

都江堰市建筑结构震害调查研究

文章编号: 1000-8608(2009)05-0748-06

汶川地震中都江堰市多龄期建筑震害特征

林 迟¹, 侯 爽^{*2}, 欧进萍^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 广州 深圳 518055;

2. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 依据汶川地震中都江堰市 2 000 余栋建筑的震害调研结果, 综合考虑结构类型、设计规范体系和性能退化等影响结构抗震能力的因素, 对该市多龄期建筑的震害特征进行了统计分析. 在统计都江堰市建筑构成情况的前提下, 对不同结构类型、不同用途和不同建成年代建筑的震害特征进行了分析, 并引入平均震害指数着重研究结构形式及龄期对结构抗震能力的影响. 研究表明, 2000 年后多层砌体结构抗震性能显著提高; 由于非结构构件抗震性能影响, 2000 年后框架结构震害大于多层砌体和底框结构. 研究可为评估城市不同龄期建筑的抗震能力以及了解城市整体的抗震设防水平提供依据.

关键词: 多龄期建筑; 震害特征; 汶川地震; 都江堰; 抗震能力

中图分类号: TU311.3 **文献标志码:** A

0 引言

我国大中城市数量多、规模大. 现有 118 个百万以上人口的城市中, 101 个位于地震活动区, 地震尤其近场强地震直接对城市各类建筑构成巨大威胁. 近年来我国及周边邻国的大区域地震活动预示中国大陆今后几年发生 7 级左右地震的可能性较大. 对既有城市多龄期建筑进行抗震性能评估和震害预测是非常重要的.

城市多龄期建筑由于自身结构形式、设计所依据规范体系以及环境作用引起的性能退化程度存在多样性, 其抗震性能各不相同. 汶川地震中都江堰市距震中仅 21 km, 地震烈度为 8~9 度^[1], 地震损失较为严重. 通过统计分析城市多龄期建筑的震害数据, 可了解现有城市整体的抗震能力, 突出其薄弱环节, 为城市多龄期建筑的加固改造和灾害预测提供依据. 本文依托汶川地震中都江堰市的建筑震害调查结果, 对城市多龄期建筑的震害特点进行说明.

1 城市多龄期建筑抗震性能的影响因素

目前地震预报还是尚未解决的世界性难题.

针对城市建筑多龄期和多种类特点, 建立城市多龄期建筑抗震能力评估方法, 发展城市多龄期建筑抗震理论, 提高我国城市建筑抗震性能和防灾能力应是现阶段亟待解决的问题.

由城市多龄期建筑自身特点所决定, 其抗震能力主要受建筑结构类型、设计时所依据的规范体系和结构性能退化程度三个因素的影响.

1.1 结构类型

建筑物的结构类型按受力特征的不同, 大体可分为砌体结构、框架结构、剪力墙结构、框剪结构、筒体结构和大跨结构等.

(1) 砌体结构

施工简便, 造价较低, 但其自重较大且难以承受重大荷载, 故多用于多层民用建筑.

(2) 框架结构、剪力墙结构和框剪结构

多为钢筋混凝土结构, 具有强度高、整体性和耐久性相对较好的特点, 有较强的抗震能力. 框架结构多用于要求有较大空间的多层和高层建筑; 剪力墙结构刚度大, 但平面分割较多, 多用于高层和超高层住宅、宾馆、办公楼等; 框剪结构是框架和剪力墙结构的组合体, 目前广泛应用于高层和

超高层建筑中。

(3) 筒体结构

是由刚度很大、四周封闭的钢筋混凝土筒体或间距小的密柱和深梁组成的结构,可分为钢结构、混凝土结构和组合结构,具有侧向刚度大、抗震性能好的特点,多用于超高层建筑和特种建筑。

(4) 大跨结构

以柱、墙体为竖向承重构件,用钢网架、悬索结构或混凝土薄壳、膜结构等为屋盖,适用于体育馆、航空港、火车站等公共建筑。

中国典型城市的建筑结构类型大都以砌体结构和钢筋混凝土结构为主。不同城市受发展程度、地域特点等因素影响,各结构类型的建筑比例亦有所不同。同龄期建筑由于结构类型不同,抗震性能之间存在差异,在对城市建筑的整体抗震能力进行评估时,这方面的影响不容忽视。

1.2 设计规范

截至目前,我国城市建筑抗震设计规范的发展大体可分为3个阶段:早期的是《工业与民用建筑结构荷载规范(试行)》TJ 9—74(简称74规范)及《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11—78(简称78规范)等;随后通过分析总结唐山地震的经验,对78规范进行修订,发布了《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89(简称89规范);2001年后又发布了《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001(简称2001规范)。

78规范主要进行结构在地震作用下的构件强度验算,阐述了部分简单有效的构造措施,但对保证结构延性的抗震设计未作明确规定。89规范和2001规范在这方面做了改进,明确了延性抗震设计的思想,提出了“小震不坏,中震可修,大震不倒”的设防目标,补充了抗震构造措施;而相对89规范,按照2001规范设计的建筑安全性又有一定提高^[2]。

随着设计规范的发展,结构整体的抗震性能得到提升。对相同结构类型、不同龄期的城市建筑,由于设计所依据的规范体系不同,其抗震能力因此存在差异。

1.3 材料性能退化

在环境作用影响下,混凝土或钢筋等材料物理、化学性质及几何尺寸将发生变化,继而引起混凝土构件外观变化,不能满足正常使用要求,导

致承载能力退化,最终影响整个结构的安全。由于城市建筑其材料自身和使用环境的特点,不可避免地存在材料性能退化导致的结构抗震能力下降的情况。我国在役以混凝土为主体的结构在数量上居于绝对支配地位,存在着“南锈北冻”的耐久性破坏特征^[3],结构抗震能力下降的现象较为普遍。

我国在20世纪80、90年代兴建了大量的混凝土建筑,这些建筑经过二三十年的使用,结构性能和抗震能力都产生或多或少的衰退。在对城市建筑的整体抗震能力进行评估时,不仅仅需考虑城市现阶段的抗震能力,还要兼顾10 a、20 a乃至50 a后整个城市的整体抗震能力。因此,材料性能的退化规律和材料性能退化对结构抗震能力的影响也是目前的工作重点之一。

通过对现有城市多龄期建筑的震害结果统计,来预测和评估其他城市建筑的整体抗震能力,是一种有效且简便的手段。但地震是一种偶然荷载,可应用的资料是有限的,各个城市的建筑情况又各不相同,只有全面地了解了建筑结构类型、设计时所依据的规范体系和结构性能退化程度三个因素对建筑抗震性能的影响大小,才能准确地应用现有资料对城市建筑的整体抗震能力进行评估和预测。

2 都江堰市多龄期建筑的震害特征分析

都江堰市位于成都平原西北边缘,汶川东北方,距离汶川县映秀镇只有3 km,地跨川西龙门山地震带和成都平原岷江冲积扇扇顶部位。汶川地震发生后,都江堰市的基础设施损毁严重,多处房屋发生倒塌。通过统计分析都江堰市此次震害,综合考虑建筑结构类型、设计时所依据的规范体系和结构性能退化三方面的影响,对该市多龄期建筑的整体抗震能力进行评价,并期望研究结果能为其他城市多龄期建筑的整体抗震能力评价提供依据。

2.1 调查区域介绍

该市东西宽54 km,南北长68 km,总面积1 208 km²。市境内地势西北高,东南低,全市山地丘陵面积占65.79%,平坝面积占34.21%。如图1所示,内环线和外环线为城市环向主干道。其中内环老旧建筑较多,内外环间以新建建筑为主,外

环以外基本为农业用地,建筑较少.为了解都江堰市多龄期建筑的具体情况,现场调查了该市2026栋建筑的情况,这些建筑取自不同的调研区域,覆盖该市绝大部分地区,空间分布较为均匀,因此可认为调查结果可代表都江堰市建筑整体的震害情况.



图1 都江堰调研区域

Fig.1 The investigation area of Dujiangyan City

都江堰市建筑的结构类型以多层砌体结构、框架结构和底框结构为主,另外还有少量自建砖木结构,建筑用途以住宅和商住为主.由于受发展建设速度、规模的差异和城市历史积淀的影响,各城市不同结构类型的多龄期建筑所占比例不尽相同.为了解都江堰市多龄期建筑的具体情况,对调研区域内多层砌体结构、框架结构和底框结构的房屋建筑进行统计分析,建筑构成情况见表1.

表1 都江堰市多龄期建筑构成情况

Tab.1 The construction situation of multi-aged buildings in Dujiangyan City

年代	多层砌体/栋	框架/栋	底框/栋
20世纪90年代以前	233	14	27
20世纪90年代	348	40	109
2000年后	293	164	349

如表1所示,框架和底框结构随着年代的推移,建造比例逐渐上升,多建于2000年后;多层砌体结构建筑比例相对下降,但20世纪90年代之前建成的多层砌体结构仍占有较大的比例.90年代之前的建筑,由于未考虑或未完全考虑抗震要求,震害将较为严重,因此多层砌体结构建筑的震害情况应予以重视.

除了从结构类型角度考虑外,也有必要从不同建筑用途的角度对建筑的构成情况进行分析,这可为下一步的震害损失预测提供依据.按建筑用途分类主要包括住宅、商业,以及商业和住宅两用建筑、政府和医疗建筑、学校等教育用建筑,另外还有厂房和其他用途的建筑等.不同用途建筑与其建成年代的对应关系如图2、3所示.由图可见,用于商住的建筑比例逐渐上升,多建于2000年后,该类建筑多为底框结构;住宅类建筑在各年代都占有较大比例,但随着商住类建筑的增加,其比例略有下降;其他类建筑包括政府、教育、医疗等,其总体比例较为稳定.

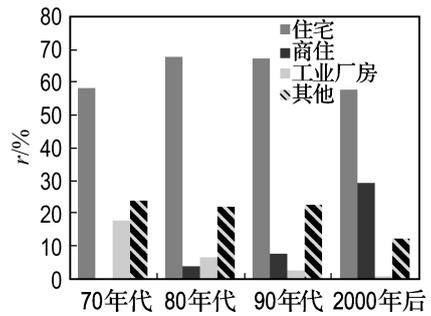


图2 都江堰市不同建成年代的建筑物用途情况

Fig.2 The application situation of buildings of different construction time in Dujiangyan City

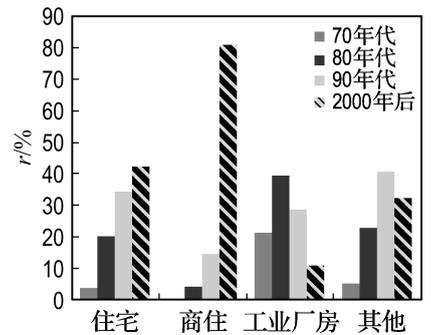


图3 都江堰市不同用途建筑建成年代情况

Fig.3 The construction time of buildings with different applications in Dujiangyan City

2.2 都江堰市多龄期建筑的震害特征

汶川地震发生前,都江堰市的抗震设防烈度为7度^[4],而实际该地区的地震烈度为9~10度.由于受建筑结构类型、设计时所依据的规范体系和结构性能退化程度等因素的影响,不同龄期建筑的抗震性能各不相同;同时不同城市建筑构成存在差异,就导致城市多龄期建筑的抗震能力和震害特征的不同.本文从建筑用途、结构类型、建

成年代3个角度对都江堰市多龄期建筑的震害特征进行分析,通过结果的比较,可以为下一步进行城市的整体抗震能力评价提供依据。

2.2.1 不同用途建筑的震害对比 受结构类型本身特点的制约,某结构类型的建筑有时多用于同一建筑用途,如砌体结构,因其开间较小,多用于住宅类建筑.因此本节与上节所示的震害情况有一定的相关性.不同建筑用途的建筑,其震害产生的直接、间接经济损失不同,本节从产生的社会影响角度对震害情况进行统计分析,可为城市震害损失评估和预测工作提供依据.都江堰市不同用途多龄期建筑的震害情况如图4所示.由图可见,工业厂房的建筑震害较为严重,发生毁坏的比例达32.1%;商住类建筑建成年代较新,抗震性能相对较好,震害较轻;住宅类建筑也有将近11.4%发生严重破坏,有6.9%的建筑发生倒塌。

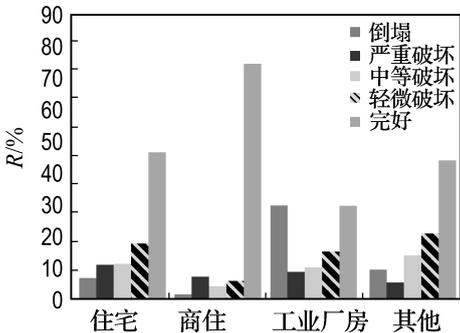


图4 都江堰市不同用途建筑的震害特征
Fig. 4 Seismic damage of buildings with different functions in Dujiangyan City

2.2.2 不同结构类型建筑的震害对比 各结构类型建筑由于抗震能力的不同,其震害特征存在差异.而各城市不同龄期建筑的构成比例不尽相同,这就导致不同城市多龄期建筑的整体震害特征存在差异.都江堰市不同结构类型多龄期建筑的震害情况如图5所示.由图可见,多层砌体结构的建筑震害较为严重,发生毁坏的比例达8.9%;框架结构和底框结构建筑的抗震能力相对较好,震害较轻.分析结果表明,26.7%的多层砌体建筑为90年代前建造,这类建筑未考虑或未完全考虑抗震要求且受性能退化的影响结构抗震能力较差,因此直接导致了多层砌体结构建筑的震害较为严重。

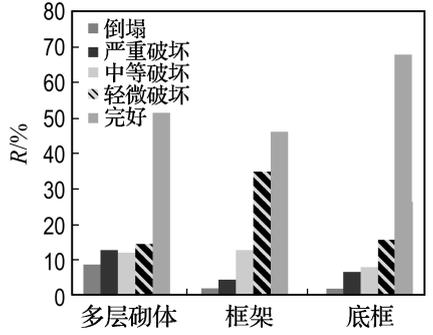


图5 都江堰市不同结构类型建筑的震害特征
Fig. 5 Seismic damage of buildings of various structure in Dujiangyan City

2.2.3 不同建成年代建筑的震害对比 建筑由于建成年代的不同,其设计时所依据的规范体系和性能衰减程度也不同,因此建筑的震害轻重存在差异.而各城市不同龄期建筑的构成比例不尽相同,这就导致不同城市多龄期建筑的整体震害特征存在差异.都江堰市不同龄期建筑的震害情况如图6所示.由图可见,70年代建成的建筑震害较为严重,发生毁坏的比例高达46.4%;随着龄期的减小,震害逐渐变小,2000年后建成的建筑仅有1.8%发生严重破坏.早龄期的建筑震害较为严重,除了受性能退化影响外,这类建筑设计时未考虑或未完全考虑抗震要求,因此结构抗震能力较差。

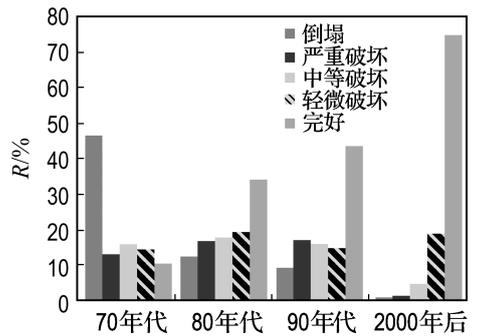


图6 都江堰市不同建成年代建筑的震害特征
Fig. 6 Seismic damage of buildings of different construction time in Dujiangyan City

2.2.4 都江堰市不同结构类型与不同龄期建筑的震害对比 建筑震害与使用功能、结构类型和建成年代都有关系,存在耦合作用.本节将同时考虑结构类型、建成年代对震害的影响,由于使用功能影响的复杂性,不考虑次要因素.选择都江堰市占主导地位的砌体结构、框架结构和底框结构作为

研究对象,对不同建成年代建筑的震害情况进行分析对比.90年代前建成的框架和底框结构样本数量较少,不对其进行分析.都江堰市砌体、框架和底框结构建筑的震害对比情况如图7~9所示.由图可见,2000年后建成的建筑震害相对较小,框架结构出现轻微破坏的比例要大些.

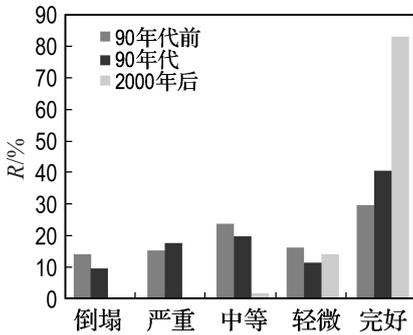


图7 都江堰市不同龄期砌体结构的震害对比
Fig.7 Comparison of the seismic damage of masonry structure in different construction time in Dujiangyan City

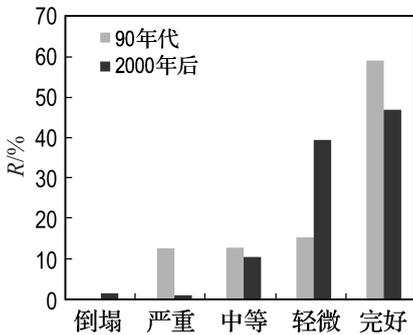


图8 都江堰市不同龄期框架结构的震害对比
Fig.8 Comparison of the seismic damage of frame structure in different construction time in Dujiangyan City

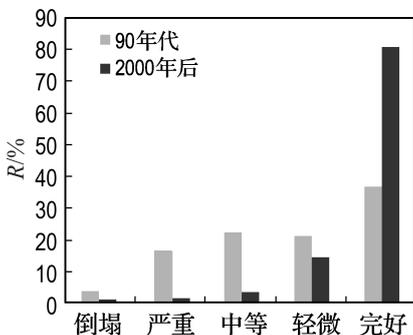


图9 都江堰市不同龄期底框结构的震害对比
Fig.9 Comparison of the seismic damage of bottom frame structure in different construction time in Dujiangyan City

为了对同龄期不同结构类型建筑的震害进行对比,引入破坏指数和平均震害指数作为衡量的指标.在地震宏观调查和地震灾害预测中,通常把建筑物的破坏分为5个等级,破坏等级和破坏指数的对应关系如表2所示^[5].震害指数是中国地震烈度表规定用于评定震害的一个数值,是评价房屋在受到地震作用后的破坏状态的量纲一指数,其取值见表2,平均震害指数则指所有房屋的震害指数的总平均值.第*i*类建筑的平均震害指数可用下式计算:

$$d_i = \sum d_{ij} n_{ij} / \sum n_{ij} \quad (1)$$

式中: d_{ij} 为第*i*类建筑破坏等级为*j*的震害指数, n_{ij} 为第*i*类建筑破坏等级为*j*的建筑数量.为简化分析并对比都江堰市在汶川地震中各类建筑的实际破坏程度,本文采用破坏指数代表对应破坏等级下该类建筑的震害指数,进而求平均震害指数.

表2 破坏等级、震害指数和破坏指数

Tab.2 Damage grades, seismic damage indices and damage indices

破坏等级	震害指数	破坏指数
基本完好	0~0.10	0
轻微破坏	0.10~0.30	0.2
中等破坏	0.30~0.55	0.4
严重破坏	0.55~0.85	0.7
倒塌	0.85~1.00	1.0

不同结构类型建筑的平均震害指数如图10所示.随着时间的演进,这种类型结构震害减小.对于砌体结构和底框结构,2000年后的建筑震害较之前建筑显著减小,而对于框架结构两者差别并不显著.由于框架结构多数采用脆性填充墙结构,出现大量填充墙破坏,并因此加重结构整体震害,另外框架结构还出现较多楼梯间破坏.

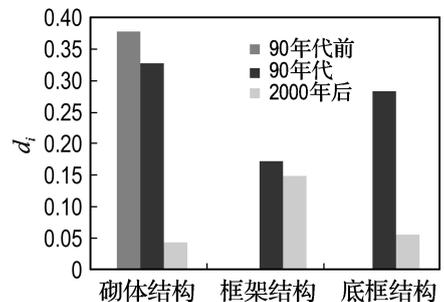


图10 都江堰市不同龄期建筑平均震害指数
Fig.10 Mean seismic damage indices of buildings of different construction time in Dujiangyan City

因此,2000年后框架结构的震害甚至高于砌体结构和底框结构。

3 结 论

(1)按使用功能,此次汶川地震中工业厂房和住宅震害最为严重,倒塌比例分别为32.1%和6.9%;商住建筑震害较轻,倒塌比例为1.3%。

(2)按结构类型,整体而言多层砌体结构的建筑震害较为严重,发生倒塌的比例达8.9%;框架结构和底框结构建筑的抗震能力相对较好,震害较小,倒塌比例分别为1.9%和1.7%。

(3)结构震害除与结构类型有关,还与结构龄期强烈相关。新建结构较早龄结构震害小,就大震而言,2000年之前建筑依抗震能力由弱到强分别为砌体结构、底框结构和框架结构,而2000年后建筑抗震能力由弱到强的顺序为框架结构、底框结构和砌体结构;可见2000年前后砌体结构和底

框结构的建筑抗震能力明显提高,而对于框架结构,这种变化并不显著,这与框架结构大量的非结构构件破坏有关。

参考文献:

- [1] 中国地震局灾害应急救援司. 汶川8.0级地震烈度分布图[EB/OL]. (2008-08-29). http://www.cea.gov.cn/manage/html/8a8587881632fa5c0116674a018300cf/_content/08_08/29/1219979564089.html
- [2] 王亚勇,戴国莹.《建筑抗震设计规范》疑问解答[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [3] 金伟良,吕清芳,赵羽习,等. 混凝土结构耐久性设计方法与寿命预测研究进展[J]. 建筑结构学报,2007, 28(1):7-13
- [4] 中华人民共和国建设部. GB 50011—2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [5] 尹之潜,杨淑文. 地震损失分析与设法标准[M]. 北京:地震出版社,2004

Seismic damage characteristics of multi-aged buildings in Dujiangyan City subjected to Wenchuan earthquake

LIN Chi¹, HOU Shuang^{*2}, OU Jin-ping^{1,2}

(1. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China;

2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on the post seismic damage assessment of more than 2 000 buildings in Dujiangyan City, a statistical analysis of the seismic damage for multi-aged buildings is carried out, and its influential factors such as structure types, design codes and aging process are comprehensively considered herein. The composition of the buildings in Dujiangyan City is analyzed firstly. Then the characteristics of seismic damage of buildings, including structure type, designing codes, and construction time are analyzed respectively. The seismic capacity of buildings at various ages is compared as well in terms of averaged damage indices. The results show that the seismic capacity of masonry buildings increases drastically and for the three types of primary structures built after the year 2000, namely masonry, base frame and frame structure, frame structures show the worst seismic capacity due to the serious nonstructural component's damages. This preliminary research will provide solid references for the evaluation of the seismic performance of multi-aged building structures and the overall seismic capacity of cities.

Key words: multi-aged building; characteristics of seismic damage; Wenchuan earthquake; Dujiangyan; seismic capacity