

应用技术

桉木与杨木阻燃胶合板的性能对比分析

胡拉, 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: 采用磷氮硼复合阻燃剂浸渍处理桉木和杨木单板, 分别制备 5 层阻燃胶合板, 检测其物理力学性能和阻燃性能。结果表明: 阻燃胶合板的胶合强度, 均满足 GB/T 9846-2004《胶合板》中 II 类要求, 抗弯性能满足 LY/T 1738-2008《实木复合地板用胶合板》要求; 两树种胶合板相比, 杨木阻燃胶合板的胶合强度较好, 桉木阻燃胶合板的抗弯性能及阻燃性能更优。

关键词: 桉木; 杨木; 阻燃胶合板; 性能; 对比

中图分类号: TS653.3; S782.39; S792.11; S792.39 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2015)03-0043-04

Comparison Analysis on Properties of Fire-Retardant Plywood Made with Eucalyptus and Poplar Wood

HU La, 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: Eucalyptus and Poplar veneers, impregnated with a phosphorus-nitrogen-boron fire retardant solution, were used to make five-ply fire-retardant plywood, respectively. Physical, mechanical and fire-retardant properties were investigated. The results showed that bonding strength of both kinds of fire-retardant plywood could meet the Chinese National Standard GB/T 9846-2004 requirement for II-level plywood. Fire-retardant plywood made with eucalyptus wood showed better modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR), better fire-retardant properties, longer time to ignition and lower peak to heat release rate than fire-retardant plywood made with poplar wood.

Key words: Eucalyptus; Poplar; fire-retardant plywood; properties; comparison

胶合板作为历史最为悠久的人造板板种之一, 一直在我国人造板行业中仍占据主导地位。据统计, 2013 年我国胶合板产量达 13 725.19 万 m³, 同比增长近 25%, 占全部人造板产量的 53.7%^[1]。目前, 桉树和杨木是我国胶合板生产中最常用的两个树种, 在

胶合板原料中约占 70% 的份额^[2]。

随着社会防火安全意识的提高, 及阻燃防火法律法规的不断完善, 普通胶合板应用于建筑装修、车船内饰等领域时受到越来越多的限制, 与此相应, 我国阻燃胶合板制备技术在近 20 年来发展迅速^[3-4]。

杨木胶合板的阻燃研究起步早、研究范围广, 并已广泛应用于高层建筑、宾馆、百货商场等公共场所的内装修^[5-7], 而桉木阻燃胶合板的研究近几年才开始^[8], 且尚未见两种阻燃胶合板性能的系统对比和分

收稿日期: 2014-06-09; 修改日期: 2015-03-31

基金项目: 林业公益性行业科研专项“桉树胶合板产业技术升级关键技术”(201104003-02)。

作者简介: 胡拉(1988—), 男, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

责任作者: 陈志林, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员。

析。因此,笔者利用前期研究优选出的磷氮硼复合阻燃剂^[9],分别制备杨木阻燃胶合板和桉木阻燃胶合板,通过对比两树种胶合板阻燃处理前后的物理力学性能和阻燃性能,旨在为桉木阻燃胶合板的生产与应用及推广提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1) 试材 尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *grandis*)单板,采自广西;杨木(*Populus*)单板,购自河北某胶合板厂。单板实测厚度:桉木单板 1.72 mm、杨木单板 1.75 mm;含水率 8%~12%,幅面 300 mm×300 mm。

2) 阻燃剂 磷氮硼复合阻燃剂:将磷酸二氢铵、磷酸氢二铵和硼酸以质量比 1.42:4.25:1 进行配制,制成质量分数为 10%、20%的处理液^[9]。

3) 胶黏剂 三聚氰胺改性脲醛树脂(MUF),黏度 183 mPa·s,pH 值 8.44,固体含量 57%,外购。

1.2 试验装置

热压机;万能力学试验机;恒温恒温箱;FTT 锥形量热仪等。

1.3 试验方法

1) 阻燃处理

单板浸渍处理预试验结果表明,相同浸渍条件下,桉木单板载药率较杨木单板低约 6%。为使两树种单板获得相近的载药率,选用质量分数为 20%和 10%的阻燃剂,分别浸渍处理桉木和杨木单板。

将阻燃剂加热至 50℃,单板垂直放入处理液中,浸渍 6 h,取出后气干 7 d,单板终含水率约为 10%。计算得到桉木和杨木阻燃单板的载药率,分别为 8.38%和 7.42%。

2) 胶合板制备

依据企业常规生产工艺,采用手工涂胶,单面施胶量 200 g/m²,陈化 20~30 min。设定热压温度 115℃,压力 1.2 MPa,时间 1 min/mm,压制 5 层胶合板。以未阻燃处理的桉木胶合板和杨木胶合板作为对照。各组压制 3 张试板,厚度 7.74~7.92 mm。

1.4 性能检测

1) 依据 GB/T 9846-2004《胶合板》测定试板的含水率、密度和胶合强度;依据 LY/T 1738-2008《实

木复合地板用胶合板》,测定试板的静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE);依据 GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》进行检测。

2) 依据 GB/T 16172-2007《建筑材料热释放速率试验方法》,检测阻燃性能,辐射功率 50 kW/m²。

2 结果与分析

2.1 物理力学性能

桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的物理力学性能测试结果,见表 1。

表 1 桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的物理力学性能

Tab. 1 Properties of fire-retardant plywood made with Eucalyptus and Poplar respectively

检测项目	桉木胶合板		杨木胶合板	
	对照	阻燃处理	对照	阻燃处理
含水率/%	7.92(0.74)	8.96(1.17)	7.66(0.72)	8.59(0.94)
气干密度/(kg·m ⁻³)	622.13 (2.85)	675.06 (1.39)	493.51 (3.65)	522.98 (1.59)
胶合强度/MPa	1.25 A (2.07)	0.82 C (5.48)	1.17 A (3.94)	0.91 B (6.84)
MOR/MPa	51.9 A (13.40)	45.0 AB (20.70)	38.9 B (3.72)	42.6 AB (3.26)
MOE/GPa	5.60 AB (11.03)	5.73 A (7.20)	4.09 C (3.07)	4.64 BC (15.82)

注:表中字母表示 Duncan 多范围检验结果,同一行中具有相同英文字母者,表示在 0.05 水平下各试样之间差异不显著,否则为差异显著;括号内的数值为变异系数,%。

2.1.1 密度和含水率

从表 1 看出,由于阻燃剂的填充作用,桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的密度,均较对照试样略有增加;处理前桉木胶合板的密度比杨木胶合板高 20%,阻燃处理后仍比杨木胶合板高 22%。说明阻燃处理对板材树种间的密度差异影响不明显。

4 组胶合板试样的含水率均在 7%~9%范围内,且不同树种阻燃胶合板间的含水率差异亦不明显,满足 GB/T 9846-2004 中 6%~14%的要求。

2.1.2 胶合强度

如表 1 所示,阻燃处理后的桉木胶合板和杨木胶合板,胶合强度分别较各自的对照板下降 35%和 22%。方差分析表明,阻燃处理对两树种胶合板的胶合强度均有显著影响。这是由于阻燃处理引起单板化学和表面性质改变^[6,10],进而影响胶黏剂的固化和

板材的胶合性能。但是,尽管阻燃处理使两个树种胶合板的胶合强度有一定幅度下降,但仍可满足 GB/T 9846-2004 中Ⅱ类胶合强度的要求(≥ 0.7 MPa)。

方差分析亦表明,在 $\alpha=0.05$ 水平下,杨木阻燃胶合板的胶合强度,明显高于桉木阻燃胶合板,表现出更好的胶合性能。这是由于杨木单板表面质量优于桉木单板,厚度偏差较小,与胶黏剂的结合更为牢固。

2.1.3 MOR 和 MOE

我国 LY/T 1738-2008 要求,实木复合地板基材用胶合板的 MOR ≥ 30 MPa,MOE ≥ 3.5 GPa。由表 1 可见,两种阻燃胶合板的 MOR 和 MOE,均达到标准要求,表现出较优的力学性能。

未处理桉木胶合板的 MOR 和 MOE,均高于未处理杨木胶合板;阻燃处理后,桉木胶合板的 MOR 和 MOE 仍分别比杨木阻燃胶合板高 6%和 23%,这是因为桉木胶合板的密度较大所致。

方差分析表明,同一树种间,阻燃处理与否,试样的 MOR 和 MOE 差异不显著,表明阻燃处理对胶合板的 MOR 及 MOE 影响不显著。

2.2 阻燃性能

2.2.1 引燃时间

引燃时间表征材料被引燃的难易程度。处理前桉木胶合板和杨木胶合板的引燃时间分别为 21 s 和 17 s,阻燃处理后,引燃时间降至 18s 和 13 s,引燃时间较对照试样缩短 3~4 s。这是因为磷酸铵盐类阻燃剂在加热条件下生成酸性物质,其催化木材提前分解^[12]。此外,由于桉木阻燃胶合板密度较高^[14],其引燃时间比杨木阻燃胶合板延长约 4 s。因此,桉木阻燃胶合板的防火性能相对较优。

2.2.2 释热性能

热释放速率(Heat release rate,HRR)和放热总量(Total heat release,THR)是表征火灾强度的重要参数^[15]。试板的 HRR 和 THR 检测结果,见图 1 和表 2。阻燃处理后,2 种胶合板的 HRR 和 THR 均明显降低。燃烧阶段中,桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的 HRR 均值分别下降 78%和 62%,峰值分别降低 58%和 65%;燃烧阶段的 THR 分别降低 73%和 53%。表明阻燃剂有效抑制了胶合板在燃烧过程中的热释放。

桉木阻燃胶合板的 HRR 峰值、HRR 均值、THR

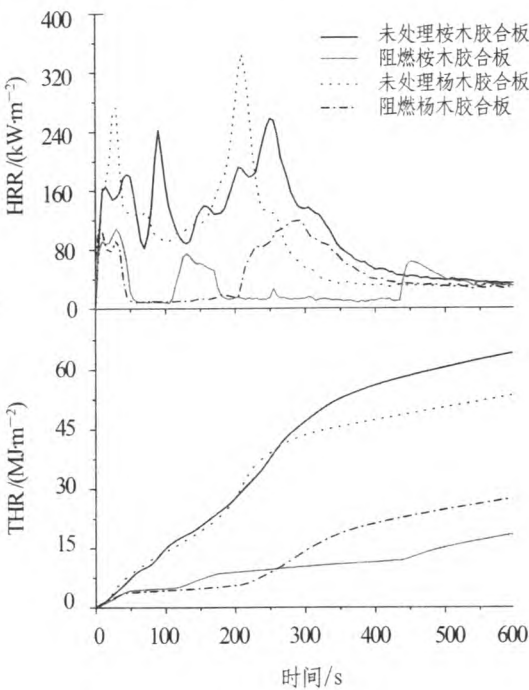


图 1 桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的热释放速率和放热总量

Fig. 1 HRR and THR of fire-retardant plywood made with Eucalyptus and Poplar respectively

表 2 桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板释热参数

Tab. 2 Heat release of fire-retardant plywood made with Eucalyptus and Poplar respectively

胶合板 试样类型	热释放速率/(kW·m ⁻²)				放热总量/(MJ·m ⁻²)		
	峰值	3min 均值	5min 均值	燃烧阶 段均值	3min	5min	整个燃烧 阶段
桉木对照	257.90	136.75	156.44	140.10	21.31	43.27	56.06
桉木阻燃	108.80	47.32	34.20	30.26	7.45	10.02	15.22
杨木对照	345.52	134.44	145.41	137.76	20.58	42.27	44.98
杨木阻燃	121.46	27.93	47.23	52.86	4.91	11.98	21.32

均低于杨木胶合板,表现出更佳的阻燃性能。

2.2.3 火焰传播指数预测

锥形量热法可用于预测美国 ASTM E 84《Standard test method for surface burning characteristics of building materials》规定的火焰传播指数(FSI)^[11,16]。依据 FSI 与 HRR 峰值、THR 及引燃时间的模型^[16],可以计算得到阻燃处理试样的火灾发展倾向,见图 2。

首先,依据公式(1)计算出整体倾向参数(γ , bulk propensity parameter);然后,依据公式(2)计算加速参数(β , acceleration parameter),利用 $\beta=0$ 和 $\beta=0.184$ 两条曲线判断试样的阻燃等级;最后,依据公

式(3)计算出 FSI 值,如表 3 所示。

$$\gamma = [Q_T(12.5 / \delta)] / (4t_i/\pi)$$
 (1)

$$\beta = -0.085 + 0.00188Q_p - Q_p/\gamma$$
 (2)

$$FSI = -31.25\ln(0.4 - 1.67\beta)$$
 (3)

式中:γ—整体倾向参数,kW/m²;Q_T—总热释放量,MJ/m²;δ—试样厚度,mm;t_i—引燃时间,s;Q_p—热释放速率峰值,kW/m²。

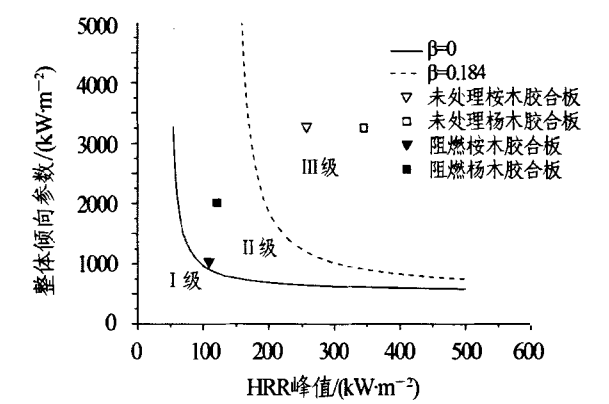


图 2 FSI 预测模型中胶合板试样的火灾发展倾向
Fig. 2 Fire growth propensity of samples based on prediction model of flame spread index

表 3 桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的 FSI 预测值
Tab. 3 FSI of fire-retardant plywood made with Eucalyptus and Poplar respectively

胶合板 试样类型	点燃 时间/s	HRR 峰值/ (kW·m ⁻²)	THR (MJ·m ⁻²)	β	FSI
桉木对照	21	257.90	56.06	0.321	>200
桉木阻燃	18	108.80	15.22	0.015	30.61
杨木对照	17	345.52	44.98	0.458	>200
杨木阻燃	13	121.46	21.32	0.083	41.93

ASTM E 84 依据 FSI 值对建筑材料阻燃性能的划分:Ⅰ级(FSI≤25),Ⅱ级(26≤FSI≤75),Ⅲ级(76≤FSI<200)。由图 2 和表 3 中数据可知,未处理的桉木胶合板和杨木胶合板,FSI 值均超过 200,阻燃性能均属于Ⅲ级;而阻燃处理后桉木胶合板和杨木胶合板的 FSI 值分别降至 30.61 和 41.93,其阻燃性能均达到Ⅱ级要求;且桉木阻燃胶合板的 FSI 值更低,阻燃性能更优。

3 结论

1) 利用磷氮硼复合阻燃剂制备的桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板,其胶合强度和含水率均满足

GB/T 9846-2004 要求;MOR 和 MOE 满足 LY/T 1738-2008 要求,可用于地板基材的生产。

2) 桉木阻燃胶合板和杨木阻燃胶合板的 HRR 和 THR 大幅降低,阻燃性能明显提高。

3) 两树种相比,桉木阻燃胶合板的 MOR、MOE 更高;引燃时间更长,HRR 峰值更低,火焰传播指数预测值较小,具备更优的力学性能和阻燃性能。

4) 今后将进一步改进阻燃处理工艺,在满足力学性能和阻燃性能要求的前提下,改善桉木阻燃胶合板的胶合强度。

参考文献:

[1] 国家林业局. 2013 年全国林业统计年报分析报告[R], 2014.
[2] 陈天全, 毛秋芳, 揭昌亮, 等. 我国胶合板发展情况与产量统计刍议[J]. 中国人造板, 2013(8): 5-8.
[3] 张文标, 陆肖宝. 阻燃胶合板研究的现状和对策[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(2): 208-214.
[4] 于赫, 刘博, 罗文圣. 阻燃胶合板的研究现状[C]//全国第一届阻燃环保人造板生产及应用论坛, 2009.
[5] 王卫东, 王启良. 阻燃型杨木胶合板的初步研究[J]. 林业科技开发, 1993(2): 24-25.
[6] Cheng R X, Wang Q W. The influence of FRW-1 fire retardant treatment on the bonding of plywood[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2011, 25(14): 1715-1724.
[7] 王军, 王宝金, 印胜和. 杨木防火胶合板的生产技术[J]. 林产工业, 2011, 38(1): 40-41.
[8] 胡拉, 陈志林, 詹清军. 阻燃桉树胶合板的初步研究[J]. 桉树科技, 2011, 28(2): 10-15.
[9] 陈志林, 胡拉. 磷氮硼复合阻燃剂处理桉树胶合板的性能评价[J]. 木材工业, 2013, 27(3): 38-41.
[10] Cremonini C, Pizzi A, Tekely P. Improvement of PMUF adhesives performance for fireproof plywood[J]. Holz als Roh- und Werkstoff, 1996(1): 43-47.
[11] Terzi E, Kartal S N, White R H, et al. Fire performance and decay resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants [J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2011, 69 (1): 41-51.
[12] 郭成. 木质材料阻燃机理研究综述[J]. 东北林业大学学报, 1998, 26(6): 71-74.
[13] 吴玉章, 原田寿郎. 磷酸铵盐处理人工林木材的燃烧性能[J]. 林业科学, 2005, 41(2): 112-116.
[14] 杨响, 张和平, 张军, 等. 用锥形量热仪研究胶合板的燃烧特性[J]. 燃烧科学与技术, 2006, 12(2): 159-163.
[15] 王庆国, 张军, 张峰. 锥形量热仪的工作原理及应用[J]. 现代科学仪器, 2003(6): 36-39.
[16] White R H, Dietenberger M A. Cone calorimeter evaluation of wood products[C]//Fifteenth Annual BCC Conference on Flame Retardancy, 2004.

(责任编辑 张一萍)