

# 燃煤锅炉在低负荷和煤种变化时的稳定燃料和燃烬

中国科学院力学研究所 吴东垠 胜利发电厂 马玉峰

我国电厂供煤受市场供求关系的制约,供煤煤种繁杂,煤质往往相差很大,给锅炉的稳定燃烧和燃烬带来一系列的问题。在实际运行中,锅炉设计煤种的含灰量为 21.8% (收到基),而有时供煤的含灰量却高达 64% (收到基),由于煤的发热量与设计值相差甚远,致使锅炉着火困难,燃烧效率也极低,虽然伴油运行,也经常发生灭火等事故,严重影响机组的经济性和安全性。为此,国内众多的制造厂家、科研院所和电厂的技术人员正在不懈努力,研究和开发新的燃烧技术和相应的运行方式,并取得了一定的效果。

## 1 设备概况

以胜利发电厂为例,胜利发电厂一期工程两台 200MW 机组,其中锅炉型号为 DG670/13.7-8A 型超高压自然循环炉,采用露天布置,平衡通风,燃烧煤粉,固态排渣,设计燃用山西晋中贫煤,设计煤质特性如表 1 所示。采用直流燃煤器,四角切圆布置,两台钢球磨,正常情况下,一台磨可带 70% 负荷,配备中间储仓式制粉系统,热风送粉。经过一段时间的运行后,由于积累了一定的运行经验和完成了设备的一些技术改造(如将下一层喷燃器改为多功能船型稳燃器等),当燃烧设计煤种时,可以带 70% 负荷长期稳定的运行。

但是,在一段时间内,由于供煤煤质差别很大,给锅炉的稳定燃烧和燃烬带来了一系列的问题。

从表 1 可见:大矿来煤煤质稳定,但是与设计煤

种相距甚远,而小窑来煤中有的又含有大量的煤矸石,因此含灰量大,发热量低。例如山东章丘煤收到基灰份达 63.56%,干燥无灰基挥发份为 29.12%,收到基低位发热量最低时仅为 8166kJ/kg,当锅炉燃烧该煤时,制粉系统制粉相当困难,尽管投两台磨煤机运行,仍难以维持正常负荷,机组最高负荷仅 100MW 左右,此时燃料极不稳定,尽管伴油运行,锅炉仍然经常灭火,严重影响机组的安全性,当然更谈不上经济性。

类似的问题亦有一定的代表性,如汉川电厂两台 SG1025/18.3-M314 型锅炉,配 300MW 机组,设计燃烧山西晋东南贫煤,可燃基挥发份为 14%,低位发热量为 24.4MJ/kg,作者在 1996 年 7、8 月份进行 No2 炉末级再热器的试验期间,燃煤低位发热量的平均值经常在 12.84MJ/kg 左右,此时最高负荷仅 260MW,加之水平烟道的烟温偏差,再热器的一侧受热管已严重超温,为了进行满负荷试验,特意调运一列车山西长治优质煤,低位发热量为 20.1MJ/kg,其次,随着经济的发展,对机组调峰的要求也越来越高。因此,实际供煤经常偏离设计煤种,这就要求在运行过程中,尽量保证锅炉燃烧稳定,并满足电网负荷波动的要求,减少事故的发生。要解决劣质煤的及时着火和稳燃等问题,首先应该分析其着火和燃烧特性。

## 2 劣质煤的着火和燃烧特性

煤粉和空气的混合物喷入炉膛时,混合气流必

表 1 来煤煤质特性一览表

燃料	收到基水份 (%)	收到基灰份 (%)	干燥无灰基挥发份 (%)	收到基低位发热量 (kJ/kg)
设计煤种	6.0	21.82 ± 5	15.72 ± 2	23873 ± 1675
山东章丘*	5.0 ~ 8.0	52 ~ 64	22 ~ 29	8000 ~ 14000
山东洪山	6.4	55.82	18.75	11928
山东淄博双沟	9.4	39.75	11.32	17084

注\* 章丘煤是多次煤样的综合值

然会卷吸炉膛内的高温烟气从而产生对流换热,与此同时,还伴随着炉内的辐射换热。通过这两种换热的相互作用,将进入炉膛的煤粉气流加热到开始燃烧的温度,习惯上将开始燃烧的温度称为着火温度。

### 2.1 劣质煤的着火特性

众所周知:煤粉气流的燃烧包括着火、燃烧、燃烬三个过程。其中,着火是关键,适时着火是稳定燃烧的前提。为了使煤粉及时着火必须向煤粉气流提供足够的热量,使之达到着火温度,这部分热量即为着火热,如果着火区域提供的热量一定,当煤粉所需的着火热增大时,着火将推迟,劣质煤由于挥发份低,灰份大,发热量低,则煤粉所需的着火热较大,着火温度高,着火困难,而且容易灭火。

所谓着火温度是在实验室条件下测得的,着火温度是相对的,规范性很强,并不能直接代表在工业燃烧条件下劣质煤开始着火的温度,但两者毕竟有一定的联系,该值仍然可以作为判别不同煤质着火难易程度的依据,劣质煤煤粉气流着火温度受多种因素的影响,但是起主要作用的因素有:

- (1) 煤的挥发份越低,一般着火温度越高;
- (2) 煤粉磨得更细一些,则更容易着火;
- (3) 提高煤粉与一次风气流的初温则有利于着火,当燃烧劣质煤时,一般均采用热风送粉,同时选取较高的热空气温度;
- (4) 选取较高的炉膛断面热负荷或在燃烧器区域敷设一定面积的卫燃带,则有利于劣质煤的着火;
- (5) 煤粉气流的流动结构对着火温度有影响,故应该采取措施增强煤粉气流与高温烟气之间的对流换热。直流燃烧器宜采用四角切圆布置,旋流燃烧器宜采用前后墙对冲布置,并结合各种新型稳燃器,如夹心风、船形、钝体、大速差和扁平射流燃烧器等;
- (6) 从着火过程需要一定的时间来看,应该采用较低的一次风速,二次风也应分批送入;
- (7) 煤粉本身的一些物理化学性质对煤粉着火也有一定的影响。

### 2.2 劣质煤的燃烧特性

要解决劣质煤的稳定燃烧和燃烬的问题,不能仅靠改进燃烧器来实现,在实际运行过程中,要根据煤质的变化情况,优化机组的运行方式,合理组织炉内燃烧工况。

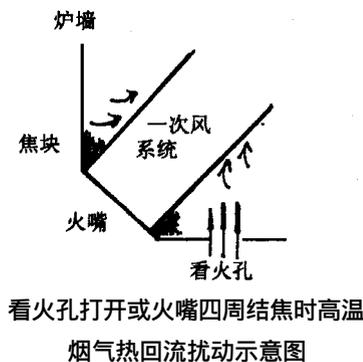
一般来讲,对于已定型的燃烧器,影响煤粉气流

着火过程的主要因素有一次风量、煤粉浓度、煤粉细度、热风温度、燃料性质、高温烟气的卷吸量、散热情况和二次风的引入方式等。

从进入炉膛的一次风粉特性来看,一次风温度高,煤粉颗粒细,煤粉浓度大将使着火热降低有利于着火。对于回转式空气预热器,投入空气预热器间隙调整减少漏风和投入暖风器等将有利于提高热风温度,在允许的范围内提高磨煤机的出口温度可使煤粉温度提高,与此同时,煤粉细度的提高也就是增大了煤粉与热烟气的实际接触面积,因此有利于煤粉中挥发份的析出以及煤粉的燃烧和燃烬,在一定给粉量下利于着火并使炉膛烟气温度升高。提高煤粉细度可以通过提高粗粉分离器的分离效率和减少磨煤机的通风量来实现。煤粉浓度高使单位体积的挥发份含量升高,反应时的有效碰撞次数增加,辐射吸热量增加,所以着火热降低,着火容易,但是,为了防止一次风管堵管及保证炉内煤粉的燃烬,其煤粉浓度也不可能过高。

四角切圆布置直流燃烧器着火热的主要来源是高温烟气的热回流。据工业试验数据计算:当高温烟气对流加热时,煤粉的着火时间为  $t = 0.003s$ ,火焰及炉墙的辐射加热时间为  $t = 0.07s$ 。也就是高温烟气把煤粉加热到着火的时间比辐射方式加热快23倍,由此可见增加烟气热回流是保证及时着火的首要条件。

但是,在实际运行过程中可能会出现两种情况削弱了回流的效果,首先,火嘴四角结焦,使回流区域减小;其次,看火孔敞开或密封不严,冷空气卷入煤粉气流从而降低了一次风粉温度,并且这股冷空气平衡了回流区的负压,大大削弱了高温烟气的回流扰动,这对着火是相当不利的(见图),所以,在运行中要注意看火孔的密封,同时要经常检查火嘴周围有无焦块并及时打掉,以保证煤粉着火。



## 研究与探讨

煤粉气流着火后要得以强化,由于劣质煤的发热量低,因此,各层二次风消耗比正常情况时要少,二次风应该分批合理的送入。其次,当两套制粉系统运行时,要注意三次风率和温度对整个燃烧扰动的影响,其原因将在下文论述。

燃烧劣质煤常伴随汽温超温,烟气中含氧高等现象,这是因为煤粉发热量不足,着火推迟,燃烧不稳所致。此时,只能投入油枪保证煤粉及时燃烧,控制再热汽温和过热汽温。

### 3 关于制粉系统的运行

制粉系统的稳定运行对合理组织炉内燃烧工况至关重要。如前所述,煤粉温度高则有利于着火,三次风温度高对炉膛火焰扰动小,自身也利于燃烧,当两套制粉系统运行且负荷较低(70%负荷)时,要降低三次风率和风速。这是因为三次风率和风速较高时,喷入炉膛的风量较大,而三次风所带的煤粉燃烧仅消耗很少一部分氧气,剩余的大部分风量混入炉膛上部的烟气中,致使炉内烟气含氧量升高。此时若采取减少其它二次风量来调节炉内氧量的措施显然是行不通的,因为这样一来将导致炉膛下部缺氧,此处火焰温度降低,燃烧工况恶化,也就是说此时的分级配风并不合理。其次,三次风量大将降低炉膛上部火焰温度,不利于煤粉的燃烧和燃烬。此时,三次风率和风速高必将导致燃烧不稳和煤粉燃烬困难,飞灰含碳量升高。

这里值得说明的是:一般对制粉系统已形成一种习惯运行方式,即全容量通风运行,这样会使煤粉粗而且三次风速高,对燃烧产生不利影响。其实并不是通风量大制粉效率越高,当磨制含煤矸石较多的煤种时,由于煤矸石难以破碎,通风量大时细石块在制粉系统中来回循环(即从粗粉分离器到磨煤机),不利于钢球对煤矸石块的击碎研磨,如果将通风量适当减少(应该有一个最佳值,并非越低越好),煤矸石在磨煤机内的停留时间增长,煤粉颗粒就可以磨得更细一些,至于最佳通风量的确定要通过系统的实验来确定。

### 4 结束语

保证燃烧稳定和燃烬是锅炉安全而高效运行的基本要求,在运行过程中必须引起足够的重视。

对于设计燃烧贫煤的锅炉来说,若因条件所限不能对锅炉进行大的技术改造,而且在特定条件下,

电厂供煤与设计煤种又存在较大偏差,如果在运行过程中采取一些有效措施也可以在一定范围内稳定燃烧偏离设计煤质特性的劣质煤,提高煤粉锅炉的煤种适应性,如前所述,由于在运行中采取了一系列行之有效的措施,锅炉在燃烧表1所列煤种期间,锅炉运行状况良好,最高负荷可达180MW,而且可以变负荷运行,具体措施可归结如下:

(1) 提高一次风的参数(如热风温度,煤粉细度,一次风的煤粉浓度等);

(2) 强化燃烧器喷口处高温热烟气的热回流是保证燃烧稳定的有效手段,运行时要及时清理火嘴四周的焦块并保持看火孔的密闭,减少炉外空气对炉内高温烟气热回流的影响;

(3) 对于切圆燃烧的锅炉来说,水平烟道若存在烟温偏差,在燃烧劣质煤时,又将导致主蒸汽和再热蒸汽温度超温,在两种结果的相互作用下,高温过热器和高温再热器的一侧超温将更加严重。因此,需要优化炉内燃烧工况,一、二、三次风比例适宜,二次风也要分批送入,炉膛负压在非正压时要尽量小些,尽可能将两侧送风温度调平,三次风要保持较高的温度,密切注视烟气的含氧量,必要时在水平烟道加装导流板以减少两侧的烟温偏差;

(4) 为了便于煤粉的磨制,磨煤机的通风量大不宜过高,要降低三次风的速率和风压,以提高煤粉细度,并保持较高的磨煤机出口温度;

由于燃煤煤质较差,当炉内燃烧不稳和汽温偏高时投油运行是不得以而为之,其次,提高炉内火焰温度的确有助于劣质煤的燃烧,但对于易结焦的煤种要防止炉内结焦等,有关这些问题的解决尚需在今后的运行中逐步积累经验,进行更深入的研究。

### 参考文献:

- [1] 陈刚等“煤粉浓度对火焰温度影响的实验研究”热动力工程 1994. 2
- [2] 陈刚等“电站锅炉燃烧稳定性研究”热动力工程 1994. 3
- [3] 吴东垠等“机组负荷变化对过热器安全性的影响”锅炉技术 1997. 5
- [4] 王致均等编“锅炉燃烧过程”重庆大学出版社 1987. 5
- [5] 许晋源等编“燃烧学”机械工业出版社 1990. 5
- [6] 吴东垠“切向燃烧锅炉水平烟道烟温偏差的起因及改进措施”电站系统工程 1997. 4