

化工工艺中催化剂载体材料的研究与进展

房强 于倩倩 夏效祯 (山东筑本安全技术咨询有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 催化剂载体材料是化工催化体系的核心组成部分, 其理化性质直接决定催化剂的活性、选择性与稳定性。以系统总结化工工艺中催化剂载体材料的研究进展为途径, 重点阐释了纳米载体、多孔材料及多功能载体的结构特征与应用特点。分析不同载体材料的制备工艺优化方向, 探讨载体与活性组分的协同作用机制。当前载体材料研究存在的团聚、稳定性欠佳等问题, 展望未来载体材料发展呈现绿色化、多功能化、精准结构化的趋势, 为高效催化剂载体的设计开发及化工工艺的提质增效提供参考。

关键词: 化工工艺; 催化剂; 载体材料; 研究进展

中图分类号: TQ426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0001-03

Research and Progress of Catalyst Support Materials in Chemical Technology

Fang Qiang, Yu Qianqian, Xia Xiaozhen (Shandong Zhuben Safety Technology Consulting Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: Catalyst support materials are the core component of chemical catalytic systems, and their physicochemical properties directly determine catalysts' activity, selectivity and stability. Using a systematic review of research progress in catalyst support material in chemical processes, the present paper aims at elucidating the structural features and benefits of application of nano-supports, porous materials and multifunctional supports. It examines the directions of optimization of preparation processes of various support materials and talks about the synergizing mechanism between the supports and the active components. The paper identifies the existing problems with support material research, e.g. agglomeration and inadequate stability, and identifies the trends in the future development: greenization, multifunctionalization and accurate structuration and so on. It will likely serve as a guide to developing high efficiency catalyst supports and enhance the quality and efficiency of a given chemical process.

Keywords: Chemical Technology; Catalyst; Support Material; Research Progress

在全球化工行业向绿色化、高效化转型的背景下, 催化技术作为提升反应效率、降低能耗与污染物排放的核心手段, 其应用范围与技术要求持续拓展。催化剂是催化过程的核心单元, 而催化剂载体材料为活性组分提供稳定附着位点, 对活性中心分布进行调控、对传质通道进行优化以及强化结构稳定性, 决定着催化剂的催化活性、选择性与使用的时长, 是催化体系内不可或缺的核心组成。传统载体材料因比表面积有限、功能单一等缺陷, 已难以适配复杂化工反应的高效化需求, 新型载体材料的研发与性能调控成为推动催化技术革新的重要突破口。研究以化工工艺对载体材料的核心需求为中心, 全面梳理各种催化剂载体材料的研究进展, 细致剖析其制备工艺、结构特性及应用长处, 意在给高效载体材料的设计开发提供理论方面的参考, 助力催化技术在化工领域的快速发展与应用升级。

1 催化剂载体材料的概念

催化剂载体材料是催化体系中承载催化活性组分的关键组成部分, 是活性组分发挥催化效能的重要基底。其主要功能是为活性组分供给稳定的附着位点, 实现活性物种的均匀铺排, 可有效提高活性组分利用率且抑制其团聚失活。载体材料可通过调控自身比表

面积、孔道结构、机械强度及热稳定性等理化性质, 优化催化剂的传质效率与结构稳定性, 部分载体还可与活性组分产生电子相互作用或协同催化效应, 进一步调控催化反应的途径与活性, 在化工工艺的催化流程中, 载体材料不直接主宰目标反应的催化活性, 通过借助与活性组分协同起效, 显著改变催化剂的整体效能, 是决定催化反应效率、选择性及使用寿命的重要因素, 在各类多相催化体系中应用广泛。

从分类特征来看, 载体材料可按化学组成为无机载体、有机载体及复合载体, 按结构特性分为多孔载体、纳米结构载体等, 不同类型的载体因理化性质不一样, 适用于不同反应体系及工艺需求, 在石油炼制加氢、精细化工合成反应、污染物催化降解等关键领域, 载体材料借助精准搭配活性组分与反应工况达成催化性能的定向优化, 其研发突破不仅推动催化技术迭代, 更对化工行业降本增效、减排降耗具有核心支撑作用, 成为催化科学与化工工程交叉领域的重要研究方向。

2 催化剂的制备与表征

2.1 催化剂的制备方法和工艺

催化剂的制备方法与工艺直接决定其结构特性和催化性能, 工业上常用方法包括浸渍法、沉淀法、溶

胶-凝胶法、离子交换法及机械混合法等。浸渍法采用将活性组分前驱体溶液负载至载体表面,经过干燥、焙烧、还原等操作达成活性组分固载,具有操作简易、成本较省的长处,适合高比表面积载体的改性处理;沉淀法则利用沉淀剂与金属离子反应生成难溶性化合物,经分离、洗涤、焙烧后转化为活性组分,可精准调控活性组分的负载量和分散度。溶胶-凝胶法凭借前驱体水解缩合反应形成凝胶,经干燥焙烧处理得到多孔结构催化剂,该催化剂孔径分布均匀,比表面积大,适合进行精密催化体系的制备。

制备工艺中,干燥温度、焙烧氛围、还原条件等参数需严格控制,以避免活性组分团聚、载体结构坍塌等问题,保证催化剂具备良好的机械强度、热稳定性还有传质效率,适应化工工艺连续化生产的要求。近年来,微波辅助合成、等离子体改性等新型制备技术逐步兴起,可借助强化反应传质、精准把控活性组分分散状态来进一步提升催化性能。结合反应体系的特性,推动传统工艺与新型技术协同优化,同时强化制备阶段的绿色化设计,降低能耗与污染物排放,推动催化制备技术向高效、低碳方向发展。

2.2 催化剂的表征技术和评价方法

催化剂的表征技术旨在全面解析其理化性质,为制备工艺优化和催化性能调控提供理论依据,主要包括结构形貌表征、化学组成表征及表面性质表征三类。一般用X射线衍射、透射电子显微镜、扫描电子显微镜等技术进行结构形貌表征,能获得催化剂的晶体结构、粒径分布、孔隙结构以及表面形貌等资讯;化学组成表征依赖X射线光电子能谱、电感耦合等离子体发射光谱等手段,用于确定活性组分的元素组成、化学价态及分布均匀性;表面性质表征采用程序升温脱附、傅里叶变换红外光谱等相关技术,对催化剂表面酸性、碱性位点的数量及强度进行分析。催化剂的评价方法以催化性能测试为核心,通过搭建固定床、流化床等反应装置,在模拟工业反应条件下测定目标反应的转化率、产物选择性及催化剂使用寿命,长期稳定性测试跟再生性能评估结合起来,综合评判催化剂的工业应用可实施性,评价的时候需严格把控反应温度、压力、原料配比等相关参数,确保测试结果既准确又可重复。

2.3 催化剂制备过程的影响因素及优化策略

催化剂制备过程的诸多参数均会对最终催化剂的结构与性能产生显著影响,精准调控关键影响因素并制定科学优化策略,是实现催化剂高效制备的核心前提。基础影响因素是原料特性,活性组分前驱体的类别、纯度及浓度会直接决定活性位点的生成效率与分

散均匀状况,载体原本的样子、比表面积以及表面活性基团影响活性组分负载的牢固程度。

制备工艺参数中,干燥速率、焙烧温度与时间、还原氛围等尤为关键,如干燥过快易导致载体孔道塌陷,若焙烧温度过高,或许会引发活性组分团聚或者晶型转变,还原不充足就会让活性组分的催化活性降低,通过对界面作用的调控,添加剂的种类与用量可优化活性组分分散性。优化策略需基于目标催化剂性能需求,采用正交实验、响应面法等科学方法筛选最优参数组合,结合原位表征技术实时追踪制备过程中催化剂结构演变,做到制备工艺的精准把控,保证催化剂具备稳定架构与出色的催化效能,适应工业化生产的苛刻需求。

3 化工工艺中催化剂载体材料的研究进展

3.1 纳米载体材料

纳米载体材料是指尺寸处于纳米尺度范围内的催化剂载体,依靠极小的粒径与极高的比表面积,可为活性组分供给充足的附着之处,有效增强活性组分的分散水平,由此提升催化反应的效率。目前研究较多的纳米载体包括纳米金属氧化物纳米碳材料以及纳米复合载体等。诸如纳米二氧化钛、纳米氧化铝的纳米金属氧化物载体,不仅有着出色的热稳定性,也可借助与活性组分形成强相互作用对催化活性中心进行调控;纳米碳材料如碳纳米管石墨烯量子点等,因独特的导电性能和可调的表面性质,在电催化和光催化工艺中展现出广阔应用前景。

目前研究的重点集中在采用表面改性调控纳米载体的表面电子特征和分散性能,应对纳米颗粒易出现团聚的状况,同时优化纳米载体跟活性组分的协同作用机制,进一步提升催化剂在化工反应中的选择性和稳定性。目前纳米载体的规模化生产仍面临成本控制与均一性调控的双重挑战,应结合生物模板法、绿色还原剂等低碳合成路径以优化制备工艺,依靠原位表征技术强化纳米尺度下结构和性能关联的认知,强化其在多场耦合反应环境中的稳定性设计,为工业催化领域的快速发展提供技术支撑。

3.2 多孔材料

多孔材料凭借丰富的孔道结构、可调的孔径尺寸和超大的比表面积,成为化工工艺中极具优势的催化剂载体类型。以孔径大小为依据,可分为微孔、介孔和大孔材料,其中微孔材料里有分子筛,得益于规整的孔道结构,呈现出优异的择形催化性能,在石油炼制和精细化工的选择性反应里应用十分广泛;介孔材料如介孔硅、介孔碳等,孔径适中且孔道连通性好,能有效降低传质阻力,适配大分子反应物的催化转化;

大孔材料则适用于高黏度体系和大颗粒反应物的催化过程。

近年内的研究方向主要是采用模板法、自组合法等精准调节多孔材料孔道结构及孔径分布,创建多级孔道格局,同时凭借掺杂改性引入活性位点,达成载体与活性组分之间的协同催化,提升催化剂在复杂化工反应中的适用性和高效性。接下来应进一步增进多级孔道的机械稳定性与抗积碳性能,通过进行绿色模板剂开发及工艺优化降低制备成本,借助理论计算精准引导孔道与活性位点的协同设计,拓展其在新能源转化、污染物深度治理等新兴领域的应用场景。

3.3 生物基催化剂载体材料

生物基催化剂载体材料以可再生的生物质资源为原料,如纤维素壳聚糖淀粉木质素等,具有环境友好可再生成本低廉等显著优势,契合绿色化工的发展趋势。这类载体材料借助酯化、醚化、接枝共聚等方式进行改性处理,可让其机械强度、热稳定性以及表面反应活性得到增强,做到活性组分的高效固定化。例如壳聚糖经改性后具有良好的螯合性能,可特异性结合金属活性组分,在催化氧化还原反应中表现出优异性能;纤维素基载体借助构建多孔结构,环保性与传质效率两者兼顾,目前研究聚焦于优化生物基材料的改性工艺,增强其在苛刻化工反应环境下的稳定性,同时探索生物质原料的高效转化路径,开发性能优异且可降解的生物基载体,驱动催化工艺往绿色低碳方向进步,在生物催化精细化工等领域拓宽应用场景范畴。

3.4 氧化物载体材料

氧化物载体材料是化工催化领域应用最为广泛的传统载体类型,拥有良好的化学、热稳定性以及机械强度,同时表面存有大量羟基等活性基团,便于跟活性组分进行相互作用,达成牢固负载。常见的氧化物载体包括氧化铝二氧化硅二氧化钛氧化锌等,不同氧化物载体的理化性质存在显著差异,适配不同类型的催化反应。例如氧化铝表面酸性是可以调整的,作为加氢脱氢反应的催化剂载体;二氧化硅体现出高比表面积与惰性表面,适用于需要微弱相互作用的催化体系;二氧化钛因独特的光催化性能,常作为光催化反应的载体材料。近年来的研究主要聚焦于通过掺杂复合等改性手段调控氧化物载体的表面酸性碱性和电子性质,优化载体跟活性组分的相互影响,创建复合氧化物载体体系,提高催化剂的催化活性和抗中毒能力,以适应更复杂的化工情况,满足高效化需求。

3.5 多功能载体材料

多功能载体材料是近年来催化剂载体研究的重要

发展方向,其核心特征是集成多种功能于一体,像负载活性组分强化传质过程后抑制副反应以实现产物分离等,采用功能协同增强催化体系综合表现,这类载体一般采用多组分复合或表面功能化改性的方法制备,例如将磁性材料与多孔材料复合构建磁性多孔载体,可实现催化剂的快速分离回收;往载体表面引入特定功能基团,可达成对反应物的选择性吸附及活化,提高反应选择的特性。在化工工艺中,多功能载体材料可有效简化反应流程降低分离能耗,尤其适用于复杂体系的多步串联反应。现阶段研究聚焦于精准规划载体的功能结构,把控各功能组分的比例与分布格局,明确功能协同机制,研发制备方法简易、成本可掌控的多功能载体,推动其在精细化工等高端领域的规模化应用。

4 结束语

综上所述,化工工艺中催化剂载体材料已形成多类型、多维度的研究体系,纳米载体、多孔载体等新型材料的研发与改性,明显提升了催化体系的适配性及高效性,为化工工艺开展绿色化升级提供了有力后盾。未来应聚焦载体结构的精准设计与功能定向调控,强化多尺度作用机制的深度探究,推动数字化模拟技术与实验研究的深度融合。同时需加快生物基、可降解等绿色载体的性能优化与成本控制,打破规模化生产中的技术壁垒,实现其产业化应用的目标,为化工行业低碳转型、循环经济发展赋予持续的动力,助力达成环境效益跟经济效益同步增长。

参考文献:

- [1] 袁华龙,刘广清.化工工艺中催化剂载体材料的研究与进展[J].辽宁化工,2024,53(08):1261-1264.
- [2] 崔振红,刘滢.新型环保化工催化剂的设计与应用研究进展[J].现代化工,2020,40(5):9-12.
- [3] 王亮.关于石油化工催化裂化工艺技术的优化措施研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023((1):40-41.
- [4] 李佳兴.石油化工催化裂化工艺技术优化[J].山西化工,2020(3):15-17.
- [5] 钱伯章.催化裂化工艺转型升级有新路[J].炼油技术与工程,2023(5):25-26.
- [6] 张明,王磊,赵静.多孔纳米催化剂载体的设计及其在绿色化工中的应用进展[J].化工进展,2023,42(3):150-160.
- [7] 刘建华,孙晓霞,陈志刚.基于生物质衍生的催化剂载体材料研究现状与展望[J].材料导报,2022,36(12):210-212.
- [8] 陈思远,杨帆,刘洋.纳米结构催化剂载体制备技术及其工业化挑战[J].工业催化,2022,30(4):1-10.