

# 渣油加氢装置的节能优化设计及经济效益分析

唐有全 (中国石化海南炼化化工有限公司, 海南 洋浦 578101)

**摘要:** 随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益加强, 石化行业的节能优化设计显得尤为重要。渣油加氢装置作为化工生产过程中的关键环节, 其节能降耗不仅关系到企业的生产成本, 更直接影响到环境保护和可持续发展。本文深入探讨了渣油加氢装置的节能优化设计方案以及相应的经济效益。通过对装置工艺的详细分析, 明确了能耗的关键环节。在此基础上, 提出了一系列节能优化措施, 以此提高企业的经济效益, 为渣油加氢装置的可持续发展提供了有力的技术支持和经济保障。

**关键词:** 渣油加氢装置; 节能; 经济效益

渣油加氢作为重要的炼油工艺, 在提高油品质量和增加轻质油收率方面发挥着关键作用。随着能源需求的不断增长以及对环境保护要求的日益严格, 相关企业面临着双重挑战。渣油作为石化过程中的较重馏分, 其处理的高效性和经济性成为关注焦点。传统的渣油加氢装置在运行过程中往往消耗大量的能源, 这不仅增加了生产成本, 也与全球节能减排的大趋势相悖。基于此, 通过详细的研究, 可以为石化企业提供实用的节能优化策略, 在提高企业竞争力的同时, 也为推动整个行业的可持续发展。

## 1 渣油加氢装置工艺流程及能耗分析

### 1.1 工艺流程概述

渣油加氢装置是一种用于将高硫、高含蜡的渣油通过加氢反应降低硫含量和提高产品质量的工艺。其工艺流程主要分为预处理、加氢反应以及分离步骤。

①预处理。渣油经过加热后进入预热器, 以达到合适的反应温度。预加热后的渣油进入加工器, 在这个设备中与一定量的催化剂进行接触。接触时间的长短和温度的高低可以根据实际需求进行调整。在接触

过程中, 催化剂能够去除渣油中的杂质, 如硫、氮和有机蜡, 从而减少对后续催化剂的影响, 并提高反应速率。

②加氢反应。预处理后的渣油进入加氢反应器, 与高效加氢催化剂接触, 进行加氢反应。在加氢反应中, 渣油中的硫、氮和重蜡等杂质会与催化剂发生作用, 从而被还原、分解或结构改变, 生成较少含硫、含氮和较轻的石蜡等反应产物。加氢反应的条件通常包括反应温度、压力和催化剂的加载量。较低的反应温度和较高的压力可以提高催化剂的活性, 加速杂质的去除。此外, 催化剂的特性也会对反应结果产生一定影响<sup>[1]</sup>。

③分离。在加氢反应后, 反应物进入分离器进行相应的处理。分离过程主要通过不同组分的沸点差异实现, 包括气液分离和液液分离。液相分离主要是通过凝固和冷凝的方式, 使较重的组分凝结成液体, 而较轻的组分则通过冷凝回收。气相分离则利用分析和纯化设备, 对气体中的各种组分进行分别处理, 从而得到高纯度的产品。

表 1 不同类型渣油加氢装置的特点

类型	特点
固定床渣油加氢	一般不加工 100% 减压渣油, 混合原料中减压渣油质量分数一般不高于 65%。体积空速为 0.20h <sup>-1</sup> , 若体积空速降低至 0.15、0.10h <sup>-1</sup> , 反应器压力降预计分别增加至 2.3、3.4MPa。加氢重油产率高达 93.25%, 520℃ 以上馏分转化率仅为 25.38%。
沸腾床渣油加氢	可以加工 100% 减压渣油, 反应器压力降稳定。典型沸腾床渣油加氢技术的转化率可达 85.87%。
浆态床渣油加氢	可以加工 100% 减压渣油, 反应器压力降稳定, 其中某装置反应器压力降仅为 0.42MPa。转化率可达 91.49%。以劣质减压渣油和催化裂化油浆为原料, 经加氢热裂化反应, 生产出液化气、化工原料、重石脑油、柴油、减压蜡油。装置设计轻油转化率高达 94%, 能将沥青、焦炭等低附加值产品转化为汽煤柴等高附加值的清洁油品, 全厂轻油收率大幅提高, 实现石油资源价值的最大化利用。

## 1.2 不同类型渣油加氢装置的特点

不同类型渣油加氢装置的特点表现也不一样,表1为各类型渣油加氢装置的主要特点。

## 1.3 主要能耗设备及影响因素

①新氢压缩机。当装置满负荷运行时,新氢压缩机仅需约55%负荷,即可满足工艺生产对新氢量的需求。但该压缩机仅有0、50%及100%三档气量调节,因此约45%负荷的气量需要通过旁通返回至压缩机入口分液罐,造成了能源浪费。

②液力透平。液力透平可以对工艺流程中产生的高压液体进行再利用,是一种能量回收装置。通过将高压液体的压力能转换为机械能,液力透平可以有效降低装置的能耗,减少生产运行成本。液力透平在渣油加氢装置中的运行受到多种因素的影响。

③加热炉。加热炉燃料气需要在过剩一定量空气的条件下才能完全燃烧。如果过剩空气量增加,排烟时大量的过剩空气会带走热量,从而降低热效率,增加能耗。在燃烧过程产生的NO<sub>x</sub>是大气主要污染物之一,同时也会影响加热炉的热效率。GB 31570—2015《石油炼制工业污染物排放标准》规定了现有企业和新建企业的NO<sub>x</sub>排放浓度限值,因此减少烟气中的NO<sub>x</sub>对于节能减排至关重要<sup>[2]</sup>。

④高压换热器。高压换热器在运行过程中需要消耗电力来驱动泵、压缩机等设备,以维持其正常运行。部分高压换热器可能需要使用燃料来提供热量,以实现渣油的加氢反应。在一些工艺中,高压换热器可能需要使用蒸汽来提供额外的热量或进行温度控制。高压换热器的换热效率直接影响其能耗。如果换热效率降低,需要更多的能量来维持相同的工艺条件,从而增加能耗。高压换热器内部结垢会导致换热效率下降,增加能耗,结垢的主要原因包括原料中的杂质、反应产物的沉积等。物流速度过慢会导致换热效率降低,增加能耗。因此,合理设计物流速度对于降低能耗至关重要。而高压换热器的设计结构,如管程和壳程的布置,会影响其换热效率和能耗。

⑤空冷器。空冷器对渣油加氢装置的能耗有显著影响。由于空冷器需要消耗电力来驱动风扇,因此其运行效率直接关系到装置的电耗。空冷器的性能也会影响到整个装置的热效率,进而影响燃料气的消耗。此外,空冷器的维护状况,如翅片的清洁程度、风扇的运行状况等,也会影响其能耗。在工艺流体的性质方面,如粘度、比热容等,会影响空冷器的热交换效率,

降低空冷器的传热效率,从而增加能耗。

## 2 节能优化设计措施

### 2.1 工艺改进

#### 2.1.1 优化反应条件,提高反应效率

企业可以根据市场需求及时调整渣油加氢装置的进料配比和进料量,在提高装置负荷的情况下,装置能耗比设计指标低。优化反应油与原料油换热,调整烟气余热回收系统热煤水用量,充分回收利用体系热能,大幅降低燃料气消耗量,调整水冷器和空冷器,降低转化率或减小渣油流量,增加原料中稠环芳烃的比例,减小催化剂金属沉积率,可采用增加催化剂加排量的方式来减小催化剂金属沉积率,达到增加杂质脱除率的目的。这时会使杂质脱除率增加,但同时也会使反应沉淀增加。还可以优化分馏塔操作优化,对操作参数进行调整,增加了柴油抽出量,降低了石脑油终馏点,提高了装置运行的稳定性<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 调整物料流向,减少阻力损失

物料流向交替变化的渣油加氢反应器,在不改变原有反应器体积和催化剂填装量的条件下,被圆筒分割成两个截面积相等的夹层,渣油物料在相邻被圆筒物理分割开且截面积相等的两个催化剂床层中的流向正好相反,当催化剂床层压降大于最大压降设计值的0.3倍时,通过外部管线的预设开关和/或阀门,改变渣油原料和加氢产物在反应器中的流向,实现渣油原料在反应器中的流向反向交替变化,既能通过改变原料流向分散杂质沉积的位置,当 $N \geq 3$ 时又能通过减小反应器高度增加新鲜渣油原料与催化剂的接触截面积、从而缓解反应器整个催化剂床层压降并延长其使用周期。此外,混合气泡流沸腾床渣油加氢工艺中,通过沥青质分散剂的加入减少在反应阶段沥青质的生成并对沥青质起到很好的分散效果,防止聚集的发生,脱沥青装置能够使沥青质加速向下运动,并从底部排出,能够减缓下游设备及管线的结焦情况,减少清焦频次,从而延长装置的运行周期。

### 2.2 设备选型优化

在石化生产过程中可采用可拆卸式换热结构,通过在管路上设置可拆卸式换热结构,可对流体经过管路所散发出的热量进行换热,既减少了热量浪费,又能在流体进入换热装置前就开始换热,从而提高换热效率。优化高压换热器,借鉴同类装置运行经验,提出了改善高压换热器结垢情况的建议措施,包括控制好装置运行期间的原料性质和氢油比,减缓高压换热



器的结垢倾向,通过增设高压换热器、互换管壳程介质、优化换热器的设计,从根本上改善换热器换热效率。优化加热炉的设计,增设 APC(先进过程控制),加热炉负压及氧含量波动明显减小,使得加热炉运行更为稳定。更换低氮燃烧器,将热管式空气预热器升级为钢板—铸铁板组合式空气预热器,采用“底烧式梯形加热炉”成套专利技术。同时,选用高效节能的压缩机等设备。此外,优化工艺流程,对操作参数进行调整,增加了柴油抽出量,降低了石脑油终馏点,提高了装置运行的稳定性。

### 2.3 热能回收利用

设置一系列热交换器组成的系统,实现能量的有效回收和再利用。此方法广泛应用于气体处理和石油化工行业。同时运用夹点分析技术,结合数学编程方法,实现能源消耗最小化,优化热交换网络(HEN)设计,达到15%~45%的节能效果。通过最大能量回收(MER)热交换网络设计,结合燃料转换,可以实现最低的公用工程消耗和最少的气体排放,提高能源利用效率,减少运营成本和环境污染。

### 2.4 优化操作管理

制定合理的操作参数,控制温度及压力。流量及物料配比也要进行控制,以此减少副产物的生成,优化反应性,提高产品的质量和收率。此外,确保装置稳定运行,实时监控与调整,利用传感器和物联网技术实时监测设备的运行状态,如温度、振动、压力等指标。一旦数据异常,立即发出预警,提醒技术人员及时采取措施,有效预防设备故障的发生。采用先进的控制技术,如模型预测控制(MPC),根据建立的化工单元数学模型,制定最优的操作方案,实时调整控制参数以保持控制效果的稳定性。减少人为操作失误,定期和预防性维护,制定维护计划以及维护措施。同时,确保操作人员和维护人员接受适当的培训,并具备必要的资格认证。建立一个系统的维护知识库,收集和记录重要的维护经验和故障处理案例。定期对维护计划和实践进行评估,找出存在的不足,并持续改进。

## 3 经济效益分析

### 3.1 能源成本降低方面

渣油加氢装置在优化前,其能源消耗主要集中在加热炉的燃料消耗、机泵的电力消耗等方面。例如,传统的加热炉可能由于热效率较低,需要消耗大量的燃料气来维持反应所需的温度。通过工艺节能优化,如采用高效的加热炉技术,改进燃烧系统,提高热

效率。假设优化前加热炉的热效率为80%,每年消耗燃料气1000万立方米,每立方米燃料气价格为3元。那么燃料气成本为3000万元。优化后热效率提高到90%,在维持相同反应温度的情况下,燃料气消耗可降低到约888.9万立方米,燃料气成本降低到约2666.7万元,每年可节省燃料气成本约333.3万元。

### 3.2 原材料利用效率提升带来的经济收益

在渣油加氢过程中,优化工艺可以提高渣油的转化率。假设优化前渣油转化率为85%,装置每年处理渣油100万吨,那么未转化的渣油有15万吨。优化后渣油转化率提高到90%,未转化的渣油减少到10万吨。如果每吨渣油的成本为3000元,那么通过提高转化率,每年可减少渣油浪费成本为 $(15-10) \times 3000=15000$ 万元。同时,更高的转化率还能提高产品的产量。例如,加氢后的轻质油产量会增加。如果轻质油每吨售价为5000元,由于转化率提高增加的轻质油产量为5万吨,那么增加的销售收入为 $5 \times 5000=25000$ 万元。

### 3.3 设备维护成本与运行寿命方面

节能优化后的工艺往往对设备的运行条件有所改善。例如,通过优化反应条件,减少了设备内部的结焦、腐蚀等问题。假设优化前设备每年需要进行大规模维护两次,每次维护成本为500万元,设备运行寿命为10年。优化后每年只需进行一次大规模维护,维护成本降低到300万元。那么每年可节省维护成本700万元,在设备10年的运行寿命期间可节省7000万元的维护成本。而且由于设备运行条件的改善,设备的运行寿命可能会延长。如果设备延长运行寿命2年,设备折旧等相关成本按照每年1000万元计算,那么在延长的2年运行时间内可节省2000万元的设备更新成本。

## 4 结论

综上所述,石化企业渣油加氢装置的节能优化设计实现了企业的可持续发展和提高经济效益。未来,降低企业生产成本,提高市场竞争力,随着技术的不断进步和环保政策的日益完善,企业将更加重视节能优化设计,推动整个行业向更加绿色、高效的方向发展。

### 参考文献:

- [1] 董兆海,袁永新,王明传.加氢裂化装置能耗及节能分析[J].齐鲁石油化工,2011(02):87-91.
- [2] 李农,李国旗,王玉涛,杜忠伟.渣油加氢技术应用现状及发展前景分析[J].石化技术,2022(10):101-103.
- [3] 李韬.渣油加氢装置节能优化措施及经济效益分析[J].天津科技,2024,51(10):58-60+64.