

基于浆态床加氢反应系统的重油反应工艺中的 停工退油研究分析

宋营来 徐 刚 赵浩舸 潘多峰 牟静怡

克拉玛依市先能科创重油开发有限公司 新疆 克拉玛依 834000

摘 要: 为进一步提高停工退油的工作效率及质量,本研究提出基于浆态床加氢反应系统的重油反应工艺中的停工退油方法。在重质油(劣质油)反应完成后进入退油工艺时,先以柴油作为冲洗油对系统管道开展预冲洗,有效清除其中油液与污染物,进而缩短退油时间,提升退油效率与质量。退油完成后,依次运用扫线、置换方法清理系统设备和管道,扫线借助新水冲洗排出残余物料(包含反应物、催化剂及沉积物等)以降低其残留量,置换则利用氮气置换系统内氢气来营造惰性气氛。通过上述操作,可避免系统管道和设备在停工期间出现氧化、腐蚀或堵塞等问题,保障下一工艺正常、有效运行,弥补了现有相关方法存在的不足,为浆态床加氢反应系统的停工退油操作提供了更优化的解决方案。

关键词: 浆态床加氢反应;重油反应;停工退油

1 停工退油的重要性

1.1 实现资源的有效回收与再利用

重油是一种有价值的资源。在停工退油过程中,将系统内的油尽可能完全地回收,可以避免资源的浪费,回收的重油可以经过适当的处理,如过滤、分离杂质等操作,重新作为原料用于其他的加氢反应或者其他相关的炼油工艺中,提高资源的利用率^[1]。从经济角度来看,有效的退油回收意味着减少了原材料的损失。如果大量的重油没有回收而残留在设备中,企业不仅失去了这部分可以再利用的资源,还需要花费额外的成本来处理这些残留油,如采用化学清洗方法清除设备内的油垢等,增加了生产成本。

1.2 保障设备安全运行与使用寿命

浆态床加氢反应系统中的重油含有大量的重质组分,如沥青质和胶质。在停工后,如果这些重质油残留在系统内,随着温度的降低和时间的推移,会发生聚合、缩合反应。例如,沥青质分子之间会通过化学键的形成而聚集,逐渐形成焦炭状物质。这些焦炭会在反应器、管道、换热器等设备的内壁沉积,使管道的流通截面积减小,增加流体阻力。严重时,会完全堵塞管道,影响系统的正常运行。

此外,重油中往往含有硫、氮等杂质元素。在停工状态下,残留的油与设备表面的金属以及可能存在的水分会发生复杂的化学反应。例如,硫化物在有水的环境下会形成酸性物质,对设备造成腐蚀^[2-3]。这种腐蚀会导致设备的壁厚减薄、出现裂纹,甚至发生穿孔泄漏等严

重后果,极大缩短设备的使用寿命

1.3 保障催化剂物理性能

在浆态床体系中,催化剂多以细粉形式存在,以便在浆态介质中实现良好的流化效果。但如果停工时重油未有效退除,随着温度降低,重油的黏度增大,具有黏性的重油就会像“胶水”一样将相邻的催化剂颗粒黏在一起,逐渐形成团聚体。当团聚体的尺寸远大于原始的催化剂细粉,会严重影响催化剂在浆态床中的流化特性。下次开工时,由于团聚体不能像单个催化剂颗粒那样灵活地在液体介质中运动,气液固三相的混合效果会变差,导致反应不均匀,局部反应过度或不足,影响产品质量和生产效率^[4]。

2 基于浆态床加氢反应系统的停工退油方法及步骤

2.1 停工准备阶段

在决定停工前2-3小时,启动对浆态床加氢反应系统全方位的监测程序,每10分钟记录一次温度(测量精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)、压力(精度 $\pm 0.01\text{MPa}$)、液位(精度 $\pm 1\text{mm}$)以及各关键部位的流量数据(精度 $\pm 0.1\text{m}^3/\text{h}$)。通过对上述数据的趋势分析,确保系统处于稳定且适合停工的状态,当观察到系统温度波动在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内、压力波动在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 以内持续30分钟以上,方可判定系统具备停工条件。

同时依据系统管道与设备的容积估算,准备1.3-1.5倍管道总体积的柴油作为冲洗油,假设系统管道及相关设备总容积经精确测绘与计算为 8m^3 ,则储备柴油量应为 $10.4\text{-}12\text{m}^3$ 。采购的柴油需满足严格的质量标准,水含量

不超过0.03%（质量分数）、硫含量低于8ppm（质量分数），以防止引入新杂质，影响后续工艺或造成设备腐蚀。并确保新水供应管线连接至反应系统的各个关键冲洗部位，且供水压力可稳定调控在0.4-0.6MPa，流量能按需达到12-18m³/h，水质要求浊度小于3NTU、硬度小于50mg/L（以碳酸钙计）。在开工前对新水系统进行压力测试，保压15分钟，压力降不超过0.03MPa视为合格，同时配备流量监测仪表，精度达到±0.2m³/h。氮气纯度要求达到99.95%以上，储备量根据系统总容积计算，一般按4-6倍系统容积准备，若系统总容积为15m³，则需储备氮气60-90m³。连接好氮气通入管线至系统底部，并在系统顶部设置排气口，安装高精度氧含量分析仪（精度±0.005%）与氢气浓度检测仪（精度±0.01%），用于置换过程监测。

此外利用压缩空气对整个反应系统进行密封性测试，将系统压力升至正常运行压力的1.05-1.1倍（假设正常运行压力为1.5MPa，则升至1.6-1.7MPa），保压20分钟，压力降不超过0.04MPa即为密封性良好。对所有阀门、管道接头、泵体密封处等进行标记与检查，对泄漏点及时修复，修复后再次测试，确保无泄漏隐患。

2.2 柴油预冲洗阶段

将柴油储罐通过专用泵送管线连接至浆态床加氢反应系统的进料前端，开启柴油泵，初始流速设定为0.3-0.5m³/h，缓慢将柴油引入进料管道，持续10-15分钟，让柴油初步浸润管道内壁，此过程中密切关注泵出口压力变化，若压力波动超过±0.08MPa，立即暂停泵运行，排查管道是否存在堵塞或阀门未完全开启等问题。然后逐步打开系统内各主要支路阀门，包括但不限于反应器进料支管、出料支管，换热器进出口阀门，产品分离管道阀门等，按照由近及远、先主后次的原则依次开启，确保柴油能够顺畅流入系统各关键部位。同时，将柴油泵流速提升至1-1.5m³/h，开始全系统循环冲洗，在此阶段，每20分钟在反应器底部、换热器出口、管道低点等5-6个关键采样点采集油样，分析油样中重质油残留比例（采用红外光谱分析或色谱分析，精度±0.5%）与固体污染物含量（采用重量法分析，精度±0.01g/L）。

当首次采样分析显示重质油残留比例高于8%（质量分数）或固体污染物含量高于0.05g/L时，将柴油泵流速进一步提高至2-2.5m³/h，持续循环冲洗1-1.5小时，并再次采样分析。重复此操作直至油样中重质油残留比例低于5%（质量分数）且固体污染物含量低于0.03g/L，此时判定柴油预冲洗达到预期效果。在整个预冲洗过程中，需注意控制系统温度，利用夹套冷却或外部冷却介质，

将系统温度维持在40-60℃之间，防止柴油挥发过快或因温度过高导致油品性质劣化，影响冲洗效果。

预冲洗完成后，停止柴油泵运行，缓慢打开系统底部的排放阀门，将预冲洗柴油排放至专用回收储罐。排放流速控制在0.8-1.2m³/h，利用重力自流结合低点泵送相结合的方式，确保排放彻底且避免油品飞溅。且回收储罐内配备高效油水分离装置，采用重力式分离与聚结分离相结合的技术，确保油水分离效率达到98%以上，分离后的柴油经检测合格后可重复利用。

2.3 扫线阶段

将调试好的新水供应系统接入反应系统顶部或高位侧，开启冲洗泵，以10-12m³/h的流速将新水引入系统，利用水的重力作用，自高向低依次对反应器、换热器、管道等进行冲洗。重点关注管道弯头、三通、设备连接缝隙等易沉积残余物料的部位，通过合理开闭各支路阀门，确保这些区域得到充分冲洗。冲洗时间设定为1.5-2小时，在此期间，每15分钟在系统排水口采集水样进行分析。

当首次采样分析显示水中重质油含量高于0.08%（质量分数）、催化剂金属离子浓度高于0.005g/L或目视可见明显固体颗粒时，针对问题突出区域进行局部强化冲洗，可通过临时增加冲洗压力至0.7-0.9MPa（需确保设备承压能力）、改变冲洗水流向或在特定部位增设喷头等方式进行。强化冲洗时间为30-40分钟，之后再次采样分析，重复此操作直至水样中重质油含量低于0.05%（质量分数）、催化剂金属离子浓度低于0.003g/L且目视无明显固体颗粒，判定扫线完成。

扫线排水统一收集至污水处理站，污水处理站采用“隔油+气浮+生化处理”三级工艺。首先，排水进入隔油池，利用油与水的密度差异，通过斜板沉淀等技术，实现油水分隔，隔油效率达到92%以上；接着，经隔油处理后的水进入气浮池，通过向水中注入微小气泡，使水中悬浮的微小颗粒附着气泡上浮去除，气浮去除率达到85%以上；最后，气浮处理后的水进入生化处理单元，利用微生物降解水中的有机物，确保排水中的化学需氧量（COD）低于50mg/L、氨氮含量低于5mg/L等环保指标达标后，方可排放。

2.4 置换阶段

氮气置换氢气初始过程中，首先连接好氮气供应管线至反应系统底部，开启氮气阀门，以4-6m³/h的流速缓慢通入氮气，在系统顶部设置排气口，确保氮气能够顺利驱赶氢气。置换开始后，每8分钟利用高精度氢气浓度检测仪在系统顶部排气口附近检测氢气浓度（精度

$\pm 0.01\%$), 当氢气浓度首次低于1% (体积分数) 时, 将氮气流速降低至 $2\text{--}3\text{m}^3/\text{h}$, 继续置换。在氮气流速降低后, 持续置换30-40分钟, 期间每5分钟在系统内不同部位 (如反应器内部、管道中部、设备连接处等3-4个位置) 利用氧含量分析仪检测氧含量 (精度 $\pm 0.005\%$), 当所有检测点氧含量均稳定在0.08% (体积分数) 以下且氢气浓度低于0.5% (体积分数) 时, 判定置换完成, 系统已形成稳定惰性气氛。置换完成后, 关闭氮气阀门, 保持系统内压力在0.03-0.05MPa微正压状态, 防止空气进入系统。可通过在系统顶部安装压力传感器 (精度 $\pm 0.002\text{MPa}$) 实时监测压力变化, 若压力下降过快, 及时排查泄漏点并补充氮气。

3 基于浆态床加氢反应系统的重油反应工艺中的停工退油优势

3.1 提高退油效率

在加氢反应器向分馏单元退油以及分馏单元向对应罐区退油的工艺过程中, 通过精准设定压力、流量等关键条件, 如高压系统压力降低至3.0MPa以及低压系统压力降至0.6MPa时启动加氢反应器退油, 低压分离器向常压塔退油速率总流量小于 100kg/h 进行分馏单元退油, 确保了退油过程的平稳有序。这种精细化的流程管理避免了因退油条件不当引发的物料堵塞、泵送困难等问题, 相较于传统粗放式退油操作, 减少了故障停机时间, 进一步提高了退油的整体效率。

3.2 提升退油质量

柴油预冲洗不仅提高了退油速度, 还对系统起到了深度清洁作用, 能够深入到一些常规退油手段难以触及的死角区域, 如管道的弯头、三通连接处, 反应器内部复杂的内构件缝隙等, 将长期积累的污垢、催化剂细粉以及重质油垢一并清除。经过预冲洗后, 进入退油环节的物料杂质含量大幅降低, 使得后续退油过程中输送至分馏单元和罐区的物料更加纯净, 减少了对后续处理设备的污染和磨损, 提升了整个系统的清洁度, 保障退油质量。

3.3 增强系统维护性

置换方法采用氮气对系统内的氢气进行置换并形成

惰性气氛, 为系统设备和管道穿上了一层“防护衣”。在停工期间, 若系统残留有氢气或混入空气, 极易引发氧化还原反应, 导致金属设备表面生锈、腐蚀, 特别是对于含有催化剂的系统, 腐蚀还可能加速催化剂失活。而氮气置换有效隔绝了氧气, 阻止氧化腐蚀过程的发生, 延长设备的使用寿命, 进一步降低设备维护成本和维修频率, 使得系统在停工期间依然能保持良好的性能状态, 便于下次快速开工。

3.4 保障工艺衔接性

由于系统在停工期间得到了妥善维护, 设备无堵塞、腐蚀现象, 物料残留少, 当需要再次启动工艺时, 无需花费大量时间进行设备清理、调试和物料预处理等工作。操作人员可以更快地将系统恢复到正常运行状态, 减少了工艺重启的准备时间, 提高生产效率, 使企业能够更灵活地应对市场需求变化, 增强了市场竞争力。

4 结论

本研究所提出的基于浆态床加氢反应系统的重油反应工艺中的停工退油方法, 可以为浆态床加氢装置在停工阶段的退油操作提供了一种高效且可靠的解决方案, 有效弥补了现有技术及方法存在的不足。停工退油方法通过各环节紧密配合、协同作用, 在提高退油效率和质量、增强系统稳定性与维护性以及保障工艺衔接性等多方面均取得了积极成效。这对于提升浆态床加氢反应系统整体的运行效能、延长设备使用寿命、降低运维成本以及保障炼油生产的连续性和经济性都有着重要意义。

参考文献

- [1]任锋江, 杨成艺, 李治明. 常减压装置绿色停工的实践与效果[J]. 化工管理, 2024, (32): 137-141.
- [2]胡明珠. 大型常减压装置停工热水冲洗退油技术应用分析[J]. 炼油与化工, 2018, 29(05): 16-18.
- [3]董晓猛, 范宜俊, 朱长健, 等. 下吹式热蒸汽提在连续液相柴油加氢装置停工中的应用[J]. 石油化工安全环保技术, 2021, 37(06): 20-23+6.
- [4]李华, 沈继锋. 固定床催化重整装置绿色停工方案探讨[J]. 炼油与化工, 2017, 28(01): 17-19.