

基于逆流燃烧模式的超低热值气体处理方法研究

孙 顺

(山东理工大学, 山东 淄博 255000)

摘 要 本文探讨了逆流燃烧模式在超低热值气体处理中的具体应用, 分析了该模式在提高燃烧效率、改善点火稳定性、减少污染物排放等方面的优势, 并指出应针对超低热值气体的特殊性质, 进一步优化燃烧室设计和气体处理技术, 以提升系统整体性能。结果表明, 逆流燃烧模式能够显著提高燃烧效率并优化热能回收, 有效降低设备腐蚀和结焦风险, 同时在控制污染物排放方面具有明显优势。

关键词 逆流燃烧; 超低热值气体; 燃烧效率; 污染物; 热能回收

中图分类号: TK16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.002

0 引言

随着能源结构的转型和环保要求的提升, 超低热值气体的处理成为一个日益严峻的技术挑战。此类气体因其低热值、复杂成分和燃烧特性, 常常导致传统燃烧技术在点火、稳定性和效率方面表现不佳。与此同时, 过高的污染物排放和设备的高腐蚀性也使得其处理过程面临较大的技术和经济压力。逆流燃烧模式作为一种新兴的燃烧技术, 通过优化气流和热量分布, 显著提高了燃烧效率和污染物控制能力。本文研究了逆流燃烧模式在超低热值气体处理中的应用效果, 探索其在提升处理性能、减少环境负担等方面的潜力, 旨在为超低热值气体的高效治理提供理论依据和技术支持。

1 超低热值气体处理中的常见问题

1.1 点火困难且燃烧效率低

超低热值气体的点火困难是其处理过程中最常见且最具挑战性的问题之一。这类气体通常含有较低的热值和较高的水分, 且其成分复杂, 燃烧热值和温度远低于传统燃料, 这使得在常规燃烧系统中, 气体难以达到所需的点火温度, 从而导致燃烧不完全或熄火现象频发^[1]。同时, 由于气体燃烧过程中热量释放缓慢, 系统往往不能维持足够的热量以维持稳定燃烧, 进一步导致燃烧效率下降。传统燃烧设备针对超低热值气体的适应性较差, 通常需要较高的能量投入以启动点火过程, 并且在点火后难以保持稳定燃烧, 导致热效率远低于理想状态。低效燃烧不仅会加剧能源浪费, 还可能

导致后续气体处理和排放控制环节的负担加重。

1.2 设备耐久性与维护问题

在超低热值气体处理过程中, 由于气体成分中可能包含一定比例的硫化物、氯化物以及其他腐蚀性气体, 燃烧设备容易受到腐蚀和磨损。这些有害物质在燃烧过程中会与金属表面发生反应, 生成腐蚀性化合物, 从而缩短设备的使用寿命, 尤其是在高温和高负荷的工作条件下, 设备内壁和燃烧器容易出现烧蚀、裂纹等损伤, 导致设备性能下降, 甚至发生故障^[2]。此外, 长期的高温运行还可能导致积灰、结焦等问题, 进一步加剧设备的损耗和维护难度。设备的高频维护不仅增加了运营成本, 还可能影响生产的连续性和稳定性。与此同时, 由于超低热值气体处理设备往往需要较为精密的控制和调节系统, 因此其维护要求较高, 一旦出现故障, 修复成本昂贵且周期较长, 这对于长期稳定运行构成了挑战。

1.3 污染物排放难控制

超低热值气体的燃烧排放问题尤为突出。由于其燃烧过程中温度较低, 通常难以完全燃烧其中的有害物质, 特别是一些挥发性有机化合物 (VOCs)、一氧化碳 (CO)、氮氧化物 (NO_x) 以及颗粒物等污染物。这些污染物不仅对环境造成极大的危害, 还可能影响到周边生态和空气质量的改善。在实际操作中, 超低热值气体由于其高湿度和低热值特点, 燃烧过程中常出现不完全燃烧现象, 进一步导致有害气体的生成。同时, 气体中的含硫、含氯物质在燃烧过程中易形成

二氧化硫 (SO_2) 和氯化氢 (HCl)，这些酸性气体的排放会对大气和设备造成严重的腐蚀和污染^[3]。现有的气体处理设备在去除这些污染物时效果有限，通常需要通过二次污染物控制手段进行处理，如湿法脱硫、脱氮等，但这些过程又会增加能源消耗和设备负担。

2 超低热值气体处理中应用逆流燃烧模式的优势

2.1 提高燃烧效率

逆流燃烧模式在提高超低热值气体燃烧效率方面表现卓越。其核心机制在于对气流方向的精准调控，使燃料与氧气呈反向流动态势，进而达到更高效的热能传递效果。在传统燃烧模式中，气体通常需先与热表面接触后再启动燃烧反应。然而，在逆流燃烧模式下，燃料气体与燃烧空气的逆向流动特性使得未充分燃烧的气体能够被进一步加热且充分混合。例如，在工业炉窑的燃烧系统中，采用逆流燃烧模式时，燃气从燃烧器的一端进入，而空气从另一端流入，二者在炉内形成反向流动^[4]。未燃尽的燃气在与反向流动的高温空气相遇过程中，会被持续加热并与新鲜空气充分混合，能够提高燃烧效率。此外，此模式还可促使燃烧温度在整个燃烧器内分布更为均匀，减少过高或过低温度区域的出现频率。在垃圾焚烧发电厂的焚烧炉应用中，逆流燃烧模式使得燃烧室内的温度分布更加均衡，避免因局部高温导致的炉体材料过快老化以及局部低温造成的垃圾燃烧不完全问题，进一步提高热量利用效率。

2.2 改善点火与燃烧稳定性

超低热值气体由于其自身特性，往往存在点火困难且难以维持稳定燃烧的问题，而逆流燃烧模式在改善这一状况方面发挥着关键作用。通过气体与空气的逆向流动，该模式能够实现更为精确的温度调控，为点火过程提供有力支持。在燃气轮机的启动过程中，当采用逆流燃烧模式时，燃气首先进入热区，在与高温气流的接触过程中逐渐被加热至点火温度，相较于传统燃烧模式，大大提高了点火的成功率。此外，逆流燃烧模式通过对燃气气流流动路径的优化设计，能够确保燃气均匀地与空气混合，实现稳定的燃烧进程。以化工生产中的小型燃烧反应器为例，逆流燃烧模式能够有效避免因气体分布不均而引发的局部熄火或温度波动现象^[5]。

2.3 增强热能回收利用

传统燃烧方式热量分布不均问题较为突出，大量热能在燃烧进程中被白白浪费，难以实现有效的回收

利用。然而，逆流燃烧模式展现出了强大的热能回收与利用能力。在钢铁冶炼过程中的热风炉应用中，燃气在与燃烧空气的反向流动过程中充分进行热量交换，燃烧后的高温气体被迅速引导回燃烧区，形成高效的热循环体系^[6]。这一过程不仅能够确保燃烧区温度的稳定性，还能显著提升热量的回收效率，减少热能在传输与转换过程中的散失。

2.4 减少污染物排放

传统燃烧方式因燃烧温度相对较低，常常导致燃料无法完全燃烧，从而产生大量有害物质。逆流燃烧模式则通过提高燃烧温度以及优化气体流动路径，有效解决了这一问题。在城市生活垃圾填埋气的处理过程中，采用逆流燃烧模式能够确保填埋气在较高温度下实现充分燃烧，从而大幅减少未完全燃烧的有害气体排放。此外，由于气流的逆向流动特性，该模式有助于气体在燃烧器内形成更为均匀的温度分布，有效避免了局部低温区域的产生。在生物质发电站的燃烧设备中，这种均匀的温度分布可显著减少有害气体的生成与排放^[7]。对于超低热值气体中普遍含有的硫、氯等有害成分，逆流燃烧模式借助更高的燃烧温度以及更充分的化学反应，降低了这些有害物质在燃烧产物中的残留量与排放量，从而极大地减轻了对环境的压力，符合日益严格的环保要求，为可持续发展提供了有力的技术支撑^[8]。

2.5 降低设备腐蚀和结焦风险

超低热值气体中的硫、氯及其他腐蚀性物质对设备具有较强的侵蚀性，容易引发设备腐蚀和结焦现象，严重缩短设备的使用寿命。逆流燃烧模式在降低此类风险方面具有独特优势。在炼油厂的加热炉应用中，该模式通过优化气体流动与温度分布，有效维持燃烧器内的温度稳定，避免局部过热情况的出现，从而减少了因高温导致的设备过早损耗^[9]。在煤化工生产中的气化炉中，逆流燃烧模式能够实现较为完全的燃烧过程，有效防止未燃尽物质的积聚。在传统燃烧模式下，这些未燃尽物质极易在设备表面形成积焦层，进而加速腐蚀进程。通过合理配置气流方向与温度参数，逆流燃烧模式显著降低了结焦的发生概率，减轻了设备的磨损程度。

3 超低热值气体处理中逆流燃烧模式的应用方法

3.1 依据具体需求，科学设计燃烧室

在超低热值气体处理中，科学设计燃烧室是应用逆流燃烧模式的首要步骤。燃烧室的设计应根据超低

热值气体的成分、流量及燃烧特性等具体需求进行量身定制。首先,燃烧室的尺寸和形状要根据气体流速、热传导效率和燃烧气体的温度分布来优化设计。通过合理设置燃烧室的入口和出口位置,可以确保燃气与空气的反向流动顺畅,并使燃料与氧气在燃烧室内得到充分混合^[10]。此外,燃烧室内壁的材质选择也至关重要,应选用耐高温、耐腐蚀的材料,以减少在长时间高温运行过程中产生的设备损伤。为了提高热量的利用效率,燃烧室的内部结构还应设计为具有良好热反射性能的形态,使热量在室内多次反射,从而提高燃烧效率。通过精细化设计燃烧室的每一个细节,可以实现超低热值气体在逆流燃烧模式下的高效燃烧,确保系统能够稳定运行并达到理想的热能回收效果。

3.2 精准控制燃烧空气和气体流量

精准控制燃烧空气和气体流量是逆流燃烧模式应用中的关键技术。超低热值气体的燃烧效率和稳定性与空气和气体的流量比密切相关,在设计过程中,需要根据燃料的特性和负荷变化,实时调节空气流量和气体流量的比例。首先,应通过气流控制系统精确调节空气的供给量,以确保燃烧过程中空气与燃料的混合达到最佳比例,从而实现完全燃烧。空气量过大或过小都可能导致燃烧不完全或能量浪费,因此,准确测量并调节进风量是至关重要的。其次,对于气体流量的控制,应根据超低热值气体的具体成分和浓度进行动态调节,确保气体在燃烧器内能够达到适宜的流速和温度分布。可以使用流量传感器和智能控制系统,根据实时检测数据来调整气体流量和燃烧空气的比例,以应对负荷变化和燃气成分波动。这种精准控制不仅有助于提升燃烧效率,还能有效避免传统燃烧模式中可能出现的燃烧不均匀和污染物排放问题。

3.3 合理采用高效燃烧器和助燃技术

在超低热值气体处理中,采用高效燃烧器和助燃技术是提升逆流燃烧模式性能的重要环节。首先,高效燃烧器的设计应针对超低热值气体的特性进行优化。由于这类气体燃烧特性较差,因此燃烧器应具有较强的点火能力和宽广的工作范围,能够应对气体成分和流量波动带来的挑战。例如,采用具有高温耐受性和精准空气流量调节功能的燃烧器,可以确保气体在进入燃烧室时达到适宜的预热状态,改善点火和燃烧稳定性。此外,合理应用助燃技术也是提高燃烧效率的有效手段。对于超低热值气体,使用催化剂或富氧燃烧技术可以有效促进燃烧反应的进行,减少气体的点

火延迟,并加速反应速率。富氧燃烧技术通过增加氧气供应,提高燃烧温度,进而提升燃烧效率并减少污染物的生成。同时,采用催化剂燃烧器可以降低燃烧温度和改善燃烧稳定性,减少对设备的损伤和腐蚀。通过合理选择和配置高效燃烧器与助燃技术,可以实现逆流燃烧模式下超低热值气体的高效、安全处理。

4 结束语

基于逆流燃烧模式的超低热值气体处理方法在提高燃烧效率、改善点火稳定性、增强热能回收、减少污染物排放等方面展现了显著优势。该技术能够有效克服传统燃烧方式在处理超低热值气体时面临的诸多挑战,提供了一种高效、环保的解决方案。然而,当前技术的进一步优化仍需燃烧室设计、气流控制、设备耐久性等方面进行深入研究。随着燃烧技术的不断发展和环境法规的日益完善,逆流燃烧模式有望在超低热值气体处理领域得到更广泛的应用,推动能源利用的高效化和排放控制的严格化,从而为实现可持续发展目标做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 郑晓龙,胡惊雷,柯致远,等.3D打印泡沫陶瓷板内低热值气体的燃烧特性[J].工业炉,2023,45(03):7-12.
- [2] 钱叶剑,宫好奇,孟顺,等.低热值气体旋流燃烧器燃烧特性的数值研究[J].动力工程学报,2024,44(07):1019-1025.
- [3] 令狐志强,魏亚军,李玲燕.关于化工企业低热值废气综合利用的研究[J].山西化工,2020,40(04):92-93.
- [4] 魏小林,黄俊钦,李森,等.工业炉窑燃烧过程中节能减排问题的研究进展与发展方向[J].热科学与技术,2021,20(01):1-13.
- [5] 梁凯,崔亚军,崔久涛,等.催化燃烧技术处理石油化工企业含VOCs废气的工艺研究[J].当代化工,2017,46(04):707-710.
- [6] 王子坤,齐凤升,刘中秋,等.顶部射流优化热风炉内燃烧行为模拟[J].材料与冶金学报,2023,22(02):110-118.
- [7] 钱叶剑,宫好奇,孟顺,等.低热值气体旋流燃烧器燃烧特性的数值研究[J].动力工程学报,2024,44(07):1019-1025.
- [8] 涂汉超,余春江,解桂林,等.含氮低热值气体燃烧NO_x排放特性研究[J].热力发电,2018,47(10):6-11.
- [9] 丁帆.炼油厂加热炉热效率的综合检测探讨[J].化工管理,2018(24):132-133.
- [10] 高敏.旋转逆流燃烧器结构设计和燃烧过程数值模拟[D].淄博:山东理工大学,2022.