

催化裂化吸收稳定系统能耗优化与经济效益分析

田思佳 (中石化 (天津) 石油化工有限公司, 天津 300270)

摘要: 催化裂化是石油炼制的核心工艺, 而其吸收稳定系统的能效水平直接制约着炼厂的经济效益。本文系统分析了催化裂化吸收稳定系统现有的低效问题及原因, 讨论了相应的节能优化技术手段, 对节能优化带来的经济效益进行了计算和分析。实践证明, 实施工艺技术改造、设备先进利用、优化控制操作、集成技术采用与落地, 既有明显的节能降耗效果, 又能增效提高产品收率和产品品级, 为炼油厂增强核心竞争力提供强有力的经济支撑。

关键词: 催化裂化; 吸收稳定系统; 能耗优化; 经济效益

中图分类号: TE624 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0079-03

Energy Consumption Optimization and Economic Benefit Analysis of the Catalytic Cracking Absorption and Stabilization System

Tian Sijia (Sinopec (Tianjin) Petrochemical Co., Ltd., Tianjin 300270, China)

Abstract: Catalytic cracking is the core process of petroleum refining, and the energy efficiency of its absorption and stabilization system directly restricts the economic benefits of the refinery. In this paper, the existing low efficiency problems and reasons of FCC absorption and stabilization system are systematically analyzed, the corresponding energy-saving optimization technical means are discussed, and the economic benefits brought by energy-saving optimization are calculated and analyzed. Practice has proved that the implementation of technological transformation, advanced utilization of equipment, optimized control operation and adoption and landing of integrated technology not only has obvious energy-saving and consumption-reducing effects, but also can increase product yield and product grade, providing strong economic support for the refinery to enhance its core competitiveness.

Keywords: catalytic cracking; absorption and stabilization system; energy consumption optimization; economic benefits

在现代炼油工业的原油二次加工体系中, 催化裂化堪称核心支柱工艺, 核心作用是将重质油料转化为液化气、汽油、柴油等附加值较高的轻质产品。吸收稳定系统作为催化裂化装置的收尾工序, 负责将分馏塔产出的富气与粗汽油精准分离为干气、液化气, 以及蒸汽压达标稳定汽油。其运行状态直接影响整套装置的产品收率、能耗指标与综合经济效益。因此, 深入探寻该系统的能耗优化路径, 精准核算优化带来的经济效益, 对炼油企业践行绿色低碳发展理念、增强市场竞争力, 具有重要的现实指导意义。

1 催化裂化吸收稳定系统常见的能耗问题

1.1 重复冷却与加热造成有效能浪费

吸收稳定系统的本质, 决定了物流要多次进行冷却、加热等交替过程, 这恰恰就是吸收稳定系统能量损失的原因所在。吸收塔要保持较高的吸收率, 就需要在较低温度下运行; 解吸塔要实现解吸率较大, 又离不开较高温度操作条件, 这样的温度适应矛盾, 使物流温度不断地升温、降温。具体来说, 吸收塔底油温度首先冷却后, 再与压缩富气进行混合后送到气液平衡罐, 后面又要进入解吸塔经再沸器重新加热。这类为适应不同工艺需要而进行的等效温控调节, 在实

际工业运行中, 往往是由于流程匹配性较差或调节操作控制精度不够, 冷却水或蒸汽用量过大, 引起很大一部分有用能的不可逆损失, 也成为工业运行中最终限制系统能耗水平降低的主要因素。

1.2 干气带液导致高价值组分流失

干气带液是炼厂吸收稳定系统普遍存在的问题, 具体指干气中夹带过量液化气组分, 也就是碳三及以上组分。这一问题会造成双重损耗效应: 本应回收为液化气的高附加值组分, 被迫作为燃料气燃烧, 既浪费资源又缩减收益; 为缓解该问题, 操作人员往往被动增加补充吸收剂循环量, 进而加重解吸塔、稳定塔的处理负荷, 形成负荷攀升—能耗上升—效率下滑的恶性循环, 进一步推高系统整体能耗。某炼厂现场运行数据显示, 当干气中碳三以上组分体积分数由 2% 攀升至 5%, 系统单位能耗会相应增加。

1.3 内循环流量过大加重能量负担

吸收稳定系统内部存在多股循环物流, 涵盖解吸气、补充吸收剂 (稳定汽油)、吸收塔底油等, 这些物料的过度循环会直接加重设备负荷, 提升能量消耗。其中, 稳定汽油作为补充吸收剂的内循环问题最为突出, 其在吸收塔、解吸塔、稳定塔之间反复流转, 不

仅增加机泵输送能耗，还会显著提升解吸塔再沸器热负荷与冷凝器冷负荷。

1.4 低温热回收利用不充分

催化裂化装置运行期间，会伴随产生大量低温热，通常温度低于 120℃。这类热量在吸收稳定系统中具备可观的回收价值，但当前多数工业装置对其潜力远未得到充分挖掘和高效利用，最终大部分低温热只能通过冷却水系统直接排放。系统内塔顶产物、轻柴油等物流携带的低温热，一方面受限于热源温度偏低，另一方面因传统换热网络适配性不足，常规换热技术难以实现高效回收。即便部分装置引入了热联合等节能手段，但其系统集成度与匹配精度仍有提升空间，低温热整体利用率依旧处于较低水平。

2 催化裂化吸收稳定系统能耗问题的成因

2.1 传统工艺设计存在先天局限性

现有吸收稳定系统的能耗与传统工艺设计先天缺陷相关。很多炼厂现仍采用传统双塔流程，传统双塔流程中吸收塔、解吸塔之间有两股返回塔内的物料造成一种能量利用低下的内循环，直接导致浪费能量；单独的吸收塔、脱吸塔传质效率低，能量浪费会进一步加剧。如今，多种流程改进的单塔流程也不断出现，但是传统双塔流程改造成单塔流程比较困难、投资大，传统双塔流程至今在炼厂中仍旧占据主流，使得系统能耗问题难以实现根本性突破。

2.2 操作压力设置偏离最优区间

系统操作压力的精确控制，直接影响气液平衡关系和能耗。在实际生产中，吸收稳定系统必然有一个最佳操作压力：压力偏高会增加压缩机组的能耗；压力偏低会增加补充吸收剂流量，两种情况都会增加单位综合能耗。但大多数炼厂为保证正常的生产操作，长期固定压力，操作不随原料性质、产品方案变化进行优化控制压力，导致吸收稳定系统长期处于最佳压力以外的工况区进行操作而造成了不必要的能量损失。

2.3 换热网络匹配度不足

换热网络设计不合理，各物流之间换热的匹配程度低，也是造成炼厂能耗高的一个原因。一些炼厂稳定塔进料预热方式较粗放，利用率不高，将本系统中的余热浪费掉，且额外需要稳定塔底重沸器的蒸汽；物流之间换热温差设计过大（多超过 20℃），远远超出合理的范围（10 ~ 15℃），浪费了大量的有效能等。此外，现行的各种换热网络优化开发都是局部观点，没有从整体系统出发进行整体热集成，内部热源利用率较差，因此需要更多的外部公用工程。

2.4 吸收剂性能与操作条件不匹配

吸收剂的性能与其操作条件的匹配程度决定了系

统能耗和分离的效率。目前存在两大问题：一是吸收剂的性能不适合工艺条件，比如用一般的稳定汽油做吸收剂，对碳三、碳四的选择吸收能力差；二是操作控制粗放，如吸收剂的补充量太多，吸收塔中段冷却器取热量分配不合理，解吸塔进料温度和塔底温度控制不合理等。以上这些都造成吸收效率低、解吸不完全，致使系统通过加耗能来维持产品质量的劣性循环。

3 催化裂化吸收稳定系统能耗优化的建议

3.1 革新工艺流程削减无效循环

从工艺流程入手进行根源性优化，是降低吸收稳定系统能耗的核心路径。基于流程模拟与现场实践，两类优化方案成效显著：其一，调整吸收塔底油进料路线，取消吸收塔底油冷却环节，直接将其送入解吸塔。这一改进可同步实现两大效益：既降低压缩富气冷却器负荷，又能降低吸收塔气相进料温度，间接提升吸收效率，降低解吸塔底重沸器热输入。其二，增设解吸气平衡罐，将解吸气与富气分开处理，避免解吸气对富气相平衡的干扰，减少进入吸收塔的气相总量，进而降低吸收塔负荷。这类流程革新可为取消稳定汽油内循环创造条件，从根源上削减无效能耗。值得注意的是，工艺流程优化需依托 AspenPlus 等流程模拟工具，采用分解协调 - 全局优化思路，避免局部优化导致整体能耗上升。

3.2 推广高效设备与新型吸收剂

在设备层面，超重力旋转床等高效传质设备可以大大提高分离速率：超重力旋转床的转子高速旋转产生超重力场，将液相拉成非常细薄的液膜或者液滴，气液的接触比面积比传统塔器大 1~2 个数量级，传质系数提高得多。超重力设备应用在吸收过程中，可以减小设备体积，放大吸收深度；应用在解吸过程中，降低解吸过程中再沸器热负荷 10% ~ 15%。吸收剂方面：新型复合吸收剂性能出色，对碳三、碳四组分有很高的选择性吸收能力，而对碳一、碳二组分吸收率很低，可以降低吸收剂循环量，而大幅降低干气的带液量。某炼厂工业试验发现，使用复合吸收剂后，吸收剂循环量减少 25%，液化气回收率可以提高 3 个百分点。

3.3 精细化调控操作参数

操作参数合理精细地调节是低成本、快见效节能的措施。核心是从模拟、实践调试找到各种压力、温度等操作参数的合适值：压力的合适值是在“调压”操作中连带原料的密度、富气的组成等都起来调节的，将整个系统关键物系操作压力动态优化在一个合适的操作区域内，最终寻找到需要补充吸收剂流量和压缩机能耗合适的平衡点；温度的合适值是关于吸收塔的

各段温度（中段温度约 40~50℃）、解吸塔进料温度（宜 80~90℃）、塔底温度（不要热得太高），在分离要求达到的前提下减少所提供的能量。当前，多数炼厂已建立了基于 DCS 的数据采集系统，在此基础上进一步推动参数 + 能耗 + 产品收率的联动监测与深度分析；利用大数据分析技术实现工艺操作参数的动态优化与系统工况的智能调节，持续提升能效水平。

3.4 构建一体化换热网络

一方面，吸收稳定系统内部换热网络挖潜的再细化，如稳定塔进料换热流程的优化就可充分利用解吸塔塔顶冷凝热或稳定塔塔底余热预热进料，不用再设置预热器，显著减小再沸器热负荷；另一方面，提升热联用程度层次和效率，不仅可依靠分馏塔中段的油浆、回炼油等高温位余热来预热吸收剂，也需注重利用系统内部自身低温余热，挖掘自身的能量梯级匹配。对于已投用热联合技术的老厂改造，主要是查缺补漏和系统匹配，结合气体分馏、电厂等临近用能单元的用能需求，搭建更灵活的跨装置热集成网络；新建炼厂需要在建装置时，就采用夹点技术等先进方法同时规划整个换热网络的设计，从源头上保障能量逐级利用最大化。

4 催化裂化吸收稳定系统能耗优化的经济效益

4.1 运营成本显著降低

工艺流程的优化、操作条件的精细控制使得重复冷热交换大幅度减少，必然蒸汽、电量的耗费都大幅度降低。蒸汽的减少，本质是解吸塔等重要设备热负荷精确控制的结果，不为低效流程增加额外的热负荷；电量的减少与机泵等设备动负荷的减少相关，循环物料的减少也使机泵不处于超负荷运行状态。换热网络的合并优化放大了装置内部低温热源收集回用的程度，减少了装置对冷却水等外部公用工程的耗费，因而减少了装置辅助能耗的浪费。根据某炼厂流程模拟估算，一套 120 万 t/a 的催化裂化装置实行全面优化后，装置的吸收稳定每年节约的蒸汽约为 3.5 万 t、节电 120 万 kWh。这样的测算，降低的经营能耗清晰可见，投资回收期可短至 1 ~ 2 年内，经济效益相当显著。

4.2 产品收益明显提升

其一，吸收—解吸效率同步提高，大幅降低干气中碳三以上高价值组分的夹带损失，以往随干气带走的液化气正常得到返回，直接扩大了高价值产品的产量。其二，稳定汽油的产品“主质量指标”（如蒸汽压）稳定性很好，产品合格率、产品纯度等也同步提高，市场竞争力强。过程操作弹性的增加，使装置“既能迎合原料性质的变化”，根据市场变化灵活调整产品结构，“以市场需要取得利益”，在产品价差变化

中灵活反映其变化情况，抓住市场抓住效益最大利益。如果能提高液化气回收率的 3%，那么对于一个大炼厂而言，也就意味着每年多生产液化气几千吨，按现在的市场价折算就是多挣营业收入，收益可观。

4.3 环保合规与社会效益增强

与能耗下降直接关联的是燃料和公用工程消耗的降低，也就从源头减少了温室气体和污染物的排放总量，充分地“顺应”当下日趋严格的环保法规要求，这种改变使企业避免了因环保违法违规受罚、限产甚至停产的风险，确保自身合法合规地生产经营。与此同时，主动节能降耗的企业还能“塑造”出绿色低碳的良好社会形象、提升企业形象和声誉，在申报项目、绿色发展型贷款及扶持等方面占据“有利”位置。这些环保利益和社会利益的结合，在最后都将成为企业形成自身较强长远竞争优势、真正实现可持续发展的源泉。节能降耗有利于实现国家“双碳”目标，具有的碳减排效果未来也可能贡献于碳交易市场，从而为企业创造出一种新的经济效益。

5 结束语

综上，催化裂化吸收稳定系统的能耗降低不是环节优化或局部控制，而是需要工艺的改进、设备的更新、操作方法的优化、热集成技术等系统的实施。找到能耗症结所在、实施精准有效的节能优化是能够降低能耗、得到好的收率和产品合格率的重要举措，也为炼厂带来经济利益。未来，超重力技术、新吸收剂及智能控制技术的发展将会使吸收稳定系统的能耗进一步降低。炼厂应当根据自身装置特点、针对性地借鉴这些新技术和新举措加以利用，以降低能耗为重点，推动装置向绿色、节能、低成本方向发展，为炼油工业的进一步发展注入新的活力。

参考文献：

- [1] 刘成军, 张洪笙, 叶剑云. 某催化裂化装置吸收稳定系统工艺优化总结 [J]. 炼油技术与工程, 2024, 54(05): 20-24.
- [2] 丁程兵. 催化裂化装置能耗因素分析及节能降耗措施 [J]. 化工管理, 2023, (17): 61-63.
- [3] 刘浩东. 催化裂化装置的模拟与节能研究 [D]. 青岛科技大学, 2023.
- [4] 李诚, 王如强, 于型伟, 等. 催化裂化汽油加氢脱硫装置能耗分析及优化方案 [J]. 石化技术与应用, 2020, 38(02): 113-117.
- [5] 杨帆, 黄德海, 张思远. 催化裂化装置降低机组能耗措施分析及实施 [J]. 中国设备工程, 2020, (04): 248-249.