3. 北川地区底部框架砖房震害分析

蒋航军　郁银泉

（中国建筑标准设计研究院，北京　100044）

摘　要：本文根据地震现场调查，通过对北川县城底部框架砖房的震害研究，分析了此类房屋结构震害特征及其破坏原因，并对抗震设计提出了若干建议。

关键词：汶川 5.12 地震；底部框架砖房；震害特征；抗震设计

1　引言

北京时间 2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分，四川发生里氏 8.0 级大地震，震中位置在东经 103.4°北纬 31.0°，具体在汶川县映秀镇西偏南 38°方向 11km 处。汶川 5.12 地震最大影响烈度达到 11 度，破坏特别严重的地区超过 10 万 km^2，直接受灾人口达到 1000 多万，房屋倒塌 300 多万间，损坏 1500 多万间。北川羌族自治县位于四川省绵阳市西北部，属四川盆地边缘丘陵向川西北高原的过渡地带。汶川 5.12 地震的发震断裂亦即龙门山断裂的中央断裂：映秀—北川断裂北东向穿越县域，造成北川成为此次地震受灾最严重的地区之一。

2　北川地区底部框架砖房的建筑特征

底部框架砖房是我国现阶段经济条件下特有的一种结构形式，它的底层（或底部两层）采用钢筋混凝土框架结构并配备一定数量的剪力墙，上部几层为砌体墙（砖或小砌块）承重的多层房屋。北川地区的底部框架砖房建筑具有以下特征：

（1）此类建筑存量较多，尤其是城镇临街部位；

（2）底层墙体采用砖砌体（未见一例钢筋混凝土剪力墙）；

（3）底层墙体采用普通隔墙砌筑方式（先立框架后砌墙）；

（4）底层墙体布置不均匀，多数建筑底层临街的外纵墙全部开通；

（5）部分建筑在底层使用框架与砖墙混合承重的结构；

（6）部分建筑上部墙体布置不均匀，临街的外纵墙开洞率很大甚至开通；

（7）楼、屋面板包括过渡层底板均使用预制空心板；

（8）部分建筑上部墙体砌筑及构造不良；

（9）部分建筑屋顶采用木结构（多见于自建房）。

3　房屋震害特征及分析

根据北川地区底部框架砖房的基本结构形式及构造特点，考虑二层与底层沿房屋纵向

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

与横向的层间侧移刚度比，我们将此类房屋分为两类，即“上柔下刚”和“上刚下柔”的底部框架砖房。

3.1 “上柔下刚”的底部框架砖房

此类房屋多见于村镇居民自建房，底层采用现浇钢筋混凝土框架结构，柱间嵌砌砖墙（主要是山墙和后侧外纵墙），抗侧刚度较大。上部建筑层数较少，但建造的随意性较强，墙体材料、砌筑方式、结构布置、屋面形式及构造做法等方面因素造成上部结构抗侧刚度较底层低，震害往往发生在上部。实际上“上柔下刚”的底部框架砖房是规范规定不允许出现的，规范规定房屋的纵横两个方向，第二层与底层的侧向刚度比值是不应小于1.0的。

图1、图2、图3、图4中的房屋总高较低，只有两层，但都在二层发生了严重的震害。它们的相似之处是：① 屋面都采用木制构架搭檩支撑坡顶瓦屋面。木制构架多采用老式坡顶木构架，底梁粗但爪柱细，没有扒钉、铁件等加固节点，屋面的强度和稳定性差；构架与支撑墙体之间没有可靠的连接，只是简单地搁置在墙上，构架间也没有设置木撑，造成整个屋面系统的整体性也很差，对墙体缺少必要的约束。② 墙体的强度和稳定性较差。像图2中上部墙体采用空心砌块立砌，墙体厚度只有90mm，连最基本的墙体高厚比限值都不满足，稳定性自然难以保证；图3中上部墙体采用空斗墙砌筑，稳定性也较

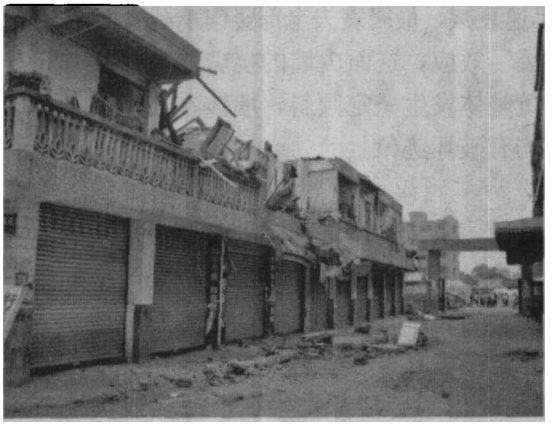

图1



图2



图3



图4

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

差。③ 建筑平面上均有悬挑。图 1 中的屋面混凝土悬挑梁由于内侧木屋顶的平衡作用差而自身与主体的连接也很弱，在地震中发生坠落。④ 上部墙体构造不良，缺少必要的抗震构造措施。图中可见，墙体均未设置构造柱及圈梁。另外，临街外纵墙开洞率很大，与横墙没有拉接，地震中整片外闪塌落，同时连带木制屋顶抽落。

3.2 “上刚下柔”的底部框架砖房

当底部框架砖房的上部采用较密的纵横砌体墙承重而层高又较低时，上部结构的抗侧刚度比底层的钢筋混凝土框架结构高很多，从而形成了“上刚下柔”的结构体系。北川县城的曲山、擂鼓、陈家坝、通口、漩坪、禹里等地均大量建设此类房屋。

调查表明，由于底层是薄弱层，强震时底层将率先屈服，混凝土构件进入塑性工作阶段并发生大变形集中，出现过大的侧移而严重破坏，甚至坍塌，造成严重震害。

具体震害特征有以下形式：

(1) 底层砌体抗震墙的严重开裂

底层框架中的砌体抗震墙是结构抗震的第一道防线。由于具有一定的刚度和强度，而且有着较大的阻尼，地震期间能吸收较多的地震能量，承担着结构大部分的底层地震剪力。由于材料本身的特性和施工工艺特点等因素影响，墙体的承载力取决于砂浆的强度和砌筑的质量。如图 5 所示，当墙体受到的地震剪力超过其自身的抗剪承载力时，墙体就会剪切破坏。墙体出现与水平线呈 45°的贯通单向斜裂缝或交叉斜裂缝，且主要沿灰缝开裂。当地震往复作用时，墙体沿裂缝滑移、错位、剥落，刚度迅速衰减，最终丧失全部竖向承载力而倒塌。

当然，我们在图 5 中也能看到，由于“矮墙”效应，这面山墙的抗剪能力并没有充分发挥，受到基础抵抗倾覆力矩能力的限制，建筑整体发生一定倾斜，墙体在出现一条单向贯通斜裂缝后，破坏即向框架转移，所有柱头均有破坏迹象。

(2) 框架柱的破坏

底部框架结构在地震作用下进入塑性变形阶段，由于砌体抗震墙刚度退化带来的地震剪力重分配，使框架承担的地震剪力加大，同时由于上部结构在过渡层楼板处产生的倾覆力矩所带来的附加拉、压应力也全部由框架承担，当超过其承载力时，不可避免地产生不同程度的破坏。另外，由于框架梁承托上部墙体，多少具有一些墙梁组合作用，使框架梁的内力有所减小，同时组合构件的刚度很大，最终框架破坏都发生在框架柱或梁柱节点上，如图 6 所示。



图 5



图 6

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 7、图 8 中框架柱头的震害特征显示复合应力作用的结果，剪切、压溃并伴有水平错滑，钢筋屈曲，混凝土酥碎崩落。从图 7 中还可以观察到，节点区域的柱内纵向钢筋配置尚可，但箍筋直径纤细而且间距很大，对纵筋和混凝土都没有起到约束作用。图 9、图 10 中的框架角柱受力更为复杂，除受到剪切作用外，它们的破坏还与双偏压及剪扭受力机制有关。同样也是箍筋的问题，图 9 中柱底箍筋已经崩断。



图 7



图 8



图 9



图 10

(3) 房屋整体倒塌

根据《建筑地震破坏等级划分标准》，底层框架砖房的地震破坏分为 5 个等级，即基本完好、轻微损坏、中等破坏、严重破坏和倒塌，而倒塌的定义是：底层倒塌或房屋残留部分不足 50%。

图 11 中的建筑底部框架完全损毁倒塌，上部砖房落地。但由于上部是小开间的住宅建筑，整体性较好因而保持完整，这样的建筑至少给上部人员的逃生留下了必要的机会和空间。图 12 中建筑同样是上部砖房落地，但由于上部是旅馆，开间和进深较大，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

整体性差，外纵墙全部闪落后又将内横墙拉断，引起外跨的全面倒塌。图中可见，部分横墙是在与内纵墙相交处被拉断的，说明砌筑质量和构造措施均有一定问题。图 13 中的建筑整体侧倾倒塌。现场观察发现，底部框架的砌体墙都布置在了房屋后侧，底部端跨临街侧甚至没有布置山墙，框架破坏后由于后侧有一定支撑，所以房屋向前侧倾覆。当然也不能排除地基失效引起倒塌的可能性。

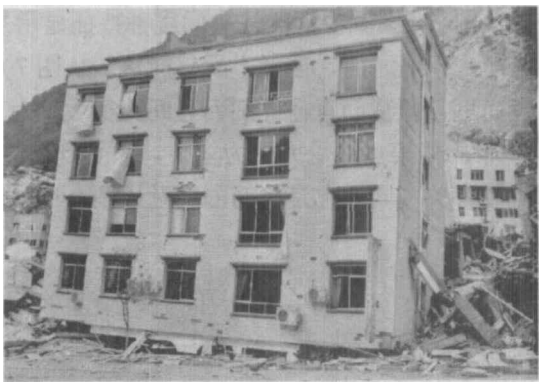

图 11



图 12



图 13

4 关于底部框架砖房建造的几点建议

4.1 基础部分

（1）底层抗震墙采用钢筋混凝土条形基础，条形基础两端必要时可通过基础梁进行悬挑以降低地基应力。基础内设置通长暗梁，暗梁宽度大于等于 250mm，高度大于等于 300mm，纵筋大于等于 6ϕ12，箍筋大于等于 ϕ6@200。采用刚度较大、整体性好的基础形式可以有效增加抵抗倾覆力矩的能力，降低地基失效产生的震害。

（2）底层砌体抗震墙在地面附近设置与框架柱相连的通长圈梁，圈梁高度大于等于 240mm，纵筋大于等于 4ϕ12，箍筋大于等于 ϕ6@200。

4.2 底部框架及抗震墙部分

（1）必须布置一定数量的抗震墙，中、高烈度区及较高建筑采用钢筋混凝土抗震墙。抗震墙布置数量应满足上下层抗侧刚度比限值要求，均匀、对称布置，同时兼顾防止倾覆性倒塌的要求。

（2）当采用砖砌体抗震墙时，砌筑砂浆的强度等级大于等于 M10，必须先砌墙后浇筑框架。墙体内设置与框架柱相连的水平系梁和墙体水平钢筋。洞口两侧及沿墙长每隔 2.5m 设置构造柱，构造柱与框架梁及基础可靠相连。

（3）避免采用单跨框架。单跨框架容易倾覆，而倾覆后产生的惯性力和碰撞荷载是上部砖房无法承受的。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(4) 加强框架柱节点区域的箍筋配置，箍筋直径大于等于 ϕ10，箍筋间距大于等于100mm，箍筋肢距大于等于 200mm，当与砌体抗震墙相连时，框架柱的箍筋加密区范围取全柱高。地震倾覆力矩会对框架柱产生附加拉、压应力，使框架柱的轴压比增加，延性降低，加强节点区域的箍筋配置可以有效延缓塑性铰的出现并控制出现的位置。

(5) 底部框架柱梁的混凝土强度等级大于等于 C30，且采用现浇混凝土结构。

底部框架砖房的底层框架和抗震墙体系受力比较复杂，而实际震害无一不显示底层的严重破坏将威胁到整个房屋建筑的安全，因此适当加强底部构造是必要和必须的。

(6) 避免使用山墙或外纵墙落地与框架混合承重的结构体系。底层地震剪力是按照各抗侧力构件的侧移刚度进行分配的，在结构弹性变形阶段，底部的砌体抗震墙具有很大的初始侧移刚度，通常情况下框架的侧移刚度在楼层侧移刚度中所占比例较小，这就决定了砌体抗震墙会分担较大的地震剪力，另外山墙和外纵墙所在的边角部位又是地震扭转效应很强的部位，由于砌体抗震墙的抗剪承载力和延性都较差，复合应力作用下，砌体墙率先开裂，刚度迅速衰减，较大地震时最终丧失对竖向荷载的全部承载力而倒塌。由于牵连和整体作用，有时局部破坏会引起整个建筑的连续倒塌。

(7) 通过调整框架和墙体的数量及截面，控制上下层侧移刚度比满足规范要求。

4.3 上部砖房部分

(1) 过渡层楼板（底部框架顶板）必须采用现浇钢筋混凝土楼板，厚度大于等于120mm。上部砌体结构产生的水平地震剪力和倾覆力矩是通过过渡层楼板传递给底部框架和抗震墙体系的，只有加强楼板的刚度才能保证传递的有效性，保证底部各抗侧力构件变形协调，协同工作。

(2) 加强过渡层的构造措施，包括砌筑砂浆的强度、构造柱的设置、构造柱纵筋最小直径等均应满足规范要求。过渡层的受力比较复杂，同时又是衔接上下的关键部位，而实际建设中往往不加重视，仅按上部一般楼层处理。

(3) 加强外纵墙和山墙的构造措施，防止局部外闪引起更大范围的破坏。

(4) 满足规范对圈梁和构造柱的设置要求。

(5) 加强支撑木制屋盖的承重墙体的防倒塌措施。如控制墙体轴压比、高厚比及砌筑方式等。

(6) 加强悬挑构件的锚固。

4.4 屋顶部分

(1) 尽量使用钢筋混凝土现浇屋面板。现浇屋面板的顶部约束作用可以加强房屋结构的整体性，提高墙体的整体抗弯能力。

(2) 加强木构架的节点构造。可以使用扒钉、铁件、钢夹板、螺栓等连接措施。

(3) 加强木构架与承重墙体的连接构造。可以使用垫块、墙揽等与墙内圈梁、牵梁相连。

(4) 通过设置木撑杆、钢拉条等措施加强屋盖体系的整体性和稳定性。

(5) 避免硬山搁檩，端跨也应设置屋架。山墙倒塌后往往将檩条抽出，造成局部屋面坠落。

5 结语

房屋抗震设计至关重要。“小震不坏，中震可修，大震不倒”的三水准设计思想[2]的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

实质，是最终保证人的生命安全，在明确这一目标的前提下，采用各种技术措施，保证房屋抗震性能的实现。

村镇居民自建房屋缺少管理和专门设计，房屋抗震能力低下，震害严重。这就需要政府及地方职能部门加强宣传教育，普及房屋抗震建设常识，建立和完善灾害应急响应机制。同时也为抗震规范和相关标准图建设提出了新的课题。

分析、总结房屋震害现象、机理的真正意义在于为震后加固、改造、重建提供依据，把握方向，为新建工程抗震设计提供可以借鉴的经验，避免留下隐患、重蹈覆辙。

参 考 文 献

[1] 龚思礼等. 建筑抗震设计手册（第二版）. 北京：中国建筑工业出版社，2002.

[2] 建筑抗震设计规范 GB 50011—2001. 北京：中国建筑工业出版社，2001.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net