

城镇给水综合毒性在线监测仪
技术规程（鱼类行为法）

Technical regulation for online comprehensive toxicity monitoring
in municipal water supply processes (Fish Behavior Test)

2019 - -发布

2019- -实施

目 次

目 次.....	I
前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
3.1 运动行为图像解析法 motion behavior image analysis method.....	1
3.2 生物行为传感器法 biological behavior sensor method	1
3.3 零点漂移 zero drift.....	1
3.4 标样核查 verification of standard samples	1
3.5 行为参数综合指数 comprehensive index of behavior parameters.....	1
3.6 行为强度 behavior strength (BS)	2
3.7 响应时间 response time	2
3.8 灵敏度 sensitivity	2
3.9 平均无故障连续运行时间 mean time between failures (MTBF)	2
3.10 毒性效应浓度 concentration of effect toxicity (C_{et})	2
3.11 毒性单位 toxicity Unit (TU)	2
3.12 照度单位 Luminous flux (Lx)	2
4 工作原理.....	2
4.1 运动行为图像解析法.....	2
4.2 生物行为传感器法.....	3
5 性能要求.....	3
6 仪器构造.....	4
6.1 构造.....	4
6.2 通用要求.....	4
7 检测.....	4
7.1 检测条件.....	4
7.2 试剂.....	5
7.3 性能试验方法.....	5
8 运行与维护.....	6
9 标志.....	6
10 操作说明书.....	6

前 言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》，保障城镇给水水质安全，实现水质监测的自动化和现代化，以期达到水体综合毒性监测与预警的目的，制定本标准。

本标准按照GB/T1.1-2009《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》规则起草。

本标准由深圳市水务科技有限公司提出。

本标准由中国质量检验协会归口。

本标准起草单位：深圳市水务科技有限公司、深圳市水务（集团）有限公司、山东省城市供排水水质监测中心、山东师范大学、济南水务集团有限公司

本标准主要起草人：

城镇给水综合毒性在线监测仪技术规程（鱼类行为法）

1 范围

本标准规定了使用鱼类行为法的城镇给水综合毒性在线监测仪的技术规程，包括术语与定义、工作原理、性能要求、仪器构造、检测、运行与维护、标志、操作说明书。

本标准适用于城镇给水综合毒性在线监测仪（鱼类行为法）的制造和性能检验等方面的主要技术要求。综合毒性在线监测仪（鱼类行为法）可应用于原水及其他需监测水体的水质监测与预警。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 13267 水质 物质对淡水鱼（斑马鱼）急性毒性测定方法
GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
GB 4793.1 测量、控制和实验室用电气设备安全通用要求
CJJ/T 271 城镇给水水质在线监测技术标准

3 术语与定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1 运动行为图像解析法 *motion behavior image analysis method*

通过图像识别处理手段，监测鱼类的行为模式及变化，对水质污染状况进行监测预警。

3.2 生物行为传感器法 *biological behavior sensor method*

通过四极阻抗技术构建生物传感器，结合监测鱼类的行为强度及变化，对水质污染状况进行监测预警。

3.3 零点漂移 *zero drift*

以新制备的去离子水或蒸馏水为试样连续测试，该仪器的指示值在一定时间内变化的幅度。

3.4 标样核查 *verification of standard samples*

以已知浓度的标准样品作为参比毒物，检测仪器毒性响应值，根据测量结果判定仪器工作状态是否正常。

3.5 行为参数综合指数 *comprehensive index of behavior parameters*

用来量化表征运动行为图像解析法中的生物行为，由活鱼数目、个体行为（速度、高度、转弯次数）和群体行为（分散度、分形维数、平均距离）组成，以反映生物行为模式变化情况。

3.6 行为强度 behavior strength (BS)

用来量化表征生物行为传感器法中的生物行为，以反映生物行为变化。

3.7 响应时间 response time

针对运动行为图像解析法，在线监测仪测定样品时由初始接触污染水样至行为参数综合指数低于60所需时间。

针对生物行为传感器法，在线监测仪测定样品时由初始接触污染水样至行为强度降低20%所需时间。

3.8 灵敏度 sensitivity

对单位浓度待测样品变化所产生的响应量的变化程度。该仪器毒性检测的灵敏度基于毒性效应浓度及响应时间进行表征。

3.9 平均无故障连续运行时间 mean time between failures (MTBF)

相邻两次故障之间的平均工作时间，采用测试期间累计工作时间与故障次数的比值进行计算。

3.10 毒性效应浓度 concentration of effect toxicity (C_{et})

导致受试生物不同行为毒性效应的污染物浓度。

3.11 毒性单位 toxicity Unit (TU)

用鱼类作为试验生物测定毒物在24h、48h、72h或96h后引起受试鱼类群体中50%鱼类致死的浓度命名为一个毒性单位TU，采用毒性单位TU表示毒性大小。本标准以48h的半数致死浓度表示一个毒性单位TU。

3.12 照度单位 Luminous flux (Lx)

单位面积上所接受可见光的光通量，用于指示光照的强弱和物体表面积被照明程度的量。

4 工作原理

按工作原理，城镇给水综合毒性在线监测仪（鱼类行为法）包含运动行为图像解析法和生物行为传感器法两类。

4.1 运动行为图像解析法

a. 技术原理：以受试鱼类作为指示生物，利用视频图像跟踪处理和识别技术，实时监测受试鱼类的行为参数，获得行为模式变化情况。

b. 监测指标：行为模式，包括活鱼数目、个体行为（速度、高度、转弯次数）和群体行为（分散度、分形维数、平均距离）。

c. 监测原理：结合行为模式与水质特征之间的关联关系分析，采用行为参数综合指数分析水质综合毒性。行为参数综合指数理论值为0-100，100-60为正常，60-40为黄色报警，表示水体污染，40-0为红色报警，表示水体严重污染。

4.2 生物行为传感器法

a. 技术原理：四极阻抗技术，其中一对电极发射低压高频正弦交流信号，另一对电极采集生物游动对该信号的影响，结合信号滤除，获得生物行为。

b. 监测指标：行为强度，是指生物在环境中的行为导致四极阻抗信号传感器内信号强度，取值0-1。正常情况下，生物行为完全表达为1，生物丧失行为能力则为0。

c. 监测原理：结合行为强度变化与水质状况之间的关联关系分析，采用不同行为强度大小和变化趋势分析水质。正常情况下，行为强度在一定时间内下降幅度超过20%，则表示水体污染，如果生物行为强度低于0.2，则表示水体污染严重。

5 性能要求

5.1 推荐采用斑马鱼 (*Brachydanio rerio*) (真骨鱼总目, 鲤科) 作为受试鱼类, 不排除使用其他鱼种, 如: 青鳉鱼 (*Oryzias latipes*) (真骨鱼总目, 青鳉科), 但试验和运行条件需做相应的改变。受试鱼类驯养和选用条件应符合GB/T 13267的规定。监测时应挑选鱼龄3~4个月, 体长3cm~5cm。对受试鱼的质量和体积进行记录。

5.2 当采用第10项试验时, 综合毒性在线监测仪(鱼类行为法)的性能要求应符合表1的规定。

表1 综合毒性在线监测仪的性能

序号	具体指标	运动行为图像解析法	生物行为传感器法	试验方法
1	采集频率	≥25fps	255 次/s	-
2	零点漂移	(24) : ±10%	(24) : ±10%	7.3.1
3	标样核查	20%~80%	20%~80%	7.3.2
4	温度控制	温控误差: ±1℃	温控误差: ±1℃	7.3.3
5	灵敏度(毒性效应浓度/响应时间)	$1TU > C_{et} \geq 0.05TU, RT < 48\text{ h}$	$1TU > C_{et} \geq 0.05TU, RT < 48\text{ h}$	7.3.4
		$10TU > C_{et} \geq 1TU, RT < 2\text{ h}$	$10TU > C_{et} \geq 1\text{ TU}, RT < 2\text{ h}$	7.3.5
		$C_{et} \geq 10TU, RT < 0.1\text{ h}$	$C_{et} \geq 10TU, RT < 0.1\text{ h}$	
6	受试生物更换频率	15d	30d	7.3.6
7	平均无故障连续运行时间(MTBF)	≥720 h	≥720 h	7.3.7
8	测量参数	活鱼数目、个体行为(速度、高度、转次)、群体行为(分散度、分形维数、平均距离)	行为强度	-

5.3 综合毒性在线监测仪应设置(200±10)lx(照度单位)的背景灯以减小受试鱼类的昼夜行为差异。

5.4 系统应具有中文操作界面、设定和显示时间功能, 包括年、月、日和时、分。

5.5 综合毒性在线监测仪宜配有数据管理模块和移动端APP，具备数据存储、数据分析和数据可视化功能。

6 仪器构造

6.1 构造

综合毒性在线监测仪应包括信号采集单元、信号分析单元、水预处理单元、控制单元、水质生物综合毒性预警单元和远程通信传输单元。

6.2.1 信号采集单元 应包括生物监测区域和信号采集设备，信号采集内容应包括检测时间、检测结果等，可根据需要增加电源故障、设备维护记录、仪器运行状态等数据采集。

6.2.2 信号分析单元 具有对采集到的信号进行实时分析的功能。

6.2.3 水预处理单元 应根据7.1的规定选配去浊装置、机械曝气、恒温装置等水预处理装置。

6.2.4 控制单元 具有对仪器的执行机构进行控制的功能。

6.2.5 水质生物综合毒性预警单元 具有比较测定值与阈值、波动值的功能及预警功能。

6.2.6 远程通信传输 数据传输可采用有线或无线方式，宜采用专网传输。在公共网络上传输时，应采取网络安全保护措施。

6.2 通用要求

6.2.1 温度环境的能力，湿度环境的能力，抗振动性能应符合GB/T 6587的要求。

6.2.2 抗电磁干扰能力应符合GB/T 17626.2、GB/T 17626.4、GB/T 17626.5的有关要求。

6.2.3 监测设备应符合GB 4793.1的相关规定，仪器的电源进线与机壳（接地端）之间的绝缘电阻应不小于20MΩ。

6.2.4 应设有漏电保护装置和过载保护装置。

6.2.5 应具有良好的接地端口。

6.2.6 监测设备显示器无污点、损伤，显示器显示部分的字符均匀、清晰，显示屏幕无暗角、黑斑、彩虹、气泡、闪烁等现象，显示屏说明功能的文字、符号和标志端正。

6.2.7 监测设备机箱外壳表面无裂纹、变形、污浊、毛刺等现象，表面无腐蚀、生锈、脱落及磨损现象。

7 检测

7.1 检测条件

7.1.1 检测条件应按CJJ/T 271的规定。

7.1.2 浊度 被测水体的浊度应小于20NTU，经常高于20NTU时，应选配专业去浊装置。

7.1.3 溶解氧 被测水体的溶解氧饱和度应60%以上，达不到的情况下，宜使用机械曝气充氧。

7.1.4 温度 运动行为图像解析法的水温应在（3-40）℃范围内，生物行为传感器法的水温应在（15~30）℃范围内。

7.1.5 喂食 整个测试及运行期间不喂食。

7.2 试剂

7.2.1 水 蒸馏水。

7.2.2 标准储备液 本标准使用分析纯级以上的溴氰菊酯配置标准储备液，配制方法按GB/T 13267中的规定。

7.2.3 试验溶液的配制 向蒸馏水中加入适当的溴氰菊酯标准储备液，使达到所需要的浓度。

7.2.4 试验溶液浓度的选择 配置试验溶液时，按几何级数间距选择浓度。

7.3 性能试验方法

7.3.1 零点漂移 仪器运行稳定后，应连续测量新制备的蒸馏水24h。在24h内每隔2h记录一次零点示值，绝对值最大的零点示值为该仪器的零点漂移。

7.3.2 标样核查 导入溴氰菊酯标准储备液进行稀释，使反应溶液的最终浓度达到2mg/L，测定值应在20%~80%之间。

7.3.3 温度控制 用温度测量装置每隔 10min 测量进入生物监测区域的水体温度 1 次，共测量 6 次，依据记录读数 T_1, T_2, \dots, T_6 ，分别计算读数相对设定值 T_0 的偏差值，取绝对值最大的偏差作为温度控制误差 ΔT 。每次测量温度误差按公式（1）计算：

$$\Delta T_i = T_i - T_0 \quad (1)$$

式中：

ΔT_i ——第 i 次测量的温度误差，℃；

T_i ——第 i 次测量的温度值，℃；

T_0 ——温度设定值，℃。

7.3.4 灵敏度 系统灵敏度受毒性效应浓度（ C_{et} ）和系统响应时间（RT）决定。运行中，应将标准模式受试鱼类置入充满正常水体的生物监测区域内，30min后待受试鱼类适应环境且行为稳定后，向生物监测区域通入一定毒性单位的试验溶液（7.2.3），连续自动采集受试鱼类生物行为趋势变化数据并计时，至系统报警时所经过的时间为预警时间，该过程为预警监测周期，所使用的试验溶液浓度为毒性检测的灵敏度。该灵敏度应基于毒性效应浓度（ C_{et} ）和系统响应时间（RT）来表征。

毒性效应浓度（ C_{et} ）采用不同污染物的质量浓度（ $D_{\rho i}$ ）与该污染物对斑马鱼48小时半数致死剂量（ LC_{50-48} ）的比值作为毒性单位(TU)，进行归一化分析：

$$C_{et} = \frac{D_{\rho i}}{LC_{50-48}^i} \quad (1)$$

式中： $D_{\rho i}$ ——第*i*种污染物的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

LC_{50-48}^i ——第*i*种污染物对斑马鱼 48 小时半数致死剂量，单位为毫克每升（mg/L）。

7.3.5 响应时间 向生物监测区域通入试验溶液，求出从开始接触试验溶液至系统报警所需要的时间（min）。

7.3.6 受试生物更换频率 受试鱼类正常运行情况下更换的频率。如生物监测区中有鱼非正常死亡，需及时留样，清洗监测箱，监测箱内鱼全部更换。监测箱内的鱼不可再用于水质监测。

7.3.7 平均无故障连续运行时间（MTBF） 采用实际水样连续运行2个月，记录总运行时间（h）和故障次数（次），计算平均无故障连续运行时间（h）。

8 运行与维护

8.1 无受试鱼类的状态下，应保持水流畅通，进行系统调零。

8.2 清洗管路和生物行为传感器频率不应小于每两周1次，更换水样分配管路频率不应小于每月1次。

8.3 视频追踪系统检查频率不应小于每两周1次，检查内容包括系统是否正常运行，摄像头位置是否在设定范围内。

8.4 设备通讯检查频率不应小于每两周1次，检查内容包括报警信息通讯是否正常。

8.5 设备检查频率不应小于每两周1次，检查内容包括管道水流是否畅通，设备内部是否出现漏水、渗水、漏电等问题及受试鱼类活性是否正常等情况。

8.6 设备电气控制部件检查频率不应小于每半年1次，检查内容包括电气控制是否正常。

9 标志

在仪器上，必须在醒目处端正地标示以下有关事项，并符合国家的有关规定。

9.1 名称及型号。

9.2 使用温度范围。

9.3 电源类别及容量。

9.4 制造商名称。

9.5 生产日期和出厂编号。

10 操作说明书

操作说明书中，至少应说明以下有关事项。

10.1 安装说明与要求。

10.2 操作说明。

10.3 维护说明。

10.4 故障排查与维修。

10.5 性能特点。