场景化海洋牧场气象服务研究

国婷婷[1,2]，宋萍[1,2]，李旭旭[1,2]，李文科[1,2]，盛开[1,2]，杨丽莎[1,2]

（1. 山东省气象服务中心　济南　250031；2. 山东省气象防灾减灾重点实验室　济南　250031）

摘要：文章以场景化气象服务与海洋牧场融合为核心目标，形成“理论框架—耦合机制—实践探索”的系统性研究分析路径。通过理论整合将海洋气象学基础和场景化服务理论相结合，提出以“场景驱动链”为核心的闭环理论框架，明确“场景划分—场景需求识别—数据内容界定—主体任务设计—数据整合方案”五阶递进流程，实现气象服务从“标准化供给”向“场景化响应”的转型，形成场景化海洋牧场气象服务的理论框架。同时，以山东海洋牧场为实践对象，聚焦“近海养殖”与“休闲渔业”两大核心场景搭建差异化服务体系。针对近海养殖场景，搭建“全要素数据整合＋动态服务输出”体系，形成“一品种一档案”的养殖适配与风险预警机制；针对休闲渔业场景，打造“点位信息整合＋专属指数服务”模式，开发赶海指数和海钓适宜度指数等定制化产品。文章不仅证实了场景化气象服务对海洋牧场发展的支撑价值，其形成的理论框架与服务范式也为全国海洋牧场气象服务优化提供了实践参考，对推动海洋牧场安全高效发展乃至海洋经济与生态保护协同发展具有重要意义。

关键词：海洋牧场；气象服务；场景化

中图分类号：P49；P731　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005-9857（2026）03-0035-09

Research on Scenario-Based Meteorological Services for Marine Ranching

GUO Tingting[1,2]，SONG Ping[1,2]，LI Xuxu[1,2]，LI Wenke[1,2]，SHENG Kai[1,2]，YANG Lisha[1,2]

（1. Shandong Meteorological Service Center，Jinan 250031，China；
2. Shandong Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation，Jinan 250031，China）

Abstract：Taking the integration of scenario-based meteorological services and marine ranching as the core goal，this study constructs a systematic research system of “theoretical framework-coupling mechanism-practical exploration”. It combines the fundamentals of marine meteorology and scenario-based service theories through theoretical integration，proposes a closed-loop theoretical framework centered on the “scenario-driven chain”，clarifies the five-stage progressive process of “scenario division-demand identification-data definition-task design-data integration”，realizes the transformation of meteorological services from “standardized supply” to “scenario-based response”，and forms a

收稿日期：2025-07-14；**修订日期：**2026-02-19

基金项目：山东省气象局榜单类专项（2023SDBD04）；山东省气象局引导类项目（2024SDYD09）；山东省气象局重点科研项目（2024sdqxz06）.

作者简介：国婷婷，工程师，硕士，研究方向为气象服务与应用气象

通信作者：李旭旭，高级工程师，硕士，研究方向为专业气象服务及关键技术研发

theoretical system for scenario-based meteorological services of marine ranching. Taking Shandong marine ranching as the practical object, the study focuses on the two core scenarios of "offshore aquaculture" and "recreational fishing" to build a differentiated service system: for the offshore aquaculture scenario, it establishes a system of "comprehensive data integration+dynamic service output" and forms a "one species, one profile" mechanism for aquaculture adaptability and risk early warning; for the recreational fishing scenario, it creates a model of "point information integration+exclusive index service" and develops customized products such as the beachcombing index and sea fishing suitability index. This study not only verifies the supporting value of scenario-based meteorological services for the development of marine ranching, but also provides practical references for the optimization of national marine ranching meteorological services with the formed theoretical framework and service paradigm, which is of great significance for promoting the safe and efficient development of marine ranching and the coordination development between marine economy and ecological protection.

Keywords: Marine ranching; Meteorological services; Scenario-based services

0 引言

海洋牧场作为现代化海洋渔业发展的重要模式，融合了渔业养殖、生态修复与资源养护等多重功能，在全球海洋经济发展中占据重要的地位。随着海洋开发利用的不断深化，海洋牧场规模日益壮大，其面临的气象风险也日益凸显。台风、海雾和强对流等灾害性天气，以及水温、光照、降水等气象要素的波动，对海洋牧场的设施安全、养殖生物生长与生存环境产生深刻的影响[1-2]。近年来，全球水产养殖与海洋牧场因气象及海洋灾害造成的直接经济损失年均达数十亿美元，严重地制约了产业的可持续发展[3]。党的二十大强调，"发展海洋经济，保护海洋生态环境，加快建设海洋强国"[4-7]。在海洋经济蓬勃发展的大趋势下，海洋牧场作为一种新型的海洋渔业发展模式，受到广泛关注，成为建设海洋强国的重要举措。

在此背景下，场景化气象服务的理念被引入海洋牧场领域，其核心逻辑在于打破传统服务的同质化局限，旨在根据海洋牧场不同生产环节、养殖品种、作业区域等特定场景需求，提供精准和定制化的气象信息与应对方案。通过场景化气象服务，海洋牧场经营者能够提前预知气象变化，合理安排生产活动，有效规避气象灾害风险，提升养殖效益与生态稳定性。这不仅对保障海洋牧场的经济效益，促进渔业可持续发展具有重要的实践意义，还为应对气候变化背景下的海洋产业发展挑战提供了关键支撑，有助于推动海洋经济发展与生态环境保护的协调共进。

本研究将场景化的概念融入海洋牧场气象服务中，进一步明确场景化海洋牧场气象服务的设计与实施。主要包含基于海洋牧场生产过程，引入分类场景，明确不同场景对海洋牧场气象服务的需求；通过搭建不同场景下海洋牧场气象服务框架，为进一步研究海洋气象与海洋牧场的相互关系提供理论支持，能够帮助海洋牧场经营者更好地应对气象变化，合理安排生产活动。

1 国内外研究进展

国外在海洋牧场气象服务研究方面起步较早，美国、日本和挪威[8-9]等海洋强国依托先进的气象监测技术与数值模拟模型，构建了较为完善的海洋气象服务体系。美国国家海洋和大气管理局（NOAA）利用卫星遥感、浮标监测等手段，可实现对海洋牧场全方位气象要素实时监测，并通过精细化数值预报模型，为近海与远海牧场提供逐小时、千米级分辨率的气象预报产品，涵盖风浪、海雾、水温等关键要素，有效指导海上作业与养殖管理[10]。日本则注重将气象服务与海洋牧场生态保护相结合，通过长期观测与研究，建立了基于气象条件的养殖生物病害预警模型，提前预测因气象变化引发的病害风险，助力养殖户采取针对性的防控措施[11]。

国内海洋气象服务研究以及针对海洋牧场的气象服务研究近年来发展迅速。众多学者围绕海洋气象灾害特征、影响机制及服务需求展开深入研究[12-15]。王雨等[16]以舟山和温州海岛地区为例，采用混合数据的因子分析（FAMD）和主成分的层次聚类分析（HCPC），分析了台风灾害及其他压力源对海岛渔业生态系统和水产养殖家庭经济脆弱性的影响。肇思迪等[17]通过分析高温期海参养殖水温与气温的关系，对海参养殖的高温期气象灾害进行研究，为海参养殖减损增收提供科学指导。张存勇等[18]将连云港市的海洋灾害类型分为海洋水文气象灾害、海洋地质灾害和海洋生态灾害等，并对其成因进行了分析，对海洋气象服务及海洋防灾减灾具有重要的指导意义。

尽管国内外已在海洋牧场气象服务领域开展了大量的研究，但仍存在显著的场景化服务缺口。一是服务模式“大一统”，多数研究与实践仍以“海洋牧场”整体为服务对象，未针对不同场景细分敏感要素差异设计服务；二是研究视角“单一化”，多聚焦某类气象灾害的孤立影响，或某一要素的单项预报，缺乏对场景全流程和多要素的协同分析；三是服务内容“定性化”，现有研究多以灾害预警、要素数值播报为主，缺乏针对具体场景的定量适配评估。这种传统服务模式难以满足不同场景对气象服务的精准化和差异化需求，亟须通过场景化重构实现气象服务与海洋牧场细分场景的深度耦合。

2　海洋牧场气象服务理论基础

2.1　海洋气象学基础

海洋气象学是研究发生在海洋上的大气现象及其演变规律，以及海洋与大气相互作用的学科，其核心内容包括海洋气象要素的分布与变化、海洋天气系统的形成与发展等。在海洋牧场气象服务中，海洋气象学为理解气象现象对牧场的影响提供了基础理论支持，其影响主要体现在气象要素调控、天气系统干预和海气相互作用驱动 3 个层面，构成场景化海洋牧场气象服务的核心理论框架。

在气象要素调控层面，海洋气象学对气温、风速等大气要素及水温、盐度等水文要素的解析，直接决定养殖生物生存环境的稳定性。严律等[19]基于西南黄海现场调查数据，揭示了海温和盐度对溶解氧的协同影响机制，为养殖水体溶氧动态预测提供基础参数。张洁新等[20]研究了气温和降水对海水温度及盐度等水质环境的影响，分析河北省唐山市曹妃甸区海参适宜生长的时间及气象条件，为海参养殖提供了技术参考。王立超等[21]结合气象因子与南美白对虾海水养殖直接影响因子（水温、盐度等）的关系，根据影响对虾生长发育的权重因子进行叠加，得到了南美白对虾养殖气象指数。赵玉洁等[22]对高密度养虾基地露天实时海水养殖水体监测水文环境进行了数据分析，建立了池塘水温与气温关系模型，实时预报池塘海水温度，为水产养殖最佳繁育期、放养期、投饵期和捕捞期等生产活动提供科学依据。

在天气系统干预层面，台风和海雾等天气系统的形成机理研究是灾害防御的核心。姜雨青等[23]基于卡方检验、秩和检验与区域重心方法，对渔业养殖设施格局与台风的风速及频次进行相关性分析，并对养殖设施的合理布局给出了建议。于志明等[24]总结了渤海海区灾害性天气特征，采用天气学分析方法对灾害性天气个例进行天气分型，分析归纳出现频次较高的海上大风（台风和雷暴大风除外）、海上大雾及强对流天气的预报指标，为渤海及沿岸地区灾害性天气的监测预报提供参考。

在海气相互作用驱动层面，海气界面的动量、热量和水汽交换是连接海洋和大气的重要桥梁，该层面聚焦海洋与大气的能量、物质交换对牧场生态的长期驱动，是气候尺度服务的理论核心。海表面风场与波浪的动量传递过程会显著影响养殖区水动力环境，Zou 等[25]分别在中性和非中性条件下考虑了涌浪对海气边界层的影响，研究证实，空气浮力和涌浪所计算的海气通量与观测数据吻合较好。Wu 等[26]将涌浪诱导动量通量纳入模拟方案后，海气边界层温度和湿度的模拟误差降低，为养殖区流场预报提供了优化路径。付慧卿[27]通过构建天文潮—风暴潮—海浪—温盐流耦合的三维数值模型，进行了多动力致灾因子耦合作用下的灾害过程数值模拟，并建立了一套适用于海上养殖区的有

针对性、多层次、多角度的多致灾因子风险评估模型，为海水养殖从业者提供科学的风险管理决策依据。

2.2 场景化服务理论

场景（scene）是指行为主体活动发生的上下文结构、特征和功能等。其理论研究体系建立在客观结构和主观认识上[28]，场景构造既包含物质空间，也包含文化价值观。而场景化服务理论的核心在于以特定时空下的用户需求为锚点，通过拆解场景要素、整合多维资源、动态适配供给，实现服务从“标准化输出”向“个性化响应”的转型，目前已在多行业形成成熟的实践范式[29-30]。这些实践进一步印证了场景化服务理论在不同领域的适配性，也为海洋牧场气象服务的场景化落地提供了参考。

针对当前海洋牧场气象服务同质化供给的痛点，本研究基于“场景驱动链”搭建场景化海洋牧场气象服务体系（图 1）。其理论内涵与实践路径围绕场景驱动的核心环节展开，明确了体系构建的逻辑框架、核心环节与运行机制。

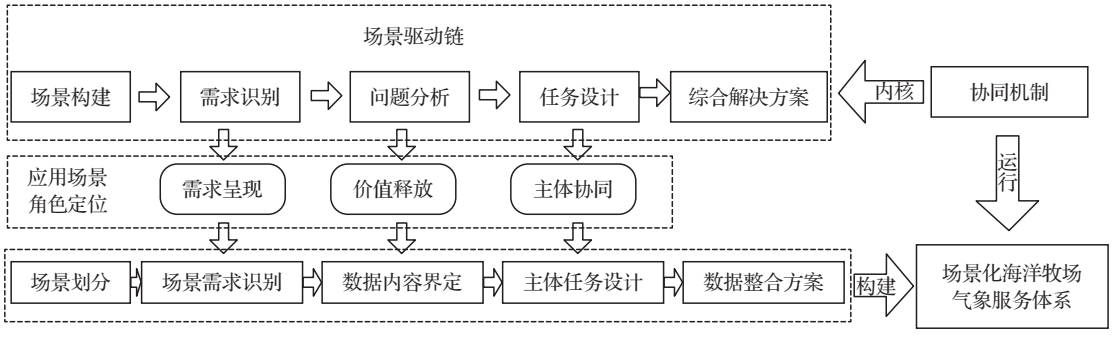

图 1 场景化海洋牧场气象服务体系构建流程

Fig.1 Flow chart of scenario-based meteorological service for marine ranching

场景化海洋牧场气象服务理论的核心逻辑是依托“场景驱动链”打通需求、数据、任务、协同全闭环，推动气象服务从标准化供给转向场景化精准响应。该理论以场景划分为逻辑起点，从目标用户、客观环境和应用主体三大维度进行多维度交叉划分，破除同质化服务模式。框架构建遵循“场景划分—场景需求识别—数据内容界定—主体任务设计—数据整合方案”见图 1 中五阶递进流程。其中，场景需求识别以具象化挖掘为核心，通过问卷调查、深度访谈和实地观测等方式精准捕捉不同场景的差异化诉求；数据内容界定以数据价值释放为导向，将差异化需求转化为具体的气象—水文要素、数据精度、采集频率的界定；主体任务设计为多元主体赋予场景化分工；数据整合方案则围绕各主体任务搭建统一共享平台，整合多源监测数据、产业基础数据与用户反馈数据，打破数据壁垒。依托场景统筹协调各类差异，依托多元协同机制保障体系高效运转，形成需求挖掘、数据整合到服务落地的良性循环，既能精准匹配不同场景实际需求，又能深化气象服务与海洋牧场产业融合，为相关服务落地筑牢理论根基。

3 山东海洋牧场场景化气象服务研究

山东作为全国海洋牧场建设的重点省份，依托半岛海域资源禀赋与产业基础，遵循场景化服务理论的“场景驱动链”逻辑，按五阶递进流程，聚焦近海养殖和休闲渔业两大场景，构建“需求呈现—价值释放—主体协同”的场景化气象服务体系，为北方海域海洋牧场气象服务提供可复用的实践范式。

3.1 海洋牧场气象服务场景划分

3.1.1 划分方法

采用“多维度交叉划分法”，结合山东海洋牧场产业实际，从目标用户、客观环境和应用主体三

大核心维度，研究依托 2025 年 1—12 月实地调研数据，调研范围覆盖青岛、烟台、威海、日照、潍坊和东营 6 个山东沿海地市，累计走访海洋牧场经营主体、渔业管理部门、基层气象服务站点 40 家，同步联合山东省海洋局、当地气象局、渔业发展和资源养护总站开展多轮专家访谈论证，保障场景界定贴合产业实际，确保划分的科学性与实操性。

3.1.2　划分结果

根据山东海洋牧场目前的气象服务业务，将海洋牧场气象服务划分为两大核心场景，明确场景的边界与特征，形成差异化场景定位。

（1）近海养殖场景。以海参和牡蛎等海珍品养殖为核心，目标用户为养殖企业、合作社及个人养殖户，主要分布于威海、青岛和烟台等近海区域，受自然环境中水温、风浪和降水等要素影响显著，可获取服务的设备以养殖基地 PC 端和移动端为主，服务核心定位为生产安全保障与养殖效益提升。

（2）休闲渔业场景。涵盖海钓、海上观光和滩涂赶海等业态，目标用户包括休闲渔业运营方、景区管理方及游客，集中在日照万平口、烟台金沙滩等重点区域，受风力、能见度、体感温度等要素影响较大，可获取服务的设备环境涉及游客移动端和景区显示屏等，服务核心定位为体验优化与安全风险防控。

3.2　海洋牧场气象服务需求识别

采用问卷调查、实地观测、数据拟合等研究方法，对山东 6 个核心海域的近海养殖与休闲渔业场景开展系统调研，采集气象、海洋和渔业产业等相关数据进行需求相关因子分析，精准识别两大场景的差异化需求。

3.2.1　近海养殖场景需求

山东近海养殖以海参和牡蛎两类大宗养殖品种为核心研究对象，气象服务需求集中于养殖生物生长保障与设施防护两大维度。在养殖生物生长气象需求上，根据牧场调研及相关文献研究确定海参和牡蛎各生育期养殖气象服务指标，对水温、气温、盐度、溶解氧、海面风力、浪高等要素进行阈值划分，明确不同风险等级，依据生育期及要素指标给出措施建议。在养殖设施防护气象需求上，需要匹配灾害类型与设施特性，如海参和牡蛎浮筏养殖需提前获取台风路径与风力预报，指导缆绳加固或浮筏转移。牡蛎固定式网箱需依据海浪预报判断网箱框架安全状态，确定是否提前收获。沿岸堤坝需结合降雨预报评估岸线侵蚀与渗漏风险。同时，冬季需关注寒潮大风对网箱锚定系统和浮筏的影响，提供风力持续情况预报，指导设施安全检查，减少损耗。

3.2.2　休闲渔业场景需求

休闲渔业涵盖海钓、海上观光、海上农家乐等多种业态，游客体验与安全均与气象条件密切相关，其气象服务需求聚焦体验优化与安全风险防控两大维度，需结合不同业态特性提供适配服务。在体验优化需求方面，不同业态对气象条件的偏好差异显著。海钓业态需关注水温、风力与潮汐的协同关系，适宜的水温与风力可提升鱼类的活跃度，需提供三者组合预报以推荐最佳垂钓时段；海上观光业态需重点关注海水能见度与旅客体感舒适度，良好的能见度是保障景观观赏效果的重要基础，适宜的气温与风力条件可提升游客乘船浏览体验，需提供时段性能见度和体感的相关预报，服务运营方调整航线与场次；海上农家乐的户外餐饮和滩涂赶海等户外活动应避开降水与强风等不利天气，气象部门需提供短期降水概率及风力趋势预报，指导活动场次与内容实时调整，同时，结合特色气象景观预报，助力推出主题体验产品，提升业态吸引力。在安全风险防控需求上，应覆盖“离岸—沿岸”全活动空间。海钓活动多在近海海域开展，需防范突发强对流天气（如短时降雨、雷暴等），提供临近预警以指导船只紧急返航；海上观光船需依据风力与海浪预报判断航行安全性，在气象条件超出安全范围时及时暂停航行，需实时更新天气实况与短期预报支撑停航、复航决策；滩涂赶海活动需结合潮汐与风力预报评估涨潮风险，划定安全活动区域与时段，避免游客因涨潮受阻。此外，夏季需关注强紫外线对游客的影响，冬季需提示海上风寒效应，提供相应防护建议，保障游客的健康安全。

3.3　多元主体的任务设计与数据整合

基于近海养殖与休闲渔业场景的需求识别及数据界定结果，以“协同高效、权责清晰、数据贯

通”为原则，明确气象部门、渔业部门、海洋牧场企业、休闲渔业运营方等多元主体的场景化任务分工，构建“多源数据融合—共享平台支撑—协同机制保障”的数据整合体系，为场景化气象服务落地提供实操支撑。

3.3.1 多元主体任务设计

采用“场景适配+权责匹配”的任务分配逻辑，结合山东海洋牧场管理实际与各主体资源，制定差异化任务清单，确保各环节无缝衔接。

（1）气象部门承担核心气象要素监测、精细化预报及数据输出任务。依托山东沿海岸基观测站、浮标监测站、卫星遥感与雷达监测网络，针对近海养殖场景，提供水温、风浪和降水等常规气象预报，开展台风和寒潮等灾害性天气的精准预报，拓展养殖物种的养殖适宜度预报，预报空间分辨率达千米级，时间分辨率为 1 h；针对休闲渔业场景，重点输出风力、能见度、体感温度、潮汐及短时强对流预警等信息。

（2）渔业部门负责需求传达、技术指导与应急协调工作。构建“牧场需求收集—气象数据对接—技术方案输出”的闭环机制，收集核心海洋牧场的需求反馈，梳理形成《场景化气象服务需求清单》，并同步至气象部门；针对近海养殖场景，结合气象数据与养殖实际，输出苗种选择、病害防控和设施防护等技术指导方案；针对休闲渔业场景，协助运营方制定气象安全管理制度，明确停航、限流等阈值标准。

（3）海洋牧场企业承担落实数据反馈、服务应用与措施落地任务。配备现场监测设备，实时采集养殖区水温、溶解氧和设施运行状态等数据，上传至共享平台；根据气象部门推送的预报信息与渔业部门的技术方案，调整生产计划，反馈数据准确率和措施有效性等信息，为需求迭代与数据优化提供支撑。

（4）休闲渔业运营方负责场景化服务落地与用户反馈收集。基于气象数据优化运营安排，通过游客移动端、景区显示屏等渠道，实时推送气象预警与安全提示；收集游客体验反馈与运营需求，汇总至渔业部门，形成需求迭代闭环。

3.3.2 数据整合体系构建

以“打破数据壁垒、释放数据价值”为目标，建立“气象+渔业”跨部门协同机制，构建“数据采集—平台支撑”的全流程整合体系，整合多源异构数据，形成全覆盖的数据资源池。本研究通过构建共享“智御海洋防灾减灾气象保障服务系统”作为数据整合的核心载体，结合山东海洋牧场数据实际制订具体实施方案。

针对近海养殖场景，构建“全要素数据整合+动态服务输出”体系。整合山东牡蛎和海参等主要养殖品种的核心信息，涵盖分区域养殖面积、精准地理位置、年产量以及历史低温冻害、台风等高影响天气的灾害影响数据，形成“一品种一档案”的基础数据库。共享平台作为功能支撑，开发“品种—气象适配分析”与“设施风险预警”模块，通过算法计算养殖适配度（如海参育苗期水温适配度、牡蛎附着生长期盐度适配度），自动输出投苗时机、投喂频率、水质调控等科学建议。同时，接入牧场实时视频流，实现养殖现场生物生长状态（如海参摄食、牡蛎附着情况）与设施运行情况的远程监测，结合未来 3 天的精细化气象数据（如气温、降水、风力），构建养殖风险预测模型，提前预警低温、暴雨、大风等潜在灾害，为养殖户预留充足应对时间。

针对休闲渔业场景，打造“点位信息整合+专属指数服务”模式。整合全省滩涂赶海、海上垂钓、休闲观光等核心点位信息，标注各点位地理位置、业态类型和容纳规模等基础属性。共享平台开发“专属指数计算”与“时段推荐”模块，针对不同场景匹配专属服务指数，如赶海指数（结合潮汐、风力和降水评估适宜赶海程度）、海钓适宜度指数（关联水温、风力和潮汐判断鱼类活跃度）、观光舒适度指数（融合气温、能见度和体感温度评估游客体验），并附带活动建议。基于风向、风速、温度、潮汐和海浪等气象和海洋要素的未来 7 天精细化预报数据，为每个休闲渔业点位生成“时段—适宜度—风险提示”清单，清晰呈现各时段活动可行性，为游客规划休闲行程提供精准的参考。

4　讨论与结论

本研究围绕场景化海洋牧场气象服务的理论构建与实践落地展开，以山东海洋牧场为实证载体，构建“理论框架—实践路径—应用验证”的完整研究体系，形成如下主要结论。

（1）明确了场景化服务的理论支撑逻辑，融合海洋气象学基础与场景化服务理论，提出“需求—数据—任务—协同”的闭环理论框架。通过五阶递进流程，实现服务从“标准化供给”到“场景化响应”的转型，补齐了传统气象服务“重技术轻场景”的理论短板。

（2）通过山东地域实践建立并验证了场景化海洋牧场气象服务的差异化实践体系。明确近海养殖与休闲渔业的场景定位，通过综合调研界定各场景的核心数据标准与需求阈值；同时，明确气象、渔业、企业等主体的场景化分工，搭建多源数据整合平台，形成场景化海洋牧场气象服务的实践范式。

（3）虽然研究取得了较为显著的成果，但在实践应用与技术深化中仍存在较大的改进空间。深远海监测覆盖不足、数据融合深度有限、研究场景未纳入生态修复新兴场景等问题，未来可通过增设深远海监测设备、引入智能算法优化模型、拓展服务场景边界等方式进一步完善。

综上所述，本研究的理论成果与山东的实践共同证实了场景化气象服务在海洋牧场中的价值，其理论框架与服务范式可为全国海洋牧场气象服务提供参考，助力海洋牧场实现安全、高效、可持续发展，推动海洋经济与生态保护协同共进。

参考文献（References）：

[1] 孙利元，管剑峰，杨剑，等．现代化海洋牧场建设的“山东经验”[J]．中国水产，2024(6)：71-73.
SUN Liyuan，GUAN Jianfeng，YANG Jian，et al．“Shandong experience” of modern marine ranching construction[J]．China Fisheries，2024(6)：71-73.

[2] 管金平，侯文安，杨晗．新质生产力赋能山东海洋牧场高质量发展路径探究[J]．山东宏观经济，2025(2)：69-75.
GUAN Jinping，HOU Wenan，YANG Han．Exploration on high-quality development path of Shandong marine ranching empowered by new productive forces[J]．Shandong Macroeconomics，2025(2)：69-75.

[3] SMITH K E，BURROWS M T，HOBDAY A J，et al．Socioeconomic impacts of marine heatwaves：Global issues and opportunities [J]．Science，2021，374(6566).

[4] 王旭，张敏学．中国海洋牧场建设：战略意涵、风险挑战、发展路径[J]．太平洋学报，2024，32(12)：67-80.
WANG Xu，ZHANG Minxue．China’s marine ranching construction：strategic implications，risks and challenges，and development paths[J]．Pacific Journal，2024，32(12)：67-80.

[5] 马俊峰，刘汉卓．我国海洋牧场发展路径探究[J]．中国水产，2025(6)：37-39.
MA Junfeng，LIU Hanzhuo．Exploration of the development path of marine ranching in China[J]．China Fisheries，2025(6)：37-39.

[6] 许丰杰，周晓群，赵运星，等．我国提升海洋牧场生态效益路径研究[J]．中国渔业经济，2024，42(5)：118-126.
XU Fengjie，ZHOU Xiaoqun，ZHAO Yunxing，et al．Research on the path to improve the ecological benefits of marine ranching in China[J]．Chinese Fisheries Economics，2024，42(5)：118-126.

[7] 张翔宇，陈金路，郑向远，等．我国现代化海洋牧场智能运维的发展现状与建议[J]．海洋开发与管理，2023，40(7)：40-47.
ZHANG Xiangyu，CHEN Jinlu，ZHENG Xiangyuan，et al．Current status and future perspectives for intelligent operation and maintenance of modern marine ranching in China[J]．Ocean Development and Management，2023，40(7)：40-47.

[8] YTTEBORG E，FALCONER L，KRASNOV A，et al．Climate change with increasing seawater temperature will challenge the health of farmed Atlantic Cod (Gadus morhua L.)[J]．Frontiers in Marine Science，2023，10：1232580.

[9] OECD．The economics of adapting fisheries to climate change[M]．Paris：OECD Publishing，2011.

[10] PARK J Y，STOCK C A，DUNNE J P，et al．Seasonal to multiannual marine ecosystem prediction with a global Earth system model [J]．Science，2019，365(6450)：284-288.

[11] LIU Yang，TIAN Yongjun，SAITOH S I，et al. Impact of climate extremes on suitability dynamics for Japanese scallop aquaculture in Shandong，China and Funka Bay，Japan[J]. Sustainability，2020，12(3)：833.

[12] 张树钦，张丽雯，吕文琦，等. 气象和海洋数据时间分辨率差异对渔船漂移轨迹预测精度的影响[J/OL]. 中国海洋大学学报（自然科学版），[2025-09-25]. https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=QDHY20250924001&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.
ZHANG Shuqin，ZHANG Liwen，LYU Wenqi，et al. The influence of different meteorological and marine temporal resolution data on the drift trajectory prediction of fishing vessel[J/OL]. Periodical of Ocean University of China[2025-09-25]. https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=QDHY20250924001&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

[13] 李竟博，马礼，李阳，等. 面向海洋气象预报的低时延智能物联网构建[J]. 电子学报，2025，53(2)：301-313.
LI Jingbo，MA Li，LI Yang，et al. Construction of low-latency artificial intelligence of things for marine meteorological forecasting[J]. Acta Electronica Sinica，2025，53(2)：301-313.

[14] 陈升孛，陈亮，余海，等. 海洋休闲渔业气象服务技术研究：以海南海钓气象服务为例[J]. 中国热带农业，2024(1)：70-74.
CHEN Shengbei，CHEN Liang，YU Hai，et al. Study on meteorological service technology of marine recreational fishing：taking Hainan Sea fishing meteorological service as an example[J]. China Tropical Agriculture，2024(1)：70-74.

[15] 王媛，霍鹏，韩毅，等. 基于深度学习的气象预报模型研究综述[J]. 计算机科学，2025，52(3)：112-126.
WANG Yuan，HUO Peng，HAN Yi，et al. Survey on deep learning-based meteorological forecasting models[J]. Computer Science，2025，52(3)：112-126.

[16] 王雨，袁海红，沈浪子，等. 海岛水产养殖业台风灾害脆弱性分析：以舟山和温州海岛地区为例[J]. 热带地理，2024，44(6)：1127-1138.
WANG Yu，YUAN Haihong，SHEN Langzi，et al. Vulnerability analysis of aquaculture to typhoon disasters in island regions：evidence from the Zhoushan and Wenzhou Islands[J]. Tropical Geography，2024，44(6)：1127-1138.

[17] 肇思迪，庞渤，王春远. 庄河高温期海参养殖气象服务研究[J]. 新农业，2024(11)：57-58.
ZHAO Sidi，PANG Bo，WANG Chunyuan. Research on meteorological services for sea cucumber aquaculture during high temperature period in Zhuanghe[J]. Modern Agriculture，2024(11)：57-58.

[18] 张存勇，刘吉堂. 连云港市海洋灾害及其成因分析[J]. 海洋湖沼通报（中英文），2009，31(1)：35-40.
ZHANG Cunyong，LIU Jitang. Marine disasters and analysis of Lianyungang City[J]. Transactions of Oceanology and Limnology，2009，31(1)：35-40.

[19] 严律，朱首贤. 西南黄海 2018 年夏季溶解氧分布特征及其影响因素的初步分析[J]. 海洋通报，2021，40(2)：133-141.
YAN Lyu，ZHU Shouxian. Distribution and potential drivers of dissolved oxygen in the southwestern Yellow Sea in summer 2018[J]. Marine Science Bulletin，2021，40(2)：133-141.

[20] 张洁新，米欣悦，龙强，等. 曹妃甸区海参养殖的气象条件分析探究[J]. 农业开发与装备，2022(2)：238-240.
ZHANG Jiexin，MI Xinyue，LONG Qiang，et al. Analysis on meteorological conditions of sea cucumber culture in Caofeidian area[J]. Agricultural Development & Equipments，2022(2)：238-240.

[21] 王立超，申子彬，周溥佳. 南美白对虾养殖气象指数预报方法[J]. 浙江农业科学，2017，58(7)：1254-1256.
WANG Lichao，SHEN Zibin，ZHOU Pujia. Forecast method of meteorological index of *Penaeus vannamei* culture[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences，2017，58(7)：1254-1256.

[22] 赵玉洁，王佳，崔淑芬，等. 大港露天海水养殖塘水环境与气象条件关系[J]. 天津农业科学，2015，21(7)：35-38.
ZHAO Yujie，WANG Jia，CUI Shufen，et al. Relationship between weather and water in mariculture pond in dagang area[J]. Tianjin Agricultural Sciences，2015，21(7)：35-38.

[23] 姜雨青，张俊波，国志兴，等. 我国沿海渔业养殖设施空间分布与台风影响关联性研究[J]. 海洋湖沼通报，2023，45(1)：183-192.
JIANG Yuqing，ZHANG Junbo，GUO Zhixing，et al. Studies on the correlation between the spatial distribution of aquaculture facilities and the influence of typhoon in southeast China[J]. Transactions of Oceanology and Limnology，2023，45(1)：183-192.

[24] 于志明，王驷鹞，马冬亮. 渤海海洋气象灾害天气分型与预报指标研究[J]. 气象与环境学报，2018，34(1)：106-111.
YU Zhiming，WANG Siyao，MA Dongliang. Study on weather classification and forecasting index of marine meteorological disasters in the Bohai Sea[J]. Journal of Meteorology and Environment，2018，34(1)：106-111.

[25] ZOU Zhongshui，ZHAO Dongliang，ZHANG Jun A，et al. The influence of swell on the atmospheric boundary layer under Nonneutral conditions[J]. Journal of Physical Oceanography，2018，48(4)：925-936.

［26］ WU Lichuan，RUTGERSSON A，NILSSON E. Atmospheric boundary layer turbulence closure scheme for wind-following swell conditions［J］. Journal of the Atmospheric Sciences，2017，74(7)：2363-2382.

［27］ 付慧卿. 多动力因子耦合作用下的海上养殖区风险评估研究［D］. 北京：国家海洋环境预报中心，2025.
FU Huiqing. Risk assessment of offshore aquaculture areas under the coupling effects of multiple dynamic factors［D］. Beijing：National Marine Environmental Forecasting Center，2025.

［28］ 汪妍. 基于场景理论的数字文化旅游融合发展研究［J］. 北京航空航天大学学报（社会科学版），2022，35(4)：83-89.
WANG Yan. Development of the integration of digital culture and tourism based on scene theory［J］. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition)，2022，35(4)：83-89.

［29］ 亢孟军，陈舒颖，翁敏，等. 场景化电子地图设计概念框架及实践［J］. 测绘学报，2024，53(11)：2064-2074.
KANG Mengjun，CHEN Shuying，WENG Min，et al. Conceptual framework and practice of scene-based electronic map design［J］. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica，2024，53(11)：2064-2074.

［30］ 王兆伟，杨欣如. 公共图书馆场景化构建和运营模式研究：以上海市虹口区图书馆·和平书院为例［J］. 图书馆杂志，2025，44(9)：73-82.
WANG Zhaowei，YANG Xinru. Research on the scene construction and operation mode of public library：a case study of Heping library，Shanghai Hongkou district library［J］. Library Journal，2025，44(9)：73-82.