

扁平射流煤粉燃烧器研究

中国科学院力学研究所

卫景彬 黎 军 王宏宇

摘 要

扁平射流燃烧器是近年来我们发明的一种新型燃烧装置,它依据高温空气动力学原理,合理地组织燃烧室内空气动力场,达到了稳定火焰和高效燃烧的目的。本文对扁平射流燃烧室的结构、流场情况、气-固两相流场分布,以及热态实验和应用情况均进行了描述。在理论上给出了较合理的三区燃烧模型。实践表明应用扁平射流燃烧器有较大的经济效益。

关键词:煤粉燃烧 火焰稳定 结焦 扁平射流 燃烧器

一、前 言

扁平射流煤粉燃烧器是我国近年来发明并发展起来的一种新型燃烧器。为了能在一个受限空间内使火焰稳定,需要有良好的空气动力场。通常的做法是造成一个能卷吸下游已燃高温烟气的回流区,这个回流区也会含有一定量的可燃成份。这些可燃成份的燃烧和卷吸的高温烟气保证了回流区处于高温状态,因而它可以起到点火源的作用。回流区应有足够大的尺寸,回流区和新鲜可燃混合物之间应有适当的热、质交换,使回流区不致被过份地冷却,始终处于高温状态,同时对新鲜可燃混合物又可加热使之点燃。除了能稳定火焰外,对于煤粉燃烧器来说,还要保证燃烧室内不结渣或积灰。这就要求一方面要控制火焰温度在适当的范围内,另一方面要尽量避免煤粒或灰焦粒在壁面上沉积和与壁面碰撞的机会。此外,还希望气流结构在具有火焰稳定能力的同时又要具有刚性较好的吹灰作用。扁平射流燃烧器就是在考虑了上述空气动力场的要求和其它因素后发展起来的。它除了具有良好的火焰稳定能力

外,还具有良好的不结渣性能。本文阐述了扁平射流燃烧室火焰稳定及不结焦的机理。

二、扁平射流煤粉 燃烧室简介

扁平射流煤粉燃烧室的结构示图如图1。

燃烧室一般制成矩形,如图1,其长为 L ,高为 H ,宽为 B 。扁平的一次风(携带煤粉)喷口位于燃烧室前端面中部($\delta=0$)或中部偏下方位置($0<\delta<(\frac{H}{2}-b_0)$),扁平喷口尺寸为 $B\times 2b_0$ 。燃烧器布有环形二次风。此外,燃烧室还布有底部二次风,(注意:不加底部二次风,扁平射流也有附壁效应),底部二次风的开启不仅保证了扁平射流一次风一定附于燃烧室下壁,即所谓初始设定于下附壁,而且增强了燃烧室内的火焰稳定能力和防止结焦能力。

扁平射流燃烧室有一个特点,即当扁平射流一次风速在较大范围内变化时(比如

实验 $U_{in}=14\text{m/s}\sim 45\text{m/s}$), 在燃烧室几何结构固定之后, 在各个X截面上, 无量钢

速度剖面相同, 即达到了自模化。这无疑对于燃烧室抗一次风速波动是很有好处的。

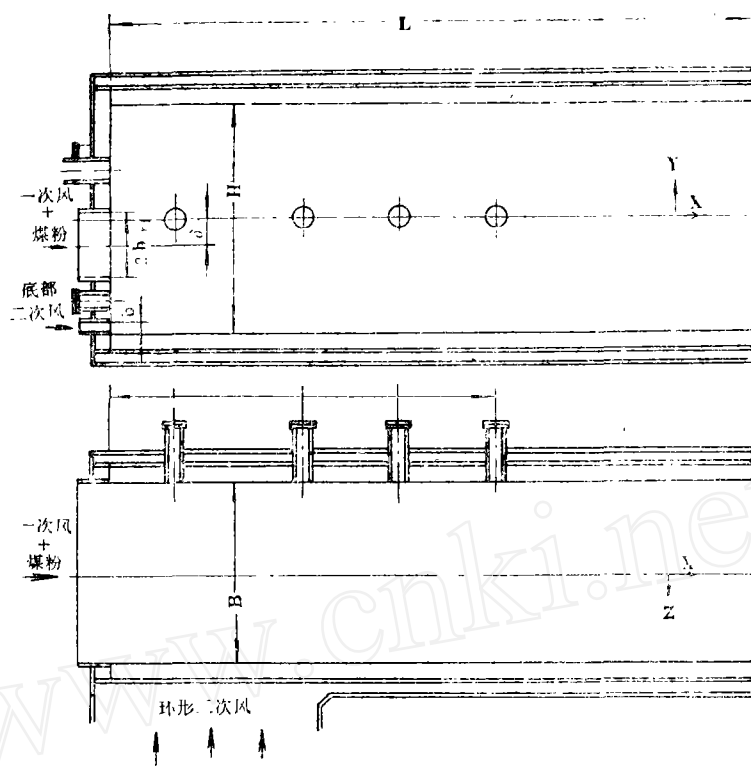


图1 扁平射流燃烧室

三、燃烧室内部流场结构

扁平射流燃烧室的冷态, 空气动力场是用二维激光测速仪(LDA)和双向探针两种方法测量的。

图2是利用LDA测得的流场图。从图中可以看出, 由于射流的附壁效应, 射流经喷口喷出后立即偏转折向壁面, 在射流与上下壁之间分别形成一大一小两个回流区。对于不同的燃料, 两个回流区所起到的稳定火焰的作用是不同的。当燃烧气相燃料时, 化学反应速率很高, 着火提前, 小回流区卷吸高温烟气来稳定火焰。燃烧煤粉时, 化学反应速率较低, 着火延返, 小回流区卷吸高温烟气的作用降低了, 这时稳定火焰主要依靠大回流区。

这种流场还有许多特点: 首先, 当扁平

射流进口中心线与燃烧室中心线偏置高度 δ 增大时, 小回流区逐渐减小, 回流量的峰值由炉室中部向下游移动, 前部回流量明显减小。其次, 当进口速度 U_{in} 在实验的范围内($14\sim 45\text{m/s}$)改变时, 流场的基本特征(如附壁点位置, 回流区形状等)没有明显变化, 这是由于流动已处于自模化状态($Re_{in} > 10^3$)。

第三, 流场内的端流脉动非常剧烈, 正流区与大回流区交界面、射流主流线和小回流区内端流脉动犹强。因而小回流区尽管体积小, 在燃烧气相燃料时, 由于湍流交换很强, 对稳定火焰有相当大的作用。大回流区中的湍流脉动比较平均, 相对湍流度可高达20~30%。这对回流区和射流间的热质交换, 新鲜燃料的点燃和燃烧十分有利。

正向流沿轴向可分为四段, 如图3所示,

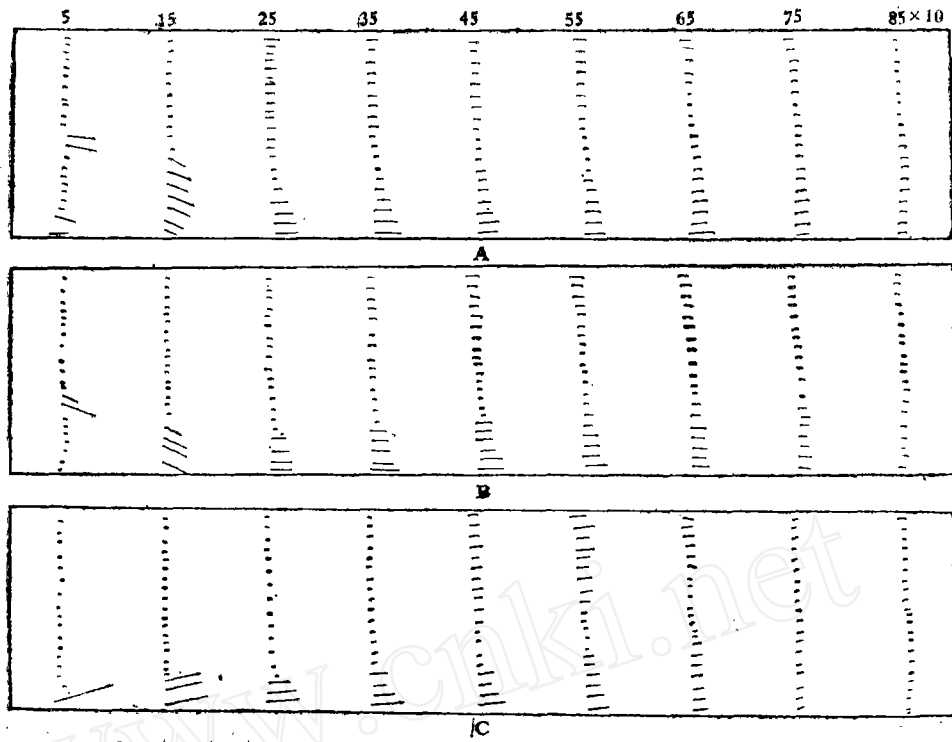


图2 冷态流场图

A: $\delta=0$. B: $\delta=20$, C: $\delta=90$

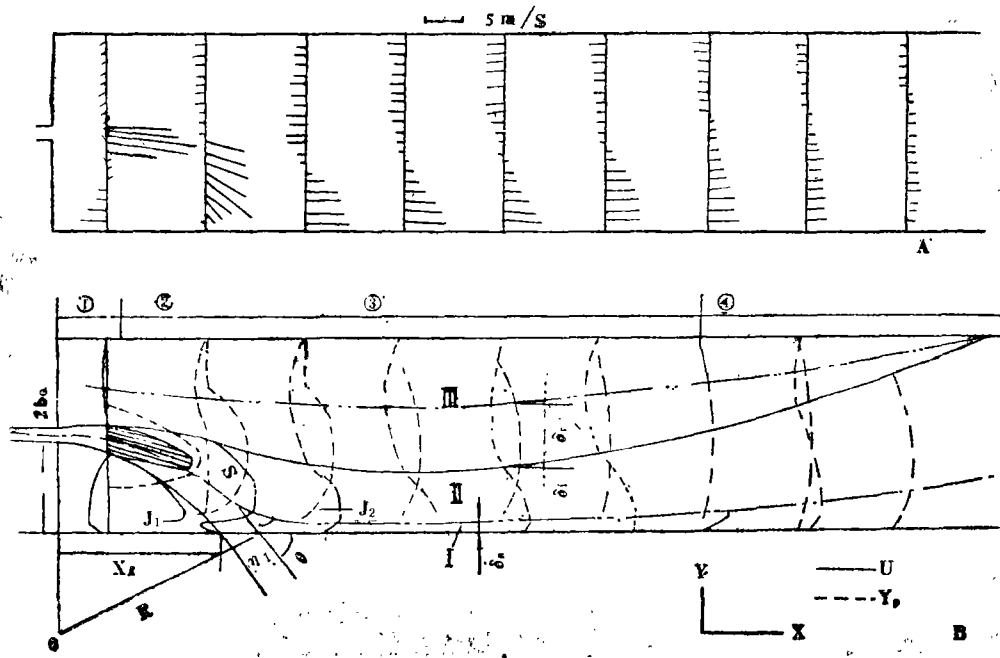


图3 三区流动模型

即：1自由射流段①，2弯曲射流段②，3附壁射流段③和4壁面射流扩展段④。在③和④段，沿高度又可分为三个流动区域，即高速正流底层区(I)，变速正流中层区(II)和上部逆流区(III)。具体如图3所示。I区很薄，但流速较高，这是扁平射流燃烧室特有的气流结构。II区流层较厚，流速变化较大，正流与逆流间的各种湍流交换剧烈。III区可近似认为其逆向流动速度沿逆向主流线对称扩展。燃烧室内流场的三区结构有利于稳定火焰和防止结渣。

四、燃烧室内的气固两相流研究

图4给出了聚氯乙烯颗粒沿y坐标的浓度分布的典型实验结果。试验结果表明，在进口附近，颗粒在燃烧室入口下游呈一突峰状分布。随后，相当大部分颗粒进入了回流区，下壁面处无颗粒，即颗粒浓度为零。在 $X=350\text{mm}$ 时，颗粒几乎充满了整个燃烧室。由于煤粉密度 ρ_c 大于实验用聚氯乙烯密度 ρ_{PVC} ，故燃烧煤粉时，其入口处颗粒与气流

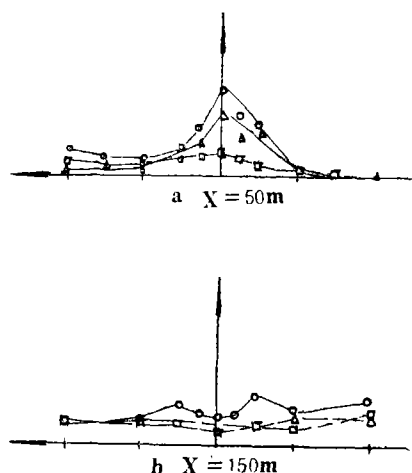


图4 不同Z座标下颗粒浓度沿Y座标的分布

- $z=0\text{mm}$
- △—— $z=20\text{mm}$
- $z=40\text{mm}$

分离效果将更加明显，即进入回流区的煤粉颗粒会更多。

上游入口处颗粒集中，有利于形成高浓度点燃区。其后颗粒进入回流区，有利于强化燃烧。最后颗粒充分扩散，有利于与空气混合燃烧。而底层颗粒极少，产生了不结焦的有利条件，

五、燃烧室煤粉热态实验及其结果

燃烧室试验段由耐火材料浇铸而成，截面为矩形，尺寸为 $160 \times 220\text{mm}$ ，长度为 800mm 。扁平一次风的进口截面为 $160 \times 10\text{mm}$ 。实验室用燃烧室无底部二次风和环形二次风。温度用双铂铑热电偶测量。

在进行煤粉-空气两相燃烧实验时，先用液化石油气点火枪将煤粉点燃，而后其自行稳燃。图5给出了温度分布。由图可见，燃烧室下部温度较低，中上部温度较高。当 $X > 300\text{mm}$ 后，燃烧室中上部温度可达到 $1000 \sim 1200^\circ\text{C}$ 。在下侧壁面处，温度约 $200 \sim 600^\circ\text{C}$ ，因此煤粉无法着火，底层为非反应层。由于燃烧室截面较小，所以燃烧室内平均温度水平不高。

工业用燃烧室内温度比小型实验室内温度要高些。

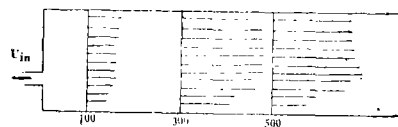


图5 扁平射流燃烧室煤粉燃烧温度分布

六、扁平射流燃烧室稳定火焰与不结焦机理分析及结论

通过对扁平射流煤粉燃烧室的流场，颗粒浓度分布及温度分布结果的分析，扁平射流燃烧室稳定火焰及不结焦特性的机理在

于;

a、燃烧室下壁面处存在一高速气流底层;

b、高速气流层处颗粒浓度几乎为零,很少有颗粒进入底层;

c、高速气流底层处的温度较低,达不到煤粉燃烧的条件。

由于底层为高速非反应底层,就使燃烧室具有良好的不结焦性能。另一方面,燃烧室具有良好的稳燃烧能力是因为在燃烧室内:

d、在中上部有一个较大的高温回流区;

e、有大量颗粒直接进入高温回流区;

f、回流区Ⅱ及正流的Ⅰ区均具有良好的燃烧反应条件。

扁平射流燃烧室可用与三区流动模型相对应的三区燃烧模型(如图6)进行简单分析。在回流反应区(R区),由于回流区温度较高,进入回流区的煤粉颗粒立即发生热解,挥发份和颗粒均有燃烧,其燃烧强度高,呈容积反应态。在正流点燃区(L区),正向流动的煤粉-空气流受回流区加热,达到一定距离后即被点燃,产生火焰,这里主要是煤粉的热解和挥发份燃烧,颗粒的非均相反应较弱。在非反应底层区(H区),不发生燃烧,该层是防止壁面结焦的重要气流结

构。三区流动和三区燃烧简化模型可用作判定燃烧室火焰稳定能力和不焦化性能的准则。

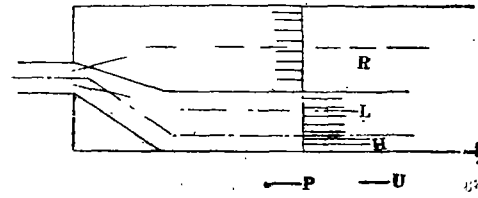


图6 三区燃烧模型

七、燃烧室设计基本原则简述

扁平射流多功能煤粉燃烧器的设计原则与具体炉型、制粉和送粉系统,煤种及运行条件等因素有关,需综合考虑,也比较复杂。除了考虑燃烧室内空间尺寸 H, B, L 及扁平射流进口高度 $2b_0$,扁平射流进口中心线与燃烧室中心线的偏置高度 δ ,底吹风口高度 b 等关键参数外,还必须考虑出口处燃烧室双筒体保护和进口处流速、流量与一次风管道及燃烧室内相应参数配比等问题。以上参数确定后,燃烧室的形式基本上就已确定。最后再一次强调指出,设计原则必须与具体条件同时考虑才能得出最佳方案。

欢迎订阅《中国特区机电》《管理与效益》

中国特区机电杂志社受有关单位的委托,负责编辑出版《中国特区机电》和《管理与效益》两种期刊。

《中国特区机电》是由中国机电报社、广东和福建两省机械工业厅联合主办的综合性期刊。它以“展现特区机电风貌、传递特区经济信息、促进特区内地交流、推动改革开放进程”为目标,竭诚为广大读者服务。国内外公开发行。国内统一刊号:CN35—1132。

《管理与效益》是由中国机械工程学会管理学会主办的专业性期刊。它以“普及现代管理技术、传播管理知识、交流学术经验,提高企业管理水平和经济效益,发展和完善管理科学理论”为宗旨。国内外公开发行,国内统一刊号:CN35—1109。

1990年《中国特区机电》为月刊,《管理与效益》为双月刊。均由我社自办发行。每期定价:人民币1.20元,港币6.00元,信汇、邮汇均可。社址:福建省福州市杨桥路63号。邮政编码:350001

ABSTRACT

Wei Jing-bin, Li Jan, Wang Hong-yu, «Research on Flat Fluidic Pulverized Coal Burners», «Power Engineering», 1989, No. 5, pp.1~5

The flat fluidic pulverized coal burner is a new type of burner invented by authors in the recent years. According to high temperature aerodynamic principle the burner contributes to establish a reasonable aerodynamic field in the combustion chamber with the objective of flame stabilizing and high efficiency combustion. Burner construction, flow field, gas-solid two phase flow field distribution, hot state tests and application for the flat fluidic pulverized coal burner are presented, together with the description of a more reasonable physical model containing three combustion zones. Practice shows the application of flat fluidic pulverized coal burners has satisfactory economic merits.

Wu Zu-qian, «Technological Progress in Welding of Nuclear Reactor Pressure Vessels», «Power Engineering», 1989, No. 5, pp.6~15

The technological progress in welding of nuclear reactor pressure vessels is presented with a view to applicable materials, main seam weldings, stainless steel pad welds on internal walls, welding at safety ends of connecting pipes and large size pipe welding, together with a description of practical examples.

Jiang Yun-bang, «Blade Machining Tolerance and Control», «Power Engineering», 1989, No. 5, pp.15~19

With the help of a large amount of measurement data, the rule of machining errors of the assemblage surface is presented for the purpose of supplying a basis for selecting an economic range of tolerance and a means of error control.

Cao Kun, Li Ren-nian, Gu Xing-qiao, «Research on Guide Component Flow Fields of Hydraulic Turbines», «Power Engineering», 1989, No. 5, pp.20~27

The flow field of double-row annular cascades of hydraulic turbines is studied by means