

## 塔式蒸馏设备传质效率提升的关键因素研究

朱城杰

陕西亚特尔科建设有限公司第一分公司 陕西西安

**【摘要】**塔式蒸馏设备作为重要的分离技术，广泛应用于化工、石油、环保等领域。传统塔式蒸馏设备在操作过程中，传质效率受到多方面因素的影响，限制了其能源利用效率和分离效果。本文从传质过程的基本原理出发，探讨了提升塔式蒸馏设备传质效率的关键因素，包括气液接触面积、操作压力、温度、液体流速等参数的优化，结合现代新型填料和塔板的应用，进一步提升塔内流体动力学性能。此还分析了多相流动对传质效率的影响，提出了基于数值模拟和实验研究的优化路径。通过这些措施，可以显著提高塔式蒸馏设备的传质效率，降低能耗，提高生产经济效益。

**【关键词】**塔式蒸馏；传质效率；气液接触；多相流动；数值模拟

**【收稿日期】**2025 年 5 月 14 日

**【出刊日期】**2025 年 6 月 5 日

**【DOI】**10.12208/j.jer.20250265

### Research on key factors for improving mass transfer efficiency of tray distillation equipment

Chengjie Zhu

Shanxi Yater Sci Tech Innovation Construction Co., Ltd. First Branch, Xi'an, Shaanxi

**【Abstract】**As an important separation technology, tray distillation equipment is widely used in chemical engineering, petroleum, environmental protection and other fields. In the operation of traditional tray distillation equipment, the mass transfer efficiency is affected by multiple factors, which limits its energy utilization efficiency and separation effect. Starting from the basic principles of the mass transfer process, this paper discusses the key factors for improving the mass transfer efficiency of tray distillation equipment, including the optimization of parameters such as gas-liquid contact area, operating pressure, temperature, and liquid flow rate. Combined with the application of modern new packings and trays, the hydrodynamic performance inside the tower is further improved. Additionally, the influence of multiphase flow on mass transfer efficiency is analyzed, and an optimization path based on numerical simulation and experimental research is proposed. Through these measures, the mass transfer efficiency of tray distillation equipment can be significantly improved, energy consumption can be reduced, and production economic benefits can be enhanced.

**【Keywords】**Tray distillation; Mass transfer efficiency; Gas-liquid contact; Multiphase flow; Numerical simulation

#### 引言

塔式蒸馏作为一种经典的分离技术，广泛应用于化学工程中的溶剂回收、石油精炼等领域。随着工业化发展，传统塔式蒸馏设备的传质效率逐渐成为瓶颈，尤其在高效分离和节能降耗的背景下，提升传质效率已成为迫切任务。提高传质效率不仅能够优化分离过程，还能有效降低能源消耗和操作成本。为提升设备性能，研究人员通过优化塔内气液接触方式、引入先进的填料和塔板设计等取得了一定进展。由于塔内流动和传质过程复杂多变，诸多因素相互影响，如何系统提升传质效率仍是一个挑战。本文通过研究关键因素，提出优化策略，旨在推动塔式蒸馏设备的技术进步。

#### 1 塔式蒸馏设备传质效率的影响因素分析

塔式蒸馏设备的传质效率直接影响分离效果和能耗，传质速率的高低决定了蒸馏塔的分离效率和运行成本。在传统塔式蒸馏系统中，气液接触面积、操作条件和塔内流动状态是影响传质效率的关键因素。气液接触方式及其均匀性显著影响传质速率。填料塔或板式塔的设计决定了气液接触面积和接触时间，合理选择填料或优化塔板结构，可以在较短接触时间内提升传质效率，并有效降低能量消耗。通过优化这些设计因素，能够显著提高塔式蒸馏设备的整体性能，优化分离过程。

操作条件同样在传质效率的提升过程中起到了至

关重要的作用。蒸馏塔内的温度、压力、液体流速等参数都会影响传质过程。温度的升高通常有助于加速分子间的运动,增强传质速率,但过高的温度会增加能耗并影响产品的质量。压力的变化则对气液分配和相平衡有显著影响,适当的操作压力可以在保证分离效果的降低操作成本<sup>[1]</sup>。液体流速的选择也是一个关键因素,过高或过低的液体流速都会影响塔内的气液接触效率,进而影响整体的传质过程。在优化操作条件时,需要综合考虑多个因素,以达到最佳的操作参数。

塔内流动状态的复杂性也是影响传质效率的关键因素。在塔式蒸馏过程中,气液流动呈现复杂的多相流动特性,液体流动的均匀性、气体分布的合理性以及流体的湍流特性都会影响传质效率。液相的分布和气相的均匀性直接决定了气液界面的稳定性和传质速度。在优化塔内流动状态时,除了对操作参数的调节外,还需要关注塔内流体动力学特性,并结合先进的数值模拟技术,对流动状态进行模拟和优化。通过对流动状态的深入分析,可以有效提高塔内传质效率,并为新型塔设备的设计和优化提供理论依据。

## 2 气液接触方式优化对传质效率的作用

气液接触方式对塔式蒸馏设备的传质效率具有显著影响。塔内的气液接触方式决定了气体与液体的接触面积以及接触的持续时间,从而直接影响传质速率和分离效率。在填料塔中,填料的表面结构和孔隙率对气液接触效果起着至关重要的作用。理想的填料应具备足够的比表面积,以提供更大的气液接触区域,并且具有良好的流体通道,以保证气液两相的均匀分布。通过优化填料的结构设计,能够有效提升气液相的接触效率,进而提高传质效率。在设计和选用填料时,需要综合考虑填料的机械强度、耐腐蚀性以及流动阻力等因素,以确保其在实际应用中的高效性能。

除了填料设计,塔板的优化同样对气液接触效果至关重要。在传统的板式塔中,气液接触主要依赖塔板上的液体流动和气体上升的方式。合理的塔板设计能够改善液体的分布和气体的上升流动,减少气液流动的不均匀性,确保气液相能够充分接触<sup>[2-6]</sup>。在一些高效塔板设计中,采用了不同形式的气液分布器和液体分配器,这些设计可以有效地提高气液接触效率,降低液体的滞留时间和塔内压力损失。塔板的设计不仅影响着传质过程的效率,还对塔内的操作稳定性和操作灵活性起着重要作用。

在气液接触方式的优化过程中,流体动力学特性的分析显得尤为重要。气液两相的流动方式、气体的上

升速度、液体的降落速度以及流体的湍流特性都会对传质效率产生影响。在优化气液接触方式时,需要考虑到液体的分布是否均匀,气体是否能够通过液体层充分接触,以提高传质速率。通过对气液流动模式的研究,可以揭示不同接触方式下流体之间的相互作用,从而制定出适合的操作参数和设备结构,以获得最佳的传质效果。通过这种方式,气液接触方式的优化不仅能提升传质效率,还能为蒸馏塔设备的设计和运行提供理论指导。

## 3 先进填料与塔板设计对提升传质效率的贡献

先进填料与塔板的设计在提升塔式蒸馏设备的传质效率方面起着至关重要的作用。填料作为蒸馏塔中气液接触的核心组件,其表面特性、比表面积和孔隙率等因素直接影响气液相的接触效率。近年来,随着材料科技的发展,新型填料的出现使得塔内的传质过程更加高效。具有高度疏水性和亲油性的填料能够有效增加气液相的接触面积,减少液体滞留现象,同时提高气体在液体中的溶解度,这样能够大幅提升传质速率。通过优化填料的形状和结构,如采用不规则形状的填料,能够增加填料间的流通通道,减少流体阻力,从而提高流体在塔内的流动效率。

塔板设计作为蒸馏塔中的另一个关键要素,也对传质效率的提升具有重要影响。塔板的设计不仅影响气液相的接触效果,还直接关系到操作的稳定性和能耗的控制。现代塔板的设计趋向于采用更加先进的液气分配器和液流通道设计,这些设计能够确保气体与液体的充分混合和高效接触。改进的泡点塔板通过优化液体流动的路径和降低液体的滞留时间,有效减少了液体与气体接触的不均匀性,从而提升了塔内的传质效率。塔板的气液分布器可以在整个塔内实现气体流动的均匀分布,这使得气液两相能够在整个塔段中保持较高的传质速率。采用具有高耐腐蚀性的材料制造的塔板,也能够长时间运行中保持其高效的性能,延长设备的使用寿命。

先进的填料与塔板设计不仅对塔内的流体分布和接触方式产生直接影响,还通过优化操作条件来提升整体的传质效率<sup>[7]</sup>。填料和塔板的优化设计可以有效减少操作中的能量损失,尤其是在精馏和萃取等高能耗过程的应用中,能够显著降低能源消耗。合理的填料和塔板设计还能够增强塔内的稳定性,使得蒸馏塔在不同操作条件下都能保持较高的传质效率,减少运行成本。通过将先进填料和塔板技术相结合,塔式蒸馏设备的整体性能得到显著提升,不仅在分离效率上取得突

破,还能够在节能降耗和环境保护等方面发挥重要作用。

#### 4 多相流动与数值模拟在传质效率提升中的应用

多相流动在塔式蒸馏过程中发挥着重要作用,尤其是在气液接触和物质传递的效率方面。塔式蒸馏设备中的气液两相流动呈现出复杂的多相流动特性,气相和液相在塔内的分布、流动模式及其相互作用对传质效率产生显著影响。在传统的塔式蒸馏中,流体的流动模式通常是湍流和层流的交替出现,这种流动特性可能导致局部传质效率的波动,进而影响整体分离效果。通过对塔内流体流动特性的研究,能够揭示多相流动对传质过程的影响机制,从而为优化塔内气液接触提供理论指导。多相流动模型能够更精确地描述气液两相在塔内的分布和传质现象,帮助工程师在设计和操作过程中作出更为精准的调整。

数值模拟技术的应用为多相流动的研究提供了强有力的工具。在塔式蒸馏中,使用计算流体力学(CFD)等数值模拟方法能够对塔内的气液流动进行详细的分析和预测。通过模拟不同的流动模式和操作条件,能够评估气液接触的效率,并为塔内结构优化提供依据。通过CFD模拟可以分析不同填料或塔板设计对流体流动和传质效率的影响,揭示气体与液体的接触状态、流速分布及湍流强度等关键因素<sup>[8]</sup>。这些模拟结果能够帮助优化塔内流动结构,减少不必要的能量损耗,提升整体传质效果。数值模拟还可以用于研究非理想流动情况,进一步提升塔式蒸馏设备的设计精度和运行稳定性。

在传质效率提升过程中,数值模拟与多相流动研究的结合发挥了越来越重要的作用。通过对多相流动的精确模拟,能够优化塔内气液接触的效率,减少流体的不均匀分布,确保在各个塔段内的传质过程均达到最优状态。数值模拟还为实际工程中设备参数的调节提供了数据支持,使得不同操作条件下的最佳运行方案能够被快速评估和实施。这种技术不仅能有效提升塔式蒸馏设备的传质效率,还能够为新型蒸馏塔的设计提供重要的理论依据和实践指导。通过结合多相流动的分析与数值模拟技术,塔式蒸馏的运行效率得到了显著提升,推动了相关领域节能降耗和高效分离技术的发展。

#### 5 结语

通过对塔式蒸馏设备传质效率提升的关键因素进行深入研究,可以发现,优化气液接触方式、先进填料和塔板设计,以及借助数值模拟和多相流动的分析,均能显著提高传质效率。随着技术的不断进步,这些优化措施不仅改善了蒸馏过程的分离效果,还降低了能源消耗,提升了生产效率。未来,结合先进的数值模拟技术和流体动力学分析,塔式蒸馏设备的设计和将变得更加精确高效,为各行各业的分离过程提供更加可靠和节能的解决方案。

#### 参考文献

- [1] 宁晓波,许昌:创新“塔式”普法播撒法治阳光[N].河南法治报,2025-05-26(004).
- [2] 杨云霞,路峻,宋绪磊,等.不同二次蒸馏方式对威士忌新酒风味的影响[J].中国酿造,2025,44(01):177-184.
- [3] 赵江林,唐亮,刘洋政,等.二次蒸馏法在浓香型原酒中“降乙保酸”的应用研究[J].酿酒科技,2025,(01):90-93+96.
- [4] 李庆,刘勇,杨家平,等.塔式蒸馏过程中乙醇与风味物质变化规律研究[J].酿酒科技,2024,(03):47-52.
- [5] 黎进雪.基于传统蒸馏与渗透汽化膜技术对无核白葡萄蒸馏酒品质及ALD比较研究[D].新疆农业大学,2023.
- [6] 叶帆,孙云权,杨甲平,等.塔式蒸馏对优质酒产率与风味物质馏出的影响[J].中国酿造,2023,42(05):226-231.
- [7] 沈飞,张建才,姚红,等.白兰地蒸馏设备及其对挥发性成分影响的研究进展[J].中外葡萄与葡萄酒,2023,(03):80-88.
- [8] 伍思佳,杨贻功,火兴三,等.两种蒸馏工艺对威士忌特征香气的影响[J].食品科学,2023,44(10):341-350.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

