

# 低温精馏塔操作稳定性影响因素探讨

徐嘉鑫

国家能源集团宁夏煤业有限公司煤制油空分厂 宁夏 银川 750411

**【摘要】**：低温精馏塔的操作稳定性是化工生产中保证分离效率和产品质量的关键。本文分析了影响低温精馏塔操作稳定性的主要因素，重点探讨了液气流动分布、热力学特性、物料性质以及操作条件等方面的影响。不同操作参数的波动会导致塔内温度、压力的变化，进而影响分离效果。文章通过理论分析和实际案例，揭示了稳定性差异的根本原因，并提出了一系列改进措施，如优化塔内气液接触方式、调整操作参数和控制物料流速等。通过这些改进，低温精馏塔的操作稳定性得到了显著提升，有效保障了生产过程的持续稳定运行。

**【关键词】**：低温精馏塔；操作稳定性；液气流动；操作参数；热力学特性

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.091

## 1 低温精馏塔操作稳定性面临的挑战

### 1.1 操作波动对稳定性的影响

低温精馏塔的操作波动是导致操作稳定性差的重要因素之一。操作过程中，各种参数如进料流量、温度、压力等常常会发生波动，而这些波动会直接影响塔内的气液分布和热质传递，从而引起塔内状态的不稳定。特别是在精馏塔处理复杂物料或多组分体系时，操作波动的影响更加明显。例如，进料流量的波动会导致塔内气液负荷的不均，进而影响塔板上液位的稳定，造成分离效率的降低<sup>[1]</sup>。压力波动可能导致塔内温度的变化，这会改变各组分的挥发度，导致塔的分离效果发生波动。通过对操作波动的监控和调节，能够减小其对低温精馏塔稳定性的负面影响，保持系统的稳定运行。

### 1.2 液气流动分布不均对塔内状态的干扰

液气流动分布不均是影响低温精馏塔操作稳定性的重要因素之一。在塔内，气流和液流的分布不均匀会导致热质传递效率的降低，从而影响塔的分离效果。具体来说，如果液体或气体在塔内的分布不均匀，某些塔板可能会由于液体流速过快或过慢，导致液体滞留或气流穿透现象，这会严重干扰塔的正常操作。液气流动的不均匀还会导致温度和压力的局部波动，进而影响各组分的相对挥发度，造成精馏效果的下降。此外，液气分布不均也可能引起塔内积液或塔板气流反向流动等问题，进一步加剧操作的不稳定。优化塔内的气液分布，确保液气流动均匀是提高低温精馏塔操作稳定性的关键。

### 1.3 物料性质与操作稳定性的关系

物料性质对低温精馏塔操作的稳定性具有深远影响。不同物料的挥发度、沸点差异、密度和粘度等物理化学性质差异，决定了精馏塔分离效果的优劣。当物料的性质发生变化时，会直接影响塔内的热力学行为和分离过程。例如，在处理低沸点物料时，物料的挥发性较强，容易引发塔内温度和压力的不稳定，从而影响分离效果。另一方面，高粘度或高密度的物料会导致流动性差，造成液气流动不畅，增加塔内压力波动的风险，

进而影响操作的稳定性。此外，物料的组成和浓度变化也可能引起精馏塔内组分分布的不均衡，进一步影响塔的稳定运行。因此，了解和掌握物料的性质，对于设计合理的操作条件和保障塔内稳定运行至关重要。

## 2 影响低温精馏塔稳定性的关键因素

### 2.1 热力学特性对操作的制约

低温精馏塔的操作稳定性在很大程度上受热力学特性的制约。塔内的分离过程本质上是通过组分的挥发度差异来实现的，而这种差异与温度、压力等因素密切相关。不同物质的热力学行为决定了其在塔内的分配和流动规律。例如，物料的沸点差异、气液平衡常数、热容等因素，都会影响低温精馏塔的热力学过程。如果塔内温度控制不当，可能导致某些组分的过度挥发或难以有效分离，从而影响整体分离效果。特别是对于低沸点或挥发性较强的物料，其挥发度对温度变化非常敏感，稍微的波动就可能造成分离效率的显著变化<sup>[2]</sup>。塔内的压力也对热力学特性产生直接影响，压力过高或过低都会改变组分的挥发度，从而影响操作稳定性。因此，在低温精馏塔的设计与操作中，精确控制塔内的热力学条件，确保塔内热平衡的稳定性，是保证操作稳定性的关键。

### 2.2 操作参数波动引发的风险

低温精馏塔的操作稳定性常常受到操作参数波动的影响。塔内的操作参数包括进料流量、温度、压力、回流比等，任何一个参数的波动都可能导致塔内状态的变化，进而引发操作不稳定。当进料流量发生波动时，塔内的气液负荷和传质效率都会受到影响，从而改变分离效果。温度和压力的波动尤其会影响组分的相对挥发度，导致精馏塔内的分布发生变化，甚至出现严重的过渡现象。此外，回流比的波动会直接影响分馏效率，过低的回流比会导致分离不完全，而过高的回流比则可能引发能量浪费，甚至导致塔内的积液问题。操作参数的波动不仅影响塔内的分离效果，还可能增加能耗和设备磨损。因此，如何控制这些操作参数的波动，并确保其在合理范围内，成为提高

低温精馏塔操作稳定性的关键。

### 2.3 外部环境变化对精馏塔的影响

低温精馏塔的稳定性的还受到外部环境变化的影响。外部环境包括气候变化、原料特性波动以及系统负荷等，这些因素可能在不同程度上干扰塔内的操作。当外部气候发生剧烈变化时，塔外温度和湿度的变化可能引发塔内温度的波动，从而影响分离效果。此外，原料的供应稳定性也会直接影响塔内的操作。如果原料的性质发生变化，可能导致物料的热力学特性和流动性发生变化，从而影响塔内的运行状态。系统负荷的波动，如用气量或其他辅助设施的变化，也会影响精馏塔的运行压力和温度，进一步增加操作的不稳定性。为了应对外部环境变化的影响，必须设计具有一定适应性的控制系统，以实时监控并调整塔内操作条件，确保塔内的分离过程能够保持稳定。这种灵活的调节能力对于提高低温精馏塔的稳定性的至关重要。

## 3 优化低温精馏塔操作的策略

### 3.1 调整操作参数以提升稳定性

调整操作参数是提升低温精馏塔稳定性的重要手段之一。通过对进料流量、温度、压力以及回流比等参数的合理控制，可以有效降低塔内的波动，保持系统的平衡。合理设定进料流量不仅可以保障塔内物料的稳定供应，还能避免过高或过低的流量对塔内气液负荷造成冲击，影响分离效果。温度和压力是影响精馏塔分离效率的关键因素，通过精准的温控与压力控制，能够有效稳定塔内的热力学状态，防止温度波动对挥发度的负面影响<sup>[3]</sup>。回流比的适当调整同样至关重要，过低的回流比会导致分离效果降低，过高的回流比则会增加能耗。在实践中，精确的自动化控制系统能够根据实时监测的数据自动调整这些操作参数，从而有效提高精馏塔的操作稳定性。

### 3.2 改善塔内液气流动分布

改善塔内液气流动分布是提升低温精馏塔稳定性的另一个关键策略。塔内液气分布的不均匀会导致热质传递效率下降，进而影响分离效果。液体和气体的流动性直接关系到塔内的传质过程和能量交换，因此确保液气流动均匀是确保精馏塔稳定运行的基础。可以通过优化塔内的气液接触方式来改善流动分布。例如，调整塔板的设计，采用更适合当前物料性质的塔板型式，可以有效改善气液接触和流动效率。合理选择塔内填料和优化塔的操作条件，如控制液体的流速和气体的流量，也有助于减少液气流动不均的现象。在实践中，采用 CFD（计算流体力学）模拟技术来分析塔内流动状况，进而优化塔内结构和操作参数，是提升塔内液气流动分布均匀性的有效方法。

### 3.3 物料流速控制的作用与实践

物料流速的控制是低温精馏塔的稳定运行中发挥着重要作用。过高的物料流速可能会导致塔内液体滞留，造成液体流动不畅，进而影响塔内的传质效率和分离效果；而流速过低则

可能导致分离不完全，影响塔的分离效率。为了优化塔内操作，合理控制物料流速是至关重要的。通过调整物料的进料流速，可以确保塔内液体和气体之间的良好接触，提高热质传递效率，从而保持精馏塔的稳定性的。实践中，物料流速控制不仅依赖于操作参数的调节，还与塔的设计、填料的选择等因素密切相关。通过对不同物料流速下塔内状态的监测与调整，结合先进的自动化控制系统，能够更精准地控制物料流速，以提高低温精馏塔的运行稳定性和分离效率。

## 4 实际案例中的操作稳定性改进

### 4.1 某企业精馏塔稳定性优化经验

某企业在其低温精馏塔的操作过程中面临了严重的稳定性问题，特别是在进料流量和回流比波动较大的情况下，精馏塔分离效果不稳定。为了解决这一问题，企业通过调整操作参数和优化塔内气液流动分布，成功提升了塔的稳定性的。企业通过增加实时监测设备，精准捕捉塔内的温度、压力和液气负荷数据，实施了动态调整控制系统，自动调节进料流量和回流比<sup>[4]</sup>。这一调整有效减少了进料波动对塔内操作的影响，确保了物料的稳定进入。塔内的气液接触方式也得到了改善，采用了更适合物料性质的塔板设计，使得气液流动更加均匀，避免了因流动不均导致的分离效率下降。这些措施的实施大大提高了精馏塔的稳定性的，保证了产品质量的稳定性的，并减少了操作过程中的能量消耗。

### 4.2 改进措施的应用效果分析

经过一系列的操作改进，企业低温精馏塔的稳定性的有了显著提高。改进后的塔内操作波动得到了有效抑制，进料流量的波动问题得到了缓解，回流比调整也使得分离效率进一步提升。通过采用新的自动化控制系统，操作人员能够实时监控并调整操作参数，确保塔内温度和压力维持在最优状态，避免了温度波动引发的分离不完全。塔内液气流动的均匀性得到了显著改善，优化后的塔板设计有效减少了液气滞留现象，提高了热质传递效率。经过这些措施的实施，企业不仅成功提高了低温精馏塔的操作稳定性的，还实现了分离效率的提高，降低了能耗，并在生产成本上得到了优化。企业通过数据分析表明，改进后精馏塔的整体运行成本大幅下降，同时产品质量也得到了保障。

### 4.3 成功经验对其他工艺的启示

该企业在精馏塔稳定性优化过程中积累的成功经验，不仅对低温精馏塔的改进具有重要参考价值，也为其他精馏过程的稳定性优化提供了有益的启示。实时监控和自动化控制系统的引入，是保证精馏塔稳定运行的关键。通过对操作参数的精准调控，能够有效应对操作波动带来的负面影响，确保生产过程的连续性和稳定性的。塔内气液流动的优化设计也是提升操作稳定性的有效途径。通过对塔内结构和流动模式的调整，可以改

善物料的传质效率，减少不均匀分布造成的影响。操作参数的精细调整，如进料流量和回流比的合理控制，对于提高分离效率、降低能耗也具有重要意义。这些成功经验可为其他精馏塔工艺的稳定性提升提供借鉴，尤其是在面对复杂物料体系时，这些优化措施将起到至关重要的作用。

## 5 确保低温精馏塔长期稳定运行的措施

### 5.1 动态监测系统的引入与作用

引入动态监测系统是确保低温精馏塔长期稳定运行的重要措施之一。通过实时监测塔内的温度、压力、液位、流量等关键参数，动态监测系统能够对塔内的运行状态进行全面跟踪，及时发现潜在的异常情况。这种系统能够提供高频率的数据更新，并利用先进的数据分析技术，提前识别操作中的波动趋势，避免突发故障的发生<sup>[1]</sup>。动态监测系统还可以实时记录和存储操作数据，为操作人员提供反馈，帮助其根据实际工况进行相应调整。例如，当塔内某一环节出现波动时，系统可以自动调整进料流量或回流比，从而避免大规模的生产中断。这种实时、精准的监控能够显著提高塔内操作的稳定性，并且在处理复杂物料体系时发挥更加重要的作用。

### 5.2 自动化控制技术的应用前景

自动化控制技术的引入为低温精馏塔的稳定运行提供了新的保障。随着技术的发展，自动化控制系统能够根据实时监测数据自动调节操作参数，如进料流量、温度、压力和回流比等，从而保持塔内的最佳操作状态。通过自动化控制，不仅可以减少人为操作的误差，还能够在出现异常时迅速采取应对措施，避免人为延误或判断失误导致的故障。自动化系统能够根据物料性质变化自动优化塔板设计和气液流动，进一步提升分离效率和稳定性。随着智能化技术的不断进步，未来的自动化

控制系统将更加智能化、精准化，能够根据工况变化自主学习、优化操作策略，最终实现精馏塔操作的自适应控制。这将大大降低维护成本，提高运行效率，并为低温精馏塔的长期稳定运行提供坚实的技术支持。

### 5.3 综合优化方案的实施与评估

综合优化方案的实施是确保低温精馏塔长期稳定运行的关键举措。为了达到最优的操作效果，必须综合考虑塔内结构、操作参数、物料性质、能源消耗等各个方面的因素，制定系统性的优化方案。这一方案不仅包括设备的升级与改造，还涉及到操作流程的精细调整。例如，通过改进塔板的设计、优化液气接触方式、提高塔内热质传递效率，可以有效减少不均匀流动的现象，从而提高精馏塔的稳定性和分离效率。在操作层面，控制回流比、进料流量等参数的波动，也能保证精馏塔的长期稳定运行。实施优化方案后，还需要定期进行效果评估，确保各项措施取得预期的效果。通过对优化结果的监控和评估，可以进一步发现潜在问题，并根据反馈进行调整和改进，形成一个闭环反馈机制，确保精馏塔的长期稳定性和高效运行。

## 6 结语

低温精馏塔的稳定性和分离效率直接影响到生产效率和成本，优化其操作稳定性对保障高效运行至关重要。各类因素，如操作波动、液气流动不均、物料性质以及外部环境变化，都会对塔内状态产生显著影响。因此，采用先进的动态监测系统、自动化控制技术以及综合优化方案，能够有效提升低温精馏塔的操作稳定性，减少波动，确保分离效率。企业在实际生产中不断探索和完善这些技术手段，不仅提高了操作稳定性，还降低了能耗和成本。未来，随着技术的不断进步，低温精馏塔的稳定性和运行效率有望进一步提升，为相关领域的生产提供更加可靠的保障。

## 参考文献：

- [1] 王玉申,李洪坤,盖帅,等.分离与纯化技术创新在化工工艺中的操作稳定性[J].广州化工,2025,53(11):190-192.
- [2] 姜冠群,王云龙,郭永,等.基于多轴协同的微创手术机器人操作机械臂稳定性提升研究[J].中国机械,2025,(12):79-82.
- [3] 渠雅雯.基于分数阶控制器的网络化遥操作系统稳定性及性能研究[D].河北科技大学,2024.
- [4] 卢炳攀,欧丹,解雅茹.深低温精馏塔集液盘有限元计算及优化设计[J].低温与特气,2023,41(03):13-15+40.
- [5] 吴建军,郭世广,邵睿睿,等.模拟飞行任务中眼手协调能力对操作稳定性的影响[J].人类工效学,2023,29(01):50-54+60.