

费托合成反应系统压降大的原因及对策

万鹏云（天脊潞安化工有限公司，山西 长治 046000）

摘要：费托合成工艺具有非常优良的性能，获得了非常广泛的应用。但是在实际的费托合成过程中，相应的费托合成反应系统会受到多种不利因素的影响，这就会对系统的高效稳定运行造成不小的阻碍。本文结合某费托合成反应系统在运行过程中出现的压降过大故障，通过对其进行比较深入的分析研究，并结合费托合成反应系统的运行特点，提出了具有一定针对性的改善对策，有助于及时排除系统存在的压降大故障，恢复生产能力，对于从事相关工作的技术人员具有一定的借鉴意义。

关键词：费托合成；压降；改造

1 前言

费托合成反应系统作为煤制油的关键工艺装置，对于合成油的产品质量具有决定性的影响，这就需要确保其始终处于正常的运行状态。本文中所探讨的反应装置主要采用了高温浆态费托合成工艺，整套设备主要包括：高温浆态床反应器、配套的工艺技术设备以及铁基高温浆态床系列催化剂。整套反应装置的设计产量为 400 万 t/a，在实际运行过程中的产量为 403.04 万 t/a，合成的产品主要有：轻质石脑油、重质油、合格蜡以及压缩凝液等。该装置设计的操作弹性范围为 30%~110%，年操作小时数为 8000h。

整套装置可以划分为 A、B 两条并列运行的生产线，这两条生产线能够进行独立运行，即便是其中的一条出现故障，也不会影响另一条的正常运行，进而将故障损失降到最低。其中的核心组成装置为 8 套费托合成中间产物的浆态床反应器，每套的设计年产量均为 50 万 t。该系统配套运行的系列设备多、规模大以及配置复杂，这就对操作维护人员提出了非常高的要求。经过充分精脱硫处理后的脱硫净化气在费托合成装置中与系统的循环合成气进行系统全面的混合处理，进一步输送至浆态床反应器中，在其中铁基催化剂的作用下，混合气体发生一系列的费托合成反应。反应所得到的高温油气生成物通过反应器的顶部出口流出，再进行充分的冷却和分离处理后，就能得到重质油、轻质油、合成水以及循环气等。其中的重质油和轻质油经过全面的换热升温处理进入到汽提塔中进行更进一步的处理，合成水则被输送至相应的合成水处理单元，循环气则分为两个不同的处理部分，其中的一路进行循环反应，另一路则被输送至脱碳单元，将其中所含有的二氧化碳进行完全脱除，再重新返回至相应的费托合成单元中。此外，在费托合成反应过程中所生成的重质经过过滤器，去除其中所含有的杂质，进一步会进入到汽提塔中进行处理。

该合成反应装置自生产运行以来，各反应系统的总压降已经超过了正常的设计值，但是装置并没有出现故障而造成停工。随着运行时间的不断增加，系统的压缩机一直处于高负荷的运转状态，这就会大大缩短其使用寿命，并且整套装置的能耗也非常高。为了将系统压降恢复至正常状态，减轻压缩机的工作负荷，这就需要对压降大进行系统全面的分析，明确故障原因，并采取有针对性的改善对策，恢复系统的生产能力。

2 反应系统压降大的具体表现

该费托合成反应装置自 2016 年 11 月正式投入运行，其反应系统所设计的设计标准压降不得超过 0.5MPa。在装置运行的初期，为了对设备进行充分的磨合采取了 80% 的工作负荷。经过一段时间的运行后，系统压降已经达到了 0.75MPa，远远超过设计标准。同时，随着设备运行时间的增加，费托合成反应装置顶部位置处的旋风分离器分离效果逐渐变差，这就导致其无法对系统中的催化剂进行彻底分离，而未分离出的催化剂进入到系统循环中。在进行循环的过程中，催化剂大量聚集于换热分离器位置处，这就导致其换热内件和分离内件发生了不同程度的堵塞，进而影响到换热效果。长此以往，导致系统出现了一系列的故障，例如，循环换热分离器热侧压差升高、油气空冷器管束堵塞以及循环气压缩机滤网堵塞等，相应的系统压差也逐渐升高到 0.85MPa，这就会给费托合成反应装置带来不小的安全隐患。

为了排除系统故障，恢复费托合成反应装置的生产能力，于 2017 年 3 月开始对各个反应器进行依次的停工检修。通过对反应器内部、循环换热分离器以及轻质油分离器等部位进行系统全面的检查，发现在循环换热器的热侧板和轻质油分离器的分离内件位置处聚集了大量的反应催化剂。通过进行全面的清洗处理，开车运行后的系统压差仍旧超过了设计标准，这就导致循环气压缩机始终处于高负荷的运行状态，相应的系统综合能耗

表 1 费托反应系统压降数据表

项目	负荷 / $\times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$	系统总阻力降 /kPa	气体分布器阻力降 /kPa	油气空冷阻力降 /kPa	旋风阻力降 /kPa	热侧压差 /kPa	其他
实际值	33.4	856	80	129	43	304	300
设计值	35	450	50	30	20	50	300

也高居不下,其具体的压降数据如表1所示。

3 反应系统压降大的原因分析

在费托合成反应装置的运行初期,其运行过程中的系统压降已经超过了相应的设计标准,并且由表1能够看出,气体分布器、旋风分离器、循环换热分离器以及油气空冷器压差明显偏高。当整个反应系统发生过大的压降后,会进一步导致循环换热器的包边发生不同程度的破损,相应的循环量也就随之减少,整个反应系统的转化率降低,装置的能耗偏高,已经无法进行满负荷的运行,这就会对整套装置的安全稳定运行造成不利影响。通过对整套系统进行检查,分析得到能够造成系统出现压降大的原因如下所示。

3.1 气体分布器堵塞

费托合成反应装置的气体分布器采用了内置管式的结构设计,其具体的结构形式如图1所示。在分布器上设置有相应的进气主管和配套运行的若干支管,并且每根支管上设置了一定数量的喷嘴,喷嘴数量具有结合系统进行有针对性的设计。支管上的喷嘴采用了向下的开口设计,合成气体由喷嘴喷出之后再向上鼓泡,并进入到高温浆态床层内部。当装置在正常运行过程中出现了非计划停车或者停车过程中没有对渣蜡进行系统全面的清洗,导致其大量残留。随着系统重新运行后,残留的渣蜡会随着循环气体一同进入到环管和分布头的位置处,当其积累到一定量时就会造成堵塞,相应的分布器压差也就升高,进而会影响气体分布器的安全运行。

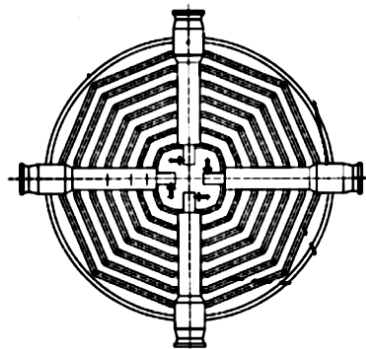


图1 费托反应器气体分布器示意图

3.2 旋风分离器堵塞

在费托合成反应装置的顶部位置处设置了10台旋风分离器,在旋风分离器的底部位置处设置了相应的降液管。当反应器处于正常的运行状态时,需要将其液位控制在36~43m的范围内,如果系统运行过程中出现了较大的负荷波动或者受到出蜡的影响,就会导致反应器液位的异常升高,进而超过液位的最大值。一旦液位超过标准限值就会导致高温油气进入到分离器中,而油气中还携带了大量的催化剂。在分离器的作用下,催化剂与油气进行有效的分离,就会大量堆积在分离器的底部位置处,随着催化剂的不断积累,就会对分离器造成严重的堵塞。此外,降液管所设计的坡度较小,并且内部的光滑度也无法满足安全运行的需求,发生了较为明显的弯折,这就为催化剂的快速聚集提供了有利条件。

当催化剂积累到一定程度后,就会导致旋风分离器的堵塞,进而引起分离器压差的异常升高,这就会对分离器的安全运行造成不利影响。

3.3 循环换热器内件堵塞

由于所采用的旋风分离器没有结合费托反应系统的运行需求进行设计,导致其尺寸过大,无法与当前的设备进行有效的配合运行。入口口径设计的过大,导致进入旋风分离器的气体流速降低过大,所能提供的惯性离心力过小,这就会导致分离器分离效率的严重降低,也就无法满足系统的分离要求。随着分离效率的降低,油气中所含有的渣蜡和催化剂无法得到有效分离,而是随着高温油气一同进入到循环换热分离器中而逐渐堆积,当其积累到一定量时就会导致循环换热分离器内件堵塞,进而影响到循环换热分离器的正常运行。由于循环换热分离器的内件采用了板式设计,相邻板片之间的间距较小,停车清洗时难以进行彻底清洗,随着反应器运行时间的增加,所造成的堵塞就会越来越严重,最终会导致设备无法正常运行,严重影响后续生产工作的正常进行。

3.4 油气空冷器堵塞

由于费托合成反应器顶部位置处的旋风分离器达不到预先设定的分离效果,就会导致高温油气中携带大量的渣蜡和催化剂,这些杂质会随着油气一同流出反应器。其中,一部分油气进入到循环换热分离器,其中的渣蜡和催化剂会造成分离器的堵塞,而另一部分则会进入到油气空冷器中进行充分的冷却处理,此时,其中所携带的渣蜡和催化剂随着温度和流速的降低会沉积在空冷器内,进而引起油气空冷器的堵塞。当循环换热分离器发生一定程度的堵塞后,就会导致其分离效果大打折扣,无法达到设计的分离效果,其中的重质油无法进行彻底的分离,而轻质油则会携带大量的重油和催化剂进入到油气空冷器中。由于油气空冷器运行出口温度为40℃,远远低于重油的凝点,重油就会在空冷器中冷凝造成空冷器堵塞,进而引起压差的异常升高。

3.5 轻质油分离器堵塞

位于油气空冷器出口位置处的轻质油分离器,主要用于轻质油的分离和尾气合成工作。由于前置设备的分离效果较差,导致轻质油中含有大量的重质油和催化剂,这些杂质会随着轻质油一同进入到波纹板分离器内件。随着生产的不断进行,重质油和催化剂就会逐渐堆积,当其达到一定程度后,就会导致分离器内件发生不同程度的堵塞,进而引起轻质油分离器的运行压差升高,给分离器的安全运行带来不小的隐患。

4 费托合成反应系统压降大的改善措施

4.1 清理气体分布器

当费托合成反应器停止运行后,将其中的渣蜡进行完全卸出后,可以采用重柴对其中附着的渣蜡进行充分的清洗。为了确保清洗效果,冲洗次数不得少于2次,并且还要进行1h的充分浸泡,在清洗操作过程中,可

以结合设备的实际情况进行相应的调整,进而将渣蜡清洗干净。在采用蒸汽进行蒸煮的过程中,可以适当增加卸渣次数,尽可能避免渣蜡在反应器的底部位置处大量积累,确保底部始终保持清洁的状态。停车后需要对分布器进行逐个的彻底清理,对于发生了严重的堵塞,可以采取切开环管的方式对环管进行全面的检查,确保其无堵塞,而对于发生了堵塞的环管,需要进行高压彻底清洗,恢复环管的通畅运行。

4.2 旋风分离器改造

由于当前的旋风分离器设计无法满足系统的运行需求,并且极易造成堵塞,这就需要对其进行升级改造。将原先设计在费托合成反应器顶部位置处的10个旋风分离器进行拆除,并以原管口为圆心按照对称分布的方式设计4个小型的旋风分离器,一共需要安装40个分离器,由于采用了更小的旋风分离器,其尺寸缩小了一半,改造前后的具体结构对比如图2所示。同时,旋风分离器的降液管采用了4D弯头的设计形式,进而能够有效避免弯折的出现,也就不利于杂质的堆积。结合设备的目前位置,还需要尽量提高管线坡度,减少渣蜡和催化剂在降液管上堆积。

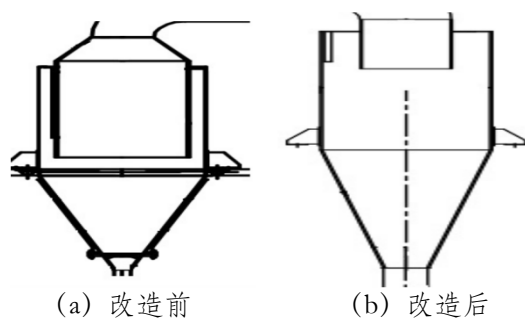


图2 旋风分离器改造前后示意图

4.3 循环换热分离器改造

原先的循环换热分离器采用了较为简单的板式结构,随着设备运行时间的增加就会发生堵塞,并且由于板间距过小无法进行清洗。通过采用列管式换热器和分离器相结合的方式对其进行改造升级。其中,所采用的列管式换热器为立式换热器形式,其管直径为25mm,采用了单管程的设计。大管径和单管程的设计有助于提高其中的气体流速,进而能够有效避免渣蜡和催化剂在列管内堆积,从根本上避免了堵塞的发生。同时,重质油分离器设计分离内件采用了小旋风形式的分离器,非波纹板分离内件,避免了波纹板易堵塞的缺点,为设备的正常运行提供了可靠保障。

4.4 油气空冷器加热疏通

由于油气空冷器数量众多,在运行过程中无法进行工艺交出,并且在进行大检修的过程中也不能进行高压清洗。为了对其进行加热疏通,去除其中的堵塞物质,只能在运行过程中将空冷器单独停止,采用帆布对空冷器进行充分的包裹,采用入口位置处的高温流动介质对其进行加热升温。随着空冷器温度的不断升高,其内部堆积的重油就会逐渐融化流动,再通过介质的快速流动

将重油和催化剂带出空冷器,进而实现空冷器的加热疏通。同时,还要结合空冷器的运行状况进行及时的加热疏通,当堵塞严重时,不仅加热疏通非常耗时,并且其效果也难以得到可靠保障。

4.5 轻质油分离器内件清理

为了提高清理效率和质量,可以在对费托合成反应器进行大检修的过程中,将轻质油分离器内件进行充分的拆检清洗,去除其中造成堵塞的重油和催化剂。只有通过拆检才能将内件中堆积的大量重油和催化剂进行彻底的清理,对普通清理无法清理的位置进行全面的清理,进而为轻质油分离器的正常运行提供可靠保障。

5 结语

总而言之,通过对某费托合成反应系统存在的压降大问题进行系统全面的分析,并结合系统的运行情况采取了一系列有针对性的改善对策。改造后的系统压力降由0.86MPa降低至0.55MPa,尤其是旋风分离器和循环换热器的压降非常明显,整个系统的压降恢复至正常状态。相应的循环气压缩机的负荷降低,透平蒸汽用量降低,气体的循环量增加,反应的转化率也得到相应提升,这就有助于运行成本的降低,进而为企业带来了良好的经济效益。

参考文献:

- [1] 吴彦丽. 高温与低温费托合成联产系统过程分析及产品设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [2] 黄斌, 李初福, 王琦, 等. 浆态床费托合成分离系统的流程模拟与优化[J]. 计算机与应用化学, 2019(02):115-121.
- [3] 于戈文, 王延铭, 杨小丽, 等. 基于CO₂捕集的煤基费托合成油-动力多联产系统分析[J]. 化工进展, 2017(05):159-160.
- [4] 贺飞. 费托浆态床反应器蜡分离系统的设置和优化[J]. 能源化工, 2015(27):246-246.
- [5] 刘新伟, 赵梦. 潞安费托合成分离系统运行中存在问题及整改措施[J]. 山西化工, 2019(07):34-35.
- [6] 曾爱平, 尹迎春. 基于Aspen模拟费托合成与CO₂再利用系统[J]. 上海化工, 2014(05):67-68.
- [7] 李飞宇, 张浩, 宋庚, 等. 煤液化费托合成过滤放空系统优化[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019(14):87-88.
- [8] 石永胜, 刘志学. 加氢装置费托合成产品过滤系统的改进[J]. 煤炭加工与综合利用, 2015(09):51-52.
- [9] 王鑫. 费托合成装置放空系统的自控设计方案[J]. 石油化工自动化, 2016(05):47-48.
- [10] 李初福, 黄斌, 刘长磊, 等. 费托合成尾气燃料电池发电系统模拟与分析[J]. 计算机与应用化学, 2018(11):31-32.

作者简介:

万鹏云(1985-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 山西省长治市长子县, 学历: 本科, 现有职称: 助理工程师, 研究方向: 煤化工。