

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.01.010

异形喷嘴内部流场的可视化研究

左海宁, 白璐, 周家日, 蔡书鹏

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 运用 Fluent 软件对圆形喷嘴、正三角形喷嘴和正方形喷嘴的内流场进行三维仿真模拟。仿真结果表明: 喷嘴形状对喷嘴的内流场有较大影响, 喷射速度呈现由几何中心向喷嘴壁面逐渐衰减的趋势; 随着入口压力的增加, 异形喷嘴轴心速度衰减比圆形喷嘴慢, 正三角形喷嘴速度衰减最慢。

关键词: 三维仿真模拟; 流场; 异形喷嘴; 轴心速度

中图分类号: TH137.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)01-0043-05

Visualization Research on the Internal Flow Field of Non-Circle Nozzle

Zuo Haining, Bai Lu, Zhou Jiari, Cai Shupeng

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: The three-dimensional simulation on the internal flow field of circle jet nozzle, equilateral triangle nozzle and square jet nozzle were performed by Fluent. The results show that the impact of jet nozzle shape to the internal flow field is large and the jet velocity gradually decreases from geometric center to the wall region; As the inlet pressure increasing, the reduction of centerline velocity of non-circle nozzle is slower than that of circle nozzle, and the equilateral triangle has the lowest reduction.

Keywords: 3D numerical-simulation; flow field; non-circle nozzle; centerline velocity

0 引言

异形喷嘴是指喷孔形状为非圆形的喷嘴。由于其特殊的几何形状, 因此存在不同的射流特性^[1-2]。研究人员发现, 异形喷嘴能够降低喷头工作压力, 改善喷嘴的水力性能, 且具有多变的射流形状、易于调控的射流强度以及更有效的射流面积, 所以这类喷嘴应用于某些场合时的性能优于普通喷嘴。

根据压力条件的不同, 异形喷嘴可分为低压和高压 2 种类型, 不同的压力对于异形喷嘴的流量、输出功率、射流的水力分布等有不同的影响。在 1~10 MPa 的低压状况下, 异形喷嘴的射流能以多变的结

构产生多变的射流形状, 且能产生较好的雾化效果。随着技术和工艺的发展, 异形喷嘴的工作压力也有不同程度地提高, 甚至可达到 10~30 MPa 的高压范围。高压喷嘴适用的压力范围一般为 10~100 MPa。研究表明, 美国 AQUA-DYNE 公司所生产的 Rankin-Shape Jets 的高压异形喷嘴能提高水射流的集束性能, 这类射流的共性是以具有锐边的平面防止空气卷裹射流, 因此, 在较大靶距下射流能保持较好的凝聚性, 且具有优越的工作效率^[3-4]。

异形喷嘴在工业清洗、农林灌溉、切割、水力钻孔等领域被广泛应用, 如螺旋锥形喷嘴, 其射流截面形状是 2 个同心圆, 被广泛应用于烟气脱硫除

收稿日期: 2012-08-03

作者简介: 左海宁 (1984-), 湖南邵东人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为高效射流理论及应用,

E-mail: 357305915@qq.com

尘、废气处理、防火灭火、塔器清洗等方面。异形喷嘴具有较好的雾化性能,可应用于农林业的喷淋浇灌、杀虫剂喷洒、过热设备喷水降温等方面;还能提高喷嘴的射流性能,改善工作质量,节约能源。为了分析圆形喷嘴与2种异形喷嘴(正方形和正三角形)的射流特性,本文运用Fluent软件对这3种喷嘴的内流场进行仿真,分析其不同压力条件下对喷嘴内流场的影响,从而分析其射流特性,为异形喷嘴在工程中的应用提供一定的理论依据。

1 建立模型

1.1 设计喷嘴

本文设计了3种喷嘴模型,其喷孔形状分别为正方形、正三角形和圆形。由于影响喷嘴流场的参数有收缩角、长径比、出口面积及出口形状等,因此,在仿真计算中,为了减少一些因素的影响,设置喷嘴的长径比均为5,出口的收缩系数等于1,由于考虑了异形喷嘴的加工工艺和模拟的可比性,喷嘴流道采用平行流道,即入口角/出口角=1。根据相同压力下保持圆形喷嘴和异形喷嘴出口面积相同原则,设计3种喷嘴的尺寸为 $A_{\Delta}=A_{\square}=A_{\circ}$,通过计算得到2种异形喷嘴的边长分别为: $a_{\Delta}=1.73\text{ mm}$, $a_{\square}=1.14\text{ mm}$,圆形喷嘴的直径 $d_{\circ}=1.14\text{ mm}$ ^[5]。3种喷嘴的长度为17 mm,入口截面 $\phi=8\text{ mm}$ 。3种喷嘴结构如图1所示。

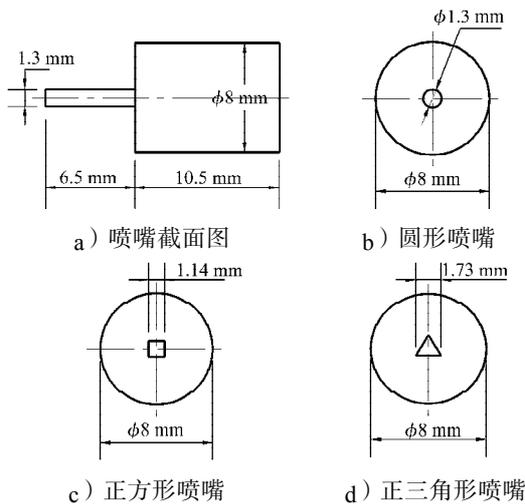


图1 3种喷嘴结构图

Fig. 1 The structure of three kinds of nozzle

1.2 建立数学模型

通过计算喷嘴的雷诺数可知,喷嘴的流场处于高湍流状态,因此,3种喷嘴采用标准的 $k-\varepsilon$ 双方程湍流模型。该模型是在湍流动能方程的基础上引入湍流耗散率 ε ,于1972年由Launder和Spalding提出。

该模型的输出方程为^[6-7]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k,$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) + C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon.$$

式中: k 是湍流动能;

G_k 由平均速度梯度引起的湍流动能产生项;

G_b 由浮力引起的湍流动能产生项;

Y_M 是可压缩湍流中脉动膨胀对总耗散率的影响;

S_k, S_ε 为用户自定义源项;

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ 为经验常数,其值分别为 $C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $C_{3\varepsilon}=0.09$;

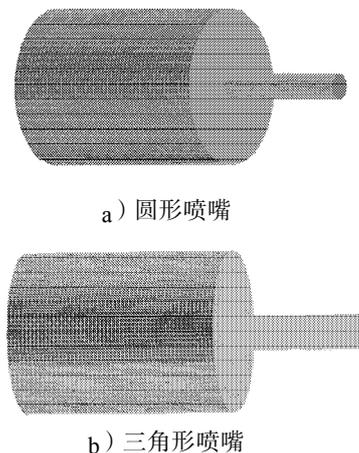
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 分别为湍流动能和湍动耗散率对应的普朗特常数,其值分别为 $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$ 。

1.3 设定边界条件

根据异形喷嘴的射流特点,假设射流为不可压缩黏性流体的定常流动,其介质视为均质流,喷嘴的流入介质为水,其密度为 998.2 kg/m^3 ;喷嘴固体壁面设定为无滑移绝热壁面,近壁区采用标准壁面函数法处理;喷嘴入口处的边界条件为压力入口条件(pressure-inlet);喷嘴出口处边界条件为压力出口条件(pressure-outlet);不计重力影响;求解器采用压力速度耦合算法;离散格式采用二阶迎风格式;其它参数为默认值。

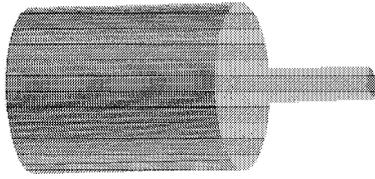
1.4 划分网格

运用ANSYS软件中ICEM模块对3种喷嘴的三维实体进行六面体网格划分。网格质量均在0.7以上,无负体积产生。3种喷嘴的三维实体网格如图2所示。



a) 圆形喷嘴

b) 三角形喷嘴



c) 正方形喷嘴

图 2 3 种喷嘴的三维实体网格

Fig. 2 3D entity grid of the three nozzles

2 仿真结果与分析

为了研究随入口压力的增加, 3 种喷嘴的射流特性, 本文在入口压力分别为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 MPa 的 6 种条件下, 对 3 种喷嘴的内流场情况进行了仿真分析。

2.1 喷嘴形状对喷嘴流场的影响

喷孔形状与其流量的关系如图 3 所示。随入口压力的增加, 3 种喷嘴的流量变化趋势为: 正三角形喷嘴的流量增长速度最快, 正方形喷嘴其次, 圆形喷嘴的流量增加幅度最小。这说明了正三角形喷嘴的流量对压力变化较敏感, 而圆形喷嘴随压力的变化, 能保持流量的稳定性。

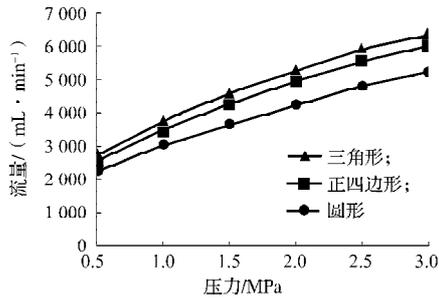


图 3 喷孔形状与其流量的关系

Fig. 3 The relationship between the nozzle shape and the flow

当入口压力一定的条件下, 通过对 3 种喷嘴内流场的模拟分析发现: 其速度呈现沿着几何中心向壁面逐渐衰减的趋势, 且正三角形喷嘴和正方形喷嘴的流道内速度分布高于圆形喷嘴流道, 沿轴线附近速度衰减比圆形喷嘴流道慢; 此外, 圆柱段结构参数相同的入口条件下, 圆柱段对射流速度的影响较小, 所以喷嘴内流场速度的变化主要集中在截面变化之后的流道内, 如图 4 所示。

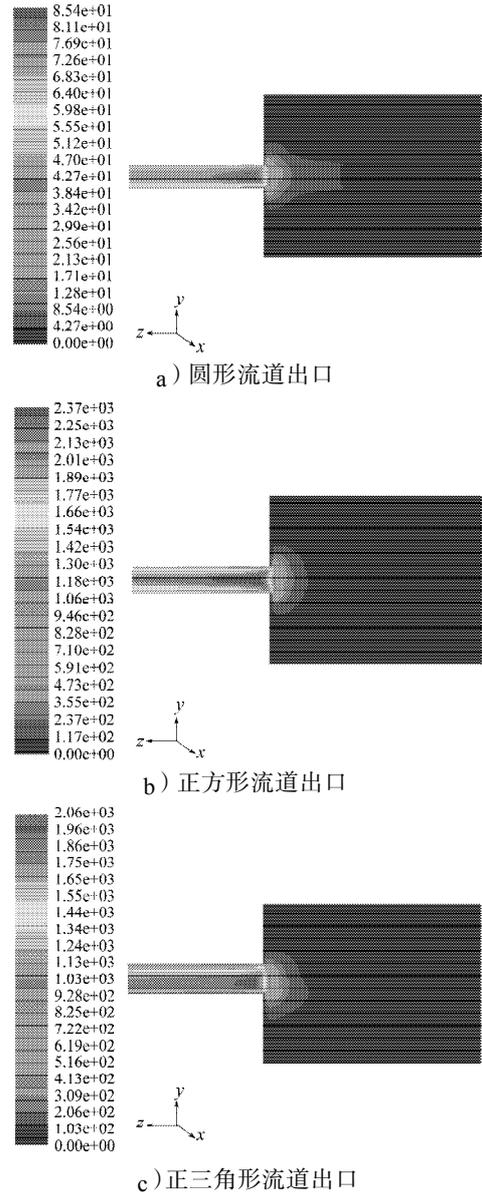
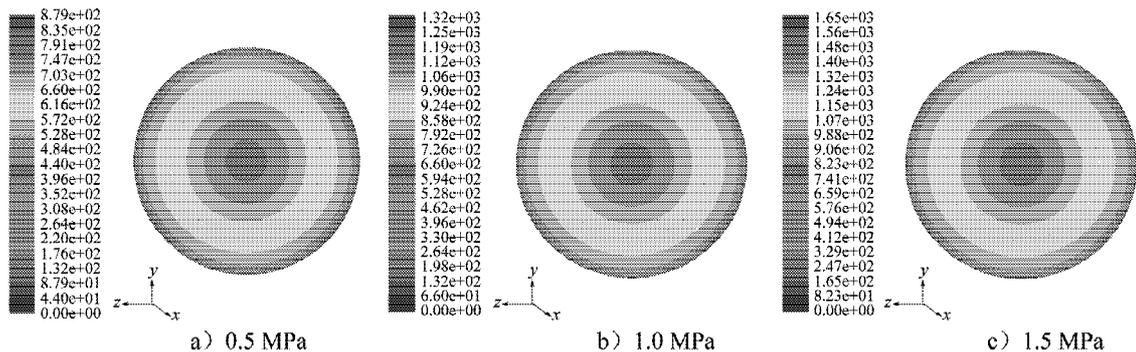


图 4 入口压力 3 MPa 时 3 种喷嘴的速度云图

Fig. 4 The velocity cloud pictures of the three nozzles at inlet pressure of 3 MPa

2.2 不同入口压力对 3 种喷嘴出口截面的影响

随入口压力的增加, 3 种喷嘴的喷射速度逐渐增加, 较大速度均出现在几何中心附近。3 种喷嘴出口的速度云图分布如图 5~7 所示。



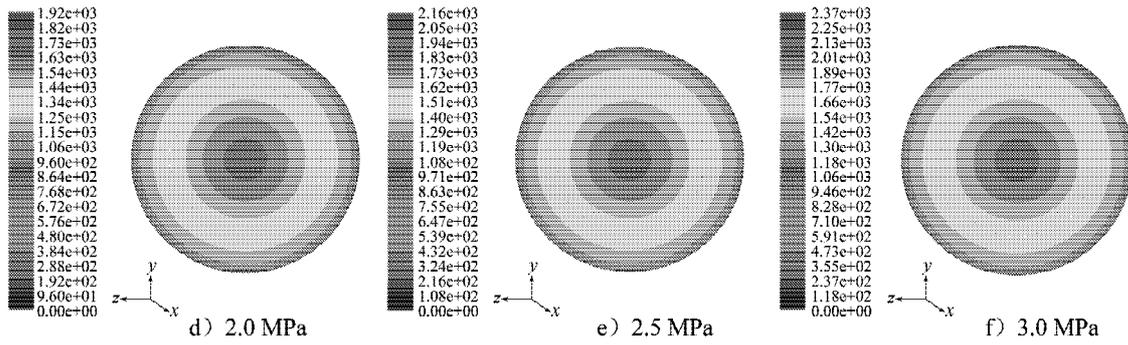


图5 圆形喷嘴出口的速度云图

Fig. 5 The outlet velocity contour of circular

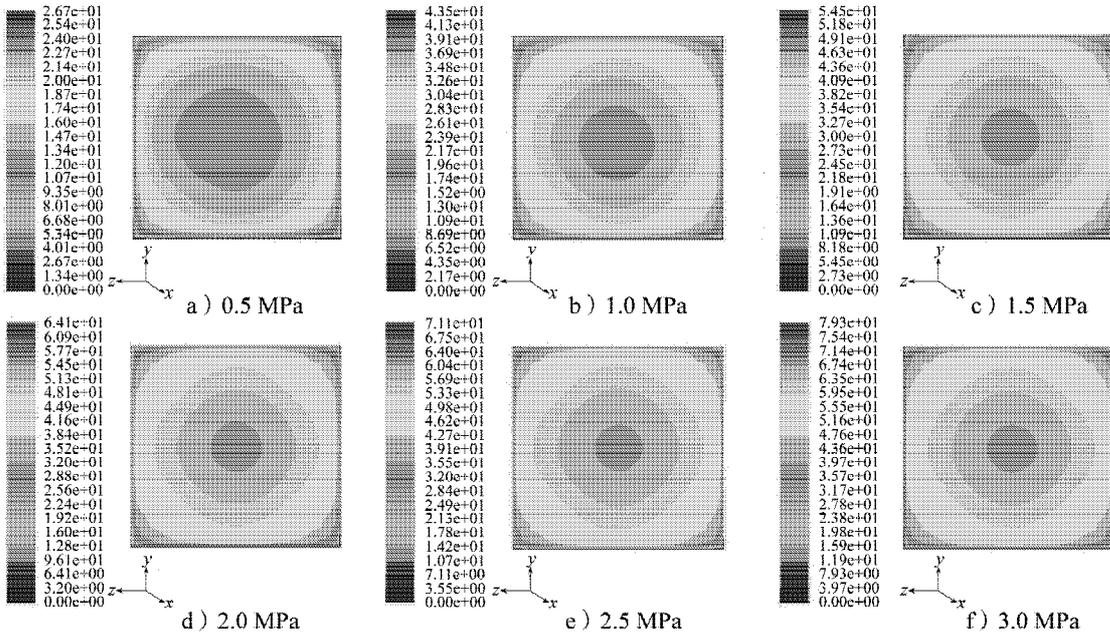


图6 正方形喷嘴出口的速度云图

Fig. 6 The outlet velocity contour of Square nozzle

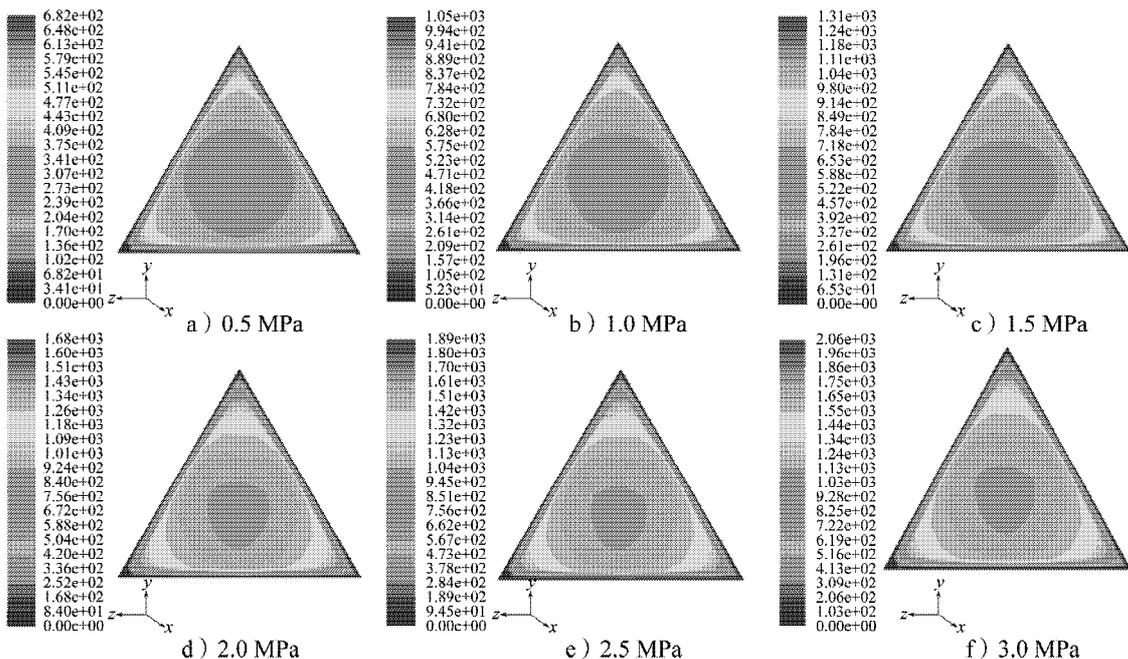


图7 正三角形喷嘴出口的速度云图

Fig. 7 The outlet velocity contour of equilateral triangle nozzle

从上面这些图可以看出,喷嘴出口的形状对喷嘴的喷射速度场影响较大。在图5中,圆形流道喷嘴出口的速度呈现由壁面向中心轴逐渐递增,为规则的圆环形,不同入口压力下速度分布变化不明显;在图6中,正方形流道喷嘴随入口压力的不断增大,喷射速度分布逐渐集于几何中心,且出口压力分布趋于圆形,轴心速度逐渐变小;在图7中,正三角形流道喷嘴的出口速度呈现近似三角的环形分布,随入口压力的增加,轴心速度逐渐变小,其分布也趋于倒三角形。

3 结论

利用Fluent软件分别对圆形、正方形和正三角形喷嘴内的速度场进行仿真计算,实现了可视化数值仿真模拟,为异形喷嘴的应用和研究提供了一定的参考依据。

1) 在入口压力一定的条件下,通过对3种喷嘴的内流场的模拟分析可知,正三角形喷嘴流量最大,正方形喷嘴其次,圆形喷嘴最小,且3种喷嘴的速度均呈现由几何中心向壁面衰减。

2) 正三角形和正方形流道喷嘴随入口压力的增加,流体沿轴线附近速度衰减比圆形流道出口喷嘴衰减速度慢。随着入口压力的增加,正三角形喷嘴出口速度越大,轴心速度越集中,且速度分布也趋于倒三角形。

参考文献:

[1] 李久生. 异形喷嘴雾化状况的研究[J]. 喷灌技术, 1991

(3): 28-32.

Li Jiusheng. The Research of Non-Circle Nozzle Atomization Condition[J]. Sprinkler Irrigation Technology, 1991(3): 28-32.

[2] 魏洋洋,袁寿其,李红,等. 异形喷嘴变量喷头水力性能试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 70-74.

Wei Yangyang, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Hydraulic Performance Experiment of the Variable-Rate Sprinkler with Non-Circle Nozzle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 70-74.

[3] 薛胜雄,黄汪平,陈正文,等. 高压水射流技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1998: 197-280.

Xue Shengxiong, Huang Wangping, Chen Zhengwen, et al. High Pressure Waterjet Technology & Application[M]. Beijing: China Machine Press, 1988: 197-280.

[4] 赖艳萍,赵欣,赖维,等. 异形喷嘴射流特性的实验研究[J]. 轻机械, 2005(4): 23-25.

Lai Yanping, Zhao Xin, Lai Wei, et al. Experimental Study on the Jet Characteristic of Non-Circle Jet Nozzle[J]. Light Industry Machinery, 2005(4): 23-25.

[5] 李震,刘新泰,张玉宝. 喷嘴结构参数对射流流场影响的仿真与研究[J]. 煤矿机械, 2012, 33(1): 63-65.

Li Zhen, Liu Xintai, Zhang Yubao. Structural Parameters of Jet Nozzle Affect Jet Flow Field Simulation and Research [J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(1): 63-65.

[6] 朱红钧,林元华,谢龙汉. Fluent 12 流体分析及工程仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2011: 79-108.

Zhu Hongjun, Lin Yuanhua, Xie Longhan. Fluent 12 Fluid Analysis and Engineering Simulation[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011: 79-108.

(责任编辑:邓彬)