

# 试析化工工程工艺中的绿色化工技术

陈祥树 张飞祥

北京航天石化技术装备工程有限公司 北京 100176

**摘要:**绿色化工技术是化工行业绿色转型的核心支撑,以“减量化、无害化、资源化”为核心目标。本文基于其资源-环境-经济三维统一内涵,阐述预防优先、原子经济性等原则,对比其与传统技术的理念及工艺差异。重点分析清洁生产、生物化工、绿色催化、膜分离等四类关键技术的特性,论证其应用价值,可从源头控污、通过循环模式提效、依托工艺优化节能。该技术打破传统发展瓶颈,推动化工行业实现环境效益与经济效益的协同提升,助力可持续发展。

**关键词:**化工工程工艺;绿色化工技术;关键类型与应用;应用优势

引言:化工行业作为工业体系的重要支柱,在满足社会物质需求的同时,传统工艺带来的环境污染、资源浪费与能源短缺问题日益突出,制约行业长远发展。传统化工以经济效益为首要目标,依赖有毒原料与苛刻反应条件,污染物排放量大且资源利用率低,形成“先生产、后治理”的被动模式。本文旨在探讨绿色化工技术的理论基础与关键类型,剖析其应用优势,为化工行业绿色转型提供参考。

## 1 化工工程工艺中绿色化工技术的理论基础

### 1.1 绿色化工技术的定义与内涵

绿色化工技术又称环境友好化工技术,是在化工产品全生命周期中,以“减量化、无害化、资源化”为目标,融合多学科知识,通过工艺优化、原料筛选等手段,减少污染物排放与资源消耗,实现生产与环境协调发展的技术体系。其内涵体现为资源、环境、经济三维统一,突破传统“先生产、后治理”模式,将环保理念贯穿全程。

### 1.2 绿色化工技术的原则

绿色化工技术遵循系统原则,核心包括预防优先、原子经济性、低毒低害、能源高效利用及循环利用。预防优先强调从源头控制污染,而非末端治理;原子经济性追求原料原子全转化为目标产物,提升资源利用率;低毒低害原则贯穿全生命周期,保障人体与环境安全;能源高效利用通过工艺优化与清洁能源开发降低能耗;循环利用则构建“资源-产品-再生资源”的闭环模式。

### 1.3 绿色化工技术与传统化工技术的对比

与传统化工技术相比,二者差异显著。理念上,传统技术以经济效益为先,绿色技术则追求环境、经济、社会效益统一。工艺设计上,传统技术依赖有毒原料与高能耗条件,副产物处理能力弱;绿色技术以原子经济

性为核心,采用低毒原料与温和反应条件,实现副产物回收。环境影响上,传统技术污染物排放量大,绿色技术从源头减少污染。经济效益上,传统技术短期成本低但长期负担重,绿色技术初期投入高,却能通过资源高效利用与高附加值产品提升长期效益<sup>[1]</sup>。

## 2 化工工程工艺中绿色化工技术的关键类型与应用

### 2.1 清洁生产技术

(1)清洁生产是绿色化工的基础技术类型,其核心逻辑是通过对生产过程的系统性优化,从源头减少或消除污染物的产生,实现“生产过程清洁化”与“产品绿色化”的双重目标。与传统侧重于末端治理的技术不同,清洁生产技术贯穿于原料选择、工艺设计、设备运行及产品输出的全过程,强调以最小的环境代价获取最大的生产效益。(2)在技术内涵上,清洁生产技术涵盖原料清洁化、反应过程优化、能源高效利用及废弃物减量等多个维度。原料清洁化聚焦于选用低毒、低害、可再生的原材料,替代传统高污染、高能耗的原料,从源头切断污染物的生成链条;反应过程优化则通过调整反应参数、改进工艺流程等方式,提升反应的选择性与转化率,减少副产物的生成;能源高效利用通过余热回收、能量梯级传递等技术,降低单位产品的能耗,实现能源的循环利用;废弃物减量则通过工艺集成,将生产过程中产生的副产物转化为可利用的资源,减少废弃物的最终排放量。(3)在应用层面,清洁生产技术具有广泛的适用性,可覆盖石油化工、煤化工、精细化工等多个领域。其应用不仅能够有效降低化工生产对环境的污染负荷,还能通过资源利用率的提升降低生产成本,实现环境效益与经济效益的协同提升。通过清洁生产技术的应用,化工企业能够逐步摆脱“高污染、高消耗”的发展模式,构建可持续的生产体系<sup>[2]</sup>。

## 2.2 生物化工技术

(1) 生物化工技术是以生物催化剂(酶、微生物等)为核心,利用生物代谢过程或生物体系的特性实现化工产品合成与转化的技术类型。该技术以生物资源为主要原料,具有反应条件温和、环境友好、资源可再生等显著优势,是绿色化工领域最具发展潜力的技术方向之一。(2) 生物化工技术的核心优势源于生物体系的独特特性。生物催化剂具有极高的催化特异性和选择性,能够在常温、常压、近中性的反应条件下高效催化目标反应,避免了传统化工高温、高压反应带来的高能耗问题,同时大幅减少了因反应条件剧烈而产生的副产物。此外,生物化工技术所依赖的原料多为生物质资源,如淀粉、纤维素、植物油等,这些原料具有可再生性,能够有效缓解化工行业对化石资源的依赖,降低资源枯竭风险。(3) 在应用场景中,生物化工技术已在多个领域实现突破。在化学品合成领域,可用于生产有机酸、氨基酸、生物基材料等产品,这些产品不仅生产过程环保,其自身也具有良好的生物降解性,能够减少产品废弃后对环境的污染;在能源领域,可通过生物发酵等过程生产生物燃料,替代传统化石燃料,降低碳排放;在环境保护领域,可利用微生物的降解能力处理化工废水、废渣等污染物,实现污染物的无害化处理与资源化利用。生物化工技术的应用,正在推动化工行业从“化石基”向“生物基”转型,为行业可持续发展提供新路径。

## 2.3 绿色催化技术

(1) 催化技术是化工生产的核心支撑技术,绝大多数化工反应都依赖催化剂的作用实现高效进行。绿色催化技术则是在传统催化技术的基础上,通过催化剂的绿色化革新,实现催化过程的低污染、高选择性、高原子经济性的技术类型。其核心目标是通过催化剂的优化,提升反应效率,减少副产物生成,降低反应对环境的负面影响。(2) 绿色催化技术的关键在于催化剂的绿色化设计与开发,主要体现在三个方面:一是催化剂本身的绿色化,即开发无毒、无害、易回收的催化剂,替代传统有毒、有害、难以降解的催化剂,减少催化剂在生产、使用及废弃过程中对环境的污染;二是催化性能的优化,通过提升催化剂的选择性和活性,使反应更精准地指向目标产物,减少副产物的生成,提升原子利用率,符合绿色化工的原子经济性原则;三是催化过程的绿色化,通过催化剂的作用优化反应条件,降低反应的能耗和物耗,实现催化过程的高效节能<sup>[3]</sup>。(3) 在应用中,绿色催化技术已成为化工工艺绿色化改造的关键切入点。在精细化工领域,通过采用新型绿色催化剂,

可实现药物中间体、香料等产品的高效合成,减少有毒溶剂和副产物的使用与排放;在石油化工领域,绿色催化技术可用于原油加工、烯烃聚合等过程,提升产品收率,降低能耗和污染物排放;在环境保护领域,绿色催化剂可用于工业废气中污染物的催化降解,实现废气的无害化处理。绿色催化技术的发展与应用,直接决定了化工反应的绿色化水平,是提升化工生产整体环保性能的核心手段。

## 2.4 膜分离技术

(1) 膜分离技术是利用具有特定选择性透过功能的膜材料,在推动力(如压力差、浓度差、电位差等)的作用下,实现混合物中不同组分分离、提纯的技术类型。该技术具有分离效率高、能耗低、无二次污染、操作简单等突出优势,在化工分离过程中展现出极强的绿色化价值。(2) 与传统的化工分离技术(如蒸馏、萃取、吸附等)相比,膜分离技术的绿色优势十分明显。传统分离技术往往需要消耗大量的能源或化学溶剂,不仅能耗高,还容易产生二次污染;而膜分离技术通过膜的选择性透过作用实现组分分离,无需大量化学溶剂,且多数过程在常温下进行,且能耗可大幅降低。并且膜分离技术的分离效率高,能够实现对目标组分的精准分离,提升产品纯度和资源利用率。(3) 在化工工程工艺中,膜分离技术的应用场景极为广泛。在水处理领域,可用于化工废水的深度处理与回用,通过膜的截留作用去除废水中的污染物,实现水资源的循环利用;在化工分离领域,可用于气体分离、液体混合物分离、生物制品提纯等过程,如用于天然气脱碳、石油化工产品精制、抗生素提纯等,提升分离效率和产品质量;在能源领域,可用于燃料电池、氢能制备等过程中的气体分离与提纯,为清洁能源的发展提供支撑。膜分离技术的应用,不仅优化了化工分离流程,还推动了化工生产的节能降耗与清洁化转型,成为绿色化工技术体系中不可或缺的重要组成部分<sup>[4]</sup>。

## 3 绿色化工技术在化工工程工艺中的应用优势

### 3.1 降低环境污染

传统化工工艺在生产环节中,常因反应路径不合理、原料与催化剂选择缺乏环保考量,产生大量含有毒有害成分的废水、废气与固体废弃物。这些污染物若未经有效处理直接排放,会对水体、大气、土壤等生态载体造成破坏,不仅干扰自然生态平衡,还可能通过环境介质间接影响生物生存与人类健康。绿色化工技术从污染源头切入,通过优化化学反应设计,优先采用原子经济性高的反应方式,让原料中的原子最大程度转化为目

标产物,从根本上减少副产物与污染物的生成量;选用环境友好型原料与催化剂,避免有毒有害物质的引入,即便生产中产生少量废弃物,也能通过高效回收与无害化处理工艺,降低其对环境的负面影响,大幅提升化工生产与生态环境的兼容性。

### 3.2 提高资源利用效率

化工生产对自然资源存在高度依赖,传统工艺因技术手段单一,在资源提取、转化与利用过程中存在明显浪费现象——部分原料仅少数成分被用于生产目标产品,其余成分多被当作废弃物丢弃,导致大量宝贵资源未能发挥应有价值。绿色化工技术通过创新工艺设计打破这一局限:一方面,针对原料的多元成分特性,采用梯级利用模式,将不同成分分别转化为多种高价值化工产品,实现“一物多用”;另一方面,借助先进的分离提纯与再生技术,对生产过程中产生的中间产物、边角料及废弃物进行二次加工,使其重新转化为可用于生产的原料或其他有用产品,构建起资源循环利用体系,既减少了对原生资源的依赖,又让有限资源的利用效率得到显著提升。

### 3.3 节能降耗

高能耗是传统化工工程工艺的突出短板,为满足反应需求,传统工艺往往需要维持高温、高压等苛刻条件,过程中消耗大量煤炭、石油、电力等能源,不仅增加了企业的生产成本,还加剧了能源供需紧张的压力。绿色化工技术通过多维度创新实现节能降耗:在反应条件优化上,依托新型高效催化剂的研发与应用,降低化学反应的活化能,使反应可在温和的温度、压力环境下高效进行,减少为维持苛刻条件而消耗的能源;在设备与能源回收上,引入高效换热设备、余热余压回收系统,将生产过程中产生的二次能源进行回收再利用,转化为可支撑生产的能源;部分绿色化工技术还会结合可再生能源的应用,进一步降低对传统化石能源的消耗,从源头减少能源浪费,实现化工生产的低碳化运行。

### 3.4 推动化工行业可持续发展

化工行业的可持续发展,需要在满足当下生产需求的同时,兼顾未来发展潜力,平衡经济收益、生态保护

与社会价值之间的关系。绿色化工技术通过上述三大优势,为行业可持续发展提供了核心动力:经济层面,其降低了污染物处理成本与能源、资源消耗成本,同时通过资源循环利用与产品附加值提升,增强了企业的市场竞争力与长期盈利能力;生态层面,低污染、低消耗的特性减少了化工生产对生态系统的破坏,实现了产业发展与生态保护的协同推进;从行业长远发展来看,绿色化工技术的持续创新与应用,推动了化工行业的技术升级与产业结构优化,促使行业从传统“高消耗、高污染、低效益”的发展模式,向“低消耗、低污染、高效益”的现代化模式转型,提升了行业整体发展质量,确保化工行业在满足社会对化工产品需求的同时,为未来发展预留充足空间,实现长期稳定的良性发展<sup>[5]</sup>。

结束语:绿色化工技术并非对传统化工的简单改良,而是以全新理念构建的生产体系,其理论基础明确了环保与效益的统一目标,关键技术类型则提供了具体实现路径。从清洁生产的全程优化到生物化工的资源革新,从绿色催化的效率提升到膜分离的节能分离,各类技术共同发力,实现了降污、增效、节能的综合效益。未来,随着技术的持续创新,绿色化工技术将进一步突破应用瓶颈,推动化工行业彻底摆脱传统发展模式的束缚,在保障产品供给的同时实现生态保护,助力行业迈向高质量的可持续发展新阶段。

### 参考文献

- [1]侯利燕.试析化工工程工艺中的绿色化工技术[J].山东化工,2022,51(1):263-265.
- [2]杨孝栋.绿色化工技术在化学工程工艺中的运用[J].化学工程与装备,2023,(10):37-39.
- [3]崔苗苗.绿色化工技术在化学工程与工艺节能中的运用研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(21):148-150.
- [4]郭建军,刘凯,陈晓东,等.绿色化工技术在废弃物处理与资源回收中的应用研究[J].环境科学导刊,2021,40(10):442-449.
- [5]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.