

柴油加氢精制节能创新方向探究

高翔 (中国石化天然气股份有限公司呼和浩特石化分公司, 内蒙古 呼和浩特 010070)

摘要: 随着环保发展与可持续发展理念的提出与普及, 柴油加氢精制节能装置受到更多的重视, 很多企业开始顺应国家号召, 探索柴油加氢精制节能创新方向, 目的是降低能耗的同时, 增强能源的使用效率, 并取得了较好的效果。文章就柴油加氢精制节能装置概述、柴油加氢精制节能创新方向进行了论述与分析。

关键词: 柴油加氢; 精制节能; 创新方向; 探究

0 引言

探索柴油加氢精制节能创新方向, 需明确柴油加氢精制节能装置的基本特征与运行特点, 以此为基础来发掘与总结其在节能过程中的突出问题, 以问题为导向来探索节能创新方向, 以此来提升节能创新的时效性、针对性, 使其切实满足企业的发展需求, 并为企业创造更大的经济效益。

1 柴油加氢精制节能装置概述

1.1 装置整体情况

以中国石化扬子石化炼油厂 120×10^4 t/a 柴油加氢精制装置为例, 其于 2005 年建成并投产使用, 核心技术为抚顺石油化工研究院开发的 FRIPP 工艺, 设计单位是中国石化工程建设公司, 反应部分包括炉前混氢以及冷高分工艺流程, 装置有循环加氢脱硫设备。其中分馏装置选择的是单塔汽提方案, 未设置分馏炉, 柴油、石脑油的整体分离过程全部在汽提塔中完成。整个装置以催化柴油、焦化柴油、直馏柴油为原料, 经过复杂的工序生产出满足国家标准的车用柴油, 此外也会生产一些粗石脑油, 当作乙烯裂解原料^[1]。

1.2 装置整体能耗

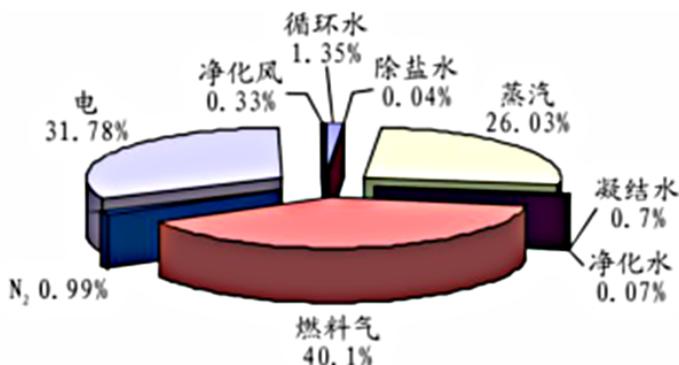


图1 柴油加氢精制节能装置能耗图

装置设计能耗达到 18.18 kg 标油/t , 按照中石化《炼油厂能量消耗计算与评价方法》规定, 柴油加氢装置标准能耗是 15 kg 标油/t , 因此其距离相应的标准仍有较大的差距, 故而节能降耗是保证该项装置可持续运行的基础与核心任务。

分析图1可知, 柴油加氢精制节能装置设计能耗中占大比例的是燃料气, 占比 40.1%, 其次是电耗、蒸汽, 分别占比 31.78%、26.03%, 以上三项合计占比 97.91%。综上所述可知, 柴油加氢精制节能创新的方向是降低燃料气、蒸汽、电能损耗。

1.3 各种能耗分析

1.3.1 燃料气能耗分析

装置燃料气消耗的目的在于提供柴油加氢装置加氢反应所需的热量, 以此来保障整体的脱氮、脱硫效果。对加热炉燃料气用量影响比较大的是加热炉整体的热效率与负荷, 故而在节能时需从低温热量运用、优化换热方向入手, 以此来达到节省燃料气的目的。其中反应炉 F54101 热负荷设计标准值为 11.63MW, 消耗量标准值为 1.04t/h, 反应炉若是开停工会损耗过多的热负荷, 保持日常运营反而负荷较低, 其正常运行时需 30% 至 50% 的火嘴, 故而在加热炉日常运营中, 会因炉子燃料气不完全燃烧或者燃烧情况差而造成炉子整体的效率差, 需创新性地采取赌赢的措施来增加炉子热效率, 节约燃料气^[2]。

1.3.2 电能消耗

柴油加氢精制装置用电设备包括空冷器、泵、新氢压缩机, 在柴油加氢精制装置日常运营过程中, 对空冷器、泵、新氢压缩机可采取的节能对策并不多, 并需在前提增加成本投入以装置对应的节电设备, 比如新氢压缩机可加装无级变速系统, 核算大泵各个时间段的负荷以明确是否需要采取叶轮切割、变频等措施。设计新氢压缩机时负荷标准为 1220kW, 新氢流量设计值为 $18500 \text{ m}^3/\text{h}$, 新氢日常用量达到 $9000 \text{ m}^3/\text{h}$ 至 $12000 \text{ m}^3/\text{h}$, 节电潜力较大。

1.3.3 蒸汽消耗

柴油加氢精制装置消耗蒸汽的途径包括以下两种: 循环氢压缩机损耗 3.5MPa, 汽提塔与其伴热消耗 1MPa, 循环氢压缩机是以蒸汽能源来驱动机组运行, 设计能耗量标准值 24.98 t/h , 急性氢油比的合理控制, 以 $300 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的量来完成卡边控制, 可维持循环氢压缩机转速在一个较低水平, 蒸汽损耗量降低约 3.5MPa。蒸汽提供热量

给汽提塔并起到降低油气分压的效果，设计损耗量达到5t/h，若是处于精制石脑油、柴油分离状态特别好的状态下，可逐步缩减汽提蒸汽用量。同时，还应注意服务站、节约伴热用蒸汽^[3]。

2 柴油加氢精制节能创新方向

2.1 创新设计柴油加氢精制节能流程

①装置低分油会与精制柴油、反应产物发生换热反应后输送至汽提塔 C54201，按照石脑油、柴油的分离实际情况，一般会控制汽提塔进料温度在 220℃，并需进一步增加 TIC54109 换热旁路开度，以此来保持部分低分油不再进行换热，以此来满足汽提塔进料温度标准，但是这部分没有经过换热直接输送至空冷器，会造成空冷器的能耗加大。针对该种情况，可选择以 TIC54109 控制阀来独立调节 E54102 高压换热器旁路，更新之后的换热流程如下图 2 所示，打开阀门 2、关闭阀门 1，可让低分油、柴油进行充分换热，然后去 A54202 空冷器，汽提塔进料温度借助增加 TIC54109 控制阀开度完成调节，反映产物中一部分多余的热量能够再去 E53103 完成换热，如此不但可借助降低进入 A54202 空冷器柴油的温度来达到节能的目的，还可让反映进料从高压换热器处得到更多的热量，推动反映炉进料温度迅速上升，节省了燃料气消耗；

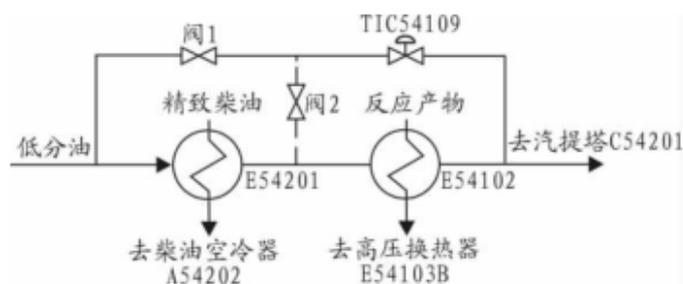


图 2 更新后换热流程图

②可选择更换反应系统换热器，选择双壳程高效换热器，如此可缩减换热面积、加快换热效率，强化换热深度，并更好地利用回收热量；同时，分馏部分可充分利用好石脑油稳定塔、分馏塔塔顶油气余热形成的加热脱氧水与蒸汽，回收其他热量，以此来达到节能降耗的目的^[4]；

③热高分流程。可选择在冷高压分离器应用前以热高压分离器分离反应产物，节约热能、缩减冷却负荷，避免浪费过多的热能；

④炉烟气余热回收系统加热。可选择联合使用烟气余热回收系统，在地面适宜位置装置热管式空气预热系统，借助引风机快速引出烟气，通向预热器，并与鼓风机而来的常温空气实施热交换，提升空气进炉温度，以此来达到节能的目的^[5]。

2.2 改造加热炉鼓风机

因反应炉开停工会产生比较高的热负荷，但是日常运行产生的负荷却比较低，在节能创新设计时考虑到装置开停工烟气余热回收系统引风机、鼓风机功率比较大，造成抽风风力、加热炉给风比较大，致使配风风量在各个区域不均匀，整个炉膛内会含有过多的氧气，并让火嘴经常出现结焦积炭、燃烧不充分问题。

根据该种情况，可选择该项装置余热回收的真实情况，通过对风量与氧气含量间关系的系列计算与分析，可在反应炉引风机、鼓风机位置加装变频器，以此来更加精准的进行加热炉抽风量、给风量调节，该种改造方式，可降低反应炉中的氧气含量，提升大约 4% 的热效率，并降低了汽柴油加氢精制装置燃料气、电能损耗。

2.3 新氢压缩机加装无级变速系统

柴油加氢精制装置装设两台新氢压缩机，一台用于运行一台用于备用，是沈阳气体压缩机公司产色一种型号为 2D50-17.4/20-97-BX 的对称平衡式往复压缩机，匹配电机有着 1400kW 的额定功率，应用该压缩机可将管网 H₂ 进行两级压缩，使其达到柴油加强反应压力等级标准要求，并提供后续加氢反应的 H₂ 分压。在满负荷操作时，装置设计 H₂ 消耗量为 18500m³/h，但是实际运行时的消耗量基本维持在 10000m³/h。

可选择在 K54101B 新氢压缩机上加装由贺尔碧格公司出产的无极气量调节系统 HydroCOM，借助该系统能够延迟关闭进气阀，让一部分多余气体可不经压缩直接回到近期总管，以此来避免压缩机外回流做太多的无用功，并让新氢压缩机在应用时所用的电流下降。在柴油加氢精制装置以 70% 的功率运行时，由 105A 的电流下降到 50A 的电流，节省的电量达到 480 × 10⁴kW。

2.4 柴油泵切屑叶轮

汽提塔选用的是一种型号为 ZE100-4400 的柴油泵，仍旧是一台运行，一台备用，该设备性能参数如下：流量：264m³/h；扬程：134m；出口压力：1.2MPa；转速：2980r/min；轴功率：110kW；效率：74%；电机功率：132kW。

在设备运行时，柴油 E54201 换热器、柴油泵下游低分油压力较高，只能一直关小柴油泵出口阀，维持 25% 的开度以及 1.5MPa 的出口压力，虽然解决了压力的问题，但是在后续运行时泵又出现比较大的噪音，且机封需一直维修，针对该种情况，将泵出口返回线重新开了一半，以此来增加泵出口管道阻力，但是仍未降低电动机电流，造成比较严重的能量损失。该种工况下持续运行，不但让管道一直保持比较大的阻力，出现能量浪费，还会导致安全隐患的出现。针对该种情况，可选择分析其实际运行工况，切割泵叶轮，降低柴油泵工作电流，使其从原来的 170A 降低到了 120A，一年节省大

约 280000kW 的电量，与此同时，还能在一定程度上降低泵下游换热器压力，以此来达到节能的目的。

2.5 提升反应炉入口温度

①热高分入口处温度通常会达不到相应的标准，针对该种情况，可选择在生产柴油的过程中，逐渐降低反应炉温度，使其从 180℃ 降至 170℃，升华炉子入口温度 6℃，可节约大概 50m³/h 的能耗；

②提升柴油加氢精制装置进料温度，直接提升反应炉入口温度，缩减燃料气用量，在刚启动柴油加氢精制装置时，进料温度会维持在 40℃ 左右，其后可逐渐提升进料温度至 90℃，能够达到较好的节能效果；

③加装原料油过滤器。在柴油加氢精制装置刚刚运行初期，不能直接运用原料油过滤器，因其投用后会导致反冲洗频率增加，1h 就需冲洗以此，很难达到 4h/ 次的反冲要求，同时在进行反冲时会造成比较大的压力波动，会冲击上游装置的整体生产过程，这种情况下就必须停止使用原料过滤器。且伴随柴油加氢精制装置的持续运转，会导致反应器床层差压有一个急速上升期，影响到柴油加氢精制装置整体的平稳性、安全性，高压冷换设备管束在该种情况下亦会比较容易结垢，最终影响整体的传热效果，需消耗更多的燃料气才可达到相应的传热效果，该过程也会消耗更多的催化剂。针对以上原料油过滤器不能正常投用的现象，可重新加装 3 组原料油过滤器，与现行的过滤器按照并联的方式连接，增加原料油缓冲罐，如此可让原料先进入缓冲罐，其后再进入过滤器；同时，需延长反冲洗时间，设定为 6h/ 次的频率，以此来降低反冲洗频率带来的负面影响，保障柴油加氢精制装置实现长周期运行，避免反应炉过度消耗燃料气，以此来达到节能的目的。

2.6 加装阻垢剂注入系统

在柴油加氢精制装置整体生产流程中，非自由基缩合反应、自由基聚合反应会产生一些聚合物，且该过程中产生的硫化氢气体亦会直接加速部分聚合物的产生。主要原因是原料焦化汽柴油中包括一些细小焦粉，这部分小焦粉具备很强的吸附性，比较容易粘结、聚合、沉积，造成反应器床层压力急速上升，并未其后混氢油高压换热器、其他反应产物造成负担。以上因素都会造成设备受损，柴油加氢精制装置工作周期变短。针对该种情况，可选择加装阻垢剂注入系统，如下表 1 所示，为加装阻垢剂注入系统前、后高压换热器温度变化情况，综合数据分析，阻垢剂注入系统投入使用前，能量损失维持在 1℃ 与 1.6℃ 之间，在投用之后损失维持在 0.7℃，且反应器床层在阻垢剂注入系统投用后并未有明显的增量，高压换热器整体的温度损失有一个下降的趋势，结垢问题得以改善，检修周期缩短，柴油加氢精制装置亦能保持更加平稳的状态运行，这对于装置节能有着明显

的促进意义。

表 1 阻垢剂注入系统加装前后温度变化表

年月	管城入口 (°C)	管程出口管城入口 (°C)	壳程入口管城入口 (°C)	壳程出口管城入口 (°C)
2020.01	371.1	182.4	35.2	284.4
2020.04	371.2	184.0	35.2	283.1
2020.07	371.2	185.0	35.1	282.0
2020.10	371.1	185.7	35.2	281.2
2021.01	371.2	186.3	35.1	280.6

3 结语

综述，文章就柴油加氢精制节能创新方向进行了论述与分析，从创新节能流程、提升反应炉入口温度等层面进行了细致分析，建议企业给与其足够的重视，从柴油加氢精制装置当前的运行状态出发，针对性地制定与贯彻落实对应的节能对策，以此来推动节能工作的可持续进行，节省能源的同时，压缩成本投入，创造更大经济效益，维护企业稳定发展。

参考文献：

- [1] 刘畅,白知成.汽柴油加氢精制装置节能分析与优化[J]. 化工管理,2018(24):47-47.
- [2] 俞沛杰,钮舒静,盛雨冬等.柴油加氢精制工段含硫废气的深度脱硫及资源化利用[J]. 宁波工程学院学报, 2020(1):7.
- [3] 云文俊,陈永宽,陈少华.汽柴油加氢精制装置节能分析与优化[J]. 石油石化物资采购,2019(26):1.
- [4] 汪成.基于结构导向集总的柴油加氢精制分子水平反应动力学模型Ⅱ.反应规律分析与优化[J]. 石油化工, 2019(8):6.
- [5] 高连慧,陈丹,庄艳秋.常渣催化裂化柴油加氢精制生产低硫车用柴油的研究[J]. 中国设备工程,2020(19):2.