

采用偏置射流预燃室稳定燃烧水煤浆的原理及应用研究

原 鲲¹ 陈丽芳² 吴承康²

(1. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080;
2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘 要 水煤浆作为经济型清洁燃料引起了人们的长期关注。水煤浆偏置射流预燃室具有对浆种适应性强, 稳燃性能好等特点。本文对偏置射流预燃室稳定燃烧水煤浆的原理进行了探讨, 并对该燃烧技术用于处理造纸黑液的研究情况作了介绍。结果表明, 采用低压多级雾化喷嘴对水煤浆进行雾化, 形成的雾炬和偏置射流预燃室的流场有良好的匹配, 在预燃室内形成大尺度的回流区, 有利于水煤浆的点火、稳燃和消除灰渣。

关键词 水煤浆; 燃烧; 预燃室

中图分类号: TK16 文献标识码: A 文章编号: 0253-231X(2002)01-0123-04

STUDY ON MECHANISM AND APPLICATION OF NONSYMMETRICAL-JET PRECOMBUSTOR IN STABILIZING CWS FLAME

YUAN Kun¹ CHEN Li-Fang² WU Cheng-Kang²

(1. Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Coal-Water Slurry (CWS) has long been attractive due to its low price and clean property. Investigations on the flame-stabilization mechanism of the nonsymmetrical-jet precombustor were carried out. Also presented was application of CWS combustion technology in handling of black liquor in pulp & paper industry. The results turned out that the spray of the low-pressure multi-stage nozzle well matches the flow field in the nonsymmetrical-jet precombustor. The large-scale recirculating zone generated in the precombustor is favorable for CWS ignition, stable combustion and removal of ash.

Key words coal-water slurry; combustion; precombustor

1 引 言

水煤浆是国际上七十年代末发展起来的以煤代油的新型燃料。和石油相比, 水煤浆作为煤基燃料, 可以象石油一样进行储存、运输和燃烧, 却具有低廉得多的产品成本, 对于缓解我国石油短缺的现状, 尤其具有重要的战略意义。和煤粉相比, 水煤浆燃料由于火焰温度较低, 燃烧时 NO_x 的排放量比煤粉燃烧时低; 水煤浆中水分的存在对燃烧效率的影响非常小, 基本能保持与煤粉相同的燃烧效率。水煤浆是由大约 70% 的煤、30% 的水, 配以 1% 左右的

化学添加剂加工成的浆体。虽然作为煤基代油燃料出现, 其性质既不同于石油, 又不同于煤粉, 因而从一开始就带来了不少新的研究课题。水分的蒸发导致了水煤浆滴的点火延迟, 对稳燃有较大的影响, 需要对燃烧设备进行结构和工况的优化, 有的甚至需要重新设计。

中国科学院力学研究所采用低压多级喷嘴对水煤浆进行雾化, 采用偏置射流预燃室进行点火和稳燃, 在代油燃烧、煤泥处理等方面都得到了一定程度的成功应用。

本文对偏置射流预燃室稳定燃烧水煤浆的原理

收稿日期: 2001-11-19; 修订日期: 2001-11-27

作者简介: 原 鲲(1972-), 男, 山西阳城人, 中国科学院工程热物理所博士后, 主要从事燃烧基础和应用研究。

进行了探讨。结果表明,采用低压多级雾化喷嘴对水煤浆进行雾化,形成的雾炬和偏置射流预燃室的流场有良好的匹配,在预燃室内形成大尺度的回流区,有利于水煤浆的点火、稳燃和消除灰渣。

2 偏置射流预燃室流场分析

图1为偏置射流预燃室结构和流场示意图。水煤浆雾炬和周围的一次风组成主射流,以一定角度射入预燃室。主射流的气体部分得到底吹射流的引射,流动向下壁面偏转。这样导致了预燃室上部压力降低,由下游高温烟气进行补充。燃料液滴由于惯性,继续向前上方运动,暴露于高温烟气中,继而得到加热、裂解及挥发份着火。

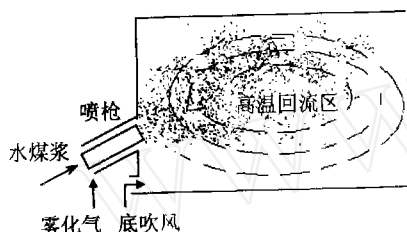


图1 偏置射流预燃室示意图

采用数值计算的方法对偏置射流预燃室的冷态流场进行了分析。计算中,气相流场采用 $k-\epsilon$ 模型,液滴相采用颗粒拟流体模型。在以下的计算结果中统一给出气相流场和燃料浓度。用箭头的大小和方向分别表示气相或燃料流动速度的大小和方向;用等值线来表征燃料的浓度,等值线的标度为当地浓度占喷嘴出口浓度的百分比。计算结果中, θ 为一次风主射流与预燃室中心轴线的夹角(上倾角), U 为主射流速度, V 为底吹风速度。

2.1 底吹射流对流场的影响

偏置射流和底吹射流的组合方案基本上可以在预燃室内形成较大的回流区。在没有底吹风的情况

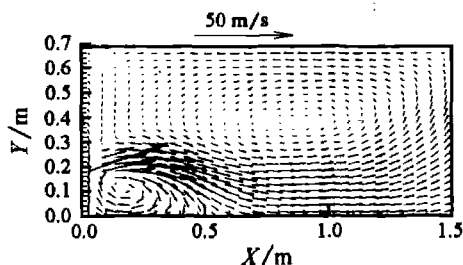


图2 气相回流流场
($\theta=36^\circ, V=0 \text{ m/s}, U=50 \text{ m/s}$)

下,主射流由于根部位于燃烧器轴线以下,容易产生附壁效应,偏向预燃室下壁面(图2)。在工业应用现场,由于主射流的速度主要由雾化空气控制,不便于调整。对流场和燃烧的控制主要通过底吹射流速度的调节来实现。当底吹射流速度增大到一定程度,使得不仅主射流中的气相流动偏向下壁面,而且使整个液雾的流动也向下壁面偏转(图3),就不能使燃料液滴暴露于高温烟气中,造成点火和稳燃的失败。

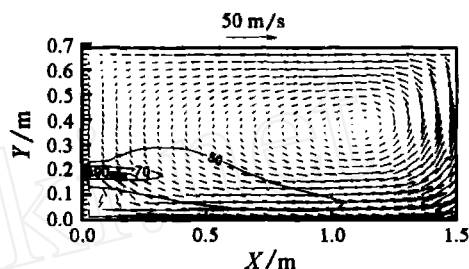


图3 气相流场和燃料相浓度场
($\theta=12^\circ, V=60 \text{ m/s}, U=25 \text{ m/s}$)

2.2 偏置角度对流场的影响

底吹射流对回流区形成的影响随着主射流速度和上倾角的变化而变化,在底吹射流对主射流引射的同时,自身也受到主射流的引射。计算结果表明,在较大的主射流速度和上倾角的情况下,底吹风会与下壁面分离,造成回流流场的破坏。如图4所示,在 36° 的偏置角以及两股射流之间很大的速度差使得底吹射流从根部就发生了壁面分离,受主射流的引射而冲向上壁面。另一方面,预燃室由于空间狭小,需要注意水煤浆燃料的磨损、结块和结渣。因此,水煤浆射流的上倾角具有至关重要的影响。工业上用的预燃室上倾角为 12° ,计算结果表明,在主射流速度小于 75 m/s 的范围内,燃料基本上保证从预燃室出口的中部流出,有效避免在预燃室壁面造成结块和磨损。

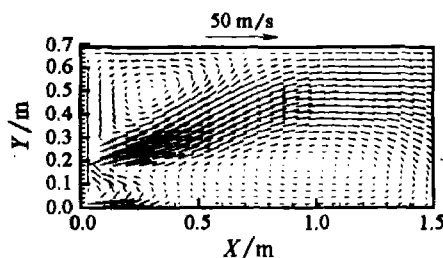


图4 预燃室气相流场
($\theta=36^\circ, V=20 \text{ m/s}, U=75 \text{ m/s}$)

2.3 预燃室工况的优选

水煤浆在燃烧之前须进行雾化。采用的喷嘴为低压多级气动喷嘴(图5)。采用水煤浆直流通道的思路,极大地解决了水煤浆的堵塞和磨损问题。喷嘴结构简单,加工方便,成本低廉。喷嘴的优异性能已经在大量的工程应用中得到验证^[1,2]。

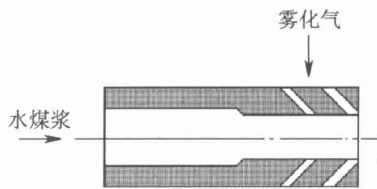


图5 多级气动喷嘴示意图

根据LDA初步测试结果,多级气动喷嘴出口速度在75 m/s左右。计算结果表明,采用12°的上倾角比较合适,这也是工业应用中水煤浆偏置射流预燃室一直采用的结构参数。在水煤浆的工程应用现场,由于条件限制,底吹风一般由锅炉原有的供风系统供给,速度约为20 m/s左右。因此,在燃烧现场底吹射流的调节范围限制在0~20 m/s之间。即使如此,预燃室仍然表现出了很好的稳燃特性和对劣质燃料的适应性(图6)。但是,较好的工况发生在更大的底吹风工况下。随着底吹射流速度的继续

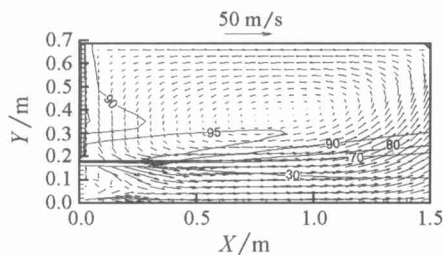


图6 气相流场和燃料浓度场
($\theta = 12^\circ$, $V = 20$ m/s, $U = 75$ m/s)

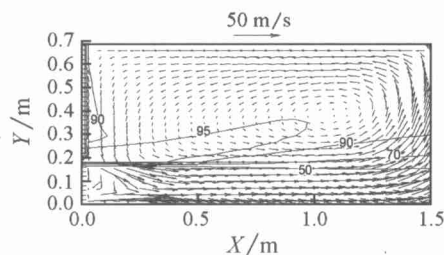


图7 气相流场和燃料浓度场
($\theta = 12^\circ$, $V = 80$ m/s, $U = 75$ m/s)

增加,燃料的最大浓度区域逐渐扩大,当增加到80 m/s时,燃料在预燃室上部的扩散较好,从而保证液滴在预燃室内有较长的停留时间,有利于水煤浆燃料的稳燃。因此,对于多级气动喷嘴的出口雾炬,较好的情况为上倾角为12°,底吹射流速度为80 m/s,流动形态如图7所示。

3 用于处理造纸黑液的研究

造纸工业是国民经济许多部门配套必用的重要原材料工业。我国造纸工业的原料,非木材植物纤维(统称草类)占的比重较大,木材占的比重较小。有许多生产碱法草浆的中小型造纸厂没有配备碱回收系统。黑液废弃物的直接排放,不仅浪费了资源,而且严重污染了环境。

水煤浆制浆和燃烧技术的发展为麦草浆碱法造纸黑液的处理提供了新思路。直接采用提取黑液,与煤粒及添加剂混合制成黑液煤浆,送至炉前进行燃烧。中国科学院力学研究所在宁夏中卫美利纸业股份有限公司进行了黑液煤浆的燃烧试验,取得了测试数据并积累了操作经验。

试验在在6.5 t/h链条锅炉上进行。试验中,采用了低压多级雾化技术,水煤浆偏置射流预燃室技术以及黑液煤浆和炉排混烧方案。对黑液燃烧产物如烟、烟尘及灰渣进行了成分测试,对锅炉混烧水煤浆前后的效率进行了分析比较。结果表明:(1)黑液煤浆与层燃煤混烧的热效率(正平衡)为66.36%,比单烧炉排时的热效率63.31%高3%;(2)满足以下条件的黑液煤浆可以实现稳定燃烧:总固形物浓度>50%;含煤量大于44%;粘度小于2000 mPa·s(NDJ-1型圆盘粘度计,三号转子,30转/分钟);(3)烟气排放低于国家标准。

测试了预燃室两个水平直径上的温度分布(见图8,热电偶位置见图9)。A点所对应的预燃室中心在黑液煤浆雾化炬的上缘,B点所对应的预燃室中心为黑液煤浆雾化炬的中央。由于水分蒸发吸热,

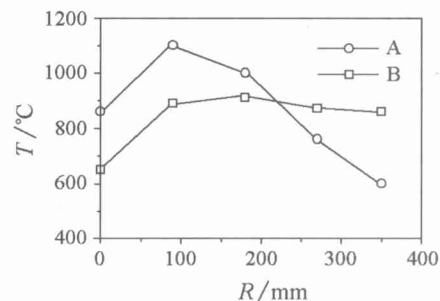


图8 温度测量结果

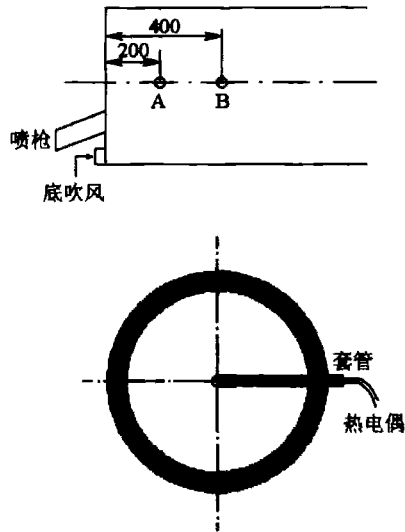


图9 热电偶测量位置示意图

雾炬所在区域温度明显降低, 因此两条曲线都呈鞍形。所测直径上最高温度与文献 [3] 中煤粉偏置射流预燃室相应位置的温度相比要低 100°C 以上。峰值温度的降低对于抑制热力 NO 的产生有相当的作用, 另外, 水分蒸发使浆滴的着火比煤粉有一定的延迟, 相当于减少了燃料在高温区的停留时间, 同样控制热力 NO 的产生。在黑液煤浆能稳定燃烧的

工况范围内测试到的 NO 含量在 100 mg/m^3 以下。

4 结 论

(1) 采用低压多级喷嘴可以对水煤浆进行成功的雾化, 表现在气耗率低、不堵塞、磨损率小。

(2) 低压多级喷嘴雾炬与偏置射流预燃室流场有良好的匹配, 对水煤浆这种难燃燃料有很好的稳燃性能, 对浆种的适应性强。

(3) 黑液煤浆与层燃煤混烧提高了锅炉效率并降低了污染。水煤浆燃烧技术在该领域的成功应用为造纸黑液的处理提供了新的思路。

参 考 文 献

- [1] Chen Lifang, Zhan Huanqing, Sun Wenchao. Experimental Study on Combustion Technology for High-ash Coal-sludge/Water Slurry. In: Proceedings of 2nd Asian-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. Beijing, China, 1993. 488-497
- [2] Chen Lifang, Zhan Huanqing, Sun Wenchao, et al. Experimental Study of Combustion of Shen-Mu CWS. In: Proceedings of the 18th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems. U.S.A., 1993. 651-658
- [3] 秦峰. 偏置射流煤粉预燃室生成规律的实验研究与分析. [硕士论文]. 北京: 中国科学院力学研究所, 1991