

关于提高中小学砌体建筑抗震能力的讨论^{*}

任晓崧, 李梦圆

(同济大学 结构工程与防灾研究所, 上海 200092)

摘要: 利用汶川 8.0 级地震特大发生后作者在极重灾区——四川省广元市青川县参加首批房屋应急评估工作期间收集的房屋震害资料, 分析了砌体结构的震害特点和震害原因, 对提高中小学砌体建筑抗震能力进行研究, 从概念设计与计算分析两个方面对现行抗震设计规范的若干条文进行了讨论, 提出了验算砌体结构抗倒塌能力的建议。

关键词: 汶川 8.0 级地震; 砌体结构; 震害; 中小学建筑; 抗倒塌能力

中图分类号: TU435 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2009)04-0402-07

0 引言

2008年5月12日14时28分, 四川省汶川县发生 8.0 级特大地震, 震源位于龙门山断裂带。此次地震震源浅、破坏大、震害严重。四川省广元市青川县位于陕、甘、川三省交界处, 距汶川地震的震中较远(约 200 多千米), 但青川县与汶川县同处于龙门山脉断裂带的中心位置, 是多次强余震的震中位置, 属于极重灾区, 截至 8 月 12 日, 在震后的 3 个月内共发生 5 级以上余震 41 次, 震中在青川县的就有 10 次, 其中最大的一次为 5 月 25 日 16 时 21 分发生的 6.4 级强余震。根据实际震害情况推定, 青川县实际最大烈度约 IX 度, 超过了 VII 度设防的要求。

应住房和城乡建设部的要求, 同济大学组成了以吕西林教授为组长的第一批房屋应急评估六人专家组, 于 5 月 16 日到 23 日在四川省广元市、青川县、苍溪县等地为抗震救灾提供技术支援, 对学校、医院、疾病控制中心、广播电视中心、银行、公安局、派出所等尚未倒塌的重要建筑进行评估, 排除可能在余震中倒塌的危险隐患(吕西林等, 2008; 任晓崧等, 2008)。本文主要介绍在极重灾区青川县进行房屋应急评估中所收集到的与中小学建筑相关的砌体建筑震害情况, 并结合现行规范对如何提高中小学砌体建筑抗震能力进行讨论。

1 青川灾区砌体结构房屋的震害

在青川县城, 中小学校房屋没有一栋整体倒塌, 如乔庄小学的 4 层教学楼(逸夫楼)、青川中学的 4 层教学楼, 震后没有发现明显的结构性裂缝, 结构基本完好。这些建筑都是按当时的规范设计和建造的。由于造价等经济因素影响, 砌体房屋在四川地区被广泛采用, 本次所收集到的房屋震害情况主要集中在砌体结构, 这些震害情况在过去的震害调查中都有所发现, 在相关参考文献中均有所描述(高振世, 1995; 叶燎原等, 1996; 钱培风, 1996; 张熙光等, 2001; Fan *et al*, 2002; Fei, 2003; 非明伦等, 2007), 只是这次地震造成震害更严重、更集中(任晓崧等, 2008)。与中小学建筑相关的主要震害汇总分析如下:

(1) 墙体出现贯穿的斜裂缝或 X 形裂缝, 属于主拉应力超过砌体强度所引起的剪切破坏现象, 这是最常见的震害现象, 几乎在所有受损房屋上都能发现。贯穿的斜裂缝多出现在宽度较大的墙片上, 在 1~3 层的承重横墙上比较多见。墙体的开裂范围大致在墙片宽度的 1/3 以上, 一般未发现墙体局部倒塌的现象; 而贯穿的 X 形裂缝则在纵墙上普遍存在, 并主要集中在宽度较小的小墙片上(如门洞之间的窗间墙和窗下墙等), 基本上每个楼层都有这种裂缝, 相当一部分墙体出现了砂浆被震松、墙体被压酥的情况, 已经基本丧失了承载力, 属于危险构件或房屋。乔庄小学外廊式教学楼的局部承重纵墙(窗间墙)存在贯穿的 X 形裂缝(图 1)。

^{*} 收稿日期: 2008-08-14.

基金项目: 上海市自然科学基金——“多层砌体结构住宅综合改造的结构对策研究”(09ZR1433400)



图 1 墙体的贯穿 X 形裂缝
Fig. 1 X-shape cracks on the wall

(2) 小墙肢或砖柱出现水平裂缝，严重时出现墙体错位、墙体压酥，基本丧失承载力（图 2）。尽管本次房屋排查中未发现因此产生的局部倒塌，但据到过汶川、北川等其他极重灾区的同志介绍，由这种裂缝导致结构局部倒塌的情况并不少见，竖向地震动较大是产生这种震害的原因之一。竖向地震动导致砌体部分失重，在水平地震作用下容易产生受剪通缝或者因弯曲变形造成水平裂缝；另外一种可能的情况是竖向地震动的法向应力直接产生的水平裂缝。这种因水平剪力和竖向压力共同作用所产生的裂缝是比较危险的，容易产生局部倒塌或由此引起整体倒塌。



图 2 外纵墙的水平裂缝
Fig. 2 Horizontal cracks on the outside longitudinal wall

(3) 在房屋四角、凹凸部位等局部应力集中部位容易产生墙肢破坏、纵横墙脱开或局部倒塌等不同程度的震害，其中很多震害严重的建筑属于《建筑抗震设计规范》（GB50011 - 2001）所定义的平面/竖向不规则的类型。青川县教师进修学校教学楼为 L 形平面且两侧不等高的建筑，房屋震害严重，主要集中在相对较高的第四层部分（图 3）；青川县财

政局办公室为 T 形平面建筑，房屋的凸出部分为楼梯间，因墙体的贯穿 X 形裂缝、纵横墙脱开等导致楼梯间部分局部倒塌（图 4）；青川县东桥宾馆为竖向不规则建筑，和其他部分相比，该建筑的第六层部分震害严重，局部倒塌（图 5）。

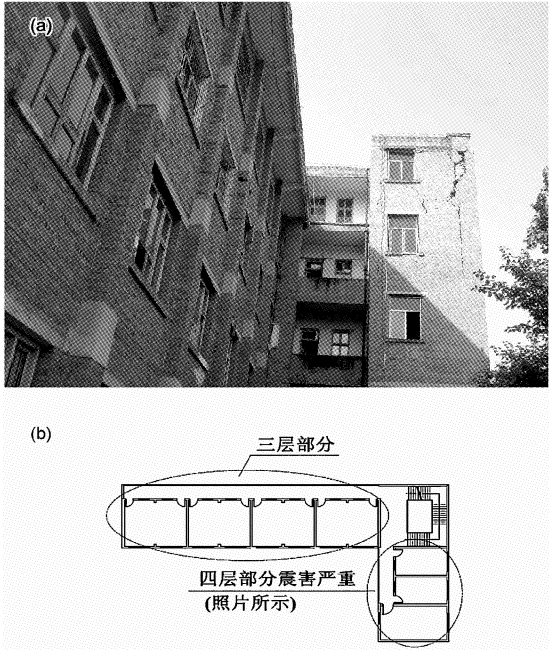


图 3 L 形平面且两侧不等高建筑的严重震害
Fig. 3 Severe damage of a building with L-shape plane and unequal height on two sides

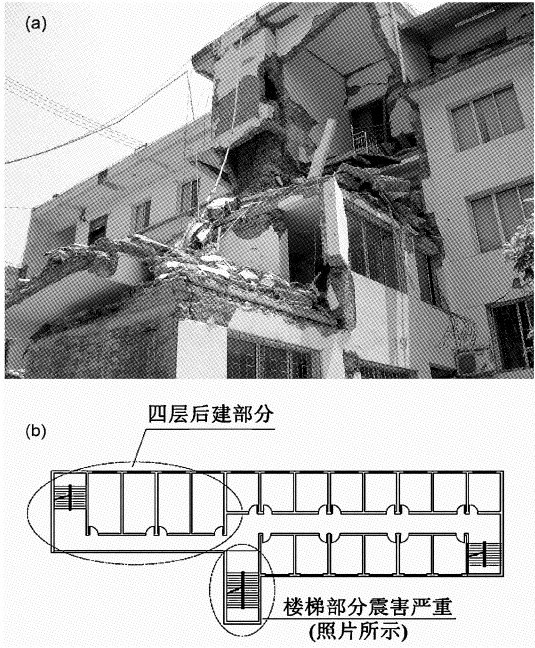


图 4 T 形平面建筑凸出部分（楼梯间）局部倒塌
Fig. 4 Partial collapse of the stair part in a building with T-shape plane

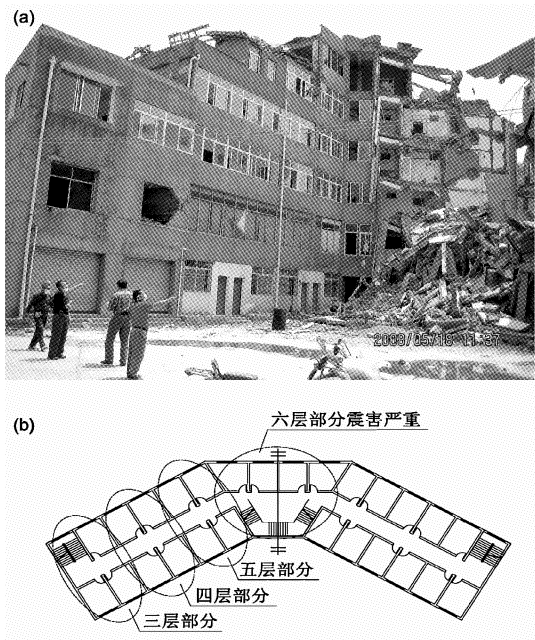


图5 阶梯形立面建筑的凸出部分局部倒塌
Fig. 5 Partial collapse of the convex part
in the building with staged elevation

(4) 突出屋面的小楼（楼梯间、电梯间、水箱间、屋顶凉亭、塔楼）、女儿墙等属于典型的竖向不规则情况，在地震作用下因鞭梢效应而导致这部分的水平变形过大，引起房屋较重的局部震害，震害多表现为水平裂缝、斜裂缝等多种形态，甚至出现局部倒塌，这种局部震害在学校建筑中很常见（图6）。同时，一些非结构构件因缺少和主体结构的可靠连接而产生局部震害，如外廊式建筑的外廊栏杆坠落、雨篷折断等，这些现象在学校建筑的震害中也很常见（图7）。

2 提高设防等级，加强构造措施

汶川地震对房屋造成了严重的震害，许多中小学建筑倒塌。中小学建筑是非常重要的公共建筑，其抗震安全性已经成为整个社会关注的焦点。提高中小学建筑的抗震等级，将中小学建筑作为灾害的应急避难场所来建设，这一点已经得到了社会各界的共识。

中小学教室一般属于横墙、纵墙或者局部纵墙承重的结构体系，其局部承重的纵墙部分（如窗间墙等）多为小墙肢部分，是结构抗震的薄弱环节。下面我们从抗震概念设计的角度出发对如何提高这类结构的抗震能力进行讨论。

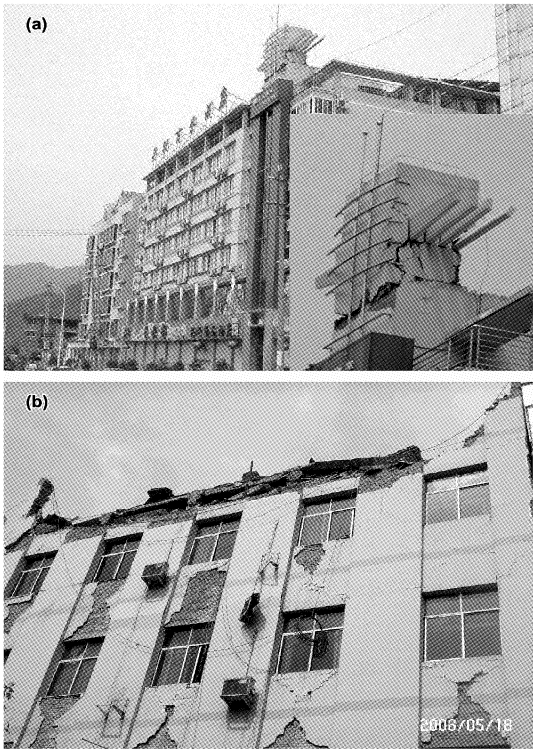


图6 屋面突出物（a）及女儿墙（b）的震害
Fig. 6 Damage of the protruding members
（a） and the parapet on the roof （b）



图7 栏杆破坏掉落（a）及雨篷折断（b）
Fig. 7 Failure and falling of the corridor fence （a），
fracture of the cantilever canopy （b）

2.1 建筑布置方面的要求

现场调查表明,由于平面/竖向不规则引起了严重震害问题,尤其是L形平面布置、外走廊的建筑形式在灾区很常见,其震害问题比较集中。现行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第3.4.2条对建筑的平面/竖向规则性做了比较详细规定,应在项目实施过程中需要严格执行,具体在结构布置的对称性、整体性和规则性方面落实:

(1) 结合建筑用途,中小学的砖混结构建筑高度需要限制,一般不应超过四层。严格执行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第3.4.4条关于横墙间距、第7.1.2条关于层数、高度以及第7.1.4条关于高宽比的规定,在方案选型时就尽量克服先天的结构缺陷,保证结构抗震体系的完备性。

(2) 不采用不规则的平面布置,必要时设防震缝分开,避免把楼梯间布置在房屋的两端。同时,尽量避免竖向不规则的建筑以减少鞭梢效应的不利影响。

(3) 一般不宜采用外廊的结构形式。如确需采用,则应在外廊下增加承重构件,保证横向承重体系为超静定体系,使其符合抗震设计中多重设防体系的原则。

(4) 充分重视防震缝的设置,严格执行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第3.4.5条设置防震缝的具体要求,防止异物掉入或者出现人为堵塞的问题。

2.2 加强钢筋混凝土圈梁、构造柱和现浇楼板的构造要求

钢筋混凝土圈梁、构造柱和现浇楼板是防止砖混房屋倒塌的重要措施,《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第3.5.4条给出了圈梁、构造柱设置的具体规定。从震害经验出发,建议提高钢筋混凝土圈梁、构造柱设置的具体要求:(1) 适当加大圈梁、构造柱的最小截面,使其不小于240 mm×240 mm;(2) 严格限制半砖、空斗墙的使用,严禁作为承重结构使用。

2.3 提高小墙肢部分的安全等级构造要求

因使用功能的要求,中小学建筑存在大开间的房间,这部分承重的纵墙小墙肢部分多集中在无横墙相连的窗间墙等部位,是结构抗震的薄弱环节。应提高《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第7.1.6条关于房屋局部尺寸限值的标准,中小学的建筑至少需要按照提高一度的设防要求

考虑局部尺寸的限制,部分不满足要求的小墙肢可改为钢筋混凝土构件。

2.4 非结构构件

震害经验表明,尽管非结构构件的震害多为局部震害,但由此引起的结构局部破坏或局部倒塌问题还是很多的,容易引起人员的伤亡。为此,应该高度重视非结构构件的设计,需要加强与主体结构的连接。

3 通过计算分析提高抗倒塌能力

现行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第3.5.2条规定,结构要有必要的抗震承载力、良好的变形能力和消耗地震能量的能力。这就涉及到结构的延性问题,钢结构延性系数达5~10、钢筋混凝土结构延性系数达3~5;设置构造柱、圈梁和采用现浇楼板可以有效地提高砌体结构的延性系数,砌体结构的延性系数仍只有1~3。对于大多数砖混结构的中小学教学楼而言,延性显然太低,容易引起房屋的局部倒塌甚至整体倒塌,本次汶川地震的房屋震害教训应引起足够的重视。

关于砌体结构的抗震计算分析,《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)只考虑了小震情况下的强度验算,并不涉及变形验算问题,更不涉及弹塑性变形的验算,以此来控制整个结构的抗震设计,能否实现砌体结构大震不倒的目的值得探讨。

3.1 关于现行抗震设计规范强度验算方法的讨论

(1) 现行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)需要验算小震作用下弹性阶段的竖向承载力、水平承载力,结构的水平承载力是和竖向压应力相关的。实际震害表明,竖向承载力、水平承载力之间是存在相互关系的,除了竖向压应力影响水平承载力外,《砌体结构设计规范》(GB50011-2001)竖向承载力也是和水平剪应力有关的,即存在剪力—竖向压力曲线关系(类似钢筋混凝土柱的压力—弯矩曲线),一旦因抗剪强度不足导致结构出现水平裂缝,结构的竖向承载力也是会降低的,因墙体水平裂缝产生的房屋震害充分反映了这个问题,应引起重视,有必要改进现有的强度验算方法。

(2) 按照目前《建筑抗震设计规范》

(GB50011-2001) 中有关反应谱理论, 大震作用和小震作用相差 4.5~6.3 倍, 而砌体结构强度的破坏值与设计值大致相差 3~4 倍; 砌体结构属于脆性破坏的材料, 延性系数相对较小, 意味着结构的耗能性能差。如果按小震设计时的结构抗力/荷载比接近 1 (即安全余量较小), 在大震作用下砌体结构也会出现严重破坏情况, 可能会出现局部墙体破坏引起倒塌的问题, 这是和最初的设计意图是不一致的, 需要适当提高结构的强度储备。

(3) 结构在地震作用下的破坏程度与结构的变形(耗能)能力密切相关, 砌体结构的变形(耗能)能力不足, 在大震作用下会引起倒塌, 实际震害已经说明了这个问题。通过结构的弹性变形分析, 可以清楚地了解到结构是否存在扭转不规则、变形不连续等缺陷, 从而可以针对结构的抗震薄弱环节改进设计; 而通过结构的弹塑性变形分析可以更直观地验证结构是否具有在大震作用下抗倒塌的能力。由此可见, 增加对砌体结构的变形验算是非常必要的。

3.2 对于计算分析的建议

目前, 对剪力—竖向压力曲线关系、剪力—变形骨架曲线等方面缺少比较全面的研究成果, 建议对砌体结构增加以下计算分析工作以提高结构的抗倒塌能力:

(1) 在满足现行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) 要求的墙肢强度验算参数(抗力/效应比)应不小于 1 要求的基础上, 适当提高结构的安全储备, 各楼层的总抗力/总效应比(即墙肢强度验算参数的平均值)不小于相对大震作用和材料相对破坏强度的比值, 这里相对大震作用、材料相对破坏强度分别指大震和小震作用的比值、材料的破坏强度和设计强度的比值。这里以Ⅶ度设防的砌体结构为例, 考虑大震下的结构阻尼比变化, Ⅶ度的相对大震作用取 5.7, 砌体的相对破坏强度取 3.5, 则总抗力/总效应比应不小于 1.6。

(2) 应保证砌体结构在两个方向抗震强度基本一致, 避免由于一个方向的墙体产生破坏后出现纵横墙脱离从而导致局部倒塌的现象。在进行砌体结构强度验算时, 纵、横墙肢抗震强度验算参数(抗力/效应)计算值的比值不应小于 0.8。

(3) 应对砌体结构进行变形验算。利用现行的杆件模型软件可以很方便地分析在小震作用下的砌体结构弹性变形情况, 如具备条件, 可以进行大震阶段的砌体结构弹塑性变形分析。已有的研究结果

表明(朱伯龙等, 1980; 刘锡芸, 张鸿熙, 1981; 夏敬谦, 黄泉生, 1989; 周炳章, 夏敬谦, 1991; 周炳章等, 2000; 王新平等, 2005; 杨佑发等, 2002), 砌体结构的层间剪力 V —层间位移 Δ 的骨架曲线大致如图 8 所示, 包括初始开裂、屈服和破坏等 3 个重要阶段, 分别以下标 cr 、 y 、 u 分别表示, 其中层间位移破坏值/初始开裂值之比约 5~6 倍, 和相对大震作用(大震和小震作用之比)基本相当。在砌体结构骨架曲线不能准确描述的情况下, 可以通过控制结构的弹性层间位移不超过初始开裂位移来实现“大震不倒”的设防要求。

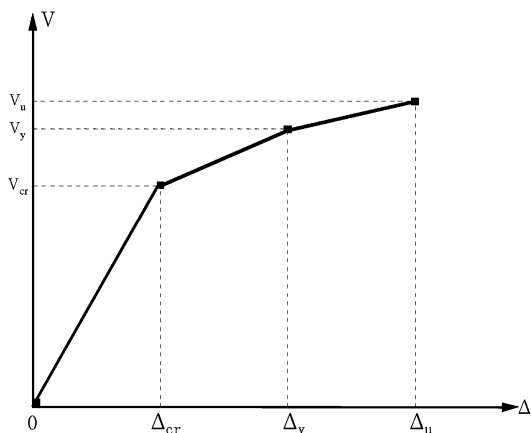


图 8 砌体结构的骨架曲线

Fig. 8 Skelton curve for masonry buildings

3.3 实例分析

某 4 层教学楼为 L 型平面的建筑(图 9)。纵向轴线长度 37.8 m (包括 8 个 3.9 m 开间和 2 个 3.3 m 开间), L 型短肢部分的进深 14.1 m, 主体部分的横向轴线长度 9.3 m (包括 7.2 m 进深和 2.1 m 外廊宽度)。每个楼层共布置了 4 个大开间(开间 7.8 m) 的房间。房屋的各层层高均为 3.4 m。根据现行《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001), L 型平面布置属于平面不规则, 为此设防震缝 L 型的短肢体(图中的阴影部分)与主体结构分开。

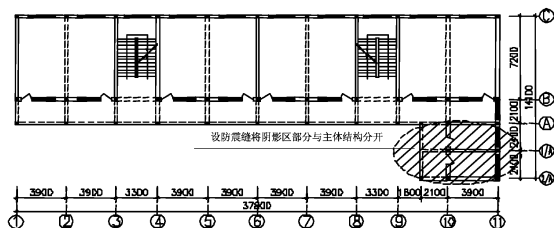


图 9 某学校建筑的平面示意图

Fig. 9 Layout of a school building

该建筑为横墙、局部纵墙承重的结构型式，大开间部分的纵墙小墙肢承重。砌体结构采用 MU10 砖和 M5 混合砂浆，砖墙厚 240 mm，混凝土强度 C25，采用现浇楼板、圈梁和构造柱。按照上海地区考虑 VII 度抗震设防要求。

下面以讨论主体结构两个不同结构方案，来说明强度验算、弹性变形验算和弹塑性变形验算的相互关系。本文尝试采用静力凝聚的层模型进行砌体结构的弹塑性动力时程分析，采用如图 8 的骨架曲线，取 $\Delta_{cr}=1/1200$ ， $\Delta_y=1/500$ ， $\Delta_u=1/250$ ； $V_{cr}=0.8V_y$ ， $V_y=1.1V_u$ ， V_y 由层刚度和 Δ_y 求得。弹塑性动力分析采用上海市《建筑抗震设计规程》（DGJ 08-9-2003）中的人工模拟地震加速度时程曲线，加速度峰值取 200 cm/s^2 。

方案一以满足现行的抗震设计规范的强度验算要求为主要出发点，在 B、C 轴线上的每个墙节点上均布置 $240\text{ mm}\times240\text{ mm}$ 的混凝土柱，同时在 A 轴线的每个轴线点上也布置同样截面的混凝土柱，使外廊部门不再是单跨结构，平面布置图如图 10。而方案二则以保证大震不倒为出发点，探讨通过控制小震作用下的结构强度和变形来实现结构大震不倒的目的，B、C 轴线局部承重的纵墙小墙肢改为混凝土构件，截面分别为 $240\text{ mm}\times1500\text{ mm}$ 、 $240\text{ mm}\times500\text{ mm}$ 或 $240\text{ mm}\times700\text{ mm}$ 的混凝土构件，在图 11 中用阴影块和数字①、②、③表示，而其余布置 $240\text{ mm}\times240\text{ mm}$ 混凝土柱的位置与方案一相同。

表 1 为最不利楼层（底层）的强度验算结果，表中强度验算参数指抗力/效应比，可见两个方案

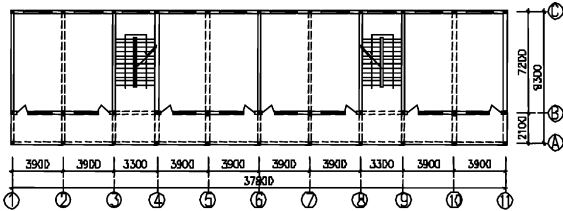


图 10 方案一的平面示意图
Fig. 10 Layout of scheme 1

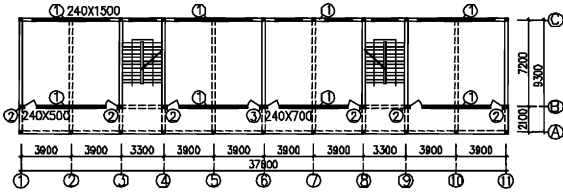


图 11 方案二的平面示意图
Fig. 11 Layout of scheme 2

的纵、横墙肢抗震强度验算参数（抗力/效应）计算值的比值均不小于 0.8；两个方案在小震作用下的横向层间位移分别为 1/5513、1/5968，远小于初始开裂的变形值 1/1200，仅进行纵向大震作用下的结构弹塑性变形验算，表 2 为二层（最不利楼层）的最大纵向层间变形验算结果。

表 1 VII 度地震（小震）作用下的强度验算结果

Tab. 1 Strength verification under minor earthquake action of intensity 7

强度验算参数	方案一	方案二
横墙抗震(平均值)	1.70 ~ 1.86 (1.82)	1.69 ~ 1.85 (1.80)
纵墙抗震(平均值)	1.28 ~ 1.70 (<u>1.49</u>)	1.34 ~ 1.85 (1.75)
竖向承压	1.71 ~ 6.56	1.86 ~ 9.62

表 2 VII 度地震作用下的纵向层间变形验算结果

Tab. 2 Longitudinal deformation verification under earthquake action of intensity 7

最大层间位移	方案一	方案二
小震作用	<u>1/900</u>	1/1223
大震作用	<u>1/113</u>	1/323

可见，尽管方案一构造柱设置得较多，设计标准已经高于现行《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）的要求，纵向的抗震能力依然无法满足大震不倒的要求，表 1 中的纵墙抗震强度验算系数平均值 1.49、表 2 中的小震作用下的纵向层间位移 1/900 及大震作用下的纵向层间位移 1/113（用下划线表示的数字），均和本文所建议的计算分析控制参数 1.6、1/1200、1/250 存在一些差距。方案二将方案一中的部分承重的纵向小墙肢改为混凝土构件后，提高了结构的抗倒塌能力，小震位移 1/1223 小于初裂位移，小震作用下的结构抗力/效应比 1.75 大于 1.6，大震位移 1/323 小于破坏位移，即可实现大震不塌的目的。

4 结论与建议

限于现有的经济发展水平，砌体结构还将会是四川灾区的主要结构类型，如何提高中小学砌体建筑的抗震性能值得关注。通过上面的分析与讨论，建议如下：

（1）将中小学建筑按照乙类建筑考虑，提高其构造措施要求。从平面布置、立面布置、楼梯间布置等处加强规则性及结构的整体性，控制横墙的间距，每开间均布置构造柱，采用现浇楼板

和封闭的圈梁, 从严限定小墙肢的局部尺寸, 部分小墙肢可改为钢筋混凝土构件, 并加强非结构构件和主体结构的拉结。

(2) 砌体结构的水平承载力和竖向承载力是相互影响的。现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001) 仅进行小震作用下的强度验算, 无法完全反映结构的抗震能力, 在目前条件下建议适当提高小震作用下的强度储备, 并应保证两个方向抗震强度基本一致。

(3) 从保证“大震不倒”的角度出发, 建议进行砌体结构的弹性和弹塑性变形验算。在缺少足够研究成果的情况下, 可仅验算小震作用下的层间位移, 如能保证在小震作用下结构未出现初裂状态, 则大震作用下的层间位移可满足不倒的要求。

(4) 需要引起重视的是, 在本次青川县的震后房屋应急评估中发现了不少因施工质量差所引起的房屋震害, 应加强对中小学建筑施工的全过程监督, 保证施工质量。

参考文献:

- 非明伦, 周光全, 余庆坤, 等. 2007. 保山隆阳 5.0 级地震永昌城区房屋震害统计与分析 [J]. 地震研究, 30 (1): 78-82.
- 高振世. 1995. 建筑结构抗震设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 刘锡荟, 张鸿熙. 1981. 用钢筋混凝土构造柱加强砖房抗震性能的研究 [J]. 建筑结构学报, 2 (6): 47-55.
- 吕西林, 任晓崧, 李翔, 等. 2008. 四川地震灾区房屋应急评估与震害初探 [J]. 建筑学报, (7): 1-4.

- 钱培风. 1996. 日本阪神地震灾情严重的主要原因 [J]. 地震研究, 19 (3): 328-330.
- 任晓崧, 吕西林, 李建中, 等. 2008. 5.12 四川汶川地震后青川房屋应急评估中砖砌体房屋的震害情况初探 [J]. 结构工程师, 24 (3): 3-8.
- 王新平, 钟岱辉, 胡伟. 2005. 组合砌体房屋抗震性能试验研究及分析 [J]. 地震工程与工程振动, 25 (1): 88-91.
- 夏敬谦, 黄泉生. 1989. 构造柱与配筋砌体房屋抗震能力的试验研究 [J]. 地震工程与工程振动, 9 (2): 83-96.
- 杨佑发, 袁政强, 邹银生. 2002. 四种组合墙砌体房屋抗震性能的综合比较 [J]. 世界地震工程, 18 (4): 149-154.
- 叶燎原, 缪升, 白良, 等. 1996. 武定地震中、小学教学楼震害及分析 [J]. 地震研究, 19 (3): 324-327.
- 张熙光, 王军孙, 刘惠珊. 2001. 建筑抗震鉴定加固手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 周炳章, 夏敬谦. 1991. 水平配筋砖砌体抗震性能的试验研究 [J]. 建筑结构学报, 12 (4): 31-43.
- 周炳章, 郑伟, 关启勋, 等. 2000. 小型混凝土空心砌块六层模型房屋抗震性能试验研究 [J]. 建筑结构学报, 21 (4): 2-12.
- 朱伯龙, 吴明舜, 蒋志贤. 1980. 在周期荷载作用下砖砌体基本性能的试验研究 [J]. 同济大学学报, (2): 1-14.
- DGJ 08-9-2003, 建筑抗震设计规程 [S].
- GB 50003-2001, 砌体结构设计规范 [S].
- GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范 [S].
- Fan Yuexin, Fei Minglun, Cui Jianwen, et al. 2002. Primary Studies on Seismic Disasters of Buildings and Aseismic Design—Taking the Building Damages in Seismic Areas of Yao'an M6.5 As An Example [J]. Journal of seismological research, 25 (4): 391-397.
- Fei Minglun. 2003. Measures of Aseismic Structure for Buildings and Earthquake Damages [J]. Journal of seismological research, 26 (1): 96-102.

Discussion on Enhancing Seismic Capacity of Masonry Structures of Primary and Middle School Building

REN Xiao-song, LI Meng-yuan

(Research Institute of Structural Engineering and Disaster Reduction, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract

The earthquake damage of masonry buildings is collected in the earliest work of site urgent structural assessment in the extreme heavy disaster area Qingchuan county of Guangyuan city, Sichuan province just after the Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake. The features and causes of earthquake damage of masonry buildings are summarized and analyzed. Research work on enhancing the seismic capacity of masonry buildings of primary and middle school is presented. Discussion on the regulations of current seismic design code is made from the view of conceptual design and analytical calculation. Some suggestions are proposed to verify the anti-collapse capacity under strong earthquake.

Key words: the 5.12 Wenchuan earthquake, masonry buildings, earthquake damage, primary and middle school buildings, anti-collapse capacity