

悬浮液透光率脉动检测原理

李 星

李 虹

李圭白

(哈尔滨建筑大学) (秦皇岛环境管理干部学院) (哈尔滨建筑大学)

摘 要 本文介绍了一种全新的光电检测法——透光率脉动检测技术。它利用悬浮液中颗粒组成的随机脉动特性,分析和检测颗粒的聚集状态及其变化过程。该检测技术可进行流过式连续在线检测,特别是其有效检测值为一个比值,不受透光壁粘污和电子漂移的影响,不需进行清洗和标定,极大地方便和简化了使用程序,这是该技术的一个突出优点。其非直接接触的光透射式的特点,使得多种复杂水质的检测成为可能,是其它类似检测技术难以做到的。

关键词 悬浮物;透光率脉动;混凝

分类号 TU991.22

混凝过程广泛用于多种工业领域的固液分离过程,尤其是水处理工艺中,经常需对混凝前后悬浮液的某些特性进行测定。现在普遍使用的检测方法中,大多数是间接地测定混凝程度,且仅能反映混凝过程的某些特性,得到的结果很可能有一定偏差。最直接的检测方法就是测定悬浮液颗粒粒径的变化情况。现在常用的颗粒计数检测技术,不仅相当耗费时间,而且不能连续在线检测。下面介绍的透光率脉动检测技术,能快速在线连续检测出水中颗粒粒径的相对尺寸及变化情况,是 80 年代末发展起来的一项新检测方法。

1 浓度的脉动及其检测

任何混合良好的悬浮液中,在组成上都有随机变化,其变化规律遵循泊松分布,如果悬浮液是连续流动的,并且每次被检测的体积相同,则该体积内的颗粒数目由于同样原因也随机变化,且遵循泊松分布。通过如下的装置可使检测在实际中得以实施。在一个流过悬浮液的管形器皿两侧,分别放置光源和检测器,使光线透射过悬浮液,照射到检测器上,如图 1 所示。如光路在悬浮液中的长度为 L ,光束的有效截面积为 A ,颗粒数量浓度为 N ,单个颗粒散射截面积为 C ,则检测到的水样体积为 AL ,光束内平均颗粒数为 $\nu = NAL$ 。由朗伯-比尔定律及均相悬浮液浊度 $\tau = NC$,得:

$$\bar{I}/I_0 = \bar{V}/V_0 = \exp(-\nu C/A) \quad (1)$$

收稿日期:1996-06-07

李 星 男 副教授/哈尔滨建筑大学市政环境工程学院 (150008)

国家自然科学基金资助项目

式中: $\bar{I}$ 、 $\bar{V}$ 为通过长度为 L 的悬浮液的透射光强度与相应的电压值; I_0, V_0 为入射光强度与相应的电压值;

这样就使得悬浮液中颗粒浓度的脉动检测, 通过光电检测器转换成电信号的脉动检测。从光电检测器输出的信号通常有一部分是直流 (dc) 成份, 其相应于平均透射光强, I_0 另一部分是非常小的脉动 (ac) 成份, 由悬浮液中颗粒随机变化而来。ac 成份可能非常小, 但很容易分离出来, 分离出的脉动信号就能进行放大和分析了。

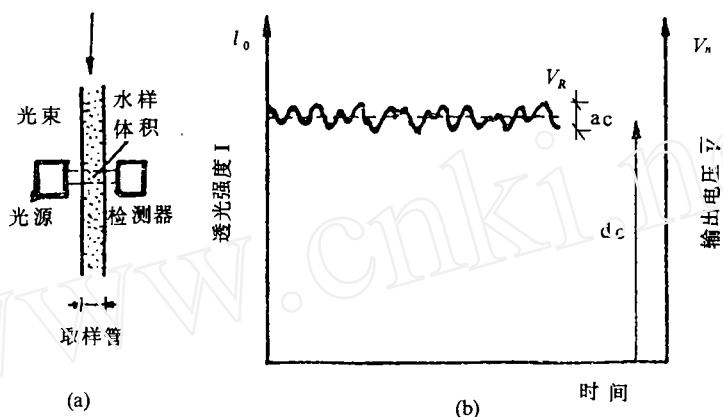


图1 透光率脉动检测原理示意图^[1]

2 有效脉动信号值

对于颗粒粒径单一的均相悬浮液, 有价值的信息可从脉动信号中得到, 如假设脉动规律遵循泊松分布, 则一般可用平均电压值 $\bar{V}$ 的标准偏差 V_R 值来反映实际颗粒数相对于平均颗粒数的脉动情况。方程(1)是指数形式, 不易得到准确的 V_R 表达式, 但是如假设光束中颗粒数高于或低于均值一个标准偏差值时 (即 $v \pm v^{1/2}$), 通过计算颗粒数目上限和下限对应的平均电压值 $\bar{V}_{\max}$ 和 $\bar{V}_{\min}$ 值之差, 就可得到可接受的近似值。这两个值的差别就假设为 2 倍的电压脉动的标准偏差值, $2V_R$, 得到:

$$V_R = V_0 \exp(-vC/A) \sinh(v^{1/2}C/A) = \bar{V} \sinh(v^{1/2}C/A) \quad (2)$$

对于一般悬浮液, $v^{1/2}C/A$ 项远小于 1, 则方程(2)简化为:

$$V_R = V_0 [\exp(-vC/A)] (v^{1/2}C/A) = \bar{V} (v^{1/2}C/A) \quad (3)$$

如果方程(3)用颗粒数量浓度 $N(=v/AL)$ 来表示, 则:

$$V_R = V_0 [\exp(-NCL)] (NL/A)^{1/2} C = \bar{V} (NL/A)^{1/2} C \quad (4)$$

一般 V_R 和 $\bar{V}$ 可测得, 他们的比值 R 可从方程(4)中得到:

$$R = V_R / \bar{V} = (NL/A)^{1/2} C \quad (5)$$

式(5)的形式表明, R 值仅与颗粒浓度和光散射特性以及检测仪器的构造有关。由

于检测仪器电子元器件的老化和电子漂移及透射光线因器皿表面的粘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, 而它们的比值 R 则消除了该影响, 从而避免了许多光学仪器存在的因电子漂移和检测器表面粘污对检测结果造成的严重影响。这是该检测方法区别于其它检测方法的一种独特的性质, 因此以后的讨论主要以 R 值为根据而不是 V_R 值。

实际中绝大多数悬浮液都有一定的粒径分布, 甚至一种最初是单一组成的悬浮液, 在混凝后也会成为有粒径分布的非均相分散系, 所以这部分的讨论更有实用价值, 与真实的体系非常相似。此时公式 (5) 可由下式代替^[2]:

$$R = V_R / \bar{V} = (L/A)^{1/2} (\sum N_i C_i^2)^{1/2} \quad (6)$$

式中: N_i 和 C_i 分别表示第 i 种颗粒的数量浓度和散射截面积; 求和是考虑各种粒径的颗粒的综合影响。

从式 (6) 中可看出, 较小粒径的颗粒, 其散射截面较小, 相应的 NC^2 值也较小 (尽管有时其颗粒浓度相对较大); 而较大颗粒的光散射截面相对较大, 即使其颗粒浓度较低, 但仍能得到较大的 NC^2 值, 对 R 值的贡献相对要大些, 所以式 (6) 中 R 值的结果主要由大颗粒的多少决定。在未混凝的悬浮液中, 大量小粒径的颗粒并不能使 R 值增长, 一般 R 值均较低; 当该悬浮液中有少量大颗粒或发生混凝时, 则大颗粒的存在或形成使得 R 值显著增加, 因此, R 值可作为混凝程度的有效检测指标。

当颗粒粒径为连续分布时, 式 (6) 中的 $\sum N_i C_i^2$ 项可用积分代替。假设颗粒粒径分布函数 $f(a)$ 为已知的形式, 则比值 R 可表示如下:

$$R = V_R / \bar{V} = (N_T L/A)^{1/2} \pi \int_0^\infty a^4 f(a) Q^2(a) da^{1/2} \quad (7)$$

式中: N_T 为单位体积内颗粒总数; $Q(a)$ 为半径为 a 的颗粒散射系数

为说明非均相性的影响, 可假设一个对数正态分布函数来表示 $f(a)$:

$$f(a) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} S a} \times \exp[-(\ln a - \ln a_m)^2 / 2S^2] \quad (8)$$

式中: a_m 为颗粒的几何平均半径; S 为 $\ln a$ 的标准偏差。

经过一定的假设和计算, 就能得到不同颗粒粒径分布 (不同标准偏差) 条件下, R 值随颗粒粒径增长的变化情况, 算出的结果见图 2。对三种不同的对数标准偏差 S 值, $S=0.1$ 时颗粒粒径分布相当狭窄接近单一粒径分布, R 值曲线呈波动增长的趋势, 但当粒径增加时, 波动程度明显减小, 在大于 $10\mu\text{m}$ 粒径时, R 值曲线已基本呈稳定形式增加。在 $S=0.3$ 时, R 值仅在初始的小粒径范围内略有波动, 之后便随着粒径的递增而平稳地增长。当 $S=0.5$ 时, R 值基本上都以非常平滑的趋势增加。

在实际分散系统中, 颗粒粒径的分布范围一般都较大, 对应的 S 值也较大, R 值曲线应呈较平稳的趋势增长。尽管有些悬浮液在混凝前颗粒粒分布相对较狭窄, 但在混凝过程中, 颗粒粒径分布可变得相当广, 而且形径成的絮凝体粒径都较大, 一般可达几十微米

至几个毫米,因此绝大多数悬浮液在进行混凝检测时, R 值均能很好地反映出颗粒粒径的变化状况,可以认为 R 值随颗粒粒径的递增而呈平滑稳定的增长趋势,可作为絮凝程度有效检测指标。

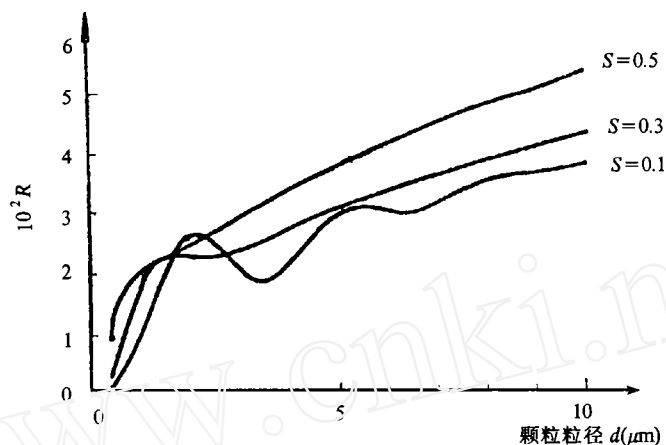


图2 不同标准偏差值与 R 值的关系^[4]

3 结论

由于透光率脉动检测技术能对悬浮液中颗粒尺寸及其变化进行在线连续检测,检测值不受透光壁面粘污及电子元件漂移的影响,并且具有非直接接触光透射式的特点,所以有可能用于各种复杂水质的颗粒聚集状态的检测、分析、研究和过程控制,有广阔应用前景。

参 考 文 献

- 1 Gregory, J. and Nelson, D.W., . A New Optical Method for Flocculation Monitoring .in Solid-Liquid Separation, Ellis Horwood, Chichester, 1984
- 2 Gregory, J. and Nelson, D.W., . Monitoring of Aggregates in Flowing Suspensions, Colloids Surfaces, 18, 1986
- 3 Ditter, W., Eisenlauer, J. and Horn, D., Laser Optical Method for Dynamic Flocculation Testing in Flowing Dispersions , in The Effect of Polymers on Dispersion Properties, Academic Press, London, 1982
- 4 Gregory, J., A Sensitive Particle Monitor with Simple Optics, Proceedings of the Second Symposium on Particles in Gases and Liquids, New York, 1989

Fundamentals of the Monitoring Technique of Transmitted Light Fluctuation in Suspensions

Li Xing Li Hong Li Guibai

Abstract Fully new photoelectric method for monitoring the fluctuation of transmitted light is introduced in this article. It is based on the characteristic of random variations in composition of suspended particles in suspensions. The state and the detailed process of particle coagulation can be analysed and monitored by this method. The on-line monitor can be operated continuously in a flow-through mode. It will become a very effective method for research work. In particular, the output of monitor is a specific value, which remains unaffected by fouling of optical surfaces or electronic drift of electrical elements, and there is no need to clean up the sampling tube or calibrate the output during operation. This makes the monitoring process quite simple and convenient, and becomes an outstanding advantage of the technique. The characteristic of its indirect contact and light-transmitted manner makes it possible to monitor the process of particle coagulation in different water with various complex water qualities. This provides a unique monitoring technique for the research of coagulation process.

Key words suspended material; fluctuation of transmitted light; coagulation