

小流量气泡雾化喷嘴试验研究

陈振东, 陈晓平

(东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

摘 要:设计了一个 1.2 kg/h 的小流量气泡雾化喷嘴, 利用粒子动态分析仪 (PDA) 对喷嘴下游流场进行测量, 分析了液雾粒径和速度的分布规律及其相关因子, 考察了气液质量流量比、进气压力、混合室长度对雾化特性的影响。结果表明, 液雾粒径沿径向呈非轴对称分布, 轴线下方平均粒径大于上方平均粒径, 液滴粒径随轴向距离增加呈先减小后增大的趋势; 液雾轴向平均速度呈钟形分布, 喷嘴出口区域液滴轴向平均速度和均方根速度都比较大, 两者均值随轴向距离增加而逐渐减小。喷嘴出口区域, 液滴粒径与速度间负相关性很强, 随轴向距离的增加, 其相关性可以忽略。气液比增大液雾粒径减小; 在相同的气液质量流量比 (AIR) 下, 进气压力增大, 雾化效果变差; 混合室长度为其直径的 2.5 倍时, 雾化效果较好。

关键词: 喷嘴; 雾化; 气泡雾化; 雾化特性

中图分类号: TK229.5 文献标识码: A

引 言

液体雾化喷嘴在燃油燃烧、喷雾湿法脱硫等领域有着广泛的应用, 目前较常用的喷嘴主要有直流式喷嘴、离心式喷嘴、气动喷嘴和超声雾化喷嘴这几种^[1]。气泡雾化是 20 世纪 80 年代初由 Lefebvre^[2]提出的一种新型气动雾化方式, 该喷嘴具有低能耗、高雾化品质、雾化质量受液体黏度影响小等优点, 因此极其适用于重渣油等高粘度劣质燃油的雾化及燃烧。

气泡雾化机理是将压缩空气以一定的方式混合到液体中, 并使两者在喷嘴混合室内形成稳定的泡状两相流动, 气体在喷嘴出口处对液体的挤压作用使液体形成液线, 并且气泡因内外压力差的变化在出口处急剧膨胀直至爆炸, 将液线炸成更小的颗粒^[2]。气泡雾化不是通过克服液体的粘性, 而是通过克服液体的表面张力来达到雾化的目的。影响气泡雾化喷嘴的关键因素是能否形成均匀的泡状流,

而均匀泡状流的形成与喷嘴的结构形式、孔口尺寸、供气方式及操作参数有关。因此, 设计性能良好的喷嘴, 必须综合考虑上述因素的影响^[3]。

气泡雾化喷嘴在废水焚烧方面有广阔的应用前景。首先, 其雾化质量基本不受液体黏度的影响, 这对流变特性不可控制或者未知的废水雾化尤其重要; 其次, 雾化质量不受喷嘴直径的影响, 这就可以使用大直径的喷嘴, 降低了喷嘴堵塞趋势; 第三, 液体在混合室内的流动速度低, 大大降低了悬浮于液体中的颗粒引起的磨损问题。此外, 喷嘴出口区域湍流程度比较强, 提高气液两相混合, 有利于废水快速燃尽, 使得焚烧炉结构可以更加紧凑。

Petersen^[4]对小流量气泡雾化喷嘴进行试验研究, 结果表明: 喷嘴出口直径、聚合物溶液的黏度及表面张力对液雾粒径影响较大, 混合室长度的影响较小, 出口长径比、注气孔尺寸、混合室直径没有明显的影响^[4~5]。Rahman 和 Panchagnula^[6]等人研究表明, 液滴轴向速度随轴向距离增大而减小, 随 AIR 增大而增大^[6~7]。Ariyapad^[8]等人分析了液滴轴向速度和均方根速度的分布特性, 同时得到速度拟合曲线^[8]。刘连胜等人研究表明, 较小的混合室直径有利于泡状流的形成, 较小的气液压差的雾化效果较好, 喷嘴出口截面的大小对雾化质量影响较小^[9]。马培勇、梁雪萍等人认为, 混合室长度是影响雾化的关键因素, 混合段长度存在一最佳范围, 在此范围内, 喷嘴可获得最好的雾化效果^[10~11]。王乃华等人研究表明, 气液质量比和浓度是影响平均雾滴粒度的主要参数, 气液比增大, SMD 减小, 浓度增加, SMD 增大^[12]。尽管国内外学者对气泡雾化喷嘴进行了大量的研究, 然而流量仅为 1.2 kg/h 的小流量气泡雾化喷嘴的雾化特性在文献中还未见报道。

小流量喷嘴主要用作陶瓷窑、玻璃窑、燃气轮机以及其它燃烧设备的点火枪、值班火焰枪等, 其流量

收稿日期: 2009-11-29 修订日期: 2010-02-25

基金项目: 国家高技术研究发展 (863) 计划基金资助项目 (2009AA05Z311)

作者简介: 陈振东 (1985-), 男, 江苏盐城人, 东南大学硕士研究生。

范围一般在 10 kg/h 左右。在内燃机、燃气轮机和锅炉等燃油燃气设备上, 喷嘴性能的优劣直接影响着火点、燃烧效率、燃烧稳定性、温度分布以及排气污染等各方面的性能。

本研究设计了一个 1.2 kg/h 的小流量气泡雾化喷嘴, 对该气泡雾化喷嘴水平喷射时的雾化特性进行试验研究, 分析了液雾粒径和轴向平均速度的分布规律及其相关因子, 以及气液质量流量比 AIR 进气压力 P_1 、混合室长度 l 对雾化质量的影响。

1 喷嘴及试验装置

1.1 气泡雾化喷嘴结构

本研究在文献 [4-13] 气泡雾化喷嘴研究成果的基础上, 设计了一个喷嘴, 其结构如图 1 所示。该喷嘴由不锈钢加工而成。液体和雾化气在 $\phi 5 \text{ mm}$ 的混合室内混合, 液体通过与混合室同轴的细管注入混合室, 细管前端开一个 $\phi 0.5 \text{ mm}$ 的小孔, 雾化气垂直于混合室轴线方向供入, 并沿内外管之间的环形空隙流动。喷头顶端为一 $\phi 0.8 \text{ mm}$ 的圆形喷孔, 长度为 4 mm , 收敛角为 90° 。进液管端面与喷头顶端间的距离称为混合室长度, 试验过程中, 为便于调节混合室的长度, 进液管和外套管间采用卡套连接。

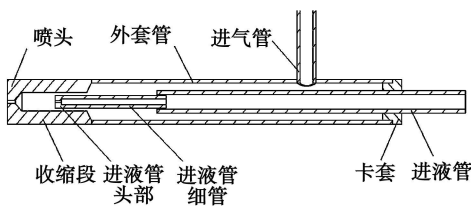


图 1 气泡雾化喷嘴结构示意图

1.2 试验设备

本试验系统流程如图 2 所示, 喷嘴采用水平喷射方式, 喷雾试验台由供气、供液、测量系统组成。实验在常温下进行, 以水作为液体工质, 高压氮气作为气体雾化介质。氮气瓶出来的高压氮气经减压阀降压后, 提供一定压力和流量的雾化介质; 水经过电磁计量泵和缓冲罐后, 一部分由液体回路装置返回贮液桶, 另一部分作为试验所需的雾化体; 两种流体在喷嘴混合室中充分混合后, 从喷口射入静止的大气环境中。试验过程中, 固定水流量为 20 mL/min 进气压力在 $0.1 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 范围内, 通过调节进气的压力和流量来改变 AIR 。

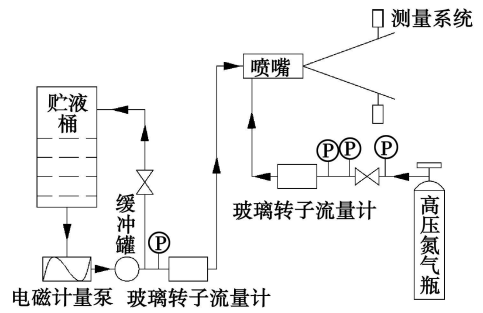


图 2 试验系统流程

1.3 测量设备

采用三维粒子动态分析仪 (3D-Dual PDA) 对喷嘴下游液雾索太尔平均粒径 (SMD) 和轴向平均速度进行测量, 粒径测量精度及速度测量精度均为 0.5% 。测试截面选在喷嘴出口下游 150 mm 处与喷嘴轴线方向垂直的横截面上, 测试点的选取如图 3 所示, 图中点 O 表示喷雾轴心位置; 箭头方向是测量过程中 PDA 的位移方向。沿 X 方向取 11 个点进行测量, 相邻两点间距离为 4 mm 。测量液雾沿轴向分布粒径特性时, 另取距喷口 50 、 100 和 200 mm 的 3 个截面。设定 PDA 测量终止条件是: 获得 20000 个有效粒子的信息者测量时间达到 20 s 。

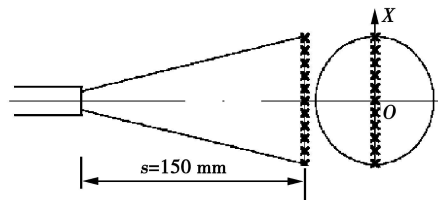


图 3 测点的选取

2 试验结果与分析

2.1 喷口下游液雾分布特性

2.1.1 液雾粒径分布特性

图 4 是液雾 SMD 分布曲线, 分析该曲线可以发现: (1) 液雾粒径沿径向分布是不对称的, X 负方向即喷口出口下方的平均粒径明显大于上方的平均粒径; (2) 随测试点距液雾轴心距离的增加, 粒径呈增加的趋势; (3) 液雾在向下游运动过程中, 向外围扩张, 分布区域变广, 液雾粒径沿轴向呈先减小后增大的变化趋势。随轴向距离从 50 mm 增加至 200 mm 液雾轴心平均 SMD 从 $64.6 \mu\text{m}$ 减小至 $51.1 \mu\text{m}$ 后, 又增加至 $72.1 \mu\text{m}$ 。

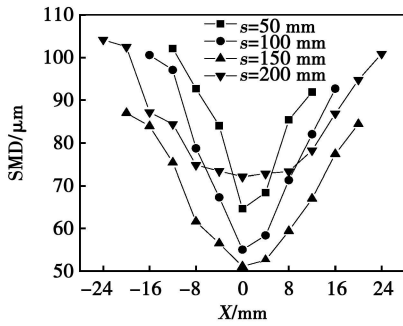


图 4 液滴 SMD 分布 (AIR=29.85%)

现象一主要是由喷嘴出口处两相流流型和颗粒本身的重力影响造成的。重力影响可以归结为两个方面, 首先其影响气、液两相流在混合室内的分布, 造成混合室上部气体相对较多, 从而使得喷口出口的上部雾化情况较好一些; 其次, 重力使得经喷嘴喷出后形成的粒子具有向下的分速度。两者共同造成喷嘴轴线下方的平均粒径比上方相对位置来得大一些。

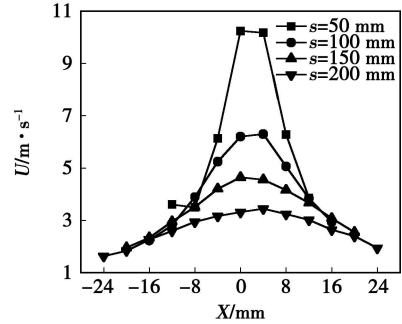
现象二是由于喷嘴出口后方气泡的破裂造成包围在其周围的液膜进一步破碎, 形成较大的颗粒, 在惯性力和表面张力的作用下, 具有较大的动量和较强的贯穿能力, 使之能够比小颗粒扩散的更快, 飞行的更远。另外, 液雾核内的强烈湍流扰动也是造成大颗粒扩散速度较快的原因之一。

现象三首先是二次雾化作用的结果, 液体颗粒离开喷嘴出口后, 液体颗粒内包含的大量微小气泡, 由于其内外压差的骤然变化, 会发生急剧的膨胀、破裂, 导致包裹在其周围的液膜进一步破碎, 从而造成液雾粒径的减小。此外, 高速射流与相对静止的大气环境间的相互作用也是其减小的另一个原因。然后, 随着轴向距离的进一步增加, 二次雾化作用减弱, 液雾粒径增大主要是由于颗粒之间的相互碰撞并粘结造成的。此外, 小液滴的蒸发也是其原因之一。

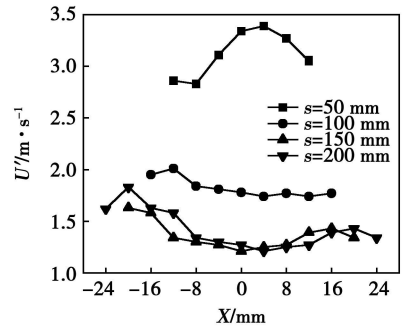
刘连胜等人测量气泡雾化喷嘴下游 20 和 75 mm 处, 液滴粒径沿径向分布^[14], 得到的结论与本研究相似, 同时指出颗粒直径沿轴向有一个先减小后增大的过程, 粒径沿轴向的最小值一般位于喷嘴出口下游 5~8 mm 左右。文献 [13] 研究液雾粒径沿轴向的变化特性, 发现: 在喷嘴下游 30~120 mm 距离内, 液滴尺寸变化不大, 粒径仅略微减小。CoPan 也指出 SMD 沿轴向先变小后增大的情况^[15]。

2.1.2 液雾速度分布特性

该曲线可以发现: (1) 液滴速度沿径向呈“钟形”分布, 液雾轴心速度最大, 边缘速度最小, 从液雾轴心向边缘递减; (2) 轴线上方速度比下方速度略大, 该现象在液雾边缘更为明显。轴向距离为 100 mm 时, 液雾上边缘速度分别为 2.93 m/s 而下边缘速度则为 2.23 m/s; (3) 随着轴向距离的增加, 液滴速度逐渐减小, 速度分布趋于平坦。轴向距离从 50 mm 增加至 200 mm, 液雾轴心平均速度从 10.24 m/s 减小至 3.31 m/s。



(a) 液滴轴向平均速度



(b) 均方根速度

图 5 液滴轴向平均速度和均方根速度分布 (AIR=27.29%)

液滴是由气体携带的, 两相间有连续的动量交换。气体在轴心速度最大, 在液雾边缘达到边界滞流速度。小颗粒由于其动量比较小, 更容易被高速气流携带, 而大颗粒则要向气相传递动量。两相流间的相互作用可以解释现象一。

现象二是水平喷射的喷嘴所特有的, 主要是水平喷射时重力的影响所致。气液两相流在混合室内流动过程中, 由于两相的密度相差悬殊, 导致液相因重力而下沉, 气相因浮力而上升, 最终在混合室末端的轴线上方气体相对多一些, 从而传递给液滴的动量也大一些, 故轴线上方液滴速度比下方略大。

现象三主要是液雾受气动阻力影响所致。此外, 颗粒碰撞也使液滴损失一部分动量, 两者共同造

图 5 (a) 是液滴轴向平均速度的分布曲线, 分析

成液滴速度随轴向距离增大而减小。当轴向距离增至 200 mm, 液雾逐步进入自模区, 速度分布趋于平坦。

Mosafa 对水煤浆液雾进行测量, 指出液雾轴心速度最大, 边缘速度最小^[16]。Panchagnula 对气泡雾化喷嘴液雾速度场进行研究, 得出相同结论^[17]。ArjyaPad 和 Rahman 指出, 液滴速度沿轴向呈先增大后减小的变化趋势, 速度增大是因为气泡将动量传递给液滴, 而气泡爆炸需要一定的时间^[4, 6]。本研究未发现“速度先增大”现象, 可能是因为第一个测量截面(喷口下游 50 mm), 距喷口较远的缘故。

图 5 (b)是液滴对应于图 5 (a)的均方根速度, 由图可见, 喷嘴出口区域 (≈ 50 mm), 速度脉动比较大, 气液两相混合强烈, 随着轴向距离的增加, 速度脉动逐渐减小, 喷口下游 150 mm 处, 速度脉动趋于稳定。这是因为, 喷嘴出口区域剪切力比较大, 气体携带液滴加速, 引起速度波动比较激烈。随轴向距离的增加, 外部空气进入液雾, 使液滴减速, 颗粒碰撞也使液滴损失一部分动量, 两者共同作用使速度脉动降低。

ArjyaPad 研究表明, 液滴均方根速度呈双峰形分布, 喷嘴出口区域湍流强度比较大, 轴向距离增大后, 湍流强度减小^[8]。Copan 也指出, 轴向距离增加, 液滴均方根速度减小^[15]。

2.1.3 液雾粒径速度相关因子

协方差相关因子 (ρ) 可以描述液滴粒径和速度间的依赖关系。其定义为^[8]:

$$\rho = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (u_i - U) (d_i - d_{mean})}{\sigma_u \sigma_d}$$

式中: N —液滴的数量; u_i —直径为 d_i 的液滴的速度; U 、 d_{mean} —液滴的平均速度和平均直径; σ_u 、 σ_d —液滴速度和直径的标准方差。

ρ 值表示液滴粒径和速度间线性相关的程度, 其值在 -1 和 1 之间。 ρ 值接近于 1, 正相关性很强, 即粒径小的液滴速度也小, 或者粒径大的液滴速度也大; ρ 值接近于 -1, 负相关性很强, 即粒径小的液滴速度反而大, 或者粒径大的液滴速度反而小; $\rho = 0$ 表明液滴粒径和速度间没有依赖关系^[17]。

Rahman 定性分析了速度与粒径间的相关性, 指出液雾轴心, 以及轴心与边缘的中间区域速度与粒径正相关性很强, 液雾边缘速度与粒径负相关性很强^[9]。ArjyaPad 定量计算了 ρ 值, 指出液雾轴心 ρ 值接近于零, 而边缘液滴速度与粒径正相关性很强^[8]。Panchagnula 指出液滴速度与粒径间的相关

性可以忽略^[7]。

对比图 4 和图 5 (a) 发现, 喷嘴出口区域 (≈ 50 mm), 液雾轴心粒径最小, 而轴向平均速度却最大; 液雾边缘粒径最大, 而速度却最小。由此可见, 喷嘴出口区域液滴粒径与速度间负相关性很强。随着轴向距离的增加 (≈ 200 mm), 液雾逐步进入自模区, 速度分布趋于平坦, 径向所有颗粒几乎以相同的速度运动, 因此, 液滴粒径速度间相关性可忽略不计。

2.2 雾化质量影响因素分析

2.2.1 气液比对雾化质量的影响

图 6 是截面加权平均 SMD 随 ALR 的变化曲线。由图可以看出: 雾化颗粒 SMD 随 ALR 的增大而逐渐减小, 当 ALR 进一步增加后, SMD 减小明显趋缓。这是因为 ALR 增大, 使两相流动中的流动速度增加, 加强了气体对液体的剪切作用; 其次是两相流动中的气体体积孔隙率增大, 使气体在喷嘴出口占据了更大的截面积, 加强了对液体的挤压作用, 使液体以更细、更薄的液丝或液膜的形式喷出。另外, 气体的增加会在液体中形成更多的气泡, 使气泡具有的总膨胀能增加, 提高了雾化效果。随着液体颗粒的减小, 颗粒内的气泡体积也相对减小; 当气泡的能量不足以克服颗粒的表面张力和粘性力时, 颗粒直径将不再减小。

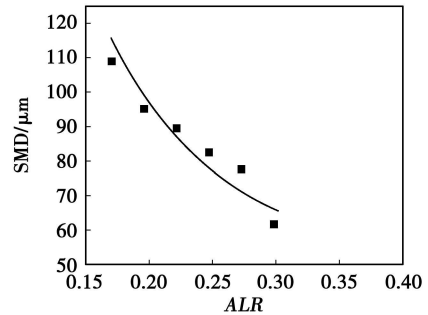


图 6 ALR 对 SMD 的影响 ($P_1 = 0.1 \text{ MPa}$, $\approx 150 \text{ mm}$, $L = 15 \text{ mm}$)

文献 [5] 研究了 2.1 kg/h 的气泡雾化喷嘴的雾化特性, 当 ALR 为 0.3 时, 喷雾轴心颗粒粒径大约为 $40 \mu\text{m}$, 比本研究的略小, 这主要与两喷嘴的内部结构有关。

2.2.2 进气压力对雾化质量的影响

图 7 是进气压力对液雾颗粒 SMD 的影响曲线。由图可见, 在相同的气液比下, 液雾粒径随进气压力的升高而增大, 这与文献 [18~19] 中“提高气体注入压力可使雾化质量得到改善”的结论相反。这主

要与喷嘴的内部结构有关, 该喷嘴气体经环形空间进入混合室后, 尽管高压气体对液体的冲击和挤压程度更加强烈, 但这却不利于形成稳定的气液两相泡状流动, 未充分达到“气泡雾化”状态, 故雾化效果反而变差。对于该喷嘴, 单纯进气压力的升高不能提高雾化质量, 起决定作用的是气液比, 即在较低的压力下 (只要保证气体能够进入液体并与其充分混合即可), 只要达到雾化需要的气液比值, 喷嘴就可以很好的雾化, 这种低压雾化能力对于实际的应用和经济性具有重要的意义。

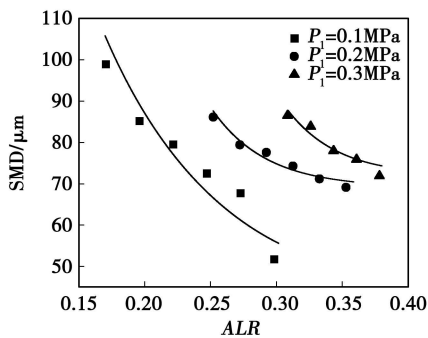


图 7 进气压力对 SMD 的影响
($\varphi=150\text{ mm}$, $L=15\text{ mm}$)

2.2.3 混合室长度对雾化质量的影响

图 8 是混合室长度对液雾 SMD 的影响曲线, 当 L 为 25 mm 时, 液雾沿径向分布很不均匀, 轴线上方颗粒 SMD 较小, 而轴线下方的颗粒 SMD 则较大, 雾化变得不稳定, 出现脉动现象, 该工况雾化效果较差。这说明 L 增大, 喷嘴工作状态不稳定, 雾化质量变差。分析喷嘴内气泡的受力情况可知, 水平喷射的喷嘴, 气泡在两相流中的运动主要受浮力和液体夹带的共同作用, 当液体速度不变时, 随 L 值的增大, 气泡在液体夹带下到达喷口的时间将超过气泡受浮力作用上升到混合室顶部的时间, 结果气泡到达喷口前在混合室顶部聚合, 形成较大的气泡, 一方面使混合室末端上方气液比相对较大, 从而导致出口轴线上方的粒径较小; 另一方面使混合室两相流处于不稳定状态, 导致喷嘴雾化不稳定, 雾化效果变差。由此可见, L 值过大不利于喷嘴的雾化, 这并不意味着 L 值越小雾化效果越好。试验过程中, 调节混合室长 8 mm 时, 发现喷嘴出口存在明显的水柱, 雾化效果很差, 故没有测量。这是由于 L 过小, 进液管距喷口过近, 气体膨胀能不能得到充分利用, 造成雾化不充分。因此, 混合室长度必存在一个最佳取值范围, 在此范围内, 喷嘴可获得较好的雾化效果。

文献 [20] 通过分析贝克流形图, 指出当混合室长度为其直径的 2.5 倍时, 混合室内两相流比较稳定, 雾化效果较好。该喷嘴混合室直径为 5 mm , 故混合室长 15 mm 时, 雾化效果较好。Petersen 测量混合室长分别为 $1.5, 2.5, 3.5, 5.7$ 和 8.5 mm 时, 液雾轴心颗粒粒径, 指出混合室长度对雾化特性影响很小^[5]。梁雪萍研究混合室长为 3.12 和 21 mm 对雾化质量的影响, 指出混合室长度是影响雾化的关键因素, 混合室不能过长, 也不能过短^[11]。两者不同的结论与其混合室长度取值有关, Petersen 取值区间相对较短, 而梁雪萍取值区间较长, 本研究结论与后者一致。

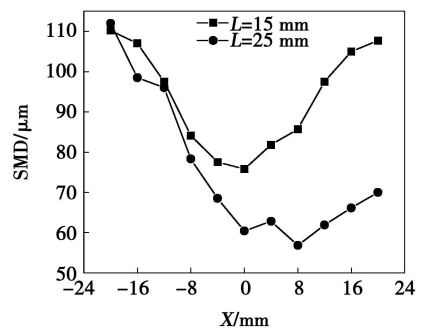


图 8 混合室长度对 SMD 的影响 ($P_1=0.1\text{ MPa}$
 $\text{ALR}=24.73\%$, $\varphi=150\text{ mm}$)

3 结 论

(1) 喷口下游液雾粒径沿径向是非轴对称的, 粒径随着径向距离的增大而增大, 且轴线下方的平均粒径明显大于上方相应位置的平均粒径; 沿轴向呈现先减小后增大的变化趋势, 减小过程是二次雾化作用的结果, 增大过程是由液雾相互碰撞粘结所致。

(2) 喷口下游液雾速度沿径向呈“钟形”分布, 液雾轴心速度最大, 边缘速度最小, 从液雾轴心向边缘递减, 且轴线上方的速度比下方的速度略大; 喷嘴出口区域液滴轴向平均速度和均方根速度都比较大, 随轴向距离增加, 两者值逐渐减小, 分布趋于平坦。

(3) 喷嘴出口区域, 液滴粒径与速度间负相关性很强, 随轴向距离增加, 液滴粒径与速度间相关性可以忽略。

(4) 液雾粒径随气液比增大而减小, 在高气液比下, 液雾粒径减小逐渐趋缓。

(5) 在相同的 ALR 下, 进气压力增大后, 雾化效果反而变差, 这与该喷嘴的内部结构有关。对该

喷嘴雾化质量取决于气液比。

(6) 混合室长度过长、过短均会使喷嘴雾化效果变差,当混合室长度为其直径的 2.5 倍时,可以使喷嘴获得较好的雾化效果。

参考文献:

[1] 张敏健. 喷嘴研究发展概述 [J]. 电站系统工程 2008 24(1): 17-18

[2] SOVANI S LEFEBVRE A SOJKA P Effervescent atomization [J]. Progress in Energy and Combustion Science 2001 227: 483-521

[3] WANG X CHIN J LEFEBVRE A Influences of gas injector geometry on atomization of aerated liquid nozzles [J]. International Journal of Turbo and Jet Engines 1989 6(3): 271-279.

[4] PETERSEN F WORTS Q SCHAFFER T Effervescent atomization of aqueous polymer solutions and dispersions [J]. Pharmaceutical Development and Technology 2001 6(2): 201-210.

[5] PETERSEN F WORTS Q SCHAFFER T et al Design and atomization properties for an inside-out type effervescent atomizer [J]. Drug Development and Industrial Pharmacy 2004 30(3): 319-326

[6] RAHMAN M AMRFAZLIA HEDRICK T et al An experimental study of the atomization of a two-phase industrial nozzle // Proceeding of the International Conference on Mechanical Engineering 2007 [C]. Dhaka Bangladesh 2007

[7] PANCHAGNULA M SOJKA P Spatial droplet velocity and size profiles in effervescent atomizer produced sprays [J]. Fuel 1999 78 729-741

[8] ARYAPADI S BALACHANDAR R BERRUTI F Spray characteristics of two-phase feed nozzles [J]. The Canadian Journal of Chemical Engineering 2003 81 923-939.

[9] 刘连胜, 吴晋湘, 韩振兴, 等. 小流量气泡雾化喷嘴研究 [J]. 燃烧科学与技术, 2001 7(2): 182-185.

[10] 马培勇, 仇性启, 崔运静. 气泡雾化喷嘴试验研究 [J]. 石油化工设备, 2006 35(1): 12-15

[11] 梁雪萍, 郭志辉, 徐行, 等. 气泡雾化喷嘴水平喷射的雾化特性研究 [J]. 北京航空航天大学学报, 1998 24(1): 24-27

[12] 王乃华, 洛仲决, 岑可法. 半干法烟气脱硫喷嘴的雾化特性研究 [J]. 燃料化学学报, 2003 32(4): 333-337

[13] 岳速捷, 俞刚. 气泡雾化喷嘴液雾特性 [J]. 推进技术, 2003 24(4): 348-352

[14] 刘连胜, 傅茂林, 吴晋湘, 等. 气泡雾化喷嘴喷雾平均直径在下游流场中的分布 [J]. 工程热物理学报, 2001 22(5): 653-656

[15] COPAN J BALACHANDAR R BERRUTI F Droplet size velocity characteristics of sprays generated by two-phase feed nozzles [J]. Chemical Engineering Communications 2001 184(1): 105-124.

[16] MOSTAFA A KHALIL A Measurements of coal water slurry sprays produced by an effervescent atomizer / 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit [C]. Sacramento 2006

[17] BALACHANDARR A note on the characteristics of droplet laden jets [J]. Journal of Fluids Engineering 1998 120 403-406

[18] 站强, 曾爱军, 何雄奎, 等. 气泡雾化喷嘴的试验研究 [J]. 农机化研究, 2008(2): 133-135

[19] SOVANI S CHOU E SOJKA P et al High pressure effervescent atomization: effect of ambient pressure on spray cone angle [J]. Fuel 2001 80 427-435

[20] CHIN J LEFEBVRE A A design procedure for effervescent atomizers [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 1995 117 266-274

(编辑 伟)

技术投资信息

美国将为燃气轮机研究投入大量资金

据《Gas Turbine World》2009年 11~12月号报道,在纽约州议员 Tonko P发起的议案下,几个燃气轮机制造商可能协调来接受政府提供的研究基金。

美国下议院经过投票表决,以 266票赞成 18票反对的表决结果批准立法,该立法打算授权美国能源部(DOE)每年把 8 500 万美元花费在燃气轮机的研究、开发和技术上。下一步是等待上议院批准。

该计划总目标的目的在于把联合循环装置的效率从目前的大约 60%提高到 65%。

如果 Tonko P的议案被上议院通过并且签字成法令生效,该 4年计划应该意味着用于燃气轮机制造商,诸如 GE Energy Siemens和 Pratt & Whitney Power的新的研究经费。

(吉桂明 摘译)

小流量气泡雾化喷嘴试验研究 = Experimental Study of Air Bubble Atomization Nozzles at a Small Flow Rate [刊, 汉] / CHEN Zhen-dong CHEN Xiaoping (College of Energy Source and Environment Southeast University Nanjing China PostCode: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25 (6). — 593 ~ 598

Designed was an air bubble atomization nozzle with a small flow rate of 1.2 kg/h. By utilizing a particle dynamic analyzer (PDA), the flow field at the downstream of the nozzles was measured and the distribution regularities and their related factors of liquid mist particle diameters and velocities were analyzed. On this basis, the influence of the air-liquid mass flow ratio, air inlet pressure and length of the mixing chamber on the atomization characteristics was investigated. The research results show that the liquid mist particle diameters assume a non-axisymmetrical distribution along the radial direction, the average particle diameter below the axes is bigger than that above the axes. The liquid drop diameters exhibit a tendency to first decrease and then increase with an increase of the axial distance. Moreover, the liquid mist average velocity assumes a bell-shaped distribution in the axial direction and both the axial average velocity and mean square root velocity of the liquid drops in the outlet zone of the nozzles are relatively big and gradually decrease with an increase of the axial distance. In the outlet zone of the nozzles, the liquid drop particle diameters and velocities exhibit a strong negative correlation, which can be neglected with an increase of the axial distance. An increase of the air-liquid ratio will diminish the liquid mist particle diameter. At an identical air-liquid mass flow ratio (AIR), the atomization effectiveness will get worse with an increase of the air inlet pressure. When the length of the mixing chamber is 2.5 times bigger than its diameter, the atomization effectiveness will be relatively well. Key words: nozzle; atomization; air bubble atomization; atomization characteristics

DLN燃烧室污染排放估算方法的分析 = An Analysis of the Methods for Estimating the Dry Low NO_x Pollutant Emissions From a Combustor [刊, 汉] / CHEN Xiaoli QI Haiying XIE Gang et al (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering Thermal Energy Engineering Department Tsinghua University Beijing China PostCode: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25 (6). — 599 ~ 604

Prediction of NO_x/CO pollutant emissions constitutes an important link of the technology for designing a low pollution (dry low NO_x) combustor for heavy duty gas turbines and its accuracy depends on whether the estimation formula adopted is rational and applicable or not. For this purpose, the applicability of currently available estimation formulae was analyzed and the pollutant emissions performance of R0110 heavy duty gas turbine combustor, the first set self-designed by China, predicted. On this basis, a comparison was made with the test data. The result shows that the majority of currently available estimation formulae are not applicable and the relatively applicable formulae can only be used to predict a result of an equivalent magnitude order. The main causes are as follows: the first is that the formulae are relatively sensitive to the temperature in the combustion zone and the second is that these formulae can not represent the structural features of modern low pollution combustors, thus urgently needing further study and improvement. Key words: R0110 heavy duty gas turbine; low pollution (dry low NO_x) combustor; NO_x/CO pollutant emissions prediction