



悬浊液透光脉动颗粒在线检测技术及其应用——透光脉动颗粒检测技术的应用

于水利, 李星, 李圭白

(哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 将透光脉动颗粒检测装置用于监测和控制混凝过程, 结果表明, 检测值 R 可以很好地反映一般浊度水混凝过程中悬浊颗粒聚集状态的变化情况, 与显微摄影法测得的结果相吻合。检测值 R 与浑液面沉降一样可作为高浊度水絮凝研究的指标, 而 R 值的检测较浑液面检测简便、快速并可“联机”操作。以 R 值为控制参数的高浊度水絮凝投药反馈控制系统的控制精度高、实时性强, 控制性能好。

关键词: 水处理; 悬浊颗粒检测装置; 悬浊液; 监测; 混凝控制

前言

水处理中混凝的目的是为了使浊质颗粒凝集成粗大、密实的絮凝体, 以实现固液分离, 所以通过透光脉动悬浊颗粒检测装置检测絮凝体粒径判定混凝效果的好坏是最直接、最可靠的。尤其是悬浊颗粒检测装置可以实现在线连续测量, 故其特别适合用于水处理中混凝过程的在线监测和实时控制。

本文拟使用研制的透光脉动悬浊颗粒检测装置^[1], 对各种原水在不同混凝条件下的混凝过程进行监测, 考察混凝过程中悬浊颗粒聚集状态(悬浊颗粒粒径)的变化情况。由于该装置的检测值 R ($R=V_R/V$) 不受取样管管壁污染及电子元件漂移的影响, 所以研究中以 R 值作为检测指标。

1 一般浊度水混凝过程的监测

一般浊度水混凝过程的监测是在实验室进行的, 原水是用高岭土和哈尔滨市自来水按标准方法配制而成的, 原水浊度 45NTU, 水温 $12\sim 13.5^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7.2$ 。混凝剂用硫酸铝, 投量 12mg/L 。混凝时先快速搅拌(150r/min , $G=106\text{s}^{-1}$) 5min, 然后再慢速搅拌(48r/min , $G=23\text{s}^{-1}$) 25min。用透光脉动悬浊颗粒检测装置监测的同时, 还使用了显微摄影装置并行地对混凝过程中絮凝颗粒的平均粒径进行检测。图 1 是监测结果^[2]。

$$\bar{a} = \left[\frac{3S_v LA}{4\pi} \left[\frac{V_R/V}{\ln(V_0/V)} \right] \right]^{1/3} \quad (1)$$

$$\bar{a} = \left[\frac{3S_v LA}{4\pi} \left[\frac{V_R/V}{\ln(V_0/V)} \right] \frac{\int_0^\infty a^4 f(a) Q(a) da}{\int_0^\infty a^3 f(a) Q(a) da} \right]^{1/3} \quad (2)$$

图 1 的结果表明, 透光脉动悬浊颗粒检测装置和显微摄影装置测得的絮凝颗粒的平均粒径有很好的致性。随着混凝的进行, 显微摄影装置测得的平均粒径逐渐增大, 最后基本稳定在 $220\mu\text{m}$ 左右。相应地 R 值也随着混凝的进行逐渐增大, 最后稳定在 3.1 左右。平均粒径达到最大值时, R 值也达到最大值。但 R 值的测量却比显微摄影法简便、快捷, 同时还可以在线连续操作。

2 高浊度水絮凝过程监控^[3]

2.1 高浊度水絮凝研究

高浊度水絮凝研究，过去都是以浑液面沉速为指标进行的，即以浑液面沉速代表絮凝体沉速。但是，高浊度水浑液面沉速测定复杂，特别是当高浊度水含沙量较低时，浑液面模糊不清，准确测定困难。本研究拟用透光脉动悬浊颗粒检测装置对高浊度水絮凝过程进行在线监测，图2是监测结果。

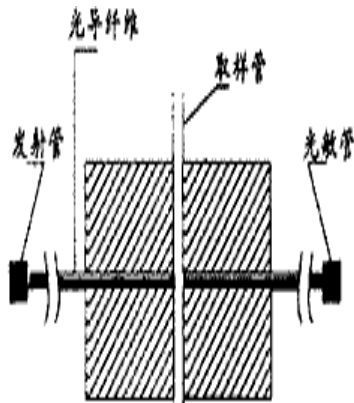


图1 传感器的一般构成

图2中，实验原水含沙量 100kg/m^3 ，水温 13.5°C ，絮凝剂为聚丙烯酰胺(PAM)，投加浓度 0.1% (SW/LW)，投量 7.3mg/L ，搅拌采用 100r/min 的固定速度。

图2中，加药前R值较小 ($R_0=0.87\text{V}$)。加药后约5s检测值R即开始增大，之后迅速增大，加药后约15s达到最大值 ($R_{\text{max}}=4.6\text{V}$ ， R_{max} 是 R_0 的5倍)。达到最大值以后，随着搅拌的不断进行，R值越来越小，最后R值基本稳定在1.5左右。以上结果表明，R值对高浊度水中悬浊颗粒聚集状态变化的反映是相当灵敏的。为了进一步说明悬浊颗粒检测装置对高浊度水絮凝过程在线监测的可靠性，对R值与浑液面沉速的相关性进行考察，结果如图3。

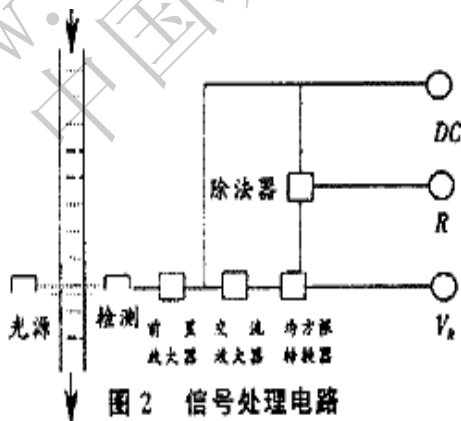


图2 信号处理电路

图3表明，R值与浑液面沉速具有良好的相关关系，特别是当含沙量一定时，其相关性更好，相关系数为 $0.975-0.998$ 。欲定量地建立R值与浑液面沉速的关系，需综合考虑原水含沙量、水温等因素。



图 4 是在投药量不同时（图 4(a)，(b)）和投药浓度不同时（图 4(c)，(d)），高浊度水絮凝过程中 R 值的在线检测情况。

图 4 中的(a)、(b)是含沙量分别为 34kg/m^3 和 9.7kg/m^3 的高浊度水不同投药量时，R 值的变化情况。图中随投药量增大 R 值增大，R 值清楚地指示出投药量对高浊度水絮凝程度的影响。图 4 中的(c)、(d)是含沙量分别为 45.2kg/m^3 和 8.5kg/m^3 的高浊度水不同投药浓度时，R 值的变化情况。由图可见，投药浓度对 R 值的影响，与含沙量有关，含沙量高，影响程度增大，这时投药浓度越小，R 值越大；反之，R 值越小。当含沙量较小时，投药浓度对 R 值的影响程度减弱，只有当投药浓度很高时，其对 R 值的影响才较显著。

以上的监测结果与已有的理论和研究成果相吻合，说明悬浊颗粒检测装置对高浊度水絮凝过程的在线监测是有效、可靠的，R 值与浑液面沉速具有良好的相关关系，都可以很好地反映高浊度水的絮凝程度，是高浊度水絮凝研究的新的指标，而 R 值的检测比浑液面沉速的检测简便、快速、可在线连续操作。

2.2 高浊度水絮凝投药控制

高浊度水投药量自动控制，目前国内外研究的思路都是通过建立投药量的数学模型，并对数学模型中的各个参数进行在线检测，实现投药量的前馈控制。因此国内外长期以来研究的重点始终是围绕如何建立高精度的数学模型及实现数学模型中水质参数的在线连续检测。但由于高浊度水的絮凝复杂，影响因素众多，甚至有的因素至今尚不清楚，故建立的数学模型难以包含全部影响投药量的因素，使数学模型的精度不高。另外数学模型法需要检测的参数多，检测仪表数量大，控制系统组成复杂，特别是有些水质参数（如含沙量、泥沙颗粒级配等）的在线连续检测本身就是有待突破的技术，故使该研究始终难以取得进展。而悬浊颗粒检测装置可以在线连续检测絮凝体粒径大小，并且其检测值 R 与浑液面沉速具有良好的相关关系，故以该絮凝体粒径检测装置为基础，建立高浊度水投药量反馈自动控制系统是可行的。特别是高浊度水絮凝反应速度快、时间短（十几秒或几十秒），系统反馈控制的时滞小、实时性强，控制性能好。

图 5 是以悬浊颗粒粒径检测为基础的高浊度水投药量反馈控制系统工艺图。

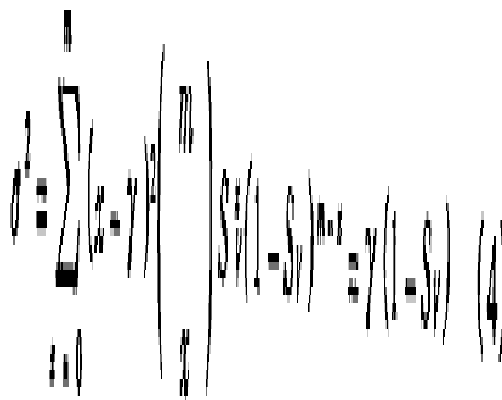


图 5 中悬浊颗粒检测装置在线连续检测加药絮凝反应后的高浊度水的 R 值，并输入计算机。计算机定时采集信号并与事先设定的给定值 S_R 进行比较、判断，若检测值 R 在给定值 S_R 的一定范围内，说明系统运行正常；反之，计算机则按一定的控制算法通过执行机构（阀门或调频器）调整投药量，直到 R 在给定值 S_R 的一定范围内为止。高浊度水投药量反馈控制系统存在一个“最优给定值 S_R ”，控制系统若按“最优给定值 S_R ”控制，则其既能保证水处理系统安全、稳定地运行，药耗又最少。

图 6 是该系统实验室模型实验的两次典型实验结果记录。

图 6(a)是模型实验控制系统对水量变化的调节情况。系统的最大进水流量 37mL/s，最小流量 8mL/s，平均流量 21mL/s。实验时原水含沙量为 30kg/m³，水温 11.5℃。图 6(b)是模型实验控制系统对含沙量变化的调节情况。图 6(b)中含沙量的最大变化范围为 5—45kg/m³，最小变化范围为 28—33.2kg/m³。实验时进水流量及其他条件保持不变。

图 6 中的实验结果表明，控制系统对进水流量及原水含沙量的变化响应很快，只作一、二次调节（调节时间 2—5min），即可将 R 值调节到给定值（ $S_R=3V$ ）的一定范围（ $\pm 0.15V$ ）内，平均稳态误差 2%—3%。



图 7 是该系统在济南市黄河一水厂应用期间系统控制过程的一次典型记录。

图 7 中最高含沙量为 32kg/m^3 ，最低含沙量为 12kg/m^3 ，最大变幅为 20kg/m^3 。最大进水流量 $4350\text{m}^3/\text{h}$ ，最小进水流量 $3030\text{m}^3/\text{h}$ ，最大变幅为 $1320\text{m}^3/\text{h}$ 。图中 R 值变化曲线随含沙量、水量的变化虽有波动，但始终可以紧紧跟踪给定值 S_R ($S_R=2.5$)，系统运行很稳定，平均稳态误差为 3%，满足过程控制的误差要求。并且出水水质的合格率始终为 100%，较人工投药节省药耗约 30%—40%，受到用户的好评。其意义不仅在于可节省药剂费，减少甚至取消现场值班人员，更主要的是由于控制系统能按原水水质变化实时地调整投药量，使高浊度水投药量始终处于最佳范围，从而使出水水质有了可靠的保证，能全天候地生产合格水。并且合适的投药量又不致使出水中残余药剂（如丙烯酰胺单体）含量过高，危害健康。

高浊度水絮凝体粒径检测投药量反馈控制技术与其它技术诸如数学模型法相比，只检测絮凝体粒径一个参数，系统组成简单、控制的精度高、便于实现。

3 污泥调节控制

悬浊颗粒粒径检测装置可以直接快速测定污泥颗粒的絮凝程度，并且污泥絮凝反应的速度快，絮凝体粒径相对较大（1mm 或更大），故该装置很适合用于污泥化学调理中的监测及其反馈控制。Kagode 等^[4]对英国 North Surrey 自来水公司水厂的排泥用阴离子型聚丙烯酰胺进行处理，用悬浊颗粒检测装置和毛细管吸入时间（CST）同时监测处理过程，结果表明，悬浊颗粒检测装置与毛细管吸入时间一样可以反映污泥的脱水性能，而前者可以实现在线“联机”检测，很容易组成投药量反馈控制系统，是一种非常理想的污泥预处理投药监控装置。另外，该装置还可以用于含油废水、洗尘废水等混凝处理的投药量监控系统中。

4 结论

透光脉动悬浊颗粒检测装置的检测值 R 可以准确地检测出悬浊颗粒平均粒径的变化情况，可用于监测水处理中的混凝过程和混凝

研究。特别对于像高浊度水絮凝和污泥化学调理中，由于其反应的速度快，反应时间短，用透光脉动悬浊颗粒检测装置“联机”监测，并反馈控制其絮凝过程的实时性强，控制效果好。该装置还可以用于含油废水等污染严重水的混凝监控。

参考文献：

- [1] 于水利，李圭白，田永平．悬浊液透光脉动颗粒在线检测技术及其应用（续 2）[J]．工业用水与废水，2001，32(2)：1—3．
- [2] 于水利，孙凤鸣，李圭白．一般浊度水混过程的在线监测[J]．工业用水与废水，1999，30(3)：10—12．



[3]于水利, 李圭白《高浊度水絮凝投药控制》[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1997.

[4]Kayode T O, Gregory J. A New Technique for monitoring alumsludge conditions[J]. Wat Res, 1988, 22(1): 8.

<http://www.chinacitywater.org>
中国城镇水网