

悬浊液透光脉动颗粒在线检测技术及其应用（二）

于水利, 李圭白, 田永平

(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: 根据悬浊液透光脉动原理及透光脉动颗粒检测理论, 对反映悬浊颗粒粒径大小的透光脉动值 VR 或 R 的检测技术进行了深入研究, 研制出了一套可实现在线连续检测的悬浊液透光脉动颗粒检测装置, 适用于混凝过程的实时监测和控制。

关键词: 混凝; 悬浊颗粒; 透光率脉动值; 信号处理; 在线检测

前言

《悬浊液透光脉动在线检测技术及其应用(续1)》从理论上推导出了悬浊液透光率脉动值的解析式[1], 指出悬浊液透光率脉动值 VR 或 R ($R=VR/V$) 主要与悬浊颗粒大小有关, 颗粒个数浓度对 VR 或 R 的影响较小, 给出了单一粒径组成和具有一定粒径分布的悬浊液, 由透光率脉动值计算悬浊颗粒平均粒径的公式(如式(1)、式(2)所示):

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

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

a——悬浊颗粒等体积球半径;

s——颗粒的体积浓度;

L——光路长;

A——光柱的有效面积;

VR——与透光强度脉动值相对应的电压脉动值的均方根;

V₀——相应于入射光强度的电压;

V——相应于平均透光强度的电压(直流电压);

f(a)——粒径分布函数;

Q(a)——颗粒光散射系数。

式(2)中, 当悬浊颗粒的体积浓度、光路长、光柱的有效面积以及粒径分布函数 f(a) 一定, 如果能够测出悬浊液透光脉动值相对应的电压脉动值的均方根 VR 和平均透光强度对应的电压 V, 则可定量求出悬浊液中悬浊颗粒的平均粒径(Q可根据 Mie 理论计算)。因此, VR 和 V 的可靠检测是悬浊颗粒检测的关键。

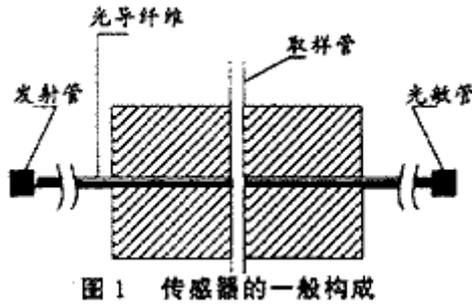
本文按悬浊液透光脉动理论, 采用现代先进的电子技术, 就悬浊液透光脉动值的灵敏、可靠、快速、在线连续检测技术进行研究。

1 透光脉动颗粒检测装置的总体结构

透光脉动颗粒检测装置由传感器和信号处理电路组成^[2]。传感器和信号处理电路制成一体, 以便操作和维护。测定值 R (VR/V)、VR、V 既可以在数码显示器(LED)上显示(通过按键切换), 也可以通过输出端子输出(输出信号为模拟电压信号或电流信号), 通过接口与计算机等连接, 以实现上述参数的在线检测。

1.1 传感器

传感器的一般构成如图 1 所示。



传感器实质上就是水样操作部分。本研究将一明的、一定直径的塑料管固定在设计好的光路中。光源采用红外发光二极管，透过光由光敏二极管接受。为了防止工业现场磁场的干扰，发射管和接受管安装在仪器的信号处理电路内，靠光导纤维进行光的传导。

采用的发光二极管，发光强度高、运行稳定、噪声低、发射角小、发射的波长范围窄。考虑激光发射管的成本相对较高，本研究没有采用。

光敏二极管考虑采用精度高、噪声低、接受的光波波长能与发光二极管相匹配的产品。

取样管采用透明的塑料管制成，根据需要可以选用多种管径以适应不同水质及检测精度、灵敏度等的要求。例如：检测低浊度水时，可选用直径较小的取样管，而检测高浊度水或污泥时则可选用较粗直径的取样管。

传感器的型式：实验用的，设计成较简单、易于更更换取样管、便于拆装的型式；用于生产的设计成固定式的，即所有结构都固化成一个整体，便于生产应用。对于应用领域的不同，传感器还设计出了具有防水、抗压、防爆和防寒等不同功能和作用，可根据需要选用。

1.2 信号处理电路

信号处理电路系统，主要由红外发射管、接受管光对，光源恒压电路，直流放大器，交流放大器，限幅电路，滤波器，交流藕联器，均方根转换器及比率运算电路等构成。

光源恒压电路的作用是保证红外发光二极管发出恒定强度的红外光，以提高检测的可靠性。

直流放大器采用普通的运算放大器（如：OP07等），对变动的电信号作全体放大。

交流藕联器由电容及其附件构成。滤波器是由 TL071 作成 T 型有源低通滤波器。

其作用是消除高频信号。

交流放大器使用两个运算放大器制成增益可调的二级交流放大器。

限幅电路的作用是当交流信号值超过前 5 秒钟平均值的 2.5 倍时，利用该信号控制电子开关使其不能通过，因此该大值信号就不能参与后置电路的处理运算，从而达到清除异常信号（例如：水样中的气泡、特大沙粒产生的大信号）对检测装置测量的影响。

均方根转换器由对脉动电压进行均方根运算的电路构成。也可使用专用的电子元器件。

比率运算使用了专用的除法器。

信号处理电路框图见图 2。

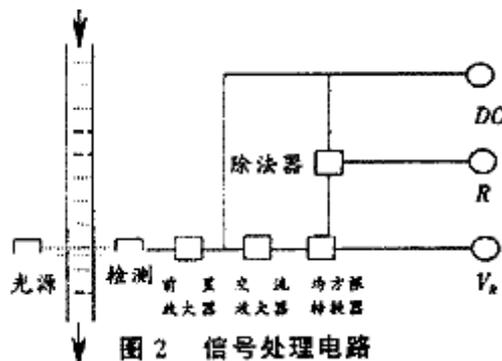




图 2 的信号处理电路中，光敏二极管接受的是变化的透过光强度，因此由光敏二极管检测输出的电信号也是变化的，它包括两个分量：一是直流分量（对应于平均透光强度），二是交流分量（对应于透光强度的脉动值）。信号处理电路首先将光敏二极管经光电转换得到的变化的电信号全部放大，然后用交流耦联器将其分为两路，一路是直流成份，一路是交流成份。直流成份经滤波后直接输出（DC 值）；交流成份经二次放大后，对其求有效值——均方根，该值即为装置的另一个输出（VR）；将交流成份的有效值（脉动值的均方根 VR）与直流成份出 C 或 V）的比值（用 R 表示）作为该装置另一个有用的输出。

2 主要技术参数

2.1 分辨率

透光脉动颗粒检测装置可以检测的最小平均粒径，由对应于透光强度的脉动成份的 VR 的检测下限和噪声电压 VN 决定。现代的检测技术 VR 的检测下限一般都很小。所以对检测的最小平均粒径起决定作用的是 VN。因此，对于单一粒径组成的悬浊颗粒，可检出的最小平均粒径 amin 可根据 VN 按式 (a) 计算[2,3]；

$$a_{\min} = \left\{ \frac{3S_v LA}{4\pi} \left[\frac{V_N/V}{\ln(V_0/V)} \right]^2 \right\}^{1/3} \quad (3)$$

式中：amin—透光脉动颗粒检测装置可检测的最小平均体积粒径；

V_N——透光脉动颗粒检测装置的噪声电压。

该装置可检测的最大粒径为可完全进入光路内的颗粒。但当颗粒大小接近检测装置可检测的最大粒径时，则应该考虑颗粒在通过光路时，是整个颗粒挡光还是颗粒的一部分挡光引起透光强度的波动，并且悬浊颗粒越大，此问题越突出，这时得到的透光强度的波动值要比按泊松分布计算得到的值小。

2.2 检测的浓度范围

悬浊液透光脉动原理及透光脉动颗粒检测理论是建立在流动单元悬浊液内颗粒数目的随机变化服从泊松分布的基础上，即光路内颗粒的平均数量γ与方差σ²相等。但是，当颗粒浓度增大时，由于颗粒自身的体积效应，光路内的颗粒个数被限制，这时颗粒个数的随机变化不再是泊松分布，而是服从二项式分布。二项式分布的方差近似表达式为：

$$\sigma^2 = \sum_{x=0}^m (x - \gamma)^2 \binom{m}{x} S_v^x (1 - S_v)^{m-x} = \gamma (1 - S_v) \quad (4)$$

式中：S_v——悬浊颗粒的体积浓度；

m——光路内可能的最大颗粒数目。

由式 (4) 可见，如果悬浊液中悬浊颗粒的体积浓度SV增大，则σ²≈γ的近似不成立，这时得到的透光率脉动值比按泊松分布计算的理论值小。

实际应用中，对悬浊颗粒浓度上限的要求一般视其透光情况而定，当悬浊液透光强度的脉动成份远小于平均透光强度小，均可以按上述技术理论评价和检测悬浊颗粒粒径。实验室检测结果表明，该装置对杂质含量达 100kg / m³ 的悬浊液仍可以有效检测^[3, 4]。

对悬浊颗粒浓度下限的要求，一般根据悬浊液透光强度脉动成份的大小情况而定。当脉动成分很小时，可通过改变取样管的直径来增大脉动值，但是取样管的最大直径一般不能超过 7cm（若采用激光光源，则取样管的直径可适当增大）。

2.3 适应的环境温度

就检测装置各构成部分对环境温度适应性的研究表明，该装置适应的环境温度为 0—80℃。

2.4 信号频率范围

适用的信号频率范围：6Hz—2000Hz。



2.5 输出信号

输出的电压信号：0—10V。
或电流信号：4mA—20mA。

2.6 直流增益

直流增益范围：1—10 倍。

2.7 交流增益

交流增益范围：5—500 倍。

3 结论

悬浊液透光脉动原理及透光脉动悬浊颗粒检测理论中的重要参数——透光率脉动值，通过光电转换和信号处理，可以精确地检测出来，从而求出悬浊颗粒的平均粒径。由此，成功地研制出透光脉动检测法悬浊颗粒检测装置，该装置对悬浊颗粒检测的精度高，检测的浊度范围广，可靠性好，可以实现在线连续测量，便于“联机”操作，测量操作简便、快速，特别适用于混凝过程的实时监测和控制，是一种很理想的悬浊颗粒粒径检测技术，有广泛的应用前景。

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1）[J].工业用水与废水，2001，32（1）：1—5.
- [2] 于水利，李圭白.高法度水絮凝投药控制[M].大连：大连理工大学出版社，1997.
- [3] 于水利，李 R，李圭白.悬浊液透光率脉动值检测法[J].中国给水排水，1997，13（2）：23—25
- [4] 于水利、颗粒检测技术及其在混凝监控中的应用[A].中日环境问题学术研讨会——净化技术与水环境管理论文集[C].中国天津，1999.