

Improve the production process of the traditional chemical products by using the green chemical process

Ru Zeng

Heze Small and Medium Sized Enterprise Development Promotion Center, Heze, Shandong, 274000, China

Abstract

This paper systematically discusses the application path of the green chemical process in the improvement of the traditional chemical production process. By analyzing the limitations of traditional chemical industry in raw material selection, reaction process, separation and purification, and product post-processing, solutions such as replacing fossil resources with bio-based raw materials, developing green catalysts, optimizing reaction conditions, and innovating separation technology are proposed. The key technologies such as biomass conversion, non-thermodynamic driving process and resource recycling are expounded, and emphasize the design from the source to reduce pollution and improve resource efficiency. At the same time, biodegradable materials and chemical recycling strategies are proposed for the packaging link to promote the green transformation of the whole life cycle.

Keywords

green chemical process; production process optimization; bio-based raw materials; clean production; circular economy

利用绿色化学工艺改进传统化工产品的生产流程

曾茹

菏泽市中小企业发展促进中心, 中国 · 山东 菏泽 274000

摘 要

本文系统探讨绿色化学工艺在改进传统化工生产流程中的应用路径。通过分析传统化工在原料选择、反应过程、分离纯化及产品后处理等环节的局限性, 提出以生物基原料替代化石资源、开发绿色催化剂、优化反应条件、创新分离技术等解决方案。重点阐述了生物质转化、非热力学驱动工艺、资源循环利用等关键技术, 强调从源头设计减少污染并提升资源效率。同时, 针对包装环节提出可降解材料与化学回收策略, 推动全生命周期绿色化转型。

关键词

绿色化学工艺; 生产流程优化; 生物基原料; 清洁生产; 循环经济

1 引言

随着全球工业化进程的加速, 传统化工行业在推动经济发展的同时也面临着资源过度消耗、环境污染加剧和能源效率低下等严峻挑战。以石油、煤炭为基础的原料体系, 高能耗、高排放的反应工艺, 以及末端治理为主的污染控制模式, 使得化工生产与生态环境之间的矛盾日益突出。据联合国环境规划署统计, 化工行业贡献了全球约 10% 的温室气体排放和 20% 的工业废水排放, 且大量有毒有害副产物的累积对生态系统和人类健康构成潜在威胁。在此背景下, 绿色化学工艺成为破解传统化工困局的关键突破口, 此类工艺的革新并非单一技术的叠加, 而是从原料选择、反应过程到产品全生命周期的系统性优化。与传统工艺相比, 其核心在于通过源头设计减少或消除有害物质的使用与生成, 同

时提升资源利用效率^[1]。绿色化学工艺不仅契合“双碳”目标下的可持续发展需求, 更通过降低能耗、减少废弃物产生和提升产品附加值, 为化工行业开辟了经济与环保双赢的新路径。

2 原料选择与预处理

2.1 传统原料的局限性

传统化工生产长期依赖石油、煤炭等不可再生资源作为原料主体, 这类化石基原料在加工过程中会消耗大量能源, 同时伴随温室气体与有毒副产物的排放。以聚乙烯生产为例, 每吨产品需消耗 1.5 吨原油, 并释放 3 吨二氧化碳, 其全生命周期碳足迹远超生物基替代品。更严重的是, 传统原料中常含有重金属催化剂、卤素化合物等有害成分, 例如氯碱工业中汞催化剂的使用, 导致土壤与水体污染风险激增^[2]。化石资源的不可再生性加剧了供应链脆弱性, 2022 年国际能源署报告指出, 石油化工原料价格波动对下游产业利润的侵蚀幅度高达 15%, 进一步暴露了传统原料体系的

【作者简介】曾茹 (1987-), 女, 中国山东菏泽人, 本科, 工程师, 从事化学技术应用研究。

不可持续性。

2.2 绿色原料的开发与应用

绿色原料的开发需从源头重构化工产品的物质基础。在塑料领域,将玉米淀粉、纤维素等生物质通过水解、发酵等工艺转化为聚乳酸(PLA)等可降解高分子,替代石油基聚乙烯,既能减少化石资源依赖,又使产品在自然环境中快速分解。涂料行业通过植物油改性技术,将大豆油中的不饱和脂肪酸转化为环氧树脂,替代含苯环的传统树脂,既保留涂层的耐磨性,又消除有毒挥发物。橡胶制品中引入天然乳胶与生物基增塑剂共混,可在保持弹性的同时避免邻苯二甲酸酯类塑化剂的健康风险。关键技术在于设计生物质原料的定向转化路径,例如利用酶催化选择性切断木质素结构,高效提取高纯度化工单体,从而降低生产能耗与废物排放。

2.3 预处理工艺的绿色化改进

预处理工艺的革新需围绕能耗最小化与污染源头控制展开。技术层面重点发展非热力学驱动的分选方法,例如基于分子尺寸与极性差异的膜分离技术,或利用生物酶、光催化等特异性反应实现杂质定向去除,替代传统高温蒸馏与化学溶剂萃取。工艺优化需引入过程强化策略,通过微流控、场协同(如超声波-微波耦合)等手段提升传质效率,缩短处理时间并降低能耗强度。智能化控制系统的嵌入可进一步提升稳定性,例如通过在线传感器实时监测原料组分变化,动态调整压力、温度等参数,实现预处理过程的自适应调控。设备设计上应推进模块化与紧凑化,集成分离、纯化与杂质资源化单元,形成零废物排放的闭环预处理体系,从源头削减后续生产环节的环境负荷。

3 反应过程优化

3.1 传统反应过程的缺陷

传统化工反应过程长期受制于高能耗、低效率与环境污染的桎梏。以乙烯氯化法制备氯乙烯为例,其反应温度需维持在200℃以上,能耗占生产总成本的35%,且副产物二噁英的生成率高达0.5%,导致后续处理成本激增。石油催化裂化过程中,重金属催化剂失活后产生大量固体废弃物,全球每年因此产生的废催化剂超过200万吨,其中仅30%可回收利用。更严峻的是,传统间歇式反应器的低传质效率导致反应周期延长,例如抗生素生产中,单批次反应耗时长达48小时,设备利用率不足60%。

3.2 绿色催化剂的开发与应用

在分子设计层面,通过调控活性位点的空间构型与电子结构,构建高选择性催化体系。举例来讲,在聚烯烃生产中,采用茂金属催化剂精准控制聚合物链支化度,使产品抗冲击强度提升30%的同时减少15%的原料消耗。制备工艺上,重点发展原子级精准合成技术,如通过溶胶-凝胶法构筑多级孔道结构的纳米催化剂,使加氢反应的传质效率提高2倍,催化剂寿命延长至传统载体的5倍^[3]。应用策略需匹配反应工程特性,针对连续流反应器开发固定化酶催化剂,

将生物柴油生产的反应温度从60℃降至40℃,能耗降低50%。稳定性强化是产业化关键,通过表面包覆技术抑制催化剂烧结失活,延长甲醇制烯烃装置的单次运行周期。这类创新从原子尺度到工程尺度贯通优化,为化工生产提供了高效、清洁的反应解决方案。

3.3 反应条件的绿色化改进

反应条件的优化需通过溶剂创新、设备升级与工艺协同实现系统性改进。绿色溶剂的开发应聚焦低毒、可回收特性。采用超临界二氧化碳替代传统有机溶剂,利用其高扩散性加速聚合物单体渗透来缩短发泡反应时间,同时消除发泡剂添加需求,VOCs排放削减90%以上。反应温度控制通过新型传热介质实现突破,例如离子液体作为反应介质时,其高热稳定性将烷基化反应温度从80℃降至40℃,反应器腐蚀率降低95%。在设备层面,推广微反应技术,借助毫米级流道强化传质传热效率,提高硝化反应收率,同时将热失控风险控制在合理区间。工艺集成上构建溶剂循环系统,通过膜分离与蒸馏耦合实现溶剂回收率超99%,使每吨染料生产的溶剂消耗量减少1.2吨。

4 分离与纯化

4.1 传统分离工艺的弊端

传统化工分离技术的高能耗与低效率问题已成为制约行业绿色转型的主要瓶颈。以原油蒸馏为例,其通过多级加热实现组分分离,能耗占炼油厂总能耗的40%以上,且塔顶冷凝系统产生的含硫废水治理成本高昂。溶剂萃取工艺中,苯、氯仿等有机溶剂的使用导致VOCs排放量居高不下,某农药厂数据显示,每吨产品萃取环节释放的挥发性有机物达12千克,占全流程排放总量的65%。更严峻的是,传统工艺对复杂体系的分离精度不足,例如,锂辉石提锂过程中,钠、钾等杂质离子的残留率超过5%,直接影响电池级碳酸锂的纯度。

4.2 绿色分离技术的应用

绿色分离技术的实施应围绕化工产品特性构建精准分离体系。核心路径包括开发高选择性分离介质,例如设计孔径梯度分布的复合膜材料,通过分子尺寸与极性的双重筛分效应,实现混合物中目标成分的高效捕获;针对热敏性产品,采用超临界流体动态萃取技术,利用温度-压力协同调控溶解能力,在温和条件下完成活性成分提纯。工艺集成上推进连续化分离流程,将膜分离与吸附单元串联,形成多级纯化网络,替代传统间歇式蒸馏操作。智能化控制系统的嵌入进一步优化分离效率,通过在线光谱实时监测组分浓度,动态调节跨膜压差或吸附剂再生周期,使分离精度与能耗效率同步提升。此类技术通过分子识别、过程强化与系统调控的协同创新,为化工生产提供了清洁高效的分离解决方案。

4.3 资源回收与循环利用

化工生产中的资源循环体系需以过程耦合与物质再生为核心设计原则。针对溶剂消耗环节,开发原位再生技术,

在反应器中嵌入分子筛动态吸附模块,实现溶剂的连续净化与回用,避免传统蒸馏再生带来的高能耗问题^[4]。对于高分子材料废弃物,构建解聚-再聚合联产系统,通过定向催化将废塑料裂解为单体,直接输送至聚合工段生成新原料,形成闭环生产链条。金属资源回收则聚焦反应和分离的一体化设计,在电化学合成过程中同步沉积贵金属微粒,经表面活化后作为催化剂原位回用,消除传统湿法冶金的环境风险。系统层面推动跨工序物料协同,例如将废水中的有机副产物经膜分离富集后作为燃料供给热能系统,实现废弃物的能量-物质双重复用。这种从单元操作到系统集成多级循环策略,将分离技术转化为资源再生的核心驱动力,重构化工生产的可持续边界。

5 产品后处理与包装

5.1 传统后处理工艺的不足

传统化工产品后处理环节的高能耗与污染问题长期被忽视。以喷雾干燥为例,每吨粉末产品需消耗1.2吨蒸汽,碳排放强度达0.8吨CO₂当量,且尾气中PM_{2.5}浓度超标现象普遍。化肥造粒工艺中,高温熔融过程导致氨挥发损失率高达15%,某复合肥厂数据显示,每年因氨逸散造成的经济损失超过2000万元。包装环节的不可持续问题同样突出:聚乙烯、聚丙烯等塑料包装材料占化工产品总质量的20%~30%,但全球仅9%的塑料包装被有效回收,余下部分通过填埋或焚烧处理,释放二噁英等持久性污染物。

5.2 绿色后处理技术的创新

绿色后处理技术的目的是能耗削减和过程清洁化。开发非热力学驱动的干燥技术,例如利用微波选择性加热原理,通过调控电磁场频率匹配物料介电特性,实现含水率精准控制的同时减少50%以上热能消耗。造粒工艺革新聚焦超临界流体技术,以惰性气体为介质构建微米级雾化环境,在常温下完成药物微球的成型与包衣,避免传统熔融工艺导致的活性成分降解。在表面改性领域,推广冷等离子体技术,通过高能粒子轰击引发材料表面定向官能化反应,替代化学镀膜工艺中的溶剂使用与重金属污染。工艺链重构上推行模块化集成装备,将干燥、造粒与改性工序串联为连续化生产线,在压缩设备占地面积的同时提升产品批次一致性。

5.3 绿色包装材料的开发

可降解与可循环包装材料的兴起,标志着绿色化学向终端消费环节的延伸。聚羟基脂肪酸酯(PHA)因其海洋环境下降解周期仅需6个月的特性,成为替代传统塑料的优选。美国Danimer Scientific公司开发的PHA食品包装膜,在堆肥条件下28天即可完全降解,抗拉强度较聚乙烯提升20%。在循环经济领域,化学回收技术赋予塑料包装“闭环再生”能力,法国Carbios公司利用工程酶解聚PET塑料,单次回收率高达97%,较机械回收法减少50%性能损失,可口可乐公司已基于此技术推出100%再生PET瓶。生物基复合材料则开辟了轻量化与低碳化协同路径。荷兰Avantium公司的植物基PEF材料,以糠醛为原料生产的矿泉水瓶,碳足迹较PET瓶减少70%,氧气阻隔性提升6倍。国际包装协会数据显示,2023年绿色包装材料市场规模突破1800亿美元,年增长率达24%,印证了技术革新与市场需求的共振效应。

6 结语

本文系统探讨了绿色化学工艺对传统化工生产流程的革新路径,揭示了其在资源节约、污染削减与能效提升中的关键作用。通过重构原料体系、优化反应过程、创新分离技术及开发绿色包装,绿色化学不仅破解了环境约束与产业发展的矛盾,更驱动了化工行业向低碳循环模式转型。未来研究需聚焦三个方向:一是开发高效、稳定的多功能催化剂以突破复杂反应的瓶颈;二是推进生物质原料的高值化与智能化转化技术;三是构建跨产业链的循环网络,实现物质流与能量流的深度耦合。

参考文献

- [1] 韦剑辉.绿色化学工程与工艺对化学工业的促进作用[J].化工设计通讯,2018.
- [2] 黄峙峰.化学工程节能中绿色化学工程工艺的促进作用[J].Engineering Science Research & Application, 2022, 3(2).
- [3] 刘刚.浅议绿色化工技术在化学工程工艺中的应用[J].工业B, 2015(9):80-80.
- [4] 李慧.绿色化学工艺的开发与应用[J].化工设计通讯,2018, 44(9):1.