

精馏塔内件改造对1,4-丁炔二醇产品品质的提升作用

王 盼

河南开祥精细化工有限公司 河南 三门峡 472300

摘 要: 1,4-丁炔二醇作为重要化工原料,其产品品质直接影响下游应用。精馏塔内件性能是决定产品质量的关键因素。通过对塔内件传质效率、分离精度及操作稳定性等问题分析,针对性实施内件改造。改造后,塔内传质效率显著提高,产品分离精度大幅提升,操作稳定性增强,能耗与成本有效降低,实现了1,4-丁炔二醇产品品质从量变到质变的飞跃,为化工生产提质增效提供了有力支撑。

关键词: 精馏塔内件改造; 1,4-丁炔二醇; 产品品质; 提升作用

引言

1,4-丁炔二醇在精细化工、医药中间体等领域应用广泛,高品质产品需求持续增长。精馏作为其生产关键环节,塔内件性能对产品品质影响深远。传统精馏塔内件存在传质效率低、分离效果差等问题,制约产品质量提升。本文基于1,4-丁炔二醇生产现状,深入剖析精馏塔内件改造前产品品质问题,探讨改造措施对产品品质的提升路径,旨在为化工生产优化提供理论与实践参考。

1 精馏塔与 1,4-丁炔二醇概述

1.1 精馏塔

精馏塔作为化工领域实现混合物高效分离的关键设备,其工作原理基于混合物中各组分沸点的不同。当混合液进入精馏塔后,在塔底经再沸器加热,液相中的低沸点组分优先汽化,形成上升蒸汽;高沸点组分则保留在液相中,随液体向下流动。上升蒸汽在塔内上升过程中,与温度较低的塔板或填料接触,蒸汽中的高沸点组分会部分冷凝,而低沸点组分继续以蒸汽形式向上移动。通过多次这样的部分汽化与部分冷凝过程,混合物中的各组分得以逐步分离,最终在塔顶获得高纯度的低沸点产品,塔底则是高沸点产品。精馏塔的结构较为复杂,通常由塔身、塔板或填料、冷凝器、再沸器等部分组成。塔身是精馏塔的主体结构,为气液两相提供接触空间;塔板或填料作为气液接触的场所,极大地增加了气液两相的接触面积,强化传质传热过程;冷凝器用于将塔顶蒸汽冷凝为液体,部分作为回流液返回塔顶,以维持塔内的气液平衡,部分作为塔顶产品采出;再沸器则为塔底液体提供汽化所需的热量,使塔内的精馏过程能够持续进行。不同类型的精馏塔,如板式塔和填料塔,在结构和性能上存在差异,可根据具体的分离需求进行选择。

1.2 1,4-丁炔二醇

1,4-丁炔二醇,化学式为 $C_4H_6O_2$,在常温常压下呈现为白色至微黄色的结晶性粉末状。其熔点为 $54^{\circ}C$,沸点达 $238^{\circ}C$,密度约为 $1.2g/cm^3$ 。该物质具有独特的溶解特性,易溶于水、甲醇、乙醇等极性溶剂,却不溶于乙醚、苯、氯仿等非极性溶剂。1,4-丁炔二醇分子中含有炔基和羟基这两种活性官能团,赋予了它丰富的化学反应活性。在工业领域,1,4-丁炔二醇有着极为广泛的应用。它是重要的有机合成中间体,可用于制造丁烯二醇、丁二醇、四氢呋喃、 γ -丁内酯、吡咯烷酮等一系列高附加值的化工产品,这些产品进一步用于合成塑料、合成纤维(如尼龙-4)、溶剂(如N-甲基吡咯烷酮)和防腐剂等。在电镀行业,1,4-丁炔二醇常被用作电镀光亮剂,能够显著改善镀层的质量和外观,提高镀层的光亮度和均匀性。它在医药及农药工业中也扮演着重要角色,参与多种药物和农药的合成过程,对相关产品的性能提升起到关键作用。

2 精馏塔内件改造前 1,4-丁炔二醇产品品质问题分析

2.1 传质效率低下

在1,4-丁炔二醇的精馏过程中,传质效率对产品品质起着关键作用。塔内气液两相的有效接触与物质传递,直接关乎目标组分的分离效果。原精馏塔内件在设计与实际运行中,存在诸多导致传质效率欠佳的因素。塔板结构上,泡罩塔板、浮阀塔板虽能促进气液接触,但运行久后问题凸显。部分塔板出现腐蚀、变形,导致气液分布不均,接触面积减小。泡罩塔板的泡罩破损,气体易出现偏流,无法与液体充分混合传质;浮阀塔板的浮阀卡涩,不能依据气液负荷自动调节开度,降低传质效率。操作条件对传质效率影响极大。温度波动影响显著,过高会使1,4-丁炔二醇及其杂质挥发特性改变,气液平衡偏离理想状态,部分应留在液相分离的物质过早气

化逸出,降低产品纯度。压力不稳定,会改变塔内气液流速,影响传质推动力,使传质速率下降。流量方面,过大时塔板上液体停留时间短,气液来不及充分传质就进入下一层塔板;过小时气液接触不充分,同样不利于传质。物料自身物理化学性质也不容忽视。1,4-丁炔二醇物料的密度、粘度、表面张力等特性,都会影响传质过程。黏度大的物料在塔板上流动性差,难以均匀铺展与气相接触;表面张力大时,液体易形成液滴,阻碍气液间物质交换。这些因素综合作用,致使原精馏塔传质效率低下,严重影响1,4-丁炔二醇产品品质^[1]。

2.2 分离精度不足

分离精度是衡量精馏塔性能、决定1,4-丁炔二醇产品品质的核心指标之一。原精馏塔在运行中,分离精度不足问题突出,致使产品中杂质含量超标,纯度难以达到理想标准。进料组成的波动是导致分离精度下降的重要因素。1,4-丁炔二醇生产原料来源多样,成分复杂,在不同批次生产中,进料所含杂质种类与比例变化大。当进料中重组分含量突然增加,原精馏塔内件无法及时适应,在既定的塔板数与操作条件下,重组分难以在塔底有效富集分离,部分会随产品采出,降低产品纯度;若轻组分含量异常,在塔顶分离时,易与目标产物1,4-丁炔二醇共沸或夹带,影响产品质量。塔板效率对分离精度影响也极为关键。如前文所述,塔板结构损坏、操作条件波动等因素致使塔板效率降低,每块塔板上气液传质分离效果变差。从理论层面看,精馏是通过多次部分汽化与冷凝,依靠塔板实现混合物逐步分离,塔板效率低意味着每块塔板对不同组分的分离能力减弱,经过多层塔板累积,最终导致产品中各组分分离不彻底,分离精度远低于设计要求。塔顶冷凝器与塔底再沸器的工作状态也影响分离精度。冷凝器冷凝效果不佳,塔顶蒸汽不能充分冷凝回流,部分未冷凝蒸汽携带杂质进入产品;再沸器供热不稳定,塔底物料汽化量波动,破坏塔内气液平衡,干扰分离过程,进一步降低精馏塔对1,4-丁炔二醇的分离精度,影响产品品质。

2.3 操作稳定性差

操作稳定性是保障精馏塔持续高效运行、产出优质1,4-丁炔二醇产品的基础。原精馏塔在运行过程中,操作稳定性较差,频繁出现各类波动,严重影响产品质量的一致性与稳定性。液泛现象是影响操作稳定性的突出问题。当塔内气液负荷失衡,气体流量过大或液体流量超出塔盘处理能力时,就会引发液泛。例如,在生产负荷突然增加时,气相流速剧增,大量液滴被气相夹带至上层塔板,形成雾沫夹带液泛;或者液体流量过大,降液

管内液体流速过慢,导致液体积聚超过降液管处理能力,发生降液管液泛。液泛一旦发生,塔内压差急剧上升,温度梯度异常,气液两相正常流动被破坏,精馏过程无法稳定进行,产品质量大幅波动,纯度难以保证。回流比的不稳定同样对操作稳定性产生负面影响。回流比是精馏操作的关键参数,直接影响塔内气液接触时间与面积。在实际生产中,因控制不当、设备故障等原因,回流比常出现波动。回流比过小时,塔内气液接触不充分,分离效果变差,产品中杂质含量增加;回流比过大,则会造成能量浪费,同时可能导致塔内液相负荷过重,引发液泛等问题,破坏操作稳定性。进料流量、温度、压力等操作参数的频繁波动,也会干扰精馏塔内的气液平衡与传质传热过程,使精馏塔难以维持稳定运行状态,进而导致1,4-丁炔二醇产品质量不稳定,批次间差异较大,无法满足市场对产品质量稳定性的严格要求^[2]。

3 精馏塔内件改造对1,4-丁炔二醇产品品质的提升作用

3.1 提高传质效率

(1) 在多相体系传质过程中,强化相间接触面积是提升传质效率的核心路径。通过优化填料塔内规整填料的结构参数,采用波纹板片角度可调设计,能够增加气液两相的湍流程度与接触时间,使传质系数提高20%-30%;微通道反应器通过将传统反应器通道尺寸缩小至微米级,显著增大比表面积,实现传质速率的数量级提升,特别适用于快速反应体系。(2) 改进流体分布技术可有效消除传质死区,提升整体传质均匀性。在气液传质设备中,采用压力分布均匀的液体分布器配合气体分布器的旋流设计,可使气液分布不均度降低至5%以下;通过引入动态搅拌装置,如磁力搅拌器或机械搅拌器,能够打破液膜边界层,使液相传质阻力降低40%以上,促进溶质快速扩散至主体相。(3) 温度与浓度梯度的合理调控是优化传质的重要手段。通过设置分段式温度控制,在传质初期保持较高温度以加速分子扩散,后期降低温度抑制副反应,可实现传质效率与反应选择性的协同提升;利用浓度差驱动膜分离技术,结合膜材料的孔径精准调控,能够实现溶质的高效分离与富集,膜通量较传统膜材料提高50%。

3.2 提升分离精度

(1) 基于热力学平衡的分离过程中,采用新型分离介质可显著提高分离选择性。离子液体作为萃取剂,因其独特的阴阳离子结构与可设计性,对特定溶质的分配系数可达传统有机溶剂的3-5倍;分子筛吸附剂通过精准调控孔径大小与表面性质,能够实现同分异构体的高

效分离,分离因子提升至常规吸附剂的2倍以上。(2)优化分离设备的级联方式可强化分离效果。在精馏过程中,采用隔壁塔技术将预分离与精密分离集成于同一设备,减少返混效应,理论塔板数可降低30%;模拟移动床吸附工艺通过周期性切换进出料位置,实现连续化、高效分离,产品纯度可达99.9%以上,相比固定床吸附效率提升40%。(3)引入耦合分离技术突破传统分离极限。反应精馏将化学反应与精馏过程耦合,通过及时移除反应产物打破化学平衡限制,使可逆反应转化率提升至95%以上;膜蒸馏技术结合疏水性膜材料与温度差驱动,可实现高盐废水的零液体排放处理,盐截留率稳定在99.5%以上,显著优于传统蒸发技术^[1]。

3.3 增强操作稳定性

(1)设备结构的抗干扰设计是保障操作稳定性的基础。在流化床反应器中,采用内置气固分布板与防返混挡板,可抑制气泡聚并与沟流现象,使气固接触效率波动范围控制在 $\pm 5\%$ 以内;通过优化换热器的管程与壳程结构,采用螺旋折流板替代传统弓形折流板,可降低流体诱导振动风险,设备运行周期延长至18个月以上。

(2)智能控制系统的应用可实现动态工况自适应调节。基于模型预测控制(MPC)算法,结合在线实时监测数据,能够提前30分钟预测工艺参数变化趋势,自动调整操作条件;在复杂多变量系统中,采用分布式控制系统(DCS)与先进控制策略相结合,将关键工艺参数的控制精度提升至设定值的 $\pm 1\%$,有效抑制系统波动。(3)设备材料与密封技术的升级可减少故障隐患。选用抗腐蚀性能优异的双相不锈钢或钛合金材料,在强酸碱环境下设备使用寿命延长至10年以上;采用干气密封、机械密封与迷宫密封的复合密封结构,将泄漏率控制在 $10^{-6} \text{m}^3/\text{h}$ 以下,避免因介质泄漏导致的操作中断与安全风险。

3.4 降低能耗与成本

(1)能量集成与回收技术是降低能耗的关键途径。

在化工流程中,通过构建多效蒸发系统,利用前一效产生的二次蒸汽作为后一效的加热热源,使单位产品能耗降低40%;采用热泵技术回收低温余热,将废热提升至可用温度等级,能量回收效率可达60%以上,显著减少外部能源消耗。(2)工艺路线的优化设计可实现成本的系统降低。将传统间歇式生产改造为连续化生产工艺,减少设备启停次数与物料损耗,生产效率提升50%,单位产品成本降低25%;通过原料预处理工艺改进,采用膜过滤替代传统沉降分离,减少后续处理负荷,设备投资成本降低15%,运行成本降低12%。(3)设备小型化与智能化升级可有效降低综合成本。微化工设备由于其高比表面积与高效传热传质性能,相比传统设备体积缩小80%,基建投资减少30%;引入自动化巡检机器人与在线故障诊断系统,可将设备维护成本降低20%,同时减少人工干预带来的操作误差与安全风险^[4]。

结语

综上所述,精馏塔内件改造对1,4-丁炔二醇产品品质提升成效显著。通过优化内件结构,有效解决了传质效率低、分离精度不足等问题,显著增强操作稳定性,降低生产能耗与成本。这一改造不仅提升了产品市场竞争力,也为化工企业绿色高效发展提供了可行方案。未来,随着技术进步,精馏塔内件改造技术有望进一步创新,持续推动1,4-丁炔二醇生产工艺迈向新高度。

参考文献

- [1]张杰良,伏建华.苯乙烯精馏塔内件性能优化及结构改进[J].石油化工设备,2020,49(5):80-84.
- [2]钱蕾.精馏塔内件性能优化及结构改进[J].魅力中国,2021(50):110-111.
- [3]唐宁,陈建业,薛兵,等.浅谈1,4-丁二醇产品中TBA组分的形成分析和控制方法[J].化工管理,2025(6):154-157.
- [4]曹会敏,张国民.炔醛法制1,4-丁二醇提产增效关键技术研究[J].氮肥与合成气,2024,52(3):29-32.