

破局与重构：海洋生态系统健康评估的 “认知—方法—工具”三位一体范式

庄志猛^{1#①} 魏 皓^{2#} 刘保华^{3#}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东青岛 266071; 2. 天津大学 天津 300072;
3. 国家深海基地管理中心 山东青岛 266071)

在气候危机与人类活动双重挤压的“海洋世纪”，海洋生态系统健康已成为全球可持续发展的基石。然而，战略需求的迫切性与认知能力的滞后性构成了尖锐的矛盾：现代海洋治理渴求精细化、前瞻性的管理手段，但传统评估体系却深陷“化学指标替代生态功能”的简化论窠臼。已有的“考察—采样—鉴定”模式不仅周期漫长、数据离散，更局限于“事后归因”，无力回应满足“事前预警”与“过程干预”的时代要求。为破解这一困局，国家自然科学基金委员会地球科学部依托共享航次计划，部署了“近海生态系统健康评估重大科学考察航次(NORC2024-301)”项目(<http://www.norc.com.cn>)。该项目旨在重构中国近海生态系统健康评估的关键指标体系与技术模型，确立标准化观测规范，并通过固定断面的系统观测与验证，为健康海洋建设提供科学支撑。经专家评审、论证，孙松研究员领衔的团队成功斩获该项目。历经两年攻关，团队近期连续发表 3 篇具有范式革新意义的重磅成果：《海洋观测的本体论反思与方法论重构——从“均匀性预设”到“问题驱动的异质性认知”》(孙松等, 2026a)、《海洋生态系统健康的目标驱动式评估体系》(孙松等, 2026b)、《从滞后到实时：海洋健康评估的生物整合观测新范式》(孙松等, 2026c)。3 篇文章犹如一套精准的“理论利器”，从哲学根基、方法论构建到技术路径 3 个维度，深刻剖析了现有海洋观测与健康评估体系的深层积弊，系统构建了面向“实时感知、精准诊断、智慧管理”的新一代海洋健康评估架构。这不仅是学术上的“知行合一”，更将有力推动我国海洋科学研究、治理能力与国家海洋战略的现代化进程。

1 构建了“认知—方法—工具”三位一体的理论闭环

这 3 篇论著并非孤立的技术注脚，而是一个从哲学本体论到实践方法论的系统性范式革新。三者层层递进、相互印证，共同绘制了一幅从“认知革命”通往“实践蓝图”的完整路线图。

1.1 哲学根基重塑：从“均质水体”到“异质景观”

《海洋观测的本体论反思与方法论重构——从“均匀性预设”到“问题驱动的异质性认知”》一文，以深刻的哲学思辨直击传统观测的逻辑盲区，冲破了传统海洋学范式中将海洋简化为“均匀、连续、渐变系统”的理论藩篱与潜在预设(Redfield, 1960)。作者创造性地提出“陆-海异质性同构”框架，雄辩地论证了海洋本质上是由“关键生态区”(锋面、上升流)、“脆弱敏感带”(河口、缺氧区)以及“脉冲驱动事件”(极端天气、径流暴发)共同编织的动态异质景观。这一“异质本体论”的确立，将引发海洋认知的根本性跃迁：它宣告依赖规则网格进行“无差别普查”传统认知范式的落幕。在此框架下，基于明确目标观测的资源配置逻辑将发生战略转移——从“面面俱到的静态扫描”转向对核心生态过程与关键空间节点的聚焦式、追踪式洞察，从根本上回答了“为何观测”的战略命题。

1.2 方法论范式转向：从“被动执行”到“目标驱动”

基于全新的认知基座，《海洋生态系统健康的目标驱动式评估体系》一文解决了“观测何为、评估何用”的逻辑闭环问题。研究提出了极具操作性的“目标解构—问题翻译—指标筛选”三级传导模型，成功将“健

① 通信作者：庄志猛，研究员，E-mail: zhuangzm@ysfri.ac.cn; #国家自然科学基金委员会共享航次计划第五届指导专家组成员
收稿日期：2026-05-07，收修改稿日期：2026-05-19

康海洋”、“可持续发展”等宏大而抽象的顶层目标,精准“翻译”为可观测、可诊断的具体生态学问题与核心生物指示组分(即“生态功能指纹”)。这一范式的转换,将海洋观测从一项可能流于形式的“资源消耗型任务”,重塑为一种有的放矢的“知识生产型投资”。它确保了每一次出海、每一组数据集,都直接锚定管理决策的痛点,实现了评估效能的最大化,清晰界定了“观测什么、评估什么”的核心边界。

1.3 技术路径突围: 从“滞后把脉”到“实时透视”

《从滞后到实时: 海洋健康评估的生物整合观测新范式》一文直面理论落地的“最后一公里”,系统性地破解了长期制约海洋生物观测的“三重锁定”困境——技术层面的“人工依赖”、数据层面的“基准缺失”以及应用层面的“网络孤岛”。为打破这一僵局,文章创新提出了以“认知—技术—网络”为三大支柱的生物整合观测新范式。这一范式不仅通过融合环境 DNA、原位成像光谱等颠覆性传感技术可实现数据采集的自动化,还可设计“周期性基准航次”作为校准真值的“定盘星”,以解决长期缺乏标准化的行业痛点。此外,通过开发“即插即用”式智能感知模块以无缝嵌入现有海洋观测网络,实现对上述“生态功能指纹”的标准化、业务化的连续监测,为“如何实现实时精准观测”提供切实可行的技术方案,真正打通了从理论到实践的闭环。

2 赋能国家海洋治理: 从“被动应对”迈向“主动护航”

作为海洋大国,我国近海生态安全、蓝色经济可持续性、与海洋生态文明建设事关民族永续发展(中华人民共和国国务院办公厅, 2024)。然而,当前治理体系仍深陷于依赖理化指标的“化学体检”误区——面对“水质达标但生态功能退化”的诡谲现实,往往陷入“药不对症”的无力感。在渔业资源精细化管控、生态灾害早期预警、重大工程生态风险评估等关键场合,传统模式常因“认知滞后”而处于“事后补救”的被动地位。本系列研究构建的新范式,正是破局这一治理困境的关键密钥,它不仅是科学认知的修正,更是对国家海洋治理能力的系统性升级。

2.1 重塑精准治理: 从“漫灌式管理”到“靶向式调控”

新范式建立的“目标驱动”体系,是国家战略与基层执行的“翻译器”和“转换器”。它将“渔业资源可持续利用”、“生态修复成效”等宏观愿景,精准解码为可监测、可考核的“生态功能指纹”,确保每一分管理投入都用在刀刃上。同时,“实时感知”网络的构建,

可将生态安全事件的响应机制从前瞻预警推向即时干预,从而有效扭转赤潮、缺氧、病原暴发等突发事件中“发现即灾难、处置即滞后”的被动局面,实现海洋生态治理从“被动救火”到“主动防御”的跨越。

2.2 驱动科研转型: 从“后验史学”到“预测科学”

这项研究将牵引我国海洋生态研究的代际跃迁,推动研究重心从依赖历史资料的“后验描述”向基于高通量连续数据的“过程解析”与“未来预测”转型。特别是“生态功能指纹”概念的引入,将科研视角从枯燥的物种名录统计(Who),提升至生态系统运行机制(How)与响应规律(Response)的深层次探索。这不仅填补了从“数据获取”到“决策支持”之间的方法论鸿沟,更强化了科技对海洋强国战略的原始支撑能力。

2.3 抢占战略高地: 从“技术跟跑”到“技术领先”

文章提出的多源传感融合、智能解析与模块化网络赋能技术路径,为构建自主可控的海洋感知体系奠定了基石。通过布局生物光学传感器、环境 DNA 等颠覆性技术,我国有望打破国外在高端海洋生态监测装备领域的垄断,主导相关国际标准的制定。这不仅是技术层面的迭代,还是国家在全球海洋治理话语权争夺中的“战略先手棋”,确保在未来的蓝色圈层竞争中占据制高点。

3 贡献“中国智慧”: 从“跟跑模仿”到“全球领跑”的理论自信

本系列文章标志着我国海洋生态学界在生态观测评估领域,正在实现从“跟踪学习”到“自主创新”再到“方案输出”的角色跃迁。其价值远不止于技术参数的改良,更在于展现出顶层设计的系统性与哲学思辨的深邃性,为全球海洋治理贡献了独特的东方智慧。

3.1 直面全球挑战的中国方案

该体系超越了早期国际大型计划,如海洋生物普查侧重“物种编目”的传统范式,直面快速变化背景下实现“生态功能实时诊断”这一全球性前沿挑战。针对全球海洋观测系统(GOOS)在向生态要素拓展中面临的方法论困境——传统稀疏采样难以支撑高频感知的“校验悖论”(Estes *et al*, 2021),以及多源异构网络割裂形成的“数据孤岛”等核心痛点(杨锦坤等, 2018),文章提出的“目标驱动观测设计”、“模块化智能感知赋能全球观测网络”等创新思想,是对国际主流科学议程的深刻回应,也是系统性“中国解决方案”,更彰显了中国科学家在应对全球变局时所持有的理论自觉、道路自信。

3.2 擘画未来蓝图的战略定力

诚然,任何范式变革并非一日之功。新体系的成熟离不开跨学科复合型人才梯队的培育,长期稳定的基础研究支持,以及打破部门壁垒的“感知-认知-决策”全链条机制创新。我们坚信,若能以这3篇论文为蓝图,推动“国家海洋关键生态功能监测研究计划”与“国家级生物观测技术校验平台”等建议落地,中国必将率先建成科学完备、能力卓越的海洋健康评估体系,为海洋强国建设铸就坚实的科技柱石,也为联合国“海洋科学促进可持续发展十年”注入强劲动力,为人类守护一个健康、富饶、韧性的蓝色星球,做出不可替代的引领性贡献。

参 考 文 献

孙松,臧文潇,孙晓霞,等,2026a.海洋观测的本体论反思与方法

- 论重构——从“均匀性预设”到“问题驱动的异质性认知”[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 582-588.
- 孙松,臧文潇,孙晓霞,等,2026b.海洋生态系统健康的目标驱动式评估体系[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 589-598.
- 孙松,孙晓霞,臧文潇,等,2026c.从滞后到实时:海洋健康评估的生物整合观测新范式[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 599-605.
- 中华人民共和国国务院办公厅,2024.《中国的海洋生态环境保护》白皮书[M]. 北京:人民出版社. http://www.scio.gov.cn/zfbps/zfbps_2279/202407/t20240711_854789.html
- 杨锦坤,韩春花,2018.大数据新时代背景下的海洋数据资源管理策略[J]. 海洋信息, 33(3): 1-5, 10.
- ESTES M, ANDERSON C, APPELTANS W, *et al*, 2021. Enhanced monitoring of life in the sea is a critical component of conservation management and sustainable economic growth [J]. *Marine Policy*, 132: 104699.
- REDFIELD A C, 1960. The biological control of chemical factors in the environment [J]. *Science progress*, 11: 150-170.

BREAKTHROUGH AND RECONSTRUCTION: A “COGNITION-METHODOLOGY-TOOL” TRINITY PARADIGM FOR MARINE ECOSYSTEM HEALTH ASSESSMENT

ZHUANG Zhi-Meng¹, WEI Hao², LIU Bao-Hua³

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. National Deep Sea Center, Qingdao 266071, China)