

苯乙烯嵌段共聚物添加剂实现包装物的循环利用

章羽 编译

(全国橡塑机械信息中心, 北京 100143)

随着消费者对可持续包装产品的兴趣与日俱增, 软包装行业正在多方面努力实现其设定的2030年可持续发展目标。除了可持续发展, 消费者还希望包装具有高度的功能性, 使用方便。电子商务购买量的增加是另一个驱动因素; 而包装物需要支持更长的保质期, 如小袋包装, 并在运输和处理过程中具有更高的耐用性。软包装生产商面临的挑战是如何确保包装的性能优势不受影响, 同时增强可持续设计。

为了使包装产品的设计或制造过程更易于维护, 人们正在探索多方面的方法, 一方面提高设备的效率, 另一方面降低薄膜的厚度, 设计可回收的产品, 以及采用可回收或可再生材料。在回收利用方面, 与先进的回收利用相比, 从产品生命周期、碳足迹和回收含量的角度来看, 该行业更倾向于机械回收利用。

软包装的机械回收, 特别是在食品接触应用中的闭环回收, 仍然是一个挑战, 原因有几个。对消费者进行正确回收软包装的教育较少, 导致回收的材料数量较少, 并造成回收材料的供应问题。多种材料的薄膜结构以及粘合剂、油墨和其他添加剂的使用难以分类, 导致回收流的质量低下。使用这种消费后回收物(PCR)或工业后回收物(PIR)的薄膜很难加工, 含有大量凝胶, 性能较差。添加一种与多种塑料化学成分兼容的聚合物改性剂, 可改善加工性能、性能特性和薄膜美观度, 这将大大有助于设计此类包装, 使其在生命周期结束后可回收利用, 并最大限度地地在产品中加入PCR或PIR。这正是科腾苯乙烯嵌段共聚物(SBC)改性剂的重要价值所在。

科腾是SBC的发明者, 65年来一直是全球领先的SBC和可持续化学解决方案生产商。SBC由共价键结

合但互不相容的硬块和软块组成, 因此可分为不同的阶段。在美国科腾(Kraton)的SBC中, 硬块通常由聚苯乙烯制成, 玻璃化温度在100~110℃之间。软块可以是聚丁二烯或聚异戊二烯橡胶, 其玻璃化温度要低得多, 为80~45℃。在室温下, 聚苯乙烯和橡胶中间块之间的不相容性会导致硬聚苯乙烯块分离和聚集, 形成分布在连续软橡胶相中的硬域结构。这些聚苯乙烯畴结构可作为物理交联点, 形成橡胶网络, 从而使SBC具有出色的弹性、柔韧性和柔软性, 同时还具有很高的强度。在较高温度下, 这些聚合物可在熔融状态下通过最常用的热塑性工艺进行加工, 如挤出、注塑、吹塑、热成型等。

美国科腾(Kraton)的SBC可用于硬包装和软包装中的一级和二级/三级包装。在一次包装中添加SBC改性剂可改善包装的功能, 包括提高拉伸强度、柔韧性、韧性、密封强度和光学性能。在二级和三级包装中, 添加SBC改性剂的好处在于实现了可回收设计, 通过加入PCR、PIR或可再生成分降低了碳足迹, 并减少了废品率和废物。本文将举例说明美国科腾(Kraton)SBC改性剂在当今包装行业中的应用及其优势。

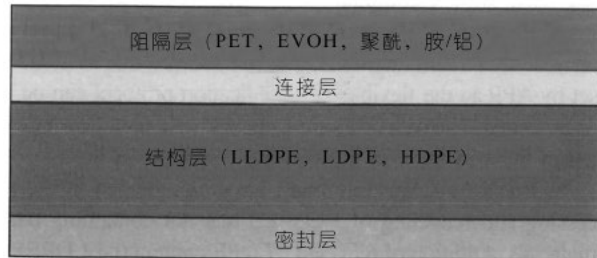


图1 食品应用中软包装结构的典型构造

表1 美国科腾（Kraton）公司的CirKular+产品系列，描述了SBC与极性和非极性塑料的兼容性以及相关性能和加工温度

CirKular+系列	循环+牌号	最大加工温度, °C	FDA许可	熔体流量,230°C/5kg(g/10min)	聚烯烃,PP,HDPE,LDPE,MDPE,聚烯烃混合物.mPE	PS,HIPS	EVA	
Compatibilization系列	C1000	280°C	√	22	√	√	√	
	C1010	280°C	√	34	√	√	√	
	C1010（50%回收）	280°C		34	√	√	√	
Performance增强系列	C2000	280°C	√	24	√	√	√	
	C3000	200°C	√	11	√	√		
CirKular+系列	循环+牌号	EVOH,PVA	木纤维和纤维素	聚乳酸	PET	聚酰胺和尼龙	ABS	PC
Compatibilization系列	C1000	√	√	√	√	√	√	√
	C1010	√	√	√	√	√	√	√
	C1010（50%回收）	√	√	√	√	√	√	√
Performance增强系列	C2000	√	√					
	C3000							

典型的食品软包装结构如图1所示。大多数食品包装薄膜都包含一层阻隔层（如EVOH），以防止水蒸气和氧气进入内装物，延长保质期。在肉类或奶酪包装中，使用聚酰胺（尼龙6）不仅可以提供防渗性，还有助于热成型。这些阻隔性聚合物具有较强的极性，与非极性的聚乙烯（LLDPE）不相容，而后者是主要的结构塑料。目前，人们正在努力用单材料薄膜取代这类结构。不过，专家们指出，在某些情况下，要完全消除阻隔层并保持类似水平的防渗性和功能性可能仍然很困难。

通过添加低含量的美国科腾（Kraton）SBC，可提高此类结构的可回收性。美国科腾（Kraton）SBC聚合物接枝了极性官能团到橡胶中块，如马来酸酐，可作为极性塑料（如聚酰胺）和非极性塑料（如聚乙烯）之间的相容剂，SBC位于界面处。表1显示了科腾的CirKular+产品系列，该产品系列专为PCR或PIR塑料流而设计。

科腾的三种产品（CirKular+C1000、C1010和C2000）已获得APR临界指导认可，可用于LLDPE/EVOH和LLDPE/PA6组合的柔性包装。测试在两种薄膜结构上进行：一种含5%EVOH，另一种含10%PA6。对于LLDPE/EVOH薄膜，使用了CirKular+C1000和C2000组合；而对于LLDPE/PA6薄膜，则使用了CirKular+C1010和C2000组合。在美国科腾（Kraton）改性剂总添加量为5%（质量分数）的情况下，数据显示可以达到或超过APR在软薄膜应用协议中规定的所有标准。飞镖冲击强度、熔体流动速率和拉伸性能数据如图2(a)和2(b)所示。

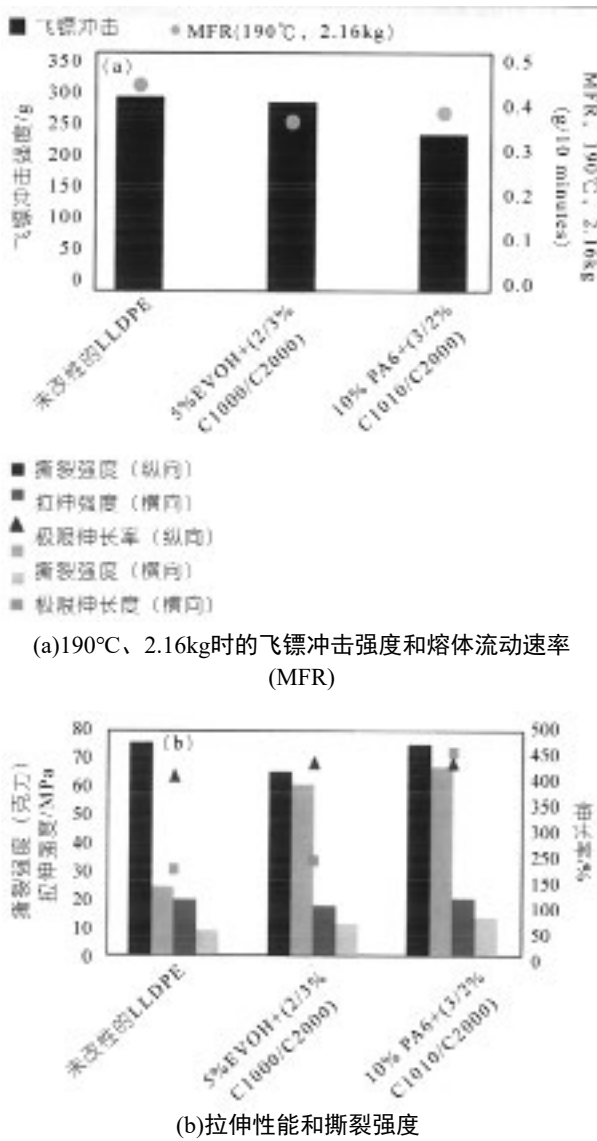


图2 未改性LLDPE、含有5%EVOH和5%改性剂的LLDPE以及含有10%PA6和5%改性剂的LLDPE的性能

科腾的CirKular+添加剂也有助于不含阻隔材料的LLDPE薄膜的生产和回收。在原生液流中添加回收的低密度聚乙烯成分(r-LLDPE)是有限制的,因为它会影响薄膜的光学性能,因为凝胶的尺寸分布很广,会遍布整个薄膜。研究发现,添加3~5% (质量分数)的CirKular+C2000可以使薄膜通过传统的吹膜挤出工艺加工,同时提高透明度并减少雾度。此外,还观察到撕裂强度有所提高。光学性能的改善可能是由于凝胶在薄膜中的分散更加均匀,也可能是由于剪切力增大导致凝胶体积减小。图3所示数据是在含有95%至97%r-LLDPE和3%至5%C2000的薄膜上得出的。



图3 显示未改性回收低密度聚乙烯薄膜和添加3wt%和5wt% CirKular+C2000改性薄膜的撕裂强度，MFR (190°C, 2.16kg) 和光学性能（雾度和透明度）的雷达图

美国科腾 (Kraton) 的SBC聚合物在与PIR材料一起使用时也显示出其优势。PIR的再利用能力有助于减少废物、降低成本（减少处理成本），并对公司设定的可持续发展目标产生积极影响。研究发现，在含有尼龙6的聚烯烃混合物中添加3~5wt%的C2000有助于提高室温下的缺口伊佐德冲击强度，并提供平衡的性能组合，其中冲击强度提高了400%，而刚度仅降低了5%。图4显示了仅含PIR的薄膜与用3wt%C2000改性的PIR薄膜的性能比较数据。

在包装领域的一些应用中，即使使用原生聚烯烃树脂，也需要改进性能。例如，在食品包装中使用的透明薄膜中，需要在保持包装美观（主要是透明度和较低的白化应力）的同时提高其耐用性。使用的主要树脂是杂相聚丙烯 (HP-PP)，结果发现，添加10%

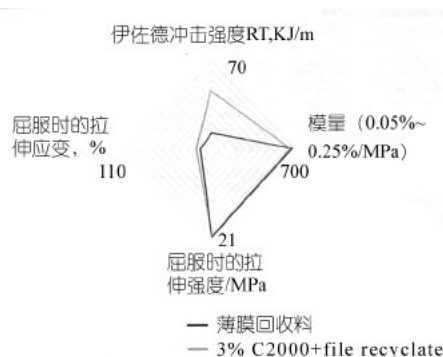


图4 含聚烯烃和尼龙6的未改性PIR薄膜（粗黑线）与含3%（质量分数）C2000的PIR薄膜的比较；所显示的特性包括室温下的缺口伊佐德冲击强度、拉伸应变、屈服点拉伸应力和杨氏模量

(质量分数)的美国科腾SEBS聚合物后，室温和0°C冲击强度显著提高，热封强度和撕裂强度也有所提高。所有测试薄膜的透光率均为93%，这与薄膜的透明度密切相关。图5所示的蜘蛛图显示了上述数据，其中比较了未经改性的HP-PP与使用10%（质量分数）两种不同类型的美国科腾 (Kraton) SBC改性剂改性的HP-PP的性能。



图5 显示未改性HP-PP和用10%两种不同类型的Kraton SBC聚合物添加剂改性的HP-PP的冲击强度、撕裂强度、热封强度和透光率的蜘蛛图

目前正在对二级和三级包装应用进行研究，以最大限度地提高其配方中的PCR含量。此外，人们对混炼塑料废料流的回收利用也越来越感兴趣，这些废料流中混合了不同极性的塑料。回收的PET废料流就是这样一个例子，其中通常含有PET和少量聚烯烃的混合物。研究发现，具有马来酸酐功能的CirKular+牌号（如C1000或C1010）能够提供相容性，并在硬包装中

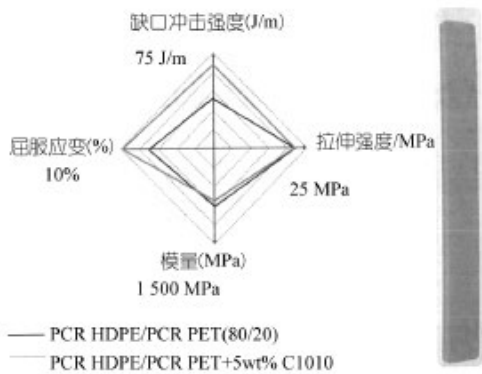


图6 PET污染并用5%C1010改性的PCR高密度聚乙烯流的缺口冲击强度和拉伸模量所显示的刚度—韧性平衡；右侧的绿色试样是注塑试样的照片，显示出光滑的表面特征

实现刚度—韧性平衡。图6显示了含有5wt%C1010的PET的PCR高密度聚乙烯流的冲击强度和模量。

在这两种情况下，注塑成型试品的表面美观度都

很高，表明其加工性能保持良好。在受到PET污染的PCR聚丙烯流中，也观察到了类似的性能改善和表面美观趋势。

美国科腾（Kraton）的CirKular+添加剂已应用于三级包装领域，如捆扎应用，用于改善原生PET和再生PET捆扎带的性能，如降低捆扎带开裂的情况。事实证明，CirKular+C1010还能改善再生料的加工性能，降低废品率。

因此，在大多数情况下，美国科腾（Kraton）的苯乙烯嵌段共聚物可在低于10%的负载水平下使用，以实现多种塑料流的机械再循环。它们有助于设计可在使用寿命结束后回收利用的产品，或最大限度地提高回收利用率，同时保持或改善产品的性能属性。

译者：章羽

原文：RUBBER WORLD No.9/2024, by Aparajita Bhattacharya and Yuliya Streen, Kraton



（上接第14页）

主机机架上横梁仿真分析，安全系数 > 1.5。

4 满足欧美的安全标准

安全标准见表 2。

表 2 符合中国和欧美安全标准

地区/国家	标准名称	备注
欧盟	EN ISO 13849-1	机械和电气安全指令；
	EN ISO 13857:2008	人身安全距离规则
	EN 349:2008	挤压风险安全距离；
	EN ISO 13855:2010	人体靠近速度及机械安全规则；
	EN 16474:2015	欧盟硫化机强制安全标准；
北美	NRTL	北美控制柜标准；
中国	GB 30747—2014	中国硫化机安全标准。

