

我国高性能合成树脂发展战略研究

张丽平¹, 杨学萍¹, 初立秋², 盛依依¹

(1. 中国石化上海石油化工研究院, 上海 201208; 2. 中国石化北京化工研究院, 北京 100013)

摘要: 高性能合成树脂是支撑先进制造、新能源、电子信息等国家战略性新兴产业发展的关键基础材料。本文立足产业发展对高性能合成树脂的迫切需求, 着眼我国合成树脂行业长远发展, 采用文献调研、专家咨询等研究手段, 从高性能聚烯烃树脂材料、其他高性能合成树脂材料两个方面, 系统梳理了我国高性能合成树脂材料的技术发展趋势, 凝练合成树脂工业面临的技术与装备相对落后、部分高端产品尚无国产化技术、基础理论与方法研究薄弱、解决废弃塑料污染环境动力不足等问题。在分析高性能合成树脂材料关键技术的基础上, 研究提出行业发展建议: 利用现有装备和技术开发高端产品, 实现规模化应用; 加强高性能材料领域基础研究和人才培养, 保障技术创新; 开发生物可降解塑料, 促进可持续发展; 加强“产学研用”合作, 提高技术转化与应用效率。

关键词: 高性能合成树脂; 高性能聚烯烃; 产业趋势; 关键技术

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A

Development Strategies for High Performance Synthetic Resins in China

Zhang Liping¹, Yang Xueping¹, Chu Liqiu², Sheng Yiyi¹

(1. Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology, Shanghai 201208, China;

2. Sinopec Beijing Research Institute of Chemical Industry, Beijing 100013, China)

Abstract: High performance synthetic resin is a key basic material that supports the development of strategic emerging industries such as advanced manufacturing, new energy, and electronic information. In this article, we analyze the demand for high performance synthetic resins by industrial development and review the technical development trends of the industry in China in terms of high performance polyolefin resin and other high performance synthetic resins using the methods of literature research and expert consultation. Moreover, we summarize the problems of the industry including outdated domestic technology and equipment, foreign dependence on several high-end products, insufficiency in basic research, and inadequate efforts in solving the environmental pollution caused by waste plastics. After analyzing the key technologies regarding the high performance synthetic resins, we propose some industrial development suggestions. High-end products should be developed using existing equipment and technology and then put into large-scale application. Basic research and personnel training should be strengthened to guarantee technological innovation. Biodegradable plastics should be developed to promote sustainable development. Technical exchange and cooperation between petrochemical enterprises and universities should be enhanced to improve the efficiency of technology transformation and application.

Keywords: high performance synthetic resins; high performance polyolefin; industry trend; key technology

收稿日期: 2020-07-12; 修回日期: 2020-09-18

通讯作者: 杨学萍, 中国石化上海石油化工研究院高级工程师, 研究方向为高性能合成树脂材料; E-mail: yangxp.sshy@sinopec.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“新材料强国 2035 战略研究”(2018-ZD-03)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

合成树脂是世界三大合成材料之一 [1]，广泛用于农业、建筑、汽车、机械、电子等领域，在人类生活和社会发展中发挥着重要作用。合成树脂的高性能化研究主要是通过提高材料产品的技术含量、降低原料所占成本的比例、提升材料产品的应用性能、赋予绿色可持续的生态特性、改进材料产品服务等措施手段，提升产品的价值和竞争力。重点从原料多元化、催化剂技术、聚合工艺、设备大型化等方面加大研发力度，突破高端牌号聚烯烃材料的生产技术，同时重视废旧塑料的循环利用，提升塑料综合利用水平。开发光学级、电子级等特种合成树脂材料，满足高新技术领域的应用亟需。

高性能聚烯烃是先进合成树脂的发展重点之一。近年来，催化剂技术（如茂金属催化剂）、聚合工艺、聚合物加工技术等方面发展迅速，新型催化剂设计手段与调控手段（如金属-金属协同效应、配体次级配位效应、配体-底物效应、氧化-还原调控等）[2,3]、新型非均相聚合方法（如自稳定沉淀聚合）[4]，成为高性能聚烯烃高效制备的有效途径。聚烯烃高端牌号不断丰富、品质持续提高，如高熔体强度聚丙烯、高密度聚乙烯管材专用料、透明抗冲聚丙烯、电容器薄膜专用料等产品均实现了应用突破；光学级、膜级、电子级、增材制造用高性能合成树脂发展较快，在高端领域得到应用。

目前，我国合成树脂产量保持稳步增长，产品自给率逐年提高且应用领域不断拓展，产业整体发展态势良好。也要注意，随着新增产能不断释放、市场需求发生变化，合成树脂行业结构不合理的问题凸显：低端产品过剩，通用性聚乙烯、聚苯乙烯等产品利润附加值降低；高端产品严重缺乏，大量依赖进口。因此合成树脂行业亟待优化布局、加强创新，着力发展高性能产品，推动产业转型升级。本文从高性能合成树脂的发展需求出发，系统梳理技术发展趋势、研究分析面临的问题、提出产业发展建议，以期为我国合成树脂产业的长远发展提供借鉴。

二、高性能合成树脂需求分析

（一）国家战略性新兴产业发展的重大需求

《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》要

求发展壮大新一代信息技术、新材料等战略性新兴产业，高性能合成树脂作为先进制造类别的基础材料也被纳入发展规划。突破高性能合成树脂技术瓶颈，升级现有材料体系，满足重大工程和高端制造需求，是培养发展新动能、获取未来竞争优势的重要举措，也是支撑和拓展战略性新兴产业发展的必然途径。

（二）舒适、健康、高品质生活的客观需要

随着我国居民消费能力和消费水平的提升，人们对生活品质的要求越来越高，对高性能合成树脂产品的需求持续增加。绿色环保的合成树脂新产品可满足高品质生活的需要，如安全无毒的玩具和生活用品、高阻隔性食品包装材料等。为满足舒适出行的要求，利用高性能合成树脂制备低挥发性有机化合物（VOC）汽车内饰材料，具有阻燃、减振、降噪等效果的新型高速列车结构件及装饰件。可以预计，发展高性能合成树脂产品对提高人民生活质量有着重要作用。

（三）合成树脂行业转型升级的必然方向

我国合成树脂行业整体偏低端化，产品供应存在结构性短缺的问题。聚烯烃树脂是目前市场上产量最大、应用最广泛的高分子材料，但国内产品多为普通牌号，应用领域较为低端。一些聚烯烃高端牌号（如茂金属聚乙烯、茂金属聚丙烯、高碳烯烃共聚聚乙烯等）和特种聚烯烃（如乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVA)树脂、乙烯-乙烯醇共聚物(EVOH)树脂、聚丁烯-1等），在我国的消费量达 1.138×10^7 t/a，自给率却低于 40%。夹层玻璃用聚乙烯醇缩丁醛(PVB)膜、电子级环氧树脂和动力电池用聚偏氟乙烯(PVDF)隔膜等高端合成树脂则基本依赖进口 [5]。因此，在我国化工行业加快新旧动能转换、实施供给侧改革的形势下，发展高性能合成树脂是合成树脂行业调结构、转方式、推动产业转型升级的重要出路。

三、高性能合成树脂技术发展趋势

（一）高性能聚烯烃材料

1. 开发原料多元化技术

原料多元化是未来我国聚烯烃行业发展的重要

特征。目前我国聚烯烃产业已经从石脑油裂解工艺独占鳌头的时代,进入煤油竞争阶段。伴随着诸多轻烃资源的进入,烯烃类原料将以低成本优势在聚烯烃行业赢得一席之地 [6]。以聚乙烯为例,尽管油制聚乙烯产能占比高达 77%,煤化工工艺产能占比快速提高至 19%,成为聚乙烯扩能的主要方向;外购甲醇占比仅为 4%,后期仍将继续下降。相较而言,聚丙烯原料多元化进程更为迅速,尤其是煤制工艺和丙烷脱氢 (PDH) 工艺呈快速增长趋势。目前煤制工艺产能占比为 23%,PDH 工艺产能占比为 8%,而传统的油制聚丙烯工艺产能则下降至 55% [7]。利用多元化原料制备高性能聚烯烃的技术关键在于优化进料控制和保障原料品质,通过工艺优化来灵活采用多种原料进行生产。

2. 提升催化剂技术

聚烯烃催化剂研究已从最初的注重提高催化剂效率转向改进产品综合性能 [8],主要目标是提高催化剂对聚合物性能的控制能力。茂金属催化剂实现了聚合链长度、分支度和立构规整性的精细调节。相比传统的齐格勒/纳塔催化剂,采用茂金属催化剂制备的聚烯烃产品结构具有更好的规整性、可调控性、产品性能 [9]。2017 年,国内自主开发的载体型茂金属聚丙烯催化剂在间歇式液相本体聚丙烯装置 (8×10^4 t/a) 首次投入使用,填补了国内技术空白。茂金属催化剂凭借其活性高、单一活性中心、共聚能力强等优点仍将不断发展,进而更加精确控制聚合物分子构型、定制生产满足最终用途的产品。相关技术的研究重点在于进一步改善茂聚烯烃的形态,加宽其相对分子质量分布范围,降低昂贵的助催化剂甲基铝氧烷 (MAO) 用量,进一步降低茂金属催化剂成本。

此外,二亚胺钨、水杨醛亚胺镍、磷磺酸钨催化等催化体系的开发,实现了极性单体与烯烃的共聚反应,显著提高了聚合物的表面性能、黏附力、柔韧性、耐溶剂性、流变性,以及与其他聚合物、高分子材料助剂的共溶和共混性,这也是未来发展的趋势之一。

3. 多种聚合工艺共存

长期以来,在聚烯烃工艺技术领域,一直是多种工艺并存,各展其长,同时新技术不断涌现。聚丙烯聚合工艺数量超过 20 种,其中溶液法和浆液法逐渐被淘汰,本体法和气相法保持优势,尤其以

Unipol、Novolen、Innovene 等为代表的气相法工艺近 10 年来发展很快;多区循环反应器技术也正在兴起。聚烯烃弹性体 (POE) 聚合工艺以美国陶氏化学公司开发的 Insite 溶液法聚合工艺、埃克森美孚公司开发的 Exxpol 高压聚合技术为主。近年来,基于 Insite 催化剂技术成功发展了新型链穿梭聚合技术,获得了高性能烯烃嵌段共聚物 [10,11]。

4. 装置趋于大型化

伴随着乙烯装置大型化发展、聚烯烃工艺及工程技术进步,聚烯烃生产装置亦趋向大型化,相关装置的单线生产规模从 20 世纪末的 2×10^5 t/a 发展到当前的 $4 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$ t/a,生产经济性明显提高。我国在建的聚丙烯项目总产能超过 1×10^7 t/a,单线装置产能大都超过 3×10^5 t/a;大型聚烯烃生产设备研发进展显著,国产首台 2×10^5 t/a 聚丙烯大型挤压造粒机组打破了国外垄断;国产规模最大的聚乙烯大型挤压造粒机组的研发与应用通过了成果鉴定,即将投入工业应用。

5. 涌现高端牌号产品

聚烯烃产品技术以提高产品综合性能为目标,致力于开发新品种,提高产品附加值,扩大产品应用领域。在聚乙烯方面,改进共聚单体开发出的耐热聚乙烯 (PE-RT) 已用于建筑物采暖,通过优化聚乙烯双峰聚合工艺开发出具有更好低熔垂和耐开裂性能的大口径聚乙烯管材用于油田和物流运输,开发了茂金属聚乙烯新产品以及能够用于锂电池隔膜的超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 产品。此外,包括医疗器械/医用防护用品用聚丙烯材料、抗菌聚丙烯材料、低可溶出物的丙丁共聚聚丙烯、低 VOC 聚丙烯材料在内的新产品新牌号也在不断涌现。

6. 重视废旧塑料的回收利用

在自然环境下,塑料制品应用后难以自然分解,加之聚烯烃塑料制品应用分散、使用周期短,因此构成了环境负担,回收利用成为世界关注焦点。废弃塑料回收利用技术主要有直接再生、改性再生、化学回收等。化学回收法通过热裂解、催化裂解和热裂解-催化改质等方式,改变塑料大分子的键合状态,使其分解产生各种低分子化合物或低聚物;可用于生产燃料油、燃料气和化工原料,成为最具发展前景的回收利用方法。

(二) 其他高性能合成树脂材料

1. 光学级合成树脂

光学级合成树脂主要用于光学纤维、发光二极管透镜、液晶显示器导光板、光伏电池、高端液晶显示器扩散膜和增亮膜、触摸屏保护膜等方向，发展潜力巨大。在光学级聚酯薄膜方面，重点发展方向有建立关键性成型技术指标与光学特性的关系，改进现有同步双向拉伸生产制造设备，优化在线多功能精密涂布成型技术 [12]。在光学级聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 方面，针对表面硬度不够、耐热性差、冲击强度不高等短板，重点提升材料的抗冲击强度、耐热性、流动性与加工性能，同时注重开发功能化材料，如吸收紫外线 PMMA、光致变色 PMMA 等复合材料。

2. 电子级合成树脂

电子级合成树脂主要包括环氧树脂、酚醛树脂、硅树脂等品种。电子级环氧树脂在覆铜板基材方面用量最大，其次是半导体和集成电路封装材料，未来朝着低成本、阻燃、耐热、高模量、绿色环保、可降解、材料复合的方向发展 [13]；针对覆铜板、电子封装的特定需求，结合品种选择、固化技术、配合技术等开发定制化产品。电子级酚醛树脂主要用于覆铜板和集成电路封装领域，随着终端应用产品朝着轻薄、多功能化、高频高速化、绿色环保化方向发展，开发高性能、多样化的材料产品成为重点；采用无机元素改性、结构改性和共混改性等手段提升酚醛树脂性能，还可开发苯并噁嗪树脂等新子类。硅树脂具有优异的热氧化稳定性、电绝缘性能、耐潮、防水、防锈、耐寒、耐臭氧等性能，在绝缘漆浸渍 H 级电机及变压器线圈、半导体封装材料、电器零部件绝缘材料等方面应用广泛；未来重点开展硅树脂结构与应用性能关系研究，开发结构可控的硅树脂以及用于芯片、电路板等特种硅树脂。

3. 膜级合成树脂

膜级 PVB 由 PVB 树脂 (含量约为 70%) 经增塑剂塑化后挤压成型，主要用于夹层安全玻璃、航天器、精密仪器等技术领域，关键在于原料质量、生产工艺、膜制备工艺。当前最先进的 PVB 膜生产技术是挤出流涎法；也可利用多层共挤技术，在两层或多层 PVB 薄膜中间复合某种特定新材料来构成复合型 PVB 薄膜，具有高效隔热 / 隔音功能以满足特殊领域应用需求。

PVDF 膜具有机械强度高、热稳定性好、耐化学性强、耐水性高等优点，用作水处理过滤膜、医用透析膜、高性能锂电池隔膜等。由于疏水性强，PVDF 膜进行亲水改性具有实用价值。综合考虑改性方法与制膜工艺，简化改性步骤并降低改性成本以适应工业化应用，也将是重要研究方向。

4. 其他小类

增材制造用丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯 (ABS) 树脂主要以丝材形式用于熔融挤出成型技术。增材制造个性化定制消费成为全球性趋势，开发耐候型丙烯酸酯 - 苯乙烯 - 丙烯腈 (ASA) 树脂、高耐热 ABS、透明 ABS、低收缩 ABS 等专用料是重要的研发方向。采用合金化、复合化、化学改性等技术手段提高 ABS 树脂材料的机械性能和加工性能，更好适应高端应用需求。

高速铁路用聚氨酯凭借优异的耐磨性，较高的强度和弹性，良好的抗冲击性、耐疲劳性和低温柔顺性，在无砟轨道灌封填充、道碴胶、弹性垫板、防水涂料等领域应用广泛。推广固定道床技术，开发节能与环境友好型聚氨酯生产技术，掌握高端聚酯多元醇、高品质聚酯多元醇、新型关键助剂等关键原料生产技术，满足高速铁路建设对高性能材料的需求。

在聚氯乙烯 (PVC) 树脂高端专用料方面，目前主要通过改变聚合方法、共聚改性等手段对 PVC 进行改性，提高热稳定性和加工性能 [14]。针对应用需求和塑料产品性能要求，优化 PVC 加工工艺和设备来进一步拓宽材料应用范围，主要有管道 / 管件用氯化聚氯乙烯专用料、人造革 / 墙纸用糊状聚氯乙烯树脂、医用高聚合度聚氯乙烯热塑性弹性体树脂，气管插管用环己烷 -1, 2- 二羧酸二异辛酯增塑 PVC 专用料、高交联度 PVC 建筑用密封条专用料等高端系列产品。

四、我国高性能合成树脂发展面临的问题

(一) 技术与装备相对落后，生产技术成熟度不高，产品市场认知度较低

受限国外专利，尤其是聚偏二氯乙烯等很早就被列为国家战略性材料，我国高性能合成树脂领域的核心技术受制于人，技术与装备水平有待提升。国内高端产品正处于研发、试生产和应用推广阶段，

但生产技术成熟度不高,产品质量稳定性与国外还有差距;同时市场认知度较低,如国内企业倾向于使用进口聚丁烯-1材料生产高端医疗器具。国产EVA产品牌号相对单一、以中低端为主,市场占有率较低,而绝大多数高端产品仍然依赖进口。由于无法得到市场的可靠验证与及时反馈,我国高性能合成树脂的研发与应用步伐受到阻滞,在一定意义上形成了恶性循环。

(二) 部分高端产品尚无国产化技术,产品较多依赖进口

以茂金属聚合工艺技术为典型,我国从20世纪90年代开始组织国家技术攻关,但目前无论在催化剂的结构设计、聚合工艺,还是产业化规模、产品型号等方面都难以满足市场需求[15],茂金属聚烯烃消费的自给率不到30%。国内EVOH树脂合成尚未工业化,虽已建成中试装置,产品也开始试用,但距离工业化生产还有一段距离。此外,膜材料制备也是尚未掌握的核心技术,如夹层玻璃用高端PVB膜、动力电池用PVDF黏结剂、离子交换PVDF膜、压电膜、介电膜等基本依赖进口。

(三) 行业基础研究薄弱,自主创新能力不足

国内进入高性能合成树脂领域的时间较晚,加之科研投入偏低,使得行业基础研究薄弱,创新人才尤其是领军人才缺乏。产品研发与应用环节脱节,导致新材料推广应用过程缓慢。专利申请量方面可以体现差距,如电子封装用环氧树脂领域的全球专利申请方面,日本公司的比例高达68%,美国公司约占13%,而国内公司仅占6%。技术研发成果的薄弱直接反映了自主创新能力的欠缺。

(四) 解决废弃塑料污染环境问题的努力不够

由于常规合成树脂难以降解,塑料制品使用后随意废弃造成的环境污染问题趋于严重,开展废弃塑料循环利用、开发可降解材料成为人类共同努力的方向。我国作为世界塑料生产和消费量第一大国,废弃塑料总量约为 4.2×10^7 t/a,其中包装应用占比达59%;然而废旧塑料回收率不足10%,且回收利用以物理再生为主,与国际上的物理再生、能量回收、化学还原、用作固体燃料等多种方式相结合的

做法相比,处理过程的技术含量和附加值较低。在生物可降解材料方面,国内存在装置规模小、品种少、成本高等现实问题。

五、高性能合成树脂关键技术分析

高性能合成树脂应用范围广,市场需求持续增长,行业发展前景较好。未来我国合成树脂行业需要持续提升技术,突出高端化、功能化发展方向,进一步拓展市场规模[16]。高性能合成树脂开发主要有以下途径:引进国外高端产品生产装备、高端牌号生产技术,学习-吸收-再创新;利用现有装备及技术进行高端产品开发,优化产品体系;自主开发催化剂、聚合工艺、加工技术等核心关键技术,投产具有自主知识产权的高端产品。

(一) 新型聚烯烃催化剂制备技术

茂金属催化剂是国内开发茂金属聚烯烃产品、实现高端产品国产化的重要突破口。通过催化剂和关键配套工艺技术的突破,推动己烯-1/辛烯-1等 α -烯烃共聚聚乙烯、茂金属聚乙烯等已有一定产业化基础的产品进一步提升规模、提高自给率,实现茂金属聚烯烃的工业规模生产。为实现聚烯烃的官能团化,改善表面性能、黏附力、柔韧性、与其他材料的相容性,二亚胺钨、水杨醛亚胺镍、磷磺酸钨等新型催化体系也是重点攻关方向。

(二) 溶液聚合工艺技术

溶液聚合工艺适用性广,在聚烯烃领域可以生产高密度聚乙烯、线性低密度聚乙烯、聚合物多元醇(POP)、POE、 α -烯烃等多种产品。应用高活性茂金属催化剂,可以避免聚合后催化剂的洗脱,从而降低过程能耗。由于反应需要在高温下进行,因此研究重点在于开发耐高温、高活性、高共聚能力的催化剂,研究与该催化剂相关的聚合动力学、聚合反应器混合与传热过程强化机理。

(三) 合成树脂高性能化和功能化改性

加强化学改性、结构改性、共混改性等技术研究,提高材料的力学性能、耐环境性能以及加工性能,推出多牌号专用料产品,促进通用合成树脂的

高性能化。加强材料的功能化开发,使合成树脂材料具有某些特殊性质,满足紫外线吸收、光致变色等特殊场合需求。

(四) 先进加工工艺

为了实现高性能合成树脂的多功能化、复合化,应深化聚合物加工工艺与制品性能的关系研究,优化高性能合成树脂共混、填充及增强改性等加工工艺;开发先进的树脂基复合材料成型工艺及相关配套设备,推进树脂传递模塑成型工艺以及双向拉伸、挤出流延、多层共挤等薄膜成型工艺的规模化应用,实现整个工艺过程的高效、节能和集成化。

六、对策建议

(一) 利用现有装备及技术开发高端产品,实现规模化应用

在高性能聚烯烃材料方面,加快开发高压聚乙烯、溶液聚合聚乙烯等重点产品领域的催化剂、工艺、加工技术,尽快实现茂金属催化剂制备、三甲基铝规模化生产、万吨级 MAO 生产装置建设。在现有装备及技术条件下,实施技术攻关来发展高端牌号,生产高度聚烯烃。

在其他高性能合成树脂方面,密切跟踪国际上的领域进展和产业发展的新变化,瞄准产品高端化、差异化、专用化的发展目标,大规模应用自主开发的催化剂、聚合、加工等核心关键技术;生产具有自主知识产权的高性能产品,如电子级环氧树脂、聚偏氟乙烯等高端合成树脂材料,逐步实现国内规模化应用。

(二) 加强基础研究和人才培养,保障技术创新

合理加强基础研究与应用基础研究方面的投入力度,以实现合成树脂材料的高性能化、功能化为导向,加快新一代聚烯烃催化剂、聚合反应精确控制、合成树脂原位合金化和纳米复合化等方面的技术突破。深入研究关键性成型技术指标对材料性能和微观结构的影响,促进新结构、新组成的高性能合成树脂技术实用化。

注重高性能合成材料领域的人才培养,基于高等院校的专业学科与人才培养优势,强化企业实践教学,形成高等院校、科研机构和企业联合培养人

才的机制,构建材料科学与工程人才的特色培养体系。制定人才引进规划,完善柔性引才用才机制,加大高层次人才引进力度。建立灵活的人才管理机制,统筹推进人才队伍建设,合理鼓励和支持科技人员创新创业,为创新团队、创新人才的培育提供良好的生态和环境,通过“智慧先行”来提升原始创新能力。

(三) 开发生物可降解塑料,促进可持续发展

生物可降解材料是解决塑料垃圾污染的重要途径,是产业未来发展的主要趋势。随着世界各国限塑及禁塑政策的持续推进,生物可降解塑料市场潜在需求巨大。建议高度重视并加快可降解材料的研发、产业化和应用,以精准把握主攻方向来实现塑料行业的可持续发展。

具体而言,可重点发展淀粉或聚乳酸改性聚乙烯、聚丙烯,使其成为可降解聚烯烃材料,包括聚乳酸和聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯、聚丁二酸丁二醇酯、聚丁二酸/对苯二甲酸丁二醇酯在内的可降解聚酯。

(四) 加强“产学研用”合作,提高技术转化与应用效率

建议生产企业加强与科研机构、高等院校、应用终端的交流与合作,针对明确应用需求,发挥各自优势,构建研究、开发、生产的“利益共同体”。联合开展“卡脖子”技术、补短板技术、颠覆性技术攻关,建设必要的中试装置,提高成果转化效率。

建设一批高水平、开放式的公共创新平台和创新联盟,面向新能源、先进制造等领域的国家重点工程和战略新兴产业,构建科研、设计、工程、生产、市场紧密衔接、完整高效的技术创新链条。

参考文献

- [1] 龚云表,石安富.合成树脂与塑料手册[M].上海:上海科学技术出版社,1993.
Gong Y B, Shi A F. Handbook of synthetic resins and plastics [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1993.
- [2] Chen C L. Redox-controlled polymerization and copolymerization [J]. ACS Catalysis, 2018, 8(6): 5506–5514.
- [3] Chen C L. Designing catalysts for olefin polymerization and copolymerization: Beyond electronic and steric tuning [J]. Nature Reviews Chemistry, 2018, 2(5): 6–14.
- [4] 陈冬,马育红,赵长稳,等.自稳定沉淀聚合原理、方法及应用

- [J]. 中国科学: 化学, 2020, 50(7): 732–742.
Chen D, Ma Y H, Zhao C W, et al. Self-stabilized precipitation polymerization: Principle, method and application [J]. SCIENTIA SINICA Chimica, 2020, 50(7): 732–742.
- [5] 中国石油和化学工业联合会. 中国石化市场预警报告 (2019) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
China Petroleum and Chemical Industry Federation. Early warning report of China petrochemical market (2019) [M]. Beijing: Chemical Industry Press Co., Ltd., 2019.
- [6] 郑立军. 原料多元化背景下的中国聚丙烯行业现状及发展趋势 [J]. 中国石油和化工经济分析, 2019 (7): 42–45.
Zhen L J. Current situation and development trend of polypropylene industry in China under the background of diversified raw materials [J]. Economic Analysis of China Petroleum and Chemical Industry, 2019 (7): 42–45.
- [7] 张秀娟. 我国聚烯烃行业加快向多元化方向发展 [J]. 中国石化, 2018 (2): 76.
Zhang X J. China's polyolefin industry is speeding up its diversification [J]. Sinopec Monthly, 2018 (2): 76.
- [8] 袁晴棠. 聚烯烃技术发展趋势 [J]. 当代石油石化, 2004, 12(5): 3–12.
Yuan Q T. Development trends of polyolefin technology [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2004, 12(5): 3–12.
- [9] 郑宁来. 我国茂金属聚烯烃从催化剂开发入手 [J]. 合成材料老化与应用, 2019, 48(1): 131–132.
Zheng N L. Metallocene polyolefin in China starts from catalyst development [J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2019, 48(1): 131–132.
- [10] 李伯耿, 张明轩, 刘伟峰, 等. 聚烯烃类弹性体——现状与进展 [J]. 化工进展, 2017, 36(9): 3135–3144.
Li B G, Zhang M X, Liu W F, et al. State-of-the-art and research progress of polyolefin-based elastomer [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2017, 36(9): 3135–3144.
- [11] Lin Y J, Marchand G R, Hiltner A, et al. Adhesion of olefin block copolymers to polypropylene and high density polyethylene and their effectiveness as compatibilizers in blends [J]. Polymer, 2011, 52(7): 1635–1644.
- [12] 黄永生, 马云华, 任小龙, 等. 光学领域用双向拉伸聚酯基膜成型技术研究进展 [J]. 中国塑料, 2017, 31(7): 1–8.
Huang Y S, Ma Y H, Ren X L, et al. Research progress in processing technology of optical grade BOPET films [J]. China Plastics, 2017, 31(7): 1–8.
- [13] 杨菲, 李凡, 师剑英. 覆铜板用环氧树脂现状及其新的性能需求 [C]. 东莞: 第十八届中国覆铜板技术·市场研讨会, 2017.
Yang F, Li F, Shi J Y. Current situation and new performance requirements of epoxy resin for copper clad laminate [C]. Dongguan: Proceedings of the 18th China Copper Clad Laminate Technology and Market Seminar, 2017.
- [14] 高中峰. PVC 改性和加工应用工艺研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6): 150–153.
Gao Z F. Research progress on modification and processing application of PVC resin [J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6): 150–153.
- [15] 付瑶, 张少蒙, 时子海, 等. 我国茂金属催化剂与茂金属聚烯烃弹性体的现状与存在问题 [J]. 北京: 第十四届中国橡胶基础研究研讨会, 2018.
Fu Y, Zhang S M, Shi Z H, et al. Status and problems of metallocene catalysts and metallocene polyolefin elastomers in China [J]. Beijing: The 14th China Rubber Foundation Research Seminar, 2018.
- [16] 杨延飞, 王殿铭, 杨桂英. 中国合成树脂产业面临的机遇与挑战 [J]. 当代石油石化, 2018, 26(2): 1–4, 10.
Yang Y F, Wang D M, Yang G Y. Opportunities and challenges for healthy development of synthetic resins in China [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2018, 26(2): 1–4, 10.