

废旧纺织品化学解聚制备单体再聚合工艺

柳 荣

贺州绿树环保科技有限公司 广西贺州

【摘要】随着纺织业发展，废旧纺织品数量激增，其处理成为环保焦点。化学解聚制备单体再聚合工艺为废旧纺织品循环利用带来新契机。此工艺通过特定解聚手段将废旧纺织品转化为单体，再经聚合生成新聚合物，实现资源高效利用与环境友好。本文详细阐述该工艺流程、关键技术、优势及面临挑战，分析不同解聚方法与聚合技术的应用，旨在为推动废旧纺织品资源化利用、促进纺织业可持续发展提供理论参考与实践指导。

【关键词】废旧纺织品；化学解聚；单体；再聚合；可持续发展

【收稿日期】2025 年 8 月 12 日

【出刊日期】2025 年 9 月 17 日

【DOI】10.12208/j.jccr.20250043

Chemical depolymerization of waste textiles to prepare monomer re polymerization process

Rong Liu

Hezhou Green Tree Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hezhou, Guangxi

【Abstract】 With the rapid development of the textile industry, the volume of waste textiles has surged dramatically, making their disposal a key environmental concern. The chemical depolymerization process for recycling monomers presents a new opportunity for textile waste utilization. This method converts waste textiles into monomers through specific depolymerization techniques, which are then polymerized to produce new polymers, achieving both efficient resource utilization and environmental friendliness. This paper provides a detailed analysis of the process flow, key technologies, advantages, and challenges involved. It examines the application of different depolymerization methods and polymerization techniques, aiming to offer theoretical references and practical guidance for promoting resource recovery of waste textiles and advancing sustainable development in the textile industry.

【Keywords】 Waste textiles; Chemical depolymerization; Monomers; Regeneration; Sustainable development

引言

纺织业的蓬勃发展在满足人们生活需求的也导致废旧纺织品数量急剧攀升。传统的填埋、焚烧等处理方式不仅浪费资源，还对环境造成严重污染。在此背景下，探寻高效、环保的废旧纺织品处理方法迫在眉睫。化学解聚制备单体再聚合工艺能够将废旧纺织品转化为可再次利用的资源，实现从“废弃物”到“原材料”的转变，对于缓解资源短缺、减轻环境污染具有重要意义。那么，该工艺具体如何实施，又面临哪些问题需要解决，成为当前研究的关键所在。

1 废旧纺织品化学解聚原理与方法

化学解聚是废旧纺织品循环利用的核心技术，其本质是利用化学反应破坏聚合物大分子链，将废旧纺织品转化为可再利用的小分子单体或低聚物。这一过程基于聚合物化学键的断裂机制，通过特定化学环境

的构建，促使酯键、酰胺键等化学键发生断裂反应。在实际应用中，根据废旧纺织品的材质特性和目标产物的不同，需要选择合适的解聚方法。聚酯类纺织品的酯键在水解条件下易断裂，而聚酰胺类纺织品的酰胺键则对胺解反应更为敏感，这种材料特性与解聚方法的适配性，是实现高效解聚的关键。

水解法作为应用最广泛的解聚技术之一，以水为解聚剂，通过高温高压及催化剂的协同作用下，实现聚合物化学键的断裂。该方法的优势在于原料水来源广泛且成本低廉，能够适用于多种类型的废旧纺织品。但高温高压的反应条件对设备的耐腐蚀性和承压能力提出了极高要求，需要使用特殊材质的反应釜^[1]。水解产物通常为复杂的混合物，对苯二甲酸和乙二醇在反应结束后，不仅相互混合，还可能残留未完全反应的聚合物和催化剂，因此需要经过多步分离和提纯操作才

能得到纯净的单体,这大大增加了工艺的复杂性和生产成本。

醇解法和胺解法为废旧纺织品解聚提供了更多选择。醇解法利用醇类物质的亲核性,与聚合物分子发生酯交换或醇解反应,以废旧涤纶纺织品的醇解为例,乙二醇作为醇解剂,在催化剂作用下与聚酯分子反应生成 BHET 单体。该方法反应条件相对温和,对设备要求较低,产物的分离提纯也相对简单,适合中小型企业应用。胺解法则利用胺类化合物的强亲核性,针对聚酰胺等特定聚合物具有较好的解聚效果,但胺类试剂成本高昂,且反应后产物处理过程复杂,存在较大的环保压力^[2]。这两种方法虽然各具优势,但都需要解决催化剂选择、回收利用以及成本控制等关键问题,才能实现工业化应用。

2 解聚单体的分离与提纯技术

从废旧纺织品化学解聚产物中分离和提纯单体,是决定再生聚合物质量的关键环节。由于解聚产物通常是由目标单体、未反应的解聚剂、催化剂以及各种副产物组成的复杂混合物,因此需要采用多种分离技术,通过多步操作才能获得高纯度的单体。不同的分离技术基于不同的物理化学原理,适用于不同性质的单体和混合物体系,在实际应用中,往往需要根据具体情况选择合适的分离方法或多种方法的组合。蒸馏作为最常用的分离方法之一,基于不同物质沸点的差异实现分离。在废旧聚酯纺织品醇解产物中, BHET 与未反应的乙二醇沸点相差显著,通过蒸馏可以将 BHET 有效分离出来^[3]。但蒸馏过程需要精确控制温度和压力,过高的温度可能导致单体分解或聚合,影响产品质量;而压力控制不当则可能造成蒸馏效率低下或设备安全问题。蒸馏方法能耗巨大,设备投资成本高,对于沸点相近物质的分离效果较差,往往需要结合其他分离技术才能达到理想的分离效果。

结晶和萃取技术为单体分离提供了更多选择。结晶法利用物质在不同温度下溶解度的差异,通过调节温度、pH 值等条件,使目标单体从溶液中结晶析出。该方法操作相对简单,适合分离在特定溶剂中溶解度随温度变化较大的单体,但需要选择合适的溶剂和结晶条件,以提高结晶纯度和收率。萃取法则利用溶质在两种互不相溶溶剂中溶解度的不同,通过选择高选择性的萃取剂,将目标单体从复杂混合物中萃取出来。该方法能有效分离低浓度的目标单体,但萃取剂的选择和回收利用是关键,萃取后的溶液还需进一步处理才能得到纯净单体,增加了工艺复杂性。色谱分离技术以

其高精度的分离能力,在实验室分析和少量高纯度单体的制备中发挥重要作用^[4]。该技术基于不同物质在固定相和流动相之间分配系数的差异,通过高效液相色谱(HPLC)和气相色谱(GC)等设备,能够实现对复杂混合物中多种单体的精细分离。尤其是对于含有多种结构相似单体的解聚产物,色谱分离具有无可比拟的优势。由于色谱分离设备昂贵,运行成本高,且处理量有限,目前难以应用于大规模工业化生产。

3 单体再聚合工艺与影响因素

经过分离提纯的单体可通过再聚合工艺制备新的聚合物材料,实现废旧纺织品的资源化利用。不同的再聚合方法适用于不同类型的单体和目标产品,熔融缩聚、溶液聚合和界面聚合是目前应用最广泛的三种再聚合技术。这些方法各有优劣,在实际应用中需要根据单体特性、产品要求和生产条件进行选择,同时还需要综合考虑工艺成本、设备要求和环境影响等因素。熔融缩聚作为一种高效的再聚合方法,在聚酯类聚合物的再生中应用广泛^[5]。该方法在单体熔点以上进行,无需使用溶剂,具有反应设备简单、工艺过程易于控制、产物无需脱除溶剂等优点。但高温反应条件可能导致单体和聚合物的热降解,影响产品质量,同时反应过程中生成的小分子副产物需要及时排出体系,以保证反应向正方向进行。为了克服这些问题,需要精确控制反应温度和时间,选择合适的稳定剂和催化剂,并优化反应设备的设计,以提高传热效率和副产物排出效果。

溶液聚合和界面聚合则为再聚合工艺提供了更多选择。溶液聚合将单体和引发剂溶解在适当溶剂中进行反应,溶剂的存在可降低反应体系的粘度,有利于热量传递和物料混合,减少凝胶效应,适合制备对聚合条件要求较为温和的聚合物。但聚合反应结束后,需要对产物进行溶剂脱除和纯化处理,增加了生产成本和工艺复杂性。界面聚合在两种互不相溶的液体界面处进行,适用于制备具有特殊结构和性能的聚合物,该方法反应速率快,可在常温下进行,产物分子量分布较窄,但对反应设备和操作要求较高,需要精确控制界面条件和单体浓度。单体再聚合过程受到多种因素的综合影响。单体纯度是决定聚合反应成败的关键因素,即使微量的杂质也可能影响聚合反应的进行,导致聚合物分子量降低、性能变差。反应温度直接影响聚合反应速率和产物分子量,过高的温度可能引发热降解,而过低的温度则会使反应速率缓慢,延长生产周期^[6]。反应时间也需要根据具体聚合反应进行精确控制,以获得理想的聚合物分子量和性能。催化剂的种类和用量、溶剂

的性质(若采用溶液聚合)等因素,都会对再聚合过程和产物性能产生重要影响,需要通过大量实验和工艺优化来确定最佳参数。

4 废旧纺织品化学解聚再聚合工艺的发展前景与挑战

随着环保意识的增强和资源可持续利用的需求,废旧纺织品化学解聚再聚合工艺展现出巨大的发展潜力。该工艺不仅能够实现废旧纺织品的资源化利用,减少对原生资源的依赖,还能降低能源消耗和环境污染,符合全球可持续发展的战略方向。通过生产再生聚合物材料,可广泛应用于纺织、包装、建筑等多个领域,为相关产业提供新的原材料来源,形成新的经济增长点。该工艺的发展有助于推动纺织业的绿色转型,提升产业竞争力,促进循环经济的发展。

废旧纺织品化学解聚再聚合工艺在实际应用中仍面临诸多挑战。废旧纺织品来源广泛、成分复杂,不同材质、颜色、添加剂的纺织品混合在一起,增加了化学解聚和单体分离提纯的难度^[7]。聚酯、聚酰胺、纤维素等不同材质的纺织品需要采用不同的解聚方法,而多种材质的混合则需要开发更加高效、普适的解聚和分离技术。目前的化学解聚再聚合工艺成本相对较高,包括解聚剂、催化剂的使用,设备投资和运行成本等,限制了其大规模推广应用,亟需通过技术创新和工艺优化来降低成本。

再生聚合物材料的性能与原生材料相比仍存在一定差距,如何提高再生聚合物的性能,使其满足更多领域的应用需求,是亟待解决的问题。在聚酯再生中,再生聚酯的分子量分布、热稳定性和机械性能往往不如原生聚酯,需要通过改进聚合工艺、添加功能助剂等方法进行性能提升^[8]。在政策法规方面,虽然对废旧纺织品回收利用的重视程度不断提高,但相关标准和规范尚不完善,缺乏统一的质量标准和检测方法,不利于再生产品的市场推广和产业规范化发展。需要进一步加强政策引导和支持,完善相关标准和规范,促进废旧纺织品化学解聚再聚合工艺的健康发展。

5 结语

废旧纺织品化学解聚制备单体再聚合工艺为废旧纺织品处理提供了有效途径,在资源回收与环境保护方面意义重大。当前,虽已取得一定成果,但在解聚方法优化、单体分离提纯、再聚合工艺完善及成本控制等方面仍需深入研究。未来,随着技术创新与突破,该工艺有望在提高资源利用率、减少环境污染的提升再生产品性能,降低成本,实现大规模工业化应用,为纺织业可持续发展注入强大动力,在循环经济发展中发挥重要作用。

参考文献

- [1] 徐璐璐,张敏. 再生纤维循环利用对纺织品质量稳定性的影响评估[J].西部皮革,2025,47(13):39-41.
- [2] 王悦,杜宇君,郑佳辉,等. 基于近红外光谱技术的废旧纺织品定性模型建立[J].合成技术及应用,2025,40(02):27-32.
- [3] 常新杰. 纺织品行业向循环经济转型的四大关键基石[J].合成技术及应用,2025,40(02):15-19.
- [4] 高虎,彭兵,阮栋梁,等. 废旧纺织品化学法再生聚酯多元醇纤维的加弹工艺探究[J].高科技纤维与应用,2025,50(02):65-68.
- [5] 苏密. 开启可持续发展新纪元丝丽雅集团 T2T 废旧纺织品循环再利用中试生产线正式投产[J].纺织服装周刊,2025,(14):23.
- [6] 周俊莹,许黛芳,周舒怡,等. 双碳背景下嘉兴纺织产业链上的绿色循环及废旧纺织品处理对策研究[J].山东纺织科技,2025,66(02):54-56.
- [7] 马倩,王可,王保国. 基于标准支撑的“互联网+”废旧纺织品回收模式创新研究[J].辽宁丝绸,2025,(02):81+25.
- [8] 李青梅,陶从喜,沈序辉,等. 废旧纺织品替代燃料预处理系统优化设计与应用[J].水泥工程,2025,(01):72-76.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS