

汽车零部件包装用聚丙烯复合材料性能研究

贾利军

(河南机电职业学院, 郑州 451191)

摘要: **目的** 研究纳米氧化铝 (Al_2O_3) 对聚丙烯 (PP)/碱式硫酸镁晶须 (MHSH)/氮-磷复配阻燃剂 (N-P) 复合材料力学性能和燃烧性能的影响。 **方法** 对 MHSH 和 Al_2O_3 进行表面改性处理, 利用混合机将 PP、MHSH、 Al_2O_3 和氮-磷复配阻燃剂进行混合, 采用熔融共混法制备 PP/MHSH/ Al_2O_3 /N-P 复合材料。 **结果** 当 Al_2O_3 的添加质量分数为 8% 时, 复合材料的力学性能较佳, 随着 Al_2O_3 含量的继续增加, 复合材料的力学性能逐渐降低; Al_2O_3 质量分数为 5% 时, 复合材料的极限氧指数 (LOI) 为 23.6%, 其阻燃性能明显得到提高, 随着 Al_2O_3 填充量的继续增加, 复合体系的 LOI 增长速度变缓; 当 Al_2O_3 质量分数为 8% 时, 复合材料力学和阻燃综合性能最佳。 **结论** Al_2O_3 经表面改性处理后, 其在 PP 基材中分散良好, 对聚丙烯复合材料起到补强和增韧作用, 复合材料的阻燃性能也得到了改善。

关键词: 聚丙烯; 碱式硫酸镁晶须; 氧化铝; 阻燃

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0096-06

Properties of PP Composites for Automotive Parts Packaging

JIA Li-jun

(Henan Mechanical and Electrical Vocational College, Zhengzhou 451191, China)

ABSTRACT: The work aims to study the impact of nano-alumina (Al_2O_3) on the mechanical properties and combustion performance of PP/MHSH/ Al_2O_3 /N-P composites. First, MHSH and Al_2O_3 were subject to surface modification treatment. Second, PP, MHSH, Al_2O_3 and N-P were mixed together by a mixer. Finally, PP/MHSH/ Al_2O_3 /N-P composites were prepared by melt blending. When the mass fraction of Al_2O_3 added was 8%, the mechanical properties of the composites were better, but the mechanical properties of the composites decreased gradually with the increase of Al_2O_3 content. When the mass fraction of Al_2O_3 was 5%, the limiting oxygen index (LOI) of the composites was 23.6%, and the flame-retardant properties were obviously improved, but the LOI growth rate of composite system was slowing down with the continuous increase of Al_2O_3 filling content. The mechanics and comprehensive flame-retardant performance of the composites were the best when the mass fraction of Al_2O_3 was 8%. In conclusion, Al_2O_3 is dispersed well in PP base material after the surface modification treatment, and the treatment also works to reinforce and toughen the PP composites, and also improve their flame retardant properties.

KEY WORDS: polypropylene; basic magnesium sulfate whiskers; alumina; flame retardant

汽车行业的快速发展也相应带动了与其相关的包装业的发展, 通常其零部件的包装采用高分子膜裹附, 并用木板或者塑料壳体固定。聚丙烯作为一种半结晶型热塑性高分子材料, 具有耐热性好、密度小、耐应力开裂、易成型加工、价格低廉等优点, 且其加上各种助剂和复合能够进行二次加工改性技术, 因此聚丙烯材料常

应用于汽车零部件的包装。纯聚丙烯具有低温变脆、表面易划伤、耐寒性差、遇火易燃烧且释放出大量黑烟等缺陷^[1-4], 易使得汽车零部件在运输过程中外包装壳体划伤或者存放过程中遇火燃损, 从而限制了聚丙烯在汽车零部件包装领域的使用^[5-6]。对聚丙烯的力学和防火性能进行探索, 开发出具有一定力学强度和阻燃功

收稿日期: 2017-05-03

基金项目: 河南省科技厅科技发展计划 (142102210042)

作者简介: 贾利军 (1984—), 男, 河南机电职业学院讲师, 主要研究方向为汽车零部件包装与汽车电子设计。

效的聚丙烯复合材料，满足其在汽车零部件包装领域的使用，对扩大聚丙烯复合材料的适用范围具有重要意义。

晶须作为一种微米级的单晶纤维，其原子排列高度有序、结构完美，强度和模量与完整晶体理论值极其接近，可将其作为聚合物复合材料的新型增强、增韧添加剂^[7-8]。晶须材料有多种，其中镁盐晶须除具有增强作用外，同时还具有阻燃、耐热功效，因此在聚合物中添加镁盐晶须是提高复合材料力学性能和防火性能的一种有效方法^[9]。虽然镁盐晶须能够同时提高聚合物的力学和阻燃性能，但对聚合物阻燃性能的提高不太显著。研究将其与阻燃剂配合使用，进一步提高聚合物的阻燃性，但分析发现填料的质量分数达到 40% 左右时，复合材料阻燃性能满足要求^[10]，而高含量的填料又会削弱复合材料的力学性能。

无机纳米粒子具有小尺寸、表面和界面效应，可明显改善聚合物的力学性能，且自身具有一定的刚度、强度和耐热性^[11]。基于此，这里采用熔融共混法，在聚丙烯/碱式硫酸镁晶须/氮-磷复配阻燃剂体系中添加纳米氧化铝，探讨纳米 Al₂O₃ 对 PP/MHSH/N-P 复合材料力学性能和燃烧性能的影响，旨在对聚丙烯在汽车零部件包装或者内部装饰方面的应用提供参考。

1 实验

1.1 材料和设备

主要材料：聚丙烯，K8003，中国石油天然气股份有限公司；碱式硫酸镁晶须，10 μm，上海牧泓实业有限公司；氮-磷阻燃剂，Doher-6003，粒径小于 1.5 μm，东莞市道尔化工有限公司；氧化铝，TAP-A21，平均粒径 40 nm，比表面积为 20 m²/g，南京天行新材料有限公司；马来酸酐接枝聚丙烯，PP-02，广州谦叁化工科技有限公司；偶联剂，KH550，南京优普化工有限公司；硬脂酸锌，HC-100，石家庄宏达锌业有限公司；无水乙醇，分析纯，国药集团化学试剂有限公司。

主要设备：真空干燥箱，DZF-6050，上海和呈仪器制造有限公司；造粒机，SJSZ65，青岛科创塑料机械有限公司；注塑机，DQ-120TK，广东德群机械有限公司；混合机，SHR10，张家港市亿利机械有限公司；冲击试验机，JB-300C，电子万能试验机，WDW-200，济南新试金试验机有限责任公司；SEM，S-5000，日本 Hitachi；氧指数仪，S8053X，上海斯玄检测设备有限公司；燃烧测试仪，UL-94 常规型，苏州菲尼克斯质检仪器有限公司。

1.2 样品制备

首先将一定量的 MHSH 置于烧杯中，配制成质

量分数为 4% 的乙醇浆料，70 ℃ 下水浴，搅拌均匀，然后按照 MHSH 质量的 2% 称取硬脂酸锌，将其溶入适量的无水乙醇并加入烧杯中，500 r/min 条件下继续搅拌 30 min。结束后将烧杯中的样品移至室温下冷却，并用去离子水对其进行洗涤、过滤和干燥，得到改性 MHSH^[12]。然后取 20 mL KH550 偶联剂加入 800 mL 的去离子水中，70 ℃ 下水浴，500 r/min 条件下搅拌 2 h，然后称取适量纳米氧化铝并加入去离子水中，300 r/min 下继续搅拌 4 h，结束后将浆料倒入托盘中，并移至真空干燥箱中，于 80 ℃ 下干燥 6 h，制得改性氧化铝^[13]。

采用熔融共混法制备聚丙烯/碱式硫酸镁晶须/氮-磷复配阻燃剂/氧化铝复合材料，复合材料的配比见表 1。称取物料，加入混合机中混合均匀，然后将混合均匀的物料加入造粒机中进行造粒，最后对上述的粒料进行干燥，并加入注塑机，用注塑机将上述复合材料注塑成标准样条，进行相关性能测试。

表 1 复合材料的配比
Tab.1 Components of composites

试样	质量/g					Al ₂ O ₃ 质量分数/%
	PP	PP-g-MAH	MHSH	N-P 阻燃剂	Al ₂ O ₃	
1	100	10	15	10	0	0
2	100	10	15	10	6.6	5
3	100	10	15	10	10.9	8
4	100	10	15	10	13.9	10
5	100	10	15	10	22.1	15

1.3 测试与表征

1) 拉伸强度。利用电子万能试验机，按照 GB/T 1040.1—2006 进行测试，测试温度为 25 ℃，样品为哑铃型，拉伸速率为 3 mm/min，最终结果取 5 个试样测试值的平均值。

2) 弯曲强度。利用电子万能试验机，按照 GB/T 9341—2008 进行测试，测试温度为 25 ℃，样品尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm，弯曲速率为 2 mm/min，最终结果取 5 个试样测试值的平均值。

3) 冲击强度。利用摆锤冲击试验机，按照 GB/T 1843—2008 进行测试，测试温度为 25 ℃，无缺口，样品尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm，最终结果取 5 个试样测试值的平均值。

4) 扫描电镜。测试样品冲击试验断面形貌，测试前对样品断面进行喷金处理。

5) 燃烧性能。水平垂直燃烧，利用燃烧测试仪，样品尺寸为 125 mm×10 mm×3 mm。

6) 极限氧指数。利用氧指数仪，按照 GB/T

2406.2—2009 进行测试, 样品尺寸为 80 mm×6.5 mm×3 mm。

2 结果与讨论

2.1 力学性能

包装材料对汽车零部件起到修饰或者保护作用, 在运输和储存条件下, 其对力学性能要求较高, 需满足力学强度和韧性综合性能需求。聚丙烯复合材料拉伸强度、弯曲强度和冲击强度随氧化铝含量变化的曲线见图 1。

由图 1a 可以看出, 当纳米 Al_2O_3 的质量分数为 8% 时, 复合材料的拉伸强度达到最大值 39.4 MPa,

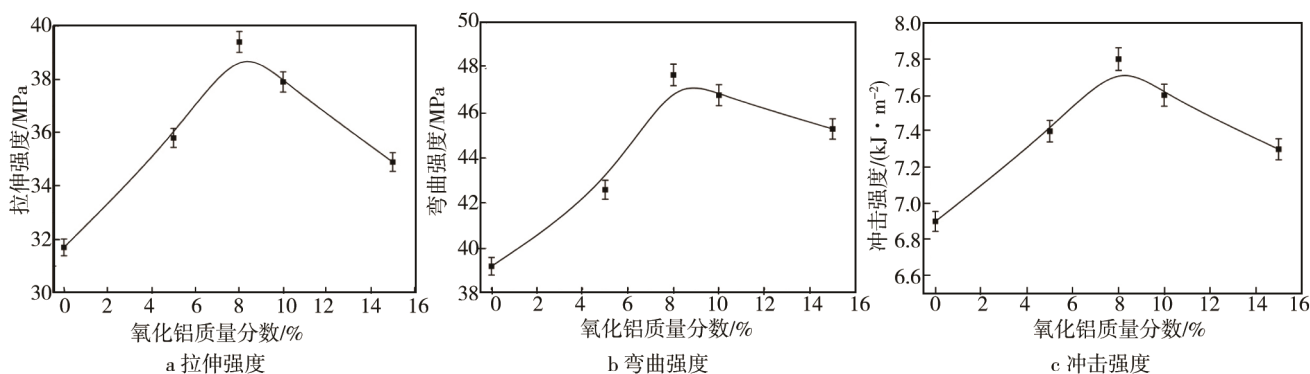


图 1 不同 Al_2O_3 含量聚丙烯复合材料的力学性能

Fig.1 Mechanical property of polypropylene composites with different Al_2O_3 contents

由图 1b 可以看出, 随着纳米 Al_2O_3 含量的增加, 聚丙烯复合材料的弯曲强度总体呈现为先增大后减小的趋势。当纳米 Al_2O_3 的质量分数为 8% 时, 复合材料的弯曲强度达到最大值 47.7 MPa, 较 PP/MHSH/N-P 复合材料的 39.2 MPa 提高了 21.7%。当采用质量分数为 8% 的未改性 Al_2O_3 填充时, 复合材料的弯曲强度为 43.6 MPa, 这主要是因为改性后的 MHSH 提高了其在聚丙烯基体中的分散性, 并与聚丙烯基体形成牢固的粘结面, 基体中分散的 MHSH 粘结面彼此之间互相搭接, 在整个复合材料体系中形成三维网络框架支撑结构, 纳米 Al_2O_3 均匀嵌于网络的网眼中, 起到应力传递和吸收双重作用。受到外界应力时, 应力集中点分布于整个复合体系中, 外界应力迅速被三维网络和 Al_2O_3 传递并吸收, 从而增大复合材料的承载力, 提高复合材料的弯曲强度。适量 Al_2O_3 能够降低体系的粘度, 提高复合材料加工流动性, 加工过程中粒状 Al_2O_3 对 MHSH 也有一定的相互作用, 进一步提高 MHSH 在基体中的分散性, 减弱复合材料的内部缺陷^[16]。纳米 Al_2O_3 质量分数超过 8% 时, 纳米 Al_2O_3 在聚丙烯复合材料中容易出现团聚, 形成应力集中点, 降低复合材料的弯曲强度。

采用质量分数为 8% 的未改性纳米 Al_2O_3 填充

较 PP/MHSH/N-P 复合材料的 31.7 MPa 提高了 24.3%。从总体趋势上来看, 拉伸强度呈现为先增大后降低, 表明适量的纳米 Al_2O_3 对 PP/MHSH/N-P 复合材料具有增强作用, 主要原因是纳米 Al_2O_3 具有大的比表面积和表面能, 改性后能够作为活性点通过化学键或者物理吸附与聚丙烯界面牢固粘结^[12-14]。PP-g-MAH 进一步提高了 MHSH 和 Al_2O_3 与聚丙烯基体的界面相容性, 减少界面缺陷, 使 MHSH 和 Al_2O_3 与聚丙烯分子链形成物理缠结点, 抑制外力造成的聚丙烯分子链滑移, 提高复合材料的拉伸性能。当纳米 Al_2O_3 质量分数超过 8% 时, 大表面能的 Al_2O_3 在聚合物基体容易发生团聚, 并形成缺陷, 导致复合材料拉伸强度下降^[15]。

PP/MHSH/N-P 复合材料, 冲击强度为 7.0 kJ/m², 随着 Al_2O_3 填充量的继续增加, 当未改性 Al_2O_3 质量分数为 15% 时, 复合材料的冲击强度为 5.7 kJ/m², 由此可见, 采用未改性纳米 Al_2O_3 填充 PP/MHSH/N-P, 复合材料的冲击强度降低很明显。采用改性纳米 Al_2O_3 填充复合材料, 其测试数据见图 1c, 当纳米 Al_2O_3 的质量分数为 8% 时, 复合材料的冲击强度达到最大值 7.8 kJ/m², 较 PP/MHSH/N-P 复合材料的 6.9 kJ/m² 提高了 13%。当氧化铝质量分数超过 8% 时, 复合材料的冲击强度开始降低。 Al_2O_3 经过改性后, 其能够均匀分散在聚丙烯基体中, 粒子周围能够产生应力集中效应, 受到外界冲击时, 使聚丙烯基体产生银纹吸收能量, 此外, 改性后的 Al_2O_3 和 MHSH 与聚丙烯基体形成牢固的界面结合, 外力作用下引发更多的微裂纹且不脱粘, 吸收更多的能量, 而当冲击力过大时, Al_2O_3 和 MHSH 通过与聚丙烯基体脱粘或者空洞化, 使复合材料平面应变向平面应力转变, 引起剪切屈服, 消耗大量的应变能量, 阻止裂纹的进一步扩展^[17]。 Al_2O_3 和 MHSH 对聚丙烯具有异相成核作用, 可提高聚丙烯的结晶度, 而在晶界区由于材料的扩散系数大, 存在一定量的短程快速扩散路径, 受到外界冲击应力时, Al_2O_3 和 MHSH 可

以通过晶界区域的短程快速扩散而产生相对滑动, 迅速弥补微裂纹的形成, 进而提高聚丙烯复合材料的韧性^[18—20]。当氧化铝质量分数超过 8% 时, 容易形成团聚现象, 在聚丙烯材料中形成缺陷, 降低复合材料韧性, 且在加工过程中, 过高含量的氧化铝对 MHSB 的影响作用增强, 在加工设备螺杆剪切力的作用下, MHSB 尺寸可能变短, 降低体系的增强增韧效果^[21]。

不同纳米 Al_2O_3 含量的复合材料冲击断面 SEM 形貌见图 2。由图 2 可以看出, PP/MHSB/N-P 复合材料冲击断面有大量孔洞, 这主要是复合材料受到冲击

应力时, MHSB 从聚丙烯基体中拔出形成的, MHSB 在拔出过程中吸收冲击应力, 提高复合材料的韧性。在 PP/MHSB/N-P 中加入氧化铝后, 断面变得圆润, 且断面上显现出褶皱和滑移迹象, 间接表明复合材料通过银纹化和屈服形变吸收能量。照片中的微小空洞正是因 MHSB 与聚丙烯基体相剥离形成的, 与上述力学性能测定相吻合。此外, 照片中明亮的亮点为改性氧化铝, 在剪切力作用下, 氧化铝质量分数小于 8% 时, 其能够均匀分散在聚丙烯基体中, 当质量分数大于 8% 时, Al_2O_3 在基体中开始团聚, 见图 2e, 与上述力学性能变化趋势一致。

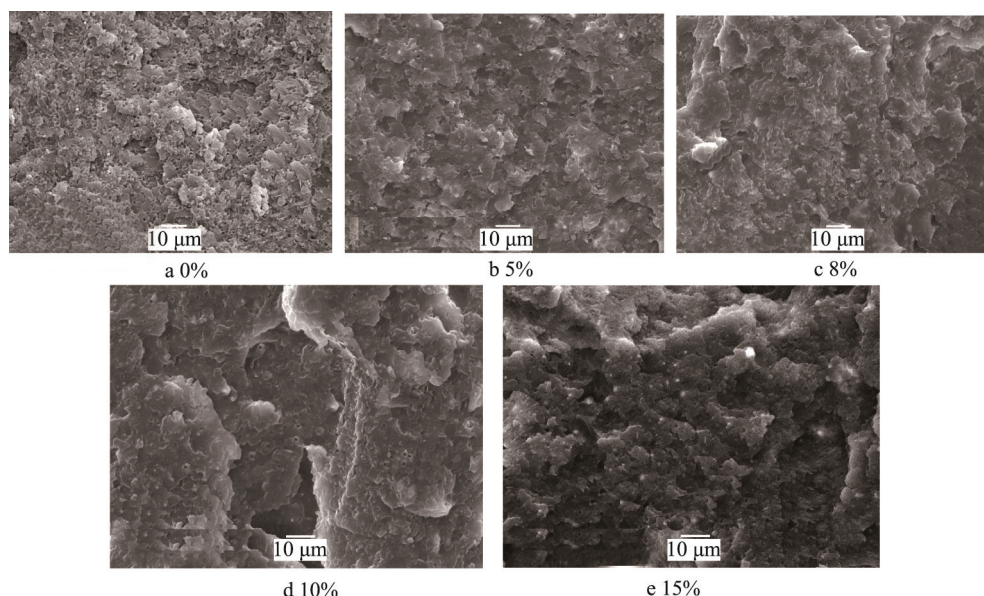


图 2 不同 Al_2O_3 质量分数聚丙烯复合材料的冲击断面形貌

Fig.2 Impact cross-section morphology of polypropylene composites with different Al_2O_3 contents

2.2 阻燃性能

聚丙烯复合材料极限氧指数 (LOI) 随氧化铝含量变化的曲线见图 3。从图 3 可以看出, 当 Al_2O_3 质量分数为 5% 时, 复合材料 LOI 达到 23.6%, 较 PP/MHSB/N-P 的 19.3% 提高了 22.3%。随着 Al_2O_3 含量继续增加, 复合材料 LOI 增加速度逐渐变缓。这主要是因为, 在燃烧初期, 聚丙烯材料表面在氮-磷复配阻燃剂的作用下形成一层发泡膨胀炭层, 该过程中氮-磷复配阻燃剂受热分解形成一部分磷系物质, 磷系物与 MHSB 相互作用生成热稳定性良好的磷酸镁盐, 磷酸镁盐和 MHSB 对膨胀炭层起到骨架支撑作用, 可提高膨胀炭层强度。加入少量 Al_2O_3 提高膨胀炭层的致密度, 致密的膨胀炭层附着在材料表面形成一个隔热、隔氧保护层, 阻止材料内外可燃性气体和热量的交换, 再者随着 Al_2O_3 的加入, 复合材料的导热性能增加, 材料表面的温度快速传递到材料内部, 使复合材料表面的温度降低, 减弱材料表面的聚丙烯分解, 进而提高复合材料的阻燃性能^[22—24]。随着 Al_2O_3

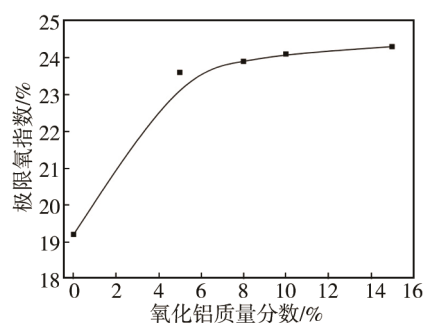


图 3 聚丙烯复合材料极限氧指数变化曲线

Fig.3 The change curve of LOI of polypropylene composites

含量的继续增加, 燃烧过程中, 复合材料表面的残余膨胀炭层的致密度趋近稳定, 其 LOI 增大速率相应变缓。

复合材料进行 UL-94 燃烧性能的测试结果见表 2。从表 2 可以看出, 未添加 Al_2O_3 时, 在 PP/MHSB/N-P 复合材料 (试样 1) 垂直燃烧过程中, t_1+t_2 的时间为 21 s (≤ 30 s), 有熔滴滴落且引燃脱脂棉, 其燃烧级别判定为 V-2。当 Al_2O_3 质量分数为 5% 时, 在复合材料 (试样 2) 垂直燃烧过程中, 无熔滴滴落、未引燃

脱脂棉、未烧到夹具, t_1+t_2 的时间为 10 s (≤ 10 s), 其燃烧级别为 V-0 级, 说明 Al_2O_3 对 PP/MHSH/N-P 复合材料具有明显的阻燃作用。随着 Al_2O_3 含量的继续增加, 复合材料的垂直燃烧过程中无熔滴滴落、未

引燃脱脂棉、未烧到夹具, 燃烧级别均表现为 V-0 级, 并随着 Al_2O_3 质量分数的提高, 复合材料的燃烧速率逐渐减小, 说明 Al_2O_3 对 PP/MHSH/N-P 复合材料的燃烧速率具有一定的减缓作用。

表 2 复合材料的 UL-94 燃烧性能测试
Tab.2 UL-94 combustion performance test of composites

试样	t_1/s	t_2/s	t_3/s	滴落情况	是否引燃脱脂棉	是否烧到夹具	燃烧级别	燃烧速率/(mm·min ⁻¹)
1	5	16	0	滴落	是	否	V-2	18.6
2	2	8	0	无滴落	否	否	V-0	16.3
3	3	5	0	无滴落	否	否	V-0	15.9
4	2	7	0	无滴落	否	否	V-0	14.7
5	2	6	0	无滴落	否	否	V-0	14.2

注: t_1 为第 1 次余焰持续时间; t_2 为第 2 次余焰持续时间; t_3 为余辉持续时间; 余焰是引燃源移去后, 在规定条件下材料的持续火焰; 余辉是指在火焰终止后, 或者没有产生火焰时, 移去引燃源后, 在规定的试验条件下材料的持续辉光; V-2 级别是指对样品进行 2 次 10 s 的燃烧测试后, 余焰在 60 s 内熄灭, 滴落的微粒可点燃棉花; V-0 级别是指对样品进行 2 次 10 s 的燃烧测试后, 余焰在 30 s 内熄灭, 滴落的微粒不可点燃棉花

3 结语

当氧化铝质量分数为 8% 左右时, 复合材料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度达到最大, 随着氧化铝含量的继续增加, 复合材料的力学性能逐渐降低。当氧化铝质量分数为 5% 时, 复合材料的 LOI 为 23.6%, 随着氧化铝质量分数的继续增加, 复合体系的 LOI 增长速度变缓。氧化铝经改性后, 其与聚丙烯基体的界面结合强度增强, 聚丙烯/碱式硫酸镁晶须/氮-磷复配阻燃剂复合材料的力学性能和阻燃性能得到进一步的提高, 当氧化铝质量分数为 8% 时, 复合材料的力学强度和阻燃性表现出最好的综合性能。

参考文献:

- [1] BLEDZKI A, HEIM H, PABMANN D, et al. Manufacturing of Self-reinforced All-PP Composites[J]. Synthetic Polymer-Polymer Composites, 2012(1): 719—738.
- [2] 刘婧, 许文才, 曾国荣, 等. 聚丙烯接枝改性研究[J]. 包装工程, 2007, 28(9): 33—35.
LIU Jing, XU Wen-cai, ZENG Guo-rong, et al. Study on the Graft Modification of Polypropylene[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9): 33—35.
- [3] 金静, 王昊. 纳米协同膨胀阻燃聚丙烯增韧共混物的阻燃组分分配比研究[J]. 材料导报, 2016, 30(9): 70—74.
JIN Jing, WANG Hao. Research on the Proportion Toughened Polypropylene Blends Synergistically Modified by Organic-montmorillonite and Intumescent Flame Retardant[J]. Materials Review, 2016, 30(9): 70—74.
- [4] 魏涛, 慈书亭, 何敏, 等. 纳米蒙脱土、水滑石对阻燃型长玻纤维增强聚丙烯阻燃性能及其降解动力学的影响[J]. 功能材料, 2015, 46(23): 51—55.
WEI Tao, CI Shu-ting, HE Min, et al. Effects of OMMT and LDH on the Flammability and Thermal
- [5] 王伟. 汽车零部件的运输包装问题分析、改进及设计原则[J]. 中国包装工业, 2014(10): 26—27.
WANG Wei. Existing Auto Parts Transportation Packaging Problem Analysis and Improvement[J]. China Packaging Industry, 2014(10): 26—27.
- [6] 张文杰, 李正军. 多尺寸塑料周转箱优化汽车零部件物流研究[J]. 物流科技, 2016, 39(3): 49—52.
ZHANG Wen-jie, LI Zheng-jun. Research on Multi-size Plastic Returnable Container Optimizes Auto Parts Logistics[J]. Logistics Science and Technology, 2016, 39(3): 49—52.
- [7] 周健, 王毓琦. 钛酸钾晶须改性聚丙烯的性能研究[J]. 工程塑料应用, 2005, 33(11): 21—24.
ZHOU Jian, WANG Yu-qi. Study on Property of PP Modified with Potassium Titanate Whisker[J]. Engineering Plastics Applications, 2005, 33(11): 21—24.
- [8] 张峻岭. SPTW 对聚丙烯复合材料力学性能的影响研究[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 14—17.
ZHANG Jun-ling. Effects of Six Potassium Titanate Whiskers on Mechanical Properties of Polypropylene Composite[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 14—17.
- [9] 高传慧, 王婷, 徐磊, 等. 碱式硫酸镁晶须的表面改性及在聚丙烯中的应用机理[J]. 高校化学工程学报, 2014, 28(1): 143—149.
GAO Chuan-hui, WANG Ting, XU Lei, et al. Surface Modification of Magnesium Hydroxide Sulfate Hydrate Whiskers and Its Application Mechanism in Polypropylene[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2014, 28(1): 143—149.
- [10] 彭真, 林晓丹, 罗钟瑜, 等. 碱式硫酸镁晶须/微胶囊红磷/聚丙烯复合材料阻燃机理及性能研究[J]. 塑料工业, 2015, 43(8): 75—79.
PENG Zhen, LIN Xiao-dan, LUO Zhong-yu, et al.

Oxidative Degradation Kinetics of Long Glass Fiber Reinforced Polypropylene[J]. Journal of Functional Materials, 2015, 46(23): 51—55.

- Study on the Flame-retardant Mechanism and Flame Retardance Properties of Sulfate Hydrate Whisker/Microencapsulated Red Phosphorus/Polypropylene Composites[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(8): 75—79.
- [11] 何春霞, 顾红艳. 聚合物/无机纳米粒子复合材料的研究进展[J]. 合成树脂及塑料, 2007, 24(2): 69—72.
HE Chun-xia, GU Hong-yan. Progress in Research of Polymer Composites Filled with Inorganic Nano Particles[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2007, 24(2): 69—72.
- [12] 姜玉芝, 张丽丽, 张忠阳, 等. 碱式硫酸镁晶须/聚丙烯复合材料力学性能的研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(4): 60—63.
JIANG Yu-zhi, ZHANG Li-li, ZHANG Zhong-yan, et al. Study on the Mechanical Properties of Magnesium Oxsulfate Whiskers and Polypropylene Composites [J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2012, 31(4): 60—63.
- [13] 雷文, 张曙. 纳米氧化铝改性聚丙烯力学性能的研究[J]. 塑料科技, 2007, 35(9): 54—58.
LEI Wen, ZHANG Shu. Mechanical Properties of Nano Al_2O_3 Filled Polypropylene[J]. Plastics Science and Technology, 2007, 35(9): 54—58.
- [14] 朱一民, 张勇, 王晓丽, 等. 改性硫酸钙晶须/聚丙烯复合材料力学性能研究[J]. 矿产保护与利用, 2015 (3): 46—49.
ZHU Yi-min, ZHANG Yong, WANG Xiao-li, et al. Study on Mechanics Performance of Calcium Sulphate Whisker Modified/Polypropylene Composite Material[J]. Conservation and Utilization Mineral Resources, 2015(3): 46—49.
- [15] 黄兆阁, 李方舟, 刘树骏. 碱式硫酸镁晶须增强聚丙烯的性能研究[J]. 现代塑料加工应用, 2016, 28(4): 34—37.
HUANG Zhao-ge, LI Fang-zhou, LIU Shu-jun. Study on Performance of Magnesium Hydroxide Sulfate Hydrate Whisker Reinforced Polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2016, 28(4): 34—37.
- [16] 陈德良, 杨华明, 高廉. 无机组合粒子/聚丙烯复合材料的制备与协同效应[J]. 高分子材料科学与工程, 2003, 19(6): 220—223.
CHEN De-liang, YANG Hua-ming, GAO Lian. Study on Fabrication and Synergistic Effects of Polypropylene Composites Filled with Compound Inorganic Particles[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2003, 19(6): 220—223.
- [17] 战美秋, 陈广义, 魏志勇, 等. 聚丙烯/镁盐晶须复合材料的形态结构与性能研究[J]. 功能材料, 2012, 43(22): 3167—3170.
ZHAN Mei-qiu, CHEN Guang-yi, WEI Zhi-yong, et al. Structure and Properties of Isotactic Polypropylene/Magnesium Salt Whisker Composites[J]. Journal of Functional Materials, 2012, 43(22): 3167—3170.
- [18] 赵梦, 王刚, 梁兵. 碱式硫酸镁晶须的制备及其填充PP的性能研究[J]. 沈阳化工大学学报, 2016, 30(1): 11—17.
ZHAO Meng, WANG Gang, LIANG Bing. Research on Preparation of Magnesium Sulfate Whisker and Performance by Filling PP[J]. Journal of Shenyang University of Chemical Technology, 2016, 30(1): 11—17.
- [19] 史大刚, 姚子华, 仇满德. 纳米无机填料增强增韧聚丙烯的研究[J]. 塑料工业, 2005, 33(S): 81—83.
SHI Da-gang, YAO Zi-hua, QIU Man-de. Study of Reinforcing and Toughening of PP by Nano-meter Inorganic Filler[J]. China Plastics Industry, 2005, 33(S): 81—83.
- [20] 周红军, 李维达, 邝维. 纳米 Al_2O_3 改性聚丙烯的非等温结晶动力学[J]. 合成纤维工业, 2010, 33(6): 15—20.
ZHOU Hong-jun, LI Wei-da, KUANG Wei. Non-isothermal Crystallization Kinetics of Nano- Al_2O_3 Modified Polypropylene[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2010, 33(6): 15—20.
- [21] 黄兆阁, 李方舟, 刘树骏. 碱式硫酸镁晶须增强聚丙烯的性能研究[J]. 现代塑料加工应用, 2016, 28(4): 34—37.
HUANG Zhao-ge, LI Fang-zhou, LIU Shu-jun. Study on Performance of Magnesium Hydroxide Sulfate Hydrate Whisker Reinforced Polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2016, 28(4): 34—37.
- [22] 彭真, 林晓丹, 罗钟瑜. 碱式硫酸镁晶须/微胶囊红磷/聚丙烯复合材料[J]. 塑料工业, 2016, 34(8): 75—79.
PENG Zhen, LIN Xiao-dan, LUO Zhong-yu. Study on the Flame Retardant Mechanism and Flame Retardance Properties of Sulfate Hydrate Whisker/Microencapsulated Red Phosphorus/Polypropylene Composites[J]. China Plastics Industry, 2016, 34(8): 75—79.
- [23] 薛建荣, 钟宏, 高俊, 等. 碱式硫酸镁晶须阻燃机理及其应用研究[C]// 北京: 第六届全国化学工程与生物化工年会, 2010.
XUE Jian-rong, ZHONG Hong, GAO Jun, et al. Mechanism and Application of Alkali-resistant Magnesium Sulfate Whisker Flame Retardant[C]// Beijing: The Sixth National Symposium on Chemical Engineering and Bio-chemical Industry, 2010.
- [24] 麦堪成, 蔡泽伟. Al_2O_3 /聚丙烯复合材料的导热性能研究[J]. 塑料, 2006, 35(3): 30—33.
MAI Kan-cheng, CAI Ze-wei. Thermal Conductivities of Alumina Filled Polypropylenes Composites[J]. Plastics, 2006, 35(3): 30—33.