

水煤浆多级气动喷嘴的喷雾特性研究

原 鲲¹ 陈丽芳² 吴承康²

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

摘 要 本文研究了一种多级气动喷嘴对水煤浆燃料的喷雾特性。采用实验的方法研究了水煤浆性质(动态表面张力和表观粘度)、喷嘴操作工况和喷嘴几何结构对射流雾化细度的影响,给出喷嘴雾炬轴向粒度分布,并对相关结果进行了分析。

关键词 水煤浆; 雾化; 气动喷嘴

中图分类号: TK16 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2002)Suppl.-0209-04

STUDY ON SPRAY CHARACTERISTICS OF A MULTI-STAGE AIRBLAST NOZZLE FOR COAL-WATER SLURRY

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 Spray characteristics of a multi-stage airblast nozzle designed for Coal-Water Slurry (CWS) were studied in this paper. Factors affecting the atomizing performance were studied experimentally, including properties of CWS in terms of apparent viscosity and dynamic surface tension, operating conditions and geometric structure of the nozzle. Measured axial distribution of droplet mean diameter was presented as well.

Key words coal-water slurry; CWS; atomization; airblast nozzle

1 前 言

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,水煤浆具有和煤粉相当的燃烧效率,较低的污染物排放和清洁输运特性。作为经济型清洁燃料,水煤浆一出现就得到我国有关政府部门和科研机构的高度重视,经过近二十年的发展,现已达到工业应用水平。

水煤浆在燃烧之前须进行雾化。水煤浆雾化为细小液滴后,表面积得到极大提高,利于提高燃烧时热和质的交换速率,加快燃烧过程,提高燃烧效率,增进燃烧稳定性。然而,水煤浆的特殊性质和物理组成给自身的雾化带来了难题,表现在:(1)水煤浆是高浓度的煤粒悬浮体,在传统的燃油喷嘴中容易发生堵塞和磨损;(2)水煤浆为非牛顿流体,

其流变学特性多种多样,而且都具有很高的表观粘度;(3)水煤浆的热值相对于燃油要低得多,要取代油进行燃烧,需要有较大的燃料流量。

水煤浆燃料和燃油最大区别在于它是高浓度颗粒悬浮体,容易对喷嘴造成磨损和堵塞。水煤浆发展早期直接对燃油喷嘴进行改造应用于水煤浆的雾化。为了防止喷嘴磨损,采用硬质材料对喷嘴易磨损部位进行填充或表面喷涂;为了防止水煤浆阻塞,对燃油喷嘴的燃料通道简单地增大。前一种处理方法直接提高了喷嘴的成本,后一种处理方法则降低了喷嘴的雾化质量。

多级气动喷嘴(图1)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。由于喷嘴中水煤浆管道为直流,能够在管道中流动的水煤浆都可以在没有任何固形物阻挡的情况下流过雾化区,成为液雾两相流动。另外,由于水煤浆的加速是在气流的作用下进行,水煤浆液滴又没有与喷嘴

收稿日期: 2002-01-15; 修订日期: 2002-04-18

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。

壁面直接高速碰撞的可能,喷嘴的磨损很小。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]。

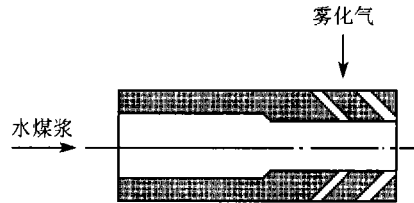
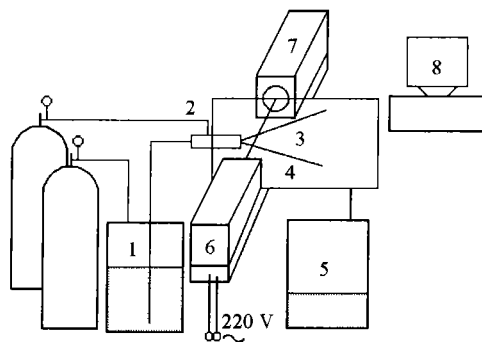


图1 多级气动喷嘴示意图

本文采用实验的方法研究了多级气动喷嘴对水煤浆燃料的雾化特性。内容包括水煤浆性质(动态表面张力和表观粘度)、喷嘴操作工况和喷嘴几何结构对射流雾化细度的影响,并给出喷嘴雾炬轴向粒度分布。采用数值计算的方法研究了喷嘴出口附近的气相流场和液相浓度场,并针对相关结果进行了分析。

2 实验系统

水煤浆雾化系统见图2。储浆罐里的水煤浆在压力作用下进入喷嘴。雾化在雾化室中完成,雾化室两侧开有窗口,便于雾化测量。



1.CWS 储罐 2. 喷嘴 3. 雾炬 4. 雾化室 5.CWS 回收罐
6. 激光发生器 7. 检测及数据转换 8. 计算机

图2 水煤浆雾化及测量系统

用 Malvern 粒度分析仪对水煤浆雾化粒度进行了测量。该仪器采用激光散射原理对测量光路上的液滴进行测量分析。测量光束与喷嘴的主轴垂直布置,如无特殊说明,测量光束的中心距喷嘴出口为150 mm 并与主轴相交。测量雾炬轴向粒度分布时,光束沿着喷嘴轴线移动,始终与喷嘴主轴相交。

实验中采用了三种水煤浆作为工质进行测试,情况见表1。

表1 三种水煤浆进行工质测试结果

序号	种类	浓度	表面活性剂	提供单位
1	水煤浆	58.7%	浓度较高	中国矿业大学
2	水煤浆	57.8%	浓度适中	中国矿业大学
3	煤泥浆	58.7%	无	山西安太堡矿

水煤浆的表观粘度由 NXS-11 旋转粘度计测定,流变特性见图3。

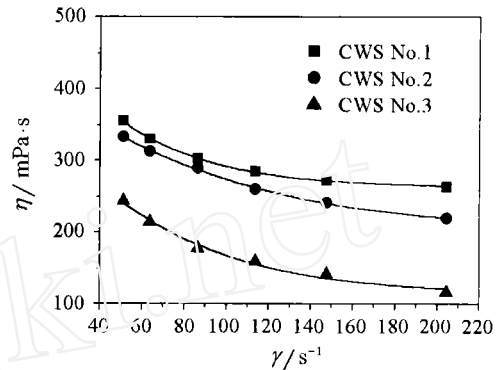


图3 水煤浆表观粘度

采用最大气泡压力法来测定动态表面张力^[3]。水煤浆为高浓度的固液悬浮体,其动态表面张力随表面延伸率的提高而增大。这是由水煤浆中的表面活性剂(或具有表面活性的杂质)在相界面的扩散决定的。气泡生成率较低时,相界面扩展速度缓慢,表面活性物质有足够的时间扩散到相界面上,表面张力升高。添加一定量的表面活性剂(合成洗涤剂)使浆的动态表面张力明显下降。三种浆的动态表面张力随表面延伸率的变化见图4。3号浆由干燥的煤泥直接掺水制备,没有任何添加剂,在三种浆中具有最大的表面张力。

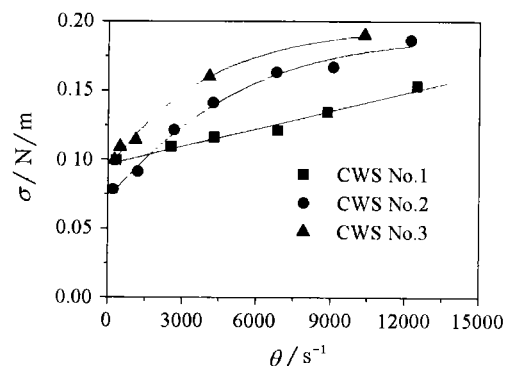


图4 水煤浆动态表面张力

3 实验结果及分析

3.1 水煤浆性质对雾化细度的影响

图5给出多级气动雾化喷嘴对三种水煤浆的雾

化特性。图中横坐标为气浆质量流量比 (air-to-fuel ratio), 纵坐标为雾化液滴的 Sauter 平均直径 D_{32} 。 D_{32} 越小, 雾化质量越好。结合图 4 水煤浆表观粘度和图 5 动态表面张力的测量结果可见, 该喷嘴针对水煤浆的雾化效果与水煤浆的表观粘度具有相当的关联, 表观粘度最大的 1 号浆雾化平均粒度最大, 表观粘度最小的 3 号浆雾化效果最好。在整个的气动雾化过程中, 粘度始终对液滴的形成和破碎起主要的阻碍作用, 因而粘度越大, 雾化效果越差; 表面张力则不然, 在最初不稳定波兴起阶段, 表面张力会起到一定的阻碍作用, 但是当液体的变形超过一定限度以至于破碎成小液滴会减小整个表面积的时候, 表面张力则成为雾化的驱动力。因此, 从宏观的角度来看, 表面张力对雾化效果没有明显的影响是合理的。

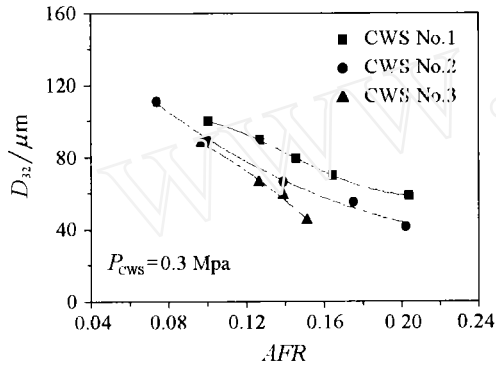


图 5 水煤浆性质对雾化细度的影响

3.2 操作工况对雾化细度的影响

图 6 给出了水煤浆储罐压力分别为 0.2 MPa、0.3 MPa 和 0.4 MPa 时的雾化粒度随气浆比的影响。在每一个压力下, 随着气浆比的增加, 雾化粒度都呈下降趋势。另外, 随着浆压的升高, 雾化粒度和气浆比的关系曲线下降斜率增大, 表明在保证相同的气浆比条件下, 提高浆压能够提高喷嘴雾化细度。这样的测量结果可解释如下: 提高浆压也提高了浆流量, 要在提高浆压的同时保证相同的气浆比, 就必须提高气压及气流量, 从而气流在与浆流接触时有更高的速度, 有利于雾化粒度的降低。

3.3 喷嘴结构对雾化细度的影响

图 7 给出了多级气动喷嘴的雾化性能与只用单级进行雾化的比较。多级雾化喷嘴的工作原理在于: 第一级气流先破坏水煤浆的管道连续流动, 在靠近喷嘴出口处形成气液两相流动, 另外, 气流带来的较强的剪切力使水煤浆粘度降低; 第二级气流完成初始液滴的二次雾化并形成满足燃烧系统要求的雾化

炬流场。根据不同燃烧系统的要求, 可以改变两级气流的切向角和径向角, 从而对雾化角和雾炬流场进行调整。从图中可见, 单纯从雾化粒度的角度, 只用任何一级气流, 都比多级雾化的效果有明显的差距。

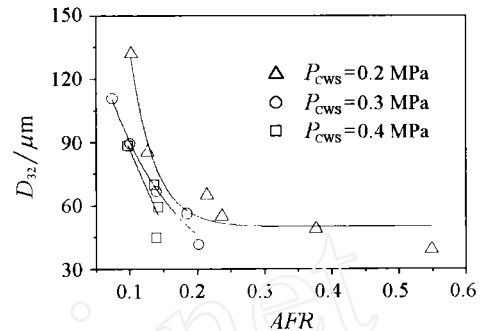


图 6 操作工况对雾化细度的影响

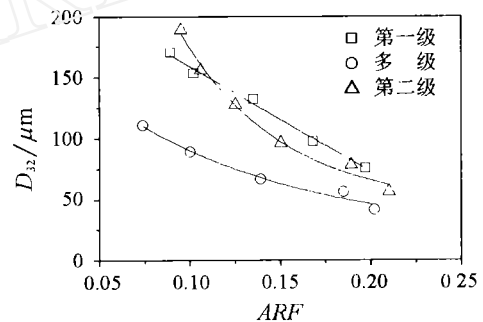


图 7 喷嘴结构对雾化细度的影响

3.4 喷嘴雾炬轴向粒度分布

图 8 给出了不同水煤浆压力下的典型雾炬轴向粒度分布, 图中 X 表示轴线方向上测点距离喷嘴出口的位置。在喷嘴出口附近的两相流动中, 两种影响雾炬粒度的因素同时存在。一种为二次雾化, 由于两相之间存在速度差, 雾炬中大液滴容易在气流的剪切作用下失稳而破碎, 使得宏观上平均粒度降低。另外一种为液滴的合并, 浓相液雾中小液滴在湍流的作用下由于碰撞冲破表面张力的阻碍而合并为大液滴, 使得宏观上平均粒度升高。从图中可以看出, 当浆压处于比较低的水平 ($P_{CWS} = 0.2, 0.3$ MPa) 时, 喷嘴出口由于液滴浓度较低, 二次雾化占据主导地位, 雾炬平均粒度随液滴向下游的流动而降低。浆压比较高时, 雾炬平均粒度则呈现上升趋势。

图 9 给出了喷嘴附近雾炬中两种相互作用的更详细的显示。图中不仅给出了 Sauter 平均直径沿轴线的分布, 更给出了 D_{90} 和 D_{10} 的分布。 D_{90} 的定义为: 小于 D_{90} 的液滴总质量占整个被检测到的液滴质量的 90%; D_{10} 的定义为: 小于 D_{10} 的液滴总

质量占整个被检测到的液滴质量的10%。由图中可见, D_{32} 延轴线的先降后升; D_{90} 单调下降, 表明大液滴正不断地破碎为小液滴; D_{10} 单调上升, 表明小液滴正不断地合并为大液滴。

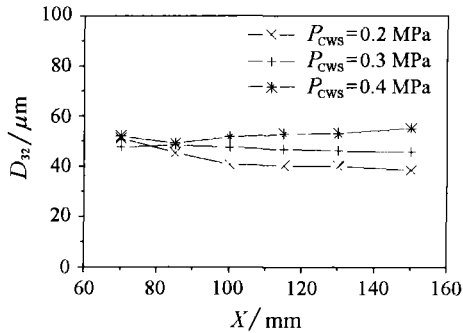


图8 雾炬轴向平均粒度分布

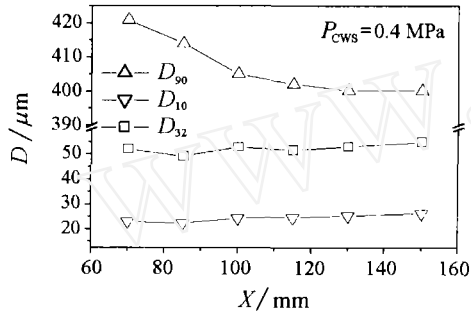


图9 雾炬轴向 D_{90} , D_{10} 和 D_{32} 分布

4 结 论

本文研究了多级气动喷嘴针对水煤浆燃料的雾化特性和流场特征。结果表明:

(1) 喷嘴雾化细度受水煤浆表观粘度影响较大。表观粘度越大, 雾化效果越差。本实验中, 没有发现表面张力对水煤浆气动雾化细度有明显影响。

(2) 保持气浆比不变, 增大水煤浆压力, 雾化效果可以得到改善。

(3) 喷嘴采用两级气流进行雾化, 可以有效地降低雾化粒度。

(4) 在喷嘴出口下游区域, 雾滴的破碎和合并同时进行, 使雾滴的平均粒度沿轴向发生变化。

参 考 文 献

- [1] Chen Lifang, Zhan Huanqing, Sun Wenchao. Experimental Study on Combustion Technology for High-Ash Coal-Sludge/Water Slurry. In: 2nd Asian-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. Beijing, 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. USA., 1993. 651-658
- [3] Ken D Kihm, Paul Deignan. Dynamic Surface Tension of Coal-Water Slurry Fuels. Fuel, 1995, 74(2): 295-300