

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.11.013

双螺杆组合对增强无卤阻燃改性PBT性能的影响

郑夏莲, 马元好

(宜春学院物理科学与技术工程学院, 江西宜春 336000)

摘要: 采用3种螺杆组合,其特性分别为高输送高剪切组合(1[#])、低输送高剪切组合(2[#])、大导程中剪切组合(3[#]),在3组不同挤出温度组合下制得玻璃纤维增强无卤阻燃改性聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)材料,测试其拉伸强度、弯曲强度、缺口冲击强度和阻燃性能,得出最佳的温度组合;然后在最佳温度组合下,改变主机螺杆转速,测试了3种螺杆组合制备的改性PBT性能,以获得最佳的螺杆转速和螺杆组合。结果表明,在相同条件下,1[#]螺杆组合制得的改性PBT的性能比其余两组螺杆组合制得的改性PBT的性能更好,在适中的第2组温度(170~240℃)和较高的主机螺杆转速(375 r/min)下制得的性能更佳。与温度和螺杆转速相比,螺杆组合对改性PBT性能的影响更为明显。

关键词: 聚对苯二甲酸丁二酯;螺杆组合;螺杆转速;挤出温度;性能

中图分类号: TQ323.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)11-0079-05

Effect of Twin Screw Combination on Properties of Reinforced Halogen-Free Flame Retardant PBT

Zheng Xialian, Ma Yuanhao

(Physics Science and Engineering Technology Institute, Yichun College, Yichun 336000, China)

Abstract : Three screw combinations were used, the characteristics of them were high conveying and high shearing combination (1[#]), low conveying and high shearing combination (2[#]), large lead and medium shearing combination (3[#]) respectively, the glass fiber reinforced halogen-free flame retardant polybutylene terephthalate (PBT) materials were prepared by the three screw combinations at three different extrusion temperature combinations, and the tensile strength, bending strength, notched impact strength and flame retardant properties of the materials were tested to obtain the best temperature combination. Then, the properties of PBT prepared by the three screw combinations were tested by changing the screw rotation speed of the main engine at the best temperature combination, so as to obtain the best screw rotation speed and the best screw combination. The results show that, under the same conditions, the properties of PBT made by the screw combination of 1[#] are better than that made by the other two screw combinations. The properties of PBT prepared by the three screw combinations are better at the moderate temperature combination of the second group (170–240℃) and the high screw rotating speed (375 r/min). Compared with the temperature and screw rotating speed, the effects of the screw combination on the properties of PBT is more obvious.

Keywords : polybutylene terephthalate ; screw combination ; screw speed ; extrusion temperature ; property

聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)材料是五大工程塑料之一,具有良好的电性能、力学性能,以及具有强度较高、耐老化、耐热和耐腐蚀等优点,被广泛地应用在汽车、电子电器和工业机械等领域^[1-3]。

随着汽车、电子电器和工业机械领域的不断发展,PBT的需求量也不断上升,因此加强开发和生产改性PBT具有重要的意义^[4]。如今我国的PBT出口量逐年攀升,年产能较大,国产化率较高,PBT改

性研究已经得到了一定的进展,改性PBT性能方面得到很大的提升,但是相比于国外,仍有一定差距^[5]。在改性研究中,增强PBT的阻燃性是一个重要课题,常通过添加阻燃剂来提高PBT的阻燃性能,如采用核-壳高聚物型阻燃剂、防滴剂与三氧化二锑并用以达到阻燃、防滴等多重阻燃效果^[6-7]。以前常用的阻燃剂为含卤素阻燃剂,市场上所销售的阻燃PBT材料主要是以十溴联苯醚和三氧化二锑

通信作者: 郑夏莲,博士,副教授,主要从事复合吸波材料的研究

收稿日期: 2022-09-06

引用格式: 郑夏莲,马元好. 双螺杆组合对增强无卤阻燃改性PBT性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(11): 79–83, 96.

Zheng Xialian, Ma Yuanhao. Effect of twin screw combination on properties of reinforced halogen-free flame retardant PBT[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(11): 79–83, 96.

复配使用的阻燃改性PBT,但是含卤素阻燃剂在生产应用时会对环境造成一定的危害,因此开发生产无卤阻燃PBT更加适应现在的发展状况^[8]。

在研究如何提升无卤阻燃PBT的性能时,研究者更多的是通过添加不同的不含卤素的配料来改变PBT的性能^[9]。但是在改性过程中挤出工艺对PBT的性能也会有很大的影响^[10],对于使用同样的配料,在采用不同的螺杆组合、喂料速度、挤出温度等条件时生产的PBT的性能会有所差别。

笔者设计了3种螺杆组合,研究了在不同挤出温度和主机螺杆转速下由这3种螺杆组合生产的增强无卤阻燃改性PBT的性能,对比得出了制得的改性PBT性能最佳时所采用的螺杆组合、温度和主机螺杆转速,从而为高性能增强无卤阻燃改性PBT材料的实际生产提供一定的借鉴。

1 实验部分

1.1 主要原料

PBT:1100-211M,中国台湾长春化工集团;

聚磷酸铵(APP):99.8%,济南豪邦化工有限公司;

三聚氰胺聚磷酸盐(MPP):98%,湖北隆信化工实业有限公司;

γ -甲基丙烯酰氧基丙基三甲氧基硅烷(KH-570):东莞市康锦新材料有限公司;

聚丙烯(PP):V-30,广东茂名石化公司;

玻璃纤维:988A,中国巨石股份有限公司;

聚乙烯(PE):FM5220,北欧化工有限公司;

乙烯-辛烯共聚物弹性体(POE):8150,美国陶氏化学公司;

四[β -(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸]季戊四醇酯($C_{73}H_{108}O_{12}$,抗氧剂1010):山东优索化工科技有限公司;

三[2,4-二叔丁基苯基]亚磷酸酯($C_{42}H_{63}O_3P$,抗氧剂168):安徽友丰新材料科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

立式混合干燥机:ST202101312236型,河北胜拓机械有限公司;

高速搅拌混合机:ZGH-350型,常州君诺干燥设备实力工厂;

双螺杆挤出机:TSH-52P型,螺杆的长径比为44:1,南京滕达机械设备有限公司;

切料机:LQ-400悬臂式型,泰州永杨机械制造

有限公司;

注塑机:TZHME-1200型,苏州天正机械厂;

电子万能试验机:TFW型,上海拓丰仪器科技有限公司;

摆锤式冲击试验机:SMT-3002C型,扬州市赛思检测设备有限公司;

水平垂直燃烧试验仪:HD-R807型,东莞市海达仪器有限公司。

1.3 试样制备

将PBT,APP,MPP,玻璃纤维,PP,PE,POE,抗氧剂的质量比定为45/15/6/30/3/1/2/0.5(抗氧剂1010和168的质量比为1/1)。按上述配方取适量的PBT原料,放入已经加热到95℃的立式混合干燥机中,干燥2~4 h。将所需的阻燃剂(APP,MPP),偶联剂(KH-570)、增容增韧剂(PP,PE,POE)、抗氧剂1010及抗氧剂168分别按照上述比例称量好,待PBT原料干燥完成后,先将PBT原料放入高速搅拌混合机中搅拌,搅拌速度为500 r/min,而后依次加入称量好的阻燃剂、偶联剂、增容增韧剂、抗氧剂,搅拌至均匀,放入双螺杆挤出机进料仓中,GF从螺杆第6节纤维专用加料口加入,熔融挤塑,而后经过水冷、风干、切粒、筛选、干燥,得到改性后的PBT。将改性后的PBT粒料加入到注塑机中,制成标准试样。注塑机的温度依次为245,255,260℃,注塑压力为75 MPa。

1.4 实验方案

为了研究螺杆组合、温度及螺杆转速对该种改性PBT性能的影响并获得改性PBT性能最佳的一组,设置了如下方案。

(1)温度和转速设置。

共设置3组温度。第1组:170,230,230,200,200,170,170,160,190,210℃;第2组:180,240,240,210,210,180,180,170,200,220℃;第3组:190,250,250,220,220,190,190,180,220,220℃。3种主机螺杆转速设为275,325,375 r/min。

(2)螺杆组合设置。

设置了3种螺杆组合,其特性分别为高输送高剪切组合、低输送高剪切组合、大导程中剪切组合,分别记为1[#],2[#],3[#],螺纹元件的设置见表1和表2,总共有51个螺纹元件。1[#],2[#],3[#]螺杆组合相同部分是序号为1~4,20~21和23的螺纹元件,分别是SE32/32A,SE96/96SK,SE96/48SK,SE96/48SK,SE72/72,

表1 序号为5~19,22,24~29的螺纹元件组合

序号	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	22	24	25	26	27	28	29
1 [#]	SE 72/ 72	SE 48/ 48	SE 48/ 48	KBE 30°/7/ 48	KBE 45°/5/ 48	SE 48/48	KBE 45°/5/ 32	KBE 90°/5/ 48	KBE 45°/5/ 32	KBE 45°/5/ 48L	SE 48/ 48	KBE 90°/ 5/48	KBE 45°/ 5/32	SE32 /16L	SE 72/ 72	SE 32/ 32	SE 48/ 48	SE 32/ 32	KBE 45°/ 5/48	KBE 45°/ 5/32	SE 48/ 48	SE 32/ 32
2 [#]	SE 72/ 72	SE 48/ 48	SE 48/ 48	KBE 30°/7/ 48	KBE 45°/5/ 48	SE 48/48	KBE 45°/5/ 32	KBE 90°/5/ 48	KBE 45°/5/ 32	KBE 45°/5/ 48L	SE 48/ 48	KBE 90°/ 5/48	KBE 45°/ 5/32	SE32 /16L	SE 72/ 72	SE 32/ 32	SE 48/ 48	SE 32/ 32	KBE 90°/ 5/48	KBE 45°/ 5/32	SE 48/ 48	SE 32/ 32
3 [#]	SE 96/ 48	SE 72/ 72	SE 64/ 32	SE 48/48	SE 48/48	KBE 30°/7/ 48	KBE 45°/5/ 48	KBE 60°/4/ 32	KBE 90°/5/ 32	SE 32/32	SE 32/ 32	KBE 45°/ 5/48	KBE 60°/ 4/32	KBE 90°/ 5/48	SE 32/ 16 L	SE 96/ 96	SE 96/ 96	SE 72/ 72	SE 48/ 48	SE 48/ 48	KBE 45°/ 5/32	KBE 60°/ 4/32

注:SE为导程螺纹块,72/72中前1个数字代表导程,后1个数字代表长度,依次类推;KBE为剪切螺纹块(即捏合块元件),30°/7/48中第1个数字代表螺纹块错列角,第2个数字代表螺纹块数量,第3个数字代表螺纹块总长度,依次类推;L表示螺纹反向。下表同。

表2 序号为30~51的螺纹元件组合

序号	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
1 [#]	KBE 45°/5/ 48	KBE 45°/5/ 32	KBE 45°/5/ 48L	SE 48/48	SE 32/32	ZME 12/24	ZME 12/24	SE48 /48	SE 32/32	KBE 45°/5/ 32	KBE 45°/5/ 32	SE 32/ 16	SE 32/ 16 L	SE 32/ 16 L	SE 96/ 96	SE 72/ 72	SE 48/ 48	SE 48/ 48	SE 32/ 32	SE 32/ 32	SE 32/ 32	
2 [#]	KBE 90°/5/ 48	KBE 45°/5/ 32	KBE 45°/5/ 48L	SE 48/48	SE 32/32	ZME 12/24	ZME 12/24	ZME 12/24	ZME 12/24	KBE 45°/5/ 32	KBE 45°/5/ 32	SE 48/ 24	SE 32/ 16 L	SE 64/ 64	SE 72/ 36	SE 96/ 96	SE 72/ 72	SE 48/ 48	SE 48/ 48	SE 32/ 32	SE 32/ 32	
3 [#]	SE48 /48	SE48 /48	SE32 /32	ZME 12/24	ZME 12/24	SE 48/48	SE 48/48	SE32 /32	ZME 12/24	ZME 12/24	SE 32/32	SE 96/ 96	SE 96/ 96	SE 72/ 72	SE 64/ 64	SE 48/ 48	SE 48/ 48					

注:ZME为齿径盘螺纹块,12/24中前1个数字代表齿齿轮距,后1个数字代表螺纹块厚度。

SE72/72,SE96/96(A表示该元件为起始元件、SK代表该元件为深槽螺纹式输送元件)。3种螺杆的螺纹组合总长度均为2 030 mm。

(3)实验顺序设置。

首先,固定主机螺杆转速为400 r/min,分别在设置的3组温度下挤出得到改性PBT粒料,然后注塑得到试样并测试其在3种螺杆组合下的性能,通过分析数据,可以得出性能最佳的温度组合;然后,选用该温度组合,改变主机螺杆转速,测试试样在3种螺杆组合下的性能。

1.5 性能表征

拉伸强度按GB/T 1040.1-2006测试,拉伸速度为50 mm/min,共测试10次,取平均值;

弯曲强度按GB/T 9341-2008测试,弯曲速度为2.0 mm/min,共测试10次,取平均值;

缺口冲击强度按GB/T 1843-2008测试,共测试10次,取平均值;

利用水平垂直燃烧试验仪测试试样阻燃性,将试样放在火焰上燃烧10 s,移开火焰记录试样火焰

熄灭时间,共测试10次。

2 结果与讨论

2.1 改性PBT在不同螺杆组合及不同温度下的性能变化

固定主机螺杆转速,在3组温度下由不同螺杆组合制备的改性PBT的性能见表3。由表3可以看出,在相同温度下,1[#]螺杆组合制得的改性PBT的性能整体上比2[#],3[#]螺杆组合制得的改性PBT的性能更好,这是由于1[#]螺杆组合在熔融段和混合段大多采用的是输送元件和较薄的45°捏合块元件,能提

表3 不同温度组合下3种螺杆组合制备的改性PBT性能

温度组合	螺杆组合	拉伸强度/ MPa	弯曲强度/ MPa	缺口冲击强度/ (kJ·m ⁻²)
第1组	1 [#]	67.08	104.65	5.30
	2 [#]	65.12	101.97	5.13
	3 [#]	64.89	97.29	4.97
第2组	1 [#]	68.48	106.86	5.44
	2 [#]	66.15	102.58	5.33
	3 [#]	65.91	99.47	5.11
第3组	1 [#]	67.04	104.93	5.53
	2 [#]	64.64	101.62	5.39
	3 [#]	63.76	97.71	5.21

供一定的剪切应力并且还具有一定的输送能力,而3[#]螺杆组合剪切力相对更弱,物料混合性差,2[#]螺杆在熔融段和混合段采用的捏合块错列角较大,并且输送元件相对较少,有较大的剪切力但是其输送能力较差,相对来看,1[#]螺杆组合的输送能力和混合能力更好^[11-13]。

由表3还可以看出,当采用同一螺杆组合时,在第2组温度下制得的改性PBT的拉伸强度和弯曲强度比在另外两组温度下制得的改性PBT的拉伸强度和弯曲强度整体上更好,在第3组温度下制得的改性PBT的缺口冲击强度比在另外两组温度下制得的改性PBT的缺口冲击强度更好,并且第3组温度整体上高于第2组温度,而第2组温度整体上高于第1组温度。可以看出在其它条件相同情况下,改性PBT的缺口冲击强度会随温度的升高而增加,而改性PBT的拉伸强度和弯曲强度会先随温度的升高有一定的增大,而后当超过一个临界的温度后又会有所下降。这是由于随着温度的升高,物料的黏度会下降,物料的流动性得到增强,使加入到物料中的玻璃纤维能够被充分浸润,并且使玻璃纤维更难被折断,但当温度过高,会使得一些物料分解,从而会降低PBT的拉伸强度和弯曲强度^[14]。

分别对在第2组温度下3种螺杆组合制得的改性PBT进行阻燃性测试,所得结果如图1所示。由图1可以看出,1[#]螺杆组合制得的改性PBT燃烧时间整体上略低于另外两组,经计算,1[#],2[#],3[#]螺杆组合制得的改性PBT的10次阻燃测试燃烧时间总长分别为17.4,19.0,21.5 s,可以得出1[#]螺杆组合制得的改性PBT的阻燃性能更好。

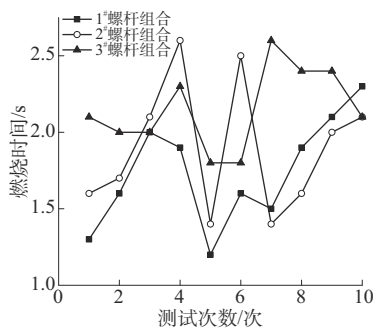


图1 在第2组温度下3种组螺杆组合制得的改性PBT阻燃测试结果

综上可知,对于1[#],2[#],3[#]螺杆组合,在第2组温度下,其制得的改性PBT的性能相对更好,并且由1[#]螺杆组合所制得的改性PBT性能更加优于其余两组,其拉伸强度为68.48 MPa,弯曲强度为106.86

MPa,缺口冲击强度为5.44 kJ/m²,10次阻燃测试的燃烧时间总长为17.4 s。

2.2 改性PBT在不同螺杆组合及不同主机螺杆转速下的性能变化

选择第2组温度,在不同主机螺杆转速下由不同螺杆组合制得的改性PBT的性能见表4。由表4可知,在相同主机螺杆转速下,1[#]螺杆组合所制得的改性PBT性能最优。当其它条件不变,主机螺杆转速增大时,制得的改性PBT的拉伸强度和弯曲强度也在增大,缺口冲击强度总体上先增加而后减小,但变化幅度相对较小。这是因为喂料速度等条件没有变化,单位时间主机内除玻璃纤维外的物料增加的量相同,而主机螺杆转速增加,单位时间加入主机的玻璃纤维的量增加,因此,单位体积内玻璃纤维的含量增加,所以改性PBT的拉伸强度和弯曲强度会增加。但是随着主机螺杆转速不断增加,玻璃纤维容易被折断,并且不易被物料浸润,使得改性PBT的缺口冲击强度略微有所下降^[15-16]。

表4 不同主机螺杆转速下3种螺杆组合制备的改性PBT性能

螺杆主机转速/(r·min ⁻¹)	螺杆组合	拉伸强度/MPa	弯曲强度/MPa	缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
275	1 [#]	67.21	106.28	5.34
	2 [#]	65.55	101.97	5.14
	3 [#]	64.49	98.02	5.39
325	1 [#]	68.48	106.86	5.44
	2 [#]	66.51	102.58	5.33
	3 [#]	65.91	99.47	5.24
375	1 [#]	69.24	107.31	5.39
	2 [#]	67.02	103.17	5.24
	3 [#]	66.77	99.72	5.07

在375 r/min的转速下3种螺杆组合制得的改性PBT的阻燃性能如图2所示。由图2可以看出,1[#]螺杆组合制得的改性PBT的燃烧时间总体上更短,阻燃性更好,1[#],2[#],3[#]螺杆组合制得的改性PBT的10次阻燃测试燃烧时间总长分别为15.1,16.1,18.0 s。

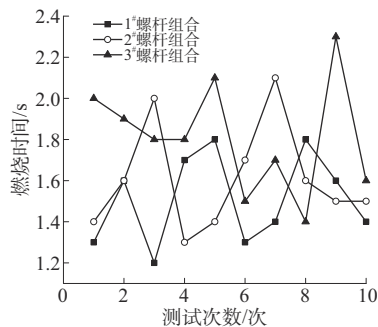


图2 在375 r/min螺杆转速下3种螺杆组合制得的PBT阻燃测试结果

综上所述,在不同主机螺杆转速下,1[#]螺杆组合所制得的改性PBT性能依旧优于2[#],3[#]螺杆组合制得的改性PBT的性能;当主机螺杆转速为375 r/min时,综合性能更佳,改性PBT的拉伸强度和弯曲强度提高,缺口冲击强度虽略微有所下降,燃烧总长缩短,其值分别为69.24 MPa, 107.31 MPa, 5.39 kJ/m², 15.1 s。

结合表3和表4可以看出,1[#]螺杆组合制得的改性PBT的综合性能优于另外两组螺杆组合制得的改性PBT的性能,虽然温度和主机螺杆转速对改性PBT的性能都有影响,但影响并不是十分明显,而不同螺杆组合对改性PBT性能的影响更明显。

3 结论

(1)通过测试在3组温度下由不同螺杆组合得到的改性PBT性能发现,在第2组温度下1[#]螺杆组合制备的改性PBT性能较佳,其拉伸强度为68.48 MPa,弯曲强度为106.86 MPa,缺口冲击强度为5.44 kJ/m²,燃烧时间总长为17.4 s。

(2)固定第2组温度,测试不同螺杆组合下不同主机螺杆转速的改性PBT性能,发现在375 r/min的主机螺杆转速下,选用1[#]螺杆组合制得的改性PBT的性能最佳,其拉伸强度、弯曲强度、缺口冲击强度和燃烧时间总长分别为69.24 MPa, 107.31 MPa, 5.39 kJ/m², 15.1 s。

(3)温度和主机螺杆转速对改性PBT性能影响不十分明显,螺杆组合对改性PBT性能影响显著。

参考文献

- [1] 赵丽娟,丁建平,赖宇,等.聚对苯二甲酸丁二醇酯的发展现状[J].塑料工业,2010,38(12):1-3.
Zhao Lijuan, Ding Jianping, Lai Yu, et al. The development status of polybutylene terephthalate[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(12):1-3.
- [2] 莫文杰,朱文,龚德君,等. PBT的增韧改性和挤出工艺对性能的影响[J]. 广东化工,2019,46(4):32-33.
Mo Wenjie, Zhu Wen, Gong Dejun, et al. Toughening modification of PBT and effect of extrusion process on properties[J]. Guangdong Chemical Industry, 2019, 46(4):32-33.
- [3] 白桢慧,苏婷婷,李萍,等. 聚对苯二甲酸丁二醇酯改性研究进展[J]. 化工新型材料,2018,46(9):41-44.
Bai Zhenhui, Su Tingting, Li Ping, et al. Progress on modification of polybutylene terephthalate[J]. New Chemical Materials, 2018, 46(9):41-44.
- [4] 王林超,王兆亮,黄炜. PBT工程塑料生产应用情况及发展趋势[J]. 工程塑料应用,2019,47(4):144-147.
Wang Linchao, Wang Zhaoliang, Huang Wei. Production and application and development trend of PBT engineering plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(4):144-147.
- [5] 张丽. 聚对苯二甲酸丁二醇酯发展现状及市场前景分析[J]. 中国石油和化工经济分析,2016(9):47-50.
Zhang Li. Analysis of development status and market prospect of polybutylene terephthalate[J]. Economic Analysis of China Petroleum and Chemical Industry, 2016(9):47-50.
- [6] 李建军,欧育湘. 阻燃理论[M]. 北京:科学出版社,2013.
Li Jianjun, Ou Yuxiang. Flame retardant theory[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [7] 徐宁,刘琪,吕通建,等. 阻燃增强PBT的增韧改性研究[J]. 工程塑料应用,2015,43(12):11-14.
Xu Ning, Liu Qi, Lyu Tongjian, et al. Toughening modification study of flame-retarding and reinforced PBT materials[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):11-14.
- [8] 朱永军,李陵洲,刘诗,等. 连接器用玻纤增强阻燃PBT复合材料的结构与性能[J]. 工程塑料应用,2021,49(9):35-39.
Zhu Yongjun, Li Lingzhou, Liu Shi, et al. Structure and properties of glass fiber reinforced flame retardant PBT composites for connector[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):35-39.
- [9] 潘士斌,赵晨阳,马劲松. 无卤阻燃PBT材料的制备及性能研究[J]. 化工新型材料,2016,44(12):124-126.
Pan Shibin, Zhao Chenyang, Ma Jinsong. Study on preparation and property of halogen-free flame-retarded PBT[J]. New Chemical Materials, 2016, 44(12):124-126.
- [10] 袁理,兰修才,李谦,等. 高CTI、低翘曲的无卤阻燃增强PBT材料的制备及其性能研究[J]. 塑料工业,2020,48(12):151-154.
Yuan Li, Lan Xiucan, Li Qian, et al. Study on preparation and properties of halogen-free flame retardant reinforced PBT materials with high CTI and low warping[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(12):151-154.
- [11] 罗京科,李志杰. 同向双螺杆挤出机螺杆组合对EPS再生造粒的影响[J]. 工程塑料应用,2020,48(3):55-60.
Luo Jingke, Li Zhijie. Effects of co-rotating twin-screw extruder combination on recycling and granulation of EPS[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(3):55-60.
- [12] 李湘. 螺杆组合对高刚无卤阻燃PC/ABS性能的影响[J]. 塑料,2021,50(2):48-51.
Li Xiang. Effect of screw combinations on high rigidity halogen-free flame retardant PC/ABS performance[J]. Plastics, 2021, 50(2):48-51.
- [13] 张志坚,冉文华,章建忠,等. 螺杆组合对玻纤增强复合材料机械性能的影响[J]. 玻璃纤维,2020(6):18-22.
Zhang Zhijian, Ran Wenhua, Zhang Jianzhong, et al. Effects of screw combination on mechanical properties of glass fiber reinforced composites[J]. Fiber Glass, 2020(6):18-22.