

村镇建筑基于性态抗震设防的地震保险费率厘定*

马玉宏¹, 赵桂峰², 陈小飞¹, 谭平¹, 谢礼立^{1,3}

(1. 广州大学 工程抗震研究中心 广东省地震工程与应用技术重点实验室, 广东 广州 510405; 2. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006; 3. 中国地震局工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 针对目前城市和村镇地区采用统一抗震设防标准的现状, 将村镇建筑分为农村、乡镇、县城3个层次, 制定基于性态抗震设防标准并开展相应的地震易损性分析, 进而计算典型砌体结构的离散化震害矩阵。通过考虑不同地区地震危险性特征的差异来计算地震危险性曲线, 并分析不同层次村镇结构在将来地震中的可能经济损失, 确定相应地震保险费率。通过对不同层次、不同设防标准的典型砌体结构地震保险费率的对比, 验证了将村镇地区分3个层次并考虑不同地区地震危险性差异来研究地震保险费率的合理性。

关键词: 地震保险费率; 村镇建筑; 性态设防; 易损性; 地震危险性特征

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)03-0461-06

0 引言

我国目前震后灾区的恢复重建工作主要靠政府资助、援建以及社会捐赠, 由于国家财力和社会捐赠有限, 很难有效弥补地震灾害所造成的实际损失。地震保险是补偿地震经济损失、实现人员互助、提高救灾能力、减轻政府负担的有效手段, 对地震后恢复重建、社会安定具有重要意义, 而我国目前国土面积仍以村镇地区为主, 因此村镇建筑在将来地震作用下的地震灾害损失不容忽视, 其相应的地震保险机制及保险费率的研

究十分必要。国际上, 日本、美国、墨西哥、新西兰和澳大利亚等国家都开展了地震保险业务, 尤其是日本起步较早, 并且随着经历地震的增多, 其法律法规逐步完善, 商业运营方面逐步成熟。我国从新中国成立以来, 由将地震等巨灾责任在内的一揽子责任财产保险的承保办法到1996年中国人民银行将“地震所造成的一切损失”列入责任免除条款, 地震保险业务经历了“从重视到不考虑再到日益重视”的几个阶段(马玉宏, 赵桂峰, 2008)。2013年十八届中央委员会第三次全体会议《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》中更提出要“完善保险经济补偿机制, 建立巨灾保险制度”, 标志我国地

震保险制度得到了更高的重视。在厘定地震保险费率方面, 美国、德国等国家采用建立地震模型并编制相应的大型分析软件的方法, 例如美国研发了地震损失估计软件 HAZUS、IRAS (Tantala *et al.*, 2008)、德国研发了 MRHazard 软件等 (Smolka, 2006), 而我国在这方面做的还不是十分完善。虽然很多研究者在这方面进行了探索(陈英方, 陈长林, 1996; 刘如山等, 2006; 陶正如, 陶夏新, 2004; 邬亲敏等, 2004; 和飞, 2003; 薛育, 杨新华, 1995; 巫孟还, 邹其嘉, 1992; 陈保华, 叶民权, 1998; 孙振凯, 2012), 但还没有形成一个官方的大型通用评估软件。

目前我国对村镇建筑与城市规定了相同的抗震设防标准, 这种做法会导致未考虑村镇与城市中结构类型及经济发展水平的差异、未考虑地震危险性的差异、村镇抗震设防难以实现等一系列的问题(陈小飞, 马玉宏, 2012), 为此, 作者提出了将村镇地区建筑分为农村、乡镇、县城3个层次来规定其不同的抗震设防标准, 对不同层次村镇建筑规定其使用功能分类方法, 给出相应的抗震性态目标及设计类别(陈小飞, 马玉宏, 2012), 进而开展了基于性态标准的不同层次村镇建筑的地震易损性分析, 得出了相应的地震易损性曲线(赵桂峰等, 2014), 可为村镇建筑的抗震设计提供依据。本文在基于性态标准的不同层次

* 收稿日期: 2014-09-09.

基金项目: 十二五国家科技支撑计划项目(2012BAJ07B02), 国家重点基础研究发展计划973项目(2012CB723304)、国家自然科学基金重大研究集成项目(91315301)及教育部创新团队项目(IRT13057)联合资助。

村镇建筑地震易损性分析的基础上,估计村镇建筑在将来地震作用下可能产生的地震经济损失,进而分析不同层次村镇建筑的地震保险费率,为村镇房屋抗震救灾措施的制定提供科学依据。

1 村镇建筑基于性态标准的震害矩阵

笔者曾以目前在我国村镇建筑中广泛采用的

砌体结构为研究对象,选取了不同性态标准(不同层数、不同构造措施、不同砖砌体强度)的典型砌体结构(表1),基于地震动峰值加速度进行了详细的地震易损性分析比较研究,并给出了以地震烈度为变量的震害矩阵的生成方法(赵桂峰等,2014)。依据易损性曲线,计算得到典型平房、二层及三层砌体结构模型的震害矩阵示例(表2~4)。

表 1 不同性态标准的村镇建筑模型及编号

Tab. 1 The calculation model and the corresponding number of rural buildings with different performance level

地区	模型号			所选材料模型
	平房模型	二层模型	三层模型	
农村地区	Model 1-1	Model 2-1	—	无构造柱等措施的 Mu10-M2.5 材料模型
	Model 1-2	Model 2-2	—	有构造柱等措施的 Mu10-M2.5 材料模型
	Model 1-3	—	—	无构造柱等措施的 Mu10-M5 材料模型
乡镇地区	Model 1-2	—	—	有构造柱等措施的 Mu10-M2.5 材料模型
	Model 1-4	Model 2-4	Model 3-1	有构造柱等措施的 Mu10-M5 材料模型
	Model 1-5	Model 2-3	Model 3-2	无构造柱等措施的 Mu15-M2.5 材料模型
	Model 1-6	—	—	有构造柱等措施的 Mu15-M2.5 材料模型
县城地区	Model 1-5	—	—	无构造柱等措施的 Mu15-M2.5 材料模型
	Model 1-6	Model 2-5	Model 3-3	有构造柱等措施的 Mu15-M2.5 材料模型
	Model 1-7	—	—	无构造柱等措施的 Mu15-M5 材料模型
	Model 1-8	Model 2-6	Model 3-4	有构造柱等措施的 Mu15-M5 材料模型

表 2 平房结构不同性态标准的典型震害矩阵

Tab. 2 The typical damage matrix of one-story masonry building with different performance level

烈度及 PGA 破坏状态	Model 1-1				Model 1-3				Model 1-2			
	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度
	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g
完好	0.607	0.247	0.057	0.007	0.837	0.568	0.191	0.048	0.669	0.285	0.068	0.008
轻微破坏	0.184	0.277	0.031	0.006	0.062	0.190	0.068	0.027	0.166	0.288	0.099	0.022
中等破坏	0.122	0.239	0.279	0.049	0.049	0.102	0.108	0.063	0.130	0.280	0.351	0.101
严重破坏	0.075	0.129	0.194	0.231	0.051	0.109	0.287	0.244	0.035	0.147	0.345	0.279
倒塌	0.015	0.110	0.471	0.716	0.004	0.034	0.350	0.603	0.000	0.005	0.149	0.632

表 3 二层砌体不同性态标准的典型震害矩阵

Tab. 3 The typical damage matrix of two-stories masory building with different performance level

烈度及 PGA 破坏状态	Model 2-1				Model 2-3				Model 2-2			
	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度
	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g
完好	0.925	0.385	0.031	0.000	0.626	0.111	0.004	0.000	0.881	0.351	0.035	0.001
轻微破坏	0.030	0.189	0.020	0.000	0.182	0.109	0.003	0.000	0.080	0.276	0.065	0.003
中等破坏	0.031	0.263	0.055	0.002	0.117	0.212	0.013	0.000	0.041	0.260	0.301	0.122
严重破坏	0.013	0.115	0.272	0.004	0.071	0.217	0.212	0.000	0.007	0.121	0.341	0.168
倒塌	0.001	0.053	0.630	0.975	0.013	0.345	0.776	0.996	0.000	0.003	0.262	0.707

表 4 三层砌体不同性能标准的典型震害矩阵
Tab. 4 The typical damage matrix of three-stories masonry building with different performance level

烈度及 PGA 破坏状态	Model 3-2				Model 3-1				Model 3-3			
	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度
	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g	0.065 g	0.133 g	0.261 g	0.512 g
完好	0.747	0.185	0.009	0.000	0.884	0.434	0.074	0.003	0.763	0.190	0.009	0.000
轻微破坏	0.117	0.066	0.007	0.000	0.073	0.246	0.104	0.011	0.130	0.312	0.023	0.000
中等破坏	0.086	0.338	0.124	0.000	0.036	0.228	0.297	0.061	0.084	0.296	0.405	0.004
严重破坏	0.046	0.258	0.287	0.031	0.006	0.091	0.384	0.233	0.018	0.192	0.283	0.220
倒塌	0.005	0.155	0.675	0.973	0.000	0.001	0.246	0.641	0.000	0.012	0.225	0.772

2 地震烈度危险性曲线及年超越概率

烈度的概率分布符合极大值的极值Ⅲ型，利用形状参数 k 来表征不同地区地震危险性差异，并利用地震烈度区划图中给出的 50 年超越概率 10% 对应的基本烈度 I_0 ，可以推导出任意烈度的危险性曲线表达式如下（马玉宏，赵桂峰，2008）：

$$P(I \geq i | 50) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\omega - i}{\omega - I_0} \right)^k / 10^{0.9773} \right\}. \quad (1)$$

其中： $P(I \geq i | 50)$ 是在设计基准期 50 年内，烈度超越 i 的概率； ω 为地震烈度上限值，一般取 $\omega = 12$ 度； ε 为发震概率密度最大的众值烈度，取 50 年超越概率 63.2% 对应的烈度； k 是表征不同地区地震危险性差异的形状参数，对于地震危险性分区Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区， k 可分别取 6、10、20。

由烈度危险性曲线公式可计算烈度的年超越概率及年发生概率，分别如式（2）、式（3）所示

$$P(I \geq i | 1 \text{ 年}) = 1 - \left(1 - P(I \geq i | 50) \right)^{\frac{1}{TL}}$$
$$= 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{12 - i}{12 - I_0} \right)^k / 10^{0.9773} \right\}^{\frac{1}{TL}}. \quad (2)$$

$$P(I = i | 1 \text{ 年}) = P(I \geq i | 1 \text{ 年}) - P(I \geq i + 1 | 1 \text{ 年}). \quad (3)$$

式中， TL 是结构的设计基准期。

3 基于不同性能标准的村镇建筑地震保险费率

在将来可能遭遇的地震作用下，村镇建筑的地震

年平均损失率期望值为（马玉宏，赵桂峰，2008）

$$E(RL)_{\text{年}} = \sum_i RL(I_i) \cdot P(I = i | 1 \text{ 年}). \quad (4)$$

式中， $RL(I_i)$ 为相应的平均损失率期望值。

考虑各种地震风险的可能，村镇建筑自身破坏的年地震保险费率期望值为（马玉宏，赵桂峰，2008）

$$E(RL_1)_{\text{年}} = \sum_{6^{\circ}}^{9^{\circ}} \sum_{j=1}^5 l_1(D_j) \cdot P(D_j | I = I_i) \cdot P(I = i | 1 \text{ 年}). \quad (5)$$

室内财产的年地震保险费率期望值为

$$E(RL_2)_{\text{年}} = \sum_{6^{\circ}}^{9^{\circ}} \sum_{j=1}^5 l_2(D_j) \cdot P(D_j | I = I_i) \cdot P(I = i | 1 \text{ 年}). \quad (5)$$

其中， $P(D_j | I = I_i)$ 是指村镇建筑在地震烈度 I_i 作用下发生第 D_j 级破坏的概率，即本文第 1 节所得震害矩阵； $l_1(D_j)$ 、 $l_2(D_j)$ 分别为村镇建筑发生各级破坏时建筑自身的直接经济损失比和室内财产损失比，参考已有文献，综合考虑我国不同村镇地区经济发展水平和实际情况，建议平房及多层砖房的参数取值见表 5； D_j 代表完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌 5 种震害等级。

对表 1 所述的不同性能水准的结构模型分别计算其相应的地震保险费率，平房、二层砌体房屋及三层砌体房屋在不同危险性特征区内的地震保险费率（含房屋自身及室内资产的损失）计算结果分别见图 1~3。

从前文所述及图 1~3 可知：

（1）无论对于平房模型，还是二层、三层分析模型，在采取的抗震构造措施相同时，从地震危险性特征Ⅰ区到Ⅲ区，在将来投保时所需的地

表 5 村镇建筑各级破坏对应的自身破坏和室内财产损失比 (%)

Tab. 5 Loss rates of rural buildings corresponding to the five damage state and indoor property (%)

结构类型	完好		轻微破坏		中等破坏		严重破坏		倒塌	
	$l_1(D_j)$	$l_2(D_j)$	$l_1(D_j)$	$l_2(D_j)$	$l_1(D_j)$	$l_2(D_j)$	$l_1(D_j)$	$l_2(D_j)$	$l_1(D_j)$	$l_2(D_j)$
农村平房	0	0	4	0	10	0	40	20	100	90
城镇平房	0	0	6	0	20	5	50	25	100	90
县城平房	0	0	8	0	30	10	60	30	100	90
农村多层砖房	0	0	5	0	20	15	50	35	100	95
城镇多层砖房	0	0	8	0	30	20	60	40	100	95
县城多层砖房	0	0	10	0	40	25	70	45	100	95

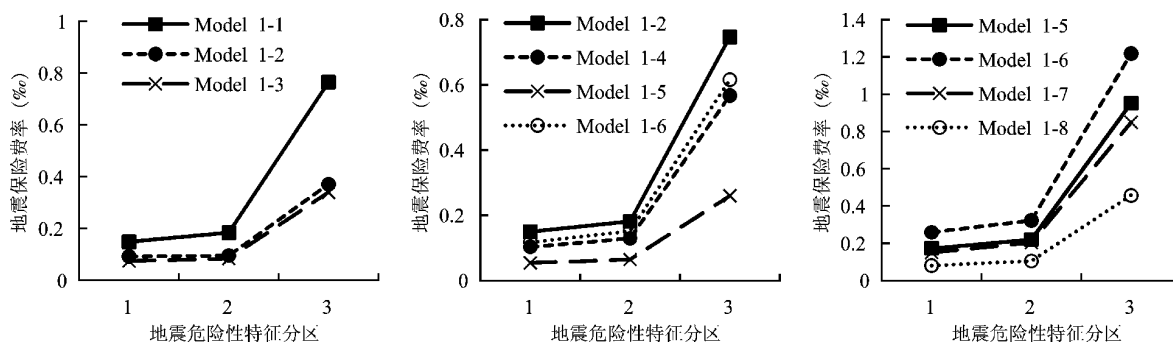


图 1 不同地震危险性特征区内平房结构的地震保险费率

(a) 农村地区; (b) 乡镇地区; (c) 县城地区

Fig. 1 Earthquake insurance premium rate of one-story masonry building in different seismic hazard characteristic zone

(a) the area of village; (b) the area of town; (c) the area of country

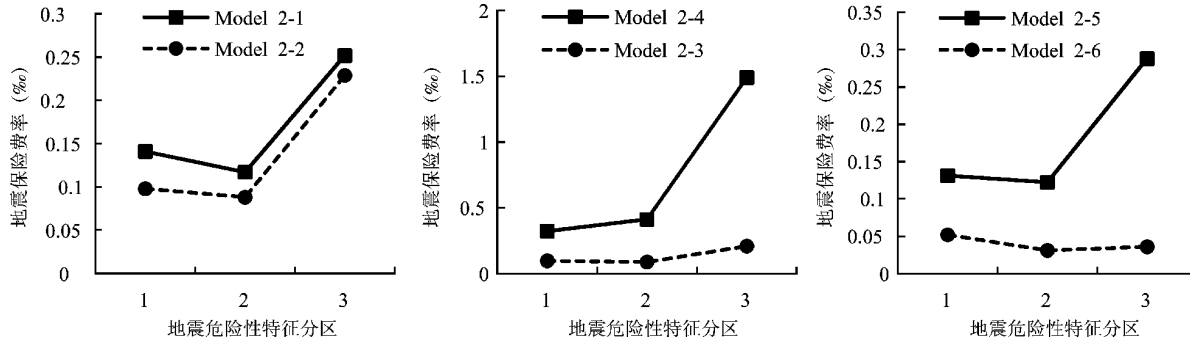


图 2 不同地震危险性特征区内二层房屋的地震保险费率

(a) 农村地区; (b) 乡镇地区; (c) 县城地区

Fig. 2 Earthquake insurance premium rate of two-stories masonry building in different seismic hazard characteristic zone

(a) the area of village; (b) the area of town; (c) the area of country

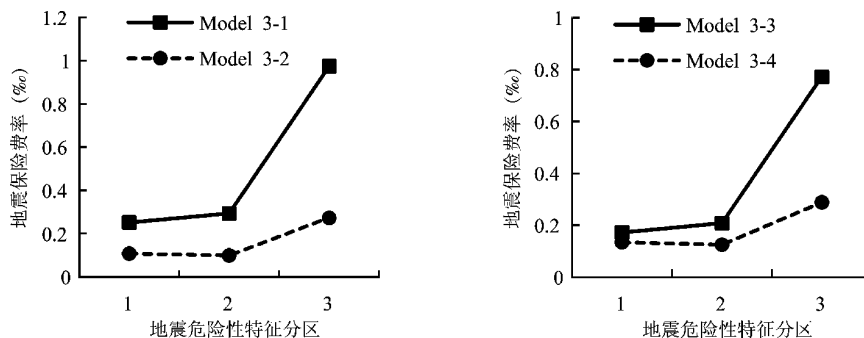


图 3 不同地震危险性特征区内三层房屋的地震保险费率

(a) 乡镇地区; (b) 县城地区

Fig. 3 Earthquake insurance premium rate of three-stories masonry building in different seismic hazard characteristic zone

(a) the area of town; (b) the area of country

震保险费率基本呈逐渐增大的趋势,尤其是Ⅲ区的地震保险费率要明显高于其它两个区。得出此结果的原因是在其它条件相同的情况下,高烈度的危险性Ⅰ区在50年内发生地震的年平均概率低,而低烈度的危险性Ⅲ区在50年内发生地震的年平均概率高。

(2) 在同一个地震危险性特征区内,无构造措施或砂浆强度等级低的房屋所需要付出的地震保险费率也较高,反之构造措施完善、砂浆强度等级高的房屋,其地震保险费率就越低。其原因是无构造措施情况下结构的易损性增高,因此在将来可能的地震下产生的损失也增大,因此保险费率就越高。

(3) 结构模型和所处地震危险性特征区相同,农村、乡镇和县城这3个层次和地区的地震保险费率也不同。当构造措施相同时,农村、乡镇、县城房屋的保险费率依次增加。其原因是不同地区房屋及室内的损失比不同且设防标准不同,县城地区发生同样破坏时损失比最大。

(4) 世界各国地震保险费率的大致取值范围为0.1‰~9‰,本文计算所得的地震保险费率大致均在此范围内,最大值为1.49‰,总体来说偏小。说明按照本文基于性态设防标准设计建造的不同层次的村镇房屋在将来可能产生的损失较小,需要缴纳的地震保险费也较小,也从另一个角度证明了将村镇建筑分为农村、乡镇、县城3个层次来设计建造房屋是合理的。

4 结论

本文针对村镇建筑,在考虑不同地区地震危险性特征差异,同时分层次制定基于性态抗震设防标准的基础上,基于不同层次、不同设防标准的村镇建筑地震易损性分析结果,运用地震灾害风险分析及地震保险的相关理论知识,计算得到不同层次、不同设防标准的村镇建筑的地震保险费率,通过典型村镇建筑地震费率的比对分析,得出如下结论:

(1) 对相同结构类型、相同构造措施的村镇建筑,当其在不同危险性特征区内时,所计算得到的地震保险费率差别较大,说明在计算保险费率时考虑不同地区的地震危险性的差异是十分必

要的,若采用统一的地震保险费率会高估或低估村镇结构保险费率的真实值。

(2) 构造措施完善、砂浆强度等级高的村镇房屋,地震保险费率较低。说明抗震措施完善的房屋将来在地震中可能遇到的地震风险越小,可能遭受的地震损失也越小,因此保险费率就会降低。

(3) 当村镇建筑位于不同层次的农村、乡镇或县城地区时,其地震保险费率将发生改变。说明设防目标不同,其在地震中可能遭受的地震破坏和损失也不同,保险费率必将有较大差异。

综上所述,考虑不同地区的地震危险性特征,并将村镇地区分3个层次来研究地震保险费率是合理的,也从地震风险分析的角度间接证明了将村镇地区分3个层次来设计建造是十分必要和合理的。

参考文献:

- 陈保华,叶民权. 1998. 地震保险费率厘定和保险理赔设计的研究[J]. 地震科技情报, (4): 1-7.
- 陈小飞, 马玉宏. 2012. 村镇建筑基于性态的抗震设防标准研究[J]. 土木工程学报, 45(S1): 307-311.
- 陈英方, 陈长林. 1996. 地震保险[M]. 北京: 地震出版社.
- 和飞. 2003. 工程地震保险模式及其费率计算研究[D]. 昆明: 昆明理工大学.
- 刘如山, 王自法, 朱敏. 2006. 地震保险中经济损失和赔付问题研究[J]. 地震学报, 28(2): 197-205.
- 马玉宏, 赵桂峰. 2008. 地震灾害风险分析及管理[M]. 北京: 科学出版社.
- 孙振凯. 2012. 年度地震重点监视防御区地震保险净费率的计算[J]. 灾害学, 27(1): 107-110.
- 陶正如, 陶夏新. 2004. 基于工程地震风险评估的地震保险费率厘定[J]. 自然灾害学报, 13(2): 112-118.
- 邬亲敏, 冯启民, 莫善军. 2004. 建筑物地震损失风险与保险费用的确定方法[J]. 地震工程与工程振动, 24(1): 180-185.
- 巫孟还, 邹其嘉. 1992. 震灾保险的一种实用技术途径及其实施保障[J]. 自然灾害学报, 1(3): 17-24.
- 薛育, 杨新华. 1995. 基于动力可靠性的地震保险费率的计算[J]. 世界地震工程, (2): 51-53.
- 赵桂峰, 马玉宏, 陈小飞. 2014. 村镇建筑基于性态标准的地震易损性分析[J]. 土木工程学报, 47(9): 1-8.
- Smolka A. 2006. Natural disasters and the challenge of extreme events: risk management from an insurance perspective[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 364(1845): 2147-2165.
- Tantala M. W., Nordenson G. J. P., Deodatis G., et al. 2008. Earthquake loss estimation for the New York City metropolitan region[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28(10): 812-835.

Earthquake Insurance Premium Rate of Rural Buildings Based on Performance-based Seismic-design

MA Yu-hong¹, ZHAO Gui-feng², CHEN Xiao-fei¹, TAN Ping¹, XIE Li-li^{1,3}

(1. *Earthquake Engineering Research & Test Center, Guangzhou University, Guangzhou 510405, Guangdong, China*)

(2. *School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, Guangdong, China*)

(3. *Institute of Engineering Mechanics, CEA, Harbin 150080, Heilongjiang, China*)

Abstract

For the current situation of using uniform seismic fortification standards in urban and rural areas, we classified the rural regions into three areas, such as village, town and county. Then we laid down the performance-based seismic fortification standard and developed the corresponding seismic vulnerability analysis to calculate the discrete damage matrixes of the typical masonry buildings. Considering the difference of seismic hazard characteristic in different rural region, we obtained the earthquake hazard curve, analyzed the possible economic loss of various rural buildings structure under the future earthquake, and determined the corresponding earthquake insurance premium rate. By comparing the earthquake insurance premium rates of typical masonry buildings with different level and seismic fortification standards, we verified the rationality of the determining method for classifying the rural region into three areas to study the earthquake insurance premium rate considering different seismic hazard characteristic.

Key words: earthquake insurance premium rate; rural buildings; performance-based; vulnerability; seismic hazard characteristic