

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.03.013

重庆市主城区沿街建筑物震害预测矩阵

王丽萍 李英民 刘立平

(重庆大学土木工程学院 重庆 400045)

摘要 :为了获得重庆市主城区沿街建筑物震害预测矩阵 ,对重庆市主城区沿街建筑物分布概况进行调查和汇总 ,统计出沿街建筑物中不同结构类型房屋的栋数和建筑总面积 ,整理得到不同建造年代及不同层数房屋的面积占相同结构类型总建筑面积的比例 ,在此基础上 ,采用专家打分法对重庆市主城区沿街建筑物进行震害预测 ,对预测结果采用离群值检验法进行处理 ,最终得到重庆市主城区沿街建筑物震害预测矩阵 .

关键词 :震害预测 ,预测矩阵 ,专家评分法 ,地震 ,重庆市

中图分类号 :P315.9 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2010)03-0304-04

国内外建筑震害调查表明 ,地震灾害损失中建筑物破坏的损失占很大比例 ,因此进行建筑物震害预测是评估地震损失的有效途径和主要依据 ,对制定减轻地震损失对策有重要意义^[1-3] .所谓建筑物震害预测 ,即估计一个地区或城市在遭遇一定烈度地震影响时建筑物可能发生的破坏程度 .建筑物震害预测结果通常用震害预测矩阵表示 ,所谓震害预测矩阵就是估计某种结构类型的建筑物在遭遇不同烈度的地震时 ,不同的震害等级所对应的建筑物破坏概率 .建筑物震害等级通常分为倒塌、严重破坏、中等破坏、轻微破坏、基本完好五类^[4-5] .自 1990 年以来 ,我国陆续在许多城市和地区开展了震害预测工作 ,得到不同地区 20 多个城市的不同建筑结构的震害预测矩阵 ,其中建立震害预测矩阵的城市主要集中在东部和设防烈度为 7 度及 7 度以上的地区 ,西部和设防烈度为 6 度及 6 度以下的地区则较少^[6-7] .重庆市作为直辖市和人口大市 ,也尚未开展此项工作 .此外 ,对重庆市主城区交通系统震害预测时 ,需用沿街建筑物的破坏概率来估计沿街建筑物的倒塌瓦砾量以计算路段单元的通行概率 .为此 ,本文收集了重庆市主城区沿街建筑物的现状资料 ,如建造年代、结构形式、层数、建筑面积等作为调查因素 ,然后统计整理得到重庆市主城区沿街建筑物现状 ,再采用专家评分对重庆市主城区沿街建筑物进行震害预测 ,并对结果进行分析和处理 ,最终得到重庆市主城区沿街建筑物的震害预测矩阵 .

1 重庆市主城区沿街建筑物分布概况

为得到重庆市主城区沿街建筑物现状资料 ,对重庆市主城区沿街建筑物逐一进行调查 .调查区域遍布整个重庆市主城区主要街道 ,按沙坪坝区、渝中区、江北区、巴南区、南岸区、九龙坡区、大渡口区 7 个区分别展开调查 .由于主要道路两旁老旧平房逐渐拆除 ,数量较少 ,在调查中不予考虑 .调查结果见表 1 ,其中沿街建

表 1 重庆市主城区沿街建筑物类型和建造年代分布

Table 1 Distribution of construction time and types of buildings along streets in downtown Chongqing

房屋结构 类型	栋数	建筑总面积/ 万 m ²	不同建造年代建筑面积占建筑总面积比例/%				不同层数建筑面积占建筑总面积比例/%			
			20 世纪 70 年代以前	20 世纪 70 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代及以后	2 层和 3 层	4~6 层	7~10 层	11 层及 以上
多层砌体	1 108	16.962	3.6	16.8	61.5	18.1	20.1	43.8	36.1	
底部框架	403	11.984		33.8	46.9	19.3	7.4	26.5	48.4	17.7
多层混凝土	1 957	69.296		1.6	20.9	77.5	6.7	15.8	77.5	
高层混凝土	1 435	236.800			2.3	97.7				100

筑物主要分为多层砌体结构房屋、底部框架结构房屋、多层混凝土结构房屋和高层混凝土结构房屋 4 种类型。此调查结果为本文进行沿街建筑物震害预测提供了部分参考和依据。

2 建筑物震害预测方法

目前,我国许多科研人员依据震害经验所研究的震害预测方法绝大多数是理论和经验相结合的,既有一定的理论基础,又有相当程度的经验判断^[8]。在重庆市主城区建筑物震害资料相对匮乏的情况下,如果采用理论性较强的方法,势必导致工作量增大,资金和人员投入增多,如需要齐全的资料,工作实施难度加大等,而专家评分法不失为一种有效的方法。因此,在对重庆市主城区沿街建筑物进行震害预测时,以其建筑物现状为基础,采用专家评分作为经验判断,然后对数据结果进行理论上的处理和调整,最终得到重庆市主城区沿街建筑物震害预测矩阵。

专家评分法是一种工程处理方法,进行评分的专家们必须从事多年相关专业,并按照一定要求根据积累的知识和多年的经验共同完成对某项工作的打分。本次调查向重庆市建筑结构抗震领域资深的 25 位专家发放了专家预测表,这些专家分布在重庆市建筑结构抗震相关专业领域,包括设计院、高校、工程质量监督站、地震局和科研等单位,对重庆市建筑结构十分熟悉,具备地震现场震害相关经验,具有丰富的建筑结构抗震知识和经验,他们的预测结果具有一定的可靠性。专家信息分布如表 2 所示,设计院及研究院工作年限 30 年以上的教授级高级工程师所占比例为 70%,其他相关人士占 30%。专家评分过程中,以重庆市主城区沿街建筑物的现状如建造年代、结构形式、层数、建筑面积等,和不同类型建筑物震害等级划分标准作为专家打分的依据,让他们根据自身的经验和相关的专业知识,对不同类型、不同年代的建筑物在遭遇不同地震影响下的震害程度进行判断,给出自己认为可能的破坏概率。对打分结果进行统计整理后,再对结果进行数据分析和分析。

表 2 专家信息分布
Table 2 Distribution of expert information

专业技术职务分布		年龄分布		相关专业工作年限分布		工作单位分布	
职称	人数	年龄	人数	工作时间/a	人数	单位	人数
教授级高级工程师	18	60 ~ < 70	5	40 ~ < 50	3	重庆市设计单位	10
教授	2	50 ~ < 60	4	30 ~ < 40	3	重庆市建筑科学研究院及重庆市城乡建设委员会	8
高级工程师	2	40 ~ < 50	13	20 ~ < 30	11	重庆市高校及重庆市地震局	3
工程师	3	35 ~ < 40	3	10 ~ < 20	8	重庆市工程质量监督站及重庆市房屋管理局	4

3 建筑物震害预测结果处理及分析

在统计分析专家打分结果时,由于每位专家都是重庆市建筑界资历较深且经验丰富的专家,因此以大多数专家相接近的打分结果的平均值作为最终的结果。也就是把个别偏离群体的打分数据作为离群的异常数据剔除,因此本文采用离群值检验法对评分结果进行处理^[9-10]。其基本原理是:首先对所有数据进行离群值检验,其中使用 Grubbs 准则检验单个离群值,使用 Dixon 准则检验多个离群值。在具体操作时先用 Grubbs 准则检验,在剔除一个离群值后,再用 Dixon 准则进行检验,剔除多个离群值,最后将剩下的所有值加权平均得到最终的结果。由于篇幅有限,只把当地震烈度为 6 度时,20 世纪 90 年代及以后的沿街建筑物专家打分结果与处理结果对比情况列于表 3。由于打分结果存在不同程度的离群值,当剔除离群值后结果会更符合大多数专家打分结果的分布规律。

表 3 专家打分结果与处理结果对比
Table 3 Comparison between expert scoring and data processing results %

房屋结构 类型	基本完好概率		轻微破坏概率		中等破坏概率		严重破坏概率		倒塌概率	
	专家打分	处理结果	专家打分	处理结果	专家打分	处理结果	专家打分	处理结果	专家打分	处理结果
多层砌体	46.2	51.1	31.8	32.9	12.0	10.8	5.8	4.0	4.2	1.2
底部框架	50.5	57.4	30.0	34.5	13.0	5.1	4.5	2.2	2.0	0.9
多层混凝土	68.0	68.9	23.0	25.9	6.0	4.8	2.0	0.4	1.0	0.0
高层混凝土	59.0	64.9	28.9	26.0	10.5	8.8	1.6	0.3	0.0	0.0

将经过处理后的结果根据历史震害经验及尹之潜^[1]建立的未来建筑物震害矩阵规律稍作调整后作为重庆市主城区沿街建筑物震害预测矩阵,如表4~7所示。从表4~7可以发现在遭遇相同地震烈度下,多、高层钢筋混凝土结构房屋震害程度要轻于底部框架结构房屋,而底部框架结构房屋震害和多层砌体结构房屋震害程度相当,在同类房屋中,随着年代的久远房屋震害要严重,随着烈度的提高,震害明显加重。

表4 重庆市主城区多层砌体结构房屋震害预测矩阵

Table 4 Seismic damage prediction matrices of multi-story masonry buildings in downtown Chongqing

分布年代	地震烈度	基本完好 概率/%	轻微破坏 概率/%	中等破坏 概率/%	严重破坏 概率/%	倒塌 概率/%
20世纪 70年代 以前	6	19.0	20.8	34.8	14.6	10.8
	7	18.2	12.9	21.3	23.6	24.0
	8	1.7	7.2	14.7	20.0	56.4
20世纪 70年代	6	31.2	24.0	26.0	13.5	5.3
	7	20.2	22.8	26.2	21.2	9.6
	8	3.6	8.8	15.2	30.8	41.6
20世纪 80年代	6	46.8	30.6	13.3	7.8	1.5
	7	34.8	35.7	10.9	15.0	3.6
	8	5.8	15.8	16.3	30.5	31.6
20世纪 90年代 及以后	6	51.1	32.9	10.8	4.0	1.2
	7	35.2	36.6	11.7	14.1	2.4
	8	12.1	14.8	17.9	33.2	22.0

表5 重庆市主城区底部框架结构房屋震害预测矩阵

Table 5 Seismic damage prediction matrices of bottom-frame buildings in downtown Chongqing

分布年代	地震烈度	基本完好 概率/%	轻微破坏 概率/%	中等破坏 概率/%	严重破坏 概率/%	倒塌 概率/%
20世纪 70年代 及以前	6	25.8	24.9	29.6	14.1	5.6
	7	17.9	19.3	31.2	21.2	10.4
	8	3.5	10.4	34.8	28.3	23.0
20世纪 80年代	6	51.0	30.2	10.2	5.7	2.9
	7	30.4	32.9	22.4	10.7	3.6
	8	11.1	15.6	24.3	30.4	18.6
20世纪 90年代 及以后	6	57.4	34.5	5.1	2.2	0.8
	7	33.6	38.4	14.8	12.2	1.0
	8	15.2	17.6	27.8	28.8	10.6

表6 重庆市主城区多层钢筋混凝土结构房屋震害预测矩阵

Table 6 Seismic damage prediction matrices of multi-story reinforced concrete buildings in downtown Chongqing

分布年代	地震烈度	基本完好 概率/%	轻微破坏 概率/%	中等破坏 概率/%	严重破坏 概率/%	倒塌 概率/%
20世纪 70年代 及以前	6	46.7	29.2	20.4	3.7	0.0
	7	33.4	33.6	22.0	8.0	3.0
	8	12.7	24.5	29.6	22.4	10.8
20世纪 80年代	6	58.3	33.2	6.7	1.8	0.0
	7	49.4	37.4	10.0	2.2	1.0
	8	28.5	19.6	22.7	19.5	9.7
20世纪 90年代 及以后	6	68.9	25.9	4.8	0.4	0.0
	7	56.4	35.5	6.0	1.4	0.7
	8	30.7	20.3	24.0	18.0	7.0

表7 重庆市主城区高层钢筋混凝土结构房屋震害预测矩阵

Table 7 Seismic damage prediction matrices of tall reinforced concrete buildings in downtown Chongqing

分布年代	地震烈度	基本完好 概率/%	轻微破坏 概率/%	中等破坏 概率/%	严重破坏 概率/%	倒塌 概率/%
20世纪 80年代 及以前	6	60.8	26.8	11.6	0.8	0.0
	7	47.9	26.3	21.6	4.2	0.0
	8	33.6	18.3	24.0	15.3	8.8
20世纪 90年代 及以后	6	64.9	26.0	8.8	0.3	0.0
	7	51.5	27.3	18.0	3.2	0.0
	8	32.4	21.3	24.0	17.2	5.1

在设防烈度相同的不同城市中,同种结构形式房屋的震害预测矩阵具有相似性^[4]。绵阳市和重庆市抗震设防烈度都是6度,在5·12汶川地震中绵阳市区实际烈度接近7度,根据5·12汶川地震绵阳市区房屋震害统计结果^[12]和本文20世纪90年代不同类型结构房屋遭遇7度地震时震害的预测结果进行对比,发现结果较为接近,本文结果稍微保守一些。

4 结 论

- a. 统计整理得到了重庆市主城区沿街建筑物的建造年代、层数、结构类型及建筑面积等分布,由于调查深入重庆市主城区各个主要干道,可近似认为重庆市主城区总体建筑物分布与沿街建筑物分布基本相同。
- b. 给出了重庆市主城区沿街建筑物震害预测矩阵,已用于重庆市主城区交通系统震害预测,为今后重庆市主城区地震灾害损失评估提供了基础数据和有价值的参考。

参考文献:

[1] 尹之潜.地震灾害损失预测研究[J].地震工程与工程振动,1991,11(4):87-96.(YIN Zhi-qian. A study for prediction earthquake

- disaster loss[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration ,1991 ,11(4) :87-96.(in Chinese))
- [2] APOSTOLAKIS G ,QU Bing ,ECEMIS N ,et al. Field reconnaissance of the 2007 Niigata-Chuetsu Oki earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration 2007 4(4) :317-330.
- [3] IRTEM E ,TURKER K ,HASCUL U. Causes of collapse and damage to low-rise RC buildings in recent Turkish earthquakes[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities 2007 21(5) :351-360.
- [4] 孙柏涛 ,胡少卿. 基于已有震害矩阵模拟的群体震害预测方法研究[J]. 地震工程与工程震动 ,2005 ,25(6) :102-108.(SUN Bai-tao ,HU Shao-qing. A method for earthquake damage prediction of building group based on existing earthquake damage matrix[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration 2005 25(6) :102-108.(in Chinese))
- [5] 赵少伟 ,窦远明 ,张书祥 ,等. 建筑结构震害预测方法研究与实践[J]. 地震工程与工程振动 ,2006 ,26(3) :51-53.(ZHAO Shao-wei ,DOU Yuan-ming ,ZHANG Shu-xiang ,et al. Study and practice method of seismic damage to buildings[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration 2006 26(3) :51-53.(in Chinese))
- [6] 国家地震局 ,国家统计局. 中国大陆地震灾害损失汇编 :1990—1995[M]. 北京 :地震出版社 ,1996 :26-42.
- [7] 中国地震局检测预报司. 中国大陆地震灾害损失汇编 :1996—2000[M]. 北京 :地震出版社 ,2001 :25-30.
- [8] 乔亚玲 ,闫维明. 建筑结构震害预测方法研究评述[J]. 工业建筑 ,2005 ,35(6) :1-5.(QIAO Ya-ling ,YAN Wei-ming. Review of prediction method of seismic damage to buildings[J]. Industrial Construction 2005 35(6) :1-5.(in Chinese))
- [9] GB/T 4883—1985 数据的统计处理和解释和正态样本异常值的判断和处理[S].
- [10] 刘国伟 ,尹洪宗 ,何锡文. 不确定度评定中离群值的检验及计算机编程[J]. 冶金分析 ,2004 ,24(4) :63-66.(LIU Guo-wei ,YIN Hong-zong ,HE Xi-wen. Verification of outliers on evaluating uncertainty and its computer program[J]. Metallurgical Analysis ,2004 ,24(4) :63-66.(in Chinese))
- [11] 尹之潜. 结构易损性分类和未来地震灾害估计[J]. 中国地震 ,1996 ,12(1) :49-55.(YIN Zhi-qian. Classification of structure vulnerability and evaluating earthquake damage from future earthquake[J]. Earthquake Research in China ,1996 ,12(1) :49-55.(in Chinese))
- [12] 韩军 ,李英民 ,刘立平 ,等. 5·12 汶川地震绵阳市区房屋震害统计与分析[J]. 重庆建筑大学学报 ,2008 ,30(5) :21-27.(HAN Jun ,LI Ying-min ,LIU Li-ping ,et al. Statistics and analysis of building damage in Mianyang city caused by the May 12 2008 Wenchuan earthquake ,Sichuan Province[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University 2008 30(5) :21-27.(in Chinese))

Seismic damage prediction matrices of buildings along streets in downtown Chongqing

WANG Li-ping , LI Ying-min , LIU Li-ping

(College of Civil Engineering , Chongqing University , Chongqing 400045 , China)

Abstract : In order to obtain the seismic damage prediction matrices of the buildings along the streets in downtown Chongqing , the distribution of buildings , including the number and the total area of buildings of different structural types , was investigated. The proportion of the area of the buildings at different stories and with different construction time to the total area of those with the same structural type was obtained. On such a basis , the expert evaluation method was employed to predict the seismic damage of the buildings along the streets in downtown Chongqing , and the predicted results were handled by outlier tests. Seismic damage prediction matrices of the buildings along the streets in downtown Chongqing were generated.

Key words : seismic damage prediction ; prediction matrix ; expert evaluation method ; earthquake ; Chongqing