

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.05.028

2015 年我国工程塑料加工技术进展

吕召胜,谈桂春,赵志鸿,栾维涛

(《工程塑料应用》杂志社,济南 250031)

摘要:根据2015年国内公开发表有关工程塑料加工技术的文献,从成型加工工艺与技术、设备、模具设计及二次加工等方面综述了我国工程塑料加工技术的进展。

关键词:工程塑料;加工技术;注塑;挤出;设备;模具;模拟

中图分类号: TQ322

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2016)05-0116-010

Advance in Processing Technology of Engineering Plastics of China in 2015

Lyu Zhaosheng, Tan Guichun, Zhao Zhihong, Luan Weitao

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

Abstract : On the basis of domestic literatures in China in 2015, the advance in processing technology of engineering plastics in the respects of processing technology, processing equipment, mould design and finishing is summarized.

Keywords : engineering plastic ; processing technology ; injection, extrusion ; machinery ; mould ; simulation

根据2015年国内主要塑料类期刊发表的有关工程塑料加工技术的文献,笔者从塑料材料加工和塑料制品成型及其设备与模具等方面进行汇总,以飨读者。

1 成型加工工艺及技术研究

1.1 塑料材料加工技术研究

PE-HD/PE-LD 振动挤出预测模型 顺德职业技术学院等^[1]基于BP人工神经网络,研究高密度聚乙烯(PE-HD)、低密度聚乙烯(PE-LD)材料的振动挤出加工过程。结果表明,基于BP神经网络模型能很好地预测聚合物挤出加工特性参数,所建网络具有精确、高速、自适应等特点。

超声振动辅助挤出 PA6 中北大学^[2]在尼龙(PA)6的熔融挤出过程中引入超声振动外场,研究超声振动对PA6性能的影响。结果表明,引入超声外场后,PA6的结晶度提高,热力学稳定的 α 晶型所占比例提高;特性黏度和黏均分子量降低,熔体黏度降低;力学性能基本保持不变。

叠加振动剪切加工 PE-LLD 浙江大学等^[3]从聚合物流动性角度分析了叠加振动剪切与普通振动剪切的区别。通过对比实验发现,相比普通振动剪切加工试样,叠加振动剪切加工的线型低密度聚乙烯(PE-LLD)具有更加完善的结晶过程,结晶度提高至43.5%,同时,拉伸强度和拉伸弹性模量分别提高了11%和12.6%。

PVC 微纳层叠挤出技术研究 北京化工大学^[4]自主发明设计了一种微纳层叠装置,利用其在挤出过程中对聚合物熔体产生的持续剪切作用,制备了1层、9层、81层3种具有不同层数的聚氯乙烯(PVC)片材,发现沿挤出方向9层、

81层试样的取向度比1层试样分别提高了9.82%、15.08%;9层、81层试样的相对结晶度比1层试样分别提高了4%、5.9%;挤出方向拉伸强度分别提高了11.15%、26.16%。

螺杆构型对 PA6/PE-LD 共混体系性能的影响 北京化工大学^[5]在啮合同向双螺杆挤出机中,研究了熔体输送段分布混合元件和分散混合元件先后布置、交错/集中布置以及不同元件相同布置方式对PA6/PE-LD共混体系性能的影响。结果表明,混合元件交错布置的螺杆构型混合能力优于混合元件集中布置的螺杆构型的混合能力;交错布置的螺杆构型获得的共混体系力学性能也优于混合元件集中布置的螺杆构型获得的共混体系的力学性能。

螺杆构型对反应挤出制备 PE-HD/PA6 原位合金的影响 福建工程学院^[6]以己内酰胺(CL),PE-HD,马来酸酐接枝PE-HD(PE-HD-g-MAH)为主要原料,采用反应挤出法制备PE-HD/PA6原位合金,研究螺杆构型对PE-HD/PA6原位合金制备的影响。研究发现,停留时间长的螺杆构型,其对应的原位合金中CL单体转化率较高;在3种螺杆构型中,带有大导程拉伸元件的螺杆,所制备的原位合金中分散相PA6的粒径最小。

同向非对称双螺杆挤出 PE-HD/PS 共混体系沿程混合表征 广东轻工职业技术学院等^[7]借助PE-HD/聚苯乙烯(PS)共混体系,对同向非对称双螺杆挤出机螺槽充满程度以及螺杆输送机理做出简要分析,对挤出过程沿程混合相形态

联系人:吕召胜

收稿日期:2016-04-15

及分散相粒径统计分析表征。结果表明,同向非对称双螺杆挤出机中双头螺槽填充率高于单头,物料完全熔融后,粒径变化较小,而在同一径向长度,单头螺槽内分散相粒径略小于双头螺槽,并对这一现象进行了初步分析。

PLA用单螺杆挤出机熔体输送段数值模拟研究 北京工商大学等^[8]运用Polyflow分别对聚乳酸(PLA)用3种不同结构类型单螺杆挤出机熔体输送段进行模拟。结果表明,在相同工艺条件下,普通型单螺杆和菠萝型单螺杆熔体轴向速度波动较大,且产生局部回流区域,不利于熔体输送;菠萝型螺杆产生的流场速度和熔体黏度较高,使得物料在流场中受到更高的剪切速率,因此挤出产物的分散混合性能更好。

挤出工艺条件对 β 成核剂改性PP-R的影响 大连理工大学^[9]研究了不同挤出工艺条件下 N,N' -二环己基对苯二甲酰胺(DCHT)对无规共聚聚丙烯(PP-R) β 成核效果的影响。结果表明,加入质量分数为0.15%的DCHT会诱导PP-R中部分 α 晶转变成 β 晶;最优工艺条件为单螺杆挤出机料筒温度250℃、螺杆转速120 r/min,或双螺杆挤出机料筒温度230℃、螺杆转速170 r/min,此时改性PP-R的 β 晶相对含量达45.0%以上。

PP/LGF复合材料的注塑研究 河南工业大学等^[10]采用挤出熔融浸渍工艺制备了长度为12 mm的长玻璃纤维(LGF)增强聚丙烯(PP)粒料(LGF质量分数30%),然后经注塑制备了PP/LGF复合材料试样。首先对现有注塑机的喷嘴和止逆装置进行了优化,同时在挤出过程中使用张紧轮对LGF施加预张力。在此基础上,发现适当提高螺杆转速可提高LGF的分散性,并能保持一定的三维骨架结构,从而提高试样的力学性能。

欠注成型工艺对PP微孔发泡材料发泡行为的影响 贵州大学^[11]采用欠注塑发泡成型工艺,通过控制浇注时间制备了PP微孔发泡材料。研究发现,当浇注时间为1.6 s和1.8 s时PP发泡行为较理想,其泡孔平均直径分别为34.50 μm ,泡孔密度分别达到 3.0×10^5 、 2.8×10^5 个/ cm^3 。熔体温度为180℃时,PP发泡行为较理想。

超临界 N_2 注塑PP微孔发泡试样 现代汽车零部件技术湖北省重点实验室等^[12]通过仿真分析得到超临界 N_2 注射成型PP微孔发泡试样的泡孔结构与拉伸性能之间的关联机制,即泡孔尺寸与拉伸性能呈反比关系;然后利用控制变量法进行PP微孔发泡试样的超临界 N_2 注射成型实验。结果表明,在保持较短的注气时间和较高的注射速率下,通过调整注射温度可获得泡孔尺寸小、密度高且拉伸性能好的PP微孔发泡试样。

超临界 CO_2 微孔发泡PE-LLD/PE-UHMW共混物 宁波大学^[13]研究了PE-LLD/超高分子量聚乙烯(PE-

UHMW)共混物的超临界 CO_2 微孔发泡行为,发现随着发泡温度的升高,PE-LLD样品的泡孔结构会发生塌陷现象,而加入少量PE-UHMW可以提高基体的黏度,起到支撑孔壁防止塌陷的作用,并最终得到均匀的开孔结构。另一方面,当温度一定时,饱和压力升高可以降低孔径并且得到开孔形貌的泡孔结构。

EP/GF复合材料VIPR成型工艺 山西省高分子复合材料工程技术研究中心等^[14]以GF为增强材料,环氧树脂(EP)为基体,采用一种对真空辅助树脂传递模塑(VARTM)工艺的改进型成型工艺——真空室辅助VARTM(VIPR)工艺制备了EP/GF复合材料。VIPR工艺是在VARTM工艺的基础上附加了一个真空室,以增大纤维预成型体的渗透率。结果发现,存在附加真空室的情况下,树脂在纤维间的渗透率更高,最终得到的复合材料的力学性能更加优异。并且发现,附加真空室压强为50 kPa时,渗透率达到最大值,附加真空室的压强为30 kPa时综合力学能最佳。

单个聚合物颗粒在剪切流场中熔融模型的建立 华东理工大学^[15]采用FLUENT的VOF界面追踪方法模拟了聚合物颗粒在简单剪切流场下的变形、熔融和流动行为。利用PP颗粒在PE-HD熔体中的动态可视化实验进行验证,初步探讨了简单剪切流场下聚合物颗粒的熔融机理。从理论上建立了单个聚合物粒子在剪切流场中的熔融模型,得到了熔融时间与剪切速率之间的关系,对后续聚合物成型加工研究具有指导意义。

1.2 塑料制品成型工艺研究

PE-UHMW异型材挤出成型有限元模拟与实验 山东科技大学^[16]根据生产需求,设计了3字形PE-UHMW异型材挤出成型流道,并建立了该异型材挤出成型有限元模型,应用有限元软件Polyflow对挤出流道内的熔体流动情况进行了有限元模拟。结果表明,当模具压缩比与压缩角分别为2.5和25°、壁面滑移系数为 5×10^6 情况下,可获得较好的压力与速度分布,应用优化后的挤出模具制备了合格的PE-UHMW异型材。

旋转挤出制备具有偏离轴向杂化串晶结构的PP管 四川大学^[17]针对传统挤出加工PP管环向强度差的问题,将成核剂自成纤及旋转挤出技术引入PP管加工,利用稀土类 β 型成核剂WBG独特的自组装行为在PP管挤出过程中形成纤维结构并诱导 β 晶在纤维表面附生长,通过芯棒旋转调控自成纤成核剂偏离轴向排列。采用该方法制备的PP管环向强度可达33.9 MPa,较传统挤出PP管的19.4 MPa提高了74.7%。

PE热收缩片材挤出拉伸一次成型工艺研究 西北核技术研究所^[18]利用高分子材料“取向—解取向”原理,实现

了PE片材挤出拉伸一次成型。研究发现,提高拉伸率,降低拉伸距离均可提高片材收缩率,提高辊筒温度、拉伸速度,能小幅增加收缩率;在辊筒温度60℃、拉伸率45%、辊筒距离1.5 mm、拉伸速度2.4 m/min情况下,PE片材收缩率可达78%(10 min,120℃)。

一种聚合物表面微结构平板热压印连续成型的方法 北京化工大学^[19]提出1种聚合物表面微结构平板热压印连续成型方法,该方法是将聚合物基片从挤出机挤出后,通过两辊对基片进行初步压平定型,再利用表面快速加热装置对聚合物表面进行快速加热,使聚合物表面温度迅速高于其熔融温度使其熔融,然后进入联动式平板热压印,设备压印制备出具有表面微结构聚合物片材。该方法的主要特点是将聚合物挤出成型设备和微结构平板热压印设备实现联动,一步法实现平板热压印聚合物表面微结构的连续成型。

圆管件溢流法流体辅助注塑实验分析 华东交通大学^[20]基于自行构建的流体辅助注塑实验平台,对圆管件的溢流法气体辅助注塑(GAIM)和水辅助注塑(WAIM)进行了实验研究。实验发现,WAIM圆管件内壁光滑,而GAIM圆管件的内壁面存在“发泡”倾向,型腔截面越大,发泡越严重;与GAIM圆管件相比,WAIM圆管件的残留壁厚存在较明显的波动;溢流口截面相对型腔截面的突然变小对型腔末端的残留壁厚影响很大,应该流线过渡。

注塑工艺对ASA光泽的影响 上海大众汽车有限公司等^[21]采用双螺杆挤出机加入消光剂等助剂制备了不同光泽的高耐候丙烯酸酯-苯乙烯-丙烯酸酯塑料(ASA)。研究结果显示,在合理的注塑加工范围内,适当地提高注塑温度、模具温度和保压压力,以及适当地延长保压时间可以获得低光泽效果优异的注塑件。

手机壳体注射成型困气缺陷的消除方法 梧州学院等^[22]以注塑制品手机壳体为例,针对困气缺陷,利用Moldflow模拟熔体流动和熔接痕的形成机理,分析导致困气缺陷的原因。从模具和制品结构入手,提出前模增加排气镶块、修改制品料厚、困气区域增加浇口、增加辅助浇口等4种消除困气缺陷的解决方案。通过对比分析,增加一个辅助浇口,将熔体汇聚位置转移到易排气的反插骨位置是优选方案,经过试模生产,较好地消除了困气缺陷,提高了制品质量。

基于KPCA与MPSO-BP注射成型工艺参数优化 包头职业技术学院等^[23]提出一种融合核主元分析方法(KPCA)与改进粒子群算法优化BP神经网络的成型工艺参数优化方法。首先,对正交实验数据作为训练样本的工艺参数利用核主元分析方法进行降维、拨冗余,约减网络结构;其次,改进粒子群算法中粒子速度与位置更新策略并优化BP算法的权值和阈值,从而构建了工艺参数预测模型。在此基

础上,实现粒子群算法寻优最佳的注射成型工艺参数。该方法能够更快、更好地获得注射成型中的工艺参数,且以此工艺参数进行实验,塑料件的翘曲变形量、收缩率均较小。

基于EBF神经网络和粒子群算法的注射成型优化设计 天津大学^[24]基于拉丁超立方设计建立了椭圆基(EBF)神经网络模型描述注塑工艺参数与翘曲值间的函数关系,将EBF神经网络模型与Kriging模型对比,说明EBF神经网络模型可以准确地描述注塑工艺参数与翘曲值之间的函数关系,并结合多目标粒子群算法对工艺参数进行优化,并与邻域遗传算法优化结果对比,说明多目标粒子群算法的优点。结果表明,基于EBF神经网络模型和粒子群优化算法可以使塑料出水管翘曲值减小11.64%,同时使保压时间和冷却时间总和减小了2.13 s,从而在出水管批量生产过程中减少了生产时间。

基于卷积神经网络的注塑制品短射缺陷识别 华中科技大学^[25]以注塑制品的常见短射缺陷为研究对象,提出一种基于卷积神经网络算法的识别方法,克服了现有缺陷识别算法需手动提取特征、需要启发式方法的缺点。方法对传统卷积神经网络结构进行了大量改进,并优化网络参数,降低其算法消耗的时间。实验数据表明,网络对短射缺陷的识别率达到99.4%。另外,与BP神经网络进行比较,从实验可以看出方法识别率明显优于BP神经网络,具有很好的应用前景。

注射压缩成型工艺参数对厚壁PC制件厚度的影响 北京航空材料研究院^[26]考察了不同注射压缩成型工艺参数(两点间距、压缩速率和压缩行程)对聚碳酸酯(PC)平板制件厚度偏差及厚度分布的影响。结果表明,PC平板厚度随两点间距和压缩速率的增大而减小,两点间距和压缩速率是控制厚度精度的主导因素,而压缩行程对厚度影响较小。同时,研究结果表明,所有的PC平板均是上薄下厚的分布趋势,且不同的压缩工艺仅对厚度值大小有影响,而对PC制件的厚度分布趋势没有影响。

超声外场对微模具型腔填充性能的影响 大连理工大学^[27]针对微模具型腔填充困难问题,以细胞培养皿微型制件为对象,设计制造了具有抽真空排气和超声振动功能的微注塑模具。研究发现,当改变熔体温度时,施加超声振动比不加超声使PE-HD材料的微型腔填充率平均提高了10.14%,PP材料平均提高了6.28%。而工艺参数一定时,将超声功率增加到300 W,PE-HD材料的微型腔填充率提高了10.12%,PP材料提高了4.98%。

超声振动对GF增强PP复合材料注射成型特性的影响 大连理工大学^[28]利用自行开发的超声辅助可视化注射成型实验装置对不同含量的GF增强PP复合材料进行了超声外场作用下的可视化实验。结果表明,在纤维含量较低时,

超声振动对基体材料微观形态的作用为影响复合材料充填流动性及纤维取向的主因;在纤维含量较高时,超声振动对纤维的作用为影响复合材料充填流动性及纤维取向的主因。

非球面透镜注射压缩成型多级注射参数研究 大连理工大学^[29]结合非球面透镜的几何特征和光学要求确定了多级注射速度分布特征,并根据传统注塑成型熔体流动经验得出了多级注射速度转化位置理论值,然后通过短射试验优化了注射压缩成型过程中的多级注射参数。最后通过对比制品分级的理论值与实际值之间的差别,对厚壁光学元件注射压缩成型实验的结果进行了总结。

PS粉末SLS快速成型收缩率实验研究 中北大学等^[30]为了得到PS粉末的选择性激光烧结(SLS)快速成型最佳工艺参数,采用正交试验方法,结合SLS试验,分析影响烧结试样尺寸精度的4个主要因素,得到最佳工艺参数为:激光功率44 W、扫描速度1900 mm/s、铺粉层厚0.23 mm、预热温度70℃。此最佳工艺水平方向修正系数为1.0049,竖直方向修正系数为1.0050。在最佳工艺参数下烧结的修正尺寸后的试样满足精度要求。

基于CFD的流延膜冷却效率研究 华南理工大学^[31]以平行流道流延辊为研究对象,利用计算流体动力学软件对流延膜在流延辊上的冷却过程进行数值模拟,得到了不同流延膜厚度和流延辊转速条件下流延膜的温度场。结果表明,流延膜的冷却速率随流延膜厚度的增加而降低,流延膜的冷却效率和宽度方向上的温度分布均匀性随流延膜厚度的减小而提高。流延膜的冷却速率随流延辊转速的升高而降低,流延膜的冷却效率和宽度方向上温度分布的均匀性随流延辊转速的降低而提高。

熔体拉伸PE-HD和PE-LLD薄膜的制备 上海工程技术大学等^[32]以PE-HD和PE-LLD树脂为原料,采用转矩流变仪,借助熔体拉伸法制备了具有取向结构的PE-HD膜和PE-LLD膜。研究发现,熔体拉伸速率越高,PE-HD膜和PE-LLD膜的相对取向度越高,快速拉伸PE-HD膜和PE-LLD膜的相对取向度分别为2.043和1.556;随熔体拉伸速率的提高,PE-HD膜和PE-LLD膜的拉伸屈服应力和拉伸弹性模量提高,断裂伸长率降低。

丙烯-1-丁烯共聚BOPP结构及其薄膜拉伸工艺 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院塑料加工研究开发中心^[33]选取一种丙烯-1-丁烯共聚双向拉伸PP(BOPP)原料进行了薄膜双向拉伸加工实验。研究表明,所采用的丙烯-1-丁烯共聚BOPP原料的拉伸成膜性好,拉伸工艺可调节范围宽。拉伸温度较高时薄膜的雾度升高,力学性能降低;而拉伸温度较低时,薄膜易出现拉伸不均匀的情况。此外,BOPP中丙烯-1-丁烯共聚结构的存在降低了薄膜结晶度,

使得薄膜的光学性能较好。

等规PP的口模可拉性 四川大学^[34]采用口模拉伸技术成功制备了实际拉伸比达16以上的等规PP自增强线材。研究表明,提高拉伸温度或减小名义拉伸比,可拉伸速度均提高,对于名义拉伸比为3和5的口模,当拉伸温度分别提高至115℃和150℃时,拉伸速度可达到装置极限拉伸速度22000 mm/min;实际拉伸比随名义拉伸比的提高而增大;当拉伸温度小于115℃时,实际拉伸比随拉伸速度的提高而增大,当拉伸温度达115℃以后,提高拉伸速度,实际拉伸比则增大到一定值后趋于稳定。

基于GA-SVM塑料热压成型优化预测 中国石化扬子石油化工有限公司^[35]通过已有试验数据,建立起遗传算法-支持向量机(GA-SVM)塑料热压成型模型。试验表明,该模型实现了对塑料热压成型的智能优化预测;这种方法在塑料生产控制中具有广阔的应用前景。

环境温度对3D打印成型精度的影响 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院^[36]通过打印实验研究了在熔融沉积成型(FDM)工艺3D打印成型过程中,环境温度对成型制品成型精度的影响,并对原料性能、制品收缩率和翘曲率开展了研究。结果表明,环境温度越高,制品的翘曲率越低,即制品成型精度越高。

连续GF增强PP层合板铺放成型工艺 华东理工大学等^[37]以自制的连续GF增强PP预浸带为原料,通过铺放成型工艺制备层合板材。研究结果表明,在压力辊压力0.15 MPa、热风枪工作温度229℃、压力辊内导热油温度100℃、铺放平台底板温度95℃的最优工艺条件下,板材的层间剪切强度(ILSS)达到21.54 MPa,空隙率为1.23%。

复合材料管道连续编织-缠绕-拉挤工艺 哈尔滨理工大学等^[38]通过分析拉挤前后复合材料管道的几何结构,得出编织层纱束与缠绕层纱束在经过拉挤成型模具前后线型的变化关系,给出满足制品各层纤维均匀受力的编织-缠绕-拉挤工艺的线型设计要求;分别设计缠绕线型和编织线型;按设计的线型试制多种规格的复合材料管道,通过对比分析理论纱束角度与实际测量值,发现同一直径的管道,编织角的误差小于缠绕角的误差,两者均控制在1.5°以内,角度误差率均小于3%,且误差均随管道厚度的增大而减小,管道直径越大,编织角与缠绕角越接近实际值。

PVC板料渐进成形润滑方式研究 青岛理工大学^[39]采用数控渐进成形工艺,利用高速转动工具头与PVC板料间局部摩擦热以成形变角度圆锥制件,研究了皂液、40号机油、聚四氟乙烯脂、锂基高温润滑脂、水等5种不同润滑剂对PVC板料渐进成形性能的影响。结果表明,润滑剂对成形制件最大成形深度和最大成形角度的影响程度由大到小为:皂

液>40号机油>聚四氟乙烯脂>水>锂基高温润滑脂。与其它润滑剂相比,皂液作润滑剂时PVC板料具有较好的渐进成形性能和表面质量。

基于分区独立温度控制的IMD膜片加热均匀性研究 浙江工业大学^[40]在通过研究红外辐射加热理论,并结合实验建立红外辐射加热仿真模型的基础上,运用Matlab对模内装饰技术(IMD)膜片温度场分布进行仿真分析,研究了加热板的温度及其与膜片间的高度、加热时间及加热板面积大小对膜片温度场分布的影响。通过分析恒温加热板加热下膜片温度场分布的状况,提出对加热板实施分区独立温度控制,从而改善膜片加热温度的均匀性,扩大其有效成型区域。

缝合泡沫夹芯结构复合材料VARTM工艺中导流网铺放位置研究 南昌大学等^[41]对4种不同位置铺放导流网的缝合泡沫夹芯结构预成型体进行了VARTM工艺树脂充填实验。对实验结果进行分析得出:预成型体中加入一层导流网可以使上、下层纤维面板中树脂完成充填时间间隔变小;导流网铺放在预成型体下层纤维面板上不但缩短了上、下层纤维面板中树脂完成充填时间间隔,而且下层纤维面板中树脂流动较一致,利于提高预成型体树脂充填质量。

基于模具预先补偿法的大幅面CFRP制件形状精度控制 哈尔滨工业大学等^[42]针对控制大幅面CFRP制件成型后的形状精度这一关键技术问题,在剪切层法预测变形的基础上提出了一种改进的剪切层变形模拟方法。基于变形模拟方法建立了一种大幅面CFRP制件形状精度控制方法,这一方法通过将模拟获得的变形不断补偿于初始模具型面来降低最终制件的变形。通过与实验数据的对比,证明了采用控制方法可以有效提高成型制件的精度,降低变形。

2 设备及其改进

大型双转子连续混炼机转子混炼段混合性能研究 北京化工大学^[43]对 $\Phi 450$ mm大型双转子连续混炼机转子混炼段混合性能和力学性能进行研究。研究表明,转子啮合间隙对转子混合性能和力学性能影响最为显著,随着啮合间隙的增大,剪切应力、转子所受的轴向力和扭矩会逐渐下降;转子导程变化对转子力学性能的影响相对明显;转子正反段长度比不仅影响转子所承受的轴向力,而且还影响剪切应力分布,对转子所受扭矩影响不大。

双转子连续混炼机混沌型转子混合性能的研究 华东理工大学^[44]在提出一种新型混沌型转子结构的基础上,运用Polyflow软件对其混炼过程进行三维非牛顿等温模拟,并借助于粒子示踪法对物料所经历的流场特性进行统计学分析。结果表明,高混沌型转子的分布混合能力有较大的提高,同时保持着良好的分散混合能力;混沌型转子制备的复合材料力学性能优于经典转子;转子转速的提高可以增强混沌转

子的分散及分布混合能力,适当的加料速率是保证取得较好混合效果的关键因素。

异向旋转锥形双螺杆三维造型方法研究 北京化工大学^[45]采用端面曲线旋转和模拟机加工法两种方式对锥形双螺杆进行造型。研究表明,两种造型方法均不产生干涉;前者通过对螺棱顶角计算方法进行改进后,不仅得到了与设计参数一致的法向螺棱宽度,还具有更均匀的螺棱侧隙,较适于仿真模拟计算的建模和轴向齿廓形状较简单的锥形双螺杆的造型,后者更适于构建轴向齿廓形状更加复杂的螺杆实体。

三螺杆挤出机熔体输送能力的评价 北京化工大学^[46]通过三螺杆挤出机模拟机对熔体替代料进行挤出实验,对三角形排列三螺杆挤出机、一字形排列三螺杆挤出机及双螺杆挤出机的熔体输送能力进行了系统评价。结果表明,三角形排列三螺杆挤出机熔体输送能力及能耗水平优于其它类型挤出机,且无量纲参数评价体系具有很高的可靠性和更广泛的适用性,可用于挤出加工设备的选择。

双螺杆挤出机筒结构参数优化设计与分析 青岛科技大学^[47]为解决SJ-150双螺杆挤出机机筒因热变形而引起的磨损问题,提出了新的结构设计方案。并利用Pro/E和ANSYS Workbench构建的协同仿真优化平台,对新方案的机筒结构进行了优化分析,确定了机筒流道最佳位置、流道孔径以及机筒壁厚的最优值。通过与原方案的对比,结果表明,改进后的方案机筒整体热变形减小了15.4%,有效地减轻了机筒与螺杆间的磨损。

规则自组织模糊PID注塑机料筒温度控制 华中科技大学^[48]针对模糊比例-积分-微分控制器(PID)控制注塑机料筒温度时存在规则库依赖于塑料种类、料筒结构,人为确定困难等问题,提出了一种规则自组织模糊PID控制方法,可对模糊控制规则自适应在线修正。试验结果表明,该方法与模糊PID相比,喷嘴温度超调从2.6℃减小到0.9℃,稳态偏差从 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 减小到 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 。

基于单神经元自适应PID控制的注塑机合模机构 西南科技大学^[49]设计了一个单神经元自适应PID控制器,使用AME Sim/Simulink联合仿真机制,建立了注塑机合模机构液压伺服系统的模型。由仿真结果看,与常规PID控制器相比,使用单神经元自适应PID控制器控制的系统有着更好的鲁棒性,系统获得了更好的环境适应性。

基于分段PID的注塑机料筒温度控制算法研究与仿真 西南科技大学^[50]为了提高注塑机料筒温度控制器的适用范围和控制精度,针对目前同一型号注塑机在不同生产环境和工况条件下,根据生产原料不同,最佳注射温度都需要调整,而单一固定参数PID温度控制器超调有时过大、稳态误差有时不符合注塑要求的情况,基于现场PID参数调试

人员的经验提出分段PID料筒温度的控制方法,并且基于LabVIEW与MATLAB混合编程技术,建立了仿真系统。通过仿真测试研究表明,分段PID料筒温度控制比固定参数PID控制适用性强,控制效果更好。

塑料注塑机五点斜排双曲肘合模系统特性研究 顺德职业技术学院等^[51]推导出高速精密塑料成型机双曲肘合模机构弹性动力学模型,利用实振型叠加法进行弹性动力分析(KED)/准静态分析(KES);实测肘杆振动加速度信号,通过最小二乘法(LMS)消除趋势项、平滑处理和二次频域积分得到振动位移值,并与理论模型值作对比研究,证明了所建模型的合理性,为肘杆机构的优化设计提供了依据。

一种曲柄滑块浇注系统及其成型性能分析 华中科技大学^[52]分析了一种由曲柄滑块结构构成的全电动注塑机浇注系统,将该曲柄滑块浇注系统与滚珠丝杠浇注系统的成型性能进行了对比。结果表明,曲柄滑块浇注系统的注射和保压响应时间要优于滚珠丝杠浇注系统。但是由于曲柄滑块结构的特点,其响应过程具有强烈的非线性,亟待针对其结构特点优化相应的控制方法。

基于AMESim注塑机锁模回路的仿真分析 山东理工大学^[53]介绍了液压式注塑机合模装置及其特点。针对注塑机锁模回路需要高压来维持锁模稳定,设计了单作用增压缸式的高压锁模回路,在锁模完成后,采用了节流阀的泄压方式避免压力突变。概述了注塑机增压锁模回路的工作原理,采用AMESim软件对该系统进行了仿真分析,得到了较为理想的结果,对实际锁模回路的设计具有参考作用。

全电动注塑机注塑压力荷重元标定新方法 广东轻工职业技术学院等^[54]针对目前全电动注塑机注塑压力荷重元标定方法存在的缺点,提出了一种新的标定方法。该方法采用一种新型喷嘴注塑压力测量系统,利用压电效应原理,通过无破坏磁性安装方式,并在压力测量单元外部加装加热圈,使喷嘴和测量单元之间形成熔体通道,以致熔体注塑压力在几乎没有损失的情况下作用在传感器上,从而获取较为准确的注塑压力值,实现对注塑压力荷重元的标定。

塑料振动加工与样品成型一体化试验机的研制 浙江大学等^[55]基于英国剑桥大学的多通道流变仪,研制了一款塑料振动加工与样品成型检测一体化试验机。该试验机将振动等物理场作用与模具成型相结合,集剪切、加压、振动以及样品加工成型检测功能于一体,可直接在线监测聚合物相转变过程并成型得到检测试样,可实现多种实验功能。该仪器可用于多元场量作用下聚合物体系及各类混合物的加工性能与工艺条件之间影响规律的研究。

大型压制模用高分子粉体履平机的研制 株洲时代新材料科技股份有限公司等^[56]采用蜗轮蜗杆同步结构实现大

型压制模用高分子粉体履平机刮刀的精确调控,通过合理安排焊接顺序可避免主梁结构的焊接变形,实现调节机构的精密制造;利用有限元分析工具对样机模型进行结构优化。结果表明,结构优化后的机器质量明显减轻,完全满足设计要求和生产需要,在同行业具有很好的工程应用前景。

基于计算机视觉算法的塑料分拣系统 湖南师范大学^[57]提出了一种基于计算机视觉算法可同时分拣出塑料大小和颜色的系统,利用德国生产的彩色电荷耦合元件(CCD)摄像头进行塑料的图像采集,对采集图像进行灰度和边缘检测等处理后,引入二值化图像的面积和周长的计算方法,综合之后得出塑料的形状特征。在RGB(红绿蓝)颜色模式下对塑料的颜色进行检测,通过Canny边缘计算方法得到灰度图像中的中心坐标点,再确定目标塑料的坐标,所得的R,G,B值需换算为色度系中的r,g,b,才可以确定目标塑料的颜色。两种实验结果均可由计算机发送给分拣系统中的单片机分选执行,单片机根据需求将不合格的塑料准确剔除后还可分选出不同类别的塑料。

基于技术系统进化路线的塑料瓶回收器关键部件设计 苏州工业职业技术学院等^[58]基于技术系统进化理论设计了一种塑料瓶破碎刀具,满足了塑料瓶智能回收器的功能需求。利用技术系统进化理论的进化路线和进化树研究了塑料瓶破碎刀具的进化过程,选取物体分割进化路线为进化树树干,对各进化树枝进行进化和分析,最终确定引入智能、交互、网络系统的超系统方案为刀具的理想设计。

3 模具研究、设计及加工

塑料异型材挤出定型模冷却水路系统快速设计 武汉理工大学^[59]对塑料异型材挤出定型模冷却水路系统结构问题进行分析,在UG平台下,将分组设计思想和整体设计思想相结合,将冷却水路轨迹点线进行草图分组,分别获取不同水路草图组的标识,同时初步创建了多节挤出定型模的冷却水路系统;采用最小距离算法,对初步创建的冷却水路进行干涉检查;通过用户自定义对象的关联技术实现冷却水路轨迹点线与冷却水路的关联,实现冷却水路的同步修改。

塑料异型材挤出定型模CAD系统 武汉理工大学^[60]针对塑料异型材挤出定型模分型繁琐、孔多易干涉、定型板块重复性设计等问题,提出了整体式设计和参数化设计方案。设计了1套智能分型算法,自动创建分型片体,构建分型板块,当调用标准件时自动修改相应参数,智能加载。基于UG平台,以VC为开发工具,应用UG/Open二次开发技术和MFC技术,通过人机交互界面进行参数化设计,开发了塑料异型材挤出定型模CAD系统,规范了定型模设计流程,提高了定型模设计效率。

基于Imageware和UG技术的逆向曲面重构及模具设

计方法 浙江工业职业技术学院等^[61]采用逆向辅助技术,对一款结构较为复杂的某制品进行快速而精确的模具设计,先利用三维激光扫描仪得到其点云数据,再使用 Imageware 软件进行点云处理和曲面重构,然后在 UG 软件中进行三维造型及相应的优化设计,最终以最合理的设计方法得到完整的模具图,用于后续的模具加工与生产。

基于压电动态成型的厚壁塑料件注射模结构设计 常州工学院^[62]为避免厚壁塑料件在注射成型中出现内部缩孔、表面凹陷等缺陷,以某塑料件为例,根据动态成型的原理设计了一副基于压电动态成型的注射模具。利用压电陶瓷的逆压电效应具有高频、振幅精确可调、振动能量大等特点,将叠堆式压电陶瓷致动器引入到该模具结构中,通过电场控制和弹簧的共同作用驱动振动型芯往复运动,以实现型腔熔体的充填、保压和冷却过程进行动态控制。

轿车门拉手产品注塑模具脱模解决方案设计 东莞职业技术学院等^[63]针对轿车门拉手在模具设计中存在不同方向侧抽芯和带螺纹金属嵌件注塑等较难脱模的问题,通过机构设计将多个侧向抽芯机构变为一个双方向整体联动式侧向抽芯机构,并采用过渡嵌件的设计解决了铝合金螺丝嵌件脱模难的问题。

汽车油封盖内螺纹脱模机构及注塑模设计 杭州职业技术学院等^[64]介绍了一种圆盖状汽车油封盖产品的注塑模具结构设计,该产品内部设计有深牙内螺纹,为保证注塑后产品的顺利脱模,设计模具结构时,其螺纹型芯部分的设计采用了型芯块内缩式螺纹脱模机构设计,该脱模机构将型芯分割为六个下型芯分块,按其预定的内收距离大小分为两组,通过两组下型芯块在顶出时内收的速度和距离不同,在顶出结束时能实现两组下型芯块同时向中央收缩,但收缩距离不相等,因而相邻型芯块之间能产生运动间隙,使得各下型芯分块在水平面上都向中央靠拢,外侧面与产品脱离,从而实现产品脱模的目的。

自动脱螺纹注塑模液压马达脱螺纹与推板推出动作关系的工程分析 顺德职业技术学院等^[65]针对自动脱螺纹注塑模具中液压马达脱螺纹速度与弹簧驱动的推板推出速度可能存在不同步的问题,对液压马达脱螺纹动作规律进行了论述,对弹簧驱动的推板推出动作规律进行了运动学分析,通过对这两种动作规律的比较得出了一个结论,即在实际工程应用中选用的液压马达多为低速马达的情况下,液压马达轴向脱螺纹速度总是制约弹簧驱动的推板推出速度,从而实现了一种制约同步。

多种抽芯机构脱模的单筒望远镜镜体注塑模设计 广东工业大学^[66]分析了单筒望远镜镜体塑料件的结构工艺性,基于 UG 软件进行了模具整体结构的设计,确定了模具

的型腔布置及浇注系统形式,完成了侧向斜导柱外抽芯机构、分段式内螺纹的内滑块抽芯机构、全牙内螺纹的旋转脱内螺纹机构及定距分型拉紧机构的设计,阐述了模具的工作过程。模具结构新颖合理,生产效率高,对类似塑料件的模具结构有一定的示范借鉴作用。

基于 3D 打印的随形冷却水道注塑模具设计 华南理工大学^[67]以某机床冷却水泵叶轮塑料件的注塑模具为研究对象,采用不同的方案进行随形冷却水道的设计,利用 Moldflow 软件进行模流分析,选出冷却效果最优的冷却方案,并根据所确定的冷却方案进行随形冷却水道和型腔镶件的设计;然后利用 3D 打印中的选择性激光熔化技术进行加工制造,得到随形冷却水道与型腔一体的模具镶件;最后完成整个模具的装配,并注射成型出合格的叶轮塑料件。

一种饮料机分流瓶盖注塑模三次顺序抽芯滑块设计 浙江水利水电学院等^[68]介绍了一种饮料机分流瓶盖注塑模三次顺序抽芯滑块机构。机构第一次抽芯动作为中心镶件的抽芯,第二次抽芯为中央内抽芯凹形镶件的抽芯,第一、第二次抽芯为同步抽芯;第三次抽芯为第一滑块头镶件、第二滑块头镶件的同步抽芯。采用上述技术方案提供的抽芯机构,克服了模塑注塑成型工艺中,产品上有中央圆孔位、且为多层沉孔状孔位,同时中央内孔壁上侧面存在方孔侧抽芯位时,现有抽芯机构加工困难的问题。

汽车接头塑料件注塑模设计 烟台工程职业技术学院^[69]通过实例详细论述了利用滑块抽芯机构成型带有侧凹结构的塑料件,通过“伸缩型芯”的工作原理及设计方法,解决了在模具设计中侧凹零件的脱模问题,并且该机构在实际生产中运行平稳,无卡滞现象,说明了该机构的可靠性及设计原理的正确性。

模内贴标注塑模具的设计及成型要点 新疆工程学院^[70]综述了模内贴标(IML)技术的基本原理,并对 IML 注塑模具的制品结构、模具分型面、浇口等设计与普通注塑模具的设计进行了对比。结果表明,用 IML 注塑模具生产的制品要求脱模角度更大,外轮廓圆角半径至少 0.2 mm,制品收缩率相对较小,取 0.3% 为宜;为防止注射时将标签上的油墨冲开,IML 注塑模具的浇口处进料采用潜伏式;标签拾取主要采用静电吸附,并选择与制品收缩率相近的标签材料。

弯式尾部接头注塑模具设计 沈阳航空航天大学等^[71]根据弯式尾部接头较特殊的结构,设计了两瓣侧滑块凹模成型塑料件外形、组合式动、静模镶件成型塑料件内形、脱料板推出塑料件的注塑模具。开模时,斜导柱带动两侧滑块凹模侧向分型、动静模镶件沿开模方向抽出的动作过程;合模时,一对特殊工艺键和锁紧楔锁住两侧滑块,有效防止多余飞边产生,保证制品质量。

45°弯头管件注塑模设计 永高股份有限公司^[72]以1模8腔、1模4腔和1模2腔3类45°弯头管件规格为例,分别对其注塑模具中产品出模数、管件排列方式、模具的结构特点和动作步骤作了阐述。对于小规格45°弯头管件,为了增加出模数,提高生产效率,采用竖排式斜导柱抽芯模具结构;对于大规格45°弯头管件,为了便于模具加工与制造,保证模具质量,便于减小生产机型,减少投资、注塑成型成本,采用横排式套筒油缸抽芯模具结构。

汽车油箱密封盖注塑模具的研制 北京工业职业技术学院等^[73]针对油箱密封盖制品材料为醚酯型热塑性弹性体,制品有倒扣、不能正常出模的问题,在产品成型、顶出到产品脱落过程中,利用模具的多组动作,将产品弹性变形由成型形状变为使用形状,实现了自动脱模,满足自动化生产的要求。为便于成型部位的加工,模具采用合理的镶拼结构。因产品壁厚差异较大,在模板及凸模上设计了较多的冷却水道,保证了产品的成型质量,提高了精度和生产效率。

凸轮机构在聚合物动态成型模具中的应用 常州工学院^[74]针对聚合物动态成型模具中振动装置存在的问题,运用发明问题解决理论(TRIZ)对其进行分析,利用TRIZ冲突解决原理确定了其技术冲突,并找出解决问题的发明原理,根据发明原理所提供的思路与线索,对振动成型装置进行了创新设计。利用变速电机和凸轮旋转机构替代原有的驱动装置,消除了技术冲突。

超分子量聚乙烯滤芯双向压制烧结成型模具设计 江苏大学等^[75]针对PE-UHMW滤芯结构特点,设计了双向压制模具并介绍了该模具的结构特征及工作过程。根据PE-UHMW粉末的成型特点,设计了模内加热系统。该模具既达到制备PE-UHMW滤芯的要求,又符合微孔开孔成型的标准。

精密压塑模具逆向尺寸设计理论研究 北京化工大学^[76]论述了一种基于计算机数值模拟技术的精密压塑模具逆向尺寸设计理论,采用了模拟和实验相结合的研究方法,借助计算机辅助设计和辅助分析软件,模拟了制品生产过程中的模具状态,对理想制品逆向加载成型条件,还原脱模前制品关键尺寸,对模具变形型腔进行拟合、修正,并通过实验验证了该设计思路的正确性。

复合材料U形梁成型模具设计 中航工业沈阳飞机(工业)集团有限公司^[77]以复合材料U形梁为研究对象,采用CATIA三维软件对复合材料热压罐成型模具进行数字化设计。模具为框架式阳模结构,采用Q235钢焊接制造,对模具成型曲面进行补偿修正从而减小或消除热压罐成型过程中构件的变形,对两侧缘条各设置1°回弹补偿角以保证U形梁的尺寸精度和脱模要求。经工艺验证,采用该模具生产制造的

复合材料构件型面公差符合要求,U形梁变形角度控制在技术要求范围以内,满足产品技术条件和后续装配要求。

基于精密注塑曲面模具在机测量的补偿加工 浙江工业职业技术学院^[78]将在机测量技术应用到精密注塑曲面模具加工质量的检测中,通过在机测量系统探测模具曲面加工区域位置数据和曲面数字模型位置数据的差值,依据差值选择补偿加工,避免了常规手段在加工机床和专业测量设备之间反复搬移装夹工件造成的累积误差,提高了模具精度,节约了模具装配调试时间。

4 二次加工

脉冲激光改性聚氨酯表面无钼化学镀铜 华侨大学^[79]提出了一种在改性聚氨酯(PUR)材料表面进行金属化的方法。以掺杂了铜基金属复合粉末的PUR浆料为基体,采用SPI光纤激光器(波长1064 nm)对PUR表面进行刻蚀改性,达到传统化学镀铜中粗化和活化的目的,最后进行化学镀铜。制备的铜镀层光亮、致密、结合力强、导电性好、延展性优良。

碳纤维增强复合材料单向层合板直角自由切削热特性试验 上海交通大学等^[80]为揭示碳纤维增强复合材料(CFRP)切削温度与切削要素之间的关系,采用直角自由切削对CFRP单向层合板进行了切削试验。结果表明,对切削温度的影响程度由高到低的参数依次为切削速度、切削厚度、刀具后角和钝圆半径,切削参数对温度的影响效应不受纤维方向角的影响;不同于金属材料,CFRP纤维方向角对切削温度影响突出,顺纤维方向上的切削温度明显高于逆纤维方向上的;CFRP切削回弹对刀具后刀面与已加工表面的接触状况影响较大,从而影响切削温度,加剧了切削温度的各向异性特征;CFRP切削温度范围窄,最大切削温度在300℃左右,将导致切削质量对温度变化更为敏感。

参考文献

- [1] 陈学锋,等.工程塑料应用,2015,43(2):55-59.
Chen Xuefeng, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(2):55-59.
- [2] 赵越,等.工程塑料应用,2015,43(3):72-75.
Zhao Yue, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(3):72-75.
- [3] 苏良瑶,等.工程塑料应用,2015,43(6):39-43.
Su Liangyao, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):39-43.
- [4] 熊良钊,等.工程塑料应用,2015,43(8):47-50.
Xiong Liangzhao, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(8):47-50.
- [5] 崔同伟,等.中国塑料,2015,29(7):104-111.
Cui Tongwei, et al. China Plastics, 2015, 29(7):104-111.
- [6] 方辉,等.中国塑料,2015,29(10):98-102.
Fang Hui, et al. China Plastics, 2015, 29(10):98-102.

- [7] 喻慧文,等. 高分子材料科学与工程,2015,31(8):113-117.
Yu Huiwen, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(8):113-117.
- [8] 李梦林,等. 中国塑料,2015,29(11):102-107.
Li Menglin, et al. China Plastics, 2015, 29(11):102-107.
- [9] 张世鑫,等. 合成树脂及塑料,2015,32(1):1-5.
Zhang Shixin, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(1):1-5.
- [10] 刘若兰,等. 工程塑料应用,2015,43(10):46-51.
Liu Ruolan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):46-51.
- [11] 刘阳夫,等. 塑料工业,2015,43(9):61-65.
Liu Yangfu, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(9):61-65.
- [12] 李蓓,等. 工程塑料应用,2015,43(10):52-58.
Li Bei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):52-58.
- [13] 刘智峰,等. 工程塑料应用,2015,43(3):65-71.
Liu Zhifeng, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(3):65-71.
- [14] 于然,等. 工程塑料应用,2015,43(6):58-61.
Yu Ran, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):58-61.
- [15] 叶萍,等. 塑料,2015,44(1):72-76.
Ye Ping, et al. Plastics, 2015, 44(1):72-76.
- [16] 秦升学,等. 工程塑料应用,2015,43(4):50-54.
Qin Shengxue, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):50-54.
- [17] 皮林,等. 高分子材料科学与工程,2015,31(4):113-116.
Pi Lin, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(4):113-116.
- [18] 周文渊,等. 中国塑料,2015,29(8):87-90.
Zhou Wenyuan, et al. China Plastics, 2015, 29(8):87-90.
- [19] 敬鹏生,等. 塑料,2015,44(1):83-86.
Jing Pengsheng, et al. Plastics, 2015, 44(1):83-86.
- [20] 匡唐清,等. 塑料工业,2015,43(2):45-48.
Kuang Tangqing, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(2):45-48.
- [21] 朱春龙,等. 工程塑料应用,2015,43(7):57-61.
Zhu Chunlong, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(7):57-61.
- [22] 段家现,等. 工程塑料应用,2015,43(9):49-53.
Duan Jiaxian, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9):49-53.
- [23] 杨东民,等. 工程塑料应用,2015,43(12):42-47.
Yang Dongmin, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):42-47.
- [24] 张俊红,等. 中国塑料,2015,29(9):54-59.
Zhang Junhong, et al. China Plastics, 2015, 29(9):54-59.
- [25] 程文博,等. 塑料工业,2015,43(7):31-34.
Cheng Wenbo, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(7):31-34.
- [26] 葛勇,等. 高分子材料科学与工程,2015,31(4):117-120.
Ge Yong, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(4):117-120.
- [27] 于同敏,等. 高分子材料科学与工程,2015,31(5):99-104.
Yu Tongmin, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(5):99-104.
- [28] 姜开宇,等. 复合材料学报,2015,32(5):1330-1340.
Jiang Kaiyu, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(5):1330-1340.
- [29] 宋满仓,等. 塑料科技,2015,43(7):62-66.
Song Mancang, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(7):62-66.
- [30] 姜乐涛,等. 工程塑料应用,2015,43(4):41-45.
Jiang Letao, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):41-45.
- [31] 吴哲浩,等. 工程塑料应用,2015,43(1):64-68.
Wu Zhehao, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):64-68.
- [32] 吴芬,等. 工程塑料应用,2015,43(5):49-53.
Wu Fen, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):49-53.
- [33] 高达利,等. 合成树脂及塑料,2015,32(6):17-20.
Gao Dali, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(6):17-20.
- [34] 曾佳,等. 工程塑料应用,2015,43(11):35-38.
Zeng Jia, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):35-38.
- [35] 胡双俊,等. 现代塑料加工应用,2015,27(3):48-50.
Hu Shuangjun, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2015, 27(3):48-50.
- [36] 屈晨光,等. 塑料工业,2015,43(8):53-55.
Qu Chenguang, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(8):53-55.
- [37] 陈杰,等. 工程塑料应用,2015,43(5):43-48.
Chen Jie, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):43-48.
- [38] 许家忠,等. 工程塑料应用,2015,43(9):60-65.
Xu Jiazhong, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9):60-65.
- [39] 张晓博,等. 工程塑料应用,2015,43(10):36-39.
Zhang Xiaobo, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):36-39.
- [40] 姚杰,等. 塑料工业,2015,43(1):48-52.
Yao Jie, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(1):48-52.
- [41] 王科,等. 塑料工业,2015,43(12):41-44.
Wang Ke, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(12):41-44.
- [42] 毕凤阳,等. 复合材料学报,2015,32(2):355-364.
Bi Fengyang, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(2):355-364.
- [43] 张晓强,等. 工程塑料应用,2015,43(1):72-75.

- Zhang Xiaoqiang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):72-75.
- [44] 刘海涛,等. 中国塑料, 2015, 29(11):71-77.
- Liu Haitao, et al. China Plastics, 2015, 29(11):71-77.
- [45] 岳梦岩,等. 工程塑料应用, 2015, 43(10):66-70.
- Yue Mengyan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):66-70.
- [46] 杨昆晓,等. 中国塑料, 2015, 29(2):109-114.
- Yang Kunxiao, et al. China Plastics, 2015, 29(2):109-114.
- [47] 李锦伟,等. 塑料, 2015, 44(3):56-60.
- Li Jinwei, et al. Plastics, 2015, 44(3):56-60.
- [48] 罗帆,等. 工程塑料应用, 2015, 43(6):65-69.
- Luo Fan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):65-69.
- [49] 罗亮,等. 中国塑料, 2015, 29(11):108-112.
- Luo Liang, et al. China Plastics, 2015, 29(11):108-112.
- [50] 陶西孟,等. 塑料, 2015, 44(3):68-70.
- Tao Ximeng, et al. Plastics, 2015, 44(3):68-70.
- [51] 陈学锋,等. 中国塑料, 2015, 29(4):111-119.
- Chen Xuefeng, et al. China Plastics, 2015, 29(4):111-119.
- [52] 陈鹏,等. 塑料工业, 2015, 43(4):48-52.
- Chen Peng, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(4):48-52.
- [53] 胡鑫,等. 塑料, 2015, 44(1):107-109.
- Hu Xin, et al. Plastics, 2015, 44(1):107-109.
- [54] 陈金伟,等. 塑料科技, 2015, 43(11):78-81.
- Chen Jinwei, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(11):78-81.
- [55] 许忠斌,等. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(2):108-112.
- Xu Zhongbin, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(2):108-112.
- [56] 胡志海,等. 中国塑料, 2015, 29(6):107-112.
- Hu Zhihai, et al. China Plastics, 2015, 29(6):107-112.
- [57] 王洪. 塑料工业, 2015, 43(11):69-72.
- Wang Hong. China Plastics Industry, 2015, 43(11):69-72.
- [58] 黄华栋,等. 塑料科技, 2015, 43(9):67-71.
- Huang Huadong, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(9):67-71.
- [59] 杨书森,等. 工程塑料应用, 2015, 43(5):69-73.
- Yang Shusen, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):69-73.
- [60] 黄浪,等. 塑料, 2015, 44(2):108-112.
- Huang Lang, et al. Plastics, 2015, 44(2):108-112.
- [61] 郭恒亚,等. 工程塑料应用, 2015, 43(1):76-79.
- Guo Hengya, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):76-79.
- [62] 沈洪雷,等. 工程塑料应用, 2015, 43(2):74-77.
- Shen Honglei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(2):74-77.
- [63] 张燕琴,等. 工程塑料应用, 2015, 43(2):78-80.
- Zhang Yanqin, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(2):78-80.
- [64] 杨安,等. 工程塑料应用, 2015, 43(4):68-72.
- Yang An, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):68-72.
- [65] 畅国韩,等. 工程塑料应用, 2015, 43(5):78-82.
- Chang Guowei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):78-82.
- [66] 李振宇. 工程塑料应用, 2015, 43(9):75-79.
- Li Zhenyu. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9):75-79.
- [67] 刘斌,等. 工程塑料应用, 2015, 43(10):71-74.
- Liu Bin, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(10):71-74.
- [68] 高瑾,等. 工程塑料应用, 2015, 43(11):72-75.
- Gao Jin, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):72-75.
- [69] 苏慧祯. 工程塑料应用, 2015, 43(12):85-88.
- Su Huiyi. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):85-88.
- [70] 黄朝华,等. 合成树脂及塑料, 2015, 32(6):59-61.
- Huang Chaohua, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(6):59-61.
- [71] 王巍,等. 中国塑料, 2015, 29(4):107-110.
- Wang Wei, et al. China Plastics, 2015, 29(4):107-110.
- [72] 陈爱平. 中国塑料, 2015, 29(7):117-120.
- Chen Aiping. China Plastics, 2015, 29(7):117-120.
- [73] 高慧,等. 中国塑料, 2015, 29(11):113-116.
- Gao Hui, et al. China Plastics, 2015, 29(11):113-116.
- [74] 沈洪雷,等. 塑料工业, 2015, 43(6):35-38.
- Shen Honglei, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(6):35-38.
- [75] 王军丽,等. 塑料科技, 2015, 43(3):75-78.
- Wang Junli, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(3):75-78.
- [76] 韩伟,等. 塑料科技, 2015, 43(7):85-88.
- Han Wei, et al. Plastics Science and Technology, 2015, 43(7):85-88.
- [77] 韩培培,等. 玻璃钢/复合材料, 2015(3):73-77.
- Han Peipei, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2015(3):73-77.
- [78] 范伟,等. 工程塑料应用, 2015, 43(4):77-80.
- Fan Wei, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):77-80.
- [79] 平玉清,等. 工程塑料应用, 2015, 43(3):54-59.
- Ping Yuqing, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(3):54-59.
- [80] 文亮,等. 复合材料学报, 2015, 32(5):1469-1479.
- Wen Liang, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(5):1469-1479.