

循环倍率影响因素的初步分析

燕桂章

(中科院工程热物理所)

【摘要】 通过循环流化床冷态流动实验分析了操作流速与粒度分布对循环倍率的影响。从物料平衡出发,推导了除尘效率及煤中含灰量对循环倍率影响的定量关系,并进行了计算和讨论。对多级循环系统的循环倍率也做了定量分析计算和讨论。

关键词 循环流化床 锅炉 循环倍率 **分类号** TK229

符号

A 床截面积

A^y 煤中含灰量

$a_m = G_m/B, a'_m = G'_m/B$, 放灰前后飞灰比率

$a_{hz} = G_{hz}/B$ 灰渣比率

$a_{zh} = G_{zh}/B$ 循环放灰比率

B 加煤量

C_m, C'_m 放灰前后飞灰含炭量

C_{hz} 灰渣含炭量

C_{zh}, C'_{zh} 放灰前后循环灰含炭量

d 循环物料平均粒径

d_0 炉内原始床粒平均粒径

G_m 飞灰量

G_{hz} 灰渣量

G_{zh} 循环放灰量

$I = \frac{Q_{hw}^1}{32866}$ 煤热值比率

M 物料循环量

Q_{hw}^1 应用基低发热量

q_1, q'_1 为未放灰及放灰后机械不完全燃烧损失

U_g 气体流速

α, α_0 放灰及未放灰炉膛出口循环倍率

α_1, α_2 第一,第二级循环倍率

α_{zh} 锅炉循环倍率

η, η_1, η_2 总的,第一级,第二级除尘效率

1 引言

目前,国内外运行中的锅炉循环倍率各不相同,范围为3~60。究竟锅炉设计及运行应采用多大循环倍率,应根据不同炉型结构,对不同煤种在满足一定燃烧效率要求下的最低倍率为考虑问题的原则基准。这样既减少炉内磨损又降低动力损失。

本文依据冷态实验结果、从流动、物性及物料平衡角度出发,对各有关因素与循环倍率相互关系进行了初步分析。

2 理论分析与讨论

影响循环量的重要因素之一是炉内操作流速。在一定粒度分布和物性条件下,依据扬

收稿日期 1992-09-22

本文联系人 燕桂章 男 54 高级工程师 100080 北京市中关村甲1楼507

析原理^[3],一定操作流速时,有一定的扬析(夹带)粒径范围。这里的粒径范围可理想化为最大粒径颗粒的终端速度正好等于操作流速时的粒径范围。偶尔也有更大尺寸的颗粒被夹带出床外,因其量小可不予考虑。通常这一粒径范围亦用颗粒平均粒径来表征。操作流速增加,被带出的颗粒范围增大,即平均粒径增加,同时带出量(循环量)也增加。根据文献[1]的实验结果有:

$$M/A \propto U_f^{3.8} \quad (1)$$

M 为颗粒循环量。

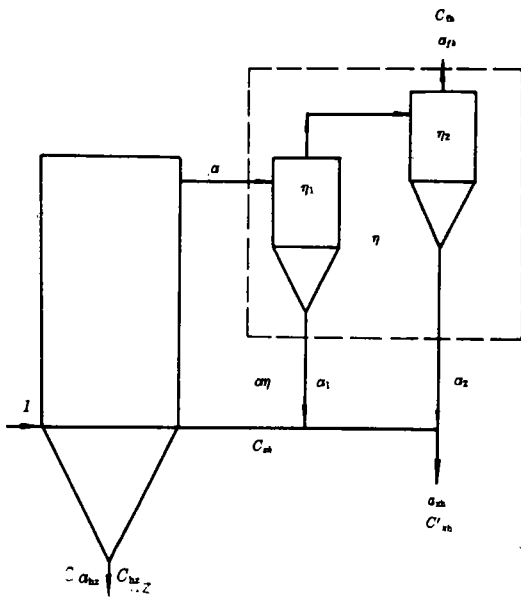


图 1 循环燃烧系统示意图

循环流化床的操作流速范围一般在 4~9 m/s 之间。流速过高会带来一些不利影响,如磨损与阻力增加。流速的选取应根据颗粒粒度、烟气停留时间、受热面布置、磨损与动力消耗等要求综合考虑。

另一重要影响因素是与流速影响相对应的颗粒粒度分布。颗粒平均粒径与操作流速相比之下显得过大时,床底部可能处于鼓泡

床状态,相当多的粗粒不能构成循环(指外循环),循环量必然减小。若颗粒尺寸分布变小(即平均粒径变小),流速不变,则被夹带粒径范围不变,循环量必然增加。根据文献[1]实验结果整理后可得:

$$\frac{M}{A} \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^{2.4} \quad (2)$$

d, d_0 分别为循环颗粒及原始床料平均粒径。目前国内外运行的循环流化床锅炉对粒径均有一定要求。如 Lurgi 炉型燃料粒径范围 0~7 mm,平均粒径 0.1~0.2 mm。粒度范围只反映了颗粒的界限范围,而平均粒径很大程度上反映了该范围内粗细颗粒的相对量,更显得重要。这种粒度要求必然是与循环量要求相关的。

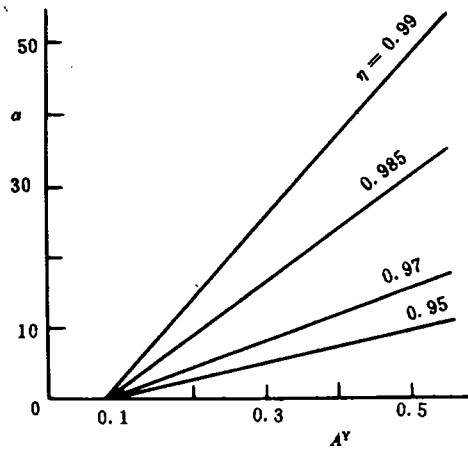


图 2 η, A^y 对循环量 α 的影响

一定操作流速下,即使循环量足够大,若没有一定效率的收尘器,仍不能达到所要求的循环倍率。图 1 表示锅炉燃烧循环系统示意图。图中标有的循环倍率均以单位时间循环量与单位时间加煤量的比值表示,如 α, α_n 等。 α 实际上是炉膛出口处循环量比

值,为方便起见,常用以代替锅炉循环率 α_{sh} , α_{sh} 可从 α 换算出来。在稳定操作条件下,从图 1 对全系统做灰平衡:

加入锅炉中灰量等于排出锅炉的灰量可导出:

$$\alpha(1-\eta) = \frac{A' - a_{hz}(1 - C_{hz})}{(1 - C_{fn})} \quad (3)$$

式中 A' 为煤中含灰量, $a_{hz} = G_{hz}/B$, G_{hz} 为灰渣量, B 加煤量。

根据式(3)假定不变的飞灰含炭量 $C_{fn} = 0.1$ 灰渣比率 $a_{hz} = 0.075$ 及灰渣含炭量 $C_{hz} = 0.02$, 计算了 η 、 A' 对循环量 α 的影响(图 2), 从图 2 中可看出一定除尘效率 η 下, 煤中灰含量 A' 增加循环倍率 α 增加。而一定灰含量下除尘效率增加、循环倍率亦增加。

通过上述分析可知,在一定设计煤种下有一定循环倍率,若煤种含灰量发生变化循环倍率也变化。假定循环倍率调整至前后相同,实际循环量亦发生了变化,因加煤量也随之改变了。因此准确计量标准不应用循环倍率、而应用循环量。循环量发生变化时,调整循环量的办法:一是通过控制返料器返料量的办法来实现,这要求返料器有较高的设计水平,另一办法是采取在循环回路中放循环灰的方法,它适于循环量增加时采用。放灰量与循环倍率变化的关系可做如下推导:稳定运行条件下,假定放灰过程中除尘效率、冷渣量及冷渣含灰量不变,由物料平衡可导出:

$$\alpha = \alpha_0 \frac{(1 - C_{fn})}{(1 - C'_{fn})} - \frac{a_{sh}}{(1 - \eta)} \frac{(1 - C'_{sh})}{(1 - C'_{fn})} \quad (4)$$

式中 $a_{sh} = \frac{G_{sh}}{B}$, G_{sh} 为放灰量, α_0 为未放灰时系统总循环倍率。根据式(3)知:

$$\alpha_0 = \frac{A' - a_{hz}(1 - C_{hz})}{(1 - \eta)(1 - C_{fn})} \quad (3a)$$

从式(4)可看出、除尘效率越高放灰时对循环倍率影响越大。忽略含炭量比值的影响

时式(4)可近似为:

$$\alpha \approx \alpha_0 - a_{sh}/(1 - \eta) \quad (4a)$$

当 $\alpha=0$ 时达最大放灰量

$$(a_{sh})_{\max} = \alpha_0 \frac{(1 - C_{fn})}{(1 - C'_{sh})} (1 - \eta) = \frac{A' - a_{hz}(1 - C_{hz})}{(1 - C'_{sh})} \quad (4b)$$

循环回路放灰,放出了具有一定炭量的循环灰,使其不能返回炉内燃烧,这是不利点。但从后面的分析可以看到,由于放灰使飞灰比率减少,其得失与否还要看对 q_4 有无影响。下面进一步分析(a_{fn} 、 a'_{fn} 为放灰前、放灰后飞灰比率):

未放灰前

$$q_4 = (a_{hz}C_{hz} + a_{fn}C_{fn})/I, \quad I = \frac{Q_{aw}}{32866}$$

放灰后

$$q'_4 = (a_{hz}C_{hz} + a_{sh}C'_{sh} + a'_{fn}C'_{fn})/I$$

若要使放灰后 q_4 减小或不变需:

$$q_4 - q'_4 \geq 0$$

或推导出:

$$\frac{C'_{fn} \frac{(1 - C'_{sh})}{(1 - C'_{fn})} - C'_{sh}}{C'_{fn} \frac{(1 - C_{fn})}{(1 - C'_{fn})} - C_{fn}} \left(\approx \frac{C'_{fn} - C'_{sh}}{C'_{fn} - C_{fn}} \right) \geq \frac{a_{fn}}{a_{sh}}, \quad (C'_{fn} > C_{fn}) \quad (5)$$

满足此式放灰时对降低 q_4 有益,否则无益。若煤中灰份减少,将会引起循环倍率降低。严重时使燃烧效率下降或影响负荷。补救的办法:必要时可添加链条炉灰渣或发热量低的劣质煤以一定比例混烧,用以增加煤中灰量。由式(3) $\alpha = 0$ 时可导出燃煤允许的最小含灰量

$$(A')_{\min} = a_{hz}(1 - C_{hz}) \quad (3b)$$

此值即为图 2 中各线的交点。

3 多级循环系统

随着循环流化床锅炉的发展,国内外出现了多级循环系统的流化床锅炉。多级循环系统是采用多级(一般用两级)除尘器串联使用,这样提高了系统总除尘效率。多级循环的目的是提高燃烧效率。如 Circofluid 炉型尾部电除尘收集的飞灰部分返回炉内燃烧,就是多级循环的一种形式。由于多级循环除尘总效率高于一级单个除尘器效率,由于结构上或其它方面的考虑,可采用多种型式除尘器串联组合,既保证了总除尘效率,又使结构上有所创新,中科院工程热物理所研究的分级循环流化床锅炉^[2]就是多级循环又一类型的例子。

从图 1 可导出系统内总循环倍率 α 及各分循环倍率 α_1, α_2 自身和相互间关系。由各级除尘器的物料平衡有:

第一回路: $\alpha\eta_1 = \alpha_1$ (6)

第二回路: $\alpha(1 - \eta_1)\eta_2 = \alpha_2$ (7)

总系统: $\alpha = a'_{fh}/(1 - \eta_1)(1 - \eta_2)$ (8)

总循环倍率: $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha(\eta_1 + (1 - \eta_1)\eta_2) = \eta\alpha$ (9)

总除尘效率: $\eta = \eta_1 + (1 - \eta_1)\eta_2$ (10)

式(8)中 a'_{fh} 可从系统灰平衡导出下式:

$$a'_{fh} = \frac{A' - a_{hz}(1 - C_{hz})}{(1 - C'_{fh})} \quad (11)$$

取 $\eta_1 = 0.9, \eta_2 = 0.9, \eta = 0.99$, 由式(6)一式(8)计算出不同 a_m 与 $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ 关系示于图 3。从图中可看出 α_1 占 α 中主要部分, α_2 一般很小, 这是由多级循环系统结构决定的, 除非第一级除尘效率很差, 才会使 α_2 占的比重增大。 α_2 小, 有利于降低回路中磨损。 α_2 虽小但回路内循环物料粒度较细, 即使要保持较小的循环倍率 α_2 , 对第二级除尘效率要求也要较高。

多级循环系统中, 同样可在系统各回路中放回路循环灰改变系统循环倍率。若从图 1 中第二回路放灰, 循环倍率变化关系如下:

$$\alpha\eta_1 = \alpha_1 \quad (6)$$

$$\alpha(1 - \eta_1) - a_{sh} = \alpha_2 \quad (12)$$

$$\alpha = a'_{fh}/(1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \quad (13)$$

a'_{fh} , 由灰平衡可求得:

$$a'_{fh} = \frac{A' - a_{hz}(1 - C_{hz}) - a_{sh}(1 - C'_{sh})}{(1 - C'_{fh})}$$

$$= a_m \frac{1 - C_{fh}}{1 - C'_{fh}} - a_{sh} \frac{1 - C'_{sh}}{1 - C'_{fh}} \quad (14)$$

忽略炭比率项有:

$$a'_{fh} \approx a_m - a_{sh} \quad (14a)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha(\eta_1 + (1 - \eta_1)\eta_2) - a_{sh}$$

$$= \alpha\eta - a_{sh} \quad (15)$$

无论从系统何处放灰对系统总 α 影响一样, 因此式(13)与式(4)计算条件相同时, 值应一样。不同放灰点, 对放灰点所处回路的循环倍率影响最大。

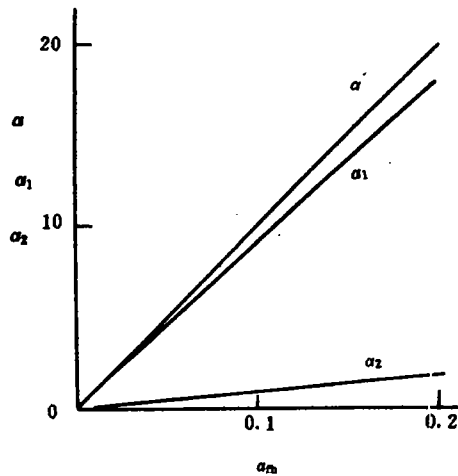


图 3 $\alpha, \alpha_1, \alpha_2 \sim a_m$ 关系图

4 结 论

根据上述讨论分析可得出以下结论:

- (1) 循环量与流速 3.8 次方成正比。
- (2) 一定流速下循环量随颗粒粒度分布减小或平均粒径减小而增加。

(下转 53 页)

上位机通讯,目的是把采集到的转速数据和风机运行状态传给上位机,或根据上位机的命令对风机进行起、停控制。其过程是:当上位机在某一时刻发来中断时,单片机停止正在进行的工作并保护现场,先判断是传数还是起停控制命令,如果是传数据命令,则根据收到的数据缓存区首址和数据长度发送数据;如果是起停控制,则根据正风、反风或者停车命令分别执行控制。

5 单片机系统的抗干扰措施

为了克服电控柜中的强电磁干扰,保证单片机能够可靠地工作,又采取了以下抗干扰措施:

5.1 转速脉冲信号的输入采用屏蔽电缆,使霍尔器件产生的信号不致发生太严重的畸变。

5.2 改进电源去耦电路,增加滤波电容器的容量,并使单片机的地线与电控柜的零线相对悬浮,大大减弱了通过电源线串入的干扰。

5.3 采用软件滤波技术,也是一种简便的容错方法,当单片机的输入口引入干扰,并被误判为控制命令时,程序不是立即去执行该命令,而是经一个短延时后再询问,反复次数和总的延时时间要远小于手动操作按钮的接触时间,由于手动操作信号都是通过带自锁的触点引入,这种方法还是可靠的,基于这个特

点,在程序的空余区间全部写入空操作和返回 00 地址的指令,程序重新开始执行也是没有问题的,各接触器无抖动。

6 应用

本单片机系统经过北京 1#、2# 地铁风机的反复试车和 72 小时连续运行的考验,至本文发表时,已运行 2900 小时。证明其工作可靠,起、停控制正常,没有误动作,达到了设计要求。

7 结束语

在常规的低压电控设备中尤其是象地铁风机这种较复杂的调控系统中,采用通用型 MCS-51 系列单片机作为程控器,具有很大意义,它不单独体积小,可靠性高,更主要的优点是可以修改程序来改变调控方式,使电控设备向智能化发展迈出一大步。

参 考 文 献

- 1 单片机微机计算机原理与系统设计技术. 复旦大学, 1987. 1
- 2 沈德金 等. MCS-51 系列单片机接口电路与应用程序实例. 北京航空航天大学出版社, 1990. 4
- 3 刘小刚 等. 微机与电子线路误动作跟踪. 哈尔滨工业大学出版社, 1990. 3

(上接第 26 页)

(3) 循环倍率与除尘效率、煤中含灰量的关系由式(3)决定。

(4) 循环回路上放灰,可降低循环倍率。其定量关系由式(4)或式(3)决定。

(5) 多级循环系统对提高燃烧效率、改变系统结构、创新炉型提供了有效途径。

参 考 文 献

- 1 燕桂章, 宋渝吉等. $0.8 \times 0.8 \text{ m}^2$ 循环流化床冷模实验. 第五届全国流态化会议论文集, 1990. 4
- 2 Wang Da-san et al. The circulating fluidized bed combustion With staded coled circulation. 3rd International Conference On Circulating Fluidized Beds, 1990
- 3 Kunii D, et al. Flwidization engineering. Joun Wiley and Sons INC, New York, 1969

(编辑 渠源沥)

- (18) **The Design Principle of a Flame-Holding Cavity Burner with Orthogonal Jet Flows and the Exploratory Study of its Flame-Holding Mechanism** Xu Minghou, Hu Pingfan, Sheng Changdong, Zhang Mingchun and Han Caiyuan (*Huazhong University of Science & Technology*)

On the basis of a flame-holding cavity bluff-body burner the authors have proposed a new type of pulverized coal burner with a flame-holding cavity and orthogonal jet flows. By the use of aerodynamic principles the burner features a reverse flow of high-temperature flue gases with a resulting intensified ignition of pulverized-coal gas flows and a stabilized combustion process. The results of cold and hot state test results are reported. Also proposed is the design principle of such burners with a detailed discussion of their flame-holding combustion mechanism being presented. **Key words:** *pulverized-coal burner, flame-holding, orthogonal jet flow*

- (23) **A Preliminary Analysis of the Factors Affecting Solid Material Circulation Ratio** Yan Guizhang (*Institute of Thermo-physical Engineering*)

Based on the experimental test results of a circulating fluidized bed cold state flows, the author has made an analysis of the effect of gas velocity and solid particle distribution on solid material circulation ratio. Proceeding from a balance of solid materials, a quantitative relationship has been identified regarding the effect of flyash separation efficiency and raw coal ash content on circulation ratio with relevant computations and discussion being performed. Also discussed and evaluated in the present paper is the quantitative analysis of a multi-stage circulation system and circulation ratio. **Key words:** *circulating fluidized bed, boiler, solid material circulation ratio*

- (27) **A Steam System Design for Petrochemical Plants** Zhao Shihang (*Tsinghua University*)

The specific features, design principles and heat balance of a steam system for petrochemical plants are described. An off-design performance model for steam turbines, which find wide applications in steam systems, has been introduced, resulting in an enhanced accuracy of the system heat balance calculation. The said model can also be used in heat balance calculations for steam systems with varying production conditions. **Key words:** *steam system, heat balance, design, steam turbine*

- (32) **Determination of Low-Vacuum Heat Supply Parameters for Condensing Steam Turbines** Xie Ming, Zhu Zhenjun, et al (*Harbin Institute of Technology*)

This paper discusses the issues concerning the computation of steam turbine low-vacuum heat supply thermal loads, off-design performance, thermification factors, heat supply network feeding and return water temperatures, etc. The author proposed that the optimum thermification factor should be 0.53-0.55 irrespective of the network feeding and return water temperatures, which can be taken as a reference value for engineering designs. **Key words:** *cogeneration, heat network, heat supply*