

化工设备中传热过程的模拟与优化

刘玉平

延长石油榆林煤化有限公司 陕西 榆林 719000

摘要: 在化工生产中, 传热过程的效率直接关系到能源消耗、生产成本以及产品质量。随着数值模拟技术的发展, 通过模拟来分析和优化传热过程变得日益重要。本文详细探讨了化工设备传热过程的模拟技术, 并深入研究了优化传热效率的具体策略, 以期为化工生产的节能减排提供技术支持。

关键词: 化工设备; 传热; 数值模拟; 优化策略

引言

在化工生产中, 传热过程是一个核心环节, 它涉及到能量的转换与利用效率, 直接影响产品的质量与生产成本。随着计算技术的发展, 传热过程的模拟与优化成为提升化工生产效率的重要手段。本文将对传热过程的模拟方法及其优化策略进行系统的阐述。

1 传热过程的基本原理与影响因素

传热主要包括热传导、对流和辐射三种方式。在化工设备中, 热传导通常发生在固体与固体之间, 而对流则主要涉及流体与固体壁面之间的热量交换。辐射传热在特定条件下也会起到重要作用。传热效率受到多种因素的影响, 包括流体的性质(如热导率、比热容、粘度等)、设备的结构(如热交换面积、流道形状等)以及操作条件(如流速、温度差等)。

2 传热过程模拟的关键环节

2.1 模拟软件与算法选择

在进行传热过程的模拟时, 选择合适的模拟软件和算法是至关重要的。这直接决定了模拟的准确性和效率。当前市场上存在多种传热模拟软件, 其中, ANSYS Fluent和CFD等是业界广泛认可的工具。这些技术的核心技术主要基于计算流体力学(CFD)和有限元分析(FEA)原理。ANSYS Fluent, 以其强大的流体模拟能力和用户友好的界面, 在化工、航空航天、汽车等多个领域都有广泛应用。它特别适合模拟复杂的流体流动和传热问题, 如自然对流、强迫对流以及辐射传热等。而CFD软件则更侧重于流体动力学的计算, 能够精确地模拟流体在复杂几何形状中的流动情况, 对于涉及复杂流道的化工设备传热模拟尤为适用。在模拟传热过程时, 算法的选择直接影响到模拟的精度和计算时间。有限体积法(Finite Volume Method, FVM)和有限元法(Finite Element Method, FEM)是两种最常用的算法。有限体积法以物理守恒定律为基础, 将计算区域划分为一系列不

重叠的控制体积, 并在每个控制体积上对一个守恒型的控制方程进行积分, 从而得到一组离散方程。这种方法在流体动力学和传热学模拟中表现出色, 尤其适用于处理复杂边界条件和不规则网格^[1]。有限元法则是将求解区域划分为一系列小的、相互连接的单元, 并在每个单元内假设一个近似的解函数。通过求解这些单元上的方程组, 可以得到整个求解区域的近似解。有限元法在处理固体力学和结构分析问题方面具有显著优势, 但在传热和流体动力学模拟中同样表现出强大的适用性。

2.2 模型建立与网格划分

在传热过程的模拟中, 模型建立和网格划分是至关重要的步骤, 它们直接关系到模拟结果的准确性和计算效率。几何建模是模拟的基础, 它要求根据实际化工设备的几何形状和精确尺寸, 在模拟软件中构建出相应的三维模型。建模过程中, 需要特别注意设备中的每一个细节, 如流道的形状、大小、弯曲程度等, 因为这些细节都会对传热效果产生影响。此外, 还需考虑设备中可能存在的障碍物、隔板或其他影响流体流动和传热的结构。这些结构的准确建模, 对于后续模拟的精确性至关重要。为了确保模型的准确性, 通常会采用专业的CAD(计算机辅助设计)软件进行初步建模, 然后再将模型导入到传热模拟软件中。这样做的好处是可以充分利用CAD软件在几何建模方面的优势, 同时确保模拟软件能够准确地读取和处理模型数据。在几何模型建立完成后, 接下来的关键步骤就是进行网格划分。网格划分实际上是将连续的物理空间离散化, 将其划分为一系列小的、相互连接的网格单元。这些网格单元是模拟计算的基本单位, 所有的物理量(如温度、压力、速度等)都会在这些网格单元上进行计算和存储。网格的精细程度直接影响到模拟的精度和计算时间。一般来说, 网格越精细, 模拟结果越准确, 但同时计算时间也会相应增加。因此, 在进行网格划分时, 需要权衡模拟精度和计

算效率之间的关系。对于关键区域（如流动狭窄处、流体速度变化剧烈的地方等），通常需要采用更精细的网格以确保模拟的准确性；而在非关键区域，则可以适当采用较粗的网格以减少计算量。此外，网格的类型（如结构化网格、非结构化网格等）和网格质量（如网格的正交性、光滑性等）也会对模拟结果产生影响。因此，在进行网格划分时，需要根据具体问题的特点和需求，选择合适的网格类型和划分策略。

2.3 物性参数与边界条件设置

在传热过程的模拟中，物性参数和边界条件的准确设置是确保模拟结果可靠性的关键。这两个因素直接影响到模拟过程中热量传递的计算和流体行为的预测。流体的热物性参数是模拟传热过程不可或缺的基础数据。这些参数描述了流体在传热过程中的物理特性，包括但不限于密度、热导率、比热容等。密度决定了流体的惯性，影响流体的运动状态；热导率则决定了流体传导热量的能力，是传热模拟中极为关键的参数；比热容反映了流体吸收或放出热量时温度变化的难易程度。这些参数的准确性对于模拟结果的可靠性至关重要。因此，在模拟之前，需要通过实验测定或查阅相关文献资料，获取这些物性参数的准确值。在传热模拟中，边界条件的设定同样重要。边界条件定义了模拟区域的边界上物理量的取值或变化规律，包括进出口条件、壁面条件等。进出口条件通常涉及流体的速度、温度、压力等，这些条件的设定直接影响到流体在模拟区域内的流动和传热状态。壁面条件则涉及到壁面的温度、热流密度或传热系数等，这些条件对于模拟热量通过壁面的传递过程至关重要^[2]。为了确保模拟结果的准确性，边界条件的设定必须基于实际物理情境和实验数据。例如，在设定进出口条件时，需要考虑实际流体的流速、温度分布等因素；在设定壁面条件时，则需要根据壁面的材料属性、外部环境等因素来确定。

2.4 求解与后处理

在传热模拟中，求解与后处理是两个至关重要的环节，它们直接决定了模拟结果的准确性和可用性。在求解阶段，关键步骤包括选择合适的求解器、确定有效的迭代方法以及设定恰当的收敛准则。求解器是模拟软件中的核心组件，负责根据所建立的数学模型和给定的边界条件，通过数值方法求解出流场和温度场等物理量的分布。不同的求解器可能适用于不同类型的问题，因此，在选择求解器时，需要考虑问题的具体特点和求解器的性能特点。迭代方法是求解过程中使用的数学算法，它决定了求解器如何逐步逼近真实解。常用的迭代

方法包括SIMPLE算法、PISO算法等，这些方法在处理流体动力学和传热问题时各有优势。选择适当的迭代方法，可以加速求解过程，提高模拟效率。收敛准则用于判断求解过程是否达到足够的精度，从而终止迭代。收敛准则的设定需要权衡计算精度和计算成本之间的关系。过于严格的收敛准则可能会导致计算时间过长，而过于宽松的准则则可能影响模拟结果的准确性。模拟完成后，后处理环节是提取和分析模拟结果的关键步骤。通过可视化处理，可以将复杂的数值数据转化为直观的图形和图像，便于研究人员理解和分析。在后处理过程中，可以提取温度场、速度场等关键信息，这些信息对于评估传热性能、优化设备设计至关重要。温度场显示了设备内部各点的温度分布情况，通过温度场的分析，可以找出温度梯度较大的区域，这些区域往往是传热效率较低或存在热应力的潜在风险点。速度场则反映了流体在设备内部的流动情况，对于理解流体的动力学行为和传热机制具有重要意义。

3 化工设备传热过程的优化策略

3.1 设备结构优化

在化工设备中，传热过程的优化是提高能源效率和工艺性能的关键。设备结构是影响传热效率的关键因素。通过精心设计和优化，可以显著提高热交换的效能。热交换面积是传热过程中的一个核心参数。更大的热交换面积意味着更多的热量可以被有效地传递。为了实现这一点，可以通过改变流道形状来达到目的。例如，采用曲折或螺旋形的流道，相比于直线形流道，能够在有限的空间内提供更大的表面积，从而增强热交换效果。此外，增加翅片也是一个有效的策略。翅片能够扩大传热面积，同时不显著增加流体的流动阻力。翅片的设计需要综合考虑材料、尺寸、间距等因素，以确保最佳的传热性能。翅片不仅可以加装在传热设备的外部，也可以在内部加装，以适应不同的传热需求和空间限制^[3]。流道设计的合理性直接影响到流体的流动状态和传热效果。优化流道设计旨在减少流体流动的阻力，从而提高传热速率。这可以通过采用流线型的流道设计来实现，以减少流体在流动过程中的能量损失。同时，流道的布局也需要仔细考虑。例如，采用并行流道设计可以增加流体与传热表面的接触时间，从而提高热量传递的效率。而串行流道设计则可能更适合于需要逐步加热或冷却的工艺流程。

3.2 操作条件优化

在化工设备的传热过程中，除了设备结构外，操作条件的优化同样重要。合理的操作条件能够确保传热过

程更加高效、稳定，从而提高整个化工过程的效率和经济性。流速是影响传热效率的关键因素之一。流速的增加通常会增强流体与传热面之间的对流换热，从而提高传热速率。然而，过高的流速也可能导致流体阻力的增加，进而增加能耗和设备磨损。为了找到最佳的传热效率点，需要在允许的范围内对流速进行调整。这通常涉及对泵或风机的调节，以改变流体通过传热设备的速度。在实际操作中，可以通过实验或模拟来确定最佳流速。在此过程中，需要综合考虑传热效率、能耗以及设备寿命等多个因素。温度差是热量传递的驱动力。在冷热流体之间保持合理的温度差，可以确保热量传递的持续和高效。过大的温度差可能会导致热量传递的不均匀，甚至引发设备的热应力问题；而过小的温度差则可能降低传热速率，影响化工过程的效率。为了合理控制温度差，需要对冷热流体的入口温度进行精确调节。这可以通过预热或预冷流体、调整加热或冷却介质的流量和温度等方式来实现。同时，还可以考虑在传热设备中设置温度监测点，实时监测并调整温度差，以确保其在最佳范围内。通过调整流速和控制温度差，可以有效地优化化工设备的传热过程。这些操作条件的优化需要结合具体的工艺要求和设备特性来进行，以确保传热过程的高效、稳定和可靠。这不仅有助于提高化工生产的效率和经济性，还能延长设备的使用寿命，降低维护成本。

3.3 先进控制策略应用

随着科技的发展，先进控制策略在化工设备传热过程中的应用日益广泛，这些策略能够显著提高传热效率和能源利用率。实时监测是优化传热过程的关键。利用先进的控制系统，可以连续地监测并记录传热过程中的各项关键参数，如温度、压力、流速等。这些数据的获取不仅有助于了解当前传热状态，还能为后续的调整提供重要依据。基于这些实时监测数据，控制系统能够根据预设的优化算法进行实时调整。例如，当监测到某

区域的温度异常升高时，系统可以自动增加该区域的冷却介质流量，以维持稳定的传热环境。这种实时的反馈和调整机制，确保了传热过程始终处于最优状态。近年来，机器学习、人工智能等先进技术在化工领域的应用逐渐增多。在传热过程中，这些技术同样展现出了巨大的潜力。通过机器学习算法，可以对历史传热数据进行深度分析，挖掘出隐藏在数据中的规律和趋势。这些规律和趋势不仅有助于预测未来的传热性能，还能为操作条件的优化提供指导^[4]。人工智能则能够在复杂的传热环境中进行自主学习和决策。例如，通过强化学习算法，人工智能可以不断地尝试和调整操作条件，以找到最佳的传热策略。这种智能优化不仅提高了传热效率，还降低了能耗和成本。先进控制策略在化工设备传热过程中的应用具有显著的优势。实时监测与调整确保了传热过程的稳定性和高效性，而智能优化算法则进一步提升了传热性能。随着技术的不断进步，这些先进控制策略将在化工领域发挥更大的作用，推动行业的持续发展和创新。

结语

本文通过对化工设备中传热过程的模拟技术与优化策略的详细探讨，揭示了提高传热效率的关键途径。随着计算技术的不断进步和智能优化算法的发展，未来传热过程的模拟与优化将在化工行业中发挥更加重要的作用，为实现高效、节能的化工生产提供有力支持。

参考文献

- [1]陈宇轩,王磊.化工过程模拟技术的最新进展与应用[J].化工技术与开发,2023,52(1):1-10.
- [2]周晓燕,高峰.化工过程模拟在工程设计中的应用与实践[J].当代化工研究,2021,(5):14-18.
- [3]陈明.先进材料在传热传质中的应用研究[J].化工进展,2020,39(2):631-638.
- [4]张宁,王刚.流体动力学优化对化工设备传热效率的影响[J].化学工程学报,2019,70(10):3893-3901.