

石油化工工程中节能减排技术的应用研究

王燕坡

山东京博石油化工有限公司, 山东 滨州 256500

[摘要]随着全球能源需求不断攀升, 石油化工行业作为能源消耗和污染排放的重点领域, 亟需采取有效的节能减排技术。通过引入先进的工艺优化、能效提升、废热回收和绿色催化等技术, 可以大幅度降低生产过程中的能耗与排放。节能减排技术不仅能显著降低运营成本, 还能促进环保要求的达成, 有助于推动行业的可持续发展。在石油化工工程的实际应用中, 如何有效结合技术与管理措施, 实现资源的最大利用和污染的最小排放, 已成为亟待解决的重要课题。

[关键词] 石油化工; 节能技术; 减排技术; 废热回收; 绿色催化

DOI: 10.33142/aem.v7i1.15233

中图分类号: TE683

文献标识码: A

Application Research on Energy-saving and Emission Reduction Technologies in Petrochemical Industry

WANG Yanpo

Shandong Chambroad Petrochemicals Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256500, China

Abstract: With the continuous increase in global energy demand, the petrochemical industry, as a key area of energy consumption and pollution emissions, urgently needs to adopt effective energy-saving and emission reduction technologies. By introducing advanced technologies such as process optimization, energy efficiency improvement, waste heat recovery, and green catalysis, energy consumption and emissions in the production process can be significantly reduced. Energy-saving and emission reduction technologies can not only significantly reduce operating costs, but also promote the achievement of environmental protection requirements, which helps to promote the sustainable development of the industry. In the practical application of petrochemical engineering, how to effectively combine technology and management measures to achieve maximum resource utilization and minimum pollution emissions has become an important issue that urgently needs to be solved.

Keywords: petrochemical industry; energy-saving technology; emission reduction technology; waste heat recovery; green catalysis

引言

石油化工作为全球能源和化工行业的重要支柱, 其生产过程中大量的能源消耗和废气排放一直是环境保护和可持续发展面临的巨大挑战。在全球范围内, 节能减排已成为各国政府和行业发展的核心议题。如何通过科技创新和技术升级, 在确保生产效益的同时, 降低能耗、减少排放, 已成为提升行业竞争力和环境责任感的关键。

1 石油化工行业节能减排的现状与挑战

1.1 传统工艺与设备的能效低下

石油化工行业大多数企业仍采用传统的生产工艺和设备, 这些工艺普遍存在高能耗、高排放的问题。许多老旧化工装置效率较低, 存在大量的能源浪费。例如, 许多炼油、蒸馏和分离过程采用的是高温高压工艺, 这种方式消耗了大量的热能和电力。在设备层面, 陈旧的蒸汽锅炉、压缩机、泵和换热器等设施普遍存在运行效率低下、热能利用不充分的现象。随着设备使用年限的增加, 这些设备的故障率和能耗水平逐渐增高, 极大地影响了整体能源效率。^[1]很多石油化工企业在运行过程中没有进行及时的设备更新和技术改造, 导致能源浪费和排放过高。由于设备老化, 蒸汽的回收、热能利用等环节都存在较大损失。这

不仅增加了能源的消耗量, 也使得生产过程中的二氧化碳和其他污染物的排放量难以控制。

1.2 生产过程中的能源消耗与污染排放不匹配

石油化工行业, 往往是能耗较高且难以避免污染排放的典型行业。由于石油化工产品的生产涉及到大量的化学反应、热能转换和物料传递过程, 这些工艺本身就需要消耗大量的能源。根据不同工艺的需求, 石油化工生产过程中主要依赖于蒸汽、天然气和电力等能源, 而这些能源的消耗往往远超行业平均水平。生产过程中产生的大量废气、废水和废渣等污染物的排放, 也是行业面临的主要问题。尽管近年来各类环保政策已逐步推行, 但仍有许多企业未能做到全面的污染物治理和资源回收, 导致生产废弃物的处理不规范、排放不达标。特别是在高温高压反应过程和炼油过程中的挥发性有机物 (VOCs)、二氧化碳及氮氧化物的排放问题, 依然是行业亟待解决的难题。

1.3 缺乏系统的管理机制与政策执行力不足

尽管许多地区已出台节能减排政策, 但石油化工行业在落实方面依然面临诸多挑战。许多企业缺乏系统管理和节能减排意识, 往往在生产中难以有效执行节能措施。部分企业注重短期经济效益而忽视长期节能效果, 缺乏完善

的节能评估体系,导致节能改造未能充分实施。此外,政策执行力度不够,地方政府监管不到位,部分企业仍未完全遵守环保标准。尤其是中小型企业,由于资金和技术限制,节能投入严重不足。^[2]尽管有技术创新,但由于资金和技术壁垒,许多先进节能技术未能广泛应用。

2 能源浪费与排放过高的根本原因分析

2.1 工艺流程不优化与能效低下

石油化工生产过程中的工艺流程常常设计不合理,这直接导致了能源的浪费。许多炼油和化工生产企业的工艺路线仍然依赖传统的热力学原理,尤其是在热能回收和利用方面缺乏高效技术。例如,在石油的蒸馏过程中,原油需要加热到高温(通常为 $350^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$)才能分离出不同的组分,但这一过程中大量的热能被浪费到环境中。在一些未进行节能改造的炼油厂中,约有 $25\%\sim 30\%$ 的输入热能被直接排放到大气中,造成了显著的能源损失。对于化工生产过程中的催化反应,许多老旧催化剂的效率较低,催化反应的选择性差,导致能源的非有效利用。例如,在聚乙烯生产过程中,催化反应的温度通常需要保持在 180°C 以上,且反应时间较长,这使得热能的消耗比实际生产需求高出 30% 以上。许多石油化工厂的能源管理系统不够智能,未能充分利用过程数据进行动态调节和优化。过度依赖人工操作和传统监控系统,导致热能、气体和电力的使用效率较低。特别是在热交换系统和蒸汽管网中,能量损失常常难以及时发现并解决,进一步加剧了能源浪费。

2.2 设备效能不足与老化

石油化工行业设备的老化和效能不足是导致能源浪费和排放过高的的重要因素。以蒸汽锅炉为例,传统锅炉通常具有较低的热效率和较高的燃料消耗。一些老旧锅炉的热效率仅为 70% 左右,远低于现代锅炉($85\%\sim 90\%$),这使得大量燃料被浪费掉。尤其是当锅炉在负荷波动较大的情况下,效率会进一步下降。设备的频繁故障和长时间的停机维修也加剧了能源浪费。在一些石油化工企业中,由于设备管理不善,设备故障率较高。根据某炼油厂的统计数据,该厂的设备故障率在每年约为 $8\%\sim 10\%$,这不仅造成了直接的生产损失,还导致了停机期间能源的无效消耗。特别是电力和蒸汽的浪费,当设备故障或停机时,这些能源往往不能及时被切换或回收。一些关键设备,如压缩机、泵和换热器的运行效率也较低。以泵为例,在一些老旧设备中,泵的能效仅为 50% 左右,远低于新型高效泵的 $80\%\sim 90\%$ 能效。^[3]这不仅增加了能源的消耗,还导致了环境中二氧化碳和其他有害气体的排放。

2.3 低效废气与废热排放

废气和废热排放是石油化工行业能源浪费的重要表现形式,尤其是在高温高压的生产过程中。传统的废气处理技术效率低下,许多有害气体未经过充分净化就直接排放到大气中,既浪费了潜在的能源,又污染了环境。例如,

在石油裂化过程中,裂化炉的烟气温度通常为 400°C 左右,这些废热未能得到充分回收和利用。通过热交换设备回收废热的技术尚未在许多企业得到普遍应用,这使得大量高温废气直接排放,导致了能量的浪费。根据相关研究数据显示,石油化工行业的废热回收率普遍较低,仅为 $30\%\sim 40\%$ 。例如,在某大型炼油厂,废热回收系统的效率不到 35% ,导致了该厂每年约有 1500 万吨的蒸汽未能被回收利用。此外,部分石油化工企业的废气处理装置老化,废气排放中的二氧化碳、氮氧化物(NO_x)和硫氧化物(SO_x)等污染物的浓度未能有效降低,直接影响了排放标准的达标,增加了二氧化碳和其他温室气体的排放量。

3 关键节能减排技术的应用与效果评估

3.1 废热回收与热能利用技术

废热回收是石油化工行业最为广泛应用的节能技术之一。在石油化工的生产过程中,大量的废气和废水会排放出高温热能,这些热能如果能够有效回收,将大大减少能源消耗。例如,在炼油厂,常常采用热交换系统来回收高温废气和蒸汽,用于预热原料或提供工艺热源。通过废热回收,许多企业能够节省 $20\%\sim 30\%$ 的热能需求。例如,某大型石油化工企业通过引入集成热电联产(CHP)系统,将废气中的热能转化为电能和热能,成功减少了约 15% 的电力消耗。该技术的应用不仅有效降低了能耗,还减少了对外部电网的依赖,降低了运营成本。近年来一些先进的废热回收技术,如有机朗肯循环(ORC)系统,已开始石油化工企业中逐步推广应用。ORC系统能够利用低温废热(如低于 300°C 的废气)进行发电,某些企业通过这一系统的应用实现了 20% 以上的能源利用效率提升。

3.2 高效催化技术的推广与应用

高效催化技术在石油化工行业的节能减排中起着至关重要的作用。传统的催化剂在反应过程中可能会导致能量损失,且催化反应效率相对较低。近年来,通过引入新型催化剂和催化工艺,石油化工企业在降低能耗和提高反应效率方面取得了显著进展。例如,在加氢裂化和烯烃裂解反应中,采用新型高效催化剂能够显著降低反应温度和压力,减少能源消耗。以加氢裂化为例,传统加氢裂化反应需要在 450°C 以上的高温下进行,而通过应用新型催化剂,反应温度可降低至 400°C 左右,这不仅降低了能源消耗,还减少了操作中的氢气消耗和二氧化碳排放。根据某化工公司数据,使用新型催化剂后,能耗减少了约 10% ,二氧化碳排放减少了 15% 。^[4]绿色催化剂的研发进展也为石油化工企业带来了更为高效且环保的生产方案。例如,应用双金属催化剂或纳米催化剂,可以提高反应选择性,减少不必要的副产物生成,从而进一步降低能量损失。

3.3 工艺优化与智能化能源管理系统

工艺优化和智能化能源管理系统(EMS)是提升石油化工行业能源利用效率的重要途径。通过对生产过程的实

时监控、数据采集与分析,企业能够动态调整生产工艺,优化能耗结构。现代化的智能化能源管理系统通过对生产设备和系统进行全方位的实时监控,可以在能源需求低谷时自动调整生产负荷,避免过度能源消耗。一些石油化工企业通过引入数字化双胞胎技术,将工艺参数和设备状态进行虚拟建模与实时对比分析,发现能效低下的环节,从而及时进行调整。某炼油厂采用此技术后,在一个年度周期内,实现了总能耗下降 7%以上,二氧化碳排放量减少了 8%。工艺优化还包括了精细化的能源管理方法。例如,通过动态优化反应器的温度控制,或调整分馏塔的操作压力,可以在不改变生产效率的前提下,减少能量的过度消耗。一些企业还利用深度学习和人工智能算法,预测设备故障,避免因设备效率降低造成的能源浪费。

4 提升石油化工行业节能减排水平的对策建议

4.1 加大技术创新与设备升级力度

技术创新是提升节能减排水平的核心动力,尤其是在现有工艺和设备不断老化的情况下,技术改造显得尤为重要。石油化工行业应加大对先进节能技术的投入,重点推进高效催化剂、绿色化学工艺以及智能化控制系统的应用。例如,采用新型的催化裂化技术(FCC)可以显著提高原油加工效率,同时减少不必要的能源消耗。新的催化剂材料不仅提升了反应速率,还有效降低了反应温度和压力,从而大幅减少了能源的消耗。许多石油化工企业的设备更新滞后,导致整体能效水平低下。对于这些老旧设备,可以通过引进高效节能型设备或进行技术改造,如更换为高效电动机、优化泵和压缩机系统、改进换热器设计等,显著提升能效。据统计,通过对某炼油厂的设备更新和改造,可以使电力消耗降低约 10%-15%。因此,企业应积极推进设备更新和技术改造,以达到节能降耗的效果。

4.2 强化能源管理与流程优化

在提升石油化工企业节能减排水平时,能源管理和流程优化至关重要。许多企业存在能源分散管理和低效利用问题,未能有效整合资源。因此,建立全面的能源管理体系(EMS)尤为关键。EMS 通过实时监控、数据分析和智能调控,帮助企业精确掌握能源消耗,发现节能潜力,并通过优化控制策略实现精细化管理。工艺流程的优化也是节能减排的关键,通过合理调度高能耗设备、减少冗余工艺环节等,能显著提高能源利用效率。例如,通过改进流体动力系统,减少管道阻力,一些企业已实现 15%以上的能源节

省。同时,流程优化还可降低二氧化碳等污染物的排放。

4.3 完善政策支持与激励机制

在节能减排的过程中,政府政策的引导和支持对行业的发展具有重要作用。石油化工行业应积极响应国家对节能减排的政策要求,配合政策导向进行相应的技术升级和管理改进。政府应出台更为具体和具有操作性的政策措施,如提供节能技术改造的财政补贴或税收优惠,鼓励企业进行设备更新和技术创新。特别是在节能减排初期,很多石油化工企业面对高额的改造投入时,常常缺乏足够的资金支持。政府可以通过补贴、低息贷款等方式缓解企业的资金压力,促进节能减排项目的实施。建立和完善企业节能减排的激励机制,促使企业主动提高节能减排意识。可以通过制定行业绿色认证体系、强化排放标准,以及给予符合标准的企业绿色标志等手段,鼓励企业积极投入节能减排技术的研发和应用。^[5]此外,政府可以通过设置能效指标和排放限制,迫使行业逐步向绿色化、低碳化发展,从而形成良性竞争,促进技术进步和管理创新。

5 结语

石油化工行业节能减排的提升既依赖于技术的创新与应用,也需要在管理和政策层面同步推进。通过优化工艺流程、更新老旧设备、实施智能化管理等手段,可以大幅度降低能耗与排放,推动行业的绿色转型。未来,持续加强节能技术研发、完善节能减排法规体系,将为石油化工行业实现可持续发展提供坚实的保障。

【参考文献】

- [1]余虹钢,曾桃,夏堃,等.石油化工企业节能减排现状与对策研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(9):206-208.
 - [2]权计忠.石油化工企业节能减排的现状与对策[J].化工管理,2020(31):49-50.
 - [3]沈桂兰.石油化工装备制造业面临的问题及发展方向[J].科技信息,2012(15):440-416.
 - [4]李泽凯.节能减排环保型超低硫汽油生产技术——安庆市绿能石油化工技术开发有限公司创新纪实[J].中国发明与专利,2010(4):116.
 - [5]王少梅.石油化工企业节能减排的现状与对策研究[J].石化技术,2022,29(1):212-213.
- 作者简介:王燕坡(1987—),男,汉族,籍贯:山东菏泽,本科,职称:工程师,研究方向:化工工程。