

5·12汶川地震绵阳市区房屋震害统计与分析

韩军, 李英民, 刘立平, 郑妮娜, 王丽萍, 刘建伟

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要: 历次大地震的经验总结是推动建筑抗震技术发展的重要途径。通过绵阳市区房屋在汶川大地震后的震害应急评估和调查, 对市区各类房屋结构的震害进行了统计, 总结分析各类房屋的震害特征和经验教训。得到一些启示和建议: 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; 老旧房屋始终是抗震薄弱环节, 应有选择地进行抗震鉴定加固, 开展砖混结构墙体抗震防裂措施研究, 采取措施有效减轻框架结构中填充墙等非结构构件的震害, 开展楼梯抗震设计计算与构造措施的研究。

关键词: 汶川地震; 震害; 震害分析; 抗震

中图分类号: TU352.1, P315.9 文献标志码: A 文章编号: 1006-7329(2008)05-0021-06

Building Damage in Mianyang City Caused by the May 12, 2008 Earthquake in Wenchuan, Sichuan Province, P. R. China

HAN Jun, LI Ying-min, LIU Li-ping, ZHENG Ni-na, WANG Li-ping, LIU Jian-wei

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Summarizing building damage in all previous large earthquakes is an important approach to promote the development of structural seismic design. We conducted a statistical analysis of the earthquake damage to various buildings in Mianyang city, Sichuan province, P. R. China. This analysis was based on the emergency assessment and investigation of building damage in Mianyang city caused by the large earthquake that occurred on May 12, 2008 in Wenchuan. We also summarize the damage characteristics of different buildings and the lessons learned. We present the following findings and suggestions for structural seismic design: (1) Buildings in Mianyang designed according to current seismic code withstood the rare earthquake. (2) Different structural systems have obviously varied seismic behaviors. (3) Old buildings always have been the weak links in earthquakes, and should be evaluated and strengthened selectively after an earthquake. (4) Studies of anti-cracking measures for masonry walls should be conducted. (5) Effective measures should be taken to reduce earthquake damage to non-structural components, for example, infill walls in frames. (6) Seismic design methods and construction measures for stairs should be studied.

Key words: Wenchuan earthquake; earthquake damage; earthquake damage analysis; seismic resistance

2008年5月12日14时28分,四川省阿坝州汶川县发生了里氏8.0级地震,震中为北纬31.0°,东经103.4°,位于汶川县映秀镇,震源深度为14 km,属于浅源地震。此次地震不仅在震中区附近造成灾难性的破坏,而且在四川省和邻近省市造成大范围破坏和强烈震感,其影响更是波及到全国绝大部分地区乃至境外。地震的宏观震中位于汶川县至北川县一带,极震区烈度高达Ⅺ度。5月12日主震后余震不断,次生灾

害频发。汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了1976年的唐山大地震。

地震发生后,作者在政府、学校等各方协调下组织抗震救灾工作组于5月14日分赴四川和重庆灾区一线进行抗震救灾和调研。作者所在工作组5月14日至5月23日在绵阳市进行了为期10 d的震后房屋应急安全性评定工作和调查,较为深入的了解了绵阳市

* 收稿日期: 2008-08-20

作者简介: 韩军(1978-),男,博士生,主要从事结构抗震研究。(E-mail) hanjunooop@126.com

李英民(联系人),男,教授,博士,博士生导师,主要从事结构抗震研究。(E-mail) liyingmin@cqu.edu.cn

区的房屋建筑震害情况。历次大地震的经验总结是推动建筑抗震技术发展的重要途径^[1-13]。该文通过对工作组所在的绵阳市区房屋的震害应急评估和调查,总结分析各类房屋的震害特征和经验教训,得到一些启示,并提出相应的建议。

1 绵阳市区房屋震害统计概况与震害特点

1.1 震害统计概况

课题组 10 d 内参与了绵阳市主城区两个主要行政区即涪城区和游仙区的震后房屋应急安全评价工作,共完成约 500 幢、面积约 250 万 m² 房屋建筑的安全检查工作。其中包括学校、机关办公楼、商场、办公楼、居民楼等,所看房屋具有代表性,能基本上反映绵阳市区的建筑震害现象。

绵阳市区震前抗震设防烈度为Ⅵ度,从 89 抗震规范开始规定设防,1993 年强制执行。本次汶川 8.0 级地震及其余震使绵阳市区遭受的烈度为Ⅶ度左右,造成绵阳市区大量房屋建筑受到不同程度的破坏。绵阳市区市民居住房屋以砌体结构为主,且多数修建年代在 1993 年施行 6 度设防以前,没有抗震措施或抗震措施不足;部分商场、办公楼等公用建筑采用框架结构或底框结构。主城区以外的乡镇房屋建筑多数为未进行抗震设计的自建房,结构形式为砖瓦房或木构架房屋。在此次地震及余震中不同结构遭受了不同程度的震害。

表 1 绵阳市主城区房屋震害统计

结构形式	破坏等级			
	完好或轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
多层砌体房屋	134/74.9	27/15.1	18/10.0	0
底部框架房屋	26/74.3	9/25.7	0	0
框架	35/97.2	1/2.8	0	0

注:“/”上为栋数,“/”下为百分比(%)

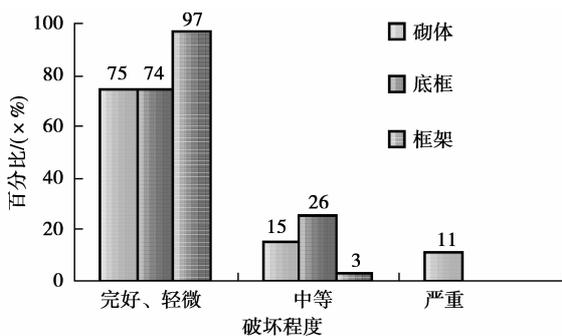


图 1 绵阳市主城区各类房屋震害统计图

震后安全应急检查工作时在参照建设部《建筑地震破坏等级划分标准》^[14]将房屋分为以下 5 个破坏等级:基本完好、轻微损坏、中等破坏、严重破坏和

倒塌,各破坏等级的具体定义可参见文献[1]。实际操作时将基本完好和轻微损坏视为可以使用;将中等破坏定为加固后使用;将严重破坏和倒塌定为禁止使用。分别以不同颜色的牌子(可以使用为绿牌、加固后使用为黄牌、禁止使用为红牌)张贴在房屋的显眼处。对各建筑物破坏等级情况进行统计,表 1 和图 1 给出了绵阳市主城区所检查的房屋的震害统计情况。从图表中可以看出,多层砌体和底部框架房屋完好或轻微破坏的比例占 75% 左右;多层砌体房屋中等破坏占 15%,严重破坏占 10%,无倒塌,这个比例与我国以前多次地震 7 度区的统计结果(完好或轻微破坏占 78% 左右)比较接近^[15],其中中等破坏的房屋中 1993 年以前修筑的占 85% 左右,1993 年后修筑的占 15% 左右;底部框架房屋中等破坏占 25% 左右,无严重破坏和倒塌;框架结构基本完好或轻微破坏(填充墙等非结构构件破坏),占 97.2%,极个别中等破坏(可能设计施工不合理造成),无严重破坏和倒塌,其中中等破坏和严重破坏的房屋中 1993 年以前修筑的占 90% 左右。

1.2 震害特点

根据震害及统计分析可以得出绵阳市区房屋以下震害特点:

1)绵阳市区抗震设防烈度是 6 度,这次地震造成绵阳市实际烈度为 7 度(依据中国地震局公布的烈度分布图,峰值加速度为 180 gal 左右),相当于经历了一次大震,而从上述建筑震害表现来看,房屋结构基本达到了“大震不倒”的抗震设防目标,设防烈度 6 度区经过抗震设防设计施工的房屋总体上经受住了地震考验;相比而言,北川、都江堰等 7 度设防烈度区超过了大震水平,震害相对要严重些,也可能与不同设防烈度区结构在大震下的表现不同有关;

2)1993 年以前未进行抗震设防设计的老旧房屋破坏比经过抗震设防的房屋破坏严重的多;

3)不同的结构体系表现出的抗震性能差别较大,多层砌体结构和底部框架房屋未经抗震设防时承重构件的破坏较多,但经过正确抗震设计施工的损伤较小,甚至连裂缝都没有;而框架结构的承重构件基本完好,极个别破坏可能是设计施工不合理所造成的,但填充墙等非结构构件破坏严重,经济损失较大,且地震时特别是高层建筑晃动剧烈引起居民恐慌;

4)多层砌体结构中,门、窗洞口部位裂缝较其它部位要多;房屋端头住户特别是山墙裂缝较中间部分墙体多;底部墙体裂缝比上部楼层墙体多;楼梯间墙体破坏较严重,楼梯间出屋面塔楼等屋顶突出物破坏严重。

2 绵阳市区房屋典型震害特征及分析

2.1 多层砌体房屋

在绵阳市区的多层砌体房屋出现了不同程度的破坏,按规范进行过抗震设计的较新砌体结构房屋基本只有少量细微裂纹,属于基本完好或轻微破坏;市区大量未经抗震构造措施的砌体结构破坏较为严重,但无倒塌现象。主要有如下几种震害:

1)楼梯间震害较严重。楼梯间承重墙普遍出现斜裂缝,特别是梯梁直接放置于砌体墙上未设构造柱时,沿着梯梁角部斜向下开展斜裂缝;出屋顶楼梯间小塔楼由于边鞘效应破坏严重,特别是未设置圈梁构造柱时。如图2~3举例所示;

2)墙角破坏。房屋四角以及凸出阳角地震作用下受扭转影响以及墙角部分应力复杂且易产生应力集中,而且墙角部位的约束较差,老旧房物抗震构造措施不足,如无构造柱和圈梁等,角部较多出现贯通斜裂缝。如图4举例所示;

3)砖墙破坏。房屋两端头砌体承重墙由于空间扭转效应等影响斜裂缝比较普遍,如图5所示;少量内部承重墙体出现明显剪切斜裂缝,且在余震中有继续扩展的趋势;自承重墙体相比承重墙体,由于承担水平地震力时重力小裂缝开展更为明显。如图6~7所示例;

4)缝的连接破坏与碰撞破坏较普遍。后加部分与原有结构未有效连接容易引发贯通裂缝、连接失效或碰撞破坏,如图8、9所示;防震缝设置方式不够合理或缝宽不足导致碰撞破坏严重,如图10所示;有些附墙烟囱与墙缺少连接或连接不足而外闪折断,如图11所示;

5)楼屋面破坏。楼板和屋盖是地震时传递水平地震作用的主要构件,其水平刚度对房屋抗震性能影响很大。当采用预制板时整体性较差,板缝偏小而混凝土灌缝不够密实,地震时板缝易于拉裂,绵阳市区大量砖混房屋预制板间出现这种板缝,板与墙体顶部连接处也有被震松而出现水平裂缝,如图12所示;预制板端部搁置长度过短或无可靠的拉结措施,加之预制板强度相对偏低易折断,导致预制板在冲击荷载下易掉落或折断,绵阳市个别房屋如纺织大厦旁一砌体结构的楼屋面被纺织大厦上掉下的女儿墙和楼梯间从上到下砸穿,如图13所示;瓦屋面坡度较大时屋面小瓦掉落,如图14所示;

6)门窗洞口斜裂缝较为普遍。门窗洞口四角由于截面突变在角部易于应力集中,若洞口两边未设置构造柱,则过大的应力将导致门窗洞口角部普遍出现裂

缝,如图15所示;窗下墙起着将两片墙成整体工作的作用,相当于连梁,在水平力作用下易出现剪切斜裂缝,如图16所示;

7)基础梁上水平贯通缝。绵阳市区多层砌体结构在底层室内外有高差,室内高一些,少数房屋在一层基础梁上板下边位置出现了沿房屋四周的贯通水平裂缝,如图17所示,这在以前的震害中是比较少出现的。分析其原因可能是由于剪力和房屋整体弯曲共同作用引起的;

8)出屋面顶部突出物普遍破坏。出屋面女儿墙由于是单片墙,侧向无约束,稳定性差,又受到鞭梢效应影响,在历次地震中都出现明显的震害。绵阳市区大量多层砌体房屋女儿墙未设置构造柱、压顶梁或构造柱设置较少,在地震中部分房屋出现倒塌或严重破坏或轻微破坏,如图18、19所示;

9)装饰构件破坏。某些附属装饰构件在地震中损坏,如图20所示。

2.2 底部框架房屋

绵阳市区的底部框架上部砌体房屋震害主要表现在上部砌体结构部分,特别与框架转换层相邻的楼层砌体承重墙轻微或中等破坏。底部框架部分未见到有破坏现象。如图21示例。

2.3 框架结构

绵阳市区框架结构总体上主体结构是完好的,极个别框架柱破坏(可能是设计施工等原因造成)。主要震害表现为:大量填充墙严重破坏,给人们带来了巨大的经济损失;梯段板断裂、出屋面女儿墙、楼梯间塔楼和装饰构件破坏。总体来说抗震安全性比砌体结构好,但经济损失大。

1)填充墙破坏。主要震害是填充墙斜裂缝,多数是交叉斜裂缝;靠近柱或构造柱的角部填充墙挤压破坏或掉落。如图22~25所示;

2)梯段板断裂。框架结构中底下几层楼梯梯段板在跨中位置出现全截面贯通裂缝或断裂,如图26、27所示。这是这次地震中表现出的新的特殊震害。其主要原因是楼梯斜板在水平力作用下处于往复拉弯和压弯状态,而楼梯设计时一般未考虑抗震设计,即未考虑水平力作用,仅仅考虑了重力荷载,大震时梯段板的截面和配筋不足以承担未得到考虑的水平荷载。楼梯的抗震设计和措施急待完善;

3)出屋面女儿墙、楼梯间塔楼破坏。如图28、29所示;

4)外装饰破坏。框架结构很多外装饰出现裂缝或掉落,如图30所示。



图 2 楼梯间塔楼破坏

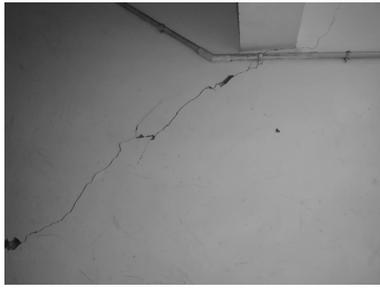


图 3 楼梯间墙体明显斜裂缝



图 4 山墙角部严重裂缝图



图 5 端头承重横墙斜裂缝



图 6 内承重纵墙严重斜裂缝



图 7 自承重墙明显交叉斜裂缝



图 8 后加部分与原房屋连接破坏



图 9 后砌围墙碰撞原办公楼



图 10 未设置防震缝而碰撞破坏



图 11 烟囱外闪折断



图 12 预制板间板缝



图 13 预制板从上而下砸穿



图 14 屋面小瓦掉落



图 15 门洞口斜裂缝



图 16 窗下墙交叉斜裂缝



图 17 底层基础梁上贯通水平裂缝



图 18 女儿墙倒塌坠落



图 19 出屋面小塔楼破坏



图 20 楼梯间装饰构件破坏



图 21 转换层上承重墙交叉裂缝



图 22 填充墙破坏



图 23 填充墙交叉斜裂缝



图 24 填充墙交叉斜裂缝

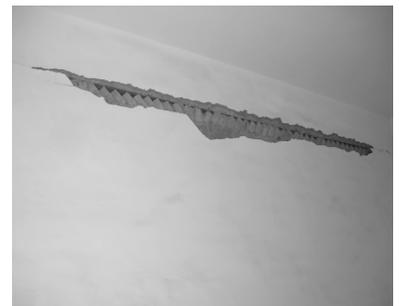


图 25 梁底与填充墙交接处裂缝



图 26 梯段板跨中贯通裂缝



图 27 梯段板断裂



图 28 楼梯间顶女儿墙倒塌



图 29 楼梯间塔楼填充墙倒塌



图 30 外装饰破坏

2.4 框架剪力墙结构

绵阳市区框架剪力墙高层建筑较少,震害应急评估中共遇到3栋。其中,有2栋结构基本完好,有一栋填充墙破坏较为严重,如图31所示。总体来说,绵阳市区框架剪力墙抗震性能相对较好。



(a) 外貌 (b) 内部填充墙破坏严重

图 31 某短肢剪力墙结构填充墙破坏

3 启示与建议

通过对本次地震绵阳市区的房屋震害调查统计与分析,有以下几点启示和建议:

1) 绵阳地区按现行抗震规范设计的房屋基本经受了地震考验。绵阳市主城区抗震设防烈度为6度,这次汶川地震造成绵阳市的实际烈度接近7度,相当于经历了一次大震,房屋无一例倒塌,按《抗规》正规设计建造的房屋比未抗震设防的房屋破坏轻,基本达到了“大震不倒”的抗震设防目标。说明现行抗震设计规

范的主要技术成熟可靠,达到了预期的抗震设防目标;

2) 不同的结构体系表现出的抗震性能差别较大。多层砌体和底部框架房屋未经抗震设防时承重构件的破坏较多,但经过正确抗震设计施工的损伤较小,甚至连裂缝都没有;而框架结构的承重构件基本完好,但填充墙等非结构构件破坏严重,经济损失大,且地震时特别是高层建筑晃动剧烈引起居民恐慌;

3) 应研究给出关于进行重点老旧房屋抗震鉴定加固的规定,提出适宜的城市现有老旧房屋抗震加固方法。老旧房屋始终是抗震薄弱环节,建议甄别重点老旧房屋,分阶段、分层次进行重点老旧房屋的抗震鉴定加固。

4) 应开展砖混结构墙体抗震防裂措施研究。在绵阳市区的砖混房屋墙体开裂较为普遍,大量的裂缝给居民的心理带来不良影响,修复起来也比较困难,砖混结构的墙体防裂措施有待进一步研究;

5) 应采取有效措施减轻框架结构中填充墙等非结构构件的震害。一方面可以采用强度更高、质量更轻的砌体材料;一方面可以提高主体结构的刚度,比如加适当数量的剪力墙,限制结构的侧向变形,减小填充墙在地震中的开裂,对减小居民的经济损失起到重要的作用;

6) 应开展楼梯抗震设计计算与构造措施的研究。楼梯梯段板的断裂破坏是这次地震暴露出的新问题,

说明了设计中未对楼梯进行适当的抗震设计,应及时开展楼梯抗震计算设计和构造措施的研究和应用。

参考文献:

- [1] 高孟潭,许力生,郭文生,等. 2003年8月16日内蒙古Ms5.9地震震害分布特征及其成因分析[J]. 地震学报, 2005, 27(2):205-212.
GAO Meng-tan, XU Li-sheng, GUO Wen-sheng, et al. Spatial damage distribution of August 16, 2003, Inner Mongolia, China, MS=5.9 earthquake and analysis[J]. Acta Seismologica Sinica, 2005, 27(2):205-212.
- [2] 施伟华,周光全,赵永庆,等. 2003年大姚6.2级地震房屋震害特征及分析[J]. 地震研究, 2004, 27(4):374-378.
SHI Wei-hua, ZHOU Guang-quan, ZHAO Yong-qing, et al. Characteristics and analysis of earthquake disasters for buildings to the Dayao Ms6.2 earthquake in 2003[J]. Journal of Seismological Research, 2004, 27(4):374-378.
- [3] 李裕澈,秋教,石川有三. 1975年海城7.3级地震在朝鲜半岛的震害及对日本九州地区的影响[J]. 地震学报, 2007, 29(2):214-221.
LI Yu-che, CHU KYO-SUNG, ISHIKAWA YUZO. Damage of 1975 HaiCheng M7.3 earthquake in the Korean Peninsula and its effect on Kyushu, Japan[J]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(2):214-221.
- [4] 王可,黄志广. 2005年江西九江地震建筑震害与分析[J]. 建筑结构, 2006, 36(6):21-24.
WANG Ke, HUANG Zhi-guang. Analysis of building Wreckage caused by 2005 earthquake in Jiujiang[J]. Building Structure, 2006, 36(6):21-24.
- [5] 非明伦,周光全,卢永坤,等. 2007年宁洱6.4级地震宁洱县城现代建筑典型震害分析[J]. 地震研究, 2007, 30(4):359-363.
FEI Ming-lun, ZHOU Guang-quan, LU Yong-kun, et al. Typical disasters of recent buildings in Ning'er county town caused by the 2007 Ning'er, Yunnan, MS6.4 earthquake[J]. Journal of Seismological Research, 2007, 30(4):359-363.
- [6] 李宏男,赵衍刚. 日本新潟县中越大地震震害调查及分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14[1]:165-174.
LI Hong-nan, ZHAO Yan-gang. Investigation and analysis of Chuetsu earthquake damages[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(1):165-174.
- [7] 蔡之瑞,孙柏涛. 唐山地震震害与重建唐山[J]. 世界地震工程, 1996(4):48-50.
CAI Zhi-rui, SUN Bai-tao. Tangshan earthquake damages and reconstruction of Tangshan city [J]. World Earthquake Engineering, 1996(4):48-50.
- [8] 高孟潭,许力生,郭文生,等. 2003年8月16日内蒙古MS5.9地震震害分布特征及其成因分析[J]. 地震学报, 2005, 27(2):205-212.
GAO Meng-tan, XU Li-sheng, GUO Wen-sheng, et al. Spatial damage distribution of August 16, 2003, Inner Mongolia, China, Ms=5.9 earthquake and analysis[J]. Acta Seismologica Sinica, 2005, 27(2):205-212.
- [9] APOSTOLAKIS GEORGIOS, QU BING, ECEMIS, et al. NurhanField reconnaissance of the 2007 Niigata-Chuetsu Oki earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2007, 6(4):317-330.
- [10] IRTERN ERDAL, TURKER KANAN, HASGUL UMUT. 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.
- [11] JAIN A, SIMSIR C C, DUMORTIER A P, et al. Investigation of damage to a masonry condominium building from the 1994 Northridge Earthquake [J]. Proceedings of the Fourth Forensic Engineering Congress, 2007:183-194.
- [12] YASHIRO KAZUHIDE, KOJIMA YOSHIYUKI, SHIMIZU MITSURU. Historical earthquake damage to tunnels in Japan and case studies of railway tunnels in the 2004 Niigataken-Chuetsu earthquake[R]. Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute) (Japan), 2007, 48(3):136-141.
- [13] INEL MEHMET, OZMEN HAYRI BAYTAN, BILGIN HUSEYIN. Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey[J]. Engineering Structures, 2008, 30(2):412-427.
- [14] 中华人民共和国建设部. 建设部建筑地震破坏等级划分标准[S]. 1990建抗字第377号.
- [15] 钱培凤. 对日本神户地震震害严重原因之分析[J]. 建筑结构, 1996, 10(10):44-46.
QIAN Pei-feng. Cause analysis of heavy earthquake disaster in kobe earthquake, Japan [J]. Building Structure, 1996, 10(10):44-46.

(编辑 王秀玲)