中国海堤生态化建设的进展和展望

李正，田鹏，陈海英

（中交上海航道勘察设计研究院有限公司 上海 200120）

摘要：海堤是抵御台风风暴潮灾害的重要设施，可保障我国沿海地区经济社会稳定发展和人民群众生命及财产安全。随着全球气候变化和海洋生态环境的日益严峻，建设生态海堤已成为我国海岸带保护与可持续发展的关键举措之一。文章研究归纳国内外生态海堤研究经验，总结海堤生态化发展面临的问题，提供当前海堤生态化的典型做法与发展建议，以期为我国的海堤生态化发展提供借鉴。

关键词：生态海堤；自然解决方案；生态化改造；监测评估

中图分类号：U656.31；X55 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-9857（2025）09-0092-06

Progress and Prospects of Ecological Sea-dikes in China

LI Zheng，TIAN Peng，CHEN Haiying

（Shanghai Waterway Engineering，Design and Consulting Co.，Ltd.，Shanghai 200120，China）

Abstract：Sea-dikes are important facilities for resisting typhoon and storm surge disasters，thereby safeguarding the stable development of the economy and society in coastal areas of China and the safety of people’s lives and property. Given the increasingly severe global climate change and marine ecological environment deterioration，the construction of ecological sea-dikes has become one of the key measures for coastal protection and sustainable development in China. This article summarizes the experience of ecological sea-dike research at home and abroad，identifies the problems faced by the ecological development of sea-dikes，and provides typical practices and development suggestions for the current ecological development of sea-dikes，in order to provide reference for the ecological development of sea-dikes in China.

Keywords：Ecological sea-dike，Nature-based Solutions，Ecological retrofitting，Monitoring and assessment

0 引言

海堤是抵御台风风暴潮灾害的重要设施，可保障我国沿海地区经济社会稳定发展和人民群众生命及财产安全。我国大陆海岸线长达 1.8 万 km[1]，由南向北依次濒临南海、东海、黄海及渤海，其中海堤总长 1.45 万 km，约占大陆岸线的 81%[2]。已建海堤普遍采用刚性材料构筑，其设计初衷主要

收稿日期：2024-12-11；**修订日期：**2025-08-12

基金项目：江苏省自然资源科技项目（JSZRKJ202402）；中交集团企业技术标准项目（ZJGF-QB-202207）.

作者简介：李正，高级工程师，硕士，研究方向为海岸带保护和海洋生态修复设计与研究

通信作者：田鹏，正高级工程师，研究方向为海岸带保护和海洋生态修复设计与研究

聚焦于抵御海浪侵袭，更加侧重于海堤防洪的安全性。然而，在此过程中，由于对海堤所应具备的生态服务功能缺乏足够重视，进而引发了一系列生态与环境层面的不利影响，如侵占了海岸带生物的原始栖息地、阻碍了陆海间生物的自然迁移与物质循环、降低了水体交换能力，进而导致陆源污染物累积和水体富营养化等[3]。研究显示，硬质海堤的建设使其沿岸区域的生物多样性较自然岸线降低了约23%[4]。

随着全球气候变化和海洋生态环境的日益严峻，生态海堤建设已成为我国海岸带保护与可持续发展的关键举措之一，国家也接连出台了一系列支持性政策。自 2010 年起，财政部联合国家海洋局，利用中央分成海域使用金资助地方开展海域、海岛及海岸带综合整治、修复与保护工作[5]。2016 年，中央财政进一步加大对沿海城市的支持力度，助力地方实施“蓝色海湾”“南红北柳”及“生态岛礁”等重大项目。2018 年，习近平总书记在中央财经委员会第三次会议上，高瞻远瞩地提出了要“实施海岸带保护修复工程，建设生态海堤，提升抵御台风、风暴潮等海洋灾害能力”[6]。2019 年，自然资源部积极响应，启动了第二批“蓝色海湾整治行动”，聚焦海岸带、滨海湿地及海岛海域的生态修复。2020 年以来，财政部与自然资源部办公厅每年联合组织沿海省（自治区、直辖市）申报中央财政资助的海洋生态保护与修复项目，旨在通过持续的资金投入与项目规范管理，推动海洋生态环境的稳步改善与可持续发展[7]。

生态海堤作为我国滨海湿地保护修复的重要手段，是海岸带生态防护的重要环节。本文将归纳国内外生态海堤研究的经验，总结海堤生态化发展面临的问题，提出当前海堤生态化的典型实践做法与发展建议，以期为我国的海堤生态化发展提供借鉴。

1　国内外生态海堤研究与实践

1.1　国外生态海堤研究与实践

国外在海堤生态化方面的研究与实践起步较早。20 世纪 80 年代，国外已认识到应将生态要素融入海堤工程建设中[8]，通过拓宽防护缓冲区域及创造多样化的生态栖息地，增强沿海地区抵御气候变化影响的能力，进而推动区域的可持续发展进程[9]。荷兰、澳大利亚、美国等发达国家在海岸防护方面以自然共建为理念，注重利用自然的力量，将工程建设纳入整个生态系统中进行考量，以实现人与自然的和谐统一[10]。

荷兰的典型案例为补沙引擎（Sand Engine）[11]，该工程是全球首创的人工沙滩培育工程，于 2011 年 7 月完工。通过向海侧吹填塑造一座长约 1 km、宽约 2 km 的“沙洲”，随后，在波浪、海流及风的作用影响下，这片人工塑造的沙滩逐渐向两侧自然延伸，有效实现了对岸滩的防护[12]。

澳大利亚典型案例为新南威尔士海岸防护和麦克马洪海堤生态改造[13]，利用抛石防护代替混凝土防护、沙丘和植被相结合、海墙开孔等方式，防护海岸的同时为海洋动植物提供稳定的生存环境，有利于保护生物多样性。

美国典型案例是活生命岸线（Living Shorelines）项目，该项目遍布美国沿海多个州，如路易斯安那州、佛罗里达州和北卡罗来纳州等。该项目将硬质结构、植被、木质碎屑、牡蛎礁以及其他滨海生境要素结合起来[14]，构建生态海堤和人工湿地，以增强海岸线的生态功能和防灾能力。

1.2　国内生态海堤研究与实践

20 世纪初，张謇等在其所撰写的《开垦海门荒滩奏略》一文中，率先提出了依据当地自然条件合理规划荒滩开垦与构建生态友好型海堤的理念[15]，这标志着我国生态文明建设及生态海堤构想的初步显现。然而，遗憾的是，随后的数十年间，针对生态海堤领域的深入探究与系统性应用实践却相对匮乏，未能充分延续并拓展这一开创性的思想。近年来，随着基于自然解决方案（Nbs）理念越来越深入人心，我国陆续开展生态海堤建设研究与实践，并取得一定进展，已有多个成功案例，包括南沙灵山岛尖超级海堤工程、深圳市东部海堤重建工程（三期）、天津港保税区（临港区域）中港池北部岸线生态修复项目一期工程等。

南沙灵山岛尖超级海堤工程位于珠江入海口的

蕉门水道的南岸，是集滨水岸线、亲水漫道、多级消浪平台、堤顶观景廊道与超大规模绿化带等于一体的多层级生态海堤。该项目创新性地融合了多级消浪平台技术、新型生态护坡技术，以及针对堤基滩涂与潮间带区域实施的生态消浪技术，对既有海堤进行了全面升级改造[16]。作为国内首个典型超级海堤工程，它不仅仅侧重于海堤的防灾减灾功能，更巧妙地将水域景观与城市空间无缝衔接，创造出一个既开放又层次分明的滨海公共活动区域，极大地丰富了城市界面的生态美学与功能多样性。

深圳市东部海堤重建工程（三期）位于深圳市大鹏新区，该工程构建了一个层次分明、功能多元的综合性生态海堤防御体系。第一重“外堤”旨在通过有效削弱海浪能量、减缓海岸线侵蚀并促进沉积物沉积，从而建立起一个具备高度适应性与恢复力的外部生态防护系统；第二重“中堤”通过增高堤坝高度，显著增强了海堤抵御强风暴潮及巨浪冲击的能力，为后方区域提供了更为坚实的防护屏障；第三重“内堤”则采用混合结构，巧妙地运用公园、森林、湿地等实现对邻近村落和山区的地表径流的缓冲、滞留与临时调蓄[17]。

天津港保税区（临港区域）中港池北部岸线生态修复项目一期工程位于天津港保税区（临港区域）高沙岭港区北侧，堤岸结合原有围堤情况和结构特点，采用退台式的设计思路，陆侧通过调整生态廊道地坪高程，实现工程的防潮功能，临海侧防护结构主要以多孔隙人工块体、块石及卵石等为主，为多样化的海洋生物创造一个理想的栖息、繁衍环境，促进了潮间带区域的生物多样性提升，实现对沿岸海域生态系统的修复。在堤岸后方设置生态廊道，形成集休闲观光、文化娱乐于一体的综合性开放公园，实现景观与海岸线结合、绿化与功能空间结合、公园与周边环境结合。

2 海堤生态化建设存在的问题

2.1 现有生态海堤标准系统性和可操作性不强

目前，国内针对生态海堤建设的技术标准主要有《围填海工程海堤生态化建设标准》（T/CAOE 1—2020）和《海堤生态化建设技术指南》（HY/T 0469—2025）。这两份技术标准主要阐述了海堤生态化建设的基本原则、范围、内容、方法及相关技术要求等。总体而言，作为我国生态海堤建设方面最先推出的标准，弥补了我国生态海堤建设标准的空白，对海堤生态化建设起到了一定的指导作用，提升了海堤生态化建设设计、施工、管护和效果评价等工作的规范化水平，但是系统性和可操作性不强，导致规划、研究、设计、施工等相关单位在具体实践中难以准确理解和执行相关规范要求，有时需依靠经验或参考资料，从而造成建设质量参差不齐。

2.2 生态海堤建设成本普遍较高

目前，生态海堤的建设成本普遍高于传统海堤，主要是因为，国内生态海堤建设首先是在满足防灾减灾功能的基础上再增加海堤生态功能，而并未将植被或礁体等生态结构在消波、弱流、护岸方面的保护作用纳入工程设计与效益评估；此外，盐沼、红树林、人工沙滩等生态环境保护措施维护成本较高，也进一步推高了整体造价。

2.3 工程监测和生态效益评估不足

生态系统的恢复是一个漫长而持续的过程，而工程验收后通常缺乏长期跟踪监测，导致水文动力、海洋生态环境等长时间序列数据缺失，无法客观评估生态海堤建设对防灾减灾能力和生态环境的提升效果，给后续的生态海堤设计与建设带来了困难。此外，生态海堤的建设以工程设计和建设部门为主导，环境或生态相关部门参与较少。

3 海堤生态化建设典型方法

3.1 海堤断面设计

生态海堤堤身断面设计应根据潮汐、波浪、地形地质、生态环境、防护区要求、施工条件、工程管理、工程造价等综合确定。海堤断面型式应促进海陆生态系统的有效连通，优先采用斜坡式结构，临海侧坡比宜为 1 ∶ 2.5 ～ 1 ∶ 5，必要时应经论证适当放宽坡比要求。斜坡式海堤生态化改建时，可拆除部分堤身结构，改造成潜堤与主堤相结合、二级平台或多级平台的复式断面形式（图 1）。

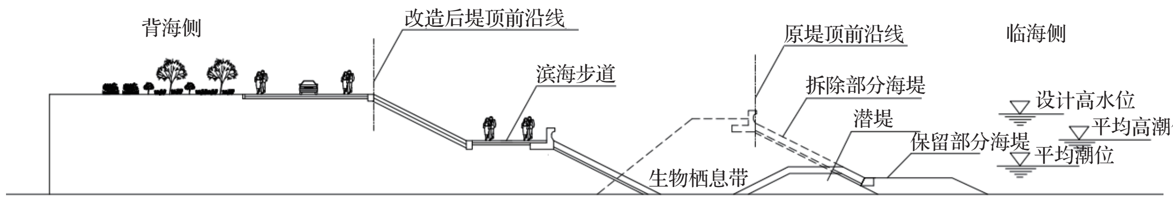

图 1　潜堤与主堤相结合的复式斜坡断面

Fig.1　Compound slope cross-section combining a submerged embankment with a main embankment

3.2　临海侧结构

生态海堤堤脚优先采用孔隙率高且具备一定表面粗糙度的块体，镇压层前沿水域可布置牡蛎礁、人工鱼礁（图 2）等生态结构，构造多样化生境，为鱼、虾、贝及藻类等海洋生物的繁殖、生长提供良好的环境[18]。临海侧护面可采用植物、网笼、生态混凝土、干砌块石或条石、异形块体，护面结构应满足抗浪稳定的要求。

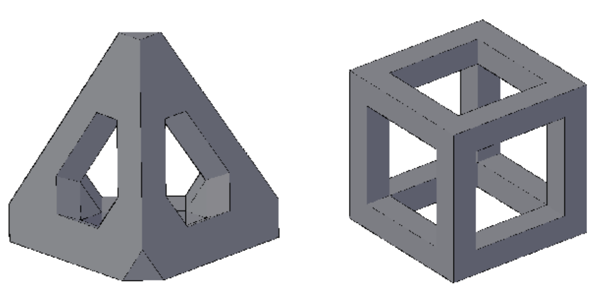

图 2　人工鱼礁结构

Fig.2　Schematic diagram of artificial reef structure

斜坡式海堤临海侧护面生态化改建时，既可拆除原护面结构，也可直接在外护面上覆盖，护面结构可采用网笼、生态混凝土、干砌块石或条石、人工块体等，改建后的护面结构应满足抗浪稳定要求。为提升海堤生态效果，可在护面结构上填土、种植植被；在遭遇恶劣工况时，允许植被被损毁，由底层护面结构抗浪。

3.3　堤顶及背海侧改造

堤顶、背海侧及堤后带的改造与临海侧不同，无须直面波浪和潮流的影响，进行改造时堤顶可融合多功能路径体系，包括防汛通道、机动车道以及专为休闲漫步与骑行爱好者打造的慢行步道，实现功能的多样性。在满足稳定和防渗要求的前提下，背海侧护面可种植植物，构建与周边自然环境和谐共生的滨海生态景观带，满足人民群众亲水、娱乐、休憩等需求。

4　海堤生态化建设的展望

海堤生态化建设在我国仍处于起步阶段，尚存在较多需完善改进之处。针对我国海堤生态化工程的现状和未来，本文提出以下建议。

4.1　编制系统性和可操作性强的技术标准

对现有的技术规范和标准进行全面梳理，找出其中的问题和不足，同时深入调查研究，广泛征求相关方意见，总结近年来生态海堤设计、施工实践经验，编制可指导生态海堤设计、施工、工程管护、监测与效果评价等工作的技术标准[19]，从而推动生态海堤建设的规范化、标准化和科学化，提高生态海堤建设的质量和效益。

4.2　开展海堤生态化关键技术研究

通过开展生态海堤对防灾减灾能力的提升效果研究（消浪、弱流、固滩等），以及堤前植被的定植技术、土壤改良技术等关键技术研究，建立适用于不同类型海堤的生态化技术体系，为生态海堤设计、施工和维护提供技术支撑，降低生态海堤的建设和维护成本。

4.3　构建调查数据库

针对全国生态海堤，通过资料收集、现场调查、无人机拍摄等手段，系统调查其结构类型、设计参数、海岸的水文动力条件、土壤类型、生物群落、气候条件等，构建一个信息丰富的全国生态海

堤数据库，同时对生态海堤进行长期的现场调查和监测，通过定期的数据采集与分析，持续追踪并评估生态海堤工程对周边生态环境的综合影响，为生态海堤的设计、建设与管理提供坚实的理论依据与数据支持，推动海堤生态化建设向更加生态化、可持续化的方向发展。

4.4 将海堤生态化改造与城市发展深度融合

将海堤的生态化改造视作推动区域综合治理与品质提升的契机，通过将生态海堤建设与区域规划布局、景观美学及功能整合上的完美衔接，共同编织一幅集防灾减灾、休闲旅游、宜居生活于一体的多维画卷。这种综合设计模式，旨在打破传统界限，从而塑造出一个既生态友好又充满活力的乐活空间，最终达到人与自然和谐共生、城市发展与生态保护双赢的理想状态。

参考文献（References）：

[1] 郑鹏．中国海洋资源开发与管理态势分析[J]．农业经济与管理，2012(5)：81-86.
ZHENG Peng. Analysis of China's marine resources development and management situation[J]. Agricultural Economics and Management，2012(5)：81-86.

[2] 国家发展改革委，水利部．全国海堤建设方案[Z]．2017.
National Development and Reform Commission，Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. National seawall construction plan[Z]. 2017.

[3] 崔力拓，李志伟．河北省沿海开发活动的生态环境效应评估[J]．应用生态学报，2014，25(7)：2063-2070.
CUI Lituo，LI Zhiwei. Assessment of ecological environment effects of coastal development in Hebei Province，China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2014，25(7)：2063-2070.

[4] GITTMAN R K，SCYPHERS S B, SMITH C S，et al. Ecological consequences of shoreline hardening：a meta-analysis[J]. BioScience，2016，66(9)：763-773.

[5] 于小芹，余静．我国海岸带生态修复的政策发展、现状问题及建议措施[J]．中国渔业经济，2020，38(5)：8-16.
YU Xiaoqin，YU Jing. Policy development，current problems and suggestions for ecological restoration of coastal zones in our country[J]. Chinese Fisheries Economics，2020，38(5)：8-16.

[6] 张志卫，刘志军，刘建辉．我国海洋生态保护修复的关键问题和攻坚方向[J]．海洋开发与管理，2018，35(10)：26-30.
ZHANG Zhiwei，LIU Zhijun，LIU Jianhui. Key issues and future direction of marine ecosystem protection and restoration in China [J]. Ocean Development and Management，2018，35(10)：26-30.

[7] 赵鹏，朱祖浩，江洪友，等．生态海堤的发展历程与展望[J]．海洋通报，2019，38(5)：481-490.
ZHAO Peng，ZHU Zuhao，JIANG Hongyou，et al. The development and outlooks of the ecological seawall[J]. Marine Science Bulletin，2019，38(5)：481-490.

[8] 陈振华，臧振涛，许沿．低成本的海堤迎潮面护面结构生态化改造方法探讨[J]．浙江水利科技，2020，48(4)：80-85.
CHEN Zhenhua，ZANG Zhentao，XU Yan. Discussion on the ecological transformation method of low-cost seawall tidal surface protection structure[J]. Zhejiang Hydrotechnics，2020，48(4)：80-85.

[9] TEMMERMAN S，MEIRE P，BOUMA T J，et al. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change[J]. Nature，2013，504(7478)：79-83.

[10] VAN-SLOBBE E，DE-VRIEND H J，AARNINKHOF S，et al. Building with nature：in search of resilient storm surgeprotection trategies [J]. Natural Hazards，2013，66(3)：1461-1480.

[11] 廖远志，廖鸿志．荷兰水利工程建设与生态环境协调发展探讨 [J]．水利水电快报，2007，28(16)：7-9.
LIAO Yuanzhi，LIAO Hongzhi. Discussion on the coordinated development of water conservancy engineering construction and ecological environment in the Netherlands [J]. Express Water Resources&Hydropower Information，2007，28(16)：7-9.

[12] 刘大为，王铭晗，宫晓健，等．荷兰人工育滩工程 Sand Motor 的经验与启示 [J]．海洋开发与管理，2017，34(6)：61-65.
LIU Dawei，WANG Minghan，GONG Xiaojian，et al. Experience and enlightenment of sand motor，an innovative beach nourishment in Netherlands [J]. Ocean Development and Management，2017，34(6)：61-65.

[13] 徐伟，陶爱峰，刘建辉，等. 国际海岸带生态防护对我国生态海堤建设的启示［ J ］. 海洋开发与管理，2019，36(10)：12-15.
XU Wei，TAO Aifeng，LIU Jianhui，et al. The enlightenment of international coastal zone ecological protection for China's ecological sea dike construction［ J ］. Ocean Development and Management，2019，36(10)：12-15.

[14] STAFFORD，SARAH L. Encouraging living shorelines over shoreline armoring：insights from property owners choices in the Chesapeake Bay［ J ］. Coastal management，2020，48(4/6)：559-576.

[15] 李婷，陈晗. 张謇的生态建设之一瞥［ J ］. 中国生态文明，2015(1)：86-89.
LI Ting，CHEN Han. A glimpse of Zhang Jian's ecological construction［ J ］. China Ecological Civilization，2015(1)：86-89.

[16] 陈真莲，伍炜豪，管建军. 南沙灵山岛尖生态景观超级堤理念及工程要点浅析［ J ］. 珠江水运，2018(24)：109-111.
CHEN Zhenlian，WU Weihao，GUAN Jianjun. Analysis of the concept and engineering key points of the ecological landscape super embankment at the tip of Lingshan Island in Nansha［ J ］. Pearl River Water Transport，2018(24)：109-111.

[17] 林佳彪. 与水共存，因应全球气候挑战的适应性设计：深圳市东部海堤重建工程 (三期)［ J ］. 风景园林，2022，29(11)：80-83.
LIN Jiabiao. Living with water，a climate-adaptive approach for design：east dike reconstruction engineering project(phase 3)，Shenzhen［ J ］. Landscape Architecture，2022，29(11)：80-83.

[18] 王震. 青岛石雀滩海域不同材质人工鱼礁附着生物群落结构特征研究［ D ］. 上海：上海海洋大学，2018.
WANG Zhen. Study on structure characteristics of reefs attached communities of different materials in Shique beach of Qingdao［ D ］. Shanghai：Shanghai Ocean University，2018.

[19] 孙诗丹. 技术标准的法治逻辑与实现路径［ J ］. 标准科学，2024(5)：30-38.
SUN Shidan. The legal logic and realization of technical standards［ J ］. Standard Science，2024(5)：30-38.