

文章编号:1007-6735(2011)04-0401-04

混凝控制指标下涡漩运动对混凝影响的研究

詹咏, 何玉武, 曾小磊

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 以往复隔板絮凝池的改造为例,对最佳水力条件下混凝控制指标的合理选用进行了讨论,在此基础上对池中水流涡漩运动进行研究,得出了适宜的速度梯度 G 值,有利于形成更多更小的微涡漩,可使颗粒有效碰撞次数增加,有效地提高了混凝效果。

关键词: 往复隔板絮凝池; 混凝控制指标; 涡漩运动; 最佳水力条件

中图分类号: TU 528

文献标志码: A

Study on the effect of eddy motion of flow on coagulation under rational coagulative control index

ZHAN Yong, HE Yu-wu, ZENG Xiao-lei

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

Abstract: Ascertaining the coagulative control index and clarifying the effect of eddy motion of flow theory are worth to pay attention in coagulation dynamics. How to select rational G and Gt was discussed under the optimum hydraulic condition, and on this basis, the eddy motion of flow at the corner of reciprocating baffled flocculation tank was studied. It can be seen that the rational coagulative control index is favorable to form even more and smaller infinitesimal eddy, and the effective collision is enhanced, as a result coagulative effect is improved apparently.

Key words: reciprocating baffled flocculation tank; coagulative control index; eddy motion; optimum hydraulic condition

混凝控制指标的确定和涡漩理论的作用是混凝动力学中最为关注的问题。在混凝设计与运行中,通常以混凝时间 t 、速度梯度 G 及其组合指标值 Gt 作为混凝效果的控制指标。速度梯度 G 值综合地表征了水流紊动程度,即反映了颗粒的碰撞频率。 Gt 值相当于单位体积水体中颗粒碰撞的总次数。只要相应地保持 G 值大致相同,则混凝沉淀实验在一定程度上能起到模拟生产过程的作用^[1-3]。为此,水处理工艺中常采用不同的构筑物型式来提高速度梯度 G 值,

使水流在此形成强烈的涡漩运动,从而在单位时间、单位体积水体中产生无数个不同大小的涡漩。由于涡漩所固有的扩散性,大小涡漩之间相互渗透,使颗粒能产生有效的碰撞,药剂能迅速均匀地溶解于水体,使混凝剂得到充分水解,水解后的产物与胶体颗粒作用,使其脱稳凝聚,为生成沉淀性能良好的絮体颗粒打下基础。传统的往复隔板絮凝池的隔板,在廊道拐弯处一端的形状为矩形,廊道拐弯角为直角形。特别是水流流经拐弯角时,速度急剧变小,这样改为消耗

收稿日期: 2010-06-22

基金项目: 上海市教育委员会重点学科建设资助项目(J50502)

作者简介: 詹咏(1971-),女,副教授。研究方向:环境流体力学。E-mail: jannet6@163.com

的能量大,也不利于絮凝体的成长.虽然在180°的急剧转弯下,会增加颗粒之间的碰撞几率,但是,不合理的速度梯度 G 值易造成絮凝池前部由于速度梯度 G 值过小,达不到最高效率的颗粒碰撞,而后部转角处又由于速度梯度 G 值过高,撞击过大,易使聚集好的絮体破碎,结果导致絮体颗粒密实程度不一.这样在设计时间内,被打碎的絮体随水流进入沉淀池,影响出水效果,而密实的絮体在未进入沉淀池时,已过早地在絮凝池后部下沉,易在絮凝池末端的廊道内形成沙丘状的沉积物,阻碍水流通,降低了混凝沉淀效果.如将絮凝池末端的廊道封闭,以此缩短混凝时间,疏松的絮体易过早进入沉淀池,更容易使出水效果恶化.为了解决这些问题,又要降低改造成本,保持原有絮凝池流程简单实用的优点,将絮凝池第二段以后的拐弯角及隔板拐弯一端设计成圆弧形,使得水流处于均匀分布的微涡旋紊流状态,降低不必要的水头损失,以此达到缩短反应时间、提高絮凝池容积有效利用率及高效混凝的目的.

1 混凝控制指标的讨论

混凝沉淀实验所用搅拌设备如图1所示.桨板绕轴旋转时克服水的阻力所耗功率为

$$P_D = C_D \gamma L \omega^3 / 4g (r_2^4 - r_1^4)$$

式中, C_D 为由桨板长宽比(L/b)所决定的系数; γ 为水的重度; ω 为相对于水的桨板旋转角速度,一般采用0.75倍的轴转速,即 $\omega = 2\pi n / 60 \times 0.75 = 0.0785n$; n 为转速; r_2 为桨板外缘旋转半径; r_1 为桨板内缘旋转半径; P_D 为反应设备中水流所耗功率; g 为重力加速度.

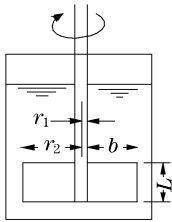


图1 搅拌设备
Fig.1 Agitator mill

$$G = \sqrt{p_1 / \mu}$$

式中, p_1 为单位体积水流所耗的功率, $p_1 = P_D / V$; V 为反应设备中水的体积; μ 为水的动力黏度; G 为速度梯度.

反应设备的参数 $r_2 = 28\text{ mm}$, $r_1 = 37\text{ mm}$, $r_1 = 6\text{ mm}$, $b = 31\text{ mm}$, $L/b = 0.9$, $C_D = 1.10$, $\gamma =$

$9\,810\text{ N/m}^3$, $\mu = 1\text{ N}\cdot\text{m/s}$, $V = 0.001\text{ m}^3$,通过计算可得 $G = 0.084n^{3/2}$.

图2为最佳投药量与原水浊度的关系^[1-3],从图2中可知,当原水浊度小于50 NTU时,其最佳投药量较高,一般在24~27 mg/L之间.随着原水浊度的不断增大,其最佳投药量逐渐减小.当原水浊度增大到约160 NTU时,最佳投药量达到最小值.之后,最佳投药量又随着原水浊度的升高而不断变大,整个变化过程形成一个V形特征的曲线图.故本实验中混凝剂投加量为15 mg/L,将测试结果列于表1.通过正交试验,对各水平效应值 K_{mf} 、 $\bar{K}_{mf}$ 及极差值进行计算,可得 $R = 15.8$,可以得出快速搅拌速度是影响混凝沉淀效果的最主要因素.

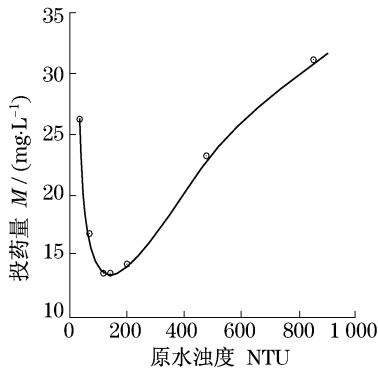


图2 最佳投药量与原水浊度的关系
Fig.2 Relation between the optimum coagulant dose and raw water turbidity

表1 最佳水力条件确定的实验数据统计表

Tab.1 Experimental data of the optimum hydraulic conditions

实验 序号	因 素				
	快搅速度 $V_1 / (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	快搅时间 T_1 / min	慢搅速度 $V_2 / (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	慢搅时间 T_2 / min	剩余浊 度 NTU
1	500	2	70	25	15.5
2	500	1	50	15	20.5
3	500	0.6	30	5	29.1
4	300	2	50	5	35.3
5	300	1	30	25	24.7
6	300	0.5	70	15	29.6
7	120	2	30	15	36.4
8	120	1	70	5	44
9	120	0.5	50	25	32.1
K_1	65.1	87.2	89.1	72.3	
K_2	89.6	89.2	87.9	86.5	
K_3	112.5	90.8	90.2	108.4	
$\bar{K}_1$	21.7	29.1	29.7	24.1	
$\bar{K}_2$	30	29.7	29.3	28.8	
$\bar{K}_3$	37.5	30.3	30.1	36.1	
R	15.8	1.2	0.8	12	

通过表1的实验数据可以算出混凝过程最佳水力条件下的 G 值和 Gt 值,实验结果如表2所示.根据有关资料以及生产经验可知^[1-3],凝聚阶段的值应大于 $300 \sim 500 \text{ s}^{-1}$, Gt 值比较适宜的范围为 $10^4 \sim 10^5$;而絮凝阶段的适宜的速度梯度为 $G = 10 \sim 75 \text{ s}^{-1}$, Gt 值宜取 $10^4 \sim 10^5$.这与本实验结果比较吻合.

表2 最佳水力条件下的 G 值和 Gt 值
Tab.2 G and Gt on the optimum hydraulic conditions

水力条件	G/s^{-1}	搅拌时间 t/min	Gt $\times 10^{-4}$	雷诺数 Re
快搅速度 500 r/min	939.1	1~2	7.4~14.8	24 970
快搅速度 300 r/min	436.5	1~2	2.6~5.2	14 982
慢搅速度 70 r/min	49.2	15~25	4.4~7.4	3 491
慢搅速度 50 r/min	29.7	15~25	2.7~4.5	2 494

2 涡流运动对混凝的影响

水力絮凝池的新构型是水流紊动作用与混凝过程优化结合的结果^[1-3].但目前的混凝理论对于新型絮凝池的开发只是起定性的指导作用,对于新型絮凝池所取得的实验数据及其分析,也基本上处于经验阶段,利用流体力学中的小涡流运动理论,对混凝效果的改善具有重要的指导作用,对混凝过程的解释也更加合理.因此,在进行池型改造的同时,应明确在混凝设备中应该怎样在最佳水力条件下形成合理的速度梯度 G 值,特别是混凝开始时,需提高 G 值,造成有利颗粒碰撞的小涡流.为此,作者就往复隔板絮凝池边壁形状对絮凝反应的影响进行了系列研究^[4].

2.1 测试系统实验装置

如图3所示,涡流水流测试系统是由絮凝池循环系统及粒子图像测速(PIV)系统构成,其中,粒子图像测速系统由光路系统(图4)、CCD摄像机、多帧存(8 MB)图像接口板、多媒体实时压缩存贮板、PIV计算机等硬件和一套图像处理流场数据分析及图形显示软件组成.

2.2 实验结果分析与讨论

对流量为 521.7 L/h ,进口水深为 6.3 cm 不同形状往复隔板絮凝池水流拐角的速度分布进行了研究,从水流涡流照片图5(见下页)中可以看出,方案二图5(b)廊道拐弯处水流结构比较复杂,水流流经圆弧端隔板及廊道拐角时,能量损失明显减少,速度

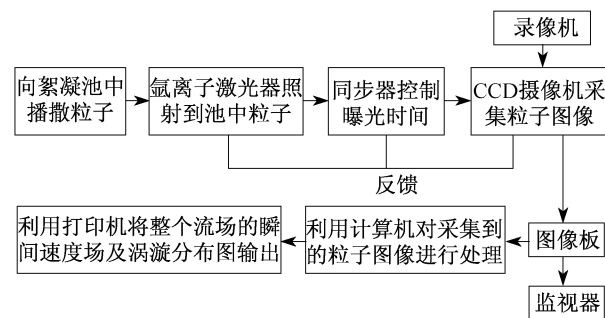


图3 流场测试系统图

Fig.3 Test system of flow field

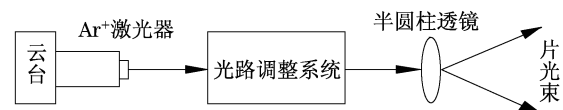


图4 光路系统

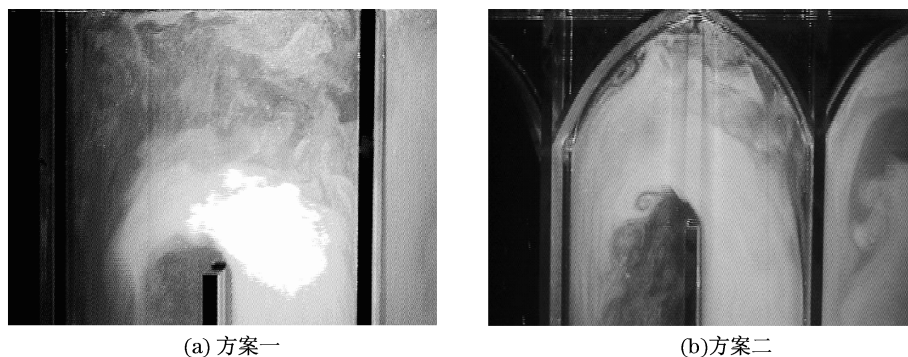
Fig.4 Ray path system

梯度 G 值变化合理^[4],呈逐渐递减趋势;而在方案一图5(a)中,水流经过矩形断面的隔板及直角形的拐弯廊道时,能量损失过大,速度梯度 G 值变化突然,使得在廊道中后部拐弯处出现了“死水区”现象.从水深为 5.8 cm 层面观测絮凝池不同方案流场粒子图像如图6所示(见下页).

对不同方案水流涡流运动状况的研究表明,方案二絮凝池水流拐弯处有众多的涡流,由于涡流所固有的扩散性,无数大小不一的涡流相互渗透,进行能量交换,使该处液体压强迅速降低,速度梯度值则急剧增大,这对颗粒之间的碰撞极端有利.与传统往复隔板絮凝池拐弯处对比,水流经过圆弧界面绕流前后的压强差,即压强阻力(因与物体的形状有关,也称形状阻力)比摩擦阻力大得多,尤其是在絮凝池的后部,水流速度比较低,摩擦阻力可以忽略,由涡流运动引起的扩散作用,基本消除了拐弯处的“死水区”,产生了更多大小相套的复杂涡流,与池壁的多次碰撞促进了水流中微小涡流的形成,与大尺度涡流相比,小尺度涡流半径越小,旋转半径也小,而离心作用越强,运动加快,速度梯度值增大,这样的边界条件使得水力状况大为改善.

文献[4]对两种方案絮凝效果进行了比较,从中可以看出,与方案一相比,方案二的速度梯度值变化平缓、能量损失小、水质浊度低.因此,在紊流中若能有效地消除大尺度涡流,增加微小涡流的比例,就可以大幅度地增加颗粒碰撞次数,有效地提高混凝效果.由此可见,将往复隔板絮凝池拐弯及隔板断面设计成圆弧形的方案比传统往复隔板絮凝池的混凝沉

淀效果要好.

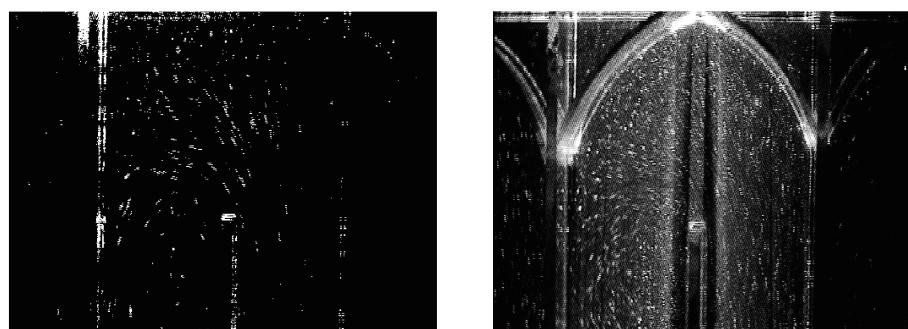


(a) 方案一

(b) 方案二

图5 不同方案水流涡旋照片

Fig.5 Eddy motion of different plans



(a) 方案一

(b) 方案二

图6 不同方案流场粒子图像

Fig.6 Particle image velocimetry of different plans

3 结 论

a. 对混凝沉淀过程最佳水力条件下的 G 值和 Gt 值进行了计算,得出了凝聚阶段的 G 值应大于 $300 \sim 500 \text{ s}^{-1}$,而絮凝阶段的适宜速度梯度应控制在 $G = 10 \sim 75 \text{ s}^{-1}$ 内.

b. 为了最大限度地提高颗粒碰撞的速度梯度值,在廊道第二格开始设置圆弧,改进后的絮凝池流速分布合理,反应时间相应缩短,水流经过圆弧拐角时能量损失明显减少,速度梯度值变化平缓,呈逐渐递减趋势.

c. 具有圆弧形边壁形状的往复隔板絮凝池充分体现了水流紊动在混凝沉淀过程中的作用.这种低流速的运动便于节约能量、降低水头损失、缩短反

应时间.

d. 微小涡旋的随机卷动,易使得聚集颗粒以圆周形式运动接触结合,所形成的絮体更为密实而近似于球体般的光滑,在后续的沉淀分离过程中易于下沉.

参考文献:

- [1] 武吉道,谭凤训.高浊度水管式混凝动力学机理及设计研究[J].给水排水,2000,26(6):4-6.
- [2] 王绍文.亚微观传质在水处理反应工艺中的作用[J].中国给水排水,2000,16(1):30-32.
- [3] 武道吉,谭凤训,修春海,等.混合动力学机理及控制指标研究[J].中国给水排水,2000,16(1):54-56.
- [4] 詹咏,王惠民.往复隔板絮凝池边壁形状对絮凝反应的影响研究[J].给水排水,2001,27(1):5-7.