

文章编号:1000-1301(2010)06-0001-12

论多层砖砌体住宅楼的抗倒设计 ——汶川地震映秀镇漩口中学宿舍楼震害探究

杨玉成, 孙柏涛

(中国地震局 工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:汶川地震映秀镇漩口中学5幢教师宿舍裂而不倒,1幢学生宿舍底层倒塌,因抗震构造措施截然不同。该实例表明,采用构造柱圈梁抗震体系的多层砖砌体住宅楼,可达到大震不倒的设防目标。本文将楼层综合抗震能力指数发展为抗倒能力指数,用以判别多层砌体房屋的抗倒能力,实施其抗倒设计。

关键词:汶川地震;映秀镇;多层砖砌体房屋;综合抗倒能力

中图分类号:P315.952.1

文献标志码:A

On seismic collapse-resistant design of multi-story brick masonry buildings: Finding the causes of seismic damage to multi-story hostels of Xuankou Middle School in Yingxiu Town during Wenchuan earthquake

YANG Yucheng, SUN Baitao

(Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

Abstract: During Wenchuan earthquake at Xuankou Middle School in Yingxiu Town, a student hostel was collapsed and five teacher hostels were cracked but not collapsed. The different seismic damage is due to two different seismic structural measures. This example shows that for these multi-story brick buildings the constructors adopted the seismic system with constructional columns and girth, for which, the comprehensive seismic capability can meet the “collapse-resistant” seismic fortification criterion during a large earthquake. This paper develops the comprehensive seismic capability index to form the collapse-resistant capability index. This index may be used to infer “which will be collapsed” and “which will not be collapsed”, and to make the seismic design for multi-story brick masonry buildings.

Key words: Wenchuan earthquake; Yingxiu town; Multi-story brick masonry buildings; comprehensive seismic capability

引言

根据1966年的邢台地震、1975年的海城地震、1976年的唐山大震和1996年的丽江地震的震害经验,我国编制并修订的建筑抗震设计规范有64稿、74版、78版、和89版,明确了抗震设防目标为“小震不坏、中震

收稿日期:2010-08-10; 修订日期:2010-09-06

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50938006);国家973计划课题(2007CB714205);国际科技合作项目(2010DFA71240)

作者简介:杨玉成(1937-),男,研究员,主要从事抗震及震害预测研究工作. E-mail: yangwenyue@hotmail.com

可修、大震不倒”,新世纪又修订为01版GB 50011—2001。映秀镇漩口中学的房屋建筑理应按此规范设计建成的,却倒塌这么多。

的确,映秀镇遭到的地震强度,远比房屋建筑所设防的7度要高得多,但倒塌并不是必然发生的。就在映秀中学的西北角,有5幢教师宿舍楼(住宅),依然全都屹立着,这些建筑在8级地震的极震区不倒,意义重大。这证实了我国自主创新的多层砌体房屋构造柱圈梁抗震体系的功能极为有效,超越了大震不倒一般以9度或高于设防烈度1.5~2度的界限,突破了传统观念,使大众的居室有望建成10~11度强烈地震不倒的真正的安居工程。唐山大地震的震害总结,取得了我国量大面广的多层砖房抗裂抗倒经验^[4,6],发见了多层砖房中钢筋混凝土构造柱的增强作用,在震后我国的抗震工作,大力协同,从理论分析和试验研究到工程实践,取得共识,创新这一抗震体系,编入加固规程和设计规范,列为强制性条文,必须严格执行,从而在我国得到普及与使用。

总结汶川大震震害经验,我们有责任从震灾中进一步总结能抵御强烈地震的结构体系和有效措施,以免震灾。这就很有必要对漩口中学的5幢教师宿舍(住宅楼),连同上部4层座落在震塌的底层上的学生宿舍,作进一步的震害分析,究其原因,作为大震不倒和震倒的典型实例。

1 现场震害考察

汶川地震周年次日,本文第一作者随郭迅研究员的调查组进入漩口中学现场,在外观察和摄影,还买到映秀镇全景的震害照片。在教师宿舍区还伸进胳膊手摸震碎的砌体,敲下两处砂浆。学生宿舍有的窗口似人为扰动过。图1为取自映秀镇全景中的漩口中学震害照片,可见,5幢教师宿舍分列两排,南排3幢,北排2幢。图2为在两排房屋间由西向东拍摄,前景右侧为南排西幢的北立面和西山墙角,左侧为北排西幢的南立面和西山墙角。



图1 漩口中学全景震害

Fig. 1 Panoramic photo of seismic damage to Xuankou Middle School



图2 南排和北排教师宿舍

Fig. 2 Teacher's dormitories on both sides along the east-west road



图3 南西幢中等破坏

Fig. 3 This building suffered moderate damage. The picture presents its south elevation and west of gable wall

南西幢为4层二单元,图3为其南立面和西山墙,属中等破坏,砖砌体的裂缝处尚无明显的滑移错位。其震害现象,纵向底层窗间墙普遍开裂,多为斜向或交叉裂缝,贴面石片掉落;第2层窗肚墙都有交叉裂缝,面石也大片掉落,窗间墙有可见裂缝,3层窗肚墙也有开裂,4层偶有裂缝。山墙底层有交叉和斜向裂缝,面

石掉落,第2层有明显的斜裂缝和楼盖下的通长水平缝。

南中幢为5层二单元,图4为其北立面和东山墙,属严重破坏。底层山墙有贯通的斜裂缝和底圈梁上的水平缝,滑移错位明显,局部破碎,面石大片掉落。纵向底层窗间墙有贯通的斜裂缝和交叉裂缝,局部断裂,面石掉落,外露构造柱;上部各层的窗肚墙有不同程度的裂缝,第2层较普遍,面石掉落,三、四层的交叉裂缝也较明显,抹灰层掉落,窗间墙偶有斜裂缝。



图4 南中幢严重破坏

Fig. 4 This building suffered severe damage. The picture presents its north elevation and east of gable wall.



图5 南东幢严重破坏

Fig. 5 This building suffered severe damage. The picture presents its north elevation and west of gable wall.

南东幢为5层二单元,图5为其北立面和西山墙,属严重破坏。外纵墙底层的震害在房屋中段最重,窗间墙的下口高度水平断裂,面石脱落,外露构造柱,窗下角砌体崩落,窗间墙上的斜裂缝反而不明显;房屋两端的窗间墙则以斜裂缝为主,第2层窗间墙有斜向和交叉裂缝,部分明显有滑移错位现象;上层窗肚墙均有裂缝,二、三层较重,贴面石整片掉落,抹灰层脱落,4层次之,5层部分窗肚墙开裂。山墙一、二层开裂严重,有水平和斜向裂缝,局部崩角。

北东幢为5层二单元,震害严重,图6为其南立面与东墙角,图7为其北立面与西墙角。外纵墙底层几近全破碎,窗间墙的斜裂缝连同构造柱侧边的竖缝与窗下墙的八字缝相连,延伸至底圈梁,砌体错位局部分离、震落,面石掉落,构造柱外露;第2层窗间墙有可见斜裂缝和上下水平缝,上层窗肚墙开裂,各层程度不同,二、三层较重,4层次之,5层窗肚也有抹灰局部震落的。山墙底层开裂严重,在底圈梁上错位,上下墙角崩落;第2层也有明显的水平缝和斜裂缝。



图6 北东幢严重破坏(南立面)

Fig. 6 This building suffered severe damage. The picture presents its south elevation and east corner of the wall.



图7 北东幢严重破坏(北立面)

Fig. 7 This building suffered severe damage. The picture presents its north elevation and west corner of the wall.

北西幢为5层三单元,图8和图9分别为其南立面与西山墙、北立面与东山墙,震害属中等~严重破坏,有滑移错位迹象但不明显,较东幢要轻。底层外纵墙的窗间墙有明显的斜向和沿构造柱的竖向裂缝,窗下墙有八字裂缝,至底圈梁;上层窗肚墙裂缝,第2层明显,抹灰脱落,3层次之,也可见明显的交叉裂缝和小片抹灰掉落,4层只个别明显。山墙底层有斜向延伸的水平缝,底圈梁上的水平缝有滑移错位迹象,第2层也有可见裂缝,但不明显。

学生宿舍为5层,中间走廊南北单间轴1~15。底层倒平,上部4层座落其上,破坏严重。图10~图13分别为残存4层的南、北纵墙和西山墙,可见外纵墙遍体裂缝,轴9的南北墙均塌落,窗间和窗肚的裂缝相连,呈整墙面的斜向大交叉裂缝,窗间墙多处破裂外臃甚至局部掉落,3层(残存的第2层)较二、四层更严

重。山墙也有斜向和水平裂缝,较外纵墙要轻得多;通过窗口所见的内墙也都开裂,但详情不明。残存的上部 4 层,在塌落时震害有所加剧,在救灾中也可能有人为破损,但其形态,尚属震损原状。



图 8 北西幢严重破坏(南立面)

Fig. 8 This building suffered severe damage. The picture presents its south elevation and west of gable wall.



图 9 北西幢严重破坏(北立面)

Fig. 9 This building suffered severe damage. The picture presents its north elevation and east of gable wall.



图 10 ~ 图 13 学生宿舍楼残存 4 层(南立面,山墙,北立面和局部)

Fig. 10 ~ Fig. 13 The remained four-storeyed students' dormitories (south elevation, gable wall, north elevation and partial)

这 5 幢教师宿舍住宅楼和学生宿舍楼的震害程度,一并列于表 1。

表 1 漩口中学多层砖宿舍楼的震害程度

Table 1 Seismic damage state of multi-storied brick dormitory at Xuankou Middle School

房屋名称	教师宿舍(单元式住宅)					学生宿舍
	南西幢	南中幢	南东幢	北东幢	北西幢	
层数	4	5	5	5	5	5
震害程度	中等破坏	严重破坏	严重破坏	严重破坏	中等~严重破坏	底层倒平上层严重

2 设计资料解读

漩口中学总平面图、教师宿舍(二)和学生宿舍楼的设计资料,是博士生闫培雷提供的,他们是在地震现 万方数据

场收集到的,曾发表震害概述和原因简析^[9]。

总图和教师宿舍(二)为竣工图,设计、审查、施工、监理公章齐全,学生宿舍为施工图,有设计院的技术文件发行专用章和咨询公司的施工图设计文件审查专用章。这3份图都有单位负责人中华人民共和国一级注册建筑师和一级注册结构师的名章。可见设计施工资料是正规的,但不知学生宿舍施工时有何修改。这3份图中的工程名称均为汶川县映秀中学,即现漩口中学。

图 14 由总平面图截取,解读此图可见,南西幢和南中幢图上均标明为教师宿舍(二)5F,南西幢实际只建 4 层,且无出屋顶楼梯间小楼;南中幢的平面布置实际与图反向,楼梯间在南,阳台在北。南排东幢与中、西两幢实际不在平面的同一直线,要南移近半幢,且平面布置实际与总图南北反向。北东幢在总图上与南东幢同为教师宿舍(一),观其外立面也相同。北西幢在总图上为二单元,实际为三单元,且无出屋顶小楼,图中标明为原有教师宿舍,外墙呈褐黄色,新建的 4 幢均为白色。

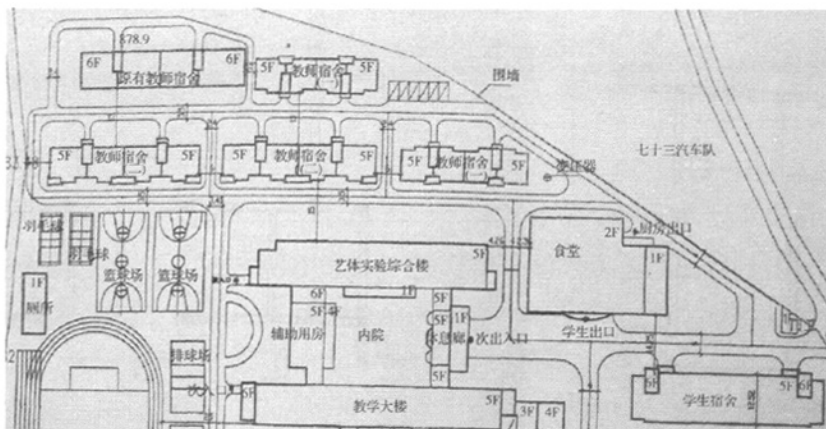


图 14 濠口中学设计总平面图

Fig. 14 General layout of Xuankou Middle School

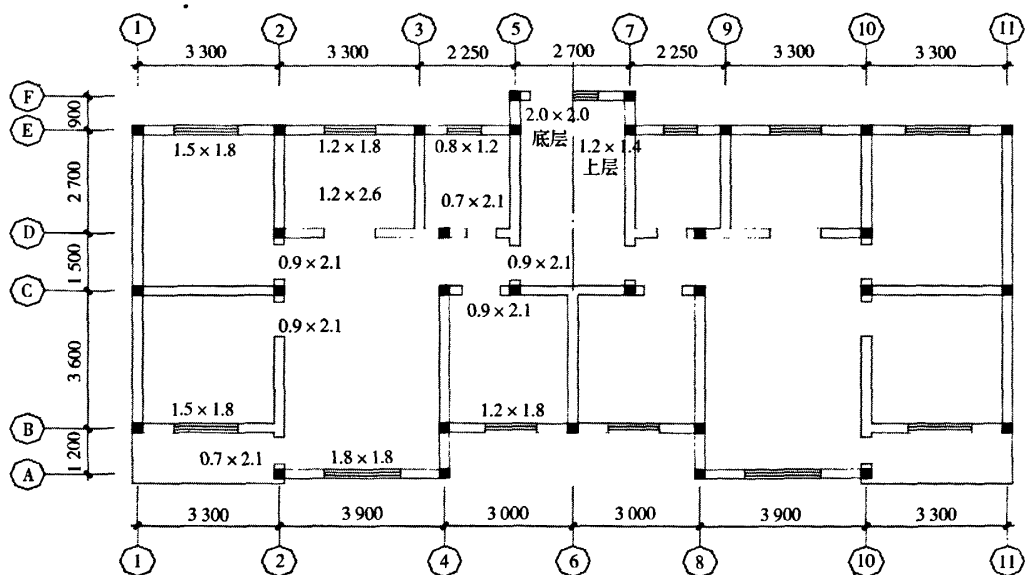


图 15 教师宿舍南西、南中楼单元平面图

Fig. 15 Plan view of the teachers' dormitories in the south west and south center

教师和学生宿舍均为砖混结构,教师宿舍(二)的底层单元平面见图 15,图 16 为学生宿舍的平面。设计说明中均为 7 度抗震设防,设计基本地震加速度值为 0.10 g 。场地类别为 II 类,稍密卵石层作基础持力层,地基承载力为 250 kPa ,基底 -2.5 m ,条形基础,毛石混凝土大方脚,素混凝土基础墙厚 300 mm ,用 C12。

万方数据

± 0.00 标高下铺水泥砂浆防潮层厚 60 mm,钢筋混凝土底圈梁宽 240 mm,高 300 mm,C15。教师宿舍(二)竣工图补充局部基础加深加宽带有圈梁。水泥砂浆地面。

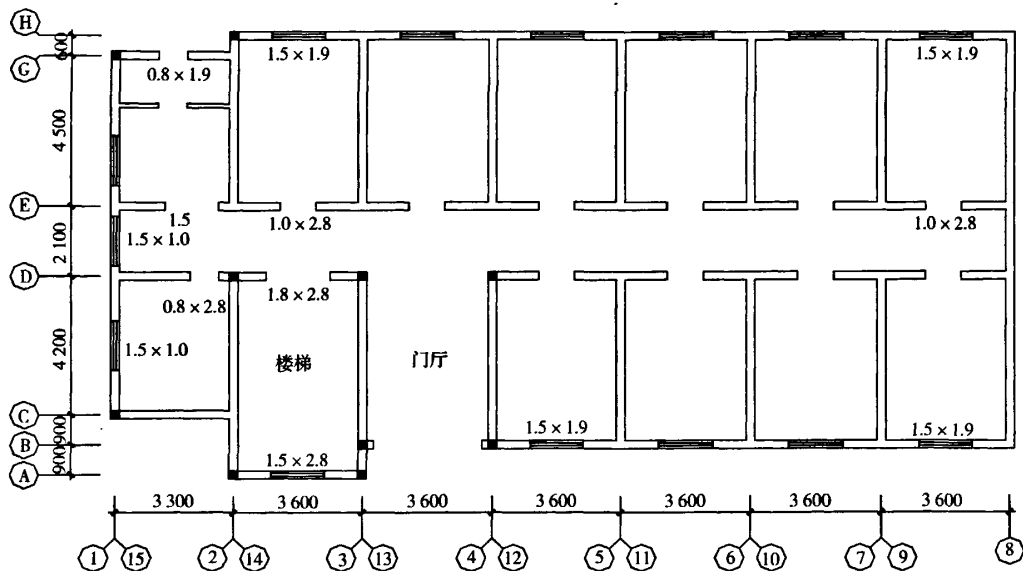


图 16 学生宿舍底层平面图

Fig. 16 Ground plan view of the students' dormitories

现浇钢筋混凝土楼屋盖,双向配筋,C25,厚 100 mm,层层设沿墙圈梁,断面为 240 mm \times 240 mm,配筋 4 Φ 12。楼盖活荷载一般为 2.0 kN/m²,上人屋顶。

教师宿舍楼各层层高均为 3.0 m,室内外高差 1.0 m,学生宿舍层高均为 3.2 m,室内外高差 0.45 m,女儿墙高均为 1.4 m,楼梯间出屋顶小楼高 2.7 m。

墙体厚 240 mm,底层外墙面贴石片。结构设计说明中,学生宿舍用 MU10 普通烧结砖,教师宿舍(二)用 MU10 页岩砖,从震害所见,也是用普通烧结砖,砖表层红色(见图 17)。砌筑砂浆一、二层均用 M10 水泥混合砂浆,上层用 M7.5,在教师宿舍宏观判断的两处砂浆标号不低于 M10。从震害来推断,学生宿舍的三层墙体震害较二层稍重,三层砌筑砂浆比二层低,而教师宿舍(5F)无此现象,砌筑砂浆未查试块资料,故仍按设计值计。

教师宿舍(二)的钢筋混凝土构造柱设置,如图 15,在内外纵横墙交接处几乎都有,断面为 240 mm \times 240 mm,构造措施也都按规范要求,其中,构造柱钢筋与基础内留出的钢筋搭接长度要求不小于 450 mm,有一墙角震害露出的只有 100 mm 多(图 17)。

学生宿舍的钢筋混凝土构造柱设置,如图 16,只在外墙阳角,楼梯间四角和底层门厅四角设置,底层共有 20 个,上层有 14 个,不知何故还将楼梯间轴 14 内角的构造柱画到轴 12 与内纵墙的交接处。

学生宿舍的平立剖,从残存楼层所见,山墙窗洞的设置与设计图不相同(见图 10 和图 11),原设计的 3 个窗洞不一样大,本文图 16 已按现状修改;学生宿舍轴 9 墙体塌落,设计图上未见特殊,是否与屋顶设置钢架有关,也不详。

教师宿舍南中幢的设计图为教师宿舍(二),南西幢也按其(二)图建 4 层,但非 5F。北东和南东两幢教师宿舍(一)的设计图和原有建筑北西幢的设计图均未见,从其震害和外形来看,抗震措施似同教师宿舍(二),内墙布置由外立面推断,按当地一般住宅设计的单元平面如图 18 和图 19,用作震害分析。



图 17 构造柱预埋钢筋搭接长度不足

Fig. 17 The lap length of embedded bar in constructional column is not enough

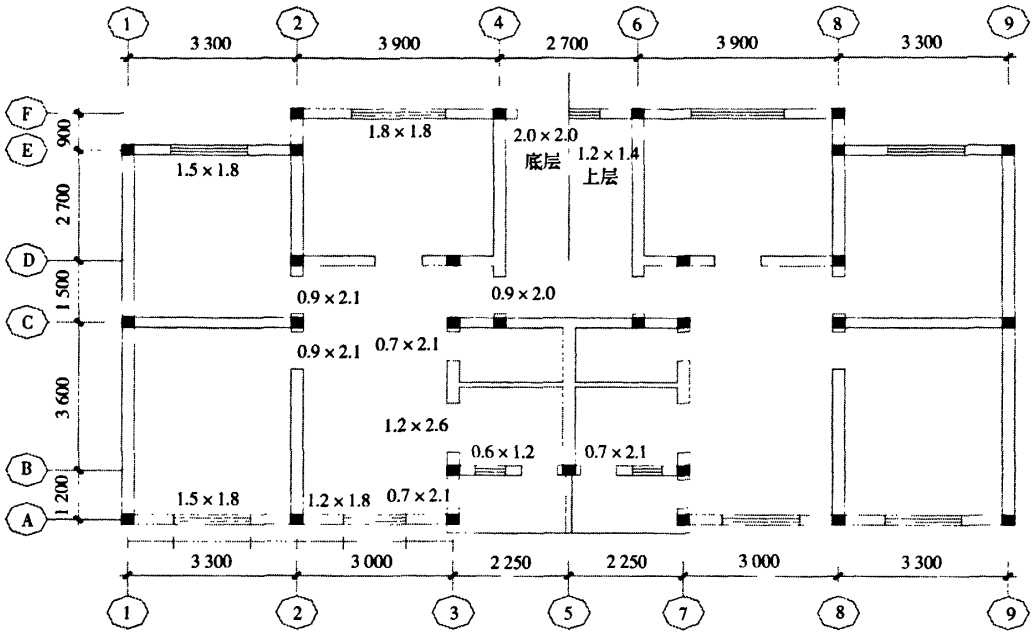


图 18 教师宿舍南东、北东楼计算用单元平面图

Fig. 18 Calculating plan view of the teachers' dormitories in south east and north east

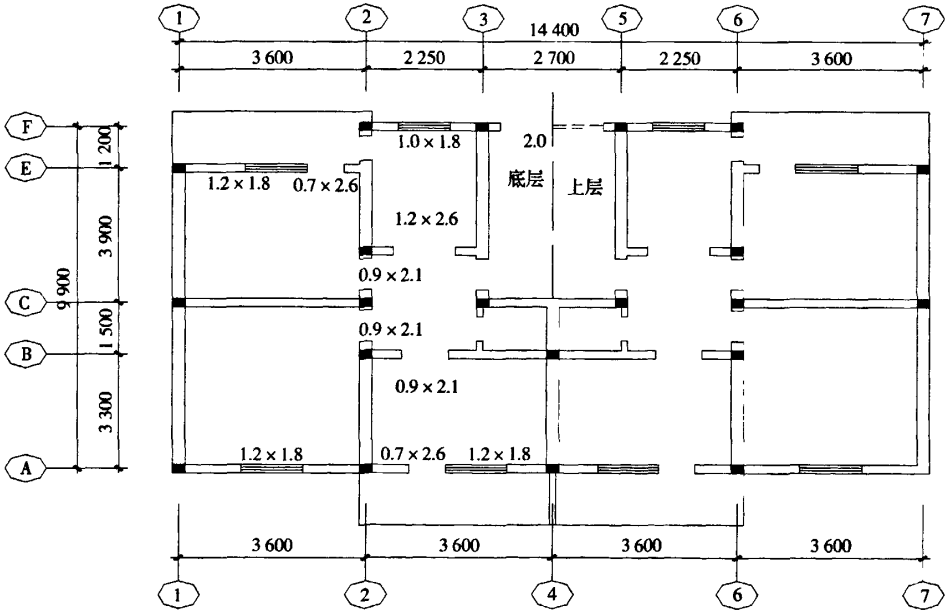


图 19 教师宿舍北西楼计算用单元平面图

Fig. 19 Calculating plan view of the teachers' dormitories in north west

3 抗震构造措施评析

按 GB 50011-2001 建筑抗震设计规范中的强制性条文,逐条评析。

7.1.2 条 层数和总高度。南西幢教师住宅楼 4 层,总高度从室外地坪算起为 13m,该条注 2 当室内外高差大于 0.6 m 时,总高度容许增加不超过 1 m,则该住宅不超过烈度为 9 度 4 层(12 + 1) = 13 m 限值的要求。

其他 4 幢教师宿舍为 5 层住宅楼,总高度为 16 m,在烈度为 8 度的限值之内。

万方数据

学生宿舍5层,总高度为16.45 m,也在8度抗震设防限值之内。

7.1.5条 横墙间距。教师和学生宿舍的抗震横墙间距,都不超过4 m,均在钢筋混凝土现浇楼屋盖的横墙间距最大值烈度为9度时为11 m之内。

7.3.1条 构造柱设置。教师宿舍4层的南西楼和5层的4幢住宅,分别达到9度和8度的要求,即外墙四角,内墙与外墙交接处,内墙的局部较小墙垛处,楼梯间四角,内纵墙与横墙交接处,均设置构造柱。柱的构造措施和施工程序也都符合规范要求,但如前所述,从5层住宅楼的一墙角震害可见,构造柱与基础的预留钢筋搭接长度过短,远不到设计要求的450 mm。

学生宿舍只在外墙四角(阳角)、较大洞口两侧(门厅底层)和楼梯间四角设置构造柱。5层7度抗震设防尚要求隔开间横墙与外墙交接处、山墙与内纵墙交接处设置构造柱,学生宿舍的设计图上没有。即使是5层6度设防,还要求隔15 m横墙与外纵墙交接处设置构造柱,设计图上也没有。因此,学生宿舍的构造柱设置不符合抗震设防的要求,甚至连6度抗震设防也达不到。从残存墙体的震害来看,有可能横墙与外纵墙的交接处隔间设构造柱,有构造柱的窗间墙震害相对轻点,无砌体震落,但未见竣工图的修改设计资料,也未能实地查看,故此推断尚不足为据。

7.3.3条 圈梁。教师和学生宿舍都是现浇钢筋混凝土楼屋盖,层层沿墙设置圈梁,配筋和连接也都符合规范要求,可达9度抗震设防。

7.3.5条 楼屋盖。现浇钢筋混凝土楼屋盖,满铺满盖,伸入纵横墙的长度均不小于120 mm,且双向配筋,符合抗震设防要求。教师和学生宿舍均属以横墙为主的纵横墙共同承重的结构体系,符合7.17条多层砌体房屋应优先采用的结构体系的要求。

此外,有关的非强制性条文,如:

7.1.4条 房屋最大高宽比。5层的宿舍楼符合8度不大于2.0的要求,4层的教师宿舍符合9度不大于1.5的要求。

7.1.6条 房屋的局部尺寸限值。教师和学生宿舍的承重窗间墙宽度、门窗洞边的距离都符合设防要求。5层和4层教师宿舍中小于8度和9度限值的,设有构造柱或改用混凝土贴条。女儿墙高1.4 m,超过无锚固女儿墙限值要求,故设构造小柱,断面为240 mm × 240 mm,配筋4Φ10,每开间两个,间距不大于2.0 m,且有压顶圈梁,达到设防要求。

7.3.8条4款 突出屋顶的楼梯间。构造柱伸入顶部,5层的教师和学生宿舍都符合此抗震设防要求。

7.3.10条 过梁。门窗洞处无砖过梁,且与圈梁连成一体,符合抗震设防要求。

7.3.13条 基础。采用同一类型,且埋置在同一标高,0.0m标高下均设钢筋混凝土基础圈梁。当有加深的,局部加宽,带有基础圈梁,符合抗震设防要求。但在基础圈梁与墙砌体间设60mm厚水泥砂浆防潮层,对抗震的影响,说法不一。

对抗震构造措施的评析结果,叙述如下:

教师宿舍4层住宅楼南西幢,抗震构造措施达到9度抗震设防的要求。

教师宿舍5层住宅楼的抗震构造措施,达到8度抗震设防的要求。

5层楼的学生宿舍,抗震构造措施不符合抗震设计规范

GB 50011-2001的7度设防要求,主要是构造柱设置欠缺,甚至连6度设防要求的构造柱设置也欠缺。如若该建筑是在上世纪70年代建的,则可达按建筑抗震鉴定标准GB 0023-95的8度鉴定要求,也即按现行的GB 50023-2009鉴定标准中的A类建筑来鉴定。但在新世纪建造的房屋,现行鉴定标准中简称C类建筑,是不可按A类建筑来鉴定的,即使按GB 50023-95鉴定也要求按建筑抗震设计规范GBJ 11-89来鉴定。

教师宿舍和学生宿舍的设计图说明中,是按7度抗震设防要求设计,评析其抗震构造措施的设防程度,构造柱的设置差异竟如此之大。教师宿舍住宅楼是业主和设计人员有意所为还是设计院的通常做法?不清楚,其效果自然是好的,经受住了汶川大震极震区11度的强烈地震;学生宿舍不满足抗震设防要求。

4 楼层抗震能力指数

砌体房屋的抗震能力,在设计时一般验算最弱墙截面,以满足小震不坏、中震可修的要求,而不要求验算罕遇地震的影响,即大震不倒。本文用抗震鉴定中的楼层平均(综合)抗震能力指数,进一步分析抗倒能力。

万方数据

鉴定标准和设计规范对抗震能力的计算方法和原理是相同的,结果可转化的,计算过程要简便些。

表 2 漩口中学教师和学生宿舍楼层面积(m²)和面积率
Table 2 Areas and area ratio of the teachers' and students' dormitories at Xuankou Middle School

房屋名称		教师宿舍(住宅楼)					学生宿舍
		南西幢	南中幢	南东幢	北东幢	北西幢	
楼层平面面积		378.92	378.92	342.13	342.13	472.16	624.51
抗震墙面积	纵 底层	19.58	19.58	16.66	16.66	23.33	29.57
	向 上层	19.97	19.97	17.04	17.04	23.33	31.54
	横向各层	24.82	24.82	22.13	22.13	28.51	35.71
楼层面积率	纵 底层	0.051 7	0.051 7	0.048 7	0.048 7	0.049 4	0.047 3
	向 上层	0.052 7	0.052 7	0.049 8	0.049 8	0.049 4	0.050 5
	横向各层	0.065 5	0.065 5	0.064 7	0.064 7	0.060 4	0.057 2

表 2 列出了漩口中学各幢教师和学生宿舍的楼层平面面积(A_{bi}),楼层纵横向抗震墙面积(A_i)和楼层抗震墙的面积率。其中,楼层面积包括阳台面积在内,墙面积以轴线计。

表 3 列出了漩口中学教师和学生宿舍各楼层单元面积重力荷载代表值 g_E (kN/m²),楼面活荷载设计值为 2.0 kN/m²,抗震规范中组合值系数为 0.5,即实际计算活荷载为 1.0 kN/m²,顶层荷载将女儿墙和出屋顶小楼均摊在内。

表 3 漩口中学教师和学生宿舍各楼层单元面积重力荷载代表值 g_E (kN/m²)
Table 3 Representative value of the gravity load on unit area on each floor of the teachers' and students' dormitories at Xuankou Middle School (kN/m²)

楼层	教师宿舍(住宅楼)					学生宿舍
	南西幢	南中幢	南东幢	北东幢	北西幢	
5		11.39	11.27	11.27	9.61	11.0
4	10.03	13.21	12.93	12.93	12.31	12.51
3	13.21	13.21	12.93	12.93	12.31	12.51
2	13.21	13.21	12.93	12.93	12.31	12.51
底	15.31	15.31	14.93	14.93	13.92	13.35

表 4 列出了按 7 度设防的漩口中学教师和学生宿舍楼层平均抗震能力指数 β_i ,按鉴定标准中的算式计算,即:

$$\beta_i = A_i / (A_{bi} \xi_{oi} \lambda)$$

式中,楼层抗震墙面积率如表 2 中的数值;基准面积率 ξ_{oi} ,按 GB 50023-2009 附录 B 表 B.01-2 和 1-3 分别取值,再乘以 $g_E/12$ 。横墙无门窗,纵墙有一门或一窗。(B.01-2 中 M10 四层的 1-2 层的基准面积率应为 0.020 1,勘误后为 0.024 1)。烈度影响系数 λ 按 7 度取值为 1.0。

构造柱对砌体房屋楼层抗震能力的增强作用,在 GB 50023-95 鉴定标准中是不计入的,而作为安全储备,在 GB 50023-2009 中的 A 类建筑,也不计入。在抗震设计规范 GB 50011-2001 中,对两端有构造柱的砌体承载力抗震受剪调整系数 γ_{RE} 为 0.9,即增强系数为 1.1。实际上,构造柱对砌体房屋的抗裂抗倒作用是明显的,尤其是抗倒作用。唐山大地震后大量的研究表明,抗裂增强作用其系数为 1.1~1.3,抗倒增强系数可达 1.5~2.0,甚至更高。在抗震加固规程中两端有构造柱砌体的 $M \geq 5$ 取增强系数为 1.1,这是保守的偏于安全的抗裂增强系数。

表 5 列出了按 7 度设防的漩口中学教师和学生宿舍底层墙体在不同增强系数下的楼层综合抗震能力指数。教师宿舍的墙体两端几乎都有构造柱,楼层抗震能力增强系数按设计规范和加固规程均为 1.1;学生宿舍按加固规程取有构造柱的墙道数与总墙道数的比,则底层墙体的抗裂增强系数为 1.03。表 6 列出了教师和学生宿舍底层增强系数分别取 1.1 和 1.03,不同地震烈度下底层墙体抗裂楼层综合抗震能力指数。

由表 6 可见,按鉴定标准 GB 50023-95,即现行的 GB 50023-2009 中 A 类建筑,4 层的教师宿舍南西楼可达 9 度鉴定的要求,底层(最弱楼层)的综合抗震能力指数为 1.01;而 5 层的教师和学生宿舍也都可达到 8 度鉴定的要求。实际上,新世纪建造的房屋是不容许按鉴定标准中 A 类建筑鉴定的,应按设计规范要求验算最弱墙段,通常最弱墙段的抗震能力指数为楼层平均值的 80% 左右。由此推测,4 层的教师宿舍可达到 8

度抗震设防的要求,楼层综合抗震能力指数为 1.26,则当遭到 8 度地震影响时为基本完好,即小震不坏、中震可修;5 层的教师和学生宿舍,楼层综合抗震能力指数在 1.05~1.14 之间,按 8 度设防稍有欠缺,最弱墙段可能开裂,房屋的最弱楼层为轻微损坏,但都符合 7 度设防的要求。

表 4 渡口中学教师和学生宿舍楼层平均抗震能力指数(7 度设防)
Table 4 Average seismic capacity indexes on each floor of the teachers' and students' dormitories
at Xuankou Middle School (fortification intensity is VII)

抗震墙	楼层	教师宿舍(住宅楼)					学生宿舍
		南西楼	南中楼	南东楼	北东楼	北西楼	
纵向	5		4.71	4.49	4.49	5.22	4.68
	4	5.58	2.60	2.52	2.52	2.61	2.69
	3	2.79	2.05	1.98	1.98	2.07	2.11
	2	2.72	2.33	2.25	2.25	2.35	2.40
	底层	2.30	2.01	1.91	1.91	2.08	2.07
横向	5		5.41	5.44	5.44	5.92	4.93
	4	6.48	2.91	2.94	2.94	2.89	2.74
	3	3.13	2.19	2.21	2.21	2.16	2.06
	2	2.96	2.51	2.54	2.54	2.49	2.35
	底层	2.56	2.17	2.19	2.19	2.20	2.17

表 5 底层墙体在不同增强系数下的楼层综合抗震能力指数(7 度设防)
Table 5 Comprehensive seismic capacity indexes of the bottom wall for different enhancement factors (fortification intensity is VII)

抗震墙	增强系数	教师宿舍(住宅楼)					学生宿舍
		南西楼	南中楼	南东楼	北东楼	北西楼	
纵向	1.03						2.13
	1.1	2.53	2.21	2.10	2.10	2.29	
	1.3	2.99	2.61	2.48	2.48	2.70	
	1.5	3.45	3.02	2.86	2.86	3.12	
	2.0	4.60	4.02	3.82	3.82	4.16	
横向	1.03						2.24
	1.1	2.82	2.39	2.41	2.41	2.42	
	1.3	3.33	2.82	2.85	2.85	2.86	
	1.5	3.84	3.26	3.28	3.28	3.30	
	2.0	5.12	4.34	4.38	4.38	4.40	

表 6 在不同地震烈度影响下底层墙体抗裂楼层综合抗震能力指数
Table 6 Comprehensive seismic capacity indexes on the crack-resistant floor of the bottom wall under
different seismic intensities (fortification intensity is VII)

法规	烈度	影响系数	教师宿舍(住宅楼)					学生宿舍
			南西楼	南中楼	南东楼	北东楼	北西楼	
鉴定标准 A	7	1	2.53	2.21	2.10	2.10	2.29	2.13
	8	1.5	1.69	1.47	1.40	1.40	1.53	1.42
	9	2.5	1.01	0.88	0.84	0.84	0.92	0.85
设计规范	7	0.08	2.53	2.21	2.10	2.10	2.29	2.13
	8	0.16	1.26	1.10	1.05	1.05	1.14	1.06
	9	0.32	0.63	0.55	0.52	0.52	0.57	0.53
	10	0.64	0.32	0.28	0.26	0.26	0.29	0.27

5 抗倒能力推断

一般来说,以往在唐山地震之后由大量的震害资料统计分析所得的震害与楼层综合抗震能力指数的判别式,有如下的关系^[5]。

$1.0\leq\beta_c<1.2$

轻微损坏

$0.6\leq\beta_c<1.0$

中等破坏

$$0.3 \leq \beta_c < 0.6 \quad \text{严重破坏}$$
$$\beta_c < 0.3 \text{ (或 } 0.33) \quad \text{倒塌}$$

当时由统计分析所得的一个重要结论是多层砖砌体房屋的抗倒能力为抗裂的3倍。

再从表6可见,在9度地震时教师和学生宿舍的楼层综合抗震能力指数均大于0.3(0.33),由此推断,均不可能发生倒塌,9度时4层的南西楼属中等破坏,其楼层综合抗震能力指数为0.63;5层的教师和学生宿舍可能遭到严重破坏,其指数在0.52~0.57之间,处于刚进入严重破坏的临界状态。

在设计规范中未列入10度地震的影响系数,按其烈度的关系可得的影响系数与对应的楼层综合抗震能力指数也列在表6中,可见10度时,4层的南西楼其指数为0.32,处于倒塌的临界状态,5层的教师和学生宿舍其指数均小于0.3,该属倒塌。但事实上,教师宿舍4幢5层楼均未倒塌,因此,用构造柱和圈梁增强的多层砖砌体房屋,应采用抗倒增强系数,对于墙体两端有构造柱上下有圈梁的,建议用2.0,也同样采用有设置构造柱的墙道数与总体的比。则教师宿舍的抗倒增强系数为2.0,学生宿舍只有1.06。

表7列出了在不同地震烈度影响下底层墙体抗倒楼层综合抗震能力指数,简称为抗倒能力指数。列在表中有抗震设计规范7、8、9度的多遇地震和罕遇地震的影响系数,以及7、8、9、和10、11度的设计基本地震加速度值,因多遇地震用10、11度是不合常理的,故用其加速度值,它与多遇地震用影响系数,在7、8、9度时的抗倒能力指数是相同的。

表7 在不同地震烈度影响下底层墙体抗倒楼层综合抗震能力指数

Table 7 Comprehensive seismic capacity indexes on the collapse-resistant floor of the bottom wall under different seismic intensities (fortification intensity is VII)

设计规范	地震烈度	影响系数	教师宿舍(住宅楼)					学生宿舍
			南西楼	南中楼	南东楼	北东楼	北西楼	
多遇地震	7	0.08	4.60	4.02	3.82	3.82	4.16	2.19
	8	0.16	2.30	2.01	1.91	1.91	2.08	1.10
	9	0.32	1.15	1.01	0.96	0.96	1.04	0.55
罕遇地震	7	0.50	0.74	0.64	0.61	0.61	0.67	0.35
	8	0.90	0.41	0.36	0.34	0.34	0.37	0.19
	9	1.40	0.26	0.23	0.22	0.22	0.24	0.13
设计基本地震 加速度值	7	0.1 g	4.60	4.02	3.82	3.82	4.16	2.19
	8	0.2 g	2.30	2.01	1.91	1.91	2.08	1.10
	9	0.4 g	1.15	1.01	0.96	0.96	1.04	0.55
	10	0.8 g	0.58	0.50	0.48	0.48	0.52	0.27
	11	1.6 g	0.29	0.25	0.24	0.24	0.26	0.14

再解读表7的指数值,9度时,学生宿舍在28道墙体中只有8道墙两端设构造柱,抗倒能力指数为0.55,与抗震指数相差无几,应仍属严重破坏。教师宿舍的抗倒能力指数都在1.0左右,可理解为构造柱与圈梁对开裂的墙体开始起约束作用,限制裂缝的扩展,使其不发生滑移错位,震害程度可为轻微~中等破坏。10度时,学生宿舍的抗倒指数为0.27,仍小于0.3,显然为倒塌;教师宿舍的抗倒能力指数在0.48~0.58之间,均大于0.3,显然是裂而不倒。此时可理解为构造柱变形,柱顶、柱根或中段产生裂缝,甚至局部裂崩,而墙体破损滑移错位,甚至局部崩落,其震害程度可为中等~严重破坏。11度时,教师宿舍的抗倒能力指数在0.24~0.29之间,均小于0.3,按判别式均属倒塌。其中4层的南西楼为0.29,濒于倒塌临界值,但实际上教师宿舍仍都裂而不倒。

对10、11度地震,从表7所列出的抗倒能力指数来判断震害即说倒与不倒,可以说与实际震害基本上是相吻合的。的确,这里有存疑,抗倒增强系数取2.0是否合适?是否偏低?抗倒判别式是否需调整?这两个问题需要进行进一步的震害调查分析和试验研究。再则,映秀镇漩口中学场所的宏观烈度评定是否偏高?没有强震纪录,汶川地震中也没纪录到高达1.6 g的加速度值。

再看表7中的罕遇地震,其影响系数理应比多遇地震高得多,更为不同的是7、8、9度的地震影响系数,多遇地震是1:2:4,而罕遇地震为1:1.8:2.8,类似于鉴定标准(A类建筑)的烈度影响系数1:1.5:2.5。从强度指标来判别,学生宿舍的抗震能力指数达到7度设防要求,但构造措施不符合抗震要求,在7度罕遇地震的抗倒能力指数为0.35,濒于倒塌临界值,但仍属严重破坏,不倒塌。8度和9度罕遇地震的抗倒能力指数

万方数据

为0.19和0.13,当然是倒塌。教师宿舍的抗震能力指数达7度设防要求,8度稍有欠缺,而其构造措施4层的达9度、5层的都达到8度设防的要求,在7度罕遇地震时的抗倒能力指数为0.61~0.74,属中等破坏;在8度罕遇地震的抗倒能力指数为0.34~0.41,尚属严重破坏,裂而不倒;在9度罕遇地震时的抗倒能力指数为0.22~0.26,均小于0.3,属倒塌。

诚然,在抗震设计规范中对多层砌体房屋是不需验算罕遇地震的,而本文从抗倒能力来作的震害分析实例,表明多层砌体房屋同样可达到抗震规范中规定的对罕遇地震的设防要求,即当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的罕遇地震影响时,不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。同时,这也表明本文所作的抗倒能力推断是合理的。

6 结语

去了现场,读了几篇有关文献,深感有责任有义务对汶川映秀镇漩口中学的多层砖砌体房屋的震害原因,说几句实话。并再论述我国大众居住的多层砖砌体住宅的抗倒设计,旨在建造大震不倒的真正让人放心的安居工程。

(1)汶川8.0级地震极震区映秀镇漩口中学,5幢教师宿舍(住宅楼)全都裂而不倒,而学生宿舍底层倒平,上部4层座落其上。设计图都是按7度抗震设防的,解读设计资料发现,5层教师宿舍抗震构造措施可达8度,4层的可达9度设防地震的要求。学生宿舍的构造措施不符合抗震设防的要求,主要是构造柱欠缺。同一单位在同一地点设计的宿舍,教师的偏高,学生的偏低,致使产生倒与不倒两种截然不同的后果。无疑,该震例正说明抗震构造措施在抗震设防中的重要性,抗震设计不能只用计算程序来验算承载力,一定要严把抗震概念设计关,符合抗震措施的要求。这也可说明,对重要建筑应提高抗震构造措施的设防要求的道理,以保障大震不倒。

(2)实例表明,按现行的设计规范设计,采用构造柱圈梁抗震体系的多层砖砌体房屋,可达到大震不倒的设防目标,技术措施成熟方便,所花费用也不多,增加建筑造价甚微。希望建房者真心实意建造震不倒的安居房,开发商切勿借提高抗震能力而提高售价。经适房、廉租房更不能因成本低廉、利润空间有限而降低抗震设防的功能。

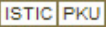
(3)本文所采用的抗倒能力判别方法,同现行的抗震设计和鉴定方法是相一致的,且将楼层综合抗震能力指数发展为抗倒能力指数,判别结果,倒的与不倒的,是与震害相符的。故此,抗倒能力指数可用来判别罕遇地震时的震害。地震中房屋建筑的倒塌,由多种因素造成,汶川地震就因山体崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,大量房屋建筑被淹埋或倒塌。本文仅从建筑结构自身分析其抗震能力,也有待对倒塌机制、抗倒措施再作进一步研究。

(4)汶川地震高烈度区多层砌体房屋的震害,应作进一步调查分析,特别是裂而不倒的,本文仅是一个典型的实例。

参考文献:

- [1] GB 50011-2001 建筑抗震设计规范[S].
- [2] GB 50023-2009 建筑抗震鉴定标准[S].
- [3] JGJ 116-2009 建筑抗震加固技术规程[S].
- [4] 杨玉成,杨柳,高云学.多层砖房的地震破坏和抗裂抗倒设计[M].北京:地震出版社,1981.
- [5] 杨玉成,杨柳,高云学,等.现有多层砖房震害预测的方法及其可靠度,地震工程与工程振动,1982,2(3):75-86.
- [6] 刘恢先主编.唐山大地震震害(二)[M].北京:地震出版社,1986.
- [7] 杨玉成,杨雅玲.设防城市的房屋震害统计和预测震害矩阵与其在鞍山市的应用[C]//国家自然科学基金“八五”重大项目城市与工程减灾基础研究论文集(1996),北京:中国科学技术出版社,1997:155-165.
- [8] 杨玉成,杨健,胡春峰,等.抗震设防的六层砖房模型振动台破坏试验[C]//结构工程师1999年增刊,第二届全国土木工程防灾技术会议论文集,上海:同济大学出版社:223-230.
- [9] 孙柏涛,田培雷,胡春峰,等.汶川8.0级大地震极重灾区映秀镇不同建筑结构震害概述及原因简析[J].地震工程和工程振动,2008,28(5):1-9.
- [10] 清华大学等编著.汶川地震建筑震害分析及设计对策[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [11] 高本立,肖飞.汶川地震砖房震害的启示[C]//《汶川地震后工程结构安全与防灾新进展》,南京:江苏大学出版社,2009.

论多层砖砌体住宅楼的抗倒设计——汶川地震映秀镇漩口中
学宿舍楼震害探究

作者：[杨玉成](#)，[孙柏涛](#)，[YANG Yucheng](#)，[SUN Baitao](#)
作者单位：[中国地震局, 工程力学研究所, 黑龙江, 哈尔滨, 150080](#)
刊名：[地震工程与工程振动](#) 
英文刊名：[EARTHQUAKE ENGINEERING AND ENGINEERING VIBRATION](#)
年，卷(期)：2010, 30(6)
被引用次数：2次

参考文献(11条)

1. [GB 50011-2001. 建筑抗震设计规范](#)
2. [GB 50023-2009. 建筑抗震鉴定标准](#)
3. [JGJ 116-2009. 建筑抗震加固技术规程](#)
4. [杨玉成; 杨柳; 高云学 多层砖房的地震破坏和抗裂抗倒设计](#) 1981
5. [杨玉成; 杨柳; 高云学 现有多层砖房震害预测的方法及其可靠度](#) 1982(03)
6. [刘恢先 唐山大地震震害\(二\)](#) 1986
7. [杨玉成; 杨雅玲 设防城市的房屋震害统计和预测震害矩阵与其在鞍山市的应用](#) 1997
8. [杨玉成; 杨健; 胡春峰 抗震设防的六层砖房模型振动台破坏试验](#)
9. [孙柏涛; 闫培雷; 胡春峰 汶川8.0级大地震极重灾区映秀镇不同建筑结构震害概述及原因简析\[期刊论文\]-地震工程与工程振动](#) 2008(05)
10. [清华大学 汶川地震建筑震害分析及设计对策](#) 2009
11. [高本立; 肖飞 汶川地震砖房震害的启示](#) 2009

本文读者也读过(10条)

1. [孙柏涛. 周强. 杨玉成. SUN Baitao. ZHOU Qiang. YANG Yucheng 乡镇中小学校舍抗震抗倒安居安学设防目标——汶川地震北川擂鼓镇中小学校舍震害原因探究\[期刊论文\]-地震工程与工程振动2011, 31\(2\)](#)
2. [李金奎. 田金栋. 谢德瑜. 侯建民 锚杆对含纵向裂隙砌体结构墙体刚度的数值模拟研究\[期刊论文\]-河北建筑科技学院学报\(自然科学版\)2004, 21\(2\)](#)
3. [孙广秀. 马晓蕊. 张卫琴. Sun Guangxiu. Ma Xiaorui. Zhang Weiqin 对砖混结构住宅采用现浇楼板的思考\[期刊论文\]-住宅科技2010, 30\(5\)](#)
4. [周强. 孙柏涛. Zhou Qiang. Sun Baitao 汶川地震中极震区砌体结构教学楼典型震害分析\[期刊论文\]-震灾防御技术2010, 05\(4\)](#)
5. [薛海平. 赵艳梅. 郭勇. 薛小龙. XUE Hai-ping. ZHAO Yan-mei. GUO Yong. XUE Xiao-long 提高多层砌体房屋抗震能力初探\[期刊论文\]-建筑技术2011, 42\(1\)](#)
6. [王海婷. 张继东. Wang Haiting. Zhang Jidong 塔里木大学住宅室内环境研究——建筑声环境\[期刊论文\]-塔里木大学学报2006, 18\(2\)](#)
7. [杨玉成. 杨雅玲. 陈有库. 赵宗瑜. 王治山 在极端环境中砌体结构的抗裂研究\[会议论文\]-2002](#)
8. [樊振和. 黄莉. 陈中苇. 李钢. 赵增鑫. FAN Zhen-he. HUANG Li. CHEN Zhong-wei. LI Gang. ZHAO Zeng-xin 震后中小学重建思考\[期刊论文\]-工程建设与设计2008\(10\)](#)
9. [张保金. 李生之 混凝土现浇板与预制楼板的探讨\[期刊论文\]-中国新技术新产品2010\(8\)](#)
10. [徐善初. 邵界立. 黄志扬. 张宝安 砖木结构学生宿舍楼加层改造的设计与施工实践\[期刊论文\]-建筑技术2001, 32\(6\)](#)

引证文献(2条)

1. [孙柏涛](#), [周强](#), [杨玉成](#) [乡镇中小学校舍抗震抗倒安居安学设防目标——汶川地震北川擂鼓镇中小学校舍震害原因探究](#)[期刊论文]-[地震工程与工程振动](#) 2011(2)
2. [陈洪富](#), [戴君武](#), [孙柏涛](#), [王艳茹](#), [张沧海](#) [玉树7.1级地震人员伤亡影响因素调查与初步分析](#)[期刊论文]-[地震工程与工程振动](#) 2011(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzgcycgzd201006001.aspx