

# 面板种类和芯板厚度对结构用木质保温板力学性能的影响

刘晓娜<sup>1</sup>, 薛硕<sup>1</sup>, 王晓欢<sup>2</sup>, 周海宾<sup>1,2</sup>

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 中国林科院林业新技术研究所, 北京 100091)

**摘要:** 以定向刨花板 (OSB) 或结构胶合板为面板, 聚氨酯保温板为芯板, 制备结构用木质保温板 (SIPs), 探究面板种类和芯板厚度对 SIPs 力学性能的影响。结果表明: 不同材料面板和不同厚度芯板制备的 SIPs, 力学荷载值均可满足 ANSI/APA PRS 610.1-2013 标准要求; 结构胶合板为面板的 SIPs 极限荷载值高于 OSB 面板 SIPs; 随着芯板厚度的增加, SIPs 的极限荷载值逐渐增加; 聚氨酯保温板可以替代聚苯乙烯保温板 (EPS) 制备 SIPs。

**关键词:** 结构用木质保温板; 聚氨酯保温板; 力学性能; 定向刨花板; 结构胶合板

中图分类号: TS653; TQ323.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 04-0009-05

## Effect of Face Panel Type and Core Board Thickness on Mechanical Properties of Wood-based Structural Insulated Panels

LIU Xiao-na<sup>1</sup>, XUE Shuo<sup>1</sup>, WANG Xiao-huan<sup>2</sup>, ZHOU Hai-bin<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry (CAF), Beijing 100091, China;

2. Research Institute of Forestry New Technology, CAF, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Wood-based structural insulated panels (SIPs) were prepared with oriented stranded board (OSB) or structural plywood as face panels and polyurethane insulated board as the core board. Mechanical properties of the SIPs were investigated.

The results indicated that the mechanical load of the SIPs samples could meet requirements of ANSI/APA PRS 610.1-2013 standard. Ultimate load of the SIPs faced with structural plywood was higher than that faced with OSB. The ultimate load increased with increased thickness of the core board. Polyurethane insulation board could be used to replace polystyrene insulation board (EPS) as core board to prepare SIPs.

**Key words:** wood-based structural insulated panels (SIPs); polyurethane insulation board; mechanical properties; oriented stranded board (OSB); structural plywood

结构用木质保温板 (Wood-based Structural Insulated Panels, SIPs), 是由两片木质面板与轻质保

温芯板通过一定成型工艺, 粘合而成的高强度结构板材<sup>[1-3]</sup>, 用 SIPs 制备的房屋具有保温性好、预制化程度高等优点, 符合国家大力发展装配式建筑的需要, 是 21 世纪重要的高性能建筑材料<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2017-12-15; 修改日期: 2018-05-16

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划 “结构用木质复合材料构件制造技术研究” (2015BAD14B05)。

作者简介: 刘晓娜 (1992—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 周海宾, 男, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

以往 SIPs 芯板材料多采用聚苯乙烯保温板 (EPS), EPS 导热系数较高且易燃, 已被很多国家禁止使用。与 EPS 相比, 聚氨酯保温板导热系数低,

且具有一定的阻燃性能, 是良好的替代材料, 但目前鲜见关于聚氨酯保温板作为 SIPs 芯板的研究<sup>[5-8]</sup>。

鉴于此, 笔者采用聚氨酯保温板为芯板, OSB 和结构胶合板为面板制备 SIPs, 并对由 SIPs 制成的过梁和墙体构件进行性能测试, 模拟构件在屋顶重力、雪载和风载荷作用下的受力情况。分别测试面内抗弯、横向抗弯和竖向抗压性能, 探究面板种类和芯板厚度对 SIPs 力学性能的影响, 以期为结构用木质保温板实际工程应用, 提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

1) 定向刨花板 (OSB): 密度  $0.65 \text{ g/cm}^3$ , 含水率 7%, 厚度 11 mm。

2) 结构胶合板: 密度  $0.66 \text{ g/cm}^3$ , 含水率 7%, 厚度 11 mm。

3) 聚氨酯保温板: 密度  $0.038 \text{ g/cm}^3$ 。

4) 单组份聚氨酯胶: 黏度  $7\sim 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 密度  $1.17 \text{ g/cm}^3$ , 固体含量 100%。

5) 规格材 (SPF): 二级, 两种规格:  $2\,400 \text{ mm}\times 89 \text{ mm}\times 38 \text{ mm}$ ;  $2\,400 \text{ mm}\times 140 \text{ mm}\times 38 \text{ mm}$ 。

6) 木结构用圆钉: 直径 3.1 mm, 长度 70 mm。  
以上材料均外购。

### 1.2 试验设备

高精度静态伺服液压机, 抗弯梁试验机, 冷压机。

### 1.3 试验设计

在前期试验研究的基础上, 采用单因素试验, 研究面板种类和芯板厚度对 SIPs 力学性能的影响, 因素和水平见表 1。

表 1 试验因素及水平

Tab.1 Experimental factors and levels

因素	水平		
	1	2	3
芯板厚度/mm	70	90	140
面板种类	OSB	结构胶合板	

### 1.4 构件制备

1) 按“面板+芯板+面板”的结构组坯。在 OSB 和结构胶合板表面涂刷单组份聚氨酯结构胶, 单面涂胶量  $180 \text{ g/m}^2$ , 冷压压力  $160 \text{ kPa}$ , 时间  $4\sim 6 \text{ h}$ 。

2) 用圆钉将 SPF 规格材与面板的两个侧边连接,

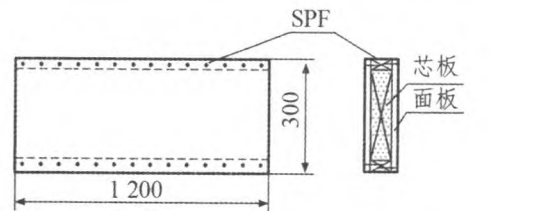
钉间距 150 mm。根据 SIPs 试件厚度, 选择合适的 SPF 规格材的宽度尺寸。

SIPs 试件的规格尺寸和测试性能项目列于表 2; 试件的构造示意图见图 1。

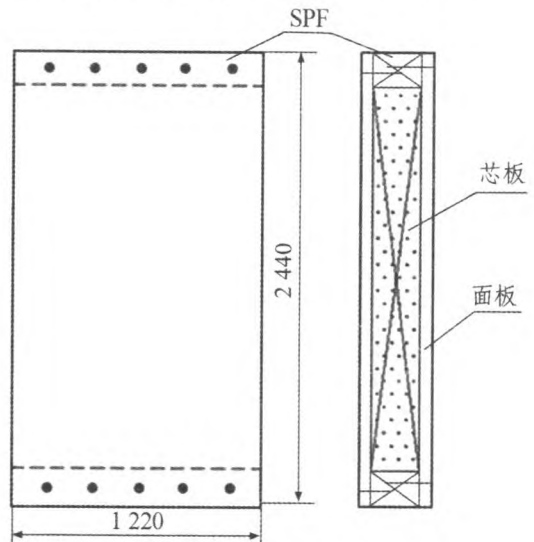
表 2 SIPs 试件规格尺寸和测试性能

Tab.2 Size and testing properties of SIP samples

面板种类	芯板厚度/mm	规格尺寸/mm	测试性能
OSB	70	$1\,200\times 300$	面内抗弯性能
		$2\,440\times 1\,220$	竖向抗压和横向抗弯性能
	90	$1\,200\times 300$	面内抗弯性能
		$2\,440\times 1\,220$	竖向抗压和横向抗弯性能
	140	$1\,200\times 305$	面内抗弯性能
		$2\,440\times 1\,220$	竖向抗压和横向抗弯性能
结构胶合板	90	$1\,200\times 300$	面内抗弯性能
		$2\,440\times 1\,220$	竖向抗压和横向抗弯性能



a. 面内抗弯性能试件 (单位: mm, 下同)



b. 竖向抗压和横向抗弯性能试件

图 1 SIPs 试件示意图

Fig.1 Schematic diagram of SIP samples

### 1.5 性能测试

1) 面内抗弯性能: 参照 ANSI /APA PRS-610.1 -2013 “Standard for Performance-rated Structural Insulated Panels in Wall Applications” 和 ASTM D 4761-2013 “Standard Test Methods for Mechanical

Properties of Lumber and Wood-base Structural Material”, 连续加载, 控制试件在 1~5 min 内破坏。

测试试件的数量为 5 个, 测试装置如图 2 所示。

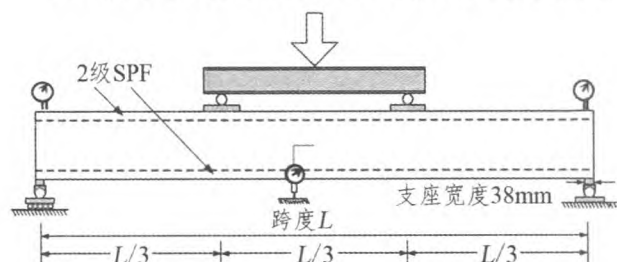


图 2 面内抗弯性能测试装置

Fig.2 Lintel load capacity test equipment

2) 竖向抗压和横向抗弯性能: 参考 ANSI/APA PRS-610.1-2013 和 ASTM E72-2015 “Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction” 进行测试。竖向抗压性能采用单调垂直加载方法测试。横向抗弯测试采用两点加载, 对试件分别施加 3.5、6.5 和 8.5 kN 后, 卸载到 0, 然后再加载至试件破坏。

每个条件下的各性能测试 3 个试件, 记录极限荷载、荷载-位移曲线, 以及试件破坏类型和位置。

## 2 结果与分析

### 2.1 面板种类

芯板厚度为 90 mm 时, 两种面板制备 SIPs 力学性能的测试结果见图 3。

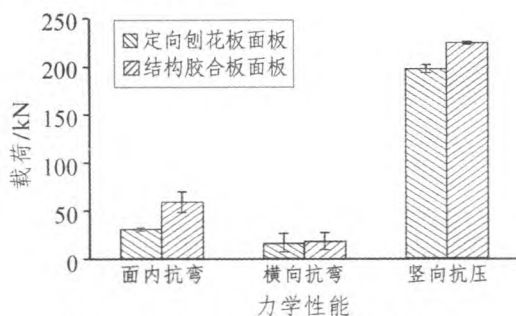


图 3 面板种类对 SIPs 力学性能的影响

Fig.3 Effect of face panel type on mechanical properties of SIP samples

由图 3 可知, 两种面板材料制备 SIPs 的力学性能, 均满足 ANSI/APA PRS-610.1-2013 的最低极限荷载值 (面内抗弯、横向抗弯和竖向抗压性能的极限荷载值分别为 29.62、12.10 和 175.60 kN); 结构胶合板面板的 SIPs, 力学强度值分别比 OSB 面板的 SIPs

高 92.10%、11.78%、13.99%。

面板种类主要影响 SIPs 的面内抗弯和竖向抗压性能, 对横向抗弯性能基本无影响。在面内抗弯和竖向抗压性能测试中, 因芯层保温材料强度较低, 在加载过程中, 面板、SPF 以及钉连接承受主要荷载, 加载点与面板和 SPF 接触进行力的传递。面板承受主要荷载, 其自身强度大小直接决定 SIPs 的强度, 而结构胶合板的强度高于 OSB。

横向抗弯测试时, 芯板端部发生剪切破坏, 面层和 SPF 的约束力较小; 但横向抗弯荷载值变异性较大, 主要由聚氨酯保温板的不均一性导致。

### 2.2 芯板厚度

前期研究显示, 两种面板材料制备的 SIPs, 其性能随芯板厚度的变化规律一致, 因此仅讨论 OSB 为面板时, 不同厚度芯板制备 SIPs 的力学性能、荷载-位移曲线和破坏模式。

#### 2.2.1 力学性能

芯板厚度对 SIPs 力学性能的影响, 如图 4 所示。

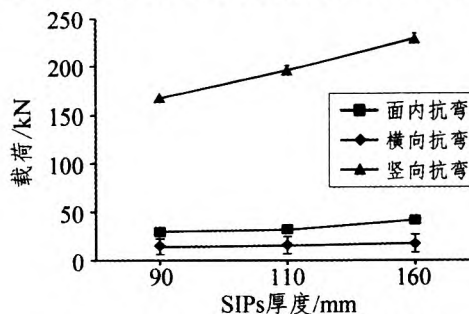


图 4 芯板厚度对 SIPs 力学性能的影响

Fig.4 Effect of core board thickness on mechanical properties of SIP samples

图 4 显示, SIPs 的极限荷载值均随芯板厚度的增加而增大, 与不同厚度 EPS 制备 SIPs 的力学性能变化趋势一致<sup>[5]</sup>。不同芯板厚度的 SIPs 的面内抗弯、横向抗弯和竖向抗压性能, 均满足 ANSI/APA PRS-610.1-2013 要求的最低极限荷载值。

芯板厚度增加主要影响 SIPs 的竖向抗压性能, 对面内抗弯和横向抗弯性能的影响较小。竖向抗压性能测试时, 芯板厚度增加, 试件与支撑面的接触面积增大, 即受力面积增大, 试件可以承受的荷载增大。

横向抗弯性能测试由于分配梁将集中荷载转为线荷载, 因此, 芯板厚度变化对支撑面无影响; 另

外,达到极限荷载时,试件发生芯板剪切破坏,芯板厚度对其剪切性能影响较小,所以,横向抗弯性能随芯板厚度增加的变化亦较小。

芯板厚度变化对面内抗弯性能无显著影响,因为测试过程采用简支支撑,与试件的接触为直线,芯板厚度增加,即对支撑线长度的增加。由于厚度增加的幅度较小,所以试件与支座的接触长度增加有限,试件的极限荷载值随厚度增加的变化不明显。

横向抗弯性能的变异性最大,主要是因为破坏发生在芯板,也是由芯板材料的不均匀性所致。

### 2.2.2 荷载-位移曲线

OSB 作为面板,在相同的制备工艺条件下,不同芯板厚度的 SIPs 试件,其力学性能测试时的荷载-位移曲线如图 5 所示。

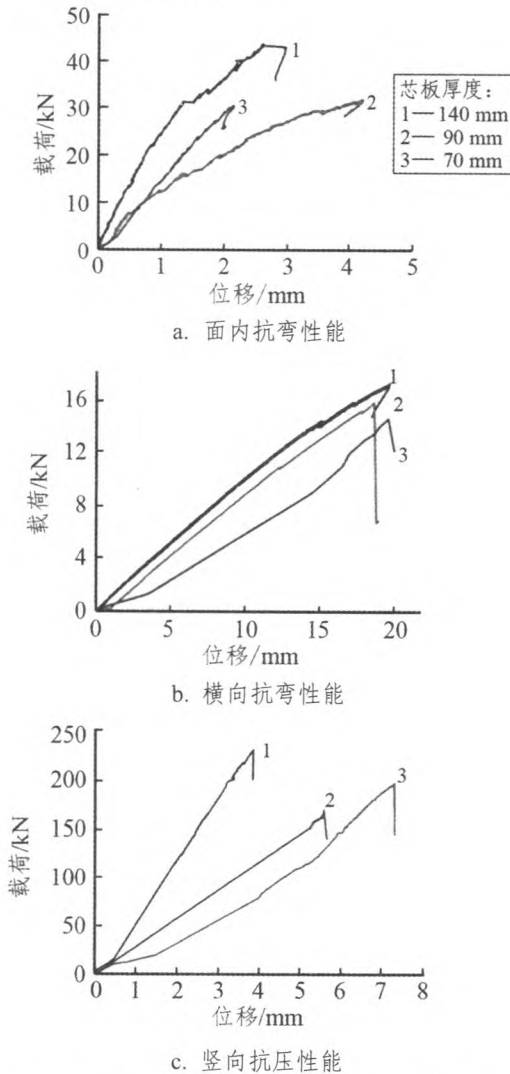


图 5 不同试件力学性能测试荷载-位移曲线

Fig.5 Load-deformation curves of mechanical properties of SIP samples

图 5 显示,不同芯板厚度试件力学性能测试的荷载-位移曲线的变化趋势基本一致,达到极限荷载之前位移与荷载均呈正相关;达到最大荷载时,荷载骤然下降,试件失去承载能力。

面内抗弯和竖向抗压性能 2 项测试中,厚度最大试件的极限荷载值最大,但位移最小,原因是由于试件厚度增大,加载时接触面积增大,所承受的极限荷载值增加,导致位移量减小;横向荷载测试的破坏荷载位移大于其他测试,因为横向抗弯测试的跨度较大,试件发生弯曲变形较大。

### 2.3 破坏模式

在力学性能测试时,不同 SIPs 试件的破坏模式如图 6 所示。

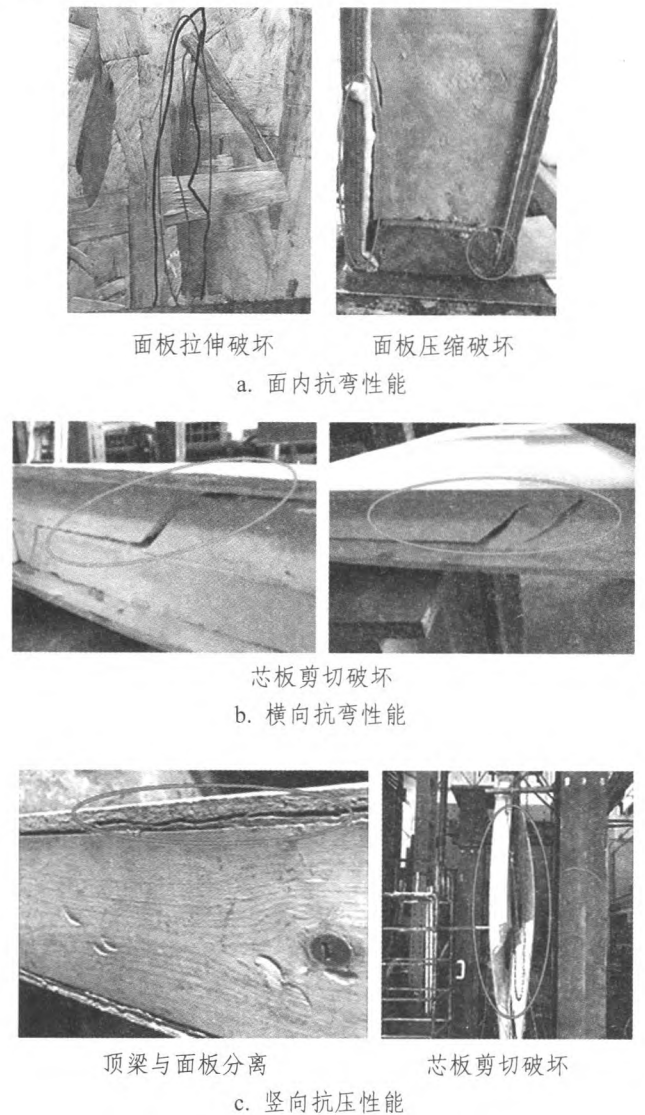


图 6 不同力学测试 SIPs 试件的破坏模式

Fig.6 Failure type and position of SIP samples in different mechanical properties tests

图 6 a 显示, 面内抗弯性能测试时, 不同试件的破坏形式一致, 均在靠近支撑点处试件面板与芯板发生分离, 裂缝长度 10~15 mm, 面板被压坏, 两端钉子被拔出, 极少数试件的 OSB 面板发生撕裂, 裂缝长度约为试件宽度的 2/3。原因是在加载过程中, 试件两端上翘, 中间部分被压, 导致面板中部刨片撕裂。

由图 6 b 可知, 横向抗弯性能测试时, 试件的破坏模式均为一端芯板发生剪切破坏, 距离端部 20~30 mm, 且裂缝贯通; 而面板和端部 SPF 无明显破坏。这是因为聚氨酯保温板脆性较大, 剪切强度较低, 在较大荷载和弯曲变形下, 芯板更容易剪切破坏。

图 6 c 显示, 竖向抗压性能测试时, 破坏模式主要有 2 种: ① 芯板破坏, ② 顶梁与面板破坏。随着荷载增加, 试件弯曲度逐渐增大, 当达到承受极限时, 面板和芯板发生较大程度的分离, 且芯板中间位置发生断裂, 而面板无明显破坏。原因是面板具有一定弹性, 在一定范围内仅发生弯曲, 而芯板因脆性大易断裂。靠近加载板的顶梁位置面板与 SPF 之间发生了分离, 钉子被拔出, 面板被压坏。由于压力较大, 加载头位移增大, 面板发生弯曲, 导致顶梁板与面板钉连接发生破坏, 面板端部被压溃。

### 3 结论

1) 在本试验范围内, 两种面板材料制备的 SIPs 力学性能均满足 ANSI/APA PRS 610.1-2013 的最低极限荷载值要求; 面板为结构胶合板的 SIPs 的力学强度大于 OSB 面板 SIPs。实际生产中, 宜根据 SIPs 使用用途, 选用不同强度的面板材料; 若用作结构构件, 应选用高强度的面板材料。

2) 相同面板时, 不同厚度芯板制备的 SIPs 力学性能也均满足 ANSI/APA PRS 610.1-2013 要求的最低极限荷载值, 随着芯板厚度的增加, SIPs 力学性能的极限荷载值逐渐增大。实际生产中, 可根据构件强度要求选择不同厚度的芯板。

3) 不同结构组成的 SIPs 达到极限荷载时的破坏类型和位置基本一致。因此, 在后期构件加工中, 可以适当加强破坏位置的强度, 增强 SIPs 整体性能。

4) 聚氨酯保温板的导热系数较低, 相同保温性能的前提下, 聚氨酯保温板的用量大大降低, 可以代替 EPS 芯板制备 SIPs。

### 参考文献:

- [1] Mohammad P, Abang A Abang A, Yen LV. Structural insulated panels: past, present, and future[J]. Journal of Engineering Project and Production Management, 2013, 3(1): 2-8.
- [2] Akay M, Hanna R. A comparison of honeycomb-core and foam-core carbon-fibre/epoxy sandwich panels[J]. Composites, 1990, 21(4): 325-331.
- [3] The federation of American scientist. A history of SIPs and CSIP manufacturing, construction and market issues[R]. Report on expanding the scope and market of SIP technologies, 2009.
- [4] 刘晓娜, 周海宾. 结构用木质保温板(SIPs)的产业现状及发展前景[J]. 木材工业, 2017, 31(2): 14-18.
- [5] 王雪花, 方露, 陈红, 等. 覆面材料对结构保温板力学性能的影响[J]. 林业工程学报, 2017, 2(3): 16-21.
- [6] 杜强, 姚星皓, 吕晶. SIPs 中 EPS 芯材的力学性能试验[J]. 重庆大学学报, 2014, 37(7): 90-97.
- [7] Kermani A, Hairstans R. Briefing: Structural insulated panels in modern construction[J]. Proceedings of the ICE - Construction Materials, 2007, 13(3): 91-94.
- [8] Association S T. Timber engineering notebook series:No.10: structural insulated panel construction[J]. Structural Engineer Journal of the Institution of Structural Engineer, 2015, 9(3): 40-46.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)

## 林业行标《室内木质隔声门》启动会召开

2018 年 5 月 29—30 日, 由中国林科院木材工业研究所负责的林业行业标准《室内木质隔声门》(标准号 2017-LY-148) 启动会在杭州举行。

国家人造板与木竹制品质量监督检验中心、浙江省林产品检测站、江西省产品检验监督中心等质检机构, 以及梵天、TATA、兄弟、欧派、肯帝亚、大卫等企业嘉宾参会。

当前木质门产品隔声性能评价方法参差不齐, 无法满足生产和市场的需求, 需尽快予以规范。为此, 国家林业和草原局启动行标《室内木质隔声门》的制定工作, 包括主要技术内容以及工作计划。

与会代表对标准草案中的隔声分级指标进行详细探讨, 为标准征求意见稿的起草奠定了基础。

劳万里