

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.015

高压喷嘴的射流仿真研究

张 振,章巧芳*

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对高压喷嘴射流发散快以及速度稳定性差等问题,将Fluent仿真技术应用到高压喷嘴的流场分析中。根据高压喷嘴结构特点,为喷嘴及外部喷射区域建立了轴对称的几何模型;并根据喷射过程中流体速度的变化情况进行了网格的划分与加密,然后对高压喷嘴的淹没与非淹没射流流场以及不同收缩角时的非淹没射流流场进行了仿真分析;在流体理论的基础上提取了各种情况下的速度分布图,并对其结果进行了对比分析。研究表明,收缩角的不同对喷嘴流场的轴线的速度变化影响较大,当收缩角为 10° 时流场速度的稳定性最好;此外,通过对淹没射流与非淹没射流的流场情况进行比较,得出了非淹没射流对速度的集中更为理想的结论;仿真分析结果也为高压喷嘴结构及喷射形式的选取提供了一定的依据。

关键词: 高压喷嘴; Fluent; 射流仿真; 淹没; 非淹没; 收缩角

中图分类号: TH137.53; TD431 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)02-0185-03

Study on jet simulation of high pressure nozzle

ZHANG Zhen, ZHANG Qiao-fang

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problem of high pressure jet flow speed diverge fast and speed unsteability, the numerical simulation tool of Fluent was applied to the analysis of high pressure jet flow. According to the high pressure nozzle structure characteristics, axisymmetrical geometric models of nozzle and external injection area were established. Grids were divided and encrypted according to fluid velocity changes in the injection process. The submerged and nonsubmerged jet flow of high pressure nozzle and jet flow with different contraction angles were simulated. Velocity distribution was extracted on the basis of fluid theory and the results were analyzed. The results indicate that different constraction angles have a great influence on the aix speed, the speed gets the best speed steability. Additional, the speed of nonsubmerged jet flow is more concentrative compared with the submerged jet flow. The simulation results can be used as the basis for the selection of the high pressure nozzle structure and spray pattern.

Key words: high pressure nozzle; Fluent; jet simulation; submerged; nonsubmerged; contraction angle

0 引 言

高压水射流技术是近20年来发展起来的一门新技术,其基本原理是将水用高压从喷嘴处压出以形成射流动能^[1]。随着工业技术的进步,高压水射流技术得到了长足的发展,并广泛应用于除锈除层、工业清洗、水力切割以及钻孔开采等^[2-3]。因其具有环保、能量集中、成本低、操作方便等优点,其应用领域越来越广。而高压喷嘴作为高压水射流系统中的一个重要

元件,它的结构及性能直接影响着高压水射流效果的好坏^[4],故而对高压喷嘴的研究有着非常重要的意义。重庆大学的葛兆龙、卢义玉等人^[5]利用Fluent研究了水力喷砂射孔喷嘴的长径比对出口冲蚀性能的影响后得出结论:长径比为1.8时,出口射流速度和动能最大。武汉科技大学的朱学彪、陈奎生等人^[6]利用Fluent对高压水除磷喷嘴的流场情况进行了研究后得出结论:喷嘴的出口速度与系统压力成正比,与喷射距离成反比。

收稿日期: 2012-11-27

作者简介: 张 振(1988-),男,河南信阳人,主要从事有限元分析方面的研究. E-mail: 272993028@qq.com

通信联系人: 章巧芳,女,高级工程师. E-mail: 1337322423@qq.com

本研究在对高压喷嘴建立有限元模型的基础上,使用流体仿真软件 Fluent 对不同收缩角喷嘴的内、外流场进行仿真,并对淹没射流和非淹没射流两种喷嘴射流方式分别进行仿真,然后对仿真数据进行提取,对比分析,得出不同收缩角和不同的射流方式对高压水射流性能的影响曲线,为进一步研究高压水射流提供相关的理论依据。

1 流场基本理论

本研究涉及到的为不可压缩连续流动,故而需满足流体流动的连续方程式和动量守恒方程式如下:

连续方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

式中: ρ —密度; t —时间; \mathbf{u} —速度矢量; u, v, w —速度矢量 \mathbf{u} 在 x 、 y 和 z 方向的分量。

动量守恒方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = \text{div}(\mu \text{grad } u) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = \text{div}(\mu \text{grad } v) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = \text{div}(\mu \text{grad } w) - \frac{\partial p}{\partial z} + S_w \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\text{grad}() = \partial()/\partial x + \partial()/\partial y + \partial()/\partial z$; 符号 S_u, S_v, S_w —动量守恒方程的广义源项。

又在喷嘴喷射的过程中和气体有能量的交换,所以还应满足能量守恒方程式^[7]:

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho u T) = \text{div}\left(\frac{k}{c_p} \text{grad } T\right) + S_T \quad (3)$$

式中: c_p —比热容, T —温度, k —流体的传热系数, S_T —流体的内热源及由于粘性作用流体机械能转换为热能的部分^[8]。

2 喷嘴的模型建立及边界条件的确定

2.1 喷嘴的几何模型及网格划分

本研究采用的喷嘴几何模型属于轴对称结构,为了减少仿真的计算量,笔者选取一半作为计算区域,为了仿真得出喷嘴外流场的流动情况,在喷嘴的外部建了一个很大的区域作为喷嘴外部射流区域^[9]。

其具体结构如图1所示,其中: $AB = 2.5 \text{ mm}$, $CD = 1 \text{ mm}$, $CI = 220 \text{ mm}$, $HI = 20 \text{ mm}$, AD 与 BC 的夹角为收缩角的一半^[10]。

本研究将几何模型导入到 Gambit 进行网格划分,网格划分的质量决定了仿真结果的准确性,由于喷嘴内部、出口处以及流场轴线上的流场速度变化比较大,为

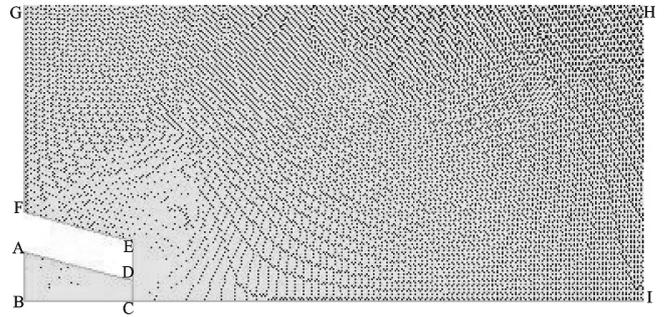


图1 几何模型和网格划分

了准确地反映流场的变化情况,本研究对这3个地方进行网格的加密,其余部分网格相对稀疏^[11]。因为三角形网格具有更好的配合性,故而整个模型采用三角形网格进行划分。

2.2 边界条件的确定

本研究采用多相流中的混合模型,其中 AB 为喷嘴入口,边界条件为压力入口 (pressure inlet), 压力值为 20 MPa ; AD 、 DE 、 EF 、 FG 均为无滑移边界壁面 (wall); HI 、 GH 为压力出口 (pressure outlet), 压力值为 0 Pa ; 操作压力为一个标准大气压; BC 、 CI 边界条件为对称轴边界 (axis); CD 为默认的 interior 边界。

3 流场仿真结果分析

3.1 同一喷嘴淹没射流与非淹没射流仿真结果

一股速度很大的流动射入周围流体时所形成的流动,称之为射流。而按照射流周围介质的性质,射流又可以分为淹没射流和非淹没射流。若射流介质与周围介质相同则称为淹没射流,若不同则称为非淹没射流^[12]。淹没射流因为周围介质为同一种介质,故而射流的能量很快就传递到了周围介质中,这也就决定了淹没射流在出口处有一个短暂的加速之后速度会很快降低。而非淹没射流如水射入空气中,因空气对水的阻力较小,故而轴线上的速度减弱较慢。

喷嘴在 20 MPa 的压力下,以水为介质的高压喷嘴淹没射流与非淹没射流的速度云图如图2、图3所示。

从图中可以很清晰地看出,两种射流情况的基本形状大致一致,但淹没射流的轴向速度变化很明显,从最大值经过很短的时间就减小到很小的程度,而非淹没射流虽然也有一个减速的趋势,但减小的很少,

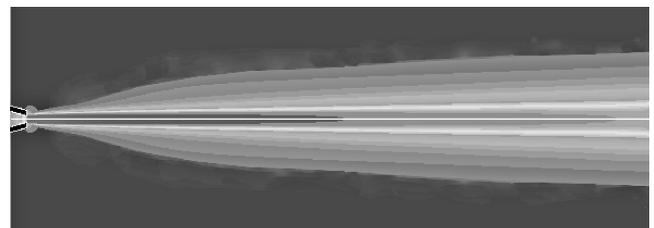


图2 高压喷嘴淹没射流速度云图

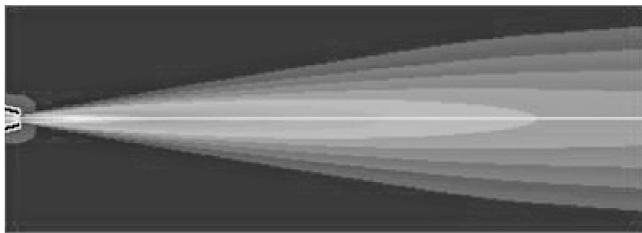
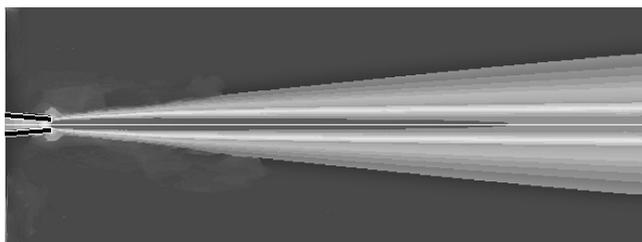


图3 高压喷嘴非淹没射流速度云图

在很短的距离内很难看到变化量,这与理论分析的结果相吻合。另外,这也表明非淹没射流对于高压水射流的能量集中起着积极的作用。

3.2 相同压力不同收缩角条件下喷嘴仿真结果分析

喷嘴在压力为20 MPa条件下,收缩角为 10° 时的非淹没射流的速度云图如图4所示。

图4 收缩角为 10° 时高压喷嘴速度云图

本研究将图4与图3所示收缩角为 30° 的非淹没射流的速度云图相对比,可以看出,两者的流场的形状大致相同,但很明显速度的变化趋势有所不同。

压缩角分别为 5° 、 10° 、 30° 、 60° 时轴向的速度变化曲线如图5所示。从图5中可以看出当收缩角为 10° 时速度最为集中且稳定性比较好,这表明,在其他条件相同的情况下,收缩角为 10° 的非淹没射流喷嘴的高压水射流冲击力最大。这也表明此种条件是最优选择。

4 结束语

本研究先对高压喷嘴进行了模型的建立以及网格的划分,然后通过使用Fluent数值仿真软件对高压喷嘴的淹没射流和非淹没射流以及不同收缩角条件下同一喷嘴的非淹没射流进行仿真,并通过后处理提取出喷嘴内外流场的速度分布,分析比较了不同喷射方式以及不同收缩角的情况下,高压喷嘴速度的集中性和稳定性。

研究表明,非淹没射流比淹没射流具有更好的轴向速度集中性,而且当收缩角为 10° 时速度更加稳定;在其他条件相同的情况下,选择收缩角为 10° 的

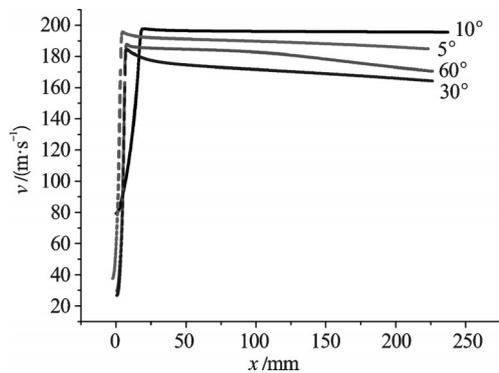


图5 不同收缩角时轴向速度变化曲线

喷嘴进行非淹没射流更有利于高压喷射系统的使用,这对高压喷嘴的选择提供了理论基础。

参考文献(References):

- [1] 庄静伟,王 强,史 亮,等. 高压水射流的发展与应用[J]. 中国水运,2007,7(10):124-125.
- [2] 陈 亮. 高压水射流扇形喷嘴内外流场仿真分析[D]. 兰州:兰州理工大学能源与动力工程学院,2009.
- [3] 梁 杰. 机器人高压火射流去毛刺系统的研究[J]. 机电工程技术,2012,41(7):28-30.
- [4] 付曙光. 高压水除磷喷嘴射流特性的CFD仿真[D]. 武汉:武汉科技大学机械自动化学院,2007.
- [5] 葛兆龙,卢义玉,左伟芹,等. 水力喷射射孔喷嘴的数值模拟及实验研究[J]. 郑州大学学报,2011,32(3):119-123.
- [6] 朱学彪,陈奎生,王 毅,等. 高压除磷喷嘴喷射流场数值模拟与实验分析[J]. 机械设计与制造,2009(5):217-219.
- [7] 赵汉中. 工程流体力学[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2010.
- [8] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [9] 周文会. 高压水射流喷嘴内外部流场的数值模拟研究[D]. 兰州:兰州理工大学能源与动力工程学院,2008.
- [10] ARIKAN M A S, BALKAN T. Process modeling, simulation, and paint thickness measurement for robotic spray painting[J]. *Journal of Robotic Systems*, 2000, 17(9):479-494.
- [11] SHAH U, ZHU J, SENIOR J H N. Numerical investigation of coarse powder and air flow in an electrostatic powder coating process[J]. *Powder Technology*, 2006, 164(1):22-32.
- [12] 刘丽芳,黄传真,朱洪涛,等. 基于FLUENT的非淹没式纯水射流喷嘴内部流场仿真[J]. 制造技术与机床,2010(10):56-60.

[编辑:张 翔]