

混凝试验搅拌器的研制

武道吉^{1,2} 谭风训² 马军¹ 宋诗发³

(1. 哈尔滨工业大学环境科学与工程博士后流动站, 哈尔滨 150090;
2. 山东建筑大学市政与环境工程学院, 济南 250101; 3. 潜江梅宇仪器设备有限公司, 潜江 433100)

摘要 影响混凝效果的因素众多, 混凝沉淀烧杯试验是进行水的混合、絮凝、沉淀工艺研究、设计和生产指导的最有效方法之一, 阐述了智能型混凝试验搅拌器的设计原理和技术性能。

关键词 混凝 试验 搅拌器

中图分类号 TU992 文献标识码 A 文章编号 1008-9241(2007)03-0130-03

Development of stirrer of coagulation-flocculation test

Wu Daoji^{1,2} Tan Fengxun² Ma Jun¹ Song Shifa³

(1. Postdoctoral Station of Environmental Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090;
2. School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101;
3. Qianjiang Meiyu Instrument Ltd., Qianjiang 433100)

Abstract The ability of water to coagulation is influenced by a number of factors. The jar test is the most practical way of coagulation-flocculation and sedimentation treatment research and practicality operation conduct. The paper introduced design principle and technical capability of intelligent coagulation test stirrer.

Key words coagulation-flocculation; test; stirrer

对混凝沉淀过程的研究和控制有混凝试验法、电泳和流动电流检测法、胶体滴定法、颗粒分析法、电镜法和 X 衍射法等, 其中混凝试验应用最为普遍。由于它能简便地模拟净水厂中混合、絮凝和沉淀等净水过程, 因而广泛应用于净水厂的日常管理、技术改造、产品开发和科学研究中。

混凝沉淀烧杯试验又称混凝试验、烧杯试验和搅拌试验等, 始于 1921 年。20 世纪 40 年代美国的水厂和水处理试验已普遍应用搅拌试验进行混凝过程的研究和生产控制, 搅拌器已是一种正式出售的试验设备, 搅拌试验的作用和操作方法也得到了一定总结, (1) 必须注意试验的基本操作, 否则试验结果毫无价值; (2) 试验水样不得少于 1 L; (3) 通常的叶片尺寸 (高 25 mm, 宽 50 mm 或 75 mm) 做试验时, 按 100 r/min 转 3 min, 再以 25 ~ 40 r/min 转约 20 min, 总时间在 10 ~ 40 min 的条件下, 通常可得到模拟水厂混凝过程的结果。这可能是第一次正式提出搅拌试验的模拟作用。50 年代以后是着重对试验方法和设备的改进, 其内容主要反映下列几方面: (1) 水样容器的改进, 如用方形杯或在园烧杯周边加挡板以防搅拌叶片停止后水样继续旋转; (2) 从烧杯中取水样的方法改进, 有真空系统、虹吸管和 2

L 容量方形杯设取样孔几种形式; (3) 按几个沉淀时间取水样测沉淀水的浊度; (4) 加药方法的改进, 首先是解决对每个烧杯同步加药的问题, 有研究人员把 6 个加药小试管固定在一根横轴上, 旋转横轴就可同时向 6 个烧杯中加注药液^[1]。1964 年美国材料试验学会 (ASTM) 把它列为暂行的标准试验, 从 1983 年的 ASTM 标准年鉴开始, 混凝沉淀试验已被正式列为一个标准试验^[2]; 同时日本工业标准委员会 (JIS) 也已正式将其列为水处理标准试验方法; 2001 年由作者与多家单位共同编制完成了中国工程建设标准化协会标准《混凝沉淀烧杯试验方法》(CECS130, 2001), 其中对搅拌器的主要技术指标进行了规定, 也为新型搅拌器的研制开发提供了依据^[3]。

1 现有搅拌器存在的主要问题

现有大多数搅拌器不能同时进行多种速度梯度 (G 值) 设定和综合控制指标 (GT 值) 组合试验, 产生的 G 值可调节范围窄, 一般在 20 ~ 500 s^{-1} , 这只能

基金项目: 建设部 97 建标字协第 16 号

收稿日期: 2006-02-19; 修订日期: 2006-10-31

作者简介: 武道吉 (1966 ~), 男, 博士, 教授, 主要从事水环境技术研究工作。E-mail: wwwdaoji@163.com

满足絮凝阶段的搅拌要求,不能满足混合阶段的搅拌要求;加药装置为手动,不能与试验计时同步;桨叶设计缺乏依据,不能保证搅拌处于紊流和模拟实际的水流状态^[2,3]。

搅拌杯多采用1 L圆形玻璃烧杯,由于无固定挡板,搅拌时在烧杯中就会出现漩涡,无法准确推算 G 值。关闭搅拌器后水的旋转不能立即停止,因此不能准确记录静止沉淀时间;没有专门取样装置,取样管是活动式玻璃取样管,取样时取样管插入杯内,用吸球吸取水样,由于取样管没有完全被固定住,在整个取样过程中取样管已发生晃动,扰动水样,使已沉淀至取样口以下的絮体重新浮起。另外,取样口高度位置也不固定,致使每次取样的位置不在同一位置。这些都是影响试验结果的重要因素。

2 搅拌器的设计原理

2.1 相似混凝

混凝沉淀效果取决于絮体尺度及其密度,所谓模拟净水厂中的混合、絮凝、沉淀工艺过程,是指试验与生产中的絮体尺度和密度相似。絮体的形取决于颗粒的布朗运动和颗粒在水体中的跟随运动。当颗粒粒径大于微米级时,布朗运动基本消失,絮凝阶段颗粒一般从微米级增至毫米级,因此,由布朗运动产生的颗粒接触碰撞可忽略不计。由重力作用产生的颗粒沉速差而导致的颗粒接触碰撞,在沉淀池中往往具有一定的作用,而在絮凝过程中,由于水体的强烈紊动,相对来说作用将是微小的。而涡旋运动产生的剪切力和惯性离心力是颗粒接触碰撞的主要作用力,其中涡旋剪切力是主导动力致因,决定絮体成长的速度和尺度^[4]。在一定的水流条件下,若输入水体的能耗不变,经过一定的絮凝时间就会达到絮体聚结与破碎的动态平衡,絮体粒径将保持不变。根据各国大量的研究,都得出了当相同的原水和凝聚条件下,达到絮凝平衡时,絮体粒径主要取决于速度梯度 G ,根据这一原理,研究者提出了絮体平衡粒径 d 与速度梯度 G 的关系^[2]:

$$d = \frac{C}{G^\alpha} \quad (1)$$

式中: C 、 α 为与原水絮凝性质有关的常数。

据报道,日本学者丹保宪仁对絮凝过程中絮体的密度进行了研究^[2],提出当絮体粒径 $> 10 \sim 12 \mu\text{m}$ 以上时,絮体的密度可用下式表示^[2]:

$$\rho_{ei} = \frac{a}{(d/l)^{K_p}} \quad (2)$$

$$\rho_{ei} = \rho_p - \rho \quad (3)$$

式中: K_p —指数,无因次; ρ_{ei} —絮体的有效密度(g/cm^3); ρ_p —絮体的密度(g/cm^3); ρ —水的密度(g/cm^3); a —系数; l —因次调整量,等于1 cm; d —与絮体体积相等的球的直径(cm)。

α 和 K_p 取决于原始颗粒的性质、粒度、浓度,混凝剂种类、剂量以及水质成分,与速度梯度 G 无关。

由此可以看出,絮体尺度及其密度取决于混凝过程中的速度梯度 G ,因此要使混凝沉淀效果相似,速度梯度 G 须对应相等。

2.2 搅拌器的技术性能

(1)为使试验具有重复性、重现性和可比性,搅拌器应能同时对多个搅拌杯进行试验,多为六联。

(2)搅拌器底部设置照明装置,可便于定性观察絮体的形成和沉降状况。同时应采取隔热措施,防止照明系统传热给水样,使水温升高而影响混凝沉淀结果。

(3)一个搅拌杯须对应一个加药管,以便可同步投加药剂。

(4)实际工程中混合阶段 $G = 700 \sim 1000 \text{ s}^{-1}$,絮凝阶段 $G = 20 \sim 100 \text{ s}^{-1}$,为使试验能够模拟实际生产中的混合、絮凝过程,搅拌器产生的速度梯度 G 应在 $20 \sim 1000 \text{ s}^{-1}$ 范围可调。

另外,实际生产工艺中混合强度大多为1档,絮凝强度一般为3~4档,且连续运行,所以搅拌器转速应至少可预设置5档,并且应能够连续运行。

(5)搅拌杯的尺度尽量减小,减少试验水样体积;能阻止水体随桨叶旋转,以便准确推算 G 值及沉淀时间。

借助国内外研究和标准要求^[3,6],搅拌杯设计为方形杯,即有效容积1 L,断面 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,高15 cm,有效水深10 cm,水面下5 cm设取样口^[5]。

(6)搅拌桨应结构简单,加工制造容易,一般采用平直叶单桨式,同时应合理确定桨叶尺寸^[3]。

根据相似原理,模型试验推广的前提是模型和原型现象相似,即混凝效果相似,这种相似性除体现在模型和原型中某些无因次参数组合数相同外,还要求在模型和原型中某些初始条件必须相似,即,模型中的流态必须和原型一致,我们知道,水流可分为层流运动和紊流运动,两者有质的差别,当水流的雷诺数 Re 某一临界值(Re 的下限)时,水流在层流状态,当水流的雷诺数 Re 大于另一临界值(Re 的上限)时,则水流在紊流状态,由于实际混合、絮凝过

程中水流多为紊流,因此模型水流中相当于最小水流尺度(或水力半径)和最小流速时的雷诺数应大于上述临界值,这就对模型设计加上了限制条件。关于雷诺数的临界值,很多文献指出,当搅拌雷诺数 $Re \geq 10^3$ 左右时,就可按完全紊流处理^[6],即:

$$Re = \frac{nd^2}{\nu} \geq 10^3 \quad (4)$$

搅拌产生的速度梯度为:

$$G = \sqrt{\frac{P}{V\mu}} = \sqrt{\frac{C_D k \pi^3 n^3 d^5}{4V\nu}} \quad (5)$$

式中: P 为搅拌功率; d 为桨叶直径; V 为水样体积; n 为桨叶转速; $b/d = k$; b 为桨叶高度; μ 为水的动力粘滞系数; ν 为水的运动粘滞系数; C_D 为阻力系数;其余符号意义同前。

为保证搅拌杯内的搅拌为完全紊流,搅拌中就必须满足(4)式提出的限制条件,则:

$$d \geq \frac{C_D k \pi^3 \nu^2 10^9}{4VG^2} \quad (6)$$

根据《混凝沉淀烧杯试验方法》(CECS130, 2001)标准要求^[3],搅拌桨一般 $k = 0.1 \sim 1.0$ 、 $C_D = 0.35 \sim 0.5$;搅拌杯的最小容积为1 L。为保证混合、絮凝阶段在不同水温条件下均处于完全紊流状态,按最不利条件且留有一定余地考虑,取 $\nu = 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $k = 1.0$ 、 $C_D = 0.5$ 、 $V = 10^{-3} \text{ m}^3$ 、 $G = 10 \text{ s}^{-1}$ 代入(6)式得: $d \geq 5.5 \text{ cm}$,由此确定桨叶的最小设计直径为5.5 cm。

另外,为使各试验水样在相同操作条件下,呈现较好的重现性,各桨叶尺寸须相同,且材质具有足够的化学稳定性,防止对水样的水质产生影响。

2.3 混凝试验搅拌器的功能

针对国内外混凝实验搅拌器存在的问题,根据多年从事混凝技术研究获得的经验,开发出了系列智能型混凝实验搅拌器,并得到了推广应用。与国内外目前搅拌器比较,具有如下特点:

(1)大屏幕、高清晰度液晶汉字显示工作状态,菜单输入和提示工作方法,微电脑控制,操作简单易学。

(2)可存储多达12种程序,每种程序最多10段,编写和修改程序采用全屏幕编辑方法,清楚、快捷。

(3)自动测温、自动计算 G 值和累计 GT 值、自动声音报警;搅拌结束后搅拌浆自动提升,便于观察

沉淀状况。

(4)搅拌器1~6组任意组合。可同步运行同一个程序,也可分别独立运行不同的程序。

(5)搅拌杯为1 L方形杯,水深1/2处设取样口;搅拌浆5.5 cm × 4.0 cm,转速在5~1100 r/min范围内无级调速, G 值在15~1000 s^{-1} 之间可任意调速设定。

(6)底部灯光辉映。可带打印,打印内容:日期、试验号、杯号和程序内容等。

(7)达到额定转速后自动加药并同步记录时间;各搅拌容器可同步加药或分步分批加药。

(8)重量轻、体积小、易携带,运行平稳,噪声低,防水,防锈。

3 结 语

混凝试验能够在设备和操作都很简单的条件下,反映出混凝过程中很多因素间的错综复杂关系,所以一直是用来研究或控制混凝沉淀过程的最重要方法。(1)比较各种混凝剂的混凝效果;(2)确定最佳的混凝剂投加量,混凝剂、助凝剂的投加顺序;(3)优化混合、絮凝条件;(4)探求混合、絮凝、沉淀的合理组合;(5)评价泥渣对净水效果的影响;(6)评价直接过滤的可行性等。目前,开发生产的智能型混凝搅拌器已在水厂、研究院(所)和高校等单位广泛推广,应用单位超过数百家,并远销新加坡、泰国、越南、中国澳门和中国香港等国家和地区。

参 考 文 献

- [1] Herbert E., Hudson Jr., Wagner E. G. Conduct and uses of tests. JAWW-WA, 1981, (4): 218~223
- [2] 许保玖,安鼎年. 给水处理理论与设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
- [3] 武道吉,朱广汉,李闰生,等. 混凝沉淀烧杯试验方法(CECS130, 2001). 北京: 中国工程建设标准化协会, 2001
- [4] 武道吉,王新文,谭风训. 再论紊流絮凝动力学成因. 水处理技术, 2001, 27(1): 19~21
- [5] 武道吉,王新文. 混凝模拟搅拌杯的设计. 环境污染与防治, 2001, 23(3): 124~131
- [6] 左启东,等. 模拟试验的理论和方法. 北京: 水利电力出版社, 1984