

基于“MBEL”的W火焰锅炉燃烧脉动现象研究分析

宋绍伟

(山东菏泽发电厂,山东省 菏泽市 274032)

摘要:通过对菏泽发电厂300 MW“W”火焰锅炉实际运行情况的分析研究,结合该锅炉燃烧系统设计特点,认为其发生燃烧脉动现象的主要原因是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,炉膛卫燃带脱落,各煤粉管道风煤比偏差过大。对此提出了相应的预防和解决措施,对于今后锅炉安全、经济运行有重要的指导意义。

关键词:W火焰锅炉,燃烧脉动,均匀性

中图分类号:TK227.1

0 前言

菏泽发电厂二期工程2×300 MW机组,配备了英国三井巴布科克能源有限公司(Mitsui Babcock Energy Limited,简称MBEL)生产的锅炉。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锅炉,蒸发量为1 025 t/h,采用“W”火焰燃烧方式。近年来,由于设备、煤质以及燃烧调整等方面的原因,4号锅炉出现了炉膛负压波动大、火焰电视忽明忽暗、燃烧不稳定、负荷响应慢、飞灰可燃物偏高的现象。

1 燃烧系统设计特点

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19 320 mm×15 630 mm,呈八角形;上炉膛为19 320 mm×7 176 mm,呈长方形,炉膛容积为6 557 m³。炉膛四周敷设569 m²卫燃带。狭缝式燃烧

器分组布置在前后炉拱上,三次风从前后墙下部引入(如图1所示),利用分级燃烧原理降低NO_x的生成。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气温。

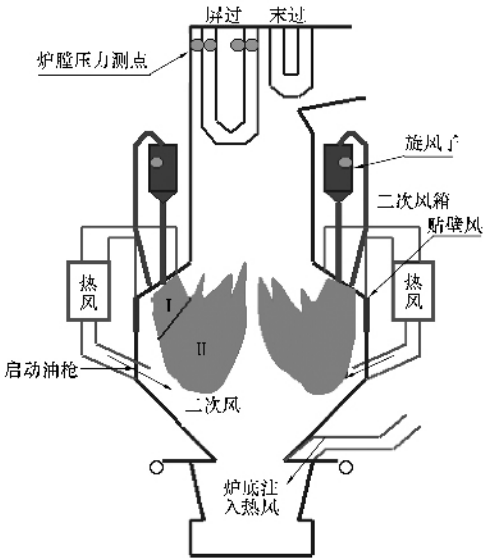


图1 炉膛及燃烧系统示意图

锅炉制粉系统由6台皮带秤重式给煤机、3台双进双出钢球磨煤机及分离器、旁路风等组成,每台磨煤机的一端分别对应一组燃烧器。原煤在磨煤机中破碎研磨经分离器分离后,不合格的大颗粒煤粉通过回粉管道及气动控制阀门重新返回磨煤机再研磨,合格的煤粉送往炉拱上部的旋风子,在旋风子中约占35%的一次风量携带被分离出的约85%的较粗煤粉,通过主煤粉喷口垂直射入下炉膛燃烧,其余约

表1 设计煤种特性

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

65%的一次风量携带约15%细煤粉通过乏气喷口垂直射入下炉膛燃烧^[1]。

2 锅炉燃烧脉动及其分类

锅炉燃烧脉动是指锅炉或燃烧器的燃烧工况由于受到内扰或外扰的影响而发生的周期性变化。锅炉燃烧脉动可以分为锅炉整体燃烧脉动和燃烧器燃烧脉动两类。当发生锅炉整体燃烧脉动时,机组负荷、锅炉的燃料供应量、炉膛温度、炉膛负压等参数会随着燃烧的脉动而周期性地波动,同时燃烧器的热功率也会发生脉动。当发生燃烧器燃烧脉动时,某个或某几个燃烧器的燃烧工况会发生强弱相间的周期性变化,在就地的看火孔处可以看到火焰明暗交替的周期性变化,此时的锅炉负荷可能变化也可能不变化,这与发生脉动的燃烧器的热功率、脉动的强度以及控制系统有关^[2]。

3 锅炉燃烧脉动的产生原因分析

3.1 产生锅炉整体燃烧脉动的原因

(1) 控制系统的稳定性偏低。当锅炉的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。由于菏泽发电厂4号锅炉送风机风量自动调节的依据是二次风母管压力而不是氧量,很容易造成炉膛负压的波动。例如在CCS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。在实际的运行中,4号炉曾多次出现类似的问题,把送风控制由“自动”切至“手动”,炉膛负压会慢慢恢复正常。

(2) 由于燃烧器出力、锅炉供风以及燃烧调整不平衡等有关燃烧方面的原因引起的锅炉燃烧脉动。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,一次、二次风速增加,会使得燃烧器着火区域的散热量增加;同时炉膛温度的升高,会使得煤粉的着火条件改善。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,而导致燃烧工况变差,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,使得煤粉的着火条件改善,发生燃烧恶化的燃烧器的着火情况迅速好转(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,产生锅炉整体燃烧脉动。在这种情况下,燃烧的脉动幅度一般会随着负荷的升高而增大,当达到临界状态时会发生灭火。2005年07月19日16时35分,4号炉负荷270 MW,主汽压力16.5 MPa,主汽温度541℃。火焰电视时亮时暗,A1、B2煤火检由15%~95%波动,炉膛负压波动明显增大(-400~+300 Pa)。分析认为其原因与燃烧器出力和配风有关,煤粉气流与烟气混合传热强度低,垂直投入的二次风与煤粉气流混合强烈,造成煤粉气流着火和流动场不稳定有关。

(3) 煤质及负荷的变化对燃烧状况影响较大。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、AGC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、AGC投入率降低。从燃烧不稳时取得的煤样看,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含量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,引起燃烧脉动。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1~2 h,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^[3]。

(4) 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。

3.2 发生燃烧器燃烧脉动的原因

(1) 燃烧器工作不正常。在一定条件下,如果燃烧工况不太好的某燃烧器受到扰动而使燃烧减弱时,会使该燃烧器所对应的区域Ⅰ的温度降低(如图1),烟气的黏度减小,火焰下冲过程中的黏滞阻力相应减小,火焰的下冲行程增加。而煤粉在区域Ⅱ停留时间的延长及放热量的增加,会使得该区域的烟气温度升高。这样一来,又造成了区域Ⅰ所接受到的热量(包括辐射热和卷吸烟气的热量)增加,区域Ⅰ的烟气温度逐渐升高,煤粉的着火条件改善。着火条件的改

善,会使得煤粉的着火提前,区域 I 的烟气温度升高,烟气黏度增加,火焰下冲的黏滞阻力增加,下冲行程缩短。煤粉在区域 II 的停留时间缩短、放热量减少,区域 II 的平均温度降低,区域 I 所接受到的热量减少。煤粉的着火条件变差,区域 I 的温度下降,烟气黏度降低,火焰的下冲行程增加,...周而复始,产生了燃烧器燃烧脉动。在此过程中,由于炉膛热惯性较大,炉温的变化相对较小,所以其他燃烧器的燃烧状况和锅炉整体的燃烧相对比较稳定(见图 2)。这一现象的出现与燃烧器的类型和热功率大小有密切关系。一般热功率大、卷吸能力强的燃烧器出现该现象的机会较少,热功率较小、卷吸能力弱的燃烧器出现该现象的机会较大。

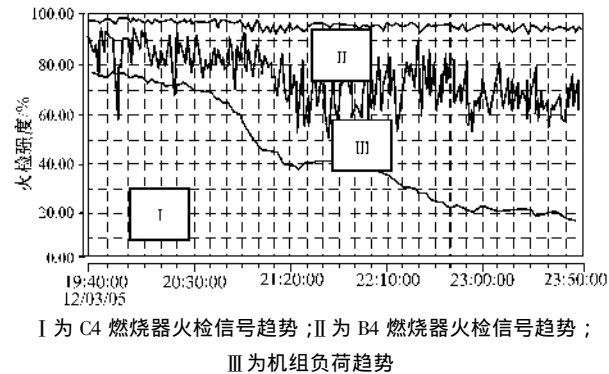


图 2 燃烧器火检信号趋势及机组负荷趋势图

Q) 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 2 400 mm,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,过剩氧量高于设计值,且每组燃烧器的风煤配比均衡,才能获得较高的燃烬度。菏泽发电厂 4 号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%^[4],表现出来燃烧状况不理想,负荷响应慢,炉膛负压波动幅度大,炉渣可燃物高,严重影响了锅炉的安全经济运行。

表 2 4 号炉磨煤机煤粉管道出力表

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/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	2.25	3.39	4.00	3.69	3.61	3.22
一次风量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	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	

G) 制粉系统、旋风子故障引起所对应的燃烧器发生燃烧脉动。一般说来,锅炉整体燃烧脉动必然伴随着燃烧器的燃烧脉动,但是,燃烧器的燃烧脉动却未必会引起锅炉整体燃烧脉动。是否会引起锅炉整体燃烧

脉动,与发生燃烧脉动的燃烧器的热功率有密切联系。

4 锅炉燃烧脉动的预防及解决

由以上分析可知,锅炉燃烧的脉动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,炉膛卫燃带脱落,各煤粉管道风煤比偏差过大引起的。所以,锅炉燃烧脉动问题的预防及解决应该从以下几方面进行。

(1) 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。建议把 4 号炉煤粉分配器更换成双可调煤粉分配器,降低各煤粉管道风煤比偏差和速度偏差,提高各燃烧器之间的均匀性,改善燃烧器的着火条件,提高其着火的稳定性。

Q) 强化入炉煤质管理。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的范围内。燃料车间强化对运行人员的管理和考核,特别加强了对运行人员在配煤方面的技术培训,使每个运行人员对运行中来煤、煤罐存煤、上煤等相关的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,能够熟练地按锅炉燃煤质量要求合理配煤,保证了入炉煤质量。

G) 适当增加炉膛卫燃带的面积。原设计整个炉膛内均敷设有 569 m^2 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 m^2 的卫燃带(锅炉运行中由于卫燃带脱落,截止到 2005 年 12 月,4 号炉炉膛卫燃带面积仅剩 120 m^2),造成炉膛温度下降。建议增加卫燃带的敷设面积,提高炉膛温度水平和蓄热能力。

(4) 风量标定。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。为了使风量调节更迅速,更有效,建议对二次供风系统建立数学模型,进行分析计算,同时对风量测量元件进行标定,得到在任一给定工况下二次风压和各挡板开度曲线。

(5) 加强燃烧调整,提高各燃烧器之间的均匀性。加强燃烧调整,提高各燃烧器之间粉量、风量的均匀性,改善燃烧器的着火条件,提高其着火的稳定性。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^[5]。

(6) 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 and 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,煤粉磨得更细一些,对其着火和燃烬都十分有利。

