

化工过程中的传质与传热研究进展及其经济优化路径

刁宗明 (联泓新材料科技股份有限公司, 山东 滕州 277527)

摘要: 化工生产中的传质与传热效率直接影响能源消耗与产品质量, 其技术革新始终是过程工业研究的核心命题。近年来, 新型反应器设计与强化传热技术的突破, 推动着单元操作效能的持续提升, 但技术应用的经济可行性仍面临严峻考验。本研究系统梳理传质传热领域的技术进展, 着重探讨其在产业化进程中的经济性优化策略, 试图构建技术先进性与成本可控性的平衡框架。

关键词: 化工过程; 传质与传热; 研究进展; 经济优化

中图分类号: TQ021.1 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 012-0007-03

Mass and Heat Transfer Research Progress in Chemical Processes and Its Economic Optimization Pathways

Diao Zongming (Lianhong New Materials Technology Co., Ltd., Tengzhou Shandong 277527, China)

Abstract: The efficiency of mass and heat transfer in chemical production directly impacts energy consumption and product quality, making technological innovation a core focus in process industry research. In recent years, breakthroughs in novel reactor design and enhanced heat transfer technologies have continuously improved the performance of unit operations. However, the economic feasibility of these technological applications still faces significant challenges. This study systematically reviews technological advancements in mass and heat transfer, with a particular emphasis on economic optimization strategies in industrial implementation, aiming to establish a balanced framework between technological advancement and cost controllability.

Keywords: chemical process; mass and heat transfer; research progress; economic optimization

传质传热研究的工程化转化正面临技术经济双重门槛, 单纯追求理论突破已无法满足现代化工的发展需求。如何在提升过程效率的同时控制改造成本, 成为制约技术推广应用的核心难题。本研究从系统工程的视角切入, 剖析传质传热技术进展的产业化衔接机制。

1 化工过程中的传质与传热研究进展

1.1 传质过程的研究进展

传质指物质在不同相态或者不同浓度之间发生迁移的过程, 它的基本原理包含扩散、对流以及渗透等, 在化工生产当中, 对传质过程加以优化, 对于提升生产效率以及提高产品质量有着重要的意义。

金属阶梯环填料是化工填料里很典型的一种, 如果优化它的几何参数, 像环高、环宽以及阶梯角度等, 就能有效调控流体流动状态, 减少沟流和短路现象, 让气液分布变得更加均匀, 这样就能很大程度提高传质系数。这种填料不但提高了表面积利用率, 还明显增强了气液两相间的接触效率, 推动了传质过程加快, 随着智能制造和大数据技术应用越来越深入, 金属阶梯环填料的研究变得更加精细、智能, 通过实时监测反应过程里的关键参数, 动态调整操作条件, 有希望实现生产过程的优化控制, 提高传质效率。

膜分离技术是一种高效的传质过程, 在溶液的浓缩、提纯以及分离等领域广泛使用, 随着膜材料不断

创新以及制备工艺优化, 新型高效渗透膜的研发有了快速发展, 这些新型膜材料有更高的选择性、更好的稳定性以及更长的使用寿命, 能提高传质效率和产品质量。另外膜技术的集成应用也越来越广泛, 比如把膜分离技术跟化学反应、蒸馏等过程结合起来, 能形成能效更高、能耗更低的化工过程。

CFD 模拟技术是一种很强大的工具, 可以研究填料内部复杂的流动与传质机制, 通过 CFD 模拟, 可预测和优化填料内部的流体流动状态、传质系数等关键参数, 给优化设计提供科学依据^[1]。结合先进的实验技术和数据分析方法, CFD 模拟技术还可以用来研究传质过程中的微观机制和影响因素, 给传质过程的优化提供新的思路和方法。

1.2 传热过程的研究进展

传热指热能从高温区域往低温区域移动的过程, 它的基本原理含有热传导、热对流以及热辐射, 在化工生产当中, 传热过程的优化对维持系统平衡、提升能量利用效率意义重大。

微细尺度传热学是从空间尺度和时间尺度都很微细的角度去探讨研究传热学规律的新兴领域。随着微米、纳米科学快速发展, 微细尺度传热学在化工、电子、能源等领域被广泛使用, 在化工过程里, 微细尺度传热学的研究有利于揭示微观尺度下热量传递的机理和

规律,给设计高效传热设备提供理论依据,比如借助优化微通道结构、提高表面微结构特性等办法,可明显提高传热效率和热交换性能。

强化传热过程的研究主要是靠改进换热器设备的形式、发明新的传热材料以及改进生产工艺等方法来提高传热效率,比如采用翅片管式换热器、螺旋槽管式换热器等新型换热器结构,可很大增大传热面积和传热系数;采用高导热系数的材料当作传热介质,可以提高传热速率和效率。

另外通过对传热过程的精确控制和优化,还可实现能量的高效利用和回收,比如在余热回收系统中,通过优化传热过程和热交换设备的设计,可实现对余热的充分回收和利用,提高能源利用效率。

近些年传热理论研究在滴状冷凝、相变传热等领域有了新进展。滴状冷凝是一种高效的传热方式,不过怎样实现稳定的滴状冷凝并延长冷凝表面的寿命一直是传热学研究的热点之一,通过改变冷凝界面的性质、优化冷凝条件等手段,可实现对滴状冷凝的有效控制和优化。

此外随着计算机技术发展和数值模拟方法不断完善,传热理论研究也展现出更精确的趋势^[2]。通过数值模拟和实验验证相结合的方法,可更准确地揭示传热过程的机理和规律,给传热过程的优化提供新的思路和方法。

1.3 传质与传热相互作用的研究进展

在化工过程里面,传质跟传热常常是相互联系、相互产生影响的,所以对传质和传热相互作用展开的研究,也是化工领域一个重要的课题,在化学反应、分离这类化工过程当中,物质的混合、接触、反应以及能量的传递,全都要依靠传质和传热。

就像在反应釜中,反应物借助传质过程相互接触然后发生反应,与此同时反应过程里产生的热量又通过传热过程传递给周围环境或者用来维持反应温度,这种能量与物质的耦合传递,不但会影响反应速率以及产品质量,还会决定整个化工过程的能耗。

在化工生产中,多相流传质与传热过程普遍存在,比如在气液反应器中,气体和液体之间的传质与传热过程,对反应速率和产品质量有着重要影响,通过优化多相流传质与传热过程的设计和控制,可实现反应速率的提高以及产品质量的提升。

为了达成化工过程的整体优化,需要全面考虑传热与传质过程的协同作用,通过合理选择传热与传质方式、优化设备结构、提高传热与传质效率等办法,可以实现化工生产过程中的物质高效利用以及节能减排,比如在蒸馏塔中,通过优化塔板结构和操作条件,可同时提高传热效率和传质效率,实现产品的高效分

离和回收^[3]。

2 化工过程中的传质与传热经济优化路径

2.1 传热过程的经济优化路径

在探索传热过程的经济优化路径时,创新技术和策略的应用特别关键,像微纳结构表面、螺旋肋管以及相变材料等新型传热元件被引入,为明显提升传热效率开拓了新途径,这些元件靠大幅增加换热面积和改善流体流动状态,有效提高了传热系数,既强化了传热性能,还通过缩小传热温差降低了能耗,这样就实现了经济效益的很大提升。具体来讲微纳结构表面凭借其独特的微观结构,明显增加了流体与固体表面的接触面积,提高了热交换效率;螺旋肋管通过改变管壁的几何形状,优化了流体在管内的流动状态,减少了流动阻力,提升了传热性能;相变材料利用其在相变过程中吸收或释放大量热量的特性,实现了高效的热能转换和储存。运用自适应控制系统能让传热过程进行智能化调控,该系统可以根据工况变化实时调整操作参数,像流量、温度等,以保证传热效率达到最大,通过实时监测和分析传热过程的数据,智能调控系统能精准识别并调整设备运行状态,有效避免不必要的能耗,实现能源高效利用。这种智能化调控方式,不但提高了传热过程的稳定性和可靠性,还为企业带来很大经济效益,热集成技术的应用也给传热过程的经济优化提供了有力支持,该技术通过分析和优化工艺流程中的热流网络,实现了低温热源向高温热源的梯级利用。通过合理配置换热器网络,不同温度区间的热能得到充分利用,明显减少了能源浪费,余热锅炉、废热锅炉和热泵等热回收系统的应用,更是把原本被当作废弃的热能转化为有价值的蒸汽或热水供其他工艺使用,这一做法不但降低了企业对外部能源的依赖,还减少了环境污染,实现了经济效益和环境效益双重提升。在传热设备的结构设计方面,采用紧凑型换热器也很重要,这类换热器不仅占地面积小,还可以通过缩短流体路径、降低压力损失,提高换热效率,通过合理布局设计,可优化管道布置,减少流体阻力,避免局部过热或冷却不均现象发生,提升传热效率。利用三维模拟软件进行预先模拟分析,能对传热设备的结构设计和工艺流程进行优化,发现潜在问题并改进,降低设计成本和生产风险,这些创新技术和策略的应用,共同推动了传热过程经济优化路径不断发展^[4]。

2.2 传质过程的经济优化路径

在探索传质过程的经济优化办法时,一系列创新技术和策略的运用就变得特别重要,像金属阶梯环与规整填料这类新型填料的采用,给传质系数的明显提高以及气液分布的优化给予了有力支持,这些填料依

靠其独特的结构设计，有效减少了沟流与短路现象，让气液两相在填料层内的接触更充分，这样就大幅提高了传质效率。并且这些新型填料还可以通过降低压降来减少能耗，这对提升整体经济效益有积极作用，膜分离技术作为传质过程里的一种高效手段，它的应用越来越普遍，通过不断研发新型膜材料和优化制备工艺，膜的选择性和通透性得到很大提升，提高了传质效率。另外膜技术的集成应用也成了优化和整合多种化工过程的有效办法，这不但降低了生产成本，还提高了资源利用率，膜的选择性和通透性常常会受到操作条件的影响，在实际应用中，要依据具体的传质需求，挑选合适的膜材料和操作条件，来实现最佳的传质效果^[5]。在传质过程中，温度和压力是影响传质速率的关键因素，通过优化操作条件，比如合理提高蒸发器的操作温度或者优化蒸发器的压力梯度，可以明显提高溶质的挥发速率，加快传质过程，不过过高的操作温度和压力也可能引发一系列问题，像能量浪费、设备损坏等。所以在实际操作中，要找到一个合适的平衡点，保证传质效率与能耗之间的最优关系，为了提高传质效率，增加搅拌或液体循环强度也是有效的措施，这些措施通过提高液体与气体之间的接触面积和接触时间，促进了传质过程的加快。同时通过优化设备结构，比如改进搅拌器的设计或者增加液体循环管道，还可以降低能耗，提高整体经济效益，在传质过程的优化中，CFD 模拟技术发挥着越来越重要的作用，该技术可研究填料内部复杂的流动与传质机制，预测和优化填料内部的流体流动状态、传质系数等关键参数。通过模拟分析，可以及时发现潜在问题并改进，降低设计成本和生产风险，此外结合微观尺度和宏观尺度的模拟方法，能更全面地了解传质过程中的物理和化学机制，为传质过程的精确控制和优化提供有力支持。

2.3 传热与传质过程的协同经济优化路径

在化工生产的进程中，传热与传质过程的协同经济优化变成了提升整体能效以及产品质量的关键途径，这两个过程常常相互缠绕、相互产生影响，一起作用在反应速率、选择性还有能源消耗等多个方面，在反应釜这个典型的化工设备里面，传热与传质的协同优化显得格外重要。经过精心设计传热元件与传质通道，可保证反应物在高效混合的同时实现反应热的马上移除，这样不但加速了化学反应的进程，还明显提高了产物的选择性，具体来讲采用高效的热交换器与优化的搅拌系统，可保证反应体系内的温度均匀分布，同时促进反应物与产物的有效传质，在提升反应速率的同时保障了产品质量的稳定性^[6]。多效蒸发技术通过串联多个蒸发器，巧妙地把前一效蒸发器产生的

二次蒸汽当作下一效蒸发器的加热蒸汽，达成了热能的梯级利用，在这个过程中，通过精细调控各效蒸发器的操作条件，像温度、压力以及流量等，可以最大化传热效率与传质速率，在降低能耗的同时明显提升了整体系统的热能利用效率。集成热泵技术推动了多效蒸发过程中的余热回收与再利用，让原本被浪费的低温热能得以转化为高温热能，供其他工艺环节使用，这不但提高了能源利用效率，还为企业带来了明显的经济效益，EMS 可全面监控与管理整个工厂的能源使用状况，包含传热与传质过程在内的所有能源消耗单元。通过实时数据分析与智能调度，EMS 可精准识别能效低下的环节，并制定出针对性的改进措施，而且 EMS 可根据实际生产需求动态调整能源分配，有效避免了能源的过度消耗与浪费，通过这一系列的优化措施，不但实现了传热与传质过程的深度协同，还明显提升了整体能效比与经济效益，为化工企业的可持续发展奠定了坚实基础^[7]。

3 结束语

在化工过程中，传质与传热的研究进展不断推动着行业的技术革新与能效提升。通过探索新型材料、优化设备设计与操作条件，以及集成智能管理系统，实现了传质与传热过程的深度协同与经济优化。这些努力不仅提升了产品质量与生产效率，还显著降低了能耗与生产成本，为化工行业的绿色、可持续发展开辟了广阔前景。

参考文献：

- [1] 赵实柱, 郎翠莲. 考虑传质过程的化工反应器多相流体动力学优化 [J]. 化学工程与装备, 2024, (09): 37-39.
- [2] 王猛, 谢东, 周益辉, 等. 活性炭床吸附 VOCs 传热传质耦合数值模拟研究 [J]. 南华大学学报(自然科学版), 2024, 38(04): 37-44+49.
- [3] 张仕凯, 罗沧海, 郑园, 等. 微反应器强化传热传质在化工过程的应用 [J]. 能源环境保护, 2023, 37(05): 174-182.
- [4] 刘立新, 赵晓非, 王爱荣, 等. 基于直接接触膜蒸馏脱盐过程传质传热的综合实验设计 [J]. 北部湾大学学报, 2023, 38(02): 22-27.
- [5] 钟国栋, 邓超和, 王洋, 等. 蜂窝状水凝胶吸附床传热传质特性数值模拟及验证 [J]. 化工学报, 2022, 73(03): 1083-1092.
- [6] 张品, 段欢欢, 刘群生, 等. 吸附式制冷系统吸附床传热传质强化研究现状 [J]. 制冷技术, 2021, 41(03): 12-17+36.
- [7] 王江萍, 韩路. 基于 Fluent 的天然气管道泄漏传质传热研究 [J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2020, 35(05): 108-115.