

化工工艺中的分离技术研究进展

包仁望 陈渊博

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 本文综述了化工工艺中分离技术的最新研究进展,重点探讨了分离技术在提高分离效率、降低能耗、减少环境污染等方面的重要作用。通过对传统分离技术的优化及新型分离技术的开发,本文分析了当前分离技术的发展趋势和未来方向。文章结构清晰,内容详细具体,具有较强的专业性。

关键词: 化工工艺; 分离技术; 传统; 新型; 发展趋势

引言

化工分离技术作为化学工程的重要分支,贯穿于整个化工生产过程中,是获取合格产品、充分利用资源和控制环境污染的关键步骤。随着科学技术的进步和环保要求的提高,分离技术不断向更高效、更环保的方向发展。本文将从传统分离技术的优化和新型分离技术的开发两个方面,综述化工工艺中分离技术的最新研究进展。

1 传统化工工艺分离技术的应用及优化

1.1 蒸馏技术

蒸馏技术,作为化工分离领域的基石,凭借其对各组分沸点差异的有效利用,在液体混合物分离中占据着不可替代的地位。这一技术通过加热混合物,使低沸点组分先行汽化,随后冷凝回收,从而实现组分的有效分离。近年来,蒸馏技术的优化成为研究热点,旨在进一步提升分离效率并降低能耗。精馏作为蒸馏技术的高级形式,通过多级蒸馏和回流操作,实现了对混合物中各组分的精确分离。在“双碳”目标的大背景下,精馏技术的节能降耗显得尤为重要。研究者们通过优化塔板设计、提高塔内传热传质效率、采用高效能冷凝器等措施,不断推动精馏技术的绿色化发展。此外,分子筛膜作为一种新型无机膜材料,在蒸馏技术中也展现出了巨大的应用潜力。分子筛膜具有规则的孔道结构和特定的表面特性,能够实现对特定分子的高效筛选和分离。通过调控膜的结构和表面性质,研究者们成功地将分子筛膜应用于多种化工分离场景中,如烃类分离、醇水分离等。与传统蒸馏技术相比,分子筛膜分离技术具有操作简便、能耗低、分离效率高等优点,为化工分离领域带来了新的发展机遇。

1.2 吸附分离技术

吸附分离技术,凭借其高效、节能、环保的显著优势,在化工分离领域占据了一席之地。这一技术巧妙地利用了固体表面对于气体或液体中特定物质的吸附能

力,通过物理或化学作用,将目标物质牢固地吸附在固体表面,从而实现混合物的有效分离。在气体分离领域,变压吸附(PSA)装置的应用尤为突出。PSA技术通过周期性地改变吸附床层的压力,使吸附剂在高压下吸附目标气体,在低压下解吸,从而实现气体的分离和纯化。近年来,随着吸附剂材料的不断创新和工艺设计的持续优化,PSA技术在氢气回收、二氧化碳捕集等领域取得了显著成效。为了提高氢气的回收率,研究者们致力于开发具有高选择性、高吸附容量的吸附剂材料^[1]。例如,通过改性处理、复合制备等手段,成功研制出了针对氢气的高效吸附剂,极大地提高了氢气的回收效率和纯度。同时,针对PSA工艺中的能耗问题,研究者们通过优化吸附剂的再生方式、提高床层的传热传质效率等措施,有效降低了能耗和二氧化碳排放。

2 新型化工工艺分离技术的开发

2.1 膜分离技术

膜分离技术,作为新型化工工艺分离技术的代表,凭借其独特的渗透作用机制,在气相或液相混合物的分离、分级、提纯和富集方面展现出了卓越的性能。随着材料科学的飞速发展,膜分离技术的种类日益丰富,为化工分离领域带来了更多的选择和可能性。微滤、超滤、反渗透、渗析和电渗析等是膜分离技术中的几种典型方法。微滤和超滤主要用于去除液体中的悬浮物、颗粒和细菌等,而反渗透则能进一步去除水中的溶解性固体和有机物,实现水的深度净化。渗析和电渗析则主要用于处理电解质溶液,通过电场作用实现离子的分离和富集。气体分离和渗透蒸发是两种正在开发应用中的膜技术。气体分离膜技术利用不同气体在膜中的渗透速率差异,实现气体的分离和纯化。这一技术在氢气回收、天然气净化等领域具有广阔的应用前景。渗透蒸发技术则是一种针对液体混合物的膜分离方法,通过膜的选择性渗透作用,实现混合物中易挥发组分和难挥发组分的

分离。这一技术在有机溶剂回收、废水处理等领域展现出了巨大的潜力。工业规模的应用已经充分展示了膜分离技术的广阔前景。例如，在石油化工行业，膜分离技术被广泛应用于烃类混合物的分离和提纯，提高了产品的纯度和附加值。

2.2 结晶分离技术

结晶分离技术，作为另一种新型化工工艺分离技术，通过溶解和结晶的反复操作，实现了混合物中各组分的有效分离。这一技术不仅高效，而且环保，因此在化工、制药、食品等多个领域得到了广泛应用。传统结晶分离技术多采用冷冻、浓缩等方式进行。冷冻结晶通过降低溶液温度，使溶质达到过饱和状态，从而析出晶体。而浓缩结晶则是通过蒸发溶剂，提高溶质浓度，达到过饱和后析出晶体。然而，这些方法往往能耗较高，且对于某些热敏性物质，冷冻过程可能导致其活性降低或失活。近年来，随着科学技术的进步，萃取、高压和融合等新型结晶分离技术逐渐兴起。萃取结晶技术利用溶质在两种互不相溶的溶剂中溶解度的差异，通过萃取操作实现溶质的分离和结晶。这种方法不仅提高了分离效率，而且降低了能耗，特别适用于热敏性物质的分离。高压结晶技术则是在高压条件下进行结晶操作。通过增加压力，可以改变溶质的溶解度，从而实现结晶分离^[2]。这种方法对于某些难以在常压下结晶的物质具有显著效果。融合结晶技术则是一种将两种或多种物质在特定条件下融合，形成共晶后分离的技术。这种方法可以实现物质的精确分离和提纯，特别适用于组分间性质相近的混合物。

2.3 超临界流体萃取技术

超临界流体萃取技术，作为化工分离领域的一项创新技术，巧妙地利用了超临界流体（如超临界二氧化碳）的独特性质，对混合物中的特定成分进行高效分离。超临界流体，是指在温度和压力均超过其临界点的条件下，物质所呈现出的一种既非气态也非液态的特殊状态。此时，流体具有极高的溶解能力和传质速率，为萃取过程提供了得天独厚的条件。在超临界流体萃取过程中，超临界流体作为萃取剂，与混合物充分接触，通过调整温度和压力等参数，可以精确控制超临界流体的溶解能力，从而实现混合物中各组分的选择性萃取。由于超临界流体在萃取过程中不产生有害副产物，且易于回收和再利用，因此该技术具有操作条件温和、无环境污染等优点。超临界流体萃取技术在食品、医药等领域得到了广泛应用。在食品行业，该技术被用于提取天然香料、色素和营养成分等，保留了食品原有的风味和营

养价值。在医药行业，超临界流体萃取技术则被用于提取中药有效成分、制备药物微球等，提高了药物的纯度和生物利用度。此外，超临界流体萃取技术还展现出与其他分离技术的良好协同性。例如，将超临界流体萃取与蒸馏技术相结合，可以实现对混合物中各组分的更精确分离和提纯。这种技术组合不仅提高了分离效率，还降低了能耗和成本，为化工分离领域带来了新的发展机遇。

2.4 离子液体萃取技术

离子液体，作为一类新型的绿色溶剂，凭借其可设计性强、热稳定性好、不挥发等独特性质，在萃取分离领域中展现出了显著的优势。离子液体是由有机阳离子和无机或有机阴离子组成的，在室温或接近室温下呈现液态的盐类。其独特的离子结构使得离子液体具有极高的溶解能力和选择性，为化工分离提供了新的思路。在离子液体萃取技术中，离子液体作为萃取剂，与混合物中的目标成分发生相互作用，通过调整离子液体的组成和结构，可以实现对目标成分的高效萃取和分离。由于离子液体不挥发、热稳定性好，因此可以在较宽的温度范围内进行萃取操作，且不会对环境造成污染。离子液体萃取技术在化工分离中具有广泛的应用潜力。例如，在石油化工行业，离子液体可以被用于从烃类混合物中萃取芳香烃等有价值的产品，提高资源的利用率。在环保领域，离子液体则可以被用于处理废水中的重金属离子和有机污染物，实现废水的净化和资源的回收^[3]。此外，离子液体的可设计性使得其可以根据特定的萃取需求进行定制。通过调整离子液体的阳离子和阴离子的种类和结构，可以实现对不同目标成分的选择性萃取，为化工分离提供了更多的可能性和灵活性。

3 分离技术的未来发展趋势

3.1 高效节能

在未来，分离技术的发展将更加注重新型分离材料的开发和降低能耗。首先，新型分离材料的开发将是关键。传统的分离材料往往存在选择性不高、稳定性差等问题，导致分离效率低下。因此，开发具有优异选择性、高稳定性和可再生性的新型分离材料将成为研究重点。例如，通过纳米技术制备的纳米膜材料，不仅具有极高的比表面积和孔隙率，还能实现对特定分子的精确筛选，从而提高分离效率。其次，优化分离工艺也是提高分离效率和降低能耗的重要途径。传统的分离工艺往往存在步骤繁琐、能耗高的问题。通过简化工艺流程、采用连续化生产方式、优化操作参数等措施，可以显著降低能耗和提高生产效率。例如，采用膜分离技术替代传统的蒸馏和萃取工艺，可以实现低能耗、高效率的分离效

果。最后，提高设备自动化程度也是实现节能降耗的重要手段。通过引入先进的自动化控制系统和智能传感器，可以实现对分离过程的精确控制和优化，从而减少人为干预和误差，提高分离精度和稳定性。

3.2 绿色环保

随着环保要求的日益严格，分离技术将更加注重减少环境污染。在分离材料方面，生物基和可再生材料将受到更多关注。这些材料不仅来源广泛、可再生性强，而且在使用过程中对环境的影响较小。例如，利用天然高分子材料制备的分离膜，不仅具有优异的分选性能，还能在废弃后自然降解，减少对环境的污染。在分离工艺方面，绿色化学原理将被广泛应用于分离过程中。通过采用无毒或低毒的溶剂、催化剂和反应条件，可以显著减少分离过程中产生的有害废物和副产品。同时，废物的有效处理和资源化利用也是实现绿色环保的重要途径。例如，通过采用先进的废水处理技术，可以将分离过程中产生的废水转化为有价值的资源，如中水回用、盐类回收等。

3.3 智能化与自动化

智能化和自动化技术将广泛应用于分离过程中，实现微观过程控制，提高分离精度和稳定性。首先，先进的传感器和控制系统将成为分离过程中的重要组成部分。通过引入高精度的传感器和智能控制系统，可以实时监测分离过程中的关键参数和指标，如温度、压力、流量等，从而实现对分离过程的精确控制和优化。这不仅可以提高分离精度和稳定性，还可以减少人为干预和误差，提高生产效率。其次，数据分析技术也将被广泛应用于分离过程中。通过采集和分析大量的生产数据，可以深入了解分离过程的内在规律和机制，从而优化工艺参数和操作条件，提高分离效率和产品质量^[4]。同时，数据分析技术还可以用于预测和预防潜在的生产问题，提高生产的安全性和稳定性。最后，智能化和自动化技术还将推动分离设备的创新和发展。通过引入先进的机

器人技术、人工智能算法等，可以实现分离设备的自动化操作和智能化管理，从而提高设备的运行效率和维护便捷性。

3.4 跨领域融合

分离技术将与其他领域的技术进行深度融合，如纳米技术、生物技术等。首先，纳米技术与分离技术的结合将产生新的分离材料和工艺。通过利用纳米材料的特殊性质，如高比表面积、量子尺寸效应等，可以制备出具有优异分选性能和选择性的纳米分离材料。同时，纳米技术还可以用于优化分离设备的结构和性能，提高设备的分离效率和稳定性。其次，生物技术与分离技术的融合将推动生物分离技术的发展。通过利用生物技术的原理和方法，如酶催化、微生物发酵等，可以实现对生物大分子、细胞等复杂体系的精确分离和纯化。这将为生物制药、生物工程等领域的发展提供有力的支持。

结语

化工分离技术作为化学工程的重要分支，在提高产品质量、降低能耗、减少环境污染等方面发挥着重要作用。通过对传统分离技术的优化和新型分离技术的开发，分离技术不断向更高效、更环保的方向发展。未来，随着科学技术的进步和环保要求的提高，分离技术将在化工工艺中发挥更加重要的作用，推动化工产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 化工分离提纯过程节能关键技术通过鉴定[J]. 浙江化工, 2022, 53(01): 9.
- [2] 何诗雨. 化工分离技术的发展及其应用[J]. 化工设计通讯, 2019, 45(11): 52+82.
- [3] 郑雨婷, 方冠东, 张梦波, 等. 微化工精馏分离技术研究进展[J]. 化工学报, 2024, 75(01): 47-59.
- [4] 王旭. 大型煤化工项目烯烃分离工艺技术分析[J]. 化工管理, 2022, (35): 144-146.