

# 涤纶纺织品化学解聚再生高值化利用技术

祝鑫发 杨钰

翰途特种纺织品(平湖)有限公司 314200

**【摘要】**汽车内饰无纺布的资源化处置是践行循环经济理念、缓解资源短缺与环境压力的关键路径,化学解聚再生技术因其可实现单体级回收并达成高值化利用而成为研究热点。本文系统梳理汽车内饰无纺布化学解聚的核心技术路径,剖析醇解、水解、酯交换等主流解聚工艺的反应机制与技术特征,探讨解聚产物提纯及高值化转化的关键技术要点,分析当前技术应用中的瓶颈问题,提出针对性优化策略,为汽车内饰无纺布化学解聚再生技术的产业化推广与高值化升级提供理论支撑与技术参考。

**【关键词】**汽车内饰无纺布;化学解聚;再生利用;高值化

"Chemical Depolymerization and High-Value Utilization Technology for Polyester Textiles"

Zhu Xinfu Yang Yu

Hantu Special Textiles (Pinghu) Co., Ltd. 314200

**【Abstract】**The resource recovery of automotive interior non-woven fabrics is a critical approach to implementing the circular economy concept and alleviating resource scarcity and environmental pressures. Chemical depolymerization technology has emerged as a research focus due to its capability for monomer-level recovery and high-value utilization. This paper systematically outlines the core technical pathways of chemical depolymerization for automotive interior non-woven fabrics, analyzes the reaction mechanisms and technical characteristics of mainstream processes such as alcoholysis, hydrolysis, and transesterification, discusses key technical challenges in depolymerization product purification and high-value conversion, identifies current bottlenecks in technological application, and proposes targeted optimization strategies. The findings provide theoretical support and technical references for the industrial promotion and high-value upgrading of chemical depolymerization and regeneration technologies for automotive interior non-woven fabrics.

**【Key words】**automotive interior non-woven fabric; chemical depolymerization; recycling; value enhancement;

汽车内饰无纺布作为汽车内饰的核心材料,广泛应用于座椅、顶棚、门板、地毯等部件,随之产生的汽车内饰无纺布已成为一类典型的工业固体废弃物,其累积量逐年攀升且再生利用率偏低。传统处置方式易造成资源浪费与环境污染,不符合“双碳”目标与绿色汽车产业发展要求<sup>[1]</sup>。化学解聚再生技术可将汽车内饰无纺布降解为聚合级单体或高附加值化学品,实现资源闭环循环与高值化回收,破解传统回收模式的局限。本文聚焦汽车内饰无纺布化学解聚再生的核心技术,深入探讨其高值化利用路径,为行业技术升级与产业发展提供支撑。

## 1 汽车内饰无纺布化学解聚核心技术路径

### 1.1 醇解解聚技术

醇解解聚是当前汽车内饰无纺布化学解聚中应用最广泛、产业化最成熟的技术路径,其核心原理是利用醇类化合物作为解聚剂,在特定温度、压力及催化剂作用下,断裂无纺布中涤纶、锦纶等组分分子链中的酯键,生成相应的酯类

单体或低聚物。该技术的核心优势在于反应条件相对温和,对设备腐蚀程度较低,解聚产物纯度较高,易于后续高值化转化。解聚剂的选择直接决定解聚效率与产物类型,常用的解聚剂包括乙二醇、甲醇、丙二醇等,其中乙二醇因与汽车内饰无纺布中涤纶组分分子结构的相容性较强,成为工业应用中首选的解聚剂。

催化剂的引入可显著降低醇解反应的活化能,加快反应速率并提升解聚转化率。当前常用的催化剂主要分为金属盐催化剂、固体酸催化剂及离子液体催化剂三类。金属盐催化剂催化效率较高,但存在用量较大、后续分离难度高且易对产物纯度造成影响的局限;固体酸催化剂具有易分离、可重复利用的优势,但其催化活性受传质过程限制,难以实现均相催化的高效性;离子液体催化剂则兼具催化活性高、选择性强的特点,但其制备成本较高,限制了规模化应用。醇解反应的温度与压力需根据解聚剂类型与催化剂特性进行精准调控,过高的温度易引发副反应,过低则会导致解聚不完全,影响产物品质。

### 1.2 水解解聚技术

水解解聚技术以水为解聚剂,通过破坏汽车内饰无纺布中聚酯组分分子链中的酯键,将其降解为对苯二甲酸与乙二醇两种核心单体,该技术可实现单体的直接回收,且解聚剂来源广泛、环境友好,符合绿色再生的发展理念。根据反应体系酸碱度的不同,水解解聚可分为酸性水解、碱性水解与中性水解三类,不同水解方式的反应机制与技术特征存在显著差异。酸性水解多采用强酸作为催化剂,反应速率较快,但对设备腐蚀性极强,需采用耐酸材质,且后续产物分离提纯难度较大,易产生废水污染。

碱性水解以氢氧化钠、氢氧化钾等强碱为催化剂,反应条件温和,解聚转化率较高,产物分离工艺相对简单,但会产生大量含碱废水,后续处理成本较高,且可能导致对苯二甲酸单体的降解,影响产物纯度。中性水解无需添加酸碱催化剂,仅通过调控温度与压力实现酯键断裂,环境友好性突出,但反应条件苛刻,需在高温高压下进行,对设备要求较高,且反应速率较慢,难以实现规模化生产。近年来,中性水解技术通过引入高效催化剂,其反应效率得到显著提升,成为水解解聚技术的研究热点。

### 1.3 酯交换解聚技术

酯交换解聚技术是一种新型化学解聚路径,其核心原理是利用酯类化合物与汽车内饰无纺布中聚酯分子发生酯交换反应,断裂酯键并生成新的酯类产物与乙二醇,该技术可根据目标产物的需求,选择不同的酯类解聚剂,实现产物的定向调控。酯交换解聚反应的关键在于催化剂的选择,常用的催化剂包括有机锡化合物、钛系化合物等,其中钛系催化剂因催化活性高、环境友好,逐渐取代传统有机锡催化剂成为研究重点。

酯交换解聚技术的反应选择性比醇解、水解技术要高,可以精确控制产物种类,方便后续高值化利用,反应过程中产生的副产物少,产物纯度高。但是其反应条件比较苛刻,需要严格控制反应温度、压力和解聚剂与无纺布的比例,而且解聚剂成本较高,限制了它的规模化应用。目前酯交换解聚技术大多和醇解技术结合使用,形成“醇解-酯交换”复合工艺,既降低了反应成本,又提高了产物品质,实现了技术优势的互补。

## 2 解聚产物提纯及高值化转化技术

### 2.1 解聚产物提纯技术

汽车内饰无纺布化学解聚产物中常常会含有未反应完的无纺布碎片、催化剂残留物、杂质和副产物等,这些杂质的存在会对再生产品的品质造成严重影响,因此提纯技术是实现高值化利用的重要环节。目前常用的提纯技术有蒸馏、结晶、过滤、吸附等,不同的提纯技术适用的场景和提纯效

果也不同,实际应用时要根据解聚产物的种类和杂质的特点来选择合适的提纯工艺组合。

蒸馏技术主要用来分离解聚产物中低沸点的组分,即过量的解聚剂、小分子副产物等,通过调节蒸馏温度和压力,可以得到纯度较高的产物。结晶技术适合于单体类产物的提纯,利用单体和杂质在溶剂中溶解度的不同,通过降温、浓缩等操作使单体结晶析出,从而达到与杂质分离的目的,提纯效果好,可以得到99.9%以上的单体纯度。过滤技术主要用来去除解聚产物中的固体杂质,如未反应的无纺布碎片、催化剂固体颗粒等,操作简单、成本低,但是不能去除可溶性杂质<sup>[2]</sup>。

吸附技术主要是去除解聚产物中的一些有色杂质和微量污染物,常用的吸附剂有活性炭、分子筛等,吸附剂的吸附作用可以有效地降低产物的色度,提高产物品质。实际应用时一般用过滤、吸附、蒸馏、结晶的复合提纯工艺来达到解聚产物的深度提纯,满足再生聚合或者高值化转化的要求。

### 2.2 解聚产物高值化转化路径

解聚产物的高值化转化是提高汽车内饰无纺布再生利用附加值的关键,其主要思路就是把解聚得到的单体、低聚物等产物,通过聚合、改性等工艺,制备成高品质再生无纺布、汽车内饰功能材料或者精细化学品,从而达到资源高效利用的目的。再生汽车内饰无纺布制备是解聚产物高值化转化的主要途径,将提纯后的对苯二甲酸和乙二醇单体进行缩聚反应,可以制备得到再生聚酯切片,再经过熔融纺丝、成网等工艺得到再生无纺布。

通过改善缩聚反应条件以及添加改性剂,可以使再生无纺布的性能达到原生汽车内饰无纺布的水平,用在汽车座椅、顶棚等高端内饰领域,实现同级化循环。除再生无纺布外,解聚产物还可以制备功能材料,用解聚得到的低聚物制备汽车内饰用聚氨酯泡沫、涂料、胶粘剂等,拓宽了它的应用范围。解聚产物中的单体还可以用于制备精细化学品,对苯二甲酸可制备汽车用染料、医药中间体等,乙二醇可制备汽车防冻液、聚酯多元醇等,从而提高再生利用的附加值<sup>[3]</sup>。

## 3 汽车内饰无纺布化学解聚再生技术的应用瓶颈

### 3.1 技术层面瓶颈

目前汽车内饰无纺布化学解聚再生技术在技术上还存在着很多瓶颈,限制了它的规模化推广和高值化发展。催化剂性能不足是核心瓶颈之一,现有的催化剂要么催化效率低、反应速率慢,要么分离难、成本高,不能兼顾催化性能和经济性。部分解聚工艺反应条件苛刻,中性水解需高温高压,酯交换解聚需昂贵的解聚剂,增大了设备投资和运行成

本,降低了技术的经济性。

解聚产物提纯工艺复杂,部分提纯技术能耗大、污染物排放多,且难以去除微量杂质,影响再生产品的品质。另外,汽车内饰无纺布成分复杂,常含有纤维混合物、粘合剂、阻燃剂等杂质,这些杂质会干扰解聚反应的进行,降低解聚转化率,增加产物提纯难度,从而限制技术的应用效果。

### 3.2 产业层面瓶颈

产业层面的瓶颈有规模化生产、成本控制、产业链协同这三个方面。目前大多数化学解聚再生技术还处在实验室或者中试阶段,缺少成熟的万吨级规模化生产技术及装备,生产效率低,不能满足汽车产业对再生内饰材料的需要。技术成本过高成为制约产业化的主要因素,解聚剂、催化剂成本高,提纯工艺能耗和环保成本高,造成再生产品价格高于原生产品,没有市场竞争力。

产业链协同不足也影响技术的产业化推广,汽车内饰无纺布回收体系不健全,回收渠道分散,多依赖汽车拆解厂零散回收,回收的废旧无纺布品质参差不齐,不能满足规模化解聚生产的需要。同时解聚再生企业与下游汽车内饰生产企业之间没有形成深入的合作,再生产品应用范围小,市场认可度低,造成回收、再生、应用的产业链闭环被阻断。另外,缺少有关行业标准以及政策支持,也使得化学解聚再生技术的规范化发展受到了限制。

## 4 汽车内饰无纺布化学解聚再生高值化技术优化策略

### 4.1 催化剂与解聚工艺优化

催化剂性能的改善是提高解聚技术效率和经济性的关键,需要研发出高效、低成本、易分离、可重复使用的新型催化剂。通过金属掺杂、载体改性等方式可以提高现有的催化剂的催化活性和选择性,降低催化剂的用量,简化分离工艺。根据不同的解聚途径特点来调整反应条件,醇解工艺中调节解聚剂的配比和反应温度,中性水解工艺中加入高效催化剂降低反应压力和温度,酯交换工艺中开发低成本解聚剂降低反应成本。

推动复合解聚工艺的研发与应用,把不同的解聚技术结合起来,比如“醇解-酯交换”“水解-醇解”复合工艺,提

高解聚转化率和产物品质,降低反应能耗和污染物排放。另外需要研发出对成分复杂的汽车内饰无纺布进行预处理的技术,即分拣、脱除粘合剂和阻燃剂等,提高废旧原料的纯度,为解聚反应的顺利进行创造条件。

### 4.2 提纯与高值化技术升级

针对解聚产物提纯工艺存在的问题,研发高效、低能耗、环保的提纯技术,优化提纯工艺组合,简化提纯流程,降低提纯成本。开发新的吸附剂和结晶技术来提高微量杂质的去除率,提高产品的纯度,满足高端汽车内饰再生产品的要求。推进解聚产物高值化转化技术升级,拓展再生产品应用范围,重点研发功能型再生汽车内饰材料、精细化学品的制备技术,提高再生利用附加值。

加强再生产品的改性技术研发,通过物理改性、化学改性等方式,提升再生产品的阻燃、耐磨、环保性能,使其在高端汽车内饰领域实现应用,打破再生产品“降级使用”的困境。同时,建立再生汽车内饰材料品质评价体系,规范再生产品的质量标准,提升市场认可度。

### 4.3 产业体系与政策支持完善

加快规模化生产技术与装备的研发,推动化学解聚再生技术从实验室走向产业化,建设万吨级规模化生产基地,提升生产效率,降低生产成本。完善汽车内饰无纺布回收体系,建立与汽车拆解行业联动的集中化、规范化回收渠道,提升废旧原料的回收效率与品质,为规模化生产提供保障。加强产业链协同,推动解聚再生企业与上游汽车拆解企业、下游汽车内饰生产企业的深度合作,构建“回收-预处理-解聚-提纯-高值化转化”的完整产业链闭环。

## 5 结论

汽车内饰无纺布化学解聚再生是实现固废资源化与高值化循环的核心技术,醇解、水解、酯交换为主流工艺,可将无纺布中聚酯组分降解为聚合级单体。当前技术存在催化剂、提纯、成本及产业链协同等瓶颈,通过优化催化剂与复合工艺、升级提纯与高值化转化、完善产业体系与政策支持,可推动技术产业化,助力汽车产业绿色低碳与循环发展。

## 参考文献

- [1]邢立艳,李志勇,金剑,等. 废旧涤纶纺织品的化学回收技术研究进展 [J]. 纺织科学研究, 2026, (01): 11-18.
- [2]杨迎雪,高念钊,邓年明,等. 废旧涤纶纺织品再生循环利用的研究进展 [J]. 纺织学报, 2025, 46 (12): 251-259.
- [3]侯楠楠,何璐娜,赵赛雨,等. 废旧纺织品剥色技术的研究进展 [J]. 棉纺织技术, 2025, 53 (11): 32-38.

作者简介: 祝鑫发, 出生年月: 1983年3月, 男, 汉族, 籍贯: 嘉兴桐乡, 学历: 本科, 现有职称: 中级工程师, 研究方向: 汽车内饰材料研发。

杨钰, 男, 汉族, 出生年月: 1972年10月, 籍贯: 浙江省台州市三门县, 学历: 大专, 现有职称: 中级工程师, 研究方向: 汽车内饰材料研发。