

# 化工工艺创新与绿色化工发展策略

马巧敏<sup>1</sup> 吕海俊<sup>2</sup> 周旋<sup>2</sup>

1. 浙江博聚新材料有限公司 浙江 丽水 323000

2. 浙江宏德丽新材料有限公司 浙江 丽水 323000

**摘要:** 随着全球对环境保护和可持续发展的关注度不断提升,化工行业面临着前所未有的挑战与机遇。化工工艺创新成为行业突破困境的关键驱动力,涵盖新型反应路径、先进分离技术等,能显著提升生产效能与资源利用率。而绿色化工发展则是必然趋势,旨在从源头削减污染。本文深入探讨化工工艺创新对绿色化工的支撑作用,并提出完善政策体系、强化企业创新主体等发展策略,推动化工行业绿色转型。

**关键词:** 化工工艺创新;绿色化工;发展策略

引言:在当今社会,经济快速发展与环境保护的矛盾日益凸显,化工行业作为重要的基础产业,其发展模式备受关注。传统化工生产方式往往伴随着高能耗、高污染等问题,给生态环境带来巨大压力。在此背景下,化工工艺创新成为行业可持续发展的核心要素,它不仅能够提高生产效率、降低成本,还能从技术层面减少污染物的产生。而绿色化工发展理念应运而生,为化工行业指明了新的方向,探索二者协同发展策略具有重要的现实意义。

## 1 文献综述与理论基础

### 1.1 国内外研究现状

(1) 化工工艺创新的技术路径。催化技术是工艺革新核心方向,国内外聚焦高效催化剂研发,如新型分子筛催化剂提升反应转化率,降低能耗;生物技术则推动生物基化学品合成,利用酶催化实现温和条件下的绿色转化,部分技术已实现工业化应用。此外,膜分离、超临界流体萃取等耦合技术,也成为优化传统化工流程的重要手段。(2) 绿色化工的发展模式。循环经济模式强调资源闭环流动,通过副产品再利用、废弃物资源化,构建化工产业生态链;清洁生产模式聚焦源头减污,从原料选择、工艺设计到末端治理全流程控制污染物排放。欧美国家已形成成熟的绿色化工园区运营体系,国内则在政策驱动下加速模式落地。

### 1.2 理论基础

(1) 可持续发展理论。该理论强调经济、环境与社会协调发展,为绿色化工提供顶层指导,要求化工产业

在满足当代需求的同时,不损害后代发展权益。(2) 工业生态学与生命周期评价(LCA)。工业生态学将产业系统视为生态系统,通过物质能量优化配置实现产业共生;LCA则量化化工产品全生命周期的环境影响,为绿色工艺筛选提供科学依据。(3) 绿色化学的12条原则。从源头预防污染、原子经济性等核心原则出发,为化工工艺创新和产品设计提供具体准则,是绿色化工发展的理论基石。

## 2 化工工艺创新的技术路径分析

### 2.1 传统工艺的局限性

(1) 资源利用率低、废弃物排放量大。传统化工工艺设计多聚焦于目标产物的获取,对反应过程中的资源转化效率关注度不足,普遍存在原料转化率低、副产物比例高的问题。大量未充分利用的原料与副产物直接排放,不仅造成资源浪费,还会产生废水、废气、废渣等污染物,加重生态环境承载压力。例如,传统煤化工中的合成氨工艺,原料气转化效率仅为60%-70%,剩余尾气与反应废渣需额外投入成本进行处理,环境治理负担较重<sup>[1]</sup>。(2) 依赖化石能源与不可再生原料。长期以来,传统化工产业以煤炭、石油、天然气等化石能源为核心原料,这类资源具有不可再生性,随着开采强度的不断加大,面临储量锐减、开采成本攀升的困境。同时,化石原料的组分复杂,后续加工过程需消耗大量能源进行分离提纯,进一步加剧了能源短缺问题,也导致产品碳足迹较高,与绿色低碳发展理念相悖。

### 2.2 创新方向与关键技术

(1) 原子经济性反应:减少副产物生成。原子经济性反应是绿色化工工艺创新的核心方向之一,其核心目标是最大化原料原子向目标产物的转化效率,从源头减少副产物生成。其中,点击化学作为典型的原子经济性

**通讯作者:** 吕海俊,1988年05月22日生,2011年毕业于金华职业技术学院,现就职于浙江宏德丽新材料有限公司。主要从事生产技术。

反应技术, 凭借反应条件温和、选择性高、副产物极少等优势, 在药物合成、材料制备等领域广泛应用。例如, 在新型高分子材料合成中, 通过点击化学的叠氮-炔环加成反应, 原料原子利用率接近100%, 大幅降低了废弃物排放, 同时简化了产物分离提纯流程, 提升了生产效率。(2) 生物催化技术: 酶工程替代传统催化剂。生物催化技术以酶为核心催化剂, 相较于传统化学催化剂, 具有高效性、高选择性、反应条件温和(常温常压、中性pH)等显著优势, 可有效降低反应能耗与污染物排放。通过酶工程技术对天然酶进行改造, 如定点突变、定向进化等, 能够进一步提升酶的稳定性、底物适用性与催化活性, 实现对传统化工催化剂的高效替代。目前, 该技术已在生物柴油合成、医药中间体制备等领域实现工业化应用, 例如利用脂肪酶催化植物油酯交换反应制备生物柴油, 相较于传统酸碱催化法, 不仅反应效率提升30%以上, 还避免了大量酸性废水的产生。(3) 过程强化技术: 微反应器、超临界流体技术。过程强化技术通过优化反应装置结构与反应介质, 实现化工过程的高效化、紧凑化与绿色化。微反应器凭借内部微小的通道结构, 大幅增加了气液固相间的接触面积, 提升了传质传热效率, 可显著缩短反应时间、提高反应选择性, 同时反应器体积小、持液量少, 降低了反应风险与废弃物排放量。超临界流体技术则以超临界CO<sub>2</sub>等绿色流体为反应介质, 兼具气体的高扩散性与液体的高溶解性, 可替代传统有机溶剂, 减少挥发性有机污染物排放, 在萃取分离、精细化工合成等领域展现出良好的应用前景<sup>[2]</sup>。(4) 数字化与智能化: AI优化工艺参数、数字孪生技术。数字化与智能化技术为化工工艺创新提供了全新的技术支撑。借助人工智能算法, 可对化工工艺的海量运行数据进行深度挖掘与分析, 精准优化反应温度、压力、原料配比等关键参数, 提升工艺稳定性与产品质量合格率。数字孪生技术则通过构建虚拟的工艺模型, 实现对实际生产过程的实时映射、模拟仿真与预测预警, 能够提前发现工艺潜在问题并优化流程设计。例如, 在大型石化装置中, 通过AI与数字孪生技术的结合, 可使工艺能耗降低5%-10%, 原料转化率提升3%-5%, 显著提升了产业的绿色化与高效化水平。

### 3 绿色化工发展的核心策略

#### 3.1 政策与制度驱动

(1) 碳交易市场与绿色税收政策。碳交易市场通过市场化手段将碳排放成本内部化, 倒逼化工企业降低碳排放量, 推动绿色低碳技术的研发与应用。企业可通过节能减排获得碳配额盈余并参与交易获利, 形成“减排增收”的正向激励机制。绿色税收政策则通过对高污染、

高耗能化工产品征收高额环境税, 对绿色化工产品实行税收减免或返还, 引导企业调整产品结构与生产模式, 从源头践行绿色发展理念。目前, 国内外已逐步完善碳交易与绿色税收联动机制, 为绿色化工发展筑牢政策保障。(2) 环保法规的强制约束与激励措施。健全的环保法规是绿色化工发展的刚性保障, 通过明确污染物排放标准、划定生态红线, 对超标排放企业实施罚款、停产整顿等严厉处罚, 倒逼企业落实环保主体责任。同时, 配套的激励措施如绿色信贷、政府补贴、评优评先等, 为企业开展绿色技术改造、建设清洁生产项目提供资金与政策支持, 有效降低企业绿色转型成本, 激发企业参与绿色发展的主动性与积极性。

#### 3.2 产业链协同创新

(1) 上游: 可再生原料供应体系构建。聚焦生物质、CO<sub>2</sub>等可再生资源的高效利用, 构建稳定的绿色原料供应体系。一方面, 加大生物质原料培育与规模化种植力度, 推动秸秆、林业废弃物、微生物多糖等生物质资源的工业化转化; 另一方面, 攻关CO<sub>2</sub>捕获、分离与转化技术, 将其作为原料用于合成甲醇、聚碳酸酯等化工产品, 实现“碳减排”与“资源循环”的双重目标, 从源头破解传统化工对化石原料的依赖。(2) 中游: 清洁生产技术与装备升级。中游生产环节是绿色化工转型的核心战场, 重点推进清洁生产技术与装备的迭代升级。推广催化氧化、膜分离、超临界流体等高效清洁技术, 替代传统高污染、高耗能工艺; 研发并应用智能化、精准化生产装备, 提升工艺控制精度, 减少生产过程中的资源浪费与污染物排放。同时, 鼓励企业开展工艺集成创新, 实现多流程协同优化, 提升整体生产效率与绿色化水平<sup>[3]</sup>。(3) 下游: 废弃物资源化与闭环循环。构建“废弃物—再生资源”的闭环循环体系, 推动下游废弃物的高效资源化利用。对生产过程中产生的废水、废气、废渣进行分类处理与深度回收, 如废水处理回用、废渣提取有价金属、废气净化后回收利用等; 鼓励下游企业与上游、中游企业建立协同合作机制, 将自身废弃物作为上游企业的原料, 实现产业链内资源的循环流动, 最大化提升资源利用率。

#### 3.3 企业主体作用

(1) ESG(环境、社会、治理)管理体系建设。企业将ESG理念融入发展战略与日常运营, 建立涵盖环境绩效、社会责任、公司治理的全维度管理体系。通过设定明确的碳减排、污染物减排目标, 加强供应链环境管理, 保障员工权益与社区福祉, 提升企业可持续发展能力。同时, 主动披露ESG信息, 接受社会监督, 树立绿色企业形象, 增强市场竞争力。(2) 绿色技术创新投入与

产学研合作模式。加大绿色技术研发资金投入,组建专业研发团队,聚焦关键核心绿色技术攻关。积极与高校、科研院所建立产学研合作机制,依托科研机构的技术优势与企业的产业化能力,加速绿色技术的研发、中试与工业化转化。例如,通过共建联合实验室、开展技术委托开发等模式,破解绿色技术转化“最后一公里”难题,提升企业核心技术竞争力<sup>[4]</sup>。

### 3.4 国际合作与标准对接

(1) 参与国际绿色化工标准制定。主动参与REACH、RoHS等国际绿色化工标准的制定与修订过程,积极发声表达我国产业诉求,推动形成公平合理、兼顾发展中国家利益的国际标准体系。同时,加快国内绿色化工标准与国际标准对接,提升我国化工产品的国际认可度,打破国际贸易中的绿色技术壁垒,拓展绿色化工产品的国际市场空间。(2) 引进先进技术与管理经验。秉持开放合作理念,积极引进国际先进的绿色化工技术、装备与管理经验,结合我国化工产业实际进行消化吸收再创新,缩短技术研发周期,提升产业绿色化水平。通过国际技术交流、合作研发、外资引进等方式,搭建国际化绿色技术合作平台,推动我国绿色化工产业与国际先进水平接轨,实现高质量发展。

## 4 绿色化工发展的挑战与对策建议

### 4.1 主要挑战

(1) 技术成本高与市场接受度低。绿色化工技术多处于研发或产业化初期,催化剂制备、设备改造等前期投入大,导致绿色化工产品生产成本高于传统产品。受价格因素影响,市场对绿色化工产品的接受度偏低,企业盈利空间受限,进一步制约了绿色技术的推广与迭代。(2) 标准体系不完善与监管滞后。当前绿色化工领域的标准体系尚未完全覆盖全产业链,部分细分领域缺乏统一的绿色评价指标与认证规范。同时,监管机制存在滞后性,对新兴绿色化工技术与产品的监管流程不健全,易出现监管真空或重复监管,影响产业规范化发展。(3) 人才短缺与跨学科融合困难。绿色化工发展需融合化工、环境、生物、数字技术等多学科知识,复合型人才储备不足。传统化工人才培养体系侧重单一学科,跨学科教育机制缺失,导致人才供给难以匹配产业发展需求,阻碍了跨领域绿色技术创新。

### 4.2 对策建议

(1) 加大财政补贴与绿色金融支持。设立绿色化工专项财政补贴,对绿色技术研发、生产线改造项目给予资金扶持;完善绿色金融体系,推广绿色信贷、绿色债券等产品,降低企业融资成本。同时,通过政府引导基金带动社会资本投入,构建多元化资金支持机制,缓解企业成本压力。(2) 建立全生命周期评价体系与碳足迹认证。构建覆盖原料获取、生产加工、产品使用、废弃物处置全流程的绿色评价体系,明确统一的评价指标与认证标准。推行强制性碳足迹认证制度,将评价与认证结果纳入企业考核体系,倒逼企业落实绿色发展责任,填补监管空白<sup>[5]</sup>。(3) 培养复合型化工人才与公众环保意识。高校优化人才培养方案,增设跨学科专业方向,建立产学研协同育人机制,提升人才实践能力。通过科普宣传、公益活动等形式普及绿色化工知识,提升公众环保意识,引导消费者优先选择绿色化工产品,扩大市场需求,形成产业发展与公众参与的良性互动。

### 结束语

化工工艺创新与绿色化工发展是化工行业顺应时代潮流、实现可持续发展的必由之路。工艺创新为绿色化工提供了坚实的技术支撑,推动着化工生产向高效、清洁、低碳方向转变。而绿色化工发展策略的落实,能促使化工行业与生态环境和谐共生。未来,我们需持续加大工艺创新投入,完善政策保障体系,强化企业绿色发展主体责任。各方协同共进,定能让化工行业在新时代焕发出绿色生机,为经济社会高质量发展贡献力量。

### 参考文献

- [1]张瑞喆.基于不同创新方法的化工工程工艺创新研究[J].工程建设与设计,2024,(18):67-69.
- [2]徐环斐.基于不同创新方法的化工工艺创新研究[J].山东化工,2022,51(17):86-87.
- [3]桂成元.化工工艺中常见的节能降耗技术对策[J].现代营销(经营版),2019,(11):54-56.
- [4]杨忠萍.浅谈绿色化学工艺的开发与运用[J].冶金管理,2021,(17):175-176.
- [5]董宏祯.探究化工生产工艺中绿色化工技术的开发与应用[J].当代化工研究,2020,(22):109-110.