

炼厂装置能量系统优化的经济效益分析

范丽华 (北京燕山玉龙石化工程股份有限公司, 北京 102500)

摘要: 通过能量系统优化对炼厂装置进行分析, 优化精馏塔操作和换热网络结构, 提高能量利用率, 最终达到装置节能增效的目的。

关键词: 炼厂装置; 夹点技术; 换热网络; 节能增效

1 引言

近年来, 不断上涨的能源成本、温室气体的排放和可持续发展的压力, 石化企业面临着巨大的节能增效压力。石化产业作为国民经济的基础和支柱产业, 是推动经济高质量发展的关键和重点产业之一, 同时也是耗能排碳大户。加快推动石化产业高质量发展和绿色低碳转型, 对实现“双碳”目标意义重大。国家发展改革委等5部门出台了《石化化工重点行业严格能效约束推动节能降碳行动方案(2021-2025年)》, 提出了炼油、乙烯等重点行业节能降碳的行动目标、重点任务和工作要求, 将有力提升我国石化行业能效水平, 促进产业转型升级, 推动碳达峰目标如期实现。

炼厂指将从地层中开采出的原油经过蒸馏、催化、裂化、裂解、加氢等工艺过程, 生产出柴油、汽油、煤油、润滑油、石油焦、沥青、乙烯等产品的工厂。习惯上将石油炼制过程分为一次加工、二次加工和三次加工三类过程^[1]。一次加工指常减压蒸馏装置。二次加工含催化、加氢裂化、延迟焦化、催化重整、加氢精制等装置。三次加工装置含裂解工艺制取乙烯、芳烃等化工原料。

夹点技术最初应用在热回收网络, 随着进一步发展, 逐渐同公用工程系统相结合, 发展为用于过程能量系统综合设计的一种较为实用的技术。夹点分析法从宏观的角度描述和分析过程系统能量沿温度的分布, 从中发现系统用能的瓶颈所在。通过夹点技术对装置内部或不同装置间的热量利用进行目标确定, 对冷热公用工程消耗进行准确预测^[2-3]。尚建龙^[4]等应用夹点技术对某石化企业1.4Mt/a催化裂化装置换热网络进行分析改造, 改造后装置可以节省1.0MPag蒸汽7.88t/h, 节省循环水3.77t/h, 年经济效益可达1221万元。李振东^[5]等针对某石化企业中制苯装置和碳八装置工业数据, 使用专业软件建立换热网络模型, 综合改造实施中的限制及复杂程度, 提出两种装置间热联合方案, 经计算可分别节省0.3MPag蒸汽2.94t/h和

3.85t/h, 投资回收期分别为0.2a和0.25a。

炼厂各装置工艺复杂, 通常包括原料预处理、反应、产品分离和能量综合利用等过程。能量综合利用过程复杂, 涉及大量冷热工艺物流, 与公用工程一起构成换热网络, 同时各工艺物流的操作参数与反应, 尤其是分离操作又有很强的交互关系, 因此夹点分析加系统优化的方法对于整个装置的节能增效是非常必要的。装置节能优化改造的前提是分析装置的操作现状, 利用专业软件分析寻找节能增效的突破口^[6]。首先需要深度调研掌握装置当前运行工况, 以通用流程模拟软件和夹点分析软件为工具, 建立装置的详细模型, 以此为依据进行分析。

2 常减压装置的应用

常减压装置是在常压和负压条件下, 根据原油中各组分的沸点不同, 通过蒸馏手段, 把原油切割成不同馏分的工艺过程。蒸馏塔需要汽相回流和液相回流, 中间产品需要冷却进下游装置, 因此装置内有一套复杂的原油预热系统, 即原油换热网络来回收蒸馏塔内和侧线产品热量。

实际生产中, 由于加工原油的变化, 产品切割方案的调整以及与下游装置联合操作方式的改变, 这些均影响着整个装置的操作, 使其偏离原始设计值, 致使装置的能耗显著上升, 甚至出现设备操作上的瓶颈。如加工原油的轻重, 轻收和总拔的差异过大, 导致塔内水力学超出正常操作范围, 严重时的液泛会影响整个蒸馏塔的运行, 制约优质油的采出。

针对某石化公司5.50Mt/a常减压装置进行数据采集、模拟计算分析, 与夹点技术结合进行换热网络优化改造, 过程中充分考虑蒸馏塔的操作调整, 采用系统优化方法使装置节能增效。从装置实际运行产品收率可以看出, 该装置实际运行已经偏离设计值。其中, 石脑油收率由设计值25.45%降至16.56%, 柴油收率由设计值35.51%升至41.73%, 总拔出比例由设计值83.44%降至81.1%。原油切割馏分的变化导致整个装

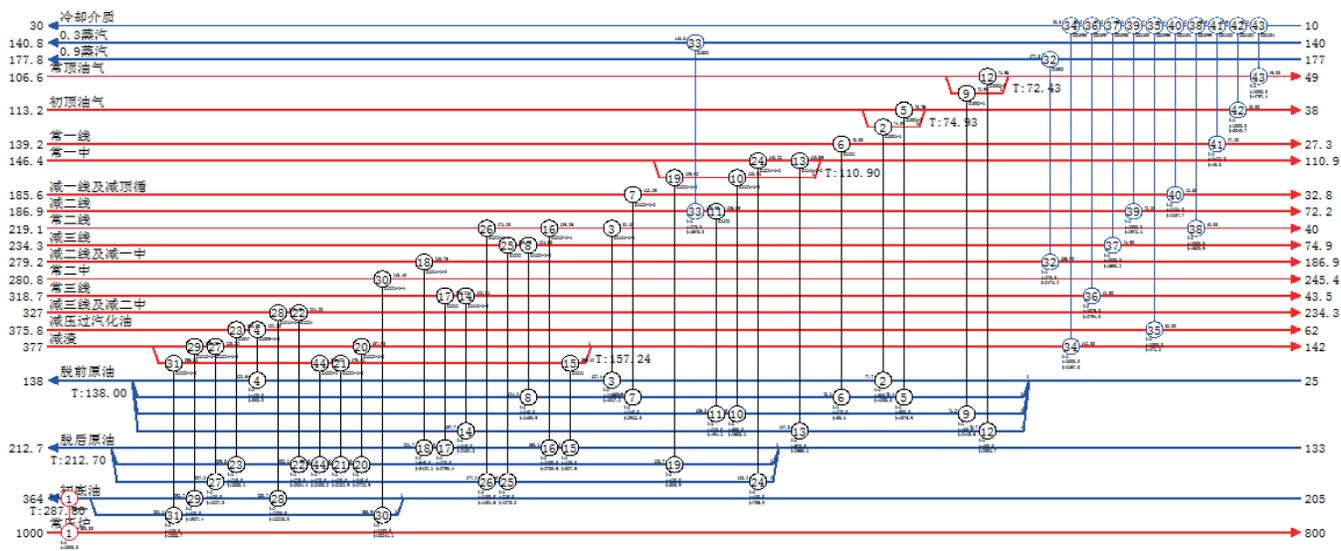


图 1 常减压装置换热网络图

置常减压蒸馏塔内的水力学改变,塔内取热分布改变,同样产品的收率变化会导致侧线流股带入换热网络的热量改变,因此换热网络也需要随之调整,但是换热网络错综复杂,结构固定,仅靠原油和初底油的分流率,换热器副线开度的调整,很难从根本解决问题。

从装置产品质量分析数据得出,常一线重石脑油与常二线柴油之间已经脱空,分离完全;常二、常三、减一线之间的重叠度较高,但因均是柴油馏分,优化塔内操作时根据下游装置去向调整常一中、常二中的取热比例;减压塔将塔的取热量向下段移动,争取更多的高温位热源,以利于提高整个换热网络的回收热量。塔内热量的移动是有限度的,否则会影响产品的分离度。

通过对装置的模拟和蒸馏塔的运行调整,得到装置内的换热网络见图 1。

根据夹点分析,当前换热网络最小传热温差为 34.5°C ,大于常减压新设计通常采用的 18°C ,工艺热流股的热量没有得到充分利用,增加了冷热公用工程量。分析得出装置夹点平均温度为 140°C ,即热物流夹点温度为 149°C ,冷物流夹点温度为 131°C ,可见其夹点温度较低,夹点上方引入了冷公用工程,该装置不应产 0.9MPa 蒸汽,而实际产蒸汽为 4.4t/h 。

利用夹点技术进行分析,合理添加及分配换热器,避免增大原油泵负荷,同时对换热器充分利用,最终确定方案如下:增加 2 个新换热匹配,取消 2 个换热匹配(含 0.9MPa 蒸汽发生器),在 7 个换热匹配上增加面积,调换 2 组换热器位置,共增加换热面积

3030m^2 。

通过计算得到改造后的换热终温为 295°C ,实际运行时在处理相同原油及其加工方案时,换热终温达到 296°C ,分析主要原因为装置经过大检修,所有换热器的污垢热阻值处于运行周期的最低值。装置虽然取消了 0.9MPa 蒸汽,但是这部分热量最终转移到了原油预热上,节省了加热炉燃料费用。经计算,经过改造年节约燃料油 4460 吨,年经济效益 1597 万元,年减少二氧化碳排放量 1.54 万吨。

3 延迟焦化装置的应用

延迟焦化是将减压渣油加温、深度热裂化和缩合反应,将其转化为气体、轻质、中质馏分油及焦炭的工艺过程,是炼油厂提高轻质油收率和生产石油焦的主要手段。渣油的热裂化反应是强吸热反应,需加热炉加热至 500°C 左右送至焦炭塔,焦炭塔中产生的高温油气进入分馏塔经精馏得到轻、重产品。装置内部的冷、热流股也相对较为复杂,对于能量利用来说典型的特点是分馏塔的热物流需作为吸收稳定部分的再沸器热源,所以对于冷热流股的匹配既要满足热量数量和温位要求,还应对分馏塔、脱吸塔和稳定塔都保留足够的操作弹性。

针对某石化公司 1.5Mt/a 延迟焦化装置进行数据采集、模拟计算分析,得到装置换热网络见图 2。

利用夹点分析,以最小传热温差 20°C 为基准,理论加热炉负荷应为 11200kW ,实际加热炉负荷 15410kW ,理论可以在现有基础上回收 4210kW 的热量。装置夹点平均温度为 143°C ,即热物流夹点温度

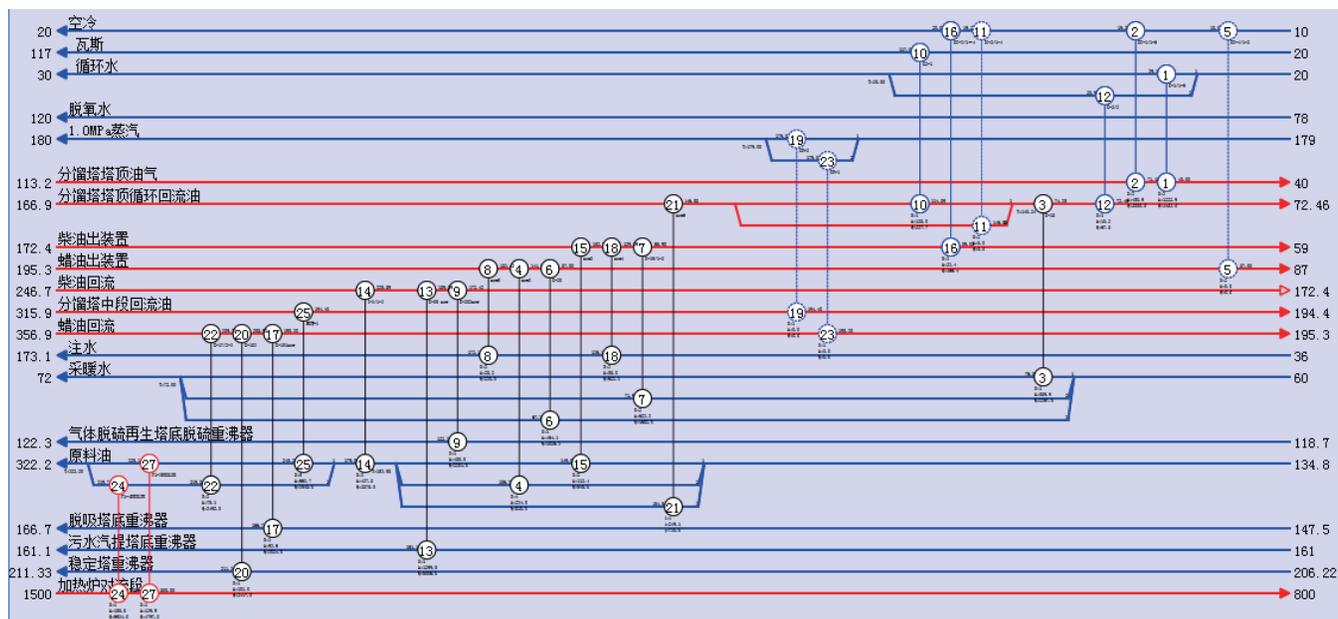


图2 延迟焦化装置换热网络图

为 153℃, 冷物流夹点温度为 133℃。装置自产 1.0MPa 的蒸汽, 即是在夹点上方引入冷公用工程, 应予取消。装置内部利用物流热量产生蒸汽是否合理需要结合装置整体热量回收来考虑, 如果产生蒸汽位于夹点温度以下, 属于利用冷公用工程移走装置热量, 是有效利用热量。但如果产生蒸汽位于夹点温度之上, 是利用了本应加热原油的热量用于产生蒸汽。装置内工艺需求的蒸汽改为全部来自管网提供即可。同时, 吸收稳定系统的再沸器热源温位匹配不合理, 需改用更合适的热流股, 高温位热源用来加热减压渣油, 以降低加热炉燃料的消耗。

利用夹点技术进行分析, 合理匹配冷热流股, 兼顾现场改造实施难度和增大精馏塔的操作弹性, 最终优化方案如下: 调整吸收稳定部分精馏塔再沸器热源; 增加 4 个新换热匹配; 停止发生 1.0MPa 的蒸汽; 取消三个已有换热匹配, 最后新增面积 2750m², 经计算加热炉负荷降低 3140KW, 经计算年节约燃料油 2480 吨, 年经济效益 890 万元, 年减少二氧化碳排放 0.9 万吨。

4 结论

炼厂装置结构复杂, 对于能量系统利用设计的自由度众多, 尤其是改造项目要保证优化系统满足各种实际要求, 切实可行, 如精馏塔器水利学约束 (防止液泛淹塔)、产品约束 (保证产品质量、收率) 和换热网络约束 (现场换热器空位个数、换热器排布次序、原料泵扬程等), 所以理论节能值一般难以达到。优

化自由度包括精馏塔进料温度、回流比、中段回流流量、中段回流温差、操作压力、汽提蒸汽量和换热网络结构等。实际中, 装置需满足多方要求, 不同原料油的加工方案, 不同馏分油的切割方案, 蒸馏塔的中段取热需要有足够的调节弹性, 以此满足产品要求。

针对炼厂的两套典型装置常减压和延迟焦化分别进行了改造分析对比, 分别达到了不同程度的经济效益, 年经济效益分别为 1597 万元和 890 万元。

参考文献:

- [1] 涂永善, 山红红, 钮根林. 炼油工艺基础知识 [M]. 中国石化出版社, 2019
- [2] 张继军. 热夹点技术简介及其应用进展 [J]. 石油和化工设备, 2008 (5):14-18
- [3] 阎志国. 夹点分析法在换热网络优化中的应用 [J]. 天津化工, 2002(1):35-37
- [4] 尚建龙等. 利用夹点技术优化催化裂化装置的换热网络 [J]. 石油炼制与化工, 2015,46(7):89-94
- [5] 李振东等. 基于实际冷、热复合曲线的制苯和碳八装置热联合研究 [J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2023, 49(1):47-54
- [6] Chen, L. Heat-integrated crude oil distillation system design, PhD Thesis, The University of Manchester, Manchester, UK.2008

作者简介:

范丽华 (1984-), 女, 河北衡水人, 工程师, 工学硕士, 研究方向: 石油化工工艺设计工作。