

石岛湾海岸带保护修复工程岸滩稳定性评估

苏 梦, 陈海涛*, 姜源庆, 伯云台, 姜晓唯, 王雨晴

国家海洋局烟台海洋环境监测中心站, 山东 烟台

收稿日期: 2024年12月4日; 录用日期: 2025年1月10日; 发布日期: 2025年1月22日

摘 要

我国海岸带资源丰富, 整治修复海岸带的生态和社会效果日益显现。本文基于石岛湾海岸带保护修复工程, 对修复后的岸滩稳定性进行了评估。评估结果表明, 石岛湾北流口段沙滩修复工程的NBSI的值为3.94, 根据砂质海岸线的稳定性指数, 该区域的岸滩稳定性等级极高, 处于极稳定状态; 桃园村段沙滩修复工程的NBSI的值为3.1, 根据砂质海岸线的稳定性指数, 该区域的岸滩稳定性等级较高, 处于稳定状态。总体上来讲, 石岛湾海岸带保护修复工程的岸滩稳定性等级较高, 该工程的岸滩总体上处于稳定状态。

关键词

石岛湾海岸带, 保护修复, 岸滩稳定性, 评估

Assessment of Beach Stability of Shidao Bay Coastal Protection and Restoration Project

Meng Su, Haitao Chen*, Yuanqing Jiang, Yuntai Bo, Xiaowei Jiang, Yuqing Wang

Yantai Marine Environment Monitoring Central Station of State Oceanic Administration, Yantai Shandong

Received: Dec. 4th, 2024; accepted: Jan. 10th, 2025; published: Jan. 22nd, 2025

Abstract

China has abundant coastal resources, and the ecological and social effects of coastal remediation and restoration are increasingly evident. This article evaluates the stability of the restored beach based on the Shidao Bay coastal zone protection and restoration project. The evaluation results indicate that the NBSI value of the beach restoration project in the Beiliukou section of Shidao Bay is 3.94; according to the stability index of the sandy coastline, the stability level of the beach in this area is extremely high and in an extremely stable state; the NBSI value of the beach restoration project in Taoyuan section is 3.1, according to the stability index of the sandy coastline, the stability level of the beach in this area is relatively high and in a stable state. Overall, the stability level of the

*通讯作者。

Shidao Bay coastal zone protection and restoration project is relatively high, and the beach of the project is generally in a stable state.

Keywords

Shidao Bay Coastal Area, Protection and Restoration, Beach Stability, Assessment

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海岸带是以海岸线为基线分别向陆地和海洋延伸一定宽度的带状区域[1], 是自然环境中的重要组成部分, 为人类提供了丰富宝贵的资源。我国作为一个海洋大国, 拥有丰富的海岸带资源[2]。海岸线的变迁是海岸过程中的自然现象, 是海陆水动力、海岸泥沙运动及海岸地貌之间平衡制约的物理过程。若海岸的淤蚀进退影响国计民生的安全, 就构成了灾害[3]。随着海洋认识的不断加深, 人们对安全高质生活的需求日渐迫切, 近年来海洋生态修复受到空前关注[4]。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, 对受损自然岸线进行生态化改造或修复[2]。2017 年国家海洋局出台了《海岸线保护与利用管理办法》, 该管理办法是我国专门针对海岸线管理的首部规范性文件, 弥补了我国海岸线管理的空缺[5], 管理办法明确了编制海岸线整治修复规划, 制定海岸线整治修复技术标准等内容[6]。2018 年财政部印发了《海岛及海域保护资金管理办法》[7], 该管理办法明确了对海洋环境保护、入海污染物治理、修复整治、能力建设等项目提供资金支持。发达国家从 20 世纪初开始相关研究和实践, 荷兰通过采用“沙引擎”的软防护手段促进海滩泥沙的自然供给[8]。日本将原有堤坝和消波堤的线型防护方式与前海设施和沙滩相结合, 构建多层次防护, 保证海岸线防护可持续发展[9]。美国强调海岸防护项目的生态和社会双重弹性设计, 生态弹性上构建牡蛎礁/植被礁 + 海草床 + 沙丘系统 + 防护林带 + 湿地/滩涂 + 堤防多层次的防御体系[10]。

我国海岸带资源丰富, 整治修复海岸带的生态和社会效果日益显现。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手段[2]。作为岸线资源自然属性的关键因子, 岸滩稳定性(亦称岸线稳定性)是所有沿岸工程均需关注的基本问题[11]。威海市石岛湾海岸带保护修复项目是中央财政支持的海洋生态保护修复资金项目, 基于此本文对威海市石岛湾海岸带保护修复工程的岸滩稳定性进行了评估。

2. 工程概况

石岛湾海岸带保护和修复工程位于荣成市石岛湾海域, 修复范围从平面上分布为两段: 北流口岸段和桃园村岸段。针对项目区海岸带问题, 为有效防止石岛湾北流口沙滩等处的生态环境继续退化并有效降低海洋风暴灾害对滩后陆地的威胁, 通过拆除和修整不合理构筑物、补砂、辅助工程(丁坝、拦沙堤、潜堤)、植被修复等措施和手段, 保护和修复石岛湾北流口沙滩、石岛湾桃园村沙滩共计约 2.926 km, 恢复干滩面积约 0.2113 km², 具体修复内容见图 1。

2.1. 评估依据

由于岸滩稳定性受诸多因素影响, 如何定量评估进而预测岸滩稳定性存在一定难度[11]。根据《海岸



Figure 1. Revised remote sensing image
图 1. 修复后的遥感影像图

带生态减灾修复技术导则第 7 部分：砂质海岸》(T/CAOE 21.7-2020)的相关内容，基于项目实测数据和数值模拟数据，评估岸滩稳定性，分析其防灾减灾能力。

2.2. 指标体系

砂质海岸修复以生境修复为主，其稳定性是决定其生态功能的根本要素。《海岸带生态减灾修复技术导则第 7 部分：砂质海岸》(T/CAOE 21.7-2020)基于自然动力条件、海滩物理特征、海滩适应能力三个方面构建了养护海滩稳定指标体系，共包含 11 个指标，评估指标的释义及数据来源见表 1。

Table 1. Definition of indicators and data sources
表 1. 指标释义及数据来源

类别	序号	指标	指标释义	数据来源
海洋动力环境	1	波浪强度	反映作用于海滩的波浪能量高低，以近岸平均有效波高表示	波浪观测站或浮标
	2	风暴强度	反映风暴对海滩的影响，以历史记录最大波高表示	历史气象统计资料
	3	风暴频率	反映风暴作用频次，以多年平均有效风暴次数表示	历史气象统计资料
海滩物理特征	4	养滩长度	指养护海滩在沿岸方向上的长度	实地调查或影像
	5	填沙粒径	反映养护海滩沉积物粒径的粗细，以当前表层沉积物中值粒径与原滩或相邻海滩中值粒径之比表示	实地调查

续表

海滩适应能力	6	单宽补沙量	反映补沙强度，以单位长度海滩上的填沙体积表示	资料收集
	7	海滩平面形态	反映近岸波浪的折射过程以及海滩对波浪作用的暴露程度	实地调查或影像
	8	辅助构筑物	反映近岸构筑物对波浪的消减和折射过程，以及对沿岸输沙的拦截	实地调查或影像
	9	潮间带宽度	反映近岸波浪耗散的有效区间，以海滩沿岸方向上平均高潮位与平均低潮位之间的水平距离表示	实地调查
	10	干滩宽度	反映海滩抵抗侵蚀的能力，以后滨沙丘或海堤向海至平均大潮高潮线之间的水平距离表示	实地调查或影像
	11	侵蚀热点密度	反映海滩的局部侵蚀特征，以单位长度海滩上侵蚀热点个数表示	实地调查

按照养护海滩稳定性由高到低的顺序，将指标依次划分为极稳定、稳定、较稳定、不稳定和极不稳定 5 个等级，并分别赋值 5、4、3、2 和 1，见表 2。

Table 2. Classification table of stability assessment indicators for beach maintenance
表 2. 养护海滩稳定性评估指标分级表

序号	评估指标	描述	指标等级				
			5	4	3	2	1
1	波浪强度	有效波(m)	≤ 0.3	(0.3, 0.6]	(0.6, 0.9]	(0.9, 1.2]	> 1.2
2	风暴强度	历史记录最大波 (m)	≤ 5.0	(5.0, 6.0]	(6.0, 7.0]	(7.0, 9.0]	> 8.0
3	风暴频率	平均每年风暴个数 (次/yr)	≤ 0.5	(0.5, 1.0]	(1.0, 1.5]	(1.5, 2.0]	> 2.0
4	养滩长度	沿岸长度	≥ 2.0	[1.5, 2.0)	[1.0, 1.5)	[0.5, 1.0)	< 0.5
5	填沙粒径	客砂与原砂中值粒径之比	≥ 1.75	[1.5, 1.75)	[1.25, 1.5)	[1.0, 1.25)	< 1.0
6	单宽补沙量	单位长度海滩的补沙量(m ³ /m)	≥ 400	[300, 400)	[200, 300)	[100, 200)	< 100
7	海滩平面形态	平面形态	袋状	岬湾	弧形	平直	凸出
8	辅助构筑物	辅助构筑物的类型及相对位置	离岸堤 (S/L < 2)	下游丁坝	离岸堤 (S/L > 2)	中游丁坝	无
9	潮间带宽度	高潮与低潮之间的水平距离 (m)	≥ 80	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	< 20
10	干滩宽度	滩肩前缘滨沙丘或海堤之间的距离 (m)	≥ 80	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	< 20
11	侵蚀热点密度	单位长度海滩的侵蚀热点数量(个/km)	0	(0, 1.0]	(1.0, 2.0]	(2.0, 3.0]	> 3.0

2.3. 评估方法

各指标的权重见表 3。

Table 3. Weight of evaluation indicators for beach stability maintenance
表 3. 养护海滩稳定性评估指标权重

评估指标	波浪强度	风暴强度	风暴频率	养滩长度	相对粒径	单宽补沙量	平面形态	辅助构筑物	潮间带宽度	干滩宽度	侵蚀热点密度
指标权重	0.093	0.050	0.094	0.082	0.126	0.104	0.045	0.066	0.119	0.086	0.135

养护海滩稳定性评估采用加权求和的方法。根据表 3 指标分级方法确定各指标得分，结合表 3 中各指标相应的权重，采用加权求和的方法，计算养护海滩的稳定性指数计算公式如下：

$$NBSI = \sum_{i=1}^m (P_i \times w_i)$$

式中，

- m ——评估指标的个数；
- P_i ——单项指标的得分；
- w_i ——该指标对应的权重。

2.4. 评估结果

砂质海岸的稳定性评估结果分为五个等级，见表 4。

Table 4. Five level classification of stability index for sandy coasts
表 4. 砂质海岸稳定性指数五级分类

等级	极低	较低	中等	较高	极高
描述	极不稳定	不稳定	较稳定	稳定	极稳定
分级(NBSI)	1~2.41	2.41~2.92	2.92~3.08	3.08~3.59	3.59~5

3. 岸滩稳定性评估

3.1. 指标赋值

1) 波浪强度

根据我单位石岛海洋站近十年内部水文资料分析结果，石岛海域近年来波浪强度即有效波高的平均值为 0.483 m。根据表 2 (下同)，北流口段、桃源村段该项指标均赋值为 4。

2) 风暴强度

根据我单位石岛海洋站近十年内部水文资料分析结果，石岛海域历史记录最大波高为 7.5 m，出现于 2019 年。北流口段、桃源村段该项指标均赋值为 2。

3) 风暴频率

统计了我单位石岛海洋站近十年相关记载资料，石岛海域近十年的风暴个数平均值为 0.6 次/年。北流口段、桃源村段该项指标均赋值为 4。

4) 养滩长度

由石岛湾海岸带保护修复项目跟踪监测数据可知，北流口段养滩长度为 2.327 km，桃源村段养滩长度为 0.599 km。北流口段、桃源村段该项指标赋值分别为 5 和 2。

5) 填沙粒径

由项目跟踪监测数据可知，评估区域的填沙粒径(客砂与原砂中值粒径之比)为 1.5。北流口段、桃源村段该项指标均赋值为 4。

6) 单宽补沙量

由项目跟踪监测数据可知, 石岛湾北流口段和桃园村段的总体补沙量为 99.8 万方, 总体养滩长度为 2.926 km, 因此单位长度海滩的补沙量为 341 m³/m, 北流口段、桃源村段该项指标均赋值为 4。

7) 海滩平面形态

由项目遥感影像可知, 北流口段海滩平面形态为袋状, 该指标赋值为 5; 桃源村段海滩分为两部分, 左侧海滩平面形态为弧状, 右侧海滩平面形态为平直状态, 该指标赋值分别为 3 和 2, 在这里取其平均值 2.5。

8) 辅助构筑物

根据遥感影像及工程设计内容, 北流口段的辅助构筑物有离岸堤, 该构筑物离岸距离约 234 m, 堤长约 428.7 m, S/L 比值为 0.55, 该指标赋值为 5; 桃源村段无辅助构筑物, 因此不再对该指标进行赋值。

9) 潮间带宽度

由项目跟踪监测数据可知, 北流口段潮间带宽度平均值为 23 m, 该指标赋值为 2; 桃源村段潮间带宽度平均值为 42 m, 该指标赋值为 3。

10) 干滩宽度

由项目跟踪监测数据可知, 北流口段干滩宽度平均值为 83 m, 该指标赋值为 5; 桃源村段干滩宽度平均值为 28 m, 该指标赋值为 2。

11) 侵蚀热点密度

由项目跟踪监测数据可知, 修复区域的部分岸线存在侵蚀现象, 侵蚀热点密度均为 1, 但是岸线长度无变化, 该指标赋值为 4。

3.2. 评估结论

石岛湾海岸带岸滩稳定性结果如表 5 所示。经计算, 石岛湾北流口段沙滩修复工程的 NBSI 的值为 3.94, 根据砂质海岸线的稳定性指数, 该区域的岸滩稳定性等级极高, 该区域处于极稳定状态; 桃园村段沙滩修复工程的 NBSI 的值为 3.1, 根据砂质海岸线的稳定性指数, 该区域的岸滩稳定性等级为较高, 该区域处于稳定状态。总体上来讲, 石岛湾海岸带保护修复工程的岸滩稳定性等级较高, 该工程的岸滩总体上处于稳定状态。

Table 5. Beach stability assignment results
表 5. 岸滩稳定性赋值结果

序号	评估指标	北流口段				桃园村段			
		实测值	赋值	指标权重	加权结果	实测值	赋值	指标权重	加权结果
1	波浪强度	0.483 m	4	0.093	0.372	0.483 m	4	0.093	0.372
2	风暴强度	7.5 m	2	0.050	0.100	7.5 m	2	0.050	0.100
3	风暴频率	0.6次/年	4	0.094	0.376	0.6次/年	4	0.094	0.376
4	养滩长度	2.327 km	5	0.082	0.410	0.599 km	2	0.082	0.164
5	填沙粒径	1.5	4	0.126	0.504	1.5	4	0.126	0.504
6	单宽补沙量	341 m ³ /m	4	0.104	0.416	341 m ³ /m	4	0.104	0.416
7	海滩平面形态	袋状	5	0.045	0.225	弧状/平直	2.5	0.045	0.1125
8	辅助构筑物	S/L = 0.55	5	0.066	0.330	/	0	0.066	0
9	潮间带宽度	23 m	2	0.119	0.238	42 m	3	0.119	0.357

续表

10	干滩宽度	83 m	5	0.086	0.430	28 m	2	0.086	0.172
11	侵蚀热点密度	1	4	0.135	0.540	1	4	0.135	0.540
加权结果之和(NBSI)					3.94	3.1			

4. 结论与建议

我国海岸带资源丰富，整治修复海岸带的生态和社会效果日益显现。石岛湾海岸带保护修复是中央财政支持的海洋生态保护修复资金项目，是在统筹威海市域砂质海岸、河口、海湾、盐沼等多种典型生态环境状况基础上，针对现状较严峻、社会影响范围大、整治后效果突出的砂质海岸进行系统修复。修复后，经济效益和社会效益日益显现，根据调查，石岛湾海岸带保护修复项目实施后，石岛湾周边的旅游人次同比增长 17.46%，旅游收入同比增长 11.43%，投资项目新增 3 个，投资金额达 3000 万元。本文基于该修复项目，对修复区的岸滩稳定性进行了评估。经评估，修复区域岸滩稳定性总体等级较高，该工程的岸滩总体上处于稳定状态。但是海滩养护并非一劳永逸的一次性工程，由于海岸系统的复杂性和自然作用因素的多样性[12]，海岸带保护修复工程实施效果需要较长时间的监测与分析。管护机构应在管护期限内，应定期组织开展沙滩稳定性监测与评估，根据监测的实际情况来判断是否要对海滩进行维护，从而保证海滩寿命。

基金项目

中国海洋发展基金会项目。

参考文献

[1] 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.

[2] 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.

[3] 庄振业, 杨燕雄, 刘会欣. 环渤海砂质岸侵蚀和海滩养护[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(2): 1-9.

[4] 孙倩文, 熊兰兰, 李红亮. 广东省海洋生态修复现状研究[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(9): 117-119.

[5] 潘新春, 杨亮. 实行海岸线分类保护 维护海岸带生态功能——《海岸线保护与利用管理办法》解读[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(6): 3-6.

[6] 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.

[7] 田亦尧, 万韵竹. 国土空间治理现代化视域下陆海统筹的立法检视与制度建构[J]. 理论与现代化, 2024(1): 53-64.

[8] Stive, M.J.F., Schipper, M., Luijendijk, A.P., et al. (2013) A New Alternative to Saving Our Beaches from Sea-Level Rise: The Sand Engine. *Journal of Coastal Research*, **29**, 1001-1008.
<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00070.1>

[9] 冯哲, 邵铁政, 李元青, 等. 基于自然的解决方案(NBS)在海口西海岸修复工程中的应用创新[J]. 水运工程, 2022(S1): 13-20+30.

[10] McIvor, A.L., Möller, I., Spencer, T., et al. (2012) Reduction of Wind and Swell Waves by Mangroves. *CFA Newsletter*, **86**, 414-424.

[11] 熊海滨, 谭政, 胡小龙, 等. 长江中游典型河段岸滩稳定性评价研究[J]. 人民长江, 2023, 54(8): 46-53.

[12] 朱嘉, 刘建辉, 蔡晓琼. 珠江口外伶仃岛海滩修复研究[J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(11): 36-40.