

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.07.024

PC/ABS 合金研究现状及进展

崔晋恺¹, 王明义¹, 王晶²

[1. 华东理工大学机械与动力工程学院, 上海 200237; 2. 聚威工程塑料(上海)有限公司, 上海 201612]

摘要: 综述了近年来国内外聚碳酸酯(PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)合金的应用现状和研究进展, 重点介绍了PC/ABS合金共混改性的理论依据及合金中各组分配比、相容剂选用、工艺条件等对合金综合性能影响。通过研究发现, 目前用于改善PC/ABS合金相容性的相容剂主要包括马来酸酐接枝类、甲基丙烯酸甲酯接枝类及胺基苯乙烯-丙烯腈反应型相容剂等; 工艺条件如挤出机各段温度、螺杆转速、螺杆组合方式等都会对合金的综合性能产生较大影响。最后对PC/ABS合金的应用前景和发展方向进行了展望。

关键词: 聚碳酸酯; 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 共混; 相容剂; 性能

中图分类号: TQ325.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)07-0122-05

Research Status and Development of PC/ABS Alloys

Cui Jinkai¹, Wang Mingyi¹, Wang Jing²

[1. School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. Polystar Engineering Plastics (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201612, China]

Abstract: The application status and research progress of PC/ABS alloys at home and abroad in recent years were reviewed. The theoretical basis for blending modification of PC/ABS alloys, as well as the influences of the distribution ratio of each component in the alloy, the selection of compatibilizers and processing conditions on the comprehensive properties of PC/ABS alloys were highlighted. It was found that the compatibilizers used to improve the compatibility of PC/ABS alloy mainly included maleic anhydride grafts, methyl methacrylate grafts and amido SAN reactive compatibilizers. In addition, the processing conditions such as the temperature of extruder, screw speed and screw combination will had great influence on the overall performance of PC/ABS alloy. Finally, the application prospect and development direction of PC/ABS alloy were prospected.

Keywords: PC; ABS; blending; compatibilizer; performance

聚碳酸酯(PC)是一种综合性能优良的热塑性工程塑料,具有耐高温、阻燃性和电绝缘性好、尺寸稳定、无毒无味等特性,广泛应用于汽车、医疗器械、电子电器、光学透镜、光盘制造等行业。但是PC也存在熔体黏度高、流动性差、对缺口敏感、易应力开裂、耐有机化学品性能差、价格偏高等缺点,这限制了它在诸多领域中的应用^[1-3]。工业上常将PC与其他树脂或增强材料进行共混,以达到改善其成型加工性能、减少制品残余内应力、降低材料成本的目的。

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)综合了三种单体的性能,其低温抗冲击性能、耐化学药品性及成型加工性能良好,价格相对便宜,被广泛应用于汽车、电器、仪器仪表等

领域^[4-5],但其存在阻燃性能、耐高温性及耐候性较差等缺点。因此,通过共混来优化其性能以扩大应用领域的研究也越来越多。

通过将PC和ABS熔融共混制备的PC/ABS合金,综合了两种聚合物的优良性能,改善了PC和ABS在某些性能上的不足。与纯PC相比,PC/ABS合金流动性提高,加工性能更佳,制品应力敏感度下降;与纯ABS相比,PC/ABS的力学性能、耐热性、阻燃性能都有显著提高,因此被广泛应用于生产汽车内饰件、通信设备、电子电器、照明设备等^[6-7]。为了满足不断发展的市场需求,高性能PC/ABS合金的研发显得尤其重要,笔者认为有必要对近年来PC/ABS合金

基金项目: 国家自然科学基金项目(21206152),中央高校基本业务经费项目(222201814023)

通讯作者: 王明义,博士,副教授,主要研究方向为高分子材料成型加工及设备、聚合物超临界流体发泡成型 E-mail: wangmingyi1892@126.com

收稿日期: 2018-04-13

引用格式: 崔晋恺,王明义,王晶. PC/ABS共合金研究现状及进展[J]. 工程塑料应用,2018,46(7):122-126.

Cui Jinkai, Wang Mingyi, Wang Jing. Research status and development of PC/ABS alloys[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7):122-126.

研发和生产中出现的新配方、新技术、新工艺等进行研究和讨论。现从共混改性机理出发,重点综述了PC/ABS合金中各组分分配比、相容剂选择及工艺条件对合金性能的影响。

1 PC/ABS合金共混理论依据

为了保证优良的共混效果,不同类型高分子材料共混时要考虑五个原则:极性匹配、表面张力和扩散能力相近、等黏度、溶解度参数相近。此外,还要考虑两相材料的工艺相容性,即在一定温度、压力下,两相或溶混、或分离、或发生相转变的内在可能性^[8]。从溶液热力学考虑,体系相容的必要条件是混合吉布斯自由能小于0,充分条件是其二阶偏导大于0。只满足混合自由能小于0这一条件的体系为部分相容体系,两条件均不满足则为非相容体系^[9]。

Flory和Huggins^[10]将Hildebrand的严格正规溶液理论应用于高分子溶液体系,提出了著名的F-H晶格模型,按照Hildebrand公式 $\Delta H_m = V_m \phi_1 \phi_2 (\delta_2 - \delta_1)^2$ 。其中, V_m 为混合后的总体积, ϕ_1 、 ϕ_2 分别为溶剂与聚合物的体积分数, δ_1 、 δ_2 分别为两种聚合物的溶解度参数。在共混吸热情况下,溶解度参数越相近,共混体系更容易相容。PC的溶解度参数为 $39.8 \sim 41.0(\text{J}/\text{cm}^3)^{1/2}$,ABS的溶解度参数为 $40.2 \sim 41.9(\text{J}/\text{cm}^3)^{1/2}$,两者比较接近,说明PC与ABS具有一定的相容性^[11]。

为了改善聚合物之间的相容性,提高合金材料的力学性能,最有效的方法是在共混体系中加入相容剂。相容剂可以降低聚合物之间的表面张力和分散相粒径,增加界面层的厚度,提高共混相结构的稳定性,从而提高合金的力学性能^[12]。目前用于改善PC/ABS合金相容性的相容剂主要包括马来酸酐接枝类、甲基丙烯酸甲酯接枝类及胺基苯乙烯-丙烯腈(SAN)反应型相容剂等。

2 原料配比及相容剂对PC/ABS合金性能的影响

姜慧敏等^[13]采用双螺杆挤出机制备了PC/ABS合金材料,并采用磷酸三苯酯(TPP)/热塑性酚醛树脂(TPPFR)复配体系作为膨胀型阻燃剂(IFR)对合金进行改性以探究其对合金力学性能、加工性能及阻燃性能的影响。研究发现,复合阻燃剂TPP/TPPFR的加入对PC/ABS合金材料的拉伸强度、冲击强度和弯曲强度均有明显提升作用。合金的拉伸和冲击强度随阻燃剂用量的增加先提高后降低,当阻燃剂用量为11份时合金的拉伸和冲击强度达到最大值;而合金的弯曲强度则随阻燃剂用量的增加先迅速提升,当阻燃剂用量超过11份后上升趋于平缓。综合考虑,当PC与ABS质量比为4:1,复配阻燃剂TPP/TPPFR质量比为1:1且用量为11份时合金的综合力学性能最优。此外,研究发现复配阻燃剂TPP/TPPFR的引入显著改善了PC/ABS合金的加工性能、阻燃性能和热稳定性。

王丽杰等^[14]采用两步法制备了PC/ABS合金,通过力学和流变测试发现,当PC/ABS配比为70:30时,合金的拉伸强度最高;当PC/ABS配比为80:20时,合金的冲击强度最好;当PC/ABS配比为50:50时,合金的流动性最好。

郭春雨等^[15]选用熔体流动速率分别为10 g/10 min (300℃,1.2 kg)和22 g/10 min (300℃,1.2 kg)的两种PC与ABS按照25:35:40的配比进行共混,并添加了增韧剂5份、增容剂3份、相容剂1份用以改善合金的韧性及各相的界面相容性,成功制备了用于汽车开关PC/ABS专用料,其悬臂梁冲击强度和弯曲强度分别达到75.2 kJ/m²和74.7 MPa,维卡软化点和熔体流动速率分别达到了112.4℃和20 g/10 min。

任建楠等^[16]在以苯乙烯-丙烯腈-马来酸酐三元共聚物(SAM)替代PC/ABS合金中部分SAN的探究实验中发现,SAN树脂被替代后,随SAM树脂用量的增加,PC/ABS合金的冲击强度和断裂伸长率呈现略微增加趋势,但是其拉伸和屈服强度基本保持不变,合金的熔体流动性下降。这表明SAM树脂与SAN树脂的分子特性不同导致了合金部分性能的改变。

汪克凤^[17]等采用熔融共混挤出法制备了高耐热无卤阻燃PC/ABS合金,配方中采用了双酚A双(二苯基磷酸酯)(BDP)和全氟丁基磺酸钾(PPFBS)作为复配阻燃剂来改善合金的阻燃性能,同时添加了甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯三元嵌段共聚物(MBS)作为增容增韧剂以改善合金中各组分的相容性。研究发现,当合金中BDP质量分数为8%,PPFBS质量分数为0.05%并辅以0.4%的抗滴落剂时,PC/ABS合金材料的阻燃性能最优,可以达到2.0 mm V-0级;随着合金中PC含量的增加,PC/ABS合金材料的热变形温度、拉伸强度、弯曲强度和冲击强度均呈上升趋势。当PC含量为85%时,合金的热变形温度达到102.5℃,拉伸强度达到66.3 MPa,弯曲强度达到92.9 MPa,冲击强度为39.2 kJ/m²。

K. H. Song等^[18]使用ABS、马来酸酐(MAH)和过氧化二异丙苯(DCP)通过反应挤出制备了增容剂马来酸酐接枝ABS(ABS-g-MAH),并将其应用于配比为30:70的PC/ABS合金中。当ABS-g-MAH含量为5份时,力学测试结果表明,合金的拉伸强度仅小幅提高,从52.25 MPa增加到55.03 MPa;流变测试结果表明PC/ABS/ABS-g-MAH在低频下的储能模量要高于PC/ABS。共混材料的储能模量,复合黏度和拉伸强度测试结果表明,ABS-g-MAH是PC/ABS合金的有效增容剂,当PC/ABS质量比为30:70时,ABS-g-MAH的最佳用量为5份。

谭志勇等^[19]采用自制的 ABS-g-MAH 与 1-(2 氨基) 哌嗪反应制备了增容剂,并以此增容剂部分取代了 PC/ABS 合金中的 ABS 树脂。他们通过对含有增容剂的 PC/ABS 合金进行力学性能测试发现,当增容剂含量低于 40% 时,合金的冲击强度与屈服强度随增容剂用量的增加而提高。这表明熔融接枝法制备的增容剂可以有效提高 PC/ABS 合金的力学性能。

赵勃等^[20]采用 MBS 作为 PC/ABS 合金的增容剂并研究了其对合金相容性和力学性能的影响。研究发现,随着 MBS 用量的增加,合金的缺口冲击强度和断裂伸长率先增大后减小,而拉伸强度和弯曲强度都呈下降趋势;引入 MBS 对合金进行增容处理后,合金的分散相尺寸明显变小且 PC 相和 ABS 相的玻璃化转变温度逐渐靠拢,这说明 MBS 有效改善了 PC/ABS 的相容性。

邵佳丽等^[21]以 MBS 为增容剂、TPP 为阻燃剂对 PC/ABS 合金进行改性并研究了它们对合金热稳定性、阻燃性能及力学性能的影响,合金中 PC 与 ABS 的质量比始终保持为 7:3。实验结果表明,TPP 的加入减缓了 PC/ABS 合金的降解,提高了合金的热稳定性和残炭率;当未加入 MBS 且 TPP 在合金中的质量分数为 16.7% 时,合金的阻燃等级为 V-0 级,极限氧指数 (LOI) 达到了 26.6%;当加入 MBS 对合金进行增容后,合金的 LOI 进一步提高至 27.0% 左右,但由于 MBS 熔点较低,其添加量的提高不利于合金阻燃性能的改善且会降低合金的热稳定性;TPP 的加入改善了 PC/ABS 合金的力学性能且随着 TPP 含量的增加,合金的缺口冲击强度、拉伸强度及断裂伸长率均呈提高趋势;MBS 的引入在一定程度上降低了 PC/ABS 合金的缺口冲击强度和拉伸强度,提高了合金的断裂伸长率。

刘小林^[22]以 MBS 为增容剂,采用熔融共混法制备了 PC/ABS 合金材料并通过力学性能测试和扫描电子显微镜 (SEM) 分析考察了丙烯酸油漆对合金力学性能和微观结构的影响。研究结果显示,随着在丙烯酸漆中浸泡时间、干燥温度和干燥时间的增加,PC/ABS 合金的力学性能呈下降趋势;ABS 和相容剂含量的增加提高了 PC/ABS 合金的抗溶蚀能力,当 ABS 含量为 50% 时,合金在丙烯酸漆中的综合力学性能最优。

V. Ramesh 等^[23]将回收聚碳酸酯 (R-PC)/ABS、原始聚碳酸酯 (VPC) 和乙烯-乙酸乙烯酯共聚物接枝马来酸酐 (EVA-g-MAH) 进行熔融共混。傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 谱图显示在 1779 cm^{-1} 和 1851 cm^{-1} 处有两个新的吸收峰。他们通过添加 30% 的 VPC 和 10% 的 EVA-g-MAH 对 R-PC/ABS 共混材料进行改性发现,改性后 R-PC/ABS 合金的冲击强度达到了 183.5 J/m ,比未经改性 R-PC/ABS 合金

的冲击强度提高了 48.1%。动态机械分析 (DMA) 和流变测试结果表明,R-PC/ABS 与 VPC 为部分相容,EVA-g-MAH 对于 R-PC/ABS 共混材料是一种高效反应型增容剂。

刘播文等^[24]以 MBS 为改性剂,采用熔融共混挤出法制备了 PC/ABS 合金,其中 PC 为回收料。研究中保持 PC 与 ABS 质量比为 70:30 并通过改变 MBS 含量研究了其对合金力学性能的影响。实验结果表明,当合金中 MBS 含量为 8% 时,PC 回收料/ABS 合金的冲击强度最高,断裂伸长率最大,拉伸强度保持良好,合金的综合力学性能达到最优。

刘春林等^[25]采用本体聚合法合成了 SAM 三元共聚物并研究了其对 PC/ABS 共混材料相容性及力学性能的影响。研究结果表明,SAM 的使用提高了 PC/ABS 合金的悬臂梁缺口冲击强度和拉伸强度,降低了合金的熔体质量流动速率。

郭锐标等^[26]使用叶片挤出机制备了回收 PC/回收 ABS 共混材料,并研究了苯乙烯/马来酸酐共聚物 (SMA-700)、苯乙烯/丙烯腈/马来酸酐三元共聚物 (SMA-800) 以及 ABS-g-MAH 三种相容剂对共混材料力学性能、耐热性、熔体流动速率及形态结构的影响。研究结果表明,叶片挤出机可以显著改善回收 ABS 相在回收 PC 基体中的分散效果,使用适量的 3 种相容剂均可有效改善共混体系的相容性,增强界面粘结力;SMA-700、SMA-800 及 ABS-g-MAH 的最佳用量分别为 6%、2% 和 6%。

3 加工工艺对合金性能的影响

王兮希^[27]研究了挤出工艺对阻燃 PC/ABS 合金性能的影响,研究发现,温度过低会导致树脂熔融不充分,从而影响共混效果;温度过高则会造成材料降解,降低合金的力学性能;此外,挤出过程中的剪切热对体系的热量也会产生较大影响。较弱的螺杆组合对提高 PC/ABS 合金的冲击性能是有利的,但过弱的螺杆剪切会降低体系的分散混合和分布混合,导致合金的冲击性能降低;而太强的螺杆剪切则会破坏合金的共混结构并导致部分物料发生降解。

王静江^[28]研究了螺杆组合及加料方式对 PC/ABS 合金挤出工艺及合金力学性能的影响,并确定了一种适合于 PC/ABS 合金加工的螺杆组合方式。研究表明,适当的螺杆组合和加料方式可改善 PC/ABS 的挤出工艺,提高材料的力学性能;采用同向啮合双螺杆挤出机的螺杆组合可明显提高 PC/ABS 合金的拉伸强度、弯曲强度及悬臂梁缺口冲击强度;同时采用分步加料的方式可提高合金的挤出速率,缩短物料在挤出机内的滞留时间,降低剪切速率,实现低温挤出,从而改善工程塑料的力学性能。

王晶晶^[29]研究了螺杆组合方式、共混温度、螺杆转速及加料方式等对短玻纤增强 PC/ABS 合金性能的影响。研

究结果表明,螺杆组合宜采用柔性剪切组合,剪切段应选择中等厚度、差位角小的捏合块,排气段设置捏合块可解决断条问题;挤出机料筒各段温度的最佳设置为180,230,240,245,250,240,230℃;螺杆转速不宜过高或是过低且主机频率为29.5 Hz时对应的螺杆转速较为合适;与一次性加料方式相比,采用分开加料方式制备的玻纤增强PC/ABS合金力学性能更优。

陈健等^[30]采用熔融共混法制备了PC/ABS合金并研究了螺杆组合、螺杆转速、挤出温度等对合金材料力学性能的影响。通过SEM对不同螺杆组合下合金的微观形貌进行观察发现,螺杆均化段输送元件的减少及剪切元件的适当增加均可促进物料的均化,减小ABS分散相的尺寸,提高合金的力学性能。

黎敏等^[31]采用苯乙烯-丁二烯-马来酸酐共聚物(MPC 1545R)为增容剂,四苯基双酚A二磷酸酯(BDP)与TPP为复配相容剂制备了无卤阻燃PC/ABS合金,并研究了不同螺杆组合工艺对合金性能的影响。研究表明,不同的螺杆组合对阻燃PC/ABS合金的力学性能会产生显著影响;通过适当降低螺杆的剪切强度并提高螺杆的分散能力,可以获得性能及外观较好的阻燃PC/ABS合金。

申娟等^[32]通过熔融挤出法制备了甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝乙烯-辛烯共聚物(POE-g-GMA)并以此作为增韧剂,通过双螺杆挤出机制备了POE-g-GMA增韧PC/ABS合金体系。他们通过实验研究了物料配比、挤出成型工艺参数对PC/ABS合金综合性能的影响,并确定了引发剂DCP, GMA与POE的最佳质量比为0.75:4.25:100。以POE-g-GMA:(PC/ABS)=6:100作为基材,当挤出机各段温度依次为230,225,215,215,210℃,螺杆转速为65 r/min时,POE-g-GMA的接枝率最高,可达0.92%。POE-g-GMA增韧PC/ABS合金最优的挤出工艺参数为:挤出机各段温度依次为220,230,210,210,205℃,螺杆转速为75 r/min。此时合金的熔体流动速率可达到26 g/10 min,拉伸强度为56 MPa,综合性能最优。

陈伟峰^[33]通过熔融挤出法制备了PC/ABS合金并研究了加工温度和螺杆转速对合金性能的影响。研究发现,合金的加工温度存在最佳值,温度太高会导致合金材料在挤出过程中发生降解而影响材料的冲击性能;温度过低(低于220℃)则会影响材料的熔融塑化效果和分散效果,从而导致合金的力学性能降低,对冲击性能的影响最大;经过试验确定PC/ABS合金的最佳加工温度为240~260℃。螺杆转速的大小会影响共混材料在挤出机中的停留时间,转速过小会使得合金材料在挤出机内的停留时间过长而发生降解,降低合金的力学性能;螺杆转速过高会导致合金材料在挤出

机内的停留时间过短,塑化不完全并影响各组分间的分散效果,最终影响合金材料的力学性能;通过试验确定螺杆转速在500~700 r/min时,合金的综合力学性能最佳。

郑艳春^[34]以配比为45:25:30的PC/ABS/SAN合金为例,研究了双螺杆挤出加工温度和螺杆转速对合金力学性能的影响。研究发现,当加工温度低于220℃时,合金材料不能充分熔融,塑化效果不好,各组分间分散效果较差;当加工温度高于260℃时,物料会由于温度过高在料筒中发生降解,综合考虑实际生产耗能和加工流动性等,最佳的加工温度范围为230~240℃。

陈晓东^[35]采用双排气挤出机通过熔融共混法制备了PC/ABS合金并研究了预烘干原料及真空级数对合金材料力学性能的影响。研究发现,预烘干原料对材料力学性能的提高幅度较增加真空级数的小;增加真空级数可明显提高材料的缺口冲击强度,提升幅度最高可达12.3%。采用合理的2级真空组合方式,在不需要预烘干原材料的条件下,可以降低PC/ABS合金的生产成本;同时,随着真空级数的增加,合金材料气味变小,制备的PC/ABS合金材料更加环保。

4 结语

PC/ABS合金有较好的稳定性、耐热性、较强的抗冲击性能,甚至可以在某些场合替代钢铁。尽管我国在PC/ABS合金研发方面已经取得了长足发展,但与国际发达国家相比,在高性能功能化PC/ABS合金的研发方面还存在一定差距。随着我国经济的高速发展,汽车、仪器仪表、电子电器等领域对高性能PC/ABS合金的需求会日益增加,而各种功能化PC/ABS合金的出现则会进一步拓宽其应用领域。因此,笔者认为,加大政策支持力度,开发低成本高性能多功能化PC/ABS合金在我国显得尤为重要,未来高性能PC/ABS合金的研发将重点围绕着开发新型相容剂、创新共混工艺和设备等方面进行。

参考文献

- [1] 谢亚芬. 铜陵职业技术学院学报, 2007(4):62-63.
Xie Yafen. Journal of Tongling Vocational and Technical College, 2007(4):62-63.
- [2] 赵光辉,等. 化工科技市场, 2005(5):1-6.
Zhao Guanghui, et al. Chemical Technology Market, 2005(5):1-6.
- [3] 刘墨白. 中国工业评论, 2015(12):74-80.
Liu Mobai. China Industry Review, 2015(12):74-80.
- [4] 尹晓刚,等. 化工新型材料, 2017, 45(11):9-12.
Yin Xiaogang, et al. New Chemical Materials, 2017, 45(11):9-12.
- [5] 于志省. 高分子通报, 2012(5):40-46.
Yu Zhisheng. Polymer Bulletin, 2012(5):40-46.

- [6] 何小芳,等. 中国塑料,2016,30(2):1-5.
He Xiaofang, et al. China Plastics, 2016, 30(2):1-5.
- [7] 郝志刚. 精细与专用化学品,2016,24(3):1-4.
Hao Zhigang. Fine and Specialty Chemicals, 2016, 24(3):1-4.
- [8] 吴其晔,等. 高分子材料流变学[M].2版.北京:高等教育出版社,2014:352-356.
Wu Qiye, et al. Polymer material rheology[M].2nd ed. Beijing:Higher Education Press, 2014:352-356.
- [9] 李伟生,等. 高分子材料科学与工程,1988(3):1-8.
Li Weisheng, et al. Polymeric Materials Science and Engineering, 1988(3):1-8.
- [10] 唐萍,等. 高等学校化学学报,1998,19(3):152-157.
Tang Ping, et al. Chemical Research in Chinese Universities, 1998, 19(3):152-157.
- [11] 葛腾杰,等. 化学与生物工程,2010,27(8):74-76.
Ge Tengjie, et al. Chemistry & Bioengineering, 2010, 27(8):74-76.
- [12] 邢文. 现代塑料加工应用,1999,11(6):47-51.
Xing Wen. Modern Plastics Processing and Applications, 1999, 11(6):47-51.
- [13] 姜慧敏,等. 塑料科技,2017,45(1):51-55.
Jiang Huimin, et al. Plastics Science and Technology, 2017, 45(1):51-55.
- [14] 王丽杰,等. 科技与企业,2013(14):326-326.
Wang Lijie, et al. Science-Technology Enterprise, 2013(14):326-326.
- [15] 郭春雨,等. 广东化工,2016,43(22):58-59.
Guo Chunyu, et al. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(22):58-59.
- [16] 任建楠,等. 广州化工,2010,38(3):58-61.
Ren Jiannan, et al. Guangzhou Chemical Industry, 2010, 38(3):58-61.
- [17] 汪克风,等. 塑料工业,2016,44(2):58-60.
Wang Kefeng, et al. China Plastics Industry, 2016, 44(2):58-60.
- [18] Song K H, et al. Polymer(Korea), 2007, 31(4):283-288.
- [19] 谭志勇,等. 高分子材料科学与工程,2011,27(2):37-40.
Tan Zhiyong, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(2):37-40.
- [20] 赵勃,等. 现代塑料加工应用,2011,23(5):13-15.
Zhao Bo, et al. Modern Plastic Processing and Applications, 2011, 23(5):13-15.
- [21] 邵佳丽,等. 中国塑料,2015,29(12):14-17.
Shao Jiali, et al. China Plastics, 2015, 29(12):14-17.
- [22] 刘小林. 塑料科技,2016,44(6):39-43.
Liu Xiaolin. Plastics Science and Technology, 2016, 44(6):39-43.
- [23] Ramesh V, et al. Materials Express, 2014, 4(6):499-507.
- [24] 刘播文,等. 胶体与聚合物,2017,35(3):114-116.
Liu Leiwen, et al. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2017, 35(3):114-116.
- [25] 刘春林,等. 塑料工业,2011,35(9):18-21.
Liu Chunlin, et al. China Plastics Industry, 2011, 35(9):18-21.
- [26] 郭锐标,等. 塑料,2013,42(2):23-26,39.
Guo Ruibiao, et al. Plastics, 2013, 42(02):23-26, 39.
- [27] 王兮希. 无卤阻燃 PC / ABS 共混体系的加工工艺与性能研究[D]. 上海:复旦大学,2011.
Wang Xixi. Study on processing and properties of halogen-free flame-retardant PC / ABS blending system[D]. Shanghai:Fudan University, 2011.
- [28] 王静江. 合成树脂及塑料,2011,28(2):46-49.
Wang Jingjiang. China Synthetic Resin and Plastics, 2011, 28(2):46-49.
- [29] 王晶晶. PC / ABS 合金的物理改性及其挤出工艺研究[D]. 济南:山东大学,2014.
Wang Jingjing. Research on physical modification and extruding process of PC / ABS alloy[D]. Jinan:Shandong University, 2014.
- [30] 陈健,等. 工程塑料应用,2014,42(2):59-62.
Chen Jian, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(2):59-62.
- [31] 黎敏,等. 工程塑料应用,2014,42(11):38-42.
Li Min, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(11):38-42.
- [32] 申娟,等. 工程塑料应用,2015,43(11):56-58.
Shen Juan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):56-58.
- [33] 陈伟峰. PC / ABS 合金研发及工业化生产[D]. 天津:天津大学,2015.
Chen Weifeng. R & D of PC / ABS alloy and its industrial production[D]. Tianjin:Tianjin University, 2015.
- [34] 郑艳春. PC / ABS 合金的制备及其性能研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2017.
Zheng Yanchun. Studies on preparation and properties of PC / ABS alloy[D]. Qingdao:Qingdao University of Science & Technology, 2017.
- [35] 陈晓东. 工程塑料应用,2017,45(11):55-59.
Chen Xiaodong. Engineering Plastics Application, 2017, 45(11):55-59.