

石油炼制中的加氢催化剂及其市场应用前景

刘东豪 (九江石化设计工程有限公司, 江西 九江 332000)

摘要: 在当今全球能源格局中, 石油炼制占据着举足轻重的地位, 其产品广泛应用于交通、工业等众多领域。而加氢催化剂则是石油炼制过程中的关键核心要素。随着石油资源的日益重质化、劣质化以及环保法规对石油产品质量要求的持续提升, 加氢催化剂的重要性愈发凸显。它犹如一把神奇的钥匙, 能够开启石油分子重排与净化的大门, 通过加氢反应, 有效去除石油中的硫、氮、氧等杂质, 改善油品性质, 提高轻质油收率, 使石油资源得以更高效、清洁地利用, 在满足能源需求的同时, 也为环境保护贡献力量。

关键词: 石油炼制; 加氢催化剂; 市场应用前景

1 加氢催化剂的基本原理与分类

在石油化工领域, 加氢催化剂是推动石油加工过程中加氢反应高效进行的核心物质, 对于提升石油产品的质量和性能具有不可替代的重要意义。加氢催化剂的主要定义在于能够加速石油中的加氢反应进程。石油中包含着众多复杂的化合物, 其中不乏一些含有硫、氮、氧等杂质元素的物质, 以及不饱和烃类。加氢反应就是在催化剂的作用下, 使氢气与这些化合物发生反应^[1]。

例如, 含硫化合物通过加氢反应可以转化为硫化氢而被去除, 含氮化合物则转化为氨等。通过这样的反应过程, 能够有效去除石油中的有害物质, 如硫、氮氧化物等, 这些物质在燃烧后会产生酸雨等环境污染, 去除它们可大幅降低对环境的危害。同时, 加氢反应还能将不饱和烃类进行饱和和加氢, 改善石油产品的稳定性、燃烧性能等, 从而提高石油产品的质量, 使其符合不同工业和民用领域的严格要求。

加氢催化剂依据多种标准可进行分类。从组成方面来看, 可分为负载型催化剂与非负载型催化剂。负载型催化剂是将活性金属组分负载在载体材料上, 常见的载体有氧化铝、二氧化硅等。这种结构优势在于能够增大活性金属的分散度, 提高其利用率, 并且载体本身还可能对反应起到一定的促进或调节作用。非负载型催化剂则不依赖于载体, 自身具备完整的催化活性结构。

按照活性金属种类分类, 有钨催化剂与镍催化剂等。钨催化剂在加氢脱硫、加氢脱氮等反应中表现出良好的活性, 它能够有效促进含硫、氮化合物与氢气的反应, 从而净化石油产品。另外, 根据是否硫化又可分为硫化型催化剂与非硫化型催化剂。硫化型催化剂通常在使用前需要进行硫化处理, 经过硫化后的催

化剂活性中心发生变化, 在一些特定的加氢反应, 如深度加氢脱硫等过程中具有较高的催化活性。而非硫化型催化剂则在一些相对温和的加氢反应或者对特定物质的加氢处理中有其独特的应用场景。

2 加氢催化剂在石油炼制中的应用

2.1 加氢裂化技术

2.1.1 加氢裂化工艺的流程与特点

加氢裂化工艺一般包括原料预处理、加氢裂化反应和产品分离等主要步骤。原料预处理主要是对重质原料油进行脱盐、脱水和初步的加氢精制, 去除其中的金属杂质、胶质和沥青质等, 以保护后续的加氢裂化催化剂并提高反应效果。在加氢裂化反应阶段, 原料油与氢气在高温、高压以及加氢裂化催化剂的作用下发生复杂的化学反应。反应过程中, 大分子烃类发生裂化反应生成小分子烃类, 同时不饱和烃类进行加氢饱和, 含硫、氮、氧等杂质的化合物进行加氢脱除反应。

加氢裂化工艺具有诸多特点: ①它是一个强放热反应过程, 需要精确的温度控制, 以防止反应温度过高导致催化剂失活和副反应加剧; ②反应需要在高压氢气环境下进行, 这对设备的耐压性和密封性提出了较高要求; ③加氢裂化工艺具有较高的灵活性, 可以根据市场需求调整产品结构, 通过改变工艺条件和催化剂类型, 生产出不同比例的汽油、柴油、喷气燃料等产品^[2]。

2.1.2 加氢裂化催化剂的选择与性能要求

加氢裂化催化剂的选择对于工艺的成功实施至关重要。通常, 加氢裂化催化剂由活性金属组分和载体两部分组成。活性金属组分常见的有钨、镍、钨、钴等, 这些金属能够提供加氢活性中心, 促进加氢反应的进行。载体则起到分散活性金属、提供酸性中心和增强

催化剂机械强度的作用，常用的载体有氧化铝、分子筛等。

对于加氢裂化催化剂的性能要求主要包括以下几方面：①要有高的加氢活性，能够有效地促进各类加氢反应，如加氢脱硫、加氢脱氮、烯烃饱和等；②具备适宜的酸性功能，以实现烃类的裂化反应，但酸性不宜过强，否则会导致过度裂化和生焦反应加剧；③催化剂要有良好的稳定性，能够在高温、高压和含硫、氮等杂质的恶劣反应环境中长时间保持活性。

2.2 重油加氢

2.2.1 重油加氢的目的与意义

重油加氢的主要目的是对重质原油、减压渣油等劣质重质油进行加工处理。随着优质原油资源的逐渐减少，重质原油的开采和利用比例不断上升。然而，重质油具有密度大、粘度高、含硫氮氧等杂质多、金属含量高等特点，直接加工利用面临诸多困难。重油加氢能够改善重质油的性质，降低其粘度和密度，减少硫、氮等杂质含量，提高其可加工性。这有助于后续的深加工过程，如催化裂化等，提高轻质油收率，减少残渣油的产量。同时，通过去除重质油中的硫、氮氧化物等有害物质，可以降低燃烧过程中的污染物排放，减轻对环境的压力，符合可持续发展的要求。

2.2.2 重油加氢催化剂的应用与效果

在重油加氢过程中，催化剂起着核心作用。针对重油的特点，开发了多种专用的重油加氢催化剂。这些催化剂通常具有较强的抗金属中毒能力，因为重质油中含有较高含量的镍、钒等金属杂质，容易使催化剂中毒失活。例如，一些催化剂采用特殊的载体结构或添加助剂来提高对金属杂质的容纳能力，使催化剂在金属杂质存在的情况下仍能保持一定的活性。在加氢脱硫和加氢脱氮方面，重油加氢催化剂也表现出良好的性能，能够有效地将重质油中的含硫、氮化合物转化为硫化氢和氨等，降低油品中的硫、氮含量。

2.3 汽油加氢与柴油加氢

2.3.1 汽油加氢与柴油加氢的目的与要求

汽油加氢的主要目的是生产符合环保标准和发动机性能要求的清洁汽油。随着汽车保有量的增加和环保意识的增强，对汽油中的硫、烯烃、芳烃等含量提出了严格限制。汽油加氢能够有效降低汽油中的硫含量，减少燃烧过程中二氧化硫的排放，防止酸雨形成。同时，降低烯烃含量可以减少汽油在储存和使用过程中的胶质生成，提高汽油的稳定性；控制芳烃含量有

助于降低尾气中的有害物质排放，如苯等芳烃化合物在燃烧时会产生致癌物质。

柴油加氢的目的则是改善柴油的质量。柴油中的硫、氮氧化物等杂质在燃烧时会产生颗粒物和氮氧化物等污染物，对空气质量造成严重影响。柴油加氢可以去除这些杂质，降低柴油的硫含量和氮含量，生产出低硫、低氮的清洁柴油。

2.3.2 汽油加氢与柴油加氢催化剂的选择与应用

对于汽油加氢催化剂，通常需要具备高的加氢脱硫活性和适度的烯烃饱和活性。常见的活性金属组分有钴-钼、镍-钼等，载体多采用氧化铝等材料。在应用过程中，根据汽油原料的性质和产品质量要求，选择合适的催化剂型号和工艺条件。例如，对于高硫、高烯烃含量的催化裂化汽油，需要采用具有较强脱硫和烯烃饱和能力的催化剂，并合理控制反应温度、压力、氢油比等工艺参数，以在降低硫和烯烃含量的同时，尽量减少辛烷值的损失。

柴油加氢催化剂则侧重于加氢脱硫、加氢脱氮和提高十六烷值。活性金属组分如钼-镍、钨-镍等被广泛应用，载体常采用具有酸性功能的材料，如分子筛改性的氧化铝等。在柴油加氢装置中，根据柴油原料的来源和质量差异，选择不同性能的催化剂。对于劣质柴油，如含硫量高、芳烃含量高的直馏柴油或二次加工柴油，需要使用活性高、抗中毒能力强的催化剂，通过优化反应条件，实现深度脱硫、脱氮和提高十六烷值的目标，生产出优质的清洁柴油产品。

2.3.3 汽油加氢与柴油加氢技术的改进与创新

在汽油加氢技术方面，为了在降低硫和烯烃含量的同时更好地保持汽油的辛烷值，开发了多种改进技术。如选择性加氢脱硫技术，通过对催化剂的设计和工艺条件的优化，使催化剂优先对含硫化合物进行加氢反应，而对烯烃的饱和反应进行一定程度的抑制，从而减少辛烷值的损失。此外，还有加氢异构化技术与汽油加氢相结合，在降低烯烃含量的同时，将部分直链烯烃转化为异构烯烃，提高汽油的辛烷值。

柴油加氢技术也在不断创新。例如，开发了超深度脱硫技术，采用新型催化剂和工艺组合，能够将柴油中的硫含量降低至极低水平，满足日益严格的环保标准。同时，为了提高柴油的低温流动性，一些加氢技术在脱除杂质的同时，对柴油中的长链烷烃进行加氢异构化和加氢裂化，降低柴油的凝点和冷滤点，改善其在低温环境下的使用性能。

3 加氢催化剂的市场应用前景

3.1 石油炼制行业的发展趋势与加氢催化剂的市场需求

石油炼制行业正处于持续变革与发展之中。随着全球经济的增长,对石油产品的需求依然庞大,但对产品质量和环保要求也越发严格。原油的重质化、劣质化趋势愈发明显,这意味着在石油炼制过程中,需要更高效的技术来处理这些难加工的原料。加氢裂化、重油加氢等工艺凭借其能够将重质油转化为高附加值轻质油品的优势,成为应对这一趋势的关键技术,而这些工艺的核心正是加氢催化剂。

在产品质量方面,无论是汽油、柴油还是航空煤油等,都面临着降低硫、氮、芳烃等杂质含量以及提升燃烧性能等要求。例如,为了减少汽车尾气排放对环境的污染,汽油和柴油中的硫含量被严格限制在极低水平。加氢催化剂在汽油加氢和柴油加氢工艺中能够有效促进脱硫、脱氮和芳烃饱和反应,确保产品符合日益严格的质量标准。

3.2 清洁能源政策对加氢催化剂市场的推动作用

全球范围内,清洁能源政策的推进对加氢催化剂市场产生了强大的推动作用。许多国家和地区制定了严格的环保法规和温室气体减排目标,以应对气候变化和环境污染问题。在交通领域,这促使了对清洁燃料的大规模需求。

对于柴油,超低硫柴油甚至无硫柴油成为发展方向。加氢催化剂在柴油深度脱硫工艺中起着关键作用,能够帮助炼油厂生产出符合标准的清洁柴油。在汽油方面,降低烯烃、芳烃含量并提高辛烷值的同时保持低硫水平也是政策导向,这需要先进的汽油加氢技术和适配的催化剂。此外,随着氢燃料电池汽车的逐渐兴起,氢气作为清洁能源载体的需求增加。未来,加氢催化剂可能在氢气的高效制取、纯化等环节发挥潜在作用,进一步拓展其在清洁能源政策背景下的市场空间。

在工业领域,清洁能源政策也推动了对低硫、低氮燃料油和化工原料的需求。例如,一些地区对工业锅炉使用的燃料油硫含量进行严格限制,这促使炼油厂采用加氢工艺对燃料油进行精制,从而带动了加氢催化剂的应用。总之,清洁能源政策从多个方面刺激了加氢催化剂市场的增长,促使行业不断研发和创新以满足政策要求。

3.3 加氢催化剂在新能源领域的应用潜力

尽管传统上加氢催化剂主要应用于石油炼制,但

在新能源领域也展现出一定的应用潜力。在生物燃料领域,加氢催化剂可用于生物柴油的提质加工。生物柴油通常由植物油或动物脂肪通过酯交换反应制成,但其中可能含有一些杂质和不饱和成分,影响其燃烧性能和稳定性^[1]。通过加氢工艺,利用加氢催化剂可以对生物柴油进行加氢脱氧、加氢饱和等反应,提高其品质,使其更接近传统石化柴油的性能,从而促进生物柴油的广泛应用。

在生物质转化为液体燃料的过程中,加氢催化剂也有潜在的应用价值。生物质如木质纤维素等可以先转化为生物油等中间产物,然后通过加氢精制进一步转化为高质量的烃类燃料。加氢催化剂能够促进生物油中的含氧化合物转化为烃类,去除其中的杂质,提高燃料的能量密度和稳定性。

此外,随着碳捕获与利用(CCU)技术的发展,二氧化碳加氢转化为化学品和燃料成为研究热点。加氢催化剂在二氧化碳加氢反应中可以促进二氧化碳与氢气反应生成甲醇、烯烃、汽油等产物。虽然目前该技术仍处于研发和示范阶段,但一旦取得突破并实现工业化应用,将为加氢催化剂开辟全新的、巨大的市场空间,推动其在新能源和碳循环经济领域发挥更为重要的作用,助力全球能源结构的转型和可持续发展。

4 结语

加氢催化剂在石油炼制领域无疑是不可或缺的关键技术支撑,其在石油炼制中的应用已取得了显著成效,并在市场中占据重要地位。面对石油行业的不断发展以及清洁能源需求的急剧增长,加氢催化剂的未来充满机遇与挑战。持续的研发创新将是其保持生命力的关键,不断提高催化剂的性能、拓展应用范围,以适应更复杂的原料和更严格的产品标准。相信在科研力量与市场需求的双重驱动下,加氢催化剂必将在石油炼制及相关领域续写辉煌,为全球能源的可持续发展注入源源不断的动力,推动石油工业迈向更加绿色、高效的新时代。

参考文献:

- [1] 李农,李国旗,王玉涛等.石油炼制中的加氢技术原理与应用研究[J].石化技术,2022,29(09):18-20.
- [2] 李农,李国旗,杜忠伟等.石油炼制工业中加氢技术和加氢催化剂的发展现状[J].石化技术,2022,29(09):235-237.
- [3] 刘鹏鹏.石油炼制中的加氢催化剂及其应用[J].化学工程与装备,2021(11):34-35.