

浅析煤焦油固定床加氢精制工艺的影响因素

乔文强 贺波波 李 亭 (陕西精益化工有限公司, 陕西 榆林 719319)

摘要: 伴随着现代煤化工工艺的不断发展和煤化工技术的不断创新, 煤焦油固定床通过加氢精制工艺生产清洁燃料油已经逐渐成为替换石油能源的重要工艺之一。本文以煤焦油固定床加氢精制工艺的流程简述为切入点, 对煤焦油固定床加氢精制工艺的影响因素进行全面分析, 并得出相应的结论, 进而为我国煤焦油固定床加氢精制工艺的不断深入发展和改善提供可行性参考建议。

关键词: 煤焦油; 固定床加氢精制; 影响因素

近年来, 随着石油能源的不断消耗, 全世界各个国家都面临着巨大的能源问题, 而作为煤炭深加工的主要副产物, 煤焦油成为解决当前世界能源问题的主要途径, 但传统的煤焦油化工技术分馏组分产量巨大, 加氢程度难且反应过程易结焦, 清洁化生产效率极低。而煤焦油固定床加氢精制工艺是近年来诞生的一种煤焦油清洁化的有效方法, 在一定温度和压力条件下能够切实有效的脱除煤焦油中的杂质, 进而产出清洁燃料。然而, 煤焦油固定床加氢精制工艺在生产过程中制约产品质量的影响因素较多, 深入研究煤焦油固定床加氢精制工艺的影响因素对改善固定床加氢精制工艺, 提升生产效率具有十分重要的意义。

1 煤焦油固定床加氢精制工艺的流程简述

煤焦油加氢反应是使煤焦油清洁化的有效方法, 目前已成为各化工企业处理煤焦油的首选方法, 在煤焦油加氢精制工艺的过程中, 需要给予煤焦油原料一定的压力、温度等加工条件, 才能保证煤焦油向着清洁燃料做有效转变。可以见得为了保证煤焦油加氢反应的顺利进行并且产生高质量的产品, 加氢工艺需要考虑到多种影响因素, 而想要探究不同的因素会对工艺产生怎样的影响, 我们还需要观察煤焦油固定床加氢精制工艺的流程, 并根据反应装置的实际运行情况做细致分析。

1.1 装置工艺流程介绍

原料方面使用煤焦油, 装置方面使用汽提塔、高速反应进料泵、加热炉、高压分离器、低压分离器、分馏塔、沸腾床等。

具体加氢精制工艺流程如下: 首先将煤焦油原料送进汽提塔中, 这一步的主要目的是脱水, 通常在实际生产中还需要对煤焦油做脱盐、脱固体杂质等预处理步骤, 方便下一步的顺利进行; 其次将预处理过的煤焦油分配到各原料罐, 经高速反应进料泵升压并配合氢气混合, 再由加热炉对其加热升温后送入反应器, 这一步的目的是使原料达到适宜的加氢反应温度, 通常在实际生产中还需要使用加氢保护反应器和两端串联的加氢精制反应器共同作用, 能够有效脱除硫、氮、氧等杂质; 然后将加氢反应后的反应物送入高压分离器和低压分离器得到气相和液相产品, 气相为高分气, 可以经循环氢压缩机

加压后循环反复使用, 液相产品还需要送入分馏塔继续分离, 塔顶产出石油脑送至罐区, 这一步的目的是进一步分离煤焦油, 得到精制油; 最后将分馏塔塔底中的精制油送入后续处理, 通常在实际生产过程中后续处理会对精制油做深度加氢, 比如沸腾床深度加氢工艺或加氢裂化等处理, 到此煤焦油固定床加氢精制工艺的流程结束。

1.2 影响因素的初步概括分析

上一步简要介绍了煤焦油固定床加氢精制工艺的流程, 可以发现从煤焦油的预处理、到升温加压、到气液分离、再到后续精加工, 这几个步骤都是至关重要的, 如果某一步出现问题就会造成下一步的反应原料出现杂质和瑕疵, 继而影响装置的高效运行, 产生的反应产品也不会达到目标的高质量要求。因此, 我们可以初步得出影响因素的分析, 煤焦油复杂的组成性质会从原料质量方面影响到预处理、气液分离等步骤的产品反应, 使得反应产物充斥着难以除尽的杂质, 这是内因; 装置反应压力和温度的变化、氢油比、空速反应压差的设置等因素会从装置运行方面影响到加氢精制效果, 这是外因。接下来本文会根据这几方面影响因素做详细的探讨。

2 煤焦油固定床加氢精制工艺的影响因素

2.1 煤焦油的组成影响

表1给出了煤焦油原料的质量分析情况, 可以看到煤焦油的组成成分是非常复杂的, 包含了链烷烃、环烷烃、稠环芳烃、胶质等成分, 其中影响最大的芳烃总量和胶质占比分别达到了41.3%和39.5%, 煤焦油中氮元素含量最多, 达到了5255mg/kg, 硫元素含量也较多, 达到了1090mg/kg, 金属杂质虽然含量较少但也是必须除去的杂质, 包含有钙、铁、镁等, 达到了20mg/kg。总而言之无论是硫、氮、氧、还是金属杂质都需要经过有效的反应脱除, 才能够减少加氢精制反应的影响。

芳烃包括稠环芳烃、不饱和烯烃等有机结构, 这些分子在受热情况下极易发生缩合反应, 从而产生结焦的倾向, 结焦反应会造成催化剂被覆盖使得催化剂的催化效率大大下降甚至失活、也会造成装置管道的阻塞使得整个加氢反应的运行效率受到影响; 另一方面金属杂质和胶质在芳烃的生焦反应中也会给予促进作用, 可以让

生焦反应的速率加快，从而造成装置的运行周期缩短。为了解决芳烃和胶质对加氢反应的影响，整个装置需要加入更多的氢气来抑制生焦，从而使得氢气的投入量增加，而随着氢气的增多，装置需要提高反应压力和反应温度来保证加氢工艺的严苛度。

表 1 煤焦油原料的质量分析

族组成	链烷烃	环烷烃	芳烃	胶质	苯并噻吩
含量 %	11.5	6.2	41.3	39.5	1.5
元素组成	密度 g/mL	硫含量 mg/kg	氮含量 mg/kg	金属含量 mg/kg	
质量数据	1.006	1092	5255	20	

加氢工艺实际就是对煤焦油各类成分的脱除过程，最后得到精制油反应产物。根据加氢工艺中煤焦油族组成成分的脱除速率来看，金属杂质、硫元素、氧元素是脱除速度最快的三种，而氮元素、芳烃饱和、烯烃饱和和是脱除较慢的三种；根据加氢工艺中煤焦油各类化合物脱硫反应的活性来看，苯并噻吩相较于二硫化物、硫醚等分子的反应活性最小，而其在煤焦油中占比含量也超过了 1%，足以来得加氢工艺的困难因素影响之多。

2.2 反应压力

装置建成后，一般会预先设置好常规压力参数，比如设计压力、操作压力等，但是对加氢反应最为重要的氢分压参数则需要在装置运行过程中调整。由于加氢反应是煤焦油无关分子的脱除反应，总体来看是体积缩小的反应，因此不同阶段的反应原料由于体积的不同对氢分压的适应情况也不同：比如加氢脱金属脱硫脱烯烃反应中，装置压力不太高时反应就可以顺利进行，并且转化深度也较高；而加氢脱氮脱芳烃反应中，由于其他分子先一步脱除，使得原料体积变小，对压力的敏感性也变小，所以这时候需要显著提高装置的反应压力，从而提高加氢饱和反应速度，并且提高压力对稠环芳烃的缩合生焦反应也有抑制作用，将碳平衡向着减少积碳的方向进行，从而保证了催化剂的活性，延长装置运转周期。

然而装置运转过程中也需要考虑到装置对压力的适配程度，过度加压会导致设备长时间处于紧绷状态，生产安全方面也会带来一定的考验，为了保证工艺的顺利进行，往往需要时常对设备做维修和更换，加大了设备的运维投资费用；另一方面，当各种杂质脱除即将结束进入到气液分离的步骤时，高压反应会减缓液相油品的气化率，此时决定反应速率的因素转换为催化剂的油膜厚度问题，因此整个装置运行过程中需要调节压力，不可过低也不可过高。

2.3 反应温度

分子的无规则运动随着温度的上升，剧烈程度也会随之增加，这是热力学定律带给我们的启示，因此为了

保证硫、氮、金属杂质较快的脱除，可以升高装置的反应温度，从而提高加氢反应速度和反应精度，使得到的精制油杂质大幅减少；然而温度过高也会促进芳烃分子的生焦反应，增加产品的烯烃含量，使得产品的稳定性出现下降，并且每一种芳烃化合物都有着各自的适宜反应温度，经过某个温度节点后，继续升高温度反而会导致加氢反应速度减慢。因此在整体反应过程中寻找一个最合适的温度，并且随着反应的进行人为精准控制温度变化是非常重要的。

2.4 氢油比

氢油比也是一个影响加氢工艺的因素。当氢油比提高时，反应物会更加分散，与催化剂的接触面积更加均匀，反应热量会更容易被装置带走，氢油比的提高也意味着氢气含量的增加，对抑制缩合反应、提高催化剂活性都有着明显的正向影响；当氢油比过高时，维持气相油品循环氢压缩机的动力消耗也会大大增加，气液分离的装置负荷大大增加，对安全状况有负向的影响。

2.5 空速及反应压差

空速与催化剂处理原料速度呈正相关，空速越高代表着装置的加工速率越快，这个是衡量加氢精制反应速度的重要指标，然而空速越快并不代表着反应越彻底，当空速过快时催化剂与原料的接触时间变得非常短，导致很多原料无法得到彻底的催化，产品质量出现严重下降，所以保障一个合适的空速也非常重要。

反应器压差并不是一个明显的影响因素，但是在某种情况下，其与空速也出现了一定程度的联系，比如当煤焦油粘度大的时候，反应压差会随着空速的增加而迅速增大，增幅巨大导致生产稳定性受到极大的挑战，为了保证生产的顺利进行，不得不减少空速来稳定反应压差，从而间接的影响了加氢精制工艺。

3 结论

根据煤焦油的固定床加氢精制工艺流程的特点，以及不同反应环境所带来的影响分析，我们能够得到一些结论：煤焦油自身的族组成成分影响最大，我们没办法自主调节，但是实际生产过程中可以事先抽样测量，再根据测量结果确定工艺各步骤安排；反应压力、反应温度和氢油比是我们可以自主调节的，这三种因素都随着自身的升高给加氢精制工艺带来正向影响，但是也不能够无节制的增加，要以装置自身的安全性、稳定性为基础，然后增加反应速率和反应质量；空速及反应压差要根据实际生产情况摸索，寻找到最适合的处理方案，保证效益最大化。

参考文献：

- [1] 张晔, 赵亮富. 中 / 低温煤焦油催化加氢制备清洁燃料油研究 [J]. 煤炭转化, 2009, 32(3): 48-50.
- [2] 惠园园, 杨振华, 高玫香. 中低温煤焦油加氢反应中催化剂的开发与研究 [J]. 化学工程师, 2020, 34(9): 44-47.