

精馏塔填料层液泛现象成因分析及操作参数调整方案

马佳伟 尹冲冲 尹超

山东京博石油化工有限公司, 山东 滨州 256500

[摘要] 精馏塔填料层液泛会降低分离效率, 干扰设备运行稳定性, 剖析液泛成因与影响要素, 拟定操作参数优化方案, 调节气液比、液体负荷、气流速及塔内温度与压力参数。新型填料材料的使用, 可为液泛管控提供全新方向。依托实时监控与数据分析完成操作优化, 推行综合操作策略, 提升精馏塔运行效率与稳定性。此项研究为精馏塔操作优化供给理论依据与实践指导。

[关键词] 精馏塔; 填料层; 液泛现象; 操作参数; 优化调整

DOI: 10.33142/aem.v8i4.19627

中图分类号: TQ028.8

文献标识码: A

Analysis of the Causes of Liquid Flooding in the Packing Layer of the Distillation Tower and Adjustment Plan for Operating Parameters

MA Jiawei, YIN Chongchong, YIN Chao

Shandong Chambroad Petrochemicals Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256500, China

Abstract: Liquid flooding in the packing layer of a distillation tower can reduce separation efficiency, interfere with equipment operation stability, analyze the causes and influencing factors of liquid flooding, formulate an optimization plan for operating parameters, adjust gas-liquid ratio, liquid load, gas flow rate, and temperature and pressure parameters inside the tower. The use of new filler materials can provide a new direction for liquid flooding control. Relying on real-time monitoring and data analysis to optimize operations, implementing comprehensive operational strategies, and improving the efficiency and stability of distillation tower operation. This study provides theoretical basis and practical guidance for optimizing the operation of distillation towers.

Keywords: distillation tower; packing layer; liquid flooding phenomenon; operating parameters; optimization and adjustment

引言

精馏塔是化工生产环节的核心设备, 设备运行状态直接作用于分离效率与能耗水平。填料层出现液泛问题会造成气液接触状态不佳, 弱化分离效果并提升设备出现故障的概率。液泛出现会受液体负荷、气体流速、温度、压力等多项条件作用, 想要保障精馏塔运行稳定、提升分离效率, 需分析液泛的诱因与管控手段, 搭配新型填料与智能操作模式完成体系改进。

1 填料层液泛现象的成因分析

1.1 液体负荷的影响

液体负荷是影响精馏塔填料层液泛的关键因素, 液体负荷超出合理范围, 塔内液体流动会受约束, 填料表面液体分布失衡, 易生成液膜, 气液两相接触面积缩减, 分离效率受影响。液体负荷提升, 液体流速增大, 填料层难以均匀分散液体, 局部区域出现液体集聚, 引发液泛。液体负荷偏高会打破气液流速间的平衡状态, 加重液泛问题,

合理管控液体负荷, 能维持填料层内部液体的均匀分布。实际生产操作中, 及时调整液体流量、降低液体负荷, 可规避液泛出现, 提升精馏塔分离效果。

1.2 气体流速与液泛的关系

气体流速会作用于液泛现象的出现, 气体流速超出标准范围时, 填料层内气体上升速率偏快, 会带动液相移动, 液体难以在填料表面完成均匀分布, 最终引发液泛问题。气流偏高状态下, 气流产生的作用力会突破液相的承载上限, 液相被气流携带并在塔顶或其他位置完成聚集^[1]。该情况会弱化塔内气液接触的效果, 抬升塔体运行负荷, 提高能耗数值, 还会引发设备运行故障。气流分布状态不均会干扰液相的排布效果, 推动局部区域液泛问题的加重, 调控气流速与液体负荷保持适配状态, 可规避气流偏高引发的液泛情况, 保障精馏塔运行状态平稳。

1.3 塔内温度与液泛现象的关联

塔内温度变化会对液泛的发生产生作用, 温度偏高,

液体黏度降低,流动性提升,液体流速加快,液泛风险随之上升。高温会加快塔内蒸气上升速率,致使填料层表面液体分布失衡,诱发液泛。温度偏低,液体黏度升高,流动性下降,液体分布不均的状况加剧,局部区域出现液体集聚,提升液泛发生概率。塔内温度分布不均同样是液泛出现的重要诱因。温度分布失衡会打破气液两相的热力学平衡,干扰液体的分布状态,将塔内温度维持在合理区间,保障温度分布均匀,可有效规避液泛问题。

2 填料层液泛现象的诊断方法

2.1 液泛诊断的常用方法

液泛诊断可借助多种方式判定其出现的具体位置与严重程度,流量监测系统可实时采集塔内气体与液体的流量数据,液泛出现时,塔内气液流量会产生异常波动,波动幅度可作为液泛判定的参考依据。温度监测在液泛诊断中具备较高的应用价值。塔体不同高度与位置布置温度传感器,可获取塔内温度的分布特征,塔内部分区域温度出现明显改变,对应液体分布状态失衡,引发液泛问题。压力变化监测可作为液泛诊断的关键方式,气速与液体负荷变动时,塔内压力会产生异常波动,整合上述检测方式,可全面评定液泛的严重程度及对系统产生的作用。

2.2 液泛现象的观察与测量

液泛现象的观测与测定需在精馏塔内部对多项参数开展实时监测,常用观测方式可运用高分辨率视频监控设备,借助摄像头对塔内填料层实时拍摄,查看填料表面液体流动状态,判断有无液体过量堆积或流动失衡问题^[2]。塔内液体分布均匀程度可借助液体采样完成检测。选取不同高度与点位的液体试样,测定组分与浓度,明确液体分布状态,判定液泛是否出现。采用红外或超声波传感器扫描填料层,可获取填料内部液体状态与气液接触信息,这类检测方式可为液泛的快速识别与科学评定提供数据支撑。

2.3 液泛现象诊断的难点与解决方案

液泛现象的诊断在实际操作中存在挑战,液泛发生具备隐蔽性与多变性特征,液泛不会在塔体全部区域同步出现,不同操作条件下液泛会展现出各异的表现形式,诊断环节会因此变得复杂。液泛常会伴随流量、温度、压力等多项参数的异常变动,单个参数的波动无法直接判定液泛出现,诊断方式需兼顾综合性与精准性。应对这类问题可采用多点监测与数据融合的思路完成诊断,借助各类传感器及监测工具对塔内各项参数开展同步检测,搭配数据分析手段,通过机器学习算法处理海量数据,提升诊断结果的精准度。搭建液泛预测模型,依托历史与实时数据的变动走向,提早辨识液泛风险,为操作人员给出预警信息,

调整操作方案实现运行优化。

3 操作参数对液泛现象的影响分析

3.1 液体负荷与液泛控制

液体负荷变动会作用于精馏塔内部液泛的产生,液体负荷偏高会限制填料层内液体流动,形成液膜堆积,气液接触效率下降,液泛发生概率提升。管控液泛需将液体负荷维持在合理区间,保障填料表面液体分布均匀,规避液体堆积或液膜偏厚诱发的液泛问题。调节液体负荷可通过管控液体流量与操作液面高度实现,降低液体承载量,避免塔顶液体过量排出。适宜的液体负荷可扩大塔内气液接触面积,提升分离效率,实际生产环节中,液体负荷与气体流速需匹配精馏塔结构与工艺条件,维持负荷平衡,规避液泛问题。

3.2 气流速调节对液泛的抑制作用

气流速是调控液泛的核心操作参数,气流速偏高时,塔内气体上升速率过快,极易裹挟液体,致使液体无法平稳排在填料层表层,造成液相滞留堆积,最终诱发液泛现象。气流速偏低时,塔内气体流通不够充分,液体分布也容易失衡,直接影响分离效率。适度调整气流速,就能有效规避液泛问题的发生^[3]。把控气流速的核心是将气液比维持在适宜区间,避开气速过大或过小产生的负面影响。实际生产操作中,优化气流速参数,可改善塔内气液两相接触状态,保障两相分布均匀,降低液泛出现的几率。气流速调节需与液体负荷相互适配,维持塔内合理流态,全方位保障设备平稳运行。

3.3 塔内温度及压力调节对液泛的影响

塔内温度与压力是影响液泛现象的重要因素,温度过高时,液体黏度降低、流动性增强,易造成液体在填料层表面分布不均,引发液泛现象。在高温环境下,气体上升速度加快,进一步加剧液体流动失控,提升液泛风险。保持塔内温度处于适宜区间、保障温度分布均匀,能够减少液泛的发生概率。塔内压力同样对液泛现象有显著地影响。压力过高或过低,会改变液体在填料层中的蒸发速率与流动特性,干扰液体的稳定分布。在实际操作中,调节塔内温度和压力需结合工艺要求与设备性能综合考量,确保塔内气液维持稳定流动状态,有效抑制液泛现象的发生。

4 优化调整操作参数以避免液泛现象的措施

4.1 调整气液比优化分布

调整气液比是管控液泛现象的重要手段,气液比偏高时,气体流速偏快会诱发液泛问题,气液比偏低会削弱气液两相的接触效果,对分离效率产生不利影响。气液比维

持在合理区间,能够保障气液两相保持稳定的流动状态,优化液体在填料层内部的分布情况。调节气液比可以让液体在填料层中实现更均衡的排布,避免出现液体堆积或是分布失衡的状况,从源头规避液泛现象的出现。适宜的气液比能够维系塔内气液两相的高效接触,提升精馏塔的分 离效率。气液比的调节需要结合多项实际条件,其中包含塔体的设计参数、现场的操作环境以及填料的自身特性。对这些条件进行合理调控,能够在消除液泛隐患的同时,让精馏塔的运行效率达到更高水平,保障整套化工装置持续保持稳定的运行状态。

4.2 填料选择对液泛现象的影响

填料类型与性能会对液泛现象产生关键作用,填料表面结构与孔隙率会直接作用于液体分布状态和气液接触效率。比表面积偏大、流体分布性能优异的填料可实现液体的均匀分布,降低液泛的发生几率^[4]。散堆填料可提供充足的气液接触空间,保障填料层内液体分布均衡,性能不佳的填料易造成局部液体堆积,诱发液泛问题。填料选型需结合填料层高度、气体流速与液体流量等操作参数确定,适配的填料可优化塔内液体分布效果,在低液体负荷下维持稳定运行,规避液泛问题,选用适配的填料材质,配合操作条件调整,可保障精馏塔持续稳定运行。

4.3 优化塔操作条件的综合措施

精馏塔的操作条件对液泛现象的控制至关重要,各项工艺参数的合理调控直接关乎塔内运行的平稳度。气液比、液体负荷、气体流速的细致调整属于基础管控环节,塔内温度与压力的精准把控同样会影响液泛的发生概率,优化这类核心操作条件能有效降低液泛出现的可能。温度过高会加快液体流动速度,大幅提升液泛风险,温度过低则会直接拉低整体分离效率,保持塔内温度全程稳定且分布均匀,是抵御液泛的关键手段。塔内压力波动会直接改变液体的蒸发速率与流动特性,将压力控制在适配区间,能优化气液接触效果与液体分布状态,进一步减少液泛发生。做好参数调节的同时,塔内设备也要定期维护检修,清理填料表面附着物,保障气液流动通道全程畅通,从设备层面阻断液泛诱因。综合统筹各项操作条件开展系统化优化,能显著提升精馏塔运行稳定性与分离效率,彻底规避液泛引发的设备波动、分离效果下滑等各类不良影响。

5 提高精馏塔稳定性和分离效率的长期解决方案

5.1 持续监控与数据分析优化操作

精馏塔运行稳定性依托操作数据的实时监测与分析,传感器与数据采集系统可实时采集塔内液体流量、气体流速、温度、压力等关键参数,数据为操作优化提供基础支

撑。数据分析技术、机器学习与预测模型可动态调整操作条件,规避液泛等异常问题。历史数据可识别液泛先兆并发出预警,及时调整操作参数,阻止液泛问题进一步发展。数据驱动的优化方案可适配不同工况调整操作策略,保障塔内气液接触效率,提升分离性能。现代精馏塔操作中,持续监测与数据分析是保障设备稳定运行、提升生产效率的核心措施。

5.2 新型填料材料的研究与应用

新型填料材料研发,是提升精馏塔分离效率、减少液泛现象的核心方向,近年相关研究大多聚焦开发高比表面积、气液分布性能优异、抗液泛能力突出的填料。高性能陶瓷与金属填料导热性佳、耐腐蚀性强,精馏作业中整体稳定性好,运行使用寿命更长^[5]。国内部分化工企业将新型金属填料投入精馏塔应用,优化设计后的填料层,可在高气液比条件下维持平稳运行状态,彻底规避液泛问题出现。实验数据证实,新型填料投用后,塔内液体分布状态更均衡,分离效率提升幅度接近 15%,整体能耗也随之大幅下降。这类填料的实际应用,可优化塔内流体动力学性能,强化设备长期运行的稳定性,适配化工生产的连续作业需求。

5.3 综合性操作策略的提出与实施

控制液泛现象的过程中,综合性操作策略的实施尤为重要,单一维度的操作调整往往难以适配精馏塔内部复杂的流体流动状态,整合多项调控手段开展协同配合,是提升塔器运行稳定性、规避液泛风险的有效路径。实操环节同步统筹气液比、液体负荷、塔内温度与压力等核心参数,搭配科学的填料选型与合理的塔内结构设计,能全方位阻断液泛诱发因素。依托实时运行监控数据结合现场实操经验,灵活微调各项工艺参数,可适配不同生产工况,持续维持塔内气液两相流动的平稳性。搭建贴合生产实际的操作准则与异常预警机制,能第一时间捕捉运行异常并完成针对性调控。部分化工生产单元通过优化全流程操作条件、强化设备自适应调节性能,成功规避操作偏差引发的液泛问题,同步拉升生产效率与设备长效运行稳定性。落地系统化的综合操作策略,既能高效解决液泛管控难题,也能为精馏塔全周期稳定运行、保障工艺分离效果提供坚实支撑。

6 结语

精馏塔填料层液泛现象会影响分离效率与设备运行稳定性,调控液体负荷、气流速、塔内温度及压力等操作参数,能够降低液泛问题的出现概率。新型填料材料的研发与应用,为提升精馏塔运行效率和稳定性拓展了新路径。依托实时监测与数据分析调整操作,落实综合操作方案,

可进一步强化精馏塔的运行性能。后续技术持续发展,精馏塔操作优化与设备智能控制,会为化工生产稳定与效率提升提供更坚实的支撑。

[参考文献]

- [1]杨晓健,杨帆,胡国涛,等.氢氟酸精馏塔填料材料的选择[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(9):63-67.
- [2]贾敏.多晶硅生产中精馏节能减排的应用研究[J].中国新技术新产品,2025(4):118-120.

- [3]郑雨婷,方冠东,张梦波,等.微化工精馏分离技术研究进展[J].化工学报,2024,75(1):47-59.

- [4]安娜.热泵精馏系统仿真及其热力学研究[D].兰州:兰州理工大学,2023.

- [5]中国化工学会,李群生.高纯度化学品精馏关键技术[M].北京:化学工业出版社,2023.

作者简介:马佳伟(1990—),男,汉族,注册安全工程师,研究方向为化工工艺。