

CO/CO₂催化加氢双功能催化剂探讨

王少聪, 吴明铂*

中国石油大学(华东) 新能源学院, 化学化工学院, 山东 青岛 266580

摘 要 : 文章主要以 CO/CO₂催化加氢双功能催化剂探讨为重点, 首先对双功能催化剂的关键组成进行分析, 其次从不同反应体系中的应用阐述对催化性能的影响, 最后提出切实、可行的优化对策, 致力于提升这种双功能催化剂作用, 真正为相关研究提供参考资料。

关 键 词 : CO/CO₂; 催化加氢; 双功能; 催化剂

Discussion on Bifunctional Catalyst for CO/CO₂ Catalytic Hydrogenation

Wang Shaocong, Wu Mingbo*

College of New Energy, College of Chemistry and Chemical Engineering, China University of Petroleum (East China),
Qingdao, Shandong 266580

Abstract : This paper focuses on the discussion of bifunctional catalysts for CO/CO₂ catalytic hydrogenation. Firstly, the key components of bifunctional catalysts are analyzed. Secondly, the effects on catalytic performance are elaborated from the application of different reaction systems. Finally, practical and feasible optimization countermeasures are put forward to improve the role of bifunctional catalysts and provide reference for related research.

Keywords : CO/CO₂; catalytic hydrogenation; dual function; catalyst

引言

全球化能源需求增长背景下, 如何高效利用含碳资源、实行绿色转化逐渐成为化学领域的重要内容。CO/CO₂作为关键碳源, 进行催化加氢转化非常关键, 一方面可助力更多工业排放、自然中含碳气体转化, 成为一些有高附加值的化学品, 如醇类等, 从本质上减少温室气体排放, 不再单一依赖化石能源; 另一方面制定科学的催化反应方式, 有效丰富化学原料来源路径, 助力化工产业实现可持续发展目标。然而双功能催化剂, 在 CO/CO₂催化加氢期间占据关键地位, 可整合多种催化作用, 一起参与化学反应, 提升反应物吸附、活化、产物生成等诸多环节。因此, 相关人员有必要提升对 CO/CO₂催化加氢双功能催化剂的重视, 详细探索其组成、性能、以及应用等多个方面, 一方面助力优化相似催化剂设计, 另一方面加速有关领域朝着高效方向发展, 在绿色碳资源转化方面迈入新阶段。

一、CO/CO₂催化加氢反应概述

CO/CO₂催化加氢能发生诸多反应, 反应期间所产生的产物在化工原料、燃料方面有广泛应用, 可有效缓解对传统化石能源的依赖, 进一步提升碳资源循环利用效果。

一般需要在特定温度、压力, 合适碳氢比条件下发生反应, 各种目标会对应不同的最佳反应条件, 并且对催化剂活性、选择性等都有较高要求, 促使相关人员持续探索高性能、应用广泛的双功能催化剂^[1]。

二、双功能催化剂的关键组成

(一) 活性组分

双功能催化剂中, 活性组分占据关键催化效果, 不仅是影响反应是否可有序进行的重要条件, 更是影响产物生成的关键因素, 一般活性组分包含金属组分, 如铁、钴、镍等, 还有金属氧化物, 如氧化锌等。比如, 费托合成反应过程中, 铁基催化剂正是发挥自身水煤气合成活性、长链烃合成能力, 在这一领域受到广泛关注, 不仅可促进反应进行, 还能协助产生长链烃产物^[2]。再如, 合成甲醇反应过程中, 铜基催化技术具有更强的活性位点,

不管是对 CO，还是 CO₂ 都有较强的活性效果，促使反应生成甲醇类物质。各种金属活性组分彰显的差异化催化效果，主要体现在电子结构、晶体结构方面，以上特性一方面影响对反应物吸附活化效果，另一方面也决定之后的反应催化方向，不一样的结构促使其在各种反应场景展现出不同的反应效果。

（二）载体

双功能催化剂体系中，载体在扮演着重要角色，起到多方面功能，可将活性组分均匀分散，避免活性组分团聚，以此来发挥活性组分的催化效能；载体还可以提高催化剂的稳定性，确保催化剂在反应期间保持更好的性能。还有一点是载体可有效调控活性中心的微环境。与此同时，氧化铝、二氧化硅、分子筛等都是常用的载体，氧化铝载体具有显著优势，凭借其较大的比表面积，为活性组分提供了充足的“附着点”，促使其分散更均匀，有较好的热稳定性，快速适应一定的高温反应环境；分子筛载体凭借自身独特的孔道结构占据优势，能够依据尺寸筛分效应，直接影响产物的选择性，引导反应生成特定链长的烃类产物，进一步精准调控产物组成。

（三）助剂

助剂可优化双功能催化剂，在诸多方面改善催化剂。比如，钾、钠这种碱金属助剂，可有效调控活性组分的电子功能，促使活性组分提升对 CO₂ 的吸附活化效果，进一步增强催化剂的 CO₂ 催化反应效果，即使面对一些复杂条件反应也能有效进行。再如，镧、铈这种稀土金属助剂，可有效调控催化剂抗烧结功能，尤其在长时间的反应中，催化剂易发生烧结问题，逐渐削减活性，引入稀土金属助剂，可增强催化剂稳定性，延长催化剂的使用时间，彰显催化剂在反应中的价值，带来最佳催化效果^[3]。

三、双功能催化剂在各种反应中的应用分析

（一）费托合成中的应用

费托反应是合成气——CO、氢气，转化为液态烃类的关键路径，双功能催化剂发挥着关键作用。这一反应期间，双功能催化加可精准协助 CO 解离吸附、碳链增长两种功能，如负载型铁基双功能催化剂，可在一定条件反应中彰显一定功能，一般温度为 200–350 °C，化学反应可处于平衡状态，一方面确保反应效率不低，另一方面还能规避高温带来的一些副产物、造成催化剂失活等等。压力条件也会控制在 1–5 MPa，这一压力环境可促进反应物分子充分吸附催化剂表面，助力反应朝着正向进行^[4]。与此同时，载体也发挥着关键分散功能，如二氧化硅作为一种常用载体，自身具有较大比表面积，促使铁基活性组分分散，有效减少活性组分团聚问题，进而提供更多的活性位点，促使反应物完成后续的接触反应。助剂添加对活性也起到促进效果，如碱金属助剂是，能有效更改铁基活性分子电子功能，一方面影响反应物吸附效果，另一方面从本质上优化反应过程。

通过上述物质协同作用，负载型铁基双功能催化剂，有效提升 CO 转化程度，说明更多原料可转化成最终产物。但针对一些目标烃类，如柴油蒸分烃，也展现一定的选择性，这种物质作为关

键燃料油品，依托这一高选择性加速费托合成反应，产生更契合市场所需、有较高经济价值的新产品，一方面提升反应带来的经济，另一方面也开辟资源高效利用的新路径。

（二）合成甲醇中的应用

CO/CO₂ 催化加氢领域中，合成甲醇反应是主要内容之一，产物甲醇在化工领域也得到广泛应用，不仅作为有机溶剂，更成为很多化学品的制作原料。例如，合成甲醇反应中，铜基这种活性组分双功能催化剂作用显著，尤其在特定的 200–300 °C 范围内，促使铜基保持高效活性，可对反应分子进行高效吸附、活化，压力一般在 5–10 MPa，这一环境反应分子浓度较高，更容易发生催化反应，以此提升整体反应效率^[5]。就双功能催化剂体系而言，载体、活性组分二者有着紧密联系，如分子筛载体自身的孔道结果，为铜基活性组分创建非常稳定的负载空间，可依托反应物、产物分子逐渐在孔道扩散，进一步对反应实施控制。助剂对活性位点也起到一定的优化作用，可有效调整铜基活性组分活性位点——电子结构、几何结构，进一步增强 CO、CO₂ 一起加氢的显著功能。正是这种强化加氢能力，促使甲醇产率逐渐升高，让越来越多的 CO/CO₂ 成为甲醇。另外，还能有效调控产物中甲醇和一些副产物的比例，如二甲醚，虽然在部分领域存在用途，但依据甲醇合成目标下，严格控制生成比例，才能有效管控甲醇产品纯度，进一步满足各行业对甲醇所需，从本质上提升合成甲醇反应的自身价值。

（三）其他反应中的应用

CO/CO₂ 催化加氢双功能催化剂在其他化学反应中也展现出一定的应用潜能。比如，制备低碳烯烃方面，工业生产低碳烯烃的传统方法，一般都会受来源局限、工艺复杂影响等，引入 CO/CO₂ 催化加氢双功能催化剂，全面开辟一条新的绿色途径。通过设计具有一定特殊结构的双功能催化剂，将合适的金属活性中心与具有择形功能的载体结合，促使 CO/CO₂ 和氢气直接、高效合成低碳烯烃，这种方法不仅能拓宽低碳烯烃原料来源，利用原本排放的 CO 和 CO₂ 资源，甚至在合成期间因反应条件温、环境友好特点，与当今绿色化学、可持续发展理念非常契合。芳烃的制备方面，双功能催化剂也具有非常重要的价值，芳烃作为重要化工原料，大多数应用在合成纤维、塑料、橡胶等领域。通过合理调配双功能催化剂的活性组分、载体以及助剂等要素，构建出一种高效的催化体系，促使 CO/CO₂ 和氢气在特定条件下转化为芳烃产物，不仅有利于丰富芳烃的生产途径，还能降低对传统芳烃原料（如石油等）的依赖，助力化学工业原料多元发展^[6]。

四、优化双功能催化剂性能对策

（一）优化催化剂制备方法

研究双功能催化剂应用过程中，优化制备方法非常关键，如，浸渍法、共沉淀法、溶胶-凝胶法等等，不一样的制备方法会激发催化剂不一样的性能。第一，浸渍法，这种制备方法比较简单、方便，采用浸渍方法将活性组分，负载到载体，但这种方式难以精准控制活性组分粒径大小、分散效果，甚至活性组分

也会发生团聚现象,进一步影响载体效果,不利于催化剂性能发挥。第二,共沉淀法,这种制备方法采用沉淀方式,促使活性组分、载体的前驱体进行沉淀,之后进行相关处理获取催化剂,该方法有效提升活性组分、载体的结合性,尤其在控制活性组分粒子上存在困难,甚至影响后续的分散度,进一步削减催化性能。第三,溶胶-凝胶法,这种制备方式具备一定的独特性,可以分子水平为基础,促使活性组分、载体进行混合,整个制备期间,会经历溶胶、凝胶过程,活性组分也会十分均匀分散到凝胶网络,通过之后实施的干燥处理、焙烧处理等,获取活性组分粒子小,且有一定高分散度的催化剂。正是这种均匀混合情况,促使活性组分、载体起到协同作用,有效增强催化剂稳定、活性,尤其在 CO/CO₂加氢反应过程中,可有效加速反应物吸附、活化,以及转化效果,提升反应性能,加速目标产物生成^[7]。因此,由此看出选择适合的催化制备方法至关重要,有必要从反应所需、活性组分、载体特点进行革新,进一步提升双功能催化剂性能。

(二)完善反应条件

调控双功能催化剂性能过程中,优化反应条件也至关重要,不管是反应温度,还是反应压力、氢碳比等变化,都会为催化剂性能带来一定影响。例如,从温度方面进行分析,选择合适的温度,可提升反应分子运动速率,不仅加速反应进行,更加速反应速度,有效提升反应物转化效果。若出现温度过高,就会造成催化剂活性组分结构损坏,严重情况导致催化剂失去活性。尤其在

一些 CO/CO₂加氢反应中,若不能科学控制温度,就难以生产所需产物,甚至造成催化剂损坏,不仅消耗更多使用成本,更增加更换频次。再如,从压力方面进行分析,可适当增加一定压力,此时使得反应物分子浓度增加,这样就能促使反应物分子和催化剂活性点有更多接触点,是提升反应物转化效率的关键^[8]。但提升压力期间,对设备也提出更高的要求,进而会增加一定的设备成本、运维挑战,工作人员必须做好权衡,探寻一种可提升反应速率,又能节省自己成本的压力控制区域。氢碳比是化学反应的一个关键参数,直接影响化学反应成效,严格控制氢碳比,可促使反应有序进行,提升反应物利用率,促使反应物与工业生产所需更契合。

五、结束语

综上所述,探索 CO/CO₂催化加氢双功能催化剂期间,清楚意识到其在能源与化工领域中占据的关键地位,深入探索其活性组分、载体、助剂等因素,进一步对各种反应进行剖析,进一步发现催化剂的应用潜能。未来发展中,科技发展会越来越越好,相关人员有必要引入新理念、新技术,加大对催化机制的研究,开发出更稳定的双功能催化剂,不仅提升碳资源转化率,更助力绿色低碳持续发展,真正为应对全球能源问题、环境问题做出一份贡献。

参考文献

- [1] 金科,王晨光,马隆龙,张琦.核壳纳米材料制备及其在 CO/CO₂热催化加氢中的应用[J].化工学报,2022,73(03):990-1007.
- [2] 党辉,陈胜利,王磊,张燕挺,蒋波,吴志杰.硫化物双功能催化剂上四氢萘加氢裂化制备 BTX 反应动力学和选择性研究(英文)[J].石油学报(石油加工),2023,39(06):1215-1230.
- [3] 张萌.CO₂催化加氢制备烯烃的研究进展[J].江西化工,2022,38(01):25-28.
- [4] 丁杰,韩爱哲,钟秦,王晓佳,安风霞.燃煤电厂烟气中 CO₂捕集及其催化转化为短链烯烃研究进展[J].电力科技与环保,2021,37(06):8-17.
- [5] 韩飞,张朋泽,闫惊宇,关庆鑫,李伟.二氧化碳催化加氢及其研究进展[J].化学教育(中英文),2021,42(18):39-44.
- [6] 李龙泰,高彪,罗学彬,王钢,郭利民.二氧化碳催化加氢研究进展[J].工业催化,2021,29(07):1-10.
- [7] 孔令照,苗改,罗虎,孙予罕.生物质水热催化制备重要含氧化学品研究进展[J].高等学校化学学报,2020,41(01):11-18.
- [8] 吴会敏,白雪峰,刘洋.柠檬酸改性 SAPO-31 分子筛负载钨双功能催化剂催化加氢异构化反应研究[J].化学与黏合,2018,40(04):251-256.
- [9] 卢美贞,彭礼波,解庆龙,聂勇,刘学军,计建炳,董华军.Pt/Al-MCM-41 催化剂金属/酸性配比关系对生物烷烃加氢裂化制备生物航空煤油的影响[J].中国粮油学报,2018,33(05):60-65.
- [10] 邓京波.铁基纳米颗粒双功能催化剂可使生物质脂质一步加氢生成柴油[J].石油炼制与化工,2014,45(08):106-107.