

绿色化工技术在化工生产中的应用与发展研究

卢宝华

泰安汉威集团有限公司, 山东 泰安 271000

摘要: 由于全球环境问题日趋严重、可持续发展战略不断推进,绿色化工技术已成为化工行业转型发展的主要动力,本文对绿色化工技术的内涵及特征进行了系统的论述,对清洁生产技术、生物化工技术、绿色催化技术以及过程强化技术在化工生产中的具体应用做了详细的分析,并对当前绿色化工技术发展过程中遇到的问题和对策作了探讨,对未来的发展趋势也做了一些展望。研究证明绿色化工技术推广使用能有效地降低化工生产所造成的环境污染,并能提高资源利用率和企业的经济效益,对于实现化工行业的高质量发展具有重大意义。

关键词: 绿色化工技术; 清洁生产; 生物催化; 绿色催化; 可持续发展

0 引言

化学工业是国民经济的支柱产业,它在推动社会经济发展的同时也给环境带来了严重的污染以及资源消耗问题。据统计,化工行业的能源消耗占我国工业总能耗的 15% 以上,废水、废气、固体废物排放量在工业领域中都处于较高水平^[1]。传统的化工生产模式是以高投入、高消耗、高排放为特点的,在环保法规越来越严格、市场竞争日趋激烈的背景下,传统化工生产模式已经无法满足要求。在这种情况下绿色化工技术应运而生,成为解决化工行业环境与发展矛盾的重要途径。

绿色化工技术的核心思想来自于 1998 年 Anastas 和 Warner 提出的绿色化学的 12 项原则,目的是从源头上减少或者消除化学品在生产、使用过程中所使用的有害物质的产生。近几年来,我国对绿色化工技术的发展十分重视,在《“十四五”工业绿色发展规划》中明确提出要推动化工行业绿色化改造,并加快绿色低碳技术的研发与应用,本文主要对绿色化工技术的主要类型及其在化工生产中的应用现状进行系统的整理,分析存在的问题并提出发展建议,为化工行业的绿色转型提供理论依据。

1 绿色化工技术的内涵与特征

1.1 绿色化工技术的基本概念

绿色化工技术是在化工产品设计和生产过程中,用环境友好的原料、催化剂、溶剂,优化反应条件和工艺流程,从源头上减少或者消除污染,实现资源高效利用和环境影响最小化的技术体系^[2]。其目标是在满足人类对化工产品需求的同时,最大程度降低对生态环境的影响,与传统的末端治理技术相比,绿色化工技术注重“源头预防”、“全过程控制”,把环保理念贯穿于产品的整个生命周期中。

1.2 绿色化工技术的核心特征

绿色化工技术有如下特点:一是原料绿色化,采用可再生资源、生物质原料、CO₂ 等温室气体作为化工原料,降低对化石资源的依赖;二是过程清洁化,用催化技术、生物技术等方式实现反应条件温和化、选择性提高、副产物减少,三是产品环境友好化,研发低毒、可降解、可回收的绿色化工产品,四是资源循环化,建立废弃物资源化利用和循环经济模式^[3]。

2 绿色化工技术在化工生产中的主要应用

2.1 清洁生产技术的应用

清洁生产技术属于绿色化工技术的一个部分,它的主要特点就是从源头削减污染、提高资源利用率,化工生产中清洁生产技术主要表现在工艺优化、设备改进和过程集成上。

在煤化工领域,清洁生产技术有明显进展,2024 年姚乃瑜等对低阶煤热解挥发分热催化重整进行了研究,该技术可在催化重整的同时提高焦油品质、减少污染物排放^[4],陕煤集团渭化彬州化工通过全流程优化,更换高效循环水泵,提升气化炉原料适应性,使原料成本降低 15%,乙二醇单位产品综合能耗降至 754 千克标准煤/吨,比国家标准低 11.3%。中国石化九江石化采用第三代芳烃技术,使用单塔吸附分离、低温余热利用等新技术,装置设计能耗比前两代分别降低了 62% 和 32%。

精细化工行业中清洁生产技术也起着非常重要的作用,传化化学环保型纺织助剂占国内市场的 30%,某印染企业应用后污水排放减少 30%,染色效率提高 20%,万华化学优化了 MDI 生产工艺,用光气法代替传统工艺大大降低了能耗和污染物排放量,以上案例证明清洁生产技术的应用可以同时获得环境效益和经济效益的双赢。

2.2 生物化工技术的应用

生物化工技术利用生物催化剂(酶或微生物细胞)进行化学品的合成和转化,具有反应条件温和、选择性高、环境污染小等突出优点,是绿色化工技术发展的主要方向,生物催化剂有很强的区域选择性和立体选择性,在常温常压下就能进行复杂的化学反应,避免了传统化学合成过程中高温高压等苛刻条件所造成的能耗大、污染重的问题^[5]。

医药化学品合成方面,生物催化技术有着很大的潜力。手性化合物属于药物分子的重要组成部分,不同对映异构体的药理活性以及毒副作用往往存在着区别,利用生物催化技术能够有效地完成单一对映异构体的合成工作,黎晓陶等研究了金属单原子复合催化剂在一步法生物化学反应中的应用,将各种催化功能融合起来,简化了反应过程并提高了效率。

生物化工技术在生物基材料领域有重大进展。以南京工业大学为主导的生物基聚氨酯项目,采用地沟油、棉籽油等非食用性油脂为原料,利用新型微化工技术研制出系列高性能生物基聚氨酯材料,实现了原料、过程和产品的全绿色化,该项目已经形成包括生物基聚氨酯特种结构胶、防腐涂料、建筑结构胶、电子灌封胶、软泡在内的五大类生物基聚氨酯新材料,被广泛应用于铁路隧道、西气东输、棚户区改造、医疗家居产品等各方面。

在CO₂资源化利用方面,生物化工技术给出新的解决途径,清华大学团队对百吨级的CO₂加氢绿色转化技术完成了中试试验,并且于2023年12月在齐齐哈尔开始实施世界首套工业示范性的绿色航煤合成项目,以生物质CO₂以及可再生绿氢为原料,可以达到航空飞行净零排放的要求。

2.3 绿色催化技术的应用

催化技术是化工生产的主要手段,据统计,90%以上的化工过程涉及催化技术,绿色催化技术是指利用高效、高选择性、环境友好的催化剂来实现反应过程的绿色化,绿色催化技术的主要目标就是提高原子经济性、减少副产物生成量和降低能耗及污染物排放。

新型催化材料的研发中,共价有机框架(COF)光催化剂取得重要进展,2024年朱为宏院士和张维伟特聘研究员团队研发出一种亲水脂肪链构筑的半导体共价有机框架光催化剂,该催化剂具备亲水性、结晶性、半导体性质“三合一”的特点,能够使电子传递、质子传递和分子传递过程高效进行,并从纯水中实现过氧化氢的高效绿色合成^[6]。该项技术体现了化工过程强化理论的新发展,有希望被用在其它光化学转换的绿色化工过程上。

在多相催化领域铁催化剂研究取得进展,

2024年,华中科技大学唐从辉课题组报道了一种稳定、可循环的多相铁催化剂用于烯丙位氧化制烯酮,使用空气或者氧气作为氧源,避免了传统方法中使用高价Cr等当量的环境不友好型氧化剂,为烯丙位碳氢键氧化提供了一个绿色可持续的方案,铁是地壳中含量丰富的金属元素,价格低廉、环境友好,开发铁基催化剂代替贵金属和有毒金属催化剂是绿色催化技术的发展方向。

分子筛催化领域中含磷ZSM-5分子筛的制备及应用得到很多人的研究。曹健等用晶种法直接水热合成含磷ZSM-5分子筛,并对它的芳构化性能进行了研究,为低碳烃类的高值化利用提供新的途径,石河子大学代斌教授团队研发出一种低压、低耗氢量双金属氮化镍钼催化剂,用草酸二甲酯加氢制乙醇的方法降低了反应能耗和氢气消耗,提高了过程的经济性和环境友好性。

2.4 过程强化技术的应用

过程强化技术通过创新的设备设计以及操作方式大幅度地提高化工过程的效率,减小设备体积和能耗,是实现化工生产绿色化的重要途径,过程强化技术的核心理念是在保证或提高生产能力的前提下,显著缩小设备体积,提高能量利用率,减少环境影响。

反应器设计上微化工技术有其独到之处,微反应器具有传质传热效率高、反应条件控制精确、安全性好等特点,尤其适合强放热反应和危险化学反应,南京工业大学采用新型微化工技术对生物基聚氨酯项目进行了工程化处理,产品性能达到甚至超过传统聚氨酯材料。

先进分离技术的应用使资源利用率明显提高,活性炭吸附工艺在VOCs治理和气体分离领域得到广泛应用,成本低、效率高、适用范围广,是目前应用最广泛的VOCs治理技术之一,膜分离技术、变压吸附技术、离子液体萃取技术等新的分离方法也在化工中被越来越多地运用到,能耗低、选择性好、环境友好等特性使其成为传统分离方法的替代品。

多技术耦合成为过程集成的主流。2024年,朱为宏院士团队创建起高通量自动化筛选融合流动合成分子纳米结光催化剂的新平台,把筛选、合成和优化的过程综合起来之后,极大提高了催化剂的研发效率。清华大学团队研发出钙钛矿-分子筛耦合催化体系来制备航空燃料CO₂加氢得到航空燃料,实现了高效转化和柔性合成。反应与分离结合在一起、反应与反应互相配合以及热能综合利用在化工生产当中被广泛应用,通过过程整合的方式可以大幅度地提高能量利用率,并且减少设备的投资及运营费用。

3 绿色化工技术发展的挑战和对策

3.1 存在的主要问题

绿色化工技术取得了很大的进展,但是在推广应用过程中仍然存在着很多问题,技术成本高。部分绿色化工技术初期投资大、运行成本高,企业采用意愿低;特别是中小企业面临资金压力,这是制约绿色技术应用的主要因素;技术成熟度不够,一些绿色化工技术还处于实验室或小试阶段,工业化应用存在风险,技术可靠性和稳定性有待进一步验证;标准体系不完善,绿色化工产品评价标准和认证体系还不健全,市场认可度不高,消费者无法分辨真正的绿色产品;人才短缺,既懂化工又懂环境、生物、材料等交叉学科知识的复合型人才缺乏,制约了绿色化工技术的创新与推广。

3.2 发展对策建议

对于以上问题提出如下对策建议,

加强政策引导和资金支持,政府应加大对绿色化工技术研发、产业化应用的财政补贴和税收优惠力度,设立专项资金支持企业进行绿色化改造,健全绿色金融政策来推动社会资本投资到绿色化工领域,建立健全绿色技术推广激励机制,对采用绿色技术的企业给予政策倾斜和市场准入便利。

强化产学研协同创新,构建企业、高校、科研院所共同攻关机制,加快绿色化工技术从实验室到工业化的转化速度,推动龙头企业创建绿色化工技术创新联盟来共享成果和技术经验,创建绿色化工技术中试基地与示范工程来减小技术转化的风险。

健全标准体系、认证制度,建立绿色化工产品评价标准、绿色工艺评价标准和绿色工厂评价标准,推行绿色产品认证和绿色制造体系认证,提高绿色化工产品的市场竞争力,加强

绿色产品的市场监管,打击虚假宣传以及“漂绿”行为,保证绿色市场的秩序。

加强人才的培养与引进,高校要优化化工专业课程设置,加强绿色化学、生物化工、催化化学等交叉学科教育,培养有绿色理念和创新精神的高素质人才,企业应该加大在职员工培训力度,引进高层次绿色化工技术人才,组建绿色技术创新团队。

4 结语

绿色化工技术是实现化工行业可持续发展的重要支撑,对推进化工产业转型升级、建设生态文明具有重大意义。本文对清洁生产技术、生物化工技术、绿色催化技术和过程强化技术在化工生产中的应用情况进行了系统的研究,总结出了一些典型的案例和技术进展。研究表明绿色化工技术的推广使用可以有效地降低化工生产所造成的环境压力,还可以提高资源利用效率、降低生产成本、增强企业竞争力,是化工行业实现高质量发展的必由之路。

展望未来,随着“双碳”战略的深入推进和环保法规的日趋严格,绿色化工技术的发展空间将更加广阔,催化技术将会朝高效化、定向化、智能化的方向发展,开发出更加高效的、稳定的、成本更低的催化剂;生物技术将在更多化学品合成领域得到应用,合成生物学的发展将会给生物化工技术提供新的工具和手段,过程强化技术将使化工生产向微型化、连续化、智能化方向转变,人工智能、大数据等新兴技术同绿色化工技术的融合将会加快绿色化工技术的创新与应用。化工企业应该抓住机遇加大绿色技术研发投入,推动生产方式绿色转型,为实现化工行业高质量发展、建设美丽中国作出更大贡献。

参考文献:

- [1] 许默,陈静. 化学工程工艺中的绿色化工关键技术研究 [J]. 中国石油和化工, 2024(5): 90-92.
- [2] 唐颖,吴晓丹,李乐忠,等. 富油煤原位热解地下加热技术及其高效工艺 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(12): 42-50.
- [3] 杨占奇,许明,张乐乐,等. CO₂ 近零排放的煤间接液化和 IGFC 集成系统 [J]. 洁净煤技术, 2023(1): 59-63.
- [4] 姚乃瑜,曹景沛,庞新博,等. 低阶煤热解挥发分热催化重整研究进展 [J]. 化工进展, 2024, 43(5): 2279-2293.
- [5] 陈曦,吴凤礼,樊飞宇,等. 生物催化技术制备手性酸医药化学品的研究进展 [J]. 合成化学, 2025, 33(2): 1-15.
- [6] 曹健,郝坤,邢梦姣,等. 晶种法直接水热合成含磷 ZSM-5 分子筛及其芳构化性能研究 [J]. 低碳化学与化工, 2024(6): 87-94.

作者简介: 卢宝华(1988.10—),男,汉族,山东省泰安市宁阳县华丰镇,大专,研究方向:绿色化工技术在化工生产中的应用与发展研究。