

Research on the Integrated Application of Clean Production Technology and Emission Reduction Effect of Coal Chemical Industry under the Background of Dual Carbon

Yao Luo

China Energy Group Xinjiang Hami Energy Chemical Co., Ltd., Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract

Against the backdrop of the dual carbon goals, the coal chemical industry faces practical challenges including low energy utilization efficiency and high carbon emission intensity. Compared to single technological upgrades, the systematic integration and coordinated application of clean production technologies are more conducive to achieving efficient energy utilization and synergistic reduction of multiple pollutants and carbon emissions. This study focuses on the integrated application of clean production technologies in the coal chemical industry under the dual carbon context, conducting a systematic analysis from three dimensions: integration value, implementation strategies, and emission reduction effectiveness. The research demonstrates that through technological integration in source process optimization, energy cascade utilization, coordinated control of pollutants and carbon emissions, and digital empowerment, the comprehensive energy efficiency of coal chemical facilities has significantly improved, while the carbon emission intensity per unit product has markedly decreased. The emission reduction effects exhibit quantifiable and sustainable characteristics. The findings provide valuable references for selecting low-carbon transition pathways and implementing clean production practices in the coal chemical industry.

Keywords

Dual Carbon Context; Clean Production Technology in Coal Chemical Industry; Integrated Application; Emission Reduction Effectiveness

双碳背景下煤化工清洁生产技术集成应用及减排成效研究

罗瑶

国家能源集团新疆哈密能源化工有限公司, 中国·新疆哈密 839000

摘要

在双碳背景下, 煤化工行业面临能源利用效率偏低、碳排放强度较高等现实挑战。相较于单一技术改造, 清洁生产技术的系统集成与协同应用更有利于实现能源高效利用与多污染物、碳排放的协同削减。本文围绕双碳背景下煤化工清洁生产技术集成应用展开研究, 从集成应用价值、实施策略及减排成效三个层面进行系统分析。研究表明, 通过在源头工艺优化、能源梯级利用、污染物与碳协同控制以及数字化赋能等方面推进技术集成, 煤化工装置综合能效显著提升, 单位产品碳排放强度明显下降, 减排效果具有可量化和可持续特征, 研究结论可为煤化工行业低碳转型路径选择和清洁生产实践提供有益参考。

关键词

双碳背景; 煤化工清洁生产技术; 集成应用; 减排成效

1 引言

“双碳”是“碳达峰”与“碳中和”的简称, 是当前全球应对气候变化、推动可持续发展的核心目标。在“双碳”目标约束下, 国家能源结构与工业生产方式正面临深刻调整。煤化工作为以煤炭为主要原料的高能耗、高排放产业, 其绿色低碳转型既是实现碳达峰、碳中和目标的关键环节,

也是保障能源安全和产业稳定的重要支点^[1]。相较于单项技术改造, 清洁生产技术的系统集成与协同应用, 更有助于实现资源高效利用与污染物、碳排放的协同削减。深入分析双碳背景下煤化工清洁生产技术集成应用的现实价值, 对于推动行业高质量发展具有重要理论与实践意义。

2 双碳背景下煤化工清洁生产技术集成应用价值

2.1 促进能源与资源高效利用, 夯实煤化工低碳转型基础

双碳背景下, 煤化工行业亟需从高消耗、粗放式的传统发展模式, 转向高效率、低排放的发展模式。清洁生产技

【作者简介】罗瑶(1991-), 男, 中国湖南娄底人, 本科, 工程师, 从事煤气化研究。

术耦合集成首先的价值体现在通过对生产工艺进行整体优化,提升能源和资源利用率方面。煤化工生产过程涉及的产业链条长、物料及能量流动多而复杂,单独的清洁生产技术只能解决某一局部的问题,而通过多种技术组合应用,则可以在系统整体上达到整体目的。

例如,在煤气化、合成、分离以及后处理等过程中,对高效的煤气化技术和余热回收技术以及能量梯级利用系统进行一体化设计有利于减小能源损失,实现热能循环使用;通过对水资源循环利用以及废水分质处理和回用技术的一体化设计,可以大大减少新水取水量,减轻煤化工项目对于当地水资源消耗压力,在双碳背景下,这种基于系统集成方式为主的清洁生产方式,能够有效提升煤炭资源利用率,并为煤化工产业开展低碳化发展奠定良好基础。

2.2 实现多污染物与碳排放协同削减,提升减排综合效益

煤化工生产过程中,碳排放往往与二氧化硫、氮氧化物、颗粒物及废水、固废等污染物排放高度耦合。清洁生产技术组合利用的最大特点就在于可以突破“单一类别污染治理”的局限,将防治污染和减碳同步实施,在源头、过程、末端等方面加以综合考虑,能够有效降低单位产品综合排放强度^[2]。

在工艺端,将低碳工艺路线优选及过程强化与源头减量结合,在过程中采用先进的过程控制以及数字化管理系统进行精准化能效管控,在末端采取碳捕集利用封存(CCUS)技术及常规污染治理设施联合布局,有利于协同减少温室气体及传统污染物。采用技术耦合的方式比单独处理方式,在相同投资额的前提下能够实现更高的协同减污降碳效益,这是双碳目标导向下的煤化工洁净生产的优势所在。

2.3 推动产业模式升级,增强煤化工可持续发展能力

随着双碳目标的持续推进,在未来较长时期内煤化工行业发展的重心将不再是单纯的规模扩大,而是更强调高质量和可持续性发展。清洁生产技术的集成是技术和管理上的创新,也是促进煤化工产业模式转型的动力源泉。煤化工企业在清洁生产技术集成后可以由以“末端治理”为主的单点式污染控制转变为集约化、综合化的全过程优化控制体系,推动生产组织方式和管理模式变革。

清洁生产技术集成为企业建立低碳、高效的生产工艺提供了保障,提升了产品的价值及竞争优势;同时,也为企业在能耗、排污费用以及运行维护费用等方面带来长期的竞争优势,在未来的碳减排压力及环保趋严趋势下,将对企业的发展产生积极影响。从产业角度讲,这样的集成化利用清洁生产方式将促进煤化工从资源优势向科技优势的转化,提升产业的双碳适应性及抗风险能力^[3]。

3 双碳背景下煤化工清洁生产技术集成应用策略

3.1 以源头减排为导向,推进核心工艺的系统优化与集成

源头减排是指通过对煤化工装置进行清洁生产技术集

成,在工艺技术和设备上实现单位产品能耗和碳排放强度的降低。在煤制油、煤制气、煤制烯烃等典型流程中,高能耗、高排放集中在煤气化、合成反应以及分离精制等环节,故应在上述环节开展技术集成。

在煤气化环节,可通过先进气化炉型与工艺参数协同优化,实现高效、低碳运行。如采用干粉煤加压气化技术,结合先进的煤粉制备技术以及精确的给料技术,气化效率可达80%以上。

对于下游合成及转化来说,应该注意将反应和分离的过程进行集成,利用反应-分离相结合的方式来进行生产,例如采用膜分离结合合成反应的方法来降低循环气压缩以及重复加热的能源消耗,经过估算发现,在煤制甲醇装置当中运用高选择性的催化剂以及合理的回收反应热系统可以节约8%左右的整体能源消耗,二氧化碳排放强度同步下降。

通过在源头工艺层面实施多单元协同优化,有助于从根本上削减能源消耗与碳排放,为后续清洁生产技术集成奠定基础。

3.2 重构能源利用体系,强化能量梯级利用与系统耦合

由于煤化工装置流程长、能量品位差别大等特点,其能量利用程度对整体减排效果有着直接的影响。因此在进行清洁生产技术集成时,应对整个系统的能源利用进行从系统工程角度出发的重新设计,加强其能量分级使用及多个系统之间的耦合^[4]。

一是加强过程集成提高余热利用率。对于煤气化过程中、高温合成反应过程以及尾气冷却过程中产生的大量中低品位热量可以通过过程热集成(夹点法)进行全过程系统的优化设计,实现换热网络的有效匹配。

二是开展能源系统及公用工程耦合运行,如煤化工装置与热电联产系统的耦合,在蒸汽品位匹配以及电力负荷方面进行优化,实现热、电、气的多能互补。

三是可以尝试将可再生能源与煤化工结合使用,例如用光伏或者风力发电来为辅助电力系统供电,减少对化石燃料的需求量,从而在一定程度上给煤化工向低碳化发展创造条件。

3.3 推进污染物与碳排放协同控制,实现清洁生产整体提升

除减排外,煤化工清洁生产也应考虑污染物排放的减少,在进行污染物处理的同时结合碳减排措施,可以同时提高环境及碳减排效果。

在气体排放控制方面,应推动二氧化碳捕集与污染物脱除技术的一体化应用。例如,在煤制氢或煤制甲醇流程中,将酸性气体脱除装置与CO₂捕集系统协同设计,可在脱硫、脱碳的同时实现高纯度二氧化碳回收。工程数据显示,采用物理吸收法与流程集成优化后,CO₂捕集率可达90%以上,捕集能耗降低约10%~15%^[5]。

在废水处理方面,应重视多技术协同集成,在“预处理—

生化处理—深度处理—回用”的组合工艺下,提高废水回用率;一些大型煤化工基地经过清洁生产技术集成后,废水回用率达到95%以上,减少了新水取用量,间接降低水处理过程中产生的能耗及碳排放。

针对固废处置环节而言,采用灰渣综合处理及副产物利用的方式能降低其填埋、运输所造成的间接CO₂排放量,提高清洁生产的总体水平。

3.4 以数字化与数据驱动为支撑,提升清洁生产技术集成效能

复杂煤化工过程中的清洁生产技术集成的有效实施,依赖于数字技术和数据技术的应用,建立以数据为基础的过程监测、诊断及优化决策是实现清洁生产技术集成有效应用的关键。

一是实施全生命周期能耗及碳排放跟踪管理。借助在线仪表以及工业互联网大数据平台,实现重要单元能耗、物耗、排放数据的动态采集和分析,并用于指导工艺调整和生产优化,在实践中发现通过数据分析的精细化操作,可使装置整体能效提升3%~5%。

二可采用过程模拟及优化模型来定量地分析各技术集成方式下的减排效果,并利用LCA方法对煤化工产品生产中原材料输入至最终产出物输出全过程中的碳排放量进行计算,从而确定减排“瓶颈”,辅助技术集成的选择。

通过数字化赋能和数据方法支撑,煤化工清洁生产技术应用能够实现由经验驱动向科学决策转变,为“双碳”目标下行业持续减排提供长期保障。

4 双碳背景下煤化工清洁生产技术应用后减排成效分析

4.1 能源利用效率提升带来的碳减排成效

清洁生产技术应用使煤化工企业的能源利用率提高,是最直观体现碳减排的效果。对高效的气化技术、余热梯级回收技术、能量系统优化技术等集成,可以使煤炭作为一次能源到最终化工品及能源载体的转化效率大大增加。根据有关工程案例显示,改用先进的气流床气化+余热锅炉技术后,每吨煤转换过程的有效能利用效率将从原来的大约65%增加到75%-80%,单位产品综合能耗下降10-15%。

同时,结合采用热电联产及工艺余热深度回收利用措施,煤化工装置外购电量显著降低,如某60万t/a甲醇装置采用清洁生产优化改造方案后,年多发电约12000万kW·h,相当于节约标准煤约 3.6×10^4 t,减少CO₂排放约 9.4×10^4 t。以上数据说明,能源系统集成优化对降低化石能源消耗进而降低间接碳排放有明显效果,是双碳背景下煤化工企业降碳增效的有效途径之一。

4.2 污染物协同控制与碳排放强度下降成效

清洁生产技术集成为提高能源利用率的同时,注重多种污染物联合处理及降低碳排放强度。在煤化工生产过程中,采用从源头减少到过程削减再到末端治理相结合的方式对煤炭资源进行加工利用,实现CO₂和传统污染物同时减排的目的。如在气化、变换和合成工段中,经过低氮燃烧、过程密闭化技术和高效脱硫脱碳一体化改造,单位产品碳排放强度降低。

实际运行情况表明,在采用CCUS技术的煤制氢或煤制甲醇装置中,可以将CO₂捕集率达到80%以上。如某煤制氢示范装置每年捕集约50万吨CO₂,其中约有70%被用作下游化工合成或油田驱油,实现了CO₂的资源化利用,其直接排放到大气中的CO₂较之前下降了约40%。此外,在脱硫脱硝和废水深度处理工艺的配合下,SO₂、NO_x和COD的排放量也减少了20%-30%,进一步提升了生产的清洁性。

综合来看,清洁生产技术应用使煤化工企业由单一减排向系统减排转变,在降低单位产品碳排放强度、实现多污染物协同控制方面成效明显,为煤化工行业在双碳目标约束下实现绿色低碳转型提供了有力的实践支撑。

5 结语

在双碳目标长期约束下,煤化工行业的绿色低碳转型已由阶段性任务转变为系统性工程。研究表明,清洁生产技术的集成应用能够突破传统单项治理的局限,通过全流程优化实现能源效率提升与碳减排、污染物控制的协同推进。实践数据充分证明,技术集成不仅显著降低了煤化工生产过程的碳排放强度,也在资源节约、环境绩效和运行成本控制等方面形成综合效益。未来,应在现有基础上持续深化技术协同与系统优化,加强数字化与数据方法在清洁生产中的应用,同时完善配套政策与评价机制,推动煤化工由高排放约束型产业向低碳、高效、可持续发展模式稳步转型,为实现国家双碳目标提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 刘金婷.环保清洁生产技术在工业减排中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(03):15-16+22.
- [2] 何蓬.清洁生产技术在工业环境中的应用与效益分析[J].清洗世界,2024,40(10):59-61.
- [3] 郭婧.清洁生产技术在化工生产中的应用[J].化学工程与装备,2023,(11):30-32.
- [4] 唐大易,吴卿,王松.煤炭化工清洁生产技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2023,(16):58-60.
- [5] 陈东良.非光气MDI绿色化工清洁生产技术研发进展[J].山西化工,2022,42(01):37-39.