

渣油加氢技术的发展现状与未来市场发展趋势

刘 阳(中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578101)

摘要: 随着全球原油资源劣质化趋势日益凸显, 市场对轻质油品的需求持续攀升及环保标准的日趋严格。渣油加氢技术作为实现渣油高效转化、生产清洁油品的关键技术, 对于炼油行业的可持续发展具有举足轻重的意义。基于此, 本文通过梳理渣油加氢技术在工艺、催化剂以及工业应用等方面的现状, 并结合目前行业动态、技术创新及市场需求变化等因素, 预测渣油加氢技术在提升效率、绿色环保、智能化以及产品多元化等方面未来发展趋势, 推动产业的技术创新和升级, 为企业的高质量发展奠定基础。

关键词: 渣油加氢; 催化剂; 发展现状; 市场发展趋势

中图分类号: TE624.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)014-0016-03

The Development Status and Future Market Trends of Residue Hydrogenation Technology

Liu Yang (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578101, China)

Abstract: With the increasingly prominent trend of global crude oil resource deterioration, the demand for light oil products in the market continues to rise and environmental standards are becoming increasingly strict. Residue hydrogenation technology, as a key technology for achieving efficient conversion of residue and producing clean oil products, plays a crucial role in the sustainable development of the refining industry. Based on this, this article reviews the current status of residue hydrogenation technology in terms of processes, catalysts, and industrial applications, and predicts the future development trends of residue hydrogenation technology in improving efficiency, green environmental protection, intelligence, and product diversification, taking into account current industry trends, technological innovation, and market demand changes. This will promote technological innovation and upgrading in the industry and lay the foundation for high-quality development of enterprises.

Keywords: residual oil hydrogenation; catalyst; Development status; Market trends

渣油加氢技术作为现代炼油工业的重要组成部分, 近年来在全球范围内得到了快速发展。渣油加氢技术不仅能够有效地提升重质油资源的利用效率, 还能降低石油炼制过程中的环境污染, 符合当前推动绿色发展, 实现碳达峰碳中的发展趋势。

随着催化剂性能的不断提升和加氢反应器的优化设计, 渣油加氢装置的转化率和产品质量均得到了大幅提高。然而, 由于全球能源结构的调整和新能源技术的发展, 传统炼油工业面临转型升级的压力, 渣油加氢技术也需要不断创新以适应新的市场需求, 所以研究渣油加氢技术的发展势在必行。

1 渣油加氢技术发展现状

1.1 工艺技术发展现状

①固定床渣油加氢工艺。在当前渣油加氢领域中固定床渣油加氢工艺凭借其成熟的操作流程与稳定的产品质量, 仍占据重要地位。该工艺是最早实现工业化的渣油加氢技术, 也是目前应用最为广泛的技术之一。固定床渣油加氢工艺通过催化剂的作用, 使渣油中的硫化物、氮化物和金属等杂质与氢气发生反应, 转化为易于处理的物质, 其产品质量好, 操作稳定。

近年来, 通过对反应器内构件的优化设计, 如改进液体分布器与气体分配器, 有效提升了反应物流的均匀分布, 增强了传质与反应效果。然而, 固定床工艺对原料杂质含量较为敏感, 尤其是渣油中的金属与沥青质, 容易导致催化剂失活, 限制了其对高杂质含量渣油的处理能力^[1]。②沸腾床渣油加氢工艺。沸腾床渣油加氢工艺在催化剂流化状态, 能够有效克服固定床工艺的部分局限。在该工艺中, 催化剂处于流化状态, 可连续补充与卸除, 从而解决了催化剂因结焦、金属沉积而快速失活的问题, 使得沸腾床工艺在处理高金属、高残炭渣油时展现出良好的适应性, 能够维持较长的装置运行周期。沸腾床加氢裂化技术对原料的适应性强, 反应器内传热均匀, 但装置投资大, 操作复杂, 反应过程中温度与浓度的均匀性控制难度较大, 对工艺操作与控制要求较高。③悬浮床渣油加氢工艺。近年来在渣油加氢技术中发展较快的就是悬浮床加氢裂化技术, 该技术被认为是最具发展潜力的技术之一, 特别适用于处理劣质渣油。悬浮床加氢裂化技术采用悬浮床反应器, 将细粉状催化剂分散在原料油中, 使其在高温高压下进行脱氢热解反应。由于催化剂与渣

油接触面积大，反应活性高，能够实现渣油的深度转化，大幅提高轻质油收率。不过，悬浮床工艺在催化剂分离回收方面存在一定困难，且设备的磨损问题较为突出，需要进一步优化催化剂体系与设备材质，以提高工艺的经济性与稳定性。

1.2 催化剂发展现状

①加氢脱硫催化剂。渣油加氢处理中常用的催化剂之一就是加氢脱硫催化剂，其主要作用是脱除渣油中的硫化物。随着环保法规日益严格，对燃料油中的硫含量要求越来越低，因此开发高效的加氢脱硫催化剂至关重要。目前，研究人员通过改进催化剂的活性组分、载体和制备方法，不断提高加氢脱硫催化剂的性能。②加氢脱金属催化剂。加氢脱金属催化剂的作用是脱除渣油中的金属杂质，如镍、钒等。这些金属杂质会导致催化剂中毒，影响反应效果。新型加氢脱金属催化剂的开发集中在提高催化剂的抗中毒能力和选择性，通过改进催化剂制备工艺，增强活性组分与载体的相互作用，提高催化剂的抗中毒能力，从而延长催化剂的使用寿命。③多功能催化剂。为了提高渣油加氢处理的效率，多功能催化剂的开发成为一个重要的研究方向。这种催化剂将加氢脱硫、加氢脱金属和加氢裂化等多种功能集成在一起，能够在一个反应过程中实现多个目标，从而简化工艺流程，降低生产成本。此外，在催化剂活性、选择性和稳定性方面的研究显著。新型载体材料、活性金属组分和助剂的开发和应用为高性能催化剂的设计也提供了更多的选择。

1.3 工业应用情况

①装置规模与分布。渣油加氢装置的规模呈现大型化趋势，在全球范围内得到广泛应用。大型炼油企业为提高生产效率与经济效益，纷纷建设更大规模的渣油加氢装置，单套装置处理能力不断提升。在地域分布上，渣油加氢装置主要集中在原油加工量大且劣质原油进口较多的国家和地区，如美国、欧洲和亚洲的一些大型炼油厂都拥有多套固定床渣油加氢处理装置^[2]。②与其他工艺集成。在炼油工业中，渣油加氢技术常与其他工艺进行集成。如与催化裂化工艺相结合，加氢后的渣油作为催化裂化的原料，可显著改善催化裂化装置的进料性质，提高轻质油品收率与产品质量。与延迟焦化工艺集成，能够优化延迟焦化的原料，减少焦炭产率，提高液体产品质量。

2 渣油加氢技术面临的挑战

2.1 原料适应性

渣油的来源和性质差异很大，包括密度、粘度、硫含量、金属含量等，这些因素对加氢技术提出了挑战。中东地区的一些渣油含硫量可高达5%，金属（如

镍、钒）含量可达几百ppm，高硫、高金属渣油会导致催化剂快速失活，降低反应效率。有的地区的重油粘度极高，沥青质含量可达50%以上，高粘度和高沥青质含量的渣油会造成流动性差、传质传热困难，影响加氢反应效果。

2.2 催化剂性能

目前，渣油加氢催化剂存在一些局限性，影响了其长期稳定运行和反应效率。现有的催化剂在处理高硫、高金属渣油时，活性和选择性不足。如在深度脱硫和脱氮反应中，催化剂的活性有待提高。由于渣油中的杂质和积炭，催化剂容易失活，使用寿命较短，频繁的催化剂更换增加了操作成本和停车时间。

2.3 工艺经济性

渣油加氢装置投资成本高、操作费用高，加氢反应需要在高温高压下进行，对设备的材质和制造工艺要求很高，导致设备投资大。加氢过程需要大量的氢气，氢气的制取、压缩和循环也造成了较高成本，而高性能的催化剂价格昂贵，且需要定期更换，也增加了操作成本。

2.4 环境保护

渣油加氢过程中会产生废气、废水和废渣，对环境造成一定的影响。加氢过程中会产生含有硫化氢和氨的废气，需要进行处理以满足环保标准。同时，排放的废水主要来源于反应生成水和洗涤水，其中可能含有硫化物、氨和其他污染物，需要经过严格的处理才能排放，而废催化剂中含有重金属，如镍、钒，需要妥善处理以防止污染环境。

3 渣油加氢技术未来市场发展趋势

3.1 高效化发展趋势

①工艺优化与组合。渣油加氢工艺将进一步优化，通过精确调控反应条件，如温度、压力、氢油比等参数，实现反应过程的精准控制，提高渣油转化效率与轻质油收率。将渣油加氢技术与其他炼油工艺（如催化裂化、延迟焦化等）相结合，实现渣油的高效利用，如悬浮床—固定床组合工艺，先利用悬浮床工艺对高杂质渣油进行初步转化，降低杂质含量，再通过固定床工艺进行深度精制，从而充分发挥各工艺的优势，提高整体工艺效率。同时，渣油固定床加氢处理与催化裂化组合技术（RFCC）被认为是中长期内发展的重点技术，这种组合技术可以充分发挥各自的优势，提高轻质油收率，降低生产成本。此外，继续开发高性能、低成本的渣油加氢催化剂，未来的催化剂将具备更高的活性、选择性和稳定性，能够适应更广泛的原料油性质，并且可以在较低的反应温度和压力下实现高效转化。研究人员还应开发一体化的渣油加氢工艺，

将多个反应步骤集成在一个装置中，减少设备投资和操作成本。②新型反应器研发。为满足高效反应需求，新型反应器将是研究的重要方向，未来的渣油加氢反应器设计将更加注重提高反应效率和降低操作成本。例如，开发具有高效传质与传热性能的新型反应器，如微通道反应器、旋转填充床反应器等，能够强化反应过程中的物质传递与能量传递，提高反应速率与选择性。随着高新科技的发展，智能反应器的概念也将逐渐兴起，通过引入先进的传感器与控制系统，实现反应器的实时监测与自适应调控，确保反应始终处于最佳状态，从而提高反应效率。

3.2 绿色环保趋势

①深度脱除杂质。随着环保法规对油品质量要求的不断提高，未来的渣油加氢技术需要满足更严格的环保法规要求，渣油加氢技术将朝着深度脱除硫、氮、金属等杂质的方向发展，如降低燃料油中的硫含量、氮含量和芳烃含量，减少污染物排放。同时，研发新型高效的脱硫、脱氮与脱金属催化剂，以及配套的工艺优化，将实现油品中杂质含量的进一步降低，生产出更加清洁的油品，满足日益严格的环保标准。②降低碳排放。在全球倡导低碳经济的背景下，渣油加氢技术需要关注碳排放问题，研究低碳甚至无碳的渣油加氢技术，减少二氧化碳排放。通过优化工艺条件，提高氢气利用效率，减少氢气制备过程中的碳排放。探索与碳捕集、利用与封存（CCUS）技术的结合，对渣油加氢过程中产生的二氧化碳进行捕集与利用，降低装置的碳排放强度，实现绿色生产。此外，还应研究和开发环境友好的催化剂及工艺，减少对环境的影响。例如，开发可回收再利用的催化剂，采用生物基原料或废弃物作为催化剂载体，降低催化剂生产成本和环境影响。

3.3 智能化趋势

①智能监测与控制。人工智能时代渣油加氢装置也将顺应时代发展，广泛应用智能化技术，实现对装置运行的实时监测与精准控制。通过在装置关键部位安装大量传感器，实时采集温度、压力、流量、成分等数据，并利用大数据分析、人工智能等技术对数据进行处理与分析，及时发现装置运行中的潜在问题，运用先进的计算机模拟技术，对渣油加氢过程进行建模和优化，通过模拟不同操作条件下的反应过程，预测产品质量和收率，优化操作参数，提高生产效率。开发智能控制系统，实现对渣油加氢装置的实时监控和自动控制，通过对大量生产数据的分析，系统可以自动调整操作参数，预测设备故障，确保装置安全、稳定、高效运行，提高生产安全性和稳定性。还可以利用物联网技术，实现渣油加氢装置的远程操作和维

护，操作人员可以通过互联网远程监控设备运行状态，进行故障诊断和修复，减少现场操作的人力需求，提高工作效率。②故障诊断与预测维护。相关研究人员充分利用智能化技术，建立渣油加氢装置的故障诊断与预测维护系统。通过对历史数据与实时数据的分析，构建故障预测模型，提前预测设备故障的发生，及时采取维护措施，避免非计划停产，提高装置的可靠性与运行效率，降低维护成本。

3.4 产品多元化趋势

①生产高附加值产品。除传统的轻质油品生产外，渣油加氢技术将向生产高附加值产品方向拓展，通过调整工艺条件与催化剂体系，生产优质润滑油基础油、芳烃原料、高端蜡等产品，满足市场对多元化石化产品的需求，提高炼油企业的经济效益。②适应生物渣油加工。随着生物能源的发展，生物渣油作为一种新型原料逐渐受到关注。未来渣油加氢技术需要适应生物渣油的加工特点，研发适用于生物渣油加氢的工艺与催化剂，实现生物渣油的高效转化，为生物能源产业的发展提供技术支持。

3.5 经济可行性和市场需求

相关研究人员还可以通过技术创新和优化设计，降低渣油加氢装置的投资和操作成本，提高技术的经济可行性，开发高效催化剂和简化工艺流程，减少设备投资和操作复杂性，降低生产成本。随着全球对清洁燃料需求的增长，渣油加氢技术将继续在满足市场需求方面发挥重要作用，可以生产高质量的清洁燃料，如超低硫柴油、低硫船用燃料油等，企业可以获得更好的经济效益。

4 结论

渣油加氢技术在当前行业发展中已取得显著的成就，在工艺、催化剂及工业应用等方面均有突出表现，但也面临着诸多挑战。未来，随着市场需求的变化、环保要求的提高以及技术的不断进步，渣油加氢技术将朝着高效化、绿色环保、智能化以及产品多元化等方向持续发展。相关企业与科研机构应盯紧行业发展趋势，结合自身企业的实际发展情况，加大研发投入，以此推动渣油加氢技术的创新与升级，在激烈的市场竞争中占据优势，实现行业的可持续发展。

参考文献：

- [1] 董罡,雷蕾,吴昊鹏,李洪星.渣油加氢装置反应进料加热炉创新设计总结[J].炼油技术与工程,2024(04):20-24.
- [2] 郭胜军,于传瑞,王福琳等.适应炼油厂转型发展的固定床渣油加氢技术[J].炼油技术与工程,2024(12):9-12.