

生物基聚醚多元醇聚氨酯材料的合成应用及经济效益

杨 雷 (山东尚正新材料科技股份有限公司, 山东 淄博 256405)

王妍茹 马立敏 (淄博德信联邦化学工业有限公司, 山东 淄博 256410)

摘要: 生物基聚醚多元醇作为出自可再生资源的关键化工原料, 是推动聚氨酯产业往低碳转型、促进经济质量改善的关键载体, 其原料有着可再生的特质, 工艺呈现环保的属性, 实现了明显的经济及环境双重效益。本文系统阐述开环聚合、copoly 改性及绿色合成三类核心工艺的反应机制与技术特征, 分析工艺参数优化后材料在建筑、汽车、包装、医疗卫生领域的应用适配性, 从生产成本控制、市场效益提升、环境与社会效益转化三个维度深入展开经济效益分析。研究表明, 这类材料具备原料可再循环、工艺环保高效、性能可合理控制且成本竞争能力较强等长处, 在市场拓展潜力、赋能产业升级以及可持续发展价值上表现出众, 为化工行业绿色升级以及经济高效发展给出了可行途径, 有着重要的产业化前景跟经济应用价值。

关键词: 生物基聚醚多元醇; 聚氨酯材料; 合成工艺

中图分类号: TQ323.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0010-03

Synthesis, application, and economic benefits of bio-based polyether polyol polyurethane materials

Yang Lei (Shandong Shangzheng New Materials Technology Co., Ltd., Zibo, Shandong 256405, China)

Wang Yanru and Ma Limin (Zibo Dexin Federal Chemical Industry Co., Ltd., Zibo, Shandong 256410, China)

Abstract: As a key chemical raw material derived from renewable resources, bio-based polyether polyol serves as a core carrier for promoting the low-carbon transformation and economic upgrading of the polyurethane industry. Its renewable raw material and environmentally friendly process bring significant economic and environmental benefits. This article systematically elaborates on the reaction mechanisms and technical characteristics of three core processes: ring-opening polymerization, copoly modification, and green synthesis. It analyzes the application adaptability of materials optimized for process parameters in the fields of construction, automotive, packaging, and medical and healthcare. Furthermore, it conducts an in-depth economic benefit analysis from three dimensions: production cost control, market benefit enhancement, and environmental and social benefit transformation. The research shows that these materials excel in market expansion potential, industrial upgrading empowerment, and sustainable development value, thanks to their advantages such as renewable raw materials, environmentally friendly processes, controllable performance, and outstanding cost competitiveness. They provide a feasible path for the green upgrading and economically efficient development of the chemical industry, holding significant industrialization prospects and economic application value.

Keywords: bio-based polyether polyol; polyurethane material; synthesis process

生物基聚醚多元醇把植物油、农业废弃物、工业副产甘油等可再生资源当作原料, 减少了对石化资源的依赖, 还凭借原料供应稳定、价格波动较为平缓的长处, 反映出经济方面的性价比, 其合成技术的创新加上聚氨酯材料的产业化应用, 成为应对石化资源不足难题、减少碳排放数量、提升产业经济韧性的关键办法。

1 生物基聚醚多元醇的主要合成工艺

1.1 开环聚合工艺

开环聚合工艺属于生物基聚醚多元醇规模化制备的核心技术之一, 其关键反应机制为: 依靠生物基环氧化合物或内酯类单体的环张力特质, 在催化剂起作用的情况下让环结构断裂, 进而进行链式聚合^[1]。

常用催化剂有双金属氰化物 (DMC)、碱金属氢氧化物之类, DMC 催化剂呈现出高活性与高选择性,

可精准把握产物的分子量分布, 适合高端聚氨酯材料原料的产出; 碱金属氢氧化物催化剂的成本不高, 多用于中低端产品的制备工作, 单体转化比例超 95%。

反应条件需严格把控, 温度一般控制在 80-120℃, 压力掌控在 0.3-0.8MPa, 采用连续进料的模式开展规模化生产, 产物多数呈现为线性或低支化度聚醚链段, 能把羟值波动控制到 $\pm 2\text{mgKOH/g}$, 能达到聚氨酯泡沫、保温材料等基础产品的性能标准。

1.2 copoly 改性工艺

copoly 改性工艺试图借助共聚反应优化生物基聚醚多元醇的结构与性能特点, 主要是把生物基单体跟石化基单体或者功能性单体进行共聚反应, 组建多元共聚体系。按照聚合手段, 可分为无规共聚、嵌段共聚和接枝共聚: 无规共聚利用调节生物基环氧单体与

石化基单体的投放比例(1:3-1:5),灵活把控产物的亲疏水性及玻璃化转变温度;嵌段共聚采用分步聚合之法,造就“软段-硬段”交替出现的结构,极大提升材料的拉伸强度以及耐老化性能,断裂伸长率能提升到300%及以上;接枝共聚是在聚醚主链里引入功能性基团,提高与聚氨酯固化体系的兼容性。该工艺的关键是控制共聚单体的反应活性之比,采用活性聚合技术(如ATRP、RAFT)可把产物分子量分布指数(PDI)限制在1.2以内,有效防止因竞聚率差异引起的结构不均衡现象,产物可符合聚氨酯弹性体、胶粘剂、合成革等中高端产品的生产需求。

1.3 绿色合成工艺

绿色合成工艺以全生命周期环境友好为核心目标,从原料、反应介质、催化剂到分离过程全面践行低碳理念^[2]。原料方面优先选用农业废弃物衍生的多元醇、工业副产甘油等,可再生原料占比可达70%以上,降低对原生生物质的依赖;反应介质摒弃传统有机溶剂,采用水相体系、超临界CO₂或离子液体,其中水相聚合无VOC排放,超临界CO₂介质可通过气化实现无残留分离,产物纯化能耗降低40%;催化剂体系以生物酶、固体酸/碱催化剂为主,酶催化反应在常温常压下进行,选择性高达99%,且催化剂可回收重复使用5次以上,固体酸催化剂则解决了均相催化剂难以分离的问题,减少废水处理成本。

2 工艺参数优化生物基聚醚多元醇聚氨酯材料的应用

2.1 建筑领域

实行工艺参数优化后的生物基聚醚多元醇聚氨酯材料,在建筑领域主要发挥保温隔热与结构防护的功效,凭借精准调整聚合工艺及原料的配比,有力提高了材料核心性能的适配水平。优化开环聚合时的反应条件与催化剂的选取,可以明显提高材料的闭孔率及保温作用,其保温效果比传统的聚氨酯材料更胜一筹,而且具备优秀的阻燃特性,可符合建筑消防安全方面的要求。利用copoly改性工艺去调整共聚单体的比例,促进了材料抗压强度及尺寸稳定性的提升,处于长期热老化的环境下,材料仍可维持结构的稳定,适用在外墙保温、屋面防水一体化系统以及冷库保温等场景。

2.2 汽车领域

汽车领域对材料的轻量化、耐老化与环保性要求严苛,工艺参数优化后的生物基聚醚多元醇聚氨酯材料针对性解决了传统材料的短板。通过调控开环聚合中催化剂用量,可制备低粘度聚醚多元醇,进而合成轻质聚氨酯泡沫,用于汽车座椅、仪表盘等内饰填充,在减轻车身重量的同时,保障了良好的回弹性能与乘

坐舒适性^[3]。采用copoly改性工艺构建“软段-硬段”交替结构,材料的拉伸强度与耐高低温性能显著提升,能适应汽车行驶过程中的复杂环境,适配减震垫、门板内饰及底盘防护件等部件的使用需求。绿色合成工艺生产的水性聚氨酯胶粘剂,摒弃了有毒溶剂,环保性能达标,且粘结强度可靠,可用于车身面板贴合、线束固定等汽车装配环节。

2.3 包装领域

包装领域的应用聚焦缓冲防护、保鲜透气与可降解性,工艺参数优化使生物基聚醚多元醇聚氨酯材料能精准匹配不同包装需求。通过调节开环聚合的单体聚合度,可制备软质聚氨酯泡沫缓冲材料,具备优异的冲击吸收性能,能有效保护电子产品、精密仪器等在运输过程中免受损坏,可替代传统泡沫材料。借助copoly改性工艺引入功能性单体,材料表面亲水性与透气性能得到改善,同时具备一定抑菌效果,适用于生鲜食品保鲜包装,有助于延长食品货架期。绿色合成工艺以可再生原料为基础,结合环保聚合技术,制备的材料具备良好的生物降解性,可制成包装薄膜、缓冲垫及一次性餐具等,有效缓解传统塑料包装带来的环境污染问题^[4]。

3 生物基聚醚多元醇聚氨酯材料的经济效益分析

3.1 生产成本分析

生物基聚醚多元醇聚氨酯材料的生产成本构成呈现“原料端稳势、工艺端降本、全周期增效”的核心特征,综合成本竞争力逐步凸显。

3.1.1 原料成本优势

核心原料为植物油、农业废弃物(秸秆、玉米芯)、工业副产甘油等可再生资源,来源广泛且供应稳定,价格波动幅度较石化原料低30%以上,受国际油价、地缘政治等外部因素影响较小。在农业主产区,原料就地采购可节省15%-20%的运输成本,而工业副产甘油的回收利用则进一步降低了原料获取成本,相较于传统石化基原料,整体原料成本平均降低10%-15%。

3.1.2 工艺优化降本

开环聚合、copoly改性等主流工艺已达成规模化不间断生产,依靠智能调控系统优化反应的参数,生产效率跟初期相比提升30%以上,单位产品能耗差不多下降了25%。即便绿色合成工艺初期设备投资比传统工艺多10%-20%,但采用催化剂回收再使用(重复使用次数为5次以上)、余热梯级运用、废水零排放等技术,长期运营之际,环保处理成本以及资源损耗成本明显降低,投产3年后就能弥补初期的额外投资。

3.1.3 末端处置节本

材料有着可降解或者可回收再利用的属性,废弃

后不必采用复杂的焚烧、填埋处理流程，和传统聚氨酯材料比起来，末端处置成本节省了20%–30%。尤其是在环保政策愈发严格的背景里，能躲开因环保不达标产生的罚款与整改花销，进一步降低综合成本压力。实现规模化制造的生物基聚酯多元醇聚氨酯材料，综合生产成本跟传统石化基产品在数值上基本持平，某些中低端产品的成本甚至低5至8个百分点，成本优势稳步扩大。

3.2 市场效益分析

生物基聚酯多元醇聚氨酯材料的市场效益依托政策导向、需求升级与产业升级，形成了“政策赋能、需求拉动、价值提升”的良性循环。

3.2.1 政策红利拓宽市场空间

全球低碳经济转型加速，各国纷纷出台环保政策与绿色采购标准，为生物基材料开辟了广阔市场。我国《“十四五”原材料工业发展规划》明确支持生物基材料规模化应用，建筑领域的绿色建筑评价体系、汽车行业的“双积分”政策、包装领域的禁塑令等，均强制或鼓励使用环保材料，推动生物基聚酯材料在多领域的渗透率逐年提升，预计未来5年市场规模年均增速将保持在15%以上^[1]。

3.2.2 产品附加值显著提升

跟传统石化基聚酯材料比起来，生物基产品呈现可再生、环保、生物相容等核心特性，可按溢价15%–25%的价格售卖。在医疗健康范畴，诸如医用敷料、人工皮肤之类的产品，鉴于需满足严苛的生物安全性要求，溢价空间可达30%以上的水平；就出口市场这一维度而言，可越过欧美等地区的绿色贸易壁垒，海外市场份额稳步扩大，为企业增添更多利润进账。

3.2.3 品牌竞争力持续强化

生物基材料的研发与生产已成为企业差异化竞争的核心抓手，有助于企业树立“绿色环保”的品牌形象，提升市场认可度与客户忠诚度。随着产能释放与技术迭代，产品供给能力持续增强，形成“需求拉动–产能扩张–成本下降–市场扩容”的正向循环，为企业带来长期稳定的营收增长与市场竞争力提升。

3.3 环境与社会效益

3.3.1 环境效益

原料端以可再生生物质替代化石资源，每生产1t生物基聚酯多元醇可减少3–5t二氧化碳排放，大幅降低化工产业的碳足迹，助力“双碳”目标实现。生产端采用绿色合成工艺，挥发性有机化合物（VOC）排放量较传统工艺降低60%以上，废水排放量减少40%以上，废渣资源化利用率提升至80%以上，有效减轻了对大气、水、土壤的污染压力。废弃端材料可自然

降解或回收再利用，避免了“白色污染”，尤其在包装、农业等领域，可显著改善生态环境质量。

3.3.2 社会效益

生物基材料产业的发展推动了农业废弃物资源化利用，将秸秆、玉米芯等低值农业废弃物转化为高附加值化工原料，延长了农业产业链，为农村地区提供了大量就业岗位（如原料收集、初加工等），预计每万吨产能可带动200–300个就业机会，助力乡村振兴与农民增收。同时，倒逼化工产业从“高碳依赖”向“低碳循环”转型，促进了绿色催化、过程强化等核心技术的研发与创新，提升了我国在全球绿色材料领域的技术话语权与产业竞争力。

3.3.3 公共价值

在医疗卫生领域，生物基聚酯材料的生物相容性与安全性，提升了医用产品的使用体验与安全保障；在食品包装领域，环保特性避免了传统塑料包装对食品的污染，保障了食品安全；在建筑、汽车领域，低污染、低能耗的特性为人们提供了更健康的居住与出行环境，彰显了企业的社会责任与民生关怀，具有深远的公共价值与社会意义。

4 结语

生物基聚酯多元醇聚氨酯材料凭借可再生原料的经济优势、多元合成工艺的技术支撑与优异的应用性能，成为化工产业低碳转型与经济提质的重要方向。经济效益分析显示，该类材料在原料成本稳定性、市场溢价空间、环保合规成本节约与社会效益转化方面均具备显著竞争力，既契合“双碳”目标下产业政策导向，又顺应市场对绿色环保、高性价比的产品需求，为企业带来长期稳定的经济回报，推动化工行业向绿色化、高效化、经济化方向高质量发展。

参考文献：

- [1] 刘雨竹,等. 聚酯多元醇调控聚氨酯复合材料及其耐磨性[J]. 现代塑料加工应用,2025,37(06):8-12.
- [2] 戈欢,林壮,白维坤,等. 多元协同阻燃聚酯多元醇合成及其在聚氨酯硬质泡沫中的应用[J]. 塑料科技,2025,53(08):18-22.
- [3] 戈欢,陈庆柏,公维英,等. 高性能聚酯多元醇的制备及其在聚氨酯弹性体中的应用研究[J]. 塑料科技,2025,53(07):52-55.
- [4] 左振霖,唐秋雨,宰少波,等. 新型聚酯多元醇类开孔剂的合成及其在聚氨酯泡沫中的应用[J]. 化学反应工程与工艺,2025,41(03):400-406.
- [5] 孙云贵,陈旺,刘龙江. 不同大相对分子质量聚酯多元醇对聚氨酯密封胶性能的影响研究[J]. 化学与粘合,2022,44(06):510-512.