

研究与开发

锥形量热仪法研究 FRW 系列阻燃剂的抑烟性能

王奉强¹, 王清文¹, 张志军¹, 邵博²

(1. 东北林业大学生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040;

2. 磐石科瑞鸿德化工科技开发有限公司, 吉林省吉林市 132301)

摘要: 采用锥形量热仪法,对 FRW 系列木材阻燃剂产品 FRW-C1 和 FRW-C2 的抑烟性能进行了评价。结果发现: FRW-C1 和 FRW-C2 阻燃处理木材的烟比率、比消光面积、CO₂ 质量分数及产生速率,均比未处理木材显著降低;二者均能有效地降低木材燃烧时的烟浓度和烟释放量,而对木材燃烧时的 CO 释放无显著影响。

关键词: 木材阻燃剂; FRW 阻燃剂; 锥形量热仪; 抑烟

中图分类号: TS67; TU545 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2011)03-0011-04

Smoke Inhibition of FRW Series Fire Retardants by Cone Calorimeter

WANG Feng-qiang¹, WANG Qing-wen¹, ZHANG Zhi-jun¹, SHAO Bo²

(1. Key Laboratory of Bio-Based Material Science and Technology (Ministry of Education), Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Panshi ChemTech Co. Ltd., Jilin 132301, Jilin, China)

Abstract: The smoke inhibiting property of FRW-C1 and FRW-C2, two new fire retardants in the FRW series for wood, were systematically studied using a cone calorimeter. The results show that the values of smoke ratio (SR), specific extinction area (SEA), the concentration of carbon dioxide (CO₂), and the production of carbon dioxide (PCO₂) of FRW-C1 and FRW-C2 treated Korean pine samples decreased when compared with the untreated samples. The FRW-C1 and FRW-C2 treatments had a minor influence on the generation of carbon monoxide.

Key words: wood fire retardant; FRW fire retardant; cone calorimeter; smoke inhibition

随着木材在我国建筑及室内装饰材料中的应用推广,木质材料的阻燃性能研究已较普遍,而抑烟性能研究尚处于初期阶段,相关研究报道较少^[1-5]。阻燃材料的使用安全性,不仅受材料的阻燃性能影响,其抑烟性能同等重要。在众多火灾事故中,造成人员伤亡的最主要因素往往是烟气危害^[2]。

FRW 木材阻燃剂是东北林业大学研制的一种磷-氮-硼系木材阻燃剂,属于一剂多效产品,具有阻燃和防腐双重功效,以及基本不吸湿、不使木材变色、无毒和不污染环境等优点,适于各类木质材料及纸类

的阻燃处理^[6]。近年来,在 FRW 配方的基础上,适当调节磷-氮-硼元素的配比和组成,FRW 系列木材阻燃剂产品被相继开发,如 FRW-1^[7-8]、FRW-C1 和 FRW-C2 等,适用于不同气候环境。其中,FRW-C1 适合于北方气候,FRW-C2 适合于南方气候,均适用于各种木质纤维材料的阻燃处理。

锥形量热仪(Cone calorimeter, CONE)是建立在氧消耗原理上的材料燃烧测试仪器,通过测定材料在燃烧过程中所消耗的氧的质量,可精确计算材料燃烧释放热量,进而分析材料在单位时间、单位面积的释放热量;辅以天平、光度测定仪以及气体分析装置和计算机系统,还可以分析样品质量、烟释放、尾气成分等动态变化结果^[9]。目前,应用 CONE 法测试材料燃烧性能的技术已日臻成熟,测试结果受材料类型和是否发生完全燃烧的影响很小。

收稿日期: 2010-05-24; 修改日期: 2011-04-08

基金项目: 江苏省科技成果转化项目(BA2009043); 国家自然科学基金项目(30972313)。

作者简介: 王奉强(1983—),男,东北林业大学材料科学与工程学院博士研究生。

通讯作者: 王清文,男,东北林业大学材料科学与工程学院教授,博士,长江学者。

红松材用途广泛,常被用作建筑、装修、包装、运动器材以及家具等材料。笔者在 FRW-C1 和 FRW-C2 的阻燃性能研究中发现,其处理的红松木材发生火灾的危险性,较素材大幅降低^[10]。本研究采用 CONE 法,系统评价 FRW-C1 和 FRW-C2 阻燃剂,对处理红松木材发烟性能和燃烧释放烟气毒性的影响,以期为进一步揭示其阻燃和抑烟作用机理、后续阻燃剂品种的开发和改良提供参考,并为其市场推广应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

FRW-C1、FRW-C2 阻燃剂,均为东北林业大学木材保护研究室中试产品,白色结晶粉末状,吸潮率 $\leq 18\%$,pH 值分别为 5.5~6.5、6.0~7.0,25℃ 水中的溶解性分别为 30%、20%。在室温下配制成质量分数为 10% 的处理液备用。

红松(*Pinus sylvestris*)气干材,采自东北林业大学凉水实验林场,尺寸 100 mm×100 mm×10 mm,含水率约 7%,密度约 0.45 g/cm³。

1.2 主要设备和仪器

FRW 木材阻燃处理加压浸注装置(自行设计),英国 FTT 标准型锥形量热仪。

1.3 方法

1.3.1 木材阻燃处理

采用真空-加压法浸注工艺,以 FRW 木材阻燃剂浸注处理木材的条件为依据,设定 FRW-C1、FRW-C2 阻燃剂处理木材的方法^[2],即:前真空度 0.05 MPa,保持 10 min;加压压力 1.40 MPa,保持 15 min;后真空度 0.08 MPa,保持 10 min。

将浸注阻燃剂的木材在 70℃ 下干燥,再置于相对湿度 50%、温度为 23℃ 的恒温恒湿箱中,调节至

质量恒定(间隔 6 h 的测量误差不大于 0.5%),测得其载药率分别为 10.13% 和 9.87%。

1.3.2 CONE 试验

按 ISO 5660-1《Reaction to fire tests: Heat release, smoke production and mass loss rate-Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)》进行试验,从发烟性能和 CO、CO₂ 释放两方面,评测 FRW-C1 和 FRW-C2 阻燃剂的抑烟性能,相关的燃烧参数有:

1) 比消光面积 (Specific extinction area, SEA),其随时间的变化曲线,反映消耗单位质量的材料所产生的烟量(以面积计)。

2) 烟比率(Smoke ratio,SR),即 CONE 测得的瞬时消光系数,其随时间的变化曲线,代表了某时刻烟的浓度。

3) 总烟释放(Total smoke release,TSR),指单位面积的材料在燃烧全过程中,一段时间内所释放烟量的总和。

4) CO、CO₂ 质量分数 $w(\text{CO})$ 、 $w(\text{CO}_2)$,指单位质量尾气中,CO、CO₂ 气体所占的质量分数。

5) CO、CO₂ 产生速率 $P(\text{CO})$ 、 $P(\text{CO}_2)$,指单位时间内试样燃烧,所产生 CO 和 CO₂ 气体的质量。

为确保试验温度接近实际火灾温度,设定热辐射功率为 50 kW/m²,相应的温度约为 780℃。原始数据和部分参数由仪器自动记录和计算,然后利用 Microsoft Excel 软件进行数据处理。

2 结果及讨论

2.1 发烟性能

在本试验条件下,红松素材以及经过 FRW-C1、FRW-C2 阻燃剂处理的试材,其 SEA、SR、TSR 随时间的变化曲线,如图 1 所示。

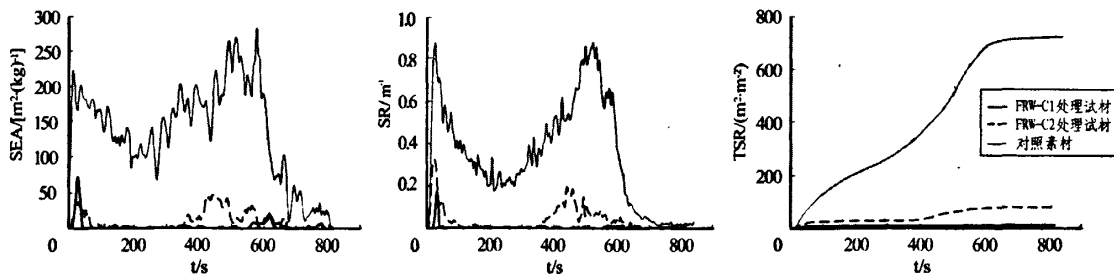


图 1 不同药剂处理红松的 SEA、SR、TSR 曲线

Fig. 1 SEA, SR and TSR curves of Korean pine treated with different chemicals

2.1.1 比消光面积 SEA

如图1所示,阻燃红松的SEA曲线与素材相似,在有焰燃烧阶段(从被点燃直到火焰熄灭的过程,对应于曲线第一峰出现至第二峰降低,趋于平坦的阶段)的SEA数值,远大于红热燃烧阶段(即有焰燃烧结束以后的阴燃过程,对应于曲线第二峰后较平坦的阶段)的SEA值。

在有焰燃烧阶段,FRW-C1、FRW-C2 阻燃红松的SEA数值显著低于素材,表明消耗单位质量的阻燃木材所产生的浓烟量,比素材大幅减少。

阻燃红松在相同时间内消耗单位质量的产烟量(对应时间内SEA曲线下方覆盖面积),远低于红松素材,说明燃烧过程中阻燃红松的总烟释放量,较素材大幅度降低,与TSR曲线显示结果相符。

由图1所示SEA曲线还可以看出,FRW-C1对第二发烟峰具有较强的抑制作用,而其处理材第一发烟峰稍高于FRW-C2处理材。SEA是燃烧尾气瞬时消光系数(即烟比率)与烟道体积流速的乘积,与样品质量损失速率的比值,其大小与质量损失速率关系密切。由于在点燃初期阶段,FRW-C2的烟比率较FRW-C1大,而烟道体积流速为常数,因此推断FRW-C1在初始受热过程中,使红松的质量损失速率较小;在有焰燃烧过程中,FRW-C1使木材的发烟过程趋于分散,而未出现第二峰值。

2.1.2 烟比率 SR

SR曲线的形状及峰位置,与相应的热释放速率(Heat release rate, HRR)曲线^[10]、SEA曲线相似,共有两个发烟峰,但是,点燃初期出现的发烟峰相对较高。根据试验观察,此现象主要由烟雾中含有不燃性挥发物,以及因初期燃烧温度较低、局部相对缺氧产生的未彻底氧化的热解物导致。

FRW-C1、FRW-C2处理材的SR值,较素材大幅度降低,说明FRW-C1、FRW-C2阻燃剂具有显著的抑烟作用。

相同载药率下,FRW-C1处理材的SR值低于FRW-C2处理材,特别是对第二发烟峰的抑制作用更为明显,说明FRW-C1对于抑制有焰燃烧阶段的烟释放更为有效。具体机理尚待进一步试验分析。

2.1.3 TSR 总烟释放

FRW-C1、FRW-C2处理材的总烟释放量,较素材大幅度降低,烟释放趋于平缓,说明FRW-C1、FRW-C2阻燃剂均具有显著的抑烟作用,与SEA和SR曲线相互充分印证。

整个TSR曲线可分为两个阶段,对应于有焰燃烧阶段和后期红热燃烧阶段。相同时间内,有焰燃烧阶段的TSR值及曲线斜率,均大于红热燃烧阶段,说明燃烧过程产生的烟主要来源于有焰燃烧阶段。

在红热燃烧阶段,FRW-C1、FRW-C2处理材与素材的TSR曲线几乎平行,说明阻燃处理对红热燃烧阶段的烟释放影响较小,阻燃处理红松与素材的烟释放规律相同,均为木炭的进一步热氧化过程。

相同载药率下,FRW-C1处理材的总烟释放及烟释放速率,均低于FRW-C2处理材,说明在红松燃烧过程中,FRW-C1具有更优异的抑烟作用。

2.2 CO、CO₂ 释放

2.2.1 CO 释放

图2显示素材以及FRW-C1、FRW-C2处理材,在燃烧试验中释放CO的质量分数及速率。

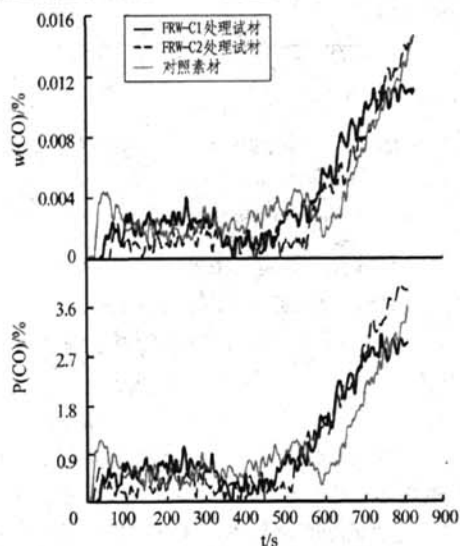


图2 阻燃处理红松燃烧过程中释放CO的质量分数及速率

Fig. 2 CO concentration and releasing rates of fire-retardant-treated Korean pine during CONE test

由图2可见,在有焰燃烧阶段,素材及处理材释放CO的质量分数及速率均很低,处理材释放CO的质量分数及速率曲线比较平坦,而素材的CO曲线却有两个相对明显的峰,第一个峰产生于材料被点燃,发生有焰燃烧的时刻。

而在红热燃烧阶段,素材及处理材释放CO的质量分数及速率却相对较高,说明CO主要来源于红热燃烧阶段,由木炭的不完全氧化导致。FRW-C1、FRW-C2阻燃剂对红松燃烧释放CO的影响不显著,仅在红松有焰燃烧前对CO释放有所抑制。

2.2.2 CO₂ 释放

图3为素材及FRW-C1、FRW-C2处理材,在试验过程释放CO₂的质量分数及速率曲线。

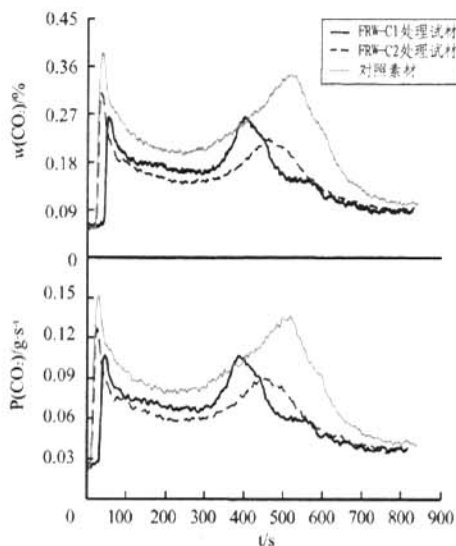


图3 阻燃处理红松燃烧过程中释放CO₂的质量分数及速率

Fig. 3 CO₂ concentration and releasing rates of fire-retardant-treated Korean pine during CONE test

所有试样在燃烧过程中释放CO₂的质量分数曲线和速率曲线相似,亦与HRR曲线相似^[10],可见,热释放过程中与有焰燃烧时,CO₂的生成过程是同步的,即减少CO₂释放的同时,热释放速率降低。

与CO释放规律相反,在有焰燃烧阶段,CO₂释放速率和质量分数均较红热燃烧阶段高,说明抑制有焰燃烧是木材阻燃的关键;在此阶段,2种处理材释放CO₂的质量分数及速率,均较素材有所降低。

3 结论

1) FRW-C1和FRW-C2阻燃剂均能有效地降低木材燃烧时的烟浓度和烟释放量,并明显降低CO₂的生成,具有显著的抑烟效能,但对木材燃烧时释放CO无明显影响。

2) 将进一步开展试验,分析、表征不同药剂添加量时,FRW-C1和FRW-C2阻燃剂处理木材的释热、释烟规律,以及其阻燃、抑烟机理与FRW木材阻燃剂的异同,为FRW系列阻燃剂的品种改良与应用提供依据。

参考文献:

- [1] 王清文. 新型木材阻燃剂FRW[D]. 哈尔滨: 东北林业大学博士学位论文, 2000.
- [2] 王清文, 李坚, 李淑君, 等. 用CONE法研究木材阻燃剂FRW的抑烟性能[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 103-109.
- [3] 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.
- [4] 胡云楚. 硼酸锌和聚磷酸铵在木材阻燃中的成炭作用和抑烟作用[D]. 长沙: 中南林业科技大学博士学位论文, 2006.
- [5] 陈琳. 阻燃木材组分产烟性与其热解的关系[D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 2007.
- [6] 李坚, 王清文, 李淑君, 等. 用CONE法研究木材阻燃剂FRW的阻燃性能[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 108-114.
- [7] 胡景娟. FRW-1阻燃杨木胶合板的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 2008.
- [8] 胡景娟, 程瑞香, 王清文, 等. 杨木胶合板单板浸渍工艺及其燃烧性能[J]. 木材加工机械, 2008, 19(2): 14-18.
- [9] 王奉强. 膨胀型水性改性氨基树脂木材阻燃涂料[D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 2008.
- [10] 王奉强, 王清文, 张志军, 等. CONE法研究木材阻燃剂的阻燃性能[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(11): 990-992.

(责任编辑 向琴)

会展资讯

第16届大连木工机械展

第16届中国国际木工机械(大连)展览会, 将于2011年6月9—12日, 在大连星海会展中心隆重举办。展会设有木工机械及配件、刀具、木制品展区。

经过15年的成功积淀, 大连木工机械展不仅在国内买家中树立良好形象, 而且受到国外买家的高度重视。目前, 已有金田豪迈、江佳、威德力、锐亚、青岛建诚豪、豪迈隆等200余家国内外知名企业参展。本届展会面积较上届大幅提高, 将达到1.2万m²。

伴随着木工相关企业的成长, 大连木工机械展以其高性价比的木工机械产品, 吸引着来自五湖四海的

买家的参与和支持。

已踊跃报名参观本届展会的国内买家团包括: 山东省家具协会、北京建筑五金门窗行业协会、河北廊坊市木材加工及家具制造行业协会、河北胜芳家具协会、安吉竹木机械协会、河北石家庄和香河地区等的采购团。

海外买家团亦反映热烈, 包括来自阿尔及利亚、日本、印度尼西亚、俄罗斯、土耳其、罗马尼亚、韩国、波斯尼亚、伊朗、立陶宛和印度等10多个国家的买家团, 将莅临展会。

本刊讯