

# HG—CFB35—3.82/450—1型循环流化床 锅炉的启动调试研究及改进分析(二)

党黎军 张稳境 王举宝 (西北电力建设调试施工研究所)  
孙礼信 陈春达 王晓为 刘宝森 (哈尔滨锅炉厂)

## 4 热态启动调试

这里重点分析循环流化床特有的启动调试方式。

### 4.1 点火启动

冷态点火启动方式有两种方式,一是固定床点火向流化床过渡;另一种是流化床点火。后一种方式在循环流化床中应用更普遍,便于启动。本炉采用冷态临界流化油枪预热点火方式。油枪加热一次风,而风把床温提高到500℃,点火油枪投入,直接加热流化态的床料使之达到煤的着火温度。投入煤后撤出油枪。点火着重要控制好一次风,作好给煤时间、给煤量及一次风量的配合。

HG—CFB35—3.82/450—1型炉专门设有床料预热油枪和点火油枪。但由于布风板下一次风室太小,预热油枪并未投入。实际点火是用床料上表面的点火油枪完成的。因此,为节省燃油,油枪应靠近料层。

为便于点火,可在床料中掺入一些细煤。煤量控制在不使床温飞升超限而结焦的水平上。即

$$Q \cdot M \leq C_{p, \text{煤}} \cdot M \cdot \Delta \theta_{\text{max}} + C_{p, \text{air}} \times \int G_{\text{air}} \cdot dt d\tau \quad (5)$$

式中,  $Q$ —掺合了煤的床料的发热量;

$M$ —床料总量;

$C_{p, \text{煤}}, C_{p, \text{air}}$ —床料与空气的比热;

$\Delta \theta_{\text{max}}, \Delta t$ —床料最大许可温升与空气温升;

$\Delta \tau$ —加热时间;

$G_{\text{air}}$ —风量。

实际应用时有两种作法,一种是按  $B/M = (3 \sim 5)\%$  混细煤,点火后床温到600~700℃时启动给煤机,少量给煤,使床温平稳过渡到工作温度(850℃),这里要求煤要好,高发热量。另一种是使床料发热量在  $Q = 4000 \sim 6000 \text{ kJ/kg}$  水平,点火后当床温大于700℃开始快速升高时,加大流化风,控制床温不大于950℃;然后,启动给煤机,小量给煤。

锅炉启动时,要首先考虑各膨胀符合安全要求,膨胀参数达到要求时,实际的投煤时间为半小时到1小时。点火投煤的过程为:

用一次风使床层处于临界流化,床层表面无死区,然后,调小一次风到80%临界流化风量。投入点火用油枪(约  $2 \times 400 \text{ kg/h}$ ),把床温加热到550~700℃,启动单台给煤机小量给煤,给煤量  $B = 1 \text{ t/h}$ 。床温升高到800℃时,加大一次风到临界流化风量以上,启动另一台给煤机给煤。在床温平稳上升时,减小油枪油压。当床温仍继续上升时,减掉一

收稿日期 1995—06—27

本文联系人 党黎军 男 1963年生 工程师 710032 西安市长乐西路3号

支油枪,增大给煤,保持燃料量平衡。当床温到850~950℃,停油枪。整个过程中,要据床温升降情况,及时调节一次风量;且二次风要小,引风适当。否则,要达到投煤条件所需的时间很长,或达不到投煤所需的温度。点火投煤过程曲线如图7所示。

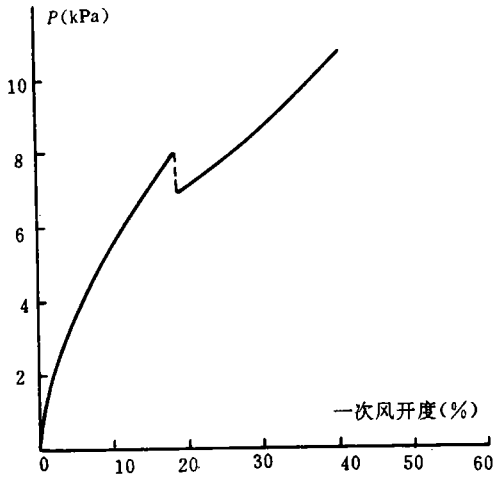


图6 启动时一次风压曲线

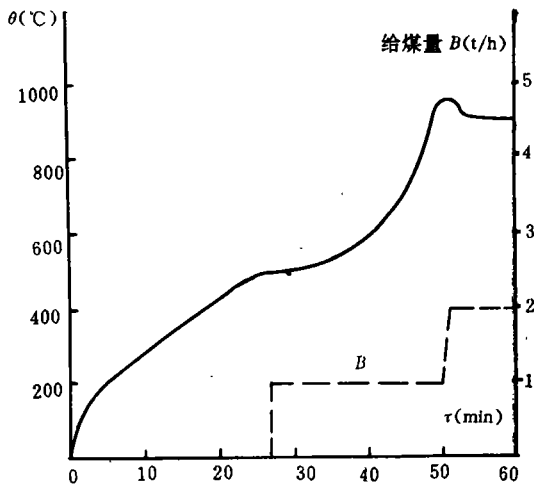


图7 点火投煤床温变化曲线

点火开始时给煤一定要小,即最小煤量

接近于点火油枪的总发热量。当点火过程中出现床温降低时,要及时减小一次风量,停止给煤,以便油枪加热床温和防止床料中含的煤量过多,在床温回升后上升过快无法控制以及还原性结焦。撤油前要调好一、二次风及给煤量,保持床温平稳过渡。

试运中发现,原设计采用的磁管热电偶的套管强度太差,经不住流化床料的冲击,造成点火和运行中断。后改为带不锈钢套管的热电偶,解决了这一问题。当温度计的指示异常时,利用观火孔和临时观察孔以床料颜色判定温度。一般,当发暗红时, $\theta = 500\text{ }^\circ\text{C}$ ;当为红或亮红时, $\theta = 800 \sim 900\text{ }^\circ\text{C}$ ;发亮、发白时, $\theta > 1000\text{ }^\circ\text{C}$ 。一般, $\theta = 800 \sim 900\text{ }^\circ\text{C}$ 是要求的运行温度。在密相区上、中、下三个高度上布置着测温热电偶,点火时由于外热源的存在,上部温度不能代表床料温度,要以中、下部温度计为准,即位于油枪下部的,在床料中的温度计,指示着实际床温。如果下部温度计设得太低,有可能被焦块或异物堵住造成局部的不流化,这会表现为温度高(结焦时)或温度低(异物堵塞),这时要及时排渣并以观察孔观察排除异常指示情况。无外热源时,密相上下温差 $\Delta\theta \leq 50 \sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 。

点火过程中,保持床层流化是关键。如未流化,床温不但加热不起来,而且,由于油枪作用,床料表面会结焦,在用石英砂作床料时更要注意。

#### 4.2 返料器

点火时,返料器中预先放入一定高度的干循环物料,足以堵住返料器,防止烟气短路。当床温 $\theta = 800 \sim 950\text{ }^\circ\text{C}$ 时,启动返料器,缓慢返料。注意,要防止循环物料中含细煤过多的情况发生。当细煤过多时,可以及时从返料器中排掉。如果因细煤引起床温快速上升时,要及时加大一、二次风进行抑制。图8就是一次细煤引起床温上升的情况。返料器投入后,设置在其灰鼓及返料阀上的温度测点

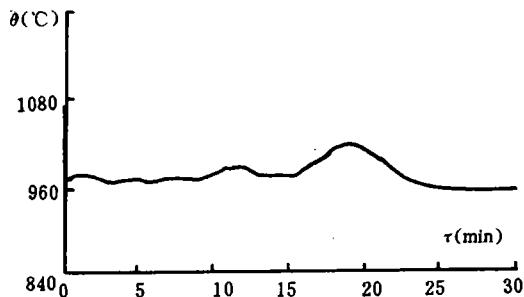


图8 细煤着火温度—时间曲线

会有反映,随着床温上升和炉膛温度建立,其值可以达到  $700 \sim 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

返料器积灰过多,且温度过高或过低时,要及时放料,防止结焦和大量返料造成床温突降灭火。对于无料的返料器,及时关掉相应风源,并添加一些物料,待其建立了灰位和系统密封后再重新投入。

运行中多次发生分离器堵塞的问题。检查发现,系分离器立管的防磨瓦脱落所致,后对其进行重新保温。

返料器风源压力设计为  $15\,000 \text{ Pa}$ ,但风量很小,风源来自一次风机出口冷风。因为运行风压对一次风压而言  $8\,000 \sim 9\,000 \text{ Pa}$  即可满足要求;而作为总风源,必然要有  $15\,000 \text{ Pa}$  的压力。这就会造成一次风的  $6\,000 \sim 7\,000 \text{ Pa}$  的压降损失,既不经济又易引起一次风道振动。为此,选用高压头小风量的罗茨风机作为返料器的流化风机。

设计用  $\phi 0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$  的石英砂作用循环物料。从冷态试验和热态运行发现,在设计的运行风量下,石英砂带出量较多,添加量大,运行费用增加。而且,石英砂尖角多,冲击与磨损严重。因而,用  $\phi 1.0 \sim 2.0 \text{ mm}$  的炉渣

代替,运行效果良好,而且经济。

返料器落料管是铸铁管,由于受热不均匀,下半部有的区域直接接受炉内辐射,返料对下部的管子加热强烈,膨胀不均,产生裂纹。而高达  $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$  以上温度的落料管直接外露在人行道上,很不安全。运行时暂时采取了外保温措施;只有采用耐磨的保温内衬,才能底解决问题。

#### 4.3 床温控制

除了一般的汽温、汽压、水位调节之外,循环流化床最关键的调整就是床温调节。影响床温的因素有:煤种、给煤量、一、二次风量、返料量及冷灰循环。在循环倍率一定时,主要与煤量和风量有关。其中,一次风量起主要作用。

一定负荷下,给煤量一定,则要调整一次风和下二次风,使床温平衡在  $850 \sim 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$  水平,用上二次风,保持氧量(过剩空气量)正常。发现断煤时,要及时关小一次风和下二次风,保持床温并及时排除故障。在小负荷时,风量、煤量小,床温控制容易。调节好后,床温长期可以保持在某一温度线上,而且其调节方式对汽温、汽压无多大影响。在高负荷时( $70\%$  额定负荷以上),由于一、二次风调节裕量相对小了,煤种的选择对床温调节的作用增加。现象为:燃用高发热量煤时( $Q_{\text{ar}} \geq 22\,990 \text{ kJ/kg}$ ),床温在运行上限温度  $\theta = 980 \sim 1\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$  上波动,排渣量明显减少。燃用低发热量煤  $16\,720 \text{ kJ/kg}$  时,排渣量明显偏大,床温偏低,  $\theta = 800 \sim 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因为各运行参数都接近或达到了设计值,调节床温时,也对汽水参数产生了作用。特别是在本炉汽温高的问题解决之前,高床温运行时,一旦出现汽温高的异常,处理起来比较困难,常常通

过大量减负荷后,重新调整好床温、汽温再带负荷,因而也限制了汽机带负荷的上限。产生高床温的原因,初步分析认为是高温分离器分离效率达不到设计值所致。高温分离器设计效率为95%,实际在锅炉负荷为33~35 t/h时,分离器效率约为(85~90)%。相关的现象还表现在,床料补充量比设计需要量大得多;省煤器下的尾部烟道灰斗下灰量很大,有粗颗粒,且占相当比值。在以后的停炉检查中发现,分离器本身的布置也不合理。这有待进一步研究处理。为了系统正常运行,运行中采用混煤燃烧方式,即在煤中加入一定比例的矸石煤,从而获得了大负荷下床温、风量、排渣的正常运行配合。

冷灰循环按需要投入。冷灰循环的作用为:(1)增加炉膛灰浓度;(2)降低床温;(3)减少飞灰含碳量,提高效率。还有一个作用是增加炉后受热面吸热。从投入效果看,降低床温有一定作用,但因粒径小、量相对太少,效果不大。投入冷灰循环,对提高汽温的作用明显。

流化风对于床料起到搅拌作用,因而其床温也符合搅拌原理。又因为断面小,所以,床温在密相区各点上相差小,布风不均匀会造成床温大的偏差。在1#炉改造前的低负荷运行中,多次在风量小的一侧出现超温结焦现象。改进布风后,这一现象基本消除。因为流化和播煤风的作用,运行中,单台给煤机给煤也不影响床料中煤的均匀性,床温也无偏差。

#### 4.4 料层压差

料层压差是反映炉膛与燃烧室物料浓度的主要参数。是料层高度的反映。由于布风板阻力随风量变化大,所以,运行监视的料层压差与风量和料层厚度有关。点火启动时,按设计要求装一定厚度的床料,运行中,控制其压差为7500~8000 Pa左右,相当于静止床料的650~750 mm高度。压差过大时,及时

排渣,压差降低时补充床料即可。底料多,对于稳定燃烧,减小短时间断煤的影响,减少排渣可燃物含量有益;但会增大一次风压头,电耗增大,影响电厂经济性。正确作法应是在许可的损失水平上保持低的底料。

压差过大时,要及时排渣,以保持料层压差在7500~8000 Pa。排渣操作要慢。在1号炉排渣时,因为放渣快,反而把冷渣器烧变形了。拆除冷渣器进行排渣试验得知,放渣门一次开启的时间不应大于排渣管入口处的渣自由下落到冷渣器中的时间,否则会发生串气。放渣要间断进行,一次开启几秒钟,直到符合要求。放渣量一次不能太多,否则,床温会被降到700℃以下,这是不允许的。除因料高放渣外,还要定期排渣,这是为了防止燃较高发热量煤时,料层差压正常而床料趋于粗大化的问题。床料太粗时,不但煤料混合困难,达不到预热煤的目的,反而会因其粒径大而单一产生涌动现象,造成烟风系统严重不稳定和设备振动。及时排渣和补充床料可消除之。

#### 4.5 压火

当计划停炉时间短时,可以压火热备用,节约再次启动的时间。在2号炉试运中进行了压火试验。压火过程为,将风量、煤量减小,稳定床温后,增大给煤量后停掉给煤机。待料层温度比正常运行温度降低50℃时,迅速关掉一、二次风门,停风机。关闭炉上所有观察、检查孔等。试验中最高压火温度为800℃。压火试验说明该炉可以作8小时以上的压火热备用。

突然停炉时,由于床温高,煤量多,不具备压火热备用条件,应将床料及时放掉,否则会造成大面积结焦,处理困难,要特别注意。

## 5 主要改进措施

### 5.1 超温问题

运行中发现,当锅炉蒸发量在 20 t/h 以上,相应电负荷在 4 000 kW 以上时,主汽温度出现超温现象。负荷再增加时,给水大部分或全部经过面式减温器,减温幅度达 120 ~ 150 °C,还难于控制汽温上升。这主要是受热面布置的问题。试验和事故处理过程中的测试发现,仅屏式过热器便可将主汽加热到 435 °C 水平。后经计算,把燃烧区上部绝热面去掉 12 m<sup>2</sup>,以增加蒸发面吸热;屏式过热器减少 1.5 ~ 1.7 m,约占屏式过热器的(20.8 ~ 23.7)%,从根本上解决了汽温问题。

### 5.2 循环倍率问题

该炉原设计以石英砂作为循环物料且设计的循环倍率为 20。从运行出现的现象分析,高温旋风分离器的效率比设计要求偏低约(5 ~ 10)%。由于循环倍率与此效率直接有关,效率降低时,循环倍率也相应降低。这不仅使床温升高,而且对受热面吸热及悬浮段温度建立产生不利影响。为了增大循环倍率,增加炉膛中物料浓度,我们采取了几项措施:(1) 将省煤器灰斗的灰通过返料器返送炉膛或通过冷灰循环系统送回炉膛;(2) 在煤中加入一定的循环物料;(3) 定期加补充床料和排大渣。这一定程度上保持循环倍率不至于低到敏感循环倍率<sup>[1~3]</sup>以下。彻底解决循环倍率的问题,还有待于高温分离器效率的改善与提高,或采取其它内部分离装置。

### 5.3 磨损问题

在运行初期就发现,排渣中有保温的耐火材料块。其次,在省煤器下的灰斗中也排出了大块的保温材料;而高温分离器更是频繁堵塞。亦即磨损问题发现得比较早。除一根过热器悬吊管因处于烟气口冲刷区受到磨损外,金属面的磨损很小,主要发生了保温层的磨损。严重的磨损区为:高温分离器入口;分离器旋风筒的入口正对面;分离器出口烟道上部,烟气出路正对面的后边 700 ~ 1 000

mm 区。高颗粒浓度的气流冲刷磨损在循环流化床是不可避免。但原设计用的材料也确实不满足要求。在以后的停炉时间中,选用了高铝质的耐火材料重新保温。原保温材料运行 10 天时在分离器入口、出口区便被冲刷掉,高温分离器出口烟道的外包铁皮直接受冲刷,漆皮变色。重新选材保温后,运行时间大大延长。

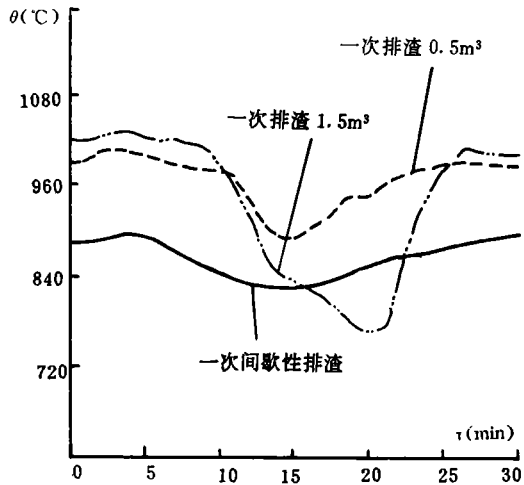


图9 排渣量与床温关系的曲线

## 6 结论

HG—CFB35—3.82/450—1型循环流化床锅炉采用大型锅炉常用的膜式水冷壁和屏式过热器设计,通过对该炉的启动调试和改进实践,取得了一套成功的CFB调试运行技术。针对CFB及其系统设计上的不足,尤其是进行改进取得的经验,提出了CFB设计及运行的改进意见。经过调试改进后,该锅炉已达到满出力,能长期稳定运行,是国内目前

(下转 123 页)

续表 1

序号	名称	单位	炉膛	凝渣管	对流管束	省煤器	空气预热器	
5	工质出口温度	℃	194	194	194	145	130	
6	烟气流速	m/s	/	6.87	8.50	10	12.7	
7	工质流速	m/s	/	/	/	/	7.0	
8	传热系数	kJ/(m <sup>2</sup> h℃)	/	188.1	140.4	85.6	79.8	
9	温压	℃	/	742	378	177	127	
10	传热量	kJ/kg	7388.1	474.4	7141.1	1241	1029.5	
11	锅炉热效率	%	76					
12	燃料消耗量	kg/h	2480					

2.10 炉顶炉墙采用整体浇灌的耐火混凝土加绝热材料的吊挂式轻型炉墙结构。

根据上述扩容改造,扩容后的热力参数详见表 1。该炉改造后,经杭州能源利用监测中心监测,锅炉节能性能指标已达到设计要求,锅炉节能监测情况详见表 2。

表 2 锅炉节能监测报告

序号	检测项目	单位	检测结果	评定结果
1	排烟温度	℃	167.2	合格
2	炉体外表面温度与环境温度之差	℃	10.9	合格
3	排烟过剩系数	/	1.97	合格
4	炉渣含碳量	%	13.51	合格

### 3 存在问题及处理

锅炉在改制安装过程中,尾部钢架按设计要求应向后移 0.3 mm,但原锅炉尾部钢架竖在锅炉基础的边缘,若向后移 0.3 m 则要超过锅炉基础与锅炉房楼板之间的膨胀伸缩缝,故尾部钢架只能竖在原来位置。

筑炉时,当炉墙砌到省煤器时墙的厚度超过钢架向后伸出 100 mm。

我们在空气预热器上方的钢横梁的宽度方向并接一根 10 号槽钢,用来托住炉墙。保证了炉墙的厚度。

由于尾部炉墙向后移了 0.3 m,而尾部钢架仍竖在原来的位置。为防止尾部钢架接触火焰经受高温,我们在尾部钢架上焊上钢钉,复上 10 mm 厚的硅酸铝纤维绝热材料。在包有硅酸铝纤维的钢架与炉墙之间填 20 mm 厚的耐火混凝土保护钢架。 □

(上接 121 页)

CFB 锅炉运行最好的水平。主要参数为:蒸发量  $D = 35 \text{ t/h}$ ;主汽温度  $t_s = 435 \sim 440 \text{ }^\circ\text{C}$ ;主汽压力  $P = 3.8 \text{ MPa}$ ;床温  $\theta = 850 \sim 950 \text{ }^\circ\text{C}$ ,并能长时间保持在某一温度水平上。其实际的运行参数值,为今后 CFB 的设计及改进提供了基础性数据,因此,该炉的投运本身也对 CFB 技术在国内的发展有着重要意义。

### 参 考 文 献

- 1 魏 政. 循环流化床锅炉的燃烧效率. 热能动力工程, 1994, 9(4)
- 2 骆仲决 等. 循环流化床锅炉设计计算的探讨. 动力工程, 1994, (4)
- 3 陆慧林 等. 循环流化床锅炉的循环倍率. 热能动力工程, 1993, 8(2)

[刊,中]/Zhang Mingbo(Applied Mathematics Institute of Heilongjiang University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):105~107

This paper deals with a computer-based system for the on-line monitoring and optimized control of a boiler unit. **Key words:** computer-based monitoring, optimized control

BHW35 钢电渣焊后亚温淬火 = Sub-temperature Quench of BHW35 Steel after Electroslag welding [刊,中]/Liu Ying, Xiao Yueling, Chang Fanghua, You Mo (Harbin Boiler Ltd Company), Cui Yuexian (Harbin Institute of Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):108~111

The treatment of normalizing, sub-temperature quenching and tempering to BHW35 steel after electroslag welding can improve the impact toughness of the welding contacts and the mother steel, with the high strength being maintained. The problem of low impact toughness of electroslag welding seam of BHW steel has been therefor resolved. **Key words:** BHW35 Steel. Welding, Impact Toughness, Quench

用锰砂除地下深井水中铁、锰离子的工艺设计及运行控制 = The Technological Design & Operation Control of the Clearance of Iron & manganese Ion from Deep-Well Water by Manganese Sand [刊,中]/Shao Yanqiu, Liu Yangfang, Gao shujun, Liu Li(Harbin Labour Bureau Boiler Compressure Vessel Inspection Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):112~116

**Key words:** underground water, manganese sand, Iron and Manganese Ion, Technology Design, Control.

HG-CFB35-3 • 82/450-1 型循环流化床锅炉的启动调试研究及改进分析 = A Study on the Start-up Commissioning Test of a HG-CFB 35-3 • 82/450-1 Circulating Fluidized Bed Boiler Followed by an Analysis of Improvement Measures [刊,中]/Dang Lijun, Zhang Wenjing, Wang Jubao//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):117~121

SHL10-13 锅炉提高产量的改造设计 = The Modification Design of SHL10-13 Boiler for Uprating its Capacity [刊,中]/Zhang Lianping (Hangzhou Southeastern Chemical Engineering Co. Ltd.)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):122~123

提高凝汽器真空度的现场措施 = On-site Measures for Enhancing Condenser Vacuum [刊,中]/Wang Jinming (Huaibei Textile & Dyeing Power Plant Co. Ltd.)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):124~125

Edited and Published by Harbin 703 Research Institute and Editorial Staff of this Journal	Post Code Number 150036
Printer; Printing House of Harbin Institute of Technology	ISSN1001-2060
Address; P. O. Box 77, Harbin China	Periodical Registration: CN23-1176/TK
Cable: 6511, Harbin China	Distributed by China International Book Trading Corporation, P. O. Box 399, Beijing, China