

化学工程工艺中的绿色化工节能增效关键技术应用

滕 杰 胡方川 孟 荣（山东京博中聚新材料有限公司，山东 滨州 256500）

摘要：化学工程在人们生活中扮演着至关重要的角色。然而，传统化学工程工艺在生产过程中往往会产生大量的废弃物和污染物，对自然环境造成严重破坏，威胁人类健康。因此，在化学工程工艺中引入绿色化工技术，实现生产过程的环保化、无害化和资源化，达到经济效益与环境效益双赢的目标，成为当前化学工程领域的重要研究方向。

关键词：化学工程工艺；绿色化工；节能增效；关键技术

中图分类号：TQ02 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)014-0082-03

Application of key technology of green chemical energy saving and efficiency increase in chemical engineering process

Teng jie, Hu Fangchuan, Meng ying (Shandong Chambrad Sinopoly New Materials Co.,LTD, Binzhou Shandong 256500,China)

Abstract: Chemical engineering plays a vital role in people's lives. However, the traditional chemical engineering process often produces a lot of waste and pollutants in the production process, which causes serious damage to the natural environment and threatens human health. Therefore, the introduction of green chemical technology into the chemical engineering process to achieve environmental protection, harmless and resource-based production process, to achieve the goal of win-win economic and environmental benefits, has become an important research direction in the field of chemical engineering.

Key words: chemical engineering technology; Green chemical industry; Energy saving and efficiency; Key technology

随着当代社会经济的快速进步和环境保护意识的不断增强，将绿色化工技术融入化学工程工艺已成为行业发展的必然选择。通过持续的创新与探索，化工产业正在绿色化工理念的指导下，朝着更高效率、更洁净和更可持续的方向稳步迈进，为社会经济的繁荣与发展贡献更大力量。依托这些不断革新的技术与理念，化工行业在面对日益复杂的挑战时将展现出更强的适应性与韧性，切实实现经济发展与生态保护的双赢局面。

1 绿色化工技术的发展

绿色化工技术是化学工程领域的重要创新方向，旨在减少化工生产对环境的影响，提高资源利用效率，向推动行业向可持续发展迈进。其发展经历了从污染治理到清洁生产，再到循环经济和碳中和技术的多个阶段。20世纪初，化工行业的发展主要以提高产量为目标，环境污染问题未受到足够重视。但在20世纪中后期工业污染加剧，各国开始加强对污染物排放的管控，推动末端治理技术的发展，如废气脱硫、废水处理和固废资源化。然而，这种治理方式只能在污染产生后进行补救，难以从根本上解决问题。因此，21世纪绿色化工理念兴起，强调从源头减少污染物排放，通过清洁生产和高效利用资源来优化化工生产过程。

绿色化工技术的核心理念包括原子经济性、高效催化、可再生资源利用、清洁生产和低碳环保。原子经济性强调通过优化反应路径减少副产物的生成，高效催化技术可以提高反应速率并减少能源消耗，可再生资源利用则推动生物基原料替代传统石化原料，以降低碳排放和环境污染。

在实践中，绿色溶剂的应用已成为化工行业的重要发展方向，如使用水、超临界二氧化碳和离子液体等取代传统有机溶剂，从而减少挥发性有机物的排放。此外，生物催化、智能化过程控制、碳捕集与利用(CCU)等技术的不断进步，使得化工生产更加高效环保，推动行业向低碳和可持续方向发展。

2 化工工艺能耗现状与节能增效潜力分析

化工行业作为能源消耗大户，其生产过程中涉及的大量化学反应、分离提纯和物料输送环节均需要消耗大量能源，导致能耗水平长期居高不下。目前，全球化工行业的能源消耗主要集中在石油、天然气和电力等一次能源上，其中高温高压反应、精馏分离和蒸发干燥等工艺环节是能耗的主要来源。由于传统化工工艺多采用热能驱动的方式，热能利用效率较低，导致大量能源浪费。此外，在生产过程中，部分工艺存在设备老化、运行效率低、工艺流程不合理等问题，使得能耗进一步上升。

同时，部分企业仍依赖高污染、高能耗的生产方式，未能全面应用节能技术和清洁能源，从而加剧了能源资源的消耗和碳排放的增加。面对日益严峻的能源危机和环境污染问题，化工行业亟需通过技术创新和优化管理来降低能耗，提高能源利用效率，实现节能增效。通过优化反应路径、开发高效催化剂、改进工艺流程和采用能量回收技术，可以有效降低化工生产过程中的能耗。同时，利用新型催化剂可以降低反应温度和压力，减少能量消耗，并提高目标产物的选择性，从而减少原料浪费。

近年来，膜分离技术、超临界流体技术等新型分离工艺的应用，也为化工行业的节能增效提供了新的解决方案。与传统精馏相比，膜分离技术能够在较低的能耗下实现高效分离，而超临界流体技术则可以利用流体的独特特性降低溶剂消耗，提高分离效率。

3 化学工程工艺中的绿色化工关键技术应用与效果

3.1 生物技术的应用，提高了生产效率

生物技术在化学工程工艺中的应用为传统化工产业带来了革命性的变革，极大地提高了生产效率，降低了资源消耗和环境污染。与传统的化学合成工艺相比，生物技术依靠生物催化剂（如酶或微生物）进行化学转化，反应条件温和，能耗较低，并且副产物较少，使得整个生产过程更加环保高效。例如，生物催化技术在制药、精细化工和食品添加剂等领域得到广泛应用，利用微生物或酶催化特定反应，能提高产物的选择性，还能减少有机溶剂的使用和三废排放。此外，生物发酵技术在有机酸、氨基酸、维生素及生物基材料的生产中展现出巨大优势，相较于传统的化学法生产，生物发酵法减少了高温高压操作，降低了对石化资源的依赖，并能通过优化菌种和培养条件进一步提高产量和转化率。

在生物炼制领域，生物质转化技术的发展推动了生物燃料、生物基化学品和可降解材料的生产，以替代传统的石化产品，从而降低碳排放。此外，基因工程、代谢工程和合成生物学的进步，使得工程菌株能够定向改造，从而实现更高效的目标产物合成，提高了资源利用效率。在未来，随着生物技术与人工智能、数据分析和自动化控制的结合，化工行业的生物制造模式将进一步优化，推动整个行业向更加高效、清洁和可持续的方向发展。

3.2 清洁生产技术的推广，促进了循环经济发展

清洁生产技术的推广是化工行业实现可持续发展的关键手段，其核心在于减少污染物的产生，提高资源利用效率，并通过循环利用降低对环境的影响。与

传统的末端治理模式不同，清洁生产强调从生产源头减少污染物的排放，采用先进的生产工艺和设备优化资源配置，从而实现节能降耗和污染控制。例如，在石油化工、冶金、制药等行业，采用无溶剂工艺、微通道反应器和低温等离子体技术等绿色生产技术，能够显著减少有机溶剂和有害化学品的使用，从而降低生产过程中的污染负荷。此外，化工企业通过引入废物回收利用系统，可以有效提高资源的循环利用率。例如，化工园区推行的“工业共生”模式，通过构建企业间的资源共享网络，使得一家企业的废弃物成为另一家企业的原料，从而减少废弃物排放，提高资源的综合利用率。此外，近年来废水零排放（ZLD）技术的发展，使得化工生产过程中产生的高浓度废水经过蒸发结晶等处理后，实现水资源的回收再利用，降低了水污染，还缓解了水资源短缺的问题。清洁生产技术的推广还促进了循环经济的发展，使化工行业从“资源—产品—废弃物”的线性模式向“资源—产品—再利用”的循环模式转变，从而在保证经济效益的同时，减少环境污染，实现绿色低碳发展。

3.3 环境友好型产品的研发，推动了企业绿色转型

环境友好型产品的研发是化工企业实现绿色转型的重要驱动力，近年来，随着消费者环保意识的提高以及政府环保政策的日益严格，越来越多的企业开始投入到绿色产品的研发中，以降低产品对环境的影响，并提高市场竞争力。例如，在涂料行业，水性涂料、粉末涂料和高固体分涂料逐步取代传统的溶剂型涂料，大幅减少了挥发性有机化合物（VOCs）的排放，提高了生产和使用的安全性。在塑料行业，可降解塑料、生物基塑料等新型材料的研发和应用，为减少“白色污染”提供了有效的解决方案，如聚乳酸（PLA）和聚羟基烷酸酯（PHA）等生物降解材料，能够在自然环境中降解为无害物质。此外，在化妆品和日用化工品领域，企业开始使用植物提取物替代传统的石化成分，如生物基表面活性剂和天然防腐剂的应用，降低了化学残留的风险，也减少了对水体的污染。企业通过开发这些环境友好型产品，能满足市场对绿色产品的需求，还能提升品牌形象，提高产品附加值，并在激烈的市场竞争中占据优势，为实现可持续发展目标提供重要支撑。

3.4 超临界流体技术应用，实现了质量的提升

超临界流体技术因其高效、环保的特点，在化工工艺中得到了广泛应用，特别是在萃取、催化、材料合成等领域，其优异的性能极大地提升了产品质量和生产效率。超临界流体是指物质在超临界状态下表现出的特殊物理化学性质，如高扩散性、低粘度以及对

多种物质的可溶性调控性，使其成为一种优良的绿色溶剂。例如，在天然产物提取方面，超临界二氧化碳($\text{SC}-\text{CO}_2$)技术已被广泛用于提取植物精油、生物活性物质和药物有效成分。相比传统的有机溶剂提取法，超临界流体萃取技术无需使用大量有机溶剂，从而减少了溶剂残留，提高了提取物的纯度和质量。此外，超临界水氧化(SCWO)技术已被应用于有机废水处理和危险废弃物降解，能够在极短时间内高效分解有害有机物，实现无害化处理。在高性能材料合成领域，超临界流体技术也展现出独特的优势，如利用超临界流体合成纳米材料、超临界干燥制备气凝胶等，均能在低污染、低能耗的条件下获得高质量的产品。由于超临界流体技术能够有效提高产品质量、减少环境污染，并降低生产能耗，因此在未来化工行业的绿色化转型过程中，其应用范围将进一步扩大，为化学工程工艺的可持续发展提供有力支撑。

3.5 绿色分离技术和催化技术，取得了环境效益

绿色分离技术和催化技术在化学工程工艺中的应用极大减少了能源消耗和污染物排放，为环境保护和可持续发展做出了重要贡献。传统的化工分离过程，如精馏、溶剂萃取和结晶等，通常需要消耗大量的能源和化学试剂，导致较高的碳排放和化学废物的产生。而绿色分离技术的引入，如膜分离、超临界流体萃取、吸附分离和离子液体萃取等，能够提高分离效率，还能减少溶剂和能源的消耗。例如，膜分离技术通过选择性透过性实现高效分离，无需加热，大幅减少了能源消耗，已广泛应用于水处理、气体分离和有机物回收等领域。此外，超临界流体萃取技术利用超临界状态下流体的可调溶解性，能够实现高效、无污染的萃取，广泛应用于食品、制药和精细化工等行业。

催化技术的进步同样对绿色化工的发展起到关键作用。传统化工生产过程中，大量反应需要在高温高压条件下进行，能耗巨大且副产物较多。而绿色催化技术的应用，如纳米催化、仿生催化和生物催化，能够在温和条件下高效促进反应，提高目标产物的选择性，从而减少原料浪费和副产物排放。例如，生物催化技术利用酶或微生物催化特定反应，相较于传统催化剂，其具有更高的选择性，并且能够在较低温度和较温和的pH条件下进行，减少了能耗和污染。特别是在石油化工和精细化工领域，绿色催化剂的应用减少了硫、氮等有害气体的排放，提高了资源利用效率。

3.6 微化工技术应用，提升了技术水平

微化工技术作为现代化工工艺的一项重要创新，为提高化学工程的效率和安全性提供了新的思路。微化工技术主要是指利用微反应器进行化学反应，与传

统的大型反应器相比，微反应器具有传质效率高、反应控制精准、能耗低等显著优势，从而使化工生产更加绿色、高效和可控。微反应器内部通常由纳米级到毫米级的微通道组成，这种微观结构大大提高了反应物之间的混合效率，使得反应速率大幅提升，同时降低了副反应的发生概率，提高了目标产物的选择性。例如，在制药行业，微化工技术能够高效合成复杂的有机分子，使药物合成过程更加高效、绿色，并减少了溶剂和催化剂的使用。在精细化工和特种化学品生产中，微反应器能够快速优化工艺参数，实现小批量、多品种的生产模式，为化学合成提供了更高的灵活性。

此外，微化工技术的应用在安全性方面也具有显著优势。由于微反应器的体积小，即使发生反应失控，产生的危害也远远小于传统的大型反应设备，因此在处理高温高压、高腐蚀性和易爆炸等危险化学反应时，微反应器能够大幅降低事故风险，提高生产的安全性。同时，微化工技术还具有较强的可扩展性，能够通过模块化设计实现规模化生产，从而提高生产效率，减少资源浪费。在绿色化工和节能降耗方面，微化工技术的高效传热和传质特性使得反应过程中的能耗大幅降低。例如，在燃料电池和新能源材料的制备过程中，微化工技术的应用能够优化材料的微观结构，提高电池的能量转换效率。此外，微反应器结合自动化控制技术和人工智能优化算法，使得化工生产过程的实时监测和优化成为可能，为智能化化工生产提供了强大的技术支持，推动化工行业向更加安全、环保和高效的方向发展。

4 结语

绿色化工技术的应用推动了化学工程工艺的升级，还在节能降耗、环境保护和可持续发展方面发挥了重要作用。从生物技术、清洁生产、环境友好型产品研发，到超临界流体、绿色分离、催化及微化工技术的应用，这些关键技术的进步有效提升了生产效率，降低了污染排放，实现了经济效益与环境效益的双赢。未来，随着科技的不断发展，绿色化工技术将进一步优化和推广，为化工行业的高效、环保和可持续发展提供更强大的支撑，助力构建更加绿色低碳的工业体系。

参考文献：

- [1] 胡希春, 高健, 李维海, 等. 化工工程工艺中的绿色化工关键技术分析 [J]. 清洗世界, 2024, 40(5):72-74.
- [2] 许默, 陈静. 化学工程工艺中的绿色化工关键技术研究 [J]. 中国石油及化工, 2024(5):90-92.
- [3] 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.