

不同覆面材料木剪力墙抗侧性能试验研究

何敏娟, 周楠楠

(同济大学 建筑工程系, 上海 200092)

摘要: 对 10 片尺寸为 $2.44\text{ m} \times 2.44\text{ m}$ 且覆面板分别为进口 OSB 板、国产 OSB 板、国产胶合板、玻镁板和石膏板的木框架剪力墙进行了单向加载试验, 得到了不同覆面板剪力墙的破坏模式、荷载-位移关系, 通过计算分析获得了各种剪力墙的屈服和极限荷载、弹性阶段刚度、板材延性等性能指标. 研究结果表明: 国产胶合板及 OSB 板剪力墙在承载能力、延性和耗能方面较进口 OSB 板剪力墙有较大的提高; 玻镁板不仅具有较好的防火、防水性能, 而且比石膏板的强度高、韧性好. 因此国产板材具有良好的力学性能, 可以作为轻型木结构剪力墙的覆面板材.

关键词: 木剪力墙; 抗侧性能; 单向加载试验; 不同覆面板材

中图分类号: TU 336

文献标识码: A

Experimental Study on Racking Performance of Light-frame Shear Walls with Various Sheathing Materials

HE Minjuan, ZHOU Nannan

(Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Monotonic experimental study on racking performance of ten light frame shear walls of $2.44\text{ m} \times 2.44\text{ m}$ with five different sheathing materials were conducted. The sheathing materials investigated was the imported OSB panels, domestic OSB panels, domestic plywood panel, magnesium board and gypsum board. Failure modes and load-displacement curves of shear walls with various sheathing materials are obtained and yield load, ultimate load, elastic stiffness and ductility of those shear walls were found through calculation and analysis. Test results show that comparing with shear wall with imported OSB panel, shear walls with domestic plywood and OSB panels improve the bearing capacity, ductility and energy dissipation a lot. Magnesium board is not

only of good water and fire resistance but also better strength and toughness compared with gypsum board. Good mechanical properties of domestic sheathing make it applicable in the shear walls of light wood-frame house.

Key words: light-frame shear wall; racking performance; monotonic experiment; various sheathing materials

轻型木结构房屋利用可再生的木材资源, 并具有抗震性能好、施工方便、保温隔热等特点, 是一种特别适合于人类居住的住宅形式. 在北美, 几乎所有的低层住宅都是轻型木结构房屋. 最近几年, 在我国大连、北京、上海和南京等地的别墅建筑中, 轻型木结构得到了快速的发展^[1].

剪力墙由墙骨柱、顶梁板和底梁板、门窗洞口上过梁以及覆面板用钉连接而成. 作为轻型木结构中主要的抗侧力构件, 木剪力墙的性能历来受到重视. 从 1940 年开始, 研究人员就开始进行剪力墙的试验研究. Price 和 Gromala^[2] 对不同的墙面材料, 包括 10 种结构刨花板及两种南方松木胶合板进行了试验研究, 确定其抗侧性能. Griffiths^[3] 对采用不同覆面板材料及不同钉间距的 $2.44\text{ m} \times 2.44\text{ m}$ 剪力墙进行试验研究, 试验结果对剪力墙试验标准的改善起到了积极地作用. Dolan^[4] 在对 11 片覆有华夫刨花板及 14 片覆有胶合板的墙体进行试验后发现, 在静力和动力荷载作用下, 两种不同的结构板材的差别并不是很大. Yasumra^[5] 对采用不同类型覆面材料的剪力墙进行了单向及往复荷载作用下的试验研究. 试验结果表明: 加载机制对无机结构板材如石膏板的影响要远大于木基结构板材. Toothman^[6] 对单面采用 OSB 板、纤维板、硬质纤维板、石膏板的木剪力墙及一面采用木基结构板材, 一面采用石膏板的剪

收稿日期: 2010-01-06

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAJ08B11); 国际科技合作计划项目(2008DFA71990)

第一作者: 何敏娟(1963—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为钢结构和木结构. E-mail: hemj@tongji.edu.cn

通讯作者: 周楠楠(1983—), 女, 博士生, 主要研究方向为结构工程. E-mail: znn0922@gmail.com

力墙进行了单向及往复荷载下的试验研究,对不同板材的抗侧性能及石膏板对墙体抗侧性能的贡献进行了深入研究.国内的剪力墙的试验研究起步较晚,程海江^[7-8]进行了 6 片高 2.44 m、长 6.00 m 的木框架剪力墙的单向和反复荷载试验,研究了竖向荷载、翼缘墙体和洞口尺寸对剪力墙抗侧性能的影响.

人们普遍认为国产木材质量差、强度低,不能在轻型木结构中应用,因此目前国内轻型木结构的建筑材料主要依赖进口,成为限制其在中国发展的重要因素之一.本文对几种采用进口或国产覆面板材的木框架剪力墙进行了单向加载下的试验研究,并对其抗侧性能、破坏特征和机理进行对比分析,同时也为轻型木结构房屋整体分析提供试验依据.

1 试件的设计、材料和制作

所有墙体尺寸均为 2.44 m×2.44 m,覆面板分别采用了进口 OSB 板、国产 OSB 板、国产胶合板、玻镁板和石膏板 5 种不同的材料,为了对试验结果进行对比分析,板材的厚度均为 12 mm 左右.墙体试件编号及数量详见表 1.

表 1 试件构造及数量

Tab.1 Construction and number of test specimens

试件编号	覆面板材料	厚度/mm	试件数量
A	进口 OSB 材	11.9	2
B	国产 OSB 板	12.0	2
C	国产胶合板	11.5	2
D	玻镁板	12.0	2
E	石膏板	12.0	2

为了解 5 种不同板材的相关物理、力学性能,根据国家规范 GB/T 17657—1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》^[9]测量了剪力墙试验中所用的进口 OSB 板、国产 OSB 板和国产胶合板的弹性模量和静曲强度,试验结果见表 2.石膏板和玻镁板的相关国家规范 GBT9775—2008《纸面石膏板》^[10]和 JC 688—2006《玻镁平板》^[11]仅对其板材的面密度、石膏板断裂荷载及玻镁板抗折强度等性能进行了规定,表 2 中石膏板和玻镁板材性能从生产厂家获得.

选用 2.44 m×2.44 m 的剪力墙是因为这是轻型木结构住宅建筑中相邻门窗洞口间较为常见的墙段尺寸.图 1 为剪力墙的构造详图.墙段两端墙骨柱及顶梁板均为双根 38 mm×89 mm 的规格材用直径 3.76 mm、长度 89 mm 的圆钉以 600 mm 的中心距连为一体;墙骨柱与顶梁板或底梁板均采用 2 枚直

径 3.76 mm、长度 89 mm 的钉子垂直连接^[12].墙体在墙角处设有抗倾覆连接件.在安装此连接件时,为了避免钉子与连接件中螺栓的位置冲突,可对钉子的位置进行相应的调整.采用螺栓将抗倾覆连接件与边墙骨柱、底梁板及基础钢梁连接在一起.覆面板在边墙骨柱上的钉子按边距 19 mm 和 57mm 交叉布置,相邻面板连于同一根墙骨柱时,钉子的边距为 9 mm.钉子采用手工钉,钉头端面与覆面板齐平.覆面板尺寸为 1.2 m×2.4 m,相邻板拼接处留有 3 mm 的空隙.进口 OSB 板、国产 OSB 板和胶合板的面板钉为圆钉.覆面板与中间墙骨柱连接的钉间距为 300 mm,覆面板边缘钉间距为 150 mm.玻镁板及石膏板采用自攻螺丝连接,与中间及边缘墙骨柱连接的钉间距均为 150 mm.剪力墙试件的材料和构造细节见表 3 所示.

表 2 材料性质表

Tab.2 Material properties

覆面板材料	静曲强度/MPa		弹性模量/MPa	
	纵向	横向	纵向	横向
进口 OSB	33.2	17.8	5 048	2 322
国产 OSB	24.2	12.08	4 745	1 851
国产胶合板	28.5	21.26	3 877	3 298
	板材面密度/ (kg·m ⁻²)	纵向断裂 荷载/N	横向断裂 荷载/N	
石膏板	10.8	726* (710)	334* (317)	
	板材面密度/ (kg·m ⁻²)	抗冲击强度/ (kg·m ⁻²)	抗折强度/ MPa	
玻镁板	11.5	2.0	18	

注:上标为*的数值为平均值;括号中的数值为最小值.

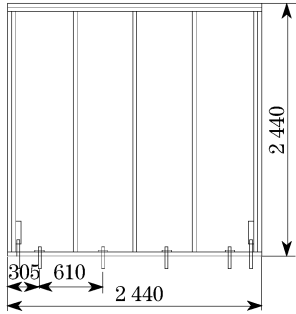


图 1 墙体构造详图(单位:mm)
Fig.1 Construction detail of wall (unit:mm)

2 试验设备

水平荷载采用水平作动器施加于加载梁上.作动器的变形范围为±150 mm,能够施加的最大荷载为 300 kN.加载头与加载梁及反力架之间采用铰接以释放由于加载装置本身的重量而有可能产生的弯矩.

表 3 试件的材料和构造细节
Tab.3 Material and structural feature of test specimens

组成	材料、制作
墙骨柱	Ⅲc 及以上 SPF 规格材,截面尺寸为 38 mm×89 mm,沿墙体长度方向中心距 610 mm. 墙体端部边墙骨柱由两根规格材构成
顶梁板	双层顶梁板,材料与墙骨柱相同
底梁板	单层底梁板,材料与墙骨柱相同
覆面板	采用 5 种不同的覆面板材料
墙角抗倾覆连接件	墙段两端各设 1 个,采用 3 个 12 mm 普通螺栓连接抗倾覆连接件与边墙骨柱,采用 1 个 12 mm 的锚栓连接该抗倾覆连接件和底梁板及试验用基础钢梁.
钉子	用于连接骨架构件的钉子为直径 3.76 mm、长度 89 mm 的圆钉;OSB 板和国产胶合板的面板钉为直径 3.7 mm、长度 75 mm 的圆钉;玻镁板及石膏板采用直径为 3.5 mm、长度 38 mm 自攻螺丝连接
基础锚栓	直径 12 mm,沿墙体长度方向均匀布置 4 个

试验采用 80 mm×80 mm 的方钢管作为加载梁,由于方钢管宽度 80 mm 小于顶梁板的宽度 89 mm,保证了试验过程中顶梁板外侧墙面板的转动不会受到加载梁的限制. 墙体顶梁板与加载钢梁之间的连接采用 4 个 12 mm 的普通螺栓. 在侧向力的作用下,墙体在平面外会有一定的位移,为了防止试验过程中墙体发生平面外的失稳,沿墙体长度方向在加载梁的两侧布置两对侧向支撑,支撑与加载梁之间采用滑轮以保证墙体的侧向位移.

基础钢梁同样采用 80 mm×80 mm 的方钢管,保证试验过程中墙面板底部边缘的转动不受限制. 墙体底梁板采用 4 个 12 mm 的锚栓与基础钢梁连接在一起. 垫片为 50 mm×50 mm 的方形钢板. 顶梁板、底梁板以及边墙骨柱上在连接加载梁、基础梁以及抗倾覆连接件的位置于墙体制作之前钻好孔洞. 试验过程中没有施加竖向荷载.

试验共采用 6 个位移传感器,所在的位置如图 2

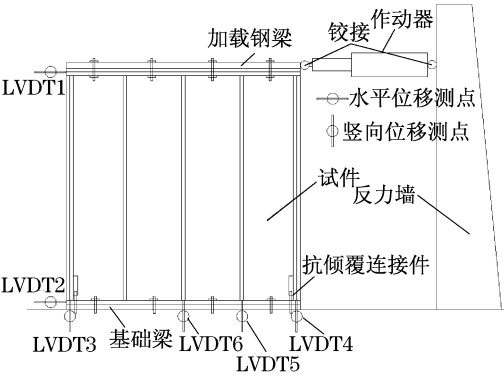


图 2 试验设备及测量仪器布置图
Fig.2 Layout drawing of test equipment and measure apparatus

所示. LVDT1 用于测量墙体顶部的水平侧向位移; LVDT2 测量底梁板水平的侧向位移; LVDT3 和 LVDT4 测量两个边墙骨柱的竖向位移; LVDT5 和 LVDT6 测量中间墙骨柱相对底梁板的竖向位移.

3 加载方案

ASTM 是目前在全球范围内通用的试验标准. 对木结构剪力墙而言, 单向荷载作用下的试验方案主要有两种: ASTM E72 和 ASTM E564. 在木结构研究初期, ASTM E72 是用来研究墙体、屋(楼)面的标准方法, 但是此方法仅是孤立的研究覆面板材的作用而并不是剪力墙等结构构件的整体作用, 且按该标准加载时的载荷增量与试验的材料性能无关, 这就使得较强的材料在此种试验方案下很难破坏. 由于 ASTM E72 试验方法的局限性, 目前国际上剪力墙单向加载试验主要采用 ASTM E564 标准^[13]. 此方法采用抗倾覆连接件将剪力墙的底部用锚栓与刚性的地梁连接在一起, 并采用剪力墙底梁板与地梁之间的抗剪锚栓来防止过大的侧移, 使得试验方案与实际工程情况更一致. 与 ASTM E72 不同, ASTM E564 着眼于剪力墙等结构构件整体作用的研究, 并可根据试验研究的目的选择是否施加竖向荷载.

剪力墙的单向加载试验采用 ASTM E564 标准. 在预加载阶段, 采用位移速率 7.5 mm·min⁻¹ 的推力加载至墙体极限荷载(预估计)的 10%, 持荷 5 min, 然后完全卸载. 5 min 后进入正式加载阶段. 在正式加载阶段, 采用相同的加载速率加载至墙体极限荷载(预估计)的 1/3, 持荷 5 min, 而后卸载至 0; 停 5 min 后, 加载至墙体极限荷载(预估计)的 2/3, 持荷 5 min, 然后卸载至 0; 5 min 后再加载直至试验荷载下降至极限荷载的 80% 或者试件出现严重破坏.

4 试验结果分析

4.1 各种覆面板材的破坏模式

OSB 板材和国产胶合板的破坏模式基本相同, 主要为钉连接节点的破坏, 见图 3. 大部分钉连接的钉头穿透墙面板而破坏, 也有少量钉子从墙骨柱中被拔出而破坏, 也发生了部分墙面板边缘的剪切破坏. 在侧向力的作用下, 墙面板的变形主要是以底梁板为中心的转动, 面板本身的变形并不是很大, 因此钉连接节点的破坏一般发生在墙板的四周, 中间支

座处钉子的破坏很少. 由于试验墙体在墙角处设置了抗倾覆连接件,限制了墙骨柱的上拔,因此在试验过程中墙骨柱与底梁板的分离并不是很大.

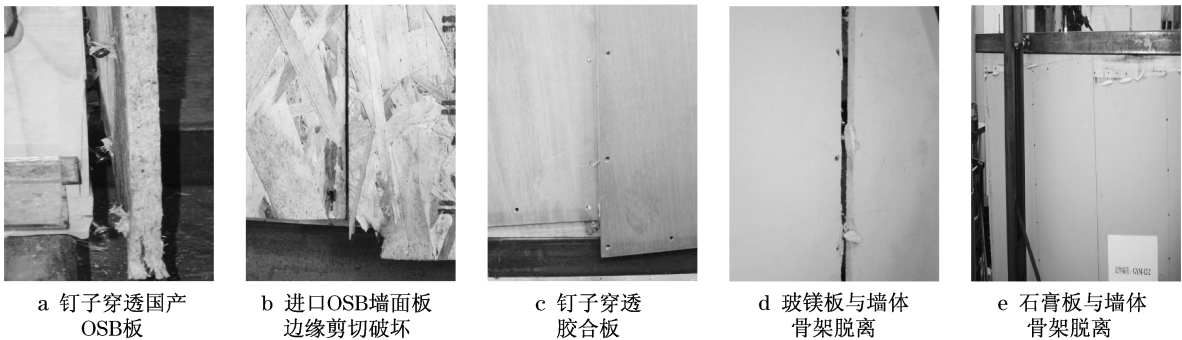


图3 各种覆面板材的破坏模式
Fig.3 Failure modes of various sheathing materials

石膏板和玻镁板采用自攻螺钉连接,板四周和中间支座钉间距均为 150 mm. 在试验过程中,钉头很容易穿透板材. 在试验的临近破坏时,板材周边的大部分钉子与墙体框架脱离.

4.2 荷载-位移曲线

当对剪力墙的抗侧性能进行评价时,强度、刚度、位移、耗能能力、延性、屈服荷载都是描述其抗侧性能的基本参数. 几乎所有这些参数都可以从试件的荷载-位移曲线上得到. 其中位移是层间位移. 每种覆面板材剪力墙均为两块,根据最小二乘法原理,利用 MATLAB 对试验数据进行多项式拟合,各种覆面板材的荷载-位移曲线如图 4 所示. 表 4 为各种覆面板材剪力墙试件在单向荷载试验中的极限荷载、

弹性阶段刚度、屈服荷载等主要试验结果.

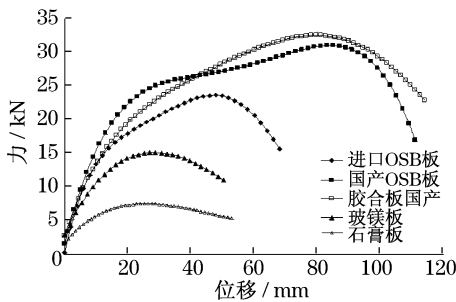


图4 各种板材剪力墙的荷载-位移曲线
Fig.4 Load-displacement curve of walls with various sheathing materials

表4 各种覆面板材剪力墙试验结果
Tab.4 Test results of walls with various sheathing materials

	极限荷载/ kN	弹性阶段刚度/ (kN · m ⁻¹)	屈服荷载/ kN	破坏荷载/ kN	破坏位移/ mm	延性	耗能/ J
进口 OSB 板	23.60	1624.78	20.44	18.88	63.11	5.02	1 160.58
国产 OSB 板	31.08	1705.34	26.90	24.86	103.35	6.53	2 576.50
国产胶合板	32.57	1361.33	27.62	26.06	107.56	5.30	2 694.75
玻镁板	15.04	1671.10	13.40	12.03	46.68	5.84	569.82
石膏板	7.42	1087.18	6.76	5.93	46.23	7.40	292.66

4.3 极限荷载 F_{peak}

单向荷载作用下墙体的承载能力为试验中的极限荷载,也就是荷载-位移曲线中最高点的数值,用 F_{peak} 表示. 从结果可以看出,国产胶合板剪力墙的极限荷载最大,为 32.57 kN. 国产 OSB 板剪力墙的极限荷载略小于胶合板,为 31.08 kN. 而进口 OSB 板剪力墙的承载力仅为胶合板剪力墙的 73%. 玻镁板剪力墙的承载力要比石膏板高大约 50%,但两者的承载能力均较低.

钉连接节点的性能是影响木剪力墙极限承载力的主要因素. 进口 OSB 板材与国产的两种板材承载力相差较大,因而进行了相应的面板钉连接节点试验. 根据试验结果,国产胶合板和 OSB 板的钉连接节点极限承载力相近,分别为 1.84 kN 和 1.88 kN. 进口 OSB 板钉连接节点极限承载力最小为 1.54 kN. 由于钉子的钉头较小,大部分钉连接发生了钉头穿透墙面板的破坏,国产板材胶用量要高于进口板材,木纤维比较致密,这也是造成了国产板材的承载力

要明显高于进口板材的重要原因之一。

4.4 弹性阶段刚度 K_e

目前国际上对 K_e 的定义方法尚不统一,为了与 EEEP 曲线统一,将荷载-位移曲线上原点和荷载值达到极限荷载 F_{peak} 40% 的点连线的斜率定义为墙体在弹性阶段的刚度 K_e ,其值可根据式(1)进行计算

$$K_e = 0.4 F_{peak} / \Delta_{0.4 F_{peak}} \quad (1)$$

在曲线的开始阶段,各种不同板材的荷载-位移曲线基本重合,因此各种板材的弹性阶段刚度相差不多.同预期的一样,石膏板剪力墙弹性阶段刚度最小,为 $1\,087.18 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

4.5 屈服荷载

采用 EEEP(Equivalent energy elastic plastic)曲线来定义墙体相应的屈服荷载^[14].根据 EEEP 曲线下方从原点至墙体破坏位置的面积与单向荷载作用下的荷载-位移曲线从原点至墙体破坏位移面积相同的原则定义 EEEP 曲线,如图 5 所示;EEEP 曲线上,屈服荷载用 F_{yield} 表示,屈服荷载水平线所对应的最大位移即破坏位移用 Δ_u 表示.通过弹性阶段的刚度可以利用 EEEP 曲线来确定墙体的屈服荷载.屈服荷载可按式(2a)和(2b)进行计算:

$$\text{当 } \Delta_u^2 \geq \frac{2A}{K_e} \text{ 时,} \quad F_{yield} = \left[\Delta_u - \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A}{K_e}} \right] K_e \quad (2a)$$

$$\text{当 } \Delta_u^2 < \frac{2A}{K_e} \text{ 时,} \quad F_{yield} = 0.85 F_{peak} \quad (2b)$$

式中: F_{yield} 为屈服荷载; A 为荷载位移曲线(或第一循环包络线)下方从原点至墙体破坏位移的面积; K_e 为弹性阶段的刚度,为荷载-位移曲线上原点和荷载值达到极限荷载 F_{peak} 40% 的点连线的斜率; Δ_u 为破坏位移.

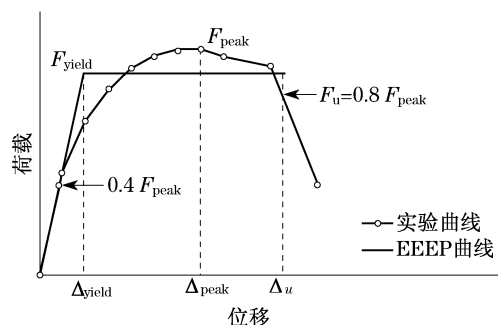


图 5 EEEP(equivalent energy elastic plastic)曲线

Fig.5 EEEP(equivalent energy elastic plastic) curve

各覆面板材剪力墙的屈服荷载规律为:国产胶合板 > 国产 OSB 板 > 进口 OSB 板 > 玻镁板 > 石膏板.

4.6 破坏荷载及破坏位移

试验过程中当荷载下降到极限荷载的 80% 或者试件出现严重的破坏时,试验墙体被认为达到破坏(大部分为前者情况),破坏时的位移值为破坏位移 Δ_u .从表 4 中的结果可以看出,国产胶合板剪力墙在单向荷载作用下具有最大的破坏荷载,其相应的破坏位移也最大.石膏板剪力墙的破坏荷载及破坏位移最小.

4.7 延性

延性是指结构从屈服开始到达最大承载能力或到达以后而承载能力还没有明显下降期间的变形能力.延性好的结构,后期变形能力大,在强震作用下可以承受大的塑性变形而不破坏倒塌.将墙体破坏时的变形 Δ_u 与屈服时的变形 Δ_{yield} 的比值定义为墙体延性系数 D ,即

$$D = \frac{\Delta_u}{\Delta_{yield}} \quad (3)$$

虽然石膏板剪力墙所能抵抗的侧向力最小,但却具有较好的延性.从图 4 的荷载-位移曲线上也可看出,石膏板剪力墙在达到最大承载力后,在强度没有明显下降的条件下承受了较大的变形.

4.8 耗能

剪力墙在地震作用下应能承受较大的塑性变形从而耗散更多的能量.对于单向荷载作用下的试验,墙体的耗能为荷载位移曲线下从原点至破坏位移 Δ_u 的面积.剪力墙的耗能是其抗侧刚度和延性的综合体现.一般来将,结构的耗能越大,结构的损伤也越严重.国产胶合板剪力墙抗侧承载力最大,延性略小于国产 OSB 板,但耗能要高于国产 OSB 板材,而后从大到小依次是进口 OSB 板、玻镁板和石膏板.

5 结论

对几种采用进口或国产覆面板材的木框架剪力墙进行了单向加载下的试验研究,并对其抗侧性能、破坏特征和机理进行对比分析,试验结果如下:

(1) 国产胶合板作为覆面板材的剪力墙的极限荷载及耗散的能量最大,分别为 32.57 kN 和 $2\,694.75 \text{ J}$.国产 OSB 板剪力墙的极限荷载和耗散能量均略小于胶合板,分别为 31.08 kN 和 $2\,576.50 \text{ J}$.而进口 OSB 板剪力墙的承载力仅为胶合板剪力墙

的73%,耗散的能量仅为胶合板剪力墙的42.8%.

(2) 玻镁板剪力墙耗能及刚度均略高于石膏板剪力墙,但其承载力比石膏板高约50%.另外石膏板的主要作用是防火,玻镁板也具有防火功能,而且玻镁板的防水性能及隔声效果均要优于石膏板,因此玻镁板完全可以替代石膏板.

试验结果表明:所谓国产板材质量差、强度低,不可能在轻型木结构中应用是一种误解.从几种采用不同板材剪力墙体的最大承载能力、刚度、延性和耗能等几方面的比较可以看出,国产的板材也具有良好的力学性能,完全可以替代进口材料应用于轻型木结构建筑中.同时采用国产板材又具有利用本土速生林资源的优势,因此加强材料性能研究、建立相应的材料质量标准和力学性能的统计数据,并在大量规范、标准基础上建立国产材料认证体系,在一定程度上确保其质量与相关性能,对更好地促进轻型木结构房屋在国内的发展至关重要.

参考文献:

- [1] 何敏娟, Lam Frank, 杨军, 等. 木结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
He Minjuan, Lam Frank, Yang Jun, et al. Timber engineering [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008.
- [2] Price E W, Gromala D S. Racking strength of walls sheathed with structural flakeboards made from southern species[J]. Forest Products Journal, 1980, 30(12): 19.
- [3] Griffiths D R. Determining the racking resistance of timber framed walls [C]//Proceedings of the Pacific Timber Engineering Conference. Auckland: Institution of Professional Engineers, 1984: 504 - 512.
- [4] Dolan J D. The dynamic response of timber shear wall[D]. Vancouver: University of British Columbia, 1989.
- [5] Yasumura M. Mechanical properties of wood-framed shear walls subjected to reversed cyclic lateral loading [C]//Working Commission W18-Timber Structures. Ahus: International Council for Building Research Studies and Documentation, 1992: 13 - 23.
- [6] Adam James Toothman. Monotonic and cyclic performance of light-framed shear walls with various sheathing materials[D]. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [7] 程海江. 轻型木结构房屋抗震性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
CHENG Haijiang. Study on the seismic performance of light wood-frame house[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [8] 程海江, 倪春, 吕西林. 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, 2006, 39(12): 33.
CHENG Haijiang, NI Chun, LV Xilin. Performance of perforated wood-frame shearwalls with transverse walls and vertical load [J]. China Civil Engineering Journal, 2006, 39(12): 33.
- [9] 中华人民共和国林业部. GB/T 17657—1999 人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
State Forestry Bureau of People's Republic of China. GB/T 17657—1999 Test methods of evaluating the properties of wood-based panels and surface decorated wood-based panels [S]. Beijing: China Standard Press, 1999.
- [10] 中国建筑材料联合会. GBT9775—2008 纸面石膏板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
China Building Materials Federation. GBT9775—2008 Gypsum plasterboard[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [11] 中国建筑材料联合会. JC 688—2006 玻镁平板[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
China Building Materials Federation. JC 688—2006 Glass fiber& magnesium cement board[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2006.
- [12] 中华人民共和国建设部. GB 50005—2003 木结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
Ministry of Construction of People's Republic of China. GB 50005—2003 Code for design of timber structures[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003.
- [13] ASTM International. ASTM-E564—00^{E1} Standard practice for static load test for shear resistance of framed walls for buildings [S]. Pennsylvania: ASTM International, 2001.
- [14] ASTM International. ASTM-2126—09. Standard test methods for cyclic (reversed) load test for shear resistance of vertical elements of the lateral force resisting systems for buildings [S]. Pennsylvania: ASTM International, 2001.