

# 杂质组分对精馏分离纯度的动态影响机制研究

张汉青

内蒙古鑫元硅材料科技有限公司 内蒙古包头市 014000

**【摘要】**随着化学工程领域中分离技术的不断进步，精馏作为一种高效的分离技术，广泛应用于石油化工、化学合成以及食品、医药等行业。然而，精馏分离过程中，杂质组分的存在对分离纯度产生了显著影响，尤其是在动态操作条件下。本文通过理论分析和实验研究，探讨了不同杂质组分在精馏过程中的动态作用机制。研究表明，杂质组分不仅会影响系统的热力学平衡，还会改变分布系数和传质效率，从而影响分离纯度。本文为优化精馏操作提供了理论依据，并提出了改进措施。

**【关键词】**精馏；杂质组分；分离纯度

Study on the dynamic influence of impurity components on the purity of distillation

Zhang Hanqing

Inner Mongolia Xinyuan Silicon Material Technology Co., LTD Baotou City, Inner Mongolia 014000

**【Abstract】** With the continuous progress of separation technology in the field of chemical engineering, distillation, as an efficient separation technology, is widely used in petrochemical industry, chemical synthesis, food, medicine and other industries. However, the presence of impurity components significantly affects the purity of separation, especially under dynamic operating conditions. This paper explores the dynamic mechanism of different impurity components in the distillation process through theoretical analysis and experimental studies. The results show that the impurity components can not only affect the thermodynamic equilibrium of the system, but also change the distribution coefficient and mass transfer efficiency, thus affecting the separation purity. This paper provides a theoretical basis for optimizing distillation operation and proposes improvement measures.

**【Key words】** distillation; impurity component; separation purity

## 引言

精馏是基于液相与气相之间的沸点差异进行分离的过程，在化学工程中应用极为广泛。然而，实际工业过程中，杂质的存在使得精馏分离纯度受到影响，尤其是在处理复杂混合物时，杂质成分的加入会显著改变分离过程的热力学平衡和传质过程。为了实现高纯度的分离，需要深入分析杂质组分对精馏过程的影响机制。本文旨在通过建立数学模型和进行实验分析，探讨杂质组分对精馏分离纯度的动态影响，并提出相应的优化措施，以提高精馏操作的效率和效果。

## 1. 精馏过程的基本原理

在精馏过程中，液体和气体在塔板上的接触与交换，利用组分的挥发度差异逐步实现分离。精馏过程的效率主要由塔板数目、操作条件（如温度、压力等）以及组分组成等因

素决定。理想气体的行为通常由理想气体状态方程描述，适用于气相部分的计算。

$$PV=nRT$$

其中，P 是气体的压力，V 是气体的体积，n 是气体的摩尔数，R 是气体常数，T 是气体的温度。在精馏塔内，气相中的组分随着操作条件的变化而发生改变，理想气体状态方程帮助我们理解气相的行为。

## 2. 杂质组分对精馏分离纯度的影响机制

### 2.1 杂质对分布系数的影响

杂质组分投入精馏流程，将直接对组分分布系数产生显著作用，从而进一步影响分离效能。在一定温度与压力限定下，组分在液态与气态间所呈现的浓度比值，即所谓的分布系数。在杂质介入的过程中，目标组分可能遭遇竞争，进而对挥发度造成影响，尤其在杂质浓度较高时，这种影响更为

显著,使得目标组分的蒸发与凝结特性发生变异,并导致分布系数发生显著波动。以富含水分的烃类混合体为案例,杂质水分子可能与轻烃分子展开竞争性互动,水分子之存在会削减轻分子在气相中的密度,进而引发轻组分挥发性的下降。

### 2.2 杂质对传质效率的影响

在精馏工艺中,传质效率扮演着至关重要的角色,其直接影响到液相与气相间组分转换的速度与效能。液相与气相间的质量传递阻力,往往因杂质组分之掺入而加剧,进而使得传质效率显著降低。在杂质浓度较高时,杂质分子倾向于与目标组分争夺塔内液相表面的吸附位置,从而削弱了气液之间的接触效率。目标组分的转移速率因竞争作用而减慢,导致液气两相组分交换效率降低,最终影响精馏过程的整体分离效能。烃类混合物若掺入水或氮气等杂质,因水或氮气分子与烃类组分争夺液相表面,烃类分子挥发性因而降低,进而减缓了烃类分子向气相的转移速度。

### 2.3 温度和压力对杂质影响的调节作用

在精馏工艺中,对温度与压力的调整对杂质组分挥发性产生显著影响,进而深刻改变分离效果。在变化多端的温度与压力情境中,杂质与主导成分的挥发性比率呈现波动,这一现象对分离工艺的优化具有关键作用。在塔内温度相对较低的情况下,某些杂质便可能开始挥发,伴随温度的上升,这些杂质的挥发能力显著提升,进而更易转化为气相,从而对分离纯度产生不良影响。杂质挥发性显著受塔内压力影响。在塔内施加更高的压力,往往会使得低沸点物质的沸点升高,降低其挥发性,并且在高压条件下,某些高沸点杂质更易进入气相。在处理含有水分及气体杂质之混合体系时,通过调节压力以改变水分与杂质之挥发性,进而显著降低其

对主成分的干扰作用。

### 2.4 动态影响的复杂性

在动态精馏操作期间,杂质的引入常引发分离过程非线性波动,进而提升操作难度。操作条件变动下,精馏塔内杂质浓度波动,可能导致系统热力学平衡遭受干扰,从而对整体分离效能造成不利影响。在各个操作周期阶段,温度、压力的波动,以及流量的变化,导致杂质浓度产生波动,进而引起系统相平衡与物质传递特性的变动。系统中的非线性响应特征导致杂质分离作业愈发艰巨,此变化使得控制系统难以准确预测并完全抵消杂质引入所产生的影响。

## 3. 杂质组分对精馏分离纯度的改进策略

### 3.1 优化回流比与塔板数目

在精馏作业中,提升回流比一般会使得塔内液气两相接触时长增长,显著加剧轻重组分的分配差距,从而显著提升分离的纯度水平。实施自动化控制,实时调节回流比例,严格监控产品浓度与流量,以保证回流比持续处于最佳状态。增置塔板数量,是提升分离效能的一种有效途径。塔板数量增加,导致精馏环节中液体与气体接触频率上升,进而提升轻、重组分分配的效能,最终显著增强杂质清除效果。在设备投资与空间占用上,塔板数量的增加无疑会带来额外负担,故需依物料特性及模拟运算结果,精准选定适宜的塔板数量。在处理多组分精馏过程中,适当提升塔板数量并对回流比进行调整,此举能有效提升产品纯度,尤其是在面对含有杂质之复杂体系时,效果尤为显著。如表1所示。

表1 优化回流比与塔板数目

优化措施	调整参数	纯度变化	设备投资变化	空间占用变化
回流比优化	从 1.2 提高至 1.5	纯度提升: 98% → 99.2%	无显著变化	无显著变化
	从 1.5 提高至 1.8	纯度提升幅度小, 但杂质清除效果增强	无显著变化	无显著变化
塔板数目优化	从 20 块增加至 30 块	纯度提升: 90% → 93%	设备投资增加 15%	空间占用增加 10%

### 3.2 控制操作温度和压力

精确调节温度与压力,可调整不同组分间的挥发性差异,进而实现杂质的有效去除。沸点受温度调节影响显著,进而有效区分塔内轻组分与重组分的挥发活动。操作过程中,对精馏塔顶部及底部温度进行调校,以此操控轻组分向上迁移的速率,进而显著增强精馏效能。在杂质含量较高的系统中,提升塔顶的温度有利于轻组分与杂质的区分,与此

同时,适当地降低塔底温度有助于维持重组分的浓度,从而有效提升分离品质。在分离程序中,对操作压力进行调节扮演着至关重要的角色。在塔内操作压力降低的条件下,重组分的蒸发量得以减少,轻组分因而能更多地向上迁移至塔顶,最终显著提升了杂质的清除效率。

### 3.3 使用辅助分离技术

膜分离、吸附等,这些技术通常被视为辅助分离的常见

手段。实施精馏过程时，膜分离技术在消除挥发性相近杂质方面展现显著效能。选取适宜的陶瓷膜或聚合物膜，依据不同成分的分子尺度及亲水性的不同，预期能够有效移除原料中的水分及杂质，从而缓解精馏塔的工作压力。活性炭与分子筛等吸附材料的应用，遵循吸附法则，对液体原料中的特定杂质进行选择性移除，尤其是水分及有机成分。在处理含有水分或有机杂质的液体原料方面，吸附法以其简便的操作和高效的性能而显得尤为适用。在精馏步骤前，通过运用液-液间的分配比例差异，采用具有选择性作用的溶剂去除杂质，此举能够有效减少精馏过程中杂质的含量，进而增强后续分离的成效。在精馏流程中，往往并行运用辅助分离技术，经组合与优化后，实现多种组分的有效分离。如图1所示。



图1 陶瓷膜

### 3.4 优化物料的预处理

在精馏工序启动前，对原料实施预处理，有效移除其中难以精馏分离的杂质，进而缓解精馏塔工作压力，提升分离作业的效能。在处理过程中，首要运用固液分离、脱水及过滤等手段，以实现高效预处理。对于含有水分的原料液体，实施脱水处理尤为关键。在精馏作业中，水分的存留不仅会提升塔内液体承载量，亦对轻组分及杂质挥发性造成干扰，故而实施分子筛脱水或溶剂脱水，可高效移除原料水分，进而降低水分对精馏作业的负面影响。在原料中存在的固态污染物，经离心或过滤手段处理，能高效清除，从而防止其在精

馏作业中对装置造成伤害。运用这些预处理手段，得以优化精馏流程中的物质纯度，从而显著提升精馏塔内部的传质效能。在处理杂质含量较高的原料时，前期采取萃取与吸附手段，旨在显著降低杂质比例，从而为后续精馏步骤营造优质基础。

### 3.5 提高精馏设备的设计与操作灵活性

对塔板设计进行优化，显著提升气液相接触效能，有效强化物质间的传递效率。在精馏塔领域，泡罩塔板与浮动板的使用日益广泛，显著提升了液气相接触的表面积，进而拉长了气体与液体间的接触时长，这对于组分的有效分配与分离起到了积极作用。以填料塔取代传统塔板布局，此举堪称提升精馏效能的关键途径。运用波纹、网状等多种填料于填料塔，显著拓宽了气液接触范围，有效提升了分离效能，特别是对多组分液体精馏作业表现尤为出色。在精馏工艺中，设备的操作弹性同样不容忽视。精馏操作中，若杂质组分存在，将引起塔内物质传递特性的改变，故精馏装置需具备对这一现象的实时监控与调节功能。实时监控浓度、温度与压力等关键参数，自动控制系统可灵活调节回流比、塔板数量、操作温度与压力，以此确保精馏作业持续处于最优化运行状态。

## 结语

本文探讨了杂质组分对精馏分离过程的影响，研究表明杂质的存在不仅降低了分离纯度，还增加了系统的不稳定性和操作难度。通过分析杂质对分布系数和传质效率的影响，本文提出优化策略，如调整回流比、优化塔板数目、调控操作条件和引入辅助分离技术等，以提高精馏效率和纯度。未来，随着精馏技术的进步，针对杂质影响的优化手段将进一步提升分离过程的稳定性和经济性。精馏工艺将在更多行业中发挥关键作用，推动相关领域的持续发展。

## 参考文献

- [1]李璟, 张井峰, 邓国平.三塔精馏从废溶剂中回收高纯度 N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)的模拟分析[J].精细石油化工进展, 2024, 25(03): 47-52.
- [2]李璟, 张井峰, 邓国平.五塔多效精馏回收有机溶剂中DMF的工艺研究[J].中外能源, 2023, 28(10): 91-96.
- [3]胡四立.降低三氯化铋中杂质As含量的工艺研究[J].东方电气评论, 2023, 37(03): 11-14.
- [4]阙祥育.电子级四氟化碳高效节能精馏技术的研究[J].当代化工研究, 2022, (24): 137-139.