

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.06.025

2015 年我国工程塑料应用进展

王喜梅,张振,赵志鸿,杨超,王金立

(《工程塑料应用》杂志社,济南 250031)

摘要:根据 2015 年国内公开发表的文献,综述了我国工程塑料及改性塑料在机车车辆、铁路、矿井、建材、机械设备、电子电器、包装及薄膜材料、医疗用品、环保材料及其它领域的应用情况及研究进展,并介绍了以上领域内塑料新产品的开发、性能评价和使用效果。指出 2015 年我国工程塑料新产品的开发应用重点是机车车辆、铁路、矿井、建材、机械设备等领域。

关键词:工程塑料;改性塑料;应用;进展

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)06-0114-10

Advance in the Engineering Plastics Application of China in 2015

Wang Ximei, Zhang Zhen, Zhao Zhihong, Yang Chao, Wang Jinli

(The Magazine House of EPA, Jinan 250031, China)

Abstract : According to the public articles at home in 2015, the application of engineering plastics and modified plastics in the fields of vehicles, railway, mine, building materials, mechanical equipment, electrics and electronics, packaging and films materials, medical supplies, environmental protection materials, etc. and the research advance were presented. The development, performance evaluation and use effect of new products of plastics in the above mentioned fields were also summarized. It was pointed out that the key research and application fields in 2015 were vehicles, railway, mine, building materials and mechanical equipment, etc.

Keywords : engineering plastics ; modified plastics ; application ; advance

从国内公开发表的文献看,工程塑料新产品不断出现,应用领域越来越广,塑料制品已经深入到生活的各个方面。从总体情况看,2015 年工程塑料制品开发重点在机车车辆、铁路、煤矿、油井、建材、机械设备、电子电器等领域,包装及薄膜材料、医疗制品也有所开发,环保抗菌制品开发愈来愈多,废旧塑料的改性再利用已成为趋势。工程塑料制品在力学性能提高的基础上,其阻燃、电磁屏蔽、热防护等方面的功能性开发也日益显著。笔者按开发领域综述 2015 年国内科研人员在工程塑料应用方面所从事的研究和取得的成果。

1 机车车辆

汽车前端框架 上海大众汽车有限公司等^[1]用双螺杆挤出机挤出造粒的方式,以长玻纤(GF)、聚丙烯(PP)、聚丙烯接枝马来酸酐(PP-g-MAH)制备了玻纤增强 PP 复合材料。研究表明,随着螺杆捏合块组合剪切力的增强、螺杆转速的提高以及 PP-g-MAH 用量的增加,复合材料的力学性能呈现先增加后减小的趋势,材料断面呈韧性断裂。基体树脂 PP 的熔体流动速率越大,复合材料的力学性能越好。当 GF/PP/PP-g-MAH/其它助剂质量比为 50/46/3/1 时,复合材料的性能最优,能够满足汽车前端框架模块对该材料

的性能要求。

汽车保险杠 华晨汽车工程研究院^[2]采用聚乙烯-甲基丙烯酸缩水甘油酯(EGMA)作为增容剂和增韧剂,利用反应增容技术制备了尼龙 6(PA6)/EGMA 合金。通过试验确定了 PA6/EGMA 合金汽车保险杠新材料的最佳配方。研究结果表明该合金具有良好的加工性能、较高的抗冲击性能并易于喷涂,是综合性能优良的抗冲击新产品。PA6/EGMA 合金表现出非黏弹性高分子材料在高速冲击时仍然具有较高韧性的特性。

耐热高韧汽车保险杠 上海方田弹性体有限公司等^[3]以嵌段共聚聚丙烯(PP-B)为基体,乙烯-辛烯嵌段共聚物(OBC)为增韧剂,通过添加质量分数为 15% 的滑石粉及其它助剂,采用双螺杆挤出机制备了 OBC 增韧 PP-B 汽车保险杠专用料。研究表明, OBC 可使 PP-B 晶区细化,与乙烯-辛烯共聚物(POE)相比,其增韧的 PP-B 专用料具有更高的常、低温缺口冲击强度、弯曲强度和热变形温度(HDT),拉伸强度和断裂伸长率则相差不大。当 OBC 质

联系人:王喜梅

收稿日期:2016-05-08

量分数为20%时,其增韧的专用料在23℃和-20℃的缺口冲击强度分别为64.3,52.7 kJ/m²,弯曲强度为38.8 MPa, HDT为105℃,与相同用量下POE增韧专用料相比分别提高了28.3%,28.9%,24.4%和23.5%。

汽车顶棚板 烟台正海合泰科技股份有限公司等^[4]根据汽车顶棚的结构组成和基本性能要求,研制出一种全新的低密度聚氨酯(PUR)板。通过实验比较结构不同的汽车顶棚间在性能方面的差异,低密度PUR发泡板的吸音降噪、储存时间、刚性强度等性能较原先PUR材料有明显提升。汽车顶棚板由高分子热熔胶膜层(上、下)、胶粉层(上、下)、GF层(上、下)、PUR板、无纺布层共8层材料组成。

汽车内外饰件 广东银禧科技股份有限公司^[5]利用熔融共混制备了一系列耐刮擦、软触感PP。研究了PP的种类与含量、玻璃纤维和滑石粉的含量对材料的硬度和耐刮擦性的影响。结果表明:由于具有良好的相容性,利用无规共聚PP与丙烯基弹性体,可以制备硬度低、软触感和耐刮擦PP;GF则可以显著降低材料的线性膨胀系数,提高力学强度、HDT和耐刮擦性。耐刮擦、软触感PP可用于制造汽车内外饰件。

汽车内饰件 中国林科院木材工业研究所^[6]探索水溶性聚磷酸铵阻燃剂对汽车内饰件用木纤维/麻纤维/PP纤维三元复合材料性能的影响。将复合材料卷材浸渍阻燃剂后,经热压-冷压定型,测试其吸水性、抗弯性能和阻燃性能。结果表明:聚磷酸铵处理后复合材料的吸水性和阻燃性能有所改善,弯曲强度降低,但仍可满足应用要求;燃烧速率降为0,成炭率和极限氧指数有所升高。当板材增重率为43.9%时,极限氧指数超过27%,满足GB/T 50222-1995《建筑内部装修设计防火规范》(2001年修订版)中B2级要求。

汽车内饰 纺织服装产业河南省协同创新中心等^[7]以再生聚酯(PET)短纤维和PP短纤维为原料,采用针刺法非织造工艺技术制得用于汽车内饰的纤维复合毡,再进行热压成型处理得到纤维复合板材。研究表明:当PET/PP纤维质量混合比为50/50、热压温度为220℃、热压时间为1.5 min、热压压力为4 MPa时,再生PET短纤维/PP短纤维复合板材的力学性能达到最大值。

装甲车体内饰材料 江南大学^[8]以2400 tex的玻璃纤维为原料,在三维织机上,采用三维浅交弯联结构制备了一种装甲车体内饰用轻质复合材料预制件。将环氧树脂E51和固化剂聚醚胺WHR-H023以质量比3:1的比例组成树脂体系,并将复合材料预制件与配制好的树脂体系以质量比为2:1,3:2,1:1,2:3,1:2的比例进行手糊复合成型,制成装甲车体内饰用轻质复合材料。研究表明,三维浅交弯联复合材料具有优异的力学性能,织物与树脂的质

量比为1:1时材料的弯曲强度与弹性模量均达到最大值;材料的破坏模式主要为脆性破坏,具体表现为树脂基体的碎裂以及纤维的抽拔及断裂。

汽车拉索套管帽 重庆理工大学等^[9]研制了汽车拉索套管帽用易脱模增韧PA6。研究了增韧剂种类、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,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注塑成型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。

汽车点火线圈用灌封料 天津市新桥电子材料有限公司^[10]通过不同固化剂及各种添加剂对环氧固化物性能的影响实验,研制出一种汽车点火线圈用环氧灌封料。该灌封料具有良好的渗透性,浇注过的点火线圈在-40~120℃的条件下,经30个冷热循环冲击实验不开裂,完全满足汽车点火线圈用环氧灌封料的要求。

2 路基、矿井、隧道等工程

高速铁路减震垫块 东莞市鹏博盛实业有限公司^[11]通过低压发泡机浇注了高速铁路减震用PUR微孔弹性体垫块。研究结果表明,随着发泡剂水用量的增加,材料的硬度和密度均下降;水占A组分质量分数为0.15%,软段组成聚四氢呋喃醚二醇(PTMG)1000/PTMG2000/聚醚三醇330N摩尔比2:2:1,扩链剂1,4-丁二醇/3,3'-二氯-4,4'-二氨基二苯基甲烷混合物摩尔比为3:1,异氰酸酯指数为1.06,硬段质量分数为33%时,材料的综合性能优异,符合铁科院《客运专线扣件系统暂行技术条件》的要求。

高寒带铁路路基填缝剂 北京化工大学等^[12]研制了高寒带铁路路基融洞填充用单组分PUR泡沫填缝剂。研究了聚醚多元醇品种及其配比、异氰酸酯指数、催化剂用量对PUR泡沫填缝剂材料性能的影响。在最佳配比下制备的PUR泡沫材料达到如下性能:发泡倍率 ≥ 15 ,压缩强度(10%) ≥ 0.85 MPa,土壤粘接剪切强度 ≥ 0.85 MPa,导热系数 ≤ 0.05 W/(m·K),基本满足高寒带铁路路基融洞填充使用要求。

铁路轨枕套管 江阴职业技术学院^[13]根据铁路轨枕套管尼龙要求,制备了玻纤增强尼龙66(PA66)复合材料。研究表明:PA66黏度越大,玻纤增强PA66复合材料的力学性能越好;选用马来酸酐接枝聚烯烃弹性体(POE-g-MAH)作为增韧剂,玻纤增强PA66复合材料的性价比最佳;当POE-g-MAH质量分数为2.5%时,复合材料力学性能最佳,达到了铁路轨枕套管尼龙的要求;采用同种螺杆排布和

高温低转速挤出工艺,可以最大程度地保留复合材料中的玻纤长度,复合材料的力学性能更稳定。

煤矿用封孔材料 辽宁工程技术大学^[14]制备了煤矿用PUR封孔材料。因PUR封孔材料的尺寸稳定性直接影响着瓦斯抽放效果,研究了催化剂 N,N -二甲基环己胺用量、异氰酸根指数以及阻燃剂甲基膦酸二甲酯用量对封孔材料尺寸稳定性的影响。结果表明,随着 N,N -二甲基环己胺用量的增大,收缩率呈减小趋势,发泡倍数呈先增大后减小趋势。随着异氰酸根指数的增大,收缩率呈逐渐减小趋势,发泡倍数先增大后减小,压缩强度先减小后增大,在异氰酸根指数为1.05时发泡倍数为20.2倍,压缩强度为0.526 MPa。随着甲基膦酸二甲酯用量的增加,平均燃烧时间减少,收缩率呈先增大后减小的趋势。

煤矿用封孔材料 安徽理工大学等^[15]为了获得具有韧性的新型矿用酚醛泡沫材料,对其进行了改性研究。在酚醛树脂脱水阶段加入一定量的聚乙二醇,得到增韧改性酚醛树脂。再通过加入发泡剂、固化剂、表面活性剂发泡得到增韧的酚醛泡沫,然后测试聚乙二醇对酚醛泡沫力学性能的影响。研究得出,当聚乙二醇用量为2%并且分子量为1000时,酚醛泡沫增韧效果达到最佳。

煤矿用注浆加固材料 安徽大学等^[16]选择不同的抗静电剂磷酸三(β -氯乙基)酯(TCEP)、阳离子型季铵盐类抗静电剂以及导电填料 Fe_3O_4 制备矿用PUR注浆加固材料,考察了抗静电剂单独或复配使用时对PUR注浆加固材料抗静电、阻燃及力学性能的影响。结果表明,TCEP和 Fe_3O_4 复配使用显示出良好的协同效应,可以获得综合性能优异的阻燃抗静电PUR注浆加固材料,表面电阻为 $1.6 \times 10^7 \Omega$,拉伸强度为42.87 MPa,粘结强度为4.94 MPa,氧指数为30.1%。

油井用扶正器 长春工业大学等^[17]采用注塑工艺制备了碳纤维(CF)/GF混杂增强PA66复合材料,并制成了新型油井用扶正器。研究表明,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。

钻井微裂缝封堵护壁材料 中原石油工程公司钻井工程技术研究院^[18]以废聚苯乙烯泡沫、甲基丙烯酸丁酯、丙烯酸酰胺为单体和原料,在一定条件下采用乳液聚合合法合成出微裂缝封堵用胶乳护壁材料,该封堵材料粒径分布在0.1~10 μm 之间,热稳定性良好、抗温可达180℃。钻井液性能评价表明,加入2.0%胶乳护壁材料的钻井液泥饼质量得到很大改善,淡水钻井液滤失量由45 mL降低至13.6 mL,聚磺钾盐钻井液高温高压滤失量由12 mL降低至4 mL;该护壁

材料尺寸与微裂缝匹配良好,易在压差作用下在近井地带迅速黏结成膜,封堵效果优于现场用磺化沥青类材料。

工程支架材料 太原理工大学等^[19]在不同热处理温度下(60,75,90℃)制备了PA66/纳米羟基磷灰石复合多孔支架材料。研究表明,处理温度对多孔支架的孔隙结构、孔隙率、力学性能有显著的影响,随着温度的升高,多孔支架的孔隙率、平均孔径升高,贯通性改善,但弹性模量和屈服极限降低。多孔支架的热处理温度为75℃时,其孔径、孔隙率和力学性能与天然松质骨相当,是较为理想的骨组织工程支架材料。

隧道防水板 衡水中铁建土工材料制造有限公司^[20]研制了一种易焊接线性低密度聚乙烯(PE-LLD)防水板。通过在配方中添加热塑性嵌段共聚物对聚乙烯(PE)进行改性,可降低防水板的焊接温度、提高焊接速度、提升焊接质量。该防水板可用于隧道防水中。

3 机械设备

循环热气机密封材料 兰州理工大学等^[21]通过机械共混、冷压成型、烧结的方法制备PEEK与纳米 SiO_2 颗粒共同填充改性聚四氟乙烯(PTFE)复合材料。利用摩擦磨损试验机对不同配方比例的复合材料在不同实验条件下进行摩擦学性能实验。结果表明,5%纳米 SiO_2 /10%PEEK/PTFE复合材料的体积磨损率最小;载荷和速度的变化对纳米 SiO_2 /PEEK/PTFE复合材料的摩擦磨损性能的影响显著,而环境温度的变化对该复合材料的摩擦系数与磨损率的影响不明显。该复合材料可用于循环热气机的密封材料。

机械密封材料 沈阳化工大学等^[22]以聚己内酯二元醇(PCL)、4,4'-二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)、1,4-丁二醇(BDO)、氢醌双(2-羟乙基)醚(HQEE)为原料,采用预聚体法合成热塑性聚氨酯弹性体(PUR-T)密封材料。实验结果表明:随着聚合温度的提高,PUR-T的拉伸强度和撕裂强度提高,聚合温度为120℃时PUR-T的力学性能最好;随着NCO/OH摩尔比的提高,PUR-T的拉伸强度提高,撕裂强度先增加然后降低,压缩永久变形先降低然后增加,微相分离程度降低,弹性滞后增加;随着混合扩链剂HQEE/BDO质量比的增加,PUR-T的硬度、回弹率逐渐增加,拉伸强度和撕裂强度先增加后降低,压缩永久变形先降低后增加,微相分离程度提高,弹性滞后减小,当HQEE/BDO质量比为80/20时,PUR-T的压缩永久变形(80℃×70h)最低为21%。

摩擦制动材料 贵阳学院等^[23]使用腰果壳酚和环氧树脂对酚醛树脂进行复合改性,并以该复合改性树脂为基体制备了连续纤维增强摩擦材料。研究表明,复合改性树脂在400℃才开始失重,但失重速率较大;以复合改性酚醛树

脂为基体制备的摩擦材料其摩擦系数可以稳定在 0.45 以上。

摩擦制动材料 南京农业大学工学院等^[24]以低含量环氧改性酚醛树脂作为基体,碳粉为增强剂, SiC 粉、 Al_2O_3 粉、石墨和丁腈橡胶为填料,用模压成型法制备了 4 种低含量基体树脂复合摩擦材料。研究表明,随着基体树脂含量的减少,复合摩擦材料的热稳定性不断提高。基体树脂质量分数为 15% 的复合摩擦材料对温度有较好的稳定性,当温度从室温上升到 350℃ 时,复合摩擦材料的摩擦系数和磨损率变化幅度较小,摩擦系数从 0.306 降低到 0.223,磨损率从 $0.091 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 增加到 $0.290 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$,其磨损表面缺陷凹坑也较小。

海水柱塞泵关键摩擦副 北京工业大学^[25]研制了碳纤维增强 PEEK 与工程陶瓷 SiC 软硬组合作为海水柱塞泵关键摩擦副备选材料。结果表明,在一定范围内的滑动速度、接触压力下,该摩擦副呈现出较小的磨损率和摩擦系数。当滑动速度在 0.5 ~ 1.5 m/s 之间,接触压力为 1.33 MPa 时,磨损率最小。在海水润滑下, SiC 磨损并不明显,而 PEEK 的磨损主要是以塑性涂抹为特征的粘着和 SiC 表面粗糙峰引起的机械犁耕。研究结果对水液压元件的选材具有重要的指导作用。

轴承、螺母材料 国立华侨大学^[26]采用阴离子聚合合法制备了浇铸尼龙 6(MCPA6)/改性羟基封端聚二甲基硅氧烷(MHPDMS)原位复合材料。研究表明,在水润滑条件下,复合材料的摩擦系数随滑动时间增加先增大后平衡,随着 MHPDMS 含量的增加,复合材料的稳定摩擦系数基本没有变化,磨损量先减小后增大,当 MHPDMS 质量分数为 2% 时,磨损量最小,为 MCPA6 的 50% 左右。复合材料在水润滑条件下的稳定摩擦系数比干摩擦条件下的小,但磨损量比干摩擦条件下的大很多。该 MCPA6/改性聚硅氧烷复合材料可用作轴承、螺母。

水润滑轴承材料 洛阳轴研科技股份有限公司^[27]采用热模压工艺制备 PEEK/PTFE 复合材料,研究 PTFE 对复合轴承材料拉伸强度、邵氏硬度和摩擦学性能的影响。结果表明:随着 PTFE 含量的增加,摩擦系数显著降低,延长了轴承材料寿命。当 PTFE 含量为 5% 时,复合材料的拉伸强度为 93 MPa,邵氏硬度为 83,摩擦系数为 0.19,磨损量为 0.072 mm^3 ,综合性能最佳,满足水润滑轴承材料在力学、吸水性、长寿命等方面的要求。

4 建材

木塑复合材料 东北林业大学^[28]采用碳纤维布(碳布)、木塑板制备了木塑复合材料。通过设计不同的工艺结构,探究其对木塑复合材料力学性能的增强效果。板材结构设计方案有 CF313(3 mm 表层木塑板+碳布+1 mm 芯层

木塑板+碳布+3 mm 表层木塑板)、CF232(2 mm 表层木塑板+碳布+3 mm 芯层木塑板+碳布+2 mm 表层木塑板)、CF151(1 mm 表层木塑板+碳布+5 mm 芯层木塑板+碳布+1 mm 表层木塑板)、CF070(碳布贴在最外层)、CF7(不添加碳布的空白实验)。研究表明,CF070 复合材料的弯曲强度最大;CF151 的弹性模量最大,即碳纤维放在近表层位置时,弯曲性能较好,但拉伸时木塑表层容易拉断。综合考虑各性能,表层厚度为 2 mm 时可最大程度发挥碳布优势、增强木塑复合材料力学性能。

木塑室内装修材料 西北农林科技大学等^[29]以等规 PP 和高密度聚乙烯(PE-HD)薄膜为填充材料,以长棉秆束为基体材料,采用定向分层铺装方法,热压制备了不同薄膜含量的塑料/棉秆定向复合板。研究表明,等规 PP 基复合板物理力学性能优于 PE-HD 基复合板,且当等规 PP 薄膜质量分数为 15% 时,复合板性能较佳,复合板的静曲强度、弹性模量、内结合强度、吸水厚度膨胀率和吸水率分别为 60.60 MPa, 5074.4 MPa, 1.48 MPa, 2.53% 和 18.60%。复合板中棉秆纤维和塑料薄膜接合界面存在机械啮合结构。该木塑复合材料可用作室内装修材料。

木塑发泡建材 南京林业大学等^[30]采用模压法制备聚氯乙烯(PVC)/杨木粉发泡材料。研究表明,随着杨木粉填充量的增加,PVC/杨木粉发泡材料的密度呈上升趋势。添加木粉后,压缩强度呈先升高后下降的趋势,当木粉填量为 10 份时,压缩强度达到最大。随着木粉粒度的增加,PVC/木粉发泡材料压缩强度也呈先上升后下降的趋势,在木粉粒度为 100 目时,其压缩强度达到最大。该 PVC/杨木粉发泡材料可用作建材。

PUR 仿木家具材料 上海东大聚氨酯有限公司^[31]采用聚醚多元醇、聚酯多元醇和多异氰酸酯等为原料制备了仿木 PUR 硬泡。研究表明,采用聚醚多元醇和聚酯多元醇按质量比 60/40 复配,发泡剂 3 份和水 1.2 份组成复合发泡剂,以及采用合适的匀泡剂和复合催化剂,得到一种性能优良的 PUR 仿木材料,其密度为 310 kg/m^3 ,压缩强度为 8.3 MPa,拉伸强度为 2.5 MPa,邵氏硬度为 71,氧指数为 24.1%。

环保室内装饰材料 湖南工业大学^[32]以杨木粉为主要填充剂,偶氮二甲酰胺(AC)与 ZnO 复配物为发泡剂,PE-HD 为高分子基材,采用两步模压发泡法制备了 PE-HD/木粉复合发泡材料。研究表明,随着木粉或者发泡剂含量的增加,复合材料的发泡性能呈现出先变强后减弱的趋势,而吸水率则持续上升,一段时间后达到一个饱和值;当木粉质量分数为 30% 时,复合材料的表观密度和含气率达到最大值,当 AC/ZnO 复配发泡剂质量分数在 15% 时,复合

发泡材料的表观密度、回弹性能表现出最优。该发泡材料可用作室内装饰材料。

新型发泡装饰板材 上海第二工业大学等^[33]以废弃聚苯乙烯泡沫(EPS)塑料为主要原料,添加混合增韧剂、发泡剂、塑化剂等助剂,经过双层内发泡挤出、冷却定型、表面热转印等工艺制备了新型装饰板材。研究表明,当主挤出机Ⅱ区温度为155℃、发泡剂用量为1.15%、增韧剂用量为3.0%、转速为40 r/min时,板材的密度最低为0.378 g/cm³、冲击强度为18.21 kJ/m²、弯曲强度为1.20 MPa、泡孔分布较均匀、直径约100 μm。

外墙保温材料 武汉理工大学^[34]以硫酸、磷酸、对甲苯磺酸三元复配酸为固化剂,制备了一种可用于外墙保温的酚醛泡沫材料,并采用石膏晶须为无机填料改善其力学性能。结果表明,随着晶须的加入,酚醛泡沫材料的强度、抗开裂性能明显上升,晶须质量分数超过10%时,强度有下降的趋势。当晶须质量分数为10%时,制备的酚醛泡沫保温板综合性能最好,泡沫12个周期(冷热循环24 h)不开裂,强度可提升27.5%。

建筑保温材料 济南大学^[35]分别采用碱处理、醋酸乙烯-乙烯共聚乳液(VAE乳液)包覆处理对聚丙烯(PP)纤维进行表面改性,研究了PP纤维掺量对玻化微珠复合保温材料力学性能和软化系数的影响。结果表明,PP纤维掺量为1.0%时,玻化微珠复合保温材料的抗折强度和抗压强度分别提高93.75%和7.30%;PP纤维经过碱处理和VAE乳液包覆处理均可改善复合保温材料的界面结合状况;经碱处理后的改性PP纤维使复合保温材料的抗折强度和抗压强度分别提高了14.52%和4.08%,软化系数基本无变化;经VAE乳液包覆处理后的PP纤维使复合保温材料的抗折强度和抗压强度分别提高了58.06%和10.20%,软化系数增加了12.50%。

建筑保温材料 齐齐哈尔大学^[36]以废旧PUR制品为主要原料,利用醇解工艺将其降解得到低聚物多元醇,确定出最佳的降解工艺并成功制备了新型PUR保温材料。研究表明,废旧PUR制品的降解产物能够制备PUR保温材料且耐热性能稳定,其泡孔的分布均匀致密,保温效果良好。

泡沫保温板 北京建筑材料科学研究总院有限公司等^[37]研究了PUR改性酚醛泡沫,最终得到一种保温效果好、力学性能优异的新型酚醛泡沫。改性后酚醛泡沫具有如下特点:保温效果好,导热系数为0.030 W/(m·K);硬度大,表观密度可达40~60 kg/m³;韧性好,弯曲强度达2.1 MPa,压缩强度提高16.5%,可达0.134 MPa。

硬聚氯乙烯(PVC-U)管材 甘肃省节水灌溉技术与装备重点实验室等^[38]制备了PVC-U管材。研究了不同有机

锡稳定剂用量对PVC热稳定性能的影响,确定了有机锡稳定剂的最佳用量。对比分析了有机锡稳定剂配方和钙锌稳定剂配方生产的给水用PVC-U管材的综合性能。结果表明,有机锡稳定剂配方生产的PVC-U管材的综合性能远高于钙锌稳定剂生产的PVC-U管材。

塑料合金管材 北京市第五建筑工程集团有限公司^[39]采用自制的接枝共聚相容剂(马来酸酐接枝聚乙烯或马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物)将回收聚对苯二甲酸乙二酯(PET)与回收PE共混改性,再挤出成型,研制出PET/PE合金管材。结果表明,该PET/PE合金管材不仅具有完美的外观和较低的价格,且综合性能较好,拉伸强度为33.2 MPa,断裂伸长率为151%,冲击强度为40.3 kJ/m²,维卡软化温度为81.2℃,环刚度为5.1 kN/m²。

管材专用料 贵州师范大学等^[40]通过在不规共聚聚丙烯(PP-R)中添加不同的改性剂制备PP-R管材专用料。研究表明,在-10~0℃低温条件下,与未改性的PP-R材料比较,PP-R/聚烯烃弹性体(POE)/高密度聚乙烯(PE-HD)共混料的低温冲击韧性最理想,其综合力学性能最好,0℃的冲击强度为58.35 kJ/m², -10℃的冲击强度也高达47.06 kJ/m²。POE/PE-HD在不降低PP-R管材专用料其它力学性能的基础上,显著地提高了PP-R管材专用料低温冲击韧性。

PVC-U异型材 芜湖海螺型材科技股份有限公司^[41]以钙锌稳定剂替换铅盐稳定剂作为生产PVC-U异型材的热稳定剂。研究了PVC/钙锌稳定剂混配料技术,优化了塑料异型材的生产配方和生产工艺。研究表明:使用钙锌稳定剂代替铅盐稳定剂用于生产PVC-U塑料异型材是可行的,且产品使用性能好,环保性能符合RoHS指令。

防水卷材 潍坊宏源防水材料有限公司^[42]利用弹性体对PVC防水卷材进行改性。研究发现:在相同的实验条件下,弹性体CM可显著改善PVC防水卷材的耐低温性能,但同时使其拉伸性能降低;弹性体P83作为一种相容剂,可改善PVC与CM的相容性,提高改性PVC防水卷材的拉伸性能,且使PVC防水卷材具有更佳的耐低温性能。

5 电子电器

家电用材料 广东省天保再生塑料循环利用工程技术研究中心等^[43]以共聚PP、纳米CaCO₃、滑石粉、短切玻璃纤维(GF)和收缩率调节剂茂金属线性低密度聚乙烯(mPE-LLD)接枝物制备了改性PP材料。研究了各组分对改性PP水平流动和垂直流动方向收缩率及力学性能的影响。结果表明,当纳米CaCO₃、滑石粉、玻璃纤维和mPE-LLD接枝物质量分数分别为5%、20%、8%、5%时,所制得的改性PP水平和垂直方向收缩率分别为0.63%和0.65%,接

近各向同性收缩,且所制改性 PP 材料的力学性能和收缩接近于高抗冲聚苯乙烯水平,可替代其在家电等产品上应用。

太阳能热水器用材料 国家反应注射成型工程技术研究中心等^[44]以大豆油多元醇为原料,以 1,1,1,3,3-五氟丁烷(HFC-365)/1,1,1,2,3,3,3-七氟丙烷(HFC-227)和水为发泡剂,制备了太阳能热水器用绿色环保 PUR 组合料。研究表明,1.5%的水配合 15%的 HFC-365/227 制得的泡沫密度与 25%的一氟二氯乙烷(HCFC-141b)体系相当,压缩强度和低温尺寸稳定性优于 HCFC-141b 体系,两者的导热系数也相近。添加不超过 20%的大豆油多元醇 HM-10300,制得的泡沫可以满足太阳能热水器行业的要求。

通讯多孔管材 新疆中企宏邦节水(集团)股份有限公司^[45]研究了偶联剂活化粉煤灰在生产 PVC 通讯多孔管材中的应用。探讨了活化粉煤灰对 PVC 复合材料的改性机理及加工性能的应用情况。结果表明,粉煤灰经活化处理后填充在 PVC 复合材料中,使物料加工性能得到改善,界面黏结强度得到增强,产品的表面光洁度和力学性能得到提高。

高压绝缘材料 南京南瑞集团公司智能电气装备事业部等^[46]针对电力行业对高压用绝缘材料的性能要求,制备了聚苯醚(PPO)改性 PA66 合金材料、聚苯硫醚(PPS)改性 PA66 合金材料,旨在替代传统的高性能环氧树脂绝缘材料,以实现电力绝缘材料的环保化。结果表明,PA66 经过合金化改性后的两种材料吸水性均有显著改善,但 PA66/PPO 合金材料力学和阻燃等性能稍有欠缺,而 PA66/PPS 合金材料各项性能均较为优异,是一种理想的高压绝缘材料。

阻燃型电缆母料 陕西省石油化工研究设计院^[47]以氯化聚乙烯/三元乙丙橡胶(CPE/EPDM)作为电缆料的原料,以过氧化二异丙苯(DCP)/三烯丙基氰尿酸酯(TAIC)为硫化剂,白炭黑为补强剂,Al(OH)₃和 Mg(OH)₂作为阻燃剂,并配以适量的增塑剂、稳定剂和防老剂,制备阻燃绝缘电缆料。经测试,电缆料的体积电阻率可达 $8.843 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$,击穿强度为 36.5 kV/mm,断裂伸长率为 230%,拉伸强度为 3.88 MPa。各项指标达到要求,性能满足电缆料需要。

燃料电池双极板薄膜 湖北大学^[48]通过将不锈钢表面改性,用电沉积方法在聚苯胺/不锈钢表面沉积一层还原氧化石墨烯(RGO)薄膜,并对薄膜的成分以及改性后双极板的导电、耐腐蚀等性能进行了分析、对比测试。结果表明,聚苯胺/不锈钢双极板的导电与耐腐蚀性能因为 RGO 薄膜的加入而显著提高,改性后的 RGO/聚苯胺/不锈钢双极板的腐蚀电流密度下降了一个数量级,且改性后双极板的阻抗显著减小,进一步满足了质子交换膜燃料电池双极板对自身接触电阻的要求。

电子电器元件 华南理工大学等^[49]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。当粒径为 1.5 μm 的偶联剂 KH-550 改性勃姆石质量分数为 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 UL94 V-0 级,热导率为 0.75 W/(m·K),热变形温度为 169.3℃,适用于有一定导热、阻燃要求的电子电器元件。

6 包装及薄膜材料

透明包装材料 浙江大学^[50]以有机锡为热稳定剂、甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物(MBS)核-壳粒子为增韧剂,制备了透光率大于 85%、冲击强度为 34.5 kJ/m² 的高抗冲硬质 PVC 透明材料。研究表明,MBS 对 PVC 透明料具有更好的抗冲改性效果,所制备 PVC 透明材料具有较好的热稳定性,5% 热失重温度大于 270℃。添加 MBS 或氯乙烯-丙烯酸丁酯共聚物后,PVC 的热分解温度和玻璃化转变温度基本不变。该透明材料可用于包装、装饰方面。

抗菌医用包装材料 广州中国科学院先进技术研究所等^[51]以甲基丙烯酸十二氟庚酯、甲基丙烯酸甲酯、3-烯丙基-5,5-二甲基海因(ADMH)为原料单体,以双(2-乙基己酯)琥珀磺酸钠为乳化剂,采用反相微乳液聚合法制备了含氟丙烯酸酯共聚物抗菌涂层。结果表明,随含氟单体用量的增加,共聚物成膜后空气侧及玻璃侧的接触角均增大,但含氟链段在成膜时更易于向涂膜/空气界面迁移,涂膜/空气侧接触角高于涂膜/玻璃侧接触角;膜抗菌性能显示,ADMH 单体的引入,提供了共聚物的抗菌特性,对大肠杆菌的杀灭率最高能达到 90.57%。该膜可用于医用包装材料中。

冷鲜肉保鲜包装膜 内蒙古农业大学食品科学与工程学院^[52]研制了丙烯酸乙基己酯(EHA)/PE 复合膜,用于冷鲜肉保鲜包装中,并与其他包装薄膜进行了其保鲜保质作用的对比评估。通过测试被包装冷鲜肉的 pH 值、汁液流失率和菌落总数等指标来确定冷鲜肉货架期。结果表明,EHA/PE 复合膜的氧气与水蒸气的透过率均好于 PA6 薄膜、乙烯/乙烯醇塑料(EVOH)薄膜、EHA 薄膜和 PA6/PE 薄膜。EHA/PE 复合膜包装的冷鲜肉货架期达到 22 d 以上,其效果均优于其他薄膜材料。所以 EHA/PE 复合膜对冷鲜肉具有较好的保鲜效果。

可降解抑菌薄膜 北京印刷学院^[53]将具有抗菌性能的丝瓜络纤维浸提液(LF)、微晶棉纤维素(MCC)粉末、聚乙烯醇和乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)乳液进行不同比例的共混,采用水溶液流延成膜的方法制备出可控制释放 LF 抗菌剂的可降解薄膜。研究表明,流延膜中 LF 的浓度越大,薄膜缓释出的鞣质及甙类物质的浓度越高,对微生物的抑制作用也越强,但当 LF 的质量分数高于 25% 时,薄膜的

基本性能会受到影响。当 LF/MCC 添加量为 20% 时,与对照组相比,流延薄膜的抗菌性相对提高 61.5%,堆肥条件下 20 d 后有 44.8% 的成分可发生降解。该包装薄膜属于较理想的生物降解材料。

可降解包装薄膜 浙江理工大学^[54]为了改善生物可降解包装膜聚乳酸(PLA)的脆性,提高其阻隔性能,采用流延法制备不同配比的 PLA/纳米微晶纤维素晶须(NCW)复合包装薄膜。研究表明,当 NCW 含量为 1% 时,复合薄膜的拉伸强度、断裂伸长率、拉伸模量达到最大值。随着 NCW 的加入,复合薄膜的水蒸气和氧气渗透性降低。加入 NCW 使复合薄膜的透光率减低。

抑菌包装膜 内蒙古农业大学^[55]采用熔融共混法制备聚己内酯/茶多酚(PCL/TP)、聚己内酯/壳聚糖(PCL/CS)、聚己内酯/海藻糖、聚己内酯/TiO₂(PCL/TiO₂) 4 种抑菌膜,并研究薄膜的氧气透过率、力学性能和对金黄色葡萄球菌及大肠杆菌的抑制作用。研究表明,与 PCL 单膜相比,PCL 复合膜的断裂伸长率均有所降低,拉伸弹性模量均有所提高,PCL/TP、PCL/10%CS 和 PCL/10%海藻糖复合膜均很好地改善了 PCL 单膜的阻氧性能,PCL/TP 复合膜具有较好的抑菌功能。

食品内包装薄膜 上海海洋大学^[56]研究经丙酸钙改性后的聚乙烯醇包装薄膜的各项包装性能和抗菌性能。结果发现,丙酸钙与聚乙烯醇薄膜相容性好,有良好的耐热性,丙酸钙的添加增加了薄膜的抗拉强度、降低了薄膜的断裂伸长率,影响了其光学性能,增加了薄膜的水蒸气透过系数、溶胀率和溶解率,提高了薄膜的热封温度。添加量为 2.5g/100mL 的丙酸钙改性薄膜对蜡样芽孢杆菌、大肠杆菌、米曲霉菌产生了一定的抑菌效果。经丙酸钙改性后的聚乙烯醇薄膜有良好的包装性能和一定的抑菌性,可以作为一种新型的食品内包装材料。

三层共挤薄膜 长春工业大学等^[57]采用马来酸酐(MAH)接枝改性乙烯-辛烯共聚物(POE-g-MAH)对 PP 进行增韧改性,用增韧后的 PP 和 PE 采用三层共挤上吹技术制备了 PE/PP/PE 薄膜。研究表明,POE-g-MAH 的加入,提高了薄膜的撕裂强度和热稳定性,PP 熔体强度差的问题也得到了改善;POE-g-MAH 的加入使得吹膜材料的相容性得到更好的提高,克服了原有薄膜脆性严重和易开裂的问题。

双向拉伸 PP 薄膜 中山火炬职业技术学院等^[58]为改善薄膜的表面张力,在双向拉伸聚丙烯(BOPP)薄膜中添加一种自制的爽滑抗粘连母料,并与添加进口爽滑抗粘连母料的 BOPP 薄膜进行对比。结果表明,自制爽滑抗粘连母料对薄膜的表面张力有明显改善,在跟踪期内,表面张力均不小

于 38 mN/m,后期趋于平稳,利于后续加工;对薄膜的摩擦性能也有一定积极作用,利于储存堆码与塑料袋的开口和灌装,内侧摩擦系数最小能达到 0.16。

除草地膜母料 徐州工业职业技术学院等^[59]以低密度聚乙烯(PE-LD)(2012TN26),PE-LD(1C7A),EVAC,PE-LLD,POE,PE 回收料、PE-LLD 粉料为载体树脂,以 CaCO₃滑石粉、新型矿物质填料、凹凸棒土为母料核制备了薄膜用填充母料,并将添加除草剂等制成的填充母料应用于吹塑薄膜生产。结果表明,以 PE-LD(1C7A)作为载体,CaCO₃为母料核预制的填充母料的工艺性能较好;除草剂与填充剂一起加入制备母料的工艺可行;含除草剂的填充母料添加不超过 10% 时对薄膜的力学性能影响不大,并可赋予薄膜一定的除草功能。母料应用于塑料薄膜的加工不但可以降低成本,还赋予塑料薄膜优异的性能。

除草地膜 广东省工业技术研究院生物工程研究所等^[60]采用母粒法,通过对除草剂进行超声波活化及加入界面改性剂,制备了 PE 除草地膜。研究表明,除草剂与 PE 基体的相容性得到改善,界面结合力提高,地膜表面具有相对较小的微孔,可实现地膜中除草剂的缓慢释放;除草地膜的药效时间较长,具有较好的除草效果。

7 医疗用品

人体盆底修复补片 东华大学^[61]选用直径为 0.1 mm 的医用 PP 单丝,由经编编织制备了盆底补片,探讨了热定型温度和时间对盆底补片的基本参数(厚度、面密度、孔隙率)和力学性能(顶破强力、拉伸断裂强力、缝线拉脱强力和弯曲刚度)的影响规律。试验结果表明,在热定型张力一定的情况下,热定型温度和时间对盆底补片的基本参数影响较小,热定型温度对盆底补片的力学性能影响较大;在相同热定型时间条件下,随着热定型温度的升高,盆底补片的断裂强力、顶破强力、拉脱强力下降,但横向刚柔性好;该盆底补片的热定型优选工艺参数为温度 130℃、时间 15 min。

纳米义齿基托复合材料 佳木斯大学附属第二医院^[62]将改性纳米颗粒按照质量比分别为 1%,2%,3%,4% 和 5% 的添加量添加到义齿基托材料聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)的单体中,制成不同浓度的纳米齿复合材料。研究表明,经硬脂酸改性后的纳米氧化铈能够提高树脂基托的力学性能,所测试指标都呈现先增大后减小的趋势。其中添加比例为 3% 时纳米复合材料的综合性能达到最佳状态,其冲击强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别为 $(4.186 \pm 0.149) \text{ J/cm}^2$, $(88.865 \pm 2.345) \text{ MPa}$ 和 $(1.539 \pm 0.096) \text{ GPa}$ 。

义齿基托 聊城市职业技术学院等^[63]采用机械球磨法合成氧化石墨(GO)改性 PMMA 复合材料,并采用热压成型方法制备 PMMA/GO 义齿基托复合材料。研究表明,

填料 GO 的加入,使得 PMMA 的表面形貌变得粗糙,同时增强了所制备的 PMMA/GO 复合材料的硬度和耐磨性能。

8 环保材料

非织造布吸油材料 大连工业大学^[64]以熔喷聚丙烯无纺布(MBPP)为基材,甲基丙烯酸十二酯(LMA)为单体,过氧化苯甲酰(BPO)为引发剂,通过化学接枝改性制备了 LMA-g-MBPP 吸油材料。利用正交试验与单因素分析,得到优化的制备工艺条件:单体 LMA 质量分数为 4%,引发剂 BPO 质量分数为 3%,反应温度为 70℃,反应时间为 120 min。制备的 LMA-g-MBPP 吸油材料,最大接枝率为 11.6%,最大饱和吸附率为 12.0 g/g,最大保油率为 9.3 g/g。

吸油材料 合肥工业大学等^[65]研制了吸油 PP 泡沫。结果表明:发泡 PP 具有很好的亲油疏水性,其对柴油的吸附符合伪二级吸附动力学方程,其饱和吸附倍率为 9.5 g/g,饱和吸附时间为 22 min;发泡 PP 泡沫具有很好的重复利用性;吸油速率随着温度升高而加快,但温度对其饱和吸油倍率影响较小;发泡 PP 对水面浮油去除效果良好,在处理含油污水方面具有广阔的发展前景。

水面溢油吸附材料 河北工业大学等^[66]通过悬浮聚合反应,制备甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酸羟乙酯、苯乙烯 3 种单体的三元高吸油树脂材料。按照一定的混合比例,将制备的高吸油树脂与 PP 颗粒进行复合熔喷,制备基于甲基丙烯酸酯高吸油树脂与 PP 材料的吸油材料。该材料具有吸油倍率较高、保油率好、吸水率低等特点,适用于吸附水面溢油。

吸油纤维棉 青海大学等^[67]采用环氧树脂作为前驱体溶胶,利用负载有碳纳米管的铝板为接收基板,通过简单方便的静电纺丝协同拉拔技术,宏量制备了环氧树脂/碳纳米管复合纤维棉,并对这种复合纤维棉的吸油性能进行了探索。研究表明,复合纤维棉具有高的比表面积与孔隙率,碳纳米管均匀地分布在复合纤维棉中。复合纤维棉与水 and 植物油的接触角分别为 114.1°与 66.8°;与丙纶纤维相比较,复合纤维棉展现出更加优异的吸油能力,可吸附超过自身质量 10 倍的油类物质。

含铅废水吸附材料 长安大学等^[68]以 PUR 泡塑为骨架,以双硫脲为接枝螯合基团,经 Mannich 反应,合成一种具有螯合重金属离子性能的新型材料,即双硫脲接枝 PUR 泡塑吸附材料。研究表明,双硫脲接枝 PUR 泡塑材料对含铅废水有较好的吸附效果。该泡塑材料吸附铅的最佳条件:在 20℃、pH=6 时,0.3 g 双硫脲接枝螯合泡塑处理 5 mg/L 的含铅废水 50 mL,反应时间 4 h 后铅去除率达到 99.99%。

9 其它

电磁屏蔽泡沫材料 燕山大学^[69]以环氧树脂填充泡

沫铝,制备了具有一定结构性能及电磁屏蔽功能的结构和功能一体化复合材料。实验研究发现,泡沫铝厚度一定,频率为 10~300 MHz 时,随着孔径的增大屏蔽效能增强;频率为 300 MHz~1.5 GHz 时,孔径对屏蔽效能的影响不明显。泡沫铝孔径一定,频率为 10~300 MHz 时,随着厚度的增大屏蔽效能增强;频率为 300 MHz~1.5 GHz 时,厚度对屏蔽效能影响不大。同时,通过拉伸和弯曲实验测试了复合材料中泡沫铝孔径不同试件的强度和弹性模量等力学性能,结果表明,泡沫铝孔径小的复合材料的抗拉和抗弯性能比孔径大的更好。

户外无纺布专用料 广州合成材料研究院有限公司^[70]以 PP 树脂和多种高效的抗老化助剂为原料,通过双螺杆挤出造粒生产工艺,开发出一种户外无纺布专用耐候母粒,并通过老化试验、灰标等级评定和拉伸试验对其与同类进口母粒在户外用 PP 无纺布中的应用进行了对比研究。结果表明,在母粒添加量、实验条件相同的情况下,抗老化母粒的抗老化性能优于国外进口产品,完全可实现进口替代。

防暴服专用料 温州科力塑业有限公司^[71]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,用作防暴服专用料。比较了不同黏度 PA6、增韧剂、阻燃剂及加工工艺对材料性能的影响。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;在添加 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 具有很好的协效阻燃和消烟作用,在添加量为 3 份时效效果最佳;适当的螺杆组合可提高体系的阻燃稳定性。

海上浮力材料 青岛科技大学等^[72]通过十溴二苯醚与三氧化二锑协同使用制备阻燃环氧树脂,选择粒径为 2~30 μm 和 60~120 μm 的空心玻璃微珠按照体积比为 1:1 均匀混合,固化剂十二烯基琥珀酸酐与甲基四氢邻苯二甲酸酐复配制备了阻燃固体浮力材料,材料的密度、耐静水压强度与普通浮力材料相当,并且材料氧指数达 27%~29%。

三元相变储能材料 陕西理工学院^[73]以 PE-HD、石蜡为主相变材料,活性炭为吸附载体材料,采用熔融共混法制备了 PE-HD/石蜡/活性炭三元相变储能材料。研究表明:随着 PE-HD/石蜡/活性炭相变储能材料中石蜡含量的增加(PE-HD 的含量相应减少),活性炭对石蜡的吸附能力相对降低;PE-HD/石蜡/活性炭相变材料中,PE-HD 的实际焓值高于其理论焓值。

参考文献

- [1] 朱春龙,等.塑料工业,2015,43(7):89-92.
- [2] 林博.汽车实用技术,2015(1):70-72.

Zhu Chunlong, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(7):89-92.

- Lin Bo. Automobile Technology, 2015(1):70-72.
- [3] 谷宗宝,等. 工程塑料应用, 2015,41(10):118-122.
Gu Zongbao, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(10):118-122.
- [4] 盛习民,等. 山东化工, 2015,44(12):32-33.
Sheng Ximin, et al. Shandong Chemical Industry, 2015,44(12):32-33.
- [5] 傅铁,等. 合成材料老化与应用, 2015(4):22-25.
Fu Yi, et al. Synthetic Materials Aging and Application, 2015(4):22-25.
- [6] 杨学通,等. 木材工业, 2015,29(5):10-13.
Yang Xuetong, et al. China Wood Industry, 2015,29(5):10-13.
- [7] 张一风,等. 产业用纺织品, 2015,33(3):26-29.
Zhang Yifeng, et al. Technical Textiles, 2015,33(3):26-29.
- [8] 冯古雨. 宇航材料工艺, 2015,45(5):26-30.
Feng Guyu, et al. Aerospace Materials & Technology, 2015,45(5):26-30.
- [9] 叶淑英,等. 工程塑料应用, 2015,41(8):25-29.
Ye Shuying, et al. Engineering Plastics Application, 2015,41(8):25-29.
- [10] 金军,等. 粘接, 2015,36(1):68-71.
Jin Jun, et al. Adhesion in China, 2015,36(1):68-71.
- [11] 叶世荣,等. 聚氨酯工业, 2015,30(5):38-42.
Ye Shirong, et al. Polyurethane Industry, 2015,30(5):38-42.
- [12] 张世泽,等. 聚氨酯工业, 2015,30(4):26-28.
Zhang Shize, et al. Polyurethane Industry, 2015,30(4):26-28.
- [13] 沈澄英,等. 现代塑料加工应用, 2015,27(6):32-34.
Shen Chengying, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015,27(6):32-34.
- [14] 杨绍斌,等. 塑料工业, 2015,43(8):87-90.
Yang Shaobin, et al. China Plastics Industry, 2015,43(8):87-90.
- [15] 徐金满,等. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2015,35(3):63-66.
Xu Jinxiao, et al. Journal of Anhui University of Science and Technology: Natural Science, 2015,35(3):63-66.
- [16] 朱述文,等. 化工新型材料, 2015,43(5):233-236.
Zhu Shuwen, et al. New Chemical Materials, 2015,43(5):233-236.
- [17] 王晓刚,等. 工程塑料应用, 2015,41(1):30-34.
Wang Xiaogang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(1):30-34.
- [18] 李晓岚,等. 钻井液与完井液, 2015,32(4):25-27.
Li Xiaolan, et al. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2015,32(4):25-27.
- [19] 黄棣,等. 化工新型材料, 2015,43(3):77-79.
Huang Li, et al. New Chemical Material, 2015,43(3):77-79.
- [20] 李藏哲,等. 中国建筑防水, 2015(14):9-12.
Li Zangzhe, et al. China Building Waterproofing, 2015(14):9-12.
- [21] 杨东亚,等. 功能材料, 2015,46(10):10 047-10 051.
Yang Dongya, et al. Journal of Functional Materials, 2015,46(10):10 047-10 051.
- [22] 陆波,等. 润滑与密封, 2015,40(7):40-45.
Lu Bo, et al. Lubrication Engineering, 2015,40(7):40-45.
- [23] 刘渊,等. 塑料制造, 2015(6):61-63.
Liu Yuan, et al. Plastics Manufacture, 2015(6):61-63.
- [24] 赵君山,等. 工程塑料应用, 2015,41(9):99-105.
Zhao Junshan, et al. Engineering Plastics Application, 2015,41(9):99-105.
- [25] 廖伍举,等. 液压与气动, 2015(8):16-19.
Liao Wujun, et al. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2015(8):16-19.
- [26] 梁杰铭,等. 工程塑料应用, 2015,41(5):93-96.
Liang Jieming, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(5):93-96.
- [27] 楚婷婷,等. 轴承, 2015(5):35-37.
Chu Tingting, et al. Bearing, 2015(5):35-37.
- [28] 周晨,等. 东北林业大学学报, 2015,43(8):91-94.
Zhou Chen, et al. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43(8):91-94.
- [29] 夏南,等. 农业工程学报, 2015,31(9):303-309.
Xia Nan, et al. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015,31(9):303-309.
- [30] 徐朝阳,等. 包装工程, 2015,36(13):5-7.
Xu Zhaoyang, et al. Packaging Engineering, 2015,36(13):5-7.
- [31] 贾雪芹,等. 聚氨酯工业, 2015,30(4):33-36.
Jia Xueqin, et al. Polyurethane Industry, 2015,30(4):33-36.
- [32] 曾广胜,等. 塑料工业, 2015,43(10):66-70.
Zeng Guangsheng, et al. China Plastics Industry, 2015,43(10):66-70.
- [33] 邓亮,等. 新型建筑材料, 2015,42(2):17-20.
Deng Liang, et al. New Building Materials, 2015,42(2):17-20.
- [34] 刘海涛,等. 塑料工业, 2015,43(6):23-26.
Liu Haitao, et al. China Plastics Industry, 2015,43(6):23-26.
- [35] 朱江,等. 建筑材料学报, 2015,18(4):658-662.
Zhu Jiang, et al. Synthetic Materials Aging and Application, 2015, 18(4):658-662.
- [36] 夏东波,等. 齐齐哈尔大学学报: 自然科学版, 2015,31(6):79-82.
Xia Dongbo, et al. Journal of Qiqihar University: Natural Science Edition, 2015,31(6):79-82.
- [37] 路国忠,等. 合成树脂及塑料, 2015,32(2):52-55.
Lu Guozhong, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(2):52-55.
- [38] 王飞,等. 塑料工业, 2015,43(10):127-129.
Wang Fei, et al. China Plastics Industry, 2015,43(10):127-129.
- [39] 朱道峰,等. 中国塑料, 2015,29(7):100-103.

- Zhu Daofeng, et al. China Plastics, 2015, 29(7):100-103.
- [40] 王潇梦,等. 工程塑料应用, 2015, 41(2):20-25.
Wang Xiaomeng, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(2):20-25.
- [41] 程建军,等. 塑料助剂, 2015(4):38-41.
Cheng Jianjun, et al. Plastic Additives, 2015(4):38-41.
- [42] 孙剑,等. 中国建筑防水, 2015(10):7-10.
Sun Jian, et al. China Building Waterproofing, 2015(10):7-10.
- [43] 张金柱,等. 工程塑料应用, 2015, 41(8):30-34.
Zhang Jinzhu, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(8):30-34.
- [44] 周鹏,等. 塑料工业, 2015, 43(6):122-126.
Zhou Peng, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(6):122-126.
- [45] 周嵘楷. 塑料制造, 2015(4):59-61.
Zhou Rongkai. Plastics Manufacture, 2015(4):59-61.
- [46] 任洛卿,等. 塑料科技, 2015, 43(8):55-59.
Ren Luoqing, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(8):55-59.
- [47] 王波,等. 现代塑料加工应用, 2015, 27(5):21-24.
Wang Bo, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015, 27(5):21-24.
- [48] 王海鹏,等. 电源技术, 2015, 39(8):1 671-1 674.
Wang Haipeng, et al. Chinese Journal of Power Sources, 2015, 39(8):1 671-1 674.
- [49] 罗观晃,等. 工程塑料应用, 2015, 41(12):25-29.
Luo Guanhuang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(12):25-29.
- [50] 宋晓玲,等. 塑料工业, 2015, 43(8):129-132.
Song Xiaoling, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(8):129-132.
- [51] 陈静,等. 塑料工业, 2015, 43(10):19-22.
Chen Jing, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(10):19-22.
- [52] 呼和,等. 塑料工业, 2015, 43(6):66-69.
Hu He, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(6):66-69.
- [53] 许文才,等. 包装工程, 2015, 36(11):1-4.
Xu Wencai, et al. Packaging Engineering, 2015, 36(11):1-4.
- [54] 王鹏,等. 包装世界, 2015(4):31-33.
Wang Peng, et al. Packaging World, 2015(4):31-33.
- [55] 董同力嘎,等. 化工新型材料, 2015, 43(10):48-50.
Dong Tungalag, et al. New Chemical Materials, 2015, 43(10):48-50.
- [56] 蒋硕,等. 食品工业科技, 2015, 36(2):308-312.
Jiang Shuo, et al. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(2):308-312.
- [57] 赵岩,等. 塑料工业, 2015, 43(10):119-122.
Zhao Yan, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(10):119-122.
- [58] 刘晓艳,等. 合成树脂及塑料, 2015, 32(1):54-55.
Liu Xiaoyan, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(1):54-55.
- [59] 张挺,等. 工程塑料应用, 2015, 41(6):34-38.
Zhang Ting, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(6):34-38.
- [60] 谢东,等. 塑料科技, 2015, 43(2):65-68.
Xie Dong, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(2):65-68.
- [61] 管俊杰,等. 东华大学学报:自然科学版, 2015, 41(2):173-177.
Guan Junjie, et al. Journal of Donghua University: Natural Science, 2015, 41(2):173-177.
- [62] 初明慧,等. 口腔医学研究, 2015, 31(10):978-980.
Chu Minghui, et al. Journal of Oral Science Research, 2015, 31(10):978-980.
- [63] 李艳华,等. 聊城大学学报:自然科学版, 2015, 28(3):29-32.
Li Yanhua, et al. Journal of Liaocheng University: Natural Science Edition, 2015, 28(3):29-32.
- [64] 王丹,等. 印染, 2015(13):31-34.
Wang Dan, et al. Dyeing and Finishing, 2015(13):31-34.
- [65] 沈兵兵,等. 合肥工业大学学报:自然科学版, 2015, 38(4):543-547.
Shen Bingbing, et al. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2015, 38(4):543-547.
- [66] 李峰,等. 河北工业大学学报, 2015(1):45-49.
Li Feng, et al. Journal of Hebei University of Technology, 2015(1):45-49.
- [67] 南辉,等. 化工学报, 2015, 66(3):1 194-1 200.
Nan Hui, et al. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 2015, 66(3):1 194-1 200.
- [68] 姚以亮,等. 应用化工, 2015, 44(8):1 386-1 390.
Yao Yiliang, et al. Applied Chemical Industry, 2015, 44(8):1 386-1 390.
- [69] 李慧剑,等. 材料导报, 2015, 29(7):150-154.
Li Huijian, et al. Materials Review, 2015, 29(7):150-154.
- [70] 王飞,等. 塑料工业, 2015, 43(1):125-128.
Wang Fei, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(1):125-128.
- [71] 刘志,等. 工程塑料应用, 2015, 41(3):50-53.
Liu Zhi, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 41(3):50-53.
- [72] 汪杰,等. 塑料工业, 2015, 43(3):132-135.
Wang Jie, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(3):132-135.
- [73] 土勋勋,等. 塑料科技, 2015, 43(7):67-69.
Tu Xunxun, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(7):67-69.