

# 云南民居传统木质隔墙抗侧移性能的改进研究\*

姜楠楠, 屈俊童

(云南大学 城市建设与管理学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 综合轻型木结构墙体构造原理对传统木结构墙体进行改进, 设计制作了3组传统民居木隔墙和3组改进后的轻型木隔墙实体模型, 进行拟静力模拟试验, 分析传统结构与改进后轻型结构木隔墙的抗侧移性能。试验结果表明轻型结构木隔墙较于传统木隔墙能够很好的提高抗震性能, 其抗侧移刚度和单位耗能得到提高, 但其极限位移、延性系数不及传统木隔墙。

**关键词:** 轻型木结构; 传统木结构; 木隔墙; 拟静力试验; 云南民居

**中图分类号:** P315.9; TV352.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2012)01-0128-05

## 0 前言

我国是世界上地震灾害频发并且震害极其严重的国家之一。我国经济发展地域不均衡, 在少数民族较多且相对落后的地区, 由于民族文化的传承需求, 木结构民居建筑仍广泛而大量的分布并将延续应用。云南省地震多发, 开展木结构的民居抗震研究具有一定的现实意义。

国内对木隔墙的研究起步较晚, 对木结构墙体的研究也多数集中在对轻型木结构剪力墙的研究, 而对传统民居墙体的抗震性能研究较少。程海江(2007)和吕西林等(2007)分别完成了两栋二层足尺轻型木结构房屋的振动台试验以及木结构剪力墙低周反复加载试验。张盛东(2006)根据钉节点试验结果提出一个钉节点荷载—侧移公式并提出无抗倾覆锚固件剪力墙的侧向变形公式。谢启芳等(2010)根据轻型木结构的优点和结构特点提出一种新型木结构墙体: 木骨架中的竖向墙骨与横向墙骨、顶梁、底梁采用榫卯连接, 面板与木骨架采用钉连接, 该墙体受剪承载力较高、耗能性能好而且施工更为简便。

结合轻型木结构墙体构造原理对传统木隔墙进行改进, 类似于剪力墙在钢筋混凝土结构中的原理, 可以增强传统民居底层刚度, 进一步提高民居整

体性, 减少地震中由于梁柱变形过大导致的人员伤亡及财产损失。

## 1 试验设计

### 1.1 试验目的

结合轻型木结构墙体构造原理对传统木结构墙体进行改进, 为验证改进后轻型木隔墙的抗侧移性能, 分别设计制作了3组传统结构木隔墙(TW-1, TW-2和TW-3)和3组轻型结构木隔墙(LW-1, LW-2和LW-3)实体模型来进行拟静力试验, 分析传统结构与改进后轻型结构木隔墙的抗侧移性能, 以验证改进后轻型结构木隔墙能否很好地提高传统木隔墙的抗震性能, 从而得出为传统民居的整体抗震性能进行改进和加固的方法。

### 1.2 试件制作与设计

拟静力试验中, 传统民居木质隔墙的试验模型按照经验数据进行设计(土结构设计手册编辑委员会, 2006): 长2.4 m, 高1.2 m, 墙骨柱间距为0.7 m, 1.0 m, 0.7 m, 隔板长0.64 m, 高1.14 m。轻型木隔墙按照《木结构设计规范》(GB50005-2003)的材料、构造方法等要求进行设计, 高1.3 m, 墙面板长0.6 m, 高1.2 m, 中间墙骨柱间隔为0.2 m, 两侧的墙骨柱各增加一

\* 收稿日期: 2011-01-09.

**基金项目:** 云南大学“第二批”中青年骨干教师项目、云南大学“211工程”三期省级重点学科山地中小城镇抗震防灾相关技术应用研究项目及地震行业科研专项“宁洱6.4级地震现场综合考察和研究”(200808061)联合资助。

条。轻型木隔墙构件尺寸见图 1。

试验采用手摇式机械千斤顶施加荷载，并通过 YH-45 型压力盒测量模型的荷载位移关系；位移测试采用固定指针，将精度为 1mm 的直尺固定于模型试件上测量位移变形。试验装置示意图见图 2。

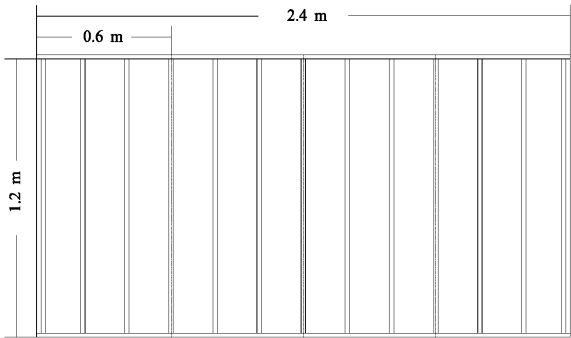


图 1 轻型木隔墙构件尺寸示意图

Fig. 1 Components parts size of light wooden brattice

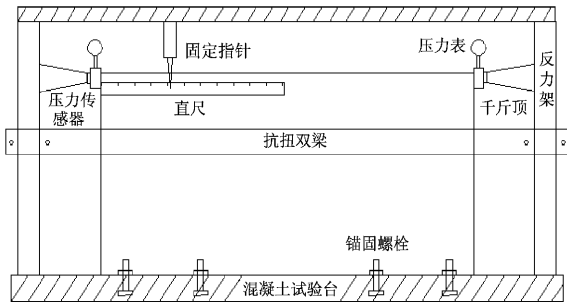


图 2 试验装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental device

试验采用单向加载及低周拟静力往复加载两种模式。由于木结构构件的结构性能与模型制作、构件材料有很大的关联性，一般情况下无法预估构件的极限荷载或极限位移的范围。因此，首先在 3 组轻型木隔墙及 3 组传统木隔墙的实体模型中选取 LW-1 和 TW-1 模型做单向加载试验，以获得其极限荷载及极限位移，并获得轻型木隔墙和传统木隔墙两种结构在单向荷载作用下的荷载位移关系。然后根据测试得到的极限荷载制定反复加载制度。

2 两类结构木隔墙破坏现象及成因分析

2.1 模拟试验中传统木隔墙破坏现象和成因分析

传统木质内隔墙在单向及反复荷载作用下的主要破坏现象有：木樨拔出、隔板断裂、隔板扭

曲、垫樨外出、顶梁断裂或上下扭曲及底梁板断裂等，底梁板樨接上拔现象普遍，三块隔板均有不同程度的扭曲，尤其是中间隔板侧向扭曲现象较为突出。樨头拔出一般是由于水平位移过大导致墙体变形过大引起，另外竖向荷载约束也是一个不可忽视的因素。

拟静力试验的几个模型中均出现了顶梁板的波浪式扭曲，其主要原因是未施加竖向荷载的约束。TW-3 模型由于侧向扭转过大，导致顶梁板一处断裂，虽然已经进行了双梁抗侧向扭转的设计，但是双梁刚度不足，其抗扭侧向扭转效果只能在一定范围内起作用。

2.2 轻质木隔墙破坏现象和成因分析

轻型结构内隔墙在单向及反复荷载试验中的主要破坏现象有：墙骨钉拔出、墙骨开裂、底梁板断裂、面板钉拔出。拟静力试验过程中轻型结构木隔墙均出现底梁板断裂，断裂部位位于底部锚栓处，由于未预施竖向荷载约束，在施加水平荷载时出现了上拔，上拔力超过了底梁板的抗弯强度。

在反复荷载加载试验中也出现了钉子拔出现象，而钉子弯曲现象不太明显，主要是钉子强度相对墙骨柱过大；水平变形直接导致了墙骨柱的开裂，甚至钉子脱离墙骨柱，主要原因是没有在底梁板及墙骨柱连接处使用抗倾覆锚固件且未预施竖向约束。

3 荷载位移曲线

3.1 单向加载

单向加载位移曲线如图 3 所示。从传统木隔墙 TW-1 模型的单向加载的荷载位移曲线可以看出：初始的 2 cm 位移内，荷载上升较缓，斜率较小，其原因是 TW-1 模型为木质结构，构件制作中存在空隙；在位移达到 2 cm 以后，荷载开始快速上升，持续到 4 cm 后，增速开始放缓，在位移达到 3 cm 时，试件的中间隔板出现明显的扭曲及樨上拔现象；位移约为 8 cm 时，中间隔板扭出木槽，随着位移的增加，荷载开始下降；在约 9.5 cm 处，出现了中间隔板严重扭曲并扭出卡槽，底梁板木樨大部分拔出，荷载急速下降。

从轻型木隔墙 LW-1 模型的单向加载的荷载位移曲线可以看出：初始的 1 cm 位移内，荷载上升较慢，在位移达到 1 cm 以后，荷载开始快速上

升持续到 3 cm 之后, 增速开始放缓。在约 10 cm 时, 底梁板断裂, 随着位移的继续增加, 荷载开始下降。

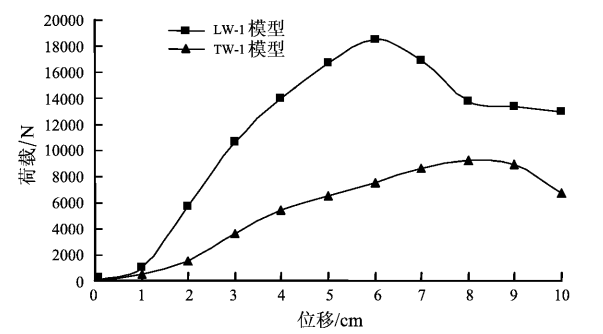


图 3 TW-1 与 LW-1 模型单向加载位移曲线  
Fig. 3 One way load displacement curve of model TW-1 and LW-1

3.2 反复加载

根据 TW-1 和 LW-1 模型单向加载试验结果, 制定了传统木隔墙和轻质木隔墙的反复荷载加载制度 (Hongyong, 2004) (图 4)。进行反复加载试验后, 得到传统木隔墙 TW-2 模型 (图 5a)、TW-3 模型 (图 5b) 和轻型木隔墙 LW-2 模型 (图 5c)、LW-3 模型的荷载位移滞回曲线 (图 5d)。

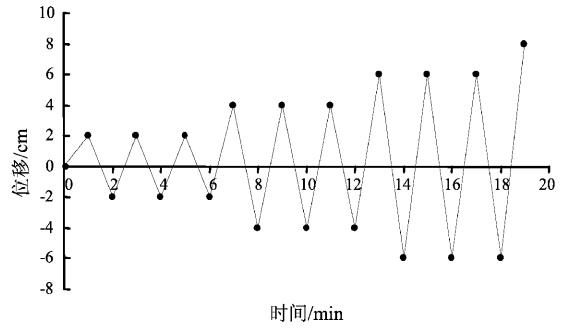


图 4 反复加载制度  
Fig. 4 Cyclic loading system

笔者分别对传统木隔墙和轻型木隔墙模型进行了 3 次反复加载试验, 分别得到 3 条荷载位移滞回曲线。从图 5 可以看出 TW-2 模型的第三循环的极限荷载只有第一循环极限荷载的 91%; 而 TW-3 模型的第三循环极限荷载是第一循环极限荷载的 90%。LW-2 与 LW-3 两个试件荷载位移曲线较传统木隔墙存在明显的强度折减, LW-2 模型的第三循环极限荷载只有第一循环极限荷载的 81.6%; 而 LW-3 模型的第三循环极限荷载是第一循环极限荷载的 88%。从滞回曲线的饱满程度来看, 传统木隔墙明显不如轻型木隔墙的滞回曲线饱满, 说明轻型木隔墙具有更好的耗能特性。

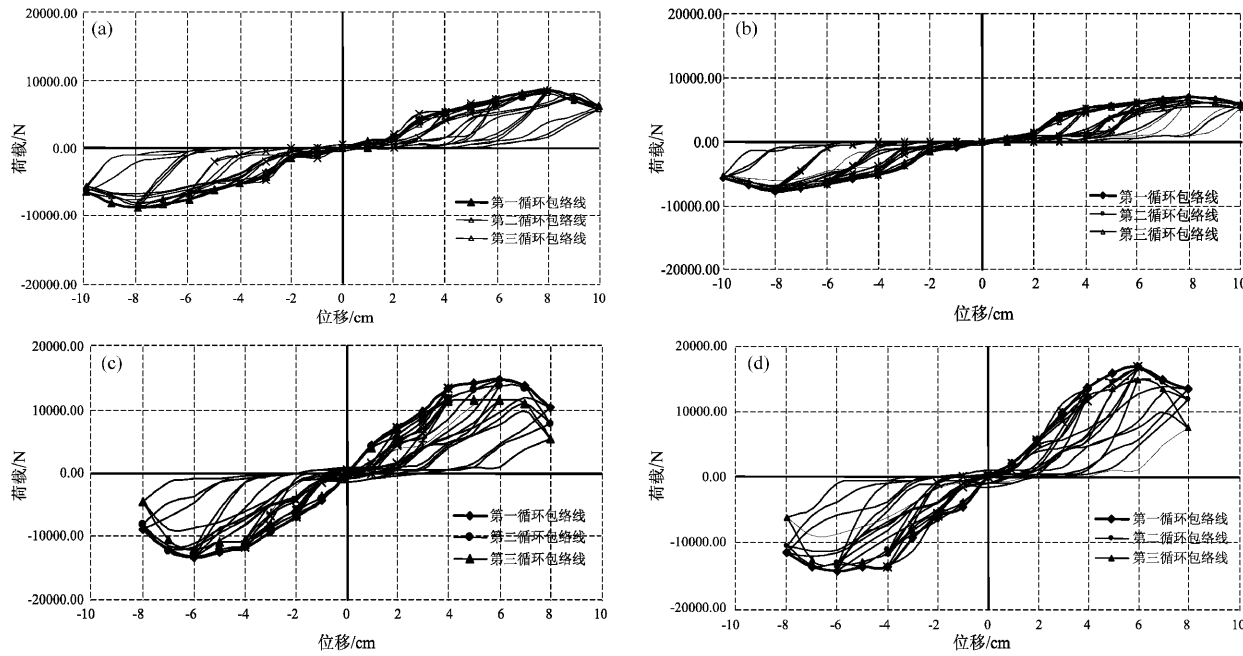


图 5 反复加载滞回曲线  
(a) TW-2 模型; (b) TW-3 模型; (c) LW-2 模型; (d) LW-3 模型  
Fig. 5 Cyclic loading hysteresis curve  
(a) Model TW-2; (b) Model TW-3; (c) Model LW-2; (d) Model LW-3

TW-2 模型的反向推力极限荷载是正向推力极限荷载的 99%；TW-3 模型的反向极限荷载是正向极限荷载的 91%。由此可知，传统结构木隔墙在低周反复荷载试验中表现出来良好的弹性恢复性能。LW-2 模型的反向推力极限荷载是正向推力极限荷载的 90.4%；LW-3 模型的反向极限荷载是正向极限荷载的 85%。由此分析出，轻型结构木隔墙在低周反复荷载试验中产生塑性变形，导致反推过程的极限荷载偏低。

4 试验结果分析

4.1 单向加载试验结果

由 LW-1 和 TW-1 墙体模型的单向加载试验的试验结果分析得出，LW-1 模型的最大荷载值为 18 444.44 N，极限位移为 7.6 cm；而 TW-1 模型的最大荷载值为 9 216.49 N，极限位移为 9.0 cm。LW-1 模型的最大荷载是 TW-1 模型最大荷载的两倍，而 LW-1 模型极限位移只有 TW-

1 模型的 78.3%。可以看出，轻型结构木隔墙的刚度比传统木结构墙强。

4.2 反复加载试验结果

通过对 LW-2 和 TW-2 模型的第一循环试验结果进行对比分析得出：轻型木隔墙的滞回曲线相对传统木隔墙要饱满，LW-2 模型比 TW-2 模型的耗能性能强。抗侧性能指标结果见表 1。

(1) 极限位移

LW-2 模型的极限荷载为 14 777.78 N，极限位移为 7.5 cm，TW-2 模型的极限荷载为 8 804.12 N，极限位移为 9.5 cm。LW-2 模型的极限荷载是 TW-2 模型极限荷载的 1.68 倍；LW-2 模型的极限位移则是 TW-2 模型极限位移的 78.9%。由此可以看出，轻型结构木隔墙的刚度要比传统木结构墙的要大很多。传统木隔墙的极限位移比轻型木隔墙极限位移最小值高 16.8%，比最大值高 22.7%；轻型木隔墙的平均极限位移为 7.66 cm，而传统木隔墙的平均极限位移为 9.6 cm，比轻型木隔墙高约 20%。

表 1 抗侧性能指标  
Tab. 1 Racking performance indicators

试件编号	LW-1	LW-2	LW-3	TW-1	TW-2	TW-3
极限位移/cm	7.6	7.5	7.9	9.7	9.5	9.6
延性系数	2.14	2.50	2.22	2.65	3.10	3.33
初始刚度/N·cm <sup>-1</sup>	5 533.33	2 955.56	2 796.30	1 626.44	1 467.35	1 278.35

(2) 延性系数

构件的延性系数反映了构件的柔度（熊海贝，李青纯，2008）。表 1 给出了 6 个试件的延性系数值。传统木结构墙体的延性系数全部大于轻型结构木隔墙，说明传统结构的柔度优于轻型木结构墙体。也很好解释了在试验中轻型结构试件均出现顶底梁板的断裂，而传统木结构木隔墙试件除了一个在木节附近的顶梁板断裂外，其余都表现出曲而未断的破坏现象。

(3) 抗侧刚度

从表 1 可看出，轻型木隔墙的抗侧刚度普遍大于传统木隔墙。其中，最大抗侧刚度 LW-1 模型是最小抗侧刚度 TW-3 模型的 4.3 倍；轻型木隔墙中，抗侧刚度最小的 LW-3 模型是传统木隔墙中抗侧刚度最大的 TW-1 模型的 1.7 倍。

据程海江等（2006）研究结果可知抗侧刚度

受到抗剪强度和变形性能的双重影响，而轻型结构木隔墙内部大量的墙骨柱使得试件的抗剪强度明显增加，双层敷面板的结构形式使轻型木结构墙体的抗变形能力大幅提高。

(4) 耗能特性

建筑结构构件的抗侧刚度及其延性系数综合表现为构件的耗能特性（张盛东，2006），结构耗能越大，破坏越严重。表 2 给出了 6 组试验模型的总耗能及其单位耗能，本文定义单位耗能是每单位长度墙体的耗能大小。

由表 2 试验结果分析出：轻型结构木隔墙的所有模型的耗能均比传统结构木隔墙大，试验中轻型木结构墙体几乎都出现了底梁板的断裂破坏现象。从两类结构木隔墙模型的平均耗能指标来看，轻型木结构墙体的耗能要大于传统木结构墙体的耗能。

表 2 试件耗能结果  
Tab. 2 Results of sample energy consumption

试件编号	LW - 1	LW - 2	LW - 3	LW 平均	TW - 1	TW - 2	TW - 3	TW 平均
总耗能/J	1 169. 8	1 576. 0	1 666. 0	1 470. 6	552. 47	1 078. 9	956. 86	862. 73
单位耗能/J	487. 4	656. 7	694. 2	612. 8	230. 2	449. 53	398. 69	359. 47

5 结论

为了进一步提高村镇民居的抗震性能，笔者对传统村镇民居木隔墙进行改造，以求提升其抗震性能，将轻型木结构的墙体构造原理用于改进传统民居木结构隔墙，采用单向加载及低周反复加载的拟静力试验方法，进行了 3 组传统民居木隔墙试件和 3 组改进后的轻型木隔墙的模式试验。

试验结果表明，轻型结构木隔墙较于传统木隔墙能够很好的提高抗震性能。

- (1) 耗能性能：改进后的轻型木质隔墙具有更好的耗能性能；
  - (2) 抗侧移刚度：轻型结构木隔墙内部大量的墙骨柱使得试件的抗剪强度明显增加；
  - (3) 极限位移和延性系数：改进后的轻型木质隔墙极限位移和延性系数不及传统木质隔墙。
- 对于整个民居体系来说，轻型墙体的抗侧移性能仍需进一步研究。

参考文献：

程海江. 2007. 轻型木结构房屋抗震性能研究[ D]. 上海: 同济大学.  
程海江, 倪春, 吕西林. 2006. 有翼缘和竖向荷载的带洞口木框架剪力墙的试验研究[ J]. 土木工程学报, 39(12): 33 - 40.  
吕西林, 程海江, 卢文胜, 等. 2007. 两层轻型木结构足房屋模型模拟地震振动台试验研究[ J]. 土木工程学报, 40(10): 49 - 57.  
木结构设计手册编辑委员会. 2006. 木结构设计手册[ M]. 北京: 中国建筑工业出版社.  
谢启芳, 吕西林, 熊海贝. 2010. 轻型木结构房屋的结构特点与改进[ J]. 建筑结构学报, (S2): 356 - 360.  
熊海贝, 李青纯. 2008. 木质剪力墙侧移和抗侧刚度的研究[ J]. 结构工程师, 24(3): 80 - 84, 90.  
张盛东. 2006. 木结构剪力墙抗侧性能研究进展[ J]. 结构工程师, 22(5): 18 - 21.  
周光全, 非明伦, 施伟华, 等. 2006. 1992 ~ 2005 年云南地震灾害及其对农村民居的影响[ J]. 地震研究, 29(4): 407 - 410.  
周光全, 非明伦, 施伟华. 2006. 1992 ~ 2005 年云南地震灾害损失与主要经济指标研究[ J]. 地震研究, 29(2): 198 - 202.  
GB50005 - 2003, 木结构设计规范[ S].  
Hongyong M. 2004. Behavior of unlocked wood shear walls[ D]. Canada: University of New Branswick.

Anti-sway Performance Improving Study of Traditional Wooden Brattice of Yunnan Dwelling

JIANG Nan-nan, QU Jun-tong  
(School of Urban Construction & Management, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract

To improve traditional wooden brattice combined with construction principle of light wooden brattice, we design three physical models of traditional dwellings with wooden brattice and the other three improved physical models with the light wooden brattice to do the quasi-static test. Through the quasi-static test, we analyze anti-sway performance of the traditional wooden brattice and the improved light wooden brattice. The result shows that the light structure with wooden brattices is better than traditional wooden brattices on seismic behavior, lateral stiffness and unit energy consumption, but its ultimate displacement and ductility factor is not as good as that of traditional wooden brattices.

**Key words:** light wooden structure; traditional wooden structure; wooden brattice; quasi-static test; Yunnan dwelling