

# 建筑震害分析与结构设计启示

吴克信<sup>1</sup>, 刘宗信<sup>2</sup>

(1 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610017

2 中国石油塔里木油田公司工程质量监督站, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 简要介绍汶川地震建筑震害典型实例, 分析建筑物破坏特点和原因。根据震害原因的分析, 总结典型建筑震害的经验与教训, 提出结构设计的一些意见及建议。

**关键词:** 地震; 建筑震害; 破坏原因; 意见及建议

文章编号: 1006-5539(2010)05-0064-06 文献标识码: A

## 0 引言

2008年5月12日14时28分,四川汶川县发生里氏8.0级地震,震中位于汶川县映秀镇(纬度 $31.0^{\circ}\text{N}$ 经度 $103.4^{\circ}\text{E}$ ),震源深度14 km。汶川地震造成严重受灾地区面积达 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,包括震中50 km范围内的县城和200 km范围内的大中城市,全国大部分地区有明显震感。本文列举部分建筑震害典型实例,分析了建筑破坏特点和原因,并对建筑结构抗震设计提出有关意见和建议。

## 1 典型结构体系建筑震害实例分析

### 1.1 砖混结构

据调查,在汶川地震中位于高烈度区的砖混结构房屋破坏较为严重。在极震区,大部分砖混结构房屋局部倒塌或完全倒塌,在烈度较低的地区,多数属于中等破坏。房屋底层及二层破坏最为严重,随层数的增加破坏程度递减。砖混结构房屋的破坏形态主要有:墙体呈严重的斜裂缝或X形裂缝、窗下墙X形裂缝、大多开裂处的砖块被剪断、因底层压溃房屋倾斜以及部分倒塌等。

地震区村镇的住宅、教学楼,城市的一些旧的居民楼、办公楼、小型厂房大部分采用砖混结构且建设

年代较早,大部分未采取有效的抗震措施,震害比较严重,较为典型的破坏原因:结构抗震体系单薄,同时大部分未采取有效的抗震措施,如:未设置构造柱、未设置圈梁、预制楼板未拉结等。图1~4为砌体结构震害典型实例情况。



图1 某中学教学楼右段砖混结构倒塌(左段为框架结构)

图1建筑右段砖混结构全部倒塌,而左侧框架结构损坏相对较轻,说明在相同的地震作用下,框架结构体系显示较好的抗震性能;图2五层砖混结构,地震时底层完全压垮,五层变四层。在震中地区,房屋在水平和竖向地震作用下,房屋的底层承受最大的荷载,设计中应加强下部结构的抗震措施;图3房屋的端部完全垮塌,说明房屋的端部是抗震的薄弱部位,加强端开间的抗震构造措施是非常必要的,建筑抗震设计规范也强调了楼梯间不宜设置在房屋的尽端和转角处<sup>[1]</sup>;图4合理设置构造柱和圈

收稿日期: 2010-05-21

作者简介: 吴克信(1962-),男,福建省尤溪县人,高级工程师,硕士,主要从事石油天然气工程的建筑结构设计与技术管理工作。



图 2 某中学宿舍楼,五层砖混结构,地震时底层完全倒塌上部墙体开裂破坏严重



图 3 某砖混结构住宅楼端开间倒塌



图 4 如果没有构造柱和圈梁,房屋恐怕已倒塌

梁很重要,如果没有构造柱和圈梁,房屋恐怕已倒塌。

上述事例可知,对于砖混结构合理设置构造柱和圈梁,也能有效抵御较强的地震,在震害调查中也发现有基本没有受到破坏的砖混结构。因此,对于砌体结构,如何保证结构的整体性和侧向承载力是

抗震设计的关键。

### 1.2 框架—砌体混合结构

这类结构形式有多种,如底框砖混结构,底层部分框架部分砌体—上部砖混,以及部分框架一部分砖混(水平混合)。特别是底层部分框架部分砌体—上部砖混、水平混合结构,这类的结构体系大多比较混乱,抗震协同性差,1978年以后基本不再使用。由于框架和砌体承重墙抗侧力构件的承载力和变形能力很不协调,平面抗侧刚度极不均匀,地震时易造成严重破坏。这类结构的震害主要有:底部框架由于变形集中而破坏,或上部砌体结构破坏,如图 5~8 所示。



图 5 底框砖混结构破坏



图 6 框架—砖混办公楼(水平混合)破坏

图 5 和图 7、8 都是底层框架未有效设置剪力墙,造成底层刚度严重不足而被破坏。图 6 为水平混合结构,结构体系的混乱,房屋的各部位刚度差异大,出现了明显的薄弱部位造成了破坏。

### 1.3 框架结构

汶川地震中,框架结构的主体结构震害一般较



图 7 底框部分完全被压垮



图 8 底框部分完全破坏

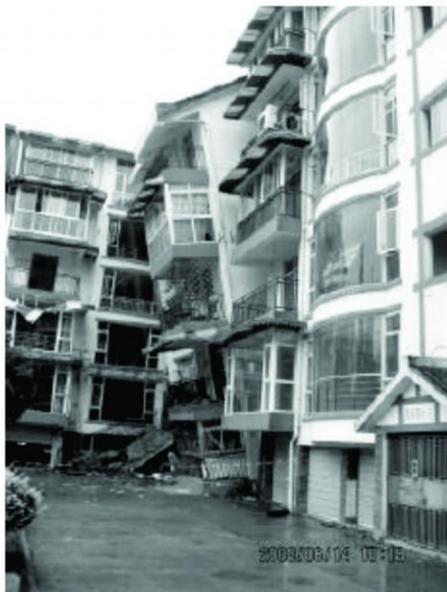


图 10 某住宅小区框架结构底层破坏

轻,破坏主要发生在围护结构和填充墙。非承重结构的破坏仍然会造成严重的生命和财产损失,且修复工作量很大。个别建筑因施工质量很差、结构布置过于复杂的框架结构也发生严重破坏,甚至倒塌。图 9、10 为框架结构震害情况。



图 9 某办公楼填充墙发生破坏

#### 1.4 框架—剪力墙 (核心筒) 结构

框架—剪力墙 (核心筒) 结构,由于该结构体系具有较大的抗震刚度和承载力,在本次地震中抗震性能优势明显,尤其是与同一地区的框架结构相比,框架—剪力墙 (核心筒) 结构的非结构构件的损坏轻很多。不过,框架—剪力墙 (核心筒) 结构的房屋主要分布在成都市和绵阳市等大城市,而这些城市在本次地震中的地震烈度并不高。因此,框架—剪力墙 (核心筒) 结构的抗大震性能在这次地震中未能充分体现。

## 2 建筑典型部位震害实例分析

### 2.1 楼梯间

本次地震中,作为逃生通道的楼梯间发生破坏成为一个普遍的现象,而且破坏比较严重。经分析,其主要原因是:砌体结构中,楼梯间的整体性较差,地震中楼梯间的墙体破坏或倒塌造成楼梯段支座失效,导致整个楼梯间的破坏,见图 11;而在钢筋混凝土框架结构中,由于支撑效应使楼梯板承受较大的轴向力,地震时楼梯段处于交替的拉弯和压弯受力状态,当楼梯段的拉应力达到或超过混凝土材料的极限抗拉强度时,就会发生受拉破坏,而楼梯间的平台梁,则由于上下梯段的剪刀作用,产生剪切、扭转



图 11 楼梯间倒塌全景



图 12 楼梯梁破坏

破坏,见图 12。

## 2.2 非结构构件(填充墙、围护墙)

填充墙或围护墙与框架柱、梁无拉结或拉接不够,造成墙体大量开裂,甚至倒塌。特别是作为生命通道的楼梯间维护结构的破坏,严重影响安全疏散,甚至直接造成生命和财产的损失,见图 13、14。



图 13 楼梯间弧形砌体填充墙完全倒塌



图 14 楼梯间填充墙破坏

## 2.3 强柱弱梁

钢筋混凝土框架结构,由于其自身侧向刚度较小,地震作用引起的侧向位移较大,合理的抗震措施成为框架结构抗震性能实现的有力保证。汶川地震表明:框架结构,特别是底部框架结构,柱子破坏十分严重,未能有效实现“强柱弱梁”的抗震设计要求,由于未能有效实现强柱弱梁而造成结构的严重破坏,甚至倒塌,见图 15~17。因此,强柱弱梁是框架结构抗震设计中不可忽视的重要内容,也是实现梁铰机制的重要结构措施。



图 15 “弱柱强梁”典型图

实现强柱弱梁的主要因素:

a 梁端负弯矩是影响强柱弱梁的重要因素,梁端负弯矩越大,则对框架柱的要求越高,因此,要适当降低梁端负弯矩数值<sup>[2]</sup>;

b 梁端实配钢筋直接影响梁端受弯承载力,合理控制梁端实配钢筋与计算钢筋的比例关系<sup>[2]</sup>;

c 底层框架结构,底层要合理设置一定数量的剪力墙抵御大部分水平地震作用,让框架梁柱主要承受竖向荷载,是确保实现强柱弱梁的基础。



图 16 柱头破坏, 梁板完好



图 18 楼梯间顶部局部突出



图 17 柱头破坏



图 19 屋顶塔楼破坏

## 2.4 鞭梢效应

鞭梢效应就是当建筑物受到地震作用时,其顶部的局部突出部分由于刚度和质量较小,地震时,在每一来回的转折瞬间形成较大的速度,产生较大的位移。发生鞭梢效应时,突出部分的位移是主体部分的数倍。越是细高的建筑,鞭梢效应越大,破坏越重,见图 18~19。

为了减弱鞭梢效应,不应只盲目的增大突出物的刚度,最有效的方法应使突出物的第一阶自振频率与整体结构低阶频率不要接近地面运动扰频。在高烈度区,设计应尽可能避免局部突出的建筑。

## 3 结论和建议

通过上述对建筑典型震害分析,提出以下一些意见和建议:

①对于砌体结构,严格按照建筑抗震设计规范要求设计是非常重要的。合理设置构造柱和圈梁,

砌体结构能有效抵御地震作用。如何保证结构的整体性和侧向承载力是抗震设计的关键,单纯的预制楼板由于整体性差尽可能不用,对于烈度较高地区最好采用现浇楼盖或增加现浇层等。

②框架—砌体混合结构。如:底层部分框架上部砌体—上部砖混以及部分框架一部分砖混(水平混合)。这类的结构体系混乱,抗震协同性差,框架和砌体承重墙抗侧力构件的承载力和变形能力很不协调,平面抗侧刚度极不均匀,地震时易造成严重破坏,建议不要采用;底框砖混结构在这次地震中破坏也非常严重,主要是底层框架抗侧力刚度严重不足、强柱弱梁机制未能有效实现等。因此,合理设置底框剪力墙,确保底部框架与上部砌体结构刚度的合理比值是至关重要的。

③房屋在水平和竖向地震作用下,房屋的底层承受最大的荷载,设计中应加强下部结构的抗震措

施。

d 框架结构的抗震性能较好,可以实现预期的中震和大震抗震性能目标。重要的是要实现强柱弱梁机制。对于能源重要命脉的工程,如油气管道工程的相关建构物,要有效抵御地震的作用,确保命脉的安全、畅通。建议在地震区,特别是高烈度地区的建筑,不论房屋大小尽可能采用框架结构或钢结构。

e 框架结构的内外装饰饰面、围护结构、填充墙的破坏严重,仍然造成了较大的生命和财产损失。应重点加强围护结构和填充墙与主体框架结构的抗震构造措施。

f 剪力墙结构(包括框架—剪力墙结构和框架—筒体结构)在这次地震中的表现优异,这与其有较大的抗侧刚度有关。但是这次地震中,剪力墙结构均位于烈度较低的地区,其在大震下的抗震性能没有体现出来。尽管如此,剪力墙结构在非结构构件的震害方面轻于框架结构,是一种较好的抗震结构形式。

g 作为逃生通道的楼梯间发生破坏比较严重。要加强楼梯间抗震措施,对于烈度较高地区不应使用预制楼梯。

h 为了减弱鞭梢效应,最有效的方法应使突出物的第一阶自振频率与整体结构低阶频率不要接近地面运动扰频。在高烈度区,设计应尽可能避免局部突出的建筑。

i. 对有些问题需进一步开展研究,如:框架结构的强柱弱梁机制较难做到,应对框架结构的强柱弱梁机制保证措施进一步研究;填充墙既可以协助主体结构共同抗震,提高整体结构的抗震能力,同时由于填充墙开洞易造成主体结构形成短柱剪切破坏,因此应加强填充墙对整体结构的抗震贡献和影响的研究,特别是应加强填充墙与主体结构抗震构造措施和性能化设计的研究。

## 4 结束语

地震是一种自然灾害,强烈的地震在瞬间就可以对地面建筑物造成严重的破坏,历次大地震都使人民生命财产遭受巨大的损失,但是,每次地震使人们对地震有更深,更进一步的认识,而且将随震害经验的不断积累,抗震研究更加不断深入而迅速发展。作为一名工程技术人员,在工作中就是要紧密结合我国现行相关规范,掌握结构抗震的基本理论与实践,总结震害的经验教训,从而不但遵循规范而且能高于规范进行结构抗震设计,减少甚至防止我们的人员和建(构)筑物因为地震而造成严重损失。

参考文献:

- [1] GB 50011—2001 建筑抗震设计规范(2008年版)[S].
- [2] 朱炳寅. 影响强柱弱梁的主要因素及设计对策[J]. 建筑结构, 2008.