

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.06.024

不同维度无机材料填充对 ABS 性能的影响

朱秀梅^{1,2}, 刘凯^{1,2}, 王裕森^{1,2}, 叶南彪^{1,2}, 黄险波^{1,2}

(1. 金发科技股份有限公司企业技术中心, 广州 510663; 2. 塑料改性加工国家工程实验室, 广州 510663)

摘要:为填补无机材料填充丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)研究匮乏的缺陷,对无机材料按照维度分类,研究了不同粒径的零维粉状(包括碳酸钙、硫酸钡)、一维纤维/针状(包括玻纤、硅灰石)、二维片层状(包括滑石粉、云母)无机材料,在不同比例下与ABS填充共混,对ABS的力学性能、耐热性能、燃烧性能、尺寸性能等各类性能的影响。结果表明,不同维度无机材料对ABS性能的影响具有明显差异,并呈现出一定的规律性;无机材料填充会使ABS的冲击性能和水平燃烧性能下降,但会对ABS的拉伸强度、弯曲弹性模量、耐热性能和尺寸稳定性呈现不同程度的改善;值得注意的是,根据其维度和粒径的不同,无机材料对ABS的性能影响也不尽相同,实际改性过程中需斟酌选取。

关键词:丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料;无机材料;维度;性能

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)06-0137-07

Effects of Inorganic Fillers with Different Dimensions on Properties of ABS

Zhu Xiumei^{1,2}, Liu Kai^{1,2}, Wang Yusen^{1,2}, Ye Nanbiao^{1,2}, Huang Xianbo^{1,2}

(1. National-Certified Enterprise Technology Center, Kingfa Science and Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. National Engineering Laboratory for Plastic Modification and Processing, Guangzhou 510663, China)

Abstract: In order to fill the shortcomings of inorganic materials filled with acrylonitrile butadiene styrene plastics (ABS), inorganic fillers were divided according to the dimensions into zero dimension powder (including calcium carbonate, barium sulfate), one-dimensional fiber / needle (including glass fiber, wollastonite), two-dimensional lamellar (including talc, mica) inorganic materials, and then inorganic fillers of all dimensions and different sizes were blended with ABS in several proportions. The influence on the performance of ABS including the mechanical properties, heat resistance, combustion performance and dimensional stability was investigated. The results show that the effects of inorganic fillers with different dimensions on the properties of ABS are obviously different, showing the certain regularity. Generally speaking, the impact properties and HB combustion properties of ABS filled with inorganic materials decrease, but the tensile strength, bending strength, heat resistance and dimensional stability of ABS filled with inorganic materials are improved in varying degrees. It is worth noting that, according to the different dimension and particle size, the influence of inorganic materials on the properties of ABS is not the same, so it needs to be carefully selected in the actual modification process.

Keywords: acrylonitrile butadiene styrene plastics; inorganic filler; dimension; property

近年来,改性塑料的应用愈加广泛,根据中国塑料加工工业协会的统计数据显示,2004年,我国塑料改性化率仅为8%,而到了2016年,我国塑料改性化率基本维持在19%左右,到2024年更是有望达到30%^[1]。而在改性塑料中,无机材料因其种种优点^[2-5]——如无机材料可改善树脂的力学性能,

赋予其高硬度、高刚性、高模量的特点;可提高树脂的耐环境性,使其耐蠕变、耐酸碱;可提高材料的尺寸稳定性,表现为更低的收缩率、更低的线性热膨胀系数;可以赋予树脂特殊的功能性,如电绝缘性、导电性、导热性、消噪、耐磨等;也可以改善材料的美学性能,表现出着色、高光等性质;此外,无机材料

通信作者: 朱秀梅,博士,主要从事改性塑料材料的研究和开发

收稿日期: 2021-03-22

引用格式: 朱秀梅,刘凯,王裕森,等. 不同维度无机材料填充对ABS性能的影响[J]. 工程塑料应用,2021,49(6): 137-143, 152.

Zhu Xiumei, Liu Kai, Wang Yusen, et al. Effects of inorganic fillers with different dimensions on properties of ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(6): 137-143, 152.

还可以起到降成本的作用,等等——故而已然成为主要的改性塑料助剂。

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 性能介于通用塑料与工程塑料之间,具有独特的重要性与地位。它具有高抗冲、高力学强度、高光泽、耐化学药品性好、尺寸稳定性优良、易电镀等诸多特点,因此被广泛应用于家用电器、办公设备、仪器仪表、机械、汽车、电子和建筑等众多领域^[6-8]。当然,ABS树脂本身也有诸如流动性低、吸水、耐热性差、不透明等缺点,需要加以改性使用^[6-8]。ABS常用的改性手段包括树脂共混、阻燃、耐热及合金等;但唯独在无机材料填充方面,有关ABS的研究并不多,系统地将各类无机材料填充到ABS中的研究更是少见。

为了弥补这一方面的欠缺,同时最大程度探索ABS树脂改性和应用的可能性,笔者选择了一种代表性的通用高冲ABS(D-120A),以及几大类的无机材料进行复合研究。由于无机材料的几何形状是影响它在填充塑料中起作用的重要因素之^[9-10],因此笔者将其按维度分为零维粉状、一维纤维/针状和二维片层状的无机材料。通过ABS分别与不同粒径的零维粉状(包括碳酸钙、硫酸钡),一维纤维/针状(包括玻纤、硅灰石),二维片层状(包括滑石粉、云母)的无机填料按不同比例进行共混,从而得出不同维度的无机材料对ABS力学性能、耐热性能、燃烧性能、尺寸性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

ABS:D-120A,国乔石油化学股份有限公司;

碳酸钙:干磨LXG-2000,中位径(D50)为1.2 μm,广西凤山县龙兴矿业有限责任公司;干磨WX6000-E1,D50为0.7 μm,芜湖伟翔超微材料有限公司;湿磨CARBITAL S,D50为0.7 μm,英格瓷(芜湖)有限公司;

硫酸钡:AB-3000N1,D50为1.5 μm,广州市黄埔天泰化轻有限公司;HD-8000,D50为0.8 μm,宜昌恒大化工有限责任公司;

玻纤:短玻纤ECS-11-4.5-560A,长度4500 μm,直径11 μm,长径比约为400,巨石集团有限公司;玻纤粉MF7980,长度90 μm,直径18 μm,长径比为5,德国朗盛股份公司;

硅灰石:HQ-1250,长度25 μm,直径5 μm,长径比为5,大连环球矿产股份有限公司;高目数

NYGLOS 4W 10992,长度55 μm,直径5 μm,长径比为11,美国NYCO矿物有限公司;

滑石粉:TYT777A,D50为5 μm,海城添源化工有限责任公司;HTPUltra5L,D50为0.5 μm,辽宁艾海意米矿业有限公司;

云母:40目AY-03N,D50为380 μm;500目HYC500,D50为25 μm,江门市精达云母材料有限公司;

其它加工助剂均为市售。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机:SHJ-30型,南京瑞亚高聚物装备有限公司;

注塑机:B-920型,海天塑机集团有限公司;

冲击试验机:T92型,美国Tinius Olsen公司;

拉伸/弯曲试验机:4104型,深圳新三思材料检测有限公司;

热变形温度测试仪:Iggelhorst 19 D-44149 Dortmund型,德国Coesfeld公司;

二次元测试仪:YVM-3020型,东莞市源欣光电仪器有限公司;

燃烧试验仪:HVUL2型,美国Atlas材料测试技术公司;

扫描电子显微镜(SEM):S-4000型,日本日立公司。

1.3 试样制备

按不同比例配方称取ABS树脂、无机材料及其它助剂,混合10 min后加入双螺杆挤出机中挤出造粒,双螺杆挤出机的机筒温度分12段控制,温度控制在160~220℃,主机转速1000 r/min,喂料转速350 r/min,挤出造粒制备得到无机材料填充ABS粒子。所得粒子于80~90℃干燥2~3 h后注塑制样,注塑温度220℃。将注塑好的样条于温度23℃、湿度50%的条件下放置24 h,备用。

1.4 性能测试

悬臂梁缺口冲击强度按ISO 180:2000测试;

拉伸强度按ISO 527-2:2012测试,拉伸速率50 mm/min;

弯曲弹性模量按ISO 178:2010测试,弯曲速率2 mm/min;

热变形温度按ISO 75-2:2004测试;

收缩率按ISO 294-4:2003测试;

水平燃烧(HB)按GB/T 2408-2008测试,试样厚度3 mm。

2 结果与讨论

2.1 不同维度无机材料对ABS冲击强度的影响

高冲击强度是ABS树脂最具有优势的性能之一,需要重点关注;同时,冲击强度也是一个较为复杂的物理量,影响填充体系冲击强度的因素很多,包括填充量、填料分散情况、聚合物与填料界面的强度,以及裂纹引发和扩展的机制等^[11]。图1为不同维度无机材料不同填充比例时ABS的冲击强度。

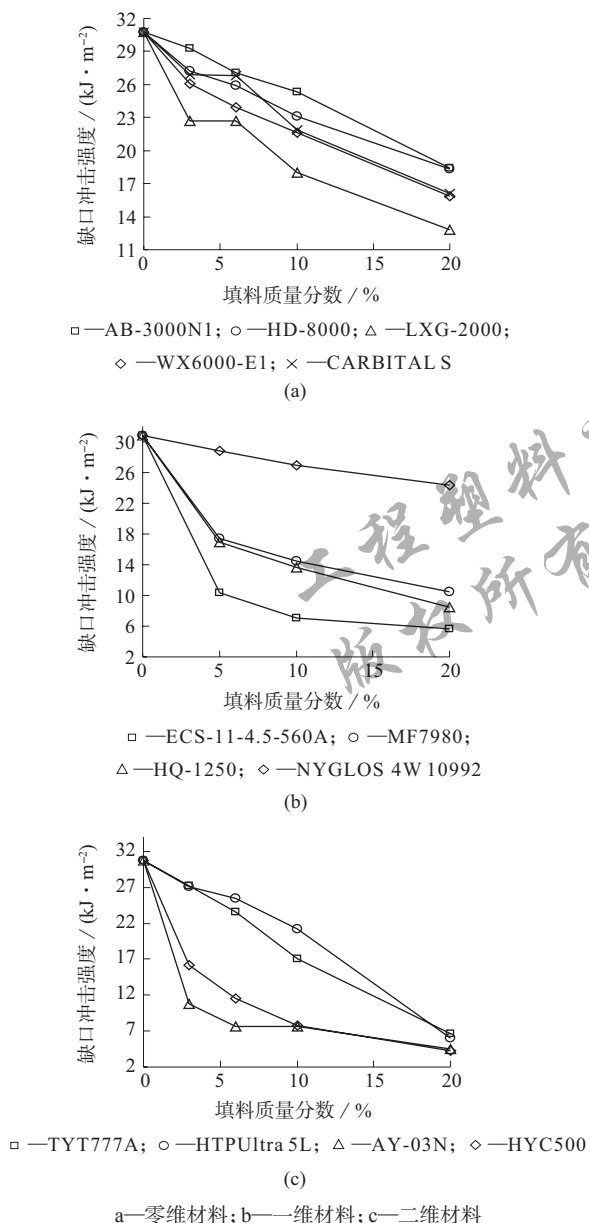
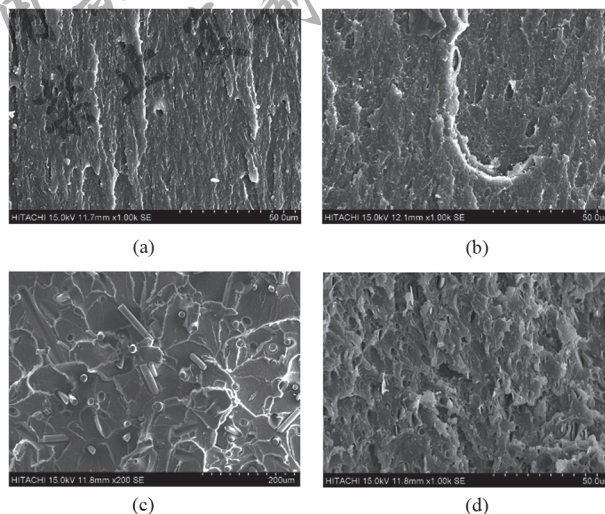


图1 不同维度无机材料不同填充比例时ABS的冲击强度

从图1可以看出,不管是哪个维度的哪种填料填充,均会使复合体系的缺口冲击强度下降;且随着填充量增加,下降程度增大。在不同维度的填料中,零维填料对冲击性能的影响相对最小;一维、二

维填料的影响接近,其中一维填料对冲击强度的衰减略优于二维填料。取每个维度下各一种具有代表性的材料填充,以10%填充比例进行低温淬断,以SEM观察断面形貌,结果见图2。可以看到相比单纯ABS树脂,以三种维度的填料填充后,树脂基体的连续性均受到一定程度的影响;而其连续性的保持程度是零维优于一维和二维。这就很好地解释了不同维度填料对ABS树脂冲击性能影响的不同原因:对零维填料而言,其比表面积大,与聚合物的结合界面更多,界面强度就更大^[12];另外其拥有相对较小的粒径,可产生很多个点的应力集中效应,在产生微裂纹(或银纹)的同时,也使得基体树脂裂纹扩展受阻和钝化,不容易发展为破坏性开裂,冲击强度下降少^[13]。而对于一维二维填料而言,它们比表面积较小,与聚合物的界面结合少,界面强度自然就比较弱;同时由于它们体积相对较大,等于引入了较大的缺陷,局部应力过大,冲击强度就下降严重。



a—纯ABS; b—零维材料AB-3000N1填充;

c—一维材料MF7980填充; d—二维材料TYT777A填充

图2 不同维度无机材料在10%填充比例下的低温断面SEM照片

从同种填料不同大小尺度的结果对比可以发现,整体而言,填料的尺度越小,缺口冲击强度保持得越理想;这在一维填料中表现得更为显著。但也有例外——对零维的硫酸钡而言,反而是粒径更大的AB-3000N1对冲击强度的保持更好。于是同样以SEM观察这两者的断面形貌,见图3。从图3可见,小粒径的HD-8000可能由于粒径过小,反而未能实现均匀分散,局部团聚成较大粒子;而拥有较大粒径的AB-3000N1,则恰好分散良好,少有粒子团聚现象。

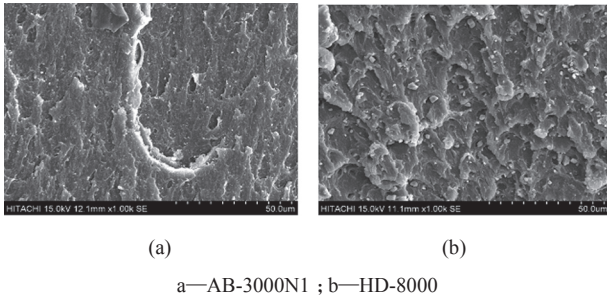


图3 两种不同粒径硫酸钡在10%填充比例下的低温断面SEM照片

2.2 不同维度无机材料对ABS拉伸强度的影响

拉伸强度除了取决于填料形态、模量、粒径分布和填充量之外,更强烈取决于聚合物和填料之间的相互作用^[11]。图4为不同维度无机材料不同填充比例时ABS的拉伸强度。从图4可以发现,二维

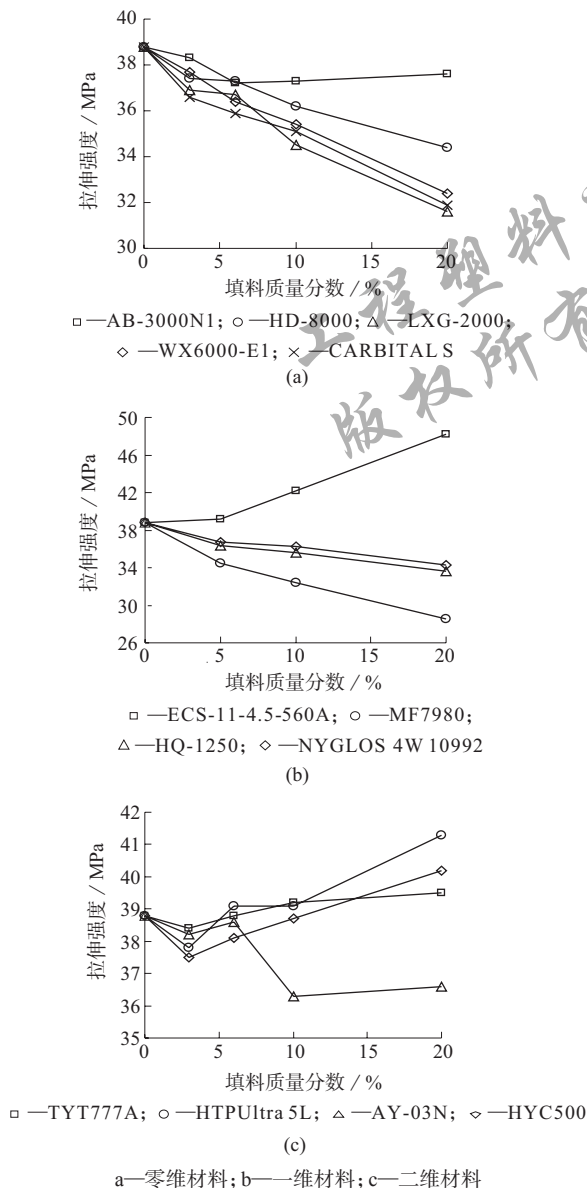


图4 不同维度无机材料不同填充比例时ABS的拉伸强度

填料和一维短玻纤可以在一定程度上提高拉伸强度,除短玻纤外的其它一维填料和零维填料则会降低拉伸强度。究其原因,有可能是相对尺度较大的纤维(一维)和片状(二维)填料可以实现应力传递,相互作用较强,因而起到了提高拉伸强度的效果;而拥有小尺寸的一维和零维填料则无法实现这一效果,导致拉伸强度受限。

2.3 不同维度无机材料对ABS弯曲弹性模量的影响

弯曲弹性模量主要由填充量和填料几何形状决定。理论上说,填充量越大,模量就越高;而且,相比于颗粒、粉状填料,拥有几何形状的片状和纤维状的填料更能通过限制分子链的变形,从而提高弯曲弹性模量^[14]。图5实验结果也很好证明了这

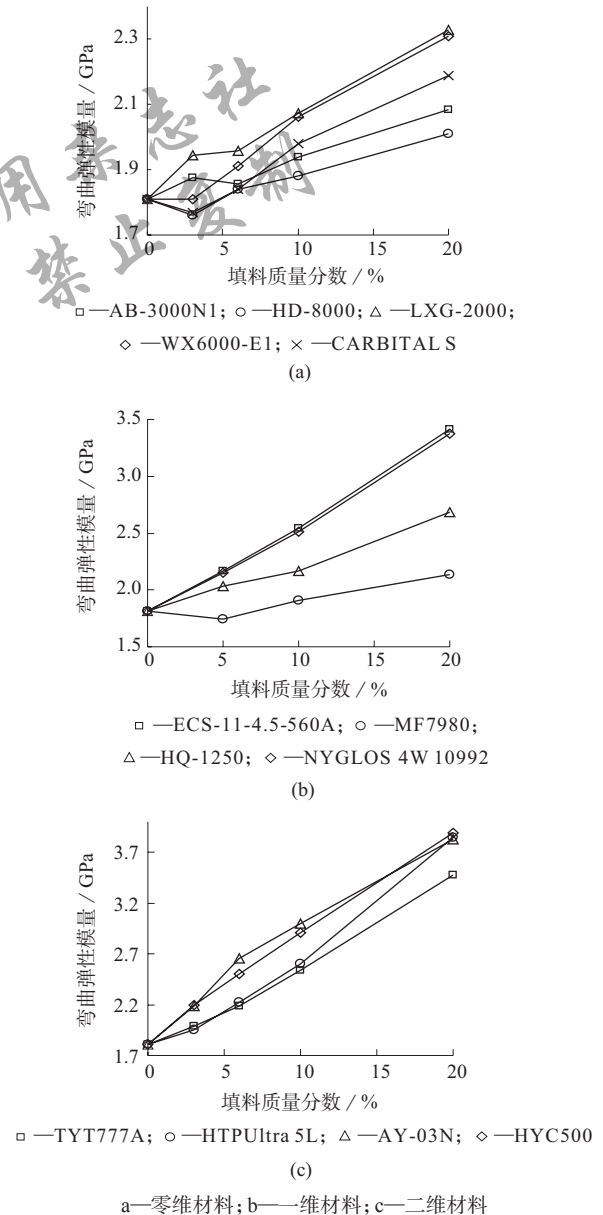


图5 不同维度无机材料不同填充比例时ABS的弯曲弹性模量

一论点,可以看到一维、尤其是二维填料,显著地提高了复合填充体系的模量,且填充量的增量效果也更为明显。

2.4 不同维度无机材料对ABS热变形温度的影响

大部分无机填料都可以提高塑料的热性能,其原因在于大多数无机填料的熔点都较高,当添加了填料的树脂处于一定温度时,基体已开始软化变形,但填料仍保持着形状,支撑着塑料基体^[15]。图6为不同维度无机材料不同填充比例时ABS的热变形温度。从图6可见,不同维度无机填料对树脂热变形温度的影响不同,整体表现为二维填料可较为显著地提高树脂热变形温度,一维次之,零维基本保

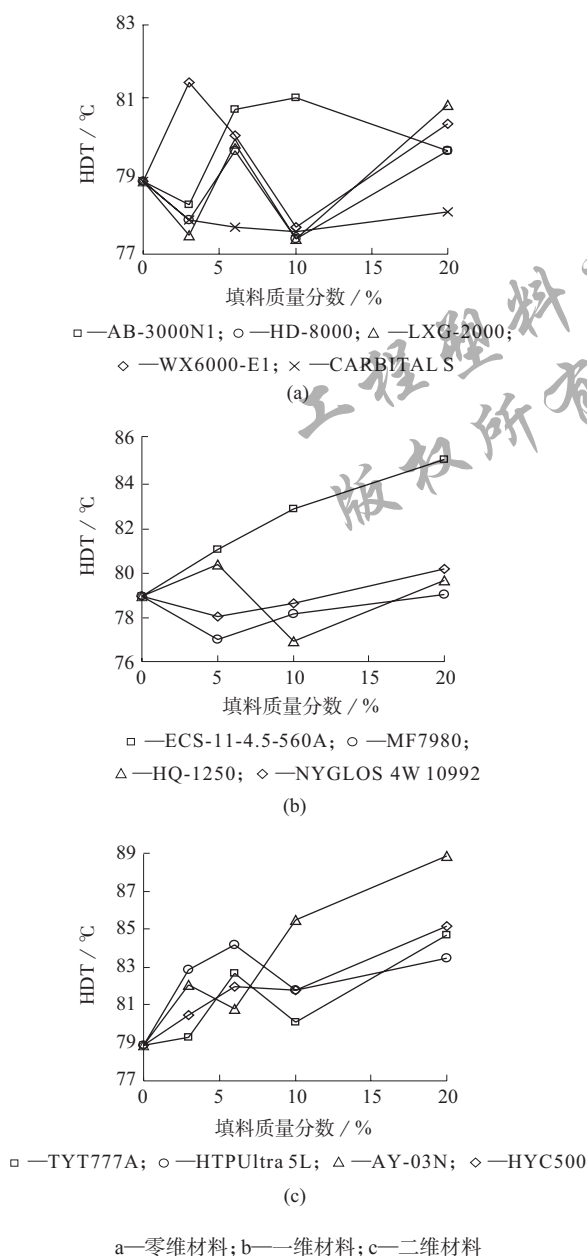


图6 不同维度无机材料不同填充比例时ABS的热变形温度(HDT)

持。而在二维和一维填料中,具有较大片状结构的云母AY-03N和较大纤维结构的短玻纤ECS-11-4.5-560A,其提高热性能的效果是最为理想的,且随着填料含量的增加而大幅度提高;这是因为这些较大的填料结构在树脂中沿流动方向排列,含量越多时,其限制ABS分子链热运动的能力越大,结果就变为热变形温度变得更高。

2.5 不同维度无机材料对ABS收缩率的影响

对于ABS这类非结晶性树脂而言,其本身的收缩率,相比结晶性树脂如PP而言,已经非常具有优势;但是随着现在应用的要求不断提高,如ABS电视机框产品的尺寸不断变大,树脂本身的微小收缩率都被放大,使产品产生相应缺陷。因此,寻找其它方法以降低树脂收缩率变得越来越重要,其中矿物填充就是一个很值得尝试的方法。图7为不同比例的滑石粉HTPUltra5L填充时收缩率随时间变化的情况。从图7可以看到,以滑石粉HTPUltra5L不同填充量为代表的复合材料,在注塑完成后的前24h发生最大的收缩,其后收缩率略有上升但变化较小。因此以48h为收缩率研究时间,考察了不同维度无机材料不同填充比例时ABS的收缩率,结果见图8。可以看到各维度填料在少量填充(3%~5%)时,就可显著降低树脂的收缩率,且影响程度接近——这应该是无机材料本身的不收缩性导致的^[16]。但当填充量提高之后,不同维度材料填充对树脂收缩率的影响就表现出差异:其中零维填料几乎不再降低收缩率;一维填料稍有起伏,但整体呈继续显著下降趋势;二维填料则是随着填充量的增加,对收缩率的下降也显著增加。究其原因,笔者认为可能是在注塑时,高分子链和一维或二维填料沿流动方向取向;而冷却时,填料可在一定程度上限制分子链在取向方向上的回弹松弛行为,从而降低材料收缩率,且与填料量正相关。

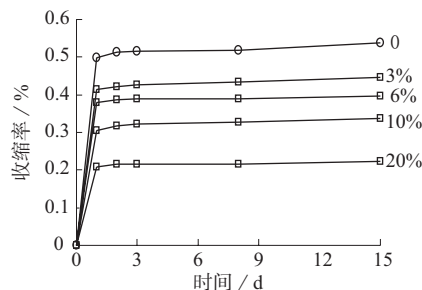


图7 不同比例滑石粉HTPUltra5L填充时收缩率随时间变化的情况

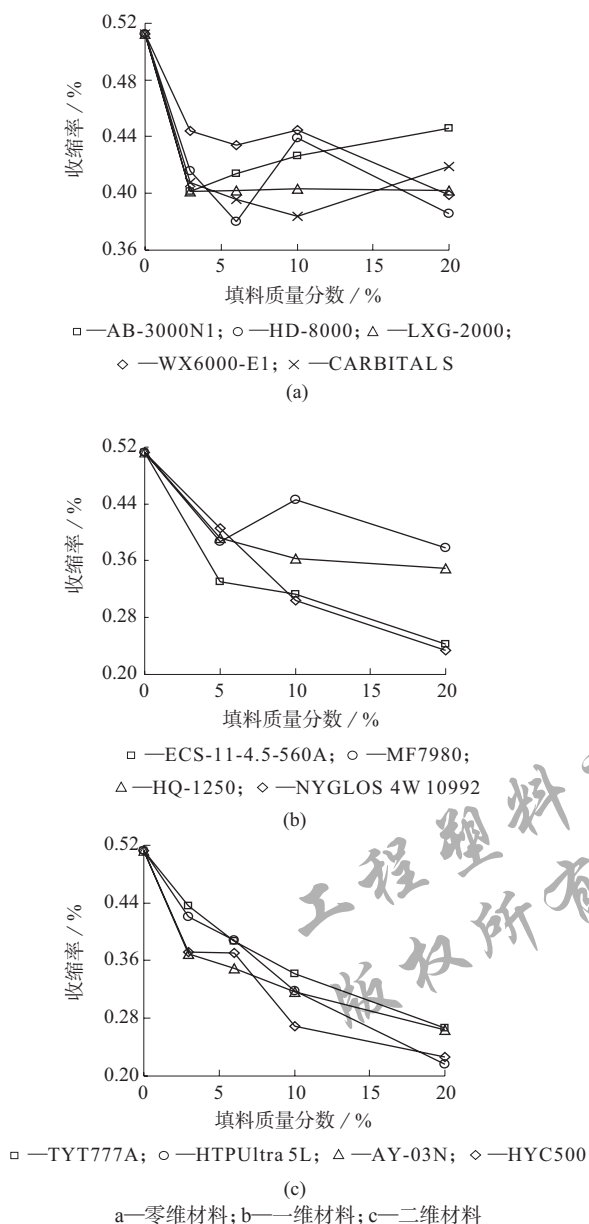


图8 不同维度无机材料不同填充比例时 ABS 的 48 h 收缩率

2.6 不同维度无机材料对 ABS HB 燃烧性能的影响

关于水平燃烧的机理报道很少见,笔者认为水平燃烧与垂直燃烧有所不同,后者主要可通过添加阻燃剂等措施,从气相阻燃和凝聚相阻燃的角度,使样条燃烧自熄灭;前者则一般倾向于通过树脂自身的特性,使得燃烧速度尽量缓慢(不会自熄灭)。有文献报道在垂直燃烧中,诸如滑石粉类填料可起到壁垒作用,有利于形成稳固的炭层帮助阻燃^[17]。但各类填料对 ABS 树脂水平燃烧性能的影响未见报道,图 9 为不同维度无机材料不同填充比例时 ABS 的 HB 燃烧性能。从图 9 可见,零维、二维填料对于 ABS 树脂的 HB 燃烧性能影响较小,也就是添加此

类填料不会促进 ABS 树脂的水平燃烧,同时也未见阻燃效果;而一维填料的填充则使得 HB 燃烧的性能变差,这可以解释为一维填料的“烛芯”效应。

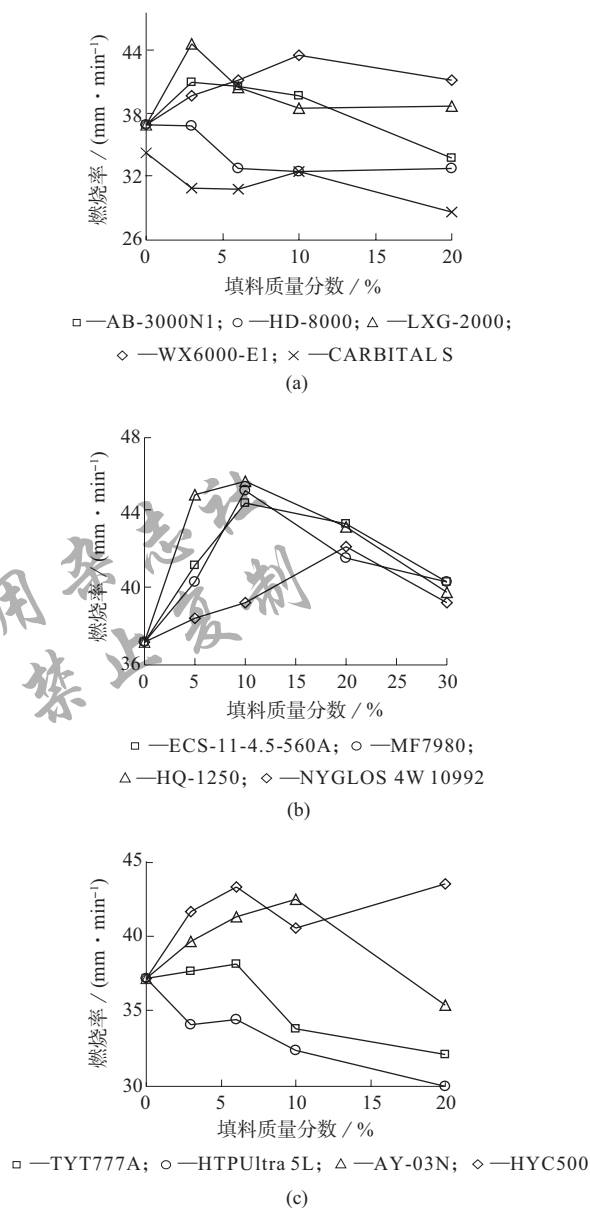
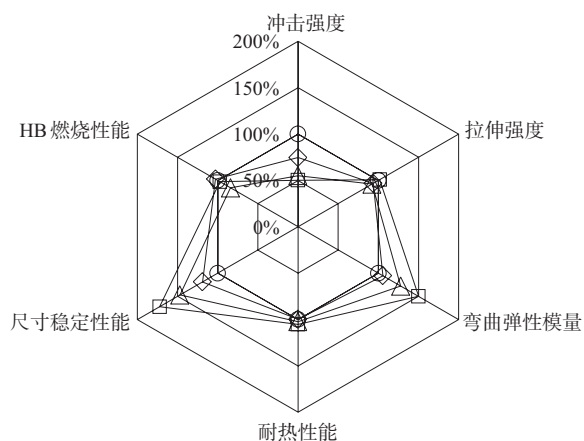


图9 不同维度无机材料不同填充比例时 ABS 的 HB 燃烧性能

2.7 不同维度无机材料对 ABS 性能的综合影响

总结各类不同维度无机材料对 ABS 树脂各类性能的影响,得出图 10,并可获得以下具体结论:

(1) 在冲击强度方面,所有维度的无机材料填充,均会使复合材料的缺口冲击强度下降;填充越多,冲击强度下降越多;其中零维填料对冲击强度的影响相对最小;另外,填料尺度越小、分散程度越好,则冲击强度可得到相对保持。



○—纯树脂；◇—零维填料；△—一维填料；□—二维填料

注：①冲击强度方面，一维较细硅灰石 NYGLOS 4W 10992 例外，该填料经过特殊的表面改性；②拉伸强度方面，一维短玻纤 ECS-11-4.5-560A 例外，其增强效果非常显著；③弯曲弹性模量及收缩率方面，一维玻纤粉 MF7980 例外，该填料长径比小，更接近于零维颗粒状填料

图 10 不同维度无机材料对 ABS 性能的影响规律

(2) 在拉伸强度方面，二维填料和一维短玻纤可以在一定程度上提高拉伸强度；而除短玻纤外的其它一维填料和零维填料则会降低拉伸强度。

(3) 在弯曲弹性模量方面，一维、尤其是二维填料，显著地提高了复合材料的弯曲弹性模量；零维提升很小。

(4) 在耐热性能方面，二维填料可较为显著地提高树脂热变形温度，一维次之，零维基本维持。

(5) 在材料收缩率方面，各维度填料在少量填充（3%~5%）时，可显著降低树脂的收缩率，且影响程度接近。而当填充量提高之后，不同维度填充表现出差异：其中零维填料几乎不再降低收缩率；一维填料稍有起伏，但整体随填充的增加而呈继续显著下降趋势；二维填料则是随着填充量的增加，对收缩率的下降也显著增加。

(6) 在 HB 燃烧性能方面，零维、二维填料对其影响较小；而一维填料则使得 HB 燃烧性能变差。

3 结论

主要从不同维度层面，较为系统地研究了各类不同粒径的无机材料填充对 ABS 树脂各类性能的影响。其中所研究的无机材料包括零维粉状的碳酸钙、硫酸钡，一维纤维/针状的玻纤、硅灰石，二维片层状的滑石粉、云母；所涉及的 ABS 树脂性能包括冲击强度、拉伸强度、弯曲弹性模量、耐热性能、收缩率、HB 燃烧性能等。结果表明，不同维度无机材料对 ABS 各项性能的影响具有明显的差异，并表现出一定的规律性。研究结果对广大科研工作者进行

ABS 的不同无机材料填充起到了良好的指引作用。

参考文献

- [1] 中塑在线, 中国包装. 未来可期 改性塑料将迎来发展风口 [J]. 中国包装, 2019, 39(4): 76-78.
China Plastics Online, China Packaging. In the future, modified plastics will usher in development opportunities[J]. China Packaging, 2019, 39(4): 76-78.
- [2] Brydson J A. Plastics materials[M]. Oxford: Butterworth-Heinemann Elsevier Ltd., 1999.
- [3] Haque M M U, Goda K, Ito H, et al. Melt-viscosity and mechanical behaviour of polypropylene (PP) / wood flour composites: Effect of pulverization of wood flour with and without water[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2019, 2(1): 42-50.
- [4] 徐同考. 无机矿物材料在塑料中的应用 [C]// 无机粉体改性塑料环境友好材料研发、应用及技术标准研讨会, 2004.
Xu Tongkao. Application of inorganic mineral materials in plastics[C]// Seminar on R & D, Application and Technical Standards of Environmental Friendly Materials Modified by Inorganic Powder, 2004.
- [5] 刘晓华. 塑料制品中的无机填充材料 [J]. 黑龙江科技信息, 2013(7): 90-90.
Liu Xiaohua. Inorganic filling materials in plastic products[J]. Heilongjiang Information Technology, 2013(7): 90-90.
- [6] 王荣伟, 杨为民, 辛敏琦. ABS 树脂及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
Wang Rongwei, Yang Weimin, Xin Minqi. ABS resin and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [7] 周丽娜. ABS 树脂冲击强度影响因素研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2015.
Zhou Lina. Study on influencing factors of impact strength of ABS resin[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2015.
- [8] 袁绍彦, 刘奇祥, 叶南飏, 等. 改性 ABS 及其在汽车上的应用 [J]. 工程塑料应用, 2010, 38(1): 51-54.
Yuan Shaoyan, Liu Qixiang, Ye Nanbiao, et al. Modified ABS and its application in automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(1): 51-54.
- [9] Manson J A. Polymer blends and composites[M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- [10] Chacko V P, Farris R J, Karasz F E. Tensile properties of CaCO₃-filled polyethylenes[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1983, 28(9): 2701-2713.
- [11] Bigg D M. Mechanical properties of particulate filled polymers[J]. Polymer Composites, 1987, 8(2): 115-122.
- [12] Jiang L, Lam Y C, Tam K C, et al. Strengthening acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) with nano-sized and micron-sized calcium carbonate[J]. Polymer, 2005, 46(1): 243-252.

(下转第 152 页)

- Leader, 2018(4):51-53.
- [4] 唐楷, 邓肖, 蒋欢欢. 聚苯硫醚的应用研究进展 [J]. 广东化工, 2013, 40(22):71-72.
- Tang Kai, Deng Xiao, Jiang Huanhuan. Advances in the application of polyphenylene sulfide [J]. Guangdong Chemical, 2013, 40(22):71-72.
- [5] Liu Shuai, Liu Zheng, Bai Xiue. Comparative analysis of fibers for thermal protective clothing [J]. Advanced Materials Research, 2013, 2176:29-32.
- [6] 武艳杰, 乔辉, 丁筠, 等. 酞菁蓝母粒对 PPS 原液着色纤维性能影响 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12):129-133.
- Wu Yanjie, Qiao Hui, Ding Yun, et al. Effect of phthalocyanine blue masterbatch on the properties of dyed PPS fiber [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12):129-133.
- [7] 邱志成, 李鑫, 金剑. 应用前景广阔的原液着色纤维 [J]. 纺织科学研究, 2020(1):70-71.
- Qiu Zhicheng, Li Xin, Jin Jian. Raw liquid colored fiber with broad application prospect [J]. Textile Science Research, 2020(1):70-71.
- [8] Sakamoto K, Koyama Y, Shibamiya F, et al. Studies on phthalocyanine type compounds (Part XI): Solvent treatment of cobalt phthalocyanine and its effect on the crystal transformation [J]. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2013, 24(11):1 864-1 870.
- [9] 赵晓婷, 金剑, 王利平. 聚酯纤维原液着色技术的研究现状 [J]. 合成纤维工业, 2018, 41(2):51-55.
- Zhao Xiaoting, Jin Jian, Wang Liping. Research status of pigment coloring technology of polyester fiber [J]. Synthetic Fibre Industry, 2018, 41(2):51-55.
- [10] 相鹏伟, 姜春阳, 戚晓兵, 等. 聚苯硫醚长丝的研究现状及其应用进展 [J]. 合成纤维工业, 2018, 41(6):54-58.
- Xiang Pengwei, Jiang Chunyang, Qi Xiaobing, et al. Research status and application progress of polyphenylene sulfide filament [J]. China Synthetic Fiber Industry, 2018, 41(6):54-58.
- [11] 高旭倩, 乔辉, 丁筠, 等. 不同分散剂对 PET 纤维蓝色母粒的影响 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):112-116.
- Gao Xuqian, Qiao Hui, Ding Yun, et al. Effect of different dispersants on PET fiber blue masterbatch [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):112-116.
- [12] 章杰. 高性能颜料的技术现状和创新动向 [J]. 染料与染色, 2012, 40(5):2-20.
- Zhang Jie. Technical status quo and innovational direction of HPP [J]. Dyestuffs and Coloration, 2012, 40(5):2-20.
- [13] 张杏静. 聚酯型超分散剂的合成及性能研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- Zhang Xingjing. Synthesis and properties of polyester super dispersant [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2012.
- [14] 洗彩虹, 杨婉琼, 刘婉培, 等. 多功能分散剂对色母粒性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2016, 44(7):128-132.
- Xian Caihong, Yang Wanqiong, Liu Wanpei, et al. Effect of multifunctional dispersant on masterbatch properties [J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(7):128-132.
- [15] 孙淑珍, 刘建英. 聚乙基亚胺-聚羧酸酯超分散剂的合成 [J]. 中国涂料, 2009, 24(3):49-51.
- Sun Shuzhen, Liu Jianying. Synthesis of polyethyleneimine-polyhydroxy ester super dispersant [J]. China coating, 2009, 24(3):49-51.
- [16] 刘佳, 卢秀萍, 吴蒙, 等. 超分散剂及其在颜料分散中的应用 [J]. 上海涂料, 2009(1):29-31.
- Liu Jia, Lu Xiuping, Wu Meng, et al. Super dispersant and its application in pigment dispersion [J]. Shanghai Coatings, 2009(1):29-31.
- [17] 董霞. 染料聚醚衍生物类超分散剂的合成、性能及理论研究 [D]. 上海: 东华大学, 2010.
- Dong Xia. Synthesis, properties and theoretical study of dye polyether derivatives as superdispersants [D]. Shanghai: Donghua University, 2010.

(上接第 143 页)

- [13] 郝洪波. HDPE 及其纳米 CaCO_3 复合材料冲击韧性的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2010.
- Hao Hongbo. Study on impact toughness of HDPE and its nano- CaCO_3 composites [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2010.
- [14] Nielsen L E. Mechanical properties of polymers and composites [M]. Dekker, 1974.
- [15] 谭能超, 杨坡, 梁琦, 等. 碳酸钙填充改性聚苯乙烯 [J]. 辽宁化工, 2005, 34(1):9-13.
- Tan Nengchao, Yang Po, Liang Qi, et al. Modified polystyrene filled with calcium carbonate [J]. Liaoning Chemical Industry, 2005, 34(1):9-13.
- [16] 马旭辉, 邱能兴, 韩静. 矿物填充聚丙烯复合材料收缩率影响因素的研究 [J]. 塑料工业, 2013, 41(12):69-71.
- Ma Xuhui, Qiu Nengxing, Han Jing. Study on factors influencing shrinkage of mineral filled polypropylene composites [J]. China Plastics Industry, 2013, 41(12):69-71.
- [17] Liu Y, Li J, Wang Q. The investigation of melamine polyphosphate flame retardant polyamide-6 / inorganic siliciferous filler with different geometrical form [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113(3):2 046-2 051.