

# 人工海岸生态化改造及修复效果评价指标体系研究

王文渊<sup>1</sup>, 徐长坤<sup>1</sup>, 孙家文<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;  
2. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116085)

**摘要:** 海岸作为海洋资源开发、沿海经济发展的重要支撑, 大量人口、产业向海岸带区域聚集, 高强度的人类活动导致海岸带环境日益恶化、自然岸线严重受损、海岸带资源锐减。海岸整治修复成为保护海岸带生态环境、恢复海岸带资源的重要技术手段。为评价人工海岸生态化改造及整治修复工作效果, 基于国内外学者对海岸生态修复的研究成果, 综合考虑生态指标、经济指标和功能指标三方面, 筛选出 50 项产出性指标构建人工海岸生态化改造及修复效果评价指标体系, 力求科学全面、客观合理地评价人工海岸整治修复效果, 为人工海岸生态化改造及整治修复工作的检查、考核以及验收提供参考依据。

**关键词:** 人工海岸; 生态化改造; 生态修复; 评价体系

**中图分类号:** P74; F205

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-3682(2020)01-0070-07

**doi:** 10.3969/j.issn.1002-3682.2020.01.008

**引用格式:** 王文渊, 徐长坤, 孙家文. 人工海岸生态化改造及修复效果评价指标体系研究[J]. 海岸工程, 2020, 39(1): 70-76. WANG W Y, XU C K, SUN J W. Study on evaluation index system of the effect of ecological transformation and restoration in the artificial coasts[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(1): 70-76.

我国作为一个海洋大国, 拥有丰富的海岸带资源。随着沿海经济快速发展, 大量人口、产业向海岸带区域聚集, 填海造陆、围塘养殖等人类活动造成岸线人工化日益严重, 自然岸线严重受损, 海岸带资源锐减。为恢复自然岸线及其生态服务功能, 2016 年以来国家安排资金近 50 亿元, 大力支持开展“蓝色海湾整治行动”等综合整治修复工作<sup>[1]</sup>, 对受损自然岸线进行生态化改造或修复。

在我国现行的标准体系中, 缺乏全面的评价指标体系科学评估人工岸线整治修复效果。这不仅难以指导监督海岸线保护利用、确保人工海岸整治修复工作取得实效, 也不利于海域内各级监管部门编制海岸整治修复规划和技术标准对海岸整治项目进行检查、考核以及验收。因此, 为有效判断人工海岸恢复到自然岸线所具有的生态功能的程度、客观合理评估人工海岸生态修复的效果, 构建科学客观、普遍适用的人工海岸生态修复效果评价指标体系, 为人工海岸生态整治修复效果的评价等相关研究工作提供合理参考和支持。

## 1 研究现状

随着大量修复工程的开展与实践, 仅完成对受损生态系统的修复工作已难以满足社会以及经济发展的需要, 对整治修复项目进行项目后评价工作显得尤为重要。为评价海岸生态修复效果, 国内外学者开展了大量研究, Longcore<sup>[2]</sup>提出评价修复工程的成功与否除了考虑植物的覆盖情况外, 当地节肢动物群落

收稿日期: 2019-10-29

资助项目: 国家重点研发计划资助项目——人工岸线生态化建设和改造的理论与技术研究(2019YFC1407705)

作者简介: 王文渊(1984-), 女, 副教授, 博士, 主要从事港口与近海工程规划及结构优化领域方面研究. E-mail: wangwenyuan@dlut.edu.cn

(王佳实 编辑)

的组成、多样性以及丰度对生态修复效果评价也很重要; Twilley 等<sup>[3]</sup> 通过利用水动力学、水体质量、景观变化、栖息地变化以及栖息地五个模块之间的相互影响构建海岸生态系统评估与恢复生态系统预测框架,并用于制定当地的海岸恢复计划; Jones 等<sup>[4]</sup> 从景观、岩土工程设计、环境和生态因素以及社会和经济因素出发来评价海岸的生态修复效果; 宁秋云等<sup>[5-6]</sup> 从生态状况、环境压力、工程管护、社会影响四个方面构建滨海植被生态修复工程效果评价体系; 段以隽<sup>[7]</sup> 从沙滩质量、景观环境、公共管理三个方面评估海州湾沙滩修复整治效果; 董月娥等<sup>[8]</sup> 综合考虑海岸人工建设特征、环境生态状况、生态修复措施的水平来评价人工海岸的生态化建设效果; Xie 等<sup>[9]</sup> 从淡水湿地面积、植被类型以及鸟类多样性方面来评价滨海湿地修复效果,并提出建立湿地资源定期监测机制有利于更好的评估修复效果; Lithgow 等<sup>[10]</sup> 从生态、地貌以及社会经济方面构建海岸沙丘恢复指数评价海岸沙丘恢复的必要性和可行性; 黄海萍等<sup>[11]</sup> 将环境质量、生物群落、景观格局作为一级指标来构建滨海湿地生态修复成效评估指标体系; Zhao 等<sup>[12]</sup> 通过文献综述,说明一个成功的滨海湿地修复效果评价体系应包括湿地生态系统的结构、功能、组成以及社会与自然的压力; Ma 等<sup>[13]</sup> 在考虑水动力条件、水质以及生物因素的基础上,建立以生态水文学为核心的海岸生态修复综合效果评价框; 王琪等<sup>[14]</sup> 强调改善和修复自然景观、恢复生态功能、提升防灾减灾能力以及提高岸线利用效率是判断海岸整治修复效果的基础; 张明慧等<sup>[15]</sup> 提出从工程质量到资源效益再到生态环境效益和社会经济效益的不同尺度构建综合评价体系更有利于评价海岸的整治修复工程; 张秋丰等<sup>[16]</sup> 的研究表明围填海造成的地形地貌以及水动力环境的改变,均会对近海海洋环境造成一定的影响; 杨蕙<sup>[17]</sup> 从空间规模、水动力条件、泥沙沉积、沉积物质量、水质环境、生物生态环境、景观环境、经济社会效益、资源指标九个方面评估海湾整治效果。

海岸带生态修复工作后评价也可借鉴海岸带健康状况的相关评价指标。韩春晓<sup>[18]</sup> 从海岸带环境质量、生物生态健康状况和社会经济状况来评估河北省海岸带生态系统健康状况; Ma 等<sup>[19]</sup> 应用多样性、物种生物量、丰度等不同层次的指标来评估海洋环境的生态健康状况; 刘宏伟<sup>[20]</sup> 基于近岸水体的污染因子、土壤潜水含水层的污染物以及围海造地对土壤理化性质的影响构建滨海地区人工岸带生态综合评价指标体系; 劳燕玲<sup>[21]</sup> 结合 PSR 框架模型,从资源、环境污染、人文社会指标、湿地景观特征指数、社会经济指标以及规划湿地保护区的面积等方面建立滨海生态评价体系。

目前,海岸整治修复效果的评价工作主要通过实地调研、现场观测、实时监测等方法对比分析修复工程开展前、后海岸生态系统结构组成以及社会、经济效果,同时考虑生态以及社会经济方面的投入与产出指标,构建海岸带整治修复效果评价指标体系。同时考虑投入与产出指标会造成选取的评价指标之间产生一定的相关性,这将会夸大或缩小某些指标的评价作用,使得评价结果不够准确。除此之外,一个健康的海岸除保证其生态系统的健康及其社会、经济效应,还应保证其结构及其功能的完整性。因此,本文基于已有研究,综合考虑生态、社会经济以及结构功能三方面的产出性指标构建评价指标体系,力求科学全面、客观合理地评价人工海岸整治修复效果。

## 2 评价指标体系构建

### 2.1 评价指标体系构建原则

在评价人工海岸生态修复效果时,评价指标的选取至关重要,指标的类别、数量、性质以及准确度都会对评价结果的客观性产生影响。所构建的评价指标体系不仅能客观科学的反应海岸带的特征及其生态修复的效果,还应当考虑现有的技术水平以及相关数据获取的难易程度等方面。因此,评价指标的选取应遵循以下原则:

1) 科学性。指标体系的构架以及指标的选取必须建立在科学的基础上,能客观真实地反映出海岸带生态环境、社会经济发展的特点。

2)全面性。所选取的指标要具有较强的系统性,所构建的指标体系要具有良好的层次性,从宏观到微观,层层细化,形成一个全面、不可分割的评价框架。选取定量与定性相结合的指标,为便于后续的数学计算与分析,可将定性指标量化,从而使构建的评价指标体系更加客观。

3)典型性。评价指标的选取要具有一定的代表性,尽可能准确反映出修复工程区域内的环境以及社会经济的综合特征,因此需要选取对海岸生态修复效果起主导作用的关键因子。

4)独立性。评价指标之间应相互独立,其含义不重叠,各自发挥效用。

5)可操作性。评价指标的选取应基于我国的现有技术水平,立足于可搜集、监测及统计加工的数据。

## 2.2 评价指标体系构建

基于已有研究,借鉴国内外海岸生态修复工程研究成果,遵循评价指标体系构建原则,本文构建包含目标层、系统层、要素层以及指标层四层评价指标体系,其中系统层主要由生态指标、经济指标和功能指标三者的产出性指标构成,评价指标体系见图 1。

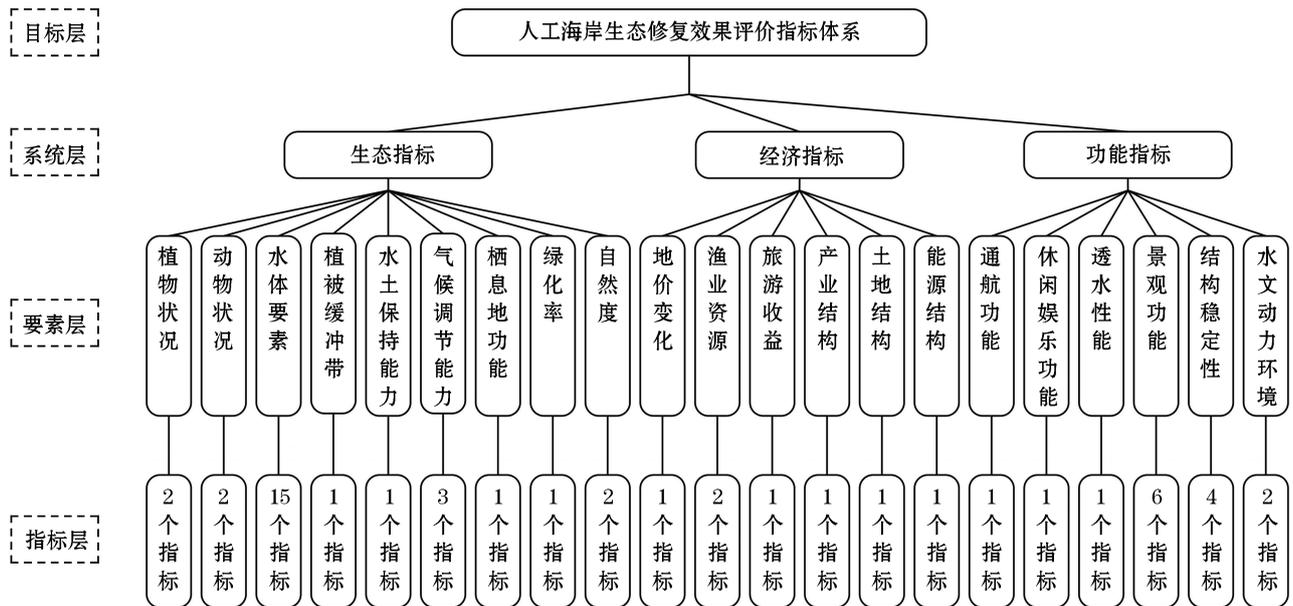


图 1 人工海岸生态修复效果评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system of the effect of ecological transformation and restoration in the artificial coasts

生态指标可以最直接地反映生态修复效果,从植被状况、动物状况、水体要素等 10 个方面筛选出 28 项可定量分析的指标构成生态指标(表 1)。其中水体要素相关指标占比较大。因为海岸作为陆地与水域的分界线,结合水体易被污染的特点,修复工程会对近海水域造成较大影响。因此,结合《海水水质标准》(GB/T 3097—1997)<sup>[22]</sup>,依据影响海水水质的项目,筛选水体要素评价指标,科学全面地评价人工海岸的生态修复效果。

经济指标从人工海岸周边经济发展出发,对受损人工海岸进行生态整治修复后,周边经济发展的波动程度用以反映修复工程的成功与否,主要表现在工程区域周边地价变化、渔业资源、旅游收入、产业结构变化以及土地和能源结构六个方面。基于上述 6 个方面,筛选出 7 项定量指标构成经济指标,如表 2 所示。

健康的海岸要保证其结构和功能的完整性,海岸修复不仅需要达到恢复受损的生态系统和带动周边经济发展的目标,还应保证工程区域内相关功能的完善以及水动力条件的改善,因此从通航功能、休闲娱乐功能、景观功能、水文动力条件等 6 个方面筛选出 15 项定量与定性相结合的指标构成功能指标,如表 3 所示。

表 1 人工海岸生态化改造及修复效果评价的生态指标

Table 1 The ecological index for evaluating the ecological transformation and restoration effect in the artificial coasts

要素层	指标层	指标含义
植被状况	植被丰富度	工程区域内植被种类数量
	植被覆盖度	单位面积内植物的垂直投影面积所占的百分比
动物状况	丰富度	动物种类数量
	分布状况	单位面积动物数量
水体要素	水体透明度	水体能使光线透过的程度
	水体色度	水体悬浮物被去除后,水体所呈现的颜色
	溶解含氧量	水体中的氧浓度
	化学需氧量(COD)	微生物在一定时间内分解水体中有机物所消耗的溶解氧的数量
	重金属含量	水体中各重金属浓度
	pH 值	水体酸碱度
	活性磷酸盐含量(以 P 计)	每升水样含 P 毫克数计量
	非离子氮和无机氮(以 N 计)	近岸海域海水主要污染物质,每升水样含 N 毫克数计量
	悬浮物	每升水样中悬浮物质含量
	总有机碳	水体中溶解性和悬浮性有机物含碳的总量
	漂浮物质	海面中的油膜、浮沫和其他漂浮物质
	色、臭、味	海水中的异色、异臭、异味
	病原体	对人和生物有害的微生物、寄生虫等病原体
植被缓冲带	水温	水体温度
	海水盐度	1 千克海水中的溴和碘全部被当量的氯置换,而且所有的碳酸盐都转换成氧化物之后,其所含的无机盐的克数
水土保持能力	海岸植被缓冲带宽度	从低水位到一定范围内的护坡顶后方除去部分坚硬、密封的路面,可供植物生长的面积的宽度
气候调节能力	水土流失强度	以土壤侵蚀模数表示单位面积和单位时段内土壤侵蚀量
	湿度	比较工程前后极端温度以及平均温度
	温度	比较工程前后的平均湿度等
栖息地功能	PM2.5	比较工程前后的 PM2.5 浓度
	生物繁殖能力	一定时间内的生物增长量
绿化率	绿化面积/总面积	工程区域内的绿化程度
自然度	自然度指数	人工海岸在受到外界干扰后保持自然状态的程度
	天然材料占比	护岸结构材料中天然材料的占比

表 2 人工海岸生态化改造及修复效果评价的经济指标

Table 2 The economic index for evaluating the ecological transformation and restoration effect in the artificial coasts

要素层	指标层	指标含义
地价变化	房地产价值	工程前后周边房地产价值的变化
渔业资源	渔获总量	一定区域内可获得渔获总量
	渔获种类	一定区域内的渔获物丰富度
旅游收益	居民收益	人均年收入
产业结构变化	各产业比例	农业、工业和服务业比例
土地结构	各用地类型比例	各种用地类型的占地面积比例
能源结构	各种能源使用比例	主要是清洁能源的占比

表3 人工海岸生态化改造及修复效果评价的功能指标

Table 3 The functional index for evaluating the ecological transformation and restoration effect in the artificial coasts

要素层	指标层	指标含义
通航功能	通航保证率	一年内能够通航的天数与全年天数的比值
休闲娱乐功能	亲水功能	每年参与亲水活动人次
透水性	渗透系数	景观水体与地下水进行交换循环的性能
景观性指标 <sup>[23]</sup>	景观类型和品类	一定区域内景观类型和景物品类的数量
	视觉协调性	景观与周围整体环境的视觉协调程度是否满足美学规律
	色彩层次感	绿化植物的色彩与植物的层次配合效果
	视觉环境阈值	受到人类干扰时,景观环境的抵御能力的大小
	视觉环境敏感度	人们对景观的注意程度
结构稳定性	景观舒适度	景观带给公众的舒适程度
	岸坡形态	岸坡倾角和岸坡高度
	基质类型	岸坡基质为基岩或土层
	抗蚀性	景观抗水体冲刷侵蚀的能力
水文动力环境	抗滑性	保持稳定抵御崩塌或是滑动的能力
	水体交换率	改善水体交换率
	流速	改善水体流速

### 3 结 语

本文基于国内外已有海岸生态整治修复效果的研究,从生态、经济以及结构功能与安全三方面筛选出50项定量与定性相结合的产出性指标,构建科学全面、客观合理的人工海岸生态化改造及修复效果评价指标体系,为人工海岸生态化改造及整治修复工作的检查、考核以及验收提供参考依据。

人工海岸生态化改造及修复作为时下热点工程,研究海岸整治修复效果评估机制更有利于海岸整治修复工程的开展。为更好地评价人工海岸生态修复效果,应建立完备的连续监测机制,实现动态评价,并考虑多学科交叉融合,结合工程实例,丰富评价指标,更加全面有效地评价生态修复效果,为指导综合型整治修复工作奠定理论基础。

#### 参考文献 (References):

- [1] “Blue Bay” regulation has evaluation index[EB/OL]. (2018-12-25)[2020-01-08]. [http://ocean.china.com.cn/2018-12/25/content\\_74310787.htm](http://ocean.china.com.cn/2018-12/25/content_74310787.htm). “蓝色海湾”整治有了评价指标[EB/OL]. (2018-12-25)[2020-01-08]. [http://ocean.china.com.cn/2018-12/25/content\\_74310787.htm](http://ocean.china.com.cn/2018-12/25/content_74310787.htm)
- [2] LONGCORE T. Terrestrial arthropods as indicators of ecological restoration success in coastal sage scrub (California, USA)[J]. Restoration Ecology, 2003, 11(4): 397-409.
- [3] TWILLEY R R, COUVILLION B R, HOSSAIN I, et al. Coastal Louisiana ecosystem assessment and restoration program: the role of ecosystem forecasting in evaluating restoration planning in the Mississippi River deltaic plain[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2008, 46: 29-46.
- [4] JONES K, PAN X, GARZA A, et al. Multi-level assessment of ecological coastal restoration in South Texas[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(4): 435-440.
- [5] NING Q Y, LI Y H, MO Z N, et al. The evaluation on the effect of marine saltmarsh ecological restoration projects in Zhushan, Guangxi

- [J]. Journal of Quanzhou Normal University, 2014, 32(6): 25-29. 宁秋云, 李英花, 莫珍妮, 等. 滨海盐沼生态修复工程效果评价——以广西竹山为例[J]. 泉州师范学院学报, 2014, 32(6): 25-29.
- [6] NING Q Y, QIN L Y, LI Y H, et al. Research of evaluating system for coastal vegetation ecological restoration project: a case study of Shijiao, Guangxi[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(7): 279-281. 宁秋云, 覃澍雁, 李英花, 等. 滨海植被生态修复工程效果评价研究——以广西石角为例[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(7): 279-281.
- [7] DUAN Y J. Research on the effect of beach restoration and regulation in Haizhou Bay[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2015. 段以隽. 海州湾沙滩修复整治效果研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2015.
- [8] DONG Y E, ZHANG J Y, TENG X, et al. Preliminary study on evaluation method of ecological construction effect of artificial coastline [J]. Ocean Development and Management, 2015, 32(11): 28-32. 董月娥, 张静怡, 滕欣, 等. 人工海岸的生态化建设效果评价方法初探 [J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(11): 28-32.
- [9] XIE Z L, DU Z, ZHANG H, et al. An assessment of the effect of abandoned coastal wetland restoration in China: achievements and lessons[C]//YARLAGADDA P. Advances in engineering research. Pairs: Atlantis Press, 2015: 544-559.
- [10] LITHGOW D, MARTÍNEZ M L, GALLEGO-FERNÁNDEZ J B. The “ReDune” index (Restoration of coastal Dunes Index) to assess the need and viability of coastal dune restoration[J]. Ecological Indicators, 2015, 49: 178-187.
- [11] HUANG H P, CHEN B, YU W W, et al. Evaluation of the coastal wetland restoration on Wuyuan Bay of Xiamen[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(4): 501-508. 黄海萍, 陈彬, 俞炜炜, 等. 厦门五缘湾滨海湿地生态恢复成效评估[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(4): 501-508.
- [12] ZHAO Q, BAI J, HUANG L, et al. A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration[J]. Ecological Indicators, 2016, 60: 442-452.
- [13] MA D, ZHANG L, FANG Q, et al. The cumulative effects assessment of a coastal ecological restoration project in China: an integrated perspective[J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 118(1-2): 254-260.
- [14] WANG Q, HAN Y, CHEN P X. Discussion on the evaluation standard of coast zone renovation[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(3): 12-19. 王琪, 韩宇, 陈培雄. 海岸带整治修复评价标准探索[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(3): 12-19.
- [15] ZHANG M H, SUN Z C, LIANG S X, et al. Progress of coastal environment repairing and cleaning engineering research and its prospect[J]. Marine Environment 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.
- [16] ZHANG Q F, JIN Y D, LI X B, et al. Progress in the impact of reclamation projects on offshore marine environment[J]. Advances in Marine Science, 2017, 35(4): 454-461. 张秋丰, 靳玉丹, 李希彬, 等. 围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(4): 454-461.
- [17] YANG H. Study on evaluation index system and evaluation method of comprehensive renovation[D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2017. 杨蕙. 海湾环境整治效果评价指标体系及评价方法的研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2017.
- [18] HAN C X. The study on coastal ecosystem health assessment in Hebei coastal zone[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2012. 韩春晓. 河北省海岸带生态系统健康评价研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2012.
- [19] MA C, ZHANG G Y, ZHANG X C, et al. Application of multiple indicators in environment evaluation of coastal restoration engineering: a case study in Bohai Bay in China[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 170-173: 2228-2232.
- [20] LIU H W. The study of ecological function evaluation and ecological construction on artificial coast in coastal region[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013. 刘宏伟. 滨海地区人工岸带生态功能评价与生态构建研究[D]. 天津: 天津大学, 2013.
- [21] LAO Y L. Research on ecological security evaluation of coastal wetland[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2013. 劳燕玲. 滨海湿地生态安全评价研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.
- [22] State Environmental Protection Administration. Sea water quality standard: GB/T 3097—1997[S]. Beijing: China Standards Press, 1997. 国家环境保护局. 海水水质标准: GB/T 3097—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [23] WANG J J. Research of urban river ecological bank: protection landscape establishment and estimation in Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016. 王菁菁. 杭州市城市河道生态护岸景观营造及评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

## Study on Evaluation Index System of the Effect of Ecological Transformation and Restoration in the Artificial Coasts

WANG Wen-yuan<sup>1</sup>, XU Chang-kun<sup>1</sup>, SUN Jia-wen<sup>2</sup>

(1. *State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;*

2. *National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116085, China*)

**Abstract:** Coast is an important support for the development of marine resources and coastal economy. However, the gathering of large numbers of people and industries and the high intensity of human activity in the coastal areas have caused the deterioration of coastal environment, the serious damage of natural shoreline and the sharp reduction of coastal resources. The regulation and restoration of coast zones have become important means for protecting the coastal ecological environment and restoring coastal resources. In order to do our best to evaluate the effect of ecological transformation and restoration in the artificial coast scientifically, comprehensively, objectively and reasonably, 50 output indexes are selected for constructing the evaluation index system based on the domestic and foreign research results of coastal ecological restoration and by taking ecological, economic and functional indexes into account. This study can provide a base and reference for the inspection, examination and acceptance of ecological transformation and restoration of artificial coasts.

**Key Words:** artificial coast; ecological transformation; ecological restoration; evaluation system

**Received:** October 29, 2019