

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.04.022

辉沸石在PA6基调湿材料中的应用 及其对塑料力学性能的影响

张有祥¹, 徐同考², 孙志正³(1. 东南新材料股份有限公司, 福建三明 353300; 2. 中国塑料加工工业协会改性塑料专委会, 河北平乡 054500;
3. 桂林市五环实业开发有限公司, 广西桂林 541001)

摘要: 以辉沸石为填料, 将其加入到尼龙6 (PA6) 中制备PA6基调湿材料, 分别对比了辉沸石和硅藻土改性PA6基调湿材料的调湿性能, 测试了这两种材料24 h放吸比(相对湿度50%条件下24 h放湿率与相对湿度75%条件下24 h吸湿率之比)。同时, 测试了不同含量辉沸石改性PA6、聚丙烯(PP)及聚氯乙烯(PVC)复合材料的物理力学性能。结果表明, 相对于硅藻土, 辉沸石改性的PA6基调湿材料具有吸湿速率快、放湿率高的特点, 当辉沸石质量分数为16%时, 复合材料24 h放吸比可达70%, 辉沸石粒径对材料的调湿性能无影响。辉沸石对PA6和PP有显著的增刚作用, 且明显提升了PA6的耐热性并能显著降低PA6的模塑收缩率; 质量分数为15%的辉沸石可使PP断裂伸长率提升8.2%, 但在提升耐热性和降低模塑收缩率方面的作用有限, 当辉沸石的质量分数达到20%时, PP/辉沸石复合材料的密度超过1 g/cm³; 质量分数为10%的辉沸石可使PVC的邵氏硬度提升21%, 同时辉沸石也能明显降低PVC的模塑收缩率。

关键词: 辉沸石; 尼龙6; 聚丙烯; 聚氯乙烯; 塑料; 调湿; 力学性能

中图分类号: TQ327.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)04-0144-06

Application of Stilbite in PA6 based Humidity-controlling Materials and Its Effects on Mechanical Properties of Plastics

Zhang Youxiang¹, Xu Tongkao², Sun Zhizheng³

(1. Dongnan New Materials Co., Ltd., Sanming 353300, China; 2. The Committee of China Modification Plastics, China Plastics Processing Industry Association, Pingxiang 054500, China; 3. Guilin Wuhuan Industrial Development Co., Ltd., Guilin 541001, China)

Abstract : Nylon 6 (PA6) based humidity-controlling materials were prepared by adding stilbite as a filler to PA6. The humidity-controlling properties of stilbite and diatomite modified PA6 based humidity-controlling materials were compared, and the 24 h desorption/absorption ratio of the two materials was tested (24 h desorption/absorption ratio is the ratio of the 24 h moisture desorption ratio under 50%RH conditions to the 24 h moisture absorption ratio under 75%RH conditions). The physical and mechanical properties of PA6, polypropylene (PP) and polyvinyl chloride (PVC) composites modified by stilbite with different contents were tested. The results show that, compared with diatomite, the stilbite modified PA6 based humidity-controlling material has the characteristics of fast moisture absorption rate and high moisture desorption ratio. When the content of stilbite is 16 wt%, the 24 h desorption/absorption ratio of the material can reach 70%. The particle size of stilbite has no effect on the humidity-controlling performance of the material. Stilbite has a significant stiffening effect on PA6 and PP, significantly improves the heat resistance of PA6 and reduces the molding shrinkage of PA6. The stilbite with 15 wt% can improve the elongation at break of PP by 8.2%, but its role in improving heat resistance and reducing molding shrinkage is limited. When the content of stilbite reaches 20 wt%, the density of PP/stilbite composite exceeds 1 g/cm³. The stilbite with 10 wt% can increase the Shore hardness of PVC by 21%, and the addition of stilbite can also significantly reduce the molding shrinkage of PVC.

Keywords : stilbite ; nylon 6 ; polypropylene ; polyvinyl chloride ; plastic ; humidity-controlling ; mechanical property

通信作者: 张有祥, 硕士, 高级经济师, 研究方向为无机粉体功能应用

收稿日期: 2023-01-11

引用格式: 张有祥, 徐同考, 孙志正. 辉沸石在PA6基调湿材料中的应用及其对塑料力学性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(4): 144-149.

Zhang Youxiang, Xu Tongkao, Sun Zhizheng. Application of stilbite in PA6 based humidity-controlling materials and its effects on mechanical properties of plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(4): 144-149.

沸石是一种具有优良吸附性能的硅铝酸盐类无机矿物材料,其具有特殊的微孔状结构,可有效吸附有毒、有害的粉尘和气体,减少化学物质产生的挥发性有机物(VOC)和气味。在沸石的结构构架中,阳离子正电荷中心与阴离子晶格上的负电荷在空间上不重叠,因此,分子间具有较大的静电吸引力;另外,沸石结构内部存在大量的孔穴和通道,故其具有极大的比表面积($400\sim 800\text{ m}^2/\text{g}$)。较大的静电吸引力和极高的比表面积使沸石获得了优良的吸附性能,使其在诸如二氧化碳选择性吸附分离^[1-2]、污水中氨氮磷吸附^[3-5]、重金属离子吸附^[6]、工业染料废水处理^[7]等吸附分离领域得到了广泛的应用。

沸石所具有的优良吸附性能可使其作为建筑用调湿材料,随着人们对居家环境舒适性和建筑节能技术的要求越来越高,建筑材料的被动调温和调湿功能逐渐受到重视,在此背景下,沸石类调湿材料的研究和应用日益受到关注,但现今大多数研究侧重于无机材料^[8-10],在有机高分子材料尤其塑料中的研究相对较少。

目前,沸石在塑料中的应用逐渐增多,其可作为银系抗菌剂的载体应用于抗菌塑料中^[11],也可被用于阻燃聚丙烯(PP)^[12]、减少PP的VOC^[13]以及聚氯乙烯(PVC)的阻燃^[14]和PVC木塑复合材料的耐霉菌腐蚀^[15]等方面,但在尼龙(PA)材料中的应用较少,尤其在PA基调湿材料方面的应用更少。为此,笔者利用沸石的优良吸附功能,以储量丰富的广西天然辉沸石^[16]为填料,通过将其加入到PA6中,制备了PA6基调湿材料,研究了辉沸石对材料调湿性能的影响,并将其与添加硅藻土的材料进行了对比,为沸石改性PA基调湿材料的制备和应用提供了借鉴。同时,考察了辉沸石对PA6及常用通用塑料PP和PVC力学性能的影响,为沸石在塑料中的进一步应用提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原材料

辉沸石:白度92%,粒径分别为 $10\text{ }\mu\text{m}$ (1250目)和 $38\text{ }\mu\text{m}$ (400目),桂林市五环实业开发有限公司;

硅藻土(精土)、硅藻土助滤剂:粒径 $10\text{ }\mu\text{m}$,市售;

PA6:YH800,湖南岳化化工股份有限公司;

PP:T30S,中国石油天然气股份有限公司大庆炼化分公司;

PVC:S-1000,中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司。

1.2 主要仪器及设备

同向双螺杆挤出机:SHJ-35型,南京广达机械设备有限公司;

高速混合机:SHR系列,张家港市科仁机械有限公司;

注塑机:HBW500FA3型,宁波海波机械制造有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):S-4800型,日本日立公司;

电子万能试验机:WDW-20型,承德市开发区德盛检测设备有限公司;

悬臂梁冲击试验机:XJU-22型,泰安安太检测设备有限公司;

熔体流动速率(MFR)仪:XNR-400C型,泰安安太检测设备有限公司;

热变形温度、维卡软化温度测定仪:XRW-300A型,泰安安太检测设备有限公司;

密度天平:FA214/210 g型,上海海康电子仪表厂;

电动塑料洛氏硬度计:XHRD-150型,莱州华仪试验仪器有限公司;

邵氏硬度计:LX-C型,莱州华仪试验仪器有限公司;

电子数显游标卡尺:0~200 mm,上海量具刃具厂。

1.3 试样制备

(1)沸石粉的表面处理。

将准备好的沸石粉加入到 $(120\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的高速混合机中,低速干燥3~5 min,再提升到高速,加入适量硅烷偶联剂或铝酸酯偶联剂对沸石粉进行表面处理,处理完后冷却备用。

(2)复合材料的制备。

将PA6树脂(PP树脂、PVC树脂)、沸石粉(已处理)等按照不同配比混合,在低速搅拌机中混合均匀,然后通过同向双螺杆挤出机挤出造粒。其中,PA6基复合材料的挤出温度为 230°C ,PP基复合材料的挤出温度为 200°C ,PVC基复合材料的挤出温度为 180°C 。将制造好的改性复合材料颗粒,根据

测试标准要求,通过注射成型机制备成标准样条。按照上述相同工艺制备 PA6/硅藻土复合材料标准样条。

1.4 性能测试与表征

吸/放湿性能按照 GB/T 35166-2017 测试,温度为室温(23 °C),吸湿过程的相对湿度为 75%,放湿过程的相对湿度为 50%。

拉伸性能按照 GB/T 1040.2-2006 测试,拉伸速率为 5 mm/min。

弯曲性能按照 GB/T 9341-2008 测试,弯曲速率为 2 mm/min。

冲击性能按照 GB/T 1843-2008 测试,缺口冲击强度测试能量为 2.75 J,无缺口冲击强度测试能量为 22 J。

MFR 按照 GB/T 3682-2000 测试,其中,PA6 基复合材料测试条件为 235 °C,2.16 kg,PP 基复合材料测试条件为 230 °C,2.16 kg,PVC 基复合材料测试条件为 190 °C,5 kg。

热变形温度按照 GB/T 1634.2-2019 测试,采用 B 法(测试弯曲应力为 0.45 MPa)。

PA6 基和 PP 基复合材料洛氏硬度按照 GB/T 3398.2-2008 测试,采用 M 标尺,PVC 基复合材料邵氏硬度按照 GB/T 2411-2008 测试。

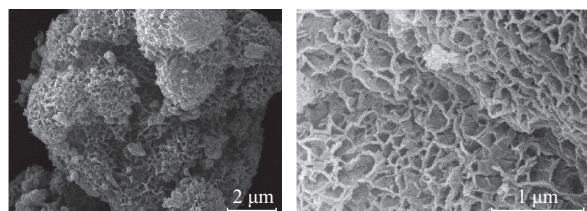
密度按照 GB/T 1033.1-2008 测试。

模塑收缩率按照 GB/T 17037.4-2003 测试。

2 结果与讨论

2.1 辉沸石颗粒的形貌特征

图 1 为辉沸石颗粒的 SEM 照片。从图 1 可以看出,辉沸石表面存在大量的呈微细空隙联结的球状孔通道,且孔道排列紧密,分布均匀。这种结构使辉沸石具有强劲的吸附功能,因此在塑料加工过程中,添加一定用量的辉沸石,可以较长时间地消除塑料制品及化学助剂中的异味,特别在回收塑料加工和发泡体系中,能够有效吸收制品中的残余气体。另外,这种多孔结构也有助于辉沸石吸收潮湿



(a) (b)

a—放大 20 000 倍;b—放大 40 000 倍

图 1 辉沸石颗粒的 SEM 照片

空气中的水分,并在空气湿度相对较低的条件下缓缓释放水分,起到调湿作用。

2.2 辉沸石改性 PA6 的调湿性能

将粒径为 38 μm 和 10 μm 的辉沸石,以及硅藻土和硅藻土助滤剂分别加入到 PA6 中,制备了 4 种复合材料(填料的质量分数均为 30%),研究了它们在吸湿环境和放湿环境下的吸湿率随时间的变化规律,结果见表 1。从表 1 可以看出,处于吸湿环境下 1 h 后,添加辉沸石的 PA6 复合材料的吸湿率远高于添加硅藻土和硅藻土助滤剂的复合材料。随着时间的延长,添加辉沸石的复合材料吸湿率略有增加,在 4 h 后达到平衡,而添加硅藻土的复合材料吸湿率增加幅度较大,在 24 h 内持续提升,由 1 h 的 1.86% 增加到 24 h 的 4.61%,24 h 后,其吸湿率增加幅度变缓,但至 48 h 后才达到平衡,此时的吸湿率为 5.33%。添加硅藻土助滤剂的复合材料吸湿率相对较低,处于吸湿环境下 4 h 后达到平衡,且增加幅度很小。

从辉沸石 SEM 照片(图 1)可以看出,辉沸石表面存在大量排列紧密且均匀的孔道,这使其具有比硅藻土更高的比表面积,因而在极短的时间内,辉沸石就能大量吸附空气中的水分,使其很快达到吸附容量的极限从而达到平衡状态。相比辉沸石,硅藻土的比表面积较小,且孔道分布不均匀,因而其吸湿速率较慢^[17],6 h 后,其填充的 PA6 复合材料的吸湿率才达到 3% 以上,12 h 后的吸湿率才超过了 PA6/辉沸石复合材料的平衡吸湿率。虽然,24 h 后 PA6/硅藻土复合材料的吸湿率超过了 PA6/辉沸石

表 1 吸放湿条件下辉沸石及硅藻土、硅藻土助滤剂填充 PA6 复合材料的吸湿率随时间变化情况

吸放湿条件	测试指标	辉沸石粒径/μm		硅藻土	硅藻土助滤剂
		38	10		
吸湿环境(23 °C, 相对湿度 75%)	$\rho_{a,1h}/\%$	3.22	3.36	1.86	0.21
	$\rho_{a,2h}/\%$	3.43	3.39	2.35	0.23
	$\rho_{a,4h}/\%$	3.48	3.46	2.92	0.25
	$\rho_{a,6h}/\%$	3.47	3.48	3.19	0.24
	$\rho_{a,12h}/\%$	3.47	3.47	3.73	0.25
	$\rho_{a,24h}/\%$	3.49	3.48	4.61	0.25
	$t_{a,e}/h$	4	4	48	4
	$\rho_{a,e}/\%$	3.49	3.48	5.33	0.25
放湿环境(23 °C, 相对湿度 50%)	$\rho_{b,24h}/\%$	1.08	1.09	2.84	
	$\rho_{b,24h}/\rho_{a,24h}$	30.9	31.3	61.6	

注: $\rho_{a,1h}$ 为吸湿环境下 1 h 的吸湿率,以此类推; $t_{a,e}$ 为吸湿环境下的平衡吸湿时间; $\rho_{a,e}$ 为吸湿环境下的平衡吸湿率; $\rho_{b,24h}$ 为放湿环境下 24 h 的含湿率。

复合材料,但其达到平衡吸湿率的时间很长,说明PA6/硅藻土复合材料的吸湿效率较低。

另外,从表1还可以看出,两种粒径的辉沸石填充的PA6复合材料的吸湿率及其变化幅度相差很小,尤其是平衡吸湿率几乎无差别,且平衡吸湿时间均为4 h,这说明,粒径对辉沸石的吸湿性能无明显影响。

放湿环境下,PA6/辉沸石复合材料的24 h含湿率低于PA6/硅藻土复合材料,同时其24 h含湿率与24 h吸湿率的比值远小于PA6/硅藻土复合材料,约是后者的50%,这表明PA6/辉沸石复合材料在放湿环境下可以脱附出更多的水分子,具有较强的放湿能力。同时可以看出,粒径对辉沸石的放湿能力影响也很小,因此,考虑到成本问题,可以选择粒径为38 μm 的辉沸石制备PA6基调湿复合材料。

相比PA6/辉沸石复合材料和PA6/硅藻土复合材料,添加硅藻土助滤剂的复合材料在吸湿环境下的吸湿率很低且变化幅度不大,而其放湿能力可以忽略,故不再进行讨论。

为了进一步对比PA6/辉沸石复合材料和PA6/硅藻土复合材料的调湿性能,测试了填料质量分数为8%,11%和16%时两种复合材料在放湿环境下的24 h放湿率,计算得到了24 h放吸比(即放湿环境下24 h放湿率与吸湿环境下24 h吸湿率之比),结果如图2所示。

由图2可以看出,相同填料含量的PA6/辉沸石复合材料24 h放吸比远高于PA6/硅藻土复合材料,且随着辉沸石含量的增加,24 h放吸比呈递增趋势,当辉沸石质量分数为16%时,PA6/辉沸石复合材料的24 h放吸比达到70%。而PA6/硅藻土复合材料的24 h放吸比随硅藻土含量增加基本没有变化。这进一步说明PA6/辉沸石复合材料具有更优异的调湿性能,在被动式建筑调湿材料中具有广阔的应用前景。

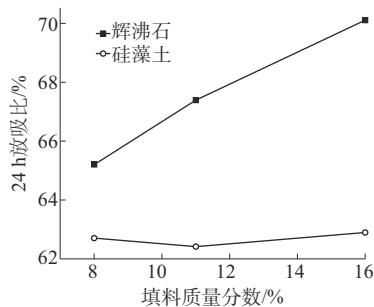


图2 不同填料含量下辉沸石与硅藻土改性PA6复合材料的24 h放吸比

2.3 辉沸石改性复合材料的物理力学性能

(1) PA6/辉沸石复合材料的物理力学性能。

将不同含量的辉沸石添加到PA6中,测试了复合材料的物理力学性能,结果见表2。由表2可以看出,加入辉沸石后,PA6的拉伸强度略有降低,但当辉沸石质量分数达到20%时,复合材料拉伸强度略高于纯PA6。另外,复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量相比纯PA6均有所增加,其中弯曲弹性模量提升明显,当辉沸石质量分数为30%时,复合材料的弯曲弹性模量相对纯PA6提升了41.1%,表明辉沸石对PA6具有较好的增刚效果。同时还可以看出,随着辉沸石含量增加,复合材料的断裂伸长率和冲击性能均下降,尤其是断裂伸长率降低最为明显,表明加入辉沸石对PA6的韧性有不利影响。

表2 辉沸石改性PA6复合材料的物理力学性能

项目	辉沸石质量分数/%				
	0	10	15	20	30
拉伸强度/MPa	67.0	63.0	65.8	68.4	64.1
断裂伸长率/%	65.2	31.9	20.8	7.0	5.5
弯曲强度/MPa	115	116	124	125	122
弯曲弹性模量/MPa	2 700	3 003	3 264	3 702	3 809
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	7.3	6.0	4.9	5.4	5.4
无缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	未冲断	51	49	48	43
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	10	16	16	16	14
热变形温度/°C	103	152	157	172	175
洛氏硬度	96	97	98	98	98
密度/(g·cm ⁻³)	1.13	1.17	1.19	1.22	1.28
收缩率/%	横向	1.16	0.98	0.78	0.68
	纵向	1.33	1.14	1.01	0.88

在物理性能方面,辉沸石的加入提高了PA6的MFR,这说明辉沸石可以起到一定的加工助剂作用,提升了PA6的加工流动性能。同时,辉沸石明显提升了PA6的热变形温度,当辉沸石质量分数为30%时,复合材料的热变形温度达到175 $^{\circ}\text{C}$,相比纯PA6提升了近70%,表明辉沸石可极大提高PA6的耐热性。另外,随着辉沸石含量的增加,横向和纵向模塑收缩率均变小,当辉沸石质量分数为30%时,横向和纵向模塑收缩率相比纯PA6分别降低了47.4%和38.3%,表明辉沸石可明显降低PA6模塑制件的收缩率。辉沸石对PA6的硬度和密度影响相对较小,当辉沸石质量分数为30%时,相比纯PA6,硬度仅提升约2%,密度提升约13.3%。

(2) PP/辉沸石复合材料的物理力学性能。

表3列出不同辉沸石含量下PP/辉沸石复合材料的物理力学性能。由表3可以看出,复合材料的拉伸强度随着辉沸石含量的增加而下降,弯曲强度

则先上升后下降,但相对变化不大,弯曲弹性模量逐步提升,当辉沸石质量分数为30%时,复合材料弯曲弹性模量相对纯PP提升了41.6%,表明辉沸石对PP也具有较好的增刚效果。与PA6相同,辉沸石的加入也降低了PP的冲击性能,但与PA6不同的是,一定含量的辉沸石可以提升PP的断裂伸长率,当辉沸石质量分数为15%时,复合材料的断裂伸长率达到816%,相比纯PP提升了8.2%。

表3 辉沸石改性PP复合材料的物理力学性能

项目	辉沸石质量分数/%				
	0	10	15	20	30
拉伸强度/MPa	30.3	28.7	28.1	26.8	24.9
断裂伸长率/%	754	746	816	754	658
弯曲强度/MPa	44.0	46.7	45.3	45.1	44.4
弯曲弹性模量/MPa	1 130	1 230	1 327	1 460	1 600
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	6.9	5.9	5.8	5.7	5.6
无缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	81	49	48	47	39
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	2.6	3.0	3.0	3.0	3.0
热变形温度/℃	86.3	88.1	93.5	94.1	97.8
洛氏硬度	88	89	89	89	89
密度/(g·cm ⁻³)	0.89	0.95	0.97	1.04	1.07
收缩率/%	横向	1.61	1.52	1.51	1.48
	纵向	1.82	1.75	1.72	1.68

在物理性能方面,加入辉沸石后,PP的熔体流动性能也得到了提升,但辉沸石的含量变化对PP的MFR没有影响。同时,PP的热变形温度也有所提升,但相对于PA6,提升幅度较小,辉沸石质量分数为30%时,复合材料热变形温度相比纯PP仅提升13.3%,且未超过100℃。辉沸石对PP的密度影响较大,当其质量分数达到20%时,PP/辉沸石复合材料的密度已超过1 g/cm³,当辉沸石质量分数达到30%时,复合材料的密度相比纯PP升高了20.2%。辉沸石对PP的硬度几乎没有影响,且对PP模塑收缩率的降低作用也相对有限,辉沸石质量分数为30%时,横向和纵向的模塑收缩率相对纯PP的下降率均未超过10%。

(3)PVC/辉沸石复合材料的物理力学性能。

表4列出不同辉沸石含量下PVC/辉沸石复合材料的物理力学性能。由表4可以看出,复合材料的拉伸强度和断裂伸长率均随辉沸石含量的增加而下降,MFR则先上升后下降,但仍高于纯PVC。辉沸石的加入对PVC的硬度有明显影响,当沸石粉质量分数为10%时,硬度较纯PVC提升了21%,但随着辉沸石含量的增加,硬度仅略有提升,表明辉沸石含量对硬度的影响很小。辉沸石增大了PVC的密度,当辉沸石质量分数为30%时,复合材料的

密度较纯PVC增大了13.8%。辉沸石可以显著降低PVC的模塑收缩率,当辉沸石质量分数达到30%时,横向和纵向的模塑收缩率相对纯PVC分别下降了42.2%和38.8%。

表4 辉沸石改性PVC复合材料的物理力学性能

项目	辉沸石质量分数/%				
	0	10	15	20	30
拉伸强度/MPa	14.2	13.6	13.1	12.3	10.9
断裂伸长率/%	278	245	220	201	180
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	0.6	0.92	1.32	1.5	1.04
邵氏硬度(邵氏D)	38	46	47	48	48
密度/(g·cm ⁻³)	1.23	1.28	1.32	1.35	1.40
收缩率/%	横向	1.42	1.12	1.01	0.93
	纵向	1.65	1.35	1.23	1.15

3 结论

(1)在相同的吸放湿环境下,辉沸石具有比硅藻土更好的调湿性能,在24小时吸放湿试验中,辉沸石改性PA6复合材料的24 h放吸比远远高于硅藻土改性的复合材料,辉沸石改性PA6复合材料具有吸湿速率快、放湿率高的特点,在建筑调湿材料中具有广阔的应用前景。

(2)将辉沸石按不同比例添加到PA6,PP,PVC树脂中制备复合材料,研究了辉沸石对3种复合材料物理力学性能的影响。在力学性能方面,辉沸石均降低了PA6和PP的冲击性能,同时也降低了PA6和PVC的断裂伸长率;除质量分数为20%的辉沸石可以略微提高PA6的拉伸强度外,其它情况下,3种复合材料的拉伸强度均下降;辉沸石提高了PA6和PP的弯曲弹性模量,但对弯曲强度的影响相对较小。在物理性能方面,辉沸石提高了3种复合材料的MFR和密度,降低了3种复合材料的模塑收缩率。

(3)辉沸石对PA6断裂伸长率的不利影响较大,但对弯曲弹性模量提升更为明显,表明辉沸石对PA6具有显著的增刚效果,同时可以极大提高PA6的耐热性。辉沸石可明显降低PA6的模塑收缩率。

(4)辉沸石对PP也有显著的增刚效果,但在提升耐热性和降低模塑收缩率方面的作用有限。质量分数为15%的辉沸石可使PP断裂伸长率较纯PP提升8.2%。辉沸石对PP的密度有较大影响,当辉沸石质量分数达到20%时,PP/辉沸石复合材料的密度超过1 g/cm³。

(5)辉沸石可明显提升PVC的邵氏硬度,加入质量分数为10%的辉沸石,可以使复合材料的硬度较

纯PVC提升21%。同时,辉沸石可明显降低PVC的模塑收缩率。

参考文献

- [1] 王璐,张磊,都健.机器学习高效筛选用于CO₂/N₂选择性吸附分离的沸石材料[J].化工进展,2023,42(1):148-158.
Wang Lu, Zhang Lei, Du Jian. High-throughput screening of zeolite materials for CO₂/N₂ selective adsorption separation by machine learning[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2023,42(1):148-158.
- [2] 孙永彪,唐建峰,刘鑫博,等.基于动态吸附的X型沸石对CO₂/CH₄分离性能实验[J].中国石油大学学报(自然科学版),2022,46(4):160-167.
Sun Yongbiao, Tang Jianfeng, Liu Xinbo, et al. Experiment on effect of X type zeolites on separation of CO₂/CH₄ mixture based on dynamic adsorption[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2022,46(4):160-167.
- [3] 傅金祥,张延平,李森,等.改性沸石氨氮吸附剂的制备及其在生活污水处理中的应用[J].硅酸盐通报,2021,40(5):1 728-1 734.
Fu Jinxiang, Zhang Yanping, Li Sen, et al. Preparation of modified zeolite ammonia nitrogen adsorbent and its application in domestic sewage treatment[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2021,40(5):1 728-1 734.
- [4] 郝佳瑞,崔江东,王淇,等.13X沸石分子筛吸附水体中氮磷的研究[J].云南化工,2022,49(8):25-29.
Hao Jiarui, Cui Jiangdong, Wang Qi, et al. Adsorption of nitrogen and phosphorus in water by 13X molecular sieve prepared from halloysite[J]. Yunnan Chemical Technology, 2022,49(8):25-29.
- [5] 郭志伟.改性沸石分子筛吸附氨氮废液机理研究[D].武汉:武汉大学,2022.
Guo Zhiwei. Adsorption mechanism of ammonia nitrogen from waste liquid by modified molecular sieve[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2022.
- [6] 周娟苹,历新宇,杨旭,等.化学改性沸石对重金属离子去除的研究进展[J].硅酸盐通报,2021,40(9):2 978-2 988.
Zhou Juanping, Li Xinyu, Yang Xu, et al. Research progress on removal of heavy metal ions by chemically modified zeolite[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2021,40(9):2 978-2 988.
- [7] 温乾广,涂玉琪,王宇晖,等.改性沸石吸附污水中亚甲基蓝的性能研究[J].广州化工,2022,50(23):133-135.
Wen Qianguang, Tu Yuqi, Wang Yuhui, et al. Study on adsorption of methylene blue in wastewater by modified zeolite[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022,50(23):133-135.
- [8] 狄永浩,郑水林,李春全,等.红辉沸石的孔结构调控及其调湿性能[J].硅酸盐学报,2021,49(7):1 385-1 394.
Di Yonghao, Zheng Shuilin, Li Chunquan, et al. Pore structure regulation and humidity-controlling effect of natural stellerite[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2021,49(7):1 385-1 394.
- [9] 朱珊,马新宇,杨玉玺,等.沸石粉混凝土调湿及力学性能试验研究[J].建筑结构,2021,51(S1):1 332-1 337.
Zhu Shan, Ma Xinyu, Yang Yuxi, et al. Experimental study on humidity controlling and mechanical properties of humidity controlling concrete based on zeolite[J]. Building Structure, 2021,51(S1): 1 332-1 337.
- [10] 胡明玉,刘章君,柯书俊,等.无机改性掺和料对沸石调湿材料性能的影响[J].建筑材料学报,2018,21(5):791-796.
Hu Mingyu, Liu Zhangjun, Ke Shujun, et al. Effect of inorganic modified admixture on performance of the zeolite humidity-controlling materials[J]. Journal of Building Materials, 2018,21(5):791-796.
- [11] 陆漓,梁俊,黄忠辉,等.纳米载银沸石抗菌剂的制备及其在抗菌塑料的应用[J].塑料助剂,2017(1):27-30,52.
Lu Li, Liang Jun, Huang Zhonghui, et al. Preparation of a silver carrying nano-sized zeolite antibacterial agent and its application in antibacterial plastic[J]. Plastic Additives, 2017(1):27-30,52.
- [12] 胡焕波,刘肇闻,赵天瑜,等.4A沸石对聚丙烯/聚磷酸铵/硼酸锌-线型三嗪杂化成炭剂材料的催化成炭和协效阻燃[J].高分子材料科学与工程,2022,38(9):51-57.
Hu Huanbo, Liu Zhao wen, Zhao Tianyu, et al. Catalytic carbonization and synergistic flame retardancy of PP/APP/zinc borate-linear triazine hybrid char-forming agent materials by 4A zeolite[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2022,38(9):51-57.
- [13] 熊一鸣,秦舒浩,王莉,等.沸石粉对PP中VOC散发性能的影响[J].工程塑料应用,2017,45(8):118-122.
Xiong Yiming, Qin Shuhao, Wang Li, et al. Influence of zeolite powder on the emission properties of PP VOC[J]. Engineering Plastics Application, 2017,45(8):118-122.
- [14] 柏芳燕,邢建润.聚氯乙烯/沸石粉复合材料的制备及阻燃性能研究[J].塑料科技,2020,48(12):15-18.
Bai Fangyan, Xing Jianrun. Preparation and flame retardant properties of PVC/zeolite powder composites[J]. Plastics Science and Technology, 2020,48(12):15-18.
- [15] 杨鑫,何春霞,王磊,等.沸石粉含量对PVC/桉木复合材料耐霉菌腐蚀性能影响[J].工程塑料应用,2018,46(12):1-6.
Yang Xin, He Chunxia, Wang Lei, et al. Effect of zeolite powder on mould corrosion resistance of PVC/eucalyptus composites[J]. Engineering Plastics Application, 2018,46(12):1-6.
- [16] 高沙沙,陈南春,裴胤昌,等.天然辉沸石为原料制备P型沸石的水热反应条件研究[J].人工晶体学报,2018,47(6):1 096-1 101.
Gao Shasha, Chen Nanchun, Pei Yinchang, et al. Hydrothermal reaction conditions for preparation of zeolite P from natural stellerite as raw material[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2018,47(6): 1 096-1 101.
- [17] 姜洪义,王一萍,万维新.沸石、硅藻土孔结构及调湿性能的研究[J].硅酸盐通报,2006,25(6):30-33.
Jiang Hongyi, Wang Yiping, Wan Weixin. Research of pore-structure and humidity-control performance about zeolite and diatomite[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2006,25(6):30-33.