

化学工程中的绿色化学反应与可持续发展

黄剑文

420222*****2059

摘要: 全球生态环境问题与资源约束日益突出,化学工程作为工业支柱,发展模式转型势在必行。绿色化学反应以原子经济性和环境友好为核心,通过革新反应路径、优化催化体系、选用清洁原料等,从源头削减化工污染与资源消耗。本文结合化学工程发展现状,阐述绿色化学反应的核心内涵与技术特征,分析其在资源高效利用、降低环境负荷中的价值,探究应用中的技术瓶颈与挑战,并提出针对性发展路径。研究旨在为化工行业践行可持续发展提供理论参考,推动工业发展与生态保护协同共进,助力化工行业实现高质量转型。

关键词: 化学工程; 绿色化学反应; 可持续发展; 原子经济性

DOI: 10.64216/3104-9680.25.02.008

引言

化学工程支撑着医药、材料、能源等产业发展,但传统反应模式带来有毒废弃物排放、不可再生资源过度消耗等问题,与可持续发展理念相悖。“双碳”目标提出后,环保法规日趋严格,化工行业亟需摆脱高污染高能耗困境。绿色化学反应是破解难题的关键支撑,其研发应用已成为行业转型核心方向。本文围绕绿色化学反应与化工可持续发展的关联展开,明确绿色化学对行业高质量发展的意义,为相关研究与实践提供清晰框架,推动绿色化学在化工领域的深度应用。

1 绿色化学反应的核心内涵与特征

1.1 核心理念与价值导向

绿色化学反应以“减量化、再利用、资源化”为基本遵循,在反应设计阶段就融入环境友好理念。这一理念并非简单的末端治理优化,而是从源头构建绿色化的反应逻辑。其核心价值导向不仅是降低反应过程的环境风险,更在于实现资源利用效率最大化和产品生命周期全绿色化。传统化工常陷入“先污染后治理”的被动局面,治理成本高且效果有限。绿色化学则将环保要求贯穿反应全流程,从原料筛选、反应实施到产物分离,每一步都以环境影响最小化为考量,推动化工生产模式的根本性转变。

1.2 关键技术属性

绿色化学反应具有多项关键技术属性,原子经济性高是其核心特征之一。原子经济性强调反应中所有原料的原子尽可能转化为目标产物,最大限度减少副产物生成,这直接降低了资源浪费和废弃物处理压力。反应条件温和也是重要属性,与传统高温高压的反应

条件相比,绿色反应通常在常温常压下即可进行,不仅降低了能耗需求,还减少了生产设备的损耗和安全风险,符合节能降耗的发展要求。催化剂绿色无毒则避免了催化过程中有毒物质的引入和残留,保障了产物安全性和环境友好性。产物易分离的属性简化了后续处理流程,降低了分离过程的能耗和成本,进一步提升了整个反应过程的经济性和环保性。

1.3 与传统反应的本质区别

绿色化学反应与传统化学反应的本质区别,在于核心决策逻辑的根本转变。传统反应往往将产品产出作为首要目标,优先考虑反应速率和产率,对环境影响和资源消耗的关注度较低。这种模式下,即使最终获得了目标产物,也可能伴随大量污染物排放和资源浪费。而绿色反应则在保证产率的基础上,将绿色高效作为核心前提。在反应设计和实施过程中,综合考量原料的清洁性、溶剂的可回收性及废弃物的处理成本。它不再是单一追求经济效益,而是实现经济效益与环境效益的统一。这种决策逻辑的转变,使得绿色化学反应能够从根本上解决传统化工的弊端,为化工行业的可持续发展提供了技术路径,是化工生产理念的一次重大革新。

2 绿色化学反应的应用价值

2.1 推动资源高效循环

绿色化学反应在推动资源高效循环利用方面发挥着关键作用。通过对废旧化工产品的降解与再合成技术,能够实现资源的二次甚至多次利用,有效缓解了化工行业对石油、煤炭等不可再生资源的依赖。在高分子材料领域,这一价值体现得尤为明显。随着塑料使用量的不断增加,废弃塑料带来的环境问题日益严

重。绿色催化技术能够将这些废弃塑料降解为可重新利用的单体原料，这些原料又可以用于生产新的塑料产品或其他化工材料，构建起“生产-消费-回收-再利用”的完整资源循环体系。这种循环模式不仅减少了废旧化工产品的堆积污染，还降低了对新资源的开采需求，提高了资源的整体利用效率，为资源短缺问题提供了有效的解决思路，符合可持续发展的资源利用要求。

2.2 降低环境污染物排放

降低环境污染物排放是绿色化学反应最直接的应用价值之一。传统化工生产中，有毒有害原料的使用和污染物的生成是造成环境污染的主要原因，对大气、水体和土壤都造成了严重威胁。绿色化学反应从源头入手，通过选用无毒或低毒的原料，减少有毒有害物质的引入。在反应介质的选择上，用低毒或无毒的介质替代传统反应中常用的挥发性有机化合物，这些挥发性有机化合物是化工废气的主要成分之一，其替代使用从根本上削减了废气排放。同时，绿色反应通过优化反应路径，减少了副产物的生成，尤其是有毒有害副产物的产量大幅降低。这一系列措施大幅减轻了化学工程对环境的污染压力，降低了环境治理的难度和成本，为化工行业实现环保达标提供了有力保障。

2.3 提升经济可持续性

绿色化学反应不仅具有环境效益，还能显著提升化学工程的经济可持续性。从成本角度来看，它能够有效降低企业的环保成本，包括污染物处理费用、环保设备投入和运维费用等。同时，绿色反应提高了原料利用率，减少了原料浪费，在原料采购成本上为企业节省开支。副产物产量的减少也降低了副产物的储存、运输和处理成本。虽然部分绿色技术在研发初期需要较高的投入，可能会增加企业的短期成本，但从长期发展来看，其优势十分明显。资源节约带来的成本下降是持续且稳定的，而且随着环保法规的不断严格，不符合环保要求的企业将面临高额罚款甚至停产风险，绿色技术能够帮助企业避免这些损失。此外，采用绿色生产模式的企业在市场竞争中更具优势，容易获得消费者和市场的认可，提升企业的市场竞争力和经济效益，实现企业的长期稳定发展。

3 绿色化学反应的应用现状

3.1 绿色催化技术应用

绿色催化技术是当前绿色化学反应在化学工程中

应用最广泛的领域之一，发展较为成熟，涵盖生物催化、纳米催化、光催化等多种形式。生物催化技术以酶为核心催化剂，酶具有高度的特异性和温和的反应条件，能够在常温常压下实现高效催化，减少了能耗和副产物生成。在医药中间体合成领域，生物催化技术能够精准合成目标中间体，提高产品纯度和产率，已实现规模化应用；在食品添加剂制备中，生物催化技术保障了添加剂的安全性，符合食品行业的严格标准。纳米催化材料则凭借其独特的结构和性质，具有极高的催化活性和选择性，能够大幅提升反应速率，缩短反应时间，提高生产效率。在精细化工生产中，纳米催化剂的应用显著改善了反应效果，降低了生产难度，推动了精细化工行业的绿色化转型，成为绿色催化技术发展的重要方向。

3.2 清洁原料与溶剂推广

清洁原料与溶剂的推广应用是绿色化学反应发展的重要体现。以生物质为代表的清洁原料，如秸秆、木屑、甘蔗渣等，正逐步替代传统化石原料在化学工程中的应用。这些生物质资源来源广泛、可再生，通过绿色化学反应能够制备生物燃料、生物基材料等多种化工产品，实现了资源的可再生利用，降低了对化石能源的依赖。在生物燃料领域，生物质转化制备的乙醇、生物柴油等，已在部分地区实现商业化应用，成为传统燃油的重要补充。同时，绿色溶剂的研发与应用也取得了显著进展，超临界流体、离子液体等新型绿色溶剂，具有环境友好、溶解度好、可回收利用等优点。超临界流体在萃取、反应等过程中表现出优异性能，且使用后易于与产物分离并回收；离子液体稳定性高，不挥发，避免了溶剂挥发造成的环境污染，正逐步取代传统有机溶剂在化工生产中的地位。

3.3 反应过程绿色化改造

众多化工企业积极开展反应过程的绿色化改造，并取得了显著成效。在化工合成领域，传统生产工艺往往需要多步反应才能获得目标产物，中间产物多，损耗大，污染严重。通过绿色化改造，将多步反应简化为一步绿色反应，不仅缩短了生产流程，提高了生产效率，还减少了中间产物的损耗和污染。在染料、农药等化工行业，这种简化改造带来的环保效益和经济效益十分明显。部分高污染行业，如焦化、化工制药等，通过引入绿色化学反应技术，对原有生产工艺进行全面革新，替换了有毒有害的反应步骤和原料。改造后，企业的污染物排放浓度大幅下降，排放总量

也实现了有效控制，多数企业达到了国家和地方的环保排放标准。这种绿色化改造不仅帮助企业解决了环保难题，还提升了企业的生产技术水平和市场竞争力，推动了整个行业的绿色转型。

4 绿色化学反应的瓶颈与挑战

4.1 核心技术研发局限

尽管绿色化学反应技术取得了一定发展，但核心技术研发仍存在诸多局限性。在催化剂研发方面，高效催化剂的稳定性不足是普遍存在的问题。许多催化剂在实验室条件下表现出优异的催化性能，但在工业生产的连续反应环境中，容易受到温度、压力、杂质等因素的影响，导致催化活性下降过快，使用寿命缩短，增加了生产成本。反应选择性有待提升也是重要瓶颈，部分反应中，除了目标产物外，仍会生成一定量的副产物，影响了原料利用率和产物纯度，增加了分离难度。对于部分结构复杂的化工产品，其绿色合成路径尚未完全突破，现有的绿色技术难以同时满足反应效率和绿色化的双重要求。这些技术瓶颈限制了绿色化学反应在工业生产中的大规模推广应用，需要进一步加大研发力度加以解决。

4.2 技术转化应用壁垒

绿色化学反应技术从实验室研发到工业规模化应用，面临着诸多转化壁垒，成本控制和工艺适配是其中最主要的两个方面。在实验室研发阶段，反应规模小，条件易于控制，原料用量少，技术效果往往较为理想。但当技术投入工业生产时，生产规模大幅扩大，原料消耗和反应条件控制难度增加，导致生产成本显著上升。部分绿色技术所需要的专用设备价格高昂，进一步增加了企业的投入成本。工艺适配性问题也不容忽视，现有化工企业的生产设备和工艺流程多是基于传统反应技术设计的，与新的绿色技术往往存在不匹配的情况。对现有设备进行改造或更换新设备，需要大量资金投入，且改造过程可能影响企业的正常生产。这些因素导致企业对绿色技术的转化意愿不足，制约了绿色技术的工业化进程。

4.3 配套支撑体系不完善

绿色化学工程的健康发展离不开完善的配套支撑体系，而目前这一体系尚存在诸多不完善之处。在绿

色技术评价标准方面，缺乏统一、明确的评价体系和指标，不同地区、不同行业的评价标准存在差异，难以对技术的绿色度、经济性等进行精准、客观的评估。这给企业选择合适的绿色技术带来了困难，也不利于技术的推广。在环保政策激励机制方面，现有政策的激励力度不足，税收减免、财政补贴等政策的覆盖范围和补贴金额有限，难以有效调动企业参与绿色技术研发与应用的积极性。专业人才培养体系也存在短板，绿色化学是一门交叉学科，需要兼具化学工程、环境科学、材料科学等多领域知识的复合型人才。目前高校和企业在相关人才培养方面存在不足，导致专业人才短缺，制约了绿色技术的创新研发和实践推广。

5 结论

绿色化学反应是化学工程实现可持续发展的核心技术创新，其以原子经济性和环境友好为核心特征，在推动资源循环利用、降低污染物排放、提升经济可持续性等方面具有不可替代的价值。当前，绿色化学反应技术在催化领域、清洁原料与溶剂应用以及反应过程改造等方面已取得一定应用成果，但仍面临核心技术研发局限、技术转化壁垒、配套体系不完善等多重挑战。推动绿色化学反应的深度应用，需要强化核心技术研发创新，构建产学研协同创新机制；完善技术转化扶持政策，降低企业应用成本；构建全链条绿色发展生态，实现研发、生产、回收的一体化绿色化。未来，随着技术的不断突破和支撑体系的逐步完善，绿色化学反应将在化工行业转型中发挥更大作用，推动化工行业实现经济效益与环境效益的统一，助力可持续发展目标的实现。

参考文献

- [1] 韦倩. 绿色化学工程与工艺在化学工业节能减排中的应用研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(16): 109-112.
- [2] 韦倩. 绿色化学工程与工艺在化学工业节能减排中的应用研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(16): 109-112.
- [3] 谭开军, 申卫星. 化学工程与工艺对化学工业节能的促进作用[J]. 科技视界, 2025, 15(21): 71-73.
- [4] 张渊. 绿色化学工程与工艺在化学工业节能中的运用[J]. 清洗世界, 2025, 41(04): 65-67.
- [5] 胡金龙. 绿色化工技术在化学工程与工艺节能中的运用研究[J]. 清洗世界, 2024, 40(07): 61-63.