

动力工程中的燃烧过程模拟与优化

冯寅起

丹阳中鑫华海清洁能源有限公司 江苏 镇江 212311

摘要: 随着全球能源需求的持续增长和环境保护意识的日益加强, 动力工程领域的燃烧过程优化变得至关重要。本文深入探讨了燃烧过程的数值模拟技术, 并详细分析了如何通过这些模拟技术来优化燃烧过程, 旨在提高能源转换效率、降低污染物排放, 从而推动动力工程的可持续发展。

关键词: 动力工程; 燃烧模拟; 过程优化; 能源效率; 环保

引言

在动力工程领域, 燃烧过程是实现能源转换的核心环节。然而, 传统的燃烧方式往往伴随着能源浪费和环境污染。因此, 通过数值模拟技术对燃烧过程进行深入研究, 并基于这些研究进行优化, 成为了当前动力工程领域的重要研究方向。

1 动力工程中燃烧过程的数值模拟技术

1.1 数值模拟技术的基本原理与应用

数值模拟技术是基于物理定律和数学模型, 通过计算机程序来模拟实际物理过程的方法。在燃烧过程中, 数值模拟技术可以精确地描述燃料与空气的混合、点火、火焰传播以及污染物的生成等关键步骤。这为我们深入理解燃烧机制, 以及后续的优化工作提供了有力的工具。

1.2 动力工程中先进的数值模拟方法

1.2.1 计算流体力学(CFD)方法

计算流体力学(CFD)方法在动力工程的燃烧过程模拟中发挥着举足轻重的作用。CFD方法通过数学模型的建立和计算机技术的运用, 能够精确地模拟和分析燃烧过程中的流体动力学行为。在燃烧模拟中, CFD方法首先通过构建流体动力学的基本方程, 即Navier-Stokes方程, 来描述燃烧过程中的流体运动。这些方程涵盖了质量守恒、动量守恒和能量守恒等基本物理定律, 从而确保了模拟的准确性和可靠性。利用CFD方法, 可以详细地模拟燃料的喷射过程, 包括喷射速度、喷射角度以及燃料的分布情况等。这对于优化燃料的喷射策略, 提高燃烧效率具有重要意义。同时, CFD方法还能够模拟燃料与空气的混合过程, 通过分析混合的均匀性和速度, 可以进一步调整混合条件, 以实现更高效的燃烧。此外, CFD方法在火焰传播的模拟中也表现出色。通过求解化学反应动力学方程和能量方程, 可以精确地预测火焰的形状、传播速度和温度分布。这对于理解火焰的稳

定性、燃烧效率以及污染物的生成机制至关重要^[1]。除了上述应用外, CFD方法还能够预测流场、温度场以及组分浓度场的分布。这些物理场的准确预测有助于分析燃烧过程中的热量传递、物质输运以及化学反应等关键过程。

1.2.2 化学反应动力学模拟

化学反应动力学模拟是动力工程燃烧过程研究中的又一关键技术。与CFD方法不同, 它更侧重于深入探索燃烧过程中化学反应的详细机制, 为燃烧优化提供理论基础。化学反应动力学模拟首先关注的是燃料的氧化过程。在燃烧中, 燃料与氧气发生反应, 释放出能量。这一过程涉及到多种中间产物和复杂的反应路径。通过构建详细的化学反应机制, 该方法能够精确地模拟燃料分子如何逐步氧化, 如何释放能量, 以及如何转化为最终产物。除了燃料的氧化, 该方法还重点关注污染物的生成。在燃烧过程中, 不完全燃烧或高温条件下可能会产生一系列有害物质, 如一氧化碳、氮氧化物和未燃烧的碳氢化合物等。化学反应动力学模拟能够揭示这些污染物生成的详细机制和条件, 从而为减少其排放提供理论指导。为了实现精确的模拟, 化学反应动力学模拟需要依赖于大量的实验数据和理论计算。这包括各种化学物质的热力学数据、反应速率常数以及活化能等。这些数据为模拟提供了必要的输入参数, 确保了模拟的准确性和可靠性。

1.3 动力工程中的燃烧过程模拟的实施步骤

1.3.1 建立数值模型

明确模拟目标是这一步骤的首要任务, 这意味着需要清晰地界定要模拟的燃烧过程的具体环节, 比如是关注火焰传播的特性, 还是污染物的生成与控制。构建数学模型是接下来的关键环节。这一过程中, 需要基于连续介质力学、热力学以及化学反应动力学的深厚理论基础, 来建立能够精准描述燃烧过程中物质变化、能量转化以及化学反应的数学模型。这些模型的核心是一系

列守恒方程,包括但不限于质量守恒、动量守恒、能量守恒以及组分守恒。这些方程共同构成了一个复杂的系统,用于全面描述燃烧过程中的各种物理和化学现象。此外,考虑到燃烧过程中经常涉及多相流动,如燃料与氧化剂的混合,以及伴随的复杂化学反应,数值模型必须具备处理这些复杂情况的能力。这就要求在模型构建时,不仅要考虑流体的动力学行为,还要将化学反应的动力学特性纳入其中,以确保模型的全局性和准确性。

1.3.2 网格划分

首先确定计算域是网格划分的前提。计算域指的是数值模拟所涉及的空间范围,它应根据模拟的具体燃烧设备和过程来精确界定。例如,在模拟锅炉内的燃烧过程时,计算域可能包括炉膛、燃烧器以及相关的烟气通道等。确定合适的计算域,能够确保模拟的全局性和

准确性,同时避免不必要的计算负担。接下来是网格生成,即将计算域划分为一系列小的网格单元。这一步骤中,网格的密度和形状成为关键考量因素。网格的密度决定了模拟的精度,网格越密,模拟结果越接近实际情况,但计算成本也会相应增加。因此,需要在精度和计算效率之间找到平衡点。同时,网格的形状也会影响模拟的准确性,特别是在处理复杂几何形状和流动特性时^[2]。为了提高模拟的精度,通常在关键区域,如火焰前锋、壁面附近等,会采用更精细的网格。这是因为这些区域的物理和化学变化最为剧烈,对模拟结果的影响也最大。通过在这些区域加密网格,可以更准确地捕捉流场、温度场以及组分浓度场的变化,从而得到更可靠的模拟结果。以下表格,展示了在燃烧过程模拟中不同网格密度对模拟精度和计算时间的影响:

网格密度	网格数量	模拟精度 (%)	计算时间 (小时)
粗网格	10,000	85	2
中等网格	50,000	92	8
细网格	200,000	97	32

说明:

网格密度:表示网格的细致程度,分为粗网格、中等网格和细网格。

网格数量:表示在计算域内划分的网格单元数量。

模拟精度:表示模拟结果与实际情况的吻合程度,以百分比表示。数值越高,模拟精度越高。

计算时间:表示完成一次模拟所需的时间,以小时为单位。

1.3.3 离散化和求解

需要选择适当的离散化方法,将连续的数学模型转化为可求解的代数方程组。常用的离散化方法包括有限体积法、有限元法和有限差分法。这些方法各有优势,选择哪一种取决于具体的模拟需求和问题特性。设定边界条件和初始条件是接下来必须仔细进行的工作。边界条件通常根据实际的燃烧环境和设备参数来确定,如入口的燃料和空气流速、出口的压力条件、壁面的温度或热流量等。初始条件则描述了模拟开始时刻系统内的状态,如初始温度分布、压力分布以及各种组分的浓度。完成上述准备工作后,接下来是方程求解阶段。这一步骤通常涉及复杂的迭代过程,因为燃烧过程中的物理量和化学反应往往是相互耦合、相互影响的。常用的迭代方法包括Gauss-Seidel迭代、SIMPLE算法等。通过这些迭代方法,可以逐步逼近代数方程组的解,最终得到各个网格单元上的关键物理量,如温度、压力、流速以及各组分的浓度。这些结果不仅揭示了燃烧过程的详细特性,也为设备的优化设计和操作提供了宝贵的数据支持。

1.3.4 结果分析与验证

数据可视化是通过将复杂的计算结果转化为直观的

图形或动画,使得研究人员能够更清晰地观察和理解燃烧过程中的动态变化。这不仅有助于揭示火焰传播、温度分布、组分浓度变化等关键信息,还能为后续的优化和改进提供直观的视觉支持。结果验证是确保模拟结果可信度的核心步骤。通过将数值模拟的结果与实验结果或其他数值模拟方法的结果进行详细的对比和分析,可以评估模型的准确性和可靠性。这种验证过程不仅有助于发现模型中的潜在问题,还能为模型的进一步优化提供方向。敏感性分析是另一个不可或缺的环节。通过系统地改变模型参数或边界条件,并观察这些变化对燃烧过程的影响,可以深入了解哪些因素对燃烧效率、污染物排放等关键指标有显著影响。

2 动力工程中燃烧过程的优化策略与实践

2.1 优化目标的明确

在优化燃烧过程时,主要关注提高燃烧效率、降低污染物排放以及增强燃烧稳定性等目标。这些目标的实现将有助于提升动力系统的整体性能,并满足日益严格的环保要求。

2.2 多元化的优化手段

2.2.1 燃烧室设计的创新

燃烧室作为燃料燃烧的主要场所,其形状和结构对火焰传播、燃料混合以及燃烧效率具有显著影响。因此,通过精心设计燃烧室,可以实现燃烧过程的优化,进而提高整个动力系统的性能。具体来说,燃烧室设计的创新包括多个方面。首先是形状的优化。传统燃烧室形状可能不利于燃料与空气的充分混合,而通过改变燃烧室的形状,如采用旋流或涡流设计,可以显著增强混合效果。这种设计使得燃料和空气在燃烧室内形成更强烈的涡旋运动,从而提高了混合速度和均匀性,有助于更完全、更高效的燃烧。除了形状优化,燃烧室结构的改进也是关键^[3]。例如,通过增加或减少燃烧室的容积、调整进气和排气口的位置和大小,可以影响火焰的传播路径和速度。这些细微的调整可能会显著提升燃烧的稳定性与效率。值得一提的是,旋流燃烧室作为一种创新设计,已经在实践中取得了显著成效。这种设计通过特殊的结构使燃料和空气在燃烧室内形成旋转流动,极大地增强了混合效果。

2.2.2 燃料与空气的精准混合

为了实现燃料与空气的精准混合,需要对燃料的喷射方式和空气流动路径进行精细化的设计与优化。优化燃料的喷射方式是精准混合的关键一环。喷射系统的设计和操作必须确保燃料以适当的速度、角度和分布进入燃烧室,以便与空气有效混合。例如,采用多点喷射或直喷技术可以增加燃料与空气的接触面积,从而提高混合效率。同时,对空气流动路径的优化也至关重要。通过调整进气道和燃烧室的设计,可以控制空气的流动模式和速度,使其与燃料更好地混合。这包括但不限于调整进气道的形状、位置和尺寸,以及优化燃烧室内的气流导向装置。值得一提的是,预混合燃烧技术在这一领域具有显著优势。该技术通过在燃料进入燃烧室之前,先将其与空气进行充分混合,从而确保更均匀的燃烧过程。这不仅提高了燃烧效率,还显著降低了不完全燃烧所产生的污染物,如一氧化碳和未燃烧的碳氢化合物。

2.2.3 智能控制系统的应用

通过引入先进的控制系统,可以实现对燃烧过程中多个关键参数的实时监测与动态调整,这是传统燃烧控制方式所无法比拟的。具体来说,智能控制系统能够实时监测燃料喷射量、空气流量、点火时机等核心参数,并根据燃烧室的实际情况进行精准调整。例如,当系统

检测到燃烧室内温度或压力异常时,它可以迅速调整燃料喷射量和空气流量,以确保燃烧过程的稳定性和效率。此外,智能控制系统还具备强大的数据处理和分析能力。它能够根据历史数据和实时数据,通过先进的算法预测燃烧过程的变化趋势,并提前做出调整。这种预测性控制不仅有助于减少能源浪费,还能延长设备的使用寿命^[4]。更为重要的是,智能控制系统的应用为燃烧过程的动态优化提供了可能。它可以根据不同的工况和负载需求,实时调整燃烧策略,确保在任何情况下都能实现高效的能源利用。这在很大程度上提高了动力设备的灵活性和适应性。

2.3 数值模拟在优化过程中的作用

数值模拟技术能够构建燃烧过程的数学模型,并通过计算机进行高精度求解,从而模拟出不同优化方案下的燃烧情况。通过这种方式,可以快速且准确地评估各种优化策略对于燃烧效率、污染物排放等方面的影响。数值模拟不仅能够预测燃烧性能,还能揭示燃烧过程中的温度分布、流场特性和化学反应细节,有助于深入理解燃烧机制。此外,通过对比不同模拟结果,可以筛选出最佳的优化方案,为实际操作提供有力的决策支持。因此,数值模拟技术是燃烧过程优化的有力工具,能够显著提升优化工作的效率和准确性。

结语

本文通过对燃烧过程的数值模拟技术和优化策略进行深入探讨,揭示了数值模拟在燃烧过程优化中的重要性和应用价值。随着计算机技术的不断进步和数值模拟方法的持续完善,我们有理由相信,在未来的动力工程领域,燃烧过程的模拟与优化将发挥更加关键的作用,推动能源利用效率和环境保护水平的不断提升。

参考文献

- [1]王明.燃气锅炉燃烧过程的数值模拟与优化策略[J].热能动力工程,2020,35(4):1-8.
- [2]张伟明.热能与动力工程中燃烧过程的优化与控制[J].能源研究与利用,2023,45(2):30-36.
- [3]李宇,张红.燃烧室结构对燃气锅炉性能的影响分析[J].热能科学与工程,2018,36(5):885-891.
- [4]王俊琪.热能与动力工程专业发展探究[J].当代化工研究,2021(17):179-180.