

聚醚多元醇基聚氨酯弹性体性能优化与应用效益

杨 雷 (山东尚正新材料科技股份有限公司, 山东 淄博 256405)

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

摘要: 聚醚多元醇基聚氨酯弹性体因具备结构的可设计性以及性能广谱适配性, 成为多样行业的核心材料, 其经济价值显著, 产业适配方面潜力突出。本文从反应活性、力学适配性、环境耐受性及加工兼容性四个维度, 解析聚醚多元醇的核心性能基础; 系统阐述聚醚多元醇改性、聚合工艺优化及辅助优化手段三类性能优化路径; 深入剖析其在力学性能匹配、环境适应能力、绿色环保以及产业适配提效等方面的应用成效, 着重突出成本把控、生产效率上扬和市场竞争强化等经济相关价值。研究表明, 采用精确调控材料结构及制备工艺, 该弹性体可契合不同场景的严苛使用需求, 同时兼具经济价值和可持续发展属性, 其为相关行业的技术升级以及经济效益的提升给予了重要助力, 存有广阔的产业化前景以及经济应用潜力。

关键词: 聚醚多元醇; 聚氨酯弹性体; 性能优化; 应用效益

中图分类号: TQ334.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0076-03

Performance optimization and application benefits of polyether polyol-based polyurethane elastomers

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

Gao Lizhi, Wang Yanru (Zibo Dexin Federal Chemical Industry Co., Ltd., Zibo Shandong 256410, China)

Abstract: Polyether polyol-based polyurethane elastomers have become the core materials in various industries due to their structural designability and broad performance adaptability. They have significant economic value and outstanding potential in industrial compatibility. This article analyzes the core performance basis of polyether polyols from four dimensions: reactivity, mechanical compatibility, environmental tolerance, and processing compatibility. It systematically elaborates on three performance optimization paths: modification of polyether polyols, optimization of polymerization processes, and auxiliary optimization methods. It deeply examines their application effects in mechanical performance matching, environmental adaptability, green environmental protection, and improvement of industrial compatibility, with a particular focus on economic-related values such as cost control, increased production efficiency, and enhanced market competitiveness. The research shows that by precisely regulating the material structure and preparation process, this elastomer can meet the strict usage requirements of different scenarios, while also having economic value and sustainable development attributes. It provides significant support for the technological upgrading of related industries and the improvement of economic benefits, and has broad industrialization prospects and economic application potential.

Keywords: polyether polyol; polyurethane elastomer; performance optimization; application benefits

处于全球产业升级、低碳转型加速推进以及市场竞争不断加剧的背景下, 市场对高性能、环保型且性价比良好的弹性体材料的需求不断走高。一类具备高弹性、高强度和环境耐受性的多功能材料是聚醚多元醇基聚氨酯弹性体, 它凭借着分子结构可实施设计与制备工艺灵活的长处, 在机械制造、汽车产业、电子装备、医疗健康等多个高附加值领域大量应用, 为相关产业增添了显著的经济收益。各个应用场景对材料性能有不一样的要求, 日益严苛的环保政策带来了合规成本方面的压力, 市场对产品性价比的要求同样较高, 这些情形都对性能优化以及实现经济效益最大化造成了更高挑战。

1 聚醚多元醇的核心性能基础

1.1 可控的反应活性

聚醚多元醇分子末端的羟基 (-OH) 是引发异氰

酸酯交联反应的核心活性位点, 羟基类型 (伯羟基、仲羟基) 及其分布密度直接决定反应活性高低^[1]。氧化乙烯封端类产品等伯羟基含量较高的聚醚多元醇, 反应速率较快且交联效率突出, 适配快速成型相关工艺; 氧化丙烯均聚体等以仲羟基为主的产品, 反应速率更为平缓, 有助于加工过程中各项参数的精准把控, 降低反应缺陷出现的概率。官能度与分子量的精准调控能够实现交联密度的个性化定制, 为聚氨酯材料硬度、弹性等力学性能的灵活调节奠定基础。

1.2 广谱的力学适配性

醚键 (-O-) 具备较小的内旋转阻力, 这一特性让聚醚多元醇分子链拥有出色的柔顺性, 结合可调控的支化度与交联密度, 可实现力学性能的宽域调节。数均分子量处于 1000-5000g/mol 区间的低支化度、

低分子量产品,弹性表现优异,断裂伸长率可达到500%以上;数均分子量在10000-50000g/mol范围内的高支化度、高分子量产品,则呈现出较高的拉伸强度与硬度,拉伸强度可提升至20MPa以上。这种多元化的力学适配能力,使其能够满足从软质缓冲材料到硬质结构部件的各类应用需求。

1.3 优异的环境耐受性

醚键本身具备的化学稳定性,让聚醚多元醇拥有显著的耐水解、耐酸碱及耐油脂性能。与聚酯多元醇相比,其在潮湿环境中不易发生酯键水解降解,使用寿命可延长3-5倍;对于工业生产中常用的酸碱溶液、矿物油、有机溶剂等,均具备良好的抵抗能力,不易出现溶胀现象或性能衰减问题。分子链的柔顺性还赋予其出色的低温韧性,在-40℃以下依旧能够保持良好弹性,高温环境中($\leq 120^\circ\text{C}$)也不易发生软化变形,使用温度范围可覆盖绝大多数工业与民用场景^[2]。

2 聚醚多元醇基聚氨酯弹性体的性能优化方法

2.1 聚醚多元醇改性优化

聚醚多元醇的结构改性作为弹性体性能优化的核心支撑,可通过分子链设计与功能化修饰,针对性改善材料力学特性、兼容性及环境适应性。调整聚醚多元醇分子量及其分布,窄分布($\text{PDI} \leq 1.2$)产品可减少结构缺陷,提升力学性能均一性;数均分子量5000-10000g/mol的高分子量产品能增强分子链缠绕效果,助力拉伸强度与弹性恢复率提升,低分子量产品则可优化加工流动性^[3]。支化度与官能度的调控同样关键,4-6官能的高支化度、多官能产品可提高交联密度,强化材料硬度与抗压性能,低支化度产品则能保留优异柔顺性与断裂伸长率。

采用氧化乙烯、氧化丙烯、氧化丁烯等单体开展嵌段或无规共聚,可整合不同链段优势,氧化乙烯-氧化丙烯嵌段共聚可兼顾亲水性与柔顺性,氧化丁烯共聚链段则能增强刚性与耐候性。通过接枝改性引入马来酸酐、丙烯酸酯等功能性基团,可提升与异氰酸酯的反应活性,同时增强与填料的界面结合力。以植物油衍生环氧单体、生物基内酯替代部分石化基单体制备生物基聚醚多元醇,能提升材料可降解性与环保性;引入阻燃、抗菌或抗老化基团,可赋予弹性体特殊功能,进一步拓宽应用场景。

2.2 聚合工艺优化

聚合工艺的参数调控与流程改进,直接关联弹性体结构形成与性能表现,优化反应条件、配方比例及工艺模式,可实现性能与加工效率的同步提升。将异氰酸酯指数(NCO/OH)精准控制在1.05-1.15区间,可平衡材料硬度与弹性,防止指数过高导致交联过度、

脆性上升,或指数过低造成力学强度不足。反应温度需分阶段调节,预聚阶段控制在60-80℃,可避免局部放热集中与气泡产生;固化阶段采用80-120℃梯度升温方式,能促进交联反应充分进行,减少内应力残留。

优化搅拌速率与时间,可确保聚醚多元醇、异氰酸酯、扩链剂等组分混合均匀,规避局部浓度不均引发的结构缺陷。选择适配的扩链剂类型与用量,小分子二醇扩链可提升强度与硬度,二胺类扩链剂则能增强弹性与耐低温性能,其用量通常占体系总量的5%-15%^[4]。复配有机锡与胺类催化剂,可精准调控反应速率,兼顾加工窗口与固化效率;适量添加抗氧剂、紫外线吸收剂等助剂提升抗老化与耐候性,同时需严格控制用量,避免影响主体反应。采用预聚法替代一步法,可减少副反应发生,提高产品性能稳定性;引入反应挤出、微反应器聚合等连续化工艺,可实现原料进料、反应与成型一体化,缩短生产周期并降低能耗。应用无溶剂聚合工艺,以水或绿色溶剂替代传统有机溶剂,可减少VOC排放,避免溶剂残留导致的性能衰减。

2.3 其他辅助优化手段

填料复合、后处理改性与数字化调控等辅助手段,可弥补单一优化路径的不足,实现弹性体性能全面提升与精准定制。选用碳纤维、石墨烯、滑石粉等填料,经偶联剂处理、接枝改性等表面修饰提升与聚氨酯基体的相容性,填料添加量控制在5%-20%,可显著提升拉伸强度、耐磨性能与热稳定性,石墨烯复合后拉伸强度可提升30%以上,耐磨性能改善50%。选用磁性、导电或导热填料,可赋予弹性体特殊功能,拓展其在智能材料、电子设备等领域的应用。

对成型后的弹性体进行100-120℃、2-4h热处理,可促进残余反应,消除内应力,提升尺寸稳定性与力学性能一致性。采用辐射交联或化学交联后处理,能提高交联密度,增强材料耐高低温与耐溶剂性;通过等离子体处理、涂层修饰等表面改性,可改善材料亲疏水性、粘结性或耐磨性,满足特定场景使用需求。

借助Aspen Plus、ANSYS等过程模拟软件,可预测工艺参数对产品性能的影响,优化配方与工艺,减少实验成本与试错周期。引入数字化控制系统,实时监测反应温度、压力、粘度等关键参数并实现自动化调节,能提升产品批次一致性;利用数字孪生技术构建全流程虚拟模型,结合大数据分析优化工艺路线,可实现性能精准预测与定制化生产。

3 聚醚多元醇基聚氨酯弹性体的应用效益

3.1 力学性能适配性效益

聚醚多元醇基聚氨酯弹性体依托独特的分子结构设计,与聚合工艺调控,呈现出优异的综合力学性能,

其力学性能适配性效益在多行业应用中表现突出。该弹性体实现高弹性与高强度的兼顾,拉伸强度、断裂伸长率及撕裂强度,可通过调节聚醚多元醇的分子量、支化度及交联密度完成精准定制,既能契合缓冲减震场景对高弹性的诉求,也能适配结构支撑部件对高强度的标准。动态服役环境中,其良好的耐疲劳性能与弹性恢复能力,明显优于传统橡胶、塑料等材料,可承受高频次形变且不易发生永久变形或断裂。工业传动带、矿山筛网等高频使用场景中,其使用寿命较传统材料延长3-5倍;精密机械密封件应用里,能在高压、高速工况下维持稳定密封性能,有效降低泄漏风险。这种力学性能的广谱适配性,使其无需复杂改性便可应用于不同强度、弹性需求的场景,缩减专用材料的研发成本与生产复杂度,为各行业提供高效、可靠的材料解决方案。

3.2 环境耐受性效益

聚醚多元醇基聚氨酯弹性体拥有出色的环境耐受性,可在恶劣工况下保持稳定性能,大幅降低运维成本与设备损耗,环境耐受性效益显著。耐高低温性能方面,其可在-40℃至120℃的宽温度范围内保持良好弹性与力学强度,规避传统材料低温脆化、高温软化的弊端,适用于极端气候环境或高温作业场景。耐化学介质性能上,其对油脂、酸碱溶液、有机溶剂等具备良好抵抗能力,不易出现溶胀、降解或腐蚀现象,化工管道内衬、油田开采设备密封件等接触化学介质的场景中,使用寿命较普通材料提升2-4倍。此外,其优异的耐磨性能与抗老化性能,可减少材料在摩擦、紫外照射、氧化环境下的损耗,降低设备维护频次与更换成本。矿山机械的耐磨衬板应用中,可减少因材料磨损引发的停机检修时间,每年为企业节省大量运维费用,提升生产效率。

3.3 绿色环保效益

聚醚多元醇基聚氨酯弹性体在全生命周期中彰显显著绿色环保效益,契合当前全球低碳可持续发展的核心诉求。生产环节中,采用绿色聚合工艺可大幅减少挥发性有机化合物(VOC)排放,降低对环境的污染;部分产品可采用生物基聚醚多元醇为原料,替代传统石化基原料,减少化石资源消耗并降低碳足迹。使用环节里,其优异的耐用性与长使用寿命,可减少材料更换频率,降低资源消耗与废弃物产生量;相较于传统橡胶材料,其生产过程能耗更低,单位产品能耗较天然橡胶加工降低30%以上^[5]。废弃处置环节,该弹性体可通过回收再利用、降解等方式处理,部分生物基产品在自然环境中可实现缓慢降解,减少“白色污染”;回收后的材料经改性处理,可重新用于生产低性能要求的制品,实现资源循环利用。这种全生命周

期的环保特性,助力企业满足环保政策要求,规避环保处罚风险,同时树立绿色品牌形象,提升市场认可度。

3.4 产业适配增效效益

聚醚多元醇基聚氨酯弹性体的产业适配增效效益显著,其良好的加工性能与功能可设计性,能与多行业生产工艺深度融合,推动产业升级与生产效率提升。加工工艺方面,该弹性体可通过注塑、浇注、挤出等多种方式成型,加工流程简便、成型周期短,既能适配大规模工业化生产,也能满足个性化定制需求,生产效率较传统弹性体材料提升20%-30%。功能定制方面,通过与不同功能性填料复合,或调节聚醚多元醇的分子结构,可赋予材料阻燃、导电、导热、抗菌等特殊功能,满足各行业个性化需求。电子制造业中,导电型聚氨酯弹性体可用于电磁屏蔽材料,保障电子设备稳定性;医疗行业中,抗菌型产品可用于医用导管、防护用品,降低感染风险。此外,该弹性体与其他材料相容性良好,可实现复合成型,制备性能更优异的复合材料,拓展产品应用边界。其产业适配性不仅降低企业生产复杂度与成本,还助力企业开发高附加值产品,提升产业竞争力,推动相关行业向高效、高端、多功能方向发展。

4 结语

聚醚多元醇基聚氨酯弹性体的性能优势与经济价值,源于其分子结构的可设计性与制备工艺的可优化性。通过聚醚多元醇改性、聚合工艺优化及填料复合、后处理改性、数字化调控等辅助手段的协同应用,不仅实现了弹性体力学性能、环境适应性与功能特性的精准定制,更有效降低了生产与运维成本、提升了生产效率与产品附加值。

参考文献:

- [1] 易杰,王传宝,代正伟,等.基于嵌段聚醚酯多元醇的聚氨酯控释机理研究[J].材料开发与应用,2021,36(03):19-24.
- [2] 戈欢,陈庆柏,公维英,等.高性能聚醚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.
- [3] 张璟晨,邬素华,倪凯,等.阻燃聚醚多元醇的制备及对聚氨酯泡沫阻燃性能的影响[J].塑料科技,2019,47(10):142-147.
- [4] 于剑昆,李志刚,訾伟旗.降低聚氨酯泡沫用聚醚多元醇VOC技术简介[J].化学推进剂与高分子材料,2019,17(03):27-35.
- [5] 张莉,赵修文,李博,等.阻燃聚醚多元醇在聚氨酯高回弹泡沫中的应用研究[J].化学推进剂与高分子材料,2018,16(05):40-43.