

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.12.024

低 TVOC 环保阻燃聚丙烯材料制备

谢桂容¹, 刘宏¹, 李雄武²

(1. 湖南化工职业技术学院, 湖南株洲 412000; 2. 株洲时代工程塑料科技有限责任公司, 湖南株洲 412001)

摘要: 利用熔融共混法制备了阻燃聚丙烯 (PP) 材料, 通过筛选 PP 基体树脂和阻燃剂, 进一步添加除味剂、优化螺杆组合, 制备了低总挥发性有机化合物 (TVOC) 的环保阻燃 PP 材料。结果表明, PP 基体树脂 K8003 质量分数为 91%、环保阻燃剂 HHB-BR001 质量分数为 6%、除味剂 CW-101 质量分数为 1% 时, 阻燃 PP 材料的 TVOC 含量低, 综合性能好。在优选的螺杆组合条件下, 阻燃 PP 材料的 TVOC 为 $35.2 \mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$, 缺口冲击强度为 58.5 kJ/m^2 , 拉伸强度为 21.1 MPa, 断裂伸长率为 520.7%。

关键词: 聚丙烯; 环保阻燃聚丙烯; 低总挥发性有机化合物; 除味剂

中图分类号: TQ324 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)12-0123-05

Preparation of Flame Retardant PP with Low TVOC and Environmental Protection

Xie Guirong¹, Liu Hong¹, Li Xiongwu²

(1. Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou 412000, China;

2. Zhuzhou Times Engineering Plastics Technology Co. Ltd., Zhuzhou 412001, China)

Abstract: Flame retardant polypropylene (PP) were prepared by melt blending technique. By selecting the PP matrix resin and flame retardant, and further adding deodorant agent and optimizing screw combination of the extruder, a type of low total volatile organic compound (TVOC) and environmental friendly flame retardant PP was prepared. The results show that when the mass fraction of PP K8003, environmental friendly flame retardant HHB-BR001 and deodorant agent reach 91%, 6% and 1%, the TVOC mass fraction of flame retardant PP is lower, and the comprehensive performance is the best. With the preferred screw combination, the TVOC content of flame retardant PP is $35.2 \mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$, the notched impact strength is 58.5 kJ/m^2 , the tensile strength is 21.1 MPa, and the elongation at break is 520.7%.

Keywords: polypropylene; environmental friendly flame retardant polypropylene; low total volatile organic compound; deodorant agent

聚丙烯 (PP) 质轻、价格低, 并具有良好的力学性能、加工性能和耐老化性能等综合性能, 广泛应用于汽车波纹管、保险杠等内外饰件和功能件^[1]。但 PP 易燃烧、易产生熔滴, 应用于部分耐高温零部件时要求具有良好的阻燃性能, 如汽车线束波纹管的阻燃性能要求达到 UL 94 V-2 级^[2]。

近年来, 车内空气质量问题备受关注。黄险波等^[3]研究发现, 车内空气的污染程度有时会高于车外的 10 倍。污染源主要是内饰产生的挥发性有机化合物 (VOC), 车内 VOC 不仅影响驾乘者健康,

还会凝结在汽车挡风玻璃或窗户上, 给驾驶带来安全隐患^[4]。因此, VOC 释放问题限制了 PP 在汽车中的应用^[5]。

阻燃 PP 材料对车内总挥发性有机化合物 (TVOC) 的影响主要来自于以下几个方面: ① PP 聚合时的残留 (如未反应单体、溶剂、催化剂和低聚物等) 和加工过程受热发生降解^[5-6]; ② 抗氧剂和阻燃剂等助剂的分解与挥发; ③ TVOC 散发量取决于表面积而非质量^[7], 如波纹管比表面积大, 更容易散发 VOC, 影响车内空气质量。因此, 车用阻燃 PP 的

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目 (18C1354)

通信作者: 谢桂容, 硕士, 讲师, 主要从事高分子及其改性研究 E-mail: becky_rong@126.com

收稿日期: 2020-10-16

引用格式: 谢桂容, 刘宏, 李雄武. 低 TVOC 环保阻燃聚丙烯材料制备 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(12): 123-127.

Xie Guirong, Liu Hong, Li Xiongwu. Preparation of flame retardant PP with low TVOC and environmental protection[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12): 123-127.

TVOC 控制对于提升车内空气质量具有重要意义。

目前制备低 VOC 的 PP 及其改性材料有较多研究,对 VOC 释放的控制主要围绕:①配方优化,主要是加入吸附剂^[8-9];②工艺改良,如真空脱挥、控制螺杆转速等^[10-11]。但众多研究中,对低 TVOC 的阻燃 PP 材料制备的报道鲜少。笔者采用熔融共混法制备了阻燃 PP 材料,研究了基体树脂、阻燃剂种类、除味剂含量以及螺杆组合对材料 TVOC 和性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

PP 树脂: EPS30R, 齐鲁石化公司;

PP 树脂: EP300H, 中海壳牌石化公司;

PP 树脂: K8003, 独山子石化公司;

除味剂: CW-101, 上海富钛新材料科技有限公司;

三氧化二锑: 99.8%, 株洲安特新材料科技有限公司;

十溴二苯乙烷: B-971, 潍坊优博化学有限公司;

低卤阻燃剂: HHB-BR001, 东莞华顺阻燃材料有限公司;

无卤阻燃剂: WR01F, 苏州安鸿泰新材料有限公司。

1.2 主要设备与仪器

双螺杆挤出机: FY-65B 型, 南京富亚橡塑机械有限公司;

注塑机: WG-80 型, 无锡格兰塑机制造有限公司;

微机控制电子万能试验机: CM 6104 型, 深圳新三思材料检测有限公司;

摆锤冲击试验机: ZBC-25B 型, 深圳新三思材料检测有限公司;

熔体流动速率 (MFR) 仪: MPXRZ-40A 型, 吉林大学科教仪器厂;

水平垂直燃烧试验箱: CZF-2 型, 南京江宁分析仪器厂;

顶空气相色谱-氢火焰离子化检测器联用仪 (HS-GCFID): 7697A / 7890A 型, 美国安捷伦科技有限公司。

1.3 试样制备

将 PP 基体树脂、阻燃剂和其它助剂等按一定比例混合均匀后在双螺杆挤出机中熔融共混, 经冷

却、切粒后制成共混物粒料, 挤出温度 190 ~ 200℃, 螺杆转速 350 r/min, 真空度 -0.08 MPa。切粒后的粒料注射成测试所需的标准试样, 注塑温度 190 ~ 200℃, 注塑压力 60 MPa, 成型周期 40 s。

1.4 性能测试

垂直燃烧性能 (UL 94) 测试: 采用水平垂直燃烧仪, 按照 ASTM D635 -77 标准, 样条尺寸为: 125 mm × 12.5 mm × 3 mm。

拉伸性能按 GB/T 1040-2006 测试, 测试速率 50 mm/min。

缺口冲击强度按 GB/T 1843-2008 测试, 摆锤 5.5 J。

MFR 按 GB/T 3682-2000 测试, 230℃ / 2.16 kg。

TVOC 测试: 使用 HS-GCFID 对材料进行 TVOC 测试, 测试条件为 120℃ 恒温 5 h。

2 结果与讨论

2.1 基体树脂的筛选

汽车内饰件用高流动性 PP 树脂通常采用可控氧化降解法和氢调法生产。陈桂吉等^[12]研究表明, 利用可控氧化降解法得到的 PP 在二甲苯、乙苯、甲醛等 VOC 八大类物质上散发量明显高于氢调法。因此, 选择氢调法制备的 PP 作为基体树脂可以从源头上降低 TVOC^[13]。

选择 3 种不同牌号的氢调法 PP 树脂 EPS30R, EP300H 和 K8003, 考察其对材料 TVOC 和性能的影响, 结果见表 1。由表 1 对比发现, 3 种基体树脂得到的阻燃改性 PP 材料的 TVOC 相差不大, 约 140 ~ 150 $\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$ 。从材料性能考虑, 以 K8003 为基体树脂时, 材料的加工流动性好, 缺口冲击强度大, 断裂伸长率优势明显。因此, 为保证材料的综合性能, 后续试验选用 K8003 为基体树脂。

表 1 PP 基体树脂对材料 TVOC 和性能的影响

项目	PP 牌号		
	EPS30R	EP300H	K8003
TVOC / ($\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$)	145.8	148.2	141.5
MFR / [$\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$]	2.1	1.9	1.7
拉伸强度 / MPa	21.3	20.7	20.1
断裂伸长率 / %	18.1	15.5	30.7
缺口冲击强度 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	33.8	31.6	38.3

注: 阻燃 PP 材料配方为质量分数 86% 的 PP, 质量分数 12% 的 B-971 / 三氧化二锑, 助剂的质量分数为 2%。

2.2 阻燃剂的筛选

阻燃剂的加入会使 PP 等车用内饰材料的气味和 VOC 释放变差^[14]。因此, 筛选高效、低 VOC 的

阻燃剂是降低阻燃 PP 材料 TVOC 的有效手段。以 K8003 为 PP 基体树脂,鉴于各阻燃剂的阻燃效率不同,在达到同等阻燃等级 UL 94 V-2 (0.8 mm) 的前提下,阻燃剂用量最少的(质量分数)阻燃 PP 材料的配方见表 2。

表 2 阻燃 PP 材料的配方

组分	试样编号				%
	PP0 [#]	PP1 [#]	PP2 [#]	PP3 [#]	
K8003	98	86	83	92	
B-971 / 三氧化二锑		12			
WR01F			15		
HHB-BR001				6	
助剂	2	2	2	2	

以表 2 配方为基础,研究不同阻燃剂对材料 TVOC 和性能的影响,结果见表 3。

表 3 不同阻燃剂的阻燃 PP 材料的 TVOC 和性能

试样编号	TVOC / ($\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$)	MFR / [$\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$]	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	缺口冲击强度 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)
PP0 [#]	83.2	2.2	26.6	531.2	62.8
PP1 [#]	141.5	1.7	20.1	30.7	38.3
PP2 [#]	92.4	1.5	18.1	25.7	32.5
PP3 [#]	96.7	1.8	20.3	518.4	58.2

分析表 3 的数据可知,阻燃剂的加入均使 TVOC 的散发量有所增加,尤其是 PP1[#] 体系 TVOC 增加了 70%, PP2[#] 和 PP3[#] 仅增加 15% 左右。这是因为 B-971 为溴系阻燃剂,原料合成过程残余游离溴,受热后导致 TVOC 含量增加;而 WR01F 和 HHB-BR001 为无卤和低卤阻燃剂,受热产生的挥发性物质少。

由表 3 还可知,添加阻燃剂后,试样 PP1[#] 和试样 PP2[#] 的缺口冲击强度和断裂伸长率下降明显,尤其是断裂伸长率分别下降了 500.5% 和 505.5%;而试样 PP3[#] 变化较小,相比试样 PP0[#],其缺口冲击强度和断裂伸长率分别下降了 4.6 kJ/m^2 和 12.8%。原因在于, B-971 和 WR01F 阻燃剂熔点高,难以在基体树脂中熔融分散;同时两者与基体树脂相容性较差,阻燃剂与树脂间存在界面缺陷。以上两方面的综合影响,导致材料的力学性能下降,尤其是断裂伸长率和缺口冲击强度降低显著。而阻燃剂 HHB-BR001 熔点较低,且其经过高分子活化处理,与 PP 树脂相容性好,能在体系中较好地分散,因此力学性能变化不大。

另外,结合表 2 和表 3 数据可知,在达到同等阻燃级别时,试样 PP3[#] 的阻燃剂添加量最少,即 HHB-BR001 的阻燃效率高,且对材料的加工性能影响较小,并且其是低卤型的环保阻燃剂。因此综合考虑,后续试验选择环保的 HHB-BR001 作为体

系阻燃剂。

2.3 除味剂用量筛选

PP 材料的 VOC 组分有近 20 种,主要是醛、酮、酯等碳基化合物和烃类化合物^[15]。研究表明,多孔材料对醛、酮类 VOC 物质和 C6~C16 的长链烷烃有明显的吸附作用,且工艺简单、效果明显、可操作性强^[3,12]。

以试样 PP3[#] 为基础,添加具有多孔结构的 CW-101 作为除味剂,保持阻燃剂 HHB-BR001 和助剂用量不变,改变基体树脂和 CW-101 的比例,考察除味剂含量对材料 TVOC 和性能的影响,结果见表 4。

表 4 不同除味剂 CW-101 含量的阻燃 PP 材料 TVOC 和性能

CW101 质量分数 / %	TVOC / ($\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$)	MFR / [$\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$]	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	缺口冲击强度 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)
0	96.7	1.8	20.3	518.4	58.2
0.5	67.2	1.6	20.2	510.7	56.6
1	44.6	1.7	20.4	511.2	54.8
1.5	41.1	2.1	20.6	505.4	54.3
2	37.2	1.9	20.8	508.5	54.9

分析表 4 可知, CW-101 能有效降低材料 TVOC,随着用量不断增加, TVOC 含量逐渐下降。当质量分数为 1% 时, TVOC 降至 44.6 $\mu\text{gC}/\text{g}$,相比未加时减少了 54%,低于标准限定值 (50 $\mu\text{gC}/\text{g}$)。原因在于:① CW-101 是多孔铝硅无机物与有机物的复配物,具有的多孔结构可有效地吸附醛酮类和烷烃等组分;②其结构中含有酸性气体中和剂,能与部分气味小分子反应;③其结构中含有金属离子螯合剂,能螯合体系夹杂的金属杂质,减少了杂质对基体树脂的催化降解。因此, CW-101 能显著降低材料的 TVOC。当 CW-101 用量进一步增加时, TVOC 含量下降速率减缓,可能是由于除味剂的吸附和解吸附达到了一定平衡。

对比力学性能发现, CW-101 用量对力学性能和加工性能无明显影响。相比未添加的体系,用量为 1% 时,缺口冲击强度和断裂伸长率仅减少了 3.4 kJ/m^2 和 7.2%,拉伸强度和 MFR 几乎不变。因为 CW-101 是多孔铝硅无机物与有机物的复配物,具有优秀的润滑体系,且添加量少,所以对材料的力学性能和加工流动性影响很小。

康鹏^[10]研究表明,吸附剂会使 PP 共混物的自然吸湿能力大幅度提升,使用时处理不当,会严重影响产品的外观甚至性能。同时其价格昂贵,因此

综合材料成本和性能,优选 CW-101 质量分数为 1.0%。

2.4 螺杆组合的优化

加工设备优异的低剪切性能和高效的分散功能有利于减少 TVOC 含量^[11]。因此,选择合适的螺杆组合,优化加工设备,也是改善阻燃 PP 材料的 TVOC 的途径之一。

以试样 PP3[#] 为基础, K8003 质量分数为 91%,

CW-101 质量分数为 1%,加工用双螺杆挤出机的螺杆组合形式见表 5。主要是混炼段不同,其中 1[#] 螺杆组合以 45°/5/56,45°/5/44 捏合块与螺纹元件交错排布,2[#] 螺杆组合有两段三组合捏合块,排布比 1[#] 集中,3[#] 螺杆组合用 60°/4/44 捏合块替代了部分 45°/5/56,捏合块排布与 1[#] 螺杆组合相同。不同螺杆组合对阻燃 PP 材料 TVOC 和性能的影响见表 6。

表 5 挤出机螺杆组合方式

螺杆组合编号	加料段	熔融段	混炼段
1 [#]	56/56A, 3×72/72, 3×56/56, 2×44/44	2×45°/5/56, 56/56, 45°/5/44, 60°/4/44, 56/56, 2×45°/5/44, 44/44, 45°/5/44, 56/28(L)	45°/5/56, 45°/5/56, 56/56, 45°/5/56, 45°/5/56, 56/56, 45°/5/56, 45°/5/44, 44/44, 45°/5/44, 45°/5/44, 44/44, 45°/5/44, 56/28(L)
2 [#]	56/56A, 3×72/72, 2×45°/5/56, 56/56, 45°/5/44, 60°/4/44, 3×56/56, 2×44/44	56/56, 2×45°/5/44, 44/44, 45°/5/44, 56/28(L)	45°/5/56, 60°/4/56, 60°/4/56, 56/56, 45°/5/56, 45°/5/56, 45°/5/44, 56/56, 45°/5/56, 45°/5/56, 56/56, 45°/5/44, 56/28(L)
3 [#]	56/56A, 3×72/72, 3×56/56, 2×44/44	2×45°/5/56, 56/56, 45°/5/56, 45°/5/44, 56/56, 2×45°/5/44, 44/44, 45°/5/44, 56/28(L)	45°/5/56, 60°/4/44, 56/56, 45°/5/56, 60°/4/44, 56/56, 45°/5/56, 60°/4/44, 56/56, 45°/5/44, 45°/5/44, 56/56, 45°/5/44, 56/28(L)

注: 56/56A, A 代表起始旋螺纹元件,该螺纹元件的导程为 56 mm,长度为 56 mm; ; 2×72/72 表示 2 个相连的 72/72 输送螺纹元件; 2×45°/5/56, 表示捏合盘呈 45° 错列角排列,捏合盘 5 片,长度 56 mm,捏合盘数量为 2 个; 56/28(L), L 代表左旋螺纹元件,该螺纹元件的导程为 56 mm,长度为 28mm。

表 6 螺杆组合方式对阻燃 PP 材料 TVOC 和性能的影响

螺杆组合方式	TVOC/ ($\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$)	MFR/ [$\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$]	拉伸强度/ MPa	断裂伸长率/%	缺口冲击强度/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)
1 [#]	44.6	1.7	20.4	511.2	54.8
2 [#]	78.5	6.9	18.5	370.2	35.6
3 [#]	35.2	1.6	21.1	520.7	58.5

由表 6 可知,在 3 种螺杆组合中,3[#] 螺杆组合得到阻燃 PP 综合性能最好,其中 TVOC 为 35.2 $\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$,缺口冲击强度为 58.5 kJ/m^2 ,拉伸强度为 21.1 MPa,断裂伸长率为 520.7%。

1[#] 螺杆组合的捏合块和螺纹元件交错排布,物料分散和分布混合效果提高^[16],得到的材料性能较好;2[#] 螺杆组合有两段三个捏合块元件集中排布,物料被连续不断地剪切,受到的剪切作用强烈,导致 PP 基体树脂和阻燃剂微降解,这从表 6 的 MFR 和力学性能数据可以看出。3[#] 螺杆组合的捏合块和螺纹元件也是交错排布,且捏合块由不同角度和方向的捏合盘错列组成,具有一定错位角,更有利于分布混合,同时剪切强度增加较少,使得阻燃剂和除味

剂能均匀分散,并避免了物料的降解。由此可见,3[#] 螺杆组合具有更好的分散混合及分布混合效果,得到的阻燃 PP 材料综合性能较好。

3 低 TVOC 阻燃 PP 材料的应用

笔者研究制备的环保阻燃 PP 材料满足了 PP 内饰件阻燃性、VOC 散发特性、力学性能和加工性能的要求,已成功应用于大众汽车、通用汽车、长安福特等众多车型上的波纹管上,其外观图如图 1 所示。该材料取得了良好的经济效益与社会效益。



图 1 汽车波纹管

4 结论

(1) 采用氢调法 PP K8003 为基体树脂,阻燃 PP 材料 TVOC 含量低,加工和力学性能好。

(2) 阻燃剂会使 PP 材料的 TVOC 增加,相比溴系阻燃剂,环保低卤或无卤阻燃剂得到的阻燃 PP 的 TVOC 值明显低,其中 HHB-BR001 阻燃效率高,材料的综合性能好;

(3) 除味剂 CW-101 能有效降低 TVOC 含量至标准限定值以下,且对材料的加工和力学性能影响小,质量分数优选为 1%。

(4) 螺杆组合会影响阻燃 PP 材料的 TVOC 和性能,3[#] 螺杆组合兼顾了分散混合及分布混合,加工的阻燃 PP 材料 TVOC 为 $35.2 \mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$,缺口冲击强度为 58.5 kJ/m^2 ,拉伸强度为 21.1 MPa,断裂伸长率为 520.7%。

参考文献

- [1] 李应平,郑化安,王小宪,等.车用聚丙烯改性材料气味控制技术进展[J].工程塑料应用,2016,44(6):124-127.
Li Yingping, Zheng Huaan, Wang Xiaoxian, et al. Progresses in control technology for volatile organic compounds in modified polypropylene for vehicle[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(6):124-127.
- [2] 孟凡地,王雄刚,周友明,等.低气味、低 VOC 阻燃汽车波纹管及其制备方法:CN,106032421A[P].2016-10-19.
Meng Fandi, Wang Xionggang, Zhou Youming, et al. Low odor, low VOC flame retardant automobile bellows and its preparation method:CN,106032421A[P].2016-10-19.
- [3] 黄险波,李建军,杨波,等.车用低 TVOC 聚丙烯材料的制备[J].塑料工业,2011,39(12):113-115.
Huang Xianbo, Li Jianjun, Yang Bo, et al. Preparation of low TVOC PP blend for automobile[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(12):113-115.
- [4] 杨波,苏娟霞,姚程,等.耐划伤剂对车用聚丙烯材料耐划伤和散发性能的影响[J].工程塑料应用,2017,45(6):105-110.
Yang Bo, Su Juanxia, Yao Cheng, et al. Effects of anti-scratch additives on scratch resistance and emission lever of polypropylene composite for automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(6):105-110.
- [5] 康鹏,金滢,蔡涛,等.聚丙烯中挥发性有机物释放行为的研究[J].合成树脂及塑料,2010,27(1):60-63.
Kang Peng, Jing Yan, Cai Tao, et al. Study on release behavior of VOC from polypropylene[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2010, 27(1):60-63.
- [6] Xiang Q, Xanthos M, Mitra S, et al. Effects of melt reprocessing on volatile emissions and structural / rheological changes of unsterilized polypropylene[J]. Polymer Degradation and Stability, 2002, 77(1):93-102.
- [7] Reingruber E, Reussner J, Sauer C, et al. Studies on the emission behavior of polypropylene by gas chromatography / mass spectrometry with static headspace or thermodesorption[J]. Journal of Chromatography A, 2011, 1218(21):3 326-3 311.
- [8] 刘小林.低气味、低 VOC 聚丙烯 / 滑石粉共混物的研究[J].工程塑料应用,2017,45(5):29-34.
Liu Xiaolin. Study on polypropylene / talcum powder blend with low odor and low VOC[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(5):29-34.
- [9] 范开鑫,金江彬,陈江明.汽车用低气味、低 VOC 聚丙烯复合材料的制备及性能[J].工程塑料应用,2019,47(8):23-28.
Fan Kaixin, Jin Jiangbin, Chen Jiangming. Preparation and properties of low odor and low VOC polypropylene composites for automotive[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(8):23-28.
- [10] 康鹏,武鹏,金滢,等.车用聚丙烯材料螺杆脱挥技术的研究[J].石油化工,2018,47(3):286-291.
Kang Peng, Wu Peng, Jin Yan, et al. Study on screw devolatilizing technology of polypropylene for automobile[J]. Petrochemical Technology, 2018, 47(3):286-291.
- [11] 李峰,康鹏,金滢.加工技术对聚丙烯中 VOC 含量的影响[J].合成树脂及塑料,2013,30(3):55-58.
Li Feng, Kang Peng, Jing Yan. Effect of processing technology on VOC content in polypropylene[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2013, 30(3):55-58.
- [12] 陈桂吉,陈延安,罗忠富.聚丙烯材料中 VOC 物质的来源分析[J].合成材料老化与应用,2019,48(3):33-36.
Chen Guiji, Chen Yanan, Luo Zhongfu. Source Analysis of VOC Substances in Polypropylene Materials[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2019, 48(3):33-36.
- [13] 闫溥,李荣群,邵之杰,等.汽车内饰用低 VOC 含量聚丙烯复合材料的制备[J].合成树脂及塑料,2017,34(4):17-20.
Yan Pu, Li Rongqun, Shao Zhijie, et al. Preparation of low VOC polypropylene composites for automotive interiors[J]. China Synthetic Resins and Plastics, 2017, 34(4):17-20.
- [14] 邵方方,张阳,殷雪亚,等.阻燃剂对汽车内饰常用塑料性能的影响[J].汽车实用技术,2019(6):175-179.
Shao Fangfang, Zhang Yang, Yin Xueya, et al. Effect of flame retardant on the properties of common plastics used in automotive interior[J]. Automobile Technology, 2019(6):175-179.
- [15] 罗忠富,李永华,杨燕,等.车用聚丙烯复合材料气味分析研究[J].工程塑料应用,2010,38(7):51-53.
Luo Zhongfu, Li Yonghua, Yang Yan, et al. Study on analysis of odor in polypropylene composites for automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(7):51-53.
- [16] 高可正,胡蝶,丁筠,等.挤出机螺杆结构对 PET 纤维母粒分散性能的影响[J].工程塑料应用,2019,47(5):100-104.
Gao Kezheng, Hu Die, Ding Yun, et al. Effect of extruder screw structure on PET fiber masterbatch mixing performance[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(5):100-104.