炼油企业节能减排策略研究
——以中国石化集团茂名分公司为例

程方军
中国石油化工股份有限公司茂名分公司　广东茂名　525000

【摘　要】随着“双碳”目标的提出，为促进生态环境可持续发展，我国推出一系列节能减排的策略，炼油企业作为能源消耗和碳排放的主要来源，迫切需要实现生产方式的转型减少对环境的污染，以实现企业的可持续发展。本文分析国家“双碳”目标对炼油企业的具体要求，探讨了炼油企业碳排放来源，阐述炼油企业节能减排现状，并以中国石化集团茂名分公司为例提出炼油企业节能减排措施，通过调整原料结构、提升动力设备性能、提升电机效率、建设数智化炼油厂、加强二氧化碳（CO2）的回收利用等策略减少碳排放含量，以期为同行业企业提供参考和借鉴。

【关键词】炼油企业；节能减排；低碳环保
【中图分类号】X742

Study on energy saving and emission reduction strategies of oil refining enterprises
——Taking Maoming Branch of SINOPEC Group as an example

Cheng Fangjun
MAOZHOU Branch of China Petroleum and Chemical Corporation Guangdong MAOMING　525000

【Abstract】With the introduction of China's "dual carbon" goals, the nation has implemented a series of energy-saving and emission-reduction strategies to promote sustainable ecological development.As major sources of energy consumption and carbon emissions, oil refineries urgently need to transform their production methods to reduce environmental pollution and achieve sustainable development.This paper analyzes the specific requirements of the national "dual carbon" targets for refining enterprises, explores the sources of carbon emissions in the industry, examines current progress in energy conservation and emission reduction, and proposes practical measures using Sinopec Group Maoming Branch as a case study.Strategies include adjusting feedstock structures, improving power equipment performance, enhancing motor efficiency, building smart refineries, and strengthening carbon dioxide（CO2）recovery and utilization to reduce emissions.These recommendations aim to provide reference for industry peers.

【Key words】oil refining enterprises; energy conservation and emission reduction; low-carbon environmental protection

引言

炼油企业对我国经济发展有重要作用，但炼油企业碳排放较高，其碳排放涉及多个生产环节，对环境造成了较大的压力[1]。随着全球变暖，“十四五”会议提出“双碳”环境发展目标与“碳中和”转型实施政策，我国对炼油企业绿色环保生产节能减排要求更加严格，企业需要对生产原料、生产设备进行转型升级，并通过回收利用二氧化碳（CO_2）降低碳排放量，实现绿色可持续发展[2]。中国石化集团茂名分公司是国内大型炼油企业之一，其在碳排放及减排方面的研究与实践对于炼油行业碳排放技术革新具有示范意义，研究企业节能减排策略对实现社会“双碳”目标意义重大。

1 国家“双碳”目标对炼油企业的要求

石化产业是我国经济发展中的基础性产业之一，炼油企业是石化产业的重要支柱，炼油企业的可持续发展关系着国民的生活，与我国战略性新兴产业的健康发展联系紧密[3]。2022 年我国碳排放总量达到 110 亿吨，其中石化产业碳排放总量为 10 亿吨，炼油企业碳排放重量为 4.00 亿吨，占石化产业碳排放总量的 40%。所以加快炼油企业绿色低碳发展对促进石化产业发展有重要作用。国家“双碳”目标为炼油企业节能减排指明了方向，《2030 年前碳达峰行动方案》（以下简称方案）提出需要对炼油企业、化工企业、化学原料生产企业等企业进行节能降碳改造，预计 2030 年非化石能源

消费比重达到 25%左右[4]。方案中还提到石化产业应进行节能改造，淘汰落后产能，提升能源利用率，这说明炼油企业需要加快绿色低碳转型发展步伐。

2 炼油企业节能减排现状

近年来，我国石油需求量持续攀升，原油加工量呈增长趋势。在此过程中，炼油企业不断排放二氧化碳导致我国环境问题日益严峻，对实现“双碳”目标构成挑战[5]。在“双碳”政策背景下，我国汽油的使用效率降低，炼油行业正逐步转向“减油增化”发展，然而炼油过程本身是一个能源密集型活动，其生产过程中伴随着较高的二氧化碳排放，但二氧化碳排放量受炼油企业生产原料、设备规模的影响。因此，如何在确保炼油企业生产效率的前提下，降低二氧化碳排放已成为炼油企业亟待解决的关键问题。所以炼油企业降低碳排放可以通过优化原料结构、动力设备性能减少能源消耗，以实现绿色低碳发展。

3 炼油企业节能减排策略——以中国石化集团茂名分公司为例

3.1 企业概况

中国石油化工股份有限公司茂名分公司，始建于 1955 年 5 月，隶属于新中国“一五”期间 156 个重点项目。该公司以开采油母页岩、加工“人造石油”为起点，是我国首座千万吨级炼油厂、首座百万吨级乙烯厂、国内最完善的燃料—润滑油—化工型炼油厂、国内第二家年利润超百亿元的炼化企业、广东绿色石化战略性产业集群“链主”企业，当前已经成为我国原油加工的重要企业之一，也是我国大规模的国有炼化企业之一。

3.2 企业碳排放来源

企业碳排放来源包括生产原料、燃烧碳排放、间接碳排放。

3.2.1 生产原料

生产原料碳排放来源于石油与煤油生产加工过程，石油与煤油均由碳、氢元素组成。炼油企业生产过程产生的二氧化碳受到石油、煤油的碳含量的影响，当生产原料所含碳含量较高，在生产过程中可能因为部分碳元素无法及时转化从而产生大量的二氧化碳，最后被企业直接释放到空气中，从而造成环境污染。

3.2.2 燃烧碳排放

燃烧碳排放量与企业生产过程中原料未完全转化后产生的干气及燃料消耗成正比。在具体生产过程中，炼油企业生产工艺较为特殊，在催化裂化、焦化过程中可能会产生二氧化碳排放，其中催化裂化所用的催化剂可能促进石油中大分子烃类的裂解，产生小分子烃类与 CO_2。炼油企业焦化过程中的石油的重质组分经过热解和缩聚反应生成焦炭，在此生产过程中也会释放大量的二氧化碳。中国石化集团茂名分公司 2024 年燃烧碳排放量如表 1 所示。

表 1 燃烧碳排放量

项目	消耗量/t	碳质量分数，%	碳氧化率，%	CO_2排放当量/kt
燃料油	712	87.12	98	2.358
干气	236 452	67.12	99	612.362
天然气	89 525	69.12	99	214.252

3.2.3 间接碳排放

间接碳排放是企业在炼油过程中炼油设备能耗过高所产生的 CO_2 排放，例如汽轮机在运行时需要消耗大量的能源，汽轮机生产环节较多，部件磨损，设备效率下降，能耗增加从而导致碳排放量上升。

3.3 炼油企业节能减排策略

3.3.1 调整原料结构

炼油企业石油与煤油燃烧产生的 CO_2 由碳氧化生成，中国石油化工股份有限公司茂名分公司的燃料气的补充气为液化气，碳质量分数达到 83.50%，碳氧化率较高，将补充气替换为天然气可以其碳质量分数从 83.50%降至 70.43%，实现降碳。但企业调整原料结构还需增加可再生原料的使用，推进原料轻质化，优化原有资源利用，根据国家发展改革委等部门《关于促进炼油行业绿色创新高质量发展的指导意见》要求提出炼油企业应废弃生物质液体燃料，加大对秸秆草炼油开发。秸秆草炼油技术流程包括原料预处理阶段、催化裂解单元、产物分析系统、副产物综合利用等环节，技术规范可参照《生物质热解油》（NB/T34007-2020）行业标准，开发秸秆草炼油可以根据我国《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》（财建（2020）208 号）相关财政支持政策获得资金支持，为企业减排提供新路径。原料轻质化指减少重质原油加工，企业可以引导生物质制合成气，积极拓展富氢原料来源，增加原料结构中凝析油与超轻原油的比例。为实现企业与碳管理平衡，企业可以利用分离技术对原油或其馏分进行烃组分分离后炼制，优化炼油工艺流程。

3.3.2 提升动力设备性能

中国石化集团茂名分公司炼油机组型式为高温高压、单缸单轴、双抽汽、冲动冷凝式汽轮机，带两段可调整工业抽汽。由于汽轮机是炼油过程中的重要动力设备，其运行效率和能耗水平直接影响到企业的碳排放，所以需要对该动力设备进行改造，提升动力设备的性能。中国石化集团茂名分公

司汽轮机原有结构设计存在一定设计冗余，可以在原有汽轮机结构上进行改造。原有机组改造前流通结构如图 1 所示。

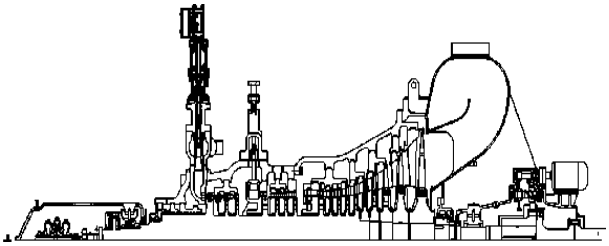

图 1　原机组改造前汽轮机纵剖面图

改造时需要考虑减少汽轮机部件的磨损，提高汽轮机运行效率，所以需要重点改造汽轮机的背压机转子，封堵处理缸体上对应的开口，以此减少汽轮机的磨损。改造后的机组改造后的汽轮机纵剖面图如图 2 所示，汽轮机通流结构、回热系统、进汽量、抽汽量、轴封系统、凝汽器、外部气源等关键参数得到优化调整。改造后汽轮机通流结构更加流畅，减少了流体阻力，提高了热能转换效率。回热系统经过改进，能够更好地回收利用热能，减少了热量的损失。同时，进汽量和抽汽量的精准控制，使得汽轮机的运行更加稳定，减少了不必要的能耗。轴封系统采用了软质密封材料结构，内层选择耐高温的金属缠绕垫片，可以有效阻挡蒸汽泄漏，减少了漏气现象，提高了密封性能。为提升凝汽器的冷却效果，使用新型高效换热管材，具有耐腐蚀性能，管内壁进行纳米涂层处理，有效降低冷凝水膜厚度，减少热阻，蒸汽可以快速凝结成水，提升冷却效果，进一步提高了汽轮机的热效率，减少汽轮机的能耗大幅降低，降低炼油企业生产过程中的碳排放量。

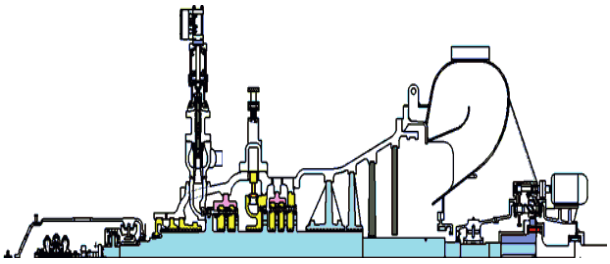

图 2　机组改造后汽轮机纵剖面图

3.3.3 提升电机效率

炼油企业的水泵、风机负荷随着生产过程产生变化，企业恒速电机不受负荷的影响保持运行状态，增加电机能耗。为降低电机能耗，可以采用变频调速技术智能控制优化电机设备的运行控制，利用变频器实现电机自由根据负荷调整电机供电频率的目的，降低设备消耗。企业可以引进智能控制系统，实时收集分析电机的运行数据，根据设备具体的生产状态实现智能调控，使炼油企业多电机可以根据负荷合理分配，确保电机高效运行。同时使用智能控制系统可以减少人力使用，避免人为控制不精准导致电机能耗增加。中国石油化工股份有限公司茂名分公司的电机为传统电机，根据我国发布的《电动机能效限定值及能效等级》（GB18613–2020）规定，电机能效等级分为 IE1、IE2、IE3、IE4 四个等级，IE3、IE4 为最高能效等级。中国石油化工股份有限公司茂名分公司使用电机大多为 IE1、IE2 等级，对此可以及时更新电机设备，IE3 以上一级能效的高效节能电机使用硅钢片，优化绕组设计，可以减少机械磨损，降低耗电量，达到节能减排的效果。

4 结语

综上所述，炼油企业是我国碳排放的“大户”，面对“双碳”战略的压力，需要及时采取节能减排措施，实现企业可持续发展。针对炼油企业节能减排措施，本文以中国石化集团茂名分公司为例，提出以下节能减排措施：

第一，调整原料结构，从源头上减少企业碳排放。第二，提升动力设备性能，改造主要设备汽轮机的性能，降低能源消耗。第三，提高电机效率，减少电能浪费。第四，建设数智化炼油厂。积极利用大数据技术、物联网技术监测炼油企业生产过程的数据，优化生产流程。第五，利用 CCUS 技术实现 CO2 的回收利用，减少碳排放的同时提高企业经济效益。通过以上措施，有助于炼油企业有效应对“双碳”战略的挑战，实现企业的可持续发展。

参考文献

[1]张苗，罗天祥.甘肃加气混凝土生产企业碳排放分析及碳减排措施研究[J].中国建材科技，2024，33（2）：124–129.
[2]张晓琳，程光剑，徐冰，苏文，谢佳彤，徐新杰.炼化企业二氧化碳排放核算与碳减排探讨[J].低碳化学与化工，2024，49（3）：97–101.
[3]于立宏，金环，孙慧燕.节能低碳政策对企业技术创新和污染减排的影响[J].环境经济研究，2024，9（1）：107–129.
[4]张健赟，赵树成，肖玲娟，刘爱国.汽轮机通流改造节能效果及经济性分析[J].能源工程，2021，41（3）：45–51.
[5]刘爱国，张健赟，赵树成，肖玲娟.300 MW 和 600 MW 等级汽轮机通流改造经济性研究[J].能源工程，2021（6）：69–73.
作者简介：程方军（1988—），男，广东茂名人，本科学历，研究方向：节能降碳节水管理工作。