

多孔喷头孔间距对射流特性影响的数值模拟

卢晓江, 刘海舰, 阳 相
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 为研究多孔喷头孔间距对射流特性的影响,采用 Fluent 软件中的标准 k-ε 湍流模型并结合压力隐式分裂算子 (PISO) 算法对喷头的双孔射流在不同孔间距及不同压强下的速度分布展开研究,并对结果进行了对比分析. 研究表明:卷吸现象的存在对射流的发展起到很大的作用,影响卷吸效应的两个关键因素是射流出口速度和喷孔之间的距离.

关键词: 多孔喷头; 双孔射流; 卷吸效应; 数值模拟

中图分类号: TP602 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2011)05-0047-05

Numerical Simulation on the Influence of the Characteristics of the Jet of Different Spacing of Multi-Hole Nozzles

LU Xiao-jiang, LIU Hai-jian, YANG Xiang

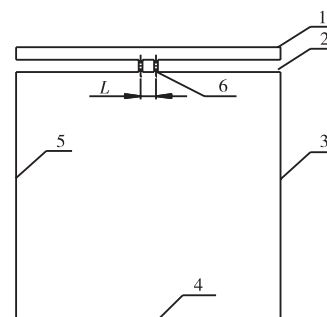
(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: In order to study the influence on the characteristics of the jet of different spacings of multi-hole nozzles, the standard k-ε turbulence model and the pressure implicit with splitting operator (PISO) algorithm of Fluent software were adopted to research the velocity distribution under different pressures of two jets of the nozzle at different spacings, and the results were compared and analyzed. The results show that the existence of the entrainment phenomenon has played a significant role in jet development, and the two key factors influencing the entrainment effect are the jet exit velocity and the distance between the nozzle.

Keywords: multi-hole nozzle; two jets; entrainment; numerical simulation

喷头是水射流发生设备的重要元件,喷头喷孔的几何形状和内部形态是影响射流形态和特性的主要因素之一^[1-2]. 目前,国内外研究的重点都是单喷孔水射流,对射流特性及影响取得了一定的研究成果^[3-4]. 文章以多孔水射流为研究对象,以多孔孔板作为产生射流的元件,通过改变多孔板的孔间距,研究外部射流形态及射流特性的变化. 为了具体分析孔间距的大小对射流特性的影响,本文采用 Fluent 软件中的标准 k-ε 湍流模型并结合压力隐式分裂算子 (PISO) 算法,对双孔非淹没射流进行了数值模拟研究^[5-7].

为孔间距 $L = 5 \text{ mm}$ 时的计算区域. 其中,横向长度即孔板直径为 85 mm ,沿纵向孔板以下区域为 100 mm ,孔板厚度 5 mm ,孔口直径 1.2 mm ,孔板上方向压力进口为 5 mm .



1. 压力入口边界; 2. 孔板; 3、4、5. 压力出口边界; 6. 孔口

图 1 计算区域简图

Fig.1 Schematic diagram of calculation domain

1 射流的计算网格及边界条件

1.1 计算区域及网格划分

本数值模拟采用 k-ε 模型进行计算,如图 1 所示

收稿日期: 2011-06-25; 修回日期: 2011-07-13

作者简介: 卢晓江 (1960—), 男, 江苏仪征人, 教授, xiaojianglu@tust.edu.cn.

计算时在计算区域划分平面四边形网格. 对孔间距分别为 5、10、20 mm 的 3 块多孔板双射流进行数值模拟.

1.2 边界条件

图 1 中:1 为压力进口边界条件,3、4、5 为压力出口边界条件;其他设定为壁面,表面无滑移.

1.3 控制方程

流体控制方程包括质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程. 采用标准 $k-\epsilon$ 湍流模型建立封闭控制方程组,选用 PISO 算法对流体的压力和速度进行耦合. 采用一阶迎风离散格式对数值方程进行求解.

2 计算结果及分析

图 2 为孔间距 $L = 5 \text{ mm}$ 时模拟结果的速度矢量图. 分析可知:(1)射流出口流速随着压力的增加逐渐增加. 当压力较小时,由于射流获得的能量较小,连续段较短在射流喷出后很短的距离内就开始雾化,雾化产生的雾滴不再受到喷射压力的影响,而主要受

到惯性力的影响,因此速度较大. 随着压力的增大,开始发生雾化的位置在竖直方向上也不断向下移动. (2)由于卷吸效应的影响,射流周围出现局部负压区,速度越大卷吸现象所形成的局部负压区的范围也越大. (3)射流从喷孔喷出后与外界空气接触,由于流体间的摩擦作用使射流表面产生波动,射流束的直径要大于喷孔孔径. 又因为孔间距非常小,所以两束流体很容易混合在一起,而不是仅由卷吸引起的混合.

图 3 为孔间距 $L = 5 \text{ mm}$ 时的喷孔中心速度分布曲线, x 为距出水口的距离,以出水口所在水平面为基准. 可见:射流出口处速度最大,随着射流的发展逐渐降低到最低点后又开始上升. 随着压力的增加,最低点在竖直方向上出现的位置向下有所偏移.

图 4 为孔间距 $L = 10 \text{ mm}$ 时模拟结果的速度矢量图. 由图 4 可看出,随着压力的增加射流速度随之增加,两孔间有漩涡形成并越来越明显. 射流束内侧的速度明显高于外侧. 在卷吸现象的存在下,射流连续段仍然保持较高的射流速度,主要是因为漩涡的存在一定程度上抑制了卷吸现象对射流形态的影响,因此孔间距 $L = 10 \text{ mm}$ 时的两孔喷头流量最高.

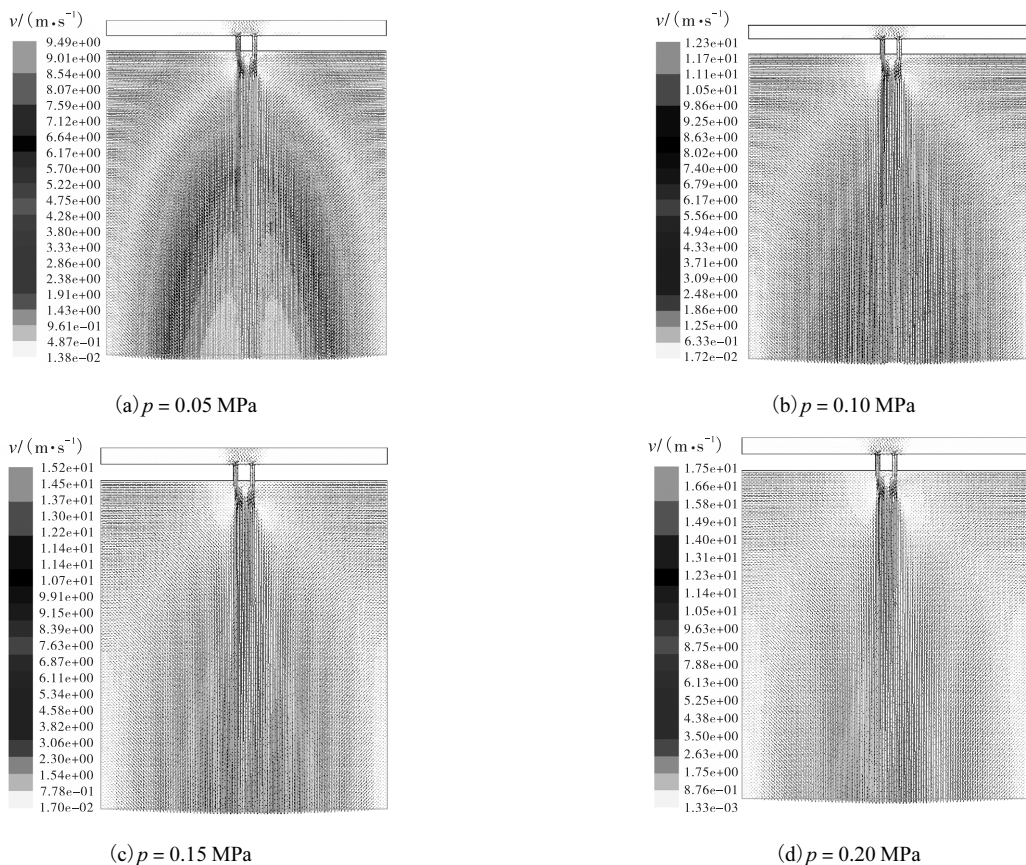


图 2 速度矢量图($L = 5 \text{ mm}$)
Fig.2 Vector diagram of water speed($L = 5 \text{ mm}$)

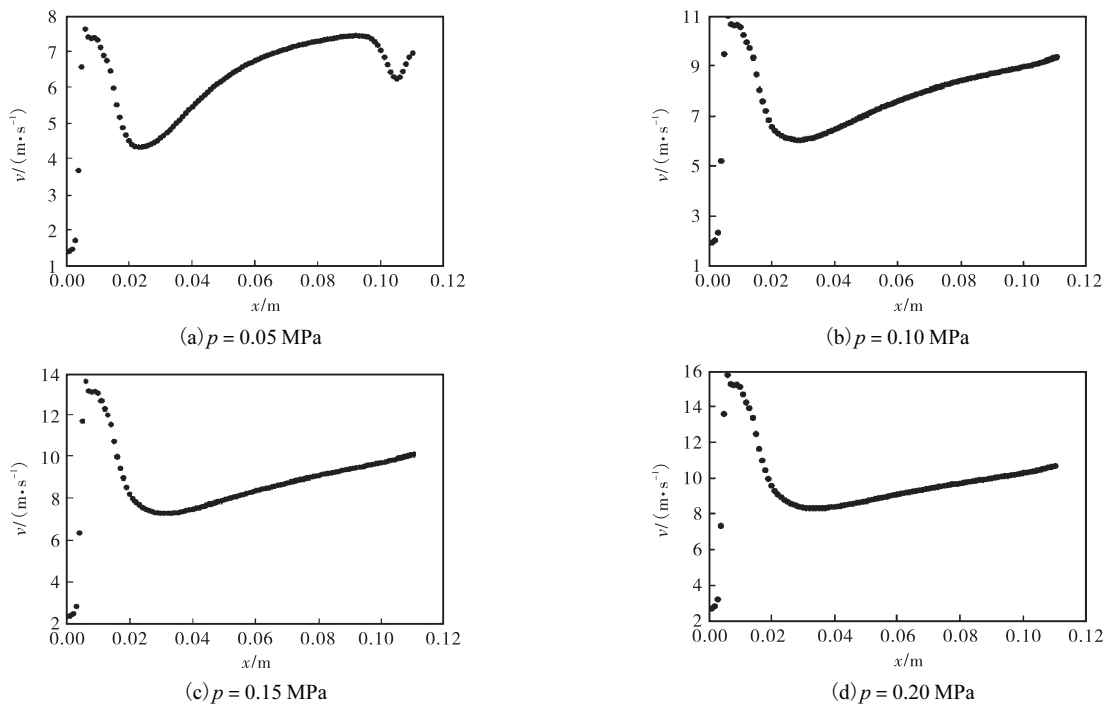


图 3 喷孔中心速度分布曲线(L = 5 mm)

Fig.3 Speed distribution curve in the center of the hole(L = 5 mm)

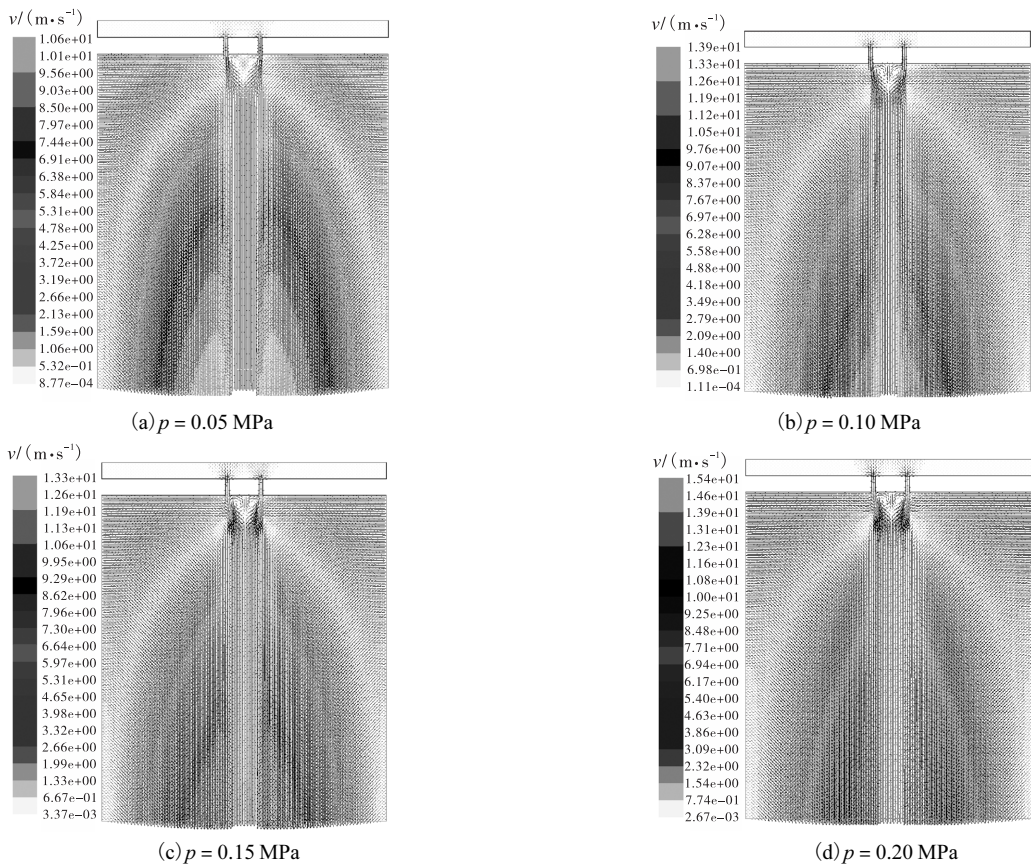


图 4 速度矢量图(L = 10 mm)

Fig.4 Vector diagram of water speed(L = 10 mm)

由图 5 喷孔中心的速度分布曲线可以看出,对于孔间距 L = 10 mm 的孔板,速度最低点出现的位置几

乎没有改变. 并且最后所达到的最大速度要大于孔间距 L = 5 mm 时的最大速度.

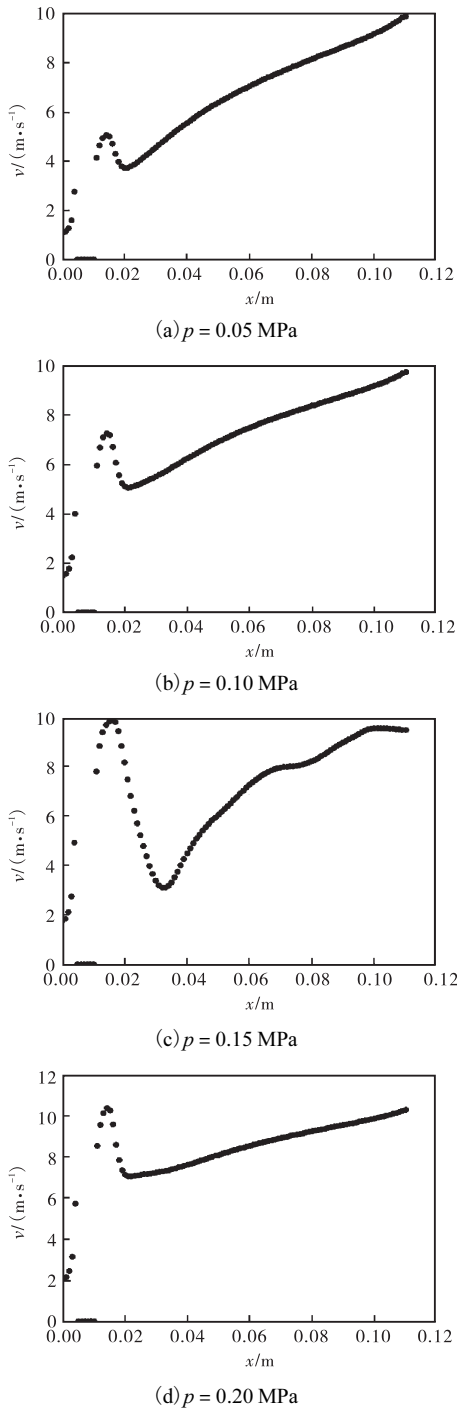


图5 喷孔中心速度分布曲线($L = 10 \text{ mm}$)

Fig.5 Speed distribution curve in the center of the hole ($L = 10 \text{ mm}$)

图6说明孔间距增大到 $L = 20 \text{ mm}$ 时,当压力为 0.05 MPa 时卷吸现象不明显,射流连续段也较短,射流速度较低,因此射流喷出后不久就开始发生雾化.随着压力的增加,速度场开始变得不稳.这是因为随着孔间距的加大,卷吸强度削弱,不能再对射流速度的变化产生持续的影响,而是处于非常不稳定的状态.这种不稳定状态,当压力增加到 0.2 MPa 时消

失,说明了速度的增大能够增强射流的卷吸效应.

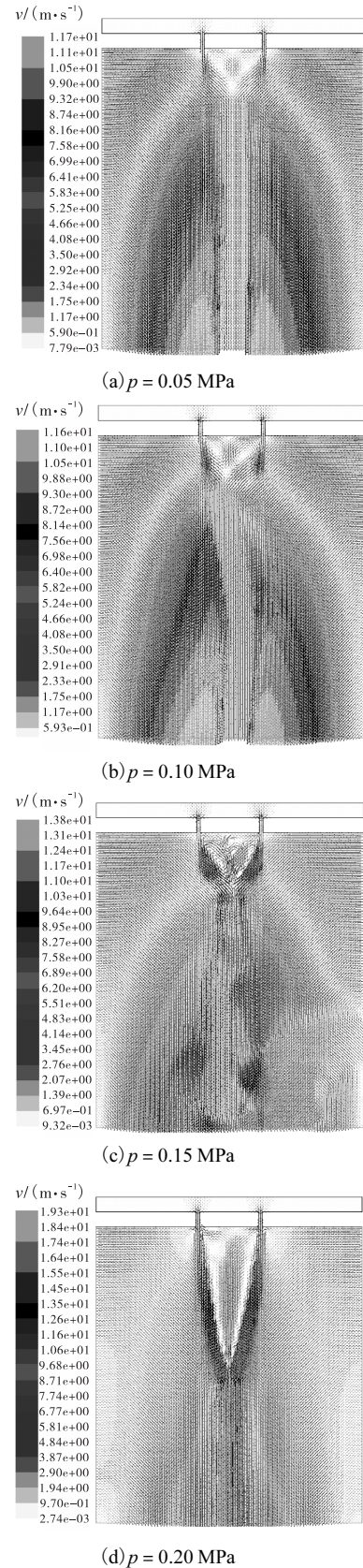


图6 速度矢量图($L = 20 \text{ mm}$)

Fig.6 Vector diagram of water speed ($L = 20 \text{ mm}$)

图7为 $L = 20\text{ mm}$ 时喷孔中心的速度分布曲线。

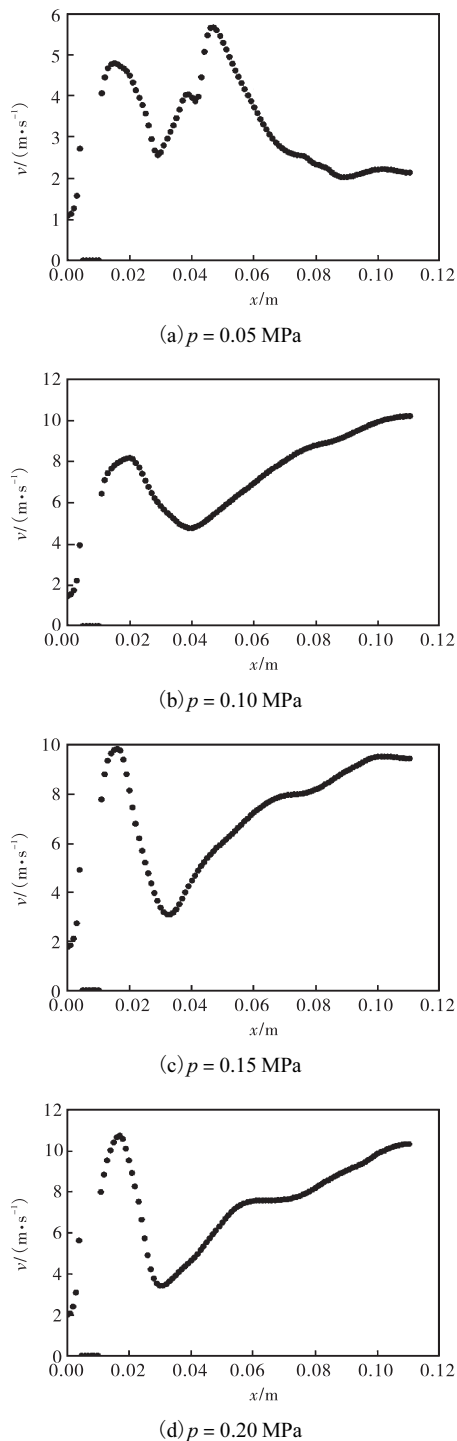


图7 喷孔中心速度分布曲线 ($L=20\text{ mm}$)

Fig.7 Speed distribution curve in the center of the hole ($L=20\text{ mm}$)

由图3、图5和图7的喷孔中心速度分布曲线可看出,随着孔间距的增大,射流束间的相互吸附开始变得不稳,造成了对射流形态变化的不稳定影响.当压力增大到 0.1 MPa 时,这种不稳定略微有所缓解.

3 结论

(1)以多孔喷头的双孔射流为例模拟了不同孔间距下的速度场,从模拟结果的速度矢量图以及喷嘴中心速度分布曲线可以很直观地分析出随着压力的变化速度场的发展变化,说明了影响多孔喷头射流特性的主要因素是卷吸现象.

(2)数值模拟结果验证了影响卷吸效应强弱两个关键因素:一是射流出口速度,速度的增大能够增强射流的卷吸效应;二是喷孔之间的距离,孔间距的增大能在一定程度上削弱卷吸强度.

(3)多孔喷头的射流特性受到射流出口速度和孔间距的影响,对于不同的工况,二者的影响程度不同,本研究对二者的影响进行了直观的分析.在多孔射流的研究过程中应该合理地控制这两个影响因素,以使射流效果达到最佳.本数值模拟研究可为多孔喷头的设计、研究提供参考依据.

参考文献:

- [1] 刘庭成,白俊英,白春雪. 高压水射流技术综述[J]. 冶金设备,1995(5):51-53.
- [2] 刘萍,黄扬焯. 水射流技术的现状及发展前景[J]. 煤矿机械,2009,30(9):10-12.
- [3] 魏德军,曹仲文,李萍. 喷嘴形状对喷射能力的影响[J]. 辽宁化工,2006,35(7):416-417.
- [4] 张宝珍. 针型喷嘴结构对射流特性影响的实验研究[D]. 天津:天津科技大学机械工程学院,2003.
- [5] 刘江虹,廖光焯,秦俊,等. 细水雾与射流卷吸现象的模拟实验研究[J]. 火灾科学,2000,9(1):8-13.
- [6] 罗川旭,林文贤,刘滔,等. 过渡区内喷泉流动的直接数值模拟与分析[J]. 水动力学研究与进展,2008,23(3):244-254.
- [7] 夏强,黄中伟,李根生,等. 水力喷射孔内射流增压规律试验研究[J]. 流体机械,2009,37(2):1-5.