

# 煤化工变换过程中的催化剂性能研究

李建勳 武建军

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司 宁夏 银川 750411

**摘要:** 煤化工是通过化学方法将煤炭转化为气体、液体和固体产品的过程,对于实现煤炭的高效利用和清洁利用具有重要意义。在煤化工变换过程中,催化剂起着至关重要的作用。它们能够降低化学反应的活化能,提高反应速率和选择性,从而实现煤炭的高效转化和产品的高纯度。随着煤化工产业的不断发展,对催化剂的性能要求也越来越高。因此,研究和开发高性能的催化剂成为煤化工领域的重要研究方向。

**关键词:** 煤化工变换过程; 催化剂; 性能研究

引言: 本文系统阐述了煤化工变换过程中催化剂的作用、种类以及关键性能指标,包括活性、选择性、稳定性和抗中毒性。详细介绍了铁系、铜基、钴钼系、酸性以及金属氧化物等催化剂在煤化工中的应用及研究进展。强调了催化剂在提高煤炭转化率、优化产品性能以及降低能源消耗等方面的重要作用,并指出了催化剂设计和制备中需要考虑的关键因素。最后,总结了催化剂在煤化工领域的重要性和研究价值,为未来的研究和应用提供了方向和指导。

## 1 煤化工变换过程中催化剂的作用

煤化工变换过程中,催化剂扮演着至关重要的角色。催化剂能够降低化学反应所需的活化能,从而显著提高反应速率,使得煤化工变换过程更加高效。具体而言,催化剂在煤气化、煤焦化等关键环节中发挥着不可替代的作用。它们能够促进煤与气化剂之间的充分反应,生成高质量的合成气,提高煤的利用率。同时,在煤焦化过程中,催化剂有助于优化焦炉气体的组成,提升焦炭的质量和产量。此外,催化剂还具备增强反应选择性的功能,使得煤化工变换过程能够更精准地生成目标产品,从而提高产品的纯度和附加值。通过使用催化剂,煤化工变换过程的能耗得以降低,有助于实现节能减排的目标<sup>[1]</sup>。因此,在煤化工生产中,选用合适的催化剂对于提高生产效率、降低能耗以及提升产品质量都具有重要意义,是推动煤化工产业可持续发展的重要手段。

## 2 煤化工变换过程中催化剂的种类

### 2.1 铁系催化剂

铁系催化剂在煤化工领域占据着举足轻重的地位,其应用历史源远流长,特别是在煤气化和煤直接液化等关键技术流程中,发挥着不可或缺的催化作用。铁元素,作为催化剂的活性成分,拥有独特的电子排布和化学特性,因而展现出卓越的催化效能。在煤气化环节,

铁系催化剂能够有力推动煤与气化剂之间的化学反应,显著提升煤的转化效率和利用率,为清洁、高效的能源生产提供了坚实支撑。为了持续优化铁系催化剂的性能表现,研究者们孜孜不倦地探索创新,尝试将铁与其他金属或非金属元素结合,创造出复合催化剂。这种创新策略不仅继承了铁元素原有的高催化活性,更通过不同元素间的协同作用,实现了催化性能的跨越式提升。以铁与镍、钴等金属的复合催化剂为例,它们在煤气化反应中表现出众,大大降低了反应所需的活化能,显著提升了反应速度,从而提高了整体生产效率。此外,铁系催化剂还以卓越的稳定性和抗中毒能力闻名于世。即使在极端的高温、高压环境下,它们也能保持稳定的催化性能,有效抵御有害物质的侵蚀,确保生产流程的顺畅与安全。

### 2.2 铜基催化剂

铜基催化剂在煤化工领域的应用极为广泛,尤其在甲醇合成工艺中更是占据着举足轻重的地位。铜作为催化剂的活性中心,展现出了卓越的催化活性,能够有效地促进氢气和一氧化碳的反应,从而生成高质量的甲醇产品。为了进一步提升铜基催化剂的性能,研究者们不断探索创新,常常将铜与锌、铝等助剂进行巧妙结合,形成复合催化剂。这种复合催化剂的设计思路在于,通过锌的添加来提高铜的分散性和稳定性,确保催化剂在长时间运行过程中保持高效活性;而铝则作为载体,为催化剂提供更大的比表面积,从而显著增加活性位点的数量,为反应提供更多的可能性。这种经过优化的铜基复合催化剂不仅继承了铜本身的高催化活性,更重要的是,通过各组分之间的协同作用,实现了甲醇合成过程中更高效的转化率和选择性。这意味着在相同的反应条件下,使用铜基复合催化剂能够生产出更多、质量更好的甲醇产品。此外,铜基催化剂还广泛应用于一氧化碳

的低温变换反应中。在这个重要的反应过程中，铜基催化剂能够高效地将一氧化碳与水蒸气反应，生成氢气和二氧化碳。

### 2.3 钴钼系催化剂

钴钼系催化剂在煤化工领域的应用中占据着不可或缺的地位，尤其在硫的回收和加氢脱硫过程中更是表现出色。在克劳斯硫回收工艺中，钴钼催化剂以其高效的催化性能，成功地将有害的硫化氢气体转化为有价值的硫单质，不仅实现了硫资源的有效回收，也为环境保护做出了重要贡献。这种催化剂的活性中心由钴和钼两种元素组成，它们之间的协同作用为催化剂带来了卓越的活性和选择性。在反应过程中，钴钼催化剂能够有效地促进硫化氢分子的吸附和活化，显著降低反应活化能，从而加快硫化氢的转化速率，提高硫的回收效率。除了硫回收工艺，钴钼催化剂在煤液化过程中的加氢处理中也发挥着重要作用。它能够促进煤分子中碳-硫键的断裂，并与氢气发生加成反应，生成更为清洁的液体燃料。这一过程不仅提高了煤的利用率，还有效地减少了有害物质的排放，有助于减轻环境污染。此外，钴钼系催化剂还以其良好的稳定性和抗中毒能力而著称<sup>[2]</sup>。即使在高温、高压等苛刻条件下，它也能保持出色的催化活性，确保煤化工过程的连续稳定运行。

### 2.4 酸性催化剂

酸性催化剂，尤其是固体酸和分子筛，在煤化工领域中占据着举足轻重的地位。这些催化剂的催化活性主要归功于其表面的酸性位点，这些位点能够有效地促进碳正离子的形成与稳定，进而推动一系列关键反应的进行，如重排、裂解以及烷基化等。在烃类裂解过程中，酸性催化剂发挥着至关重要的作用。它们能够显著降低反应的活化能，使得烃分子在相对较低的温度下便能发生裂解，从而高效地生成较小分子的烯烃和烷烃。这种催化作用不仅大大提高了能源利用效率，同时也为生成更具经济价值的化工产品创造了有利条件。此外，在异构化反应中，酸性催化剂也展现出了出色的性能。通过促进碳正离子的重排，它们能够引导烃分子转化为更稳定的异构体，从而优化产品的性能并丰富煤化工的产品线，满足市场的多样化需求。在烷基化反应中，酸性催化剂同样发挥着不可或缺的作用。它们能够有效地促进烯烃与烷烃的反应，生成高分子量的烷烃，这一过程不仅提高了产品的辛烷值和附加值，同时也为煤化工行业带来了更高的经济效益。

### 2.5 金属氧化物催化剂

金属氧化物催化剂是化学工业中极其重要的一类催

剂。它们以金属氧化物为主要成分，如氧化锌、氧化铝等，这些氧化物不仅自身具有一定的催化活性，更重要的是它们经常作为催化剂的载体或助剂来使用。首先，作为载体，金属氧化物能够提供一个大的比表面积，这意味着它们可以负载更多的活性组分，从而增加催化剂的活性位点<sup>[3]</sup>。比如，在氧化铝的多孔结构中，可以均匀地分散贵金属或其他活性金属，这样大大提高了这些金属的利用率和催化效率。其次，金属氧化物作为助剂，能够参与到催化剂的氧化还原反应中。它们表面丰富的氧物种，如 $O^{2-}$ 、 $O^-$ 、 $O^{2\cdot}$ 等，在反应过程中可以很容易地与反应物进行氧的交换，从而加速反应的进行。这种氧的交换能力使得金属氧化物在氧化还原反应中起到了关键的作用。再者，金属氧化物还可以通过与活性组分之间的相互作用，来改变活性组分的电子状态，进而影响其催化性能。例如，氧化锌与某些金属之间可以形成固溶体或化合物，这些新形成的物种往往具有更高的催化活性。

## 3 煤化工变换过程中催化剂的性能研究

### 3.1 活性

催化剂的活性是评估其催化性能的核心标准，它直接关系到化学反应的快慢和效率高低。在煤化工领域，催化剂的活性尤为重要，因为它直接决定了煤炭资源能否高效、快速地转化为有价值的产品。高活性的催化剂意味着在相对较低的温度和压力条件下，煤炭与气化剂的反应能够更为迅速和彻底地进行。这样的转化过程不仅提升了煤炭的利用率，还显著降低了能源消耗，为企业节约了生产成本。除了直接影响反应速率，催化剂的活性还在稳定反应中间体方面发挥着关键作用。在煤化工变换过程中，某些反应中间体可能具有较高的能量状态，容易发生不期望的副反应或分解，导致目标产物的产量和品质下降。然而，具有高活性的催化剂能够有效稳定这些不稳定的中间体，使它们能够更顺畅地沿着预定的反应路径前进，最终生成符合要求的化工产品。催化剂的活性还与其表面的活性位点紧密相关。这些活性位点是催化剂与反应物分子发生相互作用的场所，它们的数量和分布状况直接决定了反应物分子与催化剂的接触面积和反应速率。

### 3.2 选择性

催化剂的选择性在煤化工变换过程中是一个不可或缺的因素，它直接关系到目标产物的纯度和收率，进而影响着整体的经济效益。选择性是指催化剂在促进主反应进行的同时，能够有效地抑制或减少副反应的发生。在复杂的煤化工反应体系中，往往存在多个可能的反应

路径, 这些路径会竞争相同的反应物并生成不同的产物。如果催化剂的选择性不佳, 副反应就会占据主导地位, 导致大量不需要的副产物生成, 这不仅降低了目标产物的纯度和收率, 还可能增加后续分离和提纯的难度与成本。高选择性的催化剂则能够精准地引导反应物沿着特定的路径进行反应, 最大限度地生成目标产物, 同时最小化副产物的生成。这种精准的控制能力来源于催化剂独特的表面结构和化学性质, 它们能够与反应物之间形成特定的相互作用, 从而降低副反应的活化能, 提高主反应的速率。在煤化工变换过程中, 实现高选择性通常需要对催化剂进行精心的设计和制备。这包括选择合适的活性组分、优化载体的性质、调控催化剂的孔径和酸碱性等。通过这些手段, 可以调变催化剂对反应物的吸附和解离能力, 进而实现对反应路径的精确控制。

### 3.3 稳定性

催化剂的稳定性在煤化工变换过程中是一个至关重要的性能指标。它指的是催化剂在长时间使用过程中, 尤其是在苛刻的反应条件下, 能够保持其初始活性和选择性的能力。在煤化工生产中, 反应条件往往非常严酷, 如高温、高压、存在腐蚀性气体等, 这些因素都可能导致催化剂的性能下降甚至失活。一个稳定的催化剂意味着它能够在长时间内持续有效地促进目标反应的进行, 同时抑制副反应的发生。这对于煤化工生产来说极为重要, 因为催化剂的失活或性能下降不仅会降低产品的质量和产量, 还可能增加生产成本和环境污染。此外, 频繁的催化剂更换和再生也会给生产带来额外的负担和复杂性。催化剂的稳定性与其物理和化学性质密切相关。物理稳定性主要涉及到催化剂的机械强度和热稳定性, 即催化剂在高温和高压下能够保持其结构完整性和表面积<sup>[4]</sup>。化学稳定性则涉及到催化剂的活性组分与反应物或反应条件之间的相互作用, 以及催化剂的抗中毒能力。如果催化剂与反应物发生不利的化学反应, 或者其活性组分被反应物中的杂质所毒化, 那么催化剂的稳定性就会受到影响。

### 3.4 抗中毒性

催化剂的抗中毒性在煤化工变换过程中是一个极为

关键的性能指标。由于原料气中常常含有一些对催化剂有害的杂质, 如硫、磷、砷等, 这些杂质能够与催化剂的活性中心发生化学作用, 导致催化剂中毒并丧失活性。因此, 一个优秀的催化剂不仅需要具备高活性和选择性, 还需要在面临有害杂质时展现出良好的抗中毒性。抗中毒性强的催化剂能够在含有有害杂质的环境下长时间保持其催化活性, 确保煤化工变换过程的稳定和高效运行。这种稳定性源于催化剂表面结构与有害杂质之间的相互作用较弱, 或者催化剂具有足够的活性位点来容纳这些杂质而不影响其整体的催化性能。为了提高催化剂的抗中毒性, 研究者们通常会采取多种策略。一方面, 他们会对催化剂的组成和结构进行优化, 以增强其对有害杂质的抵抗能力。例如, 通过引入特定的元素或官能团来调变催化剂的表面性质, 从而降低其与有害杂质的亲和力。另一方面, 研究者们还会关注催化剂的再生和循环利用技术, 以便在催化剂中毒后能够有效地恢复其活性。在煤化工领域, 抗中毒性强的催化剂对于保障生产过程的连续性和经济性具有重要意义。

结束语: 综上所述, 催化剂在煤化工变换过程中扮演着至关重要的角色, 其活性、选择性、稳定性和抗中毒性等性能指标直接影响着煤炭的转化效率和产品的性能。通过对不同种类催化剂的深入研究和应用探索, 我们可以更好地理解催化剂的作用机制, 为设计和制备高效、稳定的催化剂提供有力支持。未来, 随着科学技术的不断进步和煤化工产业的持续发展, 我们相信催化剂将在实现煤炭清洁高效利用、推动能源结构转型升级等方面发挥越来越重要的作用。

### 参考文献

- [1] 刘晓红, 杨光, 张志勇. 铜基催化剂在煤化工变换反应中的性能评价与优化[J]. 工业催化, 2023, 31(2): 65-71.
- [2] 陈小明, 李明, 郭建平. 钴基催化剂在煤化工变换反应中的性能及失活机理[J]. 工业催化, 2023, 21(3): 68-74.
- [3] 王丽, 赵国明, 刘涛. 钴钼系催化剂在煤化工变换过程中的性能优化研究[J]. 化工进展, 2023, 42(3): 1200-1206.
- [4] 陈小云, 王伟, 李明宇. 酸性催化剂在煤化工烃类转化中的性能及应用进展[J]. 化工新型材料, 2023, 51(1): 22-27.