

新型旋切式气液两相喷嘴及 内部流场数值模拟

祝爱娟, 来伟良

(煤炭科学研究总院杭州环保研究院, 杭州, 311201)

摘要:本文在对各种气动性喷嘴及其雾化机理分析的基础上提出一种新型雾化喷嘴——旋切式气液两相喷嘴。该喷嘴具有结构简单、喷雾量无限可调、喷雾锥角调整灵活、防堵塞、雾化效果好的优点。通过 CFD 数值模拟研究发现,在旋切式喷嘴内部液流已经被气流剪切雾化成细小颗粒,其均匀分散在气流中,在混合室内部形成气液混合流,形成一次雾化。当气液混合流脉冲喷出孔喷时,体积进一步膨胀,同时,高速液滴外部空气相互作用,产生二次雾化,促进了雾化效果。

关键词:新型喷嘴;雾化机理;数值模拟;内部流场

中图分类号:X505 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8759(2012)03-0020-05

A NEW TYPE OF ROTARY TWO-PHASE NOZZLE OF ITS INTERNAL FLOW NUMERICAL SIMULATION

ZHU Ai-juan, LAI Wei-liang

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute, CCRI, Hangzhou, 311201)

Abstract: Based on various aerodynamic nozzle and its atomization mechanism analysis, this article presents a new type of atomizer. This atomizer has many advantages, such as it has a simpler structure, infinitely-tunable mist flux and the spray angle can be adjustment flexible. Through numerical simulation, the study had founded that the liquid have been turned droplets which flowing with the airflow inside of the nozzle. This formed the first atomization. Then, the gas-liquid flow bulked when spouting out from the jet orifice. Under the external air interactions, the droplets formed a second atomization which promoted the atomization effects.

Key Words: new type nozzle; atomization mechanism; numerical simulation; Internal flow

喷嘴是液体燃料燃烧装置中不可或缺的关键部件,其应用非常广泛,包括:汽车制造业和机械加工工业中的涂装和喷淋清洗;矿山、冶金、化工生产过程的加湿、抑尘;特别是在烟气脱硫工艺中的雾化喷淋等。按液体雾化作用机理可分:压力式雾化、旋转式雾化、两相流雾化^[1]等。

两相流雾化机理是利用高速的空气或蒸汽在喷嘴内部(或外部)与低速液体相互冲击、剪切摩

擦作用而使液柱破碎成液滴。传统的两相流喷嘴工作时,需要外部提供高压泵系统,能源消耗大;气泡雾化技术^[2]最先由美国的 Lefebvre 等人于上世纪八十年代末提出的雾化技术,他的特点是将少量的雾化气体以气泡的方式在喷出前注入到液体中形成两相流,依靠气泡的膨胀破裂形成雾滴。气泡雾化喷嘴具有工作压力低、雾化质量高等优点。

本文在对各种气动喷嘴及其雾化机理分析的

基础上,提出一种新型的雾化喷嘴——旋切式气液两相雾化喷嘴,有效的增加气液混合,同时减少动力损耗。

1 旋切式气液两相喷嘴提出

旋切式雾化喷嘴的结构较简单,仅由:①进液管、②进气管、③混合室、④喷孔、⑤挡板和⑥扇形板等组成,见图1。旋切式雾化喷嘴的喷孔采用蜂腰流线型设计,减少了阻力,提高雾化角,同时在底部开设多个喷孔,不仅解决了不同流量的需求,而且可实现超过 180° 的喷射角。

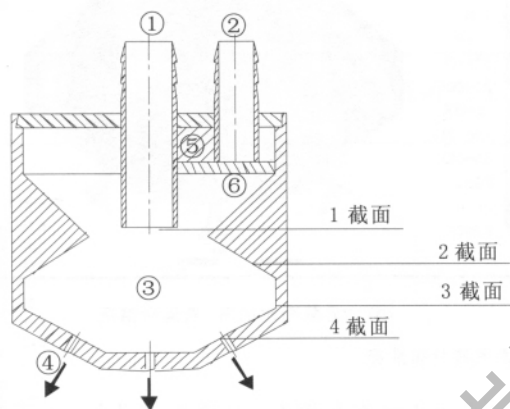


图1 喷嘴结构示意图

2 喷嘴内部流场数值模拟

2.1 气液两相流数值计算的基本方程

旋切式气液两相喷嘴内部的流动是十分复杂的三维紊流流动,受几何模型、旋转及进出口条件的影响,采用合理的湍流模型对于准确计算颗粒在流场中的运动是十分必要的。

在旋切式喷嘴内部流场(连续空气-水)进行稳态条件下的数值模拟,RNG模型是被证实了能很好的适用于旋流喷嘴内数值模拟计算^[56]。

2.2 计算条件设置

考虑到喷嘴中流体流动状态的复杂性以及受到数值计算硬件资源的限制,在本文的数值模拟中做了几点简化假设:①喷嘴内的流动为气、液两相连续不可压流动;②由于喷嘴尺寸较小,重力作用有效距离较短,不考虑水重力加速度的影响;③不考虑流动过程中热传导的作用;④假设喷嘴外部工作环境温度为 25°C ,工作压强为1个标准大气压强。

(1)入口边界

喷嘴进口边界条件使用实际试验时测得的质

旋切式雾化喷嘴的雾化机理结合两相流雾化机理和气泡雾化机理。当喷嘴开始工作时,压缩气体由进气管进入喷嘴,由于扇形和挡板的作用,气体在喷嘴旋流筒内形成下旋气流,气流越向下速度越快;在与此同时,水流从中心进液管内流进喷嘴,当向下螺旋的气流与中心进液管出口处的液流相遇时,高速气流将对液流产生强烈的剪切力和冲击力,将液流撕碎。在喷腔下部,气流和液流的速度相对减缓并形成气液混合流,最后从设置在喷嘴末端的喷孔喷出雾化。

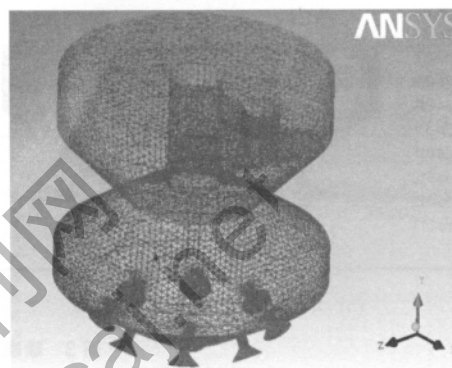


图2 喷嘴非结构网格

量流量来设定。在实际测量中喷嘴的进液量为 500 L/h ,气液比 0.3 kg/kg 。

(2)出口边界

出口边界定在喷嘴的出口截面,为压力型出口,出口压力为一个大气压。

(3)壁面及其他条件设置

模型的其余固体壁面假设为无速度滑移和无质量渗透,设定为wall。在计算过成中对控制方程湍流项和对流扩散相的离散采用CFX系统默认的一阶迎风格式。

2.3 几何模型网格划分

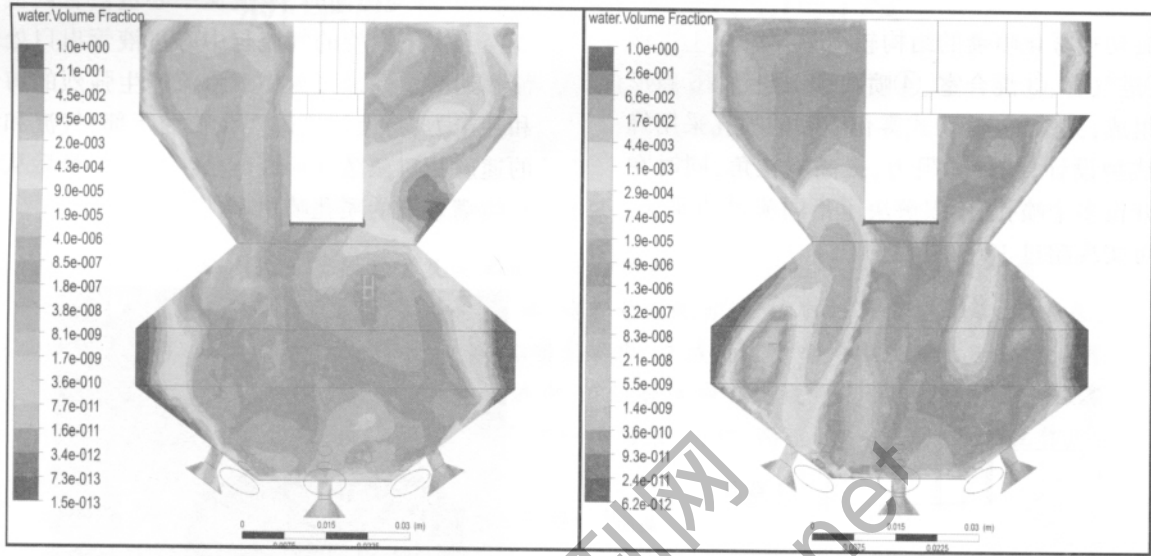
在建模过程中忽略了喷嘴壁厚,并对模型进行相应的简化后,利用ICEM软件划分网格,并在喷嘴内部速度梯度变化大的地方进行适当加密网格处理,而其他区域的网格相对稀疏,为保证计算精度的同时又提高计算效率,最终将整个计算域划分为691877个网格,如图2。

3 计算结果与分析

3.1 喷嘴内部气液两相体积混合情况分析

VOF 方法能很好的捕获气液分界面。图3 分别给出了中心截面 XY、YZ 上液相在喷嘴混合室内所占的体积百分数。从图中,可以看出液体在刚从中心进液管中进入喷嘴混合室时液相的体积百

分数是 1(代表为全部为液相水),然而由于存在高速下旋的气体的剪切作用,液柱迅速被旋转气流剪切撕碎成液滴状态,最后分散在气体中,形成气液混合共存的状态。



(a) XY 截面水的气-液混合情况

(b) YZ 截面水的气-液混合情况

图3 喷嘴内不同截面气液分布情况

3.2 喷嘴内部速度场分析

(1) 喷嘴内部流线分析

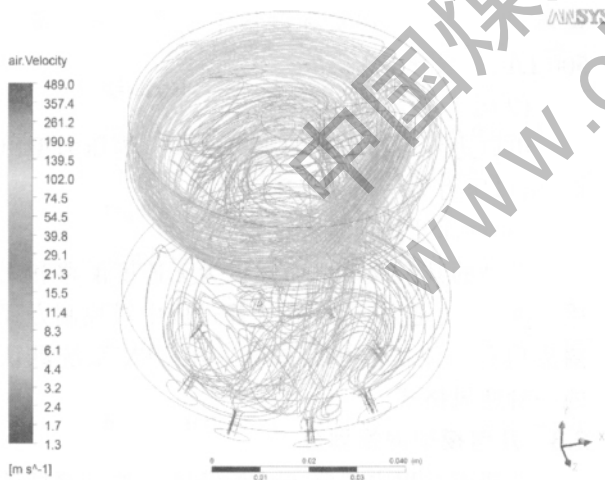


图4 气体在混合室内流线图

图4是喷嘴内气体的运动流线图。图中喷嘴混合室的上部气体的速度维持在 140 m/s 以上,沿着喷嘴内壁旋转运动;当气体在混合室的喉管位置与进液管进入的液体相遇时,由于气-液两相间存在着极大的速度差,气体对液相的高速冲击、剪切作用,气体速度很快下降到 20 m/s 以下,液体被气相充分破碎,此时气相速度的降低有利于气

液两相的充分混合;在喷嘴喷孔处,由于喷孔截面的急剧减小,此时气体的速度又会急剧增大,甚至超过音速,最大达到 489m/s。

(2) 喷嘴内部各截面气液两相速度分析

图5给出了液相和气相在各个截面上的速度分布情况。

图(a),清楚的看到气-液两相交界面的存在,且气、液两相均是沿着同一方向(逆时针)运动的,只是液相的速度指向刚好与气相相反;并且在中心管的背面存在着一个完整的漩涡。受气相压力影响,1截面上存在着高速、低速区。

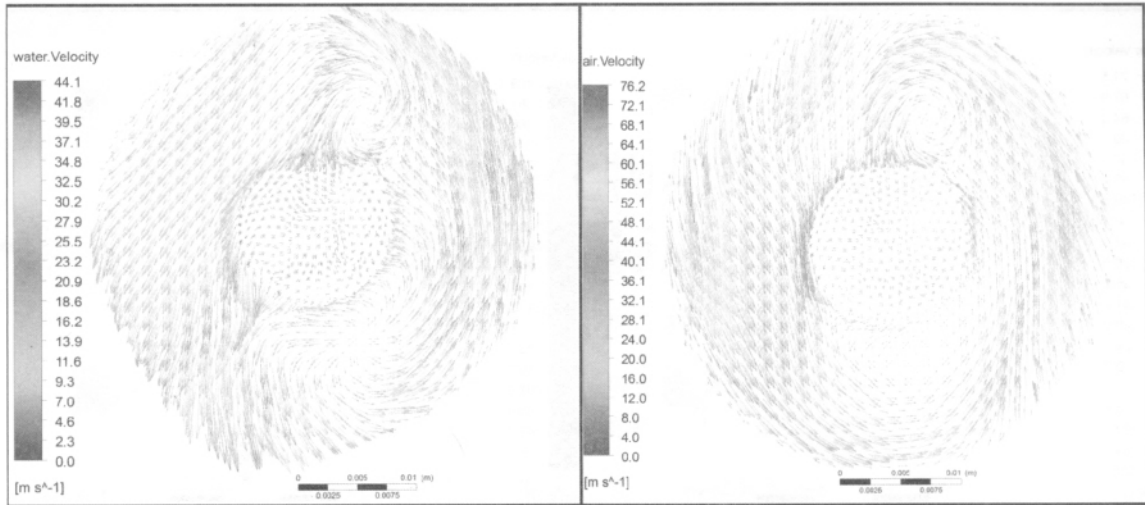
图(b),截面上中心管背后的压力趋近一致消失,气、液两相运动趋势越来越一致。

图(c),气、液两相已经达到一致,气、液两相为混合均匀。

图(d),截面刚为混合室与喷孔的交界面。从图中可以看出,气、液两相之间的速度存在着较大的速度梯度。在8个喷孔周围,气相的体积开始迅速膨胀,有利于液体喷出后的进一步雾化。

4 结论

(1)本文提出一种新型气液两相喷嘴,喷嘴的



(a) 液-气两相在 1 截面上速度矢量分布

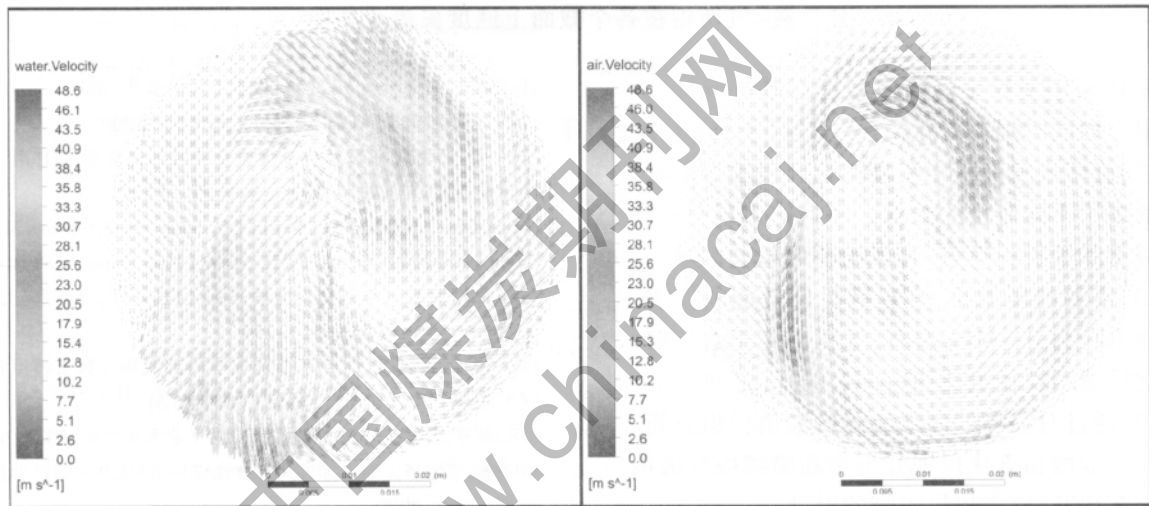


图 b 液-气两相在 2 截面上速度矢量分布图

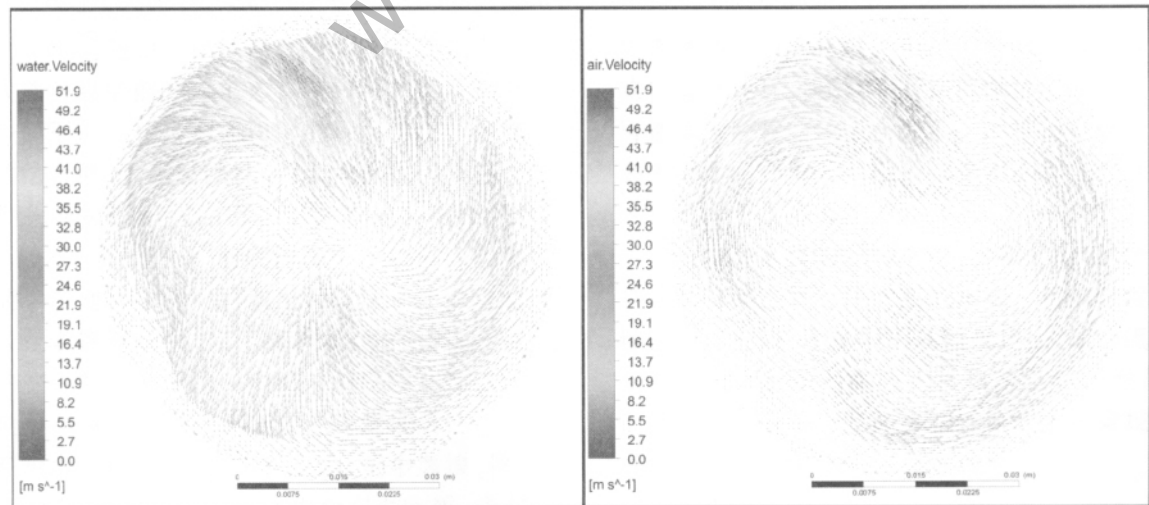


图 c 液-气两相在 3 截面上速度矢量分布图

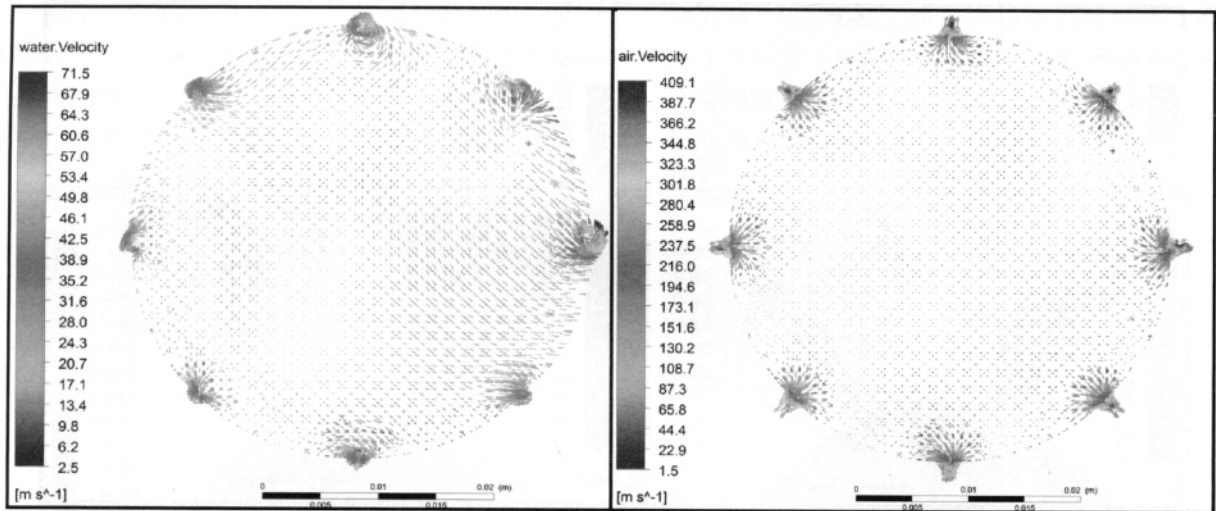


图 d 液-气两相在 4 截面上速度矢量分布图

图 5 液-气两相在各个截面上速度矢量分布图

喷孔采用文丘里蜂腰模型进行改进设计,在减小阻力的同时提高雾化角。

(2) 旋切式气液两相喷嘴底部开设多个喷孔,不仅解决了不同流量的需求,而且能实现每个喷孔等流量和等射程喷射,其雾化角可超过 180° 。

(3) 需要的压力小,真正满足低耗能的要求。所需的水压为 0.2 MPa 左右,气压略高于水压时,其雾化后液滴粒径可达 $30\ \mu\text{m}\sim 70\ \mu\text{m}$ 之间。

(4) 通过对喷嘴的内部流场的数值模拟分析,可视化气液两相雾化机理并得出在喷嘴内气液两相的分布状况,用于指导喷嘴的设计。

参考文献

- [1] 王喜忠. 喷雾干燥[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 曹建明. 喷雾学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [3] 卢平, 梁晓燕等. 双流体喷嘴雾化特性的试验研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版) 2008.3, 8(1).
- [4] Lefebvier AH, Wang XF, Martin CA. Spray characteristics of aerated-liquid pressure atomizers [J]. AIAA J Prop Power, 1988, 4(4).
- [5] 王福军编著. 计算流体动力学分析-CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.1~159.
- [6] 尹俊连, 焦磊, 仇性启等. 旋流喷嘴内部流场的数值模拟和实验研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43(5).
- [7] 钟丽娜. 喷嘴流场数值模拟[J]. 安徽工业大学学报, 2009, 26(3).
- [8] 黄鑫. 气泡雾化细水雾灭火有效性模拟研究[D]. 中国科学技术大学博士论文, 2007.