

文章编号:1004-4574(2013)01-0123-07

## 玉树 7.1 级地震学校建筑震害分析

李巨文<sup>1</sup>,薄景山<sup>1</sup>,卢滔<sup>1</sup>,蔡晓光<sup>1,2</sup>,张建毅<sup>1,2</sup>,张宇东<sup>1</sup>

(1. 防灾科技学院, 河北 三河 065201; 2. 中国地震局工程力学研究所, 中国地震局地震工程与工程振动重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:**2010年4月14日青海省玉树县发生了 $M_s$ 7.1级地震,造成了大量学校建筑的严重破坏甚至倒塌。通过对玉树地震学校建筑震害的调研,进行了不同类别建筑结构震害指数与破坏机理的研究。研究表明,震害指数由低到高的结构依次为混凝土框架结构、实心砖混结构、砖木结构、空心砖混结构和土木结构。混凝土框架结构要严格按照强柱弱梁的抗震概念进行设计,加强填充墙与框架柱的连接;实心砖混结构、空心砖混结构应设置构造柱、圈梁、预制楼板拉结筋,增强房屋抗倒塌能力;空心砖混结构还要在砌块内腔配置足量的钢筋,提高砂浆强度;土木结构、砖木结构应从建筑材料、构造措施等方面予以加强。要研究适合当地特色的新型结构抗震体系,提高结构的抗震性能。

**关键词:**玉树地震;学校建筑;震害分析;震害指数;破坏机理

**中图分类号:**TU4

**文献标志码:**A

## Seismic damage analysis of school buildings in Yushu $M_s$ 7.1 earthquake

LI Juwen<sup>1</sup>, BO Jingshan<sup>1</sup>, LU Tao<sup>1</sup>, CAI Xiaoguang<sup>1,2</sup>, ZHANG Jianyi<sup>1,2</sup>, ZHANG Yudong<sup>1</sup>

(1. Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Sanhe 065201, China; 2. Key Laboratory of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Yushu  $M_s$  7.1 earthquake occurred on April 14, 2010 in Qinghai Province. A large number of school buildings were severely damaged or collapsed. Damage index and the failure mechanism analysis of different category of building structures were carried out through field investigation. The results show that the structure damage index from low to high in order is concrete frame structure, solid brick masonry structure, brick-wood structure, hollow brick-masonry structure and earth-wood structure. The design of concrete frame structure should be in accordance with the seismic concept of strong column and weak beam strictly, and the connection between infill walls and frame columns should be strengthened. For the solid brick and hollow brick masonry structure, we should set constructional column, ring beam, tie bar between prefabricated floors and tie bar between walls to enhance the anti-collapse ability of the structure. In addition, sufficient reinforcement is necessary in the block cavity of hollow brick to improve the strength of mortar. The brick-wood structure and earth-wood structure must be improved on the material and construction measure. The new structure systems suitable for the locality need to be studied to improve the seismic performance of the structure.

**Key words:** Yushu earthquake; school buildings; seismic damage analysis; seismic damage index; failure mechanism

收稿日期:2012-03-01; 修回日期:2012-05-16

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(ZY20110102)

作者简介:李巨文(1963-),男,教授,硕士,主要从事建筑结构和岩土工程研究. E-mail:lijuwen1987@126.com

2010年4月14日7时49分,在青海省玉树藏族自治州玉树县(33.2°N,96.6°E)发生 $M_s$ 7.1级地震,震源深度14 km,宏观震中位于玉树县结古镇附近,极震区烈度为9度。地震发生在NWW-NW走向的甘孜-玉树断裂上,震源机制解为左旋走滑性质,地震破裂由震中向东南扩展为主,破裂带总长约51 km,实测最大水平位错约 $1.8\text{ m}^{[1]}$ 。地震波及范围约3万 $\text{km}^2$ ,主要造成玉树县和称多县部分地区共12个乡镇受灾,人口约10万人,极重灾区约900 $\text{km}^2$ ,主要集中在玉树州府所在地的结古镇,重灾区面积约4000 $\text{km}^2$ 。此次地震学校建筑损坏严重,造成了重大的人员伤亡,其中遇难学生199人<sup>[3]</sup>。2010年4月16日青海省玉树抗震救灾指挥部新闻中心公布,青海玉树地震区校舍总面积为139 175 $\text{m}^2$ ,震区校舍已倒塌36 572 $\text{m}^2$ ,造成危房61 574 $\text{m}^2$ 。如此惨痛的教训又一次引起人们对学校建筑安全的深切关注。受中国地震局的委托与统一指挥,防灾科技学院地震现场考察组第一时间赶赴现场,对玉树县城内的中小学校、大专院校房屋震害展开了调研。本文进行了玉树地震校舍震害指数和破坏机理分析,为今后校舍的防震减灾提供参考。

## 1 建筑物震害指数分析

玉树县城中小学校、大专院校房屋的主要结构类型为实心砖混结构、空心砖混结构、砖木结构和土木结构4种,由于当地经济发展水平相对落后,钢筋混凝土框架结构很少;建筑层数最高为5层,多数为1~3层。依据文献[5]中附录A1给出的房屋破坏等级划分标准及震害指数评判标准,将受损建筑物的破坏程度划分为5个等级:即基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏,根据被调查的67栋建筑物震害分析统计结果得到玉树县城学校各类建筑建构平均震害指数如表1所示。

调查结果发现,土木结构基本上完全毁坏;砖木结构一半达到严重破坏或毁坏;空心砖混结构75%达到严重破坏或毁坏;实心砖混结构45.5%属于中等破坏或严重破坏;钢筋混凝土框架结构67%达到中等破坏,但此类结构在学校建筑中极少,占被调查建筑物总数不到5%。从表1统计得到各类房屋的平均震害指数对比发现,不同结构类型抗震性能从强到弱依次为钢筋混凝土框架结构、实心砖混结构、砖木结构、空心砖混结构和土木结构。

表1 玉树县城学校不同类型建筑结构破坏统计

Table 1 Statistics on destruction of different kind's buildings of school in Yushu county town

| 结构类型        |  | 混凝土框架结构 | 实心砖混结构 | 空心砖混结构 | 砖木结构 | 土木结构  |
|-------------|--|---------|--------|--------|------|-------|
| 该破坏等级占百分比/% | 基本完好( $0 \leq D_1 < 0.1$ )                           | 33      | 27.27  | 0      | 0    | 0     |
|             | 轻微破坏( $0.1 < D_1 \leq 0.3$ )                         | 0       | 27.27  | 12.5   | 30   | 0     |
|             | 中等破坏( $0.3 < D_1 \leq 0.5567\%$ )                    | 9.10    | 12.5   | 20     | 0    |       |
|             | 严重破坏( $0.55 < D_1 \leq 0.850\%$ )                    | 36.36   | 68.75  | 35     | 5.88 |       |
|             | 毁坏( $0.85 < D_1$ )                                   | 0       | 0      | 6.25   | 15   | 94.12 |
| 平均震害指数      | $\bar{d}_i = \frac{\sum d_{ij} n_{ij}}{\sum n_{ij}}$ | 0.30    | 0.34   | 0.68   | 0.53 | 0.96  |

注: $D_1$ 为单栋建筑物震害指数,通过现场调查综合评定后给出。

## 2 建筑物震害现象及破坏机理分析

现场调查中发现,当地学校建筑主要结构类型为实心砖混结构、空心砖混结构、砖木结构和土木结构四种,极少数为钢筋混凝土框架结构。总体来说,学校建筑因建筑材料强度低、构造措施不当或缺失、非正规设计或设计不合理、不按标准施工或施工质量差等问题,大多数发生中等以上破坏或毁坏,以下分别对各类建筑结构的震害情况进行描述和分析。

### 2.1 混凝土框架结构

#### 2.1.1 房屋震害现象

本次地震中,框架结构震害相对较轻。主要震害表现为:框架结构底层柱端主筋被压曲,混凝土被压碎(图1);填充墙装饰面层脱落、墙身开裂、局部或整体倒塌(图2、图3)。

### 2.1.2 破坏机理分析

图1 房屋未按强柱弱梁的抗震概念进行抗震设计,实际轴压比超限。这样往往形成薄弱层,大震下弹塑性变形过大,形成楼层屈服机制,从而造成框架柱端压溃,底层框架柱柱端最易发生破坏<sup>[6]</sup>,仿真结果再次证明地震作用下结构的薄弱环节是底层<sup>[7]</sup>。柱两端及梁柱核心区箍筋均未加密,故对混凝土的约束很差,大震下形成柱顶、柱底的剪切、剪压、压屈、弯剪及塑性铰等构件破坏现象,造成柱头主筋压曲,混凝土被压碎;楼板的增强作用和梁端配筋过大,造成“强梁弱柱”型破坏。玉树地区混凝土框架结构填充墙多采用小型空心砌块或灰砂砖砌筑。由于砌块材料抗剪强度较低,变形能力小<sup>[8]</sup>,墙体施工质量差,砂浆强度等级过低,灰缝不饱满,往复水平地震作用在墙体内部产生的应力超过了砌块或灰缝的抗拉或抗剪强度,墙体出现严重的斜裂缝、“X”形裂缝;在填充墙和框架柱之间没有设置水平拉筋或其它构造措施,导致填充墙发生了局部或整体倒塌(图2、图3)。



图1 框架柱头主筋压曲混凝土压碎  
Fig.1 Concrete crushing and main bar buckling of column head in framework



图2 填充墙开裂严重局部倒塌  
Fig.2 Severe cracking and local collapse of filled wall



图3 填充墙整片倒塌  
Fig.3 Entirety collapse of filled wall

## 2.2 实心砖混结构

### 2.2.1 房屋震害现象

对实心砖混结构震害调查发现,将近一半的房屋震害为中等或严重破坏。其中低层实心砖混结构房屋震害轻,多层实心砖混房屋破坏严重,底层破坏最为严重。主要震害表现为:墙角、墙垛以及山墙呈严重的斜裂缝、“X”形裂缝,开裂处的砌块被剪断(图4);墙体装饰面层脱落、墙体开裂、局部倒塌(图5);窗间墙劈裂、剪压破碎(图6)。

### 2.2.2 破坏机理分析

砌体结构的特点是抗剪强度和抗弯强度以及变形能力较低,所以在地震作用下,墙体极易产生裂缝<sup>[9]</sup>。在内横墙与外纵墙交界处,特别是墙体接槎的薄弱环节,当地震平行与内横墙作用时,如果该处施工时咬槎质量不佳,外纵墙外闪导致在接槎交界处产生竖向裂缝;当地震平行与外纵墙作用时,如果窗间墙较宽,即其高度比相对较小,此时墙体出现剪切型受力状态,故出现交叉状“X”形裂缝;当地震垂直于外纵墙作用时,如果窗间墙较窄,即高度比相当较大,此时墙体出现弯曲型受力状态,故出现水平状裂缝;至于窗肚墙、内横墙和山墙,一般情况下,都属于高度比较小的墙体,当地震平行于上述墙体作用时,都属于剪切状态,故出现交叉状“X”形裂缝。砌体结构未设置构造措施,如未设置构造柱、圈梁,预制楼板未拉结,致使墙体整体性能差,易发生局部倒塌现象。当窗间承重墙与构造柱未设拉结筋,窗间墙与构造柱连接处也未砌成马牙槎,导致窗间承重墙体破损严重。

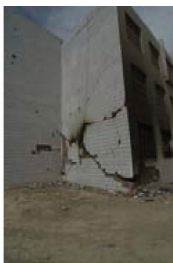


图4 山墙“X”形裂缝  
Fig.4 X-shaped crack on gable



图5 房屋内纵墙局部倒塌  
Fig.5 Local collapse of interior longitudinal wall



图6 窗间承重墙开裂  
Fig.6 Crack of load-bearing wall pier

### 2.3 空心砖混结构

#### 2.3.1 房屋震害现象

空心砖混结构主要是采用小型空心砌块砖墙和预制楼板组成承重体系。此类结构在玉树县城较为普遍,玉树县城学校建筑中采用空心砖混结构的数量也很多,震害也非常严重,大量房屋震害为中等或严重破坏,有的甚至发生了毁坏,造成了惨重的人员伤亡。主要震害表现为:底层局部坍塌或全部倒塌(图7、图8);楼梯承重墙破坏或楼梯坍塌(图9),窗间墙呈“X”形裂缝,砌块劈裂、剪压破碎(图10)。



图 7 3 层宿舍底层坍塌

Fig. 7 First floor's collapse of a 3-storey dormitory



图 8 3 层电教楼局部倒塌(预制板)

Fig. 8 Local collapse of a 3-storey electrified education building( precast slab )



图 9 3 层教学楼楼梯破坏

Fig. 9 Destruction of stairs in a 3-storey teaching building



图 10 宿舍楼窗间墙破坏

Fig. 10 Destruction of wall pier of a dormitory building

#### 2.3.2 破坏机理分析

空心砖砌块材料本身的抗拉、抗剪强度较低,小砌块空心砖标准尺寸为 390 mm × 190 mm × 190 mm,空心率大于 30%。由于砌块之间水平灰缝的砂浆结合面小,竖缝的砂浆饱满度差,因此整片墙体的整强度极低、整体性极差,在地震往复荷载作用下极易发生剪切破坏,墙体开裂甚至倒塌。空心砖混结构的房屋大多采用预制空心楼屋盖,简单拼装,预制板浮搁在墙上或梁的挑耳上,完全没有考虑预制板之间的连接构造和共同受力,也没有考虑预制板与支撑结构之间的连接和整体作用。结构形式组成简单,结构体系单薄,抗震鲁棒性很差,地震时往往造成墙体先破坏倒塌,随后楼屋盖解体坠落,是典型的积木式拼装结构。空心砖混结构未设置圈梁、芯柱或构造柱,结构的整体性和抗倒塌能力严重不足,是大震下房屋严重破坏和倒塌的最主要原因<sup>[10-11]</sup>。设置了芯柱—构造柱—圈梁等抗震措施以后,在地震反应中基本克服了砌体结构脆性破坏的点,符合结构抗震设计中概念设计和延性设计思想的要求,能够有效地提高砌体的抗震能力<sup>[10,12]</sup>,对于结构在地震中保持整体性,避免发生整体倒塌具有非常重要的作用,特别是构造柱的作用尤为重要。对于多层砌体结构房屋,由于底层的地震剪力较大,因此底层也最易破坏(图7)。

### 2.4 砖木结构

#### 2.4.1 房屋震害现象

砖木结构是采用砖墙和木檩条组成承重体系,屋顶由木梁及苇席、草芥搭建。此类结构在玉树县城学校建筑中数量也很多,震害也比较严重,一半房屋震害为严重破坏或毁坏。主要震害表现为:粉碎性倒塌(图11);窗间墙呈“X”形裂缝、屋顶溜瓦普遍(图12);屋内吊顶坠落(图13)。



图 11 1层教学楼倒塌

Fig. 11 Collapse of an one-storey teaching building



图 12 窗间墙破坏和屋顶溜瓦

Fig. 12 Wall pier destruction and tile drop



图 13 教学楼吊顶坠落

Fig. 13 Drop of teaching building's suspended ceiling

### 2.4.2 破坏机理分析

砖木结构是砖砌墙体承重房屋,墙体支撑上部屋顶荷载并且起围护作用。这类结构未经过正规设计和施工,房屋开间较大,纵横抗震墙数量不足,窗间墙较窄,墙体的抗剪切能力不足。水平向地震作用下极易引起墙体开裂破坏。当地震平行与窗间墙作用时,窗间墙出现剪切型受力状态,故出现交叉状“X”形裂缝;当地震垂直于窗间墙作用时,如果窗间墙较窄,墙体出现平面外弯曲破坏或整体倒塌。屋顶瓦片是浮搁在檩条上的,没有任何固定措施,在地震作用下发生了溜瓦现象。部分砖木结构房屋墙体较厚,开间较小,施工质量相对较好,主体结构没有大的损坏,但由于吊顶与屋架没有可靠连接,造成了不同程度的破坏或脱落。

## 2.5 土木结构

### 2.5.1 房屋震害现象

土木结构是采用干打垒、土坯墙和房梁组成承重体系,房梁直接搁置在墙上,屋顶由檩条及苇席、草芥等建成。此类结构在玉树县城学校建筑中数量也很多,震害相当严重,被调查的土木结构房屋绝大部分粉碎性倒塌,由于施救困难,造成了一定的人员伤亡。主要震害表现为:墙体先破坏倒塌,屋顶坠落,房屋局部或整体垮塌(图 14、图 15)。



图 14 1层家属楼纵墙倒塌

Fig. 14 Collapse of longitudinal wall of a one-storey family building



图 15 1层家属楼整体倒塌

Fig. 15 Entirety collapse of a one-storey family building

### 2.5.2 破坏机理分析

房屋开间大,纵横墙连接处缺乏有效的连接,纵墙变形约束较小,遭受地震时不能同时参与工作,纵墙提前倒塌造成房屋损坏。土木结构由于没有柱子,房梁、檩条直接搁置在土坯墙上,加之土坯墙先天粘结不牢靠,墙体的抗剪强度、变形能力和整体牢固性差,遭遇地震时造成墙倒屋塌。

## 3 结论和建议

通过对玉树地震学校建筑的震害调查,得到以下经验和启示:

(1) 框架结构的抗震性能表现较好,若能保证设计和施工质量,框架结构可以实现预期的抗震设防目标。框架结构的破坏集中在柱端、填充墙,应严格按强柱弱梁的抗震概念进行设计,控制轴压比,柱端、梁柱节点核心区箍筋加密,设置水平拉筋加强填充墙与框架柱的连接。

(2) 实心砖砌体结构的抗震性能需要严格的施工质量和构造措施给予保证,包括合理的设置钢筋混凝

土构造柱和圈梁、预制楼板的有效拉结和搁置长度、或增设现浇叠合层等,最好采用现浇板,提高房屋的空间刚度和整体性,否则这种结构极易在地震中发生破坏。

(3)空心砖砌体结构是灾区特别普遍的房屋结构类型,抗震性能表现非常差。应设置混凝土芯柱或构造柱、圈梁加强房屋的整体性,保证预制板与支撑结构之间的有效连接,对薄弱连接处的砌块进行配筋、提高砂浆强度,严格控制门窗开洞尺寸,适当提高底层墙体的抗震能力。

(4)砖木、土木结构在这次地震中大部分被毁坏,抗震性能极差。但由于此类结构房屋造价低、施工简单、可以就地取材,保温隔热效果较好,今后一段时期,一些地区还会大量采用。可以从建筑材料、构造措施等方面予以加强,适度提高结构的抗震性能。如:夯土墙中掺入麦秸、竹杆等以增强黏结力,提高强度;在结构中增加圈梁—木构造柱体系,在砌筑时纵横墙交接处、转角处用强度较高的材料进行拉结处理;控制房屋高度、开间与进深尺寸,研究出适合当地特色的新型结构抗震体系,增强房屋的整体性,提高结构的抗震性能。

(5)城镇建筑要避免活动断层。玉树 7.1 级强震的发震断层穿过玉树州府城区,这是州府结古镇房屋和基础设施破坏严重的直接原因。结合汶川地震经验,要对受灾城镇及其附近的活断层进行周密的探测和危险性评价,为城镇各项重建项目划分出科学的断层避让范围,此项工作不可轻视和省略。

(6)学校建筑安全直接关系到广大师生生命安全,关系到亿万家庭的幸福,关系到社会的和谐稳定。汶川地震之后,我国政府启动了全国中小学校舍安全工程,在全国中小学校开展抗震加固、提高综合防灾能力建设,使学校校舍达到重点设防类抗震设防标准。2009 年 5 月起生效的《中华人民共和国防震减灾法》第三十九条明确提出,对于已经建成的学校、医院等建设工程,未采取抗震设防措施或者抗震设防措施未达到抗震设防要求的,应当进行抗震性能鉴定,并采取必要的抗震加固措施。但令人遗憾的是,地震抢在了鉴定和加固之前,玉树地震校舍破坏和人员伤亡依然很严重。全国其它地方学校建筑是否已按照国家有关规定采取了必要的抗震加固措施?目前还不清楚,这项工作实在令人担忧。

(7)要结合当地实际,特别是多民族文化传统,加强地方各级政府、行政部门和民众的防震减灾宣传教育工作,提高抗震防灾意识,切实提高当地民众和社会防震减灾的主观能动性和抗震防灾能力。在地震预报难以取得突破的背景之下,抗震设防才是根本。

**致谢:**此次地震震害调查是在中国地震局地震现场应急工作指挥部组织和领导下开展的,感谢青海省地震局、玉树州地震局、玉树地震台以及其他兄弟单位相关领导和同事的指导和协助。工作过程中,得到了地震现场应急工作指挥部袁一凡、张新基、夏玉胜等领导大力支持和帮助。

## 参考文献:

- [1] 陈立春,王虎,冉勇康,等.玉树地震地表破裂与历史大地震[J].科学通报,2010,55(13):1200-1205.  
CHEN Lichun, WANG Hu, RAN Yongkang, et al. Surface rupture and historical earthquake of the Ms 7.1 Yushu earthquake in Qinghai Province [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(13): 1200 - 1205. (in Chinese)
- [2] 中国地震应急搜救中心.青海省玉树藏族自治州玉树县发生 7.1 级地震简报第 11 期[EB/OL]. (2010-4-19) [2012-4-20]. <http://www.nerss.cn/bencandy.php?fid=40&id=719>.  
China Earthquake Emergency Rescue Center. A briefing for Yushu Ms7.1 earthquake in Qinghai Province[EB/OL] (2010-4-19) [2012-4-20], The eleventh period, in 2010 April 19. <http://www.nerss.cn/bencandy.php?fid=40&id=719>. (in Chinese)
- [3] 中国政府网.截至 5 月 30 日青海省玉树地震已造成 2698 人遇难[EB/OL]. (2010-5-31) [2012-4-20]. [http://www.gov.cn/jrzq/2010-05/31/content\\_1617614.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2010-05/31/content_1617614.htm).  
Gov.cn. 2698 people were killed in Yushu earthquake Qinghai Province until May 30th [EB/OL]. (2010-5-31) [2012-4-20]. [http://www.gov.cn/jrzq/2010-05/31/content\\_1617614.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2010-05/31/content_1617614.htm). (in Chinese)
- [4] 财新网.青海玉树地震已造成 115 名师生遇难[EB/OL]. (2010-4-16) [2012-4-20]. <http://china.caixin.com/2010-04-16/100135695.html>.  
Financial new web. 115 students and teachers died in Yushu earthquake Qinghai Province [EB/OL]. (2010-4-16) [2012-4-20], <http://china.caixin.com/2010-04-16/100135695.html>. (in Chinese)
- [5] 中华人民共和国国家标准. GB/T 18208.3-2000.地震现场工作第三部分:调查规范[S].北京:中国标准出版社.  
The people's Republic of China National Standard; GB/T 18208.3-2000. Earthquake field work in third parts; Survey specification [S]. Bei Jing: Standards Press of China. (in Chinese)
- [6] 莫庸.台湾 9·21 大地震多层框架结构震害特点和经验[C]//甘肃省土木建筑学会五十周年学术会议.兰州:中国建筑学会,2003,227

-235.

MO Yong. Taiwan 9. 21 earthquake damage features and experience of multi-story frame structure[C]//Fifty Anniversary Conference for Institute of architecture and civil engineering in Gan Su Province. Lanzhou: Architectural Society of China, 2003;27-235. (in Chinese)

- [7] 刘海卿,倪镇国,张颖. 多层框架结构地震倒塌过程仿真分析[J]. 科学技术与工程,2009,9(2):472-475.  
LIU Haiqing, NI Zhenguo, ZHANG Ying. Simulation analysis for the collapse response of frame structures under macroseism[J]. Science Technology And Engineering, 2009,9(2):472-475. (in Chinese)
- [8] 牛红地,王泽云. 多层框架结构填充墙震害分析[J]. 四川建材,2010,36(153):24-25.  
NIU Hongdi, WANG Zeyun. Analysis of the damage of multistory frame structure filling wall[J]. Sichuan building materials, 2010,36(153):24-25. (in Chinese)
- [9] 刘景齐. 地震作用下多层砌体结构房屋的破坏特点及震害启示[J]. 建筑技术,2010(8):152.  
LIU Jingqi. Damage characteristics and damage revelation for multilayer masonry structure buildings under earthquake[J]. Construction technology, 2010(8):152. (in Chinese)
- [10] 叶列平,曲哲,陆新征,等. 建筑结构的抗倒塌能力——汶川地震建筑震害的教训[J]. 建筑结构学报,2008,29(4):42-50.  
YE Lieping, QU Zhe, LU Xinzhen, et al. The anti-collapse ability of building structure - damage lesson construction from Wenchuan earthquake[J]. Journal of Building Structures, 2008,29(4):42-50. (in Chinese)
- [11] 杨海旭,王海飙. 混凝土空心砌块砌体结构的动力反应分析[J]. 东北林业大学学报,2009,37(4):54-59.  
YANG Haixu, WANG Haibiao. Earthquake response analysis of masonry structure of reinforced concrete hollow block[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009,37(4):54-59. (in Chinese)
- [12] 熊立红,张敏政. 设置芯柱一构造柱混凝土砌块墙体抗震剪切承载力计算[J]. 地震工程与工程振动,2004,24(2):82-87.  
XIAO Lihong, ZHANG Minzheng. Evaluation of seismic shear strength of concrete-block walls with core columns/constructional columns[J]. Journal of Earthquake engineering and Engineering Vibration, 2004,24(2):82-87. (in Chinese)