

循环流化床锅炉高温分离器分离效率的确定

魏谭政
(湘潭锅炉厂)

[摘要] 根据循环流化床密相区热平衡分析,提出了循环灰量和循环灰温度是影响密相区温度水平的主要因素,利用循环倍率的定义,推导出了循环倍率的计算式。在灰平衡分析的基础上,推导出了高温分离器分离效率与循环倍率的关系式。推荐发展适合国情的低循环倍率($R_c = 2 \sim 10$)的循环流化床锅炉。

关键词 循环流化床 密相区热平衡 灰平衡 循环倍率 高温分离器
分离效率

分类号 TK229

1 前言

提高飞灰中碳的燃烬程度,改善燃烧效率,流化床锅炉可采用独立的碳燃烬室来燃烧收集下来的飞灰,也可采用飞灰再循环燃烧,前者仅仅只能改善燃烧效果,而后者不仅能改善燃烧效果,而且还可以提高脱硫剂的利用率。

飞灰再循环燃烧就是在流化床锅炉炉膛出口设置高温分离器,飞灰经过高温分离器时部分被分离下来,分离下来的飞灰经物料回送系统送回炉膛再燃烧。循环流化床锅炉就是利用飞灰再循环燃烧技术的成果。

2 循环流化床锅炉的循环倍率

循环倍率是衡量循环流化床锅炉循环特征的主要参数,循环流化床锅炉燃烧效果

的好坏一定程度上取决于循环倍率的高低。同时循环倍率影响着循环流化床床内的烟气特性,而床内烟气特性是影响床内传热的重要因素。在进行循环流化床锅炉设计时,确定锅炉的循环倍率是设计计算要考虑的重要内容。

2.1 循环流化床密相区热平衡

进行循环流化床锅炉设计时,循环倍率

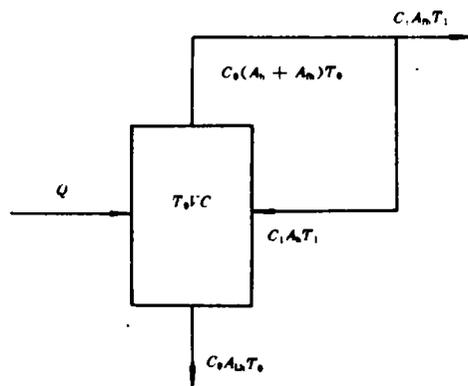


图1 循环流化床密相区热平衡简图

收稿日期 1993 03 15

本文联系人 魏谭政 男 29 工程师 411100 湖南省湘潭市

的选取首先必须考虑满足循环床密相区热平衡的要求。对于已知燃料和选取的一次风比例,入炉燃料在密相区的燃烧份额即放出的热量是确定值。循环床密相区的温度主要是由循环灰量及循环灰温度决定的,利用循环流化床密相区的热平衡,可以看出它们之间的关系。密相区热平衡简图见图 1。

其中 Q 为密相区燃料燃烧放出的热量与受热面吸热量之差值

V 为密相区烟气体积

C 为密相区烟气体积比容

T_0 为密相区的温度

A_h 为循环灰量

T_1 为循环灰温度

C_1 为循环灰的比热

A_{Lh} 为炉膛冷渣量

A_m 为燃料产生的炉内飞灰

C_0 为炉内密相区灰的比热

根据密相区的热平衡,可以得到:

$$Q + T_1 A_h C_1 - T_0 A_{Lh} C_0 - T_0 C_0$$

$$\times (A_h + A_m) = T_0 VC$$

将上式整理可得到:

$$Q - A_h (T_0 C_0 - T_1 C_1) - T_0 C_0$$

$$\times (A_{Lh} + A_m) = T_0 VC$$

而 $A_{Lh} + A_m = A'$,因此上式可简化为:

$$Q - A_h (T_0 C_0 - T_1 C_1) - T_0 C_0 A' = T_0 VC \quad (1)$$

由式(1)可变换为

$$T_0 = \frac{Q + A_h T_1 C_1}{VC + (A' + A_h) C_0} \quad (2)$$

从上式可以看出循环流化床密相区的温度主要由循环灰量 A_h 及循环灰温度 T_0 决定。对于确定的分离系统,即循环灰的温度基本确定时,密相区温度 T_0 主要是由循环灰量 A_h 决定的。为了使密相区的温度保持在某一范围内,对该循环流化床密相区进行热平衡,就可以得到在某个循环灰温度下的循环灰量。

从式(1)可以得到循环灰量的关系式:

$$A_h = \frac{Q - T_0 VC - T_0 C_0 A'}{T_0 C_0 - T_1 C_1} \quad (3)$$

从上式看,循环灰温度 T_1 越接近密相区温度 T_0 ,循环灰量就要求越大,这样才能保证密相区的热平衡。循环灰温度 T_1 与密相区温度 T_0 相差越远,为达到密相区热平衡,要求的循环灰量越小。

2.2 循环流化床的循环倍率

循环倍率 R_c 一直沿用着两种定义:一是

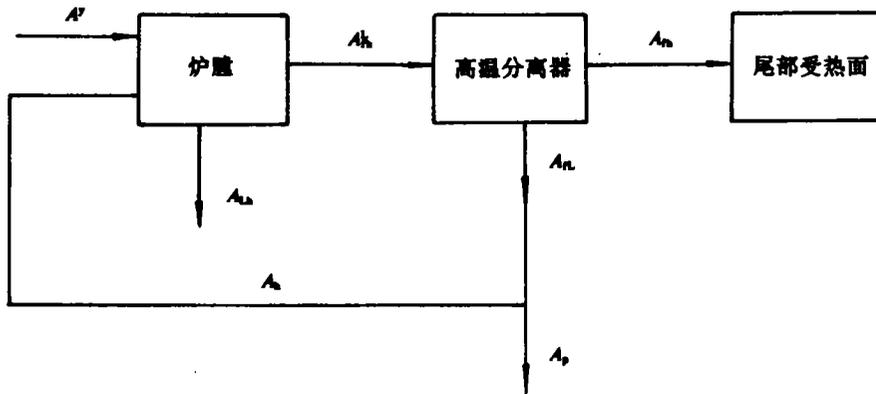


图 2 循环流化床灰平衡简图

A' 燃料带入炉膛的灰量 A_m 进入尾部受热面的飞灰量 A_{Lh} 炉膛排出的冷渣量 A_h 循环物料含灰量
 A_p 物料回送系统排出的灰量 A_n 分离器分离下来的灰量 A_{Lh} 锅炉炉内上升段的飞灰量

物料回送量 G_c 与输入燃料量 B 之比, 即 $R_c = G_c/B$, 二是床内上升段中采用循环技术与不采用循环技术时的灰量之比, 即 $R_c = G_c/G$ 。本文采用的是循环倍率的第二种定义方法。

循环流化床锅炉正常运行过程中, 物料回送系统放出锅炉的灰量 A_p 一般很小, 可近似为零。床底部放出的冷渣与物料回送系统送回床内的物料无关, 冷渣是由新投入燃料形成的。根据循环流化床锅炉的灰平衡, 可以看出投入燃料带入床内的灰最终分为两部分: 冷渣含灰量及进入尾部受热面的飞灰量, 即: $A' = A_n + A_{nL}$ 。

根据循环流化床灰平衡简图 2 可以看出循环流化床床内上升段的飞灰量 G_c 为 $A_n + A'a_n$, 其中 a_n 是投入燃料最终进入尾部受热面的飞灰量 A_n 与投入燃料含灰量 A' 之比, 即 $a_n = A_n/A'$ 。不采用循环燃烧技术床内上升段的飞灰量 G 则为 $A'a_n$ 。根据循环流化床循环倍率 R_c 的定义, 有下列式子:

$$R_c = G_c/G = \frac{A_n + A'a_n}{A'a_n}$$

将上式进行简化可得到:

$$R_c = \frac{A_n}{A'a_n} + 1 \tag{4}$$

将式(3)代入式(4):

$$R_c = \frac{Q - T_0VC - T_0C_0A'}{A'a_n(T_0C_0 - T_1C_1)} + 1 \tag{5}$$

从式(5)可以看出循环倍率 R_c 与床温、燃料特性、炉膛结构、飞灰特性、循环灰温度等有关, 其中 a_n 可在 0.4 ~ 0.6 范围内选取。在进行循环流化床锅炉设计时, 确定锅炉的循环倍率要综合考虑这些因素。

3 循环流化床高温分离器分离效率的确定

循环流化床密相区的热平衡确定了循

环倍率的范围。循环灰是由高温分离器分离下来的, 保证循环流化床锅炉在设计的循环倍率下运行, 还要靠高温分离器作后盾, 分离器的分离效率必须满足循环倍率的要求。

循环流化床锅炉高温分离器的作用主要在于保证循环流化床锅炉床内物料的正常循环, 而不在于降低烟气中的飞灰浓度。分离器分离效率的大小必须满足锅炉循环倍率的要求。循环倍率要求高, 要保证锅炉在设计的循环倍率下运行, 分离效率就要求大。高温分离器的分离效率与循环倍率存在着一定的关系, 这种关系可以利用灰平衡进行分析。

灰平衡以 1 单位燃料为基础。根据灰平衡简图(图 2)可以看出:

$$A_n = A_h + A_p \tag{6}$$

高温分离器的分离效率 $\eta(\%)$, 根据其定义可知:

$$\eta = \frac{A_nL}{A_n + A_n} \times 100$$

将上式进行变换可得到:

$$A_n = \frac{100 - \eta}{\eta} A_nL \tag{7}$$

将式(6)代入式(7):

$$A_n = \frac{100 - \eta}{\eta} (A_h + A_p)$$

由于循环流化床锅炉正常运行过程中, 物料回送系统排出的灰量 A_p 很小, 可近似为零。从而有:

$$A_n = \frac{100 - \eta}{\eta} A_h$$

亦即

$$A_h = \frac{\eta}{100 - \eta} A_n \tag{8}$$

将式(8)代入循环倍率的定义式中, 可以得到:

$$R_c = \frac{A_n}{A'a_n} + 1 = \frac{\frac{\eta}{100 - \eta} A_n}{A'a_n} + 1 = \frac{\eta}{100 - \eta} \tag{9}$$

上式就是高温分离器分离效率与循环倍率的关系式。对于确定的循环倍率,利用公式就可以计算出分离效率。在进行循环流化床锅炉设计时,这对确定分离器的分离效率具有指导意义。

循环流化床高温分离器分离效率的确定,不仅要考虑循环倍率的要求,同时也要注意高温分离器在实际运行过程中其分离效率

还受到流经分离器的固体颗粒的粒度分布、颗粒浓度、锅炉负荷等多种因素的影响。

在进行高温分离器设计时,确定其分离效率的大小,循环倍率是主要考虑的因素,避开影响高温分离器分离效率的其它因素,根据式(9)可以看出分离效率 η 与循环倍率 R_c 存在着对应关系。不同的分离效率 η 所对应的循环倍率 R_c 见表1:

表1 分离效率 η 与循环倍率 R_c 对应关系表

分离效率 η (%)	50	60	65	70	75	80	85	87.5	90	95	98	99
循环倍率 R_c	2.0	2.5	2.9	3.3	4.0	5.0	6.7	8.0	10.0	20.0	50.0	100.0

如上所述,高温分离器的分离效率受到象锅炉负荷、流经分离器的颗粒物浓度及颗粒度分布等多种因素的影响,循环流化床锅炉实际运行过程中,高温分离器的分离效率是一个不稳定的量,随着运行状况的改变而波动。

在进行循环流化床锅炉设计时,根据循环床密相区热平衡,确定了锅炉的循环倍率,利用这个循环倍率的值,由式(9)可以计算出循环流化床高温分离器应保证的分离效率,由此设计出来的高温分离器,在实际运行过程中,由于受多种情况的影响,实际的分离效率必然要偏离由循环倍率计算出来的分离效率。因此,锅炉实际运行中的循环倍率也会偏离设计计算的循环倍率。

根据式(9)及分离效率 η 与循环倍率 R_c 数值关系对应表均可以看出,当循环倍率要求大时,高温分离器的设计分离效率也大。当分离器的设计分离效率接近100%时,实际运行中高温分离器分离效率出现一个微小的变化,将引起循环倍率的很大变化,使循环处于不稳定状态,循环量难以控制,这属于快速循环流化床状态。当循环倍率在2~10范围

内时,高温分离器的设计分离效率要求在50%~90%范围内,分离效率在此范围内的高温分离器,在实际运行过程中,分离效率的变化不致使实际运行中的循环倍率大起大降,循环灰量变化较小,低倍率循环流化床锅炉就属于这种情况。

4 结语

工业锅炉采用循环燃烧技术,我们认为采用低倍率循环流化床较为适合我国国情。低倍率循环流化床的循环倍率一般在2~10范围内。低倍率循环流化床循环倍率的选取与锅炉设计燃料的特性及锅炉所要求的燃烧效率有关。对于褐煤、煤矸石等劣质煤取小值,对于好煤、无烟煤或锅炉燃烧效率要求高时取大值。

循环流化床高温分离器的作用在于保证循环流化床锅炉床内物料的正常循环,而不是为了降低烟气中的飞灰浓度。在设计制造高温分离器确定其分离效率时,必须考虑分

(转88页)

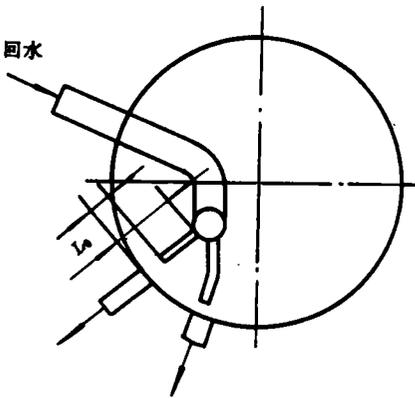


图 7 管接头示意

对流排管下降区域中回水分配管上的小孔孔径可取为 8 ~ 10 mm。水冷壁下降管区域中回水分配管上的开孔孔径及开孔个数视具体情况而定,原则上应使每根下降管对应一个小孔,但当下降管根数较多时,开孔数可相应减少。

为了均匀上升管出口水温,分配到对流排管下降区域中的回水量 G_{px} 与分配到水冷壁下降管区域的回水量 G_{sx} 之比等于对流排管的吸热量 Q_{px} 与水冷壁的吸热量 Q_{sx} 之比

$$G_{px}/G_{sx} = Q_{px}/Q_{sx} \quad (10)$$

且对流排管下降区域及水冷壁下降管区域中回水分配管上的开孔面积 f_{px} 及 f_{sx} 正比于工

质流量:

$$f_{px}/f_{sx} = G_{px}/G_{sx} \quad (11)$$

由式(9)、(10)、(11)可求得 f_{px} 及 f_{sx}

。当无对流排管或对流排管下降区域难以确定而没有用隔板将对流排管上升区域与下降区域隔开时,此时回水全部分配到水冷壁下降管区域中。水冷壁下降管区域中回水分配管上的开孔面积由式(9)确定。

3.3 集水管(或集水孔板)和热水引出管

利用集水管或集水孔板上的小孔节流作用,使热水沿锅筒长度方向均匀引出。

集水管中或集水孔板上部弓形截面上的流速以及热水引出管中的流速可取为 1 ~ 2 m/s,随着锅炉容量增加,取值可相应增加至 3 ~ 4 m/s。

开孔孔径为 8 ~ 10 mm,开孔面积为集水管截面积或集水孔板上部弓形截面积的一半。正对着热水引出管区域不开孔。

集水管或集水孔板长度不宜小于锅筒直段长度的一半。

参 考 文 献

- 1 谢象春. 湍流射流理论与计算. 科学出版社, 1975
- 2 张培亭. 自然循环热水锅炉下降管安装射流器. 哈尔滨工业大学硕士论文, 1989
- 3 杨明新. 热水锅炉. 机械工业出版社, 1986
- 4 林宗虎. 锅内过程. 西安交通大学出版社, 1990

(接 95 页)

离效率能否保证锅炉循环倍率的要求,对于低倍率循环流化床高温分离器的分离效率一般在 50% ~ 90% 范围内。

参 考 文 献

- 1 杨励丹等. 低循环倍率流化床锅炉的研究与设计. 锅炉

简讯, 1991(1)

- 2 王锡高. 循环流化床技术在工业锅炉上的应用探索. 工业锅炉, 1990(2)
- 3 魏政. 循环流化床锅炉炉内物料平均含碳量. 全国工业锅炉循环流化床技术论文集, (92)
- 4 魏政. 循环流化床锅炉高温分离器分离效率的确定. 工业锅炉通讯, 1991(6)

This paper deals with a modification design version involving the addition of a superheater to a KZL2-0.7-A I type packaged boiler. The said design version has been proved to be successful in practical use. **Key words:** *KZL type packaged boiler, superheater*

△ The Determination of the Separation Efficiency of a High-temperature Separator for a Circulating Fluidized Bed Boiler Wei Tanzheng (*Xiangtan Boiler Works*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 92~95

Based on the heat balance analysis of a circulating fluidized bed dense phase region the author holds that the circulating ash quantity and its temperature are major factors influencing the temperature level of the dense phase region. By the use of the definition of circulation ratio a formula for calculating the circulation ratio was derived. On the basis of the ash balance analysis a relationship between the high-temperature separator separation efficiency and circulation ratio has also been deduced. It is recommended to develop the circulating fluidized bed boilers of low circulation ratio ($R_c = 2-10$), which are in tune with the current conditions in China. **Key words:** *circulating fluidized bed, dense phase region heat balance, ash balance, circulation ratio, high-temperature separator, separation efficiency*

△ A Computer Aided Design of High Integration for Boilers Fan Zhiming, Wu Tao, Wang Xinhua, Lin Ren (*Hangzhou Boiler Works*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 96~100

This paper dwells on the specific details and methods used during the development and research of a highly integrated CAD software package. The said system represents an organic combination of a graphic system, engineering data base and a computation calculation software, resulting in a highly integrated CAD software package. **Key words:** *boiler, computer, CAD*

△ The Application of a PMK Programmable Single-loop Regulator in the Combustion Automatic Control System of Daya Bay Nuclear Power Station Preoperational Test Boilers Wang Xiaolei Zheng zi Qiang (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 101~105

Described in this paper are the design, commissioning test and operating conditions of a combustion automatic control system for Daya Bay Nuclear Power Station preoperational test boilers as well as the application of a PMK programmable single-loop regulator for the said system. **Key words:** *combustion automatic control system, single loop, regulator, design, commissioning test*

△ The Study of a Steam Turbine Free Blade Stall Flutter Zhang Yangjun, Tao Deping (*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 106~109

To provide a technical basis for assessing the safe operation of a turbine unit and analysing its blade failures, the authors have analysed the blade flutter characteristics of a steam turbine through the use of a flutter prediction method based on interblade phase angle numerical variation. The results of theoretical prediction are basically in agreement with those obtained by experiments. The study results show that under the condition of a certain incident flow Mach number, an interblade vibration phase angle and a relatively large attack angle of the incident flow, there exists the possibility of free blade failure caused by a flutter stall. A discussion is also conducted of the method aimed at improving the aeroelasticity stability of the free blades. **Key words:** *steam turbine, free blade, stall flutter, flutter prevention*

△ Grey Correlation Analysis of the Factors having an Effect on Coal Char Specific Surface Area and Pore Properties