

化工工程工艺中的绿色化工技术研究

刘娟¹, 王健²

1. 山东安特检测有限公司, 山东 滨州 256500

2. 山东京博石油化工有限公司, 山东 滨州 256500

DOI: 10.61369/SSSD.2026070003

摘 要 : 新时代下, 越来越多化工企业认识到绿色化工技术在化工工程工艺中的重要作用, 并通过优化升级工艺和技术创新推动化工产业的可持续发展, 进而发挥出绿色化工技术在破解传统化工高污染、高能耗、高物耗困境的关键作用。基于此, 本文将浅析在化工工程工艺中应用绿色化工技术的必要性及具体应用, 并探讨化工工程工艺中的绿色化工技术应用的未来展望, 以期化工产业的绿色可持续发展提供一定参考。

关 键 词 : 化工工程; 化工工艺; 绿色化工技术

Research on Green Chemical Technology in Chemical Engineering and Processes

Liu Juan¹, Wang Jian²

1. Shandong Ante Testing Co., Ltd., Binzhou, Shandong 256500

2. Shandong Chambroad Petrochemicals Co., Ltd., Binzhou, Shandong 256500

Abstract : In the new era, a growing number of chemical enterprises have recognized the crucial role of green chemical technology in chemical engineering and processes. By optimizing and upgrading production processes and pursuing technological innovation, these enterprises are driving the sustainable development of the chemical industry. In turn, green chemical technology plays a key role in addressing the long-standing predicaments of high pollution, high energy consumption and high material consumption plaguing traditional chemical engineering. On this basis, this paper briefly analyzes the necessity and specific applications of green chemical technology in chemical engineering and processes, and discusses the future prospects of its application in this field, aiming to provide certain references for the green and sustainable development of the chemical industry.

Keywords : chemical engineering; chemical processes; green chemical technology

作为工业社会发展的核心支柱之一, 传统化工产业主要依赖化石等不可再生资源, 以此为原料, 采用高能耗、高温、高压的工艺进行产品生产。虽然其对社会经济发展作出了巨大贡献, 但其生产过程中污染物的排放, 也带来了日益严峻的环境问题。因此, 化工工程工艺转型升级成为必然趋势, 而绿色化工技术的出现, 为化工产业摆脱高污染、高能耗的困境提供了有效破解路径。

一、在化工工程工艺中应用绿色化工技术的必要性

(一) 减少有毒物质的生成

传统化工工程工艺存在原料利用率不高、反应副产物复杂等问题, 废水、废气、废渣等有毒物质的排放, 不仅会对环境造成污染, 还会对人类健康构成威胁。而应用绿色化工技术, 通过改良应用、催化体系及建立清洁生产流程, 能够大幅减少化工工程工艺中有毒物质的生产量。在原料选择环节, 借助绿色化工技术, 尽可能地选取低毒、无害、可再生的绿色原料, 从源头上降低污染^[1]。比如, 在满足化工工程工艺的基础上, 运用生物质原料替代石油基原料合成化学品, 采用纤维素、淀粉等天然高分子制备生物质基聚合物材料, 降低有毒物质排放, 且产物可自然降

解, 从而减轻化工工程生产过程中的环境负担。

(二) 提高资源的利用效率

长期以来, 化工生产主要依赖于石油、煤炭、天然气等不可再生的化石资源, 随着工业化进程的加速, 资源短缺问题日益突出。在化工工程工艺中应用绿色化工技术, 能够有效提高化工生产原料的利用率和降低生产成本。另外, 绿色化工技术作为一种创新型技术, 为化工产业转型提供了新的可能。例如, 通过对化工生产中的废料、余热等进行回收再利用, 能够实现对资源的梯级利用, 优化生产流程, 进而推动化工产业向可持续发展方向发展^[2]。同时, 绿色化工技术的研发与应用, 还有助于带动环保材料、可再生能源等相关产业的发展, 形成多元化的产业集群, 为我国社会经济的健康发展提供“绿色动力”。

二、化工工程工艺中的绿色化工技术的具体应用

（一）绿色清洁技术

绿色清洁技术是绿色化工技术的一种综合应用，旨在对传统化工生产工艺全流程进行优化与革新，减少化工工程工艺中的毒害物质和能源浪费，推动化工工程向精细化、绿色智能方向发展。在石油化工领域，化工厂通过部署 DCS、SIS 等智能系统，加强对化工工程工艺过程的监控力度，以提升控制回路投用率和生产效率，实现不良品率、生产成本的降低，以及污染排放物和能源消耗的减少^[3]。例如，某大型炼化企业在生产中，运用绿色清洁技术后，优化了催化裂化装置的反应条件和催化剂性能，原料转化率提升了5%以上，装置能耗降低了6%，每年减少的二氧化碳排放量相当于种植了数万棵树木。在精细化工领域，基于绿色清洁技术，通过选择无毒无害的溶剂和高效催化剂对传统合成工艺进行改进，既缩短了反应时间，又提高了产品收率，而且后续的环保处理成本也显著降低。

在煤化工领域，引入光能资源，建设分布式光伏系统，优先供给电解水制氢装置，以“绿电”制“绿氢”，改善煤化工工程中合成气氢碳比调节中有效气浪费、二氧化碳排放高等难题^[4]。此外，在煤化工废水处理环节，采用膜分离、高级氧化等绿色清洁技术，将处理后的中水回用于循环冷却系统和工艺用水，在减少了新鲜水资源消耗的同时，降低废水外排对环境的影响。

（二）绿色分离技术

产物分离与提纯是化工生产中的核心环节之一，蒸馏、萃取等传统分离技术不仅需要消耗大量热能、电能，还容易产生溶剂污染，且分离效率较低。绿色分离技术具有低能耗、无污染、高效分离的特点，能够对原料和副产物进行同时回收再利用，进一步提升了资源的利用率。目前，膜分离技术是较为常见且应用广泛的绿色分离技术之一，利用不同膜材料的选择性渗透实现混合物的分离与提纯，过程中不需借助其他溶液介质，能耗仅为传统分离技术的1/3至1/2，且无二次污染发生。针对水资源处理而言，反渗透膜技术可以去除化工生产过程中，化工废水中的有机物、重金属离子等污染物，从而再次利用该类废水^[5]。比如，某企业对磷石膏进行处理时，采用耦合多级逆流水洗与功能改性的集成分离装置，让磷石膏从原来的“粗放处理”转变为“精细利用”，有效解决了传统磷石膏堆放占地及渗水污染环境的问题。

在气体分离领域，膜分离技术也可用于化工尾气中有用气体的回收。比如，某企业采用膜分离技术回收高纯度制硅生产中的三氯氢硅等有用组分，实现工艺物料闭路循环，打破国外专利垄断，减少废气排放造成的环境污染及资源浪费^[6]。此外，在生产纯碱过程中，通过优化分离工艺，将碳酸盐尾气中二氧化碳浓度控制为1%–2%，能够实现每吨纯碱减少约20Nm³的二氧化碳排放量，达到了国际先进水平。

（三）绿色催化技术

传统化工生产中，多以重金属催化剂为主要处理方式，不仅催化效率低、副产物多，还回收困难、容易造成二次污染。当前，越来越多化工企业开始研发、应用高效、无毒、可回收的催

化剂。在有机合成与精细化工领域，某高校团队研发出了新型光热催化剂，这为绿色催化提供了新的可能。ZrCP/CNT 复合物将碳纳米管作为内嵌热源，Zr 配合物直接生长于表面包覆，不仅能够形成酸性催化位点，还能阻止热量散失，在不增加加热条件的情况下，利用光照实现糠醛高效转化为糠醇，催化效率高于常规的光催化与热催化体系。另一种 SPSS/DVB/CNT 复合材料，能够在室外日光下，10分钟内将超高浓度果糖脱水转化为5-羟甲基糠醛（HMF），产率高达85%以上，而且其反应速率也比传统工艺快4倍以上，大大降低了能耗及污染物排放量^[7]。

在石油化工领域，绿色催化技术广泛应用于石化工程中的炼制和精炼环节。比如，某石化企业利用智能工厂技术对自身整体生产工艺流程进行精准建模，并结合数字孪生技术，对催化反应装置进行优化，构建“实时生产动态—虚拟仿真分析—精准优化方案”的管理模式。这样大幅提升了催化效率，改善炼制及加工环节中的污染和能耗情况。同理，在焦化行业，通过优化催化反应与尾气处理协同工艺，焦粉的收集率达到了99%以上，并将包括硫化氢在内的有毒物质排放量控制在低于20毫克/立方米，低于国家标准的环保要求^[8]。

（四）生物技术

生物技术是绿色化生产技术的重要组成部分之一，在实际应用中具有高效性、低毒性和环保性的特点。因此，其在化工工程工艺中的应用具有较高的可行性。生物技术主要利用微生物、酶或动植物细胞等生物体系，进行物质的转化和合成，来代替传统化工工程工艺中较为繁杂的工序，以减少能源消耗。

在生物催化方面，酶是一种具有高专一性及低刺激性，能够在常温常压下应用的生物催化剂，而且可以有效降低能耗及副产物生成。例如，在医药中间体的合成中应用固定化酶技术即可实现连续化生产过程。在提高产品收率的同时，避免了以往化学催化过程中的重金属催化剂造成的污染问题。在生物转化过程中，利用微生物发酵工艺即可将可再生资源转化为高附加值化学品。如以玉米、甘蔗等为原料，通过微生物发酵制取乙醇、丁醇等生物燃料，这样一来，不仅减少了对石油能源的依赖性，并且这种燃料在燃烧过程中产生的二氧化碳还能被植物的光合作用吸收掉，形成碳循环，从而达到降低温室气体排放的效果^[9]。此外，在环境保护方面也离不开生物技术的应用，比如可以利用转基因技术培育高效的有机物分解菌，用于快速降解化工废水中有毒物质，提高废水处理效率，降低其处理成本，为化工产业的绿色转型提供强有力的技术支撑。

三、化工工程工艺中的绿色化工技术应用的未来展望

（一）聚焦技术创新，突破关键瓶颈

新时代下，经济发展与环境保护对化工工程工艺的更新与升级提出了更高的要求。对此，绿色化工技术的创新应聚焦减量化、再利用、资源化等原则，突破关键瓶颈，促进环保效益与经济效益的同步提升。一方面，要加大基础研究投入，加强科研院所和化工企业的合作，攻克如绿色催化剂的稳定性、膜分离技术

的长周期运行、提升生物转化效率等关键技术问题。另一方面，要建立健全技术创新激励机制，对在绿色化工技术研发、应用中取得重大突破的单位和个人给予政策支持与资金奖励，营造积极向上的创新氛围^[10]。同时，加强产学研用深度融合，推动实验室成果向工业化生产转化，缩短技术创新从研发到应用之间的周期，确保新技术能够在最短的时间内体现出其价值所在。

（二）加速绿色转型，构建循环链条

在研发阶段，优先考虑原料的环保性、可再生性及可降解性，避免使用有毒有害原料，减少产品在使用和废弃过程中对环境的污染。例如，在高分子材料领域，为降低白色污染，采用可降解塑料、生物基材料等绿色产品，逐步替代传统不可降解塑料。在生产阶段，构建上下游产业的协同联动的“循环化工园区”。旨在通过资源整合、技术协同，实现能源梯级利用、物料循环利用，形成循环共生的产业生态。在废弃处理阶段，绿色化工技术将实现无害化与资源化的有机融合，从源头上改变传统化工工程工艺以高消耗、高排放支持高产量的线性发展模式，推动化工产业绿色转型。

（三）引入数智技术，加强精准管控

在化工工程工艺中引入数智技术，可以对生产过程进行全方

位监测和有效调控，从而优化生产流程，减少能源消耗以及有毒气体排放量。比如，将传感设备和网络通信设备安装到化工生产设备当中，收集生产过程中的温度、压强、流量、毒气浓度等数据。然后，利用大数据技术、人工智能建立仿真模型，精准找到哪个环节能源消耗高、哪个环节污染量大，并自动优化工艺技术参数到最佳运行模式，使化工工程工艺从经验驱动转变为数据驱动，全面提升绿色化工技术的精细化管理和智能化水平。

四、结语

综上所述，绿色化工技术在化工工程工艺中的应用，不仅有效实现了环境保护与生产效能的和谐发展的目标，还改变了传统化工的发展模式，未来，随着技术创新、循环链条、精准管控等层面的不断完善，绿色化工技术将促使化工工程工艺进一步转型升级，在促进循环经济发展的同时，实现资源的高效利用，为“双碳”目标的实现提供有力支撑。

参考文献

[1] 朱树镇, 闫永, 吴立剑. 化工工程工艺中绿色化工关键技术研究 [J]. 塑料包装, 2025, 35(03): 66-69.
[2] 夏虎, 孙举兰. 化工工程中的绿色生产工艺与可持续发展研究 [J]. 华东纸业, 2025, 55(03): 20-22.
[3] 赵涛. 绿色化工技术在精细化工中的应用探究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(24): 190-192.
[4] 张扬. 绿色化工技术在化学工程工艺中的应用探究 [J]. 石化技术, 2024, 31(09): 282-284.
[5] 王聪. 绿色化工技术在化学工程工艺中的应用研究 [J]. 化纤与纺织技术, 2024, 53(08): 82-84.
[6] 周恩生. 绿色化工技术在化工工程工艺中的应用 [J]. 清洗世界, 2024, 40(07): 58-60.
[7] 盛艳. 化工工程工艺中的绿色化工关键技术分析 [J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(07): 22-24.
[8] 董娜, 张峰, 刘龙涛. 化学工程与工艺中绿色化工技术的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(18): 166-168.
[9] 路文利. 绿色化工技术与绿色化工设计的相关问题研究和工艺危害 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(05): 181-183.
[10] 曾志鹏, 叶海涛. 绿色化工技术在化学工程中的发展策略 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(02): 138-140+204.