http://pmse.scu.edu.cn

DOPO衍生物阻燃剂制备及其对乙烯-醋酸乙烯酯性能的影响

张栋科[1]，杨启航[1]，赵海洋[1]，赵地顺[3]，崔文广[1,2,4]，高岩磊[2]

（1.河北科技大学 理学院，河北 石家庄 050027；2. 石家庄学院 化工学院，河北 石家庄 050035；3 . 河北科技大学 化工与制药工程学院，河北 石家庄 050027；4 . 石家庄市低碳能源材料重点实验室，河北 石家庄 050035）

摘要：通过顺丁烯二酸（MA）、氢氧化铝和9, 10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10氧化物(DOPO)制备了一种新型有机磷阻燃剂DMATH。采用红外光谱和X射线光电子能谱表征了DMATH的结构。通过垂直燃烧、极限氧指数和锥形量热分析了乙烯-醋酸乙烯酯的阻燃性能。利用热失重分析了EVA及其复合材料的热稳定性。结果表明，DMATH能抑制乙烯-醋酸乙烯酯的燃烧滴落与烟雾产生，在气相和凝聚相中发挥阻燃作用。当阻燃剂DMATH的质量分数为20%时，复合材料的氧指数值从19%提高到29.1%，峰值热释放速率（pHRR）、峰值烟雾释放速率（SPR）、总热释放（THR）及总烟雾释放（TSR）分别降低了176 kW/m^2，0.034 m^2/s，13.53 MJ/m^{2}和11.6 m^2。

关键词：DOPO；乙烯-醋酸乙烯酯；有机磷；阻燃t

中图分类号：TQ314.24+8　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000-7555（2025）05-0017-09

乙烯-醋酸乙烯酯(EVA)具有良好的光学性能、抗冲击性能、耐环境应力开裂性能以及低熔融温度、优异的流动性和无毒等特性，在电线电缆、薄膜、热熔胶、光伏、发泡、涂覆、热封及焊接等领域应用广泛。然而，碳氢化合物的化学成分使EVA极易燃烧，而且在燃烧过程中会产生烟雾和有害物质，危及人们的生命安全，这大大限制了其在许多应用领域的使用[1~5]。因此，提高EVA树脂的阻燃性具有重要意义。为了提高其阻燃性能，通常会添加阻燃剂。卤代化合物是常用的阻燃剂[6~8]。然而，卤代阻燃剂在燃烧过程中会产生大量有毒气体和腐蚀性物质，对环境和人体健康造成危害。含磷阻燃剂具有高效阻燃性、低毒和环境友好等优点，其在热分解过程中生成偏磷酸和聚偏磷酸等强酸后，能促进材料脱水成炭形成碳层，阻止氧气与基材接触，抑制热传递[9~11]。在气相中，阻燃剂分解产生的自由基在与聚合物基材相互作用的基础上释放出活性自由基，使某些自由基的浓度降低，从而中断链式反应。有机磷系阻燃剂9, 10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10氧化物（DOPO）及其衍生物常作为聚合物阻燃剂被广泛研究[12~14]。DOPO及其衍生物阻燃剂应用在聚对苯二甲酸乙二酯、聚氨酯弹性体橡胶、环氧树脂与聚乙烯等聚合物中，显著提高了它们的阻燃性与抗熔滴性能[15~18]，但DOPO阻燃剂在EVA树脂中的研究较少。徐亚新等[18]通过DOPO和双马来酰亚胺（BMI）反应合成了一种无卤含磷阻燃剂（DB），以KH550硅烷偶联剂改性氢氧化镁为主阻燃剂，DB为协效阻燃剂，提高了EVA的阻燃性能。Liu等[19]通过乙烯基硅烷偶联剂(WD70)桥接，DOPO接枝到MH纳米颗粒合成了阻燃剂MH-WD70-DOPO，EVA的LOI提升至29.7%，且拉伸强度与纯EVA相似。

本文通过马来酸、氢氧化铝和DOPO为原料，制备了一种新型有机-无机杂化阻燃剂DMATH。随后，将DMATH引入到EVA中，制备了本征无卤阻燃EVA树脂复合材料，赋予材料优异的阻燃性能和抑烟性能。

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0085
收稿日期：2024-05-15
通讯联系人：高岩磊，主要从事高分子基复合材料的制备及性能研究，E-mail: Gaoyanlei1980@163.com

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

9, 10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10 氧化物、顺丁烯二酸：分析纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司；氢氧化铝、丙酸、无水乙醇：纯度＞98%，天津百世化工有限公司；去离子水：实验室自制。

傅里叶变换红外光谱仪（FT-IR）：美国 Thermo Scientific 公司；锥形量热测试仪：苏州阳屹沃尔奇检测技术有限公司；水平垂直燃烧测定仪：南京江宁分析仪器有限公司；热失重分析仪：美国 TA 公司；氧指数分析仪：德国 Netzsch Taurus Instruments 公司；JJ-TEST 万能材料试验机：承德金建检测仪器有限公司。

1.2 实验过程

1.2.1 阻燃剂的制备：在 250 mL 圆底烧瓶中加入 7.3 g MA 和 150 mL 去离子水。当温度升高到 80 ℃时，MA 完全溶解形成澄清溶液。随后，在溶液中加入 1.7 g ATH。之后，将混合物在 80 ℃回流 5 h。最后，用旋转蒸发法蒸发溶剂，将产物在 80 ℃干燥 12 h。取 9.9 g MA-ATH，10.8 g DOPO 和 100 mL 丙酸于 500 mL 烧瓶中，磁力搅拌，回流冷凝，通入 N_2，在 160 ℃回流反应 14 h。在此期间，观察到白色固体缓慢析出。之后将粗品冷却至室温，过滤并用无水乙醇洗涤数次，得到白色产物。最后，在 80 ℃干燥至恒量。

阻燃剂 DMATH 的杂化结构来源于有机组分和无机组分的协同作用。通过 DOPO、马来酸（MA）与氢氧化铝（ATH）的反应，DMATH 形成了有机-无机杂化阻燃体系。其结构中，DOPO 提供了活性磷酸基团，具备高效气相阻燃能力，氢氧化铝则通过热分解生成氧化铝，增强材料的凝聚相阻燃效果。马来酸作为桥联结构，将 DOPO 和 ATH 有机结合，赋予 DMATH 独特的杂化特性。

1.2.2 EVA 复合材料的制备：EVA 和 DMATH 通过双螺杆挤出机，以 Tab.1 所示比例熔融混合，加工参数为：加热一段温度 110 ℃，加热二段温度 120 ℃，加热三段至加热九段温度均为 140 ℃；机头温度 135 ℃；螺杆转速 120 r/min。混合后，复合材料表示为 EVA-10，EVA-15 和 EVA-20。

1.3 测试与表征

1.3.1 化学结构表征：采用傅里叶变换红外光谱仪对样品进行 FT-IR（KBr 压片）分析；对阻燃剂进行 X 射线光电子能谱（XPS）分析。

1.3.2 热稳定性分析：采用同步热分析仪测定 DMATH 和 EVA 树脂的热稳定性。样品质量为 5~10 mg，测试气氛为氮气，升温速率为 10 ℃/min，温度范围为 30~800 ℃。

Tab. 1 Formulations of EVA composites

Samples	*m*(EVA)/g	*m*(DMATH)/g
EVA	100	
EVA-10	90	10
EVA-15	85	15
EVA-20	80	20

1.3.3 阻燃性能分析：采用极限氧指数测试仪测试样品的 LOI 值，样条尺寸 100 mm×6.5 mm×3 mm;采用锥形量热仪进行锥形量热测试，样条尺寸 100 mm × 100 mm × 3 mm; UL-94 试验参照国标 GB/T2408-2008，EVA 及其 EVA/DMATH 材料的样品尺寸为 100 mm×13 mm×3 mm。

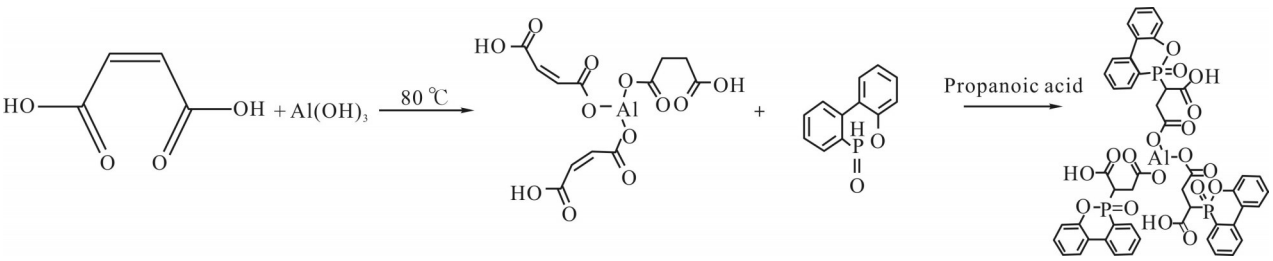
1.3.4 SEM 和 EDS 分析：使用扫描电子显微镜分析残炭的形态和元素分布。从锥形量热仪（CCT）测试后的样品中获得残炭，通过溅射金使其导电。

1.3.5 力学性能测试：对材料进行拉伸强度测试。样条尺寸为 10 mm × 3 mm，试验参照国标 GB/T 1040.1—2018 进行，拉伸速度为 50 mm/min，每组测 5 次，取平均值。

2 结果与讨论

2.1 阻燃剂的结构表征及其热稳定性

DOPO，MA 及 DMATH 的化学结构通过 FT-IR 光谱表征。在 Fig.1(a) 中，可以看到，反应物和 DMATH 在多个波数区域有相似的吸收峰。3390 cm^{-1} 附近的宽吸收峰归因于—OH 基团的伸缩振动，2972 cm^{-1} 和 1189 cm^{-1} 的吸收峰对应于—CH_2—的振动。1220~1350 cm^{-1} 和 1080 cm^{-1} 附近归属于 P=O 和 P—O 键的特征吸收峰。DMATH 的 FT-IR 谱图与 DOPO 相似，但 2400 cm^{-1} 和 1610~1680 cm^{-1} 附近的 P—H 和 C=C 峰消失，这些结果表明 DMATH 成功融合了 2 种反应物的结构特征。总的来说，FTIR 光谱表明 DMATH 兼具 2 种反应物的特征峰，且 Fig.1(b)



Scheme 1 Preparation of flame retardants

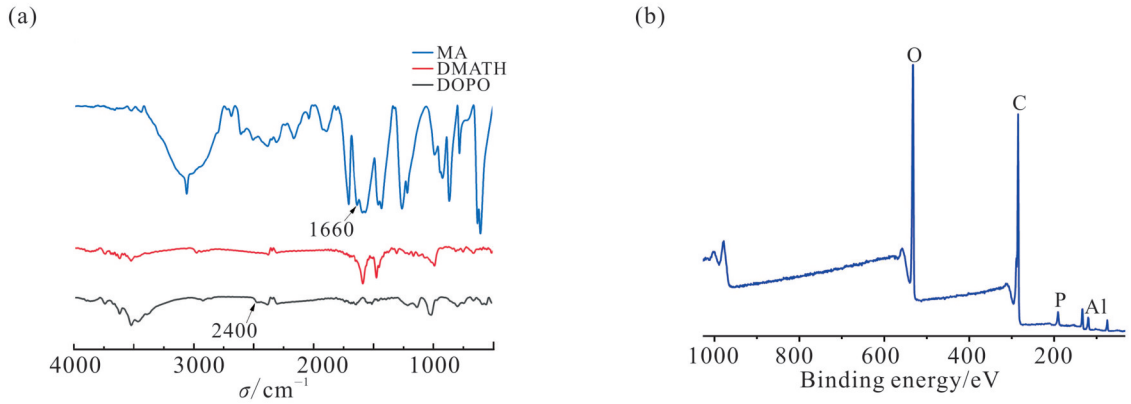


Fig. 1 (a) FT-IR of MA, DOPO and DMATH; (b) XPS of DMATH

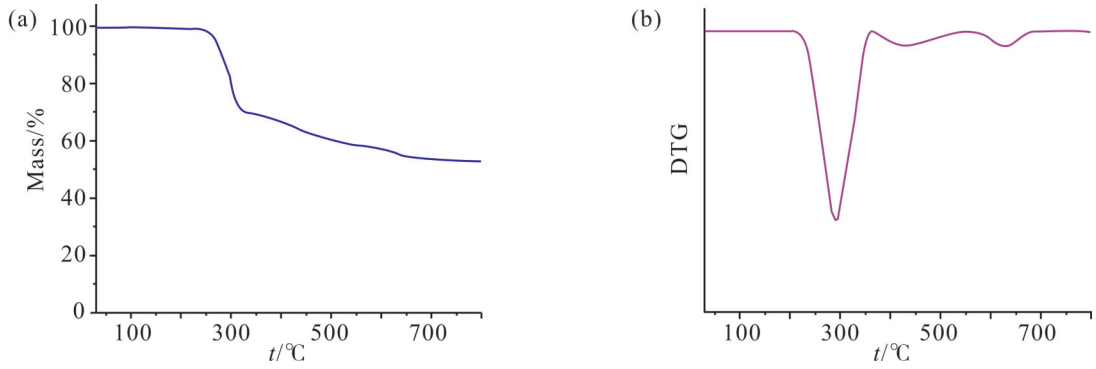


Fig. 2 (a) TG and (b) DTG curves of DMATH

中XPS显示，合成物中含有Al和P等元素，进一步证实DMATH制备成功。

Fig. 2(a)为DMATH的TGA曲线。产物的TGA结果表明，其具有3段分解阶段。DMATH表现出较好的热稳定性和高温成炭性，在800 °C时能保持53.6%的残碳率。

2.2　阻燃性能分析

2.2.1　LOI和UL-94分析：测试了EVA及EVA/DMATH复合材料的阻燃性能，Tab.2为相应的测试结果。EVA的LOI值为19%，相对较低，在UL-94测试中，经过第1次10 s的点火之后，纯EVA燃烧剧烈，可燃烧2 min之久，且燃烧时产生大量熔滴滴落，带有热量甚至火焰的熔滴引燃了脱脂棉，UL-94测试结果表现为NR。在EVA基体中加入DMATH之后，EVA-10，EVA-15和EVA-20的LOI值分别增加到23.7%，26.2%和29.1%，表明DMATH有效提高了EVA的阻燃效果。从UL-94测试结果也可以得出类似的结论。DMATH的加入显著缩短了燃烧时间，同时材料未产生熔滴。当阻燃剂含量提高到20%时，EVA-20在2次点火之后很快实现了自熄，达到了V-0等级。

2.2.2　锥形量热分析：Fig.3为EVA及EVA/ DMATH

Tab. 2 Flame retardant test results of EVA and flame-retardant EVA

Samples	LOI/%	UL-94		
		t_1/t_2[(a)]	Dripping(yes/no)	Rate
EVA	19	2 min/	Yes	NR
EVA-10	23.7	22/43	Yes	V-2
EVA-15	26.2	9/33	No	V-1
EVA-20	29.1	6/29	No	V-0

(a) horizontal and vertical combustion time/burning extinguishing time

Tab. 3 Cone calorimetric test results of EVA

Samples	TTI/s	pHRR/ ($kW \cdot m^{-2}$)	THR/ ($MJ \cdot m^{-2}$)	SPR/ ($m^2 \cdot s^{-1}$)	TSR/ m^2	mEHC/ ($MJ \cdot kg^{-1}$)	mCOY/ ($kg \cdot kg^{-1}$)	$mCO_2Y/(kg \cdot kg^{-1})$
EVA	58	860.65	158.88	0.095	15.08	24.9	0.009	0.82
EVA-10	81	756.98	154.42	0.079	14.61	23.1	0.013	0.72
EVA-15	107	693.22	151.81	0.075	13.66	22.1	0.013	0.74
EVA-20	118	684.47	145.35	0.061	11.60	20.4	0.013	0.72

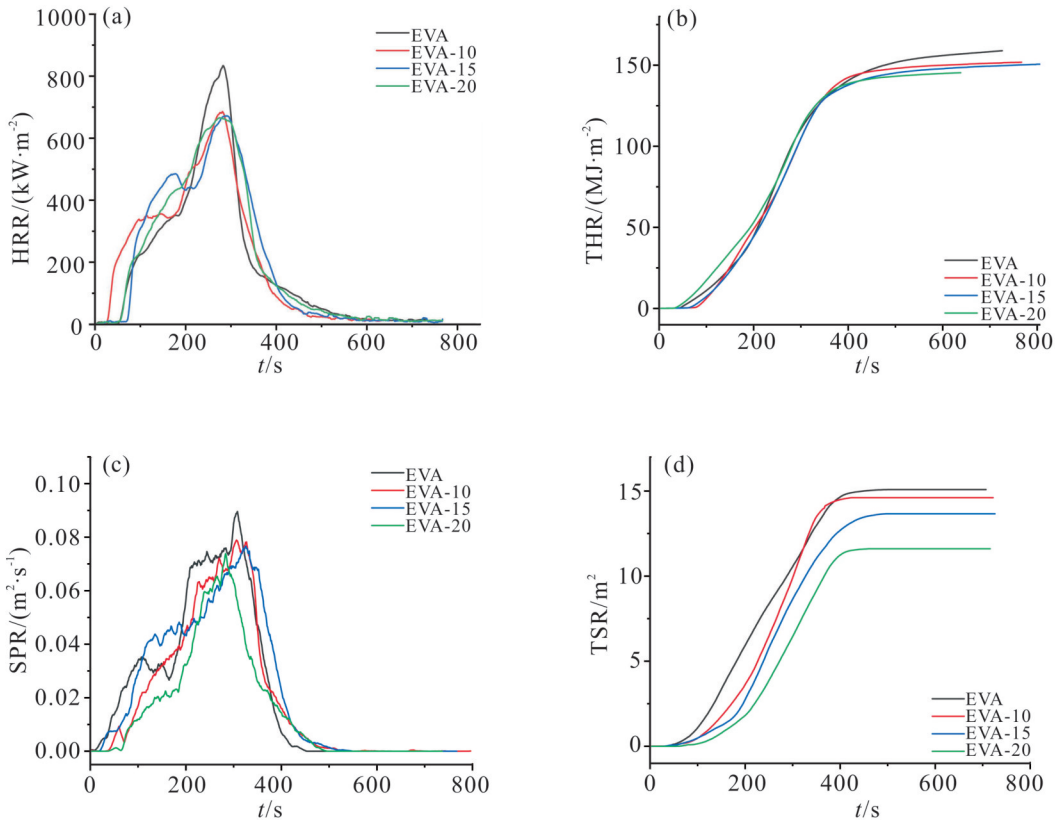


Fig. 3 (a) HRR, (b) THR, (c) SPR and (d) TSR curves of EVA, EVA-10, EVA-15 and EVA-20 versus time

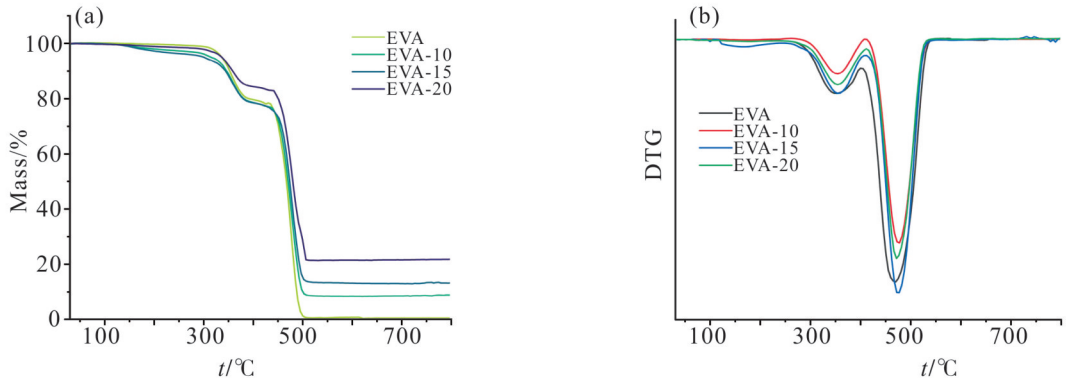


Fig. 4 (a) TGA and (b) DTG curves of EVA and flame-retardant EVA

Tab. 4 Thermal stability parameters of EVA and flame-retardant EVA

Samples	$T_{5\%}$/℃	T_{max1}/℃	T_{max2}/℃	Residue at 800 ℃
EVA	336.8	352.9	469.9	1%<
EVA-10	316.5	364.4	476.4	8.6%
EVA-15	300.5	359.8	477.6	13.2%
EVA-20	334.1	359.3`	477.4	21.6%

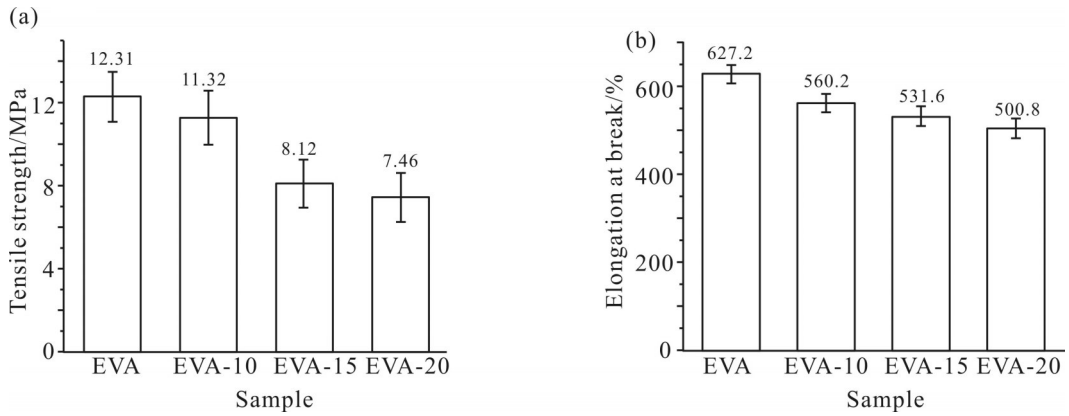


Fig. 5 (a) Tensile strength and (b) elongation at break of EVA and flame-retardant EVA

的 CCT 测试结果，包括放热率（HRR）、总放热（THR）、产烟率（SPR）和总产烟量（TSR）。Tab.3 总结了燃烧过程中相应的参数。与纯 EVA 相比，EVA-20 表现出更好的阻燃行为，在 Fig.3(a)和 Fig.3(b)中可以看出，EVA-20 的峰值热释放率（PHRR）和 THR 值分别降低了 20.5%和 8.5%。EVA-20 的平均有效燃烧热(mEHC)比 EVA 降低了 4.5 MJ/kg，说明阻燃剂 DMATH 存在气相阻燃机理。在燃烧过程中，DMATH 中的含磷结构能够产生含磷自由基，可捕捉燃烧过程中产生的可燃氢自由基和氢氧自由基，起到中断燃烧链式反应的作用。在火灾中，烟雾往往是造成人员伤亡的主要因素，因此，在研究阻燃材料时应当关注其烟气的释放。研究发现，添加了 20% DMATH 的 EVA 样品峰值发烟率（PSPR）降低了 35.8%，且有效抑制了烟雾释放，其 TSR 值从 1534.53 m^2/m^2 降低至 1295.16 m^2/m^2，降低了 15.6%。如 Tab.3 所示，EVA-20 的残碳率为 21.6%，比 EVA 的 0.6% 高出 30 倍多。EVA-20 的平均 CO_2 生成量（mCO_2Y）比 EVA 降低了 0.10 kg/kg，其平均 CO 生成量（mCOY）比 EVA 高出 0.004 kg/kg。说明 EVA-20

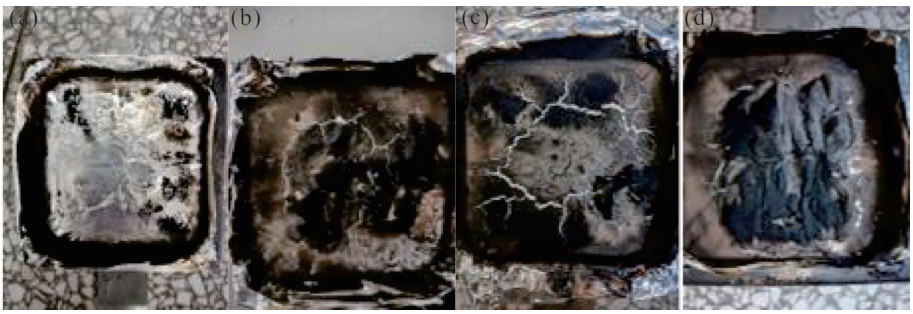


Fig. 6 Digital photos of EVAs after cone calorimetric test: (a) EVA; (b) EVA-10; (c) EVA-15; (d) EVA-20

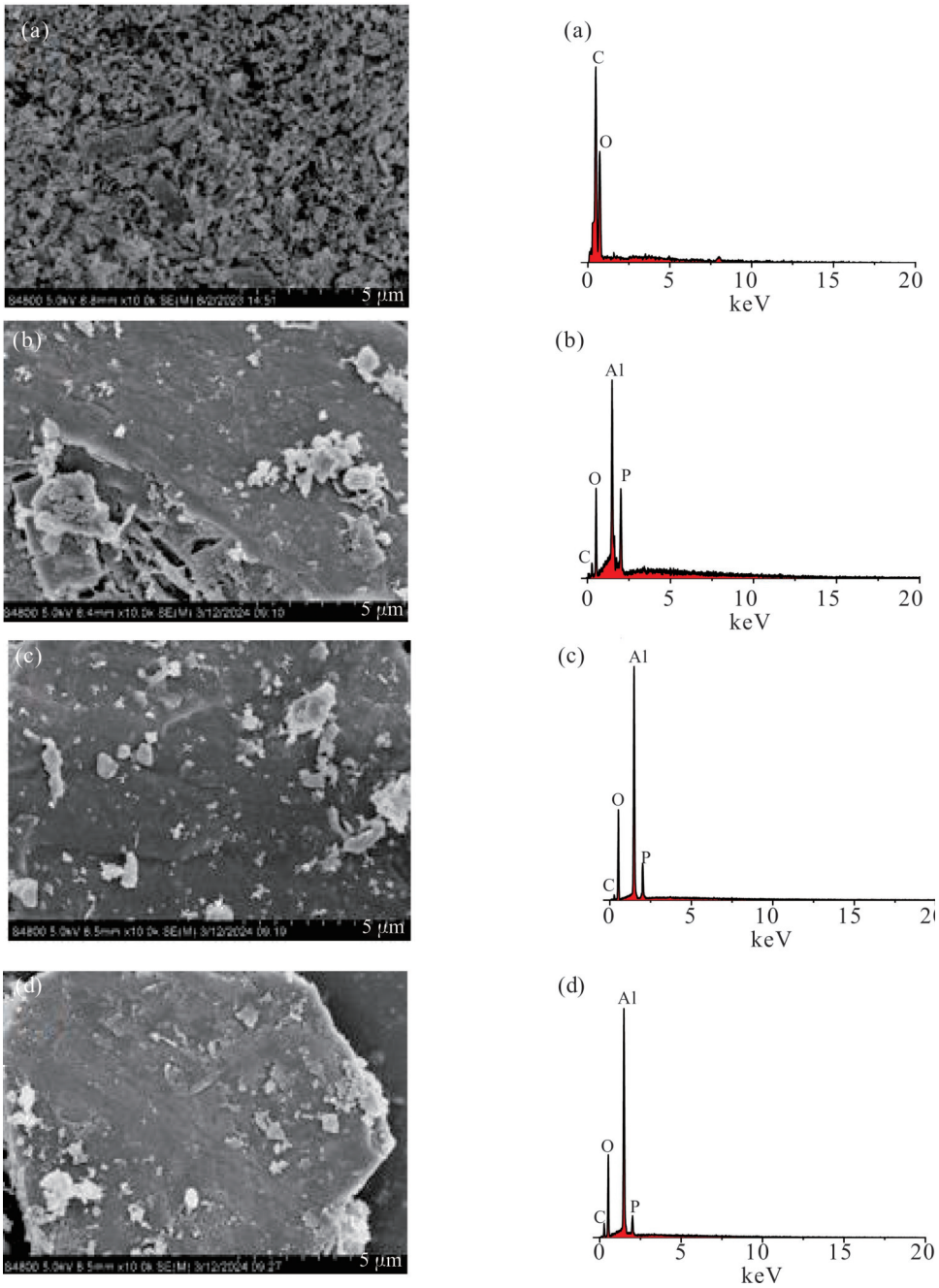


Fig. 7 SEM-EDS photographs of char residues for (a) EVA, (b) EVA-10, (c) EVA-15 and (d) EVA-20

成炭能力比 EVA 好[20]。表明阻燃剂的加入增强了 EVA 的抑烟性能，降低了 EVA 的燃烧强度。

2.3　热性能分析

Fig.4 显示了在氮气气氛中 EVA 和 EVA 复合材料的 TGA 和 DTG 曲线，相关参数如 Tab.4 所示。从 Fig.4(a)可以看出，在 DMATH 添加前后，样品都表现为两步降解，DMATH 的加入未改变 EVA 的整体热分解步骤。以样品质量损失率为 5%时的温度（$T_{5\%}$）为初始降解温度，纯 EVA 的初步降解发生在 336.8 ℃，而由于 DMATH 本身早期分解，在阻燃剂添加量为 10%~20%时，EVA/DMATH 的分解温度分别出现在 316.5 °C，300.5 °C 和 334.1 °C，均有所提前。此外，随着 DMATH 的加入，EVA 复合材料的最高降解速率降低且 800 °C 时的残炭量显著增加。

2.4　力学性能分析

Fig.5 显示了各样条在万能试验机下的拉伸强度和断裂伸长率。从图中可以看出，纯 EVA 的拉伸性能较好，但随着 DMATH 含量的增加，复合材料的拉伸强度和断裂伸长率呈现下降趋势。DMATH 表面缺少与 EVA 材料相互作用较强的官能团，并且会在基体内发生团聚，使得样品的力学性能下降。

2.5　阻燃机理

由 Fig6(a)可知，纯 EVA 燃烧后炭层表面结构疏松，没有形成阻燃结构，由(b~d)可知，随着阻燃剂添加量增多，形成的炭层越来越致密，表面浮渣越来越少，这种结构能隔绝氧气和热量，在凝固相起到阻燃作用。Fig.7 显示了纯 EVA 和复合材料（EVA-10，EVA-15 和 EVA-20）CCT 测试后的残炭 SEM -EDS。添加 DMATH 后，EVA 的残炭更致密，炭层表面还有大量颗粒(Fig.7(b~d))。EVA / DMATH 复合材料的残炭不仅含有 C 和 O 元素，还含有阻燃剂 DMATH 分解产生的 P 和 Al 元素。

如 Fig.8 所示，EVA 残炭在 3428 cm^{-1} 处的吸收峰归因于残碳 —OH 基团。1624 cm^{-1}，1234 cm^{-1} 和 1013 cm^{-1} 处的特征吸收峰分别归因于 C=C，C—C 和 C—O—C 基团。这些基团是 EVA 材料在燃烧过程中热分解形成的。在 EVA-20 的红外图谱中出现了一些特征峰。1140 cm^{-1} 处的峰为 P=O 基团，920 cm^{-1} 和 740 cm^{-1} 处的峰为 P—O 基团，636 cm^{-1} 处的峰为 Al—O 基团。

根据上述结果，提出了加入 DMATH 的系统的可能阻燃机制。在凝聚相中，DMATH 低温分解产生的磷酸衍生物和氧化铝包裹在基材表面，促进 EVA 基材形成致密的炭层，从而抑制燃烧。在气相中，DMATH 低温分解产生 PO_2 和 PO 自由基。同时，产生的不可燃气体（如 CO_2 和 H_2O）稀释了基质表面的可燃气体和氧气，有利于膨胀炭层的形成。膨胀炭层起到了有效的隔热作用，减缓了火焰和 EVA 基质之间的热量传递和可燃气体挥发。

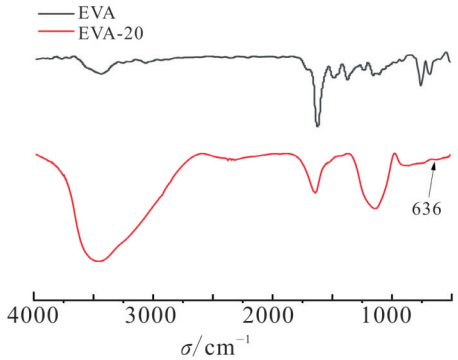


Fig. 8　FT-IR of the char residues

3　结论

本文通过 DOPO、马来酸和氢氧化铝反应，制备了一种具有有机-无机杂化结构的新型阻燃剂 DMATH，并将其应用于 EVA 复合材料中，显著提升了材料的阻燃性能和抑烟能力，成功实现了气相与凝聚相阻燃的协同作用，该协同机制使得阻燃剂在气相和凝聚相中均表现出显著的阻燃效果。研究表明，DMATH 的加入不仅大幅提高了 EVA 的极限氧指数（LOI）和残炭率，降低了热释放速率（pHRR）和烟雾释放量（TSR），同时通过构建致密炭化层和释放自由基捕获剂，实现了对热传递和燃烧链式反应的双重抑制，有效提高了炭层的力学强度和热屏障性能，增强了 EVA 材料在高温下的耐火性。本文不仅为 DOPO 类阻燃剂在 EVA 及其他聚合物中的应用提供了新思路，还强调了杂化结构在优化阻燃性能与环保性方面的潜力，具有重要的理论价值和实际意义，对未来多功能、绿色环保阻燃剂的开发具有重要的启发。

参考文献:

[1] Chi H, Zhao Z Y, Deng C, *et al*. Facile synthesis of phytic acid and aluminum hydroxide chelate-mediated hybrid complex toward fire safety of ethylene-vinyl acetate copolymer[J]. Polymer Degradation and Stability, 2021, 190: 109659.

[2] Battig A, Sanchez-Olivares G, Rockel D, *et al*. Waste not, want not: the use of leather waste in flame retarded EVA[J]. Materials & Design, 2021, 210: 110100.

[3] Bonnet J, Bounor-Legaré V, Boisson F, *et al*. Phosphorus based organic–inorganic hybrid materials prepared by reactive processing for EVA fire retardancy[J]. Polymer Degradation and Stability, 2012, 97: 513-522.

[4] Qian Y, Li S Q, Chen X L. Preparation of mesoporous silica-LDHs system and its coordinated flame-retardant effect on EVA[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 130: 2055-2067.

[5] Gui H, Zhang X H, Dong W F, *et al*. Flame retardant synergism of rubber and $Mg(OH)_2$ in EVA composites[J]. Polymer, 2007, 48: 2537-2541.

[6] Wu K, Shen M M, Hu Y. Combustion behavior and thermal oxidative degradation of EVA containing intumescent flame retardant[J]. Polymer-Plastics Technology and Materials, 2010, 49: 1527-1533.

[7] Battegazzore D, Lavaselli M, Cheng B, *et al*. Reactive extrusion of sol-gel silica as fire retardant synergistic additive in ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) composites[J]. Polymer Degradation and Stability, 2019, 167: 259-268.

[8] Ding Y Y, Xu L, Hu G S. Performance of halogen-free flame retardant EVA/MH/LDH composites with nano-LDHs and MH [J]. Science Bulletin, 2011, 56: 3878-3883.

[9] Entezam M, Khonakdar H A, Jafarim S M A, *et al*. Thermal stability and flammability of ethylene vinyl acetate copolymers in presence of nanoclay and a halogen-free flame retardant[J]. Journal of Vinyl and Additive Technology, 2017, 23: E92-E98.

[10] Li T, Yu R B, Zhao D D. Effective halogen- and phosphorus-free polyphenylene ether resin-based flame-retardant foam[J]. ACS Omega, 2021, 6: 15246-15256.

[11] Entezam M, Khonakdar H A, Yousefi A A. On the flame resistance behavior of PP/PET blends in the presence of nanoclay and a halogen-free flame retardant[J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2013, 298: 1074-1084.

[12] WJ Zhao, Kundu C K, Li Z W, *et al*. Flame retardant treatments for polypropylene: strategies and recent advances[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2021, 145: 106382.

[13] Dong F H, Wang Y Q, Wang S B, *et al*. Flame-retarded polyurethane foam conferred by a bio-based nitrogen-phosphorus-containing flame retardant[J]. Reactive & Functional Polymers, 2021, 168: 105057.

[14] Dai X Y, Li P H, Sui Y L, *et al*. Thermal and flame-retardant properties of intrinsic flame-retardant epoxy resin containing biphenyl structures and phosphorus[J]. European Polymer Journal, 2021, 147: 110319.

[15] 孙晓红, 周裕圣. 含DOPO的聚膦酸酯的制备及其阻燃PET的性能[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(7): 148-154.
Sun X H, Zhou Y S. Preparation of DOPO-containing polyphosphonates and their flame retardant PET properties[J]. Engineering Plastics Applications, 2023, 51(7): 148-154.

[16] 聂婼, 金石磊, 段家真. DOPO接枝氢氧化镁阻燃超高分子量聚乙烯研究[J]. 塑料科技, 2022, 50(10): 45-48.
Nie Y, Jin S L, Duan J Z. DOPO grafted magnesium hydroxide flame retardant ultra-high molecular weight polyethylene study [J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(10): 45-48.

[17] 凤四海, 陈豪, 智茂永, 等. DOPO阻燃剂对软质聚氨酯泡沫阻燃性能的影响[J]. 塑料科技, 2019, 47(10): 137-141.
Nie S H, Chen H, Zhi M Y, *et al*. Effect of DOPO flame retardant on flame retardancy of flexible polyurethane foam[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(10): 137-141.

[18] 徐亚新,虞鑫海,李四新. 无卤含磷阻燃剂协效氢氧化镁阻燃乙烯-醋酸乙烯酯共聚物的研究[J]. 绝缘材料, 2012, 45(5): 32-34.
Xu Y X, Yu X H, Li S X. Study on the flame retardancy of ethylene vinyl acetate copolymer by non-halogenated phosphorus-containing flame retardant synergistic magnesium hydroxide[J]. Insulating Materials, 2012, 45(5): 32-34.

[19] Liu T T, Wang F, Li G, *et al*. Magnesium hydroxide nanoparticles grafted by DOPO and its flame retardancy in ethylene-vinyl acetate copolymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2020, 138: 49607.

[20] 罗琴琴, 孙玉林. DOPO基膦酸铝盐的制备及其阻燃环氧树脂的性能研究[J]. 高分子通报, 2020(5): 31-38.
Luo Q Q, Sun Y L. Preparation of DOPO-based aluminium phosphonate salts and their properties in flame-retardant epoxy resins [J]. Polymer Bulletin, 2020(5): 31-38.

Preparation of DOPO Derivative Flame Retardant and Their Effects on Properties of Ethylene Vinyl Acetate

Dongke Zhang[1], Qihang Yang[1], Haiyang Zhao[1], Dishun Zhao[3], Wenguang Cui[1,2,4], Yanlei Gao[2]

（*1. School of Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050027, China; 2. School of Chemical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China; 3. School of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050027, China; 4. Shijiazhuang Key Laboratory of Low Carbon Energy Materials, Shijiazhuang 050035, China*）

ABSTRACT: A novel organophosphorus flame retardant, DMATH, was prepared with maleic acid (MA), aluminium hydroxide and 9, 10- dihydro- 9- oxa- 10- phospha- phenanthrene- 10 oxide (DOPO). The structure of DMATH was characterized by infrared spectroscopy and X- ray photoelectron spectroscopy. The flame retardant properties of ethylene vinyl acetate (EVA) were analyzed by vertical burning, limiting oxygen index and cone calorimetry. The thermal stability of EVA and its composites was analyzed using heat loss. The results show that DMATH could inhibit the combustion dripping and smoke generation of ethylene vinyl acetate, and exert flame retardant effects in the gas and condensed phases. When the mass fraction of the flame retardant DMATH is 20%, the oxygen index value of the flame retardancy increases from 19% to 29.1%, and the peak heat release rate (pHRR), peak smoke release rate (SPR), total heat release (THR) and total smoke release (TSR) are reduced by 176 kW/m^2, 0.034 m^2/s, 13.53 MJ/m^2 and 11.6 m^2, respectively.

Keywords: DOPO; ethylene vinyl acetate; organic phosphate; flame retardant