

# 汶川地震后砌体结构房屋震害调查分析<sup>\*</sup>

黄 冲, 屈文俊, 李 昂

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

**摘 要:** 2008年5月12日汶川8.0级地震后, 根据四川省什邡市5幢砌体结构房屋震害的现场检测记录, 以案例形式比较了房屋不同的结构形式、墙体布局、层间刚度比、构造柱设置、悬挑阳台、变形缝和选址等概念设计因素对结构抗震性能的影响, 分析了结构发生各种损坏的原因, 并对砌体结构房屋抗震设计提出建议。

**关键词:** 汶川地震; 什邡市; 砌体结构; 震害

**中图分类号:** TP315.912 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2010)S0-0236-07

## 0 引言

2008年5月12日汶川8.0级地震后, 应建设部的要求, 同济大学组成房屋应急评估专家组, 于当月赶赴四川省什邡市为抗震救灾提供技术支持, 对尚未倒塌的建筑进行评估。2008年7月1日作者专程重赴什邡市对选定的5幢具有代表性的多层砌体结构房屋的震害进行重点调查检测, 具体的工作是: 搜集原设计图纸, 对该5幢房屋进行建筑结构测绘和复核, 详细记录各房屋的损坏特征和裂缝发展情况。通过比较房屋不同的结构形式、墙体布局、层间刚度比、构造柱设置、悬挑阳台、变形缝和选址等概念设计因素对结构抗震性能的影响, 本文分析了结构发生各种损坏的原因, 并对砌体结构房屋抗震设计提出建议。

## 1 建筑物震害情况

根据现场实际情况, 选定的5幢房屋均为5~6层的砌体结构房屋, 位于什邡市同一区域, 其中3幢轻度损坏, 2幢中度损坏。主要作为居民住宅楼使用, 建造于1987~1994年之间, 能够代表我国20世纪八九十年代的典型多层砌体结构房屋。其中农机局住宅楼、物资局住宅楼、机械厂住宅楼属于纯砖混结构; 供销社住宅楼和日杂公司住宅楼属于底层局部框架、上部砖混结构。各房屋均设置有圈梁和构造柱。主要的损坏特征表现为墙体出现水平裂缝、斜向裂缝和X形裂缝,

部分构造柱出现柱顶剪裂。

### 1.1 什邡市农机局住宅楼

#### 1.1.1 房屋结构概况及震害

农机局住宅楼(1#楼)是1992年建造的6层砖混结构, 横墙承重体系, 作为居民住宅楼使用。墙体烧结普通砖强度等级外推值为MU5, 混合砂浆强度等级为M1, 出现水平裂缝、斜裂缝和X形裂缝, 底层部分窗间墙交叉开裂, 裂缝最大宽度19 mm。部分墙脚和柱顶被剪裂, 损坏等级为中度损坏。

底层结构由于受地震影响比较突出, 在⑥、⑦轴线的内纵墙段和在①、②轴线的窗间墙段上出现如照片1~照片2所示的X形裂缝; 在①、③、⑤轴等主要的横墙上出现如照片3所示的较长水平裂缝。

#### 1.1.2 震害原因分析

从1#楼的结构布局上(图1)可以看出, 承重横墙数量多、开洞少、分布均匀, 故刚度较大, 平面内抗侧能力强, 故未产生明显裂缝; 纵墙数量少、开洞多、分布不均匀, 故刚度\*较弱, 平面内抗侧力不足。由于水平地震剪力在纵墙中引起的主拉应力超过墙体的抗拉强度, 墙体沿着45°主拉应力的轨迹开裂, 并逐渐延伸, 形成对角的X形裂缝(照片1); 窗户洞口的设置使墙体横截面积突然减少, 在地震作用下, 墙体受到的剪力超过墙体的抗剪强度, 以致产生X形裂缝(照片2); 由于地震作用使墙体受弯受剪, 或在地震作用下沿灰缝出现水平的通缝后引起滑移和错动, 在横墙上出现水平剪切破坏(照片3); 墙体砌筑质量较低, 灰缝不饱满, 也削弱了墙体的抗震承载力(照片4)。

\* 收稿日期: 2010-09-25

基金项目: 十一五国家科技支撑计划项目(2006BAJ03A07-04)

作者简介: 黄冲(1985-), 男, 四川宜宾人, 硕士研究生, 主要从事建构筑物震害研究. E-mail: hchc35\_@163.com



照片 1 底层⑥轴纵墙的 X 形裂缝



照片 2 底层①轴窗间纵墙的 X 形裂缝



照片 3 底层⑬轴横墙的水平裂缝



照片 4 砂浆灰缝不饱满

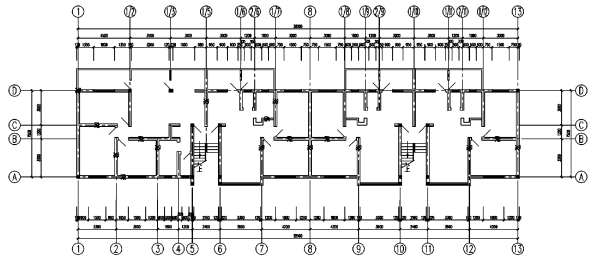


图 1 农机局住宅楼底层建筑平面示意图

1.1.3 与现行规范的对比

《建筑抗震设计规范》2008 年版<sup>[1]</sup> (以下简称《抗震规范》)要求结构体系宜具有合理的刚度和承载力分布,避免因局部削弱或突变形成薄弱部位,产生过大的应力集中或塑性变形集中。纵横墙的布置宜均匀对称,沿平面内宜对齐,沿竖向应上下连续,同一轴线上的窗间墙宽度宜均匀。

⑤~⑥、⑩~⑪轴南侧为楼道口,本身抗侧刚度不足,应在紧邻的⑥~⑦轴、⑨~⑩、⑪~⑫轴之间的南侧④轴上设置纵墙,同时避免出现过大洞口,则能够显著提高房屋的纵向抗侧刚度。实际震害表明,由于④轴缺少这些必要的纵墙,导致结构纵向刚度分配不合理,纵向抗侧承载力不足,进而导致该楼的纵墙出现大量斜裂缝和 X 形裂缝。

检测到的普通砖强度等级低于 MU5, 砌筑砂浆强度等级为 M1, 分别低于规范关于砌体结构普通砖和砂浆强度等级不应低于 MU10 和 M5 的要求。

1.1.4 应注意的问题

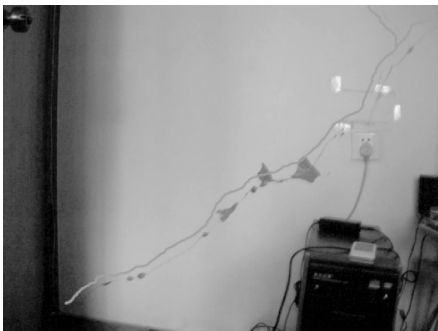
对于横墙承重的砖混结构,不仅要保证横墙的数量和刚度,同时也不能忽略纵墙的数量和刚度在纵向地震力作用下的贡献。应尽量避免墙体错位,合理布置纵墙,合理分布抗侧刚度和抗侧承载力。

1.2 什邡市物资局住宅楼

1.2.1 房屋结构概况及震害

物资局住宅楼(2#楼)是一幢 6 层砖混结构,作为居民住宅楼使用。墙体烧结普通砖强度等级外推值为 MU5, 混合砂浆强度等级为 M0.6。承重横墙没有发现明显结构裂缝。纵墙损坏情况较轻,部分内纵墙出现斜裂缝和 X 形裂缝,宽度一般在 2 mm 以下(照片 5); 外纵墙以门窗洞口四角的斜裂缝为主,宽度也较小。损坏等级为轻度损坏。

圈梁和下部墙体在地震力作用下发生错动而产生沿圈梁纵向发展的水平裂缝,如照片 6 所示。横墙与纵墙之间未使用拉结筋而出现脱开裂缝,如照片 7 所示。



照片 5 内纵墙斜裂缝



照片 6 圈梁下方水平裂缝



照片 7 纵横墙脱开裂缝

1.2.2 震害原因分析

从2#楼的结构布局(图2)可以看出,该楼平面布置比较规则,纵墙和横墙数量多,分隔空间较为合理;构造柱数量多,在主要的内外墙交接处均布置构造柱;结构刚度和抗侧承载力分布比较均匀,结构整体抗震性能良好,故横墙无明显裂缝,纵墙裂缝数量少、宽度小( $<2\text{ mm}$ )。

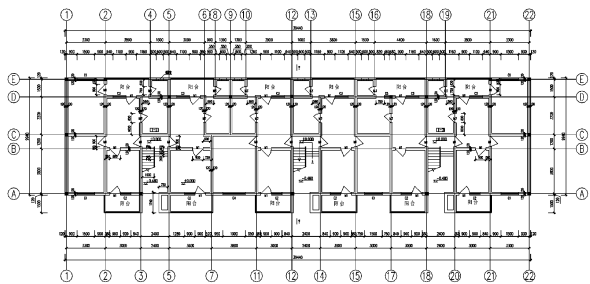


图2 物资局住宅楼底层建筑平面示意图

砌体结构是由粘土砖、各种砌块或石材等块体用砂浆砌筑而成,砂浆和块材之间的粘结力较弱,且2#楼砂浆强度很低,容易沿着两种材料的交界面产生通缝。在地震力作用下圈梁和下部墙体之间发生水平错动而形成水平裂缝(照片6)。

纵横墙的连接破坏也是砌体结构中常见的震害。如果纵横墙之间在施工时不能很好地咬槎,连接就比较差。在水平地震力作用下,纵横墙连接处受力复杂,应力集中,往往会出现竖向脱开裂缝(照片7)。

房屋每户的南面悬挑1.5 m宽阳台,北面内凹1.5 m宽阳台,造成结构质心偏离刚心,在双向水平地震力作用下容易导致结构发生扭转。外挑阳台的竖向地震作用不可忽略;挑梁下部未设构造柱时,下部窗间墙受到竖向压力和平面外弯矩的双重作用,容易遭到损坏<sup>[2]</sup>。

1.2.3 与现行规范的对比

《砌体结构设计规范》<sup>[3]</sup>和《建筑抗震设计规范》都明确要求:外墙四角,楼、电梯间的四角,较大洞口两侧,大房间内外墙交接处应设置构造柱。2#楼的3个楼梯间分别仅在左下角布置一根混凝土构造柱,柱截面240 mm×240 mm,存在很大的安全隐患。

《砌体结构设计规范》规定纵横墙交接处宜沿竖向每隔400~500 mm设拉结钢筋。物资局住宅楼建成年份较早,纵墙和横墙间未使用拉结筋,出现了脱开裂缝。

1.2.4 应注意的问题

地震发生时,楼梯是多层建筑中人群疏散的唯一通道,楼梯的损坏往往会造成人员的巨大伤亡,更影响了人群的疏散速度和救援速度。楼梯间四角布置构造柱是国家规范的强制规定,必须严格执行。

1.3 什邡市机械厂住宅楼

1.3.1 房屋结构概况及震害

机械厂住宅楼(3#楼)是1994年建造的5层砖混结构,作为居民住宅楼使用。墙体烧结普通砖强度等级为MU10,混合砂浆强度等级为M1。房屋第④单元与第①、②、③单元之间用变形缝将房屋分为两个独立的结构,缝宽60 mm,见图3。纵墙墙体上出现水平裂缝、斜裂缝和X形裂缝;承重横墙斜向开裂较严重,过梁上方开裂较多。损坏等级为中度损坏。

1.3.2 震害原因分析

该住宅楼地基位于以前一条南北走向的河流

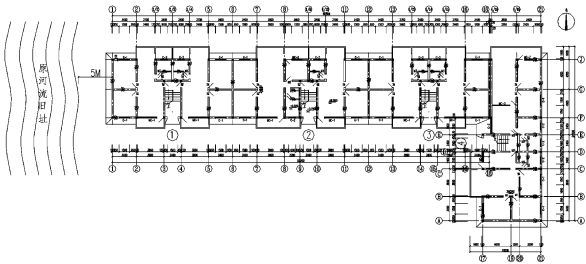
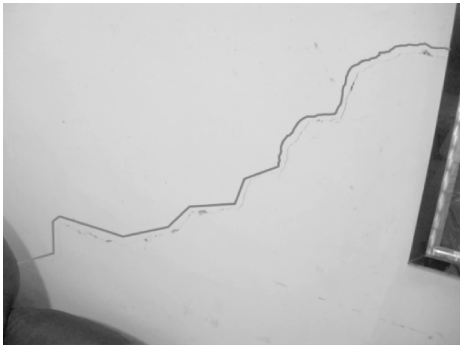


图3 机械厂住宅楼底层建筑平面示意图

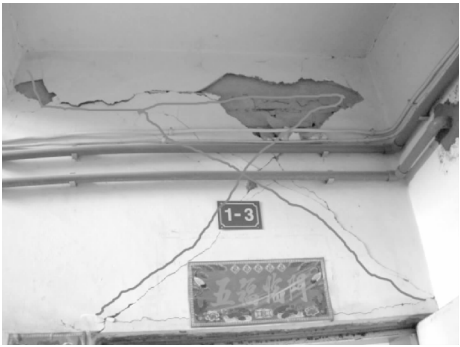
附近,经填平后建造于此。据当地居民介绍,房屋西侧山墙距离原河岸约5 m。从现场检测结果看出,东侧④单元震害最轻,几乎没有发现裂缝和损坏现象。震害情况自东向西呈上升趋势,直至西侧①单元最严重,底层承重横墙斜向开裂,见照片8~照片10。一般来说,河流填平后的地基属于软土地基,对地震力有放大作用,可能导致西侧损坏较严重。而远离河岸的东段地基相对更坚硬,受到的地震力相对较小,因而损坏较小。



照片8 底层①单元地面裂缝



照片9 底层①单元承重横墙斜裂缝



照片10 底层①单元门洞上方X形裂缝

东侧④单元的平面布局与①、②、③单元截然不同,利用变形缝将3#楼分割为两个独立的结构。检测中未发现由于两部分碰撞引起的损坏,说明在各部分结构布局和刚度差异较大的房屋中设置变形缝是必要的。

地震引起地基不均匀沉降,造成西侧①单元底层地面出现裂缝(照片8);水平地震剪力在承重横墙中引起的主拉应力超过墙体的抗拉强度而产生斜裂缝(照片9);横墙的门洞上方应力集中,在反复地震作用下产生X形裂缝(照片10)。

1.3.3 与现行规范的对比

《抗震规范》中将河岸和边坡的边缘划分为不利地段,建筑应避开此类场地或采取相应的措施。各部分结构刚度、质量截然不同的房屋应设置变形缝,缝两侧均应设置墙体,缝宽可采用50~100 mm。

1.3.4 应注意的问题

在房屋选址中,应避开不利的地质因素,选择稳定安全的地基才能保证结构的安全。横墙承重体系中横墙的损坏直接威胁结构的安全,3#楼必须进行墙体补强后才能继续使用。

1.4 什邡市供销社住宅楼

1.4.1 房屋结构概况及震害

供销社住宅楼(4#楼)是1987年建造的6层砖混结构(图4),其底层局部框架作为茶馆使用,上部2~6层作为居民住宅使用。墙体采用烧结普通砖和混合砂浆砌筑,灰缝比较均匀、饱满。底层框架柱、框架梁未发现损坏情况,但抗震墙上出现斜裂缝,洞口上方墙体出现X形裂缝。上部2~6层纵墙出现水平裂缝、斜裂缝和X形裂缝。房屋损坏等级为轻度损坏。

1.4.2 震害原因分析

4#楼在底层需要大空间的地方(茶室)采用混凝土柱,其他地方采用砖墙,属于竖向和水平混合结构。结构体系混乱,在地震作用下框架和砌体承重墙的刚度和变形能力不协调,受力复杂,

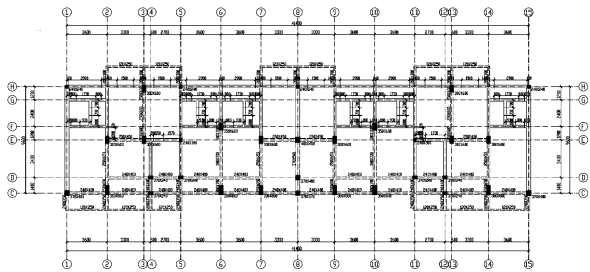


图4 供销社住宅楼底层结构平面示意图

容易导致严重破坏。砌体墙作为抗震墙，按照刚度分配到的地震作用会和同等截面的混凝土墙相当，而其实际承载能力却比混凝土墙差很多，因此，地震中吸收了很大地震力的砖墙由于承载力低而遭到损坏，见照片 11。



照片 11 供销社住宅楼底层抗震纵墙斜裂缝

根据该楼的结构资料计算得到第二层与底层 X 方向剪切刚度比为 1.49，Y 方向剪切刚度比为 1.40，竖向刚度没有过大突变，符合抗震规范的相关规定。从照片 12 ~ 照片 13 可以看出，该楼第二层纵墙出现较长斜裂缝和 X 形裂缝，裂缝宽度约为 2 ~ 3 mm，损坏并不严重，说明合理的层间刚度比有助于提高结构的抗震性能。



照片 12 供销社住宅楼第 2 层纵墙斜裂缝

1.4.3 与现行规范的对比

《抗震规范》规定，Ⅵ、Ⅶ度且总层数不超过五层的底层框架 - 抗震墙房屋，应允许采用嵌砌于框架之间的砌体抗震墙，但应计入砌体墙对框架的附加轴力和附加剪力；其余情况应采用钢筋



照片 13 供销社住宅楼第 2 层纵墙 X 形裂缝

混凝土抗震墙。4#楼底层框架抗震墙采用砌体墙体，且总层数已达 6 层，已经不符合现行规范的要求。为避免结构沿高度方向抗侧刚度变化过大而出现薄弱层，要求在房屋底层(或底二层)设置抗震墙使底部框架和上部砖混结构侧向刚度比值介于 1 ~ 2.5 之间，4#楼仍符合现行规范要求。

1.4.4 应注意的问题

底层局部框架 - 抗震墙房屋满足了人们底层开设商店、上层建造住宅的要求。建筑性价比较高，但其上部墙体较多会使底层框架层刚度相对偏小，形成“底柔上刚，头重脚轻”的结构体系，在中、强地震作用下，容易产生过大的倾覆力矩，使得底部墙体产生过大的压力或剪力而被破坏。因此应该严格控制房屋总层数和楼层刚度比。

1.5 什邡市日杂公司住宅楼

1.5.1 房屋结构概况及震害

日杂公司住宅楼(5#楼)是 1990 年建造的 5 层砖混结构(图 5)，其底层局部框架作为沿街商铺使用，上部 2 ~ 5 层作为居民住宅使用。烧结普通砖强度等级低于 MU5，混合砂浆强度非常低。底层东端的附属结构(门卫室)墙剪断，主体结构底层墙体局部斜向裂纹，2 ~ 5 层纵墙墙体上出现较多斜裂缝和 X 形裂缝。顶层空心板与圈梁在端部房间松动。损坏等级为轻度损坏。

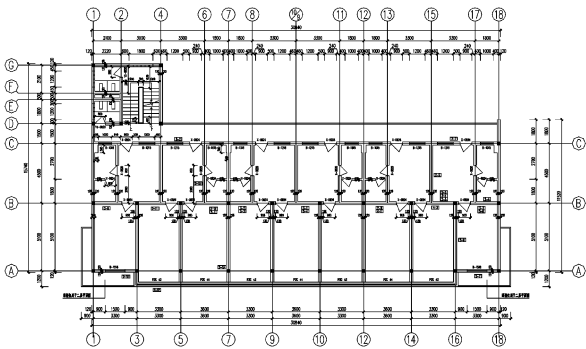


图5 日杂公司住宅楼 2 ~ 5 层建筑平面示意图

1.5.2 震害原因分析

根据该楼的结构资料,底层墙体厚度为370 mm,2~5层墙体厚度为240 mm,计算得到的第2层与底层X方向剪切刚度比为0.88,Y方向剪切刚度比为1.11。该住宅楼底层砌体和局部框架未发生明显损坏。但由于Ⓐ轴严重缺失纵墙,导致房屋在X向地震力作用下,主要在第2层Ⓑ轴内纵墙上出现大量斜裂缝和X形裂缝,见照片14~照片15。在Ⓐ轴添加纵墙可以显著提高房屋抵抗X向地震力作用的能力,保证结构安全。



照片14 日杂公司住宅楼第2层Ⓑ轴内纵墙裂缝



照片15 第2层Ⓑ轴内纵墙X形裂缝

底层局部框架基本没有损伤,仅在底层东侧山墙的附属结构(门卫室)处出现一条竖向裂缝(照片16)。由于结构在受到纵向地震力作用时,附属结构的纵墙限制了该山墙的位移,对山墙平面外施加一个竖向的线分布力。山墙平面外受弯,应力超过其抗拉主应力,从而出现如照片17所示的竖向开裂。这说明附属结构应该与主体结构保持墙体布局上的一致性,或者预留变形缝。

出现的特殊损坏现象还包括顶层东侧第二道横墙上的阶梯型斜裂缝和水平裂缝(照片18),而其他相邻和类似的位置的横墙未发现裂缝。由于地震力对横墙平面内和平面外均有作用,导致横墙沿着砌筑质量较差的界面开展裂缝。在施工中应保证横墙砌筑质量才能保证结构良好抗震性能。



照片16 东侧山墙外的附属结构



照片17 底层东侧山墙的竖向裂缝



照片18 顶层东侧第二道横墙的阶梯型斜裂缝和水平裂缝

1.5.3 与现行规范的对比

5#楼底层框架抗震墙采用砌体墙体,总层数5层,符合现行规范的要求。X方向层间刚度比=0.88<1,不符合现行规范要求。

1.5.4 应注意的问题

5#楼底层抗震墙采用370厚砌体墙体,有效提高了底层局部框架-抗震墙结构的抗震能力,这在结构抗震设计中具有借鉴意义。2~5层Ⓐ轴严

重缺少纵墙，导致房屋纵向抗震承载力不足，刚心和质心在 X 方向严重偏离，非常不利于抗震，应该严格杜绝此类现象。

2 结语

- (1)本文调查的 5 幢住宅楼(1#~3#楼纯砖混, 4#~5#楼底层局部框架), 都发生了不同程度的损坏, 主要表现为纵墙上斜裂缝和 X 形裂缝, 说明建筑抵抗纵向地震力作用的抗震性能存在不足。
- (2)保证多层砌体房屋的砌筑质量、双向抗震墙的数量, 调整墙体的布局、洞口的大小和位置、外挑阳台和内凹阳台的悬挑长度、数量和位置, 做到合理、均匀的分配结构的抗侧刚度和承载力, 尽量使结构刚心和质心重合。
- (3)底层局部框架-抗震墙房屋上下刚度分布

- 不均匀, 应控制房屋的总层数和楼层刚度比。根据 5#楼的实际经验, 底层抗震墙采用较厚的砌体墙体, 有助于提高该类结构的抗震能力。
- (4)重视楼梯间在地震中的作用, 严格执行规范关于楼梯间四角布置构造柱的要求。
  - (5)房屋选址应尽量避免不利的地质因素, 无法避开时应进行必要的地基处理。

参考文献:

[1] 中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫总局. GB50011-2001 建筑抗震设计规范(2008 年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[2] 莫庸, 金建民, 杜永峰, 等. 高度重视外廊式单跨多层砖房的抗震设计[J]. 工程抗震与加固改造, 2008, 30(4): 60-63.

[3] 中华人民共和国国家标准. GB50003-2001 砌体结构设计规范[S]. 北京: 中国建设出版社, 2002.

Damage Investigation and Analysis of Multistory Masonry Buildings in Shifang after Wenchuan Earthquake

Huang Chong, Qu Wenjun and Li Ang  
(Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Based on the field investigation of 5 multistory masonry buildings after Wenchuan M 8.0 earthquake on May 12, 2008, the impacts of structure system, wall layout, story stiffness ratio, structural concrete column, cantilevered balcony, seismic joint, site selection, etc. on the seismic resistance of the structure were compared in the case study. Through the analysis of different causes of different damages, suggestions about improved seismic design for masonry buildings were proposed in this paper.

**Key words:** Wenchuan earthquake; Shifang city; masonry structure; seismic damage