

水体中颗粒物主要检测方法综述

梁华炎

(茂名市环境保护监测站, 广东 茂名 525000)

[摘要]水中颗粒物主要用浊度指标表示,是衡量水体质量的重要且直观指标。文章介绍了浊度检测的方法,包括透射检测方法、散射检测方法和综合检测方法,并对其应用做了概述,为水质分析监测人员检测水中的浊度提供参考方法。

[关键词]水体; 颗粒物; 浊度; 散射检测方法

[中图分类号]O65

[文献标识码]A

[文章编号]1007-1865(2010)05-0296-03

Detection Summarization on particulate matter in water

Liang Huayan

(Maoming Environmental Monitoring Centre, Maoming 525000, China)

Abstract: Particulate matter in water is representation by turbidity, which is a direct index in measuring water quality. The turbidity detection methods were introduced in the paper, including transmission detection method, scattering detection method and comprehensive detection methods. The application of three methods were summarized, supply reference to water quality analysis workers.

Keywords: water; particulate matter; turbidity; scattering detection method

颗粒物是水体中的主要污染物之一。悬浮物质主要是泥沙、粘土、有机和矿物质颗粒,大部分来源于土壤和城镇街道径流,表层土壤以泥沙形式进入水体,造成了水体中含沙量增加,从而增加了水的浊度,直接影响到水体的外观质量和生物稳定性;因此水中颗粒物是水处理的主要去除对象。水中颗粒物会降低自来水的卫生程度,因为它们是各种污染物的载体。经过净水设施后,安全、卫生的出水应不含任何威胁健康的颗粒物,至少将颗粒物的致病风险控制在接受的水平。大量研究表明,颗粒物去除率越高,自来水越安全、卫生。因此颗粒物的检测已经成为水处理中一个重要的问题^[1-2]。

浊度是一项非常重要的感官指标,反映水中颗粒物含量,是颗粒物含量的替代参数,同时还可反映出水中病原微生物的情况,也可作为生物学指标。新的水质标准中,浊度由最初的3NTU提高到1NTU,也是对浊度指标的成分重视的表现。

浊度是水中颗粒物的替代参数,是表明水中颗粒物的水质指标,是水处理中一项重要的指标,几乎所有应用到所有的水处理工艺当中。采用浊度仪对水质的浊度进行检测,是对各类水中非溶性物质测量达到控制水质的重要手段。生活饮用水的浊度是自来水厂出水水质要求的一个主要参数。一般自来水厂对水处理各个环节都需要进行浊度检测,特别是出水部分更需要进行在线浊度测量仪表。我国国家标准《生活饮用水卫生标准》(GB5750-1985)中规定生活饮用水(自来水)的浊度≤3NTU。在新颁布的《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中规定生活饮用水(自来水)的浊度≤1NTU。

浊度是污水处理厂处理各种污水净化后,对出水水质要求的重要参数之一。在污水处理厂,一般是在出水部分才需进行在线浊度测量,要求出水浊度≤5NTU。

浊度又是工业水处理(除盐水)检验水质要求的一个重要参数,由于对除盐的水质要求较高,除对出水部分要求进行在线测量外,对入口水也需要进行在线浊度测量,只不过有低浊度和高浊度测量之分别^[3-4]。

在进行水环境监测时,浊度是必需测量的重要参数之一。因为浊度的大小往往即可直接判断出水环境污染的程度。因为pH、浊度、氨氮、溶氧四大参数是监测水环境的指标。所以浊度测量的重要性是不言而喻的。

水的浊度是与光紧密关联的一个概念,只有在光照的情况

下,才能看清水的“清”和“浊”。浊度是水中不同大小、形状、比重的悬浮物、胶体物质和微生物等杂质对光所产生效应的表达语。美国公共卫生协会等组织把浊度定义为:“水样使光散射和吸收的光学性质的表达语”。可以理解,总重量相同,但颗粒大小不同的杂质,对光的效应是不同的,即浊度是不同的。显然,浊度虽然不能直接表示水中杂质的含量,但与它的含量是相关的。浊度的检测方式主要有:透射检测方法、散射检测方法和综合检测方法,文章将一一论述。

1 透射检测方法^[5-6]

从光源发出的平行光束射入水样,水样中的浊度物质会使光的强度衰减,另一束光周期性被切换成比较光束,两束光交替被光电接收转换并比较两光束强度之差,得出水中浊度的大小。光强的衰减程度与水样的浊度之间的关系可用下式表示:

$$I = I_0 e^{-Kd}$$

式中, K 为比例常数, d 为浊度, l 为水样透过深度。透射光测定法测定浊度,方法十分简便,其原理见图1所示。

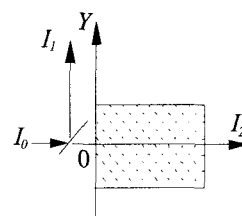


图1 透射浊度检测方式示意图

Fig.1 Monitoring methods of diffusionne Phefometer

入射光通过半透膜分为两束光强相同的光,一束光通过水样透射入射在测量光电池上(I_2),另一束光直接照射在参比光电池上(I_1),测量光电池与参比光电池将两光束的强度进行接收比较,从而测出水样的浊度。显然,透射光浊度仪的原理相当简单,计算不复杂,仪器的设计方面也比较简单,但是在测量较低浊度时,由于大部分的光都直接透射了,微小的浊度变化所引起的透射光的变化是相当小的。或者说,变化率是很小的,这样对光电接收元件和放大器的分辨率和稳定性要求就非

常高,低浊度时不易满足。所以,透射光方法不适合测量低浊度。

2 散射检测方法

一定波长的光束射入水样时,由于水样中浊度物质使光产生折射,散射光强度与水样浊度成正比,通过测定与入射垂直方向的散射光强度,即可测出水样中的浊度。按照测定散射光和入射光的角度的不同,分为垂直(90°)散射式,前散射式、后散射式三种方式。

根据光学理论,水中颗粒半径小于入射光波长的 1/10 时,主要发生侧向散射,水中颗粒半径为入射光波长 1/4 左右时,向前方的散射强烈,水中颗粒大于等于入射光波长时,向前方散射的同时,向侧面发出强度起伏变化的散射光。颗粒越大,产生的散射光量越大。当颗粒半径为入射光波长的 1/10 和 1/4 时,单位体积产生的 90° 光强服从瑞利定律:

$$I_r = KN I_0$$

式中 K 为比例系数。当水中悬浮颗粒的半径大于等于光波长时,由粒子表面的反射及粒子内部的折射都会使光线改变方向,此时 90° 方向上测得的光强度服从米氏定理。与入射光的强度、微粒子的截光面积成正比,可将上式简化为:

$$I_r = K_1 N A I_0$$

式中 K_1 为比例系数。实际上,浊度仪 90° 方向上测得的是不同大小的颗粒对入射光的散射、折射、反射和吸收等综合作用的结果,入射光的波长、粒子色和水色会影响读数,使仪器对高浊度的水不适用。但在 0~100 NTU 范围内可以得到理想的线性结果。

散射式检测,是测量入射光被待测溶液中的悬浮颗粒散射所产生的散射光的强度来确定待测溶液浊度的。散射式浊度仪的检测值遵循雷采公式,仪器的读数随浊度值的增大而增大,低浊度范围内呈线性响应。按其测量方法的不同,又分为向前散射式、垂直散射式和向后散射式三种。

3 综合检测方法

同时测量投射于水样光束的透射光和散射光强度,再按这两者光强度之比测定其浊度大小。可按下式求得:

$$I_r / I_t = KD$$

式中, I_r 散射光强度, I_t 透射光强度。

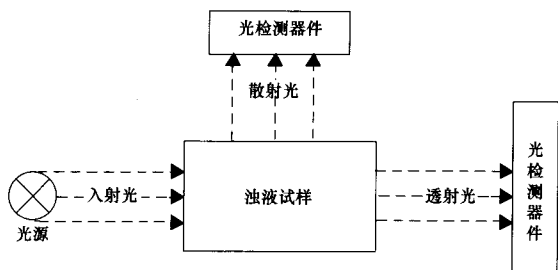


图2 综合检测方法
Fig.2 Monitoring method

图2给出了透射-散射比较式的示意框图。透射-散射比较测量法是透射式和散射式这两种测量方法的结合,由于透射光和散射光测定时光程相同,水样色度和光源变化对浊度测量的影响相同,这种方法可以消除部分干扰,提高灵敏度四,由于对散射光,透射光同时测量,能够大大提高一起的稳定性,也可以减少水中色度的影响。

4 透光脉动检测技术及其应用^[7-9]

透光脉动检测技术是一种光电检测方法,利用悬浮液中颗粒组成的随机脉动变化特性,来分析和检测悬浮液中颗粒状态及其变化情况,对透射光线强度的脉动特性进行分析和计算,得到反映颗粒相对粒径的有效输出值和比值 R (透光脉动值)。此比值 R 不受电子元件的漂移和透气管管壁的脏污的影响。此外,该方法具有流过式的特点,使得检测过程能以连续在线

的方式进行。

4.1 透光脉动检测技术

在有悬浮液流动的管状器皿两侧分别设置光源和检测器,如图3所示。

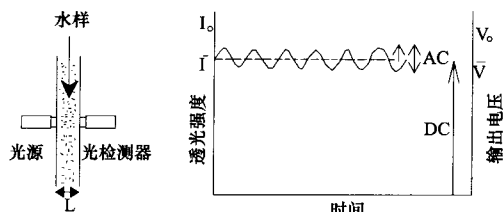


图3 透光脉动检测原理示意图
Fig.3 Monitoring method with transmitted light fluctuation chart

当一束光线透射过含有颗粒物质的悬浮液时,光束照射到(或检测到)的悬浮液体积中颗粒物质的数量是随机变化的,因此透射光强度也会随着颗粒数的变化而发生变化,就会观察到图3所示的透射光强度的波动(脉动),变化规律遵循泊松分布。一般光束照射到的悬浮液体积较大,颗粒数的脉动程度不明显:当光照体积减小时,该体积内平均颗粒数越少,颗粒数脉动越明显。从检测器输出的带有脉动现象的透射光强度信号可以看成由两部分组成:一部分为直流(DC)成分,相当于平均透射光强度 I_0 ;另一部分是非常小的脉动(AC)成分,相当于悬浮液中颗粒数随机变化(脉动)。对于遵循泊松分布的随机脉动,可以用实际电压 V 相对于平均电压 V_0 的标准偏差 V_R ,反映实际颗粒数相对于平均颗粒数的脉动情况(其中 V_0 是平均透射光强度 I_0 所对应的电压值),经过一定的假设和数学运算就可以得到反映脉动程度的表达式。如果假定光束在悬浮液中的长度为 L ,光束的有效截面积为 A ,对于有粒径分布的非均相分散系统(悬浮液)第 i 种颗粒的数量浓度和光散射截面积分别为 N_i 和 C_i ,经过推导可得到如下表达式:

$$V_R = V_0 (L/A)^{1/2} (\sum N_i C_i^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中求和 $\sum N_i C_i^2$ 是考虑各种粒径颗粒物质的综合影响。

一般式(1)可表达成比值 R 的形式,则:

$$R = V_R / V_0 = (L/A)^{1/2} (\sum N_i C_i^2)^{1/2} \quad (2)$$

对于某一特定的检测仪器, L/A 值是常数,因此 R 值仅与颗粒物质的数量浓度和光散射特性有关。因 V_R 和 V_0 值是从实测电压值 V 中分离得到的,由于检测仪器的电子元器件老化漂移,以及器皿表面粘污对 V 值造成的影响,对分子 V_R 和分母 V_0 值是相同的,所以它们的比值 R 则完全消除了这些影响,这一点从式(2)中也可明显地看出。这是该检测技术不同于一般光电检测仪器的一个突出的特点,使得检测仪器在运行或操作中免除了经常的清洗和标定过程,这对于低颗粒浓度的测定特别重要,并为实现长时间连续在线检测提供了理论依据和基础。

从式(2)中可看到, $\sum N_i C_i^2$ 项是悬浮液中所有颗粒的综合结果。对于较小粒径的颗粒,其散射截面积较小,相应的 $\sum N_i C_i^2$ 也较小(尽管有时其颗粒浓度相对较大);较大颗粒的散射截面积相对较大,即使颗粒浓度较低仍能得到较大的 $\sum N_i C_i^2$ 值。如用 R 值作为该检测技术的有效表达值,则检测值 R 对较小颗粒的检测不灵敏,而对较大颗粒的检测很灵敏,这是该技术的另一个非常重要的特性。

4.2 透光脉动技术在水处理中的应用

1984年 Gregory 等首次将透光率脉动检测技术应用于水的混凝研究中,随后又有许多学者将其应用于污泥脱水、絮凝体尺寸检测、混凝动力学、混凝剂投加自动控制等方面的研究中。该项技术在20世纪80年代后期进入我国后,得到了广泛深入的研究,在许多领域中得到了应用,尤其在水处理混凝剂投加自动控制系统中更是取得了较大的成功。李圭白等人将其成功地应用到高浊度水的混凝剂投加系统中,并取得了较好的效果,可以说透光率脉动检测技术在高浊度水处理中的应用是

该项技术最为成功的生产应用。我国水处理厂的原水水质多数在几十 NTU 至几百 NTU 之间,属于常规浊度水范围,在 20 世纪 90 年代后期,许多学者尝试将透光率脉动检测技术应用于常规浊度水处理中,并已经在武汉钢铁公司一水厂和四川泸州某水厂获得了一定的成功。

杨艳玲和李星等将透光脉动用于检测过滤过程颗粒物的实验中发现,在过滤过程的监测中,脉动检测值 R 可灵敏地反映出过滤中颗粒粒径的变化情况,与浊度检测法相比,具有更高的灵敏度和更好的预测性。

5 颗粒计数检测技术及其应用^[10-11]

用于水处理领域的颗粒计数技术主要有两类,光电式和电感应检测方法。其中光学颗粒计数测量简称 OPC。根据其工作原理,可分为光散射式和光阻式两大类。二者工作原理虽有不同,但都是对介质中的颗粒逐个地自动采样和测量。测量目的为,通过所测的粒径大小及数量来判断被测介质的纯净度是否符合要求。光散射式和光阻式 OPC 各有其特点和应用范围。一般情况下,光散射式 OPC 用于对小颗粒(粒径 $\leq 1.5 \mu\text{m}$)的测量,而光阻式 OPC 用于对较大颗粒的测量。也可将两种原理结合在一套测量装置中,用光散射原理测量小颗粒,用光阻原理测量大颗粒,以使二者都能在较优化的条件下工作并实现较宽的测量范围。电感应法是利用电学原理测定颗粒大小和数目的一种方法。使悬浮在电解质中的颗粒通过一小孔,在小孔的两边各浸有一个电极,颗粒通过小孔时电阻变化而产生电压脉冲,其振幅与颗粒的体积成正比。电感应法测量下限能达到亚微米量级,但由于颗粒通过小孔的位置不同时表现的电抗不同将会测量带来偏差。而且由于被测溶液必须导电,所以,如果被测液体不导电的话,就必须加入导电溶液,因此影响了测量速度以及测量成本。

5.1 电感应法

电感应法又称为 Coulter 法,它是测定颗粒大小和数目的一种方法。使悬浮在电解质中的颗粒通过一小孔,在小孔的两边各浸有一个电极,颗粒通过小孔时电阻变化而产生电压脉冲,其振幅与颗粒的体积成正比。这些脉冲经过放大,辨别和计数,从演算的数据可测得悬浮的颗粒大小分布。这种方法最初应用于血球计数。Kubitschek 加以修改后用于细胞计数,并指出这一原理可用来测定细胞体积的分布及其计数。其后很快发展了各种改良的仪器,用于测定颗粒大小和计数。

5.2 光电感应法

(1)光散射式颗粒检测技术。光散射法是一种基于光散射原理的颗粒检测方法,也就是当纯净介质中存在颗粒时无论是固体颗粒、液滴或气泡,光束穿过该介质时就会向空间四周散射,而光的各个散射参数则与颗粒的粒径密切相关,这样就为颗粒测量提供了一个尺度。按照仪器所接收散射信号的不同,又可将光散射分为:米氏散射和夫琅和费衍射。

(2)光阻式顺粒检测技术。光阻法原理:被测液体流过横断面很小的通道,通道两侧装有光学玻璃窗口,来自恒定光源的细小光束穿过该窗口并被另一侧的光电元件所接收,细小光束与通道界面构成了测量区或敏感区。若流过测量区的液体中没有颗粒,则光电元件给出的光信号保持为恒定不变;反之,若有一颗粒流过测量区,将会对光束产生一个“遮挡”作用,使光电元件所接收到的信号减小并给出一个负脉冲信号。脉冲信号的幅值显然与颗粒的粒径相关,从而为粒径的测量提供了一个方法。

5.3 颗粒检测技术在水处理中的应用

目前颗粒计数方法已越来越多地应用于油田废水处理、膜工艺、水产养殖、材料等行业。作为颗粒物计数法的一个重要的应用领域,给水处理行业正逐步将这种新型的水质监测手段用于水厂生产的各个环节。在美国有 500 多家水处理厂采用颗粒计数器用于监控净水过程和饮用水的水质;欧洲、日本、韩国和印度等也开始将颗粒计数器应用于水处理中,在我国北京、广州等地的水厂也已开始应用。综合来说,颗粒物计数法在给水行业的应用主要有以下几个方面:

5.3.1 优化絮凝剂投加量

在对絮凝剂加入量进行微量调节时,因过滤器出水中颗粒

物浓度较低,而使浊度仪和混凝烧杯试验法精度不够,颗粒计数器则可准确测量此时的颗粒物浓度,为优化絮凝剂投加量提供了必不可少的技术保证。

美国南内华达州水厂早在上世纪八十年代,就运用当时先进的在线颗粒物计数器优化絮凝剂的加入量。加拿大 BearsPaw 水厂利用颗粒计数器在 1997 年 7 月至 9 月间对该厂絮凝剂的加入量进行了优化,颗粒计数器的高灵敏度是测量成功的关键(出水中粒径 $>2 \mu\text{m}$ 的颗粒物总量可低至 10 个/mL)。试验结果表明,当加入量为 10 mg/L 时出水中颗粒物的总量高达 300 个/mL,而当加入量为 6 mg/L 时出水中颗粒物的总量为 40 个/mL,而且滤池出水的颗粒物总量最稳定。若将絮凝剂加入量由 10 mg/L 减至 6 mg/L 则该厂每月可节省药剂费为 2.4 万美元。

5.3.2 改进絮凝装置的设计和制作

传统絮凝过程的设计、操作以及评估是以停留时间和搅拌强度或 G 只 t 值为依据,但是由于该值的选择范围很宽,难以找出符合个别水处理厂特定条件的最佳值,而且难以指导找出设计中的失误。例如在絮凝器的设计中,虽然存在一些选择旋转方向和搅拌速度的经验方法,但这些方法的可重现性和量化程度尚有疑问。沉淀池的浊度虽可作参考,但浊度的测量原理决定其本身并不能很好地表征颗粒物数量和动力学特性,特别是不能表征絮凝中颗粒物是否从小变大的过程,另外浊度测量的滞后性也使其不能及时反映絮凝效果。而颗粒计数器可用来实时监测絮凝过程中颗粒物的动力学变化结果,为优化絮凝过程的设计和制作提供可靠的依据。

5.3.3 监控滤池出水水质

颗粒计数器可以检测到滤后水中颗粒的细微变化,当滤池发生“穿透”时,颗粒计数器可以比浊度仪更快更灵敏的检测到滤后水中颗粒物含量的升高。颗粒计数器提供的颗粒信息可以优化反冲洗时间和反冲洗强度。

何元春等运用颗粒计数器在线监测砂滤池和生物活性炭滤池出水情况,结果表明,其敏感度高,较浊度仪更能及时、准确地反映活性炭滤池运行过程中的出水水质变化,对优化滤池运行以及确保出水水质有着重要作用。在水厂的实际生产应用中,欧美发达国家的大多数水厂一般以 $2 \mu\text{m}$ 以上颗粒浓度为控制参数。

宾夕法尼亚州 Hershey 水厂原来采用 72 h 反洗一次或当过滤器压差 $>18 \text{kPa}$ 时开始反洗,后改用颗粒计数器来确定反洗时间:当出水颗粒物浓度有明显变化时即开始反洗,其三次反洗时的水头损失分别为 18 kPa、13 kPa 和 18 kPa,可见水头损失不能准确地反映过滤器运行状态的变化。

参考文献

- [1]李圭白,张杰.水质工程学[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [2]汤鸿霄,钱易,文湘华,等.水体颗粒物和难降解有机物的特性与控制技术原理[M].北京:中国环境科学出版社,2000.
- [3]汤鸿霄.环境水质学的进展—颗粒物与表面络合(上)[J].环境污染治理技术与设备,1993,1(1):25-41.
- [4]王占生,刘文君.微污染源饮用水处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5]伍培.水浊度的现代定义、表达和测定[J].重庆石油高等专科学校学报,1995,(11):51-53.
- [6]戴婕.颗粒计数器在给水处理工艺中的应用探索[J].给水排水,2007,33(9):27-30.
- [7]李星,杨艳玲,李圭白.透光率脉动检测技术[J].中国给排水,1997,13(6):26-28.
- [8]宋心元.水和废水标准检验法[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [9]岳舜琳.水的浊度测定中的几个问题[J].城市公用事业,1992,6(5):18-17.
- [10]吴星五,唐秀华,朱爱莲.散射式浊度仪的改进和应用[J].工业用水与废水,2001,32(4):8-10.
- [11]张磊.水中颗粒物的检测技术研究[D].北京:北京工业大学,2009.

(本文文献格式:梁华炎.水体中颗粒物主要检测方法综述[J].广东化工,2010,37(5):296-298)