

王珏,程宇,安晓文,等. 2023. 我国中、低烈度区罕遇地震设防水准的选取[J]. 地震研究, 46(3): 415–421, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2023.0046.

Wang J, Cheng Y, An X W, et al. 2023. Seismic fortification level of buildings subjected to the rare earthquake in middle- and low-intensity zones in China[J]. *Journal of Seismological Research*, 46(3): 415–421, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2023.0046.

我国中、低烈度区罕遇地震设防水准的选取^{*}

王珏, 程宇, 安晓文^{*}, 文雯, 姚姜森

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要: 采用概率地震危险性(PSHA)方法计算了我国中、低烈度区位于主要经济带内的28个大中城市50年超越概率3%和2%的地震动峰值加速度,为比较中、低烈度区罕遇地震不同设防水准的影响提供了定量数据;计算了中、低烈度区50年超越概率3%和2%地震作用下对应的建筑结构的屈服加速度,评价其抗震能力。结果表明:50年超越概率2%对应的屈服加速度明显大于50年超越概率3%的对应值。根据分析结果,建议抗震设计规范将中、低烈度区罕遇地震的设防水准统一至50年超越概率2%。

关键词: 抗震设防; 设防水准; PGA; 屈服加速度; 中、低烈度区; 罕遇地震

中图分类号: P315.91 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2023)03-0415-07

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2023.0046

0 引言

地震是一种突发性的自然灾害,发震地点和时间具有较大的随机性,且通常破坏性很大。我国地处欧亚地震带和环太平洋地震带之间,地震灾害频发,21世纪以来我国发生的5级以上地震超过500次,截至2018年地震灾害导致的直接经济损失超过1.4万亿元(国家统计局,2020)。据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)(以下简称“2015区划图”),我国已实现抗震设防全覆盖,Ⅶ度及以上地区面积约占国土总面积的58%,Ⅷ度及以上地区面积约占国土总面积的18%,可见地震灾害是我国防灾减灾事业面临的主要威胁之一。

为防御地震破坏,我国从《建筑抗震设计规范》(GB 50011—89)(以下简称“89规范”)开始确定了“大震不倒,中震可修,小震不坏”的抗震设计目标,多年来这一建筑抗震设防思想在国

民经济建设中发挥了重要作用(罗开海,2017)。然而,随着人们对地震灾害特点的不断深入认识和人类社会发展对抗震设防需求的变化,我国建筑物的抗震能力还不能与社会经济的快速发展相匹配(薄景山等,2022;任军宇等,2021;肖意等,2021)。现行的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(以下简称“2010规范”)中不同烈度区罕遇地震的设防标准不一致,是当前抗震设防标准和防灾对策中存在的较为突出的问题(罗开海等,2018)。

89规范和2010规范抗震设计规范均规定,罕遇地震(大震)指的是一般场地条件下50年超越概率2%~3%的地震,具体规定为Ⅶ度区及以下罕遇地震设防水准为50年超越概率3%、Ⅷ度区为2.5%、Ⅸ度区为2%。与之相对应的罕遇地震的重现期在1642~2475年,可见不同烈度区罕遇地震的风险水平差异明显。这样的规定直接导致抗震设计时不同烈度区所采用的建筑结构防倒塌设计地震动不在统一的概率水平,烈度越低的地

^{*} 收稿日期: 2022-10-08.

基金项目: 云南省地震局自立科研项目(2022ZLZX02);第一次全国自然灾害综合风险普查“一省一市”地震评估与区划项目。

第一作者简介: 王珏(1978-),工程师,主要从事工程地震和地震活动性等研究. E-mail: wjnms@126.com.

✉ 通讯作者简介: 安晓文(1964-),研究员,主要从事活动构造和地震工程等研究. E-mail: angxw@163.com.

区,防倒塌设计地震动参数也越低。数十年来的地震宏观破坏经验表明,现阶段我国工程抗震形势是中、低烈度区一旦发生超设防地震时,地震灾害风险将显著高于高烈度区,因此 2010 规范采用的罕遇地震风险水平不一致会使得中、低烈度区建筑物的地震安全形势恶化(罗开海,刘培,2016)。

目前工程界对中、低烈度区罕遇地震设防水准不统一的问题已有定性的认识,但对罕遇地震设防水准取值不统一会导致地震动峰值加速度有何变化,以及据此进行抗震设计的建筑结构的抗震能力差异等问题,尚无定量的分析结果。本文利用第一次全国自然灾害综合风险普查“一省一市”地震评估与区划试点工作取得的最新资料和 2015 区划图中概率地震危险性分析方法(Probabilistic Seismic Hazard Analysis,简称 PSHA),计算了我国中、低烈度地区大中城市 50 年超越概率 3% 与 2% 的地震动参数,并利用该结果计算了采用这两组参数进行抗震设计所得到的建筑结构的屈服加速度,据此对不同罕遇地震设防水准下结构的抗震能力差异进行初步评价。

1 中、低烈度区大中城市 50 年超越概率 3% 与 2% 的地震动参数

根据地域上分布相对均匀、且在主要经济带内的原则,本文挑选了 2015 区划图规定的 0.05 g 区、0.10 g 区和 0.15 g 区中的 28 个大中城市作为计算点。采用 2015 区划图推荐的考虑地震活动时、时空不均匀的概率分析方法,计算了这 28 个大中城市 50 年超越概率 3% 和 2% 的地震动参数,并将计算结果与 2010 规范的中、低烈度区罕遇地震设防水准的概率界定和参数取值进行比较分析。

1.1 基岩地震动参数

PSHA 计算中所使用的地震带、潜在震源区及其地震活动性参数和地震动衰减关系均采用 2015 区划图推荐的方案。其中潜在震源区划分和地震活动性模型主要参考了“中国地震动参数区划图地震活动性参数确定工作报告”(全国地震区划图编制地震活动性参数确定工作组,2011);地震动衰减关系采用 2015 区划图建立的地震动参数衰减

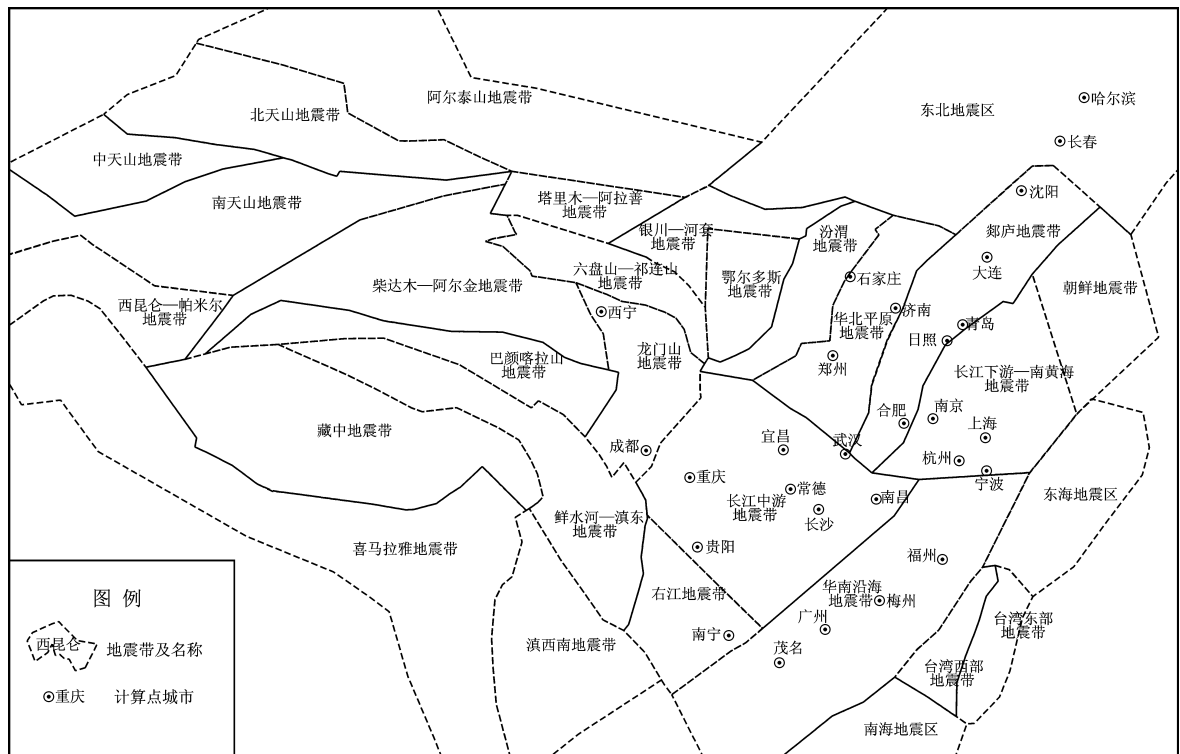


图 1 我国 28 个大中型城市及所属地震带示意图

Fig. 1 The 28 large- and medium-sized cities in China selected for probabilistic calculation and the main seismic belts

关系（俞言祥等，2013）。中国地震区、带划分及各计算点所处位置如图 1 所示。每个计算点选择其所在地震带及周边的多个地震区、带内的潜源进行计算，以保证可能对计算点产生影响的潜源不缺漏。各计算点参与计算的地震区、带和相应的地震动衰减关系见表 1。

表 1 28 个城市地震危险性分析概率计算参数
Tab. 1 Parameters for the probabilistic seismic hazard analysis of 28 cities

城市	2015 区划图 <i>PGA</i> 分区/ <i>g</i>	所属地震带	地震动衰减关系	计算地震带
重庆	0.05	长江中游地震带	中强地震区	龙门山、鲜水河—滇东、长江中游地震带
武汉	0.05	长江中游地震带	中强地震区	郯庐、华北平原、长江中游、长江下游—南海地震带
长沙	0.05	长江中游地震带	中强地震区	郯庐、华北平原、长江中游、长江下游—南海、华南沿海地震带
南昌	0.05	长江中游地震带	中强地震区	郯庐、华北平原、长江中游、长江下游—南海、华南沿海地震带
贵阳	0.05	长江中游地震带	中强地震区	华南沿海、长江中游、右江地震带
济南	0.05	华北平原地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原地震带
宜昌	0.05	长江中游地震带	中强地震区	郯庐、华北平原、长江中游地震带
哈尔滨	0.10	东北地震区	中强地震区	郯庐、东北地震带
长春	0.10	东北地震区	中强地震区	郯庐、东北地震带
沈阳	0.10	郯庐地震带	东部强震活跃区	郯庐、东北地震带
大连	0.10	郯庐地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原地震带
合肥	0.10	郯庐地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原、长江中游、长江下游—南海地震带
上海	0.10	长江下游—南海地震带	东部强震活跃区	郯庐、华南沿海、长江下游—南海、长江中游地震带
杭州	0.10	长江下游—南海地震带	东部强震活跃区	郯庐、华南沿海、长江下游—南海、长江中游地震带
成都	0.10	龙门山地震带	青藏区	龙门山、鲜水河—滇东、长江中游地震带
南宁	0.10	右江地震带	中强地震区	华南沿海、长江中游、右江地震带
广州	0.10	华南沿海地震带	东部强震活跃区	华南沿海、长江中游、台湾西部、台湾东部地震带
福州	0.10	华南沿海地震带	东部强震活跃区	华南沿海、长江中游、台湾西部、台湾东部地震带
石家庄	0.10	华北平原地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原、汾渭地震带
南京	0.10	长江下游—南海地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原、长江中游、长江下游—南海地震带
西宁	0.10	龙门山地震带	青藏区	龙门山、六盘山—祁连山、柴达木—阿尔金地震带
宁波	0.10	长江下游—南海地震带	东部强震活跃区	郯庐、华南沿海、长江下游—南海、长江中游地震带
茂名	0.10	华南沿海地震带	东部强震活跃区	华南沿海、长江中游、台湾西部、台湾东部地震带
梅州	0.10	华南沿海地震带	东部强震活跃区	华南沿海、长江中游、台湾西部、台湾东部地震带
青岛	0.10	郯庐地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原、长江下游—南海地震带
日照	0.10	郯庐地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原、长江下游—南海地震带
郑州	0.15	华北平原地震带	东部强震活跃区	郯庐、华北平原、汾渭地震带
常德	0.15	长江中游地震带	中强地震区	郯庐、华北平原、长江中游、长江下游—南海、华南沿海地震带

1.2 一般场地条件（Ⅱ类场地）地震动参数

通常情况下，基岩地震动参数需要转换为地表地震动参数才能为抗震设防所采用。据 2015 区划图的技术方法（高孟潭，2015），一般场地条件（Ⅱ类场地）和基岩场地（Ⅰ₁类场地）对应的加速度分档和这两种场地类别之间的转换系数经验值见表 2。从基岩场地地震动参数转换到地表地震动参数时，通常表示如下：

$$A_{\max}(\text{Ⅱ}) = A_{\max}(\text{Ⅰ}_1)F_a \tag{1}$$

式中： $A_{\max}(\text{Ⅱ})$ 为Ⅱ类场地地震动峰值加速度； $A_{\max}(\text{Ⅰ}_1)$ 为基岩场地地震动峰值加速度； F_a 为不同场地类别之间峰值加速度的转换系数。

当 $A_{\max}(\text{Ⅰ}_1)$ 处在不同加速度分档之间时， F_a 按表 2 中给出的控制点进行线性插值。表 3 给出了按照上述转换方法得到的 28 个城市一般场地条件（Ⅱ类场地）地震动峰值加速度。

表 2 基岩峰值加速度与一般场地峰值加速度转换系数

Tab. 2 The conversion coefficients for the bedrock *PGA* and general-site *PGA*

场地类别	地震动峰值加速度控制点					
Ⅱ类场地地震动峰值 加速度值/ <i>g</i>	≤0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	≥0.40
Ⅰ ₁ 类场地地震动峰值 加速度值/ <i>Gal</i>	≤39	80	123	167	280	≥392
Ⅱ类和Ⅰ ₁ 类场地转换系数 <i>F_a</i>	1.25	1.22	1.20	1.18	1.05	1.00

表 3 28 个城市一般场地条件（Ⅱ类场地）峰值加速度

Tab. 3 The *PGA* at the sites in general conditions in 28 cities

地名	2015 区划图	<i>PGA</i> / <i>Gal</i>	
	<i>PGA</i> / <i>g</i>	50 年超越概率 3%	50 年超越概率 2%
重庆	0.05	117.7	141.8
贵阳	0.05	114.9	134.5
长沙	0.05	133.1	152.7
武汉	0.05	107.4	119.8
南昌	0.05	136.6	155.4
宜昌	0.05	131.8	149.2
济南	0.05	137.6	155.1
哈尔滨	0.10	205.7	246.1
长春	0.10	206.0	246.6
沈阳	0.10	226.9	267.7
大连	0.10	223.2	251.6
石家庄	0.10	214.0	241.0
青岛	0.10	218.0	256.7
日照	0.10	229.0	271.6
南京	0.10	222.2	254.5
杭州	0.10	210.6	244.7
宁波	0.10	224.4	260.5
上海	0.10	227.7	269.9
合肥	0.10	210.5	243.9
福州	0.10	209.1	238.9
广州	0.10	212.8	245.3
茂名	0.10	218.1	251.5
梅州	0.10	212.9	243.2
南宁	0.10	227.8	265.9
成都	0.10	220.7	248.3
西宁	0.10	224.8	258.2
常德	0.15	281.2	339.9
郑州	0.15	289.6	340.3

从表 3 可看出，超越概率水准的高低直接影响抗震设计所对应的地震动参数的大小。为讨论我国中、低烈度区 50 年超越概率 3% 和 2% 的地震动峰值加速度与 2010 规范中罕遇地震峰值加速度取值的差异，做以下 3 种比较。

0.05 *g* 区（Ⅵ度区），2010 规范中罕遇地震峰值加速度取值为 122 *Gal*，计算点 50 年超越概率 3%、2% 峰值加速度均值分别为 126 和 144 *Gal*，可见 50 年超越概率 3% 峰值加速度计算值与规范值相当，超越概率 2% 峰值加速度均值较规范值大 18%。

0.10 *g* 区（Ⅶ度区），2010 规范中罕遇地震峰值加速度为 218 *Gal*，计算点 50 年超越概率 3%、2% 峰值加速度均值分别为 218 和 253 *Gal*，50 年超越概率 3% 峰值加速度计算值与规范值相当，2% 峰值加速度计算均值较规范值大 16%。

0.15 *g* 区（Ⅶ度半区），2010 规范中罕遇地震峰值加速度为 314 *Gal*，计算点 50 年超越概率 3%、2% 峰值加速度均值分别为 285 和 340 *Gal*，50 年超越概率 3% 峰值加速度计算值小于规范值，如前所述 2010 规范采用的设防水准应为 50 年超越概率 2.5%，2% 峰值加速度计算均值则较规范值大 8.4%。

从上述结果看，烈度值越低，50 年超越概率 3% 和 2% 的地震动峰值加速度的差值越大。低烈度区罕遇地震的设防水准采用 50 年超越概率 3%，会使大震的风险水平被低估，致使建筑防倒塌水准也偏低。

地震的发生具有很大的不确定性，在中、低烈度区造成严重灾害的强震时有发生（《中国地震年鉴编辑部》，2002，2017）。随着人们对地震灾害的认识不断深入和人类社会发 展对抗震设防需求的提高，对于一座城市，尽管发生破坏性地震的概率极小，但破坏性地震一旦发生往往产生巨灾，损失惨重（薄景山等，2019）。因此，在中、低烈度区（Ⅵ度区和Ⅶ度区）罕遇地震设防水准采用 50 年超越概率 3% 可能会加大该类地区的地震灾害风险。

2 不同罕遇地震设防水准对典型建筑结构抗震能力的影响

本文从建筑结构的地震易损性出发，以地震屈服加速度作为评价指标，讨论采用 50 年超越概率 3% 和 2% 作为设计参数的建筑物的抗震能力。

地震屈服加速度是指设防标准下结构构件最大设计承载力所对应的谱加速度值，是建筑物抗震能力总的评价指标之一。屈服加速度的大小可以反映建筑物抗御地震作用的能力（尹之潜，

1994；尹之潜等，2003）。表4给出了我国城镇现有的6种量大面广的典型建筑类型（尹之潜，杨淑文，2021）。

尹之潜（2010）得出的地震屈服加速度公式为：

$$\alpha_y = \lambda_2 \alpha_d \tag{2}$$

$$\lambda_2 = r_e r_g r_d r_s \tag{3}$$

表4 我国典型城镇建筑类型
Tab.4 Typical building types in urban areas in China

序号	代码	结构类型	楼层	结构代表 周期/s
1	BW	多层砖结构（住宅、办公楼、病房等）	3~8	0.30
2	BS	多层砖结构教学楼房	3~6	0.33
3	RF1	钢筋混凝土框架结构	5~10	0.63
4	RF2	钢筋混凝土框架结构	11~16	0.99
5	FRS2	钢筋混凝土框架剪力墙结构	21~26	1.58
6	SF1	钢框架结构	15~20	1.25

表5 我国中、低烈度区8个大中城市典型建筑结构类型屈服加速度

Tab.5 The yield acceleration of typical structures in some large-and medium-sized cities in moderate-and low-intensity zones in China

罕遇地震加速度		典型建筑 结构类型	屈服加速度/g		罕遇地震加速度		典型建筑 结构类型	屈服加速度/g	
城市	峰值标准值		50 年超越 概率 3%	50 年超越 概率 2%	城市	峰值标准值		50 年超越 概率 3%	50 年超越 概率 2%
	<i>K/g</i>					<i>K/g</i>			
重庆	0.125	BW	1.84 <i>K</i>	2.21 <i>K</i>	福州	0.220	BW	1.85 <i>K</i>	2.12 <i>K</i>
		BS	1.84 <i>K</i>	2.21 <i>K</i>			BS	1.85 <i>K</i>	2.12 <i>K</i>
		RF1	1.10 <i>K</i>	1.33 <i>K</i>			RF1	1.11 <i>K</i>	1.27 <i>K</i>
		RF2	1.18 <i>K</i>	1.42 <i>K</i>			RF2	1.19 <i>K</i>	1.36 <i>K</i>
		FRS2	1.25 <i>K</i>	1.50 <i>K</i>			FRS2	1.26 <i>K</i>	1.44 <i>K</i>
		SF1	0.99 <i>K</i>	1.19 <i>K</i>			SF1	1.00 <i>K</i>	1.14 <i>K</i>
济南	0.125	BW	2.15 <i>K</i>	2.42 <i>K</i>	广州	0.220	BW	1.89 <i>K</i>	2.17 <i>K</i>
		BS	2.15 <i>K</i>	2.42 <i>K</i>			BS	1.89 <i>K</i>	2.17 <i>K</i>
		RF1	1.29 <i>K</i>	1.45 <i>K</i>			RF1	1.13 <i>K</i>	1.30 <i>K</i>
		RF2	1.37 <i>K</i>	1.55 <i>K</i>			RF2	1.21 <i>K</i>	1.39 <i>K</i>
		FRS2	1.46 <i>K</i>	1.65 <i>K</i>			FRS2	1.28 <i>K</i>	1.48 <i>K</i>
		SF1	1.16 <i>K</i>	1.31 <i>K</i>			SF1	1.02 <i>K</i>	1.17 <i>K</i>
沈阳	0.220	BW	2.01 <i>K</i>	2.37 <i>K</i>	郑州	0.310	BW	1.82 <i>K</i>	2.14 <i>K</i>
		BS	2.01 <i>K</i>	2.37 <i>K</i>			BS	1.82 <i>K</i>	2.14 <i>K</i>
		RF1	1.21 <i>K</i>	1.42 <i>K</i>			RF1	1.09 <i>K</i>	1.28 <i>K</i>
		RF2	1.29 <i>K</i>	1.52 <i>K</i>			RF2	1.17 <i>K</i>	1.37 <i>K</i>
		FRS2	1.37 <i>K</i>	1.61 <i>K</i>			FRS2	1.24 <i>K</i>	1.46 <i>K</i>
		SF1	1.09 <i>K</i>	1.28 <i>K</i>			SF1	0.98 <i>K</i>	1.16 <i>K</i>
上海	0.220	BW	2.02 <i>K</i>	2.39 <i>K</i>	常德	0.310	BW	1.77 <i>K</i>	2.14 <i>K</i>
		BS	2.02 <i>K</i>	2.39 <i>K</i>			BS	1.77 <i>K</i>	2.14 <i>K</i>
		RF1	1.21 <i>K</i>	1.44 <i>K</i>			RF1	1.06 <i>K</i>	1.28 <i>K</i>
		RF2	1.29 <i>K</i>	1.53 <i>K</i>			RF2	1.13 <i>K</i>	1.37 <i>K</i>
		FRS2	1.37 <i>K</i>	1.63 <i>K</i>			FRS2	1.20 <i>K</i>	1.45 <i>K</i>
		SF1	1.09 <i>K</i>	1.29 <i>K</i>			SF1	0.96 <i>K</i>	1.15 <i>K</i>

式中： λ_2 为结构构件内力组合系数； α_d 是设计地震加速度，单位为g； r_e 是地震作用分项系数， r_g 是重力荷载分项系数影响值， r_d 是材料强度抗震调整系数，这3个参数采用2010规范给出的不同结构类型进行取值； r_s 为结构构件承载为调整系数，砖结构一般取1.25，钢混结构按实际配筋率与计算配筋率之比取值（建筑抗震设计规范，GB 50011—2010；建筑结构设计统一标准，GB 50068—2018）。

本文按照公式（2）、（3）计算了我国中、低烈度区8个大中城市典型建筑结构以50年超越概率3%和2%地震动峰值加速度为设计参数的地震屈服加速度（表5）。表5中K是2010规范中罕遇地震对应的地震加速度峰值。从计算结果看，对不同烈度区、不同结构类型而言，50年超越概率2%对应的屈服加速度总体上均明显大于50年超越概率3%的对应值。在设防加速度为0.05g（Ⅵ度）的地区，不同结构类型的50年超越概率3%和2%罕遇地震所对应的屈服加速差异为12%~20%，0.10g（Ⅶ度）地区的差异为14%~19%，

0.15 g (Ⅶ度)地区的差异为17%~21%。按2010规范,0.15 g及以下的中、低烈度区罕遇地震均采用50年超越概率3%的地震动峰值加速度,因此当遭遇大震危险时,中、低烈度区的房屋建筑抗震能力相对高烈度地区更加偏于不安全。

3 结论

本文利用PSHA方法,计算了中、低烈度区大中城市50年超越,概率3%和2%的地震动峰值加速度。在此基础上,以屈服加速度为指标,对比分析了中低烈度区罕遇地震不同设防水准下建筑结构的抗震能力,得出以下结论:

(1) 根据PSHA结果,现行2010规范规定的Ⅵ度、Ⅶ度地区罕遇地震设防水准所对应的地震动峰值加速度值明显低于PSHA方法的结果。建议修订抗震规范时,应综合考虑社会经济发展水平、地震与工程抗震研究新成果和抗震设防思想的发展动态,充分体现“以人为本、人人平等”的原则,将我国不同烈度区建筑抗震设计采用的罕遇地震风险水平统一为50年超越概率2%。

(2) 根据50年超越概率3%和2%所对应的地震屈服加速度计算结果,当遭遇大震危险时,在2010规范的中、低烈度区罕遇地震风险水平下,房屋建筑结构的抗震能力相对高烈度地区的更加偏于不安全。根据我国国情,大幅度提高现有抗震设防烈度分布并不现实,也不科学(中华人民共和国国务院,2021)。因此,对于中、低烈度的地区,将罕遇地震的设防水准由50年超越概率3%提高至2%是比较科学、合理的。

地震设防标准是一个涉及科学性、经济性和政策性等多个方面的综合性工程技术问题。本文仅用不同概率水准地震动参数相应的结构屈服加速度一个指标讨论了中、低烈度区罕遇地震设防水准偏低的问题。在今后的研究中,在地震风险普查建筑物抽样调查工作获得的详细资料的基础上,可采用完整的建筑物地震易损性分析方法,评估中、低烈度

区两种罕遇地震设防水准下的建筑的抗震能力,为抗震设计提供论证资料和决策依据。

参考文献:

- 薄景山,李平,孙有为,等.2019.中国城市抗御地震灾害研究的发展与实践[J].震灾防御术,14(2):259-268.
- 薄景山,王玉婷,薄涛,等.2022.城市和建筑抗震韧性研究的进展与展望[J].地震工程与工程振动,42(2):13-21.
- 高孟潭.2015.GB 18306—2015《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M].北京:中国标准出版社.
- 国家统计局.2020.中国统计年鉴(2019年)[M].北京:中国统计出版社.
- 罗开海,保海娥,左琼.2018.我国建筑抗震设防水准的历史沿革、现状及展望[J].地震工程与工程振动,38(4):41-47.
- 罗开海,刘培.2016.新一代地震区划图调整统计及抗震规范局部修订简介[J].城市与减灾,108:43-48.
- 罗开海.2017.建筑抗震设防思想发展动态及展望[J].工程抗震与加固改造,39(S1):99-105.
- 全国地震区划图编制地震活动性参数确定工作组.2011.中国地震动参数区划图地震活动性参数确定工作报告[R].
- 任军宇,潘鹏,王涛,等.2021.GB/T 38591—2020《建筑抗震韧性评价标准》解读[J].建筑结构学报,42(1):48-56.
- 肖意,周颖,吴浩,等.2021.GB/T 38591—2020《建筑抗震韧性评价标准》与国际相关标准对比研究[J].建筑结构学报,42(7):194-202.
- 尹之潜,杨淑文.2021.地震损失分析与设防标准[M].北京:地震出版社.
- 尹之潜,赵直,杨淑文,等.2003.建筑物易损性和地震损失与地震加速度谱值的关系(上)[J].地震工程与工程振动,23(4):195-200.
- 尹之潜.1994.地震灾害损失预测的动态分析模型[J].自然灾害学报,3(2):72-80.
- 尹之潜.2010.现有建筑抗震能力评估[J].地震工程与工程振动,30(1):36-45.
- 俞言祥,李山有,肖亮.2013.为新区划图编制所建立的地震动衰减关系[J].震灾防御技术,8(1):24-33.
- 《中国地震年鉴》编辑部.2002.中国地震年鉴[M].北京:地震出版社.
- 《中国地震年鉴》编辑部.2017.中国地震年鉴[M].北京:地震出版社.
- 中华人民共和国国务院.2021.建设工程抗震管理条例[Z].
- GB 18306—2015,中国地震动参数区划图[S].
- GB J11—89,建筑抗震设计规范[S].
- GB 50011—2010,建筑抗震设计规范[S].
- GB 50068—2018,建筑结构设计统一标准[S].

Seismic Fortification Level of Buildings Subjected to the Rare Earthquake in Middle- and Low-intensity Zones in China

WANG Jue, CHENG Yu, AN Xiaowen, WEN Wen, YAO Jiangsen
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

The Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) is used to compute the peak acceleration of earthquakes with a probability of more than 3% and 2% in 50 years for 28 large- and medium-sized cities of China in the middle- and low-intensity zones, which are situated in the main earthquake monitoring and preparedness areas. At the middle- and low-intensity locations, quantitative statistics from PSHA method are supplied to compare the impact of various seismic fortification levels. The seismic yield acceleration is then utilized as a measure to assess the seismic performance of the related building structures in the intermediate- and low-intensity zones hit by the earthquakes with exceeding probabilities of 3% and 2% in 50 years, respectively. According to the research results, the seismic design code should standardize the seismic fortification level of the rare earthquake at the middle- and low-intensity locations to a 2% exceeding probability in 50 years.

Keywords: aseismic design; seismic fortification level; *PGA*; seismic yield acceleration; middle- and low-intensity zones; the rare earthquake