

文章编号:1004-4736(2008)02-0108-03

气-气混合器的三维流场数值模拟

刘玉华,喻九阳,郑小涛,熊志强

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:应用 RNG 的 $k-\varepsilon$ 双方程湍流模型,采用四面体和六面体混合网格,利用 CFD 技术对气体喷射流混合器内的三维不可压缩湍流流场进行了数值模拟,得到混合器内流场、湍动能、压降及混合浓度场的变化。数值计算表明混合相对均匀、压力降可满足工艺要求。

关键词:混合器;流场;压降;数值模拟

中图分类号: TQ 051

文献标识码: A

0 引言

射流喷射混合器是实现气-气快速混合常用的设备,其设计思想是将快速运动的流体(即射流或第一流体)以较高的速度喷射到缓慢流动或者静止的流体(即主流体或第二流体)中。射流流体的方向可以与主流体方向一致(中心射流或同轴射流),也可以与主流体成一定的角度(错流射流)。喷射流混合器与常用的机械搅拌设备相比,其能耗低,无转动部件,所以对于相同的处理量,喷射流混合系统的投资费用比机械搅拌混合系统低得多,而且由于喷射流混合系统的结构非常简单,特别适合于低粘度流体的快速混合。因此,喷射流混合器在工业上得到了广泛的应用^[1]。

随着计算流体力学(CFD)^[2]的发展,数值模拟的优越性越来越突出。近几年,射流喷射混合器的数值模拟渐趋成熟。FLUENT 软件是目前世界领先地位的 CFD 软件之一,针对每一种流动物理问题的特点,采用适合于它的数值解法,使计算速度、稳定性和精度等各方面达到最佳^[3]。Fluent 提供了良好的网格特性,使用 Gambit 专用前处理软件,可以读入多种 CAD/CAE 软件的结构模型。某石化总厂新建 10^4 t/年乙苯脱氢反应装置,在乙苯脱氢反应之前,乙苯与水蒸汽必须经过完全的混合。根据工艺条件,该厂引进 Badger 公司设计的喷射流混合器。本文利用 Fluent 软件对该混合器进行三维流场的数值模拟,分析其流场、压降及混合浓度的变化等。

1 混合器的物理模型

为解决在大型工业装置中两种气体介质在很

小空间及超短的时间内快速混合,设计了如图 1 所示的气体喷射流混合器,气流 A(水蒸气)从进口 2 进入,气流 B(乙苯)从进口 1 进入,这种设计的目的在于:①气流 B 通过上端分布器射入锥形混合腔;②由于两股流体的工作压力不平衡,两股流体不能同时进入混合腔内进行混合,为此在进口管 1 内设置两块稀释孔板。气流 A 通过两层稀释孔板的喷射孔,其压力降低,速度得提升,使得气流 A 在高速流动中能 and 气流 B 同时射入混合腔混合,两股气体在锥形混合腔内撞击后混合。模型不考虑壁厚,在计算中管壁和板厚被视为厚度为 0 的固体壁面。

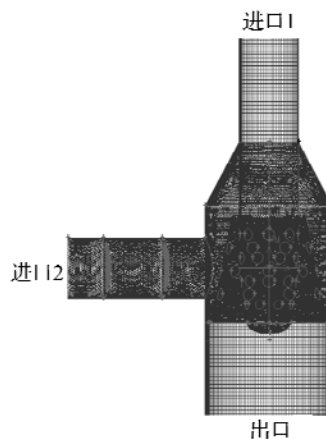


图 1 混合器的物理模型

Fig. 1 The physical model of mixer

2 控制方程

湍流模型采用 RNG 的 $k-\varepsilon$ 模型,求解流动问题时,控制方程包括连续性方程、动量方程、 κ 方程、 ε 方程和组分质量守恒方程,用散度表示为^[4]:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S \quad (1)$$

收稿日期:2007-07-13

作者简介:刘玉华(1981-),女,湖北枣阳人,硕士研究生,研究方向:新型高效化工设备的开发。

式(1)中, ϕ 为通用变量, Γ 为广义扩散系数, S 为广义源项.表1给出了三个符号与各特定方程的对应关系.

表1 通用控制方程中各符号的具体形式

Table 1 Specific forms of the symbols in common control equation

控制方程	符号		
	ϕ	Γ	S
连续方程	1	0	0
动量方程	u_i	μ	$\frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i$
能量方程	T	$\frac{\kappa}{c}$	S_T
组分方程	C_s	$D_{s\rho}$	S_s

3 计算方法

网格生成由 Fluent 的前处理 gambit 完成.从图 1 可知混合器设置有两块稀释孔板,开孔较多,而且孔的布置不同,如果网格划分过细,网格数量会急剧增加;如果网格划分粗糙,计算精度下降且容易发散.另一方面由于混合腔侧壁开孔位置分布不均匀,孔径大小不一致,导致混合腔无法生成结构网格.这里采用的是四面体和六面体混合网格^[5].

假定该流体为不可压缩流体,给定速度进口、压力出口的流动边界条件,进口 2 水蒸汽的速度为 110 m/s、温度为 1 119.4 K,进口 1 乙苯的速度为 70 m/s、温度为 810.9 K,出口压力为 0.

动量、湍动能和湍动能耗散率方程均采用乘方格式离散,其它方程为默认值.控制方程的求解采用非耦合算法,分别求解离散了的连续性方程、动量方程、能量方程和组分方程.速度与压力参量的耦合计算采用改进的 SIMPLEC 算法^[6].流体介质为水蒸汽和乙苯,有关物性参数为:水蒸汽粘度 $\nu=1.34 \times 10^{-5}$ kg/(m·s)、导热系数 $\lambda=0.026$ W/(m·K)、比定压热容 $c_p=2 014$ J/(kg·K),乙苯粘度 $\nu=2 \times 10^{-5}$ kg/(m·s)、导热系数 $\lambda=0.003 78$ W/(m·K)和比定压热容 $c_p=2 014$ J/(kg·K).

4 结果与讨论

4.1 混合器的压力降

由于混合器内两股流体工作压力相差较大,使得两股流体不能同时进入混合腔,达不到混合的目的,为此在进口管 2 内设置两块稀释孔板,可以达到节流降压的作用.图 2 为混合器的静压力分布云图,从图 2 可见气流 A 经过进口管 2 内的两块稀释孔板后,壳体内气流 A 的压力和分布器内气流 B 的压力基本上达到平衡,这样两股流体就能同时进入混合腔内.通过计算气流 A 在混合器中压降为 75.02 kPa,气流 B 在混合器的压降为

6.082 kPa,气流 A、B 的进口压差为 68.939 kPa,可满足工艺设计要求.

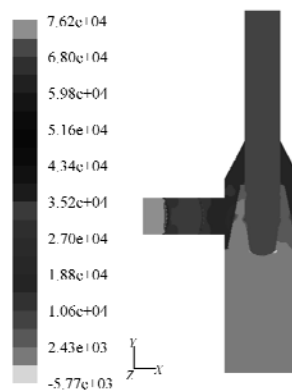


图2 压力场分布云图

Fig. 2 Contour of pressure

4.2 混合器内的流动

混合器极大地改变了流场结构.从图 3 不同截面的气流 A、B 的速度分布可以看到,当气流 B 从上端分部器射入,同时气流 A 通过二层稀释孔板的喷射孔,产生分层切割,进入壳体,在这一过程中气流 A 的速度得到提升.通过混合腔侧壁上的合理孔位,壳体内气流 A 射入混合腔,形成数股高速流体并以不同的角度冲刷分布器壁.由图 3 可以看出二股流体在高速流动中同时进入混合腔,形成数个漩涡,几乎占据整个流通区域,从而气流 A 和气流 B 之间形成良好的分散.

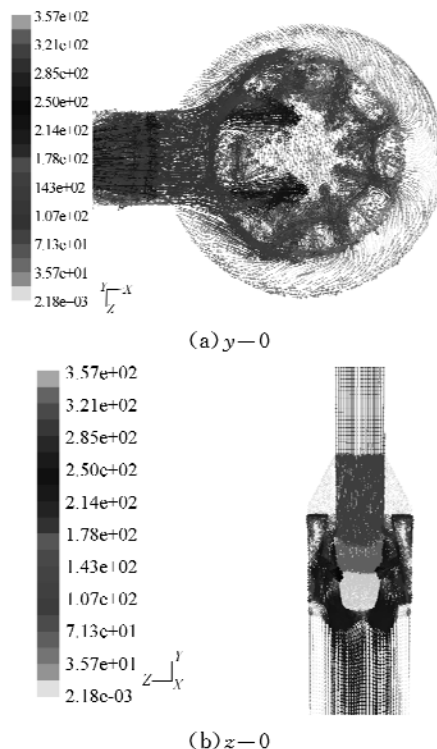


图3 流道的不同截面的速度矢量图(m/s)

Fig. 3 Vector of velocity in different section of flow passage(m/s)

从速度矢量图 3 中可见,计算得到混合器内总的流动趋势良好,没有出现大的流动分离,同时还可以很清楚的看流体质点在混合腔速度大小及流动方向。

1.3 混合效果

混合效率的好坏需要有指标对之进行衡量,衡量的标准应该是样品液或检测液质量分数的均匀程度。 S 由下式计算

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (w_i - \bar{w})^2 / (n-1) / \bar{w}} \quad (2)$$

$$\bar{w} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i$$

式(2)中, w_i 为统计区域的水蒸气质量分数; N 为统计区域中被统计量的数量; \bar{w} 为统计区域中被统计量的平均值。

测试同一截面上各点水蒸气的质量分数分布,以各点水蒸气质量分数的均方根偏差 S 表征该截面上水蒸气质量分数分布的不均匀性。

对混合效果进行评价时,以 $S < 0.05$ 作为达到微观混合均匀的判据^[7]。

图 4 为出口处水蒸气的质量含量比例,在出口处取 10 个半径不同的圆,在每个圆上分别取 $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ 上的点,表 2 列出了混合器出口处各点质量分数数据。通过计算, $\bar{w} = 0.3836, s = 0.0489$,可见混合效果比较好。

表 2 混合器出口处浓度场数据

Table 2 Concentration data in the inlet of mixer

直径 /mm	$\theta / (^\circ)$							
	0	45	90	135	180	225	270	315
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
10	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
50	0.425	0.425	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
100	0.425	0.425	0.375	0.375	0.375	0.325	0.375	0.375
150	0.425	0.425	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.425
200	0.475	0.425	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.425
250	0.475	0.425	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.425
300	0.475	0.425	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.475
350	0.475	0.425	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.475
400	0.475	0.425	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.475
430	0.475	0.475	0.325	0.325	0.375	0.325	0.375	0.475

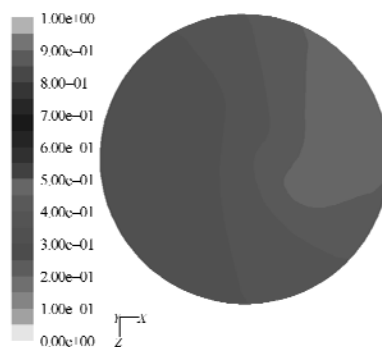


图 4 出口处水蒸汽的质量分数比例

Fig. 4 The percentage composition of mass in the outlet

5 结 语

a. 锥形混合腔侧壁上的开孔极大改变了流体的速度大小及方向,可以通过改变其上孔的大小及位置分布,可使混合效果达到最佳。

b. 通过设置两块稀释孔板,气流 A、B 在混合器内压力降可满足工艺要求。

c. 通过计算,两股流体经过此种结构的喷射流混合器后,取得了比较好的混合效果,混合相对均匀。

d. 利用 CFD 技术对喷射流混合器进行三维湍流数值模拟,得到的流场结果和实际相吻合,计算结果能够有效反映混合器内的流动状态,同时又揭示了喷射流混合器内部流动的特殊规律和流动机理,弥补了实验方法的不足。

参考文献:

- [1] 骆培成. 液-液快速混合设备研究进展[J]. 化工进展, 2005, 24(12): 1319-1325.
- [2] 李万平. 计算流体力学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004. 101-137.
- [3] 赵建华. 静态混合器流场的数值模拟及 PIV 实验研究[J]. 石油矿场机械, 2004, 33(B08): 51-53.
- [4] 帕坦卡 S. V. 传热与流体流动的数值计算[M]. 张政译. 北京: 科学出版社, 1984. 12-24.
- [5] 韩占忠, 王 敬, 兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004. 19-22.
- [6] 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. 63-108.
- [7] Hamby N, Edwards M F, Nicrow A W. Mixing in the Process Industries [M]. London: Butterworths, 1985. 179.

(下转第 114 页)

- [3] Nishida T, Eguchi K, Okamoto Y, et al. Inter-vehicle P2P communication experimental on-board terminal[A]. Consumer Communications and Networking Conference 2005[C]. IEEE, 2005, 434-438.
- [4] Gunter Y, Grobmann H P. Usage of wireless LAN for inter-vehicle communication [A]. Intelligent Transportation Systems, 2005 Proceedings [C]. IEEE, 2005, 408-413.
- [5] Gazis V, Alonistioti N, Mcraos L. Toward a generic "always best connected" capability in integrated WLAN/UMTS cellular mobile networks (and beyond) [J]. Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications], 2005, 12(3): 20-29.
- [6] Fukui R, Koike H, Okada H. Dynamic Integrated Transmission Control (DITRAC) over inter-vehicle communications in ITS [A]. Vehicular Technology Conference 2002[C]. IEEE 55th, 2002, 481: 483-487.
- [7] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>. 2003-07-16

A hybrid network for Inter-vehicle-Communication

XIE Hong-gang, YI Ben-shun

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The paper proposed a hybrid network, which combines VANET and UMTS networks, when communication link is broken in the VANET, hybrid networks would efficiently provide communication link. Utilizing the characteristics of UMTS of wide coverage and flexible structural of Ad hoc Networks, the uninterrupted communication between vehicles through handoff between the different network interfaces has been realized.

Key words: Inter-vehicle-Communication; UMTS; AODV; Mobile IP; P2P

本文编辑:陈晓革



(上接第 110 页)

The numerical simulation of fluid flow in a three-dimensional model of gas-gas mixer

LIU Yu-hua, YU Jiu-yang, ZHENG Xiao-tao, XION Zhi-qiang

(School of Mechanical Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The RNG $k-\epsilon$ equation of turbulent flow model is adopted to simulate the flow field. The CFD software is used to study the incompressible fluid flow in a three dimensional model of gas jet mixer by mixing mesh. It can obtain the change of flow field, turbulent kinetic energy, pressure drop and component density field, and so on. It shows that the mixture is relatively uniform and the pressure drop can meet process requirements by the numerical simulation.

Key words: mixer; fluid flow; pressure drop; numerical simulation

本文编辑:陈晓革