Development and application research of low-carbon emission technology in the chemical industry

Zhimeng Yang

Goer Co., Ltd., Weifang, Shandong, 261000, China

Abstract

With the increasingly severe global climate change problem, low-carbon economy has become the core goal of the development strategies of all countries. As an energy-intensive industry, the chemical industry accounts for a large proportion of the global total emissions of carbon emissions. Achieving low-carbon emissions in the chemical industry is not only an important measure to combat climate change, but also a key path to promote green and sustainable development. In this context, the development and application of low-carbon emission technology has become the core task of the transformation and upgrading of the chemical industry. By introducing advanced energy-saving technology, carbon capture and storage (CCS) technology, and green catalytic technology, chemical enterprises are expected to improve resource utilization efficiency and reduce production costs while reducing greenhouse gas emissions. Although some progress has been made in the application of low-carbon emission technology in the chemical industry, there are still many challenges in technological innovation, economic evaluation and industrialization promotion. Therefore, in-depth research on the development and application of low-carbon emission technology and the exploration of feasible solutions have become an important topic to be solved in the current chemical industry.

Keywords

low carbon emissions; chemical industry; carbon capture and storage; energy saving technology; green chemistry

化工行业低碳排放技术的开发与应用研究

杨志孟

歌尔股份有限公司，中国·山东 潍坊 261000

摘　要

随着全球气候变化问题的日益严峻，低碳经济成为各国发展战略的核心目标。化工行业作为能源密集型产业，其碳排放量占全球总排放的较大比例。实现化工行业低碳排放不仅是应对气候变化的重要措施，也是推动绿色可持续发展的关键路径。在这一背景下，低碳排放技术的开发与应用成为化工行业转型升级的核心任务。通过引入先进的节能技术、碳捕集与封存（CCS）技术、绿色催化技术等，化工企业有望在减少温室气体排放的同时，提升资源利用效率，降低生产成本。尽管低碳排放技术在化工行业的应用取得了一定的进展，但技术创新、经济性评估及产业化推广仍面临诸多挑战。因此，深入研究低碳排放技术的开发与应用，探索可行的解决方案，已成为当前化工领域亟待解决的重要课题。

关键词

低碳排放；化工行业；碳捕集与封存；节能技术；绿色化学

1 引言

化工行业作为全球经济的支柱之一，其碳排放对全球温室气体排放的贡献巨大。全球气候变化日益严峻，国际社会呼吁加强温室气体减排，以减缓全球气温升高。根据国际能源署（IEA）的数据，化工行业的碳排放量占全球总排放的近三分之一，成为减排目标中的“重中之重”。近年来，随着低碳经济理念的普及，化工行业的低碳转型逐渐成为产业发展的必然趋势。低碳排放技术，作为化工行业绿色发展的核心动力，涵盖了多种技术手段，包括提高能源效率、开发替代原料、实施碳捕集与封存技术等。这些技术不仅能够有效减少二氧化碳排放，还能为企业提供节能降本的经济效益。然而，低碳技术的开发与应用仍面临许多挑战，包括技术研发的高投入、产业化的难度以及政策法规的支持不足。因此，对低碳排放技术的深入研究，尤其是其开发和应用的现实性分析，具有重要的学术价值和实践意义。

【作者简介】杨志孟（1989–），男，中国山东招远人，硕士，工程师，从事安全环保研究。

2 化工行业低碳排放技术的开发现状

化工行业低碳排放技术的开发在近年来取得了显著进展。随着气候变化问题的日益严重，全球各国纷纷提出减排目标，化工行业作为能源消耗和碳排放的重要来源，其低碳转型成为关键任务。当前，低碳排放技术的研究主要聚焦于能效提升、碳捕集与封存（CCS）、绿色催化、可再生能源

利用等领域。节能技术通过对生产工艺进行优化，提升能源利用效率，减少能源浪费，这一领域的技术发展较为成熟，许多化工企业已经开始应用节能设备和智能控制系统来降低能耗。碳捕集与封存技术则以捕捉和储存二氧化碳为核心，尽管这一技术在部分领域已取得一定应用，但其高昂的成本和技术瓶颈仍是广泛推广的主要障碍。绿色催化技术通过开发新型催化剂，提升反应效率，降低能耗和排放，这一技术在化学反应中发挥了重要作用。此外，可再生能源的引入，如太阳能、风能等，也开始在一些化工生产过程中得到应用，降低了对传统化石能源的依赖。尽管这些技术在某些领域取得了进展，但在大规模推广和产业化应用上仍面临经济性、技术可行性等多方面的挑战【1】。

3 低碳排放技术的关键技术及其开发技术分析

3.1 高效节能技术开发

高效节能技术在化工行业低碳排放中发挥了重要作用，尤其在提高能源利用率和减少碳排放方面取得了显著进展。根据国际能源署（IEA）报告，化工行业能效提升可减少约 30% 的能源消耗。通过优化工艺流程和引入先进的热能回收技术，许多企业实现了显著的节能效果。例如，通过改进反应器设计和使用新型热交换器，部分化工企业的能效提升幅度可达到 20% 至 30%。此外，智能化控制系统的应用进一步提高了生产过程中的能源管理水平，减少了能量浪费。据统计，智能化控制和自动化设备能够将能效提高 15% 至 25%。高效节能技术的开发不仅降低了生产成本，也有助于减少温室气体排放。例如，通过能源管理系统的应用，一些企业的碳排放减少了约 10 万吨 / 年。尽管如此，技术的普及仍面临成本和技术实施难度等挑战【2】。

3.2 二氧化碳捕集、利用与封存技术（CCUS）

二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术是化工行业应对碳排放的关键技术之一。该技术通过捕捉二氧化碳并将其封存到地下或转化为有价值的产品，帮助减少温室气体排放。当前，全球已有多个 CCUS 项目投入运营，其中以北美和欧洲地区为主。例如，美国的 Petra Nova 项目每年捕捉约 80 万吨二氧化碳，欧洲的 Drax Power Station 项目也计划每年捕捉 100 万吨 CO_2。尽管这一技术具有显著的减排潜力，但其成本仍较高，捕集二氧化碳的成本约为每吨 50 至 100 美元，且储存和运输费用也不容忽视。根据 IEA 的数据，全球实施 CCUS 技术的年减排潜力约为 5 亿吨二氧化碳，但目前的技术普及率相对较低，仅占全球总排放的不到 0.1%。此外，二氧化碳的长期封存存在一定的技术和环境风险，如何保障封存安全仍是该技术广泛应用的瓶颈之一，图 1 为化工行业 CO_2 的排放分布图。

3.3 清洁生产与绿色化学技术的创新

清洁生产和绿色化学技术的创新在化工行业的低碳转型中扮演着越来越重要的角色。清洁生产通过优化工艺流程、减少污染物排放、节约资源，从源头上降低环境影响。近年来，随着绿色化学理念的兴起，许多新型的绿色化学反应和催化剂得到了广泛应用。例如，在精细化学品生产中，采用绿色催化剂可以提高反应选择性，减少有害副产物的生成，降低溶剂和能源的消耗。根据化工联合会的研究，采用绿色催化技术的反应过程能使能效提高 20% 以上，污染物排放减少 30% 以上。清洁生产技术的应用在许多企业中已实现了废水、废气和固体废物的回收再利用。例如，某大型化工企业通过优化生产工艺和废气处理系统，年排放的有害气体减少了约 10 万吨。尽管如此，清洁生产和绿色化学技术在中小型企业中的普及仍面临技术和资金的双重挑战，亟需政策引导和支持【3】。

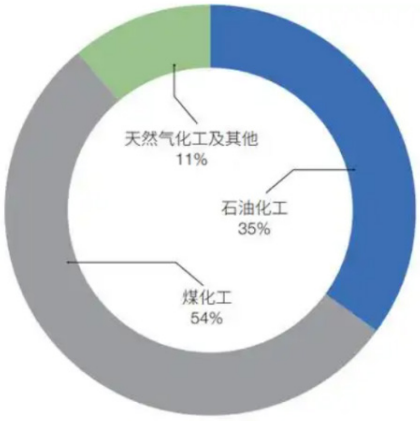

图 1 化工行业 CO_2 的排放分布

3.4 绿色催化技术的发展

绿色催化技术是化工行业降低能耗和排放的重要手段之一。该技术通过优化催化剂性能，提高反应的选择性和效率，减少副产物的生成，进而降低碳排放。在近年来的研究中，绿色催化剂的开发逐渐从传统金属催化剂转向更为环保的非金属催化剂和生物催化剂。根据最新的研究，采用绿色催化剂的反应过程比传统催化过程节能约 15% 至 20%，同时减少了有害气体的排放。例如，在乙烯生产中，采用新型催化剂能够提高反应效率，减少约 30% 的能源消耗。生物催化技术在一些化学合成过程中也取得了突破，能够在温和的反应条件下进行高效的化学反应，减少了能源和原料的浪费。尽管绿色催化技术在实验室阶段取得了诸多进展，但在实际应用中仍面临催化剂稳定性差、成本较高等问题，亟需通过技术改进和产业化推进进一步解决【4】。

3.5 替代原料与可再生能源的应用

替代原料与可再生能源的应用在推动化工行业低碳化发展中具有重要意义。传统化工生产依赖于化石能源和石油原料，而替代原料和可再生能源的应用能够大幅减少对传统能源的依赖。近年来，生物质、太阳能、风能等可再生能源在化工行业的应用逐步增加。例如，一些化工企业开始采用生物质废料作为原料，生产化学品和燃料，减少了石油基原

料的使用。此外，太阳能和风能也在某些高能耗化工生产过程中得到应用，通过光电转化和风能发电提供清洁能源，降低了碳排放。在美国，某些化工厂已开始使用生物质能源替代传统煤炭，年减少二氧化碳排放约 50 万吨。尽管替代原料和可再生能源的应用潜力巨大，但目前的技术仍面临成本高、供应不稳定等挑战，如何在保持经济效益的同时实现技术普及，仍是化工行业低碳发展的难题之一【5】。

4 低碳排放技术的应用实践

4.1 典型化工企业低碳技术应用案例

在我国，多个化工企业已成功实施低碳技术，推动了碳排放的减少。例如，中石化（Sinopec）在其位于扬州的炼油厂实施了高效节能技术，结合热能回收和优化工艺流程，显著提高了能效。这一技术的应用每年节省了约 5 万吨标准煤的消耗，减少了近 20 万吨二氧化碳排放。此外，国内某大型石化企业通过改造其乙烯生产装置，采用先进的催化裂化技术，将能源消耗降低了 12%，每年减少了约 10 万吨的二氧化碳排放。另一个案例是在山西某煤化工企业，该企业通过引入二氧化碳捕集与封存（CCS）技术，成功实现了每年捕捉并封存约 50 万吨二氧化碳。这些典型应用表明，低碳技术不仅能够减少碳排放，还能提高企业的能源利用效率，推动化工行业的绿色转型。

4.2 低碳技术在化工工艺中的集成应用

我国化工企业逐步实现了低碳技术的集成应用，提升了整体生产系统的能效。在某大型化肥厂，企业通过对生产工艺进行集成优化，结合先进的热交换系统和废气余热回收技术，成功降低了 15% 的能源消耗，并减少了超过 8 万吨的二氧化碳排放。该工艺改造通过优化氨合成和尿素生产过程，实现了能量的高效利用，整体能效提升了 18%。在另外一个例子中，某石油化工企业通过实施智能化控制系统，将各生产环节进行数据集成，优化了设备的运行调度。经过这一技术集成，企业年均节省了近 2 万吨煤炭的使用，并有效降低了 30% 的能源损耗。低碳技术的集成不仅提升了能源利用效率，还增强了企业在市场中的竞争力。

4.3 技术应用中的挑战与解决策略

尽管低碳技术在我国化工企业中逐步应用，但其推广仍面临一定的挑战。首先，技术的高成本是制约其广泛应用的重要因素。例如，二氧化碳捕集与封存技术（CCS）需要巨大的初期投资和长期运行成本，这对于资金有限的小型化工企业尤其困难。针对这一问题，政府应加大对低碳技术的财政支持，提供更多的补贴和税收优惠，以降低企业的投资负担。其次，部分低碳技术的产业化应用尚不成熟，尤其是在传统高排放行业中的适用性较差。解决这一问题需要加强技术研发，推动低碳技术的不断创新和迭代。最后，技术实施的操作难度也较高，企业需要对员工进行系统培训，确保技术的高效实施和运行管理。通过完善政策、加大研发投入、提升企业技术管理水平，可以有效解决技术应用中的难题。

5 结论

低碳排放技术在化工行业的应用已取得一定进展，为减少碳排放和促进绿色发展提供了有力支持。通过高效节能技术、二氧化碳捕集与封存（CCS）、清洁生产工艺以及绿色催化技术等手段，企业在降低碳排放的同时，也提高了生产效率，减少了能源消耗。尽管低碳技术的经济性和技术可行性仍面临一定挑战，但随着技术不断成熟和政策支持的加强，低碳排放技术的应用前景广阔。通过加强技术研发、提高产业链的协同效应、优化市场激励机制，化工行业能够在实现减排目标的同时，推动产业转型和可持续发展。未来，低碳技术将在化工行业中发挥更加重要的作用，推动行业实现更加绿色、低碳的生产模式，助力国家应对气候变化的战略目标。

参考文献

[1] 李文杰,周兴旺,陈瑞彬.基于循环经济理念的化工行业低碳排放技术研究[J].化学工程,2023,45(6):112-118.

[2] 王子豪,邹翔宇,赵秋玲.高效能量转换技术在化工行业中的应用与发展[J].能源技术,2023,41(4):56-61.

[3] 刘振国,谷阳,黄荣杰.低碳技术在化肥生产中的集成应用与经济性分析[J].化学工业与工程,2024,59(2):83-89.

[4] 高杰,吴泽民,孙雅婷.二氧化碳捕集技术的现状与发展趋势[J].环境科学与技术,2023,50(5):29-34.

[5] 孙海文,罗永强,杨欣怡.绿色催化技术在石化行业中的应用及其前景展望[J].绿色化学与工程,2024,38(1):45-51.