

柴油加氢精制装置生产喷气燃料存在问题及解决措施

曾瑞镭

中海油东方石化有限责任公司 海南 东方 572699

摘 要：本文指出了存在原料适应性难题，如组分波动、杂质干扰、馏程不匹配；工艺控制有反应深度、氢分压、分馏精度等瓶颈；设备运行有过滤器性能衰减、换热器结垢等问题；催化剂性能存在局限。针对这些问题，提出原料优化与预处理、工艺参数精准控制、设备升级与维护、催化剂性能提升等解决措施，并且阐述了实施保障措施，包括构建管理体系、加强人员能力建设、建立风险防控体系，以保障生产稳定高效，提升产品质量与市场竞争力。

关键词：柴油加氢精制；喷气燃料；存在问题；解决措施

引言

随着航空业发展，对喷气燃料需求增加且质量要求提高。柴油加氢精制是生产喷气燃料的关键工艺，但生产中面临诸多问题。原料成分复杂、工艺控制难度大、设备运行不稳定以及催化剂性能局限等，都影响生产效率和产品质量。解决这些问题，实现装置稳定高效运行，生产出符合标准的喷气燃料，不仅能满足市场需求，还能提升企业经济效益和竞争力。因此，深入分析问题并提出针对性解决措施与保障策略具有重要的现实意义。

1 柴油加氢精制装置生产喷气燃料存在问题

1.1 原料适应性难题

一是组分波动。柴油原料中直馏柴油与二次加工柴油的比例并非固定不变，这种变化会致使原料中的芳烃含量出现较大幅度波动。高芳烃含量的原料进入装置后，会对催化剂产生不良影响，使催化剂床层温度快速上升，局部出现超过设计值的热点温度。长期处于这样的状态，会引发催化剂积炭，进而导致催化剂失活，影响装置的正常运行和喷气燃料的生产效率。二是原料中的杂质干扰。其中，金属杂质如镍、钒等，若含量超出标准范围，会直接破坏催化剂的活性中心。催化剂活性中心受损后，其脱硫能力会显著下降，无法有效去除原料中的硫元素，从而影响喷气燃料的质量。三是馏程匹配性问题。喷气燃料对馏程有严格要求，需集中在特定温度区间，但柴油原料的馏程特点与喷气燃料要求不匹配，其90%馏出温度普遍高于喷气燃料所需馏程上限。馏程过宽使得分馏塔在操作过程中需要承担更大的负荷，而且在分离过程中容易出现轻组分夹带的情况，这会对最终生产的喷气燃料产品质量产生不利影响，降低产品的合格率和市场竞争力。

1.2 工艺控制瓶颈

(1) 反应深度控制，芳烃饱和反应存在热力学限制，当反应温度超出一定界限，环烷烃开环副反应会加剧，进而造成产物密度降低，影响喷气燃料的关键指标。温度控制一旦出现偏差，就可能使喷气燃料密度达不到标准要求。(2) 氢分压管理，氢油比若不充足，容易引发催化剂结焦问题，这会严重影响催化剂的活性，缩短其使用寿命。而且氢分压出现波动时，催化剂活性会在较短时间内明显下降。另外，循环氢纯度若低于规定值，硫化氢分压升高，会抑制加氢反应的速率，降低装置的生产效率。(3) 分馏精度不足，传统分馏塔理论塔板数不够，难以实现精准分馏，导致喷气燃料馏分中重馏分含量超出标准，这会使塔顶产品中超出规定馏程范围的馏分占比过高，无法满足喷气燃料对馏程的严格要求，影响产品的质量和市场适用性。

1.3 设备运行缺陷

一是过滤器性能衰减，原料过滤器反冲洗周期设置不合理，时间过长，使得过滤器压差不断上升，运行一段时间后，压差达到较高水平，引发原料泵流量出现波动，影响原料稳定供应。同时滤芯破损情况严重，破损率处于高位，破损后的滤芯碎屑会进入系统，造成催化剂床层堵塞，降低催化剂活性，影响装置正常运行和产品质量。二是换热器结垢，高压换热器管束结盐速度较快，随着时间推移，结垢情况加重，导致热端温差不断扩大，装置能耗显著增加，对结垢物进行分析发现，氯化铵与硫氢化铵在结垢物中占比较高，是造成换热器结垢的主要因素。三是分馏塔内件损坏，塔盘浮阀脱落情况较为严重，脱落率较高，这使得气液接触效率大幅下降，影响分馏效果，在装置检修时还发现，塔盘存在腐蚀问题，腐蚀坑深度较深，甚至出现局部穿孔，引发内漏，对分馏塔的正常操作和产品质量产生不利影响。

1.4 催化剂性能局限

第一,活性稳定性不足。传统Ni-Mo催化剂在持续运行一段时间后,其芳烃饱和率会明显降低。为弥补活性下降带来的影响,通常需提高反应温度,但这样做又容易引发一系列热裂解副反应,不仅会增加装置能耗,还可能生成不符合喷气燃料质量要求的副产物,影响产品合格率。第二,抗毒能力较为薄弱。该催化剂对原料中的有机氯敏感度较高,哪怕原料中氯含量仅有少量超标,都可能导致催化剂永久失活。一旦催化剂失活,装置就需停工更换,这不仅会打乱生产计划,还会大幅增加更换成本,给企业带来经济损失^[1]。第三,再生工艺复杂。失活催化剂进行烧焦再生时,必须严格控制氧浓度梯度。若操作不当,就会导致催化剂孔道塌陷,比表面积大幅下降,进而使再生后的催化剂性能无法恢复到理想状态,影响其再次使用效果和装置的长周期稳定运行。

2 柴油加氢精制装置生产喷气燃料的解决措施

2.1 原料优化与预处理

一是在组分调和技术上,构建原料数据库,利用线性规划模型对直馏柴油与催化柴油的配比进行优化。同时,引入在线近红外分析仪,对原料中的芳烃含量开展实时监测,依据监测结果自动调节两种柴油的掺炼比例,以此将原料芳烃的波动范围有效控制在较小区间内,保证原料组分的相对稳定,减少因组分波动对后续生产造成的不良影响。二是深度脱杂工艺方面,增设预加氢反应器,选用Co-Mo/Al₂O₃催化剂,降低原料中的硫含量。开发磁性吸附剂用于脱除原料中的金属杂质,提高金属杂质的脱除效率,降低其对催化剂的毒害作用,保障催化剂的活性和使用寿命。三是馏程窄化技术上,采用分子蒸馏技术对原料进行预切割处理,通过该技术将柴油的馏程宽度大幅压缩,使馏程范围更接近喷气燃料的要求,进而提高喷气燃料的理论收率,提升生产效益。

2.2 工艺参数精准控制

(1)在反应温度梯度优化上,构建三段温控模型,明确预处理段、裂化段和精制段的温度范围,利用在线质谱仪实时监测尾气组成,依据监测结果动态调整各段温度。如此操作,可确保芳烃饱和反应在适宜温度下进行,避免因温度不当引发副反应,将芳烃饱和率稳定在较高水平,保证喷气燃料中芳烃含量符合标准。(2)氢分压智能调控方面,开发氢气循环量预测模型,结合反应器压降变化,自动调节补充氢量,确保氢分压稳定,同时采用膜分离技术提纯循环氢,维持其纯度在较高标准,合理控制氢油比,这能有效避免催化剂结焦,抑制硫化氢分压升高对加氢反应速率的抑制作用,保障反应顺利进行。(3)分馏过程强化中,改造分馏塔内

件,用高效舌形塔盘替代浮阀塔盘,增加理论塔板数,提高分馏效率。增设侧线汽提塔,进一步分离重馏分,严格控制喷气燃料馏分中重馏分含量,确保产品质量达标。

2.3 设备升级与维护

第一,在过滤器系统改造上,采用双过滤器并联运行模式,并设置压差联锁自动切换装置。当其中一个过滤器压差达到设定值时,能自动切换至另一个过滤器,保证原料过滤的连续性。同时,开发脉冲反冲洗技术,相较于传统方式,该技术可将反冲洗周期大幅延长,减少反冲洗次数,降低对生产的影响,还能提升滤芯寿命,降低更换成本和停机检修时间。第二,在换热器防垢技术方面,在高压换热器入口注入阻垢剂,阻垢剂能在管束表面形成动态保护膜,有效阻止盐类等物质附着结垢,采用超声波在线清洗技术,每月定期对换热器进行处理,利用超声波的空化效应等作用,清除已形成的少量污垢,使换热器结垢速率显著降低,维持良好的换热效率,降低装置能耗。第三,在分馏塔检修规范上,制定塔内件定期检测标准,每运行一定时间就对浮阀进行密封性测试,及时发现并处理问题,保证气液接触效率。对于腐蚀的塔盘,采用激光熔覆技术进行修复,该技术能使修复后的塔盘表面硬度大幅提升,增强塔盘的耐磨性和抗腐蚀性,延长塔盘使用寿命。

2.4 催化剂性能提升

(1)在新型催化剂开发上,着力研制含特定元素的复合催化剂。通过引入磷元素,增强催化剂的抗硫能力。经实验室评价,在原料硫含量较高的情况下,该新型催化剂仍能保持较高的芳烃饱和率,有效提升对原料中芳烃的处理效果,使生产出的喷气燃料质量更优。(2)催化剂保护工艺方面,在原料入口设置保护装置,采用成本较低的催化剂预先对原料中的毒物进行脱除,减少毒物对主催化剂的损害,延长主催化剂的使用寿命^[2]。同时,开发催化剂预硫化技术,提高活性金属的硫化程度,使催化剂的初始活性显著提升,加快反应速率,提高生产效率。(3)再生工艺改进中,采用两段式再生方法,第一段在较低温度下通入特定气体脱除催化剂表面的烃类物质,第二段在较高温度下通入空气进行烧焦处理。在整个再生过程中,严格控制氧浓度梯度,避免因局部过热导致催化剂结构破坏,使再生后的催化剂比表面积恢复率较高,重新具备良好的催化活性,可再次投入使用,降低生产成本。

3 柴油加氢精制装置生产喷气燃料的实施保障措施

3.1 管理体系构建

一是在质量管控方面,建立全流程质量追溯系统。

该系统覆盖原料进厂、中间产品生产以及最终产品出厂的各个环节,对各阶段的数据进行详细记录与关联分析。通过这种方式,一旦产品质量出现问题,能够迅速追溯到问题产生的具体环节,明确责任源头,及时采取针对性措施加以解决,确保喷气燃料质量稳定可靠。二是在操作规范上,制定标准化操作规程。对生产过程中的每一个操作步骤和关键参数进行精准规定,并将关键参数的控制精度大幅提升,同时把操作合格率纳入员工绩效考核体系。三是设备维护方面,推行预防性维护策略。针对关键设备,建立健康状态评估模型,通过对设备运行数据的实时监测和分析,提前发现设备潜在故障隐患。该模型具备较高的故障预测准确率,能够为设备的维护保养提供科学依据,实现从被动维修向主动预防的转变,保障设备稳定运行。

3.2 人员能力建设

第一,开展专项技能培训。通过理论讲解与实际操作相结合的方式,让操作人员深入掌握各项技能要点和操作规范。培训结束后进行严格考核,只有考核合格者才能获得相应操作证书,保证操作人员持证上岗率达到要求,确保关键操作精准无误,减少因操作不当引发的生产事故。第二,建立工艺仿真培训平台。该平台能够模拟装置运行过程中可能出现的各种异常工况,如温度异常波动、压力骤升骤降等。操作人员可以在虚拟环境中进行处置演练,熟悉异常工况的判断方法和处理流程,积累应对经验。第三,实施轮岗交流制度。让工艺岗位人员与设备岗位人员进行定期轮岗,使员工熟悉不同岗位的工作内容和职责,拓宽知识面和技能范围,培养既懂工艺又懂设备的复合型人才,为装置的稳定运行提供更全面的人才保障。

3.3 风险防控体系

(1) 全面开展危险与可操作性分析。组织专业人员

对生产过程中的工艺流程、设备运行、操作规范等各个环节进行细致剖析,不放过任何一个可能存在风险的细节。通过这种系统性的分析方法,精准识别出工艺、设备、操作等方面存在的风险点,为后续的风险防控工作提供明确方向。(2) 制定科学合理的应急预案演练计划。根据识别出的风险点,有针对性地制定各类应急预案,并按照计划每季度组织专项演练。演练过程中,模拟真实的风险场景,让相关人员熟悉应急处置流程和方法,提高应对突发风险的能力和协同作战水平,确保在真正遇到风险时能够迅速、有效地进行处置^[1]。(3) 建立安全仪表系统。对装置中的关键参数设置三重保护连锁,当参数出现异常波动时,系统能够自动触发连锁保护机制,及时采取措施避免事故的发生,为装置的安全运行提供可靠的硬件保障,全方位守护生产过程的安全。

结语

综上所述,柴油加氢精制装置生产喷气燃料虽面临原料、工艺、设备、催化剂等多方面挑战,但通过原料优化、工艺精准控制、设备升级维护、催化剂性能提升等措施,并构建完善的管理体系、加强人员能力建设、建立风险防控体系,能有效解决问题,保障生产稳定运行。未来,还需持续关注行业动态,不断优化技术和管理,以适应市场变化,提升产品质量和生产效益,推动企业可持续发展。

参考文献

- [1]郭富全,武宝平,郭晓雷,等.加氢裂化装置掺炼柴油生产喷气燃料的工业应用[J].炼油与化工,2025,36(4):51-55.
- [2]李保良,魏增扬.柴油加氢改质装置催化剂再生性能评价[J].石油与天然气化工,2025,54(1):24-30.
- [3]刘帅,徐婉怡.柴油加氢精制工艺技术及催化剂研究进展[J].当代化工,2025,54(7):1716-1721.