

木结构覆板用阻燃饰面胶合板的燃烧性能研究

吴沐廷, 屈伟, 宋伟, 吴玉章

(中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 通过单体燃烧试验(SBI)和锥形量热仪(CONE)测试,发现阻燃处理可降低阻燃饰面胶合板的热释放速率和总热释放量,抑制产烟速率和产烟总量,延缓木材炭化速率;阻燃等级达到 B₁(B)级别,用于木结构的墙体覆面材料,对提高木结构建筑的火灾安全性具有重要作用;同时有利于实现结构支撑、骨架抗火以及居室内部装饰与阻燃等功能的一体化,提高木结构建筑的装配化程度。

关键词: 阻燃; 装配式木结构; 饰面胶合板; 覆板; 阻燃性能

中图分类号: S781; TS653.3; TU366.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2020) 02-0010-04

Burning Behaviors of Flame-Retardant Decorative Sheathing Plywood for Light-Frame Wood Construction

WU Mu-ting, QU Wei, SONG Wei, WU Yu-zhang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Samples of flame-retardant decorative plywood were detected by single burning item test (SBI) and cone calorimeter test (CONE). The result showed that the heat release rate (HRR) and total heat release (THR) of the samples were decreased, the smoke production rate and total smoke production of the samples were inhibited, and the wood charring rate of the samples was reduced. The performance of the tested samples could meet the requirement of Grade B₁(B) of GB 8624—2012 and could be used as the wall covering material in timber construction. This characteristic plays a key role in improving the fire safety of timber construction. Meanwhile, fabricated light-frame structure could be improved by integrating structural support, fire resistance of wood frame, interior decoration, and flame retardancy.

Key words: fire resistance; fabricated light-frame structure; decorative plywood; sheathing; flame retardant performance

近年来随着装配式木结构和轻型木结构在我国的发展和运用,墙体、楼面板、屋面系统、空间单元等可在工厂内实现预制,同时还可以根据预制化

程度,实现更高的预制率和装配率^[1-3]。目前的建造方式主要是对规格材和板材等的现场下料、拼接、安装;即使有一些装配化程度较高且可在工厂内实现预制的墙板和楼屋盖,但尚未考虑到木结构建筑的内部装修问题,使得木结构装配完成后,还需要对内部进行装饰装修,不仅降低了木结构建筑的装配化程度,还增加了工程造价。此外,随着木结构建筑呈高层化的发展趋势,针对高层木结构建筑的防火安全成为重中之重^[4]。

收稿日期: 2019-02-28; 修改日期: 2020-02-06

基金项目: 国家自然科学基金青年项目“锥形量热仪法生物质燃烧颗粒物排放特性的研究”(31600456); 国家自然科学基金面上项目“以木质素为炭源的膨胀层品质研究”(31570549)。

作者简介: 吴沐廷(1996—),男,硕士。Email: martinwu96@hotmail.com

责任作者: 吴玉章,男,研究员。Email: wyz@caf.ac.cn

装饰纸或装饰薄木饰面胶合板具有表面装饰风格多变、装饰效果美观、施工方便、生态环保等特点,在家装市场受到消费者的青睐^[5]。剪力墙是梁柱式木结构最重要的抗侧力构件。较为常见有胶合板覆面式剪力墙,抗剪性能优良^[6],兼具承力和抗火等作用。若将饰面胶合板进行阻燃作为木结构墙体的覆面材料,不仅解决了结构承力问题,还可同时解决木结构内部装饰装修问题,大大提高了木结构建筑的装配化程度。

鉴于此,笔者提出以具有阻燃和装饰效果的胶合板作为墙体覆面材料,将墙体承力、抗火能力和内部装饰融为一体,提高木结构建筑的装配化程度。通过单体燃烧试验和锥形量热仪试验,重点分析阻燃饰面胶合板与普通饰面胶合板在燃烧性能方面的差异,为装配式木结构墙体制造提供设计依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 普通饰面胶合板和阻燃饰面胶合板:基材均为11层杨木胶合板,饰面材料为0.5 mm厚的科技木,规格尺寸为1 220 mm×2 440 mm,厚度18 mm,平均含水率8%。每种胶合板数量各6张,均由石家庄华杰木业有限公司提供。

2) 装饰纸:克重为80 g/m²,来源为华杰木业公司。

3) 阻燃树脂:主要成分为聚磷酸铵(APP)、季戊四醇(PER)、三聚氰胺脲醛MUF^[7]。自制。

1.2 试验设备

单体燃烧试验装置;锥形量热仪燃烧装置。

1.3 试验方法

饰面和阻燃饰面胶合板均在工厂制备。其制备工艺流程如下:

胶合板基材→阻燃胶黏剂→科技木→冷压→热压→砂光→装饰纸饰面。

阻燃饰面胶合板是在胶合板基材上涂布阻燃树脂,再压贴科技木,单面涂布量为333 g/m²。

装饰薄木的压贴工艺参数为:热压温度110℃,时间5 min,压力8 MPa,制备得到阻燃胶合板,表面再贴覆饰面浸渍胶膜纸^[7]。

1.4 性能测试

1) 依据GB/T 20284—2006《建筑材料或制品的单体燃烧试验》和GB/T 8626—2007《建筑材料可燃性试验方法》测量材料的燃烧热释放及烟释放;依据GB 8624—2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》,采用单体燃烧试验,评价材料阻燃等级。

2) 依据ISO 5660.1—2015“Reaction-to-fire test—Heat release, smoke production and mass loss rate—Part 1: heat release rate (cone calorimeter method)”,采用锥形量热仪,实时监测样品燃烧过程中的热释放及质量损失(ML)等参数。热源辐射强度50 kW/m²。

2 结果与讨论

2.1 阻燃处理对材料燃烧释热的影响

普通饰面胶合板和阻燃饰面胶合板的单体燃烧试验结果,见图1。

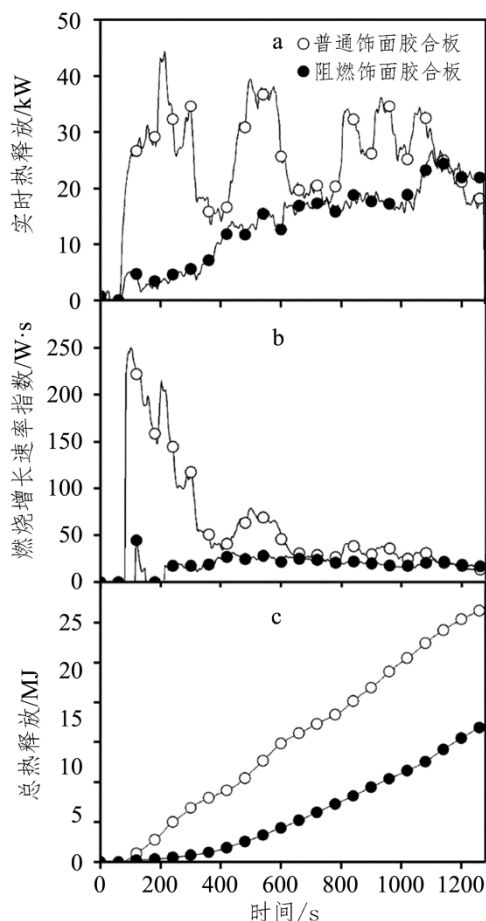


图1 普通与阻燃饰面胶合板的单体燃烧试验结果

Fig.1 Test results of SBI of control and flame-retardant decorative plywood samples

由图 1a 可知, 饰面胶合板实时热释放曲线呈多峰结构, 这与其自身的多层结构有关。在 200 s 左右时, 热释放达到峰值 (45 kW)。

燃烧增长速率指数显示 (图 1b), 当试样燃烧释放热量达到 0.2 MJ 和 0.4 MJ 时, 饰面胶合板的 $FIGRA_{0.2MJ}$ 和 $FIGRA_{0.4MJ}$ 门槛值均为 250.2 W/s。说明饰面胶合板受热初期更易被引燃, 并快速达到较大的热释放速率, 这与饰面胶合板表面装饰纸的较高热释放有关。

阻燃饰面胶合板实时热释放曲线呈缓慢上升的趋势, 几乎没有峰值, 其 $FIGRA_{0.2MJ}$ 和 $FIGRA_{0.4MJ}$ 门槛值分别下降到 44.8 W/s 和 32.0 W/s, 可见, 胶合板表面的装饰纸和科技木的快速放热被抑制, 有效地降低了热释放速率。

由总热释放曲线 (图 1c) 可知, 整个燃烧过程中, 饰面胶合板的总热释放高于阻燃饰面胶合板。600 s 内饰面胶合板总热释放为 14.9 MJ, 而阻燃饰面胶合板仅为 4.3 MJ, 阻燃饰面胶合板的总热释放下降了 71.1%。

火灾危害表现之一是材料燃烧放热形成的热辐射, 热辐射对相邻材料又构成加热源, 使其热分解并燃烧, 导致燃烧范围扩大, 热量不断蓄积而形成高温, 造成火势蔓延^[8-9]。因此, 对于居室来说, 阻燃饰面胶合板不仅提供了装饰功能, 而且对抑制居室火灾具有重要作用。

2.2 阻燃处理对材料厚度方向炭化过程的影响

释热速率 (heat release rate, HRR) 曲线可以充分反映材料的燃烧进程。饰面胶合板和阻燃饰面胶合板的燃烧释热速率曲线, 如图 2 所示。

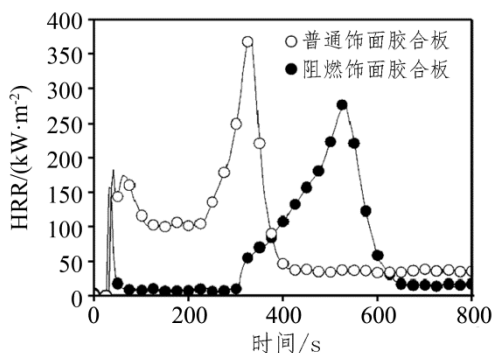


图2 普通与阻燃饰面胶合板的燃烧释热速率

Fig.2 Heat release rate of control and flame-retardant decorative plywood samples

由图 2 可知, 两种材料受热不久后均出现了由饰面层燃烧所引发的释热峰, 普通饰面胶合板的峰值略高于阻燃饰面胶合板。随着时间延长, 普通饰面胶合板保持燃烧状态, 释热速率维持在 101~110 kW/m² 之间; 而阻燃饰面胶合板第 1 放热峰结束后, 火焰熄灭, 释热速率维持在 6~10 kW/m² 之间, 直至 310 s 才再次出现火焰。

当热量在板材厚度方向传递、逐步炭化过程中, 释热速率曲线在双峰间出现平坦区域。平坦区域持续时间的长短与样品的厚度有关, 样品越厚, 此过程维持的时间越长^[10]。阻燃饰面胶合板的阻燃机理在于膨胀型炭质层的形成, 使外界热源无法对木材发生直接的辐射作用, 降低了热流量, 隔绝了氧气, 使木材炭化速率降低^[12-15], 延缓了木材的炭化过程。可见, 阻燃处理对提高木结构骨架构件的抗火能力具有积极作用^[16]。

观察两类胶合板样品燃烧后的外观 (图 3) 发现, 单体燃烧试验结束后 (1 300 s), 普通饰面胶合板受火部位已经被烧穿, 失去了作为骨架覆面板对骨架的保护作用; 而阻燃饰面胶合板仍保留有较厚的未炭化部分 (背面完好), 这对提高墙体构件的抗火能力具有重要作用。



图3 普通与阻燃饰面胶合板燃烧后的样品外观

Fig.3 Appearance after burning of control and flame-retardant plywood samples

2.3 阻燃处理对材料产烟速率和总产烟量的影响

统计表明, 75% 的火灾死亡由火灾烟气导致^[17]。除了降低燃烧释热外, 抑制材料燃烧过程中的发烟, 也是火灾安全的重要研究方向。

单体燃烧试验中, 材料燃烧过程中产烟速率 (smoke product rate, SPR) 和总产烟量 (total smoke production, TSP) 的实时跟踪结果, 见图 4。

由图 4 可知, 燃烧初期的 100 s 内, 阻燃饰面胶合板的产烟速率略高于普通饰面胶合板, 这是由于

表面装饰层和阻燃层受热分解,尤其是阻燃层受热膨胀形成炭质层的过程中,有较多挥发物生成,二者叠加表现为产烟速率提高;燃烧 100 s 以后,普通饰面胶合板燃烧旺盛,挥发物增多,产烟速率提高。由于胶合板呈层状结构,故燃烧过程产烟速率曲线亦呈起伏状。随着燃烧进程的发展,饰面胶合板的产烟速率逐步增高。燃烧 1 000 s 以后,普通饰面板完全炭化,产烟速率陡增;阻燃饰面胶合板在阻燃层的作用下,产烟速率一直低于普通饰面胶合板,尤其到燃烧后期,产烟速率一直处于较低水平。说明阻燃处理有效地抑制了发烟,降低了总产烟量。这对降低烟气危害、提高火灾安全性具有重要意义。

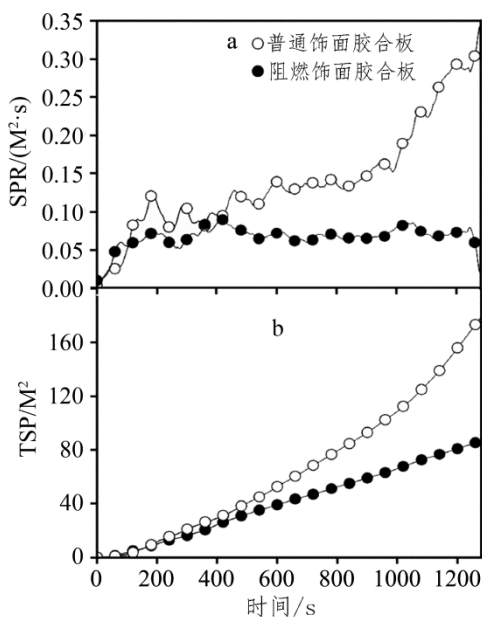


图4 普通与阻燃饰面胶合板的的产烟速率和总产烟量

Fig.4 Smoke production rate and total smoke production of control and flame-retardant plywood samples

2.4 板材阻燃等级的判定

GB 50222—2017《建筑内部装修设计防火规范》规定,大多数商业场所和高层住宅墙体材料的阻燃等级需达到 B_1 级,依据 GB 8624—2012 的分级方法,对两种板材进行比较,评价结果如表 1 所示。

表 1 显示,普通饰面胶合板 600 s 热释放总量为 14.9 MJ,满足 $B_1(C)$ 标准要求,然而 $FIGRA_{0.4MJ}$ 以后的最高燃烧增长速率指数为 250.2 W/s,超过 $B_1(C)$ 标准要求,因此判定饰面胶合板阻燃等级为 B_2 级。可见当饰面胶合板用于墙体覆面板时,仍需做阻燃处理,才能到 B_1 以上阻燃等级。

表 1 普通及阻燃饰面胶合板的阻燃等级评价

Tab.1 Flame-retardant grading of control and flame-retardant decorative plywood samples

试验类别	测试项目	$B_1(C)$	$B_1(B)$	普通饰面胶合板	阻燃饰面胶合板
单体燃烧	燃烧增长速率指数 $0.2 MJ/(W \cdot s)$	—	≤ 120	250.2	44.8
	燃烧增长速率指数 $0.4 MJ/(W \cdot s)$	≤ 250	—	250.2	32.0
	$THR_{600}/(W \cdot s)$	≤ 15	≤ 7.5	14.9	4.3
	长翼火焰横向传播是否到边缘	否	否	否	否
可燃性	60 秒内焰尖高度 $F_s \leq 150 mm$	是	是	是	是
	60 秒内无燃烧滴落物引燃滤纸现象	是	是	是	是
等级判定				B_2	$B_1(B)$

阻燃饰面胶合板 600 s 热释放总量为 4.3 MJ, $FIGRA_{0.2MJ}$ 以后的最高燃烧增长速率指数为 44.8 W/s,均小于 $B_1(B)$ 标准要求的上限,为 $B_1(B)$ 级阻燃材料。

3 结论

1) 阻燃处理有效降低了饰面胶合板的热释放速率和总热释放量,降低了建筑火灾载荷和蔓延速率,不仅为建筑居室提供了装饰功能,同时对居室内部预防火灾提供了安全保障。在木结构建筑中,阻燃饰面胶合板对提高墙体等结构的抗火能力具有重要作用。

2) 阻燃饰面胶合板受热后形成的膨胀型炭质层,隔绝了外界热源对木材的直接辐射作用,降低了木材炭化速率,延缓了木材的炭化过程,对提高木结构骨架的抗火能力具有积极作用。通过阻燃层的设计,还可进一步提高墙体的抗火能力。

3) 阻燃处理可以使饰面胶合板的产烟速率和产烟总量得到有效控制,对降低火灾中由烟气引发的伤亡和危害具有积极作用。

4) 阻燃等级达到 $B_1(B)$ 的阻燃饰面胶合板,可以作为墙体材料直接使用,实现了集支撑、抗火、阻燃和装饰等功能的一体化,促进了装配式木结构的预制度和装配率。

(下转第 18 页)

甲醛释放速率更大,且差异随着温度和相对湿度的增加而增大。

2)地采暖模拟舱法虽然从理论上接近地板使用的真实环境,有待在大型的环境模拟舱内或者真实地采暖室内环境进行验证,进一步优化检测方法,为更精准地制定地采暖用木质地板的甲醛释放限量提供依据。

参考文献:

- [1] 叶春香,崔启鹏,吴玉琪,等.地采暖用实木复合地板甲醛释放变化规律[J].林业与环境科学,2016,32(2):31-33.
YE C X, CUI Q P, WU Y Q, et al. Formaldehyde release regularities in variation of engineered wood flooring for ground with heating system[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2016, 32(2): 31-33.
- [2] Kim S, Kim H J. Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperature in under heating system;

(上接第13页)

参考文献:

- [1] 杨学兵,欧加加.我国装配式木结构建筑体系发展趋势[J].建设科技,2018(5):6-11.
YANG X B, OU J J. Development trend of prefabricated wood structure building system in China[J]. Construction Science and Technology, 2018(5): 6-11.
- [2] 何敏娟,罗晶,李征.多高层木结构建筑的装配化特点及发展展望[J].建设科技,2017(5):16-20.
HE M J, LUO J, LI Z. Assemblage characteristics and development prospects of multi-high-rise wooden buildings[J]. Construction Science and Technology, 2017(5): 16-20.
- [3] 黄文龙.多层装配式木结构建筑关键技术研究[J].特种结构,2017,34(6):83-88.
HUANG W L. Research on key technologies of multistory prefabricated timber structure building[J]. Special Structures, 2017, 34(6): 83-88.
- [4] 刘静,张盛东.木结构防火设计方法简介[J].灾害学,2010,25(S0):131-135.
LIU J, ZHANG S D. Brief introduction of fire design method for wood structure[J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25 (S0): 131-135.
- [5] 张新伟,王静,谈雄.浅议生态板的环保实用性[J].河北农机,2016(9):32-33.
ZHANG X W, WANG J, TAN X. A brief discussion on the practicality of eco-plate for environmental protection[J]. Hebeinonji, 2016(9): 32-33.
- [6] 武国芳,龚迎春,王朝晖,等.日式剪力墙覆面板钉连接性能试验研究[J].木材工业,2017,31(1):27-31.
WU G F, GONG Y C, WANG Z H, et al. Performance of nail connections in Japanese-style shear walls[J]. China Wood Industry, 2017, 31(1): 27-31.
- [7] 屈伟,吴玉章.表面涂布型阻燃树脂及其在中纤板的应用[J].木材工业,2017,31(5):13-17.
QU W, WU Y Z. Flame retardant amino resin for surface coating and its application in medium density fiberboard[J]. China Wood Industry,

ONDOL[J]. Indoor Air, 2005, 15(5): 317-325.

- [3] 李妍妍.强化复合地板模拟室内环境甲醛释放规律的研究[D].南京:南京林业大学,2008.
- [4] 王敏贤.环境因素对人造板释放影响的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2011:24-36.
- [5] 王宏棣,赵秀,刘一楠,贾潇然.地采暖用木质地板甲醛释放量检测方法探讨[J].木材工业,2018,32(3):25-28.
WANG H D, ZHAO X, LIU Y N, JIA X R. Test methods of formaldehyde emissions from wood-based flooring products used in ground heating system[J]. China Wood Industry, 2018, 32(3): 25-28.
- [6] 卢金汉,吕斌,邹献武,杨忠.地采暖用木质地板甲醛释放限量指标探讨[J].木材工业,2019,33(1):34-37.
LU J H, LV B, ZOU X W, YANG Z. Limit of formaldehyde emissions from wood-based floorings for ground with heating systems[J]. China Wood Industry, 2019, 33(1): 34-37.
- [7] GB/T 33043-2016,人造板甲醛释放量测定大气候箱法[S].
- [8] 周定国,韩书广.温度对刨花板甲醛散发的影响[J].建筑人造板,1997(4):3-4.

(本文编校 向琴)

2017,31(5):13-17.

- [8] 王金平,朱江.常用建筑材料及家具的热值及其火灾荷载密度的确定[J].建筑科学,2009,25(5):70-72.
WANG J P, ZHU J. Heat value of commonly-used building materials and furniture and calculation of fire load density[J]. Building Science, 2009, 25(5): 70-72.
- [9] 宋宁.建筑物内部装修的防火对策[J].安全,2008(4):53-55.
SONG N. Countermeasures against fire in interior decoration of buildings[J]. Safety, 2008(4): 53-55.
- [10] 吴玉章,原田寿郎.人工林木燃烧性能研究[J].林业科学,2004,40(2):131-136.
WU Y Z, Toshiro H. Study on the burning behavior of plantation wood[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(2): 131-136.
- [11] 唐博琛.木结构燃烧试验与抗火性能仿真模拟研究[D].北京:北京建筑大学,2016.
- [12] Hadvig S. Charring of wood in building fires: Practice, theory, instrumentation measurements[J]. Fire Safety Journal, 1983, 5(2): 171-172.
- [13] Spearpoint M J, Quintiere J G. Predicting the burning of wood using an integral model[J]. Combustion and Flame, 2000, 123: 308-325.
- [14] Tran C H, White R H. Burning rate of solid wood measured in a heat release rate calorimeter[J]. Fire & Materials, 1992, 16(4):197-206.
- [15] 王秀丽,张盛东.木材炭化速率及其影响因素分析综述[J].结构工程师,2018,34(3):177-182.
WANG X L, ZHANG S D. A review of Charring rate of wood and various influencing factors[J]. Structural Engineers, 2018, 34(3): 177-182.
- [16] 王斌.木结构榫卯节点抗火性能试验研究[D].南京:东南大学,2013.
- [17] Stec A A, Hull T R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials[J]. Energy Buildings, 2011, 43(2-3): 498-506.

(本文编校 孟凡丹、向琴)