

石油化工催化剂的应用研究进展

姚彩红

宁夏计量质量检验检测研究院 宁夏 银川 750001

摘 要：在全球能源需求持续攀升、化工产业蓬勃发展的当下，石油化工作为能源与材料供应的关键领域，地位举足轻重。本文聚焦于石油化工催化剂的应用研究进展。先对石油化工催化剂进行概述，接着详细阐述了烯烃类、甲苯类、环氧乙烷、加氢裂化、聚乙烯等多种催化剂的应用研究情况。同时，深入探讨了石油化工催化剂未来的发展方向，包括绿色节能低碳、新材料替代、高性能多功能化以及智能化与精准调控等方面。旨在为石油化工催化剂领域的研究、开发和应用提供参考，推动该领域的技术进步与创新。

关键词：石油化工；催化剂；应用研究；进展

引言

在现代石油化工产业中，催化剂扮演着至关重要的角色。它能够显著提高化学反应的速率和选择性，降低生产成本，提升产品质量。随着石油化工行业的不断发展以及对绿色、高效、可持续发展的追求，对石油化工催化剂的研究和应用也日益深入。将全面介绍石油化工催化剂的基本情况，梳理其在不同领域的应用研究进展，并对其未来的发展方向进行展望，以便更好地把握该领域的发展趋势和技术动态。

1 石油化工催化剂概述

石油化工催化剂，作为石油化工生产的核心要素，是一类能够改变化学反应速度，却在反应前后自身的质量和化学性质基本保持不变的物质。在石油化工产业中，其重要性怎么强调都不为过。据统计，90% 以上的石油化工产品生产过程，都需要借助催化剂来提升效率与质量。从功能上分类，石油化工催化剂涵盖加氢、脱氢、氧化、异构化、聚合等多种类型。加氢催化剂在石油炼制环节大量使用，能将含硫、氮等杂质的油品转化为清洁燃料，提升油品品质；氧化催化剂则在生产环氧乙烷、丙烯腈等化工原料时发挥关键作用。从组成来看，石油化工催化剂通常由活性组分、载体和助催化剂构成。活性组分是催化剂的核心，决定了催化反应的类型与活性高低，比如铂、钯等贵金属以及过渡金属氧化物。载体不仅为活性组分提供较大的比表面积，增强活性组分的分散度，同时还起到支撑作用，常见的有氧化铝、硅胶等。助催化剂本身催化活性较低，但能显著改善催化剂的性能，包括活性、选择性和稳定性等。在石油化工的发展历程中，催化剂持续迭代革新^[1]。

2 石油化工催化剂的应用研究进展

2.1 烯烃类催化剂

烯烃是石油化工的基础原料，在塑料、橡胶、纤维等众多材料的生产中占据关键地位，而烯烃类催化剂对烯烃的生产效率与质量有着决定性影响。第一，在乙烯生产中，传统的蒸汽裂解工艺需高温条件，能源消耗大。新型乙烯裂解催化剂通过优化活性组分和载体结构，在降低反应温度的同时，提升了乙烯的收率。例如，部分负载型金属催化剂凭借独特的活性位点，增强了裂解反应的选择性，抑制副反应发生，减少了生产过程中的杂质生成。第二，丙烯生产方面，近年来丙烷脱氢制丙烯技术发展迅速，对应的丙烷脱氢催化剂成为研究热点。铂系、铬系等催化剂各有优势，铂系催化剂具有较高的活性和选择性，铬系催化剂则成本相对较低。科研人员通过添加助催化剂、调控载体性质等手段，不断改善催化剂的性能，提高其稳定性和抗积碳能力，延长催化剂的使用寿命。第三，在烯烃聚合领域，齐格勒-纳塔催化剂和茂金属催化剂得到广泛应用。齐格勒-纳塔催化剂能生产出不同性能的聚乙烯和聚丙烯产品，茂金属催化剂则凭借单活性中心的特点，可精确控制聚合物的分子结构，制备出性能优异的高端聚烯烃材料，满足了电子、医疗等高端领域对材料性能的严苛要求。

2.2 甲苯类催化剂

甲苯类催化剂能够显著推动甲苯相关化学反应的进程，对化工产品的生产具有重要意义。在甲苯歧化与烷基转移反应中，催化剂能够将甲苯转化为苯和二甲苯，满足市场对高附加值芳烃产品的需求。早期的甲苯歧化催化剂活性和选择性有限，随着科研人员的不断探索，丝光沸石、ZSM-5 等新型分子筛催化剂应运而生。ZSM-5 分子筛催化剂凭借独特的孔道结构和酸性特性，提高了反应的选择性，减少了副产物的生成，降低了后续分离成本。在甲苯氧化反应中，制备苯甲酸、苯甲醛等产品

的关键在于催化剂性能。例如,以钴、锰等过渡金属为活性组分,溴化物为助催化剂的催化体系,在甲苯液相空气氧化制备苯甲酸的过程中表现出较高通过设计和制备具有特定酸碱性和孔道结构的催化剂,能够有效调控反应路径,提高目标产物的收率,为拓展甲苯的应用范围、实现甲苯的高效转化开辟了新的方向。

2.3 环氧乙烷催化剂

环氧乙烷作为一种重要的有机化工原料,广泛应用于生产乙二醇、表面活性剂、乙醇胺等化工产品,其生产离不开环氧乙烷催化剂的助力。传统的环氧乙烷生产采用银催化剂,通过乙烯在银催化剂作用下与氧气发生部分氧化反应生成环氧乙烷。为提高银催化剂的性能,科研人员进行了大量研究。通过添加铈、铈等助催化剂,能显著改善催化剂的活性和选择性。助催化剂的加入改变了银催化剂表面的电子结构,抑制了乙烯深度氧化生成二氧化碳和水的副反应,大幅提升了环氧乙烷的选择性,降低了原料消耗和能耗。同时,在催化剂载体方面,研究人员也取得进展。采用改性的 α -氧化铝载体,其具有高比表面积、良好的机械强度和热稳定性,为银活性组分提供稳定的支撑,有助于延长催化剂的使用寿命。此外,新型环氧乙烷催化剂的研发聚焦于提升反应效率和降低成本。部分科研团队尝试开发非银催化剂,如金基催化剂和钨基催化剂,这些催化剂在特定条件下展现出较好的催化性能,有望打破银催化剂在环氧乙烷生产领域的主导地位,为环氧乙烷生产技术的革新提供了新的方向。

2.4 加氢裂化催化剂

加氢裂化工艺在石油炼制领域至关重要,不仅能生产清洁、优质的燃料产品,还能提高轻质油收率,这一过程中,加氢裂化催化剂发挥着核心作用。第一,传统加氢裂化催化剂以无定形硅铝为载体,负载钨、钼等加氢活性金属组分。随着技术进步,含Y型分子筛、 β 分子筛的新型载体不断涌现,它们拥有规整的孔道结构和较强的酸性,显著提升了催化剂的活性和选择性。第二,在活性金属组分方面,镍-钼、钴-钼等二元金属组合得到广泛应用。科研人员通过精确调控金属负载量与分散度,优化金属与载体间的相互作用,增强催化剂的加氢活性与抗硫性能,确保其在含硫原料环境下仍能稳定运行。第三,为适应日益严苛的环保要求,新一代加氢裂化催化剂着重于降低芳烃含量,生产超低硫、低芳烃的清洁燃料。一些纳米结构的加氢裂化催化剂崭露头角,凭借纳米级活性中心,实现了对反应路径的精准调控,不仅提高了加氢裂化反应的效率,还降低了积碳生

成量,延长了催化剂的使用寿命,推动加氢裂化工艺朝着绿色、高效的方向迈进。

2.5 聚乙烯催化剂

聚乙烯作为产量高、用途广的合成树脂,其发展很大程度上依赖聚乙烯催化剂的迭代更新。齐格勒-纳塔催化剂问世后,聚乙烯生产进入全新阶段。这种催化剂价格亲民、活性强劲,能制造出不同密度的聚乙烯,可满足包装、注塑等多种行业的需求,时至今日,在聚乙烯生产领域仍占据主导地位。茂金属催化剂的诞生,推动聚乙烯产业迈向高端化。它凭借单活性中心的特性,能精准调控聚乙烯的分子结构,所制聚乙烯的性能极为出色,拉伸强度和透明度远超普通聚乙烯,因而广泛应用于高端薄膜、管材的制造,为汽车、食品包装等行业提供了优质材料。后过渡金属催化剂作为新起之秀,优势同样显著。它热稳定性佳,催化活性高,在较为温和的条件下,不仅能催化乙烯聚合,还能实现乙烯与极性单体的共聚,生产出聚乙烯弹性体,为聚乙烯增添了新的品种,极大地拓宽了其应用范围。科研人员持续优化催化剂制备工艺,通过负载化技术,让催化剂在聚合反应中分散得更均匀,降低聚合物形态缺陷,从而提升生产效率,改善产品质量,助力聚乙烯产业高质量发展^[2]。

3 石油化工催化剂的发展方向

3.1 绿色节能、低碳发展方向

在全球大力推行节能减排,积极应对气候变化的大背景下,绿色节能、低碳成为石油化工催化剂的关键发展方向。(1)研发新型催化剂以降低反应条件的严苛程度。比如,在烯烃生产中,通过改进催化剂活性组分与载体结构,降低蒸汽裂解的反应温度,从而减少能源消耗。环氧乙烷生产中,借助添加特定助催化剂,提高银催化剂的选择性,抑制乙烯深度氧化生成二氧化碳,降低原料损耗与碳排放。(2)致力于催化剂的循环利用。传统石油化工生产产生大量废弃催化剂,不仅浪费资源,还污染环境。通过开发先进的回收技术,对废弃催化剂中的贵金属与其他有用成分进行高效回收,既能降低生产成本,又能减少废弃物排放。例如,部分企业已成功从废弃加氢裂化催化剂中回收钨、钼等金属,并将其重新用于新催化剂的制备。(3)探索绿色催化工艺也是重要举措。以生物质为原料,借助合适的催化剂生产石油化工产品,既能降低对化石资源的依赖,又能实现碳循环,为石油化工行业的可持续发展开辟新路径。

3.2 新材料替代发展方向

在材料科学飞速发展的推动下,新材料对传统材料的替代,成为石油化工催化剂领域变革的重要驱动力,

深刻影响着行业的创新进程。(1) 新型多孔材料正重塑载体材料格局。金属有机骨架材料(MOFs)凭借高达几千平方米每克的比表面积,为活性组分搭建了广阔的附着平台。在甲苯歧化反应中,负载特定活性组分的MOFs催化剂,能精准调控反应路径,将目标产物的选择性提升至90%以上,大幅优于传统氧化铝载体催化剂。共价有机骨架材料(COFs)规整的孔道结构,可有效限制副反应发生,提升催化效率。(2) 在活性组分方面,非贵金属的崛起,有望打破贵金属催化剂的高成本壁垒。以铁基催化剂为例,通过对其晶体结构的纳米级调控,科研团队成功研发出用于合成气制烯烃的高性能催化剂。该催化剂不仅展现出媲美贵金属催化剂的活性,成本还降低了80%,极大缓解了贵金属资源短缺带来的压力。(3) 碳基材料同样潜力无限。石墨烯独特的二维结构,赋予其优异的电子传输能力,在加氢反应中,石墨烯负载的催化剂能显著降低反应活化能,加快反应速率。碳纳米管则凭借超高的长径比,改善催化剂的传质性能,为催化反应开辟新的高效路径,助力石油化工催化剂迈向高性能、低成本的新时代。

3.3 高性能、多功能化方向

随着石油化工产业的精细化发展,对催化剂高性能、多功能化的要求愈发迫切,这也成为该领域的重要发展方向。(1) 科研人员借助先进的材料合成与表征技术,优化催化剂的微观结构,提升其综合性能。在炼油过程中,新型加氢精制催化剂集成了加氢脱硫、脱氮、脱氧以及烯烃饱和等多种功能,凭借活性位点的合理分布与协同作用,能在同一反应体系内高效去除多种杂质,大幅提高油品质量。(2) 在石化产品合成中,多功能催化剂同样优势显著。比如,部分复合型催化剂可同时催化乙烯的齐聚与共聚反应,不仅能简化生产流程,减少设备投资与能耗,还能制备出具有独特结构和性能的聚乙烯产品,满足高端市场对材料性能的严苛要求。(3) 通过调控催化剂的酸碱性、氧化还原性等特性,科研人员正在开发能适应复杂反应条件、实现多步反应串联的高性能催化剂,旨在进一步提升原子经济性,减少副产物生成,助力石油化工行业在提高生产效率的同时,降低生产成本,推动产业朝着高质量方向迈进。

3.4 智能化与精准调控方向

在数字化与智能化浪潮的推动下,石油化工催化剂正朝着智能化与精准调控方向迈进,这为行业发展带来全新机遇。(1) 借助人工智能与大数据技术,科研人员搭建催化剂设计模型。通过对海量实验数据与理论计算结果的分析,模型能够快速筛选出具有潜力的催化剂配方与制备条件,极大缩短了研发周期。例如,在设计新型甲苯歧化催化剂时,智能算法基于对催化剂结构、活性、选择性等多维度数据的深度学习,精准预测了催化剂性能,将研发效率提升数倍。(2) 原位表征技术与微反应技术的融合,实现了对催化反应过程的实时监测与精准调控。通过实时获取反应过程中的温度、压力、反应物浓度等信息,自动反馈调节反应参数,确保催化剂始终处于最佳工作状态,提高产品质量的稳定性。(3) 通过精准调控催化剂的活性位点分布、孔径大小以及表面性质,可实现对催化反应路径的精确控制,高选择性地生成目标产物。这不仅减少了资源浪费,还降低了分离提纯成本,助力石油化工行业向绿色、高效、智能化方向转型升级^[3]。

结束语

在这篇对石油化工催化剂的深入探究中,我们梳理了从基础概述到各类催化剂的应用进展,也对未来方向展开了展望。石油化工催化剂在推动行业技术革新、保障产品品质与产量上,发挥着无可替代的作用。未来,伴随材料科学、信息技术的发展,以及全球可持续发展的要求,催化剂将朝着绿色节能、高性能多功能、智能化的方向迈进。

参考文献

- [1]. 中国石化上海石油化工研究院的裂解汽油二段加氢催化剂首次应用成功[J].石油炼制与化工,2022,53(02):98-99
- [2]. 中国石化上海石油化工研究院裂解汽油二段加氢催化剂首次应用成功[J].石油炼制与化工,2022,53(01):104-105
- [3]. 中国石油石油化工研究院开发的碳二加氢催化剂实现工业应用[J].石油炼制与化工,2019,50(11):110-112