

“W”火焰锅炉炉膛负压波动大的原因分析与对策

宋绍伟¹, 邱现堂¹, 杨真学¹, 周海清¹, 李琳¹, 刘晓宏²

(1. 山东菏泽发电厂, 山东 菏泽 274032; 2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710032)

摘要: 介绍了“W”火焰锅炉燃烧系统的设计特点, 该锅炉运行过程中出现了炉膛负压波动大、燃烧不稳定的问题。对该炉实际运行情况的分析研究表明: 锅炉控制系统的稳定性偏低、燃烧调整不平衡、燃煤种偏离设计煤种过大以及各煤粉管道风煤比偏差过大是造成炉膛负压波动大的关键问题。通过优化调整燃烧、加强燃用煤质管理、减小各煤粉管道风煤比偏差、增加炉膛卫燃带的敷设面积、加大磨煤机出力裕度, 保证满负荷运行中合理的煤粉细度等措施, 基本消除了炉膛负压波动大的问题, 同时还降低了锅炉飞灰可燃物质量分数。

关键词: “W”火焰锅炉; 炉膛负压; 燃烧器

中图分类号: TK223.21

文献标识码: B

文章编号: 1004-9649(2006)08-0045-04

近年来, 由于设备、煤质以及燃烧调整等方面的原因, 菏泽发电厂 4 号锅炉出现了炉膛负压波动大、火焰图像忽明忽暗燃烧不稳定、负荷响应慢、飞灰可燃物质量分数偏高的现象, 严重影响了锅炉的安全经济运行。

1 燃烧系统设计特点

菏泽发电厂二期工程 2×300 MW 机组, 配备了英国 Mitsui Babcock 公司生产的型号为 MBEL-1025/17.3-541/541 锅炉。该锅炉为单炉膛、平衡通风、一次中间再热、亚临界参数、自然循环、单汽包锅炉, 蒸发量为 1 025 t/h, 正压直吹式制粉系统, “W”型火焰燃烧方式。锅炉设计煤种为 85%无烟煤+15%半无烟煤, 设计煤种特性见表 1。

锅炉燃烧系统由制粉及分离装置、燃烧器及喷

表 1 设计煤种特性

Tab.1 Designed coal characteristic

项 目	数 值	%
空干基碳 $w(C_{ad})$	64.30	
空干基氢 $w(H_{ad})$	2.38	
空干基氧 $w(O_{ad})$	3.58	
空干基氮 $w(N_{ad})$	0.95	
空干基硫 $w(S_{ad})$	0.81	
全水分 $w(M_a)$	8.75	
空干基水分 $w(M_{ad})$	2.69	
空干基灰分 $w(A_{ad})$	25.28	
干燥无灰基挥发分 $w(V_{daf})$	11.36	
收到基低位发热量 $Q_{ar,net}/kJ \cdot kg^{-1}$	22 137	

口、烟风系统及辅机、炉膛及燃烧室等组成。炉膛在 23 m 高度炉拱处分为上下 2 部分, 下炉膛截面为 19.32 m×15.63 m, 呈八角形; 上炉膛为 19.320 m×7.176 m, 呈长方形; 炉膛容积为 6 557 m³。炉膛四周敷设 569 m² 卫燃带。

该炉制粉系统配有 3 台美国 Svedala 公司制造的双进双出钢球磨煤机, 每台磨煤机分为两端, 每端各连接一粗粉分离器, 由粗粉分离器出口的一次风管道在炉本体 28 m 处又通过分配器分为 2 根, 3 台磨煤机共有 12 根一次风管道至燃烧器前, 每一管道连接 1 台旋风子分离器 (进行浓淡分离, 分为煤粉流、乏气流 2 部分, 分别进入炉膛燃烧)。炉膛前后两侧炉拱处各布置了 3 组直流垂直下射狭缝式燃烧器, 每组燃烧器由 4 只主煤粉喷口、4 只乏气喷口、8 只二次风喷口组成。二次风喷口分别设在主煤粉喷口和乏气喷口的两侧, 每组燃烧器设有 2 支油枪。在炉膛后墙炉底处设置了炉底注入热风, 用以负荷改变时调整再热汽温。

磨煤机、燃烧器的布置见图 1, 每组煤粉燃烧器结构见图 2。

2 “W”火焰锅炉炉膛负压波动大原因分析

2.1 控制系统的稳定性偏低

当锅炉燃烧工况受到较大幅度的外扰时 (如大幅度增减负荷、锅炉燃料量突变、重要辅机故障掉闸等), 由于控制系统不稳定, 而引起燃烧工况的波动。菏泽发电厂 4 号锅炉送风机风量自动调节依据是二

收稿日期: 2006-03-21; 修回日期: 2006-05-18

作者简介: 宋绍伟(1977-), 男, 山东郓城人, 工程师, 从事火电厂基建安装调试和技术管理工作。E-mail: songshw@126.com

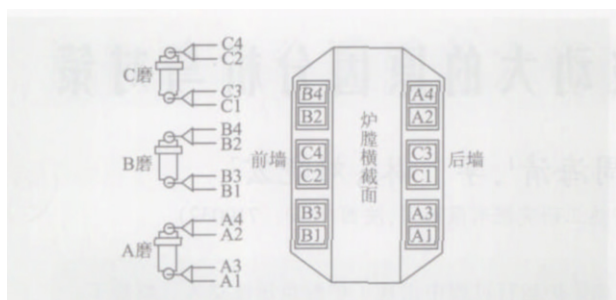


图1 磨煤机、燃烧器布置示意

Fig.1 Arrangement of pulverizers and burners

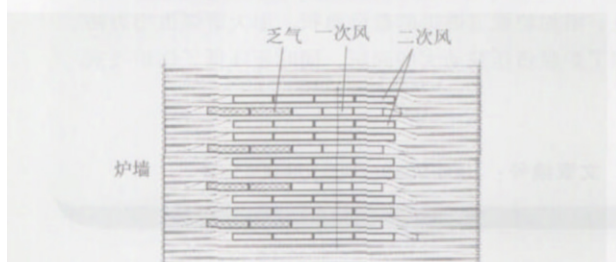


图2 燃烧器结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of burner structure

次风母管压力, 很容易造成炉膛负压波动。例如在协调控制投入, 送风机自动投入的情况下, 如果粗粉分离器回粉管锁气器动作造成炉膛负压突然变正, 相应的二次风母管压力也会相应升高, 而此时进入炉膛的空气量是降低的, 但是送风机自动跟踪的是二次风母管压力, 会自动地关小送风机的动叶使送风量进一步减少, 回粉管锁气器恢复正常后, 会使炉膛负压向负方向大幅度减少, 如此循环, 炉膛负压会大幅度地波动起来而且不可能自动停止。在实际运行中, 菏泽发电厂4号锅炉曾多次出现类似问题, 把送风控制由“自动”切至“手动”, 炉膛负压会慢慢恢复正常。

2.2 燃烧器出力、燃烧调整不平衡

当燃烧器出力、锅炉供风以及燃烧调整不平衡时, 必然会导致一些燃烧器的着火条件变差, 煤粉着火推迟, 燃烧速度降低。例如, 在升负荷过程中, 一、二次风速增加, 会使燃烧器着火区域的散热量增加; 同时炉膛温度升高, 会使煤粉着火条件改善。在此过程中, 如果某些燃烧器着火区域散热量的增加对燃烧产生的负面影响大于由炉温提高而产生的正面影响, 就会使燃烧器的着火条件随负荷升高逐渐变差。当达到某一临界值时, 会使得该燃烧器的燃烧情况突然恶化(可稳定着火的煤粉所占比例突然大幅减少)、燃烧器的热功率大幅下降。同时, 邻近的燃烧器也必然会受到影

响, 而致燃烧工况变差, 热功率减小, 机组负荷下降。此时, 控制系统出于稳定机组负荷的需要, 会自动增加燃料量。随着燃料量的增加, 炉膛温度升高, 使得煤粉着火条件改善, 发生燃烧恶化的燃烧器着火情况迅速好转(可稳定着火的煤粉所占比例突然大幅增加)、燃烧器热功率大幅增加, 机组负荷快速上升。由于前期燃料量的过量供给, 必然会导致机组负荷的上升超过设定值。此时, 控制系统为了维持负荷在设定值, 会自动减少锅炉的燃料供给量, 减弱燃烧, 炉膛温度下降。着火较差的燃烧器的燃烧情况又会逐渐变差, 发生燃烧恶化周而复始, 引起炉膛负压波动大。在这种情况下, 炉膛负压波动一般会随负荷的升高而增大, 当达到临界状态时会发生灭火^[1]。2005-07-19T16:35:00, 菏泽发电厂4号炉负荷270 MW, 主蒸汽压力16.5 MPa, 主蒸汽温度541℃。火焰图像时亮时暗, A1、B2煤火检在15%~95%大幅度波动, 炉膛负压波动明显增大(-400~+300 Pa)。运行人员及时解除送风机自动调节, 减少送风量, 同时将机组负荷降至240 MW, 炉膛负压随即稳定下来。

2.3 煤质及负荷变化对燃烧影响较大

在实际运行中煤种变化是经常的, 有时偏离设计值, 即使混煤时, 如果不均匀, 对负荷及燃烧影响较大。目前机组在一次调频、自动发电控制方式运行时间较长, 因此这种变化难以满足系统负荷需求, 使一次调频、自动发电控制投入率降低。从燃烧不稳时取得煤样看: 一种情况是挥发分较低时出现燃烧不稳定的现象; 另一种情况是固定碳质量分数较高时出现燃烧不稳定的现象。在挥发分较低时, 由于燃烧推迟, 火焰下冲严重, 使着火困难, 出现燃烧不稳定的情况, 引起炉膛负压波动明显增大。韶关电厂10号锅炉在调试初期, 未注意到煤种变化大, 以至经常出现在某个时期内锅炉燃烧稳定, 但运行不到一两个小时, 锅炉负压波动增大, 负荷下降, 于是运行人员开始增加磨煤机出力, 维持锅炉出力, 但随之而来的是锅炉负压波动更大, 最终导致锅炉因负压大、燃烧不稳而灭火^[2]。

2.4 各煤粉管道粉量偏差、风煤比偏差较大

锅炉每组燃烧器呈独立的配风体系, 2组燃烧器间隔2.4 m, 炉内几乎为平行流场, 气流横向混合性能较差而影响风煤的后期混合, 过剩氧质量分数高于设计值, 且每组燃烧器的风煤配比均衡, 才能获得较高的燃尽度。菏泽发电厂4号锅炉煤粉管道粉量偏差高达33.06%, 煤粉管道风煤比偏差高达21.3%(见表2), 远远超过《火力发电厂煤粉制备系统和设计方法》中所要求的小于8%和小于10%, 表现为燃烧状况不理想、负荷响应慢、炉膛负压波动大、炉渣可燃物高, 严重影响了锅炉的安全经济运行。另外, 空气预热器蓄热元件部分变形、堵灰, 也会引起炉膛压力周期性脉动。

2.5 磨煤机料位对锅炉燃烧的影响

料位建立对双进双出钢球磨煤机非常重要, 它

表 2 磨煤机煤粉管道出力
Tab.2 Coal output of pulverizer

项 目	A13	A24	B13	B24	C13	C24
燃烧器火检强度/%	85/76	83/78	82/94	82/88	66/57	82/80
煤粉管道粉量/kg·s ⁻¹	2.25	3.39	4.00	3.69	3.61	3.22
一次风量/kg·s ⁻¹	16.3		14.9		14.7	
煤粉管道粉量偏差/%	-33.06	0.83	19.01	9.92	7.44	-4.13
风煤比/%	0.35		0.52		0.46	
煤粉管道风煤比偏差/%	21.3		17.5		5.8	

不仅是投入磨煤机风量自动和煤量自动的基础,而且对煤粉细度有很大影响。双进双出钢球磨煤机在启动或正常运行时,建立料位或维持料位稳定的过程中,风粉气流的震荡和波动会对锅炉燃烧造成较强的冲击,是引起炉膛负压波动大的重要原因之一^[3]。

3 炉膛负压波动大的预防及解决

由以上分析可知,炉膛负压波动大的问题主要是由于控制系统的稳定性偏低,燃烧器出力、锅炉供风以及燃烧调整不平衡,燃煤煤种偏离设计煤种过大,各煤粉管道风煤比偏差过大引起的。所以,炉膛负压波动大的预防及解决应从以下几方面进行。

3.1 加强燃烧调整合理配风

炉膛负压波动偏大时,在满足锅炉过热汽温和再热汽温要求的同时,省煤器出口烟气含氧质量分数控制在 3.0%~4.0%,尽可能地减少锅炉总风量,以免炉膛负压大幅度波动,造成锅炉熄火。磨煤机出口温度越高,煤粉越容易着火,在磨煤机轴承温度允许的条件下尽可能地提高磨煤机出口温度^[4]。运行调整只能在保证安全性的前提下,尽最大可能提高经济性。

3.2 强化燃用煤质管理

为确保锅炉运行的可靠性和经济性,必须将燃用煤质控制在适当范围内。燃料车间强化对燃料运行人员的管理和考核,加强对燃料运行人员在配煤方面的技术培训,使每个燃料运行人员对运行中来煤、煤罐存煤、上煤等相关环节进行分析和推算,把配煤细化和量化,在煤种多变情况下,熟练地按锅炉燃煤质量要求合理配煤,保证入炉煤质量。健全配煤掺烧快速反应机制,管理人员和煤检验人员随时候命,锅炉燃烧出现不稳时,快速启动应急预案:化学分析、燃料部、发电部管理人员紧急行动,指导上煤和锅炉燃烧调整,确保煤种正确更换或掺配,维护机组稳定。燃料皮带运行各班随时做好配煤掺烧记录,发电部每周进行 1 次检查和分析,及时总结经验。

3.3 合理选择煤粉细度适当加大磨煤机出力裕度

煤粉细度对燃烧的稳定性和经济性有相当大的

影响。理论研究和运行实践表明,对于低挥发分煤种,煤粉磨的更细一些,对其着火和燃尽都十分有利。西安热工研究院修订的“电站磨煤机及制粉系统选型导则”(DL/T466-2004)中,将原导则中煤粉细度的推荐公式由 $R_{90}=0.5nV_{daf}+4$ 修正为 $R_{90}=0.5nV_{daf}$,并对降低煤粉细度经济性做了认真的比较^[5]。按西安热工研究院的研究,对于设计和实际燃用煤种,菏泽发电厂二期“W”火焰锅炉合理的煤粉细度为 $R_{90}=5.6\%$ 乃至更细一些较合适。

煤粉细度受煤的可磨性系数、磨煤机料位、磨煤机钢球装载量、磨煤机风量等的影响。运行中煤粉细度采用分离器挡板开度进行调整。同时,根据磨煤机功率的变化及时补加钢球,每台磨煤机每周加 1 t 钢球,一般控制磨煤机功率在 1 250 kW,亦可根据磨煤机的功率变化随时补加钢球。目前,磨煤机运行稳定出力得到较大提高,满足了锅炉对煤粉细度的要求。

3.4 风量标定

完善和改进测量手段,做到对风量及风粉混合物参数的有效、准确测量和监视,是减小燃烧器偏差、预防炉膛负压大幅度波动、提高燃烧经济性的有效手段。目前二次风量虽有指示,但无法确定是否准确,升降负荷时运行人员凭经验手动控制挡板开度和二次风压,稍有偏差就可能引起炉膛负压波动,运行中存在隐患。为此,锅炉启动前,对燃烧系统和制粉系统的主要风量进行标定,这些风量包括:6 组燃烧器入口的分二次风量、每套制粉系统一次风量和炉底注入风量,这些风量是优化燃烧的依据。同时,进一步优化协调控制参数,提高控制系统的稳定性。

3.5 减小各煤粉管道风煤比偏差

目前,安装有西安热工研究院最新开发的(专利技术)双可调煤粉分配器的 3 号锅炉同 4 号锅炉相比燃烧性能较好、负荷响应快、炉膛负压稳定、炉渣可燃物和飞灰可燃物较低。建议将 4 号炉煤粉分配器更换为双可调煤粉分配器,降低各煤粉管道风煤比偏差和速度偏差以提高各燃烧器之间的均匀性,改善燃烧器的着火条件,提高其着火稳定性。

3.6 适当增加炉膛卫燃带面积

“W”型火焰锅炉敷设卫燃带是燃烧低挥发分煤的必要手段,也是为了强化低挥发分煤的着火和燃尽所需高火焰温度的需要。下炉膛敷设一定面积的卫燃带保证了炉内高温和煤粉气流的迅速着火。同时这样一种特殊的火焰形状和较大的下炉膛使煤粉颗粒在炉内特别是在高温区流动路径充分利用炉内高温烟气的回流卷吸,使煤粉气流在炉内停留时间加长,从而保证了低挥发分煤的稳燃及良好的燃尽条件。卫燃带对于提高火焰根部温度、低负荷状态下的稳定着火以及强化燃烧都是非常重要的措施。原

设计整个炉膛内均敷设有 569 m² 卫燃带, 炉膛温度很高, 后因种种原因拆除掉两侧墙和前后墙部分卫燃带, 现在留有 242.4 m² 的卫燃带(由于锅炉运行中卫燃带脱落, 2005-12 4 号锅炉停炉, 技术人员进入炉膛检查发现卫燃带面积仅剩 120 m²), 造成炉膛温度下降。建议增加卫燃带的敷设面积, 以提高炉膛温度水平和蓄热能力。

4 结语

通过对菏泽发电厂 4 号锅炉加强燃用煤质管理、减小各煤粉管道风煤比偏差、增加炉膛卫燃带的敷设面积、适当加大磨煤机出力裕度, 保证满负荷运行中合理的煤粉细度 $R_{90}=0.5nV_{cl}$ 等措施, 炉膛负压的波动幅度由 -400 ~+300 Pa 减小到 -100 ~0 Pa。同时, 还降低了锅炉飞灰可燃物质量分数, 锅炉运行可靠性和经济性明显提高。

参考文献:

- [1] 程智海. W 火焰锅炉燃烧脉动现象研究分析[J]. 电力科学与工程, 2003(2): 24-26.

CHENG Zhi-hai. Investigation on pulsating combustion of W-type flame boilers[J]. Electric Power Science and Engineering, 2003(2): 24-26.

- [2] 徐齐胜, 马 斌, 罗 萌, 等. W 火焰锅炉的稳燃试验研究[J]. 华东电力, 2003(6): 69-71.

XU Qi-sheng, MA Bin, LUO Meng, et al. Test & study of stable combustion in boiler with W shape flame[J]. East China Electric Power, 2003(6): 69-71.

- [3] 刘福国, 崔 辉, 董 建. 配双进双出磨煤机的“W”型火焰锅炉燃烧优化调试[J]. 中国电力, 2005, 38(8): 77-81.

LIU Fu-guo, CUI Hui, DONG Jian. Combustion optimization of W-fired boiler equipped with double inlet and outlet pulverizers[J]. Electric Power, 2005, 38(8): 77-81.

- [4] 许传凯. 低挥发分煤的燃烧与“W”型火焰锅炉若干问题研究[J]. 中国电力, 2004, 37(7): 37-40.

XU Chuan-kai. Several problems with the combustion of low-volatile coal and W-flame boiler[J]. Electric Power, 2004, 37(7): 37-40.

- [5] 毕玉森, 陈国辉. 低挥发分煤种与 W 型火焰锅炉[J]. 热力发电, 2005(7): 7-10.

BI Yu-sen, CHEN Guo-hui. Low volatile coal sort and W-shaped flame boiler[J]. Thermal Power Generation, 2005(7): 7-10.

(责任编辑 孙家振)

Reason analysis for considerable fluctuation of negative pressure in furnace of W-fired boilers and counter measures

SONG Shao-wei¹, QIU Xian-tang¹, YANG Zhen-xue¹, ZHOU Hai-qing¹, LI Lin¹, LIU Xiao-hong²

(1. Shandong Heze Power Plant, Heze 274032, China; 2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710032, China)

Abstract: In view of the problems in boiler operation such as the pressure fluctuation and unstable combustion in 300 MW Heze Power Plant, the design features of W-fired boilers were introduced. The main reasons for considerable negative pressure fluctuation are lower stability of control system, imbalanced adjustment of combustion, larger deviation of the fired coal from the designed and the air/coal ratio of pulverizer. Several countermeasures were taken to solve the above-mentioned problems, including optimizing the combustion, enhancing coal management, reducing the deviation of air/coal ratio in pulverizer, increasing safeguard belt zone, improving pulverizer output, ensuring the rational pulverized coal fineness etc.

Key words: W-fired boiler; negative pressure in furnace; burner

电力科技信息

▲ **汽轮机叶片在线监测** 由美国能源部资助、西门子公司开发的一种新型燃气轮机叶片监测系统已在西屋公司 501FD 燃气轮机上 (180 MW 机组) 成功通过所有试验。系统累计成功运行已超过 5000 h, 可投入商业化运行。

在线隔热涂层监测可使电厂运行人员和工程师能够在汽轮机运行过程中观察叶片及其涂层, 可延长叶片寿命, 减少预防性维修的停机次数, 减少非计划性叶片更换的费用。

该监测系统安装于 2004 年 10 月, 2005 年上半年开始进行实时红外图像监测。收集到的数据可为将来提高叶片及其涂层的设计做参考。

该监测系统包括 1 台近红外高速摄像机、1 个自冷却光学探头及外罩和 1 个特殊的过滤器, 产生的数据与模型进行比较, 进而可以预测叶片上隔热涂层是否会出故障。因为燃气轮机叶片是运行在温度非常高的环境中, 所以光学探头要不断冷却。

监测系统可以监测 85% 的叶片表面积, 分辨非常小的差异。图象可以自动评估, 也可发送到远程诊断中心。