

(21) 111-116

# 密相段管束布置对料腿内气固流动特性的影响

TK 229.66

廖曙江 卢啸风

(重庆大学热力工程系, 重庆, 400044, 第一作者 28 岁, 男, 硕士)

**摘要** 在冷态试验台上研究了循环流化床料腿密相段中不同管束布置方式对气固流动特性的影响。重点研究管束所占料腿截面比例和管子截面形状对循环灰量、松动风调节范围、松动风在料腿密相段中的分配比例以及料腿密相段中的气固流动压降的影响关系。

**关键词** 循环流化床; 料腿; 管束布置; 气固流动特性

中国图书资料分类法分类号 TK229.6

## 0 引言

锅炉

密相段

由高温分离器、料腿和回料阀组成的高温灰循环回路,是确保循环流化床锅炉能够高效燃烧劣质煤的重要因素之一。运行中,料腿内气固流动特性对高温灰循环回路的正常工作有着重要的影响。在循环回路上没有布置外置式低速流化床换热器的情况下,料腿内结焦、高温膨胀节烧穿,是料腿常见的运行故障。此时,若在料腿内密相段中布置一些管式受热面,适当降低料腿内的灰料温度,就可有效防止料腿内结焦和避免高温膨胀节烧坏。此外,随着循环流化床锅炉容量增大,在高温灰循环回路上适当布置一些蒸发受热面,也可缓解料腿内蒸发受热面布置不下的矛盾。因此,研究料腿中气固流动特性,尤其是料腿密相段中布置有管束受热面时的气固流动特性,对进一步搞好循环流化床锅炉高温灰循环回路的安全运行,具有重要的意义。

有许多学者<sup>[1~3]</sup>先后研究过腿料内未布置受热面时的气固流动特性,但至今未见到布置有受热面时料腿内气固流动特性影响的冷态试验研究结果。

## 1 试验概况

试验在图1所示的循环流化床冷态试验台上进行。除旋风分离器、布风板及等压风室外,试验台本体均用有机玻璃制成。主床面尺度为200 mm×100 mm,从布风板到主床出口处的净高度为2500 mm;料腿内截面积为40 mm×40 mm,采用“L”阀回送物料。在“L”阀上端是一个可拆卸的试验段,试验段内可方便地安装各种模拟管束。在“L”阀的竖直段上设有三个松动风入口,用以研究不同松动风入口位置对料腿中气固流动特性的影响。

试验所用模拟受热面均采用水平布置的错排管束(图 2),管子截面形状有圆形、椭圆形和菱形(见图 3);管子直径(或当量直径)均为 5 mm;圆形管子有 40 mm、20 mm 和 13 mm 三种长度;椭圆形和菱形管的长度均为 40 mm。

无论是主床还是料腿,沿其高度均每隔 250 mm 布置一个测压点(主床从布风板上侧开始布置测孔;料腿则从“L”阀水平段中心线开始布置测孔);在“L”阀前后端和松动风上、下侧以及料腿试验段上,还另外布置有多个测压点。

试验床料采用漂珠,其真实密度为 922.2 kg/m<sup>3</sup>,堆积密度为 800.2 kg/m<sup>3</sup>,平均筛分直径为 0.125 mm。

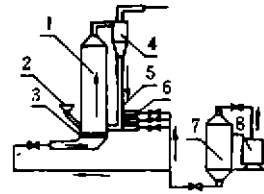


图 1 循环流化床冷态试验台系统图

- 1——主床; 2——加料口;  
3——布风板; 4——旋风分离器;  
5——料腿; 6——松动风入口;  
7——稳压罐; 8——空压机

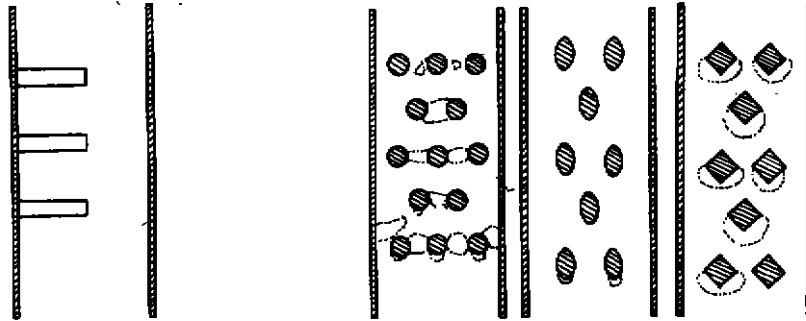


图 2 试验管束的布置方式

图 3 试验管子的截面形状

试验所需空气来自一台空压机。空压机出口空气经稳压、降压后分为两路:一路作为主流化风经等压风室、布风板进入主床,使床料流化。另一路作为松动风被送入料腿。试验时仔细调节松动风量,始终使料腿内处于移动床状态。

试验时压力(差)测量采用“U”型管;流化风量和松动风量采用转子流量计计量。

冷态条件下床料循环量的在线测量可采用多种方法<sup>[2,3]</sup>。笔者采用下述方法:试验中突然关闭松动风,用秒表记录料腿中床料堆积一定高度(一般为 200 mm)时所需时间,则床料循环流量为:

$$G_s = \rho_p \times (1 - \epsilon_{nd}) \times V_s / t \quad (1)$$

式中  $G_s$ ——床料循环量,kg/s;  
 $\rho_p$ ——床料真实密度,kg/m<sup>3</sup>;  
 $\epsilon_{nd}$ ——床料自然堆积时的空隙率;  
 $V_s$ ——堆积体积,m<sup>3</sup>;

$t$ ——堆积时间, s.

为确保测量准确, 试验前曾多次采用称重法标定(1)中的空隙率  $\epsilon_{mf}$ . 结果表明, 在本文的试验条件下, 突然关闭松动风后, 床料自然堆积时的空隙率  $\epsilon_{mf}$  值基本不变, 误差在 3% 以内.

松动风在料腿密相段中的分配比例, 采用文献[4]的方法计算.

## 2 试验结果及分析

### 2.1 不同管束布置方式对循环灰流量的影响

#### 2.1.1 密相段内管束长度的影响

图 4 所示是密相段中布置不同长度的圆管管束时, 循环灰流量与松动风量的试验曲线. 由图可见, 随松动风量增加, 布置不同长度的圆管管束时的循环灰流量都是增加的. 但在相同松动风量下, 料腿内未布置管束时的循环灰流量最大, 随管长增加, 循环灰量减少. 其原因是, 管束所占料腿流通截面积的比例越大, 对固体颗粒流动的阻碍越大, 循环灰的流量就越小.

#### 2.1.2 密相段内管子截面形状的影响

图 5 是料腿密相段中布置不同截面形状的等长管束时, 循环流量与松动风量的试验关系曲线. 图中, 随松动风量增加, 不同形状管束的循环灰流量都是增加的. 但在相同松动风量下, 布置椭圆形管束时的循环流量最大, 圆形截面管束的循环灰流量次之, 菱形截面管束的循环灰流量最小. 这说明, 椭圆形截面管束对密相段中的固体颗粒流动影响最小, 菱形截面管束影响最大.

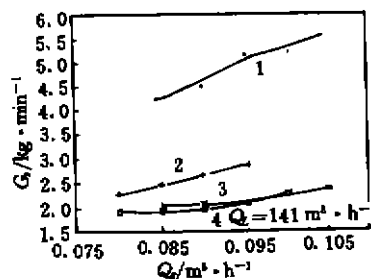


图 4 布置不同长度的圆管管束时  
循环灰流量  $G_s$  与松动风量  $Q_s$  的试验曲线

1——空管; 2——13 mm 管长;  
3——20 mm 管长; 4——40 mm 管长

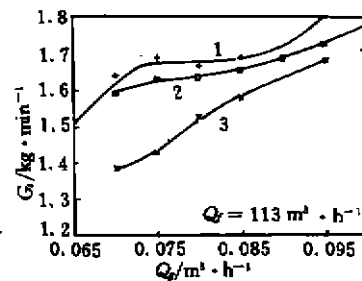


图 5 布置不同截面形状的管束时  
循环灰流量  $G_s$  与松动风量  $Q_s$  的试验关系

1——椭圆形截面; 2——圆形截面;  
3——菱形截面

### 2.2 不同管束布置方式对松动风调节范围的影响

表 1 是在相同主床流化风量下, 不同管束布置方式与松动风调节范围的关系.

分析表 1 中数据可知: 在相同的主床流化风量下, 布置不同长度的圆管, 对松动风量调节范围的大小没有明显的影响, 仅仅改变松动风量可调节区域的位置. 但采用相同长度、不同形状的管束时, 不仅松动风的可调节区域的位置有变化, 并且松动风调节范围也有变化; 其

中,椭圆管的调节范围最大,圆管次之(与空管相同),菱形管最小。

表 1 不同管束布置方式对松动风调节范围的影响

| 主床流化风量:141 m <sup>3</sup> /h |                             | 主床流化风量:134 m <sup>3</sup> /h |                             |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 圆形截面的管子长度                    | 松动风量调节范围(m <sup>3</sup> /h) | 管子截面形状                       | 松动风量调节范围(m <sup>3</sup> /h) |
| 40 mm 圆管                     | 0.075~0.100                 | 40 mm 椭圆管                    | 0.055~0.100                 |
| 20 mm 圆管                     | 0.080~0.105                 | 40 mm 圆管                     | 0.065~0.100                 |
| 13 mm 圆管                     | 0.070~0.100                 | 40 mm 菱形管                    | 0.070~0.095                 |
| 空管                           | 0.095~0.12                  | 空管                           | 0.080~0.115                 |

## 2.3 不同管束布置方式对料腿密相段中上、下行风量分配的影响

### 2.3.1 管子长度的影响

松动风进入料腿后,会分为两股,一股向上流动(与颗粒流动方向相反),称上行风;一股向下流动,称为下行风。图 6 是布置不同的圆管管束长度时,上行风量与松动风量的关系。由图 6 可见,上行风量随松动风量的增加而呈比例增加,不同管长布置时的变化趋势是相同的。这说明管束长度参数对料腿密相段内的松动风量的上、下行分配比例没有明显影响。

### 2.3.2 管束形状的影响

图 7 是料腿密相段中安放不同形状管束时,料腿中上下行风量的分配关系。由图 7 可见,布置不同形状的管束时,上行风量随松动风量的增加都呈比例增加,变化趋势也基本相同。这说明管束形状参数对料腿密相段内的松动风量的上、下行分配比例也没有明显影响。

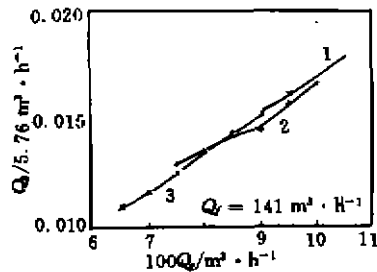


图 6 布置不同长度的圆管管束时  
上行风量  $Q_u$  与松动风量  $Q$  的关系  
1——20 mm 管长; 2——13 mm 管长;  
3——40 mm 管长

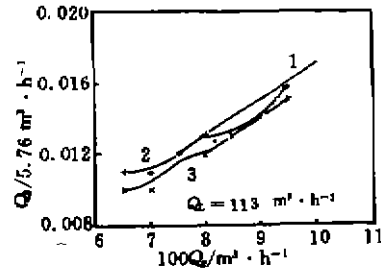


图 7 布置不同截面形状的管束时  
料腿中上下行风量的分配关系  
1——椭圆形截面; 2——圆形截面;  
3——菱形截面

## 2.4 管束布置方式对密相试验段内气固流动压降的影响

### 2.4.1 圆管管束长度的影响

图 8 是布置不同长度的圆形管束时,料腿密相试验段压降与松动风量的试验关系。由图 8 可知,随松动风量增加,布置不同长度圆形管束时的试验段压降都是增加的。但在同一松动风量下,随管束长度增加,流动压降逐渐减小。其原因是,随管束长度增加,管束对气固流动的阻碍增大,并且使相同松动风量时的颗粒下行速度降低,最终导致密相段内气固流动压降随管束长度增大而降低。

### 2.4.2 管束截面形状的影响

图 9 给出了布置不同截面形状的管束时,料腿密相试验段压降与松动风量的试验关系。由图 9 可见,随松动风量增加,布置不同形状管束时的试验段压降都是增加的。但在同一松动风量下,空管阻力>椭圆形管束阻力>圆形管束阻力>菱形管束阻力。这再次说明了,管束对气固流动的阻碍越大,使相同松动风量时的颗粒下行速度降低得越多,最终导致密相段内气固流动压降因气固流速降低而下降。

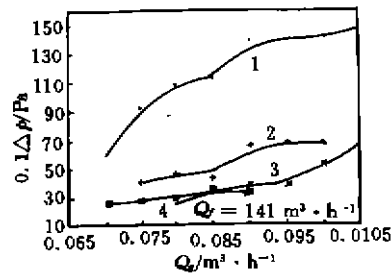


图 8 布置不同长度的圆管束时,料腿密相试验段压降 $\Delta P$ 与松动风量 $Q_0$ 的试验关系

1——空管;2——13 mm 管长;  
3——20 mm 管长;4——40 mm 管长

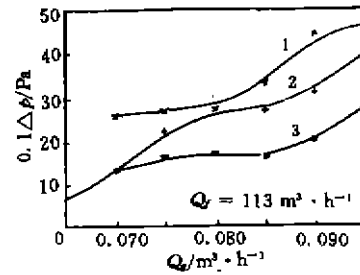


图 9 布置不同截面形状的管束时,料腿密相试验段压降 $\Delta P$ 与松动风量 $Q_0$ 的关系

1——椭圆形;2——圆管形;  
3——菱形

## 3 结 论

1) 试验研究表明:在循环流化床腿密相段中布置管束时,循环灰流量和管束布置区域的气固流动压降,均会发生明显的变化。但管束布置方式对松动风调节范围、松动风在密相段内上、下行分配比例的影响不大。即,在料腿密相段内布置管束后,对气体流动特性的影响不明显,而对固体颗粒流动特性影响较大。

2) 试验结果证明:管束占料腿截面积的比例越大,对料腿内固体颗粒的流动特性影响越大;在不同截面形状的管束中,椭圆形管束对料腿密相段内固体颗粒的流动特性影响较小,圆形管束次之,菱形管束的影响最大。

**致谢** 试验研究过程中,王致均教授曾给予多方面的指导,特此感谢。重庆大学电厂热能动力专业 97 届本科毕业生陈超、余晓涛、符映梅、代勇、毛睿同学参加了全部试验工作,特此感谢。

## 参 考 文 献

- 1 Geldart D, Jones P. The behaviour of L-valves with granular powders. *Powder Technology*, 1991, 67: 163
- 2 刘景源, 还博文, 苏远平. 循环流化床物料循环流率的测量. *化工冶金*, 1995, 16(3): 257~262
- 3 Grace J R, Avidan A A, Knowlton T M. *Circulating Fluidized Bed*. London: Published by Blackie Academic and Professional, 1997. 214~260
- 4 彭万旺, 谢可玉, 逢进. 细颗粒循环料腿的自力平衡原理及实验研究. *煤炭转化*, 1994, 17(4): 73~79

## The Influence of the Arrangements of Pipes on Gas-solid Flow Characteristics in the Dense Section of the Stand Pipe

*Liao Shujiang*      *Lu Xiaofeng*

(Thermal power Engineering Department, Chongqing University)

**ABSTRACT** The influence of the arrangements of pipes on gas-solid flow characteristics in the dense section of standpipe in the circulating fluidized bed is studied on a cold state experiment platform. The influence relationships of the percentage of area of pipes in the standpipe cross section and section shape of pipes and the circulation rate, adjusting range and distribution percentage of loose air are studied emphasizedly.

**KEYWORDS** circulating fluidized bed; standpipe; arrangements of pipes; gas-solid flow characteristics

§ § § § § § § § § § § § § § § § § § § §

(上接 64 页)

## X-ray Diffraction Analysis of the 25Cr2MoVA Steel After Rapid Ion Nitriding

*Zhou Shangqi*      *Ren Qin*      *Fan Qinlin*

(Department of Metallurgy & Materials Engineering, Chongqing University)

**ABSTRACT** The surface phase constituent of the 25Cr2MoVA steel has been analysed after conventional and rapid ion nitridings. The relation between the tempered temperature and the phase constituent has been investigated.

**KEYWORDS** nitriding; ions / X-ray diffraction analysis; rapid ion nitriding