

300 MW 循环流化床锅炉机组启动节能降耗优化研究

李星华

(四川白马循环流化床示范电站有限责任公司, 四川 内江 641005)

摘要: 简要介绍了中国首台引进型 300 MW CFB 锅炉主要技术参数, 重点对影响白马 300 MW CFB 锅炉启动耗油的因素进行了分析, 并提出了机组启动节能降耗的对策措施, 为大型 CFB 锅炉启动节能降耗提供了依据, 值得推广借鉴。

关键词: 循环流化床锅炉; 启动; 节能降耗; 原因分析; 优化措施

Abstract: In this article, it is introduced the main technology parameters of the first introduce-type 300 MW CFB boiler in our country, analysis the elements of which influenced the Bai-Ma 300 MW CFB boiler oil consumption under start-up, for that to advance the relative manners to save energy and reduce consumption of the unit. It is afford the basis to save energy and reduce consumption under start-up of the CFB boiler, worth to popularize and make use of

Key word: CFB boiler; Start-up; Save energy and reduce consumption; cause analysis; Optimization measures

中图分类号: TK229 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2008)04-0016-02

四川白马 300 MW 循环流化床 (以下简称 CFB) 锅炉示范工程是以技贸合作方式引进的法国 ALS-TOM 1 025 t/h CFB 压临界锅炉, 是目前世界上容量最大的亚临界燃煤 CFB 锅炉之一, 与之配套的是东方电气集团提供的 300 MW 汽轮机和发电机。

四川白马 300 MW CFB 锅炉为双炉膛、一次中间再热、平衡通风、露天岛式布置、全钢架悬吊结构、亚临界自然循环汽包炉, 锅炉岛由法国 ALSTOM 公司设计制造, 其中为了减少炉内受热面专门设置了四台外置床, 用以加热过热蒸汽和再热蒸汽。

锅炉的燃料系统包括: 两组风道燃烧器共四支、12 支床上油枪、四条煤线。

每套风道燃烧包括两只油枪, 风道燃烧器和床枪分别由两套燃油控制站控制油枪的进油量, 完全实现自动控制。风道燃烧器采用的是床下点火方式, 风道燃烧产生的大量热烟气在大量热一次风的混合下通过布风板对床料进行加热, 大部分热量被床料吸收, 床温上升快速、均匀, 能加快锅炉的启动速度和减少热损失, 特别是在外置床投运、投煤、锅炉热态恢复时表现尤为突出。在锅炉故障时投运风道燃烧器对稳定床温效果明显。床枪的雾化介质采用汽机辅联供给的蒸汽, 每只床枪设有单独的燃油控制站, 完成油枪投入、停运及吹扫操作的控制, 床枪没设置火检装置, 油枪运行情况完全通过炉膛底部床温的变化来监控。床枪采

用的是床上点火方式, 在锅炉故障时有一定的稳燃作用, 在进煤中断时维持床温困难, 因为床枪的热量利用率低, 大部分热量随烟气进入尾部烟道。

四条煤线的加入点布置在锅炉的前后墙的旋风分离器回炉膛的位置, 燃煤通过旋风分离器回炉膛的高温灰的预热达到加热的目的, 为煤的快速燃烧提供保证。

锅炉的风烟系统包括: 两台引风机、四台高压流化风机、两台二次风机、两台一次风机。

锅炉物料循环系统由炉膛、水冷布风板、高温旋风分离器、密封回料器、锥型阀、外置床等重要设备组成。大部分物料通过高温旋风分离器分离后回到密封回料器, 在密封回料器中通过控制锥型阀的开度, 将循环灰分为两部分, 一部分与入炉煤混合后直接回到炉膛, 另一部分进入四个外置床与过热器、再热器进行热交换后回到炉膛, 作为床温及再热汽温的调节手段。

汽轮机和发电机均为东方电气集团提供的 N300-16 7/537/537-8 型汽轮机和 QFSN-300-2-20B 型发电机。

1 机组未进行优化前的冷态启动方式

1.1 锅炉的启动工作

- 1) 启动旋转空预器;
- 2) 启动两台引风机, 正常后投入自动;
- 3) 启动两台高压流化风机, 正常后投入自动;

- 4) 启动两台二次风机, 正常后投入自动;
- 5) 启动两台一次风机, 风量自动调整为 $2 \times 132\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$
- 6) 锅炉风量达要求后进行锅炉吹扫, 时间为: $5+X$ (X 为锅炉床温对应的时间)。风量为: 上二次风全开, 总风量达 $890\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$
- 7) 吹扫结束: 锅炉风量自动调整到 $485\ 000\ \text{Nm}^3$, 锅炉点火。

分别启动两套风道燃烧器, 运行调整燃油流量维持锅炉床温温升速度 $120\ ^\circ\text{C}/\text{h}$; 汽机送轴封、抽真空; 锅炉中部床温达 $500\ ^\circ\text{C}$ 投运床上油枪; 主汽温度达 $250\ ^\circ\text{C}$, 压力达 $0.4\sim 0.8\ \text{MPa}$ 以上, 投入汽机高压缸预暖; 锅炉中部床温达 $600\ ^\circ\text{C}$ 可以投煤; 高压缸缸温达 $150\ ^\circ\text{C}$ 以上, 汽机冲转; 锅炉中部床温达 $800\ ^\circ\text{C}$ 以上, 逐步停运燃油。

1.2 未进行优化前启动总结

这种运行方式由于是全自动, 锅炉风量维持较大, 炉内循环良好, 运行极其安全和稳定, 但启动过程中锅炉床料损失大、风机电耗多、耗油量大、启动时间长, 极不适应中国的节能调度和节能减排的政策, 一次冷态启动耗油达 $80\ \text{t}$ 以上, 锅炉点火至发电机并网时间长达 $15\ \text{h}$, 耗电达 $21\ \text{万}\ \text{kWh}$ 。

1.3 原因分析

1.3.1 锅炉燃料维持的条件不合理

启动过程中风道燃烧器运行, 出口烟温大于 $700\ ^\circ\text{C}$ 且锅炉中部床温三取二高于 $650\ ^\circ\text{C}$, 延时 $2\ \text{s}$ 锅炉投煤条件满足。

锅炉四组床枪中每组至少有一只运行, 锅炉中部床温三取二高于 $600\ ^\circ\text{C}$, 延时 $2\ \text{s}$ 锅炉投煤条件满足。

锅炉床温达到过 $700\ ^\circ\text{C}$, 锅炉中部床温三取二小于 $650\ ^\circ\text{C}$, 此时风道燃烧器未运行, 出口烟温低于 $700\ ^\circ\text{C}$ 时床枪停运。

风道燃烧器运行, 出口烟温高于 $700\ ^\circ\text{C}$, 锅炉底部床温低于 $444\ ^\circ\text{C}$ 时床枪停运。

1.3.2 锅炉吹扫时间不合理

本锅炉采用美国燃烧协会的设计标准设计, 将风道燃烧器、锅炉炉膛分别看做一个独立的燃烧室, 无论上述任何一个燃烧室出问题锅炉必须进行吹扫; 对吹扫时间、吹扫风量的要求非常严格。通过运行实践证明锅炉 FSSS 设计虽然严谨, 但条件过于苛刻, 特别是在热态恢复期间, 影响锅炉启动消耗。

1.3.3 锅炉床料的多少和粒度的比例不合理

按照 ALSTOM 设计锅炉启动前炉膛必须加入 $200\ \text{t}$ 床料后方可启动, 且对床料的粒度要求未明确, 导致锅炉加入的床料偏多且不均匀, 每次锅炉启动工况均不相同, 给运行操作带来了很大难度。

1.3.4 锅炉配风不合理

低负荷时 ALSTOM 设计考虑安全过重, 对经济问题考虑太少, 导致锅炉低负荷时配风明显偏大, 特别是 $2 \times 132\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 的最低一次流化风, 由于风量大, 烟气带走的热量增多, 而且锅炉床料损失较大, 将使启动耗油明显增加;

循环流化床锅炉在启动初期对床温和主蒸汽温度的控制极其困难, 由于原来 ALSTOM 设计要求锅炉风量明显偏大, 使得锅炉主蒸汽温度偏高, 且必须 25% 以上锅炉负荷时才能使用减温水, 为了控制主蒸汽温度和锅炉床温就使得锅炉长期处于煤油混烧状态, 耗油明显增加。

汽机抽真空偏晚, 高压缸暖缸汽源选择不合理, 造成汽机启动时间推迟, 影响启动时间。

由于调试时辅助蒸汽温度不稳定, 不准用辅助蒸汽对汽机高压缸进行预暖, 只有待锅炉参数达到条件后才能进行高压缸的预暖工作, 使得与采用辅助暖缸相比推迟了 $5\ \text{h}$ 冲转, 延长了机组的启动时间。

2 采取的优化措施

根据多次锅炉启动分析, 锅炉床料加入的多少是否符合启动要求, 与锅炉的加入床料的粒度分布是否合理、配风的多少以及锅炉负压均有很大的关系。

1) 锅炉加入的床料越少则启动速度越快, 耗油则越少, 但过少的床料会引起锅炉燃烧恶化, 影响锅炉的寿命。运行经验表明, 当炉膛加入的粒度比例合理, 控制炉膛床料高度在 $1.3\sim 1.5\ \text{m}$ 。

2) 加入床料的粒度如果粗颗粒比例大则床料损失较少, 但锅炉换热不理想, 过细则换热良好但床料损失大, 一般维持 25% 以下的极细和 10% 以下极粗颗粒最为合理。

3) 锅炉的配风越小则启动耗油则越少, 但过低的锅炉配风会使锅炉的物料循环困难, 且延长锅炉的启动时间, 而且会使锅炉局部超温, 损坏设备。通过摸索, 锅炉投煤以前一般维持 $2 \times 100\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 左右的一次风量, 二次风量也相应减少, 总风量减少

(下转第 91 页)

(8): 75-79.

[6] 吕干云,程浩忠,郑金菊,汪晓东.基于 S 变换和多级 SVM 的电能质量扰动识别[J].电工技术学报.

[7] 袁川,杨洪耕.动态电压恢复器最小视在功率控制[J].电力系统自动化,2005,29(11)19-22.

[8] J Wang S Chen and T T Lie, Estimating Economic Impact of Voltage Sags[C]. Proceedings of 2004 International Conference on Power System Technology - POWERCON 2004, Singapore Nov 21-24, 2004, 350-355.

[9] S Z Djokic J Desmet G Vaname J V Milanovic and K Stockman Sensitivity of personal computers to voltage sags short interruptions[J]. IEEE Trans Power Del 20(1): 375-383, Jan 2005.

[10] S Z Djokic K Stockman J V Milanovic J J M Desmet and R Belmans Sensitivity of AC adjustable speed drives to voltage sags short interruptions and under-voltage transients[J]. IEEE Trans Power Del 20(1): 494-505, Jan 2005.

[11] J V Milanovic and C P Gupta probabilistic assessment of financial losses caused by interruptions and voltage sags Part I - The methodology [J]. IEEE Trans Power Del 21(2): 918-924 Apr 2006.

[12] P Gupta and Jovica V Milanovic Probabilistic Assessment of Equipment Trips due to Voltage Sags [J]. IEEE Trans Power 21(2): 711-718, Apr 2006.

(收稿日期: 2008-01-24)

(上接第 17 页)

50 000 Nm³/h, 约 10% 的总风量, 这样既保证了锅炉的正常流化, 又保证了锅炉的换热且锅炉的床料损失也相对较少。

4) 锅炉负压越低则床料损失越大, 过小则易使锅炉正压运行, 根据运行实际情况维持锅炉负压为 0~0.2 kPa 最为合适。

5) 锅炉的吹扫: 吹扫时间由 5+X 改为 5 min。

6) 锅炉启动前吹扫风量一般维持 500 000~600 000 Nm³/h 足以保证锅炉的安全。原来运行两台二次风机改为一台运行, 由于减少一台二次风机, 吹扫风量大幅度减少, 且由于吹扫引起的床料损坏也大幅度减少。

7) 锅炉启动前通知燃运向煤仓上发热量和挥发份相对较高的煤种, 便于锅炉投煤初期煤的燃烧稳定。

8) 当锅炉床温上升至 500℃ 不再投运床上油枪, 而是根据煤的着火点选择投煤, 根据运行经验和煤的实际情况一般选择在锅炉中部床温达 520~550℃ 时向锅炉投煤, 一旦床温上涨, 确定煤已经燃烧后, 则适当加大风量, 并准备石灰石的加入, 严格控制床温在合格范围内, 直到全停燃油。实践证明, 此种运行方式可以节约燃油 20 t 左右。

9) 汽机的配合是机组启动的关键, 如何合理安排汽机的暖缸和冲转以及带负荷是降低启动消耗和缩短启动时间的关键所在, 因此应对汽机的启动进行大幅度的调整。

改变过去冷态启动用新蒸汽对高压缸暖缸的操作方式, 在锅炉点火后就进行汽机抽真空用辅助蒸汽对高压缸进行暖缸, 当锅炉达到汽机冲转条件后立即进行汽机的冲转。此操作方式缩短了汽机启动时间约 3 h。

由于东方汽轮机厂要求本机高参数启动, 在汽机冷态启动时, 维持较高主汽压力和真空, 使得中压缸的膨胀极其缓慢。因而需要针对上述原因进行大幅度调整: 1) 适当开大高压旁路, 降低主汽压力和提高再热汽压, 减少高压缸的进汽, 增加中压缸进汽。2) 适当降低真空, 增加汽缸进汽。通过实践, 汽缸的膨胀、汽缸温度均能够达到厂家提供的启动速度, 比原来的操作方法提前了 1 h 的启动时间。

由于在锅炉投煤后炉内的颗粒分布已发生大幅度变化, 原来相对比较均匀的床料变为粗颗粒多, 细颗粒极少的现象, 使锅炉的换热由颗粒换热变为了辐射换热为主, 导致锅炉床温、主汽温度均高, 而压力却偏低的现象。据此原因, 需在锅炉投煤床温达 700℃ 以上大量加入石灰石, 以改善炉内工况, 严格控制锅炉床温和主汽温度。

3 结束语

白马公司引进的 300 MW CFB 锅炉机组, 通过对机组启动方式的优化, 很好的解决了循环流化床锅炉启动耗油多、启动时间长的特点, 通过一年的不断摸索改进, 现在进行一次冷态启动耗油由原来的 80 t 以上降至 31 t 以下, 启动时间减少了约 4 小时, 启动耗电减少了 4 万 kWh 为机组的节能降耗作出了较大的贡献, 也为同类型的循环流化床锅炉机组启动节能降耗提供了借鉴。

作者简介:

李星华, 工程师, 现任四川白马循环流化床示范电站有限责任公司副总工程师, 具有多年的煤粉炉及循环流化床锅炉机组技术管理经验, 在中国首台引进的 300 MW 循环流化床建设项目中, 负责项目的基建、调试、生产等部分管理工作。

(收稿日期: 2008-05-15)