

Application and optimization of solvent extraction in chemical separation and purification

Lili Jia

Liaoning Kailaiying Pharmaceutical Chemistry Co., Ltd., Jinzhou, Liaoning, 121000, China

Abstract

Solvent extraction is a crucial separation and purification technique in chemical processes, widely applied across various fields of the chemical industry due to its high efficiency and selectivity. This paper delves into the fundamental principles and characteristics of solvent extraction and provides a detailed exposition of its applications in petrochemicals, fine chemicals, and hydrometallurgy. Additionally, through case studies, it illustrates the effectiveness of optimized solvent extraction processes in enhancing separation efficiency, reducing costs, and minimizing environmental pollution. Furthermore, it looks ahead to the future development directions of solvent extraction technology, aiming to offer more comprehensive and in-depth insights for professionals in the chemical industry, promoting continuous innovation and development in solvent extraction technology within the chemical sector.

Keywords

solvent extraction; chemical industry; separation and purification; optimization

溶剂萃取法在化工分离纯化中的应用与优化

贾丽丽

辽宁凯莱英医药化学有限公司, 中国·辽宁锦州 121000

摘要

溶剂萃取是化工过程中重要的分离纯化技术, 因其高效率和高选择性, 已被广泛应用于化学工业的各个领域。本文对溶剂萃取法的基本原理和特点进行深入的研究, 并对其在石油化工、精细化工和湿法冶金等领域的应用进行详细的阐述。同时, 结合实例分析, 说明优化后的溶剂萃取工艺在提高分离效率、降低成本和降低环境污染方面的效果。同时, 展望溶剂萃取技术未来的发展方向, 以期为化学工业从业人员提供更全面、更深层次的借鉴, 促进溶剂萃取技术在化工领域的持续创新和发展。

关键词

溶剂萃取法; 化工; 分离纯化; 优化

1 引言

在化工生产中, 为得到高纯度的目标产物, 或者回收有用组分, 经常需要对混合物进行分离提纯。分离纯化工艺的优劣, 不仅影响产品质量, 而且影响生产成本, 还影响资源的利用与环境保护。溶剂萃取作为一种经典的分离方法, 具有操作简单, 分离效率高, 选择性好, 易于连续生产等优点, 可有效地实现液相中不同组分的分离, 特别适合处理复杂体系。随着化学工业的发展, 对产品纯度的要求越来越高, 溶剂萃取技术作为一种重要的化工产品, 已成为一种重要的技术手段。同时, 为适应多样化的化工生产需求, 对溶剂萃取工艺进行优化与改进已成为当前的研究热点。

2 溶剂萃取法的基本原理与特点

溶剂萃取法利用溶质在两种互不相容(或微溶)的溶剂中的溶解度或分配系数的差异, 将溶质从一种溶剂转移到另一种溶剂(图1)。

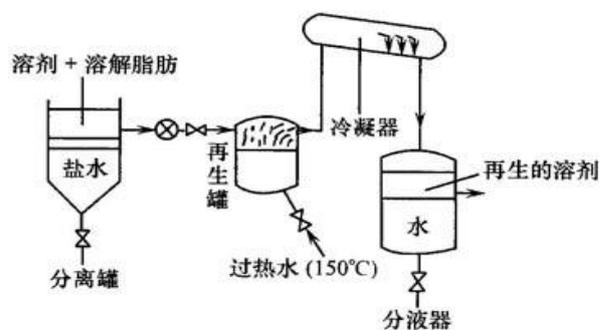


图2-4 溶剂萃取法工艺流程

图1 溶剂萃取法工艺流程

【作者简介】贾丽丽(1987-), 女, 满族, 中国辽宁锦州人, 本科, 工程师, 从事应用化学专业(化工方向)研究。

溶剂萃取法的特点是：①高效率。溶剂萃取法能在较短的时间内实现物质的高效率分离。选择合适的萃取剂，优化萃取条件，使目标物在气液两相中迅速达到分配平衡，达到高效萃取的目的。相较于蒸馏、结晶等传统分离方法，溶剂萃取可有效避免高温等因素对物质性质的破坏，提高分离效率。②选择性好。萃取剂对不同溶质具有不同亲和力，可实现目标物和杂质的高效分离。这一选择性对于复杂的混合体系具有重要意义，可定向提取目标组分，提高产物纯度。③操作简单。溶剂萃取法是一种比较简单的方法，主要有料液和萃取剂的混合、静置分层和分离三个步骤。对设备的要求比较低，常用的萃取装置有混合澄清罐、萃取塔等，这些设备结构简单，安装简单，操作简单，便于维护，适用于大规模工业化生产^[1]。

3 溶剂萃取法在化工领域的应用

3.1 石油化工领域

3.1.1 芳烃萃取

石油炼制过程中，芳烃萃取是获得高纯度芳香烃（如苯、甲苯和二甲苯等）的重要途径。目前对芳烃提取的传统方法主要是采用液-液萃取法，如环丁砜、N-甲酰吗啉等。例如，采用环丁砜作为萃取剂的芳烃萃取过程中，原料油（如转化油）与环丁砜（环丁砜）在萃取塔中逆流接触，芳烃在环丁砜中溶解度远高于原料油，经多步萃取、反萃取等过程可获得高纯度芳烃产物。该技术可将石油馏分中的芳香烃进行有效分离，为后续芳烃深加工提供优质原料，提升石油资源综合利用价值^[2]。

3.1.2 油品脱硫

随着环保要求的不断提高，降低油品中硫含量已成为石化工业亟待解决的问题。溶剂抽提技术对油品脱硫有其独特的优越性。例如，以离子液体为萃取剂，用于汽油和柴油等油品的脱硫。离子液体具有高度可设计性、高选择性和极低的蒸气压等优点。在油品脱硫过程中，离子液体中的阴离子可以与油品中的硫化物发生络合作用，将油品中的硫化物向离子液体相转移，从而达到脱硫的目的。相较于传统加氢脱硫技术，溶剂提取脱硫技术操作条件温和，能耗低，无氢排放，可有效降低油品脱硫成本，降低环境污染^[3]。

3.2 精细化工领域

3.2.1 天然产物提取

从天然动植物中提取活性成分是精细化工领域的一个重要研究方向，溶剂萃取法在天然产物提取中得到了广泛的应用。如从中药中提取有效成分如生物碱类、黄酮类等，要根据目的组分的性质选择合适的萃取剂。针对极性强的生物碱，通常以酸性水溶液为萃取剂，利用生物碱在酸性条件下成盐而在水相中溶解的特点来提取；黄酮类物质的提取可以用乙醇和乙酸乙酯作为溶剂。在此基础上，进一步优化萃取条件，实现对天然产物的提取与纯化，为天然药物、食品添加剂、化妆品等精细化学品的制备提供高质量的原料。

3.2.2 有机合成产物分离

有机合成过程中，产物成分复杂，为获得高纯度的产物，需对其进行分离纯化。溶剂萃取是有机合成产物分离的重要方法。例如，在药物合成中，在反应完成后，产品中可能会含有一些杂质，如未反应的原料、副产物和催化剂。选择适当的萃取剂，可以将待测药物分子从反应液中萃取出来，从而达到从杂质分离的目的。如在合成抗生素时，通过特定有机溶剂提取反应液，利用目标产物与杂质的溶解度差异，将目标产物分离到有机相中，再经反萃取、结晶等操作，获得高纯度抗生素产品^[4]。

3.3 湿法冶金领域

3.3.1 金属离子分离与富集

在湿法冶金中，常采用溶剂萃取法对浸出液中的金属离子进行分离富集。如铜湿法冶炼时，矿石经浸出后可得到含铜离子及其他杂质离子（如Fe、Zn等）的溶液。以Lix系列羟肟为萃取剂，可以实现对铜离子的选择性萃取。Lix作为萃取剂，其肟基团可与铜离子形成稳定配合物，在适当的pH条件下，铜离子由水相向有机相迁移，其他杂质离子滞留于水相中，从而实现铜和杂质离子的高效分离。采用多级萃取-反萃取工艺，可获得高纯度的铜液，供后续电积等生产金属铜。该工艺可有效地提高金属回收率、降低生产成本、降低环境污染。

3.3.2 稀有金属提取

对于锂、铷、铯等稀有金属的萃取，溶剂萃取法也是一项重要的研究课题。盐湖卤水锂是重要的锂源之一，卤水中含有大量的Na、K、Mg等杂质离子，对盐湖卤水锂的开发至关重要。利用冠醚和磷酸酯两种萃取剂实现对锂离子的选择性萃取。冠醚类萃取剂能与锂离子形成稳定的配合物，调控萃取剂浓度、溶液pH、温度等条件，实现锂离子与其他杂质离子的分离富集^[5]。

4 溶剂萃取法的优化策略

4.1 萃取剂的筛选与优化

4.1.1 新萃取剂的研究与开发

针对传统萃取剂存在毒性大、成本高、选择性差等缺点，本项目拟开展新型萃取剂的研究。近年来，新的萃取剂如离子液体、超临界流体和功能聚合物等备受关注。离子液体具有良好的可设计性、极低的水蒸气压和良好的化学稳定性，通过阴阳离子结构的调控实现对特定溶质的高选择性。以超临界二氧化碳为代表的超临界流体因其高扩散系数、低粘度及可调的溶解性能，在热敏性物质及难挥发性物质的萃取中具有独特的优势。功能化聚合物在目标物质中引入特定功能基团，实现对目标物质的选择性吸附与提取。

4.1.2 萃取剂的合成

通过复配两种或两种以上萃取剂，利用二者的协同效应，提高萃取效率和选择性。例如，通过复合萃取机理不同的萃取剂（如酸-中性）协同萃取金属离子，拓宽萃取体系

的 pH 范围,提高萃取效率。同时,复合萃取剂还改善萃取剂的粘度和相分离速率等物理性能。

4.1.3 萃取剂的改性

在已有萃取剂基础上,引入特殊功能基团或结构,使其性能发生变化,从而提高萃取效果。如通过结构修饰、引入长链烷基基团等手段,提高萃取剂的溶解性、选择性,提高 Cu 的萃取效率与反萃性能。

4.2 萃取工艺的优化

4.2.1 多级萃取与逆流萃取

采用多级萃取与逆流萃取相结合的方法,提高提取率,提高产品的纯度。多级萃取是指将多个萃取单元串联起来,使萃取液和萃取液在不同萃取单元间依次接触,逐步增加萃取液中溶质的浓度。逆流萃取是将萃取液和萃取剂在萃取装置内逆流流动,使萃取液在萃取过程中始终保持较大浓度差,提高萃取效率。例如,采用多级逆流萃取技术,有效地提高芳烃的收率和纯度。

4.2.2 耦合技术的应用

将溶剂萃取与其他分离技术相结合,充分发挥各自的优势,提高分离效率。如将萃取与膜分离相结合,构建萃取膜分离技术,利用膜的选择透过性与萃取剂的萃取性能,实现溶质的高效分离富集。针对含微量有机物的废水,利用萃取膜分离技术高效地提取和富集废水中的有机物,实现萃取剂的循环使用,降低处理成本。同时,将萃取-色谱联用技术相结合,实现对复杂混合物中微量组分的分离分析,提高分离精度和灵敏度。

4.2.3 连续化萃取工艺的改进

对连续化萃取装置及工艺参数进行优化,提高连续化生产的稳定性与效率。利用先进的自动控制技术,对萃取过程中的温度、流速、相比等参数进行实时监控与调整,保证萃取过程始终处于最优操作状态。如在大型石化企业芳烃提取装置中,采用先进的自动控制系统,可实现对萃取过程的精确控制,提高产品品质稳定性,降低能源消耗与人力成本。

4.3 萃取设备的改进与优化

4.3.1 新型萃取设备的开发

开发新的萃取装置,提高萃取效率,强化传质,促进相分离。如微流道提取器利用微流道尺寸小、比表面积大等特点,实现萃取剂-料液快速混合与高效传质,极大地缩短萃取时间,提高萃取效率。离心萃取装置通过离心力加速相分离过程,适合处理密度差异小或易乳化的体系,可有效提升萃取装置的处理能力及分离效果。

4.3.2 现有萃取设备的优化改造

通过改进设备结构和优化内部部件等传统提取设备,

提高设备性能。如采用高效搅拌器、新型导流装置等,可以改善搅拌效果,促进相分离;萃取塔中加装高效填料或塔盘,可增大气-液接触面积,提高传质效率。

4.4 萃取过程的控制与监测

4.4.1 在线监测技术的应用

利用在线监测技术,对萃取过程中溶质浓度、pH、温度、流速等关键参数进行实时监控,实现对萃取过程的优化调控。常用的在线监测方法有光谱分析,电化学分析等。如采用在线红外光谱技术实时监控萃取过程中溶质浓度变化情况,根据监测结果及时调整萃取剂添加量及操作条件,保证萃取过程稳定高效。

4.4.2 自动化控制策略的实施

利用自动控制策略,实现萃取过程的精确控制。在此基础上,采用自适应控制和预测控制等先进控制算法对萃取过程进行自动调整。例如,在萃取过程中,根据 pH 值、金属离子浓度等参数,自动调整酸、碱添加量、萃取剂流速等参数,使萃取过程始终处于最优状态,从而提高萃取效率,提高产品品质。

5 结论

溶剂萃取技术因其高效率和高选择性被广泛应用于化工、精细化工和湿法冶金等领域。本项目拟在此基础上,通过对萃取剂的筛选优化、萃取工艺的优化、设备的升级改造和过程的精确监控,大幅提高分离效率,降低生产成本,减轻环境污染。实例表明,采用优化后的溶剂提取工艺,可使产品的收率和纯度有很大的提高。从长远来看,环境友好型萃取技术是未来的发展趋势,智能化和自动化技术的深度融合将实现精确控制和高效生产,多学科的交叉将促进技术创新。溶剂萃取技术不断创新,为我国化学工业的可持续发展奠定坚实的技术基础,推动我国化工产业迈向高质量发展的新阶段。

参考文献

- [1] 刘少洲. 离子液体与新型溶剂对化工精馏的可分离性能影响分析[J]. 山西化工,2025,45(1):140-142.
- [2] 刘萌萌. 基于膜的非分散溶剂萃取技术及其对高粘度油的分离与回收研究[D]. 浙江:浙江工业大学,2023.
- [3] 赵文博. 低共熔溶剂用于高温煤焦油洗油中喹啉/2-甲基萘的萃取分离研究[D]. 山西:太原理工大学,2023.
- [4] 李飞,彭苗苗,胡智怡,等. 酸溶液中溶剂萃取法分离钼(VI)/铁(III)的研究进展[J]. 矿冶工程,2023,43(2):118-124,129.
- [5] 成洪业,漆志文. 低共熔溶剂用于萃取分离的研究进展[J]. 化工进展,2020,39(12):4896-4907.