

海堤生态化建设技术的研究进展 及推进我国海堤生态化建设的建议

张翠萍, 贾后磊, 吴玲玲, 黄华梅

(国家海洋局南海规划与环境研究院 广州 510300)

摘要:文章介绍了国外海堤生态化建设技术的研究进展,包括海堤结构改造和绿植化研究,其中,海堤结构改造包括建造阶梯式海堤、海堤表面微栖息地改造、建造栖息地长凳、模拟岩石栖息地和海堤绿植化等。国外主要对海堤表面生境进行修复,国内研究则集中在海堤生态化建设的工程技术和采用生态护坡材料对传统海堤进行改造上。在结合海堤生态化相关研究的基础上,对我国海堤生态化建设提出了完善海堤生态化建设技术规范体系、加强海堤生态化关键技术研究、开展海堤生态化适宜性分析和生态化后监管系统等建议。

关键词:海堤生态化;结构改造;海堤绿植化;关键技术;适宜性评价

中图分类号:P756.8;X171.4

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2020)09-0057-05

Research Progress of Ecological Construction Technology of Seawall and Suggestions on Promoting the Ecological Construction of Seawall in China

ZHANG Cuiping, JIA Houlei, WU Lingling, HUANG Huamei

(South China Sea Institute of Planning and Environmental Research, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: This paper introduced the research progress of the ecological construction technology of seawall in foreign countries, including the structural transformation of seawall and the research of ecological greening. Among them, the structural transformation of seawall includes the construction of stepped seawall, the reconstruction of micro habitat on the surface of seawall, the construction of habitat bench, the simulation of rock habitat and seawall greening. Overseas researches mainly focus on the restoration of sea embankment surface habitat, while domestic researches focus on the engineering technology of ecological construction of sea embankment and the transformation of traditional sea embankment with ecological slope protection materials. Based

收稿日期:2020-07-23;修订日期:2020-08-20

基金项目:广东省海洋经济发展专项资金项目(GDNRC[2020]067);国家海洋局海域管理技术重点实验室开放基金资助项目(201711);南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0404)。

作者简介:张翠萍,高级工程师,博士,研究方向为海洋生态保护修复等

通信作者:贾后磊,教授,硕士,研究方向为海洋资源开发利用保护与生态减灾修复

on the research of seawall ecology, suggestions were put forward for the ecological construction of seawall in China, including improving the technical specification system of ecological construction of seawall, strengthening the research on key technologies of ecological construction of seawall, carrying out the suitability analysis of ecological construction of seawall and the supervision system after ecological construction.

Key words: Seawall ecologicalization, Structural transformation, Seawall greening, Key technology, Suitability evaluation

0 引言

近年来,基于生态系统的海岸工程作为一种比传统海岸工程更具可持续性和成本效益的解决方案已被大规模实践^[1,2]。其适用于城市化地区和海岸线之间,具有减少风暴潮的自然能力,并能通过矿物和生物沉积物的自然增长跟上海平面的上升^[3-4],确保了基于生态系统的沿海保护的长期可持续性。此外,生态化后的海堤还具有水质改善、渔业生产和旅游娱乐等定级综合效益^[5]。因此,从长远来看,它们可能比常规防御更具成本效益^[6]。

海堤属于海岸工程的重要组成部分,海堤既要防御波浪的冲击,又要阻挡海潮导致海平面的上升。现有的已建海堤大多数为硬质海堤,其结构为刚性结构,主要应对海浪冲刷,更加注重防洪能力,一般选择浆灌砌块石、现浇混凝土、预制混凝土块、板桩等结构型式。这种硬质海堤将海岸表面封闭起来,阻隔了海陆水土的连接通道,隔绝了生物和微生物与陆地的接触,破坏了海域、陆地生态系统的整体平衡;在海岸带区域修建人工材料海堤破坏了沿岸海洋生物赖以生存的自然环境,对附近海域的水质和水环境产生了负面影响。拆除现有硬质海堤重建经济上不可行,还会对周边生态造成不良影响,因此传统海堤生态化是未来海堤工程的发展趋势之一。海堤生态化主要指利用工程措施,采用植物与天然或者人工材料结合,对已建海堤进行生态化改造,提高海堤生物群落的复杂性,提升海堤的物能交换能力,逐步使海岸带生态系统恢复到一定的功能水平。

党的十九大将建设生态文明放在了中华民族永续发展的千年大计的历史高度,海堤生态化建设也势在必行。海堤生态化建设,有利于重构海陆过渡带的生态廊道,对于保护生物多样性,筑牢生态

安全屏障具有重大意义,是切实推进海洋生态文明建设的重要举措。本研究通过总结国外海堤生态化建设的方法,梳理国内生态建设方法存在的问题,提出我国海堤生态化建设的发展建议。

1 国外海堤生态化建设技术研究进展

20世纪80年代,瑞士、德国等国家提出了“亲近自然河流”的概念和“自然型护岸”技术。90年代,德国、美国、日本、法国等纷纷拆除此前在河床上铺设的人工硬质材料。采用混凝土衬砌河床而忽略自然环境的方法,已被各国普遍否定。美国的研究主要集中在沙丘修复、海滩养护、人工鱼礁等新建海堤方面;在日本,基于不同的海岸类型,采取不同的护岸技术(有自然型、半自然型和人工型等)。目前国外在已建海堤上开展生态化建设的技术研究不多,主要包括海堤结构改造方法,如阶梯式海堤、海堤表面微栖息地改造、建设栖息地长凳、模拟岩石栖息地,以及海堤绿植化等技术措施。

1.1 海堤结构改造方法

阶梯式海堤是预制混凝土台阶,旨在增加近岸栖息地面积,并通过结合裸露的集料(表面纹理)和模拟潮汐池的洼地,为城市滨水区增加水平表面和微栖息地^[7]。阶梯式海堤可以为幼鲑和其他生物提供栖息地,增加食物产量,改善迁徙通道。跟踪监测结果表明,海堤阶梯是物种丰富的栖息地,有固着无脊椎动物(太平洋蓝贻贝等)、藻类(包括岩藻等)和流动无脊椎动物(大眼金枪鱼等)。捕食者(包括红黄道蟹和紫海星)在栖息地边缘处于优势种的绿色海胆种群。研究结果表明,潮汐高度比潮汐方向更重要,强调了要重视增加浅水栖息地面积的设计,但这需要更深入的研究^[8]。

海堤表面微栖息地改造(海堤纹理等)直接将

栖息地整合到海堤表面,创造出微栖息地、多样的表面朝向和额外的浅水栖息地。不同的设计包括裂缝、浅水池和壁架。除栖息地外,海堤纹理从美学角度改善海滨结构^[7]。海堤面板设计中使用的两种纹理(鹅卵石等)测试了微生境的重要性,而3种不同的形状(鳍状、阶梯状和扁平状)增加了栖息地面积,并引入了不同的表面朝向。纹理和带鳍/台阶的形状都有利于当地重要物种的恢复。纹理对流动生物和固着生物的丰富性影响最大,而体型最接近调整维度的物种得到最大程度的丰富。

通过在海堤附近的粗糙岩石基底建造栖息地长凳,以形成浅水区。浅水区为无脊椎动物、鱼类、沉水植物和挺水植物提供了栖息地^[9]。栖息地长凳应由棱角分明的岩石基质构成,或由大型岩石支撑,以防止基质移动。建议对可能易受潮汐动力影响的栖息地长凳和其他项目进行不断监测^[7]。

为尽量减少对环境的影响,海堤的改造应确保尽可能多地模仿自然栖息地^[10]。在不影响海岸安全的前提下,通过最大限度地增加表面粗糙度和引入微生境,对海堤进行改造,以增强栖息地的多样性和复杂性^[11-13]。与前滨结构一样,应尽量避免混凝土等光滑表面,或可通过浇筑不规则的饰面或凿槽或钻孔使其粗糙^[11,14]。Naylor等^[17]展示了如何通过放置护面岩来增强岩石护岸的生态效果。岩石池可以被纳入海堤,通过增加保水功能,为潮间带生物提供栖息地^[15-18]。对于坚硬的前滨结构,预制的栖息地增强单元可以包括在海堤设计中,提供一系列新的栖息地类型。

1.2 海堤绿化

在海堤绿化方面,通常进行混合种植,一小部分草药(在德国种植黑麦草,草地早熟禾和蓍草)也在逐渐推广。混合种植的植被主要功能是可以防止波浪冲击和风暴潮。但由于标准播种混合物的生物多样性仍然较低,在设计过程中没有充分考虑堤防覆盖的生态价值。因此,如何实现海堤生态化后体现其生态价值也是另外一个研究方向^[19]。灰色护岸材料的调整,特别是结构和纹理,使其更自然、更粗糙、形状更多样化,从而改善了沉降和栖息地条件^[11]。

可见,国外对于生态海堤的研究主要集中在新建工程上,在已建海堤的坡面上进行生态化的研究不多,主要是海堤纹理改造这种微栖息地改造方式。对于海堤绿植化的植被上也开始考虑如何提升海堤生态化后的生态价值,但没有更加深入地研究。

2 国内海堤生态化建设技术研究进展

海堤生态化建设技术国内研究则主要集中在海堤生态化建设的工程技术与生态材料的研究上,目前对于海堤生态化建设的技术主要包括格宾网、生态袋和种植防护林等。

研究发现,利用格宾网箱能够形成低矮堰体^[19],有效抵抗海浪、潮汐的冲刷。由于有格宾网,潮水携带的泥和砂只入不出、逐渐沉积,沿岸逐渐形成绿植地台,辅助绿植成活。将生态修复岸线改为“柔性岸线”“游憩亲水岸线”“海堤一半红树林地—红树林滩涂”3种海岸线模式,并对“柔性岸线”采用生态袋作为护坡材料,其具有的透水、不透土功能^[20],能有效提供植物生长需要的有机质,可种植草本或灌木,以绿化堤岸。方伟等^[21]采用种植防护林技术对海堤进行生态提升,通过对海堤内坡闭气土的作用分析,经渗流计算确定有效闭气土范围和反压镇脚范围,确定反压镇脚范围即为可种植防护林范围。

在环境友好型材料的选择上,李文雄^[22]以盘锦市大辽河口至盘锦港段海堤工程为例,综合考虑工程场地风浪特征、水流情况、筑堤材料和生态保护等因素,拟定采取设防浪墙、设置压载平台、无消浪平台、四脚空心方块的优化方案和筑堤材料。蔡奉祥^[23]对汕头东海岸海堤工程进行绿化试验,创新防海浪冲刷工程技术,采用PE绿色钢塑土工格栅,扎带固定马鞍藤主藤。在土工格栅之间以及与四角空心块之间,采用耐海水专用的316不锈钢膨胀螺丝栓固定。除了直立式、斜坡式、混合式的海堤断面设计,土工管袋堤心斜坡式防波堤的开发也成为港口工程建筑物生态可持续发展的一种创新。以土工管袋进行海砂(或淤泥)的填充,可以通过重量抵抗波浪和潮流的淘刷作用^[24]。

为防止堤脚受潮、浪冲刷,传统的做法是在堤脚处设置抛石棱体,或作大方脚或丁砌条石,抑或在离岸堤及堤脚直接防护。有学者提出在海堤堤

脚外侧 50~100 m 处沿海堤纵向打入双排预应力高强混凝土管桩(PHC),管桩顶部采用现浇钢筋砼纵向梁将管桩联系成一整体,并在离岸堤的迎浪侧和背浪侧采用抛石护底^[25]。除了抛石护脚或浆砌石护脚抛石镇压等做法,还可以考虑在其下铺设滤层或土木材料,在岸滩修建丁坝或潜坝。

最近,有学者提出一种多功能生态海堤架构体系,包括从临海侧向内陆方向依次设置的第一景观带、第一道防浪结构、蓄浪平台以及第二道防浪结构,该实用新型专利所述的多功能生态海堤架构体系提出对海堤景观带进行分带设防、堤顶后置的理念。但此类生态海堤存在设计宽度尺度太大的缺陷,导致难以实际应用。

国内目前已有生态海堤建设成功的案例,如广西防城港西湾红沙环生态海堤在工程设计阶段就融入了生态文明建设的理念,打造了一条集防潮防浪防洪、生态旅游、生态湿地修复、休闲科普于一体的生态海堤,在当地和全国范围内起到较好的示范作用,建成后对改善西湾海域海岸的生态景观,恢复红树林生态体系,促进城市与自然的和谐发展起到了重大作用。

3 推进我国海堤生态化建设发展的建议

海堤生态化改造与新建海堤都需融入生态文明理念,是未来我国海堤建设的发展趋势。应从尊重自然、顺应自然和保护自然的角度的角度,遵从生态系统避让、减缓、保护修复的原则和思路,结合国外生境修复的技术,完善国内现有生态海堤建设技术。在已建海堤上开展生态化建设,综合考虑现状海堤防御能力,切实保障海堤防御安全。我国海岸线绵长,区域条件差异较大,海岸带海堤硬化程度较高,而且海堤坡面结构型式多样,应积极吸取国外经验。本研究从以下几方面提出我国海堤生态化建设发展的方向。

3.1 尽快完善生态化建设的技术规范体系

尽快开展海堤生态化建设的建设技术、设计标准、验收标准等覆盖海堤生态化建设全过程的技术标准,分区域、分类型规范海堤生态化建设的技术体系,以期科学指导海堤生态化工程的全面实施。

3.2 加强海堤生态化建设关键技术研发

3.2.1 改造海堤坡面结构,营造适宜生境

对海堤进行微栖息地的改造,即海堤应尽量避免混凝土等光滑表面,或可通过浇筑不规则的饰面或凿槽或钻孔使海堤表面粗糙,这样的改造增加了栖息地的面积,有利于当地物种的恢复,为生态恢复提供重要基础。因此,海堤生态化建设的生态理念应该贯穿规划、设计、施工全过程,在设计之初,就应该融入生态理念,设计生产既能满足海堤自身防御功能又能提供生境的海堤坡面结构是目前亟须迫切解决的现实问题。

3.2.2 研发生态材料,提升栖息空间

生态材料的选择应注意满足海堤防御要求、耐久性强度和结构等的力学性能。材料应尽量采用当地的,适宜当地生态系统的材料,避免采用人工合成物质。

在海堤块体或岩石之间留下空隙,如添加纹理、裂缝、凹坑和保水单元等设计,有可能增加生物关键功能群的生物多样性。此外,海堤生态化改造位置应该在正常的潮汐区域,以最大程度提供海陆过渡带生物的生境,缩短海堤生态自然进展演替过程。

3.3 开展海堤生态化建设适宜性分析

需综合考虑海堤的设计标准,评价海堤安全性生态现状,结合工程所在海域的水文动力环境等评估进行生态海堤建设的适宜性。结合拟采取的生态化措施,预测评价实施后海堤的安全性和生态学,保障海堤生态化建设实施的科学性、可靠性和可操作性。

3.4 强化海堤生态化建设监管制度研究

加强海岸工程生态化建设监管制度研究,保证海岸工程生态化建设工作能够持续有效开展。在海堤生态化工程实施后,应注意开展连续监测,及时补种。对于成活率长期较低的区域应尽快调整方案,重新开展适宜的生境设计。

参考文献

- [1] 安然.基于生态园林思想的海岸带景观设计[D].北京:北京林业大学,2016.
- [2] TEMMERMAN S, MEIRE P, BOUMA T J, et al. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change[J]. Nature,

- 2013,504:79—83.
- [3] KIRWAN M L, GUNTENSPERGEN G R, D'ALPAOS A, et al. Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level[J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(23): 85—94.
- [4] FAGHERAZZI S, KIRWAN M L, MUDD S M, et al. Numerical models of salt marsh evolution: Ecological, geomorphic, and climatic factors[J]. *Reviews of Geophysics*, 2012, 50(1).
- [5] BARBIER E B, HACKER S D, KENNEDY C, et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services[J]. *Ecological Monographs*, 2011, 81(2): 169—193.
- [6] BROEKX S, SMETS S, LIEKENS I, et al. Designing a long-term flood risk management plan for the Scheldt estuary using a risk-based approach[J]. *Natural Hazards*, 2011, 57(2): 245—266.
- [7] DYSON K, YOCOM K. Ecological design for urban waterfronts[J]. *Urban Ecosystems*, 2015, 18(1): 189—208.
- [8] LOGAN J. Marine community dynamics on engineered fish compensation habitat in Burrard Inlet[EB/OL]. (2011—10—26)[2020—09—22]. http://www.verney.ca/ssec2011/presentations_d2.php
- [9] TOFT J D, OGSTON A S, HEERHARTZ S M, et al. Ecological response and physical stability of habitat enhancements along an urban armored shoreline[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 57: 97—108.
- [10] SCHOONEES T, GIJÓN MANCHENO A, SCHERES B, et al. Hard Structures for Coastal Protection, Towards Greener Designs[J]. *Estuaries and Coasts*, 2019: 1—22.
- [11] BORSJE B W, WESENBEECK B K V, DEKKER F, et al. How ecological engineering can serve in coastal protection[J]. *Ecological Engineering*, 2011, 37(2): 113—122.
- [12] FIRTH L B, KNIGHTS A M, BRIDGER D, et al. Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world[J]. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 2016, 54: 189—262.
- [13] HALL A E, HERBERT R J H, BRITTON J R, et al. Ecological enhancement techniques to improve habitat heterogeneity on coastal defence structures[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 210: 68—78.
- [14] COOMBES M A, LA MARCA E C, NAYLOR L A, et al. Getting into the groove: Opportunities to enhance the ecological value of hard coastal infrastructure using fine-scale surface textures[J]. *Ecological Engineering*, 2015, 77: 314—323.
- [15] NAYLOR L A, MACARTHUR M, HAMPSHIRE S, et al. Rock armour for birds and their prey: Ecological enhancement of coastal engineering[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering*, 2017, 170(2): 67—82.
- [16] CHAPMAN M G, BLOCKLEY D J. Engineering novel habitats on urban infrastructure to increase intertidal biodiversity[J]. *Oecologia*, 2009, 161(3): 625—635.
- [17] FIRTH L B, BROWNE K A, KNIGHTS A M, et al. Eco-engineered rock pools: a concrete solution to biodiversity loss and urban sprawl in the marine environment[J]. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(9): 094015.
- [18] CHAPMAN M G, UNDERWOOD A J. Evaluation of ecological engineering of “armoured” shorelines to improve their value as habitat[J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 2011, 400(1—2): 302—313.
- [19] 林俊翔. 绿色生态海堤施工技术探讨[J]. *低碳世界*, 2017(1): 159—160.
- [20] 李丽凤, 刘文爱, 蔡双娇, 等. 广西北滨海国家湿地公园生态海堤建设模式研究[J]. *湿地科学*, 2019, 17(3): 277—285.
- [21] 方伟, 杨冠川, 叶佳雯. 海堤内坡种植防护林的安全影响分析及尺度论证[J]. *水运工程*, 2017(11): 186—189.
- [22] 李文雄. 河口入海区域海堤堤防方案的比选分析[J]. *地下水*, 2019, 44(4): 238—239.
- [23] 蔡奉祥. 海堤工程防浪空心块绿化工程试验[J]. *中国水运(下半月)*, 2017, 17(7): 325—326.
- [24] 满令强, 刘爽, 姜昆. 环境友好型土工管袋堤心斜坡式防波堤的开发与利用[J]. *中国水运(下半月)*, 2014, 14(1): 360—362.
- [25] 张茂磊. 海岸蚀退地区海堤堤脚防护措施[J]. *科技视界*, 2016(5): 293—295.