

汶川地震都江堰市填充墙震害分析

侯 爽^{*1}, 杨 伟²

(1. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024;

2. 哈尔滨工业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 统计分析了汶川地震中都江堰市钢筋混凝土框架结构填充墙的震害情况, 通过对比主体结构 with 填充墙的震害并参照主体结构的抗震设防目标研究了填充墙自身的抗震性能. 首先, 统计分析了都江堰市钢筋混凝土框架结构主体结构的震害情况, 结果表明主体结构满足我国“三水准”抗震设防目标; 然后, 将主体结构的地震反应划分为弹性反应和非线性反应两种, 对比了这两种状况下填充墙与主体结构的震害, 统计结果表明在这两种情况下填充墙的震害都明显高于主体结构, 尤其是主体结构反应为弹性反应时, 填充墙分别出现了 15% 和 17% 的严重开裂和倒塌; 最后, 探讨了填充墙构造措施对其抗震性能的影响, 发现其现有构造措施不能满足地震作用下保持平面内完整性的作用, 存在危及人员生命安全的隐患. 本研究将为进一步研究填充墙地震破坏机理及其加固方法奠定基础.

关键词: 汶川地震; 近场地震; 填充墙; 抗震性能

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A

0 引言

框架填充墙显著改变主体结构抗震性能, 但由于其材料强度显著的变异性及脆性破坏模式, 其抗震性能不易预测. 因此, 填充墙通常被当做非结构构件, 不参与结构的抗震计算^[1]. 然而, 填充墙的破坏同样造成人员伤亡和经济损失. 1987 年美国加州 Whittier Narrows 地震中在一个停车场建筑中出现了填充墙体倒塌砸死学生的情况^[2]. 而在 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震中同样出现了大量由于填充墙破坏造成的人员伤亡情况.

目前, 国内外关于填充墙抗震方面的研究主要集中在其对主体结构抗震性能的影响上, 并未对其自身的抗震能力进行探讨和研究. 作者参与了国家地震局组织的都江堰市震害普查工作, 该市为小型城市, 市区人口约 200 000, 市区距离震中断裂带 8.6 km, 属于近场强震. 该市建筑包括各种典型结构形式, 震害也表现出各种典型形式, 为研究城市建筑抗震能力提供了较好的研究背景. 本文通过统计分析都江堰市钢筋混凝土框架

结构填充墙的震害情况, 对比主体结构 with 填充墙的震害, 并参照主体结构的抗震设防目标研究填充墙自身的抗震性能, 并进一步探讨填充墙抗震构造措施对其抗震性能的影响, 为今后框架结构填充墙的抗震设计及加固提供依据.

1 钢筋混凝土框架结构填充墙破坏情况

通常框架填充墙并未进行抗震设防, 也没有相关的抗震设防标准. 我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 要求非结构构件的抗震设防目标应与主体结构体系的三水准设防目标相协调, 容许非结构构件的破坏程度略大于主体结构, 但不得危及生命^[3]. 因此, 本文将通过对比主体结构的抗震性能来研究填充墙自身的抗震性能.

对于钢筋混凝土框架结构, 国家标准《建筑地震破坏等级划分标准》^[4] 将其破坏分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌等 5 个等级, 各震害等级的震害特征如表 1 所示. 根据该标准对主体结构震害的描述, 可认为破坏程度为基本完好

和轻微破坏时结构仍处于弹性状态,而在中等破坏、严重破坏和倒塌 3 种状态时进入非线性状态.该标准同时考察结构主体破坏程度以及填充墙破坏程度,在本次调查中当出现两者破坏程度并未与表 1 同时一致时,以主体结构破坏程度为主.

表 1 钢筋混凝土框架结构震害等级与震害特征

震害等级	震害特征
基本完好	框架柱、梁完好;个别墙体与柱连接处开裂
轻微破坏	个别框架柱、梁轻微裂缝;部分墙体明显裂缝;出屋面小建筑明显破坏
中等破坏	部分框架柱轻微裂缝或个别柱明显裂缝;个别墙体严重裂缝或局部酥碎
严重破坏	部分框架柱、主筋压屈,混凝土酥碎、崩落;部分楼层倒塌
倒塌	房屋框架残留部分不足 50%

林迟等的相关文献中详细介绍了都江堰市建筑结构的震害调查结果.其中,钢筋混凝土框架结构建筑共 234 栋.图 1 为框架结构的楼层数分布情况(层数为 n ,栋数为 N),表明多数为 2~6 层,高层建筑很少.在调查区域内最早的钢筋混凝土框架结构建筑建于 1980 年,考虑到区域内这些建筑所使用的抗震设计规范包括 TJ 11—78^[5]、GBJ 11—89^[6]和 GB 50011—2001^[3],本文按规范颁布的先后顺序依次将建筑建成时间划分为 1991 年之前、1991~2002 年和 2002 年后 3 个时期.图 2 为钢筋混凝土框架结构的建成年代情况.1991 年前填充墙通常为实心黏土砖,1991 年后基本上采用空心黏土砖以及实心或空心的轻质砌块.这两个时期的填充墙抗震性能差异较大,前者刚度明显大于后者.另一方面,按规范 GBJ 11—89 与

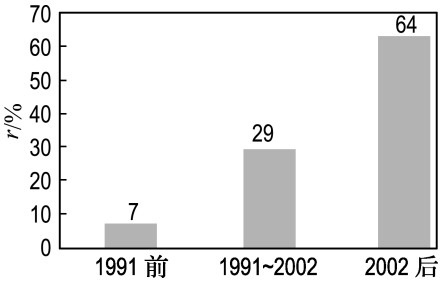


图 2 调查区域 RC 框架结构建成年代
Fig. 2 Construction age distribution of RC frame structures in survey zone

GB 50011—2001 设计的钢筋混凝土框架结构抗震能力相近,但明显高于按 TJ 11—78 规范设计的结构^[7].因此,考虑填充墙和主体结构两者的抗震能力,1991 年之前与之后的建筑在抗震能力方面存在较大差别,但考虑到 1991 年之前的建筑较少,只占 7%,本文不考虑不同建成年代之间结构抗震性能的差异.

图 3 为调查区域钢筋混凝土框架结构的破坏情况,出现严重破坏和倒塌的只占 4%和 2%,表明该类型结构整体上具有良好的抗震性能,满足我国“三水准”抗震设防目标.

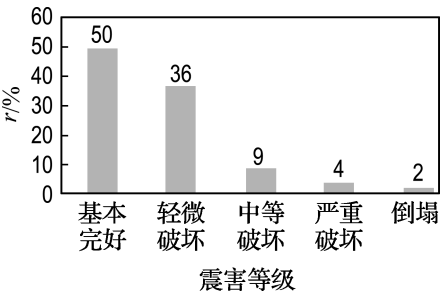


图 3 RC 框架结构破坏情况
Fig. 3 Damage conditions of RC frame structures

当主体结构地震反应为非线性,即中等及中等以上破坏等级时填充墙全部出现大量倒塌,可见,填充墙的破坏程度明显高于主体结构.

主体结构地震反应为弹性,即基本完好和轻微破坏时填充墙的表现完好、细微裂缝、较宽裂缝、倒塌等多种破坏形态.为充分表征填充墙的震害程度,考虑填充墙的破坏形态、结构功能丧失程度、震后修复难易程度以及人员伤亡等因素,本文定义正常使用、暂时功能丧失和完全功能丧失 3 种状态,破坏等级与震害程度如表 2 所示.暂时功能丧失时状态如图 4 所示,图 5 为填充墙完全功能丧失状况.

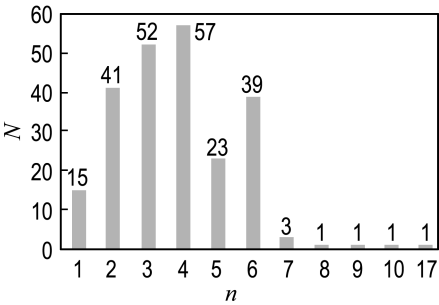


图 1 调查区域 RC 框架结构层数分布
Fig. 1 Building story distribution of RC frame structures in survey zone

表 2 填充墙震害等级与震害描述

Tab. 2 The damage level and the corresponding damage description of infills

震害等级	震害特征
正常使用	无裂缝或只有微小裂缝,结构震后使用功能不间断,不造成人员伤亡
暂时功能丧失	出现较宽裂缝,平面内仍保持完整,需加固后才能正常使用,尚不危及人员生命安全
完全功能丧失	平面内出现较大缺损,需要拆除、重新砌筑,已危及人员生命安全



图 4 填充墙暂时功能丧失

Fig. 4 Temporary function loss of infills



图 5 填充墙完全功能丧失

Fig. 5 Complete function loss of infills

为分析填充墙自身的震害水平,对调研区域内的钢筋混凝土框架结构进行了筛选,去除了以下 3 类建筑:(1)主体结构建成,尚未砌筑填充墙;(2)空旷框架结构;(3)二层及二层以下建筑.这样,参与统计的填充墙为 143 栋.对于地震反应仍处于弹性阶段的钢筋混凝土框架结构,填充墙 68% 的结构保持基本完好,而 15% 和 17% 的结构分别出现暂时功能丧失和全部功能丧失.这也表明填充墙震害明显高于主体结构.

调研中发现,对于很多社会功能重要的建筑,填充墙暂时功能丧失即可导致主体结构使用功能的丧失并造成严重社会危害.图 6 是都江堰市某银行的破坏情况,该建筑主体结构破坏并不严重,经修复可使用,但填充墙大量开裂倒塌,使得该银行停业,造成巨大的经济损失和社会影响.图 7 为都江堰市某医院的破坏情况,主体结构几乎没有明显破坏,然而填充墙破坏同样造成该医院关闭.由此可见,填充墙的抗震问题应引起重视.



(a) 全景



(b) 填充墙破坏情况

图 6 都江堰市某银行破坏情况

Fig. 6 Damage conditions of a bank in Dujiangyan City



(a) 全景



(b) 填充墙破坏情况

图 7 都江堰市某医院破坏情况

Fig. 7 Damage conditions of a hospital in Dujiangyan City

2 填充墙构造措施问题

规范 GB 50011—2001 中小震层间角限值控制就是考虑非结构构件的安全.对于钢筋混凝土框架结构,该限值取 1/550.对于上章中地震反应处于弹性阶段的建筑,将有 32% 的填充墙的极限变形能力小于该限值,因而出现开裂和倒塌.都江堰市框架填充墙基本都与柱子刚性连接(如图 8 所示),拉结筋的构造措施符合规范要求,但填充墙仍然出现大量倒塌情况.试验也表明,填充墙在

平面内侧向荷载作用下,拉结筋的应力很小^[8],这说明拉结筋并不能很好地保证填充墙整体性,填充墙抗震设计需要进一步研究。



图8 填充墙与柱连接的构造措施

Fig. 8 Connection configuration between the infills and the column

3 结 论

(1)钢筋混凝土框架结构主体结构具有良好的抗震性能,能够满足我国“三水准”的抗震设防目标;

(2)对于主体结构地震反应分别为弹性和非线性两种情况,统计结果表明填充墙的震害都明显高于主体结构,尤其是主体结构反应为弹性反应时,填充墙分别出现了15%和17%的严重开裂和倒塌;

(3)目前填充墙拉结筋构造措施不能确保地震作用下填充墙平面内完整,填充墙抗震设计需要进一步研究。

致谢:感谢国家地震局工程力学研究所对地震科考工作的组织和支持,感谢来自国家地震局工程力学研究所、哈尔滨工业大学、大连理工大学、北京交通大学、烟台大学和南京航空航天大学相关研究人员在地震科考工作中的支持与配合。

参考文献:

- [1] KAUSHIK H B, RAI D C, JAIN S K. Code approaches to seismic design of masonry-infilled reinforced concrete frames; a state-of-the-art review [J]. *Earthquake Spectra*, 2006, **22**(4):961-983
- [2] TALY N. The Whittier Narrows. California earthquake of October 1, 1987-Performance of Building at California State University, Los Angeles [J]. *Earthquake Spectra*, 1988, **4**(2):277-317
- [3] 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
- [4] 中华人民共和国建设部. 建抗字第377号 建筑地震破坏等级划分标准[S]. 北京:[s n], 1990
- [5] 中华人民共和国建设委员会. TJ 11—78 工业与民用建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 1978
- [6] 中华人民共和国建设部. GBJ 11—89 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 1989
- [7] 毛武峰. 城市既有单体建筑抗震性能评定[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2008
- [8] 李哲明, 宁文奎, 宋玉普, 等. 非承重抗震墙体实验研究[J]. *建筑结构*, 2004, **34**(8):31-34

Infill damage assessment of Dujiangyan City subjected to Wenchuan earthquake

HOU Shuang^{*1}, YANG Wei²

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The seismic damage performance of the infills of reinforced concrete (RC) frame in Dujiangyan City subjected to Wenchuan earthquake is evaluated by comparing that of the primary structures and referring to the target of aseismic fortifier for primary structures. Firstly, seismic performances of the primary RC frame structures were analyzed. Basically, it meets the "three-level" requirement of the extant Chinese seismic code. Then, seismic response of the primary structures is divided into the linear and nonlinear ones according to the evaluation results. It is found that the damage level of the infills is more severe than that of their primary structures. It is noted that in the cases when the primary structures are in linear state, 15% and 17% of the infills show the severe cracks and collapse. Finally, the seismic configuration of the infills is discussed in terms of its influence on the seismic performance of the infills, and the evaluation results show that the seismic configuration fails to guarantee the infills' in-plane integrity. Risks on human life remain. The work conducted will form the foundation for the subsequent researches on the damage mechanism of infills and its strengthening methods.

Key words: Wenchuan earthquake; near-field earthquake; infills; seismic performance