

文章编号:1000-582X(2005)04-0001-04

脉冲电浮水处理池的数学模型与计算方法*

赵建新,廖振方,陈德淑

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

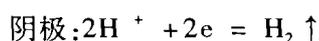
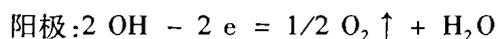
摘要: 介绍了脉冲电浮水处理装置的特点;分析了影响该技术处理效果的因素;作者根据电浮过程的基本公式,提出了脉冲电浮处理池的数学模型,给出了计算电浮处理池高度、体积以及处理量的计算公式;作者根据所建立的数学模型开发了一套设计脉冲电浮处理池的实用软件和并给出了计算的源代码。该脉冲电浮水处理池数学模型能进一步完善水处理技术的设计和应用,并能推动该技术的推广,及应用。

关键词: 脉冲电浮水处理;数学模型;电浮水处理池

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

目前,随着我国工业用水和城市居民用水的增加,水资源紧张加剧,水污染问题也日益严重。因此,污水处理技术已成为当前的重要研究领域。在众多水处理技术之一的电解浮上法(简称电浮法)是一种应用前景非常好的方法。电浮法基本原理是,利用电浮过程中电极上析出的微小气泡(H_2 、 O_2)来浮上分离疏水性杂质微粒,其电极反应方程为:



电浮过程中,不仅有气泡浮上作用,而且还兼有氧化及还原等作用,能去除多种污染物,其中阳极上产生的初生态氧具有很强的氧化性,可将废水中的部分有机物氧化分解,具有杀菌、脱色的功效。与气浮法相比,电浮法有很多优点,如:去污程度高,外形简单,操作方便,速度可均匀调节等。但是,目前电浮法仍没有被广泛使用,这主要是电浮法的能耗较大。能否将能耗大大降低,乃是电浮法广泛使用的关键。

作者所讨论的脉冲电浮水处理与传统电浮相比较,能耗能降低40%~60%^[1]。

脉冲电浮水处理池的示意图如图1所示,污水进入调解池加入混凝剂后,再进入脉冲电浮水处理池,通

过对该处理池中几对电极的脉冲充电,使电极产生微小气泡将污水中的杂质颗粒浮上分离。影响该处理过程的因素很多,如气泡的尺寸、污水中固体颗粒的尺寸、电流强度、处理液的温度和PH值、混凝剂的种类和用量以及处理池的结构尺寸等。由于处理池的结构尺寸必须在该系统的设计阶段确定。所以,处理池结构和尺寸的确定对整个脉冲电浮处理的效果十分重要。本文将首先探讨脉冲电浮处理池结构的数学建模,并在此模型的基础上开发一套设计脉冲电浮处理池的计算软件^[2]。

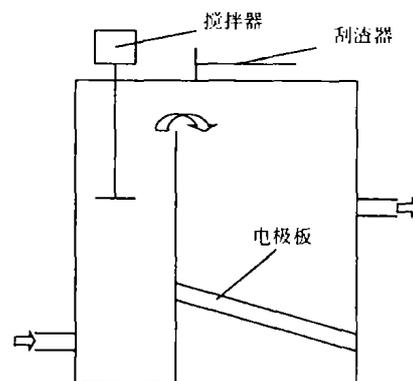


图1 电浮池示意图

* 收稿日期:2005-01-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59979029)

作者简介:赵建新(1979-),男,山东泰安人,重庆大硕士研究生,主要从事排污环保设备方面的研究。

1 脉冲电浮处理池设计的计算方法

1.1 电浮过程基本公式

通过对各种各样的脉冲电浮处理池的大量实验已经证明:电浮过程的速度与气泡直径有着非常密切的关系。目前已经通过实验获得如下的理论关系:运动学方程(1)式和速度常数的解析式(2)^[3]

$$\frac{dc_1}{dt} = kc_1c_2 \quad (1)$$

式中: c_1 、 c_2 为自由粒子和气泡的浓度(m^3/m^3)

$$k = \frac{3}{2d_2} \left(1 + \frac{d_1}{d_2}\right) \bar{v} \quad (2)$$

式中:为自由粒子的加权速度, d_1 、 d_2 为自由粒子和气泡的直径(m)可由下式得到:

$$\bar{v} = \frac{g\Delta\rho_1 d_1^2}{18\mu} \sqrt{1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \left[\frac{\Delta\rho_2}{\Delta\rho_1}\right]^2 \left[\frac{d_2}{d_1}\right]^7} \quad (3)$$

式中: ρ_1 、 ρ_2 为液体,自由粒子和气泡的密度(kg/m^3)

1.2 脉冲电浮处理池的数学模型:

电浮处理过程中,处理液中的自由粒子和微气泡碰撞,形成一个聚合物并一起上浮到液体表面形成泡沫,该过程的速度总体上具有概率性,可用一些概率的乘积表示^[4]:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \quad (4)$$

式中:

η ——整体概率;

η_1 ——粒子和气泡碰撞的概率,与自由粒子的离散程度、浓度、以及运动轨迹与气泡的重合程度等有关;

η_2 ——自由粒子粘附在气泡上的概率,与处理液的表面特性有关;

η_3 ——自由粒子和泡沫一起除去的概率;

η_4 ——自由粒子仍保留在泡沫内的概率。

整体来说, η_1 、 η_2 、 η_3 、 η_4 在很大程度上都与脉冲电浮处理池内的流体动力学有关,即与液流结构有关。实际上在电浮过程中处理液应处于紊流流动,从而给自由粒子和气泡的碰撞建立有利条件,紊流流动能使自由粒子的体积浓度达到瞬间平衡,这时 η_1 趋于最大

值。此外,紊流还可以使自由粒子保持悬浮态,阻止其沉淀。但另一方面,若紊流速度太大,将会增大自由粒子的相对速度,从而增大作用在聚合物上的惯性力,其结果将使碰撞概率的最大值下降。

因此,脉冲电浮处理池内粒子和气泡相互运动的特点就成为设计脉冲电浮处理池的主要依据。在设计脉冲电浮处理池的数学模型时,必须考虑电浮室内液流的流动结构。对于一个理想的连续流动脉冲电浮处理池,由于初始成分和终了成分的移动,系统内自由粒子的浓度 c_1 将低于在其入口处的浓度 c_1' ,此时脉冲电浮处理池的处理时间可以用下式表示:

$$t = \frac{c_1' - c_1}{kc_1c_2} \quad (5)$$

式中: k 为电浮处理速度常数, c_1' 为脉冲电浮处理池内自由粒子与气泡的初始浓度(m^3/m^3)。

将式(2)、式(3) 带入上式,可得到脉冲电浮处理池处理时间的表达式:

$$t = \frac{c_1' - c_1}{\frac{g\Delta\rho_1 d_1^2}{12\mu d_2} \left(1 + \frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\Delta\rho_2}{\Delta\rho_1}\right)^2 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^7} \sqrt{c_1 \left[c_2'(c_1' - c_1) \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \right]} \quad (6)$$

从而,电浮处理池的体积按下式确定:

$$V = q \cdot t \quad (7)$$

式中: q 为脉冲电浮处理池按液相计算的流量(m^3/s), t 为脉冲电浮处理池处理时间(s), $\Delta\rho_1$ 为自由粒子与处理液的密度差(kg/m^3), $\Delta\rho_2$ 为处理液与气泡的密度差(kg/m^3), μ 为处理液的密度。

若将(1) 式中的 dt 看成是微气泡与自由粒子的聚合物通过单元层高度 dh 的时间,就可得到粒子和气泡的运动学方程式,进而得出稳定工况下,分离的速度梯度随高度降低的变化关系:

$$dc_1 = kc_1c_2 \frac{dh}{v_1} \quad (8)$$

$$dc_2 = kc_1c_2 \frac{dh}{v_2} \quad (9)$$

将以上2式积分后联立,并取边界条件: $h = 0 \sim H$, $c_1 = c_1' \sim c_1$, $c_2 = c_2'$ 求出自由粒子和气泡浓度与电浮处理池的高度的关系:

$$c_1 = \frac{c_1' + (v_1/v_2)c_1''}{\frac{v_1}{v_2} - \left[\frac{v_1}{v_2} \left(1 - \frac{c_1''}{c_1'} \right) - \frac{c_2}{c_1} \right] \exp \frac{k}{v_1} \left(c_2' + \frac{v_1}{v_2} c_1' \right) h} \quad (10)$$

式中： v_1, v_2 ，为自由粒子和汽泡运动的绝对速度 (m/s)， c_1' 为自由粒子的最终浓度 (m^3/m^3)。

若令 $h = H$ ，并将(10)式变换后，可得到脉冲电浮处理池高度的表达式：

$$H = \frac{v_1}{k \left[c_2' + \frac{v_1}{v_2} c_1' \right]} \times \ln \frac{c_2'/c_1'}{c_2/c_1} - \frac{v_1}{v_2} \left(1 - \frac{c_1''}{c_1'} \right) \quad (11)$$

该高度是脉冲电浮处理池设计的关键数据，因为如果高度太高，则与自由粒子聚合的微汽泡还未到达液面就会破裂，从而影响处理效果；反之，如果高度太低，则微汽泡与自由粒子形成聚合体的时间就会大大缩短，从而使处理效果变差。电浮处理池的平均高度一般是 100 cm，但有时会低至 50 cm 或高至 200 m^[5-6]。

脉冲电浮处理池的处理量可以根据单位时间内从室内单位体积内提取的粒子体积来确定，如下式所示：

$$Q = q[c_1'' - c_1'] \quad (12)$$

2 脉冲电浮处理池设计软件

由于以上建立的脉冲电浮处理池的数学模型的计算本身十分复杂，很多参数还要通过其他计算得到，利用 Java 语言编写的脉冲电浮处理池设计软件。

选择采用 Java 语言进行编写，它能提高该软件的共享性和有效性，从而进一步提高它的实用性。

现对该程序作简要说明。运行该程序后，出现“输入参数”界面，如图2所示。在该界面填入数据后，点击“保存”。然后点击“计算处理速度常数”标签，进入下一界面，如图3所示。该界面会自动显示已保存的初始参数，以便于用户计算前对其进行复查。复查无误后，点击“计算 k”按钮，便可得到计算结果。然后点击“计算体积及高度”标签，进入下一界面。该界面同样会提供用户复查界面，点击“计算体积”按钮和“计算高度”按钮，便可得到脉冲电浮水处理池的体积和高度如图4所示。最后，点击“计算处理量”标签，进入另一个计算界面，在此界面点击“计算处理量”按钮，可得到处

理池的处理量，如图5所示。

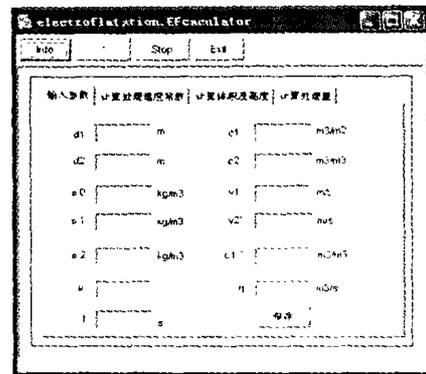


图2 “输入参数”界面



图3 “计算速度常数”界面

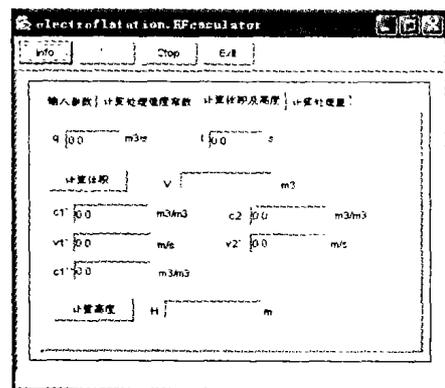


图4 “计算体积及高度”界面

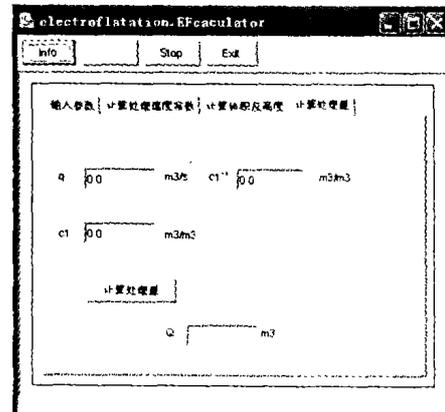


图5 “计算处理量”界面

3 结 语

研究表明,脉冲电浮水处理不仅处理效果好,而且能节约能耗(能耗为常规电浮水处理的 1/3—1/2)。提出的脉冲电浮水处理池的数学模型,能进一步完善水处理技术的设计和应用,并能推动该技术的应用。

参考文献:

- [1] 宋秋萍,廖振方. 电解气浮过程中降低电能消耗的途径[J]. 污染防治技术,1997,10(12):246-247.
- [2] 廖振方,宋秋萍. 高效加压溶气系统的实验研究[J]. 贵州环保科技,1997,3(4):6-8.
- [3] 廖振方,陈德淑,邓晓刚,等. 三峡库区疏浚及清于用机电

一体化成套气体装置[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2003,26(3):1-4.

- [4] П В ТЯБИН, А Б ГОДОВАНЧИКОВ, Г Л ДАХИНА В И. ЗЕЛЕНЦОВ: Оптимизация процесса электрофлотационного разделения суспензий [J]. Электронная обработка материалов, 1986,131(5):65-67.
- [5] П В ТЯБИН, А Б ГОЛОВАНЧИКОВ, Г Л ДАХИНА В И. ЗЕЛЕНЦОВ: Расчет электрофлотаторов непрерывного действия [J]. Электронная обработка материалов, 1981,101(6):51-55.
- [6] А КУHN. Electroflotation - The technology and waste treatment application[J]. Chemical Processing, 1974,6:24-30.

Establishing and Application of the Mathematical Model of the Impulse Electroflotation Reacting Tank

ZHAO Jian-xin, LIAO Zhen-fang, CHEN De-shu

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract : The properties of the Impulse electroflotation equipment are introduced briefly, and the factors that influence the treatment effect of Impulse electroflotation are analyzed. The mathematical model of the Impulse electroflotation reacting tank which determines the height, volume and treatment capability of Impulse electroflotation is provided on the base of the basic equations of electroflotation. A calculate software for the design of Impulse electroflotation reacting tank is developed and the source code is given.

Key words: impulse electroflotation; mathematical model; electroflotation reacting tank

(编辑 成孝义)