

新型环保锅炉技术在工业发展中的应用

燕志辉

中国电建集团江西省电力建设有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i6.10382

[摘要] 为了促进新型环保锅炉技术的研究与运用,本文探讨循环流化床CFB锅炉的工作机制与内外循环系统,分析基于低NO_x燃烧技术的600MW级FW型W型火焰锅炉运行过程中,循环流化床CFB锅炉采取流态化分级燃烧方式。二次风分为上二次风和下二次风,运行中可调节炉内的温度分布,防止局部温度过高,抑制了氮氧化物(NO_x)的生成,达到环保效果。结合环保高效节能锅炉的运行效益,为当前工业锅炉的优化利用提供技术支持,增强工业生产的环保效益。

[关键词] 环保锅炉技术; CFB锅炉; 氮氧化物; 能源利用

中图分类号: TK229.8 **文献标识码:** A

Development and application of new environmental protection boiler technology in industrial application

Zhihui Yan

China Power Construction Group Jiangxi Electric Power Construction Co., Ltd.

[Abstract] In order to promote the research and application of new environmental protection boiler technology, this paper discusses the working mechanism and internal and external circulation system of CFB boiler in CFB, and analyzes the fluidization stage combustion mode adopted by CFB boiler in the operation process of 600MW FW type W flame boiler based on low NO_x combustion technology. The secondary air is divided into the upper secondary air and the lower secondary air, and the temperature distribution in the furnace can be adjusted during operation, to prevent the local temperature from being too high, to inhibit the generation of nitrogen oxides (NO_x), and to achieve environmental protection. Combined with the operation benefits of environmental protection and energy-saving boilers, it provides technical support for the optimal utilization of current industrial boilers and enhances the environmental benefits of industrial production.

[Key words] environmental protection boiler technology; CFB boiler; Nitrogen oxides; Energy utilization

随着全球对环境保护意识的增强,工业锅炉属于能源消耗与污染物排放的重要源头,在工业生产中不断进行技术革新,提升环保性能与能效水平。新型环保锅炉技术的发展与应用,有助于减少工业生产对环境的影响,提高能源利用效率,实现可持续发展^[1]。近年来,循环流化床CFB锅炉设计持续向高容量、超高性能参数的方向发展。据相关统计,截至2023年底,我国已投入运行的100MW及以上容量的CFB锅炉机组数量已超过632台,总装机容量突破100GW。超过150台机组达到了300MW及以上的高容量级别,广泛应用于电力生产、区域供热、石油化工、纺织印染等多个领域。随着燃煤与耦合清洁利用技术的不断推广,CFB锅炉在我国工业领域中具有广阔的应用前景,能够为推动我国能源结构的优化持续贡献力量^[2]。

1 FW型W型火焰锅炉的概况

研究基于低NO_x燃烧技术的600MW级FW型W型火焰锅炉。锅炉

结构独特,炉拱划分为上、下两个独立的炉膛区域,每个炉膛上方均对称设置有高效的双旋风燃烧器。从环保角度分析,为了提升燃烧效率与环保性能,对锅炉进行适当改进,将原本位于炉拱上方的淡煤粉一次风喷嘴重新布局至拱下,原有的72组喷嘴优化为36组,提高煤粉的混合效率。A层二次风的喷口设计由传统的环形转变为圆形,增强二次风与煤粉的混合效果,促进燃料的快速点燃,提高了系统的整体运行效率。F1、F2两层二次风整合为单一的F层二次风,简化了燃烧器结构,优化炉内气流分布。设计占总风率约20%的二次风作为SOFA风,布置在上炉膛位置,上炉膛宽9.906m,下炉膛宽16.062m^[3]。

2 循环流化床CFB环保锅炉设备及工艺条件

2.1 循环流化床CFB环保锅炉设计参数条件

循环流化床CFB环保锅炉设计中,高效生产蒸汽,满足工业需求。额定蒸汽生产能力设定为410t/h,保证持续的蒸汽供应。

过热蒸汽压力设定为9.81MPa, 保证蒸汽的高能量传输。过热蒸汽温度设定为540℃, 保证蒸汽的热能质量。CFB锅炉采用混合燃料策略, 燃料配比为烟煤与石油焦的4:1混合, 利用烟煤的燃烧稳定性, 实现燃料的最大化利用。入炉燃料的低位发热量23.79MJ/kg。为了保证燃料的充分燃烧, CFB锅炉对燃料粒径有严格要求, 即燃料粒径 $\leq 10\text{mm}$, 减少燃料在炉内的不完全燃烧现象, 提高燃烧效率。CFB锅炉设计还原剂添加系统, 降低氮氧化物等有害气体的排放。还原剂为尿素, 总氮含量不低于46%, 达到良好的脱硝效果。尿素年消耗量1506吨^[4]。

表1 燃用煤种使用情况的分析

元素分析		工业分析	
H _{ad} %	2.26	M _{ad} %	2
N _{ad} %	0.68	FC _{ad} %	49.93
C _{ad} %	51.56	V _{ad} %	8.27
O _{ad} %	2.46	A _{ad} %	39.8
S _{ad} %	1.24	Q _{net,ar} KJ kg ⁻¹	17370

2. 2循环流化床CFB环保锅炉测试工况

结合煤焦混烧的循环流化床CFB锅炉不同负荷条件下氧含量的变化, 调整石灰石与飞灰再循环量, 了解不同因素对NO_x生成与脱除效果的影响。在310t/h、360t/h和390t/h三种负荷工况下, 进行实验设计。为了确保测量结果的准确性, 采用42i型化学发光NO-NO₂-NO_x分析仪策略NO_x, 可覆盖0~150mg/m³的浓度范围, 精度0.5%。在尿素开关关停试验设定中, 尿素喷枪规划为三个层级。每台锅炉的炉膛两侧均设有六支喷枪。从垂直位置来看, 喷枪均匀地分为三层。

3 循环流化床CFB环保锅炉NO_x测试结果分析

当氧气浓度从3%提升至4%时, NO_x浓度显著增加了15mg/m³。当氧气浓度进一步增加至4%时, NO_x浓度的变化并不明显, 脱硝效果趋于饱和。因此将氧气浓度控制在3%以下, 当氧气浓度从3%增加到4%时, NO_x浓度激增35mg/m³, 氧气浓度的微小增加可导致NO_x排放上升。因此, 在锅炉技术运用中, 精确控制氧气含量, 减少NO_x排放, 提高脱硝处理效率, 减少风机能耗。在没有添加尿素的情况下, 石灰石的加入导致NO_x生成量的增加, 为此在进行锅炉内脱硫操作时, 将石灰石的添加量控制在适宜的范围内。虽然从减少NO_x排放的角度来看, 不添加石灰石可能更为理想, 但可导致SO₂排放超标, 不利于湿法脱硫系统的运行。因此在锅炉负荷为360t/h时, 将石灰石转速设定在1.5r/min左右, 在390t/h更高负荷时, 将转速适当降低至1r/min左右, 平衡NO_x和SO₂的排放, 优化脱硝效率^[5]。实际操作中, 合理平衡NO_x减排与脱硝成本之间的关系。为进一步优化脱硝效果, 对CFB锅炉的脱硝系统进行了喷枪开关调节。在实验过程中, 优化虑喷枪的布局。

表2 CFB锅炉理论计算结果

锅炉运行温度/K	吸收塔后 NO _x 理论值/(mg·m ⁻³)	负荷/(t·h ⁻¹)	尿素投入量/(kg·h ⁻¹)
1133	67.3	320	60
1113	90.4	360	75.1
1123	124	390	55

4 循环流化床CFB环保锅炉的工业应用

4.1 CFB环保锅炉的工艺流程分析

煤炭与石灰石经过预处理, 粉碎成粒径在0~10mm范围内的颗粒, 与石灰石等脱硫剂混合, 基于自动化给料系统送入炉膛的底部进料口。颗粒可根据需要单独送入, 预先按照特定的比例混合后送入^[6]。利用热交换器将一次风预热, 提高燃烧效率。将准备好的燃料与预热后的空气在流化床燃烧室内混合。在燃烧室内, 燃料在高速上升的热空气作用下, 形成流化状态, 实现充分燃烧。燃烧产生的高温烟气通过换热器, 将热能传递给水、蒸汽, 产生蒸汽、热水。烟气通过脱硫塔, 与石灰石反应去除二氧化硫等有害气体。利用除尘设备去除烟尘。净化后的烟气进行热量回收与利用。经过一系列的热交换过程后, 烟气的温度降低到约130℃左右。最后, 经过除尘器的处理, 处理后的清洁烟气经过烟囱排放到大气中, 排放标准符合环保要求。

4.2 运用流态化分级燃烧方式

相比于煤粉锅炉, 循环流化床CFB锅炉的工作机制错综复杂, 采取独特的流态化分级燃烧方式。在作业过程中, 燃烧活动遍布整个炉膛, 呈现出一种动态平衡。炉膛内部, 根据物料浓度的不同, 可自然划分为两个区域, 上部是浓度较低的稀相区, 下部为浓度较高的密相区。循环流化床CFB环保锅炉具有对环境友好的优势。在运用过程中, 精心设计燃烧阶段控制, 降低氮氧化物和硫化物的排放量, 减轻对大气的污染。分级燃烧技术能够在燃烧的不同阶段精确地调节空气与燃料的混合比例, 保证燃料在每一个阶段均能得到最有效的燃烧, 最大限度地减少有害物质的生成。CFB锅炉内部的流态化床层中, 床层内的物料在高速气流的作用下呈现出类似液体流动的状态, 使得燃料颗粒与空气之间能够实现极为充分的接触, 提高了燃烧效率, 由于床层物料的循环作用, 热量得到了均匀的分散, 保持了床层温度的稳定, 能够优化燃烧过程, 保证整个燃烧过程的高效清洁。CFB锅炉在处理低热值燃料与高含硫燃料方面具有独特的优势, 能够适应各种燃料的特性, 处理传统锅炉难以高效燃烧的燃料。因此, CFB锅炉在环保方面表现出色, 在能源利用效率层面具有显著优势, 成为当前环保锅炉领域的一项重要技术突破。随着环保要求的日益严格, CFB锅炉用于卓越的性能与环保特性, 逐渐成为工业锅炉市场的主流选择。

4.3 内外循环分析

结合运行需求, 设计炉内物料循环燃烧系统, CFB锅炉能延长燃料在炉膛内的停留时间, 在较低的温度下达到较为理想的

燃料燃尽率。目前实际运行的CFB锅炉燃料利用率已高达98%~99%，燃烧效率表现优异。“循环”是CFB锅炉的重要特征，炉膛内部物料在一次风的作用下被吹起，形成的环-核流动模式，即“内循环”，促进了炉膛内部的热传递与燃烧过程的进行，通过外部旋风分离器将未完全燃烧的物料重新送回炉膛进行再次燃烧，即“外循环”。内外循环的双重作用，保证了CFB锅炉炉膛内物料浓度的高水平维持，有利于提升锅炉的传热效率与燃烧效率^[7]。

表3 10t/h环保高效煤粉锅炉系统效益分析

序号	项目	链条锅炉	燃油锅炉	水煤浆锅炉	燃气锅炉	环保煤粉锅炉	单位
1	燃料单价	950	4400	950	3000	1150	元/t
2	每吨蒸汽燃料消耗量	191.39	66.67	185	80.32	105.82	kg(或立方)
3	水费	7	7	7	7	7	元/蒸吨
4	人工费	2.1	1.4	2	1.4	1.6	元/蒸吨
5	设备折旧	2	1.67	2.44	3.89	3	元/蒸吨
6	年运行成本/7.2万	1435.18	2759.49	1401.77	2048.33	996.67	万元
	吨蒸汽						
7	热效率	56	90	82	90	90	%
8	发热量	5700	10000	4200	8300	6300	Kcal/kg
9	每吨蒸汽	182.23	293.34	175.75	269	121.7	元/蒸吨
	燃料费用						
10	电费	6	3.2	5.5	3.2	5.13	元/蒸吨
11	运行成本	199.3	306.61	194.69	284.49	138.43	元/蒸吨

综合评估脱硫废水处理之后，脱硫废水的成分。结果显示，化学需氧量(COD)实测值2980mg/L，远超国家标准限定的120mg/L，废水中氨氮含量380mg/L，也远高于50mg/L的允许上限。因此从实际结果来看，脱硫废水在排放前，进行必要的净化处理，保证各项指标达到国家环保标准。

5 环保高效节能锅炉效益分析

环保高效节能煤粉锅炉配备了先进的变频器，提升了设备的智能化水平，显著提高了煤粉的燃烧效率，能够达到不低于98%的燃烧效率，实现了能源的最大化利用。锅炉热效率稳定在90%以上，远高于传统锅炉，高效能的转化提升了锅炉的整体性能，大幅降低了能源消耗。在环保方面，锅炉烟尘(TSP)排放量严格控制在每立方米不超过20毫克，远低于国家环保标准。

6 结束语

随着当前工业技术的进步，锅炉环保技术不断更新，对传统技术进行更新换代，循环流化床CFB锅炉在环保和节能方面具有显著优势，在运行过程中构建了独特的流态化分级燃烧方式与内外循环系统，提高了燃烧效率，有效控制了氮氧化物和二氧化硫的排放，满足了国家环保标准，在工业领域中具有较强的应用价值。CFB锅炉的燃料利用率高，热效率稳定，运行成本相对较低，实现了经济效益与环保效益的双赢，工业推广价值较高。

[参考文献]

- [1]李子彬,陈绍清.燃煤锅炉烟气低温SCR脱硝效率影响因素研究[J].化学与生物工程,2024,41(09):57-59+68.
- [2]原志勇.湿法脱硫技术在H型钢加热炉烟气超低排放治理中的应用[J].山西冶金,2023,46(12):135-136+142.
- [3]朱禹洲,彭耀鑫,丁新.新型低碳智能模块锅炉在酒店热源改造中的实验测试研究[J].科技与创新,2024,(17):49-52+55.
- [4]李鹏,肖建群.某2×9H级燃机电厂末端废水零排放工艺路线设计[J].水处理技术,2024,50(09):134-138.
- [5]皇甫宇杰.1050 MW轴流式汽动引风机抢风问题分析及其解决对策研究[J].机械管理开发,2023,38(12):236-238.
- [6]乔小梅,原凌云.超临界高压锅炉P91管坯加热温度对穿管质量的影响分析[J].山西冶金,2022,45(09):33-35.
- [7]侯岩,王贺新,王轩,等.中速磨煤机改造技术在煤电制粉系统中的应用分析[J].电站辅机,2022,43(04):42-45.

作者简介:

燕志辉(1990--),男,汉族,江西省进贤县人,大专,工程师,从事电力建设工程管理工作。