

基于生态化人工海岸建设的 理论研究与应

——以天津永定新河口综合整治修复工程为例

乔延龙^{1,2}, 殷小亚^{3,4}, 张正鑫⁵

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津市自然资源生态修复整治中心, 天津 300457;

3. 天津市水产研究所, 天津 300221; 4. 中国水产科学院 渤海水产研究中心, 天津 300221;

5. 天津市渤海海洋监测监视管理中心, 天津 300480)

摘 要:分析生态文明背景下围填海区域人工海岸建设存在的问题,结合淤泥质人工海岸空间特点,总结提出了生态岸线整治修复技术、仿自然化处理设计、景观构建适宜性、人工海岸生态系统等生态化建设基础理论,并以天津永定新河口综合整治修复工程为例,重点阐述了人工海岸生态化建设过程中生态系统和景观构建的方法要点和具体思路。结果表明:在人工海岸生态化建设和生态空间构建中,岸堤浅滩清淤、仿自然化处理,有助于提升人工海岸生态属性;改良土壤盐渍化,移植耐盐碱植被,促进形成人工海岸复层植物群落;设计生态廊道,建设生态防护带,增加海洋生物数量,构建人工海岸生态环境体系,优化人工海岸生态景观格局。以“陆海统筹”理念进行人工海岸生态化建设,可提高人工海岸生态系统的稳定性和生态服务功能,构建具有地方特色的海岸生态景观,为人工海岸的生态修复提供科学参考。

关键词:人工海岸;生态化建设;生态修复理论;陆海统筹;永定新河口

中图分类号:P748

文献标志码:A

文章编号:1002-3682(2021)01-0068-08

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2021.01.008

引用格式:QIAO Y L, YIN X Y, ZHANG Z X. Theoretical research and application of artificial coastal ecological restoration based on ecological construction: a case study in Tianjin Yongding New River Estuary comprehensive rehabilitation project[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(1): 68-75. 乔延龙, 殷小亚, 张正鑫. 基于生态化人工海岸建设的理论研究与应——以天津永定新河口综合整治修复工程为例[J]. 海岸工程, 2021, 40(1): 68-75.

随着经济贸易全球化进程的加快,海岸带成为资源开发利用和区域经济发展的重要载体,是人类生产、生活的重要聚集区域^[1]。海岸带作为陆地和海洋的过渡地带,生态环境敏感度高,生态系统较为脆弱^[2]。在拓展海洋发展空间的过程中,海岸带地区也是经济发展的主要承载体,长期受到人类开发活动干扰,近岸海域围填海活动成为缓解沿海地区土地供求矛盾的主要途径^[3]。围填海工程侵占了自然岸线,通过截弯取直、平推和人工岛等填海方式产生的人工岸线取代了自然岸线,近岸海域水动力条件、海洋环境发生改变,引发海岸侵蚀、湿地退化、航道淤积、赤潮频发等生态环境问题,导致海洋生态系统退化,严重威胁海岸带区域生态安全 and 经济可持续发展^[4-5]。

从 20 世纪 90 年代开始,人工海岸生态化修复技术、临海工业区海岸生态修复技术等用于受损海域、海

收稿日期:2020-07-01

资助项目:海洋公益性行业科研专项经费项目——海洋风电、海水淡化及脱硫生态监测与评估技术集成及应用(201505027)和风暴潮灾害重点防御区划定技术研究与应用示范(201505018);中央分成海域使用金支出项目——天津市永定新河口海岸修复与综合整治及续建工程;天津市规划和自然资源局科技项目——天津创建海洋生态修复技术创新平台模式研究(2019041)和天津近岸海洋生态修复应用技术研究(2019042)

作者简介:乔延龙(1981—),男,高级工程师,硕士,主要从事区域生态保护与修复方面研究。E-mail: tjmarine@163.com

(陈 靖 编辑)

岛和海岸带的整治修复示范工程。其中,重新构建海岸带生态系统成为人工海岸空间整治和修复工程的关键内容。

人工海岸生态化建设是指利用数值模拟方法,对围填海形成的人工海岸带空间进行综合治理,仿真设计动物和植物生存环境,修复受损岸线生态群落,形成新的海岸带生态系统^[6-7]。大量的研究和工程评价表明,海岸生态化建设对海洋资源可持续利用和生态系统服务功能恢复具有重要作用^[8-9]。为了加强污染源溯源和调控,80年代初,美国开始对切萨皮克海湾进行跨区域综合整治,利用模型调控 Conowingo 水库的泥沙淤积和总磷排放量,对湾内的环境治理和水质修复起到了重要的作用^[10]。20世纪70年代,日本政府对东京湾、濑户内海和伊势湾三个封闭性海域进行环境治理,通过近岸海域污染物控制,岸线滩涂整治等措施,改善海洋生态环境质量,提升了海岸带景观效果^[11]。通过海洋生态修复工程还可控制海洋生态环境恶化趋势,减少赤潮、风暴潮、海浪、海冰等自然灾害安全风险,美国、日本、法国等发达国家对海岸资源环境整治修复进行了深入的研究和工程示范^[11],国内外学者也开展了很多研究工作,通过仿生工程方法提升海岸防御水平和生态修复效果。Raudkivi 和 Dette^[12]采用模型和实测数据建立了人工补沙、丁坝和嵌入式隔膜等海岸潮滩防护方法;季耀华等^[13]提出了针对山东飞雁滩油田岸滩侵蚀的多种海岸防护预案;蔡峰等^[14]基于大埕湾沿岸输沙率和岸线变化特点,揭示了沿岸泥沙迁移特征、岸滩冲淤动态以及海岸的演变趋势,为岸滩的防护提出了建议。董吉田和吕常五^[15]研究了海洋动力、生态、水量平衡指标对胶州湾东北部岸滩环境修复的必要性和可行性。人工海岸生态修复是一种海岸工程类型,也是海岸生态环境修复研究的新方向,还可显著提升海岸带景观效果。耿宝磊等^[16]研究淤泥质海湾清淤疏浚的水沙动力过程,利用海湾疏浚物重建滨海湿地;张振克^[17]基于美国沙滩养护体系,提出了我国海滩养护的理论与技术方法;王广禄^[18]研究了沙滩修复理论技术,示范建设了厦门香山鄞长尾礁人造沙滩工程,海岸带景观改善较为显著。

本文综合研究了生态文明背景下人工海岸建设理论技术和方法,结合淤泥质人工海岸特点,总结提出了生态岸线整治修复技术、仿自然化处理设计、景观构建适宜性、人工海岸生态系统等生态化建设基础理论,并以中央分成海域使用金支出项目天津市永定新河口综合整治修复示范工程为例,重点阐述了生态化建设过程中,人工海岸生态系统和生态景观构建的方法要点和具体思路,以期为我国海岸带整治修复和人工海岸生态系统构建提供借鉴。

1 理论基础和技术方法

1.1 生态岸线整治修复技术

基于生态修复理论,通过人工整治措施,塑造新建和受损海岸带的自然岸线特征,恢复和形成新的海岸带生态功能。随着海岸水沙冲淤数值模拟技术和物理模拟技术的不断应用,利用大型水槽模拟海岸泥沙冲淤的波浪、潮汐水动力过程,分析纯波和波流共同作用下,人工补沙、可过式丁坝、嵌入式隔膜、人工补沙等岸堤工程对海岸线变化的影响,海岸冲淤形态和演化趋势,构建生态型海岸设计和施工技术体系^[19-21]。同时,利用海岸绿化植被移植技术,在海岸堤后建设以湿地为中心空间的生态缓冲带,养护海岸带生态环境,提升海岸生物多样性,使人工海岸形成与自然状态相近的海岸形态。

1.2 仿自然化处理设计

传统人工海岸主要作为防护工程,主要发挥防灾减灾作用,生态环境保护功能较弱。此外,海岸带防护工程多采用混凝土构件或抛石施工工艺,对海岸带生态环境造成不同程度的破坏。随着海岸带资源综合开发和环境保护的要求,人工海岸在灾害防护基础上增加了生态防护功能,通过土方回填、地形改造等措施,实施岸线“去直还弯”,采用沙丘修复、海滩养护、木质丁坝、沼泽植被、人工鱼礁、移动式海堤等生态工程手段对海岸带进行仿自然化的生态改造^[22-24]。海岸带防护工程经过仿自然化处理后,为海洋生物提供良好的栖息

环境,生物资源量增加,逐渐形成自然型海岸基本特征,提升海岸带生态服务功能。

1.3 景观构建适宜性

生态型海岸需具备物理、生态和文化三大功能,需兼顾海岸带景观效应。在新建和受损海岸带整治修复过程中,利用岸线整治、生态补充等方式设置海岸带景观,构建堤后生态廊道、岸堤生态防护带、潮间带景观带、修复和保护海岸地质遗迹,提升海岸带自然景观和人文景观效果。国内学者分析国外沙滩养护方法,提出我国岸滩养护的理论与工程技术方法体系,在不同区域进行岸滩修复方案设计,工程实施后有效缓解岸滩侵蚀,利用清淤疏浚物重建滨海湿地^[25-26]。此外,在沿海生态敏感海岸带划定自然保护地,保护岸线的地质地貌特征及人类活动遗址的完整性和原生性,增加人工海岸景观空间,丰富了人工海岸的季相景观,提高海岸带景观效果。

1.4 构建人工海岸生态系统

人工海岸生态系统构建可降低海岸带生态系统的消失、破碎和退化风险。在新建人工海岸和受损海岸整治修复过程中,运用投放人工鱼礁、底播大型海藻、增殖海洋生物、种植海草床养护等方法,改善岸线及周边水体环境质量,增加水生生物种类和资源量,提升海洋生物多样性水平,保持海岸带及周边水域生态系统平衡^[27-29],同时,采取土壤改良、景观建设、植被移植等方式,构建生态廊道,提升人工海岸陆域生态系统服务功能。此外,海岸带的植被及水生植物可发挥生物防护作用,发挥消波缓流和消浪固沙作用,防止海岸带景观破碎化。基于人工海岸海域和陆域生态化建设,可增加生物种类和数量,提高生物多样性水平,改善群落结构,形成人工海岸生态系统构建新思路。

2 案例分析

天津滨海新区地处华北平原北部,地理坐标为 $117^{\circ}20' \sim 118^{\circ}00' \text{E}$, $38^{\circ}40' \sim 39^{\circ}00' \text{N}$,位于山东半岛与辽东半岛交汇处,西与天津市中心城区相接,东面毗邻渤海,南依河北省沧州市,北靠河北省唐山市,是北方首个自由贸易试验区、全国综合配套改革试验区、国家自主创新示范区,常住人口 300 万,面积 $2\,270 \text{ km}^2$,海岸线长 153 km。南运河、子牙河、大清河、永定河和北运河五大海河支流从天津滨海新区汇合入海,区域岸线具有河口、海岸湿地、浅海滩涂等多种生态系统,自然地理景观多样性丰富。永定新河口综合整治项目地处渤海湾北部湾顶浅海区,属于填海造陆区,位于滨海新区南部,永定新河口北侧(图 1)。

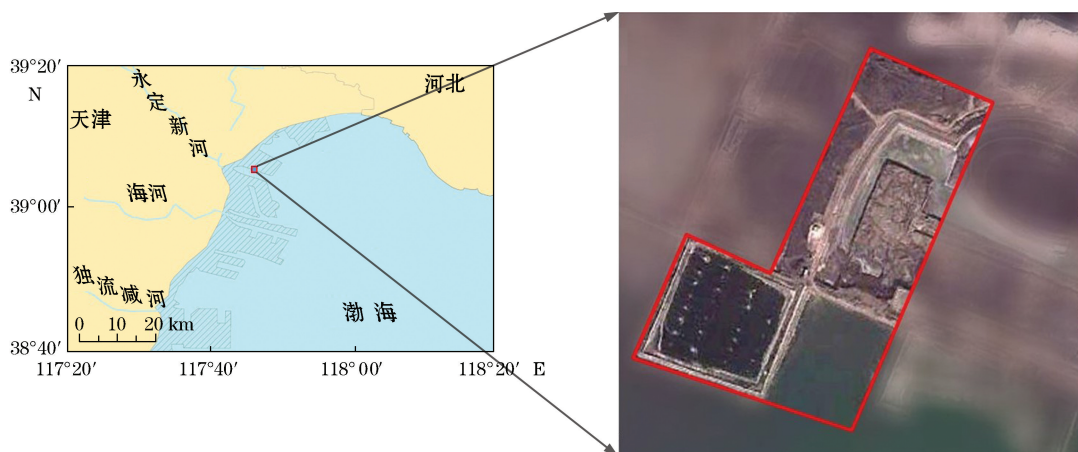


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

研究区域属于海河流域北系支流、是永定河、潮白河、北运河、蓟运河四条支流的共同入海河道,也是海陆相互作用最活跃的地区,海岸滩涂宽阔平坦,岸滩分带明显,在滩涂表面覆盖有很厚的松软粉砂或淤泥。此外,入海河口是北京和天津重要的排污口,河口区沉积物有较强的吸附作用,本底监测结果表明,研究区域岸滩污染物富集程度高,特别是硫化物、重金属等污染物含量较高。近年来围填海工程实施对海岸带及后方陆域有不同程度影响,河口岸线变化较大且未进行岸线整治和修复。根据海洋生态文明建设和生态宜居城市要求,永定新河口岸线综合整治项目以“海岸带生态系统重新构建”为侧重点,进行围填海区域人工海岸整治与修复,构建人工海岸的生态功能和景观功能,实现人工海岸的自然化、生态化、景观化。

2.1 区域资源环境调查

研究区域及周边生态资源本底调查是重建人工海岸生态系统的基础条件。对研究区域水文、水动力、沉积物、土壤、水生生物等生态资源进行本底调查,特别是调查研究区域周边环境相近且未开发区域中的自然群落进行调查,构建研究区域生物资源基础数据库。依据生态环境本底调查分析结果,为后期筛选陆域植物和海域增殖水生生物提供参考依据,为人工海岸生态化建设、景观设计等提供数据资料。

2.2 岸堤浅滩清淤

在海岸带生态化建设过程中,岸线沉积物环境是构建生态海岸的基本要素。研究区域为粉砂、淤泥质海底底质,对京津陆源排放污染物具有较强的吸附和沉降作用,致使永定新河口生态系统长期处于亚健康和不健康状态。通过实施海岸带浅滩清淤,改善永定新河口沉积物质量和人工海岸地质环境条件,增强岸堤水体循环流动,提升局部水体自身净化能力,提高海洋生物栖息环境质量,增强岸堤浅滩对海洋生物群聚效应。

2.3 海岸仿生加固

人工海岸岸坡生态化建设分为岸基加固、岸坡加固与成型两部分。研究区域按照海岸带护岸的防潮标准及陆域标高要求,首先检测岸堤清理淤泥的含水量、高压缩性及土质特性,把岸堤浅滩清淤土方进行综合无害化处理及回填利用,经过土方的排水和加压,岸基得到有效加固。岸坡处理采取分层、分段的缓坡施工工艺,建成生态连锁块岸堤和自然抛石岸堤,增加了岸坡的稳固性。其中,在人工海岸堤底抛石加固过程中,创新仿生施工工艺,采用浆砌方式,固定岸坡块石底部,同时块石间留有适度自然空隙,并适当增大块石间距,仿生自然海岸带的生态特征,构造良好的水生生物栖息空间。

2.4 盐渍化土壤修复

我国北方沿海土壤盐渍化严重,人工海岸生态化建设需对回填盐碱土壤进行生态修复。首先依据研究区域土壤特点,利用营养盐运移、渗透系数和土壤盐土运移规律,对人工海岸盐渍化土壤进行室内改良模拟研究,优化改土培肥技术。其次,在研究区域土壤改良区铺设一级排盐管和二级集水管相结合的控碱体系,包含种植土、淋层、排盐沟、集水管、排盐管、排盐井(观测井),同步建设若干强排井,优化暗管排盐技术,更换项目示范区表层客土,集成有机肥与山皮砂等环境友好材料进行培肥,通过深耕等措施保证土壤中有益微生物生长。通过盐渍化土壤修复实施,为研究区域植物生长提供良好的土壤条件。

2.5 选配耐盐碱植被,构建复层植物群落

根据海洋生态文明建设和“南红北柳”湿地修复工程对滨海湿地生态系统恢复要求,以天津沿海湿地植物为出发点,基于生态适应性和景观园林适宜性,结合研究区域生物资源基础数据库,初步筛选适合研究区域环境条件的绿植树种,通过室内外实验,构建植物抗盐性生理指标综合评价体系,从植物学、分子生物学等方面对初步筛选出的植物进一步筛选,最终确定灌木树种,同时移植耐盐碱的景观草本花卉、草坪,搭配适应性强、景观效果突出的海岸带景观绿植,初步建立乔、灌、草复层混交的植物群落,形成了层次丰富的人工海

岸植物景观屏障。

2.6 设计生态廊道,提升生态景观多样性

生态廊道是以海岸带为主体区域,把绿地、绿植、岸堤、景观点和道路连通起来,构建点线面结合的海岸带生态绿色网络。研究区域生态廊道沿海岸线铺设,并与区域主干道相接,在加固岸基、土壤改良基础上,建设集水型海岸景观绿地,移栽本地植物和耐旱植物以及冷季型草坪,以带状树群进行围合,不同区段两侧栽植不同的植被组团,形成陆海一体海岸生态廊道系统。此外,在景观绿地内,设计了微地形起伏,在廊道周边建设海洋特色的景观设施,重点路段细化植物配置,建造多个观景平台,适当增加道路曲折度,营造具有天津特色的海岸生态廊道景观。

2.7 构建生态防护带,营造自然亲海景观

综合岸堤结构安全及生态景观等因素,研究区域外侧靠近河口水道岸堤采用上层生态连锁块与下层抛石结构,局部采用扭工石结构,内部景观水域岸堤采用干砌石形式,并适度做放坡处理,上坡面采用栅栏板护坡与砼框箱,栽植覆土植物,采取间隔交替布置,下坡采用翼型块体的护坡,间隔设置亲水踏步平台。同时,在防浪墙内侧与路面的隔离带,种植低矮的绿色植物,靠近防浪墙处种植爬山虎,起到防护防浪墙效果,美化堤顶景观。在大堤内坡种植草皮等植物,内侧青坎上种植灌、乔木,达到水土保持和美化景观的作用。通过构建多级人工海岸的生态防护带,增强人工海岸的海岸带生态系统多样性。

2.8 优化生态景观格局,维持群落自循环

根据天津滨海旅游区海岸整体生态特色,研究区域布局以生态廊道为主体,采用有限空间内多层次、高绿量的植物景观设计思路,构建步行栈道景观化、岸堤立体生态化、植被群落层次化海岸带空间景观构架,形成具有生物栖息、游憩和生态效应的海岸生态景观格局。在人工海岸整治修复后,改善研究区域生态环境,提高物种多样性,融合自然气息,形成植物空间多层次、高绿量的生态系统,具有自我平衡、自我循环、相互作用特点,优化提升河口湿地区域的人工海岸带景观生态格局和生态环境效应(图2)。

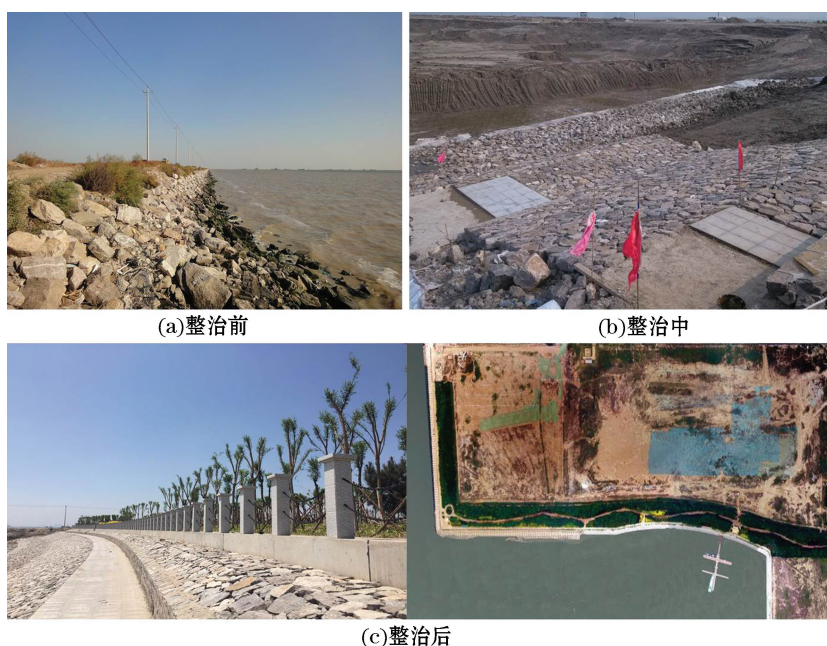


图2 永定新河口整治修复前后对比

Fig.2 Comparison of the Yongding New River Estuary before and after the comprehensive renovation and restoration

3 结 语

人工海岸生态化建设涉及岸线类型多,环境本底条件复杂,生态修复内容涉及多个专业领域,本文人工海岸生态化建设主要是从仿生工程角度,全面提升生态系统的结构和功能,根据生态学相关理论,海岸带整治工程建设采用仿自然环境处理方式,改良盐渍化土壤,优化海岸仿生施工工艺,因地制宜地构建人与自然和谐海洋生态景观,有利于提升人工海岸生态效应及景观效应,可以为人工海岸生态化建设提供参考。

生态型海岸线空间构建,特别是人工海岸生态化过程中,需要统筹生态环境治理和生态景观构建。研究区域以陆海统筹理念进行人工海岸生态空间景观整体规划和生态化建设,创新仿生施工工艺,有效改造人工海岸结构,增加水体交换及循环,提高永定新河河口区域生态系统的稳定性和服务功能,构建具有天津特色的海岸生态景观。

海岸带修复是生态文明建设的重要内容,受损人工海岸须以生态结构修复、堤岸仿自然化建造为主,辅以景观绿化的合理设计与配置,将盐碱土壤改良、植物筛选、堤岸仿生处理等纳入人工海岸生态空间布局,突出河口岸线的区域生态特点,合理配置生态系统各营养级物种组成模式,优化生物群落结构,增加人工海岸生物多样性,从而更好地维持和发挥生态系统服务功能。

本文将上述理论应用于天津永定新河口综合整治修复工程,通过人工海岸生态化建设,改善人工海岸生态环境,有效提升了示范区景观效果,并与区域生态宜居的规划目标相协调,初步形成了基于陆海统筹理念的人工海岸生态系统构建新思路。因此,可在天津滨海旅游区永定新河河口地区推广应用,在经验积累的基础上,创建全国人工河口海岸带生态修复的示范区。

参考文献(References):

- [1] LI F. Study on LAND-OCEAN interaction in the coastal zone and our strategy[J]. *Advances in Earth Science*, 1996, 11(1): 19-23. 李凡. 海岸带陆海相互作用(LOICZ)研究及我们的策略[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(1): 19-23.
- [2] JIAO N Z. Ecological processes and sustainable development of typical coastal water ecosystems in China[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [3] ZHANG S Q, WANG S J, SONG Y H. A discussion on some problems of geological environment and regional sustainable development in China coastal zone[J]. *Journal of engineering geology*, 1996, 4(3): 24-29. 张寿全, 王敬, 宋玉环. 中国沿海地质环境与区域可持续发展的若干问题探讨[J]. *工程地质学报*, 1996, 4(3): 24-29.
- [4] WEI F, HAN G X, ZHANG J P, et al. Evolution of coastal wetlands under the influence of sea reclamation in Bohai Rim during 1985-2015[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(5): 1527-1537. 魏帆, 韩广轩, 张金萍, 等. 1985—2015年围填海活动影响下的环渤海滨海湿地演变特征[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1527-1537.
- [5] ZHANG M H, CHEN C P, SUO A N, et al. International advance of sea areas reclamation impact on marine environment, ecology and environmental sciences[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(8): 1509-1513. 张明慧, 陈昌平, 索安宁, 等. 围填海的海洋环境影响国内外研究进展[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(8): 1509-1513.
- [6] RANA B C. Damaged ecosystems and restoration[M]. Singapore: World Scientific, 1998.
- [7] REN H, PENG S L. The guide of resumptive ecology[M]. Beijing: Science Press, 2001. 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] CHAPMAN P, REED D. Advances in coastal habitat restoration in the northern Gulf of Mexico[J]. *Ecological Engineering*, 2006, 26(1): 1-5.
- [9] WANG M, TANG J C, ZHU W Y, et al. Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagu drainage river in Tianjin[J]. *Journal of Ecology*, 2012, 32(14): 4535-4543. 王敏, 唐景春, 朱文英, 等. 大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(14): 4535-4543.
- [10] ZHANG M H, SUN Z C, IANG S X, et al. Progress of coastal environment repairing and cleaning engineering research and its prospect[J]. *Chinese Journal of Marine Environmental Science*, 2017, 36(4): 635-640. 张明慧, 孙昭晨, 梁书秀, 等. 海岸整治修复国内外研究进展与展望[J]. *海洋环境科学*, 2017, 36(4): 635-640.

- [11] ZHAO X Q, LIN G L. Review on integrated renovation and environment optimization of resource in bay[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(5): 752-756. 赵薛强, 林桂兰. 海湾综合整治与资源环境优化研究进展[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(5): 752-756.
- [12] RAUDKIVI A J, DETTE H H. Reduction of sand demand for shore protection[J]. Coastal Engineering, 2002, 45(3/4): 239-259.
- [13] JI Y H, CHU X J, XU S S. Coastal protection project for Feiyantan Oil Field[J]. Marine Geology Letters, 2005, 21(6): 5-7. 季耀华, 初新杰, 徐松森. 飞雁滩油田岸滩防护方案探索[J]. 海洋地质动态, 2005, 21(6): 5-7.
- [14] CAI F, SU X Z, GAO ZH Y. Stabilization analyses and erosion protective countermeasures of shore-beach along Dacheng Bay on boundary of Fujian-Guangdong Provinces[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003, 22(4): 518-525. 蔡锋, 苏贤泽, 高智勇, 等. 闽粤交界的大埕湾岸滩稳定分析及岸滩防护对策[J]. 台湾海峡, 2003, 22(4): 518-525.
- [15] DONG J T, LV C W. A Discussion on the plan for the rebuilding of the north-eastern shoal of Jiaozhou Bay[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1993, 11(4): 73-79. 董吉田, 吕常五. 胶州湾东北部岸滩改造方案的讨论[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(4): 73-79.
- [16] GENG B L, GAO F, WANG Y Z. Experimental study of basic hydraulic properties of sediment of bay renovation engineering works in Dalian Puwan New Area[J]. Journal of Sediment Research, 2013(2): 60-66. 耿宝磊, 高峰, 王元战. 大连普湾新区海湾整治工程泥沙基本水力特性试验研究[J]. 泥沙研究, 2013(2): 60-66.
- [17] ZHANG Z K. Discussion on development and protection of touring resources of china sandy beaches from beach nourishment engineering done for American east coast[J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(3): 23-27. 张振克. 美国东海岸海滩养护工程对中国砂质海滩旅游资源开发与保护的启示[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(3): 23-27.
- [18] WANG G L. The study of bay beach restoration and nourishment[D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2008. 王广禄. 海湾沙滩修复研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2008.
- [19] XU L H, LI J L, LI W F, et al. Progress in impact of human activities on coastal resource and environment[J]. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition), 2014, 37(3): 124. 徐谅慧, 李加林, 李伟芳, 等. 人类活动对海岸带资源环境的影响研究综述[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2014, 37(3): 124.
- [20] MIMURA N, SHIMIZU T, HORIKAWA K. Laboratory study on the influence of detached breakwater on coastal change[J]. Coastal Structure, 2010, 96: 740-752.
- [21] ZHANG Q F, BAI J, MA Y Y, et al. Research on the method for evaluating ecological restoration effect in the coastal zone of Tianjin [J]. Chinese Journal of Marine Environmental Science, 2019, 38(5): 782-789, 795. 张秋丰, 白洁, 马玉艳, 等. 天津海岸带生态修复效果评估方法研究[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(5): 782-789, 795.
- [22] ZHANG Y, LIU C A, SONG Y G, et al. The research for the effect evaluation method of the plant restoration in coastal wetland[J]. Chinese Journal of Marine Environmental Science, 2013, 32(4): 544-546. 张悦, 刘长安, 宋永刚, 等. 滨海湿地植物修复效果监测与评价方法研究[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(4): 544-546.
- [23] GUAN D M. Coastal wetlands in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012. 关道明. 中国滨海湿地[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [24] XU W, TAO A F, LIU J H, 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. 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.
- [25] PAN D, ZENG R. Preliminary study on the construction of urban ecological landscape coastal zone project: taking the planning of Hongsha ring seawall in the West Bay of Fangchenggang as an example[J]. China Forestry Science and Technology, 2014, 28(2): 135-138. 潘丹, 曾嵘. 城市生态景观型海堤岸带工程建设初探: 以防城港西湾红沙环海堤工程规划为例[J]. 林业科技开发, 2014, 28(2): 135-138.
- [26] FAN H Q, HE B Y, WANG X. The conception and practices of ecological sea dyke[J]. Guangxi Sciences, 2017, 24(5): 427-434, 440. 范航清, 何斌源, 王欣, 等. 生态海堤理念与实践[J]. 广西科学, 2017, 24(5): 427-434, 440.
- [27] LI H L, LI X N, HOU X M, et al. Technology of coastal ecological restoration; research progress and existing problems[J]. Urban environment & Urban Ecology, 2003, 16(6): 36-37. 李红柳, 李小宁, 侯晓珉, 等. 海岸带生态恢复技术研究现状及存在问题[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 36-37.
- [28] DONG W W, LIN G L, LIAN A J. The quality management of coastal resources and the countermeasures of coastal comprehensive improvement[J]. Ocean Development and Management, 2016, 33(9): 75-80. 董卫卫, 林桂兰, 蔺爱军. 海岸资源质量管理与海岸综合整治修复对策探讨[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(9): 75-80.
- [29] TANG Y Y, GAO Y, WU J C. Research on the influence factors and renovation restoration strategies of coastal habitats destruction[J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(9): 57-61. 唐迎迎, 高瑜, 毋瑾超, 等. 海岸带生境破坏影响因素及整治修复策略研究[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(9): 57-61.

Theoretical Research and Application of Artificial Coastal Ecological Restoration Based on Ecological Construction: a Case Study in Tianjin Yongding New River Estuary Comprehensive Rehabilitation Project

QIAO Yan-long^{1,2}, YIN Xiao-ya^{3,4}, ZHANG Zheng-xin⁵

(1. *Collage of Environment Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;*

2. *Tianjin Natural Resources Ecological Restoration and Renovation Center, Tianjin 300040, China;*

3. *Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin 300221, China;*

4. *Bohai Fisheries Research Center, China Academy of Aquatic Sciences, Tianjin 300221, China;*

5. *Tianjin Bohai Marine Monitoring and Surveillance Management Center, Tianjin 300480, China)*

Abstract: The problems present in construction of artificial coasts in the reclamation areas under the background of ecological civilization are analyzed. Some basic theories on the ecological construction, such as the technology for renovation and restoration of ecological shoreline, the design of imitated natural treatment, the landscape construction suitability and the sea-land integrated artificial coast ecosystem are summarized and put forward by combining with the spatial characteristics of the muddy artificial coasts. By taking the demonstration project of comprehensive renovation and restoration at the New Mouth of Yongding River in Tianjin City as the example, the key points of method and the specific ideas for the ecosystem and landscape constructions in the process of ecological construction of artificial coast are conducted. The results show that in the ecological construction of artificial coasts and the construction of ecological space, the dredging of banks and shoals and the imitated natural treatment can help to improve the ecological properties of artificial coasts; the improvement of soil salinization and the transplanting of saline-tolerant vegetations can promote the formation of multi-layered plant communities along the artificial coasts; the design of ecological corridors, the construction of ecological protection belts and the increase in numbers of marine organisms can help to build the ecological environment system of artificial coasts and to optimize the ecological landscape pattern of artificial coasts as well. The ecological construction of artificial coasts based on the idea of “land and sea coordination” can improve the stability and service functions of the artificial coast ecosystem and form a coastal ecological landscape with local characteristics. All these can provide scientific references for the ecological restoration of artificial coasts.

Key words: artificial coast; ecological construction; coast regulation and restoration; ecological restoration theory; land and sea coordination; Yongding New River Estuary

Received: July 1, 2020