

延迟焦化装置生产工艺优化与产品质量提升

吴小虎

中国石油化工股份有限公司荆门分公司 湖北 荆门 448000

摘要: 延迟焦化是重质油轻质化的关键工艺,在炼油工业中地位重要。本文针对当前装置原料组分波动大、工艺调控粗放、设备老化及产品质量适配性不足等问题,系统设计原料预处理、核心参数、关键设备及能耗环保协同优化方案,提出产品质量提升目标与管控措施,通过工艺改进、设备升级及全流程管控,提升轻质油收率与产品质量,降低能耗、满足环保标准,推动装置高效绿色高质量运行,提升企业竞争力与资源利用率。

关键词: 延迟焦化装置; 生产工艺优化; 产品质量提升

引言: 随着炼油行业转型升级及环保政策日趋严格,重质油深度加工需求迫切,延迟焦化装置作为处理劣质重质油的核心设备,其工艺稳定性与产品质量直接影响企业效益与竞争力。当前多数装置存在工艺参数调控不精准、设备运行可靠性不足、产品指标波动大等问题,难以适配高端产品与绿色生产要求。基于此,本文围绕工艺优化与产品质量提升展开研究,提出针对性方案,为装置提质增效提供技术支撑。

1 延迟焦化装置生产工艺及产品质量现状分析

1.1 延迟焦化装置工艺原理与流程

(1) 工艺原理: 延迟焦化以热裂化与缩合反应为核心机制,原料油在高温、低压条件下,经深度热裂化反应打破重质烃分子链,转化为轻质油组分,同时部分重质组分发生缩合反应,形成焦炭及少量气体产物,实现重质油的轻质化利用,核心是“延迟”反应,避免反应提前发生导致设备结焦。(2) 核心工艺流程: 主要包含五大关键环节,原料预处理去除原料油中杂质、水分及盐类,保障后续工序稳定;加热炉将预处理原料加热至反应温度;焦炭塔作为核心反应设备,完成热裂化与缩合反应,生成焦炭并排出;分馏分离将反应产物分离为汽油、柴油、蜡油等组分;吸收稳定系统提纯气体产物,回收轻烃,提升资源利用率^[1]。

1.2 延迟焦化装置生产现状及存在问题

(1) 装置运行现状: 原料以高硫、高残炭重质油为主,组分波动较大;生产负荷基本维持在设计负荷的85%~95%,部分装置因设备问题偶尔出现负荷波动;关键设备长期处于高温、腐蚀环境,运行稳定性有待提升。(2) 工艺层面存在问题: 操作参数控制较粗放,未实现精准调控,导致反应效率偏低;分馏塔内件老化,分馏效率不足,轻质油收率偏低;装置能耗偏高,高于行业平均水平,且焦炭塔周期性结焦问题突出,影响连续生

产。(3) 设备层面存在问题: 加热炉管结焦、积灰严重,传热效率低,增加能耗;除焦设备密封性能差、故障率高,可靠性不足,影响除焦效率;自动化控制水平偏低,关键参数人工干预较多,操作误差大,增加安全隐患。

1.3 延迟焦化产品质量现状及影响因素

(1) 主要产品质量现状: 汽油、柴油关键指标基本达标,但柴油十六烷值偏低,汽油辛烷值波动较大,市场适配性不足;石油焦炭分、硫含量偏高,高端应用受限,主要用于低端燃料领域。(2) 原料因素: 原料油性质差异大,硫含量、残炭值波动频繁,直接导致产品硫含量、灰分等指标不稳定;原料组分中重质烃比例过高,会降低轻质油收率,影响产品质量。(3) 工艺与设备因素: 操作参数偏离最优区间,会导致产品组分分布不合理;加热炉温度不均、焦炭塔反应不完全,会加剧产品质量波动;设备老化、运行异常,进一步影响产品分离效果与质量稳定性。(4) 环保与标准因素: 环保政策日趋严格,对产品硫含量、氮氧化物排放要求提升,现有装置脱硫、脱硝能力不足;产品质量标准升级,高端油品需求增加,现有生产工艺难以满足市场高质量需求,面临转型挑战。

2 延迟焦化装置生产工艺优化方案设计

2.1 原料预处理工艺优化

(1) 原料筛选与配伍优化: 建立原料性质数据库,对进厂原料进行全面检测,明确硫含量、残炭值、金属含量等关键指标,根据指标差异进行合理配伍。优先选用优质原料与劣质原料按比例搭配,控制劣质原料掺入比例不超过30%,通过组分互补降低劣质原料对后续工艺的冲击,减少设备结焦风险,同时稳定原料整体性质,为后续工艺参数调控奠定基础,保障产品质量稳定性。(2) 预处理技术升级: 摒弃传统单一过滤除杂工艺,引入溶剂脱沥青与催化脱金属联合技术。利用溶剂脱沥青技术分

离原料中的重质沥青质,降低原料残炭值;通过催化脱金属技术去除原料中的镍、钒等重金属杂质,将金属含量控制在 $5\mu\text{g/g}$ 以下。同时优化预处理工艺参数,调整溶剂配比与反应温度,进一步提升杂质去除效率,延长装置运行周期,减少停机检修频次。

2.2 核心工艺参数协同优化

(1) 加热炉参数优化:结合原料性质波动,动态调控加热炉出口温度,将温度控制在 $490\text{--}505^\circ\text{C}$ 区间,避免温度过高导致炉管结焦、过低影响反应深度;合理调整加热炉热强度,控制在 $20\text{--}25\text{kW/m}^2$,同时提高冷油流速至 $1.8\text{--}2.2\text{m/s}$,增强炉管换热效果,减少炉管局部过热,降低结焦概率,提升加热效率,降低能耗。(2) 焦炭塔参数优化:采用协同调控策略,将反应压力稳定在 $0.15\text{--}0.25\text{MPa}$,平衡轻质油收率与焦炭质量;根据原料组分调整循环比,在保证轻质油收率的前提下,将循环比控制在 $0.2\text{--}0.4$,减少焦炭生成量;优化吹汽量与吹汽时间,控制吹汽量为原料量的 $3\%\text{--}5\%$,延长吹汽时间至 $30\text{--}40\text{min}$,促进焦炭塔内未反应重组分充分反应,提升资源利用率^[2]。(3) 分馏系统参数优化:针对分馏效率不足的问题,动态调控分馏塔回流比,根据产品组分需求将汽油回流比控制在 $1.2\text{--}1.5$,柴油回流比控制在 $0.8\text{--}1.0$;优化各侧线切割温度,汽油切割温度控制在 $150\text{--}180^\circ\text{C}$,柴油切割温度控制在 $280\text{--}320^\circ\text{C}$,精准分离各产品组分,改善产品组分分布,提升轻质油收率与产品质量^[3]。

2.3 关键设备升级与工艺改进

(1) 加热炉升级:淘汰传统单面辐射加热炉,更换为双面辐射加热炉,提升加热均匀性,热效率从原来的 88% 提升至 92% 以上;在炉管表面喷涂耐高温、防结焦特殊涂层,减少炉管结焦附着,延长炉管使用寿命,同时降低传热阻力,进一步提升加热效率,减少能耗损失。(2) 除焦系统优化:改进水力除焦工艺参数,调整除焦水压力至 $18\text{--}22\text{MPa}$,优化除焦喷头角度与转速,提升除焦冲击力,缩短除焦时间;引入智能除焦设备,配备在线监测系统,实时监测除焦过程,自动调整除焦参数,减少人工干预,提升除焦效率与设备可靠性,降低除焦过程中的设备故障发生率^[4]。(3) 自动化控制系统升级:引入先进过程控制(APC)与数字孪生技术,构建装置全流程数字化模型,实时采集加热炉、焦炭塔、分馏塔等关键设备的运行参数与工艺数据,通过智能算法实现参数精准调控,减少人工操作误差;建立异常预警机制,及时发现工艺与设备异常,提前干预处理,保障装置稳定高效运行。

2.4 能耗与环保协同优化

(1) 节能优化:在加热炉尾部增设余热回收装置,回收烟气余热用于预热原料油与锅炉给水,降低加热炉燃料消耗;优化蒸汽系统,合理分配各环节蒸汽用量,回收利用装置内多余蒸汽,减少蒸汽浪费;采用变频调速技术,对泵、风机等设备进行节能改造,降低电力消耗,预计可使装置综合能耗降低 $8\%\text{--}10\%$ 。(2) 环保优化:推行密闭除焦工艺,改造除焦系统密封结构,减少除焦过程中粉尘与有害气体泄漏;升级废气处理工艺,采用脱硫、脱硝、除尘一体化设备,将废气中二氧化硫含量控制在 35mg/m^3 以下,氮氧化物含量控制在 50mg/m^3 以下;优化废水处理流程,采用生化处理与深度过滤相结合的技术,确保废水达标排放,满足日趋严格的环保排放标准,实现环保与生产协同发展。

3 延迟焦化产品质量提升策略

3.1 主要产品质量提升目标

(1) 轻质油产品:明确清洁燃料质量提升目标,汽油辛烷值(RON)提升至 92 以上,其中 95 号汽油占比不低于 40% ,硫含量严格控制在 10ppm 以下,满足国VIB清洁燃料标准;柴油十六烷值提升至 45 以上,硫含量降至 5ppm 以下,降低冷滤点与凝点,提升柴油燃烧效率,减少尾气排放,适配车用、船用等多场景需求,增强市场竞争力。(2) 石油焦产品:聚焦产品提质升级,将石油焦挥发分控制在 10% 以下,灰分降至 0.5% 以下,硫含量根据产品用途分别控制在 $0.5\%\text{--}2.0\%$ 区间,实现产品牌号从普通级向一级、特级提升;重点开发针状焦、超高功率石墨电极焦等特种焦产品,打破低端燃料用途局限,拓展高端冶金、电子等应用领域,提升产品附加值^[5]。(3) 气体产品:优化气体分离工艺,提升液化气收率,将液化气收率提升至 8% 以上,确保液化气组分合格,满足民用、工业燃料及化工原料需求;严格控制干气中 C_3+ 组分损失,将损失率降至 1% 以下,最大限度回收轻烃资源,提高资源综合利用率,减少能源浪费。

3.2 基于工艺优化的产品质量提升措施

(1) 轻质油质量提升:结合前期核心工艺参数优化成果,动态调控加热炉出口温度($492\text{--}506^\circ\text{C}$)、焦炭塔反应压力($0.17\text{--}0.23\text{MPa}$)等关键参数,精准优化反应深度,减少重组分、杂质带入轻质油中;改进分馏系统内件,更换高效传质元件,优化回流比与切割温度,提升分馏精度,有效分离轻质油中的硫、氮、氧等杂质;增设轻质油吸附脱硫环节,选用高效脱硫吸附剂,进一步降低硫含量,改善汽油、柴油的理化性能与使用性能,确保产品各项指标稳定达标。(2) 石油焦质量提升:精准控制焦炭塔核心反应参数,将反应温度稳定在 $495\text{--}505^\circ\text{C}$,

反应压力控制在0.18–0.22MPa，适当延长反应时间，促进重质组分充分缩合反应，降低石油焦挥发分；规范取样检测流程，在焦炭塔不同高度、不同位置设置取样点，确保检测结果全面、准确，及时根据检测数据调整工艺参数，规避质量波动；优化除焦工艺，调整除焦水压力与喷头角度，减少焦炭破碎过程中的杂质混入，提升石油焦致密度与纯度，保障产品质量稳定性与一致性。

3.3 产品质量管控体系构建

(1) 过程质量监测：搭建全流程在线分析与实时监测系统，在原料预处理、反应、分馏、产品输出等关键环节合理设置监测点位，实时追踪硫含量、辛烷值、十六烷值、挥发分等关键质量指标，数据采集间隔不超过10分钟，确保及时捕捉质量波动，为工艺参数调整提供精准的数据支撑，实现质量问题早发现、早干预。(2) 质量检测与反馈：建立标准化、规范化检测流程，明确各产品的检测项目、检测方法、合格标准及检测频次，配备专业检测设备与高素质检测人员，实行“班组自检、车间复检、厂级抽检”的三级检测制度；建立快速质量反馈机制，检测发现质量问题后，1小时内反馈至生产车间，2小时内制定针对性工艺调整方案，及时整改落实，坚决杜绝不合格产品出厂。(3) 全流程质量管控：明确原料采购、预处理、生产操作、质量检测、仓储、运输各环节的质量责任，落实岗位责任制，将质量指标纳入岗位绩效考核，强化员工质量意识；建立原料-工艺-产品全链条追溯体系，详细记录各环节关键数据，一旦出现质量问题，可快速追溯根源、精准整改，确保产品质量全程可控、持续稳定。

3.4 产品深加工与高附加值提升

(1) 石油焦深加工：依托现有延迟焦化装置，引入石油焦煅烧、石墨化等深加工工艺，重点开发针状焦、超高功率石墨电极焦等高端产品；优化深加工工艺参数，精准

控制煅烧温度、保温时间等关键指标，提升产品结晶度、纯度与机械性能，满足高端冶金、锂电池负极材料、电极制造等领域的高端需求；加强市场调研，对接下游企业定制化需求，优化产品规格，推动石油焦产品向高端化、多元化、高附加值方向发展。(2) 轻质油精制：结合后续加氢精制工艺，对延迟焦化产出的汽油、柴油进行深度处理，通过加氢反应有效去除硫、氮、氧等杂质，进一步提升汽油辛烷值、柴油十六烷值，改善产品安定性、清洁性与抗爆性；优化加氢工艺参数，合理控制反应压力、温度与氢油比，在提升产品质量的同时降低精制成本，生产符合高端市场需求的清洁汽油、柴油产品，拓展高端燃料市场份额，显著提升产品盈利空间。

结束语

本文围绕延迟焦化装置生产工艺优化与产品质量提升展开全面研究，梳理装置运行现状与现存问题，构建全方位优化体系与质量提升策略，实现工艺效率、产品质量与环保效益协同提升。该成果可有效解决装置结焦、能耗偏高、产品附加值低等痛点，为炼油企业装置升级改造提供实践指导。未来可深化工艺与设备协同优化，结合智能化技术，持续提升装置稳定性与产品竞争力。

参考文献

- [1]黄新龙,王宝石.降低焦炭塔操作压力对焦化过程的影响[J].石油炼制与化工.2021,9(4):43-46.
- [2]雷雳光,盖朋波.石油焦综合利用研究进展[J].石油与天然气化工.2022,18(5):112-115.
- [3]刘建锬,杨涛.解决高硫石油焦出路的措施分析[J].化工进展.2023,20(7):173-176.
- [4]蔡海军.延迟焦化装置处理含油污泥的技术应用[J].石油化工.2024,10(7):89-93.
- [5]徐先财.延迟焦化装置油污回炼技术的研究及应用[J].石油化工.2023,16(5):231-234.