

臭氧接触池的计算流体力学模拟

王 静, 邓保庆, 陆 丽, 李勋栋

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘 要: 臭氧接触池的水力特性直接影响着微生物消毒效果。利用计算流体力学(CFD)技术,采用欧拉多相流模型和标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型对单管臭氧接触池内的流场进行数值模拟。结果表明:单管式臭氧接触池内臭氧分布比较均匀,基本上没有“死区”现象的产生,可以保证较高的消毒效率,但是气体气泡大量聚集在接触池出口槽下方。模拟结果对单管式臭氧接触池的优化有一定的借鉴作用。

关键词: 计算流体力学; 臭氧接触池; 微生物消毒

中图分类号: TV131.4; O35

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0139-03

Simulation of computational fluid dynamics in ozone contactor

WANG Jing, DENG Baoqing, LU Li, LI Xundong

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The hydraulic characteristic of ozone contactor has a great impact on the disinfection effect of microorganism. Computational fluid dynamics (CFD) technique was used to simulate the flow field of a single-column ozone contactor. The Eulerian multiphase model and the standard $k-\varepsilon$ turbulent model were used in the simulation. The results show that ozone distribution is relatively uniform in the single-column contactor. In general, there does not exist the phenomenon of “dead zone”, which helps to guarantee high disinfection efficiency. However, gas bubble was found to accumulate underneath the outlet trough. The results offer a sample for optimizing the ozonation system.

Key words: computational fluid dynamics; ozone contactor; disinfection of microorganism

0 前 言

臭氧是一种强氧化剂,使用后不含残留有害物质,是一种十分理想的消毒制剂^[1]。近年来,随着生活污水和工业废水的大量排放,水污染日趋严重,如何提高废水深度处理的效率,缓解水资源紧张状况已成为当今水处理领域研究的重要课题^[2]。臭氧工艺作为一种有效的深度处理技术,被广泛用于各种废水的处理中,以满足日益严格的出水排放标准。

臭氧工艺系统由液氧系统、臭氧发生系统、接触系统、破坏系统、压缩空气系统及动力水系统等组成^[3]。臭氧接触^[4]是指通过一定的方式使臭氧气体扩散到液体中,并使之与液体充分接触完成预期反应的过程,这一过程通过臭氧接触反应装置来实现。接触反应是臭氧处理系统中生产运行的核心,它的作用是将臭氧发生器产生的臭氧气体迅速有效地扩散到处理水中,并稳定可靠地完成预定工艺所要求的反应^[5]。臭氧处理的接触池是提供臭氧溶

解于水和确保臭氧反应时间的装置。为了保证臭氧与水的反应效果,接触池中臭氧扩散通常采用微孔曝气或射流曝气两种形式,代表性臭氧接触池(ozone contactor)的类型如图1、图2所示。

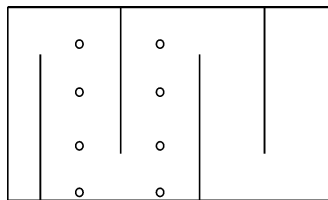


图1 多管式接触池简图

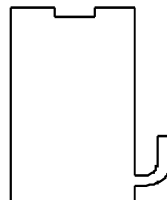


图2 单管式接触池简图

图1所示的多管式接触池是目前世界上广泛使用的一种类型,水流由左侧下方进水口进入,臭氧扩散采用微孔曝气形式,由第一个区域下方的臭氧喷嘴进入接触池,出口在接触池右侧上方。图2是单管式接触池,具有占地面积小、臭氧吸收率高等特点^[6],臭氧扩散采用射流曝气形式,水和臭氧均由右侧弯管进入接触池,出口在接触池顶部。Ta等^[7]曾采用计算流体力学(Computational Fluid Dynam-

收稿日期:2011-08-12; 修回日期:2011-09-05

作者简介:王 静(1986-),女,山东人,硕士研究生,从事环境模拟与仿真方向。

通讯作者:邓保庆(1972-),男,河南人,博士,副教授,主要从事流体数值模拟技术。

ics,简称 CFD) 方法对单管式和多管式接触池进行了对比分析,并对接触池的设计方面提出了改良意见以达到更好的消毒效果。缪佳等^[8]曾利用计算流体力学技术,通过计算流体的停留时间分布,模拟了深圳某水厂臭氧接触池的水力效率,对臭氧接触系统进行了优化。纪家林等^[9]也曾利用 CFD 为研究工具来模拟和优化臭氧接触池。本文采用计算流体力学方法对单管式臭氧接触池进行模拟,以探讨改进接触池设计促进消毒效果的方法。

1 数值模拟

单管臭氧接触池的长、宽、高分别是 4 m、4 m、8.4 m。臭氧与水混合,由弯管进入接触池,并假设完全混合。模拟两个不同的弯管尺寸,入口弯管直径分别为 0.3 m 和 0.15 m。气体与废水从顶部两个出口排出,出口尺寸均为 0.4 m × 4 m。进口边界条件定义为速度进口 (velocity - inlet),流量为 0.28 m³/s,入口处水流中气体体积分数为 0.04,气体气

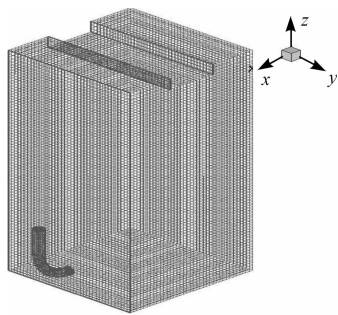


图3 网格结构示意图

图4是入口管径分别为 0.3 m 和 0.15 m 时, $Y = 2$ m 平面上的速度矢量图。气体和水从入口进入接触池,弯管与接触池连接的平面上水流十分强烈,水流碰到接触池的左侧管壁后沿墙壁向上流动,一部分流向出口,一部分向下形成回流。入口管径较小时,在相同流量下,入口速度增大,流动强烈,臭氧和水混合更充分。

图5和图6分别是入口管径为 0.3 m 时, $Y = 2$ m 平面上的气体体积分数等值线图 and 臭氧浓度等值线图。由气体体积分数分布图可以看出,气体的体积分数在接触池出口槽的下方达到最大,意味着气泡大量聚积在出口槽的下方。因此,接触池出口槽处需要做出一些改进以允许气体从顶部排出。由臭氧浓度分布图可以看出,臭氧浓度在进口处是最大的,浓度为 40 mg/L。沿着水流的流动,臭氧被消耗而浓度逐渐降低,由于水流从接触池右侧进入接触

池大小为 0.2 mm,出口边界定义为出流 (outflow)。臭氧在水中的浓度用自定义标量 (User - Defined Scalar,简称 UDS) 表示,入口臭氧浓度是 40 mg/L。

计算网格采用六面体非结构化网格,采用 ICEM 前处理软件生成网格,图3为臭氧接触池的网格结构示意图。不同入口管径 (0.3、0.15 m) 的两个臭氧接触池,网格数分别是 147 854 和 153 219 个。运用 Fluent 软件来模拟稳态下的流场,选择欧拉 (Eulerian) 模型模拟气液两相流,并采用标准 $k - \varepsilon$ 湍流模型来描述湍流。动量、湍动能及耗散率方程的空间离散方法均采用二阶迎风格式。采用 SIMPLE 算法计算流场,收敛条件是流场的残差为 1.0×10^{-4} 及臭氧浓度的残差为 1.0×10^{-6} 。

2 模拟结果

本文利用商用 CFD 软件 FLUENT 对臭氧接触池内的流场进行数值模拟,选择中心对称面 $Y = 2$ m 平面对流场和浓度场进行分析。

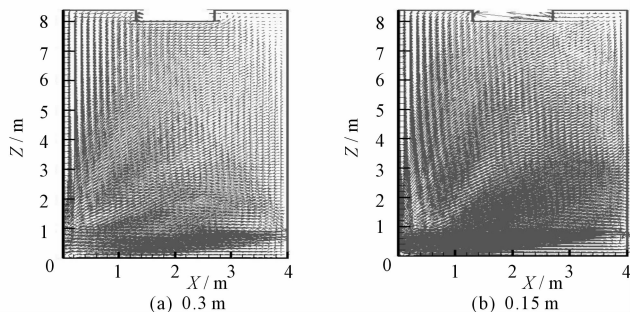


图4 速度矢量图

池,因此左侧浓度稍高于右侧,但总体上臭氧分布比较均匀,基本上没有“死区”现象的产生,可以保证较高的消毒效率。

图7是流量减小为 0.07 m³/s,入口管径分别为 0.3 m 和 0.15 m 时, $Y = 2$ m 平面上的速度矢量图。从图中可以看出,对于 0.3 m 的管径,整个接触池内水流速度偏低,“死区”现象明显。当管径为 0.15 m 时,接触池内流动加强,死区现象减少。因此,必须保证接触池内足够强度的流动以获得需要的消毒效果。

3 结 语

本文采用商用 CFD 软件 Fluent 对单管式臭氧接触池进行数值模拟,得到了接触池内部的流场分布情况。模拟得到的结果说明,在单管式接触池内,臭氧分布比较均匀,基本上没有“死区”现象的产生,可以保证较高的消毒效率,但是气泡大量聚积在

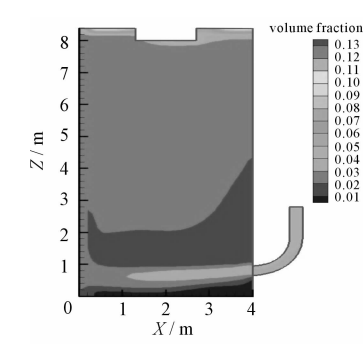


图 5 气体体积分数等值线图

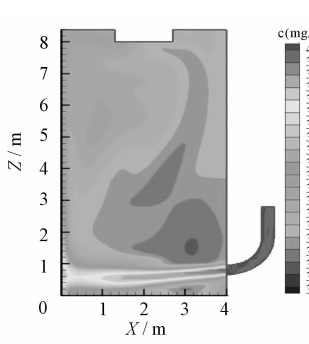


图 6 臭氧浓度等值线图

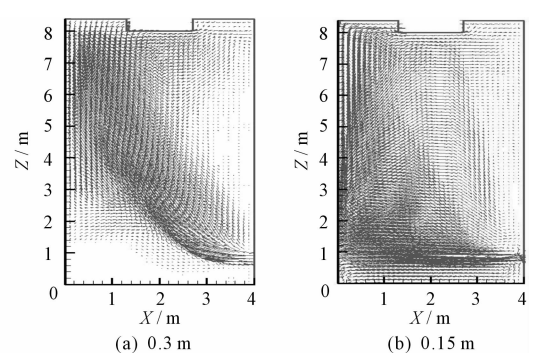


图 7 速度矢量图

出口槽的下方,接触池出口槽处需要做出一些改进以允许气体从顶部排出,模拟结果对单管式臭氧接触池的优化有一定的借鉴作用。

参考文献:

[1] 齐爱玲. 饮用水臭氧消毒模型的研究[D]. 哈尔滨工业大学,2010.

[2] 于衍真,谭 娟,冯 岩. 臭氧组合工艺在水处理中的应用[J]. 工业用水与废水, 2008,39(3): 8 - 11.

[3] 黄锐文. 臭氧系统应用于给水深度处理的施工新技术[J]. 四川建筑, 2007,27(6):180 - 181.

[4] 张奎山. 饮用水臭氧化工艺研究与接触池流场模拟[D]. 天津大学,2005.

[5] 梁 萍. 净水厂臭氧处理系统的设计要点与分析[J]. 工业用水与废水,2007,38(4):74 - 76.

[6] 森冈崇行,汪兆康. 采用模拟系统设计臭氧接触池[J]. 中国给水排水, 2006,22(2): 49 - 51.

[7] Ta C T, Hague J. A two - phase computational fluid dynamics model for ozone tank design and troubleshooting in water treatment[J]. Ozone: Science & Engineering, 2004, 26(4): 403 - 411.

[8] 缪 佳,李 继,张金松,等. CFD 在臭氧接触系统优化中的应用[J]. 中国给水排水, 2006,22(10): 46 - 49.

[9] 纪家林. 基于 CFD 的臭氧接触池优化[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.

~~~~~

(上接第 138 页)

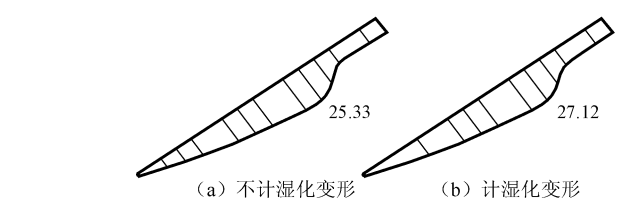


图 10 正常蓄水位面板挠度曲线

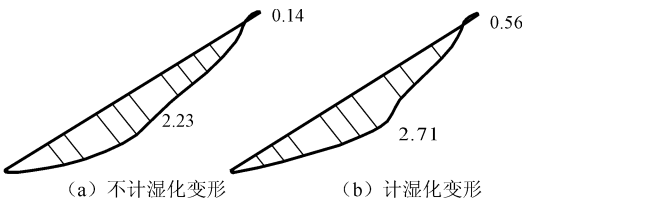


图 11 正常蓄水位面板内顺坡向应力分布

3 结 语

本文研究分析了材料湿化的基本原理和计算方法,并基于改进的湿化变形计算模型,编制相关的湿化程序,在此基础上,对某软岩料填筑面板堆石坝进行考虑湿化变形条件下的坝体应力变形,得出结论:①坝料的湿化变形会导致坝体的沉降和向下游的水平位移增加;②坝料湿化变形使得面板挠度增大,面板的顺坡向应力出现压应力增量,其拉应力峰值及范围有所增大。因此,对坝体先期进行浸水,使主要的湿化变形在面板浇筑前发生,可以改善面板的应力变形状态。

参考文献:

[1] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京:中国水利

水电出版社,1979,第二版.

[2] 陈慧远. 土石坝有限元分析[M]. 南京,河海大学出版社,1988.

[3] 蒋 涛,付 军,周晓文. 软岩筑面板堆石坝技术[M]. 中国水利水电出版社,2010.

[4] 彭 成,郭德发,王 庆. 面板堆石坝软岩料的应用分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2008,26(5):611 - 615.

[5] 朱百里,沈珠江. 计算土力学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1990.

[6] 李全明,于玉贞,张丙印,等. 黄河公伯峡面板堆石坝三维湿化变形分析[J]. 水力发电学报,2005,24(3):24 - 29.

[7] 朱百里,沈珠江. 计算土力学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1990.

[8] 王钰琳,喻蔚然. 面板堆石坝应力变形分析[J]. 水力发电学报,2007,33(2):54 - 57.