

石油化工生产工艺优化与节能降耗研究

朱春齐

新地能源工程技术有限公司石家庄能源化工技术分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]石化产业是一个高能耗、高污染的基础性产业,其能源消费量占整个国家工业能耗的1/7左右。因此对石化产业工艺改造以及节能减排的研究有着非常重要的现实价值。详细综述了石油炼制行业的主要生产工艺以及节流原理,在此基础上对现有能耗水平以及整个工艺系统的不足进行了深入剖析,在此基础上对原料预处理、催化转化、蒸馏提纯、热量集成等方面提出了关键的工艺改进技术,也阐述了蒸汽系统、循环冷却水系统和余热余气利用等一系列节能措施的应用策略。结论发现:借助夹点技术和焓分析模型来实施全厂整体的能量平衡方案可以准确找出重点不合理的能耗环节。换热网络与吸收式热泵精馏联用工艺方案,在原料流量降低的时候仍然能够实现良好的节能效益。炼油装置处理1t原油的碳排放量为270~659kgCO₂e/t之间,深加工装置碳排放量最大。研究结果可以给石油化工企业的节能增效带来一定的指导意义和技术借鉴作用。

[关键词]石油化工;工艺优化;节能降耗

DOI: 10.33142/sca.v9i5.19731

中图分类号: TE624.3

文献标识码: A

Research on Optimization of Petrochemical Production Process and Energy Conservation and Consumption Reduction

ZHU Chunqi

Shijiazhuang Energy Chemical Technology Branch of Xindi Energy Engineering Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The petrochemical industry is a fundamental industry with high energy consumption and pollution, accounting for about 1/7 of the total industrial energy consumption in the country. Therefore, research on process transformation and energy conservation and emission reduction in the petrochemical industry has significant practical value. A detailed overview of the main production processes and throttling principles in the petroleum refining industry was provided. Based on this, an in-depth analysis was conducted on the existing energy consumption level and the shortcomings of the entire process system. Key process improvement technologies were proposed for raw material pretreatment, catalytic conversion, distillation purification, heat integration, and a series of energy-saving measures such as steam system, circulating cooling water system, and waste heat and gas utilization were also elaborated. Conclusion: The use of pinch point technology and analysis models to implement an overall energy balance plan for the entire plant can accurately identify key and unreasonable energy consumption links. The combined process scheme of heat exchange network and absorption heat pump distillation can still achieve good energy-saving benefits even when the raw material flow rate is reduced. The carbon emissions from processing 1t of crude oil in a refining unit range from 270 to 659 kgCO₂e/t, with the highest carbon emissions from deep processing units. The research results can provide certain guidance and technical reference for energy conservation and efficiency improvement in petrochemical enterprises.

Keywords: petrochemical industry; process optimization; energy conservation and consumption reduction

引言

石油化工行业是国家经济命脉产业,肩负着把石油转换成燃料油、化工基础原料以及各种下游产品的职责。截至到2024年,我国炼油能力达到9.5亿t/年,乙烯生产能力已经超过5500万t/年,主要大宗有机化工材料生产能力及产量均居世界第一。但是传统石化产业耗资巨大、污

染严重的发展模式造成其对自然资源能源的需求量极大;石化行业的碳排放总量位列工业行业的前茅,中国炼油业是最典型的技术密集型、能耗密集型、碳排放密集型产业之一,也是落实“双碳”战略必须进行绿色低碳转变的重要行业。伴随着能源危机加重与环境保护要求日益严格的情况,石化类企业在转型升级与低碳发展上面临着巨大的

挑战。石油化工生产工艺优化节约能源是减轻企业生产运行成本提高竞争能力的自身需要也是执行国家的节能减排政策和行业发展需要的必由之路。目前我国炼油厂的能量利用率同先进国家相比还有一定的距离,在管理和节能技术及生产过程中都有很大的提高余地。所以对石油化工生产工艺优化和节能降耗技术进行系统的分析是非常有必要的。本文围绕着石油化工生产工艺优化和节能降耗来开展研究工作,主要从理论研究、能耗状况、工艺优化和节能技术的应用这几个方面进行研究,目的是给出一些对石油化工企业在节能方面有所帮助的技术方法。

1 石油化工生产工艺与节能理论基础

1.1 石油化工生产工艺概述

石化工是以油气为原料,在一系列物理提纯、化学反应的过程中,制备燃料、润滑剂、化工基础原料等多种产品。原油性质较为复杂,主要是烷烃、环烷烃、芳香烃及其衍生物组成的碳氢化合物,同时包含硫、氮、氧等杂元素和少量金属杂质。石化工的基本目标就是采用加工方法使原料油的分子链变短或改变其分子组成,提高 C/H 比值,把价值较低的原料转变为较高价值的产品。石油化工工艺具有高温高压、连续化、能耗大的特点。很多反应都要在高温高压下进行,包括一系列复杂的物化反应和相间传质、传热等过程,对热量有较高的要求。因此石油化工属于高能耗行业,也给节能降耗留下了很大余地。

1.2 工艺优化基本原理

工艺优化是在保证产品品质与产量的要求下,通过对操作条件进行调节,改进装置结构或者重组工艺路线以达到一定的目的(例如,降低消耗量,提高产率,降低成本),而采取的一种整体策略性方式。工艺参数调节是最基本的方法,如反应温度、压力、空速、进料比例以及回流比等等一系列的调节方式都可以叫作工艺调节。例如关于二甲苯塔的能耗分析可知:对于塔底的重沸热量来源应该是燃料气,如果选用的是蒸汽的话最好是先用低压蒸汽;塔顶

首先考虑产蒸汽,而且最好是产高压蒸汽。这样的调节方案可以在保持原有的主体生产设备不变的情况下实现很大的节能效果。流程再造属于更深一步的优化,在此过程中不仅需要对工艺流程的设计或者单元操作进行重组。对于炼油厂在原油“油转化”中采用催化裂化为主加工路径的相比于采用加氢裂化为主的加工路径可以使得双烯收率有 4.14% 的变化;通过对加工工艺的研究,合理安排现有装置富余的能力进行局部调整,从而达到降低原料费用的目标。

2 石油化工生产能耗现状及问题分析

2.1 生产过程中的主要能耗环节

由表 1 可知,加热炉及裂解炉是最主要的燃料消耗设备,大功率螺杆压缩机是主要的电耗设备。各个装置的能量消耗构成差别较大,催化裂化焦炭燃烧产生大量的热能,它的能量回收潜力最大;乙烯裂解炉的热量回收率对于整个装置的能耗影响程度最大。

2.2 工艺系统运行存在的问题

目前石油化工工艺系统存在的主要问题是:能量分级利用不足。炼油化工生产工艺中有大量的不同温度等级的热源与热阱,但是现有的换热网络的设计往往达不到最佳匹配的程度,在一些场合出现了高温热源直接冷凝以及低温热源被用作高压蒸汽加热的情况,常减压塔各个侧线塔底油品换完之后仍留有一部分较低的热量,还需要借助循环水进行冷却散热,造成了能量上的损耗;加热炉热能利用率低。有些加热炉排烟温度过高,过氧比较大,导致了炉壁有较大的热辐射损失。全部实现电磁化之后,对于碳排放量会大幅度减少,但是电磁化改造过程中会受到供电能力及成本的限制。蒸汽供应不足。蒸汽按蒸汽的压力分为网运行,各压力等级之间普遍存在减温减压的现象,高品质蒸汽被浪费的现象严重。并且对蒸汽管网隔热及疏水措施不够完善,使得蒸汽损耗严重。运行工况偏离设计参数。实际生产负荷与设计负荷有一定的偏差,使得设备利

表 1 石油化工主要生产装置能耗构成分析

生产装置	主要能耗环节	能耗类型	能耗占比	节能潜力
常减压蒸馏	加热炉、减压塔、机泵	燃料气、电力、蒸汽	25%~30%	中
催化裂化	反应再生系统、烟气轮机、分馏塔	焦炭、蒸汽、电力	30%~35%	高
催化重整	加热炉、压缩机、再接触系统	燃料气、电力	15%~20%	中
加氢裂化	反应器、循环氢压缩机、分馏系统	燃料气、电力、氢气	10%~15%	中
乙烯裂解	裂解炉、急冷系统、压缩机组	燃料气、蒸汽、电力	35%~40%	高
芳烃联合	重整单元、吸附分离、异构化	燃料气、蒸汽、电力	20%~25%	高

用率偏低,在油气处理厂产量衰减的情况下,换热网络方案以及改造方案的节能量都随着原料的变化而减少。

3 石油化工生产工艺优化关键技术研究

3.1 原料预处理工艺优化

原料预处理为石油化工生产的第一个单元,对原料预处理的优化直接影响到了后续装置的运转情况以及能耗的高低。电脱盐效果良好。脱盐效果影响着常减压装置的腐蚀和结垢情况。调整电场强度、注水量、混合阀压降等参数可以使脱盐率达到 98%以上,降低以后各套装置由于腐蚀及催化剂中毒的现象。轻石脑油正异构分离。轻石脑油正异构烷烃分离实现了“宜油则油、宜烯则烯”的原料选择目的。高比例的异构烷烃使轻石脑油辛烷值升高,作为汽油调合组分使用;高比例的正构烷烃作为蒸汽裂解原料可以提高乙烯的产量。经研究表明,正异构烷烃吸附分离项目投产能使乙烯收率提升约 3%,汽油及烯烃产品的年产值增加 73964 万元。渣油组合加工方法改进。以某一炼化工厂为例,为了达到增产轻油的目的,利用现有的渣油加氢/催化裂化加工过程,添加了溶剂脱沥青/沥青造气加工工艺形成加氢与脱碳组合方法。在天然气与渣油价差较大时,进行组合加工对企业加工成本具有很好的控制作用,同时能为企业创造更多的经济利益。

3.2 反应过程工艺优化技术

生产工艺是石化工业的灵魂步骤,它的好坏直接影响着能量利用率高低的问题。工艺条件严格把控。温度、压力、空速、氢油比等操作变量的选择能增加转化率及选择性,节省能量消耗。连续重整装置的操作苛刻度按产品规格调整,产出合格的混合二甲苯产品,C5+RON 需 >104 ,在催化裂化过程中控制乙烯二次反应对于提升双烯收率有着极其重要的意义;同时新型催化剂的应用也可以使反应所需的温度和压力下降,减少不必要的副反应的发生;催化裂化的加工路线相比于加氢裂化加工路线,双烯收率提高 4.14%。PHR 系列催化剂应用于劣质高硫、高金属含量渣油加氢装置工业试验结果良好。反应器设计更新。新型离心式径向反应器平均压降下降近 40kPa,装置能耗下降约 3.5%,催化剂使用周期延长约 15%,新的反应器结构有利于物料分配以及流体分配,减少床层压降与压缩机的功耗。

3.3 分离与精制工艺优化

精馏分离过程能耗占石化行业全部能耗的 40%~60%,是最具有节能空间的部分。提高塔的操作性能。回流比、塔压、进料口的选择都会大幅降低能耗。以对二甲苯塔为例,塔釜再沸热源首先应该用燃料气作为热源,其

次才是选择蒸汽时尽量使用较低的压力蒸汽,其次塔顶优先选用产蒸汽并且尽可能多产出较高压力等级蒸汽。隔壁塔技术的应用。隔壁塔把传统的双塔流程变成了一座塔来实现,可以达到 20%~35%的节能率。通过对隔壁萃取蒸馏塔分离异丁醇以及乙酸异丁酯共沸物进行模拟优化实验,为工业化生产提供借鉴作用。吸附法分离工艺优化。对于芳烃联合装置而言,吸附分离系统的选择对能耗的影响较大,在使用环丁砜作为溶剂的萃取蒸馏、甲苯歧化及烷基转移、液相吸附分离等工艺路线的芳烃联合装置,每吨对二甲苯设计能耗可以达到 6981MJ。

3.4 热能集成与余热回收技术

热能集成及余热回收为节能降耗的关键技术手段,而夹点技术和焓分析为主要工具。夹点技术利用冷热物流组合图来找到系统的夹点所在,即保证不越夹点热传,最大限度地回收热量;焓分析则是以热力学第二定律为基础,可以衡量能量品质高低,并找出焓损大的地方。换热网络优化夹点。基于多种工况下求解结果,利用夹点技术和焓分析技术对整个工厂的能量系统进行分析优化,能够有效找出不合理耗能处。通过对四种不同的再接触过程进行模拟得出,在满足下游用户的基础上选取最有利的流程方案。低温余热回收利用。常减压装置的各个侧线油品换热之后还有剩余的低温余热,必须使用循环水来降温。经技术改造后采用除盐水作为常减压装置油品水冷器的原水,升温后再流回至除盐水原水箱,每年可以节省蒸汽 1.3t,节省了循环水 127.87 万 t,合计节约成本为 336 万元。吸收式热泵应用。换热网络加吸收式热泵精馏联合方案即使面对原料流量减少的情况下还能维持良好的节能效果,在此方案中是采用低品位热源来驱动,从而使得能量由低水平转移到高水平上,特别适合用于精馏塔塔顶余热的回收利用。余热发电技术。炼化公司采取了乏汽回收、余热发电等一系列先进的节能技术,取得了良好的成绩。催化裂化装置烟气余能回收系统可以对烟气进行热量与压力能的回收,带动烟气透平以及主鼓风机。有机朗肯循环技术能够把低于 150°C的低品位余热变成电力,扩展了余热的回收利用领域。

4 石油化工节能降耗技术应用研究

4.1 蒸汽系统节能优化

蒸汽系统是炼油化工企业主要的公用工程系统之一,其节电优化主要体现在以下几个方面:蒸汽梯级利用。根据不同的用户需求不同等级蒸汽,杜绝大材小用。针对蒸汽系统的改进,节电量会随着进料量减少而减少,要有针对性地提出措施。

乏汽回收:高温乏汽具有很大的潜热,在回收使用后,

可以节约除盐水量与燃烧用煤量。较好的乏汽回收系统可以回收全厂 95% 以上的乏汽。蒸汽管道布置合理。科学安排管路走向, 避免过长距离输送产生较大的压力损失、温度下降等问题; 提高保温水平, 减少热量散失。

4.2 循环冷却水系统节能措施

循环水系统是石化企业的耗电大户, 节能方法有以下几种: 循环水系统的节能。采取变频控制、水泵叶片切割、管路阻力调整等方式减少循环水系统的消耗。国内一个炼油化工厂利用循环水系统的改造等一系列节能的技术手段取得了很好的效果。节流技术的应用。增加循环水的浓缩倍率、使用封闭式循环、普及空冷的方法来减少循环水的补水以及排水量。强化运行管理。依据外界环境温度及装置负荷的变化情况对循环水的流量以及风机运转数量做出灵活的调控方案。

4.3 废热废气综合利用技术

废热废气综合应用是节能降耗和减排二氧化碳的有效手段之一。烟气余热回收: 加热炉、裂解炉排烟余热可以通过空气预热器、余热锅炉等进行回收。烟气排烟温度降至 140°C 以下时可以增加加热炉热效率 2%~3% 左右; 工艺废气回收: 炼厂干气中含有大量的氢气以及轻质烃类, 可以采取变压吸附或者膜分离的方式对其中的有效成分进行回收利用。干法提取氢气的技术能够做到废物资源化的同时也降低了制氢的成本, 对于二氧化碳的捕捉和利用来讲, 渣油加氢+催化裂解+干气制氢这套生产工艺相比于溶剂脱沥青+加氢裂化+油制氢这套工艺路线二氧化碳的排放更低一点。

5 结语

石油化工生产工艺优化及节能降耗工作是一个复杂

的综合体, 需要在理论研究、问题辨识、技术实施以及评价检测等各个环节齐抓共管。夹角分析及烟分析是能量系统优化的有效手段, 反应工程优化、分离工程优化、热集成及余热利用是三个主要的技术路线, 智能化技术为不断改进增添了动力源。炼油装置碳排放量化研究表明: 炼制每吨原油所消耗的能量折合 CO₂ 排放量在 270~659kg 之间, 不同炼制方式差别较大, 重油裂化型炼油厂碳排放最多。所以对不同设施类型进行有针对性的节能减碳措施, 在应用中提倡集中供热、热电联产以及可再生能源供热等方式的应用, 进一步提高装置生产工艺水平, 强化加工转化精度从而减少中间环节数量, 未来在“双碳”的推进下, 石化行业的绿色发展、节能减排以及数字化进程将会进一步加快, 绿氢置换灰氢、绿电置换火电、某些设备进行电气化改造、加热炉电气化、装置用能结构调整等一系列技术手段都将在其中起到更大的作用, 经过不断的技术创新与管理改善, 石化行业能够做到在保证足够产品的情况下实现更高水平的能源利用及更低的二氧化碳排放量。

[参考文献]

- [1] 向明燕, 吴群英, 饶隽. “双碳”目标下炼化厂绿色低碳转型路径研究[J]. 当代石油石化, 2025, 33(10): 22-29.
- [2] 任永苍, 邓乾星, 曾海刚, 等. 油气处理厂产量衰减工况下的能量系统分析与优化[J]. 石油与天然气化工, 2025, 54(2): 136-143.
- [3] 张丙凯, 黄传林. 炼油化工企业节能降耗技术研究[J]. 山西化工, 2023, 43(3): 181-183.

作者简介: 朱春齐 (1998—), 男, 汉族, 辽宁省朝阳市人, 工程师, 燕山大学毕业, 现就职于新地能源工程技术有限公司石家庄能源化工技术分公司, 从事工艺设计工作。