

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. 通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 $\lg T - \lg K$ 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 Monitoring and Analysis of Floc Properties in Suspensions*

Li Meng Li Guibai

(Water Industry Research Institute of Harbin University of Architecture,
Harbin 150090, China E-mail: Liu Yang@ sun20. hrbucea. edu. cn)

Abstract Based on theoretical 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 $\lg T - \lg K$ in different coagulant formation by detecting the transmitted light intensity fluctuations in suspensions continuously.

Keywords flocculating suspensions, continuous monitoring, floc break-up and re-formation, 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:

$$R = V_{\text{RMS}} / \bar{V} = C \sqrt{Nc/A} \quad (1)$$

式中, c 为光散射截面积, N 为数量浓度, C 为常数, $\bar{V}$ 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:

$$a_k = a_0 k^{1/d} \quad (2)$$

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 $\bar{k}$, 单位体

* 国家自然科学基金资助项目 (Project Supported by the National Natural 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 $N_T = N_0/\bar{k}$, 絮凝体大小分布率可表示为 $f(k) = \exp(-k/\bar{k})/\bar{k}$, 即相似于 Smoluchoski 分布率. 假设 Q_k 为常数, 可以得到:

$$\tau/\phi = 3Q_k/(\bar{k})^{m-1}\Gamma(m+1)/(4a_0) \quad (3)$$
$$R^2/\phi = 3\pi L a_0 Q_k^2 (\bar{k})^{2m-1}\Gamma(2m+1)/(4A) \quad (4)$$

这里 $m = 2/d$, Γ 为伽马函数.
如果固体体积分数 ϕ 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:

$$(R/\tau)^2 = C \cdot \bar{k} \quad (5)$$

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:

$$\lg \tau = C + (m-1)\lg \bar{k} \quad (6)$$

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:

$$R = C \cdot (\bar{k})^{(4-d)/2d} \quad (7)$$

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 $\bar{V}$ 值和 V_R 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 PDA2000 型透光脉动检测仪, 其装置如图 1 所示.

取样流量设为 35ml/min, 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_0 . 然后再加入 300mg/L 的高岭土悬浮液. 在此 1L 的悬浮液中以 60r/min 的速度搅拌 2min, 并流过取样管以得到 DC 值 V_1 . 再加入聚合 $AlCl_3$, 此时保持 60r/min 的搅拌速度

5min, 后逐步提高转速至 120r/min, 180r/min, 240r/min, 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/min, 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/min 转速下转了约 1min 后, 浊度开始降低(此时透射光增加), 而 R 值继续增加, 约 5min 后 τ 值呈水平, 即大致上无变化. 当转速增至 120r/min 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/min 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 $\bar{k}$ 值变化曲线显示, 目前条件下絮凝体的最大生长限度为 150.

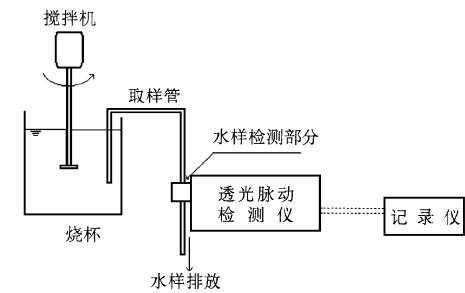


图 1 透光脉动实验装置图

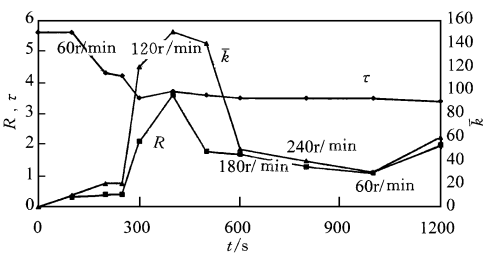


图 2 聚合 $AlCl_3$ 投加后的实验结果

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/min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/min减至60r/min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.

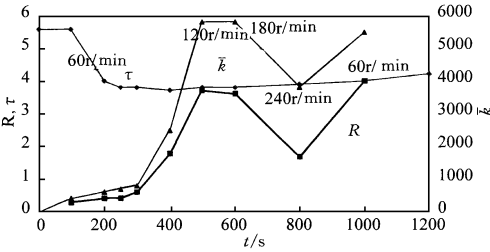


图3 PAM投加后的实验结果

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 $\bar{k}$ -lg τ 的对数关系曲线如图4和图5所示.

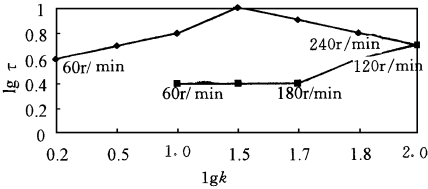


图4 lgk $\bar{k}$ -lg τ 对数关系曲线(投加聚合AlCl₃)

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($d_F \approx 2$),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/min降至60r/min时,曲线并不与原来的起点(即初始时的60r/min)重合,平均颗粒数 $\bar{k}$ 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.

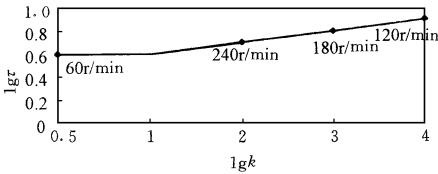


图5 lgk $\bar{k}$ -lg τ 对数关系曲线(投加PAM)

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

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