

超临界对冲燃烧锅炉金属壁温超限分析与治理

梁云旺

广州粤能电力科技开发有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/EPTSM.2025060013

摘 要 : 某电厂 660MW 超临界对冲燃烧锅炉运行过程中金属壁温超限及壁温偏差大, 经过对锅炉制粉系统进行全面优化调整, 在各种负荷工况下进行不同燃烧器投运方式和燃烧器沿炉膛垂直高度、宽度以及深度方向上的配风优化调整, 使得锅炉热负荷分布均匀, 解决各负荷段下水冷壁金属壁温超温现象, 使得水冷壁、屏过、高过、高再壁温均在可控范围之内, 提高了锅炉运行的安全性及经济性。

关 键 词 : 超临界锅炉; 壁温超限; 运行调整; 机组安全

Analysis and Treatment of Metal Wall Temperature Overrun of 660Mw Supercritical Opposed Firing Boiler

Liang Yunwang

Guangzhou Yueneng Power Technology Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : During the operation of supercritical opposed firing boiler in a power plant, the metal wall temperature exceeds the limit and the wall temperature deviation is large. Through comprehensive optimization and adjustment of the boiler pulverizing system, different burner operation modes and air distribution optimization and adjustment of burners along the vertical height, width and depth of the furnace are carried out under various load conditions, so that the boiler thermal load is evenly distributed, and the phenomenon of metal wall temperature overheating of the water wall in each load section is solved, The temperature of water wall, platen superheater, high temperature superheater and high temperature reheater are all within the controllable range, which improves the safety and economy of boiler operation.

Keywords : supercritical boiler; wall temperature overrun; operation adjustment; unit safety

一、概况

某发电有限公司 660MW 超临界锅炉由东方锅炉(集团)股份公司设计制造。锅炉型号为 DG2060/26.15- II 2, 型式为 π 型、单炉膛、一次中间再热、尾部双烟道结构、前后墙对冲燃烧方式、旋流燃烧器、平衡通风、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构露天布置, 采用内置式启动分离系统、三分仓回转式空气预热器、采用正压冷一次风机直吹式制粉系统、超超临界参数变压直流本生型锅炉。

锅炉在中低负荷特别是低负荷(250MW)经常出现锅炉水冷壁金属壁温偏差大、容易超温, 同时凝渣管 43 号点也容易出现超温; 锅炉屏式过热器和高温过热器金属壁温在机组加减负荷时候经常出现壁温超温等影响锅炉安全运行的问题。

本文通过总结锅炉制粉系统全面优化调整试验数据, 得出制粉系统最佳运行方式, 并在不同负荷下进行不同燃烧器投运方式和燃烧器沿炉膛垂直高度、宽度以及深度方向上的配风优化调整系列试验数据, 进一步掌握锅炉的运行特性, 使锅炉热负荷均匀分布, 解决锅炉运行过程中稳态下的金属壁温超限及壁温偏差大

和减少动态变负荷过程中屏式过热器和高温过热器金属壁温超限, 以提高锅炉运行的安全及经济性。

二、分析试验

(一) 原理分析

对于已经运行的锅炉, 其结构参数无法调整, 可调整参数主要为一、二次风率, 氧量, 一次风温, 一次风量及风速, 燃烧器分级配风状况等。

对冲旋流燃烧煤粉燃烧器将燃烧用空气分为四部分: 一次风、内二次风、外二次风和中心风。其中一次风经煤粉管道、燃烧器一次风管、煤粉浓缩器后喷入炉膛; 内二次风和外二次风通过燃烧器内同心的内二次风、外二次风环形通道在燃烧的不同阶段喷入炉内(外侧为外二次风), 实现分级供风, 降低 NO_x 的生成量。进入每个燃烧器的内二次风量可通过燃烧器上的套筒式二次风门进行调节, 为手动。通过调节内二次风门的开度可得到适当的内二次风量, 以获得最佳燃烧工况, 即良好的着火稳燃性能、高的燃烧效率、低的 NO_x 排放量及防止燃烧器结焦等。进入

每个燃烧器的外二次风量可通过燃烧器上切向布置的叶轮式风门挡板进行调节。调节外二次风门挡板的开度,即可得到适当的外二次风量和外二次风旋流强度,以获得最佳燃烧工况。燃烧器内设有中心风管,其中布置油枪、高能点火器等设备。每个燃烧器的中心风由该层中心风母管提供,中心风母管入口处设有风门挡板用以调节风量^[1]。

氧量:氧量是锅炉运行的一个重要监测参数,它的改变导致炉内燃烧风量和烟气量的变化,而燃烧风量是一个重要参数,烟气量是一个重要传热参数,因此合理调整燃烧氧量,可以确保煤粉燃烬、NO_x生成量低、炉膛不发生高温腐蚀、各段受热面汽温、壁温符合经济安全运行的要求,减温水量和排烟温度都在合理范围之内。现在大容量锅炉由于炉膛热负荷高,燃尽状况一般都很好,在确保炉膛水冷壁不发生高温腐蚀的情况下采用低氧燃烧,其好处主要有:一、低氧燃烧意味着燃烧风量的减少,NO_x也有一定程度的降低,具有环保意义;二、低氧燃烧,其烟气量减少,排烟损失减小,提高运行经济性。

一次风温:锅炉制粉系统采用直吹式中速磨系统,一次风温的选择主要取决于制粉系统的防爆要求和磨煤机掺冷风量的大小。一次风温越高,则煤粉气流达到着火点所需热量就越少,着火点提前,着火速度就越快。但一次风温过高,对于燃用高挥发分的煤种时,往往会由于着火点离燃烧器喷口过近而造成结渣或烧坏喷燃器。反之,一次风温过低,则会使煤粉的着火点推迟,对着火不利。为确保制粉系统安全,一次风温(磨煤机出口风温)尽量选择相对较低温度,对于燃烧烟煤,通常不超过90℃;对于燃烧印尼煤,通常不超过70℃;而为了减少制粉系统掺冷风量,提高锅炉效率,同时提高炉内燃烧温度和一次风燃烧稳定性,要求选取相对较高一次风温。

一次风的风量、风速:正常运行中,减少风粉混合物一次风的数量,一方面相当于提高煤粉的浓度,使煤粉的着火热降低;另一方面在同样高温烟气回流量下,可使煤粉达到更高的温度,因而可加速着火过程,对煤粉的着火和燃烧都有利。但一次风量过低,则往往会由于着火初期得不到足够的氧气,使反应速度反而减慢而不利于着火的扩展。因此,对应于一种煤种,有一个一次风率的最佳值。一次风量应以能满足挥发分的燃烧为原则。一次风速对着火过程也有一定影响。一次风速过高,会降低煤粉气流的加热速度,使着火点推迟,容易引起燃烧不稳,且煤粉燃烧也不易完全;特别是低负荷时,由于炉内温度较低,有可能产生火焰中断或熄火,此时,便应设法调整降低一次风速。但一次风速过低则会造成一次风管堵塞,而且着火过于靠前,还可能烧坏燃烧器。

燃烧器分级配风:分级送风是根据煤粉的燃烧过程适时补充氧量,一方面防止局部氧量过大而使燃烧温度降低和NO_x生成量增大;另一方面避免后期氧量不足导致燃尽度变差。分级配风方式与炉型、煤种密切相关,需通过燃烧调整试验获得优化的分级配风方式。一、二次风的混合特性也是影响着火和燃烧的重要因素。二次风在煤粉着火以前过早地混合,对着火是不利的。因为这种过早地混合等于增加了一次风量,将使煤粉气流加热到着火

温度的时间延长,着火点推迟。如果二次风过迟混入,又将使着火后的燃烧缺氧。故二次风的送入应与火焰根部有一定距离,使煤粉气流先着火,当燃烧过程发展到迫切需要氧气时,再与二次风混合^[2]。

除了锅炉的运行参数对煤质燃烧有重要影响外,煤质本身的成分对燃烧影响也很重要,这主要成分包括挥发分、灰分、水分,另外煤的发热量也是重要影响因素。

挥发分是固体燃料的重要成分特性,对燃料的着火和燃烧有很大影响。挥发分是气体可燃物,其着火温度低,使煤易于着火。另外,挥发分从煤粉颗粒内部析出后使煤粉颗粒具有孔隙性,与助燃空气接触面积变大,因而易于燃烬。挥发分含量降低时情况则相反,锅炉飞灰可燃物相对偏高;同时,火焰中心上移,对流受热面的吸热量增加,尾部排烟温度也随之上升,排烟热损失增大。

煤的灰分对锅炉运行的经济性的影响主要体现在以下两个方面:(1)影响着火和燃烧过程。煤质中灰分在锅炉燃烧中起到阻碍氧气与碳产生化学反应的作用,灰分升高容易导致着火延迟,同时炉膛燃烧温度下降,煤的燃烬度变差,从而造成较大的不完全燃烧损失;(2)煤炭中的灰分是不可燃部分,在煤炭燃烧过程中,不但不发生热量,反而因由炉膛排出的高温炉渣,损失大量的物理显热。

水分增加对煤燃烧过程的影响主要体现在降低炉内温度,增加烟气量,但水分的增加也会使得排烟温度下降。因此,其对锅炉经济性的影响将在正反两个方面得到抵消。

若煤的发热量降低,则同样的锅炉负荷所用的实际煤量增大,而对于直吹式制粉系统,输送煤粉所需的一次风量也相应增加,导致理论燃烧温度和炉内的温度水平下降,使煤粉气流的着火延迟,燃烧稳定性变差,影响煤粉的燃烬。煤的发热量降低同时会使锅炉排烟温度升高,增加排烟热损失。煤的发热量降低还可能导致锅炉熄火等严重事故的发生^[3]。

(二) 实际调整分析

1. 一次风量调整分析

一次风的作用有两个:煤粉的干燥风和煤粉的携带风。作为干燥风,那么一次风温就直接影响着煤粉的干燥;作为携带风,则风压则直接影响煤粉刚性以及细度。若是运行中风压设置过高,煤粉得不到充分的研磨,将使颗粒变粗,同时由于煤粉刚性增大,煤粉在炉膛的着火时间将会推迟,煤粉得不到充分燃烧,排烟损失加大;若风压设置过低,一次风流速降低,会使煤粉管发生堵塞,并削弱火焰刚性,火焰容易形成回火,造成燃烧器烧损。在保证磨煤机通风量的前提下,如在正常运行中合理降低一次风压,则磨煤机入口风门自动开大,可有效降低一次风系统的节流阻力,降低一次风机电耗以及减少空预器一次风侧漏风率。通过降低一次风率,可减少制粉系统的冷一次风量,在相同的运行氧量下,可以有效的降低排烟温度,从而降低排烟热损失,提高锅炉效率^[4]。660MW负荷时一次风通风量推荐为国内煤85t/h,印尼煤90t/h左右。如磨煤机煤变化较大,推荐该负荷下的风量为90t/h左右。660MW负荷下没有出现明显的偏烧现象,且凝

渣管金属壁温偏差较小,最大偏差12.1℃,另外在维持磨煤机通风量的基础上,可尽可能降低一次风压运行,防止火焰直接冲刷水冷壁。总一次风量对凝渣管出口金属壁温的影响见图1。

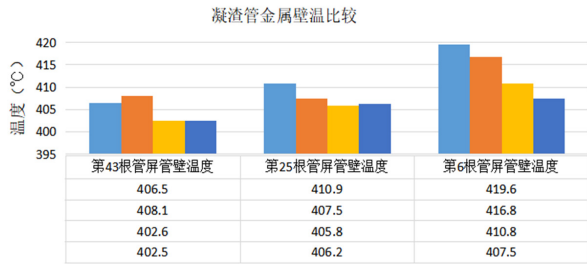


图1 总一次风量对凝渣管出口金属壁温的影响

2. 进行磨煤机组合及配风调整试验

在660MW不同磨组合两个工况中,调整后 ABCDF 磨煤机组合各部位水冷壁金属壁温最大偏差整体均比调整前 BCDEF 磨煤机组合要低。调整前该负荷下的右侧墙螺旋水冷壁出口和水平烟道底部出口金属壁温最大偏差较大,调整后的右侧墙和水平烟道水平底部出口壁温最大偏差分别从38.7℃和32.7℃降为26.9℃和25.4℃,其它部位的金属壁温偏差均小于20℃。调整后 ABCDF 磨煤机组合的屏过、高过、高再的金属壁温最大偏差均比调整前 BCDEF 磨煤机组合的三者金属壁温低的多,可以看出两台上层磨投运时,各部位壁温偏差较高,反之有所缓解。在各层燃烧器及炉膛出口(屏过底部)各区间内所有的看火孔处用高温仪对炉膛火焰温度进行测量。测量结果显示炉膛火焰中心均在上层燃烧器与燃尽风中间处,且炉膛出口热负荷分别较为均匀,两侧烟温偏差小。但C层燃烧器两侧的炉膛温度偏差在100℃左右,这与C磨粉管的浓度偏差和燃烧器进风量有一定的关系^[5]。

经分析,在660MW负荷下,磨煤机投运组合对锅炉运行的安全性和 NO_x 排放的影响较大,对经济性影响较小,但磨煤机 ABCDF 运行时的安全性优于磨煤机 BCDEF。建议660MW负荷时,投运5台磨煤机,并优先采用 ABCDF 三台磨煤机运行。各种磨煤机组合运行下对金属壁温的影响见图2-图3。

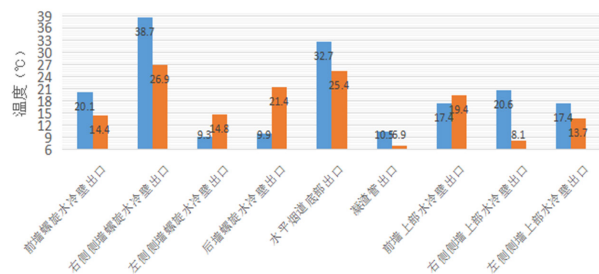


图2 660MW不同磨组合各部位水冷壁金属壁温最大偏差值示意图

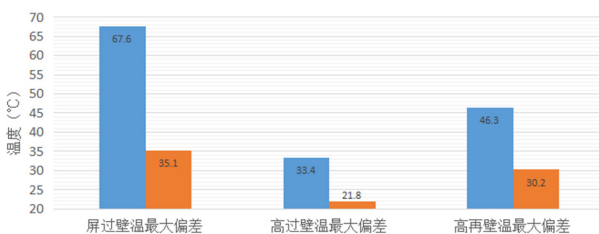


图3 660MW不同磨组合各部位过再热器金属壁温最大偏差值示意图

3. 燃烧器配风方式调整

配风方式试验保持制粉系统及燃烧系统主要运行参数不变,仅改变燃烧器二次风箱挡板开度,改变配风方式,上中下层燃烧器风箱挡板开度全部分别为90%/75%/60%,试验工况下主蒸汽温度分别为试验工况下主蒸汽温度分别为602.8℃、602.4℃、602.9℃,对应的过热器总减温水流量分别为172.4t/h、152.6t/h、157.4t/h;再热蒸汽温度分别为600.9℃、600.3℃、601.0℃,对应的再热器减温水流量分别为0t/h、7.99t/h、5.02t/h;排烟温度(修正后)分别为138.7℃、136.1℃、135.7℃。

根据试验结果,660MW负荷时投运燃烧器风箱挡板均开至75%~85%(五磨运行),但各层燃烧器风箱挡板开度应根据煤种和燃烧器出力不同而轻微改变,因锅炉低负荷时炉渣含碳量较高,建议中层燃烧器风箱挡板开度介于在下层和上层开度的中间位置,这样可以增加底层二次风量,提高二次风托粉能力^[6]。为提高氧量利用率,停运燃烧器风箱挡板关至20%。

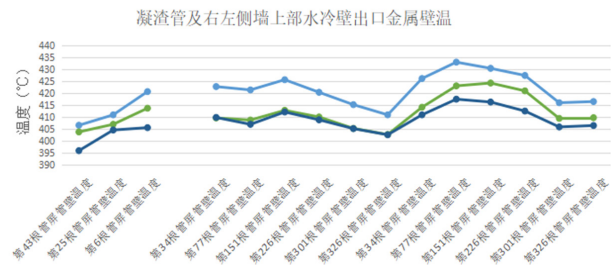


图4 660MW负荷(BCDEF)对凝渣管和左右侧上部水冷壁出口金属壁温的影响

在660MW负荷下,投运燃烧器的不同风箱挡板开度对水冷壁各部位金属壁温偏差影响较小,水冷壁出口各部位金属壁温最大偏差在15.6℃,凝渣管金属壁温最大偏差在14.2℃。

燃尽风对壁温的影响:燃尽风量大小对汽温特性有着显著影响,燃尽风开大后,过热汽温下降,壁温同时降低^[7]。对于管壁温度偏差控制影响,现阶段采取的措施均是A、B两侧燃尽风挡板差异化单独调整来缓解两侧壁温差。

三、分析结论及建议

(一) 通过上述试验分析,基于低负荷水冷壁壁温偏差大,提出以下控制措施:

1. 适当降低机组主蒸汽温度,尽量使用烟气挡板来减少减温水的用量。保证在同样机组负荷下,同样的给水量流经水冷壁较多,缓解水冷壁超温状况。

2. 掺烧煤质的热值尽可能高点,因为低热值的煤会导致进入炉膛的总煤量和总风量偏高,更容易导致凝渣管和水冷壁超温。且磨煤机动态分离器转速过低导致煤粉过粗,使燃烧整体整体推后,导致屏式过热器和凝渣管部位受热过强,容易发生超温的可能。

3. 机组变负荷过程中应控制好降负荷速率和各个磨煤机煤量。在升降负荷过程中,可能会产生煤量过调现象,如果过调应及时人工干预,同时关注屏式过热器出口温度变化趋势,保证主

蒸汽温度和再热器温度稳定，切勿引起主蒸汽温度大幅波动。锅炉减负荷时，应考虑锅炉有一定的蓄热能力，过程中锅炉整体热负荷偏高，应注意水冷壁和凝渣管管壁变化趋势，及时通过给水偏置或减少总煤量^[8]。

4. 合理安排选择性吹灰：掺烧印尼煤会经常性导致水冷壁部位结焦，导致受热面换热不均匀，致使部分水冷壁区域壁温高且可能超温。

（二）针对机组目前机组运行情况，提出以下运行建议：

1. 煤粉细度和浓度：煤粉细度大和浓度偏差大目前暂无有效的调整手段，其根本问题在于设备性能。建议适当对磨煤机进行改造，降低煤粉细度和减小浓度偏差大的现象，从而改善热负荷偏差^[9]。

2. 二次风量：低负荷时总二次风量偏大且各燃烧器间风量存在偏差，容易导致凝渣管和水冷壁超温。从试验低负荷段磨不同组合运行方式可以看出各燃烧器间风量存在明显的偏差，就地调整可调锁孔以改善煤粉浓度后，温度偏差无明显好转。建议冷态时对二次风量进行标定及炉内测量燃烧器喷口的二次风量，以均衡单只燃烧器的风量偏差。

3. 在正常运行过程中炉膛负压建议在-80pa--100pa左右，

它能明显增加煤颗粒在炉膛内的滞留时间，使煤充分燃烧提高热效率。

4. 对于对冲燃烧的旋流锅炉来说，要想实现经济运行、节能降耗的目标，首先需要避免燃烧不均的问题。建议定期对锅炉燃烧均匀性进行测试（特别是当煤质有较大变化时），若发现有燃烧不均的问题，需对各支燃烧器的风门开度进行重新调整。同时建议在锅炉燃烧器外二次风门增加执行机构，有利于提高运行人员对燃烧器送风量的可控性，可减少锅炉两侧汽温偏差和氮氧化物的生成量，提高锅炉安全性及经济性^[10]。

四、结束语

锅炉是燃煤电厂的三大主机设备之一，在当前的运用中，由于设备本身质量及操作管理不善等方面的原因，致使其存在各种问题，严重影响了电厂生产的稳定性。通过研究发现，经过调整一次风量、配风方式、磨煤机组合能够有效解决锅炉壁温超限问题，提高机组运行安全性。同类型机组在遇到类似问题时，应及时进行合理调整，从而提高机组运行的经济性和安前性。

参考文献

[1] 李德波, 沈跃良. 前后对冲旋流燃煤锅炉 CO 和 NO 分布的试验研究, 动力工程学报 [J], 2013(7):502-506, 554.
[2] 丁小骄. 应用于煤粉锅炉柔和燃烧技术试验研究 [D]. 中国科学院研究生院 (工程热物理研究所), 2016.
[3] 杨忠灿, 王志超, 李炎, 贾晓艳. 电站煤粉锅炉掺烧兰炭试验研究 [J]. 锅炉技术, 2017.48(03):31-36.
[4] 黄伟荣. 锅炉屏式过热器热偏差及金属壁温超温整治 [J]. 2014(9):11-11.
[5] 郭涛. 大型电站锅炉高温受热面热偏差分析研究 [D]. 华北电力大学, 2014.
[6] 李湘岳. 电厂锅炉高温过热器爆管原因分析及预防措施 [J]. 科技与创新, 2016(24).
[7] 黄新元. 电站锅炉运行与燃烧调整 [M]. 中国电力出版社, 2007.
[8] 高峰. 锅炉热经济性燃烧调整分析 [J]. 锅炉技术, 2007, 38(4): 43-46.
[9] 黄耀. 煤粉锅炉制粉系统常见事故及预防措施 [J]. 中国高新科技 2019(14): 100-102.
[10] 陈坚, 郑庄明, 徐林, 鲁杰. 某化工企业煤粉锅炉设计方案对比分析 [J]. 应用能源技术, 2019(04):23-25.