

分析与监测

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.14.026

近真浊度理论及其在低浊度水测量中的应用

宋 博¹, 张世红², 余得昭¹, 孟宪献², 郑 波¹

(1. 哈希水质分析仪器<上海>有限公司, 上海 200335; 2. 国家城市供水水质监测网 天津监测站, 天津 300240)

摘 要: 对于低浊度水样(浊度 <0.1 NTU),不同仪器间的检测结果差异明显,因此如何获得更客观的检测数据尤为重要。为此,首次提出了近真浊度理论,并给出了其测定方法。近真浊度也称为近似真实浊度,是指一种无限趋近于仅由悬浮颗粒物及胶体所引起的浊度,即无限趋近于浊度真实值,这些颗粒物和胶体包括泥砂、黏土、藻类、有机物质、微生物有机体等。通过在表观浊度值中扣除现有的技术手段制备出的无限接近零浊度的实验室用纯水浊度值即仪器的零示值误差,就可以得到近真浊度值。近真浊度和现行的浊度概念的最大的区别在于,近真浊度去除了由光源、仪器光路、检测器种类、系统杂散光、信号值计算方法、校准验证方法等方面产生的零示值误差,去除了零示值误差的结果会无限接近于浊度真实值。近真浊度这一概念的提出可以有效解决低浊度领域的精确测量问题。

关键词: 浊度; 表观浊度; 近真浊度; 低浊样品; 零浊度; 颗粒物

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)14-0146-07

The Approximate True Turbidity Theory and Its Application in Low Turbidity Water Measurement

SONG Bo¹, ZHANG Shi-hong², YU De-zhao¹, MENG Xian-xian², ZHENG Bo¹

(1. Hach Water Quality Analytical Instruments <Shanghai> Co. Ltd., Shanghai 200335, China;
2. Tianjin Monitoring Station, National Drinking Water Quality Monitoring Net, Tianjin 300240, China)

Abstract: For low turbidity water samples (turbidity <0.1 NTU), the test results of different instruments are significantly different, so how to obtain more objective test data is particularly important. Therefore, this paper first presented a new theory of the approximate true turbidity, and introduced its determination method. The approximate true turbidity, also known as approaching to the true turbidity, refers to an infinite approach to turbidity caused only by suspended particles and colloids, that is, infinitely close to the true value of turbidity. These particles and colloids include: sand, clay, algae, organic matter, microbial organisms and so on. The approximate true turbidity can be obtained by subtracting the turbidity value of laboratory pure water (zero indication error) from the apparent turbidity. The biggest difference between approximate true turbidity and current turbidity concept is that the approximate true turbidity eliminates error of indication caused by light source, instrument optical path, detector type, system stray light, signal value calculation method, calibration verification method and other aspects. The result will be close to the true value of turbidity by eliminating the zero indication error. The concept of approximate true turbidity can effectively solve the problems of accurate

measurement in the field of low turbidity.

Key words: turbidity; apparent turbidity; approximate true turbidity; low turbidity water sample; zero turbidity; particle

浊度作为表征水质状况的重要参数,广泛应用于饮用水^[1-4]、污水^[4-5]、化工^[6]、食品饮料^[7-8]、制药^[9-10]、电子^[11]等领域的质量与工艺控制。以生活饮用水为例,2006年颁布的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中指出市政供水管网末梢水浊度应低于1 NTU;在2018年颁布的上海市地方标准《生活饮用水水质标准》(DB 31/T 1091—2018)中指出生活饮用水浊度应低于0.5 NTU。目前部分供水企业出厂水浊度内控指标已低于0.1 NTU,以保证饮用水的微生物学安全。随着膜处理技术的成熟^[12]、仪器设备升级改造和工艺管理的精细化以及水源水质的改善,一些水厂出厂水浊度甚至低于0.05 NTU^[13]。在当前低浊度检测市场需求下,如何准确测量0.1 NTU以下的浊度就显得至关重要了。

浊度检测相关理论、技术及硬件设备历经近120年的发展,已经处于比较成熟的阶段。市场上也有诸多不同品牌、型号浊度仪供选择使用,在测量20 NTU及以上浓度标准物质时,仪器之间结果一致性较好。但在检测低浊度(如浊度值低于0.1 NTU)时,同一样品不同型号仪器之间的结果差异十分明显,最大时可相差77%~90%^[4,14]。这可能是由于浊度仪在浊度定义^[4,15-17]、光源种类^[4,18]、光路设计^[4,12,19]、检测器种类^[4,19]、信号值计算方法^[4]及校准验证方法^[4]等方面不尽相同而造成的,如HACH 1720E在线浊度仪和HACH 2100AN台式浊度仪分别采用了不同的光路设计和检测器种类,其测量结果相差0.030~0.065 NTU^[4,14,19]。如何获得更为客观的数据,同时使得不同仪器测量结果统一,用以准确指导生产工艺或质量控制就显得尤为重要。

为此,笔者提出近真浊度理论,以期真实地反映低浊水的浊度,同时实现基于散射光法不同浊度仪(光源、光路、检测器及算法等差异)低浊度测量结果的相对统一。通过该理论的应用,亦可实现在线浊度仪和实验室以及便携浊度仪的检测数据比对相对统一。

1 实验部分

1.1 主要仪器

HACH TL2350台式浊度仪,采用HACH比率测

量专利技术,内部的四个光学检测器可有效补偿样品颜色、光波动、颗粒物尺寸形状及杂散光产生的干扰,测定范围为0~10 000 NTU,0~1 NTU时分辨率为0.001 NTU。

HACH TU5200 EPA版台式浊度仪,采用HACH 90°×360°散射光检测专利技术,其独特的光路设计和检测技术,确保低浊度时的准确测量,测定范围为0~700 NTU,0~1 NTU时分辨率为0.000 1 NTU。

HACH TU5300 EPA版在线浊度仪,采用HACH 90°×360°散射光检测专利技术,其独特的光路设计和检测技术,确保低浊度时的准确测量,测定范围为0~700 NTU,0~1 NTU时分辨率为0.001 NTU。

HACH 1720E低量程在线浊度仪,符合USEPA 180.1^[16]方法,在低浊度时,内置的气泡去除系统能有效去除气泡干扰,对低量程浊度的细小变化都能快速响应,不受样品流速和压力的影响,测定范围为0~100 NTU,0~1 NTU时分辨率为0.000 1 NTU。

HACH 2100Q便携浊度仪,采用HACH比率测量专利技术,双检测器光学系统可补偿样品颜色、光波动及杂散光,测定范围为0~1 000 NTU,0~1 NTU时分辨率为0.01 NTU。

1.2 实验试剂

HACH StablCal浊度400 NTU标准物质,实验室纯水机纯水(HACH TL2350测试,浊度<0.03 NTU)。

1.3 实验步骤

1.3.1 仪器校准

按照仪器说明书将浊度标准使用实验室纯水和HACH StablCal浊度400 NTU标准物质稀释成不同浓度点,分别润洗样品池数次后,缓慢倒至最佳测量刻度线。按仪器提示进行标准系列校准。

1.3.2 样品测定

将样品摇匀,待可见的气泡消失后,用少量样品润洗样品池数次。将均匀的样品缓慢倒入样品池内,至样品池的最佳测量刻度线即可。持握样品池位置尽量在刻度线以上,用柔软的无尘布擦去样品池外的水和指纹。按照仪器说明书操作,并记录测定结果。

2 结果与讨论

考察了现行浊度理论体系在低浊样品测量时存在的差异。

2.1 测量已知浓度的浊度标准物质

按照现行的散射光浊度理论体系^[15-17],选用

HACH TL2350 浊度仪和 HACH TU5200 浊度仪分别对 HACH StablCal 浊度系列已知低浊度标准物质(该标准物质浓度为 HACH TL2350 浊度仪标定)进行测试。

测量结果如表 1 所示。

表 1 2 款不同型号浊度仪对同一标准物质的 7 次测量平均值差异

Tab. 1 Difference of average values of seven measurements of the same reference materials by two different models of turbidity meters

StablCal 标准物质/ NTU	TL2350			TU5200		
	测定值/NTU	相对误差/%	相对标准偏差/%	测定值/NTU	相对误差/%	相对标准偏差/%
纯水	0.026 4	—	—	0.017 9	—	—
0.125	0.121 6	2.74	2.01	0.102 1	18.29	1.32
0.322	0.321 3	0.22	0.56	0.324 4	-0.75	1.43
0.500	0.480 4	3.91	0.71	0.495 6	0.89	0.45
1.0	0.979 3	2.07	0.16	1.038 6	-3.86	0.36

由表 1 可知,浊度测量值高于 0.3 NTU 时,浊度仪 HACH TL2350 和 HACH TU5200 的测量值与标准物质示值相对误差都小于 4%。在 0.1 NTU 左右时, TU5200 的测量值和标准物质示值的相对误差为 18.29%, 不能达到国内计量部门要求的 10% 以内^[20]。

2.2 测量已知浓度区间的标准物质

在实验室纯水中分别添加一定量(0、0.25、0.75、1.25、2.5、12.5 mL)的 400 NTU 的 StablCal 浊度标准物质,用实验室纯水定容至 1 L,得到浊度范围在 0~0.1、0.1~0.2、0.3~0.4、0.5~0.6、1~1.1、5~5.1 NTU 之间的浊度标准物质,分别编号为标准物质 A、B、C、D、E、F。采用 HACH TL2350 台式浊度仪、HACH TU5200 台式浊度仪、HACH 1720E 在线浊度仪、HACH TU5300 在线浊度仪分别测试以上浊度标准物质。在 HACH 1720E 和 HACH TU5300 在线浊度仪测量已知浓度标准物质的过程中,分别按照原厂说明书要求使用了随机配置的校准桶和校准盖,从而实现使用有限样品在实验室完成标准物质测量。

测量结果如图 1 所示。

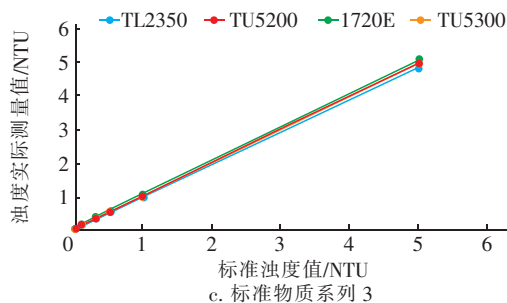
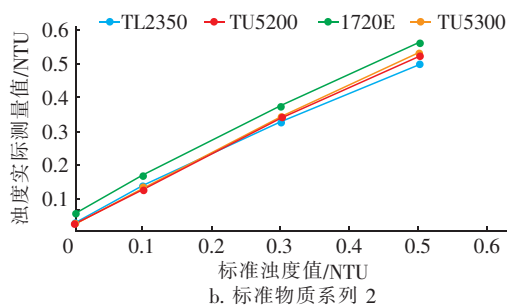
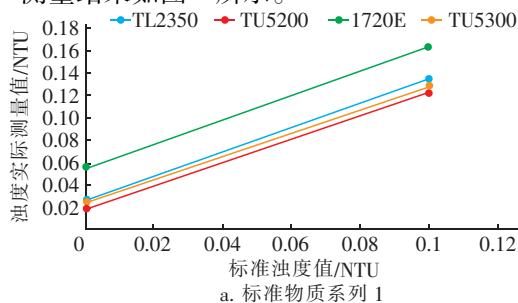


图 1 4 款不同型号浊度仪对不同浊度标准样品 7 次测量平均值对比

Fig. 1 Comparison of the average values of seven measurements of different turbidity standard samples by four different models of turbidity meters

由图 1 得知,随着浊度值递减,4 款浊度仪间的绝对误差值均低于 0.1 NTU。但相对误差存在显著差异,浊度在 5 NTU 左右时,其相对误差低于 4%,浊度在 0.1 NTU 左右时,其相对误差高达 25.32%。不同仪器测量数据的差异在浊度值不断降低之后逐渐突显出来,进而影响浊度的真值确定及比对。

2.3 天津自来水管网中实际自来水样品的测量

选用 HACH TL2350 浊度仪和 HACH TU5200 浊度仪分别对天津某自来水管网中 42 份浊度 < 0.3

NTU 的实际水样浊度值进行测量,结果如图 2 所示。

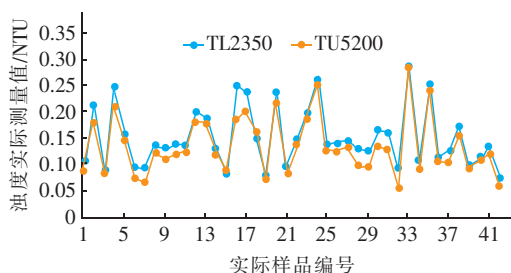


图2 两款不同型号浊度仪对天津地区自来水样品测量结果对比

Fig. 2 Comparison of measurement results of tap water samples in Tianjin by two different models of turbidity meters

由图 2 可知,浊度值 < 0.3 NTU 时两款浊度仪测量结果普遍存在差异。42 个水样中,有 23 个水样的示值相对误差超过 10%。此外,浊度值越低,不同浊度仪测量结果的相对误差越大。

3 近真浊度理论及测试方法的提出

如上所述,在低浊度测量时,无论是测量标液还是实际水样,不同仪器针对同一样品测量结果存在普遍差异,且浊度值越低,差异就越明显。通过图 1(a) 中纯水测量数据可知,即便是 RO 膜纯水机制备的纯水,在浊度仪上也有相应读数。RO 膜纯水机制备的纯水已去除绝大多数直径 1 nm 以上颗粒及无机离子^[12],纯水中仅有少量肉眼不可见的气泡。在一定的温度和大气压下,通过静置,纯水中微小气泡对浊度信号值的贡献极低^[21]。图 1(a) 中纯水测量值是由仪器系统的信号背景值及微量气泡构成的。系统背景信号值的高低则取决于仪器光源种类、光路设计、检测器种类、杂散光、制造工艺、信号值计算方法、校准验证方法。在测量低浊度样品时,如何有效降低甚至屏蔽系统背景信号,获得真正的由颗粒物及胶体贡献的浊度信号值尤为重要。现行的浊度理论体系^[15-17]的测量结果由于包含了上述仪器系统的信号背景值即零示值误差,所测量结果会大于真正的由颗粒物、胶体及气泡所贡献的浊度真实值。为确保低浊度样品的准确测量,需要建立一套新的浊度理论体系及测量方法,以真实反映水中微小颗粒物、胶体及气泡引起的浊度值,使得测量结果更客观且具有可比性,而非叠加了系统背景信号的示值。

《水浊度精确检测技术》中提到:水由水分子组

成,光线与水分子之间的相互作用,会产生强度非常低的散射光。由于分子的散射作用,即使是最理想纯度的水也不会有浊度为零的情况^[4,13]。

基于以上分析,提出近真浊度理论。该理论包含 3 个概念:

① 近真浊度:无限接近于仅由水体中悬浮颗粒物及胶体引起的浊度值;

② 表观浊度:现有浊度仪测试样品的显示结果;

③ 零示值误差:使用浊度仪测量现有最先进技术制备的纯水得到的测量结果,该误差为近零浊度纯水的浊度,取决于不同仪器的光源种类、光路设计、检测器背景噪音、杂散光、制造工艺、信号值计算方法、校准验证方法。

针对同一低浊度样品,其表观浊度的差异主要来源于不同仪器间的零示值误差。近真浊度理论用定义式可表达为:

$$\text{近真浊度} = \text{表观浊度} - \text{零示值误差} \quad (1)$$

近真浊度的测量方法是指从表观浊度中扣除仪器零示值误差,由此可以排除不同型号不同生产批次浊度仪间的系统误差。通过测量非常接近零浊度的纯水浊度值来获得仪器的零示值误差。在统一扣除仪器零示值误差即系统信号背景值所贡献的浊度值后,可获得结果一致性良好的近真浊度。

现行浊度理论在测量 40 NTU 以下的浊度时,使用 20 NTU 和 0 NTU 进行两点的一次线性拟合。但由于不同型号的浊度仪对 0 NTU 点的定义方法各不相同^[4],导致 40 NTU 以下的浊度曲线斜率不一致,从而在低浊度测量时产生结果差异,如图 3 所示。

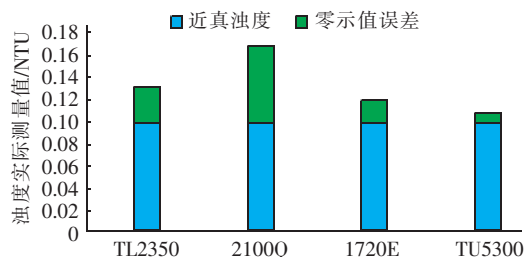


图3 4款不同型号浊度仪测量值构成示意图

Fig. 3 Schematic diagram of measured values of four different models of turbidity meters

由图 3 可知,不同型号浊度仪检测到由悬浮颗粒物及胶体所引起的浊度(近真浊度)相差很小,主

要的误差来源是不同型号的浊度仪由各自系统背景信号值不同而引起的零示值误差。如果扣除了由纯水测定出的零示值误差后,直接对比近真浊度的数据,可以看到数据间一致性非常好。

4 近真浊度理论在低浊样品中的应用

4.1 实验室标准物质比对

取400 NTU的StablCal浊度标准物质0.25 mL,用纯水定容至1 L,获得浊度在0.1~0.2 NTU之间的浊度标准物质。4款不同浊度仪测定标准物质数据对比见表2。在测量过程中,纯水和样品的2次测量都用同一个样品瓶。由表2得知,不同仪器的零示值误差存在明显差异,从而针对同一标准样品,其表观浊度也存在明显的差异。从表观浊度中扣除零示值误差后得到的近真浊度结果一致性良好。

表2 4款不同浊度仪测定标准物质数据对比

Tab.2 Comparison of four different turbidity meters for determination of reference materials NTU

项 目	TL2350	1720E	TU5200	TU5300
零示值误差(纯水)	0.026 4	0.054 4	0.018 0	0.024 0
同一标准样品 表观浊度	0.135 0	0.164 3	0.122 7	0.128 7
近真浊度	0.108 6	0.109 9	0.104 7	0.104 7

4.2 天津地区自来水样品比对

测定天津地区自来水样品,使用同一标准物质对HACH TL2350和HACH TU5200浊度仪进行校准,并使用实验室纯水测定仪器的零示值误差。在2.3节的浊度数据中扣除零示值误差,获得近真浊度值,见图4。

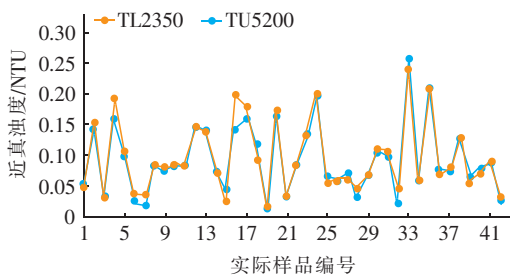


图4 两款不同型号浊度仪测定天津地区自来水样品的近真浊度对比

Fig.4 Comparison of approximate true turbidity measurement results of two different models of turbidity meters for tap water samples in Tianjin

由图4可见,两款不同型号的浊度仪测量结果在扣除零示值误差后,所获得近真浊度的比对一致性远优于图2中传统浊度理论测得的浊度值。但仍

有少量的数据具有差异,这主要是由于扣除零示值误差的纯水和样品中存在的不可重现的颗粒物所引起的。

4.3 江西地区自来水样品比对

测定江西地区自来水样品,使用同一标准物质对3款仪器进行校准,并使用实验室纯水测定零示值误差。在浊度数据中扣除零示值误差,获得近真浊度值(见表3)。由表3可知,3款不同型号(TU5200、TU5300、2100Q分别为便携式、在线、台式)的浊度仪测量结果在扣除零示值误差后,所获得近真浊度的比对一致性良好。

表3 3款不同浊度仪测定江西地区自来水样品的近真浊度对比

Tab.3 Comparison of approximate true turbidity measurement results of three different models of turbidity meters for tap water samples in Jiangxi NTU

水厂名称	浊度类型	TU5200	TU5300	2100Q
A 水厂	表观浊度	0.152 4	0.117	0.19
	零示值误差	0.041 6	0.017	0.08
	近真浊度	0.110 8	0.100	0.11
B 水厂	表观浊度	0.798 4	0.788	0.85
	零示值误差	0.026 0	0.026	0.07
	近真浊度	0.772 4	0.762	0.78
C 水厂	表观浊度	0.057 6	0.057	0.10
	零示值误差	0.025 0	0.026	0.07
	近真浊度	0.032 6	0.031	0.03

4.4 浙江地区自来水样品比对

测定浙江地区自来水样品,使用同一标准物质对3款仪器进行校准,并使用实验室纯水测定零示值误差。在浊度数据中扣除零示值误差,获得近真浊度值(见表4)。

表4 3款不同浊度仪测定浙江地区自来水样品的近真浊度对比

Tab.4 Comparison of approximate true turbidity measurement results of three different models of turbidity meters for tap water samples in Zhejiang NTU

项 目	TU5200	TU5300	2100Q
StablCal 标液	20	19.84	20.00
	0.500	0.503 9	0.496
	0.322	0.322 1	0.322
管网1	表观浊度	0.079 6	0.069
	零示值误差	0.030 2	0.022
	近真浊度	0.049 4	0.047
管网2	表观浊度	0.195 8	0.195
	零示值误差	0.030 2	0.022
	近真浊度	0.165 6	0.173

由表 4 可知,3 款不同型号的浊度仪测量已知浓度的 StablCal 标液结果一致性良好,在测得的表观浊度值中扣除零示值误差后,所获得的近真浊度一致性良好。

5 结论与展望

首次提出了近真浊度和表观浊度两个全新的浊度概念,并建立了近真浊度理论体系及相关测试方法。在测量低浊样品时,近真浊度理论体系可以更客观地反映水体中由悬浮颗粒物及胶体引起的浊度。采用该理论和测量方法,可有效降低甚至屏蔽由仪器自身产生的系统误差,同时较好地解决当前不同型号浊度仪在低浊测量时的比对问题。

随着膜技术的成熟、供水管网建设的升级改造以及水厂工艺的发展,将会有更多超低浊度样品出现,在基因工程、分子生物诊断、制药工程、纳米材料、电子芯片半导体、超临界流体、海水淡化、膜处理等领域,也将会有更多低浊度样品的测试需求,近真浊度理论将会被更多地推广和应用。

参考文献:

- [1] Schwartz J, Levin R. Drinking water turbidity and health [J]. *Epidemiology*, 1999, 10(1): 86–90.
- [2] Schwartz J, Levin R, Hodge K. Drinking water turbidity and pediatric hospital use for gastrointestinal illness in Philadelphia [J]. *Epidemiology*, 1997, 8(6): 615–620.
- [3] Fissenden R W, Stein R S. On the absolute turbidity of water [J]. *J Chem Phys*, 1954, 22(10): 1778–1779.
- [4] Sadar Mike, 程立, 杨家建, 等. 水浊度精确检测技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Sadar Mike, Cheng Li, Yang Jiajian, *et al.* Water Turbidity Accurate Detection Technology [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008 (in Chinese).
- [5] 文武, 贾丽艳, 刘洪波, 等. 城市污水处理技术与工艺研究进展综述 [J]. *环境保护科学*, 2007, 33(6): 53–55, 77.
Wen Wu, Jia Liyan, Liu Hongbo, *et al.* Summarization on research achievement of municipal wastewater treatment technology and process [J]. *Environmental Protection Science*, 2007, 33(6): 53–55, 77 (in Chinese).
- [6] 贡献. 工业过程浊度测量的新进展 [J]. *化工自动化及仪表*, 1999, 26(6): 1–7.
Gong Xian. New advance of industrial process turbidity measurement [J]. *Control and Instruments in Chemical Industry*, 1999, 26(6): 1–7 (in Chinese).
- [7] 秦颖, 李兴民. 饮料乳化香精的研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2008, 29(3): 300–303.
Qin Ying, Li Xingmin. Research progress of developing of beverage emulsions [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2008, 29(3): 300–303 (in Chinese).
- [8] 尹建邦, 王焕香, 张辉, 等. 浊度在葡萄酒蛋白稳定和过滤控制中的应用 [J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2011(11): 58–59.
Yin Jianbang, Wang Huanxiang, Zhang Hui, *et al.* Application of turbidity in wine protein stabilization and filtration control [J]. *Sino-Overseas Grapevine and Wine*, 2011(11): 58–59 (in Chinese).
- [9] 肖宗齐, 郑忆. 制药行业的纯水制备 [J]. *洁净与空调技术*, 1996(1): 17–18, 4.
Xiao Zongqi, Zheng Yi. Preparation of pure water in the pharmaceutical industry [J]. *Contamination Control & Air-Conditioning Technology*, 1996(1): 17–18, 4 (in Chinese).
- [10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [M]. 2015 年版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
People's Republic of China Pharmacopoeia Committee. People's Republic of China Pharmacopoeia [M]. 2015 ed. Beijing: China Medical Science Press, 2015 (in Chinese).
- [11] 罗益锋, 罗晰旻. 电子工业用化工新材料的新进展 [J]. *新材料产业*, 2017(10): 39–42.
Luo Yifeng, Luo Ximin. New progress in new chemical materials for electronic industry [J]. *Advanced Materials Industry*, 2017(10): 39–42 (in Chinese).
- [12] 许骏, 王志, 王纪孝, 等. 反渗透膜技术研究和应用进展 [J]. *化学工业与工程*, 2010, 27(4): 351–357.
Xu Jun, Wang Zhi, Wang Jixiao, *et al.* Progress in the development and application of reverse osmosis membrane technology [J]. *Chemical Industry and Engineering*, 2010, 27(4): 351–357 (in Chinese).
- [13] 杨家建, 施正纯. 饮用水浊度测量技术及应用 [J]. *中国建设信息*, 2010(6): 25–29.
Yang Jiajian, Shi Zhengchun. Measurement technology and application of drinking water turbidity [J]. *Information of China Construction*, 2010(6): 25–29 (in Chinese).
- [14] 陈炜斌. 出厂水在线浊度仪与台式浊度仪读数差异之初探 [J]. *西南给排水*, 2006, 28(4): 46–47.
Chen Weibin. Preliminary study on differences between online turbidity meter and benchtop turbidimeter

- readings[J]. Southwest Water & Wastewater, 2006, 28(4): 46-47 (in Chinese).
- [15] ISO 7027—1:2016(E), Water Quality—Determination of Turbidity[S]. Switzerland: ISO, 2016.
- [16] U. S. EPA Method 180.1, Determination of Turbidity by Nephelometry[S]. Cincinnati, Ohio: USEPA, 1993.
- [17] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- Editorial Board of *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Method*, State Environmental Protection Administration. *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Method* [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002 (in Chinese).
- [18] 白金伟, 张德源, 刘畅. 浊度仪中两种不同光源对浊度测量的影响研究[J]. 光学仪器, 2008, 30(2): 1-3.
- Bai Jinwei, Zhang Deyuan, Liu Chang. Research of turbidity measuring influence caused by two different light source[J]. *Optical Instruments*, 2008, 30(2): 1-3 (in Chinese).
- [19] 程万虎, 刘红武. 不同类型浊度仪对浊度的测试研究[J]. 净水技术, 2002, 21(4): 33-35.
- Cheng Wanhu, Liu Hongwu. Investigation of measuring turbidity of water with different types of turbidimeter [J]. *Water Purification Technology*, 2002, 21(4): 33-35 (in Chinese).
- [20] JJG 880—2006, 浊度计检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2007.
- JJG 880 - 2006, Verification Regulation of Turbidimeters [S]. Beijing: China Measurement Press, 2007 (in Chinese).
- [21] 张雪花, 胡钧. 固液界面纳米气泡的研究进展[J]. 化学进展, 2004, 16(5): 673-681.
- Zhang Xuehua, Hu Jun. Nanobubbles at the solid/water interface [J]. *Progress in Chemistry*, 2004, 16(5): 673-681 (in Chinese).



作者简介: 宋博(1986-), 男, 北京人, 本科, HACH 高级工程师, 从事水质分析技术应用及研究工作。

E-mail: bo.song@hach.com

收稿日期: 2019-05-22

强化水资源监管,

落实最严格水资源管理制度