

汶川地震中房屋震害分析与震损房屋抗震加固

周 威¹, 郑文忠¹, 佟佳颖², 唱佳鸣¹

(1. 哈尔滨工业大学 土木工程学院, 150090 哈尔滨; 2 黑龙江科技大学 计算机与信息工程学院, 150080 哈尔滨)

摘要: 为了获得2008年汶川8级强震后相关地区房屋结构震损水平, 提出合理的震损房屋抗震加固方法, 进行了震损调查与分析。发现震区钢筋混凝土结构房屋主要震损形式为柱压溃、节点失效、强梁弱柱、围护墙及隔墙破坏等; 砌体结构房屋及底部框架-抗震墙房屋主要震损形式为砌体墙的剪切破坏。基于震害分析, 提出着重强化震损部位和易损部位抗力水平和着力强化房屋整体牢固性的震损房屋抗震加固思路, 完成了震区200余栋震损房屋抗震加固设计与施工。

关键词: 地震震害; 震损房屋; 抗震加固; 易损部位; 整体牢固性

中图分类号: TU375

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2013)12-0001-09

Seismic strengthening and damage analysis of buildings in Wenchuan earthquake

ZHOU Wei¹, ZHENG Wenzhong¹, Tong Jiaying², CHANG Jiaming¹

(1. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;

2. School of Computer and Information Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, 150080 Harbin, China)

Abstract: To investigate the damage level of relative buildings after strong earthquake occurred in Wenchuan, Sichuan province in May 12th 2008, and propose the rational method for strengthening the damaged structures, the damage of buildings was surveyed. Different damages were found in the buildings in the relative regions. Damage types of reinforced concrete buildings mainly included collapse of columns, failure of joints, strong beams and weak columns, failure of infilled wall and partition. Shearing failure was found in the masonry buildings and masonry buildings with reinforced concrete frames on the ground floors. Based on the analysis of damages of these buildings, an idea of retrofitting the damaged building is proposed, i. e., strengthening the damaged members or joints, enhancing the seismic capacity of vulnerability members, and improving the robustness of the structures. According to this idea, the design and construction for more than 200 damaged buildings were conducted.

Key words: earthquake hazard; damaged building; seismic strengthening; vulnerability; robustness

2008年5月12日的汶川8级大地震使中国相关地区房屋结构发生了严重震损, 数万计房屋倒塌或出现难以继续使用的残余变形及承重结构破坏。框架结构房屋发生柱压溃、节点破坏、强梁

弱柱、围护墙及隔墙破坏最为普遍; 砌体结构房屋则主要表现为承重砖墙出现剪切斜裂缝、楼层压溃与坍塌、预制板断裂与脱落。这些震损对房屋结构安全性危害较大需及时采取加固修复措施, 以确保房屋结构在不断出现的较强余震中安全, 使房屋尽快恢复使用功能^[1-3]。

地震后的房屋结构, 按损伤严重程度可分为倒塌、严重震损、轻微震损及震后完好四类; 与此对应, 震后未倒塌的房屋宜分为无需加固、先使用后加固、加固后使用以及拆除重建四类^[4-7]。

收稿日期: 2013-04-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108124); 国家教育部长江学者奖励计划项目(2009-37); 黑龙江省科技计划项目(GC09C205, TC10A0101).

作者简介: 周 威(1977—), 男, 副教授, 博士生导师;
郑文忠(1965—), 男, 博士生导师, 长江学者特聘教授.

通信作者: 周 威, zhouwei-hit@163.com.

1 框架结构房屋震害及分析

震区的钢筋混凝土框架结构房屋主要分两类:一类是梁柱现浇、楼板预制的装配式钢筋混凝土框架结构房屋,这类房屋一般建造于 20 世纪 80 年代末以前,按中国 TJ10—74《钢筋混凝土结构设计规范》或更早的 BJC21—66《钢筋混凝土结构设计规范》等设计;另一类是梁、板、柱全现浇钢筋混凝土框架结构房屋,一般建造于 20 世纪 90 年代以后,按中国“89”规范或“02 规范”设计。由于这两类房屋设计理论与方法、建造时代、材料使用以及施工工艺和施工水平不尽相同,在震害表现上也不同:一般而言,第一类房屋结构由于建造时间相对较长、结构已出现不同程度劣化,再综合设计、材料和施工等诸多问题,这类房屋结构震损较严重;第二类房屋结构的震害主要出现在框架柱、梁柱节点及框架梁上,房屋结构整体残余变形相对不大。

1.1 框架柱压溃

在地震、逃生人群荷载、结构自重共同作用下,钢筋混凝土短柱易发生压溃破坏,特别是圆形截面短柱,出现混凝土破碎、纵筋外鼓的压溃现象十分明显。这主要由强烈地震下短柱的抗弯、抗剪承载力严重不足造成。现场调查表明,混凝土圆柱的圆形箍筋在柱顶加密区被替换成了三角形箍筋,致使箍筋对核心混凝土的约束作用不足,这是造成短柱压溃的主要原因。

典型震害一:某教学楼室外楼梯为钢筋混凝土梁式,底层平台梁的两支柱为直径 350 mm 的圆形钢筋混凝土柱,柱高 900 mm。在“5.12”地震中,该教学楼室外楼梯合计 16 根圆柱发生混凝土压溃、钢筋外鼓等严重破坏,见图 1。

1.2 节点破坏

多层现浇混凝土框架结构震损部位多为房屋的角柱及部分边柱,且框架柱的震损主要集中于一层柱顶梁柱节点区附近,少数房屋则在一、二层框架梁柱节点均发生震损。

发生这类震损,主要是由于在上部结构传来的竖向荷载及水平地震共同作用下角柱处于双向弯压的受力状态,同时,角柱及邻近角部的边柱所承担的竖向地震及扭转作用也较大,而框架柱的截面、配筋是常常按较低抗震设防烈度确定的,其抗弯、抗剪承载力相对不足;尤其是箍筋直径、肢数、加密区等与按高设防烈度设计建造的柱相比相差较大,箍筋对柱顶及梁柱节点区混凝土约束作用不充分,梁柱节点承载力严重不足。因此,框

架柱及梁柱节点区因承载力达到极限、难以抵抗超过地区设防烈度的大地震作用。



(a) 压溃柱 1



(b) 压溃柱 2



(c) 压溃柱 3



(d) 压溃柱 4

图 1 钢筋混凝土圆柱典型压溃破坏

典型震害二:某内廊式钢筋混凝土框架结构办公楼按我国“89”规范设计建造于 2002 年,底层层高 4.2 m,标准层层高 3.9 m,总高 21.75 m,建筑面积 5 382.0 m²。

1-A 轴~1-B 轴区域为四层,轴 1-B~1-E 轴区域为五层。一层~二层矩形柱截面尺寸为 450 mm×500 mm,三层~五层减小为 400 mm×400 mm;过 1-A 轴圆柱直径为 400 mm,过 1-E 轴圆柱直径为 350 mm,其余圆柱的直径均为 450 mm。房屋主体部分的楼屋盖由双向框架梁与普通钢筋混凝土板组成,横向框架梁截面尺寸为 300 mm×700 mm,纵向框架梁截面尺寸为 250 mm×500 mm;房屋主体部分楼板、与室外楼梯的连接板、1-C 轴~1-E 轴区域屋盖的板厚均为 150 mm,1-A 轴~1-B 轴区域屋盖的板厚度为 180 mm,其余楼板厚度为 120 mm。在标高 4.2 m 以下的框架柱、框架梁、楼板和楼梯的混凝土设计强度等级均为 C30,标高 4.200 m 以上结构构件的混凝土设计强度等级均为 C25,柱网及梁板平面布置见图 2。

该房屋 3 根角柱与 2 根边柱发生震损,其中有 4 根框架柱在一层、1 根框架柱在一层及二层发生了震损,具体情况如下:

1) 1-0 轴与 1-D 轴所交角柱 Z-1。该柱沿房屋长向发生震损,一层柱顶外倾值为 40 mm;与 1-D 轴平行的一层柱顶侧面出现宽度为 400 mm、由梁底沿 30°向上倾斜延伸至梁柱节点外边缘的条状破碎区,破碎区柱侧纵筋保护层崩落,外露纵筋出现“S”形的错位变形;与 1-D 轴平行的一层框架柱顶侧面出现近似沿梁底水平开展、宽度为

30 mm 的裂缝;与 1-D 轴垂直的一层柱顶两侧的压区混凝土被压碎,压碎区宽度为 30 mm.该柱一层顶震损情况见图 3(a).二层梁柱节点出现贯通

梁柱节点的斜裂缝,裂缝宽度达 2 mm,但未发现混凝土破碎,二层以上框架柱完好.

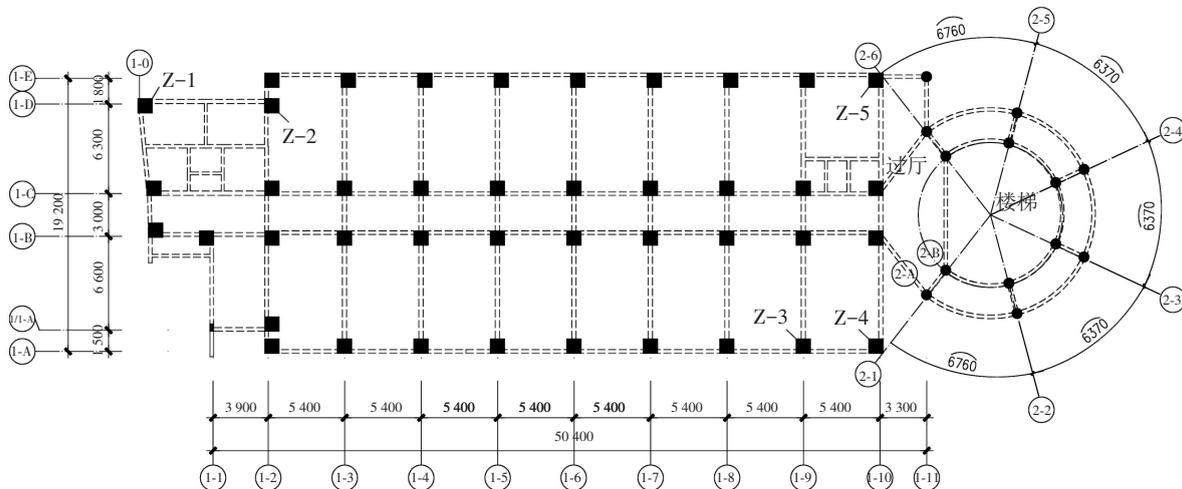


图 2 某内廊式教学楼结构平面布置 (mm)

2) 1-2 轴与 1-D 轴所交角柱 Z-2. 由图 2 可知该柱与前述震损柱 Z-1 及相关梁一起形成了沿房屋长向的单跨框架,该柱也沿房屋长向发生震损;与 1-D 轴平行的一层柱顶侧面出现宽度为 100 mm、由梁底沿 60° 向上倾斜延伸贯穿梁柱节点的条状破碎区,穿越破碎区两根柱侧纵筋及箍筋保护层崩落;破碎条带内部有一宽度为 2 mm 的斜裂缝,且明显可见裂缝穿过作为粗骨料的卵石;与 1-D 轴垂直的一层柱顶两侧的压区混凝土被压碎,压碎区宽度为 30 mm.该柱震损情况见图 3(b).

3) 1-9 轴与 1-A 轴所交边柱 Z-3. 该柱沿房屋短向发生震损,一层顶纵向框架梁底面以下该框架柱发生外倾,二者相交处柱顶外倾值为 50 mm,二层以上该柱未发生错位;与 1-9 轴平行的一层柱顶侧面出现宽度为 80 mm、由主框架梁梁底倾斜向上延伸至纵向框架梁梁底条状破碎区;破碎区柱侧面纵筋保护层崩落,外露纵筋弯曲呈“S”形;破碎区中央有一条宽度为 10 mm 贯穿部分节点区的斜裂缝;该框架柱平行于 1-A 轴的外侧面由一层顶纵向框架梁底以上 200 mm 高范围内出现钢筋保护层剥落,柱纵筋、梁箍筋、梁纵筋外露的现象.该柱震损情况见图 3(c).

4) 1-10 轴与 1-A 轴所交柱角柱 Z-4. 该框架柱主要沿房屋短向发生十分严重的震损,一层顶纵向框架梁底面以下该框架柱发生外倾,二者相交处柱顶外倾值为 100 mm,二层以上该柱未发生错位;与 1-10 轴平行的一层柱顶侧面出现宽度为 200 mm、由主框架梁梁底施工缝倾斜向上延

伸至纵向框架梁梁底条状破碎区,破碎区柱侧面纵筋保护层崩落,外露纵筋弯曲呈“<”形;压碎区钢筋以内的柱芯混凝土呈块状破碎,碎块因纵筋及箍筋的约束而未掉落;与 1-A 轴垂直的一层柱顶两侧的压区混凝土被压碎,主框架梁柱节点区内角的柱 100 mm 宽混凝土全部被压碎、掉落;该框架柱平行于 1-A 轴的内外两侧面由一层顶纵向框架梁底以上 300 mm 高范围内钢筋保护层剥落,柱纵筋、箍筋外露,核心混凝土部分劈裂.该柱一层顶震损情况见图 3(d).二层梁柱节点出现宽度为 2 mm 贯通梁柱节点的斜裂缝,但未发现混凝土破碎,二层以上框架柱完好.

5) 1-10 轴与 1-E 轴所交边柱该框架柱沿房屋短向发生震损,与 1-10 轴平行的一层柱顶侧面出现宽度为 10 mm、由主框架梁梁底向上延伸至纵向框架梁梁底的倾斜裂缝;主框架梁柱节点区内角的柱 200 mm 宽混凝土被压碎.该柱震损情况见图 3(e).

1.3 强梁弱柱

若钢筋混凝土框架结构房屋的平面形状不规则,其一层顶角柱及局部受到约束的边柱易于震损;若其平面及立面形状均不规则,则在竖向刚度出现突变的楼层角柱出现震损.这主要是由于双向钢筋混凝土框架结构的震损框架柱承担着地震及竖向荷载引起的双向弯剪作用,而且若建筑物平面形状不规则、框架柱的平面布置不对称,房屋的刚心与质心不重合,因此,房屋还承担了地震引起的扭转作用.若结构为强梁弱柱,则作用柱上的地震作用相对较大.这些外部荷载的共同作用,尤

其是超过建筑物设防烈度的大地震作用使房屋结构内力较大的底层边柱的控制截面压区混凝土达到极限压应变,若柱顶加密区内箍筋沿柱高分布并不均匀,且未采用复合箍筋,致使在强震下箍筋的约束作用不突出,柱顶箍筋被拉伸变形,箍筋对柱顶混凝土及纵筋的约束作用较小,箍筋约束范围内纵筋外鼓、保护层崩落,核心混凝土被压碎为块状.在弯、剪、扭复合作用下柱顶混凝土将出现强梁弱柱破坏.

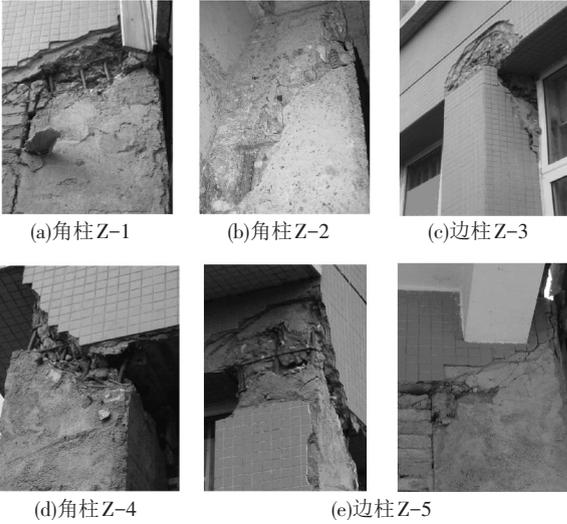


图 3 办公楼框架柱及梁柱节点震损情况

典型震害三:某三层钢筋混凝土框架结构展览馆,平面上为圆弧形,柱网布置见图 4,钢筋混凝土圆柱直径均为 500 mm,房屋采用钢筋混凝土肋梁楼盖,主受力方向两跨框架梁截面尺寸为 300 mm×900 mm,纵向弧形梁截面尺寸为 250 mm×500 mm.

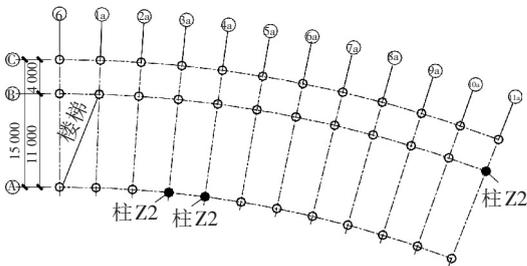


图 4 某展览馆柱网布置

该房屋有 3 根柱在一层顶发生震损,见图 5. 两边柱 Z1 的震损情况:两框架柱主要沿房屋短向发生十分严重的震损,一层顶纵向框架梁底面至主框架梁之间 400 mm 高的梁柱节点区发生混凝土破碎;破碎区柱纵筋保护层崩落,纵筋外鼓变形,从外面观察,压碎区钢筋以内的柱芯混凝土也破碎成块,碎块因纵筋及箍筋的约束而未掉落;从外侧可明显观察到破碎区框架梁的弯折纵筋.左边柱 Z1 的震损区仅为梁柱节点,右边柱 Z1 的震

损范围由纵向框架梁底以下的横向框架梁柱节点区延伸 200 mm 高,延伸区域柱纵筋外露.

柱 Z2 震损情况:1) 梁柱节点区以下框架柱一侧混凝土被压碎,压碎区高度为 400 mm;2) 压碎区的纵筋外鼓、保护层全部脱落,外露的圆形箍筋被拉伸变形、错位;3) 压碎区钢筋以内的柱芯混凝土呈块状破碎,碎块因纵筋及箍筋的约束而未掉落.

地震作用下,多层单跨钢筋混凝土框架结构的强梁弱柱破坏常在底层形成“柱铰”,特别是底层框架柱出现柱顶和柱底均出现塑性铰,将使房屋严重倾斜.由于单跨钢筋混凝土框架结构仅有一道抗震设防,在形成“柱铰”后将难以继续承担竖向荷载及水平荷载,房屋结构在较强余震下随时有倒塌的危险.



图 5 某展览馆钢筋混凝土圆柱震损情况

典型震害四:某四层现浇钢筋混凝土框架结构房屋震损情况见图 6.该房屋平面成矩形,由前室与其后的楼梯间组成,房屋前室两个方向框架跨度均为 4 m,平面布置了 4 根截面尺寸为 300 mm×300 mm 的框架柱,各层的双向框架梁截面尺寸为 200 mm×400 mm,一层顶以上双向框架梁向南、向西悬挑 600 mm,悬挑梁的封边梁截面尺寸与框架梁相同.

该房屋震损情况:1) 地震后房屋明显向西倾斜,一层顶倾斜值约为 200 mm,一层顶以上房屋竖向变形不大,房屋四层顶的倾斜值约为 300 mm;2) 与倾斜向对应,房屋一层顶水平方向

内侧框架梁在梁柱节点区外出现沿 30° 方向条带状断裂, 混凝土破碎、纵筋屈服, 破碎条带宽度 200 mm, 梁端断裂处下垂变形值为 150 mm; 3) 房屋前室 4 根钢筋混凝土底层柱的柱顶及柱脚均出现混凝土压碎、钢筋屈服(柱顶及柱脚均出现塑性铰); 4) 房屋的木屋盖及填充墙倒塌。

该框架结构房屋发生了典型的“柱铰”破坏, 残余变形显著, 这主要是由于该地区的抗震设防烈度较低, 按原抗震标准设计建造的框架结构难以承担大大超过地区设防烈度的地震作用所致。但由于框架梁柱截面、配筋适当, 特别是相关构造措施较好, 在“5.12”大地震及其后的强余震下房屋并未立即倒塌。



图 6 单跨框架结构强梁弱柱破坏

典型震害五: 某校实验楼为 5 层内廊式钢筋混凝土框架结构房屋, 建造于 1984 年。房屋标准柱网尺寸 $6.6\text{ m} \times 6.9\text{ m}$ 及 $6.6\text{ m} \times 5.4\text{ m}$, 走廊宽 2.6 m, 房屋建筑面积 $4\ 152.18\text{ m}^2$ 。现浇钢筋混凝土框架柱截面尺寸 $400\text{ mm} \times 600\text{ mm}$; 现浇钢筋混凝土横向框架梁为三跨花篮梁, 其中内跨梁截面高度 600 mm、两边跨梁截面高度 700 mm, 梁腹板宽度 250 mm; 现浇钢筋混凝土纵向框架梁为矩形截面, 截面尺寸为 $240\text{ mm} \times 700\text{ mm}$ 。梁柱混凝土设计强度等级均为 C25。结构柱网平面布置见图 7。房屋卫生间采用现浇钢筋混凝土板, 其余楼盖板均采用预制预应力混凝土空心板, 预制板标志跨度 $6\ 600\text{ mm}$, 厚度 200 mm, 铺设在横向框架梁的两侧挑耳上, 预制板上方浇筑有 70 mm 厚钢筋混凝土面层。房屋入口主楼梯为现浇钢筋混凝土板式楼梯。房屋底层外围护墙及内隔墙均采用 MU7.5 的烧结粘土普通砖、M5.0 水泥砂浆砌筑而成, 其余楼层的外围护墙及内隔墙均采用加气混凝土砌块、M5.0 混合砂浆砌筑而成。

该建筑物的底层 9 根边柱(占边柱总数的 50%)的梁柱节点区发生不同程度的震损, 底层全部中柱出现剪切斜裂缝。

1) ④轴与⑤轴所交的边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方出现贯穿柱截面的斜裂缝, 裂缝由节点区下方 1.2 m 处一直延伸进入节点区内, 裂缝最大宽度达 5 mm, 节点区下方柱混凝土有压碎现象。

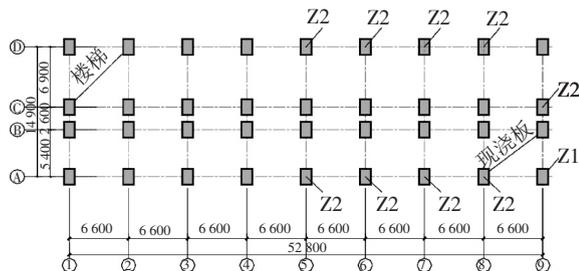


图 7 房屋结构柱网平面布置

2) ④轴与⑥轴所交的边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方出现贯穿柱截面的斜裂缝, 节点区下方柱混凝土有压碎现象。

3) ④轴与⑦轴所交的边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方出现 2 条竖向裂缝, 竖缝基本上位于两角部纵筋外侧, 延伸长度为 1.5 m, 裂缝最大宽度为 1 mm。

4) ④轴与⑧轴所交的边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方出现 1 条竖向裂缝, 竖缝基本上位于两角部纵筋外侧, 延伸长度为 1.2 m, 裂缝最大宽度为 2 mm。

5) ④轴与⑨轴所交的角柱 Z1, 在一层顶梁柱节点下方约 500 mm 处出现贯穿柱截面及节点区的斜裂缝, 斜裂缝下端有 250 mm 高混凝土被压碎, 柱纵筋外露。

6) ①轴与⑤轴所交的边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方出现贯穿柱截面的斜裂缝, 裂缝最大宽度为 1.5 mm。

7) ①轴与⑥轴所交的边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方出现贯穿柱截面的斜裂缝, 裂缝最大宽度为 2.0 mm。

8) ①轴与⑦轴所交边柱 Z2 震损十分严重, 一层顶梁柱节点下方全部破碎、混凝土大量掉落形成空洞, 节点区下方约 2 000 mm 高范围内柱混凝土保护层脱落, 角部纵筋外露、鼓出。

9) ①轴与⑧轴所交边柱 Z2 震损严重, 一层顶梁柱节点下方约 2 000 mm 高范围内柱混凝土保护层脱落, 纵筋外露; 梁柱节点区下方约 500 mm 高的柱混凝土破碎、混凝土大量掉落, 纵

筋外鼓。

10) ⑩轴与⑨轴所交边柱 Z2, 在一层顶梁柱节点区下方 600 mm 处出现两条向节点区延伸的斜裂缝, 裂缝最大宽度为 2 mm, 节点区混凝土明显可见被压碎现象。

发生严重破坏的底层边柱见图 8。该校试验楼虽然房屋采用了双向框架, 但矩形框架柱的截面高度是其截面宽度的 1.5 倍, 而纵横框架最大跨度相差较小, 纵向框架抗侧刚度仅为横向框架抗侧刚度的 44%, 超过地区设防烈度的强震作用导致了抗侧刚度较弱的纵向框架的柱及梁柱节点发生严重震损。这与现场调查观测到底层框架边柱或其梁柱节点以及框架中柱发生沿纵向框架方向的开裂或混凝土破碎相一致。

现场调查表明该工程框架柱箍筋加密区范围、箍筋直径与间距符合其竣工图及其所依据的设计标准要求, 但其箍筋末端为 90° 弯钩, 弯钩末端平直段长度为 5 倍箍筋直径, 这是导致部分震损边柱出现加密区箍筋被拉伸、变形, 以及梁柱节点区及其下侧柱纵筋外鼓的重要原因。

肢长度小且未设置端部构造柱, 因缺少构造柱对砌体墙变形的约束而发生了十分严重的震损。



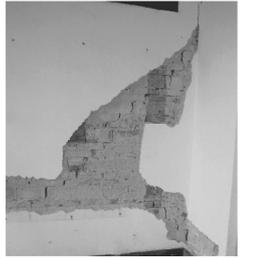
(a) 窗角开裂



(b) 承重墙 X 形裂缝



(c) 承重墙端部开裂



(d) 承重墙斜裂缝

图 9 典型承重纵横墙及窗间墙震损情况

3 震损房屋抗震加固设计与施工

2008 年 5 月 19 日~2008 年 8 月 13 日, 基于“着重强化震损部位和易损部位抗力水平、着力强化房屋整体牢固性”的震损房屋抗震加固思想; 以结构构件刚度, 墙、柱等竖向构件的延性为主要参数, 确定结构承载能力与侧移能力, 考虑房屋结构场地条件、结构频率、结构构件的适用状况(既有裂缝、变形、腐蚀等) 确定所需的抗震能力; 对比结构抗震能力与抗震设防水平及抗震设防构造要求结构的所需抗震能力的关系, 获得结构易损部位及其易损性水平; 通过对震损观测分析获得的结构震损部位与地震易损性分析获得的震损部位采取抗震加固措施, 恢复与强化其抗震能力; 通过加固前的结构抗震能力分析, 确定加固措施, 达到强化结构整体牢固性的目的。按此思路, 对 200 余栋震损房屋进行了加固修复^[8-13]。

3.1 压溃柱加固与修复

对于残余变形较小的压溃短柱, 可在清除松散、酥碎混凝土之后, 扶直弯曲变形的纵筋、设置满足要求的箍筋, 然后用环氧砂浆置换破碎区混凝土。并在受损柱所辖的梁板范围的下方设置足够的支撑, 支撑数量与布置方法视支撑杆件的材料、截面而定。加固后的压溃柱见图 10。

3.2 框架柱及梁柱节点加固与修复

对震损的框架柱和梁柱节点, 可在震损柱侧后置承载力设计值不小于原柱的钢筋混凝土翼墙或框架柱, 待后置结构混凝土达到设计强度等级



(a) 正面 (b) 侧面

图 8 发生严重破坏的底层边柱

2 砖砌体结构墙体剪切裂缝

震区砖砌体结构或底部框架上部砌体结构房屋发生大量承重纵横墙斜裂缝或 X 形裂缝、承重墙窗间墙斜裂缝、门窗角部裂缝以及窗肚墙 X 形裂缝等震损。典型承重纵横墙及窗间墙震损见图 9。

对于采用预制混凝土楼盖的砖砌体结构房屋, 若未设构造柱或设置较少的构造柱, 在超过地区设防烈度的大地震作用下, 整体性较差的预制混凝土楼盖的板块发生错动引起砖墙开裂。对于底部框架上部砌体结构房屋, 房屋开间一般较大, 上部住宅的内外承重纵墙相对较少, 若某片纵墙端部未设置构造柱, 或虽设置了构造柱但墙体跨越结构错层, 或虽设置了构造柱但墙体较长、且构造柱截面尺寸相对不大时, 在其承担的竖向荷载与地震作用下, 相对脆性强度较低的砖砌体墙将发生剪切破坏, 表现为倾斜或 X 形裂缝。尤其是墙

值后再采用结构加固胶拌制环氧砂浆或环氧混凝土对震损部位进行修复。当然,应在对地震作用下房屋结构整体计算分析的基础上确定后置翼墙或框架柱的增设位置和增设层数。



图 10 加固后的压溃柱

对于震损角柱,在其两垂直内侧面算起,各设置厚度等于框架边梁宽的钢筋混凝土翼墙,翼墙的纵筋向下植入柱基础,向上植入框架边梁内,为保证后置翼墙与震损柱形成整体,应在表面凿毛的震损柱侧面植入销键筋而且后置翼墙应采用微膨胀混凝土浇筑。当后置翼墙充分发挥作用后,清除受震损角柱及相关节点松散酥碎混凝土,并用环氧砂浆或环氧混凝土置换。震损角柱的销键及后置翼墙以及后置翼墙的施工见图 11。

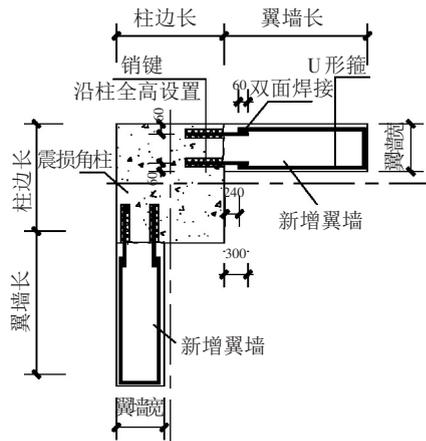
对于震损边柱,应在除外侧面的其余 3 个侧面均后置钢筋混凝土翼墙,后置翼墙的截面、配筋、节点处理以及相关构造与震损角柱的加固方法相同,见图 12。

3.3 震损承重砖墙加固与修复

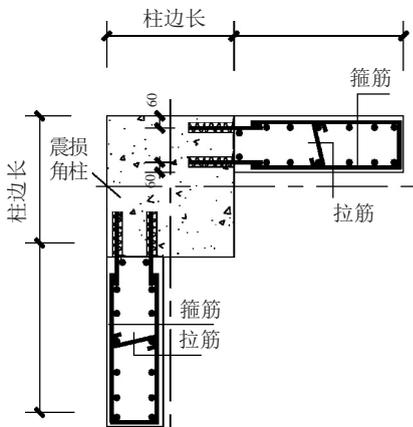
底部框架上部砌体结构房屋,在保证一二层间刚度比满足相关标准要求的前提下,采用在震损砖墙端部后置构造柱、在其两侧后置钢筋混凝土面层形成组合砖墙的方法恢复墙体抗剪承载力。平面“L”形震损墙,首先应完成后置柱植筋、混凝土浇筑,待后置柱结硬后,在震损墙面上涂刷结合剂,再垂直于震损墙面植入销筋,在墙面两侧布置钢筋网,最后浇筑墙面混凝土。加固方法及施工见图 13。

对于因房间进深较大,且房间较为空旷,横墙间距较大而出现的承重横墙震损,采用后置“T”形或“一”形钢筋混凝土面层形成组合砖墙的方法恢复和增强其抗剪承载力。加固方法及施工见图 14。

门窗洞口的角部发生开裂等震损的房屋,在相关区域设置了钢筋砂浆面层恢复受损的墙体抗剪承载力。加固方法及施工见图 15。



(a) 销筋做法



(b) 截面与配筋

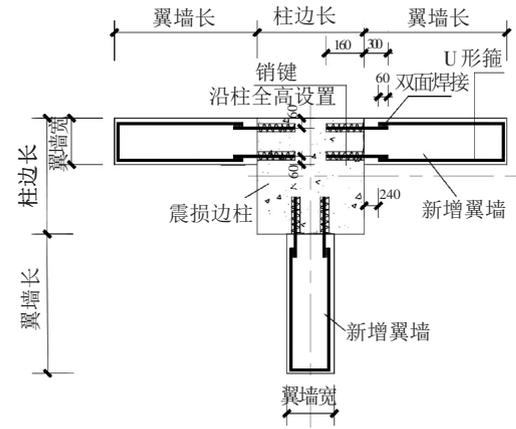


(c) 模板与钢筋骨架

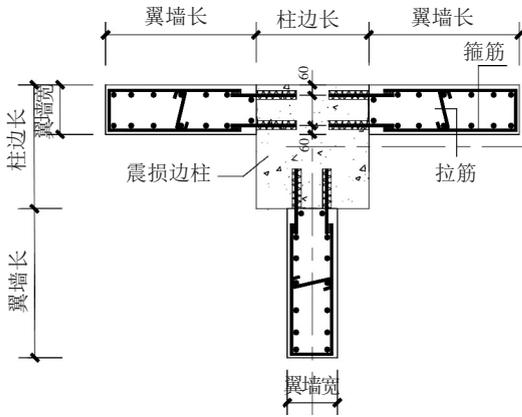


(d) 混凝土浇筑成型

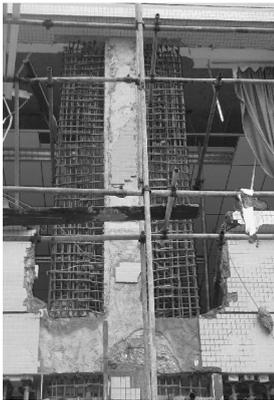
图 11 震损角柱后置翼墙



(a) 销筋做法



(b) 截面与配筋

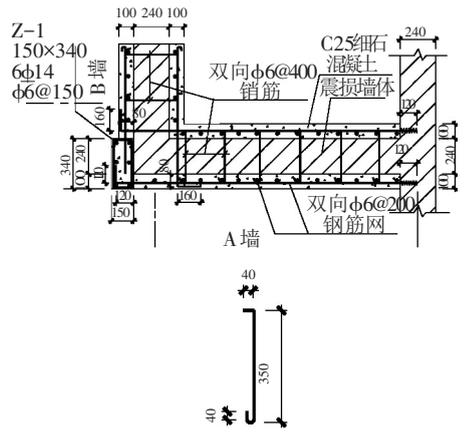


(c) 钢筋骨架



(d) 混凝土浇筑成型

图 12 震损边柱后置翼墙



(a) 后置混凝土面层与钢筋销筋



(b) 面层与销筋



(c) 模板系统



(d) 混凝土浇筑成型

图 13 震损砖墙加固与施工

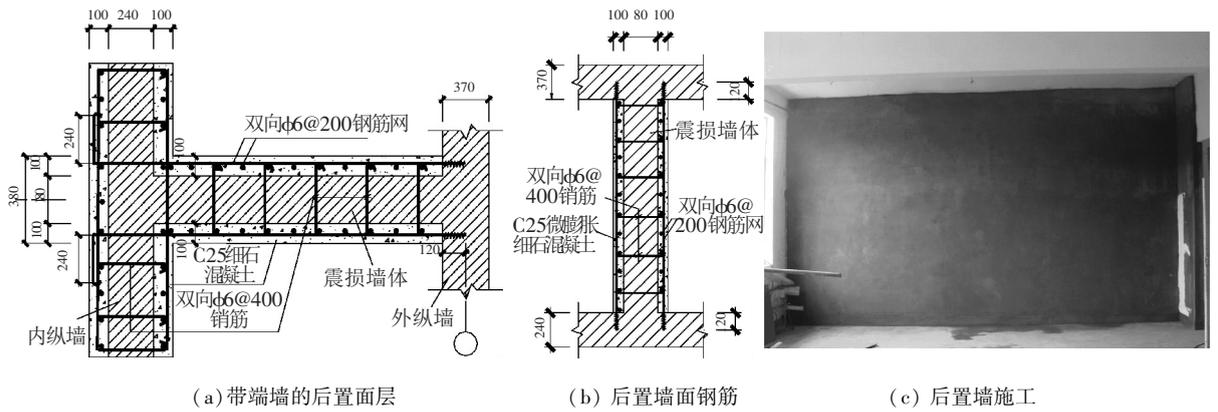


图 14 震损横墙加固与施工

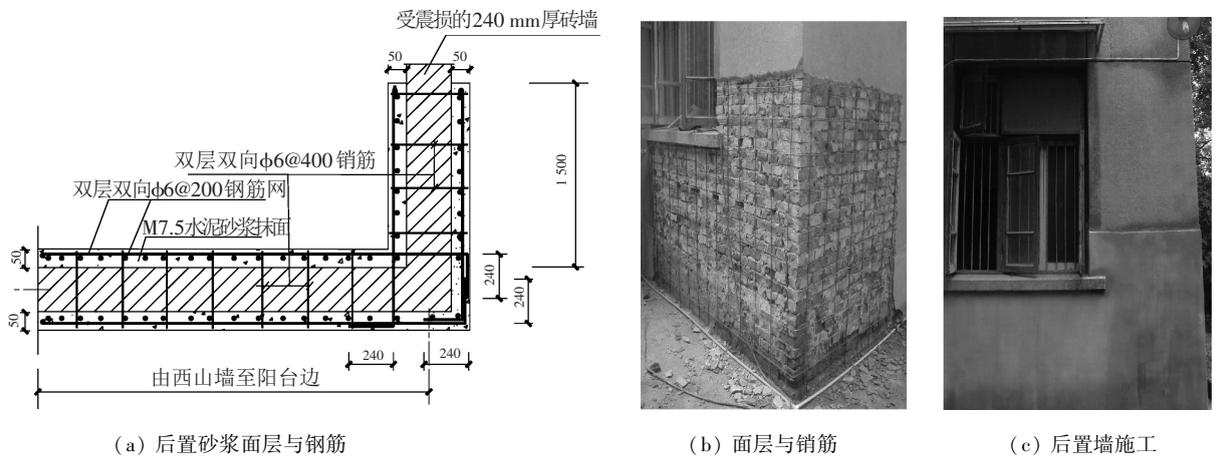


图 15 震损墙角加固与施工

4 结 语

调查分析了汶川地震后钢筋混凝土框架结构、底部框架砌体房屋结构、砖砌体结构房屋的震损情况。建议将震损房屋分为无需加固、先使用后加固、加固后使用以及拆除重建四类。基于着重强化震损部位和易损部位抗力水平、着力强化房屋整体牢固性,提出了 200 余栋震损房屋抗震加固方法。

参 考 文 献

[1] 中国工程院土木、水利与建筑工程学部等. 汶川地震建筑震害调查与灾后重建分析报告[R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 26-37.

[2] PARK Y J, ANG A H-S, WEN Y K. Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings [J]. Journal of Structural Engineering, 1985, 111(4): 740-757.

[3] 王亚勇, 白雪霜. 台湾 921 地震中钢筋混凝土结构震害特征[J]. 工程抗震, 2001, 22(1): 3-7.

[4] KAWASHIMA K, MACRAE Z A, HOSHIKUMA J. Residual displacement response spectrum [J]. Journal of Structural Engineering, 1998, 124(5): 523-530.

[5] WAEL A Z, HIROSHI M. Residual displacements of concrete bridge piers subjected to near field earthquakes [J]. ACI Structural Journal, 2002, 99(6): 740-749.

[6] KWAN W P, BILLINGTON S. Unbonded posttensioned concrete bridge piers I: monotonic and cyclic analyses [J]. Journal of Bridge Engineering, 2003, 8(2): 92-101.

[7] 黄南翼, 张锡云, 姜萝香. 日本阪神大地震建筑震害分析与加固技术[M]. 北京: 地震出版社, 2000: 11-13.

[8] 赵彤, 刘明国, 张景明. 抗震加固方法在国外的若干发展[J]. 建筑结构, 2001, 31(3): 26-30.

[9] 王跃, 高立人. 阪神大地震后日本 RC 建筑抗震与加固[J]. 建筑结构, 2001, 31(7): 60-62.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地震灾后建筑鉴定与加固技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 3-16.

[11] 国家标准《建筑抗震设计规范》编制组. 房屋建筑抗震设计新技术——建筑抗震设计规范 GB50011—2001 修订背景材料[R]. 北京, 2001: 37-49.

[12] 卫龙武, 吕志涛, 郭彤. 建筑物评估、加固与改造[M]. 2 版. 南京: 江苏科学技术出版社, 2006: 32-41.

[13] 中华人民共和国建设部. GB50367—2006 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 22-28.

(编辑 赵丽莹)