

汶川大地震四川省青川县砖混结构村镇房屋震害分析

袁中夏^{1,2}, 谭明³, 马占虎¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州基地, 甘肃 兰州 730000;

3. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:2008年汶川8.0级大地震造成了大量的房屋破坏, 尤其村镇房屋的破坏最为严重。本文基于对四川省青川县部分乡镇村镇房屋震害的实地调查, 对砖混结构房屋的震害从地形、地基基础和结构三方面进行了震害总结, 分析了典型震害的成因, 指出了目前村镇房屋建设存在的问题, 最后对提高村镇民房的地震安全提出了一些建议。

关键词:汶川大地震; 青川县; 村镇民房; 砖混结构; 震害分析

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2008)04-0317-09

Damages on Brick-concrete Rural Buildings in Qingchuan County, Sichuan Province, during the Great Wenchuan Earthquake

YUAN Zhong-xia^{1,2}, TAN Ming³, MA Zhan-hu¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, CEA, Lanzhou 730000, China;

3. Earthquake Administration of Xinjiang Uigur Autonomous Region, Urumchi 830011, China)

Abstract: The Wenchuan M8.0 Great Earthquake in 2008 had caused enormous damage to buildings. Of all the damages, rural buildings were the most vulnerable and suffered extensive damage. In this paper, based on investigation, the damage on the brick-concrete buildings in rural area are summarized from topography, foundation and construction, the causes of severe earthquake damages on this buildings are analyzed and problems for the building construction are singled out. In the end, some suggestions for improving seismic safety of rural buildings are proposed.

Key words: The Wenchuan M8.0 great earthquake; Qingchuan county; Rural buildings; Brick-concrete buildings; Damage analysis

0 引言

青川县位于四川省东北边缘, 属广元市, 北边与甘肃省和陕西省相邻, 自古为蜀北咽喉, 被称为“三省八县之地”, 是重要的交通枢纽和战略要地。青川县面积 3 271 km², 辖 9 镇 27 乡, 人口 25 万^[1]。青川县地形以中山为主, 兼有高山、丘陵和谷地。海拔最高 3 837 m, 最低 491 m, 地形落差很大。区内地质构造复杂, 地层大多沿南西—北东向呈线型分布, 新老构造活动迹象明显, 主要构造为摩天岭构造

带和龙门山构造带。青川县位于汶川地震的发震断裂龙门山断裂带的东北缘。据青川县志, 1900 年以前青川境内强烈有感的地震有 8 次^[1], 分别是 280, 304 广武地震(平武), 1216 年雷马波湖 7 级地震, 1610 年平武 5.5 级地震, 1618 年龙安府(今平武、江油、北川一带)地震, 1630 年平武小河营地震, 1657 年威州(理县)和茂州(茂县)境内地震和 1786 年康定南地震。

收稿日期: 2008-09-17

中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2008061

作者简介: 袁中夏(1974-), 男(汉族), 甘肃临洮人, 副研究员, 主要从事岩土地震工程和 RS/GIS 应用研究。

2008年5月12日的汶川大地震对青川县造成了严重的破坏,地震烈度达IX度,为震害损失最大的县之一。本文根据震后现场考察结果,重点对青川县村镇大量分布的多层砖混结构房屋的震害进行总结,分析震害成因,并就村镇房屋建筑中存在的问题提出相应的建议。

1 汶川大地震在青川的震害概况

汶川地震震中到青川县城直线距离约200 km左右(图1)。据陈运泰等人的研究,主震平均破裂速度为2.8 km/s,初始破裂从汶川开始向东北方向延伸,在地震强烈的前60秒内沿断层破裂延伸近160 km,而此后还继续延伸近200 km^①,那么实际上汶川主震破裂达到了青川县境内,并造成严重的地震损失。

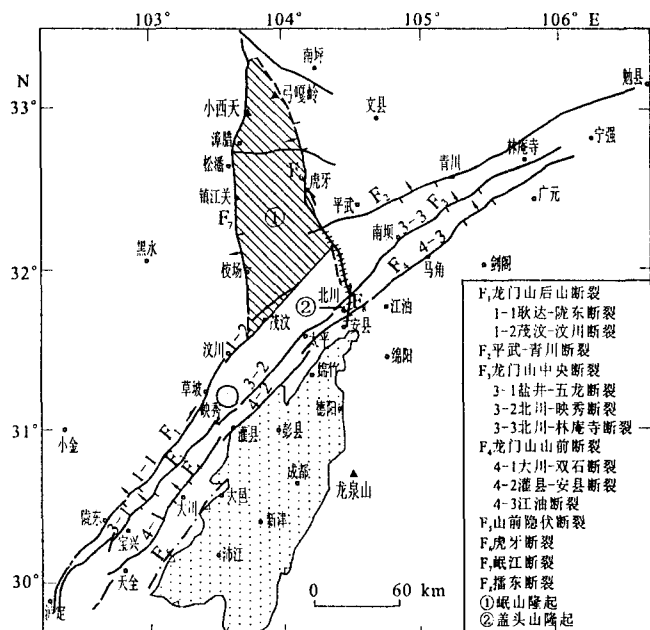


图1 汶川地震震中位置及龙门山断裂带展布(根据甘肃省地震局地震现场工作队资料修改)^②

Fig. 1 Epicenter of the Wenchuan earthquake and distribution of Longmenshan fault zone.

汶川大地震是主震余震型地震,8.0级主震后余震不断,除5月12至14日这一阶段而外,其余阶段4级以上的余震主要集中在龙门山断裂带东北缘,青川县是发生4级以上余震最多的地方。截至2008年8月5日,青川县及其交界处发生4级以上余震65次,占4级以上余震总数(251次)的25.9%;在8次6级以上余震中,3次发生在青川县或者其交界,次数与汶川一样多。

汶川大地震主震的直接影响加上多次余震造成

了青川县严重的地震灾害损失。截至6月5日青川县地震遇难4 695人,受伤15 453人^[2],截至5月24日10时,地震造成青川县直接经济损失已经达551亿元^[3]。此后随着余震和地质灾害不断,经济损失数字还有所加。

本次震害调查是随甘肃省紧急救援队赴青川参加抗震救灾工作时进行的。调查时间从5月17日到5月24日。调查的区域主要为青川县的沙州镇、姚渡镇、木鱼镇和营盘乡四个乡镇(图2)。因为青川县山区多,而且许多地方居民很分散,不便调查。所以调查地点主要是镇和乡驻地及附近居民比较集中的地方。

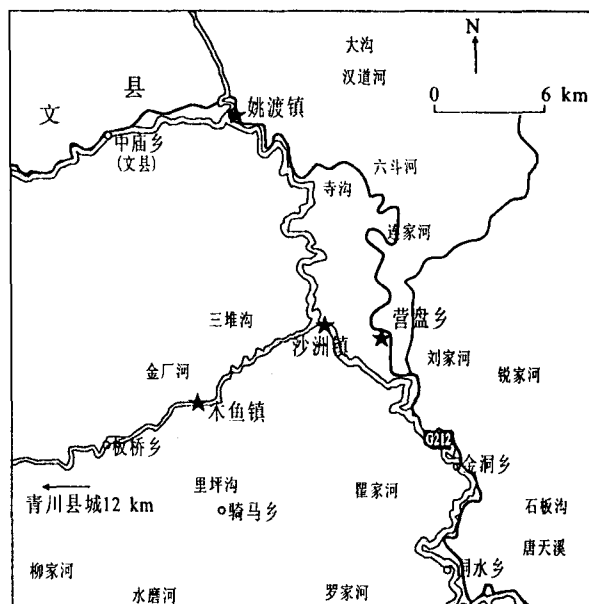


图2 调查点示意图(星号标注)

Fig. 2 Sites of investigation (marked with stars).

调查点的村镇房屋主要有土木结构、砖木结构、木结构和多层砖混结构,各调查点不同结构类型的比例构成如表1所示。土木结构绝大多数是夯土墙木构架房屋,有的前墙为砖墙,多为二层,一层者很少。因为木构架的作用,土木结构完全倒塌的比例并不高,在20%~25%左右;但是夯土墙局部倒塌而造成中等破坏的很普遍,达60%~70%左右;仅遭受轻微破坏的很少,比例在10%~15%左右。砖木结构平房在调查区不多,数量不足5%,部分作为

① 陈运泰,许力生,张勇,等. 2008年5月12日汶川特大地震震源特性分析报告. 中国地震局地球物理研究所,2008.

② 汶川大地震甘肃灾区联合地震现场工作队. 2008年5月12日四川汶川M_s8.0地震灾害损失评估报告. 甘肃省地震局,2008.

仓库和附属建筑使用。其地震破坏情况不太严重,特别是施工质量好、水泥涂层厚的单层砖平房多为轻微开裂甚至基本完好,其余多为中等到严重破坏,倒塌的很少。这主要是因为单层砖房矮小且重量轻,结构相对简单,固有周期短,在土层场地上遭受地震力较小。木结构房屋基本都是传统的穿斗木架房,多为两层,使用的木料质量好,多数建于上个世纪60年代以前,新建者少见。木结构房屋因其连接性和柔性较好在此次地震中受灾最轻,除个别屋顶开天窗达到中等破坏程度而外,其余多为轻微破坏或者基本完好。木结构房屋在姚渡镇数量较多。

多层砖混是调查区数量最多的房屋类型,其层数在农村为2~3层,在镇区多为3~4层。多层砖混结构的建造年代多在1990年以后,而且其中很大一部分是1995宝珠寺水电站建设时移民搬迁的新居。多层砖混结构不仅数量最多,而且结构多样,施工质量差异较大,震害情况也比较复杂,因此本文专门讨论多层砖混结构的震害情况。

表1 调查点的主要民居类型比例

调查点	土木 结构/%	砖木结构 平房/%	木结构 /%	多层砖混 结构/%
沙州镇	2	3	0	95
营盘乡	5	5	3	87
姚渡镇	25	5	10	60
木鱼镇	20	5	3	72

2 多层砖混结构房屋的震害分析

震害分析需要在现场详细调查的基础上进行全

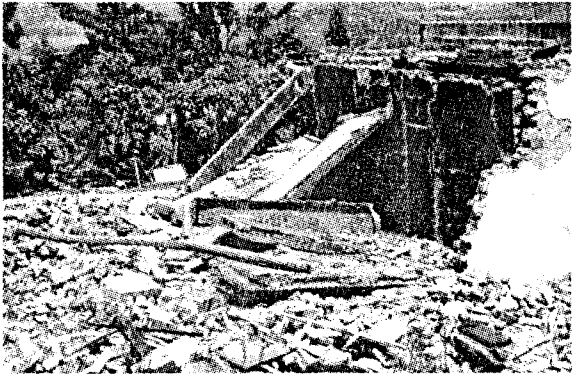
面分析,因为结构的地震破坏既反映地震动的特征,又反映结构本身的特点和抗震性能。地震造成房屋破坏的原因主要应考虑场地条件、下部地基(沉降、液化、强震振动)、基础、构件破坏(屈服、剪坏、错位、扭转、拉张、挤压)、结构缺陷(没有抗震措施)和次生灾害(滑坡、周围建筑物倒塌碰撞)^[4]。

2.1 地形引起的震害

调查区多位于山区,地形复杂,陡峭边缘、孤突斜坡、山梁顶部等处地震动放大效应显著。常见的是位于沟谷边缘,特别是是三面临空的地方,民房震害明显较重,多数情况下发生倒塌或者不可修复的严重破坏。盆地效应会导致严重的地震灾害:在营盘乡新南村二社调查时发现,该村近30户所处地形大体为簸箕状的类盆地地形(如图3(a))。盆地长轴方向为近北西向。调查发现在图3(a)中椭圆所示位置的房屋全部倒塌,而旁边不远处的房屋虽然遭受严重破坏的比例也较高,但是完全倒塌的很少。倒塌的房屋有砖混结构楼房也有建筑质量较好的单层砖平房。综合调查结果,单层砖平房只要不是地基破坏和建筑质量的问题,很少有倒塌的,多数遭受中等破坏。而此处土层与周围并没有大的不同,所以推断为地形效应导致地震动放大。簸箕状地形也属于一种盆地地形,因为边缘对地震波的反射和散射,在中心地发生“聚焦效应”,造成地震动放大。据李宪忠对台北盆地的研究,不考虑土层效应,盆地效应可以放大地震加速度50%左右^[5]。所以新南村此处的地震动可能要比附近高出许多。



(a) 新南村二社地形 (Google 卫星照片)



(b) 倒塌的单层砖平房

图3 地形的地震动放大作用

Fig.3 Ground motion amplification caused by terrain condition.

2.2 地基基础引起的震害

地基引起的震害在灾区也相对比较多。归纳起来主要有如下情况:(1)地基沉降;(2)软土层地震

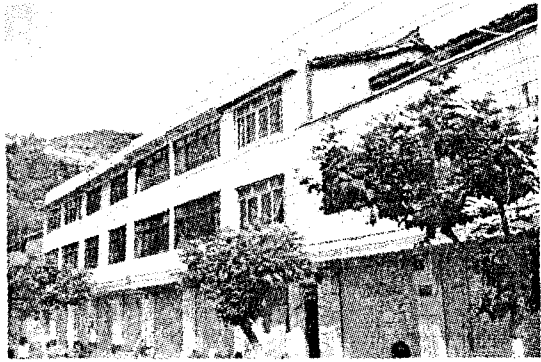
动放大;(3)地基剪切破坏;(4)地表裂缝。

地基沉降主要在软土区,其特征为房屋周围出现下陷裂缝,不均匀沉降不大时,结构破坏不太重,

否则导致结构发生倾斜、倒塌或者局部破坏。

软土层放大导致的破坏在调查区多见,这主要是因为调查区很多地方都建在填土场地上,地基处理并不是十分严格。图4所示房屋位于沙州镇白云街的同一侧,图4(a)所处位置原来为山梁,图4(b)所处位置原为山沟经填土后用作建设。调查发现,

凡位于平整山梁场地上的房屋多遭受中等到严重破坏,主要在房屋后墙和内墙,前墙由于设有柱子破坏较轻;而位于填土场地上的建筑全部倒塌。总体房屋建造方式和质量与山梁场地上的相近,而且仅隔一条街道。所以场地条件不同是导致震害差异的主要因素。



(a) 平整山梁场地上的房屋破坏较轻



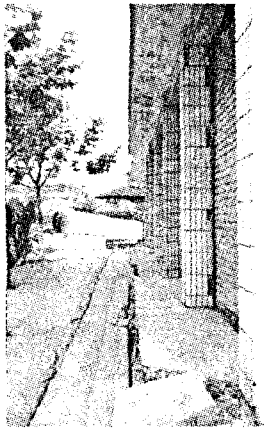
(b) 填土场地上的房屋全部倒塌

图4 填土地震的地震动放大显著并导致房屋坍塌

Fig.4 Amplification on fill ground caused collapse of buildings.

汶川地震在青川造成的地震动很强,中国地震局公布的地震烈度达到 IX 度^[6],因此地震动导致的剪切作用很大。在沙州市场附件调查时发现地基受地震剪切作用破坏的典型例子:该栋砖混结构房屋南侧房屋和基础间开裂约 13 cm,而北侧则出现

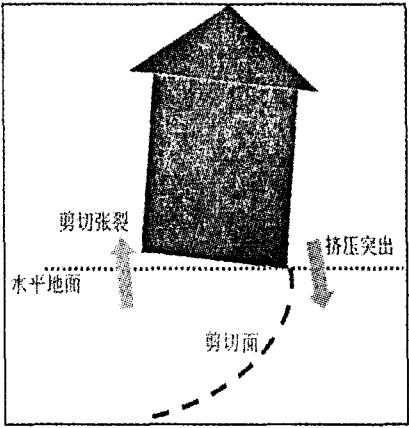
挤压变形,地面略有突出,并且在南侧地面有数条东西向裂缝,显示土层有所移动。综合考虑该栋房屋应遭受了如图5(c)所示的地震作用,土层剪切使得房屋南侧抬高,北侧遭受挤压。



(a) 房屋南侧开裂



(b) 裂缝测量



(c) 地震破坏机理示意图

图5 地震造成的地基剪切破坏

Fig.5 Shear failure of ground during the earthquake.

地震动引起的地基开裂多见于斜坡地带和临空面的软土层。斜坡土层本身具有一定的下滑趋势,在地震动作用下容易发生开裂。特别是在顶部裂缝较多见。在具有临空面的填土场地上,在地震作用下土层发生滑移、沉降和震陷形成地裂缝也很常见,

如图6所示的房屋受近东西向的地裂缝影响,底层发生严重破坏,二层局部坍塌。

调查区基础破坏比较少见,但是存在基础和上部结构连接不够造成破坏的情况。这种破坏表现为结构的位错或者地基和结构处出现裂缝。另外也有



图6 地裂缝造成的房屋破坏

Fig. 6 Building damage exacerbated by earthquake fissure.

因基础设置不当而导致的震害,如调查区多层砖混结构多设置钢筋混凝土桩基础,而个别未设置柱基础的建筑震害要重。在姚渡镇幸福街有一栋砖混三层房屋在建造时没有设置柱基础,而且没有圈梁,地震时完全倒塌,而旁边的数栋建筑均未见倒塌。

2.3 结构破坏

结构破坏是破坏形式最多,成因相对复杂的破坏形式。结构破坏既是场地地震动条件的反映,也同时反映结构抗震性能和特征。调查中发现最显著的破坏特征是砖混结构民房的最严重的破坏部位要么集中在底层,要么在顶层。即便在同样场地上,震害最严重的部位也不一定相同。

2.3.1 底层的地震破坏分析

底层破坏的直接原因是其所受到的地震剪切力最大,当底层的抗剪强度不足时首先发生破坏。但只要不是导致倒塌的严重破坏,当底层发生破坏后地震能量大量耗散,起到了保护上层结构的作用,因此许多砖混结构上层的破坏相对要轻许多。

造成底层破坏的原因很多,本文总结挑选了一些比较典型的结构问题。

图7为木鱼镇永安路115号一栋砖混结构的破坏情况。图中房屋窗体采用较粗的铁条作为防护栏,使得窗体的强度较高。中间没有设置构造柱,两个窗间墙发生X破裂。

图10所示沙州镇景谷街24号,其房屋的底层作为商铺使用,临街面开洞,而且角柱使用砖柱而不是构造柱,这样造成侧墙发生向前的位移时抗剪能

力很低的砖柱首先破坏,进而使墙体开裂。与此同时相邻的一栋砖混结构设置的构造柱基本没有遭受破坏,结构破坏也相对要轻。

图9为白龙路沙州市场边上一栋三层砖混结构民房。这栋楼房建成后为出入市场方便,将南侧一间的前后墙全部拆除形成门洞。这样地震时受近南北向的地震剪力作用,构造柱底部和一层顶端破坏屈服,最后使墙体垮塌,并在底层发生连锁式破坏,使底层全部垮塌,结构向北侧移达2.8 m之多。但是因为各层都设置了质量较好的圈梁,所以顶上两层虽然遭受严重破坏,但并没有倒塌。

图10是沙州镇政府附近一栋四层设圈梁和构造柱的砖混结构民房,其南侧两间底层作为幼儿园使用,中间的隔墙被拆除形成大开间。地震后该栋南侧破坏明显严重,特别是底层原隔墙所在位置的构造柱因承受过大的地震剪力扭曲变形,底层墙体局部坍塌。

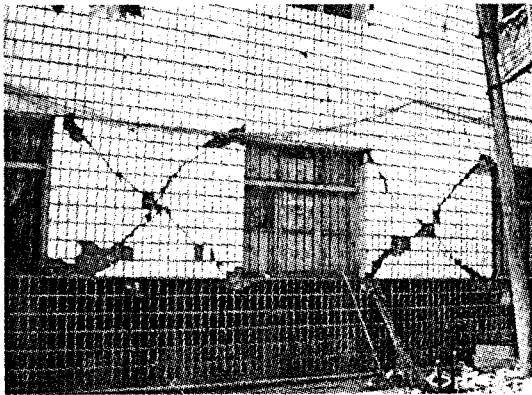


图7 窗间墙的X裂缝

Fig. 7 X style cracks on walls between windows.

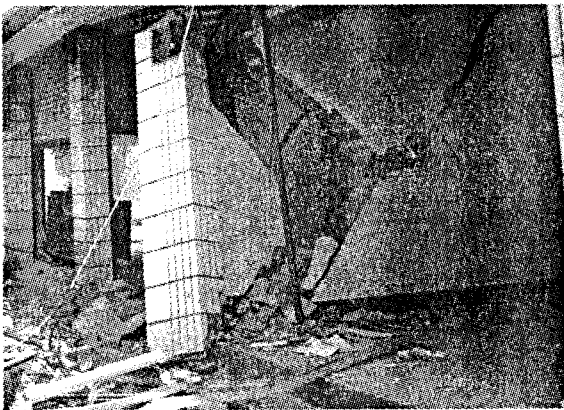


图8 砖柱破坏引发墙体开裂

Fig. 8 Wall failure due to collapse of brick column.

图11中是一排位于沙州镇白龙路的砖混结构民房,在临街面不设墙,而设置了构造柱,但在房屋

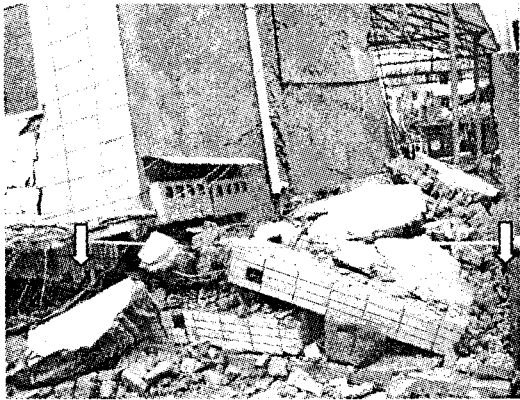
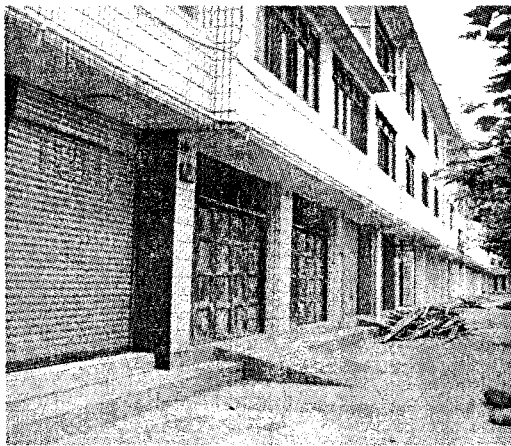


图9 结构完整性破坏导致底层完全垮塌(谭明摄)
(箭头指示处偏移2.8 m)

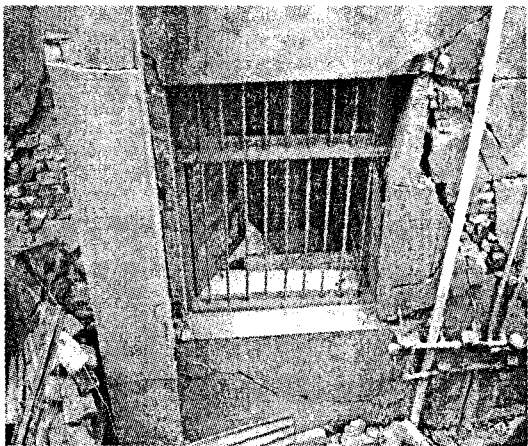
Fig.9 Structure integrity loss causes collapse of ground floor.



图10 大开间导致构造柱地震破坏
Fig.10 Failure of constructional column induced
by large bay.



(a)砖混结构临街面破坏很轻



(b)砖混结构后部破坏严重

图11 有无构造柱引起的地震破坏差异

Fig.11 Differential damage related to constructional column's exist.

后半部分却没有设置构造柱。地震后,临街面破坏轻微,看上去基本完好(图11(a))。屋内和房屋后部(图11(b))却遭受严重破坏,砖柱破裂,墙体开裂,房屋已然成为危房。房屋后部虽然墙体较多,但是内部隔墙多为12 cm的单砖墙,抗剪能力比构造柱差很多,这种由于房屋前后部分抗剪能力差异很大而在地震中产生扭转效应使得房屋后部遭受地震破坏严重。

除以上情况而外,底层破坏严重的原因还有很多。软弱场地在地震中发生不均匀沉降时,往往造成底部破坏严重。而因为承受较大的地震剪应力,即便设计和施工都没有什么问题的房屋,在底层也经常产生X裂缝。总之,砖混结构底层受力最复杂,同时也受周围的影响较多,因此是房屋抗震的最关键的部位。底层抗剪力不足、构造不对称以及场地处理不好都会使底层遭受更严重的破坏。

2.3.2 上部的地震破坏分析

结构上部破坏在灾区很很常见,原因相对比较简单,大体上可以归纳为4种情况:(1)剪切破坏;(2)连接不足;(3)顶部不规则;(4)顶部过重。

结构顶部的位移通常是最大的,而且鞭梢效应使得顶部的位移可能是底部的数倍,并且增加很大剪切力。顶部突出部分的墙角是最容易发生剪切破坏的。连接不足的问题在多出现在屋顶、女儿墙和顶部过梁。顶部不规则容易发生扭转、鞭梢等附加震害效应。顶部结构过重的情况主要是:楼板过重而承重墙较薄、女儿墙过高以及顶部过梁太重而且连接不足。但实际中,顶层的地震破坏经常是两种以上原因综合的结果。

图 12 是沙州镇卫生院的一栋砖混结构,其四层顶部具备凸角不规则特征^[7],侧向遭受剪切破坏严重开裂,在突出部分发生了鞭梢效应。总的来说,顶部结构设计在外形上平整简洁、对称平衡且有一定连接措施时在地震中是相对安全的。



图 12 凸角不规则导致的附加震害
Fig. 12 Extra damage caused by irregularity of roof.

在调查区砖混结构民房顶部采用木楼盖是很流行的一种做法。木楼盖的建造方式和普通砖木结构屋盖一样,檩子是直接搭在砖墙上的,缺乏连接措施。多层砖混结构在地震中顶层的摆幅最大,木楼盖因为较轻而容易发生位错闪落。如图 13 所示,沙州镇砖混结构凡设置木楼盖的,多数发生局部开裂或者坍塌,严重者全部倒塌。砖混结构采用木楼盖时震害要重于采用钢筋混凝土楼盖已经为震害证明^[8]。

在砖混结构顶层楼板上额外修建小房子的在沙州镇也比较常见。因为砖墙体和楼板没有连接,墙体较薄,加上木楼盖的大位移,往往引发顶层的小房子倒塌(图 14)。所以,除非采取构造抗震措施,因此顶层楼板上修建小房子的做法是不可取的。

图 15 是营盘乡南新村二社一栋二层砖混结构民房的破坏。木屋架本身具有连接措施,但是木架和挑梁、山墙之间除了个别用铁丝捆扎而外没有别的连接措施。地震中木架的偏移很大,在木架的带动下顶层一侧的山墙垮塌。而底层结构只有一些剪切裂缝,结构基本完好。经测量木架闪出位移最大达到 1.4 m。



图 13 木楼盖在地震中普遍破坏
Fig. 13 Wooden roof without connection is vulnerable during earthquake.



图 14 直接修建在顶层楼板上的木楼盖小房子倒塌
Fig. 14 Attic built on top roof collapses.



图 15 木架偏移
Fig. 15 Displacement of wood roof.

使用预制楼板的砖混结构,如果顶部的没有设置构造柱和圈梁而且墙体质量不好的话,沉重的楼

板一旦发生较大偏移,很容易拉跨墙体(图16),甚至有时发生楼板脱落和被甩出去的情况。

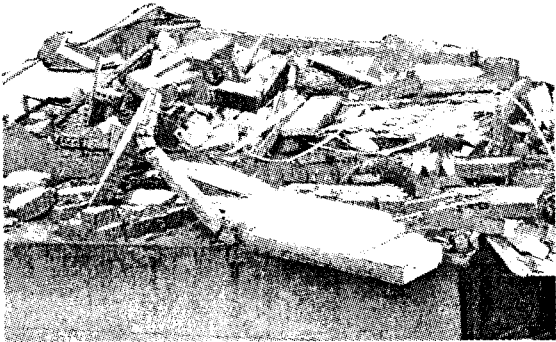


图16 沉重的楼板造成顶层坍塌
Fig. 16 Roof collapse due to heavy precast slab.

2.3.3 其他形式的结构破坏分析

除了以上破坏情况而外,调查区也存在其它多种形式的破坏方式。这里仅对比较典型的一些例子予以分析。

(1) 圈梁和构造柱。此次地震再次证明圈梁和构造柱的重要性。凡是设置圈梁的,多数情况下,即便结构破坏严重,发生局部坍塌甚至底层垮塌,但是仍然具有一定的整体性,结构发生完全倒塌的很少。而构造柱除了可以增加结构10%~20%的抗剪强度而外,可以很大程度上提高墙的极限变形能力和结构耗能性能,因此具有较强的抗震能力^[8]。砖柱的抗剪能力很低,对于单层砌体房屋附加砖柱还可以一定程度上增强结构的抗剪能力,但是对于多层砖混结构,砖柱的高宽比很大,加上砖柱本身抗剪性不高,一旦发生脆性破坏很容易倒塌,砖柱所能起到的抗震能力非常有限(图8)。构造柱在施工上较为复杂,特别是钢筋之间竖向焊接和连接横向约束如果施工不良,构造柱很容易损坏。如图17所示,沙州镇白云街11号的砖混结构在一层设置纵筋为4根 $\Phi 40$ 螺纹钢,箍筋为 $\Phi 10$ 的圆钢的构造柱,但是仅在一层前墙两端有构造柱,房屋后部和二、三层没有构造柱。地震中墙体和现浇梁(纵筋4根 $\Phi 40$,2根 $\Phi 20$,箍筋 $\Phi 10$ 圆钢)的运动产生的剪切力集中在构造柱端,致使构造柱在梁柱连接处破坏,加上现浇梁的搭接措施质量不好,引起现浇梁破坏,前墙垮塌,进而使得屋顶跌落,并造成侧墙、隔墙和后墙的不同程度破坏。

(2) “强梁弱柱/墙”。灾区有的砖混结构使用大而重的预制钢筋混凝土梁而造成墙体或者构造柱在地震中承受很大的地震剪切力,从而导致更严重的地震破坏。沙州镇沙陀街10号在建造时采用了

数根500 mm×500 mm的大规格预制梁,原以为可以提高房屋质量(图18)。但是地震时沉重的大梁给24砖内墙造成很大的剪切力,引起内墙破坏严重。过大的梁使得墙体或者构造柱承受的剪切作用更大,剪切力也相对集中。强梁和弱柱或者弱墙都是不利于抗震的。

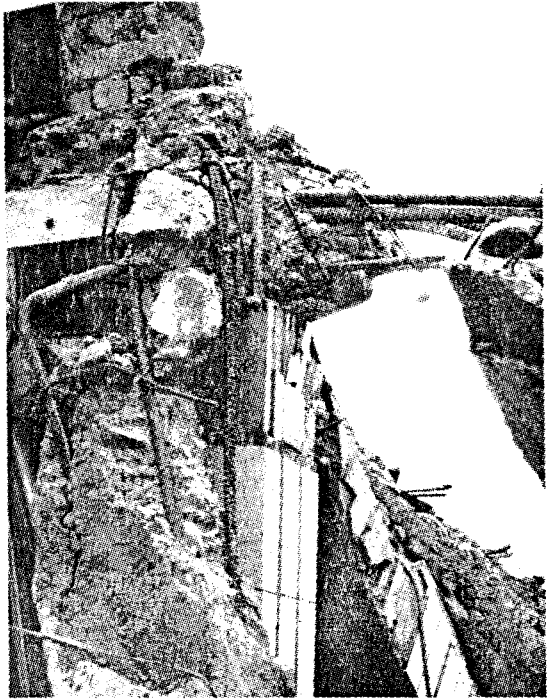


图17 构造柱设置引起的破坏
Fig. 17 Constructional column damage.

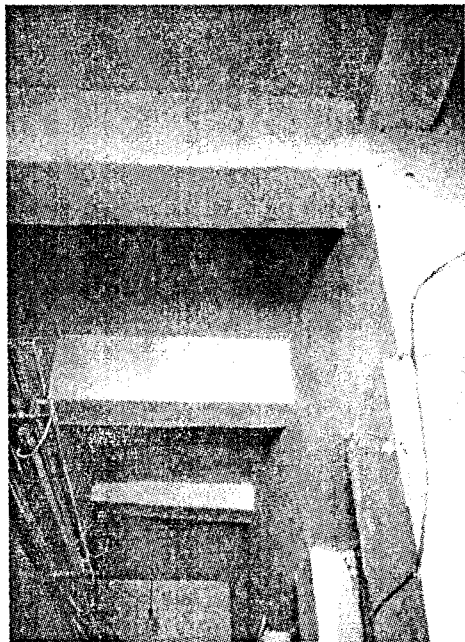


图18 设置过大的梁加重了内墙破坏
Fig. 18 Heavy beam exacerbates earthquake damage.

(3) 墙体施工的问题。砖混结构中的承重墙体的质量也很关键。调查中发现许多房屋墙体砌筑方式存在问题:木鱼镇一个倒塌砖混结构房屋,采用炉渣砌块和粘土砖一平一立的方式砌筑,由于二者规格不同,材料特性有差异,砖和砌块之间的咬合不好,而且在地震作用下反应也有差异,墙体整体抗震性能不好。姚渡镇幸福街一家倒塌砖结构房屋则是单砖承重墙。对于重量较重的多层砖混结构,承重墙采用单砖墙是十分危险的。墙体砌筑的建造技术简单,却对房屋的抗震能力影响很大,墙体的高宽比、墙体的厚度、墙体的砌筑方式和平面布局等都直接影响到房屋的地震安全。

3 结论

汶川地震民房灾害十分严重,除了地震本身强烈的因素而外,严重的地震灾害不仅与灾区复杂地形、场地条件不良有关,也与结构在设计、施工中存在的各种问题有关。更重要的是,此次地震灾害反映了我国西部地震多发区农村的抗震意识缺乏,农村震害防御体系十分脆弱,农村建设缺乏必要的地震安全技术支撑。

汶川地震民房灾害也给地震工程研究提供了丰富的素材。虽然有许多教训是重复性的,但是建造在1990年以后的各类砖混结构房屋的抗震性能得到了检验,也发现了许多存在的问题。总的来说,即便是村镇房屋修建,也要有技术、有标准和有管理。否则房屋质量参差不齐,建筑质量和安全问题严重,甚至有时出现投资很高,而房屋的地震安全性却很差的情况。另外目前传统建筑方式逐渐退出村镇民房建设,而城市采用的抗震建设技术往往因成本过

高,在村镇建设中即便采用,也多经过省简的,这样建造的村镇房屋其质量也没有保障。因此研发适用于新的农村建设条件的地震安全技术和标准是目前农村震害防御和农村建设水平提高都亟需的。

致谢:5月16—25日,我们有幸随甘肃省地震应急救援队赴四川地震灾区开展工作。在地震灾区的10天成为人生中最难忘的10天。灾难的惨重、条件的艰苦使我们和甘肃省地震应急救援队队员之间,以及与当地人民之间都产生了一种深厚的感情,在此对甘肃省地震应急救援队的领导和同志们的关心和帮助表示衷心感谢!对灾区人民的热情和现场帮助表示深深的感谢!

[参考文献]

- [1] 《青川县志》编纂委员会. 青川县志[M]. 成都:成都科技大学出版社,1992.
- [2] 青川县人民政府. 青川县政府网站[EB/OL]. <http://www.qingchuan.gov.cn/qc/default.jsp>, 2008.
- [3] 曹占忠. 震后经济损失及重建资金供需矛盾的战略评估(一)[EB/OL]. 中经网 <http://www.cci.gov.cn/>, 2008.
- [4] Yashinsky M. Earthquake Damage to Structures[A]//Chen Wai-Fah edit. Structural Engineering Handbook[M]. CRC Boca Raton, Florida USA: Press LLC, 1999.
- [5] 李忠宪. 三维地震波模拟:谈台北都会区的地形与盆地效应[J]. 中央研究院周报第1145期, 2007.
- [6] 中国地震局震灾应急救援司. 汶川8.0级地震烈度分布图[EB/OL]. 中国地震局网站, <http://www.cea.gov.cn/>.
- [7] 朱炳寅. 建筑结构设计规范应用图解手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005: 57-58.
- [8] 沈聚敏, 周锡元, 高小旺. 抗震工程学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000: 484-487.