

引用格式:彭晓华,陈寿,唐武飞,等. 甲酰胺插层改性高岭土对乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)阻燃性能的改善[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2019,46(2):38-43.

PENG XiaoHua, CHEN Shou, TANG WuFei, et al. Preparation of formamide-intercalated kaolinite and its use to improve the flame-retardancy of EVA composites[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2019,46(2):38-43.

# 甲酰胺插层改性高岭土对乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)阻燃性能的改善

彭晓华<sup>1</sup> 陈 寿<sup>1</sup> 唐武飞<sup>1,2</sup> 张 胜<sup>2</sup> 谷晓昱<sup>2\*</sup> 王 鑫<sup>3</sup> 孙耀明<sup>3</sup>

(1. 深圳市通产丽星股份有限公司, 深圳 518117;

2. 北京化工大学 材料科学与工程学院 碳纤维及功能高分子教育部重点实验室, 北京 100029;

3. 深圳市八六三新材料技术有限责任公司, 深圳 518117)

**摘 要:** 将甲酰胺(FA)通过插层改性引入高岭土(Kaol)分子层间,制备得到 FA-Kaol 改性高岭土材料,产物的插层率达到 92.1%;通过红外光谱(FT-IR)、X 射线衍射(XRD)和热重分析(TGA)对 FA-Kaol 结构进行表征。然后通过熔融共混将 FA-Kaol 添加到乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)/膨胀阻燃剂(IFR)中,利用极限氧指数(LOI)、垂直水平燃烧(UL-94)、锥形量热(Cone)和万能试验机测试材料的阻燃性能和力学性能。结果表明当 FA-Kaol 的添加量(质量分数)达到 1.5%时,EVA 复合材料的阻燃性能、热稳定性和力学性能得到有效改善。

**关键词:** 高岭土;甲酰胺;乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA);阻燃;插层

**中图分类号:** TB324 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2019.02.006

## 引 言

乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)凭借其质轻及良好的挠曲性、抗冲击性、高柔韧性和耐应力开裂等特点,成为一种得到广泛应用的材料<sup>[1-2]</sup>,特别是在某些电器元件及产品中。但是 EVA 极易燃,点燃后短时间内会释放出巨大的热量,因此在许多领域,特别是安全等级要求较高的领域应用受到限制。膨胀阻燃剂(IFR)已经得到广泛使用并表现出良好的阻燃性能,但 IFR 添加量的增加会导致 EVA 的弹性迅速降低。因此有必要开发阻燃效率更高的协效阻燃剂与 IFR 配合使用,在控制阻燃剂用量的前提下提高阻燃效率。许多研究表明层状纳米黏土与 IFR 共同使用可在聚合物基体中表现出优秀的协效阻燃性能<sup>[3-5]</sup>。

层状纳米黏土由于其特殊的元素组成及结构特点,在聚合物填充中表现出非常出色的阻隔性能和对聚合物链的保护性能,如层状蒙脱土和水滑石都

被验证可以显著提升基体树脂的热稳定性<sup>[6]</sup>,在燃烧过程中可有效抑制热量释放。已经有研究发现层状纳米黏土与 IFR 协同使用能针对性地解决 EVA 阻燃的关键问题<sup>[7-9]</sup>。

本文希望从另一种天然储备丰富的纳米黏土资源—高岭土(Kaol)入手,通过分子改性将含有阻燃元素的分子引入 Kaol 分子的片层结构中<sup>[9-10]</sup>,作为 IFR 的协效阻燃剂使用。本文选择含有氮元素的甲酰胺(FA),利用直接插层改性引入至 Kaol 分子片层中<sup>[11]</sup>,通过一种快速的制备方法得到具有阻燃协效性能的改性高岭土,并应用于 EVA 中以改善其阻燃性能和力学性能。目前尚未见有这方面的公开报道或资料。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

高岭土,粒径 10  $\mu\text{m}$ ,河北灵寿兴铁矿产品加工厂,100  $^{\circ}\text{C}$  下烘干 12 h,备用;甲酰胺(FA),分析纯,北京化工厂;乌洛托品,分析纯,广东省西陇化工股份有限公司;季戊四醇(PER),纯度 $\geq 98\%$ ,天津市福晨化学试剂厂;聚磷酸铵(APP),聚合度 $\geq 1\ 000$ ,

收稿日期:2018-09-19

第一作者:女,1972年生,硕士,工程师

\*通信联系人

E-mail: guxy@mail.buct.edu.cn

济南市金盈泰化工有限公司; 乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA), VA 含量 18%, 北京有机化工厂; 去离子水, 自制。

1.2 样品的制备

1.2.1 甲酰胺插层高岭土(FA-Kaol)

量取 4 mL 去离子水移至含有 80 mL FA 的三口

瓶中, 然后称取 8 g 干燥后的 Kaol 置于上述溶液中, 于 25 ℃ 水浴锅中搅拌 7 d 得产物。产物用无水乙醇洗涤 3 次并过滤, 60 ℃ 干燥 12 h 后得产物 FA-Kaol。

FA-Kaol 的分子结构及其制备过程可以用图 1 描述, 即原始的 Kaol 通过 FA 的插层改性, 制备得到终产物 FA-Kaol。

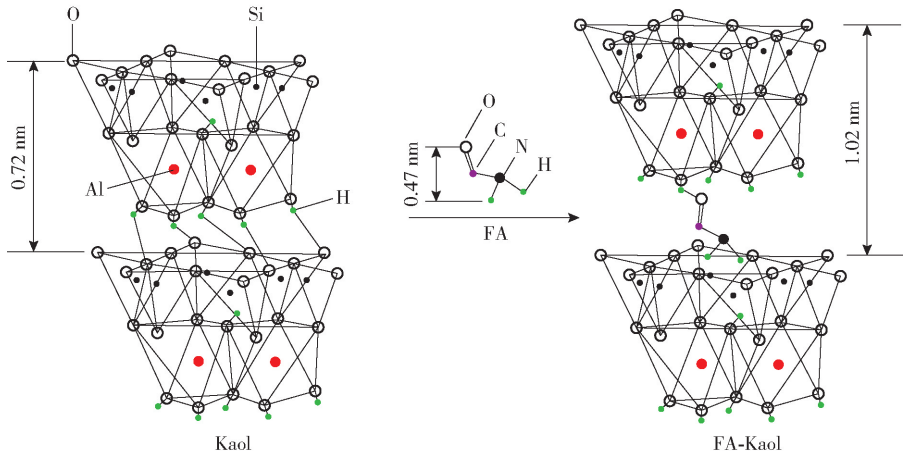


图 1 FA-Kaol 的分子结构及其制备过程

Fig. 1 Molecular structure and preparation of FA-Kaol

1.2.2 EVA 复合材料

将 FA-Kaol 于 80 ℃ 处理 24 h 以烘干并去除表面的吸附水; 再将 EVA、FA-Kaol、IFR (APP 与 PER 质量比为 3:1) 按一定的复合配方通过挤出机熔融共混, 挤出造粒。挤出机螺杆转速 45 r/min, 各段温度设定为 100 ℃-105 ℃-110 ℃。复合材料在 80 ℃ 下干燥 1 d 后, 再在 115 ℃ 的压片机上热压熔融, 时间 20 min, 压力 15 MPa, 之后冷压成型, 用于制备相应的测试样条。

1.3 表征方法

1.3.1 X 射线衍射(XRD)分析

使用日本理学 Rigaku 公司 X 射线衍射仪(D/max-2500 型)对 Kaol 及 FA-Kaol 样品进行 XRD 分析, 扫描范围 3°~30°, 步进速率 2(°)/min。

高岭土插层复合物插层率的计算公式为

$$R_l = \frac{I_c}{I_c + I_k} \times 100\%$$
 (1)

式中,  $R_l$  为插层复合物的插层率,  $I_c$  为插层物在相应衍射角的衍射强度,  $I_k$  为插层物中残留未膨胀高岭土在  $2\theta = 12.4^\circ$  处的衍射强度。

层间距根据布拉格衍射公式计算

$$2d\sin\theta = n\lambda$$
 (2)

式中,  $d$  为晶面间距,  $\theta$  为衍射角,  $n$  为衍射级数( $n =$

1),  $\lambda$  为所用 X 射线的波长(0.154 nm)。

1.3.2 FT-IR 分析

利用美国 Nicolet 公司的傅立叶红外光谱仪(Nexus670 型)对 Kaol 及 FA-Kaol 样品进行 FT-IR 分析, 扫描范围 4000~400  $\text{cm}^{-1}$ , 光学分辨率 4  $\text{cm}^{-1}$ , 采用 KBr 压片法。

1.3.3 热失重分析(TGA)

采用美国 Netzsch 公司的热失重分析仪(STA449C 型)对 Kaol 及 FA-Kaol 样品进行 TGA 分析。样品质量约为 4~8 mg,  $\text{N}_2$  气氛下, 以 10 ℃/min 的升温速率从 30 ℃ 升至 800 ℃。

1.3.4 极限氧指数(LOI)测试

根据 GB/T 2406—1993, 采用南京江宁分析仪器有限公司的氧指数仪(JT-3 型)对 EVA 及其复合材料样品进行 LOI 测试。样条尺寸为 70 mm × 6.5 mm × (3 ± 0.1) mm。以氧气在混合气体中的临界体积分数为 LOI 值。每个样条至少测试 5 个试样, 取平均值。

1.3.5 水平垂直燃烧等级(UL-94)测试

使用南京江宁分析仪器有限公司的水平垂直燃烧仪(CZF-3 型), 根据 GB/T 2408—1996 对 EVA 及其复合材料样品进行 UL-94 测试, 样品尺寸为 130 mm × 13 mm × 3 mm。每个样条至少测试 5 个试

样,取平均值。

### 1.3.6 锥形量热(Cone)测试

采用英国 Fire Testing Technology Limited 公司的标准锥型量热仪,依据 ISO5600 评估 EVA 及其复合材料样品的燃烧性能。辐射器的热强度选用  $50 \text{ kW/m}^2$ ,样品尺寸  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ ,每个样条至少测试 5 个试样,取平均值。

### 1.3.7 力学性能测试

依据 GB/T 1040—1998,采用济南市试金集团有限公司的电子万能试验机(WDW-50 型)测试 EVA 及其复合材料的拉伸强度及断裂伸长率。标准哑铃形样条尺寸为  $150 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ ,标距长度  $50 \text{ mm}$ ,拉伸速率  $50 \text{ mm/min}$ 。每个样条至少测试 5 个试样,取平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 FA-Kaol 的结构组成

Kaol 及 FA-Kaol 的 XRD 谱图如图 2 所示。在 Kaol 中,(001)晶面的衍射峰出现在  $2\theta = 12.4^\circ$  (层间距为  $0.72 \text{ nm}$ )处,而其在改性产物 FA-Kaol 中的衍射峰强度明显降低,且向低角度方向移动( $2\theta = 8.64^\circ$ ) (层间距为  $1.02 \text{ nm}$ ),说明经过甲酰胺插层后,Kaol 分子的层间距从原来的  $0.72 \text{ nm}$  扩大至  $1.02 \text{ nm}$ ,增加了  $0.3 \text{ nm}$ ,但该值小于 FA 分子直径( $0.47 \text{ nm}$ ),表明 FA 分子的氨基可能嵌入到 Kaol 的复三方孔洞内<sup>[8]</sup>。同时,通过衍射峰面积变化计算得到复合材料的插层率为  $92.1\%$ 。

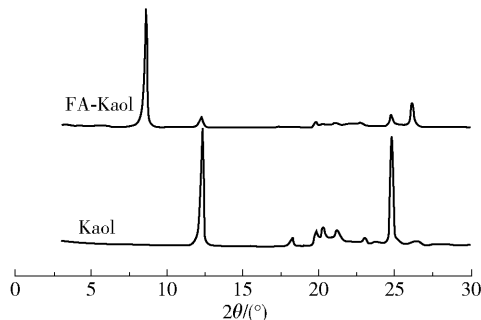


图2 Kaol 和 FA-Kaol 的 XRD 谱图

Fig. 2 XRD patterns of Kaol and FA-Kaol

Kaol 及 FA-Kaol 的 FT-IR 谱图如图 3 所示。可以看出,Kaol 在  $3696 \text{ cm}^{-1}$ 、 $3671 \text{ cm}^{-1}$ 、 $3651 \text{ cm}^{-1}$ 、 $3620 \text{ cm}^{-1}$ 处存在 4 个—OH 吸收峰,前 3 个属于内表面羟基振动峰,此处峰易受外界干扰,而  $3620 \text{ cm}^{-1}$ 处属于内羟基振动峰<sup>[12]</sup>,较为稳定。在插层改性产物 FA-Kaol 中, $3696 \text{ cm}^{-1}$ 处吸收峰强度

明显减弱, $3671 \text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰几乎消失,而  $3620 \text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰强度变化不大;另外在  $3464 \text{ cm}^{-1}$ 、 $1674 \text{ cm}^{-1}$ 和  $1386 \text{ cm}^{-1}$ 出现 3 个新的吸收峰,分别对应于 N—H、C=O 和 C—H 基团的吸收峰,这些基团均为 FA 分子中的基团。结合 XRD 谱图中产物衍射峰的变化,说明已经成功实现 FA 在 Kaol 分子上的插层改性。

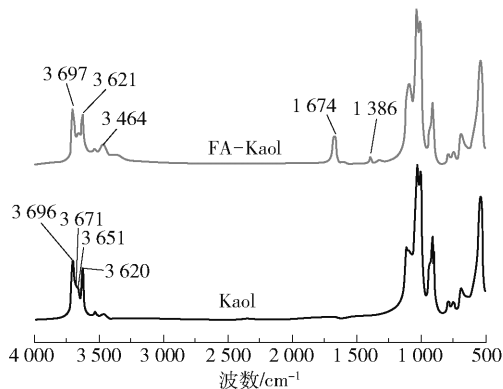


图3 Kaol 和 FA-Kaol 的 FT-IR 谱图

Fig. 3 FT-IR spectra of Kaol and FA-Kaol

Kaol 及 FA-Kaol 在  $\text{N}_2$  气氛中的 TGA 曲线如图 4 所示。可以看出  $480 \sim 580^\circ\text{C}$  为 Kaol 一个主要的热失重阶段,主要是 Kaol 脱除羟基,生成水<sup>[13]</sup>。而 FA-Kaol 表现出两个明显的失重阶段:第一个阶段为  $130 \sim 180^\circ\text{C}$  之间的热失重,质量损失率为  $10\%$  左右,主要是 FA 分子受热从 Kaol 层间脱除并挥发<sup>[8]</sup>;第二阶段与 Kaol 的失重范围吻合,为 Kaol 的分子结构分解。因此 TGA 结果也证明了 FA 分子存在于插层改性的产物中。

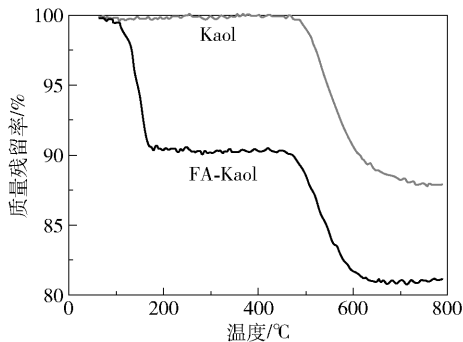


图4 Kaol 和 FA-Kaol 的 TGA 曲线

Fig. 4 TGA curves of Kaol and FA-Kaol

### 2.2 EVA 复合材料的阻燃性能

EVA 及其阻燃复合材料的 LOI 及 UL-94 等级测试结果如表 1 所示。纯 EVA 的 LOI 值在  $20.1$  左右,UL-94 无等级;添加  $25\%$  的 IFR 后,LOI 升至

27.2, UL-94 达到 V-2 等级,说明在 EVA 复合材料燃烧过程中,IFR 通过释放非可燃性气体稀释材料燃烧界面的氧气浓度,而且能够促进 EVA 基体发生交联成炭反应,最终产生膨胀型残炭结构,起到一定的阻隔作用,即阻隔了外界氧气与燃烧时释放的可燃性气体的“交流”,达到阻燃效果;少量的 Kaol (0.5% ~3.0%) 或 FA-Kaol 等量替换 IFR 以后,维持添加剂总量不变(仍为 25%),样品的 LOI 还能继续提升,最为可贵的是所有添加高岭土的样品均能通过 UL-94 的 V-0 等级。当 Kaol 或 FA-Kaol 添加量低于或高于 1.5% 时,复合材料的阻燃效果有一定的下降,其主要原因可能是:①低于 1.5% 时, Kaol 或 FA-Kaol 不能有效地参与 EVA/IFR 降解产

物的反应,进而不能生成高质量的残炭结构;②高于 1.5% 时,IFR 含量下降,燃烧过程中不能有效地产生膨胀型残炭。当添加 1.5% Kaol 或 FA-Kaol 时阻燃效果最好,说明 EVA 燃烧过程中, Kaol 或 FA-Kaol 参与了 EVA/IFR 的降解过程,在此过程中, Kaol 或 FA-Kaol 能够与 EVA/IFR 的降解产物进一步发生交联,产生更为致密的炭层,提升其阻燃性能,而且熔滴问题得到有效控制。此外,经过 FA 改性之后的 Kaol 阻燃效果最好,这是因为 FA-Kaol 在基体中的分散性能更好,且 FA-Kaol 与 EVA/IFR 相容性更高,同时含有的阻燃元素 N 能够进一步提升其阻燃性能,因此 FA-Kaol 的阻燃效果相较于 Kaol 更好。

表 1 EVA 及其复合材料的 LOI 和 UL-94 测试结果  
Table 1 LOI and UL-94 test results of EVA and its composites

样品名	$w_{\text{EVA}}/\%$	$w_{\text{IFR}}/\%$	$w_{\text{Kaol}}/\%$	$w_{\text{FA-Kaol}}/\%$	LOI	UL-94
EVA	100.0	—	—	—	20.1 ± 0.1	NR
EVA/IFR	75.0	25.0	—	—	27.2 ± 0.2	V-2
EVA/IFR/0.5Kaol	75.0	24.5	0.5	—	27.7 ± 0.2	V-0
EVA/IFR/1.5Kaol	75.0	23.5	1.5	—	28.6 ± 0.2	V-0
EVA/IFR/3.0Kaol	75.0	22.0	3.0	—	27.9 ± 0.2	V-0
EVA/IFR/0.5FA-Kaol	75.0	24.5	—	0.5	28.5 ± 0.2	V-0
EVA/IFR/1.5FA-Kaol	75.0	23.5	—	1.5	30.2 ± 0.2	V-0
EVA/IFR/3.0FA-Kaol	75.0	22.0	—	3.0	28.1 ± 0.2	V-0

图 5 和表 2 为 EVA 及其复合材料的 Cone 测试结果。纯 EVA 引燃后伴随大量的热量集中释放,在点燃后 165 s 达到最大热释放速率值 (pHRR, 可达 1 421 kW/m<sup>2</sup>);当添加 25% 的 IFR 后,热量释放明显后延,在 300 s 左右 pHRR 才达到峰值 626 kW/m<sup>2</sup>;当添加 1.5% 的 Kaol 或 FA-Kaol 后,热释放速率值 (HRR) 进一步下降,分别降至 555 和 500 kW/m<sup>2</sup>,且

总热释放量 (THR) 由纯 EVA 的 126 MJ/m<sup>2</sup> 分别降至 107 MJ/m<sup>2</sup> 和 106 MJ/m<sup>2</sup>。由此推断 FA-Kaol 在燃烧过程中可有效催化 EVA/IFR 的降解产物发生成炭反应,形成更加致密的炭层,阻隔基体在燃烧降解过程中释放可燃烧性气体,以及外界环境中氧气的进入与热量的“对流”和“交流”。

表 2 EVA 及其复合材料的主要 Cone 数据  
Table 2 Key Cone calorimeter data of EVA and its composites

样品	pHRR/(kW·m <sup>-2</sup> )	THR/(MJ·m <sup>-2</sup> )
EVA	1 421	126
EVA/IFR	626	125
EVA/IFR/1.5Kaol	555	107
EVA/IFR/1.5FA-Kaol	500	106

2.3 残炭的微观形貌

通过 SEM 可以更加直接地观察残炭的微观形貌。如图 6 所示,EVA/IFR 复合材料的残炭表现出疏松的炭层结构,同时还有明显的大气孔出现,表明

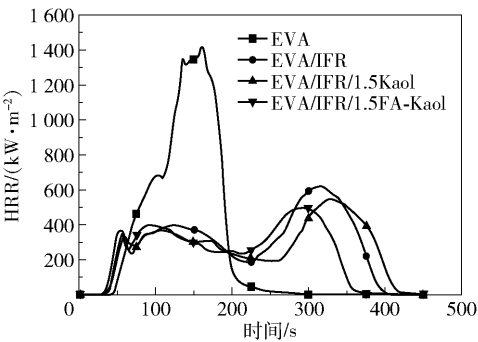
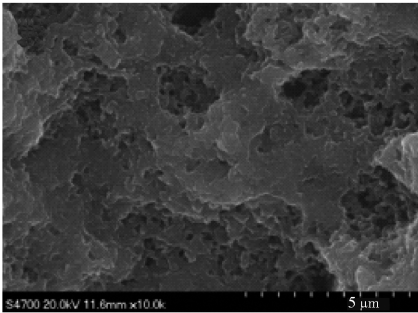


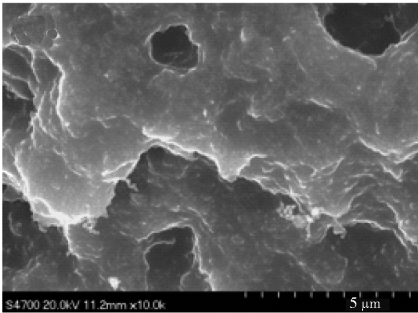
图 5 EVA 及其复合材料的 HRR 曲线  
Fig. 5 HRR results of EVA and its composites



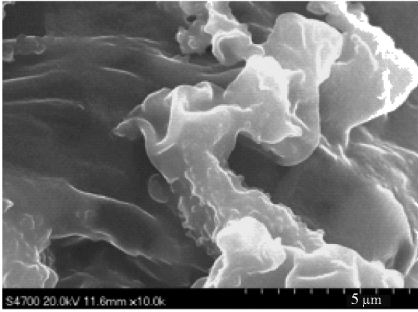
在燃烧过程中,气体和热量可以轻易地穿透残炭,导致其坍塌。当 Kaol 加入到复合材料中后,残炭质量有所改善,在残炭中仅发现少量的孔洞残留。而对于 EVA/IFR/FA-Kaol 复合材料,燃烧后生成的炭层连续而致密,说明在燃烧过程中 FA-Kaol 可以促进 EVA/IFR 的交联反应,形成致密而连续的炭层,这样的炭层能够阻隔热量和燃烧性气体的传送,同时在燃烧过程中还能有效地防止有毒气体的释放,从而能进一步防止基体的燃烧和裂解。



(a) EVA/IFR



(b) EVA/IFR/1.5 Kaol



(c) EVA/IFR/1.5 FA-Kaol

图6 残炭 SEM 照片

Fig.6 SEM images of char residues

2.4 EVA 复合材料的力学性能

在聚合物的阻燃处理中,阻燃剂的引入都不可避免会带来基体材料力学性能的降低,在 EVA 中此问题同样也非常明显。如表 3 所示,25% 的 IFR 使 EVA 的拉伸强度降低将近 50%,弹性损失更明显,降低约 68.8%,严重影响 EVA 的基础使用性能。维持添加剂总量为 25%,以 0.5% ~ 3% 的 Kaol 或

FA-Kaol 等量取代 IFR 后,复合材料的力学性能没有出现继续降低的趋势,反而有一定的回升。其主要原因是 Kaol 或 FA-Kaol 在 EVA/IFR 复合材料中产生应力集中点;且改性之后的 FA-Kaol 在 EVA/IFR 复合材料中的分散性和相容性比 Kaol 好。因而在外力作用下,EVA/IFR/FA-Kaol 复合材料的力学性能与 EVA/IFR/Kaol 复合材料相比更为突出。

表3 EVA 复合材料的拉伸强度与断裂伸长率

Table 3 Tensile strength and elongation at break of EVA and its composites

样品名	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
EVA	14.1	847
EVA/IFR	7.2	264
EVA/IFR/1.5Kaol	8.6	331
EVA/IFR/1.5FA-Kaol	9.0	396

3 结论

通过 FA 直接插层 Kaol 成功地制备了 FA-Kaol 复合材料。添加 25% IFR 后,EVA/IFR 的阻燃性能得到大幅度提升,但力学性能下降严重。而少量的 FA-Kaol(1.5%)替代 IFR 后,可以有效改善 EVA/IFR 复合材料的阻燃性能,LOI 值达到 30.2,UL-94 测试达到 V-0 等级,pHRR 下降至 500 kW/m<sup>2</sup>。阻燃效率提升的同时复合材料的力学性能没有出现降低,拉伸强度及断裂伸长率比单独使用 25% IFR 时略有改善。

参考文献:

[1] ZHANG S, BU X X, GU X Y, et al. Improving the mechanical properties and flame retardancy of ethylene-vinyl acetate copolymer by introducing bis [3-( triethoxysilyl) propyl] tetrasulfide modified magnesium hydroxide [ J ]. Surface and Interface Analysis, 2017, 49: 607-614.

[2] ZHANG S, TIAN Y, GU X Y, et al. Improving the flame resistance and thermal conductivity of ethylene-vinyl acetate composites by incorporating hexachlorocyclotriphosphazene-modified graphite and carbon nanotubes [ J ]. Polymer Composites, 2018, 39: 891-901.

[3] LIU L, SHI Y Q, YU B, et al. Preparation of layered graphitic carbon nitride/montmorillonite nanohybrids for improving thermal stability of sodium alginate nanocomposites [ J ]. RSC Adv, 2015, 5(16): 11761-11765.

[4] LIU Y, WANG J S, DENG C L, et al. The synergistic flame-retardant effect of O-MMT on the intumescent

- flame-retardant PP/CA/APP systems [J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2010, 21(11): 789–796.
- [5] FENG J, HAO J W, DU J X, et al. Flame retardancy and thermal properties of solid bisphenol a bis (diphenyl phosphate) combined with montmorillonite in polycarbonate [J]. *Polymer Degradation & Stability*, 2010, 95(10): 2041–2048.
- [6] TANG Y, HU Y, WANG S F, et al. Preparation and flammability of ethylene-vinyl acetate copolymer/montmorillonite nanocomposites [J]. *Polymer Degradation & Stability*, 2002, 78(3): 555–559.
- [7] ZHANG S, TANG W F, SUN J, et al. Synergistic effects of modified hydrotalcite on improving the fire resistance of ethylene vinyl acetate containing intumescent flame retardants [J]. *Polymer Composites*, 2018, 39(2): 522–528.
- [8] WANG B B, SONG L, HONG N N, et al. Effect of electron beam irradiation on the mechanical and thermal properties of intumescent flame retarded ethylene-vinyl acetate copolymer/organically modified montmorillonite nanocomposites [J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2011, 80(11): 1275–1281.
- [9] TANG W F, ZHANG S, SUN J, et al. Flame retardancy and thermal stability of polypropylene composite containing ammonium sulfamate intercalated kaolinite [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2016, 55: 7669–7678.
- [10] TANG W F, SONG L X, ZHANG S, et al. Preparation of thiourea-intercalated kaolinite and its influence on thermostability and flammability of polypropylene composite [J]. *Journal of Materials Science*, 2017, 52: 208–217.
- [11] 王万军, 张晓东, 赵彦巧. 萍乡硬质高岭土矿物学特征及插层复合物制备 [J]. *矿产保护与利用*, 2007(5): 19–23.
- WANG W J, ZHANG X D, ZHAO Y Q. Research on intercalation compound and mineralogy characteristics of a hard kaolin from Pingxiang, Jiangxi Province [J]. *Conservation & Utilization of Mineral Resources*, 2007(5): 19–23. (in Chinese)
- [12] PRASHANTHA K, LACRAMPE M, KRAWCZAK P. Highly dispersed polyamide-11/halloysite nanocomposites: thermal, rheological, optical, dielectric, and mechanical properties [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 130: 313–321.
- [13] 唐武飞. 高岭土基多维度材料增强聚丙烯复合材料阻燃性能的研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2017.
- TANG W F. Improving the flame retardancy of polypropylene composites by introducing multi-dimensional kaolinite-based materials [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2017. (in Chinese)

## Preparation of formamide-intercalated kaolinite and its use to improve the flame-retardancy of EVA composites

PENG XiaoHua<sup>1</sup> CHEN Shou<sup>1</sup> TANG WuFei<sup>1,2</sup> ZHANG Sheng<sup>2</sup> GU XiaoYu<sup>2\*</sup>  
WANG Xin<sup>3</sup> SUN YaoMing<sup>3</sup>

(1. Shenzhen Beauty Star Co., Ltd, Shenzhen 518117; 2. Key Laboratory of Carbon Fiber and Functional Polymers, Ministry of Education, College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;  
3. Shenzhen 863 New Material and Technology Co., Ltd, Shenzhen 518117, China)

**Abstract:** Formamide (FA) was introduced into the interlamellar galleries of kaolinite (Kaol) and the intercalation ratio of the final product FA–Kaol reached 92.1%. The structure of the products was characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction (XRD) and thermogravimetric analysis (TGA). The FA–Kaol was melt blended with ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA)/intumescent flame retardant (IFR). The flammability and mechanical properties were evaluated by limiting oxygen index (LOI) tests, vertical burning tests (UL–94), cone calorimetry (Cone) and a universal tester. The results showed that by substitution of IFR with 1.5 wt% FA–Kaol, the flame retardancy, thermal stability and mechanical performance of EVA composites were all improved significantly.

**Key words:** kaolinite; formamide; ethylene–vinyl acetate copolymer (EVA); flame retardancy; intercalation

(责任编辑: 吴万玲)