

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.04.024

2013 年我国热固性工程塑料进展

赵志鸿,吕召胜,谈桂春,栾维涛,张振

(《工程塑料应用》杂志社,济南 250031)

摘要:根据2013年国内公开发表的文献,综述了我国热固性树脂及其塑料的开发研究状况。2013年我国热固性工程塑料的研究开发集中在环氧树脂、聚氨酯和酚醛树脂等大品种树脂的增强增韧及功能化上。利用各种新型树脂或固化剂、无机纳米粒子或功能型助剂等对传统热固性工程塑料的改性取得了较多的成果。

关键词:热固性工程塑料;环氧树脂;聚氨酯;酚醛树脂;不饱和聚酯树脂;双马来酞亚胺树脂;进展

中图分类号:TQ322.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2014)04-0104-010

Advance in the Engineering Thermosets of China in 2013

Zhao Zhihong, Lyu Zhaosheng, Tan Guichun, Luan Weitao, Zhang Zhen

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

Abstract: Based on public articles at home, research and development of thermosetting resin and plastics in 2013 were reviewed. Key points of research mainly focused on reinforcement, toughness and functionalization of main thermosetting resin such as epoxy resin, polyurethane, phenolic resin and so on. Many achievements were achieved in modification of main thermosetting resin with novel model resin or curing agent, inorganic nano-particles or functional additives.

Keywords: engineering thermoset; epoxy resin; polyurethane; phenolic resin; unsaturated polyester; bismaleimide resin; advance

2013年我国热固性树脂及其塑料的研究集中在环氧树脂(EP)、聚氨酯(PUR)、酚醛树脂(PF)和不饱和聚酯树脂(UP)的增强增韧及功能化上,另外在双马来酞亚胺树脂(BMI)、氰酸酯树脂(CE)、苯并恶嗪树脂(BOZ)及新型热固性树脂基体的开发及改性上也取得了一定成绩。笔者按树脂类别综述2013年我国热固性工程塑料的进展。

1 EP及其塑料

阻燃改性苧麻增强EP复合材料 武汉纺织大学^[1]采用紫外光接枝的方法,将甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝到苧麻织物上,再进行胺化、磷酸化,对苧麻织物进行阻燃改性,并利用手糊成型的方法制备了阻燃改性苧麻增强EP复合材料。接枝45%的GMA的苧麻胺化、磷酸化后与EP复合,可使复合材料的极限氧指数(LOI)达到25.6%。

分子间磷杂菲与磷腈双基协同阻燃EP 北京工商大学^[2]将六苯氧基环三磷腈(HPCP)和9,10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10-氧化物(DOPO)复合应用于阻燃EP,当DOPO在HPCP/DOPO复合阻燃剂中所占比例达到80%时,样品的阻燃级别达到UL 94 V-0级,总热释放量降低,优于两种阻燃剂单独使用条件下对EP的阻燃效果。

PPO-LMW改性EP 高分子材料工程国家重点实验室等^[3]利用再分配反应制备了双端带有羟基的低分子量聚苯

醚(PPO-LMW),并将PPO-LMW作为EP的固化剂参与固化反应。结果表明,通过再分配反应制得的双端带有羟基的PPO-LMW与EP具有良好的相容性,EP/PPO-LMW体系固化物的相态均一。加入PPO-LMW以后,EP的冲击性能、介电性能及热稳定性得到了明显的改善。

EP/DCLP共混物 桂林理工大学等^[4]以4,4'-二(β-羟乙氧基)联苯(BP2)、对苯二甲酰氯(TPC)为原料,吡啶为催化剂,通过溶液聚合法合成一种含有联苯基的新型聚酯液晶(DCLP),然后制备了EP/DCLP共混物。实验结果表明,加入3%的DCLP,可使复合材料的冲击强度由26.2 kJ/m²提高到47.7 kJ/m²,拉伸强度和弯曲强度也有不同程度的提高,热分解温度提高10~20℃。

全硫化纳米羧基丁腈橡胶增韧EP 北京化工大学等^[5]研究了全硫化纳米羧基丁腈橡胶(VP-501)对EP性能的影响。结果表明,VP-501的加入使得EP浇注体的冲击性能在其拉伸、弯曲性能不明显降低的情况下大幅度提高,玻璃化转变温度(T_g)提高,拉伸断裂面形貌由光滑变粗糙,纳米粒子较均匀地分散在树脂体系中,达到了增韧的效果。

改性聚芳醚酮增韧EP 中航复合材料有限责任公司等

联系人:赵志鸿

收稿日期:2014-03-10

[6] 用改性聚芳醚酮(PAEK)对EP进行增韧。结果表明,纯EP和质量分数分别为5%,15%,25%,35%和50%的6种共混浇铸体的冲击强度分别为1.92,2.97,3.06,4.63,4.69和5.36 MPa,体系的冲击强度随PAEK含量增加而提高。

EP/三维编织PE-UHMW纤维复合材料 西京学院^[7]以三维编织超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)纤维为增强体,EP为基体,通过树脂传递模塑工艺制备了EP/三维编织PE-UHMW纤维复合材料。随着纤维体积分量的增加,复合材料的摩擦系数和磨损率逐渐减小;随着载荷的增大,复合材料的摩擦系数逐渐减小,但磨损率增大。

EP/多分散POSS复合材料 合肥工业大学^[8]以工业级的3-缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷为原料,通过硅烷水解法合成出低成本的多分散环氧基低聚倍半硅氧烷(POSS-EP);将此POSS-EP添加到EP(E-54)体系中,制得EP/多分散POSS复合材料。多分散POSS的引入能显著地提高EP复合材料的热稳定性和力学性能。

EP/SEPO复合材料 四川大学等^[9]采用两步法,先将单官能团环氧基多面体齐聚倍半硅氧烷(SEPO)接到胺类交联剂上,再加入双酚A型EP进行固化,成功制得EP/SEPO复合材料。SEPO使材料的初始热分解温度提高约35℃,耐热性显著提高;SEPO使材料拉伸强度提高了1.5倍,韧性大约提高了3倍。

甲基苯基有机硅低聚体改性EP 高分子材料工程国家重点实验室等^[10]通过水解、缩聚的方法合成了甲基苯基有机硅低聚体(PMPS)。然后用其与双酚A型EP(E51)发生共聚反应,并且引入柔性EP(DER732),制备出一系列PMPS改性EP。当E51,DER732与PMPS质量比为40:20:40时,改性树脂的断裂伸长率、冲击强度和600℃的质量保持率分别比未改性的EP提高了42.78%,8.41 kJ/m²和21.83%。

EP/有机硅大分子插层MMT复合体系 高分子材料工程国家重点实验室等^[11]先以聚硅氧烷分子链插层蒙脱土(MMT),通过插层反应制备了一种类似宏观约束阻尼结构的纳米级多层结构单元,进而再与EP混合固化。结果表明,微纳米约束阻尼结构单元已经在复合材料中形成;随着插层结构单元质量分数的增加,复合体系的损耗因子峰移向低温方向,且峰面积增大。

EP/环氧液晶/OMMT纳米复合材料 桂林理工大学等^[12]采用液晶环氧预聚物(PHQEP)与有机化MMT(OMMT)共混改性EP制备三元共混体系的EP基复合材料。当PHQEP质量分数为5%时,添加质量分数1.5%的OMMT可以使EP的冲击强度达到最大值23.43 kJ/m²,比纯EP提高2倍左右, T_g 及5%热分解温度比纯EP分别高出15℃和27℃。

GO/SiO₂协同改性EP复合材料 桂林理工大学等^[13]以氧化石墨烯(GO)、硅溶胶、甲苯二异氰酸酯(TDI)为原料,合成SiO₂-g-GO化合物,并用于改性EP。当SiO₂-g-GO质量份为5份时,复合材料冲击强度提高到38.79 kJ/m²,是纯EP的2.2倍左右;同时,拉伸强度、弯曲强度及弯曲弹性模量分别提高了1.35倍、1.45倍和1.42倍。

三聚氰胺甲醛树脂插层EP/水滑石复合材料 苏州科技学院等^[14]采用共沉淀法和原位聚合法制备了三聚氰胺甲醛树脂插层水滑石(MF-LDHs)及EP/MF-LDHs复合材料。当MF-LDHs质量分数为40%时,EP/MF-LDHs的LOI达到27.7%;含质量分数20%的MF-LDHs的EP/MF-LDHs抗拉强度达到47.85 MPa,比纯EP提高了13.98%。

EP/超支化聚(胺)酯基二茂铁复合材料 北京理工大学^[15]将超支化聚(胺)酯基二茂铁(HAPE-Fc)作为吸波剂通过物理共混与经超支化环氧(EHBP)改性的EP基体复合。制得的复合材料的密度较小,介于1.15~1.23 g/cm³之间;当第二代超支化聚(胺)酯基二茂铁(G2-HAPE-Fc)质量分数为5%的复合材料力学性能最好。

松香基超支化EP 南京工业大学^[16]首先以马来海松酸三缩水甘油酯和马来海松酸为主要原料,一步法合成松香基超支化聚酯(HPR),然后HPR再与环氧氯丙烷(ECH)经开环酯化、闭环反应,得到松香基超支化EP(HPER)。所得EP的环氧值为0.23 mol/100 g,黏度为850 mPa·s。

EP基深海浮力材料 辽宁省高分子材料工程技术研究中心等^[17]以EP为基体,选用低分子聚酰胺树脂为固化剂,液体聚硫橡胶为增韧剂,并填充经表面活化处理的空心玻璃微珠(HGB),制得高强度、低密度、低吸水率的深海浮力材料。当固化剂TY-203的用量为EP质量的1/2、增韧剂液体聚硫橡胶的质量分数为10%,改性HGB的质量分数为35%时,制得深海浮力材料的综合性能较好。

端巯基乙酸二元醇酯改性EP 中北大学^[18]以自制的端巯基乙酸丙二醇酯、端巯基乙酸丁二醇酯、端巯基乙酸一缩二乙二醇酯、端巯基乙酸聚乙二醇酯等为扩链剂,对E-44/D-230 EP固化体系进行了增韧改性研究。结果表明,加入该扩链剂后不仅耐冲击性能大幅度提高,拉伸、弯曲等力学性能也相应地提高。

低黏度易调配双酚A型酚醛EP 常州大学等^[19]以一种传统的双酚A型EP制备方法为基础,合成了一种低黏度的双酚A型酚醛EP。实验中以原料环氧氯丙烷为分散介质无外加溶剂,制备了具有低黏度,易于调配的双酚A型酚醛EP,此种树脂性能优异,更适用于做复合材料特别是碳纤维(CF)预浸料生产的基体树脂。

羟乙基化双酚A EP 中国科学院研究生院等^[20]使用

固体 NaOH 为催化剂,通过一步法合成了低黏度的羟乙基化双酚 A EP (DGEBAEO-2.25)。DGEBAEO-2.25 的黏度仅为 DGEBA 的 1/7;固化活性及 T_g 降低;固化物韧性明显提高,冲击强度提高 2 倍多,且强度和模量基本保持不变。

三官能团 EP 华东理工大学等^[21]采用间苯二酚二缩水甘油醚和三苯酚乙烷在催化剂作用下合成了三官能团 EP(TEP)。TEP 固化膜具有较好的热稳定性,起始分解温度 369.6℃,比国外 784 树脂高 19.5℃,550℃时残余量为 29.25%, T_g 为 150.2℃,具有良好的耐腐蚀性。

EP/微粉化双氰胺复合材料 西北工业大学^[22]采用微粉化处理过的双氰胺固化 EP,自制 FH-1 作为促进剂制备出一种可中温固化、具有一定潜伏性的 EP 固化体系。自制 FH-1 促进剂使得固化反应温度下降 40~50℃。浇注体冲击强度为 56.3 kJ/m²,拉伸强度为 91.4 MPa,断裂伸长率为 4.6%。单向 GF 增强复合材料湿态保持率在 70% 以上,树脂与纤维浸润性优异。

国产芳纶纤维复合材料用 EP 体系 西安航天复合材料研究所^[23]研制了一种 EP/芳香胺体系,该树脂体系具有优良的浇注体力学及热性能,其与国产芳纶纤维的界面粘接性能良好,其 NOL 环层间剪切强度可以达到 52.1 MPa。

GIS 绝缘件用高性能 EP 浇注材料 河南平高电气股份有限公司^[24]通过研究不同的 EP 及酸酐类固化剂体系对材料性能的影响,开发出新型固态 EP 与改性液态酸酐固化剂。该新型 EP 浇注材料的 T_g 达到 145℃,拉伸强度达到 85 MPa,且随温度变化显示出稳定的特性,并具有长期的耐静载荷能力,115℃高温蠕变试验外推其 30 a 后的高温断裂强度仍然超过 20 MPa。

2 PUR 及其塑料

[BMIM]PF6 改性三聚氰胺阻燃 RPUF 沈阳航空航天大学^[25]采用咪唑基离子液体 1-丁基-3-甲基咪唑六氟磷酸盐 ([BMIM]PF6) 对三聚氰胺进行改性,利用改性三聚氰胺阻燃硬质聚氨酯(PUR)泡沫塑料(RPUF)。当 [BMIM]PF6 与三聚氰胺的质量比为 6:4,改性三聚氰胺的质量分数为 25% 时,阻燃效果较好,LOI 可达 24.70%,水平燃烧速度为 33.4 mm/min。

含磷阻燃剂阻燃 RPUF 辽宁工程技术大学^[26]研究了无卤、含磷添加型阻燃剂红磷、包覆红磷、聚磷酸铵(APP)、包覆 APP、含磷膨胀型阻燃剂 PNP、三聚氰胺焦磷酸盐等 6 种阻燃剂对 RPUF 阻燃及力学性能的影响。结果表明,PNP 阻燃材料具有最佳的阻燃性能和力学性能,当 PNP 质量分数为 25% 时,阻燃材料的 LOI 为 29.5%,拉伸强度和冲击强度分别为 5.3 MPa 和 8.7 kJ/m²。

无卤型阻燃 PUR 泡沫塑料 中国工程物理研究院化工

材料研究所^[27]选用可膨胀石墨(EG)作为阻燃剂制备了阻燃 PUR 泡沫塑料。随着 EG 用量的增加,材料的阻燃性能提高,当 EG 质量分数为 30% 时,其 LOI 可达 27%,但力学性能明显下降;采用聚乙烯醇或钛酸酯 101 对 EG 进行表面处理后,材料的力学性能明显改善,且聚乙烯醇优于钛酸酯。

两种磷系阻燃剂阻燃 RPUF 北京工商大学^[28]通过箱式发泡法制备含有添加型阻燃剂甲基磷酸二甲酯与反应型阻燃剂聚磷酸酯多元醇 OP550 的 RPUF。当甲基磷酸二甲酯与 OP550 质量比为 4:1 时,体系 LOI 可达 24.4%,且热释放速率的峰值达到最低值 144.51 kW/m²。

含磷阻燃剂阻燃 RPUF 北京理工大学^[29]比较了 4 种不同液体含磷阻燃剂——甲基磷酸二甲酯(DMMP)、磷酸三(β-氯异丙基)酯(TCPP)、二甲基磷酸丙酯(DMPP)以及 1 种新型阻燃剂磷酸二甲酯 1201(DM-1201)对 RPUF 的阻燃效果和抑烟效果的影响。研究表明,DM-1201 的阻燃、抑烟效果最好,在改善材料的压缩强度方面也最有效,而且添加 DM-1201 对 RPUF 的导热系数影响最小。

铝/磷/氮三元体系阻燃 RPUF 吉林工业职业技术学院^[30]以氢氧化铝、三聚氰胺和 APP 为阻燃剂制备了阻燃 RPUF。结果表明,铝/磷/氮复配阻燃体系的阻燃效果优于磷/氮阻燃体系,燃剂总添加量达 30 份时,RPUF 同时具备较好的阻燃性能和力学性能,LOI 为 32%,烟密度为 74,平均燃烧时间为 31 s,其压缩强度和拉伸强度分别为 6.52 和 6.16 MPa。

环糊精改性 PUR 常州工程职业技术学院等^[31]以聚醚 2000 和 4,4'-二苯基甲烷二异氰酸酯为原料,以 β-环糊精为交联剂制备了 β-环糊精改性的 PUR。β-环糊精可以提高 PUR 的热稳定性,并且可使 PUR 的 T_g 提高;β-环糊精还可以提高 PUR 的拉伸强度及对 PET 薄膜的 T-剥离强度。

聚碳酸酯型脂肪族 PUR 华东理工大学^[32]研究了以 1,6-六亚甲基二氨基甲酸甲酯(HDU)和聚碳酸酯二醇(PCDL)为原料,有机锡为催化剂,无溶剂熔融酯交换缩聚合成 PUR 的新工艺。在原料 PCDL 与 HDU 物质的量之比为 1:0.99,以二丁基氧化锡(DBTO)为催化剂,DBTO 与 (HDU+PCDL) 的质量比为 0.125:100,100℃预聚 1 h,185℃真空缩聚 4 h 等较优的工艺条件下,可以得到分子量较高、硬度较大、白度较好的 PUR 产品。

全水发泡大豆油基 PUR 软质泡沫塑料 华南师范大学^[33]以环氧大豆油为原料,以甲醇为开环试剂制得大豆油多元醇。将豆油醇部分替代传统的聚醚多元醇添加到配方中,经发泡制得 PUR 软质泡沫塑料,该产品各项力学性能都达到国家标准要求,其中拉伸强度可达 0.12 MPa 以上,断裂伸长率可达 150% 以上。

化学微交联改性 PUR 北京化工大学等^[34]采用聚醚型 PUR 添加不同的交联助剂,通过双螺杆挤出机反应挤出制备了微交联 PUR。制备的微交联 PUR 交联度在 0.4%~7.0% 之间;对于不同交联助剂制得的 PUR,随着交联度的增大,交联 PUR 的拉伸强度下降,冲击强度提高,断裂伸长率变化不大。

PUR/SBA-15 介孔分子筛复合材料 太原理工大学^[35]采用预聚法制备 PUR/SBA-15 介孔分子筛复合材料。该分子筛复合材料与纯 PUR 相比,拉伸强度有所提高,耐撕裂性能明显增大;复合材料的耐热性能和耐溶剂性能提高不明显;SBA-15 分子筛对 PUR 软硬段的微相分离影响较小。

长纤维增强反应注射成型 PUR/CF 复合材料 安徽科技学院^[36]采用浓硫酸和硅烷偶联剂对 CF 进行表面处理,利用可变纤维注入技术和反应注射成型技术相结合制备了 PUR/CF 泡沫复合材料。表面处理的 CF 质量分数为 15% 时,复合材料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度分别比纯 PUR 增加了 1.52 倍、2.73 倍和 2.25 倍。

POSS 改性 PUR 合肥工业大学^[37]以 TDI 为硬段结构物质,聚乙二醇 4000 为软段物质,1,4-丁二醇为交联剂,在氮气保护的氛围下通过加入不同量的 1,3,5,7,9,11,13-苯基-15-二乙醇胺丙基笼形低聚倍半硅氧烷(羟基 POSS)合成 POSS 改性的 PUR(POSS-PU)。POSS 的质量分数为 10% 时,POSS-PU 的 T_g 提高近 5℃,熔融温度提高 10℃,热分解温度提高 35℃,拉伸强度和断裂伸长率增加近 1 倍。

PUR/OMMT 纳米硬质泡沫 厦门大学^[38]以 OMMT 为原料制备聚醚-OMMT(POP-OMMT)纳米硬质泡沫。用不同比例 POP-OMMT 与 POP、多异氰酸酯(PM200)及其它助剂反应,制备 PUR/OMMT 纳米硬质泡沫。当 POP-OMMT 质量分数为 3.50% 时,PUR/OMMT 的压缩强度比 PUR 基体材料提高 22.50 kPa,弯曲强度提高 35.35 kPa,断裂伸长率提高 28.15%,初始失重温度提高了 3.62℃。

PUR/纳米银复合材料 西南民族大学等^[39]采用物理方法,将 PUR/纳米银杂化材料与具有一定强度的普通聚醚型 PUR(PEU)混合制备了新型 PUR/纳米银复合材料。与具有高强度的 PEU 相比,该复合材料与 PEU 的微相分离程度差别不大,有望应用于生物医学材料等领域。

PUR 微孔硬质塑料 北方材料科学与工程研究院产业园等^[40]以蓖麻油与液体二苯基甲烷-4,4'-二异氰酸酯通过加热的方式合成的异氰酸酯预聚体为 A 组分,以聚醚多元醇、蓖麻油、水、泡沫稳定剂和催化剂组成的混合物为 B 组分,制备了 PUR 微孔硬质塑料。制得的 PUR 微孔硬质塑料具有较好的力学强度与电性能。

网化 PUR 泡沫塑料 西北工业大学^[41]以聚醚多元醇

和 TDI 为主要原材料,三乙醇胺和二甲基锡为催化剂,蒸馏水和三氟三氯乙烷为发泡剂,并加入匀泡剂和开孔剂制备软质开孔 PUR 泡沫塑料,通过碱液水解法制备网化 PUR 泡沫塑料。制备出的网化 PUR 泡沫塑料具有良好的吸油及排油性能,有望作为储油箱填充材料使用。

3 PF 及其塑料

可低温发泡 PF 山东莱芜润达新材料有限公司^[42]以可低温发泡 PF 为研究对象,发现在 F/P 为 1.5, NaOH 用量为苯酚质量的 3%,且在高温 86℃ 和低温 70℃ 各反应 60 min 的条件下,所制备的可低温发泡 PF 具有较低的游离醛含量(游离醛的质量分数为 0.5%~0.8%)。以可低温发泡 PF 为基体制备的 PF 泡沫保温板性能完全满足国家标准要求,可应用于外墙保温材料。

可发性生物油-PF 北京林业大学^[43]以生物油、苯酚及多聚甲醛为原料制备出可发性生物油-PF。该树脂具有较高活性和更多醚键。以其制备的生物油-PF 泡沫综合性能良好,可用于建筑保温材料。

粗酚 PF 泡沫 郑州大学^[44]以粗酚、苯酚、多聚甲醛为原料合成了可发性粗酚 PF,发泡制备了粗酚 PF 泡沫。粗酚质量分数为 30% 时,泡沫综合性能最佳。粗酚 PF 泡沫 LOI 大于 40%,阻燃性能优异,导热系数 0.031 W/(m·K),保温性能良好。

粗酚部分替代苯酚制备 PF 泡沫保温材料 郑州大学^[45]采用多聚甲醛、粗酚和苯酚为原料制备了 PF 泡沫保温材料。制备的 PF 泡沫(表观密度为 45 kg/m³)的导热系数为 0.028 W/(m·K),LOI 为 36%,压缩强度为 0.29 MPa。

生物质单宁改性 PF 泡沫塑料 长春工业大学等^[46]制备了生物质单宁改性的 PF 泡沫塑料。含有单宁结构的 PF 泡沫塑料的力学性能显著提高。相比普通 PF 泡沫塑料,改性 PF 泡沫塑料的压缩强度提高 79%,冲击强度提高 71%,弯曲强度提高 30%。改性 PF 泡沫塑料的热稳定性下降,相同温度下的失重率较 PF 泡沫塑料增加 2%~5%,但仍具有较好的热稳定性。

液化竹基 PF 泡沫塑料 中国林业科学研究院林产化学工业研究所等^[47]以竹材液化物为原料,以氢氧化钠为催化剂,制备成热固性液化竹基 PF(PBF)。PBF 泡沫塑料(PBFM)的密度和压缩强度都高于常规 PF 泡沫。适当地提高 PBFM 固化温度可以提高其耐热性。

GO 改性 PF 泡沫塑料 黄山学院等^[48]采用改进的 Hummers 法获得具有较高活性和更为规整结晶结构的 GO。采用原位发泡制备了 PF/GO 泡沫塑料。结果表明,GO 的加入能有效地提高泡沫塑料的耐热性能、阻燃性能,并改善其防水性能。

PF/MGOs 复合材料 桂林理工大学等^[49]采用 Hummers 法对天然鳞片石墨进行氧化处理和超声剥离制备 GO, 通过 γ -氨丙基三乙氧基硅烷 (KH-550) 与 GO 反应得到改性 GO(MGOs)。采用模压成型方法制备 PF/MGOs 复合材料。MGOs 的加入能有效提高复合材料的力学性能和摩擦性能; 其中, PF/MGOs 复合材料的冲击强度提高了 45.5%, 弯曲强度和弯曲弹性模量分别提高了 36.7% 和 26.7%。

HGB 改性 PF/高硅氧布复合材料 西安航天复合材料研究所^[50]采用高强 HGB 改性 PF, 制备 PF/高硅氧布/HGB 复合材料层压板。综合分析比热容、热扩散系数和导热系数, 当 HGB 质量分数为 5% 时, 复合材料的综合隔热性能最好。

BMI 改性 PF 模塑料 西北工业大学^[51]先将线性 PF 烯丙基醚化, 再用 BMI 改性烯丙基醚化的线性 PF(AEN), 得到 AEN/BMI 共聚物 (BAN)。当固化剂为六次甲基四胺时, 模压温度为 160℃、后处理工艺为 140℃/1 h+150℃/1 h+160℃/2 h、烯丙基醚化程度为 36.5% 时, BAN 模塑料的综合性能最佳。

磷酸改性 PF 兰州交通大学等^[52]通过用磷酸对 PF 进行改性, 得到一种改性 PF。经磷酸改性后, 在 PF 分子中引入了键能较高的 P—O—C 和 P=O 键, 使 PF 形成了热稳定性较高的杂环结构并提高了树脂的芳香性, 降低了树脂在高温下的分解量, 从而使其耐热性和力学性能得到改善。

尿素增韧改性甲阶 PF 沈阳化工大学等^[53]在合成阶段用不同量的尿素增韧改性甲阶 PF, 并将改性后的树脂制备成泡沫, 测试改性泡沫的性能。随着尿素用量的增加, 泡沫的吸水率、韧性、阻燃性增加, 压缩强度下降, 热稳定性有所改善; 合成过程中的最佳尿素质量分数为 3%。

PF/SFCM 复合材料 桂林理工大学等^[54]采用 3-氨基丙基三乙氧基硅烷 (KH-550) 对自制的剑麻纤维素微晶 (SFCM) 表面改性, 采用双螺杆挤出机和模压成型方法制备了 PF/SFCM 复合材料。当 SFCM 质量分数为 6% 时, 复合材料的冲击强度提高了 55.56%, SFCM 质量分数为 4% 时, 复合材料的弯曲强度提高了 31.37%。

低膨胀 PF/ZrW₂O₈ 复合材料 郑州大学^[55]采用固相反应法制备高纯立方相 ZrW₂O₈ 粉体, 并用 KH-550 处理 ZrW₂O₈, 得到表面硅烷化的改性 ZrW₂O₈。然后采用模压法制备 PF/ZrW₂O₈ 和 PF/改性 ZrW₂O₈ 复合材料。少量改性 ZrW₂O₈ 提高了 PF/改性 ZrW₂O₈ 复合材料的起始热分解温度, 且改性 ZrW₂O₈ 对降低平均线膨胀系数的效果更明显。

PF/2.5D 碳模压复合材料 西安航天复合材料研究所^[56]采用真空浸胶技术和模压成型工艺研制 2.5D 编织碳纤维增强 PF 基耐热复合材料。与传统的短纤维、碳布增强的 PF

模压材料相比, PF/2.5D 碳模压复合材料具有较好的综合性能, 可作为结构隔热一体化复合材料。

PF 基低摩擦系数摩擦材料 株洲时代新材料科技股份有限公司^[57]在改性 PF 体系中加入钼碳磷酸盐作为减摩擦材料, 制备了系列力学性能优异且磨损率低的低摩擦系数摩擦材料。所制备的低摩擦系数摩擦材料兼具优异的力学性能和摩擦学性能, 其冲击强度为 3.7 kJ/m², 摩擦系数为 0.213, 磨损率为 1.7×10^{-9} cm³/(N·m)。

摩擦材料用改性 PF 武汉理工大学等^[58]用三聚氰胺、腰果酚、粉末丁腈橡胶对 PF 进行了改性, 并将其用作摩擦材料的基体树脂。腰果酚、丁腈橡胶改性 PF 与三聚氰胺、腰果酚改性 PF(SY-PF) 的热分解温度比普通 PF 分别提高了 57℃ 和 91℃, 且摩擦磨损性能优良。另外, 加入丁腈橡胶可进一步提高 SY-PF 的综合性能。

4 UP 及其塑料

UP 荧光材料 上海交通大学等^[59]选用铈掺杂的硫化钙和铈掺杂的钇铝石无机荧光剂及一种合成的含铈的稀土有机荧光剂, 在 UP 固化过程中将它们加入, 制备了具有荧光性能的复合材料。荧光剂在 UP 中保持着原有的荧光性能, 含铈的荧光材料发出黄绿色荧光, 含钕的荧光材料发出红色荧光。复合材料的发光强度随荧光剂含量的增加而增强, 并在其质量分数为 1%~2% 处达到最大。

UP/稀土荧光粉复合材料 中国船舶重工集团公司第七二五研究所等^[60]以 UP、稀土荧光粉等为原料制备 UP/稀土荧光粉复合材料。经机械混合和超声分散能将荧光粉均匀地分散于树脂基体中且不存在发光猝灭现象; 随着荧光粉添加量增加, 复合材料发光性能逐渐增强; 当荧光粉的质量分数 10% 时, 复合材料的力学性能最好。

UP/CF/纳米 CB 复合材料的电场诱导 北京科技大学^[61]采用 UP、导电 CF 和纳米 CB 制备了一种复合材料。在导电填料添加适量的情况下, 采用 0.3 V/ μ m 的直流电场诱导可以提高复合材料的导电能力, 并表现出一定程度的各向异性。当 CB 的质量分数为 0.5 份时, 复合材料的电场诱导效果最佳。电场诱导基本没有改变复合材料力学特征。

UP/纳米 ZnO 挡风抑尘板 辽宁石油化工大学等^[62]以 UP 为基体, GF 毡为增强材料, 加入纳米 ZnO, 制备了新型挡风抑尘板。当纳米 ZnO 质量分数为 1.5% 时, 挡风抑尘板的拉伸强度与冲击强度比未加纳米 ZnO 时分别提高了 19.62% 和 20.03%; 经紫外光辐照 200 h 后, 纳米 ZnO 质量分数为 1.5% 的挡风抑尘板的拉伸强度保持率比未加纳米 ZnO 的挡风抑尘板提高约 9.08%。

DCPD 改性 UP 宁波职业技术学院等^[63]以顺酐、水、多元醇和多元酸为主要原料, 采用水解加成法制备出双环戊

二烯(DCPD)改性UP和通用型UP。综合性能测试结果表明,DCPD改性UP比通用UP在黏度、弯曲强度及气干性能等方面有很大提高。

桐油改性DCPD-UP 中国林业科学研究院林产化学工业研究所等^[64]利用缩聚反应后期桐油与DCPD-UP主链上不饱和双键的Diels-Alder(D-A)反应合成了桐油改性DCPD-UP。获得的桐油改性DCPD-UP黏度适中,浇注体的断裂伸长率提高了78.2%,冲击强度提高了82.0%。

耐酸碱老化改性UP 国网电力科学院武汉南瑞有限责任公司^[65]通过分子结构设计,合成了一种分子链含有双酚A基团和PUR链段的改性UP。合成的改性UP材料具备良好的耐酸、耐碱性能,经80℃酸碱液浸泡14 d,其弯曲弹性模量损失率低于13%。其拉伸强度、弯曲强度及压缩强度、5%热分解温度、体积电阻率和表面电阻率均高于普通UP材料,适用于恶劣环境下运行的电力材料。

UP/PUR嵌段共聚树脂/GF复合材料 华东理工大学等^[66]合成了一种异氰酸酯嵌段共聚改性UP树脂(UP/PUR),并以GF增强制备了复合材料(GFRP)。UP/PUR与玻璃表面的接触角为20°,对玻璃表面的润湿性较通用邻苯型UP好;GFRP拉伸强度1050 MPa,弯曲强度1220 MPa,较通用邻苯型UP的GFRP分别提高了145%和78%,说明UP/PUR与GF的界面粘结性能较好。

UP/改性大麻纤维复合材料 福建农林大学^[67]采用模压成型方法制备UP/大麻纤维复合材料,用六亚甲基二异氰酸酯(DIH)与丙烯酸羟乙酯(HEA)对纤维进行表面处理。结果表明,纤维改性后复合材料的拉伸强度、弯曲强度及弯曲弹性模量均有显著提高;当DIH-HEA用量为纤维干态下质量的3%时,复合材料的总体力学性能最佳。

黄麻纤维增强UP 宁波职业技术学院^[68]以油酸为偶联剂,将NaOH-油酸处理后的黄麻纤维布作为填料制备UP复合材料。NaOH处理黄麻纤维的适宜浓度为20%,黄麻纤维增强UP的冲击强度及拉伸强度最大值分别为12.75 kJ/m²和33.05 MPa,复合材料的最大吸水率为4.07%。

电工模塑料用结晶UP 桂林理工大学等^[69]以对苯二甲酸、反丁烯二酸、乙二醇和1,4-丁二醇为主要原料,合成了4种结晶UP。结果表明,当对苯二甲酸、反丁烯二酸、乙二醇与1,4-丁二醇物质的量之比为1.3:1:0.69:1.61时,聚酯结晶性能较好,软化点适宜(101~106℃),解决了聚酯常温存储易结块,操作易粘手的问题。复合材料满足电工模塑料制品性能要求,达到国外同类产品水平。

热平衡复合发泡剂发泡UP 南京工业大学^[70]依据热平衡发泡原理,选择NaHCO₃、偶氮二甲酰胺(AC)、偶氮二异丁腈和4,4'-氧代双苯磺酰肼组成不同热平衡复合发泡剂发

泡UP。先吸热后放热的热平衡复合发泡剂发泡材料泡孔孔径小且分布均匀。AC与NaHCO₃质量比为6:4组成的热平衡发泡剂制得的发泡UP的表观密度为0.546 g/cm³,压缩强度为13.73 MPa,比压缩强度为25.15 MPa/(g·cm⁻³)。

UP/松木复合材料 辽宁工程技术大学^[71]以红松、樟子松粉末和纤维为增韧剂,分别加入UP中,制备了UP/松木粉(纤维)复合材料。松木粉和松木纤维提高了UP复合材料的韧性。另外,当红松和樟子松纤维用量分别为20%和30%时,对UP复合材料的增韧效果最佳。

偶氮二异丁腈制备低密度UP 南京工业大学^[72]以偶氮二异丁腈(AIBN)为发泡剂兼引发剂、CaCO₃为成核剂制备了低密度UP(LDUPRP)。LDUPRP的最佳制备条件为成型温度80℃、AIBN用量为树脂质量的2%、CaCO₃用量为树脂质量的3%,此时制得的样品密度为0.452 g/cm³,压缩强度达13.64 MPa,比压缩强度为30.18 MPa/(g·cm⁻³),与RPUF相近。

5 BMI及其塑料

二烯丙基双酚A改性醚酮结构BMI 黑龙江省科学院石油化学研究院^[73]用二烯丙基双酚A(DABPA)对内增稠含醚酮结构的BMI(EK-BMI)进行改性。EK-BMI/DABPA体系具有优良的力学性能,其T_g为278℃,在260℃时仍能保持良好的力学性能,且表现出较好的断裂韧性。此外,该体系还具有较好的热稳定性。

新型烯丙基化合物改性BMI 西北工业大学^[74]利用EP和二烯丙基双酚A(DP)合成了一种新型烯丙基化合物(改性剂A),然后用该化合物改性BMI,相对于DP,改性剂A对BMI的增韧效果更优异,当改性剂A用量为70份时,BMI/DP/改性剂A体系的力学性能最好,可溶于丙酮,具有良好的韧性、热性能和溶解性能。

烯丙基PF改性BMI 北京航空材料研究院等^[75]合成并表征了烯丙基PF,再将其与双马来酰亚胺共聚制备了烯丙基PF改性BMI。烯丙基PF改性BMI可用于RTM等成型工艺,其固化物T_g约为330℃,初始热分解温度约400℃,5%失重温度达410℃,10%失重温度423℃。

BMI/BOZ/石墨烯体系 西京学院等^[76]通过动态扫描量热(DSC)法对BMI/BOZ/石墨烯共聚物进行了动力学研究。随着石墨烯含量的增加,BMI/BOZ/石墨烯体系的拉伸性能先增加后减小;当石墨烯质量分数为0.15%时,BMI/BOZ/石墨烯体系的力学性能最优。

BMI/EP/纳米SiO₂复合材料 西南科技大学等^[77]制备了BMI/EP/2,2'-二烯丙基双酚A(DBA)/纳米SiO₂复合材料。结果表明,当纳米SiO₂的质量分数为2.0%时,BMI/EP/DBA/纳米SiO₂复合材料具有较高的强度和良

好的韧性,同时,复合材料具有优异的耐热性,其 T_g 、初始热分解温度和最大热分解温度分别为204,410和451℃。

6 CE及其塑料

CE/BMI/BOZ-BPA体系 陕西省高分子科学与技术重点实验室等^[78]采用溶剂法合成新型羟基封端的BOZ(BOZ-BPA)中间体及其固化物[P(BOZ-BPA)]。采用熔融预聚法制备了CE/BMI/BOZ-BPA体系。10% BOZ-BPA的加入可使CE/BMI的冲击强度达到14.3 kJ/cm²,弯曲强度达到128.6 MPa。

聚丁二烯EP改性CE 西北工业大学^[79]选择环氧化烯炔类树脂聚丁二烯EP,以不同质量配比与双酚A型CE进行混合共聚,经适度交联固化后制备出嵌段聚合物。经适度交联固化的聚合物体系具有良好的形状记忆特性,形变恢复率均为100%,形变恢复速率随聚丁二烯EP用量的增加而增大,最大形变恢复速率为0.013 s⁻¹。

纳米SiC改性CE 渭南师范学院^[80]采用模塑成型法制备CE/纳米碳化硅(nm-SiC)复合材料。结果表明,nm-SiC的质量分数为1.00%时,CE/nm-SiC复合材料的磨损率最低,相对于纯CE降低了51.16%,稳定摩擦系数降低了17.95%,磨损机理为轻度磨粒磨损和犁沟磨损。

7 BOZ及其塑料

BOZ/含磷EP/双氰胺三元体系 四川大学等^[81]分别制备了不同配比的双酚A型BOZ/含磷EP(B/E)二元体系和双酚A型BOZ/含磷EP/双氰胺(B/E/D)三元体系浇铸体及GF层压板。B/E/D三元体系的阻燃性明显低于B/E二元体系,双氰胺的加入使得三元体系的热稳定性降低,300℃以下的热分解加剧并释放出更多的气体,800℃残炭率降低。

含双螺环取代三聚磷腈结构BOZ树脂 河南大学等^[82]以六氯环三聚磷腈,1,1'-二羟基联苯,对羟基苯甲酸乙酯和含活泼官能团的BOZ单体为原料合成了含双螺环取代三聚磷腈结构的BOZ单体(HCP)。结果表明,HCP均聚物在氮气气氛下的起始热分解温度为333℃,800℃时残炭率为42%。HCP/双酚A BOZ树脂(Bz)共聚物的起始热分解温度为367℃,800℃残炭率达52%,具有比HCP和Bz均聚物更好的热稳定性和成炭性能。

新型BOZ 哈尔滨理工大学等^[83]以双酚A,甲醛和三聚氰胺为原料制备BOZ。得出合成BOZ最佳工艺为:甲醛、三聚氰胺、双酚A的物质的量之比为8:1:0.5,合成六羟甲基三聚氰胺的温度为65~75℃,时间为20 min;合成BOZ的反应温度为100℃,反应时间为240 min。制得的树脂有明显的恶嗪环特征峰,溶于复合溶剂,软化点为88~91℃。

氢氧化镁阻燃BOZ 四川大学等^[84]采用锥形量热测

试和垂直燃烧法研究了氢氧化镁对BOZ阻燃性能的影响。结果表明,加入氢氧化镁后BOZ树脂的垂直燃烧时间缩短,阻燃性提高,当氢氧化镁质量分数≥20%时,阻燃性达到UL 94 V-0级。

MWCNTs催化固化BOZ 英国拉夫堡大学^[85]通过DSC分析及恒温DSC分析研究了不同质量分数的多壁碳纳米管(MWCNTs)对BOZ固化的催化效果。结果表明,2%的MWCNTs对BOZ固化有最好的催化效果,表现为固化的活化能由275.83 kJ/mol降至51.97 kJ/mol。

微波固相法合成BOZ及其共混树脂 华东理工大学等^[86]将邻位二烷基取代苯胺与苯酚和多聚甲醛经100 W微波辐照20 min反应得到了5种BOZ单体,将其中邻位为甲基和乙基取代的苯胺型BOZ与双酚A型BOZ(BAF)共混制得共混树脂。邻二甲基苯胺型BOZ与BAF以物质的量之比为3:7时,共混体系固化后热性能接近固化后的纯BAF树脂,且介电常数<3.9,介电损耗低于0.0035,优于其它共混树脂。

含砒基多元酚型BOZ基层压板 四川大学等^[87]以含砒基多元酚混合物为原料合成了BOZ(MS-a),以MS-a或将其与其它热固性树脂共混制得玻璃布层压板。MS-a具有较低的固化温度,其固化物在800℃下残炭率达到61.8%,制成的玻璃布层压板具有较高的 T_g (219.9℃),良好的力学性能和介电性能,阻燃级别达到UL 94 V-0级。

BOZ/含磷EP/PF共混体系 四川大学等^[88]在BOZ中分别加入含磷EP,含磷EP和含氮PF以及含磷EP和线形PF后制备其固化样品。加入含磷EP后可以大幅度提高BOZ的阻燃性能,加入含氮PF后,阻燃性进一步提高,当BOZ、含磷EP和含氮PF的质量比为4:4:2时,阻燃性达到UL 94 V-0级。

高韧性BOZ 四川东材科技集团股份有限公司等^[89]以甲醛、二元胺及十二烷基酚为原料合成了1种新型BOZ(FBZ),并首次将FBZ应用于层压板。结果表明,PFBZ的 T_g ,5%热失重温度分别为135℃和339℃,800℃残炭率为50%,耐热性好;随着FBZ用量的增加,层压板的力学性能提高。

新型改性BOZ 中国科学院化学研究所^[90]通过预聚反应制备一种新型改性BOZ。改性BOZ在60~100℃的黏度小于500 mPa·s,恒温6 h黏度增大不明显,具有良好的流动性能,适用于RTM成型工艺。改性树脂固化物在氮气气氛下5%热失重温度在430℃以上,在900℃的质量保持率高达73.71%, T_g 为353.4℃,具有良好热性能。

含炔丙基BOZ 华东理工大学等^[91]以对氨基苯丙炔醚、炔丙胺与苯酚、双酚A、间甲酚和多聚甲醛在无溶剂下通

过 Mannich 反应合成了 5 种含炔丙基型 BOZ。其中炔丙基酰型 BOZ 比 *N*-炔丙基型 BOZ 的固化温度高。炔丙基酰型 BOZ 比 *N*-炔丙基型 BOZ 有更好的热稳定性, BOZ 的裂解挥发分主要是苯酚及甲基衍生物。

8 其它

热固性聚酰亚胺 / 石墨复合材料 浙江省质量检测科学研究院等^[92]在热固性聚酰亚胺中加入不同比例的石墨粉,通过粉末冶金法制备热固性聚酰亚胺 / 石墨复合材料。复合材料具有良好的阻燃性、耐溶剂性和耐高温性。15% 石墨填充热固性聚酰亚胺具备较高的压缩弹性模量和较低的摩擦系数和体积磨损量,可用于汽车用刹车片等材料。

微甲醛含量脲醛树脂 南京大学^[93]以尿素和甲醛为原料,三聚氰胺 / 多羟基添加剂复合体系为甲醛捕捉剂制备了微甲醛含量的脲醛树脂。制备的脲醛树脂中的游离甲醛含量低于 10 mg/kg,远低于欧洲的 E1 级指标。

聚(二乙炔基苯-硅烷-硼烷)树脂 华东理工大学^[94]采用二乙炔基苯、苯基二氯硼烷和甲基氢二氯硅烷为主要原料,采用格氏试剂法合成了一种耐高温硼硅炔有机-无机杂化树脂聚(二乙炔基苯-硅烷-硼烷)(PASB)。PASB 树脂常温下黏度适中,可以在较低的温度下发生固化交联反应,具有良好的加工性能。其固化物具有良好的耐热性。

低酸脲醛树脂泡沫材料 沈阳化工大学等^[95]通过在脲醛树脂常温发泡过程中引入除酸剂,制备了一种低酸脲醛树脂泡沫材料。添加除酸剂之后,泡沫材料的 pH 值由初期的 3.4 升至 6.0 以上,泡沫材料的压缩强度由初期的 0.193 MPa 降至 0.176 MPa;除酸剂对泡沫材料的 LOI 没有影响,泡沫材料开始出现老化开裂的时间由 27 d 增至 180 d 以上。

参考文献

- [1] 陈志军,等. 工程塑料应用,2013,41(7):8-11.
Chen Zhijun, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(7):8-11.
- [2] 钱立军,等. 工程塑料应用,2013,41(7):4-7.
Qian Lijun, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(7):4-7.
- [3] 林长红,等. 工程塑料应用,2013,41(10):26-29.
Lin Changhong, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(10):26-29.
- [4] 刘括,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(7):9-12.
Liu Kuo, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(7):9-12.
- [5] 董玲,等. 玻璃钢 / 复合材料,2013(1):20-24.
Dong Ling, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2013(1):20-24.
- [6] 刘立朋,等. 热固性树脂,2013(3):24-28.
Liu Lipeng, et al. Thermosetting Resin, 2013(3):24-28.
- [7] 李蕾. 工程塑料应用,2013,41(7):82-84.
Li Lei. Engineering Plastics Application, 2013, 41(7):82-84.
- [8] 王文平,等. 化工新型材料,2013,41(2):36-38.
Wang Wenping, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(2):36-38.
- [9] 李家丽,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(6):153-156.
Li Jiali, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(6):153-156.
- [10] 常金,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(8):72-75.
Chang Jin, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(8):72-75.
- [11] 姚丁杨,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(8):76-79.
Yao Dingyang, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(8):76-79.
- [12] 徐旭,等. 热固性树脂,2013(1):34-36,45.
Xu Xu, et al. Thermosetting Resin, 2013(1):34-36,45.
- [13] 李善荣,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(6):141-144.
Li Shanrong, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(6):141-144.
- [14] 董延茂,等. 化工新型材料,2013,41(4):47-49.
Dong Yanmao, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(4):47-49.
- [15] 柴春鹏,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(6):124-128.
Chai Chunpeng, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(6):124-128.
- [16] 赵丽,等. 热固性树脂,2013(2):1-5.
Zhao Li, et al. Thermosetting Resin, 2013(2):1-5.
- [17] 陈尔凡,等. 工程塑料应用,2013,41(2):25-29.
Chen Erfan, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(2):25-29.
- [18] 赵本波,等. 塑料工业,2013,41(1):29-32.
Zhao Benbo, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(1):29-32.
- [19] 马丹,等. 化工新型材料,2013,41(2):85-88.
Ma Dan, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(2):85-88.
- [20] 何佩佩,等. 热固性树脂,2013(4):1-6,11.
He Peipei, et al. Thermosetting Resin, 2013(4):1-6,11.
- [21] 赵仁翔,等. 热固性树脂,2013(5):6-9.
Zhao Renxiang, et al. Thermosetting Resin, 2013(5):6-9.
- [22] 郝壮,等. 中国塑料,2013,27(2):30-33.
Hao Zhuang, et al. China Plastics, 2013, 27(2):30-33.
- [23] 王百亚,等. 宇航材料工艺,2013,43(6):27-30.
Wang Baiya, et al. Aerospace Materials & Technology, 2013, 43(6):27-30.
- [24] 田浩,等. 绝缘材料,2013(3):9-13.
Tian Hao, et al. Insulating Materials, 2013(3):9-13.
- [25] 李艳伟. 工程塑料应用,2013,41(2):96-99.
Li Yanwei, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(2):96-99.
- [26] 洪晓东,等. 工程塑料应用,2013,41(8):95-99.
Hong Xiaodong, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(8):95-99.

- [27] 赵秀丽,等. 塑料工业,2013,41(1):123-126.
Zhao Xiuli, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(1):123-126.
- [28] 钱立军,等. 塑料工业,2013,41(8):100-103.
Qian Lijun, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(8):100-103.
- [29] 糜婧,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(10):64-67.
Mi Jing, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(10):64-67.
- [30] 梁克瑞. 聚氨酯工业,2013(4):41-43.
Liang Kerui. Polyurethane Industry, 2013(4):41-43.
- [31] 刘巧云,等. 化工新型材料,2013,41(11):95-97.
Liu Qiaoyun, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(11):95-97.
- [32] 潘冬冬,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(7):25-29.
Pan Dongdong, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(7):25-29.
- [33] 程宗盛,等. 中国塑料,2013,27(4):47-51.
Cheng Zongsheng, et al. China Plastics, 2013, 27(4):47-51.
- [34] 王林生,等. 中国塑料,2013,27(5):24-27.
Wang Linsheng, et al. China Plastics, 2013, 27(5):24-27.
- [35] 张鑫,等. 聚氨酯工业,2013(2):8-11.
Zhang Xin, et al. Polyurethane Industry, 2013(2):8-11.
- [36] 陈丰,等. 工程塑料应用,2013,41(12):18-22.
Chen Feng, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(12):18-22.
- [37] 王文平,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(1):40-43.
Wang Wenping, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(1):40-43.
- [38] 叶美玲,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(1):140-143, 148.
Ye Meiling, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(1):140-143, 148.
- [39] 邢喜红,等. 聚氨酯工业,2013(5):20-23.
Xing Xihong, et al. Polyurethane Industry, 2013(5):20-23.
- [40] 聂锡铭,等. 工程塑料应用,2013,41(4):25-27.
Nie Ximing, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(4):25-27.
- [41] 潘恒太,等. 工程塑料应用,2013,41(8):14-19.
Pan Hengtai, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(8):14-19.
- [42] 亓波,等. 工程塑料应用,2013,41(3):38-41.
Qi Bo, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(3):38-41.
- [43] 伊江平,等. 热固性树脂,2013(4):29-33.
Yi Jiangping, et al. Thermosetting Resin, 2013(4):29-33.
- [44] 张苛,等. 塑料工业,2013,41(2):11-15.
Zhang Ke, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(2):11-15.
- [45] 袁晓晓,等. 合成树脂及塑料,2013(3):33-38.
Yuan Xiaoxiao, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2013(3):33-38.
- [46] 刘金虎,等. 工程塑料应用,2013,41(7):12-16.
Liu Jinhu, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(7):12-16.
- [47] 刘晓欢,等. 工程塑料应用,2013,41(11):14-18.
Liu Xiaohuan, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(11):14-18.
- [48] 方红霞,等. 工程塑料应用,2013,41(11):103-106.
Fang Hongxia, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(11):103-106.
- [49] 黄绍军,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(7):44-47.
Huang Shaojun, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(7):44-47.
- [50] 张麟,等. 工程塑料应用,2013,41(9):33-37.
Zhang Lin, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(9):33-37.
- [51] 袁利辉,等. 工程塑料应用,2013,41(11):4-8.
Yuan Lihui, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(11):4-8.
- [52] 冯利邦,等. 材料工程,2013(9):75-78.
Feng Libang, et al. Journal of Materials Engineering, 2013(9):75-78.
- [53] 葛铁军,等. 塑料,2013,42(3):55-58.
Ge Tiejun, et al. Plastics, 2013, 42(3):55-58.
- [54] 黄绍军,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(4):97-100.
Huang Shaojun, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(4):97-100.
- [55] 刘雪莹,等. 高分子材料科学与工程,2013,29(6):133-136.
Liu Xueying, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(6):133-136.
- [56] 杨斌,等. 纤维复合材料,2013(4):45-48.
Yang Bin, et al. Fiber Composites, 2013(4):45-48.
- [57] 王全兵,等. 塑料工业,2013,41(10):12-15.
Wang Quanbing, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(10):12-15.
- [58] 刘扬,等. 塑料科技,2013,41(10):63-67.
Liu Yang, et al. Plastics Science and Technology, 2013, 41(10):63-67.
- [59] 陆佳琦,等. 工程塑料应用,2013,41(1):4-8.
Lu Jiaqi, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(1):4-8.
- [60] 王伟,等. 玻璃钢/复合材料,2013(5):22-24.
Wang Wei, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2013(5):22-24.
- [61] 赵博,等. 材料工程,2013(4):85-91.
Zhao Bo, et al. Journal of Materials Engineering, 2013(4):85-91.
- [62] 周莉,等. 合成树脂及塑料,2013(3):61-65.
Zhou Li, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2013(3):61-65.
- [63] 施立钦,等. 工程塑料应用,2013,41(12):83-86.
Shi Liqin, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(12):83-86.
- [64] 崔竞方,等. 热固性树脂,2013(1):11-14.

- Cui Jingfang, et al. Thermosetting Resin, 2013(1):11-14.
- [65] 吴雄. 热固性树脂, 2013(6):1-5.
Wu Xiong. Thermosetting Resin, 2013(6):1-5.
- [66] 刘华, 等. 热固性树脂, 2013(1):41-45.
Liu Hua, et al. Thermosetting Resin, 2013(1):41-45.
- [67] 陈婷婷, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(9):94-97.
Chen Tingting, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(9):94-97.
- [68] 张永春, 等. 热固性树脂, 2013(2):46-49, 59.
Zhang Yongchun, et al. Thermosetting Resin, 2013(2):46-49, 59.
- [69] 雷圆, 等. 热固性树脂, 2013(4):21-24.
Lei Yuan, et al. Thermosetting Resin, 2013(4):21-24.
- [70] 朱红飞, 等. 热固性树脂, 2013(2):34-38.
Zhu Hongfei, et al. Thermosetting Resin, 2013(2):34-38.
- [71] 牟宗玉, 等. 塑料科技, 2013, 41(7):75-79.
Mou Zongyu, et al. Plastics Science and Technology, 2013, 41(7):75-79.
- [72] 郭亮志, 等. 塑料科技, 2013, 41(8):56-61.
Guo Liangzhi, et al. Plastics Science and Technology, 2013, 41(8):56-61.
- [73] 曲春艳, 等. 工程塑料应用, 2013, 41(8):83-88.
Qu Chunyan, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(8):83-88.
- [74] 胡睿, 等. 工程塑料应用, 2013, 41(9):10-14.
Hu Rui, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(9):10-14.
- [75] 何先成, 等. 热固性树脂, 2013(3):19-23.
He Xiancheng, et al. Thermosetting Resin, 2013(3):19-23.
- [76] 王登武, 等. 中国塑料, 2013, 27(9):52-56.
Wang Dengwu, et al. China Plastics, 2013, 27(9):52-56.
- [77] 傅洁玉, 等. 中国塑料, 2013, 27(10):40-45.
Fu Jieyu, et al. China Plastics, 2013, 27(10):40-45.
- [78] 王益群, 等. 工程塑料应用, 2013, 41(10):22-25.
Wang Yiqun, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(10):22-25.
- [79] 王坤, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(3):86-88, 93.
Wang Kun, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(3):86-88, 93.
- [80] 张文根, 等. 热固性树脂, 2013(5):46-48.
Zhang Wengen, et al. Thermosetting Resin, 2013(5):46-48.
- [81] 蒋宝林, 等. 塑料工业, 2013, 41(7):77-81, 94.
Jiang Baolin, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(7):77-81, 94.
- [82] 房晓敏, 等. 化工新型材料, 2013, 41(5):122-124.
Fang Xiaomin, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(5):122-124.
- [83] 于杨, 等. 化工新型材料, 2013, 41(10):60-62.
Yu Yang, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(10):60-62.
- [84] 凌鸿, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(7):76-79.
Ling Hong, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(7):76-79.
- [85] 刘晓丹, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(8):24-27.
Liu Xiaodan, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(8):24-27.
- [86] 顾奕, 等. 热固性树脂, 2013(2):6-12.
Gu Yi, et al. Thermosetting Resin, 2013(2):6-12.
- [87] 赵嘉成, 等. 热固性树脂, 2013(5):31-35.
Zhao Jiacheng, et al. Thermosetting Resin, 2013(5):31-35.
- [88] 凌鸿, 等. 热固性树脂, 2013(6):41-44, 48.
Ling Hong, et al. Thermosetting Resin, 2013(6):41-44, 48.
- [89] 支肖琼, 等. 热固性树脂, 2013(6):45-48.
Zhi Xiaoqiong, et al. Thermosetting Resin, 2013(6):45-48.
- [90] 李光珠, 等. 宇航材料工艺, 2013, 43(4):35-38.
Li Guangzhu, et al. Aerospace Materials & Technology, 2013, 43(4):35-38.
- [91] 章婷婷, 等. 绝缘材料, 2013(5):52-57.
Zhang Tingting, et al. Insulating Materials, 2013(5):52-57.
- [92] 王锐兰, 等. 塑料, 2013, 42(4):90-93.
Wang Ruilan, et al. Plastics, 2013, 42(4):90-93.
- [93] 陆悦, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(2):128-130.
Lu Yue, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(2):128-130.
- [94] 陈明锋, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(4):1-4.
Chen Mingfeng, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(4):1-4.
- [95] 张文政, 等. 塑料科技, 2013, 41(7):61-64.
Zhang Wenzheng, et al. Plastics Science and Technology, 2013, 41(7):61-64.

塞拉尼斯推出新型复材芯体导线

塞拉尼斯和北美最大的电线电缆制造商南线有限责任公司合作, 近日推出新型 C7TM 输电导线。该导线芯体采用多股 Celstran 连续纤维增强热塑性塑料线材 (CFR-TPR), 专为恶劣环境和可靠性要求较高的应用场合而设计。C7TM 由碳纤维与耐高温聚苯硫醚基体复合, 外覆高性能聚醚醚酮, 输电线芯体与相同直径钢芯铝绞线相比, 质轻、热膨胀和弧垂度小、能耐 180~225℃ 高温, 在严苛使用条件下寿命超过 40 a。多股芯体导线能避免出现单点故障, 且输送能力翻

番, 具有低成本、高性能、可靠性和耐用性好等特点。

(色母粒网)

拜斯特不饱和树脂装置沈阳竣工

拜斯特全新不饱和树脂生产装置于近日在沈阳市胡台开发区一期工程竣工。该装置年产 6 万 t 不饱和树脂及环氧树脂, 同时配备有胶衣车间。与另一座即将于今年第 2 季度投产的车船用胶衣色浆生产装置, 实现更佳的协同效应, 将有助于满足东北亚地区的汽车、船舶工业等高增长型行业对优质不饱和树脂及胶衣日益增长的需求。(色母粒网)