

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.05.025

超声波振动制备有机改性蒙脱土

熊值^{1,2}, 陈绪煌¹, 余鹏¹, 付伟², 赖昂², 宋晓²

(1. 湖北工业大学绿色轻工材料湖北省重点实验室, 武汉 430068; 2. 武汉金发科技有限公司, 武汉 430109)

摘要: 采用傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪、热重分析仪和 X 射线衍射仪等手段研究了超声波振动与磁力加热搅拌两种不同方式制备的有机改性蒙脱土 (OMMT), 通过设计正交实验验证了改性剂的用量、pH 值、超声波振动时间和超声波振动功率 4 个因素对 OMMT 的层间距的影响, 同时, 还验证了不同种类的 OMMT 对聚丙烯 (PP) 雾化性能的影响。结果表明, 相比磁力加热搅拌法, 超声波振动制备的 OMMT 不需加热和搅拌、反应速度快、制备的 OMMT 层间距更大; 通过正交实验得出的最佳方案为选用十六烷基三甲基溴化铵的用量为 1.5 g, pH 值为 7.0 或 6.5、超声波振动 60 min, 超声波功率为 80%; 按照最佳方案采用超声波技术制备的 OMMT, 对于改善 PP 的雾化有较好的效果。

关键词: 蒙脱土; 有机化改性; 超声波制备; 聚丙烯; 雾化

中图分类号: TQ316.6+ **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)05-0131-06

Preparation of Organic Modified Montmorillonoid by Ultrasonic Vibration

Xiong Zhi^{1,2}, Chen Xuhuang¹, Yu Peng¹, Fu Wei², Lai Ang², Song Xiao²

(1. Hubei Provincial Key Laboratory of Green Materials for Light Industry, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2. Wuhan Kingfa Sci & Tech Co. Ltd., Wuhan 430109, China)

Abstract : The organophilic-modified montmorillonite (OMMT) prepared by ultrasonic vibration and magnetic stirring was studied by FTIR, TGA and XRD. The influence of modifier dosage, pH value, ultrasonic vibration time and ultrasonic vibration power on OMMT layer spacing was verified by orthogonal experiment. In addition, the influence of different kinds of montmorillonite on the atomization performance of polypropylene (PP) was also investigated. The results show that OMMT prepared by ultrasonic vibration does not need heating and stirring, the reaction speed is faster, and the OMMT layer spacing is larger than the OMMT compared with magnetic heating and stirring method; the optimal scheme obtained by orthogonal experiment is that the dosage of CTAB is 1.5 g, the pH value is 7.0 or 6.5, the ultrasonic vibration is 60 min, and the ultrasonic power is 80%. According to the optimal scheme, the OMMT prepared by ultrasonic technology has a good effect on improving the atomization of PP.

Keywords : montmorillonite; organophilic-modification; ultrasonic preparation; polypropylene; atomization

蒙脱土 (MMT) 是典型的层状硅酸盐之一。MMT 的一个重要特征是 MMT 片层具有很大的纵横比。MMT 层厚大约 1 nm, 长径比超过 1 000, 具有较大的表面积, 广泛用作制备聚合物纳米复合材料, 能够增强复合材料的力学性能以及复合材料的阻燃性能^[1-7]。

MMT 的晶体结构为一层 Al—O 八面体结合两层 Si—O 四面体, 其中 Si—O 四面体和 Al—O 八面体之间共用一个氧原子。MMT 的另一个重要特性

就是具有离子交换能力。由于 Al—O 八面体上的铝离子可被钴离子、铁离子以及铜离子同晶置换, 使得电荷不平衡, 而带负电性, 所以 MMT 层间可以通过吸附阳离子来中和负电荷以达到电荷平衡。层间阴离子通常被夹层的钠离子或钙离子等阳离子中和, 而这些阳离子在一定条件下可以相互交换。利用阳离子有机改性剂置换其层间的无机阳离子, 即可使 MMT 因有机化改性而呈疏水性, 降低其表面能, 改善与聚合物的亲和性。

通信作者: 陈绪煌, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为聚氯乙烯绿色加工助剂 E-mail: cxh213@126.com

收稿日期: 2021-02-21

引用格式: 熊值, 陈绪煌, 余鹏, 等. 超声波振动制备有机改性蒙脱土 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(5): 131-136.

Xiong Zhi, Chen Xuhuang, Yu Peng, et al. Preparation of organic modified montmorillonoid by ultrasonic vibration[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(5): 131-136.

MMT改性的方法按改性剂种类的不同可大致分为无机改性、有机改性以及有机-无机复合改性三大类。无机改性中常用的改性剂主要有铝盐、锌盐、铜盐等。有机改性中常用的有机改性剂主要有烷基铵盐、氨基酸、聚合物单体和偶联剂等。关于有机改性 MMT (OMMT) 的制备方法报道多采用磁力搅拌或是电动搅拌的方式将 MMT 与有机改性剂的水溶液混合,在一定温度下反应 1~12 h 制得^[8-11]。笔者选用十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB) 等 6 种有机改性剂,采用磁力加热搅拌和超声波振动的方法研究 OMMT 的层间距及力学性能和雾化性能。

1 实验部分

1.1 主要原料

PP: K7227H, 中韩(武汉)石化有限责任公司;
 纳基 MMT (Na-MMT)、无机 MMT: 桐柏县信鸿新材料科技有限公司;

十烷基三甲基溴化铵、十二烷基三甲基溴化铵 (DTAB)、十四烷基三甲基溴化铵 (TTAB)、十八烷基三甲基溴化铵 (STAB): 分析纯, 阿拉丁试剂(上海)有限公司;

CTAB: 分析纯, 上海伊卡生物技术有限公司;

四丁基溴化铵 (TBAB): 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司;

盐酸: 分析纯, 广州和为医药科技有限公司。

1.2 仪器及设备

磁力搅拌器: 90-2 数显高温型, 上海尚普仪器设备有限公司;

超声波清洗器: 2500TH 型, 上海安谱实验科技股份有限公司;

台式 pH 计: S220-B 型, 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;

超纯水机: UPTC-5L/H 型, 上海力辰邦西仪器科技有限公司;

双螺杆挤出机: THE-40 型, 南京欧立挤出机械有限公司;

注塑机: B-920 型, 浙江海天注塑机有限公司;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: IS5 型, 美国赛默飞世尔科技公司;

热失重 (TG) 分析仪: TG209 F3 型, 耐驰科学仪器商贸(上海)有限公司;

X 射线衍射 (XRD) 仪: D/MAX-RC 型, 日本理学公司;

电子天平: GR-200 型, 日本 A & D 艾安得股份

有限公司;

万能材料试验机: UTM6103 / 1KN 型, 深圳三思纵横科技股份有限公司;

熔体流动速率 (MFR) 仪: CFLOW S1203 型, 广州市科唯仪器有限公司;

密度天平: XS104 型, 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;

雾化测试仪: FT-F1 型, 济南兰光机电技术有限公司。

1.3 试样制备

(1) 分别采用超声波振动与磁力加热搅拌的方式制备 OMMT。

称取适量 Na-MMT 分散于装有 400 mL 纯水的烧杯中, 再加入 1 g CTAB 溶于 30 mL 纯水中, 用玻璃棒搅拌均匀。分别采用磁力加热搅拌 (70℃, 最大转速) 2 h 和超声波振动 (常温、功率 100%) 30 min, 取出静置, 除去上层的溶液, 加纯水洗涤静置。重复多次, 将所得的乳白色产物放于烘箱中 105℃ 干燥充分后取出, 研磨成粉状放置于聚乙烯 (PE) 瓶中密封保存。将采用磁力加热搅拌方法制备的 OMMT 命名为 CTAB-OMMT1、采用超声波振动的方法制备的 OMMT 命名为 CTAB-OMMT2。

(2) 在不同实验条件下超声波振动制备 OMMT。

制备方法同上。选取 CTAB 为改性剂按照正交试验按 $L_9(3^4)$ 设计, 见表 1。选择改性剂的用量、PH 值和超声波振动时间和超声波振动功率 4 个因素, 每个因素各取 3 个水平, 制备不同的 OMMT 样品。其中, 各因素的 3 个水平分别按照如下选择: 改性剂 CTAB 的用量 (A), pH 值 (B), 超声波振动时间 (C), 超声波振动功率 (D)。

表 1 $L_9(3^4)$ 正交实验的因素与水平

水平	A/g	B	C/min	$D/\%$
1	0.5	10.5	15	50
2	1	7	30	80
3	1.5	6.5	60	100

(3) 采用不同链长的有机改性剂制备 OMMT。

制备方法同上。分别采用以下 6 种不同有机改性剂: 十烷基三甲基溴化铵、DTAB, TTAB, CTAB, STAB 和 TBAB, 按照上述正交实验得出的最优方案, 制备不同的 OMMT 样品。

(4) OMMT 改性 PP 的制备。

OMMT 按照上述正交实验得出的最优方案制备。按表 2 (质量分数) 比例称量物料, 混合均匀,

在 190~220℃ 条件下在双螺杆挤出机挤出造粒干燥,在 190~220℃ 条件下注塑成直径 80 mm,厚度为 3 mm 的圆片以及标准样条,圆片用铝箔纸包裹、标准样条在 23℃ 环境中调节 24 h,待后续测试。

表 2 配方组分

组分	试样编号				g
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	
PP	100	100	100	100	
黑色母	0.8	0.8	0.8	0.8	
主抗氧剂	0.2	0.2	0.2	0.2	
辅抗氧剂	0.2	0.2	0.2	0.2	
润滑剂	0.2	0.2	0.2	0.2	
光稳定剂	0.2	0.2	0.2	0.2	
无机 MMT	0.8				
Na-MMT		0.8			
OMMT			0.8		

1.4 性能测试

FTIR: 将样品与 KBr 以 1:100 的比例混合并研磨均匀后将其压成片状,范围为 400~4000 cm^{-1} ;

TG 分析测试: 空气气氛,从常温升温到 900℃,升温速率为 20℃/min;

XRD 测试: 采用 Cu 靶 $K\alpha$ 射线辐照, $\lambda=0.154$ nm,工作电流 40 mA,工作电压 40 kV,扫描角 $2^\circ \sim 10^\circ$,扫描速率 $3^\circ/\text{min}$;

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006,测试速度 50 mm/min;

弯曲性能按 GB/T 9341-2008,测试速度为 2 mm/min;

悬臂梁缺口冲击强度按 GB/T 1843-2008 测试;

MFR 按 GB/T 3682 测试,230℃/2.16 kg;

密度按 GB/T 1033.1-2008 测试;

雾化测试: 按照质量法,100℃油浴 16 h,在干燥皿中干燥 4 h 后测试铝箔片的质量差异,在室内测试,空气稳定,误差可忽略不计。

2 结果与讨论

2.1 超声波振动与磁力加热搅拌的方式制备 OMMT 性能对比

图 1 为 Na-MMT 与 CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2 的 FTIR 谱图。3 种 MMT 的 FTIR 谱图曲线中,指纹区内 1032 cm^{-1} 附近都有一个很强的吸收峰,对应为 MMT 中 Si—O 的伸缩振动吸收峰。与未改性的 Na-MMT 谱图相比,有机化改性后的 CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2 均在 2852 cm^{-1} 及 2924 cm^{-1} 附近出现了两个新的吸收峰,对应为有机基团 (C—H) 不对称伸缩振动和伸缩振动产

生的吸收峰。由此可以证明,MMT 经过两种不同方式的改性后,长链的烷基铵盐确实成功进入到了 MMT 的硅酸盐片层间,与 Na-MMT 发生了离子交换反应。

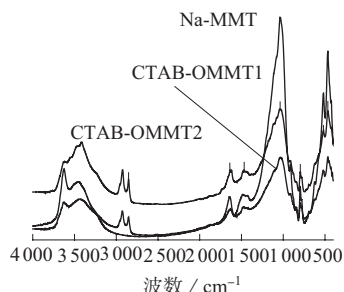


图 1 Na-MMT 与 OMMT 的 FTIR 谱图

Na-MMT 与 CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2 测试 TG 分析结果如图 2 所示。Na-MMT 曲线主要分为 2 段,第一段是从 0~150℃,质量保持率为 92.5% 左右,主要为 MMT 表面吸附的自由水的蒸发;第 2 段是从 150~900℃,质量保持率为 91.31% 左右,主要为 MMT 层间的结合水以及晶体羟基缩合而成的水。CTAB-OMMT1 和 CTAB-OMMT2 曲线趋势基本一致,大体上可分为 3 段:第一段是从 0~200℃,质量保持率为 94%~95%,主要为 OMMT 表面吸附的自由水的蒸发,相较于 Na-MMT 有所减少;第 2 段是从 200~500℃,质量保持率为 90%~91%,主要是源于长链烷基的热分解;第 3 段是从 500~900℃,质量保持率为 95% 左右,这主要是晶体羟基缩合成水的损失。

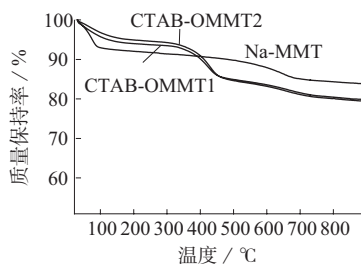


图 2 Na-MMT 与 OMMT 的 TG 曲线

Na-MMT 与 CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2 TG 分析结果见表 3。Na-MMT 与 CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2 的质量保持率分别为 83.89%, 79.92%, 79.50%。与 Na-MMT 质量保持率结果 83.89% 分析对比, CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2 质量保持率结果接近,且均明显小于 Na-MMT。可以间接证明, MMT 经过两种不同方式的改性后,烷基铵盐与 Na-MMT 发生了离子交换反应。

表3 Na-MMT与OMMT的质量保持率 %

样品名称	质量保持率
Na-MMT	83.89
CTAB-OMMT1	79.92
CTAB-OMMT2	79.50

Na-MMT与CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2测试XRD的结果如图3所示。根据布拉格公式布拉格方程: $2d\sin\theta=\lambda$ (其中 $\lambda=0.154\text{ nm}$, θ 为半衍射角, d 为层间距) 可以计算出OMMT的层间距, 结果见表4。Na-MMT与CTAB-OMMT1, CTAB-OMMT2层间距分别为1.26, 1.46, 1.51 nm。采用两种不同方法制备的OMMT的层间距, 均较未改性前Na-MMT的层间距有了明显提高, 在XRD谱图中具体表现为强度最大处对应的衍射角较改性前有所前移。再一次证明了MMT经过两种不同方式改性后, 长链的烷基铵盐确实成功进入了MMT的硅酸盐片层间, 与Na-MMT发生了离子交换反应。此外, 采用超声波振动的方法制备的CTAB-OMMT2层间距大于采用磁力加热搅拌的方法制备CTAB-OMMT1。

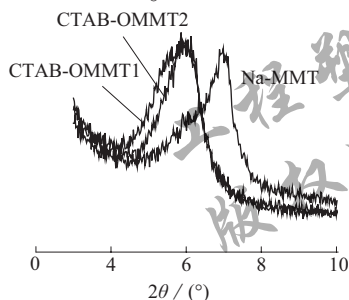


图3 Na-MMT与OMMT的XRD谱图

表4 纳基MMT与OMMT的层间距

样品名称	$2\theta / (^\circ)$	层间距 / nm
Na-MMT	6.99	1.26
CTAB-OMMT1	6.03	1.46
CTAB-OMMT2	5.86	1.51

考虑到磁力加热搅拌的方法制备OMMT存在加热过程中体系的黏度增大容易导致MMT粘在玻璃杯壁、搅拌过程中产生气泡易飞溅、反应时间长等诸多缺点, 而超声波振动的方法制备OMMT的过程中不需加热和搅拌、反应速度快、离子交换率高、过程容易控制, 可以极大地节省反应时间, 后续实验均采用超声波振动的方法制备OMMT。

2.2 不同实验条件下对OMMT层间距的影响

按照正交表中的实验条件制备OMMT, 测试XRD。XRD实验结果见表5。

根据布拉格方程计算OMMT的层间距。依次计算对应的 K_i/k_i 值和极差值 R , 其中, K_i 表示 i 水

平所对应的实验结果之和; k_i 是 K_i 的平均值, k_i 的大小可以判断某一因素的优水平和优组合。 R 为将各因素不同水平下 k_i 的最大值和最小值之差, 反映了某一列因素水平波动时, 试验结果的变动幅度, R 越大则该因素对试验结果的影响越大, 反之则影响越小, 根据 R 的大小可以判断因素的主次顺序^[12]。

表5 正交实验XRD结果

实验号	A/g	B	时间 (C) /min	功率 (D) /%	$2\theta / (^\circ)$	层间距 / nm
1 [#]	1	1	1	1	6.50	1.36
2 [#]	1	2	2	2	6.09	1.45
3 [#]	1	3	3	3	6.07	1.45
4 [#]	2	1	2	3	6.17	1.43
5 [#]	2	2	3	1	6.11	1.45
6 [#]	2	3	1	2	6.09	1.45
7 [#]	3	1	3	2	4.98	1.77
8 [#]	3	2	1	3	5.17	1.71
9 [#]	3	3	2	1	5.27	1.67

表6是层间距的极差分析。根据表5层间距的极差分析结果可见, 由大到小的顺序为 $A > D > C > B$, 最佳组合为 $A3B2C3D2$ 或 $A3B3C3D2$ 。因此因素主次关系为改性剂的用量 > 超声波振动功率 > 超声波振动时间 > pH值。这是由于CTAB与Na-MMT之间发生的离子交换反应为可逆反应。随着改性剂CTAB的用量增加, 体系中CTAB的浓度提高, 使得更多的CTAB插层进入MMT的片层之间促使反应的正向进行, 扩大了OMMT的层间距。另外, 随着时间的延长, 提高了正向反应的转化率, 因此OMMT的层间距也是逐渐提高, 同样由于是可逆反应, 反应时间过长会破坏平衡使有机改性向解插入方向移动, 推测随着时间的进一步延长, 层间距可能会有所下降。OMMT的层间距随着超声波功率的增大而增大, 后略有下降。综上分析, 最优方案是 $A3B2C3D2$ 或 $A3B3C3D2$, 即选用CTAB的用量为1.5 g, pH值为7.0或6.5、超声波振动60 min, 超声波功率80%。

表6 层间距的极差分析

项目	A/g	B	C/min	$D/\%$
K_1	4.26	4.56	4.52	4.48
K_2	4.33	4.60	4.56	4.67
K_3	5.15	4.58	4.67	4.59
k_1	1.42	1.52	1.51	1.49
k_2	1.44	1.53	1.52	1.56
k_3	1.72	1.53	1.56	1.53
R	3.73	3.08	3.17	3.18
因素主次	$A > D > C > B$			
最佳组合	$A3B2C3D2$ 或 $A3B3C3D2$			

2.3 不同有机改性剂对 OMMT 层间距的影响

测试以上采用不同链长的有机改性剂制备 OMMT 的 XRD 谱图。根据 XRD 实验结果,结合布拉格方程计算出各种 OMMT 的层间距,具体结果见表 7。按照层间距的测试结果与季铵盐主链碳原子数绘制散点图,利用 ORIGIN 软件对散点进行拟合,如图 4 所示,可以推断出层间距与季铵盐主链碳原子数具有一次线性的关系。具体的线性关系为: $d=0.0135n+1.5395$,其中 n 为季铵盐主链碳原子数(支链均为三甲基)。

表 7 不同有机改性剂制备 OMMT 的 XRD 结果

有机改性剂	碳原子数/个		$2\theta/(\circ)$	层间距/nm
	主链	支链		
十烷基三甲基溴化铵	11	1	5.25	1.68
DTAB	13	1	4.76	1.72
TTAB	15	1	3.98	1.75
CTAB	17	1	4.98	1.77
STAB	19	1	4.94	1.79
TBAB	8	4	4.80	1.84

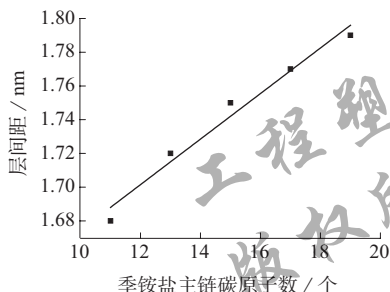


图 4 季铵盐主链碳原子数与层间距

前 5 种有机改性剂制得的 OMMT 层间距在 1.68~1.79 nm 之间,而 TBAB 改性 MMT 的层间距为 1.84 nm。从层间距的结果来看,这 6 种有机改性剂均以双层“平躺”在 MMT 的层间。笔者认为这是由于有机改性剂进入 MMT 层间之后产生了局部疏水相,有机物间的非库仑力会继续吸引有机阳离子,而季铵盐的链长越长,吸附量就越大,随着更多有机链的进入,MMT 的层间距也会随之增大;而 TBAB 的结构中含有 4 个相同的丁基支链,相比前 5 种季铵盐的结构:3 个侧甲基和主链为长链烷基,结构更为对称,且丁基的链长要比甲基长。因此,笔者推测当支链结构对称、链长越长时,制得改性 MMT 的层间距可能会进一步增大。

2.4 MMT 改性 PP 对力学性能和雾化的影响

MMT 改性 PP 的力学性能和雾化结果分别见表 8 和表 9。从力学性能的结果可知,少量 OMMT 的加入,可以在一定程度上提高熔体的流动性,拉伸

强度、弯曲强度及弯曲弹性模量均有小幅增加,悬臂梁缺口冲击强度略有下降,但下降幅度不大。未添加 MMT 的配方雾化结果为 1.2 mg,以此为基础对比分析,添加了 0.8% 的无机 MMT、Na-MMT 的雾化结果较不加 MMT 相比明显提高,说明未改性的 MMT 与 PP 的相容性不好,对 PP 的雾化不利;添加了 0.8% 的 OMMT,雾化结果为 0.7 mg,较不加 MMT 的 PP 相比有明显的降低,下降比例达 41.67%,表明 OMMT 加入 PP,可以起到改善 PP 雾化的效果。

表 8 MMT 改性 PP 性能结果

项目	无 MMT	3# 试样
拉伸强度/MPa	24.6	25.0
断裂伸长率/%	72.0	76.0
弯曲强度/MPa	33.5	33.8
弯曲弹性模量/MPa	1275	1315
悬臂梁缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	9.8	9.3
熔体流动速率/(g·10 min ⁻¹)	25.04	26.15
密度/(g·cm ⁻³)	0.901	0.900

表 9 MMT 改性 PP 雾化结果

项目	试样编号			
	1# 试样	2# 试样	3# 试样	4# 试样
雾化结果/mg	1.6	1.8	0.7	1.2

3 结论

(1) 相比磁力加热搅拌法,超声波振动制备的 OMMT 不需加热和搅拌、反应速度快,制备的 OMMT 层间距更大。

(2) 通过正交实验得出的最佳方案为选用 CTAB 的用量为 1.5 g、pH 值为 7.0 或 6.5、超声波振动 60 min,超声波功率为 80%。

(3) 随着季铵盐主链碳原子数的增多,制得的 OMMT 的层间距也会随之增大;另外发现当支链结构对称、支链链长较长时,可以制得层间距较大的改性 MMT,因此可以根据需要来选择不同碳数和不同支链结构的季铵盐进行 MMT 改性。

(4) OMMT 的加入,可以提高 PP 的拉伸和弯曲强度,同时对 PP 的雾化结果也有较好的改善。

参考文献

- [1] 陈荣源,张忠厚,韩琳,等.近熔点混炼制备 PP/MMT 复合材料的性能[J].工程塑料应用,2018,46(12):31-35,41.
Chen Rongyuan, Zhang Zhonghou, Han Lin, et al. Properties of PP/MMT composites prepared by melt blending nearby melting point[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(12): 31-35, 41.
- [2] 郑樑,曹崑,周安.纳米蒙脱土对 PBT/PET/GF 复合材料结晶和力学性能的影响[J].工程塑料应用,2018,46(9):35-40.
Jia Liang, Cao Wei, Zhou An. Effect of nano-montmorillonite

- on crystallization and mechanical properties of PBT / PET / GF composite[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):35-40.
- [3] 徐定红, 郭建兵, 周颖, 等. PBT / 有机蒙脱土纳米复合材料研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(11):154-158.
- Xu Dinghong, Guo Jianbing, Zhou Ying, et al. A review on PBT / organo-montmorillonite nanocomposites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):154-158.
- [4] 司森, 戴礼兴, 孙君, 等. 聚丙烯 / 纳米蒙脱土共混单丝的结构和性能研究 [J]. 广东化工, 2020, 47(17):24-26.
- Si Miao, Dai Lixing, Sun Jun, et al. Study on structure and properties of polypropylene / nano—montmorillonite blend monofilament[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(17):24-26.
- [5] 田琴, 罗继勇, 张道海, 等. OMMT 对 PP / IFR / OMMT 复合材料性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12):32-36.
- Tian Qin, Luo Jiyong, Zhang Daohai, et al. Effects of OMMT on properties of PP / IFR / OMMT composites[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12):32-36.
- [6] 杨娟, 王启强. 蒙脱土 / 聚氨酯复合材料的制备与阻燃性能的研究 [J]. 广州化工, 2020, 48(6):63-65.
- Yang Juan, Wang Qiqiang. Preparation and flame retardancy of montmorillonite / polyurethane composites[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(6):63-65.
- [7] 张帅, 陈建钧. 超声协助蒙脱土分散于聚磷酸铵阻燃聚丙烯的研究 [J]. 无机盐工业, 2020, 52(12):46-49, 54.
- Zhang Shuai, Chen Jianjun. Ultrasonic assisted montmorillonite dispersed in polyammonium phosphate as flame retardant for polypropylene[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2020, 52(12):46-49, 54.
- [8] 杨泽宇, 王万绪, 王国永, 等. BS-12 改性蒙脱土的制备及其稳定的 Pickering 乳液的研究 [J]. 日用化学工业, 2020, 50(3):177-181.
- Yang Zeyu, Wang Wanxu, Wang Guoyong, et al. Preparation of modified montmorillonite by BS-12 and application in pickering emulsion[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2020, 50(3):177-181.
- [9] 邢剑, 尹伟. 聚偏氟乙烯 / 咪唑盐改性蒙脱土复合材料的制备与性能研究 [J]. 塑料工业, 2020, 48(12):56-61, 172.
- Xing Jian, Yin Wei. Preparation and properties of polyvinylidene fluoride / montmorillonite modified by imidazolium salt composites[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(12):56-61, 172.
- [10] 杨鑫, 马雪梅, 张钰, 等. 有机蒙脱土复合型高吸水性树脂的制备及性能研究 [J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2019, 32(1):118-121.
- Yang Xin, Ma Xuemei, Zhang Yu, et al. Preparation and properties of composite superabsorbent resin based on organic bentonite[J]. Journal of Xinyang Normal University: Edition of Natural Science, 2019, 32(1):118-121.
- [11] 吴胜华, 张浩, 张磊. CTAB-SCA 改性钠基蒙脱土 / 橡胶复合材料的增强-阻燃机制 [J]. 复合材料学报, 2019, 36(11):2710-2717.
- Wu Shenghua, Zhang Hao, Zhang Lei. Reinforcement-flame retardant mechanism of CTAB-SCA modified Na-montmorillonite / rubber composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(11):2710-2717.
- [12] 程文超, 陈胜杰, 陈瑶, 等. 基于正交分析注塑工艺对 PP 材料力学性能的影响研究 [J]. 广东化工, 2020, 47(19):30-32, 48.
- Cheng Wenchao, Chen Shengjie, Chen Yao, et al. Factor study of injection process on the mechanical properties of PP materials using orthogonal method[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(19):30-32, 48.

欢迎订阅 2021 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅 2021 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志, 订阅杂志及合订本光盘及过期刊物的读者可直接向杂志社办理订阅。《工程塑料应用》为月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版, 2021 年定价 20 元 / 期, 全年 240 元。《化学分析计量》为月刊, 大 16 开本, 每月 20 日出版, 2021 年定价 20 元 / 期, 全年 240 元。

电话: (0531)85878223 85878057 传真: (0531)85947355