

原料预处理装置航煤改造研究

张淑妹*,董勇勇,李曰强,高 强,张书岳
(广饶正和石化有限公司,山东 东营 257300)

摘要:首先对航煤市场以及加氢工艺技术进行分析,确定航煤生产工艺。以山东某石化企业为例,对原料预处理装置生产航煤的技术改造方案及经济效益等方面进行研究。研究发现,在现有装置基础上,通过液相加氢工艺改造生产高附加值的航空煤油,能够降低全厂能耗,给企业带来一定的经济效益,增强企业抗风险能力,有利于提升企业的整体实力。

关键词:航煤;气相加氢;液相加氢;原料预处理装置

中图分类号:TE626

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)S1-0335-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.S1.057

Research on the retrofit of raw material pretreatment unit for aviation kerosene production

ZHANG Shu-mei*, DONG Yong-yong, LI Yue-qiang, GAO Qiang, ZHANG Shu-yue
(Guangrao Zhenghe Petrochemical Co., Ltd., Dongying 257300, China)

Abstract: This paper first analyzes the aviation kerosene market and hydrogenation process technology to determine the production process of aviation kerosene. Then, taking a petrochemical enterprise in Shandong Province as an example, it studies the technical transformation scheme and economic benefits of producing aviation kerosene with the raw material pretreatment unit. The research shows that on the basis of the existing equipment, the production of high-value-added aviation kerosene through the technical transformation of the liquid-phase hydrogenation process can reduce the energy consumption of the whole plant, bring certain economic benefits to the enterprise, enhance the enterprise's risk resistance capacity, and help improve the overall strength of the enterprise.

Key words: aviation kerosene; gas-phase hydrogenation; liquid-phase hydrogenation; raw material pretreatment unit

近年来,随着环保要求逐步提高,新能源汽车出现迅猛发展,汽柴油市场出现饱和及萎缩,炼油企业迫切需要优化全厂产品结构,降低车用柴油产量,改善产销矛盾及减小柴油销售压力,增产高附加值产品,以提高化工生产装置适应性^[1]。近年来航空运输业仍然稳步发展,航空市场对航煤的需求量逐年增高,生产航煤不失为炼油企业产业优化的方向。

1 航煤市场分析

1.1 航煤供需情况分析

航煤(航空煤油)是喷气式飞机的核心燃料,随着国防建设、经济发展,航空运输事业突飞猛进,对航煤的需求量也逐年增高。煤油全球供应总体宽松,我国煤油也处于供大于求的状态,但需求增长速度较快,疫情过后航空运输业得到迅速恢复和发展,其中中石化2023年上半年煤油产量同比增长63.5%,由此可见,航煤未来发展潜力较大^[2]。

近几年各城市机场的航煤需求量逐年递增。以山东地区为例,随着近几年机场的陆续建造如青岛

即墨华山通用机场、章丘济风通用机场、临沂费县通用机场、临沭蛟龙通用机场、泰安肥城仪阳通用机场、德州庆云通用机场、济宁梁山通用机场、威海荣成通用机场、烟台长岛通用机场等,山东地区的航煤需求持续增长,总体来看,我国航煤供不应求的压力依然存在,航煤价格可能面临进一步的上涨^[3]。

1.2 航煤政策利好

根据《财政部国家税务总局关于提高成品油消费税税率的通知》(财税[2008]167号),符合《成品油消费税征收范围注释》规定的部分成品油消费税政策执行口径公告第四条,对航天煤油参照航空煤油暂缓征收消费税。因此,生产航煤符合企业不断优化产业结构,提升产品性质的要求。

2023年以来航煤产量整体呈现上涨态势,一方面是航空用油需求的持续增长,另一方面则是高出厂价带来的生产利润的增加。两方利好不断提升炼厂增产煤油的积极性,从而提升煤油收率,增加煤油产出。

收稿日期:2026-01-20;修回日期:2026-03-20

作者简介:张淑妹(1992-),女,硕士,工程师,研究方向为化工工程,通讯联系人,2234527002@qq.com。

生产航煤可优化全厂产品结构,降低车用柴油产量,改善产销矛盾,增加产品附加值,同时航煤免征消费税,可提高公司整体经济效益,生产航煤不仅满足航煤市场需求,同时顺应社会发展需求,更能提升企业地位,树立良好形象,为航空事业、国防建设添砖加瓦。

2 航煤工艺技术分析

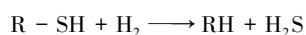
航煤加氢技术是航空煤油生产过程中的重要环节,主要用于改善航煤的质量,满足航空发动机的使用要求。航煤的质量直接影响飞行安全,直馏航煤常含有硫醇、氮化物、不饱和烃等杂质,会导致腐蚀、氧化安定性差等问题^[4-5]。因此,必须通过加氢精制去除有害成分,提升品质以满足 GB 6537 等标准要求。

航煤加氢过程包含许多复杂的化学反应,其中的有利反应包括加氢脱硫醇、脱酸、脱氮、烯烃和萘系烃饱和等反应,这类反应能解决航煤腐蚀问题和提高安定性,并能适度改善航煤烟点。而不利反应主要是硫化物的过度脱除反应,这类反应会降低航煤润滑性能。

航煤精制中发生的主要反应如下。

有利反应:

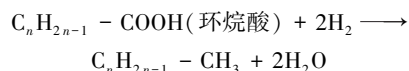
硫醇加氢



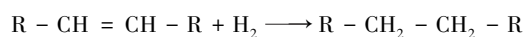
氮化物加氢



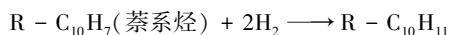
酸性物加氢



烯烃加氢



芳烃加氢



不利反应:

噻吩加氢



2.1 气相加氢工艺

气相加氢工艺是传统航煤加氢技术中常用的反应部分工艺。该工艺在反应过程中,原料油与氢气在催化剂作用下进行气相反应,以达到精制航煤的目的。气相加氢工艺需要借用循环氢系统维持较高的氢油体积比,这是因为循环氢在加氢过程中有以下关键作用:维持反应所需的氢分压;控制催化剂床

层温升;稀释反应器内 H_2S 的浓度,促进深度脱硫反应。但循环氢系统气体压力高、流量大,带来气路系统设备、管道尺寸大。上述原因造成循环氢系统的能耗及投资较高。

主要工艺流程:航煤原料经缓冲罐混合后,与新氢及循环氢混合。混合物料经换热升温后进入加热炉,达到反应温度后进入固定床反应器,在催化剂作用下完成脱硫、脱氮、烯烃饱和等反应。反应流出物经换热降温后进入高压分离器,分离出气相和液相。气相中氢气经压缩后部分回用,液相进入分馏系统。生成油进入分馏塔,切割出合格航煤产品,部分轻组分可作石脑油外送^[6]。

2.2 液相加氢工艺

液相加氢工艺是利用微孔分散技术,在反应器入口进行高效油气混合,部分氢气迅速溶于原料油中,剩余的过剩氢被分散成微气泡悬浮于原料油中,及时补充液相在反应过程中消耗的溶解氢,维持“反应氢推动力”,并可以通过精确控制氢气加入量来控制加氢反应进程;采用液相反应模式,反应物料自下向上流经催化剂床层,增加了反应物与催化剂的接触时间,催化剂的有效利用率提高;使用管式反应器,以平推流反应模式减小返混,提高了反应效率,实现了一次通过的液相反应模式^[7]。

连续液相加氢技术的提出基于以下理论基础:①氢气从气相扩散并溶解到液相中的速度是整个加氢反应的控制步骤,表明加氢反应是在液相中而不是在气相中进行的,液相环境有利于加氢反应的进行;②氢气在高温高压环境中由气相向液相的溶解速度较快,能及时弥补反应器内化学耗氢产生的空缺;③由亨利定律 $P(\text{氢分压}) = KH(\text{氢溶解常数}) * C(\text{溶解氢})$ 可知,只要反应器中始终存在着气相(即存在氢分压),气相中的氢气才能随时溶解到液相中;④为了保证催化剂的长周期运转,应防止催化剂由于贫氢而失活,因此反应器液相中的溶解氢气应始终处于饱和状态^[8]。

其理论基础的核心是气相中氢分压的建立,氢分压是氢气溶解度及溶解速率的直接推动力,氢分压越高,则氢气的溶解度和溶解速率越大,越有利于加氢反应的进行及催化剂的长周期运转。因取消了常规加氢工艺中复杂的循环氢或循环油系统,与现有加氢工艺相比具有氢油比低、空速高、加氢选择性强等优点,且流程简单、反应器制造安装简便、投资费用和运行费用均较低。

2 种加氢工艺对比图如图 1 所示。

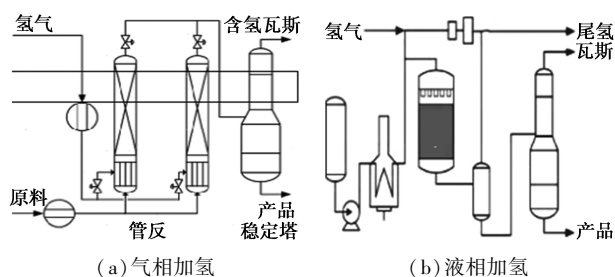


图1 航煤气相加氢与液相加氢工艺对比图

通过对比航煤气相加氢工艺与液相加氢工艺的差异性,气相加氢工艺存在投资相对较大、操作费用较高等缺点,液相加氢工艺取消了循环氢系统,占地面积较少,反应效率高,并且可以与常压装置联合布置,充分利用常压装置热源,减少加热炉,具有能耗低、投资少等特点。因此,在生产航煤工艺上选择液相加氢工艺。

3 原料预处理装置航煤技术改造方案

航煤生产装置改造仅需新增加氢反应器1台、稳定塔1台、容器5台(备1)、换热器8台、空冷器3台、电加热器1台、过滤器3台(备3)、机泵6台(备6)。依托现有一切有利条件,在总体布局上坚持“占地少、用人少、水平高、起点高”的原则,坚持工厂设计模式改革,全厂布置紧凑集中,生产装置采用原料预处理装置联合布置、集中控制、统一管理。

新建航煤液相加氢单元布置在原料预处理装置内主管架南侧构-5与检修通道之间的空地。占地面积约450 m²。建设约20 m×8 m的钢结构框架,构架地面层布置过滤器、机泵、换热器等,构架上层布置回流罐、换热器、空冷器等,反应器、稳定塔、罐、机泵、加药设施等布置在构架两侧空地。

航煤液相加氢装置项目实施后,汽柴油产量减少,柴油的十六烷值比目前有所降低。可增加改质深度,多产石脑油,同时提高柴油的十六烷值。液相航煤加氢由于占地面积小,反应效率高;工艺流程简单,投资少,硫醇、酸性物脱除效果好;催化剂用量少,活性高,具有良好的稳定性;工艺先进,装置连续运转周期长;工艺过程绿色环保,具有良好的经济效益和社会效益。

3.1 工艺流程说明

本次改造主要利用原料预处理装置常压塔常一线切割生产常压煤油,常压煤油经过加氢处理和加注助剂,生产符合GB 6537—2018要求的3号喷气燃料。航煤液相加氢所需热源由原料预处理装置中的减渣提供:减渣经减底油泵抽出后进入航煤液相

加氢提供热量后返回原料预处理进行后续换热。充分依托原料预处理公用工程系统,减压渣油热量提供反应热及重沸器热源,代替反应加热炉及重沸炉。

原料预处理装置直溜煤油经常一线油泵抽出后热出料直接送入航煤液相加氢单元,抽出量由航煤液相加氢单元内原料流量调节阀控制。催化剂再生采用器外再生;催化剂硫化采用湿法硫化,在加氢进料泵入口注入硫化剂;开工硫化流程为氢气循环流程,油流程为大循环流程。

具体工艺流程如下:常一线油经原料油过滤器过滤除去25 μm以上的杂质后进入原料缓冲罐,罐底液经加氢进料泵升压后,经精制航煤/原料换热器、反应产物原料换热器换热后进入反应进料加热器,加热至反应所需的温度后进入FITS反应器底部;自装置外来的氢气经氢气过滤器过滤后,经氢气电加热器加热后再经反应产物/氢气换热器换热至所需的温度后进入FITS反应器。反应流出物经反应产物/氢气换热器、反应产物/原料换热器换热后进入稳定塔。稳定塔顶气经稳定塔顶空冷器、后冷器冷凝冷却后进入稳定塔顶回流罐进行气液分离。回流罐顶含硫燃料气在回流罐压力控制下送出装置,回流罐底液经回流泵升压后,一部分作为回流送至稳定塔顶,一部分作为粗汽油送出装置,回流罐底酸性水经酸性水泵升压后送出装置;稳定塔底液经稳定塔底泵升压后,经精制航煤/原料换热器、精制航煤空冷器、精制航煤后冷器冷却后,进入氧化锌吸附剂罐处理,经处理后的航煤在流量及稳定塔液位控制下送出装置。

3.2 工艺控制说明

原料罐压力控制:原料罐压力通过控制补压氮气的流量来调节,采用单回路控制,以节约氮气用量。

反应器入口温度控制:反应器入口温度通过反应器入口温控串级控制减压渣油量来调节。

装置紧急停车:本单元为加氢工艺,设置紧急停车系统。当反应超温或者失控时,启动紧急停车系统,将反应系统物料泄出,切断反应进料,保证装置安全。

4 效能分析

液相加氢工艺由于具有占地面积小,反应效率高;工艺流程简单,投资少,硫醇、酸性物脱除效果好;催化剂用量少,活性高,具有良好的稳定性;工艺先进,装置连续运转周期长;工艺过程绿色环保,具

有良好的经济效益和社会效益等特点,故现在被越来越多的企业采用。以下以某石化企业为例,对企业改造前后产品加工量和能耗进行比较分析。

4.1 加工量变化情况

企业原有原料预处理装置加工能力为 420 t/h,对原料预处理装置进行生产航煤技术改造,新建航煤液相加氢单元,利用原料预处理装置常压塔常一线切割生产常压煤油,生产符合 GB 6537—2018 要求的 3 号喷气燃料,以提高公司的市场竞争力。改造前后,处理量不变,仅新增航煤液相加氢单元,生产高附加值的航空煤油。故仅对航煤液相加氢单元引起的部分装置处理量变化进行列举分析。

新建原料预处理装置航煤加氢单元后,原料预处理部分的常一线油进煤油加氢单元,此单元所需氢气来自现有氢气管网。因增建航煤液相加氢单元,引起部分装置处理量变化,从而引起全厂总加工流程变化,原料预处理部分出的石脑油和直馏柴油量均相应减少。新增航煤液相加氢单元建设规模 35 万 t/a,年操作小时数 8 000 h,操作弹性 60%~110%。

新建航煤液相加氢单元后全厂物料平衡变化情况:汽油减少 13.74 万 t/a,柴油减少 19.71 万 t/a,煤油增加 34.76 万 t/a,丙烷减少 0.62 万 t/a,液化气减少 0.36 万 t/a,其余产品未受影响。公用工程消耗:自用燃料少 0.3 万 t/a,装置用干气少 1.42 万 t/a,制氢尾气多 0.50 万 t/a,补充燃料丙烷多 0.62 万 t/a,总体烟气及损失为 1.0 万 t/a。

4.2 主要能耗变化情况

对原料预处理装置而言,由于提供航煤液相加氢所需热源,初底油换热终温降低约 10℃。常压炉需额外提供约 3 MW 热量。额外需要标准燃料气约 280 kg,或标准燃料油 260 kg。新建航煤液相加氢单元后,煤油加氢单元产酸性气至催化产品精制脱硫,产品精制多产富液量 2 t/h,且新建后,全厂产富液总量下降。

本次技术改造产生废水均为间断量,对全厂的废水处理单元没有影响。新建本项目后,全厂燃料用量减少,无新增废气排放。本项目正常生产过程中,产生 1 t/h 的含硫污水(间断量),对全厂来说,新建项目后整个污水量减少了 3 t/h。本项目正常生产过程中,产生 2 t/h 的含硫污水(间断量)。废水排放主要是新增单元排放的废水,包括含硫污水、含油污水。含硫污水进入酸性水汽提装置汽提,含油污水进入污水处理厂处理。含油污水主要来自机

泵冷却水、回流罐分水包切水、过滤器排水、地面冲洗水等,主要污染物为石油类和 COD。含硫污水来自回流罐等排水,主要污染物为硫化物、氨氮、COD 等,本项目污水送往总污水处理厂,进一步处理后回用于循环水场补充水,达到了节水减排目的。

5 经济效益测算

原料产品价格(元/t):以中石化经济技术研究院发布的“投资项目经济效益测算价格—中国东海岸基础价格研究报告(2019 版)”中提供的布伦特原油 80 美元/桶时的价格体系为基准,并参照原料产品质量,改造前后变动的产品及价格[含税价(含增值税,不含消费税)]确定如下:汽油为 5 659.48 元/t;柴油为 5 582.76 元/t,煤油为 6 396 元/t,液化气为 5 134.29 元/t,丙烷为 5 200 元/t。消耗的公用工程价格根据企业当地价格如下:电为 0.76 元/kWh,新鲜水为 2.452 5 元/t,3.5 MPa 蒸气为 283.4 元/t。

项目建设期 1 a,生产期 15 a,生产期各年生产负荷均为 100%。按照“有无对比增量法”对改造前后的效益进行测算。项目总投资 4 997 万元,其中建设投资 4 934 万元。项目建成投产后年均可实现利润总额 26 391 万元,年均净利润 19 793 万元,所得税后项目投资财务内部收益率为 413.92%,税后投资回收期为 1.24 a(含建设期)。

6 结论

本技改采用先进的工艺技术和设备,依托现有设备改造原料预处理装置,不涉及原装置工艺技术的改变,增设航煤液相加氢单元,改造能实现一机多用,全厂的产品更加多样化,同时能耗降低,增强应对市场波动的能力,给企业带来一定的经济效益和社会效益。

从市场和环保要求出发,国家推动油品质量升级(如国六标准),鼓励降低柴汽比;而航空运输市场的快速发展,航空煤油需求量持续增长,这一供需变化促使炼油企业调整产品结构,推动“压减柴油、增产航煤”的工艺改造升级。采用航煤改造能合理安排产品方案,配置装置结构,采用技术先进、成熟可靠、环境友好的工艺技术,以确保装置在技术上的先进性、经济上的合理性和操作上的可靠性,实现“低成本、高质量、高效益”的目标。

从经济测算看,航煤相比普通柴油具有更高的附加值和利润空间,各项经济指标均好于行业基准值,有较好的经济效益。

(下转第 343 页)