动(50 年超越概率 2%)的设防值。

罕遇与极罕遇地震并不是不可能发生, 只是发生的概率相对较小。近 50 年来, 破坏性地震中超过罕遇地震(大震)水平的特大地震多次发生(汤保新等, 2011)。1966 年邢台地

1 基金项目 中国地震局地震行业科研专项(201308018)资助

[收稿日期] 2013-02-25

[作者简介] 陈鲲, 男, 生于 1976 年。副研究员。主要从事地震区划, 地震危险性分析及震动图预测等方面的研究。

E-mail: chenkun-6620@163.com

震,震区设防烈度为 度,遭遇烈度 X 度;1975 年海城地震,震区设防烈度为 度,遭遇烈度 — 度;1976 年唐山地震,震区设防烈度为 度,遭遇烈度 X— 度;2008 年汶川地震,震区设防烈度为 — 度,遭遇烈度 — ;2010 年 4 月青海玉树 7.1 级地震,震区设防烈度为 度,遭遇烈度 度。

总结和反思汶川地震的经验和教训,本文以第五代地震动参数区划图中北川-映秀潜在震源区为例,探讨了大地震震中附近不同概率水准的地震危险性分析结果与大地震影响场给出的结果之间的关系,并对当前抗震设防体系提出了初步的建议。

1 大地震与罕遇、极罕遇地震作用

本文所指“大地震”为震级大于等于 7.5 级的地震。大地震作用是指震级大于等于 7.5 级的确定性地震,通过地震动衰减关系计算得到的地震动参数影响场。而罕遇地震作用是指相应于 50 年超越概率 2% 的地震动;极罕遇地震作用是指相应于年超越概率 10^{-4} 的地震动¹,通过概率地震危险性分析方法得到。在设计工程时,希望了解工程使用寿命内可能遭受的地震动强弱以便做出设计决策,然而地震的发生和地震动特征不能准确预测,只能使用概率语言来描述地震的危险,这就是概率地震危险性分析。概率性地震危险性分析要求给出一个场点将来遭遇到超过给定地震动值的概率,或者称超越概率,常用地震动超越概率曲线表示(胡聿贤,2006)。超越概率可以用年超越概率 P_1 年表示,也可以用 T 年内超越概率 P_T 表示,如太原和昆明的超越概率曲线如图 1 所示。工程设计者从超越概率曲线中可以读出不同风险水平下的设防地震动参数值,如 50 年超越概率 63%、10%、2% 和年超越概率 1×10^{-4} 。进而可以根据不同的风险承受能力选择合适的地震动设防参数进行设计。

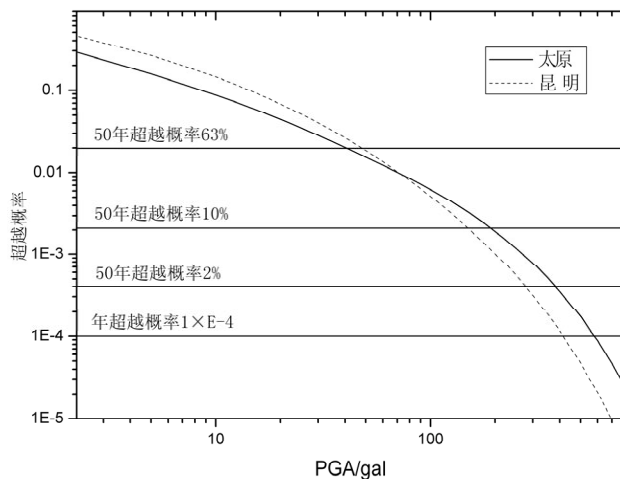


图 1 超越概率曲线示意图

Fig. 1 Schematic diagram of probability of exceedance curve

从上述定义可以看出,它们既相互区别又相互联系。“大地震”是具有确定性的震级下限明确的地震事件。而罕遇与极罕遇地震作用是从概率的角度来定义地震动的大小。从防震

1 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2013.中国地震动参数区划图国家标准报批稿.

减灾工程防御的角度所涉及到的“大地震”也主要是指地震作用，通常所说的“抗 6 级地震”是指建筑物能抗御 6 级地震的作用。因此从工程抗震角度说“抗大地震”或“防大地震”与罕遇、极罕遇地震作用一样，其定义的内涵均是指地震作用。

2 算例

本文所指“大地震作用”是震级大于 7.5 级确定性的地震事件的地震动。本文以龙门山地震带中段的北川-映秀潜在震源区为例说明二者之间的差异。分别以传统的特定场点的地震危险性分析方法，计算不同超越概率水平（50 年超越概率 10%、2% 以及年超越概率 1×10^{-4} ）的峰值加速度分布，与利用确定性线源的地震动参数（PGA）影响场进行比较，揭示两者之间的关系。

龙门山构造带中段发生过 2008 年 5 月 12 日 8.0 级地震，导致北川-映秀断裂和彭县-灌县断裂发生了同震地表破裂，破裂长度达 220—240km，最大同震位错达 10m 左右，因此该潜在震源区在第五代地震动参数区划图中的震级上限确定为 8.0 级。鉴于此本文概率性方法中使用的潜在震源区边界及参数与汶川地震后中国地震局对第四代地震动参数修改的 1 号修改单一致。确定性方法中地震的震级与该潜在震源区的震级上限一致，确定为 8.0 级。确定性方法使用线源发生模型，其发震断层长度利用 Wells 等（1994）的关系得到，约为 200km。概率性和确定性方法所使用的地震动参数衰减关系为汪素云等（2000）回归得到的中国西部衰减关系，确定性方法使用的是中国西部长轴方向的衰减关系。研究的区域范围为东经 98.82°—109.2°，北纬 27.2°—35.8°，如图 2 所示。通过概率性地震危险性分析方法计算 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 均匀间隔的 8838 个网格场点三个概率水准（50 年超越概率 10%、2% 和年超越概率 1×10^{-4} ）的地震动参数值。然后进行插值、等值线性化得到地震动参数的空间分布，分别示于图 3a—c。确定性方法的结果是考虑确定性的震级大小以及各网格场点到线源的不同距离，利用加速度的衰减关系计算得到，其结果示于图 3d。

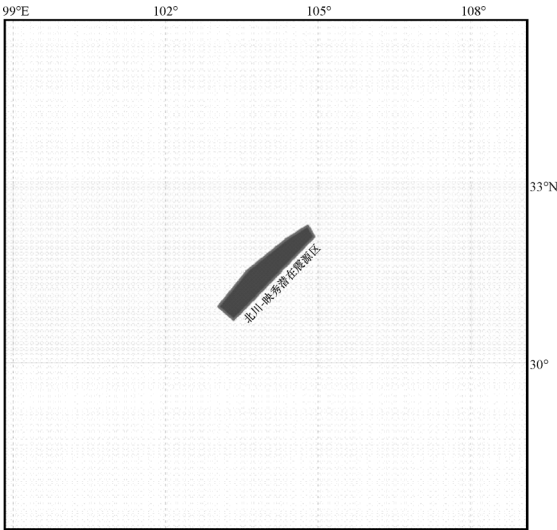


图 2 地震危险性分析的研究区域

Fig.2 Study area for seismic risk analysis

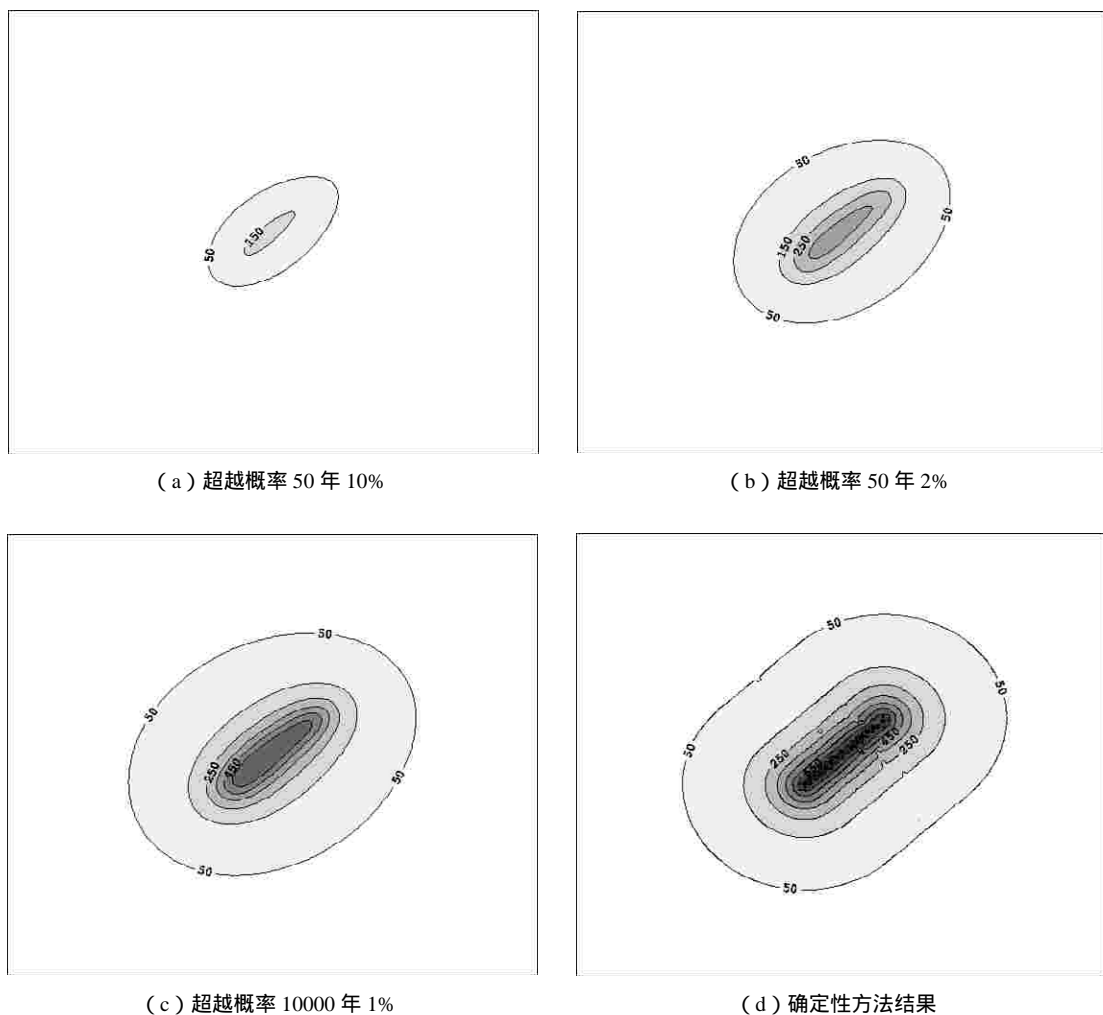


图 3 设防峰值加速度的结果 (超越概率: a. 50 年 10%; b. 50 年 2%; c. 10000 年 1%; d. 确定性)
(震级为 8.0, 线源长度约 200km)

Fig. 3 The PGA contours predicted by the traditional seismic hazard analysis (probability of exceedance of a. 50 years, 10%; b. 50 years, 2%; c. 10000 years, 1%; and d. deterministic results with magnitude 8.0 and the length of line source about 200 km)

3 分析与讨论

从图 3 可以看出, 随着超越概率水平的减小, 峰值加速度的值逐渐与确定性方法的结果接近。超越概率 50 年 10% 和 2% 的峰值加速度设防最大值分别为 150gal 和 350gal 以上, 而确定性分析得到的峰值加速度最大值为 650gal 以上。超越概率 50 年 10% 的峰值加速度设防值远远低于确定性分析得到的结果, 即使当超越概率水平为 50 年 2% 时, 概率性的设防峰值加速度也远低于确定性分析得到的结果。并且超越概率 50 年 10% 和 2% 的峰值加速度设防值中 50gal 以上的区域面积也远远小于确定性分析得到的结果。年超越概率 1×10^{-4} 的水平, 概

率性方法的 50gal 以上的区域面积和空间展布大致与确定性分析得到的结果相当,但是在震中附近,或者说潜在震源区内部其数值也远远低于确定性分析得到的参数值。

因此,在抗震设防体系中应考虑多个概率水准的地震作用,包括罕遇或者极罕遇或更低概率水准的大地震作用。否则如果像汶川地震一样的大地震发生,就会造成重大的人员伤亡和经济损失。总体上说,“防大地震作用”就是在建(构)筑物设计时考虑低超越概率风险水平的地震动影响。

4 结论

本文以龙门山地震带北川-映秀潜在震源区为例,利用概率性方法计算了不同超越概率水平的地震动参数值,并与确定性方法的结果进行了比较,得到了以下认识:

(1) 抗震设防体系中应当考虑极罕遇地震作用。“防大地震作用”应该考虑极低超越概率风险水平的地震动。包括采取规避措施、合理的建筑选型和针对罕遇、极罕遇地震作用的抗震设计。

(2) 在编制相关规划中,如社会经济发展规划、国土利用规划、城乡规划、防灾减灾规划、环境保护规划时,应该考虑极罕遇地震动的影响。并且地震应急救援重要保障措施也应该考虑极罕遇地震动的影响,同时设防工程应该考虑活动断层的避让。

参考文献

- 高孟潭,卢寿德,2006.关于下一代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.
- 国家质量技术监督局,2001.中国地震动参数区划图(GB 18306-2001).北京:中国标准出版社.
- 胡聿贤,2006.工程地震学.地震出版社:北京.
- 蔺明河,谢定义,吴先维,2006.中国地震灾害的严峻性及其相应对策.西北水力发电,22(3):83—86.
- 马宗晋,赵阿兴,1991.中国地震灾害概况和减灾对策建议.中国地震,7(1):89—94.
- 时振梁,环文林,武宦英,曹新玲,1973.我国强震活动与板块构造.地质科学,4:281—293.
- 汤保新,叶列平,陆新征,2011.丙类与乙类设防 RC 框架结构抗地震倒塌能力对比.建筑结构学报,32(10):30—38.
- 汪素云,俞言祥,高阿甲,阎秀杰,2000.中国分区地震动衰减关系的确定.中国地震,16(2):99—106.
- 张培震,2008.中国地震灾害与防震减灾.地震地质,30(3):577—583.
- 中华人民共和国建设部,1989.建设抗震设计规范(GBJ 11-89).北京:中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国建设部,2001.建筑抗震设计规范(GB 50011-2001).北京:中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2010.建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)局部修订.北京:中国建筑工业出版社.
- Wells D.L. and Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seismol. Soc. Am., 84(4): 974—1002.

Discussion on Relationship between "Anti-great earthquake" and the Ground Motion with a Low Probability of Exceedance

Chen Kun and Gao Mengtan

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

Abstract In this paper we discussed the differences and relations between "great earthquake", rare ground motion, and very rare ground motion. Taking Beichuan-Yingxiu potential seismic source zone in Longmenshan seismic belt as an example, we revealed relationship between affect of "great earthquake" and rare ground motion, very rare ground motion. After pointing out scientific and technical problems in the current seismic fortification system, we suggest that very rare ground motion should be considered if we want to deduce the potential hazard of great earthquakes in the future.

Key words: Great earthquake; Rare ground motion; Very rare ground motion; Probability of exceedance