

超高压下以EVOH为基体的改性材料的模拟研究

王淑娟^{1,2}, 程欣^{1,2}, 唐亚丽^{2,3}, 卢立新^{2,3}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江南大学 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122; 3. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 从微观结构层面上对材料改性研究提供理论支持。**方法** 以EVOH为基体, 与PP, HDPE进行改性共混, 形成EVOH/PP, EVOH/HDPE共混体系, 在此基础上运用Materials Studio 5.0计算机分子模拟软件构建超高压下包装材料的分子动力学模型, 利用Discover Analysis和Amorphous Cell Analysis分别分析计算氧气分子在EVOH, EVOH/PP, EVOH/HDPE混合晶胞中的浓度分布以及各分子的内聚能密度(CED)。**结果** 氧气分子在改性共混材料中扩散能力明显减弱, 在1.2~1.4 nm处, EVOH(800 MPa下)中出现2个点划线峰, 而EVOH/PP(800 MPa下)中仅出现1个点划线峰、EVOH/HDPE(800 MPa下)中仅出现1个虚线峰; 超高压处理使EVOH, EVOH/HDPE, EVOH/PP的CED随压力增大而增加, EVOH/HDPE由276.2 J/m³(0.1 MPa)增至340.344 J/m³(800 MPa), EVOH/PP由70.8 J/m³(0.1 MPa)增至240.5 J/m³(800 MPa), 且EVOH/HDPE、EVOH/PP材料的CED均低于EVOH。**结论** 超高压处理能够影响所选包装材料的微观结构, 进而影响材料的阻隔和力学性能。

关键词: 超高压; 计算机分子模拟; EVOH; 材料改性; 浓度分布; CED

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)19-0054-05

Simulation Study on the Performance of Modified EVOH-based Packaging Materials under Ultra-high Pressure Processing

WANG Shu-juan^{1,2}, CHENG Xin^{1,2}, TANG Ya-li^{2,3}, LU Li-xin^{2,3}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Laboratory of Food Packaging Techniques & Safety of China National Packaging Corporation, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to provide theoretical support for material modification from the aspect of microstructure. Based on EVOH with good barrier property, blending of EVOH with PP or HDPE resulted in the formation of EVOH/PP and EVOH/HDPE. On this basis, Materials Studio 5.0 computer molecular simulation software was applied to construct molecular dynamics model for the packaging material under high pressure processing (HPP), while Discover Analysis and Amorphous Cell Analysis were used respectively to calculate the concentration profile of oxygen within the mixed crystal cells of EVOH, EVOH/PP and EVOH/HDPE and the corresponding cohesive energy density (CED). The oxygen permeability of EVOH/PP and EVOH/HDPE was significantly weakened. EVOH, EVOH/PP and EVOH/HDPE had 2 dotted line peaks, 1 dotted line peak and 1 dashed line peak respectively in the range of 1.2~1.4 nm under 800 MPa. The CED of EVOH, EVOH/HDPE and EVOH/PP increased with the increasing pressure of HPP, increasing from 276.2 J/m³ (0.1 MPa) to 340.344 J/m³ (800 MPa) for EVOH/HDPE, from 70.8 J/m³ (0.1 MPa) to 240.5 J/m³ (800 MPa) for EVOH/PP. The

收稿日期: 2014-09-12

基金项目: 国家自然科学基金(31101376)

作者简介: 王淑娟(1989—), 女, 河南商丘人, 江南大学硕士生, 主攻食品包装技术。

作者简介: 唐亚丽(1982—), 女, 河北张家口人, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为食品安全、食品包装技术。

CED values of EVOH/HDPE and EVOH/PP were both lower than that of EVOH. In conclusion, HPP affected the microstructure of the selected packaging material and thus its barrier and mechanical properties.

KEY WORDS: HPP; computer molecular simulation; EVOH; material modification; concentration profile; CED

超高压技术(HPP)是一种非热加工技术,是食品加工和保鲜新技术中最有潜力的技术,超高压杀菌技术得到越来越多研究者的关注^[1-2]。包装材料对产品进行保护并直接接触食品,其性能是否优越决定着食品的货架寿命以及最终质量,在超高压处理过程中材料的性能结构变化也成为现在研究的重点^[3-4]。将2种或2种以上均聚物或共聚物混合制成高分子共混改性材料,可以显著改善原高分子的性能,形成具有优异性能的高分子体系^[5]。传统的分子模拟与计算机相结合演变而成的计算机模拟技术,为超高压下包装材料微观结构的研究提供了新的可能。计算机分子模拟技术(CMS)是指利用理论方法与计算技术,模拟或仿真分子运动的微观行为,进行分子微观结构的测定和宏观性质的计算,广泛地应用于计算化学、计算生物学、材料科学等领域^[6-8]。

文中以EVOH为基体对其进行混合改性,利用Materials Studio 5.0模拟材料在超高压下结构和能量变化,分析不同超高压条件下材料阻隔性能和力学性能的变化。在此基础上,建立材料结构与性能的关系,为材料学家和食品包装工作者从微观结构层面对材料做改性研究提供理论支持。

1 EVOH共混改性拟定成形工艺及参数

1.1 原料

材料:EVOH片材,PP单层薄膜,HDPE单层薄膜,甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA),三烯丙基异三聚氰酸酯(TAIC),顺丁烯二酸酐(MAH),邻苯二甲酸二仲辛酯(DOP),过氧化二异丙苯(DCP),丙酮,苯乙烯。

1.2 材料的共混改性处理方法

1.2.1 EVOH和PP的共混改性处理

将100份PP、0.3份抗氧剂加入高速混合机中混合,再将0.4份(质量份)TAIC、1份MAH和0.1份DCP倒入丙酮中溶解,分多次加入到高速混合机中混合,混合均匀待丙酮挥发完后,将物料加至双螺杆挤出机并控制相应的工艺条件进行接枝反应,挤出造粒后作为相溶剂待用。采用EVOH:PP-g-(MAH-co-TAIC):PP质量比为20:6:80的混合物经过双螺杆挤出机熔融

共混制备EVOH+PP混物并造粒,将双螺杆挤出机制备的PP+EVOH共混物与PP通过微层共挤出装置挤出得到128层的(PP+EVOH)/PP微层共挤出复合材料(通过调节分层叠加单元的个数来控制层状复合材料的层数为128层)^[9-11]。

1.2.2 EVOH和HDPE的共混改性处理

将100份(质量份)HDPE、3份GMA在温度为170℃、转速为40 r/min的条件下置于烘箱中干燥6 h,然后加入0.8份过氧化二异丙苯、1.2份苯乙烯充分混合,在双螺杆挤出机中,进行熔融接枝反应,制得相溶剂备用。采用HDPE:EVOH:HDPE-g-GMA(增溶剂)质量比为80:20:8的混合物经过双螺杆挤出机熔融共混制备HDPE+EVOH共混物并造粒。将双螺杆挤出机制备的HDPE+EVOH共混物与HDPE通过微层共挤出装置挤出得到128层的(HDPE+EVOH)/HDPE微层共挤出复合材料,控制挤出机各段温度及共挤出口模温度并且固定2台挤出机的转速比和喂料速度,保证EVOH在不同层数微层共挤出复合材料中的含量一致^[12-14]。

2 Materials Studio 5.0模拟高压下共混体系

2.1 Materials Studio 5.0软件简介

Materials Studio是一款可运行于PC上解决当今化学及材料工业中一系列重要问题的模拟软件,支持Windows 98, 2000, NT, Unix以及Linux等多种操作平台,使化学及材料科学的研究者更方便地建立三维结构模型,并对各种高分子材料的性质及相关过程进行深入研究。多种先进算法的综合应用使Materials Studio成为一个强有力的模拟工具,无论是构型优化、性质预测、复杂的动力学模拟还是量子力学计算,都可以通过一些简单的操作来得到切实可靠的数据。

2.2 Accelrys Materials Studio 5.0模拟高压下共混体系

Materials Studio采用Microsoft标准用户界面,允许用户通过各种控制面板直接对计算参数和计算结果进行设置和分析。在Materials Studio模拟体系中,文中采用Discover模块下的concentration profiles(浓度分

布剖面图)来构建共混物晶胞中氧气的分布情况,以此来模拟推断 EVOH 以及 EVOH 的 2 种共混物 (EVOH/HDPE, EVOH/PP) 的氧气透过率的变化情况。采用 Amorphous Cell 模块里 cohesive energy density (内聚能密度) 计算分析特定比例的 EVOH 共混体系在高压下内聚能的变化趋势,定性模拟宏观力学性能的变化过程。

3 结果与讨论

3.1 Discover 模块下 concentration profiles 功能模拟共混物的氧气透过率

高压处理条件下,保持温度输入栏为 23 °C,压强

输入栏中的数值取 400, 800 MPa。首先运用 concentration profiles 的功能模拟乙烯与乙烯醇质量比为 36:64 的 EVOH 分别在 0.1, 400, 800 MPa 下氧气浓度分布剖面图见图 1a—c, 共混体系 EVOH/HDPE 中氧气浓度分布剖面图见图 1d—f。这里用于模拟共混物的配比采用了材料制备中拟定的物料配比(下同)。

图 1 中横坐标为氧分子在晶胞中的渗透距离,纵坐标为相应渗透距离上氧气分布,图 1 中 3 种折线分别代表氧分子在晶胞中 x, y, z 方向上的渗透量,其中点划线所指 x 方向指的是氧分子在晶胞中的扩散轨迹在 xOz 面上的投影,虚线所指 y 方向指的是氧分子在晶胞中的扩散轨迹在 xOy 面上的投影;实线所指 z 方向指的是氧分子在晶胞中的扩散轨迹在 yOz 面上的投影。

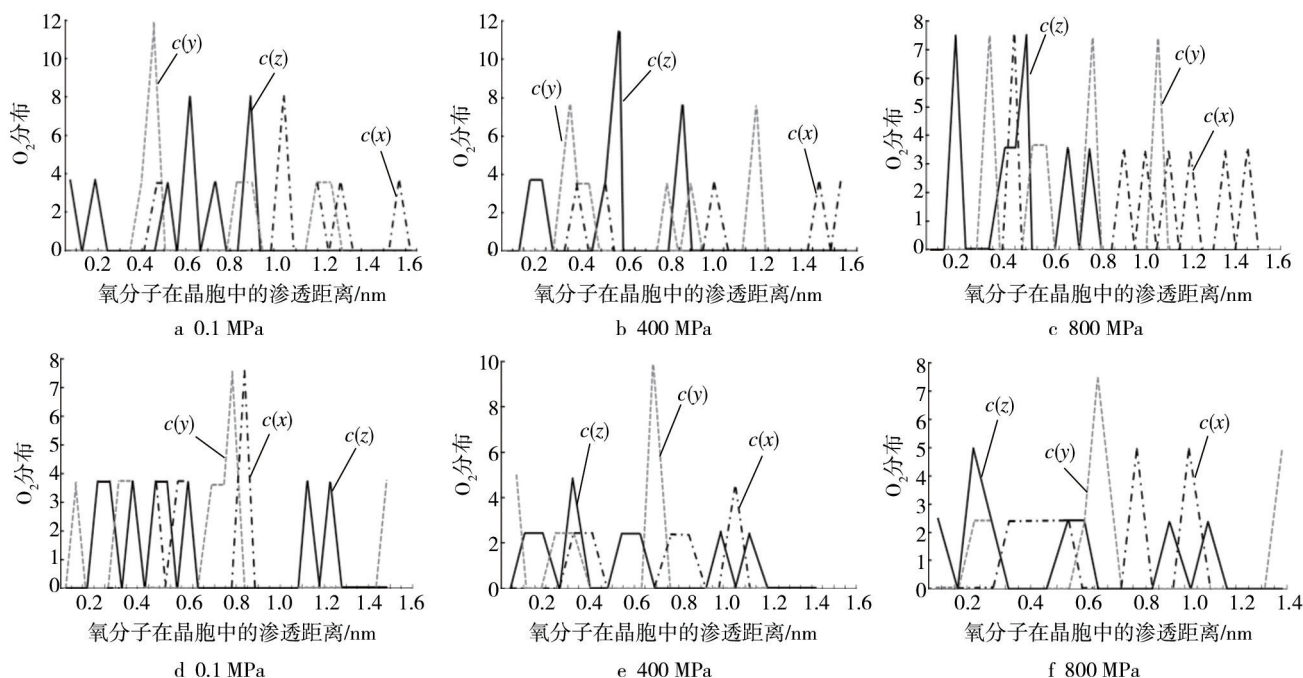


图 1 不同条件下 EVOH(a,b,c), EVOH/HDPE(d,e,f) 材料中 O_2 的浓度分布剖面

Fig.1 The concentration distribution profile of O_2 in EVOH (a,b,c) and EVOH/HDPE (d,e,f) under different pressure

结合图 1a—c 对比纵向浓度分布剖面图。 x 方向上,当压力从 0.1 MPa 增加到 400 MPa 时,渗透距离在 0.9~1 nm 内的氧分子量增加,当压力从 400 MPa 增加到 800 MPa 时,整个折线集中于高渗透距离 0.9~1.5 nm 之间,也就是说随着压力的增大 EVOH 中氧分子含量逐渐增大,其阻隔性能逐渐降低; y 方向上,氧分子含量随着压强增大而增大,逐步向左移动且统一集中在 0.2~0.3 nm, 0.4~0.6 nm, 0.7~0.8 nm, 1.0~1.1 nm 的渗透范围内; z 方向上,氧分子渗透距离均保持在 0.9 nm 之内,与 y 方向类似,随着压力的增大,折线向左移动,氧分子逐渐集中在渗透距离为 0.1~0.2

nm 和 0.3~0.5 nm 的范围内。图 1d—f 与图 1a—c 在 x, y, z 方向上基本保持相同的变化趋势,但当压强增至 800 MPa 时, y 方向上渗透距离较大处也出现了部分氧分子。横向上对比来看,常压下 x 方向上共混体系 (EVOH/HDPE) 的氧分子均分布在渗透距离 0.9 nm 以下; y 方向上,除了高渗透距离上的氧分子外,其余的氧分子集中于 0.8 nm 以下; z 方向上,氧分子主要集中分布在低渗透距离 0.1~0.6 nm 之间。当压力升至 400 MPa 乃至 800 MPa 后, EVOH/HDPE 中氧分子分布较匀称,且低于 1.2 nm 的渗透距离,压强越高 EVOH/HDPE 中高渗透距离的氧分子比例明显较

EVOH中的氧分子下降了很多,且在距离分布上也较平均。总体来说,EVOH/HDPE晶胞所反映出来的氧分子主要集中于图标的左侧,整体的阻隔性能优于EVOH,这与之前关于共混物可改进EVOH的阻隔性能结论一致。

在超高压下EVOH/PP共混物与EVOH/HDPE在 x, y, z 方向上折线变化趋势基本一致且均略微左移见图2。随着压强增大,EVOH/PP共混物中氧分子在渗透距离的分布上断层出现较为明显,且整体图像上的距离分布范围明显缩小, x 方向上渗透距离随着压强的增大由1.45 nm降低到1.25 nm以内,图2a中

横坐标1.2~1.4 nm处出现2个点划线波峰和1个实线波峰,这表明 x, z 方向上1.2~1.4 nm处都存在氧分子。图2b中横坐标1.2~1.4 nm处出现1个点划线波峰,这表明只有 x 方向上存在氧分子。图2c中横坐标1.2~1.4 nm处出现1个点划线波峰,这表明只有 x 方向上存在氧分子,但在相同的渗透距离内(即1.2~1.4 nm处)图2b中晶胞的氧分子含量明显高于图2c。综上所述,氧分子在800 MPa下的扩散能力最弱,600 MPa下其次,常温常压下氧分子的扩散能力最强,即EVOH/PP材料阻隔氧气的特性随着压强的增大而逐渐增强。

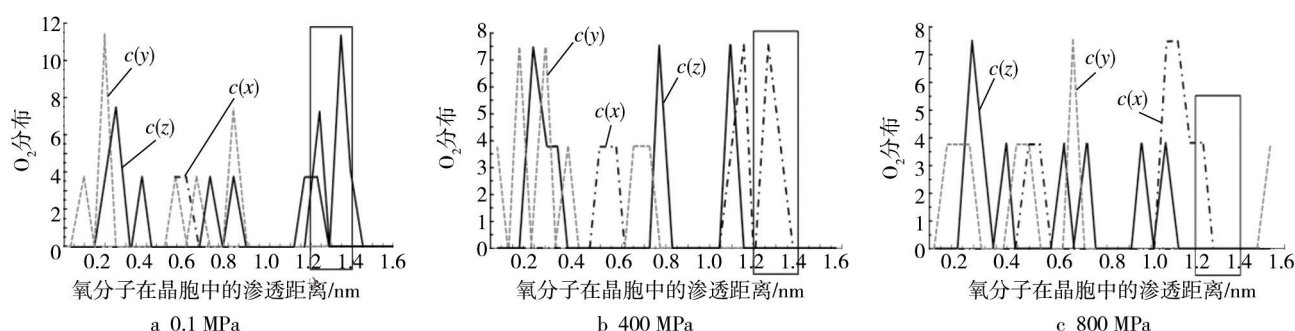


图2 不同超高压条件下EVOH/PP(a,b,c)材料中O₂的浓度分布剖面图

Fig.2 The concentration distribution profile of O₂ in EVOH/PP (a,b,c) under different ultra-high pressure conditions

3.2 Amorphous Cell 模块里的 cohesive energy density 功能计算共混物的内聚能密度

内聚能是材料学中一个比较重要的概念,是指1 mol 物质除去分子间全部作用力所需外界提供的能量,用以衡量高聚物分子间作用力的大小。内聚能密度(CED)即单位体积的内聚能,内聚能密度 $\varepsilon = \Delta U/V$, 其中 ΔU 为内聚能, V 为摩尔体积。高聚物的抗拉强度、压缩性、热膨胀系数、润湿性等性能都与其CED有关。从微观角度看,CED在一定程度上反映了材料宏观的力学性能。

与模拟氧气透过率的方式相同,保持温度输入栏为23℃,改变压强输入栏的数值,选取400,800 MPa。运用cohesive energy density 功能计算特定配比的EVOH的内聚能,计算EVOH与两类共聚物EVOH/HDPE,EVOH/PP的CED。在模拟计算时,计算结果自动保存为一个文档资料,文档的第1行与第5行即为CED(单位不同)。

可见随着压强的增大,EVOH的CED不断增大,由 $2.169\ 71 \times 10^8\ \text{J/m}^3$ (0.1 MPa)增至 $3.578\ 14 \times 10^8\ \text{J/m}^3$ (800 MPa),也就是说随着压力的增大,EVOH的应力逐渐增大,而拉伸率逐渐降低,这是由于CED表征聚合

物分子链间的相互作用力,内聚能的变化反映不同条件下分子链间的相互作用力,而分子间作用力的变化又会直接影响材料的应力应变特性,所以其应力随EVOH的CED增大而增大,拉伸率随EVOH的CED增大而减小。共混体系EVOH/HDPE,EVOH/PP的CED与EVOH的CED变化相似,均随着压力的增大逐渐增大,EVOH/HDPE由 $2.762\ 33 \times 10^8\ \text{J/m}^3$ (0.1 MPa)增至 $3.403\ 44 \times 10^8\ \text{J/m}^3$ (800 MPa),EVOH/PP由 $7.085\ 93 \times 10^7\ \text{J/m}^3$ (0.1 MPa)增至 $2.405\ 09 \times 10^8\ \text{J/m}^3$ (800 MPa)。

结果表明,共混体系的CED除了EVOH/HDPE在常压下的CED高于EVOH在常压下的CED之外,其余情况下共混体系的CED均低于EVOH在对应压强下的CED。这是由于HPP后,材料分子链间的作用力增大,分子间作用力增强使分子结构更加紧凑,分子间凝聚力增强,分子CED增大。当 $\text{CED} < 290\ \text{J/cm}^3$ 时,分子间作用力较小,分子链较柔顺,易变形,有弹性; $\text{CED} > 400\ \text{J/cm}^3$ 时,聚合物分子间作用力较强,具有较高的结晶性和强度,常作纤维用; $290\ \text{J/cm}^3 < \text{CED} < 400\ \text{J/cm}^3$ 的聚合物,具有中等程度的分子间作用力,它们既有一定强度又易于加工。EVOH/PP的CED分别为 $70.9\ \text{J/cm}^3$ (0.1 MPa), $157.7\ \text{J/cm}^3$ (400 MPa), $240.5\ \text{J/cm}^3$ (800 MPa),均低于 $290\ \text{J/cm}^3$,而经过改性

共混后的EVOH/HDPE的CED也均低于 400 J/cm^3 。也就是说,经过与HDPE,PP共混改性后的EVOH材料,比EVOH更柔韧,更适于超高压处理,在超高压处理过程中,随着压力的增大,分子的CED增大,分子间应力增加,拉伸率略有降低。

4 结语

通过对改性共混EVOH材料在不同压强条件下的微观结构模拟计算,参照前人对其阻隔及力学性能的实验研究^[14-17],可知超高压处理会增强氧分子在EVOH结构中的扩散能力,在超高压的作用下,氧分子在改性共混后的材料中扩散能力明显减弱,更适于超高压处理,但EVOH/PP阻隔氧气的特性随压强增大而逐渐增强。超高压处理使EVOH, EVOH/HDPE, EVOH/PP的内聚能密度随压力增大而增加,分子间应力增加,拉伸率降低且改性共混后材料的内聚能密度均低于EVOH。

综上所述,虽然文中给出了可能的材料改性方案,有了初步的研究成果,但是仅限于理论的研究分析,还需要通过实验来验证方案的可行性。超高压处理能够影响包装材料的微观结构,进而影响材料的阻隔和力学性能,因此,在对食品进行超高压处理时,一定要根据食品的特性,选择合适的包装材料。在今后,多种不同的材料,根据其不同的组份配比造就一种新的材料具有极大的开发潜力。

参考文献:

- [1] 王允圃,刘玉环,阮榕生,等. 食品热加工与非热加工技术对食品安全性的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 463—466.
WANG Yun-pu, LIU Yu-huan, RUAN Rong-sheng, et al. Effect of Food Thermal Processing and Non-thermal Processing on the Safety of Foods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 463—466.
- [2] 徐绍虎,崔爽. 无菌包装食品冷杀菌技术研究进展[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 113—116.
XU Shao-hu, CUI Shuang. Research Progress in Cold Sterilization Technique for Aseptic Packaging Foods[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 113—116.
- [3] FAIRCLOUGH J P A, CONTI M. Influence of Ultra-high Pressure Sterilization on the Structure of Polymer Films[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 22(5): 303—310.
- [4] 陈黎敏,蔡惠平. 包装复合薄膜渗透性的模拟分析[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 31—35.
CHEN Li-min, CAI Hui-pin. Research on Gases Permeability of Laminated Packaging Films[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 31—35.
- [5] 朱光明,辛文利. 聚合物共混改性的研究现状[J]. 塑料科技, 2002(2): 42—46.
ZHU Guang-ming, XIN Wen-li. Advance in Modifyig Technique of Polyamide[J]. Plastics Sci & Technology, 2002(2): 42—46.
- [6] 王平利,王志伟,陈默,等. 聚合物中小分子扩散的分子动力学模拟[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 25—27.
WANG Ping-li, WANG Zhi-wei, CHEN Mo, et al. Molecular Dynamic Simulation of Small Molecule Diffusion in Polymer[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 25—27.
- [7] 庄昌清,岳红,张慧军. 分子模拟方法及模拟软件 Materials Studio在高分子材料中的应用[J]. 塑料, 2010, 39(4): 81—84.
ZHUANG Chang-qing, YUE Hong, ZHANG Hui-jun. Molecular Simulation Methods and Materials Studio Applications to Macromolecular Material[J]. Plastics, 2010, 39(4): 81—84.
- [8] 戚东涛,夏荣厚,任鹏刚,等. 氧气在PVDF片材中扩散的分子动力学模拟[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 28—32.
QI Dong-tao, XIA Rong-hou, REN Peng-gang, et al. Molecular Dynamic Simulation for Diffuse Characterization of Oxygen in PVDF Sheet[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 28—32.
- [9] 李婷,李姜,郭少云,等. 微层共挤出(PP+EVOH)/PP阻隔材料的结构与性能研究[J]. 高分子学报, 2009, 12(12): 1226—1231.
LI Ting, LI Jiang, GUO Shao-yun, et al. The Barrier Property of Microlayered PP/EVOH Blends Composites[J]. Acta Polymerica Sinica, 2009, 12(12): 1226—1231.
- [10] CARR J M, MACKEY M, FLANDIN L. Structure and Transport Properties of Polyethylene Terephthalate and Poly (Vinylidene Fluoride-co-tetrafluoroethylene) Multilayer Films[J]. Polymer, 2013(54): 1679—1690.
- [11] 李长金,焦志伟,王乾,等. 微层PP/(PP+EVOH)复合材料的结构与阻隔性能[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(10): 83—86.
LI Chang-jin, JIAO Zhi-wei, WANG Qian, et al. Structure and Barrier Property of PP/(PP+EVOH) Microlayered Composite[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(10): 83—86.
- [12] 葛铁军,李英明,杨雪. 乙烯乙烯醇共聚物与聚乙烯共混物的性能研究[J]. 沈阳化工大学学报, 2013, 27(3): 226—229.
GE Tie-jun, LI Ying-ming, YANG Xue. Properties of EVOH and HDPE Blends[J]. Journal of Shenyang University of Chemical Technology, 2013, 27(3): 226—229.
- [13] 李连贵,王永伟,董欣伟,等. 熔融挤出HDPE/EVOH共混物的微观结构及性能[J]. 化工新型材料, 2011, 39(6): (下转第124页)

- [3] 郭轩. 彩色印刷品视觉检测相关算法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2010.
GUO Xuan. Research of Relative Algorithms for Vision Inspection of Color printing[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2010.
- [4] 尚会超. 印刷图像在线检测的算法研究与系统实现[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
SHANG Hui-chao. The Study on Algorithm and System Implementation of Printing Image Online Detection[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2006.
- [5] 迟慧慧. 基于半色调图像的质量检测方法研究[D]. 无锡:江南大学,2007.
CHI Hui-hui. Research on the Quality Detection for Halftone Image[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [6] 吴雪飞. 数字图像处理技术在印刷中的应用[D]. 无锡:江南大学,2011.
WU Xue-fei. The Application of DIP in Printing[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [7] 郝健强,唐万有,蒋瑞雪,等. 基于相位相关的印刷全画面检测中图像定位的研究[J]. 包装工程,2012,33(3):94—98.
HAO Jian-qiang, TANG Wan-you, JIANG Rui-xue, et al. Research of Image Registration for Print Whole Image Detection Based on Phase Correlation[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3): 94—98.
- [8] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. Scale and Affine Invariant Interest Point Detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(1): 63—86.
- [9] MATTOCCIA S, TOMBARI F, STEFANO L D. Efficient Template Matching for Multi-channel Images[J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(5): 694—700.
- [10] 肖鹏,殷实,刘平平,等. 基于序贯相似性测算法的图像模板配准算法[J]. 湖北工业大学学报,2010,25(1):99—101.
XIAO Peng, YIN Shi, LIU Ping-ping, et al. A Fast Image Template Registration Algorithm Based on SSDA[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2010, 25(1): 99—101.
- [11] 郝健强,唐万有,蒋瑞雪,等. 印刷全画面在线检测图像定位技术的研究[C]// 2012第二届中国印刷与包装学术会议论文摘要集,2012.
HAO Jian-qiang, TANG Wan-you, JIANG Rui-xue, et al. Research of Image Location for Print Whole Image On-line Detection System[C]// Abstracts of CACPP, 2012.
- [12] 胡威捷,汤顺青,朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007.
HU Wei-jie, TANG Shun-qing, ZHU Zheng-fang. Modern Color Science and Application[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007.
- [13] CY/T 5—1999,平版印刷品质量要求及检验方法[S].
CY/T 5—1999, General Requirements of Quality and Test Methods for Planographic Printing[S].
- [14] 徐敏,唐万有,马千里,等. 基于Blob算法的印刷缺陷在线检测的研究[J]. 包装工程,2011,32(9):20—23.
XU Min, TANG Wan-you, MA Qian-li, et al. Research on-line Defect Detection Based on Blob Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 20—23.
- [15] 龚修端,刘昕. 印刷品质量实时检测技术[J]. 包装工程,2003,24(6):45—49.
GONG Xiu-duan, LIU Xin. Research on System Real Time Monitoring in Printing Quality[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(6): 45—49.

(上接第58页)

- 101—104.
LI Lian-gui, WANG Yong-wei, DONG Xin-wei, et al. Microstructure and Properties of HDPE/EVOH Blends by Melt Extrusion[J]. New Chemical Materials, 2011, 39(6): 101—104.
- [14] CANER C, HERNANDEZ H. High-pressure Processing Effects on the Mechanical, Barrier and Mass Transfer Properties of Food Packaging Flexible Structures: A critical Review[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17(1): 23—29.
- [15] GALATTO M J, ULLOA P A, HERNANDEZ D, et al. Mechanical and Thermal Behavior of Flexible Food Packaging Polymeric Film Materials under High Pressure/Temperature Treatments[J]. Packaging Technology & Science, 2008, 21: 297—308.
- [16] 唐亚丽,赵伟,卢立新,等. 超高压杀菌处理对包装材料稳定性的影响[J]. 包装工程,2010,31(23):10—12.
TANG Ya-li, ZHAO Wei, LU Li-xin, et al. Effect of Sterilization Processing under Ultra High Pressure on the Stability of Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 10—12.
- [17] GALOTTO M J, ULLOA P, ESCOBAR R, et al. Effect of High-pressure Food Processing on the Mass Transfer Properties of Selected Packaging Materials[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(5): 253—266.