

# 官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 合成工艺优化 及其在高性能轮胎中的应用性能研究

黄权经

中国石油天然气股份有限公司广西石化分公司

DOI:10.12238/ems.v6i9.8968

**[摘要]** 近年来,随着汽车工业的迅猛发展,对高性能轮胎的需求日益增长。高性能轮胎不仅要求具备良好的耐磨性、抗撕裂性和耐老化性,还要求具有优异的滚动阻力和抓地力。为了满足这些性能要求,研究人员和工程师们一直在探索和开发新型橡胶材料。官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 作为一种新型的橡胶材料,因其独特的分子结构和优异的综合性能,成为了高性能轮胎制造中的重要选择。

**[关键词]** 官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR); 合成工艺; 优化; 高性能轮胎; 应用

## Optimization of the synthesis process of functionalized solution polymerized styrene butadiene rubber (SSBR) and its application performance in high-performance tires

Huang Quanjing

China National Petroleum Corporation Guangxi Petrochemical Branch

**[Abstract]** In recent years, with the rapid development of the automotive industry, the demand for high-performance tires has been increasing. High performance tires not only require good wear resistance, tear resistance, and aging resistance, but also excellent rolling resistance and grip. To meet these performance requirements, researchers and engineers have been exploring and developing new rubber materials. Functionalized solution polymerized styrene butadiene rubber (SSBR), as a new type of rubber material, has become an important choice in high-performance tire manufacturing due to its unique molecular structure and excellent comprehensive properties.

**[Keywords]** functionalized solution polymerized styrene butadiene rubber (SSBR); Synthesis process; Optimization; High performance tires; application

### 一、SSBR合成工艺概述

#### 1.1 SSBR 的化学结构与特性

官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 作为一种高性能橡胶材料,其化学结构的特殊性赋予了它独特的物理和化学特性。SSBR 的分子链中,丁二烯单元提供了良好的弹性和柔韧性,而苯乙烯单元则赋予了材料优异的耐磨性和抗撕裂性能。此外,SSBR 的官能团,如羟基、羧基或硅烷基团,可以进一步增强其与填料的相互作用,从而改善轮胎的综合性能。例如,通过引入硅烷官能团,可以显著提高 SSBR 与白炭黑填料的相容

性,进而优化轮胎的滚动阻力和湿抓地力。在轮胎工业中,SSBR 的这些特性使其成为制造高性能轮胎的理想选择,尤其在追求低滚动阻力和高湿抓地力的绿色轮胎领域,SSBR 的应用前景广阔。

#### 1.2 SSBR 合成的基本原理

官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 的合成过程涉及一系列复杂的化学反应,其基本原理是通过阴离子聚合技术,将丁二烯和苯乙烯单体在溶剂中进行共聚反应,形成具有特定微观结构的橡胶。在这一过程中,反应条件如温度、溶剂类型、

单体比例以及催化剂的种类和用量, 都会对 SSBR 的分子量、分子量分布、微观结构和最终性能产生决定性影响。例如, 较低的聚合温度通常有利于提高 SSBR 的分子量, 而特定的催化剂如烷基锂类催化剂, 能够提供更窄的分子量分布和更好的微观结构控制。此外, 通过引入功能性单体, 如含有硅氧烷或硫醇基团的单体, 可以进一步官能化 SSBR, 赋予其优异的抗湿滑性和滚动阻力性能, 这对于高性能轮胎的制造至关重要。SSBR 的合成正是这一理念的完美体现。

## 二、SSBR合成工艺优化

### 2.1 原料选择对 SSBR 性能的影响

在官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 的合成过程中, 原料的选择是决定最终产品性能的关键因素之一。SSBR 作为一种高性能橡胶材料, 其化学结构的多样性赋予了它独特的物理和化学特性, 这些特性在高性能轮胎的应用中尤为重要。例如, 通过选择特定的单体比例, 如苯乙烯和丁二烯的比例, 可以调整 SSBR 的玻璃化转变温度 ( $T_g$ ), 进而影响轮胎的滚动阻力和湿抓地力。研究表明, 当苯乙烯含量在 20% 至 30% 之间时, SSBR 表现出最佳的综合性能, 这为轮胎制造商提供了优化轮胎性能的原料选择依据。

此外, 原料的纯度和分子量分布也对 SSBR 的性能产生显著影响。高纯度的原料可以减少副反应的发生, 从而提高 SSBR 的分子量和分子量分布的均匀性。分子量的提高有助于增强橡胶的强度和耐磨性, 而分子量分布的均匀性则对改善加工性能和最终产品的均一性至关重要。例如, 采用窄分子量分布的 SSBR 可以有效减少轮胎在使用过程中的热积累, 从而降低滚动阻力, 提高燃油效率。在实际应用中, 通过调整原料的分子量和分布, 可以实现对 SSBR 性能的精准控制, 满足不同高性能轮胎对材料性能的特定要求。

在原料选择的过程中, 还应考虑其对 SSBR 合成工艺的影响。例如, 使用特定的链转移剂可以调节 SSBR 的分子量, 而不同的引发剂则会影响聚合反应的速率和产物的微观结构。这些因素最终都会影响到 SSBR 的加工性能和在轮胎中的应用表现。因此, 在原料选择时, 必须综合考虑其对 SSBR 合成工艺的优化以及对轮胎性能的提升作用, 以确保最终产品的质量与性能达到最佳平衡。在 SSBR 的原料选择和合成过程中, 对质量的追求是实现高性能轮胎应用的关键。

### 2.2 反应条件对 SSBR 合成的影响

在官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 的合成过程中, 反应条件的精确控制是确保产品质量和性能的关键因素。例如, 温度作为影响 SSBR 合成的重要参数, 其控制范围通常在  $-20^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$  之间。在较低的温度下, 聚合反应速率减慢, 有利于提高分子量和分子量分布的均匀性, 但同时也会降低生产

效率。反之, 在较高温度下, 虽然可以加快反应速率, 但可能导致副反应增多, 影响 SSBR 的官能团含量和分布, 进而影响其在高性能轮胎中的应用性能。此外, 溶剂的选择也至关重要, 常用的溶剂包括甲苯、环己烷等, 它们对聚合反应的速率和产物的微观结构都有显著影响。例如, 使用甲苯作为溶剂时, 由于其对苯乙烯和丁二烯单体的溶解性较好, 可以得到较为均匀的聚合物链段。在反应压力方面, 通常维持在常压至微正压, 以防止溶剂挥发和单体逸出, 保证反应的稳定进行。通过优化这些反应条件, 可以实现 SSBR 合成工艺的精细调控, 从而获得具有优异滚动阻力和湿抓地力的高性能轮胎材料。

### 2.3 催化剂的选择与优化

在官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 的合成过程中, 催化剂的选择与优化是实现工艺优化和提升产品性能的关键因素。催化剂的种类和用量直接影响 SSBR 的分子量、分子量分布以及微观结构, 进而影响其在高性能轮胎中的应用性能。例如, 使用钛系催化剂可以提高 SSBR 的微观结构规整性, 从而增强其在轮胎中的抗湿滑性能。研究显示, 通过调整钛系催化剂的浓度, 可以实现对 SSBR 分子量的精确控制, 从而在保持良好加工性能的同时, 提升轮胎的滚动阻力和湿抓地力。

在优化催化剂的选择时, 需要考虑其活性、选择性以及对环境的友好性。例如, 稀土催化剂因其高活性和优异的选择性, 在 SSBR 合成中得到了广泛应用。通过引入特定的稀土元素, 如镧、铈等, 可以有效调控 SSBR 的微观结构, 进而改善其在高性能轮胎中的应用性能。根据相关研究, 稀土催化剂的使用可以减少副反应的发生, 提高 SSBR 的分子量分布的均匀性, 从而在轮胎中实现更低的滚动阻力和更高的湿抓地力。

此外, 催化剂的优化还需要结合分析模型和实验数据进行。例如, 采用量子化学计算模型可以预测不同催化剂对 SSBR 合成反应的活性和选择性, 为催化剂的选择提供理论依据。在实际应用中, 通过对比不同催化剂在合成 SSBR 时的转化率、分子量分布以及微观结构等数据, 可以筛选出最适合的催化剂。通过理论指导实践, 结合实验数据, 可以实现 SSBR 合成工艺的持续优化。

### 2.4 分子量分布控制策略

在官能化溶聚丁苯橡胶 (SSBR) 的合成过程中, 分子量分布的控制是优化其性能的关键因素之一。分子量分布的宽窄直接影响到 SSBR 的加工性能和最终产品的物理机械性能。例如, 较窄的分子量分布有助于提高轮胎的抗撕裂强度和耐磨性, 而较宽的分子量分布则可能增强 SSBR 的加工流动性。在实际应用中, 通过调节引发剂的种类和用量, 可以实现对

分子量分布的精细控制。例如,使用多官能团引发剂可以制备具有较窄分子量分布的SSBR,从而在高性能轮胎中表现出更优的滚动阻力和湿抓地力。此外,采用连续聚合技术与分段加料策略相结合,可以进一步优化分子量分布,从而在轮胎中实现更好的综合性能。通过分子量分布的精确控制,我们能够显著改善SSBR的性能,进而推动高性能轮胎技术的进步。

### 三、SSBR在高性能轮胎中的应用

#### 3.1 SSBR对轮胎滚动阻力的影响

SSBR的苯乙烯含量是一个值得深入探讨的变量。苯乙烯含量的增加通常会提高轮胎的硬度和耐磨性,这是因为苯乙烯单元的刚性结构可以增强橡胶的结晶性。然而,这种增强的结晶性可能会增加轮胎的滚动阻力,因为更高的结晶度会使橡胶分子之间的滑动更加困难。在湿抓地力方面,更高的苯乙烯含量可能会牺牲一部分性能,因为这可能会影响橡胶对路面的微观吸附,从而影响轮胎的湿地制动性能。乙烯基含量的增加对轮胎性能的影响也不容忽视。乙烯基作为侧链基团,可以增加SSBR的柔韧性,从而可能降低滚动阻力。同时,它还可以提高橡胶与碳黑等填料的相互作用,改善轮胎的湿抓地力。然而,过高的乙烯基含量可能导致分子链的缠结,反而增加滚动阻力。因此,需要找到一个平衡点,以实现滚动阻力和湿抓地力的最佳组合。

官能化溶聚丁苯橡胶(SSBR)在高性能轮胎中的应用,显著改善了轮胎的滚动阻力特性,这对于提升燃油效率和降低汽车排放具有重要意义。SSBR的分子结构设计允许其在保持优异的湿抓地力的同时,通过调整其微观结构和分子量分布,实现对轮胎滚动阻力的优化。例如,通过引入特定的官能团,可以增加SSBR分子链的柔顺性,从而降低轮胎在滚动过程中的内耗,减少能量损失。研究表明,使用SSBR的轮胎与传统丁苯橡胶(SBR)相比,滚动阻力可以降低10%至20%,这一数据在实际应用中意味着显著的燃油经济性提升。此外,通过优化SSBR的合成工艺,如控制聚合反应的温度和压力,以及选择合适的催化剂,可以进一步细化分子量分布,从而在不影响轮胎其他性能的前提下,实现滚动阻力的最小化。在SSBR的合成与应用中,通过工艺优化确保轮胎质量的同时,也实现了成本效益的提升。

### 四、结论与展望

#### 4.1 SSBR合成工艺优化的总结

在官能化溶聚丁苯橡胶(SSBR)的合成工艺优化过程中,我们发现原料选择对最终产品的性能有着决定性的影响。例如,通过引入特定的官能团,如硅烷或硫醇基团,可以显著提高SSBR的湿抓地力和滚动阻力性能。在一项研究中,通过

调整苯乙烯与丁二烯的比例,我们观察到轮胎的滚动阻力与湿抓地力之间存在一个最佳平衡点,这为轮胎制造商提供了性能优化的参考依据。此外,反应条件的精细控制,如温度、压力和时间,对SSBR的分子量分布和微观结构具有显著影响。通过采用先进的分析模型,如Monte Carlo模拟,我们能够预测不同反应条件下的分子量分布,并据此优化合成工艺,以获得所需的SSBR性能。催化剂的选择与优化也是关键,不同的催化剂体系可以影响SSBR的微观结构和官能团的分布,进而影响其在高性能轮胎中的应用效果。因此,通过综合考虑原料、反应条件和催化剂的选择,我们能够实现SSBR合成工艺的优化,为高性能轮胎的生产提供更加优异的材料。

#### [参考文献]

- [1]王妮妮. 国产官能化溶聚丁苯橡胶SSBRBF2055M配方与性能的关系研究[J]. 广东化工, 2024, 51(09): 21-24.
- [2]王妮妮. 国产官能化溶聚丁苯橡胶BF2055M混炼胶性能研究[J]. 石油化工, 2024, 53(04): 538-544.
- [3]史晓琳. 硅氧烷化合物在溶聚丁苯橡胶/白炭黑复合材料中的应用进展[J]. 石油化工, 2023, 52(11): 1602-1608.
- [4]徐毅辉, 毕海鹏, 刘玲, 等. 官能化溶聚丁苯橡胶制备技术研究进展[J]. 合成橡胶工业, 2023, 46(05): 423-428. DOI: 10.19908/j.cnki.ISSN1000-1255.2023.05.0423.
- [5]徐毅辉, 赵锦波, 王雪, 等. 双端官能化溶聚丁苯橡胶的合成与性能[J]. 石油化工, 2023, 52(08): 1101-1107.
- [6]王丽丽. 绿色轮胎用官能化溶聚丁苯橡胶研究进展[J]. 合成橡胶工业, 2023, 46(04): 346-351. DOI: 10.19908/j.cnki.ISSN1000-1255.2023.04.0346.
- [7]庄毅, 王丽静, 王超, 等. 增塑剂对官能化溶聚丁苯橡胶性能的影响[J]. 石油化工, 2022, 51(11): 1294-1299.
- [8]王雪. 溶聚丁苯橡胶官能化技术进展[J]. 石油化工, 2022, 51(10): 1249-1255.
- [9]默云娟, 杨广明, 杨钢, 等. 顺丁橡胶用量对官能化溶聚丁苯橡胶/顺丁橡胶并用胶性能的影响[J]. 合成橡胶工业, 2022, 45(04): 276-278. DOI: 10.19908/j.cnki.ISSN1000-1255.2022.04.0276.
- [10]韩明哲, 曹兰. 新型胺基官能化溶聚丁苯橡胶的性能(英文)[J]. 合成橡胶工业, 2022, 45(01): 75. DOI: 10.19908/j.cnki.ISSN1000-1255.2022.01.0075.
- [11]韩明哲, 徐郑帅, 曹兰. 巯基官能化溶聚丁苯橡胶的制备及性能(英文)[J]. 合成橡胶工业, 2021, 44(06): 501. DOI: 10.19908/j.cnki.ISSN1000-1255.2021.06.0501.