

600 MW 超临界 CFB 锅炉给水运行调整控制研究

邝 伟¹ 鄢万竹¹ 谭志茜¹ 袁 杰²

(1. 四川白马循环流化床示范电站有限责任公司, 四川 内江 641005;

2. 四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610072)

摘 要: 可靠的给水控制是保证直流锅炉安全稳定运行的重要控制策略之一, 四川白马 600 MW 超临界 CFB 机组的直流给水控制在国内首次应用于超临界参数的循环流化床机组。将结合调试及运行经验, 对机组在湿态、干态、事故处理等运行工况下的给水运行调整、控制操作进行分析和研究。

关键词: 超临界; 循环流化床; 直流锅炉; 给水运行调整控制

Abstract: Reliable feed - water control strategy is one of the most important control strategies to ensure the safe and stable operation of supercritical once - through boiler. In Sichuan Baima 600 MW supercritical circulating fluidized bed (CFB) units , once - through feed - water control strategy are applied to supercritical CFB boiler for the first time in China. Based on the commissioning and operation experiences of 600 MW supercritical CFB units , the feed - water operation control strategies of the units are studied and analyzed in wet state , dry state and accident conditions.

Key words: supercritical; circulating fluidized bed (CFB); once - through boiler; feed - water operation control strategy

中图分类号: TK223.7 + 5 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2015)05 - 0086 - 05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.019

0 引 言

循环流化床(以下简称 CFB)燃烧技术是目前比较现实商业化程度比较好的洁净煤电发电技术之一。超临界参数发电在发电效率方面具有优势,超临界 CFB 直流锅炉结合了以上两个优点,是中国 CFB 技术发展的趋势。

可靠的给水控制是保证直流锅炉安全稳定运行的重要控制策略之一。直流锅炉的给水控制策略在超临界参数的煤粉炉中已经有较为成熟的经验和方法,而直流给水控制应用于超临界参数的 CFB 机组在国内尚属首次。结合中国自主设计制造的首台 600 MW 超临界直流 CFB 锅炉的调试运行经验,对超临界直流 CFB 锅炉不同工况下的给水运行控制调整方法进行总结研究。

1 湿态工况运行时的给水调整控制

从锅炉启动到 35% BMCR(210 MW)之前,锅炉处于湿态运行,锅炉启动系统是为解决直流锅炉

湿态运行而设置的功能组合单元,它能保证湿态运行下直流锅炉的冷却流量,对锅炉湿态工况运行的安全保证具有重要作用。

1.1 超临界 CFB 锅炉启动系统结构特点

该启动系统由启动分离器、储水罐、储水罐水位控制阀(361 阀)、再循环泵(BCP)、锅炉再循环流量调节阀(360 阀)、疏水扩容器、疏水泵、截止阀等组成。其作用是在水冷壁中建立足够高质量的流量,实现点火前循环清洗,保护蒸发受热面,保持水动力稳定,还能回收热量,减少工质损失。锅炉给水启动系统汽水流程图如图 1 所示。

1.2 锅炉冷态清洗给水调整控制

锅炉清洗主要是清洗沉积在受热面上的杂质、盐分和因腐蚀生成的氧化铁等。锅炉清洗分为冷态清洗和热态清洗,锅炉上水完成后进入冷态清洗阶段,清洗水全部通过 361 阀后由疏水排放管排出系统外或经疏水泵回收至凝汽器。

锅炉上水前,确认炉前(省煤器入口)给水含铁量小于 100 $\mu\text{g/L}$,水温 40 ~ 80 $^{\circ}\text{C}$,启动电动给水泵,使用启调阀给锅炉上水。上水流量一般 200 ~ 400 t/h,当储水箱建立一定水位,水位 > 100 00 mm 后,

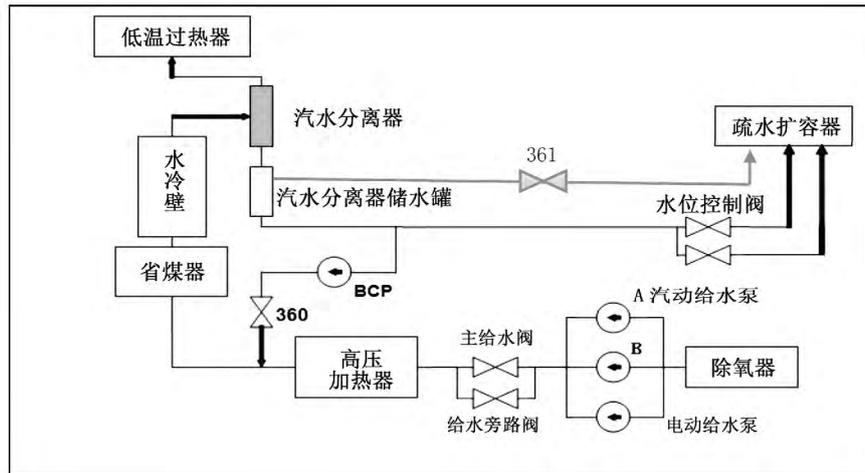


图 1 锅炉给水启动系统汽水流程图

锅炉上水完毕。启动炉水循环泵,建立循环流量,对锅炉进行冷态循环清洗。

锅炉清洗时,利用给水旁路门调节锅炉上水量和储水罐水位,利用 BCP 出口调门维持省煤器入口流量,当水位较高时,利用 361 阀来辅助控制储水罐水位。通过循环当炉水含铁小于 $100 \mu\text{g}/\text{L}$ 时,冷态循环清洗完毕。

此阶段给水控制核心是维持省煤器入口流量以及储水罐水位。省煤器入口流量决定了循环清洗流量的大小,可以通过调节 360 阀开度来可靠控制。只需要根据锅炉水质,选择合适的 361 阀的开度,控制排水量来控制清洗换水量大小,用调节启调阀开度维持锅炉上水流量及水位即可。

1.3 锅炉点火后给水调整控制

冷态清洗完成,锅炉点火后,当投入的风道燃烧器油枪大于 2 支时,锅炉燃烧记忆满足,省煤器入口低流量保护(低于 $513 \text{ t}/\text{h}$,延时 20 s,锅炉跳闸 BT)也随之投入,此时要控制储水箱较高水位运行,调节炉水循环泵出口调门(360 阀)开度,必须保证循环流量大于 $700 \text{ t}/\text{h}$,防止锅炉 BT。另一方面,通过调节给水旁路启调阀,控制上水流量大于蒸发量,投储水箱 361 阀自动,炉水的膨胀和多余的流量,通过 361 阀溢流到锅炉疏水扩容器,两个 360 阀来控制水位,投入两个阀门自动后,工况稳定的情况下基本能维持储水箱水位正常,但当炉内燃烧工况波动或者汽压波动时,应特别注意手动调整锅炉上水量,保持水位在正常范围内。防止因水位高于保护值,两个 360 阀强开导致低水位跳炉循环泵事故的发生。

随着床温升高,蒸发量逐步加大,逐渐开大给水启调阀保证水位,逐渐收小炉水循环泵出口调阀,维持锅炉循环流量适中,避免锅炉循环流量过低触发 BT 或者过高使得汽水分离器分离效率变低。

当床温升高到 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上时,锅炉启动给煤线,开始脉动投煤。随着床温的上涨、煤燃烧的进行,煤完全燃烧时,床温会有一个快速上涨的阶段。此阶段锅炉内部燃烧强度迅速增强,蒸发量快速增加,汽温汽压上涨速度快,如不及时调整,可能导致储水罐水位快速下跌,威胁锅炉安全。应对方法是,观察床温变化率,在床温达到快速上涨的拐点时,迅速同步增加汽泵转速,提高给水压力和上水流量,保证储水罐水位稳定。

在点火后湿态运行阶段,储水罐水位在燃烧工况波动、蒸汽压力波动时,会产生较大幅度的波动,容易发生储水罐满水或缺水的现象,危及机组安全。

在此阶段,给水控制方法是根据储水罐水位手动调节启调阀开度,将水位控制在合理范围之内。但是由于锅炉水系统容量的缓冲,以及压力燃烧波动等因素干扰,使得给水流量变化不能立即有效调节储水罐水位,而是有约 60 s 的滞后性,是一个延时性很大的单冲量调节方式。从图 2 可以看出,给水流量已经改变了约 90 s 之后储水罐水位才开始变化,这使得操作员在调节给水时,缺乏参考依据,容易过调,使得储水罐满水、缺水的发生。

1.4 湿态工况时给水调整控制

通常情况下,在锅炉点火之后机组转干态之前的湿态运行阶段,通过参考锅炉的蒸发量、蒸发量和

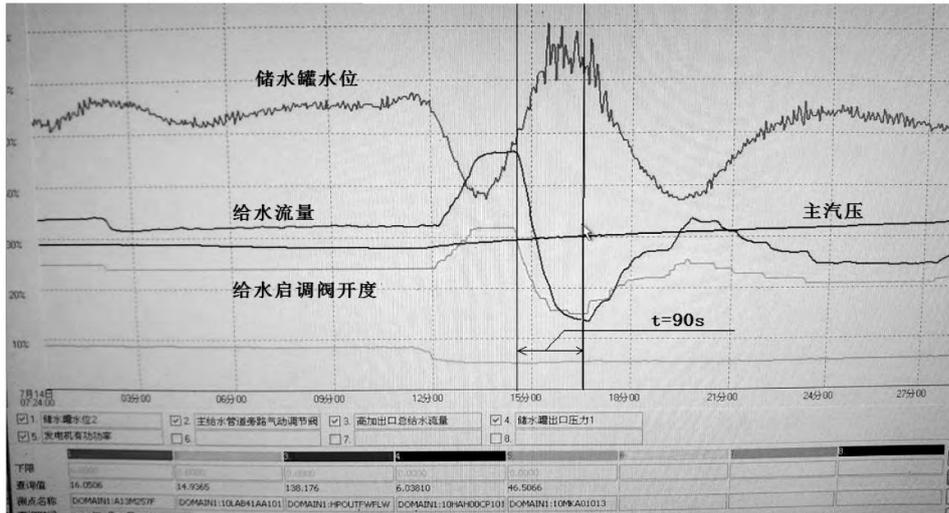


图 2 典型的储水罐水位 - 给水流量调整示意图

给水流量差值对给水流量进行调节,可以使储水罐水位更为稳定,即手动进行三冲量调节。但是由于本机组的主蒸汽流量测量是通过测量高压缸调节级压力换算而得到,在机组冲转前,无蒸汽流量显示。冲转后至切缸完成高旁全关这段时间内,由于高旁有流量,调节级测得的主蒸汽流量也是偏小,不具有参考意义。所以直到汽轮机冲转切缸完成前,操作人员都没有可参考的锅炉蒸发量。

因此,白马 600 MW CFB 锅炉湿态下给水调节一直是手动调整。DCS 内部相关的阀门也没有设计湿态下水位自动调节模块,这使得湿态下储水罐水位调节增加了不安全因素;而现有机组由于没有高旁蒸汽流量测量,即使有了相关的自动模块,单冲量的储水罐水位自动控制也较难实现稳定控制。但如果增加了高旁蒸汽流量测点后,就可以实现 DCS 相应的三冲量水位自动调节模块,能够将湿态下的给水投入自动,从而保证水位的稳定、减少操作人员劳动强度,对机组的安全运行有很大好处。

2 转态过程中给水调整控制

在机组升负荷达 200 MW 左右时转态开始,负荷到 210 ~ 230 MW,当锅炉上水流量大于 650 t/h 时,保证燃烧逐步加强,同时减缓给水的增加幅度,使得给水流量小于蒸发量,保持锅炉给水相对稳定,逐渐关小 360 阀,确认锅炉储水箱水位至低水位,中间点过热度由负值逐渐升高变正。此时,锅炉进入干态直流运行,停止炉水循环泵运行,投入炉水循环

泵的暖泵系统,保持炉水循环泵热备用。

锅炉状态过程时给水控制的重点:

1) 转态时给水流量控制

转干态流量一般即为水冷壁最小流量,由于锅炉低流量保护为 513 t/h,因此选取给水流量大于 600 t/h 之后的负荷(一般选取 210 MW 左右)转态比较安全,但也不是越高流量转态越好,用较高的给水流量(高负荷)来转干态时,锅炉过热段相对缩短,使得主蒸汽温度更加难以控制。

2) 转态时燃烧控制

锅炉转态时应该力求燃烧的平稳增加,避免给煤量、风量大幅波动引起水位不稳。控制燃烧增加速度,使得主汽压力控制在合适的范围内。一般控制转干态时分离器压力在 12 MPa 左右,不宜过高。储水罐溢流阀后管道设计压力不高,溢流闭锁压力在 13 MPa。超过这个压力转态,启动系统管道安全难以保证。从图 3 干湿态转换曲线可以看出,机组在状态过程中,机组负荷、过热度、出口温度非常平稳。

3 CFB 锅炉干态(直流工况)运行中给水调整控制

锅炉进入直流状态,给水控制与前一阶段控制方式有较大的不同,给水不再控制分离器水位,而是和燃料一起控制汽温,即控制水煤比。如果水煤比保持一定,则过热蒸汽温度基本能保持稳定;反之,水煤比的变化,则是造成过热汽温波动的基本原因。煤粉炉由于其燃烧变化迅速灵敏,通常煤粉炉中水

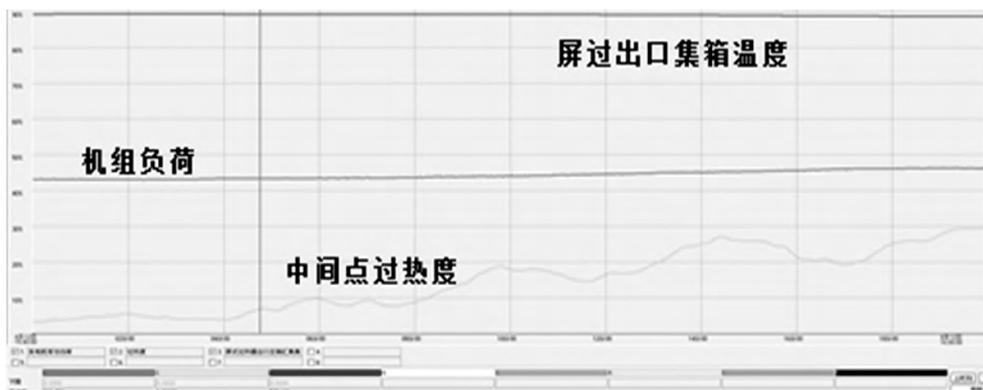


图 3 干湿态转换曲线

煤比是一个重要的监视参数,是煤粉炉直流工况下调节给水的一个重要参考依据。但是由于 CFB 锅炉的燃烧具有较大的热惯性,实时的给煤量多少并不能及时准确反映当前锅炉内燃烧的强弱,因此由当前给水流量与实时给煤量之比得出的水煤比对 600 MW CFB 机组给水调整的参考意义较小。但从能量平衡的角度来考虑,合适的水煤比仍然是保证锅炉热平衡的一个基础,因此在操作过程中不应使水煤比长期偏离设计值。

分离器出口过热度可以作为水煤比(锅炉热平衡)的另一个反映,它能快速、灵敏地反映当前锅炉放热量与给水流量的匹配关系以及过热汽温的变化趋势,因此 600 MW CFB 直流炉现场实际的给水控制思路主要是控制分离器出口过热度稳定(一般控制在 10~30℃),就能保证汽水侧参数的稳定。

基于以上因素的影响,白马 600 MW CFB 锅炉干态直流运行时,给水自动控制策略如下:

1) 主蒸汽流量 × 主汽压修正 × 主汽温修正 = 锅炉自平衡指令;

2) 锅炉自平衡指令 + 锅炉发热量速率修正 + 氧量热量速率修正 = 设计给水流量;

3) 设计给水流量 × 省煤器入口给水温度修正 = 给水初步指令;

4) 给水初步指令 + 给水加速 + 分离器焓值(中间点过热度)修正 = 给水指令。

式中:主蒸汽流量通过调节级压力换算得出;主汽压修正 = 设定主汽压力/主汽压力;主汽温修正 = (标准屏过焓 - 分离器设定焓)/(屏过焓 - 分离器设定焓);省煤器水温修正 = (分离器设定焓 - 设计省煤器入口焓)/(分离器设定焓 - 省煤器入口焓);给水加速根据机组当前负荷变动率而增加或减少相应的

给水指令,负荷稳定时为 0。

最终得到的给水指令值换算出相应的汽动给水泵转速分配给两台给水泵汽轮机指令,实现给水的自动调节。

通过现场一年多的实际使用情况,以上给水控制能满足 600 MW CFB 的直流给水自动控制需求,自动投入后,通常只需要设定当前工况下的中间点过热度的偏置,就能实现过热度、给水稳定控制。

锅炉长期低负荷运行致使受热面积灰时,或投入石灰石量增大时会使得过热段吸热份额减小,此时应该适当提高分离器过热度或调节外置床灰控阀开度等来调节减温水量大小,保证适量的减温水以满足汽温调节需求。

4 直流状态时异常工况下的给水调整控制

在异常事故工况下,如风机跳闸、单侧给煤中断、单台给水泵跳闸等工况时,自动给水不能满足迅速调节的需求,应及时将给水控制切至手动控制,此时,给水的控制主要采取以下方法:

1) 事故工况下,及时将 CCS 切除,锅炉主控、汽轮机主控切手动。同时手动调节汽泵转速控制给水流量维持中间点过热度。

2) 以当前的主蒸汽流量为基础控制给水流量;负荷变动过程中,利用机组负荷与主蒸汽流量做为前馈粗调。当汽压波动或汽轮机内部原因造成调节级压力异常时,根据调节级压力计算出来的主蒸汽流量不是很准确,此时主要使用机组负荷做为前馈粗调整用。白马 600 MW CFB 机组的给水流量与负荷之比约为 2.88,事故情况下,一般用机组负荷

(MW)乘以3,得出该负荷所对应的大致给水流量。

3) 根据过热度变化及时修正给水流量,避免过热度过高造成水冷壁超温。

4) 根据锅炉燃烧工况如风量、给煤量、床温变化率等参数变化,提前调节给水流量。

5) 当给煤线故障时,根据煤量及床温手动减负荷,减少给水流量维持蒸汽温度。

6) 手动加减负荷时,及时根据汽压变化调整给水泵转速保证上水压差在适合的范围内,避免给水流量波动。

7) 负荷持续下降到200 MW左右时,及时转湿态保证锅炉安全。

8) 低负荷时,停运一台给水泵,给水切至旁路调整,保证给水稳定。

9) 调节给水时都要兼顾到过热器减温水的用量,使之保持在一个合适的范围内,不可过多或过少,留有足够的调节余地;同时还要监视好再热汽温度、受热面壁温等,严防超温,汽温也不可过低。

(上接第10页)

力发电场在线监测数据采集和传输系统。此系统继承了 ZigBee 网络和以太网网络的共同优点,如低速率、低功耗、低成本、具有自组织能力、低复杂度、共享资源能力强、软硬件资源丰富以及安全性高等等。经验证系统的稳定性比较好。该系统也实用于像海上风力发电场这种数据采集点多、布线复杂的工业在线监控系统。

参考文献

[1] 发改委、能源局和环保部三部. 能源行业加强大气污染防治工作方案[R]. 2014.

[2] 张耀. 基于风电场无线通信的研究[J]. 硅谷, 2010(19): 28.

[3] 辛卫东, 马志勇, 滕伟, 等. 振动监测技术在风电机组齿轮箱故障诊断中的应用[J]. 中国电力, 2012, 45(5): 77-80.

[4] 高熾. 风机发电机组状态监测与故障诊断系统的软件开发[D]. 保定: 华北电力大学, 2012.

[5] 董昱廷, 王海云, 唐新安. 风电机组状态监测系统现状[J]. 电机与控制运用, 2013, 40(4): 17-21.

[6] 北京唐智科技发展有限公司. 风电机组在线故障诊断系统技术方案说明书[G]. 2011.

[7] 周选民, 刘军, 贺训育, 等. 主要动设备监测分析系统

5 结 语

白马600 MW机组目前是世界上单机容量最大的CFB锅炉,也是国内首次将CFB燃烧方式与超临界直流汽水系统相结合的锅炉,给水控制既是重点也是难点。通过采取以上给水控制方法,经过一年多的实践检验,取得了较好的效果,保证了机组安全运行。

参考文献

[1] 吕俊复, 岳光溪, 于龙, 等. 600 MW超临界循环流化床锅炉[J]. 动力工程, 2007, 27(4): 497-501.

[2] 胡昌华, 卢啸风. 600 MW超临界循环流化床锅炉设备与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[3] 东方锅炉有限公司, 600 MW超临界循环流化床锅炉结构说明书[R].

作者简介:

邝伟(1973), 高级工程师, 从事循环流化床机组调试、运行优化及生产技术管理工作。(收稿日期: 2015-04-28)

的应用[J]. 状态监测与分析, 2012, 33(3): 62-67.

[8] 孙利民, 魏然. 风力发电机组的无线远程监控系统[C]. 力学与工程应用, 2012: 108-111.

[9] 曹付成, 张广明. 基于 ZigBee 的风电场测风系统的设计[J]. 可再生能源, 2011, 29(5): 141-144.

[10] 梁子伊, 马正华, 瞿新南. 基于 ZigBee 和 GPRS 的风电场远程监控系统研究[J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(11): 90-96.

[11] Lei Wang, Xinguo Ming, JingYou. The Steps and Methodology of Identifying Master Data from Business Processes[C]. World Congress on Software Engineering 2009(1): 329-333.

[12] 梁小晓, 乐英高. 基于 ZigBee 和以太网的数控机床网络通信系统研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(3): 53-59.

[13] 王建平, 周辰飞, 朱程辉, 等. 一种 ZigBee-TCP/IP 无缝网关模型[J]. 合肥大学学报, 2013, 36(9): 1058-1062.

[14] 杨顺, 张毅, 陶康. 基于 ZigBee 和以太网的无线网关设计[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(1): 194-197.

[15] 朱剑锋, 熊志斌, 尹成国. ZigBee 无线传感网络与 IP 网络的网关设计[J]. 软件, 2011, 32(9): 53-55.

(收稿日期: 2015-07-27)