透光率脉动检测技术对絮凝过程 的连续监测和分析^{*}

李 孟 李圭白

(哈尔滨建筑大学水工业研究室,哈尔滨 150090 E-mail: Liu Yang@ sun20 hrbucea edu cn)

摘要 研究考察了悬浮液中絮凝体的特性和空间结构变化 透过动态监测透光脉动值的变化,显示不同种类的絮凝剂形成絮凝 体的 lg r lg K 值曲线斜率并非保持不变,反映了不同种类絮凝体空间结构的变化规律,得到絮凝体破碎和重组的有关信息,从 中反映出不同絮凝剂投加条件下所形成的絮凝体的一些不同特性 关键词 悬浮液,动态监测,破碎和重组,透光脉动值

Continuous M on itoring and Analysis of Floc Properties in Suspensions

LiMeng LiGuibai

(W ater Industry Research Institute of Harbin U niversity of A rchitecture, Harbin 150090, China Ermail: Liu Yang@sun20 hrbucea edu cn)

Abstract Based on theoritical analysis, experiments on flocculating clay suspensions under different stirring and adding conditions got some useful information of floc break-up and re-formation as not to have a constant slope in the curve of $\lg \tau \lg K$ in different coagulant formation by detecting the transmitted light intensity fluctuations in suspensions continuously.

Keywords flocculating suspensions, continuous monitoring, floc break-up and reformation, value of transmitted light intensity fluctuation

在水处理工艺的诸环节中, 颗粒物质去除 无疑是非常重要步骤 近年来国内外的研究成 果表明, 运用流动悬浮液透光率脉动检测方法 能够给出悬浮液中颗粒凝聚时状态的一些有用 信息 该方法已经成功地用于动态监测混凝和 分散过程 本文通过动态实验研究絮凝过程中 絮凝体的特性和空间结构变化, 从而更准确地 评价悬浮液颗粒絮凝时的效果

1 絮凝体特性检测的理论分析

将一束光线通过流动中的悬浮液,透射光 强度由一适宜的检测器检测出来 在所示容积 内,颗粒的数量将发生随机变动,从而引起透射 光强的脉动,由于脉动的数量遵从泊松分布,可 以得出:

$$R = V_{\rm RMS}/V = C \checkmark N c/A \tag{1}$$

式中, c 为光散射截面积, N 为数量浓度, C 为 常数, \overline{V} 为输出信号 在一个正在絮凝的悬浮液 里,存在着絮体粒径分布率函数f(k), k 为絮 凝数,指絮凝过程中组成絮凝体的颗粒数量 絮 凝体的半径 a_k 和絮凝体的颗粒数量 k 的关系 可写作:

$$a_k = a_0 k^{1/d} \tag{2}$$

这里 *d* 为空间扩展度^[1].由于絮凝体空间 组合方式的不同, *d* 的实际值通常在 1.7到 2.6 之间^[2].其值低说明絮凝体具有空而松散的结 构,高值说明其结构紧密

如果絮凝体中颗粒的平均数为 k, 单位体

7

 ^{*} 国家自然科学基金资助项目(Project Supported by the NationalNatural Science Foundation of China): 59508005 作者简介: 李孟(1972~), 男, 博士研究生, 主要研究方向 为水污染控制技术 收稿日期: 1999-03-21

积的颗粒总数 $N_{T} = N_{0}/k$, 絮凝体大小分布率 可表示为 $f(k) = \exp(-k/k)/k$, 即相似于 Smoluchoski 分布率 假设 Q_{k} 为常数, 可以得 到:

$$\frac{\tau}{\Phi} = \frac{3Q_{k}}{(\overline{k})^{m-1}} \Gamma(m+1) / (4a_{0}) \quad (3)$$

$$\frac{R^{2}}{\Phi} = \frac{3\pi L}{a_{0}} a_{k} Q_{k}^{2} (\overline{k})^{2m-1} \Gamma(2m+1) / (4A) \quad (4)$$

这里 $m = 2/d, \Gamma$ 为伽马函数

如果固体体积分数 Ф固定不变,散射系数 和絮凝体尺寸视为常数,则由公式(3)和(4)可 得到:

$$\left(\frac{R}{\tau}\right)^2 = C \bullet \overline{k} \tag{5}$$

因为R和 τ 均可以直接测量,C为常数,所 以 $(R/\tau)^2$ 提供了连续性确定絮凝程度的一个 简单办法 由式(3)有:

 $\lg \tau = C + (m - 1) \lg k$ (6) 根据以上分析, 脉动值 *R* 应总是随着絮凝程度 的加深而增大, 由式(4) 有:

$$R = C \bullet (\overline{k})^{(4-d)/2d} \tag{7}$$

式(7) 是本文推导出的有关分析脉动值 *R* 与絮凝体结构关系的重要公式,由于它给出了 *R* 值与絮凝体平均颗粒数以及絮凝体的空间扩 展度(即反映其空间结构的参数)之间的定量相 关关系,因此可以利用此关系式更为详细地监 测悬浮液的絮凝过程 同时由式(1)可以看出, 由于检测仪器的电子元器件的老化漂移以及透 射光线的器皿表面的沾污所造成的检测信号的 改变,在 *v* 值和 *v* 值上产生相同程度的影响, 从而避免了因电子漂移和检测器表面沾污对检 测结果的影响

2 悬浮液絮凝体特性

实验中采用 PDA 2000 型透光脉动检测 仪,其装置如图 1 所示

取样流量设为 35m 1/m in, 首先将清洁的水 样流过取样管, 建立起对应于初始入射光强的 DC 值 V a 然后再加入 300m g/L 的高岭土悬浮 液 在此 1L 的悬浮液中以 60r/m in 的速度搅 拌 2m in, 并流过取样管以得到 DC 值 V L 再加 入聚合A IC b, 此时保持 60r/m in 的搅拌速度 5m in, 后逐步提高转速至 120r/m in, 180r/m in, 240r/m in, 这样可以得到絮凝中的颗粒在生长 中结构发生聚合和破碎的信息, 最后转速恢复 至 60r/m in, 在整段观测时间内记录DC 值(即 图中的 τ 值) 和 *R* 值, 并将结果示于图 2 中.

从图 2 可以看出, 在絮凝剂投加后的很短 时间内浊度增加, 这可由透射光强的减小显示 出来 同时 *R* 值增加 在 60r/m in 转速下转了 约 1m in 后, 浊度开始降低(此时透射光增加), 而 *R* 值继续增加, 约 5m in 后 τ值呈水平, 即大 致上无变化 当转速增至 120r/m in 时, *R* 值由 于絮凝体的破碎, 因而出现明显的降低趋势. 在 这一阶段, 浊度值增加 随着转速的进一步增 加, 絮凝体的破碎趋势更加剧, 直到 *R* 值达到 非常低的程度 最后, 当转速恢复到 60r/m in 时, 絮凝体开始重组, *R* 值又开始上升. 由图 2 中还可看出, 根据式(7) 推导并绘出的 *k* 值变化 曲线显示, 目前条件下絮凝体的最大生长限度 为 150



图 1 透光脉动实验装置图





其后,在相同初始条件下投加高分子絮凝 剂聚丙烯酰胺(PAM),结果示于图3图3与图 2有所不同,是因为高分子絮凝剂主要通过吸 附架桥作用于悬浮液,因而所形成的絮凝体比 电解质盐要结实得多.图 3 还显示,在其它条件 相同时高分子絮凝剂所形成的絮凝体剪切破坏 有着更强的抵御能力,甚至在 240r/m in 的转速 下还存在相当大的絮凝体 值得注意的是,当转 速由 240r/m in 减至 60r/m in 时,絮凝体的生长 程度与初始期基本相同,说明在这段时间内絮 凝体的形成和破碎过程是可逆的





为进一步考察悬浮液中絮凝过程的变化规 律, 在图 2 和图 3 的基础上绘出 lgk-lgτ的对数 关系曲线如图 4 和图 5 所示



图 4 lgk- $lg\tau$ 对数关系曲线(投加聚合A IC l3)

由图 4 可以看出, 其变化曲线并没有一个 固定不变的斜率 曲线的前一部分显示为一个 正斜率趋势 由式(7), $(2 - d_F)/d_F > 0$, 即 $d_F < 2$ (空间扩展度小于 2), 说明在絮凝的前期, 组 成絮凝体的颗粒排列得相当松散, 结构显得很 空 随着絮凝程度的加强, 空间扩展度也随之增 大, 斜率达到一段水平区域($d_F = 2$), 并继续增 大使斜率变为负值($d_F > 2$), 直至絮凝体在较大 的剪切力下发生破碎 值得注意的是, 当搅拌速 度由 240r/m in 降至 60r/m in 时, 曲线并不与原 来的起点(即初始时的 60r/m in)重合, 平均颗 粒数 k 要相对大些, 这意味着絮凝体并未完全 破碎为它们原先形成时的亚单元结构 也就是 说, 在其受到剪切破坏时, 破碎的程度并不完 全, 絮凝体仍有可能保持一定的空间结构

图 5 与图 4 显示的变化规律有某些相似之 处 即当絮凝体生长时, 原先曲线的斜率由正变 为负, 只是变化趋势更为明显, 而且絮凝体的破 碎和重组路径几乎重合 这说明对于高分子聚 合物投加的情形而言, 絮凝体的破碎和重组过 程是可逆的, 而且与电解质类絮凝剂相比较, 高 分子聚合絮凝剂形成的絮凝体分子间的结合力 更大, 结构也更为紧密



图 5 $\lg k - \lg \tau$ 对数关系曲线(投加 PAM)

3 小结

动态地监测悬浮液中颗粒组成的随机脉动 变化特性,是分析和研究悬浮液中颗粒聚集状 态及其变化的一种非常有效的手段 通过检测 透光脉动值 R 的变化,不仅可以反映出絮凝体 空间结构的变化规律,从而得到絮凝体破碎和 重组的有关信息,而且可以反映不同絮凝剂投 加条件下所形成的絮凝体的一些不同特性 由 于透光率脉动检测技术在理论上与絮凝体的空 间扩展度这一概念紧密相关,它不仅能够准确 检测絮凝体颗粒粒径的变化情况,还能够反映 絮体的粒径与密度的变化规律 在实际生产应 用中,这项技术又可以用于对絮凝过程进行连 续在线地检测,这也是其它光学检测技术难以 做到的,因此为生产系统中絮凝投药自动控制 又提供了一种有效的检测手段

参考文献

- Gregory J. The density of partical aggregates W at Sci Tech., 1997, 36(4): 1~13
- 2 Kerker M. The scattering of light and other electrom agnetic radiation New York: A cademic Press, 1969 103~ 105
- 3 Rosen J.M. A statistical description of coagulation J. Colloid Interface Sci , 1984, 9: 19

20卷

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net