

阻隔技术在塑料饮料包装上的应用

徐雯, 印雄飞, 郭太松

(杭州娃哈哈集团有限公司, 杭州 310018)

摘要: **目的** 为不同饮料选择合适的阻隔包装提供参考。**方法** 收集和分析各类阻隔技术在塑料饮料包装上的应用情况, 调研分析包装材料阻隔机理, 分析塑料饮料包装阻隔性的改善方法和应用范围等。**结论** 不同包装材料和阻隔技术可搭配出不同程度的包装阻隔解决方案, 可根据饮料包装的现有生产条件和包装阻隔需求, 选择合适的阻隔技术应用在产品包装上, 在满足高品质饮料包装保护功能的同时控制包装成本, 此外需要关注阻隔包装的可持续发展, 推动阻隔包装向绿色化、循环化方向发展。

关键词: 塑料饮料包装; 阻隔技术; 涂层技术; 单层共混; 多层共注; 多层共挤; 卷吹制瓶

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)03-0092-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.03.014

Application of Barrier Technology in Plastic Beverage Packaging

XU Wen, YIN Xiong-fei, GUO Tai-song

(Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: The work aims to choose suitable barrier packaging for different beverages. The application situations of all kinds of barrier technologies in the plastic beverage packaging were collected and analyzed. The barrier mechanism of packaging materials was analyzed based on the research and the improvement methods of plastic beverage packaging barrier property and its application range were analyzed. Different packaging materials and barrier technologies can be matched to different degrees of packaging barrier solutions. According to the existing production conditions and packaging barrier requirements of beverage packaging, the appropriate barrier technology can be chosen to apply to the product packaging, in order to meet the packaging protection function of high-quality beverages and control the packaging costs. In addition, it is necessary to pay attention to the sustainable development of barrier packaging and promote the development of barrier packaging to the direction of greening and recycling.

KEY WORDS: plastic beverage packaging; barrier technology; coating technology; single layer blending; multi-layer co-injection; multi-layer co-extrusion; RollNBlow

消费升级带来的市场红利和更高要求, 使得消费者对饮料的品质要求与日俱增, 饮料市场逐步趋向于多元化、健康化、天然化, 越来越多的饮料品牌推出了主打新鲜、天然等卖点的新产品, 如高品质乳制品、天然茶饮、纯果汁等。这类产品中的活性成分或敏感因子通常较高, 产品相对较为敏感和不稳定, 容易受到外界环境的影响, 因此其需要更细致的包装保护以

达到必要的产品货架期。传统饮料包装保护能力有限, 这就需要通过阻隔技术改善现有包装的阻隔性, 释放现有饮料的包装潜力。

塑料包装容器凭借质轻、透明、防碎、易塑型及可再封盖等优点, 成为主流的饮料包装形式之一。消费者对于包装的偏爱趋势是企业选择包装形式的重要参考依据, 越来越多的饮料企业引入塑料瓶, 因为

收稿日期: 2019-10-24

作者简介: 徐雯(1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品饮料包装、功能性包装。

其可以塑造与众不同的外观,让产品从货架上脱颖而出。常用塑料饮料瓶存在一定程度的气体透过^[1]及光线透过,因此在现有塑料瓶的基础上提升其阻隔性能尤为必要。

1 塑料包装材料的阻隔机理

包装材料的阻隔性主要指的是材料对特定渗透对象(如气体、水蒸气等小分子)由其一侧渗透通过达到另一侧的阻隔性能。渗透过程可以分为吸附、溶解、扩散、解吸等 4 个部分,小分子从高浓度区吸附并溶解进入材料表面,通过在材料内部的扩散,又从低浓度区的另一表面解吸^[2-3],既包括外界气体进入包装内部,也包括阻止包装内部的水分、香气等渗透出去。此外,包装材料的阻隔性还包括阻碍光线透过材料的性能。

1.1 塑料包装材料阻隔性的影响因素

小分子在多孔材料渗透过程中起决定作用的是溶解与扩散,因此小分子在某种材料中的透过速率,既与其在材料表面的溶解性有关,也取决于其在材料中的扩散速率。

小分子在材料表面的溶解性遵从“相似相溶”原理^[4],即小分子与材料的极性相近时,小分子易溶解于材料表面,并在材料中扩散,此时小分子在该材料中的透过率高,材料的阻隔性差;反之,两者极性相异时,该材料对小分子的阻隔性好。

小分子在材料中的扩散速率与材料中的自由体积、小分子尺寸、化学结构以及环境因素等有关。自由体积指没有被材料分子本身占据的体积,材料的自由体积越大,小分子的扩散速率越高。材料的自由体积还受环境因素(如温度、湿度等)的影响,温度越高,分子运动越剧烈,则自由体积越大,导致材料的阻隔性低;湿度则对亲水性材料的影响较大,这类材料在湿度高的环境中会因吸湿溶胀,自由体积显著增加,导致阻隔性急剧降低^[5]。

1.2 饮料包装常用塑料包装材料的阻隔性

塑料结构多样,且影响因素较多^[6],不同塑料的阻隔性也有很大差异。PE, PP 等聚烯烃材料因分子结构对称、无极性基团,为非极性分子,对水分子等极性分子的阻隔性较好,因此对 O₂, CO₂ 等非极性分子具有较好的溶解、透过性。综上,聚烯烃材料广泛应用于各类不含气或对氧气阻隔要求不高的常温饮料、冷链乳制品等产品的包装。极性较好的 PVDC, EVOH, PA, PVA 等聚合物材料对水分子的阻隔性较差,对 O₂, N₂, CO₂ 等气体具有良好的阻隔性,且在湿度高的环境下,其气体阻隔性能会急剧降低。综上,这类极性较好的聚合物材料不适合直接与食

品饮料或外界环境接触,多应用于多层包装结构的中间层。

不同塑料包装材料对光线的反射、折射和衍射虽有所不同,但绝大多数塑料材料是透明或半透明的,即存在光线的透过。通常可在塑料中添加食品级钛白粉、炭黑等无机物以降低光线的透过,提高材料的阻光性能。

2 塑料饮料包装阻隔性的改善方法

根据产品的敏感因子不同,敏感型内容物对包装的阻隔需求通常是对 O₂, CO₂, 香味以及光线的阻隔。改善塑料包装的阻隔性^[7-8],可理解为将对特定物质阻隔性更好的材料以某种形式和技术加到原有材料上,以降低小分子或者光线的透过。塑料饮料瓶、杯作为最常用的饮料包装,常用的改善方法有单层共混、多层共注、涂层技术、多层共挤、卷吹制瓶等技术^[9-10]。各种技术各有优劣,取决于具体的应用和商业化条件^[11-12]。

2.1 PET 单层共混改性材料

单层共混方案是通过在原料阶段混入某方面阻隔性能更好的材料,这些阻隔材料通过注塑、吹瓶拉伸,在瓶壁中形成一段段密集的“栅栏”,降低气体的渗透或者光照的透过率^[13]。该方案不需要其他设备改造、工艺简单、生产灵活性高,是最易实现的塑料包装阻隔解决方案。根据敏感型饮料产品的阻隔需求,目前商业化的共混阻隔材料有光阻隔剂、气体阻隔剂、活性吸氧剂等,可应用于各类果汁^[14]、高品质乳制品^[15]、天然茶饮、碳酸饮料等饮料包装上。

光阻隔剂又分为全光照波段阻隔剂和紫外阻隔剂 2 种,全光照波段阻隔剂主要利用钛白粉的白度和不透明性,吸收或反射紫外及可见光,多用于乳制品^[16]、蛋白饮料等产品;普立万公司的 Ultimate UV390 紫外线阻隔剂可有效阻隔 300~390 nm 波段紫外光透过,适用于对紫外光较为敏感的透明饮料(如维生素饮料、茶饮料等)包装。

气体阻隔剂,以三菱瓦斯公司的尼龙 MXD6 为例,作为一种聚酰胺树脂,具有卓越的气体阻隔性(O₂, CO₂ 阻隔率约为 PET 的 2~2.5 倍),结晶温度与 PET 接近,可直接与干燥后的 PET 树脂共混使用,加工性好。混合 5%(质量分数)MXD6 的单混瓶 CO₂ 保持力为普通 PET 瓶的 1.5 倍^[17]。当 MXD6 添加量为 5%(质量分数)时,共混瓶的雾度约为 7.5,瓶身存在明显发雾情况。英威达公司开发的聚酯树脂 PolyShied 使用了不含聚酰胺或氮的高活性清除剂化学物质,使聚合物具有高清晰度^[18],因此将 PolyShied 配合 MXD6 与 PET 共(质量分数为 76%的 PET+质量分数为 19%的 PolyShied+质量分数为 5%的

MXD6), 可改善共混瓶瓶身透明度。

相比于气体阻隔剂的被动阻隔气体, 活性吸氧剂^[19-20]如 Valspar 的 ValOR、普立万的 Amosorb O₂, 一方面其中的尼龙成分可以提高被动阻气性能, 另一方面吸氧剂中的活性成分能够捕捉渗透进入材料的氧气并与其反应, 使包装内部氧气浓度维持在较低水平, 从而降低和抑制内容物的氧化反应^[21]。

阻隔剂的改善效果虽与添加量成正比, 但随着添加量的增加, PET 瓶的透明度通常会下降, 这就限制了在保持所需包装外观的情况下能达到的改善程度。

2.2 涂层技术

涂层技术是改善单层 PET 包装气体阻隔能力的另一个可选方案^[22-23]。通过采用等离子制备设备, 利用无定形碳或多氧化硅等物质形成等离子体, 沉积在瓶子表面, 形成一层极薄的致密阻隔层。氧化硅涂层清澈透明, 阻隔性不受温度和湿度影响^[24]; 无定形碳涂层不仅具有光学透明性、低磨损、低摩擦、优良的阻隔性, 还具有非常好的柔韧性^[25]。无定型碳涂层 PET 瓶较普通 PET 瓶对 CO₂ 的阻隔性提高了 7 倍、对 O₂ 的阻隔性提高了 30 倍^[26], 因此, 在啤酒、天然纯茶等对气体阻隔性要求极高的产品上应用较多。

涂层技术方案由于耗材成本低、用量少, 具有一定的吸引力。等离子涂层系统是吹瓶和灌装之间额外增加的工艺步骤, 需要添置涂层设备, 前期设备投入较大。此外, 涂层的效果可能受到瓶子变形的限制, 会破坏瓶子的完整性, 使其阻隔性的改善效果下降, 因此对于瓶型设计的限制较大。

2.3 多层共注技术

多层共注技术是指将原料及阻隔性材料一同注入瓶坯模具里, 做成 3 层的瓶坯。其中内层和外层为原料, 中间层为阻隔材料, 带有阻隔层的瓶坯通过相同的拉伸吹瓶工艺可生产出多层容器^[27-28]。多层共注热流道系统流道示意图 1。

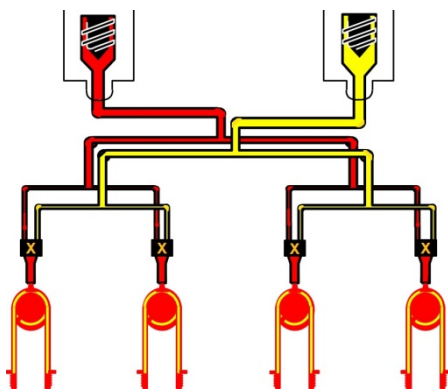


图 1 多层共注热流道系统流道示意图
Fig.1 Schematic diagram of multi-layer co-injection heat runner system

多层共注技术多应用于制备多层 PET 瓶和多层薄壁容器。由于尼龙类材料与 PET 的加工温度及熔点最接近, 因此多选用 PA, MXD6 等气体阻隔性较好的材料作为多层 PET 瓶的中间阻隔层, 无需再使用粘合剂, 所制多层瓶 O₂ 阻隔性比普通 PET 瓶高 2~2.5 倍。虽然 EVOH 比尼龙类材料具有更好的阻气性能, 但由于 EVOH 熔点较低, 跟 PET 一起加工比较困难, 两者不相粘且市面上暂无 PET 基底的粘合剂, 因此 EVOH 不适合应用在 PET 多层瓶中。除尼龙类材料外, 可使用活性吸氧剂配合 PET (质量分数为 30% 的活性吸氧剂+质量分数为 70% 的 PET,) 作为多层 PET 瓶的中间层, Valspar 的 ValOR 系列就有适用于多层瓶的吸氧剂 (AB138J)。此外, 根据内容物的需求, 可在中间层同时添加 TiO₂ 或炭黑母料提高阳光性能。多层薄壁容器 (如薄壁饮料杯、咖啡胶囊杯、奶酪盒等) 的结构多为 PP/EVOH/PP^[29], 其中 PP 料需混合适当的粘合剂, 以免出现层间剥离情况。

与 PET 单层共混瓶相比, 多层瓶阻隔层在瓶壁中分布更密集、透过间隙更小, 因此在使用同样阻隔剂的情况下, 多层共注可减少阻隔剂的添加量, 同时提升产品包装的清晰度。

2.4 多层共挤技术

多层共挤吹塑技术是通过复合模头把几种不同的原料挤出吹制成中空制品, 而使得制品获得优异的综合性能, 达到对小分子气体或汽油的阻隔性能。多层共挤吹塑技术^[30-32]在饮料、农药、化工等行业均有较好的应用, 例如饮料包装多层阻隔瓶、“以塑代玻”农药瓶、“以塑代钢”多层共挤汽车油箱等。多层共挤复合模头系统流道示意图 2。

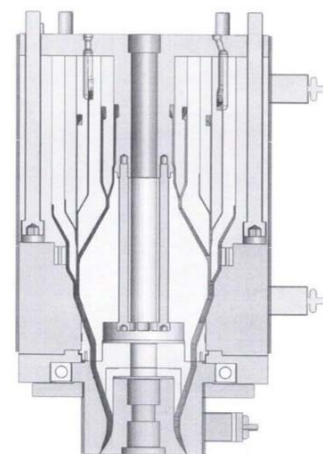


图 2 多层共挤复合模头系统流道示意图
Fig.2 Schematic diagram of multi-layer co-extrusion compound mode head system runner

适用于挤吹成型的原料有 HDPE, PP, PA, EVOH 等, 其中 HDPE, PP 可作为食品接触层和维持挺度, PA, EVOH 用于制备中间阻隔层。由于聚烯烃具有较

好的阻隔水汽的性能，EVOH 具有优异的阻氧、保香性能，且 EVOH 与大多数聚合物的附着力很差^[33-34]，因此多层共挤饮料瓶最常用的结构为 HDPE/TIE/阻隔层/TIE/REGRIND/HDPE 的 6 层结构，其中 REGRIND 层可用于添加加工所产生的边角料，TIE 粘合层可使用聚烯烃基的粘合树脂（如三菱化学 M603、三井化学 NF528H），中间阻隔层可根据产品阻隔需求选择 EVOH（如可乐丽 F171B、三菱化学 ST 系列）或者 PA。

2.5 卷吹制瓶技术

卷吹制瓶技术是基于一种创新的管状热成型技术，通过将卷状塑料纸分切成带状，经过吹管工序成型为管装结构，并在纵向上进行热熔接，制成的塑料管经过再加温，随后在模具中吹制成瓶^[35]，卷吹制瓶工艺流程示意图 3。采用该技术可生产装量为 100~500 mL 的包装瓶，其配合铝箔、或密封盖封口，可用于包装新鲜乳制品、稀质的酸奶和果汁类产品。该技术所用塑料纸采用平板挤压成型的工艺，可根据内容物的灌装形式、储运销售形式及货架期，选择 PS，PP 材料或是带阻隔层的材料。

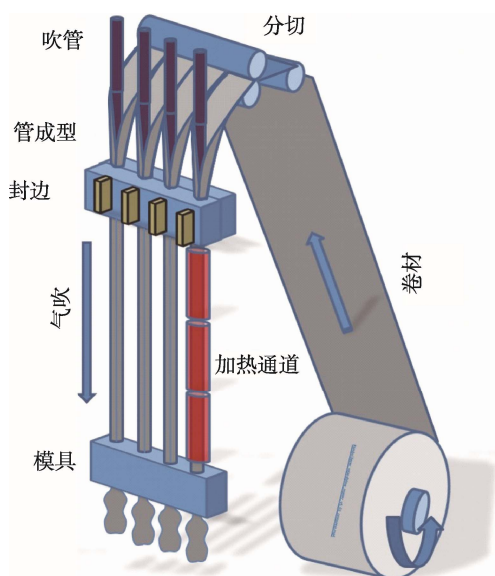


图 3 卷吹制瓶工艺流程示意
Fig.3 Process flow diagram of RollnBlow

相比于挤吹制瓶，卷吹制瓶可减少储瓶空间；低温制瓶工艺、低压模内吹瓶可节约能效，片材可制成薄壁瓶，有效降低瓶重；制瓶洁净度高。推出该技术的设备厂家有法国塞拉克（SERAC）公司，设备产能取决于原材料特性（组成、复合层）及瓶子形状，产能最高可达 28 800 瓶/h。

3 阻隔包装的可持续发展

使用各种阻隔技术的目的是为了延长产品内容

物的保质期、提升品质，因此阻隔技术的应用可有效提高食品安全性，减少食品的变质浪费；另一方面，阻隔材料的应用可有效减轻瓶身克重、减少废弃塑料、减少 CO₂ 排放、降低回收利用的成本，这是食品饮料阻隔包装为社会可持续发展带来的积极影响。同时，阻隔包装带来的回收问题需要引起人们的关注。

当前各国正在积极发展塑料循环经济，在 2017 年，日本使用的 PET 瓶中有 92.2% 在没有押金制度的情况下被收集，回收的材料中有 84.8% 被重复利用^[36]。在阻隔性塑料包装的回收上，日本 PET 瓶回收委员会、欧盟 PETCOR、美国 APR 等组织均对多种常用阻隔材料在该国包装上的添加比例有明确限值（例如 MX 尼龙在日本的限制使用上限为 5%（质量分数）），同时均已建立起回收再利用体系，例如多层瓶回收后经过破碎、淘洗，将阻隔材料与原料分开，再将原料清洗、干燥、造粒成再生原料^[37]，应用在纤维、模塑、片材制品及工业材料等不与食品直接接触的产品上。由于国内的阻隔包装正在发展起步阶段^[38]，对某些阻隔材料的限量使用要求暂时没有明确要求，回收体系也正在逐步完善^[39-40]，因此国内在阻隔包装的可持续发展上还有很长的路要走。

食品饮料企业作为包装的终端应用企业，需要有意地关注和提高产品包装的可持续性，时刻关注行业内各类对环境更友好的阻隔包装材料、更易于回收的阻隔包装结构、更适合新材料的包装技术与工艺，在兼具阻隔性能的同时逐步提高产品包装的可回收性，尽可能降低石油基等不可再生材料的使用量，反对过度包装，将包装可持续发展作为企业责任。

4 结语

食品饮料消费趋势推动高阻隔包装需求的增长，新型的、更高阻隔性能的包装将为预防产品损耗、增加产品保鲜时间、延长货架期走入业界视野。由于不同类型、结构的包装材料具有不同的阻隔性能，且成本和使用条件等差异显著，因此扩展塑料包装的阻隔性能有多种方法，给出了不同梯度阻隔需求的解决方案。当然阻隔效果越好，包装成本也越高。在选择饮料阻隔包装方案时，应从包装饮料的特点、品质要求、预期保质期、储运条件、成本控制、可回收性等方面综合考虑，选择最合适的包装方案，坚决反对过度包装。

塑料包装在满足包装产品的安全防护作用和需要功能后，须符合绿色化、循环化的要求。通过生态化设计解决方案实现塑料包装材料减量化与使用后塑料包装的循环再利用，促使包装业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 支桃英. PET 饮料瓶氧气透过量的探讨[J]. 中外食品工业, 2015(3): 78.
ZHI Tao-ying. Discussion on Oxygen Transmission in PET Beverage Bottles[J]. Sino-foreign Food Industry, 2015(3): 78.
- [2] 桑利军, 王敏, 陈强, 等. 聚乙烯薄膜表面沉积纳米 SiO_x 涂层的阻隔性能[J]. 中国表面工程, 2015, 28(3): 36—41.
SANG Li-jun, WANG Min, CHEN Qiang, et al. Barrier Properties of SiO_x Coatings Deposited on Polyethylene Films[J]. China Surface Engineering, 2015, 28(3): 36—41.
- [3] 王志奋. 聚合物中气体渗透行为的正电子研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005: 12—16.
WANG Zhi-fen. Investigation of Gas Permeability in Polymers by Positron[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005: 12—16.
- [4] 谢超杰, 王克俭. 包装中阻隔机理及新技术[J]. 塑料包装, 2018, 28(2): 8—11.
XIE Chao-jie, WANG Ke-jian. Barrier Mechanisms and Novel Technologies in Packaging[J]. Plastics Packaging, 2018, 28(2): 8—11.
- [5] 徐丹. 浅谈包装材料的阻隔性与食品品质[J]. 上海包装, 2016(8): 39—41.
XU Dan. A Brief Discussion on the Barrier of Packaging Materials and Food Quality[J]. Shanghai Packaging, 2016(8): 39—41.
- [6] 李旭, 陈欣, 于佳佳. 存储环境条件对包装材料阻隔性能的影响分析[J]. 中国包装, 2017, 37(9): 47—49.
LI Xu, CHEN Xin, YU Jia-jia. Analysis of the Influence of Storage Environment Conditions on the Barrier Performance of Packaging Materials[J]. China Packaging, 2017, 37(9): 47—49.
- [7] 王经武. 塑料改型技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 1.
WANG Jing-wu. Plastic Modification Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 1.
- [8] Anon. PET Bottles Benefit from New Slip Additive[J]. Plastics Additives and Compounding, 2005, 7(1): 12.
- [9] 钟雁, 王乾, 谢鹏程, 等. 阻隔性高分子复合材料制备方法研究进展[J]. 塑料科技, 2011, 39(7): 67—70.
ZHONG Yan, WANG Qian, XIE Peng-cheng, et al. Research Progress on Preparation Methods of Barrier Polymer Composites[J]. Plastics Science and Technology, 2011, 39(7): 67—70.
- [10] 刘秋菊, 李旭阳, 陈国伟, 等. 阻隔性高分子复合材料研究与应用进展[J]. 塑料科技, 2013, 41(7): 78—82.
LIU Qiu-ju, LI Xu-yang, CHEN Guo-wei, et al. Research and Application Progress on Barrier Polymer Composites[J]. Plastics Science and Technology, 2013, 41(7): 78—82.
- [11] 董文丽. 阻隔性包装材料及生产技术的应用发展[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 125—128.
DONG Wen-li. Application and Development of Barrier Packaging Materials and Their Production Technologies[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 125—128.
- [12] 岳青青. 阻隔性包装材料的应用现状及发展趋势[J]. 塑料包装, 2011, 21(3): 19—21.
YUE Qing-qing. Application Status and Development Trend of Barrier Packaging Materials[J]. Plastics Packaging, 2011, 21(3): 19—21.
- [13] 杜鹏. 高阻隔性 PET 啤酒瓶材料的制备与研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2007: 4—5.
DU Peng. Study on Preparation and Process of the High Barrier Materials of PET Bottle for Beer[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2007: 4—5.
- [14] 张卉子, 张蕾. 高阻氧性 PET 果汁饮料瓶的研究发展趋势[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 91—94.
ZHANG Hui-zi, ZHANG Lei. Development Trend of Oxygen Barrier PET Bottle for Juice[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 91—94.
- [15] 万重, 朱立民, 刘燕. 新型高阻隔包装材料在乳品包装领域的应用[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 182—184.
WAN Zhong, ZHU Li-min, LIU Yan. The Application of the New Type of Barrier Milk Packaging[J]. Food Research and Development, 2009, 30(5): 182—184.
- [16] 佚名. 荷兰颜料推出超高温灭菌乳品包装用低成本光阻隔剂[J]. 聚合物与助剂, 2017(1): 49.
Anon. Holland Colours Has Developed a Low-cost Photobarrier for Ultra High Temperature Sterilized Milk Packaging[J]. Polymer and Additives, 2017, (1): 49.
- [17] 葛静, 郑仲清. 高阻隔性 PET 瓶的新时代即将来临[J]. 饮料工业, 2009, 12(11): 39—41.
GE Jing, ZHENG Zhong-qing. The Coming New Period of High Barrier PET Bottle[J]. The Beverage Industry, 2009, 12(11): 39—41.
- [18] 钱伯章. 因多拉玛将收购德国高附加值 PET 业务[J]. 聚酯工业, 2019(1): 38.
QIAN Bo-zhang. Indolama Will Acquire Germany's High Value-added PET Business[J]. Polyester Industry, 2019(1): 38.
- [19] 葛良忠彦, 陈昌杰. 阻隔性包装材料的动向(上)[J]. 塑料包装, 2012(4): 60—63.
GELIANG Zhong-yan, CHEN Chang-jie. Trends in Barrier Packaging Materials (I)[J]. Plastics Packaging, 2012(4): 60—63.
- [20] 葛良忠彦, 陈昌杰. 阻隔性包装材料的动向(下)[J]. 塑料包装, 2012(5): 46—50.
GELIANG Zhong-yan, CHEN Chang-jie. Trends in Barrier Packaging Materials (II)[J]. Plastics Packaging, 2012(5): 46—50.
- [21] 段绘叶, 李东立, 许文才, 等. 食品活性吸氧包装材

- 料研究进展[J]. 北京印刷学院学报, 2013, 21(4): 9—12.
DUAN Hui-ye, LI Dong-li, XU Wen-cai, et al. Research Progress of Food Active Oxygen-absorbing Packaging Material[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2013, 21(4): 9—12.
- [22] 陈昌杰. PET瓶的等离子处理技术——ACTIS[J]. 上海塑料, 2000, 11(4): 54—58.
CHEN Chang-jie. Plasma Technique of PET Bottles—ACTIS[J]. Shanghai Plastic, 2000, 11(4): 54—58.
- [23] 王伟民, 李雯, 王文广. 塑料啤酒瓶开发现状[J]. 塑料科技, 2004(1): 62—66.
WANG Wei-ming, LI Wen, WANG Wen-guang. Development of Plastic Beer Bottles[J]. Plastics Science and Technology, 2004(1): 62—66.
- [24] STEVES S, DEILMANN M, AWAKOWICZ P. Silicon Oxide Permeation Barrier Coating of PET Bottles and Foils[C]// Gaseous Electronics Conference, 2009: 2—3.
- [25] 杨莉, 付亚波, 王德生, 等. PET阻隔瓶的研究发展近况[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 185—187.
YANG Li, FU Ya-bo, WANG De-sheng, et al. Recent Development and Application of PET Barrier Bottle[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 185—187.
- [26] LEAVERSUCH R. Barrier PET Bottles: NoBreak through in Beer, But Juice and Soda Surge Ahead[J]. Plastics Technology, 2003, 49(3): 48—60.
- [27] 杨伟成, 赵朋, 匡唐清, 等. 流体辅助共注成型制品层厚的超声无损测量[J]. 杭州: 浙江大学学报(工学版), 2017, 51(1): 192—197.
YANG Wei-cheng, ZHAO Peng, KUANG Tang-qing. Nondestructive Measurement for Wall Thickness of Product Molded by Fluid-assisted Co-injection Molding Using Ultrasound[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2017, 51(1): 192—197.
- [28] 周国发, 柳和生, 何成宏, 等. 共注成型层厚分布影响因素分析[J]. 高分子通报, 2002(1): 41—48.
ZHOU Guo-fa, LIU He-sheng, HE Cheng-hong. Analysis on the Factors Affecting the Layer Thickness Distribution in Co-injection Molding[J]. Polymer Bulletin, 2002(1): 41—48.
- [29] 工程塑料网. Kortec公司展出清晰透明PP塑料罐[J]. 工程塑料应用, 2014(6): 21.
Engineering Plastic. Kortec Exhibits Clear and Transparent PP Plastic Cans[J]. Engineering Plastics Application, 2014(6): 21.
- [30] 贾明印, 薛平, 朱复华, 等. 共挤出技术在聚合物成型加工中的应用及其设备的最新进展[J]. 工程塑料应用, 2006, 34(1): 66—69.
JIA Ming-yin, XUE Ping, ZHU Fu-hua, et al. Application of Co-extrusion Technology in Polymer Molding and Latest Development of Corresponding Equipment[J]. Engineering Plastics Application, 2006, 34(1): 66—69.
- [31] 王卫东, 冯刚, 江平. 共挤成型技术的研究与应用进展[J]. 工程塑料应用, 2014(4): 131—134.
WANG Wei-dong, FENG Gang, JIANG Ping. Research and Application Development of Co-extrusion Molding Technology[J]. Engineering Plastics Application, 2014(4): 131—134.
- [32] 黄益宾, 柳和生, 黄兴元. 聚合物双组分复合共挤成型的挤出胀大研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(4): 657—665.
HUANG Yi-bin, LIU He-sheng, HUANG Xing-yuan. Study on Extrudate Swell in Polymer Bicomponent Coextrusion Process[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2010, 18(4): 657—665.
- [33] 杨玉新, 李丹. EVOH高阻隔食品包装瓶的开发与应用[J]. 塑料包装, 2011, 21(3): 31—35.
YANG Yu-xin, LI Dan. Development and Application of EVOH High Barrier Food Packaging Bottles[J]. Plastics Packaging, 2011, 21(3): 31—35.
- [34] 周斌. 高阻隔性EVOH树脂及其在食品包装上的应用[J]. 塑料包装, 2012(3): 12—15.
ZHOU Bin. Application of High Obstructed Resin EVOH in Food Packaging[J]. Plastics Packaging, 2012(3): 12—15.
- [35] 佚名. SERAC: 首推热成型包装机[J]. 包装财智, 2011(6): 38.
Anon. SERAC: the First Introduction of Hot Forming Packaging Machine[J]. Packaging Wealth and Wisdom, 2011(6): 38.
- [36] 中塑在线. 日本计划在2030年实现PET瓶100%回收[J]. 橡塑技术与装备, 2019(2): 59—60.
China Plastic Online. Japan Plans to Achieve 100% Recycling of PET Bottles by 2020[J]. Plastics Technology and Equipment, 2019(2): 59—60.
- [37] 杨俊辉. 废弃PET的化学降解与回收研究[J]. 包装工程, 2008, 29(4): 35—38.
YANG Jun-hui. Research Progress of Chemical Degradation and Recycling of Waste PET[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 35—38.
- [38] 李新芳, 涂志刚, 赵素芬. 废弃PET瓶的回收现状及研究进展[J]. 塑料包装, 2018, 28(6): 10—13.
LI Xin-fang, TU Zhi-gang, ZHAO Su-fen. Recycling Status and Research Progress of Waste PET Bottles[J]. Plastics Packaging, 2018, 28(6): 10—13.
- [39] 涂定军. PET降解及绿色改性的研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2017: 4—7.
TU Ding-jun. Study on Degradation and Green Modification of PET[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2017: 4—7.
- [40] 唐林伟. 谈废弃塑料的破碎回收利用系统[J]. 橡塑技术与装备, 2017, 43(8): 37—40.
TANG Lin-wei. Crushing and Recycling System of Waste Plastics[J]. Plastics Technology and Equipment, 2017, 43(8): 37—40.