

研究与开发

# 阻燃轻质纤维板制备工艺及性能

张龙飞<sup>1</sup>, 牛二彦<sup>1</sup>, 纪良<sup>2</sup>, 樊茂祥<sup>2</sup>, 陈志林<sup>1</sup>

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 东营正和木业有限公司, 山东东营 257300)

**摘要:** 采用异氰酸酯胶和实验室自配 FRA 型阻燃剂, 制备密度 0.40 g/cm<sup>3</sup> 的阻燃轻质纤维板, 考察施胶量、热压温度、热压时间和阻燃剂用量等工艺因子对板材理化性能的影响。结果表明, FRA 型阻燃剂能显著提高板材的阻燃性能; 按优化工艺制备的试板, 吸水厚度膨胀率、静曲强度均达到 LY/T 1718-2007《轻质纤维板》中功能型产品的要求, 氧指数达到 GB 8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》中平板状建筑材料 B<sub>1</sub> 难燃等级。

**关键词:** 轻质纤维板; 阻燃; 异氰酸酯

中图分类号: S782.39; TS653.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2015)01-0010-04

## Technology and Performance of Fire-Retardant Treated Low Density Fiberboards

ZHANG Long-fei<sup>1</sup>, NIU Er-yan<sup>1</sup>, JI Liang<sup>2</sup>, FAN Mao-xiang<sup>2</sup>, CHEN Zhi-lin<sup>1</sup>

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

2. Dongying Zhenghe Wood Industry Co., Ltd., Dongying 257300, Shandong, China)

**Abstract:** An isocyanate resin and an FRA retardant developed by the authors were used to manufacture fire-retardant low density fiberboards at 0.40 g/cm<sup>3</sup>. Four technological factors, including resin consumption, hot-pressing temperature, pressing time and fire-retardant consumption were investigated and the performance of the fiberboards was evaluated. The results showed that the FRA retardant consumption could improve the fire-proof property of the fiberboards. The performance of the fiberboards made under optimal conditions could meet the specifications of industrial standard LY/T 1718-2007 for low density fiberboard.

**Key words:** low density fiberboard(LDF); fire-retardant; isocyanate resin

轻质纤维板是纤维板产品的一个分支,是以木材纤维或其他植物纤维为原料,添加或不添加胶黏剂、助剂,加工制成的密度 $\leq 450$  kg/m<sup>3</sup>的板材<sup>[1]</sup>,具有密度低、质量轻、隔热保温、加工性好等特点,可用作非承重构件及保温隔热、隔音材料,如门内芯、房间隔

墙隔断、外墙保温板等。

日本京都大学的研究显示,采用异氰酸酯和聚氨酯胶压制轻质纤维板,板材不仅物理力学性能优良,而且游离甲醛释放量几乎为零。鉴于异氰酸酯胶在 MDF 生产中的应用及其优良的胶合性能<sup>[2-3]</sup>,以及我国对建筑用途人造板防火阻燃性能的强制要求,笔者采用异氰酸酯胶和环境友好型磷氮硼复配阻燃剂,压制密度 0.40 g/cm<sup>3</sup> 的阻燃轻质纤维板,并对其物理力学、燃烧性能进行了测试分析,旨在阻燃轻质纤维板的制备工艺优化和生产应用提供参考。

收稿日期: 2014-01-20; 修改日期: 2014-11-27

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及示范”(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) 杨木(*Populus spp.*)纤维 外购,长度 6~20 mm,直径 150~600  $\mu\text{m}$ ,含水率 12%~15%;

2) 异氰酸酯胶 外购,棕黄色液体,密度 1.24  $\text{g}/\text{cm}^3$  (25  $^{\circ}\text{C}$ ),固体含量 100%,黏度 272.5  $\text{mPa}\cdot\text{s}$  (25  $^{\circ}\text{C}$ );

3) 阻燃剂 试验室复配磷-氮-硼膨胀型粉状 FRA 型阻燃剂,主要成份为三聚氰胺磷酸盐、硼酸(质量比 3:1)。

### 1.2 试验设备与仪器

纤维分散机、纤维搅拌设备、喷胶机、热压机;万能力学试验机;氧指数测定仪、锥形量热仪等。

### 1.3 板材制备方法

为减少胶耗,本试验选用特制的长木纤维。将纤维置于拌胶机中,喷入阻燃剂粉体,适当延长搅拌时间,使阻燃剂分布更加均匀;然后进行施胶,手工铺装纤维在铺有脱模纸的垫板上,压实后在板坯上表面再铺盖一张脱模纸,进行板材热压成型。

板材设计密度 0.40  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,由厚度规控制板厚 10 mm,幅面 400 mm $\times$ 400 mm。根据前期试验结果,设定单位压力 0.5 MPa,重点考察热压温度(140、150、160  $^{\circ}\text{C}$ )、热压时间(4、5、6 min)、施胶量(4%、6%、8%)、阻燃剂用量(0、8%、15%)等工艺参数的影响,按照正交试验表  $L_9(3^4)$  进行试验(表 1),每组条件下压制 3 块试板。

### 1.4 性能测试

1) 按照 LY/T 1718-2007《轻质纤维板》取样,检测板材的吸水厚度膨胀率(TS)和静曲强度(MOR);

2) 参照 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》取样,检测板材极限氧指数(LOI),初步评价板材的引燃、易燃性,每个条件下测试试样 $\geq 15$ 个;

3) 根据 ISO 5660-1-2002《Reaction to fire tests—Heat release, smoke production and mass loss rate—Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)》取样,在 50  $\text{kW}/\text{m}^2$  辐射功率下,检测板材的动态燃烧情况,每个条件测试 2 组试样。

## 2 结果与分析

根据试验方案压板、取样,试板的性能测试结果列于表 1。试板各性能指标随工艺因子水平的变化趋势,如图 1 所示。

### 2.1 试验因子对板材性能的影响

#### 2.1.1 吸水厚度膨胀率

由图 1 可以看出,热压温度、热压时间对试板吸水厚度膨胀率 TS 的影响较小,而阻燃剂用量、施胶量的影响较明显。这是因为阻燃剂含有硼酸,在潮湿环境中易吸潮,故试板的 TS 随着阻燃剂用量的增加而有所增大<sup>[4]</sup>。

施胶量提高,在纤维表面可形成一层物理和化学形式的胶层“包裹”;并且,异氰酸酯中的  $-\text{N}=\text{C}=\text{O}$  基团部分可与硼酸中的活泼氢发生反应,生成高分子交联结构,从而降低板材的吸水性。

试板的 2 h TS 低于 LY/T 1718-2007 对功能型板材 10.0% 的最低限值要求,而且,试板的 2 h 和 24 h TS 相差不大,说明异氰酸酯胶对改善试板耐水性能的作用显著,可有效提高板材的尺寸稳定性。

表 1 试验室制备轻质纤维板的性能检测结果

Tab. 1 Performance of low density fiberboard(LDF)

试验号	试验因子与水平				性能测试结果				
	热压温度/ $^{\circ}\text{C}$	热压时间/min	施胶量/%	阻燃剂用量/%	密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	2 h TS/%	24 h TS/%	MOR/MPa	LOI/%
1	140	4.0	4	0	0.3976	3.71	5.13	2.93	24.5
2	140	5.0	6	8	0.4008	3.51	4.82	3.02	31.7
3	140	6.0	8	15	0.3894	2.82	4.24	3.55	35.5
4	150	4.0	6	15	0.3975	3.91	5.13	3.47	35.1
5	150	5.0	8	0	0.4007	2.13	4.06	4.28	23.7
6	150	6.0	4	8	0.3987	4.42	6.05	2.54	32.2
7	160	4.0	8	8	0.3992	2.34	3.91	4.07	31.9
8	160	5.0	4	15	0.4011	4.03	5.94	2.30	35.8
9	160	6.0	6	0	0.4024	3.75	4.82	4.65	24.2

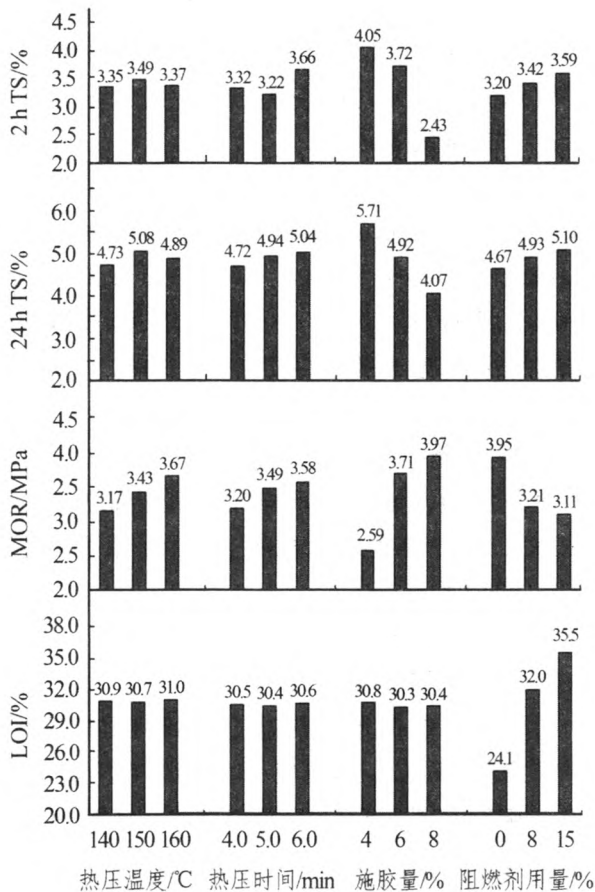


图1 试板性能随试验因子的变化

Fig. 1 LDF performance vs. experimental factors

### 2.1.2 静曲强度

由图1可以看出,4个因子对试板MOR的影响均较明显,随着热压温度升高、时间延长、施胶量增大,MOR均提高。这是因为在一定范围内,随着热压温度升高、热压时间延长,胶黏剂固化更加充分;随着施胶量的提高,纤维之间结合更加紧密,故板材的MOR提高。

而随着阻燃剂用量的增加,试板的MOR下降。原因主要是由于施加的是粉状阻燃剂,三聚氰胺磷酸盐部分以颗粒状存在,会阻碍胶黏剂的粘结,影响板材的力学强度;而且,随着阻燃剂用量的增加,板材单位体积内的纤维含量相对减少,纤维之间紧密接触程度下降,也是导致板材MOR下降的原因之一。

### 2.1.3 阻燃性能

由图1可以看出,试板的LOI基本不受热压温度、热压时间、施胶量的影响,只有阻燃剂用量的影响较明显。

• 12 •

随着阻燃剂用量增加,引燃时间明显延长,试板的LOI提高。这是因为三聚氰胺磷酸盐在受热时分解产生 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 等气体,并形成具有脱水作用的磷酸<sup>[5]</sup>,有效降低了材料表面的氧浓度;同时纤维素脱水成炭,也起到隔热绝气的作用,使热释放量降低,从而达到阻燃目的。

阻燃剂用量15%时,试板的氧指数为35.5%,达到GB 8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》中平板状建筑材料B<sub>1</sub>级难燃等级( $\text{OI} \geq 30\%$ )。

取热压温度160℃、热压时间5min、施胶量8%条件下,不同阻燃剂用量的试板进行动态燃烧分析,结果如图2所示。

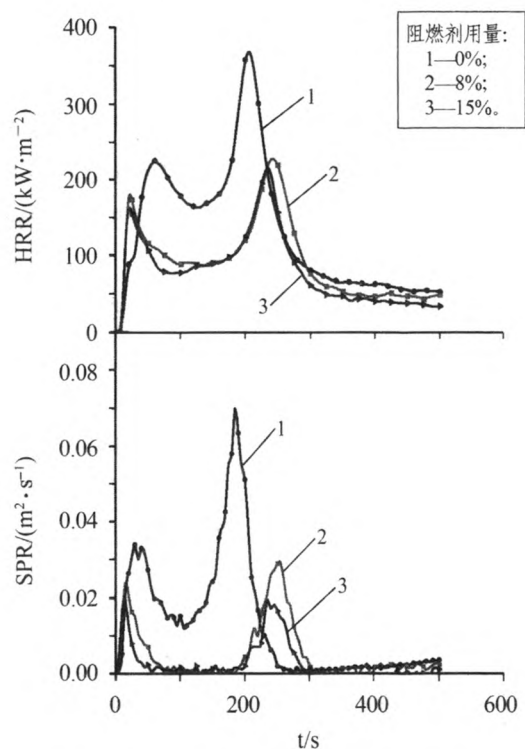


图2 不同阻燃剂用量试板的热释放速率和产烟速率曲线

Fig. 2 LDF heat release rate and smoke release rate curves made with different fire-retardant consumptions

由图2可知,阻燃剂用量8%和15%的试板的热释放速率(HRR)和烟释放速率(SPR),明显低于未添加阻燃剂的对照试板。

图2中HRR曲线第1个峰的出现是木材在受热初期,木材中有机化合物热解释放出可燃性气体,在电火花及热的作用下迅速引燃,随着燃烧进行,阻燃剂开始膨胀、表层纤维炭化,热释放速率降低<sup>[6-9]</sup>。

随着热源持续作用,纤维板表面翘曲开裂,下层未炭化的木材被引燃,火势迅速扩大,从而形成第2个热释放速率峰值。

相比普通MDF的两个HRR峰值160.3、237.0 kW/m<sup>2</sup>[10],未添加阻燃剂的普通轻质纤维板的HRR峰值较高,分别为225.9、372.3 kW/m<sup>2</sup>,主要原因是轻质纤维板密度低,单位体积纤维含量少,空气空隙多,燃烧更剧烈。

添加阻燃剂后,轻质纤维板的两个HRR峰值均有所降低,第2个峰值下降尤为明显,且峰值出现了不同时间的延后。

SPR曲线显示:随着阻燃剂用量从8%增至15%,第1个峰值分别下降27.8%、41.5%,第2个峰值分别下降58.3%、72.4%,说明添加FRA型阻燃剂可促进纤维板表面成炭,抑烟效果明显。

## 2.2 优化工艺验证试验

对正交试验制备试板的性能检测结果进行极差分析(表2)。

表2 阻燃轻质纤维板性能检测结果的极差分析

Tab. 2 Comparative analysis of LDF performance

因子	2h TS/ %	24 h TS/ %	MOR/MPa	LOI/ %
热压温度	0.05	0.12	0.17	0.10
热压时间	0.15	0.11	0.13	0.07
施胶量	0.54	0.55	0.46	0.17
阻燃剂用量	0.13	0.14	0.28	3.80

结果表明,各工艺因子对板材性能指标的影响依次为:

1) 2h TS:施胶量>热压时间>阻燃剂用量>热压温度;

2) 24h TS:施胶量>阻燃剂用量>热压温度>热压时间;

3) MOR:施胶量>阻燃剂用量>热压温度>热压时间;

4) LOI:阻燃剂用量>施胶量>热压温度>热压时间。

综合考虑各因子对阻燃轻质纤维板性能的影响,得出较优工艺为:热压温度160℃,热压时间5.0 min,施胶量8%,阻燃剂用量15%。

依此优化工艺进行验证试验,制备的阻燃轻质纤维板试板的实测密度为0.3997 g/cm<sup>3</sup>,主要性能指标测试结果及相关标准规定值,列于表3。

表3 验证试验试板性能的测试结果

Tab. 3 LDF test results made under optimized conditions

来源	MOR/MPa	2h TS/ %	24h TS/ %	LOI/ %
试板	3.49	2.7	3.4	35.2
LY/T 1718-2007	≥3.0	≤10	-	-
GB 8624-2012				B <sub>1</sub> 级(≥30)

由表3结果可知,验证试验制备板材的TS和MOR,满足LY/T 1718-2007中功能型产品的要求,LOI达到GB 8624-2012中平板状建筑材料B<sub>1</sub>难燃等级的要求。说明本试验采用的工艺参数可行。

## 3 结论

1) 采用异氰酸酯胶、FRA型阻燃剂制备阻燃轻质纤维板,较优工艺条件为:热压温度160℃、热压时间5.0 min、施胶量8%、阻燃剂施加量15%,制备的板材的TS、MOR达到LY/T 1718-2007中对功能型轻质纤维板的要求,氧指数检测结果达到GB 8624-2012中B<sub>1</sub>级难燃平板状建筑材料的要求;

2) 采用异氰酸酯胶生产的阻燃轻质纤维板,不含游离甲醛,可作为门板夹芯、房间隔断、外墙保温及室内装修等非结构用途材料,拓宽纤维板的使用范畴,提高产品附加值。

## 参考文献:

- [1] LY/T 1718-2007, 轻质纤维板[S].
- [2] 李杰. 用异氰酸酯胶生产中密度纤维板的尝试[J]. 木材工业, 2008, 22(5): 28-31.
- [3] 艾军, 陆仁书. 人造板用异氰酸酯胶黏剂的性质与应用[J]. 林产工业, 2002, 29(3): 3-7.
- [4] 付晓丁. 磷氮硼阻燃剂的制备及其对刨花板阻燃性能影响的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [5] 付晓丁, 陈志林. 三聚氰胺磷酸盐阻燃剂的合成及其对木材的阻燃研究[C]//2011年中国阻燃学术年会论文集, 2011: 33-38.
- [6] 纪磊, 陈志林, 傅峰. 磷酸三聚氰胺阻燃中密度纤维板燃烧性能[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(4): 279-281.
- [7] 陈志林, Zhiyong Cai, Jerrold E, 等. 美国阻燃人造板研究现状与应用[J]. 中国人造板, 2009(4): 6-10.
- [8] 谷天硕, 陈志林. 抑烟性阻燃中密度纤维板的试验研究[J]. 消防科学与技术, 2010(6): 516-518.
- [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] 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.

(责任编辑 向琴)