

# 关于甲醇精馏工艺技术改进的探讨

张帅帅 韩爱文

陕西未来能源化工有限公司 陕西 榆林 718000

**摘要:** 甲醇作为重要的基础有机化工原料,广泛应用于化工、能源、医药等诸多领域。本论文围绕甲醇精馏工艺技术的改进展开深入探究。开篇介绍甲醇精馏的基本原理,梳理双塔、三塔、四塔等常见工艺流程。随后,明确指出传统工艺能耗高、设备腐蚀严重、产品质量波动大、操作复杂且自动化水平低等问题。为应对这些挑战,提出多维度改进策略,涵盖工艺优化、设备改良以及引入智能控制技术,以全方位提升甲醇精馏工艺水平。

**关键词:** 甲醇精馏; 工艺技术; 改进探讨

引言: 甲醇在化工领域用途广泛,其精馏工艺对产品品质和企业效益意义重大。在化工产业蓬勃发展的当下,对甲醇精馏工艺提出了更高标准。但传统工艺存在诸多缺陷,高能耗导致生产成本居高不下,设备腐蚀频繁引发维修难题,产品质量不稳定影响市场竞争力,复杂操作和低自动化程度限制生产效率。因此,迫切需要对甲醇精馏工艺技术进行改进,以突破现有困境,助力行业实现可持续发展。

## 1 甲醇精馏工艺概述

### 1.1 基本原理

甲醇精馏基于液体混合物中各组分挥发度的差异来实现分离。在精馏塔内,混合物受热沸腾,易挥发的轻组分(如甲醇)优先汽化上升,而难挥发的重组分则留在液相中沿塔板下流。上升的蒸汽与下流的液体在塔板上进行多次气液传质,轻组分不断富集于塔顶蒸汽,经冷凝后成为高纯度产品;重组分则在塔底聚集,实现甲醇与杂质的有效分离,这一过程遵循拉乌尔定律等热力学原理,通过控制温度、压力等条件优化分离效果。

### 1.2 常见工艺流程

#### 1.2.1 双塔精馏工艺

双塔精馏通常由预精馏塔和主精馏塔组成。预精馏塔主要作用是脱除粗甲醇中的轻组分杂质,如二甲醚、甲酸甲酯等。塔内通过加热使粗甲醇汽化,在塔顶将轻组分蒸汽冷凝排出。脱除轻组分后的甲醇进入主精馏塔,在该塔中进一步分离,使甲醇纯度提升,塔顶产出合格的精甲醇产品,塔底则排出重组分残液,双塔工艺结构相对简单,适用于对产品纯度要求不是极高的场景<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.2 三塔精馏工艺

三塔精馏在双塔基础上增加了加压精馏塔。粗甲醇先进入预精馏塔脱除轻组分,之后进入加压精馏塔。加压精馏塔内压力升高,甲醇沸点上升,塔顶蒸汽温度较

高,其热量可用于主精馏塔再沸器的热源,实现热量回收利用,降低能耗。加压精馏塔塔顶产出精甲醇,塔底甲醇液进入常压主精馏塔进一步提纯,该工艺能有效提升产品纯度,且节能效果显著,在现代甲醇生产中应用广泛。

#### 1.2.3 四塔精馏工艺

四塔精馏是较为复杂且高效的工艺,包含预精馏塔、加压精馏塔、常压精馏塔和回收塔。预精馏塔脱除轻组分后,甲醇依次经加压精馏塔、常压精馏塔深度提纯,产出高纯度精甲醇产品。回收塔则用于处理前几塔塔底残液,回收其中残留的甲醇,提高甲醇回收率,减少原料浪费。该工艺对设备要求较高,但产品质量优,能最大程度实现资源利用,适用于大规模、高品质甲醇生产需求。

## 2 传统甲醇精馏工艺存在的问题

### 2.1 能耗高

传统甲醇精馏工艺通常需消耗大量热能与电能。在精馏塔内,要实现混合物的多次气液传质,需持续为再沸器供热,维持塔内温度梯度,使轻、重组分有效分离,这一过程中,蒸汽等热源消耗量大。以双塔精馏为例,预精馏塔和主精馏塔各自独立供热,能量未得到充分回收利用。即便是三塔精馏,虽有加压精馏塔热量回收利用,但整体能耗仍偏高。随着装置规模扩大,即便采用双效精馏等节能工艺,能耗总量依旧惊人,导致生产成本大幅增加,限制了企业效益提升。

### 2.2 设备腐蚀严重

粗甲醇中常含有多种杂质,如有机酸、硫化物等,这些杂质在精馏过程中,会对设备产生腐蚀作用。在预精馏塔中,为中和合成反应产生的有机酸,需加入氢氧化钠稀溶液,然而,这在一定程度上改变了塔内溶液酸碱度,加剧了对塔体、塔板及管道等设备的腐蚀。同

时,高温、高压的操作环境也加速了腐蚀进程。长期运行后,设备腐蚀严重,不仅缩短了设备使用寿命,增加设备维护与更换成本,还可能引发生产安全隐患,如管道泄漏、塔板穿孔等,影响正常生产<sup>[2]</sup>。

### 2.3 产品质量不稳定

原料质量的波动是导致产品质量不稳定的关键因素之一。若粗甲醇中杂质含量、种类变化大,在精馏时难以精准控制分离效果。例如,当原料中重组分含量突然增加,可能导致主精馏塔塔顶产出的精甲醇中杂质超标,纯度下降。此外,操作过程中的温度、压力等参数若未能精准控制,也会影响产品质量。如精馏塔内温度波动,会使轻、重组分分离不彻底,产品中可能出现轻组分残留或重组分含量过高的情况,难以稳定产出符合高纯度标准的精甲醇产品,影响产品市场竞争力。

### 2.4 操作复杂,自动化程度低

传统甲醇精馏工艺涉及多个塔设备的协同运行,各塔的温度、压力、流量等参数需精细调节,操作流程繁杂。操作人员需时刻关注各设备运行状态,手动调节阀门开度、控制物料流量等,劳动强度大且易因人为疏忽导致操作失误。同时,自动化监测与控制系统不完善,无法实时、精准地对工艺参数进行反馈调节。当生产工况发生变化时,难以及时调整操作,不能适应现代化高效、稳定生产需求,限制了生产效率提升与生产规模的进一步扩大。

## 3 甲醇精馏工艺技术改进措施

### 3.1 工艺优化

#### 3.1.1 热集成技术的深化应用

热集成技术旨在打破传统精馏塔间各自独立供热的模式,高效回收与利用热量。在甲醇精馏中,可将加压精馏塔塔顶高温蒸汽产生的潜热,通过热交换设备传递给其他塔的再沸器,如常压精馏塔。这一过程不仅减少了外部蒸汽等热源的消耗,还降低了整体能耗。以某大型甲醇生产企业为例,采用热集成深化方案后,通过优化塔间热流分配,利用热泵技术进一步提升热量品位,实现了全流程能耗降低15%-20%。此外,热集成技术还可与智能控制系统联动,实时根据各塔负荷调整热交换量,保障精馏过程稳定高效运行,显著提升能源利用率,降低生产成本。

#### 3.1.2 新型精馏流程的开发

新型精馏流程致力于突破传统双塔、三塔等固定模式的局限。例如,开发多效精馏与隔壁塔精馏相结合的复合流程。多效精馏利用不同压力下塔内温度差异,实现前一效塔顶蒸汽为后一效塔供热;隔壁塔精馏则将传

统两塔或多塔功能集成于一个塔内,通过内部隔板实现不同组分分离,减少塔设备数量与占地面积。这种复合流程大幅降低了设备投资与能耗。研究表明,相比传统三塔精馏,新型复合流程可减少约30%的能耗,设备投资降低10%-15%。同时,新型流程还能根据原料组成灵活调整塔内结构与操作条件,增强工艺适应性,满足不同品质甲醇生产需求,提升企业市场竞争力。

#### 3.1.3 优化操作参数

首先,通过精确设定精馏塔的温度、压力,确保轻、重组分实现理想分离。如在主精馏塔中,将塔顶温度控制在64.5°C-65.5°C、压力维持在0.05MPa-0.07MPa,可有效减少产品中杂质含量,提升甲醇纯度。其次,优化回流比,根据原料性质与产品质量要求,动态调整回流液与塔顶馏出液的比例,在保证产品质量的同时降低能耗。再者,合理控制进料位置与流量,利用先进的过程模拟软件,模拟不同工况下的最佳进料条件,实现精馏塔性能最大化。通过优化操作参数,可使产品纯度提高1%-2%,能耗降低5%-10%,显著提升精馏工艺的稳定性与经济性<sup>[3]</sup>。

## 3.2 设备改进

### 3.2.1 采用耐腐蚀材料

甲醇精馏过程中,设备长期受粗甲醇中有机酸、硫化物等杂质侵蚀,选用耐腐蚀材料成为应对设备腐蚀问题的关键。在塔体制作上,可采用抗腐蚀性能优异的不锈钢材质,如316L不锈钢,其含有的钼元素能有效增强抗点蚀和缝隙腐蚀能力,显著延长塔体使用寿命。对于塔内件,如塔板、管道等,可选用哈氏合金,该合金在高温、高压且含腐蚀性介质的环境中表现出色,能抵御多种复杂腐蚀情况。此外,对设备内壁进行涂层防护也是有效手段,例如采用聚四氟乙烯涂层,其化学稳定性高,能隔离设备与腐蚀介质接触。通过使用这些耐腐蚀材料,可大幅降低设备维修频率,减少因设备腐蚀泄漏带来的安全风险,保障精馏装置长期稳定运行,降低综合生产成本。

### 3.2.2 改进塔板与填料结构

优化塔板与填料结构能够显著提升精馏塔的传质效率。传统塔板存在气液接触不充分、雾沫夹带等问题,影响精馏效果。新型塔板如导向筛板,在塔板上设置特殊导向孔,引导液体流动,使气液接触更均匀,减少返混现象,提高传质效率。相比普通筛板,导向筛板可使塔板效率提高10%-15%。在填料方面,选用规整填料替代散装填料,如金属孔板波纹填料,其具有比表面积大、流体阻力小的特点,能提供更大的气液接触面积,

增强传质效果。同时,通过合理设计填料的排列方式和高度,可优化精馏塔内的气液分布,进一步提升分离效率。改进塔板与填料结构后,不仅能提高产品纯度,还可降低回流比,减少能耗,使精馏塔在更高效、节能的状态下运行。

### 3.2.3 优化再沸器与冷凝器设计

再沸器与冷凝器作为甲醇精馏装置的关键热交换设备,其设计优化对整体工艺性能影响重大。在再沸器设计上,采用高效热传递结构,如螺旋管式再沸器,相比传统列管式再沸器,其具有更高的传热系数,能更高效地将热量传递给塔底液体,减少蒸汽消耗。同时,优化再沸器的加热介质流量控制与温度调节系统,确保加热过程稳定,避免局部过热或加热不足。对于冷凝器,选用新型高效冷凝管,如内螺纹强化传热管,可增强冷凝效果,提高冷凝速率。并且,合理设计冷凝器的冷凝面积与冷却介质流量,使塔顶蒸汽能充分冷凝,减少不凝气排放。优化后的再沸器与冷凝器能有效提升精馏装置的热交换效率,降低能耗,保障精馏过程稳定运行,提升产品质量与生产效率。

## 3.3 智能控制技术应用

### 3.3.1 先进控制系统的引入

在甲醇精馏工艺中引入先进控制系统,可显著提升生产过程的稳定性与精确性。以模型预测控制(MPC)为例,该系统依据甲醇精馏过程的动态数学模型,结合实时采集的温度、压力、流量等数据,预测未来一段时间内的工艺状态,并据此优化控制策略。比如,当原料组成发生变化时,MPC能够快速调整精馏塔的操作参数,确保产品质量稳定,避免因人工调节滞后导致的产品波动。与传统PID控制相比,MPC可使产品质量标准差降低30%-40%,有效减少不合格产品的产出。此外,先进控制系统还能对多个精馏塔进行协同控制,实现全流程的优化运行,提高整体生产效率,降低能耗,增强企业在市场中的竞争力。

### 3.3.2 实时监测与故障诊断系统

实时监测与故障诊断系统为甲醇精馏装置的稳定运行保驾护航。通过在设备关键部位安装各类传感器,如温度传感器、压力传感器、振动传感器等,系统能够实

时采集设备运行数据,并利用数据分析算法对数据进行深度挖掘。一旦发现参数异常,如精馏塔温度突变、再沸器压力过高,系统会迅速发出预警信号。同时,基于人工智能的故障诊断模型可对故障原因进行快速定位与分析。

### 3.3.3 智能化操作界面与远程控制

智能化操作界面与远程控制技术极大地提升了甲醇精馏工艺的操作便捷性与管理效率。操作界面采用图形化设计,以直观的方式展示精馏装置的运行状态,操作人员可通过触摸屏幕或鼠标轻松完成各项操作指令输入,如调整阀门开度、设定设备运行参数等。同时,远程控制功能使操作人员在远离生产现场的控制中心就能实时监控与操控精馏装置,打破了空间限制。在紧急情况下,可快速做出响应,避免现场操作可能带来的危险。此外,智能化操作界面还具备数据记录与分析功能,能自动生成运行报表,方便管理人员对生产过程进行追溯与分析,优化生产流程,提高企业管理水平,助力甲醇生产企业实现智能化转型升级<sup>[4]</sup>。

## 结束语

综上所述,甲醇精馏工艺技术改进涵盖工艺优化、设备改良以及智能控制技术应用等多方面。通过深化热集成技术、开发新型流程、优化操作参数,可降低能耗、提升产品质量;采用耐腐蚀材料、改进塔板与填料等设备改进手段,能增强设备稳定性;而先进控制系统、实时监测诊断及智能化操作界面的引入,实现了生产的精准、高效与智能。这些改进措施对推动甲醇生产行业节能减排、提高生产效率、保障安全生产意义重大。

## 参考文献

- [1]单体锋.优化甲醇精馏工艺的流程分析[J].化工管理,2022(27):113-114
- [2]朱铭.优化甲醇精馏工艺的分析[J].化工管理,2022(27):123-124
- [3]纪博博,刘晓刚.探讨甲醇精馏工艺分析以及其塔器优化设计[J].化工管理,2023(23):259-260
- [4]商灏.关于甲醇的精馏工艺过程控制及改进策略探讨[J].化学工程与装备,2020(11):128-131.