

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.03.025

2015 年我国热塑性工程塑料研究进展

代芳,吕召胜,王金立,栾维涛

(中国兵器工业集团第五三研究所,济南 250031)

摘要:根据 2015 年国内公开发表的文献,综述了我国热塑性工程塑料的研究进展,着重介绍了丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料、聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、饱和聚酯、聚苯醚等通用热塑性工程塑料及聚苯硫醚、聚醚醚酮、氟塑料、聚酰亚胺等特种热塑性工程塑料的改性研究进展。

关键词:工程塑料;热塑性塑料;改性;共混物;进展

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)03-0125-10

Advances in Engineering Thermoplastics of China in 2015

Dai Fang, Lyu Zhaosheng, Wang Jinli, Luan Weitao

(CNGC Institute53, Jinan 250031, China)

Abstract : Advances in engineering thermoplastics of China were summarized in accordance with the literature issued publicly at home in 2015. Researching advances in performance modification of common engineering thermoplastics such as ABS, PA, PC, POM, polyesters, poly(phenylene ether) and so on, as well as special engineering plastics such as PPS, PEEK, fluoroplastic, PI and so on were introduced emphatically.

Keywords : engineering plastics ; thermoplastic ; modification ; blend ; advance

2015 年我国在热塑性工程塑料聚酰胺 (PA) 的改性方面做了大量的工作;在丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS)、聚碳酸酯 (PC)、聚甲醛 (POM)、饱和聚酯及聚苯醚 (PPE) 等通用工程塑料的合金化方面也有颇多研究;在聚苯硫醚 (PPS)、氟塑料、聚醚醚酮 (PEEK) 及聚酰亚胺 (PI) 等特种工程塑料的改性及实用化方面获得了一定的成果。笔者按通用工程塑料和特种工程塑料两大类分别综述了 2015 年我国热塑性工程塑料的研究进展。

1 通用工程塑料

1.1 ABS

连续本体法制备高流动中抗冲 ABS 中国兵器北方华锦化学工业集团有限公司^[1]选用 5 种不同型号的橡胶 (包括两种丁苯橡胶 1322 和 N212 以及 3 种低黏度星形低顺式聚丁二烯橡胶 565T, 700A 和橡胶 B) 与单体苯乙烯、丙烯腈进行共聚反应,通过中试试验制备高流动中抗冲 ABS。结果表明,在橡胶总质量分数均为 12% 且丁苯橡胶和聚丁二烯橡胶质量比为 2 : 1 的条件下,由 1322 / 橡胶 B 组合制备的 ABS 光泽度、拉伸强度和弯曲强度与由标准橡胶配方制备的 ABS 相差不大,冲击性能略有提高,而熔体流动速率 (MFR) 提高了 13.8%。采用廉价的国产橡胶 B 与丁苯橡胶 1322 组合,可完全替代进口橡胶应用于高流动中抗冲 ABS 的生产中,达到了降低成本并保持 ABS 原有性能基本不变的目的。

ABS / Al₂O₃ 导热复合材料 合肥工业大学^[2]制备了 ABS / Al₂O₃ 导热复合材料。经钛酸酯偶联剂 102 表面处理过的 Al₂O₃ 填充后复合材料的热导率明显提高,随 Al₂O₃ 含量的增加,复合材料的热导率逐渐增加,而其力学性能逐渐降低。填充小粒径 Al₂O₃ 对热导率提高效果明显,采用大小粒径 Al₂O₃ 复配使用能达到更好的效果。在 Al₂O₃ 质量分数为 70% 时,用 HotDisk 法测得热导率可达 1.2 W / (m · K)。

膨胀型阻燃剂 APP / MA / PEPB 阻燃 ABS 合肥工业大学^[3]用氧代-4-羟甲基-2,6,7-三氧杂-1-磷杂双环 [2,2,2] 辛烷 (PEPA) 作为中间产物,与苯甲酰氯反应合成了新型成炭剂苯甲酸 (1-氧-2,6,7-三氧杂-1-磷杂双环 [2,2,2] 辛烷-4-基) 甲酯 (PEPB),将其与三聚氰胺 (MA) 和聚磷酸铵 (APP) 按一定比例复配成膨胀型阻燃剂用于 ABS 的阻燃研究。结果表明,PEPB 的初始分解温度为 310℃,比传统成炭剂季戊四醇 (PER) 提高了 58℃;当 APP / MA / PEPB 按 2:1:2 比例复配且质量分数为 30% 时,阻燃效果最佳,阻燃复合材料燃烧等级达 UL 94 V-0 级,拉伸强度为 40.15 MPa,吸水率为 1.77%;与 PER 作为成炭剂的 ABS 阻燃复合材料相比,其拉伸强度提高了 33.4%,吸水率下降了 84.2%。

支化 PS 改性 ABS 常州大学^[4]通过乳液聚合,以链

联系人:代芳

收稿日期:2016-02-10

转移剂单体为支化单体,合成支化聚苯乙烯(PS)(BPS),并以其作为流变改性剂;作为参比,同时合成了分子量及其分布相近的线型PS(LPS)与ABS共混,研究不同结构PS对ABS的改性效果。结果表明,在ABS中加入质量分数为1%的相对较窄分子量分布的高分子量BPS,既可有效降低基体的剪切黏度,改善其流动性,又可以保持基体良好的力学性能和热性能;而在加入相同质量分数LPS的情况下,基材的力学性能和热性能虽然也可以得到保持,但共混物的流动性没有得到改善,黏度反而有小幅上升。

1.2 PA

PA6/有机锂皂石纳米复合材料 贵州大学^[5]采用十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)对锂皂石进行有机改性,制备有机改性锂皂石,并通过熔融共混的方法制备了高性能、低吸水的PA6/有机化锂皂石纳米复合材料。锂皂石的含量为5份时,其主要以剥离形式分散在基体中,此时复合材料的拉伸强度和弯曲强度均达最大值,分别为81.6 MPa和122.1 MPa,较纯PA6分别增加了25.54%和23.50%,此外,锂皂石明显降低了PA6的吸水率。

氧化石墨烯增容PA6/PS共混体系 上海交通大学^[6]将氧化石墨烯(GO)加入PA6/PS的共混体系,以提高PA6和PS的相容性,通过两步法制备了PA6/PS/GO共混物。添加GO后共混物的拉伸性能和韧性明显提高。GO质量分数为0.1%时,共混物的断裂伸长率较未添加GO的共混物提高了170%,断裂能也提高了近240%。

PA6/NMA/nano-OMMT复合材料 贵州大学^[7]采用自制耐热改性剂N-苯基马来酰亚胺-马来酸酐二元共聚物(NMA)与纳米有机蒙脱土(nano-OMMT)复配对PA6进行共混改性。研究发现,nano-OMMT剥离分散在PA6基体中;随着nano-OMMT含量增加,PA6/NMA/nano-OMMT复合材料的熔融温度、结晶温度、结晶度及熔融焓均先升后降;NMA与nano-OMMT质量比为8:2时,复合材料弯曲强度、弯曲弹性模量、拉伸强度和热变形温度均达最大,分别为117.1,3301,80.5 MPa及82.7℃,较不加nano-OMMT分别提高21.2%,25.0%,12.9%,27.8%。

高导热绝缘PA6复合材料 合肥工业大学^[8]以PA6为基体,采用两种不同粒径的Al₂O₃按1:1混合后,再与高导热填料氮化铝(AlN)复配成导热填料,采用熔融挤出法制备PA6/Al₂O₃/AlN导热绝缘复合材料。复合材料的热导率随着复配填料中AlN含量的增加而增大,而拉伸强度和弯曲强度随复配填料中AlN含量的增加先增大再减小。AlN含量占复配填料的50%时,复合材料的拉伸强度和弯曲强度分别达到最大值83.09 MPa和137.14 MPa。

MWNTs/卤-锑阻燃体系阻燃PA6 贵州大学^[9]采用

熔融共混法制备了PA6/多壁碳纳米管/十溴二苯乙烷-三氧化二锑(PA6/MWNTs/DBDPE-Sb₂O₃)阻燃复合材料。结果表明,MWNTs的加入起到异相成核剂的作用,提高了复合材料的结晶速率且改变复合材料的晶型,同时使复合材料的热稳定性能得到改善。其中,当MWNTs质量分数为1%,DBDPE-Sb₂O₃质量分数为15%时,PA6/MWNTs/DBDPE-Sb₂O₃复合材料的极限氧指数(LOI)可达30.72%,垂直燃烧等级达到FV-0级,同时具有较好的力学性能。

PA6/GF/SP三元复合材料 浙江大学^[10]以矿渣微粉(SP)和玻璃纤维(GF)为填料,经共混、挤出造粒、注射成型制备PA6/GF/SP三元复合材料。当GF/SP总质量分数为30%,SP与GF比例为1:3时,平均粒径为7 μm的SP有最好的增强效果,复合材料拉伸强度为96.8 MPa;当SP平均粒径为15 μm时,复合材料具有最佳的冲击强度,比纯PA6提高了32.4%,达到8.31 kJ/m²。

增塑剂改性PA6 华南理工大学^[11]以二醋酸甘油酯(GP)、聚乙二醇400(PEG400)、柠檬酸三乙酯(TEC)作为增塑剂,采用熔融共混法对PA6进行增塑改性。在相同用量下,TEC对PA6的增塑效果最优;当TEC质量分数为3%时,增塑后的PA6材料比未改性的冲击强度提高了6倍,结晶度下降了21%,综合性能最好。

PA6/MGF复合材料 中南林业科技大学^[12]用硅烷偶联剂KH-550和二苯甲烷二异氰酸酯(MDI)分别对磨细GF(MGF)进行表面改性,得到两种改性的GF(即K-MGF,M-MGF)。当M-MGF质量分数为20%时,PA6/M-MGF复合材料拉伸强度从65.82 MPa提高到71.78 MPa,缺口冲击强度从11.86 kJ/m²提高到23.73 kJ/m²,优于PA6/K-MGF复合材料。

MWNTs表面改性阻燃PA6 北京化工大学^[13]采用表面接枝法将氨基磺酸胍(GAS)引入MWNTs得到MWNTs-GAS,之后与PA6进行熔融共混制备了PA6/MWNTs-GAS纳米复合材料。结果表明,当MWNTs-GAS质量分数为3%时,LOI从纯PA6的22.2%提高到24.2%;燃烧时间从纯PA6的24.1 s提高到47.1 s,且熔滴现象与成炭性能显著改善;与纯PA6相比,复合材料的冲击强度略有下降但拉伸强度明显提高,当MWNTs-GAS质量分数为1%时,PA6复合材料的拉伸强度从32.4 MPa提高至45.9 MPa。

可纺性MCA无卤永久阻燃PA6 东华大学^[14]通过熔融共混法制备了不同配比的PA6/磷酸三苯酯(TPP)/三聚氰胺氰尿酸盐(MCA)粒料。通过熔融纺丝技术证明了PA6阻燃粒料的可纺性,研究了材料组成对其纺丝性能的影响。研究结果表明,TPP含量的增加能够提高阻燃PA6粒料的阻燃等级,且当PA6:MCA:TPP质量比为90:9:0.3时,

PA6 具有较好的阻燃和力学性能。

PA6/类水滑石纳米复合材料 巢湖学院等^[15]将自制的二甲氧基苯甲酸根离子插层的类水滑石(MgAl-PMOBA-LDHs)分散到己内酰胺(CL)水溶液中,利用CL原位水解开环聚合制备了PA6/MgAl-PMOBA-LDHs纳米复合材料。MgAl-PMOBA-LDHs在复合材料中呈纳米级均匀分散,少量的MgAl-PMOBA-LDHs使复合材料对波长为320~380 nm的紫外线吸收效果明显,并提高了PA6的结晶温度和结晶度。

PA6/POE共混体系 青岛科技大学^[16]利用双螺杆挤出机将PA6与聚烯烃弹性体(POE)共混,研究添加过氧化二异丙苯(DCP)、马来酸酐(MAH)后的体系性能以及工艺条件对性能的影响。结果表明,POE含量在15份时缺口冲击强度仅提高了3 kJ/m²,拉伸强度降低明显;当双螺杆挤出机转速为100 r/min,DCP用量为0.2份时,体系的力学性能达到最佳值;当DCP用量为0.2份时,添加0.4份MAH,体系的缺口冲击强度相对于纯PA6提高约12 kJ/m²。

无卤阻燃抗静电PA6/GF复合材料 中煤科工集团重庆研究院有限公司^[17]以PA6/GF为基体材料,加入抗静电剂、无卤阻燃剂二乙基次膦酸铝(ADP)制备了矿用PA6/GF复合材料。结果表明,抗静电剂163及抗静电剂190的加入能提高PA6/GF复合材料的抗静电性能,当两者复配使用且质量比为1:2时,材料表面电阻率降低至 $9.7 \times 10^9 \Omega$;阻燃剂ADP的加入能提高抗静电PA6/GF复合材料的阻燃性能,当阻燃剂质量分数达到15%时,复合材料阻燃等级达到UL 94 V-0级;此外,复合材料的抗静电性能、力学性能以及热稳定性能均能保持较好水平。

超韧无卤阻燃PA6防暴服专用料 温州科力塑业有限公司^[18]采用双螺杆挤出加工工艺,通过添加不同组分制得超韧无卤阻燃PA6材料。结果表明,中黏搭配低黏PA6材料可获得最佳的冲击性能和加工性能;添加15份POE-g-MAH增韧剂时增韧效果最好;小粒径、高含量红磷母粒的阻燃效果较好且对体系的力学性能影响较小;Mg(OH)₂含量为3份时效果最佳;适当的螺杆组合可提高体系的阻燃稳定性。

PA6-b-PPG嵌段共聚物 株洲时代新材料科技股份有限公司^[19]以己内酰胺、己二酸、聚丙二醇(PPG)等为原料,采用高压反应釜进行熔融缩聚,合成了一系列热塑性弹性体PA6-b-PPG嵌段共聚物。结果表明,制备的系列PA6-b-PPG嵌段共聚物熔点为209~225℃,起始热分解温度为380~397℃。随着PPG含量的增加,PA6-b-PPG嵌段共聚物从 γ 型结晶向 α 型结晶转变,密度、硬度、拉伸强度、弯曲强度逐渐降低,而断裂伸长率逐渐增加。

基于SPE的PA6基永久抗静电复合材料 广东轻工职业技术学院^[20]以己内酰胺和聚乙二醇(PEG)为原料,熔融

缩聚制得PA6-PEG共聚物,使用双螺杆挤出机,将其与硬脂酸锂(C₁₈H₃₅LiO₂)进行复合加工得到基于高分子固体电解质的PA6基永久抗静电复合材料。结果表明,C₁₈H₃₅LiO₂的加入有效降低了PA6-PEG共聚物的表面电阻率,当其质量分数为7%时,复合材料表面电阻率下降到约 $1 \times 10^9 \Omega$;复合材料具有良好的热稳定性,起始分解温度在380℃以上,其随C₁₈H₃₅LiO₂质量分数的增加而降低;与PA6-PEG共聚物相比,复合材料的力学性能降低,但C₁₈H₃₅LiO₂质量分数在5%以内时,复合材料力学性能比较稳定。

有机硅改性PA6基抗静电共聚物 广东轻工职业技术学院^[21]通过共聚反应制备了羟基硅油质量分数不同的PA6-羟基硅油共聚物,发现反应确实生成了软硬段以酯基相连接的共聚物。共聚物的起始热分解温度在400℃以上,具备良好的热稳定性;羟基硅油的加入有效降低了PA6的表面电阻率,稳定在 $1 \times 10^{10} \Omega$;共聚物的吸水率随羟基硅油含量上升趋于稳定;羟基硅油对PA6有良好的增韧作用;PA6-羟基硅油共聚物的抗静电能力要低于PA6-聚醚硅油共聚物,而热稳定性和力学性能强于PA6-聚醚硅油共聚物。

汽车拉索套管帽用易脱模增韧PA6 重庆理工大学^[22]研究了增韧剂、润滑剂种类及其含量对PA6力学性能及脱模效果的影响。结果表明,增韧剂的加入提高了PA6的脱模性,且不同增韧剂对脱模性提高幅度不同;润滑剂的加入能改善增韧PA6的脱模性,润滑剂A和C搭配具有协同作用,当其质量分数为1%时,增韧PA6的脱模性及力学性能综合效果最佳。采用增韧易脱模PA6注塑的汽车拉索套管帽综合性能符合技术指标要求,脱模性良好,达到了客户的预期目标。

PA6/功能化热膨胀石墨复合材料 中北大学^[23]将PA6与功能化热膨胀石墨(EG-T)复合制备具有高性能化的PA6/EG-T复合材料。结果表明,热膨胀石墨的功能化改性和超声外场的引入使热膨胀石墨的分散性提高,并且与PA6基体的界面结合力增强;PA6复合材料的结晶性能和耐热性能得到显著提高,同时,其力学性能也有所上升。超声辅助挤出制备的PA6/EG-T复合材料的结晶度相对于纯PA6提高了7.84%,热变形温度从纯PA6的76.5℃提升到了110.9℃,提高了34.4℃,拉伸强度和拉伸弹性模量相对于纯PA6分别提高了15.8%和16.8%。

共聚PA6/66增韧PA66/GF复合材料 株洲时代新材料科技股份有限公司^[24]以共聚PA6/66和POE-g-MAH为增韧剂,对PA66/GF复合材料进行增韧改性。随共聚PA6/66和POE-g-MAH用量提高,复合材料的冲击强度明显提高,拉伸强度、弯曲强度和热变形温度(HDT)则逐渐下降;与POE-g-MAH相比,共聚PA6/66对拉伸及弯曲强度和HDT的不利影响较小,且略微提高了复合材料的MFR,

而 POE-g-MAH 大幅降低了复合材料的 MFR。

连续挤出法化学发泡 PA6 浙江理工大学^[25]采用复配二甲苯磺酰氨基脲(TSSC)发泡剂,通过双螺杆挤出机制备了化学发泡 PA6。研究表明,影响泡孔直径、泡孔密度以及发泡倍率最主要的因素均为发泡剂的含量,其中,泡孔直径最小可达 56.84 μm ,泡孔密度最大可达 6.21×10^6 个/ cm^3 ,发泡倍率最大可达 16.20%。发泡 PA6 的拉伸应力及拉伸应变与泡孔直径和泡孔密度的大小没有直接关系,但应力应变会随相对密度的增加而上升。

MCPA6/气相 SiO_2 复合材料 东华大学^[26]以氢氧化钠为催化剂,*N*-乙酰己内酰胺为活化剂,通过阴离子原位聚合法制备单体浇铸 PA6 (MCPA6)/气相 SiO_2 复合材料。结果表明,经 KH550 处理的气相 SiO_2 能均匀分布在 MCPA6 中;气相 SiO_2 可促进 MCPA6 的结晶,降低吸水率,当气相 SiO_2 用量为己内酰胺质量的 0.5% 时,复合材料的吸水率最低,比 MCPA6 降低 16%;当气相 SiO_2 用量为己内酰胺质量的 2.5% 时,复合材料起始分解温度和失重速率最大时分解温度分别比 MCPA6 提高 98.8℃ 和 38℃;随着气相 SiO_2 用量增加,复合材料的拉伸和冲击性能均呈先升高后降低的趋势,当气相 SiO_2 用量为己内酰胺质量的 0.5% 时,拉伸强度、断裂伸长率及缺口冲击强度较 MCPA6 分别提高 10%、6% 和 81%。

PA6/LGF/新型烷基次磷酸铝复合材料 贵州大学^[27]分析不同含量的二异丁基次磷酸铝(APBu)对 PA6/LGF 复合材料性能的影响。结果表明,随着 APBu 含量的增加,复合材料的阻燃性能逐渐增强,而冲击性能保持超韧状态。

废胶粉、滑石粉改性 PA66/GF 复合材料 陕西科技大学^[28]采用硅烷偶联剂 KH560 改性废胶粉(WRP)、环氧树脂 E44 改性滑石粉(Talc),以 PA66/GF 复合材料为基体,制备了 WRP, Talc 及两者协同改性的 PA66/GF 复合材料。结果表明,当 3 份 WRP 经过 1 份 KH560 处理后,其与 PA66/GF 基体间的界面粘结性明显得到改善,其改性的复合材料弯曲强度和冲击强度最高,分别比 PA66/GF 基体提高了 11.09% 和 2.05%。当 1 份 Talc 经过 3 份 E44 处理后,其在基体中具有良好的分散性,改性的复合材料弯曲强度和冲击强度达到最大,分别比基体材料提高了 13.89% 和 8.42%。采用 1 份 KH560 处理的 3 份 WRP 协同 3 份 E44 处理的 1 份 Talc 对复合材料进行改性,可使弯曲强度和冲击强度相比基体分别提高 16.97% 和 6.25%。

反应性 P-N 膨胀阻燃剂化学阻燃 PA66 南京航空航天大学^[29]以自制的 1-氨基苯甲酸-3-酰胺基苯甲酸-苯基氧化膦(BNPPPO)、己二胺、PA66 盐为原料,通过高压(1.7 MPa, 210℃),高温(280℃, 0.1 MPa)两步聚合制备了阻燃 PA66。分析表明, BNPPPO 盐含有 N-P 膨胀结构;阻燃 PA66

较纯 PA66 有更优异的热稳定性;阻燃 PA66 具有良好的阻燃性能; BNPPPO 以气相阻燃及凝聚相协效阻燃作用于 PA66 基体材料; BNPPPO 阻燃 PA66 依然保持有良好的力学性能。

新型含磷共聚本质阻燃 PA66 南京航空航天大学^[30]以自制聚 *N,N'*-二苯基-苯基氧化膦(PDPPD)、己二酸、PA66 盐为原料,通过高压(1.7 MPa)聚合制备了含磷共聚本质阻燃 PA66 树脂。分析表明,阻燃 PA66 较纯 PA66 有更优异的热稳定性;阻燃 PA66 具有良好的阻燃性能,当 PDPPD 质量分数达 4.5% 时, LOI 及 UL 94 分别达 28% 和 V-0 级; PDPPD 的引入对 PA66 的力学性能影响较小。

PA66/勃姆石复合材料 华南理工大学^[31]采用熔融挤出法制备了 PA66/勃姆石复合材料。研究表明,勃姆石的加入提高了复合材料的力学性能、阻燃性能、导热性、耐热性和热稳定性,同时具有较好的可加工性。当 KH-550 改性的粒径为 1.5 μm 的勃姆石质量分数为 50% 时,制备的 PA66/勃姆石复合材料的综合性能最佳,复合材料无卤阻燃达 UL 94 V-0 级。

混杂纤维增强 PA66 复合材料 长春工业大学^[32]采用注塑工艺制备了碳纤维(CF)/GF 混杂增强 PA66 复合材料,并在模拟高含水及高腐蚀两种情况下分别进行摩擦磨损、线胀系数对比和冲击试验,最终筛选了 15%CF/20%GF 和 20%CF/20%GF 两种混杂纤维增强 PA66,制成了新型油井用扶正器。结果表明,在高含水的稀油井中,适合使用 15%CF/20%GF 增强 PA66 扶正器;在高含水的稠油井中,由于井下温度较高,20%CF/20%GF 增强 PA66 扶正器与 15%CF/20%GF 增强 PA66 扶正器相比,尺寸稳定性更好,耐磨性更高,因此适合该类油井。

MCPA/GO 复合材料 江苏格美科技发展有限公司^[33]采用改进 Hummers 方法制备了 GO,将 GO 与 MCPA 原位聚合制备 MCPA/GO 复合材料。结果表明, MCPA/GO 复合材料的初始分解温度大于 280℃, GO 与 MCPA 分子量间存在一定程度的相互作用,使得高温下残余物质量增大。GO 的加入可使弯曲性能大幅度增加,当质量分数达到 1.0% 时,弯曲强度最大达到 119.4 MPa。

含三氟甲基和不对称结构聚芳酰胺 常州大学^[34]以自制含三氟甲基取代不对称芳香二胺单体——1,4-双(4-氨基-2-三氟甲基苯氧基)-2,3,5-三甲基苯,分别与对苯二甲酸(PTA)、间苯二甲酸(IPA)、4,4'-二苯醚二甲酸(OBA)3 种商品化二酸单体,经 Yamazaki 磷酸化法缩聚制得了一系列新型可溶性聚芳酰胺。该类聚合物的特性黏度在 0.68~1.15 dL/g 之间,具有优异的溶解性能和光学性能。所制聚合物室温下不仅可以溶解在 *N*-甲基-2-吡咯烷酮、*N,N*-二甲基乙酰胺、*N,N*-二甲基甲酰胺等沸点较高的有机溶剂中,还

能溶解在低沸点的四氢呋喃溶剂中;由该类聚合物所制得的薄膜无色透明,截断波长在 331~345 nm 之间,500 nm 处的透过率均超过 82%。此外该聚芳酰胺还表现出了良好的热学性能和力学性能:玻璃化转变温度(T_g) 在 257℃以上,在空气和氮气中 10% 热失重时的温度分别在 413℃和 441℃以上;其薄膜的拉伸强度为 77.5~88.4 MPa,断裂伸长率在 13%~31%,拉伸弹性模量为 1.8~2.0 GPa。

1.3 PC

镀镍 CF/镀镍石墨粉填充 PC/ABS 复合材料 北京化工大学^[35]将导电填料镀镍 CF (NiCF) 和镀镍石墨粉填充到 PC/ABS 共混物中,制备一种填充型导电复合材料。随着 NiCF 和镀镍石墨粉含量的增加,复合材料的体积电阻率降低;与镀镍石墨粉相比, NiCF 对复合材料导电性的影响更显著;PC/ABS/NiCF/镀镍石墨粉复合材料存在渗滤效应, NiCF 质量分数为 10%~15% 时,材料的体积电阻率急剧下降,导电性能迅速提高;复合材料颗粒长度为 10 mm 左右时,材料的导电性能最佳。

有机刚性粒子增韧改性 PC/PET 共混物 天津科技大学^[36]研究了有机刚性粒子 PS 等对 PC/聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 共混物形态和力学性能的影响,比较了有机刚性粒子增韧 PC/PET 共混物和 PE-g-MAH 增容后的 PC/PET 共混物再增韧效果。结果表明,有机刚性粒子对 PC/PET 共混物有明显的增韧、增强作用;PE-g-MAH 增容后的 PC/PET 共混物再增韧,其韧性显著提高。

高抗冲高模量 PC 复合材料 东莞奥能工程塑料有限公司^[37]以 α -磷酸锆 (α -ZrP) 为刚性研磨介质,超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 为抗冲改性剂,PC 作为基体材料,通过母粒法 (两步熔融共混法) 制备了高抗冲高模量 PC 复合材料。当 PE-UHMW 含量为 8 份、 α -ZrP 含量为 2 份时,复合材料的冲击强度、弯曲弹性模量达到最大值。 α -ZrP 的加入还使复合材料的其它力学性能得到了一定程度改善。

含 S 双酚 A 型 PC 中国科学院成都有机化学研究所^[38]采用熔融酯交换法,以双酚 S (BPS) 及 4,4'-二羟基二苯硫醚、双酚 A (BPA)、碳酸二苯酯 (DPC) 为原料合成主链含 S 的 PC。结果显示,乙酸钠的催化效果较好,采用碳酸钠、甲醇钠、氢氧化钠为催化剂时,其催化效果与乙酸钠相差不大,催化剂与 BPA 反应生成的钠盐可能真正起催化作用,其中以碳酸钠为催化剂时所得 PC 的透明性最好。当 BPS, BPA 与 DPC 的物质的量之比为 0.1 : 0.9 : 1.08 时,得到数均分子量 (M_n) 为 24 748、重均分子量 (M_w) 为 50 033、多分散系数 (PDI) 为 2.02 的 PC。与 BPS 相比,4,4'-二羟基二苯硫醚的反应活性较好,当其加入量较多甚至全部取代 BPA 时,仍能得到分子量较高的 PC。

PC 反射片母粒 广州科苑新型材料有限公司^[39]选用 PC、无机反射粒子及分散剂等,通过熔融共混制备 PC 反射片母粒。研究发现,两亲性分散剂 B 的分散效果最好。随着无机反射粒子折射率的增加,所得 PC 反射片母粒的反射率逐渐增大,其中以添加折射率最高的金红石型钛白粉 2233 的反射率最高。在 PC 反射片母粒中,钛白粉的平均粒径在可见光半波长范围内时反射率最高,以添加平均粒径为 0.2~0.3 μm 的金红石型钛白粉 2233 的反射率最高。

PC/ASA 合金 青岛科技大学^[40]用双螺杆挤出机制备 PC/丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯塑料 (ASA) 合金,研究了牌号为 GPM400AB 和 GPM400AH 的增容剂 ABS-g-MAH 对合金力学性能的影响,发现两种增容剂用量均为 5 份时,合金的综合力学性能最好, MAH 接枝率较高的增容剂 GPM400AB 对合金的增容效果优于 GPM400AH。将 PC/ASA/GPM400AB/PMMA 质量比定为 70/30/5/5,通过熔融共混制备了 PC/ASA/PMMA 合金,研究了碳纳米管 (CNTs) 对合金性能的影响。结果表明,当 CNTs 用量为 1 份时,合金的综合力学性能最好,当 CNTs 用量为 4 份时,合金的体积电阻率由未加 CNTs 时的 $4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 降到 $7 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 左右。

膨化石墨填充 PC/ABS 共混物 福州大学^[41]以膨化石墨 (EG) 作为导电填充物,加入增容剂,采用熔融共混方法制备了 PC/ABS 共混物。结果表明,EG 经过研磨、超声破碎后颗粒更小,在基体中分布得更均匀,与基体的相容性更好。EG 对 PC/ABS 共混物的导电能力、拉伸强度、冲击强度的提升更加明显,添加了 EG 的 PC/ABS 共混物的热稳定性得到了较大提升。

PC/PET 合金 贵阳职业技术学院^[42]利用熔融共混法制备了 PC/PET 合金。在 PC/PET 合金中添加增容剂可以提高其力学性能,添加磷酸三苯酯 (TPP) 可以有效抑制 PC/PET 的酯交换反应;当增容剂质量分数为 5%, PC/PET/TPP 质量比为 70/30/0.5 时,合金的综合性能最佳。

1.4 POM

共聚 POM 天津工业大学^[43]以共聚 POM 为原料,以硅橡胶和纳米硫化丁苯橡胶为增韧剂制备改性 POM。纳米硫化丁苯橡胶用量为 1 份时,改性 POM 的性能最好,其拉伸强度为 53.20 MPa,基本不变;而冲击强度为 12.22 kJ/m²,提高 30% 以上;增韧剂可以使 POM 的球晶得到细化。

POM/PUR-T/改性纳米 ZnO 复合材料 天津科技大学^[44]采用机械共混法和纳米 ZnO 表面偶联剂改性技术,制备了 POM/热塑性聚氨酯 (PUR-T)/改性纳米 ZnO 复合材料。研究发现,改性纳米 ZnO 在体系中起到一定的异相成核作用,促进了 POM 的结晶,并使其球晶细化;当改性纳米

ZnO 质量分数为 0.3% 时,复合材料具有最佳综合力学性能。

POM/PUR-T/nano-CaCO₃ 复合材料 河南大学等^[45]采用双螺杆熔融共混的方法,以 4 种不同的混合顺序,制备了 POM/PUR-T/nano-CaCO₃ 复合材料。4% 的 nano-CaCO₃ 与 PUR-T 预先混合制成母粒再与 POM 共混得到复合材料, POM 晶粒发生明显细化,缺口冲击强度高达 12.5 kJ/m²,冲击性能较为优异。

1.5 饱和聚酯

酸和醇改性可降解 PET 四川大学^[46]采用熔融缩聚法,以对苯二甲酸二甲酯(DMT),1,6-己二酸(AA),1,6-己二醇(HG)和乙二醇(EG)为原料,将结构相近的 AA 和 HG 分别引入 PET,合成了可降解聚对苯二甲酸乙二醇-co-己二酸乙二醇酯(PEAT)和聚对苯二甲酸乙二醇-co-对苯二甲酸己二醇酯(PHET),对比相似结构酸和醇对 PET 性能影响差别。研究表明,成功地合成了 PEAT 与 PHET,且其为无规共聚物。AA 和 HG 的加入,使聚酯的熔点和热分解温度有所降低,而且与 PET 相比,可降解性能明显提高。对比 PEAT 和 PHET 可知,PHET 的热稳定性略优,可降解性略差。

阻燃增强 PBT 辽宁大学^[47]以聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)为研究对象,自制了两种不同接枝率的官能化乙烯类弹性体增韧剂 KT-22A 和 KT-27A,对阻燃增强 PBT 进行了增韧改性研究,并与进口的同类型增韧剂 AX-8900 的增韧效果进行对比。结果表明,KT-27A 增韧改性的聚丙烯酸五溴苄酯阻燃增强 PBT 综合性能最佳,且无毒无害对环境友好,具有较为广阔的市场空间。

PBT/PP/POE-g-GMA 共混体系 福建师范大学^[48]以乙烯-辛烯共聚物(POE)接枝甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)(POE-g-GMA)为增容剂,采用转矩流变仪制备 PBT/聚丙烯(PP)共混体系。结果表明,在 PBT/PP 共混体系中引入 POE-g-GMA 后,共混体系中分散相的粒径减小,两相界面模糊;体系中出现了具有更长松弛时间的新的长分子链,使体系黏度随之增大,最终形成了“类凝胶网络”结构。

功能化纳米 SiO₂ 改性 PBT 复合材料 西华大学^[49]用硬脂酸(SA)对纳米 SiO₂ 粒子表面进行功能化包覆,采用熔融共混技术制备了纳米 SiO₂ 改性 PBT 复合材料。经功能化改性的纳米 SiO₂ 粒子有效地提高了 PBT 基复合材料的拉伸、冲击性能和热稳定性;纳米 SiO₂ 的加入没有改变 PBT 的晶型结构,加快了复合材料的结晶速率。

4 种增韧剂增韧 PBT 南通日之升高分子新材料科技有限公司^[50]研究了不同增韧剂对 PBT 冲击强度与流动性的影响,分别选用 POE-g-GMA(简称 SOG-02),乙烯-丙烯酸甲酯共聚物(EMA)接枝 GMA(EMA-co-GMA),EMA-co-GMA 与 EMA 互配母粒和乙烯-丙烯酸丁酯共聚物(EBA)

接枝 GMA(EBA-co-GMA)进行对比试验。添加质量分数为 20% 的 4 种增韧剂后,PBT 的冲击强度均明显提高,SOG-02 增韧 PBT 的流动性最好。三次挤出造粒以后,SOG-02 增韧 PBT 的冲击强度几乎没有下降,流动性变好,互配母粒与 SOG-02 的变化趋势相同,而 EBA-co-GMA 和 EMA-co-GMA 的流动性明显下降。

PET/nano-MgO 复合材料 陕西理工学院等^[51]通过熔融共混法制备了 PET/纳米氧化镁(nano-MgO)复合材料。nano-MgO 质量分数为 1% 时复合材料的缺口冲击强度比纯 PET 高 15%; nano-MgO 质量分数为 2% 时复合材料的拉伸强度比纯 PET 高 8%,且此时,复合材料的结晶半峰宽为 7.7℃,比纯 PET 低 15%,熔点为 252.4℃,比纯 PET 高 4.1℃; nano-MgO 质量分数为 3% 时,复合材料屏蔽紫外线的截止波长为 300 nm,比纯 PET 高 11%。

基于磷-氮协同阻燃体系的抗静电 PBT 材料 常州大学^[52]采用 PBT 作为基体树脂、质量比为 2:1 的二乙基次磷酸铝(AlPi)和三聚氰胺次磷酸盐(MPP)作为协效阻燃剂、炭黑(CB)作为抗静电填料,制备了阻燃抗静电 PBT 材料。结果表明,复合材料的阻燃级别达到 UL 94 V-0 级,LOI 为 31%; CB 的阈值为 12 质量份,CB 加入量为 20 份时材料体积电阻率达到 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$;复配阻燃剂和 CB 对材料的热稳定性有一定程度的改善,复合材料燃烧后表面形成多孔连续的炭层,获得了优良的阻燃效果。

PET/HIMCP 复合材料 东华大学^[53]将含氮杂环化合物咪唑引入六氯环三磷腈(HCCP)中得到一种新型磷腈类阻燃剂——六(4-咪唑亚甲基苯氧基)环三磷腈(HIMCP),将其与 PET 复合,得到 PET/HIMCP 复合材料。结果表明,当 HIMCP 质量分数为 6% 时,PET/HIMCP 复合材料的 LOI 达到最大值(33.3%); PET/HIMCP 复合材料的阻燃等级均能达到 UL 94 V-0 级。

次磷酸铝/磷腈衍生物协效阻燃 PBT 东北林业大学^[54]将次磷酸铝(AHP)与六对醛基苯氧基环三磷腈(HAPCP)复配后添加到 PBT 中制备阻燃 PBT 材料。当 AHP 质量分数为 18% 时,PBT 阻燃等级达到 UL 94 V-0,LOI 为 23.8%。将 AHP 与 HAPCP 以 15:1 复配后用于 PBT 的阻燃,当复合阻燃剂质量分数为 16% 时,PBT 材料达到 UL 94 V-0 级,LOI 达到了 25.3%,表明 HAPCP 与 AHP 对 PBT 具有很好的协效阻燃作用。阻燃剂 AHP 和 HAPCP 的加入使 PBT 材料的起始热分解温度由 336℃降至 324℃,但材料在 700℃的残炭率由 0.7% 提高到 15.9%,表明阻燃剂的加入促进了材料提前降解成炭,阻止了基体材料的进一步降解和燃烧,从而提高了材料的阻燃性能。

超韧阻燃 PBT 材料 上海日之升新技术发展有限公司

[55] 以超韧阻燃 PBT 为研究对象,探讨了弹性体乙烯-丙烯酸丁酯-GMA 共聚物 (PTW) 增韧体系、POE-g-GMA 增韧体系以及核壳聚合物甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物 (MBS)/PC 复合增韧体系等对 PBT 材料力学性能与阻燃性能的影响,同时探讨了十溴二苯乙烷与溴化环氧两种阻燃剂对 PBT 材料阻燃性能、力学性能以及产品色相等方面的影响。结果表明, MBS/PC 复合增韧体系增韧效果最好,材料拉伸强度与弯曲强度保持率最高,同时对材料的阻燃性能的影响也最小;溴化环氧阻燃的材料弯曲强度更高,拉伸强度与缺口冲击强度保持率更好,同时产品色相白度更高,但其阻燃效率相对略低。

MPO 改性 PTT 共聚酯 沈阳工业大学 [56] 采用直接酯化熔融缩聚法合成了一系列不同含量的 2-甲基-1,3-丙二醇 (MPO) 改性的共聚酯。结果表明, MPO 的加入使聚对苯二甲酸丙二醇酯 (PTT) 熔点和结晶温度降低,加入物质的量分数为 20% 的 MPO 可以使 PTT 熔点由原来的 226.64℃ 降至 201.78℃,加入物质的量分数为 10% 的 MPO 可以使 PTT 结晶温度由原来的 159.01℃ 降至 137.50℃,同时使半结晶时间 ($t_{1/2}$) 增大;随降温速率的提高,各样品的结晶温度向低温方向移动,放热峰由窄变宽, $t_{1/2}$ 变小;不同降温速率下,改性共聚酯的结晶速率常数 (Z_c) 比纯 PTT 的 Z_c 减小。

PBS/CaCO₃ 可降解复合材料 中国地质大学 [57] 以生物降解塑料聚丁二酸丁二醇酯 (PBS) 为基材,以表面改性的 CaCO₃ 为填料制备出具有较好注塑性能的 PBS/CaCO₃ 可降解高填充复合材料。研究结果表明,改性剂的复配技术可以将复合材料的拉伸强度从 30.39 MPa 提高至 42.12 MPa,复合材料的拉伸弹性模量也从 1417 MPa 提高至 1614 MPa,分别提高了 38.6% 和 14.0%。通过对 PBS/CaCO₃ 复合材料的结晶性能研究发现, CaCO₃ 在 PBS 中有一定的成核作用,在一定范围内随着 CaCO₃ 添加量的增加,能够促进 PBS 的成核结晶,明显提高结晶速度、结晶温度和结晶度,减小球晶尺寸,提高复合材料的拉伸强度。

1.6 PPE

PPE/PP 合金 上海日之升新技术发展有限公司 [58] 研究了聚苯醚 (PPE)/PP 不同配比、增容剂种类、增容剂用量以及增韧剂用量对 PPE/PP 合金力学性能的影响。结果表明, PS 接枝低密度聚乙烯可以有效地改善 PPE/PP 合金的相容性,且当增容剂质量分数为 7%,增韧剂质量分数为 8%, PPE/PP 质量比为 40/60 时,该合金材料可获得好的综合性能,可与国外同类材料相媲美。

PPE/PS/石墨共混物 常州大学 [59] 以天然鳞片石墨为原料,用化学氧化法制备可膨胀石墨,再经高温膨胀后制备纳米石墨微片。将纳米石墨微片、球形石墨以及天然鳞片

石墨分别与 PPE/PS 共混物进行共混得到复合材料,发现添加纳米石墨微片的复合材料耐蠕变性能优于添加球形石墨、天然鳞片石墨和未添加石墨的,其在 50℃, 6 MPa, 2500 s 的蠕变应变比 PPE/PS 共混物降低了 45.2%。

2 特种工程塑料

2.1 PPS

PPS/PEEK 共混物 西北工业大学 [60] 以超临界 CO₂ 为物理发泡剂通过固态间歇发泡法制备了不同共混比例的 PPS/PEEK 微孔材料。共混使 PPS 相和 PEEK 相的结晶度增大,共混物中的气体饱和浓度随着 PEEK 组分含量的增加而增大。与纯 PPS 和 PEEK 相比,共混物中形成致密的多级泡孔结构。饱和压力越大则微孔材料的泡孔密度越大,且泡孔尺寸越小。微孔发泡使 PPS/PEEK 共混物的冲击强度增大,介电常数和储能模量降低。

聚甲基乙烯基硅氧烷增韧 PPS 西南科技大学 [61] 通过熔融共混制备了 PPS/无苯基聚甲基乙烯基硅氧烷 (NPMVS) 及 PPS/单苯基聚甲基乙烯基硅氧烷 (SPMVS) 共混材料。当两种聚硅氧烷的质量分数为 3% 时, PPS/NPMVS 和 PPS/SPMVS 共混材料的断裂伸长率相对于 PPS 基体分别提高了 3.9 倍和 2.4 倍;当 NPMVS 质量分数为 10% 时, PPS/NPMVS 共混材料的冲击强度相对于 PPS 基体提高了 1.8 倍,当 SPMVS 质量分数为 3% 时, PPS/SPMVS 共混材料的冲击强度相对于 PPS 基体提高了 1.4 倍。

2.2 氟塑料

流化床换热用 PTFE/SiO₂ 固体颗粒 河北工业大学 [62] 在聚四氟乙烯 (PTFE) 粉末中添加不同含量的 SiO₂, 对其进行填充改性,采用糊膏挤出方式,制备不同 SiO₂ 含量的复合型 PTFE/SiO₂ 惰性固体颗粒,发现在 PTFE 中添加 SiO₂ 能显著提高 PTFE 的密度和硬度,降低 PTFE 的摩擦系数和磨痕宽度。在 SiO₂ 质量分数为 12% 时,将制成的复合固体颗粒应用于循环流化床换热器中,能够使其膜传热系数相比添加纯 PTFE 颗粒的增加 4.7%,强化传热效果最好;适宜加入流化床换热器的复合固体颗粒体积分数为 4%。

聚苯酯改性 PTFE 复合材料 上海材料研究所 [63] 通过添加聚苯酯对 PTFE 材料进行改性。填充聚苯酯后,复合材料的拉伸性能下降,压缩性能、硬度升高,对铝合金和阳极氧化铝合金的摩擦磨损性能均有所改善,且复合材料与阳极氧化铝合金的摩擦磨损性能优于其对铝合金的摩擦磨损性能。

膨化 PTFE 材料 西北工业大学 [64] 通过在 PTFE 中添加成孔剂制备了具有微孔结构的膨化 PTFE 材料,研究了成孔剂处理对 PTFE 压缩回复性能的影响。结果表明,随着成孔剂处理量的增加,膨化 PTFE 的密度减小,孔隙率增大,肖氏硬度减小;成孔剂种类不同,膨化 PTFE 的压缩回复性能

也不同。用 KCl 作成孔剂且其质量分数为 45% 时,材料压缩率为 89.30%,回复率为 82.12%,回复率最大。

PVDF/FG/CF 高导热复合材料 华东理工大学^[65]以聚偏氟乙烯(PVDF)树脂为基体,天然鳞片石墨(FG),CF 为填料,采用熔融共混法制备了 PVDF/FG/CF 复合导热材料,并研究了 FG,CF 含量及其改性对复合材料导热性能和力学性能的影响。结果表明,复合材料的热导率随 FG 含量的增加而增大,力学性能随着 FG 含量的增加而降低;CF 的加入提高了复合材料的力学性能,但热导率略有降低;对 CF 进行表面氧化处理可使复合材料的热导率以及力学性能有所提高。当 CF 质量分数为 5%,FG 质量分数为 50% 时,复合材料的热导率为 $11.4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,拉伸强度为 48 MPa,断裂伸长率为 11%。

2.3 PEEK

PEEK/Cu/SCF 导热复合材料 大连工业大学^[66]以微米级 Cu 粉和短 CF (SCF) 作为复配导热填料,利用模压成型方法制备了 PEEK/Cu/SCF 导热复合材料。结果表明,微米级 Cu 粉和 SCF 作为导热填料可以起到协同作用,显著改善了 PEEK 的导热性能;当 Cu 粉用量为 10% 时,随着 SCF 用量的增加,复合材料的导热系数明显提高,熔融温度降低,结晶度减小;SCF 用量为 20% 时,复合材料的导热系数为 $0.832 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,表面电阻率为 $1 \times 10^8 \Omega$ 。

PEEK/EG 复合材料 西南石油大学^[67]以膨胀石墨(EG)负载对苯二酚和 4,4'-二氟二苯甲酮单体,采用原位亲核缩聚法制备了 PEEK/EG 复合材料。结果表明,EG 质量分数为 0.5% 时,其在基体中分散效果良好,此时复合材料初始分解温度提高 10°C ,磨损率为 $4.00 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/(\text{N} \cdot \text{m})$,远低于纯 PEEK 的 $15.80 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/(\text{N} \cdot \text{m})$ 。

2.4 PI

基于异构三苯二醚二酐的热塑性共聚 PI 中国科学院宁波材料技术与工程研究所^[68]以 2,2',3,3'-三苯二醚四甲酸二酐(3,3'-HQDPA),3,3',4,4'-三苯二醚四甲酸二酐(4,4'-HQDPA)为二酐单体,邻苯二甲酸酐为封端剂,与 4,4'-二氨基二苯醚(4,4'-ODA)进行无规共聚,制得共聚 PI。结果表明,聚合物均具有良好的热稳定性,热分解 5% 的温度在空气中为 $500 \sim 521^\circ\text{C}$,在氮气中为 $507 \sim 538^\circ\text{C}$;随着 3,3'-HQDPA 含量的增加, T_g 由 223°C 升高至 257°C ,溶解性也逐渐提高。可以通过调控异构二酐的比例来调控共 PI 的 T_g 、溶解性和熔体流动性,满足材料在不同应用上的要求,当二酐的比例为 1:1 时,共 PI 的熔体流动性最好,可作为高性能、易加工的热塑性工程塑料使用。

3 其它

次磷酸铝/三聚氰胺氰尿酸盐阻燃 PUR-T 东北林业

大学^[69]将次磷酸铝(AHP)和 MCA 复配后添加到 PUR-T 中制备阻燃 PUR-T 材料。当 AHP 与 MCA 的质量比为 1:2,阻燃剂的总质量分数为 11% 时,阻燃 PUR-T 材料能通过垂直燃烧 UL 94 V-0 级,LOI 达到了 25.2%。阻燃剂 AHP/MCA 的加入对 PUR-T 的起始热分解温度没有影响,但能提高材料在高温时的热稳定性,同时提高材料的成炭性能。

硅橡胶协效阻燃热塑性聚烯烃弹性体复合材料 大连海洋大学^[70]采用熔融法制备了一种阻燃、抗滴落热塑性聚烯烃弹性体(TPO)复合材料。结果表明,当硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 质量比为 20/80 时,复合材料的 LOI 提高到 31.6%,且熔融滴落现象明显改善;硅橡胶的加入,使 TPO/硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的分解温度有所提高,热稳定性和抵抗热分解能力增强。拉伸应力-应变行为研究表明,硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 质量比为 20/80 时,复合材料的拉伸强度达到 2.81 MPa,断裂伸长率达到 343.3%。

导电聚苯胺/钡铁氧体复合材料 中北大学^[71]对采用柠檬酸溶胶-凝胶法和共沉淀法两种方法制备的钡铁氧体粒子进行了对比,采用原位聚合的方法合成了聚苯胺/钡铁氧体复合材料。结果显示,柠檬酸溶胶-凝胶法所制得的产物主要为钡铁氧体,纯度较高。钡铁氧体结构主要为 M 型六角晶系片状结构,平均粒径在 $20 \sim 60 \mu\text{m}$ 。电磁测试结果显示,随着时间从 3 h 延长到 5 h,钡铁氧体比饱和磁化强度从 36.9 emu/g 增加到 44.9 emu/g ,矫顽力也从 5198.0 Oe 增加到 5339.1 Oe;聚苯胺/钡铁氧体复合材料的电阻率随钡铁氧体含量的增加呈上升趋势。

磷-氮阻燃剂与酚醛成炭剂复配阻燃 TPEE 华东理工大学^[72]采用线型酚醛树脂与磷-氮阻燃剂制备了无卤阻燃热塑性聚酯弹性体(TPEE)。研究表明,酚醛树脂引入可以有效地抑制熔滴,提升材料的高温残留量,有助于形成致密炭层,提升体系的阻燃性能。

有机硅/蒙脱土复合改性聚氨酯弹性体 中国科学院广州化学研究所^[73]先将聚醚三元醇 N330 与 OMMT 研磨,制得 N330/OMMT 复合物,再将其与有机硅改性 PUR 的预聚体混合,以二甲硫基甲苯二胺(DMTDA)为固化剂,制备了有机硅/OMMT 复合改性 PUR 弹性体。有机硅和 OMMT 共同改性 PUR 后,其耐热性比有机硅单一改性 PUR 有所提高,并在 OMMT 质量分数为 5% 时提高最大;在 OMMT 质量分数为 5% 时,有机硅/OMMT 复合改性 PUR 弹性体的 T_g 明显升高。复合改性材料的拉伸强度、断裂伸长率和硬度在 OMMT 质量分数为 3% 时达到最大值。

一种新型 PUR-T 太原工业学院^[74]以聚己二酸二乙二醇酯(PDEA)为软段,MDI 和对苯二酚双(2-羟乙基)醚(HQEE)为硬段,采用预聚体法制备了硬段质量分数分别为

30%,35%和40%的新型PUR-T,对PUR-T的力学性能、结晶性能以及动态流变性能进行研究。结果表明,PUR-T的硬度、拉伸强度和100%定伸应力都随着PUR-T中硬段含量的增加而提高,断裂伸长率则逐渐减小;不同硬段含量PUR-T均为无定形态;PUR-T熔体的复数黏度均随着角频率的增加而减小,且复数黏度随着硬段含量的增加而增大;PUR-T的储能模量均随着温度的升高而降低,且随硬段含量的增加而增大。

参考文献

- [1] 王楠,等.工程塑料应用,2015,43(5):38-42.
Wang Nan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):38-42.
- [2] 赵薇,等.现代塑料加工应用,2015,27(1):46-48.
Zhao Wei, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015, 27(1):46-48.
- [3] 孙芳,等.中国塑料,2015,29(2):59-62.
Sun Fang, et al. China Plastics, 2015, 29(2):59-62.
- [4] 戴庆,等.高分子材料科学与工程,2015,40(9):33-37.
Dai Qing, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2015, 40(9):33-37.
- [5] 许恩惠,等.高分子学报,2015(5):515-523.
Xu Enhui, et al. Chinese Journal of Polymer Science, 2015(5):515-523.
- [6] 邢妍,等.高分子学报,2015(6):706-712.
Xing Yan, et al. Chinese Journal of Polymer Science, 2015(6):706-712.
- [7] 张景中,等.合成树脂及塑料,2015,32(2):10-14.
Zhang Jingzhong, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(2):10-14.
- [8] 孙芳,等.塑料工业,2015,46(1):117-120.
Sun Fang, et al. China Plastics Industry, 2015, 46(1):117-120.
- [9] 孔文晓,等.塑料科技,2015(10):104-109.
Sun Wenxiao, et al. Plastics Science and Technology, 2015(10):104-109.
- [10] 徐先锋,等.中国塑料,2015,29(4):19-23.
Xu Xianfeng, et al. China Plastics, 2015, 29(4):19-23.
- [11] 王小斌,等.中国塑料,2015,29(5):25-29.
Wang Xiaobin, et al. China Plastics, 2015, 29(5):25-29.
- [12] 邓鑫,等.塑料,2015,44(5):74-76.
Deng Xin, et al. Plastic, 2015, 44(5):74-76.
- [13] 金晓冬,等.塑料,2015,44(1):16-18.
Jin Xiaodong, et al. Plastic, 2015, 44(1):16-18.
- [14] 时立程,等.工程塑料应用,2015,43(1):11-16.
Shi Licheng, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):11-16.
- [15] 李宏林,等.中国塑料,2015,29(5):60-64.
Li Honglin, et al. China Plastics, 2015, 29(5):60-64.
- [16] 李蕾,等.工程塑料应用,2015,43(2):26-29.
Li Lei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(2):26-29.
- [17] 胡志.工程塑料应用,2015,43(2):35-38.
Hu Zhi. Engineering Plastics Application, 2015, 43(2):35-38.
- [18] 刘志,等.工程塑料应用,2015,43(3):50-53.
Liu Zhi, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(3):50-53.
- [19] 伍威,等.工程塑料应用,2015,43(4):17-21.
Wu Wei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):17-21.
- [20] 杨崇岭,等.工程塑料应用,2015,43(5):18-22.
Yang Congling, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):18-22.
- [21] 杨崇岭,等.工程塑料应用,2015,43(8):12-16.
Yang Chongling, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(8):12-16.
- [22] 叶淑英,等.工程塑料应用,2015,43(8):25-29.
Ye Shuying, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(8):25-29.
- [23] 夏兆路,等.工程塑料应用,2015,43(9):13-18.
Xia Zhaolu, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9):13-18.
- [24] 王文志,等.工程塑料应用,2015,43(10):28-31.
Wang Wenzhi, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):28-31.
- [25] 何孟文,等.工程塑料应用,2015,43(11):11-16.
He Mengwen, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):11-16.
- [26] 李跃,等.工程塑料应用,2015,43(5):34-37.
Li Yue, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):34-37.
- [27] 田敏,等.工程塑料应用,2015,43(7):15-19.
Tian Min, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(7):15-19.
- [28] 张敏,等.工程塑料应用,2015,43(5):1-6.
Zhang Min, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):1-6.
- [29] 吕文晏,等.工程塑料应用,2015,43(7):20-24.
Lyu Wenyan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(7):20-24.
- [30] 张绪杰,等.工程塑料应用,2015,43(11):6-10.
Zhang Xujie, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):6-10.
- [31] 罗观晃,等.工程塑料应用,2015,43(12):25-29.
Luo Guanhuang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):25-29.
- [32] 王晓刚,等.工程塑料应用,2015,43(1):30-34.
Wang Xiaogang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):30-34.
- [33] 王玉丰,等.工程塑料应用,2015,43(12):6-10.
Wang Yufeng, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):6-10.
- [34] 徐常,等.高分子材料科学与工程,2015,40(10):6-10.
Xu Chang, et al. Polymer Materials Science and Engineering,

- 2015,40(10):6-10.
- [35] 陈彤,等. 中国塑料,2015,29(2):27-31.
Chen Tong, et al. China Plastics, 2015, 29(2):27-31.
- [36] 王静. 塑料,2015,44(1):7-9.
Wang Jing. Plastic, 2015, 44(1):7-9.
- [37] 李红刚,等. 工程塑料应用,2015,43(3):45-49.
Li Honggang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(3):45-49.
- [38] 张利芬,等. 工程塑料应用,2015,43(4):1-6.
Zhang Lifen, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):1-6.
- [39] 万兆荣,等. 工程塑料应用,2015,43(4):32-35.
Wan Zhaorong, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):32-35.
- [40] 刘伟. 工程塑料应用,2015,43(10):32-35.
Liu Wei. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):32-35.
- [41] 张毅,等. 工程塑料应用,2015,43(6):30-33.
Zhang Yi, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):30-33.
- [42] 刘裕红. 塑料科技,2015(11):36-39.
Liu Yuhong. Plastics Science and Technology, 2015(11):36-39.
- [43] 张卓,等. 中国塑料,2015,29(2):39-43.
Zhang Zhuo, et al. China Plastics, 2015, 29(2):39-43.
- [44] 李树材,等. 塑料科技,2015(1):32-35.
Li Shucui, et al. Plastics Science and Technology, 2015(1):32-35.
- [45] 金璐,等. 中国塑料,2015,29(4):58-63.
Jin Lu, et al. China Plastics, 2015, 29(4):58-63.
- [46] 姚雅文,等. 工程塑料应用,2015,43(7):30-35.
Yao Yawen, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(7):30-35.
- [47] 徐宁,等. 工程塑料应用,2015,43(12):11-14.
Xu Ning, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):11-14.
- [48] 孟东伟,等. 中国塑料,2015,29(2):32-38.
Meng Dongwei, et al. China Plastics, 2015, 29(2):32-38.
- [49] 蔺海兰,等. 现代塑料加工应用,2015,27(1):9-13.
Lin Hailan, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015, 27(1):9-13.
- [50] 李昌鸿,等. 塑料工业,2015,46(6):31-34,38.
Li Changhong, et al. China Plastics Industry, 2015, 46(6):31-34, 38.
- [51] 杨晓明,等. 中国塑料,2015,29(6):49-56.
Yang Xiaoming, et al. China Plastics, 2015, 29(6):49-56.
- [52] 陶国良,等. 中国塑料,2015,29(1):48-52.
Tao Guoliang, et al. China Plastics, 2015, 29(1):48-52.
- [53] 陈冠宇,等. 塑料科技,2015(10):110-115.
Chen Guanyu, et al. Plastics Science and Technology, 2015(10):110-115.
- [54] 王静,等. 塑料科技,2015(8):82-85.
Wang Jing, et al. Plastics Science and Technology, 2015(8):82-85.
- [55] 朱明源,等. 塑料工业,2015,46(1):113-116.
Zhu Mingyuan, et al. China Plastics Industry, 2015, 46(1):113-116.
- [56] 王立岩,等. 中国塑料,2015,29(7):53-58.
Wang Liyan, et al. China Plastics, 2015, 29(7):53-58.
- [57] 杨冰. 塑料,2015,44(2):1-5.
Yang Bing. Plastic, 2015, 44(2):1-5.
- [58] 王尹杰,等. 塑料工业,2015,46(6):114-117.
Wang Yinjie, et al. China Plastics Industry, 2015, 46(6):114-117.
- [59] 刘杰,等. 现代塑料加工应用,2015,27(1):22-25.
Liu Jie, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015, 27(1):22-25.
- [60] 马忠雷,等. 工程塑料应用,2015,43(6):16-21.
Ma Zhonglei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):16-21.
- [61] 王英,等. 中国塑料,2015,29(3):51-56.
Wang Ying, et al. China Plastics, 2015, 29(3):51-56.
- [62] 臧秀艳,等. 工程塑料应用,2015,43(5):23-28.
Zang Xiuyan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):23-28.
- [63] 李小慧,等. 化工新型材料,2015,43(4):157-159.
Li Xiaohui, et al. New Chemical Materials, 2015, 43(4):157-159.
- [64] 徐博,等. 中国塑料,2015,29(2):22-26.
Xu Bo, et al. China Plastics, 2015, 29(2):22-26.
- [65] 何达,等. 中国塑料,2015,29(8):32-37.
He Da, et al. China Plastics, 2015, 29(8):32-37.
- [66] 孙诗良,等. 塑料科技,2015(5):52-55.
Sun Shiliang, et al. Plastics Science and Technology, 2015(5):52-55.
- [67] 尹小龙,等. 高分子材料科学与工程,2015,40(6):149-154.
Yin Xiaolong, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2015, 40(6):149-154.
- [68] 赵慧文,等. 工程塑料应用,2015,43(6):1-5.
Zhao Huiwen, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):1-5.
- [69] 赵玥,等. 塑料科技,2015(3):84-87.
Zhao Yue, et al. Plastics Science and Technology, 2015(3):84-87.
- [70] 张永春,等. 工程塑料应用,2015,43(4):22-26.
Zhang Yongchun, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):22-26.
- [71] 王燕,等. 工程塑料应用,2015,43(12):15-19.
Wang Yan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):15-19.
- [72] 吴唯,等. 高分子材料科学与工程,2015,40(1):153-157.
Wu Wei, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2015, 40(1):153-157.
- [73] 夏侯国论,等. 高分子学报,2015(4):444-450.
Xiahou Guolun, et al. Chinese Journal of Polymer Science, 2015(4):444-450.
- [74] 王玉龙,等. 现代塑料加工应用,2015,27(5):18-20.
Wang Yulong, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015, 27(5):18-20.