

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.01.021

600 MW 超临界 CFB 机组低负荷运行技术研究

袁杰¹ 邝伟² 邝万竹² 廖曼²

(1. 四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610072;

2. 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: 中国自主研发的世界首台 600 MW 等级超临界 CFB 锅炉在四川白马示范电站成功投运。600 MW CFB 锅炉具有大范围的调峰能力, 在四川电网火电低负荷率期间显示了普通煤粉炉不可比拟的优势。针对机组长期低负荷下出现的异常工况进行分析, 并制定相应对策措施, 取得了很好的效果, 保证了机组安全稳定运行, 为后续超临界 CFB 机组提供了借鉴。

关键词: 600 MW CFB 锅炉机组; 低负荷异常工况; 对策措施

Abstract: The first 600 MW class supercritical CFB boiler in the world developed independently by China has been successfully put into operation in Baima of Sichuan. The 600 MW CFB boiler has a wide range of peak shaving ability, which shows the incomparable advantages over common pulverized coal fired boiler during low-load rate in Sichuan power grid. The abnormal condition occurred in long-term low load is analyzed and the corresponding countermeasures with good effects are given, which ensures the safe and stable operation of the unit and provides a reference for the follow-up CFB supercritical unit.

Key words: 600 MW CFB boiler; low-load abnormal condition; countermeasures

中图分类号: TM611.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0091-04

0 概述

循环流化床燃烧方式采用的是低温燃烧方式, 将床温控制在 870~920℃左右, 这一温度不仅是脱硫的最佳温度, 同时也能较好地抑制 NO_x 产生。循环流化床燃烧方式是国家推广的洁净煤燃烧技术之一。

四川白马 600 MW 机组, 锅炉为东方锅炉厂自主研发 600 MW 超临界 CFB 燃烧方式直流锅炉, 一次中间再热, 双布风板单炉膛、H 型布置、平衡通风, 露天布置。锅炉由主循环回路、竖井烟道、尾部烟道 3 部分组成, 整体呈左右对称布置, 支吊在锅炉钢架上。采用外置式换热器调节炉膛床温及再热蒸汽温度, 采用高温冷却式旋风分离器进行气固分离。

东方锅炉厂自主研发的 DG 1900/25.4-II9 型 CFB 锅炉, 将超临界参数与之相结合, 是目前世界上投运的单机容量最大的 CFB 锅炉; 配套汽轮机为东方汽轮机厂生产的 N 600-24.2/566/566 型汽轮机, 配套发电机为东方电机厂生产的 QFSN-600-2-22D 型交流发电机。机组在四川白马成功示范,

2013 年 4 月 14 日完成 168 h 满负荷试运。

由于四川电网水电装机比例高达 70% 左右, 丰水期水电负荷高、峰谷差大, 火电机组负荷率较低。在这种特殊的电网结构下, 白马 600 MW CFB 机组曾长期接带 50% 左右低负荷运行, 针对机组长期低负荷运行出现的异常工况, 分析原因并制定了相应对策措施, 为后续超临界 CFB 机组提供借鉴。

1 防止锅炉长期低负荷结焦

该锅炉结构为双支腿、单炉膛、间隔中隔墙, 外置床换热。炉膛宽度约 15 m, 炉膛深度约 28 m。每条支腿布风板尺寸宽×深约为 4 m×28 m, 炉膛一次流化风从炉膛后墙进入风室, 风室为等压风室。

锅炉采用回料口、外置床给煤型式, 共 4 条给煤线。为保证给煤的均匀性, 锅炉共设有 12 个给煤点, 分别布置在 6 台回料器至炉膛的回料器灰道和 6 台外置式换热器至炉膛的灰道上。

锅炉单侧布置有 3 个汽冷却式旋风分离器, 两侧共 6 个旋风分离器。机组长期低负荷运行时, 如果参数控制调整不当, 会造成炉膛局部流化不

良结焦。

1.1 低负荷结焦的原因

1) 布风板阻力较设计值偏低约 1 kPa 左右,降低了布风的均匀性。

2) 布风板的深宽比过大。布风板为狭长形,宽×深约为 4×28 m,一次风箱虽为等压风箱,但布风板深宽比较大,加上安装等原因,造成布风不均是不可避免的。

另外,由于布风板深宽比较大,炉内物料前、中、后之间的传热传质能力不同,床温分布情况为中后部低,前墙高,中间物料流化情况优于前后部分,造成局部流化不良引起结焦。

3) 外循环强弱不同,影响了布风板上物料的分布。图 1 为旋风分离器布置示意图,从结构布置来看,6 个外循环强弱不同,布置在前、后的 4 个旋风分离器扑捉的物料量要多于中间 2 个旋风分离器扑捉的物料量,在低负荷期间,物料流化特性较差,床温较低,炉膛前后部分返料较多,会弱化该处的流化状况。

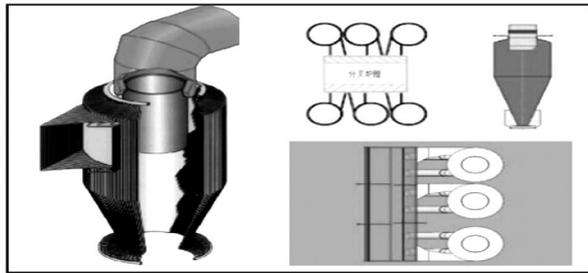


图 1 旋风分离器布置示意图

4) 一次风量偏低,造成局部流化不良。

5) 落煤口给煤量不均,局部给煤量偏大,造成局部超温及局部流化不良。

6) 底冷器故障,造成排渣不畅,粗颗粒床料堆积,造成局部流化恶化。

7) 锅炉“翻床”、局部超温。

1.2 防止低负荷结焦的措施

1.2.1 正常运行时的控制措施

1) 锅炉负荷稳定时,尽量使用锥形阀来调节床温,严禁大幅度增减煤量。同时在增减负荷时,要控制给煤量变化速度,保证氧量 $\leq 2.0\%$ 。

2) 在锅炉正常运行过程中,运行人员应严密监视炉膛中、下部床温。一旦出现任意点温度偏离正常值,应根据负荷情况,加大一次风量至 300 kNm³/h 左

右运行,同时调整对应位置的给煤量,直至床温恢复正常。

3) 机组低负荷连续运行超过 24 h,每天定时加大一次风量至 280 kNm³/h 左右运行 30~60 min,同时观察炉膛中、下部床温应正常。

4) 在机组运行中,每天分析入炉煤粒度,当 > 8 mm 的份额超过 5% 应调整破碎机间隙直至合格。

5) 机组入炉煤量出现大幅波动时,应安排对锅炉床温、底冷器排渣、落煤口温度进行巡查,发现异常及时对锅炉配风方式进行调整。

6) 加强底冷器运行状态监视,高负荷时尽量 6 台底冷器进渣运行,控制总床压不高于 38 kPa。

如果低负荷时床压低,需退出底冷器运行,维持 3 条底灰线轮换运行,禁止备用时间超过 24 h。

7) 加强锅炉床压控制,总床压最大不得高于 40 kPa。如煤质差、给煤量大,应及时联系调整煤质,控制无效可申请降低负荷运行。

1.2.2 事故处理过程的控制措施

机组出现事故,锅炉炉膛流化中断后,应尽快恢复炉膛流化。在流化初期,应使单侧一次风量达 300 kNm³/h 左右,炉膛床温有明显下降,氧量明显上升后方可减少一次风量或塌床。消缺结束恢复过程中,初期一次风量维持约 200 kNm³/h,待锅炉两侧中上部同步上升并稳定时方可根据床温条件,选择直接投煤或投油。如消缺时间较长可开启炉膛人孔门检查炉膛床料平整程度,确认无结焦情况发生,否则应停炉处理。

2 防止二次风管积灰、烧坏

白马 600 MW CFB 锅炉用风主要由 2 台二次风机、2 台一次风机提供。二次风主要作用是分级燃烧,抑制 NO_x 的产生,提供燃烧空气;二次风在锅炉燃烧室密相区每侧各有上下 2 层 21 个风口。一次风主要用于流化床料,并为燃料提供初始燃烧空气。

2.1 低负荷二次风管积灰烧坏的原因

1) 二次风流量过低;

2) 二次风口各风门开度过小;

3) 低负荷单台二次风机运行,风压控制不合理;

4) 锅炉出现翻床,床料倒灌进入二次风管。

2.2 防止二次风管积灰烧坏的措施

1) 保证二次风流量正常稳定,风门流量档板开度在10%以上,且保证空气预热器后二次风压大于8.0 kPa;

2) 正常运行时,控制锅炉总床压 < 32 kPa,左右侧偏差不得超过1 kPa;

3) 锅炉出现翻床时,调整二次风压和风量,保证空气预热器后二次风压 > 8.5 kPa,且床压高侧流量 > 床压低侧,床压低侧二次风门开度在10%以上;

4) 注意运行调整时二次风门开度的“死区”,同时监控二次风流量和开度,避免出现较大偏差;

5) 在减负荷,停运二次风机前,要注意适当提高运行风机的出力,保证二次风量和风压稳定,避免出现大幅波动;

6) 加强就地二次风管的检查监视,发现漏灰、发红等异常情况,立即提高二次风压、风量运行,直到异常情况消除。

3 防止长期低负荷时锅炉翻床

白马600 MW CFB锅炉采用双支腿单炉膛结构,布风板离隔墙高度大约9 m。当两侧出现风量、床压等参数大幅扰动时,就会出现床料翻至其中一侧,造成所说的“翻床”。锅炉正常运行时,如果发生翻床,不及时调整处理,就会造成锅炉正常的物料循环被中断、炉膛超温、一次风机失压、汽温汽压大幅波动,造成锅炉停运。

3.1 低负荷翻床的原因

1) 锅炉长时间低负荷运行,炉膛内积聚了大量细物料,造成上部差压过大;

2) 一次风、下二次风波动大;

3) 锅炉回料器、外置床回料不畅、回料波动;

4) 低负荷一次风门调节性能差。

3.2 防止低负荷翻床的措施

1) 控制锅炉上部差压,一般维持在约1.0 kPa。如果上部差压偏高,应及时通过外置床放细灰。

2) 正常运行时,控制锅炉总床压小于32 kPa,左右侧偏差不得超过1 kPa;在进行一次风量、风压调整时,注意一次风量调节门的开度,避免出现较大偏差。

3) 加强给煤线运行情况监视,注意调节同侧给

煤量,偏差率不超过0.65,避免中心给料机运行频率过低跳闸,造成给煤量瞬时波动,影响CCS调节。

4) 在利用BC/EF外置床灰控阀进行床温、主汽温调节时,注意其对床压的影响,严密监视一次风的调节情况。

5) 保证石灰石平稳连续加入,避免瞬时大量加入石灰石。

4 防止底冷器堵塞及冷却水管道振动

锅炉左右侧各配3台滚筒底冷器,其冷却水进口取自汽机凝结水调门前,回水至汽轮机6号低压加热器入口,与主凝结水汇合。

4.1 底冷器堵塞及冷却水管道振动的原因

1) 炉膛流化不佳,造成底冷器进口堵塞;

2) 底冷器停运时,其进口管道存渣未排干净;

3) 底冷器冷却水控制不合理,回水温度低;

4) 6号低压加热器疏水不畅。

4.2 防止底冷器堵塞及冷却水管道振动的措施

1) 在机组低负荷时,注意炉膛流化状况,当出现床温、床压波动幅度大时,应适当增加一次风量,保证流化正常,保证底冷器进口畅通;

2) 监视床压降低的趋势,及时对称停运底冷器备用,并及时关闭其冷却水,保证回水温度在65℃以上,防止6号低压加热器水位出现异常及疏水管道振动;

3) 停运底冷器时,应排空底冷器内存渣再停运;

4) 注意底冷器冷却水流量调节,加强监视检查底冷器冷却水管晃动情况,避免设备、管道损坏。

5 防止A/D外置床进灰不畅

锅炉共有6台外置床,其中BC/EF外置床内布置过热器,主要作用进行床温调节。A/D外置床内布置再热器,主要用于调节再热汽温,低负荷时该外置床灰控阀开度较小。

5.1 A/D外置床进灰不畅的原因

1) 外置床灰控阀开度较小;

2) 灰控阀锥头积灰;

3) 回料器流化风过小,回料不畅。

5.2 防止A/D外置床进灰不畅的措施

- 1) 加强 A/D 外置床灰控阀开度监视,注意再热汽温调节,避免高、低汽温;
- 2) 发现 A/D 外置床进灰不畅,应及时对灰控阀锥头进行吹扫,吹扫后应严密关闭压缩空气,避免吹损灰控阀;
- 3) 发现 A/D 外置床进灰不畅,适当增加 A/D 外置床空仓、冷却仓流化风量,并就地观察进灰情况。

6 保证发电机进相运行安全

- 1) 调整发电机进相运行深度时,密切监视发电机各部温度不超过允许值。若温度超限,应及时加强调整,否则,应降负荷运行。
- 2) 在调整发电机励磁电流时,速度应缓慢,切勿快速大幅度调节,进相运行限制值应控制在规定范围内,且始终保持小于低励磁限制动作值。
- 3) 在降低发电机励磁时,若低励磁限制动作,应立即停止降低励磁,适当增加发电机励磁,直至低励磁限制告警信号消失。
- 4) 当发电机进相运行时,要注意监视发电机的静稳定运行情况,各监视参数应正常无波动情况,防止发电机发生振荡或失步;发电机进相运行时,发电机定子电流不得超过额定值运行。

7 其他注意事项

- 1) 在低负荷时,锅炉各风机进出口风门开度均较小,运行调整时应缓慢、平稳,避免风机在非正常工作区运行。
- 2) 注意检查监视各转机冷却水进、回水情况,避免出现堵塞或不畅情况,以避免各轴承温度异常升高,保证转机运行安全。
- 3) 防止 A 凝结水泵振动。A 凝结水泵为变频运行,由于低负荷时凝结水调门开度不大,出现凝结水泵低频运行时振动加大。在运行中,加强凝结水泵出口压力、推力瓦温监视,出现振动异常及时调整频率、底冷器用水量或切换运行。
- 4) 防止锅炉给水流量低跳闸。在负荷降低(特别是负荷突降)时,应注意汽动给水泵再循环调门的开关情况,必要时手动缓慢开启,保证给水

泵流量。特别要注意再循环开启时,锅炉给水流量会下降,必须加强监视调整,防止锅炉因给水流量低跳闸。

- 5) 加强尾部烟道烟温监视,定期吹灰,防止尾部烟道再燃烧。

8 结 语

DG1900/25.4 - II9 型锅炉是世界上最大容量的循环流化床锅炉,而且是首台循环流化床燃烧方式与超临界直流汽水系统相结合的 600 MW 等级锅炉,目前在四川白马成功示范。在投运一年多时间里,针对机组长期低负荷下出现的异常工况进行分析,并制定了相应对策措施,取得了很好的效果,保证了机组安全运行,为后续超临界 CFB 机组提供相应借鉴。

参 考 文 献

- [1] 蒋茂庆,高洪培,邝伟,等. 300 MW 循环流化床锅炉床料翻床原因分析及运行对策[J]. 热力发电, 2007(6): 127 - 129.
- [2] 谭志茜,邝伟,苟建兵,等. 300 MW 循环流化床锅炉上部差压及床压优化试验[J]. 热力发电, 2014(4): 128 - 130.
- [3] 吴海航,孙纪宁,王哲,等. 物料量及布风板阻力对裤衩腿流化床锅炉翻床的影响[J]. 动力工程学报, 2014(1): 7 - 12.
- [4] Jining Sun, Zhe Wang, Weiyu Cao, et al. Mechanism of the Impact of Particle Size Distribution to Bed - inventory Overturn for Pant - leg Circulating Fluidized Bed [J]. Flow Turbulence Combustion, 2013, 90(4): 885 - 895.
- [5] 孙运凯,宋国良,吕清刚,等. 600 MW 超临界 CFB 锅炉机组定滑压变负荷运行特性的研究[J]. 电站系统工程, 2011(1): 9 - 12.
- [6] 胡南,李金晶,刘雪敏,等. 大型 CFB 锅炉床压横向波动的机制研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(20): 1 - 7.

作者简介:

袁 杰(1968),高级工程师,从事机组调试、运行优化及技术开发等工作。

(收稿日期:2015-09-06)