

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.09.024

碱式硫酸镁晶须改性 PVC/ABS 合金的力学和阻燃性能

巴丽,高山俊,沈春晖

(武汉理工大学材料科学与工程学院,武汉 430070)

摘要:采用油酸钾对碱式硫酸镁晶须(MOS)进行表面改性处理,然后将其与聚氯乙烯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(PVC/ABS)合金熔融共混,制备了 MOS 改性 PVC/ABS 合金材料,研究了改性前后 MOS 用量对合金材料力学性能、熔体流动速率(MFR)和阻燃性能的影响。结果表明,随 MOS 用量增加,PVC/ABS 合金材料的弯曲强度、缺口冲击强度和 MFR 总体呈先升后降趋势,拉伸强度逐渐下降,极限氧指数(LOI)逐渐上升;采用油酸钾改性后,各性能变化趋势与未改性时相同,力学性能和 MFR 得到进一步提升,而阻燃性能变化不大。当改性 MOS 用量为 10 份时,PVC/ABS 合金材料的综合性能最好,弯曲强度和缺口冲击强度最高,分别为 75.5 MPa 和 15.9 kJ/m²,较未加 MOS 时分别提高了 13.5% 和 40.7%,较相同用量下未改性时分别提高了 2.2% 和 7.4%,拉伸强度和 MFR 分别为 47.6 MPa 和 2.255 g/10 min,垂直燃烧阻燃等级达到 V-0 级,LOI 达到 32.2%。

关键词:碱式硫酸镁晶须;聚氯乙烯;丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料;合金;阻燃;力学性能

中图分类号:TQ327.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)09-0131-06

Mechanical Properties and Flame Retardancy of PVC/ABS Alloy Modified with Magnesium Oxysulfate Whisker

Ba Li, Gao Shanjun, Shen Chunhui

(Institute of Material Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The surface of magnesium oxysulfate whisker (MOS) was modified with potassium oleate, then MOS was melted and blended with polyvinyl chloride/acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (PVC/ABS) alloy for preparing MOS modified PVC/ABS alloy, and the effects of MOS contents and modified MOS contents on the mechanical properties, melt flow rate (MFR) and flame retardancy of the alloy were investigated. The results show that with the increase of MOS content, the bending strength, notched impact strength and MFR of the alloy increase firstly and then decrease on the whole, tensile strength decreases gradually, and limiting oxygen index (LOI) gradually increases. After modification with potassium oleate, the change trends of above properties are the same as that in the unmodified state, the mechanical properties and MFR are further improved, while the changes of the flame retardancy are slight. When the content of modified MOS is 10 phr, the alloy exhibits optimal comprehensive properties, the bending strength and notched impact strength are the highest, which are 75.5 MPa and 15.9 kJ/m² respectively, increase by 13.5% and 40.7% compared with those without MOS, compared with unmodified MOS under the same content, they are improved by 2.2% and 7.4% respectively, the tensile strength and MFR are 47.6 MPa and 2.255 g/10 min respectively, the flame retardant grade of vertical combustion reaches V-0 and LOI reaches 32.2%.

Keywords: magnesium oxysulfate whisker; polyvinyl chloride; acrylonitrile-butadiene-styrene plastic; alloy; flame retardancy; mechanical property

聚氯乙烯(PVC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)合金是将 ABS 作为 PVC 的冲击改性剂而制备的一种塑料合金,在提高 PVC 韧性的同时,还可以较好地改善 PVC 的加工性能^[1-2]。PVC/ABS

合金具有较好的耐候性和综合物理性能、阻燃性以及较理想的性价比^[3-7],广泛应用于电子、家用电器、汽车、建筑等领域。近年来,随着科学技术的不断发展,人们对材料的要求越来越高^[8],而 PVC/ABS

通讯作者:高山俊,教授,主要从事塑料加工改性,阻燃剂的合成及应用,生物大分子的功能化研究 E-mail: sjgao@whut.edu.cn

收稿日期:2018-07-16

引用格式:巴丽,高山俊,沈春晖. 碱式硫酸镁晶须改性 PVC/ABS 合金的力学和阻燃性能[J]. 工程塑料应用,2018,46(9):131-136.

Ba Li, Gao Shanjun, Shen Chunhui. Mechanical properties and flame retardancy of PVC/ABS alloy modified with magnesium oxysulfate whisker[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):131-136.

合金在燃烧测试过程中生烟量颇高,阻燃性能一般,限制了其在环保阻燃材料中的应用。已有学者对PVC/ABS合金进行了阻燃改性研究,雷祖碧等^[9]选用了十溴二苯乙烷/硼酸锌复合体系阻燃改性PVC/ABS合金,罗超云等^[10]研究了三氧化二锑对PVC/ABS合金阻燃性能的影响,但选用的阻燃剂价格较贵,并且不符合环保要求。

碱式硫酸镁晶须(MOS)是一种微观结构为纤维状的无机晶须材料,可作为聚合物材料的环保填充型阻燃剂,能够提高材料的物理力学性能和阻燃性能,而且绿色环保,因此笔者选用MOS对PVC/ABS合金进行改性研究。但MOS本身的极性和亲水性较强,且晶粒趋向于二次凝聚,难以在聚合物中均匀分散^[11-13],一般情况下需要对其进行改性。由于在相同技术条件和工艺参数下,油酸钾改性MOS的活化指数可高达95%以上,而且油酸钾本身价格低廉,因此使用油酸钾对MOS进行表面改性处理,使晶须表面实现有机化,以使晶须能与聚合物材料较好地混合在一起,从而制备一种力学性能优异、高阻燃的环保型MOS增强阻燃PVC/ABS合金材料。

1 实验部分

1.1 主要原料

PVC:SG5,山东东岳化工有限公司;

ABS:PA-727,台湾奇美化工产业有限公司;

MOS:152型,长径比大于70,上海凯射丰实业有限公司;

油酸钾:上海展云化工有限公司;

钙锌复合热稳定剂:广州市辉科化工有限公司;

三氧化钨:国药集团化学试剂有限公司;

抗氧剂1010:上海井宏化工科技有限公司;

邻苯二甲酸二辛酯(DOP):广州穗欣化工有限公司;

氯化聚乙烯(PE-C):石家庄久千化工助剂有限公司。

1.2 主要设备

高速混合机:SHR-10A型,张家港亿利机械有限公司;

双螺杆挤出机:SHJ-30型,南京杰恩特机电有限公司;

注塑机:JN88-E型,震雄机械有限公司;

热压机:R3201型,武汉启恩科技发展有限公司;

电子万能试验机:WDT-10型,新三思材料检测公司;

电子悬臂梁冲击试验机:XJU-5.5型,承德纵驰检测仪器有限公司;

熔体流动速率(MFR)仪:CRS-MFR400A型,苏州库尔斯仪器设备有限公司;

水平垂直燃烧测定仪:PX-03-001型,苏州菲尼克斯质检仪器有限公司;

氧指数测试仪:JF-3型,南京市江宁区分析仪器厂;

综合热分析仪:STA449F3型,德国耐驰仪器制造有限公司;

场发射扫描电子显微镜(SEM):Zeiss Ultra Plus型,德国蔡司公司。

1.3 改性MOS的制备

称取一定量的MOS放入称有一定量去离子水的烧杯中,将烧杯置于80℃恒温水浴槽内,用电动搅拌器以转速600 r/min进行搅拌,至晶须均匀分散成悬浮液,待恒温后加入用量为MOS质量3%的油酸钾,继续搅拌60 min,然后取出烧杯,在室温下静止冷却,最后用去离子水洗涤,过滤,干燥,得到的即为改性后的MOS。

1.4 MOS增强阻燃PVC/ABS合金的制备

将100份PVC树脂与5份钙锌复合热稳定剂、5份增塑剂DOP、1份抗氧剂1010和5份PE-C置于高速混合机中,在80~100℃下混合10~20 min,并冷却至常温,随后将不同含量MOS和2份抑烟剂三氧化钨加入到高速混合机中,在常温下搅拌5~10 min,得到预混料。将所得预混料从双螺杆挤出机的主喂料口加入,45份ABS通过侧喂料器从双螺杆挤出机的中段加入,最后经挤出、切粒得到粒料。其中双螺杆挤出机主螺杆的转速为110 r/min,侧喂料器螺杆转速为80 r/min,挤出机各区温度分别为160,165,168,168,172℃,模头温度为175℃。将粒料干燥后通过注塑制成标准试样,注塑压力为7 MPa,注塑温度设置为172℃,注射时间为10 s,保压时间为5 s,冷却时间为5 s。

1.5 测试与表征

拉伸强度按GB/T 1040-1992测试,试样尺寸为75 mm×5 mm×2 mm,拉伸速度为5 mm/min。

弯曲强度按GB/T 2570-1995测试,试样尺寸为80 mm×10 mm×4 mm,试验速度为2 mm/min。

缺口冲击强度按 GB/T 1843-2008 测试,试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm,缺口深度为 2 mm,摆锤能量为 5.5 J。

MFR 按 GB/T 3682-2000 测试,测试温度为 200℃,负荷 10 kg。

垂直燃烧性能按 GB/T 2408-2008 测试,使用热压机将合金材料的粒料压制尺寸为 130 mm×13 mm×3.2 mm 的试样。

极限氧指数 (LOI) 按 GB/T 2406.2-2009 测试,试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm。

热性能分析: 采用综合热分析仪对 MSO 进行热重 (TG) 分析和差示扫描量热 (DSC) 分析,以氮气为保护气氛,测试温度范围为室温 ~1050℃,升温速率为 5℃/min。

SEM 表征: 将尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm 的试样置于 600℃ 马弗炉中热处理 10 min 后,对其进行喷金处理,然后通过场发射 SEM 观察试样炭层形貌并拍照,SEM 的加速电压为 5 kV。

2 结果与讨论

2.1 MOS 用量对 PVC/ABS 合金力学性能的影响

图 1~图 3 列出了改性前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料力学性能。由图 1~图 3 看出,随着未改性 MOS 用量的增加,合金材料的弯曲强度和缺口冲击强度总体上呈先升后降的趋势,未改性 MOS 用量为 10 份时,合金材料的弯曲强度和缺口冲击强度均达到最大值,分别为 73.9 MPa 和 14.8 kJ/m²,较 MOS 用量为 0 份时提高了 11.1% 和 31%。这是由于当合金材料受到外力作用时,适量 MOS 能够起到传递和分散应力的作用,因而弯曲强度提高。而纤维状的 MOS 可以在材料受到冲击时通过在基体中产生银纹或从基体中拔出等形式而耗散冲击能量,且其纤维状结构还能阻碍裂纹的生长,因而使材料的冲击性能得到提高。然而当未改性 MOS 用量超过 10 份后,由于单个晶须周围包覆的树脂含量相对减少,晶须之间的相互摩擦会变得更明显,从而造成晶须结构的破损,减弱了 MOS 传递和分散应力的效果,且较多 MOS 的加入会增大晶须的团聚几率,导致弯曲强度和缺口冲击强度下降。

随着未改性 MOS 用量的增加,合金材料的拉伸强度呈逐渐降低趋势。这可能是因为 MOS 加入后,合金材料的拉伸强度主要受到 MOS 与树脂基体界面相容性的影响。MOS 的极性与亲水性与合

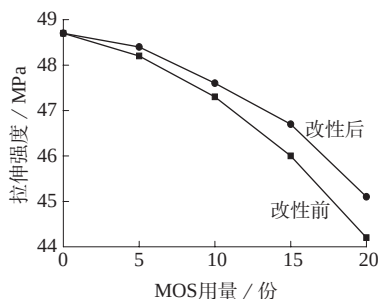


图1 改性前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料拉伸强度

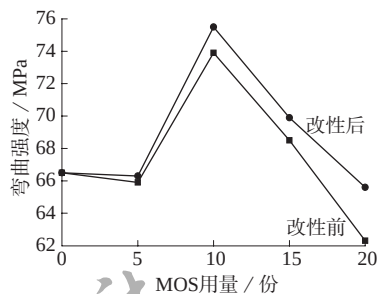


图2 改性前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料弯曲强度

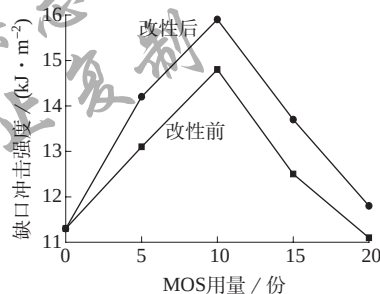


图3 改性前后不同 MOS 含量的 PVC/ABS 合金材料缺口冲击强度

金中的树脂基体相差较大,两者的界面相容性较差,尤其当 MOS 未改性时,合金材料受到拉伸作用力后 MOS 容易从树脂基体中被拔出,导致合金材料不能承受较高的拉伸作用力,且 MOS 用量越大,这种不利的影响越明显,因而拉伸强度随未改性 MOS 用量呈逐渐下降趋势。

经油酸钾改性后,合金材料力学性能随 MOS 用量增加的变化趋势与未改性前相同,表明油酸钾改性未改变 MOS 对合金材料力学性能的影响规律,但合金材料的拉伸强度、弯曲强度和缺口冲击强度均有一定程度的提高,当改性 MOS 用量为 10 份时,合金材料的弯曲强度和缺口冲击强度分别达到最大,为 75.5 MPa 和 15.9 kJ/m²,较未加 MOS 时分别提高了 13.5% 和 40.7%,较相同用量下未改性时分别提高了 2.2% 和 7.4%,而此时拉伸强度也略有提高,达到 47.6 MPa。这是由于使用油酸钾改性 MOS 后,油酸钾会在 MOS 表面形成一层单分子膜,部分改变了 MOS 的表面亲水性,使 MOS 与基体树脂的界面相容性得到改善,合金材料的综合力学性

得到提高。

2.2 MOS 用量对 PVC/ABS 合金 MFR 的影响

图 4 为改性前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料的 MFR。由图 4 可知,在合金材料中添加 5 份的未改性 MOS 后, MFR 相对于未添加 MOS 时有所上升。之后,随着未改性 MOS 用量的增加,合金材料的 MFR 逐渐下降。当未改性 MOS 用量为 20 份时,相对于未添加 MOS 的材料,合金材料的 MFR 从 1.8864 g/10 min 降低到 1.6532 g/10 min,下降了 12.4%。也就是说, MOS 用量过多时会恶化 PVC/ABS 合金材料的加工性能。这是由于 MOS 微观结构为单晶纤维状,经过挤出加工后,能够被合金材料包覆形成一定的取向,使得合金材料的 MFR 有一定的上升。但 MOS 与合金材料中的基体树脂相容性差,在加工过程中, MOS 以比较独立的状态存在,当未改性 MOS 用量过多时,合金材料熔体流动时内部的摩擦力会明显增大,熔体的流动受到阻碍,因而 MFR 下降。MOS 经油酸钾改性后,相应的合金材料 MFR 有所提升,加工性能有一定的改善。这是由于经表面改性后, MOS 与合金材料的界面相容性得到一定程度改善,减小了熔体流动时的摩擦力,使得合金材料的 MFR 有一定的上升。可以发现,合金材料的 MFR 随改性 MOS 用量增加的变化趋势与未改性时相吻合,改性 MOS 用量为 5 份时的 MFR 仍然最大,而当改性 MOS 用量为 10 份时, MFR 为 2.255 g/10 min,虽有所下降,但仍高于比未添加 MOS 时,且比相同 MOS 用量下未改性时提高了 7%。

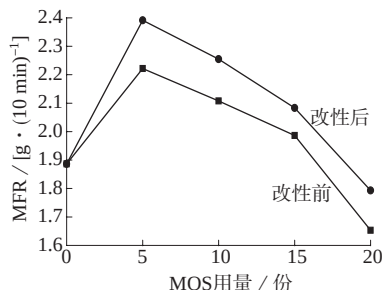


图 4 改型前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料 MFR

2.3 MOS 用量对 PVC/ABS 合金阻燃性能的影响

表 1 示出改性前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料的阻燃性能。由表 1 可以发现,当合金材料中未添加 MOS 时, PVC/ABS 合金材料的垂直燃烧阻燃等级为 V-1 级, LOI 为 28.1%。添加 MOS 后, PVC/ABS 合金材料的燃烧等级可达到 V-0 级,并且随着 MOS 用量的增加,合金材料的

LOI 值越来越高,未改性 MOS 用量为 10 份时, LOI 可达到 32.1%,用量为 20 份时, LOI 达到 34.3%。以上结果表明,在不影响合金材料力学性能的情况下, MOS 的用量越高,合金材料的阻燃效果越好。与未改性的 MOS 相比,添加经油酸钾改性后的 MOS,合金材料的阻燃性能变化不大,如改性 MOS 用量为 10 份时, LOI 为 32.2%,与未改性时基本没有差别。

表 1 改性前后不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料阻燃性能

MOS 用量 / 份	垂直燃烧阻燃等级		LOI / %	
	改性前	改性后	改性前	改性后
0	V-1	V-1	28.1	28.2
5	V-0	V-0	29.9	29.9
10	V-0	V-0	32.1	32.2
15	V-0	V-0	33.4	33.5
20	V-0	V-0	34.3	34.3

为了探究 MOS 的阻燃机理,对其进行了热分析,结果如图 5 所示。图 5 显示, MOS 的质量损失可分为 3 个阶段:第 1 阶段,在 250~330℃ 的温度范围内失去结晶水,对应 DSC 曲线上峰值为 329.9℃ 的吸热峰,此时的质量损失为 8.16%;第 2 阶段,在 330~750℃ 的温度范围内脱去羟基水,对应 DSC 曲线上峰值为 422℃ 的吸热峰,此时的质量损失为 19.79%;第 3 阶段,在 800~1050℃ 的温度范围内放出 SO₃,对应 DSC 曲线上峰值为 1042℃ 的吸热峰,此时的质量损失为 18%。随着温度的继续升高,已检测不到质量损失,说明残余物氧化镁 (MgO) 在高温下仍然稳定存在。

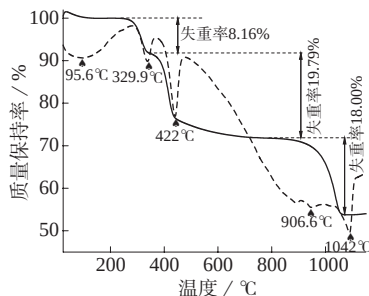
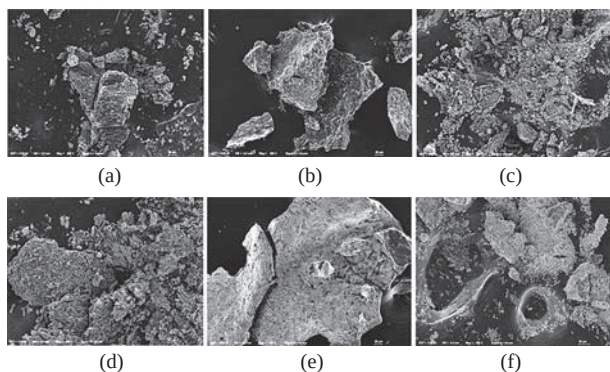


图 5 MOS 的 TG-DSC 曲线

由上述热分析结果可以发现, MOS 的阻燃机理是通过高温分解吸收部分燃烧热,同时通过不断脱水形成了水蒸气,其可稀释可燃性气体和氧气的浓度,从而对燃烧进行抑制^[14]。而高温分解后生成的残余物 MgO 覆盖在合金材料表面,其具有较大的表面积,可吸收燃烧产生的烟气及可燃物,从而延缓或打断燃烧的进程;另外,其还可促进合金材料表面炭化层的形成,使热量和氧气进入合金材料基体内部的难度加大,从而减少了可燃物的生成。

2.4 MOS 增强阻燃改性 PVC/ABS 合金材料的炭层微观结构

图 6 是 MOS 增强阻燃改性 PVC/ABS 合金材料在马弗炉中处理后的炭层微观结构 SEM 照片。



未改性 MOS 用量: a—0 份; b—5 份; c—10 份; d—15 份; e—20 份
改性 MOS 用量: f—10 份

图 6 不同 MOS 用量的 PVC/ABS 合金材料的炭层 SEM 照片

由图 6 可知,在未添加 MOS 或 MOS 用量较少时, PVC/ABS 合金燃烧后炭层不致密,存在空隙及裂纹,燃烧过程中产生的挥发性气体、空气当中的氧气以及外界的热量都由此散发。大量空隙和裂纹存在导致残炭层不能有效隔绝氧气及热量的传递,也不能阻碍燃烧产生的可燃性气体的散发,导致了 PVC/ABS 合金的进一步燃烧和热降解。因此,当未添加 MOS 或 MOS 用量较少时, PVC/ABS 合金基体树脂在燃烧过程中不能受到有效的保护,使得其阻燃性能相对较低。随着 MOS 用量的增加,可以发现残炭层存在的裂纹和空隙有了明显的减少,同时也更加致密。当 MOS 的用量为 20 份时,合金材料的残炭层最为致密,且裂纹和空隙极少,此时的炭层^[15]相比图 6a 可更有效地阻碍氧气、可燃性气体及热量的传递,保护 PVC/ABS 基体从而提升合金材料的阻燃性能。由图 6f 可知,添加经油酸钾改性后的 MOS, PVC/ABS 合金材料的炭层微观结构变化不大,这也反映了油酸钾改性对合金材料的阻燃性能影响不大。

3 结论

(1) 随着 MOS 用量的增加, PVC/ABS 合金材料的弯曲强度、缺口冲击强度和 MFR 总体上呈先升后降趋势,拉伸强度逐渐降低。

(2) MOS 的加入会使合金材料的垂直燃烧阻燃等级由 V-1 级变为 V-0 级,且用量越高,合金材料的 LOI 越高,但用量过高时会使得材料的加工性能和力学性能恶化。

(3) 用油酸钾对 MOS 进行表面改性处理后,各性能变化趋势与未改性时相同,且 PVC/ABS 合金材料的力学性能和 MFR 得到进一步提升,但阻燃性能变化不大。

(4) 综合考虑,当油酸钾改性 MOS 用量为 10 份时,合金材料的综合力学性能最佳,且阻燃性能优异。

参考文献

- [1] 金诚,蔡梦军,吴秋芳. PVC/ABS 复合材料的制备及增韧改性[J]. 工程塑料应用,2016,44(1):31-36.
Jin Cheng, Cai Mengjun, Wu Qiufang. Preparation and toughening modification of PVC / ABS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(1):31-36.
- [2] 巴丽,沈春晖,高山俊. 聚氯乙烯共混增韧改性研究进展[J]. 中国塑料,2017,31(11):20-26.
Ba Li, Shen Chunhui, Gao Shanjun. Research progress in blending toughening modification of PVC[J]. China Plastics, 2017, 31(11):20-26.
- [3] Kurek A P, Dotto M E R, de Araujo P H H, et al. Evaluation of the etching and chrome plating on the ABS, PVC, and PVC / ABS blends surface[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2017, 134(40).doi:10.1002/app.44571.
- [4] Mahmood H, Abdolhosein F, Homeyra S, et al. Effects of nanoclay on morphology, rheological, and mechanical properties of polyvinyl chloride / acrylonitrile-butadiene-styrene[J]. Journal of Macromolecular Science:Part D -Reviews in Polymer Processing, 2012, 51(4):413-418.
- [5] Liu B, Wang Y, Gao Y, et al. Effect of the matrix plasticization behavior on mechanical properties of PVC / ABS blends[J]. Journal of Polymer Engineering, 2016, 37(3):239-245.
- [6] Hosseinpour P M, Morshedien J, Barikani M, et al. Morphological, mechanical, and rheological studies of PVC / ABS blends in the presence of maleic anhydride[J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2010, 16(2):127-134.
- [7] Qin Shuhao, Zhang Minmin, Lei Jinfeng, et al. The effect of OMMT on the morphology and mechanical properties of PVC / ABS blends[J]. Journal of Macromolecular Science Part B, 2009, 48(5):910-918.
- [8] Ohno H, Matsubae K, Nakajima K, et al. Optimal recycling of steel scrap and alloying elements:Input-output based linear programming method with its application to end-of-life vehicles in Japan[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(22):13 086-13 094.
- [9] 雷祖碧,马玫,麦伟宗. 环保型低烟高阻燃 ABS/PVC 合金的研究[J]. 合成材料老化与应用,2008,37(1):26-28.
Lei Zubi, Ma Mei, Mai Weizong. Study on the ABS / PVC alloy friendly to environment with low-smoke and high flame-retardant[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2008, 37(1):26-28.

- [10] 罗超云,左建东,林雪春. 注塑级阻燃增韧 ABS/PVC 合金[J]. 塑料,2010,39(1):96-98.
Luo Chaoyun, Zuo Jiandong, Lin Xuechun. ABS / PVC Alloy for injection with high toughness and high flame retardancy[J]. Plastics, 2010, 39(1):96-98.
- [11] 苏明阳,王海军,唐林生. 氢氧化镁阻燃剂的应用现状及研究进展[J]. 当代化工,2015(1):114-116.
Su Mingyang, Wang Haijun, Tang Linsheng. Application situation and research progress of magnesium hydroxide flame retardants[J]. Contemporary Chemical Industry, 2015(1):114-116.
- [12] 翟松涛. 聚乙烯基木塑复合材料的增强、增韧及阻燃研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
Zhai Songtao. Studies on the reinforcing, toughening and flame retardant of PE wood-plastic composites[D]. Hefei University of Technology, 2016.
- [13] 陶国良,龚方红,丁永红. 镁盐晶须填充改性聚丙烯材料的研究[J]. 中国塑料,2003,17(12):45-48.
Tao Guoliang, Gong Fanghong, Ding Yonghong. Study on magnesium salt whisker modified polypropylene[J]. China Plastics, 2003, 17(12):45-48.
- [14] 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(1):143-149.
Gao Chuanhui, 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(1):143-149.
- [15] 黄健,田峻源,马保国,等. 氮-磷膨胀阻燃剂对聚苯乙烯泡沫的阻燃改性[J]. 武汉理工大学学报,2013,35(9):30-35.
Huang Jian, Tian Junyuan, Ma Baoguo, et al. Flame retardation modification on polystyrene foam by nitrogen-phosphorus intumescent flame retardants[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2013, 35(9):30-35.

欢迎订阅 2019 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明
订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2019 年定价 20 元/期,全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2019 年定价 20 元/期,全年 120 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2017 年底共 45 卷 338 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2017 年底

共 26 卷 121 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 250 元。

邮局汇款:

收款地址:济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款:

户 名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

账 号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>