

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.12.001

海泡石与 APP 对 PVC/竹粉复合材料的阻燃抑烟机理^{*}

冯斯宇¹,袁丽萍²,胡云楚¹,黄自知¹,谭林朋²,袁光明²

(1. 中南林业科技大学理学院,长沙 410004; 2. 中南林业科技大学材料科学与工程学院,长沙 410004)

摘要: 将海泡石 (SEP) 和聚磷酸铵 (APP) 同时加到聚氯乙烯 (PVC)/竹粉复合材料中,考察 SEP 和 APP 对复合材料的协同阻燃抑烟作用及力学性能的影响。结果表明,在锥形量热实验中,热释放速率峰值相对减少 42.8%,平均热释放速率和总热释放量相对减少 29.5% 和 25.7%,总烟释放量相对降低了 12.2%,一氧化碳平均产率相对降低了 42.0%;扫描电子显微镜分析发现,APP 具有催化成炭并形成膨胀泡沫炭层的作用,而 SEP 具有吸附聚集诱导成炭的作用;APP 的阻燃机理主要属于气相阻燃机理,SEP 的阻燃机理主要属于凝聚相阻燃机理;弯曲性能测试结果表明,SEP 与 APP 对 PVC/竹粉复合材料具有协同颗粒增强作用;拉伸性能测试结果表明,SEP 对 PVC/竹粉复合材料的塑性变形能力的损害比 APP 小。因此,SEP 与 APP 联用能够对 PVC/竹粉复合材料进行有效的阻燃抑烟,同时也能增强复合材料的力学性能。

关键词: 海泡石;聚磷酸铵;聚氯乙烯;竹粉;复合材料;阻燃;抑烟

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)12-0001-07

Synergistic Flame Retardant Smoke Suppression Mechanism of Sepiolite and APP on PVC/Bamboo Powder Composites

Feng Siyu¹, Yuan Liping², Hu Yunchu¹, Huang Zizhi¹, Tan Linpeng², Yuan Guangming²

(1. College of Science, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;

2. College of Material Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The effects of sepiolite (SEP) and ammonium polyphosphate (APP) on synergistic effects of flame retardant and smoke suppression and mechanical properties of polyvinyl chloride (PVC)/bamboo powder composites were investigated by adding SEP and APP. The results of the cone calorimeter experiment show that the peak heat release rate decreases by 42.8% relatively, the average heat release rate by 29.5% relatively and total heat release by 25.7% relatively, compared by a relative decrease of 12.2% in total smoke production and of 42.0% in the average yield of carbon monoxide. SEM analysis demonstrates that APP promotes catalytic charring and the formation of expanded carbon foam layer, and that SEP has a capability of adsorption and aggregation induced carbon. The flame retardant mechanism of APP is mainly gas phase flame retardant, SEP flame retardant mechanism mainly belong to condensed phase flame retardant. Bending test indicates that SEP and APP have synergetic particle reinforcing effect on the composites while tensile tests implies that SEP can cause less damage to the plastic deformation ability of the composites than APP. Therefore, SEP and APP can be used together for effective flame retardant and smoke suppression, and to improve the mechanical properties of the composites.

Keywords: sepiolite; ammonium polyphosphate; polyvinyl chloride; bamboo powder; composite; flame retardant; smoke suppression

木塑复合材料通常是以木粉、竹粉、秸秆、稻壳等植物纤维为主要原料,加入适当的热塑性塑料和添加剂,经挤出、注塑、热压等成型制成的新型复合材料,具有质轻、耐腐蚀、尺寸稳定等优点^[1-2];但木塑复合材料中的主要原料植物纤维与塑料都是易燃材料,其燃烧过程中会生成大量有毒性和腐蚀性的烟气,从而限制了木塑复合材料的应用范围^[3]。开展木塑复合材料阻燃性能的研究具有重大的经济和

社会效益。无机阻燃剂因无卤、低烟、无毒等特点已广泛应用于聚合物材料的阻燃。因此,认识和了解木塑复合材料的燃烧和阻燃规律,对于木塑复合

^{*} 林业公益性行业科研专项经费项目 (201504503),湖南省自然科学基金项目 (2015JJ2204)

联系人: 胡云楚,博士,教授,博士生导师,主要从事木材阻燃材料研究

收稿日期: 2016-10-18

材料的广泛应用和可持续发展具有重要意义^[4-6]。李晓增等^[7]采用无机阻燃剂 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、硼酸锌以及 Sb_2O_3 对聚氯乙烯 (PVC) 木塑复合材料进行阻燃,但是无机阻燃剂的加入普遍降低了复合材料的冲击强度。赵永生等^[8]在对 PVC 木塑复合材料中的木粉进行改性的基础上,添加纳米碳酸钙,提高了复合材料的力学性能和阻燃性能。张敬礼等^[9]用有机硅阻燃剂和聚磷酸铵 (APP) 协同阻燃聚乙烯 (PE) 木塑复合材料,取得了较好效果。

海泡石 (SEP) 的化学式为 $\text{Mg}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ^[10]。是一种具有层链状结构的含水富镁硅酸盐粘土矿物,收缩率低、可塑性好、比表面积大、吸附性能强,还具有隔热、绝缘、抗腐蚀、抗辐射及热稳定等特性^[11]。吴娜等^[12]将改性 SEP 添加到 APP 和双季戊四醇 (DPER) 膨胀阻燃聚丙烯 (PP/IFR) 体系中,改善了膨胀阻燃 PP/IFR 体系的阻燃性能。曹伟城等^[13]采用熔融共混法分别制备 PP/海泡石、PP/有机海泡石复合材料,提高了 PP 的阻燃性能。但是将 SEP 应用于 PVC/竹粉复合材料的阻燃抑烟目前还未见报道。

笔者采用锥形量热法研究了 SEP 和 APP 对 PVC/竹粉复合材料燃烧特性的影响,用扫描电子显微镜 (SEM) 分析了 PVC/竹粉复合材料燃烧残余物的形貌特征,测定了 PVC/竹粉复合材料的弯曲性能和拉伸性能,在此基础上分析探讨了海泡石与 APP 对 PVC/竹粉复合材料的协同阻燃抑烟作用机理。

1 实验部分

1.1 主要原材料

APP: 聚合度 100, 工业级, 什邡市长丰化工有限公司;

SEP: 工业级, 内乡县兴磊海泡石有限公司;

竹粉: 平均粒径小于 0.841 mm, 含水率 10%, 福建东山县竹夫竹料有限公司;

PVC: 工业级, 新疆中泰化工股份有限公司;

邻苯二甲酸二辛酯 (DOP): 工业级, 冠县天洋橡胶助剂有限公司;

乙烯-乙酸乙烯酯塑料 (EVAC): 工业级, 成都同力助剂有限公司;

硬脂酸: 工业级, 长沙明瑞有限公司;

石蜡: 工业级, 武汉永弘盛化工有限公司;

复合稳定剂: HTF-B, 工业级, 石家庄惠通化工有限公司;

重质碳酸钙、纳米碳酸钙: 工业级, 江西省萍乡市安源碳酸钙厂。

1.2 主要仪器与设备

高速搅拌机: HS-50 型, 潮州市龙河塑胶机械有限公司;

锥形量热仪: FTT0007 型, 英国防火测试技术公司;

SEM: JSM-6380LV 型, 日本电子公司;

微机控制电子万能试验机: WDW-10 型, 济南新试金试验机有限公司;

电子式万能试验机: MWD-M10 型, 济南试金集团有限公司;

数码照相机: D5300 型, 尼康映像仪器销售 (中国) 有限公司。

1.3 PVC/竹粉复合材料试样的制备

首先, 用高速搅拌机将 120 g DOP, 96 g EVAC, 9 g 硬脂酸及 6 g 石蜡、30 g 复合稳定剂、60 g 重质碳酸钙、27 g 纳米碳酸钙在 80℃ 恒温搅拌 3 min, 得到混合助剂。

根据表 1 配方, 将 APP, SEP 分别研磨成粒径小于 0.125 mm 的粉末, 于 105℃ 烘箱中干燥 2 h 以除去水分。将 PVC、竹粉、混合助剂、APP 及 SEP 在混炼机上于 160℃ 左右混炼均匀, 样品冷却后用粉碎机粉碎, 重复粉碎三次, 置于模具中, 于 150℃, 10 MPa 下保温热压 20 min 成型, 制成板状样品。用切割机切割成 100 mm × 100 mm × 4 mm 的试样, 用于锥形量热测试; 另外, 用切割机切割成 80 mm × 10 mm × 4 mm 的样条和 120 mm × 15 mm × 4 mm 的样条, 用于力学性能测试。

表 1 PVC/竹粉复合材料的配方 g

编号	SEP	APP	PVC	竹粉	混合助剂
S-1	0	0	200	90	378
S-2	0	30	200	90	378
S-3	10	20	200	90	378

1.4 性能测试

(1) 锥形量热测试。

对锥形量热试样, 除加热面外所有面用铝箔纸包裹, 将其水平放置在不锈钢样品架上, 用铝箔纸包裹试样底部再垫隔热棉防止热量向底部散失。为了使实验温度接近火灾真实温度, 参照 ISO 5660-1: 2002, 将试样放置于锥形量热仪辐射锥下的天平上, 热辐射流量为 50 W/m² (材料表面温度约为 760℃), 电弧点燃, 计算机以 ASCII 码格式每 5 s 自动采集数据 1 次, 燃烧时间达到 600 s 时, 停止采集

数据。采用 Microsoft Excel 进行数据处理,得到热释放速率 (HRR)、热释放速率峰值 (pHRR)、平均热释放速率 (mHRR)、总热释放量 (THR)、烟释放速率 (SPR)、总烟释放量 (TSP) 及一氧化碳产率 (COY)、二氧化碳产率 (CO₂Y)、一氧化碳平均产率 (mCOY) 及二氧化碳平均产率 (mCO₂Y) 等燃烧参数。根据锥形量热仪上的电子天平记录在试样燃烧至 300 s 时的质量除以试样起始质量得到 300 s 时的残炭率。

(2) 燃烧后的表面碳层分析。

小心取下锥形量热实验燃烧后的样品,冷却后放在干净的白纸上,用数码相机进行拍照。

(3) SEM 分析。

用镊子取适量样品燃烧后的残余物粘接到导电胶的样品座上,用洗耳球吹去未粘住的粉末,用红外灯烘干后,喷金,用 SEM 观察燃烧残余物的结构形貌。

(4) 力学性能测试。

按照 GB/T 17657-2013 测试弯曲性能,得到最大破坏荷载、静曲强度、弯曲弹性模量等参数;按照 GB/T 1040.5-2008 测试拉伸性能,得到最大拉伸力、拉伸强度、拉伸弹性模量等参数。

2 结果与讨论

2.1 热释放规律

在锥形量热实验中, HRR 是反应火灾程度的重

要参考指标。HRR 或 pHRR 表达了火源释放热量的快慢和大小, 或者说是火源释放热量的能力。因此, HRR 或 pHRR 的大小直接反应出材料在火灾中危险性的大小^[14-16]。

PVC/竹粉复合材料的 HRR 和 THR 曲线分别如图 1、图 2 所示, PVC/竹粉复合材料的锥形量热测试结果列于表 2。

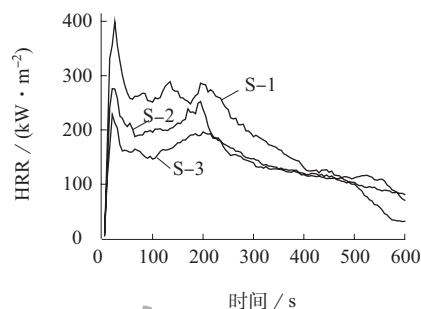


图1 PVC/竹粉复合材料的 HRR 曲线

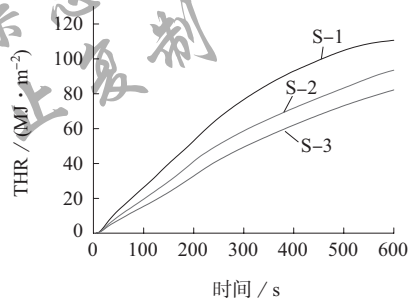


图2 PVC/竹粉复合材料的 THR 曲线

表 2 PVC/竹粉复合材的锥形量热实验参数

试样	失重率 / %	300 s 时的 残炭率 / %	pHRR / (kW · m ⁻²)	mHRR / (kW · m ⁻²)	THR / (MJ · m ⁻²)	TSP / (m ² · m ⁻²)	mCOY / (kg · kg ⁻¹)	mCO ₂ Y / (kg · kg ⁻¹)
S-1	89.71	30.46	398.82	183.10	110.63	45.80	0.1396	0.8869
S-2	76.25	44.52	276.12	152.91	93.48	43.75	0.0973	0.8526
S-3	72.16	47.85	228.21	129.15	82.18	40.19	0.0809	0.7575

由图 1 可见, PVC/竹粉复合材料试样 S-1 的 HRR 曲线上有三个比较明显的 HRR 峰, 表明 S-1 试样经历了三次剧烈燃烧过程。第一个峰为最大峰, 出现在 35 s 附近, 峰值为 398.86 kW/m², 对应于 PVC/竹粉复合材料的点火燃烧; 第二个峰出现在 145 s 附近, 峰值为 288.68 kW/m²; 第三个峰出现在 205 s 附近, 峰值为 286.00 kW/m²。PVC/竹粉复合材料中只加入 APP 阻燃剂后, 试样 S-2 的 HRR 曲线上只有两个比较明显的 HRR 峰, 第一个峰出现在 30 s 附近, 峰值为 276.14 kW/m²; 第二个峰出现在 205 s 附近, 峰值为 252.33 kW/m²。表明 APP 能够抑制 PVC/竹粉复合材料的燃烧反应, HRR 明显下降, 使 PVC/竹粉复合材料的燃烧

过程变得平缓。而采用 SEP 部分取代 APP 后, 试样 S-3 的 HRR 曲线上几乎只有一个 HRR 峰, 最大 pHRR 出现在 30 s 附近, 峰值为 228.21 kW/m²。表明 SEP 与 APP 对 PVC/竹粉复合材料具有协同阻燃作用, 使 PVC/竹粉复合材料的燃烧过程更加平稳, HRR 进一步降低。

由表 2 可知, PVC/竹粉复合材料中加入 APP 或 APP+SEP 后, 试样 S-2, S-3 的 mHRR 和 THR 均逐渐减小, 其中试样 S-2 的 mHRR 和 THR 分别由 183.10 kW/m² 和 110.63 MJ/m² 减少到 152.91 kW/m² 和 93.48 MJ/m², 相对减小 16.5% 和 15.5%, 试样 S-3 的 mHRR 和 THR 分别由 183.10 kW/m² 和 110.63 MJ/m² 减少到

129.15 kW/m² 和 82.18 MJ/m², 相对减小 29.5% 和 25.7%, 其减小幅度与其失重率减小的幅度基本相当, 表明实验条件下, mHRR 和 THR 基本上是由试样的热分解量决定的; 但是, PVC/竹粉复合材料中加入 APP 或 APP+SEP 后, 试样 S-2, S-3 的 pHRR 减小幅度比其失重率减小的幅度大得多, 试样 S-2 的 pHRR 由 398.82 kW/m² 减小到 276.12 kW/m², 相对减少 30.8%; 用 SEP 替代部分 APP 后, 试样 S-3 的 pHRR 由 398.82 kW/m² 下减小到 228.21 kW/m², 相对减少 42.8%, 表明加入 APP 和 SEP 可有效抑制 PVC/竹粉复合材料的 pHRR, 使材料的燃烧过程变得缓慢, 火灾危险性降低。

2.2 烟雾释放规律

在火灾事故中, 烟气窒息是导致人员伤亡的主要原因。所以在阻燃的同时, 探究 PVC/竹粉复合材料的烟雾毒气释放规律是非常重要的。PVC/竹粉复合材料的 SPR, TSP 曲线分别如图 3、图 4 所示。

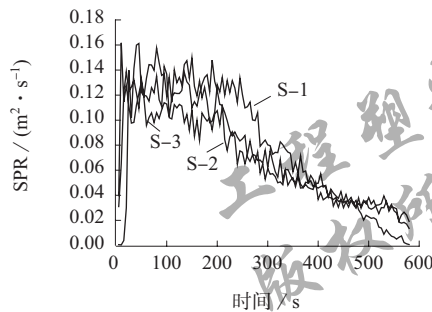


图3 PVC/竹粉复合材料的 SPR 曲线

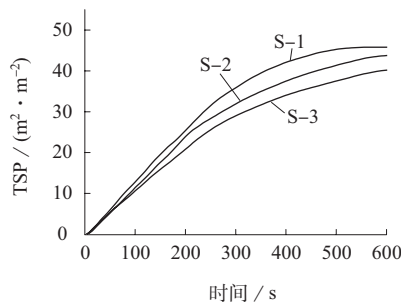


图4 PVC/竹粉复合材料的 TSP 曲线

由图 3 和图 4 可以看出, PVC/竹粉复合材料中加入 APP 后, 试样 S-2 的 SPR 曲线和 TSP 曲线均低于试样 S-1, 表明 APP 在抑制 PVC/竹粉复合材料的热解燃烧的同时, 减少了 TSP 和 SPR; 采用 SEP 部分取代 APP 后, 试样 S-3 的 SPR 曲线和 TSP 曲线均低于 APP 阻燃试样 S-2, 表明 SEP 具有一定的吸附和捕捉烟雾的作用。结合表 2 可以看出, PVC/竹粉复合材料中加入 APP 或 APP+SEP 后,

试样的 TSP 都是降低的, 表明 APP 和 SEP 的加入均减小了烟雾危害。在试样燃烧到 600 s 时, 试样 S-1 的 TSP 为 45.80 m²/m², 加入 APP 后试样 S-2 的 TSP 降低到 43.75 m²/m², 相对降低了 4.5%, 而失重率由 89.71% 下降到 76.25%, 相对下降了 15.0%, TSP 降低幅度远远小于质量损失降低幅度, 表明 APP 主要是通过抑制试样热解产生的气体产物的氧化燃烧, 并将较多的气体产物转化为烟尘来实现阻燃作用的, 属于气相阻燃机理; 而用 SEP 替代部分 APP 后的 TSP 进一步降低到 40.19 m²/m², 相对降低了 12.2%, 失重率进一步下降到 72.16%, 相对下降 19.6%, 与试样的质量损失降低幅度基本一致, 表明用 SEP 替代部分 APP 后, 气相阻燃减弱, 主要是在凝聚相直接吸附聚集了热解反应产生的炭化产物, 属于凝聚相阻燃机理。

2.3 气体释放规律

PVC/竹粉复合材料的 COY 曲线 CO₂Y 曲线分别如图 5、图 6 所示。

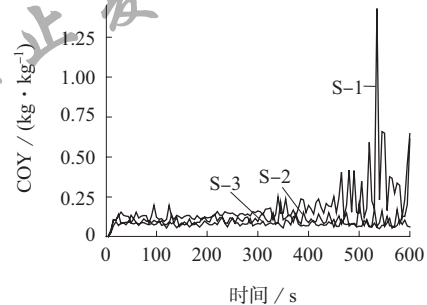


图5 PVC/竹粉复合材料的 COY 曲线

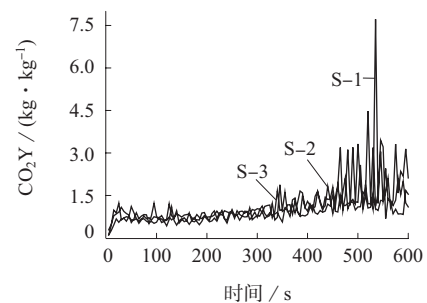


图6 PVC/竹粉复合材料的 CO₂Y 曲线

由图 5 可以看出, 试样 S-1 的 COY 曲线在燃烧前期比较稳定, 燃烧后期出现了很大的波动, 而 PVC/竹粉复合材料中加入 APP 阻燃剂后, 试样 S-2 的 COY 曲线波动幅度低于试样 S-1; 用 SEP 替代部分 APP 后, 试样 S-3 的 COY 曲线波动幅度最小, 燃烧后期也没有出现很大幅度的波动, 曲线形态明显变得比较平缓。从图 6 可以看出, PVC/

竹粉复合材料中加入 APP 阻燃剂后,试样 S-2 的 CO_2Y 曲线波动幅度同样低于试样 S-1;用 SEP 替代部分 APP 后,试样 S-3 的 CO_2Y 曲线波动幅度也同时减小,曲线形态也明显变得比较平缓。结合表 2 可以看出, PVC/竹粉复合材料中加入 APP 或 APP+SEP 后,试样的 mCOY 和 mCO_2Y 都减小,表明 APP 和 SEP 的加入减小了火灾毒气的危害。试样 S-1, S-2, S-3 的 mCOY 分别为 0.139 6, 0.097 3, 0.080 9, 相对试样 S-1, 试样 S-2, S-3 的 mCOY 降幅分别达到 30.3% 和 42.0%, mCOY 降低幅度比较大, mCOY 的降低幅度远远大于失重率降低幅度;但是,试样 S-1, S-2, S-3 的 mCO_2Y 分别为 0.886 9, 0.852 6, 0.757 5, 相对试样 S-1, 试样 S-2, S-3 的 mCO_2Y 降幅分别只有 3.9% 和 14.5%, mCO_2Y 的降幅很小。表明 PVC/竹粉复合材料中加入 APP 和 SEP 后,热分解产物减少的同时,以 CO 为代表的毒性相对比较大的还原性气体的产率大幅度降低,热分解的气体产物绝大部分都转化为了毒性相对较小的 CO_2 ,因而可有效地降低火灾毒气对火场人员的危害。

2.4 燃烧残余物形貌成炭机理分析

图 7 为锥形量热测试后残余物的数码照片。

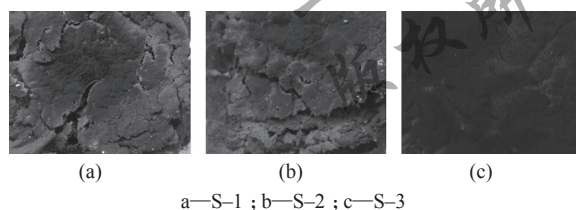


图 7 锥形量热测试后残余物的数码照片

从图 7a 可以看出,未添加阻燃剂的试样 S-1 的炭层表面裂痕较多且裂痕较宽,这些裂痕的存在,导致炭层对内部材料的保护作用被削弱,材料内部暴露于高温辐射环境,内部分解的可燃性气体容易溢出并且燃烧。而添加 APP 的试样 S-2 的炭层表面裂痕较少(图 7b),这是由于 APP 在高温作用下分解形成的聚磷酸是一种粘稠的液体,对于炭粒具有粘结作用,能够形成较为完整的炭层。采用 SEP 替代部分 APP 的试样 S-3 表面炭层表面最为完整(图 7c),这是因为 SEP 与 APP 的协同作用,催化形成了更多的炭,炭层结构更加完整致密,有利于阻碍

材料的燃烧,减少烟雾毒气的释放。

图 8 为锥形量热测试后残余物的 SEM 照片。

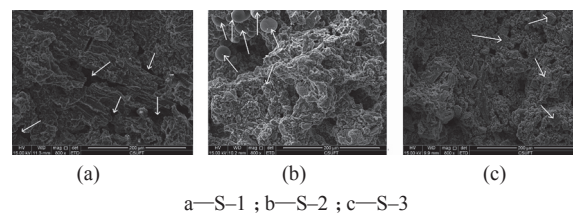


图 8 锥形量热测试后残余物的 SEM 照片

由图 8a 可以看出,试样 S-1 的炭层存在大量缝隙和孔洞,这些缝隙和孔洞的存在会削弱炭层对材料内部的保护作用。添加了 APP 的试样 S-2 的炭层表面存在凹凸不平的现象(图 8b),这是聚磷酸与炭粒所形成粘稠炭膜包覆 APP 分解产生的氨气和 PVC 分解产生的气体所形成的泡沫所致,从图中可以看到比较明显的膨胀泡沫,而膨胀泡沫炭层的密度小、气体含量大、致密性强,具有强烈的隔热隔氧作用,阻碍气体的释放和交换,对材料内部具有很好的保护作用。添加有 SEP 的试样 S-3 的炭层表面出现了许多块状颗粒物(图 8c),这是因为 SEP 独特的吸附和耐高温作用,在与 APP 联合使用的情况下,催化 PVC/竹粉复合材料产生了更多的炭,而且这些炭在高温能够互相聚集成块状炭,因而能够形成密实、光滑炭层,这种炭层既能够隔绝热量的传播,又能抑制可燃气的释放和传播。

由表 2 可知,添加 APP 阻燃剂的试样 S-2 在 300 s 时的残炭率由 30.46% 增加到 44.52%,相对增加了 46.2%,表明 APP 在热辐射作用下分解产生的聚磷酸改变了 PVC 和竹粉的热分解和燃烧反应途径,催化 PVC 和竹粉转化形成了更多的炭;采用 SEP 替代部分 APP 后,试样 S-2 在 300 s 的残炭率大幅度增加到 47.85%,相对增加了 57.1%,表明 SEP 在燃烧过程中可以作为微晶炭和非晶质炭的聚集界面,可以诱发热解产物更多地转化为凝聚相的炭,减少可燃性挥发物的产量。因此,聚磷酸是阻燃过程中的成炭催化剂,SEP 也是阻燃过程中的一种成炭催化剂或成炭协效剂。

2.5 力学性能分析

PVC/竹粉复合材料的弯曲和拉伸性能测试结果列于表 3。

表 3 PVC/竹粉复合材料的弯曲和拉伸性能数据

样品	最大破坏载荷 /N	静曲强度 /MPa	弯曲弹性模量 /MPa	最大拉伸力 /N	拉伸强度 /MPa	拉伸弹性模量 /MPa
S-1	19.5	6.86	589	238	4.668	161.0
S-2	23.5	8.71	812	227	4.367	187.1
S-3	24.0	8.39	819	239	4.677	259.4

分析表3中弯曲性能数据可以看出,相对试样S-1,添加APP阻燃剂后的试样S-2的最大破坏载荷、静曲强度、弯曲弹性模量均增大,分别增大20.5%,27.0%,37.9%,而用SEP替代部分APP的试样S-3的最大破坏载荷、静曲强度、弯曲弹性模量相对试样S-1分别增加23.1%,22.3%,39.4%,表明APP对PVC/竹粉复合材料具有颗粒增强作用,而且SEP与APP对PVC/竹粉复合材料具有一定的协同增强作用;进一步分析表2中拉伸性能数据可以看到,拉伸性能结果不同于弯曲性能结果,添加APP阻燃剂后的试样S-2的最大拉伸力、拉伸强度有所下降,相对试样S-1分别下降4.6%和6.4%,但拉伸弹性模量相对增大16.2%,表明添加APP后,PVC/竹粉复合材料的塑性变形能力有所下降;但是,用SEP取代部分APP后,试样S-3的最大拉伸力、拉伸强度比试样S-1有所增加,分别增大0.4%和0.2%,而拉伸弹性模量增加较大,相对试样S-1增大61.1%,表明SEP对PVC/竹粉复合材料塑性变形性能影响比APP小,同时也表明SEP能够改善PVC/竹粉复合材料的力学性能。

3 结论

(1) 锥形量热实验结果表明,SEP和APP同时加入到PVC/竹粉复合材料中,试样S-3的pHRR相对减少42.8%,mHRR和THR相对减少29.5%和25.7%,TSP相对降低了12.2%,mCOY相对降低了42.0%。表明SEP和APP协同作用可以阻碍PVC/竹粉复合材料的分解和燃烧反应,减少热释放和烟雾毒气释放,具有显著的阻燃抑烟减毒作用。

(2) 用SEP部分替代APP后,试样S-3的失重率减少到72.16%,炭化产物进一步增加;从SEM照片中发现块状炭层,表明SEP具有吸附聚集诱导成炭的作用;加入APP后的试样S-2的TSP降低幅度为4.5%,远远小于失重率损失降低幅度的15.0%,而用SEP替代部分APP后的试样S-3的TSP进一步降低的幅度为12.2%,与试样的失重率损失降低幅度的19.6%基本一致,表明APP的阻燃机理主要属于气相阻燃机理,SEP的阻燃机理主要属于凝聚相阻燃机理。

(3) 弯曲性能测试结果表明,试样S-2和S-3的最大破坏载荷、静曲强度、弯曲弹性模量均增大,表明APP对PVC/竹粉复合材料具有颗粒增强作用,而SEP与APP对PVC/竹粉复合材料具有协同增强作用;拉伸性能结果表明,添加APP后的试

样S-2的最大拉伸力、拉伸强度相对试样S-1分别下降了4.6%和6.4%,但拉伸弹性模量相对增大16.2%,表明添加APP会导致PVC/竹粉复合材料的塑性变形能力下降;用SEP取代部分APP后的试样S-3的最大拉伸力增大,拉伸强度相对空白对照组分别上升了0.4%和0.2%,拉伸弹性模量上升了61.1%,表明SEP对PVC/竹粉复合材料的塑性变形能力的损害比APP小。

参考文献

- [1] 张求慧. 新型木塑复合材料研究进展[J]. 化工新型材料, 2014(2):6-8.
Zhang Qiuhui. Research progress of new wood-plastic composite materials[J]. New Chemical Materials, 2014(2):6-8.
- [2] 郝建秀, 王伟宏. 木塑复合材料在建筑模板中的应用[J]. 森林工程, 2016, 32(3):43-47.
Hao Jianxiu, Wang Weihong. Application of wood plastic composite in construction formwork[J]. Forest Engineering, 2016, 32(3):43-47.
- [3] 于旻, 何春霞. 国内外木塑复合材料研究进展[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(8):92-95.
Yu Min, He Chunxia. Domestic and foreign research progress of wood-plastic composite[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(8):92-95.
- [4] Nikolaeva M, Kärki T. A review of fire retardant processes and chemistry, with discussion of the case of wood-plastic composites[J]. Baltic Forestry, 2011, 17(2):314-326.
- [5] Seefeldt H, Braun U. A new flame retardant for wood materials tested in wood-plastic composites[J]. Macromolecular Materials & Engineering, 2012, 297(8):814-820.
- [6] Chindaprasirt P, Hiziroglu S, Waisurasingha C, et al. Properties of wood flour/expanded polystyrene waste composites modified with diammonium phosphate flame retardant[J]. Polymer Composites, 2015, 36(4):604-612.
- [7] 李晓增. 无机阻燃剂对PVC木塑复合材料的影响[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2011, 31(9):30-31.
Li Xiaozeng. Effect of Inorganic flame retardant on pvc wood plastic composites[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2011, 31(9):30-31.
- [8] 赵永生, 孙泉, 王克俭. 添加纳米碳酸钙对木粉/PVC复合材料的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2013(2):66-69.
Zhao Yongsheng, Sun Quan, Wang Kejian. Effects of nano calcium carbonate on properties of wood/pvc composites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2013(2):66-69.
- [9] 张敬礼, 周文君, 王雪芹, 等. 新型阻燃木塑复合材料的制备及其性能研究[J]. 塑料工业, 2014, 42(1):112-117.
Zhang Jingli, Zhou Wenjun, Wang Xueqin, et al. Study on preparation and properties of novel flame-retardant wood-plastic compo-

- sites[J]. China Plastics industry, 2014, 42(1):112-117.
- [10] 孙约兵,徐应明,史新,等.海泡石对镉污染红壤的钝化修复效应研究[J].环境科学学报,2012,32(6):1465-1472.
- Sun Yuebing, Xu Yingming, Shi Xin, et al. The effects of sepiolite on immobilization remediation of Cd contaminated red soil[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(6):1465-1472.
- [11] 闫永岗,韦平,王仕峰,等.海泡石对聚丙烯复合材料的协效阻燃作用研究[J].工程塑料应用,2014,42(5):80-83.
- Yan Yonggang, Wei Ping, Wang Shifeng, et al. Study on synergistic effect of sepiolite on intumescent flame retardant polypropylene system[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(5):80-83.
- [12] 吴娜,丁超,杨荣杰,等.海泡石对膨胀阻燃聚丙烯燃烧和热分解的影响[J].物理化学学报,2010,26(9):2429-2436.
- Wu Na, Ding Chao, Yang Rongjie, et al. Effect of sepiolite on the combustion and thermal decomposition of intumescent flame retardant polypropylene[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2010, 26(9):2429-2436.
- [13] 曹伟城,王林江,谢襄漓,等.基于锥形量热分析的聚丙烯/海泡石复合材料阻燃性能研究[J].材料导报,2012,26(16):120-124.
- Cao Weicheng, Wang Linjiang, Xie Xiangli, et al. Flame retardant properties evaluation of polypropylene/sepiolite composites based on cone calorimeterization[J]. Materials Review, 2012, 26(16):120-124.
- [14] Alavi F, Behraves A H, Mirzaei M. Effect of temperature on the fracture mechanism of wood-plastic composites in situ[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2013, doi: 10.1177/0892705713515696.
- [15] Miura K, Sekino N, Kubota K, et al. Wood-plastic composites equipped with an electromagnetic wave absorbing function by adding magnetic powder[J]. Mokuzai Gakkaishi, 2016, 62(1):9-17.
- [16] Das O, Sarmah A K, Bhattacharyya D. A sustainable and resilient approach through biochar addition in wood polymer composites[J]. Science of the Total Environment, 2015, 512:326-336.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 10 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。