



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ □□□□—202□

水质监测用无人艇技术要求（试行）

Technical specification for water quality monitoring of unmanned surface
vehicle

（送审稿）（二次征求意见）

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□实施

生态环境部 发布

目 次

前 言	ii
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 产品分类	2
5 组成与指标要求	3
6 检验要求	7

前 言

为贯彻《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》，防治生态环境污染，改善生态环境质量，规范无人艇水质监测工作技术要求，制定本标准。

本标准适用于水质监测用无人艇技术性能、指标和检验的要求。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部生态环境监测司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国环境监测总站、中国环境科学研究院、天津市生态环境科学研究院。

本标准生态环境部202□年□□月□□日批准。

本标准自202□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

水质监测用无人艇技术要求（试行）

1 适用范围

本标准规定了水质监测用无人艇技术性能、指标和检验的要求。

本标准适用于排水量低于200 kg，能对内河、湖泊和水库进行自动采样、监测的无人艇。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的，新文件适用于本标准。

GB 4943.1 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求

GB 13195 水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定法

GB 17799.4 电磁兼容 通用标准 第4部分：工业环境中的发射

HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范

HJ/T 372 水质自动采样器技术要求及检测方法

HJ 494 水质 采样技术指导

HJ 506 水质 溶解氧的测定 电化学探头法

HJ 535 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法

HJ 897 水质 叶绿素 a 的测定 分光光度法

HJ 1147 水质 pH 值的测定 电极法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

无人艇 unmanned surface vehicle

无人水面艇（unmanned surface vehicle, USV）的简称，指一种直接通过自动航行或远程遥控以实现正常航行、操控及作业的水面机器人。无人艇可通过搭载各种任务载荷执行指定任务。无人艇包括平台、任务载荷、通信系统和操控系统。

3.2

水质监测用无人艇 USV for water quality monitoring

指集成水质采样、监测设备或仪器，实现水质自动采样、监测功能的无人艇。

3.3

平台系统 platform

由艇体、电气设备、任务载荷接口、定位系统、动力系统等组合而成的智能化平台。

3.4

任务载荷系统 mission loading

指搭载在无人艇平台上，为完成指定任务而配置的设备或仪器。

3.5

原位监测 in-situ monitoring

采用在线监测方法，在指定位置上对水域水样进行在线监测。

3.6

通信系统 communication system

指用以完成平台与任务载荷、控制终端、显示终端等之间各种指令、状态、图像、视频、音频等数据的传输、交换的系统。

3.7

操控系统 control system

指位于平台和母船/岸基/空基上对采集的各种信息进行识别、处理和决策，从而实现平台的自主或遥控航行的系统。

3.8

远程遥控 remote control

指在母船/岸基上采用遥控方式对平台推进装置和各种设备及系统进行远程操控的航行模式。

3.9

自主航行 autonomous sailing

指无人艇按照预先规划的路径进行安全航行，无需人工干预的航行模式。

3.10

显控基站 display and control base

位于岸基或母船上，能够远程监控无人艇航行状态、周边环境、平台设备状态等数据内容，并能对无人艇进行手动、自主航行控制的图形及数据信息显示工作站。

3.11

遥控器 remote controller

在远程遥控的模式下，对无人艇进行操控的手持式设备。

3.12

工作航速 working speed

满足采样监测任务需要的航行速度要求条件下，综合考虑作业效率、续航时间设定的航行速度，该速度受到艇体大小、重量、推进能力、水流、天气等因素影响。

4 产品分类

4.1 按排水量分类

按排水量的不同，水质监测用无人艇分为小型水质监测用无人艇和大型水质监测用无人艇。

a) 小型水质监测用无人艇指排水量 $<100\text{ kg}$ ，且艇体长度 $<2\text{ m}$ 的无人艇。主要适用于内

陆河道、湖泊等水域，具有定深采样及监测功能；

- b) 大型水质监测用无人艇指排水量 ≥ 100 kg，或艇体长度 ≥ 2 m的无人艇。主要适用于沿海、近海或大型河流、湖泊等水域，具有定深采样或分层采样、监测等功能。

4.2 按功能分类

水质监测用无人艇产品按功能的不同，分为采样艇、监测艇和采样/监测艇。

5 组成与指标要求

5.1 基本组成

水质监测用无人艇系统由以下部分组成：

- a) 平台系统：艇体、电气设备、任务载荷接口、定位系统、动力系统等；
- b) 通信系统：包含信息传输设备、中继转发设备、通信软件等；
- c) 操控系统：显控基站控制设备，无线电遥控设备等；
- d) 任务载荷系统：水质采样/监测用设备或仪器，包含水质采样仪器、水质监测仪器等。

5.2 指标与要求

5.2.1 航行性能

5.2.1.1 航速

静水最大航速 ≥ 2 m/s。

无人艇应具备航速手动调节设置功能。

5.2.1.2 续航时间

工作航速下，小型水质监测用无人艇续航时间 ≥ 2 h，大型水质监测用无人艇续航时间 ≥ 6 h。

5.2.2 系统指标

5.2.2.1 定位系统

装载在艇上的定位系统应满足以下要求：

- a) 水平定位精度 ≤ 2.5 m；
- b) 定向精度 $\pm 2^\circ$ ；
- c) 纵/横摇倾角精度 $\pm 1^\circ$ （ $-15^\circ \sim +15^\circ$ ）。

5.2.2.2 通信系统

通信系统应具备以下要求：

- a) 无人艇与显控基站之间通信可采用公共网络、专用网络等方式；无人艇与遥控器之间应具有专用网络能力；
- b) 显控基站专网数据通信距离：

小型水质监测用无人艇 ≥ 2 km;

大型水质监测用无人艇 ≥ 5 km;

注: 数据通信指任务控制命令、监测数据、视频等数据。

- c) 通信带宽:
 - 电台通信波特率 ≥ 9600 ;
 - 视频通讯带宽 ≥ 2 Mbps;
- d) 遥控器通信距离 ≥ 1 km;
- e) 监测数据应能够同时本地储存与远程传输, 本地数据与远程数据应一致。本地储存数据不受信号传输能力影响, 并可通过有线连接的方式读取;
- f) 监测时应同时自动记录监测时间、监测点位(北斗)、监测位置深度。

5.2.2.3 动力系统

动力系统应具备以下要求:

- a) 动力系统不应对水体造成污染;
- b) 动力系统不应对水质采样、监测结果造成影响;
- c) 使用电池供能的, 电池需具备:
 - 1) 过电流、过热保护, 充、放电保护, 短路保护功能;
 - 2) 实时电量监测反馈功能;
 - 3) 不少于 300 次的充放电寿命;
 - 4) 电池模组应通过 UN38.3 认证, 满足陆运、海运、航空运输安全要求。
- d) 供电系统应具有不低于 IP 67 的防护等级, 且更换便利;
- e) 动力系统适用电池供能的无人艇, 应具备平台给监测仪器提供电能的接口和能力。

5.2.2.4 平台系统

平台系统具有下列功能:

- a) 应具有卫星定位系统;
- b) 能接受遥控器的手动遥控指令及显控基站的手、自动遥控指令;
- c) 河道横向距离 < 10 m 无人艇操控软件增加避障功能开关键。对特殊环境的水体(如渠道、过窄过复杂的水面, 由用户自行选择是否开启避障功能。)
- d) 无人艇应具有状态指示功能, 异常时能采取声光等方式报警;
- e) 具有对数据进行实时传输和本地备份的功能;
- f) 通讯信号中断或低电量等异常情况下, 可自动返航, 其中通讯中断时长、低电量报警阈值, 可设置及更改, 宜遥控器断电、通讯断电时间 30 秒, 具体值由用户根据作业环境自己调整; 低电量阈值 10%, 具体请用户根据实际工作现场情况自行设置;
- g) 无人艇端具备原始数据直接实时回传控制终端的功能;
- h) 具有 IP66 的防护等级;
- i) 艇体具备蒲氏 3 级风、3 级浪的生存能力, 蒲氏 3 级风、2 级浪的工作能力;

- j) 无人艇操控软件具有避障功能开关键。对特殊环境的水体(如渠道、过窄过复杂的水面),由用户自行选择是否开启避障功能。

5.2.2.5 操控系统

5.2.2.5.1 显控基站

显控基站具有下列功能:

- a) 任务编辑:
 - 1) 可在卫星地图上规划路径;
 - 2) 任务可保存、载入。
- b) 手动遥控无人艇:
 - 1) 操纵无人艇行驶;
 - 2) 控制无人艇的声光报警。
- c) 无人艇系统状态监控与显示:
 - 1) 实时显示无人艇的位置(纬度、经度)、航向、剩余能量、航速等;
 - 2) 可发出无人艇低能量警报;
 - 3) 实时显示监测无人艇搭载的水质分析仪器的监测结果;
 - 4) 显示无人艇检测到的障碍物距离(检测范围内);
 - 5) 可实时显示无人艇搭载摄像头(如有装载)拍摄的画面;
 - 6) 显示无人艇任务完成状态,包括任务已完成的百分比、预计剩余时间等信息。
- d) 数据存储:存储无人艇收集到的各种数据;
- e) 存储无人艇工作日志;
- f) 自动生成水质时空变化图及工作报告;
 - 1) 自动生成采样工作报告;
 - 2) 自动绘制水质参数空间变化图;
 - 3) 自动绘制水质参数时间变化图。
- g) 实时显示显控基站电量。

5.2.2.5.2 遥控器

无人艇遥控器应具有下列功能:

- a) 手动遥控无人艇:
 - 1) 切换无人艇自动、手动模式;
 - 2) 操控无人艇;
 - 3) 控制无人艇的声光警报;
 - 4) 调节无人艇航行速度档位;
 - 5) 进行遥控采样、监测作业。
- b) 监控并显示系统状态:
 - 1) 无人艇工作状态、模式、能量剩余比例;
 - 2) 遥控器电量;

- 3) 通信信号强度、状态;
- 4) 显示无人艇的速度、横摇、纵摇、北斗位置。

5.3 载荷要求

5.3.1 采样设备与采样要求

5.3.1.1 采样设备功能

无人艇搭载采样设备应具备以下要求及功能:

- a) 用于存放水样的采样瓶, 根据具体监测项目, 应符合 HJ 91.2 中对采样瓶材质要求;
- b) 具备反吹水路(含采样瓶)、管路自动清洗功能;
- c) 满足快拆快装要求;
- d) 非单点采样时, 管路应具有单向独立通道, 防止水样相互污染或影响;
- e) 采用耐腐蚀不易生锈且不污染水体的元器件;
- f) 具有通信接口, 具备远程启用、远程设置等功能;
- g) 具有自动记录采样瓶信息与采样点信息(包括但不限于采样时间、采样点位(北斗)采样深度)的功能。

5.3.1.2 采样要求

无人艇采样时应满足以下要求:

- a) 水样采集总量:
 - 1) 小型水质监测用无人艇不小于 2 L;
 - 2) 大型水质监测用无人艇不小于 7 L。
- b) 分层/定深采样:
 - 1) 采样深度精度应控制在 ± 0.3 m 内;
 - 2) 深度不小于 10 m。
- c) 采样量误差应控制在 $\pm 10\%$;
- d) 管路系统气密性应 ≥ -0.05 Mpa;
- e) 采样技术应满足 HJ/T 372、HJ 494 和 HJ 91.2 的相关要求;
- f) 使用底阀式取样器、底部式取样器。

5.3.2 监测平台与监测仪器要求

5.3.2.1 监测平台配置

监测平台应具备以下功能:

- a) 配置光学或离子选择传感器的无人艇适配仪器接口, 可选择性地实现 pH 值、水温、溶解氧、电导率、氨氮、叶绿素 a 以及其他可加载指标的原位监测(相关性能技术指标要求见表 1);
- b) 具有接收远程控制, 定点监测功能。

5.3.2.2 监测仪器要求

无人艇搭载监测仪器应具备以下功能：

- a) 具有时间设定、校准、数据存储及数据输出功能；
- b) 具有手动校准功能；
- c) 装备电池或可充电电池等便携式电源，电池满电量情况下仪器连续工作时间应大于 2 h，仪器应有欠压指示；
- d) 仪器外接电源相、中线对地的绝缘电阻应不小于 5 MΩ；
- e) 仪器电源相、中线对地，施加 50 Hz，1500 V 正弦交流电压，历时 1 min，不应出现击穿和飞弧现象；
- f) 溶解氧参数应为浸没式测量。

表 1 水质监测用无人艇监测系统仪器性能指标技术要求

分析项目	检测方法	测量范围	检出限	精密度	正确度	稳定性		实际水样比对
						零点漂移	量程漂移	
pH 值	电极法	2~12	—	—	±0.1	—	±0.1	±0.1
水温（℃）	电极法	-5~50	—	—	±0.2	—	±0.2	—
溶解氧（mg/L）	电极法	0~50	—	—	±0.3	—	±0.3	±0.3
电导率（μs/cm）	电极法	0~5000	—	±1%	±1%	—	±0.2	±1%
氨氮 ^① （mg/L）	电极法	0~5	≤0.1	±5%	±10%	≤1%	±10%	±10%
叶绿素 a（μg/L）	体内荧光法	0~200	≤0.3	±15%	±10%	≤0.1%	±10%	±10%
其他可加载的指标 ^②	—	—	②	±10%	±10%	≤±1%	±10%	±10%

① 本标准主要为搭载在无人艇的电极法氨氮监测，其检出限与正确度不能完全参照 HJ 101-2019；

② 无人艇可以根据监测任务搭载不同监测设备。

5.4 可维修性

无人艇水质数据采集设备应方便拆装，型号（或类别）相同的单元应能互换，在设备使用中现场维修保障时，应可在不影响其它单元和结构的条件下更换。

6 检验要求

6.1 外观

无人艇表面涂层应平整光滑，色泽均匀，不应有明显的划痕、起泡、漏涂等缺陷。

无人艇表面标识应清晰、明确、易识别。

艇体外装件应满足防锈、防腐蚀、耐候性等要求。

艇体内舱应做到接线工整、美观，仪器固定可靠。

6.2 水密性试验

使用喷嘴口径为 14 mm，出水口压力 ≥ 98 kPa 的水枪，向被测部位喷水时，喷口应距离检测点 1 m 范围内，水柱移动速度应保持在 0.1 m/s 以内。先喷淋 30 s 后检查艇舱内进水情况，如果舱内无进水则再继续喷水 3 min，再检查舱内进水情况，无进水视为合格。

6.3 功能试验

6.3.1 手动控制试验

将无人艇放置于水面，等遥控器连接成功后，推动摇杆，确认动力系统正常，确认无人艇的航行没有偏向，姿态和重心正常。

将无人艇切换为自动控制状态，操纵遥控器摇杆，循环试验 3 次，无人艇应无响应。

6.3.2 自动控制试验

在显控基站中设置自动任务后，将遥控器切换至自动航行状态，无人艇应根据预设任务自动航行。

确认显控基站软件上能显示无人艇的轨迹、实时坐标、航速、姿态、剩余能量、雷达避障距离、贴线精度等参数。使用遥控器将无人艇切换为手动模式，遥控器能正常操控无人艇；再切换为自动模式后，无人艇应恢复自动航行状态，循环试验 3 次。

6.4 采样及监测试验

6.4.1 试验条件

试验在静水条件下进行，无风无浪零流速。

6.4.2 采样功能试验

6.4.2.1 遥控采样/监测

操作遥控器，选择手动模式，进入采样界面，选择采样瓶号，采样深度，采样容量，发送采样命令。采样完成后，采样结果应与任务一致。

操作遥控器，选择手动模式，进入监测界面，设置监测点、测量参数及监测时长，发送监测命令。监测完成后，监测结果应与任务一致。

6.4.2.2 自动采样/监测

使用显控基站编辑至少 3 个路径作为采样/监测点，并编辑不同的采样容量。采样完成后采样瓶号对应无误，基站软件可自动生成采样/监测报告。

6.4.2.3 采样器性能试验

a) 采样量误差

采样器采样量设置为 V_1 ，按照设定的采样量执行自动采样。采样结束后，取出采样瓶，量取实际采样量 V_2 。重复测定3次，按照公式（1）计算采样量相对误差，取3次采样量误差的算术平均值作为评判值。

$$\Delta X = \frac{|V_2 - V_1|}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中： ΔX ——采样量相对误差；

V_1 ——设定的采样量，ml；

V_2 ——实际量取的采样量，ml。

b) 管路系统气密性

在采样器进水口外接1个量程为-0.1 MPa~0 MPa的负压表，启动水质自动采样器，在正常工作状态下，堵塞进水口，读取压力表读数，即为管路系统气密性。

6.4.3 监测仪器设备性能试验

a) 检出限

按照说明书调整仪器，待仪器稳定运行后，采用测试液（表2），连续测定8次，按照公式（2）计算检出限。

$$DL = 2.998 \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中：DL——检出限；

2.998——连续测定8次，置信度为99%时的分布值；

n ——测量次数；

x_i ——第 i 次测定值；

$\bar{x}$ ——8次标准溶液测量值的算术平均值。

b) 精密度

按照说明书调试仪器，待仪器稳定运行后，采用测试液（表2），连续测定该标准溶液6次，按公式（3）计算6次测定值的相对标准偏差，即为重复性。

$$RSD = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：RSD——相对标准偏差；

n ——测量次数，6；

x_i ——第 i 次测定值；

$\bar{x}$ ——6次标准溶液测量值的算术平均值。

c) 正确度

正确度的检测可以采用相对误差或绝对误差进行判定。

采用相对误差进行判定的仪器：按照说明书调试仪器，待仪器稳定运行后，采用测试液（表2），连续测定该标准溶液6次，按照公式（4）计算6次仪器测定值的算术平均值与标准溶液标准值的相对误差，即为正确。

$$RE = \frac{\bar{x} - c}{c} \times 100\% \quad (4)$$

式中：RE——相对误差；

$\bar{x}$ ——6次标准溶液测量值的算术平均值；

c ——标准溶液标准值。

采用绝对误差进行判定的仪器：按照说明书调试仪器，待仪器稳定运行后，采用测试液（表2），连续测定该标准溶液6次，按照公式（5）计算6次仪器测定值的算术平均值与标准溶液标准值的绝对误差，即为正确度。

$$d = \bar{x} - c \quad (5)$$

式中： d ——绝对误差；

$\bar{x}$ ——6次标准溶液测量值的算术平均值；

c ——标准溶液标准值。

d) 漂移

按照说明书调试仪器，待仪器稳定运行后，采用测试液（表2），连续测定24 h，每隔1 h记录1条数据，取前3次测定值的算术平均值为初始测定值 $\bar{x}$ ，根据表1中所列出的技术指标，分别按照公式（6）、公式（7）计算后续测定值 x_i 与初始测定值 $\bar{x}$ 的最大变化幅度RD（绝对误差）或最大变化幅度相对于量程上限值的百分比RE（相对误差），即为漂移。

$$RD = x_i - \bar{x} \quad (6)$$

式中：RD——仪器的漂移（绝对误差）；

x_i ——第 i （ $i \geq 3$ ）次测定值；

$\bar{x}$ ——前3次标准溶液测量值的算术平均值。

$$RE = \frac{x_i - \bar{x}}{A} \times 100\% \quad (7)$$

式中：RE——仪器的漂移（相对误差）；

x_i ——第 i （ $i \geq 3$ ）次测定值；

$\bar{x}$ ——前3次标准溶液测量值的算术平均值；

A ——工作量程上限值。

e) 实际水样比对

按照说明书调试仪器，待仪器稳定运行后，采用实际水样，连续测定，每隔10 min记录1条数据，记录10条数据。实际水样按照国家环境监测分析方法标准（表3）进行分析，根据表1中所列出的技术指标，分别按照公式（8）、公式（9）计算水样相对误差绝对值的平均值和水样误差绝对值的平均值，取最大作为评价指标。

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{B}|}{n\bar{B}} \times 100\% \quad (8)$$

式中： $\bar{A}$ ——水样相对误差绝对值的平均值，%；

X_i ——仪器测定水样第 i 次的测定值；

$\bar{B}$ ——手工方法测定水样的平均值；

n ——每种水样测试所得数据的总个数；

i ——比对试验次数。

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{B}|}{n} \quad (9)$$

式中： $\bar{a}$ ——水样绝对误差绝对值的平均值；

X_i ——仪器测定水样第 i 次的测定值；

$\bar{B}$ ——手工方法测定水样的平均值；

n ——每种水样测试所得数据的总个数；

i ——比对试验次数。

表 2 水质监测用无人艇监测系统仪器性能测试测试液

分析项目	检出限	精密度	正确度	稳定性		实际水样 比对
				零点漂移	量程漂移	
pH 值	—		酸性标准液或 弱碱性标准液	—	中性标准液	实际水样
水温 (°C)	—	—	实际水样	—	实际水样	
溶解氧 (mg/L)	—	饱和溶解氧 溶液	饱和溶解氧溶 液	无氧水	饱和溶解氧溶液	
电导率 (μs/cm)	—	0.01 mol/L KCl 溶液	0.01 mol/L KCl 溶液	纯水	0.03 mol/L KCl 溶液	
氨氮 (mg/L)	3~5 倍检出 限浓度的标 准溶液	50%测量范 围上限浓度 的标准溶液	50%测量范围 上限浓度的标 准溶液	检出限浓度 的标准溶液	80%测量范围上 限浓度的标准溶 液	
叶绿素 a (μg/L)	3~5 倍检出 限浓度的标 准溶液	50%测量范 围上限浓度 的标准溶液	50%测量范围 上限浓度的标 准溶液	检出限浓度 的标准溶液	80%测量范围上 限浓度的标准 溶液	
其他可加载的 指标	3~5 倍检出 限浓度的标 准溶液	50%测量范 围上限浓度 的标准溶液	50%测量范围 上限浓度的标 准溶液	检出限浓度 的标准溶液	80%测量范围上 限浓度的标准 溶液	

表 3 实际水样实验室国家环境监测分析方法标准

项目	推荐分析方法	标准号
pH 值	电极法	HJ 1147

项目	推荐分析方法	标准号
水温	温度计法	GB 13195
溶解氧	电化学探头法	HJ 506
电导率	电导仪法	《水和废水监测分析方法》（第四版）
氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ 535
叶绿素 a	分光光度法	HJ 897

6.5 安全要求

按照 GB 4943.1 相关规定执行。

6.6 无线电骚扰限值

按照 GB 17799.4 相关规定执行。
