

抽提装置的工艺优化与节能改造策略

韩 波

宁波中金石化有限公司 浙江 宁波 315202

摘 要：本文聚焦抽提装置的工艺优化与节能改造策略，系统分析了当前行业面临的能耗高、效率低等挑战，提出了涵盖设备运行参数优化、工艺流程革新、高效设备选型、热能回收利用及能源管理系统集成等多元化解决方案。通过案例分析与技术对比，论证智能控制技术、新型分离材料及系统集成方法在提升抽提效率、降低能耗方面的显著成效，为化工、石油炼制等行业抽提装置的绿色转型提供了理论指导与实践参考。

关键词：抽提装置；工艺优化；节能改造；效率提升

引言：抽提装置作为化工分离工艺的核心设备，其运行效率与能耗水平直接关系到企业的生产成本与环保绩效。随着全球能源危机加剧及“双碳”目标的推进，传统抽提工艺的高能耗、低效率问题日益凸显，亟需通过工艺优化与节能改造实现技术升级。本文从设备、工艺、能源管理三个维度出发，探讨抽提装置的节能潜力与改造路径，旨在为行业提供一套科学、可行的技术方案，助力企业实现经济效益与环保效益的双赢。

1 抽提装置概述

1.1 抽提装置的定义

抽提装置是一种广泛应用于化工、石油炼制及制药等领域的核心分离设备，其核心功能是通过物理或化学方法，将混合物中的目标组分从复杂体系中高效分离出来。该装置通常基于溶剂萃取原理，利用不同物质在溶剂中溶解度的差异，通过混合、沉降、分离等工序实现组分的提纯与富集。抽提装置的结构设计需兼顾分离效率、处理能力及能耗控制，常包含溶剂循环系统、混合澄清器、分离塔等关键单元。随着技术进步，现代抽提装置正向高效化、智能化、绿色化方向发展，以满足工业生产对节能减排与产品品质的更高要求。

1.2 抽提装置的主要设备与工艺流程

主要设备包括：抽提塔，是抽提装置的核心设备，用于实现溶剂与原料的充分接触和混合，使目标组分溶解到溶剂中。其内部通常设有特殊的填料或塔板结构，以增加两相的接触面积，提高分离效率。溶剂回收塔，用于回收抽提过程中使用的溶剂，通过加热将溶剂从混合液中汽化分离出来，经过冷凝后重新回到抽提系统循环使用，降低生产成本^[1]。汽提塔，用于进一步分离抽提液中的溶剂和目标组分，通过通入蒸汽或加热的方式，使溶剂汽化，从而得到纯度较高的目标产品。换热器，在抽提装置中，换热器用于对物料进行加热或冷却，以

满足不同工艺阶段的温度要求，提高能源利用效率。

工艺流程：原料预处理，原料油经过过滤、脱盐脱水等预处理工序，去除其中的杂质，防止对后续设备造成堵塞或腐蚀。抽提过程，预处理后的原料油与溶剂按照一定的比例从抽提塔的不同部位进入，在塔内进行逆流接触，目标组分溶解到溶剂中，形成抽提液，而剩余的组分则形成抽余液。溶剂回收，抽提液和抽余液分别进入溶剂回收塔，通过加热将溶剂汽化分离出来，回收的溶剂经过冷凝后循环使用。产品精制，从溶剂回收塔得到的抽提液进入汽提塔，进一步分离出溶剂和目标产品，得到纯度较高的产品。抽余液也可以根据需要进行进一步的处理或利用。

2 抽提装置工艺优化策略

在化工生产中，抽提装置作为分离和提纯的关键设备，其运行效率直接影响产品质量与生产成本。随着行业技术进步与市场需求变化，对抽提装置进行工艺优化已成为企业提升竞争力的核心举措。

2.1 优化设备运行参数

设备运行参数是抽提装置工艺优化的基础，直接影响分离效率与能耗水平。具体优化策略包括：（1）温度控制。抽提塔温度是影响溶剂溶解能力的关键参数。通过精确调节塔顶和塔底温度，可提高目标组分的溶解选择性。例如，在芳烃抽提中，适当提高抽提塔温度可增强溶剂对芳烃的溶解能力，但需避免温度过高导致溶剂分解或目标组分热裂解；（2）压力调节。抽提塔压力直接影响溶剂与原料的相平衡关系。优化压力参数可提升溶剂回收率，减少溶剂损耗。例如，在超临界流体抽提中，通过调节压力使溶剂处于超临界状态，可显著提高溶质溶解能力；（3）溶剂比优化。溶剂与原料的比例直接影响抽提效果。通过实验确定最佳溶剂比，可平衡分离效率与溶剂消耗。例如，在油脂抽提中，适当增加溶

剂比可提高出油率,但需同步考虑溶剂回收成本;(4)流量控制。原料油与溶剂的流量匹配是保障分离效果的关键。通过优化进料流量,可减少返混现象,提高分离效率。例如,采用流量控制系统实时监测并调整进料速度,确保塔内物料分布均匀。

2.2 改进工艺流程

工艺流程的改进是抽提装置优化的核心,需结合实际生产需求与新技术应用。具体策略包括:一是多级抽提技术:针对复杂混合物,采用多级抽提可显著提高分离精度。例如,在石油炼制中,通过串联多个抽提塔,可实现芳烃与非芳烃的逐级分离,提升产品纯度。二是溶剂回收强化:优化溶剂回收塔的工艺条件,如增加塔板数、采用高效填料或引入侧线采出,可提高溶剂回收率,降低溶剂损耗。例如,在制药行业,通过改进溶剂回收工艺,可使溶剂回收率从85%提升至95%以上。三是热集成与能量回收:利用换热网络优化技术,实现抽提装置与其他工艺单元的热量集成。例如,将抽提塔顶蒸汽用于预热原料油,或利用溶剂回收塔的余热加热其他介质,可显著降低能耗^[2]。四是自动化与智能化:引入先进控制(APC)系统,实现抽提装置的实时监控与智能调控。例如,通过建立基于数据驱动模型预测控制(MPC),可自动调整运行参数,优化分离效果。

2.3 设备更新与换代

设备老化与技术落后是制约抽提装置效率的重要因素。设备更新与换代需结合技术发展趋势与生产需求,采用新型填料(如规整填料)或塔板结构(如浮阀塔板),可显著提高塔内传质效率。例如,在大型炼化项目中,应用高效抽提塔可使分离效率提升10%-15%。淘汰高能耗设备,采用新型节能设备。例如,将传统溶剂回收塔替换为热泵精馏塔,可降低蒸汽消耗30%以上。通过模块化设计实现设备的快速安装与维护,集成化设计则可减少占地面积与管线长度。例如,在小型化工厂中,采用集成式抽提装置可降低投资成本20%-30%。选用符合环保要求的设备材料与工艺。例如,采用耐腐蚀材料制造抽提塔,可延长设备寿命并减少泄漏风险;采用低挥发性有机物(VOCs)溶剂,可降低环境污染。

3 抽提装置节能改造策略

在化工、石油炼制等工业领域,抽提装置作为物料分离和提纯的核心设备,其能耗通常占整个生产流程的较大比例。随着全球能源危机加剧和环保政策趋严,抽提装置的节能改造已成为企业降低生产成本、实现绿色发展的关键举措。

3.1 热能回收与梯级利用

抽提塔顶蒸汽携带大量显热和潜热,直接排放不仅造成能源浪费,还可能引发环境污染。通过引入热泵技术或余热锅炉,可将塔顶蒸汽冷凝热回收为热水或低压蒸汽,用于加热原料油、溶剂预热或其他工艺单元。例如,在芳烃抽提装置中,采用热泵回收塔顶蒸汽,可使蒸汽利用率提高30%-40%,年节能效益可达数百万元。溶剂回收塔底物料温度较高,通常超过150℃,蕴含大量热能。通过换热器将塔底物料与低温原料油或溶剂进行热交换,可显著降低蒸汽消耗。例如,在油脂抽提装置中,利用溶剂回收塔余热预热原料油,可使加热炉负荷降低20%-30%,同时减少冷却水用量。抽提装置中存在大量低温余热(如冷却水、冷凝水),传统方式下直接排放。通过采用吸收式热泵或低温热发电技术,可将低温余热转化为高温热能或电能。例如,在制药行业抽提装置中,利用吸收式热泵回收冷凝水余热,可为办公区供暖或提供工艺热水,实现能源梯级利用。通过全厂热集成分析,打破装置边界,实现跨装置热量匹配。例如,将抽提装置的低温热用于相邻装置的原料预热,或将高温热源引入抽提系统替代部分蒸汽。采用夹点技术(Pinch Technology)优化换热网络,可减少公用工程消耗10%-20%。

3.2 高效设备选型与改造

传统抽提塔采用散堆填料或泡罩塔板,存在传质效率低、压降大等缺陷。替换为规整填料(如丝网波纹填料)或高效塔板(如浮阀塔板),可显著提高分离效率,降低塔高和能耗。例如,在大型炼化抽提装置中,采用规整填料替代散堆填料,可使塔板数减少30%,蒸汽消耗降低15%。传统溶剂回收塔采用常压蒸馏,能耗较高。采用真空蒸馏或膜分离技术,可降低操作温度,减少蒸汽消耗。例如,在精细化工抽提装置中,采用膜分离技术回收溶剂,能耗仅为传统蒸馏法的1/3,且溶剂纯度更高^[3]。传统管壳式换热器存在传热效率低、易结垢等问题。采用板式换热器、螺旋板换热器或新型高效换热管(如波纹管、波纹管),可提高传热系数,减少换热面积。例如,在溶剂预热系统中,采用板式换热器替代管壳式换热器,可使换热效率提高40%,占地面积减少50%。抽提装置中泵与风机能耗占比较高。采用高效离心泵、磁力泵或变频风机,结合CFD模拟优化流体通道,可降低机械能耗。

3.3 电力与机械系统节能

抽提装置中泵、风机等设备常采用定速运行,存在“大马拉小车”现象。通过安装变频器,根据实际负荷调节电机转速,可显著降低电耗。例如,在溶剂输送泵

中应用变频调速,可使泵效提高15%-20%,年节电量达数十万度。传统异步电机效率较低,损耗较大。采用永磁同步电机替代,可提高电机效率3%-5%,同时降低维护成本。例如,在抽提塔搅拌器中采用永磁同步电机,可使电机功率因数提高至0.95以上,年节电效益显著。抽提装置中机械密封泄漏和润滑系统能耗较高。采用新型机械密封(如干气密封)和集中润滑系统,可减少泄漏损失,降低摩擦功耗。例如,在高温溶剂泵中采用干气密封,可使密封寿命延长2-3倍,同时减少润滑油消耗。抽提装置中存在大量机械能损失(如泵出口余压、风机出口动能)。通过安装液力透平或膨胀机,可将机械能转化为电能。例如,在溶剂回收塔底泵出口安装液力透平,可回收能量20%-30%,实现能量自给自足。

3.4 能源管理与系统集成

建立覆盖全厂的能源管理系统,实时监测抽提装置的能耗数据,通过大数据分析挖掘节能潜力。例如,采用人工智能算法预测设备能耗趋势,提前调整运行参数,实现能源动态优化。结合厂区资源条件,建设分布式能源系统(如太阳能光伏、余热发电、生物质能),为抽提装置提供清洁能源。例如,在化工园区中,利用厂房屋顶安装光伏板,可为抽提装置提供10%-15%的电力需求。构建抽提装置的数字孪生模型,通过虚拟仿真优化工艺参数和设备运行。例如,在改造前模拟不同节能方案的效果,选择最优方案实施,降低试错成本。从设备选型、安装调试到运行维护,实施全生命周期能源管理。例如,在设备采购时考虑能效指标,在运行中定期开展能效评估,在报废时回收利用余热余能。

4 展望抽提装置工艺优化与节能改造的发展趋势

展望未来,抽提装置工艺优化与节能改造将呈现深度融合、智能化驱动、绿色低碳转型的显著趋势。一方面,随着数字化技术与工业互联网的深度渗透,基于

实时数据采集与人工智能算法的智能优化系统将成为主流,通过动态模拟与自适应控制实现工艺参数的精准调控,显著提升分离效率与能源利用率;另一方面,新型高效填料、超临界流体技术、膜分离等绿色工艺的突破性应用,将推动抽提装置向低能耗、低排放方向升级,同时结合余热回收、能量梯级利用等系统集成技术,构建全流程的能源闭环管理体系^[4]。政策驱动与市场需求的的双重作用下,企业将更加注重全生命周期成本(LCC)与碳足迹管理,通过模块化设计、标准化运维及数字化孪生技术,实现抽提装置的柔性化改造与可持续运营,最终形成技术革新、管理升级与生态协同的协同发展格局。

结束语

抽提装置的工艺优化与节能改造是化工行业绿色发展的必由之路。通过设备升级、工艺革新与能源管理系统的深度融合,企业可显著提升抽提效率、降低能耗成本,同时减少环境污染。未来,随着智能化、数字化技术的不断突破,抽提装置的节能改造将迈向更高水平。企业需紧跟技术发展趋势,结合自身实际需求,制定差异化的改造策略,以创新驱动发展,共同推动行业向绿色、低碳、高效方向迈进。

参考文献

- [1]杨峰,赵艳艳,朱自新,贺黎明.芳烃抽提装置改造与运行优化[J].石化技术与应用,2021,39(06):438-442. DOI:10.19909/j.cnki.ISSN1009-0045.2021.06.0438.
- [2]吴昆鹏,范渺.芳烃抽提装置凝结水系统换热网络节能优化[J].化工管理,2021(19):152-153.
- [3]刘金萍.芳烃抽提装置蒸汽系统节能优化[J].山东化工,2021,50(12):153-155.
- [4]刘君,宋晓东.芳烃抽提装置工艺节能优化[J].精细与专用化学品,2021,29(03):42-43.