

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.03.007

PA66 / AlPi / PPFBS 复合材料的协效阻燃机理

蔡曾平, 王标兵

(常州大学材料科学与工程学院, 江苏常州 213164)

摘要: 以二乙基次磷酸铝 (AlPi) 和全氟丁基磺酸钾 (PPFBS) 为复配阻燃剂, 在密炼机上通过熔融共混的方法制备 AlPi 和 PPFBS 复配阻燃 PA66 复合材料, 并通过热重质谱联用 (TG-MS) 和扫描电子显微镜 (SEM) 研究了复配阻燃剂对 PA66 复合材料阻燃性的影响及其阻燃机理。结果表明, 当添加 6 份 AlPi 和 0.08 份 PPFBS 的复配阻燃剂时, 阻燃 PA66 复合材料可以通过垂直燃烧测试, 阻燃等级达到 V-0 级, 极限氧指数 (LOI) 为 31.1%。复配阻燃体系的加入虽然降低了阻燃 PA66 复合材料的力学性能, 但提高了阻燃 PA66 复合材料的热稳定性, 阻燃 PA66 复合材料的残炭率由纯 PA66 的 4.1% 上升至 10.2%, 促进了连续、致密炭层的形成, 而且燃烧过程中不断释放出不燃性气体。AlPi 和 PPFBS 复配后兼具凝聚相和气相阻燃机理, 表现出良好的协效阻燃效果。

关键词: 尼龙 66 ; 二乙基次磷酸铝 ; 全氟丁基磺酸钾 ; 协效阻燃

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)03-0035-05

Synergistic Flame Retardant Mechanism of PA66 / AlPi / PPFBS Composites

Cai Zengping, Wang Biaoqing

(School of Materials Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract : The flame retardant nylon 66 (PA66) composite was prepared on an internal mixer by melt blending using aluminum diethyl phosphinate (AlPi) and potassium perfluorobutyl sulfonate (PPFBS) as complex flame retardant, which synergistic effects on the flame retardancy and flame retardant mechanism of PA66 were investigated by thermogravimetric-mass spectrometry and scanning electron microscopy. The results show that the flame retardant PA66 composite can pass the vertical combustion V-0 test and the limiting oxygen index (LOI) reaches 31.1% at loading level of 6 phr AlPi and 0.08 phr PPFBS. With the incorporation of the complex flame retardant, as contrast to the reduction of the mechanical properties, the thermal stability of the flame retardant PA66 composite was improved and the rate of carbon residue increases from 4.1% to 10.2%. Non-flammable gases are released during the combustion, and a continuous and compact carbon layer is formed. The flame retardant mechanism of the composite is a condensed phase and gas-phase flame retardant role, revealing that AlPi and PPFBS displays synergistic flame retardant effect.

Keywords : nylon 66 ; aluminum diethyl phosphinate ; potassium perfluorobutyl sulfonate ; synergistic flame retardant

尼龙 66 (PA66) 是一种通用的工程塑料, 具有强度高、刚性好、耐化学腐蚀性、耐磨、自润滑性好等优点, 而且原材料易得、成本低, 因而广泛应用于汽车、电子电器、纺织等多个领域^[1-3]。PA66 按美国 UL94 标准进行检测可以达到阻燃等级 V-2 级, 但仍为可燃物, 极易燃烧的性质极大地限制了其应用范围^[4]。因此, 对 PA66 进行阻燃改性具有非常重要的意义。

随着含卤阻燃剂使用的限制, 近年来科研人员

一直在研究既可以达到卤素阻燃剂的高效阻燃又对环境不产生损害的代替品。以二乙基次磷酸铝 (AlPi) 为代表的烷基次磷酸盐类就可以满足要求, AlPi 是一种多用途和高效的含磷阻燃剂, 含磷量高达 24%, 因其对环境友好, 广泛应用于 PA66、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚乳酸 (PLA) 及聚苯醚 (PPE) 等塑料中^[5-7]。全氟丁基磺酸钾 (PPFBS) 是一种磺酸盐系阻燃剂, 阻燃效率高, 加入少量就可以达到想要的阻燃效果^[8]。

通讯作者: 王标兵, 教授, 主要从事高性能和功能化高分子材料的研究 E-mail: biaoqing@cczu.edu.cn

收稿日期: 2017-12-20

引用格式: 蔡曾平, 王标兵. PA66 / AlPi / PPFBS 复合材料的协效阻燃机理 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(3):35-39.

Cai Zengping, Wang Biaoqing. Synergistic flame retardant mechanism of PA66 / AlPi / PPFBS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(3):35-39.

目前,有关 PA66 阻燃的报道大多是以溴系阻燃剂、磷系阻燃剂和氮系阻燃剂等复配进行阻燃,AlPi 和 PPFBS 协效阻燃 PA66 还未见相关文献报道。笔者利用 AlPi 和 PPFBS 复配阻燃 PA66 复合材料,并通过热重质谱 (TG-MS) 联用分析和扫描电子显微镜 (SEM) 等探讨了复配阻燃剂的协效阻燃机理。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA66 : 101LNC010, 美国杜邦公司;

AlPi : FR-OP1240, 白色粉末, 粒径为 10 ~ 20 μm , 磷质量分数 23% ~ 24%, 德国科莱恩公司;

PPFBS : FR-TF1b0102, 福建天福化工有限公司;

滑石粉 (Talc) : BHS-818A, 泉州市旭丰粉体原料有限公司。

1.2 主要设备及仪器

密炼机: SXM-0.2L-KA 型, 常州苏研科技有限公司;

微型注塑机: WZS10-G 型, 上海新硕精密机械有限公司;

微机控制电子万能试验机: WDT30 型, 深圳凯强利试验仪器有限公司;

悬臂梁冲击试验机: XBL-22 型, 深圳凯强利试验仪器有限公司;

垂直燃烧仪: CZF-3 型, 南京市江宁区分析仪器厂;

极限氧指数 (LOI) 测定仪: HC-2 型, 南京市江宁区分析仪器厂;

SEM : JSM-6360LA 型, 日本电子株式会社;

TG-MS 联用仪: TL8000 型, 上海珀金埃尔默仪器有限公司。

1.3 阻燃 PA66 复合材料的制备

将 PA66, AlPi, PPFBS 及 Talc 在真空烘箱中于 120 $^{\circ}\text{C}$ 下干燥 24 h 以上, 按照表 1 阻燃 PA66 复合材料配方称量后, 通过密炼机进行熔融共混。密炼机 3 区温度均是 270 $^{\circ}\text{C}$, 转速为 60 r/min, 密炼时间为 5 min。经微型注塑机注塑成标准测试试样, 测试材料的力学性能。

表 1 阻燃 PA66 复合材料配方 份

样品编号	PA66	AlPi	PPFBS	Talc
1 [#]	100	0	0	0
2 [#]	100	0	0.08	10
3 [#]	100	6	0	10
4 [#]	100	6	0.08	10

通过平板硫化机对烘干的阻燃 PA66 复合材料

粒料进行压板, 上、中、下加热板温度都是 270 $^{\circ}\text{C}$, 粒料放在加热板中预热 5 min, 排气 8 ~ 10 次, 在 10 MPa 压力下热压 1 min, 冷压 1 min, 最后裁成所需的标准测试样条, 测试复合材料的阻燃性能。

1.4 性能测试与表征

垂直燃烧测试: 根据 GB/T 2408-2008 进行测试, 测试试样尺寸为 125 mm $\times$ 13 mm $\times$ 1.6 mm。

LOI 测试: 根据 GB/T 2406.2-2009 进行测试, 测试试样尺寸为 125 mm $\times$ 6.5 mm $\times$ 1.6 mm。

拉伸性能测试: 根据 GB/T 1040-2006, 选用适当的模具制得标距为 20 mm、宽度为 5 mm、厚度为 2 mm 的哑铃状样条, 在常温下, 以 10 mm/min 的拉伸速率进行测试。

冲击强度测试: 根据 GB/T 843-2008, 选用合适的模具, 制得宽度为 9.80 mm、厚为 4.00 mm 的样条, 在常温下进行测试。

SEM 测试: 将粒料装入坩埚中, 放入 800 $^{\circ}\text{C}$ 的马弗炉中烧结 30 min。冷却后对残留炭层进行喷金处理, 然后用 SEM 观察其表面的形貌。

TG-MS 联用分析: 称取 5 mg 左右的样品压入密闭铝坩埚中, 气体流量为 20 mL/min, 在 N_2 氛围下以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率从室温升至 700 $^{\circ}\text{C}$, 记录数据。然后用 MS 检测逸出气体, 升温速率为 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 空气气氛。

2 结果与讨论

2.1 阻燃性能

纯 PA66 及阻燃 PA66 复合材料的燃烧实验结果列于表 2。

表 2 纯 PA66 及阻燃 PA66 复合材料的燃烧实验结果

样品编号	t_1/s	t_2/s	是否滴落 引燃脱脂棉	LOI/%	垂直燃烧等级
1 [#]	25	> 30	是	21.5	NR
2 [#]	25	> 30	是	22.5	NR
3 [#]	22	14	否	30.6	V-1
4 [#]	4	5	否	31.1	V-0

注: t_1, t_2 分别表示第一次、第二次点燃时间, NR 表示未达到阻燃等级。

从表 2 可以看出, 纯 PA66 (1[#] 样品) 和单独添加 0.08 份 PPFBS 的阻燃 PA66 复合材料 (2[#] 样品) 在燃烧过程均伴有大量的滴落并点燃脱脂棉, 不能通过垂直燃烧测试。当单独添加 6 份阻燃剂 AlPi 时, 阻燃 PA66 复合材料 (3[#] 样品) 的 LOI 从 21.5% 上升至 30.6%, 滴落情况虽有较大改善, 无滴落且不会引燃脱脂棉, 其垂直燃烧测试也仅能达到 V-1 级别, 仍不能满足阻燃需求。当同时添加阻燃剂 PPFBS

和 AlPi 时,阻燃 PA66 复合材料 (4[#] 样品) 的 LOI 为 31.1%,并垂直燃烧测试可以通过 V-0 级别,表明两种阻燃剂之间具有协效阻燃效果。

2.2 热性能

通过 TG-MS 联用分析,测试样品的热稳定性能及热分解过程中所产生的气体。图 1 给出了纯 PA66 和阻燃 PA66 复合材料的 TG 和 DTG 曲线,其相关数据列于表 3。

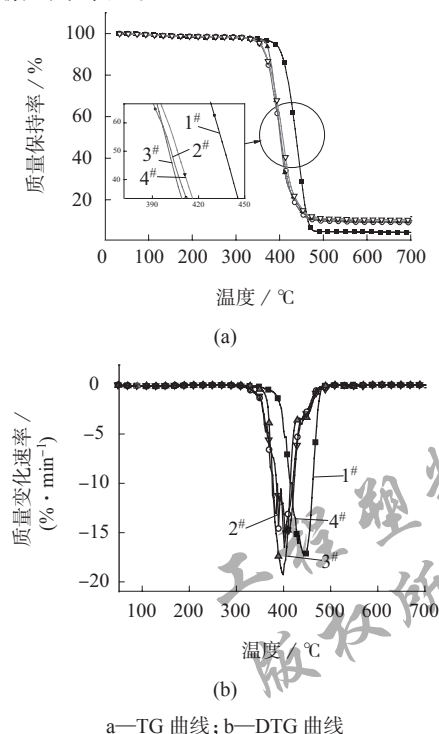


图 1 纯 PA66 和阻燃 PA66 复合材料的 TG 和 DTG 曲线

表 3 纯 PA66 及阻燃 PA66 复合材料的 TG 数据

样品 编号	开始分解 温度 / °C	第一个分解峰		第二个分解峰		残炭 率 / %
		质量变化 速率 / (%·min ⁻¹)	温度 / °C	质量变化 速率 / (%·min ⁻¹)	温度 / °C	
1 [#]	412.9	-17.53	442			4.1
2 [#]	386.9	-17.10 /	403	-2.91	447	8.9
3 [#]	375.9	-19.37 /	399	-3.00	448	9.2
4 [#]	373.4	-15.87 /	403	-4.03	450	10.2

由图 1 和表 3 可看出,相比于纯 PA66 的开始分解温度 412.9℃,单独添加阻燃剂 PPFBs 或 AlPi 的阻燃 PA66 复合材料 (2[#] 和 3[#] 样品) 的开始分解温度分别为 386.9℃ 和 375.9℃,分别下降了 26℃ 和 37℃。这是因为在加入阻燃剂 PPFBs 的 2[#] 样品中,PPFBs 作为一种催化剂加速了基体的分解,然后进一步交联成炭,促进一些不燃性气体的释放^[9];而在加入阻燃剂 AlPi 的 3[#] 样品中,AlPi 和 PA66 之间相互作用生成小分子次磷酸盐和二乙基次磷酸^[10-11],导致了 PA66 链在较低温度下分解。阻燃

剂 PPFBs 与 AlPi 复配阻燃 PA66 (4[#] 样品) 后,因为 AlPi 和 PPFBs 之间的相互反应,开始分解温度为 373.4℃。一方面,在降解过程中 AlPi 先分解生成二乙基次磷酸,然后继续分解成偏磷酸,偏磷酸则进一步分解成 P, P 自由基和水,反应进行中会吸收大量的热,并且使基体 PA66 脱水炭化,在基体表面形成含阻燃 P, F 等元素的稳定炭层,起到隔热、隔氧作用^[12];另一方面,阻燃剂 AlPi 受热分解会产生 PO 自由基,这些自由基会捕捉燃烧时生成的 H 和 OH 自由基,使燃烧的链式反应终止^[13-14]。

从表 3 中的残炭率可以看出,纯 PA66 的残炭率为 4.1%,而单独加入阻燃剂 PPFBs 或 AlPi 的阻燃 PA66 复合材料 (2[#] 和 3[#] 样品) 的残炭率分别提高到 8.9% 和 9.2%,说明两种阻燃剂都能促进 PA66 在燃烧过程中成炭,而加入复配阻燃体系的 4[#] 样品的残炭率则进一步提高到 10.2%,表明 AlPi 和 PPFBs 对于促进基体成炭具有协效作用,但是复配阻燃剂的残炭率提升不明显,说明两者协效阻燃主要是在气相发挥阻燃作用^[15]。表 3 的 TG 数据表明,纯 PA66 为一步分解,峰分解温度和质量变化速率分别为 442℃ 和 17.53%;与纯 PA66 的一步分解不同,阻燃复合材料均呈现两步分解,例如,复配阻燃 PA66 复合材料 (4[#] 样品) 的第一个分解峰对应的温度为 403℃,质量变化速率为 15.87%,主要是 PA66 基体大分子断链成小分子以及阻燃剂的分解,第二个分解峰对应温度在 450℃,质量变化速率为 4.03%,这是小分子链的分解。添加阻燃剂 AlPi 和 PPFBs 后,4[#] 样品的降解温度呈现向高温方向移动的趋势,说明 PPFBs 和 AlPi 复配可以提高 PA66 的热稳定性。

进一步通过 TG-MS 联用分析确定了阻燃 PA66 复合材料的热分解气态产物,结果列于表 4。

表 4 纯 PA66 和阻燃 PA66 复合材料热分解释放的物质

样品 编号	气态产物样品					
	二氧化碳	环戊酮	碳氢 化合物	含氮 化合物	酚类 化合物	PO 自由基
1 [#]	✓	✓	✓	✓		
2 [#]	✓	✓	✓	✓	✓	
3 [#]	✓	✓	✓	✓		✓
4 [#]	✓	✓	✓	✓	✓	✓

从表 4 可以看出,所有样品都释放出二氧化碳、环戊酮、碳氢化合物、含氮化合物。对于含 PPFBs 的阻燃 PA66 复合材料 (2[#] 和 4[#] 样品) 都生成了酚类化合物。这是由于阻燃剂 PPFBs 的加入导致的,因为 PPFBs 会促进酚类化合物的生成。AlPi 受热

分解生成次磷酸盐,容易产生酸性环境,环戊酮在酸性条件下会进一步失水而生成己二胺。而对于含 AlPi 的阻燃 PA66 复合材料(3[#]和4[#]样品)中还检测到一些碎片小分子。这是因为其中的 AlPi 在受热时分解出 PO, PO₂ 碎片,会抑制燃烧的进行^[16-17]。

2.3 力学性能

表5给出了纯PA66及阻燃PA66复合材料的力学性能数据。

表5 纯PA66和阻燃PA66复合材料的力学性能数据

样品 编号	拉伸强度/ MPa	断裂伸长率/ %	冲击强度/ (kJ·m ⁻²)
1 [#]	73.30	44.63	2.52
2 [#]	60.69	16.61	1.26
3 [#]	54.89	16.34	1.07
4 [#]	56.53	16.94	0.91

由表5可以看出,纯PA66的拉伸强度、断裂伸长率和冲击强度分别为73.30 MPa, 44.63%和2.52 kJ/m²。随着阻燃剂的加入,阻燃PA66复合材料的力学性能均下降,特别是断裂伸长率和冲击强度下降较多,例如,4[#]样品的拉伸强度、断裂伸长率和冲击强度分别为56.53 MPa, 16.94%和0.91 kJ/m²。这是由于无机阻燃剂 AlPi 和脆性较大的PPFBS以颗粒形式分布于PA66基体中,在受到外力作用时充当了应力集中点,导致阻燃样品的力学性能下降。2[#], 3[#], 4[#]样品的拉伸强度分别为60.69, 54.89, 56.53 MPa, 4[#]样品的拉伸强度高于3[#]样品但低于2[#]样品,说明加入PPFBS会减弱复合材料拉伸强度的下降幅度。这可能是因为PPFBS的加入量少、粒径小、分散性较好的缘故。

2.4 微观形态

图2是纯PA66和阻燃PA66复合材料样品残炭的SEM照片。

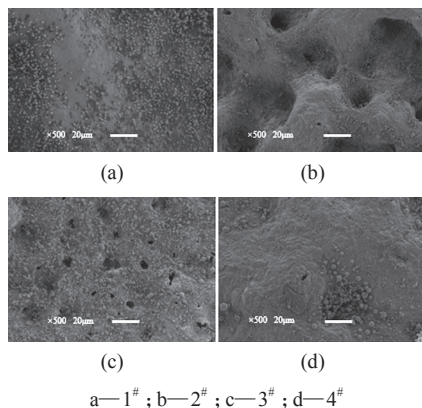


图2 纯PA66和阻燃PA66复合材料样品残炭的SEM照片

从图2a可以看出,纯PA66(1[#]样品)燃烧后几乎不成炭,仅在表面形成一层薄薄的炭层膜,不能有

效地隔绝氧气和热量向外释放。由图2b可以看出,2[#]样品的炭层表面凹凸不平,并且有许多大孔径的洞穴,说明阻燃剂PPFBS燃烧后会有大量气体产生并冲破炭层,导致热和氧会通过孔洞进入到基体内部。由图2c可以看出,相比于加入阻燃剂PPFBS的2[#]样品,加入阻燃剂AlPi的3[#]样品的炭层表面较为平整,孔洞变小而少,燃烧后的残炭量也增多。这是因为阻燃剂AlPi是气相阻燃和凝聚相阻燃同时作用于PA66。而从图2d可以清晰看到,4[#]样品基体表面覆盖有一层厚厚的炭层,几乎没有气孔产生,说明阻燃剂PPFBS与AlPi复配阻燃PA66后,复合材料燃烧后的炭层强度和密度都有较大的提升,而且可以有效地阻止燃烧进行,达到预期的阻燃效果。

3 结论

(1) 加入6份AlPi和0.08份PPFBS复配阻燃PA66复合材料样品可以通过垂直燃烧V-0级测试, LOI为31.1%, 拉伸强度为56.53 MPa, 断裂伸长率为16.94%, 冲击强度为0.91 kJ/m², 相比于纯PA66的力学性能有所下降,但力学性能优于单独加入阻燃剂AlPi的阻燃PA66。

(2) PPFBS主要是促进交联成炭,在凝聚相的阻燃效果较好; AlPi主要是释放自由基抑制在燃烧反应中起链增长作用的自由基,也会在凝聚相发挥阻燃作用。纯PA66及阻燃PA66复合材料的热分解气态产物中均含有二氧化碳、环戊酮、胺类化合物、碳氢化合物等。两种阻燃剂复配后主要是在气相发挥阻燃作用。

(3) AlPi和PPFBS都使纯PA66的分解提前,具有促进成炭的作用,复配阻燃PA66复合材料的热分解质量变化速率为15.87%, 低于纯PA66的17.53%, 热稳定性能提高,说明AlPi和PPFBS之间具有协效阻燃作用。

(4) 添加AlPi和PPFBS复配的阻燃PA66复合材料样品燃烧时更容易形成连续、致密的炭层,炭层强度和密度都较高,具有良好的隔热、隔氧作用,从而达到更好的阻燃效果。

参考文献

- [1] Tamura K, Ohyama S, Umeyama K, et al. Preparation and properties of halogen-free flame-retardant layered silicate-polyamide 66 nanocomposites[J]. Applied Clay Science, 2016, 126: 107-112.
- [2] Li Yuanyuan, Liu Ke, Xiao Ru. Preparation and characterization of flame-retarded polyamide 66 with melamine cyanurate by in situ polymerization[J]. Macromolecular Research, 2017, 25 (8): 1-7.

- [3] Li Xiaoshuang, Liu Yuan, Guo Chaofeng, et al. Influence of layered aluminoborophosphate on flame retardance, crystallization behaviors and mechanical properties of polyamide 66 systems[J]. Chemical Research in Chinese Universities, 2016, 32(1): 127-133.
- [4] 陈文华, 闵力珍, 华正坤, 等. 硼酸锌对氮磷协效阻燃玻纤增强尼龙 66 性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(5): 14-18.
- Chen Wenhua, Min Lizhen, Hua Zhengkun, et al. Influences of ZB on properties of nitrogen-phosphorus synergistic flame retardant GF reinforced PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(5): 14-18.
- [5] Si Mingming, Feng Jie, Hao Jianwei, et al. Synergistic flame retardant effects and mechanisms of nano-Sb₂O₃ in combination with aluminum phosphinate in poly(ethylene terephthalate)[J]. Polymer Degradation & Stability, 2014, 100: 70-78.
- [6] Li Hongxia, Ning Nangying, Zhang Liqun, et al. Different flame retardancy effects and mechanisms of aluminium phosphinate in PPO, TPU and PP[J]. Polymer Degradation & Stability, 2014, 105(7): 86-95.
- [7] Kaya H, Hacaloglu J. Thermal degradation of polylactide / aluminium diethylphosphinate[J]. Journal of Analytical & Applied Pyrolysis, 2014, 110(1): 155-162.
- [8] 徐路, 王玉冲, 刘雨佳, 等. 六苯氧基三环三磷腈 / 全氟丁基磺酸钾协同阻燃 PC[J]. 塑料工业, 2014, 42(4): 101-105.
- Xu Lu, Wang Yuchong, Liu Yujia, et al. Synergistic flame retardancy of hexaphenoxycyclotriphosphazene and potassium perfluorobutane sulfonate in PC[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(4): 101-105.
- [9] Dang Xiaorong, Bai Xin, Zhang Yong. Thermal degradation behavior of low-halogen flame retardant PC / PPFS / PDMS[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 119(5): 2 730-2 736.
- [10] Wang Youchun, Zhang Le, Yang Yunyun, et al. The investigation of flammability, thermal stability, heat resistance and mechanical properties of unsaturated polyester resin using AlPi as flame retardant[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2015, 122(3): 1 331-1 339.
- [11] Yang Li, Han Xinyu, Li Lili, et al. Synthesis of aluminium diethylphosphinate by gas-liquid free radical addition reaction under atmospheric pressure[J]. Advanced Materials Research, 2011, 194-196: 2 237-2 240.
- [12] Zhan Zhaoshun, Xu Miaojun, Li Bin. Synergistic effects of sepiolite on the flame retardant properties and thermal degradation behaviors of polyamide 66 / aluminum diethylphosphinate composites[J]. Polymer Degradation & Stability, 2015, 117: 66-74.
- [13] 李娜娜, 姜国伟, 周光远, 等. 有机磷类阻燃剂的合成及应用进展 [J]. 应用化学, 2016, 33(6): 611-623.
- Li Nana, Jiang Guowei, Zhou Guangyuan, et al. Synthesis and Application progress of organic phosphorus-containing flame retardants[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2016, 33(6): 611-623.
- [14] Braun U, Schartel B, Fichera M A, et al. Flame retardancy mechanisms of aluminium phosphinate in combination with melamine polyphosphate and zinc borate in glass-fibre reinforced polyamide 6, 6[J]. Polymer Degradation & Stability, 2007, 92(8): 1 528-1 545.
- [15] 郭永萍, 罗钟琳, 王标兵. AlPi 和 PPBA 复配阻燃 PET 的燃烧性能 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(5): 7-13.
- Guo Yongping, Luo Zhonglin, Wang Biaobing. Combustion properties of flame retarding PET with PPBA and AlPi combination, Engineering Plastics Application, 2017, 45(5): 7-13.
- [16] 刘欣, 屈红强, 徐建中. 次磷酸铝与 Trimer 协效阻燃 PBT 的机理研究 [J]. 中国阻燃, 2015(2): 7-12.
- Liu Xin, Qu Hongqiang, Xu Jianzhong. Study on mechanism of synergistic flame retardant PBT with aluminum hypophosphite and Trimer[J]. China Flame Retardant, 2015(2): 7-12.
- [17] Cao Yanfang, Qian Lijun, Chen Yajun, et al. Synergistic flame-retardant effect of phosphaphenanthrene derivative and aluminum diethylphosphinate in glass fiber reinforced polyamide 66[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2017, 134(30). doi:10.1002/app.45126.

第三届工业 4.0 论坛—— 最新工业 4.0 产品和解决方案发布

与我国其它的制造业一样, 橡塑行业正进入一个转型升级、智能制造的新时代。适逢雅式集团成立 40 周年之际, 第三十二届中国国际塑料橡胶工业展览会将于 2018 年 4 月 24 ~ 27 日首次在上海·虹桥·国家会展中心举办。展会围绕“智能制造·高新材料·环保科技”三大主题, 第三次携手德国机械设备制造业联合会 (VDMA) 于展会期间举行“工业 4.0 论坛”, 汇聚时下最先进的橡塑行业智能制造解决方案, 成为展会一大亮点活动。自 2016 年“工业 4.0 论坛”首次亮相 CHINAPLAS 国际橡塑展, 一直受到高度关注, 两年吸引了来自 20 个国家及地区的超过 1 100 位专业观众。“第三届工业 4.0 论坛”将于 2018 年 4 月 24 ~ 26 日在国家会展

中心办公楼 A 座 A0-02 会议室举办, 延续往届以汽车、电子电器、包装三场论坛为行业主题。而与以往不同的是, 本次论坛将以真实的产品案例为切入点, 由橡塑行业制造商与应用其 4.0 技术落地生产的客户联袂进行讲演, 邀请了阿博格、恩格尔、莱芬豪舍、埃瑞玛、德国埃莎、库卡等全球知名橡塑行业设备制造商, 以及来自德国亚琛工业大学教授和德国注射成型培训中心校长为海内外听众带来别具一格的智能制造视听盛宴, 为国内外观众带来最直观的落地 4.0 工厂案例分享和深入热点应用行业的 4.0 实践案例讨论。

“第三届工业 4.0 论坛”报名工作现已全面开启, 请密切留意官方网站“同期活动”页面内容更新。更多展会详情, 欢迎浏览展会网页: www.ChinaplasOnline.com 或 www.中国橡塑展.com。
(雅式展览会组委会)