

基于 Fluent 的清洗用扇形喷嘴 内部流场的可视化研究

郭仁宁, 徐 林

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 利用 CFD 前置处理软件 gambit 建立扇形喷嘴内部流场的可视化模型, 通过 fluent 软件求解扇形喷嘴高压水射流各节点速度。根据速度场分布云图, 分析影响扇形喷嘴高压水射流速度的主要因素。结果表明: 扇形喷嘴出口盲端长度和切槽相对偏移量对其内部流场影响较大, 圆柱端长度和切槽半角对其内部流场影响较小, 切槽半角主要决定射流的散射角。模拟的结果为扇形喷嘴的设计选取提供了一定的理论依据, 对实际工程有一定的指导意义。

关键词: 扇形喷嘴; 射流; 流场; 三维模拟; 结构参数

中图分类号: TP69

文献标识码: A

文章编号: 1002-2767(2011)07-0128-04

高压水射流清洗技术是近年来在国际上兴起的一门高科技的物理清洗技术^[1], 它根据不同的清洗对象和要求, 除去清洗基体用化学方法不能或难以清除的特殊垢层^[2]。高压水射流清洗系统由主机泵、调压装置、喷嘴和控制装置等组成。喷嘴作为形成高压水射流的直接工况, 其作用效果直接影响清洗效果^[3]。喷嘴按形状可分为圆柱形喷嘴、扇形喷嘴和异性喷嘴^[4]。国内外学者对于圆柱形喷嘴的研究已经比较多且较成熟^[5-9], 但是对于扇形喷嘴的研究比较少。

该研究以具有喷射均匀、清洗力量大、简单实用等诸多优点的扇形喷嘴为研究对象^[10], 运用 Fluent 软件, 对喷嘴内部流场进行三维数值模拟^[11], 以喷嘴内部流场的流态及轴心速度为目标, 研究不同参数对扇形喷嘴内部流场的影响, 优化喷嘴结构, 为清洗用扇形喷嘴的设计选取提供一定的依据。

1 模型的建立

1.1 物理模型

图 1 为扇形喷嘴内部结构示意图, 其结构不同于普通的轴对称形圆柱喷嘴, 出口截面为椭圆。扇形喷嘴的结构参数可分为入口参数和出口参数。入口参数有入口直径 D 和出口直径 d , d 值主要由系统的工作压力和流量决定。出口参数

有: L 圆柱端长度, L_1 出口盲端长度, L_2 切槽相对偏移量, α 切槽半角^[12]。该文主要对出口参数不同的扇形喷嘴的内部流场进行研究。喷嘴结构参数见表 1, 为计算仿真的准确性, 扇形喷嘴采用锥形入口结构且 $D=5\text{ mm}$, $d=1\text{ mm}$ 。

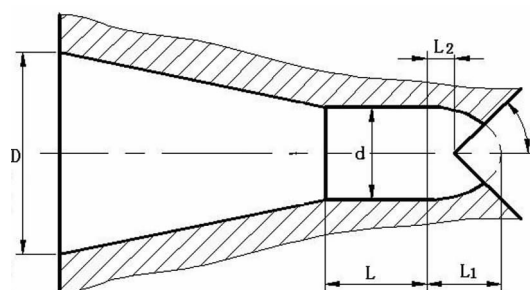


图 1 喷嘴结构示意图

表 1 喷嘴结构参数

编号	L/mm	L_1/mm	L_2/mm	$\alpha/^\circ$
1	1	0.5	0	15
2	3	0.5	0	15
3	5	0.5	0	15
4	3	0.2	0	15
5	3	1.0	0	15
6	3	1.0	0.2	15
7	3	1.0	0.7	15
8	3	0.5	0	45
9	3	0.5	0	75

1.2 控制方程

根据扇形喷嘴射流特点, 假设: 理想流体、不可压、定常流动、不考虑能量方程; 控制方程离散

收稿日期: 2011-03-27

第一作者简介: 郭仁宁 (1956-), 男, 辽宁省沈阳市人, 硕士, 教授, 从事流体机械及工程研究。E-mail: lisalunwen@163.com。

采用有限体积法;流场计算方法采用基于非结构网格的 SIMPLE 算法。喷嘴内部为湍流,选用三维 N-S 方程为控制方程,并用标准的 k-ε 双方程湍流模型建立封闭的控制方程组^[13-14]。

质量守恒方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

动量守恒方程:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} &= \rho f_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] \\ \rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} &= P_k - \rho \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] \\ \rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} &= \frac{\epsilon}{k} (c_{1\tau} P_k - c_{\tau} \rho \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right]) \end{aligned}$$

式中: $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$, $\mu_t = \rho C_\mu \frac{K^2}{\epsilon}$, $P_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$, μ_{eff} 是有效粘度, f_i 是单位质量力, $\sigma_s = 1.3$, $\sigma_k = 1.0$, $C_{1s} = 1.44$, $C_{2s} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$ 。

1.3 边界条件

喷嘴内壁为固定的固体边界,入口压力 15 MPa,射流出口相对静压为 0。射流介质为不可压缩的清水,常温 (20℃) 下水的密度为 1 000 kg·m⁻³,动力粘度为 0.001 Pa·s⁻¹^[14]。

1.4 网格划分

利用 CFD 前置处理软件 gambit 建立扇形喷嘴内部流场的可视化模型并对其进行非结构化网格的划分(见图 2)。

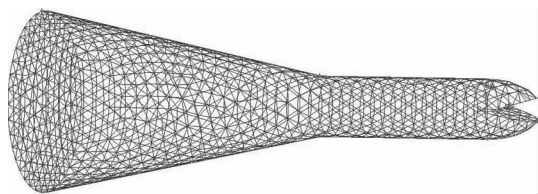


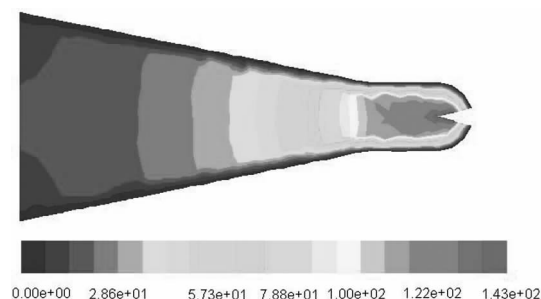
图 2 喷嘴网格

2 数值模拟结果与分析

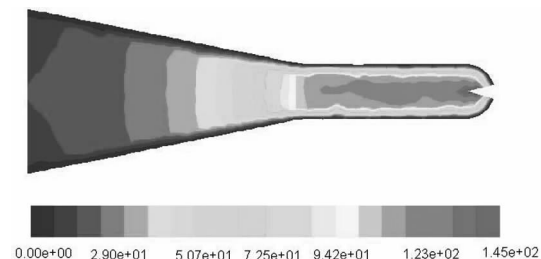
2.1 圆柱段长度对内部流场的影响

图 3(a)(b)(c)为圆柱端长度分别为 1、3 和 5 mm 时速度云图。可看出,3 个喷嘴速度变化趋势大致相同,壁面边界层都较薄,速度梯度变化较为平缓。喷嘴射流速度在射流过程中随着入口截面的不断变小均平稳增加,在拐角处达到局部最大值,在圆柱段持续加速,在到达喷嘴头部时,随

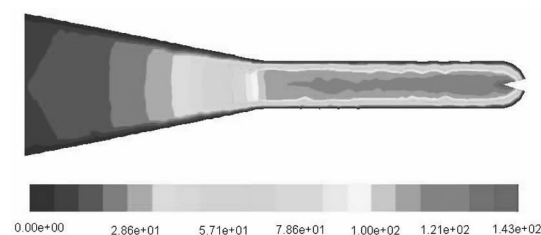
着射流断面的又一次减小,射流速度再次增加,分别达到最大值 143.0、145.0 和 142.8 m·s⁻¹。由此可见,圆柱段长度变化对射流速度变化的影响并不是很明显,但从理论上可知,较长的圆柱段会产生较大的沿程阻力损失,增加射流的运输消耗,降低射流的能量,故不宜选择较长的圆柱段,一般取 L=3~5 d。



(a) 1 号喷嘴



(b) 2 号喷嘴

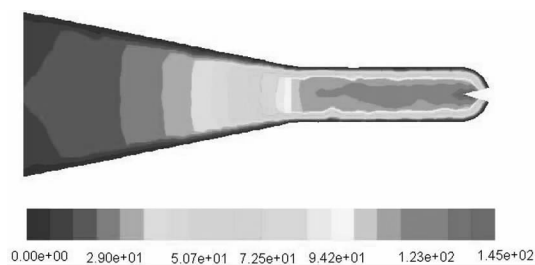


(c) 3 号喷嘴

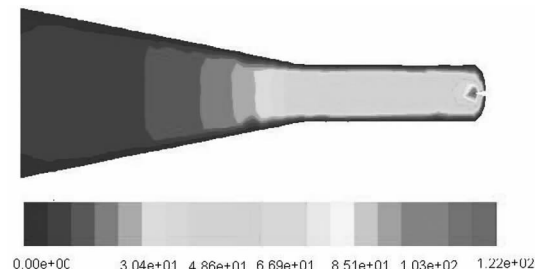
图 3 速度云图

2.2 出口盲端长度对内部流场的影响

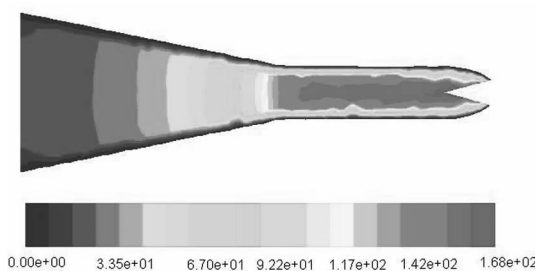
图 4(a)(b)(c)为出口盲端长度分别为 0.5、0.2 和 1.0 mm 时速度云图。可知,出口盲端长度的变化对内部流场影响较大,随着盲端长度的增加,出口速度变大。2 号和 5 号喷嘴速度变化趋势大致相同,射流速度持续增加,且存在较小的低速区域,射流速度在喷嘴头部达到最大,分别为 145.0 和 167.6 m·s⁻¹,5 号喷嘴高速区明显比 2 号喷嘴大。4 号喷嘴速度变化较小,存在较大范围的低速区域,出口速度值为 121.5 m·s⁻¹。但较长的出口盲端会产生较大的沿程阻力损失,增加射流的运输消耗,降低射流能量,故长度不宜太长。



(a) 2 号喷嘴



(b) 4 号喷嘴

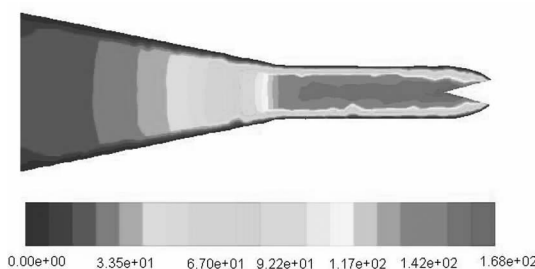


(c) 5 号喷嘴

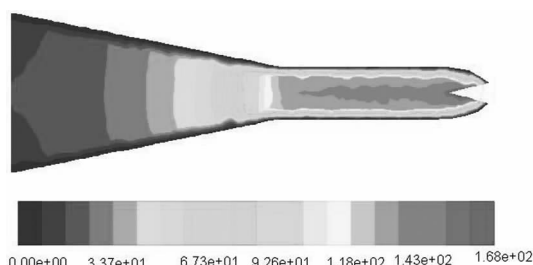
图 4 速度云图

2.3 切槽相对偏移量对内部流场的影响

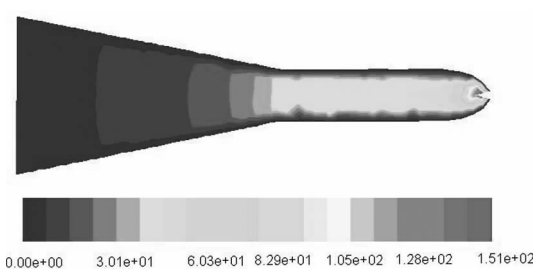
图 5(a)(b)(c)切槽相对偏移量为 0、0.2 和 0.7 mm 时速度云图。可看出 5 号和 6 号喷嘴速度变化趋势大致相同,射流速度持续增加,且存在较小的低速区域,射流速度在喷嘴头部达到最大,均约为 $168 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,但 5 号喷嘴高速区明显比 6 号喷嘴大。4 号喷嘴速度变化较小,存在较大范围的低速区域,出口速度值为 $151 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。



(a) 5 号喷嘴



(b) 6 号喷嘴



(c) 7 号喷嘴

图 5 速度云图

2.4 切槽角对内部流场的影响

取 5、8、9 号喷嘴进行仿真,并对其速度云图进行分析发现 8、9 号喷嘴云图分布与 5 号喷嘴相似,且出口速度均约为 $168 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。通过对喷嘴射流轴心速度图 6 可知,随切槽角的增大,喷嘴轴心速度变小,夹角越小,速度越大。但其对射流速度变化趋势影响不大且对出口速度值影响也不大,其主要决定射流的散射角^[15]。

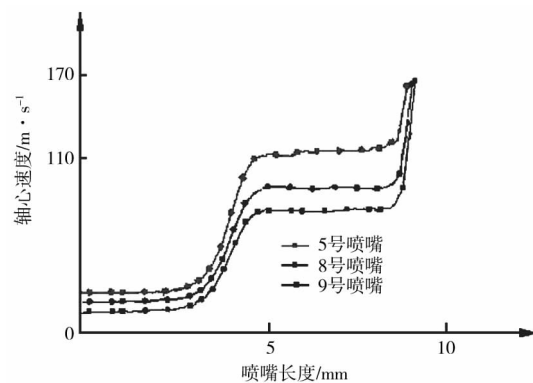


图 6 轴心射流速度图

3 结论

研究表明:在入口结构参数相同的条件下,圆柱段长度的变化对射流速度影响并不大,为了减小能量损失,同时也为了减小过长圆柱段长度给加工制造带来的难度,圆柱段长度 L 不宜过大;出口盲端长度和切槽相对偏移量对射流速度影响较大,随着盲端长度的增加,射流出口速度变

大,随着切槽相对偏移量的增加,射流出口速度变小,切槽角对射流速度变化趋势影响不大且对出口速度值影响也不大,其主要决定射流的散射角。

参考文献:

- [1] 杨林,唐川林,张风华. 高压水射流技术的发展及应用[J]. 洗净技术,2004,2(1):9-14.
- [2] 李少华,张卫会,李泓源,等. 高压水射流除垢机理研究[J]. 水动力学研究与进展, A 辑,1995,10(1):83-87.
- [3] 易灿,李根生. 喷嘴结构对高压射流特性影响研究[J]. 石油钻采工艺,2005,27(1):16-19.
- [4] 朱美洲,胡寿根. 锥形喷嘴结构参数及淹没空化水射流冲刷性能的实验研究[J]. 水动力学研究与进展, A 辑,1998,13(3):264-271.
- [5] Peng H, lue S, Fan Yete. Development of ultra high pressure water jet equipment for rust dismantling on plane surface[C]//17th International Conference on Water Jetting: Advances and Future Needs. Mainz. Germany, 2004, 9: 337-347.
- [6] Vasl'ev O A, Minin S N, Shipovskikh A. Investigation of the flow structure in nozzles with a throat section of constant height [J]. Fluid Dynamics, May 1991, 25 (6): 944-949.
- [7] Anon. Waterjet-surface preparation removes epoxy from tank floor[J]. Oil and Gas,1999,97(14):2-5.
- [8] 杜玉昆,王瑞和,倪红坚. 环空流体吸入式白激振荡脉冲射流大涡模拟研究[J]. 水动力学研究与进展, A 辑,2009,24(4):455-462.
- [9] 王瑞和,白玉湖. 围压条件下射流流场的数值模拟研究[J]. 水动力学研究与进展, A 辑,2004,19(1):108-113.
- [10] 任小增. 高压水射流清洗用扇形喷嘴的结构及磨损研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [11] 姚熊亮,方媛媛,戴绍仕,等. 基于 LES 方法圆柱绕流三维数值模拟[J]. 水动力学研究与进展, A 辑,2007,22(5):564-275.
- [12] 刘俊,秦臻. 高压水射流清洗作业中喷嘴的设计原理和选型依据[J]. 管道技术与设备,2007(5):43-44.
- [13] 熊佳,雷玉勇,杨志峰,等. 基于 FLUENT 的磨料水射流喷嘴内流场的可视化研究[J]. 润滑与密封,2008,33(6):51-62.
- [14] 王福军. 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.
- [15] Zhou Q, Miller P C H, Walklate P J, et al. Prediction of spray angle from flat fan nozzles[J]. Agricultural Engineering,1996,64:139-148.

Visual Research of Internal Flow Field in the Fan-shaped Nozzle Based on Fluent

GUO Ren-ning, XU Lin

(Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract: Using the gambit of lead processing software CFD to establish the visual modeling, the speed of fan-shaped nozzle of high pressure water jet was solved by fluent. According to the velocity distribution cloud to analyze the main factors of influence of fan-shaped nozzle high pressure water jet speed. The results showed that export blind side length and relative offset notch of the fan-shaped nozzle influence the internal flow field more, length of cylinder and notch half-width influence the internal flow field little. The simulation results provided theoretical basis for the design of fan-shaped nozzles and had some guiding significance to the actual projects.

Key words: fan-shaped nozzles; jet; flow field; three-dimensional numerical simulation; parameters

油麦菜栽培技术

油麦菜,又名莪麦菜,属菊科,是以嫩梢、嫩叶为产品的尖叶型叶用莪苣,叶片呈长披针形,色泽淡绿,口感极为鲜嫩、清香,含有大量钙、铁、蛋白质、维生素 A 等营养成分,是生食蔬菜中的上品。油麦菜具有降低胆固醇、治疗神经衰弱、清燥润肺、化痰止咳等功效,是一种低热量、高营养的蔬菜。

1 **择优选种** 应选择耐热、耐寒、抗病优质高产品种。

2 **种子处理** 由于夏秋茬油麦菜育苗期正遇高温、干旱、多雨季节,为保苗齐、苗壮,播前最好浸种、催芽。并做到适期播种。

3 **栽培管理** 应选择地势较高、土质肥沃、通透性好、没有种过菊科作物的地块,施足基肥,施优质厩肥 75 000 kg·hm⁻²,磷酸二铵 600 kg·hm⁻²,尿素 300 kg·hm⁻²,硫酸钾 300 kg·hm⁻²。播种后,要在苗床畦上用 2 m 或 4 m 长的竹片搭建小拱棚,再在拱棚上面覆盖一层遮阳网或旧薄膜,以起到防雨降温的作用。或利用遮阳网在温室、大棚中直接育苗。整个生长发育期,保持田间湿润,土壤疏松。活棵至采收期间需结合喷水追施叶面肥 2~3 次,一般用 0.2% 的磷酸二氢钾或 0.2% 的尿素溶液喷洒。

4 **防病虫害** 苗期病害主要是霜霉病、灰霉病、菌核病等,害虫主要有蚜虫、潜叶蝇等,要及时防治。

5 **适期采收** 当油麦菜的叶片数达到 30~34 片、株高 45~48 cm 时进行采收。