

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2012.02.006

基于VOF模型的自激振荡型喷嘴CFD仿真

张正付, 王俊伟, 鲍峰

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建厦门 361005)

摘要: 普通喷嘴喷出的水柱是直线型的, 在普通喷嘴中加入倒U型和三角形结构, 就能够使得喷嘴喷出来的水柱呈现振荡形式。利用多相流VOF (Volume of Fluid) 模型模拟内建振荡结构的喷嘴的喷射流动过程, CFD仿真结果显示, 喷嘴喷射的水柱呈现上下摆动的状态, 和真实情况相吻合。

关键词: 自激振荡喷嘴; VOF模型; 多相流

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-9492(2012)02-0021-02

Numerical Simulation of the Nozzle with Self-Oscillating Flow Using the VOF Model

ZHANG Zheng-fu, WANG Jun-wei, BAO Feng

(Fluid Mechanics and PIV Laboratory, Xiamen University, Xiamen361005, China)

Abstract: The jet water shape of the nozzle will become a self-oscillating shape, if the triangle and U shape models are made into the normal nozzle. Using the VOF model, the jet shape of the nozzle will be simulated through a commercial CFD software FLUENT. The VOF model (Volume of Fluid) is a surface-tracking technique applied to a fixed Eulerian mesh. It is designed for two or more immiscible fluids where the position of the interface between the fluids is of interest. The CFD simulation results shows that the jet shape of the nozzle is oscillate in a fixed period.

Key words: self-oscillating flow nozzle; VOF model; multiphase flow

1 引言

目前市场上普通的喷嘴喷出来的水柱是直线型的, 在一些特殊需求下, 需要喷嘴喷射出的水柱是上下左右摆动振荡的形状。在普通的喷嘴中加入U型和三角形结构, 能够使得喷嘴喷射出的水呈现振荡的形状。

所谓VOF模型, 是一种在固定欧拉网格下的表面跟踪方法。当需要得到一种或多种互不相融流体间的交界面时, 可以采用这种模型。在VOF模型中, 不同的流体组分共用着一套动量方程, 计算时在全流场的每个计算单元内, 都记录下各流体组分所占有的体积率, VOF模型的应用情况包括分层流、自由面流动、灌注、晃动、流体中大气泡的流动、水坝决堤时的水流、喷射流等。

本文采用基于有限体积法的VOF模型对喷嘴喷射进行模拟, 揭示喷射水柱的振荡过程, 为进一步研究内部的细致的流动过程打下基础。

2 数值计算方法

2.1 控制方程

连续性方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (1)$$

其中 ρ 为混合物的密度, 对于气液两相流, 如果第二相的体积率被跟踪, 那么每一个单元中的密度表示为:

$$\rho = \alpha_2 \rho_2 + (1 - \alpha_2) \rho_1 \quad (2)$$

α_2 表示第二相的的体积分, ρ_1 、 ρ_2 分别是第一相和第二相的密度。

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

其中: \vec{g} 是重力加速度; \vec{F} 为体积力; μ 为混合粘性系数^[1]。

收稿日期: 2011-12-14

2.2 VOF模型的控制方程

VOF公式依靠的是两种或多种流体（或相）没有互相穿插这一事实，对增加到模型里的每一个附加相，就引进一个变量：即计算单元里的体积比率（the volume fraction of the phase）。在每个控制体积内，所有相的体积比率和为1^[2]。VOF中定义了一个标量函数 α_p 来表示第p相在计算网格中占的体积分数，在Fluent软件中定义密度较小的空气为第一相。

$$\begin{cases} \alpha_p = 0 & \text{第}P\text{相流体在单元中是空的} \\ \alpha_p = 1 & \text{第}P\text{相流体在单元中是充满的} \\ 0 < \alpha_p < 1 & \text{单元中包含了第}P\text{相流体和} \\ & \text{其他多相流体的界面} \end{cases}$$

VOF控制方程为：

$$\frac{\partial \alpha_p}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \alpha_p = \frac{S_{\alpha_p}}{\rho_p} \quad (4)$$

默认情况下，方程右边的源项为零， α_p 满足

$$\sum_{q=1}^n \alpha_p = 1。$$

2.3 数值计算

时间项的离散采用一阶精度，空间和体积分数方程采用二阶迎风格式，选择VOF显式方程，速度压力耦合求解方式采用SIMPLE格式，湍流模型采用RNG $k-\varepsilon$ 模型，近壁区采用标准壁面函数。

2.4 网格和边界条件

本文采用Fluent的前处理软件Gambit生成网格，边界条件为：入口为压力入口边界，压力为1.5MPa，出口为环境大气，压力出口边界，壁面为无滑移壁面，初始化采用入口边界，喷嘴内部水的百分数1，充满水。计算网格如图1所示。

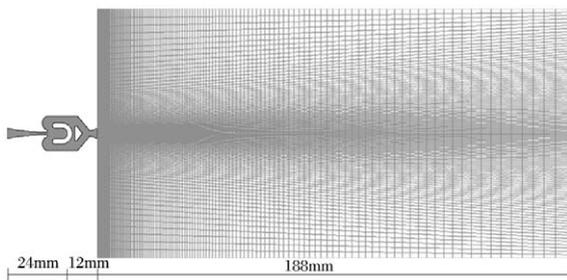


图1 计算网格

3 结果分析

通过Fluent软件计算可以得到喷嘴喷射的水柱随时间的变化情况，水柱喷射振荡的周期为0.9s。水的体积分数云图如图2所示。

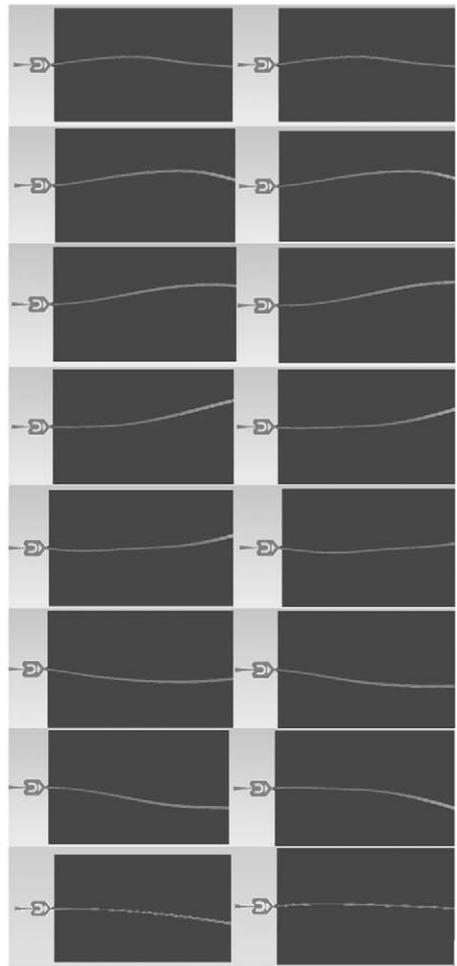


图2 水的体积分数云图

4 结论

VOF模型使得两相、多相流动的交接面的计算仿真越来越来精确。采用基于有限体积法的VOF模型对喷嘴喷射水柱的问题进行了研究，所有壁面满足无滑移条件计算的结果显示，喷射的水柱呈现周期性的振荡，振荡周期为0.9秒，计算结果达到了预期的目的。

参考文献：

- [1] Hirt. C. W, Nichlos. B. D. Volume of fluid (VOF) method for dynamics of free boundary [J]. Journal of Computational Physics. 1998 (39): 201-225.
- [2] R. Kahawita, P. Wang. Numerical simulation of the wake flow behind trapezoidal bluff bodies [J]. Computers & Fluids. 2002 (31): 99-112.

第一作者简介：张正付，男，1985年生，江苏盐城人，硕士研究生。研究领域：计算流体力学，实验流体力学，航空技术等。

(编辑：阮毅)