

燃气锅炉调试过程中燃烧稳定性问题诊断与控制策略

杨 奇

中国能源建设集团江苏省电力建设第三工程有限公司 江苏 镇江 212000

摘 要：本文围绕燃气锅炉调试过程中燃烧稳定性问题展开研究，阐述燃烧稳定性概念、燃烧过程及影响因素等理论基础。通过火焰图像监测、温度场监测、烟气成分分析等诊断技术，结合综合诊断方法，精准识别燃烧异常。针对问题提出燃料与空气配比控制、燃烧器调整、烟气含氧量控制等策略，并应用自动控制系统与先进燃烧技术，旨在提升燃气锅炉燃烧稳定性、运行效率及环保水平。

关键词：燃气锅炉；调试过程；燃烧稳定性；问题诊断；控制策略

1 燃气锅炉调试过程中燃烧稳定性问题的理论基础

1.1 燃烧稳定性概念

燃烧稳定性是指燃料在燃烧设备中能够持续、稳定地进行燃烧反应，不发生熄火、脱火、回火等异常现象，并且维持燃烧过程的各项参数在合理范围内波动的特性。在燃气锅炉运行过程中，稳定的燃烧不仅是保证锅炉高效、安全运行的关键，也是减少污染物排放、实现节能减排目标的重要前提。从热力学角度来看，燃烧稳定性要求燃烧反应释放的热量能够及时、有效地传递，维持燃烧区域的温度处于合适范围，以保证燃烧反应持续进行。从化学动力学角度，燃烧反应需要在一定的温度、浓度和压力条件下，保持化学反应速率的稳定，避免因反应速率突变导致燃烧过程失衡。燃烧稳定性还与流体力学相关，燃气和空气的混合、流动状态直接影响燃烧的稳定性，良好的混合与流动能使燃料与氧气充分接触，确保燃烧均匀、稳定。

1.2 燃气锅炉燃烧过程分析

燃气锅炉的燃烧过程是复杂的物理化学过程，涵盖燃气与空气混合、着火、燃烧及热量传递等环节。在燃烧器作用下，燃气以特定压力和流量进入，空气通过风机或自然通风引入，借助旋流器、扩散器等结构，二者充分混合形成可燃混合气，混合均匀度直接关乎燃烧效率与稳定性^[1]。当可燃混合气被加热至着火温度，且满足温度、浓度和点火能量等条件时，可燃成分与氧气发生剧烈氧化反应，引发燃烧。燃烧阶段，可燃混合气在燃烧室内持续燃烧，火焰通过辐射、对流和传导方式，将热量传递给锅炉受热面，加热水或其他介质，火焰特性对燃烧稳定性和热量传递效率影响显著。最后，燃烧产生的烟气携带余热排出，合理调控烟气温度与成分，既能提升锅炉热效率，又可减少污染物排放，维持燃烧过程稳定。

1.3 影响燃烧稳定性的因素

影响燃气锅炉燃烧稳定性的因素众多，主要可分为燃料性质、空气供应、燃烧设备以及运行环境等方面。燃料性质对燃烧稳定性有着直接影响。燃气的成分、热值、压力和流量等参数的波动都会改变燃烧特性。燃气压力和流量的不稳定，会使燃气与空气的混合比例失调，造成燃烧不均匀。空气供应是影响燃烧稳定性的关键因素之一，空气量不足会导致燃气燃烧不充分，产生一氧化碳等不完全燃烧产物，同时降低燃烧温度，使燃烧过程不稳定；而空气量过多，则会稀释可燃混合气，降低火焰温度，增加排烟热损失，也会影响燃烧稳定性。空气的流速和流向，即空气动力场的分布，对燃气与空气的混合以及火焰的稳定性有着重要作用。合理的空气动力场能使燃气和空气充分混合，稳定火焰；反之，则可能导致火焰偏斜、脱火或回火。燃烧设备的性能和状态直接关系到燃烧稳定性。燃烧器的结构设计、制造质量以及安装调试情况，都会影响燃气与空气的混合效果和燃烧过程。运行环境因素也不容忽视，环境温度、湿度、气压的变化，以及锅炉负荷的波动等，都会对燃烧稳定性产生影响。在寒冷的环境中，空气温度较低，会降低可燃混合气的温度，增加着火难度；湿度较大时，空气中的水分会吸收燃烧热量，影响燃烧温度；气压变化会改变燃气和空气的压力，影响其流量和混合比例。锅炉负荷的频繁变化，会使燃气和空气的供应量相应调整，如果调整不及时或不合理，就会导致燃烧不稳定。

2 燃气锅炉调试过程中燃烧稳定性问题的诊断方法

2.1 火焰图像监测技术

火焰图像监测技术是利用专门的图像采集设备，如火焰电视、高速摄像机等，对燃气锅炉燃烧室内的火焰进行实时拍摄和分析。通过捕捉火焰的颜色、形状、亮

度等特征信息,来判断燃烧过程是否稳定。不同的燃烧状态下,火焰会呈现出不同的颜色和亮度。火焰的形状也能反映燃烧的稳定性,稳定的火焰形状较为规则,边界清晰;若火焰出现扭曲、抖动或分叉等现象,则可能表示燃烧不稳定。利用图像处理技术,对采集到的火焰图像进行分析和处理,可以提取火焰的各种参数,如火焰面积、周长、质心位置等^[2]。通过对这些参数的实时监测和分析,能够及时发现燃烧过程中的异常情况,并判断燃烧稳定性问题的严重程度。还可以利用模式识别和机器学习算法,对火焰图像进行训练和识别,提高诊断的准确性和可靠性。

2.2 温度场监测技术

温度场监测技术通过在燃气锅炉燃烧室内布置多个温度传感器,如热电偶、热电阻等,对燃烧区域的温度分布进行实时测量。温度是反映燃烧过程状态的重要参数,稳定的燃烧过程通常伴随着相对均匀、稳定的温度场分布。通过监测不同位置的温度,可以了解燃烧室内的燃烧情况。例如,在燃烧器附近,温度应迅速升高并达到一个较高的水平,以保证燃气的及时着火和稳定燃烧;在火焰中心区域,温度应达到最大值;而在烟气出口处,温度应保持在合理范围内。如果温度场出现异常,如局部温度过高或过低,温度波动过大等,都可能表明燃烧过程存在问题,影响燃烧稳定性。利用温度场监测数据,还可以建立温度分布模型,对燃烧过程进行模拟和分析。通过对比实际温度场与理想温度场的差异,能够更准确地判断燃烧稳定性问题的原因,并为采取相应的控制措施提供依据。

2.3 烟气成分分析技术

烟气成分分析技术是通过对燃气锅炉燃烧产生的烟气进行采样和分析,检测其中各种成分的含量,如氧气、二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物等,从而判断燃烧过程的状态和稳定性。氧气含量是反映空气供应情况的重要指标。合适的氧气含量既能保证燃气充分燃烧,又能避免空气量过多导致的热损失增加。如果氧气含量过低,说明空气供应不足,可能会导致燃气燃烧不充分,产生一氧化碳等不完全燃烧产物;而氧气含量过高,则表明空气过量,会降低燃烧温度,影响燃烧稳定性。二氧化碳含量与燃烧效率密切相关,在理想的完全燃烧状态下,二氧化碳含量应达到一个较高的水平。如果二氧化碳含量较低,说明燃烧不充分,存在燃料浪费和燃烧稳定性问题。一氧化碳含量是衡量燃烧是否完全的关键指标,一氧化碳含量过高,不仅会降低燃烧效率,还会对环境和人体健康造成危害。氮氧化物是燃气燃烧过程

中产生的主要污染物之一,其生成量与燃烧温度、氧气含量等因素密切相关。通过监测氮氧化物的含量,可以了解燃烧过程的温度和空气供应情况,判断燃烧稳定性问题是否与氮氧化物生成有关。

2.4 综合诊断方法

由于燃气锅炉燃烧稳定性问题的影响因素复杂多样,单一的诊断方法往往难以全面、准确地判断问题的原因和严重程度^[3]。因此需要采用综合诊断方法,将火焰图像监测技术、温度场监测技术和烟气成分分析技术等多种方法相结合,从不同角度对燃烧过程进行监测和分析。通过对火焰图像、温度场和烟气成分等多方面信息的综合分析,可以建立更全面、准确的燃烧稳定性诊断模型。例如,当火焰图像显示火焰异常,同时温度场出现局部温度过高或过低,且烟气成分中一氧化碳含量升高时,可以更准确地判断燃烧不充分、燃烧不稳定的问题,并进一步分析其原因,如空气供应不足、燃气与空气混合不均匀等。综合诊断方法能够提高诊断的准确性和可靠性,为及时采取有效的控制措施提供有力支持。

3 燃气锅炉调试过程中燃烧稳定性问题的控制策略

3.1 燃料与空气配比控制

合理的燃料与空气配比是保证燃气锅炉燃烧稳定的关键。在调试过程中,需要根据燃气的性质、锅炉负荷等因素,精确调整燃料和空气的供应量,使二者达到最佳混合比例。首先,要准确测量和控制燃气的流量和压力,采用高精度的燃气流量计和压力传感器,实时监测燃气的参数,并通过调节阀门等设备,保证燃气流量和压力的稳定。同时根据燃气的热值和成分,计算出所需的理论空气量。然后,通过调节风机的转速或风门的开度,控制空气的供应量。在调试过程中,逐步调整空气量,通过监测烟气成分中的氧气含量和二氧化碳含量等指标,判断燃料与空气的混合比例是否合适。当氧气含量在合适范围内,二氧化碳含量达到较高水平,且一氧化碳含量较低时,表明燃料与空气的配比较为合理,燃烧稳定性较好。另外,还可以采用自动控制系统,根据锅炉负荷的变化,实时调整燃料与空气的配比。当锅炉负荷增加时,自动增加燃气和空气的供应量,并保持合理的配比;当锅炉负荷降低时,相应减少供应量,确保燃烧过程始终稳定。

3.2 燃烧器调整策略

燃烧器的调整对燃气锅炉燃烧稳定性有着重要影响。在调试过程中,需要对燃烧器的结构参数和运行参数进行优化调整。对于燃烧器的结构参数,如喷口尺寸、形状和布置方式等,要根据燃气的性质和锅炉的设

计要求进行合理选择和调整。合适的喷口尺寸和形状能够保证燃气和空气的喷射速度和方向合理,促进二者充分混合。合理的喷口布置方式,可以使燃气和空气在燃烧室内均匀分布,形成稳定的火焰。在运行参数方面,要调整燃气和空气的喷射速度和流量,通过改变燃气和空气管道上的阀门开度或调节风机转速等方式,控制燃气和空气的喷射速度和流量。合适的喷射速度和流量能够保证燃气和空气在燃烧室内充分混合,并在燃烧室内形成稳定的火焰,还可以调整燃烧器的点火位置和点火能量,确保可燃混合气能够及时、可靠地点火,维持燃烧的稳定。

3.3 烟气含氧量控制

烟气含氧量是反映燃烧过程是否稳定和充分的重要指标,控制烟气含氧量在合适范围内,对提高燃烧稳定性和锅炉热效率具有重要意义。在调试过程中,通过调节空气供应量来控制烟气含氧量,当烟气含氧量过高时,说明空气过量,应适当减少空气供应量;当烟气含氧量过低时,表明空气供应不足,需要增加空气供应量。在调整空气供应量时,要密切关注燃烧过程的变化,避免因空气量调整不当导致燃烧不稳定。可以采用先进的自动控制系统,实时监测烟气含氧量,并根据设定的目标值自动调节空气供应量。该系统能够根据锅炉负荷、燃气性质等因素的变化,及时调整空气量,使烟气含氧量始终保持在合适范围内,保证燃烧过程的稳定和高效。

3.4 自动控制系统应用

自动控制系统在燃气锅炉调试和运行过程中发挥着重要作用,能够实现对燃烧过程的精确控制,提高燃烧稳定性和锅炉运行的安全性、可靠性。自动控制系统主要包括传感器、控制器和执行机构等部分。传感器用于实时监测燃气锅炉运行过程中的各种参数,如燃气流量、压力、温度、烟气成分等;控制器根据设定的目标值和传感器采集的实时数据,进行分析和计算,生成控制信号;执行机构根据控制器的控制信号,对燃气阀门、风机、风门等设备进行调节,实现对燃烧过程的控制。通过自动控制系统,可以实现燃料与空气配比的自动调节、燃烧器运行参数的自动优化、烟气含氧量的自

动控制等功能。自动控制系统还具有故障诊断和报警功能,当检测到燃烧过程出现异常时,能够及时发出报警信号,并采取相应的保护措施,避免事故发生。

3.5 先进的燃烧技术应用

目前,一些先进的燃烧技术,如分级燃烧技术、预混燃烧技术、富氧燃烧技术等,在燃气锅炉中得到了广泛应用。分级燃烧技术是将燃烧所需的空气分阶段送入燃烧室内,使燃烧过程分阶段进行。通过合理控制各阶段的空气供应量和燃烧温度,可以降低氮氧化物的生成,同时提高燃烧稳定性^[4]。在分级燃烧过程中,首先将部分空气送入燃烧器,使燃气在缺氧条件下燃烧,降低燃烧温度;然后再将剩余空气送入,使未完全燃烧的燃气继续燃烧,保证燃烧的充分性。预混燃烧技术是将燃气和空气在进入燃烧器之前预先进行充分混合,形成均匀的可燃混合气,然后再进行燃烧。预混燃烧能够使燃气和空气混合更加均匀,燃烧更加充分,火焰传播速度更加稳定,从而提高燃烧稳定性和燃烧效率,减少污染物排放。富氧燃烧技术是采用高于空气中氧气含量的富氧气体作为助燃剂,提高燃烧过程中的氧气浓度。富氧燃烧可以加快燃烧反应速度,提高燃烧温度,使燃烧更加稳定和充分,同时还能减少烟气量,提高锅炉的热效率。

结束语

本文系统探讨燃气锅炉调试中燃烧稳定性问题的诊断与控制策略,为保障锅炉安全高效运行提供理论与实践依据。随着能源技术发展,后续研究可聚焦于智能化监测与控制技术创新,进一步优化燃烧稳定性,降低污染物排放,推动燃气锅炉在节能减排目标下实现可持续发展,助力能源领域绿色转型。

参考文献

- [1]曹亮,窦蕾,杨钦海.燃气锅炉烟气余热回收利用的分析研究[J].节能与环保,2021(11):73-75.
- [2]李洪伟.燃气锅炉的节能运行与技术控制探析[J].中国设备工程,2021(20):229-230.
- [3]李美莹,申思,张媛.传统燃气锅炉节能技术研究现状[J].清洗世界,2022,38(08):85-87.
- [4]石磊.燃气锅炉燃烧过程中余热回收利用研究[J].能源与环保,2022,44(04):171-176.D