

# Analysis of the Combustion Efficiency of the Circulating Fluidized Bed Boiler

Kexiang Yuan

Linyi Hengyuan Heating Group Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

## Abstract

The circulating fluidized bed boiler adopts fluidized combustion, the main structure includes the combustion chamber (including dense phase area and dilute phase area) and the circulating furnace (including cyclone separator and return system) two parts. The fuel completes the combustion process in the combustion system of the boiler, and the chemical energy is converted into the heat energy of the flue gas through combustion, to heat the working medium, the rising flue gas enters the cyclone separator through the horizontal flue, using the centrifugal force, the solid particles enter the re-entrer and are sent into the furnace for recombustion. In the real production operation, the boiler can not reach the rated working capacity, at this time we should analyze the factors of low combustion efficiency. From the aspects of coal burning, the ratio of primary air volume and secondary air volume, the temperature of furnace bed, the differential pressure of material layer and the ash accumulation of circulating fluidized bed boiler, the reasons are analyzed and the methods and measures to improve the combustion efficiency of boiler are put forward.

## Keywords

circulating fluidized bed boiler; combustion efficiency; influencing factors

## 循环流化床锅炉燃烧效率分析

苑克祥

临沂市恒源热力集团有限公司, 中国·山东 临沂 276000

## 摘要

循环流化床锅炉采用流态化燃烧, 主要结构包括燃烧室(包括密相区和稀相区)和循环回炉(包括旋风分离器和返料器)两大部分。燃料在锅炉的燃烧系统中完成燃烧过程, 并通过燃烧将化学能转变为烟气的热能, 以加热工质上升烟气通过水平烟道进入旋风分离器, 利用离心力作用将固体颗粒进入返料器, 送入炉膛重新燃烧。在现实生产运行中, 锅炉无法达到额定工作能力, 此时我们应该分析燃烧效率低的因素。从燃煤、一次风量和二次风量的配比, 炉床温度、料层差压以及尾部烟道积灰等方面对循环流化床锅炉燃烧效率的影响, 分析原因并提出改善锅炉燃烧效率的方法措施。

## 关键词

循环流化床锅炉; 燃烧效率; 影响因素

## 1 引言

公司有两台 116MW 循环流化床热水锅炉, 型号为 QXF 116-1.6/130/70-P, 分别为 9 号炉和 10 号炉, 两台锅炉均为 2017 年投产运行。运行至今, 经历过煤颗粒燃烧不充分, 下渣口结焦, 冷渣机出黑渣, 水冷壁磨损, 旋风分离器再燃烧, 尾部烟道积灰等情况, 燃烧效率低, 热损失大, 但通过技术人员的努力, 完善操作规范和设备改造, 使锅炉能达到额定工作能力以及较高燃烧效率。论文以 9 号炉为例分析影响锅炉燃烧效率的因素, 并提出应对的方法措施。

## 2 循环流化床锅炉燃烧流程及炉膛燃烧区域

燃烧流程如图 1 所示, 燃煤通过给煤机进入炉膛, 在炉

内进行燃烧, 产生的热量对水冷壁管进行热传递, 高温烟气夹带固体颗粒通过炉膛出口进入旋风分离器, 在中心筒内进行气固分离, 固体颗粒通过回料立管, 进入返料器, 在返料风的作用下, 送回炉膛反复燃烧, 同时控制返料灰量来控制炉床温度; 分离的高温烟气进入烟道, 依次经过省煤器, 二次风空预器, 一次风空预器, 电除尘, 经引风机进入脱硫塔内。

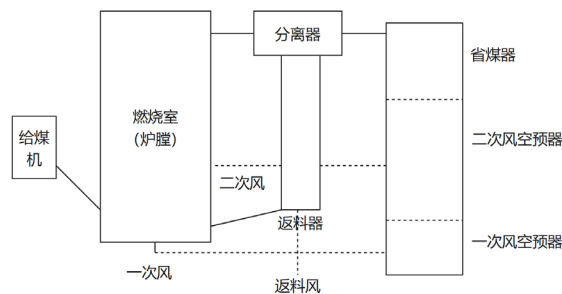


图 1 锅炉燃烧系统

【作者简介】苑克祥(1990-), 男, 中国山东临沂人, 本科, 助理工程师, 从事热能与动力工程研究。

### 3 影响循环流化床锅炉燃烧效率因素

#### 3.1 煤的颗粒度

循环流化床锅炉为了保证其流化状态以及燃烧工况，对炉煤的颗粒有严格的要求，一般要求入炉粉颗粒径不得超过13mm。并且各个范围粒径的煤颗粒所占的比例值要符合锅炉设计的循环流化床锅炉用煤的标准<sup>[1]</sup>。

燃煤粒度对燃烧效率影响体现在以下几个方面：

①颗粒度太大，超过允许值。随着燃烧时间延长，给煤量增加，料层差压逐渐上升，冷渣机出黑渣，锅炉负荷会逐渐下降，原因就是颗粒太大单位质量的外表面积减小，煤粒与氧接触面积减小，加热时间长，在炉内着火时间长，燃烧效率低，同时颗粒沉积炉底，物料流化变差，严重时造成燃烧室局部结焦。

②颗粒太小，单位质量的外表面积增大，在炉内燃烧时间短，燃烧效率增加。同时，受热面磨损加剧，并且运行中会造成料层差压不断降低，一次风穿透料层，燃烧工况变差，甚至导致停炉。

③各级粒径配比不合适，燃煤的颗粒度对锅炉燃烧、炉内传热，受热面磨损和锅炉负荷高低影响都很大，如大颗粒太多、循环灰量减少、锅炉出力达不到等，同时由于下部密相区燃烧份额比重大，造成密相区炉床温度升高，为了避免结焦不得不降低给煤量，导致负荷降低，若细小颗粒占的比例大，循环灰量增加，会造成返料器堵灰或结焦。

#### 3.2 一次风量和二次风量配比

循环流化床锅炉中的一次风和二次风在燃烧过程中起着至关重要的作用。一次风的主要功能是流化炉膛内的床料，同时供给炉膛下部密相区一定的氧气，有助于燃烧。二次风的主要功能是补充燃料燃烧所需的氧气，使燃料完全燃烧，加强物料的混合，均衡分布炉内的温度场，防止局部温度过高，降低氮氧化物的排放。

一次风是通过布风板上的风帽均匀地进入炉膛，由于布风板、风帽及床料存在阻力，要保证一次风的最低流化风量，最低流化风量是通过点炉前的流化试验得出的。如果燃煤颗粒大，则在密相区燃烧的煤量变多，如果一次风风量过小，大的煤颗粒不能完全燃烧，造成燃烧工况变差，冷渣机出黑渣<sup>[2]</sup>。一次风风量也不能太高，过高会使炉床温度敏感，蓄热能力变差，严重时会出现料层穿透，造成燃烧工况变差。二次风是从炉膛中部进入稀相区，加强燃烧，提高负荷。二次风量应保证空气与物料充分混合，过大过小都会影响稀相区燃烧份额，富氧燃烧或者缺氧燃烧的形成都会降低锅炉燃烧效率。

#### 3.3 炉床温度

炉床温度是循环流化床锅炉稳定运行的重要参数之一，炉床温度一般控制在850℃~950℃。在该温度下灰不会融化，从而减少了结焦的危险性，脱硫反应的最佳温度为850℃左右，在该温度下碱金属不会升华，这样就可减低锅炉受热面

上的结渣，燃烧空气中的氮不会大量转化成氮氧化物。

炉床温度过低会造成燃烧不充分，导致冷渣机出黑渣，降低锅炉燃烧效率，严重时造成尾部烟道再燃烧；床温过高超过物料灰熔点时，造成床内结焦，一次风无法流化床料，不能维持正常燃烧，导致停炉。

#### 3.4 料层差压

料层差压是一个反映燃烧室料层厚度的参数。通常将所测得的风室与炉膛中部之间的压力差值作为料层差压的监测数值，在运行中通过监视料层差压值来得到料层的厚度。

料层差压的高、低对循环流化床锅炉的燃烧效率和稳定运行有很大影响。料层差压过低，一次风容易穿透料层，导致物料流化不均，引起局部物料堆积发生结焦，不能形成稳定的密相区，同时还会造成冷渣机出渣含碳量高，燃烧不充分，降低燃烧效率。料层差压过大，会增加一次风机出力，物料流化变差，大颗粒物料沉积，造成局部甚至大面积结焦，危及设备安全，风机电耗增加，燃烧效率下降。

#### 3.5 尾部烟道积灰

循环流化床尾部烟道内有省煤器，二次风空预器，一次风空预器。循环流化床锅炉在使用时，不具备有效的处理尾部腐蚀和积灰的装置，使得烟气中的水蒸气和硫酸蒸气进入尾部烟道低温受热面时，水蒸气与硫酸蒸气凝结造成金属表面的腐蚀，烟气中的灰颗粒容易粘在受热面上形成低温黏结灰，导致尾部受热面吸热能力变差，严重时造成受热面损坏且管内外灰分堵塞，导致锅炉效率下降。

若省煤器受热面积灰严重，则降低进水温度，降低热效率，腐蚀严重管壁损坏则会造成省煤器泄露，被迫停炉；若一次风、二次风空预器积灰严重，则降低一次风、二次风风温，影响炉膛内燃烧工况，腐蚀严重管壁损坏则会造成风机出力不足，达不到锅炉额定工作能力，影响炉床流化，导致锅炉燃烧工况变差，燃烧效率降低。还会引起排烟温度升高，排烟热损失增加。

### 4 提高锅炉燃烧效率的方法措施

#### 4.1 燃煤颗粒度选取

燃煤粒度及分布（粒径≤10mm）如表1所示。

表1 燃煤粒度及分布

粒径/mm	≤1	≤3	≤5	≤6	≤8	≤10
分布份额/%	30	70	80	90	99	100

为了达到燃煤颗粒要求，9号炉采用四齿辊碎煤机，四齿辊碎煤机是利用四个高强度耐磨碾辊，相对旋转产生的高挤压力和剪切力来破碎物料。物料进入上两齿辊间隙（V型破碎腔）以后，受到两齿辊相对旋转的挤压和剪切作用，首次将物料挤轧。剪切后（粗破）两次进入相对旋转的下两辊，再由下两辊挤轧，剪切和啮磨（细破）成需要的粒度从排料口排出。四齿辊碎煤机可针对不同的粒度要求，配以不同几

何形状的破碎齿和布置形式,保证燃煤粒度。

#### 4.2 一次风、二次风配比

在循环流化床锅炉运行过程,调整一次风、二次风的配比来实现锅炉负荷的和燃烧工况的改变,控制燃烧份额的变化。在炉膛下部(密相区),物料的流化处于湍流状态,在炉膛中上部(稀相区),物料逐步过渡到快速流化状态。二次风通过上下两组二次风门进入炉膛中部,使物料与空气充分掺混,完全燃烧,并把更多的循环灰送入旋风分离器,通过返料器返回炉膛密相区重新燃烧,在密相区吸收热量,将热量带到炉膛中上部,与水冷壁进行热交换,提高燃烧效率,维持密相区床层温度。

在9号炉运行初期,由于出渣不畅,炉渣呈现黑色未完全燃烧现象,炉膛底部大颗粒积聚,流化效果不好,只能加大一次风风量,为了维持正常的氧含量,减小二次风风量,使得密相区燃烧份额变小,稀相区燃烧份额变大,加剧上部水冷壁磨损,同时由于二次风风量不足,使得出现旋风分离器再燃烧和尾部烟道烟气温度升高现象,严重影响锅炉燃烧效率和安全运行。

运行中在保证物料流化的前提下,尽量降低一次风风量,增大二次风风量。当燃煤颗粒变大或者含碳量变高,及时调整一次风、二次风配比,适当增加一次风风量,增加物料厚度,使得燃煤在炉膛内更充足的燃烧时间,减少黑渣出现,适当调整二次风风门开度,加大二次风风压,使得燃煤充分燃尽;当燃煤颗粒变小或者出渣变少时,适当减少一次风风量,增加二次风风量,加大密相区燃烧份额,维持稳定物料厚度,提高燃烧效率。在调整中,二次风风量最大可占总风量的45%。

#### 4.3 炉膛温度的保持

在9号炉运行过程中,床温一般维持在850℃~930℃。炉床温度是通过布置在密相区的热电偶来检测的,而密相区存在局部温度高于热电偶测量温度,当炉床温度过高或局部存在高温明火时,煤颗粒在炉膛呈现熔融态或者液态,会出现相互连接等情况,自身燃烧的过程中释放出来的热量无法及时进行传递,就会出现结焦等问题。在锅炉运行状态中燃煤的灰熔点比较低时,即使床温不高时,也会出现结焦现象,所以在运行中炉床温度控制不高于930℃。当床温过低时,燃煤燃烧不完全,冷渣机出黑渣,严重影响锅炉燃烧效率,

严重时无法支持正常燃烧,造成被迫停炉<sup>[1]</sup>。

#### 4.4 料层差压的控制

在9号炉运行过程中,料层差压保持在6.5~8.0kp范围内。当料层差压高于8.0kp时,物料流化变差,为了维持炉床温度,需要更多给煤量,加大一次风风量也无法达到燃煤完全燃烧,冷渣机出渣变黑,既降低了燃烧效率,又增加煤耗,所以控制料层在8.0kp以下,当煤种改变时,也可以有充足的调整空间,达到良好的燃烧效果;当料层差压低于6.5kp时,料层差压变得不稳定,燃烧不稳定,床料蓄热能力变差,床温起伏较大,不利于安全稳定运行,且燃煤在炉膛内燃烧时间变短,同样冷渣机出黑渣,降低燃烧效率。

#### 4.5 尾部烟道积灰定期清理

省煤器、二次风空预器和一次风空预器管壁表面大量积灰,降低传热效率。在运行中,增加乙炔吹灰设备,通过吹灰设备对尾部烟道内管壁表面进行清理,提高传热效率,降低排烟热损失,提高锅炉燃烧效率。乙炔吹灰的基本原理是利用乙炔爆炸产生强度可控的冲击波进行清灰。乙炔和氧气以适当的比例充入金属罐体,形成能够产生爆炸的混合气体,经过引爆后发生爆燃,并迅速发展成爆轰波,爆轰波在冲击波发生器中经过多次反射并得到加强,形成瞬时高压冲击波,通过发射器喷嘴发射到积灰受热面上,借助冲击波的瞬间动能、热能、声能清除受热面上的积灰。根据具体锅炉的积灰特性,受热面形状、高度、截面积等结构参数,选择冲击波发生器的能量和发射器的结构形状,确定乙炔—空气的当量比0.8、点火频率2次/组、吹灰器数量12组、自动与手动程序设置,以保证取得良好的清灰效果。

综上所述,如何提高循环硫化床锅炉燃烧效率,通过燃煤颗粒的选控,一次风、二次风的配比,炉床温度的控制,料层差压的保持,尾部烟道积灰的清理,才能保证锅炉安全稳定和经济高效的运行。

#### 参考文献

- [1] 郭钦星,肖平,徐正泉.循环流化床燃烧技术及分析[J].山西能源与节能,1999(2):3-11.
- [2] 邓文俭,陈亮,李道波,等.乙炔—空气混合气体爆炸的数学模型及其工程应用[J].山东电力技术,2006(3):4-9.
- [3] 张继臻,徐开峰,刘强,等.燃煤循环流化床锅炉燃烧控制及传热分析[J].化肥工业,2007(4):15-22+26.