

三通道气力式喷嘴加压环境雾化特性试验研究

李波, 黄镇宇, 杜聪, 刘建忠, 周俊虎, 岑可法

(浙江大学 能源清洁利用国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要:对三通道气力式喷嘴进行了雾化室加压环境下的雾化试验研究,分析了雾化室环境压力与其他喷嘴运行参数对喷嘴雾化性能的影响。研究发现,雾化室环境压力的提高有利于气液两相的相互作用,可以有效降低雾化粒度平均直径,且当气耗率不变时,雾化粒径SMD与雾化室环境压力呈负指数的幂函数关系。

关键词:三通道喷嘴;气力式;雾化;环境压力;气耗率

中图分类号:TK223.25

文献标识码:A

文章编号:1004-3950(2010)02-0015-05

Experimental study on atomization performance of airblast three-channel nozzle under high ambient pressure

LI Bo, HUANG Zhen-yu, DU Cong, et al

(State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract:The atomization property of airblast three-channel nozzle under high ambient pressure was investigated. It was found that continuous increase in air pressure caused the decrease of the mean drop size to a minimum value and then varied not too much. An explanation for this characteristics was provided in terms of the various contributing factors in different process of atomization. The results showed that SMD was proportional to P^n at a constant air/liquid ratio.

Key words:three-channel nozzle; airblast; atomization; ambient pressure; air/liquid ratio

0 引言

液体燃料的雾化在锅炉燃烧^[1]、烟气脱硫^[2-3]及煤气化^[4-5]等领域应用广泛,其中喷嘴是雾化技术的关键。喷嘴的功能有两个:一是雾化;二是与炉体匹配形成适宜的流场^[6]。喷嘴结构形式按雾化能量来源可分为三大类:机械式雾化喷嘴、气力式雾化喷嘴、其他类型喷嘴如静电雾化喷嘴等,其中气力式喷嘴是以高速气流的气力作用而使燃料雾化,有着雾化效果好、液体适用种类广及结构简单等优点^[7-9]。通常评定液体燃料雾化质量有如下一些指标:雾化颗粒细度、雾化角、雾化均匀度、喷嘴射程和流量密度分布等。其中,雾化颗粒细度(表示喷雾炬液滴粗细程度)与雾化均匀度(表示燃料雾化后液滴颗粒尺寸的均匀程度)最为重要,是雾化技术的衡量依据^[10-11]。影响这些指标的因素主要有喷嘴结构、雾化液体的

密度、表面张力、粘度、雾化介质流速、气耗率等操作条件以及本文重点谈到的雾化室环境压力^[12]。

到目前为止对水煤浆气化喷嘴的研究仍以实验测试为主,完全用理论分析的方法来模拟雾化过程是十分困难的。国内外的研究者已经通过实验观察得到了雾化粒度与环境压力呈指数分布关系: $d \propto P^n$,但 n 的值又由喷嘴形式与试验条件的不同而有不同结论^[13-15]。RIZKALLA^[16]在对三通道气力式喷嘴试验研究中指出,在液体流量不变的条件下,工质为水时,指数 n 值为 -0.99 ,工质为煤油时,指数 n 值为 -0.12 ;JASUJA^[17]和 EL SHANAWANY 等^[18]也分别研究了环境压力对雾化粒度的影响,指出 n 值为 $-1.0 \sim -0.4$ 。秦军^[19]对双通道气流式喷嘴研究了一定气耗率条件下的环境压力改变对雾化粒度的影响,得到 n 值的范围为 $0.3 \sim 0.9$ 。本文以空气、水为工质,在较高的环境压力下对常见的同轴三通道气流式

收稿日期:2009-12-18

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(973项目)资助(2010CB227001)

作者简介:李波(1985-),男,山东滨州人,硕士研究生,主要从事喷嘴雾化和污染物控制研究工作。

喷嘴进行了环境压力变化对雾化效果影响作用的试验研究,并结合雾化机理进行分析。所得结果对喷嘴的开发设计与最佳工作范围的选择有重要的指导作用和价值。

1 实验用喷嘴

实验中所用喷嘴如图 1 所示。该喷嘴中心和外环通道通入气体,中环通入工质,中心通道气体不仅起到雾化煤浆的作用,还可以避免火焰的黑芯,以及控制火焰的射程,组织流场,防止纯氧火焰对喷嘴头部的烧蚀;中环管采用渐缩式结构,一方面为了提高工质流速,另一方面使工质与中心管气体形成撞击交角,加强一级冲击破碎的作用,形成初步的雾化液滴,外部气流在喷嘴外部形成环形气流,对内通道气流进行强烈冲击实现二次雾化,最后形成较细颗粒的雾化液滴。整个喷嘴头由七部分组成,均为螺纹连接,便于安装和拆卸。

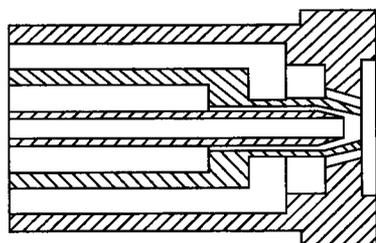


图 1 实验用三通道喷嘴

2 实验系统与方法

实验系统如图 2 所示。压缩空气经压缩空气系统到达喷枪,喷枪在雾化室上方。雾化室压力可控,并配有安全阀。雾化室设有激光粒度仪测量孔,和一对成 120°角布置的观察孔,并装备光学性能良好的耐压石英玻璃以承受雾化室压力,石英玻璃镜片内侧布置有一股干燥气体形成空气帘,及时排走雾化室内部飞溅到镜片附近的雾化液滴,使镜片保持清洁。工质(水)通过工质系统,经电磁流量计进入喷枪内环通道,雾化后由雾化室收集再次进入工质罐进行循环流动。雾化颗粒的平均直径(SMD)用 LS-2000 分体式激光喷雾粒度分析仪来测量,两个通道的气体流量分别通过金属管浮子流量计(已进行压力校正)测量,液体流量则通过电磁流量计测量。本实验控制雾化室压力 0.7 ~ 1.0 MPa,工质流量 360 ~ 720 L/h。

对实验结果进行分析时,固定其他操作条件,单独观察某操作条件的变化对雾化性能的影响。此外,实验进行时雾化室内的液滴存在撞击反射可能会对实验的精确性产生影响。

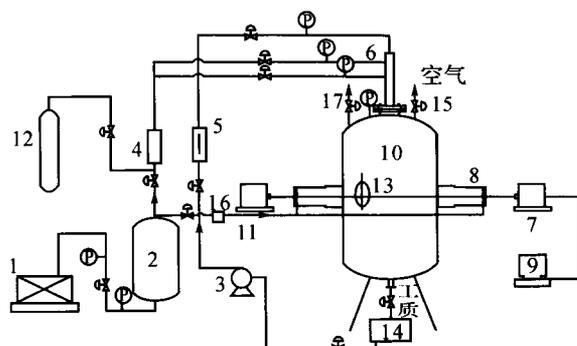


图 2 实验系统

- 1—空气压缩机;2—储气罐;3—单螺杆泵;4—气体流量计;
- 5—液体流量计;6—喷枪;7—激光粒度仪;8—透镜;9—计算机;
- 10—雾化室;11—镜头干燥气;12—氧气瓶;13—视镜;
- 14—工质罐;15—恒压阀;16—空气过滤器;17—安全阀

3 实验结果及分析

3.1 不同气耗率下环境压力对 SMD 的影响

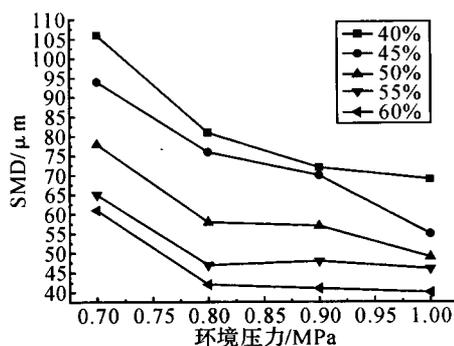


图 3 不同气耗率下环境压力对 SMD 的影响

图 3 是保持满负荷工作状态(600 L/h),中心通道占总气量(以下统称气量比)为 12%,不同的气耗率下环境压力变化时测量的雾化粒度平均直径。实验结果表明,气耗率不变时,随着环境压力的增大,雾化性能变好,但环境压力越高,雾化粒度减小的趋势却逐渐变缓,这种现象在高气耗率时尤其明显,这是因为随着环境压力升高,雾化室气体密度增加,液体射流进入喷雾空间后所遇到的气动阻力明显增加,射流表面容易产生不稳定波,有利于雾化^[20]。中环液膜两侧受高速气流影响,气体密度的增加促使气液交界面处摩擦阻力

增加,对中环工质的剪切扰动作用显著增强,从而产生了更好的雾化效果。当气液两相之间相互作用越来越强烈,依据文献[21]中提到的“prompt”雾化机理,雾化过程在极短时间内完成,环境压力的影响就相对不明了。另外,虽然气体密度随环境压力的增大而增加,但是其增长率却是在降低的,所以随着环境压力增大,环境压力对雾化性能的影响越来越弱。对各气耗率下的曲线进行非线性拟合,得到雾化粒径随环境压力的变化规律为

$$SMD \propto P^n$$

其中 n 的取值范围为 $-1.3 \sim -1.0$ 。因此,对于三通道气力式喷嘴,保持气耗率与工质负荷不变时,雾化粒度平均直径与雾化室环境压力呈负指数的幂函数关系。由此可见,设计气力式喷嘴时不应只考虑到气耗率的作用,还应当对环境压力的影响作适当的考虑。

3.2 不同环境压力下气耗率对 SMD 的影响

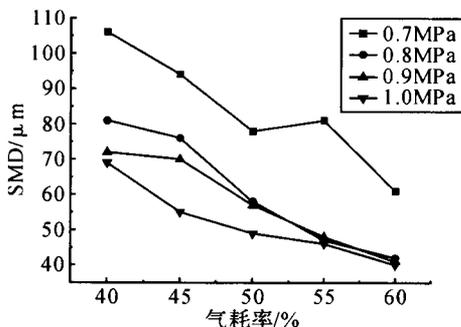


图4 不同环境压力下气耗率对 SMD 的影响

图4所示是保持气量比为12%,满负荷工作状态时,不同环境压力下气耗率变化对雾化粒径的影响情况,由图可见,气耗率依然是影响雾化质量最显著的因素。实验结果表明,随气耗率的增加,不同环境压力下的雾化粒度均在减小,但减小的幅度各不相同。环境压力较低时,雾化粒度随气耗率的增加衰减的速度较快,而环境压力较高时,雾化粒度随气耗率的增加衰减速度较慢。如前文所述,随着环境压力的升高,气流密度增加,气液交界面处在短时间内发生的气液两相扰动就越强烈,气量的增加所产生的影响与低环境压力时相比较就越来越不明显,从而随着环境压力升高,气耗率对雾化粒度的影响越来越弱。

3.3 不同环境压力下负荷对 SMD 的影响

喷嘴对负荷变化的适应性是考察喷嘴性能的

一个重要指标,因为在实际运行中,工质流量是随负荷的变化而改变的,工质流量就代表着喷嘴负荷的大小^[22]。图5所示是不同环境压力下,喷嘴负荷变化对雾化粒径的影响规律。由于实验条件的限制,对于120%负荷状态只做了0.7 MPa和0.8 MPa两组实验。

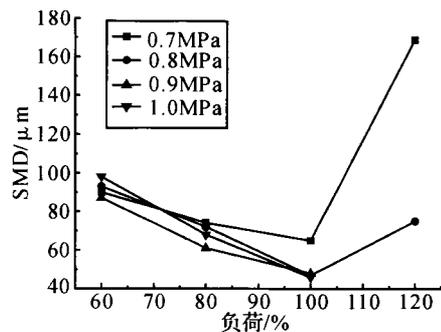


图5 不同环境压力下负荷对 SMD 的影响

从图5可以看出,在每一组环境压力下,满负荷运行依然是该喷嘴的最佳运行工况,低于或者超过该负荷状态,雾化质量都有明显降低,尤其是超负荷下雾化质量急剧恶化。在喷嘴结构与气耗率均不变的情况下,负荷的增加有利于气液两相流的混合碰撞,从而降低雾化粒度。但超负荷时,射流刚性较大,雾化过程的距离较长,与其他负荷相比,在测量点附近雾化过程不够彻底,测得的雾化粒径较大。另外,对于满负荷及以下的工况,环境压力较低时,雾化粒径波动幅度较小。

3.4 不同负荷下环境压力对 SMD 的影响

图6所示是保持气耗率不变,气量比为12%时,不同负荷状态下环境压力对雾化粒度的影响规律。从图中可以看出,喷嘴在较高负荷时,雾化粒度随环境压力的增加而降低,雾化质量变好。而在较低负荷时,环境压力对雾化粒度的影响作用并不明显。高负荷较低负荷相比,工质射流刚性较大,雾化距离与时间相对低负荷都要长,环境压力升高对雾化性能的优化影响更加显著。另外,高环境压力时,不同负荷下雾化粒径随背压变化的波动并不大,说明随着环境压力的升高,环境压力的影响趋于衰减。

3.5 不同环境压力下气量比对 SMD 的影响

气量分配比是多通道喷嘴研究的热点问题,气量比的改变会使两个通道介质速度出现不同的变化,环形液膜两侧的气液相对速度相应改变,所

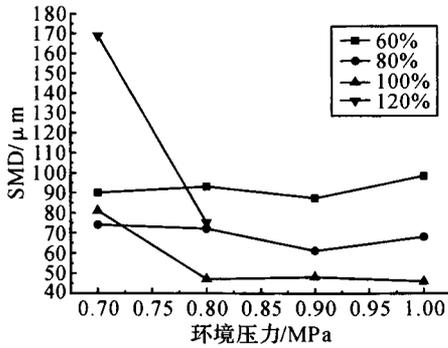


图6 不同负荷下环境压力对 SMD 的影响

产生的雾化效果也就大不相同^[5]。对不同环境压力下气量比对雾化粒径的影响情况进行比较,如图7所示,可以发现在较高环境压力下气量比对雾化性能的影响较稳定,均在气量比12%处取得雾化粒度的最小值,较低环境压力下气量比的影响则不明显,且波动比较大。高环境压力下气流扰动加强,气量比的影响较之其他因素趋于减弱,反映在雾化效果上,就是雾化粒径波动幅度较稳定。

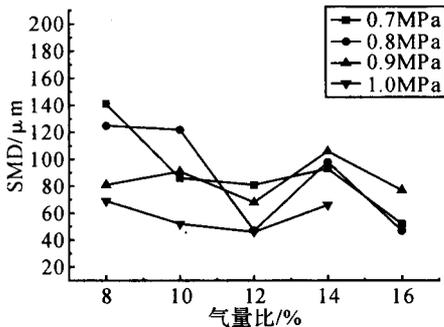


图7 不同环境压力下气量比对 SMD 的影响

4 结论

(1)三通道外混式喷嘴的雾化过程与环境压力密切相关,在改变负荷、气耗率、气量比等不同的实验条件下,都可以得到雾化室环境压力的提高有利于雾化效果的结论。但是在较高环境压力时,环境压力的提高对雾化粒度的影响越来越不明显。对于三通道外混式喷嘴,环境压力的提高有利于两侧气流对中环工质的剪切扰动,但当环境压力较高时,气液相互作用强烈,雾化过程很快完成,环境压力对雾化粒径的影响效果就不明显。

(2)气耗率不变时,雾化粒径 SMD 与雾化室环境压力呈负指数的幂函数关系,即 $SMD \propto P^n$ 。n 值为 $-1.3 \sim -1.0$ 。

(3)在雾化室环境压力较高时,负荷变化引起雾化粒径变化的幅度较大,而气量比、气耗率发生变化时雾化粒径的变化幅度较小,比较稳定。

参考文献:

- [1] 丁松阳,孙洪泉,张宏,等.提高锅炉雾化喷嘴雾化效果的几种手段[J].内蒙古石油化工,2006(8):57-58.
- [2] 王雷,章明川,周月桂,等.活化器内液滴捕捉颗粒过程的数值模拟[J].中国电机工程学报,2005,25(11):85-89.
- [3] 王乃华,骆仲浚,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.
- [4] 周月桂,章明川,范卫东,等.神木煤灰增湿活化脱硫的半工业性台架试验研究[J].中国电机工程学报,2003,23(9):182-185.
- [5] 王延坤,王伟.多喷嘴对置式水煤浆气化技术及其优势[J].中氮肥,2008(1):21-23.
- [6] 王少云.气流式雾化过程的实验研究与模型计算[D].上海:华东理工大学,2004.
- [7] 侯凌云,侯晓春.喷嘴技术手册[M].北京:中国石化出版社,2002.
- [8] PETER D H, POUL B, ANKER D J. Two-fluid spray atomisation and pneumatic nozzles for fluid bed coating/agglomeration purposes: A review[J]. Chemical Engineering Science, 2008(04):014.
- [9] 任兰学,马胜远.气流式喷嘴雾化特性试验研究[J].热能动力工程,2008,23(5):516-518.
- [10] 黄镇宇,张传名.6 t/h 撞击式水煤浆喷嘴雾化特性试验研究[J].中国电机工程学报,2004,24(6):201-204.
- [11] 岑可法.燃烧理论与污染控制[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [12] 李伟峰,刘海峰,曹显奎,等.液体射流直径对大液气质量比双通道气流式喷嘴雾化性能的影响[J].华东理工大学学报,2006,32(5):572-575.
- [13] HONGSUK K, NAKWON S. The effect of ambient pressure on the evaporation of a single droplet and a spray[J]. Combustion and Flame, 2003,135:261-270.
- [14] DONG J K, JI H I. Effect of ambient gas density on spray characteristics of swirling liquid sheets[J]. Journal of Propulsion and Power, 2007,23(3):603-611.
- [15] CHEN S K A, LEFEBVRE H, ROOLBUHLER J. Influence of ambient air pressure on effervescent at-

- omization [J]. *Journal of Propulsion and Power*, 1993, 9(1): 10 - 15.
- [16] RIZKALLA A A, LEFEBVRE A H. The influence of air and liquid properties on airblast atomization [J]. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 1975, 97(3): 316 - 320.
- [17] JASUJA A K. Airblast atomization of alternative liquid petroleum fuels under high ambient air pressure conditions [J]. *ASME Journal of Engineering for Power*, 1984, 103(3): 514 - 518.
- [18] EL-SHANAWANY M S, LEFEBVRE A H. Airblast atomization of the effects of linear scale on mean drop size [J]. *Energy*, 1980, 4(4): 184 - 189.
- [19] 秦 军. 双通道气流式喷嘴加压雾化的实验研究 [J]. *燃烧科学与技术*, 2005, 11(4): 384 - 387.
- [20] JEREMY R K, JAMES R H, MARLOW D M, *et al.* Effect of chamber backpressure on swirl injector fluid mechanics [A]. 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit [C], Hartford, CT 2008.
- [21] ZHENG Q P, JASUJA A K, LEFEBVRE A H. Structure of airblast sprays under high ambient pressure conditions [J]. *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 1997, 119: 512 - 518.
- [22] 于海龙, 张传名. 新型水煤浆喷嘴雾化性能试验研究 [J]. *中国电机工程学报*, 2005, 25(6): 99 - 103.



(上接第 14 页)

参考文献:

- [1] CHOI S U S, YU W, HULL J R, *et al.* Nanofluids for vehicle thermal management [C]. *Vehicle thermal management systems conference & exhibition*, 2001.
- [2] 彭小飞, 俞小莉, 夏立峰, 等. 纳米流体悬浮稳定性影响因素 [J]. *浙江大学学报*, 2007, 41(4): 577 - 580.
- [3] 吴 敏, 程秀萍, 葛明桥. 纳米 SiO₂ 的分散研究 [J]. *纺织学报*, 2006, 27(4): 80 - 82.
- [4] 洪欢喜, 武卫东, 盛 伟, 等. 纳米流体制备的研究进展 [J]. *化工进展*, 2008, 27(12): 1923 - 1928.
- [5] ESUMI K, ISHIGAMI M, NAKAJIMA A, *et al.* Chemical treatment of carbon nanotubes [J]. *Carbon*, 1995, 34(2): 279 - 281.
- [6] HWANG Y, LEE J K, LEE C H, *et al.* Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids [J]. *Thermochimica Acta*, 2007, 455(1-2): 70 - 74.
- [7] WANG Xian-ju, LI Xin-fang, SHUO Yang. Influence of pH and SDBS on the stability and thermal conductivity of nanofluids [J]. *Energy & Fuels*, 2009, 23(5): 2684 - 2689.
- [8] YU Q, KIM Y J, MA H. Plasma treatment of diamond nanoparticles for dispersion improvement in water [J]. *Applied Physics Letters*, 2006, 88(23): 503 - 505.
- [9] 宋晓岚, 吴雪兰, 曲 鹏, 等. 纳米 SiO₂ 分散稳定性影响因素及作用机理研究 [J]. *硅酸盐通报*, 2005(1): 3 - 7.
- [10] 王补宣, 李春辉, 彭晓峰. 纳米颗粒悬浮液稳定性分析 [J]. *应用基础与工程科学学报*, 2003, 11(2): 167 - 173.
- [11] HWANG Y, LEEA J K, LEEC J K, *et al.* Production and dispersion stability of nanoparticles in nanofluids [J]. *Powder Technology*, 2008, 186(2): 145 - 153.
- [12] QIANG Ai-hong, ZHAO Li-ming, XU Chun-jian, *et al.* Effect of dispersant on the colloidal stability of nano-sized CuO suspension [J]. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2007, 28: 1004 - 1007.
- [13] 陈宗淇. 胶体化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1984.
- [14] 胡纪华, 杨兆禧, 郑 忠. 胶体与界面化学 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1997.
- [15] 周祖康, 顾惕人, 马季铭. 胶体化学基础 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1987.
- [16] 曹雪琴, 钱国砥, 娄 颖. Zeta 电位与分散染料分散稳定性 [J]. *印染助剂*, 1998(6): 10 - 14.
- [17] FANG Kai-tai, DENNIS K J, PETER W, *et al.* Uniform Design: Theory and Application [J]. *Technometrics*, 2000, 42(3): 237 - 248.
- [18] Liang Yi-zeng, Fang Kai-tai, Xu Qing-song. Uniform design and its applications in chemistry and chemical engineering [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2001, 58: 43 - 57.