

文章编号: 1003-7837(2003)01-0041-05

水力条件对絮凝效果影响的研究

刘宏江

(广州有色金属研究院粉体焊接材料研究中心, 广东广州 510651)

摘要: 试验结果和理论分析表明, 在原水水质、药剂种类及药剂投加量确定的情况下, Gt 因素并不能完全反映水力条件对絮凝效果的影响. 通过对影响絮凝效果的主要特征量进行分析, 找出了描述特征量之间相互关系的准数方程的一般式: $\eta = f(d/l, Re, \rho_s/\rho_w, C_0, Gt)$.

关键词: 水絮凝; 絮凝试验; 准数; 函数方程

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A

混凝是水和废水处理中常用的一种有效而经济的方法. 在给水处理和废水处理的混凝、沉淀、过滤诸工序中, 混凝是关键的前行工序. 实践证明, 如果混凝工序合理, 不仅可为沉淀、过滤等工序创造良好的操作条件, 提高出水水质, 而且还能达到节能、节药、降低运行费用的目的.

混凝是一个复杂的物化过程, 通过向水中投加一些药剂(常称为混凝剂), 使水中难以沉淀的杂质微粒互相聚合, 长大至能自然沉淀. 它所处理的对象主要是水中的微小悬浮物和胶体杂质^[1]. 混凝工序包括混合和絮凝两个过程: 为使水中的分散微粒能在短时间内聚集成大的絮体, 必须加注适宜的混凝剂, 经快速混合, 使胶粒脱稳形成微絮体; 为了使微絮体增大, 还要创造条件使微絮体之间有效碰撞的频率增加, 达到加速絮凝之目的.

1 试验

1.1 试验条件

1.1.1 试剂

原水: 用离子交换水与经烘干后充分浸泡过的高岭土配制.

混凝剂: 用 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 配成质量浓度 ρ 为 1 g/mL 的溶液(用时现配).

助凝剂: 1 mol/L NaOH 溶液(用时现配).

1.1.2 主要仪器设备

根据需要, 特设计了几何尺寸不同的四种直立圆槽式搅拌器(表1), 搅拌器的叶片模型见图1.

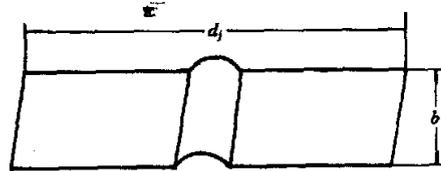


图1 平直桨叶
Fig.1 Flat blade

收稿日期: 2002-12-23

作者简介: 刘宏江(1971-), 男, 湖北荆州人, 工程师, 硕士.

GDS-3 型光电式浊度仪;D60-1 型电动搅拌机.

表 1 搅拌叶片和模型尺寸
Table 1 Stirring vane and model sizes

模型	搅拌尺寸 (直径 $D \times$ 水深 H)/mm	叶片尺寸/mm		挡板	
		d_1	b	宽度/mm	数目/块
1 号	100×100	80	20	0	0
2 号	100×100	80	20	10	4
3 号	200×200	160	40	20	4
4 号	400×400	320	80	40	4

1.2 试验方法

1.2.1 混凝剂最佳药量的确定

用烧杯搅拌试验确定混凝剂的最佳投药量,同时,用助凝剂 NaOH 调节水样 pH 为 7~7.5.

1.2.2 絮凝试验

因铝盐的水解产物有凝聚与絮凝两种作用,故一加完药剂,即开始快速搅拌(转速控制约为 200 r/min)约 30 s,使胶粒脱稳.然后,根据试验所需速度梯度 G 值的范围降至所需转速.自慢速搅拌的零时刻算起,按一定时间间隔从搅拌器中取出水样.将所取水样静置沉降 30 min,取上清液测定余油 C_t (t 时刻的浊度),便可测得若干组絮凝时间 t 和与 t 时刻所对应的余油 C_t 的数据.以 t 为横坐标、 C_t 为纵坐标,绘出一条曲线.此曲线表示了一定条件下的一个絮凝过程,即是絮凝过程曲线.

2 试验结果和讨论

2.1 絮凝效果函数表达式

絮凝效果的函数表达式可写成:絮凝效果 = f (影响絮凝效果的因素变量).

在水处理中,絮凝是一个复杂的物理化学和流体力学作用的过程.其效果由原水水质、药剂种类及其投加量和水力条件三因素所控制.实际上,在大多数情况下都是针对一定的原水水质进行处理或进行絮凝池设计的.当原水水质确定后,其配伍的药剂种类及其投加量也就随之而定.所以,当考虑影响絮凝效果的因素变量时,可暂时忽略原水水质、药剂种类及其投加量这些因素变量,只考虑水力条件这一因素变量.

从宏观上看,可用絮凝效率 $\eta = (C_0 - C_t) / C_0$ 作为因变量表示絮凝效果.

2.2 用 Gt 因素衡量絮凝效果的不足

目前,絮凝效果是用流速(或搅拌转速)和水力停留时间,即 Gt 值来衡量.其函数表达式为

$$\eta = f(Gt) \quad (1)$$

如果 G 值相同,其絮凝现象相似;若絮凝时间再相同,其絮凝效果必然相同.因没给出 f 确切的数学表达式,所以,每次使用此函数式时,必须先做试验,得出一条 $\eta-t$ 曲线,此曲线即为映射法则 f .

为考证 $\eta = f(Gt)$ 或自变量 Gt 选择的合理性和可行性,设计了两组对比试验.试验中原水

浊度配制为 50 度;硫酸铝加入量以 Al_2O_3 计为 25 mg/L,用 NaOH 调节水样 pH 为 7~7.5. 絮凝试验方法见 1.2.2 节.因 $\eta = (C_0 - C_t) / C_0$,故 $\eta-t$ 曲线可根据 C_t-t 曲线绘出.

分别选择尺寸相同、结构不同的 1 号和 2 号两个模型及结构相同、尺寸不同的 3 号和 4 号两个模型来进行对比絮凝试验,在 G 值相同的条件下,试验结果见图 2.从图 2 可看出,在 G 值相同的条件下,不同尺寸、不同结构的搅拌器中的絮凝过程并不相似,絮凝结果也不相同;2 号模型的絮凝效果优于 1 号模型,3 号模型的絮凝效果优于 4 号模型.由此可得出:函数关系式 $\eta = f(Gt)$ 不合理,是不可行的;只选择自变量 Gt 来反映絮凝效果 η 是不合适的.除 Gt 之外,肯定还有其它因素对絮凝过程、絮凝效果 η 产生重大影响.

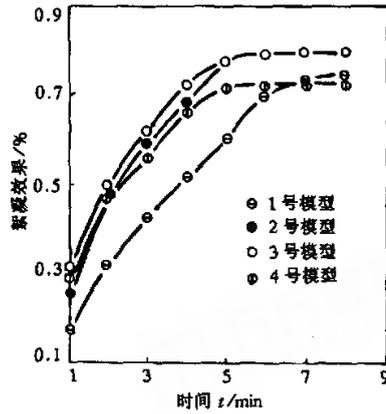


图 2 不同搅拌器、不同搅拌时间的絮凝效果
Fig.2 Influence of stirrers and stirring time on flocculation effect

2.3 从流体力学角度来探求影响絮凝效果的因素

絮凝通常是指水中胶粒在加入凝聚剂之后进行脱稳,然后相互碰撞合并成粗大絮凝体的过程.在这一过程中,水力条件对于絮凝体的成长起决定作用.因此,可以将絮凝当作流体力学问题来研究.

2.3.1 影响絮凝效果的变量因素

依照流体力学的一般分析方法,流体通过已知的任何形状的固体边界的流动过程受下列五方面的因素制约^[2]:(1)用某一典型的长度 l 决定的流体的绝对尺寸;(2)用一个典型流速 v 来表征的过程的运动学;(3)流动介质的物理属性;(4)作用于流体质量上的外力;(5)运动过程中特有的特征参量.

考虑到絮凝的具体情况,可认为絮凝效果主要取决于如下参量:(1)絮凝池边界的代表性长度 l ,它代表流体的绝对尺寸;(2)絮凝池水流的特征速度 v ,它代表絮凝过程的运动学;(3)水的密度 ρ_w 、粘滞系数 μ ,它们表征水流的物理属性;(4)输入絮凝池的功率 P ,它是同作用于流体质量上的外力有关的参数(5)絮凝体颗粒的代表性粒径 d 、颗粒个数 N 及密度 ρ_s ,它们是絮凝这个特殊的流体力学问题中特有的参数.

将以上参数写成函数表达式为:

$$\eta = f(l, v, \rho_w, \rho_s, \mu, P, d, N) \tag{2}$$

2.3.2 变量分析

要直接研究式(2)是很困难的,在流体力学中通常运用因次分析法来确定特征量的无因次组合,使问题简化.

假定式(2)是最简单的指数函数,令

$$\eta = k l^{k_1} d^{k_2} v^{k_3} \rho_w^{k_4} \rho_s^{k_5} \mu^{k_6} P^{k_7} N^{k_8} \tag{3}$$

式中 k 是一个常数.用长度-质量-时间($l-m-t$)单位制表示各项的因次,则得:

$$m^0 l^0 t^0 = (l)^{k_1} (l)^{k_2} (l/t)^{k_3} (m/l^3)^{k_4} (m/l^3)^{k_5} (m/lt)^{k_6} (ml^2/t^3)^{k_7} (m^0 l^0 t^0)^{k_8}$$

因此:

$$m: 0 = k_4 + k_5 + k_6 + k_7$$

$$l: 0 = k_1 + k_2 + k_3 - 3k_4 - 3k_5 - k_6 + 2k_7$$

$$t: 0 = -k_3 - k_6 - 3k_7$$

解此方程为:

$$k_1 = -k_2 - k_6 - 2k_7$$

$$k_3 = -k_6 - 3k_7$$

$$k_4 = -k_5 - k_6 - k_7$$

于是: $\eta = k l^{-k_2 - k_6 - 2k_7} \cdot d^{k_2} \cdot v^{-k_6 - 3k_7} \cdot \rho_w^{-k_5 - k_6 - k_7} \cdot \rho_s^{k_5} \cdot \mu^{k_6} \cdot P^{k_7} \cdot N^{k_8}$

进行恒等变形为:

$$\eta = k (d/l)^{k_2 - 3k_6} (\rho_w l v / \mu)^{-k_6 - k_7} (\rho_s / \rho_w)^{k_5} (N d^3 / l^3)^{k_8} (l/v) \cdot \sqrt{P/l^3 \mu}^{2k_7}$$

由此得到了五个无因次准数:

$$\pi_1 = d/l, \pi_2 = \rho_w l v / \mu, \pi_3 = \rho_s / \rho_w, \pi_4 = N d^3 / l^3, \pi_5 = l/v \cdot \sqrt{P/l^3 \mu}$$

根据 π 定理, 上述这五个准数是相互独立的。

五个准数分别是特征量的一个特定组合, 它们都具有一定的物理意义:

$\pi_1 = d/l$ 是两个代表性几何尺寸的比值, 由于在通常的絮凝条件下 d 并不因 l 大小而异, 所以 d/l 主要取决于絮凝池的几何尺寸。

$\pi_2 = \rho_w l v / \mu$ 是雷诺数 Re , 它反映絮凝池水流的流态。

$\pi_3 = \rho_s / \rho_w$ 是絮凝体的比重, 是与药剂种类和投药量有关的准数。

$\pi_4 = N d^3 / l^3$ 是表征絮凝体体积浓度的准数, 若以 C_0 表示初始浊度, 则 $N d^3 / l^3 \sim C_0$ 。

$\pi_5 = l/v \cdot \sqrt{P/l^3 \mu}$ 需要分成两个因子考虑, $\sqrt{P/l^3 \mu}$ 正比于速率梯度 G , 而 l/v 具有时间因次 t 。对一个推流式絮凝池, 如果 l 是池长, v 是水流平均速率, 则 l/v 就是理论停留时间 t 。因而可认为 $l/v \sim t$, 这样准数 $l/v \cdot \sqrt{P/l^3 \mu}$ 实际上就是坎普准数 Gt 。

通过以上分析, 已将八个特征量组合成五个准数。根据相似第二定理^[2], 描述某一现象各物理量之间的关系可以表示成相似准数之间的函数关系, 则式(2)就可以写成准数方程式的形式:

$$\eta = f(d/l, Re, \rho_s / \rho_w, C_0, Gt)$$

3 结论

(1) 水力条件因素除与水流自身的物理属性如水的密度、水的粘滞系数等有关外, 还与水流的边界制约(包括扰流装置的几何尺寸)、输入水流的能耗及能耗分布有关; 而 Gt 因素仅仅反映了输入水流的能耗, 而且还只是代表平均能耗, 并不代表能耗的分布情况。因此, 水力条件因素不仅对 Gt 因素有所包涵, 而且对 Gt 因素有所扩展。水力条件因素比 Gt 因素更能全面地反映絮凝过程, 影响着絮凝效果。

(2) 影响絮凝效果的水力条件因素可用五个准数 $\pi_1 = d/l, \pi_2 = \rho_w l v / \mu, \pi_3 = \rho_s / \rho_w, \pi_4 = N d^3 / l^3, \pi_5 = l/v \cdot \sqrt{P/l^3 \mu}$ 来阐明, 使影响絮凝效果的水力条件因素变得更直观、更易于理解。

参考文献:

- [1] 顾夏声, 黄铭荣, 王占生. 水处理工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 1985.

[2] 沈自求. 相似理论及其在化工上的应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982.

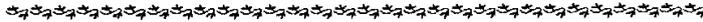
Effect of hydraulic condition on flocculation

LIU Hong-jiang

(Research Center of Powdered Soldering Materials, Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: The theoretical analysis and the test results show that the factor of Gt (velocity gradient and time) doesn't reflect comprehensively the influence of hydraulic condition on flocculation effect in the definite condition of the waste water nature, the sort of coagulant and its amount. The main characteristic physical variables of flocculation process are analyzed theoretically in this paper. The interrelationship between the variables is illustrated by a function of dimensionless groupings as below: $\eta = f(d/l, Re, \rho_s/\rho_w, C_0, Gt)$.

Key words: water flocculation; flocculation test; dimensionless number; functional equations



陶瓷网纹辊

广州粤鑫激光科技有限公司(广州有色金属研究院下属公司),专业生产激光雕刻陶瓷网纹辊.公司采用德国 GTV 公司生产的高能等离子喷涂设备生产陶瓷网纹辊涂层,涂层的孔隙率低、硬度高.涂层后的加工采用美国 3M 公司精密抛光系统进行抛光,及当今世界最先进的 Meridian2000 系统进行激光雕刻.该雕刻系统配备 CO₂ 及 YAG 激光器,采用“QED”、“多次打击”和“晶体调制”等最新的技术进行激光雕刻.

本产品的主要特点: 优异的重复制作精度;网穴满足定量传墨要求,确保网孔容积精确性、一致性,确保印刷质量标准化;耐高温、耐磨损、耐腐蚀、使用寿命长.

规格参数: 网线数范围 50~2000 线/英寸;最大幅宽 4000 mm;直径范围 25~500 mm;网孔形状 30°~60°(任何角度),六角形、正方形、三角形,可按照用户要求设计网孔形状.

服务对象: 柔版印刷机(机组式、卫星式、层叠式);瓦楞纸水性油墨印刷开槽机;上光机、涂布机.