

穿孔旋流絮凝池加网格板的数值模拟

陈 玉, 王 军, 张培璇

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 为提高穿孔旋流絮凝池的絮凝效果,在竖井内加入网格板,增强其扰流作用。将竖井分为前段、中段、末段,以涡旋速度梯度 G_0 和湍动能耗散率 ε 作为絮凝评价指标,在穿孔旋流絮凝池前段、中段都加网格板的情况下,固定中段网格板的各参数,对前段网格板的层数和间距进行模拟,得到计算范围内前段的最佳网格板层数为4、最佳间距为40 cm,这与《栅条、网格絮凝池设计标准》给出的网格絮凝池前段网格板层数在16以上、网格板间距为60~70 cm的参考值不同。

关键词: 穿孔旋流絮凝池; 网格板; 涡旋速度梯度; 湍动能耗散率

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)01-0048-04

Numerical Simulation of Revolving Flow Flocculation Tank with Grid Plates

CHEN Yu, WANG Jun, ZHANG Pei-xuan

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: To improve the flocculation effect of the revolving flow flocculation tank, grid plates were added in the shaft to enhance turbulence. The shaft was divided into front section, middle section and end section. The evaluation indices were vortex velocity gradient (G_0) and turbulent kinetic energy dissipation rate (ε). The grid plate was added in the front and middle sections of the tank. The parameters of grid plates in the middle section were fixed in the simulation of the front section. The optimized grid plate number and space were 4 layers and 40 cm, respectively, which were below the requirement of 16 grade plates and 60-70 cm space for grid flocculation tank specified in *Design Standards for Flocculation Tank with Rack and Screen*.

Key words: revolving flow flocculation tank; grid plate; vortex velocity gradient; turbulent kinetic energy dissipation rate

穿孔旋流絮凝池作为小型给水处理系统中常用构筑物之一,具有结构简单、施工方便、造价低的特点,其缺点是水量变化较大时絮凝效果得不到保证。为提高其絮凝效果,很多学者进行了研究,如刘汝鹏等^[1]在穿孔旋流絮凝池内增设扰流构件,发现可有效提高絮凝效果。根据已有的研究^[1-2],笔者拟考虑在竖井中加入网格板增强扰流作用。在前段和中

段都加网格板的情况下,固定中段网格板的各参数,运用数值模拟的方法^[3]对前段的网格板层数和间距进行模拟,以得到絮凝水力条件的最优参数。

1 穿孔旋流絮凝池模型

本研究选用《给水排水工程快速设计手册:给水工程》中规模为960、1 440、1 920、2 880和3 840 m^3/d 的穿孔旋流絮凝池模型。

穿孔旋流絮凝池是利用竖井间对角交错的孔洞形成旋流,增加水流在运动过程中的湍动能和湍动能耗散率^[4]。加入网格板后,网格扰流作用与网格絮凝池类似。参照《栅条、网格絮凝池设计标准》,设定穿孔旋流絮凝池内网格板的参数如下:

① 分段数。絮凝池竖井分为前段、中段和末段。规模为960、1 440、1 920 m³/d的总竖井数为6格,均分成3段,每段2格;规模为2 880 m³/d时竖井数为8格,前、中、末段分别为3格、3格、2格;规模为3 840 m³/d时竖井数为10格,前、中、末段分别为3格、3格、4格。

② 网格板厚度为35 mm。

③ 网孔尺寸:前段为80 mm×80 mm,中段为100 mm×100 mm。

④ 过孔流速:前段为0.25~0.3 m/s,中段为0.22~0.25 m/s。

⑤ 网孔个数:已知流量和过孔流速,由 $A=Q/v$ 得出面积,进而得出网孔个数。

⑥ 网格板层数:前段4层,中段2层,均居中布置。

⑦ 网格板间距:网格絮凝池为60~70 cm,本研究选定为40 cm。

以960 m³/d的穿孔旋流絮凝池为例,絮凝池前段、中段都加网格板后的模型见图1。

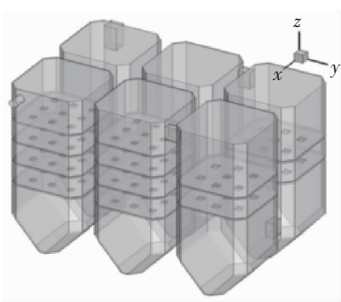


图1 穿孔旋流絮凝池增设网格板模型

Fig. 1 Model of revolving flow flocculation tank with grid plates

2 边界条件及数值模拟

穿孔旋流絮凝池的进口条件为速度进口,进口流速为设计流量与进水管截面积的比值;出口边界条件为自由出流;近壁区采用标准壁面函数来模拟,固体壁面采用无滑移的边界条件模拟。

采用非结构混合网格(TGrid);采用标准 $k-\varepsilon$ 双方程模型。

3 结果与分析

3.1 絮凝效果评价指标

在传统絮凝池设计运行中,一般用速度梯度 G 值进行校核,研究认为 G 值仅代表能量的空间平均分布,不能反映各局部能量的分布^[5-6]。模拟中采用涡旋速度梯度 G_0 和湍动能耗散率 ε 作为絮凝评价指标^[7]。涡旋速度梯度 $G_0 = \sqrt{\rho\varepsilon/\mu}$,其中 ρ 为水的密度, μ 为水的黏性系数, ε 为絮凝过程的湍动能耗散率。由此可知:湍动能耗散率 ε 越大,则涡旋速度梯度 G_0 就越大,絮凝过程中絮体颗粒的有效碰撞频率也就越高。

3.2 模拟方法可行性验证

选用某实际工程中1 000 m³/d的穿孔旋流絮凝池进行模拟。其竖井数为6格,忽略沿程水头损失,实际总水头损失为0.256 m(1 m水柱产生的压力约为9.8 kPa), $G=36.9 \text{ s}^{-1}$ 。

由Fluent模拟输出进出口总压,采用伯努利方程计算得到絮凝池总水头损失为0.272 m,模拟得到平均湍动能耗散率 ε 为0.001 28,涡旋速度梯度 G_0 为35.89 s⁻¹。可知,模拟得到的总水头损失略大于实际工程忽略沿程水头损失的总水头损失值,涡旋速度梯度 G_0 值略小于速度梯度 G 值,均合理。因此,数值模拟方法的选取及参数的设置是可行的。

3.3 絮凝池前段网格板层数的模拟

在前段和中段加网格板的情况下,固定中段网格板的各参数,对前段网格板层数进行模拟。规模为960、1 440和1 920 m³/d的絮凝池模拟增设2、3、4、5层的情况;规模为2 880和3 840 m³/d的絮凝池由于进水孔洞尺寸较大,在网格板间距为40 cm的情况下,网格板最多可布置4层。理论上可通过减小网格板间距来增加网格板层数,本研究统一网格板间距,故对于2 880和3 840 m³/d规模的絮凝池前段模拟增设2、3、4层网格板的情况。

水流通过网格板受网格孔扰动,湍动能强度增大;流体继续运动,其湍动能强度减小,待受到下一层网格板扰动,其湍动能强度又增大。网格板层数较少时总体扰流作用不够;层数较多时,网孔的扰流作用更大,但网格板间 ε 值小的地方又较多,导致层数较多时 ε 值不理想。因此,通过模拟得到合适的网格板层数很有必要。在中段网格板层数为2的情况下,前段不同网格板层数下5个规模穿孔旋流絮凝池的平均湍动能耗散率模拟结果见图2。

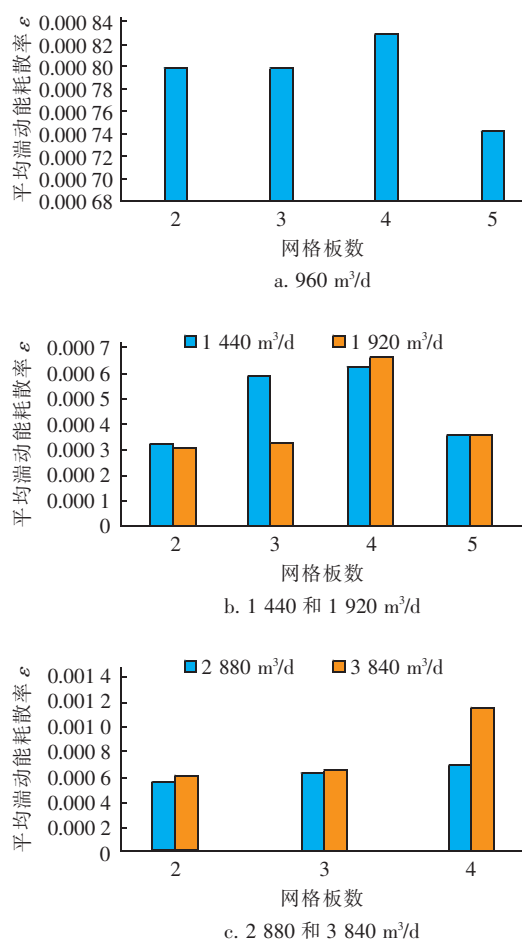


图2 不同前段网格板数下各絮凝池的平均湍动能耗散率

Fig. 2 Average turbulent kinetic energy dissipation rate of each flocculation tank with different number of grid plates in front section

由图2可知,前段网格板数由2变为4时,5个规模絮凝池的平均湍动能耗散率随着网格板数的增加而增加;960、1 440和1 920 m³/d絮凝池的网格板数继续增加到5时,絮凝池的平均湍动能耗散率反而下降。总体而言,絮凝池前段以增设4层网格板为最佳。

以上是中段网格板层数为2时的模拟结果,基于中段网格板层数要少于前段的原则,又模拟了絮凝池中段网格板数为1时,不同前段网格板数下絮凝池的平均湍动能耗散率。结果表明,中段网格板数为1时,5个穿孔旋流絮凝池同样在前段网格板数为4时絮凝效果较好。

3.4 网格板间距的模拟

在网格板层数一定的情况下,网格板间距较小时,上层网格板引起的湍动能变化还没消耗完就又

加入下层网格板,降低了能量利用率,并且有可能发生短流现象。网格板间距较大时,上层网格板的作用完全消耗完再受到下一个网格板作用,则总的平均湍动能强度较小。因此,确定合理的网格板间距很关键。标准给出的网格絮凝池的网格板间距参考值为60~70 cm,但穿孔旋流絮凝池池体和高度要小得多,则在前段网格板数为4、中段网格板间距为40 cm的情况下,分别模拟前段网格板间距为20、30、40和50 cm的情况,结果见图3。

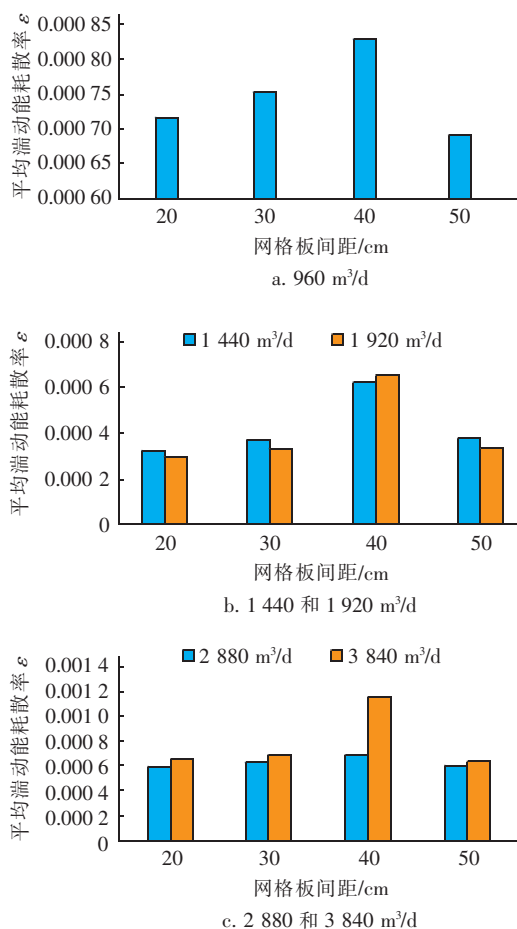


图3 不同网格板间距下各絮凝池的平均湍动能耗散率

Fig. 3 Average turbulent kinetic energy dissipation rate of each flocculation tank with different grid plates space

由图3可知,对于这5个规模的絮凝池而言,网格板间距从20 cm增加到40 cm时,平均湍动能耗散率逐渐增大,但间距继续增大到50 cm时,平均湍动能耗散率转而减小,因此网格板间距以40 cm为最佳。

同理,在前段网格板数为4、中段网格板间距为30 cm的情况下,模拟了不同的前段网格板间距下

的平均湍动能耗散率。结果表明,中段网格板间距为30 cm时,5个规模的穿孔旋流絮凝池前段最佳网格板间距仍为40 cm。

综上,穿孔旋流絮凝池前段网格板数为4、网格板间距为40 cm时絮凝效果最优,这可为穿孔旋流絮凝池中加网格提供一定参考。

3.5 与网格絮凝池的对比

对于网格絮凝池的层数和间距,标准和相关规定前段总数宜在16层以上、中段在8层以上、上下层间距为60~70 cm,相关研究也得出网格板间距以60 cm为最佳。

对穿孔旋流絮凝池加网格的模拟,采用竖井的平均湍动能耗散率作为评价指标,得到前段每个竖井最佳网格板数为4,则960、1 440和1 920 m³/d絮凝池的前段总网格板数为8、2 880和3 840 m³/d絮凝池的前段总网格板数为12,小于网格絮凝池前段16层以上的规定。此外,前段网格板的最佳间距也小于网格絮凝池。这一方面说明穿孔旋流絮凝池虽结构上与网格絮凝池相似,但加网格时其设计标准及参数不能完全参照网格絮凝池,有待进一步研究;另一方面,对于网格絮凝池,在其处理规模和池体尺寸较小时,需进一步讨论其设计规范的适用性。

4 结论

① 在前段、中段都加网格板的情况下,前段网格板数为4时,穿孔旋流絮凝池的平均湍动能耗散率最大,絮凝效果最好,且最佳间距为40 cm。

② 为提高穿孔旋流絮凝池的絮凝效果而加入的网格板的最佳层数和间距不同于网格絮凝池的参考值,其设计参数不能完全参照网格絮凝池。

参考文献:

- [1] 刘汝鹏,翟华丽,曲莹. 旋流扰流组合涡混合反应器的应用研究[J]. 环境科学与技术,2006,29(2):93-100.
Liu Rupeng, Zhai Huali, Qu Ying. Application of rotational disturbed flow assorted eddy mixing reactor[J]. Environmental Science & Technology,2006,29(2):93-100(in Chinese).
- [2] Bridgeman J,Jefferson B,Parsons S A. The development and application of CFD models for water treatment flocculators [J]. Advances in Engineering Software,2009,41(1):99-109.

- [3] 常青. 絮凝动力学的研究现状与研究方法进展[J]. 环境科学学报,2015,35(10):3043-3049.
Chang Qing. Current state of flocculation dynamics and methodology progress [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2015,35(10):3043-3049(in Chinese).
- [4] 崔丽娜. 穿孔旋流絮凝池的数值模拟研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2017.
Cui Lina. The Numerical Simulation Study on Perforation Vortex Flocculation Tank[D]. Hefei:Hefei University of Technology,2017(in Chinese).
- [5] 艾恒雨,赵琦,汪明明,等. 絮凝过程水力学控制指标研究进展[J]. 中国给水排水,2015,31(10):32-37.
Ai Hengyu, Zhao Qi, Wang Mingming, et al. Research progress on hydraulic control indexes of flocculation process[J]. China Water & Wastewater,2015,31(10):32-37(in Chinese).
- [6] 王振北. 水处理絮凝工艺强化及颗粒形态控制技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
Wang Zhenbei. Research on Flocculation Process Enhanced in Water Treatment and Particle Morphology Control Technology [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,2013(in Chinese).
- [7] 韩晓婷,常青,毛玉红,等. Taylor-Couette 流场数值模拟及絮凝效果研究[J]. 环境科学学报,2013,33(6):1637-1641.
Han Xiaoting, Chang Qing, Mao Yuhong, et al. Numerical simulation and flocculation efficiencies of Taylor-Couette flow[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2013,33(6):1637-1641(in Chinese).



作者简介:陈玉(1995-),女,安徽滁州人,硕士研究生,研究方向为城镇给水排水工程与技术。

E-mail:chenyu123cy@163.com

收稿日期:2018-07-12