

石油化工过程优化与节能减排技术

郭岳清 130125199010197031

摘要

石油化工行业是我国国民经济的支柱产业，同时也是能源消耗与污染物排放的重点领域。在双碳目标的发展背景下，推动石油化工过程优化升级，应用先进节能减排技术，是行业实现绿色转型、可持续发展的核心路径。本文从石油化工行业能耗与排放现状出发，分析过程优化在节能减排中的核心作用，探讨当前主流的过程优化方向与节能减排技术路径，最后对石油化工行业绿色发展的未来趋势进行展望，为行业践行低碳发展战略提供参考。

关键词：石油化工；过程优化；节能减排；绿色转型

一、石油化工行业能耗与排放现状

石油化工行业以石油、天然气为主要原料，通过一系列物理分离与化学反应过程生产燃油、烯烃、芳烃、合成树脂等各类化工产品，覆盖了国民经济生产生活的多个领域。作为流程工业的典型代表，石油化工生产过程具有装置规模大、连续化生产、能源转化密度高的特点，一直以来都是我国工业领域的能源消耗大户。根据相关统计数据显示，我国石油化工行业能源消耗占全国工业总能耗的比重超过 15%，二氧化碳排放量占全国工业总排放量的 10%以上，此外还存在硫化物、氮氧化物、挥发性有机物（VOCs）等污染物的排放问题。

长期以来，我国部分石油化工企业存在生产装置工艺落后、能源利用效率偏低、资源回收体系不完善等问题，不仅造成了能源与资源的浪费，也给生态环境带来了较大压力。随着我国双碳战略目标的提出，以及生态环境保护要求的不断提高，石油化工行业面临着节能减排的巨大压力，同时也迎来了技术升级与绿色转型的发展机遇。

二、石油化工过程优化对节能减排的核心作用

石油化工生产过程是由多个单元操作与反应装置耦合形成的复杂系统，原料性质、工艺参数、设备性能、操作方式等多个因素都会影响最终的能源利用效率与产品收率。过程优化就是通过对生产全流程的系统分析，调整工艺参数、改进工艺路线、优化操作方案，在保障产品质量与生产安全的前提下，实现降低能源消耗、减少污染物排放、提高资源利用率的目标。

首先，过程优化能够提升能源的梯级利用效率。石油化工生产过程中不同单元需要不同品位的能源，通过过程优化可以合理匹配能源供需，将生产过程中产生的废热、余热进行回收再利用，减少高品质能源的无谓消耗，从整体上提升能源利用效率。其次，过程优化能够提升反应转化率与产品收率，减少副产物的生成。通过优化反应条件与分离工艺，让原料尽可能转化为目标产品，不仅能够降低原料消耗，也减少了副产物处理过程中的能源消耗与污染物排放。最后，过程优化是先进节能减排技术应用的基础，只有通过系统性的过程优化，明确生产过程中的能耗瓶颈与排放节点，才能针对性地选用合适的节能减排技术，实现技术应用效益的最大化。

三、石油化工过程优化的主要方向

（一）工艺参数优化

工艺参数是影响石油化工生产能耗与排放的核心因素，传统的工艺参数设定往往基于经验值，存在一定的优化空间。随着传感器技术与工业互联网的发展，企业可以对生产过程中的温度、压力、流量、物料组成等参数进行全流程实时采集，结合过程模拟技术与智能优化算法，对参数进行动态调整。例如在催化裂化装置中，通过优化反应温度、剂油比、催化剂活性等参数，可以在保证汽油收率的前提下，降低焦炭产率，减少再生过程中的能源消耗与烟气排放；在精馏分离过程中，通过优化回流比、塔压等参数，可以降低塔釜再沸器与塔顶冷凝器的热负荷，减少蒸汽与冷却水的消耗。

（二）工艺流程集成优化

石油化工生产由多个独立的单元装置组成，传统的装置设计往往只关注单个装置的运行效率，忽视了装置之间的能量与物料耦合，导致整体能效偏低。流程集成优化就是以整个生产系统为优化对象，通过装置间的热集成、物料集成，实现资源与能源的高效利用。其中夹点技术是目前应用最为广泛的热集成优化方法，通过识别系统的温度夹点，合理设计换热网络，最大限度地减少公用工程的消耗，相关数据显示，通过换热网络优化，石油化工装置的能源消耗可以降低 10%~20%。

（三）操作运行优化

石油化工生产过程中，原料性质、产品需求、设备性能都会随时间发生变化，固定的操作方案无法始终保持最优运行状态。操作运行优化就是根据生产条件的变化，实时调整操作方案，保障装置始终处于高能效运行状态。目前，随着人工

智能与大数据技术在石油化工领域的应用，基于数据驱动的智能操作优化已经成为研究与应用的热点。通过采集生产过程的历史运行数据，训练智能优化模型，可以实现对生产异常的提前预警，对操作参数进行自动调整，不仅能够降低操作人员的劳动强度，还能有效降低装置的能耗与物耗。

四、主流节能减排技术应用

（一）余热回收利用技术

石油化工生产过程中存在大量不同品位的余热，其中低温余热由于品位低、回收难度大，往往被直接排放到环境中，不仅造成能源浪费，还会产生热污染。目前，低温余热发电技术、有机朗肯循环（ORC）技术、余热制冷技术都已经在石油化工企业得到应用，可以将原来废弃的低温余热转化为电能或者冷能，提升能源利用效率。

（二）新型催化技术

催化反应是石油化工生产的核心过程，催化剂的性能直接决定了反应的能耗与效率。近年来，新型催化技术不断取得突破，例如新型催化裂化催化剂能够提升重油转化率，降低焦炭产率；负载型金属催化剂能够提升加氢反应的活性，降低反应温度与压力，减少氢气与能源消耗；选择性催化还原（SCR）催化剂能够高效脱除烟气中的氮氧化物，提升污染物治理效率，降低治理过程的能源消耗。新型催化技术的应用，从反应源头实现了能耗与排放的降低，是石油化工节能减排的核心技术之一。

（三）污染物减排与资源化技术

针对石油化工生产过程中的各类污染物，当前已经形成了多种高效节能减排技术。对于挥发性有机物（VOCs），通过采用泄漏检测与修复（LDAR）技术、高效吸附回收技术、催化燃烧技术，不仅能够减少 VOCs 排放，还能回收有机溶剂，实现资源化利用；对于含盐废水，通过采用膜分离、蒸发结晶等处理技术，能够实现废水的近零排放，回收水资源与盐类资源；对于石化废渣，通过采用气化、热处理等技术，可以回收其中的热量与可利用组分，减少固体废弃物的排放。

五、结语

石油化工过程优化与节能减排技术是推动行业绿色低碳转型的核心支撑，在

双碳目标的背景下，石油化工企业需要从工艺、技术、管理多个层面入手，推动生产全流程的优化升级，加快先进节能减排技术的推广应用。未来，随着数字技术与先进制造技术的不断发展，石油化工过程优化将朝着智能化、系统化的方向发展，节能减排技术也将不断向源头削减、资源化利用的方向升级，推动石油化工行业最终实现低碳、绿色、可持续发展。

参考文献

- [1] 李静海, 刘中民. 中国煤炭清洁高效转化与石油化工低碳发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(02): 12-21.
- [2] 曹湘洪. 石油化工行业低碳发展路径研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(04): 1-10.
- [3] 张希良, 黄丹麟, 欧训民. 中国石化行业二氧化碳减排技术路径分析[J]. 化工进展, 2016, 35(11): 3661-3668.