

660 MW 超超临界燃煤锅炉降低 CO 排放的试验研究

夏文静¹, 衡丽君², 何长征³, 韦红旗³

(1. 中冶华天工程技术有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 河南城建学院 能源与建筑环境工程学院, 河南 平顶山 467036; 3. 东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 超超临界或超临界对冲燃煤锅炉的燃烧器多采用先进的低 NO_x 旋流燃烧器及炉内空气分级燃烧技术, 主燃烧器区域保持在缺氧、富燃料条件下燃烧, 以控制 NO_x 的排放。但是, 这导致锅炉 CO 排放浓度偏高, 加之炉内燃烧可能存在的偏差, 使得这一现象更为突出。本文以某 660 MW 超超临界对冲燃煤锅炉为研究对象, 基于燃烧调整试验, 分析了 CO 和 NO_x 排放及锅炉热效率之间的相关特性, 同时通过运行参数的调整, 得出各参数对三者的影响规律, 并给出了相关优化运行方式。通过优化调整, 锅炉修正后效率可维持 93.7% 以上(设计值 93.61%), 且飞灰含碳量在 2.0% 以下, CO 排放约 500 mg/m^3 、 NO_x 排放约 250 mg/m^3 , 运行的经济性和安全性较习惯运行方式有较大幅度的提高。

关键词: 660 MW; 超超临界; 对冲燃烧; 旋流燃烧器; CO; NO_x

中图分类号: TK16 文献标识码: A

引言

国内新建 660 MW 超临界对冲燃烧锅炉多选用先进的低 NO_x 旋流燃烧器及炉内空气分级燃烧技术, 即主燃烧器区域保持在缺氧、富燃料条件下燃烧, 以控制 NO_x 排放^[1~3]。但是, 在对冲燃烧方式下, 炉内存在燃烧后期混合差的问题^[4~6], 因此大量未燃尽气体及焦碳随烟气上升进入燃尽风区域后, 不能有效燃尽, 可能导致 CO 排放浓度很高, 加之运行中风粉分配不均, 使得这一现象更为突出。然而, 国内大型机组燃烧调整的相关文献及研究中, 多是针对锅炉效率与 NO_x 排放的综合分析^[1, 5~6], 虽有少量针对 CO 与 NO_x 排放特性的研究^[3], 但仍有继续研究的空间。本研究通过多个运行参数的燃烧调整, 对 CO 排放与锅炉效率及 NO_x 排放的相关性进

行分析研究, 得出 CO 的排放特性, 为大型锅炉的运行优化控制提供依据及支持。

1 设备概述

某 660 MW 超超临界参数、变压运行直流炉为尾部烟气挡板调温、平衡通风、固态排渣、全悬吊结构 II 型布置锅炉, 采用三分仓回转式空气预热器, 主厂房为侧煤仓布置。锅炉最大连续蒸发量(BM-CR)为 2 060 t/h, 额定蒸汽压力为 26.2 MPa, 额定蒸汽温度为 605 °C, 再热蒸汽温度为 602 °C。

该炉采用中速磨、直吹式、正压冷一次风制粉系统, 配 6 台磨煤机。燃烧设备采用前后墙对冲燃烧方式的外浓内淡型低 NO_x 旋流燃烧器, 总共 36 只, 分 3 层布置在前、后墙, 每层 6 只旋流燃烧器, 配 6 台中速磨煤机, 每台磨煤机为同层的 6 只燃烧器提供风粉混合物, 在 BMCR 工况、燃用设计煤种时, 采用 5 运 1 备的运行方式。在前、后墙旋流燃烧器的上方各布置了 1 层燃尽风, 每层有 2 只侧燃尽风和 6 只燃尽风, 用于进一步降低 NO_x 。煤粉燃烧器的配风方式分为一次风、内二次风和外二次风, 分别通过一次风管、燃烧器内同心的内二次风及外二次风环形通道在燃烧的不同阶段送入炉膛, 其中内二次风、外二次风为旋流。燃烧器的结构如图 1 所示, 燃烧器主要设计参数如表 1 所示。

2 锅炉运行现况

2.1 空预器后 CO 浓度分布

660 MW 负荷、习惯运行方式下, 通过空预器后

收稿日期: 2013-04-25; 修订日期: 2013-07-07

作者简介: 夏文静(1978-), 女, 江西南昌人, 中冶华天工程技术有限公司高级工程师, 硕士研究生。

CO 排放浓度的分布测试,可得到空预器后沿炉膛宽度方向 CO 浓度分布,如图 2 所示。从图 2 可知,空预器前、后氧量沿炉膛宽度方向分布不均匀,呈现 A 侧大、B 侧小的趋势。空预器后 CO 浓度分布却与氧量分布相反,呈现 A 侧小、B 侧大的趋势,且两侧偏差非常明显,最高浓度达到 9 000 mg/m³、最低浓度则为 55 mg/m³,均值为 2 193 mg/m³,分析认为炉内两侧风粉分配不均是导致空预器出口 CO 分布不均的主要原因。

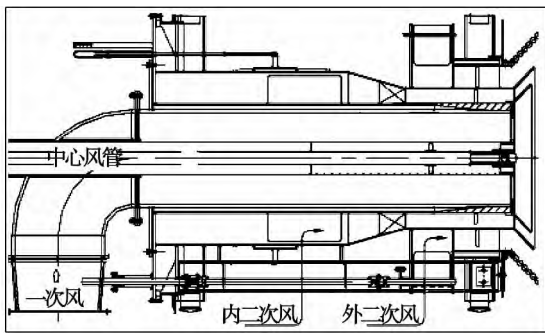


图 1 旋流煤粉燃烧器简图

Fig. 1 Sketch of a pulverized coal swirling burner

表 1 燃烧器主要设计参数

Tab. 1 Main design parameters of the burners

名称	数值
一次风风速/m·s ⁻¹	19.65
一次风风温/℃	93
一次风风率/%	20.09
内二次风风速/m·s ⁻¹	29.3
外二次风风速/m·s ⁻¹	28.83
二次风风温/℃	337
二次风风率/%	57.02
燃尽风直流风风速/m·s ⁻¹	54.53
侧燃尽风直流风风速/m·s ⁻¹	41.48
燃尽风旋流风风速/m·s ⁻¹	32.05
侧燃尽风旋流风风速/m·s ⁻¹	23.3
燃尽风风温/℃	337
燃尽风风率/%	19.49

2.2 习惯运行方式下锅炉运行状况

该锅炉习惯运行方式下,进行了摸底试验(对比工况 1),其主要运行方式及数据如表 2、表 3 所示。

由表 3 可知:虽然同层燃烧器外二次风采用均匀配风,但由于风粉分配的不均匀性,导致两侧省煤器出口氧量、排烟 CO 浓度及飞灰含碳量偏差很大,最终修正后锅炉效率低于设计值(锅炉经济负荷)工况($\eta = 93.610\%$)约 0.989%。考虑到运行的经济性及安全性,应避免在习惯运行方式下运行。

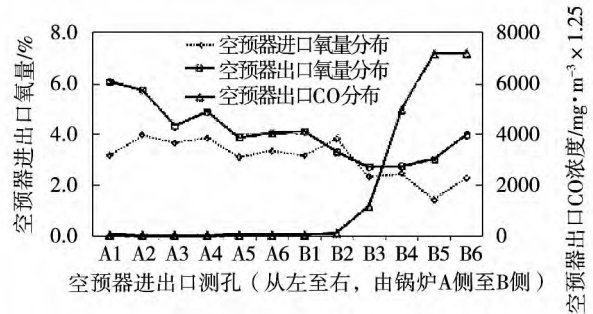


图 2 空预器进、出口 O₂ 及 CO 浓度分布

Fig. 2 O₂ and CO concentration distribution at the inlet and outlet of the air preheater

表 2 习惯运行方式

Tab. 2 Usual operating mode

各运行参数	具体方式
运行氧量设定值	2.75%
各层燃烧器二次风箱风门	根据氧量自动控制
磨煤机投运方式	ABCDE 磨运行
一次风速	根据风煤比自动控制
燃烧器外二次风配风方式	均匀配风
各燃烧器外二次风开度	均为 65%
燃烧器内二次风拉杆位置	375 mm
燃尽风直流风拉杆位置	250 mm
燃尽风旋流风拉杆位置	300 mm
燃尽风进风门开度	65%

2.3 两侧风粉分配不均的调匀试验

在习惯运行方式下,还进行了调匀试验(对比工况 2),仅通过同层燃烧器外二次风门的调整,将省煤器进口两侧实际氧量调均以实现两侧风粉分布均匀,进而消除 CO 分布极为不均的状况。将工况 1、2 进行比对,主要数据汇总至表 3。

由表 3 可知:在运行设定氧量一样的情况下,通过调匀试验,其实际运行氧量、送引风机总电流及干

烟气热损失均有明显降低。同时,由于两侧氧量趋于均匀,炉内燃烧整体上有所改善,导致 CO 未燃尽热损失也有较大降幅,最终修正后锅炉效率较习惯运行方式上升 0.682%,可见炉内风粉分配的均匀性对该炉经济运行有显著影响。

表3 比对工况1和比对工况2主要数据

Tab.3 Primary data of contrastive working condition 1 and 2

名称	比对工况1	比对工况2
省煤器进口设定氧量/%	2.75	2.75
A 侧省煤器进口实际氧量/%	5.5	3.0
B 侧省煤器进口实际氧量/%	1.9	2.7
两侧省煤器平均氧量/%	3.7	2.9
两侧送风机总电流/A	169	151
两侧引风机总电流/A	533	470
A 侧排烟 CO 浓度/mg·m ⁻³	349	2 784
B 侧排烟 CO 浓度/mg·m ⁻³	5 523	1 929
两侧排烟 CO 平均浓度/mg·m ⁻³	2 936	2 357
A 侧飞灰含碳量/%	1.3	2.7
B 侧飞灰含碳量/%	5.8	3.5
两侧平均飞灰含碳量/%	3.6	3.1
修正后干烟气热损失/%	4.806	4.467
未燃尽碳的热损失/%	0.647	0.571
未燃尽 CO 造成的热损失/%	1.005	0.743
修正后锅炉热效率/%	92.621	93.303
SCR 装置入口 NO _x 排放/mg·m ⁻³	257	271

注: SCR 装置通过选择性催化还原技术降低 NO_x 排放的装置。

3 CO、NO_x 排放及锅炉效率之间的相关性

在消除炉内风粉分配不均、保持两侧省煤器进口实际氧量偏差较小的情况下,为了解各运行因素对 CO 排放特性的影响,进行了相关燃烧调整试验,分别对同层燃烧器外二次风配风方式(共 3 种)、省煤器进口实际氧量(2.75%~3.70%)、燃尽风直流风门拉杆位置(50、150、250 mm)及燃尽风总风门开度(65%、85%)、燃烧器内二次风门拉杆位置(375 mm、450 mm)进行了调整,总共 11 个工况,分别为比对工况 2 及工况 1~工况 10。

3.1 CO 排放与 NO_x 排放的相关性

通过 11 个工况的统计分析,可得到各工况 CO、NO_x 排放浓度的曲线图,如图 3 所示。

由图 3 可知:各工况 CO、NO_x 排放浓度整体呈现负相关,CO 排放浓度较高时,NO_x 排放偏低,而 CO 排放浓度较低时,NO_x 排放则较高,两者的相关系数为 -0.707,具有高度的负相关特性。这反映对冲燃煤锅炉在采用低 NO_x 燃烧技术后,其 CO、NO_x 排放浓度之间存在相互依存、此消彼长的关系。

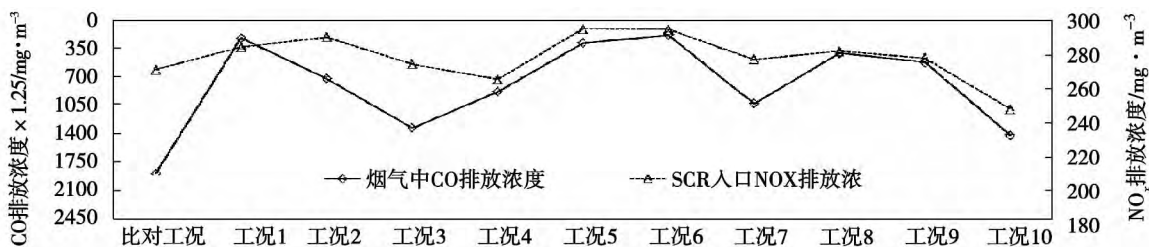


图3 各工况 CO 及 NO_x 排放浓度分布

Fig. 3 CO and NO_x emissions concentration distribution under various conditions

各工况 NO_x 排放浓度在 248~295 mg/m³ 之间,波动幅度为 47 mg/m³,为平均排放浓度(278 mg/m³)的 17%,而 CO 排放浓度在 226~2 356 mg/m³ 之间,波动幅度高达 2 129 mg/m³,为平均排放浓度(1 005 mg/m³)的 212%。显然,各运行因素的调整对于 CO 排放的影响较大,而对 NO_x 排放的影响则较为有限。

最终优化运行工况 8 的 CO、NO_x 排放浓度分别为 508、282 mg/m³,较比对工况 1 的 2 936、257 mg/m³,分别降低 2 428 mg/m³、升高 25 mg/m³。

3.2 CO 排放浓度与锅炉效率的相关性

基于 11 个工况的统计分析,可得到锅炉干烟气热损失、未燃尽 CO 热损失、未燃尽碳热损失与锅炉效率的关系曲线,如图 4~图 6 所示。

由图 4、图 6 及表 3 可知,各工况干烟气热损失、未燃尽碳热损失、未燃尽 CO 热损失与锅炉修正后热效率的相关系数分别为 0.048、-0.520、-0.842,其中未燃尽 CO 热损失与效率之间具有高度的负相关特性,未燃尽碳热损失有一定负相关性特性,但其相关性较弱。

由后续分析可知,未燃尽碳热损失受运行氧量影响较大,一旦运行氧量趋于稳定,则该项热损失对热效率的影响较小。由此可见,试验条件下锅炉热效率较大程度上取决于未燃尽 CO 热损失,而未燃尽 CO 热损失又完全取决于 CO 排放浓度。

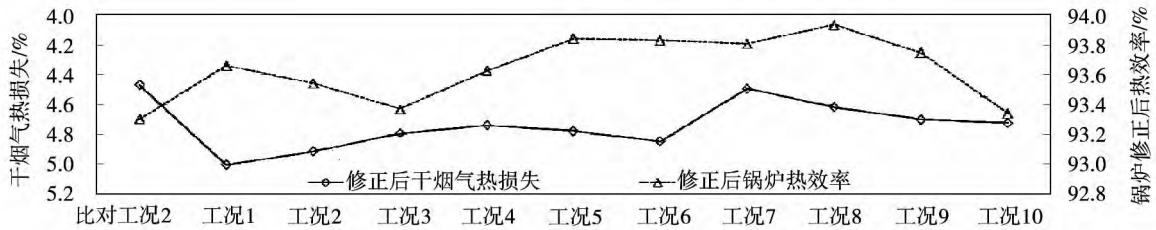


图 4 各工况干烟气热损失与锅炉效率之间的关系曲线

Fig. 4 Curves showing the relationship between the heat loss of the dry flue gases and boiler efficiencies under various conditions

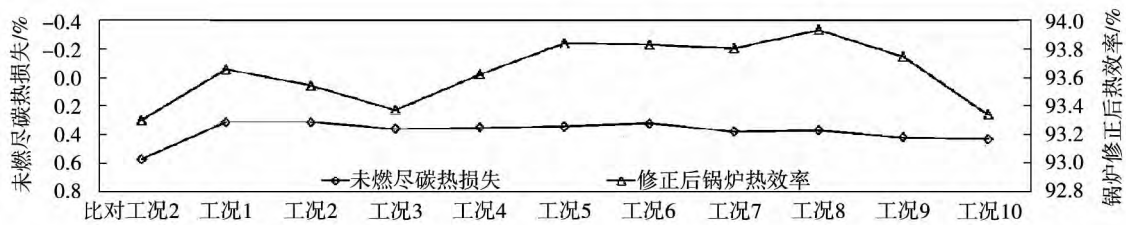


图 5 各工况未燃尽碳热损失与锅炉效率之间的关系曲线

Fig. 5 Curves showing the relationship between the heat loss of the unburned-out carbon and boiler efficiencies under various conditions

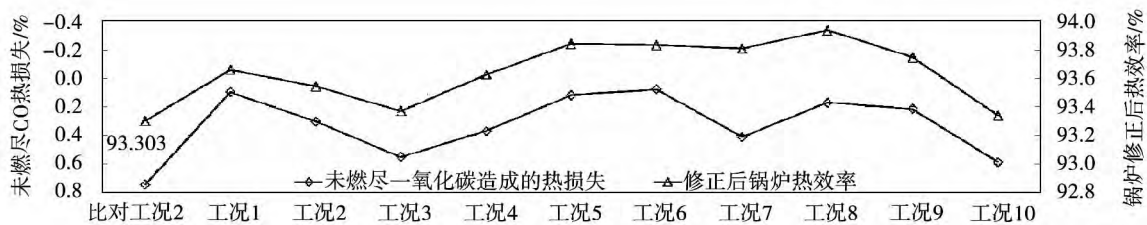


图 6 各工况未燃尽 CO 热损失与锅炉效率之间的关系曲线

Fig. 6 Curves showing the relationship between the heat loss of the unburned-out CO and boiler efficiencies under various conditions

最终优化运行工况 8 的 CO 排放浓度为 508 mg/m³,较对比工况 1 的 2 936 mg/m³,降低 2 428 mg/m³,致使未燃尽 CO 热损失降低了 0.836%,热效率提高 1.315%,这印证了 CO 排放浓度与热效率之间有较大的负相关性。

4 CO 排放特性试验分析

通过 11 个工况的统计分析,得到同层燃烧器外二次风配风方式、省煤器进口实际氧量、燃尽风直

风门、燃尽风总风量及燃烧器内二次风对 CO 排放浓度及性能参数的影响规律。

4.1 同层燃烧器外二次风配风方式的调整

3种配风方式的运行设定氧量均为3.50%，但省煤器进口实际氧量却是依次降低(按图7配风方式由左至右，分别为4.54%、4.29%、3.95%)，导致未燃尽CO热损失逐步升高、干烟气热损失依次降低，如图7所示，且飞灰含碳量略有上升，这种特点非常符合氧量对上述热损失的影响规律。因此，当运行设定氧量较高、两侧氧量不存在较大偏差时，同层燃烧器外二次风配风方式的转变对炉内燃烧的影响很有限，可见同层燃烧器外二次风配风的调整应避免两侧氧量出现较大偏差为原则，而这一原则在中低氧运行时尤为重要。

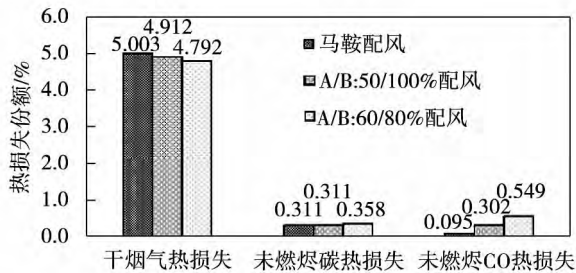


图7 外二次风配风方式对主要热损失的影响

Fig. 7 Influence of the external secondary air distribution mode on the main heat losses

注“马鞍形配风”指的是同层燃烧器由A侧至B侧6个外二次风门开度分别为40%、80%、60%、60%、80%、40%；“A/B：开度1/开度2”指的是同层燃烧器A侧/B侧3个外二次风门平均开度分别为开度1、开度2。

4.2 省煤器进口氧量的调整

在其它运行参数不变或影响较小的条件下，随着省煤器进口实际氧量的增加，未燃尽CO热损失降幅最大，未燃尽碳热损失下降至一定值后趋于平缓，而干烟气热损失则近似线性增加，如图8所示。

分析认为，氧量对锅炉效率的影响取决于3大损失的相互叠加，但是由于未燃尽CO热损失在试验条件下呈现“氧量越大，下降幅度越大”的趋势(如图8所示)，致使锅炉总体上呈现“氧量越大，效率越高”的趋势(如图9所示)。考虑到锅炉效率、NO_x排放及风机的运行状况，以CO排放浓度540 mg/m³为限，建议在高负荷、两侧氧量基本调匀的

情况下，省煤器进口实际氧量不宜低于4.25%，以防止炉内缺氧燃烧、结焦及高温腐蚀的出现^[7]。

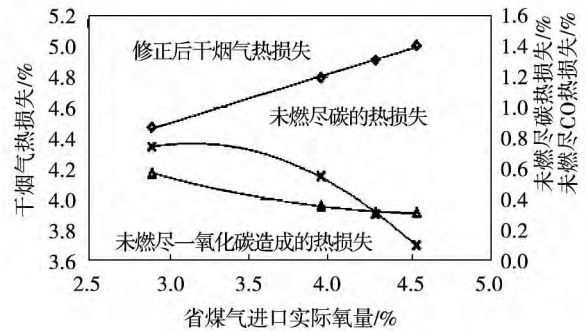


图8 省煤器进口氧量与主要热损失的关系曲线

Fig. 8 Curves showing the relationship between the oxygen quantity at the inlet of the economizer and the main heat losses

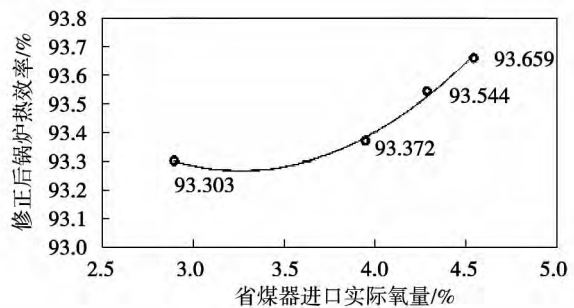


图9 省煤器进口氧量与锅炉热效率的关系曲线

Fig. 9 Curves showing the relationship between the oxygen quantity at the inlet of the economizer and boiler heat efficiency

4.3 燃尽风直流风量的调整

维持其它运行参数不变的条件下，燃尽风直流风门拉杆位置从250 mm调整至50 mm，其对干烟气热损失及未燃尽碳热损失的影响很小，但是对未燃尽CO热损失影响却较大，锅炉效率有0.470%的升幅，如图10~图11所示。

分析认为，试验条件下燃尽风直流风拉杆拉出越少，燃尽风直流风量越大，其刚性及贯穿力则越强，使其穿透上升烟气进入炉膛中心区域的能力有所加强(即炉内后期混合有所加强)，使烟气CO排放浓度有明显下降(约1250 mg/m³)，因此建议燃尽风直流风门拉杆位置保持在50 mm。

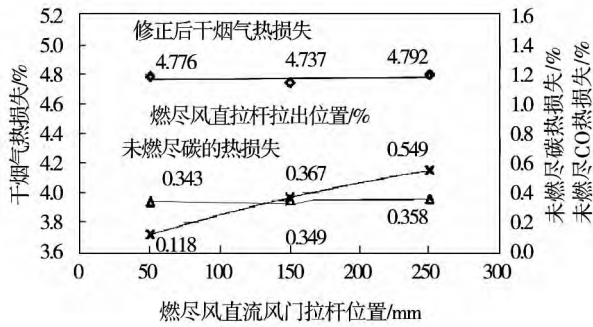


图 10 燃尽风直流风门拉杆位置与主要热损失的关系曲线

Fig. 10 Curves showing the relationship between the tie rod location of the burn-out air direct flow damper and the main heat losses

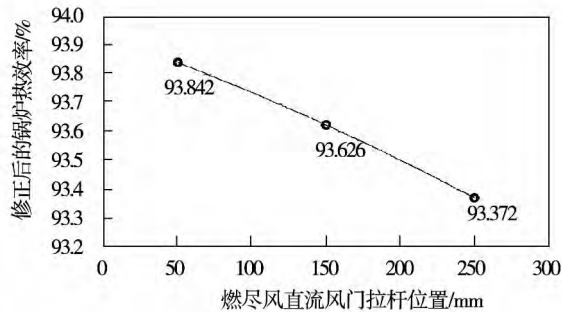


图 11 燃尽风直流风门拉杆位置对锅炉热效率的影响

Fig. 11 Influence of the tie rod location of the burn-out air direct flow damper on the boiler heat efficiency

4.4 燃尽风总风量的调整

维持其它运行参数不变的条件下,燃尽风进风门开度由 65% 增至 85% 后,在线燃尽风量由 305 t/h 增至 358 t/h,然而 NO_x 下降幅度却较为有限(282 mg/m³ 下降至 278 mg/m³)。由于实际运行氧量几乎没有变化,因此这一调整改变了燃烧器区域的风量配比,导致炉内空气分级增强、主燃烧器区域过量空气系数下降、火焰中心上移,CO 排放浓度、灰渣未燃尽碳及排烟温度均有小幅上升,相应热损失也有所上升,如图 12 所示。

最终,锅炉效率由 93.936% 下降至 93.748%,降幅达 0.188%。考虑到燃尽风风量对锅炉经济性、环保性的影响,建议上述风门应保持在 65% 的开度

为宜。

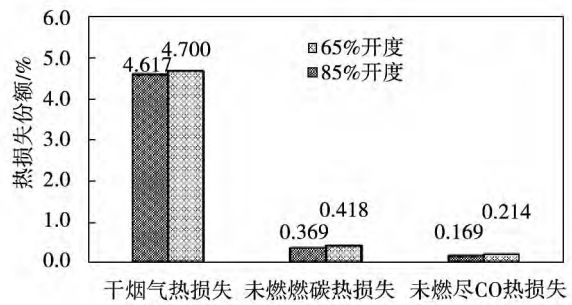


图 12 燃尽风进风门开度对主要热损失的影响

Fig. 12 Influence of the opening of the burn-out air inlet damper on the main heat losses

4.5 燃烧器内二次风量的调整

维持在其运行参数不变的条件下,将各燃烧器内二次风门拉杆从 375 mm 拉出至 450 mm,其内二次风量有所增大,高温烟气回流加强,煤粉气流着火更加容易,使未燃尽 CO 热损失、干烟气热损失、未燃尽碳热损失均有所降低,如图 13 所示。

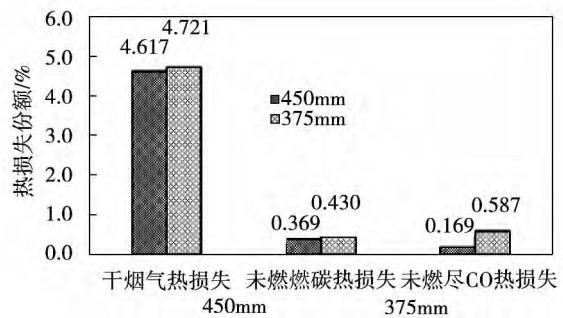


图 13 内二次风门拉杆位置对热损失的影响

Fig. 13 Influence of the tie rod location of the inner secondary air damper on the main heat losses

最终,修正后锅炉效率由 93.341% 上升至 93.936%,升幅达 0.595%。而这主要得益于未燃尽 CO 热损失的降低(降幅为 0.418%)。考虑到锅炉的经济性及安全性,建议高负荷运行时该拉杆位置保持在 450 mm。

5 结论

(1) 对冲燃煤锅炉先进的低 NO_x 燃烧技术使

CO、NO_x 排放浓度具有高度的负相关特性。同时，该炉未燃尽 CO 热损失与效率之间同样存在高度的负相关特性。锅炉热效率较大程度上取决于未燃尽 CO 热损失。

(2) 先进的低 NO_x 燃烧技术使 NO_x 排放浓度较低，运行调整对其影响较为有限，但对 CO 排放浓度的影响则非常显著。

(3) 风粉分配的均匀性对采用低 NO_x 燃烧技术对冲燃煤锅炉的运行经济性影响较为明显，且风粉分配均匀在一定程度上可缓解炉内的局部结渣及高温腐蚀。

(4) 试验表明，正常运行状况下炉内风粉分配的均匀性、省煤器进口氧量、燃尽风直流风量、燃烧器内二次风量对 CO 排放的影响较大，而燃尽风总风量及同层燃烧器外二次风配风方式对其影响则较小。通过优化调整，锅炉修正后效率可维持 93.7% 以上(设计值 93.61%)，且飞灰含碳量在 2.0% 以下、CO 排放约 500 mg/m³、NO_x 排放约 250 mg/m³。

参考文献:

[1] 高小涛,黄磊,章名耀,等. 600 MW 前后墙布置燃烧器锅炉的 NO_x 排放特性及其影响因素的分析[J]. 动力工程 2009 29 (9): 806-812.
GAO Xiao-tao, HUANG Lei, ZHANG Ming-yao, et al. NO_x emissions characteristics of a 600 MW boiler with burners being arranged on the front and rear walls and analysis of the influencing factors [J]. Journal of Power Engineering, 2009, 29 (9): 806-812.

[2] 马新立. 国产 600 MW 超临界机组燃烧系统对比与分析[J]. 江苏电机工程 2009 28(1): 66-70.
MA Xin-li. Contrast and analysis of domestically-made 600 MW ultra-supercritical unit combustion systems [J]. Journal of Jiangsu Electric Machinery Engineering, 2009 28(1): 66-70.

[3] 洪荣坤,沈跃良,赵振峰. 600 MW 超临界对冲燃烧锅炉 CO 和 NO_x 排放特性的研究[J]. 动力工程学报, 2012, 32(12): 922-927.
HONG Rong-kun, SHEN Yue-liang, ZHAO Zhen-feng. Study of the CO and NO_x emissions characteristics of a 600 MW supercritical oppositely-fired boiler [J]. Journal of Power Engineering 2012 32 (12): 922-927.

[3] 曾汉才. 大型锅炉燃烧方式及其炉膛设计特点分析[J]. 湖北电力 2005 29(5): 19-21.
ZENG Han-cai. Analysis of the combustion modes of large-sized boilers and design features [J]. Journal of Hubei Electric Power,

2005 29(5): 19-21.

[4] 李文军,黄伟,等. 600 MW 超临界对冲燃煤锅炉燃烧特性研究[J]. 湖南电力 2009 29(2): 15-19.
LI Wen-jun, HUANG Wei, et al. Research of the combustion characteristics of a 600MW supercritical oppositely-fired boiler [J]. Journal of Hunan Electric Power. 2009 29(2): 15-19.

[5] 陈勇. 1 000 MW 机组锅炉运行中两侧氧量偏差大的原因分析及调整[J]. 应用技术 2010 12: 147-148.
CHEN Yong. Analysis of the causes and adjustment of an excessive large of the oxygen content at both sides of a 1000 MW boiler unit during its operation [J]. Applied Technology. 2010 - 12: 147-148.

[6] 黄志彬,易勇智,刘宝富. 超超临界 600 MW 机组锅炉运行氧量控制[J]. 热力发电 2012 41(12): 106-108.
HUANG Zhi-bin, YI Yong-zhi, LIU Bao-fu. Oxygen content control of a 600 MW ultra-supercritical boiler unit during its operation [J]. Thermal Power Generation 2012 41(12): 106-108.

(孙显辉 编辑)

• 书 讯 •

非平衡态热力学和流体力学形式逻辑分析

作为针对 20 世纪自然科学形式逻辑基础进行重新逻辑审查的系列丛书之三,本书汇集了著者自 2005 年末起开始书写,涉及 20 世纪“非平衡态热力学”的逻辑反思,针对西方主流科学世界近期含蓄提出对“流体力学基本方程”所作反思重新反思的文章。除了注重于形式逻辑方面的分析,指出习惯陈述中实际存在的若干逻辑悖论以外,贯串全书,始终申述这样两个主题:首先,科学陈述必须逻辑自洽,而逻辑自洽的科学陈述就必须符合物质第一性原则,任何缺失“实体论”可靠基础的陈述不仅流于空洞,还必然因为相应缺乏必要的制约而充斥矛盾和悖谬;其次,人类的认识体系永远只可能在“批判性继承和承继性批判”的进程中得以逐步深化,因此,只有努力读懂前人的书,并认真寻找和发现矛盾所在,才可能真正有所创新。本书可供从事基础数学和应用数学、热力学和流体力学基础研究的科学和哲学工作者、教师和大学生参考。

丛书名: 20 世纪基础科学逻辑检查系列

作者: 杨本洛

ISBN: 978-7-313-08810-9

出版社: 上海交通大学出版社

出版时间: 2013-01-07

版次: 1 字数: 538 页数: 368

开本: 16 开

定价: ¥98.00

伽马射线对垂直上升管内环状流液膜及扰动波特性研究 = **Study of the Characteristics of an Annular Flow Liquid Film and Disturbance Waves in a Vertical Riser by Using Gamma Rays** [刊, 汉] ZHAO Yu, BI Qin-cheng, LU Hai-chai, HU Ri-cha (National Key Laboratory on Multi-phase Flows in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(1). - 53 ~ 57

By using a single beam gamma ray in combination with the high speed video camera shooting, the non-interference dynamic measurement technology was used to conduct a systematic study of an annular flow liquid film and disturbance waves in a vertical riser. The research results show that when the superficial velocity of the liquid phase is kept constant, the liquid film thickness on the tube wall will gradually decrease with a rise of the superficial flow velocity of the gas-phase. When the disturbance waves change drastically inside the riser, the count rate of the ray will be relatively low, reflecting that the liquid phase component is relatively big. In combination with the disturbance wave characteristics of the annular flow, the authors have also studied and concluded that when the range of the temperature of the fluid is relatively small, any change of the temperature has little influence on the count rate. **Key words:** gamma ray, annular flow, liquid film, disturbance wave, vertical riser

660 MW 超超临界对冲燃煤锅炉降低 CO 排放的试验研究 = **Experimental Study of a 660 MW Ultra-supercritical Opposed Combustion Coal-fired Boiler for Reducing CO Emissions** [刊, 汉] XIA Wen-jing (Zhongye Huatian Engineering Technology Co. Ltd., Nanjing, China, Post Code: 210019), HENG Li-jun (School of Energy Source and Building Environment Engineering, Henan Urban Construction College, Pingdingshan, China, Post Code: 467036), HE Chang-zheng, WEI Hong-qi (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(1). - 58 ~ 64

The burners of ultra-supercritical or supercritical opposed combustion coal-fired boilers mostly adopt advanced swirling burners with low NO_x emissions and in-furnace air staged combustion technology. The combustion in the main combustion zone of the burners is conducted under the condition of insufficient oxygen and rich fuel in a hope to contain the emissions of NO_x . However, this will lead to an excessively high CO emissions concentration of the boilers and any deviation possibly existing in the combustion in the furnace will make such a phenomenon become more outstanding. With a 660 MW ultra-supercritical opposed combustion coal-fired boiler serving as the object of study, the correlation among CO emissions, CO_x emissions and efficiency was analyzed on the basis of a combustion adjustment test. The research results show that negative correlation characteristics do exist among them. On this basis, an ideal balance point was found out between the cost-effectiveness and safety of the boiler during its operation, making the boiler maintain its efficiency higher than 93.7% and the CO and NO_x emissions attain around 500 and 250 mg/

Nm³. **Key words:** 660 MW ultra-supercritical opposed combustion swirling burner ,CO ,NO_x

蒸汽动力装置废汽总管压力控制系统改进研究 = **Study of the Improvement of the Exhaust Steam Mainline Pressure Control System of a Steam-driven Power Plant** [刊 ,汉] WANG Peng (Automation College ,Harbin Engineering University ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) ,WANG Peng ,LIU Meng ,GE Xian-xin (CSIC Harbin No. 703 Research Institute ,Harbin ,China ,Post Code: 150080) ,LI Si-qi (Automation College ,Nanjing University of Aeronautics and Astronautics ,Nanjing ,China ,Post Code: 211106) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(1) . -65 ~70

On the basis of the exhaust steam mainline pressure control system of a warship prototype steam-driven power plant , proposed was an improved version by employing the forward feed control ,expert control and self-adaptive control in a comprehensive way. Such a version had been applied in real vessels. A comparison of the operating data before and after the improvement shows that the improved system can better adapt itself to any influence caused by interference from the outside world during the control process. The control duration will be shortened from 60 seconds to 36 seconds under the disturbance caused by the flow rate of the steam admitted by the deaerator. The improve system has a quicker response ,smaller overshoot and shorter stabilization time. **Key words:** steam-driven power plant ,exhaust steam mainline pressure ,self-adaptive control ,expert control

火电厂石膏旋流器分离性能强化研究 = **Study of the Enhancement of the Separation Performance of a Gypsum Cyclone in a Thermal Power Plant** [刊 ,汉] AN Lian-suo ,YANG Yang ,LIU Chun-yang ,SHEN Guo-qing (National Research Center for Thermal Power Generation Engineering Technology ,North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(1) . -71 ~75

In the light of such problems as the presence of an air column in gypsum cyclones in thermal power plants and the low separation efficiency ,a study was performed to enhance the separation performance. By using the software Fluent and the RSM Reynolds stress turbulent flow model ,VOF (volume of fluid) fluid volume model as well as the DPM (discrete particle model) model ,a numerical simulation was performed of the characteristics of the flow field in the gypsum cyclone. Furthermore ,a test rig was set up to test the performance of a gypsum cyclone without a central rod ,with a cylindrical central rod and an upside-down cone-shaped central rod being inserted respectively in order to obtain the law governing the variation of the production capacity ,split flow ratio ,and separation efficiency etc. performance indexes. The research results show that a negative pressure zone in the gypsum cyclone is present ,leading the air coming from outside world to form an air column by a reverse flow from outlets at both ends. The spiral movement of the air may bring about an energy loss and to use a central rod can effectively eliminate the air