

氧化沟流场数值模拟及其结构形式改进

杨玲霞, 胡蓓蓓, 范如琴

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要:准确模拟城市污水处理厂氧化沟中的流态,对其优化设计以保证其稳定运行和生物处理效果至关重要。笔者以 FLUENT 软件为计算工具,建立一定水深下的氧化沟弯道水流平面二维数学模型,对弯道的流速分布进行模拟研究。结果表明导流墙的形状及位置对氧化沟流场流态影响较大。通过进一步的计算比较,提出了导流墙的优化形式以及最佳布设位置,改善了氧化沟流场的流速分布,防止或减少了沟中的污泥沉积,有利于降低能耗。模拟结果对实际工程的设计有一定的指导意义。

关键词:氧化沟;弯道导流墙;流场模拟;生物处理

中图分类号: X 703.1; TU 992.3

文献标识码: A

0 引言

氧化沟是污水处理厂的一个重要构筑物。在平面布置上,氧化沟一般有直道又有弯道,呈 U 形或 S 形^[1]。弯道的存在,导致氧化沟中的流态变差,流速分布不均匀,不能保证生物处理系统的稳定运行和降低能耗^[2]。

计算流体力学(CFD)以纳维埃—斯托克斯(N-S)方程组以及各种湍流模型为基础,是描述水利、环境、化工等领域中流场流态问题的有效工具^[3]。FLUENT 软件作为 CFD 商用软件之一,具有较强的计算通用性与丰富的显示功能。可以对各种几何结构、各种流动介质的工程实例问题进行模拟计算。笔者利用 FLUENT 软件对城市污水处理厂的氧化沟流场流态进行数值模拟,并在模拟的基础上,提出氧化沟弯道内导流墙的优化形式以及最佳布设位置,以改善氧化沟流场的流速分布,防止或减少其中的污泥沉积,同时也有利于降低能耗。

1 氧化沟流场控制方程

氧化沟中的流动应视为湍流运动。实际中对湍流问题的处理方法是雷诺时均方程代替 N-S 方程,再附加补充的关系式后构成封闭完整的湍流模型。不同的补充条件就有不同的湍流模型^[4]。Karama 等人的研究证明,应用标准的 $k-\varepsilon$

模型与雷诺应力模型所得结果基本一致^[5]。因此,笔者选用最常用的标准 $k-\varepsilon$ 模型进行模拟计算研究。

连续性方程

$$\partial u_i / \partial x_i = 0 \quad (1)$$

雷诺方程

$$\frac{du_i}{dt} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

k 方程

$$\frac{dk}{dt} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\nu + \frac{\nu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G - \varepsilon \quad (3)$$

ε 方程

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

式中: $-\overline{u'_i u'_j} = \nu_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$, δ_{ij} 为克罗内

可(Kroneker)符号, $\delta_{ij} = \begin{cases} 0 (i \neq j) \\ 1 (i = j) \end{cases}$; $\nu_i = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$; $G =$

$\nu_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$; $k-\varepsilon$ 模型中常数数值见表 1。

表 1 $k-\varepsilon$ 模型中的常数

Tab. 1 The constant values of $k-\varepsilon$ model

C_μ	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	σ_k	σ_ε
0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

收稿日期:2009-02-16;修订日期:2009-04-14

作者简介:杨玲霞(1958-),女,汉族,河南沁阳人,郑州大学教授,硕士,主要研究方向为水力学和流体力学。

E-mail: yanglingxia@zzu.edu.cn

2 流场模拟研究

笔者所取模拟研究对象为某污水处理厂 A²/O 氧化沟的弯道流场状态. 沟单宽 8 m, 弯道为半径为 8.15 m 的半圆形, 导流墙半径 3.35 m. 为方便进行对比特选取弯道截面 A—A 和出口截面 B—B. 原设计具体形状尺寸如图 1 所示 (单位: mm).

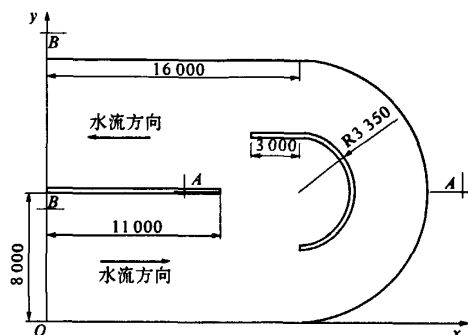


图1 氧化沟渠道简图

Fig.1 Diagram of the flow channel in oxidation ditch

2.1 网格划分

为满足计算结果精度及收敛性, 选用智能网格划分, 以矩形网格为主, 在壁面附近和曲率变化大的面划分较密的网格^[6-8], 具体见图 2.

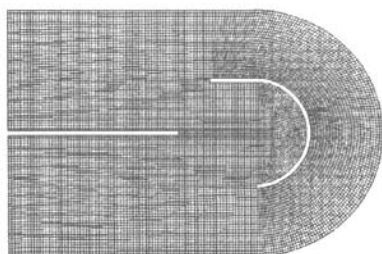


图2 氧化沟道网格划分

Fig.2 Grid divisions of flow channel in the oxidation ditch

2.2 边界条件

进口边界条件采用速度进口边界 (velocity inlet) 条件并且假定进水口处速度、断面的湍动能和湍动耗散率都均匀分布. 出口边界采用自由出流 (outflow) 边界条件. 固体壁面处默认为无滑移边界条件. 在固体壁面上, 除了动量的扩散以外, 所有的通量值均可以指定为 0.

2.3 流场模拟及分析

将网格导入 FLUENT 软件进行计算分析, 模拟得到的速度矢量图如图 3 所示.

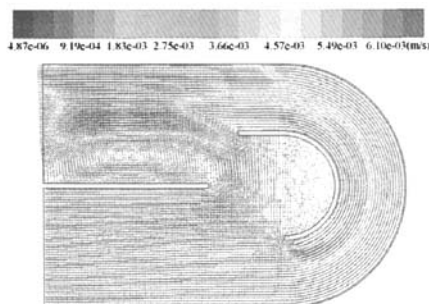


图3 氧化沟渠道流场速度矢量图

Fig.3 Velocity vector of the flow channel in oxidation ditch

由图 3 可知, 流体以一定的速度进入氧化沟后, 在进口直道中速度分布均匀, 基本保持原有速度. 进入弯道后, 受导流墙的影响, 在导流墙内侧形成了一个很大的回流区, 其内流速很小, 同时在流场内还存在很多小漩涡. 旋涡的存在不仅影响速度的均匀分布, 而且增加了能耗.

弯道中 A—A 截面处的速度分布如图 4 所示. 在导流墙内侧很大范围内, 水流速度明显小于淤泥不发生沉淀所允许的最小速度 0.3 m/s^[9], 而且整个区域内的速度梯度较大.

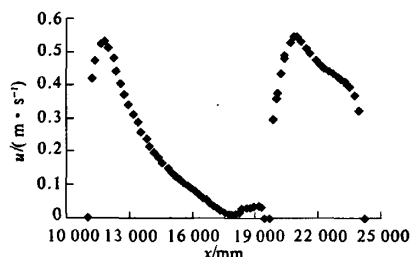


图4 弯道 A—A 截面处流速分布

Fig.4 Flow velocity distribution of section A—A at the bend

出口截面 B—B 处的流速分布如图 5 所示. 很明显, 出口断面处水流速度分布极不均匀, 主流

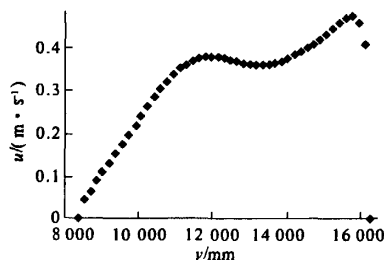


图5 出口 B—B 截面处速度分布

Fig.5 Flow velocity distribution of section B—B at the exit

偏向一边,横向速度梯度较大.有三分之一范围的流速值小于最小允许值.

模拟结果表明,原设计氧化沟弯道导流墙的布置形式不够合理,弯道处导流墙内侧存在一个较大的回流区,这不仅影响该处流速分布的均匀性,对后面直道中的流速分布也产生较大的不利影响.流速分布的不均匀性导致较大范围的流速值小于最小允许流速,继而引发处理过程中的污泥沉淀,降低处理效果^[10].另有研究表明,弯道的局部水头损失相对于沿程水头损失来说是相当大的,约占总水头损失的 90%.均匀的流场分布能够很好的降低局部水头损失^[11].

因此,上例中的氧化沟弯道导流墙的原设计布置形式需要改进,以保证氧化沟弯道中有一个良好的流态.

2.4 导流墙布置形式改进后的流场模拟计算

在上述流场模拟分析的基础上,笔者对氧化沟弯道中导流墙的布置形式进行了多种方案的改进,同时进行了对应流场的模拟计算,最后提出了导流墙的最佳布置形式.新形式采用了两道导流墙,并对直道隔墙的相对位置做了改进,具体布置形式及尺寸如图 6 所示,同样选取弯道截面 C—C 和出口截面 D—D.

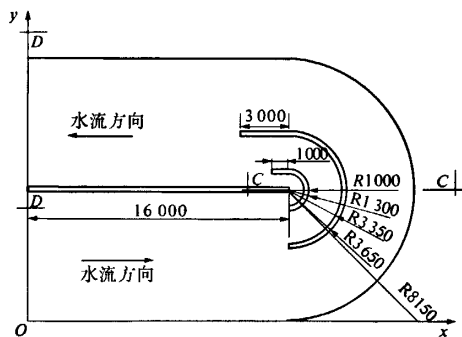


图 6 改善后的氧化沟渠道简图

Fig. 6 Improved diagram of the flow channel in oxidation ditch

对上图进行网格划分后导入 FLUENT 软件进行流场数值模拟,得到速度矢量图如图 7 所示.由图 7 可知,优化后的氧化沟渠道中流场分布的均匀性改善很多,整个流场内没有发生较大的回流区.

弯道截面 C—C 处的速度分布如图 8 所示.可以看出只有很小部分区域的流速小于最小允许流速 0.3 m/s,大部分区域的流速大小均能满足要求,总体效果比较理想.

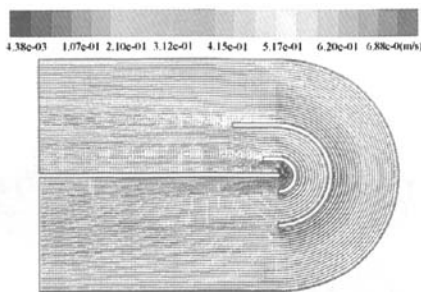


图 7 优化布置方案速度矢量图

Fig. 7 Velocity vectors of the optimal flow channel

出口截面 D—D 处的速度分布如图 9 所示.与图 5 比较可知,出口处的速度分布得到了很大的改善,整个断面的速度基本上都在 0.3 m/s 以上,而且横向速度梯度明显变缓.可见导流墙的增设和位置的优化不仅很好的改善了弯道处的流场,并且使得进入下一个弯道的水流速度变得相对均匀.

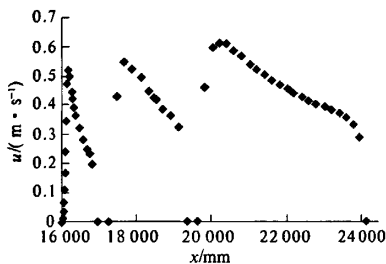


图 8 弯道 C—C 截面处速度分布

Fig. 8 Flow velocity distribution of section C—C at the bend

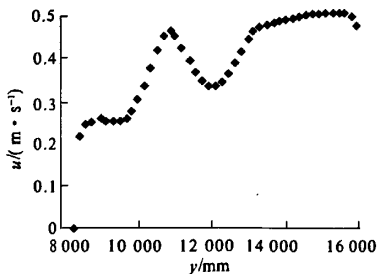


图 9 出口 D—D 截面处速度分布

Fig. 9 Flow velocity distribution of section D—D at the exit

3 结论

(1)用数值模拟的方法可以准确预测污水处理厂氧化沟渠道中的流场流态,直观反映出流速

分布是否均匀、是否存在导致污泥局部沉降的漩涡及死角等情况,对判断其布置形式的设计是否合理、进一步完善氧化沟工艺设计和工程运行管理具有重要作用。

(2)通过对氧化沟的流场模拟分析表明,弯道处导流墙的布置形式对氧化沟内的流态影响较大。单凭经验设计而不进行流场模拟,可能会出现本算例中原设计方案产生的不良流态,大量的污泥沉淀,降低氧化沟的生物处理效果。因此,建议在氧化沟的设计中,特别是在弯道导流墙的布置中应进行氧化沟流道的流场模拟,以保证设计的合理和完善性。

(3)在氧化沟弯道中设置两道导流墙,可增强对水流的导控作用,明显改善沟中液流的水力特性,避免大范围的回流区发生和大量的污泥沉淀。同时,使得弯道出口断面的流速更加均匀,有利于稳定氧化沟的处理效果。

(4)进一步的流态模拟应该考虑氧化沟的液气固耦合作用,不仅模拟出氧化沟的流速场,同时还模拟出氧化沟的处理情况和能耗情况,从而更加全面的预测氧化沟内的流态及处理效果。

参考文献:

- [1] 张自杰.排水工程下册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000:132-137.
- [2] 许 隽.关于导流墙在水处理构筑物中作用的研究[J].环境,2006,2:129-130.
- [3] 屈 强,马鲁鸣,朱 伟.周边式二沉池流态数值模拟[J].水处理技术,2006,32(2):23-25.
- [4] 肖 尧,施汉昌,范 茂.基于计算流体力学的辐流式二沉池数值模拟[J].中国给水排水,2006,22(19):100-104.
- [5] KARAMA A B, ONYEJ EKWE O O, BROUCKAERT C J, et al. The use of computational fluid dynamics (CFD). Technique for evaluating the efficiency of an activated sludge reactor[J]. Water Sci Technol, 1999, 39(10-11):329-332.
- [6] 祝效华,余志祥. ANSYS 高级工程有限元分析范例精选[M].北京:电子工业出版社,2004:10.
- [7] 张玉萍.弯道水力学研究现状分析[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(5):35-39.
- [8] 周少奇,范家明,吴宋标,等.氧化沟同时硝化反硝化的生物脱氮机理[J].环境科学与技术,2002,25(6):3-4.
- [9] 曹瑞钰,付见中.改善氧化沟流速分布的措施[J].中国给水排水,2001,17(2):16-18.
- [10] 刘广立,种云霄,樊青娟,等.氧化沟水力特性对处理效果和能耗的影响[J].环境科学,2006,27(11):2323-2326.
- [11] 赵星明,徐志伟.氧化沟的水头损失计算与导流板偏置的作用[J].中国给水排水,2000,16(7):35-37.

Numerical Simulation of Oxidation Ditch and Improvement Methods of Structural Style

YANG Ling-xia, HU Bei-bei, FAN Ru-qin

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to ensure stable operation and effluent quality of oxidation ditch in municipal sewage plants, it is crucial to simulate its flow pattern. Velocity distribution in the bend channel of oxidation ditch was investigated by establishing two-dimensional mathematical model of current under certain depth. The flow pattern in the oxidation ditch was simulated by using FLUENT software. The results showed that the flow pattern in the oxidation ditch is greatly influenced by the shape and position of the training wall which set at the curve channel. The optimal structure and suitable setting way of training wall was put forward by analyzing the calculated results, which can improve the velocity distribution, reduce or avoid the sludge depositing at the bottom of the oxidation, and can reduce energy consumption. The simulation results have very important effect on guiding the engineering design.

Key words: oxidation ditch; training wall; flow field simulation; biological treatment