



团 体 标 准

T/CAOE 21.7-2020

海岸带生态减灾修复技术导则 第 7 部分：砂质海岸

Technical guideline on coastal ecological rehabilitation for hazard mitigation—
Part 7: Sandy coast

2020-07-21 发布

2020-07-21 发布

中国海洋工程咨询协会 发布

目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 工作流程.....	2
5 资料收集与调查.....	3
5.1 资料收集.....	3
5.2 现场调查.....	4
5.2.1 调查内容.....	4
5.2.2 调查要求.....	4
6 适宜性评价.....	7
6.1 生态现状评估.....	7
6.2 减灾功能评估.....	7
6.2.1 评估内容.....	7
6.2.2 评估指标.....	7
6.2.3 评估方法.....	8
6.2.4 评估结果.....	8
6.3 修复适宜性评价.....	8
6.3.1 评价指标.....	8
6.3.2 评价分析.....	8
6.3.3 评价方法与结果.....	9
7 实施方案编制.....	9
8 砂质海岸修复技术.....	9
8.1 工程设计.....	9
8.1.1 海滩剖面设计.....	9
8.1.2 平面形态设计.....	10
8.1.3 人工构筑物设计.....	11
8.1.4 滩肩高程设计.....	12
8.1.5 补沙沉积物要求.....	12
8.1.6 数值模拟预测.....	12
8.1.7 补沙量计算.....	13
8.2 工程施工.....	13
8.2.1 施工准备.....	13
8.2.2 填沙方式.....	13
8.2.3 人工构筑物施工.....	13
9 跟踪监测与效果评估.....	13
9.1 跟踪监测.....	13
9.2 效果评估.....	13

9.2.1 灾害受损评估.....	13
9.2.2 减灾功能评估.....	14
9.2.3 养护海滩稳定性评估.....	14
9.2.4 生态效果评估.....	16
10 质量控制.....	16
11 成果与归档.....	16
11.1 成果编制.....	16
11.1.1 报告.....	16
11.1.2 专题图件.....	17
11.1.3 数据集.....	17
11.2 归档.....	17
附录 A（资料性附录）常用减灾功能评价方法.....	18
附录 B（资料性附录）补沙方法及其特征.....	22
附录 C（资料性附录）变异系数赋权法.....	23
参考文献.....	24

前 言

T/CAOE 21《海岸带生态减灾修复技术导则》分为 11 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：红树林；
- 第 3 部分：盐沼；
- 第 4 部分：珊瑚礁；
- 第 5 部分：海草床；
- 第 6 部分：牡蛎礁；
- 第 7 部分：砂质海岸；
- 第 8 部分：海堤生态化建设；
- 第 9 部分：连岛海堤和沿岸工程整治改造；
- 第 10 部分：围填海工程海堤生态化建设；
- 第 11 部分：监管监测。

本部分为 T/CAOE 21 的第 7 部分。

本部分按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本部分由自然资源部海洋预警监测司提出。

本标准由中国海洋工程咨询协会归口。

本部分起草单位：自然资源部第三海洋研究所、自然资源部海岛研究中心、自然资源部海洋减灾中心、河海大学。

本部分主要起草人：戚洪帅、蔡锋、于帆、朱君、刘根、刘建辉、雷刚、陈新平、张弛、国志兴。

海岸带生态减灾修复技术导则

第7部分 砂质海岸

1 范围

T/CAOE 21的本部分规定了砂质海岸生态减灾修复的工作流程、资料收集和调查、适宜性评价、实施方案编制、砂质海岸修复技术、跟踪监测与效果评估、质量控制以及成果与归档等内容。

本部分适用于海岸带保护修复工程中的砂质海岸生态减灾修复工作，其他工作可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14914.2-2019 海洋观测规范 第2部分：海滨观测

GB 17378.3 海洋监测规范第3部分：样品采集、贮存与运输

GB 17378.4 海洋监测规范第4部分：海水分析

GB 17378.5 海洋监测规范第5部分：沉积物分析

GB 17378.7 海洋监测规范第7部分：近海污染生态调查和生物监测

GB/T 17501-2017 海洋工程地形测量规范

GB 18668-2002 海洋沉积物质量

JTS 154 防波堤与护岸设计规范

HY/T 255-2018 海滩养护与修复技术指南

SL 260-2014 堤防工程施工规范

T/CAOE 20.8-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第8部分：砂质海岸

T/CAOE 21.1-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第1部分：总则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

砂质海岸 sandy coast

以波浪作用为主建造的，主要由砂（砾石）构成的海岸。

[GB/T 18190-2017，定义2.2.7]

3.2

后滨 backshore

海岸线至平均高潮线之间的地带。

[GB/T 18190-2017，定义2.1.5]

3.3

滩肩 beach berm

分布于后滨前缘地带平坦的、阶梯状的堆积面。

[GB/T 18190-2017，定义2.3.8]

3.4

干滩 dry beach

除极端水动力过程外，长时间不受水动力作用的海滩部分。

[GB/T 18190-2017，定义2.3.9]

3.5

破波带 breaker zone

来自滨外的波浪变得不稳定而破碎的区带。

[HY/T 254-2018，定义3.4]

3.6

波高衰减率 wave dissipative rate

波浪在向岸传播过程中，在经过一定宽度的海滩后，其波高减少的百分数。

3.7

漫滩高度 overwashing elevation

风暴期间当最高水位超过干滩高程时，最高水位与干滩高程的差。

3.8

养护海滩稳定性评估 nourished beach stability assessment

对修复后海滩砂质流失程度的分析和评价。

4 工作流程

砂质海岸生态减灾修复工程在实施前应充分收集整理资料数据，并补充开展现场调查，全面掌握工程现场情况，在此基础上开展适宜性评价，为实施方案编制提供依据。工程实施过程中应加强现场跟踪监测，竣工验收后应开展效果评估。砂质海岸生态减灾修复工程建设工作流程如图 1 所示。

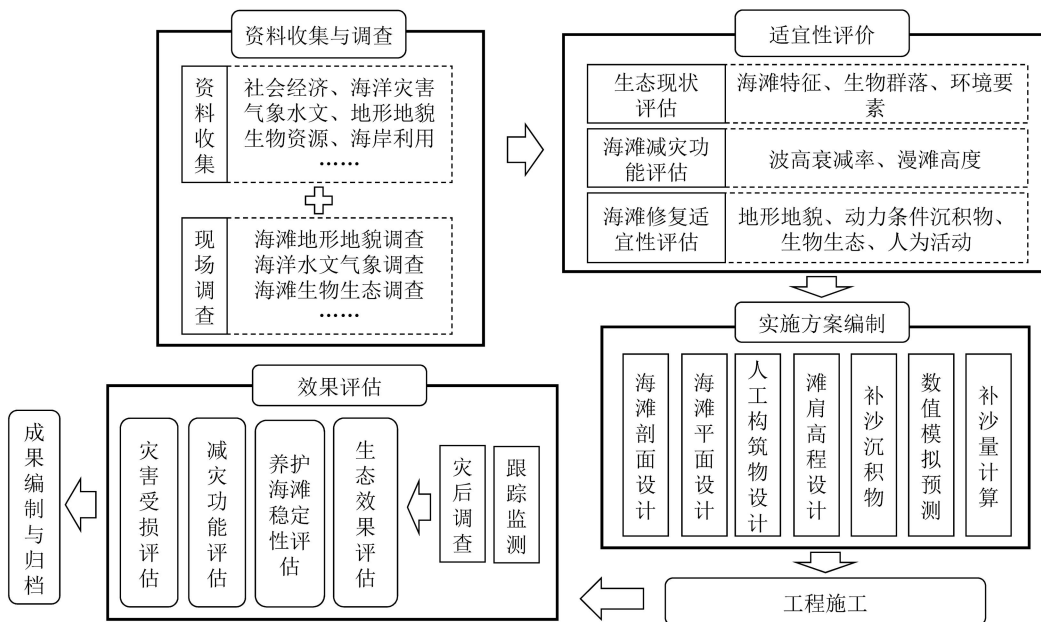


图 1 砂质海岸生态减灾修复工程工作流程图

5 资料收集与调查

5.1 资料收集

砂质海岸生态减灾修复的需求分析应收集的背景资料包括工程区概况、海滩特征、生物群落、环境要素和威胁因素五个方面，具体内容见表1。

表1 资料收集与调查内容

资料收集与调查内容		获取方式	应用范围						
			减灾功能评估	适宜性评估	工程方案编制	灾害受损评估	稳定性评估	生态效果评估	
工程区概况	工程区所在区域的自然条件、生态特征和环境现状	资料收集	★	★	★				
	工程区具体位置和地理坐标	资料收集、遥感与测量	★	★	★				
	法律法规	资料收集			★				
	规划衔接	资料收集			★				
海滩特征	地形地貌	岸滩剖面	现场调查	★	★	★	★	★	
		近岸水下地形	现场调查		★	★	★	★	
		岸线变化	现场调查	★	★	★	★	★	
		后滨高度	现场调查	★					
		侵蚀热点	现场调查	★	★		★	★	
	沉积物	海滩沉积物	现场调查	★	★	★	★	★	
		近岸海底沉积物	现场调查		★				
		海滩沉积物厚度	现场调查		★				
		砂泥分界线	现场调查		★				
	海岸动力环境	波浪	资料收集或现场调查	★	★	★		★	
		海流	资料收集或现场调查		★	★		★	
		悬沙	资料收集或现场调查		★	★			
		潮位	资料收集或现场调查	★	★	★			
		风	资料收集		★	★			
区域海平面		资料收集		★	★				
风暴潮最大漫滩高度		现场调查	★						
生物群落	潮间带底栖生物	现场调查		★	★			★	
	后滨植被	现场调查		★	★			★	
环境要素	水环境	近岸海水水质	资料收集或现场调查		★	★		★	
	底质环境	潮间带沉积物质量	资料收集或现场调查		★	★		★	
威胁因素	海洋灾害（自然威胁）	风暴浪	资料收集或现场调查	★		★		★	
		台风	资料收集	★		★		★	
		灾害性海浪	资料收集	★		★		★	

胁因素)								
海岸开发利用(人为活动影响)	海岸构筑物	资料收集或现场调查		★	★	★		
	围垦填海	资料收集或现场调查		★	★	★		
	采捕养殖	资料收集或现场调查		★	★	★		★
	人工采砂	资料收集或现场调查		★	★	★		
	旅游休闲活动	资料收集或现场调查			★	★		★

5.2 现场调查

5.2.1 调查内容

砂质海岸生态减灾修复工程建设所需调查内容见表1。

5.2.2 调查要求

5.2.2.1 海滩特征

海滩特征调查包括地形地貌、沉积物和海岸动力环境三个方面。其中，海滩地形地貌调查要求见表2。

表2 海滩地形地貌调查要求

内容	要求	
岸滩剖面监测	测量范围	砂质海岸后滨向海至平均大潮低潮线
	剖面布设	剖面垂直岸线布设，密度不少于4条/km，基点固定
	测量比例尺	不低于1:500
	测量频率	a) 常规监测：施工前近2年内不少于1年周期，不低于每季度1次；施工后第一年，不低于每季度1次，此后不少于2次/年； b) 风暴期间监测：风暴前2个月内完成前期调查，风暴后5天内完成首次调查，1个月、3个月分别完成后续重复调查，若多次风暴作用，以最后一次风暴为后续调查时间起始点。
	测量技术要求	应符合GB/T 17501-2017中10.2的规定
近岸水下地形	测量范围	岸线向海延伸至闭合深度以深
	剖面布设	由岸滩监测剖面的原点，垂直岸线布设，方向延伸向海，海滩长度小于1km，设置不少于4条剖面；海滩长度大于1km，布设密度不少于4条/km
	测量比例尺	不低于1:5000
	测量频率	a) 常规监测：现状地形数据，应符合HY/T 255-2018中6.1的规定； b) 风暴期间监测：风暴前2个月内完成前期调查，风暴后15天内。
	测量技术要求	应符合HY/T 255-2018中6.3的规定
岸线变化	测量范围	砂质海岸区域岸线
	测量比例尺	不小于1:500

	测量频率	a) 常规监测: 施工前近 2 年内不少于 1 年周期, 不低于每季度 1 次; 施工后第一年, 不低于每季度 1 次, 此后不少于 2 次/年; b) 风暴期间监测: 风暴前 2 个月内完成前期调查, 风暴后 5 天内, 1 个月、3 个月分别完成后续重复调查, 若多次风暴作用, 以最后一次风暴为后续调查时间起始点。
	测量技术要求	应符合 GB/T 17501-2017 中 10.3 的规定
后滨高度	测量范围	砂质海岸后滨前缘沙丘、滩肩的最高点的位置和高程, 若有海堤且无滩肩或沙丘发育, 则为海堤堤顶位置和高程
	测量频率与时间	风暴前 2 个月内完成前期调查, 风暴后 5 天内完成灾后调查
	测量技术要求	应符合 GB 17501-2017 中 10.2 的规定
侵蚀热点	测量范围	后滨侵蚀陡坎、堤前下蚀区域、工程构筑物及近岸人类活动导致岸滩变化剧烈的区域
	测量频率与时间	风暴后 5 天内、1 个月、3 个月分别完成后续重复调查
	测量内容	后滨陡坎范围和高度、侵蚀热点范围与数量
注: 高程基准面为 1985 国家高程基准。		

沉积物调查要求见表 3。

表 3 沉积物调查要求

内容	要求	
沉积物	站位布设	a) 沉积物调查剖面同地形调查剖面一致, 应分别在沙丘、滩肩、高潮带、中潮带、低潮带等代表性位置各设置 1 个表层沉积物取样点; b) 潮间带宽度不大于 200m, 潮间带沉积物调查站位设置不少于 3 个; 潮间带宽度大于 200m, 潮间带沉积物调查站位设置不少于 5 个站位; c) 近岸水下沉积物调查站位布设原则为每 500m 一个站位。
	取样深度	表层 5cm~20cm
	取样频次	与剖面地形调查同步
砂泥分界线	调查方法	利用高精度测量设备获取沙泥分界线平面位置和高程
	调查频次	近 2 年内, 不少于冬夏各 1 次
	位置	滩面沉积物砂、泥过渡地带

海岸动力环境调查要求见表 4。

表 4 海岸动力环境调查要求

内容	要求	
波浪	观测时间	a) 近 5 年内代表性季节不少于 1 个月的连续观测深水波况; b) 风暴潮期间。
	观测水深	a) 海岸附近海域水深 10~20m 处为宜; b) 风暴期间加测潮间带及近岸浅水区波况。
	观测技术方法	a) 应符合 GB/T 14914.2-2019 中第 7 章的规定; b) 在风暴前在目标海滩海域 10~20m 水深区域开展海床基动力观测, 可采用 Nortek 浪龙 ADCP 和 RBR 水位计观测风暴期间目标海域的浪、流和水位数据; 海滩断面观测选取的断面应具有典型性, 一般设置在整个砂质岸段的中间段, 且非侵蚀热点和无人工构筑物影响的区域。潮间带及近岸浅水区波浪观测方法如下: 布设 3 个浪潮仪组成的观测阵列, 横向范围涵盖潮下带、潮间带、潮上带(堤前)区域, 相邻仪器之间高程差为 0.1~2.0m, 采样频率为 2~4Hz。

海流	观测时间、 站位布设、 技术要求	应符合 HY/T 255-2018 中 6.1 的规定
悬沙		
潮位		
风		
区域海平面	/	应符合 HY/T 255-2018 中 6.1 的规定
风暴潮最大漫滩高度	观测时间	风暴后观测
	观测手段	现场调查和无人机遥感相接方式
注：调查中涉及的水深基面均为当地平均海平面。		

5.2.2.2 生物群落

潮间带底栖生物调查要求见表 5。

表 5 潮间带底栖生物调查要求

调查要素	潮间带底栖生物类型、数量及分布特征
站位布设	a) 选取潮间带完整、岸滩稳定性较好、无人为破坏或人为扰动较小的岸段设置调查剖面； b) 潮间带宽度大于 200m，通常在高潮区布设 2 站、中潮区布设 3 站、低潮区布设 1 站或 2 站；潮间带宽度不大于 200m，在高潮区布设 1 站、中潮区布设 3 站、低潮区布设 1 站。
调查频次	每年春季、秋季大潮期间各调查 1 次。
技术方法	用 25cm×25cm×30cm 的定量框在每站取 4 个~8 个样方，进行定性取样与观察。取样时，先将取样器挡板插入框架凹槽，再将其插入岸滩内，继而观察记录框内表面可见的生物及数量。

后滨植被调查要求见表 6。

表 6 后滨植被调查要求

调查要素	植被类型、植物种类、面积、株数、株高、胸径、冠幅、盖度及生活力等
站位布设	a) 样线设置 样线设置的要求包括以下方面： ——调查线路设立应注意代表性、随机性、整体性和可达性相结合； ——样线的布局尽可能全面，分布在整个调查区域内的各代表性地段，避免在一些地区产生漏空，并用 GPS 记录路线。 b) 调查样地及样方设置 调查样地及样方设置的要求包括以下方面： ——乔木树种及大灌木主样方面积为 100m ² (10m×10m)。主样方通常设置为正方形，特殊情况下也可设置为长方形，但其最短边不小于 5m； ——灌木植物及高大草本主样方面积为 25m ² (5m×5m)； ——草本植物主样方面积为 1m ² (1m×1m)； ——藤本植物：生长在乔木林总的主样方面积为 100m ² (10m×10m)；生长在灌木丛中的主样方面积为 25m ² (5m×5m)； ——为保证调查所需精度，两个样地之间的距离不小于 100m，各植物群落至少 1 个样地。
调查频次	a) 常规调查：每年调查一次，应安排在 5 月~9 月间； b) 风暴期间调查：风暴后一个月内调查一次。
技术要求	a) 胸径≥5cm 的乔木、小乔木树种要求每木检尺；灌木树种及草本以丛或株为单位调查记载； b) 通过卫星遥感影像解译获取后滨植被面积，遥感影像分辨率应不低于 0.6m，成图比例尺精度不小于 1:5000；通过无人机遥感影像解译获取后滨植被面积，遥感影像分辨率应不低于 0.3m，成图比例尺精度不小于 1:3000。

5.2.2.3 环境要素

近岸海水水质调查要求见表 7。

表 7 近岸海水水质调查要求

调查指标	粪大肠菌群、水色、水温、盐度、透明度、pH 值、石油类、溶解氧
站位布设	a) 海水水质监测断面方向应与主潮流方向或海岸垂直；根据海滩长度确定监测断面数量。海滩长度不大于 2km，设置不少于 1 个监测断面；海滩长度 2km~5km，设置不少于 2 个监测断面；海滩长度大于 5km，设置不少于 3 个监测断面； b) 海滩所设监测站位总数不少于 3 个。
调查频次	每年冬夏两季各调查一次。
技术要求	a) 样品的采集按照 GB 17378.3 的规定执行，采样深度应为水下 30cm； b) 粪大肠菌群的分析按照 GB 17378.7 的规定执行，水色、水温、盐度、透明度、pH 值、油类、溶解氧、悬浮物的分析按照 GB 17378.4 的规定执行。

潮间带沉积物质量调查要求见表 8。

表 8 潮间带沉积物质量调查要求

调查指标	粪大肠菌群、石油类、有机碳、硫化物
站位布设	按表 7 的要求执行
调查频次	与水质调查同步
技术要求	a) 采样方法按照 GB 17378.5 的规定执行； b) 粪大肠菌群的分析按照 GB 17378.7 的规定执行，石油类、有机碳、硫化物的分析按照 GB 17378.5 的规定执行。

6 适宜性评价

6.1 生态现状评估

砂质海岸生态现状评估从海滩特征、生物群落与环境要素三个方面进行定量评估，评估内容、方法与评估结果分级按照 T/CAOE 20.8-2020 中第 7 章的规定执行。

6.2 减灾功能评估

6.2.1 评估内容

抵御海浪、风暴潮的能力。

6.2.2 评估指标

6.2.2.1 波高衰减率

波高衰减率的计算方法为波高为 H_1 的波浪传播经过宽度为 L 的海滩后，波高衰减量 (H_1-H_2) 与原波高 H_1 的比值百分数：

$$R_{wL} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_{wL} ——波高衰减率；

H_1 ——破波带外侧的波高，单位为米 (m)；

H_2 ——破波带内侧的波高，单位为米 (m)。

6.2.2.2 漫滩高度

漫滩高度指风暴期间当最高水位超过干滩高程时，最高水位与干滩高程的差。

6.2.3 评估方法

砂质海岸减灾功能中的波浪衰减率可采用为现场观测、经验公式计算，物理模型试验或数值模拟等方法确定，具体参见附录A。

6.2.4 评估结果

根据所选方法，结合测量或计算获取的相关数据，应用 6.2.2 中提出的波高衰减率公式计算砂质海岸的波高衰减率。评估结果可根据波高衰减率将减灾能力分为优、良、中、差四个等级。对于同一浪级，波高消减率越高时，海滩的减灾效果越好，减灾功能评估等级越高（见表 9）。该指标与漫滩高度相关，若漫滩高度为负值，则该参数值为 100%，所有能量达到海岸线或海堤前被消耗。

表 9 不同浪级和波高衰减率对应的砂质海岸减灾能力

浪级 波高衰减率	轻浪 ($0.5 \leq H_{1/3} < 1.25$)	中浪 ($1.25 \leq H_{1/3} < 2.5$)	大浪 ($2.5 \leq H_{1/3} < 4.0$)
100%	优	优	优
100%~80%	良	良	优
80%~60%	中	良	良
60%~40%	差	中	良
40%~30%	差	差	中
<30%	差	差	差

6.3 修复适宜性评价

6.3.1 评价指标

砂质海岸修复区应满足砂质海岸发育的需求，表10中给出了用于判定生态减灾修复适宜性评价的判定指标。

表 10 砂质海岸生态减灾修复可行性判定指标

评价指标类别	指标名称	适宜性条件
地形地貌	岸线形态	各种开阔岸线类型，以岬湾为主
	水下岸坡坡度	小于 1/20
	海堤前沿水深	小于 3m
动力条件	波浪	年有效波高大于 0.5m
沉积物	潮间带沉积物	砂质、砂砾质或砂泥混合
生物生态	潮间带底栖生物	无保护类底栖动植物
人为活动	采捕养殖	无潮间带和后滨高地养殖
	近岸采砂区	闭合深度内无采砂活动
	围填海	导堤外侧海域
	规划符合性	符合相关规划中对于海岸修复的要求

6.3.2 评价分析

对符合6.3.1指标的修复区，应按如下要求进行适宜性分析：

a) 砂质海岸受损机理分析。包括砂质海岸受损情况、砂质海岸输沙状态，周边人为活动、构筑物对海滩的影响、侵蚀热点区域成因；采用历史变化比对和相邻或相似岸段比对的方法分析海岸受损原因。

b) 动力环境适宜性分析。采用现场调查和数值模拟分析修复区近海波浪动力条件，评估水深地形、岸线形态和构筑物对波浪动力的影响，沿岸方向波能分布特征，分析侵蚀热点的潜在区域、修复海滩泥化的可能性。

c) 海岸地形地貌适宜性分析。包括工程区地形地貌是否具备或通过人工构筑物形成适宜海滩形成的地形地貌环境，现有砂质海岸地貌的波浪消耗能力和对风暴潮的缓冲能力。

d) 生态与环境适宜性分析。近岸水质条件、沉积物是否满足修复需求，应满足HY/T 255-2018中4.4和7.5节要求；修复区的生态敏感目标及岸滩填砂施工和后续岸滩演化的生态影响。

6.3.3 评价方法与结果

砂质海岸修复区域指标满足表10列出的适宜范围。任何一项不满足，则判定为不适宜修复区。应按6.3.2规定评估分析可行性，并以此提出针对性修复措施和方案。

7 实施方案编制

依据适宜性评价结果，开展砂质生态减灾修复工程实施方案的编制工作。具体要求如下：

a) 实施方案应遵循区域空间规划、海岸带保护与利用规划、流域综合规划、防潮（洪）专业规划等相关规划，符合生态红线保护和海岸线管控等要求；

b) 实施方案应充分考虑海陆生态系统连通性、完整性和生态缓冲作用等因素，根据空间划分以及不同海岸类型，结合适宜性评价结果，因地制宜地提出砂质海岸生态修复的布局方式；

c) 实施方案应细化具体措施的技术要求、建设方法、范围尺度等内容，方案措施应注重生态友好，避免因工程建设产生新的生态环境问题；

d) 实施方案设计应注重发挥生态和减灾综合效益，减少因生态建设带来的海域海岸线空间资源消耗，不宜建成纯粹的景观工程；

e) 实施方案应从经济、社会、环境等方面进行全面分析论证后，提出推荐方案，作为工程建设的主要内容，其深度达到工程可行性研究报告的要求；

f) 涉及用海、环评等项目专题应遵照相关规定执行。涉及海堤改建的还应按照水利工程建设程序开展项目建议书、工程可行性研究报告编制，但应突出生态和减灾功能。

实施方案编制提纲按照T/CAOE ××.1-2020中附录D的要求执行。

8 砂质海岸修复技术

8.1 工程设计

8.1.1 海滩剖面设计

以工程区或与工程区近岸动力环境、地貌类型相似的毗邻海岸典型剖面形态、沉积特征为参照开展剖面设计时，采用剖面类比法；其它情况可采用Dean（1977）的平衡剖面计算公式或当地适用的平衡剖面模式，计算方法如下：

$$h = Ay^{2/3} \dots\dots\dots (2)$$

$$A = 0.067 \omega^{0.44} \dots\dots\dots (3)$$

$$\omega = 14D^{1.1} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

h ——相对平均大潮高潮线的深度，单位为米（m）；

y ——离岸距离，单位为米（m）；

A ——海滩剖面尺度系数；

ω ——泥沙沉降速度，单位为米/秒（m/s）；

D ——沉积物平均粒径，单位为毫米（mm）。

海滩横向剖面的设计需要考虑以下几点：

a) 海滩的天然剖面形态类型主要为低潮阶地型和完全耗散型（分类参见Masselink & Short, 1993），亦可见它们之间的过渡形态，海滩剖面形态的设计需参考其原始形态和邻近岸滩剖面形态特征；

b) 在动力条件较弱的海湾进行海滩剖面设计时，为防止或减缓岸滩的“泥化”趋势，可适当增加养滩沉积物粒径以取得较大坡角；

c) 养护或修复海滩设计的施工坡度推荐选择1/8~1/15；

d) 推荐滩肩经济宽度以30~60m为宜；

e) 动力较弱的海岸环境，可对原岸滩向海一侧进行适当清淤，以塑造稳定的海滩剖面。

8.1.2 平面形态设计

平面形态设计时，应结合辅助工程和修复后岸线演变模拟合理设计平面形态。

平衡岬湾海滩平面形态设计推荐使用Hsu & Evans（1989）的抛物线模型，其方程表示如下：

$$\frac{R_n}{R_0} = C_1 + C_2 \frac{\beta}{\theta} + C_3 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

R_n ——任意极半径，单位为米（m）；

θ ——相应的极角，单位为度（°）；

R_0 ——控制线的长度，单位为米（m）；

β ——波峰线和控制线的夹角，单位为度（°）。

C_1 、 C_2 、 C_3 是 β 的函数，其中， β 的范围为10°~80°，各函数表达式如下：

$$C_1 = 0.0707 - 0.0047\beta + 0.000349\beta^2 - 0.00000875\beta^3 + 0.0000004765\beta^4$$

$$C_2 = 0.9536 + 0.0078\beta - 0.00004879\beta^2 + 0.0000182\beta^3 - 0.000001281\beta^4$$

$$C_3 = 0.0214 - 0.0078\beta + 0.0003004\beta^2 - 0.00001183\beta^3 + 0.0000009343\beta^4$$

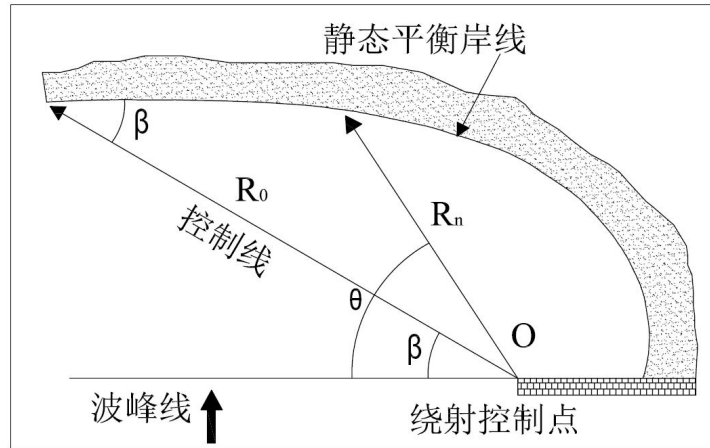


图2 抛物线海岸平衡模式 (Hsu and Evan, 1989)

平直海岸平面形态设计应在充分考虑背景输沙率和上下游输沙联系的情况下,基于长周期(不少于5年再养护周期)岸线演化模型预测;需结合辅助工程开展海滩修复情况下,可通过岸线演化模型预测(参见8.1.6),合理设计补沙区域及岸线形态。

8.1.3 人工构筑物设计

8.1.3.1 丁坝

丁坝应修建于养护或修复海滩沿岸输沙的下游段,还应与岸线形态相吻合构成人工岬角。推荐入射主波向与丁坝之间的交角为 $100^{\circ} \sim 110^{\circ}$;丁坝在水中的长度以岸线至破波点距离的40%~60%为最有效的设置距离。

8.1.3.2 离岸堤

离岸堤包括出水离岸堤和潜堤两种类型,具体如下:

a) 出水离岸堤设计应遵循离岸堤背后养护海滩的岸线变化与影响因素之间的相互关系,其关系式如下:

$$\frac{X_s}{K} = f\left(H_0/L_0, S/K, \tan \theta, \alpha, G_o, \gamma\right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

X_s ——离岸堤之背后沙嘴长度,单位为米(m);

K ——堤长,单位为米(m);

H_0 ——深水波波高,单位为米(m);

L_0 ——深水波波长,单位为米(m);

$\tan \theta$ ——海滩坡度;

S ——离岸距离,单位为米(m);

α ——堤体附近的波向角,单位为度($^{\circ}$);

G_o ——开口宽度,单位为米(m);

γ ——堤体的孔隙率(%)。

在上游有足够来沙的情况下,当离岸堤的离岸距离 X_B 与堤长 L_B 的比值在1~2时,堤后将形成由岸伸向海的沙岬;当 $X_B/L_B < 1$ 时,沙岬将发展成连岛沙坝。

b) 潜堤的堤顶高程应低于最低低潮位面,适用于潮差较小的海岸区域。

推荐潜堤平均低潮位时透射系数为0.2~0.3,平均高潮位时透射系数不低于0.6,潜堤波浪透射系数与堤顶在计算水位以上的高度之间的关系应符合JTS 154的规定。

8.1.3.3 人工构筑物结构设计

人工构筑物结构设计按JTS 154的规定执行。

8.1.4 滩肩高程设计

滩肩高程设计需要综合考虑当地的历史高水位高程、波浪爬高、陆上景观高程、现有海滩高程和相邻海滩高程以及养滩成本等多方面的因素来确定,允许在极端天气时存在一定程度的漫滩。可用以下公式计算:

$$H_b = H + R_2 \quad (7)$$

$$R_2 = 1.1 \left\{ 0.35 \beta_f (H_0 L_0)^{1/2} + \frac{[H_0 L_0 (0.563 \beta_f^2 + 0.004)]^{1/2}}{2} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- H_b ——滩肩高程,单位为米(m);
- H ——20年重现期设计高水位,单位为米(m);
- R_2 ——波浪爬高,单位为米(m);
- β_f ——滩面坡度,单位为度(°);
- H_0 ——深水波波高,单位为米(m);
- L_0 ——深水波波长,单位为米(m)。

8.1.5 补沙沉积物要求

8.1.5.1 基本要求

补沙沉积物的获取、质量和粒度参数应符合以下要求:

- a) 符合国家沙源开采的相关规定;
- b) 符合国家标准对沉积物质量的要求:
 - 海滩浴场:沉积物质量应符合GB 18668-2002规定的第一类海洋沉积物质量的要求;
 - 旅游景观海滩:沉积物质量应不低于GB 18668-2002规定的第二类海洋沉积物质量的要求;
- c) 沉积物参数应考虑原始天然海滩的沉积物粒径、附近相似海滩的沉积物粒径、工程区的波浪条件、工程的修复或养护目的。

8.1.5.2 粒径要求

符合泥沙相容性要求,以补沙的平均粒径为设计指标,确定补沙平均粒径大小的基本原则为填充沙平均粒径要等于或略粗于工程区天然海滩砂。

8.1.6 数值模拟预测

海滩修复工程数值模拟分析需包括水动力环境数值模拟、海岸输沙数值分析、岸线地形长周期演变、海滩剖面适应性调整和极端动力条件下短周期响应变化等方面,用于预测养护海滩设计寿命,本部分推荐的海滩演变数值模型如下:

- a) 海滩修复工程极端波浪或风暴浪条件下短周期演变模拟,代表性模型有UNIBEST-TC, CROSS, XBeach, SBEACH, CROSPE和NearCoM;

b) 海滩修复工程岸线长周期演变模拟，代表性模型有基于一线模型的GENESIS模型等。

8.1.7 补沙量计算

通过设计的养护与修复海滩地形和原始海滩地形之间的体积差异，结合预测流失量和补沙周期来计算需要填充沙体方量，施工补沙量需要考虑施工过程以及海滩养护后的沙体的自然调整和流失，推荐实际施工补沙量为理论计算补沙量的1.3~1.5倍。

8.2 工程施工

8.2.1 施工准备

施工单位开工前应做好施工条件的踏勘工作，对合同或设计文件进行深入研究并结合施工具体条件编制施工方案，完成必要的行政审批程序且在施工现场做好安全警示工作。

8.2.2 填沙方式

填沙方式主要有干滩补沙、滩面补沙、水下补沙、沙丘补沙和人工沙源补沙等五种，其基本特点见附录E，推荐海滩养护和修复的主要补沙方式为干滩补沙和滩面补沙，实际施工也可以选择二者的结合。

8.2.3 人工构筑物施工

海岸工程和水工建筑的施工要求应符合SL 260-2014中3~7的规定。

9 跟踪监测与效果评估

9.1 跟踪监测

工程实施过程中以及建设完成后，应重点关注修复区在风暴潮后的灾害受损情况、减灾功能与生态状况变化，以及岸滩稳定性，针对性地确定监测范围与监测要素，制定监测方案，开展工程跟踪监测。具体监测内容和方法见5.2。

9.2 效果评估

9.2.1 灾害受损评估

9.2.1.1 评估指标

砂质海岸灾害受损评估指标见表11。

表 11 砂质海岸灾害受损评估指标

指标		类型	破坏程度		
			小	中	大
海岸线位置	平均大潮高潮线的变化量，侵蚀为负，淤积为正	主要指标	淤积或稳定	侵蚀后退距离为原干滩宽度的5%~25%	侵蚀后退距离为原干滩宽度的25%以上

堤前/后滨滩面高程	沙丘、滩肩等自然后滨的平均高程，或堤前滩面的高程，采用与灾前差值，下蚀为负，淤高为正	主要指标	淤高或稳定	局部下蚀	整体下蚀
潮间带坡度	平均高潮线到平均低潮线之间的坡度，以“高差/水平距离”表示	次要指标	变缓	不变	变陡
侵蚀热点	侵蚀热点数量或所占岸线的比例	次要指标	无	少于 2 处且 10%岸线占比	大于 2 处或大于 10%岸线占比
沉积物粒度	沙丘或滩肩、高潮带、中潮带、低潮带沉积物粒径	次要指标	基本不变	局部粗化	整体粗化

9.2.1.2 评估指标调查方法与要求

评估指标调查方法与要求见5.2.2。

9.2.1.3 评估方法

以砂质海岸北或东为起点，将砂质海岸每200m作为一个评价单元，根据评价指标的前后变化对比确定砂质海岸损害情况，将其分为损毁、受损和稳定三个级别，具体如下：

- a) 其中一项主要指标破坏程度为大时，该评估单元确定为损毁；
- b) 两项主要指标破坏程度皆不大于中，或有一项次要指标为大时为受损；
- c) 两项主要指标破坏程度皆为小，且次要指标为大时为稳定；
- d) 风暴后15日内，开展首次跟踪调查，评价风暴导致的砂质岸线损毁情况；
- e) 分别于风暴后1个月和3月后开展调查，评价砂质海岸恢复情况，并最终确定风暴灾害导致的砂质海岸不可逆损毁情况。

9.2.2 减灾功能评估

减灾功能评估见6.2。

9.2.3 养护海滩稳定性评估

9.2.3.1 指标体系构建

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。本部分基于自然动力条件、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（见表12）。

评估指标的释义及数据来源见表12。

表 12 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
	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
海滩适应能力	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13)。

表 13 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	有效波高 (m)	≤ 0.3	(0.3, 0.6]	(0.6, 0.9]	(0.9, 1.2]	> 1.2
2	风暴强度	历史记录最大波高 (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 (km)	≥ 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	滩肩前缘至后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
----	--------	----------------------	---	----------	------------	------------	------

9.2.3.2 评估方法

各指标的权重见表14。

表 14 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13指标分级方法确定各指标得分，结合表14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 (Nourished Beach Stability Index, NBSI)，计算公式如下：

$$NBSI = \sum_{i=1}^m (P_i * \omega_i) \quad (9)$$

式中，

m ——评估指标的个数；

P_i ——单项指标的得分；

ω_i ——该指标对应的权重。

9.2.3.3 评估结果

砂质海岸的稳定性评估结果分为五个等级（见表15）。

表 15 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

9.2.4 生态效果评估

按照T/CAOE 20.8-2020中7.2.2的规定执行。

10 质量控制

质量控制按照T/CAOE ××.1-2020第8章规定的要求执行。

11 成果与归档

11.1 成果编制

11.1.1 报告

报告包括：

- a) 《砂质海岸保护修复工程适宜性评价报告》，报告大纲应符合T/CAOE ××.1-2020附录C的要求；
- b) 《砂质海岸保护修复工程方案》，报告大纲应符合T/CAOE ××.1-2020附录D的要求；
- c) 《砂质海岸保护修复工程效果评估报告》，报告大纲应符合T/CAOE ××.1-2020附录E的要求；
- d) 《砂质海岸保护修复工程项目总结报告》，报告大纲应符合T/CAOE ××.1-2020附录F的要求。

11.1.2 专题图件

专题图件包括：

- a) 基础图件包括砂质海岸正射影像图、遥感识别图；
- b) 评价结果图包括砂质海岸生态现状评估图、灾害受损评价结果图、减灾功能评估图、海滩稳定性评估图；
- c) 工程设计图包括养护海滩平面设计图、剖面设计图、人工构筑物结构断面图。

11.1.3 数据集

数据集包括：

- a) 砂质海岸调查数据表、监测数据表、现场照片、遥感影像等；
- b) 砂质海岸调查数据实验室测试分析报告。

11.2 归档

归档按T/CAOE ××.1-2020中第8章的要求执行。

附录 A
(资料性附录)
常用减灾功能评价方法

A.1 现场观测方法

A.1.1 测量断面与测点

现场观测可采取断面观测方式，所选取的海滩断面应具有典型性，通常选择整个海滩中央位置附近的断面。当所评估的砂质海岸区域特征差异较大时，应选取多个断面，以完整代表评估区的各海滩岸段的特征。每个断面测点不少于两个，分别位于大潮低潮线附近和砂质海滩后滨（堤前），有条件时可在两点之间布放多个测点。

A.1.2 观测要素及方法

海滩地貌特征观测主要包括海岸线位置、堤前/后滨滩面高程、海滩剖面、侵蚀热点、沉积物粒度、海岸防护与构筑物等情况。海岸动力环境参数包括风暴期间的近岸区域水位和时间序列波要素，低潮带、高潮带和潮上带（堤前）的波要素，风暴潮最大漫滩高度。参照本部分表 2 与表 4 所规定的方法执行。

A.1.3 观测数据分析及计算

一次观测时长可达数小时至数天，将观测断面前后测点的有效波高 H_1 和 H_2 用于计算得到波浪在通过海滩时的波高衰减率 R_w 。

A.2 波高衰减率经验公式法

经验公式法仅适用于断面地形较为简单的情形，波浪观测站位和评估海滩之间没有明显遮挡。计算时需将整个剖面分成若干区段，分别求得各个区段的平均长度 Δx ，平均水深 d ，平均波长 L ，相对水深 d/L 。

采用经验公式估算波浪能量损耗，断面 $i-1$ 和断面 i 之间的波高衰减率 $K_{f(i-1,i)}$ 计算公式见式 (A.1)：

$$K_{f(i-1,i)} = \frac{1}{1 + \frac{32\pi^3 H_i}{3 g^2 T^4} [k_f B_1 + M B_2 H_i + N B_3 H_i^2]} K_s^2(i-1,i) K_r^2(i-1,i) \Delta x \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$H_i = K_{f(i-1,i)} K_s(i-1,i) K_r(i-1,i) H_{i-1} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$k_f = \exp[5.213 \left(\frac{B}{\Delta}\right)^{-0.194} - 5.977] \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$B_1 = \frac{k_f}{\sinh^2(kd)} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$M = \frac{24fgT^2}{\pi^3 Ld} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$B_2 = \frac{\sinh(kd) \cosh(kd) - kd}{\sinh^2(kd)} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$N = \frac{6f_0T}{\pi^3 L^2} \left(\frac{g}{d}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (A. 7)$$

$$B_3 = \frac{[2 \sinh^2(kd) - 3] \coth(kd) + \frac{3kd}{\sinh^2(kd)}}{\sinh^2(kd)} \dots\dots\dots (A. 8)$$

$$K_{s(i-1,i)} = \sqrt{\frac{(Cn)_{i-1}}{(Cn)_i}} \dots\dots\dots (A. 9)$$

$$K_{r(i-1,i)} = \sqrt{\frac{b_{i-1}}{b_i}} \dots\dots\dots (A. 10)$$

$$B = \frac{H_b}{2 \sinh(kd_b)} \dots\dots\dots (A. 11)$$

$$n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中：

$K_{f(i-1,i)}$ ——断面 $i-1$ 和断面 i 之间的波高衰减率；

H_i ——断面 i 处的波高；

g ——重力加速度；

T ——波周期；

L ——波长；

k ——波数；

d ——水深；

f_0 ——为常数取 0.242；

k_f ——底摩阻系数；

$K_{s(i-1,i)}$ ——断面 $i-1$ 和断面 i 之间的浅水变形系数；

$K_{r(i-1,i)}$ ——断面 $i-1$ 和断面 i 之间的波浪折射系数；

Δx ——两相邻断面之间的距离；

B ——波浪在水底的最大振幅；

Δ ——海底粗糙度，对于一般砂质海岸，取其泥沙粒径；

C ——相速度；

n ——波能传递系数；

b_i ——断面 i 处两相邻波向线之间的间距；

H_b ——破波高；

d_b ——破波水深。

砂质海岸保护下的波高衰减率 K_{ft} 为式 (A. 13)：

$$K_{ft} = 1 - \sum_{i=2}^m K_{f(i-1,i)} \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中：

m ——在整个滩面所划分的断面数。

A.3 物理模型试验方法

采物理模型试验方法时，应根据砂质海岸减灾功能评估需要设计技术方案，主要内容包括：模型比尺选取、岸滩地形断面与沉积物确定、水位和波浪条件设计、水槽及测量仪器布置和试验数据分析及计算。其中，三个重要的技术方案参数说明如下：

A.3.1 岸滩地形模型

物理模型需要选取模型岸滩地形和沉积物，按照长度相似准则确定岸滩地形尺度和沉积物尺度，长度相似比尺 λ_L 如式 (A.14) 所示；根据具体海岸的特点，综合考虑剖面形态相似、输沙冲淤相似、泥沙沉降相似或海底变形相似等相似条件后选择合适的模型砂作为沉积物。在进行砂质海岸海洋减灾功能评估时可采用潮间带地形作为长度比尺计算依据，长度比尺 λ_L 的取值不宜大于 50。

$$\lambda_L = \frac{L_p}{L_m} \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中：

L_p ——原型的特征长度；

L_m ——模型的特征长度。

A.3.2 水位计波浪条件

根据待评估砂质海岸近岸潮汐及波浪特征，模型水动力参数中水位和波高可采用长度比尺推求，计算公式如式 (A.15) 和式 (A.16) 所示。模型试验与原型参数还应符合重力相似准则，即原型弗洛德数 Fr_p 与模型弗洛德数 Fr_m 相等。根据长度比尺及重力相似准则，得到模型中波浪周期与真实海况周期的关系如式 (A.17) 所示。

$$L_{vm} = \frac{L_{vp}}{\lambda_L} \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

$$H_{0m} = \frac{H_{0p}}{\lambda_L} \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

$$T_m = \frac{T_p}{\sqrt{\lambda_L}} \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

式中：

L_{vm} ——模型水位；

L_{vp} ——原型水位；

H_{0m} ——模型波高；

H_{0p} ——原型波高；

T_m ——模型波周期；

T_p ——原型波周期。

A.3.3 水槽及测量仪器布置

实验水槽首端应布设造波设备，该设备应具备主动吸波功能。模型海滩布置在水槽中部，与造波设备相隔一定距离。在海滩后侧，经过一段距离后设置消波设备。实验室通常采用数字波高仪测量波浪在海滩滩面上的传播衰减。可将波高仪布置在滩面及其前后，波高仪测点至少为 2 个（滩面前后边缘各一个），布置位置可参照图 A.1。

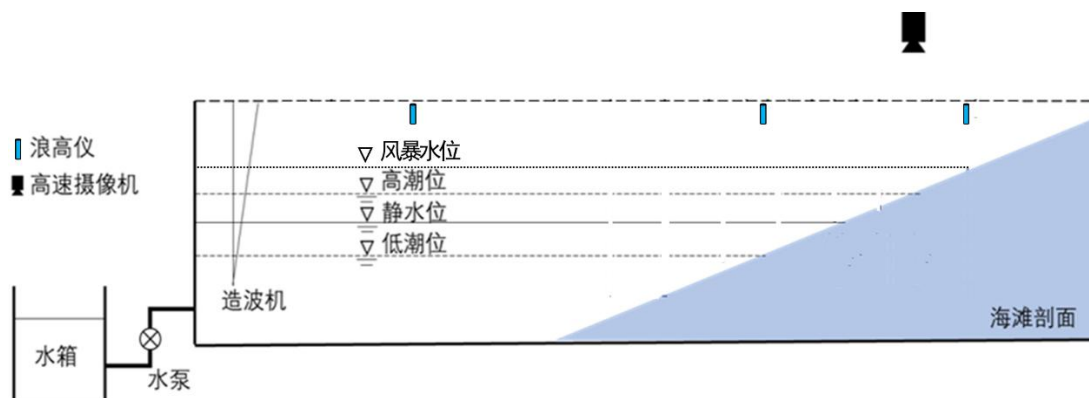


图 A.1 砂质海岸模型试验布置示意图

A.4 数值模拟方法

砂质海岸减灾功能数值模拟方法应包含近岸大区和滩面小区数值模拟两个部分。近岸大区波浪数值模拟主要用以将近岸观测资料推算到滩面前沿,从而为滩面小区数值模型提供边界条件;滩面小区数值模型主要用以模拟滩面上的波浪爬高、破碎、折射、绕射、反射等。

近岸大区波浪模拟可采用相位平均的波浪数值模型(如 SWAN),滩面小区数值模拟可采用相位解析的波浪数值模型(如 NHWAVE)。

采用数值模拟方法评估砂质海岸海洋减灾功能时,应采用真实尺度进行模拟计算,并将模拟得到的待评估海滩前后的波高 H_1 和 H_2 代入式(1),即可计算得到砂质海岸的波高衰减率 R_{wL} 。

A.5 砂质海岸减灾功能评估方法适用性

砂质海岸减灾功能评估方法适用性和优先度见表 A.1。

表 A.1 砂质海岸减灾功能评估方法适用性

方法	适用性	优先度
现场观测	开阔自然稳定海岸为佳,不可为强侵蚀损毁岸段、岛屿和基岩遮蔽岸段或人工构筑物较多的岸段。具有“海堤+海滩”和完整海滩地貌系统的两种岸段进行对比性观测。	高
物理模型试验	在区域海洋灾害频率较低(评估年份内未发生影响待评估区域的风暴潮)或经济技术条件不允许采用现场观测方法	中
数值模拟	在区域海洋灾害频率较低(评估年份内未发生影响待评估区域的风暴潮)或经济技术条件不允许采用现场观测方法时,若掌握了区域海滩地貌参数、近岸水动力条件,且有成熟的数值模拟软件及技术条件	中
经验公式	经验公式法仅适用于断面地形较为简单的情形,计算过程中仅考虑底摩阻能量损耗和紊动能损耗,由于海床渗透而导致的波能损耗暂未考虑。	低

附录 B
(资料性附录)
补沙方法及其特征

补沙方法及其特征见表 B.1。

表 B.1 补沙方法及其特征

补沙方法	图示	特点
干滩补沙	<p>原始宽度 补沙宽度 原始剖面 平衡剖面 海沙剖面 海面</p>	<p>优点：增加干滩宽度，造滩效果显著，便于施工，用沙量省，见效快。 缺点：剖面后续调整较大，向海流失快。</p>
海滩滩面补沙	<p>原始宽度 补沙宽度 原始剖面 平衡剖面 海面</p>	<p>优点：增加干滩宽度，塑造平衡剖面，长期效果好。 缺点：抛沙技术难度大，不易施工。</p>
近岸补沙	<p>滩肩 海面 沙坝</p>	<p>优点：滨外浪小，抛的沙运移少，可以逐渐补充海滩；水下沙坝可以起消浪作用，使海滩波浪减弱，利于堆沙。 缺点：用沙量大；短时间内难以展现养滩效果。</p>
沙丘补沙	<p>沙丘 滩肩 海面 沙坝</p>	<p>优点：阻挡风暴浪期间沙的越顶迁移，植物固丘提高海滩上部的抗冲力和扩大旅游休闲场所；风浪侵蚀滩肩期间，沙丘沙不断补充海滩。 缺点：用沙量大，自外海输运，运线长，造价高。</p>
人工沙源补沙	<p>上游岸段 下游岸段 抛填区 输砂方向</p>	<p>优点：适用于纵向输沙明显的平直海岸，在海岸上游提供沙源，通过自然过程持续对下游供沙，维持海岸的可持续的自然平衡。 缺点：用沙量很大，海岸构筑物不能阻断输沙。</p>

附录 C
(资料性附录)
变异系数赋权法

变异系数是概率分布离散程度的一个归一化量度，是它的标准差除以它的平均值。在任何一个评估模型中，每个指标都有自己的变异系数。对任何一个评估实例，若包含有 m 个评价指标和 q 个评估海滩，那么该评估实例可以用矩阵 $V=(a_{ij})_{m \times q}$ ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, q$) 来表示，即：

$$V = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1q} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mq} \end{bmatrix}$$

对于任意评价指标 i ($a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iq}$)，它的算术平均值可用方程式 (C.1) 来表示，即：

$$\mu_i = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q a_{ij} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

μ_i ——第 i 个指标的算术平均值；

q ——评估海滩的数量；

a_{ij} ——第 j 个海滩的第 i 个指标数值。

其标准差可方程式 (C.2) 来表示，即：

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{q-1} \sum_{j=1}^q (a_{ij} - \mu_i)^2} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

σ_i ——第 i 个指标的标准差。

评价指标 i ($a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iq}$) 的变异系数可以方程式 (C.3) 来表示，即：

$$c_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

c_i ——第 i 个指标的变异系数。

则评价指标 i 在所有评价指标体系中所占的权重可以方程式 (C.4) 来表示，即：

$$\omega_i = c_i / \sum_{i=1}^m c_i \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

ω_i ——第 i 个指标的权重。

参考文献

- [1] Masselink G, Short A D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model[J]. Journal of Coastal Research, 1993: 785-800.
- [2] Hsu J R C, Evans C. Parabolic bay shapes and applications[C]. ICE Proceedings. Thomas Telford, 1989, 87(4): 557-570.
- [3] Dean R G. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts[M]. Department of Civil Engineering and College of Marine Studies, University of Delaware, 1977.
- [4] Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A., Sallenger, A.H., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. Coast.Eng. 2006, 53 (7): 573 - 588.
- [5] 蔡锋, 等. 华南海滩动力地貌过程[M]. 海洋出版社, 2008.
- [6] 蔡锋, 等. 中国海滩养护技术手册[M]. 海洋出版社, 2015.
- [7] R G Dean. 蔡锋, 等译. 海滩养护:理论与实践[M]. 海洋出版社, 2010.
- [8] 戚洪帅, 蔡锋, 雷刚, 等. 华南海滩风暴响应特征研究[J]. 自然科学进展, 2009, 19(9).
-