

《巡-采-测一体化无人船运行技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

《巡-采-测一体化无人船运行技术规范》标准编制组

2026 年 7 月

目 录

1	目的意义.....	1
1.1	编制背景.....	1
1.2	编制意义.....	2
2	任务来源.....	3
3	编制过程.....	4
3.1	编制流程概述.....	4
3.2	国内外相关标准情况.....	7
3.3	标准制订的基本原则和技术路线.....	10
4	主要内容及技术指标确立.....	12
4.1	范围.....	12
4.2	规范性引用文件.....	13
4.3	术语和定义.....	13
4.4	基本要求.....	14
4.5	工作前准备.....	18
4.6	巡-采-测作业.....	19
4.7	质量控制.....	23
4.8	运行安全要求.....	24
4.9	应急处置.....	24
5	重大分歧意见的处理过程和依据.....	24
6	与相关法律法规和标准的关系.....	25
7	推广实施建议.....	26
8	起草单位与人员分工.....	26

1 目的意义

1.1 编制背景

近年来，全球无人船技术在水生态环境监测、海洋资源保护和海洋科研调查等领域的应用呈现快速扩张态势。以美国、挪威为代表的发达国家通过持续的技术研发投入，已在自主导航系统、智能采样装备和多参数监测技术等方面建立了完整的技术体系。根据国际海事组织（IMO）2023 年度报告显示，全球无人船市场规模已达到 45 亿美元，其中环境监测类应用占比超过 35%。在我国，随着人工智能、5G 通信和边缘计算等新兴技术的融合应用，无人船技术在水质监测领域的应用深度和广度不断提升，市场发展空间广阔。

江苏省作为长三角地区科技创新高地，在一体化无人船技术研发和应用方面具有显著优势。省内已集聚了包括河海大学智能无人系统研究院、江苏科技大学海洋装备研究所等 5 家省级重点实验室，以及 23 家高新技术企业。在产业规模方面，2023 年江苏省一体化无人船产业规模突破 18 亿元，形成了从核心传感器研发到系统集成应用的完整产业链。在应用实践方面，江苏省已率先在太湖流域开展无人船水质监测应用，2022 年底省水文局正式启用水环境巡航监测无人船系统，开创了全省水质监测使用巡航监测系统的先例，有效提升了湖体监测自动化、信息化水平。

在政策支持层面，江苏省先后出台了《江苏省生态环境监测条例》《智慧海洋建设三年行动计划》等政策文件，明确将无人船技术列为重点支持领域。

然而，当前我国在无人船巡-采-测一体化运行方面尚缺乏统一的技术标准。现有相关标准主要侧重于无人船船载水质监测系统技术要求或测绘无人船产品性能检测，对“巡航-采样-监测”全流程一体化的运行规范尚属空白，难以有效指导实际应用中涉及的任务规划、自主航行、样品采集、原位监测及数据质量控制等系统性工作。随着无人船技术在生态环境监测领域的规模化应用，亟需建立统一的技术规范，明确巡-采-测一体化运行的技术要求、操作流程和质量控制标准，以填补标准体系空白，促进产业规范化发展。

基于上述背景，为贯彻落实江苏省生态环境监测和智慧海洋建设的相关政策部署，特编制《巡-采-测一体化无人船运行技术规范》，以期为无人船在水生态环境监测领域的规范化运行提供技术依据。

1.2 编制意义

《巡-采-测一体化无人船运行技术规范》的编制具有迫切的现实需求和深远的战略意义。当前，我国无人船在水生态环境监测领域的标准化建设严重滞后于技术与产业发展，虽已有山东省《无人船近岸海水采样技术规范》（DB37/T 4300-2020）和珠海市《无人水面艇近岸水质采样作业规范》（DB4404/T 47-2023）等地方标准率先出台，但上述标准功能定位均聚焦于单一的水质采样环节，未能涵盖“巡航—采样—监测”全流程的一体化运行要求，而生态环境部组织编制的《水质监测用无人船技术要求（试行）》（征求意见稿）虽已进入审批程序，但其侧重点在于无人船本体技术性能指标，对巡-采-测联动作业流程、多环节质量控制及数据协同规范等方面仍有待细化补充，在此背景下，本标准的编制将有效衔接国家层面标准要求，填补巡-采-测全链条运行规范的空白；从问题导向看，由于当前无人船技术规格和信息化水平参差不齐，省内各地开展无人船水质采样时缺少统一的技术支撑，直接导致监测作业质量和水平差异显著，近年来长江流域跨省联合监测因标准不统一造成的数据偏差率较高，严重削弱了监测结果的科学性和跨区域可比性，本标准的出台将从任务规划、自主航行、样品采集、原位监测到数据质量控制等全流程建立统一的技术要求和作业准则，切实解决监测规范性、准确性和科学性不足的突出问题；在政策支撑层面，本标准将直接服务于《关于加强生态环境应急监测工作的意见》关于拓展水污染溯源监测、开展重点污染河段“上下游走航巡测”及推动水污染溯源技术规范应用的部署要求，为无人船在污染源精准溯源、水质应急监测及日常巡查等场景中的规模化、规范化应用提供坚实的技术依据；此外，面对江苏省一体化无人船产业规模快速发展态势，本标准的制定将有力引导产业从数量扩张向质量提升转变，推动形成统一、规范的作业体系，提升江苏省在该领域的技术话语权和产业竞争力，对服务长三角生态环境标准一体化

建设、支撑江苏省生态文明建设和高质量发展具有重要的基础性、引领性意义。

2 任务来源

2021年6月，江苏省镇江环境监测中心依托《城市水域监测作业机器人平台关键技术创新及应用》、《基于人工智能的地表水体作业智能平台研发和成果产业化实施》《“水陆空”三位一体水质异常快速辨识智能平台研发与成果产业化实施》等项目，开展了无人船溯源技术研发，相关研究内容先后获得江苏省科技创新成果转化奖和商业科技进步奖。2024年12月，经成果评议，专家组一致认为“巡-采-测一体化无人船运行技术规范”符合相关规范要求，体系完整、要素齐全、可操作性强，建议修改完善后申报江苏省地方标准。

2024年12月，镇江环境监测中心运用无人船走航监测技术，对全长16.69公里的古运河全线开展了水质巡查与污染溯源。无人船搭载多参数分析模块，实现了氨氮、溶解氧、化学需氧量等多项指标的实时、连续、原位监测，获取了高分辨率水质空间分布数据。此次实践充分体现了无人船的技术价值：一是突破了传统人工布点监测的局限，实现了全线连续走航监测，获取了传统手段难以获得的精细化数据；二是走航监测与影像取证同步完成，大幅提升了污染溯源效率，有力支撑了城市内河精细化管理和精准治理。

2025年5月，厅领导在中心上报的《巡-采-测一体化无人船运行规范性研究报告》专报中作出批示，要求加强方法标准和监测规范建设，夯实监测数智化转型底座。根据批示要求，中心组织编制了“巡-采-测一体化无人船运行技术规范”，并申报了年度江苏省地方标准立项。

2025年11月，江苏省市场监管局印发《省市场监管局关于下达2025年度江苏省地方标准制修订计划的通知》（苏市监标〔2025〕185号），明确将“巡-采-测一体化

无人船运行技术规范”列入标准制定计划，起草单位为江苏省镇江环境监测中心。

3 编制过程

3.1 编制流程概述

3.1.1 成立标准编制组

2025 年 11 月，收到本标准制定计划后，江苏省镇江环境监测中心成立标准方法编制组（以下简称“编制组”），成员以多年从事生态环境监测评估及科研工作的高级工程师为主。

3.1.2 查询文献和资料调研，拟定技术路线，开题论证

2025 年 11 月-12 月，编制组调研国内外相关研究进展，拟定标准制定技术路线，编写开题报告。2026 年 1 月 30 日，编制组在南京组织召开本标准开题技术审查会，邀请了生态环境部监测司、江苏省质量和标准化研究院、江苏省环境监测中心、江苏省南京环境监测中心、江苏省水文局等相关领域专家。与会专家通过质询、讨论，认为该标准的制定符合国家及江苏省生态环境监测工作的实际需要，总体框架合理，具备较好的工作基础，能够有效地指导后续标准编制工作，同意开题。建议：1、进一步明确标准适用范围，优化调整标准文本结构；2、聚焦无人船运行使用规范性要求，强化质量保证要求。

3.1.3 组织调研

2026 年 2 月~5 月，编制组根据专家意见修改开题报告本标准文本和编制说明，深入研究标准文本拟发布后标准使用对象，明确拟调研与座谈涉及的机构与人员，制定调研方案。在标准编制过程中，编制组系统开展了多层次的调研工作。2026 年 5 月，编制组先后赴云洲（盐城）创新科技有限公司和江苏虹湾威鹏信息技术有限公司两家行业龙头企业开展专题调研，通过实地参观标准化生产车间与全自动调试检测线、观

摩核心产品功能演示、召开技术座谈会等方式，深入了解无人船在水环境监测、水质自动采样及水面巡航等领域的关键技术性能、实际作业效能及标准化生产流程，并就标准草案中的定位精度、巡航速度、采样量误差等核心技术参数的分级设定、专业术语定义的统一规范、成熟操作规程的纳入标准以及采样瓶自动清洗、单北斗应用等新技术的转化应用等议题征询了企业意见建议，收集了无人船在太湖、丹江口水库等典型水域的实测应用数据与运营经验；同时，编制组还结合标准应用需求，针对无人船在不同水域环境下的作业适应性、跨区域监测数据可比性等关键问题进行了专题论证，形成了涵盖龙头企业技术验证、典型水域实测数据分析、应用场景需求评估的多维度调研格局，为精准确定标准核心技术条款、提升标准的实践指导意义和行业适用性奠定基础。

3.1.4 召开座谈会

为进一步落实《省市场监管局关于下达 2025 年度江苏省地方标准制修订计划的通知》（苏市监标〔2025〕185 号）文件要求，推进《巡-采-测一体化无人船运行技术规范》标准制定，2026 年 6 月 5 日，编制组在镇江组织召开第一次座谈会，邀请了江苏大学、江苏科技大学相关行业专家参加；6 月 26 日，编制组在镇江组织召开了第二次座谈会，参加会议的有江苏科技大学相关船舶协会专家、基层环境监测站技术骨干等代表。两次座谈会上，与会代表均听取了标准草案和编制说明的编制情况，并结合前期赴云洲（盐城）创新科技有限公司、江苏虹湾威鹏信息技术有限公司等企业调研收集的意见建议，围绕标准核心技术内容提出了综合性意见和建议：1、注重引用文件的权威性和通用性，优先引用国家标准、行业标准及国际标准，审慎引用地方标准或团体标准，确保标准的广泛适用性和协调一致性；2、对“无人船”等核心术语进行精准界定，统一标准正文中的术语表述，避免产生歧义；3、结合不同水域环境特点和应用

场景，对定位精度、巡航速度、抗风浪等级、采样量误差等关键技术参数进行科学分级，避免脱离实际作业能力的“一刀切”式规定，同时在“监测采样”“数据处理”等要求中避免使用模糊用词，增强标准的严谨性和可执行性；4、将经过工程验证的布放回收、远程应急接管、失联保护机制等成熟操作程序纳入标准正文，在“维护保养”章节中结合基层实际条件细化日常维保与专业维保的分级要求，并充实应急管理章节，针对常见突发情况制定应急处置流程，增强标准条款的可操作性和基层适用性；5、针对基层监测站普遍缺乏系统培训的现状，建议在标准中对操作人员的基本能力要求和培训内容框架作出规定，同时建议增加术语解释、条文说明或操作图解，便于一线人员准确理解和规范执行，并在设备选型与配置方面增加适应不同场景的分级分类指导，为基层单位设备采购提供参考依据。编制组根据两次座谈的情况，认真梳理吸纳了专家和基层代表提出的意见建议，重点在术语定义、技术参数分级、操作规程细化、维护保养分级、应急处置规范及人员培训等方面进行了针对性修改完善，进一步提升了标准的科学性、先进性和基层实用性，形成文本及编制说明征求意见稿。

3.1.5 召开征求意见稿审查会

2026 年 7 月 31 日，起草组在南京组织召开了征求意见稿技术审查会，邀请了江苏省生态环境厅法规标准科技处、监测处代表，以及中国环境监测总站、江苏省质量和标准化研究院、江苏省环境监测中心、江苏大学、南京师范大学等相关专家，与会专家及代表在听取关于标准征求意见稿的编制工作过程、主要技术内容及确立依据等内容的汇报后，一致认为该规范制定任务来源明确、征求意见稿审查材料齐全、编制格式符合 GB/T 1.1-2020 的要求，且规范内容贴合江苏省地表水监测发展需求，具备较强的科学性、创新性和可推广性，同意通过征求意见稿的技术审查，同时建议进一步优化“巡-采-测作业”章节结构并补充完善“测”相关内容，优化调整“运行安全”相关

内容并在编制说明中补充相关技术指标的确立依据；会后，起草组根据技术审查会专家意见，对标准文本和编制说明进行了修改完善，形成了标准文本和编制说明征求意见稿，并按流程提交开展全省征求意见。

3.2 国内外相关标准情况

3.2.1 国外相关标准情况

当前全球监测用无人船标准化工作仍处于快速发展阶段。国际层面尚缺乏专门针对水质监测用无人船的成熟标准体系，多以通用型无人船安全检验规范和基础性水质在线监测指南作为参考依据；中国、美国等国家正在该领域积极布局，地方标准与团体标准已先行先试，但覆盖全流程的一体化运行规范仍属空白。

以下是主要国家及国际组织的监测用无人船相关标准梳理情况：

一、国际组织：基础性水质监测标准可资借鉴，但无人船专项标准尚付阙如

在 ISO、ASTM、OECD 等国际标准化组织层面，目前均尚未颁布地表水无人船水质监测相关的专项技术规范。这反映出无人船在水环境监测领域的标准化进程尚处起步阶段。

不过，在传统水质自动监测领域已有较为成熟的基础性标准可资参考：

ISO 15839-2003《水质在线监测设备及传感器参数及功能测试》，规定了在线水质监测传感器与设备的性能测试要求。

ASTM D3864-12《在线水质监测标准指南》，为水质在线监测系统的建立和运行提供了技术框架。

OECD 测试指南 236 号《水质监测及净化小型化系统》，对水质监测微型化系统的应用作出规范。

2026 年 2 月，北约正式启动了由 ASTM International 负责的“无人水面艇标准化”

项目，旨在统一各成员国无人艇在自主控制、通信协议、传感器数据格式等方面的技术标准，以构建可协同作战的无人舰队。同时，希腊 IDE 公司也获得北约“加速互操作性和标准化基金”资助，启动无人艇标准化现状评估与差距分析项目。这标志着无人艇通用技术标准在国际军事与安全层面正在加速整合，其技术成果可能对未来民用领域标准制定产生影响。

二、美国：以船级社认证和机构指南为主体

美国尚未出台监测用无人船的联邦层面专项技术规范。在无人船通用技术方面，美国船级社（ABS）发挥了关键的规范引领作用。2025 年 8 月，Saildrone 公司 20 米级自主无人水面艇“Saildrone Surveyor”号获得 ABS 正式颁发的完整船级认证（✠A1, DV Naval Craft, AUTONOMOUS），成为全球首个获此认证的大型无人水面艇。此前，其 10 米级近岸型“Saildrone Voyager”号已于 2023 年获得 ABS 认证，该型号专为近岸及沿海环境持续监测任务设计。

在水质监测标准化方面，美国国家地质调查局（USGS）制定了具有实践指导意义的水质连续监测指南：2000 年发布《连续的水质监测指南和标准程序：选址、现场操作、校准、记录计算和报告》，2006 年进一步发布《水质连续监测指南和标准程序：水质监控站操作、记录计算和数据报告》（USGS Techniques and Methods 1-D3），系统规定了水质自动监测站的操作规范与数据记录要求。这些指南虽非针对无人船平台，但其现场操作、校准与质控方法对无人船监测作业标准的制定具有重要参考价值。

3.2.2 国内相关标准情况

中国在监测用无人船标准化方面是布局最为积极的国家之一，目前已形成“地方标准先行探索—团体标准补充衔接—国家行业标准在途”的多层次格局。

（一）国家行业标准（在途）

生态环境部于 2017 年启动《水质监测用无人艇技术要求（试行）》编制工作（项目统一编号 2017-26），由中国环境监测总站牵头，中国环境科学研究院、天津市生态环境科学研究院协作。该标准主要适用于排水量低于 200kg、能对内河、湖泊和水库进行自动采样、监测的无人艇，按排水量分为小型(<100kg 且艇长<2m)和大型(≥100kg 或艇长≥2m)两类，按功能分为采样艇、监测艇和采样/监测艇三类。目前该标准征求意见稿已进入审批程序。值得注意的是，该标准的术语和定义直接采用了中国船级社（CCS）《无人水面艇检验指南》的有关定义，明确了“水质监测用无人艇”即“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”。

（二）地方标准

山东省于 2020 年 12 月率先发布《无人船近岸海水采样技术规范》（DB37/T 4300-2020），规定了无人船近岸海水采样的船只性能、采样航线、样品采集及维护等技术要求。

广东省珠海市先后发布《无人水面艇海上测试管理规范》（DB4404/T 18-2021）和《无人水面艇近岸水质采样作业规范》（DB4404/T 47-2023），后者对无人艇近岸水质采样的监测项目、设备选型、环境条件、人员能力、准备工作、现场操作、质量控制、数据记录和作业安全等作出了规定，但以上地方标准均未涉及地表水采样无人艇的技术要点。

（三）团体标准

2021 年 1 月，中国质量检验协会和中国水利企业协会联合发布两项团体标准：

《无人船船载水质监测系统》（T/CAQI 169-2021）：规定了无人船船载水质监测系统的组成、功能、技术要求、检验方法等。

《水质监测无人船巡查作业技术导则》（T/CAQI 170-2021）：对地表水巡查作业

的准备、过程及结果的规定较为细致，但两项团体标准中涉及水质监测用无人艇技术性能和指标的要求及检验评估方法较少。

（四）通用技术标准（船级社）

中国船级社（CCS）于 2024 年发布了《无人水面艇检验指南》，适用于船长 5 米至 20 米的无人艇，涵盖场景感知系统、通信系统、操控系统、艇体结构、轮机、电气设备、信号设备及消防环保等章节，明确了入级符号与附加标志的授予条件，为监测用无人艇的通用技术要求提供了重要依据。

综合来看，当前监测用无人船标准化的核心特征是：国际层面尚未形成专门针对水质监测无人船的成熟体系，多以传统水质在线监测指南和通用型无人船安全检验规范作为参考基础；中国在地方标准和团体标准层面探索较为活跃，但功能定位多聚焦于单一采样环节，覆盖“巡-采-测”全流程的一体化运行规范仍属空白；美国以船级社认证为技术安全背书，以机构指南为操作规范依据。本标准编制正是基于这一背景，着力填补巡-采-测全链条一体化运行规范的缺失。

3.3 标准制订的基本原则和技术路线

3.3.1 标准制订的基本原则

本标准制定工作严格按照《江苏省标准监督管理办法》（江苏省人民政府令第 124 号）、《江苏省地方标准管理规定》（苏市监规〔2023〕7 号）、《江苏省生态环境厅标准制修订工作管理办法》（苏环办〔2019〕242 号）和《江苏省生态环境厅标准质量管理办法（试行）》（苏环办〔2020〕388 号）等要求，在系统梳理、总结并吸纳国内外相关标准、规范方法及文献研究等成果的基础之上，同时充分结合省内生态环境管理需求、生态环境监测和执法机构的技术能力水平、人员队伍情况及经济条件等实际情况，依据《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1—

2020) 相关技术要求编制规范文本及编制说明,使所编制的规范兼具科学、规范和可操作等特点,能够在全省范围内推广应用。

(1) 规范性原则。符合相关环保法律法规、政策、标准及生态环境工作的要求。

(2) 可行性原则。与国家及地方环境保护标准相衔接,满足指导规范无人船在河流、湖泊和沟渠等区域进行的地表水监测。

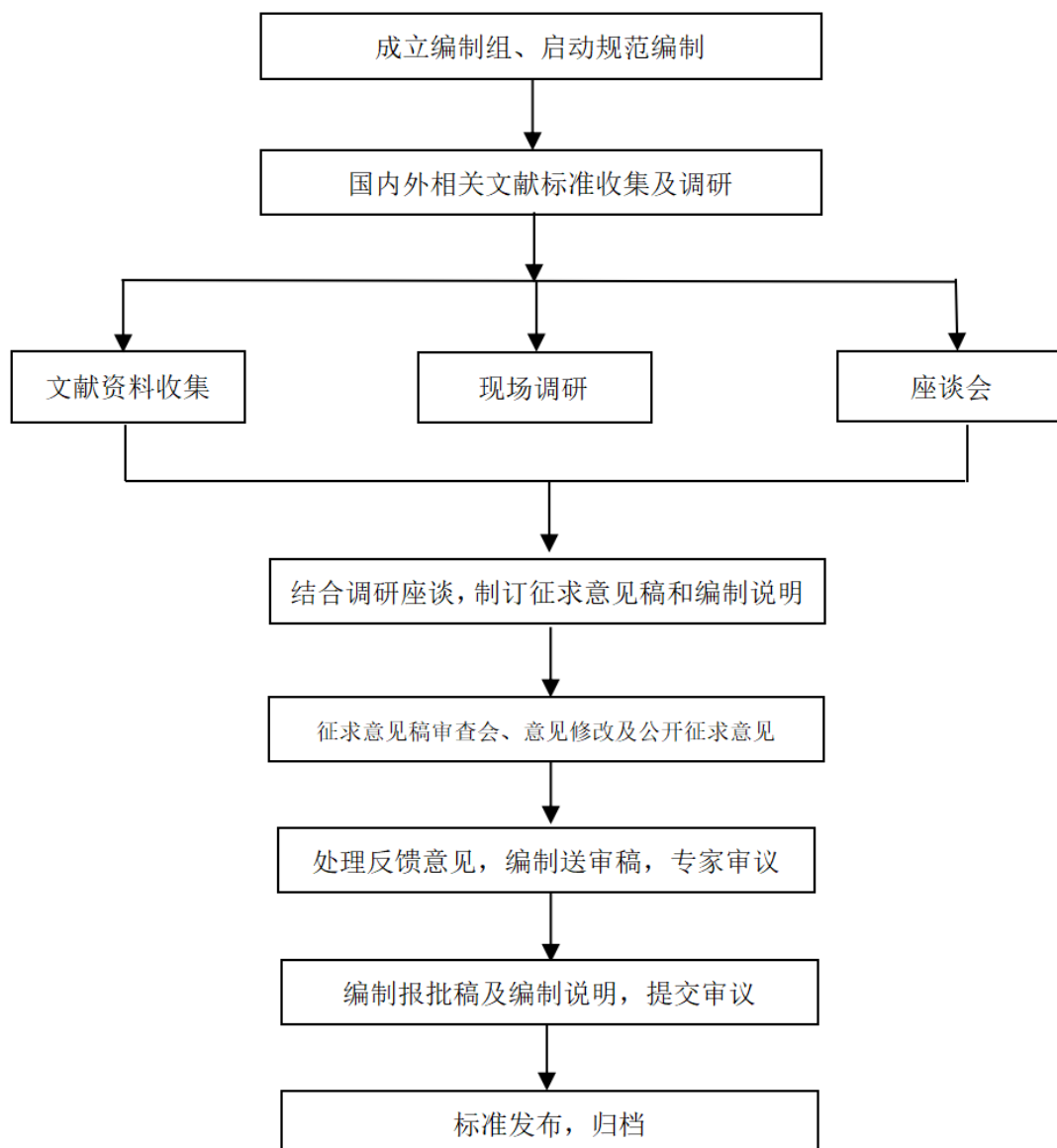
(3) 完整性原则。涵盖无人船地表水监测项目、工作条件、工作前准备、巡采测操作、质量控制和作业安全等要求。

(4) 协调性原则。本规范属于地方制定的推荐性标准,与现行有效的国家标准、行业标准、地方标准相协调。

3.3.2 标准制订的技术路线

本标准制订充分考虑目前我国环境监测的技术经济水平,具有较强的科学性、先进性、可行性和可操作性,能够满足相关环保管理标准和环保工作的要求。

标准制订以后预计在江苏省内具有较好的推广前景,所需要的数据均为常规统计指标或易于获取,实践操作简单易用,并针对具体情况提供了替代模型的选择。技术路线详见下图。



技术路线图

4 主要内容及技术指标确立

4.1 范围

本文件规定了巡-采-测一体化无人船基本要求、工作前准备、巡-采-测作业、质量控制、安全运行和应急处置等要求。

本文件适用于排水量低于 200 kg 巡-采-测一体化无人船在河流、湖泊和沟渠等区

域进行的地表水监测。

参考《海洋测量无人船通用技术条件》（HY/T 0498-2025）海洋测量无人船按照船长及排水量分类规定，本标准规定了“适用于排水量低于 200 kg，能对内河、湖泊和水库进行巡-采-测的无人船”的适用范围。

超过 200 kg 的无人船，河流、湖泊和沟渠等区域布放与回收等方面都有较大的局限性，不适合开展水质调查分析工作。故本标准主要对 200 kg 以下，常用的水质监测用无人船进行规定。

4.2 规范性引用文件

本标准规范性引用文件共 4 个，现行的《地表水环境质量标准》（GB 3838）、《水质 样品的保存和管理技术规定》（HJ 493）、《水质 采样技术指导》（HJ 494）、《水质 地表水环境质量监测技术规范》（HJ 91.2）等是标准的重要编制依据。

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 3838	地表水环境质量标准
HJ 91.2	水质 地表水环境质量监测技术规范
HJ 494	水质 采样技术指导
HJ 493	水质 样品的保存和管理技术规定

4.3 术语和定义

本标准的术语和定义参照了中国船级社 CCS《无人水面艇检验指南》有关的术语和定义。

（1）巡-采-测一体化无人船 integrated patrolling, sampling and monitoring

unmanned vessels

集合自主巡航与导航定位，智能触发与定点采样，即时检测与数据回传等功能，能够远程遥控或自主航行的无人驾驶船（以下简称无人船）。无人船通常由船体、驱动装置、船载设备等组成。

(2) 平台 platform

由船体、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) 任务载荷 mission loading

指搭载在无人船平台上，为完成指定任务而配置的设备或仪器。

(4) 自主航行 autonomous navigation

根据目标任务，由平台按照预设航线进行安全航行的工作模式。

(5) 原位监测 in-situ monitoring

利用在线水质监测设备在水体指定位置直接开展的现场监测活动。

4.4 基本要求

4.4.1 无人船

(1) 水质监测用无人船分为小型和大型无人船。

a) 小型无人船指排水量 $<100\text{ kg}$ ，且船体长度 $<2\text{ m}$ 的无人船，主要适用于河流、湖泊和沟渠等水域，具有视觉巡检及定深采样功能；

b) 大型无人船指排水量 $\geq 100\text{ kg}$ ，或船体长度 $\geq 2\text{ m}$ 的无人船，主要适用于河流、湖泊等水域，具有视觉巡检、定深采样或分层采样、监测等功能。

编制组调研了国内主要的无人船企业，广泛听取了各企业的意见，按照目前无人船行业的通用做法，根据排水量的不同，分为小型和大型水质监测无人船；目前国内

企业推出的水质监测无人船排水量基本都在 200kg 以内。

编制组调研了国内各地环境监测站和镇江环境监测中心实际使用情况，按照功能分为：巡检采样和监测无人船。

(2) 无人船包括平台、任务载荷、通信系统和操控系统。

根据中国船级社 CCS《无人水面艇检验指南》的规定，常见无人船多为由无人船平台、通信系统、操控系统和任务载荷几部分组成，因此将巡-采-测一体化无人船系统组成参照此条规定。

(3) 具有遥控、自主控制模式，具备卫星定位系统，具有自动巡检、自动避障、连续水质监测、水样采集和污染溯源追踪功能。

编制组参考了《水质监测无人船巡查作业技术导则》(T/CAQI 170-2021)中系统的规定，在本标准中规定了无人船的功能要求。

(4) 通过接收到的无线指令，对指定位置的目标水体按照要求的测量频率进行实时采样或监测，将采样或监测数据及相关信息自动存储并传送至地面接收端。

编制组参考了《无人船船载水质监测系统》(T/CAQI 169-2021)中无线指令规定，在本标准中规定了无人船无线指令的功能要求。

(5) 具备影像采集功能，支持实时传输图像等信息至岸基操控端，以便辅助远程巡查与取证。

(6) 应具有扩展性，可扩展搭载水文、气象等传感单元。

(7) 当发生通讯中断、动力电量低于设定阈值或触发故障报警时，能够安全返航至预设回收地点。

以上几条编制组参考了《水质监测无人船巡查作业技术导则》(T/CAQI 170-2021)、《无人水面艇近岸水质采样作业规范》(DB4404/T 47-2023)中相关规定。

(8) 无人船静水最大航速 $\geq 2\text{m/s}$ ，工作航速下，小型无人船续航时间 $\geq 2\text{h}$ ，大型无人船续航时间 $\geq 6\text{h}$ 。

编制组调研了国内多个无人船企业的产品航速、续航时间，航速和续航时间已经能覆盖基本的水质监测作业要求。

(9) 在平静水域自主航行工况下，系统航迹控制精度误差应不大于 2.5m ，平面定位精度误差不大于 2m 。通讯系统应满足遥控通信距离不小于 1km 、基站通信距离不小于 2km 的要求。

编制组参考了①中国船级社 CCS《智能船舶规范》（GD 24-2017）；②《北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范》（GB/T 39399-2020）；③《北斗卫星导航系统公开服务性能规范》（GB/T 39473-2020）。结合作业场景，最终确定了航迹控制精度、平面定位精度和通信距离要求。

(10) 无人船应具备蒲氏 3 级风、3 级浪的生存能力，蒲氏 3 级风、2 级浪的作业能力。

编制组在标准制订过程中，调研了珠海云洲智能、中海达、中科院等多家单位的产品设计指标。调研结果显示，主流无人船产品均设定了明确的抗风浪能力要求。例如，珠海云洲智能 M40G 调测无人船标称“作业海况 2 级，生存海况 3 级”；中海达 iBoatBS15 无人船标称“抗风浪等级：4 级风、3 级浪”；中科院研发的“全自动水质监测取样无人船”亦将作业环境设定为“ ≤ 3 级风”。上述产品设计指标为本标准中无人船抗风浪能力要求的确定提供了重要的技术参考与行业实践依据。

4.4.2 采样装置

(1) 样品采集部件及流路管路满足防腐蚀、不吸附等要求，确保在正常工况下不与环境水体中的污染物发生物理或化学反应，且不影响监测因子的测定结果。

(2) 用于存放水样的水样瓶，根据具体监测项目，应符合采样规范中对水样瓶材质要求。

(3) 采样容器及水样瓶应严格按 HJ 91.2 规定进行洗涤处理。采样完成后，样品瓶应保持完好，无泄漏状态，并存放于安全区域。

(4) 小型无人船水样采集量不小于 2 L；大型无人船水样采集量不小于 6 L。

(5) 采样深度精度应控制在 ± 0.3 m 内，采样量误差应控制在 $\pm 10\%$ ，采样深度应满足 HJ 91.2 采样点深度要求。

以上五条编制组主要参考《样品的保存和管理技术规定》（HJ 493-2009）、《地表水环境监测技术规范》（HJ 91.2-2022）相关要求制定了采样装置的具体要求。

4.4.3 其它采样用具

根据采样目的与监测方案要求，采样前应按照 HJ 494 中的规定，配备相应的过滤器及过滤系统、样品箱、固定剂、标签与采样记录文件、个人安全防护用具等监测器材和辅助设施。

4.4.4 工作环境

(1) 实施作业前，应确认作业水域的水文、气象及水面环境等满足无人船安全航行要求，具体包括水深大于无人船最小吃水深度并留有安全余量，且气象条件优于蒲氏 3 级风、2 级浪的阈值标准。当实际环境劣于上述阈值标准，禁止开展作业。

(2) 遇强电磁干扰、雷雨、闪电、台风等复杂恶劣条件时，禁止开展作业。

编制组参考《无人水面艇近岸水质采样作业规范》（DB 4404/T 47-2023）和珠海云洲智能等公司无人船产品说明书制定以上要求。

4.4.5 作业人员

(1) 应根据作业任务实际需求合理配置作业人员。无人船运行前，应明确工作内

容、操作方法、作业流程及安全注意事项。

(2) 现场应至少配备两名具备水质采样工作经验的人员，其中负责操控无人船的人员应通过相关无人船操控技能培训。

编制组参考国际海事组织(IMO)正在制定的《海上自主水面船舶国际安全规则》(MASS 规则)以及相关学术研究制定以上要求。

4.5 工作前准备

4.5.1 编制监测方案

作业前应按照 HJ 91.2 的相关规定编制监测方案，明确采样目的、监测项目、对应采样方式及采样点位布设方案。

4.5.2 作业环境核查

(1) 作业前，作业人员应明确无人船作业流程，进行现场踏勘，确定作业内容和无人船投放、回收位置，了解路线情况、作业范围、水体宽度、水体流速、水体深度、障碍物分布、是否有缠绕物(水草、渔网)等，并根据作业内容合理制定计划。

(2) 作业前应根据监测方案规划航线，设置采样任务参数(如采样点位、采样深度、采样频次、采样容量等)，必要时应向水行政主管部门进行申报。

《中华人民共和国水法》及地方性水法规中关于在水域内进行作业或活动需向水行政主管部门申报的管理规定。

(3) 现场作业前，应核实航线的合理性，并确认现场环境、气象条件等是否适合作业。

4.5.3 无人船状态检查

(1) 无人船投放前，作业人员应开展设备检查、系统自检，重点检查直接影响航行安全的动力系统、电气系统及航线设置。其中，电池剩余电量应不低于作业总续航

需求的 120 %；电机正反转启停应无卡顿、无异响；船体应无明显破损，推进器应无缠绕、叶片应无形变。电机运转状态检查及外观检查均属作业安全强制检查项，任一项目不合格，不得投放。

编制组参考了中国船级社 CCS《智能船舶规范》（GD24-2017）中关于布放前自检的要求。为防止作业中突发逆风、逆流或任务变更，保留 20%余量是确保动力电池不过放、能安全返航的最低冗余设计原则。电机卡顿异响、桨叶形变缠绕会导致动力输出异常或堵转，直接造成失速、失控，因此列为强制检查项。船体破损可能导致进水沉没，是保障设备水密性和浮态的基本前提。

（2）应检查采样容器和进样管路，使用前用蒸馏水清洗干净。

（3）应在作业前准备好工具及备品备件等，完成无人船巡检系统的检查工作，确保各部件工作正常，巡检作业所需工器具见附录 A。

（4）自主航行模式下，无人船应在视距范围内按照预先设置的路线航行 3 min~5 min，观察无人船工作状态。

《海洋测量无人船通用技术条件》（HY/T 0498-2025）中提到无人船在完成研制或生产后，需进行包括航行性能在内的多项试验。在试验初期，按规划路径进行短时间航行以检验基础功能和状态，是完全符合通用技术逻辑的操作。编制组参考以上内容制定了相应规定。

4.6 巡-采-测作业

4.6.1 巡检

对地表水进行巡检，重点排查漂浮物、油花、异常排水等表面污染现象，对现场情况进行实时影像采集与回传，异常时采取声光等方式报警。

4.6.2 巡检内容

a) 常规巡检

对地表水水面状况、排水等情况进行日常巡检，巡检时间间隔根据需求设定。

b) 溯源巡检

通过对地表水重点位置或疑似污染源区域进行精细巡检，利用多角度视觉追溯污染扩散路径，实现对目标水体污染区域的水面状况全覆盖。

编制组参考《水质监测无人船巡查作业技术导则》(T/CWEC 22-2021)、《无人船船载水质监测系统》(T/CWEC 21-2021)、《无人船辅助驾驶系统》(T/NSSQ 048-2023)、《无人船舶态势感知系统技术与标准简介》中相关要求制定相应规定。

4.6.3 采样

(1) 自主航行采样

无人船按规划航线进行走航采样。

(2) 手动模式采样

根据现场情况需要，使用遥控器操控无人船航行到预设的采样点位，或自主航行时通过遥控器临时接管无人船进行采样。采样完成后，记录采样信息（如时间、位置、深度）及环境参数。

(3) 采样操作

a) 应按照 HJ 91.2 采样深度要求自动或手动操作无人船执行采样，结束后启用管路自动冲洗功能。

b) 使用遥控器操控无人船（或自主走航）至下一个采样点位。

c) 重复上述 a 和 b 步骤，直至全部水样采集完毕。

d) 操控无人船靠岸，安全取出样品容器。

e) 对于受现有保存技术限制无法保证样品代表性的项目，则不宜采用采样无人船

进行水质样品采集。

(4) 样品保存

水样采集后，应按照 HJ 91.2 和 HJ 493 要求进行样品的预处理和保存。采样过程中暂无法同步完成固定剂添加、水样过滤等预处理操作，应在采样结束后由作业人员在岸边按规范统一处理。

《地表水环境质量监测技术规范》（HJ 91.2-2022）这是所有地表水采样工作都必须遵循的“母法”，无人船采样也不例外。提到“应按照 HJ 91.2 采样深度要求”，以及“按照 HJ 91.2 要求进行样品的预处理和保存”，都直接引用了这个标准，并延续了其关于采样点位、深度和样品保存的核心要求。

4.6.4 水质监测

(1) 无人船应配置不少于 5 个光学或离子选择传感器接口，根据监测方案和 GB 3838 可选择性地实现 pH、水温、溶解氧、电导率、氨氮、叶绿素 a 等指标的原位监测。相关性能技术指标要求见附录 B。

(2) 具备远程指令接收与定点监测功能，支持时间设定、数据存储及数据传输等操作。监测仪器应配置手动校准功能及自清洗功能。

(3) 无人船水质监测设备应采用模块化设计，相同型号或类别的功能单元应具备互换性。在进行现场维修保障时，应能够在不影响其他单元及整体结构的条件下完成故障单元的更换。

(4) 无人船端应具备原始数据直接实时回传控制终端的功能，具备数据存储及数据输出功能。

(5) 对于尚不具备现场测定技术条件的监测项目，可按要求采集样品后带回实验室分析。

无人船搭载设备仪器性能核查是获得有效数据的基本保证和无人船水质监测系统正常运行的关键，内容包括但不限于定期的正确度、精密度、检出限、标准曲线、加标回收率、零点漂移、量程漂移检查及每次仪器维护前后的校准工作。本标准参考环境保护部发布《地表水自动监测技术规范（试行）》（HJ 915），以及《近岸海域水质自动监测技术规范》（HJ 731）。同时编制组调研了目前国内、外主流的在线监测仪器，结合《水污染源在线监测系统（COD_{Cr}、NH₃-N 等）验收技术规范》（HJ 354），规定了检测设备与监测要求，见附录 B。

2025 年 12 月在镇江市古运河随机抽取 2 处水样，通过无人船搭载设备仪器和监测中心实验室检测，无人船搭载设备仪器现场出结果，监测中心通过送样到实验室监测，最终检测结果见下表。

镇江市古运河采样点无人船搭载设备仪器和实际水样检测比对结果表

分析项目	检测方法	样品	实验室监测	无人船监测数据	实际水样比对
pH 值	电极法	样品 1	7.99	8.00	< 0.1
		样品 2	7.81	7.79	< 0.1
水温(°C)	电极法	样品 1	18.3	18.5	/
		样品 2	19.0	19.1	/
溶解氧 (mg/L)	电极法	样品 1	8.68	8.75	< 0.3
		样品 2	8.87	8.77	< 0.3
电导率(μS/cm)	电极法	样品 1	253.5	254.9	< 1%
		样品 2	251.8	250.9	< 1%
氨氮 (mg/L)	电极法	样品 1	0.925	0.912	< 10%
		样品 2	0.450	0.459	< 10%

叶绿素 a(μg/L)	体内荧光法	样品 1	19.80	19.5	< 10%
		样品 2	17.10	17.7	< 10%

4.6.5 巡-采-测一体化

无人船巡检过程中，可同步开启水质原位监测。若监测项目超出任务载荷范围，则启动水样采集操作，将水样带回实验室进行分析。

4.6.6 巡检与采样数据保存要求

- (1) 无人船巡检记录单见附录 C。
- (2) 采样过程中宜使用船载拍照/视频拍摄设备，记录采样水域现场状况。
- (3) 水质采样原始数据，至少应包括采样位置、采样深度、采样时间、采样容量。
- (4) 采集水样后，可参照 HJ 91.2 要求进行水质采样数据记录。无人船地表水采样数据至少应包括位置信息、时间信息、监测参数、监测项目，记录表可参照附录 D。

编制组参考《水质监测无人船巡查作业技术导则》（T/CWEC 22-2021）、《无人水面艇近岸水质采样作业规范》（DB4404/T 47-2023）中相关要求，其中无人船作为地表水采样的新兴方式，其数据记录必须符合《地表水环境质量监测技术规范》（HJ 91.2-2022）这一通用国家规范。

4.7 质量控制

- (1) 按照 HJ 91.2 要求进行水质采样的质量控制。
- (2) 按照 HJ 494 进行采样污染的控制。
- (3) 采样结束前，应核对采样方案、记录和水样，如有错误和遗漏，应立即补采或重新采样。
- (4) 将样品注入样品瓶后，应按照 HJ 493 规定的要求进行样品的保存和运输管理。

(5) 任务载荷应定期校准与维护，确保数据可靠性。

编制组将 HJ 91.2（地表水监测总纲）和 HJ 493/HJ 494（采样具体操作）这三项国家生态环境标准为直接依据。

4.8 运行安全要求

(1) 若作业区域天气、水文环境突变，应及时控制无人船返航或就近靠岸，以确保无人船安全。

(2) 若作业区域出现其他船只、人员、障碍物等，在确保安全后方可继续执行任务，否则应采取避让措施。

编制组参考《1972 年国际海上避碰规则公约》及国内避碰原则中相关要求制定本标准规定。

4.9 应急处置

(1) 若无人船通信长时间中断无法自动返航，应根据无人船失去联系前最后的地理坐标信息及时寻找。

(2) 设备出现故障无法恢复，且影响任务作业时，应立即终止作业，手动操控无人船返航或在合适区域靠岸。

(3) 若无人船出现失去动力或搁浅等故障，应采取相关辅助方法（如人工驾船拖曳）控制无人船就近在安全区域靠岸。

(4) 若无人船发生失控，应立即上报并采取拦截搜寻措施。

编制组参考《无人水面艇和小型智能船舶海上测试管理规范》(DB44/T 2583-2024) 及相关通信法规、《中华人民共和国海上交通安全法》及海上搜救体系中相关要求制定本标准规定。

5 重大分歧意见的处理过程和依据

标准制定过程中无重大分歧意见。

6 与相关法律法规和标准的关系

(1) 本项目均不违反现行的相关法律及标准。

(2) 目前国家或江苏省尚未出台巡-采-测一体化无人船运行相关标准，其他领域或行业出台了一些可借鉴的相关技术规范，如《无人船近岸海水采样技术规范》（DB37/T 4300-2020）、《无人水面艇近岸水质采样作业规范》（DB4404/T 47-2023）等。

(3) 本标准依据江苏省镇江环境监测中心依托《城市水域监测作业机器人平台关键技术创新及应用》等项目开展的无人船溯源技术研究成果，在编制组多年研发与实践形成的“巡-采-测一体化无人船运行技术”基础上，结合江苏省水系分布、地表水监测现状以及环境监管实际需求，充分考虑技术路径的成熟度和现场可操作性，制定适合江苏省水域监测的省级地方标准。

(4) 参考和引用的标准和规范主要有：

GB 3838	地表水环境质量标准
HJ 493	水质 样品的保存和管理技术规定
HJ 494	水质 采样技术指导
HJ 91.2	水质 地表水环境质量监测技术规范

(5) 本项目以国家及江苏省环境保护相关法律法规、政策和规章为依据；符合《2025 年度江苏省地方标准立项指南》《江苏省生态环境监测条例》等相关要求；与国家发布的《生态环境智慧监测创新应用试点工作方案》《关于加快建立现代化生态环境监测体系的实施意见》等相关技术方案相衔接；与行业技术政策、水环境监测要求相适应；与相关的水质监测、无人船运行技术规范相匹配。

7 推广实施建议

本标准的编制旨在突破江苏省地表水环境巡查、采样与监测一体化作业的技术瓶颈，完善“水陆空”三位一体水质异常快速辨识体系，系统提升水质异常事件的溯源效率与精准度，为水环境执法取证、污染通量核算及长效监管提供有力的技术与装备支撑，为其他同类地区开展水域智慧化监测工作提供理论参考，在全省乃至长江经济带水环境监测数智化转型中起到引领示范作用。

本标准规范了巡-采-测一体化无人船在水质巡查、样品采集、现场监测等环节的操作流程与技术方法。建议基层环境监测机构在应用初期以水质巡查和常规采样监测为重点开展作业，省级监测单位应统筹建立全省技术支撑体系，重点开展以下工作：组织覆盖全省的巡-采-测一体化无人船操作专题培训与技术帮扶；建立常态化设备维护指导机制与定期会商制度；构建分级技术支撑网络，持续提升基层监测机构的无人船实操能力和数据应用水平。通过构建省-地协同工作机制，为地方水环境智慧化监测工作提供全面技术支撑，从而有效提升生态环境监管效能，助力水环境精准治理与数智化监测体系建设。

8 起草单位与人员分工

参与本标准制定的人员分工见下表。

序	姓名	单位名称	职务/职	分工
1	殷伟庆	江苏省镇江环境监测中心	正 高	项目负责人，统筹协调，负责编制标准文本
2	甘知辛	江苏省镇江环境监测中心	主 任	基础资料收集
3	赵海荣	江苏省镇江环境监测中心	高 工	组织协调，标准编制技术指导
4	郭 蕾	江苏省镇江环境监测中心	高 工	标准制定质量负责人

5	何媛媛	江苏省镇江环境监测中心	高 工	研究国内外相关标准
6	刘 君	江苏省镇江环境监测中心	工程师	标准编制规范性审查
7	刘 杨	江苏省镇江环境监测中心	高 工	无人船操作和采样
8	蒋宝林	江苏省镇江环境监测中心	高 工	研究相关方法适用情况
8	罗 刚	江苏省镇江环境监测中心	正 高	现场监测应用研究
9	曹旭静	江苏省镇江环境监测中心	高 工	标准进展协调
10	耿勇超	江苏省镇江环境监测中心	高 工	质量标准制定校核
11	薛 剑	江苏省镇江环境监测中心	高 工	无人船路线规划研究
12	殷思敏	江苏省镇江环境监测中心	高 工	标准进展调度
13	周旭平	江苏省镇江环境监测中心	高 工	标准进展调度