

复合活力海岸：海岸高质量发展模式的新思考

蔡锋^{1,2}, 陈凤桂³, 柳莎莎⁴, 刘建辉^{1,2}, 戚洪帅^{1,2},
Nelson Rangel-Buitrago⁵, 何岩雨^{1,2}, 张磊⁶, 刘根^{1,2}

(1. 自然资源部第三海洋研究所 厦门 361005; 2. 福建海洋生态保护修复重点实验室 厦门 361005; 3. 浙江工商大学 杭州 310018;
4. 鲁东大学 烟台 264025; 5. Programa de Física, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Barranquilla 080001;
6. 北京正和恒基滨水生态环境治理有限公司 北京 100094)

摘要：在全球气候变化和人类活动的双重压力下，海岸带正面临侵蚀加剧、生态退化和经济发展受阻等多重挑战。随着基于自然的解决方案（Nature-based Solutions, NbS）理念的推广，海岸防护与生态修复逐步融合，但与海岸带经济可持续发展之间的协同机制仍有待深入探索。在此背景下，文章基于“活力海岸”进一步提出“复合活力海岸”（Complex Living Coast, CLC）理念，旨在统筹海岸安全、生态功能与经济发展，构建兼具“防灾减灾能力、生态系统活力、经济发展活力”的高质量海岸带发展模式。系统阐述了复合活力海岸的内涵与发展路径，并以厦门岛东北部海岸为例开展实证分析。结果表明，提升防灾减灾能力与实施生态修复工程可形成协同效应，不仅显著增强了生态系统服务功能，也有效带动了滨海旅游、高端休闲、会展经济及商业贸易等产业的发展，成功将生态优势转化为经济优势，实现了生态保护、防灾减灾与经济提升的有机统一。复合活力海岸理念为我国海岸带的高质量发展提供了一条以生态保护升级为核心的经济战略路径。

关键词：复合活力海岸；社会—生态系统；防护能力；生态活力；经济活力

中图分类号：P748

文献标志码：A

文章编号：1005-9857(2026)01-0077-13

Complex Living Coast: A New Perspective on High-Quality Coastal Development

CAI Feng^{1,2}, CHEN Fenggui³, LIU Shasha⁴, LIU Jianhui^{1,2}, QI Hongshuai^{1,2},
Nelson Rangel-Buitrago⁵, HE Yanyu^{1,2}, ZHANG Lei⁶, LIU Gen^{1,2}

(1. Third Institute of oceanography, MNR, Xiamen 361005, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Xiamen 361005, China; 3. Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China; 4. Ludong University, Yantai 264025, China; 5. Programa de Física, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Barranquilla 080001, Colombia;
6. Beijing zehu waterfront ecological environment treatment Co., Ltd., Beijing 100094, China)

收稿日期：2025-06-28；修订日期：2025-12-10

基金项目：国家重点研发计划项目“典型海岸侵蚀防护与活力海岸构建关键技术”（2022YFC3106100）；国家自然科学基金项目“植被地上-地下结构综合影响下的海岸前缘沙丘风暴响应关键作用机制”（42576169）。

作者简介：蔡锋，研究员，博士，研究方向为海岸带保护与修复

通信作者：刘建辉，正高级工程师，博士，研究方向为海岸带保护与修复

Abstract: Under the dual pressures of global climate change and intensified human activities, coastal zones are facing multiple challenges, including accelerated erosion, ecological degradation, and constraints on economic development. With the promotion of the Nature-based Solutions (NbS) approach, coastal protection and ecological restoration have become increasingly integrated; however, the synergistic mechanisms linking these processes with coastal economic sustainability remain insufficiently explored. In this context, this study further develops the concept of the “Living Coast” by proposing the notion of the “Complex Living Coast” (CLC), which aims to coordinate coastal safety, ecological functions, and economic development. The goal is to establish a high-quality coastal development model that simultaneously enhances disaster prevention and mitigation capacity, ecosystem vitality, and economic dynamism. The study systematically elaborates the connotation and development pathways of the Complex Living Coast and conducts an empirical analysis using the northeastern coast of Xiamen Island as a case study. The results indicate that strengthening disaster prevention and mitigation measures in combination with implementing ecological restoration projects can generate significant synergies-enhancing ecosystem service functions while simultaneously promoting the growth of coastal tourism, high-end leisure, convention and exhibition industries, and commercial trade. This process effectively transforms ecological advantages into economic benefits, achieving an organic integration of ecological protection, disaster risk reduction, and economic enhancement. The concept of the Complex Living Coast provides an economic strategic pathway for the high-quality development of China’s coastal zones, with ecological protection enhancement at its core.

Keywords: Complex Living Coast, Social-ecological system, Protection capacity, Ecosystem vitality, Economic vitality

0 引言

海岸带地区是海洋与陆地的过渡地带,其空间范围涵盖潮间带、近岸海域及毗邻陆域,是海洋与陆地两大生态系统的重要纽带^[1-2]。凭借其优越的地理区位、资源禀赋和独特的海陆特性,海岸带已成为全球最具发展活力的区域^[3-4]——集聚着 60% 的世界人口^[5],形成高强度发展的社会—生态系统^[6-7]。

在全球气候变化背景下,人类活动与自然变化的耦合效应加剧了海岸带保护与开发利用的压力。气候变化正以前所未有的强度重构海岸带环境系统,触发多重环境效应的链式反应。观测研究表明,全球海平面呈现加速上升趋势,这种动态变化直接引发极端天气事件频率增加^[8];盐水入侵^[9-10];海岸线退缩^[11];海岸侵蚀加剧等连锁反应。海岸带保护与可持续发展成为全球沿海国家当前需要面对的重要问题。

长期以来,沿海防护工程主要依赖海堤、防浪墙、护坡、丁坝等“灰色”硬质设施^[12]。这些措

施虽能在短期内抵御风浪、减缓侵蚀,但也引发自然岸线消失、滨海栖息地减少、生物多样性下降等生态问题,并削弱生态系统的恢复力^[13]。同时,硬质工程的建设与维护成本高昂,经济可持续性不足,且在气候变化和极端天气日益频繁的背景下,其防护效果与适应性也逐渐受到质疑。这种局限性促使沿海地区开始寻求兼顾生态保护与防护功能的新型解决方案。

在此背景下,生态工程与基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NbS)的理念兴起,强调在防护工程中融入生态修复^[14],实现人与自然的协同共生。活力海岸(living shoreline)一词首次出现在 2008 年的学术研究中^[15],随后迅速在美国管理机构、政策制定者中得到推广。活力海岸并非单一固定模式,而是可以兼顾“绿色—灰色”的多样化设计体系^[16]。其绿色端为纯生态型方案,如大规模种植盐沼植物、红树林等植被,以稳定岸线、削弱波浪能量;中间类型则将生态恢复与软质结构(如椰纤维垫、牡蛎壳基床)结合,以增强防

护功能; 灰色端则将生态修复与硬质结构(如岩石、生态混凝土、人工牡蛎礁构件)结合^[17], 在提供更高稳定性的同时保留一定的生态功能^[18]。西方活力海岸建设的目标主要聚焦于生态效益的实现, 注重生物多样性恢复、沉积物稳定和波浪衰减等生态过程; 相比之下, 其在社会经济方面的考量则相对不足^[16]。当前的活力海岸实践仍较少系统地纳入经济发展的考量, 而经济因素正是实现沿海区域长期可持续发展的关键驱动力。

海岸带的可持续健康高度依赖生态系统服务, 其生态保护与修复间经济高质量发展的融合仍是一个亟待破解的难题。社会—生态系统(Social-Ecological System, SES)理论为应对这一双重挑战提供了有益的指导框架, 它强调自然系统与社会系统之间的相互作用与反馈机制^[19], 为探索生态保护与经济发展之间的协同路径提供了理论基础。在此框架指导下, 可以构建融合生态修复与经济可持续性目标的创新实践模式, 从而实现社会—生态系统韧性的协同提升。

本文提出了复合活力海岸(Complex Living Coast, CLC)理念, 旨在通过建立多目标协调路径, 统筹融合海岸防护、生态修复和经济高质量发展, 塑造沿海社会生态系统的积极反馈循环。该理念致力于平衡经济发展与生态保护需求, 增强沿海地区的适应能力和抗风险能力, 为全球沿海区域的可持续发展提供一条可借鉴的路径。

1 社会—生态系统框架下海岸带可持续发展的演变路径

社会—生态系统(Social-Ecological System, SES)概念最初由Holling^[20]于1973年提出, 他认为社会—生态系统是人与自然紧密联系的复杂适应系统。这一理论强调生态系统与社会系统之间的相互依赖与动态耦合, 主张将两者视为一个整体进行综合分析, 以推动资源管理与可持续发展的制度创新^[21]。国际上, SES理论被广泛应用于森林、渔业、水资源管理及气候变化适应等领域, 强调地方知识与制度多样性对增强系统韧性的作用^[22-23]。在国内, 近年来学者也逐步将SES理论引入中国情境, 探索其在生态修复、环境政策、流域治理等方

面的本土化路径, 并尝试将其与生态文明建设、乡村振兴等国家战略相结合, 推动理论与实践的融合发展^[24]。

在海岸带情境中, SES理论为传统“活力海岸”理念的拓展与升级提供了理论支撑。传统的“活力海岸”概念主要强调自然过程(如潮汐、水动力和沉积动力)驱动下的形态演变与生态功能维持, 但在面对日益增强的人类开发压力与气候变化挑战时, 其单一的生态或物理过程视角已难以应对复杂的社会干扰与系统性风险。引入SES理论后, 海岸被重新界定为由自然生态子系统与社会经济子系统共同构成的整体系统, 其演变和韧性取决于两者之间的交互作用与反馈机制。

海岸带社会—生态系统面临的多源压力主要包括气候变化驱动的海平面上升、极端天气增强、海岸侵蚀和土地盐渍化等外部环境胁迫, 以及人口集聚、经济发展、城镇化、围填海和环境污染等内部人类活动压力。当海岸带开发利用强度超出资源环境承载范围(如城市化的快速扩张、土地资源过度开发、环境污染等)时, 加之外部干扰(如气候变化引发的海平面上升、极端天气事件等)的叠加作用, 可能引发生态阈值突破与环境退化, 进而反噬社会经济系统, 加剧矛盾, 形成具有时空传导特征的负向反馈回路(图1)。若要扭转高强度开发利用海岸带所面临的负向反馈回路, 需要从多个层面进行系统性调整, 增强海岸带社会—生态系统的韧性。

空间上, 需要构建陆海统筹的多尺度治理网络, 协调海岸带经济区、生态服务区与灾害缓冲区的功能冲突; 时间上, 应通过“系统诊断—适应性规划—动态实施—持续优化”的韧性培育循环, 构建全周期的韧性管理机制。具体而言: ①制定适应性治理策略, 强化灾害防御与风险分担能力; ②实施NbS, 修复红树林、盐沼等关键生态系统, 提升生态缓冲能力; ③优化资源管理, 推行基于生态承载力的产业规划和利用模式; ④完善政策协同与公众参与机制, 促进跨部门、跨区域的协同治理。

通过上述时空维度的动态调整与社会—生态要素的耦合优化, 原有“活力海岸”理念得以拓展

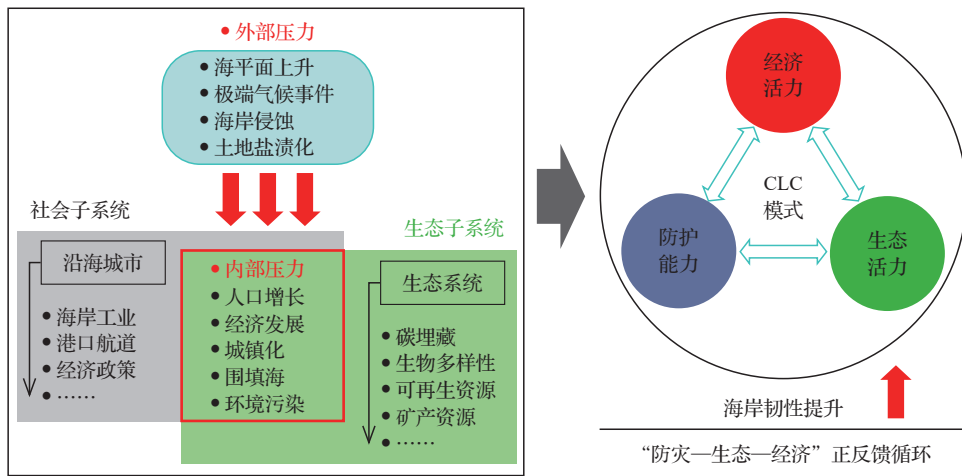


图 1 海岸带社会—生态系统从内部压力凸显到复合活力海岸模式的“防灾—生态—经济”正反馈循环演变

Fig.1 Evolution of the coastal social-ecological system from high inner pressure to a positive feedback loop of “defence-ecology-economy” in CLC model

为“复合活力海岸”，即兼具生态活力、社会韧性与制度适应性的综合性海岸系统。其核心特征在于通过 SES 框架下的正向反馈机制，强化“灾害抵御能力—生态系统服务—可持续发展动能”之间的良性循环（图 1），实现从被动“危机应对”向主动“韧性培育”的转变，推动海岸带的高质量可持续发展。

2 复合活力海岸概念的提出及其发展路径

2.1 复合活力海岸概念

以高水平保护支撑高质量发展是未来海岸带可持续发展的必经之路，对海岸防灾减灾、生态保护和经济发展三者协同推进提出了更高的要求，借助 NbS 推动退化生态系统功能保护和提升，依托海洋产业生态化转型降低资源依赖强度，最终实现防灾韧性增强、生态服务价值显化和资源利用效率提升的三重目标。复合活力海岸概念的提出，源于对传统活力海岸模式在经济可持续性和社会接受度等方面的需求，通过整合社会—生态系统理论中的韧性构建与协同治理机制，形成了更具综合性的海岸带管理范式。

复合活力海岸旨在建设一种以社会—生态系统框架为指导，海岸地貌系统与生态系统相融合，开发利用与生态保护相协调，兼顾减灾防护、生态活

力和经济正向反馈的可持续发展海岸。复合活力海岸要实现减灾能力、经济活力、生态活力三者之间的协同作用，形成良性互馈循环，构建三者之间相辅相成、共同促进的和谐关系（图 2），同时实现三者合力的协同增效，达到 1+1+1 大于 3 的效果。

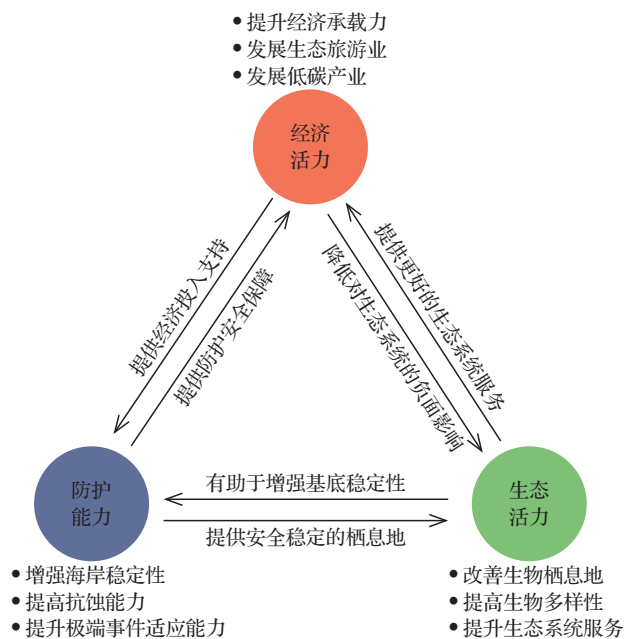


图 2 复合活力海岸核心要素互馈结构关系

Fig.2 Feedback structure diagram of core elements in a complex living shoreline

减灾防护能力是复合活力海岸的核心基础, 包括海岸抗蚀能力提高、削波弱流作用增强、防洪排涝功能强化, 以及应对极端动力作用的适应性能力提升等。复合活力海岸的形成与维持离不开生态系统活力的支撑, 而生态系统活力可通过生物多样性保护与修复、生态服务功能提升、生态韧性增强、系统结构稳定性强化以及生态景观格局优化等途径加以提升。经济开发活力是活力海岸的关键动力, 通过统筹协调保障发展空间来优化海岸产业结构布局, 以新质生产力为支撑构建区域特色产业体系, 以低耗、高效绿色的产业经济实现人海和谐可持续发展。

提升海岸减灾防护能力, 可有效降低自然灾害对海岸地区的影响, 为生态系统的自然演替提供安全庇护^[25], 进而保障海岸的生物多样性、生态服务功能及系统结构稳定性等。健康而充满活力的生态系统可以提供更强的生态减灾服务功能, 进一步增强海岸抵御自然灾害的能力, 并有助于提升海岸地区的生态环境质量。健康的生态、安全的环境, 不仅能够保障沿海财产安全, 构建和谐生态景观, 加强生态产品供给, 还可以为滨海旅游业、绿色产业、金融业等提供优质生态环境要素保障, 吸引更多投资和资源投入, 推动区域经济的可持续发展。经济发展成果可为海岸减灾防护能力的建设和生态系统活力的提升提供更充足的财政支持。

2.2 复合活力海岸发展路径

复合活力海岛围绕海岸稳定性、生态系统功能与海岸经济发展3个方面, 通过分析海岸环境和经济发展问题产生的背景与原因, 充分结合海岸特征, 以提升海岸“减灾防护能力、生态系统活力、经济开发活力”为核心, 提出实现海岸减灾与保护、生态修复与服务功能增强、经济开发与可持续利用的有机统一的发展路径。复合活力海岸建设注重从整体性和动态性的视角, 深入剖析生态、经

济与社会之间的相互作用, 通过科学规划和系统治理, 提升海岸带的适应力和韧性。

在时间维度上, 通过实施短期生态修复措施, 并结合长期监测与动态调整, 逐步增强海岸系统的自适应能力与可持续性, 从而将活力海岸的生态优势转化为具有持久性和稳定性的发展动能。复合活力海岸新发展模式的构建要充分结合当地实际情况制定有针对性的修复方案, 通过“1年”的科学生态修复, 修复工程实施后可初步形成海岸减灾防护能力; 生态系统经过“3~5年”的发育演变, 生态系统结构趋于稳定, 生物多样性增加, 服务功能不断提升; 基于海岸防护能力的增强和生态系统服务功能的提升, 以新质生产力的应用推动海岸开发利用产业升级, 扭转长期以来海岸资源攫取型利用方式, 保护与可持续利用协同发展, 经过“3~5年”产业培育和资源整合, 推动海岸带社会经济的长期优质发展。

在空间维度上, 优化土地利用结构和沿海功能区划, 构建生态保护、灾害防护与经济开发相互协调的区域空间规划布局。通过政策制定者、地方社区、科研机构和社会公众等多方协作, 共同推动科学研究与实际应用的深度融合, 助力实现生态保护与经济发展的双赢。具体而言, 通过在海岸带横向空间近岸区域实施“百米”级宽度的生态修复工程和海岸防护建设, 形成海岸安全防护的第一道防线, 提升海岸防护能力; 海岸防护能力形成的安全发展空间为海岸生态系统健康演替、发展提供了庇护, 使其免受极端近岸动力的破坏; 通过生态与地貌的融合, 可在海岸系统上形成“近千米”级宽度的生态空间, 增强海岸生态系统的稳定性, 提升生态系统的服务功能。生态系统保护与生态服务功能的提升, 为海岸经济发展拓展了空间和路径, 其向陆域、向海域的辐射影响范围在海岸带塑造了“万米”级开发利用的经济活动空间(图3)。

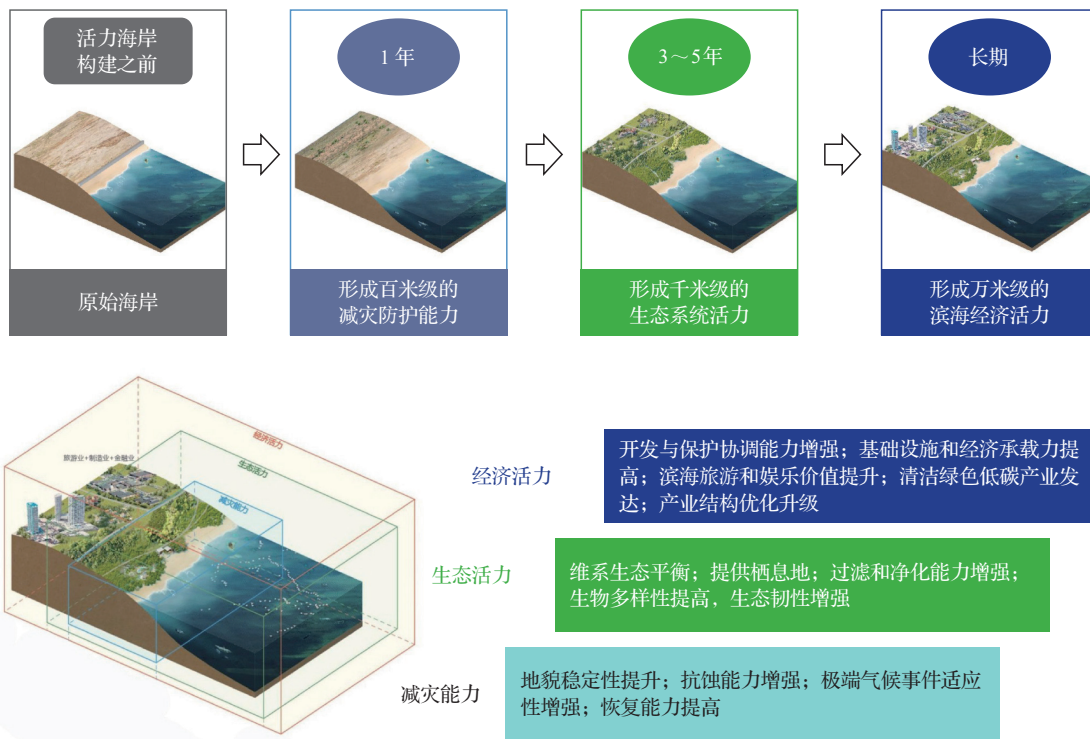


图3 复合活力海岸发展路径

Fig.3 Development pathway of the complex living shoreline

3 复合活力海岸构建

复合活力海岸构建首先要考虑海岸环境类型、生态系统和滨海经济的主要组成和影响要素，分析海岸带稳定性问题、生态问题和经济发展的不足。综合评估海岸带自然资源禀赋和承载能力、产业基础和发展潜力，提出复合活力海岸在防灾减灾、生态系统服务功能和经济发展等方面的建设目标。根据目标，确定建设内容，选择适应性海岸修复措施，并提出针对性的海岸经济发展策略，从实现效益最大化的角度，为复合活力海岸构建制定切实可行的发展路径，其构建过程如图4所示。

3.1 提高减灾防护能力

遵循NbS，以提高海岸抗侵蚀、应对海平面上升、近岸增水与泛滥、应对人类开发利用的胁迫等方面的能力为主要目标，通过采取不同措施提高海岸减灾防护能力。以生态、软质防护措施为主，软质工程包括海滩养护、红树林、珊瑚礁、盐沼、海草床、牡蛎礁和后滨沙丘的修复，以及防护

林带建设等，利用基于自然的生态系统的消波防浪和促淤作用，提升海岸减灾防护能力。必要时可辅以少量硬质构筑物，包括护岸、防浪墙、防波堤、突堤、丁坝、海堤、潜堤、离岸堤等，利用人工构筑物抵御和消减沿岸动力，防止岸线后退。在特殊情况下，可采用混合型工程，当软质工程需要硬质工程辅助，或者部分硬质工程可由软质工程替代时，两者混合使用，充分发挥软质工程和硬质工程的防护合力，从而实现更有效的防灾减灾目标。

3.2 提升生态系统活力

通过减少人类干扰、改善自然条件、恢复受损物种等措施提升海岸带生态系统稳定性、生态系统功能与服务，可以增强海岸带生态系统活力。一是减少人类干扰，包括清除入侵物种、污染防控、保护地建设、管控开发利用活动等。通过消除可能导致生态系统发生逆行演替的人为胁迫因素，维护和提升生态系统稳定性。二是改善自然条件，包括治理环境（水质、沉积物等）、改善水动力条件、改

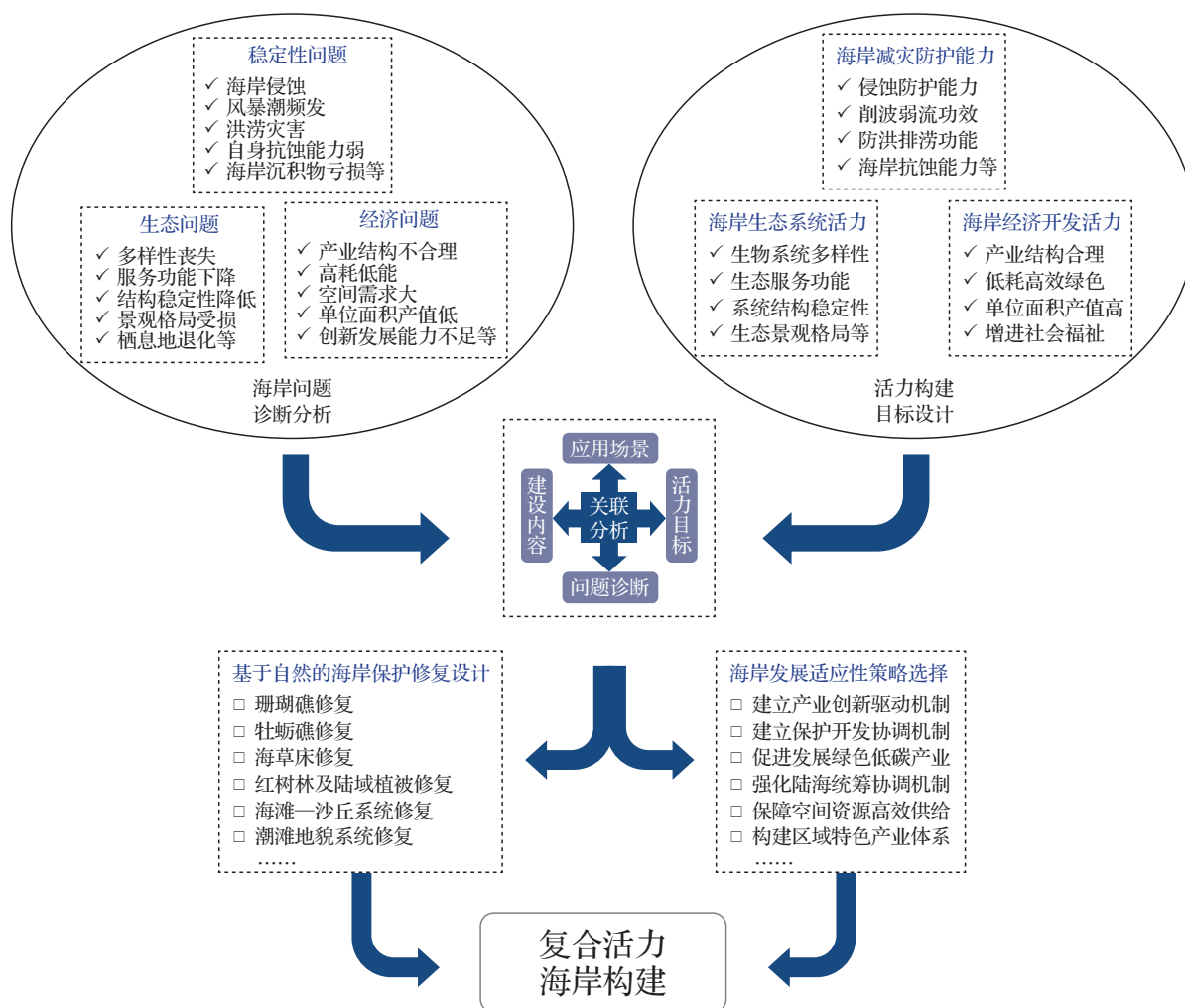


图 4 复合活力海岸构建过程

Fig.4 Construction process of the complex living shoreline

善土壤、构建生态廊道等, 通过改进动植物的生存发展空间, 提升生态系统服务功能。三是恢复受损物种, 采取修复原生植被、种群恢复、生境修复等措施, 通过提高生物多样性水平和生态系统结构的完整性, 提升生态系统恢复力和抵抗力。

3.3 提高经济开发活力

经济开发活力是指海岸带区域在经济发展过程中, 能够有效地利用其独特的自然资源和地理优势, 推动产业发展、增加经济收入, 同时实现生态环境的可持续保护和利用。为提升海岸带经济开发活力, 应从产业转型、资源整合和区域合作三大核心领域入手, 构建相互支持的系统性发展框架。

一是产业转型升级与融合发展。推动海洋渔

业、港口物流等传统产业向现代化、绿色产业转型, 促进产业的技术进步与产业链延伸, 提升传统产业的附加值和竞争力。同时, 重点发展海洋新能源、生态旅游等绿色产业, 不仅能满足经济增长需求, 还能有效保护生态环境, 降低对自然资源的过度依赖, 创造新的就业机会, 助力地方经济可持续发展。

二是陆海统筹与资源优化。通过推动港口、交通与产业的联动发展, 实施陆海空间一体化规划, 提高陆地与海洋资源的综合利用效率, 确保陆海功能的有机衔接, 推动陆海经济一体化发展, 实现资源的高效配置, 提升区域整体竞争力。

三是区域合作与产业协同。积极推进沿海地区

之间的协作，共享资源与优势，强化产业链和价值链的深度融合，构建合作共赢的产业生态，搭建跨区域合作平台，促进资源的优化配置，提升区域整体竞争力。

4 复合活力海岸的厦门探索

4.1 海岸治理与复合活力海岸发展历史

厦门长期受台风、风暴潮等自然灾害的威胁。20世纪50年代至80年代，厦门大规模修建海堤，以抵御海浪侵蚀和风暴潮侵袭。尽管这些工程在一定程度上提升了防灾能力，但也引发了一系列生态

环境问题（图5）。具体表现在：一是围填海以及岸线工程建设等人为活动改变了沉积动力平衡，导致严重的海岸侵蚀和海滩退化^[26]，部分岸段海滩完全消失或仅少量残存，严重削弱了海岸的稳定性和防护功能；二是海岸蚀退导致生物栖息地的丧失和生态系统功能的退化，修建的硬质护岸堤造成区域生物多样性下降，产生深远的生态影响；三是海岸侵蚀制约了海岸带的产业投资和经济开发，景观资源的退化限制了滨海旅游业的发展，直接影响当地的经济效益和居民生活质量。



图5 厦门岛东北部海岸修复与复合活力海岸建设发展阶段

Fig.5 Development stages of coastal restoration and complex living coast construction in the northeastern part of Xiamen Island

随着生态保护意识的增强，厦门开始逐步转向以生态修复为核心的综合治理模式。自2006年起，厦门在观音山海岸连续开展了两期修复，分别于2007年和2009年完成施工，共补沙121万 m^3 ，塑造了全长5.8 km、干滩宽度80~150 m的修复海滩^[27]。该工程开创了我国海滩生态保护修复之先河，有效地解决了海岸蚀退、滩面下蚀、岸线固化、亲水空间有限等问题，荣获全国首届“优秀海洋工程”称号。

在加强岸线保护和提升海滩稳定性的基础上，厦门还开展了海岸植被生态修复，种植了滨海禾本科等防风固沙植物，形成宽度为20~40 m的滨海植被带，改善了海岸植被生态景观，提升了生物多

样性。厦门的海岸修复理念不断深化，从最初以海岸防灾减灾为核心的海岸地貌修复，逐步转向更加注重生态系统修复和生态服务功能提升的综合性治理模式。在防灾减灾能力提升的同时，生态修复也增强了生态系统的服务功能，推动了相关产业的发展，良好的生态环境景观吸引了大量游客，为滨海经济的可持续增长提供了动力，实现了生态保护、防灾减灾与经济可持续发展的有机融合。因此，厦门的海岸治理经历了从受损海岸—修复海岸—活力海岸的跨越式发展（图5）。

4.2 海岸活力提升效果分析

4.2.1 防护能力提升

厦门沿岸台风等风暴灾害频发。据统计，在厦

门及其邻近海域登陆的台风平均每年 0.6 个, 海滩地貌受风暴影响极为显著^[28]。例如, 9914 号强台风“丹恩”于 1999 年 10 月 8 日至 9 日正面袭击厦门, 造成严重的海岸侵蚀破坏, 冲毁海堤 972 处、人工护岸 1 160 m, 大量海滨设施、观景台、排洪管涵等被冲毁, 直接经济损失高达 40 亿元^[29-31]。

修复后的海滩防灾能力显著增强。修复后近 5 年的监测数据显示, 海滩滩肩宽度基本保持在预期设计范围 (85 ~ 150 m) 内, 滩肩沙保留率达 88%, 整体基本处于稳定状态^[32]。历经“莫兰蒂”“杜苏芮”等超强台风的考验, 修复后的海滩有效地抵御了台风极端动力对海岸的侵蚀, 保护了海滩后方居民的生命和财产安全, 体现出海滩软质防护工程良好的防灾减灾能力^[33-34]。总体而言, 海滩修复工程基本解决了海岸侵蚀问题, 有效提升了抵御台风、风暴潮等极端气候事件的能力, 避免了护岸坍塌、损毁, 有力地保障了海岸和陆域财产安全, 显著增强了海岸防灾减灾效能。

4.2.2 生态活力提升

通过海滩保护修复工程, 形成了与天然海滩类似的稳定生境。修复后期潮间带生物量显著增加, 海滩生态系统快速恢复至原来的状态^[35]。同时, 海岸带植被修复通过重建陆上植被、沙丘植物等多层次群落, 不仅恢复了生物多样性、保持土壤等核心生态功能, 还增强了海岸带抵御自然灾害的能力, 实现了“生态屏障—生物栖息—人类福祉”的协同增效, 为滨海城市生态修复提供了可复制的样板。在沙滩和沙丘区域种植木麻黄、草海桐、厚藤等耐盐、耐旱植物, 其中木麻黄防护林使沙丘移动速率降低 70%, 有效固定沙土, 减少风力侵蚀和沙粒流失, 沙滩侵蚀得到有效控制, 形成天然的生态屏障。基于历史遥感图像分析可知 (图 6), 2014—2024 年植被覆盖空间格局呈现良好改善态势, 厦门岛东北部海岸植被覆盖水平明显提升, 平均植被覆盖率年增长率为 1.7%, 海岸生态系统活力得到明显增强。

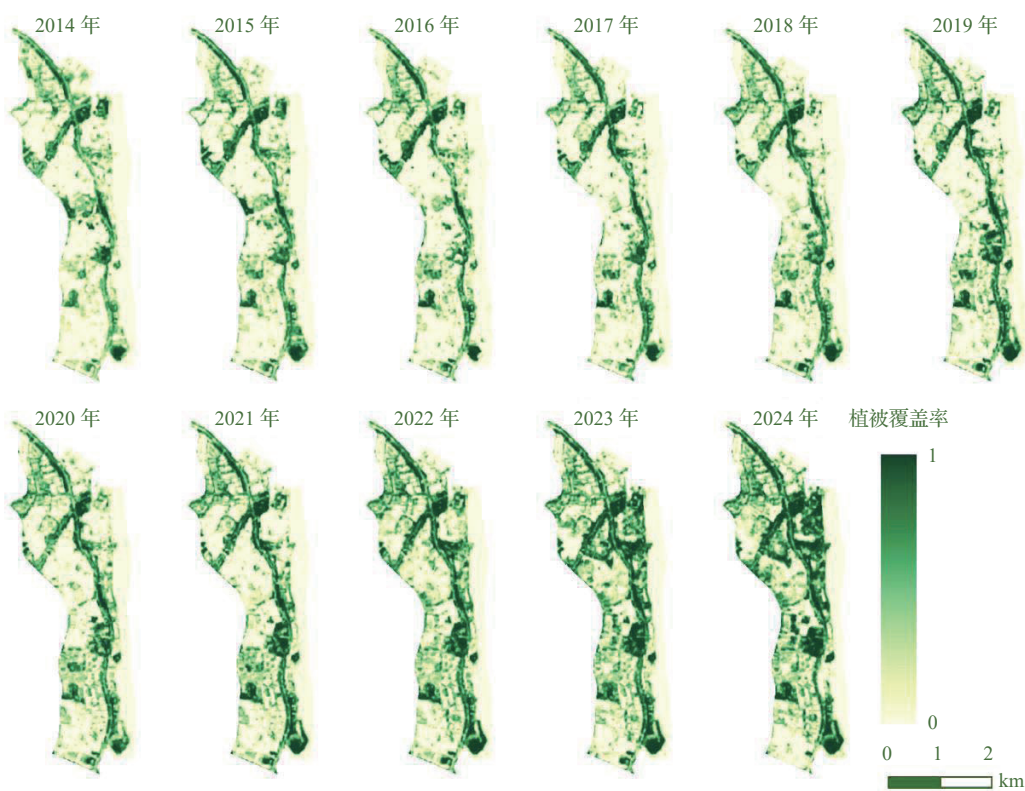


图 6 2014—2024 年厦门岛东北部海岸植被覆盖演变

Fig.6 Spatial pattern changes in vegetation cover in northeastern parts of Xiamen Island from 2014 to 2024

4.2.3 经济活力提升

修复后的沙滩恢复了防护功能, 不仅降低了风暴潮和海岸洪水的影响, 增强了沿岸地区的安全性和可持续性, 而且还改善了生态环境, 提升了旅游业的吸引力和竞争力, 形成黄金海滩岸线, 为厦门带来了非常可观的旅游收入和明显的经济效益^[36-37]。2014—2023 年, 厦门岛经济及旅游业得到迅速发展(表 1)。

表 1 2014—2023 年厦门岛经济及旅游业发展

Table 1 Economic and tourism development on Xiamen Island, 2014—2023

年份	国内生产总值 (GDP) / 亿元	旅游人数 / 万人	旅游业收入 / 亿元
2014	1 714.98	4 242	520.32
2015	1 834.24	4 300	520.32
2016	1 982.01	4 758.2	678.32
2017	2 275.93	5 475.19	815.23
2018	2 485.74	6 288.15	977.45
2019	3 193.76	7 126.55	1 071.52
2020	3 448.79	—	—
2021	3 797.49	—	—
2022	4 185.82	—	—
2023	4 453.71	5 670.44	860.17

注: 数据来源于《厦门统计年鉴》; 因新冠疫情的影响, 部分年份无统计数据。

经济活力的提升不仅体现在旅游业的增长, 更体现在海岸修复带来的商业机会。过去 10 余年间, 厦门岛东北部海岸已经发展成为核心经济圈, 修复区所在的金山街道近 10 余年来的财政收入增长率明显高于周边街道(图 7)。除滨海旅游与休闲产业蓬勃发展之外, 该区域还积极推动高端休闲产业发展, 逐步形成集游艇俱乐部、帆船体验、滨海度假酒店于一体的高端休闲经济带; 深化文旅融合, 依托闽南文化, 开发特色节庆活动(如沙滩音乐节)和文化体验项目; 促进总部经济与金融服务跨越式发展, 形成了两岸金融中心, 带动了会展与商贸经济同步提升。通过修复与生态活力的提升, 厦门岛东北部海岸不仅焕发出了勃勃生机, 还为区域经济注入了新的动力, 实现了生态保护与经济的双赢, 显著增强了经济活力, 成为复合型活力海岸发展的一个鲜活实例。

5 结论与展望

本研究尝试提出“复合活力海岸”理念, 旨在推动现代海岸带治理理念的延伸与创新, 通过多功能海岸带空间的构建, 促进灾害防护、生态功能、社会经济 3 个方面内容的有机融合和发展, 推动人与自然和谐共生。该理念在国外“活力海岸”理念

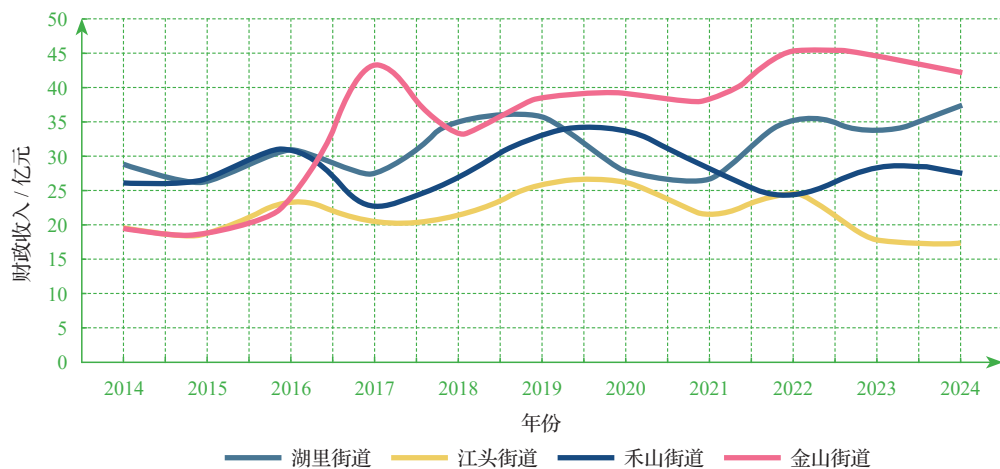


图 7 2014—2023 年修复区金山街道与周边街道财政收入对比

Fig.7 Comparison of fiscal revenues between Jinshan Street in the restoration area and adjacent regions from 2014—2023

基础上,进一步强化经济发展功能,形成“减灾—生态—经济”一体化的海岸带高质量发展理念。借助生态修复增强灾害韧性,推动产业升级与沿海经济发展,实现生态功能与减灾功能的协同增效,形成良性循环,从而为破解海岸带社会经济困境中日益加剧的内外压力提供一条系统性、综合性的治理路径。

在社会—生态系统(SES)框架下,复合活力海岸有望成为海岸带适应性模式的有效实现路径,在整合生态修复、基于自然的解决方案(NbS)和多功能海岸开发等核心要素的基础上,形成生态功能与社会功能协同增强的机制。厦门岛东北部海岸的实践探索表明,科学规划与系统治理能够全面提升海岸带的适应性与韧性,保障其安全、稳定与生态健康,最终通过综合、可持续的方法增强系统对外部压力与变化的适应能力,实现海岸带高质量发展。

然而,复合活力海岸作为海岸带高质量发展的实现模式,仍然面临一些挑战。①生态服务功能

提升与人类开发活动增强之间的平衡难题仍未解决,过度开发可能对生态系统造成不可逆的破坏;②各利益相关方之间的需求冲突可能影响项目的进展和效果;③经济可持续性复合活力海岸建设的关键,确保海岸带区域经济效益能够长期支撑减灾与生态保护的成成本至关重要。为确保这一模式的成功实施,必须充分考虑不同海岸带的地域特征,制定科学合理的规划策略,并建立跨部门协作与责任机制,以解决不断出现的生态问题与冲突,实现生态效益、经济效益和社会效益的协调发展。

未来复合活力海岸模式将朝着学科交叉、技术创新与可持续治理的方向发展,在生态学、地理学、城市规划和社会经济学等学科的交叉基础上,进一步深化对海岸社会—生态系统复杂性与动态变化的理解,不断创新海岸生态保护修复技术、提升海岸治理综合能力、发展海岸新质生产力,以高水平保护修复促进海岸带高质量发展。

参考文献(References):

- [1] 范学忠,袁琳,戴晓燕,等. 海岸带综合管理及其研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2756-2765.
FAN Xuezhong, YUAN Lin, DAI Xiaoyan, et al. The integrated coastal zone management (ICZM) and its progress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(10): 2756-2765.
- [2] 李佳雨,钱雨果,周伟奇,等. 社会—生态综合视角下海岸带生态监管框架与应用:以深圳为例[J]. 生态学报, 2023, 43(10): 4212-4225.
LI Jiayu, QIAN Yuguo, ZHOU Weiqi, et al. A framework for coastal zone ecosystem monitoring and management from an integrated social: ecological perspective and its application in Shenzhen, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(10): 4212-4225.
- [3] OSTROM E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems[J]. Science, 2009, 325(5939): 419-422.
- [4] 宋爽,王帅,傅伯杰,等. 社会—生态系统适应性治理研究进展与展望[J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2401-2410.
SONG Shuang, WANG Shuai, FU Bojie, et al. Study on adaptive governance of social-ecological system: progress and prospect[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(11): 2401-2410.
- [5] CRAIN C M, HALPERN B S, BECK M W, et al. Understanding and managing human threats to the coastal marine environment[J]. Kappel, 2009, 1162: 39-62.
- [6] DELGADO L E, ZÚÑIGA C C, ASÚN R A, et al. Toward social-ecological coastal zone governance of chiloé island(chile)based on the DPSIR framework[J]. Science of the Total Environment, 2021, 758: 143999.
- [7] INÁCIO M, GOMES E, BOGDZEVIČ K, et al. Mapping and assessing coastal recreation cultural ecosystem services supply, flow, and demand in Lithuania[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 323: 116175.
- [8] DEMSKI C, CAPSTICK S, PIDGEON N. et al. Experience of extreme weather affects climate change mitigation and adaptation responses[J]. Climatic Change, 2017, 140: 149-164.

- [9] BHATTACHAN A, EMANUEL R E, ARDÓN M, et al. Evaluating the effects of land-use change and future climate change on vulnerability of coastal landscapes to saltwater intrusion[J]. *Science of the Anthropocene*, 2018, 6: 62.
- [10] TACKLEY H A, KURYLYK B L, LAKE C B. Saltwater intrusion vulnerability of soil and groundwater near estuaries[J]. *Wires*, 2025, 12: e70031.
- [11] DIAS J M, LOPES C L, COELHO C, et al. Influence of climate change on the Ria de Aveiro littoral: adaptation strategies for flooding events and shoreline retreat[J]. *Journal of Coastal Research*, 2014, 70(10070): 320-325.
- [12] LI Jiayang, ABUKHALAF A H I, BEAN E, et al. Community perception and stewardship of public coastal infrastructure in Cedar Key, Florida[J]. *Frontiers in Marine Science*. 2025, 12: 1639887.
- [13] GITTMAN R K, SCYPHERS S B, SMITH C S, et al. Ecological consequences of shoreline hardening[J]. *A Meta-Analysis. Bioscience*. 2016, 66(9): 763-773.
- [14] MORRIS R L, KONLECHNER T M, GHISALBERTI M, et al. From grey to green: efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(5): 1827-1842.
- [15] CURRIN C A, DELANO P C, LEXIA A, et al. Utilization of a citizen monitoring protocol to assess the structure and function of natural and stabilized fringing salt marshes in north Carolina[J]. *Wetl. Ecol. Manag*, 2008, 16: 97-118.
- [16] SMITH C S, RUDD M E, GITTMAN R K, et al. R.Coming to terms with living shorelines: a scoping review of novel restoration strategies for shoreline protection[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 1-14.
- [17] CHONG A K M, CHEAH C B, MUTTI M A I, et al. Colonisation of gastropod species on artificial coastal structures in Penang Island, Malaysia[J]. *Journal of Sustainability Science and Management*, 2025, 20(5): 1029-1048.
- [18] SINGHVI A, LUIJENDIJK A, OUDENHOVEN A. The grey-green spectrum; a review of coastal protection interventions[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 311: 114824.
- [19] GAIN A K, GIUPPONI C, RENAUD F G, et al. Sustainability of complex social-ecological systems: methods, tools, and approaches[J]. *Reg Environ Change*, 2020, 20: 102.
- [20] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 7(4): 1-23.
- [21] 史培军, 汪明, 胡小兵, 等. 社会—生态系统综合风险防范的凝聚力模式[J]. *地理学报*, 2014, 69(6): 863-876.
SHI Peijun, WANG Ming, HU Xiaobing, et al. Integrated risk governance consilience mode of social-ecological systems[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 863-876.
- [22] OSTROM E.A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems[J]. *Science*, 2009, 325(5939): 419-422.
- [23] FEDELE G, DONATTI C, HARVEY C A, et al. Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems[J]. *Environmental Science & Policy*, 2019, 101: 116-125.
- [24] WANG Yixu, GONG Jie, ZHU Yuehua. Integrating social-ecological system into watershed ecosystem services management: a case study of the Jialing River Basin, China[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 160: 111781.
- [25] 罗时龙, 蔡锋, 王厚杰. 海岸侵蚀及其管理研究的若干进展[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(11): 1239-1247.
LOU Shilong, CAI Feng, WANG Houjie. Development of coastal erosion and management[J]. *Advance in Earth Science*, 2013, 28(11): 1239-1247.
- [26] 高智勇, 蔡锋, 和转, 等. 厦门岛东海岸的蚀退与防护[J]. *台湾海峡*, 2001, 20(4): 478-483.
GAO Zhiyong, CAI Feng, HE Zhuan, et al. Retrogression and protection of east coast of Xiamen Island[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2001, 20(4): 478-483.
- [27] 蔡锋, 刘根. 中国海滩养护发展及技术创新概述[J]. *应用海洋学报*, 2019, 38(4): 452-463.
CAI Feng, LIU Gen. Beach nourishment development and technological innovations in China: an overview[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2019, 38(4): 452-463.
- [28] 戚洪帅, 赵绍华. “两山”理念的蓝色实践: 厦门市海滩修复历程与经验回顾[N]. *中国自然资源报*, 2022-02-14(5).
QI Hongshuai, ZHAO Shaohua. The Blue practice of the “two mountains” philosophy: a review of the beach restoration process and experience in Xiamen[N]. *The Chinese Newspaper of Land and Resources*, 2022-02-14(5).
- [29] 李夏火, 陈美娜, 蓝虹, 等. 9914 号台风风暴潮、巨浪特点分析及其预报[J]. *海洋预报*, 2000, 17(2): 25-33.
LI Xiahuo, CHEN Meina, LAN Hong, et al. The analysis and forecast of storm surges mountainous waves caused by Typhoon 9914[J].

- Marine Forecasts, 2000, 17(2): 25-33.
- [30] 杨顺良, 欧寿铭. 9914 号台风对厦门岛东南部岸滩的环境效应[J]. 台湾海峡, 2001, 20(1): 115-122.
YANG Shunliang, OU Shouming. Environmental impact southeastern coast and beach of Xiamen Island during Typhoon No.9914[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20(1): 115-122.
- [31] 许炜宏, 蔡榕硕. 海平面上升、强台风和风暴潮对厦门海域极值水位的影响及危险性预估[J]. 海洋学报, 2021, 43(5): 14-26.
XU Weihong, CAI Rongshuo. Impacts of sea level rise, strong typhoon and storm surge on extreme sea level in coastal waters of Xiamen and hazards estimation[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(5): 14-26.
- [32] 曹惠美, 蔡锋, 郑勇玲. 人工养护后厦门香山—长尾礁海滩的演变特征[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(1): 24-33.
CAO Huimei, CAI Feng, ZHENG Yongling. Evolution characteristics of nourished beach from Xiangshan to Changweijiao in Xiamen[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(1): 24-33.
- [33] 束芳芳. 强潮海岸砾石修复海滩动力地貌研究[D]. 青岛: 中国海洋大学 2018.
SHU Fangfang. Research on dynamic geomorphology of gravel beach restoration on macrotidal coasts[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2018.
- [34] 束芳芳, 蔡锋, 戚洪帅, 等. 不同沉积物养护海滩对台风响应的差异性研究[J]. 海洋学报, 2019, 41(7): 103-115.
SHU Fangfang, CAI Feng, QI Hongshuai, et al. Study on various response to Typhoon of nourished beaches with different sediments[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(7): 103-115.
- [35] 曾舒婷, 陈敏, 戚洪帅, 等. 厦门岛沙滩大型底栖动物环境控制因子及沙滩修复对其影响[J]. 应用海洋学学报, 2024, 43(3): 521-532.
ZENG Shuting, CHEN Min, QI Hongshuai, et al. Impacts of environmental factors and beach restoration on sandy beach macrobenthic fauna on Xiamen Island[J]. Journal of Applied Oceanography, 2024, 43(3): 521-532.
- [36] YANG Wei, CAI Feng, LIU Jianhui, et al. Beach economy of a coastal tourist city in China: a case study of Xiamen[J]. Ocean & Coastal Management, 2021, 211: 105798.
- [37] LIU Shasha, CAI Feng, QI Hongshuai, et al. Economic contribution of beach resources and their sustainable development in China[J]. Ocean & Coastal Management, 2023, 239: 106598.