

PET 材料及工艺对其制品性能影响的研究

刘欢, 温浩宇

(四川省宜宾普拉斯包装材料有限公司, 四川 宜宾 644007)

摘要: 本文采用自产专用 PET 原料, 使用 HUSKY 注塑机, 通过调整、优化注塑工艺, 生产直接接触食品的包装件 (以下简称“包装件”)。通过采用多种加工工艺参数进行正交试验, 分析研究了加工工艺对 PET 包装件中乙醛 (AA) 值含量的影响。通过测试 PET 包装件的可溶性元素含量, 对 PET 原料及制品的食品卫生性能进行了研究。通过不同材质的包装件载压性能和冲击性能对比, 分析了 PET 材料用于包装件的韧性性能。通过 PET 材料 SO₂ 气体破坏实验和耐紫外老化性能试验, 研究了 PET 包装件的环境适应性及耐老化性能, 证明了其符合各类包装的仓储要求。

关键词: PET; 包装件; 食品卫生; 气体破坏; 紫外老化

中图分类号: TQ323.41

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)04-0040-05

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.04.009

PET 是弱极性高分子聚合物, 具有透明特性, 瓶级 PET 可以采用注拉吹工艺、拉片工艺、注塑工艺、吹膜工艺, 生产各种瓶子、片材、盒子、膜等产品, 大量应用于饮料、白酒、电子产品、医药等产品内外包装。

PET 在较宽的温度范围内具有优良的物理机械性能和加工性能, 作为包装材料具有以下优点^[1-2]:

有良好的力学性能。

耐油、耐脂肪、耐稀酸、稀碱, 耐大多数溶剂。

具有优良的耐高、低温性能, 能耐 -70 °C 低温, 且高、低温时对其机械性能影响很小。

气体和水蒸气渗透率低, 即有优良的阻气、水、油及异味性能。

透明度高, 可阻挡紫外线, 光泽性好。

无毒、无味, 卫生安全性好, 可直接用于食品包装。

美国 FDA 中也将 PET 材料定义为卫生安全性良好, 可直接用于食品包装^[3], 完全可以替代 AS、PC 原料制作与食品接触的包装件 (以下简称“包装件”)。但是由于 PET 的加工特性与 AS、PC 等材料的差别较大, 故必须对注塑工艺进行调整, 使其能适宜于 PET 材料的生产, 这是研究的重点。在此基础上对 PET 包装件在加工过程中 AA 值的控制, 包装功能性, 环境适应性及耐候性进行了研究。

1 实验材料与实验方法

1.1 实验材料

实验所采用的 PET 材料为公司自产, 抗冲击 PET 牌号: PET152, 普通瓶级 PET 牌号为: PET150。

实验采用的其他材料及试剂见表 1。

表 1 实验所涉及的材料及试剂

序号	名称	生产厂家
1	95% 乙醇水溶液	川东化学试剂厂
2	硫酸 (99.0%)	川东化学试剂厂
3	氯化铵	川东化学试剂厂
4	硫酸钠	川东化学试剂厂
5	硫代硫酸钠	川东化学试剂厂

1.2 实验方法

1.2.1 PET 材料卫生性能的测试

卫生性能的测试方法或标准见表 2。

表 2 PET 材料卫生性能的测试

序号	名称	测试方法或标准
1	PET 制品中可溶性元素含量测试	GB 4806.7-2016
2	PET AA 值含量测试	PET 瓶坯乙醛 (AA) 含量测试标准

1.2.2 PET 包装件的包装功能性测试

PET 包装件的包装功能性主要涉及包装件的强度及韧性, 主要的测试方法及相关内容见表 3。

作者简介: 刘欢 (1988-), 男, 本科, 工程师, 主要从事高分子材料成型技术及工艺管理工作。

收稿日期: 2023-10-12

表3 PET包装件的物理测试

序号	测试项目	测试方法	测试仪器及主要参数
1	静载压测试	在万能试验机装用工装上放置PET包装件样品,按设定的下压速率对样品进行静载测试,当样品破裂时终止测试,记录下样品破裂时的载荷值。	承德金建(XLD-10 L),下压速率:1 mm/min
2	冲击测试	在自制的落锤冲击试验机工装上放置PET包装件样品,在不同的下落高度下用落锤冲击样品,直到在某一下落高度的冲击下样品发生破裂为止,并记录下试验高度。	自制,落锤重量:10 kg

1.2.3 PET包装件的环境适应性测试

PET包装件的环境适应性,主要是耐大气中SO₂气体对印刷或附着在PET表面的材料的破坏,测试方法如下:

1.2.3.1 品准备

将膜材按用途经烫印工艺印在PET片材上,将印制部分切成样片(规格:100 mm×300 mm),打孔后穿上塑料绳。

1.2.3.2 试剂配制

(1)在50 mL烧杯A中配置30 mL 1%氯化铵和1%硫酸钠的水溶液。

(2)称量0.4 g 硫代硫酸钠,放入烧杯B。

(3)用移液管量5 mL稀硫酸(0.5 mol/L)放入烧杯C。

1.2.3.3 测试过程

(1)将干燥皿放入通风柜中;将样品绑在干燥皿的中间隔层上,使样品竖直悬于干燥皿底部;

(2)将烧杯A放入干燥皿中;

(3)将烧杯B放入干燥皿隔层上,倒入C中的稀硫酸,迅速盖上密封盖。

1.2.3.4 测试记录

测试时间24 h、48 h、72 h记录样品变色情况。

1.2.4 PET包装件的耐紫外老化测试

测试方法及相关内容见表4。

表4 PET材料的耐紫外老化测试

测试项目	测试方法	主要测试仪器及参数
耐紫外老化测试	将PET材料加工成厚度为0.5 mm的片材,经单面印刷不同颜色后,裁剪为50×80 mm小片,放置在紫外老化试验箱中(印刷面背对紫外光,让紫外光穿过PET层再照射在印刷层上),在设定的条件下,照射一定时间后,取出用色差仪测试色差ΔE。	紫外老化实验仪:QUV/基本型,试验条件:温度40℃,紫外灯(20 W,3只) 色差仪:爱色丽eXact标准版

1.2.5 PET包装件注塑工艺调整

试验设备为HUSKY 1#注塑机,试验原料牌号为PET152,模具为48腔模具。实验参数见表5。

表5 试验参数表

水平因素	A 周期/s	B 2区温度 T/°C	C 6区温度 T/°C	D 向后位置/mm
水平1	18	280	305	50
水平2	17.5	286	303	45
水平3	17	273	300	55

2 结果与分析

2.1 乙醛含量及可溶性元素含量

根据PET材料的食品安全要求,须控制PET制品中乙醛(AA)的含量^[4-6]。为分析研究加工工艺对PET制品AA值含量的影响,我们采用多种工艺参数进行了正交试验,数据见表6。

对于各因素列,算出各个水平相应AA值之和(T)。由表6可以看出:

对于每列,比较T₁、T₂、T₃的大小,因为AA值越小越好,所以AA值之和小的水平较高,故:第一

列T₃小、第二列T₃小、第三列T₁小、第四列T₃小,即周期为17 s、2区温度为273℃、6区温度为300℃、向后位置为55 mm时为最好。

计算各列的极差R极差大小通常意味着因素对试验结果影响的重要程度,生产周期R=17.3为4个影响因素中的重要因素。对AA影响最大的因素为周期,计算极差大,在趋势图表现为波动大,另外6区温度、向后位置这两个因素仍有“潜力”可控。

表7是PET包装件的可溶性元素含量测试结果。

由表7可以看出,该牌号的PET包装件的可溶性含量是符合相关食品卫生性能规定的^[7-8]。

2.2 PET物理性能

PET包装件在生产和使用过程中易出现破裂,对产品功能性产生影响^[9-10],对此,我们对AS材料包装件和各种不同配方PET原料包装件分别进行正面和侧面压缩测试。对其载压性能和冲击性能对比分析见图1、图2、表8。

由以上的实验数据表明,PET原料包装件较

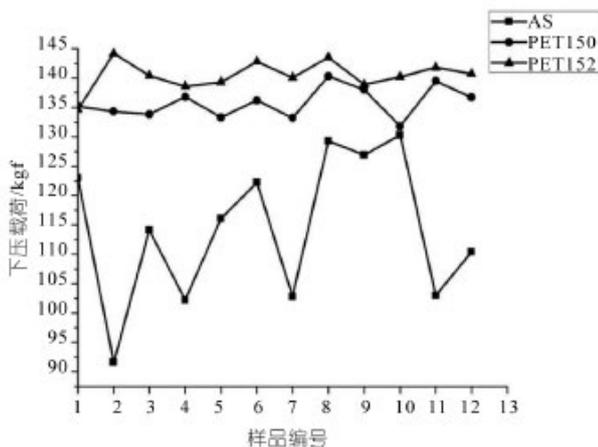
表 6 正交实验表

试验号	A 周期	B (2 区温度 T)	C (6 区温度 T)	D 向后位置	试验结果 Y (AA 含量)
1 组	1 (18)	1 (280)	1 (300)	1 (45)	36.3
2 组	1 (18)	2 (286)	2 (303)	2 (50)	36.2
3 组	1 (18)	3 (273)	3 (305)	3 (55)	35.4
4 组	2 (17.5)	1 (280)	2 (303)	3 (55)	32.5
5 组	2 (17.5)	2 (286)	3 (305)	1 (45)	35.8
6 组	2 (17.5)	3 (273)	1 (300)	2 (50)	31.8
7 组	3 (17)	1 (280)	3 (305)	2 (50)	31.6
8 组	3 (17)	2 (286)	1 (300)	3 (55)	28.1
9 组	3 (17)	3 (273)	2 (303)	1 (45)	30.9
T_1	107.9	100.4	96.2	103.0	$T=298.6$
T_2	100.1	100.1	99.6	99.6	$Y=298.6/9=33.2$
T_3	90.6	98.1	102.8	96.0	
R	17.3	2.3	6.6	7.0	

表 7 PET 包装件中可溶性元素含量

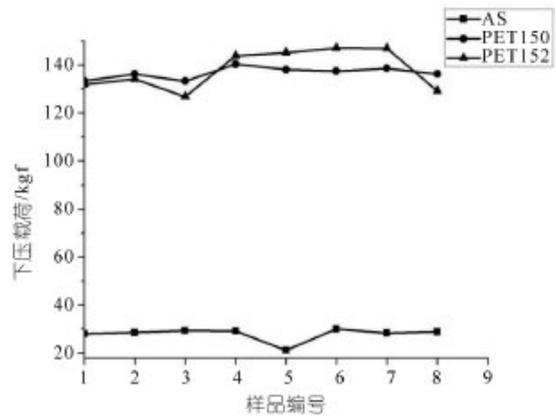
可溶性元素	限量 / (mg·kg ⁻¹)	方法检出限	结果
Al	70 000	50	No
Sb	560	10	No
As	47	10	No
Ba	56 000	50	No
B	15 000	50	No
Cd	17	10	No
Cr(III)	460	5	No
Cr(VI)	0.2	0.2	No
Co	130	10	No
Cu	7 700	50	No
Pb	160	10	No
Mn	15 000	50	No
Hg	94	10	No
Ni	930	10	No
Se	460	10	No
Sr	56 000	50	No
Sn	180 000	4.9	No
Zn	46 000	50	No
结论	符合		

AS 原料包装件韧性更佳, PET 两种配方原料中则 PET152 配方韧性更佳, PET152 配方的载压性能和抗冲击性能完全能适应 PET 包装件的生产和使用。



注: PET152 和 PET150 变形, AS 料破裂。

图 1 装配下管正面垂直载压



注: PET152 和 PET150 变形, AS 料破裂。

图 2 未装配下管侧面垂直载压

表 8 冲击性能测试

序号	AS	PET150		PET152		
	高度 25mm	高度 20mm	高度 25mm	高度 30mm	高度 25mm	高度 60mm
未破数量	3	10	10	6	10	7
破数量	7	0	0	4	0	3

备注: AS 装配下管, PET152 和 PET150 未装配下管。

2.3 PET 制品烫金后环境适应性

耐 SO₂ 气体破坏的实验结果:

实验采用 PET150 和 PET152 两个牌号, 分别采用 5 种烫金膜, 结果见表 9。从结果可以看出影响 PET 制品表面烫金字体或图案不易被 SO₂ 腐蚀的关键因素是烫金金属膜^[11], 金属膜的膜层越致密, 其阻 SO₂ 分子侵入的效果越好, 宏观上表现出来就是字体或图案不易变色、脱落。由表 9 可以看出, 相对于其它厂商的烫金膜来说, 厂家三的烫金膜其金属层更加致密, 因此其抵御 SO₂ 腐蚀的能力就更强。

2.4 PET 材料印刷后的耐紫外老化性

图 3 为 PET 包装件的耐紫外老化性能。

由图 3 可以看出, 随着紫外老化时间的延长, 各

表 9 耐 SO₂ 气体破坏的实验结果

实验时间	种类				
	厂家一	厂家二	厂家三 1 [#]	厂家三 2 [#]	厂家三 3 [#]
24 h	1. 三家都有一定褪色；				
	2. 厂家二的颜色保持率最好，还有一定泛光；				
	3. 厂家一地褪色最严重，已有点透光；				
	4. 厂家三有三种样品，颜色保持性 3 [#] >2 [#] >1 [#] 。				
48 h	1. 三家烫印膜与前日比较：颜色都有变浅；				
	2. 厂家二的烫印效果：字体四周已出现印迹，部分字体看起来烫印不全；				
72 h	1. 三家烫印膜颜色的变化已没有前两日明显；				
	2. 厂家一的烫印效果：字体边缘印迹更多，外观已无金色，呈淡黄色。				
	3. 厂家三 1 [#] 样品变淡，仅部分字体失去金色。				

备注：本表只列举 PET152 的实验结果，PET150 的实验与 PET152 一致。

种颜色印刷片材的 ΔE_{ab} 都在增大，增大的趋势为白 < 空白 < 绿 < 灰 < 红。这是因为紫外线穿过 PET 层后，白色印刷层对紫外线的吸收最少，因此其耐紫外老化性较好，而灰色和红色印刷层对紫外线的吸收较多，其色差的变化较大，即耐紫外老化性较差。

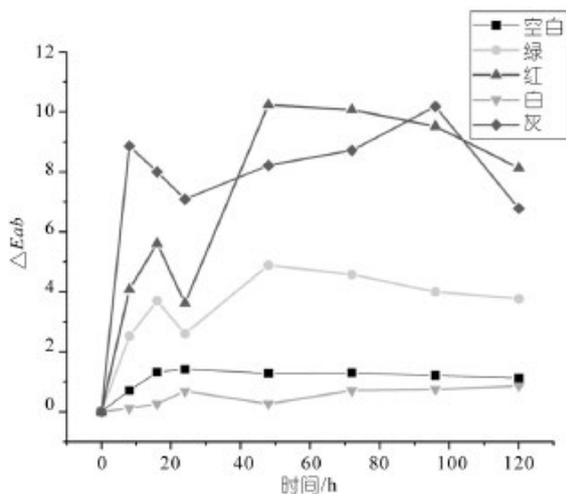


图 3 PET 耐紫外老化性能

3 小结

通过对 PET 材料的研究和 PET 包装件注塑工艺的修改调整：

(1) 确保了 PET 包装件的食品卫生安全性，使其符合了相关的卫生性能要求。

(2) 确保了 PET 包装件的高强度、高韧性，使其

符合包装功能性的要求。

(3) 确保了 PET 包装件的环境适应性及耐老化性能，使其符合各类包装的仓储要求。

参考文献：

- [1] 李洪亮,王解新,康勇. PET 材料性能与最新技术进展概述 [C]. 2002 年中国化妆品学术研讨会. 2002.
- [2] 无. PET 材料的未来趋势分析 包装材料与容器技术回顾与展望 [J]. 现代包装, 2013(1):3.
- [3] 高灵强, 周立权, 阳培翔, 等. 浅谈酒类食品包装未来发展趋势 [C]. 中国包装联合会塑料制品包装委员会四次年会暨科技创新、转型升级、持续健康发展论坛. 2015.
- [4] 宇伟忠. 中国当代食品安全问题研究 [D]. 昆明理工大学, 2010.
- [5] 朱艳新, 陈春梅. 我国食品物流安全问题研究 ——“白酒塑化剂”事件引起的反思 [J]. 价格理论与实践, 2013(1):50-51.
- [6] BB/T 0060-2012, 包装容器 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) [S].
- [7] 邹耀邦, 王传龙, 张梅, 等. 国内外白酒包装材料发展现状 [J]. 中国包装, 2017,37(11):54-60.
- [8] VANDENBERG L N. The Influence of Bisphenol A to Reproductive System [J]. Roprod Toxicol, 2007,24(2):139-177.
- [9] 陈锦国, 曹正俊, 洪旭军, 等. 瓶片质量与注塑工艺和制品质量的关系 [J]. 合成技术及应用, 2005, 20(4):4. DOI:CNKI:SU N:HCSY.0.2005-04-014.
- [10] 邓朝魏, 宋斌, 杨继红, 等. PET 注塑加工工艺对黏度的影响 [J]. 石化技术, 2021, 28(7):26-28,46.
- [11] 修澄. 电化铝烫印原理及工艺条件 [J]. 中国包装工业, 2003(11):2. DOI:CNKI:SUN:ZGBY.0.2003-11-044.

Research on the influence of PET materials and processes on the properties of its products

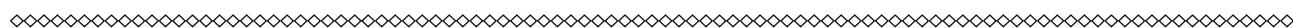
Liu Huan, Wen Haoyu

(Sichuan Yibin Plus Packaging Material Co. LTD., Yibin 644007, Sichuan, China)

Abstract: This article uses self-produced specialized PET raw materials and HUSKY injection molding machine to produce packaging parts that directly come into contact with food (hereinafter referred to as "packaging parts") by adjusting and optimizing the injection molding process. The influence of processing parameters on the acetaldehyde (AA) content in PET packaging was analyzed and studied through orthogonal experiments using multiple processing parameters. The food hygiene performance of PET raw materials and products was studied by testing the soluble element content of PET packaging. By comparing the compressive and impact performance of packaging materials with different materials, the toughness performance of PET materials used in packaging was analyzed. The environmental adaptability and aging resistance of PET packaging were studied through SO₂ gas damage experiments and UV aging resistance tests, proving that it meets the storage requirements of various types of packaging.

Key words: PET; packaging components; food hygiene; gas damage; UV aging

(R-03)



印度尼西亚大学开发 PLA 预浸料，可用于汽车内饰

Indonesian universities have developed PLA prepregs that can be used for automotive interiors

据报道，印度尼西亚大学（University of Indonesia）开发出环保的预浸渍材料——苧麻纤维增强（RFR）—聚乳酸（PLA），可用于汽车内饰。

这种 RFR-PLA 预浸料是一种半成品复合材料，由天然聚合物基质（PLA）和来自麻类树木的天然增强纤维组成。印度尼西亚大学工程学院机械工程系教授 Tresna Priyana Soemardi 开发了这种材料解决方案，以满足传统预浸料市场的商品需求。这些商品通常使用碳、玻璃和凯芙拉（Kevlar）等合成纤维。Tresna 教授表示，与使用合成纤维的标准预浸料相比，RFR-PLA 更加经济实惠、可持续且重量更轻。

自 2023 年以来，Tresna 和博士项目学生 Ardy Lololau, Herry Purnomo 和 Mustasyar 在纺织中心的监督下与西瓜哇（West Java）的麻类植物种植者合作。该项目旨在将麻类纤维生产成纱线和织物，提高当地农民的增收能力。随后，这种麻类纤维被带到法国，在巴黎楠泰尔大学（Paris Nanterre University）的复合材料实验室进行进一步研究。2023 年 11 月至 2024 年 1 月，Tresna 教授来到楠泰尔大学开展 SSHN 项目研究，该项目强调对先进聚合物制造工艺的需求。

该原型在多轴载荷测试阶段表现出令人满意的结果，其在 0° 时的强度为 60~80 MPa，90° 时的强度为 20~40 MPa。Tresna 教授表示：“自 2000 年以来，这一原始发现经历了一系列漫长的研究过程。我们从成分、设备、工艺和温度等各个方面持续进行试验，以实现最佳的原型版本。目前正在开发的预浸料原型已达到 Delta 版本。”

目前，研究人员正在申请 RFR-PLA 版权专利。如果该材料能够满足测试标准，将应用于汽车车身和内饰。事实上，它已经开始应用于结构模型和飞机机身。预计 RFR-PLA 将主要用于汽车车身和结构以及旋转部件，这些是汽车组件中最重的部分，而使用复合材料可使车重减轻 20%~30%。此外，这种材料还可以应用于家用电器。

摘自“可降解可循环中心”

(R-03)

