

机械搅拌混合池三维流场的数值模拟研究

张海龙^{1,2}, 崔福义¹, 伍悦滨¹

(1 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090 2 上海立源水处理
技术有限责任公司, 上海 201108)

摘要: 应用 Fluent 软件对竖轴机械搅拌混合池的三维流场进行了数值模拟。首先通过试验数据进行湍流模型校核, 然后计算和分析速度场及湍流强度场。结果表明, RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型能够对机械搅拌混合池流场进行正确的模拟和预测; 混合池内形成了周期性的上下循环流动, 桨片区域的速度及湍流强度较大, 下层桨片至池底区域具有较大的流动漩涡; 挡板的设置消除了流场的“打漩”现象, 改善了搅拌效果。研究结果为机械搅拌混合池的设计及运行管理提供了参考依据。

关键词: 竖轴机械搅拌混合池; 三维流场; 数值模拟; 湍流强度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)09-0065-03

Numerical Simulation of Three-dimensional Flow Fields in a Vertical-shaft Mechanical Mixing Tank

ZHANG Hai-long^{1,2}, CUI Fu-yi¹, WU Yue-bin¹

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2 Shanghai Leye Water Treatment Technology Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract Three-dimensional flow fields in a vertical-shaft mechanical mixing tank were calculated numerically by Fluent software. Firstly, the prediction capability of the turbulence model was assessed based on laboratory data. And then, the numerical study was focused on distributions of the velocity and the turbulence intensity. The results show that RNG $k-\varepsilon$ turbulence model is feasible for the numerical simulation of the flow fields in the mixing tank. Moreover, the up-down periodic flow comes into being in the tank. Comparatively, the velocity and the turbulence intensity are bigger near the blades. There are vortices under the below layer blades. Baffles prevent from the swirling flow of the whole field and improve the mixing effect. The study provides references for the design and the operational management of mixing tanks.

Key words vertical-shaft mechanical mixing tank; three-dimensional flow field; numerical simulation; turbulence intensity

在给水处理中, 混合过程作为絮凝的先行工艺, 其完善程度直接影响后续沉淀、过滤设备效率的发挥。混合阶段要求对水体进行强烈搅拌, 使混凝剂

迅速、均匀地与水体混合^[1]。为实现机械混合池内投药后的高梯度快速混合, 需要合理调整搅拌强度, 保证在短时间内形成对初始颗粒碰撞集聚所需要的

基金项目: 黑龙江省科技攻关计划项目 (GB07C202-02)

水流结构,为凝聚创造适宜条件^[2]。笔者以哈尔滨市磨盘山净水厂的竖轴机械搅拌混合池为例,通过对其流场的数值模拟,研究了混合过程中水流的运动状态及水流结构,为进一步深化研究混凝机理及完善混凝装置的设计理论提供科学依据。

1 湍流模型校核

研究采用计算流体动力学软件 Fluent 模拟过程中选用 RNG $\kappa-\epsilon$ 湍流模型,首先进行模型校核。以一个具体的搅拌槽试验为模拟对象^[3],将计算结果同试验数据进行对比,验证 RNG $\kappa-\epsilon$ 湍流模型对混合池内部流场模拟的有效性。图 1 是桨片区轴向速度和切向速度的试验和模拟结果,其中图 1(a) 中的负号表示轴向速度方向向下,图 1(b) 中的负号表示切向速度为顺时针方向。

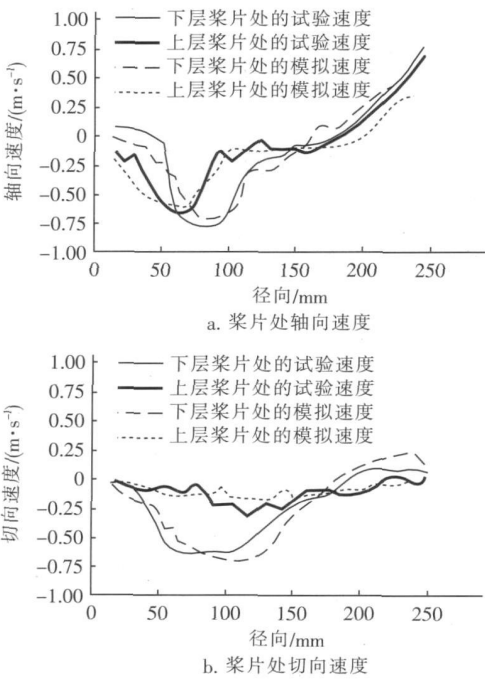


图 1 桨片区轴向速度与切向速度的试验与模拟结果
Fig 1 Laboratorial and simulated values of axial and tangential velocity in impeller region

从上、下层桨片处轴向速度和切向速度的试验与模拟结果的对比来看,虽然在局部出现一定的偏差,但总体来说比较吻合,说明采用 RNG $\kappa-\epsilon$ 湍流模型计算混合池的内部流场是可行的。

2 数值模拟与分析

2.1 计算模型

竖轴机械搅拌混合池(见图 2)的边长为 2.20 m、高为 4.25 m;4 个挡板分别位于各壁面的中心位

置,尺寸为 2.70 m × 0.20 m × 0.01 m,挡板下缘距底部 0.80 m;4 个桨片周向均布在搅拌轴上,呈 45° 倾斜,直径为 0.80 m、宽为 0.1 m、厚为 0.01 m;搅拌轴以 40 r/min 的转速逆时针旋转,搅拌轴长为 3.0 m、直径为 0.0891 m,上、下层桨片跨距为 1.40 m,下层桨片距底部 1.25 m。采用非结构化混合形式的计算网格,考虑到计算机的计算能力和速度,网格节点间距设为 0.05 m,由于混合池的轴对称性,取其 1/4 部分作为计算对象。

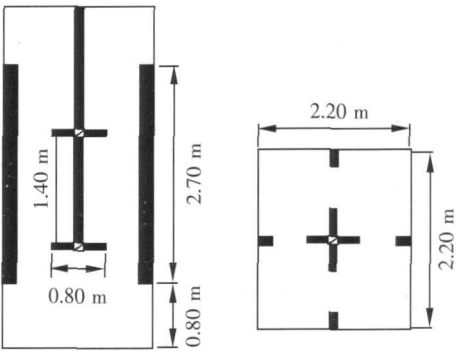


图 2 混合池的几何尺寸
Fig 2 Geometric layout of quadrate stirred tank

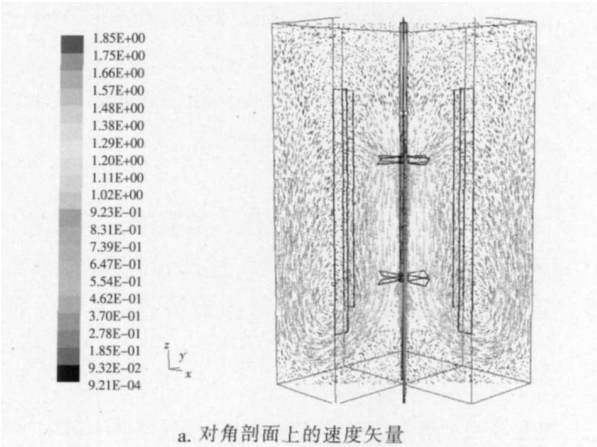
2.2 模拟结果

① 速度的周期性

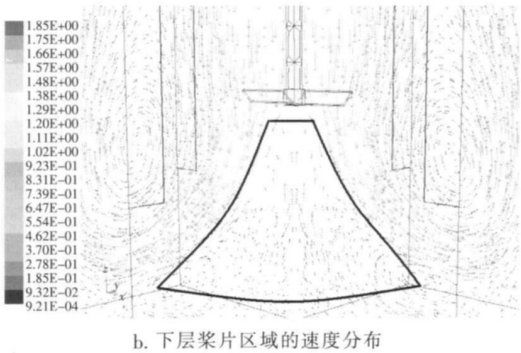
对混合池近桨叶处一点进行速度监测,发现其速度大小呈周期性变化,周期为 60 个时间步长 ($0.00625 \text{ s} \times 60 = 0.375 \text{ s}$),即搅拌桨旋转周期为 1.5 s 的 1/4。这是因为混合池横剖面为正方形,它的 4 个直角把一个搅拌旋转周期分成 4 个小周期。

② 速度场的分布情况

速度场的分布情况见图 3 其中图 3(a) 为混合池对角纵剖面的速度场矢量分布,图 3(b) 为下层桨片区速度分布的局部放大图。



a. 对角剖面上的速度矢量



b. 下层桨片区域的速度分布

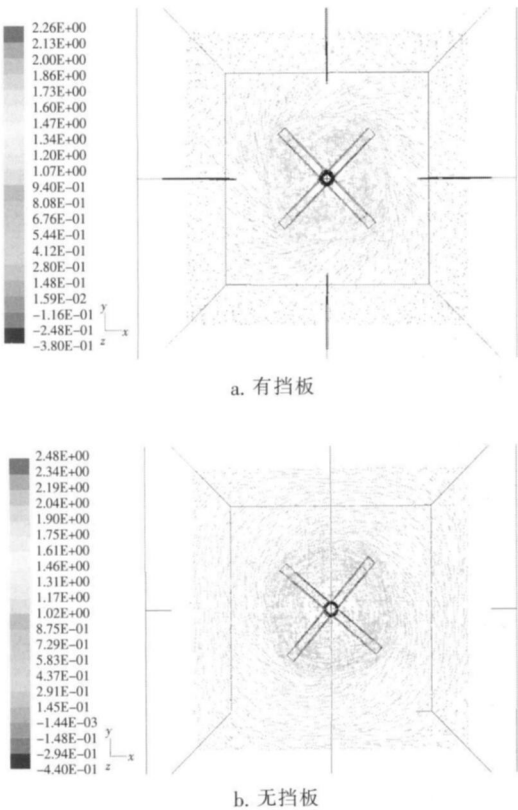
图 3 速度场的分布情况

Fig 3 Distribution of velocity field

由图 3 可知,混合池内水体沿中心搅拌轴向下流动、在池壁四周向上流动,从而形成循环流动,桨片附近速度较大。在下层桨片与底面间存在明显的流动漩涡,在底面中部附近出现局部二次回流现象。

③ 挡板对流场的影响分析

安装和未安装挡板时上层桨片处的流场分布见图 4。



b. 无挡板

图 4 挡板对速度场的影响

Fig 4 Influence of baffles on velocity field

由图 4 可知,未安装挡板的流场中出现了“打漩”现象,对搅拌不利。挡板的设置能够改善水流结构,在挡板和搅拌轴间形成了涡流,增大了流场湍动程度,促进了物料微观尺度上的混合,从而改善了搅拌效果。

④ 湍流强度分布

当高速水流通过低速流体时,在高、低速界面上的流体会受到强烈的剪切作用,产生大量漩涡。这些漩涡迅速向周围扩散,一方面把更多流体夹带到宏观流动的水流中,另一方面形成局部范围内快速而紊乱的对流运动,由漩涡运动造成的局部范围内的对流扩散称涡流扩散^[4]。涡流扩散速率取决于被搅拌水体的湍动状态。湍动程度愈高,混合速率愈快。模拟结果表明在搅拌桨叶片区域湍流强度较大,在壁面附近湍流强度较小,上、下桨片处存在湍流强度峰值。

3 结论

采用 Fluent 软件和 RNG $k-\epsilon$ 湍流模型能够对机械搅拌混合池流场进行正确的模拟和预测。模拟结果表明,竖轴机械搅拌混合池内的流场呈周期性的、沿中心搅拌轴自上而下、沿池壁四周自下而上的循环流动。桨片区域速度及湍流强度较大,下层桨片至池底区域具有较大的流动漩涡。挡板的设置消除了流场的“打漩”现象,有利于形成微漩涡,从而促进了物料的微观混合。研究结果为机械搅拌混合池的设计及运行管理提供了参考依据。

参考文献:

[1] 王凯,冯连芳. 混合设备设计 [M]. 北京:机械工业出版社, 2000

[2] 戴干策,范自晖,姚一平. 搅拌反应器中湍流微结构的研究 [J]. 高校化学工程学报, 1986 (1): 1-5

[3] 侯控弟. 搅拌槽内三维流场的试验研究与数值模拟 [D]. 北京:北京化工大学, 1997.

[4] Harris C K, Roekaerts D, Rosendal F J J *et al*. Computational fluid dynamics for chemical reactor engineering [J]. Chem Eng Sci 1996 51(10): 1569-1594

电话: 13671559222
E-mail ybwu@ hit. edu. cn
收稿日期: 2009-11-15