

煤焦油加氢技术工业化现状

岳倡兵

新疆天雨煤化集团有限公司 新疆 吐鲁番 838100

摘要：煤焦油加氢技术通过加氢精制和裂化将煤焦油转化为清洁燃料和化工品，缓解石油短缺压力，契合绿色发展要求。工业化路线包括固定床、悬浮床和沸腾床加氢技术。关键环节涉及原料预处理、催化剂研发与应用及反应工艺控制。该技术面临原料波动、设备腐蚀等挑战，未来将向高效化、低成本、环保化及产品多元化发展。

关键词：煤焦油；加氢技术工业化；现状

引言：在煤炭资源清洁高效利用与能源结构转型的大背景下，煤焦油加氢技术作为煤化工领域的关键创新，凭借其将低品质煤焦油转化为清洁燃料及高附加值化工产品的独特优势，成为缓解石油资源短缺、推动产业绿色发展的重要路径。该技术通过加氢精制与裂化反应，实现硫、氮、氧杂原子脱除及重质组分转化，但工业化进程中仍面临原料波动、设备腐蚀、氢气成本高及催化剂适应性等挑战。本文系统梳理了固定床、悬浮床、沸腾床三大工业化路线，剖析原料预处理、催化剂研发、反应条件控制等关键环节，并展望了高效催化剂开发、工艺集成创新及产品多元化等发展趋势，为技术优化与产业升级提供理论支撑。

1 煤焦油加氢技术原理与工业化意义

煤焦油加氢技术是一项极具创新性与实用性的煤化工关键技术。（1）其核心原理基于氢气与煤焦油在特定条件下的化学反应。在催化剂的表面，氢气发生活性吸附，随后与煤焦油中丰富的不饱和组分展开激烈的加成反应。与此同时，一系列复杂的反应同步进行，包括氢解反应，它能将大分子链适度断裂；脱硫、脱氮、脱氧反应，可有效去除煤焦油中存在的硫、氮、氧等杂原子，这些杂原子不仅会影响油品质量，还可能在后续使用中产生污染物。此外，该技术还能去除煤焦油中的胶质、沥青质等重质组分，显著改善油品的物理和化学性质。（2）从反应阶段划分，煤焦油加氢过程主要涵盖加氢精制和加氢裂化两个关键阶段。加氢精制主要聚焦于轻质煤焦油，通过精准的加氢操作，高效脱除其中的杂原子，使油品质量得到大幅提升，满足更为严格的环保和使用标准。加氢裂化则更适用于重质煤焦油，在加氢的协同作用下，促使大分子烃类发生断裂，转化为小分子烃类，从而大幅提高轻质油的收率，实现资源的高效利用。（3）从工业化视角审视，煤焦油加氢技术意义非凡。它成功将原本处理难度大、难以直接利用的煤焦油

转化为高附加值的清洁燃料和种类丰富的化工产品，极大地拓展了煤炭资源的利用边界，有效缓解了当前石油资源日益短缺的严峻压力。同时，该技术有效避免了煤焦油直接燃烧或随意排放对环境造成的严重污染，契合绿色发展的时代要求，为能源结构调整和煤化工产业的可持续发展注入了强大动力^[1]。

2 煤焦油加氢技术主要工业化路线

2.1 固定床加氢技术

固定床加氢技术在煤焦油加氢工业化进程中占据着重要地位，是应用时间较早且技术成熟度颇高的工艺路线。（1）在工艺操作方面，煤焦油原料与氢气充分混合后，以自上而下的流向通过装填有特定催化剂的固定床反应器。在此过程中，于既定的温度和压力条件下，二者发生一系列复杂的加氢反应。（2）该技术优势显著，催化剂装填量较大，能为反应提供充足的活性中心，进而实现较高的反应效率，可稳定地生产出符合标准的轻质燃料油。同时，其操作流程简便，各项参数易于精准控制，有利于生产的稳定运行。（3）固定床加氢技术也存在一定局限性。它对原料的适应性欠佳，对煤焦油中的沥青质、胶质等重质组分含量要求苛刻。若重质组分含量过高，极易导致催化剂结焦失活，需要频繁进行催化剂再生或更换操作，这无疑增加了生产成本和操作复杂程度。所以，该技术更契合处理中低温煤焦油等轻质馏分。

2.2 悬浮床加氢技术

悬浮床加氢技术作为煤焦油加氢领域的一项特色工艺，有着独特的工作模式。它先将煤焦油原料与固体催化剂粉末或者催化剂前驱体充分混合，形成均匀的悬浮液。随后，在高温高压的严格条件下，该悬浮液与氢气一同被送入反应器，开启加氢反应进程。由于催化剂在体系中呈悬浮状态，能与煤焦油原料实现全方位、高密度的接触，极大地提升了反应效率。而且，这一特性赋

予了它对原料超强的适应性,哪怕是高沥青质、高杂原子含量的重质煤焦油,也能轻松应对并有效处理。其优势还体现在原料预处理环节极为简便,无需复杂的重质组分脱除工艺,却能收获较高的轻质油产率。不过,悬浮床加氢技术也并非十全十美。反应产物与催化剂的分离难度颇高,导致催化剂回收利用率不尽人意;反应器内还容易结焦,加剧设备磨损,对设备材质和工艺控制的精准度提出了严苛要求。

2.3 沸腾床加氢技术

沸腾床加氢技术巧妙融合了固定床与悬浮床的显著特性,展现出独特优势。在反应器内,催化剂处于沸腾状态,原料与氢气自底部源源不断地进入,与沸腾的催化剂实现全方位、高强度的充分接触,进而高效开展加氢反应。这一技术对原料有着较强的适应性,可从容处理一定量的重质组分和杂原子,拓宽了原料的适用范围。尤为突出的是,催化剂能够在线补充和排出,无需停车更换,极大地保障了装置的连续稳定运行,提升了生产效率。而且,其反应条件相对温和,产物分布更为理想,有利于后续的分离和利用。然而,沸腾床加氢技术也存在一些挑战。反应器结构复杂,增加了设备制造和维护的难度;操作控制难度较大,对技术人员的专业素养要求颇高;催化剂的磨损和流失问题较为突出,需要进一步探索有效的解决方案。目前,该技术在煤焦油加氢工业化应用中正不断发展和完善^[2]。

3 煤焦油加氢工业化关键环节

3.1 原料预处理

原料预处理在煤焦油加氢工业化进程中占据着举足轻重的地位,其处理效果直接关乎后续加氢反应的效率以及最终产品的质量。煤焦油成分复杂,含有较高比例的水分、灰分、机械杂质,同时还富含沥青质、胶质等重质组分,这些杂质和重质成分若不加以有效去除,将对加氢过程产生诸多不利影响。(1)脱水工艺是原料预处理的关键步骤之一,通常采用加热静置或闪蒸的方法。加热静置是利用温度升高使水分与煤焦油的密度差异增大,从而实现分离;闪蒸则是通过快速降压使水分瞬间汽化分离。通过这两种方式,可有效去除煤焦油中的游离水和部分结晶水,防止水分在加氢反应过程中降低催化剂活性,同时避免因水分汽化导致反应压力异常波动。(2)脱渣处理主要借助过滤、离心等手段,去除煤焦油中的机械杂质和灰分。这些杂质若进入反应器,极易堵塞催化剂孔隙,降低反应效率,还会磨损设备,缩短设备使用寿命。(3)蒸馏切割依据煤焦油中各组分沸点的不同,将其精准分割为轻质、中质和重质馏分。针对

不同馏分采用适宜的加氢工艺,能够显著提高原料的利用率和加氢反应效率,为后续加氢工序奠定良好基础。

3.2 催化剂研发与应用

在煤焦油加氢反应体系里,催化剂占据着核心地位,其性能对反应的转化率、产物选择性以及装置的运行周期有着直接且关键的影响。(1)煤焦油加氢催化剂一般是将铁、镍、钼、钨等金属活性组分负载于氧化铝、分子筛等载体上制备而成。这些催化剂需具备多种优良特性,较高的加氢活性可促使煤焦油中的不饱和烃迅速加氢饱和,转化为饱和烃;良好的抗结焦能力可减少反应过程中焦炭在催化剂表面的沉积,避免催化剂因结焦而快速失活;出色的稳定性可保证催化剂在长时间、复杂工况下仍能维持稳定的催化性能。(2)在工业化应用时,催化剂的选择需依据原料性质和产品要求进行科学优化。若处理高硫煤焦油,要选用脱硫能力强的催化剂,以高效脱除其中的硫元素,满足产品对硫含量的严格标准;针对重质煤焦油,则需催化剂具备良好的加氢裂化性能,将大分子烃类裂解为小分子,提高轻质油收率。(3)催化剂的再生技术是降低生产成本的重要环节。通过有效的再生工艺,可使失活催化剂恢复活性,延长其使用寿命,减少频繁更换催化剂带来的成本投入,提升整个煤焦油加氢工艺的经济性。

3.3 反应工艺条件控制

在煤焦油加氢工业化进程中,对反应工艺条件(涵盖温度、压力、氢油比、空速等)的精准控制至关重要,其对加氢效果有着显著影响。(1)温度是影响反应的关键因素之一。适当升高温度能够加快反应速率,提升反应效率。然而,若温度过高,会引发一系列不利后果,如催化剂结焦现象加剧,导致催化剂活性降低甚至失活;同时,产物可能发生二次裂解,使得目标轻质油的收率下降,影响产品质量和经济效益。(2)压力同样对加氢反应起着重要作用。增加压力有利于加氢反应的进行,能够提高杂原子(如硫、氮、氧等)的脱除率,使产品更符合质量标准。但压力的升高也伴随着设备投资成本的增加以及能耗的上升,增加了生产运营成本。(3)氢油比,即氢气与原料油的体积比,也是重要的控制参数。保持足够的氢油比可以抑制催化剂结焦,维持反应的稳定性。但氢油比过高,会造成氢气消耗量增大,同时增加循环压缩的能耗,降低生产过程的能效。(4)空速反映了原料在反应器内的停留时间。空速过大,原料在反应器内停留时间过短,反应不充分,影响产品质量;空速过小,原料停留时间过长,会增加催化剂结焦的风险。因此,需依据原料性质和催化剂性能,

优化控制反应工艺条件,以实现最佳的工业化效益^[3]。

4 煤焦油加氢技术工业化面临的挑战与发展趋势

4.1 面临的挑战

煤焦油加氢技术工业化目前面临着诸多挑战。(1)原料性质波动较大,不同来源、不同工艺生产的煤焦油在组成和性质上存在较大差异,给工业化装置的稳定运行带来困难,需要灵活的工艺调整和适应性强的技术方案。(2)设备腐蚀与结焦问题突出,煤焦油中的硫、氮等杂原子在加氢反应中会生成硫化氢、氨等腐蚀性气体,加上高温高压的反应条件,对设备材质的耐腐蚀性要求极高;同时,重质组分的加氢反应容易产生结焦,导致反应器堵塞、催化剂失活,影响装置的长周期运行。(3)氢气来源与成本也是制约因素。煤焦油加氢需要大量的氢气,目前氢气主要来源于煤气化或天然气重整,生产成本较高,且氢气的输送和储存也存在一定难度,影响了技术的经济性。

4.2 技术发展趋势

展望未来,煤焦油加氢技术的工业化发展将坚定地朝着高效化、低成本、环保化的目标稳步前行。(1)在技术创新领域,高性能催化剂的研发将成为重点。科研人员会致力于提升催化剂的活性、选择性和稳定性,通过优化催化剂的组成和制备工艺,降低催化剂的生产成本与使用消耗,从而提高加氢反应的效率和经济性。同时,新型反应器结构的开发也迫在眉睫,通过优化反应器内部构造和反应流程,增强其对不同原料的适应性,有效减少反应过程中的结焦现象和设备腐蚀问题,延长设备使用寿命。(2)在工艺集成方面,煤焦油加氢将积极与其他煤化工工艺深度耦合。例如与煤气化制氢工艺结合,实现氢气的内部供应,降低对外部氢气资源的依赖,进而削减氢气成本;与碳捕集利用技术融合,减少二氧化碳排放,提升技术的环保水平。此外,智能化控制技术的应用将助力实现反应过程的精准调控,提高装置运行的效率和稳定性^[4]。

4.3 产品多元化趋势

在市场需求持续演变的大背景下,煤焦油加氢产品

正加速迈向多元化发展新阶段。以往,煤焦油加氢主要集中于生产传统的汽油、柴油等清洁燃料。而如今,产业目光更多地投向高附加值化工产品的生产领域。例如,借助加氢精制工艺,可将煤焦油转化为优质石脑油,作为乙烯裂解的关键原料,为化工产业链上游提供重要支撑;通过深度加氢技术,能够生产出环烷烃、芳烃等极具价值的化工中间体,广泛应用于塑料、橡胶、纤维等众多化工产品的合成。产品多元化发展意义重大,既能大幅提升煤焦油的利用价值与整体经济效益,又能有效降低对单一燃料市场的过度依赖,显著增强技术的市场适应性与竞争力。此外,考虑到不同地区在资源禀赋和市场需求方面存在差异,未来还将因地制宜开发个性化生产方案,实现煤焦油资源的差异化、高效化利用。

结束语

煤焦油加氢技术作为煤化工领域的关键技术,在原理上通过复杂反应实现煤焦油的高效转化,工业化路线丰富且各有优劣,关键环节紧密关联着生产效果。尽管目前面临原料波动、设备腐蚀结焦、氢气成本等诸多挑战,但未来发展趋势向好。技术创新不断推动催化剂和反应器升级,工艺集成实现资源优化与环保提升,智能化控制保障生产稳定高效。产品多元化发展更是契合市场需求,提升经济效益与市场竞争力。随着技术持续进步与创新,煤焦油加氢技术将不断完善,在推动煤炭清洁高效利用、促进煤化工产业可持续发展等方面发挥更为重要的作用。

参考文献

- [1]何玉玲.全馏分煤焦油加氢精制反应器压差的管控措施[J].燃料与化工,2021,52(06):23-28.
- [2]古丽娜尔·图尔逊,李国峰.煤焦油加氢精制技术研究进展[J].化学工程师,2021,35(05):56-59.
- [3]郑发元.煤焦油加氢工艺概述[J].甘肃科技,2021,37(02):5-6+9.
- [4]葛庆,张军,廖俊,等.煤焦油加氢技术研究进展[J].能源化工,2023,44(05):16-21.