

分析与监测

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.20.023

低浊水中颗粒扰动对浊度测量的影响

张 杨¹, 李 礼¹, 佟恽维¹, 翟元鑫¹, 王 筱¹, 宋 博²,
郭永超³

(1. 北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100031; 2. 哈希水质分析仪器<上海>有限公司, 上海 200335; 3. 安恒环境科技<北京>股份有限公司, 北京 100048)

摘 要: 城市供水系统从出厂水到末梢水中存在着庞大的低浊度水群体(浊度<0.5 NTU), 在使用台式浊度仪检测其浊度值时存在数据波动明显、人工读数方法不统一等问题, 使得这一群体水样的浊度检测结果可比性差, 不利于对比分析。为此研究了大量此类低浊水的浊度测量曲线并对曲线波动规律及其产生原因进行了分析。结果表明, 大部分浊度测量曲线均具有两大特征阶段, 即波动阶段和平稳阶段, 两阶段对应体现出扰动浊度和持久浊度; 水样中致浊颗粒本身的沉淀特性是导致浊度测量曲线产生波动的普遍原因。将持久浊度作为检测结果能够更准确地表达低浊水的浊度, 使数据在更广的范围内具有可比性和分析价值。为了读取持久浊度, 建议检测低浊度水样时在样品置入仪器40 s或60 s后再进行数值的读取。

关键词: 浊度; 低浊水; 管网水; 台式浊度仪; 扰动浊度; 持久浊度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)20-0131-08

Influence of Particle Disturbances on Turbidity Measurements in Low Turbidity Water

ZHANG Yang¹, LI Li¹, TONG Yi-wei¹, ZHAI Yuan-xin¹, WANG Xiao¹,
SONG Bo², GUO Yong-chao³

(1. Beijing Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100031, China; 2. Hach Water Quality Analytical Instruments <Shanghai> Co. Ltd., Shanghai 200335, China; 3. Anheng Environment Technology <Beijing> Co. Ltd., Beijing 100048, China)

Abstract: There is a large amount of low turbidity water (less than 0.5 NTU) in the urban water supply system from the product water of the waterworks to the terminal water. There are some problems when using a desktop turbidity meter to detect the low turbidity water, such as obvious data fluctuation and inconsistent manual reading methods, which makes the turbidity detection results of the water samples not comparable and is not good for comparative analysis. To solve this problem, a large number of turbidity measurement curves of this kind of low turbidity water were investigated, and the fluctuation law of the curves and the reasons were analyzed. Most turbidity measurement curves consisted of two stages, namely, the fluctuation stage and the steady stage. The two stages corresponded to the disturbed turbidity

基金项目: 北京市重点研发计划项目(Z201100008220003)

通信作者: 李礼 E-mail: cafesarah@163.com

and the persistent turbidity. The precipitation characteristics of turbidity particles in water samples were the common reason for the fluctuation of turbidity measurement curve. Taking the persistent turbidity as the detection result reflected the turbidity of low turbidity water more accurately and made the data comparable and valuable in a wider range. To read the persistent turbidity, it is recommended to read the turbidity value of low turbidity water samples after 40 s or 60 s of sample placement in the instrument.

Key words: turbidity; low turbidity water; pipe network water; desktop turbidity meter; disturbed turbidity; persistent turbidity

《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中要求饮用水管网末梢水的浊度为1 NTU以下,为了使末梢水浊度达标,水厂出厂水的浊度控制更低,如0.5 NTU左右^[1-2]。近年来随着供水技术的提升,城市供水管网末梢水的浊度多数低于0.3 NTU^[3-4],一些城市的供水企业出厂水浊度常在0.1~0.2 NTU,浙江部分地区出厂水浊度更是达到了0.03 NTU^[5-6]。面对从出厂水到管网末梢水这一庞大的低浊水群体,如何合理表达它们的浊度数值对于研究此范围内的水质变化规律显得尤为重要。

目前,实验室中低浊水的浊度检测主要使用台式浊度仪^[7-8],如WGZ-800和HACH2100N^[9-12]等,获取检测结果分为人工读数和仪器自动给定读数两种方式。待测样品放入仪器后,浊度示值经历波动后进入相对稳定阶段,此时读取浊度示值作为检测结果。

不同样品浊度示值波动规律较为复杂,此外,由于人工读数方法并无相关规范,检测者凭主观习惯判断读取时机无法保证检测条件相同。就低浊水而言,该种读数带来的误差会掩盖样品间较小的浊度差距,导致不同样品或由不同人员检测的样品间浊度数据可比性差。因此,对低浊水检测过程中浊度示值的波动进行了试验研究及原因分析,并就浊度示值的合理读取时段提出建议。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验仪器采用HACH 2100N台式浊度仪,在0~1 NTU浊度范围内,仪器精度为0.01 NTU或读数的 $\pm 2\%$,取较大值,分辨率为0.001 NTU。本试验采用外置的软件程序获取并记录台式浊度仪的浊度示值。样品放入后,浊度示值不断变化,软件每隔1 s记录一次该数值,在约2 min内形成一条浊度示值的记录曲线(见图1)。对所有待测样品进行浊度

测量曲线记录。

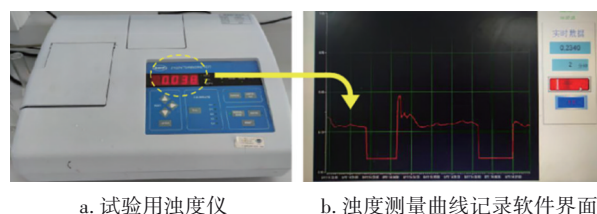


图1 试验装置

Fig.1 Experimental equipment

1.2 试验样品及测量

试验采用北方某市供水管网末梢水样本200个(浊度区间0~0.5 NTU)、少量0.5 NTU以上的原水样品及其他样品。所有样品经同一台仪器预热完成稳定后测量,测量过程如下:

- ① 用样品润洗表面光洁的样品管。
- ② 将样品倒入样品管至刻度,旋紧管盖。
- ③ 将样品管缓慢倒置2~3次使样品均匀,擦除水滴和指纹。
- ④ 将样品管置入浊度仪管座中,关闭盖板,开始测量,至2 min结束。

记录软件收集的所有样品的“浊度示值-时间”测量曲线,用以分析相关规律。

2 结果与讨论

2.1 浊度示值波动规律及特征

2.1.1 “浊度示值-时间”曲线的分类

将样品放入浊度仪后,仪器显示屏上的浊度示值开始变化,最终趋于稳定,将检测过程中不断变化的浊度示值采集出来,以时间为横坐标、浊度示值为纵坐标绘制曲线,即为“浊度示值-时间”曲线。

试验对200余个管网末梢水样品的曲线进行观察,发现不同样品浊度示值的波动与稳定程度具有一定差异,根据其波动规律可将“浊度示值-时间”曲线分为三类,如图2所示。

如图2(a)所示,第一类曲线的浊度示值能在短

时间内稳定。具有此类特征的样品数量占样品总数的74%。图2(a)中显示的12个样品测量曲线,波动段和稳定段的浊度示值差距大、对比明显,测试者容易感受到数值的“稳定”,从而易于判断检测结果的读取时机。

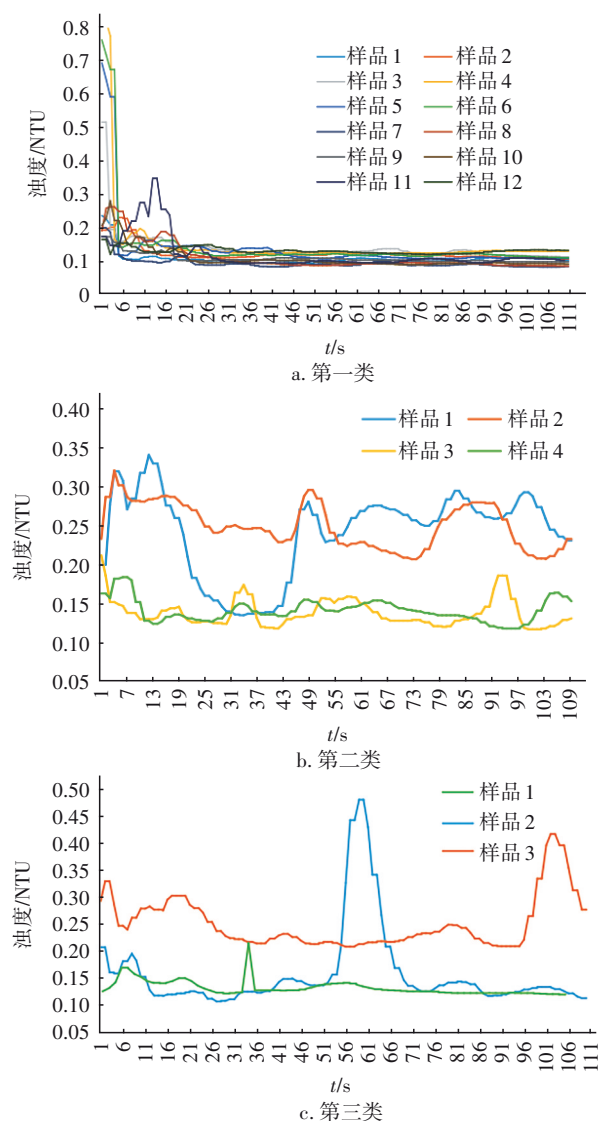


图2 三类“浊度示值-时间”曲线

Fig.2 Three kinds of “turbidity-time” curves

如图2(b)所示,第二类曲线的浊度示值无法快速稳定,无法分出明显的浊度示值波动段与稳定段。此类样品占总数的22%。

如图2(c)所示,第三类曲线中均出现峰值,除波峰外其余浊度示值较为平稳。此类样品占总数的4%。

对于显示第二、三类曲线的样品,测试者观察到的浊度示值处于持续变动或平稳后再度波动的

状态,难以准确判断检测结果读取时机。

2.1.2 第一类浊度测量曲线的波动特点

对于出现几率较高的第一类样品,进一步明确了其两个波动特点。

① 曲线波动历时存在差异,如图3所示。

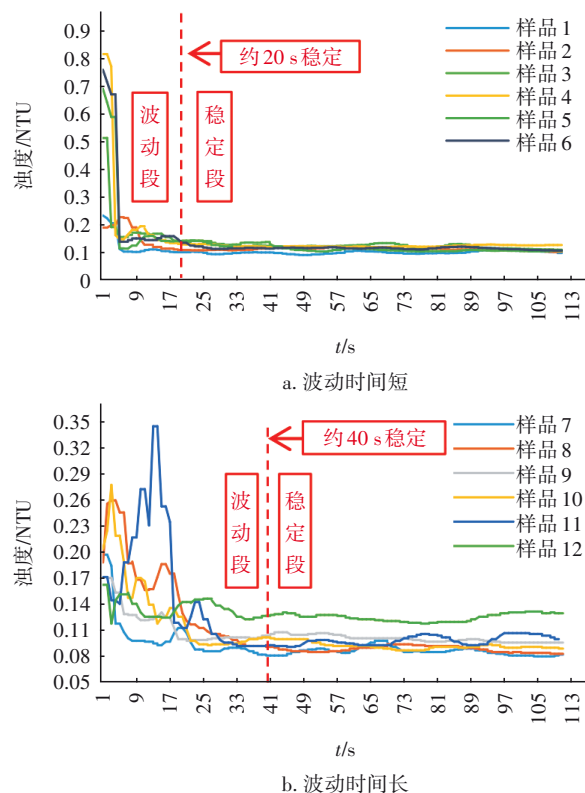
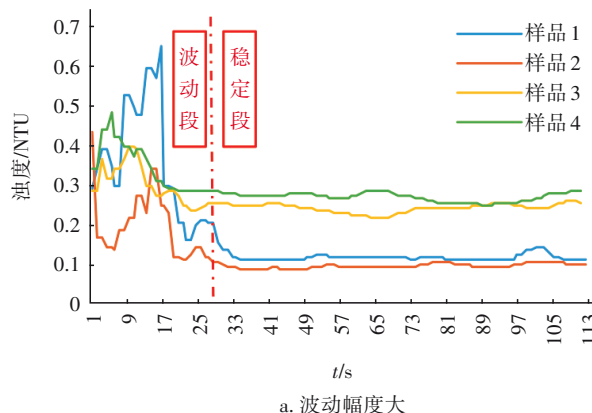


图3 浊度测量曲线波动时间对比

Fig.3 Comparison of fluctuation time of turbidity measurement curves

不同水样浊度示值的波动时长存在差异,图3(a)中剧烈波动段持续约20s,而图3(b)中剧烈波动段持续了约40s。

② 曲线波动幅度存在差异,如图4所示。



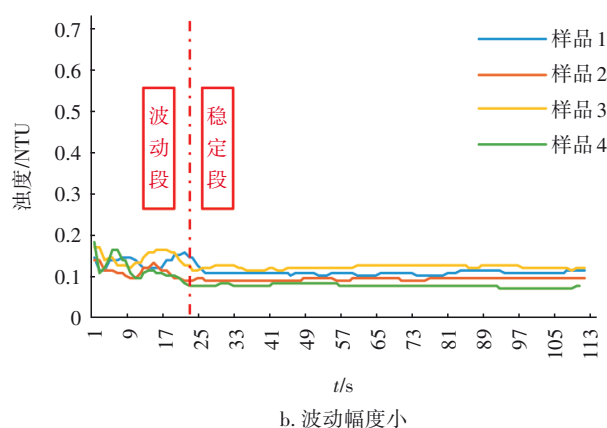


图4 浊度测量曲线波动幅度对比

Fig.4 Comparison of fluctuation range of turbidity measurement curves

不同样品浊度示值的波动幅度亦存在差异,图4(a)中曲线波动段的波动幅度显著高于图4(b)。进一步观察图4(a)中的样品1、2及图4(b)中的样品1、2、3、4可知,其平稳段的浊度大致相同,均在0.1 NTU附近,但在进入平稳段之前其波动幅度差异明显。

2.2 浊度示值波动原因解析

由以上试验结果可知,检测低浊度样品时普遍存在浊度示值波动的情况,给测试者读取检测结果带来了一定的干扰,选择合理的时段读数才能保证样品检测结果的科学性。为了明确读数时机,对浊度示值波动原因进行分析。

2.2.1 引起浊度示值波动的偶发原因

待测样品中若含有微小气泡会影响检测结果,检测过程中气泡的运动亦会使浊度示值产生波动。此外,仪器本身光路、电路稳定性等因素亦可能导致浊度示值的波动^[13]。以上两种原因导致的浊度示值波动与样品本身含有的致浊颗粒特点无关,是偶发的,并非普遍存在的。因此,在明确低浊样品浊度示值普遍存在波动的原因时,需要首先排除这两种因素。

① 气泡对浊度示值的影响

为了确定浊度示值的波动是否由气泡干扰所致,对多个样品进行了超声除泡试验。样品经超声10 min后,可认为已完全消除气泡,此时再获取测量曲线,与未超声前对比。现选取两个样品作为示例,结果如图5所示。

可见,虽然两个样品的曲线波动特征不同,但均在超声消泡前、后保持其原有的波动趋势。观察

单个样品,经超声后曲线波动依然存在。由此可知,曲线的波动并非由气泡引起。

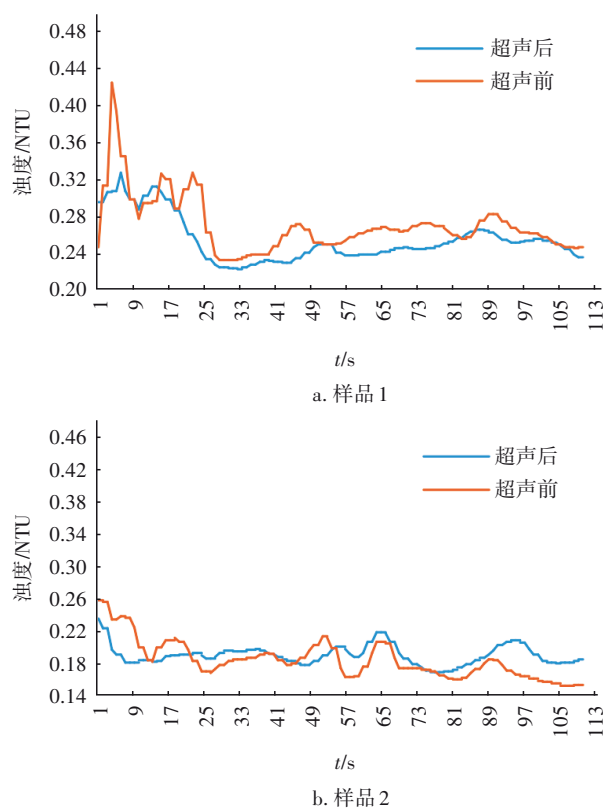


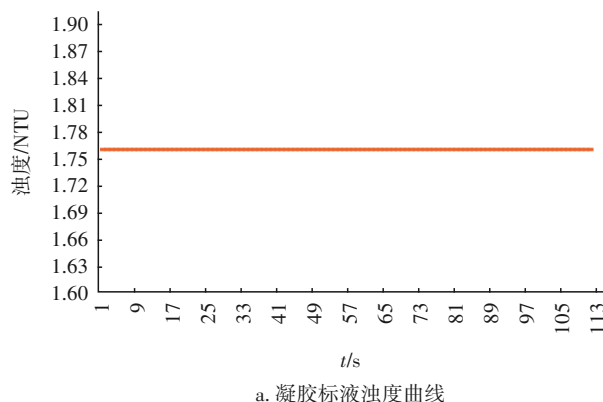
图5 水样超声前、后浊度测量曲线对比

Fig.5 Turbidity curve comparison of water samples before and after ultrasound

② 仪器结构导致的数据波动

为了排除仪器本身的光路、电路等设计结构是否带来数据波动,反复测量了两种特殊样品:凝胶标液(HACH Gelex 二级浊度凝胶标准物质)和超纯水。其中可认为凝胶标液中的致浊颗粒在宏观上不运动。

它们的曲线如图6所示。



a. 凝胶标液浊度曲线

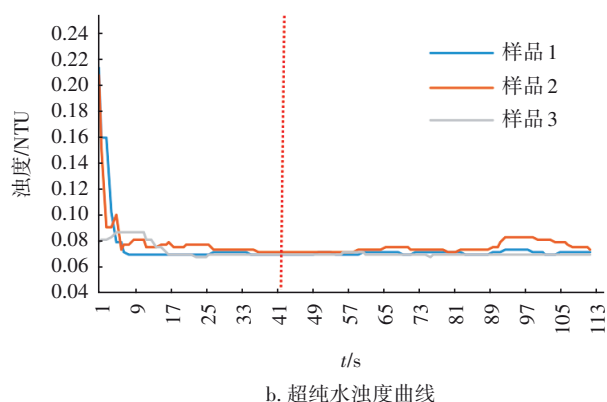


图 6 固体样品与超纯蒸馏水浊度曲线

Fig.6 Turbidity curves of solid samples and ultrapure distilled water

图 6(a)显示,凝胶标液的测量曲线完全无波动,浊度值稳定显示在 1.76 NTU;图 6(b)显示,所检测的 3 个超纯水样品,其浊度示值均在短暂的小幅波动后便维持稳定,推测极有可能是样品置入过程引入微量致浊颗粒而导致波动。由此可见,当样品中没有颗粒运动时,仪器本身不会导致浊度示值产生波动。

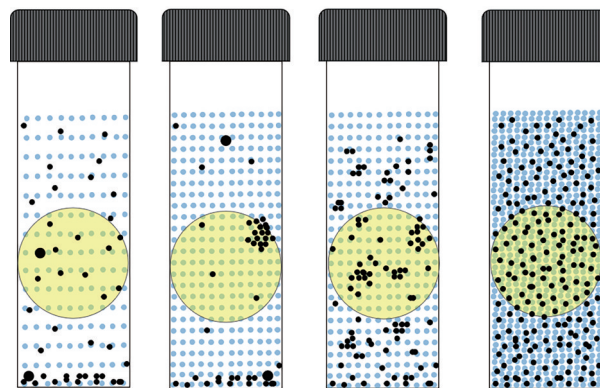
日常检测中,气泡在光线下肉眼可见,检测人员通过基本操作培训,会对样品进行前处理,通过观察及柔和的混匀手法通常能够避免气泡对测试的影响。另外,正常使用时仪器本身光路、电路的稳定性也可以保证。所以,低浊样品固有的、普遍存在的浊度示值波动,必定是由样品中致浊颗粒本身的状态和特性所致,这些颗粒物往往在强光下肉眼可见。

2.2.2 颗粒特征对浊度示值的影响过程分析

由上述所有样品的浊度测量曲线可知,多数曲线明显分为两段:波动段和稳定段。笔者将波动段的浊度称为扰动浊度,稳定段的浊度称为持久浊度。通过假想两种不同沉淀特点的颗粒(见图 7),对低浊水的浊度示值波动过程进行分析与证明。

颗粒沉降特点的两个极端表现为长时间稳定悬浮以及快速沉淀或上浮。图 7 中用蓝色颗粒代表能稳定悬浮的颗粒,称为胶态颗粒;黑色颗粒代表不稳定、参与沉淀或扰动的颗粒,称为扰动颗粒。容易推测,任意样品中的颗粒,其沉淀特性必然包含在这两种极端特性之内,因此,通过描述这两种颗粒所致的沉淀效果即可解释所有样品的浊度示值波动过程。图 7 中黄色圆形区域为浊度仪探测光

线通过样品管的投影面积。



a. 黑颗粒 50 粒、蓝颗粒 150 粒 b. 黑颗粒 50 粒、蓝颗粒 300 粒 c. 黑颗粒 100 粒、蓝颗粒 300 粒 d. 黑颗粒 200 粒、蓝颗粒 700 粒

图 7 台式浊度仪样品管中的不同颗粒情况

Fig.7 Turbidity particles of different water samples in sample tube of desktop turbidity meter

在样品从摇匀到放入仪器静置测量时,蓝色颗粒始终稳定悬浮在水中,对光线的散射是均匀的,而黑色颗粒则会经历一个由扰动悬浮至沉淀的过程。在曲线波动段,样品刚刚经历摇动混合,所有颗粒处于扰动状态,若黑色颗粒数量少,空间密度低[如图 7(a)、(b)、(c)所示],则不能对光线产生均匀散射,浊度示值在颗粒(群)经过光路时瞬时升高,离开光路时瞬时降低,因此曲线中对应显示为波动,所有波动的瞬时浊度示值均为扰动浊度,此时浊度示值瞬时变化剧烈,不宜读数;随着样品放置时间的延长,黑色颗粒逐渐沉淀,堆积至光路下方,此时出现由蓝色颗粒导致的稳定的持久浊度,该阶段的浊度值能够反映样品中由胶态物引起的浊度差异。

对比颗粒数量少的情况,当颗粒数量增多时,如图 7(d)所示,沉淀后的黑色颗粒堆叠高度高于光路投影面积的上缘,或者颗粒多至其运动轨迹能够充满整个样品瓶,颗粒间的聚集和分离快速而均匀,即使未曾沉淀亦会使光线产生均匀散射,从而使得每个瞬时的浊度示值间无明显差异,不体现波动,此即为高浊样品的浊度示值能够快速稳定的原因。在检测过程中高浊水的浊度示值波动特征与低浊水有明显区别。

针对低浊水进一步分析:在曲线波动阶段,扰动颗粒对光线的扰动并非仅由沉淀所致。其他情况亦可引起光线扰动,例如,颗粒的形状多样,在光路中旋转时会对光线产生不同的散射;又如,单个

的颗粒极有可能不引起明显的光线散射,运动的单个颗粒必须能够瞬时聚在一起[如图7(b)所示],才能形成对光线的阻挡,此时浊度示值瞬时显示较大的数值。颗粒不规则运动时的聚集和分散是随机的,故可推测,同一样品浊度测量曲线波动段重复性会很差。又因这些颗粒的沉降性能不会改变,无论是否出现聚集都能在大致相同的时间内沉淀完毕,故另推测,当重复测定同一样品时,曲线会在相近的时刻进入稳定段。

为了验证以上推测,设计试验对同一样品浊度曲线进行三次重复测量,考察其曲线的重复性,结果如图8所示。

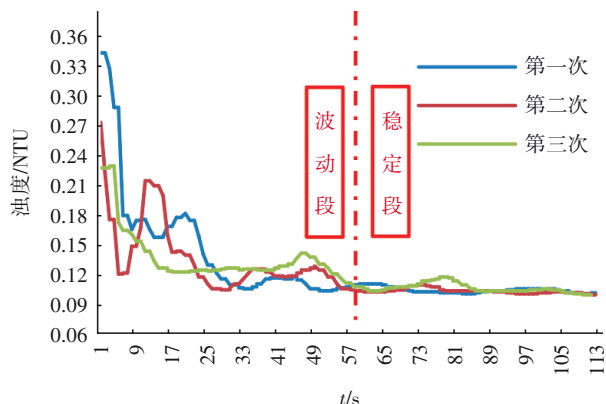


图8 重复测量同一样品的浊度曲线波动情况

Fig.8 Turbidity curve fluctuations of measuring the same sample repeatedly

与预想一致,三次测量曲线的重复性在波动段较差,而在稳定段较好。此外,观察可见三次测量时,曲线由波动段进入平稳段的时刻一致性高,均约60 s。

综上可认为,导致持久浊度的胶态颗粒相当于一个均匀的“基底”,稳定悬浮不沉淀,而扰动颗粒则在其中运动。若扰动颗粒的沉降性好则曲线波动时间短,能快速出现持久浊度;反之,若扰动颗粒的沉降性不好,则会导致波动持续存在。

2.3 低浊水浊度检测中的问题与建议

2.3.1 低浊水浊度检测中的问题

根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),在供水体系中,浊度是由于悬浮物或胶态物或这两者造成的在光学方面的散射或吸收行为。任意水样中,胶态颗粒的浓度或对光线的散射特征可通过持久浊度水平差异来体现,但易沉降颗粒或肉眼可见颗粒等扰动颗粒的浓度只能在高浊水样

中才得以体现,在低浊水样中则无法体现,其原因在于扰动颗粒少,对光线不能产生均匀的散射,浊度示值的波动仅能反映颗粒瞬时的聚集与分离,波动段持续时间也仅能体现其沉淀时长,从而无法直接体现扰动颗粒的数量,只有这些颗粒足够多以致光线产生了均匀的散射才能通过稳定的浊度示值来反映颗粒浓度差异。因此,现有台式浊度仪的检测方式无法客观表达低浊水中扰动颗粒的数量。此种情况下,倘若不对人工读取检测结果的方式、读取时段等加以规范,则会出现样品测量结果稳定性和重复性差的问题。

部分观点认为,为获取持久浊度,检测时间需较长,而样品置入仪器时间过长会因沉淀作用而导致读数值偏小。但通过以上对低浊水检测时的问题分析,仍建议适当延长检测时间,原因如下:

其一,尚未沉淀样品的瞬时浊度示值无法反映样品中致浊颗粒的数量,以此值作为检测结果并不合理。当浊度示值仍然处于波动阶段时,不同时刻读取的扰动浊度值差异较大,这会导致许多低浊度样品间的检测值看似存在差异,实则属于同一浊度水平,或原本存在浊度差异的样品,检测结果却因读取时机不同而变得很接近。读取扰动浊度值作为检测结果,不利于低浊度样品间浊度差异的对比分析。

其二,通过对浊度示值波动原因的分析可知,曲线中存在的数值波动,恰恰说明造成扰动的颗粒是少量的,不足以对测试光线产生均匀的阻挡,因此也就不足以体现样品间的浊度差异,至少这种差异是较小的。采用持久浊度值来评价低浊样品间的浊度差异,更加客观合理。

2.3.2 低浊水检测结果读取时机的判断与建议

如前所述,在测量过程中不同样品的浊度示值趋于稳定(即出现持久浊度)的时刻不同,故选择合理的读取时段至关重要,仅凭检测者主观判断无法确保读取的检测结果为持久浊度。

现以浊度示值波动持续10 s小于仪器精度为依据来判断浊度示值是否稳定。鉴于试验样品浊度均在0.5 NTU以下,此时浊度仪精度为0.01 NTU,即当浊度示值波动小于 ± 0.01 NTU并持续10 s均小于该值时,可认为浊度示值已稳定。记录所有试验样品浊度示值进入平稳段的时刻,并统计在此时刻前浊度示值已进入平稳段的所有样品个数,以时间

为横坐标、累计样品个数占总样品数百分比为纵坐标作图,结果如图9所示。

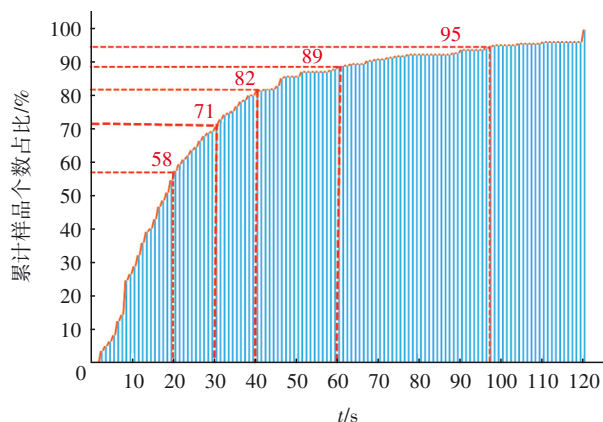


图9 不同时刻浊度示值已进入持久浊度段的样品累计占比

Fig.9 Cumulative proportion of samples whose turbidity values has entered persistent trubidity section at different time

可见,随着时间的延长几乎所有样品的浊度示值都进入稳定段。当记录浊度示值时刻为20 s时,仅有58%的样品出现持久浊度,30 s时有71%的样品出现持久浊度,若选择40 s读取,则能保证80%以上的样品出现持久浊度,此时读取的数据可靠性已较好。若有条件可将检测时间适当延长至60 s,此时会有近90%的样品出现持久浊度,再延长到97 s时,则有95%的样品出现持久浊度。但考虑样品检测的便捷程度和可操作性,检测时长应在保证读数合理的范围内尽量缩短,因此,60 s后再延长检测时间意义不大。

最后特作说明,某个样品的浊度在检测之前是未知的,检测结果的读取时间以浊度示值稳定为原则,但由于在浊度值大于0.5 NTU时浊度仪的精度规定为真实值的 $\pm 2\%$,已不是固定的 ± 0.01 NTU,应以真实值 $\pm 2\%$ 作为稳定的判断依据,则波动幅度会随实际检测值变化,例如当样品浊度为1.0 NTU时,浊度示值在0.98~1.02 NTU内波动即可认为已经稳定,波动幅度为0.04 NTU,但当样品浊度为10.0 NTU时,浊度示值在9.8~10.2 NTU内波动均可认为是稳定的,此时波动幅度已达0.4 NTU。测试者面对未知浊度的样品不易判定何种数值波动幅度算作稳定,不易确定读数时机,多凭个人主观感觉。

因此提出建议:使用台式浊度仪测量较低浊度

样品时,读取浊度示值的时间应首先限制某个规定时间,再遵循浊度示值稳定的原则,在规定时间之前是不宜读取结果的,基于试验统计数据,建议40 s前不宜读取浊度示值。若40 s后曲线仍波动较大,则按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求,可使用直接观察法进行二次确认,以排除肉眼可见物存在的可能性,并可适当延长检测时间。

3 结论

使用台式浊度仪检测低浊水时,浊度示值波动阶段反映了致浊颗粒的沉降扰动和无规则聚散过程,此阶段的瞬时值不能反映颗粒数量,不宜作为检测结果,使用持久浊度值更加合理;在样品置入仪器40 s前不宜记录浊度示值,在40 s或60 s后读取检测结果,可获得80%或90%以上的持久浊度保证率。

参考文献:

- [1] 上海市卫生监督标准化技术委员会. 生活饮用水水质标准: DB 31/T 1091—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
Shanghai Municipal Technical Committee for Health Supervision and Standardization. Standards for Drinking Water Quality: DB 31/T 1091—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2019 (in Chinese).
- [2] 深圳市水务局. 生活饮用水水质标准: DB 4403/T 60—2020 [S]. 深圳: 深圳市市场监督管理局, 2020.
Water Authority of Shenzhen Municipality. Standards of Drinking Water Quality: DB 4403/T 60—2020 [S]. Shenzhen: Shenzhen Administration for Market Regulation, 2020 (in Chinese).
- [3] 张静, 戚雷强, 黄强. 集约化供水区域管网末梢水质调研分析[J]. 净水技术, 2020, 39(s1): 84—87, 213.
ZHANG Jing, QI Leiqiang, HUANG Qiang. Investigation and analysis of water quality at the end of pipeline in intensive water supply area [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(s1): 84—87, 213 (in Chinese).
- [4] 杨军, 王彤, 张凯, 等. 配水管网中浊度影响因素分析及建模[J]. 供水技术, 2018, 12(2): 9—13.
YANG Jun, WANG Tong, ZHANG Kai, et al. Analysis of influencing factors on turbidity in water distribution network and model establishment [J]. Water Technology, 2018, 12(2): 9—13 (in Chinese).
- [5] 宋博, 张世红, 余得昭, 等. 近真浊度理论及其在低浊

- 度水测量中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(14): 146-152.
- SONG Bo, ZHANG Shihong, YU Dezhao, *et al.* The approximate true turbidity theory and its application in low turbidity water measurement [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 146-152(in Chinese).
- [6] 杨家建, 施正纯. 饮用水浊度测量技术及应用[J]. 城镇供水, 2010(4): 102-105.
- YANG Jiajian, SHI Zhengchun. Drinking water turbidity measurement technology and application [J]. City and Town Water Supply, 2010(4): 102-105 (in Chinese).
- [7] 贡献. 工业过程浊度测量的新进展[J]. 化工自动化及仪表, 1999(6): 1-7.
- GONG Xian. New advance of industrial process turbidity measurement [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 1999(6): 1-7(in Chinese).
- [8] 岳舜琳, 陈国光, 童俊, 等. 低浊水的浊度测定问题[J]. 净水技术, 2010, 29(3): 48-53.
- YUE Shunlin, CHEN Guoguang, TONG Jun, *et al.* Turbidity measurement for drinking water with low turbidity [J]. Water Purification Technology, 2010, 29(3): 48-53(in Chinese).
- [9] 鄂学礼, 张岚. 评述: 浊度的测定[J]. 中国卫生检验杂志, 2000, 10(2): 244-246.
- E Xueli, ZHANG Lan. Comment: determination of turbidity [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2000, 10(2): 244-246(in Chinese).
- [10] 吴佳益. 浊度仪的校正及检测的注意事项[J]. 化工管理, 2020(11): 48-49.
- WU Jiayi. Cautions for calibration and detection of turbidity meter [J]. Chemical Enterprise Management, 2020(11): 48-49(in Chinese).
- [11] 郎瑞平. 基于图像识别的水质浊度检测研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2020.
- LANG Ruiping. Research on Water Turbidity Detection Based on Image Recognition [D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2020(in Chinese).
- [12] 李昂. 基于图像识别的水质浊度检测系统的设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- LI Ang. Design and Implementation of Turbidity Detection System Based on Image Recognition [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012(in Chinese).
- [13] 施美霞. 水质分析中的浊度检测研究[J]. 化工管理, 2020(28): 175-176, 179.
- SHI Meixia. Investigation of turbidity detection in water quality analysis [J]. Chemical Enterprise Management, 2020(28): 175-176, 179(in Chinese).
-
- 作者简介: 张杨(1997-), 女, 北京人, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为给水处理工艺及管网水质控制技术。
- E-mail: shuangyixinlang@163.com
- 收稿日期: 2021-11-15
- 修回日期: 2022-03-07

(编辑: 孔红春)

深入实施乡村振兴战略, 促进人水和谐