

一种研究絮凝过程的新方法 ——透光脉动检测技术

李 星 李 虹 李圭白

(哈尔滨建筑大学市政环境工程学院, 150008)

摘要 介绍了一种全新的光电检测方法——透光脉动检测技术,它利用悬浮液颗粒组成的随机脉动变化特性,可以分析和检测出悬浮液中颗粒的聚集状态及其变化情况.将该检测技术用于水处理中的絮凝过程的研究,便成为一种非常有效的方法和手段,可适用于高浊度水、低浊度水、工业废水和污泥脱水等多种水质的絮凝过程及其影响因素的研究中,具有广泛的应用前景.这种检测技术可进行流过式连续在线检测,不需要进行清洗和标定,可达到完全免维护的程度,为絮凝过程的研究提供了一种非常独特的方法.

关键词 絮凝;透光脉动;监测技术.

1 检测原理

对于任何分散均匀的悬浮液,一定体积内所含颗粒数目会随着进出该体积的随机扩散而发生变化,这种变化一般认为遵循泊松分布.假设一定体积内的颗粒数目平均值为 N ,则在该体积内颗粒数目为 K 的概率为:

$$P(K) = \exp(-N) \cdot N^K / K! \quad (1)$$

根据泊松分布的性质可知,该体积内颗粒的实际数目在 $N \pm 2\sqrt{N}$ 范围内的概率为 95%,颗粒数的波动程度 \sqrt{N} 占平均颗粒数 N 的比重为 $\sqrt{N}/N = 1/\sqrt{N}$,可见该体积内的平均颗粒数越少,颗粒数的波动越显著;相反地,该体积内的平均颗粒数越多,则颗粒数的波动也越小.

当用一束光线照射流动的悬浮液,则受光照的悬浮液体积内的颗粒数就会遵循上述变化规律,这种变化可通过透过悬浮液的光线强度的变化反映出来.如用光敏传感器将透射光接收,并转换成电信号,就有可能进行分析和处理,得到有效的信息.通过如图 1(a) 所示的装置,可使检测在实际中得以实现.在流动悬浮液两侧分别设置光源和光电检测器,则检测器的输出电流(或电压)值如图 1(b) 所示,可将其看成由二部分组成,一部分是相应于平均透过光强的电压值 C_d ,另一部分是对应于颗粒数随机变化引起的光强波动的脉动值 C_a .将 C_a 部分放大,经过函数计算后,得到相应于反映该脉动信号波动程度的电压值 V_R . V_R 值与 C_d 值的比值 R 就可做为检测的有效输出值.

透射过悬浮液的光强,可根据朗伯-比尔定律得到:

$$I = I_0 \cdot \exp(-L) \quad (2)$$

式中, I ——透射过悬浮液后的光强; I_0 入射光强; L ——透光路径长; ——悬浮液的浑浊度.

对于单一粒径均匀分散的悬浮液,浑浊度可表示为:

$$= nc \quad (3)$$

式中, n ——单位体积悬浮液所含颗粒数目; c ——单个颗粒的散射面积.

第一作者简介:男,33岁,副教授(工学博士)

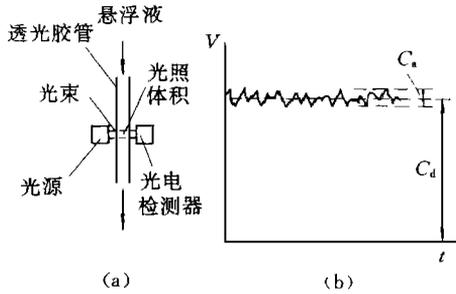


图 1 透光脉动检测原理^[1]

Fig. 1 The principles of the monitoring technique for fluctuation of transmitted light

之差就是 $2V_R$, 则有

$$\begin{aligned} V_R &= V_0 \exp(-Nc/A) \sinh(\sqrt{N} \cdot c/A) \\ &= V \cdot \sinh(\sqrt{N} \cdot c/A) \end{aligned} \quad (6)$$

当悬浮液浊度较高时, 上式中 $\sqrt{N} \cdot c/A$ 项通常远小于 1, 则上式可简化为:

$$V_R = V(\sqrt{N} \cdot c/A) \quad (7)$$

移项后, 将式(4)代入, 可得 R 的表达式^[2]:

$$R = V_R/V = (L/A)^{1/2} \cdot n^{1/2} c \quad (8)$$

对于非均相悬浮液, 设单位体积内散射截面 c 的颗粒数为 n_i 个, 则

$$R = (L/A)^{1/2} \cdot \left(\sum n_i c_i^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

对未絮凝的悬浮液, 一般颗粒粒径很小, 虽然颗粒数量浓度较高, 但对 R 值的贡献较小, 这时 R 值一般都很小. 当发生絮凝时, 悬浮液中的细小颗粒在絮凝剂的作用下聚集成较大的絮凝颗粒, 从而使悬浮液的颗粒数量浓度降低而颗粒散射截面积增大, 由于后者对 R 值的贡献较大, 便使 R 值随絮凝过程的进行明显增大, 即絮凝程度愈大, 生成的絮凝颗粒愈大, R 值也增大的愈多, 所以 R 值可灵敏地反映悬浮液中颗粒絮凝程度的变化. 通过类似的分析可知, R 值亦可评价悬浮液中平均颗粒粒径的相对大小, 而不必知道颗粒的任何光学特性.

2 检测技术

本试验使用的是由北京精密单因子科技有限公司制造的 FP-2000 型絮凝检测仪. 该仪器由信号远程传感器和检测器两部分组成, 可显示和输出 R 值信号, 如适配记录仪可将信号连续地记录下来.

当在实验室研究絮凝过程时, 一般多采用烧杯试验法. 用絮凝检测仪对烧杯中的絮凝过程进行检测(图 2). 试验时, 先将悬浮液装入烧杯内, 开动电机搅拌水样 (120—150r/min), 等悬浮液搅拌均匀后, 用虹吸管将水样引至传感器, 并启动絮凝检测仪和记录仪, 这时可记录下未絮凝时悬浮液的 R 值. 向烧杯内加入一定量的絮凝剂溶液, 继续快速搅拌 1—2min, 使药液与

如果光束的有效截面积为 A , 则光束内平均颗粒数为:

$$N = nAL \quad (4)$$

为便于计算, 将式(2)中 I 和 I_0 转换成相应的电压 V 值和 V_0 , 并将式(3)和式(4)代入, 则有:

$$I/I_0 = V/V_0 = \exp(-Nc/A) \quad (5)$$

此式为指数形式, 不易直接求得 V_R 的准确表达式, 但作一些假设后, 可用 V 值计算的结果近似的代替 V_R 值. 假设条件: (1) 颗粒数变化遵循泊松分布; (2) 光束内的颗粒数在均值上、下一个均方差 (即 $N \pm \sqrt{N}$) 范围内波动. 设 $N + \sqrt{N}$ 与 $N - \sqrt{N}$

水充分混合,然后降低转速至 40—60r/min,再慢速搅拌 5—20min,停止搅拌使水静置沉淀,等水沉淀一定时间后,取液面下的清水,测定水的浊度,从而完成了一次絮凝试验.这时,记录仪可连续地记录下从投药至絮凝反应结束全过程中 R 值的变化.

为获得准确的 R 的检测值,需要烧杯中生成的絮凝体在取样管中不被打碎,为此需要控制取样管中水的流速不得过大,一般以 0.05—0.10m/s 为宜.为此,取样管应尽量短些,以缩短水由取样管口流至传感器的时间,这也是记录仪的滞后时间,应在处理记录资料时注意修正.

需要特别指出的是,这种检测技术有一个重要特性,即其检测值 R 一般不受透光壁面沾污和光电器件老化漂移的影响.这是由于 R 是一个比值,当透光壁面遭到沾污和光电器件老化时,透过光强的变化对平均值(比值的分母)和脉动值(分子)的影响是相同的,故其比值不受影响.实验中将光源强度减小到原强度的数十分之一,这相当于透光壁面受到严重沾污的情况,试验表明 R 的检测值确实不受影响.

用图 2 所示的系统,可以进行絮凝体粒径与 R 值相关性的研究.所用粘土悬浮液浓度为 50mg/L,水的 pH=7.0,絮凝剂为硫酸铝($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$),投药量为 7mg/L.试验从投药混合开始,连续记录 R 值随时间的变化(图 3).由图 3 可见,投药以前 R 值甚小,且没有变化.投药以后, R 开始迅速增大,直到 10min 左右增大趋势减小,并趋向一稳定值.用显微摄影的方法,可以同时测出絮凝颗粒的粒径.由图 3 可见, R 值和絮体粒径的变化趋势是完全一致的,即随着絮凝过程的进行,絮体颗粒随时间不断增大,而 R 值也相应增大,所以 R 值的变化可以反映出悬浮液的絮凝程度.根据图 3 中 R 值的变化情况可知,在该试验条件下,悬浮液的絮凝过程大致在 10min 左右已基本完成,絮体粒径已不再增大.

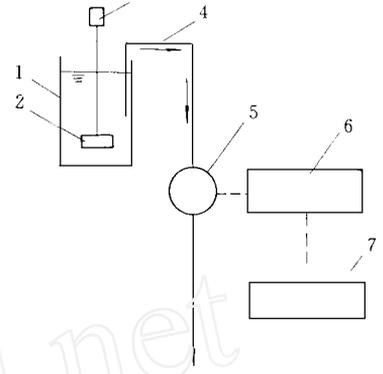


图 2 絮凝检测系统组成

- 1. 烧杯 2. 搅拌叶片 3. 电机 4. 取样管
- 5. 传感器 6. 检测器 7. 记录仪

Fig. 2 The monitoring system for fluctuation of transmitted light for flocculation

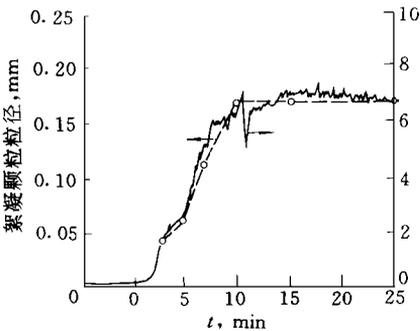


图 3 R 值与絮凝颗粒粒径的关系
Fig. 3 The relationship between R and size of flocculated particles

高浓度悬浮液的絮凝过程非常迅速,从投药到生成大颗粒的絮凝体一般仅数十秒钟时间,在这样短的时间内用常规的检测方法是难于对其絮凝过程进行仔细研究的,而用透光脉动检测技术则可获得比较满意的结果.仍采用图 2 所示的试验装置.对于高浓度悬浮液,一般不易测出其絮凝颗粒的粒径,但易于测定其成层沉淀速度(即浑液面沉速).高浓度悬浮液沉淀时,会形成清晰的清、浑水界面,即浑液面.未经絮凝的高浓度悬浮液的浑液面沉速很小,絮凝后高浓度悬浮液的浑液面沉速会显著增大,这是由于水中细小悬浮颗粒絮凝成较大颗粒的缘故,所以浑液面沉速的变化可以反映出高浓度悬浮液的絮凝程度和絮体颗粒粒径的变化情况.试验用高岭土配制质量浓度为 29400mg/L 的高浓度悬浮液,投加阳离子型有机

高分子絮凝剂(分子量 300 万),投量为 117mg/L,搅拌速度为 120r/min. 试验方法同前. 于试验的某一时刻,停止搅拌,使悬浮液静置沉淀,可测定出该时刻的浑液面沉速. 多次重复上述试验,可测出不同絮凝时刻浑液面的沉速,结果见图 4,与 R 值的变化情况相对照,可以间接地反映出 R 值变化与絮凝颗粒粒径变化的相关性. 由图可见, R 值的变化与高浓度悬浮液絮凝颗粒粒径的变化趋势是一致的,两者相关性良好.

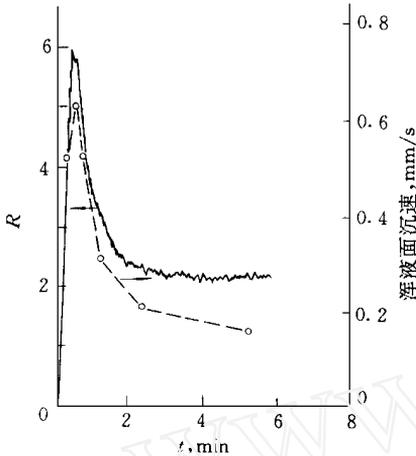


图 4 R 值与浑液面沉速的关系

Fig. 4 The relationship between R and the settling velocity of interface of flocculate suspension

由图 4 中 R 值的变化,可以看出高浓度悬浮液的絮凝过程比较复杂. 在该试验条件下,投药后水中悬浮物的絮凝过程进行得极迅速,絮凝颗粒粒径迅速增大,但达到峰值后又急剧减小,然后趋于一稳定值. 这个峰值的出现,表明高浓度悬浮液絮凝同时存在着聚结和破碎两个过程. 当开始絮凝时,聚结过程占优势,絮体粒径不断增大,但絮体的抗剪切能力随着絮体粒径的增大而减弱,所以随着絮体尺寸的增大,破碎速率逐渐增大;当破碎速率增加到与聚结速率相等时,便出现了峰值;峰值以后,破碎过程占优势,破碎速率大于聚结速率,致使絮体粒径不断减小,直至达到与剪切力相应的颗粒尺寸. 由图可见,峰值出现在絮凝开始后仅约 15s 处,表明高浓度悬浮液的絮凝过程于混合阶段已经开始进行,事实上已无法将混合和絮凝完全区分开来,这就为高浓度悬浮液的水处理工艺提出了一个新的概念,就是应该把混合和絮凝综合起来考虑,特别是应使剧烈的混合过程在峰值出现以前完成,以免形成的絮体

被打碎. 这个试验表明,将透光脉动检测技术用于高浓度悬浮液絮凝过程的研究,无疑是非常有效的.

污泥处置是环境工程中的重要课题. 在污泥调理和脱水过程中,一般需投加高分子絮凝剂以改善污泥的脱水等性能. 迄今,人们常用毛细管抽滤时间(T_{cs})做为指标来评价污泥的脱水性能,但 T_{cs} 只能定时取样测定,测定操作费工费时.

图 5 为用透光脉动检测技术监测明矾污泥脱水的结果,试验装置仍如图 2,只是搅拌为多层叶片. 污泥的固体浓度为 0.5% - 1.0%,絮凝剂为阳离子型有机高分子絮凝剂(分子量为 300 万),投药量为 10mg/L,搅拌转速 700r/min. 由图 5 可见,随污泥絮凝时间延续, R 值先迅速增大后趋于平稳,而絮凝污泥的 T_{cs} 值则先迅速减小然后趋于平稳,可见两者之间存在着良好的相关性. 所以,也可用 R 值作为指标来进行污泥脱水性能的研究.

试验表明,透光脉动检测技术可用于悬浮固体含量高达 100000mg/L 的悬浮液絮凝过程的检测,且不受水质和絮凝剂种类的影响,所以有广阔的应用前景.

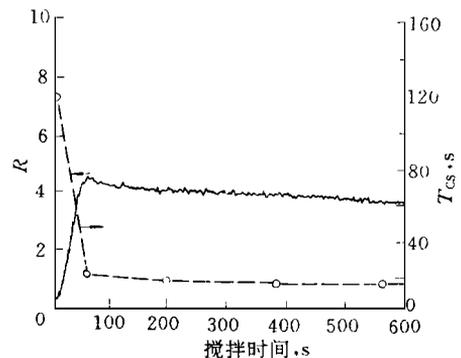


图 5 R 值与污泥 T_{cs} 值的关系

Fig. 5 The relationship between R and T_{cs} of flocculate sludge

3 结语

透光脉动检测技术,可以连续地检测出絮凝过程的情况,可以用来对絮凝的全过程进行精细的研究,是一种研究絮凝过程的新方法,特别是在用常规方法难于对絮凝的某些特性进行研究时,它便显得更为有效.该技术简便快捷,与其他采样测定的方法相比,可以大大减少试验的工作量.这种技术的信号输出,几乎与絮凝过程同步,可以在试验过程中立即了解到絮凝过程的变化情况,这个特点对研究者非常可贵.该技术的检测值 R ,不受透光壁面沾污和光电器件老化漂移的影响,从而使其具有广阔的应用前景.由于透光脉动检测技术采用了过流式的检测方法,所以不仅可用于静态絮凝试验的检测,并且也可用于水处理设备中絮凝情况的在线连续检测,所以它也是一种对絮凝过程的在线控制方法,这方面的研究成果将另文论述.

参 考 文 献

- 1 Gregory J, Nelson D W. In: Gregory J (ed). A New Optical Method for Flocculation Monitoring Solid-Liquid Separation. Chichester, UK: Ellis Horwood, 1984: 172 - 182
- 2 Gregory J. Journal of Colloid and Interface Science, 1985, 105 (2) : 357 — 371

1995-12-13 收到

A NEW APPROACH FOR FLOCCULATION PROCESS THE MONITORING TECHNIQUE OF FLUCTUATION OF TRANSMITTED LIGHT

Li Xing, Li Hong, Li Guibai

(Institute of Civil and Environmental Engineering, Harbin University of Architectural and Engineering, Harbin 150008)

ABSTRACT A new photoelectric monitoring method, the monitoring technique of fluctuation of transmitted light, is introduced. It is based on the characteristic of random variations in composition of the suspended particles. The aggregating state and its detailed flocculating procedure of particles in suspensions can be analyzed and monitored continuously. It can be used to study the flocculation processes and their influence factors in the water treatment field, such as high turbidity or low turbidity water, industrial wastewater and sludge dewatering. The on-line monitor operates continuously in a flow-through mode and shows the complete processes of flocculation in considerable detail. Especially, the output of the monitor remains unaffected by fouling of optical surfaces or electronic drift of electrical elements. There is no need to clean up the sampling tube or calibrate the output during the operation.

Key words Flocculation, fluctuation of transmitted light, monitoring technique.