

锅炉变负荷过程中燃烧效率及污染物控制研究

常英瑞 张智元 孟福刚

国能锦界能源有限责任公司 陕西榆林 719319

摘要: 锅炉在变负荷运行过程中, 燃烧效率和污染物排放控制面临较大挑战。负荷波动会导致燃烧条件不稳定, 进而影响燃料的完全燃烧, 降低燃烧效率并增加污染物的排放。研究发现, 锅炉负荷变化引起的空气流量、燃料供给和温度波动对燃烧过程产生显著影响, 可能导致过量的氮氧化物 (NO_x)、二氧化硫 (SO_2) 和颗粒物的排放。为此, 本文探讨了锅炉变负荷过程中燃烧效率的变化规律及污染物排放特性, 提出了一系列优化策略, 包括燃烧控制系统的调节、燃料预处理、空气预热技术等手段, 旨在提高锅炉变负荷过程中的燃烧效率, 降低污染物排放。通过实验与仿真分析, 为锅炉运行提供了有效的污染物控制和节能降耗的技术支持。

关键词: 锅炉; 变负荷; 燃烧效率

引言

火电机组锅炉在运行期间发挥着重要的能源供应作用, 但由于持续燃烧的过程, 它不可避免地产生大量的氮氧化物 (NO_x)。这些氮氧化物不仅是大气污染的重要源头, 还包括一些有毒性气体, 若未经处理直接排放到大气中, 将严重污染环境, 并对人类的呼吸系统及整体身心健康造成长期危害。此外, NO_x 的排放还会引发酸雨和雾霾等环境问题, 进一步加剧空气质量恶化。因此, 在锅炉运行过程中, 采取有效措施控制大气污染物的排放, 已成为当前环保工作的关键任务。这不仅符合日益严格的环保法规, 也有助于实现能源利用的可持续发展。

1. 锅炉变负荷运行的特点

在锅炉执行变负荷操作过程中, 负荷的起伏变化往往会使得燃烧过程出现波动, 这种波动会对燃烧效率及排放的污染物量产生直接影响。当负荷上升时, 锅炉的燃料供应量、空气流速以及炉内温度等关键参数也会随之上升。相对地, 在负荷减少的情况下, 这些参数则会相应降低。锅炉的热力学性能、燃烧状况以及排烟成分都会因这些参数的改变而发生明显变化。尤其在负荷发生剧烈变动时, 锅炉很难保持燃烧的稳定性, 进而可能引起未充分燃烧的燃料以及有害物质 (例如 NO_x 、 SO_2) 排放量的增加。因此, 探讨如何准确调整锅炉运行参数, 使得锅炉在多种负荷条件下均能达到高效且污染最小的燃烧效果, 成为锅炉变负荷操作中的核心挑战。

2. 锅炉变负荷运行对燃烧效率的影响

2.1 燃料种类与特性对燃烧效率的影响

锅炉的运行效率会受到燃料的种类和特性的显著影响。各类燃料因燃烧属性的差异, 例如挥发性成分、发热量、灰分比例以及含水量, 这些指标均会影响燃料的燃烧速度和是否能够充分燃烧。在锅炉调整负荷的过程中, 一旦燃料属性出现变动, 可能会引起燃烧状况的不稳定。举例来说, 热值较低、灰分较高的燃料在负荷变动时更易产生燃烧不充分的问题, 进而降低燃烧效率。鉴于此, 对于不同的燃料类型, 需要相应调整锅炉的燃烧设置, 以匹配各种燃料的燃烧特点, 实现高效燃烧并降低污染排放。对燃料进行预处理以及优化燃料供应系统, 是提升燃烧效率的有效手段, 尤其在锅炉负荷变化显著时更为重要。

2.2 空燃比与燃烧组织优化对效率的影响

在锅炉燃烧过程中, 空燃比这一核心指标至关重要, 它直接关系到燃烧的彻底程度和效能。特别是在锅炉的工作负荷发生变化时, 对空燃比的精确调节显得格外关键。当锅炉负荷上升, 所需燃料量随之增加, 此时必须相应提高空气供给量, 以确保燃料能够充分燃烧。反之, 在负荷减少时, 应降低空气供应, 防止多余的氧气损耗热量。适宜的空气燃料比例不仅可以提高燃烧效率, 还能有效降低污染物的排放量。另外, 对燃烧过程的优化也是提高燃烧效率的重要途径。通过优化燃烧器的构造设计、调整喷嘴的方位和数量等手段, 可以促进燃料的均匀分布, 从而提升燃烧的均匀性和效

率。在锅炉负荷波动时，燃烧过程的优化有助于减少因燃烧不均匀而产生的能量浪费，保证锅炉在各个负荷水平上均能维持较高的燃烧效率。

2.3 负荷调节速率与锅炉燃烧热损失的关系

在讨论锅炉负荷调节速率与锅炉燃烧热损失之间的关联时，借助图表资料能直接呈现各个负荷调整速度级别下热能损耗的变动轨迹。当负荷调整速度提高，锅炉在燃烧过程中可能会遭遇不稳定的状况，进而引发热能损耗的增加。以下表 1 所示，不同调节速度对应的锅炉燃烧效能及热能损耗数据一目了然。

表 1 展示了在不同负荷调节速率下，锅炉燃烧热损失的变化情况：

负荷调节速率 (%)	锅炉热损失 (%)	燃烧效率 (%)
5	3.2	96.8
10	4.1	95.9
15	5.3	94.7
20	6.2	93.8
25	7.5	92.5

3. 锅炉变负荷过程中污染物控制策略

3.1 低 NO_x 燃烧技术的应用与适配

在锅炉运行过程中，尤其是在负荷频繁变动的情形下，减少氮氧化物（NO_x）排放的燃烧技术显得尤为关键，因为此时 NO_x 的产生量往往会有所上升。通过调整燃烧参数、控制燃烧温度和降低过剩空气的比例，低 NO_x 排放的燃烧技术可以显著减少 NO_x 的形成。比如，实施多级燃烧策略、调整燃烧器的操作方式以及运用先进的低 NO_x 燃烧技术，均可有效降低 NO_x 排放水平。在锅炉负荷发生变化之际，自动控制系统需及时调整燃烧器的运行参数，力求在燃烧过程中将 NO_x 的生成降至最低。另外，借助燃烧优化工具和实时监测系统对燃烧参数进行动态调整，能够确保锅炉在多种负荷状态下均能达到低 NO_x 排放标准，以符合环保的相关规定。

3.2 脱硫系统运行参数的优化调整

脱硫系统在锅炉燃烧过程中起着至关重要的作用，特别是在变负荷运行时。负荷波动可能导致锅炉烟气温度和流量的变化，从而影响脱硫设备的脱硫效果。因此，优化脱硫系统的运行参数，如石灰石与烟气的接触时间、喷雾系统的调节、烟气流量控制等，能够确保脱硫效果的稳定性。通过精确控制脱硫剂的添加量和脱硫系统的运行状态，可以在锅炉负荷波动期间实现对 SO₂ 的高效去除。此外，采用先进的

脱硫技术，如干法脱硫、湿法脱硫等，也能有效提高脱硫系统的适应性，确保污染物排放达到环保标准。针对不同负荷条件，还可通过实时监测与调节系统动态调整脱硫操作，进一步提高脱硫效率，并最大限度减少燃烧过程中 SO₂ 的排放。

3.3 除尘设备性能提升与多级净化技术的应用

除尘设备的性能直接影响锅炉的烟气排放质量。在变负荷运行过程中，除尘设备的工作效率可能受到烟气流量和颗粒物浓度波动的影响，因此需要优化除尘设备的运行参数。例如，通过调整除尘器的气流分布、增加过滤单元的数量或更换高效滤芯，可以提升除尘效果。多级净化技术的应用，例如结合电除尘、袋式除尘和湿法除尘等技术，能够有效提高锅炉在变负荷运行时的污染物去除效率。多级净化不仅能够去除烟气中的大颗粒物，还能有效控制烟气中的微细颗粒物和其他有害物质，确保锅炉在不同负荷下都能达到环保标准，减少对环境的影响。采用先进的监控与调节技术，实时调节除尘设备的工作状态，也能进一步提高其稳定性和净化效果。

4. 结语

锅炉在变负荷运行过程中，燃烧效率和污染物排放控制面临诸多挑战。负荷波动对燃烧过程的影响不可忽视，合理调节燃烧参数、优化燃烧技术和提升污染物控制系统是确保锅炉高效、低排放运行的关键。通过燃料种类与特性的优化、空燃比与燃烧组织的改进、负荷调节速率的合理控制，以及低 NO_x 燃烧技术、脱硫系统和除尘设备的提升，锅炉在变负荷过程中能够实现更高的燃烧效率并有效减少污染物排放。未来，随着技术的不断进步和环保要求的提高，锅炉运行管理将更加精细化和智能化，为实现绿色、节能的能源利用提供有力支撑。同时，政策和技术的双重推动将进一步促进锅炉系统的优化升级，确保环境保护与能源效率的双赢。

参考文献：

- [1] 黄思林, 何学山, 庄文军, 等. 350 MW 循环流化床锅炉不同负荷下运行特性及污染物排放试验研究 [J]. 工业加热, 2023, 52(3):26-30.
- [2] 孔维鑫, 吕毅, 代亮亮. 600 MW 超临界“W”火焰锅炉劣质煤稳燃技术探究 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(6):117-123.
- [3] 侯荣利. 基于锅炉燃烧调整降低锅炉高温腐蚀的研究 [J]. 电力学报, 2021, 036(004):363-370.