带导流壳的污水处理搅拌机流动分析与试验*

施卫东1 田 飞1 陈 斌1,2

(1. 江苏大学流体机械工程技术研究中心,镇江 212013; 2. 南京蓝深制泵集团有限公司,南京 211500)

【摘要】 利用 Fluent 6.3 计算流体力学软件,对带导流壳的污水处理搅拌机搅拌的污水处理池进行了数值模 拟,分析了全池内流体的流场。并对污水处理搅拌池内流体流场分布进行了试验研究,通过空间布点测量了污水 处理池内不同位置流体速度。利用 Excel 软件绘制了污水处理搅拌池内不同位置的截面上的流体速度分布图,分 析了池内流体速度分布规律。数值模拟与试验结果均得出相同的结果。流体速度沿着轴向传递明显,流体径向扩 散相对较小,且污水处理池内流体的流速基本沿污水处理搅拌机轴呈轴对称分布。结果表明:该污水处理搅拌机 具有明显的轴向导流且减少池壁边界对池内流体影响的作用。

关键词: 污水处理搅拌机 导流壳 数值模拟 试验 中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)03-0096-04

Flow Analysis and Measurement of Wastewater Treatment Mixer with Dome

Shi Weidong¹ Tian Fei¹ Chen Bin^{1,2}

Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China
Nanjing Lanshen Pump Co., Ltd., Nanjing 211500, China)

Abstract

To study the performance of wastewater-treatment mixer because of its large application in the rural environmental governance, based on CFD, using Fluent 6.3, wastewater treatment mixer with dome was simulated. At the same time, the velocity flow field distribution in the wastewater treatment pool was experimentally studied, and the fluid velocity at the different points of the pool was measured by using the velocity instrument. The velocity distribution graphs of the different sections in the wastewater treatment pool were drawn by software Excel, and the velocity distribution rule was analyzed. The same results were obtained by the numerical simulation and experiment. The fluid flow obviously transferred along the axial direction of wastewater-treatment mixer but little diffused along the radial direction, and fluid velocity symmetrical along the mixer axis. The results indicate that the wastewater-treatment mixer can guide flow in axial direction, and can reduce the effect of boundary of pool wall on the fluid in pool.

Key words Wastewater-treatment mixer, Dome, Numerical simulation, Experiment

引言

污水处理搅拌机作为主要的污水处理设备,用 途极广,不仅适用于工业和城市的污水处理,同样适 用于农村污水处理场曝气池和厌氧池污水的处理。 污水处理搅拌机在污水处理工程中的应用主要有四 个方面:改善水体水质;提高传氧效率;方便分格、分 段处理;进行水力循环。根据其用途与应用条件,大 致可以将污水处理搅拌机分为两类:一类是高转速、 小叶轮产品,其作用偏重于混合搅拌;另一类是低 转速、大叶轮产品,其功能突出地表现在水力循环方 面^[1]。

目前,国内对污水处理搅拌机的研究不够,其池 内速度场的变化,搅拌机服务面积的大小等尚没有 相关的理论和试验研究。随着计算机和计算流体力 学的发展,数值模拟已成为研究流体机械内部规律

收稿日期: 2010-04-27 修回日期: 2010-05-11

^{*} 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CX10B_264Z)和江苏省科技服务业发展计划项目(BM2008375) 作者简介:施卫东,研究员,博士生导师,主要从事流体机械理论及工程研究,E-mail: wdshi@ ujs. edu. cn

本文利用 Fluent 软件对污水池内流场进行数值 模拟,研究污水池内流体速度分布。同时用流速仪 对污水池内流场速度进行测量。通过数值模拟和试 验对比分析,得出污水处理搅拌机速度流场分布,并 得出此类污水处理搅拌机的性能特点。

1 结构参数

考虑到试验条件、试验水池的大小,参考以往的 研究成果和相关文献,研制试验用的带导流壳的三 叶片污水处理搅拌机为动力4kW电动机,设计参 数为转速 n = 980 r/min,叶片直径 D = 380 mm,轮毂 直径 d_h = 190 mm。结构如图1所示。试验水池大 小为7m×3m×2.4m,污水处理搅拌机安装在距离 水池底部1m的水池侧壁的中部,如图2所示。结 合实验条件,选择如图3所示的一种安装方式。该 安装方式在无需排出池中污水的情况下,能快速安 装和拆卸搅拌机,安全可靠,且可在水平和垂直方向 调节角度。



图 1 带导流壳的叶轮水力结构参数

Fig. 1 Structural parameters of the mixer with dome



0 1

2 数学模型

2.1 三维造型及网格划分

用三维软件 Pro/E 对污水处理搅拌机叶轮及试验水池进行实体造型,如图4所示。

因试验水池内流体流动比较复杂,故采用非结 构化四面体网格对流动区域进行网格划分,由于污 水处理搅拌机相对试验水池小得多,故在搅拌机叶 片附近进行局部加密^[2],如图5所示。

2.2 边界条件

搅拌过程中水池表面为大气压力壁面边界条







图 5 污水处理搅拌机的污水池网格 Fig. 5 Grid of pool

件;所有壁、搅拌轴及搅拌叶片表面均采用无滑移壁 面边界条件;搅拌叶片、搅拌轴设置相应的转速条 件;内外子域的接触面设为 interface 类型,以保证 计算过程中内外子域之间相互耦合^[2-5]。

利用 Fluent 流体计算软件,采用有限体积法进 行方程离散,采用 SIMPLE 算法,压力-速度的耦合 采用 PISO 算法,对流项的离散采用一阶迎风差分格 式。选取目前广泛应用的 RNG $k - \varepsilon$ 湍流模 型^[2-5]。收敛判据为所有变量的残差绝对值小于 10⁻⁴。

3 计算结果分析

3.1 对流场取截面分析

池内流体速度矢量图如图 6 所示。污水处理搅 拌机搅拌的污水处理池,其池内流体轴向推进明显, 主要起推流作用,且轴向受影响的流体范围宽,但两 侧速度降低得较快,对池壁附近的流体影响较小,分 别如图 7 和图 8 所示。

图 9a 所示为污水处理搅拌池内流体在径向上



图 6 池内流体速度矢量图 Fig. 6 Fluid velocity vector diagram in the pool

的扩散情况。在污水处理 池内,距离污水处理搅拌 机的3个垂直截面上(即 $X = 2\,900 \text{ mm}, X = 3\,900 \text{ mm},$ X = 5 300 mm 的 3 个截 面),污水处理搅拌机水池 内流体在同一截面上的速 度分布沿着径向速度递 减,污水处理搅拌机在截 面的对应位置上,流体速 度最大;且随着截面的距 离增大,流体速度径向分 布增大,污水处理搅拌机 在远距离截面上的影响范 围相对增大,但是比较集 中,池壁对流体影响相对较小。



图 7 Y=0 带导流壳的污水 处理搅拌池内速度云图 Fig. 7 Velocity distribution of axial-section in the pool (Y=0)



Fig. 8 Velocity distribution of axial-section in the pool (Z = 1 000 mm)

3.2 对流场取点分析

用截面 A 与 3 个不同距离的截面(即截面 a、截 面 b、截面 c)相交,得到 3 条不同距离处的直线,每 条直线上均测得 9 个点。

3 条直线由以下 4 个截面相交得到:Line1:X = 2 900 mm,Z = 1 000 mm。Line2:X = 3 900 mm,Z = 1 000 mm。Line3:X = 5 300 mm,Z = 1 000 mm。

每条线上数值模拟得到的散点速度分布均为抛 物线形分布,如图 10a 所示。中间速度大,池壁附近 的速度急剧下降。获得流速的点主要集中在中部, 即污水处理搅拌机在该线的垂直点附近的位置上。

4 试验及数据分析

4.1 流速的测量

污水处理搅拌机的试验是在江苏某公司的试验

台上完成。为了测定污水处理搅拌机搅拌推流的速 度流场,且与数值模拟进行对比,对池内流体,选择 了 162 个点,利用流速仪进行速度测量。这些点分 布在 X = 2 900 mm、X = 3 900 mm、X = 5 300 mm的 3 个截面上。试验数据经整理后,利用 Excel 进行截 面速度流场绘制,分别如图 9b、图 10b 和图 11 所示。



in the pool (Y=0)

4.2 数据分析

如图 11 所示, Y = 0 截面的流速分布体现的是 流体在轴向上的推进情况,与数值模拟一致,流体轴 向推进明显。

图 9b 为 X = 2 900 mm、X = 3 900、X = 5 300 mm 3 个截面上速度分布图。对比图 9a 可知,数值模拟 得到的各对应点的流速数值均大于试验测得的数 据,数值模拟径向扩散相对较大,轴向推进相对较 远,对流体影响的范围相对较广。可以看出,其基本 规律一致,且数据相差不是很大,没有脱离很远。

数值模拟得到的流速比试验得到的对应点上的 流速要大,但流速变化规律基本一致,每条线上的散 点速度分布均为抛物线形分布,如图 10 所示。

5 结论

(1) 在相同点, 试验得到的流体速度值明显小

于数值模拟值。这可能与试验测量误差、仪器误差、 实验水池内流体含有杂质,流体特性复杂、污水处理 搅拌机工作时的复杂环境以及数值模拟时边界条件 过于简化等原因有关。

(2)从试验与数值模拟得到的测点流体速度可知,它们具有相同的流场分布规律:流体速度沿着轴向传递明显,流体径向扩散相对较小;靠近污水处理搅拌机的垂直截面,轴向速度较大,径向速度小,受影响的流体质点少,比较集中,污水处理搅拌机服务面积比较小。随着与污水处理搅拌机的距离增大,流体轴向速度将会减少,径向速度也会随着减少,但 是径向受影响的流体明显增多,污水处理搅拌机对流体的服务面积逐步增大。

(3)试验数据与模拟数据均表明导流壳具有轴向导流且减少池壁边界对池内流体的影响作用。

参考文献

1 严建华,黄道见,滕国荣.潜水搅拌器在处理农村生活污水中的应用[J].安徽农业科学,2009,37(20):9606~9607.

Yan Jianhua, Huang Daojian, Teng Guorong. Research on rural domestic sewage disposal of biologic disposal high efficiency blender[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2009, 37(20): 9606~9607. (in Chinese)

- 2 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- 3 徐伟幸. 潜水搅拌器叶轮设计理论及搅拌流场数值模拟[D]. 镇江:江苏大学,2006. Xu Weixing. Design theory of submersible mixer impeller and numerical simulation of agitated flow field [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2006. (in Chinese)
- 4 施卫东,田飞,曹卫东,等. 流线型两叶片 XCK 搅拌器内部流动[J]. 排灌机械,2008,26(6):6~9. Shi Weidong, Tian Fei, Cao Weidong, et al. Inner flow of new-type streamline XCK mixer with two blades [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26 (6):6~9. (in Chinese)
- 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.
- 6 杨敏官, 王军锋, 罗惕乾, 等. 现代测量技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.