

# 节能型砌体组合墙片的抗震性能分析\*

吕伟荣, 胡益民, 李 远

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 对2组4片节能型砌体组合墙片进行低周反复加载试验来研究该结构的抗震变形能力, 试验设计了2组不同高宽比(0.933、0.7)的1/2缩尺模型, 试验结果表明: 试验墙片的破坏主要为构造柱裂缝与砌体部分的裂缝相贯通并向对角方向发展, 且墙体中间偏下段出现水平裂缝, 伴有砌块脱落的现象; 2组试件的极限位移角平均值为1/64; 滞回曲线较饱满, 表明节能型砌体组合墙片具有良好的抗震变形能力。

**关键词:** 节能型砌体组合墙片; 抗震变形性能; 低周反复荷载

**中图分类号:** TU352

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2014)02-0293-05

## 0 引言

与普通砖砌体——钢筋混凝土构造柱组合墙不同, 节能型砌体组合结构中砌体部分为加气混凝土承重砌块, 由保温砂浆砌筑而成; 构造柱和圈梁由具有一定保温性能的自密实轻骨料混凝土浇筑而成。作为一种自保温结构体系, 节能型砌体组合结构的优势在于能满足广大中南地区夏热冬冷等节能要求。研究表明由加气混凝土承重砌块和保温砂浆组成的砌体抗压强度试验平均值 $f_{c,m}=3.07\text{ MPa}$ , 换算为设计强度基本达到普通烧结砖砌体 MU10, M5.0 水平, 可满足结构竖向承重要求。但作为一种新型结构形式, 其抗震性能的研究尚未展开。为此, 本文通过对2组4片节能型

砌体组合墙片进行低周反复加载试验, 研究其抗震变形性能, 为该结构体系的广泛应用提供参考(朱伯龙, 1989)。

## 1 试验概述

### 1.1 试件设计

本文根据住宅建筑中普遍采用的开间或进深尺寸, 分别设计了2组对比试件进行试验, 2组试验墙片原型尺寸为 $3\,000\text{ mm}\times 2\,800\text{ mm}\times 240\text{ mm}$ 、 $4\,000\text{ mm}\times 2\,800\text{ mm}\times 240\text{ mm}$ 。根据湖南科技大学土木学院具体的试验条件, 本次试验墙片采用上述原型的1/2缩尺模型(表1、表2和图1)。

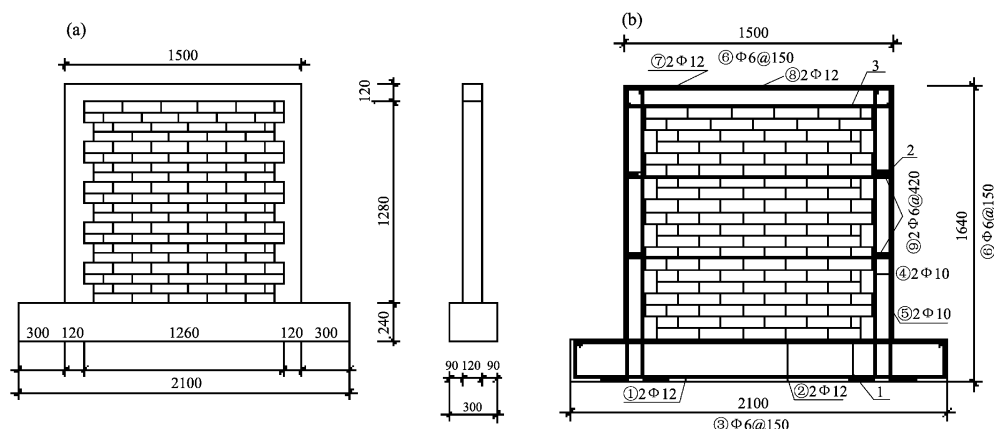


图1 墙片1布置图  
(a) 墙片1尺寸图; (b) 钢筋布置图

Fig. 1 Placement of wall 1  
(a) dimension of wall 1; (b) placement of reinforcement

\* 收稿日期: 2013-10-10.

基金项目: 湖南省自然科学基金委员会与湘潭市政府自然科学基金联合基金资助(编号14JJ5012)。

表 1 试验墙片类型

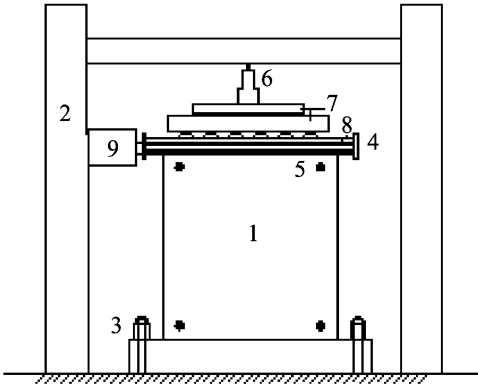
Tab. 1 Type of the test walls

类型	数量	宽×高×厚/m	$\sigma_0/\text{MPa}$	高宽比	构造柱
W1	2	1.5×1.4×0.12	0.1	0.933	2 边柱
W2	2	2.0×1.4×0.12	0.1	0.700	2 边柱

表 2 底梁、圈梁及构造柱截面

Tab. 2 Section of mudsill、ring beam and constructional column

剖面位置	尺寸/mm	配筋
1-1 (底梁)	300×240	4Φ12, Φ6@150
2-2 (构造柱)	120×120	4Φ10, Φ6@150
3-3 (圈梁)	120×120	4Φ10, Φ6@150



1.试件; 2.压力架; 3.螺栓固定; 4.钢垫板; 5.侧向支撑;  
6.千斤顶; 7.分配梁; 8.拉杆; 9.作动器

图 2 试验加载装置示意图

Fig. 2 Sketch map of test loading device

1.2 试验方案

研究中采用水平往复荷载试验研究组合砌体墙片的抗震性能,该试验在湖南科技大学结构实验室进行,水平往复加载采用荷载位移混合控制方法(聂建国, 2013a, b),加载装置示意图如图 2 所示。

1.3 量测方案

试验中需通过应变片和百分表量测试件的应变和位移来观察试件的变形情况,试件应变片和百分表布置如图 3 所示。

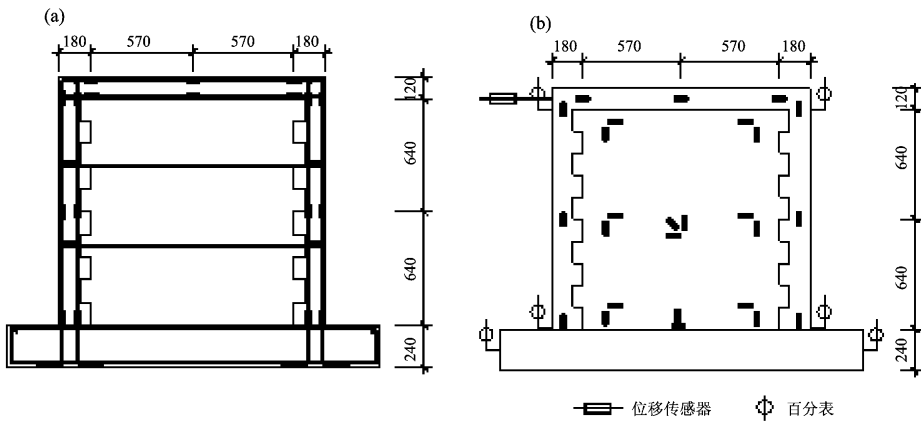


图 3 应变片、百分表和位移传感器布置图

(a) W1 钢筋应变片布置图; (b) W1 百分表、位移传感器、砌体和混凝土应变片布置图

Fig. 3 Arrangement of strain gauge, dial indicator and displacement sensor

(a) arrangement of steel strain gauge of W1; (b) arrangement of dial indicator of W1、displacement sensor and strain gauge on masonry and concrete

2 试验现象

2.1 墙片 W1、W2

W1、W2 分别做了 2 片,各自命名为 W1-1 和 W1-2 以及 W2-1, W2-2, 试验步骤及破坏过程描述如下:

(1) 首先施加竖向均布荷载 0.1 MPa,待变形稳定后,开始施加水平推力。

(2) 当水平荷载加到 33 kN (开裂荷载) 时, W1 上部的第二皮砖出现了几条稍微倾斜的竖向裂缝(图 4a),并沿斜向继续发展。而墙片 W2 出现这一现象时荷载为 41 kN。

(3) 弹塑性阶段:当荷载达到 65 kN 时, W1 构造柱的上下角部出现了斜向裂缝(图 4d),且随着荷载的增加逐渐相连,最后形成比较明显的 X 型裂缝(图 4c)。W2 为 71 kN。

(4) 极限值:水平推拉力最大值为 98 kN,此

时 W1 的极限位移角达到 1/70。W2 的极限水平推拉力为 80.18 kN，此时极限位移角达到1/72，砌体表面裂缝比较多，最大裂缝宽度达到2.2 mm左右，且砌体与构造柱有相互脱开的现象，砌体出

现了压碎掉块的状况。  
(5) 破坏阶段：随着水平位移的增加，砌体所能承受的荷载不再增加，最后荷载急速下降，墙体破坏（图 4b）。

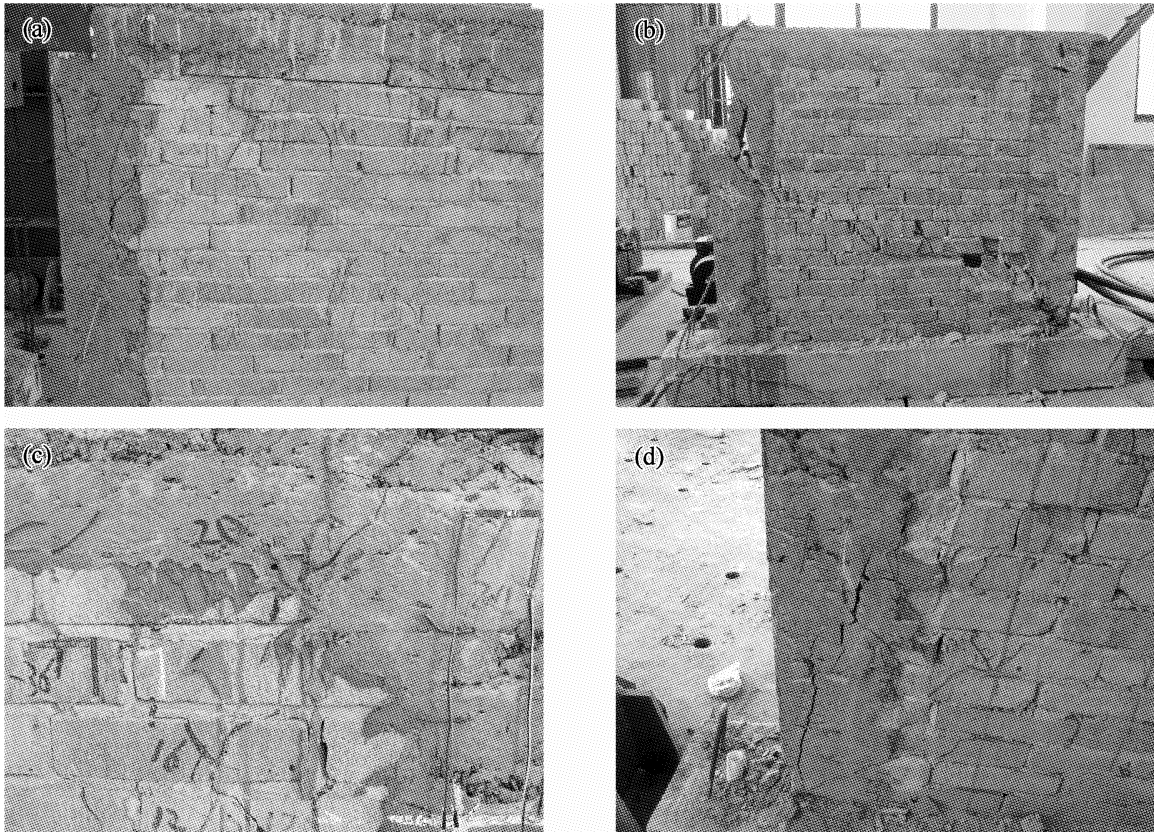


图 4 W1 裂缝分布图  
(a) W1 开裂图；(b) W1 墙体破坏图；(c) W1 裂缝图；(d) W1 构造柱开裂图

Fig. 4 Crack distribution of W1  
(a) crack of W1；(b) failure of W1；(c) crack of W1；(d) crack for constructional column of W1

3 试验结果与分析

3.1 滞回性能

各试件的滞回曲线见图 5。W1 和 W2 的滞回曲线的形状大体一致，呈反 S 形，有明显的捏拢现象。整体而言，二组试件滞回曲线较饱满，有一定的抗震耗能能力。

3.2 延性

本试验墙片的破坏转角均值为 1/64，与抗震规范中规定的框架—抗震墙关于弹塑性层间位移角限值 1/100 的要求接近，表明结构具有良好的变形能力，能满足抗震要求。墙片延性性能（周柄章，夏敬谦，1991；施楚贤，周海兵，1997；金伟

良等，2001；周锡元等，2006；巩耀娜，2012）如表 2 所示。

表 2 墙体延性性能 ( $\Delta_{cr}$ )								
Tab. 2 The ductility of the wall ( $\Delta_{cr}$ )								
墙体 编号	初裂位 移 $\Delta_{cr}$	极限位 移 $\Delta_u$	破坏位 移 $\Delta_w$	$\mu_u$	$\mu_w$	$\theta_{cr}$	$\theta_u$	$\theta_w$
W1-1	3.79	19.94	19.94	5.261	5.261	1/369	1/70	1/70
W1-2	4.90	21.10	24.11	4.306	4.92	1/286	1/66	1/58
W2-1	4.80	22.80	22.80	4.750	4.750	1/292	1/61	1/61
W2-2	6.61	19.54	22.80	2.956	3.449	1/212	1/72	1/61

注： $\theta_{cr}$ 为开裂转角； $\theta_u$ 为极限转角； $\theta_w$ 为破坏转角。

3.3 耗能能力

在现代工程抗震设计中，常用等效粘滞阻尼

系数  $h_e$  来判别构件的能量耗散性能, 根据梁建国等 (2003)、巩耀娜 (2012) 的公式计算等效粘滞阻尼系数, 可得 W2 的开裂阻尼系数为 0.098, 极限阻尼系数为 0.112, 破坏阻尼系数为 0.146。

一般钢筋混凝土结构的等效粘滞阻尼系数  $h_e$  在 0.1 左右, 由计算结果可知, W2 的开裂阻尼系数与钢筋混凝土结构的接近, 而破坏阻尼系数为其 1.5 倍。在位移控制加载过程中, 等效粘滞阻尼系数  $h_e$  随着位移的增加也逐渐增加, 说明塑性铰的转动消耗了能量, 满足抗震设计要求。

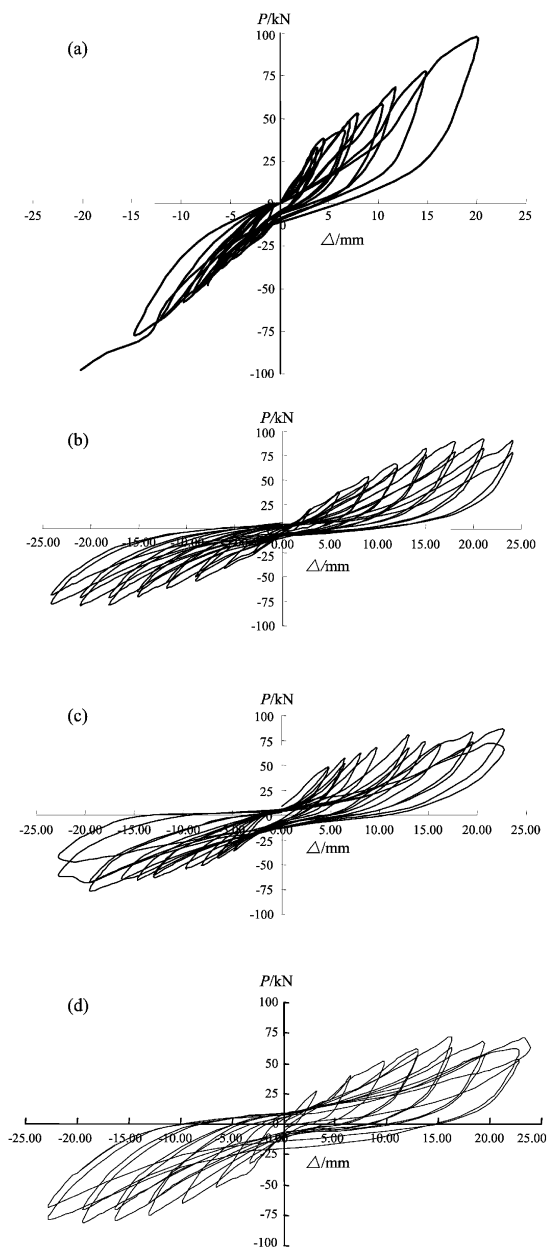


图 5 荷载—位移滞回曲线图

(a) W1-1; (b) W1-2; (c) W2-1; (d) W2-2

Fig. 5 Hysteresis loops of load and displacement

### 3.4 刚度退化

采用割线刚度来表现试件在加载过程中的刚度退化, 任一加载循环的等效刚度就是这一加载循环的正负方向的顶点的割线刚度 (巩耀娜, 2012), 则等效刚度按式 (1) 计算 (史庆轩, 易文宗, 2000; 巩耀娜, 2012):

$$K_i = \frac{|P_i| + |-P_i|}{|\Delta_i| + |-\Delta_i|} \quad (1)$$

式中,  $K_i$  表示第  $i$  次加载循环的换算的等效刚度;  $P_i$  表示第  $i$  次加载循环正方向上所能承受的最大横向荷载值;  $-P_i$  表示第  $i$  次加载循环反方向上所能承受的最大横向荷载值;  $\Delta_i$  表示第  $i$  次加载循环正方向上与荷载值  $P_i$  所对应的位移值;  $-\Delta_i$  表示第  $i$  次加载循环反方向上与荷载值  $P_i$  所对应的位移值。

各试件刚度在加载过程中的变化规律如图 6 所示。第一组试件在整个加载过程中刚度变化基本保持一致, 从图 6 中可以很明显的看出试验初期刚度下降速度较快, 后期刚度下降速度较慢, 且 W1-2 刚度较 W1-1 较低, 这是由于 W1-2 的滞回环较 W1-1 饱满。第二组试件墙片刚度与第一组的现象基本一致。综合二组试件墙片的数据显示: 高宽比的不同对试件的整个加载过程的刚度退化影响不明显, 对于第一、二组试件, 从开始加载到墙体发生破坏, 墙体刚度下降了 50% 左右。

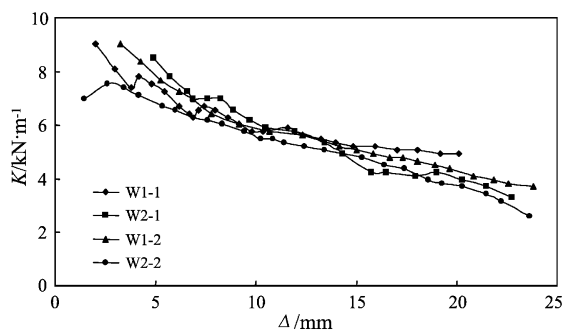


图 6 试件刚度退化曲线

Fig. 7 Stiffness degradation curve of test piece

## 4 结论

(1) 节能型砌体组合墙片的滞回曲线较饱满, 耗能能力比较好, 由于砌体破坏产生的滑移导致有较明显的捏拢效应。

(2) 试件极限位移角在  $1/70 \sim 1/58$  之间, 平

均值为  $1/64$ , 有较好的延性, 能满足结构对弹塑性抗震变形的要求。

(3) 承载力极限状态时的等效粘滞阻尼系数在  $0.075 \sim 0.112$  之间, 平均值为  $0.094$ 。表明砌体有较好的耗能能力, 能够满足抗震要求。

(4) 试件破坏后, 刚度较加载前下降了  $50\%$  左右, 说明试件裂缝发展良好, 具有较强的延性性能, 符合抗震要求; 高宽比对试件刚度退化影响不明显。

#### 参考文献:

- 巩耀娜. 2012. 混凝土多孔砖墙体抗震性能试验研究[D]. 郑州: 郑州大学.  
金伟良, 徐铨彪, 潘金龙, 等. 2001. 不同构造措施混凝土空心小型砌

- 体墙体的抗侧力性能研究[J]. 建筑结构学报, 22(6): 64-72.  
梁建国, 张望喜, 郑勇强. 2003. 钢筋混凝土—砖砌体组合墙抗震性能[J]. 建筑结构学报, 24(3): 61-69.  
聂建国. 2013a. 方钢管混凝土暗柱内嵌钢板—混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构, 34(1): 52-60.  
聂建国. 2013b. 钢板剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构, 34(1): 61-69.  
施楚贤, 周海兵. 1997. 配筋砌体剪力墙的抗震性能[J]. 建筑结构学报, 18(6): 32-40.  
史庆轩, 易文宗. 2000. 多孔砖砌体墙片的抗震性能试验研究及抗倒塌能力分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 32(3): 272-275.  
周柄章, 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): 31-42.  
周锡元, 李万举, 闫维明, 等. 2006. 构造柱约束的混凝土小砌块墙体抗震性能的试验研究[J]. 土木工程学报, 39(8): 45-50.  
朱伯龙. 1989. 结构抗震试验[M]. 北京: 地震出版社.

## Analysis on Seismic Behavior of Composite Wall of Energy-saving Masonry

LU Wei-rong, HU Yi-min, LI Yuan

(College of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China)

#### Abstract

A cyclic lateral loading test was made to study the seismic deformation ability of two group of four composite wall of energy-saving masonry. In the test, two groups of different height to width ratio ( $0.933$ ,  $0.7$ ) scale model were designed. The test results showed that the damage of test walls mainly was that the through crack of constructional column and masonry was communicated and expanded to diagonal direction. Meanwhile, the horizontal cracks appeared at middle part of wall with blocks fall out. The average ultimate displacement angle of two groups of specimens was  $1/64$ , and the hysteresis curves were relatively full, which indicated that the composite wall of energy-saving masonry has good seismic deformation ability.

**Key words:** composite wall of energy-saving masonry; seismic deformation behavior; low cyclic loading