

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.12.008

小型油箱用阻隔PA6复合材料的制备

周雷^{1,2}, 王书平³

(1.重庆科聚孚新材料有限责任公司,重庆 401332; 2.中煤科工集团重庆研究院有限公司,重庆 400039;

3.山东非金属材料研究所,济南 250031)

摘要:采用双螺杆挤出机熔融共混制备阻隔尼龙6 (PA6)复合材料,研究增韧剂聚烯烃弹性体接枝马来酸酐(POE-g-MAH)、阻隔剂乙烯乙烯醇共聚物(EVOH)及其复配对PA6复合材料的物理力学性能和阻隔性能的影响。研发的阻隔PA6复合材料与进口材料性能相当,并应用于小型油箱上。结果表明,增韧剂添加量越多,PA6复合材料的缺口冲击强度、断裂伸长率越高,拉伸强度、熔体流动速率、燃油阻隔性越低,当增韧剂质量分数为12%,PA6复合材料的物理力学性能与进口材料相当,但是燃油阻隔性能差;阻隔剂的加入提高了PA6复合材料燃油阻隔性,添加量越多,燃油阻隔性越好,但是影响PA6复合材料的力学性能;增韧剂质量分数为12%与阻隔剂质量分数为4%的PA6复合材料的物理力学性能、阻隔性能与进口材料相当,吹塑成型小型油箱,其产品性能和燃油阻隔性能达到进口材料油箱性能。

关键词: 尼龙6;小型油箱;燃油阻隔;增韧剂;乙烯乙烯醇共聚物

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)12-0043-06

Preparation of Barrier PA6 Composite for Small Oil Tank

Zhou Lei^{1,2}, Wang Shuping³

(1. Chongqing Copolyforce Materials Co. Ltd., Chongqing 401332, China; 2. Chongqing Research Institute Co. Ltd. of China Coal Technology & Engineering Group Corporation, Chongqing 400039, China; 3. Shandong Institute of Non-metallic Materials, Jinan 250031, China)

Abstract : The barrier polyamide 6 (PA6) composites were prepared by melt blending in a twin-screw extruder. The effects of toughening agent polyolefin elastomer (POE-g-MAH), barrier agent ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH) and their blends on the physical and mechanical properties and barrier properties of PA6 composites were studied. The barrier PA6 composites with the same properties as imported materials were developed and applied to small fuel tanks. The results show that the more the toughening agent is added, the higher the notch impact strength and elongation at break of PA6 composites are, and the lower the tensile strength, melt index and fuel barrier property are. When the content of toughening agent is 12%, the physical and mechanical properties of PA6 composites are equivalent to those of imported materials, but the fuel barrier property is poor. The fuel barrier property of PA6 composite is improved by adding the barrier agent. The more the amount of barrier agent is added, the better the fuel barrier property is, but the mechanical properties of PA6 composite are affected. When the physical and mechanical properties and barrier properties of PA6 composite with 12% toughening agent and 4% barrier agent are equivalent to those of imported materials, the product performance and fuel barrier performance of the fuel tank can reach the performance of the fuel tank made of imported materials.

Keywords : polyamide 6 ; small fuel tank ; fuel barrier ; toughening agent ; ethylene vinyl alcohol copolymer

油箱最早使用金属材料,但具有密度大、易变形、易生锈等缺点,而随着高分子材料产业的发展,塑料油箱具有质量轻、设计空间灵活、易规模化生产、不易变形、耐腐蚀、性价比高等优点,逐步替代

金属油箱。塑料油箱有氟化处理高密度聚乙烯(PE-HD)油箱、多层油箱、单层阻隔油箱三种类型,多层油箱多应用于汽车领域大型油箱,氟化处理PE-HD油箱和单层阻隔油箱多应用于通用机械发动机油

基金项目: 重庆英才计划“包干制”项目(CQYC20210309902),重庆市技术预见与制度创新项目(CSTB2022TFIL-OFX0029)

通信作者: 周雷,硕士,副研究员,主要从事高分子材料的改性

收稿日期: 2022-11-15

引用格式: 周雷,王书平.小型油箱用阻隔PA6复合材料的制备[J].工程塑料应用,2022,50(12):43-48.

Zhou Lei, Wang Shuping. Preparation of barrier PA6 composite for small oil tank[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(12): 43-48.

箱^[1-3]。

目前国内小型油箱主要使用氟化处理 PE-HD 油箱,而国外已经使用单层阻隔油箱。随着社会对环境保护和身体健康的重视,氟化处理 PE-HD 油箱将逐步被淘汰,单层阻隔油箱的使用将越来越广泛。尼龙 6 (PA6)材料因其具有良好的阻隔性能和物理力学性能,广泛应用到高阻隔空气、水、燃油等领域^[4-5]。实现产业化的单层阻隔油箱使用的是高阻隔改性 PA6 复合材料。

目前国内外学者对 PA6, PE-HD 的高阻隔改性等方面进行了大量的研究^[6-10],戴莹莹等^[11]通过两步法制备 PE-HD/PA6 复合材料,研究微观结构与阻隔性能的影响;汪瑾等^[12]研究了 PA6T 和粘土对 PA6 复合薄膜阻隔性能的影响。笔者以小型通用机械发动机油箱用阻隔 PA6 复合材料研制产业化应用为目标,通过双螺杆挤出共混改性制备阻隔 PA6 复合材料,研究聚烯烃弹性体接枝马来酸酐(POE-g-MAH)、乙烯乙烯醇共聚物(EVOH)对 PA6 复合材料物理力学性能、阻隔性能的影响,对比进口阻隔 PA6 复合材料,制备出与进口阻隔材料性能相当的阻隔 PA6 复合材料,为高阻隔 PA6 复合材料的国产化和在油箱的应用积累经验。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA6: YH400, 相对黏度 2.4, 中国石化巴陵石化公司;

抗氧剂 1098: 德国巴斯夫股份公司;

POE-g-MAH: 熔体流动速率为 1.3 g/10 min, 市售;

进口阻隔 PA6 复合材料: 市售;

EVOH: F101b, 日本可乐丽株式会社;

硅油: 1000 号, 市售。

1.2 主要仪器和设备

高速混合机: SHR-10 A 型, 张家港市曙光机械厂;

同向双螺杆挤出机: SHJ-36B 型, 南京鸿铭挤出设备有限公司;

注塑机: HDX50 型, 宁波市海达塑料机械有限公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪: IR-460 型, 日本

岛津公司;

差示扫描量热(DSC)仪: STA409PC 型, 美国 TA 公司。

1.3 试样制备

按照表 1 列出的实验配方将 PA6, 增韧剂 POE-g-MAH、阻隔剂 EVOH、抗氧剂分别加入高速捏合机中混合均匀, 然后加入到同向双螺杆挤出机中, 经熔融、共混、挤出、牵引、造粒制得 PA6 复合材料。挤出机各段温度从加料口到机头依次为 220, 230, 240, 240, 240, 240, 240, 240, 230℃, 螺杆转速为 300 r/min。

表 1 阻隔 PA6 实验配方(质量分数) %

样品编号	PA6	增韧剂	阻隔剂	抗氧剂
1 [#]	99.5			0.5
2 [#]	96.5	3		0.5
3 [#]	93.5	6		0.5
4 [#]	90.5	9		0.5
5 [#]	87.5	12		0.5
6 [#]	84.5	15		0.5
7 [#]	85.5	12	2	0.5
8 [#]	83.5	12	4	0.5
9 [#]	81.5	12	6	0.5
10 [#]	79.5	12	8	0.5

1.4 性能测试与表征

通过吸油率模拟表征材料的燃油阻隔性能, 吸油率越低, 燃油阻隔性能越高。吸油率按照 GB/T 11547-2008 测试, 将 PA6 复合材料制成 60 mm×60 mm×2 mm 试样, 称量试样的初始质量, 然后放入 23℃的乙醇汽油中的浸泡时间分别为 24, 48, 96, 168 h, 取出擦干表面, 称量后按下式计算吸油率:

$$\text{吸油率} = (m_2 - m_1) / m_1 \times 100\%$$

式中: m_1 ——试样初始质量, g;

m_2 ——试样浸泡后质量, g。

油箱燃油阻隔性按照美国 TP-901-2019 (修订版)测试, 送第三方检测机构检测。

油箱的成型性能与落锤冲击性能按照客户的企业标准测试, 送第三方检测机构检测。

拉伸强度按照 GB/T 1040-2006 测试, 测试速率为 50 mm/min。

悬臂梁缺口冲击强度按照 GB/T 1843-2008 测试, 摆锤能量为 2.75 J。

熔体流动速率(MFR)按照 GB/T 3682-2018 测试, 测试温度 230℃, 负荷 2.16 kg。

FTIR分析。将样品在平板硫化机上热压成膜,然后在FTIR仪上进行分析,记录曲线图谱,测试波长 $4\,000\sim 400\text{ cm}^{-1}$,分辨率 0.5 cm^{-1} 。

DSC分析。称取5 mg样品,以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$,停留5 min消除热历史,然后以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 冷却至 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$,得到冷却结晶曲线,再以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$,得到熔融曲线。

2 结果与讨论

2.1 增韧剂对PA6复合材料物理力学性能影响

图1为不同增韧剂添加量的PA6复合材料的拉伸性能,图2为不同增韧剂添加量的PA6复合材料的缺口冲击强度。从图1~图2可看出,增韧剂的加入提高了PA6的韧性和断裂伸长率,降低了PA6的强度;增韧剂含量越高,PA6的拉伸强度越低,而缺口冲击强度和断裂伸长率越高。经过笔者测试,进口阻隔PA6复合材料的拉伸强度为 53.1 MPa 、断裂伸长率为 206% 、缺口冲击强度为 38.4 kJ/m^2 、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 缺口冲击强度为 19.2 kJ/m^2 ,添加质量分数为 12% 增韧剂的PA6复合材料的拉伸强度为 54.9 MPa 、断裂伸长率为 237% 、缺口冲击强度为 39.8 kJ/m^2 、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 缺口冲击强度为 21.4 kJ/m^2 ,与进口阻隔PA6复合材料相比,物理力学性能相当。

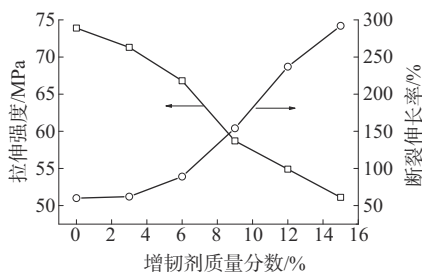


图1 不同增韧剂添加量的PA6复合材料的拉伸性能

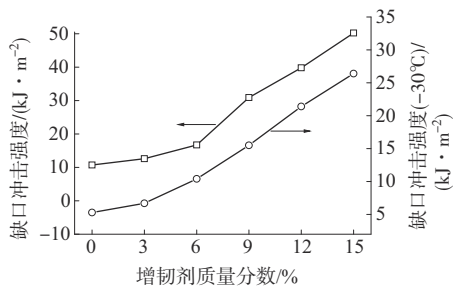


图2 不同增韧剂添加量的PA6复合材料的缺口冲击强度

图3为不同增韧剂添加量的PA6复合材料的MFR。从图3可以看出,因增韧剂本身MFR低,增韧剂的加入降低了PA6的MFR,增韧剂的含量越高,PA6的MFR越低,流动性越差;当增韧剂质量分数为 12% 时,PA6的MFR从 $8.1\text{ g}/10\text{ min}$ 降低到了

$1.5\text{ g}/10\text{ min}$,但是比进口阻隔PA6复合材料(MFR为 $0.8\text{ g}/10\text{ min}$)的MFR略高,流动性略好。

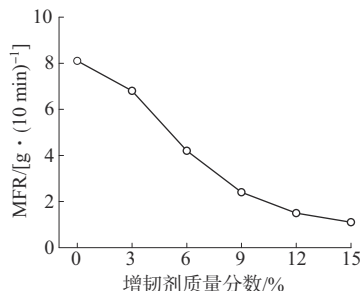


图3 不同增韧剂添加量的PA6复合材料的MFR

2.2 增韧剂对PA6复合材料阻隔性能的影响

图4为不同增韧剂添加量的PA6复合材料的吸油率。从图4可以发现,增韧剂的加入,使PA6的吸油率增加,阻隔性能下降;增韧剂的含量越高,PA6的吸油率越高,阻隔性能越差。这是因为增韧剂为POE-g-MAH,属于聚烯烃类材料,汽油属于烷烃类,增韧剂长时间浸泡在汽油中会发生溶胀,吸油率增加,汽油在聚烯烃中形成扩散通道,导致聚烯烃类对汽油阻隔性差。从图4还可发现,当增韧剂的质量分数小于 6% 时,PA6的吸油率才能与进口阻隔PA6的相当,燃油阻隔性能才能满足要求。

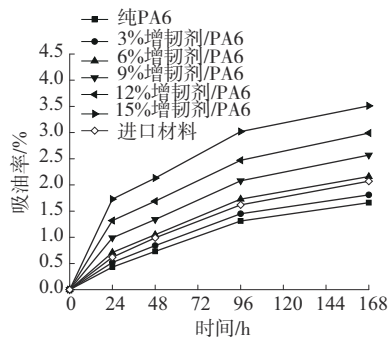


图4 不同增韧剂添加量的PA6复合材料的吸油率

2.3 阻隔剂对PA6复合材料阻隔性能的影响

通过上面的研究发现,增韧剂含量低,PA6能够满足阻隔性能,但无法满足物理力学性能;增韧剂含量高,PA6只能满足物理力学性能,但又无法满足阻隔性能。因此需要对PA6复合材料进行进一步的阻隔改性。

图5为不同含量阻隔剂的增韧PA6复合材料的吸油率。从图5可以发现,阻隔剂的加入,使PA6的吸油率下降,阻隔性能增加;阻隔剂的含量越高,PA6的吸油率越低,阻隔性能越好。这是因为阻隔剂是一种阻隔性能优异的高分子材料,添加后均匀分布在增韧PA6基体中。燃油分子向增韧PA6基体

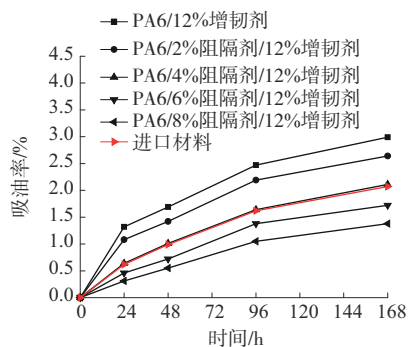


图5 不同阻隔剂添加量的增韧PA6复合材料的吸油率

中渗透时,阻隔剂形成阻挡效应,增加了燃油分子的渗透路径,降低了燃油分子渗透的有效面积,从而提高了增韧PA6的燃油阻隔性能^[13-16]。从图5还可以发现,添加质量分数4%阻隔剂的增韧PA6与进口材料的吸油率相当,模拟测试达到进口材料燃油阻隔性能。

2.4 阻隔剂对增韧PA6复合材料物理力学性能的影响

阻隔剂的加入明显降低增韧PA6复合材料的吸油率,提高了燃油阻隔性能,需进一步研究阻隔剂对增韧PA6复合材料的物理力学性能的影响。图6为不同阻隔剂添加量的增韧PA6 (增韧剂质量分数12%)的拉伸性能,图7为不同阻隔剂添加量的增韧PA6 (增韧剂质量分数12%)的缺口冲击强度。由图6、图7可知,阻隔剂的加入,降低了增韧PA6的强度、韧性,阻隔剂的含量越高,增韧PA6的拉伸强度、断裂伸长率、缺口冲击强度越低。图8为不同阻隔

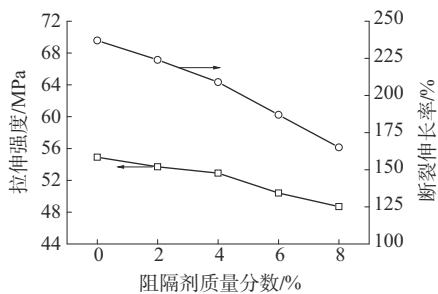


图6 不同阻隔剂添加量的增韧PA6复合材料的拉伸性能

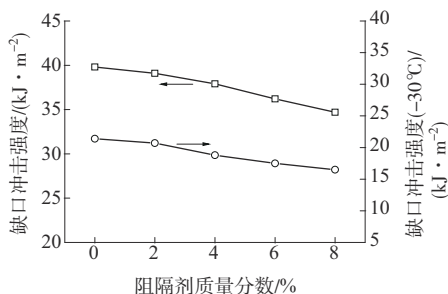


图7 不同阻隔剂添加量的增韧PA6复合材料的缺口冲击强度

剂添加量的增韧PA6的MFR。从图8可以看出,阻隔剂的加入,降低了增韧PA6的MFR,阻隔剂含量越多,增韧PA6的MFR越低,流动性越差。这是因为,阻隔剂为阻隔性能高的高分子材料,阻隔剂的刚性、韧性、流动性比PA6低,阻隔剂的加入降低了PA6的刚性,添加量越多,降低越明显。当阻隔剂的质量分数为4%时,增韧PA6复合材料的拉伸强度为52.9 MPa,断裂伸长率为209%、缺口冲击强度为37.8 kJ/m², -30 °C缺口冲击强度为18.8 kJ/m²、MFR为0.9 g/10 min,与进口阻隔PA6相比,性能相当。

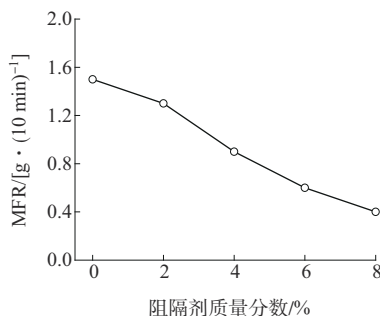


图8 不同阻隔剂添加量的增韧PA6复合材料的MFR

2.5 阻隔PA6复合材料与进口材料的性能对比

根据前面的研究发现,对PA6复合材料进行增韧和阻隔改性,明显提高了PA6复合材料的韧性和燃油阻隔性。在增韧剂质量分数为12%,阻隔剂质量分数为4%时,制备的阻隔PA6复合材料与进口材料相比,物理力学性能和吸油率相当,其性能数据列于表2。

表2 阻隔PA6复合材料与进口材料物理力学性能对比

性能	阻隔PA6 复合材料	进口阻隔PA6 复合材料
拉伸强度/MPa	52.9	53.1
断裂伸长率/%	209	206
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	37.9	38.4
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)(-30°C)	18.8	19.2
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	0.9	0.8
吸油率/(24 h)	0.64	0.62
吸油率/(168 h)	2.11	2.07

同时对制备的阻隔PA6复合材料和进口材料进行FTIR和DSC分析。

图9为制备的阻隔PA6复合材料和进口材料的FTIR分析数据。从图9可以看出,制备的阻隔PA6复合材料与进口材料的FTIR分析谱图完全重合,表现出PA6的特征吸收峰:3 290 cm⁻¹为氨基的N—H伸缩振动峰,2 934 cm⁻¹和2 861 cm⁻¹为甲基的伸缩振动峰,1 634 cm⁻¹和1 537 cm⁻¹为酰胺基中的C=O伸缩振动峰。图10为制备的阻隔PA6复合材料与

进口材料的DSC分析数据。由图10表明,制备的阻隔PA6复合材料与进口材料的DSC分析数据几乎重合,都在220℃表现出PA6的熔融峰,在180℃表现出PA6的结晶峰。

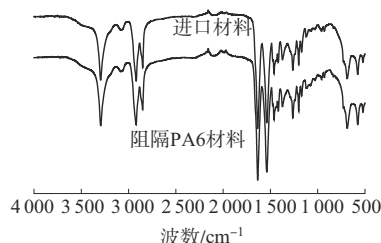
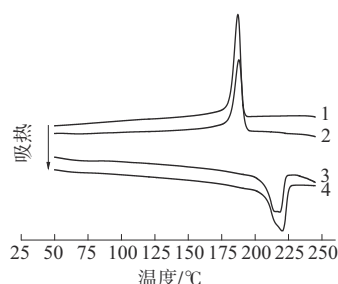


图9 阻隔PA6复合材料与进口材料的FTIR分析



1—进口材料结晶峰;2—阻隔PA6复合材料结晶峰;
3—阻隔PA6复合材料熔融峰;4—进口材料熔融峰

图10 阻隔PA6复合材料与进口材料的DSC分析

2.6 阻隔PA6材料油箱与进口材料油箱性能对比

通过对制备的阻隔PA6复合材料与进口材料的物理力学性能、吸油率、FTIR和DSC对比分析表明,制备的阻隔PA6复合材料与进口材料性能相当,且配方体系相差不大,初步达到国产化要求。将制备的阻隔PA6复合材料吹塑成型油箱,与进口材料吹塑成型油箱进行油箱性能对比见表3,图11为吹塑级小型阻隔PA6复合材料油箱的外观。由表3可

表3 阻隔PA6复合材料油箱与进口材料油箱性能对比

性能要求	测试要求	阻隔PA6材料制备油箱	进口材料制备油箱
成型性能	吹塑成型,表面光滑	表面光滑	表面光滑
落锤冲击性能	-30℃, 10 J冲击,不破坏	不破坏	不破坏
燃油阻隔性能(挥发量)	TP901 <1.5 (g/m ² ·d)	1.2	1.1



图11 吹塑级小型阻隔PA6复合材料油箱

见,成型性能和低温落锤冲击性能都达到油箱性能要求,与进口材料油箱相当;同时将油箱送第三方检测机构进行燃油阻隔性能测试,测试结果表明,阻隔PA6材料油箱与进口材料油箱燃油阻隔性能相当,满足美国环境保护署(EPA)和加州空气资源委员会(CARB)发布挥发量<1.5 (g/m²·d)挥发标准要求,成功取代了进口材料,实现了阻隔PA6复合材料国产化。

3 结论

(1) POE-g-MAH的加入提高了PA6复合材料的韧性,降低了强度和流动性;增韧剂添加量越多,PA6复合材料的缺口冲击强度、断裂伸长率越高,拉伸强度、MFR越低;但是增韧剂添加越多,PA6复合材料的吸油率越大,燃油阻隔性能越差。

(2)阻隔剂的加入降低了增韧PA6复合材料的吸油率,提高了燃油阻隔性;阻隔剂的添加量越多,增韧PA6复合材料的吸油率越低,燃油阻隔性越好;但是阻隔剂的加入降低了增韧PA6复合材料的韧性、强度及流动性,添加量越多,影响越大。

(3)在增韧剂质量分数为12%,阻隔剂质量分数为4%时,制备的阻隔PA6复合材料的物理力学性能、吸油率与进口材料相当;同时对制备的阻隔PA6复合材料与进口材料进行FTIR和DSC对比分析,发现FTIR吸收峰和DSC熔融、结晶峰都为PA6复合材料的特征峰。

(4)阻隔PA6材料油箱的成型性能、低温落锤冲击性能与进口材料油箱相当;同时将油箱送第三方检测机构检测,阻隔PA6材料油箱的燃油阻隔性能与进口材料油箱相当,满足EPA和CARB发布挥发量<1.5 (g/m²·d)的挥发标准要求。

参考文献

- [1] 周志,李海丰,揭林珑. 塑料燃油箱现状及发展[J]. 汽车零部件, 2022(7):87-91.
Zhou Zhi, Li Haifeng, Jie Linlong. Current status and development of plastic fuel tanks[J]. Automobile Parts, 2022(7):87-91.
- [2] 李志敏,苏卫东,陈学宏,等. 六层共挤吹塑油箱材料的结构、性能及力学模拟[J]. 塑料, 2011, 50(1):18-22.
Li Zhimin, Su Weidong, Chen Xuehong, et al. Structure and properties of six-layer coextrusion blow molding fuel tank material and application in strength simulation[J]. Plastics, 2011, 50(1):18-22.
- [3] 张德鹏,郭敏,潘国元,等. 提高HDPE阻隔性能的方法[J]. 合成树脂及塑料, 2011, 28(5):68-72.
Zhang Depeng, Guo Min, Pan Guoyuan, et al. Methods of improving barrier properties of HDPE[J]. China Synthetic Resin And Plas-

- tics, 2011, 28(5):68–72.
- [4] 韩吉彬, 王杰, 顾政委, 等. 高气体阻隔 PA/BIMSM 动态硫化合金的制备[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(11):20–24.
- Han Jibin, Wang Jie, Gu Zhengwei, et al. Preparation of low gas permeability dynamically vulcanized alloy of PA/BIMSM[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):20–24.
- [5] 廖贵何. 双向拉伸 PA-6/高岭土共混阻隔薄膜的研究[J]. 包装工程, 2021, 42(23):25–32.
- Liao Guihe. Biaxially oriented pa-6/kaolin clay blend barrier films [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(23):25–32.
- [6] 谷亚新, 田莹, 张文霖, 等. 相容剂对 HDPE/PA6 共混体系加工性能和阻隔性能的影响[J]. 塑料科技, 2014, 42(5):71–74.
- Gu Yaxin, Tian Ying, Zhang Wenlin, et al. Effects of compatibilizer on processing performance and barrier properties of HDPE/PA6 blends[J]. Plastics Science and Technology, 2014, 42(5):71–74.
- [7] 曾越, 王琳, 秦柳, 等. 阻隔性复合材料 PA6/EPDM 的模内制备方法及其性能研究[J]. 化工新型材料, 2016, 44(3):44–46.
- Zeng Yue, Wang Lin, Qin Liu, et al. The mould preparation method and property of barrier composite material PA6/EPDM[J]. New Chemical Material, 2016, 44(3):44–46.
- [8] 敖玉辉, 董欣伟, 王永伟, 等. HDPE/PA6 共混阻隔材料的制备及研究[J]. 功能材料, 2011, 42(6):511–513.
- Ao Yuhui, Dong Xinwei, Wang Yongwei, et al. Preparation and research of HDPE/PA6 barrier blends[J]. Journal of Functional Materials, 2011, 42(6):511–513.
- [9] 苏志才, 承民联. PP/EVOH/PA6 共混物的性能研究[J]. 塑料科技, 2010, 38(10):59–63.
- Su Zhicai, Cheng Minlian. Study on properties of PP/EVOH/PA6 blend[J]. Plastics Science and Technology, 2010, 38(10):59–63.
- [10] 郭威男, 陈春银, 马建莉, 等. PP/EVOH/PA6 共混物的性能研究[J]. 塑料科技, 2011, 39(10):41–43.
- Guo Weinan, Chen Chunyin, Ma Jianli, et al. Study on properties of PP/EVOH/PA6 blend[J]. Plastics Science and Technology, 2011, 39(10):41–43.
- [11] 戴莹莹, 李姜, 郭少云. 两步法制备 HDPE/PA6 复合材料的结构和阻隔性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(8):106–108.
- Dai Yingying, Li Jiang, Guo Shaoyun. Morphology and oxygen barrier properties of layered HDPE/PA6 blends through two-step approach[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(8):106–108.
- [12] 汪瑾, 谢芮宏, 宁敏, 等. MXD6 和黏土对 PA6 复合薄膜阻隔性能影响的研究[J]. 塑料工业, 2015, 43(11):77–81.
- Wang Jin, Xie Ruihong, Ning Min, et al. Effects of MXD6 and clay on barrier properties of PA6 composite film[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(11):77–81.
- [13] Takashige M, Kanai T. Multilayer barrier film of biaxially oriented PA6/EVOH by double bubble tubular film process[J]. International Polymer Processing Journal of the Polymer Processing Society, 2013, 21(1):86–92.
- [14] Yi Zhuwu, Liu Yuejun, Liu Xiaochao, et al. Biaxially stretched polyamide 6/ethylene vinyl alcohol copolymer films with improved oxygen barrier and mechanical properties[J]. Polymer Bulletin, 2022, 4.D0I.10.1007/s00289-022-04199-x.
- [15] Wang Biaobing, Yang Yang, Guo Weinan. Effect of EVOH on the morphology, mechanical and barrier properties of PA6/POE-g-MAH/EVOH ternary blends[J]. Materials and Design, 2012, 40: 185–189.
- [16] 王启飞, 戚嵘嵘, 周持兴. 聚酰胺 6/乙烯-乙醇醇无规共聚物共混体系的相容性及性能研究[J]. 中国塑料, 2005, 19(9):35–38.
- Wang Qifei, Qi Rongrong, Zhou Chixing. Compatibilization and properties of PA6/EVOH blends[J]. China Plastics, 2005, 19(9): 35–38.