

# Study on catalytic performance and mechanism of mixed hydrogenated heavy oil with different base groups in cracking reaction

Ming Jiang Baizhuang Zhang

Yantai Nanshan University, Yantai, Shandong, 265713, China

## Abstract

With the transformation of global energy structure, heavy oil resources as an important energy reserve, more and more attention. At present, hydrocracking is one of the important technologies for treating heavy oil and improving the utilization efficiency of petroleum resources. However, in the hydrocracking process, the performance, selectivity and reaction mechanism of the catalyst are always the key to study. In this study, the catalytic performance and reaction mechanism of different base mixed hydrogenated heavy oil in cracking reaction were discussed. Combined with modern catalytic theory and experimental data, the catalytic effect of different catalysts, the change rule of reaction process and the stability of catalysts were analyzed. Through in-depth catalytic reaction analysis, the interaction between mixed hydrogenated heavy oil and catalyst was revealed, and how to optimize catalyst performance to improve reaction efficiency was further discussed. The results show that the mixed catalyst of specific base group shows excellent catalytic performance in the hydrocracking reaction, which is of great significance to improve the conversion rate of heavy oil and the yield of light oil.

## Keywords

heavy oil; hydrocracking; catalytic performance; reaction mechanism; base mixture

# 不同基属混合加氢重油在裂解反应中的催化性能及机理研究

蒋铭 张百壮

烟台南山学院, 中国·山东 烟台 265713

## 摘要

随着全球能源结构的转型,重油资源作为一种重要的能源储备,越来越受到重视。加氢裂化反应是目前处理重油和提升石油资源利用效率的重要技术之一。然而,在加氢裂化过程中,催化剂的性能、选择性和反应机理始终是研究的关键。本研究探讨了不同基属混合加氢重油在裂解反应中的催化性能及反应机理,结合现代催化理论和实验数据,分析了不同催化剂的催化效果、反应过程中的变化规律以及催化剂的稳定性。通过深入的催化反应分析,揭示了混合加氢重油与催化剂之间的相互作用,并进一步探讨了如何优化催化剂的性能以提高反应效率。研究结果表明,特定基属混合催化剂在加氢裂解反应中显示出了较为优异的催化性能,对提高重油的转化率和轻质油的产率具有重要意义。

## 关键词

重油; 加氢裂化; 催化性能; 反应机理; 基属混合

## 1 引言

加氢裂化技术(Hydrocracking)是现代炼油工业中处理重质油品的重要方法之一,广泛应用于提高石油资源的利用率以及生产高附加值的轻质油产品。然而,随着资源的不断消耗和市场对清洁能源的需求提升,传统的催化裂化技术已逐渐难以满足新兴需求。重油作为石油资源的一部分,其化学成分复杂,处理起来难度较大,加氢裂化在提高重油转化率的同时,需要克服催化剂的选择性、稳定性和耐久性等

问题。

近年来,催化剂的性能不断得到提升,通过调控催化剂的金属和酸性特征,能够显著改善重油裂解过程中产物的分布与质量。尤其是不同基属混合催化剂的使用,能够结合不同类型催化剂的优点,从而在裂解反应中展现出更加优异的性能。

本文旨在研究不同基属混合加氢重油在裂解反应中的催化性能,并揭示其反应机理。通过实验研究,分析不同催化剂在裂解过程中的反应特性,为催化剂的优化提供理论依据,进一步推动加氢裂化技术在重油处理中的应用。

【作者简介】蒋铭(2002-),女,中国山东菏泽人,在读本科生,从事石油化工研究。

## 2 重油加氢裂化技术的发展背景与研究现状

### 2.1 重油资源的现状与利用现状

重油是指原油中含有较高分子量和较多杂质的油品，在全球石油资源中占据着重要地位。然而，由于重油的高密度和低质量，它的直接利用受到了诸多限制。传统的炼油技术无法有效提高重油的转化率和产油质量，因此，加氢裂化成为处理重油的一个有效途径。加氢裂化技术可以在较低的温度和压力下，将重油转化为具有更高附加值的轻质油品，如汽油、柴油等。

### 2.2 催化剂的作用与研究进展

加氢裂化过程中的催化剂是决定反应效率和产物分布的关键因素。传统的加氢裂化催化剂通常包括酸性催化剂和金属催化剂。金属催化剂，如铂、钨等，主要通过加氢反应促进重油的转化；而酸性催化剂则通过裂解反应帮助降解重油分子。

近年来，催化剂的研发趋向于优化其金属和酸性特性，以实现更高的催化活性和选择性。部分研究发现，混合型催化剂在重油加氢裂化反应中表现出了更好的性能，能够有效提高裂解过程中的转化率及轻质油的产量。

### 2.3 混合加氢催化剂的优势与应用

不同基属混合催化剂由于能够结合不同类型催化剂的优势，逐渐成为加氢裂化领域的研究热点。通过将金属催化剂和酸性催化剂进行组合，能够在重油裂解过程中提供更高效的催化作用。这类催化剂在催化反应中的选择性、稳定性和耐久性都得到了显著提高，极大地促进了重油的加氢裂化效率。

## 3 不同基属混合催化剂的合成与表征

### 3.1 催化剂的合成方法

催化剂的合成方法是影响催化性能的关键因素之一。根据不同催化剂的性质和应用需求，可以采用多种合成方法。常见的催化剂合成方法包括物理混合法、化学共沉淀法、溶胶-凝胶法等。每种方法在催化剂的性能、稳定性和反应选择性方面有其独特的优势。

物理混合法是一种将不同组分的催化剂前驱体物质混合均匀的方法，通常适用于简单的催化剂合成。通过将不同金属或金属氧化物进行物理混合，可以调节催化剂的金属组分和分散性，从而改善其催化性能。该方法的优点是操作简单、成本较低，但可能存在催化剂活性较低或均匀性差的缺点。

化学共沉淀法是一种将金属离子或金属盐溶解于溶液中，通过共沉淀过程形成催化剂前驱体的合成方法。该方法能获得高分散度的催化剂，通常能够有效地提高金属组分的活性。通过控制溶液的浓度、温度和沉淀速率，可以调节催化剂的晶体结构和孔结构，以达到理想的催化效果。共沉淀

法具有较好的可控性，但其操作相对复杂，且催化剂的稳定性有时可能受到合成过程中的干扰。

### 3.2 催化剂的表征技术

催化剂的表征技术是研究其结构、性能和反应机理的重要手段。通过多种表征方法，可以深入了解催化剂的物理化学性质，为催化剂的优化和应用提供理论支持。常见的催化剂表征技术包括 X 射线衍射 (XRD)、扫描电子显微镜 (SEM)、氮气吸附-脱附 (BET)、红外光谱 (FTIR) 等，这些技术在催化剂的合成、性能评价以及反应过程的监控中都起到了重要作用。

X 射线衍射 (XRD) 是一种常用的催化剂晶体结构表征方法，通过分析催化剂的衍射图谱，可以确定其晶相组成、晶体结构和结晶度等信息。XRD 可以帮助研究人员识别催化剂中不同的金属氧化物或金属载体，了解催化剂的结晶程度以及晶粒的大小，这对催化剂的性能和反应稳定性具有重要影响。特别是在加氢裂化反应中，催化剂的晶体结构决定了其催化活性和耐热性，因此通过 XRD 分析催化剂的晶体结构，有助于进一步优化催化剂的设计。

扫描电子显微镜 (SEM) 主要用于观察催化剂的表面形貌、颗粒大小和分布情况。通过高分辨率的电子显微镜，可以清晰地观察到催化剂的微观结构及其表面形态。

## 4 不同基属混合催化剂在重油加氢裂化中的应用研究

### 4.1 催化性能的比较与分析

在本研究中，采用了不同基属混合催化剂在重油加氢裂化反应中的性能进行对比分析。通过实验结果发现，含有钼 (Mo) 和钨 (W) 等过渡金属的催化剂，在加氢裂化过程中显示出显著的催化活性和稳定性。这些金属元素能够有效提高催化剂的加氢性能，促进重油分子的加氢裂解，进一步转化为轻质油产品。与传统催化剂相比，钼和钨的混合催化剂能够有效降低重油中的长链烃类化合物，增加中间烃产物，从而提高轻质油的产率。

通过多组实验数据对比，发现加入酸性催化剂（如硅铝催化剂）后，混合催化剂在加氢裂化过程中具有更高的选择性，能够促进分子链的断裂和裂解过程，避免了不饱和和碳氢化合物的生成。与单一金属催化剂相比，混合催化剂的应用能够提高轻质油的产量，并显著降低反应过程中的副产物（如烯烃、芳烃等）的生成。因此，在催化性能方面，含有金属和酸性催化剂的混合催化剂表现出了良好的平衡性，使得重油加氢裂化过程更为高效。

此外，本研究还对不同催化剂的反应条件进行了细致探讨，发现催化剂的反应温度、反应压力和原料油的种类对催化性能也有重要影响。高温高压条件下，催化剂的反应活性得到了进一步的提升，同时催化剂的使用寿命得到了有效延长。

## 4.2 反应机理分析

为了深入探讨不同基属混合催化剂在加氢裂化反应中的机理,本研究采用了在线气相色谱、质谱和红外光谱等技术,实时监测了裂解反应的中间产物,并结合反应温度和压力等因素,进一步解析了反应机理。

金属催化剂主要通过其独特的金属活性中心与反应物中的氢分子发生加氢反应,从而实现重油分子中饱和烃和不饱和烃的转化。这些金属活性中心能够有效地提高加氢反应的速率,裂解大分子烃类,产生较短链的油品分子。而酸性催化剂则通过其表面酸性位点,促使长链烃分子发生裂解反应,形成中小分子烃类。酸性催化剂的裂解能力能够显著提高轻质油的产率,同时抑制重质油的不完全转化和副产物的生成。

在混合催化剂的作用下,金属和酸性位点的协同作用,使得加氢与裂解过程得以协调进行。这种相互配合的机制有效提升了反应的选择性,抑制了不必要的副反应,尤其在高温高压下表现出更好的稳定性和耐久性。通过进一步分析催化剂的催化机制,发现钨和钨的金属催化剂能够在裂解反应中与油分子发生稳定的相互作用,从而降低重油分子中的大分子结构,促进其加氢转化为轻质油产品。

## 4.3 催化剂的稳定性与再生性能

催化剂的稳定性和再生性能是评价其工业化应用潜力的重要指标。本研究中,对不同催化剂的稳定性进行了系统评估,尤其关注了催化剂在高温高压反应条件下的持久性能。实验结果显示,含有钨、钨等过渡金属的催化剂在反应过程中保持了较高的稳定性,表现出了较长的催化活性寿命。混合型催化剂通过优化金属组分和酸性位点的配比,显著提高了催化剂的耐久性。

此外,催化剂的再生性能也是评估其长期使用效果的重要因素之一。在经过一定周期的反应后,催化剂的催化活性会有所衰退,主要原因是催化剂表面积碳、酸性位点中毒及金属组分的流失。通过对比不同催化剂的再生实验,发现含有金属基团的混合催化剂在再生后仍能保持较高的催化活性,而其他单一催化剂在再生后性能显著下降。通过采用氧化还原再生法,能够有效去除催化剂表面积碳并恢复其金属催化活性。

总体而言,含金属基团的混合催化剂在稳定性和再生性能方面具有显著的优势,能够在长期的反应中维持较高的催化效率,并通过再生工艺恢复其活性,为实际工业化应用提供了有力保障。

## 5 催化剂优化与工业化应用前景

### 5.1 催化剂的优化方向

催化剂的性能优化是提升加氢裂化技术效率的关键。

未来,催化剂的优化将侧重于以下几个方面:首先,金属催化剂的优化方向在于提高金属的分散度和活性位点的数量,以增强其加氢活性。其次,酸性催化剂的优化应注重提高其酸性位点的强度与分布,确保裂解反应的高选择性和高效性。此外,催化剂的耐久性和抗积碳能力也将成为优化的重要方向,减少催化剂在反应过程中出现的失活问题,提高其使用寿命。

为了实现催化剂的性能提升,未来的研究可以通过新型合成方法(如溶胶-凝胶法、共沉淀法等)进一步提高催化剂的孔结构和表面特性,从而改善催化剂的比表面积和活性位点的密度。同时,催化剂的金属组分和酸性中心的协同调控也将是优化研究的重点之一,以实现最佳的催化性能。

### 5.2 工业化应用前景

随着催化剂性能的不断提高,混合催化剂在工业化应用中的前景逐渐明朗。在未来的重油加氢裂化过程中,混合催化剂可以在较为温和的反应条件下实现高效的重油转化,不仅提高了轻质油的产率,而且降低了生产成本和能耗。通过优化催化剂的配比和反应条件,可以进一步提高催化裂化过程的效率,并减少副产物的生成,提升整体反应的经济性。

随着技术的进步,催化剂的再生技术和操作方式也将得到不断改进,从而降低催化剂的使用成本,提高工业化应用的可行性和经济性。此外,随着加氢裂化技术的逐渐成熟,混合催化剂将在更多的石油炼化企业中得到广泛应用,推动重油加氢裂化技术向更高效、更环保的方向发展。

## 6 结语

本文通过对不同基属混合催化剂在重油加氢裂化反应中的催化性能及反应机理的研究,揭示了催化剂中金属与酸性位点的协同作用对反应效率的影响。实验结果表明,混合催化剂不仅能够提高轻质油的产率,抑制副产物的生成,还具有较高的稳定性和再生性能。未来的研究应继续关注催化剂的优化方向,进一步提升其催化活性、选择性和耐久性,以期在工业化应用中取得更为显著的效果。

## 参考文献

- [1] 催化作用基础(Ⅶ)——第四章各类催化剂及其催化作用(下)[J].石油化工,1975,(05):578-603.
- [2] 石正.烃的水蒸汽热裂解制取乙烯过程中的结焦问题探讨[J].齐鲁石油化工,1993,(04):327-333+316.
- [3] 鲁维民.脱除再生催化剂携带烟气的研究[D].石油化工科学研究院,2000.
- [4] 江茂修,左丽华.极具前景的炼油新催化材料[J].工业催化,2003,(03):43-48.
- [5] 李丽,高金森,徐春明,等.催化裂解过程及其裂解产物分布的影响因素分析[J].石油与天然气化工,2003,(06):351-355+326.