

# 双流体气流式喷嘴加压雾化特性研究

岳朴杰,张忠孝,毕德贵,娄彤,周志豪,陈永权

(上海理工大学 能源与动力工程学院,上海 200093)

**摘要:**水煤浆入炉前的雾化对其稳定燃烧和气化发挥着重要作用。通过实验,研究了双流体气流式雾化喷嘴在加压条件下的雾化过程,使用LS-2000分体激光粒度分析仪测量了随着环境压力(雾化室压力)及气液比的不同其雾化角、索特平均直径的变化情况。结果表明:当气液比一定时,索特平均直径 $d_{32}$ 随着雾化室压力的增大而减小,雾化角随着环境压力的增加而减小,索特平均直径与环境压力的 $n$ 次幂成正比, $n$ 为 $-0.9 \sim -1.5$ ,当环境压力不变时,索特平均直径随着气液质量比的增大而减小。

**关键词:**加压环境;索特平均直径;气液质量比;雾化角

中图分类号:TK227

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2014)01-0074-04

## Twin fluid air-blast nozzle atomization characteristics under high ambient pressure

YUE Pujie, ZHANG Zhongxiao, BI Degui, LOU Tong, ZHOU Zhihao, CHEN Yongquan

(School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The coal water mixture atomization before firing plays an important part in its combustion and gasification. Through experiment, investigate the process of twin fluid air-blast nozzle atomization under high ambient pressure. The LS-2000 laser particle analyzer is used to measure the change of Sauter Mean Diameter ( $d_{32}$ ) and atomization angle with environmental stress and gas liquid mass ratio. The results show that,  $d_{32}$  and atomization angle decrease with environmental stress increase while keeping the gas liquid mass ratio unchanged. The  $d_{32}$  is proportional to the  $n$  power of environmental stress,  $n$  lines between  $-0.9$  and  $-1.5$ . The  $d_{32}$  decrease with gas liquid mass ratio increase under constant environmental stress.

**Key words:** pressurized environment; Sauter Mean Diameter; gas liquid mass ratio; atomization angle

## 0 引言

工程中为了提高水煤浆燃烧或气化时的交换效率,提高过程的稳定性及整体利用效率,需要重视入炉前的喷嘴雾化。气流式喷嘴在液体燃料的燃烧与气化、干燥、粉末冶金等领域应用十分广

泛<sup>[1-3]</sup>。气体雾化喷嘴雾化产生的液滴大小有多种表达方式,最普遍的为采用索特平均直径 $d_{32}$ 表征其大小。气体雾化喷嘴结构简单,操作、调节、维修方便,在一定条件下,能够雾化高黏度物料,因而在液体燃料的燃烧与气化过程中具有十分重要的意义<sup>[4-6]</sup>。

收稿日期:2013-11-29 责任编辑:宫在芹

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA051101)

作者简介:岳朴杰(1988—),男,河南开封人,硕士研究生,研究方向为喷嘴雾化。E-mail:yuepujie2011@163.com

## 1 环境压力的研究进展

影响索特平均直径  $d_{32}$  的因素包括雾化液体的物性参数(黏度、密度、表面张力等)和实验工况(流量、密度、流速,喷嘴结构,环境压力等)。环境压力一般指外部条件。国内外很多学者曾对气液质量比、气流速度等参数进行研究,提出了对  $d_{32}$  有影响的经验公式并从理论上进行了大量分析<sup>[7-9]</sup>,但鲜有研究雾化室压力对气流式雾化过程的影响。

Rizkalla 等<sup>[10]</sup>研究气流密度在预膜喷嘴气流式雾化过程中对  $d_{32}$  的影响时,保持液体流量和气流速度不变,改变环境压力,得出环境压力与  $d_{32}$  之间关系式为

$$d_{32} \propto p^{-1} \quad (1)$$

式中,  $p$  为雾化室压力, Pa。

Jasuja<sup>[11]</sup>和 Eshanaw any 等<sup>[12]</sup>研究了雾化室压力对  $d_{32}$  的影响,在相同的实验条件下得出式(1)的压力指数为  $-0.4 \sim -1.0$ 。

目前,雾化室压力对  $d_{32}$  的影响,业界还未达成共识。由于雾化过程的复杂性和喷嘴结构的多样性,理论方法很难完全分析雾化过程,一般会根据实验来验证。本文以双流体气流雾化喷嘴为对象,研究了气液比不变和变化的条件下,不同雾化室压力对  $d_{32}$  及雾化角的影响。

## 2 实验

### 2.1 实验装置

实验装置主要由供气、供液、雾化室、测量四部分组成,其中气体由空压机提供。液体由叶片泵提供。雾化室包括喷嘴、观察室,测量部分为 LS-2000 分体激光粒度分析仪。实验喷嘴采用不锈钢材质加工而成,图 1 为双通道喷嘴结构示意图。

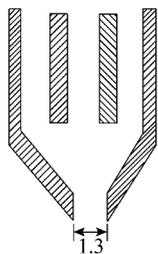


图1 双通道喷嘴结构示意图

图2为雾化装置系统流程。其中主要设备是耐压雾化装置,设计压力为0.8 MPa,雾化室腔体直径为300 mm、高度为700 mm。雾化室内压力由精密

压力表显示。雾化室两侧装有耐压石英玻璃透镜以便于激光透过雾化室采样。透镜部分突出雾化室主体150 mm,伸长部分采用倾斜延长,防止雾化室透镜上沾有雾化液滴,确保激光测粒仪测试所需的透光性。装置下部设有调节阀,作为排水出口和调节雾化室内部压力。实验中,压缩空气通过流量计进喷嘴入气侧入口,水通过液压泵进入喷嘴液侧入口。

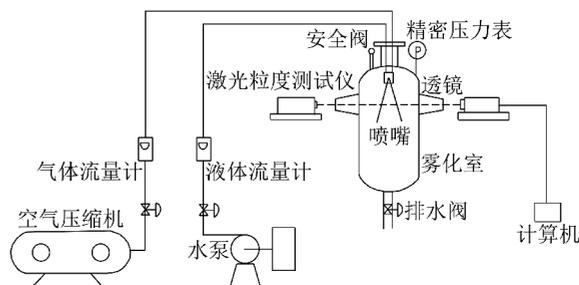


图2 雾化装置系统流程

### 2.2 实验原理

实验采用空气为雾化介质,对液体水进行雾化。将不同工况下的空气流量转化为标准状况下的流量,通过固定操作条件(环境压力、气液质量比)中一个而改变另一个条件进行测量。环境压力为0~0.4 MPa,气体流量为0~6 m<sup>3</sup>/h;水流量为0~60 L/h(压力为绝对压力),实验过程中通过固定液体流量,改变气体流量来改变其气液比,通过空压机改变其环境压力。LS-2000分体式激光喷雾粒度分析仪能测量0~100 μm颗粒粒径,测量结果由计算机自行处理,得到液滴雾化平均粒径,每个实验工况重复测试10次,最后取其平均值。

对于雾化粒径的影响因素,不少学者进行了理论推导,Zheng 等<sup>[13]</sup>在研究逆向旋流预膜喷嘴在高压下雾化射流的结构时,认为对雾化角有较大影响的因素是环境压力,而环境压力对整体平均粒径的影响不大,并得出

$$d_{32} = 48p^{-0.05} (1 + R_{AF}^{-1})^{0.5} \quad (2)$$

式中,  $p$  为雾化室压力, Pa;  $R_{AF}$  为气液比,无量纲。

Simmons<sup>[14]</sup>提出的雾化特性方程对于加压雾化喷嘴和气流雾化喷嘴较为合适

$$SMD = C \left( \frac{\rho_L^{0.25} + u_L^{0.06} + \sigma^{0.375}}{\rho_A^{0.375}} \right) \left( \frac{M_L}{M_L U_L + M_A U_A} \right) \quad (3)$$

式中,  $\rho_L$  为液体密度, kg/m<sup>3</sup>;  $u_L$  为液体黏度, Pa·s;  $\sigma$  液体表面张力系数, N/M;  $\rho_A$  为气体密度, kg/m<sup>3</sup>;  $M_L$  为液体质量流量, kg/h;  $M_A$  为气体质量流量,

kg/h;  $U_L$  液体流速, m/s;  $U_A$  为气体流速, m/s。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 气液质量比对 $d_{32}$ 的影响

气液质量比是气流式雾化喷嘴中影响  $d_{32}$  的主要因素, 很多学者都有大量的研究<sup>[15-18]</sup>, 但只在常压下进行讨论。本文主要研究雾化室加压工况下, 气液质量比变化对  $d_{32}$  的影响, 并与常压工况下结果对比, 为研究气流式雾化喷嘴性能提供依据。

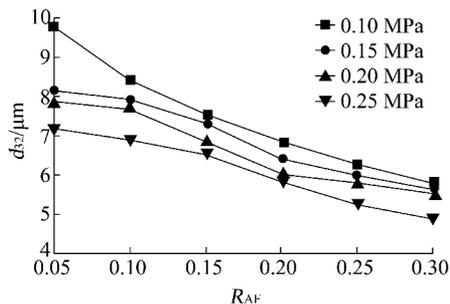


图3 气液质量比对  $d_{32}$  影响

由图3可知, 不同环境压力下, 随着气液质量比的增加其雾化粒径逐渐减小, 气耗率对雾化效果具有较明显的影响。在环境压力一定的情况下, 式(3)中, 气体流量的增加, 即 MAUA 增加而其他参数不变, 故 SMD 减小, 与所得结论结果一致。实验结果还表明, 在低环境压力下, 雾化粒径随着气耗率的增加其衰减速度比高环境压力下更快。这是因为环境压力越高, 气流密度越大, 气液交界面处气液两相扰动就越强烈, 气量增加所产生的影响与此时扰动产生的影响就相对较小, 因此环境压力越高, 气耗率变化对雾化粒度的影响越小。

#### 3.2 环境压力对 $d_{32}$ 的影响

由于实验安全阀设置为 0.4 MPa, 故实验主要测量压力为 0~0.4 MPa 时对  $d_{32}$  的影响。图4为环境压力对  $d_{32}$  的影响。

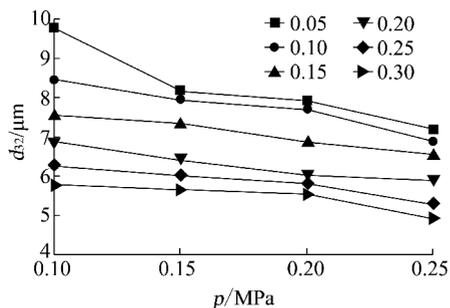


图4 环境压力对  $d_{32}$  的影响

由图4可以看出, 当保持同一气液质量比时,  $d_{32}$  随环境压力的升高而减小。在雾化过程中, 根据不稳定波理论, 液滴直径随着  $We$  数增加而减小,  $We$  数描述了气动力和液体表面张力的比值<sup>[19]</sup>, 其中  $We$  数定义为

$$We = \rho_A (U_A - U_L)^2 D / \sigma \quad (4)$$

式中,  $\rho_A$  为气体密度, kg/m<sup>3</sup>;  $U_A, U_L$  分别为气、液流速, m/s;  $\sigma$  为液体表面张力系数, N/M;  $D$  一般取液相通道出口直径, m。气液比保持不变时, 随着环境压力的增加, 气体密度增加, 即  $\rho_A$  变大, 而  $U_A - U_L, D, \sigma$  不变, 因此  $We$  变大, 其索特平均直径变小。上述结论很好地印证了不稳定波理论现象, 与 Zheng 等<sup>[13]</sup> 的结论也较为符合。通过拟合气液质量比(0.05~0.30), 总结了  $d_{32}$  随环境压力的变化情况为

$$d_{32} \propto p^n \quad (5)$$

式中,  $n$  为 -0.9~-1.5。

#### 3.3 气液质量比对雾化角的影响

图5为气液质量比对雾化角的影响。由图5可以看出, 在相同环境压力条件下, 雾化角随气液比的增加而增大; 在相同的气液比条件下, 随着压力的增加雾化角减小。这是因为液体从出口喷出后会形成一个锥形薄膜, 在薄膜内部区域空间会形成带有旋流的回流区, 在该回流区内形成一个较低静压流场, 由于喷雾场外部压力增加使其向区域内部压缩, 导致喷雾锥角变小, 雾化区域增长。

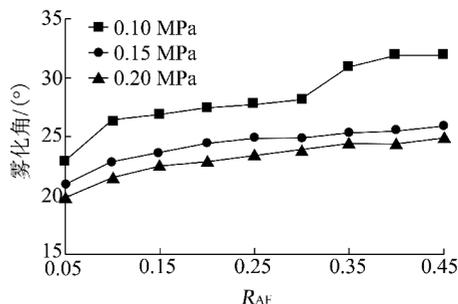


图5 气液质量比对雾化角的影响

### 4 结 语

通过对双流体气流式雾化喷嘴在加压条件下的实验研究, 总结得出了该类型喷嘴在改变工况条件下颗粒粒径的变化情况。分析发现该类型喷嘴在环境压力相同的情况下, 其  $d_{32}$  随着气液质量比增加而减小, 雾化角随着气液质量比的增大而增大。

保持气液质量比不变的条件下, $d_{32}$ 、雾化角随着雾化室压力的增加而减小,这与其它气流式雾化喷嘴结论相符合对于研究气流式雾化喷嘴在加压条件下的变化规律具有指导性意义。

#### 参考文献:

- [1] 侯凌云,候晓春. 喷嘴技术手册[M]. 2版. 北京:中国石化出版社,2002:1-34.
- [2] 李清廉,田福章,周进,等. 新型三组元喷嘴雾化特性研究[J]. 工程热物理学报,2002,23(5):654-656.
- [3] 陈斌,郭烈锦,张西民,等. 喷嘴雾化特性实验研究[J]. 工程热物理学报,2001,22(2):237-240.
- [4] Zhou Weixing,Zhao Tiejun,Wu Tao. Application of fractal geometry to atomization process[J]. Chemical Engineering Journal,2000,78(2):193-197.
- [5] Lefebvre A H. Atomization and Sprays[M]. New York: Hemisphere Publishing Corporation,1989:1-6.
- [6] 虞子云. 气流喷嘴物化性能研究[J]. 林产化学与工业,1992,12(2):113-119.
- [7] 王少云,杨永喆,李伟锋,等. 三通道气流式喷嘴的雾化性能[J]. 华东理工大学学报,2003,29(6):595-598.
- [8] Shen Jiahua,Li Xianguo. Breakup of annual viscous liquid jets in two gas streams[J]. Journal of Propulsion and Power,1996,12(4):752-759.
- [9] Rizk N K,Lefebvre A H. Spray characteristics of plain-jet air-blast atomizers[J]. Trans ASME J Eng Gas Turbines Power,1984,106(3):634-638.
- [10] Rizkalla A A,Lefebvre A H. The influence of air and liquid properties on air-blast atomization[J]. Journal of Fluids Engineering,1975,97(3):316-320.
- [11] Jasuja A K. Air blast atomization of alternative liquid petroleum fuels under high ambient air pressure conditions[J]. ASME Journal of Engineering for Power,1984,103(3):514-518.
- [12] EShanaw any M S,Lefebvre A H. Airblast atomization of the effects of linear scale on mean drop size[J]. Energy,1980,4(4):184-189.
- [13] Zheng Q P,Jasuja A K,Lefebvre A H. Structure of air-blast sprays under high ambient pressure conditions[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,1997,119(3):512-518.
- [14] Simmons H C. The prediction of Sauter mean diameter for gas turbine fuel nozzles of different types[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,Transactions ASME,1980,102(3):646-652.
- [15] 阎红,梁允成,王喜忠. 气流式喷嘴雾化性能的研究[J]. 化学工程,1991,19(3):73-77.
- [16] 李冬青. 气力式喷嘴雾化过程的实验研究与数值模拟[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [17] 姚悦. 高粘度流体气力式雾化机理及实验研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [18] 安辉. 内混式双流体渣油雾化喷嘴的实验研究[D]. 大连:大连理工大学,2003.
- [19] 崔彦栋,黄镇宇,姚悦,等. 两通道气力式喷嘴雾化特性的研究[J]. 电站系统工程,2006,22(5):8-11.

#### (上接第17页)

- [3] 王凤兰. 重介质选煤在七台河选煤厂的应用[J]. 煤,2008,17(2):78-79.
- [4] 张瑞文,张信龙,王成江,等. 霍尔辛赫选煤厂选煤工艺设计[J]. 洁净煤技术,2013,19(4):4-7.
- [5] 兰存良,郭学亮. 无压三产品重介质旋流器在任家庄选煤厂的应用[J]. 煤炭技术,2011,30(1):117-119.
- [6] 杨胜林,王朝阳,李春生,等. 三产品重介质旋流器应用的探讨[J]. 煤炭加工与综合利用,2008(4):17-20.
- [7] 刘文礼,张瑞文,赵银荣,等. 干扰床分选机对粗煤泥的分选试验研究[J]. 矿业工程研究,2010,25(1):9-11.
- [8] 张信龙,庞鼎峰,侯晋兵,等. 长平矿选煤厂的设计特点[J]. 洁净煤技术,2013,19(1):16-20.
- [9] 李占平,孙剑峰. 3GDMC1200/850A型重介质旋流器在岳朴杰等:双流体气流式喷嘴加压雾化特性研究
- 望峰岗选煤厂的应用[J]. 煤炭技术,2003,22(11):68-70.
- [10] 余晖,石新. 淮南矿业集团选煤厂重介选煤新工艺改造的创新[J]. 煤质技术,2006(4):30-32.
- [11] 李志勇,叶鹤,徐胜. 预先脱泥无压给料重介质旋流器高效分选新工艺[J]. 煤炭加工与综合利用,2008(5):1-3.
- [12] 陈树祥,杨连云. 选煤厂降低介耗整改措施探索——以河南煤化焦煤公司新桥煤矿选煤厂为例[J]. 技术与市场,2010,17(1):15.
- [13] 朱海龙,李先芳. TBS在选煤中的应用研究[J]. 机电产品开发与创新,2011,24(3):75-76.
- [14] 卢栓盛,郭彦. 改造选煤工艺适应市场需求[J]. 煤质技术,1999(1):23-24.