

文章编号: 1005-0523(2015)05-0087-06

混凝沉淀工艺相似性的模拟试验研究

童祯恭, 袁 诚, 冯治华, 童承乾, 刘 名

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:通过对混凝沉淀烧杯试验方法的改进,即将设定参数速度梯度 G 值和水力停留时间 T 值进行有效组合,研究了混凝沉淀烧杯试验与反应池中混合、絮凝和沉淀工艺运行的相似性。结果表明改进的方法可以简单有效的得到较为精确的运行参数,对生产具有实际指导意义。

关键词:烧杯试验;混合;絮凝;沉淀;相似性

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2015.05.013

混凝是水处理工艺中最重要的一环之一,混凝效果直接影响处理效果的好坏^[1-2]。混凝效果的影响因素很多^[3],如何调试影响混凝和沉淀效果的各项参数(如原水流量、pH、温度、混凝剂量、浓度等)对混凝沉淀法处理水源水具有至关重要的作用。其中,混凝沉淀烧杯试验是研究控制和调试混凝过程用到的最广的方法,可以反映混凝沉淀过程中诸多因素间的复杂关系^[4],为自来水管的运行或工艺的技术改造提供参考数据。调查表明,我国大多数自来水管混凝沉淀烧杯试验的运行参数速度梯度 G 值是通过理论计算或者现场实际测得来的,但是由于试验方法的不规范和测定方法的局限性,其结果往往与实际相差甚远^[5]。因此,研究如何准确模拟出速度梯度 G 值,对整个混凝沉淀烧杯试验的准确性是非常有意义的,对生产具有实际指导意义。

1 材料与方法

1.1 实验仪器与试剂

SC2000-6E 梅宇牌混凝试验搅拌机、网格絮凝斜管沉淀池 $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 、TDT-2 型浊度仪、电子分析天平、PAC(聚合氯化铝)

网格絮凝斜管沉淀池平面图如图 1。

1.2 实验水样

试验用水取自江西某高校内的湖水。其水质指标:浊度范围 7~9 NTU、水温 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 、pH 值 6.5~7.5,氨氮 $3.5 \sim 7.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总磷 $1.7 \sim 1.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,高锰酸盐指数 $15.6 \sim 17.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总硬度 $0.6 \sim 0.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.3 实验方法

参照中国工程建设标准化协会标准《混凝沉淀烧杯试验方法》^[6]CECS130:2001。标准试验方法在确定混合、絮凝搅拌转速和时间的模拟试验中先是测定混合和絮凝过程中的速度梯度,然后设定不同的搅拌时间来确定模拟操作参数,而方法中并有提到如何测定速度梯度,实际中没有直接测定速度梯度的仪器,通常的做法是测定设备中的水头损失,然后根据甘布公式^[7]求得速度梯度。这样得出的模拟参数与实际相差甚远,

收稿日期: 2015-08-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51268012)

作者简介: 童祯恭(1972—),男,教授,硕士生导师,研究方向为给水处理理论与技术。

参考价值不高。

为此,本文提出一种改进方法,能比较快捷并准确的得出与实际相接近的模拟参数。具体做法如下:因为水流在设备中的停留时间采用的是理论计算值与有效值相差甚微,理论计算值不影响其应用价值^[8],所以该改进方法首先确定搅拌时间,然后设定不同的搅拌转速来确定模拟操作参数,这样避免了测定速度梯度造成的误差,大大提高了模拟参数的准确性。

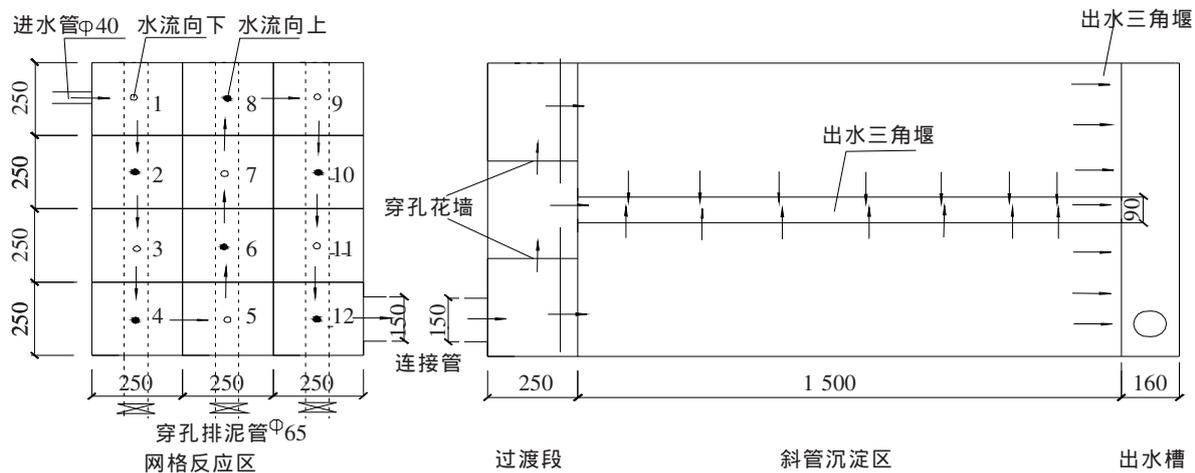


图1 网格絮凝斜管沉淀池平面图(单位:mm)

Fig.1 Planar graph of the sedimentation tank with grid flocculation inclined tube (mm)

2 结果与分析

2.1 混合搅拌转速和时间的确定

混合时间根据加药点到网格1进水口的距离和管径确定,加药点至网格1进水口的距离是3.87 m,管径是DN40,计算出的混合时间为 t_1 。模拟试验具体步骤如下:第1步:确定 t_1 值,在网格絮凝池进口处取实际生产中的混合后水样1 000 mL,立即置于六联搅拌仪的设定位置,并设定搅拌转速为 $100 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,搅拌5 min。程序运行完成后静置5 min后取样测定浊度;第2步:将一组搅拌杯装好试验用水各1 000 mL置于搅拌仪设定位置,设定混合时间为 t_1 ,同时各搅拌杯设定不同的混合搅拌转速,接着设定搅拌转速为 $100 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,搅拌5 min;第3步:程序设置完成后,加入与网格絮凝斜管沉淀池使用相同品种和投药量的药剂,然后启动搅拌仪,搅拌至设定的时间,各搅拌杯静置5 min后取样测定浊度;第4步:重复第2,第3步,直到某一个搅拌杯水样的浊度与第1步测定浊度相同或相近,则该搅拌杯设定的搅拌转速和时间即为模拟的混合搅拌转速和时间。结果见表1。

表1 混合阶段最佳模拟搅拌转速和时间

Tab.1 The optimal simulation stirring speed and time at mixing stage

参数	流量 $Q/(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1})$				
	2	4	6	8	10
时间 T/s	11	6	4	3	2
转速 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	180	260	400	520	700

根据上述结果得混合模拟试验曲线,见图2。

图2结果表明, T 随流量的增大而减小,搅拌转速 n 随流量增大而增大。 $Q-T$ 曲线符合幂函数方程 $T=23.583Q^{-1.022}$ (复确定系数 $R^2=0.985$ $1>0.95$),由于该净水设备投药点至网格1进水口的距离比较短,使得混合时间比较快,时间 T 值出现了小数点。且六联搅拌仪的程序中时间的设置是整数,所以表1中时间参数是四

舍五入后所得。理论上 $Q-T$ 的曲线应符合方程 $T=22.628Q^{-1}$ ($R^2=1$), 系数 22.628 是从投药点到网格 1 进水口之间管道内水样体积。 $Q-n$ 曲线符合指数方程 $n=132.58e^{0.1705}$ ($R^2=0.9918 > 0.95$), 根据该方程可以计算各个流量下对应的混合搅拌转速。

2.2 絮凝搅拌转速和时间的确定

将网格絮凝斜管沉淀池的絮凝搅拌转速和时间划分为 3 段, 前段为网格 1, 2, 3, 4, 5, 6; 中段为网格 7, 8, 9, 10; 末段为网格 11, 12。方法参照上述混合搅拌转速和时间的确定方法。

实验结果见表 2。

表 2 絮凝阶段最佳模拟搅拌转速和时间

Tab.2 The optimal simulation stirring speed and time at flocculation stages

参数	流量 $Q/(m^3 \cdot h^{-1})$					
	2	4	6	8	10	
前段	时间 T/s	1 283	641	428	321	257
	转速 $n/(r \cdot min^{-1})$	90	125	165	225	300
中段	时间 T/s	855	428	284	214	171
	转速 $n/(r \cdot min^{-1})$	35	55	80	145	250
末段	时间 T/s	428	214	143	107	86
	转速 $n/(r \cdot min^{-1})$	25	30	40	50	60

根据表 2 得絮凝阶段各段模拟试验曲线, 见图 3。

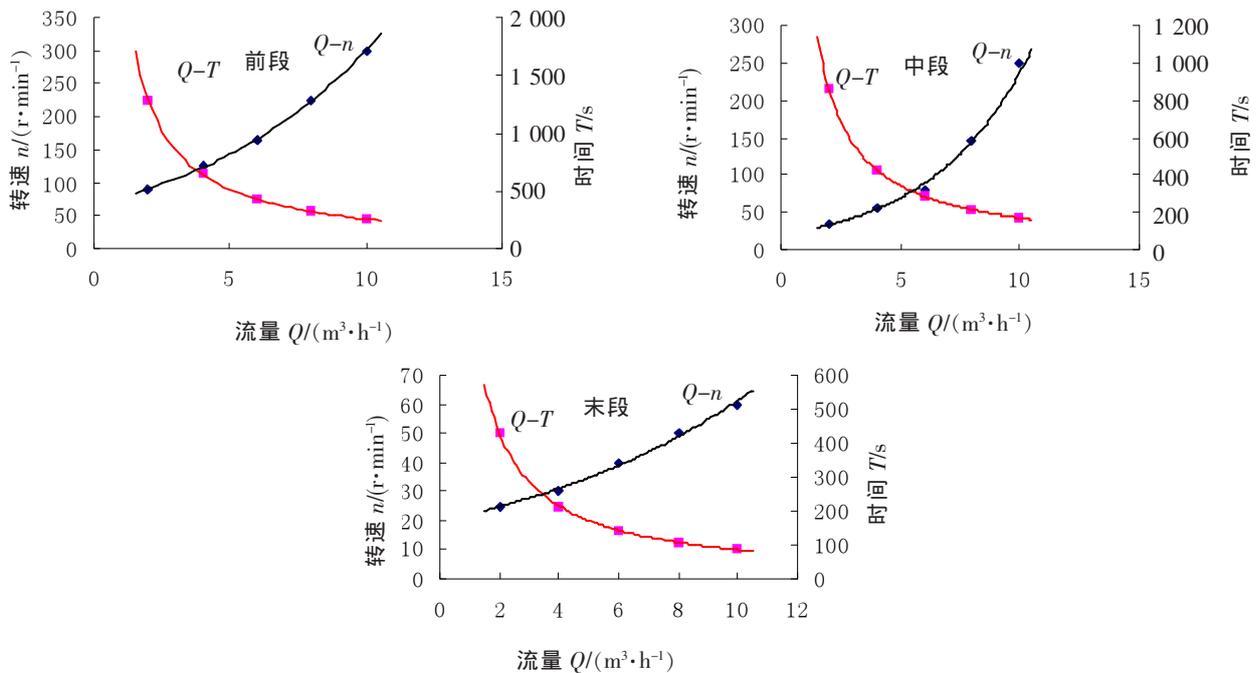


图 3 絮凝阶段试验模拟图

Fig.3 The simulation diagram of flocculation stages

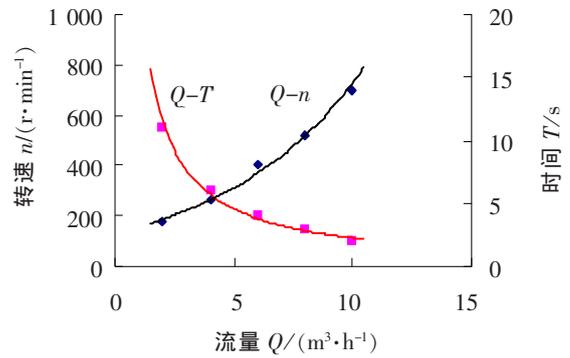


图 2 混合试验模拟图

Fig.2 The simulation diagram of mixing experiment

网格每段中的水力停留时间是通过理论计算得来,结合絮凝前、中、末阶段 $Q-T$ 和 $Q-n$ 的曲线拟合结果(见图 3), Q 和 T 符合关系式 $Q=VT$, 前、中、末各阶段的 $Q-T$ 曲线方程分别是 $T=256.5 Q^{-1}$, $T=171.0 Q^{-1}$, $T=855 Q^{-1}$; 三段的 $Q-n$ 曲线均符合幂方程, 分别是 $n=67.496e^{-0.1498Q}$ ($R^2=0.9994>0.95$)、 $n=20.452e^{-0.2451Q}$ ($R^2=0.9932>0.95$)、 $n=19.777e^{-0.1131Q}$ ($R^2=0.9942>0.95$), 根据曲线方程可以确定不同流量下对应的絮凝搅拌转速。

2.3 沉淀时间的确定

根据 2.1 和 2.2 实验结果,分别计算出絮凝池出水在沉淀池的清水区和斜管中的沉淀时间,参照计算结果设定一系列沉淀时间进行实验。试验方法参照上述混合和絮凝搅拌转速和时间的确定方法。

沉淀烧杯试验模拟结果见图 4。

图 4 中曲线符合指数方程 $T=134.82 Q^{-0.821}$ ($R^2=0.9965>0.95$), 根据曲线方程可以确定不同流量下对应的烧杯试验所需的沉淀时间。

2.4 混凝沉淀烧杯试验确定最佳投药量

根据 2.1,2.2,2.3 的研究结果,设置试验条件如下:试验流量采用 $6 m^3 \cdot h^{-1}$;孔目湖原水,浊度为 8.32 NTU,pH=7.23,水温约为 $20^{\circ}C$;混凝剂选用 PAC,浓度 1%;混合时间为 4 s,转速 $400 r \cdot min^{-1}$;絮凝参数分别控制为:第 1 阶段反应时间为 428 s,转速为 $165 r \cdot min^{-1}$;第 2 阶段反应时间为 285 s,转速为 $80 r \cdot min^{-1}$;第 3 阶段反应时间为 143 s,转速为 $40 r \cdot min^{-1}$;沉淀时间为 30 min。试验结果如表 3 所示。

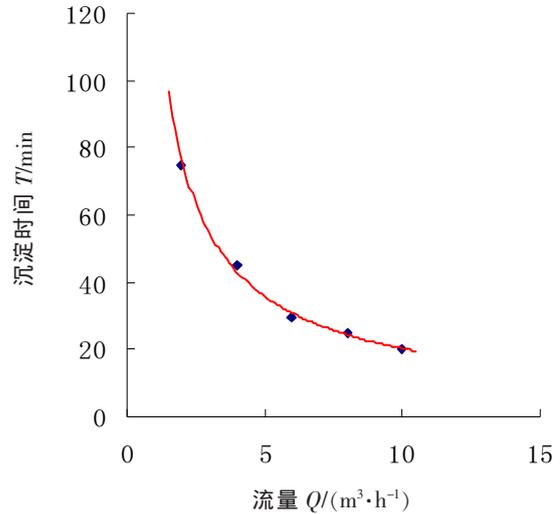


图 4 沉淀试验模拟图

Fig.4 The simulation diagram of settling experiment

表 3 混凝沉淀烧杯试验记录表

Tab.3 Record of coagulation sedimentation beaker test

项目	烧杯编号				
	1	2	3	4	5
投药量/($mg \cdot L^{-1}$)	35	40	45	50	55
沉淀后浊度/NTU	0.914	0.872	0.456	0.631	0.754

由表 1-3 可以初步确定网格絮凝斜板沉淀池的最佳投药量为 $45 mg \cdot L^{-1}$,此时浊度去除率达到 95%。

根据经验自来水厂正常运行的投药量在 $10 mg \cdot L^{-1}$ 左右,该实验中网格絮凝斜板沉淀池的最佳投药量为 $45 mg \cdot L^{-1}$,投药量偏大,主要原因是实验水样受到生活污水的污染,综合表现已经超出 Ⅴ类水源的范围。如表 4 所示。

表 4 地表水环境质量标准 Ⅴ类水标准限值对比表

Tab.4 The contrast of the fifth level limit for surface-water environment quality standard

指标	氨氮/($mg \cdot L^{-1}$)	总磷/($mg \cdot L^{-1}$)	高锰酸盐指数/($mg \cdot L^{-1}$)	总硬度/($mg \cdot L^{-1}$)
Ⅴ类水限值 \leq	2.0	0.4	15	-
实验水样	3.5~7.6	1.7~1.9	15.6~17.6	60~70

实验室进行烧杯试验的方法同标准方法一致,实测出设备的速度梯度(原水水质及混凝剂选用同前),

然后计算出搅拌转速(具体参数如下:混合时间为4 s,转速 $800\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;絮凝参数分别控制为:第1阶段反应时间为428 s,转速为 $76\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;第2阶段反应时间为285 s,转速为 $76\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;第3阶段反应时间为143 s,转速为 $67\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;沉淀时间为30 min。),由此得出的参数做的混凝沉淀烧杯试验确定的最佳投药量如表5所示。

表5 混凝沉淀烧杯试验记录表
Tab.5 The record of coagulation sedimentation beaker test

项目	烧杯编号				
	1	2	3	4	5
投药量/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	60	65	70	75	80
沉淀后浊度/NTU	2.788	1.563	0.678	1.045	1.583

由表5可以初步确定原始方法得出网格絮凝斜板沉淀池的最佳投药量为 $70\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.5 运行分析

根据方法改进后进行的最佳投药量的试验结果(表3)指导网格絮凝斜管沉淀池的运行,当反应池的工作流量为 $6\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 时,投药量为 $44\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,工作稳定后沉淀池的出水浊度为0.461 NTU,这与混凝沉淀烧杯试验 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 投药量和沉淀后0.456 NTU浊度的结果非常接近;反应池的工作流量为 $2\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 时,投药量为 $44\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,反应池工作稳定后沉淀池的出水浊度为0.326 NTU,这与混凝沉淀烧杯试验 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 投药量和沉淀后0.368 NTU浊度的结果同样非常接近。

根据使用标准方法进行的最佳投药量的试验结果(表5)指导网格絮凝斜管沉淀池的运行,当反应池的工作流量为 $6\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 时,投药量为 $70\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,工作稳定后沉淀池的出水浊度为4.285 NTU,这不仅与混凝沉淀烧杯试验 $70\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 投药量和沉淀后0.678 NTU浊度的结果相差甚远,且浊度不满足出水要求。

因此,改进后的混凝沉淀烧杯试验方法得出的混合、絮凝、沉淀参数与反应池实际运行参数非常接近,有实际应用价值,且在生产中可以根据实际流量从模拟曲线中查出相应的搅拌转速和时间。

3 结论

1) 通过网格絮凝斜管沉淀池的运行生产,可推广改进后的混凝沉淀烧杯试验方法到自来水厂,以该试验方法确定混凝沉淀搅拌的速度梯度 G 值和停留时间 T 值,通过混凝沉淀烧杯试验确定的最佳投药量与实际生产效果基本相同。

2) 在实际生产中,不同季节源水的水质、水温,用水量的变化会引起净水构筑物运行参数的变化,所以混凝沉淀烧杯实验改进后的方法可以为自来水厂建立完整的运行参数数据库,为水厂的维护和管理提供方便。

参考文献:

- [1] 刘增军,童祯恭,侯煜堃,等.原水有机物分子量分布及去除特性研究[J].华东交通大学学报,2014,31(4):123-129.
- [2] 康彩霞,童祯恭,胡颖.冬季赣江原水混凝剂优选试验[J].华东交通大学学报,2009,26(5):26-30.
- [3] 童祯恭.给水处理工程中的强化混凝技术[J].华东交通大学学报,2004,21(1):12-16.
- [4] 许保玖.烧杯搅拌试验的发展[J].中国给水排水,1985(1):7-11.
- [5] 张延风.烧杯搅拌试验条件的最优化[J].企业技术开发,2014(10):44-45.
- [6] 中国工程建设标准化协会.CECS130:2001 混凝沉淀烧杯试验方法[S].北京:中国建筑出版社,2002.
- [7] 严熙世,范瑾初.给水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,1999:264-269.
- [8] 王文标,顾国维,刘鸿霞.序批式反应器的水力停留时间的理论探讨[J].环境科学学报,2003(4):428-431.

Study on Similarity Simulation Test of Coagulation Sedimentation Process

Tong Zhengong, Zhong Cheng, Feng Zhihua, Tong Chengqian, Liu Ming

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: By improving the method of coagulation–flocculation and sedimentation beaker test, which makes effective combination of the set parameters of the velocity gradient G and the hydraulic retention time T , this paper explores similarities between the mixing, flocculation and sedimentation process in the reaction pool and the coagulation–flocculation and sedimentation beaker testing. Results show that the improved method can simply and effectively get the accurate operating parameters, providing practical reference for production.

Key words: beaker test; mixing; flocculation; sedimentation; similarity

(责任编辑 王建华)