

烧室垂直掺混射流时均场所进行的三维数值模拟具有重要的实用价值。本文采用三维 SIMPLE 程序和 $k-\epsilon$ 双方程湍流模型对三维受限垂直射流进行数值模拟, 研究不同的几何变量和流动参数对射流穿透和混合的影响。

2 计算模型和边界条件

在一矩形通道上壁面开有进气孔, 可以是单个孔、一排多个孔或一条缝隙。射流与主流均为空气。对于单排多个孔, 若完全模拟实际情况, 网格数要很多, 计算量很大; 若忽略了实际通道侧壁面的影响, 就能够近似地把流场分成几个基元区域, 其中的侧边界为周期性条件。孔布置见图1所示。对基元区域的网格划分如图2所示, 共有47488个网格, 其中 x 方向53个、 y 方向28个、 z 方向32个。上下壁面取无滑移条件, 即 $\phi(u, v, w, k, \epsilon, \dots) = 0$; 出口取充分发展的管流条件, $\partial\phi/\partial x = 0$ 。

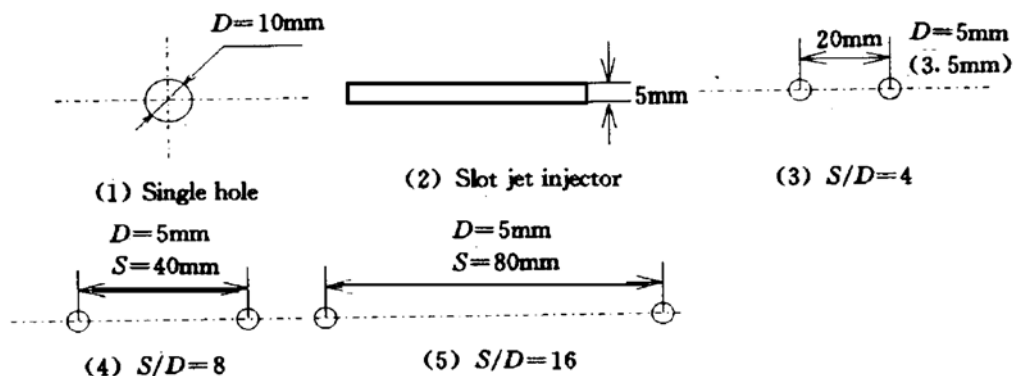


Fig. 1 Schematic diagram of orifice configuration

3 描述混合程度的无量纲参量

用面积平均的射流质量分数的标准方差来描述混合程度。未混合度定义为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{A_{\text{tot}}} \sum A_i (f_i - f_{\text{avg}})^2}$$

A_{tot} 为横截面的流通面积; A_i 为网格 i 的流通面积; f_i 为网格 i 射流质量分数; f_{avg} 为射流流量与总流量的比值, 即射流与空气完全混合所能达到的平均质量分数。

相对未混合度定义为:

$$\chi = \frac{\sigma/f_{\text{avg}}}{F}, \quad \text{其中}, F = \sqrt{\frac{1 - f_{\text{avg}}}{f_{\text{avg}}}} = \left(\frac{m_j}{m_\infty}\right)^{-0.5}$$

未混合度 σ 是实际混合与完全混合的均方差, 反映了有多少射流没与来流混合。相对未混合度 χ 是介于0和1之间的无量纲参量, 可用于不同流量比的射流混合程度的比较。

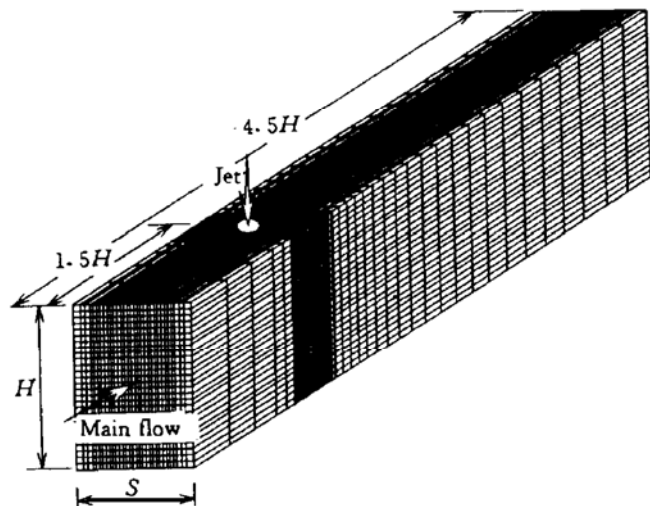


Fig. 2 Diagram of 3D computation grid

4 数值模拟结果与分析

4.1 单股射流穿透和混合

在通道高度 $H=80\text{mm}$ 和不同的动量比 $J=3, 5, 10.89, 15, 43.56$ 下, 对喷口直径为 10mm 的单孔射流进行三维数值模拟。三维垂直射流最显著的流动特征就是形成了流向旋涡, 流向旋涡是增强射流与空气混合的驱动力。图3是不同动量比下, 单孔射流未混合度曲线的比较, 随动量比的增加, 未混合度下降越快, 这是由于旋涡强度和尺度随动量比的增加而增加的结果。

4.2 多股流穿透与混合

4.2.1 喷孔间距对射流穿透与混合的影响

对孔径 5mm , 动量比为 10.89 和 43.56 的单排多股射流进行数值模拟。喷孔之间的距离分别为 20mm , 40mm , 80mm ; S/D 分别为 $4, 8, 16$; 通道高度取为 80mm 。

将不同喷孔间距的射流产生的流向旋涡对放大成同一尺寸进行比较, 见图4。当射流密集时, 旋涡涡心相对间距 b/S (b 为涡心间距) 较大 (见图4 (a), (b)), 涡心位居左右半边中心, 在左右诱导出强而均匀的速度场, 但涡心高度 y/H 小, 旋涡对射流上方影响很小。当射流很稀疏时, 旋涡靠的很近, 而对侧边影响很小 (见图4 (c)), 但涡心高度较大, 对射流上方影响较大。介于二者之间的 $S/D=8$ (图4 (b)), 涡心靠的较近, 诱导出的速度场虽然不如图4 (a), 但比较大, 似乎能兼顾上下左右。

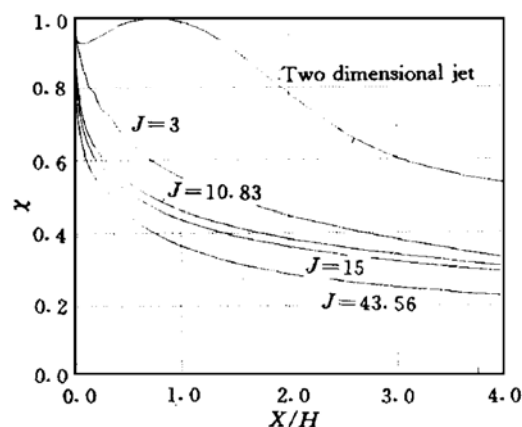


Fig. 3 Effect of momentum ratio on relative unmixedness

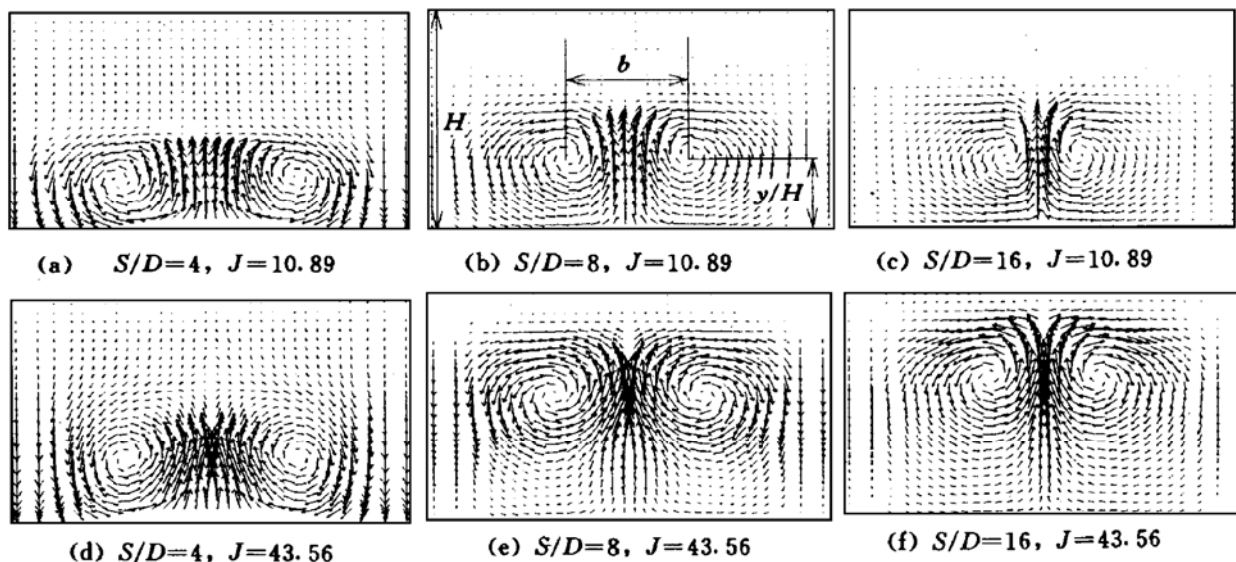


Fig. 4 Effect of S/D on streamwise vortex ($J=10.89$ and 43.56)

图5是在进口动量比为 10.89 和 43.56 的情况下, 涡心相对间距、涡心高度和通道出口截面的未混合度随节距的变化曲线。在动量比 $J=10, S/D=16$ 的喷孔布置下, 通道出口的未混合度最大, 混合很差。 $S/D=8$ 最好, $S/D=4$ 居中。旋涡涡心相对间距 b/S 随 S/D 增大而减小。如上分析, 为使旋涡能影响射流上面来流, Y/H 应取为 0.5 左右。如图5所示, b/S 和 S/D 的曲线相交于 $S/D=8$ 附

近, 此处即能得到较大 b/S 值, 又能获得适当的 S/D 值, 最终使旋涡涡心近似位于通道半边的中央位置, 其混合也最好。

旋涡密集时, b/S 比较合适, 但穿透深度低。射流密集情况下, 流向旋涡对强, 使其与空气混合快, 但由于强的旋涡使射流速度衰减很快, 造成穿透速度低, 有大量气流从射流上方溜走, 而没有参加强化混合。射流太稀疏时, 涡对过度集中, 使大量气流从侧面溜走, 也没参加混合 (图5所示), $S/D=8$ 的未混合度最小, $S/D=4$ 的未混合度比 S/D 的大。因此, 不仅要求有合适的 b/S , 还要有合适的穿透深度和大的旋涡作用范围。

比较图4 (a) ~4 (c) 和4 (d) ~4 (f), 随着动量比的增大, 旋涡增强, 涡心相对间距增大。 $S/D=8$ 情况无论在涡心相对间距, 还是旋涡强度、大小, 都是最合适的 (图5所示), $S/D=8$ 的未混合度最小, 即混合最好。 b/S 和 S/D 的曲线仍相交于 $S/D=6\sim 8$ 附近, 此处既能得到较大 b/S 值, 又能获得适当的 S/D 值, 最终也使旋涡涡心位于通道半边的中央位置, 其混合也最好。

随着动量比增加, 不同节距的射流所增加的穿透深度是不一样的。若动量比由10.89增加到43.57, $S/D=4$ 情况, 穿透深度增加16%, 未混合度由18%增大到20%; $S/D=8$ 情况增加61%, 未混合度基本不变; $S/D=16$ 情况增加83.5%, 未混合度由22%减小到18%。可见, 对于受限射流, 密排射流受动量比影响不大, 而疏排射流受动量比影响大。从这一方面来讲, 不能采用密排射流 ($S/D<4$), 因为穿透深度太低, 旋涡无法影响上面来流, 也无法用增加动量比来明显改善射流的穿透和混合。而疏排射流可以在高动量比下, 获得良好的穿透和混合。但 S/D 也不能大于8, 否则涡对靠得太近, 旋涡对侧面影响不大。综上所述, S/D 在4~8之间取值。

4.2.2 孔径对射流穿透和混合的影响

若动量比和 $S/D=8$ 不变, 改变孔径对射流穿透有较大影响。孔径增大, 射流穿透深度增加, 旋涡变强。图6为 $S/D=8.0$ 和 $S/D=2.86$ 的未混合度的变化曲线。当孔径大射流粗的情况下, 开始难以稀释其高浓度核心, 未混合度下降慢, 但因其流向旋涡强, 穿透深度高, 后期的混合加快; 小孔情况下, 开始未混合度迅速下降, 但因为穿透深度小, 相当多的空气未能与之混合, 后期未混合度下降很慢, 通道出口的未混合度与大孔的差不多。

可见设计喷嘴不是孔越小越好, 在相同的动量比下, 小孔射流的穿透深度小, 大量空气未能与之混合, 后期混合很差, 总体效果不比大孔好多少。此时选择大孔, 可使穿透深度增加, 使射流在空间中分布比较均匀。

在 S/H 和动量比 J 不变的情况下, 改变 H/D 。图7是 $S=20\text{mm}$, $H=80\text{mm}$, 喷口直径从3.5mm~7mm 的变化曲线。

从图7看到, 三种情况的最大浓度射流轨迹几乎完全一样。这说明 S/H 不变, 改变孔径对射流穿透几乎没有影响。上一节讲到, 大孔穿透深度大, 但此处孔距不变, 从而节距 S/D 减小, 这又使穿透深度减小, 二者相抵销, 穿透深度便保持不变。这是一个非常重要的结论, 说明 S/H 和 J 是

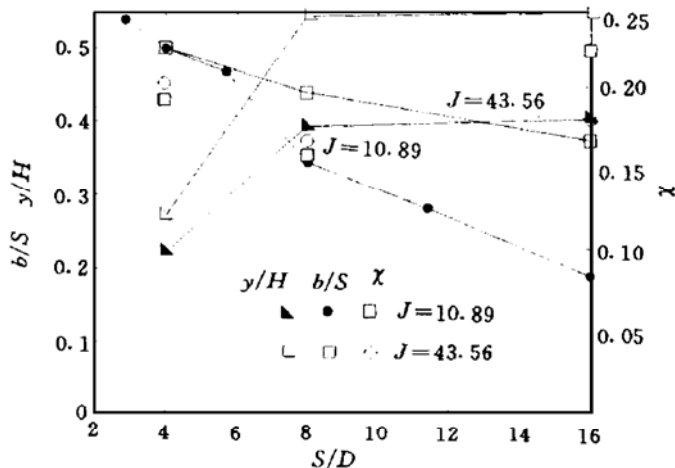


Fig. 5 Relative Distance b/S of two vortex cores along S/D

决定受限射流穿透深度的最重要的量。

在穿透深度完全相同的情况下,小孔的未混合度最小,说明此时小孔有利于混合。

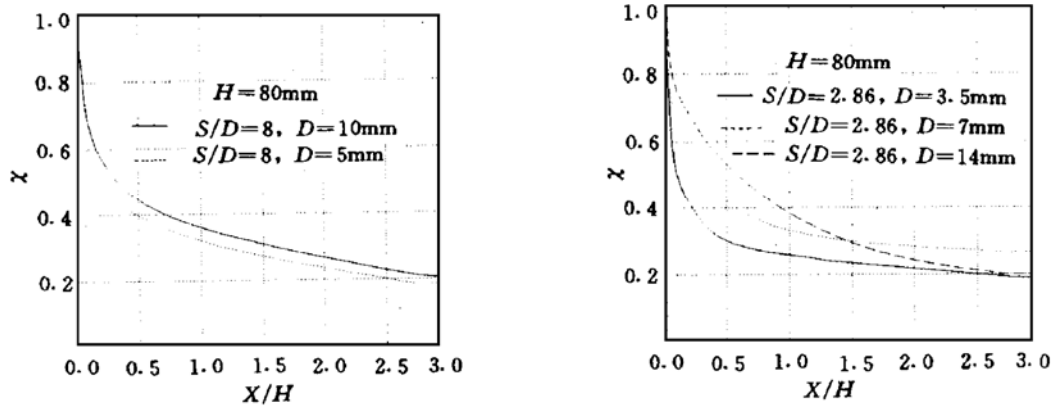


Fig. 6 In the condition of $J=10$, $S/D=\text{constant}$, effect of orifice diameter on relative unmixedness

5 结 论

(1) 模拟结果表明,射流与来流的混合程度取决于旋涡的位置、作用范围和强弱。

(2) 单股射流随动量比的增加,旋涡强度和尺度增加,混合增强。

(3) 对于单排多股射流,喷孔间距直接影响旋涡涡心位置。密排射流 ($S/D < 4$),旋涡过于靠近下壁面,旋涡无法影响上面来流;但 S/D 也不能大于8,否则涡对靠的太近,旋涡对侧面影响不大。所以, S/D 在4~8之间取值。

(4) 动量比和 S/D 不变,改变孔径对射流穿透有较大影响,但通道出口的未混合度变化不大。 S/H 和动量比 J 不变,改变孔径 D 对射流穿透几乎无影响。

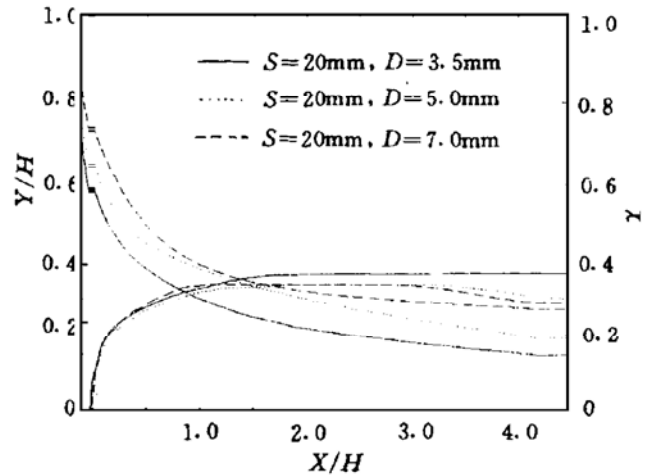


Fig. 7 Effect of H/D on jet trajectory and relative unmixedness

参 考 文 献

- 1 Claus R W. Numerical calculation of subsonic jets in crossflow with reduced numerical diffusion. AIAA85-1441
- 2 Patankar S V, Basu D K. Prediction of the 3D velocity field of a deflected turbulent jet. J of Fluid Engineering, 1977, 99 (4)
- 3 Sykes R I, Lewellen W S. On the vorticity dynamics of a turbulent jet in a cross-flow. J Fluid Mech, 1986, 168
- 4 Roth K R, Fearn R L. Evaluation of a N-S prediction of a jet in a crossflow. J Aircraft, 1992, 29
- 5 Kim S W, Benson T J. Fluid flow of a row of jets in crossflow numerical study. AIAA J, 1993, 31: 806~811
- 6 Holdeman J D, Srinivasan R. Modeling of dilution jet flow fields. NASA CP-2309

减压阀静态偏差和稳定性的控制^{*}

张 斌

(北京特种工程机械研究所, 北京, 100076)

摘 要: 在以往的设计中, 由于只考虑了减压阀的静态特性, 忽视了减压阀的动态特性, 致使减压阀经常发生振动, 出现噪声。用控制减压阀膜片有效面积的方法, 成功地解决减压阀的动态性能和静态性能的设计问题。计算和实验比较证明, 该方法是可行的。

主题词: 减压阀, 膜片, 动态特性, 静态特性

分类号: TP652.2

STATIC DEVIATION AND STABILITY CONTROL OF A PRESSURE REDUCER

Zhang Bin

(Beijing Special Engineering Machine Inst., Beijing, 100076)

Abstract: The existing reducer design causes the reducer to vibrate and to make a noise usually, when considering of only static characteristic but neglecting of dynamic performance. Using a new method of controlling effective diaphragm area introduced in this paper, static and complex dynamic characteristic problems can be solved successfully. The computation and the experimental results were compared. The validity of the method was confirmed by the experimental results.

Subject terms: Relief valve, Diaphragm, Dynamic characteristic, Static characteristic

1 引 言

减压阀是保持出口压力基本不变的装置。减压阀的工作介质是贮存在球形钛瓶中的气体, 一旦工作, 瓶内的压力就要逐渐下降, 由于减压阀膜片的作用, 输出的压力基本不变。膜片直径越大, 出口压力偏差就越小, 阀的静态性能就越好。但是, 膜片直径越大, 运动件越容易超调, 具有质量、弹簧、阻尼元件的减压阀就要出现动热能的交替转换, 若没有足够的阻尼对其衰减, 阀就要振动, 出现噪声。这种状态的持续会使膜片产生声疲劳, 丧失调节作用。

静态偏差和稳定性是减压阀的重要性能。本文用控制减压阀膜片有效面积的方法, 成功地解决了减压阀动静特性的优化设计问题。

2 减压阀优化设计的基本方程

图1为减压阀的示意结构, 气体经开度为 h 的节流口使压力 p_i 降为 p_e , 令 p_{e0} 为与初始入口压力 p_{i0} 对应的初始出口压力, 它是由旋转调节螺钉改变弹簧力得到的。减压阀是一个有差调节系统, 相对逐渐下降的每一点入口压力 p_i 的出口压力 p_e , 同初始值 p_{e0} 相比总要有有一个设计上允许的很

^{*} 收稿日期: 1997-05-17, 修回日期: 1997-09-05