

研究与开发

增强型酚醛泡沫板的性能

张龙飞, 牛二彦, 陈志林, 傅峰

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 以阻燃中密度纤维板(MDF)和无纺布为增强材料,对酚醛泡沫板进行表面增强,并对增强型酚醛泡沫板的力学性能和释烟特性进行对比分析。结果表明,MDF 增强酚醛泡沫板的综合性能较优,不仅克服了酚醛泡沫表面强度低、易脱粉掉渣问题,表现了木质材料特有的自然特性,而且力学性能及释烟特性优良,压缩强度、抗弯强度、冲击韧性和烟密度均达到 JC/T 1051-2007《铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板》的要求。

关键词: 酚醛泡沫板; 中密度纤维板; 无纺布; 表面增强; 力学性能; 燃烧性能

中图分类号: S781.73; TS653.929 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2015)03-0022-04

Performance of Reinforced Phenolic Foam Panels

ZHANG Long-fei, NIU er-yan, CHEN Zhi-lin, FU Feng

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Phenolic foam panels overlaid and reinforced with fire-retardant fiberboard or/and non-woven fabrics were prepared. Mechanical properties and combustion performance of the panels were all tested. The experimental results showed that low surface strength of the phenolic foam panel was much improved when overlaid and reinforced with fire-retardant fiberboard which resulted in a unique nature of wood materials. Furthermore, the compressive strength, flexural strength and impact strength of the reinforced panels met the Industry Standard JC/T 1051-2007 requirement for "Aluminum foil face rigid phenolic foam sandwich panels".

Key words: phenolic foam panels; medium density fiberboard; non-woven fabrics; surface reinforcement; mechanical properties; combustion performance

材料是决定建筑自身安全性的重要因素,大量火灾事故的发生,主要是材料本身的易燃性以及材料燃烧后较高的烟释放量所致。酚醛泡沫是一种轻质、防火、保温、隔热的发泡塑料制品,具有优异的难燃、低烟低毒和热稳定性^[1],但也存在易粉化、表面质量差、脆性大、强度低等缺陷。

随着制造技术的发展,夹芯结构被越来越多的应用到复合材料中。酚醛泡沫板多以酚醛泡沫塑料为芯板,表面贴覆铝板、彩钢板或无纺布^[2]。鉴于此,笔者对表面贴覆无纺布、阻燃中密度纤维板(MDF)等不同材料的增强型酚醛泡沫板,进行了物理力学性能和阻燃性能的对比分析,旨在为增强型酚醛泡沫板的生产应用提供参考。

收稿日期: 2014-03-04; 修改日期: 2015-04-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“林木资源化学深加工关键技术研究与示范”(2012BAD24B04)。

作者简介: 张龙飞(1989—),男,中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 陈志林,男,中国林科院木材工业研究所研究员。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) B₁级阻燃中密度纤维板(MDF): 密度 687

kg/m³,规格(长×宽×厚)600 mm×600 mm×3 mm,外购;

2) 酚醛泡沫板:密度 47.94 kg/m³,规格(长×宽×厚)1 200 mm×900 mm×45 mm,南京林产化学工业研究所产;

3) 无纺布:面密度 60 g/m²,厚度 0.2 mm,外购;

4) 胶黏剂:双组份聚异氰酸酯乳液型胶,pH 值 6.0~7.0,黏度 8 400 mPa·s(25℃),太尔化工(上海)有限公司产。

1.2 仪器与设备

手动涂胶机、小型冷压机、人造板万能力学试验机、摆锤式冲击试验机、LHL-113 型恒温恒湿箱、DHG-9145A 型鼓风干燥箱、JCY-2 型建材烟密度测试仪、HC-2CZ 氧指数测定仪等。

1.3 材料制备

采用后成型工艺制作,酚醛泡沫板厚度取(45±1) mm,手工辊涂施胶,施胶量为 180~200 g/m²(双面)。根据表面增强材料的不同,组坯制备三组增强型酚醛泡沫板试样:

1) 无纺布增强酚醛泡沫板:三层结构,在酚醛泡沫芯板的上、下表面叠放无纺布,理论厚度 45 mm;

2) MDF 增强酚醛泡沫板:三层结构,在酚醛泡沫芯板的上、下表面叠放 MDF,理论厚度 50 mm;

3) MDF+无纺布增强酚醛泡沫板:五层结构,将 MDF 和无纺布,依次分别铺放在酚醛泡沫芯板的上、下表面,理论厚度 50 mm。

各组板坯均在压力 0.15 MPa、温度>10℃的条件下,冷压 45 min;卸压后陈放 24 h,再切割制取试样。

1.4 性能测试

1) 物理性能 参照 JC/T 1051-2007《铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板》与 GB/T 8811《硬质泡沫塑料尺寸稳定性试验方法》测试尺寸稳定性;

2) 力学性能 参照 GB 8813-2008《硬质泡沫塑料压缩性能的测定》与 JC/T 1051-2007 测试抗压性能;按照 GB/T 8812-2007《硬质泡沫塑料 弯曲性能的测定》测试弯曲性能(MOR 及 MOE);根据 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》测试冲击强度;

3) 阻燃性能 氧指数根据 GB/T 2406.2-2009

《塑料 用氧指数法测定燃烧行为 第 2 部分:室温试验》测试;根据 GB 8627-2007《建筑材料燃烧或分解的烟密度试验方法》测试烟密度。

2 结果与分析

2.1 物理性能

增强型酚醛泡沫板的尺寸稳定性受到酚醛泡沫芯板、面板、胶黏剂性能的影响。长度、宽度方向尺寸变化率主要取决于酚醛泡沫芯板的尺寸稳定性,厚度变化率取决于芯板、面板变形程度及胶黏剂的湿热稳定性。由表 1 可知,各组试样长度、宽度、厚度三个方向的尺寸变化率均小于 2%,且芯板与面板无分离现象,显示出较好的尺寸稳定性。

表 1 不同材料增强酚醛泡沫板的尺寸稳定性

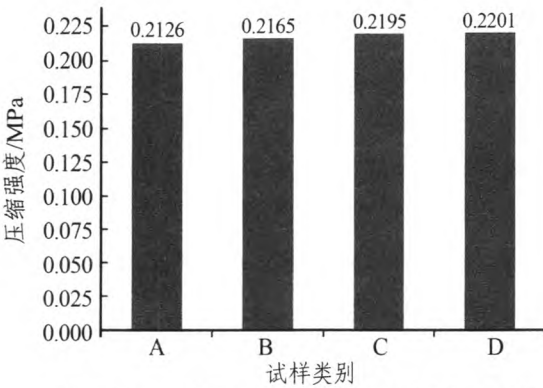
Tab. 1 Dimensional stabilities of phenolic foam panels reinforced with different materials

试样类别	尺寸变化率/ %		
	长度	宽度	厚度
A 酚醛泡沫板	0.85	0.67	0.61
B 无纺布增强酚醛泡沫板	0.74	0.93	1.01
C MDF 增强酚醛泡沫板	0.97	0.68	1.13
D MDF+无纺布增强酚醛泡沫板	0.81	0.95	1.22

2.2 力学性能

2.2.1 抗压性能

记录酚醛泡沫板与 3 种增强型板材试样在 10% 形变内的最大压缩应力,计算其压缩强度,结果如图 1 所示。



试样类别: A—酚醛泡沫板; B—无纺布增强酚醛泡沫板; C—MDF 增强酚醛泡沫板; D—MDF+无纺布增强酚醛泡沫板。

图 1 不同材料增强酚醛泡沫板的抗压强度

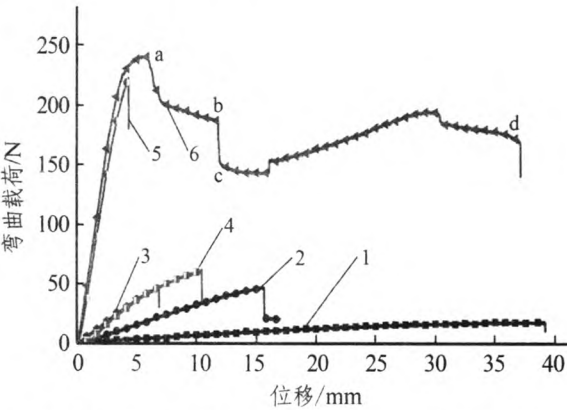
Fig. 1 Compression strengths of phenolic foam panels reinforced with different materials

由图 1 可知,表面贴覆增强材料后,酚醛泡沫板的抗压强度均有一定程度的提高,但所有材料的增强效果有限。

主要是因为复合材料在抗压测试时,压缩破坏总是最先发生在抗压强度最低处^[3]。由于增强型板材芯板的抗压强度远低于面板,当受到外力压缩作用时,芯板中心边缘处最先发生皱曲,继而被压坏。

2.2.2 弯曲性能

分别测试了单层纤维板、双层纤维板、酚醛泡沫板、无纺布增强酚醛泡沫板、MDF 增强酚醛泡沫板、MDF+无纺布增强酚醛泡沫板的弯曲性能及载荷-位移曲线,如图 2 所示。



试样类别: 1—3 mm厚MDF(单层); 2—6 mm厚MDF(双层); 3—酚醛泡沫板; 4—无纺布增强酚醛泡沫板; 5—MDF增强酚醛泡沫板; 6—MDF+无纺布增强酚醛泡沫板。

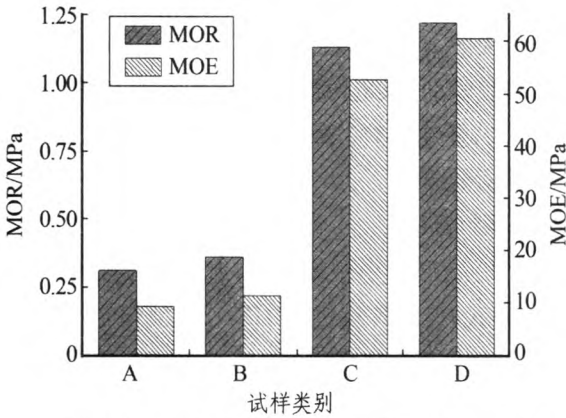
图 2 不同材料增强酚醛泡沫板的弯曲载荷-位移曲线

Fig. 2 Bending load-displacement curves of phenolic foam panels reinforced with different materials

从图 2 可知,试样弯曲破坏载荷大小依次为: MDF+无纺布增强板>MDF 增强板>无纺布增强板>酚醛泡沫>双层 MDF>单层 MDF。单一的酚醛泡沫板及单、双层 MDF 的弯曲载荷均相对较小,而增强型板材的弯曲载荷远大于两种材料单元的载荷之和,刚度大大提高。

相比无纺布增强酚醛泡沫板,MDF 增强酚醛泡沫板的弯曲载荷提高近 3 倍。原因是芯板主要承受横向剪切内力,面板主要承载的是弯曲荷载,上下面板通过胶黏剂与芯板粘结成为一体,形成整体受力,其结构类似工字梁结构,面板起凸缘的作用,芯板起腹板的作用。

由图 3 可知,增强型板材的 MOR 与 MOE 呈现较为一致的变化趋势。其中,单层无纺布的增强作用较小;MDF 及 MDF+无纺布覆面的增强效果显著,相比酚醛泡沫板分别提高约 2.9、2.6 倍。



试样类别: A—酚醛泡沫板; B—无纺布增强酚醛泡沫板; C—MDF增强酚醛泡沫板; D—MDF+无纺布增强酚醛泡沫板。

图 3 不同材料增强酚醛泡沫板的弯曲性能

Fig. 3 Bending properties of phenolic foam panels reinforced with different materials

2.2.3 冲击性能

由表 2 结果可知,相对纯酚醛泡沫板试样,无纺布增强试样的冲击韧性提高了 20.3%;MDF、MDF+无纺布的增强效果相对更明显,试样的冲击韧性分别提高了 183.7%、265.0%,很大程度取决于面板本身优异的冲击韧性。

表 2 不同类型材料的冲击性能

Tab. 2 Impact properties of different types of panels

试样类别	冲击能量/ J	冲击韧性/ (kJ·m ⁻²)
单层 MDF	2.0	34.56
双层 MDF	3.5	30.29
酚醛泡沫板	1.0	2.46
无纺布增强酚醛泡沫板	1.3	2.96
MDF 增强酚醛泡沫板	4.0	6.98
MDF+无纺布增强酚醛泡沫板	5.1	8.98

酚醛泡沫芯板增加了两面板之间截面惯性矩,当复合材料受到来自外界的冲击时,力从面板向芯板传递,芯板能够起到很好的缓冲作用,有效地传递应力,吸收冲击载荷,从而增强了材料的抗冲击性能。由此可见,复合材料的冲击韧性并不是所有单元冲击韧性的简单相加,而是产生协同效应。

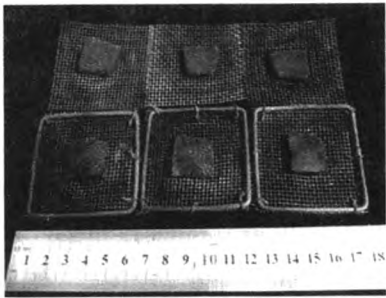
2.3 阻燃性能

由表 3 的实测数据可知,酚醛泡沫氧指数可高达 44.8%,最大烟密度为 2.5%,烟密度等级 1.83,释烟量极小。这是因为酚醛泡沫是由酚醛树脂发泡形成的产物,含有众多的苯酚环,遇火燃烧时,苯酚环易缩合成芳构型碳,成炭率高^[4]。燃烧过程中,泡沫体未出现融化、滴落现象,但出现少许收缩(图 4),火焰接触部分表面炭化,形成一层“石墨泡沫”炭层,从而使泡沫离火自熄,阻止火势蔓延。

表 3 材料的阻燃及释烟性能

Tab. 3 Flame retardant and smoke release properties of panels

材料	氧指数/%	烟密度/%	烟密度等级	燃烧现象		
				滴落	熔化	炭化
酚醛泡沫板	44.8	2.50	1.83	无	无	有
阻燃纤维板	43.6	20.44	13.59	无	无	有
无纺布增强酚醛泡沫板		3.61	2.41	有	无	有
MDF 增强酚醛泡沫板		22.33	15.84	无	无	有
MDF+无纺布增强酚醛泡沫板		27.07	18.79	无	无	有



注: 上、下层分别为酚醛泡沫芯板、MDF 试样。

图 4 烟密度测试后酚醛泡沫和 MDF 残炭试样

Fig. 4 Carbon residue after smoke density test of foam and fiberboard samples

MDF 的氧指数为 43.6%,达到难燃 B₁ 级标准;且最大烟密度值 20.44%,远小于同类非阻燃 MDF 最大烟密度值 50%~80%^[5]。MDF 燃烧后残炭完整、表层致密(图 4)。

由表 3 试验材料烟密度的测试结果可知,无纺布增强酚醛泡沫板比单层酚醛泡沫板的烟密度略有增大,原因是无纺布本身属于可燃织物,燃烧时试样下层无纺布与胶黏剂层被引燃释放烟气所致。

MDF 增强酚醛泡沫板烟密度测试时,表层 MDF 燃烧成炭,且芯层酚醛泡沫抑制火焰传播,测试结束后上层 MDF 未被引燃,增强板试样的烟密度为 22.33%,达到 JC/T 1051-2007 对烟密度≤25%的要求,这是因为阻燃纤维板和酚醛泡沫单元的阻燃性能均优良^[6-7]。

MDF+无纺布增强板试样的烟密度高于 MDF 增强板试样,主要是因为无纺布与胶黏剂层增加了复合板烟释放。

3 结论

1) 采用无纺布、MDF 或 MDF+无纺布贴面,均可增强酚醛泡沫板的力学强度,其中 MDF 与 MDF+无纺布组合的增强效果较优,增强后板材的压缩强度可达 0.22 MPa,抗弯强度 1.13~1.22 MPa,冲击韧性 6.98~8.98 kJ·m⁻²,尺寸变化率<2%,均达到 JC/T 1051-2007《铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板》的要求。

2) MDF 增强酚醛泡沫板的最大烟密度值 22.33%,达到 JC/T 1051-2007《铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板》的要求。

3) 增强型酚醛泡沫板的力学性能与面板厚度、芯板厚度、密度及应变率等有关,释烟特性与胶黏剂的性能及涂胶量有关,有待后续进一步研究。

参考文献:

[1] 王志才,白培康. 酚醛泡沫及其复合材料的研究与应用进展[J]. 工程塑料应用,2011,39(05):106-109.
[2] 洪璐,耿超,汪美兰. 我国酚醛泡沫材料行业发展预测[J]. 建筑节能,2012(4):54-56.
[3] 庄晓伟,张伟,王春鹏,等. 薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板制备研究[J]. 工程塑料应用,2013,41(6):10-14.
[4] 王军晓,刘新民,潘炯玺,等. 夹芯板材用硬质酚醛泡沫性能的研究[J]. 塑料科技,2005(2):24-26.
[5] 谷天硕,陈志林. 几种木质材料燃烧烟密度的初步研究[C]. 全国第一届阻燃环保人造板生产及应用论坛论文集,2009: 121-125.
[6] 陈志林,纪磊,傅峰. 磷酸三聚氰胺复配硼酸锌阻燃中密度纤维板的燃烧性能[J]. 木材工业,2011,25(5):5-8.
[7] 李国琴. 泡沫夹层复合材料的制备及其力学和阻燃性能的研究[D]. 北京:东华大学,2011.

(责任编辑 向 琴)