

补充氢纯度对渣油加氢装置的影响分析

李征容*

(中国石化工程建设有限公司, 北京 100101)

摘要:补充氢是渣油加氢装置重要的原料之一,补充氢纯度将直接影响装置投资和操作费用。以典型的 260 万 t/a 渣油加氢装置为例,通过流程模拟,分析两种不同补充氢纯度对装置设计的影响,对装置操作费用、设备投资进行了比较。结果表明,使用低纯度的补充氢将导致设备投资和操作费用提高。

关键词:渣油加氢;补充氢;氢分压

中图分类号:TE624

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2022)S2-0382-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2022.S2.077

Influence of purity of make-up hydrogen on residue hydrogenation unit

LI Zheng-rong*

(Sinopec Engineering Incorporation, Beijing 100101, China)

Abstract: Make-up hydrogen is one of the important raw materials for residue hydrogenation unit, and the purity of make-up hydrogen will directly affect the investment and operating costs of the unit. Taking a 2.6 million t/a residue hydrogenation unit as an example, the influence of two different purities of make-up hydrogen on the design of the unit is analyzed through process simulation, and the operating cost and equipment investment of the unit are compared. Studies show that low purity of make-up hydrogen will result in higher equipment investment and operating costs.

Key words: residue hydrogenation; make-up hydrogen; partial pressure of hydrogen

渣油加氢是重质馏分油深度加工的主要工艺之一,不仅能为下游的催化裂化装置提供高质量的原料油,以改善催化裂化装置的产品分布和产品质量,同时,渣油加氢过程还能生产部分高质量柴油馏分和石脑油馏分^[1]。目前,渣油加氢装置已成为各炼厂的关键装置,发挥着不可替代的作用。随着我国加工的重质及高硫原油比例不断增加,渣油加氢技术得到广泛应用和飞速发展^[2]。

渣油加氢通常以常减压装置的常压渣油和减压渣油为原料,在高温、高压和催化剂存在的条件下,原料油与氢气首先在精制反应器内发生加氢反应,脱除硫、氮、金属等杂质,降低残炭含量,为重油催化裂化装置提供原料,同时生产部分柴油,并副产少量石脑油和干气^[3-5]。

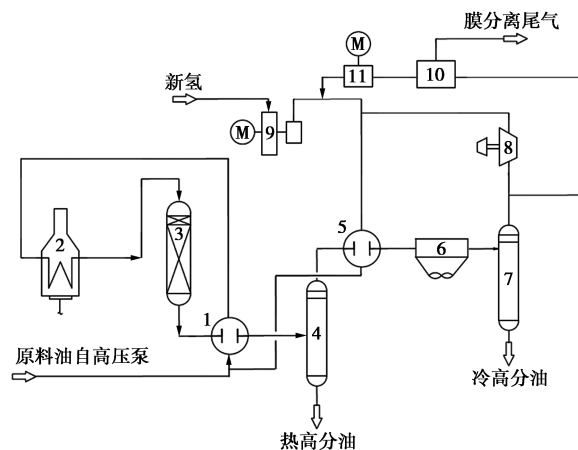
氢气是渣油加氢装置的重要原料之一,各炼厂的氢气来源不同,导致氢气管网的氢纯度不同,而氢纯度会直接影响渣油加氢装置的设计。本文以目前渣油加氢装置单系列最大规模 260 万 t/a 为例,对于补充氢纯度为 99.9% 和 98% (摩尔分数,下同) 两种工况,用 ASPEN PLUS 11 流程模拟软件进行计算,对设备投资、操作费用进行了对比,分析氢纯度

对装置的影响。

1 计算基础和对比原则

1.1 循环氢系统流程简介

图 1 为典型渣油加氢装置循环氢系统示意图。



- 1—反应产物与反应进料换热器;2—反应进料加热炉;
3—加氢反应器(多台串联);4—热高压分离器;
5—热高分气与混氢换热器;6—热高分气空气冷却器;
7—冷高压分离器;8—循环氢压缩机;9—补充氢压缩机;
10—膜分离系统;11—膜分离氢压缩机

图 1 典型渣油加氢装置循环氢系统示意图

收稿日期:2022-03-29;修回日期:2022-05-31

作者简介:李征容(1985-),男,硕士,高级工程师,研究方向为加氢工艺设计,通讯联系人,lizhengrong@sei.com.cn。

渣油加氢在操作末期 $C_1 \sim C_4$ 气体副产物产量较高,导致循环氢纯度降低,通常会设置膜分离系统提纯氢气,以保证循环氢纯度。循环氢(冷高分气)分两路,一路经循环氢压缩机升压后与补充氢混合进入反应器;另一路先经膜分离提纯,再由膜分离氢压缩机升压后,与补充氢合并进入反应器。

1.2 补充氢组成

拟定渣油加氢装置的补充氢来自 POX 装置,压力为 5.0 MPa、温度为 40℃。POX 装置中产出的粗氢提纯通常用变压吸附法(PSA)和甲烷化法两种工艺,前者氢纯度为 99.9%,后者氢纯度为 98.0%,详细组成见表 1。本文以这两种补充氢组成作为对比计算基础,将补充氢纯度 99.9%作为工况 1,补充氢纯度 98.0%作为工况 2。

表 1 补充氢组成

组成	摩尔分数/%	
	工况 1	工况 2
H ₂	99.9	98.0
N ₂	0.005	0.29
CO+CO ₂	≤10 mg/L	0
Ar	0.005	0.11
CH ₄	0	1.56
H ₂ O	0	0.04
合计	100	100

1.3 对比原则

对于渣油加氢装置,反应器中的氢分压是一个重要控制指标,氢分压直接影响催化剂的寿命和反应效果,对比时必须保证两种工况的氢分压相同。而氢分压是反应器总压与循环氢纯度的乘积,反应器总压直接与反应器设计压力和壁厚相关,影响反应器的造价,因此对比时反应器总压也必须保证相同,也就是对比两种工况时的循环氢纯度必须相同。

工况 2 的补充氢带有较多的 N₂、Ar 和 CH₄ 等组分,这些气体杂质组分会在循环氢系统中循环富集,使循环氢的纯度降低。为保证两种工况对比时有相同的循环氢纯度,工况 2 需要增加去膜分离系统的循环氢流量,通过增大膜分离系统的处理量来保证工况 2 与工况 1 有相同的循环氢纯度。

综上,为保证对比的合理性和公平性,模拟计算时对两种工况做如下要求:①反应器中氢分压相同;②反应器总压相同;③循环氢纯度相同;④反应器入口氢油体积比相同;⑤补充氢界区的温度、压力相

同;⑥膜分离系统的氢回收率相同;⑦年操作时间按 8 000 h 计算。

2 设备投资和操作费用对比

以工况 1 为基准,模拟核算工况 2,增加膜分离系统的处理量,保证循环氢纯度与工况 1 相同。计算结果表明,两种工况主要在膜分离系统、膜分离氢压缩机、补充氢压缩机设计上有所区别。

2.1 膜分离系统

经模拟核算,工况 2 的膜分离系统处理量需比工况 1 增加 20 000 Nm³/h 方可保证工况 2 的循环氢纯度与工况 1 相同。膜分离系统对比情况见表 2。

表 2 膜分离系统对比

项目	工况 1	工况 2
规模/(Nm ³ ·h ⁻¹)	基准	基准+20000
投资/万元	基准	基准+400
能耗/(MJ·a ⁻¹)	基准	基准+20360764

2.2 补充氢压缩机

工况 2 补充氢纯度较低,而两种工况的化学氢耗相同,因此工况 2 所需的补充氢流量大于工况 1;在膜分离系统氢回收率相同的前提下,工况 2 的膜分离系统规模较大,则工况 2 膜分离尾气中损失的氢气量较大,此部分损失的氢气也需要从补充氢补入。在上述两个原因的共同作用下,工况 2 的补充氢压缩机额定流量大于工况 1。

经核算,两种工况的补充氢压缩机选型相同,工况 2 的投资、能耗都大于工况 1,具体对比见表 3。

表 3 补充氢压缩机对比

项目	工况 1	工况 2
台位数	2(1 操 1 备)	2(1 操 1 备)
额定流量/(Nm ³ ·h ⁻¹)	基准	基准+5000
分子量	2.03	2.34
投资/万元	基准	基准+80
能耗/(MJ·a ⁻¹)	基准	基准+45976320

2.3 膜分离氢压缩机

工况 2 膜分离系统流量增加,膜分离氢流量也相应增加,经核算,膜分离氢压缩机的投资、能耗都大于工况 1,对比情况见表 4。

表 4 膜分离氢压缩机对比

项目	工况 1	工况 2
台位数	2(1 操 1 备)	2(1 操 1 备)
额定流量/(Nm ³ ·h ⁻¹)	基准	基准+14500
投资/万元	基准	基准+350
能耗/(MJ·a ⁻¹)	基准	基准+51581600

2.4 膜分离尾气处理

工况 2 膜分离系统流量增加,膜分离尾气量也相应增加,膜分离尾气通常送至 PSA 装置回收氢气,假设 PSA 装置有余量接收增加的膜分离尾气量,PSA 装置的能耗也会相应增加,对比情况见表 5。

表 5 膜分离尾气对比

项目	工况 1	工况 2
流量/(Nm ³ ·h ⁻¹)	基准	基准+5500
PSA 单元能耗/(MJ·a ⁻¹)	基准	基准+3684400

2.5 能耗对比

将两种工况能耗对比汇总如表 6。

表 6 两种流程能耗对比 MJ/a

项目	工况 1	工况 2
膜分离系统	基准	基准+20360764
补充氢压缩机	基准	基准+45976320
膜分离氢压缩机	基准	基准+51581600
膜分离尾气处理	基准	基准+3684400
合计	基准	基准+121603084

从表 6 对比可以看出,工况 2 能耗比工况 1 高 121 603 084 MJ/a,折合 1.12 kg 标油/t 原料油。按 2019 年 70 美元标准经济评价体系,工况 2 比工况 1 每年操作费用高 458 万元。

2.6 设备投资对比

将两种工况设备投资对比汇总于表 7。

表 7 设备投资对比 万元

项目	工况 1	工况 2
膜分离系统	基准	基准+400
补充氢压缩机	基准	基准+80×2
膜分离氢压缩机	基准	基准+350×2
合计	基准	基准+1260

从表 7 中可以看出,工况 2 比工况 1 设备投资高 1 260 万元。

上述计算结果表明,在保证反应条件相同的前提下,补充氢纯度较低的工况 2 相比工况 1 设备投资费用增加 1 260 万元,操作费用增加 458 万元/a。

3 结论

补充氢是渣油加氢装置重要的原料之一,补充氢纯度将直接影响装置投资和操作费用。研究表明,使用低纯度的补充氢将导致设备投资和操作费用提高。用户在选择补充氢纯度时,应综合考虑不同纯度的氢气成本与低纯度氢气增加的设备投资和操作费用,做出最经济合理的选择。

参考文献

- [1] 李大东. 加氢处理工艺与工程[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 1-2.
- [2] 宋官龙, 赵德智, 张志伟, 等. 渣油加氢工艺的现状 & 研究前景[J]. 石化技术, 2017, 24(7): 1-3, 7.
- [3] 钟英竹, 靳爱民. 渣油加工技术现状及发展趋势[J]. 石油学报(石油加工), 2015, 31(2): 436-443.
- [4] 张庆军, 刘文洁, 王鑫, 等. 国外渣油加氢技术研究进展[J]. 化工进展, 2015, 34(8): 2988-3002.
- [5] 田新堂, 张玉峰, 胡书敏, 等. 石油炼制工业中加氢技术和加氢催化剂的发展现状[J]. 石油化工应用, 2021, 40(1): 14-17, 23. ■

欢迎订阅《现代化工》杂志, 邮发代号 82—67。