

# 气化炉内气流分布与燃烧效率优化研究

屈 卫 吴培源 仇士彬 刘 阳 王 新  
华能(天津)煤气化发电有限公司 天津 300452

**摘要:** 文章研究了气化炉内气流分布对燃烧效率的影响,通过理论分析与实验验证相结合的方法,探讨了气化炉结构、操作参数与气流分布之间的关联。研究表明,优化气化炉结构设计和调整操作参数能有效改善气流分布,促进燃料与气化剂的充分混合,从而提高燃烧效率。本文提出的优化策略为气化炉的高效运行提供理论依据和技术支持。

**关键词:** 气化炉; 气流分布; 燃烧效率优化

## 1 气化炉工作原理与气流分布特性

### 1.1 气化炉工作原理

气化炉是一种将固体燃料(如煤、生物质等)在缺氧或有限氧的条件下转化为合成气(含CO和H<sub>2</sub>等气体)的设备。其工作原理主要依赖于高温和缺氧或有限氧的气氛,使固态燃料发生气化反应。具体来说,气化炉的工作过程通常包括预处理、气化和净化三个阶段;预处理:固体燃料经过粉碎、干燥等处理,以提高气化效率。气化:燃料在气化炉内受热,与气化剂(如水蒸汽、空气等)发生反应生成合成气。这一过程中,燃料中的有机物在高温下经历热解、气化等反应,生成可燃性气体。净化:合成气经过净化处理,去除灰尘、硫等杂质,以保证后续利用的安全性和稳定性。气化炉通过裂解、气化和重整等反应将固体燃料转化为气体燃料,实现资源的有效利用。这些气体燃料不仅可以作为能源直接燃烧,还可以进一步加工成其他化学品或液体燃料。

### 1.2 气流分布的基本概念

气流分布在气化炉中起着至关重要的作用,它直接影响到气化反应的均匀性和稳定性,进而影响到合成气的质量和产量。气流分布的基本概念涉及以下几个方面:(1)气化剂分布。气化剂(如水蒸汽、空气等)需要均匀分布到气化炉的各个反应区域,以确保燃料能够充分与气化剂接触并发生反应<sup>[1]</sup>;(2)反应区域划分。根据气化炉的类型和结构,反应区域可以划分为不同的部分,如密相区、稀相区等。气流在这些区域中的分布特性会直接影响到气化反应的过程和结果;(3)气流速度控制。气流速度是影响气流分布的重要因素之一。适当的气流速度可以使燃料与气化剂充分混合,提高气化效率;而气流速度过高或过低都可能导致气化反应不均匀或反应效率下降;(4)气流分布器。气化炉中通常设有气流分布器,用于将气化剂均匀地分配到各个反应区

域。气流分布器的设计和性能直接影响到气流分布的均匀性和稳定性。

## 2 气化炉内气流分布特性研究

### 2.1 实验测量与数值模拟方法

在气化炉内气流分布特性的研究中,实验测量与数值模拟是两种不可或缺的方法。实验测量通过直接观测和记录气化炉内的气流状态,为理论研究提供可靠的数据支持;而数值模拟则通过构建数学模型,利用计算机强大的计算能力,对气化炉内的气流分布进行模拟和预测,具有成本低、效率高、可重复性强等优点。实验测量是获取气化炉内气流分布特性的直接手段。常用的实验测量方法包括热线风速仪测量、粒子图像测速(PIV)技术、激光多普勒测速(LDA)技术等。这些技术能够精确测量气化炉内不同位置的气流速度、方向等参数,为研究人员提供详细的气流分布数据。数值模拟方法通过构建气化炉内的数学模型,利用计算流体力学(CFD)等理论对气流分布进行模拟。数值模拟方法可以灵活调整气化炉的结构参数、操作条件等,快速预测不同工况下的气流分布特性。常用的数值模拟软件包括Fluent、CFX等,这些软件提供了丰富的物理模型和数值算法,能够处理复杂的气固两相流动问题。在数值模拟过程中,研究人员需要根据气化炉的实际结构和操作条件,合理设置边界条件、初始条件等参数,以确保模拟结果的准确性和可靠性。

### 2.2 气流分布特性分析

通过对实验测量和数值模拟结果的分析,可以深入了解气化炉内的气流分布特性。气流分布特性主要包括气流的速度分布、方向分布、湍流强度分布等方面。气化炉内的气流速度分布是影响气化反应均匀性和稳定性的重要因素之一。在气化炉的不同区域,气流速度可能存在显著差异。例如,在气化炉的喷嘴附近,气流速度

较高,形成射流;而在远离喷嘴的区域,气流速度则相对较低。通过对气流速度分布的分析,可以评估气化炉内的混合效果和传质效率。气流的方向分布也是气化炉内气流分布特性的重要组成部分,在气化炉内,气流可能呈现不同的流动方向,如切向流动、轴向流动和径向流动等。这些流动方向的形成与气化炉的结构参数和操作条件密切相关。通过对气流方向分布的分析,可以了解气化炉内的流动模式和涡旋结构<sup>[2]</sup>。湍流强度是衡量气流湍流程度的重要指标,在气化炉内,湍流强度的分布可能受到多种因素的影响,如喷嘴结构、气化剂流量、燃料性质等。湍流强度的增加可以促进气化剂与燃料的混合和传质过程,但也可能导致能量损失和设备磨损。通过对湍流强度分布的分析,可以评估气化炉内的能量损失和设备磨损情况。

### 2.3 气流分布不均问题的识别

在气化炉的实际运行过程中,气流分布不均是一个常见的问题。气流分布不均可能导致气化反应不均匀、合成气质量下降、设备磨损加剧等问题。及时识别和解决气流分布不均问题对于提高气化炉的运行效率和稳定性具有重要意义。识别气流分布不均问题的方法主要包括实验测量、数值模拟和现场观察等。通过实验测量和数值模拟,可以获取气化炉内不同位置的气流速度、方向等参数,进而判断气流分布是否均匀。此外,现场观察也是识别气流分布不均问题的重要手段之一。通过观察气化炉内的火焰形态、温度分布等现象,可以初步判断气流分布是否存在问题。气流分布不均问题可能受到多种因素的影响,如气化炉的结构参数、操作条件、燃料性质等。例如,喷嘴结构不合理、气化剂流量不均匀、燃料颗粒粒径分布不均等因素都可能导致气流分布不均。

## 3 气化炉燃烧效率评估与优化策略

### 3.1 燃烧效率评估方法

燃烧效率是气化炉运行性能的重要指标之一,它直接关系到气化炉的能量转换效率和经济效益。准确评估气化炉的燃烧效率对于提高气化炉的整体性能具有重要意义。在燃烧效率的评估方法中,首先需要考虑的是气化炉的输入能量和输出能量。输入能量主要包括燃料带入的气化炉的能量以及气化剂(如氧气、水蒸气等)所携带的能量。输出能量则主要是指合成气(含CO、H<sub>2</sub>等可燃气体)所蕴含的化学能。通过比较输入能量和输出能量的差值,可以初步判断气化炉的燃烧效率。仅仅依靠能量平衡来计算燃烧效率是不够的,因为还需要考虑燃烧过程中的各种损失,如散热损失、未完全燃烧损

失、化学不完全燃烧损失等。为了更准确地评估燃烧效率,通常采用实验测量和数值模拟相结合的方法。实验测量可以通过安装在气化炉上的各种传感器和仪表,实时监测气化炉的运行参数,如温度、压力、流量等,从而获取燃烧过程的第一手数据。数值模拟则可以利用计算流体动力学(CFD)等技术,对气化炉内的燃烧过程进行模拟,进一步分析燃烧效率及其影响因素。除了直接测量和数值模拟外,还可以通过一些间接指标来评估燃烧效率,如合成气的成分分析、气化炉的热效率等。合成气的成分分析可以反映燃料燃烧的完全程度,热效率则可以反映气化炉将燃料化学能转换为合成气化学能的效率。

### 3.2 燃烧效率影响因素分析

气化炉的燃烧效率受到多种因素的影响,这些因素既包括气化炉本身的结构参数,也包括操作条件和燃料性质等。气化炉的结构参数对燃烧效率有着重要影响。例如,气化炉的炉膛形状、尺寸以及喷嘴的布置和形状等都会影响燃料的燃烧效果和气化剂的混合效果。合理的炉膛设计和喷嘴布置可以促进燃料的充分燃烧和气化剂的均匀分布,从而提高燃烧效率。操作条件也是影响燃烧效率的重要因素,气化炉的操作温度、压力以及气化剂的流量和配比等都会对燃烧过程产生影响。过高的操作温度可能导致燃料热解过度,产生过多的焦油和其他副产物;过低的操作温度则可能导致燃烧不完全,降低燃烧效率<sup>[3]</sup>。气化剂的流量和配比也会影响燃料的燃烧效果和合成气的成分。燃料性质对燃烧效率的影响也不容忽视。燃料的种类、含水量、灰分以及挥发分等都会影响其燃烧特性。例如,含水量高的燃料在燃烧过程中需要消耗更多的能量来蒸发水分,从而降低燃烧效率;灰分高的燃料则可能在燃烧过程中形成结渣,影响气化炉的正常运行。

### 3.3 燃烧效率优化策略探讨

为了提高气化炉的燃烧效率,需要从多个方面入手,采取综合的优化策略。首先,可以对气化炉的结构进行优化设计,通过改进炉膛形状、调整喷嘴布置和形状等方式,改善燃料的燃烧效果和气化剂的混合效果。还可以考虑采用先进的燃烧技术和设备,如旋流燃烧器、多级气化技术等,进一步提高燃烧效率。其次,需要优化气化炉的操作条件,根据燃料的性质和气化炉的特点,合理选择操作温度和压力,调整气化剂的流量和配比,使燃烧过程达到最佳状态,还可以通过控制燃料的进料速度和均匀性,确保燃料在气化炉内的充分燃烧。最后,还需要对燃料进行预处理和优化选择,通过

脱水、脱灰等预处理工艺,改善燃料的燃烧特性;同时选择挥发分高、灰分低的优质燃料,也可以提高燃烧效率。另外,还可以考虑采用共气化技术,将不同类型的燃料进行混合气化,以充分利用各种燃料的优点,提高整体燃烧效率。

#### 4 基于气流分布优化的燃烧效率提升策略

##### 4.1 气化炉结构优化设计

气化炉的结构设计对气流分布及燃烧效率有着至关重要的影响。为了优化气流分布,进而提升燃烧效率,需要对气化炉的结构进行精心设计和优化。炉膛的形状和尺寸是气化炉结构设计的关键,合理的炉膛形状能够促进气流的均匀分布,减少涡流和死角,使燃料与气化剂能够充分混合,提高燃烧效率。炉膛的尺寸也要根据燃料的种类和气化炉的容量来确定,以确保燃料在炉膛内有足够的停留时间,使燃烧反应能够充分进行。喷嘴的设计和布置也是优化气流分布的重要手段,喷嘴的形状、尺寸和角度都会影响气流的喷射方向和速度,进而影响气流在炉膛内的分布。通过优化喷嘴的设计,可以使气流更加均匀地分布在炉膛内,提高燃料与气化剂的混合效果,从而提升燃烧效率。喷嘴的布置也要考虑气化炉的整体结构,确保气流在炉膛内能够形成合理的流动模式。气化炉内部的导流装置也是优化气流分布的重要因素,导流装置可以引导气流按照预定的方向流动,减少气流的紊乱和碰撞,提高气流的稳定性和均匀性。通过合理设置导流装置,可以使气流在炉膛内形成有序的流动,促进燃料与气化剂的充分混合和燃烧,进一步提升燃烧效率。

##### 4.2 操作参数优化调控

除了气化炉的结构设计外,操作参数的优化调控也是提升燃烧效率的重要手段。通过调整气化炉的操作参数,如气化剂流量、燃料进料速度、炉膛温度等,可以优化气流分布,提高燃烧效率。气化剂流量的调控对气流分布有着直接的影响,适当增加气化剂的流量,可以增加气流在炉膛内的扰动,促进燃料与气化剂的混合和燃烧。但是,气化剂流量过大也可能导致气流速度过快,影响燃料的停留时间和燃烧效果。因此需要根据气化炉的实际情况和燃料的特性,合理调控气化剂的流量。燃料进料速度的调控也是优化气流分布的重要手段,适当的燃料进料速度可以确保燃料在炉膛内有足够

的停留时间,使燃烧反应能够充分进行。同时合理的进料速度还可以避免燃料在炉膛内堆积或过快通过,影响气流分布和燃烧效率<sup>[4]</sup>。炉膛温度的调控对燃烧效率也有着重要的影响,适当的炉膛温度可以促进燃料的燃烧反应,提高燃烧效率。但是,过高的炉膛温度可能导致燃料热解过度,产生过多的焦油和其他副产物;过低的炉膛温度则可能导致燃烧不完全,降低燃烧效率。因此需要根据燃料的特性和气化炉的设计要求,合理调控炉膛温度。

##### 4.3 智能控制系统的应用

随着智能化技术的不断发展,智能控制系统在气化炉中的应用也越来越广泛。通过智能控制系统,可以实现对气化炉操作参数的实时监测和调控,优化气流分布,提升燃烧效率。智能控制系统可以通过传感器实时监测气化炉内的温度、压力、流量等参数,并根据这些参数的变化实时调整操作参数,如气化剂流量、燃料进料速度等。通过智能化调控,可以确保气化炉始终保持在最佳运行状态,优化气流分布,提高燃烧效率。另外,智能控制系统还可以实现对气化炉的远程监控和管理。通过远程监控,可以随时了解气化炉的运行状况,及时发现并解决问题。智能控制系统还可以对气化炉的运行数据进行分析 and 处理,为气化炉的优化设计和运行管理提供有力支持。

#### 结束语

通过本研究,深刻认识到气流分布对气化炉燃烧效率的重要性。未来,将继续深入研究气流分布的优化机制,探索更多高效的调控策略,为气化炉的节能减排和高效运行贡献更多力量。希望本研究成果能为气化技术的发展和應用提供有益参考。

#### 参考文献

- [1] 马力,陈静.粉煤气化炉效率优化中废气排放治理技术的研究[J].能源化工,2021,45(3):56-61.
- [2] 李明,杨华.粉煤气化炉废气排放治理技术研究进展[J].化工进展,2020,39(5):112-117.
- [3] 陈华,李建国,吴刚.气化炉多喷嘴布置的设计与分析[J].化工学报,2020,8(8):21-23.
- [4] 王强,张勇,李晓.多喷嘴对置式气化炉的数值模拟与优化[J].热科学与工程应用,2020,12(3):29-30.