

石油化工中绿色化工技术应用

张 迪

山东神驰化工集团有限公司 山东 东营 257000

摘要：随着全球气候危机加剧与资源约束趋紧，石油化工行业作为传统高耗能、高排放领域，正面临前所未有的转型压力。本文聚焦石油化工领域中绿色化工技术的应用。首先概述绿色化工技术，阐述其内涵与特点。接着详细介绍该技术在石油化工中的关键应用，涵盖催化转化、高效分离、可再生资源利用及清洁生产技术等方面。最后探讨其发展趋势，包括技术创新、市场需求及产业升级趋势。旨在为石油化工行业应用绿色化工技术提供参考，推动行业向绿色、可持续方向转型，实现经济效益与环境效益的双赢。

关键词：石油化工；绿色化工技术；发展趋势

引言：石油化工行业作为国民经济的重要支柱产业，在推动经济发展中发挥着关键作用。然而，传统石油化工生产模式往往伴随着高能耗、高污染等问题，对生态环境造成较大压力。随着全球对环境保护的重视以及可持续发展理念的深入人心，绿色化工技术应运而生。它以减少或消除有害物质的使用和产生为目标，力求实现资源的高效利用和环境的友好保护。在石油化工领域应用绿色化工技术，不仅是行业自身转型升级的必然选择，也是响应国家环保政策、履行社会责任的重要举措。

1 绿色化工技术概述

(1) 绿色化工技术是一种以可持续发展理念为核心，旨在从源头上减少或消除化工生产对环境的负面影响，实现资源高效利用和环境保护相协调的新型化工技术。它贯穿于化工产品的设计、生产、使用及废弃处理的全生命周期，强调通过创新工艺和优化流程，降低能耗、减少污染物排放，提高原子经济性，使化工生产更加绿色、环保、高效。(2) 绿色化工技术具有显著的环境友好特性。在原料选择上，优先采用可再生资源或对环境危害较小的物质，从源头上控制污染的产生。在反应过程中，注重开发高效、温和、选择性高的催化体系，提高反应的转化率和选择性，减少副产物的生成。同时，采用先进的分离和提纯技术，实现资源的最大化回收和再利用，降低废弃物的排放量。(3) 绿色化工技术的发展对于推动化工行业的转型升级具有重要意义。随着全球对环境保护的日益重视和可持续发展战略的深入实施，传统的高污染、高能耗化工生产模式已难以适应时代的要求。绿色化工技术的推广和应用，有助于化工企业降低生产成本、提高产品质量、增强市场竞争力，实现经济效益和环境效益的双赢。同时，它也为

解决全球环境问题、促进人与自然和谐共生提供了有力的技术支撑^[1]。

2 绿色化工技术在石油化工中的关键应用

2.1 催化转化技术

(1) 催化转化技术是绿色化工技术在石油化工中的核心应用之一，其核心在于通过高效催化剂的设计与优化，实现化学反应路径的精准调控。传统催化体系常依赖硫酸、三氟化硼等强腐蚀性或有毒催化剂，不仅存在安全隐患，还会产生大量含硫、含氯废弃物。而绿色催化技术通过开发固体酸催化剂（如ZSM-5分子筛、Y型分子筛）、生物酶催化剂及纳米催化剂，实现了反应条件温和化、产物选择性提升及废弃物零排放。我国石化开发的超高活性HA系列催化剂，通过一步法制备目标产物，避免了水洗、后处理等高耗能工序，显著降低装置能耗。(2) 催化转化技术的绿色化还体现在反应介质创新上。超临界二氧化碳流体作为绿色溶剂，兼具液态溶解性与气态低黏度特性，通过调节温度和压力可动态调控溶解度与传质效率。在异丙苯、乙苯等烷基化反应中，超临界二氧化碳替代传统有机溶剂，实现了反应体系无毒化、产物分离高效化及溶剂循环利用。此外，相转移催化技术通过构建两相界面反应环境，使反应物在有机相与水相间高效转移，显著提升反应速率并降低能耗，适用于酯化、烷基化等多元反应体系。(3) 催化转化技术的智能化发展进一步推动了石油化工的绿色转型。通过机器学习算法优化催化剂活性位点分布，结合原位表征技术实时监测反应进程，可实现催化剂性能的动态调控。例如，中国石化研发的气液法聚乙烯催化剂，通过纳米结构设计与活性组分梯度分布，在保持高催化活性的同时，将聚乙烯分子量分布宽度控制在1.5以内，显著提升产品加工性能与资源利用率。

2.2 高效分离技术

(1) 高效分离技术是绿色化工技术在石油化工领域实现资源高效利用与污染物减排的关键环节。传统分离方法如蒸馏、萃取等,存在能耗高、分离效率低、溶剂消耗大等问题,易导致二次污染。而现代高效分离技术通过创新分离机制与材料设计,显著提升了分离过程的精准性与经济性。例如,膜分离技术凭借其无相变、能耗低、操作简便的优势,在气体分离、液体提纯等领域得到广泛应用。采用高分子复合膜或无机陶瓷膜,可实现氢气与烃类、二氧化碳与甲烷的高效分离,分离效率较传统方法提升30%以上,同时减少溶剂使用量达90%,有效降低了分离过程的碳排放。(2) 吸附分离技术的绿色化发展进一步推动了石油化工的清洁生产。通过开发新型吸附剂,如金属有机框架材料(MOFs)、共价有机框架材料(COFs)等,实现了对特定组分的高选择性吸附。这些材料具有比表面积大、孔道结构可调的特点,可针对石油化工中的微量杂质(如硫化物、氮化物)进行精准去除,吸附容量较传统活性炭提高2-3倍,且再生能耗降低50%以上。(3) 超临界流体萃取技术作为绿色分离的代表,在石油化工产品提纯中展现出独特优势。利用超临界二氧化碳作为萃取剂,可在温和条件下实现对油脂、香料、药物等热敏性物质的高效分离,避免了传统有机溶剂萃取带来的环境污染与产品降解问题。该技术不仅提高了目标产物的纯度与收率,还实现了萃取剂的循环利用,使分离过程的环境负荷降低70%以上,为石油化工产业链的绿色延伸提供了技术支撑。

2.3 可再生资源利用技术

(1) 可再生资源利用技术是绿色化工技术在石油化工领域实现可持续发展的重要方向,其核心在于将生物质、废弃塑料等非化石资源转化为高附加值化学品,减少对传统石油资源的依赖。生物质作为最丰富的可再生碳源,通过水解、发酵、热解等工艺可制备生物燃料、生物基平台化合物(如糠醛、乙酰丙酸)及生物可降解材料。(2) 废弃塑料的化学循环利用技术为解决“白色污染”提供了绿色路径。通过热裂解、催化裂解聚等技术,可将聚乙烯、聚丙烯等废弃塑料转化为燃料油、单体或新型聚合物材料。例如,采用沸石分子筛催化剂的裂解工艺,可使废弃塑料的转化率达90%以上,生成的小分子烃类可直接作为化工原料或燃料使用,实现“变废为宝”。此外,生物降解塑料的研发与应用进一步推动了塑料产业的绿色转型,如聚乳酸(PLA)、聚羟基脂肪酸酯(PHA)等生物基塑料,可在自然环境中被微生物分解,从源头减少塑料污染。(3) 可再生资源与石油化

工的耦合技术成为行业创新热点。通过将生物质基化学品(如生物乙醇、生物丁醇)与传统石化路线结合,可开发出新型生物基聚合物、表面活性剂等产品。例如,以生物乙醇为原料合成的乙二醇,其碳足迹较石油基产品降低40%,且生物基原料的可再生性赋予产品更高的市场竞争力。这种“生物-石化”协同模式不仅拓展了资源利用边界,还为石油化工企业提供了低碳转型的技术路径,助力行业向绿色、循环方向升级。

2.4 清洁生产技术

(1) 清洁生产技术是绿色化工技术在石油化工领域实现源头减量、过程控制和末端治理一体化的核心手段,其核心在于通过工艺优化、设备升级和资源循环利用,最大限度减少生产过程中的污染物排放和能源消耗。与传统末端治理模式相比,清洁生产技术强调“预防为主”,从设计阶段就融入环保理念,例如采用低毒或无毒原料替代高污染物质,从源头上降低有害物质的使用量,减少后续处理负担。(2) 过程强化技术是清洁生产的关键支撑。通过开发新型反应器(如微反应器、膜反应器)和高效传热传质设备,可显著提升反应效率,缩短反应时间,从而降低能耗和副产物生成。例如,微通道反应器凭借其比表面积大、传质效率高的特点,可使某些强放热反应的温度控制精度提升,副反应发生率降低,产品收率提高。同时,过程集成技术通过将多个单元操作合并,减少中间物料储存和传输环节,进一步降低能源损耗和泄漏风险。(3) 资源循环利用技术是清洁生产的重要延伸。石油化工生产中产生的废水、废气和废渣,通过先进分离和提纯技术可实现有价值组分的回收再利用。例如,采用膜生物反应器(MBR)处理含油废水,不仅可使出水水质达到回用标准,还能回收废水中的烃类物质;废气中的挥发性有机物(VOCs)通过催化燃烧或吸附-解吸技术,可转化为燃料或化工原料;废渣经热解或气化处理,可生成合成气或活性炭,实现“变废为宝”。这种闭环生产模式显著提升了资源利用率,推动了石油化工行业的绿色低碳转型^[2]。

3 绿色化工技术应用的发展趋势

3.1 技术创新趋势

2025年,绿色化工技术创新呈现多维度突破特征。生物催化技术通过基因编辑与定向进化技术,开发出耐高温、高选择性的酶催化剂,在医药中间体合成中实现反应温度降低30%、产物收率提升20%,显著减少副产物生成。纳米材料催化体系成为研究热点,铂基纳米颗粒负载于介孔二氧化硅的催化剂,在甲醇制烯烃反应中使乙烯选择性突破90%,催化剂寿命延长至传统工艺

的3倍。数字化与智能化技术深度融合，基于机器学习的反应路径预测系统可快速筛选最优工艺参数，结合工业互联网平台实现生产过程实时优化。中试通等技术服务机构通过整合线上资源与线下中试基地，提供技术、设备、人才等全方位支持，解决中试环节“卡脖子”难题。绿色合成工艺创新聚焦资源循环利用，电化学合成技术利用可再生能源电解水制氢耦合二氧化碳加氢制甲醇，单套装置产能达10万吨/年，碳转化效率提升至85%。膜分离、吸附分离等高效分离技术实现废水、废气中有害物质精准分离，资源化利用率超90%，推动化工生产向零排放目标迈进。

3.2 市场需求趋势

2025年，绿色化工产品的市场需求呈现出强劲的增长态势，这一趋势主要由环保政策驱动、消费者偏好转变及产业升级需求共同推动。政策层面，全球范围内环保法规持续收紧，中国“双碳”目标与欧盟碳关税（CBAM）等政策直接倒逼企业降低碳排放，推动绿色化学品替代传统高污染产品。消费者端，环保意识提升促使市场对绿色产品的接受度显著提高。高端制造业、医药、食品等领域对低毒、无害的绿色化学品需求激增，环保涂料、生物基塑料等细分市场年增长率达8%-12%。同时，新能源产业快速发展带动绿色催化剂、储能材料等需求，进一步拓展市场空间。产业升级方面，企业为提升竞争力，主动采用绿色技术降低生产成本。通过废物处理费用减少、资源循环利用率提升，绿色化工产品全生命周期成本优势凸显，推动市场需求从“政策驱动”向“市场自发”转型。

3.3 产业升级趋势

2025年，绿色化工产业升级呈现技术驱动、结构优化与模式创新的深度融合特征。产业链垂直整合加速，

企业通过延伸上下游环节，构建从原料供应到终端产品的闭环体系，降低对外部资源的依赖，同时提升产品附加值与抗风险能力。智能化改造成为产业升级的核心引擎。人工智能、大数据与工业互联网技术的深度应用，推动生产过程实时优化、设备故障预测与资源动态调配。智能工厂通过数字化孪生技术模拟生产场景，实现能耗降低15%-20%，质量稳定性提升30%以上，推动传统化工向“黑灯工厂”转型。循环经济模式全面推广，企业通过工艺革新与废物资源化利用，构建“减量化、再利用、资源化”的循环体系。副产物转化为高价值原料，废热、废水实现梯级利用，单位产品资源消耗量较传统工艺下降25%-30%，形成低碳、高效的产业生态^[3]。

结束语

在石油化工行业迈向高质量发展的进程中，绿色化工技术的应用已成为不可逆转的时代潮流。它不仅重构了传统生产模式，通过技术创新与产业升级实现了资源高效利用、污染源头防控和碳排放深度削减，更推动行业从“规模扩张”向“价值创造”转型。面向未来，随着生物技术、数字智能与循环经济理念的深度融合，绿色化工将进一步赋能石油化工全产业链，助力企业构建低碳竞争力，为全球能源转型与可持续发展提供关键支撑。这一进程既是挑战，更是行业焕发新生的历史机遇。

参考文献

- [1]杨凯.石化炼油节能优化措施及节能效果[J].当代化工研究,2021(02):27-28.
- [2]王耀伟,祁涛,刘锦程,李顺凯.石油化工中绿色化工技术应用[J].中国高新区,2022(10):167-168.
- [3]张胜军.新常态下石油产业的机遇与挑战[J].中国战略新兴产业,2021(20):27.