

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2026.01.021

# 物理回收PETG热收缩薄膜脱墨前后的性能对比

周宏涛<sup>1</sup>, 林娜<sup>2</sup>, 段瑞侠<sup>2,3</sup>, 李丽丽<sup>3,4</sup>, 刘浩<sup>2</sup>, 刘文涛<sup>2,3</sup>, 何素芹<sup>2</sup>(1. 河南省先进膜材料产业研究院有限公司, 河南新乡 453100; 2. 郑州大学材料科学与工程学院, 郑州 450001;  
3. 河南省功能性聚酯材料重点实验室, 河南新乡 453100; 4. 河南银金达新材料股份有限公司, 河南新乡 453100)

**摘要:** 聚对苯二甲酸乙二醇酯-1,4-环己烷二甲酯(PETG)回收薄膜因其表面残留的印刷油墨难以彻底去除,导致再生制品出现色泽不均、力学性能下降等关键问题,严重制约其高值化回收利用。为解决这一技术瓶颈,本研究旨在探究一种环保型油墨清洗剂对PETG薄膜的预处理效果,并系统评估清洗后薄膜的综合性能,为开发高效、绿色的PETG回收工艺提供理论依据和数据支持。选用一种新型环保配方清洗剂对带油墨污染的PETG薄膜进行预处理。采用电子万能试验机评估清洗前后薄膜的拉伸强度与断裂伸长率,以量化其力学性能变化;通过傅里叶变换红外光谱(FTIR)分析清洗过程对PETG分子结构的影响,确保其本体材料未受侵蚀。试验结果表明,经该环保清洗剂预处理后,力学性能测试显示,清洗后薄膜的机械方向(MD方向)力学性能呈现增强趋势。FTIR分析表明,清洗过程未引入新的官能团或导致PETG特征峰强度变化,证明该清洗剂对材料本体无化学降解作用。本研究成功验证了所采用的环保型油墨清洗剂在PETG回收预处理中的高效性与安全性。该清洗剂能有效去除油墨污染物,显著提升回收PETG薄膜的力学性能与外观品质,且不对其化学结构造成破坏。该工艺为PETG的绿色、高值化回收提供了一种可行的技术解决方案。

**关键词:** 聚对苯二甲酸乙二醇酯-1,4-环己烷二甲酯薄膜;油墨;油墨清洗剂;物理回收

**中图分类号:** TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2026)01-0164-06

## Comparison of properties of PETG shrink film before and after deinking in physical recycling

ZHOU Hongtao<sup>1</sup>, LIN Na<sup>2</sup>, DUAN Ruixia<sup>2,3</sup>, LI Lili<sup>3,4</sup>, LIU Hao<sup>2</sup>, LIU Wentao<sup>2,3</sup>, HE Suqin<sup>2</sup>

(1. Henan Advanced Membrane Materials Industry Research Institute Co., Ltd., Xinxiang 453100, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Key Laboratory of Functional Polyester Materials in Henan Province, Xinxiang 453100, China; 4. Henan Yinjinda New Materials Co., Ltd., Xinxiang 453100, China)

**Abstract:** Polyethylene terephthalate-1, 4-cyclohexanedimethyleneterephthalate (PETG) recycled films face critical issues such as uneven coloration and reduced mechanical performance due to residual printing inks on their surface that are difficult to remove completely, severely restricting their high-value recycling potential. To address this technical bottleneck, the pretreatment effects of an environmentally friendly ink remover on PETG films were investigated and the comprehensive properties of the films post-cleaning were systematically evaluated to provide theoretical and data support for the development of efficient and green PETG recycling processes. A novel environmentally friendly formulation of cleaning agent was selected for pretreating PETG films contaminated with ink. An universal testing machine was used to evaluate the tensile strength and elongation at break of the films before and after cleaning, quantifying changes in their mechanical properties. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) was employed to analyze the impact of the cleaning process on the molecular structure of PETG, ensuring the body material remained unaffected. The experimental results indicate that after pretreatment with this environmentally friendly cleaning agent, mechanical testing shows an enhancement trend in machine direction (MD direction) properties of the cleaned films. FTIR analysis reveals that during the cleaning process, no new functional groups are introduced into PETG or any changes occur in the intensity of its characteristic peaks, thus proving that this cleaning agent has no chemical degradation effect on the material itself. This study successfully

通信作者: 段瑞侠, 博士, 讲师, 主要从事塑料包装材料研究

收稿日期: 2025-10-23

引用格式: 周宏涛, 林娜, 段瑞侠, 等. 物理回收PETG热收缩薄膜脱墨前后的性能对比[J]. 工程塑料应用, 2026, 54(1): 164-169.

ZHOU Hongtao, LIN Na, DUAN Ruixia, et al. Comparison of properties of PETG shrink film before and after deinking in physical recycling [J]. Engineering Plastics Application, 2026, 54(1): 164-169.

verifies the efficacy and safety of the environmentally friendly ink remover used in PETG recycling pretreatment. The cleaning agent effectively removes ink contaminants, significantly improves the mechanical performance and appearance quality of recycled PETG films and does not damage their chemical structure. This process provides a feasible technical solution for green, high-value recycling of PETG.

**Keywords:** polyethylene terephthalate glycol-modified-1,4-cyclohexanedimethanol copolyester film; ink; ink cleaner; recycling; physical recycling

IPCC 第六次评估报告明确指出,温室气体的大量排放导致全球极端天气事件频发,严重威胁人类社会的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。在此背景下,塑料生命周期所产生的巨额碳排放及其废弃物的不当处理,已成为不容忽视的关键问题。截至 2023 年,全球塑料年产量达 4.14 亿 t,在其生命周期内产生的温室气体约 1.7 亿 t;若按照当前趋势,预计到 2050 年,塑料产量和相关温室气体排放量将增长近四倍,塑料废弃物累计排放量将高达 300 亿 t<sup>[3-4]</sup>。然而因大部分塑料仅使用一次,导致全球回收率不到 10%<sup>[5]</sup>。因此,大力发展塑料回收技术是构建绿色循环经济、实现行业低碳转型的核心路径之一。

在众多聚酯材料中,聚对苯二甲酸乙二醇酯-1,4-环己烷二甲酯(PETG)因其优异的力学性能、耐化学腐蚀性和透光率等,被广泛应用于 3D 打印、航空航天、医疗、食品包装等领域<sup>[6-9]</sup>。目前,PETG 的回收的主要途径是物理回收。该流程主要是将消费后或工业后的 PETG 废料进行分拣、清洗、熔融、过滤、挤出、造粒,最终制成可再次加工的回收料。其再生料可用于生产包装薄膜、日用品外壳、板材等对性能要求相对较低的制品,实现 PETG 材料的循环利用<sup>[10]</sup>。然而,由于 PETG 与常见的聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)在化学结构上不兼容,二者一旦混合便会使得整个回收料变浊、性能下降,因此严格的分拣是成功回收 PETG 的关键前提。第二种途径是化学回收,其中醇解是聚酯回收的重要方法之一,应用最广<sup>[11]</sup>。使用乙二醇或多元醇,将其分解为单体或低聚物,实现“闭环回收”。第三种是生物回收,采用酶或微生物对其进行降解,得到小分子化合物,但此方法不适合工厂大规模实验。还有一种是升级回收,将 PETG 通过物理或化学等方法,将其转化为具有更高价值、更好质量或全新功能的新产品。例如,将回收后的 PETG 材料制备成多层复合膜,加入甲苯二异氰酸酯(TDI)作交联扩链剂对 PETG 进行增黏,进而制备高分子量聚酯等<sup>[12-13]</sup>。

然而,PETG 回收薄膜在循环利用过程中主要

面临油墨污染问题。目前工业上多采用造粒等传统方法处理,但此类方法难以彻底去除油墨,导致回收后薄膜颜色不稳定、出现大量异色点,并严重影响其力学性能<sup>[14-15]</sup>。因此,开发有效的油墨清洗预处理工艺,是提升 PETG 回收品质与附加值的关键。

目前常见的油墨清洗剂主要包括传统型、水基型、半水基型油墨清洗剂。传统油墨清洗剂以汽油、煤油为主要成分,闪点低,属于易挥发可燃性液体,存在安全风险并对人体健康构成潜在威胁<sup>[16]</sup>。为克服上述缺陷,水基型与半水基型等更环保的清洗体系被广泛研发。水基型油墨清洗剂以水替代有机溶剂,主要成分为表面活性剂和烧碱,具有绿色环保的优势;但经碱洗后的材料尤其是聚酯类材料,非常不耐碱,会发生皂化反应,分子链断裂,导致强度严重下降、表面粗糙、变脆。此外,其配方复杂,高度依赖多种表面活性剂与助剂的精密复配,且因富含表面活性剂而易产生泡沫,影响工业清洗效率<sup>[17-19]</sup>。半水基型油墨清洗剂是由油基和水基在乳化剂作用下形成的复合体系,虽在清洗效率与安全性之间取得平衡,但其油基部分仍会带来一定的挥发性有机化合物排放问题<sup>[20]</sup>。

针对上述问题,本文采用一种环保型油墨清洗剂对 PETG 薄膜进行预处理,系统研究其对薄膜表面油墨的去除效果,并分析清洗后 PETG 薄膜的力学性能、光学性能与微观结构变化,以期为高性能 PETG 回收工艺的开发提供理论依据与实践参考。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

PETG 薄膜:河南银金达有限公司;

油墨清洗剂(大致类型为脂类溶剂、活性剂和助剂):自制。

### 1.2 实验仪器

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:Tensor II,德国布鲁克公司;

X 射线衍射(XRD)仪:SmartLab SE,日本理学株

式会社;

紫外-可见分光光度计:VH-6000,上海元析仪器有限公司;

电子万能试验机:UTM-5202,深圳三思纵横科技股份有限公司。

### 1.3 样品的制备

使用油墨清洗剂将薄膜印刷面油墨完全除去后,然后用酒精清洗一遍,在室温下放置24 h后,再进行后续测试。为方便后续分辨,将使用油墨清洗剂后的PETG薄膜命名为PETG-1,未印刷油墨的PETG原膜为PETG-2,无油墨空白处PETG薄膜为PETG-3,PETG-2相较于PETG-3,未经过印刷辊轮影响其力学性能。

### 1.4 测试与表征

(1) FTIR测试:采用FTIR仪反射法在室温下对样品进行测试,记录4 000~500  $\text{cm}^{-1}$ 范围内的红外光谱信号。

(2) XRD测试:采用XRD设备,波长为0.154 nm,扫描频率为10  $^{\circ}/\text{min}$ ,衍射范围为5 $^{\circ}$ ~60 $^{\circ}$ ,工作电压为30 kV,电流为10 mA。

(3) 透过率测试:使用紫外-可见分光光度计在200~900 nm的波长范围对样品进行记录,测试模式为透过率模式。

(4) 拉伸性能测试:拉伸曲线是在室温条件下使用电子万能拉力试验机进行拉伸测试获得,用电子测厚仪在样条中间随机选择五个位置,测试样条厚度并将计算平均值填入程序设定框中,拉伸速率为50 mm/min,样条为20 mm $\times$ 4 mm哑铃型样条,每组样条测试五次,去掉最高值和最低值,取三次平均值,使用最接近平均值的曲线作图。

(5) 热收缩率测试:热收缩率的测试是在三个PETG薄膜上裁取100 mm $\times$ 100 mm的正方形试样,因本文使用的是高收缩膜,裁取6个试样。然后调节水浴锅温度到90  $^{\circ}\text{C}$ ,恒温10 min后,夹着薄膜的收卷方向(MD方向)迅速放入水浴锅并开始计时。试样竖直放置于水浴锅的1/2处,保持10 s后取出,待冷却至室温后,用直尺测量长度,计算热收缩率。热收缩率计算公式见式(1)。

$$S = \frac{l_0 - l}{l_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $S$ 为热收缩率,单位%; $l_0$ 为初始长度,单位mm; $l$ 为热收缩后长度,单位mm。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PETG薄膜的红外表征

FTIR分析为PETG去油墨工艺流程提供了重要证据,因为其是通过不同官能团的红外特征吸收峰来确定材料是否发生分子结构层面的改变。图1为去油墨后、未印刷油墨和无油墨空白处PETG薄膜的全反射(ATR)FTIR谱图。在721  $\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰是来自PETG中苯环对位双取代的面外弯曲振动峰,3 343  $\text{cm}^{-1}$ 处是聚酯末端的O—H的伸缩振动峰;2 964  $\text{cm}^{-1}$ 和2 850  $\text{cm}^{-1}$ 处为—CH<sub>2</sub>—的不对称和对称伸缩振动峰;1 710  $\text{cm}^{-1}$ 处左右为C=O的伸缩振动吸收峰。三条曲线的特征峰没有变化,说明油墨清洗剂与PETG未发生显著化学反应,不影响其分子结构。

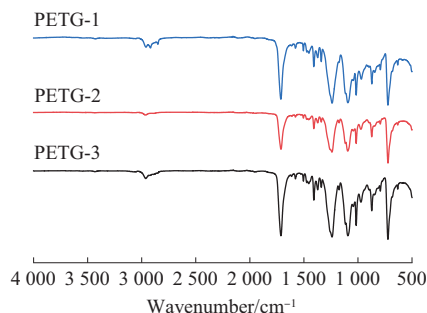


图1 PETG-1、PETG-2和PETG-3的ATR-FTIR谱图

Fig. 1 ATR-FTIR spectra of PETG-1, PETG-2 and PETG-3

### 2.2 PETG薄膜的结晶性

图2为PETG薄膜去油墨后、空白处和原膜的XRD谱图。由图2可知,因PETG是非结晶共聚酯,所以下方未经油墨清洗剂处理的两个PETG薄膜样品XRD谱图无尖锐衍射峰,存在一个弥散的馒头峰。而去油墨后的PETG薄膜样品出现较为尖锐的衍射峰,说明油墨清洗剂有一定促进其结晶的效果。

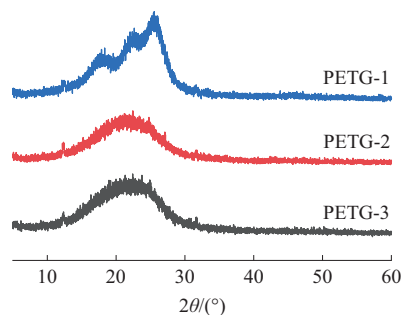


图2 PETG-1、PETG-2和PETG-3的XRD谱图

Fig. 2 XRD spectra of PETG-1, PETG-2 and PETG-3

### 2.3 PETG薄膜的透过率对比

本文研究PETG薄膜是普通包装用薄膜,如瓶

装标签用薄膜,因此,主要观察其可见光全波段(380~780 nm)的透过率,见图3所示。由图3可知,去油墨后的PETG薄膜即PETG-1在可见光范围内透过率为59.8%~75.7%,未印刷油墨的空白处PETG薄膜即PETG-3为70.9%~81.8%,PETG原膜即PETG-2为76.8%~86.1%,去油墨后的薄膜相较于未印刷油墨的空白处薄膜透过率发生了下降。导致这种现象发生的原因,一方面是油墨清洗剂对PETG薄膜表面有轻微的腐蚀作用,致使薄膜表面粗糙;另一方面是油墨清洗剂在PETG薄膜表面挥发时带走了薄膜内低分子量聚合物,留下微米或纳米级的缺陷。

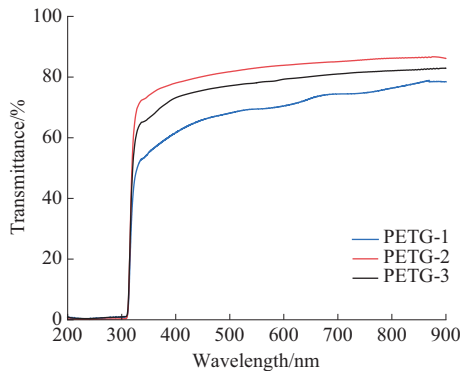
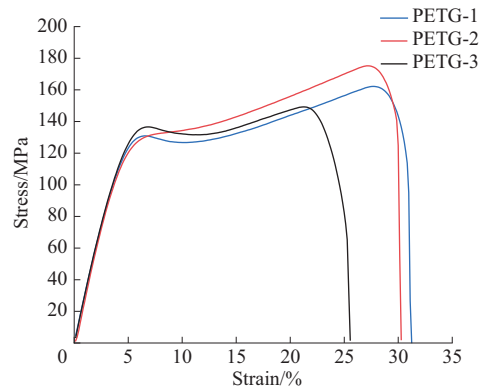


图3 PETG-1、PETG-2和PETG-3的透过率对比

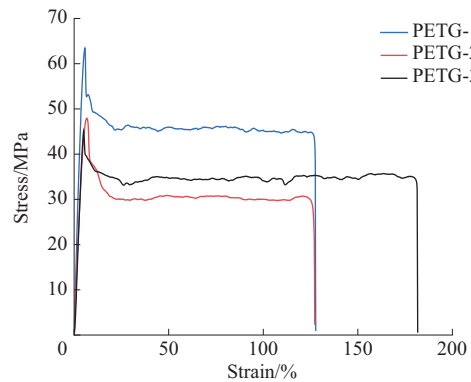
Fig. 3 Comparison of transmittance of PETG-1, PETG-2 and PETG-3

#### 2.4 PETG薄膜的力学性能对比

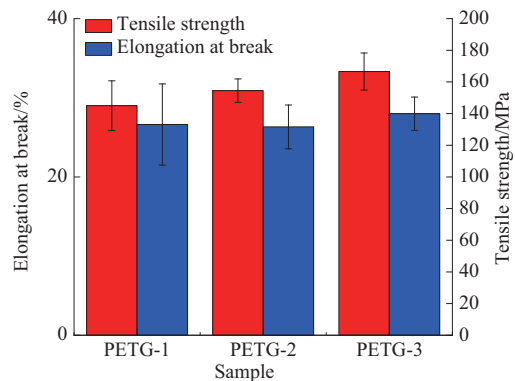
PETG热收缩膜作为双向拉伸薄膜,两个方向上力学性能有较大的差距,MD方向即机械方向是薄膜的收卷方向,这个方向上的拉伸强度和弹性模量要高于TD方向;TD方向是薄膜的横向方向,这个方向上的断裂伸长率会比MD方向高很多。图4为PETG去油墨前后的应力-应变曲线和拉伸性能。由图4可知,其MD方向上的拉伸强度高于TD方向,是其两倍左右,而TD方向上的断裂伸长率高于MD方向,PETG原膜MD方向上的断裂伸长率为 $28.0\% \pm 2.1\%$ ,而TD方向上高达 $138.9\% \pm 16.5\%$ 。将去油墨后的PETG薄膜和无油墨空白处PETG薄膜对比发现,其MD方向上的拉伸强度有一定的提高,增长了9.5 MPa,TD方向上断裂伸长率下降了66.4%,且此方向上处理后的PETG薄膜(PETG-1)拉伸强度提高了3.5 MPa。PETG薄膜结晶度提高,因结晶区的分子排列规整,当材料受到拉伸应力时,这些结晶区可以承担部分载荷,从而需要更大的力才能使其发生形变,因此拉伸强度提高。一方面油



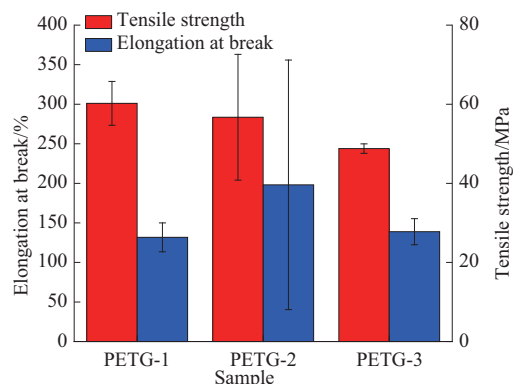
(a) Stress-strain curve in MD direction



(b) Stress-strain curve in TD direction



(c) Tensile strength and elongation at break in MD direction



(d) Tensile strength and elongation at break in TD direction

图4 PETG-1、PETG-2和PETG-3在MD、TD方向上的应力-应变曲线以及拉伸强度与断裂伸长率

Fig. 4 Stress-strain curves and tensile strength and elongation at break of PETG-1, PETG-2 and PETG-3 in MD and TD direction

墨清洗剂可能起到一个萃取的作用,将薄膜中的小分子析出,导致薄膜拉伸强度上升;另一方面PETG薄膜在制造过程中,高分子链会被强制“冻结”在非平衡状态,内部存在残余应力,油墨清洗剂让PETG薄膜表层分子轻微溶胀,增加了链段的自由体积和活性。因此,薄膜受到拉伸时,应力可以更均匀地分布在材料中,从而表现为宏观拉伸强度的提升。

### 2.5 PETG薄膜的热收缩率

PETG热收缩膜是将其加热到玻璃化转变温度( $T_g$ )以上,借助外力进行单向或者双向拉伸取向,快速冷却定型后形成。当把这种薄膜再加热到拉伸温度以上时,被冻结的高分子取向结构开始松弛,薄膜开始收缩,从而把商品紧紧地包裹起来<sup>[21]</sup>。因此,经常被用来作为塑料瓶或其他一般商品的外包装材料<sup>[22]</sup>。PETG热收缩膜具有较高收缩率,可应用于许多几何外形复杂的瓶体大面积套标<sup>[23]</sup>,而热收缩率就是检验其套标是否合格的参数之一。

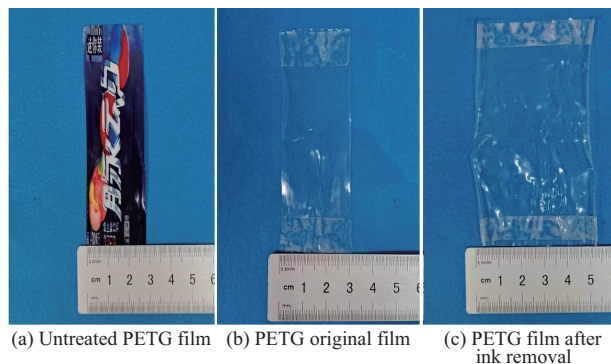


图5 未处理的PETG薄膜、PETG原膜和去油墨后的PETG薄膜经热处理后的图片

Fig. 5 Images of untreated PETG film, PETG original film and PETG film after ink removal following thermal treatment

由公式(1)计算可得,未处理的PETG薄膜热收缩率为 $71.9\% \pm 0.3\%$ ;未印刷油墨的PETG原膜热收缩率为 $70.3\% \pm 0.3\%$ ;去油墨后的PETG薄膜热收缩率为 $45.3\% \pm 1.5\%$ ,去油墨后的薄膜收缩率相较于原膜的收缩率下降了35.6%。三个样品的热收缩率从大到小排序为,未处理的PETG薄膜>PETG原膜>去油墨后的PETG薄膜。结合计算结果和图5可知,去油墨后的PETG薄膜收缩率下降,且出现翘边现象。热收缩率下降的原因可能是油墨清洗剂中的小分子渗透到PETG薄膜的高分子链之间,发生微弱的溶胀作用,在物理上松弛了分子链间的相互作用力,提前释放了部分内应力。

### 3 结论

(1) FTIR结果表明,油墨清洗剂处理前后,并未引起分子结构层面的变化。说明油墨清洗剂并未与薄膜发生化学变化。XRD分析显示,处理后的薄膜出现了结晶峰,表明油墨清洗剂促进了PETG薄膜部分结晶。紫外分析表明,处理后的薄膜透过率下降,在可见光范围内,未处理的透过率为70.9%~81.8%,处理后的透过率为59.8%~75.7%。

(2)力学性能方面,油墨清洗剂处理后的薄膜MD方向相较于无油墨空白处的薄膜拉伸强度提高了9.5 MPa,断裂伸长率无明显变化;TD方向上处理后的PETG薄膜相较于无油墨空白处的薄膜拉伸强度提高了3.5 MPa,断裂伸长率下降了66.4%。

(3)热收缩测试结果表明,去油墨后的薄膜收缩率相较于原膜的收缩率下降了35.6%。

#### 参考文献

- [1] LYNN J, PEEVA N. Communications in the IPCC's sixth assessment report cycle[J]. Climatic Change, 2021, 169(1). DOI: 10.1007/s10584-021-03233-7.
- [2] PALAZZO CORNER S. The sixth major IPCC assessment report and its implications: 15 September 2021[J]. Weather, 2022, 77(2): 70-71.
- [3] ANWAR M, KONNOVA M E, DASTGIR S. Circular plastic economy for sustainable development: Current advances and future perspectives[J]. RSC Sustainability, 2025, 3(9): 3 724-3 840.
- [4] WEI X, ZHENG W Z, CHEN X F, et al. Chemical upcycling of poly(ethylene terephthalate) with binary mixed alcohols toward value-added copolyester by depolymerization and repolymerization strategy[J]. Chemical Engineering Science, 2024, 294. DOI: 10.1016/j.ces.2024.120103.
- [5] PANDEY K P, JHA U R, KUSHWAHA J, et al. Practical ways to recycle plastic: Current status and future aspects[J]. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2023, 25(3): 1 249-1 266.
- [6] 王凯莉. PETG的制备与性能研究[J]. 橡塑技术与装备, 2025, 51(3): 10-13.  
WANG Kaili. Preparation and performance study of PETG[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2025, 51(3): 10-13.
- [7] 张启纲, 陈美菊, 樊鹏鹏, 等. PETG聚酯薄膜结晶度的影响因素探究[J]. 塑料包装, 2024, 34(5): 5-8, 58.  
ZHANG Qigang, CHEN Meiju, FAN Pengpeng, et al. Study on the influencing factors of crystallinity of PETG polyester film[J]. Plastics Packaging, 2024, 34(5): 5-8, 58.
- [8] YAN C, KLEINER C, TABIGUE A, et al. PETG: Applications in modern medicine[J]. Engineered Regeneration, 2024, 5(1): 45-55.
- [9] 吴凯. 基于FDM 3D打印的PETG+CF制件成型质量研究[D]. 郑

- 州:郑州航空工业管理学院,2025.
- WU Kai. Study on molding quality of PETG+CF parts based on FDM 3D printing[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Aeronautics Industry Management, 2025.
- [10] 宋厚春,张新忠,罗焯,等. PETG再生利用技术及其可持续发展研究[J]. 造纸装备及材料,2025,54(8):112-114.
- SONG Houchun, ZHANG Xinzong, LUO Ye, et al. Study on PETG recycling technology and its sustainable development[J]. Papermaking Equipment & Materials, 2025, 54(8):112-114.
- [11] 张启纲,董冲,樊鹏鹏,等. 再生聚酯及膜材料关键制备技术的研究[J]. 中国包装,2023,43(11):41-45.
- ZHANG Qigang, DONG Chong, FAN Pengpeng, et al. Study on key preparation technologies of recycled polyester and membrane materials[J]. China Packaging, 2023, 43(11):41-45.
- [12] 袁永浩,郭凯,陈金周,等. PETG增黏改性研究[J]. 工程塑料应用,2013,41(12):28-31.
- YUAN Yonghao, GUO Kai, CHEN Jinzhou, et al. Modification of increasing viscosity for PETG[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(12):28-31.
- [13] 胡利如,景旋,孙玉洁,等. PETG共聚酯固相聚合工艺研究[J]. 合成技术及应用,2025,40(1):1-5.
- HU Liru, JING Xuan, SUN Yujie, et al. PETG copolyester precrystallization bonding behavior and solid state polymerization process optimization[J]. Synthetic Technology & Application, 2025, 40(1):1-5.
- [14] 张友根. 废旧塑料包装再生塑料资源绿色清洗解决方案的创新驱动[J]. 塑料包装,2019,29(1):1-11.
- ZHANG Yougen. The innovative drive of green cleaning solution of waste plastic packaging recycled plastic resources[J]. Plastics Packaging, 2019, 29(1):1-11.
- [15] SIYANG L, CHAOKANG H, PENGCHENG L, et al. Ink removal of waste polyethylene resin packaging bags[J]. 2025.
- [16] 杨懋勋,李小玉,柳滢春,等. 印刷油墨清洗剂的研究及开发进展[J]. 广东化工,2008,35(6):61-63.
- YANG Maoxun, LI Xiaoyu, LIU Yingchun, et al. Study and development progress in printing ink cleaner[J]. Guangdong Chemical Industry, 2008, 35(6):61-63.
- [17] 王艳辉,李兰辉,钟云飞. 水基油墨清洗剂的研发及应用[J]. 包装工程,2020,41(9):130-135.
- WANG Yanhui, LI Lanhui, ZHONG Yunfei. Research and application of water-based ink cleaning agent[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(9):130-135.
- [18] 李波,满瑞林,秘雪,等. 水基型清洗剂的研究现状及发展趋势[J]. 清洗世界,2017,33(6):30-38.
- LI Bo, MAN Ruilin, MI Xue, et al. Research status and development trend of water-based cleaning agents[J]. Cleaning World, 2017, 33(6):30-38.
- [19] 杨淑武,樊兴虎,丛龙康,等. 环保型油墨清洗剂的研发进展[J]. 包装工程,2017,38(3):73-77.
- YANG Shuwu, FAN Xinghu, CONG Longkang, et al. Research progress of environmental ink-cleaner[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3):73-77.
- [20] 蒋建平,李小玉,陈静静. D-柠檬烯半水基型油墨清洗剂的研制[J]. 辽宁化工,2010,39(1):28-30.
- JIANG Jianping, LI Xiaoyu, CHEN Jingjing. Development of a semi-aqueous-based ink cleaner with D-limonene as main solvent[J]. Liaoning Chemical Industry, 2010, 39(1):28-30.
- [21] 李杨,张启纲,赵越超,等. PETG热收缩膜幅宽减小的影响因素及改善措施[J]. 塑料包装,2023,33(5):7-10,50.
- LI Yang, ZHANG Qigang, ZHAO Yuechao, et al. Influence factors and improvement measures of shrinking width of PETG heat-shrinkable film[J]. Plastics Packaging, 2023, 33(5):7-10, 50.
- [22] 齐兵. PETG热收缩标签的应用研究[J]. 现代食品,2022,28(5):204-206.
- QI Bing. Research on application of PETG heat shrinkable label[J]. Modern Food, 2022, 28(5):204-206.
- [23] 郑宁来. PETG热收缩膜:包装市场新宠[J]. 合成技术及应用,2023,38(1):6.
- ZHENG Ninglai. PETG heat shrinkable film: The new favorite of packaging market[J]. Synthetic Technology & Application, 2023, 38(1):6.