

引用格式: 吴英瑾, 狄蕊, 包吉明, 等. 数智化背景下优化海洋环境监测标准体系的思考[J]. 标准化学报, 2026(5): 76-84.
WU Yingcui, DI Rui, BAO Jiming, et al. Thoughts on Optimizing the Marine Environmental Monitoring Standards System in the Context of Digital Intelligence[J]. Journal of Standardization, 2026(5): 76-84.

数智化背景下优化海洋环境监测标准体系的思考

吴英瑾 狄蕊 包吉明 赵仕兰*

(国家海洋环境监测中心)

摘要:【目的】我国已初步形成以GB 17378—2007《海洋监测规范》为主体的海洋生态环境监测标准体系,但现行标准实施时间较长,技术要求不满足监测需求和管理要求等问题日渐凸显,需进一步修改完善,使其成为规范海洋生态环境监测活动,获取真实、准确、可信的监测数据的重要依据。【方法】结合海洋环境监测和生态环境监测数智化转型需求,梳理了现行主要海洋环境监测标准实施情况、存在问题以及国内外海洋环境监测自动化、智能化监测技术发展现状,分析了其在海洋环境监测中的适用性。【结果】提出数智化背景下进一步优化海洋环境监测标准体系、定期开展标准实施有效性评估,并同时加强标准宣贯与培训的相关建议。【结论】数智化转型是海洋环境监测的必然趋势,形成基于数智化背景的海洋环境监测标准体系,对加快建立现代化生态环境监测体系,加速推进生态环境监测数智化转型,持续提升监测数据质量,更加高效支撑海水水质国家网考核、美丽海湾建设成效评估、重点海域的污染治理行动等具有重要意义。

关键词: 数智化; 海洋环境监测; 标准体系

DOI编码: 10.3969/j.issn.2097-857X.2026.05.009

Thoughts on Optimizing the Marine Environmental Monitoring Standards System in the Context of Digital Intelligence

WU Yingcui DI Rui BAO Jiming ZHAO Shilan*

(National Marine Environmental Monitoring Center)

Abstract: [Objective] A marine ecological environment monitoring standards system has been initially established, with the national standard GB 17378-2007, *The specification for marine monitoring* as a core. However, problems such as current standards have been in effect for a relatively long time and technical requirements failing to meet monitoring and management needs have become increasingly prominent. The standards need further revision and improvement to make the standards become an important basis for regulating marine ecological environment monitoring activities and obtaining true, accurate, and reliable monitoring data. [Methods] Combined with the needs of digital and intelligent transformation in marine environmental monitoring and ecological environment monitoring, this paper summarizes the implementation status and existing problems of major current marine environmental monitoring standards, as well as the development status of automated and intelligent marine environmental monitoring technologies at home and abroad. It further analyzes

基金项目: 本文受中国海油海洋环境与生态保护公益基金会项目“海洋石油勘探开发监测标准体系适用性评估项目”(项目编号: CF-MEEC/TR/2024-21)资助。

作者简介: 吴英瑾, 博士, 工程师, 研究方向为海洋环境监测技术。

赵仕兰, 通信作者, 硕士, 正高级工程师, 研究方向为海洋环境监测技术。

the applicability of these technologies in marine environmental monitoring. [Results] On this basis, it is recommended that we further improve the marine environmental monitoring standard system in the context of digitalization and intelligent transformation, regularly assess the effectiveness of standard implementation, and strengthen the publicity, interpretation and training of relevant standards. [Conclusion] Digital and intelligent transformation is an inevitable trend in marine environment monitoring. Establishing a marine environment monitoring standards system based on digitalization and intellectualization is of great significance for accelerating the construction of a modern ecological environment monitoring system, promoting the digital and intelligent transformation of ecological environment monitoring, continuously improving the quality of monitoring data, and more efficiently supporting the national network assessment of seawater quality, the effectiveness evaluation of beautiful bay construction, and pollution control actions in key sea areas.

Keywords: digital intelligence; marine environmental monitoring; standards system

0 引言

海洋生态环境监测是海洋生态环境保护和监督管理的基础,是掌握海洋生态环境基本状况及变化规律的手段。标准是规范开展监测活动的重要依据,我国已初步形成以GB 17378—2007《海洋监测规范》^[1]为主体的海洋生态环境监测标准体系。随着监测技术水平的提升以及国家数智化监测转型需求的日渐凸显,《海洋监测规范》等现行海洋环境监测标准已不能满足海洋环境监测和数智化转型需求。“数智化”是数字化与智能化的结合,是数字化的进一步发展及提升^[2]。因此,当前亟须优化完善海洋环境监测标准体系,从而进一步规范海洋环境监测活动,有效提升监测数据质量。

1 海洋生态环境监测标准实施情况

我国现行海洋生态环境监测标准主要包括GB 17378—2007《海洋监测规范》系列标准、HJ 442—2020《近岸海域环境监测技术规范》系列标准^[3]、HY/T 147—2013《海洋监测技术规程》系列标准^[4]等,共计156项。其中国家标准22项、国家生态环境标准96项、海洋行业标准38项。总体来看,现行海洋生态环境监测标准体系涵盖了海水水质监测、海洋沉积物质量监测、海洋生物质量监测、海洋生态状况监测、海洋环境在线及遥感监测等

技术方法标准,基本覆盖了海洋生态环境监测所涉及的各个领域。

GB 17378—2007《海洋监测规范》系列标准现已实施18年,其规定了样品采集,贮存与运输,海水、沉积物、生物体样品分析,近海污染生态调查和生物监测及数据处理与质量控制相关要求,广泛应用于全国海洋生态环境监测与质量控制工作,为海洋生态环境保护、海洋工程开发监管、海洋应急管理、海洋灾害调查、海洋资源调查等诸多涉海工作提供了重要的技术支撑和标准依据。HY/T 147—2013《海洋监测技术规程》系列标准基于海洋环境监测业务需求和监测技术发展情况,建立了166项新方法,是对GB 17378—2007《海洋监测规范》系列标准的重要补充。HJ 442—2020《近岸海域环境监测技术规范》基于GB 17378—2007《海洋监测规范》系列标准的主要内容,按照点位布设、采样、分析、质量保证与质量控制等流程,对不同海洋生态环境监测内容进行了分类规范。

2 数智化监测技术进展

2.1 国外海洋环境数智化监测应用现状

2.1.1 海洋环境自动监测/观测

目前建成运行并具有全球影响力的海洋环境自动监测/观测系统主要包括全球海洋观测系统(Global Ocean Observing System, GOOS)、美国综合海洋观测系统(The U.S. Integrated Ocean

Observing System, IOOS)、欧洲海洋观测系统(European Global Ocean Observing System, EOOS)等。这些观测系统均为多载体、多手段、多参数的综合性、复合性观测系统,获得的观测数据也具有连续性、长期性、广阔性等特点。

GOOS是目前世界上最大的全球性海洋观测系统,在欧洲、东北亚、东南亚、太平洋和印度洋等区域已部署观测设备和平台超9 000个,利用浮标、海洋站、船只、水下滑翔器和动物遥感等手段,开展全球海域的海水水质监测。目前,该系统中的观测项目大多属于志愿监测计划,相关数据主要用于科学研究^[5]。地转海洋学实时观测阵(Array for Real-Time Geostrophic Oceanography, Argo)计划^[6-7]作为GOOS子计划,通过在全球大洋中布设约3 000个卫星跟踪浮标,收集全球海洋2 000 m以上浅海水的温度、盐度、洋流数据,以用于海平面变化预报、洋流观测预报、海冰范围观测预报、赤潮发展预警、海洋渔业服务等领域。目前,我国国家海洋信息中心也建立了GOOS延时资料中心,同时我国于2001年正式加入国际Argo计划。

IOOS由美国国家海洋和大气管理局负责日常维护和运行^[8-9],共集成530余个岸基台站、1 000余套浮标、200余个海上平台、132个高频地波雷达站以及全球范围内的240艘志愿观测船,通过岸基站、浮标、水下滑翔机、卫星、雷达、无人艇等设备,对美国五大湖、近岸海域和远海物理、化学和生态参数实施自动监测。在美国环境保护署的海洋环境质量监测计划中,部分溶解氧、电导率、盐度和温度指标直接使用IOOS的自动监测数据。在墨西哥湾漏油事件中,IOOS数据用于模拟溢油扩散路径,指导应急响应;同时,IOOS为全球气候模型提供上层海洋热含量变化数据,支撑厄尔尼诺现象和海洋酸化研究;此外,IOOS监测海草床和珊瑚礁健康状况,支持蓝碳保护和渔业资源评估。

EOOS是GOOS的一部分,覆盖波罗的海、西北大陆架、北极、地中海和黑海5个海域^[5,10]。EOOS通过整合来自各国的海洋观测设施,构建了区域性的综合海洋观测网络,实现对海水温度、盐度、

洋流、溶解氧及营养盐等关键参数的连续监测。同时利用卫星、调查船、水下/面航行器、潜/浮标、海底观测站等平台,构建了多尺度、多圈层、多科学要素的海洋探测观测技术装备体系^[11]。EOOS中的FerryBox计划^[12-13]是由近40个组织或船舶参与的船载走航在线监测计划,通过在志愿船上安装FerryBox船载自动监测系统,获取北海、波罗的海等海域的长期水质数据,形成覆盖欧洲沿海及远海的立体监测网络,并逐步向北极航线扩展。监测参数包括水温、盐度、浊度和叶绿素(必测),以及营养盐、溶解氧、pH和藻类(选测)等。

借鉴欧洲FerryBox系统的成功运行经验,美国、加拿大、日本、澳大利亚等国家也相继开展了类似的船载在线监测项目。美国Apollo公司研发的AS-P2型走航式CO₂分析系统,可实时测量水体和大气中的CO₂分压和CH₄分压、溶解氧、表层水体温度、盐度以及碳同位素比例。利用船载走航系统在加拿大乔治亚海峡开展叶绿素走航监测,用于评估弗雷泽河洋流对浮游植物生物量的影响^[14]。

迈阿密大学通过搭载皇家加勒比邮轮的自动化CO₂监测系统,收集2002—2018年超过100万条数据,首次构建大加勒比地区高分辨率海洋酸化数据集^[15]。相比于浮标、海洋站等定点在线监测手段,船载走航在线监测系统突破定点监测的空间局限^[13],以移动观测为核心优势,依托调查船、商业船或者渔船的航行轨迹实现大范围、高时空分辨率的海洋环境立体扫描,监测范围可覆盖开阔海域、近岸河口、海湾等复杂区域,同步获取温度、盐度、溶解氧、营养盐、叶绿素等多参数的连续分布数据,是海洋环境在线监测的重要手段之一。

2.1.2 实验室智能化监测

如上所述,部分海洋环境监测指标已实现固定层次自动监测/观测,但仍有部分监测指标需依托监测船舶采样后转移至实验室分析测试。因此,实验室分析测试智能化也是监测数智化转型的重要内容之一。美国贝克曼库尔特LabBox Innovation智能化实验室、瑞士Chemspeed FLEX ISYNTH高通量自动化平台均为医疗检验领域智

能化实验室的成功案例。美国北卡罗利市水质检测实验室属于高度自动化的分析实验室,能支持大批量样本的保存和连续检测^[16]。美国佛罗里达大学建立用于水质监测的高通量微流体磁分离(μ FMS)平台,以监测饮用水和休闲用水中的目标细菌(如大肠杆菌)^[17]。挪威水研究所开发人工智能系统,用于实时监测水质,并识别由化学污染引起的异常情况^[18]。

2.2 我国的海洋环境数智化监测进展

2.2.1 海洋自动监测/观测

目前,我国海洋自动监测技术最主要的应用领域是水文气象参数的连续监测。该技术主要用于观测声、光等物理现象。观测载体包括水质站、潮位站、地波雷达、视频监控站、通信基站等岸基设施,以及浮标、海床基平台、海底综合观测网等海基设施。自然资源部的海洋观测站数量达到120个,2024年新建设海洋观/监测浮标700余套。在相关标准制修订方面,已制定13项海洋观测浮标和潜标的相关技术标准。这些标准涵盖浮标产品技术性能要求,以及海上浮标布放、维护、试验、资料处理等内容。生态环境部组织沿海各省重点关注河口、海湾、保护区、旅游区和养殖区等环境敏感区,布放78套海水水质自动浮标监测系统并实现数据实时传输和全国联网,除水温、盐度、电导率、pH、溶解氧、浊度等常规水质参数外,重点监测营养盐和石油类参数指标,通过北斗短报文或4G公用网络实时传输监测数据,但针对监测任务目前仅有HJ 731—2014《近岸海域水质自动监测技术规范》^[19]一项标准可供参考。

国内船载走航在线监测系统研究处于起步阶段。在“十一五”863项目的支持下,自然资源部北海局和东海局分别在向阳红08号船和原海监47号船上建设了船载集成监测系统,用于渤海生态环境的预警监测和东海赤潮灾害的预警监测,实现了对海水水质参数的走航迹监测^[20]。国家海洋技术中心研制的船载便携式在线监测系统实现常态化实时的海洋大范围监测,为红线区预警监测和监管提供了数据支撑^[21]。清华大学^[22]、中国海洋大

学^[23]也开展了船载走航监测系统的研究工作,中国科学院烟台海岸带研究所研发的船载走航监测系统已建成且开始试运行;山东省科学院海洋仪器仪表研究所研制的船载走航多参数在线监测仪以无人船为载体,利用自动控制、信息化及网络通信等技术,实现江河湖泊、近岸海域等水体的全自动、实时水质环境监测。中国科学院合肥物质科学研究院建立的水中挥发性有机物走航监测的船载质谱系统,可快速获取大面积水域及河道水体中挥发性有机物的时空分布特征,对于明晰调查海域水质污染情况,明确环保措施具有重要意义。此外,国内一些技术研发公司也开展了船载走航监测设备的研发,如杭州浅海科技有限责任公司、力合科技(湖南)股份有限公司、广州水色海洋技术有限公司等。尽管当前船载走航在线监测系统的研究逐渐增多,但是尚未形成产业化和商业规模,也尚未制定相关标准规范。

2.2.2 实验室智能化监测

在实验室智能化监测方面,当前国内成立的智能化实验室多集中在医学检测、新药研发和水质监测等方面。其中,水质监测智能无人实验室主要针对地表水、地下水、生活污水及工业废水等水质监测,如谱育SUPEC 8000、北裕智慧无人检测系统、力合IDLIN700全自动AI水检系统等。中国环境监测总站等单位已建成AI水质监测人工智能实验室,并发布团体标准T/C SES 149—2024《水质监测智能无人实验室建设与运行维护技术要求》^[24]。

与地表水不同,海水样品中待测物质含量较低,样品易受沾污,这也决定了不能将地表水智能实验室建设模式直接套用,需要针对海水及待测物质含量特性,建设适配海水监测需求的智能实验室。例如在样品保存方面,为抑制生物活动,海水样品需冷冻保存,上机分析前需将样品解冻复苏并充分混匀,防止样品中待测物聚合导致测定结果不准确。在分析过程中,需使用高灵敏度的仪器和有效方法提高检测精度和准确度,还需采取措施,防止不同分析指标间相互干扰或样品沾污。因此,海水智能化实验室的设计思路为通过机器人、

流水线等技术实现样品到达实验室后的交接、流转、保存、分析测试、处置、质量控制等全生命周期管理,但目前我国尚无相关成功案例报道。

除了上述数智化海洋环境监测技术和案例外,还有很多其他新技术和新产品,如水下机器人、水下滑翔机、无人机、卫星遥感等,也广泛应用于海洋环境监测中,为海洋环境质量监测与评价提供了大量的基础参考数据,有力支撑美丽海湾建设成效评估和重点海域污染防治攻坚战。总体来看,海水固定层次水质数智化监测已具备一定研究基础,可以基于传感器、自动测量和实时传输等技术,实现对海水固定层次水质的快速、长时间、高频率、自动化监测。但海水分层监测和海洋沉积物质量监测目前大都集中于实验室智能化监测,海水智能化分层采样和表层沉积物智能采样,以及相关的样品预处理、保存等数智化技术尚需进一步研究。

2.3 发展启示

不同于欧洲北海、美国东海岸等地近岸开发成熟、生态系统相对稳定的特点,我国近岸海域受陆源污染、人类活动影响显著,生态环境动态变化剧烈;远海及岛礁区域定点监测覆盖率低,数据空白突出。因此,我国更需要开展数智化监测,以获取连续、高精度监测数据,弥补传统人工监测“点少面宽”、定点监测“空间、时间局限”的短板。此外,由于当前海洋环境监测技术快速迭代,而现行标准多聚焦传统手工监测方法。监测技术规范缺失导致新设备、新方法的应用缺乏统一标准,数据可比性和互认性不足。尤其在智能化监测领域,传感器类型繁多、数据格式不一、质量控制缺失,易造成数据质量参差不齐,影响监测结果的准确性和权威性。因此,亟须优化现行标准体系,强化对自动化采样、智能分析、数据传输与质量控制等环节的技术规范,为海洋环境精准治理提供可靠数据支撑。

3 优化海洋环境监测标准体系的必要性

3.1 海洋环境监测现行标准亟待修订

GB 17378—2007《海洋监测规范》系列标准

部分方法的操作步骤不全,如《海洋监测规范 第4部分:海水分析》20.1氰化物中异烟酸-吡唑啉酮分光光度法中缺少异烟酸溶液的配制方法,导致执行标准不统一,不利于技术人员使用。此外,部分指标分析方法的质量控制要求缺失或规定不够细化,影响数据真实性与可靠性。

部分方法的技术要求不一致。以海水中总氮、总磷样品采集后预处理要求为例,《海洋监测规范 第4部分:海水分析》中第40及41章总氮、总磷分析方法中规定海水总氮、总磷样品不过滤,加入硫酸固定后可保存1个月;而附表B规定,海水中总氮、总磷样品应过滤后3 h内完成测定。同一指标的技术要求不一致,导致操作流程混乱,数据失去可比性。HJ 442—2020《近岸海域环境监测技术规范》系列标准与GB 17378—2007《海洋监测规范》系列标准部分技术要求不一致。HJ 442.3—2020《近岸海域环境监测技术规范 第三部分 近岸海域水质监测》、GB 17378.3—2007《海洋监测规范 第3部分:样品采集、贮存与运输》和GB 17378.4—2007《海洋监测规范 第4部分:海水分析》中对于海水样品的预处理方法、保存条件和有效期等要求存在不一致的问题。以海水中硝酸盐为例,HJ 442.3—2020中规定用于测定硝酸盐的海水样品过滤后冷冻保存有效期为30 d,而GB 17378.4—2007中规定过滤后冷冻保存有效期为7 d。活性磷酸盐、氨氮、活性硅酸盐、化学需氧量、油类、总氮、总磷等的样品预处理方法、保存条件和有效期等也均不同。

部分方法所需的标准溶液不满足《检验检测机构资质认定评审准则》^[25]的要求。2023年新发布实施的《检验检测机构资质认定评审准则》第十一条(三)规定:检验检测机构如使用标准物质,应当满足计量溯源性要求。而《海洋监测规范》第4、5和6部分的各分析方法中,标准溶液大都由优级纯试剂自行配制,未对标准溶液的溯源性提出技术规定,且未规定使用国家标准物质〔GBW、GBW(E)〕和标准样品(GSB)等具备溯源性的有证标准物质,既不满足溯源性要求,又不方便

技术人员使用。

部分方法所规定的仪器设备已被新仪器替代。以海水中666、滴滴涕、狄氏剂为例,《海洋监测规范 第4部分:海水分析》的第14~16章、《海洋监测规范 第5部分:沉积物分析》的第14~16章和《海洋监测规范 第6部分:生物体分析》的第14~16章规定了以填充柱气相色谱法测定海水、沉积物和生物体中666、DDT、狄氏剂的技术要求。但随着仪器技术的不断发展,仪器设备自动化程度越来越高,毛细管柱已实现自动化生产并因柱效高、分离效果较好等优点取代手工制作填充柱。

部分适用于海水/沉积物的国家生态环境标准检出限不满足海洋环境监测需求。近岸海域海水中待测物的含量大都处于微量级($\mu\text{g/L}$)或者痕量级(ng/L),沉积物中待测物的含量大都处于 $\mu\text{g/g}$ 或 ng/g 级,均远低于地表水、污水、废水、土壤等含量水平。虽然现行84项国家生态环境标准的适用范围中包括海水/沉积物,但大多数标准的海水、地表水、污水、废水或土壤、沉积物具有相同的检出限,不满足GB 3097—1997《海水水质标准》^[26]和GB 18668—2002《海洋沉积物质量》^[27]对方法检出限的要求。以HJ 195—2023《水质 氨氮的测定 气相分子吸收光谱法》^[28]为例,标准规定:地表水、地下水、生活污水、工业废水和海水中氨氮检出限均为 $20\ \mu\text{g/L}$,测定下限为 $80\ \mu\text{g/L}$,而实际我国近岸海域海水中氨氮的含量水平大多处于数十 $\mu\text{g/L}$ 。一方面用该方法测定海水中氨氮会导致 $20\ \mu\text{g/L}$ 以下含量未检出;另一方面该方法在测定低浓度样品时,方法精密度和正确度可能存在不稳定或较差的情况,影响样品中氨氮含量的准确定量。HJ 835—2017《土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱-质谱法》^[29]中滴滴涕的检出限大于GB 18668—2002《海洋沉积物质量》中一类沉积物质量限值。

可见,《海洋监测规范》《海洋监测技术规程》《近岸海域环境监测技术规范》,以及其他海洋行业标准、国家生态环境标准等相关标准存在技术要求不一致、不细化现象,不满足海洋环境质量评

价需求等问题,亟待开展相关标准制修订工作,结合海洋环境基体特点,对方法所需试剂、仪器、分析步骤、质量控制等技术要求进行优化,保证海洋环境监测按照统一的标准规范执行,方法性能指标满足海洋环境质量评价要求。

3.2 数智化监测转型需求

目前,我国海洋环境监测标准主要局限于手工监测方法。手工监测方法多采用人工采样和分析的方式,依托监测船舶现场监测pH、溶解氧、水温、盐度、水色及透明度等指标,并用采水器采集海水样品,进行过滤、萃取等预处理,冷冻、冷藏等保存后,运回实验室开展化学需氧量等指标的分析测试。受潮汐、洋流等影响,海上采样和监测难度大、耗时长,导致监测数据不能实时反映海湾水质状况。现有监测手段缺乏快速主动发现问题、提前预测预警等能力,难以满足动态化监测、精细化监管、精准化治理要求。另外,由于监测样品采集、预处理、分析测试均依靠人工操作,监测数据质量受人为活动影响明显,存在人为误差和主观性。尤其是行政干预的存在,导致监测数据不可比等问题时有发生,监测数据质量存在人为干扰风险。

2025年,生态环境部印发《国家生态环境监测网络数智化转型方案》^[30],提出全方位推进国家网信信息感知层、数据管理层、应用服务层数智化转型。所谓“数智化转型”,即以人工智能、区块链、物联网等新技术为核心引擎,推动形成符合新质生产力发展要求的监测体系,驱动监测网络智能化改造,建立与数字化相适应的新一代技术体系,实现监测数据采集、传输、处理、分析及应用支撑的全流程智能化。方案中提出“2030年,国家网信实现系统性重塑,数字化、智能化水平整体跃升,天空地海一体化监测全面实现,生态环境监测‘智慧大脑’基本建成,国家生态环境监测总体效能满足美丽中国建设支撑需求,技术装备水平全球领先”的总体目标。同时,针对海水水质国家网信监测,提出“开展海水水质船载走航自动监测试点,逐步覆盖污染防治攻坚战重点海域”“开展水

生生物自动采样、无人机海上智能采样和现场原位监测技术研究试点”“分区域建设全自动无人化‘黑灯实验室’，集中承担地表水、地下水、海水等样品分析任务”等重点任务。

可见，数智化转型是海洋环境监测的必然趋势，有必要尽快开展数智化监测技术研究与应用，并在此基础上构建海洋环境数智化监测标准体系，为海洋环境数智化监测提供标准依据，进一步提升监测规范性、合规性，确保数智化监测数据满足真、准、全、快、新的特性要求。随着数智化监测的发展，现有海洋环境监测标准存在明显的不适配、不完善问题。当前质量管理体系主要针对实验室手工监测，质量控制技术呈现分散化、碎片化特征^[31]，难以支撑数智化监测的规范化落地及数据价值释放，因此应在数智化转型背景下构建适配数智化发展的标准体系路径。

4 有关建议

4.1 进一步优化海洋环境监测标准体系

(1) 推进现行海洋环境监测标准制修订。针对GB 17378—2007《海洋监测规范》、HJ 442—2020《近岸海域环境监测技术规范》等系列标准存在的问题，研究确定现行海洋环境标准修订计划，优先推进海洋环境监测业务急需标准的修订工作。针对部分国家生态环境分析方法标准不满足海洋环境质量评价要求的问题，在原标准的基础上开展方法优化和适用性评估。确实因基体效应、仪器灵敏度等原因无法满足海水和海洋沉积物样品分析需求的，修订时在标准适用范围中删除海水或海洋沉积物。评估后可以满足的，按照HJ 168—2020《环境监测分析方法标准制订技术导则》^[32]和《国家生态环境监测标准预研究工作细则（试行）》^[33]的要求开展标准预研究和修订工作，从而实现海洋生态环境监测标准的基本统一，进一步优化海洋环境监测标准体系。

(2) 开展数智化监测技术与标准化。按照急用先出、梯次推进的原则，研究制定海洋环

境监测数智化转型急需标准规范清单，优先纳入监测标准制修订计划。加快推进数智化监测技术研究，确定数智化监测仪器、设备、系统等性能指标、质量控制、数据传输、安装验收及运维等基本要素，按照《国家生态环境监测标准预研究工作细则（试行）》和HJ 565—2010《环境保护标准编制出版技术指南》^[34]等规定的流程和要求，如结合生态环境监测数智化转型需求，组织开展《海水水质智能实验室建设技术规范》《海水水质船载走航自动监测技术规范》《海水无人机现场监测和智能分层采样技术规范》等涉及海水水质数智化监测技术规范、仪器与系统性能要求、标准样品等类别的监测标准预研究工作，推动其形成相关国家生态环境标准，进一步完善海洋环境监测标准体系。

(3) 深化标准体系与业务应用的协同联动。推动海洋环境监测标准在监测网络布设、数据采集传输、质量控制、数据分析与共享等环节的全流程应用，强化标准对数智化监测业务的技术支撑作用。结合我国近岸海域复杂环境特征，优先在渤海湾、河口及养殖区开展标准应用示范，提升对动态变化过程的精准捕捉能力。通过标准引领，提升海洋环境监测整体智能化水平，支撑实现“实时感知—科学预警—精准决策”的现代化治理格局。

4.2 定期开展标准实施有效性评估

针对我国现行标准普遍存在的“重发布、轻评估”的现象，构建海洋环境监测标准定期评估制度，按照《生态环境标准管理办法》^[35]关于生态环境监测标准实施评估的要求，定期组织开展标准实施有效性评估，分析标准实施效果，梳理存在问题，结合监测技术发展水平和国家监测业务需求提出标准制修订建议，不断完善优化海洋环境监测标准体系。

在标准实施反馈机制方面，建立多渠道、多层次的标准实施反馈途径，方便海洋环境监测一线技术人员、监测机构、科研院所及时反馈标准在实施过程中暴露出的技术缺陷及与实际监测需求不符等问题。根据问题的严重程度和影响范围，确定标准制修订的优先级，及时启动标准修订程序，确

保海洋环境监测标准能够紧跟技术发展和实际需求,始终保持科学性和有效性。

4.3 加强标准宣贯与培训

建立海洋环境监测类常态化标准宣贯培训机制,面向各级海洋监测机构、企事业单位的管理人员和技术人员,定期开展现行有效标准、新发布实施标准等的宣贯培训,不仅要强化技术人员严格执行标准规范的意识,还需提升其对标准条款的深度理解与操作执行能力。同时,督促机构管理人员履行标准执行监督职责,以标准为原动力,推动各级海洋环境监测机构和技术人员监测能力水平提升。

5 结语

监测标准是规范开展海洋环境监测活动的重要依据,我国已经建立了海洋环境监测标准体系,

并将其应用于海洋环境质量评价工作中。但现行的海洋环境监测标准以手工监测为主,存在技术规定有待优化、检测灵敏度不满足海洋环境质量评价要求等问题,相关标准亟待更新。数智化转型是海洋环境监测的必然趋势,一体化、智能化和国产化是海洋环境监测数智化的核心需求,有必要针对海水自动站、船载走航在线监测、实验室智能化监测等国家数智化转型要求,尽快建立相关标准规范。因此,对现行海洋环境监测标准实施情况开展适用性、先进性、协调性评估,在此基础上提出海洋环境监测标准制修订工作计划,形成基于数智化背景的海洋环境监测标准体系,对加快建立现代化生态环境监测体系,加速推进生态环境监测数智化转型,持续改善监测数据质量,更加高效支撑海水水质国家网考核、美丽海湾建设成效评估、重点海域的污染治理行动等具有重要意义。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会.海洋监测规范:GB 17378—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [2] 魏钧,杨劲.数智赋能蓝皮书:中国数智赋能研究报告(2023~2024)[M].北京:社会科学文献出版社,2024.
- [3] 生态环境部.近岸海域环境监测技术规范:HJ 442—2020[S].北京:中国环境出版集团,2020.
- [4] 国家海洋局.海洋监测技术规程:HY/T 147—2013[S].北京:中国环境出版社,2013.
- [5] 罗刚.全球海洋观测技术运用态势及海洋治理挑战[J].科技导报,2025,43(14):52—59.
- [6] ROEMMICH D, ALFORD M H, CLAUSTRE H, et al. On the future of Argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array[J]. *Frontier in Marine Science*,2019,6(8):1—28.
- [7] LIU C,WANG F, KHL A, et al. Subsurface ocean turbulent mixing enhances central Pacific ENSO[J]. *Nature Communications*. 2025, 16(1):2315.
- [8] 杨嘉钰,刘涛,卢楚谦,等.我国海洋生态观测系统现状综述[J].地质科技报,2025,44(5):257—271.
- [9] STAMEY B, CAREY K, SMITH W, et al. An integrated coastal observation and flood warning system: Rapid prototype development[C]//OCEANS 2006. Boston, MA,USA:IEEE,2006:1—6.
- [10] NOLAN G, BUCH E. Operational oceanography and european ocean observing system (EOOS)[J]. *Instrumentation Viewpoint*, 2015,18:20.
- [11] 蒋成竹,张涛,吴林强,等.欧盟海洋探测和观测体系构建现状与发展趋势[J].自然资源情报,2023(6):29—34.
- [12] PETERSEN W, REINKE S, BREITBACH G, et al. FerryBox data in the north sea from 2002 to 2005 [J]. *Earth System Science Data*, 2018,10(3):1729—1734.
- [13] 王宁,程长阔,杨鹏程,等.船载海洋生态在线监测技术研究与应用进展[J].海洋科学,2021,45(10):133—140.
- [14] MACNEIL L, COSTA M, LAROCHE J. Glimpsing the 2020 spring bloom in the Strait of Georgia (Canada) with autonomous ferry-based sensors[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2024,736:181—187.
- [15] WANNINKHOF R, PIERROT D, SULLIVAN K, et al.

- A 17-year dataset of surface water fugacity of CO₂ along with calculated pH, aragonite saturation state and air-sea CO₂ fluxes in the northern Caribbean Sea[J]. *Earth system science data*, 2020, 12(3):1489-1509.
- [16] GEORGE A. GRAY K, WAIT K, et al. Drinking water disparities in North Carolina communities served by private wells[J]. *Environmental Justice*, 2023, 18(5):346-356.
- [17] CASTILLO-TORRES K Y, MCLAMORE E S, ARNOLD D P. A high-throughput microfluidic magnetic separation (μ FMS) platform for water quality monitoring[J]. *Micromachines*, 2019, 11(1): 16.
- [18] CZYCAULA RUDJORD Z, REID M J, SCHWERMER C U, et al. Laboratory development of an AI system for the real-time monitoring of water quality and detection of anomalies arising from chemical contamination[J]. *Water*, 2022, 14(16):2588.
- [19] 环境保护部. 近岸海域水质自动监测技术规范: HJ 731—2014[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2015.
- [20] 于灏, 吕海良, 关一, 等. 船载海洋生态环境监测系统集成平台设计研究 [J]. *船舶工程*, 2013, 35(3):108-111.
- [21] 李晖, 杜军兰, 哈谦, 等. 船载海洋水质自动监测系统研制和应用[J]. *环境影响评价*, 2018, 40(6):67-70.
- [22] 李旭, 蔡中华. 基于 ARM9的船载海水监测系统设计[J]. *现代电子技术*, 2012, 35(13):115-118.
- [23] 崔洪渊, 李欣. 船载海洋生态环境现场监测集成示范系统硬件平台设计[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2004(2):313-317.
- [24] 中国环境科学学会. 水质监测智能无人实验室建设与运行维护技术要求: T/C SES 149—2024[S]. 2024.
- [25] 市场监管总局. 检验检测机构资质认定评审准则 [Z]. 2023.
- [26] 国家环境保护局. 海水水质标准: GB 3097—1997[S]. 北京:中国标准出版社, 1998.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋沉积物质量: GB 18668—2002[S]. 2002.
- [28] 生态环境部. 水质 氨氮的测定 气相分子吸收光谱法: HJ 195—2023[S]. 2023.
- [29] 生态环境部. 土壤和沉积物 有机氯农药的测定 气相色谱-质谱法: HJ 835—2017[S]. 2017.
- [30] 生态环境部. 国家生态环境监测网络数智化转型方案 [Z]. 2025.
- [31] 张大伟. 专家解读|强化数智化理念, 扎实推进国家生态环境监测网络转型任务落实[Z]. 2025.
- [32] 生态环境部. 环境监测分析方法标准制订技术导则: HJ 168—2020[S]. 北京:中国环境出版社, 2020.
- [33] 生态环境部. 国家生态环境监测标准预研究工作细则(试行)[Z]. 2023.
- [34] 环境保护部. 环境保护标准编制出版技术指南: HJ 565—2010[S]. 北京:中国环境出版社, 2010.
- [35] 生态环境部. 生态环境标准管理办法[Z]. 2021.