

甲醇制烯烃装置设备技改与运行能效分析

何国军

国能榆林化工有限公司 陕西榆林 719302

摘要: 本文以某60万吨/年甲醇制烯烃装置为对象,围绕烯烃分离系统的能耗瓶颈展开分析,从压缩机系统、换热网络、精馏塔单元及智能控制平台等方面提出设备技改方案,并结合案例对硬件升级与软件集成进行了运行能效评估。结果显示,改造后换热效率提升21%,压缩机等熵效率提升6%,蒸汽与电耗均明显下降,能效整体提升6%~8%。研究表明,系统性设备技改是MTO装置降低能耗、提升收率的有效途径,对行业推广具有参考价值。

关键词: 甲醇制烯烃;装置;设备技改;运行能效;分析研究

前言

甲醇制烯烃(MTO)技术作为现代煤化工的重要组成部分,在我国能源结构调整和下游化工新材料供应中占据关键地位。其工艺路线以甲醇为原料,经催化转化制得乙烯、丙烯等基础烯烃,再通过分离提纯为聚烯烃、合成橡胶等产业链提供原料。与传统石油合成路线相比,MTO技术原料来源广泛且自主可控,但也存在能耗高、设备负荷大、分离过程复杂等突出问题。在实际生产过程当中,分离系统乃是装置运行时能耗的关键所在,低温冷箱、压缩机组以及精馏塔的操作大多时候会耗费大量的电能与蒸汽,这直接对装置的经济性产生了决定作用。当乙烯、丙烯的纯度需要达到聚合级标准时,操作条件一般会趋向于高回流、高压压缩的工况,使得能耗压力有所加剧^[1]。系统性设备技改与能效优化逐渐成为了行业的主流发展方向。

一、甲醇制烯烃装置设备技改方案

(一) 压缩机系统高效化改造

在MTO装置分离单元中,压缩机通常采用中压蒸汽透平驱动而非电机驱动,其能效水平直接决定了冷箱及后续精馏塔单元的负荷水平。由于透平与压缩机耦合运行,蒸汽能量利用率及压缩机效率成为系统能耗的关键环节。现有装置多配套传统离心式压缩机,其等熵效率一般处于78%~80%范围,透平部分的热能转化效率也存在较大提升空间。技改方案在不改变原有机壳和基础框架的前提下,首先对压缩机叶轮和密封结构进行优化,将二维叶轮替换为高效三维叶轮,以改善流场分布并降低二次流损失;密封部分则由传统迷宫密封升级为低泄

漏干气密封,从而减少工作介质泄漏并提升长期稳定性。

在对压缩机系统展开技术改造工作时,最先给予考量的便是叶轮以及密封部件的优化事宜。传统的二维叶轮存在着流场分布不均衡、二次流损失较大的状况,选用三维优化叶轮设计方式,借助数值模拟来对气体流线加以修正,让气体于叶轮出口处的速度分布更趋向于均匀状态,以此减少能量方面的损失。在密封部分,将原有的迷宫密封替换成干气密封,这可降低泄漏率,同时提升压缩机的长期稳定性。在二级压缩段增添可调节导叶,其可依据工况自动调节流量,还可防止喘振现象出现,保证压缩机在不同负荷条件下都维持合理的运行曲线。另外为提升控制精度,在系统里增设了高速轴承温度与振动监测装置,并且使其与PLC联锁系统相连接,让压缩机在接近设计极限时可自动修正运行参数。

(二) 换热网络与热集成优化

甲醇制烯烃反应所产生的产物之中含有大量的显热以及冷凝潜热,要是利用得不够充分的话,就会使得蒸汽系统以及冷冻系统的能耗变得过高。在换热系统的优化阶段,技改方案的最关键的是重新构建能量路径,防止冷热资源分散消耗,对于反应产物冷却段。运用多股流换热设计,把高温气相产物的冷凝热分配到不同的换热器当中,以此契合丙烯塔重沸器以及甲醇进料预热这两项需求。换热器的选择从传统的单壳程转变为多壳程管壳式结构,并且在管束内部增添折流板来优化流体流向,提高换热效率。在乙烯塔冷凝区,设置冷量回收单元,把低温冷量经由中间换热器引入甲醇进料系统,达成低温能量的再次利用。为了降低传热死区,部分换热器采用提高传热管和内螺旋管,用以提升局部换热系数。

换热网络的整体布局依靠工艺模拟软件开展热力学优化,保证热流分布的均衡性以及热梯度的合理性,达成能源利用的最大化。

(三) 精馏塔节能与工艺强化改造

乙烯精馏塔以及丙烯精馏塔属于MTO装置分离系统里能耗较高的部分,丙烯塔的回流比大多时候在10以上,塔釜蒸汽消耗的量在系统总能耗里占到40%。因此,在对精馏塔进行改造时,把采用热泵循环技术当作主要的方向。具体的做法是在丙烯塔塔顶冷凝的部分安装热泵换热器,借助压缩冷凝气体,把它释放出的冷凝热量传送给塔釜的加热介质,以此形成热量的再次循环利用。在工艺结构方面,丙烯塔增添了一个热耦合塔节段,将其作为预分离单元。在塔的前端把部分轻组分去除掉,降低主塔的操作压力以及分离难度,塔内的填料也做了替换,用高效规整填料取代了部分塔板,来提升传质效率并且降低压降^[9]。为了提高操作弹性,精馏塔添加了可变回流装置,它可依据产品纯度以及原料波动自动调节回流比。塔釜和塔顶都增设了在线分析装置,与控制系统进行实时对接,保证在调整过程中维持烯烃产品的纯度以及分离精度,整体方案从热量回收、结构优化以及在线监控这三个方面一同提升了塔的分效率以及操作稳定性。

(四) 智能控制与运行优化系统建设

传统的分离系统依靠人工进行调整,存在着工况偏离以及能耗波动等问题。技改方案是引入先进过程控制也就是APC与实时优化即RTO系统。RTO系统是一种基于全流程模型与实时数据耦合的优化平台,其核心在于将装置的工艺机理模型、能耗模型与现场DCS采集的实时运行数据相结合,利用非线性规划与动态优化算法,计算出最优的操作设定值。在具体应用中,可以采用RTO与在线分析仪结合的方式,构建关键参数的动态模型。控制对象有压缩机出口压力、塔顶冷凝温度、换热器进出口温差等。借助模型预测控制,系统可在波动出现之前主动对操作条件加以修正,防止因负荷突变致使能耗上升。在硬件方面,安装了高精度在线气相色谱仪、压缩机出口质量流量计以及关键换热器的温差传感器,以此保证实时数据采集的准确性。在软件方面,构建基于模型预测控制即MPC的动态优化算法,该算法可对未来的操作趋势作出预测,并且提前修正控制参数,比如当检测到丙烯塔顶温度偏离目标时,系统会提前对回流比或者压缩机出口压力进行调整,避免能耗波动。RTO系统负责把APC控制的数据与能耗模型进行耦合,生成

全流程的优化指令,达成能效与稳定性的双重控制。该控制平台依靠与DCS系统的深度整合,让运行人员可在图形化界面下直观地监测各单元工况,减少人为干预,提升整体装置的自动化与智能化水平。

二、甲醇制烯烃装置设备技改的运行能效评估

(一) 案例背景

某煤化工企业一套规模为60万吨/年的甲醇制烯烃装置,自投入生产之后,分离系统能耗一直偏高,低温冷箱以及丙烯塔运行状况不稳定,致使压缩机经常处于高负荷运行状态。生产数据显示,单位烯烃的电耗长时间保持在580 kWh/t,蒸汽单耗为0.82 t/t,这两个数据均高于行业平均水准。为提高装置竞争力,该企业决定实施全流程技术改造以及能效优化工程,重点关注分离系统和能量管理方面。此次改造更换了部分关键设备,还引入了智能运行平台,打算借助软硬件协同的方式,把装置运行能效提升到先进水平,为后续的扩能以及复制提供经验参考。

(二) 实施方案

本次技术改造在硬件以及软件这两个层面同步开展。在硬件方面,需要在低温冷箱当中新增加了板式换热器,其传热面积有所增加,增加幅度为12%,并且设计换热系数从原本的每平方米280K提升到了每平方米340K,借此替代了一部分效率相对较低的管壳式换热器。在丙烯塔釜区安装了新型高效重沸器,该重沸器采用强化传热管结构,使得换热温差从18℃降低到了12℃,可切实减少蒸汽消耗。压缩机系统配备了在线能耗监测模块,并且在联锁控制里增添了可调导叶和变频驱动的协调逻辑,以此保证在70%至95%的负荷情况下维持高效率运行状态。

软件引入了用于分离系统优化的软件,该软件基于模型预测控制。算法内置了热力学模型以及能耗预测模块,可以结合DCS数据来进行实时校正。此系统可针对塔顶温度、塔釜压力、换热器温差等参数开展动态优化工作,并且会依据在线气相色谱仪反馈,对回流比与冷剂循环量加以调整。本次优化还搭建了能源管理子平台,该平台会对电力与蒸汽消耗进行实时采集以及分单元归集,形成能效基准曲线,可自动对比目标值并触发优化指令。借助硬件强化与软件集成的组合部署方式,装置运行步入了精细化调控模式。具体技术改进流程如图1所示。

(三) 实施效果

技术参数改进对比结果如表1所示。

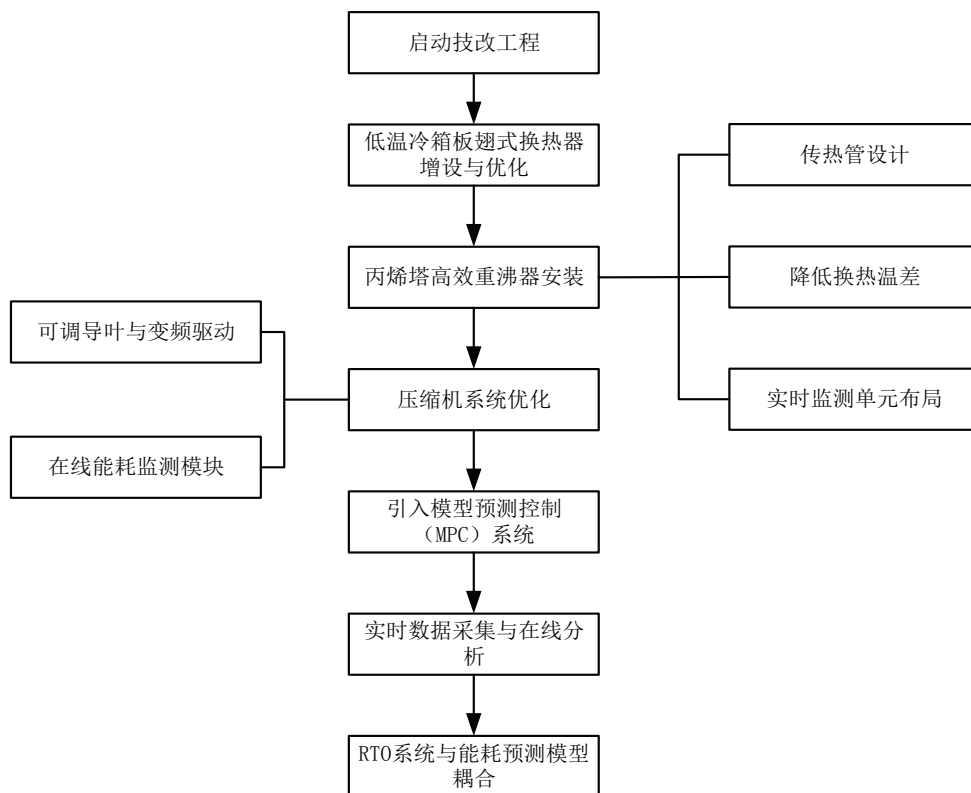


图1 技改流程图

表1 技术参数改进效果

技改环节	改造前参数	改造后参数	改进幅度
板翅式换热器换热系数	280 W/(m ² ·K)	340 W/(m ² ·K)	21%
丙烯塔重沸器换热温差	18 ℃	12 ℃	-33%
压缩机等熵效率	80%	86%	6%
MPC优化回流比	11.5(平均)	10.3(平均)	-10%
冷剂循环流量波动	± 8%	± 3%	稳定性提升62%

经过改造之后，各项关键技术参数都有了较为十分突出的改善。换热器以及重沸器的优化工作使得热能损失有所降低，让蒸汽系统的负荷得以减少。压缩机效率的提升有效削减了电耗，并且其运行状态变得更加平稳。MPC系统借助实时调控降低了回流比以及冷剂循环的波动情况，减少了在非最优工况下出现的能耗浪费现象。从整体来看，装置的能量利用效率提升了大约6%至8%，这为生产的连续性以及烯烃收率的稳定提供了坚实的保障，同时也为后续类似装置的节能降耗改造提供了有推广价值的范式。

结语

甲醇制烯烃装置的设备技改与能效优化实践并非只

是单个环节的改进，而是一项涉及压缩机系统、换热网络、精馏塔单元以及智能控制平台的系统工程。借助硬件升级和软件集成的共同推进，装置运行从以往依赖人工经验调节逐渐转变为依靠模型预测与实时优化的精细化管理方式。这降低了电耗与蒸汽单耗，提升了分离系统的稳定性，还为行业提供了一条可复制、可推广的节能途径。随着煤化工与新材料产业对成本和效率要求的持续提高，这种以生产实践为导向的技改模式会发挥出越来越大的价值。未来要是能在工艺耦合、能量回收与智能算法方面不断探索，有望促使甲醇制烯烃工艺在能效与效益上达成新的平衡。

参考文献

[1] 张冬. 甲醇制烯烃装置优化与节能降耗技术研究[J]. 工程施工新技术, 2025(11).

[2] 王龙廷, 周建华, 张政学, 等. 双碳背景下能源化工能效评价指标研究探讨[J]. 炼油技术与工程, 2023, 53(1): 1-6.

[3] 黄起中, 刘冰, 马红鹏, 等. 基于新型微通道分离技术的甲醇制烯烃废水处理[J]. 化工进展, 2023, 42(2): 669-676.