

电线电缆

WIRE & CABLE

主办单位:上海电缆研究所有限公司
1958年创刊, 线缆行业学术交流平台

- 中国学术期刊综合评价数据库来源期刊
- 中国期刊全文数据库全文收录期刊
- 中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊
- CACJ中国应用型入库期刊



ISSN 1672-6901
CN 31-1392/TM



网址: jwc.cwc.net.cn
邮箱: wirecable@secri.com
电话: 021-5117 9609

低热释放低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料的研究

曾斌 黄敏建

Research on Low Heat Release Low-Smoke Halogen-Free Flame Retardant Polyolefin Composite Materials

ZENG Bin, HUANG Minjian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.20249010>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

B₁级和B_{2ca}级无卤低烟阻燃电缆热释放试验探讨

Discussion on Heat Release Test of B₁ and B_{2ca} Halogen-Free Low Smoke Flame Retardant Retardance Cables

电线电缆. 2022, 65(3): 50-54 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202203012>

氢氧化镁在低烟无卤阻燃聚烯烃绝缘料和护套料中的应用

Application of Magnesium Hydroxide in Low-Smoke Halogen-Free Flame-Retardant Polyolefin Insulation and Sheathing Compounds

电线电缆. 2024, 67(3): 7-10 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202403002>

低烟无卤阻燃热塑性聚氨酯弹性体护套料的改性

Modification of Low-Smoke Halogen-Free Flame Retardant Thermoplastic Polyurethane Elastomer Sheath Material

电线电缆. 2024, 67(5): 58-62 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202405012>

150℃无卤低烟阻燃无铅可硫化型乙丙橡胶配方

150℃Halogen-Free Low Smoke Flame Retardant Lead-Free Vulcanizable EPDM Formula

电线电缆. 2020, 63(3): 29-31,34 <https://doi.org/10.16105/j.cnki.dxdl.2020.03.008>

EVA对聚乙烯基低烟无卤阻燃电缆护套材料性能的影响

Effect of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer on Properties of Low Smoke and Halogen Free Flame-Retardant Cable Sheathing Materials Based on Polyethylene

电线电缆. 2023, 66(4): 14-21 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202304004>

B1级阻燃电缆与其所用护层材料的热释放相关性分析

Analysis of Heat Release Correlation Between B1 Class Flame Retardant Cable and Its Sheath Material

电线电缆. 2020, 63(6): 12-16,20 <https://doi.org/10.16105/j.cnki.dxdl.2020.06.004>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



曾斌, 黄敏建. 低热释放低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料的研究[J]. 电线电缆, 2025, 68(3): 50-55.

ZENG B, HUANG M J. Research on low heat release low-smoke halogen-free flame retardant polyolefin composite materials[J]. Wire & Cable, 2025, 68(3): 50-55.

DOI: [10.16105/j.dxdl.1672-6901.20249010](https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.20249010)

低热释放低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料的研究

曾斌^{1,2}, 黄敏建^{1,2}

(1. 远东新材料有限公司, 宜兴 214200; 2. 远东电缆有限公司, 宜兴 214200)

摘要:以聚烯烃树脂为基体, 氢氧化镁、氢氧化铝为阻燃剂, 采用密炼造粒工艺制备了低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料, 并研究了树脂、阻燃剂、硅酸盐类阻燃协效剂, 以及磷氮阻燃剂等对低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料热释放速率峰值和热释放总量的影响。结果表明, 乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(ethylene-vinyl acetate copolymer, EVA)、聚烯烃弹性体(polyolefin elastomer, POE)、线性低密度聚乙烯(linear low density polyethylene, LLDPE)等3种树脂对热释放速率峰值和热释放总量的影响从大到小依次为 POE、LLDPE、EVA, 低热释放材料中应尽量减少 POE 的使用; 使用氢氧化镁与氢氧化铝复配比单独使用氢氧化铝或氢氧化镁的热释放速率峰值(peak heat release rate, PHRR)和热释放总量(total heat release, THR)低, 其中当氢氧化镁与氢氧化铝的复配比例为 1:5 时, 材料的热释放最小; 有些硅酸盐类阻燃协效剂在燃烧后虽然炭层完整度好, 但燃烧后的热释放较大, 这可能是由于使用的有机改性剂类型不同或有机改性剂含量高, 使材料在燃烧初期更容易被点燃; 磷氮类阻燃剂可与氢氧化铝搭配使用, 不仅能降低材料的热释放, 还能进一步增强炭层强度, 而磷系阻燃剂与氢氧化镁搭配使用反而会导致材料的阻燃性能下降。

关键词: 低烟无卤; 低热释放总量; 低热释放速率峰值; 电缆材料; 锥形量热仪; 磷氮阻燃剂

中图分类号: TM247

文献标志码: A

文章编号: 1672-6901(2025)03-0050-06

0 引言

电线电缆行业是国民经济的重要基础性产业, 随着工业化和城市化进程, 电线电缆的需求量不断增加, 性能要求越来越严格。对电缆料的性能要求由低烟、无卤、阻燃、环保向低热释放、无燃烧滴落物、低烟气毒性等更高要求方向发展^[1-3]。GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》中规定, 建筑高度超过 100 m 的公共建筑, 应选择燃烧性能不低于 B₁ 级、烟气毒性为 t₀、无燃烧滴落物 d₀ 的电缆。

随着 B₁ 级电缆需求量不断增加, 国内企业开始研发 B₁ 级电缆及与之配套的低烟无卤电缆料。经过几年的高质量发展, 行业内已初步形成相关体系和共识, 包括与不同规格的 B₁ 级电缆燃烧试验对应的电缆料, 以及燃烧设备一致性研究等方面。目前, 国内大多数研究主要集中在阻燃剂、阻燃性能、加工工艺、电缆结构等方向^[4-7], 聚焦材料热释放性能的文献相对较少, 亟需开展相关研究。

本文以聚烯烃树脂为基体, 氢氧化镁、氢氧化铝为阻燃剂, 采用密炼造粒工艺制备低烟无卤

阻燃聚烯烃复合材料, 通过锥形量热仪测量低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料试验样品的热释放速率峰值(peak heat release rate, PHRR)和热释放总量(total heat release, THR), 并研究树脂、阻燃剂、硅酸盐类阻燃协效剂及磷氮阻燃剂对材料热释放速率峰值和热释放总量的影响, 为低热释放低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料的开发提供参考。

1 试验部分

1.1 试验原材料

乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(ethylene-vinyl acetate copolymer, EVA), 熔融指数为 3~8 g·(10 min)⁻¹, 醋酸乙烯的质量分数为 18%~33%, 埃克森美孚化工; 线性低密度聚乙烯(linear low density polyethylene, LLDPE), 熔融指数为 2~10 g·(10 min)⁻¹, 埃克森美孚化工; 聚烯烃弹性体(polyolefin elastomer, POE), 熔融指数为 1~5 g·(10 min)⁻¹, 贝欧亿新材料; 氢氧化铝, 平均粒径为 2~10 μm, 美国雅宝化工; 氢氧化镁, 平均粒径为 1~10 μm, 精华新材。

1.2 主要设备及仪器

MIX-200C 型转矩流变仪, 上海科创橡塑机

械设备有限公司; XK-160 型双辊开炼机, 无锡晨继橡塑机械科技有限公司; XLB-400×400×2E 型平板硫化仪, 青岛锦九洲橡胶有限公司; PX07007 型锥形量热仪, 苏州菲尼克斯仪器有限公司; YS-5-15 型试验型密炼机, 无锡阳明橡胶有限公司。

1.3 试样制备

按照配方比例称取原材料, 并将其投入密炼机中进行密炼。密炼机温度设为 130 ℃, 转子转速为 50 r·min⁻¹, 加压密炼 15 min 后取出。双辊开炼机温度设为 120 ℃, 将密炼后的试样放入双辊开炼机中开炼 5~10 min。平板硫化仪温度设为 180 ℃, 将开炼后的试样放置在不同厚度的模具中, 加压前先预热 10 min, 再加压至 15 MPa, 5 min 后取出, 冷却至室温, 试样表面应平整光洁无凹痕且厚度均匀。

1.4 性能测试

按照 GB/T 16172—2007《建筑材料热释放速率试验方法》, 使用锥形量热仪测量样品燃烧时的热释放速率峰值和热释放总量。试样尺寸为 (100±1.0) mm×(100±1.0) mm×(5±0.2) mm, 辐照热通量为 25 kW·m⁻²。

2 组分对材料热释放的影响

2.1 树脂体系

在低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料中, 不同树脂在燃烧时的热释放速率峰值和总量各不相同。本文选择 EVA、LLDPE、POE 等 3 种常用的聚烯烃类树脂材料, 通过调整配比, 分析树脂对复合聚烯烃材料热释放速率峰值和热释放总量的影响。不同树脂配比的聚烯烃复合材料配方见表 1^[8]。其中, 选用氢氧化镁和氢氧化铝作为阻燃剂, 其复配比例为 1:5。

表 1 不同树脂配比的聚烯烃复合材料配方
Tab.1 Formulations of polyolefin composite materials with different resin ratios 份

组分	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
EVA	40	30	20	10	0	30	20	10	0
LLDPE	0	10	20	30	40	0	0	0	0
POE	0	0	0	0	0	10	20	30	40
氢氧化铝	80	80	80	80	80	80	80	80	80
氢氧化镁	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小料	3	3	3	3	3	3	3	3	3

LLDPE 和 POE 的不同占比对热释放速率峰值和热释放总量的影响见图 1。

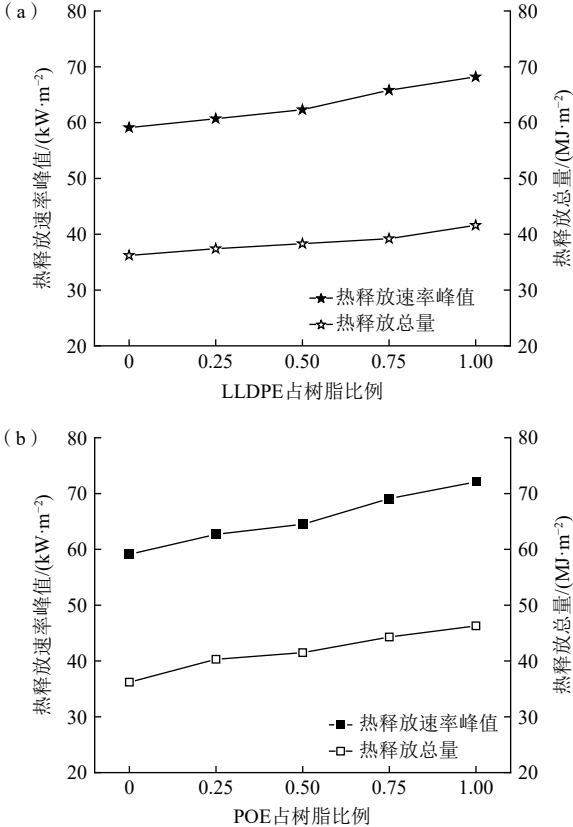


图 1 LLDPE 和 POE 的不同占比对热释放的影响:

(a) LLDPE; (b) POE

Fig.1 Effects of different proportions of LLDPE and POE on heat release: (a)LLDPE; (b)POE

由图 1 可知, 随着 LLDPE 或 POE 占比的增加, 聚烯烃复合材料的热释放速率峰值和热释放总量均比单一 EVA(LLDPE 和 POE 的占比为 0) 高。其中, POE 产生的增幅高于 LLDPE, 这与树脂的特性有关。EVA 的极限氧指数在 19%~21% 范围, LLDPE 的极限氧指数与 POE 相同, 约为 17.4%^[9]。但是, POE 的密度比 LLDPE 低, 由 POE 组成的聚烯烃复合材料密度也相对较低, 再加上 POE 分子链中的短支链结构较多, 会影响材料的阻燃性能, 导致其热释放速率峰值和热释放总量增加。因此, 在要求低热释放的场景中, 应尽量减少 LLDPE 和 POE 的使用。

2.2 金属氢氧化物阻燃剂

在低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料中, 通常采用氢氧化铝和氢氧化镁或氢氧化铝与氢氧化镁复配作为阻燃剂。不同阻燃剂配比的聚烯烃复合材料配方见表 2。其中, 根据前文试验结果, 本文采用的树脂体系中, EVA、LLDPE、POE 的比例为 30:10:0。阻燃剂配比对热释放速率峰值和热释放总量的影响见图 2。

表 2 不同阻燃剂配比的聚烯烃复合材料配方
Tab.2 Formulations of polyolefin composite materials
with different flame retardant ratios 份

组分	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
树脂	40	40	40	40	40	40	40	40	40
氢氧化铝	80	73	67	53	40	57	13	7	0
氢氧化镁	0	7	13	27	40	23	67	73	80
小料	3	3	3	3	3	3	3	3	3

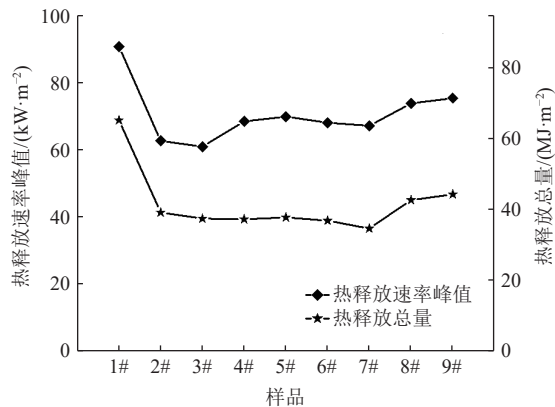


图 2 不同阻燃剂对比对热释放的影响
Fig.2 Effects of different flame retardant ratios
on heat release

由图 2 可知,在纯氢氧化铝配方中,材料的热释放速率峰值和热释放总量均为最大;与氢氧化镁复配后,材料的热释放速率峰值和热释放总量均下降。但是,仅采用氢氧化镁或氢氧化镁作为阻燃剂且含量较高时,材料的热释放速率峰值和热释放总量又开始增大。当氢氧化镁与氢氧化铝的复配比例为 1 : 5 时,材料的热释放速率峰值和热释放总量最小。这与氢氧化铝与氢氧化镁协同阻燃的结论^[10]是一致的。

2.3 硅酸盐类阻燃协效剂

在低热释放场景下,仅添加金属氢氧化物阻燃剂很难满足要求,往往还需要再加入阻燃协效剂,进一步提升材料的阻燃能力。本文在前文试验的基础上,还研究了常见的硅酸盐类阻燃协效剂对低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料的热释放速率峰值和热释放总量的影响。不同阻燃协效剂配比的聚烯烃复合材料配方见表 3。不同阻燃协效剂对热释放的影响见图 3。不同阻燃协效剂对应样品燃烧后的炭层形貌见图 4。

由图 3 和图 4 可知,协效剂 A 对应的热释放最低,其次是协效剂 H。协效剂 A 和协效剂 H 对应样品燃烧后的剩余炭层形貌表面平整、裂纹较少,形成的炭层能够有效阻止火焰及热量向内

表 3 不同阻燃协效剂配比的聚烯烃复合材料配方
Tab.3 Formulations of polyolefin composite materials
with different flame retardant synergists ratios 份

组分	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
树脂	40	40	40	40	40	40	40	40
氢氧化铝/镁	80	80	80	80	80	80	80	80
小料	3	3	3	3	3	3	3	3
协效剂 A	4	0	0	0	0	0	0	0
协效剂 B	0	4	0	0	0	0	0	0
协效剂 C	0	0	4	0	0	0	0	0
协效剂 D	0	0	0	4	0	0	0	0
协效剂 E	0	0	0	0	4	0	0	0
协效剂 F	0	0	0	0	0	4	0	0
协效剂 G	0	0	0	0	0	0	4	0
协效剂 H	0	0	0	0	0	0	0	4

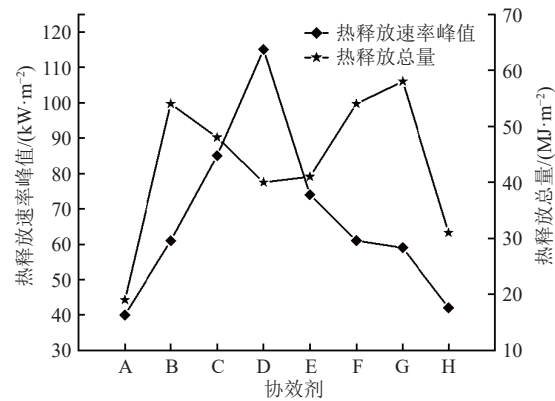


图 3 不同阻燃协效剂对热释放的影响
Fig.3 Effects of different flame retardant synergists
on heat release

传递,使其热释放速率峰值和热释放总量均较低。协效剂 B、协效剂 F、协效剂 G 对应样品的热释放速率峰值均处于中间水平,但其热释放总量处在较高位置,从样品燃烧后剩余炭层形貌分析,燃烧中后期受热膨胀过程中的炭层破裂,在高温辐照条件下,内部起火开始燃烧,使热释放总量增大。协效剂 C、协效剂 D、协效剂 E 对应样品的热释放速率峰值均较高,而热释放总量相对较低;同时,样品燃烧后剩余炭层形貌表面平整或轻微隆起、存在裂纹但未破裂。这主要是因为协效剂 C、协效剂 D、协效剂 E 对应样品在燃烧时热释放速率峰值的最高点发生在燃烧初期,此类协效剂的显著特点是样品容易被点燃,且点燃后一段时间内的燃烧火焰较大,表面燃烧完全后受到炭层的阻隔,火焰熄灭,导致热释放

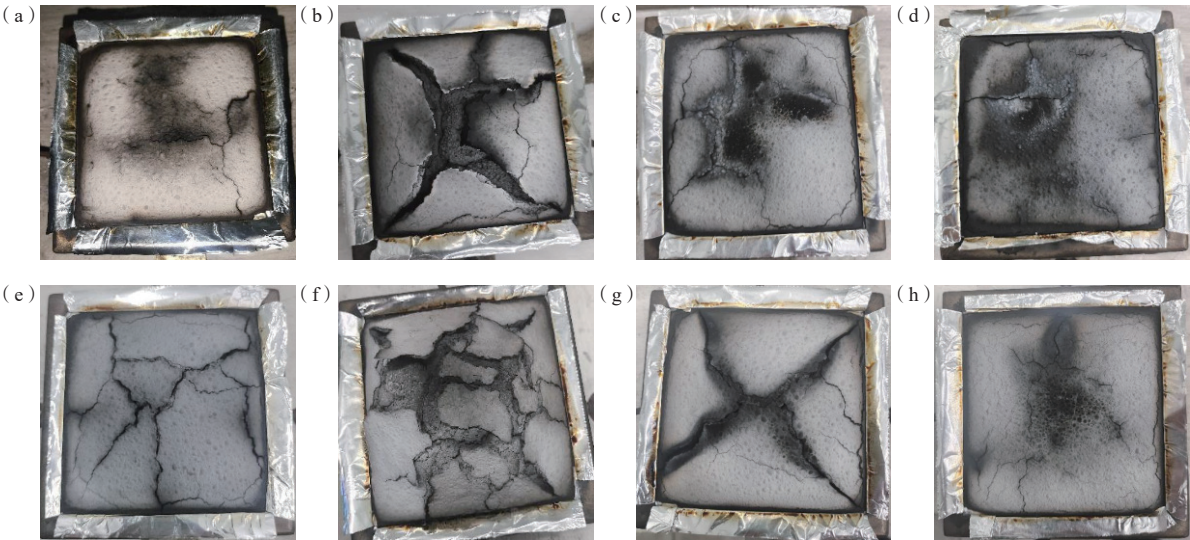


图4 不同阻燃协效剂对应样品燃烧后的炭层形貌:(a) A; (b) B; (c) C; (d) D; (e) E; (f) F; (g) G; (h) H
Fig.4 Carbon layer morphology after combustion of corresponding samples with different flame retardant synergists:
(a) A; (b) B; (c) C; (d) D; (e) E; (f) F; (g) G; (h) H

速率峰值较大而热释放总量相对较低。上述现象在协效剂D对应样品中最为明显,这可能与阻燃协效剂所使用的有机改性剂类型和含量有关,有机改性剂的含量越高,材料越容易被点燃,有机改性剂类型不同,燃烧特点也会有所差异。

综上所述,使用不同阻燃协效剂的样品燃烧后所剩余炭层的完整度存在差异。此外,炭层完整度越好不代表热释放速率峰值和热释放总量越低,热释放速率峰值和总量较低时,炭层也不一定完整。在成缆后,线缆内部存在易燃的绝缘层,这不仅要求材料在燃烧时具备低热释放,更要求外护材料在燃烧时能够形成更完整的炭层,以阻隔火焰的进一步蔓延。因此,选择合适的阻燃协效剂不仅可以获得低热释放速率峰值和低热释放总量,同时也能形成更完整的炭层形貌。

2.4 磷氮阻燃剂

低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料使用的阻燃剂主要是氢氧化镁和氢氧化铝,但这类阻燃剂具有阻燃效率低^[11]、阻燃速率慢、自熄性差等缺点。相比之下,磷系阻燃剂在燃烧过程中不仅能够形成玻璃状的炭层,还能分解PO·游离基,在气相状态下捕捉燃烧过程中分解的活性游离基H·和·OH,抑制燃烧反应的发生^[12],实现良好的自熄能力。氮系阻燃剂主要通过分解不可燃气体稀释空气中的氧气浓度,降低表面温度,进而减缓燃烧速率。因此,氮系阻燃剂主要与磷系阻燃剂搭配实现协同阻燃^[13]。本文选择常见的磷系阻燃剂P1和氮系阻燃剂N1,分析不同磷系阻燃剂和氮系阻燃剂配比对低烟无卤阻

燃聚烯烃复合材料热释放速率峰值和热释放总量的影响,配方见表4。其中,EVA、LLDPE、POE等3种树脂的比例为30:10:0。不同磷氮阻燃剂对热释放的影响见图5。

表4 不同磷氮阻燃剂配比的聚烯烃复合材料配方
Tab.4 Formulations of polyolefin composite materials with different phosphorus nitrogen flame retardants ratios 份

组分	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
树脂	40	40	40	40	40	40	40
氢氧化铝	80	0	60	60	0	0	60
氢氧化镁	0	80	0	0	60	60	0
磷系P1	0	0	20	0	20	0	10
氮系N1	0	0	0	20	0	20	10
小料	3	3	3	3	3	3	3

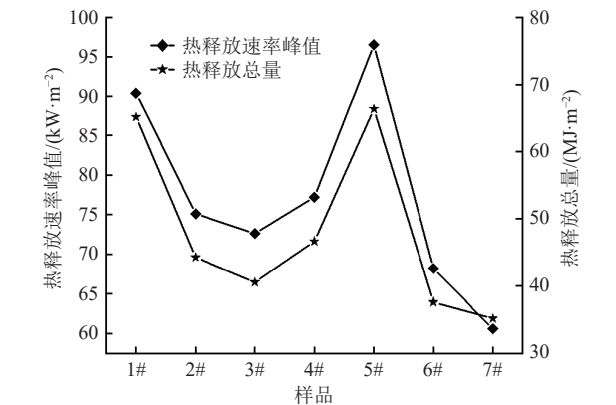


图5 不同磷氮阻燃剂对热释放的影响
Fig.5 Effects of different phosphorus nitrogen flame retardants on heat release

由图5可知,样品3#、4#、7#的热释放速率峰值和热释放总量均比样品1#低,表明磷氮阻燃剂与氢氧化铝搭配使用能够降低材料的热释放,且磷系与氮系阻燃剂复配使用产生的协效阻燃效果更加明显。此外,研究发现磷氮阻燃剂的加入可以使材料具有更好的成炭强度,并在持续的火焰冲击下,仍能保证良好的炭层形貌。样品6#的热释放速率峰值和热释放总量比样品2#低,表明氮系与氢氧化镁可以搭配使用。样品5#的热释放速率峰值和热释放总量比样品2#高,表明磷系阻燃剂与氢氧化镁搭配使用反而会降低材料的阻燃性能,这可能是由于磷氮阻燃剂的热分解是酸催化过程^[14],而氢氧化镁偏碱性,两者发生反应容易导致阻燃剂被消耗,最终降低材料的阻燃性能。

3 结 论

本文分析了树脂、氢氧化物阻燃剂、硅酸盐类阻燃协效剂,以及磷氮阻燃剂对低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料热释放速率峰值和热释放总量的影响,并得出以下结论。

1)相同份数的树脂对热释放速率峰值和热释放总量影响的从大到小依次为POE、LLDPE、EVA,因此在低热释放低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料中应尽量减少POE、LLDPE的使用,特别是POE,并且用量超过5%时对热释放性能的影响较大。

2)在低烟无卤阻燃聚烯烃复合材料中,相较于单独使用氢氧化铝或氢氧化镁,使用氢氧化镁和氢氧化铝复配作为阻燃剂对应样品的热释放速率峰值和热释放总量低。其中,当氢氧化镁与氢氧化铝复配比例为1:5时,材料的热释放速率峰值和热释放总量最小。

3)材料燃烧后形成炭层的完整度与热释放速率峰值及热释放总量的关系并不完全统一。有些硅酸盐类阻燃协效剂燃烧后虽然炭层完整度好,但其有机协效剂的添加可能会使材料更容易被点燃,出现在燃烧初期材料的热释放速率峰值增大的现象。

4)磷氮类阻燃剂可与氢氧化铝搭配使用,复配后不仅能够降低材料的热释放速率峰值和热释放总量,还能进一步增强炭层强度,而磷氮类阻燃剂与氢氧化镁搭配使用反而会导致材料的阻燃性能下降。

参考文献 References

- [1] 张界明,施薇,秦大甲. 线缆阻燃材料和阻燃技术的发展[J]. 电线电缆, 2005(5): 3-8.
ZHANG J M, SHI W, QIN D J. Development of flame retardant cable materials and technology[J]. Wire & Cable, 2005(5): 3-8.
- [2] 李明珠,姜后晓. 线缆材料行业技术热点与市场需求变化分析[J]. 电线电缆, 2023(6): 57-60.
LI M Z, JIANG H X. Analysis of market demand changes and technology hotspots in cable material industry[J]. Wire & Cable, 2023(6): 57-60.
- [3] 吴仲孝,洪宁宁,高磊. 无卤耐高温低介电常数材料及应用研究进展[J]. 电线电缆, 2024, 67(3): 11-17.
WU Z X, HONG N N, GAO L. Application and research progress of halogen-free high-temperature resistant and low-dielectric constant materials[J]. Wire & Cable, 2024, 67(3): 11-17.
- [4] 瞿保钧,陈伟,谢荣才,等. 低烟无卤阻燃聚烯烃的研究进展和应用前景[J]. 功能高分子学报, 2002(3): 361-367.
QU B J, CHEN W, XIE R C, et al. Recent developments in low-smoke halogen-free flame retardant polyolefins and application prospect[J]. Journal of Functional Polymers, 2002(3): 361-367.
- [5] 金楷皓,王新古,赵建军,等. 阻燃剂对低烟无卤聚烯烃电缆料性能的影响[J]. 绝缘材料, 2020, 53(3): 1-6.
JIN K H, WANG X G, ZHAO J J, et al. Effect of flame retardant on properties of low-smoke halogen-free polyolefin cable materials[J]. Insulating Materials, 2020, 53(3): 1-6.
- [6] 黄雷,胡晖,王飏,等. 低烟无卤阻燃剂研究进展[J]. 广东化工, 2011, 38(8): 69-70.
HUANG L, HU H, WANG B, et al. Advance in the research of low-smoke and non-halogen flame-retardants[J]. Guangdong Chemical Industry, 2011, 38(8): 69-70.
- [7] 张元,黄秋洁. 低烟无卤阻燃电缆料的研究现状分析[J]. 广州化工, 2020, 48(19): 27-28.
ZHANG Y, HUANG Q J. Research development of low smoke halogen-free flame retardant cable material[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(19): 27-28.
- [8] 李计彪,付晓,王中武,等. 高性能低烟无卤聚烯烃电缆护套料の開発[J]. 高分子材料科学与工程, 2019, 35(7): 114-120.
LI J B, FU X, WANG Z W, et al. Development of high performance low smoke halogen-free polyolefin cable sheath[J]. Polymer Material Science & Engineering, 2019, 35(7): 114-120.
- [9] 汪晓鹏. 聚乙烯无卤阻燃改性研究进展[J]. 上海塑料, 2018(1): 13-20.

- WANG X P. Research progress in non-halogenated flame retardant modification of polyethylene[J]. *Shanghai Plastic*, 2018(1): 13-20.
- [10] 徐传辉, 王万勋, 陈玉坤, 等. 氢氧化镁阻燃聚合物材料的研究进展 [J]. *绝缘材料*, 2007(1): 32-35.
- XU C H, WANG W X, CHEN Y K, et al. Research progress of flame-retardant polymers with magnesium hydroxide[J]. *Insulating Materials*, 2007(1): 32-35.
- [11] 高喜平, 李小童, 王博, 等. EVA 无卤阻燃改性的研究进展 [J]. *化工新型材料*, 2019, 47(11): 40-45.
- GAO X P, LI X T, WANG B, et al. Research progress in halogen-free flame retardancy of modified EVA[J]. *New Chemical Materials*, 2019, 47(11): 40-45.
- [12] 李兵. 浅析磷系阻燃剂的机理及应用进展 [J]. *化学工程与装备*, 2010(11): 122-123.
- LI B. Mechanism and application progress of phosphorus flame retardant[J]. *Chemical Engineering & Equipment*, 2010(11): 122-123.
- [13] 王海军, 陈立新, 缪桦. 氮系阻燃剂的研究及应用概况 [J]. *热固性树脂*, 2005, 20(4): 36-41.
- WANG H J, CHEN L X, MIAO H. The study on nitrogen-containing flame retardants and its application in plastics[J]. *Thermosetting Resin*, 2005, 20(4): 36-41.
- [14] 李玉芳, 伍小明. 有机磷系阻燃剂及其应用研究进展 [J]. *国外塑料*, 2013, 31(11): 36-40.
- LI Y F, WU X M. Application research progress of organophosphorus flame retardant[J]. *World Plastics*, 2013, 31(11): 36-40.

收稿日期: 2024-12-17

修回日期: 2025-02-09

作者简介: 曾斌 ZENG Bin

1994—, 男, 工程师

主要从事电缆材料的改性及加工方向研究

E-mail: 074010@600869.com

Research on Low Heat Release Low-Smoke Halogen-Free Flame Retardant Polyolefin Composite Materials

ZENG Bin^{1,2}, HUANG Minjian^{1,2}

(1. Far East New Materials Co., Ltd., Yixing 214200, China; 2. Far East Cable Co., Ltd., Yixing 214200, China)

Abstract: Using polyolefin resin as matrix, metal hydroxides magnesium hydroxide and aluminum hydroxide as flame retardants, low-smoke halogen-free flame retardant polyolefin composite materials were prepared by compounding granulation process. Effects of resin, flame retardant, silicate flame retardant synergist, and phosphorus nitrogen flame retardant on peak heat release rate(PHRR) and total heat release(THR) of low-smoke halogen-free flame retardant polyolefin composite materials were studied. Results showed that effects of three resins including ethylene-vinyl acetate copolymer(EVA), polyolefin elastomer(POE), and linear low-density polyethylene(LLDPE) on PHRR and THR were POE, LLDPE, and EVA in descending order. Therefore, the use of POE should be minimized in low heat release materials. Compared with the use of aluminum hydroxide or magnesium hydroxide alone, PHRR and THR of magnesium hydroxide and aluminum hydroxide were lower. When the ratio of magnesium hydroxide to aluminum hydroxide was 1 : 5, heat release of composite materials was the smallest. Although some silicate flame retardant synergists had good carbon layer integrity after combustion, heat release after combustion was larger, which might be due to different types of organic modifiers used or high content of organic modifiers, making composite materials easier to ignite in the early stages of combustion. Phosphorus nitrogen flame retardants could be used in combination with aluminum hydroxide to not only reduce heat release of composite materials, but also further enhance strength of carbon layer, while combination of phosphorus flame retardants with magnesium hydroxide could actually cause a decrease in flame retardancy of composite materials.

Key words: low-smoke halogen-free; low total heat release; low peak heat release rate; cable materials; cone calorimeter; phosphorus nitrogen flame retardant