

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.09.007

EP/GF/DiDOPO 复合材料阻燃性能

黄伟江¹, 李乾波², 谢森¹, 王奎¹, 涂春云¹, 付秋平¹, 田琴¹, 严伟¹

(1. 贵阳学院化学与材料工程学院, 贵阳 550005; 2. 贵州建设职业技术学院, 贵阳 551400)

摘要:采用硅烷偶联剂对玻璃纤维 (GF) 进行表面改性, 制得改性 GF。采用苯乙基桥链 9,10-二氧-9-氧杂-10-磷杂菲-10-氧化物 (DiDOPO) 对 EP 进行阻燃, 制备 EP/GF/DiDOPO 复合材料。通过极限氧指数 (LOI) 测试、垂直燃烧测试、锥形量热仪测试以及热失重分析测试对 EP/GF/DiDOPO 复合材料的阻燃性能、热稳定性进行研究, 同时测试了材料的力学性能。结果表明, 硅烷偶联剂对 GF 实现接枝改性; DiDOPO 的添加提高了复合材料的阻燃性能, 添加质量分数 10% 的 DiDOPO 使复合材料的阻燃等级达到 UL94 V-1 级, 热释放速率峰值降低到 893 kW/m², 下降了 38.5%; 随着 DiDOPO 含量的增加, 复合材料的最大热分解速率显著下降, 当添加 DiDOPO 质量分数为 10% 时, 复合材料的最大热分解速率下降到 13.9%/min, 降幅达 43.3%; 同时添加 DiDOPO 也提高了复合材料的力学性能。

关键词: 环氧树脂; 玻璃纤维; 苯乙基桥链 9,10-二氧-9-氧杂-10-磷杂菲-10-氧化物; 阻燃性能; 力学性能
中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)09-0038-06

Flame Retardancy of EP/GF/DiDOPO Composites

Huang Weijiang¹, Li Qianbo², Xie Sen¹, Wang Kui¹, Tu Chunyun¹, Fu Qiuping¹, Tian Qin¹, Yan Wei¹

(1. School of Chemistry and Materials, Guiyang University, Guiyang 550005, China; 2. Guizhou Polytechnic of Construction, Guiyang 551400, China)

Abstract: Glass fiber (GF) was modified by silane coupling agent. Epoxy resin (EP)/GF/DiDOPO composites were prepared by adding GF and phenethyl bridged 9,10-dioxo-9-oxo-10-phosphenanthrene-10-oxide (DiDOPO). The flame retardancy and thermal stability of EP/GF/DiDOPO composites were studied by limiting oxygen index (LOI) test, vertical combustion test, cone calorimeter test and thermogravimetric analysis. Then the mechanical properties of composites were also tested. The results show that the graft modification of GF is realized by silane coupling agent. The addition of DiDOPO improves the flame-retardant properties of composites, adding DiDOPO with mass fraction of 10% makes the flame retardant grade of composite reach UL94 V-1 level, and the peak heat release rate is reduced to 893 kW/m², decreased by 38.5%. With the increase of DiDOPO content, the maximum thermal decomposition rate of composites decreased significantly. When the mass fraction of DiDOPO is 10%, the maximum thermal decomposition rate is reduced to 13.9%/min, decreased by 43.3%. The addition of DiDOPO can also improve the mechanical properties of the composites.

Keywords: epoxy resin; glass fiber; phenethyl bridged 9,10-dioxo-9-oxo-10-phosphenanthrene-10-oxide; flame retardancy; mechanical property

环氧树脂 (EP) 是现阶段热固性树脂中应用最广泛的树脂之一, 它具有优良的物理和化学性能、电绝缘性能和粘接性能, 易于加工成型, 耐腐蚀, 固化收缩率小, 成本低等优点, 可广泛应用于电子元器件、汽车、航空航天等领域^[1-2]。而 EP 作为一类广

泛应用的高分子材料, 其可燃性高, 耐火性差, 燃烧时生烟量高, 且脆性较大, 因而严重地制约其进一步的应用^[3-4]。因此, 提高 EP 的阻燃性能、热稳定性和力学性能已逐渐成为研究的热点。

基于对绿色环保的要求越来越高, EP 的阻燃

基金项目: 贵阳学院科研项目 (GYU-KY-[2020]), 贵州省普通高等学校青年科技人才成长项目 (黔教合 KY 字 [2020]), 贵州省科学技术厅学术新苗及创新探索专项项目

通讯作者: 严伟, 教授, 主要研究方向为无卤阻燃环氧树脂的改性理论与理论分析 E-mail: lrasyw@163.com

收稿日期: 2020-06-12

引用格式: 黄伟江, 李乾波, 谢森, 等. EP/GF/DiDOPO 复合材料阻燃性能 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(9): 38-43.

Huang Weijiang, Li Qianbo, Xie Sen, et al. Flame retardancy of EP/GF/DiDOPO composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(9): 38-43.

改性已从传统的卤系阻燃剂向高效、低毒、低烟或无烟的新型阻燃剂发展。一系列含磷阻燃剂、含氮阻燃剂、磷氮阻燃剂、磷硅阻燃剂等无卤阻燃剂得到迅速发展^[5]。其中,以 9,10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10-氧化物(DOPO)为主体结构的化合物,因其具有较高的热稳定性和阻燃效率,且降解产物环境友好而备受关注。由于 DOPO 结构含有 P—O 键,键能大,热稳定性高;含有 P—C 键,水解稳定性好;含有联苯结构,耐热性好且刚性强;同时与 EP 的相容性好^[6-7]。因此,基于 DOPO 结构的阻燃剂目前已逐步应用在 EP 中,以改善 EP 基体的阻燃性能和热稳定性等。

玻璃纤维(GF)具有拉伸强度高、耐热性能好等特点,是复合材料中使用最为广泛的一种增强材料。GF 增强聚合物基体树脂通常具有质量轻、比强度高、耐腐蚀、电绝缘性好等特点,已广泛应用于交通运输、建材、航空航天器、电子通讯设备等众多领域^[8]。GF 增强 EP 复合材料的力学性能主要取决于 EP 和 GF 自身的性能和结构、GF 与 EP 间的界面粘接强度和 GF 的承载能力等因素。在实际应用过程中,由于 GF 存在表面缺陷,与 EP 的界面相容性较差,导致力学性能和热性能较低^[9],严重限制了 EP/GF 复合材料的广泛应用。因此,对 GF 进行表面处理,克服其表面缺陷,提高与 EP 基体的相容性,对增强 EP/GF 复合材料的力学性能和热性能尤为关键。需要注意的是,现阶段 GF 增强 EP 复合材料仍存在可燃性高、耐火性差、脆性大等缺点,使得复合材料的阻燃研究备受关注^[8-9]。目前针对 GF 增强 EP 复合材料的阻燃研究报道较少,而关于含磷阻燃剂协效 GF 增强 EP 复合材料的阻燃行为与热稳定性的分析更是鲜有报道。

笔者在前期的研究中,通过合成苯乙基桥链 DOPO 衍生物(DiDOPO)^[10],将其用于阻燃 EP 取得较好的效果^[11]。为进一步提高材料的阻燃性能和力学性能,笔者将通过表面改性的 GF 作为增强剂,与 DiDOPO 共同作用对 EP 进行阻燃改性,制备了 EP/GF/DiDOPO 复合材料,对复合材料的阻燃性能、热稳定性以及力学性能进行分析和探讨。

1 实验部分

1.1 主要原料

双酚 A 型 EP:E-51,莱州市百辰绝缘材料有限公司;

2-乙基-4-甲基咪唑(EMI-2,4):纯度≥99%,

天津威一化工科技有限公司;

硅烷偶联剂:KH-570,分析纯,南京辰工有机硅材料有限公司;

无碱 GF:EC9-34,四川省玻纤集团有限公司;

甲酸、无水乙醇:分析纯,重庆川东化工集团有限公司;

DiDOPO:化学结构式如图 1 所示,自制。

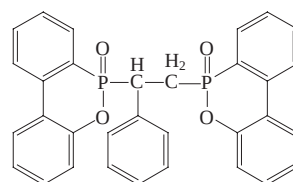


图 1 DiDOPO 的化学结构式

1.2 主要设备及仪器

傅立叶变换红外光谱(FITR)仪:Nicolet IS50 型,美国 Themofisher 公司;

热失重(TG)分析仪:219F3 型,德国 Netzsch 仪器公司;

极限氧指数(LOI)测试仪:JF-3 型,南京江宁分析仪器有限公司;

垂直燃烧测试仪:SH5300 型,广州信禾电子设备有限公司;

锥形量热仪:FTT-0007 型,英国 FTT 公司;

微机控制电子万能材料试验机:WDW-10C 型,上海华龙测试仪器有限公司;

液晶式摆锤冲击试验机:ZBC-4B 型,深圳市新三思计量技术有限公司。

1.3 试样制备

(1) GF 的表面处理。

分别称取 450 mL 无水乙醇、50 mL 去离子水和 10 mL 硅烷偶联剂倒入三口烧瓶中,通过加入甲酸调节混合溶液 pH 值在 4~6 之间。在常温下用磁力搅拌 3 h,得到硅烷偶联剂的水解液,备用。将 GF 放入水解溶液中浸泡 0.5 h,取出,然后将改性好的 GF 放到 120℃的烘箱中干燥 1 h,除去未反应的溶液,得到表面改性处理 GF。

(2) EP/GF/DiDOPO 复合材料的制备。

EP/GF/DiDOPO 复合材料配方列于表 1。根据配方,称取一定量的 DiDOPO 阻燃剂加入 EP 中,在 110℃油浴锅中加热并进行电动搅拌,时间控制为 1 h。然后放入水浴锅中搅拌使体系温度降到 50℃,加入已表面处理 GF,在 50℃电动搅拌 2 h,随后加入固化剂 EMI-2,4,搅拌 30 min。然后,放入真空干燥箱中抽真空,15 min 后,浇注于模具中,移

入烘箱中于 80℃ 预固化 1 h, 升温至 120℃, 再固化 2 h。固化完成后, 待温度低至 70℃ 后, 取出样品。重复上述步骤, 制备不同 DiDOPO 添加量的 EP/GF/DiDOPO 复合材料。

表 1 EP/GF/DiDOPO 复合材料配方 %

编号	EP	EMI-2,4	GF	DiDOPO
EP-0	80	5	15	0
EP-5	75	5	15	5
EP-10	70	5	15	10
EP-15	65	5	15	15
EP-20	60	5	15	20

1.4 性能测试及表征

FTIR 分析: 采用 KBr 压片法制样, 室温检测, 测试范围为 500~4000 cm⁻¹。

TG 分析: 样品质量为 5~10 mg, 在氮气气氛下, 以 10℃/min 的升温速率由室温升温至 700℃。

LOI 按 ASTM D2863-2013 测试, 样品尺寸为 120 mm × 6.5 mm × 3.2 mm。

垂直燃烧按 ASTM D3801-2010 测试, 样品尺寸为 120 mm × 13 mm × 3.2 mm。

锥形量热按 ISO 5660-1-2015 测试, 热辐射强度为 50 kW/m², 样品尺寸为 100 mm × 100 mm × 6 mm。

拉伸性能按 GB/T 1040.1-2006 测试, 拉伸速率为 50 mm/min, 每个样品至少测试 5 次, 取平均值。

弯曲性能按 GB/T 9341-2008 测试, 弯曲速率为 2 mm/min。每个样品至少测试 5 次, 取其平均值。

缺口冲击强度按 GB/T 1843-2008 测试, V 型缺口, 缺口尺寸为 (2.0 ± 0.2) mm, 每个样品至少测试 5 次, 取平均值。

2 结果与讨论

2.1 GF 表面处理前后的 FTIR 分析

硅烷偶联剂、GF 改性前后的 FTIR 谱图如图 2 所示。

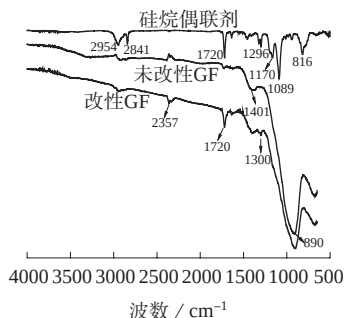


图 2 硅烷偶联剂、GF 改性前后的 FTIR 谱图

由图 2 可知, 硅烷偶联剂在 1720 cm⁻¹ 处出现 C=O 键特征吸收峰, 2954 cm⁻¹ 和 2841 cm⁻¹ 处为 C—H 键伸缩振动吸收峰, 1089 cm⁻¹ 和 816 cm⁻¹ 处为 Si—O 键特征吸收峰, 1296 cm⁻¹ 为 C—O 键吸收峰。改性 GF 与未改性 GF 的 FTIR 谱图相比, 除了在 890 cm⁻¹ 和 1401 cm⁻¹ 处出现 Si—O—CH₃ 的特征峰外, 在 1720 cm⁻¹ 处还出现 C=O 的特征峰^[9,12], 这是由于硅烷偶联剂接枝到 GF 表面形成的, 表明硅烷偶联剂已成功改性 GF。

2.2 EP/GF/DiDOPO 复合材料的阻燃性能

EP/GF/DiDOPO 复合材料的阻燃性能测试结果列于表 2。

表 2 EP/GF/DiDOPO 复合材料的阻燃性能测试结果

编号	(t ₁ +t ₂)/s	是否熔滴	UL94 阻燃等级	LOI/%
EP-0	>60	是	无	21.5
EP-5	13.7+8.6	是	V-2	22.7
EP-10	11.5+6.4	否	V-1	23.5
EP-15	9.2+4.5	否	V-1	23.3
EP-20	8.7+3.6	否	V-1	23.8

注: t₁ 和 t₂ 分别表示第一次和第二次施加火焰后的余焰燃烧时间。

由表 2 可以看出, 纯 EP 有明显的熔滴现象, 没有达到 UL94 阻燃等级。在改性 GF 添加量一定的情况下, 随着 DiDOPO 含量的增加, 有助于提高 EP/GF/DiDOPO 复合材料的阻燃等级。当加入 DiDOPO 的质量分数为 5% 时, 复合材料的阻燃等级达到 UL94 V-2 级, LOI 增加到 22.7%, 但在测试过程仍伴有熔滴出现。随着 DiDOPO 含量的继续增加, 复合材料的阻燃效果进一步提升。当加入 DiDOPO 的质量分数为 10% 时, 复合材料的阻燃等级达到 UL94 V-1 级, 没有熔滴现象出现, LOI 也提高至 23.5%。除对阻燃等级要求较严格的领域外, 该复合材料可应用在体育用品、电子配件、机械结构件等行业^[7,11,13]。当加入的 DiDOPO 含量进一步增加时, 复合材料的阻燃等级均保持 UL94 V-1 级, LOI 也基本保持稳定, 且测试的燃烧时间逐渐降低。表明加入 DiDOPO 提高了复合材料的阻燃等级, 在一定程度上改善了阻燃性能。

不同 DiDOPO 含量的 EP/GF/DiDOPO 复合材料的热释放速率曲线如图 3 所示。

由 3 图可知, 纯 EP 的热释放速率峰值最高, 达到 1451 kW/m²。随着 DiDOPO 加入量的增加, EP/GF/DiDOPO 复合材料的热释放速率峰值逐渐降低, 达到峰值的时间也逐渐延后。当 DiDOPO 质量分数分别为 5%, 10%, 15% 时, 对应的热释放速率峰值分别为 935, 893, 776 kW/m², 与纯 EP 的热释

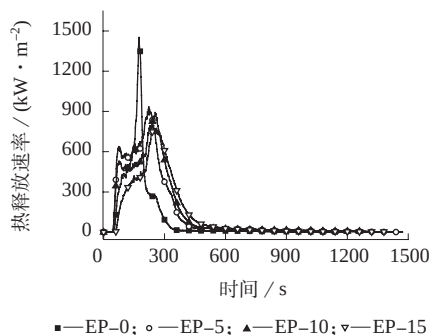


图3 不同DiDOPO含量的EP/GF/DiDOPO复合材料的热释放速率曲线

放速率峰值相比,分别下降35.6%,38.5%,46.5%。同时复合材料的热释放速率曲线均显得更加平缓,燃烧时间也逐渐增加,表明,EP/GF/DiDOPO复合材料的火焰传播速率有较大减缓,提高了其阻燃性能,降低了火灾危险性。

2.3 EP/GF/DiDOPO复合材料的TG分析

不同DiDOPO含量的EP/GF/DiDOPO复合材料的TG和微商热重(DTG)曲线如图4所示,其对应的测试结果列于表3。

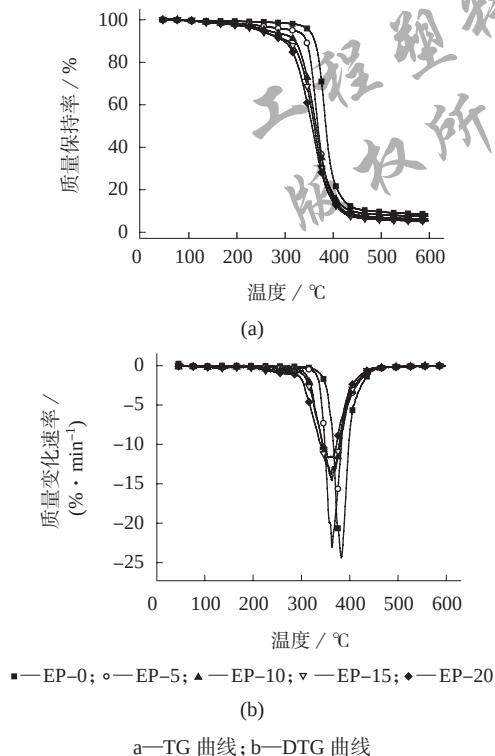


图4 不同DiDOPO含量的EP/GF/DiDOPO复合材料的TG和DTG曲线

从图4和表3可以看出,纯EP的初始热分解温度($T_{5\%}$)和最大热失重速率温度($T_{\max}$)分别为365.8℃和382.9℃。随着DiDOPO加入量的增加,EP/GF/DiDOPO复合材料的 $T_{5\%}$ 和 $T_{\max}$ 总体均呈

表3 EP/GF/DiDOPO复合材料的TG和DTG数据

试样编号	$T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	最大热分解速率/ $(\% \cdot \text{min}^{-1})$
EP-0	365.8	382.9	24.4
EP-5	347.6	363.4	22.7
EP-10	335.8	361.8	13.9
EP-15	331.9	362.7	14.6
EP-20	327.7	361.3	11.7

注: $T_{5\%}$ 表示初始热分解温度(热失重5%), $T_{\max}$ 表示最大热失重速率温度。

现降低趋势。当添加DiDOPO质量分数为10%时,复合材料的 $T_{5\%}$ 和 $T_{\max}$ 分别为335.8℃和361.8℃,分别降低30.0℃和21.1℃,该现象的出现主要是由于复合材料中的DiDOPO结构阻燃剂中含有 $\text{O}=\text{P}-\text{O}$ 化学键先于 $\text{C}-\text{C}$ 分解导致的^[14-15]。需要注意的是,随着DiDOPO含量的增加,EP/GF/DiDOPO复合材料的最大热分解速率显著下降。当添加DiDOPO质量分数为10%时,复合材料的最大分解速率由纯EP的24.4%/min下降到13.9%/min,降低幅度为43.3%。该结果表明,DiDOPO添加到EP中能大幅延缓基体的分解速率,从而证实DiDOPO在复合材料中起到阻燃作用。

2.4 EP/GF/DiDOPO复合材料的力学性能分析

不同DiDOPO含量的EP/GF/DiDOPO复合力学性能如图5所示。

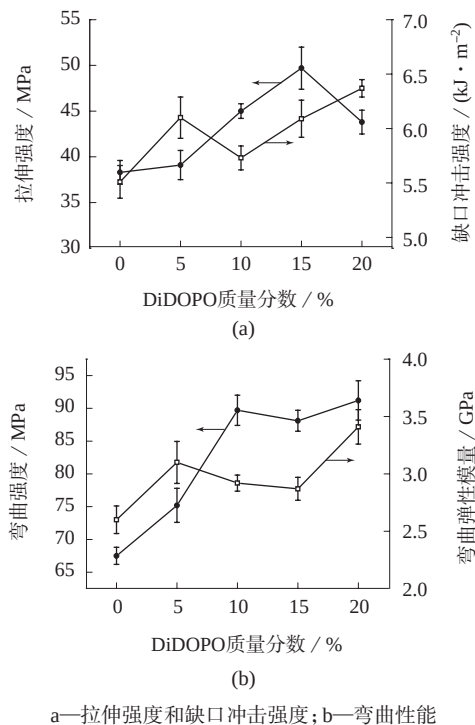


图5 不同DiDOPO含量的EP/GF/DiDOPO复合材料的力学性能

由图5a可以看出,随着添加DiDOPO含量的增加,EP/GF/DiDOPO复合材料的拉伸强度呈现出增大趋势,当添加DiDOPO质量分数为15%

时,复合材料的拉伸强度达到最大值,由纯 EP 的 38.3 MPa 提高到 49.7 MPa,提升了 29.8%。随着添加 DiDOPO 含量的增加,复合材料的缺口冲击强度总体呈现出增大趋势,当添加 DiDOPO 质量分数为 15% 时,复合材料的缺口冲击强度由纯 EP 的 5.5 kJ/m² 增加到 6.1 kJ/m²,提高了 10.9%;当添加 DiDOPO 质量分数为 20% 时,复合材料的缺口冲击强度达到最大值,为 6.3 kJ/m²,提高了 14.5%。该结果表明,DiDOPO 添加到 EP 基体中能起到一定的增强、增韧作用。

由图 5b 可以看出,随着添加 DiDOPO 含量的增加,复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量总体呈现增大趋势,且均高于纯 EP 的弯曲性能。当添加 DiDOPO 质量分数为 15% 时,复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量分别为 87.8 MPa 和 2.8 GPa,相比于纯 EP 的 67.5 MPa 和 2.6 GPa,分别提高 30.1% 和 7.7%。当添加 DiDOPO 质量分数为 20% 时,复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量均达到最大值,分别为 91.2 MPa 和 3.4 GPa,分别提高了 35.1% 和 30.8%。通常情况下,复合材料的宏观力学性能依赖于阻燃剂、无机填料等添加剂与基体树脂的粘接和相容性,以及其在基体中的分散分布状态,添加剂和基体的界面粘接是影响复合材料力学性能的重要因素^[16-17]。通过对 GF 进行表面处理,能显著改善与 EP 的粘接性能和相容性,同时 DiDOPO 在复合材料中起到较好的阻燃效果,因而 EP/GF/DiDOPO 复合材料在表现出较好阻燃性能的同时,还能显著提高复合材料的力学性能。

3 结论

(1) 用硅烷偶联剂对 GF 进行有机改性, FTIR 谱图在 890, 1401, 1720 cm⁻¹ 位置处出现 Si—O—CH₃, C=O 特征峰,表明硅烷偶联剂已成功改性 GF。

(2) DiDOPO 的加入提高了 EP/GF/DiDOPO 复合材料的阻燃性能,添加质量分数 10% 的 DiDOPO,复合材料的 LOI 为 23.5%,阻燃等级测试达到 UL94 V-1 级,热释放速率峰值为 893 kW/m²,下降 38.5%,且最大热分解速率降低了 43.3%,显著延缓了基体的分解。

(3) 加入 DiDOPO 可提高 EP/GF/DiDOPO 复合材料的力学性能。当添加 DiDOPO 质量分数为 15% 时,复合材料的拉伸强度、缺口冲击强度、弯曲强度和弯曲弹性模量较 EP 基体分别提高 29.8%,

10.9%, 30.1% 和 7.7%。

参考文献

- [1] Deng Peng, Liu Yuansen, Liu Yuan, et al. Preparation of phosphorus-containing phenolic resin and its application in epoxy resin as a curing agent and flame retardant[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2018, 29(4):1 294–1 302.
- [2] 王鹏,蔡再生. DOPO 基低聚物与介孔二氧化硅协同阻燃环氧树脂[J]. *工程塑料应用*, 2016, 44(11):100–104.
Wang Peng, Cai Zaisheng. Synergistic effect of DOPO based oligomer and mesoporous silica on flame retardancy of epoxy resin[J]. *Engineering Plastics Application*, 2016, 44(11):100–104.
- [3] Wang Xin, Hu Yuan, Song Lei. Flame retardancy and thermal degradation mechanism of epoxy resin composites based on a DOPO substituted organophosphorus oligomer[J]. *Polymer*, 2010, 51(11):2 435–2 445.
- [4] Wang Peng, Cai Zaisheng. Highly efficient flame-retardant epoxy resin with a novel DOPO-based triazole compound: Thermal stability, flame retardancy and mechanism[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, 137:138–150.
- [5] 王志国,梁兵,刘徐越. 磷氮阻燃剂 PiP-DOPO 的制备及对环氧树脂的阻燃[J]. *高分子材料科学与工程*, 2018, 34(8):149–153.
Wang Zhiguo, Liang Bing, Liu Xuyue. Preparation of phosphorus-nitrogen flame retardant PiP-DOPO and Its flame retarded epoxy resin [J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2018, 34(8): 149–153.
- [6] Qian Lijun, Qiu Yong, Wang Jingyu, et al. High-performance flame retardancy by char-cage hindering and free radical quenching effects in epoxy thermosets[J]. *Polymer*, 2015, 68:262–269.
- [7] 李娟,郭杰,田野. DOPO 及其衍生物在环氧树脂中的应用研究进展[J]. *热固性树脂*, 2016, 31(4):54–61.
Li Juan, Guo Jie, Tian Ye. Research progress of DOPO and its derivatives in epoxy resins[J]. *Thermosetting Resin*, 2016, 31(4):54–61.
- [8] Gao Xinting, Gillespie J W, Jensen R E, et al. Effect of fiber surface texture on the mechanical properties of glass fiber reinforced epoxy composite[J]. *Composites Part A: Applied Science & Manufacturing*, 2015, 74:10–17.
- [9] 赵一兰,胡程耀,魏春,等. 聚酰亚胺表面处理玻璃纤维/环氧树脂复合材料力学性能[J]. *复合材料学报*, 2018, 35(7):1 850–1 856.
Zhao Yilan, Hu Chengyao, Wei Chun, et al. Mechanical properties of polyimide surface treated glass fiber/epoxy resin composites [J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2018, 35(7):1 850–1 856.
- [10] Huang Weijiang, He Wentao, Long Lijuan, et al. Thermal degradation kinetics of flame-retardant glass-fiber-reinforced polyamide 6T composites based on bridged DOPO derivatives[J]. *Polymer Bulletin*, 2019, 76:2 061–2 080.
- [11] 严伟,李乾波,王番,等. 纳米 OMMT 与 DOPO 衍生物协同阻燃环氧树脂[J]. *工程塑料应用*, 2018, 46(7):107–111.
Yan Wei, Li Qianbo, Wang Pan, et al. Synergistic effect of DOPO

- derivative combined with OMMT on flame retardancy of epoxy resin[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7):107-111.
- [12] 罗霞,俞科静,王梦蕾,等. 硅烷偶联剂对玻璃纤维/聚氨酯复合材料性能的影响研究[J]. 化工新型材料, 2017(8):87-89.
- Luo Xia, Yu Kejing, Wang Menglei, et al. The influence of silane coupling agent on property of glass fiber/polyurethane composite[J]. New Chemical Materials, 2017(8):87-89.
- [13] 姚忠樱,邱勇,杨喜生,等. 基于磷杂菲基团阻燃环氧树脂的研究进展[J]. 中国塑料, 2020, 34(5):77-86.
- Yao Zhongying, Qiu Yong, Yang Xisheng, et al. Research progress in DOPO-based flame-retardant epoxy resins[J]. China Plastics, 2020, 34(5):77-86.
- [14] Schartel B, Perret B, Dittrich B, et al. Flame retardancy of polymers: The role of specific reactions in the condensed phase[J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2016, 301(1):9-35.
- [15] Huang Weijiang, He Wentao, Yan Wei, et al. Highly efficient flame-retardant glass-fiber-reinforced polyamide 6T system based on a novel DOPO-based derivative: Flame retardancy, thermal decomposition, and pyrolysis behavior[J]. Polymer Degradation and Stability, 2018, 148:26-41.
- [16] 黄伟江,何文涛,龙丽娟,等. 新型含磷高温尼龙的阻燃和力学性能[J]. 材料工程, 2018, 46(7):68-75.
- Huang Weijiang, He Wentao, Long Lijuan, et al. Flame retardant and mechanical properties of a novel P-containing high temperature nylon composites[J]. Journal of Materials Engineering, 2018, 46(7):68-75.
- [17] Horrocks A R, Smart G, Hoerold S, et al. The combined effects of zinc stannate and aluminium diethyl phosphinate on the burning behaviour of glass fibre-reinforced, high temperature polyamide (HTPA)[J]. Polymer Degradation and Stability, 2014, 104:95-103.

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。