

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.11.029

PP 在热成型包装领域应用及发展

刘春阳¹, 梅平²

(1. 中国石化化工销售有限公司华北分公司, 北京 100120; 2. 《解放军健康》杂志社, 济南 250014)

摘要: 介绍了热成型基本原理及特点、国内热成型包装市场现状、热成型食品包装用聚丙烯特点及发展, 重点介绍了国内聚丙烯 (PP) 在热成型包装方面, 尤其食品包装上的应用, 从应用方面对 PP 原料性能提出要求。综述了国内热成型原料的研发情况, 重点介绍了中石化天津石化公司推出的系列高性能热成型专用料, 满足下游需求, 为热成型客户生产加工提供多种可选方案。

关键词: 热成型; 包装; 食品包装; 聚丙烯; 原料

中图分类号: TQ321 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)11-0138-05

Application and Development of PP in Thermoforming Packaging

Liu Chunyang¹, Mei Ping²

(1. North-China Company, Sinopec Chemical Commercial Holding Company Limited, Beijing 100120, China;

2. Magazine House of PLA Health, Jinan 250014, China)

Abstract: The basic principle and characteristics of thermoforming, the current situation of the domestic thermoforming packaging market, the characteristics and development of the polypropylene in the thermoforming food packaging were introduced, and the application of the domestic polypropylene (PP) in the thermoforming packaging, especially in the food packaging was focused, and the requirements for the performance of the PP from the application aspects was put. Domestic research and development of thermoforming raw materials were summarized. Series high-performance PP thermoforming materials by Tianjin Petrochemical Co. SINOPEC were emphatically introduced. The materials meet the needs of the downstream firm, and provide a variety of options for the production and processing of thermoforming customers.

Keywords: thermoforming; packaging; food packaging; polypropylene; raw materials

热成型是近些年发展起来的一种塑料加工方式, 随着人们生活水平的提高、生活方式的改变, 越来越多的热成型制品出现在人们生活的方方面面。聚丙烯 (PP) 树脂具有密度低、无毒、易加工、抗翘曲及绝缘性好等特点, 适用于注射成型、挤吹成型、热成型等加工方式, 在包装、汽车、家电等领域得到广泛应用。

近几年, PP 增长速度较快, 仅次于聚乙烯 (PE) 已成为合成树脂用量第二大的通用塑料。截止到 2017 年 6 月底, 我国 PP 总生产能力达到 2309.0 万 t, 据国家统计局统计, 2016 年我国 PP 产量为 1849.67 万 t, 同比 2015 年增长约 9.7%, 当年, PP 进口量达 290.21 万 t, 同比减少 4.6%; 出口量为 23.97 万 t, 较 2014 年大幅提升^[1]。2017 年, 我国 PP 总产能达到 2350 万 t/a, 产量为 1980 万 t, 国内 PP 消费量

29420 万 t, 出口数量达到 34 万 t, 净进口量达到 483 万 t^[2]。与注射成型相比, 热成型制品可以制得更薄, 具有成本优势。近年来, 随着热成型技术的发展, 热成型工艺在家用电冰箱内衬、汽车部件、建筑产品和小艇的外壳、化工容器等大型制品上的应用也日益增多^[3]。

笔者介绍热成型基本原理及特点、国内热成型包装市场概况、热成型食品包装用 PP 概况以及 PP 在热成型包装尤其食品包装方面的应用情况。

1 热成型基本原理及特点

热成型是将热塑性塑料片材加工成各种制品的一种较特殊的塑料加工方法。即通过加热热塑性片材使其软化后采用压力 (真空或正压) 使热塑性塑料片材作用于模表面, 以取得与型面相仿的形状, 冷却定型后, 经过修整得到所需

通讯作者: 刘春阳, 本科, 高级工程师, 从事聚烯烃产品的市场开发工作 E-mail: liuchunyang.hgxs@sinopec.com

收稿日期: 2018-09-07

引用格式: 刘春阳, 梅平. PP 在热成型包装领域应用及发展 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(11): 138-142.

Liu Chunyang, Mei Ping. Application and development of PP in thermoforming packaging[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(11): 138-142.

形状的制品。热成型快速而均匀,成型周期短且模具费用低廉,适于自动化和长时间生产,被认为是塑料成型方法中单位成本效率最高的加工方法^[4]。热成型法自出现以来发展迅速,尤其是随着热成型工艺和设备的不断改进及计算机模拟手段的介入,热成型已成为与注射和吹塑等成型相竞争的主要加工方法^[5]。近年来,热成型加工设备已取得新的进展,治明^[5]曾介绍过德国 K2013 展会上展出的热成型设备与工艺,速度、多功能化、控制技术和降低成本成为包装和工业领域热成型新型设备的关键主题。

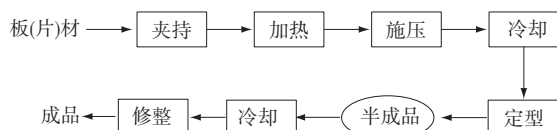


图1 热成型工艺流程图

热成型类型主要有:真空成型、压力成型、柱塞辅助成型及它们的组合^[6]。在市场上,热成型产品越来越多,例如杯、碟、食品盘、玩具、帽盔,以及汽车部件、建筑装饰件、化工设备等。与注射成型比较,热成型具有生产效率高、设备投资少和能制造表面积较大的产品等优点^[7]。用于热成型的塑料主要有聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)、聚烯烃类[如PE, PP,聚丙烯酸酯类(如聚甲基丙烯酸甲酯PMMA)]和纤维素[如硝酸纤维素(NC)、乙酸纤维素(CA)等]塑料,也用工程塑料如丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)、聚碳酸酯(PC)等。高透明^[3,8-10]、高熔体强度^[11-15]、低翘曲^[16]等高性能PP的研发,促进了PP在热成型领域的应用与发展。

2 国内热成型包装市场现状

国内热成型包装企业超过3000家,其中年产量上千吨的工厂超过300家,由于小型的热成型包装企业投资成本较低,国内存在大量小作坊形式的工厂。上千吨的制品厂中约有70%为自产片材及热成型制品的整合商,外购片材以定向PS(OPPS)和聚对苯二甲酸乙二酯(PET)为主,部分有能力的制品厂自产PP, PS, PVC片材,小厂外购片材。

热成型制品主要应用于食品包装、非食品包装以及裁切片材,不同应用领域对原料的要求也有差异。

2.1 食品包装

国内食品热成型包装生产市场使用原料主要为PP, PS^[17]及PET^[18]。其中使用的PP原料,大部分为带色PP材质,如餐盒、肉托、豆腐托等,主要使用颜色为乳白色、黑色、红色等。

2017年国内在食品热成型包装领域透明片材的年使用量约为283600 t,其中以OPS使用量最大,可占总比的45%,主要在盖子、对折盒以及食品内衬领域使用;其次为本色PP,占总比例的25%,主要在杯子、盖子以及肉托等应用;

PET片材使用量占总比例的17%,主要用于盖子、对折盒以及食品内衬;透明PP在透明材质的食品热成型领域所占比例较低,仅占总比例的9%左右,主要用于杯子和盖子。

2.2 非食品包装

国内工业热成型包装生产市场较复杂,以低端产品为主,如工具类的产品包装,多以PVC^[19]材质为主;中高端工业类吸塑包装,如电子、医药、石化等领域,主要使用PS, PET和PVC材质,而且绝大多数PS均带颜色,PS材质挺度好,上色也较容易。

2017年国内在工业热成型包装领域透明片材的年使用量约为578985 t,以PVC使用量最大,可占总比例的76%,主要在医药的胶囊泡罩,工具包装(文具,五金用品)和清洁用品领域使用;其次为PET,占总比例的23%,主要在电子、清洁用品中应用;在该领域基本没有透明PP的使用。

在电子零部件以及带毛发的产品包装中一般厂家会有不同程度的防静电要求,其中电子零部件做静电处理是为了避免由于包装和产品之间的静电导致产品损坏,因此需要做防静电处理;而带毛发的产品包装做防静电处理是为了产品毛发美观不凌乱。

2.3 裁切片材

国内裁切片材领域主要是折盒部分对片材的消耗量最大,以使用PET和PVC为主,2017年折盒部分材质PET消耗量明显增加。裁切片材领域以透明材质为主,PS和OPS材质较脆容易折断不适用于裁切片材领域。国内在裁切片材领域透明片材的年使用量约为237966 t, PET用量最大,占总比例的45%, PVC片材用量占总比的40%, PP片材用量占总比例的15%,在折盒、窗口包装以及超市挂条中均使用,高端的折盒中会使用少量的透明PP,占总比例的3%左右。

3 热成型食品包装用PP特点及发展

国内PP热成型应用从20世纪90年代开始起步,近几年发展迅速,年增长率约为10%左右。国内现已有日本中央化学等多个大型知名热成型塑料包装生产商在华建厂投产,产品主要集中在中、高端塑料热成型包装制品。目前,国内专门针对热成型工艺用的PP专用料还比较缺乏。国内热成型制品生产企业普遍采购T30S等通用树脂改性后使用,但通过后改性得到的产品与工业装置规模化生产的产品相比较,存在添加量控制方面不均匀、拉伸性能达不到要求、在热成型时容器壁厚不均匀、挤出涂布压延时出现边缘卷曲等问题,难以满足高质量高要求的应用需求,同时也制约着下游加工企业的生产效率。

与其它树脂相比,PP性能价格比有很多优势,见表1^[8]。

表1 PP与其它材料相比的优势

其它材料	PP的优势
PS	耐冲击;热变形温度高;阻湿性好,是PS的10倍;价格相近,但密度比PS低15%,单位体积成本低
PVC	化学稳定性好,避免了PVC中助剂迁移和溶解的问题,可直接与食品、药品接触,密度低
PET	价格便宜;可热灌装,克服了PET热灌装变形等缺陷;阻湿性好
纸包装	可透明;耐油污;易于加工,易回收,环保
玻璃	耐冲击,质量轻,易加工,易回收,成本低,密度低

热成型技术已成为PP继注射、挤出、吹塑之后,又一重要的加工方式,世界主要PP生产厂商针对这一市场提供了多个商业化的PP牌号。表2列出世界主要PP生产商部分商业化PP热成型专用料牌号。

表2 世界主要PP生产商部分商业化PP热成型专用料牌号

公司名称	树脂牌号	MFR/ [g·(10 min) ⁻¹]	特点
Himont	Profax PF-613 均聚物	0.3	低垂伸性;可挤出较薄片材;比普通热成型级PP成本低;成型时深拉性能较好
	Profax SD-613 中抗冲共聚物	0.3	熔体强度是传统均聚物的9倍
	Profax 814 均聚物		其性能超过PS,且挤出前不需造粒,比其它牌号的PP加工性更好,循环时间(成型周期)可缩短8%,最大拉伸比可增加10%
	Valtec PPHS005 均聚物		
埃克森-美孚	PP-5291 均聚物	0.25	分子量分布较宽,挤出速度高
	PO 020 均聚物	0.3	具有在片材和热成型应用中所需的高透明性和刚性
	PP5122E1		
	PO 040 均聚物		
Quantum Chemical	PP1404 PPHJ		挺度好,抗蠕变性强,低垂伸;挤出产率高
	PP1404 GK 均聚物	4	PP1004GK已经被FDA批准可用,高温杀菌;PPTR017,018符合FDA高温杀菌要求
	PP1002 NF 共聚物	2	
	PPTR 017 / 018 共聚物	2	
Huntsman Po	DP 5384	0.3	

国外热成型专用料多为均聚物,透明无规共聚物较少,且部分牌号进口周期长,国内下游热成型厂商较少使用进口料。热成型制品厂商现有片材生产以600 mm宽片材为主,随成型机工艺的进步^[21],片材宽度日益提高,最宽可达

1000 mm以上,因此对片材的抗熔垂能力提出更高要求。下游制品行业内解决方法为普通PP添加一定比例的高密度聚乙烯(PE-HD)^[22]以提高片材耐熔垂性能,但此方式将带来混料不均、制品透明性受限等问题。国内热成型行业对具有高性能、超高透明度的PP原料需求日益迫切。

4 国内PP热成型包装应用

2017年国内食品包装用PP热成型市场总消耗量约为119300 t。其中主要用于食品热成型包装领域透明PP用量约为26900 t,主要应用于杯子及盖子;其余为非透明包装,主要应用于杯子、盖子及食品托盘。

表3 食品包装用PP热成型消耗量

食品包装	非透明PP	透明PP
肉托盘(生鲜、熟食)	3260	104
盖子	16859	5057
杯子	44594	21560
果蔬托盘	1521	152
耐热餐盒	18896	
对折盒	2710	
食品内衬	4032	
其它	528	
总计	92400	26873

4.1 杯子

杯类主要为一次性杯子,如奶茶杯、冷饮杯、快餐杯等,主要用于快餐店、奶茶店、果冻制品厂等。原料主要以PP^[23]材质为主,部分冷饮采用PET材质。杯子主要以透明材质为主,季节性较强。每年集中在2~9月份。2017年该领域消耗塑料71874 t,其中PP原料占92%,预计未来3年增长率为10%。

4.2 耐热餐盒

一般的餐盒只盛放温度不高的食品。但下游客户也需要盛放刚出锅的热粥、热汤等或是在高温蒸汽下进行消毒。这都对树脂原料提出了更高要求。PET, PS不耐高温。PP耐热性能较好,价格低廉,易得,所以成为首选原料。但一般PP无法在高温蒸汽下($\geq 120^{\circ}\text{C}$)不变形,且市场上无针对热成型的专用料,客户采用T30S添加助剂改性,仍存在耐热温度不稳定、制品成型困难等问题。

耐热餐盒对透明性一般无要求,所以本色料占绝大部分。2017年该领域消耗树脂17496 t,预计未来3年增长率为8%。天津分公司研究院针对这种情况,经过长时间研究,开发了耐高温PP热成型专用料PPT5030,具有耐热温度高,成型方便,适用于正负压吸塑成型的加工方式,可解决下游用户的用料问题。

4.3 盖子

主要制品包括碗盖、餐盒盖、杯盖等,主要用于快餐店、奶茶店、蛋糕店等。2017年该领域消耗树脂168591 t, PP用量占13%,预计未来年增长率为12%左右,盖子以透明为主,

PP 盖子一般在热饮中应用较多。

4.4 食品内衬

食品内衬主要用于饼干、薯片、花生、饺子、汤圆的包装,外面还会有一层包装,主要使用于速食品厂。目前国内食品内衬以透明为主,另外还有乳白色等。一般饺子、汤圆等速冻产品的保存温度为-4℃左右, PET 和 PP 都是较合适的材质,常温下使用的零食托盘以 PET, PS 和 PP 为主,厂家根据喜好及价格选择。2017 年该领域消费片材 9835 t, PP 用量占 41%,预计未来 3 年成长速度约为 12%。该领域的发展主要随着零食和速冻面食的市场发展而发展,零食加工企业为使包装后食品饱满度更强及食品不易被压坏,越来越多的零食中会使用食品内衬。目前未发现可替代热成型托盘在食品内衬领域应用的替代品。

综上所述, PP 在热成型食品包装方面的应用越来越普遍,树脂性能要适应热成型加工方式的要求,如加工性能、力学性能、光学性能等,同时加工设备的改进提升,也会对树脂性能提出更高的要求,二者相互促进,可生产出更多满足用户需求的 PP 热成型制品。

5 国内热成型专用料的研发

2012 年以前,国内高透明热成型专用料的研发相对滞后。当时国内热成型专用料研发情况列于表 4。

表 4 2012 年以前国内热成型专用料研发情况

企业	专用料	路线	特点及规模
扬子石化公司	高透明一次性水杯专用料 ^[24]	普通 F401(T30S) 粉料+成核剂生产	未就基础树脂分子量分布进行研究,并非热成型专用牌号
中石油大庆石化公司	高透热成型专用料 ^[25]	普通 T30S+成核剂,用于透明制品生产	未就分子量分布、抗熔垂性能进行改进,主要用于透明塑料杯
燕山石化公司	热成型专用料 T4802 ^[3]	无规共聚	MFR 低,柔韧性好,吹塑级牌号

这些专用料均未针对热成型加工所需的较高的熔体强度和较宽的分子量分布做进一步工作,有的也并未形成规模化生产。

中国石油兰州石化公司^[26]成功开发的无规透明 PP 专用料 RP340R 新产品。RP340R 可应用于热成型 PP 食品包装容器,该产品可取代 PS 材料,其熔体流动速率(MFR)、弯曲弹性模量、冲击强度均优于同类产品。但该专用料 MFR 为 22 g/10 min,相对热成型加工应用来说可能偏高,需要进行调整。

近几年,天津石化公司陆续推出几款热成型专用料,牌号信息列于表 5。

表 5 天津石化热成型 PP 牌号

类型	牌号	MFR/ [g·(10 min) ⁻¹]	1 mm 注塑板雾度	特点
标准透明打杯料	PPT5015	3.0	24	标准透明度,拉伸好
超透明负压吸塑料	PPR-ET02	1.2	8.0	纯 PP 吸塑,超透明
超透明正负压成型料	PPT5015M	3.0	7.5	超透明,拉伸好
高光泽本色吸塑料	PPR-EM01	1.2	本色粒子	纯 PP 吸塑,高光泽
高刚性耐高温正负压料	PPT5030	3.0	本色粒子	高刚性、高耐热
高刚高回弹 PP 吸塑料	PPH-CM01	0.7	本色粒子	高刚性、高回弹

2013 年天津石化公司推出 PPT5015^[27],为国内首个无规共聚透明打杯专用料,是饮料杯行业标准原料,可与任意比例 T30S 掺混使用。PPT5015 是无规共聚 PP,用于片材挤出和正负压辅助热成型,具有良好的拉伸性和刚性/韧性平衡,适用于深拉伸饮料杯和果冻杯的生产。

PPR-ET02^[28]是高透明无规共聚 PP,适用于片材挤出和真空吸塑成型工艺。它具有耐熔垂性高、适宜的刚韧平衡性能和超高透明度的特点。与国外同类型产品相比,PPR-ET02 具有加工流动性好、加工温度低、熔体强度高、回弹性好、成型效率高、超透明低雾度。保持与均聚产品同等刚性的前提下,PPR-ET02 韧性高,耐低温跌落性佳,可微波加热等特点,适用于高透明的托盘、餐盖、食品包装容器和折盒、文具用品、工业零件等包装的生产。目前 PPR-ET02 是国内首个实现单独负压吸塑使用的热成型 PP 专用料。

PPT5015M^[29]是超透无规共聚 PP,用于片材挤出和正压辅助吸塑成型。它具有优良的拉伸性、刚韧平衡性和超高透明性,可取代 PET, PS。适用于生产超透托盘、盖子、深拉伸饮料杯和翻折盒等产品。

PPR-EM01^[30]是无规共聚 PP,无需添加其它辅料可直接真空负压吸塑成型。它具有高耐熔垂性、优良的冲击性能和高光泽度、低收缩率的特点,适用于吸塑成型用的托盘、餐盖、食品包装容器和折盒、文具用品、工业零件等包装的生产。

PPT5030 为高刚性、高耐热级、高等规格、成核均聚 PP,用于食品包装,适用于注塑、片材挤出等加工方式。

PPH-CM01 为新推出产品,是均聚 PP,具有耐熔垂性高、高刚性、适宜的韧性、高耐热、可微波加热等特点,适用于食品包装、工业零件包装等。

近期广州石化推出类似 PPT5015 的打杯牌号,大唐多伦煤化工也推出热成型 PPH701,热成型专用料的开发越来越受到各大石化公司的重视。

6 结语

近年来,随着人民生活水平的提高,对一次性食品包装容器的外观和品质有了越来越高的要求,促使我国热成型市场发展越来越快。PP在热成型食品包装方面的应用越来越普遍。热成型制品生产厂迫切需要原料企业开发出适合于现有热成型设备、易加工、力学性能优良、抗熔垂性能好的PP热成型树脂满足国内高质量、高性能的市场要求。国内PP热成型系列专用料的开发成功填补了热成型专用料的市场空白,解决了客户用料难题,引领热成型行业发展方向,为热成型行业的发展壮大提供了完整的解决方案。

参考文献

- [1] 崔小明. 我国聚丙烯树脂产业现状及未来发展分析[C] // 全国连续法聚丙烯生产技术交流会议论文集. 北京: 中国合成树脂供销协会聚烯烃分会秘书处, 2017:508-525.
Cui Xiaoming. Current situation and future development of polypropylene resin industry in China[C] // Proceedings of national technical exchange meeting on continuous polypropylene production. Beijing: China Synthetic Resin Supply and Marketing Association Polyolefin Branch Secretariat, 2017:508-525.
- [2] 孙友. 能源情报, 2018(7):16.
Sun You. Energy Intelligence, 2018(7):16.
- [3] 庞君, 等. 合成树脂及塑料, 2009, 26(5):17-20.
Pang Jun, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2009, 26(5):17-20.
- [4] 徐焕, 等. 塑料, 2011, 40(6):111-117.
Xu Huan, et al. Plastics, 2011, 40(6):111-117.
- [5] 申长雨, 等. 工程塑料应用, 2000, 28(1):37-41.
Shen Changyu, et al. Engineering Plastics Application, 2000, 28(1):37-41.
- [6] 治明. 国外塑料, 2013, 31(11):54-56.
Zhi Ming. Foreign Plastics, 2013, 31(11):54-56.
- [7] 雄戈. 国外塑料, 2006, 24(8):47-48.
Xiong Ge. Foreign Plastics, 2006, 24(8):47-48.
- [8] 陶红. 上海塑料, 2001(1):31-34.
Tao Hong. Shanghai Plastics, 2001(1):31-34.
- [9] 郑宁来. 合成材料老化与应用, 2014(5):80.
Zheng Ninglai. Synthetic Materials Aging and Application, 2014(5):80.
- [10] Eur Plast News. 石油化工, 2004, 33:1 108.
Eur Plast News. Petrochemical Technology, 2004, 33:1 108.
- [11] 中国化工报. 橡胶技术与装备, 2007, 33(5):30.
China Chemical Industry News. Rubber Technology and Equipment, 2007, 33(5):30.
- [12] 高建明, 等. 合成树脂与塑料, 2002, 19(5):27-31.
Gao Jianming, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2002, 19(5):27-31.
- [13] 欧阳惠. 上海化工, 2008, 33(9):27-31.
Ouyang Hui. Shanghai Chemical Industry, 2008, 33(9):27-31.
- [14] 王清, 等. 化工设计通讯, 2010, 36(1):47-51, 54.
Wang Qing, et al. Chemical Design Communication, 2010, 36(1):47-51, 54.
- [15] 郭鹏, 等. 石油化工, 2012, 41(8):958-964.
Guo Peng, et al. Petrochemical Technology, 2012, 41(8):958-964.
- [16] 代芳. 工程塑料应用, 2008, 36(1):7.
Dai Fang. Engineering Plastics Application, 2008, 36(1):7.
- [17] 赵岩峰. 塑料包装, 2000, 10(3):56-59.
Zhao Yanfeng. Plastic Packaging, 2000, 10(3):56-59.
- [18] 沈琪. 中国塑料, 2004, 18(5):71-74.
Shen Qi. China Plastics, 2004, 18(5):71-74.
- [19] 戴亚春, 等. 模具工业, 2005(4):42-44.
Dai Yachun, et al. Mould Industry, 2005(4):42-44.
- [20] 翟志廉. 塑料技术, 1990(2):28-32.
Zhai Zhilian. Plastic Technology, 1990(2):28-32.
- [21] 黄泽雄. 国外塑料, 2007, 25(3):50-51.
Huang Zexiong. Foreign Plastics, 2007, 25(3):50-51.
- [22] 曹新鑫, 等. 化学工业与工程技术, 2006, 27(3):20-22.
Cao Xinxin, et al. Chemical Industry and Engineering Technology, 2006, 27(3):20-22.
- [23] 严淑芬. 现代塑料加工应用, 2009(2):45.
Yan Shufen. Modern Plastics Processing Applications, 2009(2):45.
- [24] 舒文艺. 塑料, 1994(3):16-21.
Shu Wenyi. Plastics, 1994(3):16-21.
- [25] 佚名. 塑料科技, 2011(7):80.
Anon. Plastic Science and Technology, 2011(7):80.
- [26] 佚名. 石油化工, 2013, 42(5):499.
Anon. Technology of Dynamic. Petrochemical Technology, 2013, 42(5):499.
- [27] 郑宁来. 合成材料老化与应用, 2014, 43(5):80.
Zheng Ninglai. Synthetic Materials Aging and Application, 2014, 43(5):80.
- [28] 郑宁来. 合成材料老化与应用, 2018, 47(2):127-128.
Zheng Ninglai. Synthetic Materials Aging and Application, 2018, 47(2):127-128.
- [29] 中国聚合物网. 橡胶技术与装备, 2017, 43(12):38.
China Polymer Network. China Rubber / Plastics Technology & Equipment, 2017, 43(12):38.
- [30] 焦瑞. 炼油技术与工程, 2017, 47(12):23.
Jiao Rui. Petroleum Refinery Engineering, 2017, 47(12):23.

欢迎投稿、欢迎刊登广告