

循环流化床物料循环问题的研究

邱宽嵘 黎 强

(中国矿业大学)

〔摘要〕 对循环流化床物料循环问题进行了研究。给出了对立管内负压差移动床压降、U 阀回料器阻力特性及输送气固比等问题的研究结果,提出了相应的关系式,并提出了循环系统的设计及校核计算方法。

关键词 循环流化床 物料循环

1 引言

循环流化床燃烧技术在国内外国都得到了很快的发展,并进行了大量的研究。它的特点就是将分离器内分离出的物料送回床内,从而实现反复循环燃烧。因此,物料循环问题是循环流化床锅炉设计的关键技术之一。

物料循环系统由分离器、立管及回料器组成。而立管和回料器对循环系统起决定作用。回料器是一非机械阀,如 L 阀、J 阀、U 阀及 V 阀等。立管内流动状态的好坏对循环床的稳定运行关系极大。若立管内出现气泡、间断下料及架桥等现象会使循环被破坏^[1]。本文对立管和 U 阀回料器内物料和气体的流动特性进行了研究,研究结果对于物料循环系统的设计有较重要的实用价值。

2 循环回路的压力平衡

图 1 是循环流化床系统示意图和压力分布曲线。由烟气带入分离器的粒子被分离下来,经过立管和回料器送回床内。显然,在整个循环流化床系统中,立管上部压力最低,被分离下的物料要从立管上部低压下送入压力相对较高的床内,必须要有动力源,该动力源正是靠立管内料柱提供的。立管内物料的流动状态为负压差(料柱下端压力大于上端压力)过渡移动床。由图 1 可得,立管内料柱产生的动力应等于循环流化床系统内各项阻力之和:

$$\begin{aligned} \Delta P_{34} + \Delta P_{45} &= \Delta P_{56} + \Delta P_{67} + \Delta P_{71} \\ &+ \Delta P_{12} + \Delta P_{23} \\ &= \Sigma \Delta P_i \end{aligned} \quad (1)$$

上式即为循环回路的压力平衡方程。在该式中,由于立管上部空隙率很大,故 ΔP_{34} 很小,可略去。倾斜管内多为分层流动,阻力很小, ΔP_{71} 也可略去。循环流化床压降 ΔP_{12} 可按文献[2]给出的公式确定。分离器阻力 ΔP_{23} 可由分离器选型具体情况确定。

收稿日期 1992-10-27 收修改稿 1993-04-15

本文联系人 邱宽嵘 男 35 讲师 221008 江苏徐州市中国矿业大学煤综合利用系

表1 试验物料特性

物料种类	密度 ρ kg/m ³	堆积密度 ρ_s kg/m ³	平均粒径 d_p mm	形状系数 ϕ	最小空隙率 ϵ_p	临界空隙率 ϵ_{mf}
飞灰	2008	1320	0.351	0.734	0.343	0.503
河沙	2701	1596	0.248	0.625	0.313	0.412

运动速度有关,可以采用修正摩擦系数 $f_m = \Delta P \phi d_p e^3 / [2L \rho_s U_m (1 - e)^2]$ 和修正雷诺数 $Re_m = \phi d_p U_m \rho_s / \mu$ 进行关联⁽³⁾,即

$$f_m = K Re_m^{-1} \quad (2)$$

根据我们的试验数据得到 $K = 77$, 见图3。所以得到如下关系式:

$$\frac{\Delta P}{L} = 154 \frac{(1 - e)^2 \mu U_m}{e^3 (\phi d_p)^2} \quad (3)$$

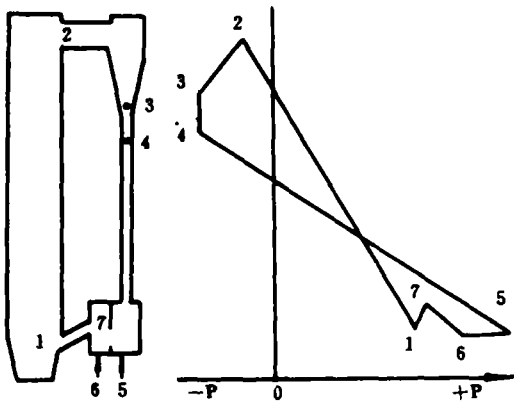


图1 循环回路和压力分布示意图

3 试验装置和方法

图2为立管和U阀回料器试验装置示意图。U阀回料器采用有机玻璃制作,挡板的高度由试验确定,布风板采用密孔板式。水封用来形成和调节负压差。试验物料为流化床燃烧的飞灰及河沙,其特性见表1

4 试验结果与分析

4.1 立管内流动问题

当立管内流动在粘附滑移流动状态,即过渡移动床流动状态时,属于 $Re < 10$ 的层流范围,所以 Ergun 方程式中可以不考虑动能损失项。这种流动的压力梯度与气固相对

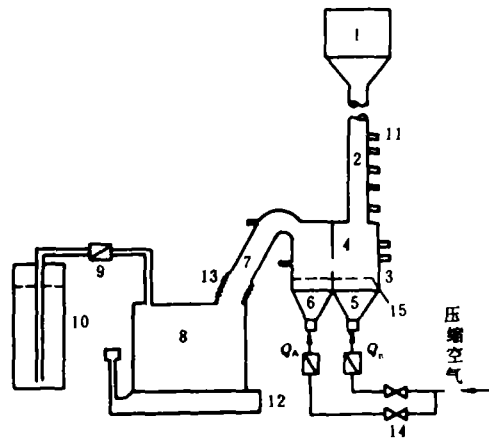


图2 试验装置示意图

1、料斗 2、立管 3、回料器 4、挡板 5、6、风室 7、倾斜管 8、接料桶 9、流量计 10、水封 11、测压点 12、磅秤 13、软管 14、阀门 15、布风板

Knowlton 给出了计算过渡移动床空隙率的关系式:

$$e = \epsilon_p + (\epsilon_{mf} - \epsilon_p) U_m / (U_{mf} / \epsilon_{mf}) \quad (4)$$

气固相对速度 U_m 与固体及气体真实速度的

关系为:

$$U_{*g} = U_* / (1 - \epsilon) - U_* / \epsilon \quad (5)$$

或

$$U_{*g} = Q_s / [\rho_s (1 - \epsilon) A_1] - Q_s / (\rho_s \epsilon A_1) \quad (6)$$

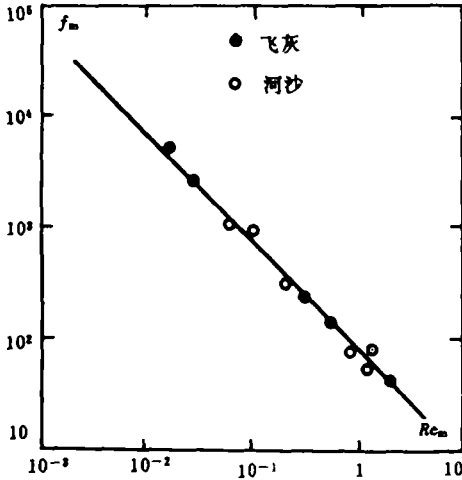


图 3 移动床 $f_m \sim Re_m$ 关系

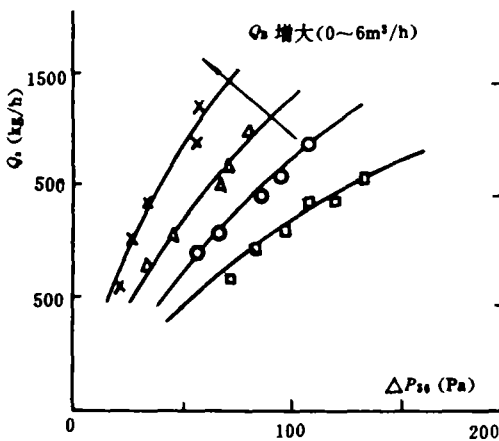


图 4 孔口压差与循环量的关系

式中 A_1 为立管截面积, Q_s 为物料循环量, Q_0 为立管中的串气量。立管中气体可能向下流动,也可能向上流动,与立管内料柱高度及压力梯度或回料器的充气量有关。在循环流化床通常的操作条件下,气体大都是向下流动的。根据我们的研究结果, Q_s 不大。在使用式(6)作为立管直径的设计依据时,可以认为 $Q_s \approx 0$ 。而 U_{*g} 可以取 $U_{*r} / (2.25 \sim 4)$, 因此得到立管的设计直径为:

$$d = (3 \sim 4) \cdot \sqrt{\frac{Q_0 \epsilon}{\pi \rho_s (1 - \epsilon) U_{*r}}} \quad (7)$$

4.2 U 阀回料器特性

U 阀回料器阻力由两部分组成,即孔口压差 ΔP_{56} 和 U 型上升段阻力 ΔP_{67} 。对孔口阻力特性进行了试验研究,其结果见图 4。

对试验结果进行拟合,得到如下关系式:

$$Q_s = C_d \frac{A_0}{A_1} \sqrt{2 \rho_s (1 - \epsilon_{*r}) \Delta P_{56}} \quad (8)$$

$$C_d = (0.104 + 0.011 Q_0) \left(\frac{Q_0}{\rho_s A_1 U_{*r}} \right)^{0.46} \quad (9)$$

式中 A_0/A 为 U 阀孔口开度,即 U 阀内挡板(见图 2)与壳体组成的通道面积与立管横截面积之比。

回料器所需风量可由 U 阀的输送气固比关系确定。试验结果为:

$$Q_s / Q_0 = 100 \sim 160 \quad (10)$$

由上式可估算通过孔口的气量。而充气量 Q_A 为:

$$Q_A = Q_0 - Q_s \quad (11)$$

关于上升段阻力 ΔP_{67} 可以按喷流床降压公式计算^[4]。

5 循环系统的设计及校核

根据上述得出的各部分流动阻力特性,可对循环系统进行设计或校核计算。立管直径可按式(7)计算。立管高度通常可以取 $L \geq 2L_{\min}$ 。立管最小高度 L_{\min} 为:

$$L_{\min} = \sum \Delta P_i / [\rho_s(1 - \epsilon_{mf})g] \quad (12)$$

如果立管高度确定后,则:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{L_{\min}}{L} \rho_s(1 - \epsilon_{mf})g \quad (13)$$

于是由式(3)、(4)、(5)、(10)及(11)可求出所需充气量等参数。

6 结 论

目前国内外研究开发的循环流化床类型有各种各样,但仍很难说哪一种已较完善。本文对循环系统的关键部件进行了研究。提出

(上接 267 页)

4.1.5 主控机对仪器送来的测量数据的字符串进行识别和处理,并输出到打印机或绘图仪。测试软件流程图见图 3,程序清单从略。

4.2 SUN286 与 3054A 系统数据通讯

由 3054A 系统单独完成测试工作,在测试完成后与 SUN286 进行通讯,将测试结果传送给 SUN286,这样两台机可以相对独立地完成自己的工作。数据传送有查询和中断两种方式。

4.2.1 查询等待方式

这种方式,两机编程有许多相互约定,否则容易出错,同时可能造成 SUN286 等待时间过长,而浪费时间。软件流程图见图 4,程序从略。

4.2.2 中断方式

这种方式,对 3054A 主机,只需要在传递数据给 SUN286 前发出中断请求信号;SUN286 机,用汇编语言编写中断子程序,接收数据;主程序中,在初始化时用 BLOAD 语

了立管压降、U 阀回料器阻力特性及输送气固比等关系式,同时提出了立管及 U 阀充气量等参数的计算方法。在循环系统的设计及校核时可参考应用。

参 考 文 献

- 1 苗长信 等. 热能动力工程, 1990(1)
- 2 岑可法 等. 动力工程, 1991(5)
- 3 Sok Moon Yoon and Daizo Kunin. Ind. Eng. Chem. Proc. Des. & Dev. 1970, (9), 559
- 4 Fayed M. E. Otten L. Handbook of Powder Science and Technology, Published by Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1984; 510~532
- 5 Knowlton T. M. and Hirsan I. Hydrocarbon Processing, March, 1978, 149
- 6 邱宽峰 等. 东南大学学报, 1990(2)
- 7 Leung, L. S. Powder Tech. 1987(49); 271

句将中断方式设置及子程序装入,其它编程基本与查询方式相同,这里不再详述。

5 结 束 语

我们在完成了 SUN286 与 3054A 系统的联机后,便可充分发挥各台计算机或仪器的功效。用同样的方法,我们也可以用 PC 总线微机来控制不同国家、不同公司生产的仪器,只要具有 GPIB 接口。随着微机技术的发展,3054A 系统与 PC 总线微机的联机方法也会越来越先进。这样的联机,无疑给 3054A 系统的充分利用开辟了一条路径,使其在燃气轮机试验性能测试中的地位越来越高。

参 考 文 献

- 1 陈振荣等. HP3457 数字万用表与微型计算机的联机通讯. 电测与仪表, 1988. (1)
- 2 韩九强, 吴彪. IBM-PC 系列微机接口总线软件 GPIB/PC-B. 通信与计算机, 1989(1)

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL
ENERGY AND POWER**
1993 Vol. 8 No. 5

CONTENTS

- (227) **The Research and Development of a New Type of Separator for a Circulating Fluidized Bed Boiler** He Peiao (*Harbin Power Plant Equipment Design Institute*)

The author has come up with some innovative ideas and proposals for developing a new type of separator for a circulating fluidized bed boiler. The proposed separator can be employed to replace a bulky cyclone separator currently in use. **Key words:** *circulating fluidized bed boiler, separator*

- (235) **A study on Solid Material Circulation in Circulating Fluidized Beds** Qiu Kuarong, Li Qiang (*Chinese University of Mining and Technology*)

This paper presents the results of a study on solid material circulation in circulating fluidized beds. Given are the research findings on such a variety of issues as the pressure drop of inside-standpipe negative pressure-difference mobile bed, flow resistance characteristics and gas-solid mass ratio of a U-valve. The relevant relationships have been determined with the design and checking calculation method for the circulation system being proposed. **Key words:** *circulating fluidized bed, solid material circulation*

- (239) **An Experimental Study of Flue Gas Flow Resistance in the Converging-Diverging Duct of a Cast-Iron Sectional Boiler** Wang Xiqing, Zheng Ying (*Harbin Institute of Technology*); Wu Zhigang, Qiu Yinong (*Boiler and Pressure Vessel Inspection Agency of Harbin City Labor Bureau*); Xu Keqin (*Harbin Small-Size Boiler Works*); Qiu Fuzhi, Yao Guangyu (*Harbin Foundry General Works*)

Based on the results of experimental analyses the authors have ascertained the relationship governing the variation of flue gas flow resistance in the converging-diverging duct of a cast-iron sectional boiler with Reynolds number and duct length. The Reynolds number ranges from 15000 to 50000 and the boiler section width from 150 to 220 mm. The above findings are applicable to various types of cast-iron sectional boilers currently manufactured in China. **Key words:** *converging-diverging duct, cast-iron sectional boiler, flue gas flow, structural design*

- (242) **The Design and Construction of a Circulating Fluidized Bed Boiler Furnace Lining** Ma Shuqi (*Beijing Boiler Works*)

The paper deals with the furnace lining of a circulating fluidized bed boiler from the aspects of