

低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用进展研究

林起帆 张之中

(常州大学, 江苏常州 213000)

摘要: 本文主要探讨了低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用进展。首先, 文章简要介绍了低浓度异氰酸酯聚氨酯的特性, 并从异氰酸酯对人体的影响出发, 介绍了低浓度异氰酸酯的检测方法。接着, 详细介绍了降低聚氨酯中异氰酸酯浓度的方法, 包括新聚合工艺、分子筛吸收法、薄膜蒸发法和分子蒸馏法等。最后, 对低浓度异氰酸酯聚氨酯的未来发展趋势进行了展望。

关键词: 低浓度; 异氰酸酯; 聚氨酯; 复合材料; 检测

Research on the Application Progress of Low-concentration Isocyanate Polyurethane in Composite Materials

Lin Qifan Zhang Zhizhong

(Changzhou University, Changzhou, Jiangsu 213000)

Abstract: This paper mainly discusses the application progress of low-concentration isocyanate polyurethane in composite materials. Firstly, the characteristics of low-concentration isocyanate polyurethane are briefly introduced, and the detection method of low-concentration isocyanate is introduced from the perspective of the effect of isocyanate on the human body. Then, the methods for reducing the concentration of isocyanates in polyurethanes are described in detail, including new polymerization processes, molecular sieve absorption, thin film evaporation and molecular distillation. Finally, the future development trend of low-concentration isocyanate polyurethane is prospected.

Keywords: low concentration; Isocyanates; polyurethane; composites; detect

一、低浓度异氰酸酯聚氨酯的特性与应用背景

异氰酸酯聚氨酯作为一种新型的材料, 具有许多特性, 与传统的聚氨酯材料相比, 低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用潜力巨大。

(一) 异氰酸酯聚氨酯的特性

异氰酸酯聚氨酯是由异氰酸酯和聚氨酯通过化学反应得到的材料。它具有以下特性:

(1) 高强度和刚性：异氰酸酯聚氨酯具有较高的强度和刚性，这使得它在复合材料中具有较好的支撑作用。

(2) 良好的耐热性：异氰酸酯聚氨酯具有较好的耐热性，能够在较高温度下保持其性能稳定。

(3) 良好的耐化学性：异氰酸酯聚氨酯具有较好的耐化学性，能够抵抗酸、碱等化学物质的侵蚀。

(4) 良好的电绝缘性：异氰酸酯聚氨酯具有良好的电绝缘性，适用于电子、电气等领域。

(二) 低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用潜力

低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用潜力主要体现在以下几个方面：

(1) 提高复合材料的强度和刚性：低浓度异氰酸酯聚氨酯可以作为增强材料加入到复合材料中，提高其强度和刚性。

(2) 改善复合材料的耐热性和耐化学性：低浓度异氰酸酯聚氨酯可以改善复合材料的耐热性和耐化学性，使其具有更好的性能。

(3) 提高复合材料的电绝缘性：低浓度异氰酸酯聚氨酯可以提高复合材料的电绝缘性，使其适用于电子、电气等领域。

(4) 降低成本：低浓度异氰酸酯聚氨酯可以降低复合材料的成本，使其具有更好的经济效益。

综上所述，低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用潜力巨大，可以提高复合材料的性能，降低成本，具有较好的经济效益。

二、异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用方法

异氰酸酯聚氨酯（Polyurethane, PU）作为一种高性能的多功能聚合物材料，其独特的化学结构和物理性能使其在复合材料领域得到了广泛应用。本文将从降低聚氨酯中异氰酸酯浓度的

方法、新聚合工艺、分子筛吸收法、薄膜蒸发法以及分子蒸馏法等几个方面，详细探讨异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用方法，旨在深入理解异氰酸酯聚氨酯技术原理、应用实例及未来发展趋势。

(一) 降低聚氨酯中异氰酸酯浓度的方法

异氰酸酯是聚氨酯合成中的关键原料，但其高毒性及在聚氨酯成品中的残留问题限制了其应用范围的进一步扩大。因此，降低聚氨酯中异氰酸酯浓度成为提升材料安全性和环境友好性的重要研究方向。

(1) 原材料选择与预处理

在聚氨酯的合成过程中，选择低分子量和低官能团的聚醚作为原料，可以有效降低最终产品中异氰酸酯的浓度。此外，严格控制原材料的水份含量，确保其在 0.05% 以下，也是减少异氰酸酯残留的关键步骤。这是因为水分会促进异氰酸酯的水解反应，生成具有毒性的胺类化合物。

(2) 制备工艺优化

制备预聚体时，在酸性条件下进行反应可以降低 NCO（异氰酸酯基）的含量。同时，严格控制反应温度和时间，通过低温下混合聚醚与异氰酸酯（如 TDI）进行聚合反应，可以获得粘度低、性能优良且 NCO 含量低的预聚体。此外，调整催化剂和交联剂的用量，同样可以在不损害材料性能的前提下，进一步降低 NCO 的含量。

(3) 后处理技术

后处理技术如薄膜蒸发法和分子蒸馏法，能够在不破坏聚氨酯主体结构的前提下，有效去除游离的异氰酸酯单体。薄膜蒸发法利用高真空状态降低多异氰酸酯单体的沸点，从而实现其从聚氨酯体系中的分离。而分子蒸馏技术则基于分子运动平均自由程的差异，实现了更为精准的分离效果，对于降低聚氨酯固化剂中的有毒 TDI 单体含量具有显著优势。

（二）新聚合工艺在复合材料中的应用实例

随着技术的进步，新聚合工艺不断涌现，为异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用提供了更多可能性。

（1）反应注射成型（RIM）技术

反应注射成型技术，特别是增强反应注射成型（R-RIM）和结构反应注射成型（S-RIM），通过引入玻璃纤维等增强材料，显著提升了聚氨酯复合材料的力学性能。近年来，可变纤维注射成型（VFI）技术的发展，更是克服了 S-RIM 中玻璃纤维加入量受限的问题，直接将玻璃纤维无捻粗纱短切分散进入混料腔，与聚氨酯一起注入模具固化成型，实现了高密度制品性能的提升。

（2）长纤维注射成型（LFI）

LFI 技术主要用于生产对力学性能要求较低但设计复杂的汽车零部件，如仪表盘、内饰板等。该技术通过将切割成 25–50 毫米长的短切玻璃纤维与聚氨酯树脂同时输入模具，实现了快速成型，不仅缩短了生产周期，还提高了产品的轻量化和性能表现。例如，采用 LFI 工艺制造的聚氨酯车顶，比钢制车顶轻 20%，刚度却高出铝车顶一倍多。

（三）分子筛吸收法的应用

分子筛吸收法是一种通过物理吸附作用去除聚氨酯中异氰酸酯单体的有效方法。将具有多孔结构的分子筛（如 MCM-41）分散于低聚物多元醇中，利用分子筛的多孔吸附特性，使低聚物多元醇分子进入分子筛孔内形成自组装体系。这一过程中，分子筛不仅吸附了低聚物多元醇，还通过偶联剂改性增强了与异氰酸酯和交联剂的结合力，最终形成了具有优异性能的聚氨酯复合材料。该方法不仅降低了异氰酸酯的浓度，还提高了材料的力学性能和耐热性。

（四）薄膜蒸发法与分子蒸馏法的应用实例

（1）薄膜蒸发法

薄膜蒸发法通过薄膜蒸发器实现，在高真空

状态下降低多异氰酸酯单体的沸点，从而有效去除聚氨酯中的游离单体。这种方法在国外已得到广泛应用，而在国内尚处于研发阶段。未来，随着技术的成熟和设备的国产化，薄膜蒸发法有望在聚氨酯复合材料的绿色生产中发挥更大作用。

（2）分子蒸馏法

分子蒸馏技术作为一种温和的蒸馏分离技术，克服了常规蒸馏操作温度高、受热时间长的缺点，能够高效去除聚氨酯中的有毒 TDI 单体。在国内，该技术已应用于大规模高品质聚氨酯固化剂的生产中，显著提升了产品的环保性能和市场竞争力。特普讯等公司的分子蒸馏设备，通过自主研发和创新设计，满足了不同工况

三、低浓度异氰酸酯聚氨酯在复合材料中的应用前景

低浓度异氰酸酯聚氨酯（LCI-PU）作为一种环境友好型复合材料，在多个领域展现出广阔的应用前景。随着全球对环保和可持续性的高度关注，LCI-PU 因其较低的挥发性有机化合物（VOC）排放和改善的生态特性而受到重视。本文综述了 LCI-PU 的发展趋势、技术创新与市场需求对接，以及环境友好型复合材料的开发情况。

（一）未来发展趋势与挑战

LCI-PU 的未来发展趋势集中在提高产品性能、降低环境影响以及增强可回收性。一项关键的技术创新是使用环状碳酸酯作为发泡剂，代替传统的化学发泡剂，这不仅减少了有害物质的使用，还提高了材料的生态兼容性。此外，研究人员正致力于开发不含异氰酸酯的聚氨酯泡沫（NIPU），这种材料完全摒弃了剧毒物质，同时保持了聚氨酯的优良性能，展现出良好的市场应用潜力。

（二）技术创新与市场需求的对接

技术创新在 LCI-PU 领域的应用主要体现在新型环保材料的开发和生产技术上。例如，通过

使用生物基原材料，如植物油和改性植物油，来合成水性聚氨酯树脂，不仅提高了材料的环保性，还拓宽了其在涂料、胶黏剂等领域的应用。同时，朗盛聚氨酯系统业务部积极响应环保趋势，研发特殊水性聚氨酯分散体及封存性固化剂，有效降低挥发性有机物（VOCs）排放，满足市场对环境友好型产品的需求。

（三）环境友好型复合材料的开发

环境友好型复合材料的开发着眼于利用可再生资源和生物基材料。研究进展表明，通过结合天然纤维和生物基树脂，可以制备出具有良好力学性能和生物降解性的复合材料。此外，非异氰酸酯聚氨酯（NIPU）作为一种新型环保材料，因其无毒、低挥发性特点，在绿色复合材料领域具有显著的应用优势。

综上所述，LCI-PU 的发展趋势显示出与环境保护和可持续性目标的紧密结合。技术创新不仅满足了当前市场需求，还为复合材料行业带来了新的发展方向。随着研究的深入和技术的成熟，预计 LCI-PU 将在环境友好型复合材料领域扮演更加重要的角色。

参考文献

- [1] 杨玉姿,徐丹,雍奇文,等. 非异氰酸酯聚氨酯研究综述[J]. 聚氨酯工业,2020,35(5):5-8.
- [2] 王小梅,王家喜,张留成. 无异氰酸酯聚氨酯的制备[J]. 合成树脂及塑料,2009,26(3):37-41.
- [3] 马雪全,李丽霞,胡海青,等. 非异氰酸酯聚氨酯的可持续性发展综述[J]. 聚氨酯工业,2023,38(2):1-4,26.
- [4] 贺文媛. 非异氰酸酯聚氨酯的合成[D]. 山东:青岛科技大学,2010.
- [5] 席雪冬,张倩玉,陈实,等. 非异氰酸酯聚氨酯合成原理及应用研究进展[J]. 林业工程学报,2023,8(4):19-26.

[6] 王小梅,荀红娣,王家喜,等. 无异氰酸酯聚氨酯的合成与表征[J]. 中国塑料,2009,23(7):39-43.

[7] 叶青萱. 非异氰酸酯聚氨酯发展近况[J]. 化学推进剂与高分子材料,2011,9(6):1-18,49.

[8] 满瑞. 非异氰酸酯聚氨酯的合成与研究[D]. 天津:天津工业大学,2012.

[9] 刘贵锋,吴国民,孔振武. POSS 改性萜烯基非异氰酸酯聚氨酯的制备及性能研究[J]. 林产化学与工业,2017,37(3):31-37.

[10] 王芳,阮家声,张宏元,等. 一种非异氰酸酯聚氨酯的合成与表征[J]. 粘接,2008,29(6):6-10.

[11] 宋晓妮. 新型聚氨酯——非异氰酸酯聚氨酯的合成研究[D]. 山东:青岛科技大学,2010.

[12] 王瑜,孙元,邓新华. 非异氰酸酯聚氨酯最新研究进展与应用[J]. 中国塑料,2009,23(1):11-17.

版权所有©2024本文作者和香港科技出版集团。

本作品根据知识共享署名国际许可证(CC BY 4.0)获得许可。

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



Open Access