

汶川 8.0 级地震中汶川县城房屋震害 及其加固情况分析^{*}

吴 迪^{1, 2}, 熊 焱³, 崔 杰¹, 罗奇峰^{2, 3}

(1. 广州大学地震工程与应用技术广东省重点实验室, 广州 510405; 2. 同济大学上海防灾救灾研究所, 上海 200092)
3. 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510405)

摘要: 依据 5·12 汶川地震中汶川县城 (威远镇) 11 个区域共 522 栋房屋的房屋安全鉴定报告, 深入统计分析房屋的震害情况及特点。结果表明, 县城房屋倒塌较少, 但破坏程度较重。破坏多集中在低层房屋以及砌体结构和木结构, 而钢筋混凝土框架及高层房屋破坏较轻。结合房屋的破坏情况, 对县城房屋的维修和加固情况进行分类统计, 分析维修加固中出现的问题, 并提出了相应建议。

关键词: 汶川地震; 汶川县城; 震害分析; 维修加固

中图分类号: P315.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2010)02-0216-06

0 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川省汶川县发生 8.0 级地震, 震中距汶川县城约 60 km。李志强等 (2008) 在大量现场实地调查的基础上, 对汶川地震的极震区和宏观震中分布进行研究, 得到汶川地震极震区的烈度为 XI 度。杨主恩等 (2008) 依据《中国地震烈度表》对极震区的北川、映秀以及外围的都江堰、绵阳、江油、汶川等地进行地震破坏烈度的宏观调查, 系统研究了穿切高地震烈度极震区 (XI 度) 至低地震烈度区 (V 度) 的 2 个剖面的地震破坏情况与宏观烈度特征, 认为这次地震的震级高、震源浅, 极震区位于高山峡谷地貌反差较大的特殊地区, 并对一些具有特征性的地震破坏现象进行了介绍。汶川地震发生后, 中国地震局组织调查面积达 50 万平方公里, 调查点共有 4 150 个。其在实地调查的基础上, 编绘汶川 8.0 级地震烈度分布图 (中国地震局, 2008)。根据该分布图可判断, 此次地震中汶川县的震害烈度为 VIII~IX 度。

张敏政 (2008) 对汶川地震中成都市都江堰区的房屋震害调查资料进行统计分析, 结果表明, 经抗震设计的房屋的震害程度明显低于未经抗震

设计的房屋, 前者达到预期的抗震设防目的; 在经抗震设计的房屋中, 钢筋混凝土框架结构房屋的震害相对较轻, 底框架砌体结构房屋和砌体结构房屋稍重; 中高层建筑和低层建筑的震害较多层建筑轻; 学校、医院等公用建筑的损坏与住宅建筑相比较重。韩军等 (2008) 对绵阳市区各类房屋结构的震害进行统计后认为, 绵阳市区按现行抗震规范设计的房屋基本经受住了地震考验。不同的结构体系表现出的抗震性能差别较大, 老旧房屋是抗震的薄弱环节, 应有选择地对其进行抗震鉴定加固。

笔者根据汶川地震灾区震害的调查资料, 对汶川县房屋的破坏情况和特征进行统计分析, 并对房屋加固情况和措施进行分类讨论, 以期对灾区房屋加固和房屋结构抗震设计提供依据。

1 汶川县房屋震害调查

汶川县房屋建筑可大体分为三类: A 类房屋为 20 世纪 70 年代以及更早的建筑, 多为居民自建房屋, 包含古建筑。此类房屋均未考虑抗震设计, 结构类型以砖木混合结构和木结构为主。B 类房屋大多数建于 20 世纪 80 年代, 部分建筑物考虑了抗震规范的设计要求, 结构类型以砖混结构、底框

^{*} 收稿日期: 2009-10-07.

基金项目: 国家自然科学基金 (90815027)、高等学校博士学科点专项科研基金 (20094410120002)、亚热带建筑科学国家重点实验室开放基金 (2009KB17) 和减震控制与结构安全开放实验室资助.

架砖混结构为主。C 类建筑为 20 世纪 90 年代及以后经抗震设计的建筑，结构类型含砌体结构、底框砌体结构和钢筋混凝土框架结构。

汶川地震灾区的房屋安全鉴定、加固和灾后恢复重建主要依据《地震灾后建筑鉴定与加固技术指南》(2000)、四川省制定的《汶川地震灾区城镇受损房屋建筑安全鉴定及修复加固拆除实施意见》(以下简称《四川省政府第 226 号令》)、《四川省建筑抗震鉴定与加固技术规程(试行)》(以下简称《四川规程》)及相关技术标准编制。2008 年 7 月 10 日至 31 日，房屋鉴定工作者对汶川县共 1 141 栋房屋开展震后初步鉴定，鉴定作业完成总建筑面积达 $1.121\ 2\times 10^6\ \text{m}^2$ (南方日报, 2008; 羊城晚报, 2008)。该次鉴定按严重破坏或倒塌、中度破坏、轻微损坏、基本完好四种房屋破坏等级进行划分。当符合第一级鉴定的各项要求时，建筑物满足抗震鉴定要求，不再进行第二级鉴定；当不符合第一级鉴定要求时，除《四川规程》明确规定的情况外，应根据第二级鉴定作出判断。

房屋调查鉴定工作基本覆盖整个汶川县城区，并将城区划分为 11 个区域，本文主要针对汶川县 522 栋住宅和公共设施进行分析 (图 1)。

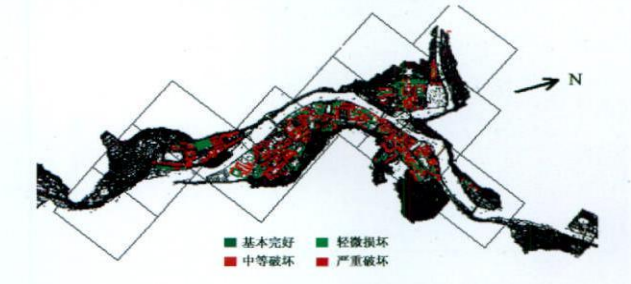


图 1 汶川县房屋区域划分和破坏等级分布图
Fig.1 Distribution map of seismic damage of buildings and region division in Wenchuan county

1.1 汶川县不同破坏等级房屋的震害调查

根据对汶川县建筑物的鉴定结果，对汶川县各类房屋的地震破坏等级统计分析，可得出不同破坏等级房屋的栋数、户数(套数)、建筑面积和每栋平均建筑面积(表 1)。

表 1 汶川县各种类型建筑和地震破坏等级划分
Tab.1 Different seismic damage level and various types of buildings in Wenchuan county

破坏等级	基本完好	轻微损坏	中等破坏	严重破坏	局部或整体倒塌	合计
栋数	9	35	192	280	6	522
户数(套数)	30	358	2 339	2395	6	5 128
建筑面积 / m^2	2 737.12	42 035.83	274 372.2	220 369.5	883.5	540 398.1
每栋平均建筑面积 / m^2	304.12	1 201.02	1 429.02	787.03	147.25	1 035.25

由表 1 可知，此次地震中汶川县局部或整体倒塌的房屋为 6 栋，每栋平均建筑面积 $147.25\ \text{m}^2$ ，房屋层数均为 1 层。中等破坏房屋 192 栋，每栋平均建筑面积为 $1\ 429.02\ \text{m}^2$ ，轻微损坏房屋 35 栋，每栋平均建筑面积为 $1\ 201.02\ \text{m}^2$ 。以上数据表明，

汶川地震中汶川县局部或整体倒塌的多为低矮且建筑面积较小的房屋，而轻微损坏和中等破坏的多为楼层较多且面积较大的房屋。由表 1 可得汶川县各种破坏等级房屋栋数和面积分布情况 (图 2、图 3)。

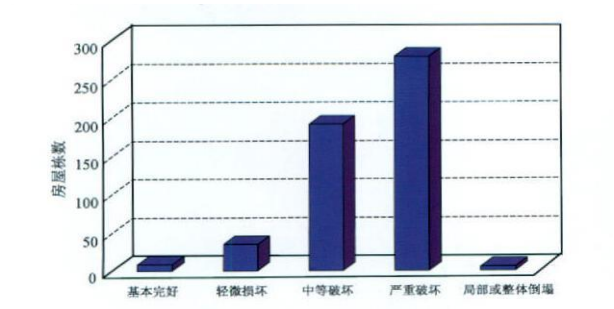


图 2 汶川县各种破坏等级房屋的栋数
Fig.2 Total buildings of different seismic damage levels in Wenchuan county

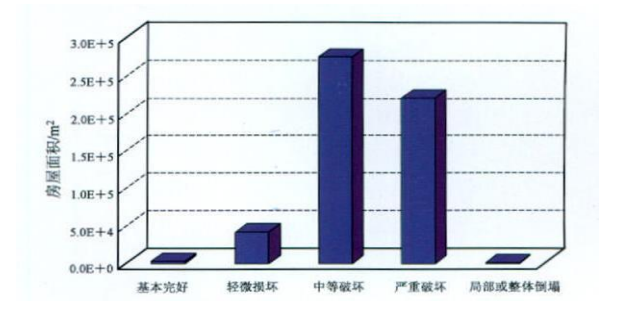


图 3 汶川县各种破坏等级房屋的面积
Fig.3 Building area of different seismic damage levels in Wenchuan county

由图 2可知,汶川县严重破坏房屋的栋数最多,占所鉴定房屋总栋数的 53.64%;中等破坏房屋的栋数次之,占所鉴定房屋总栋数的 36.78%。破坏程度在中等及以上房屋的栋数占所鉴定房屋总栋数的 90.57%。由图 3可知,在汶川县不同破坏等级的房屋总建筑面积中,中等破坏的建筑房屋面积最大,占所鉴定房屋总面积的 50.77%;严重破坏房屋的建

筑面积次之,占所调查房屋总面积的 40.78%。破坏程度在中等及以上房屋的面积占所鉴定房屋总建筑面积的 91.71%。由鉴定结果分析可知,汶川县房屋的破坏情况十分严重。

1.2 汶川县不同结构类型房屋的震害情况

根据对汶川县的鉴定结果,其调查的各种类型房屋面积和栋数情况见表 2。

表 2 汶川县调查的各种类型建筑的面积和栋数
Tab.2 Quantity and area of various types of investigated buildings in Wenchuan county

类型	钢结构	混凝土框架结构	底框砌体结构	砌体结构	其他结构	合计
栋数	1	23	68	377	53	522
面积 /m ²	168.01	80 636.62	119 673.61	325 506.97	14 413.18	540 398.4

由表 2可知,在汶川县调查的房屋中砌体结构房屋最多,占房屋总栋数的 72.22%;其建筑面积也最大,占房屋总建筑面积的 60.23%。

根据鉴定结果可知汶川县不同结构类型和破坏等级房屋的栋数 (图 4) 以及不同类型和破坏等级房屋的建筑面积 (图 5)。

图 4、图 5中所指的其他结构主要为该县房屋所采用的木结构、石砌结构等;底框砌体结构指楼层底部为钢筋混凝土结构,上部结构为砌体结构;混凝土结构主要指钢筋混凝土结构。由图 4可知,其他结构类型房屋中严重破坏和倒塌的房屋栋数最

多,占该类型房屋总栋数的 86.79%;在砌体结构中,严重破坏和倒塌的房屋为 196栋,占该类型房屋栋数的 51.99%;破坏程度在中等及以上房屋为 345栋,占该类型房屋栋数的 91.51%;底框砌体结构破坏相对严重,其严重破坏的房屋的栋数占该类型房屋栋数的 60.29%。钢结构、混凝土结构破坏程度相对较轻,且没有出现局部或整体倒塌情况。由图 5可知,对于砌体结构而言,破坏程度在中等及以上房屋的建筑面积为 $3.03\times10^5\text{ m}^2$,占该类型房屋总建筑面积的 93.09%,由此说明汶川县的砌体结构破坏十分严重,大部分房屋需要进行加固处理。

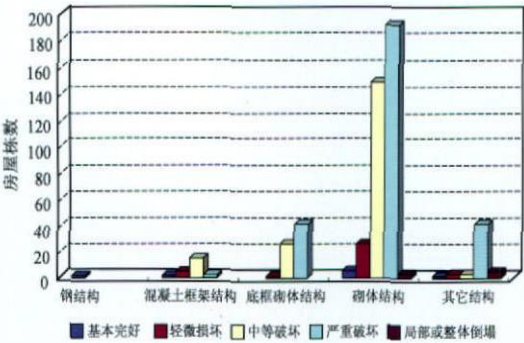


图 4 汶川县城不同结构类型和破坏等级房屋的栋数
Fig.4 Different seismic damage level and types of buildings in Wenchuan county

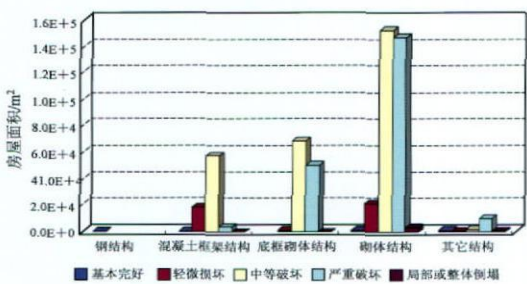


图 5 汶川县城不同结构类型和破坏等级房屋的面积
Fig.5 Building area of different seismic damage level and various types of buildings in Wenchuan county

1.3 汶川县建筑不同层数房屋的震害调查

根据鉴定报告进行统计可得汶川县不同层数和破坏等级的房屋栋数 (图 6) 以及不同层数和破坏等级的房屋面积 (图 7)。

由图 6可知,在本次汶川县震害鉴定结果中,

破坏程度达到严重及以上的房屋栋数为 285栋, 3层及 3层以下且破坏程度达到严重破坏及以上的房屋栋数为 198栋, 占严重破坏及以上的房屋栋数的 69.47%。层数为一层的房屋共 99栋, 其中严重破坏的房屋为 64栋, 占该类型房屋栋数的 64.65%,

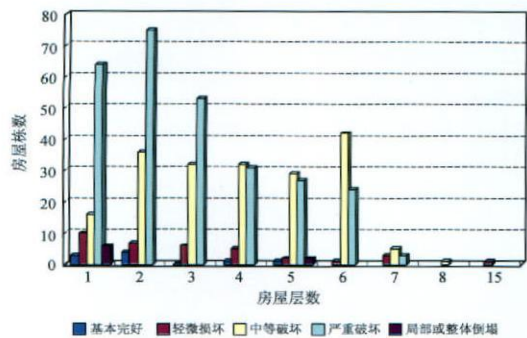


图 6 汶川县不同层数和破坏等级房屋的栋数
Fig.6 Quantity of stories and seismic damage level in Wenchuan county

局部或整体倒塌的房屋为 6 栋，占 6.06%。所以，一层房屋破坏程度达到严重及以上的房屋占该类房屋的 70.71%。同时，图 6 与图 7 中不同层数房屋的破坏等级分布有所差异，其主要原因在于汶川县低矮房屋建筑面积较小，而高层房屋建筑面积较大。比如该镇 6 层楼的房屋总建筑面积最大，达到 18 万多平方米。所以，图 7 中中等破坏的高层房屋的建筑面积最大。

2 汶川县房屋维修和加固情况调查与分析

《四川省政府第 226 号令》规定地震灾区受损房屋建筑的抗震设计、修复、加固按以下原则执行：（一）轻微受损，按房屋修建时的抗震设防要求和抗震设计规范，通过修复恢复到震前状态；（二）中等以上破坏、具有加固价值的，按照地震后国家新颁布的抗震设防要求和房屋修建时的抗震设计规范进行加固；（三）鉴定为严重破坏已无加固价值的危房，依法实施拆除（四川在线，2008）。汶川县政府根据区域规划和房屋破坏程度，分别采用修复、加固、拆除三种方法对地震损害的房屋进行处理。汶川县城房屋不同破坏等级和维修加固措施的情况见图 8。

2.1 汶川县房屋的修复情况

由图 8 可知，本次鉴定房屋中采用修复措施处理的为 50 栋，占调查房屋栋数的 9.58%。在修复的房屋中，尚有中等破坏（5 栋）和严重破坏（1 栋）的房屋未按规定进行按加固和拆除处理。

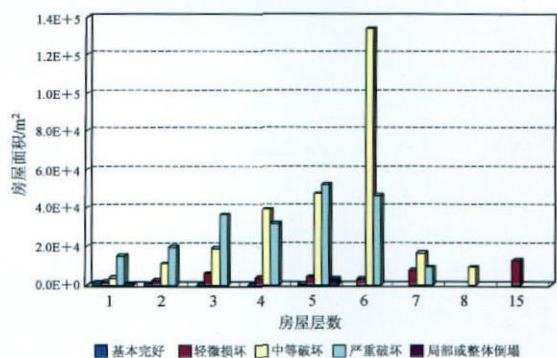


图 7 汶川县不同层数和破坏等级房屋的面积
Fig.7 Building area of different seismic damage level and type of buildings in Wenchuan county

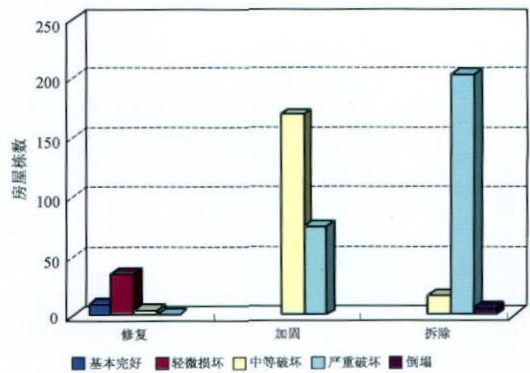


图 8 汶川县不同破坏等级房屋的维修加固措施情况
Fig.8 Repairing and reinforcement measures for buildings of different seismic damage level in Wenchuan county

2.2 汶川县房屋的加固情况

由图 8 可知，本次鉴定房屋中采用加固措施处理的为 245 栋，占调查房屋栋数的 46.93%，中等破坏房屋占加固房屋栋数的 68.35%。由于地震灾后重建的规划和资金问题，对部分属于严重破坏的房屋也进行加固处理，占加固房屋栋数的 30.61%。

2.3 汶川县房屋的拆除情况

由图 8 可知，本次鉴定房屋中采用拆除措施处理的为 227 栋，占调查房屋栋数的 43.49%。严重破坏房屋占拆除房屋栋数的 89.87%，中等破坏的房屋占拆除房屋栋数的 7.49%。汶川县所拆除的中等破坏的房屋属于规划要求，其与房屋震害程度无关。

3 结 论

(1) 虽然汶川县房屋倒塌较少，但经统计显示，该地区房屋破坏程度较重。属于中等破坏及以上房屋栋数占总鉴定房屋栋数的 91.57%。根据《中国地震烈度表》(1999) 和本文表 1 给出的汶川县各类建筑的地震破坏等级划分，可判断该地区的地震烈度为Ⅷ度。该结论与李志强等(2008)，杨主恩等(2008)，中国地震局震灾应急救援司(2008)关于汶川地震宏观震中和极震区的结论基本一致。这说明 2008 年我国对《建筑抗震设计规范》(2001) 内主要城镇抗震设防烈度中汶川地区的地震烈度所作的调整(由原来的Ⅶ度提高为Ⅷ度)是合理的。

(2) 由本文统计可知，汶川县层数在 3 层及以下的房屋震害较重，3 层以上房屋震害较轻；不同结构类型房屋的抗震能力也存在很大差异，比如砌体结构、木结构和底框砌体结构破坏比较严重，钢结构和钢筋混凝土结构的破坏较轻。

(3) 由本文统计可知，汶川县仍然有部分房屋未按规范措施进行维修加固，部分中等破坏和严重破坏的房屋修复后仍不能达到新规范对汶川县规定的Ⅷ度抗震设防标准，建议适当提高此类房屋的加固标准。

此外，地震造成汶川县房屋破坏的因素也较为复杂，包括地震烈度、场地情况、施工质量和地震动特性等(吴迪等，2007)等。所以有必要研究此次地震的致灾机理，这不仅有益于房屋的加固维修，同时有益于该区域防灾能力的提升。

参考文献：

韩军,李英民,刘立平,等.2008.5·12汶川地震绵阳市区房屋震害统计与分析[J].30(5):21—27.

李志强,袁一凡,李晓丽,等.2008.对汶川地震宏观震中和极震区的认识[J].地震地质,30(3):768—777.

南方日报.2008.粤28位专家提前10天完成1141栋震后房屋鉴定[EB/OL].新华网广东频道.(2008—08—14)[2009—07—13].http://www.gd.xinhuanet.com/newscenter/2008-08/14/content_14121058.htm.

四川在线.2008.汶川地震灾区城镇受损房屋建筑安全鉴定及修复加固拆除实施意见[EB/OL].(2008—08—14)[2009—07—13].<http://www.scol.com.cn/nsichuan/dwzw/20080819/200881983957.htm>.

王彬,罗奇峰.2001.经验 GREEN 函数法研究丽江 6.0 级强余震的地震动及破裂特征[J].地震研究,24(01):40—47.

吴迪,罗奇峰,罗永峰.2007.长周期地震波的研究进展[J].地震研究,30(03):296—304.

羊城晚报.2008.广东专家完成汶川县城房屋鉴定[EB/OL].(2008—08—14)[2009—07—13].<http://news.sina.com.cn/o/2008-08-14/142514310922s.html>.

杨主恩,邓志辉,马文涛,等.2008.汶川 8 级强震极震区破坏情况与烈度[J].地震地质,30(2):349—354.

张敏政.2008.汶川地震中都江堰市的房屋震害[J].地震工程与工程振动,28(3):1—6.

中国地震局震灾应急救援司.2008.汶川 8.0 级地震烈度分布图[EB/OL].(2008—08—29)[2009—07—13].http://www.cea.gov.cn/manage/html/8a8587881632fa5c0116674a018300cf_content/08-08/29/1219979564089.html.

DB51/T5059—2008,四川省建筑抗震鉴定与加固技术规程(试行)[S].

GB/J50011—2001,建筑抗震设计规范[S].

GB/T17742—1999,中国地震烈度表[S].

GB/T18208.3—2000,地震灾后建筑鉴定与加固技术指南[S].

The Analysis of Building Damage and Reinforcement in Wenchuan County Caused by the May 12, 2008 Earthquake

WU Di^{1,2}, XIONG Yan³, CUI Jie¹, LUO Qi-feng^{2,3}

(1.Key Laboratory of Earthquake Engineering and Applied Technique of Guangdong Province
Guangzhou University, Guangzhou 510405, Guangdong, China)

(2.Research Institute of Structure Engineer and Disaster Reduction, Tongji University, Shanghai 200092, China)

(3.State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Tech
Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract

On the basis of the appraisal reports of earthquake damage from 522 buildings in 11 districts of Wenchuan county (Weizhou town) after the 2008 Wenchuan Earthquake, earthquake damage and statistic in Wenchuan earthquake species was introduced. The damage features of multistory buildings of different kinds were summarized and analyzed. The results showed that the building collapse was less. However, the buildings were heavily damaged. The results indicated that the seismic capacity of RC frame buildings was stronger than those of brick buildings, timber structures and stone masonry structures. The damage to high-rise buildings was slighter than that to low-rise buildings. Based on the damage to buildings during Wenchuan earthquake, the different kinds of the damaged building reinforcement was made statistical analysis. The building reinforcement problems are need to be solved and some suggestions are given.

Key words: Wenchuan earthquake, Wenchuan county, earthquake damage analysis, reinforcement