我国海滩养护效果评价的现状分析与应用展望

邵 超，唐迎迎*，孙 伟，王建庆，潘廷耀

（宁波海洋研究院，浙江 宁波 315832）

摘 要：21 世纪以来，海滩养护工程在我国许多滨海旅游城市纷纷开展，养护后的效果评价工作应运而生。通过分析文献资料和统计数据，总结了近 10 a 来我国海滩养护效果评价的发展现状，针对现阶段存在的问题提出了对策建议。研究发现：我国养滩效果评价工作在 2010 年之前仍停留在理论研究阶段，在评价尺度、评价因素和监测方式三个方面具有明显的早期发展特征；近 5 a 来国内学者开展的养滩效果评价指标体系研究，呈现出评价层级逐渐明晰、评价指标逐渐细化、评价内容逐渐完善的发展趋势。以现状分析为基础，本文提出了我国目前海滩养护效果评价在研究与实践中存在的 3 个问题及对策建议，并在此基础上对其未来的应用进行了展望。

关键词：海滩养护；效果评价；后监测；发展现状；应用展望

中图分类号：P753 **文献标志码：**A **文章编号：**1002-3682(2023)01-0075-13

doi: 10.12362/j.issn.1002-3682.20211227001

引用格式：邵超，唐迎迎，孙伟，等. 我国海滩养护效果评价的现状分析与应用展望[J]. 海岸工程，2023，42(1)：75-87. SHAO C, TANG Y Y, SUN W, et al. Current situation and application prospect of beach nourishment evaluation in China[J]. Coastal Engineering, 2023, 42(1)：75-87.

海岸带是陆海相互作用的重要区域，蕴藏有丰富的自然资源，也是人类活动最为活跃和频繁的特殊地带。目前，海岸侵蚀已成为世界性灾害之一，许多海滩和沿岸建筑遭受严重破坏[1]。海滩养护是向受侵蚀的岸段利用人工或机械将异地的泥沙进行抛填[2]，在短时间内迅速展宽海滩，促进海滩稳定，恢复和优化海滩自然环境[3]。自 20 世纪初至今，西方发达国家对海滩养护进行了全面而细致的研究，已形成了较为成熟的养滩理论，并广泛应用于海岸防护和海滩保护[4-6]。21 世纪以来，海滩养护技术开始在我国得到应用并迅速发展[7]。2010—2019 年间我国沙滩修复工程由 16 项增至 97 项，近 5 a 填沙量预计达 1.2×10^7 m^3[8]。大规模的养滩工程不仅有效保护海岸免遭侵蚀，降低了飓风带来的海岸带风暴潮灾害，而且在改善海岸环境与发展滨海生态旅游方面作出了重大贡献[9]。

海滩养护效果评价，即结合国内外现有的沙滩质量评价指标体系以及项目自身的侧重点，依靠完整的历史资料和监测数据量化及预测养滩作用，系统全面地评估项目实施效果和完成情况，针对工程实施后存在的问题对工程项目进行分析论证，提出改善方案和措施。纵观近 20 a 来发达国家的海滩养护工程，一个显著特征是海滩养护与监测评估密切结合，相互促进。国外学者从生物栖息环境、滩面形态、沉积物粒度、波浪特征等方面开展养滩效果评价，或发现潜在风险和负面影响，或总结经验和优秀案例，作为后续借鉴[10-15]。目前，我国海滩养护研究主要集中在海滩养护方案设计及施工阶段，对海滩养护工程的效果评价处于起步阶段，近年来虽已取得了长足的进展，但仍缺乏科学系统且长期全面的后监测，导致在实际养滩成效评估中，要获取作为评价参数计算

收稿日期：2021-12-27

资助项目：宁波海洋研究院 2018 年院级项目(18035)

作者简介：邵 超(1990—)，女，硕士研究生，主要从事海岸动力地貌、海洋资源保护与生态修复等方面研究. E-mail：bukeneng711@126.com

*** 通信作者：**唐迎迎(1982—)，女，高级工程师，主要从事海洋资源与环境方面研究. E-mail：Tangyy@nbio.org.cn

（陈 靖 编辑）

的监测数据仍存在较大难度[16-18]。

为了更好地认识海滩养护效果评价的应用情况，本文回顾了基于后监测的海滩养护效果评价的发展历程，总结了我国的海滩养护效果评价实践，分析了目前我国养滩效果评价的发展特征及指标体系研究趋势，提出了存在的问题及对策建议，并在此基础上对其未来的应用进行了展望。

1 我国海滩养护工程概况

我国最早的人工海滩实践始于 20 世纪 90 年代的香港浅水湾[19]，此前我国主要采取硬式结构防护工程应对海岸侵蚀。2007 年，作为内地第一个具有规模的海滩养护工程，厦门观音山海滩顺利完工[20]。21 世纪以来，面临中国沿海砂质海滩侵蚀退化严重和滨海沙滩旅游需求日益旺盛的双重挑战，海滩养护工程在许多滨海旅游城市纷纷开展，以秦皇岛、厦门、珠海等城市最为集中。

截至 2021 年 4 月，我国已完成的海滩养护工程共有 100 余项，位于全国 35 个城市(图 1)，养护岸线总长度超过 130 km，累计填沙量 2.5×10^7 m^3，总投资超过 2.3×10^5 万元[8,18,21]。1990—2005 年，我国海滩养护工程处于探索尝试期，15 a 间仅开展过 7 次实践，填沙方量合计约 8×10^5 m^3；2005 年以后进入快速发展期，近 16 a 来共完成海滩养护工程 96 个，填沙方量合计约 2.3×10^7 m^3，超过累计总填沙量的 96%(图 2)。基于我国海岸特有的地貌形态和动力条件，我国海滩养护呈现出不同于其他国家的特征，包括养护的目的、性质及形态 3 个方面(表 1)，整体表现出以滨海旅游为主导、修复和新建并行、岬湾形态占比高的特点[8]。

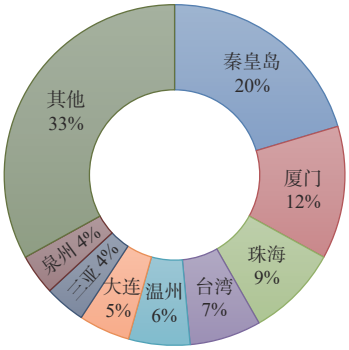
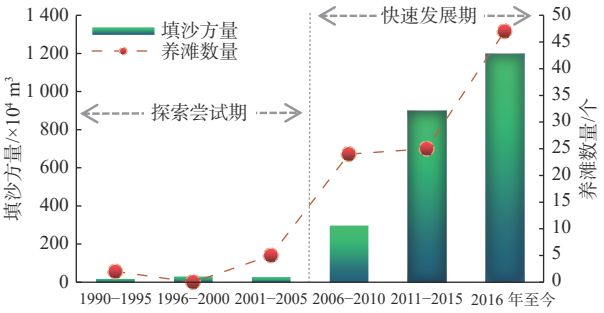


图 1 我国海滩养护工程分布

Fig. 1 Distribution of beach nourishment projects in China



注：数据来源于文献 [8、18、21]。

图 2 我国海滩养护规模的发展趋势

Fig. 2 Development trends of beach nourishment scale in China

表 1 我国海滩养护主要特征

Table 1 Main characteristics of beach nourishment effect evaluation in China

海滩养护工程主要目的		修复海滩性质		修复海滩形态	
类型	百分比/%	类型	百分比/%	类型	百分比/%
修复滨海旅游沙滩	58	受损海滩修复	58	岬湾	47
改善海岸生态环境和景观	34	人工沙滩新建	42	弧形	30
海岸防护	8	—	—	平直	19
—	—	—	—	凸出	4

注：数据来源于文献 [8]；—表示无数据。

2　我国海滩养护效果评价发展现状

2.1　基本情况

与美国、荷兰、丹麦等西方国家相比，我国海滩养护工程效果评价的起步较晚[22]，养滩工程后少有监测工作，工程的效果评价更为少见。国内，该类工程后评价工作始于 20 世纪 80 年代中后期[23]，真正意义上的养滩效果评价开展于 21 世纪 10 年代，为了量化养滩工程的作用以及评价养滩功效和寿命，基于沉积物和岸滩地形的后监测工作得以开始在中国开展[24]。我国主要海滩养护后监测与效果评价实践总结见表 2。

目前，我国养滩效果评价处于初期探索阶段。2010 年前，此领域研究未有实践案例；2010 年以来，随着我国海滩养护技术的快速发展和海滩工程数量的日益增多，海滩养护效果评价工作才在我国逐渐开展。专家学者结合工程的实际开展情况，尝试探索不同的养滩效果评价方式方法，不断调整和改进评价的范围、内容及标准。

表 2　全国主要海滩养护效果评价应用

Table 2　Summary of the beach nourishment effect evaluation in China

工程名称	评价指标		计算方法	完成时间	评价年份	文献来源
秦皇岛北戴河西海滩六九浴场	填沙区沉积物粒度特征及输运趋势		—	2008 年 6 月	2010	文献 [25]
	海滩近岸地形及表层沉积物演化特征		—		2013	文献 [26]
	效率系数		抛沙前后滩肩宽度之比，比率愈高，养滩效果愈好		2014	文献 [24]
	保存系数		抛沙后残留抛沙量与工程实际抛沙量之比			
	养滩寿命		从抛沙到残留下一半沙的时间			
秦皇岛北戴河西海滩	技术指标	与相关规划一致性	$\mathrm{CEI}=\sum_{i=1}^{N}(I_iW_i)$	2011 年 4 月	2016	文献 [23]
		工程组合结构				
	环境指标	沙滩物质成分				
		沙滩宽度				
		沙滩评价坡度				
		沙滩损失率				
		沿岸流强弱				
		水质				
秦皇岛北戴河中海滩 A 浴场	抛沙区沉积物粒度特征、搬运方式及输运趋势		—	一期 2009 年 5 月	2013	文献 [27]
	剖面高程、岸线位置、单宽体积、填沙体积		—	二期 2013 年 6 月	2014	文献 [28]
厦门国际会议展览中心海滩	滩肩宽度、前滨坡度、单宽留存沙量		—	2012 年 11 月	2013	文献 [29]
厦门香山-长尾礁海滩	海滩剖面主要模态的特征向量方差贡献率、空间振幅和时间振幅、沉积物粒径、滩面坡度		—	2009 年 4 月	2015	文献 [30]

续表

工程名称	评价指标		计算方法	完成时间	评价年份	文献来源
连云港海州湾西墅海滩	沙滩质量	沙滩长度、沙滩宽度、沉积物粒径和分选程度、侵蚀或淤积情况、滩面有无砾石、有无滩肩、后滨状态	—	2014 年 6 月	2015	文献 [31]
	景观环境	海水水质、排污形迹、环境洁净度、景观				
	公共管理	交通、公共管理、公共设施、人为扰动				
潍坊人工沙滩	剖面特征值、贡献率、空间和时间特征函数		$\mathrm{CEI}=\sum_{i=1}^{N}(I_iW_i)$ $X_t=\sum_{k=1}^{K}\alpha_k(t)\cdot V_k$	2013 年 5 月	2016	文献 [32]
葫芦岛绥中天龙寺海滩	修复效果	沙滩颗粒改良状况	$E_j=\sum_{i=1}^{n}Y_{ij}/n$ $b=w^t\times e$	2012 年	2017	文献 [33]
		岸滩地形改良状况				
		修复效果				
		沙滩岸线修复长度				
		沙滩扩增面积				
	环境效益	水质质量改善状况				
		沉积物质量改善状况				
		海岸环境改善状况				
		景观融合状况				
	调控能力	沙滩自我修复能力				
		灾害抵御能力				
	社会效益	对区域发展贡献				
		对本地居民的影响				
		项目推广性				
秦皇岛浪淘沙浴场	岸线后退速率		单位时间(a)内岸线的后退距离(m)	2013 年 5 月	2017	文献 [34]
	海滩宽度侵蚀模数		单位时间(a)内海滩蚀退宽度占整个海滩宽度的百分比			
	沙滩面积系数		$C_{\mathrm{Sand}}=\sum_{j=1}^{m}a_jb_j/\sum_{i=1}^{n}a_{i0}b_{i0}$	2015 年	2017	文献 [35]
	适宜游乐区系数		$C_{\mathrm{B}}=\sum_{j=1}^{m}A_j/\sum_{i=1}^{n}A_{i0}$			

续表

工程名称	评价指标		计算方法	完成时间	评价年份	文献来源
营口月亮湾沙滩	自然环境效果 B1	海岸地形坡度 D1 潮流速度 D2 波浪强度 D3 水环境质量指数 D4	$X_A=\sum_{i=1}^{4}B_i\sum_{j=1}^{13}C_j\sum_{Z=1}^{17}D_zu_z$	2016 年	2019	文献 [36]
	景观生态效果 B2	景观丰富度指数 D5 景观多样性指数 D6 景观破碎化指数 D7 景观主体度指数 D8				
	沙滩资源效果 B3	沙滩面积指数 D9 潮滩游乐指数 D10 沙滩底质指数 D11 潮滩侵淤指数 D12				
	社会经济效果 B4	最大日游客量 D13 年游客量 D14 旅游收益 D15 旅游贡献 D16 公众满意度 D17				
温州东岙湾沙滩	2 个目标层、8 个要素层	16 个指标因子：海水水质达标率、海洋沉积物达标率、自然与修复岸线保有率、植被覆盖率、海滩垃圾密度、废弃构筑物、自然景观、人文景观、海域生物多样性、潮间带生物多样性、群众满意度、品牌建设与宣传、规划管理与制度建设、服务保障能力建设、生态损害情况、生态灾害情况	$\mathrm{BBI}=\frac{1}{16}\sum_{i=1}^{16}E_{C_i}$ $\beta=\mathrm{BBI}_{后}-\mathrm{BBI}_{前}$	2018 年 7 月	2020	文献 [37]

注：该表数据为不完全统计，—表示无数据。

据不完全统计，2010—2020 年间我国共开展海滩养护效果评价实践 15 例（表 2），平均每年不到 2 例，位于全国 7 个城市，多数集中在秦皇岛和厦门两个城市，其他城市鲜有分布。尽管我国的养滩效果评价研究已得到应用，但 2015 年前仅为养滩工程实施效果的简单评价，2015 年以来共有 6 例应用成果建立了养滩效果评价指标体系并通过计算获取评价结果，不到总应用数量的一半（图 3）。

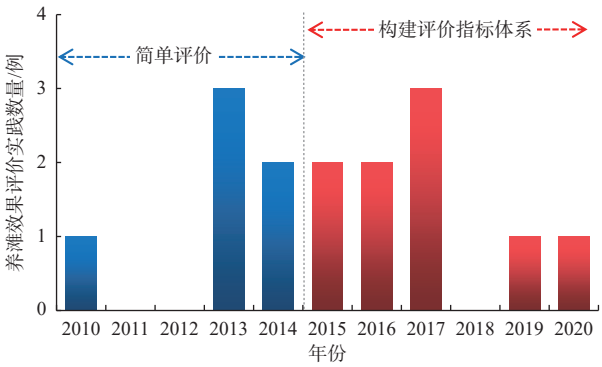


图 3 我国养滩效果评价应用情况

Fig. 3 Application of the beach nourishment effect evaluation in China

2.2 评价特征

我国海滩养护具有起步晚、发展快、类型多样的特点。基于我国复杂的海岸环境，国内学者集中攻关，已形成了诸如海滩质量评价与分级、海滩养护与修复技术指南、中国海滩养护技术手册、海滩养护与修复工程验收技术方法等成熟的理论技术体系[18]，但涉及养护后定期监测与效果评价的工作较少。目前我国的海滩养护效果评价方面的实践不多，呈现出一些明显不同于西方国家的早期特征，主要表现在评价尺度、评价因素、监测方式三个方面。

2.2.1 评价尺度

海滩养护效果评价实践中的评价尺度包括空间尺度和时间尺度。在空间上，评价的范围应覆盖工程区域并根据不同的评价目的适当向陆海两侧延伸，确保从海滩形态、海水水质、滨海景观、生态保护等方面进行综合评价；在时间上，长期后监测结果比短期监测更具参考意义，长时间定期监测和维护能保证人工沙滩正常发挥其使用功能、达到综合治理效果。根据评价尺度对目前表 2 中 15 例已开展的养滩效果评价应用进行分析统计。结果表明，73% 的养滩效果评价范围仅覆盖海滩自身区域，养滩后开展过定期后监测的占比较高，但后监测时间跨度超过 2 a 的仅占比 26%（图 4）。这表明目前我国海滩养护效果的评价范围在空间上仅关注海滩本身，在时间上养护后监测周期较短，反映出海滩养护效果评价工作仍处于初期阶段，各方面局限性较大。

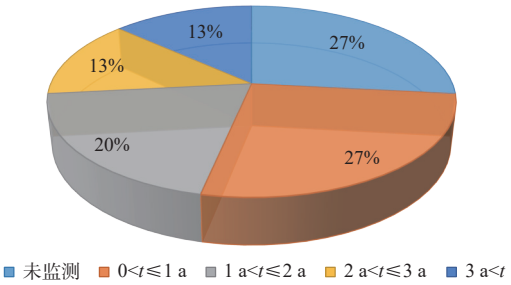


图 4 我国养滩效果评价中后监测时间占比情况

Fig. 4 The proportion of post-monitoring time in the beach nourishment effect evaluation in China

2.2.2 评价因素

海滩养护效果评价实践中的评价因素应根据整治内容及修复目的，从生态效益、社会效益和经济效益等多方面对工程实施效果进行评估，并与设计方案中的预期效果进行比较，建立综合评价指标体系，全面系统地评估工程完成情况。在评价因素考虑方面，按照仅考虑海滩本身和全面综合考虑两种类型（图 5），对上述 15 例已开展的养滩效果评价应用进行分类，发现局限于海滩本

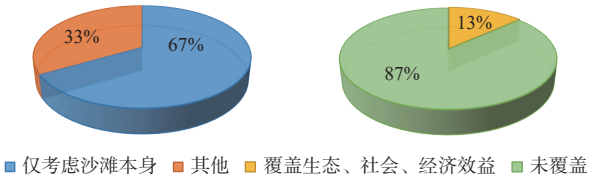


图 5 我国养滩效果评价因素

Fig. 5 Factors of the beach nourishment effect evaluation in China

身的实践占比达 67%，评价因素涵盖生态、经济和社会效益的仅占 13%。表明我国已有的养滩效果评价，大部分集中于海滩本身，仅从沉积物和岸滩地形两方面来分析海滩养护效果，评价因子的选取主要关注剖面形态、表层沉积物粒径、岸线侵蚀等海滩本身因素，少有涉及对海滩养护带来的周边环境、经济、人文等方面的影响评价，不符合“陆海统筹”“国土空间一体化”等现代生态文明治理理念。

2.2.3　监测方式

海滩养护效果评价实践中的评价方法不尽相同，主要表现为监测方式与量化方法不同。目前，我国海滩养护效果评价中应用的后期监测方式包括海滩和近岸剖面监测、沉积物变化监测、水动力环境监测、水质监测、潮间带底栖生物监测、现场调查估算、数据收集测算和公众问卷调查等[38]。对上述 15 例海滩养护效果评价应用的监测方式进行统计，结果表明应用最广的为岸滩与海滩形态周期性定位监测[24]、海滩表层沉积物采样分析[25,27] 和海岸空间信息遥感影像提取[35] 三种，在所有实践案例的占比分别为 87%、60% 和 27%（图 6，表 3）。这不仅取决于效果评价中指标体系建立时评价因子的选取，也与海岸带调查监测技术的成熟程度有关。

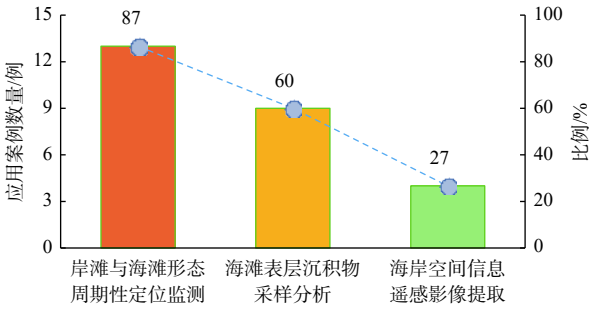


图 6　我国海滩养护后监测方式应用

Fig. 6　Application of post-monitoring methods in the beach nourishment effect evaluation in China

表 3　我国海滩养护主要后监测方式

Table 3　Main methods for post-monitoring in the beach nourishment effect evaluation in China

工程性质	监测过程	计算参数	评估标准	评估目的
岸滩与海滩形态周期性定位监测	在养护海滩的适当位置布设常规监测剖面，对养护后海滩的横向及纵向形态进行监测，使用 RTK、GPS 和相关程序包，计算海滩地貌演变参数	海滩岸线、单宽沙量、滩肩宽度、前滨坡度、后滨高度等	效率系数、保存系数、改变系数等	养滩功效和养滩寿命
海滩表层沉积物采样分析	对养滩前后不同时期养护区内外表层沉积物进行粒度测试，获得沉积物粒度参数，并结合 Gao-Collins 粒径趋势模型判别沉积物输运趋势	中值粒径、平均粒径、分选系数、偏态系数、峰态系数等	沉积物的粒度变化、输运变化，对养护区外沉积物的影响等	沙源合理性
海岸空间信息遥感影像提取	对覆盖研究区域的多期卫星遥感影像进行预处理实现空间分辨率统一，对海岸景观特征进行地面勘查，结合影像地物特征将地表景观类型进行划分并提取信息，建立海岸景观特征库	景观丰富度、景观多样性、景观破碎化、景观主体度等	海岸景观格局改变程度和美化情况	海岸空间整治效果

2.3　指标体系构建趋势

近 5 a 来，国内学者不断开展海滩养护效果评价指标体系研究，包括“海岸带整治修复评价标准”“砂质海岸整治修复效果评价指标体系”“人工海岸生态修复效果评价指标体系”“蓝色海湾指数评估体系”等[39-41]（表 4），目前已基本形成了较为一致的评价流程。在海滩养护后分别开展沙滩资源、自

然环境、景观生态、防灾减灾等调查与监测，并收集与监测同期的社会经济、功能融合等资料，通过计算分析提炼各评价指标，利用层次分析法“自上而下”建立综合评价体系，再根据单因子指标数值“自下而上”计算综合评价指数，而后对综合指数进行分级量化，以实现海滩养护效果评价。

表 4 我国海滩养护效果主要评价指标体系

Table 4 The index system of the beach nourishment effect evaluation in China

评价体系	层级	模块	指标数量/个	研究时间	是否应用	参考文献
海岸带整治修复评价标准	4 级	4 个：自然景观、生态功能、防灾减灾、利用效率	23	2017 年	否	文献 [40]
砂质海岸整治修复效果评价指标体系	4 级	4 个：自然环境、景观生态、沙滩资源、社会经济	17	2019 年	是	文献 [36]
人工海岸生态修复效果评价指标体系	4 级	3 个：生态、经济、功能	50	2020 年	否	文献 [41]
蓝色海湾指数评估体系	4 级	8 个：水清、岸绿、滩净、湾美、物丰、人和、管理保障、约束	16	2020 年	是	文献 [37]

分析近几年的海滩养护评价指标体系构建的研究成果，可知总体上呈现出“3 个逐渐”的发展趋势：①评价层级逐渐明晰，构建了包含目标层、模块层、因素层以及指标层四级评价指标体系，其中目标层表示指标体系建立的评价目标，模块层表示达成目标的中间途径，而因素层和指标层为获取评价指数的解决措施和计算参数(图 7)；②评价指标逐渐细化，尤其是除沙滩资源以外的自然环境、景观生态等方面，从简单的环境洁净度、景观融合状况等概括性指标变为海域生物多样性、海滩垃圾密度、废弃构筑物、景观丰富度和景观多样性等具体的可计算指标，反映的是一种逐渐细化的过程；③评价内容逐渐完善，近几年应用的养滩效果评价指标，虽然在数量和具体计算方式上有所不同，但均考虑了生态、经济和社会效益等多方面因素，体现了从地貌系统到生态系统再到社会系统的转变。

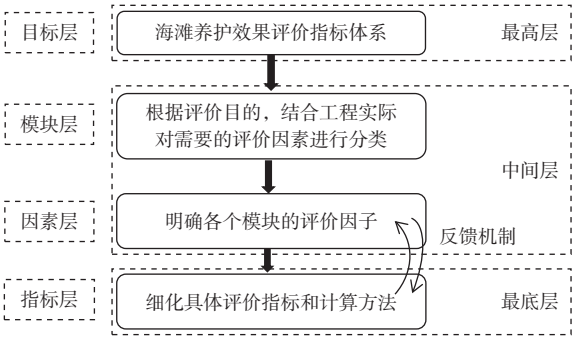


图 7 我国海滩养护效果评价指标体系

Fig. 7 Establishment of evaluation index system of beach nourishment in China

3 存在问题及对策建议

目前，我国海滩养护工程的效果评价工作仍处于刚刚起步阶段，各项规章制度尚未完善，通过近 10 余年来的研究与实践，在评价体系构建上虽已呈现出“3 个逐渐”的向好趋势，但总体上养滩评价工作仍存在着“3 个缺乏”的问题，亟待进一步完善和改进。

3.1 缺乏统一的评价标准

2018 年至今，自然资源部相继发布了《海滩质量评价与分级》《海滩养护与修复技术指南》《海滩养护与修复工程验收技术方法》等海洋行业标准[38,42-43]，对海滩的现状质量评价，养滩后海滩资源和海洋环境的后监测，以及工程完工后验收的内容、技术要求、程序和评定等进行了明确。然而，不同的海滩养护工程有不同的设计目标，导致效果评价时所考虑的评价因素会有所不同，

相应的评价指标始终无法统一。缺乏统一的评价标准，难以判断养护岸段是否达到预期的修复效果，是否对其他养滩工作具有指导和借鉴意义，这不利于上级海洋主管部门对任务目标的考核控制，也不利于建立周期性工程后监测的长效机制。

综上所述，目前我国海滩养护工程的目的主要分为修复滨海旅游沙滩、改善海岸生态环境和景观、海岸防护三类。因此，为了保证评价标准具有普遍适用性，可以采用 3 种目标拼接的方式[40]，每种目标分区域建立相对统一的评价标准，涉及的内容应与先行国家行业规范和标准保持一致。在实际评价中根据工程的实际内容，对各目标占比进行赋值后，采用 4 级评价指标体系计算综合评价指数，作为未来养滩效果评价工作的理论依据。

3.2　缺乏长期的后监测数据

受波浪、潮位等水动力环境影响，养滩后海岸带新形成的沙滩会重新形成一个新的平衡状态。而在这个过程中，海滩沉积物和岸滩形态等沙滩资源特征会随之改变，从而对工程所在区域的自然环境、景观生态、人文经济等产生一定影响。因此，在适当时间和位置部署周期性工程监测计划是十分必要的。然而，我国现有的很多养滩工程，完工后并未开展后监测工作，导致很多评价参数在计算时缺乏相应的监测数据，这可能成为养滩效果评价工作的重大阻碍。同时，即使开展过后监测的养滩工程，其持续时间大多也不超过 2 a，长时间序列监测数据的缺乏导致无法了解养护海滩变化的真正原因，尤其是工程效果与设计不符时，难以量化及评估工程的实施效果。

对于海滩养护后监测工作，除了依靠建设单位自发组织，也可借助国土空间大数据体系构建的良好契机，来实现长期监测工作的自动化、信息化和智能化，以丰富我国的海岸带监测内容。同时地方政府和海洋主管部门应加强陆海统筹，建立信息共享机制，简化监测数据的获取途径；细化监测方案、规范监测行为，逐步完善海岸带整治修复工程的后监测管理与监督体制。获取长期的后监测数据、实现数字赋能，为养滩效果评价以及养滩后长期维护提供重要的参考依据。

3.3　缺乏系统性的全面考量

由于不同海岸环境下的养滩影响因素不同，养滩工程的效果评价工作存在一定的复杂性。评价因素多种多样，一方面受研究者知识背景的影响，难免会在评价等级的分级和评价指标的选取上存在一定片面性，缺乏系统全面的考量；另一方面由于不同监测方式的技术成熟程度不同，部分评价因素的监测可能难以操作，导致养滩后监测无法面面俱到。

海滩养护效果评价指标体系的建立是一项系统工作，在今后的工作中，需要相关学者进一步研究探讨。根据确定的工程预期目的，确定养滩评价需要考虑的主要因素，原则上应从海滩养护带来的周边环境、经济、人文等方面的影响进行综合考虑，涵盖自然、生态、经济和社会各方面，而不局限于海滩本身，筛选出特征性强、操作性强、代表性强的监测参数作为评价指标。同时也要注重监测人才的培养、监测仪器的配备、监测资金的保障等，以提高监测能力和技术水平。

4　应用展望

海洋生态修复是海洋环境保护的有机组成部分，其中海滩养护修复作为海岸带自然资源管理和生态修复的核心技术，是海岸带整治修复工作的重要技术环节。近年来，我国开展了诸如“蓝色海湾”“海岸带保护修复工程”“海洋生态保护工程”等多项海岸带整治修复项目，实施了百余项海滩养护工程，涉及的海岸类型多样，采用的技术也在不断创新，如何科学地评价海滩养护的实施效果将成为当前学者和管理部门倍加关注的重要内容。因此，海滩养护工程的效果评价将会被用于更

多的管理或决策，主要包括以下几个方面。

1)为海滩养护工程的检查、考核、验收以及跟踪评估提供参考依据[41]。将评价内容充分体现到工程施工或管理之中，一方面有利于全面掌握工程实施情况，另一方面也可反向评估工程的必要性及充分性，为后续养护工作提供方向指引。

2)为谋划综合型海岸带整治修复项目奠定理论基础。未来，建立完备的连续监测机制、实现数字化动态评价是一种趋势，逐渐完善的多学科交叉融合的评价体系将为地方谋划、申报整治修复项目提供参考指南，为中央财政补助资金支持意向及支持力度提供重要决策依据。

3)为海岸带资源绿色利用和海洋生态修复工作数字化改革提供有力支撑。在未来养滩效果评价指标的选择上，必定会趋向于涵盖地貌、生态和社会经济的全面考量，构建全生命周期“监评管”机制，全流程、多角度地获取工程各项指标参数，推进自然资源治理体系现代化、实现自然资源信息化建设[44]。

然而，在当前我国的海滩养护效果评价实践中，养滩后监测工作的开展和评价体系的建立仍存在许多问题，养滩效果评价工作面临巨大挑战。对于我国来说，养滩效果评价起步晚、后监测开展慢、评价标准各异，评价工作仍处于初期阶段。针对我国目前养滩评价工作中存在的问题，需逐步完善智能化大数据共享平台、制定并执行养滩后监测计划，根据养滩工程的实际目的，分区域分类别建立具有普遍适应性的评价标准，选取操作性强、全面系统的评价指标等措施，以尽快建立科学合理的养滩效果评价理论与方法体系。一方面可促进海滩养护修复工程的持续改进，实现海岸带整治修复与经济社会的可持续发展；另一方面通过展示海滩养护成效，提升大众环保意识，使全社会携手共同爱护海岸带生态环境。

参考文献 (References):

[1] 庄振业, 曹立华, 李兵, 等. 我国海滩养护现状[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 133-139. ZHUAG Z Y, CAO L H, LI B, et al. An overview of beach nourishment in China[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(3): 133-139.

[2] FINKL C W, WALKERH J. Beach nourishment[M]//FINKL C W, MAKOWSKI C. Encyclopedia of coastal science. Cham: Springer, 2018: 1-17.

[3] 吴建, 拾兵. 近岸补沙养护海滩研究综述[J]. 海洋科学, 2011, 35(8): 108-112. WU J, SHI B. A review of the shoreface nourishment for beach protection[J]. Marine Sciences, 2011, 35(8): 108-112.

[4] TREMBANIS A C, PILKEY O H. Summary of beach nourishment along the U. S. Gulf of Mexico shoreline[J]. Journal of Coastal Research, 1998, 14(2): 407-417.

[5] DEAN R G. Beach nourishment, theory and practice[M]. Singapore: World Scientific, 2002.

[6] HANSON H, BRAMPTON A, CAPOBIANCO M, et al. Beach nourishment projects, practices, and objectives: a European overview[J]. Coastal Engineering, 2003, 47(2): 81-111.

[7] LUO S L, CAI F, LIU J H, et al. Adaptive measures adopted for risk reduction of coastal erosion in the People’s Republic of China[J]. Ocean & Coastal Management, 2015, 103: 134-145.

[8] 蔡锋, 刘根. 我国海滩养护修复的发展与技术创新[J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(4): 452-463. CAI F, LIU G. Beach nourishment development and technological innovations in China: an overview[J]. Journal of Applied Oceanography, 2019, 38(4): 452-463.

[9] 姜山. 人工养护后海滩地貌及沉积特征研究——以北戴河中海滩为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011. JIANG S, Beach geomorphology and sedimentary characteristics after nourishment: a case study of the midden beach in Beidaihe[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.

[10] RUMBOLD D G, DAVIS P W, PERRATTA C. Estimating the effect of beach nourishment on Caretta caretta (log-

gerhead sea turtle) nesting[J]. Restoration Ecology, 2001, 9(3): 304-310.

[11] PETERSON C H, BISHOP M J. Assessing the environmental impacts of beach nourishment[J]. Bioscience, 2005(10): 887-896.

[12] GARES P A, WANG Y, WHITE S A. Using Lidar to monitor a beach nourishment project at Wrightsville Beach, North Carolina, USA[J]. Journal of Coastal Research, 2006, 22(5): 1206-1219.

[13] BOCAMAZO L M, GROSSKOPF W G, BUONUIATO F S. Beach nourishment, shoreline change, and dune growth at Westhampton Beach, New York, 1996-2009[J]. Journal of Coastal Research, 2011(59): 181-191.

[14] DANOVARO R, NEPOTE E, LO MARTIRE M, et al. Limited impact of beach nourishment on macrofaunal recruitment/ settlement in a site of community interest in coastal area of the Adriatic Sea (Mediterranean Sea)[J]. Marine Pollution Bulletin, 2018(128): 259-266.

[15] JIGENA B. Evolution of sediment parameters after a beach nourishment[J]. Land, 2021, 10(9): 914.

[16] 董丽红, 梁书秀, 孙昭晨. 海滩养护理论与试验研究进展[J]. 海洋开发与管理, 2012, 29(5): 44-51. DONG L H, LIANG S X, SUN Z C. The oretical and experimental research progress of beach nourishment[J]. Ocean Development and Management, 2012, 29(5): 44-51.

[17] 杨雯, 王永红, 杨燕雄. 海滩养护工程质量评价研究进展[J]. 海岸工程, 2016, 35(1): 79-88. YANG W, WANG Y H, YANG Y X. A summary of the quality evaluation of beach nourishment project[J]. Coastal Engineering, 2016, 35(1): 79-88.

[18] 戚洪帅, 刘根, 蔡锋, 等. 海滩修复养护技术发展趋势与前景[J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 111-125. QI H S, LIU G, CAI F, et al. Development trend and prospect of beach nourishment technology[J]. Journal of Applied Oceanography, 2021, 40(1): 111-125.

[19] LEATHERMAN S P. Shoreline stabilization approaches in response to sea level rise: U. S. experience and implications for Pacific island and Asian nations[J]. Water Air & Soil Pollution, 1996, 92(1/2): 149-157.

[20] 曹惠美, 蔡锋, 陈峰. 厦门滨海沙滩的养护与海洋旅游业发展的探讨[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(7): 58-62. CAO H M, CAI F, CHEN F. Discussion on the conservation of Xiamen coastal beach and the development of marine tourism[J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(7): 58-62.

[21] 河北新闻网. 秦皇岛市海滩整治修复工程见成效[EB/OL]. (2021-04-14)[2021-12-04]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1697011643716935612&wfr=spider&for=p. Hebei News Network. The beach renovation and restoration project in Qinhuangdao has achieved results[EB/OL]. (2021-04-14)[2021-12-04]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1697011643716935612&wfr=spider&for=p.

[22] HANSON H, BRAMPTON A, CAPOBIANCO M, et al. Beach nourishment projects, practices, and objectives-a European overview[J]. Coastal Engineering, 2002, 47(2): 81-111.

[23] 裴丽娜, 邱若峰, 周佳鑫, 等. 受损沙滩生态修复工程后评价研究[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2016, 26(3): 43-46,75. PEI L N, QIU R F, ZHOU J X, et al. Post project evaluation on ecological restoration of damaged beach[J]. Journal of EMCC, 2016, 26(3): 43-46,75.

[24] 邱若峰, 庄振业, 赵友鹏, 等. 海滩养护的功效和寿命——以北戴河海滩养护工程为例[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(3): 26-33. QIU R F, ZHUANG Z Y, ZHAO Y P, et al. Beidaihe Beach nourishment: a case study of beach nourishment project in Beidaihe[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(3): 26-33.

[25] 包敏, 王永红, 杨燕雄, 等. 北戴河西海滩人工养护前后沉积物粒度变化特征[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(9): 25-34. BAO M, WANG Y H, YANG Y X, et al. Changes in sediment grain-size before and after beach nourishment on the west beach of Beidaihe[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(9): 25-34.

[26] 刘建涛, 刘会欣, 杨燕雄, 等. 北戴河人工喂养海滩的演化特征[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(2): 37-44. LIU J T, LIU H X, YANG Y X, et al. Evolutionary features of Beidaihe nourished beach[J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(2): 37-44.

[27] 褚智慧, 王永红, 庄振业, 等. 北戴河中海滩人工养护前后沉积物粒度变化特征[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(2): 62-70. CHU Z H, WANG Y H, ZHUANG Z Y, et al. Changes in sediment grain-size before and after beach nourish-

ment in middle Beidaihe Beach[J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(2): 62-70.

[28] 刘建涛, 刘修锦, 赵友鹏, 等. 北戴河中海滩二浴场养滩效果分析[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(3): 56-63. LIU J T, LIU X J, ZHAO Y P, et al. Two nourishment projects in Beidaihe and their implications[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(3): 56-63.

[29] 雷刚, 刘根, 蔡锋. 厦门岛会展中心海滩养护及其对我国海岸防护的启示[J]. 应用海洋学学报, 2013, 32(3): 305-315. LEI G, LIU G, CAI F. Enlightenment to China's coastal protection from the coast beach nourishment at Huizhan Zhongxin of Xiamen Island[J]. Journal of Applied Oceanography, 2013, 32(3): 305-315.

[30] 曹惠美, 蔡锋, 郑勇玲. 人工养护后厦门香山-长尾礁海滩的演变特征[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(1): 24-33. CAO H M, CAI F, ZHENG Y L. Evolution characteristics of nourished beach from Xiangshan to Changweijiao in Xiamen[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(1): 24-33.

[31] 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. DUAN Y J. Study on the effect of beach restoration in Haizhou Bay[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2015.

[32] 岳保静, 颜中辉, 高茂生, 等. 潍坊人工沙滩海滩剖面演变特征及应用经验正交函数分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(6): 221-227. YUE B J, YAN Z H, GAO M S, et al. Evolution characteristics of Weifang artificial beach and the EOF analysis on profile change[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2016, 36(6): 221-227.

[33] 刘明, 张云, 张笑, 等. 沙滩修复效果评估方法探讨[C]//中国环境科学学会. 2017中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第三卷),2017: 3611-3614. LIU M, ZANG Y, ZHANG X, et al. Discussion on evaluation method of beach restoration effect[C]//Chinese Society for Environmental Sciences. Proceedings of the 2017 Annual Conference of Sscience and Technology of Chinese Society for Environmental Sciences (Volume III),2017: 3611-3614.

[34] 邱若峰, 杨燕雄, 庄振业, 等. 养护海滩形态演化特征及时空差异性分析——以秦皇岛浪淘沙浴场为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(3): 67-74. QIU R F, YANG Y X, ZHUANG Z Y, et al. Beach evolution and space-time discrepancy of erosion intensity after nourishment: taking Langtaosha Beach of Qinhuangdao as an example[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2017, 37(3): 67-74.

[35] 张明慧, 孙昭晨, 梁书秀, 等. 基于高空间分辨率卫星遥感影像的砂质海岸空间整治效果分析——以营口月亮湾为例[J]. 海洋通报, 2017, 36(5): 594-600. ZHANG M H, SUN Z C, LIANG S X, et al. Analysis of sandy coast regulation effects based on high resolution satellite remote sensing images: a case in Yueliangwan of Yingkou[J]. Marine Science Bulletin, 2017, 36(5): 594-600.

[36] 张明慧, 孙昭晨, 梁书秀, 等. 砂质海岸整治修复效果模糊综合评价研究——以营口月亮湾为例[J]. 海洋通报, 2019, 38(6): 698-706. ZHANG M H, SUN Z C, LIANG S X, et al. A study on fuzzy comprehensive evaluation for sandy coast repairing effect: a case in the Moon Bay of Yingkou[J]. Marine Science Bulletin, 2019, 38(6): 698-706.

[37] 林雪萍, 李昌达, 姜德刚, 等. 蓝色海湾评估体系构建及初步应用研究——以温州市洞头区为例[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(5): 46-51. LIN X P, LI C D, JIANG D G, et al. Construction and preliminary application of blue bay evaluation system: taking Dongtou district of Wenzhou as an example[J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(5): 46-51.

[38] 全国海洋标准化技术委员会. 海滩养护与修复技术指南: HY/T 255—2018[S]. 北京: 中华人民共和国自然资源部, 2018. National Technical Committee 283 on Ocean of Standardization Administration of China. Technical guide for beach nourishment and restoration: HY/T 255—2018[S]. Beijing: Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2018.

[39] 王永红, 孙静, 褚智慧. 海滩质量评价体系建立和应用——以山东半岛南部海滩为例[J]. 海洋通报, 2017, 36(3): 260-267. WANG Y H, SUN J, CHU Z H. Building and application of quality evaluation system a beach: a case in the south Shandong Province[J]. Marine Science Bulletin, 2017, 36(3): 260-267.

[40] 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. WANG Q, HAN Y, CHEN P X. Exploration on evaluation standard for coast restoration[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(3): 12-19.

[41] 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.

[42] 全国海洋标准化技术委员会. 海滩质量评价与分级: HY/T 254—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. National Technical Committee 283 on Ocean of Standardization Administration of China. Beach quality assessment and rating: HY/T 254—2018[S]. Beijing: China Standards Press, 2018.

[43] 全国海洋标准化技术委员会. 海滩养护与验收技术方法: HY/T 0330—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022. National Technical Committee 283 on Ocean of Standardization Administration of China. Technical method for acceptance of beach nourishment and restoration project HY/T 0330—2022[S]. Beijing: China Standards Press, 2022.

[44] 夏超, 齐宁林, 王锐. 国土空间生态修复监管信息化探索与实践[J]. 规划师, 2021(22): 55-59. XIA C, QI N L, WANG R. Exploration and practice of informationalized supervision in ecological restoration of territorial space[J]. Planners, 2021(22): 55-59.

Current Situation and Application Prospect of Beach Nourishment Evaluation in China

SHAO Chao, TANG Yingying, SUN Wei, WANG Jianqing, PAN Tingyao

(*Ningbo Institute of Oceanography*, Ningbo 315852, China)

Abstract: Since the 21st century, beach nourishment projects have been successively carried out in many coastal tourist cities in China, and the effect evaluation after the beach nourishment has come into being. By the analyses of literatures and statistical data, the development status of the beach nourishment effect evaluation in China in the past 10 years is summarized and for the problems existing at the current stage some suggestions and countermeasures are proposed. It has been found that the effect evaluation of the beach nourishment in China was still in a theoretical research stage before 2010 and the three aspects of evaluation scale, evaluation factors and monitoring methods were all characterized with an early development stage. From the researches on the index system of the beach nourishment effect evaluation carried out by domestic scholars in recent 5 years, it can be seen that the evaluation levels, the evaluation indexes and the evaluation contents tend to be clear, detailed and perfect gradually. Based on the analysis of the current situation, three problems in the research and practice of beach nourishment effect evaluation in China and the suggestions and countermeasures for the problems are put forward. Meanwhile, the future applications of the beach nourishment effect evaluation are prospected.

Key words: beach nourishment; effect evaluation; after-monitoring; development status; application prospect

Received: December 27, 2021