

1000MW机组锅炉配风方式对燃烧效率的影响

宁亚平 白轩琛

黄陵矿业沮源发电有限公司 陕西 延安 727307

摘要: 1000MW超超临界前后墙对冲锅炉是目前国内火电主力机型,其配风方式直接决定煤粉燃烧效率与污染物排放水平。本文以典型1000MW前后墙对冲锅炉为研究对象,系统分析均等配风、分级配风、倒宝塔配风等主流方式的燃烧特性,探究一次风参数、燃尽风比例、过量空气系数等关键指标的影响规律。结合变煤种、变负荷工况,提出配风优化与SCR协同调控策略。科学的分级配风与参数匹配可强化煤粉燃尽,降低机械不完全燃烧损失,抑制NO_x生成,显著提升机组燃烧效率与经济性。

关键词: 1000MW超超临界机组; 锅炉配风; 燃烧效率; NO_x排放

引言: 在新型电力系统建设背景下,1000MW超超临界前后墙对冲火电机组凭借高效、低耗优势成为电网基荷电源的核心支撑。锅炉燃烧效率直接影响机组供电煤耗与环保指标。当前机组频繁参与深度调峰、煤种掺烧比例波动大,传统固定配风模式易出现煤粉燃尽差、炉膛温度不均、NO_x超标等问题,严重制约经济环保运行。前后墙对冲锅炉配风方式直接决定炉内流场、温度场、浓度场的分布形态,不同配风策略适配的燃烧工况差异显著。本文依托1000MW前后墙对冲机组运行特性,剖析各类配风方式及关键参数对燃烧效率的影响规律,制定优化策略,为机组高效低排运行提供技术支撑。

1 1000MW 前后墙对冲锅炉燃烧系统与配风原理

1000MW超超临界机组锅炉广泛采用旋流燃烧器前后墙对冲布置形式,前后墙各布置多层旋流燃烧器,每台燃烧器独立配风,燃烧系统由一次风系统、二次风系统、燃尽风系统及配风调控装置组成,各系统协同完成煤粉输送、混合燃烧与燃尽全过程。一次风承担煤粉输送、干燥及初期着火任务;二次风为煤粉燃烧提供主要氧气,通过旋流结构产生回流区,卷吸高温烟气加热煤粉,促进着火;燃尽风布置于炉膛上部,为残余焦炭与可燃气体补充燃尽所需氧气。锅炉配风的核心原理是通过调控前后墙各层燃烧器风量配比及燃尽风比例,优化炉内空气动力场,实现煤粉与空气的精准混合,构建合理的温度场与氧浓度场。前后墙对冲燃烧特有的气流对冲扰动可强化湍流混合,缩短着火延迟时间,但对称性要求极高,单侧风量偏差会引发火焰偏斜、烟温偏差等问题。1000MW机组炉膛容积大、热负荷高,配风均匀性与层级性对燃烧稳定性、燃尽效率的影响更为显著,精准配风是提升燃烧效率的关键^[1]。

2 前后墙对冲锅炉主要配风方式及影响分析

2.1 均等配风(等风量配风)

均等配风指前后墙各层燃烧器各喷口风量均匀分配,调控简便,是机组基础运行方式。该方式下前后墙气流对冲均衡,炉内氧浓度分布均匀,温度场平稳,无局部高温或严重缺氧问题,可保障燃烧稳定性,避免火焰偏斜等异常,适合额定负荷与设计煤种稳定运行。但短板明显:初期着火区风量偏大导致着火推迟、燃烧强度不足;后期燃尽区风量不足使残余焦炭无法充分燃尽,飞灰含碳量升高,增大机械不完全燃烧热损失;全域富氧环境加剧高温区NO_x生成,综合效率有限。在1000MW前后墙对冲锅炉中,均等配风仅适用于煤质稳定、额定负荷的基准工况,变工况适配性较差。

2.2 分级配风(上下浓淡配风)

分级配风是1000MW前后墙对冲锅炉应用最广泛的高效配风方式,核心为将前后墙燃烧器按上下层进行风量分级,实现浓淡配比。下层燃烧器配风偏少,形成缺氧着火环境,降低下部温度峰值,抑制燃料型NO_x生成;上层及燃尽区配风充足,保障煤粉后期充分燃尽。对冲气流与浓淡分级的叠加效应可优化炉内温度梯度,规避高温峰值区域,有效平衡低氮燃烧与高效燃尽的矛盾,大幅降低不完全燃烧热损失。在1000MW前后墙对冲锅炉中,分级配风需重点确保前后墙对应层级风量对称,单侧偏差不得超过3%,否则会引发气流偏斜与火焰偏移。该方式适配常规负荷及烟煤、贫煤掺烧工况,是兼顾经济性与环保性的核心模式。低负荷下分级配比易出现风量失衡,需针对性微调下层燃烧器风量,保证稳燃所需氧量^[2]。

2.3 倒宝塔配风(下稀上浓)

倒宝塔配风核心为前后墙下部燃烧器配风稀疏、上部及燃尽风集中,与分级配风原理相近但风量梯度更

大。前后墙下部二次风大幅降低,煤粉在缺氧条件下完成初期着火,有效降低下部高温热力场,从源头抑制NO_x生成;上部燃尽风显著提升,充足氧气快速燃尽残余煤粉与可燃气体。对于前后墙对冲锅炉,倒宝塔配风可使火焰中心适度上移,降低炉膛出口烟温偏差,减少屏式过热器结焦风险。但下部风量过低易导致前后墙对冲气流刚性不足,低负荷下可能出现火焰脉动、稳燃困难,轻微增加不完全燃烧损失。前后墙对称性控制要求更高,下部风量需精确校准两侧偏差。整体而言,倒宝塔配风适配高挥发分煤种、高负荷稳燃工况,在1000MW前后墙对冲锅炉中可兼顾较高燃烧效率与超低NO_x排放。

2.4 前后墙对冲配风的核心优势与调控要点

前后墙对冲配风是1000MW机组前后墙旋流燃烧锅炉的基础气流组织方式,通过前后墙燃烧器分层对称配风,使两股气流在炉膛中心对冲扰动,形成均匀饱满的空气动力场。与四角切圆相比,对冲配风可强化煤粉与空气的湍流混合,煤粉着火速度快、燃烧反应充分,炉内温度分布均匀,无明显燃烧死角,机械不完全燃烧热损失极低,燃烧稳定性强。该方式下炉膛热负荷分布均衡,水冷壁受热均匀,可有效规避局部结焦、高温腐蚀等问题,保障锅炉长期高效运行。前后墙对冲配风对对称性要求极高,若前后墙或两侧墙风量偏差过大,会造成对冲气流偏斜、火焰中心偏移,引发炉膛出口烟温偏差增大、局部还原气氛加剧腐蚀、燃尽效果下降。实际运行中需通过热态试验标定各层燃烧器风量,确保同层前后墙风量偏差 $\leq 3\%$,同时配合燃尽风分级调控,平衡燃烧效率与环保指标。合理的对冲配风是1000MW前后墙锅炉高效低氮运行的核心保障^[3]。

2.5 前后墙对冲锅炉不同配风方式的效率对比

综合对比三种主要配风方式在1000MW前后墙对冲锅炉中的表现:均等配风结构简单,但效率与环保性均偏低;分级配风综合性能最优,燃烧效率较均等配风可提升0.5%~1.0%,NO_x降低15%~20%,是日常运行首选模式;倒宝塔配风低氮效果突出,NO_x可再降低5%~10%,但燃烧效率略降0.3%~0.5%,适用于高挥发分煤种及环保超低排放约束工况。前后墙对冲锅炉配风方式的选择需根据煤质、负荷及排放限值综合确定,分级配风为基准模式,特殊工况切换至倒宝塔或均等模式,并严格校验前后墙配风对称性,以充分发挥对冲燃烧效率优势。

3 配风关键参数对燃烧效率的影响规律

3.1 一次风率的影响

一次风率是一次风风量占总风量的比例,直接决定煤粉干燥、输送及初期着火效果。一次风率过低,煤粉

干燥能力不足,含水率偏高、流动性变差,易造成磨煤机堵煤、输送不畅,着火所需氧气不足,煤粉着火延迟,大幅增加不完全燃烧损失。一次风率过高,会降低一次风温,带走炉膛热量,造成着火温度不足,燃烧反应速率下降,排烟热损失增大。对于前后墙对冲锅炉,一次风率偏差还会影响旋流燃烧器回流区强度,进而改变着火稳定性。结合运行数据,1000MW前后墙对冲机组额定负荷下最优一次风率控制在20%~25%,可兼顾输送干燥与初期燃烧,煤种挥发分偏低时可适当提升风率^[4]。

3.2 一次风速的影响

一次风速直接影响旋流燃烧器回流区特性、着火距离与混合效果。一次风速过低,射流刚性不足,回流区卷吸能力减弱,火焰易贴壁,燃烧器喷口易积粉结焦,煤粉着火距离过短,喷口局部高温易烧损设备,混合不均导致燃尽率下降。一次风速过高,射流穿透性过强,着火距离大幅延长,煤粉在炉膛内停留时间缩短,大量煤粉未燃尽即进入尾部烟道,飞灰含碳量显著升高。前后墙对冲锅炉两侧燃烧器一次风速偏差过大会造成前后墙气流对冲失衡,引发火焰偏斜与燃烧不稳。1000MW机组常规工况下最优一次风速为24~28m/s,可实现快速着火与充分燃尽的平衡。

3.3 燃尽风(OFA)比例的影响

燃尽风是炉膛上部补充燃尽的关键风源,其比例直接影响燃尽效果与NO_x排放。OFA比例过低,炉膛上部氧含量不足,残余焦炭与可燃气体无法充分燃尽,飞灰含碳量升高,燃烧热损失增加;同时下部燃烧区域风量占比偏高,高温富氧环境加剧NO_x生成。OFA比例过高,炉膛上部温度骤降,燃烧反应速率减弱,反而抑制燃尽,且过量冷风增大排烟热损失。在前后墙对冲锅炉中,OFA比例还需与前后墙分级配风协调,确保燃尽风在炉膛截面均匀分布,避免偏斜造成局部缺氧。1000MW机组最优OFA比例控制在15%~20%,可有效强化后期燃尽、降低热损失,同时实现低氮燃烧。

3.4 过量空气系数的影响

过量空气系数是调控燃烧效率的核心全局参数。系数过小,炉内整体缺氧,煤粉燃烧反应不彻底,飞灰、炉渣含碳量大幅升高,不完全燃烧热损失激增。系数过大,过剩冷空气稀释炉温,降低燃烧反应强度,同时大幅增加排烟量与排烟热损失,风机电耗同步上升,全域富氧环境提升NO_x排放。前后墙对冲锅炉对过量空气系数变化更为敏感,系数不均会造成前后墙氧量偏差、对冲气流失衡。1000MW机组额定负荷下最优过量空气系数为1.15~1.20,低负荷工况可调整至1.20~1.25,既能保障

充分燃尽,又可最大限度降低排烟损失与污染物排放。

4 配风优化的综合策略

4.1 基于煤种的配风自适应调整

1000MW前后墙对冲机组煤种掺烧、煤质波动是常态,需建立煤种自适应配风机制。高挥发分煤种着火快、燃烧剧烈,需适度降低一次风率与一次风速,提升OFA比例,采用倒宝塔配风模式,抑制初期富氧燃烧降低NO_x,同时保障后期燃尽。低挥发分、劣质煤种着火难、燃尽性差,需采用分级配风模式,增大下层二次风配比强化初期着火,降低OFA比例避免上部温度过低,同时确保前后墙燃烧器配风对称性。通过入炉煤质快速检测联动配风参数调整,可解决煤质波动导致的燃烧不稳、效率下降问题。前后墙对冲锅炉对煤质变化的适应性优于其他炉型,但仍需精准调控,保障不同煤种下高效稳定燃烧。

4.2 基于负荷的配风优化

1000MW机组深度调峰常态化,需制定分负荷配风优化方案。高负荷运行时,炉膛热负荷高,需适度提升总风量,采用分级配风模式,合理分配前后墙上下层二次风与OFA比例,保障充足供氧与燃烧均匀性,前后墙风量偏差严控 $\leq 3\%$ 。中低负荷运行时,炉膛温度水平低、燃烧稳定性差,需降低过量空气系数,减小一次风速,采用浓淡分级配风,集中热量稳燃,严控OFA风量避免炉膛温度骤降。前后墙对冲锅炉低负荷稳燃优势明显,但需精细调整各层燃烧器配风,保持对冲气流稳定。分负荷精准配风可有效解决变负荷工况燃烧效率波动,提升全负荷段经济运行水平。

4.3 配风与SCR的协同优化

锅炉配风不仅影响燃烧效率,还直接决定SCR入口烟气温、氧量及NO_x浓度,二者协同优化是机组高效低排运行的关键。常规低氮配风会降低炉膛出口烟温,易导致低负荷下SCR入口烟温偏低,触发脱硝系统退出,同时过度分级配风易造成燃尽不足、效率下降。前后墙对

冲锅炉因其燃烧均匀性好、出口烟温分布稳定,为配风与SCR协同创造了有利条件。通过协同调控,可在低氮配风、高效燃烧与脱硝稳定之间实现平衡,适度优化OFA比例与分级配比,在控制NO_x初始生成的同时,保障SCR入口烟温处于最佳反应区间(315~400℃),提升脱硝效率,减少喷氨过量造成的氨逃逸与设备腐蚀,同步提升锅炉燃烧效率与脱硝系统运行稳定性,降低机组整体运维成本。

结束语

本文系统探究了1000MW前后墙对冲锅炉配风方式及核心参数对燃烧效率与NO_x排放的影响规律。针对前后墙对冲锅炉的气流组织形式,明确均等配风、分级配风、倒宝塔配风的适配工况及优劣特性,厘清一次风率、OFA比例、过量空气系数的最优调控区间,强调前后墙配风对称性是对冲燃烧的核心控制要素。结合煤种、负荷及SCR协同需求,构建了基于前后墙对冲锅炉的多维度配风优化策略,有效平衡效率与排放。后续可建立配风自适应调控模型,结合前后墙风量在线监测与自动平衡技术,实现精准智能调控,提升机组全工况高效低排运行水平。

参考文献

- [1]姬晓明,贾启河,申亚学.运行氧量联合配风调整技术对1 000 MW超超临界机组锅炉燃烧经济效益的影响[J].科技创新与应用,2025,15(26):57-60.
- [2]王建勋.330 MW机组掺烧劣质煤及配风方式对锅炉运行经济性的影响分析[J].电站系统工程,2023,39(1):25-28.
- [3]项岱军,王煜伟,王小华,等.锅炉不同配风方式下炉内高温腐蚀影响特性研究与运行防控[J].锅炉技术,2021,52(4):8-11,42.
- [4]赵凯杰.浅析燃烧调整对NO_x排放和锅炉效率的影响[J].电力设备管理,2023(9):108-110.