

# 海洋生态修复技术指南

Technical guidelines for marine ecological restoration

(试行)

二〇二一年七月

# 目 录

## 前 言

<b>1 适用范围 .....</b>	<b>1</b>
<b>2 规范性引用文件.....</b>	<b>1</b>
<b>3 术语和定义 .....</b>	<b>4</b>
<b>4 总则 .....</b>	<b>9</b>
4.1 目的 .....	9
4.2 原则 .....	9
4.3 一般要求 .....	10
4.4 基本技术流程 .....	10
4.4.1 修复规划 .....	11
4.4.2 工程设计 .....	12
4.4.3 工程实施 .....	12
4.4.4 管理维护 .....	12
<b>5 典型生态系统修复.....</b>	<b>12</b>
5.1 红树林生态修复 .....	12
5.1.1 基本要求 .....	12
5.1.2 修复流程 .....	13
5.1.3 前期调查 .....	15
5.1.4 问题诊断与目标确定.....	16
5.1.5 修复措施 .....	18
5.1.6 监测评估 .....	24
5.2 盐沼生态修复 .....	27
5.2.1 基本要求 .....	27
5.2.2 修复流程 .....	27
5.2.3 前期调查 .....	27
5.2.4 问题诊断与目标确定.....	28
5.2.5 修复措施 .....	30
5.2.6 监测评估 .....	34
5.3 海草床生态修复 .....	36
5.3.1 基本要求 .....	36
5.3.2 修复流程 .....	36

5.3.3	前期调查 .....	36
5.3.4	问题诊断与目标确定.....	38
5.3.5	修复措施 .....	40
5.3.6	监测评估 .....	43
5.4	海藻场生态修复 .....	45
5.4.1	基本要求 .....	45
5.4.2	修复流程 .....	46
5.4.3	前期调查 .....	46
5.4.4	问题诊断与目标确定.....	47
5.4.5	修复措施 .....	48
5.4.6	跟踪监测 .....	52
5.5	珊瑚礁生态修复 .....	54
5.5.1	基本要求 .....	54
5.5.2	修复流程 .....	55
5.5.3	前期调查 .....	56
5.5.4	问题诊断和目标确定.....	57
5.5.5	修复措施 .....	58
5.5.6	监测与评估 .....	60
5.6	牡蛎礁生态修复 .....	62
5.6.1	基本要求 .....	62
5.6.2	修复流程 .....	63
5.6.3	前期调查 .....	65
5.6.4	问题诊断和目标确定.....	66
5.6.5	修复措施 .....	67
5.6.6	监测与评估 .....	69
<b>6</b>	<b>综合生态系统修复.....</b>	<b>71</b>
6.1	岸滩整治与生态修复 .....	71
6.1.1	基本要求 .....	71
6.1.2	修复流程 .....	71
6.1.3	前期调查 .....	74
6.1.4	问题诊断与目标确定.....	78
6.1.5	修复措施 .....	81
6.1.6	跟踪监测 .....	87
6.1.7	效果评估 .....	90

6.2 河口生态修复.....	92
6.2.1 基本要求 .....	92
6.2.2 修复流程 .....	93
6.2.3 前期调查 .....	93
6.2.4 问题诊断与目标确定.....	94
6.2.5 修复措施 .....	95
6.2.6 跟踪监测 .....	100
6.2.7 修复效果评估 .....	101
6.3 海湾生态修复.....	104
6.3.1 基本要求 .....	104
6.3.2 修复流程 .....	104
6.3.3 前期调查 .....	105
6.3.4 问题诊断与目标确定.....	107
6.3.5 修复措施 .....	107
6.3.6 跟踪监测 .....	110
6.3.7 修复效果评估 .....	112
6.4 海岛生态修复.....	115
6.4.1 基本要求 .....	115
6.4.2 修复流程 .....	115
6.4.3 前期调查 .....	116
6.4.4 问题诊断与目标确定.....	118
6.4.5 修复措施 .....	120
6.4.6 跟踪监测 .....	123
6.4.7 修复效果评估 .....	124
<b>附 录 A.....</b>	<b>126</b>
<b>附 录 B.....</b>	<b>127</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>128</b>

## 前 言

为贯彻落实党中央、国务院关于生态文明建设的战略决策部署，落实自然资源部统一行使国土空间生态修复的工作职责，提升海洋生态修复科学化水平，规范红树林、盐沼、海草床、海藻场、珊瑚礁、牡蛎礁等典型海洋生态系统，以及岸滩、河口、海湾和海岛等综合型生态系统的生态修复措施与基本要求，依据有关规定及规范，制定本指南。

本指南起草单位：自然资源部第三海洋研究所、自然资源部海岛研究中心、自然资源部第二海洋研究所、中国海洋大学

本指南主要起草人：戚洪帅、陈光程、欧阳玉蓉、郑新庆、王金坑、陈顺洋、黄丁勇、赵博、姜德刚、孙丽、周斌、王浩然、刘建辉、赵绍华、董卫卫、戴娟娟

# 海洋生态修复技术指南（试行）

## 1 适用范围

本指南规定了海洋生态修复的原则和 workflows，以及红树林、盐沼、海草床、海藻场、珊瑚礁、牡蛎礁等典型生态系统和岸滩、海湾、河口、海岛等综合生态系统修复的问题诊断、基本要求、修复措施、修复效果监测与评估等方面的技术要求。

本指南适用于海洋生态修复工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本指南的引用而成为本指南的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本指南。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

GB 17378.3-2007 海洋监测规范 第3部分：样品采集、贮存与运输

GB 17378.4-2007 海洋监测规范 第4部分：海水分析

GB 17378.5-2007 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析

GB 17378.6-2007 海洋监测规范 第6部分：生物体分析

GB 17378.7-2007 海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测

GB 18668-2002 海洋沉积物质量

GB 3097-1997 海水水质标准

GB 50021-2001 岩土工程勘察规范

GB/T 12343.1-2008 国家基本比例尺地图编绘规范 第1部分：1:25000

GB/T 12763.2-2007 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测

GB/T 12763.4-2007 海洋调查规范 第4部分：海水化学要素调查

GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查

GB/T 12763.8-2007 海洋调查规范 第 8 部分：海洋地质地球物理调查

GB/T 12763.9-2007 海洋调查规范 第 9 部分：海洋生态调查

GB/T 12763.10-2007 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查

GB/T 14914.2-2019 海洋观测规范 第 2 部分：海滨观测

GB/T 15919-2010 海洋学术语 海洋生物学

GB/T 17501-2017 海洋工程地形测量规范

GB/T 18190-2017 海洋学术语 海洋地质学

GB/T 19485-2014 海洋工程环境影响评价技术导则

GB/T 29726-2013 海湾围填海规划环境影响评价技术导则

GB/T 38360-2019 裸露坡面植被恢复技术规范

GB/T 51015 海堤工程设计规范

DB31/T 1243-2020 互花米草生态控制技术规范

HJ 710.4-2014 生物多样性观测技术导则 鸟类

HY/T 080-2005 滨海湿地生态监测技术规程

HY/T 081-2005 红树林生态监测技术规程

HY/T 082-2005 珊瑚礁生态监测技术规程

HY/T 083-2005 海草床生态监测技术规程

HY/T 084-2005 海湾生态监测技术规程

HY/T 085-2005 河口生态监测技术规程

HY/T 147.1-2013 海洋监测技术规程第 1 部分：海水

HY/T 147.2-2013 海洋监测技术规程第 2 部分：沉积物

HY/T 147.3-2013 海洋监测技术规程第 3 部分：生物体

HY/T 214-2017 红树林植被恢复技术指南

HY/T 254-2018 海滩质量评价与分级

HY/T 255-2018 海滩养护与修复技术指南

LY/T 1819-2009 珍稀濒危野生植物保护技术规程

LY/T 1820-2009 野生植物资源调查技术规程

LY/T 1938-2011 红树林建设技术规程

LY/T 2130-2013 红树林控制米草属植物技术规程

LY/T 2590-2016 珍稀濒危野生植物种子采集技术规程

LY/T 2853-2017 红树林主要食叶虫害防治技术规程

LY/T 2938-2018 极小种群野生植物保护原则与方法

LY/T 2972-2018 困难立地红树林造林技术规程

NY/T 1121 土壤检测系列标准

SC/T 9401-2010 水生生物增殖放流技术规程

SL 188-2005 堤防工程地质勘察规程

T/CAOE 1-2020 围填海工程海堤生态化建设标准

T/CAOE 20.3-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 3 部分：红树林

T/CAOE 20.4-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 4 部分：盐沼

T/CAOE 20.5-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 5 部分：珊瑚礁

T/CAOE 20.6-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 6 部分：海草床

T/CAOE 20.7-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 7 部分：牡蛎

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 20.9-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 9 部分：河口

T/CAOE 20.10-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 10 部分：海湾

T/CAOE 21.3-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第 3 部分：盐沼

T/CAOE 21.4-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第 4 部分：珊瑚礁

T/CAOE 21.5-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第 5 部分：海草床

T/CAOE 21.6-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第 6 部分：牡蛎礁

T/CAOE 21.9-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第 9 部分：连岛海堤和沿岸工程整治改造

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

#### 3.1

**红树林 mangroves**

分布于热带和亚热带地区潮间带以红树植物为主体的植物群落。

注：参考《中国红树林生态系统》

#### 3.2

**盐沼 salt marsh**

受周期性潮汐运动影响的覆盖有草本植物的滨海或岛屿边缘区域的滩涂。

#### 3.3

**海草床 seagrass meadow**

中、低纬度海域潮间带中、下区和低潮线以下数米乃至数十米浅水区海生显花植物（海草）和草栖动物繁茂的平坦软相地带。[GB/T 15919-2010，定义 5.56]

#### 3.4

### **海藻场 seaweed beds (kelp beds)**

沿岸潮间带下区和潮下带水深 30m 以内浅硬质底区的大型底栖藻类与其他海洋生物群落共同构成的一种典型近岸海洋生态系统，广泛分布于冷温带以及部分热带和亚热带海岸。形成海藻场的大型藻类主要有马尾藻属、巨藻属、昆布属、裙带菜属、海带属和鹿角藻属。

### 3.5

#### **珊瑚 coral colony**

由许多同种（属）珊瑚水螅体所形成的独立的集合体。

[HY/T 082-2005，定义 3.2]

### 3.6

#### **珊瑚礁 coral reef**

由活珊瑚、死亡珊瑚的骨骼及其它礁区生物共同堆积组成的聚集体。

[HY/T 082-2005，定义 3.3]

### 3.7

#### **牡蛎礁 oyster reef**

由活体牡蛎、死亡牡蛎的壳及其它礁区生物共同堆积组成的聚集体。

### 3.8

#### **海湾 bay**

被陆地环绕且面积不小于以口门宽度为直径的半圆面积的海域。

[改写 GB/T 18190-2017，定义 2.1.26]

### 3.9

#### **河口 estuary**

半封闭的海岸水域，向陆延伸至潮汐水位变化影响的上界，有一条或多条通道与外海或其他咸水的近岸水域相通。河口水域分为 3 段，河口下游段，即口外海滨

段，其与开阔的海洋自由连通；河口中游段，即河口段，其是咸淡水发生混合的主体部分，也是河海的过渡段；河口上游段，即近口段，其主要为淡水径流所控制。

[自然资源调查标准名词术语推荐定义]

### 3.10

#### 海岸线 coastline

多年大潮平均高潮位时海陆分界痕迹线。

[GB/T 18190-2017, 定义 2.1.1]

### 3.11

#### 自然岸线 natural coastline

由海陆相互作用形成的原生岸线。

[《全国海岸线修测技术规程》2019, 定义 3.2]

### 3.12

#### 人工岸线 artificial coastline

由永久性人工构筑物组成的岸线。

[《全国海岸线修测技术规程》2019, 定义 3.3]

### 3.13

#### 岸滩 shore

被岩石、沙、砾石、泥、生物遗骸覆盖的海洋沿岸堆积地貌。

### 3.14

#### 闭合深度 closure depth

海滩系统向海侧的边界、泥沙横向运动的下限深度。

[GB/T 18190-2017, 定义 2.1.29]

### 3.15

#### 后滨 backshore

从平均大潮高潮线向陆地伸延到生长植物或自然地理特征改变的地方。(范围示意图见附录 A)

[HY/T 254-2018, 定义 3.2]

3.16

**前滨 foreshore**

平均大潮高潮线至海图 0m 等深线之间的地带。(范围示意图见附录 A)

[改写 GB/T 18190-2017, 定义 2.1.4]

3.17

**内滨 inshore**

低潮线至沉积物不能被波浪作用横向搬运(即闭合深度)的地带。(范围示意图见附录 A)

[GB/T 18190-2017, 定义 2.1.7]

3.18

**海洋生态敏感区 marine ecological sensitive area**

海洋生态服务功能价值较高,且遭受损害后较难恢复其功能的海域。包括国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、自然公园,重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道,天然渔场,重要的海洋生态系统和特殊生境(红树林、珊瑚礁等)、重要湿地,及其他海洋生态保护红线管控范围。

[改写 GB/T 19485-2014, 定义 3.5; 改写建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 版)第三条]。

3.19

**生态退化 ecological degradation**

生态系统的一种逆向演替过程,在自然因素或人为干扰下,生态系统处于一种

不稳或失衡状态，生态系统逐渐演变为另一种与之相适应的低水平状态的过程。

### 3.20

#### **生态修复 ecological restoration**

利用生态系统的自我修复能力，或通过适当的人工辅助措施，使退化、受损或毁坏的生态系统恢复的过程，建立一个能够自我维持或在较少人工辅助下能自我维持的健康生态系统。

### 3.21

#### **岸滩整治与生态修复 coastline restoration**

通过必要且适当的工程技术措施使受损的岸滩及其临近区域恢复为自然或半自然生态属性功能的过程。

### 3.22

#### **海岸侵蚀 coastal erosion**

由自然因素、人为因素引起的岸线位置后退，或滩面下蚀、变窄变陡的地质现象。

[GB/T 18190-2017, 定义 5.5.1]

### 3.23

#### **海滩养护 beach nourishment**

将异地与修复区海岸环境相适应的沉积物通过人工手段搬运到海岸指定位置，增加平均高潮位以上海滩的宽度，恢复海滩功能。必要时可辅以特定的海岸构筑物。

[HY/T 255-2018, 定义 3.4]

### 3.24

#### **海堤生态化 seawall ecological improvement**

利用植被、环境友好材料和工法结合，对已建海堤进行改造，在不降低物理防护能力的基础上，提升其生态连通性和生态服务功能。

### 3.25

#### **生态修复监测 ecological restoration monitoring**

利用物理、化学、生态学等技术手段，针对生态修复项目，对生态修复实施前、实施过程和实施后的生态系统中的各个要素、生态过程、生态系统结构和功能等方面进行的监控和测试，为跟踪评估生态修复方案的影响、生态系统的演替方向和生态修复实施效果提供基础信息。

### 3.26

#### **效果评估 performance assessment**

根据生态修复前、实施过程和实施后的监测信息，对生态修复实施后生态系统的结构和功能进行分析评价，评价生态修复项目达到预期目标的情况，以验证生态修复方案及其实施的准确性和有效性，并提出改进措施。

## **4 总则**

### **4.1 目的**

通过生态修复，最大程度地修复受损和退化的海洋生态系统，恢复海岸自然地貌，改善海洋生态系统质量，提升海洋生态系统服务功能。

### **4.2 原则**

生态修复应满足以下原则：

a) 问题导向，因地制宜。科学准确识别生态问题，分析生态系统退化原因，以生态本底和自然禀赋为基础，统筹考虑技术、时间、资金、生态影响等因素，因地制宜、分类施策，合理布局生态修复工程。

b) 自然恢复为主，人工修复为辅。遵循自然生态系统内在机理和演替规律，维护生态系统多样性和连通性。尊重自然，顺应自然，保护自然。注重海洋生态系统

的自我修复能力，减少人类活动对生态系统的干扰；只有在自然恢复不能实现的条件下，充分结合现有的自然条件采取适当的人工辅助措施，促进生态系统修复。

c) 陆海统筹，系统修复。遵循基于生态系统考虑的原则，从陆海统筹角度考虑海洋生态系统的功能，从其完整性出发开展系统修复，避免修复工作导致海洋生态系统的割裂和损害。充分考虑生态修复活动空间上的系统性和时间上的连续性，分步骤、分阶段进行修复工作，并开展全过程的监督、生态环境跟踪监测和适应性管理。

d) 合理可行，风险可控。修复项目应符合国家和地区的用海、用岛、用地规定，生态修复技术措施可行且投资成本合理；充分考虑生态修复活动与周边区域的相互影响，不宜采用无法预估实施后是否会对修复区域或周边区域造成不利影响的技术措施。

### 4.3 一般要求

- a) 生态修复项目应明确修复对象、修复目标和修复区域边界；
- b) 退化诊断包括退化过程、退化原因、退化阶段与强度的诊断与辨识等；
- c) 退化生态系统修复的可行性分析宜涵盖自然、经济、社会和技术等方面；
- d) 生态修复项目实施方案编制应包含详细的跟踪监测计划，以满足修复效果评估要求；
- e) 生态修复项目实施方案编制应设置可量化考核的修复绩效总目标和年度绩效目标；
- f) 开展海洋生态修复，涉及权属问题的，应依法依规办理相关手续；
- g) 生态修复工程实施后，应开展定期监测、后续养护与管理。

### 4.4 基本技术流程

海洋生态修复的技术流程一般分为规划、设计、实施和管护四个基本阶段。其

中第一个阶段为整体布局环节，后三个阶段为具体实施过程。

#### 4.4.1 修复规划

立足于区域尺度对区域整体进行现状调查与分析、问题识别与诊断、目标设定、适宜性分析和整体布局、进度安排与资金估算等，充分体现海洋生态修复的整体性和系统性特征。基本技术流程如下：

a) 生态现状调查与分析：在充分收集和分析海洋生态调查和规划的相关成果，海洋浮标、海洋站和科学观测台站的数据，以及海洋工程项目的历史调查成果的基础上，对区域内典型生态系统、敏感目标、受损区域、人为活动重影响区等开展调查，详细摸清区域海洋生态的整体特征，明确拟修复海洋生态系统的边界。

b) 问题识别与诊断：参照拟修复区域生态系统特征的历史状态，或临近区域未受破坏或破坏程度低的类似生态系统确定参照生态系统，诊断区域生态系统的整体健康状况。在现状调查的基础上，在区域尺度上识别海洋生态胁迫、生态系统质量、生态系统服务和生态空间格局等方面的生态问题。分析区域生态问题的表现形式和产生的原因，识别区域生态系统受损的核心因素。

c) 目标设定：基于区域生态问题的诊断识别，围绕提升区域生态系统的主导功能，消除胁迫因素，优化区域生态格局，提高生态连通性，提出区域生态修复的总体目标，并进一步分解设置为分级、分期目标，从整体性和系统性角度指导区域海洋生态修复的实施，实现海洋生态功能的全方位提升。

d) 适宜性评价与整体布局：在整体目标指导下，在拟修复区域开展海洋生态修复适宜性评价。基于现状调查、问题分析和评价结果，着眼于区域整体布局海洋生态修复格局，设置海洋生态修复的空间单元、修复目标对象，确定采取的修复措施类型。在此基础进一步分解为具体的修复工程项目。

e) 进度安排与资金估算：在确定修复工程项目内容的基础上，进一步明确修复项目开展的时间顺序及进度，估算项目开展的资金需求。

#### **4.4.2 工程设计**

依据修复规划确定的修复单元或对象，开展工程实施前本底调查，详细掌握拟修复区域的生态现状，诊断生态问题，确定参照生态系统，设定工程项目的具体修复目标，明确工程的修复重点和内容。针对关键生态问题进行修复工程建设布局，设计各单项修复工作的具体技术细节。基于生态系统的特征和修复优先级，有序安排修复计划进度，并进行工程资金概算，制定海洋修复工程实施方案。参照国家和行业等相关标准，根据工程项目要求编制设计文件，包括工程初步设计文件、工程施工图设计文件。

#### **4.4.3 工程实施**

按照相关管理要求，组织开展项目报批、招标等手续，并严格落实法人制、公开制、招投标制、合同制、监理制及财务管理等相关管理制度。依据设计文件，开展修复工程项目施工。施工期间，应同步开展生态环境监测，采取必要施工管理措施避免工程施工导致的次生生态环境影响。加强施工监理，严把施工质量；严格控制施工时间进度，如需变更施工方案，应开展针对性论证，并整体优化施工安排。

#### **4.4.4 管理维护**

基于生态系统特征和修复目标，制定修复后管理维护方案。明确修复后监测评估的内容和指标，布设项目区生态监测站点，采用遥感、现场和调访相结合方式，开展修复工程全过程监控，形成时序完整的修复后监测数据，定期评估修复成效。根据监测和评估结果，对照生态修复目标，发现生态修复过程中的问题和风险，适时调整修正，开展基于生态系统的适应性管理。

## **5 典型生态系统修复**

### **5.1 红树林生态修复**

#### **5.1.1 基本要求**

针对土地（海域）利用方式转变、生境丧失/退化、环境污染、有害生物影响加剧等造成的红树林生态系统退化、面积严重缩减等问题，在严格保护现有红树林基础上，因地制宜采用自然恢复、人工辅助修复或重建性修复等方式，修复退化或已丧失的红树林生态系统，提升我国红树林的面积和质量。

红树林生态修复遵循如下要求：

a) 优先开展退化红树林的修复，保护原生红树林生态资源；开展红树林生态修复时宜充分利用红树林的再生能力实现植被和生态系统的自然恢复；

b) 不得擅自引进和种植外来物种。在以湿地植被为主要保护对象的自然保护区中开展植被种植时，应选用乡土物种，禁止采用外来物种；

c) 优先选取生境适宜的区域和适生物种开展生态恢复，应充分考虑种植环境，适当选取种植苗的苗龄，减少生境改造等工程投入；

d) 生态修复应尊重红树林地理空间的完整性和连通性，充分考虑红树林周边滩涂和浅水水域的保护和生境的修复，保障湿地生态系统的稳定；

e) 注重修复区域周边的原生植被保护，避免在修复过程中占用或影响盐沼湿地、海草床及重要鸟类的栖息觅食地；

f) 修复项目应与区域发展规划相协调，注重提升社区受益度，鼓励修复地周边社区民众积极参与。

### **5.1.2 修复流程**

红树林生态修复工作内容包括前期调查、问题诊断、修复目标确定、修复方式确定、修复方案制定、工程实施、跟踪监测与效果评估等，具体流程如图 5.1-1。

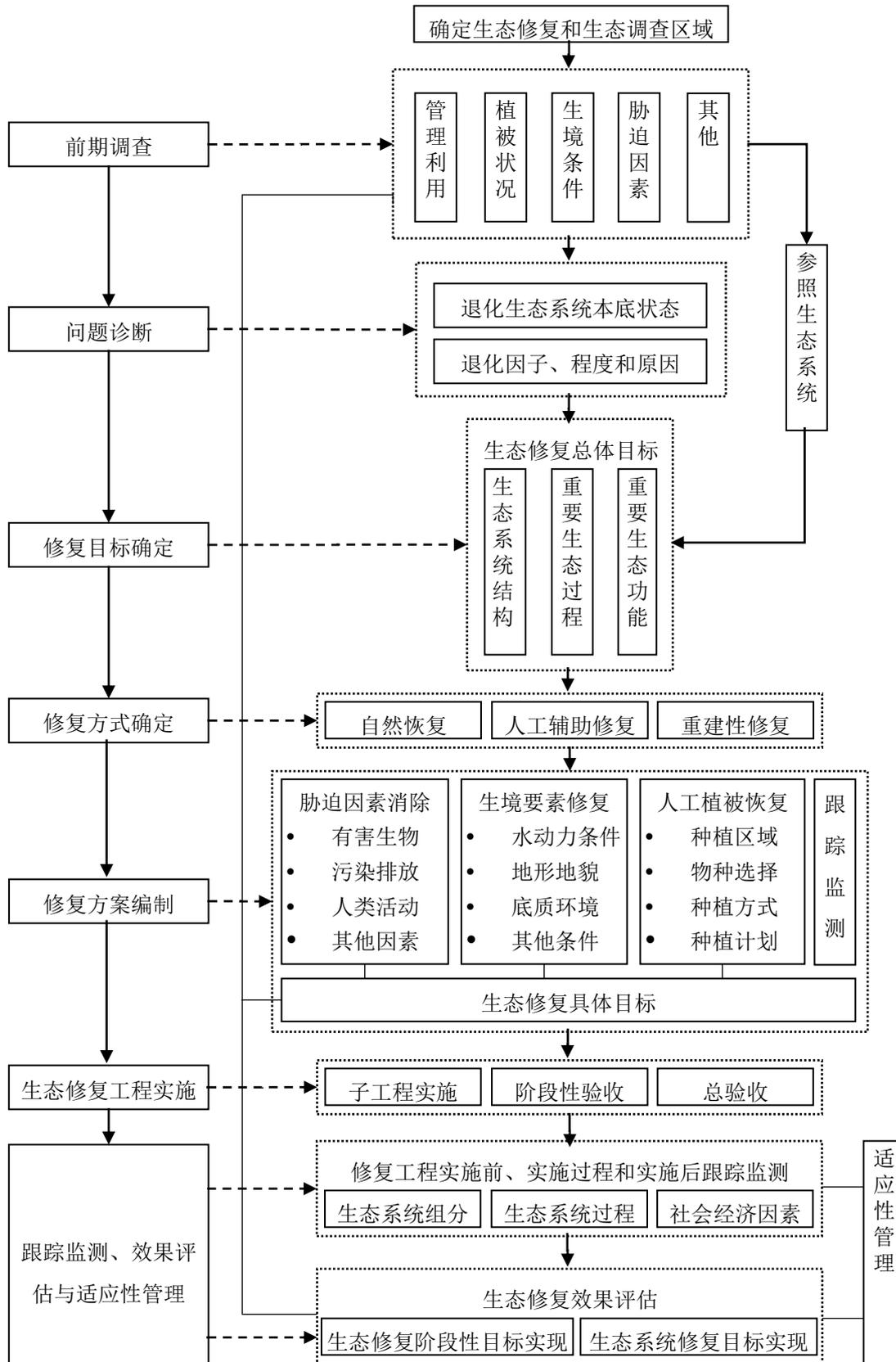


图 5.1-1 红树林生态修复工作流程

### 5.1.3 前期调查

#### 5.1.3.1 调查目的

前期调查的目的在于掌握红树林生态系统现状，为分析红树林退化原因、确定修复方式、制定生态修复方案提供依据，为修复效果评估获得修复前或参照生态系统的生态状况资料。

#### 5.1.3.2 调查区域

前期调查的区域应覆盖拟开展红树林生态修复的区域及可能影响项目实施或受到项目实施影响的区域。对于已经具有明确修复对象和区域的项目，调查区域包括拟修复的区域及周边区域。如开展区域性生态修复但未明确具体的修复区域，调查区域宜涵盖红树林分布区域所在的河口、海湾等区域，需要时可包括周边的河口、海湾等区域。

前期调查阶段，应明确可设定为参照生态系统的红树林并开展相应的生态调查。

参照生态系统可以是退化前的红树林生态系统或者邻近区域未退化的生态系统，或是根据多个红树林或者历史情况综合的生态系统模型。

#### 5.1.3.3 调查内容与方法

红树林生态修复前期调查的内容包括管理利用现状、红树林植被、生境条件、胁迫因素等，应尽可能获取修复区域的基线状态以及参照生态系统的生态状况资料。

##### a) 管理利用现状

采用资料收集为主的方式，获取涉及项目修复区域的相关规划、海洋和红树林相关的保护管理现状、现有的滩涂、养殖池塘和红树林的权属及行政主管部门、红树林及其周边区域开展的开发和利用现状等。分析开展红树林生态修复的区域发展协调性和政策一致性。

##### b) 红树林植被

红树林植被调查是前期调查的关键工作，通过遥感影像分析、资料收集和现场

调查等形式获取。调查内容包括但不限于：项目所在区域及周边区域的红树林分布、面积和物种的情况；项目所在区域和参照红树林的植被参数，包括分布边界、面积、林带宽度、郁闭度、物种、密度、株高和生物量等。调查内容、指标和调查方法参考 T/CAOE 20.3-2020 和 HY/T 081-2005。

#### c) 生境条件

通过生境调查掌握现有红树林分布区域的生境条件，了解本地区红树林对生境条件的需求，诊断红树林生境是否退化，并为选划适宜的修复地块提供基础数据。生境条件的调查包括气候条件、滩涂地形条件、沉积物环境和水文条件等，应重点关注海水盐度、底质类型、水环境质量、底质环境质量、水动力条件、滩涂高程和冲淤环境等。宜通过现场调查和数学模型模拟等方法获取生境要素的数据。调查参考 GB 17378.4-2007、GB 17378.5-2007、GB/T 12763.2-2007、GB/T 12763.4-2007、GB/T 12763.8-2007 和 HY/T 147.1-2013 执行。

#### d) 胁迫因素

红树林生态系统的胁迫因素主要包括自然干扰和人为干扰，常见的有人类开发活动及其引起生境变化、有害生物爆发等。胁迫因素的调查结合管理利用现状的调查进行，重点关注民众开发活动、生活和生产活动影响、有害生物和极端气候事件等。胁迫因素调查参考 T/CAOE 20.3-2020。

#### e) 其他生态调查

生态修复的前期调查应对修复区域开展综合的生态调查，以了解生态修复前生态系统的本底状况。除上述的内容外还应包括底栖动物、游泳动物、鸟类等生物群落，以及红树林的重要生态过程。

### 5.1.4 问题诊断与目标确定

#### 5.1.4.1 问题诊断

根据前期调查结果及参照生态系统，综合分析红树林退化原因、退化程度，识

别引起退化的主要胁迫因素和驱动因子，评估可修复性并确定修复方式。

红树林生态系统存在的主要生态问题包括人类开发活动导致红树林丧失或生境退化、有害生物导致植被退化、污染胁迫、乡土红树植物濒危现象严重和外来红树物种影响等。在问题诊断时，应根据实际情况分类分析。

#### 5.1.4.2 目标确定

综合考虑区域管理利用现状、相关规划、生态功能定位等因素，根据生态现状、生态问题诊断结果，确定红树林生态修复的目标。

生态修复的目标应包括总体目标和具体目标，两类目标均要明确对应的实现时限，并充分考虑生态系统及其参数的恢复轨迹，设定阶段性的目标。

##### a) 总体目标

总体目标反映修复一定时期后红树林生态系统预期达到的状态及水平。总体目标考虑生物群落、自然环境、生态系统结构、重要生态过程和功能的修复等内容，明确对应的生态系统参数并量化其修复的水平。总体目标的设定可参考以下内容：

- 1) 生物群落：植被、底栖生物、鸟类、微生物、游泳动物等；
- 2) 自然环境：地形地貌、水文条件、沉积物环境、水体环境等；
- 3) 重要生态过程：沉积过程、初级生产力、植被更新、凋落物周转、与周边水体环境的生物和化学物质交换等；
- 4) 重要生态功能：消浪促淤、固碳增汇、维持生物多样性和净化环境等；
- 5) 设定总体目标的实现期限时，生物和自然环境因子可设定为 20 年，生态过程和生态功能的修复以 40 年为宜。

##### b) 具体目标

在总体目标的基础上进一步明确修复的具体目标。具体目标反映在修复项目实施期限内或者修复后的初期，被修复的具体对象/生态系统参数拟达到的水平。

具体目标可结合工程实施的具体内容进行设定，考虑以下几个方面：

红树林植被的修复：种植或自然恢复的红树林的面积、斑块、物种数量、郁闭度、密度、自然更新幼苗的密度等。

红树林生境条件的修复：包括水体盐度、底质类型、沉积物营养状况、水动力条件（冲淤环境）和高程等修复的程度。

胁迫因素的消除：减少红树林区民众活动、污染物排放、外来物种、有害生物、海漂垃圾等影响范围和程度。

修复项目的具体目标的实现期限以 3-5 年为宜。

#### **5.1.4.3 修复方式确定**

根据退化程度，红树林生态修复的方式包括有效管理下的自然恢复、人工辅助修复和基于人工种植的重建性修复三种类型。

a) 自然恢复。对于轻度受损、林内有足够繁殖体、自我更新能力强的红树林生态系统，主要采取去除外界压力或干扰、封滩育林的方式，加强保护措施、促进生态系统自然恢复。常见的干扰因素包括林下采捕、果实采集、污染排放、家禽养殖以及轻微的病虫害和海漂垃圾等。

b) 人工辅助修复。对于中度受损的红树林生态系统，如红树林存在严重的胁迫因素，或其生境条件出现退化不再满足红树林正常生长要求，只依靠保护和管理不能实现红树林的自然恢复时，通过消除胁迫因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者进行少量干预（如补种等）促进生态系统恢复。

c) 重建性修复。对于严重退化的红树林，生态系统无法通过自然再生或者在少量人工辅助下实现自然恢复的，在消除胁迫因素的基础上，实施生境修复、人工种植等手段进行重建性修复。

#### **5.1.5 修复措施**

针对红树林生态系统面临的不同生态问题，因地制宜采用修复措施。

a) 生境丧失的红树林修复

历史上围垦造田、围建盐田、围海养殖和围海造地等活动侵占大量红树林。对于红树林已经完全丧失并转为非林地的湿地，可采取退养等方式恢复生境，并结合人工种植的方式重建红树林生态系统。优先在生境适宜的区域开展通过自然恢复或适当生境改造基础上的人工种植修复。

#### b) 生境退化的红树林修复

海岸工程和过度采砂等人为活动造成的水动力条件改变、潮汐交换通道受阻、底质类型改变、岸线侵蚀和滩涂地形地貌改变等，引起红树林的退化或死亡。针对以上问题，应严格限制红树林周边区域的人为开发活动，同时采用消波护岸、地形地貌恢复等措施，在修复红树林生境条件的基础上，通过自然修复或人工措施恢复红树林。

#### c) 有害生物影响的修复

互花米草、害虫、鱼藤等有害生物的不断爆发造成红树林植被退化。对于存在有害生物爆发区域，开展有害生物防治，结合自然恢复和人工辅助修复等方式开展红树林修复。

#### d) 污染胁迫的修复

沿海工业及生活污水的排放、生活垃圾的倾倒和近海养殖污染排放导致红树林生境恶化，破坏红树林自然生态系统的平衡。应实施海陆统筹原则，加强陆源污染物排放治理、清理海漂垃圾，修复红树林生境。

#### e) 珍稀濒危红树物种的保护修复

当前，我国乡土红树植物濒危现象严重，红榄李、拟海桑、海南海桑、小花老鼠簕、瓶花木和卵叶海桑等物种在自然环境下植株数量极少，并且保护前景不容乐观。需加强对濒危和稀有物种的抢救性保护，并通过生境修复和人工种植等措施扩大这些物种的种群数量，提高其自然更新能力。

#### f) 外来红树植物管理

无瓣海桑和拉关木等外来红树植物，生长迅速、适宜性强，在我国沿海防护林建设中发挥了重要作用。但一些区域存在大量无序引种的现象，导致红树物种多样性单一，也可能导致其扩散和影响乡土红树植物生长的风险。对于这些外来红树植物，如出现负面生态影响的，可因地制宜开展群落改造或清除。

表 5.1-1 红树林主要生态问题和修复措施

主要生态问题	主要修复措施			
	生境修复	红树林植被修复	有害生物防治	保育管理
生境丧失	★ ▪ 对于养殖池塘和盐田等开展水动力条件修复 ▪ 适当的地形地貌改造措施 ▪ 沉积物环境修复	★ ▪ 促进植被自然恢复 ▪ 如无法自然恢复，采用人工种植修复植被	▪ 植被修复初期加强互花米草等有害生物的防治	▪ 封滩育林，防止周围民众生产活动干扰修复区域
生境退化	★ ▪ 消波护岸稳定岸滩 ▪ 修复潮汐交换 ▪ 适当增加或降低滩涂的高程 ▪ 适当覆土增加土层厚度	★ ▪ 促进植被自然恢复 ▪ 如无法自然恢复，采用人工种植修复植被	▪ 植被修复初期加强互花米草等有害生物防治	▪ 加强海陆统筹防控污染 ▪ 封滩育林，促进红树林植被自然恢复
有害生物影响		★ ▪ 消除有害生物等影响，促进植被自然恢复 ▪ 通过人工种植修复植被	★ ▪ 开展互花米草防治 ▪ 开展有害藤本植物防治 ▪ 开展虫害生物防治	★ ▪ 封滩育林，加强有害生物监测预警
污染生态胁迫	▪ 修复沉积底质环境	★ ▪ 消除污染，促进自然修复 ▪ 如有需要，通过人工种植修复植被	▪ 加强病虫害防控	★ ▪ 加强海陆统筹、防控污染
红树植物濒危现象	★ ▪ 退化的种群或个体周边修复其生境条件 ▪ 对于现有种群周边通过生境改造增加濒危物种的生境适宜的分布空间	★ ▪ 开展幼苗繁育 ▪ 在原地开展种植和种群修复 ▪ 在周边地区进行引种	▪ 加强对于有助于授粉的昆虫的保护 ▪ 加强有害生物的监控和防治	★ ▪ 濒危物种种群分布地内禁止的保护修复以外的活动 ▪ 严格执行保育管理

注：★表示需要重点实施的修复措施

### 5.1.5.1 生境修复

若红树林修复区域的生境不能满足红树林生长的要求，应进行生境条件修复。  
红树林分布具体生境要求可参考 HY/T 214-2017。

生境修复措施主要包括水动力条件修复、滩涂地形地貌修复和底质类型改造等，可对一种或者多种生境条件进行改造，具体应根据修复物种的生境条件要求和修复地的生境条件制定。生境改造应在红树林种植前完成，并预留足够的时间使修复地块的生境条件达到稳定。生境改造时应考虑红树林周边滩涂和浅水水域的保护和生境的修复，保障鸟类及其他生物栖息地的需要。

#### a) 水动力条件修复

在养殖池塘、围填海等水体交换条件受阻的区域，采用破堤开口、开沟引流等方式，修复恢复红树林自然生长需要的潮汐环境。

在风浪较大导致岸滩侵蚀的区域，可通过沿岸抛石、修建消波栅栏、简易沙包防波堤坝等方式消波和减少林地泥沙流失。应采用环保型和透水型材料，减少对自然生态系统的影响。

#### b) 滩涂地形地貌修复

若修复区域滩涂高程不能满足红树林分布的要求，可通过适当的覆土或者移除表土改善滩涂的高程条件。但开展滩涂地形改造，不可改变修复区域的属性，即不可将潮间/潮下带改造为潮上带。

滩涂高程改造可参考退化前的滩涂高程或修复区域周边现有红树林分布高程设定；或根据修复区域的统计潮位设置合适高程，以高于当地平均海平面（或稍上）与平均大潮高潮位的中间值为宜。具体改造技术可参考 LY/T 2972-2018。

#### c) 沉积物环境修复

红树林生长的沉积物底质类型包括软底型（淤泥质）、硬底型（砂砾质）及过渡类型底质，并且需要一定厚度的土层。应结合动力条件的修复实现沉积物环境修复和稳定。

在底质环境污染严重区域，宜采用物理措施（换土、深翻等）、化学措施（固化、淋洗、改良等）或生物措施（微生物、动物作用等）等降低污染影响。退养池塘在开展红树林修复前，宜干塘后采用深翻、晒塘等措施改善沉积物的物理和化学条件。

#### 5.1.5.2 红树林植被修复

根据红树林植被退化情况，可采取自然恢复或人工种植的方式进行红树林植被修复。红树林植被自然修复主要采取去除外界压力或干扰、封滩育林等方式，加强保护措施、促进生态系统自然恢复。

如修复的区域红树林无法通过自然再生能力实现植被自然恢复时，采用人工种植的方式修复红树林植被。应重点考虑红树物种选择、种植措施和种植时间等关键技术要求，具体参考 HY/T 214-2017 和 LY/T 1938-2011 相关规定。

根据红树植物繁殖体的特点选择种植的方式。繁殖体为胚轴且胚轴个体较大的红树物种，优先采用直接插植胚轴的方式进行种植。胚轴短小、繁殖体为种子或者隐胎生胚轴者，优先采用容器苗种植方式，以 1 年生苗为宜，我国红树林植物的繁殖体及种苗类型选择见附录 B。根据生态本底调查获取的红树植被密度设计种植密度。如缺乏本底调查阶段密度信息，可参考 LY/T 1938-2011 附录 D 设计种植密度。当生境条件较差或者存在互花米草等生物入侵风险的区域，可适当提高种植密度。

#### 5.1.5.3 有害生物防治

针对常见的导致红树林退化的有害生物问题，开展红树林有害生物防治的措施有：

##### a) 互花米草防治

针对互花米草影响区域，通过物理治理、生物替代等方式，开展互花米草防治，并种植红树林。清除互花米草后要及时清理物理割除的地上部分残体，减少海洋垃圾污染，避免残留种子、根茎扩散入侵。防治工作结束后，应加强防治区的后续监控和管理，防止互花米草再次入侵。若利用红树植物生物替代互花米草，可参考 LY/T

2130-2013 执行，其他防治方法参考 DB31/T 1243-2020。

#### b) 有害藤本植物治理

对在红树植物上附生并引起红树植物大量死亡的有害藤本植物，应开展清理和防治。常见的有害藤本植物包括鱼藤、薇甘菊和五爪金龙等，主要采用人工拔除或挖除；对于具有萌蘖现象的植物，应在清理地上组织后拔出或挖除其木质化基部，并从红树林中清除，避免其重新生根萌蘖。

#### c) 虫害防治

红树林虫害采取的防治方法有化学防治、生物防治和物理防治等。化学防治一般采用低毒药剂，化学防治见效快、杀伤力强，但应严格限制使用。物理防治主要采用水冲、灯光诱捕、粘虫板等措施。生物防治主要包括生物农药和害虫天敌两类。生物农药主要包括生物化学农药和微生物农药，红树林虫害防治以苏云金杆菌及其制剂的应用最广泛。红树林主要食叶害虫防治技术参考 LY/T 2853-2017。

### 5.1.5.4 保育管理

保育管理是红树林修复的重要措施，针对红树林不同退化类型及胁迫因素，应开展海陆统筹污染防控、珍稀濒危红树物种保护和外来红树物种管理；为保障红树林修复项目的成功，应进行红树林修复区域的有效管护。

#### a) 海陆统筹防控污染

针对海漂垃圾、畜禽和养殖塘清塘污水以及生活污水排放严重区域，加强陆源污染控制，限制沿岸居民、养殖和工业活动向红树林排放污染物，清理影响红树林的海漂垃圾。限制项目周边区域会对红树林造成不利影响的开发活动，如海岸工程建设、清淤、采砂、水上运输等。

#### b) 珍稀濒危红树物种保护管理

针对濒危红树种群退化问题，开展珍稀濒危红树植物调查、监测和评估，加强对原生地珍稀濒危物种的抢救性保护修复、开展生境修复和种群恢复，扩大珍稀濒

危红树分布面积。严格执行封滩管护等管理措施，濒危物种种群分布地内禁止开展保护修复以外的活动。具体保护原则与方法参考 LY/T 2938-2018。

#### c) 外来红树物种管理

针对存在外来红树物种区域，加强无瓣海桑、拉关木等外来红树植物的跟踪、监测，规范引种和管理要求。如外来红树植物扩散至原生植物群落中，应开展清除工作；如外来红树植物确实对周边的渔业生产、水生生物和乡土红树植被造成负面影响，宜开展植物群落的改造，逐步修复为乡土物种。

#### d) 封滩管护

针对修复区域存在的干扰因素，在红树林修复区域制定有针对性的管护措施。管护措施包括：封滩育林，禁止在红树林区进行与保育无关的作业，采取专人巡视看护。在有重要保护需求的红树林，或种植的红树林幼林，可在林地周围布设防护网等措施加强保护。

### 5.1.6 监测评估

跟踪监测的目的是了解生态系统的状态及其变化趋势，为分析生态修复目标的实现和产生的综合效益提供基础信息。

#### 5.1.6.1 跟踪监测

##### a) 跟踪监测基本要求

红树林生态修复跟踪监测应遵循以下要求：

1) 生态修复监测应包括修复工程实施前修复区域的本底调查、实施过程中周边区域的环境监测和实施后的连续监测。

2) 监测区域应包括修复区域和作为参照生态系统的红树林区。

3) 生态修复监测方案与生态修复的方案同步制定，应根据红树林生态修复的目标制定详细的监测计划，明确监测时间、频次、监测站位和监测持续时间等。

##### b) 监测内容与方法

红树林修复跟踪监测的内容宜涵盖红树林植被、其他生物群落、环境要素和胁迫因素等，跟踪监测内容的具体要求见表 5.1-2。对应生态修复的具体目标，在项目验收前生态监测的内容应结合修复的对象和工程内容进行设定。对应生态修复的中长期总体目标，监测主要关注反映修复目标的重要物种、重要生态过程和功能的的相关参数。

表 5.1-2 红树林湿地修复跟踪监测基本要求

监测内容	监测要求	
红树林植被	监测指标	种类组成、修复面积、成活率、株高、胸径/基径、密度（冠层密度、幼苗密度）、生物量、保有面积、郁闭度
	站位布设	根据红树林修复区域、面积、物种和滩面高程情况设置断面和监测站位，宜设置永久固定监测样方；可参考 T/CAOE 20.3-2020 第 6.1.2 设定断面和站位
	监测频率	红树林种植后的 6 个月内宜逐月监测幼苗的成活率，6 个月后可每年开展 1-2 次监测；天然林参照生态系统至少开展 1 次修复前的本底调查
	监测技术要求	按 HY/T 081-2005 规定执行
生物群落	监测指标	大型底栖动物群落（种类、密度、生物量），鸟类（种类、数量）
	站位布设	大型底栖动物监测站与植被监测站位一致，鸟类采用样线法调查
	监测频率	修复前开展至少 1 次修复区域的本底调查，修复后每年开展春、夏、秋、冬 4 个季节调查
	监测技术要求	大型底栖动物监测按 GB/T 12763.6-2007 规定执行；鸟类调查按 HJ710.4 规定执行
环境要素	监测指标	沉积物环境（有机碳、总氮、pH 值、沉积物粒度等），水体环境（盐度、pH 值、溶解氧、有机碳、无机氮、无机磷等）
	站位布设	与红树林植被监测站位一致
	监测频率	与生物群落监测一致
	监测技术要求	沉积物有机碳、总氮、pH 值和粒度调查按 GB/T 12763.8-2007 规定执行；水体盐度按 GB/T 12763.2-2007 规定执行；水体 pH 值、溶解氧、有机碳、无机氮、无机磷按 GB/T 12763.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行
胁迫因素	监测指标	有害生物的种类、面积、影响程度及区域人为活动等
	站位布设	有害生物监测站位与植被监测站位一致，人为活动调查应覆盖整个修复区域
	监测频率	与红树林植被监测一致

	监测技术要求	参考 T/CAOE 20.3-2020 规定执行
--	--------	--------------------------

开展红树林种植的项目，应在植被种植后开展短期监测，掌握红树林种子萌发率、繁殖体/幼苗的成活率和定植情况；植被种植后 6 个月后可每年开展 1-2 次监测，掌握红树林修复面积、成活率、株高、胸径/基径、密度、保有面积、郁闭度等。退化红树林的生态修复，如涉及生境修复、有害生物清除等胁迫因素消除，应包括生境要素和胁迫因素的监测。条件允许的项目，除分析修复目标实现情况所需的监测内容外，可开展连续的综合性生态监测。

#### 5.1.6.2 修复效果评估

红树林生态修复效果评估可采用定量和半定量的方式进行。资料信息齐全且开展详细跟踪监测的项目，应根据修复区域的本底信息、修复目标和监测数据开展定量的评估；未开展跟踪监测的修复项目，可采用记录影像、测定面积、物种名录和修复地描述的形式进行修复效果的半定量评估。

##### a) 评估内容

针对修复项目的目标类型，生态修复效果的评估包括修复工程具体目标完成情况和生态系统修复效果的评估，并且考虑生态系统的改善程度和修复目标的实现程度等两个方面。

项目实施期结束后进行生态修复的具体目标完成情况的评估，从红树植被的修复、生境条件的修复和胁迫因素的消除等几个方面进行；具体参考 5.1.4.2 部分。

根据生态修复的阶段性目标、总体目标和监测结果，可进行生态系统修复效果的阶段性或最终修复效果评估，评估内容包括生物群落的修复、自然环境的修复、重要生态过程和功能的修复和提升等方面；具体参考 5.1.4.2 部分。

##### b) 评估方法

红树林生态系统修复效果评估应对照生态修复目标设定合理的评价指标，评价指标应可与监测参数对应。针对生态系统的重要生态过程和功能，设计对应的表征

指标和计算方法。

针对各个评价指标，其改善程度和修复目标的实现程度，分别采用基线对比法和目标值对比法进行评估。基线对比法和目标值对比法分别以生态修复实施前的本底值和修复目标值为对照，分析各指标的改善程度或目标实现程度。当修复的红树林与参照生态系统状态接近时可视其为完全修复。

## **5.2 盐沼生态修复**

### **5.2.1 基本要求**

针对土地（海域）利用类型转变、污染物排放及生物入侵等造成的盐沼湿地生态系统退化、面积缩减等问题，在严格保护现有盐沼湿地基础上，分区分步开展盐沼植被修复，修复盐沼湿地生态系统。盐沼湿地修复遵循的要求与上述 5.1.1 一致。

### **5.2.2 修复流程**

盐沼湿地修复工作流程参考图 5.1-1。

### **5.2.3 前期调查**

#### **5.2.3.1 调查目的**

前期调查的目的是掌握盐沼生态系统现状，为分析盐沼退化原因、确定修复方式、制定生态修复方案提供依据，为修复效果评估获得修复前或参照生态系统的生态状况资料。

#### **5.2.3.2 调查区域**

前期调查的区域应覆盖生态修复的区域及可能影响项目实施或受到项目实施影响的周边区域。

前期调查阶段，应明确可设定为参照生态系统的盐沼并开展相应的生态调查。

具体调查区域范围和参照生态系统选择可参考 5.1.3.2。

#### **5.2.3.3 调查内容与方法**

盐沼生态修复的前期调查包括管理利用现状、区域概况、盐沼植物、生境条件

及胁迫因素等，应尽可能获取拟开展生态修复区域的基线本底以及参照生态系统的生态状况资料。

a) 管理利用现状

采用资料收集的方式，调查拟修复区域环境概况、地理属性和政策法规，掌握区域管理利用现状，分析开展盐沼生态修复的区域发展协调性和政策一致性。

b) 盐沼植被

调查拟修复区域盐沼面积、分布、物种和群落结构等，了解拟修复区域盐沼植物群落现状，为盐沼生态修复方案和目标制定提供依据。调查内容指标和调查方法参考 T/CAOE 20.4-2020。

c) 生境条件

调查拟修复区域水文、底质、地形等环境要素，掌握拟修复区域环境基本条件，为开展盐沼生态修复可行性分析提供基础数据。环境要素调查参考 GB 17378.4-2007、GB 17378.5-2007、GB/T 12763.2-2007、GB/T 12763.4-2007、GB/T 12763.8-2007 和 HY/T 147.1-2013。

d) 胁迫因素

采用资料收集、现场调查等方式，收集拟修复区域干扰胁迫盐沼生态系统的自然因素和人为因素，为盐沼生态修复方案制定提供依据。胁迫因素的调查结合区域管理利用现状的调查进行，重点关注海岸开发活动、民众生活和生产活动影响和有害生物等。胁迫因素调查参考 T/CAOE 20.4-2020。

e) 其他生态调查

条件允许时，生态修复的前期调查宜对拟修复的区域开展综合的生态调查，以了解生态修复前生态系统的本底状况。除上述的内容外还包括底栖动物、鸟类等生物群落，以及盐沼的重要生态过程。

#### 5.2.4 问题诊断与目标确定

#### 5.2.4.1 问题诊断

根据前期调查结果及参照生态系统，综合分析盐沼退化原因、退化程度，识别引起退化的主要胁迫因子和驱动因素，评估退化盐沼的可修复性并确定修复方式。

盐沼生态系统主要问题有土地利用类型转变导致盐沼丧失，人类开发活动引起生境退化、污染胁迫及外来物种入侵等。在问题诊断时，应根据实际情况分类分析。

#### 5.2.4.2 目标确定

综合考虑区域管理利用现状、相关规划、生态功能定位等因素，根据生态现状、生态问题诊断结果，确定盐沼生态修复的目标。生态修复的目标应包括总体目标和具体目标，两类目标均要明确实现的对应时限，并充分考虑生态系统及其参数的恢复轨迹，设定阶段性的目标。

##### a) 总体目标

总体目标反映修复一定时期后盐沼生态系统预期达到的状态及水平。总体目标考虑胁迫因素的消除、生物群落、自然环境、生态系统结构、重要生态过程和功能的修复等几个方面的内容，明确对应的生态系统参数并量化其修复的水平，具体可参考 5.1.4.2 红树林总体目标的设定。

盐沼生态修复设定总体目标的实现期限时，生物和自然环境因子可设定为 10 年，生态过程和生态功能的修复以 20 年为宜。

##### b) 具体目标

在总体目标的基础上进一步明确修复的具体目标。具体目标反映在修复项目实施期限内或者修复后的初期，被修复的具体对象/生态系统参数拟达到的水平。

具体目标可结合工程实施的具体内容进行设定，可参考 5.1.4.2 红树林具体目标的设定。

盐沼生态修复项目的具体目标的实现期限以 3-5 年为宜。

#### 5.2.4.3 修复方式确定

根据退化程度，盐沼生态修复的方式包括有效管理的自然恢复、人工辅助修复和实施人工种植的重建性修复三种类型。

a) 自然恢复。对于轻度受损、恢复力强的盐沼生态系统，主要采取去除外界压力或干扰、封滩保育的方式，加强保护措施、促进生态系统自然恢复。

b) 人工辅助修复。对于中度受损的盐沼生态系统，如存在严重的胁迫因素，或其生境条件出现退化不再满足盐沼正常生长的要求，只依靠保护和管理不能实现盐沼的自然修复时，则通过消除胁迫因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者参照本底生态系统补植适宜物种，促进生态系统修复。

c) 重建性修复。对于严重受损的盐沼生态系统，在消除胁迫因素的基础上，围绕水文条件修复、微地貌修复、沉积物环境修复、盐沼植被修复等方面开展重建性修复。

### 5.2.5 修复措施

针对盐沼生态系统面临的不同生态问题，因地制宜采用修复措施。

#### a) 生境丧失的修复

滩涂围垦、修建堤防、围海造地等活动侵占大量盐沼湿地，近年来由于海平面的上升也进一步压缩盐沼的生存空间。针对大量盐沼生境丧失的问题，可采取退塘还湿、潮汐恢复等方式修复生境，并结合人工植被修复的方式开展盐沼生态修复。

#### b) 生境退化的修复

修建堤岸、道路、码头等人为活动导致潮汐交换通道受阻、底质类型改变、岸线侵蚀和滩涂地形地貌改变，同时沿海农业、工业过度利用淡水，减少了沿海湿地的淡水供应，导致盐沼湿地生境退化。针对以上盐沼生境退化问题，可通过微地貌修复、水系连通、消波护岸等措施开展生境修复，并加强保育管理、促进盐沼植被自然恢复或通过人工植被修复的方式开展盐沼生态修复。

#### c) 污染胁迫的修复

由于陆源污染物的排放以及海漂垃圾的影响将大量营养物、化学物质和重金属等带入盐沼，这些物质长期积聚在盐沼中，对盐沼生态系统构成胁迫。针对污染物排放的问题，应注重海陆统筹，加强陆源污染物质排放治理、清理海漂垃圾和修复湿地土壤等关键环境条件。

#### d) 外来物种入侵的修复

互花米草是我国对盐沼威胁最大的外来物种，由于其生态位宽，繁殖方式多样（分蘖、根茎萌发、种子传播），且缺乏天然的防治药剂，其面积不断扩大，互花米草的快速扩张导致本地盐沼植物生境和鸟类栖息地不断丧失。针对外来物种入侵，重点开展互花米草治理，结合生境修复、人工种植和自然修复等方式开展盐沼生态修复。

表 5.2-1 盐沼主要生态问题和修复措施

主要生态问题	主要修复措施			
	生境修复	盐沼植被修复	有害生物防治	保育管理
生境丧失	★ ▪ 开展水文条件修复 ▪ 湿地微地貌修复 ▪ 开展沉积物环境修复	★ ▪ 生境修复的基础上，促进植被自然恢复 ▪ 如无法自然恢复，采用人工种植修复植被	▪ 植被修复初期加强互花米草等有害生物防治	▪ 封滩育林，防止周围民众生产活动干扰修复区域
生境退化	★ ▪ 结合自然地形条件开展水文条件修复 ▪ 湿地微地貌修复 ▪ 消波护岸稳定岸滩 ▪ 沉积物环境修复	★ ▪ 生境修复的基础上，促进植被自然恢复 ▪ 如有需要，采用人工种植修复植被	加强互花米草等有害生物的防治	▪ 封滩育林，加强有害生物监测预警
污染胁迫	★ ▪ 开展沉积环境修复	▪ 污染物治理基础上，促进植被自然恢复 ▪ 如有需要，采用人工种植修复植被	▪ 加强虫害的防控	★ ▪ 加强海陆统筹防控污染 ▪ 封滩育林，促进盐沼植被自然修复
外来物种入侵		★ ▪ 外来物种治理的基础上，促进植被自然恢复； ▪ 如有需要，采用人工种植修复植被	★ ▪ 开展互花米草等入侵种清理 ▪ 加强互花米草等有害	★ ▪ 封滩育林，加强互花米草监测预警

			生物防治
--	--	--	------

注：★表示需要重点实施的修复措施

### 5.2.5.1 生境修复措施

针对盐沼退化的生态问题，开展盐沼生境修复的措施类型有：

#### a) 湿地水文条件修复

盐沼湿地水文条件恢复主要包括水系连通技术、咸淡水调控技术和消波护岸技术，根据修复地盐沼水道淤塞现状实施相应修复措施。

1) 滨海盐沼湿地水系连通技术：因海岸工程导致潮汐受阻的盐沼湿地，在实施海堤开口、退塘等基础上，充分考虑湿地的潮时、潮型、潮位、潮差、波浪等多方面因素，利用已有的潮汐汉道，必要时通过数模计算设计结果实施地形地貌改造，使滨海盐沼湿地的潮汐水系得以有效地修复。

2) 滨海盐沼湿地咸淡水调控技术：滨海盐沼湿地中的水体以咸淡水为主，除受潮汐影响外，陆地淡水输入也是一个重要因素。咸淡水调控技术同样需要根据退化盐沼湿地景观合理配置，并进行区域水文、水量、盐度梯度过程模拟，以达到修复后的最适状态。

3) 滨海盐沼湿地消波护岸技术：对于风浪较大导致盐沼岸滩侵蚀区域，可通过沿岸抛石、修建消波栅栏、简易沙包防波堤坝等方式进行有效消波和减少泥沙流失。宜优先采用环保型和透水型材料，以减少对自然生态系统的影响。

#### b) 湿地微地貌修复技术

在滨海盐沼湿地水文连通和咸淡水调控技术的基础上，考虑到局部区域的地貌变化（人类活动或自然形成的区域异质化地貌），实施湿地微地貌修复工程。即通过改变部分小区域的高程，疏通小支流、沟渠，使修复后的小区域地貌类型与整体景观类型保持一致，提高生境的异质性和稳定性。

#### c) 沉积物修复技术

根据湿地水文连通和咸淡水调控技术模型，以水动力作用为主导，辅以人工干预，使湿地沉积物的基本理化性质恢复到参照生态系统的相似状态。必要时，可因地制宜采用深耕晒垡、淡水压盐排碱、添加秸秆、有效微生物制剂等物理或生物方法，改善沉积物结构和营养条件。

#### **5.2.5.2 盐沼植被修复**

根据盐沼植被退化现状，可采取自然恢复、人工种植（移植）等方式进行盐沼植被修复。盐沼植被自然修复主要采取在去除外界压力或干扰、封滩保育的方式，促进盐沼植被自然恢复。

如修复的区域盐沼无法通过自然再生能力实现植被自然恢复时，采用人工种植的方式修复盐沼植被。盐沼植被的人工种植（移栽）坚持采用乡土物种的原则。根据盐沼植被的繁殖方式，采用根、茎、种子繁殖等进行种植或移植。考虑一年生与多年生植物的特性和耐盐、耐淹程度，在其适宜生境进行科学扩种，以提高成活率，促成待修复湿地盐沼植被的快速修复。盐沼植被修复的物种选择、种植时间等关键技术参考 T/CAOE 21.3-2020。

#### **5.2.5.3 有害生物防治措施**

在科学评估当地生态群落基础上，结合当地生态现状，开展入侵互花米草监测和防治，在互花米草清除区域构建稳定的盐沼群落。互花米草的具体防治方法参考 DB31/T 1243-2020。

#### **5.2.5.4 保育管理**

保育管理是盐沼修复的重要措施，针对盐沼退化的胁迫因素，应开展海陆统筹污染防控；为保障盐沼修复项目的成功，应进行盐沼修复区域的有效管护。

##### **a) 海陆统筹防控污染**

在海漂垃圾、畜禽和养殖塘污水以及生活污水排放严重区域，加强陆源污染控制，限制沿岸居民、养殖和工业活动向盐沼排放污染物，清理影响盐沼的海漂垃圾。

## b) 封滩管护

根据修复区域存在的干扰因素，在盐沼修复区制定有针对性的管护措施。管护措施包括：封滩保育，禁止在盐沼区进行与保育无关的作业，采取专人巡视看护和布设防护网等措施加强保护；定期清理盐沼区的海漂垃圾和杂草，防止互花米草等有害生物爆发。

## 5.2.6 监测评估

### 5.2.6.1 跟踪监测

跟踪监测的目的是了解生态系统的状态及其变化趋势，为分析生态修复目标的实现和产生的综合效益提供基础信息。

#### a) 跟踪监测基本要求

盐沼生态修复跟踪监测应遵循的要求可参考红树林跟踪监测 5.1.6.1。

#### b) 监测内容

盐沼修复跟踪监测的内容宜涵盖盐沼植被、其他生物群落、环境要素和胁迫因素等，跟踪监测基本要求见表 5.2-2。对应生态修复的具体目标，在项目验收前生态监测的内容应结合修复的对象和工程内容进行设定。对应生态修复的中长期总体目标，监测主要关注反映修复目标的重要物种、重要生态过程和功能的相关参数。

涉及开展盐沼种植的项目，应在植被种植后开展短期监测，掌握种子萌发率、根/茎/幼苗的成活和定植情况。6 个月后可每年开展 1-2 次监测，掌握盐沼的修复面积、保有面积、株高、盖度、密度、成活率等情况。对于退化盐沼的生态修复，如涉及生境修复和有害生物清除等胁迫因素消除，应包括生境要素和胁迫因素的监测。条件允许的项目，除分析修复目标实现情况所需的监测内容外，可开展连续的综合生态监测。

表 5.2-2 盐沼湿地修复跟踪监测基本要求

监测内容	监测要求	
盐沼植被	监测指标	种类组成、修复面积、保有面积、株高、盖度、密度、成活率、生物量
	站位布设	根据修复区域、面积、物种和滩面高程情况设置断面和监测站位，宜设置永久固定监测样方；可参考 T/CAOE 20.4-2020 设定断面和站位
	监测频率	盐沼植物种植后的 6 个月内宜逐月监测成活率，6 个月后可每年开展 1-2 次监测；参照生态系统至少开展 1 次修复前的本底调查，调查季节宜为夏季
	监测技术要求	按 HY/T 080-2005 规定执行
生物群落	监测指标	大型底栖动物群落（物种、密度、生物量），鸟类（物种、数量）
	站位布设	大型底栖动物监测站位与植被监测站位一致，鸟类采用样线法调查
	监测频率	修复前开展至少 1 次修复区域的本底调查，修复后每年开展春、夏、秋、冬 4 个季节调查
	监测技术要求	大型底栖动物监测按 GB/T 12763.6-2007 规定执行；鸟类调查按 HJ710.4 规定执行
环境要素	监测指标	沉积物环境（有机碳、总氮），水体环境（盐度、pH 值、溶解氧、有机碳、无机氮、无机磷）
	站位布设	与盐沼植被监测一致
	监测频率	与生物群落调查一致
	监测技术要求	沉积物有机碳、总氮调查按 GB/T 12763.8-2007 规定执行；水体盐度按 GB/T 12763.2-2007 规定执行；水体 pH 值、溶解氧、有机碳、无机氮、无机磷按 GB/T 12763.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行
胁迫因素	监测指标	有害生物的物种、面积、影响程度及区域人为活动等
	站位布设	有害生物检查站位与植被监测站位一致，人为活动调查应覆盖整个修复区域
	监测频率	与植被监测一致
	监测技术要求	参考 T/CAOE 20.4-2020 规定执行

### 5.2.6.2 修复效果评估

盐沼生态修复效果评估可采用定量和半定量的方式进行。资料信息齐全且开展详细的跟踪监测的项目，应根据修复区域的本底信息、修复目标和监测数据开展定量的评估；未开展跟踪监测的修复项目，可采用记录的影像、测定的面积、物种的名录和修复地描述的形式进行修复效果的半定量评估。

#### a) 评估内容

针对修复项目的目标类型，生态修复效果的评估包括修复工程具体目标完成情

况和生态系统修复效果的评估，并且考虑生态系统的改善程度和修复目标的实现程度等两个方面。具体评估内容可参考红树林修复效果评估 5.1.6.2。

#### b) 评估方法

评估方法可参考红树林修复效果评估 5.1.6.2。

## 5.3 海草床生态修复

### 5.3.1 基本要求

在加强现有海草床保护的同时，针对因破坏性的围填海活动、挖捕和养殖活动以及周边海域污染物排放等造成的海草床退化问题，积极开展海草床生态系统保护与修复。

海草床修复遵循的要求参考 5.1.1 部分，但需要注意以下方面：

a) 近岸的水体污染防控是保障天然海草床和修复后海草床稳定性的必要前提，因此开展海草床的保护和修复，需要基于区域尺度加强污染防控。

b) 海草床是具有重要生态功能且脆弱的湿地类型，在开展滨海湿地生态修复时应重视各类生境下的海草床的保护。

c) 通过移栽方法进行海草植被修复时，应充分评估移栽的效果以及移栽对种源地海草床的生态影响，严禁出现边修复边破坏的现象。

### 5.3.2 修复流程

海草床修复工作流程参照图 5.1-1。

### 5.3.3 前期调查

#### 5.3.3.1 调查目的

前期调查的目的是掌握海草床生态系统现状，为分析海草床退化原因、确定修复方式、制定生态修复方案提供依据，同时为修复效果评估获得修复前或参照生态系统的生态状况资料。

#### 5.3.3.2 调查区域

前期调查的区域宜覆盖拟开展海草床生态修复的区域及可能影响项目实施或受到项目实施影响的周边区域。宜覆盖海草床分布区的完整地理单元，如海湾和潟湖等。

前期调查阶段，应明确可设定为参照生态系统的海草床并开展相应的生态调查。

参照生态系统选择可参考 5.1.3.2。

### 5.3.3.3 调查内容与方法

海草床生态修复前期调查包括区域管理利用、海草床植被、生境条件及胁迫因素等，应尽可能获取拟开展生态修复区域的基线本底以及参照生态系统的生态状况资料。

#### a) 管理利用现状

采用资料收集的方式，调查拟修复区域自然条件、地理属性、地形、政策法规和管理现状等，掌握区域管理利用现状，分析开展海草床生态修复区域发展协调性和政策一致性。

#### b) 海草床植被

调查拟修复区域海草床面积、分布、物种和群落结构等，了解拟修复区域海草床植被现状，掌握海草植物的繁殖和种植的方式。调查内容指标参考 T/CAOE 20.6-2020，调查方法参考 HY/T 083-2005。

#### c) 生境条件

调查拟修复区域水环境、底质环境和水动力环境要素，掌握拟修复区域环境基本条件。水体环境调查宜考虑时间变化，了解水体质量整体情况。环境要素调查可参考 GB 17378.4-2007、GB 17378.5-2007、GB/T 12763.2-2007、GB/T 12763.4-2007、GB/T 12763.8-2007 和 HY/T 147.1-2013。

#### d) 胁迫因素

通过资料收集、现场调查等方式，调查分析拟修复区域干扰胁迫海草床生态系

统的自然原因和人为原因，尤其是海草床内讨海、养殖、大型藻类爆发等构成的胁迫因素。胁迫因素调查参考 T/CAOE 20.6-2020。

#### e) 其他前期调查

条件允许时，生态修复的前期调查宜对拟修复的区域开展综合的生态调查，以了解生态修复前生态系统的本底状况。除上述的内容外还包括大型底栖动物和大型藻类等生物群落，以及海草床的重要生态过程。

### 5.3.4 问题诊断与目标确定

#### 5.3.4.1 问题诊断

根据前期调查结果及参照生态系统，综合分析海草床退化程度和退化原因，识别导致退化的主要胁迫因素和驱动因子，评估退化海草床的可修复性并确定修复方式。

海草床主要生态问题有海域利用类型转变造成海草床生境丧失、开发活动引起水动力条件变差、污染胁迫以及讨海活动影响等。在问题诊断时，应根据实际情况分类分析。

#### 5.3.4.2 目标确定

综合考虑区域管理利用现状、相关规划、生态功能定位等因素，根据生态现状、生态问题诊断结果，确定海草床生态修复的目标。生态修复的目标应包括总体目标和具体目标，两类目标均要明确实现的对应时限，并充分考虑生态系统及其参数的恢复轨迹，设定阶段性的目标。

##### a) 总体目标

总体目标反映修复一定时期后海草床生态系统预期达到的状态及水平。总体目标考虑胁迫因素的消除、生物群落、自然环境、生态系统结构、重要生态过程和功能的恢复等几个方面的内容，明确对应的生态系统参数并量化其恢复的水平。总体目标的设定可参考以下内容：

- 1) 生物群落：植被、底栖生物、游泳动物等；
- 2) 自然环境：水文条件、沉积物环境、水体环境等；
- 3) 重要生态过程：颗粒物沉积、初级生产力、植被更新能力、凋落物的周转、与周边水体环境的生物和化学物质的交换等；
- 4) 重要生态功能：固碳增汇和维持生物多样性等；
- 5) 设定总体目标的实现期限时，生物和自然环境因子可设定为 10 年，生态过程和生态功能的恢复以 20 年为宜。

#### b) 具体目标

在总体目标的基础上进一步明确修复的具体目标。具体目标反映在修复项目实施期限内或者修复后的初期，被修复的具体对象/生态系统参数拟达到的水平。

具体目标可结合工程实施的具体内容进行设定，考虑以下几个方面：

- 1) 海草植被的修复：种植或自然恢复海草床的面积、斑块、物种数量、盖度、密度等；
- 2) 海草床生境条件的修复：包括水体盐度、底质类型、沉积物营养状况、水文动力条件等；
- 3) 胁迫因素的消除：减少海草床区域的民众活动、污染物排放、大型藻类、有害生物、海漂垃圾等影响范围和程度。

修复项目的具体目标的实现期限以 3-5 年为宜。

### 5.3.4.3 修复方式确定

根据退化程度，海草床生态修复的方式包括有效管理的自然恢复、人工辅助恢复和实施人工种植的重建性修复三种类型。

a) 自然恢复。对于轻度受损、恢复力强的海草床生态系统，主要采取在去除外界压力或干扰、封滩（禁海）保育的方式，加强保护措施、促进生态系统自然恢复。

b) 人工辅助修复。对于中度受损的海草床生态系统，或其生境条件出现退化不

再满足海草正常生长要求，只依靠保护和管理不能实现海草床的自然修复时，则通过消除胁迫因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者参照本底生态系统补植适宜物种，促进生态系统恢复。

c) 重建性修复。对于严重受损的海草床生态系统，在消除胁迫因素的基础上，围绕水文条件修复和海草植被恢复等方面开展重建性修复。

### 5.3.5 修复措施

针对海草床生态系统面临的不同生态问题，因地制宜采用以下修复措施：

#### a) 生境丧失的修复

海域利用类型转变导致生境丧失的修复围海养殖、围海造地、开挖航道等侵占海草床生境，造成了海草床毁灭性破坏，海草床大规模消失。在海草床已经完全丧失区域，可通过生境修复结合人工种植恢复海草床湿地。

#### b) 水动力条件改变的修复

在海草床周边区域开展涉海工程、海水养殖等活动，或者潮汐交换通道受阻，导致海草床区域水动力条件改变，造成侵蚀或淤积。在清除涉海设施恢复水文动力条件后或者采用防护设施改善动力条件，促进底质环境恢复，实施海草床人工种植或者自然恢复。

#### c) 污染胁迫的修复

来自陆地工业废水、生活污水以及海上排放的污染物，造成了海水水体污染，刺激水体中浮游生物、大型藻类和其他有害生物爆发，增加水体浊度，影响海草植物正常光合作用。针对环境污染问题，应注重海陆统筹，加强陆源和海上污染防治，清理有害生物，修复海草床关键环境条件，促进海草植被的自然恢复。

#### d) 人类活动影响的修复

海草床分布区过度挖掘底栖生物、底拖网、滩涂养殖等讨海活动导致大量海草地下茎和根死亡，海草床退化严重。针对讨海活动影响，应加强海草床分布区域保

护管理，减少人为活动影响，促进自然修复或开展人工修复。

表 5.3-1 海草床主要生态问题和修复措施

主要生态问题	主要修复措施			
	生境修复	海草床植被修复	有害生物防治	保育管理
生境丧失	★ ▪合理清退区域养殖活动，拆除影响海草生长的涉海构筑物 ▪开展水动力条件修复	★ ▪ 在生境修复的基础上，促进自然恢复 ▪ 如自然恢复不可实现，采用人工种植修复植被 ▪必要时采用临时性的辅助设施	▪ 加强大型藻类、海胆等有害生物的防治	▪ 加强管护，防止周围民众生产活动干扰修复区域
水动力条件改变	★ ▪拆除影响海草生长的涉海构筑物 ▪开展水动力条件修复	★ ▪ 修复水文条件基础上，促进自然修复 ▪ 如自然恢复不可实现，采用人工种植修复植被	▪ 加强大型藻类、海胆等有害生物的防治	▪ 加强管护，防止周围民众生产活动干扰修复区域
污染胁迫	★ ▪ 消除海水富营养化 ▪ 清理海漂垃圾	▪ 消除污染，促进自然修复 ▪ 如有需要，采用人工种植修复植被	★ ▪ 清理大型藻类，加强防控	★ ▪ 加强陆源污染控制 ▪ 加强大型藻类、海胆等有害生物监测预警
讨海活动影响		★ ▪ 消除干扰，促进自然修复 ▪ 如有需要，采用人工种植修复植被		★ ▪ 加强管护，防止周围民众生产活动干扰修复区域

注：★表示需要重点实施的修复措施

### 5.3.5.1 生境修复措施

根据海草床退化的问题诊断，采取缓解或修正措施，改善修复地的生境条件，主要包括消除富营养化和修复水文条件。

在陆源以及海上污染物排放严重区域，加强陆源污染控制，限制沿岸居民、养殖和工业活动向海草床排放污染物，清理影响海草床的海漂垃圾。

在因养殖活动、海洋工程等改变水动力条件导致海草床退化的区域，合理清退区域养殖活动，拆除影响海草生长的涉海构筑物，修复区域水动力条件，促进底质环境恢复。

### 5.3.5.2 海草植被修复

根据海草床植被退化现状，可采取自然恢复或人工种植的方式进行海草植被修复。海草植被自然修复主要采取在去除外界压力或干扰、封滩保育的方式，加强保护措施，促进修复地中的原生海草植物扩散和生长，实现生态系统自然恢复。

海草人工种植措施主要包括移栽法修复和种子法修复。为削弱水动力对种植海草的干扰，可采用临时性的辅助设施，为种植/移栽的海草提供掩蔽或者防治其被冲走，促进海草修复。如突出沉积物表面的局部防护结构（如贻贝脊）、铁网移栽法、锚定移栽法等。

#### a) 移栽法修复

移栽法直接高效，适用于各种退化程度的海草床修复。常用的移栽单元包括草块和克隆分株。在采集移栽单元时，尽量从不同海草床区域进行采集，严禁出现边修复边破坏的现象。草块移栽应在修复区域挖出比移栽单元略大的坑，将草块放入后压实；分株移栽为防止被海浪冲走，移栽单元的固定需要借助其他外物。移栽法的物种选择、移栽时间和种源地选择等关键技术要求参考 T/CAOE 21.5-2020。

#### b) 种子法修复

种子法是指直接利用种子或将种子培育成种苗进行的海草修复法，关键是海草种子的采集、保存和种植。海草种子有生殖枝采集、种子库采集或果实采集等方式。种子采集后需保存在与采集地温盐条件相近的海水中，并尽快完成播种。主要播种方式包括直接播种法、泥块播种法、网袋播种法、机械播种法等。种子法物种选择、播种密度、播种时间和种源地选择等关键技术要求参考 T/CAOE 21.5-2020。

### 5.3.5.3 有害生物防治

针对导致海草床退化的有害生物问题，开展海草床有害生物防治的措施有：

#### a) 大型藻类防治

在加强区域污染治理的基础上，开展海草分布区域水质环境和大型藻类监测预

警，对胁迫海草床的大型藻类进行定期打捞清除，促进海草床自然恢复。

#### b) 其他有害生物防治

加强海草分布周边区域海葵等有害生物监测，对胁迫海草床的有害生物进行打捞清除，促进海草床自然恢复。

### 5.3.5.5 保育管理

保育管理是海草床修复的重要措施，针对海草床退化的胁迫干扰因素，应进行海草床修复区域的有效后期管护。

对海草修复区域采取严格的保育措施，落实管护责任，对死亡或者海浪冲走的种植单元进行补种，及时清理修复区域内的大型藻类、海胆等有害生物。避免人类活动对海草修复的干扰，严禁在修复区域内进行拖网、采贝、翻挖沙虫等破坏海草床的渔业活动。

### 5.3.6 监测评估

#### 5.3.6.1 跟踪监测

跟踪监测的目的是了解生态系统的状态及其变化趋势，为分析生态修复目标的实现和产生的综合效益提供基础信息。

#### a) 跟踪监测基本要求

海草床生态修复跟踪监测应遵循的要求可参考红树林跟踪监测 5.1.6。

#### b) 监测内容

海草床修复跟踪监测的内容宜涵盖海草床植被、其他生物群落、环境要素和胁迫因素等，跟踪监测基本要求见表 5.3-2。对应生态修复的具体目标，在项目验收前生态监测的内容应结合修复的对象和工程内容进行设定。对应生态修复的总体目标，监测主要关注反映修复目标的重要物种、重要生态过程和功能的相关参数。

涉及开展海草移栽或种子播种的项目，海草移栽或播种后 6 个月内宜逐月监测成活率或种子萌发率。海草移栽或播种 6 个月后可每年开展 1-2 次监测，掌握海草

植被种类组成、修复面积、保有面积、盖度、茎枝密度、茎枝高度、成活率等。对于退化海草床的生态修复，如涉及海水富营养化和人为活动干扰等胁迫因素消除，应包括生境要素和胁迫因素的监测。条件允许的项目，除分析修复目标实现情况所需的监测内容外，可开展连续的综合性生态监测。

表 5.3-2 海草床湿地修复跟踪监测基本要求

监测内容	监测要求	
海草床植被	监测指标	种类组成、修复面积、保有面积、盖度、茎枝密度、茎枝高度、成活率、生物量
	站位布设	根据修复区域、面积、物种和滩面高程情况设置断面和监测站位，宜设置永久固定监测样方；可参考 T/CAOE 20.6-2020 设定断面和站位
	监测频率	修复前开展至少 1 次修复区域的本底调查，海草植被修复后的 6 个月内宜逐月监测成活率，6 个月后可每年开展 1-2 次监测；参照生态系统至少开展 1 次修复前的本底调查，调查季节宜为夏季
	监测技术要求	按 HY/T 083-2005 规定执行
生物群落	监测指标	大型底栖动物群落（物种、密度、生物量），鱼卵仔鱼（物种、数量），大型藻类（物种、密度、盖度、生物量）
	站位布设	同海草植被监测站位
	监测频率	修复前开展至少 1 次修复区域的本底调查，修复后每年开展春、夏、秋、冬 4 个季节调查
	监测技术要求	大型底栖动物、鱼卵仔鱼、大型藻类监测按 GB/T 12763.6-2007 规定执行
环境要素	监测指标	沉积物环境（有机碳、总氮），水体环境（透明度、水温、盐度、溶解氧、有机碳、悬浮物、无机氮、无机磷）
	站位布设	与海草植被监测站位一致
	监测频率	与生物群落调查一致
	监测技术要求	沉积物有机碳、总氮按 GB/T 12763.8-2007 规定执行；沉积物硫化物监测按 GB 17378.5-2007 规定执行；水体透明度按照 GB 17378.4-2007 规定执行；水温、盐度按 GB/T 12763.2-2007 规定执行；水体 pH 值、溶解氧、有机碳、无机氮、无机磷按 GB/T 12763.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行
胁迫因素	监测指标	有害生物和人为活动等
	站位布设	有害生物检查站位与植被监测站位一致，人为活动调查应覆盖整个修复区域
	监测频率	与植被监测一致
	监测技术要求	参考 T/CAOE 20.6-2020 规定执行

### 5.3.6.2 修复效果评估

海草床生态修复效果评估可采用定量和半定量的方式进行。资料信息齐全且开展详细的跟踪监测的项目，应根据修复区域的本底信息、修复目标和监测数据开展定量的评估；未开展跟踪监测的修复项目，可采用记录的影像、测定的面积、物种的名录和修复地描述的形式进行修复效果的半定量评估。

#### a) 评估内容

针对修复项目的目标类型，生态修复效果的评估包括修复工程具体目标完成情况和生态系统修复效果的评估，并且考虑生态系统的改善程度和修复目标的实现程度等两个方面。

项目实施期结束后进行生态修复的具体目标完成情况的评估，从海草植被的修复、生境条件的修复和胁迫因素的消除等几个方面进行。

根据生态修复的阶段性目标、总体目标和监测结果，可进行生态系统修复效果的阶段性或最终修复效果评估，评估内容包括生物群落的修复、自然环境的修复、重要生态过程和功能的修复和提升等方面。

#### b) 评估方法

评估方法可参考红树林修复效果评估 5.1.6.2。

## 5.4 海藻场生态修复

### 5.4.1 基本要求

针对因海岸工程、养殖活动、气候变化等自然因素和人为干扰等多种外界因素造成的海藻场退化问题，积极开展海藻场生态系统修复与生态工程应用。

修复遵循的要求参考 5.1.1 部分，同时需要注意以下方面：

a) 近岸的水体污染防控是保障海藻场稳定性的必要前提，需要评估各种近岸海洋开发工程等对海域环境和生物资源的正负面影响。

b) 在开展海藻场生境修复时，关注生物消长的季节性，选择各生境下不同耐温

藻类周年轮作修复模式。

c) 海藻场的修复应以保护和自然恢复为主，对于衰退趋势明显、缺乏自然种源的区域，可以通过人工方式修复或重建正在衰退的海藻场或营造新的海藻场。海藻场的修复或营造应与海洋渔业资源保护与增殖、海洋环境保护治理、海岸带整治修复工程等工作相结合。

## **5.4.2 修复流程**

修复工作流程参照图 5.1-1。

## **5.4.3 前期调查**

### **5.4.3.1 调查目的**

前期调查的目的是掌握海藻场生态系统现状，为分析海藻场退化原因并确定恢复方式、制定生态修复方案提供依据，同时为修复效果评估获得修复前或参照生态系统现状。

### **5.4.3.2 调查区域**

前期调查的区域宜覆盖拟开展海藻场生态修复的区域及可能影响项目实施或受到项目实施影响的周边区域。海藻场修复区域一般为潮间带和潮下带浅水区域。

前期调查阶段，应明确可设定为参照生态系统的海藻场并开展相应的生态调查。

参照生态系统可以是拟修复区域的历史调查资料、邻近海藻场的调查资料等。

### **5.4.3.3 调查内容与方法**

生态调查包括区域管理利用现状、海藻场植被、生境条件及胁迫因素等。

#### **a) 管理利用现状**

采用资料收集的方式，调查拟修复区域自然条件、岸线属性、地形、政策法规和管理现状等，掌握区域管理利用现状，分析开展海藻场生态修复区域协调性和政策可行性。

#### **b) 海藻物种**

调查拟修复区域海藻场的大型藻类面积、分布、物种和群落结构、季节变化等，了解拟修复区域海藻场支持生物种类特征以及附生生物（附生中小型藻类、附生动物和附生微生物等）现状。应了解拟修复区域海藻场海洋生物的物种多样性与丰富度等。条件允许时应分析修复区域内海藻物种自然扩散能力以及区域外种源补充能力。调查内容指标参考 GB/T 12763.9-2007，调查方法参考 GB 17378.7-2007。

#### c) 生境条件

调查拟修复区域基本水文水质状况、底质状况和水动力环境要素，掌握拟修复区域环境基本条件。水体环境调查宜考虑时间变化，了解水体质量整体情况。环境要素调查参考 GB 17378.4-2007、GB 17378.5-2007、GB/T 12763.2-2007、GB/T 12763.4-2007、GB/T 12763.8-2007 和 HY/T 147.1-2013。

#### d) 胁迫因素

采用资料收集、现场调查等方式，收集拟修复区域干扰威胁海藻场生态系统的自然因素和人为因素，关注开发活动、民众生活和生产活动影响、敌害生物和极端气候事件等。威胁胁迫因素调查参考 GB/T 12763.9-2007。

#### e) 其他前期调查

条件允许时，生态修复的前期调查应对拟修复的区域开展综合的生态调查，以了解生态修复前生态系统的本底状况。除上述的内容外还包括浮游植物、游泳动物、大型底栖动物等生物群落，以及海藻场的重要生态过程。

### 5.4.4 问题诊断与目标确定

#### 5.4.4.1 问题诊断

在前期调查的基础上，根据参照生态系统，综合评判分析海藻场退化原因、退化程度，识别引起退化的主要胁迫因素和驱动因子，评估退化海藻场的可修复性并确定修复方式。

海藻场生态系统存在的主要生态问题有过度采集海藻资源引起海藻场退化、海

岸工程导致海藻生境破坏、养殖等生产活动导致区域污染、开发活动引起水动力条件改变等。这些问题可能同时存在并产生协同作用，影响海藻场生物多样性和生物量。在问题诊断时，应根据实际情况分类分析。

#### **5.4.4.2 目标确定**

综合考虑区域管理利用现状、相关规划、生态功能定位的因素，根据生态现状、生态问题诊断结果，从海藻场面积、种类组成、生物量、生态系统结构、生态系统功能和生态系统胁迫等方面提出保护修复目标。

#### **5.4.4.3 修复方式确定**

根据退化程度，海藻场生态修复的方式包括有效管理的自然恢复、人工辅助恢复和实施人工营造的重建性修复三种类型。

a) 自然恢复。对于轻度受损、恢复力强、自然种源补充良好的海藻场生态系统，主要采取去除外界压力或干扰、封滩保育的方式，加强保护措施、促进生态系统自然恢复。常见的干扰因素包括过度采集海藻资源、污水排放、无序养殖和海漂垃圾等。

b) 人工辅助修复。对于中度受损的海藻场生态系统，缺乏有效的种源补充或其生境条件出现退化不再满足大型藻类生长的要求，只依靠保护和管理不能实现海藻场的自然修复时，则通过消除威胁因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者根据参照生态系统，补充海藻种源或移植种藻，促进生态系统恢复。

c) 重建性修复。对于严重受损的海藻场生态系统，在消除威胁因素的基础上，围绕水文条件修复和海藻物种恢复等方面开展重建性修复。由于海藻固着于基岩底质的特殊生态特性，应以补充种源、促进附着、加强管护为重建性修复原则。

#### **5.4.5 修复措施**

针对海藻场生态系统面临的不同生态问题，因地制宜采用修复措施。

a) 海藻场生境丧失和退化

历史上潮间带围海养殖、围海造地、海岸工程等人类活动造成了海藻场生境破坏。对于海藻场已经完全丧失区域，可通过生境修复结合人工营造恢复海藻场。

表 5.4-1 海藻场主要生态问题和修复措施

主要生态问题	主要修复措施			
	生境修复	海藻场营造	敌害生物防治	保育管理
生境丧失	★ ▪ 优先在生境适宜的区域开展修复 ▪ 开展水文条件修复	★ ▪ 在生境条件适宜的基础上，优先采用自然恢复的方式 ▪ 如自然恢复不可实现，采用人工营造恢复海藻场	▪ 加强附生性硅藻类、附生性杂藻类、移动性动物、固着性动物等敌害生物的防治	▪ 加强管护，防止新建海岸工程与生产生活活动破坏海藻场生境
水动力条件改变	★ ▪ 拆除违法违规涉海构筑物 ▪ 必要时采用临时性的辅助设施	★ ▪ 修复水文条件基础上，促进自然修复 ▪ 如自然恢复不可实现，采用人工种植恢复海藻场	▪ 加强附生性硅藻类、附生性杂藻类、移动性动物、固着性动物等敌害生物的防治	▪ 加强跟踪监测，掌握修复区域水动力条件变化情况
环境污染	★ ▪ 消除海水富营养化 ▪ 清理海漂垃圾	▪ 消除污染，促进自然修复 ▪ 如有需要，通过人工补充种源或营造的方式提高海藻场恢复能力	▪ 加强附生性硅藻类、附生性杂藻类、移动性动物、固着性动物或外来物种防控	★ ▪ 加强陆源污染控制
敌害生物影响	★ 清理有害生物	▪ 清理有害生物，促进自然修复 ▪ 如有需要，通过人工补充种源或营造的方式提高海藻场恢复能力	★ ▪ 开展附生性硅藻类、附生性杂藻类、移动性动物、固着性动物等敌害生物防治	★ ▪ 加强敌害生物监测预警
过度采集和养殖活动影响	★ 合理清退区域养殖活动	★ ▪ 消除干扰，促进自然修复 ▪ 如有需要，通过人工补充种源或营造的方式提高海藻场恢复能力	★ 合理清退区域养殖活动，清除取食海藻或对海藻场产生不利影响的养殖生物	★ ▪ 加强管护，防止出现过度采集海藻资源以及新的养殖活动影响

注：★表示需要重点实施的修复措施

#### b) 水动力条件改变

在海藻场周边区域开展涉海工程、海水养殖等活动，导致海藻场区域水动力条件改变，造成基岩基底泥沙淤积。对于水动力条件可修复区域，结合人工营造促进

海藻场修复。

#### c) 水体环境污染

来自陆地工业废水、生活污水以及海上排放的污染物，造成了海水水体污染，影响大型藻类光合作用和正常生长，导致附生微藻的大量增殖，刺激有害生物爆发。针对环境污染问题，应注重海陆统筹，加强陆源和海上污染防治，清理有害生物，修复海藻场关键生境条件，促进海藻场大型藻类的自然恢复。

#### d) 过度采集海藻场生物资源和养殖活动影响

过度采集海藻场生物资源和养殖活动破坏了海藻场海藻生物量和物种多样性，使其丧失恢复能力，应加强海藻场分布区域保护管理，减少人为活动影响，促进自然修复或开展人工修复。

### 5.4.5.1 生境修复

根据海藻场退化的问题诊断，采取缓解或修复措施，改善修复地的生境条件，主要包括基底修复、消除富营养化和水文条件修复。

针对围海养殖和海岸工程导致的海藻场生境丧失，应及时清退违规养殖、恢复海藻场生境，或者在海岸工程中预留或改造获得适宜海藻附着生长的基底。

针对陆源工业废水、生活污水以及海上污染物排放严重区域，加强陆源污染控制，限制沿岸居民、养殖和工业活动向海藻场排放污染物，清理影响海藻场的海漂垃圾。

针对因养殖活动、海洋工程等改变水动力条件导致海藻场退化的区域，合理清退区域养殖活动，拆除违法违规涉海构筑物，修复区域水动力条件。

为削弱水动力对大型藻类的干扰，可采用临时性的辅助设施，促进大型藻类恢复。

在必要的区域，可以采用投放藻礁的方式改善或营造海藻生境。投放藻礁时应经过详细论证并符合行业主管部门及地方的各项相关规定。

#### 5.4.5.2 海藻物种修复

根据海藻场资源退化现状,可采取自然恢复或人工种植的方式进行海藻场修复。海藻场海藻物种自然修复主要采取去除外界压力或干扰、加强管理和保护措施,促进修复地中的原生大型藻类扩散和生长,实现生态系统自然恢复。海藻场海藻物种人工修复措施主要包括移植种藻的方法和人工撒播海藻孢子(幼植体)方法进行种源补充修复。

##### a) 种藻移植法修复

移植法直接高效,适用于各种退化程度的海藻场修复。退潮时在潮间带直接将移植的种藻固定于基岩底质上,也可以通过潜水作业或重物绑定的方式在目标海域直接沉放。对于移植种藻的方式,移植工作还包括种藻在原生存海域的采集或者人工繁育。

##### b) 人工撒播法修复

通过人工刺激的方式获得含有海藻孢子(或幼植体)的孢子水(或幼植体水),直接均匀洒播于目标海区,并采取管护措施促进附着。对于投放人工藻礁的方式,移植与播种工作主要是指含有营养盐和苗种的礁体在陆基工厂的制备及适应性培养、运输、投放等。

#### 5.4.5.3 敌害生物防治

针对常见的导致海藻场退化的敌害生物问题,开展海藻场敌害生物防治的措施有:

##### a) 附生性硅藻类、附生性杂藻类防治

加强大型藻类分布区域水质环境监测预警,对威胁海藻场的附生性硅藻类、附生性杂藻类可通过改善水体交换、手工摘除或化学药杀等方法,促进海藻场自然恢复。

##### b) 其他敌害生物防治

加强大型藻类分布区及周边区域敌害生物监测，对威胁海藻场的敌害生物通过提高育苗水层，或使用淡水浸泡改变渗透压，促进海藻场自然恢复。

#### **5.4.5.4 保育管理**

保育管理是海藻场修复的重要措施，针对海藻场退化的威胁干扰因素，应进行海藻场修复区域的有效后期管护。

对大型藻类修复区域采取严格的保育措施，落实管护责任，对未成熟的海藻场生态系统，及时补充营养盐等无机物，修整生态系统的各级生产力，及时清理修复区域内附生性硅藻类、附生性杂藻类、移动性动物、固着性动物等敌害生物。进行海洋动物的底播增殖，生物种质的改良等工作，逐步增加该生态系统的生物多样性。避免人类活动对大型藻类修复的干扰，严禁在修复区域内及周边海域进行拖网、采贝等破坏海藻场的渔业活动。管护时间宜设定为 2~4 年。

#### **5.4.6 跟踪监测**

##### **5.4.6.1 跟踪监测**

###### **a) 跟踪监测基本要求**

生态修复后开展跟踪监测的目的是了解生态系统的状态及其变化趋势，为分析生态修复目标的实现和产生的综合效益提供数据。生态修复跟踪监测应遵循的要求可参考红树林跟踪监测 5.1.6.1。

###### **b) 监测内容**

海藻场修复跟踪监测的内容宜涵盖海藻场海藻物种、其他生物群落、环境要素和威胁因素等，监测内容的具体要求见表 5.4-2。根据海藻场生态修复的目标选择需要开展监测的内容和参数。对应生态修复的具体目标，在项目验收前生态监测的内容应结合修复的对象和工程内容进行设定。对应生态修复的中长期目标，侧重反映修复目标的重要物种、重要生态过程和功能的相关参数的监测。

表 5.4-2 海藻场修复跟踪监测基本要求

监测内容	监测要求	
海藻场海藻物种	监测指标	种类组成、修复面积、保有面积、覆盖率、季节变化、成活率、空间藻类密度、生物量
	站位布设	根据修复区域、面积、物种和滩面高程情况设置断面和监测站位，宜设置永久固定监测样方；可参考 GB/T 12763.9-2007 设定断面和站位
	监测频率	修复前开展至少 1 次修复区域的本底调查，海藻场植被修复后的 6 个月内宜逐月监测成活率，6 个月后可每年开展 1-2 次监测；参照生态系统可以只开展 1 次修复前的本底调查
	监测技术要求	按 GB 17378.3-2007 规定执行
生物群落	监测指标	大型底栖动物群落（物种、密度、生物量）、鱼卵仔鱼（物种、数量）、浮游植物、游泳动物、大型藻类（物种、密度、生物量）
	站位布设	同海藻场海藻物种监测站位
	监测频率	修复前开展至少 1 次修复区域的本底调查，修复后每年开展 2 次（夏季和冬季）或 4 次（4 个季节）调查
	监测技术要求	大型底栖动物、鱼卵仔鱼、浮游动物、游泳动物、大型藻类监测按 GB/T 12763.6-2007 规定执行
环境要素	监测指标	沉积物环境（有机碳、总氮、pH 值），水体环境（透明度、水温、盐度、溶解氧、有机碳、悬浮物、无机氮、无机磷）
	站位布设	同海藻场海藻物种监测站位
	监测频率	与生物群落调查一致
	监测技术要求	沉积物有机碳、总氮按 GB/T 12763.8-2007 规定执行；沉积物硫化物监测按 GB 17378.5-2007 规定执行；水体透明度按照 GB 17378.4-2007 规定执行；水温、盐度按 GB/T 12763.2-2007 规定执行；水体 pH 值、溶解氧、有机碳、无机氮、无机磷按 GB/T 12763.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行
威胁因素	监测指标	敌害生物和人类活动等
	站位布设	敌害生物监测站位与植被监测站位一致，人类活动调查应覆盖整个修复区域
	监测频率	同海藻场海藻物种监测站位
	监测技术要求	人类活动要素调查参照 GB/T 12763.9-2007 规定执行

涉及开展大型藻类的种藻移植或藻液（藻胶）人工撒播的项目，大型藻类移植母藻或人工撒播藻液（藻胶）后 6 个月内宜逐月监测成活率。6 个月后可每年开展 1-2 次监测，掌握海藻场植被种类组成、分布、修复面积、保有面积、覆盖率、空间藻类密度、生命周期、成活率等。对于退化海藻场的生态修复，如涉及海水富营养化和人类活动干扰等威胁因素消除，应包括生境要素和威胁因素的监测。条件允许的项目，除分析修复目标实现情况所需的监测内容外，可开展连续的综合生态监测。

#### **5.4.6.2 修复效果评估**

##### **a) 评估内容**

针对修复项目的目标类型，生态修复效果的评估包括修复工程具体目标完成情况和生态系统修复效果的评估，并且考虑生态系统的改善程度和修复目标的实现程度等两个方面。具体评估内容可参考红树林修复效果评估 5.1.6.2。

##### **b) 评估方法**

评估方法可参考红树林修复效果评估 5.1.6.2。

### **5.5 珊瑚礁生态修复**

#### **5.5.1 基本要求**

针对人类活动（如开发过度、环境污染严重）以及气候变化影响加剧等造成的珊瑚礁生态系统退化问题，采用自然恢复为主、人工干预为辅的修复原则，开展受损珊瑚礁生态修复，恢复珊瑚礁生态系统的结构与功能。基本要求如下：

a) 遵循自然恢复为主的原则；不能盲目开展珊瑚礁修复，不宜在历史上没有珊瑚的区域开展珊瑚礁修复，也不宜在污染严重的区域开展珊瑚礁修复；

b) 开展珊瑚礁修复时，要采用环境友好型材料，避免对区域环境造成二次污染，施工也要避免对珊瑚造成伤害；

c) 倡导优先选用有性繁殖相关的修复措施；

d) 针对我国易受台风侵袭的特点，避免采用不稳固、无法在水下长期维持基本结构的材料；

e) 若拟修复区域有较好的造礁石珊瑚补充量，珊瑚礁基底不存在影响珊瑚恢复的问题，则不建议开展人工干预的珊瑚修复工作，而是考虑加强环境管理和减少人类活动的不利影响。

### 5.5.2 修复流程

受损珊瑚礁生态修复流程包括：①珊瑚礁前期调查；②基于珊瑚礁前期调查结果，开展受损珊瑚礁的退化诊断，确定修复目标并进行修复可行性评估；③制定珊瑚礁生态修复技术方案，并进行该方案的适宜性评估和修订；④珊瑚礁生态修复的实施，即依照修订后的珊瑚礁生态修复方案，实施修复区域周边环境的管控、造礁石珊瑚苗圃培育、底播移植、人工礁体投放、造礁石珊瑚敌害生物防治以及多营养层次的礁区关键功能性物种的增殖放流等技术措施。开展生态修复的具体技术措施依据不同修复区域的实际状况而定；⑤珊瑚礁生态修复的跟踪监测和效果评估，即基于采用的生态修复技术措施，针对珊瑚礁生境的恢复和功能提升方面制定一系列的监测指标，开展珊瑚礁生态修复效果评估。具体工作流程如图 5.5-1。

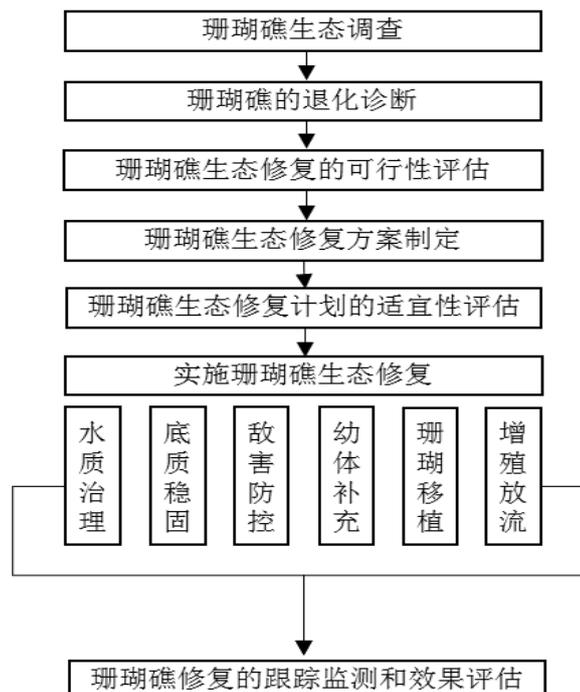


图 5.5-1 珊瑚礁生态修复工作流程

### 5.5.3 前期调查

#### 5.5.3.1 调查目的

在收集受损珊瑚礁区历史资料的基础上，通过前期珊瑚礁生态调查，了解该区域珊瑚礁当前的生态状况，为后期生态修复中修复物种的选择、退化诊断、修复可行性评估以及参照生态系统的选择等提供背景数据。

#### 5.5.3.2 调查区域

前期调查的区域应覆盖拟修复区域。在前期调查前应设定参照生态系统。参照生态系统宜选用拟修复区周边或相同、相近纬度海域现有或历史上较好的珊瑚礁生态系统。当选取的参照生态系统为现有的非退化珊瑚礁生态系统时，应在前期调查和后期跟踪监测中同步开展对该参照生态系统的调查。

#### 5.5.3.3 调查内容与方法

珊瑚礁生态修复的前期调查包括珊瑚礁生物调查以及理化环境调查两部分。

##### a) 珊瑚礁生物调查

珊瑚礁生物调查内容包括但不限于：造礁石珊瑚覆盖率、种类、补充量、疾病与敌害以及鱼类、大型底栖无脊椎动物和大型藻类的数量、种类等，技术要求参考 HY/T 082-2005 及 T/CAOE 20.5-2020。

##### b) 理化环境调查

理化环境调查内容包括但不限于：珊瑚礁的底质类型、海水水质、人类活动、自然灾害等。其中，水质调查内容包括但不限于：水温、pH、盐度、溶解氧、叶绿素 a、营养盐（硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐，无机磷）、COD、BOD<sub>5</sub>、悬浮物、浊度、透明度等，技术要求参照 GB/T 12763.4-2007、GB 17378.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行。

c) 人类活动包括但不限于：陆源污染、海岸工程建设、渔业活动、旅游业等，

以现场踏勘、资料收集的调查方式为主。

## 5.5.4 问题诊断和目标确定

### 5.5.4.1 问题诊断

在前期调查的基础上，结合历史资料，综合分析珊瑚礁退化原因、退化程度，识别引起退化的主要胁迫因素，评估退化珊瑚礁的可修复性并确定修复方案。

珊瑚礁生态系统面临的主要问题包括造礁石珊瑚覆盖率下降、造礁石珊瑚群落多样性降低等。其中，人类活动如水体污染、过度捕捞、非法渔业活动等是造成珊瑚礁生态系统退化的重要因素。在问题诊断时，应根据实际情况分类分析。

### 5.5.4.2 目标确定

综合考虑区域管理利用现状、相关规划、生态功能定位等因素，根据生态现状、生态问题诊断结果和参照生态系统属性，从珊瑚礁面积、种类组成、生态系统结构、生态系统功能和生态系统胁迫等方面提出保护修复目标。

### 5.5.4.3 修复方式确定

在自然恢复为主、人工干预为辅的修复原则下，根据退化程度和原因，采用相应的措施。常见的受损珊瑚礁主要问题及其整治与修复目标和措施如表 5.5-1。

表 5.5-1 受损珊瑚礁主要问题及其整治与修复目标和措施

受损珊瑚礁主要问题	整治与修复目标	修复措施						
		水质治理	底质稳固	有害生物防控	珊瑚幼体补充	珊瑚移植	增殖放流	保育管理
水质不适宜造礁石珊瑚生长	改善水质至适合造礁石珊瑚生长	★						☆
底质松散，泥沙过多，缺乏硬质底质	增加硬质底质		★					☆
大型藻类、珊瑚敌害生物过多	降低大型藻类和敌害生物数量至安全限	☆		★			☆	☆
缺乏珊瑚幼体补充	提升幼体补充量		☆		☆	★	☆	☆
缺少不同生态功能的礁栖关键生物	补充礁栖关键生物的种类和数量，提升生物多样性和生态系统抗压能力	☆		☆		☆	★	☆

注：★为主要措施，☆为适用措施

### 5.5.5 修复措施

针对珊瑚礁生态系统面临的不同生态问题，因地制宜采用相应的修复措施。

#### a) 污染胁迫导致不适宜造礁珊瑚生长

我国沿海的社会、经济的迅猛发展给邻近的珊瑚礁生态环境带来大量的污染，使得许多历史上有珊瑚礁分布的地区现今已无法适合造礁珊瑚的生长。为此，宜通过污染管控，改善水质，直到该区域水质重新适合造礁珊瑚的生长，而后再根据实际情况考虑适宜的修复措施。

#### b) 过度捕捞导致生态失衡

过度捕捞导致生态失衡，原有的珊瑚礁生境被大型海藻占据以及一些以造礁珊瑚为食的敌害生物（如长棘海星、小核果螺等）大量繁殖和生长。针对这类问题，需要通过有害生物防控、礁区关键功能性生物的增殖放流将这些造礁珊瑚的竞争生物或敌害生物降低在安全阈值下。

#### c) 生境丧失/退化导致珊瑚礁无法自我恢复

原有的珊瑚礁生境退化以后，珊瑚礁无法自我恢复，需要通过一系列的珊瑚礁修复技术，例如采用人工礁、金属网/框等各种措施稳定基底，苗圃培育、底播移植等加速其自然恢复进程。

#### 5.5.5.1 水质治理

我国沿海地区的迅猛发展给邻近的珊瑚礁生态环境带来了大量的污染物，导致许多历史上有珊瑚礁分布的地区现今已无法适合造礁石珊瑚生长。应通过流域管理、海岸带管理、污染治理等，加强对人类活动引起的污染物的排放管理。加强对沿海工程引起的悬浮泥沙等的管理等，消除或尽量降低恶化珊瑚礁区水质的一切非自然因素的影响。

#### 5.5.5.2 底质稳固

当珊瑚礁生境丧失、硬质基底不足或破碎化严重等情况发生时，原有的珊瑚礁生境严重退化，珊瑚礁无法自我恢复，需要采用人工礁投放、金属网/框固定等基底稳固技术，增加和稳定硬质基底，促进造礁石珊瑚幼虫自然附着，降低移植和自然附着珊瑚死亡率，加速其自然恢复的进程。应优先使用环境友好型材料和提升珊瑚幼体存活率效果更好的先进人工礁。

#### **5.5.5.3 有害生物防控**

过度捕捞导致生态失衡，原有的珊瑚礁生境被大型海藻占据以及一些以造礁石珊瑚为食的敌害生物（如长棘海星、小核果螺等）大量繁殖和生长。可通过人工清除，结合水质管理、增殖放流等措施进行防控。

#### **5.5.5.4 珊瑚幼体补充**

基于造礁石珊瑚的有性繁殖，以人工繁育或野外收集受精卵的手段，经室内培育后，再放归拟修复的受损珊瑚礁区，增加珊瑚的幼体补充量。也可以考虑通过移植的方式为修复区域构建若干大的珊瑚斑块（建议1公顷以上），保证有足够的幼虫来源。以有性繁殖的方式进行珊瑚礁生态修复，有助于保持造礁石珊瑚的基因多样性，在条件允许时应优先采用。

#### **5.5.5.5 珊瑚移植**

底播移植的造礁石珊瑚种源必须是当地或邻近区域的现有或曾有种。种苗主要来源为人工培育的珊瑚苗圃或邻近的健康珊瑚礁区。种苗大小建议介于5~10cm之间，最好以人工培育获得，可以通过珊瑚的无性繁殖和有性繁殖来实现，以降低对野生群体的采集压力。野外采集的造礁石珊瑚不超过原野生群体的5%，采捕地进行采苗后的活造礁石珊瑚覆盖率应不低于30%，采集的造礁石珊瑚大小建议介于5~10cm之间，对单株珊瑚的采集量不得超过其体积或面积的一半。尽量收集野外散落的造礁石珊瑚断枝。应考虑不同种类的搭配，以丰富珊瑚基因多样性。珊瑚移植其他要求可参考T/CAOE 21.4-2020。

#### 5.5.5.6 增殖放流

开展多营养层次礁区功能性生物（植食性鱼类、海胆、植食性腹足类软体动物等）的增殖放流，增加受损珊瑚礁生态系统的生物多样性、弹性以及稳定性。增殖放流种类和数量可采用 Ecopath 环境增殖容量模型评估，以与海域生态容量相匹配。投放点的水深以 3m 左右为宜；投放鱼类等运动能力强的物种时，可在修复区域中选取单个或少数几个位置作为集中投放点；投放海胆、腹足类等运动能力较差的物种时，应在修复区域中进行大范围投放。增殖放流的其他基本要求和流程参照 SC/T 9401-2010。

#### 5.5.5.7 保育管理

保育管理是指对修复区域进行经常性的巡查养护，如检查移植的珊瑚是否出现掉落或大量死亡、禁止污水排放的地方是否有偷排现象、违规捕捞是否存在等，及时发现和尽量降低不利因素对修复区域的胁迫，保证修复工程能切实处于有效状态。作为一项辅助性的珊瑚礁生态修复措施，保育管理应贯穿修复工程实施阶段及竣工后的监测评估阶段。在修复区域状况稳定时，可以每月或每季度巡查养护一次。但在修复工程实施后，每周应巡查养护一次，直至状态稳定后再恢复到每月或每季度巡查养护一次。当遇到如台风、敌害爆发等突发事件时，应在天气和海况适宜时及时开展有效的巡查养护。

### 5.5.6 监测与评估

#### 5.5.6.1 跟踪监测

珊瑚礁修复监测包括造礁石珊瑚状况参数、礁区生物群落（大型藻类、珊瑚礁鱼类、大型底栖无脊椎动物）参数以及礁区环境参数监测。具体监测内容见表 5.5-2，根据项目效果评估需要，选择不同监测指标。

表 5.5-2 珊瑚礁修复跟踪监测基本要求

监测内容	监测要求	
造礁石珊瑚参数	监测指标	种类、活珊瑚覆盖率、死珊瑚覆盖率、硬珊瑚补充量、敌害生物种类与数量、移植珊瑚的存活率、移植珊瑚的死亡率、移植或自然附着珊瑚的生长率
	站位布设	生态修复区域的站位布设的数量应视具体监测范围而定，生态修复区域和参照生态系统都必须布设监测断面，可参考 T/CAOE 20.5-2020 设定断面和站位
	监测频率	修复前开展至少 1 次前期调查，施工过程根据需要开展监测，施工完成后第 1 年内需开展 2 个航次不同季节的监测，施工完成后的第 2-3 年每年至少开展 1 个航次的调查，此后每隔 2-3 年进行监测
	监测技术要求	按照 T/CAOE 20.5-2020 规定执行
礁区生物参数	监测指标	大型底栖无脊椎动物（种类、丰度）、鱼类（种类、丰度）、大型藻类（种类、覆盖度）
	站位布设	监测断面与造礁石珊瑚参数监测一致
	监测频率	与造礁石珊瑚参数监测一致
	监测技术要求	按照 T/CAOE 20.5-202 规定执行
理化环境要素	监测指标	水温、溶解氧、盐度、悬浮物、叶绿素 a、浊度、营养盐（硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐）
	站位布设	与造礁石珊瑚参数监测一致
	监测频率	与造礁石珊瑚参数监测一致
	监测技术要求	按照 GB 17378.4-2007、GB/T 12763.4-2007 和 HY/T 147.1-2013 规定执行

### 5.5.6.2 修复效果评估

项目效果评估是基于前期调查和跟踪监测结果，分析项目实际实施内容与考核指标的符合性，评价项目实施的完成情况与实施效果。

#### a) 评估频次

竣工评估：修复工程完成后立即进行一次竣工评估，主要为工程量评估，包括投放人工礁数量、移植珊瑚的数量、成活率、增殖放流等工程数量和质量指标。

珊瑚礁生态修复效果评估：一般地，珊瑚礁生态修复效果评估的周期需 3~5 年。在该周期内，根据珊瑚礁生态修复的跟踪监测频率可进行阶段性修复效果评估，并根据评估结果及时采取必要的补救措施。实际周期的时间长度应根据修复目标而定，

与完成预期的修复目标的时间一致即可。

#### b) 评估内容

根据采用的修复措施设定针对性的效果评估内容。

主要包括修复项目对修复区域和周边区域生态敏感目标的影响，对修复区域理化环境、生物群落组成及生态功能的改善等方面。

#### c) 评估方法

修复效果的评估从生态系统变化趋势和生态修复目标的实现情况两个方面开展。前者采用时间序列对比法，通过比较生态修复区域的连续跟踪监测结果来评估生态系统变化的趋势。后者采用目标值对比法，通过对比修复区域和参照生态系统的监测结果评估生态修复目标的实现情况。当选用了历史数据为参照生态系统时，因无法通过监测来获得同期的生态修复的预期目标值，故可以通过预测来获取，或参考修复区域干扰前的状态值。

## 5.6 牡蛎礁生态修复

### 5.6.1 基本要求

针对人类活动（如采捕过度、环境污染、水动力改变）等造成的牡蛎礁生态系统退化问题，以及需要通过构建牡蛎礁改善海域水质、增加生物多样性、提高海岸减灾能力等区域，采用自然恢复、人工辅助修复和重建性修复相结合的方式，修复退化的牡蛎礁生态系统。

牡蛎礁生态修复遵循如下要求：

a) 优先开展退化牡蛎礁的修复，在保护天然牡蛎礁的基础上，加强环境保护和牡蛎礁人工管护，充分利用牡蛎的自然再生能力实现牡蛎礁生态系统的自然恢复；

b) 牡蛎礁修复的选址应充分考虑海域自然环境，选择历史上或现在有牡蛎礁或牡蛎分布的海域；

c) 在开展大范围修复工程前，须进行小型试验性修复，以验证修复方案的可行

性；

d) 采用补充牡蛎的方式修复时，应采用当地牡蛎优势种；

e) 构建人工礁体时，应采用无污染、环保、坚固耐用、易获得、成本低的材料，避免对区域环境造成二次污染；

f) 充分论证修复区域的水动力变化，通过对礁体和施工过程的科学设计，避免开展修复活动对海域水动力条件和冲淤产生影响。

### **5.6.2 修复流程**

牡蛎礁生态修复流程包括前期调查、问题诊断和修复目标确定、修复方案制定、工程实施、跟踪监测与效果评估等，具体工作流程参照图 5.6-1。

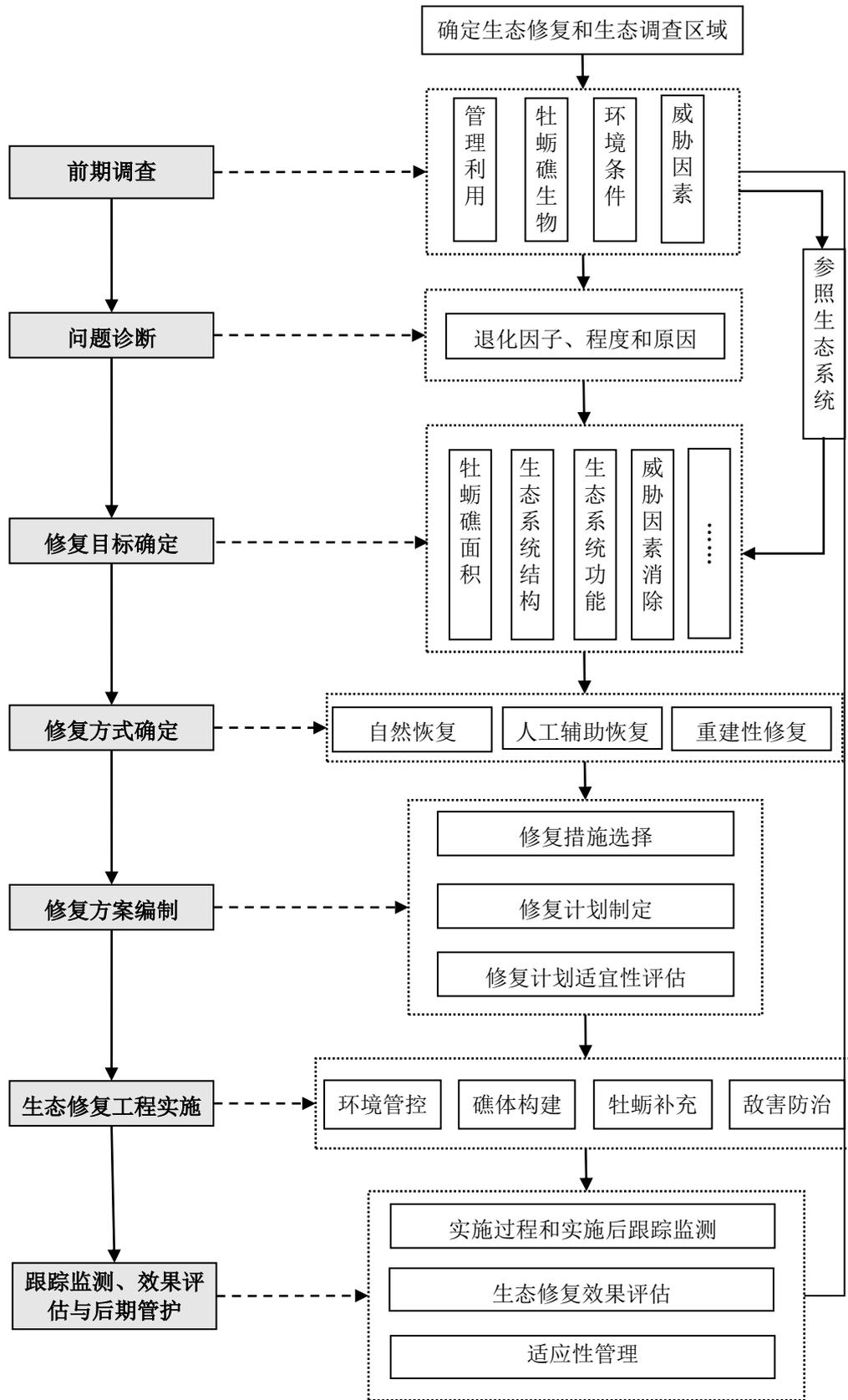


图 5.6-1 牡蛎礁生态修复工作流程

### 5.6.3 前期调查

#### 5.6.3.1 调查目的

前期调查的目的是掌握牡蛎礁生态系统现状，了解历史上该区域牡蛎礁的分布情况，分析牡蛎礁退化程度，为确定修复物种、修复方式、制定生态修复方案提供依据，同时为牡蛎礁修复效果评估提供参照生态系统的背景数据。

#### 5.6.3.2 调查区域

前期调查的区域宜覆盖拟开展牡蛎礁生态修复的区域及可能影响项目实施或受到项目实施影响的周边区域。如有可设定为参照生态系统的牡蛎礁，生态调查区域应覆盖参照生态系统及周边区域。

#### 5.6.3.3 调查内容与方法

调查内容包括管理利用现状、牡蛎礁生物、环境条件、胁迫因素等。

##### a) 管理利用现状

采用资料收集为主的方式，获取修复项目涉及的区域和周边区域的相关规划、海洋保护管理现状、现有海域用海项目权属等。分析开展牡蛎礁生态修复的区域协调性和政策可行性。

##### b) 牡蛎礁生物

牡蛎礁生物调查包括牡蛎礁本身的调查和生物群落调查。牡蛎礁调查要素包括礁体和牡蛎，生物群落调查要素包括大型底栖生物和浮游植物。具体调查要素和方法参考 T/CAOE 21.6-2020。

##### c) 环境条件

环境条件调查包括水环境、底质环境、动力环境、水下地形等，具体调查要素和方法参考 T/CAOE 21.6-2020。环境条件调查应重点关注流速、底质类型、沉积速率、水深等与牡蛎生长直接相关的要素。

##### d) 胁迫因素

胁迫因素分为自然因素和人为因素。自然因素主要有水温和盐度突变、牡蛎的捕食者和竞争者、病害等；人为因素主要有采捕、滤食性贝类养殖对食物竞争、海洋工程、污染排放等。胁迫因素调查方法参考 T/CAOE 20.7-2020。

#### **5.6.4 问题诊断和目标确定**

##### **5.6.4.1 问题诊断**

在前期调查的基础上，根据参照生态系统，综合评判分析牡蛎礁退化原因、退化程度，识别引起退化的主要胁迫因素，评估退化牡蛎礁的可修复性并确定修复方案。牡蛎礁生态系统退化的主要原因有过度采捕、水体污染、海洋工程引起的水动力变化等，造成牡蛎补充量不足或牡蛎固着基不足。在问题诊断时，应根据实际情况分类分析。

##### **5.6.4.2 目标确定**

综合考虑区域管理利用现状、相关规划、生态功能定位的因素，根据生态现状、生态问题诊断结果和参照生态系统属性，从牡蛎礁面积、生态系统结构、生态系统功能和胁迫因素消除等方面提出保护修复目标。

##### **5.6.4.3 修复方式确定**

根据牡蛎礁退化程度，确定采用自然恢复、人工辅助恢复或重建性恢复方式进行生态修复。

a) 自然恢复。对于轻度受损、大面积的天然牡蛎礁区，主要采取去除外界压力或干扰、封闭式养护等方法，加强保护措施、促进生态系统自然恢复。牡蛎礁退化的主要干扰因素是过度采捕和敌害生物入侵。

b) 人工辅助修复。对于中度受损、小面积的天然牡蛎礁区，根据前期调查结果，只依靠保护和管理不能实现牡蛎礁的自然恢复时，通过少量人工辅助实现生态系统自然恢复。固着基受限环境，需添加固着基，构建人工牡蛎礁体；补充量受限环境，需补充牡蛎。

c) 重建性修复。对于严重受损的牡蛎礁生态系统，生态系统无法通过再生或者在少量人工辅助下实现自我恢复的，根据前期调查结果，在消除胁迫因素的基础上，通过先构建人工牡蛎礁体，再移植牡蛎的方法进行重建性修复。

### 5.6.5 修复措施

针对牡蛎礁生态系统面临的不同生态问题，因地制宜采用修复措施。

#### a) 过度采捕导致生态失衡

造礁牡蛎被过度采捕导致生态失衡，原有的牡蛎礁生境被藤壶等竞争者占据，甚至消失殆尽，牡蛎礁失去自我维持能力。针对这类问题，需要补充牡蛎成体或稚贝，通过巡逻等保护管理措施，对牡蛎礁实行封闭式养护，逐渐恢复牡蛎礁的自我维持能力。

#### b) 海洋工程改变冲淤环境导致牡蛎缺少固着基

海洋工程和海塘建设等人为活动造成的水动力条件改变、沿岸淤积严重、底质类型改变和滩涂地形地貌改变等，导致沿岸缺少硬相底质，牡蛎难以固着。针对这类问题，在牡蛎补充量充足的前提下，需构建人工礁体，增加牡蛎固着范围。

#### c) 敌害生物入侵和病害导致牡蛎大量死亡

牡蛎的敌害生物包括牡蛎的捕食者、竞争者和外来入侵生物等。牡蛎的捕食者有黑鲷、鲹鱼等肉食性鱼类，红螺、荔枝螺等肉食性螺类，海星等棘皮动物，拟穴青蟹等甲壳动物，蛎鹬等鸟类；竞争者有藤壶、紫贻贝、海鞘、苔藓虫等固着生物。针对敌害生物问题，需要不定期采取捕捉、驱赶等措施清除敌害生物，补充牡蛎使牡蛎重新成为礁区的优势物种。针对病害问题，目前尚无治疗方法，但需要采取一定的预防措施，在牡蛎固着生长前将固着基彻底清刷干净，将老、死牡蛎完全除掉或将固着基进行暴晒；采用补充牡蛎的方法修复时，避免使用已感染的牡蛎。

#### d) 污染胁迫导致海域环境不适宜造礁牡蛎生长

我国沿海的社会、经济的迅猛发展给邻近的牡蛎礁生态环境带来污染，使得许

多历史上有牡蛎礁分布的地区现今已不适宜造礁牡蛎的生长。针对这类问题，宜通过污染管控，改善水质，直到该区域水质重新适宜造礁牡蛎的生长，而后再根据实际情况考虑适宜的修复措施。

表 5.6-1 牡蛎礁主要生态问题和修复措施

主要生态问题	整治与修复目标	修复措施			
		环境管控	礁体构建	牡蛎补充	敌害生物和病害预防
过度采捕	养护管理至牡蛎礁生态系统可自我维持	☆		★	
冲淤环境变化，缺乏硬相底质	增加硬相底质		★	☆	
敌害生物入侵和病害	减少敌害生物数量，预防病害	☆			★
水质污染	改善水质至适合造礁牡蛎生长	★			☆

注：★为主要措施，☆为适用措施注。

#### 5.6.5.1 环境管控

加强牡蛎礁保护与管理，通过封闭式养护，减轻人类活动对牡蛎礁生长环境的干扰；通过流域管理、海岸带管理、截污等，加强入海污染物的排放管理；加强对沿岸工程施工期间引起的悬浮泥沙等的管理，消除或尽量降低恶化牡蛎礁区水质等一切非自然因素的影响。

#### 5.6.5.2 礁体构建

通过投放人工礁等基底稳固技术，促进造礁牡蛎幼虫自然固着，降低牡蛎死亡率，加速其自然恢复的进程。

#### 5.6.5.3 牡蛎补充

选择本地种的牡蛎成体或稚贝补充牡蛎数量。牡蛎成体可采用附近人工养殖的牡蛎，将其固定在自然礁体或人工牡蛎礁体上；牡蛎稚贝可采用育苗场培育的幼苗或自然分布区半人工采苗，将培育好的固着基或采好幼苗的固着基固定于自然礁体或人工牡蛎礁体上，也可将固着基暂养于环境适宜的海域，待牡蛎生长至具有一定

抵抗环境变化和病害的能力时再移植于修复地点。

#### 5.6.5.4 敌害生物和病害预防

通过人工清除，结合环境管控等，对造礁牡蛎的敌害生物进行防控；通过对固着基进行清除和暴晒等手段，避免在补充牡蛎时使用已感染的牡蛎，预防牡蛎病害。

#### 5.6.6 监测与评估

##### 5.6.6.1 跟踪监测

牡蛎礁修复工程完成 3 个月后进行第一次监测，持续监测 2 年以上。常规调查时间和频率一经确定，应保持长期不变，以便于年际间数据比较。监测内容包括牡蛎礁、生物群落和水环境，具体监测指标、方法和频率参考 T/CAOE 21.6-2020，根据项目效果评估需要，可选择不同监测指标。如遇突发事件应开展应急监测：

a) 根据赤潮灾害、溢油、污染物排放等突发事件的影响程度大小和范围，确定应急监测内容和频率；

b) 在高温期、0℃以下低温期、大量降雨、行洪等特殊时段内，对水温、盐度、溶解氧、pH 值等环境指标进行高频监测，一般不少于每周 1 次。

##### 5.6.6.2 修复效果评估

基于跟踪监测，项目效果评估目的主要是通过监测手段分析项目实际实施内容与考核指标的符合性，评价项目实施的完成情况与实施效果。

###### a) 评估频次

修复工程完成后立即进行一次竣工评估，主要为工程量评估，包括恢复/修复牡蛎礁面积、分布、成活率等工程数量和质量指标。牡蛎礁生态修复效果评估时间根据生态修复目标而定，与预期的生态修复目标达到时间一致即可。牡蛎礁生态修复成效评估的周期至少需 2 年以上，每年应开展一次牡蛎礁生态修复的阶段性效果评估，并根据评估结果及时采取必要的补救措施。

###### b) 评估内容

根据修复的措施设定针对性的效果评估内容。主要评估内容包括：牡蛎礁自身的修复效果，主要评估指标有牡蛎礁斑块面积变化、牡蛎补充量变化、牡蛎礁体平均高度变化、牡蛎密度变化、成体牡蛎比例变化等；生物群落修复效果，主要评估指标有定居性动物密度变化等；理化环境及生态功能的改善效果，主要评估指标有悬浮物浓度变化、叶绿素 a 浓度变化等。

### c) 评估方法

修复效果的评估从生态系统变化趋势和生态修复目标的实现情况两个方面开展。前者采用时间序列对比法，通过生态修复区域的连续跟踪监测结果评估生态系统变化的趋势。后者采用与目标值对比法，通过对比修复区域和参照生态系统的监测结果评估生态修复目标的实现情况。

根据生态修复的目标和评估内容设定可量化的修复效果的评价指标。

生态修复效果评价指标的标准值可通过以下几个途径确定：

- 1) 参考参照生态系统或干扰前的状态值；
- 2) 通过预测，获取恢复生态系统的目标值；
- 3) 在科学的预测和判断的基础上，结合专家的意见和社会公众的期望调查获取目标值。

## 6 综合生态系统修复

### 6.1 岸滩整治与生态修复

#### 6.1.1 基本要求

a) 通过岸滩整治与生态修复,最大程度地恢复海岸自然形态、地貌和植被单元,提升海岸防灾减灾能力,恢复和改善海岸生态功能。

b) 岸滩整治与生态修复范围向海侧包括前滨、内滨和 underwater 岸坡,向陆侧包括海崖、上升阶地、陆侧的低平地、沙丘或稳定的植被地带。修复区域应维持海岸地貌单元和生态系统的完整性。基岩海岸、粉砂淤泥质海岸和砂质海岸范围见附录 A。海岸线界定参照《全国海岸线修测技术规程》(自然资办函〔2019〕1187号)的规定。

c) 以生态损害问题为导向,分析受损原因,综合考虑自然因素与技术条件,适应当地海岸自然环境条件,因地制宜,整体维护海岸生态功能。

d) 充分发挥海岸自我修复能力,以自然恢复为主、人为干预为辅,避免海岸线人工化。

e) 遵循基于生态系统内在机理,从陆海统筹角度考虑岸滩生态功能,避免整治与修复工作对海岸生态系统的割裂和损害。

f) 统筹兼顾生态效益与社会效益,精心设计、合理安排、有序推进岸滩整治与生态修复工作,提高整治与生态修复成效。

g) 人工岸线开展生态修复后,应按自然岸线要求进行管控。

#### 6.1.2 修复流程

##### 6.1.2.1 前期准备

基于整治与生态修复岸段的现场踏勘,了解拟修复海岸现状,分析自然因素与人为因素对岸滩生态功能的影响,确定可能产生的海岸形态与属性改变、生态功能

退化、环境质量恶化、自然景观破坏、防灾减灾能力减弱等问题和原因。通过海岸生态现状的调查，甄别主要生态问题。主要包括：

- a) 明确被修复对象，确定生态系统边界；
- b) 开展退化生态系统问题诊断分析；
- c) 基于生态退化的综合判断和分析，确定修复目标；
- d) 开展岸滩整治与生态修复的自然环境、经济条件、社会需求和技术可行性分析；
- e) 进行生态修复与风险评估，提出对策与具体解决措施。

#### **6.1.2.2 修复实施**

修复工程实施，包括工程资料收集与调查、方案设计、项目实施和竣工验收四个阶段。

a) 资料收集与调查。收集海岸受损区域的相关基础资料，包括自然条件、海岸类型、海岸原始状态相关的基础遥感影像与地理信息数据、相关区划规划、管理利用现状等。开展必要的海洋水文气象、地形地貌和地质构造、生态环境、生物资源、海洋灾害等现状调查，为项目实施方案设计提供必要的基础资料。

b) 方案设计。以解决海岸生态损害问题为导向，遵循保护岸滩自然资源、提高生态功能的原则，针对岸滩受损特征及机理，设计科学合理的岸滩整治与生态修复方案与工程措施，确定岸滩整治与生态修复预期目标与工程内容，明确整治与生态修复效果与可考核指标，测算岸滩整治与生态修复工程项目经费，编制项目实施方案。

c) 项目实施。明确责任主体、组织方式和预期目标，明确项目实施进度和时间节点，提出监管内容与方法，依据实施方案有序推进项目实施。

d) 竣工验收。按照项目设计方案对修复工程开展设计要求、技术标准以及施工质量、绩效目标等方面全面检查，对达到要求的项目予以验收。

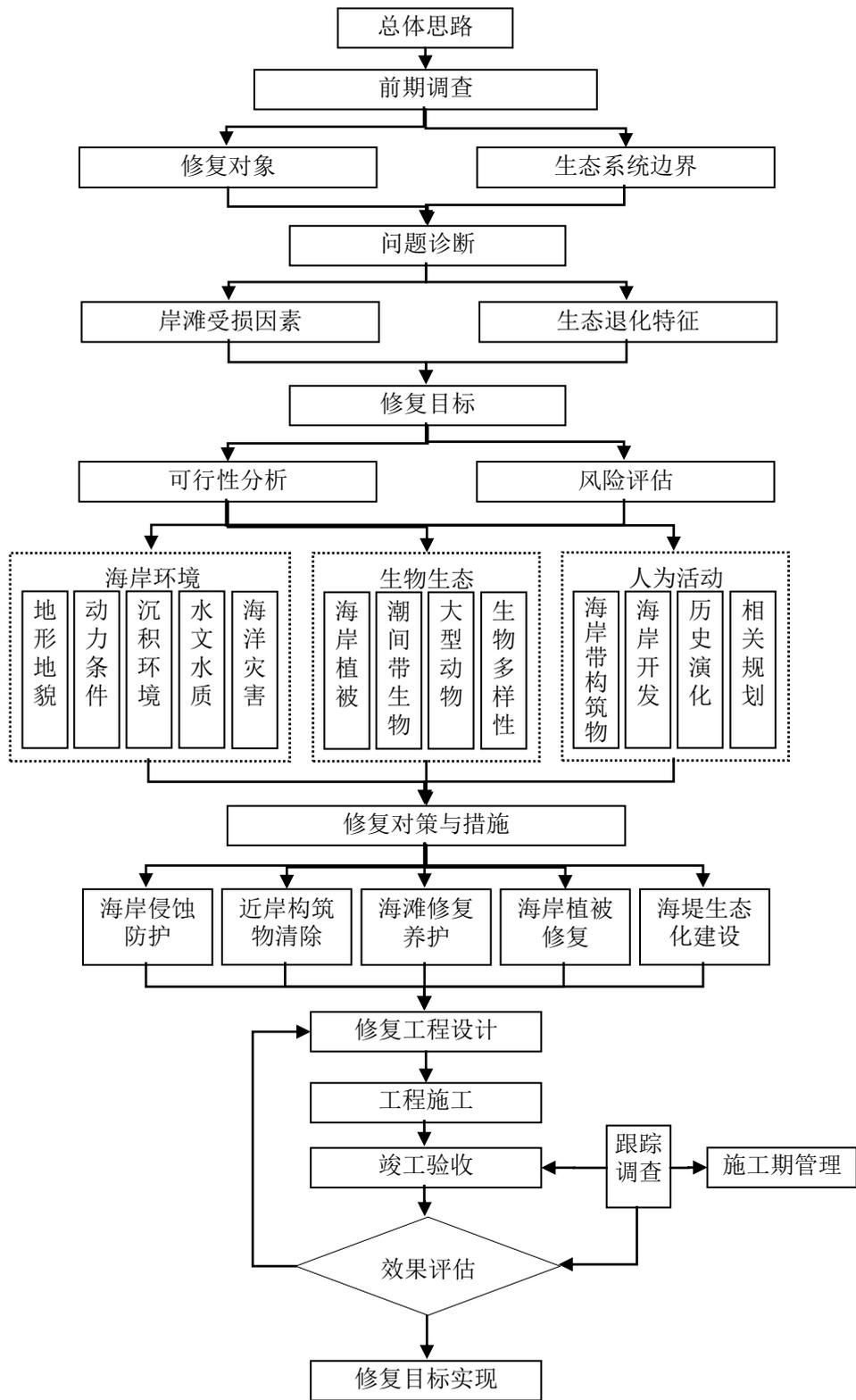


图 6.1-1 岸滩整治与生态修复工作流程

### 6.1.2.3 跟踪管理

a) 施工期管理与质量控制。按照施工进度安排跟踪监测，依据修复工程设计要求，检查项目施工过程中工程内容完成情况，评估施工期环境影响和修复预期达成情况，指导项目施工安排。

b) 修复效果监测与评估。项目竣工后，依据项目实施方案中的修复目标、工程内容与考核指标等，开展生态修复跟踪监测，并基于一定时间的监测结果开展生态修复效果评估。

c) 生态修复工程定期监控与后续管理。按照不同类型修复工程的特点，开展定期监测、检查和维护管理，评估其持续性效果和生态服务功能，并以此进行适应性管理。

### 6.1.3 前期调查

根据海岸生态损害问题及岸滩修复的内容，有针对性的开展前期调查工作。

#### 6.1.3.1 海岸侵蚀防护

收集受损海岸区段历史海图、遥感影像、地形、地貌、水文、气象、工程建设等相关资料，运用图像、影像对比、数值模拟预测等方法，分析海岸演变的时空变化特征。

依据侵蚀海岸受损机理、程度等，筛选必要的调查项目与观测要素，依据相关标准规范开展现场调查，调查数据资料内容、站位、频次等参照表 6.1-1 的内容与要求。

表 6.1-1 海岸侵蚀防护调查内容与要求

调查项目		内容与要求
动力环境	波浪	①连续波浪：近 5 年内代表性季节不少于 1 个月的连续观测深水波况，附近海域水深 10~15m 处为宜。调查方法按 GB/T 14914.2-2019 中 11.4.1 的要求执行；②重现期波浪：收集周边海洋站不少于 20 年的年极值波浪或风数据，推算重现期大浪的数值，或采用数学模型模拟推算
	海流	分层流速、流向，站位布设一般位于修复或养护区中部海域。调查方法应符合 GB/T 12763.2-2007 的要求
	悬沙	与海流同步观测数据资料
	潮位	近 5 年内不少于 1 年的连续观测，原则上与波浪观测同年
	风	收集不少于 1 年的连续数据，原则上与波浪观测同步
	区域海平面	收集区域近年（不少于 30 年）海面变化资料
沉积环境	岸滩沉积物	取样位置至少包括潮上带、高潮带、中潮带、低潮带及近岸海域等代表性部位
地形地貌	地形测量	修复或养护区岸滩至闭合水深以浅，水下地形比尺不低于 1:5000，岸滩地形比尺不低于 1:2000
	海岸线变化	修复或养护区所在的海岸单元范围内海岸线，比尺不低于 1:200
后滨植被	植被覆盖率变化	收集近 30 年来植被变化多期遥感影像以及相关修复资料等
	土壤盐害判定	测定土壤含盐量，开展土壤盐渍化分析
人为活动		海滩、近滨人工采砂，滨外挖砂；滩面排水输沙（如管涵等）；护岸、丁坝、防波堤现状等

### 6.1.3.2 近岸构筑物清除

近岸构筑物清除资料收集和调查内容主要包括：工程勘察、地形地貌、动力环境、水质和沉积环境、生物生态等，一般应满足表 6.1-2 的要求。

#### a) 工程勘察

对拟拆除的构筑物结构和轮廓、周边地质构造进行详细勘察，为构筑物拆除方

式及施工机械的选择提供基础数据。

b) 地形地貌

收集资料或开展现状调查，获取拟拆除构筑物周边地形地貌，为构筑物拆除后区域水动力、泥沙冲淤、岸滩稳定等环境影响预测提供基础数据。

c) 动力环境

水文动力资料以收集 5 年以内的历史资料为主，现场调查为辅。需收集的资料主要包括：潮流（流速、流向）、波浪、潮位、悬沙等，为构筑物拆除后的区域水动力、泥沙冲淤、岸滩稳定等环境影响预测提供基础数据。

表 6.1-2 近岸构筑物清除调查基本内容要求

调查项目	内容要求
工程勘察	对象：拟拆除构筑物结构和轮廓，周边地质构造 方式：钻孔、槽探、地质雷达波、动力触探等 要求：符合 GB 50021-2001 要求
地形地貌	内容：水深地形，海岸地貌 要求：符合 GB/T 17501-2017 的要求
水文动力	内容：波浪、潮位、潮流、风、悬沙等 要求：以收集历史资料为主，现场调查应符合 GB/T 12763.2-2007 的要求
水质与沉积环境	内容：水质与沉积物质量，沉积物粒度特征、颗粒组分等沉积学特征 要求：应满足整治与生态修复水质与沉积物质量改善效果评估要求，符合 GB 17378.4-2007、HY/T 147.1-2013 与 GB 17378.5-2007、HY/T 147.2-2013 的要求
生物生态	内容：叶绿素 a、初级生产力、浮游生物、鱼卵及仔稚鱼、底栖生物、游泳生物、潮间带生物、海洋生物质量 要求：符合 GB/T 12763.9-2007 的要求

d) 水质和沉积环境

收集或调查工程区，尤其是围海区域内的水质和沉积环境，分析评估构筑物对区域环境的影响，为生态修复方案制定提供基础数据。

e) 生物生态

调查整治与生态修复区域内的生物生态状况，分析海岸生态系统受损情况，评估生态服务功能损害和海洋生物资源损害，为整治与生态修复方案和目标制定提供依据。

#### 6.1.3.4 海滩修复养护

资料收集与调查内容包括：动力环境、沉积环境、地形地貌和人为活动的影响等，按照 HY/T 255-2018 中第 6 节要求执行。

#### 6.1.3.5 后滨植被修复

资料收集与调查内容包括植被群落特征、生态环境和胁迫因素等，一般应符合表 6.1-3 的要求。

表 6.1-3 后滨植被修复调查基本内容与要求

调查内容	调查项目	调查内容和要求	调查方法
群落特征	植被分布、面积、群落、种类组成、树高和覆盖度	选取拟修复区周边植被群落结构较完整且具有相似生境条件的区域作为参照地开展群落调查	调查方法参照 LY/T 1820-2009 要求执行
生态环境	气候气象、土壤、地形地貌、地面水系和浅层地下水位等	气象因子包括温度、风速、主要风向、降雨量及蒸发量等 土壤因子包括质地、pH 值、容重、孔隙度、含水量、有机质、盐度、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷及速效钾的含量等 地形因子包括高程、坡度、坡向等	气候为资料收集；土壤调查方法参照 NY/T 1121 要求执行；地形地貌调查方法参照 GB/T 17501-2017 要求执行
胁迫因素	人类活动状况、自然和人为胁迫因素等	应充分了解恢复地及邻近区域存在的人为开发活动和海洋灾害状况，分析这些人为活动及灾害对植被造成的或者可能造成的影响	采用文献调查、走访调查和现场调查等方法

根据生态环境调查结果对修复区域植被的受损程度与受损原因进行分析，判断植被的可修复性，选取有针对性的后滨植被修复类型。

#### 6.1.3.6 海堤生态化建设

在海堤生态化建设区域内，通过资料收集、遥感分析与外业调查等手段，获取海堤结构、海岸动力、海岸地形地貌、陆域植被、堤前生境和生态胁迫等，一般应包括表 6.1-4 的要素。

表 6.1-4 海堤生态化建设收集和调查基本内容与要求

调查内容	调查要素	调查方法
海堤状况	海堤结构型式、设计参数、工程区工程地质、海堤现状与受损、堤前冲淤、前后方利用情况等数据	参照 GB/T 51015、SL 188-2005
海岸动力	气候条件、波浪条件、潮汐潮流、台风浪及风暴潮灾害特性、设计波要素、水体交换等现状数据	参照 GB/T 12763.2-2007、GB/T 14914.2-2019
海岸地形地貌	滩地地形、潮汐通道、底质类型、沉积物性状、海堤封闭区域内的水深地形等历史和现状数据	参照 GB/T 17501-2017
堤后陆域植被	陆侧植被的物种、分布、盖度和密度、健康状况	参照 LY/T 1820-2009
堤前岸滩生境	植被情况(物种、分布、盖度和密度、健康状况)、水文环境、底栖和游泳生物、藻类等生物群落和生物多样性等生态要素数据	参照 GB/T 17378.7-2007
生态胁迫	人为干扰、海漂垃圾、生物入侵、污损生物和病虫害等生态胁迫因素	参照 GB/T 12763.9-2007

## 6.1.4 问题诊断与目标确定

### 6.1.4.1 岸滩受损诊断

#### a) 自然岸线

1) 砂砾质海岸。砂砾质海岸是砂砾质沉积物在水动力作用下达到动态平衡后形成的堆积体，当水动力环境或物质来源发生改变时，砂砾质海岸受损表征为侵蚀或泥化。通过调查与分析确定海滩、沙坝-潟湖等原生地貌的平衡状态与平衡条件，判断受损原因，量化受损程度，阐述海滩受损对海域资源环境、公众生产生活造成的影响，经多方案比选后提出可行的技术措施与方案，预测采取修复措施后能够达到的效果。

2) 粉砂淤泥质海岸。粉砂淤泥质海岸具有水动力环境弱、岸坡平缓、泥沙来源充足等特点，多分布于河口或遮蔽海湾等区域。根据环境现状调查和历史资料，分析海岸地貌、生境受损现状、程度及原因，阐述粉砂淤泥质海岸地貌、生境受损对社会经济活动、生态功能的影响，经多方案比选后提出可行的技术措施与方案，预测采取修复措施后能够达到的效果。

3) 基岩海岸。基岩海岸受损源于多种因素，如水动力环境变化导致的冲刷、基岩内部压力变化导致的强度弱化、风化（物理与化学）、生物蚀刻、岩石结构不稳定导致的滑塌以及不合理开发造成的破坏等。通过调查确定基岩海岸（包括海蚀拱桥、海蚀柱、海蚀崖等海蚀地貌）的受损情况与受损程度，分析受损原因，阐述受损现状对海岸生态功能、自然景观的影响程度与发展趋势，经多方案比选后提出可行的技术措施与方案，预测采取修复措施后能够达到的效果。

4) 生物海岸。生物海岸是由滨海生物群落聚集或残骸堆积形成的，主要包括红树林岸线、珊瑚礁岸线和海草床岸线等类型，应从生境和环境的变化、退化及人类活动影响等方面进行问题诊断，分析生物海岸在抵御海洋自然灾害、净化海洋环境方面的作用，以及红树林、盐沼湿地植被受损原因，经多方案比选后提出可行的技术措施与方案，预测分析修复后产生的社会、经济效益。对于计划人工引种的海岸，应分析海岸目前的自然和社会环境对引种生物的可行性、迫切性和引种后的环境效益。

#### b) 人工岸线

1) 对于海岸防潮堤等用于防护的人工海岸，应通过现场调查，评估护岸（海堤）的受损情况与现有防御能力，并结合区域自然环境特征分析海洋灾害发生频率与强度，经多方案比选后提出可行的技术措施与方案，预测整治与生态修复后能够达到的效果。

2) 对于构筑物与围海等用于生产的人工海岸，应评估开发利用产生的经济社会

价值，分析其对近岸水动力环境、海岸动力地貌、海岸自然景观造成的影响，以及构筑物清理拆除后对岸滩功能恢复与提升、水动力条件和环境质量改善等的作用与社会经济效益。

3) 对于具有景观改善、公众亲水岸线开发潜力的人工海岸，应重点分析海岸环境现状（含海水环境质量、沉积物质量、生物质量）及护岸工程结构是否符合生态景观与公众休憩、亲水要求，经多方案比选后提出可行的技术措施与方案，预测海岸修复后能够产生的环境、经济价值。

#### 6.1.4.2 整治与生态修复目标

岸滩整治与生态修复应以恢复自然特征和生态功能为主体目标，针对不同海岸受损要素和生态退化特征，设置不同生态修复目标，并针对性开展岸滩整治与生态修复举措。常见岸滩问题修复目标如下表 6.1-5。

表 6.1-5 岸滩主要问题及其整治与生态修复目标和举措

岸滩 主要问题	整治与生态修复目标	海岸 侵蚀 防护	近岸 构筑物 清除	海滩 修复 养护	后滨 植被 修复	海堤 生态化 建设
海岸侵蚀	修复受损海岸，提升海岸稳定性	★		★	☆	
防灾减灾能力不足	提升海岸防护能力	★		★	☆	★
不合理构筑物	消除负面影响，恢复海岸动力环境、提升海岸生态功能。		★			
水体交换能力差	提升海水交换能力，改善水质环境		★			☆
沉积物质量差	提升潮间带沉积物质量，开展滨海湿地修复		☆	☆		☆
后滨植被受损	修复受损生态群落，构建后滨生态防护体系				★	☆
潮间带湿地退化与受损	修复受损湿地，恢复湿地生态功能		☆			★

割裂生态系统	打通生态通道，实现海岸生态系统连通		☆			☆
硬式海岸防护	改善海堤生态功能，提升海岸防护能力，增加亲水性			★	☆	★
景观破坏	改善海岸景观，增加亲水性，兼顾海岸安全和生态功能		☆	★	★	★

注：★为主要措施，☆为适用措施。

## 6.1.5 修复措施

### 6.1.5.1 海岸侵蚀防护

海岸侵蚀防护一般采用海堤、突堤、离岸堤、人工海滩补沙以及生物防护（表 6.1-6），选择时应考虑以下几点：

a) 海岸防护工程应以保障生产生活安全、提升海岸生态功能为前提，并充分考虑与周边环境的协调性，兼顾景观效果和亲水空间需求。

b) 海岸防护工程设计应优先选择促进自然恢复为主的技术方法，采取软硬工程兼用的综合工程技术，避免岸线过度人工化，防止新建构筑物带来新的环境影响和问题，实现岸滩同护。

c) 海岸防护工程设计应充分考虑当地灾害频率、强度等，保障防护工程的稳定性，注重修复成果的持久性，避免累积负面效应或因灾丧失修复成效。

d) 海岸防护工程设计应建立在充分的数据资料、深入的受损成因分析基础之上，因地制宜地选择技术方法，通过多方案比选和优化体现针对性和有效性。

e) 常见工程技术及其适用性如表 6.1-6，在海岸侵蚀防护时可采用多种工程技术相结合的方式，提升海岸稳定性和生态功能。

表 6.1-6 不同环境条件海岸适用的海岸侵蚀防护工程类型

工程类型		适用海岸
护岸海堤	用以防御风暴潮及波浪而修建的工程构筑物，护岸海堤通常平行于海岸线布置修建	河口海岸、工业化程度高的海岸、水动力强且人口密集度高的海岸及潮

工程类型		适用海岸
		差大的海岸
突堤	用以拦截沿岸漂沙、控制海滩地形、改变海岸线方向、阻挡沿岸流或压迫潮流方向，进而减小保护区内的海岸侵蚀，为垂直于海岸线或与海岸线形成某一夹角，由海滩向海构建且突出海岸的结构物	大河（江）入海口两侧海岸、开阔平直海岸、岬湾型砂砾质海岸陆（海）空间需求高的海岸，自然环境要求高的海湾应优先考虑岬湾人工岬角
离岸堤	使波浪在堤前减衰，漂沙在堤后堆积，间接发挥稳定岸滩功能的堤防结构物。一般离岸布置，与海岸线近似平行	侵蚀强烈海岸、开阔平直砂砾质海岸、海上游憩空间需求一般的砂砾质海岸、生态化程度要求高的砂砾质海岸（优先考虑沙坝潜堤）
人工海滩补沙	从其它地方采取适量的沙补充到被侵蚀的海滩上，用以弥补受侵海滩的亏缺，改善海滩品质，达到保护海滩的目的	旅游资源丰富的砂砾质海岸，自然环境、亲海舒适度和海上游憩空间要求高的砂砾质海岸
生物防护工程	在潮滩或水下，利用植物消减波浪对海岸的侵蚀作用，达到消减波能和缓流促淤。常见的植物品种如红树林、芦苇、蔗草、碱蓬等	粉砂淤泥质海岸、潮滩宽阔海岸、生态化程度要求高的海岸

### 6.1.5.2 近岸构筑物清除

近岸构筑物清除应首先查清拟拆除构筑物质地、结构与范围，并对构筑物拆除后区域水动力、泥沙冲淤、岸滩稳定等环境影响进行预测分析，在研究评估的基础上，确定科学合理的拆除方案和废弃物处置方案，设计时应重点考虑以下几点：

a) 通过水动力数值模型，分析预测构筑物拆除前、后潮流场的变化情况，评估构筑物拆除对纳潮能力、水体交换能力的改善效果。

b) 通过泥沙冲淤数值模型或物理模型，分析预测构筑物拆除前、后海域的冲淤变化情况，评估构筑物拆除对泥沙冲淤环境的改善效果以及构筑物拆除后是否会造岸滩侵蚀等不利影响。

c) 根据构筑物修建前后的海洋生物生态调查资料，对比分析各类生物生态要素的变化情况，对造成严重环境影响的海岸构筑物，进行生态服务功能损害价值评估

和海洋生物资源损害评估，为海岸整治与生态修复提供目标和方向。

d) 结合水动力试验、泥沙冲淤试验等专题研究，基于岸滩形态恢复、生态功能提升、水动力环境改善等方面提出构筑物清除范围与规模尺度等，论证设计方案与施工方案的合理性，完善设计与施工方案。

e) 应充分考虑构筑物拆除后的功能替代方案，并列入工程内容中同期实施。工程实施造成的不利影响也应一并分析解决。构筑物拆除一般采用切割、挖除等方式，慎重采用爆破方式。应在方案中明确采用的机具类型、效率、工期等。

不同修复目的的海岸构筑物拆除措施如下：

表 6.1-7 近岸构筑物清除的主要内容

修复目标	重点整治与生态修复内容
岸滩修复	重点关注岸滩类型和功能，采取海滩养护、堤坝拆除、海堤生态化改造等措施，形成具有自然海岸形态特征和生态功能的岸滩，提升生态涵养功能和灾害防御能力
水文动力及冲淤环境恢复	重点关注纳潮量、水交换能力、岸滩稳定性及其引起的生境变化，可采取堤坝拆除、清淤疏浚等措施，改善水文动力与冲淤环境
滨海湿地恢复	重点关注生态系统完整与健康，采取水系恢复、植被保育、退养还滩、退耕还湿、外来物种防治等措施，尽可能恢复受损滨海湿地的结构与功能
海洋生物资源恢复	重点关注围填海造成的资源损失，通过大型藻类种植、增殖放流、人工鱼礁投放等措施，提高海洋生物资源总量和生物多样性

### 6.1.5.3 海滩修复养护

海滩修复养护应符合如下基本要求：

- a) 修复区地形地貌应具备海滩发育的基本条件。
- b) 近岸波浪动力适宜，具备海滩发育的基本动力条件。
- c) 兼有海水浴场功能的海滩，近岸水质应不低于二类海水水质，兼有旅游景观功能的海滩，近岸水质应不低于三类海水水质。
- d) 沉积物明显不足的海岸不适用循环养护，禁止将近岸区域作为沙源，应根据设计要求在合法采砂区采沙，作为异地沙源。对具有循环养护条件的区域，可基于

岸滩泥沙运移分析合理设置取砂区和补沙方案。

e) 海滩修复应以生态考虑为主，不应占用海草床、盐沼、红树林等与其不兼容的空间区域；应遵循砂砾质海岸输沙规律，不建议采用硬式工程改变或隔断沿岸输砂；应满足基本动力和泥沙条件，不宜在河口区、封闭内湾和潟湖内等波浪动力弱的区域实施；应严格控制填砂沉积物质量，不可采用含泥、贝壳、有机质过高的沉积物作为填砂物料。在保证防灾和生态功能的基础上可兼顾景观和社会功能，但不可过度扩展干滩空间。

具体措施包括：

a) 海滩保护修复区域评估，确定海滩养护的适宜性。结合现场观测和数值模型分析海滩致损因素和受损机理，结合修复区海洋生态环境保护要求，确定海滩生态修复的可行性；

b) 通过拆除不合理海岸构筑物、退堤还滩、退港还海等形式消除海滩受损因素，恢复海滩发育空间，可通过自然恢复或海滩养护的方式修复受损海滩；

c) 对无法自我恢复的岸段实施海滩养护工程，快速有效地提升海滩的海岸防护能力和自我缓冲作用，补偿砂砾质岸线受损区域；

d) 结合上下游海滩稳定性和生态保护要求，采用人工砂源、旁通输沙、拦沙堤、人工岬头、管沟归并等技术手段优化海滩修复布局，提升海滩整体效果，实现可持续性修复；

e) 修复海滩后滨植被，构建多层次复合型后滨植被结构，形成海岸风沙防护体系，构建后滨生态景观；

f) 通过海滩修复营造砂砾质岸滩生境，采取自然恢复的方式形成砂砾质岸滩动植物群落，进而提升海岸生态功能。

#### **6.1.5.4 后滨植被修复**

植被修复应遵循下列原则：

- a) 适地适树原则：应根据修复区的生境特征选择合适的植物类型和种类；
- b) 多样性原则：在保证植物成活率和正常生长的情况下，注重多种植物类型、种类和遗传类型的混交种植，提高生物多样性；
- c) 乡土物种原则：在植物种类选择上，以乡土植物为主，合理配置植物群落模式，禁止选用外来入侵植物；
- d) 经济可行原则：优先选取修复条件好的区域和适生植物种类进行植被修复，减少生境改造和后期维护等的人力财力投入。

植被修复主要要求包括：

- a) 植物种类选择与配置：选择不同的抗风、抗旱、耐盐、耐贫瘠的植物作为修复工具种。根据不同的生境选择不同功能要求的植物，如防风耐盐植物、水土保持植物、固沙植物等。优先选择乡土种，适当选用经相似区域试验切实可行的种类，杜绝外来入侵物种；
- b) 苗木繁育与驯化：野外采集种子或植物繁殖体，通过苗床育种和容器苗等技术进行苗木培育，通过驯化适应海岸环境条件，提高种植成活率；
- c) 种植方式：滨海盐碱地的植被修复主要考虑植物的生物学特性与受盐分的影响程度，根据离海远近受到的盐分影响程度或不同的盐碱程度选择具有不同抗盐能力的植物种类，在此基础上进行乔、灌、草的林相搭配；
- d) 对新造林地、未成林地要加强管护，除了有计划的割草、未成林抚育和林农间作外，可以采取适当工程措施，建设封禁设施，避免人、畜随意进入。对死亡或冲失的幼苗，适时进行补苗。做好森林防火和病虫害防治工作。

根据生态环境调查结果对修复区植被的受损程度与受损原因进行分析，判断植被的可修复性，选取有针对性的后滨植被修复类型（表 6.1-8）。

**表 6.1-8 常见修复类型及其特点**

修复类型	特点
------	----

自然恢复	对于植被退化程度较轻，区内幼苗和繁殖体数量较多区域，应采取有效管护措施去除外界压力或干扰，充分发挥植被自我修复能力，无需开展人工种植
改造修复	对于植被退化程度较高，受损严重的区域，应在清理伐除腐植、适度间伐覆盖度高的劣质植被后，进行适当的人工补植，促进植被修复或正向演替
重建修复	若植被完全退化或者丧失时，则需要采用重建的方式进行植被修复，这种情况下植被的重建可在原地进行，若引起植被退化/丧失的外界压力/干扰不可消除时，则应考虑异地重建

#### 6.1.5.5 海堤生态化建设

海堤生态化应遵循以下原则：

a) 海堤生态化应以提升防灾减灾能力为首要考虑，确保不降低海堤原有的防护能力，切实保障防洪防潮防浪安全和公众生命财产安全；

b) 应尊重自然、顺应自然，坚持生态优先，注重海岸带生态保护修复，促进生态和减灾协同增效；

c) 充分考虑海堤所处区域的生态系统特性、水文动力和海洋灾害等自然条件，因地制宜，分区分类施策；

d) 坚持陆海统筹，协调海岸带保护与利用空间格局，统筹考虑经济社会发展与海洋开发利用，实现布局协调和功能兼顾。

海堤生态化主要措施包括：

a) 堤前岸滩防护与生态修复：根据堤前区域动力、地貌和生境条件，针对恢复岸滩形态、防止岸滩侵蚀、植被消浪固滩、提升岸滩生态功能等不同的岸滩治理需求，综合考虑采取退养还滩、清淤补水、促淤保滩、海滩养护、植被修复等方式开展堤前岸滩防护和生态修复。堤前废弃或者影响海堤安全和海岸生态功能的构筑物应清理整治；淤积严重造成水交换能力降低、水质恶化的应进行清淤疏浚整治；侵蚀岸段应采用工程措施与生态措施相结合方式开展防护；根据堤前岸滩生境条件，选择适宜的乡土植物，种植红树林或盐沼植被，或开展海滩养护。

b) 海堤堤身生态改造：对严重影响区域生态环境的海堤，可因地制宜实施堤线

调整。在满足海堤安全的前提下，海堤结构宜采用斜坡式或多级平台，在条件适宜时尽可能缓坡入海。海堤可因地制宜采用生态格栅、生态护面、植被护坡等工艺进行生态化，临海侧堤脚及镇压层宜选用高孔隙率且具有一定粗糙度的天然块体作为镇压层结构材料，构建适宜海洋生物附着的栖息地，可采用人工鱼礁等生态设计；临海侧护面可采用植物护面或适宜海洋生物附着生长的材料；堤顶宜采用植被种植、绿道等方式提升生态功能；背海侧护面结合植物种植构建生态护坡。

c) 堤后生态缓冲带建设：通过种植防护林带，增加物种多样性，提升缓解灾害冲击的能力。针对农田、森林、草地、湿地、林地等生态缓冲带特点，充分利用未利用地的空间资源，采用不同的生态重构技术，构建各具特色的生态格局。

d) 退缩建坝和增设潮汐通道：对严重影响生态系统、减灾效果不明显的海堤，应采取退缩建坝、增设潮汐通道等措施，恢复海域生态系统的完整性和连通性。

海堤生态化建设的具体措施要求，参照《海堤生态化建设技术指南（试行）》执行。如岸滩整治涉及围填海工程，则围填海工程区域内海堤生态化建设的具体措施要求，参照 T/CAOE 1-2020 执行。

### 6.1.6 跟踪监测

项目监测应涵盖修复全过程，调查期限涵盖施工前、施工中、竣工后和后续，后续时间通常不少于 3 年。各项监测要素要求如下：

a) 地形地貌监测，包括海岸线、岸滩和海底地形，见表 6.1-9

表 6.1-9 地形地貌跟踪监测要求

监测内容	监测要求	
岸滩与 水下地形	测量范围	整治与生态修复区域自后滨向海延伸至闭合深度
	断面布设	由岸滩监测剖面的原点，垂直海岸线布设，方向延伸向海，密度不少于 2 条/km
	测量频率	施工后前三年内，不低于 2 次/年；台风作用后加测

	测量技术要求	采用海陆联测，应符合 GB/T 12763.10-2007 第 5 章中的规定
海岸线变化	测量范围	整治与生态修复区域所在的海岸单元范围内海岸线
	测量频率	施工后第一年，不低于每季度 1 次，台风作用后加测，此后不少于 2 次/年
	测量技术要求	应符合 GB/T 17501-2017

b) 沉积物监测，包括修复区域沉积物粒度、组成、沉积物质量和植被土壤，见表 6.1-10。

表 6.1-10 沉积物跟踪监测要求

监测内容	监测要求	
沉积物类型	站位布设	与地形测量断面一致，岸滩不少于 5 个，海域不少于 10 个 /km <sup>2</sup>
	采样与分析方式	表层采样，使用激光粒度分析法、结合筛分法
	测量频率	与地形监测同步
	测量技术要求	水下采样应符合 GB/T 12763.8-2007 的规定
沉积物质量	指标	沉积物粒度、有机碳、硫化物、氧化还原电位
	测量频率	项目实施前 1 次，项目实施后每 2 年 1 次
	测量技术要求	符合 GB/T 12763.8-2007、GB 17378.5-2007 的规定
植被土壤	指标	质地、pH 值、容重、孔隙度、含水量、有机质、盐度、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷及速效钾的含量
	测量频率	项目实施前 1 次，项目实施后每 2 年 1 次
	测量技术要求	符合 NY/T 1121 的规定

c) 水动力监测，包括波浪、海流和悬沙，见表 6.1-11。

表 6.1-11 水动力跟踪监测要求

监测内容	监测要求	说明
------	------	----

波浪	观测时间	工程完成后不少于 1 年的连续观测	针对主要功能为波浪防护、构筑物拆除等项目
	观测水深	修复区域附近海域水深 10-15m 处	
	技术要求	应符合 GB/T 14914.2-2019 第 6 章中的规定	
海流	观测时间	工程期间 1 次，竣工后 1 次，共监测 2 次	应根据具体项目布设站位，宜在方案设计时数模结果流速变化较大的特征点设置海流监测站位
	站位布设	近岸平行海岸线布设，观测站密度不少于 1 站/km	
	技术要求	应符合 GB/T 12763.2-2007 第 7 章中的规定	
悬沙	观测时间	与海流监测同步	用于评估修复项目对局部水动力的影响
	站位布设	近岸平行海岸线布设，不少于 2 条垂线	
	技术要求	应符合 GB/T 12763.8-2007，6.1.4 中的规定	

d) 水质监测，见表 6.1-12。

表 6.1-12 水质跟踪监测要求

调查指标	按 GB 3097-1997 中 3.2 的规定执行
调查范围	工程区域沿涨落潮主流向两侧各外扩 3km 水域
调查频率	近 3 年内不低于 1 周年观测，每季度 1 次
取样层次	小于 5m 水深，取表层、底层；大于 5m 水深，取表层、中层、底层
技术要求	应符合 GB 17378.4-2007、HY/T 147.1-2013

e) 生物生态监测，包括潮间带生物、潮间带植被、后滨植被、堤后缓冲带植被，见表 6.1-13。

表 6.1-13 生物生态跟踪监测要求

监测内容	监测要求	
潮间带生物	监测范围	项目后滨向海至平均大潮低潮线
	监测要素	底栖动物、沉水植物的种类组成、数量（栖息密度、生物量或现存量）及其水平分布和垂直分布
	站点布设	项目实施区域内布设 2~3 条/km，工程量较大的可适量增加断面；每条断面至少布设 5 个站位，高、中低潮区均需布设
	监测频次	项目实施前 1 次，项目实施后每年 1 次，每年固定时间进行
	技术要求	符合 GB 17378.7-2007、HY/T 147.3-2013 的规定
后滨与堤后	监测范围	项目实施区域的潮间带高潮区、堤后生态缓冲带建设区

缓冲带植被	监测指标	植被分布、面积、群落、种类组成、树高和覆盖度
	监测频次	各监测区应根据本地气候和植物生长发育特点具体确定最佳监测时期
	技术要求	符合 HY/T 080-2005、LY/T 1820-2009 的规定

### 6.1.7 修复效果评估

#### 6.1.7.1 修复效果评估阶段

项目效果评估目的主要是通过监测手段分析项目实际实施内容与考核指标的符合性，评价项目实施的完成情况与实施效果，并为后续适应性管理提供依据。包括工程竣工评估、初期修复效果评估和中长期修复效果评估三个阶段评估。

##### a) 工程竣工验收评估

修复完成后立即进行一次竣工评估，主要为工程量评估，包括恢复/修复岸线长度、补沙量、拆除构筑物的数量和规模、退围还湿地面积、海堤生态化建设的长度等工程数量和质量指标。

##### b) 初期修复效果评估

基于跟踪监测开展至少每年一次的生态效果评估，时限不少于 3 年。根据不同修复目标和工程内容，确定评估内容，一般包括修复项目对岸滩稳定性、水文动力和冲淤环境、修复区域湿地、生态敏感目标、水质和生物生态等方面的影响评估。

##### c) 中长期修复效果评估

考虑到岸滩整治与生态修复工程在自然海况下的稳定性和持久性要求，维持修复工程的中长期成效，应在修复工程竣工后三到五年内组织一次修复成效长期评估。

#### 6.1.7.2 评估内容

按照全面评估，突出重点的原则设置评估内容，根据不同修复措施和修复目标制定针对性的评估重点，岸滩整治修复通常包括如下评估内容：

a) 岸滩稳定性评估：基于岸滩地形地貌监测，分析岸线蚀淤、岸滩面积和剖面变化、侵蚀热点等，以及构筑物清除工程量、构筑物清除面积、构筑物清除后海岸

线形态变化特征，通过实测数据对比和数值模拟分析，评估岸滩稳定性，分析其防灾减灾能力。若遇到极端气候事件，增加岸滩监测，评估岸滩稳定性。修复海滩应根据监测数据评估补沙流失量。

b) 水文动力和冲淤环境评估：基于地形地貌和动力环境的跟踪监测，结合数值模型分析海岸波浪、潮汐和海流等动力环境的变化，评估其纳潮量、水域面积和水体交换能力的变化，及其引起的水环境变化、沉积物变化和底床冲淤情况。

c) 修复区域湿地评估：基于沉积物和生物生态调查，分析修复区域湿地修复面积和植被成活率、植被覆盖度、生物多样性、沉积物质量等，评估岸滩整治与生态修复项目所修复的滨海湿地效果，及其对已有滨海湿地的影响。

d) 生态敏感目标评估：主要包括保护区、生态红线内区域、生态脆弱区和濒危动植物。根据生态敏感目标的保护要求，分析海岸整治与生态修复项目导致的生境变化，评估其对敏感目标产生的影响。

e) 水质环境评估：基于水质跟踪监测，分析岸滩整治与生态修复工程实施前后的水质变化，结合水文动力环境评估结果，评估区域水体交换能力及其对水质环境的影响。

f) 生物生态评估：通过修复前、后的生物生态监测结果，对比分析项目实施前后潮间带生物、高滩植被、堤后缓冲带等变化情况，评估项目实施后海岸带生态系统的生物多样性水平、结构和功能提升效果。

**表 6.1-14 不同修复措施的评估重点内容**

评估内容	主要修复措施	要求
岸滩稳定性	海岸侵蚀防护、近岸构筑物清除、海滩修复养护的主要评估内容	每年开展 1次，时限 不少于3 年
水文动力和冲淤环境	近岸构筑物清除的主要评估内容	
修复区域湿地	海堤生态化建设的主要评估内容	
生态敏感目标	分析海岸整治与生态修复项目导致的生境变化重要内容	

水质环境	近岸构筑物清除、海滩修复养护、海堤生态化建设的主要评估内容	
生物生态	海滩修复养护、后滨植被修复、海堤生态化建设的主要评估内容	

### 6.1.7.3 评估方法

修复效果的评估针对生态修复目标的实现情况开展。通过时间序列对比法，对生态修复工程区域的连续跟踪监测结果进行评估，分析岸滩修复涉及的生态系统变化；然后根据分析结果，采用与目标值对比法，对比修复区域生态修复前、后的监测结果，评估生态修复目标的实现情况。

## 6.2 河口生态修复

### 6.2.1 基本要求

河口生态修复主要是针对河口区存在的生态问题，以“强化源头控制，河海统筹，分区域治理”为思路，统筹考虑河口区行洪防潮、鱼类洄游繁殖、滩涂湿地生物多样性和鸟类栖息觅食等重要功能建设，采取以自然修复为主，适当辅以人工干预的生态修复措施，使生态系统的结构、功能不断恢复，构建安全健康的河口生态格局。河口生态修复应符合如下基本要求：

a) 坚持海陆统筹、河海共治，统一考虑流域-河口-海域，将河口区的生态修复纳入流域、海域生态修复规划统筹考虑。

b) 河口生态修复首先要保证河口行洪防潮功能，任何生态修复项目不能以牺牲河口安全来追求某单一修复目标。

c) 河口生态系统应该根据各河口特点，以问题为导向，以提升生态系统整体功能为目的，因地制宜制定适宜的生态修复方案。

d) 河口生态修复工程的实施，不得违规、违法用海或占用湿地；不应造成新的生态与环境问题，不得损害河口重要或关键生物物种资源。

e) 生态修复跟踪监测应同步开展。

## 6.2.2 修复流程

首先对河口区生态环境现状进行资料收集和现场调查，对存在问题进行诊断、分析生态退化原因，针对要修复的对象确定修复目标，在此基础上进行生态修复方案设计和效果预测、最后进入项目实施阶段。项目修复完成后，为评估修复效果和长期生态效应，可定期开展后期监测和评估。具体流程如图 6.2-1。

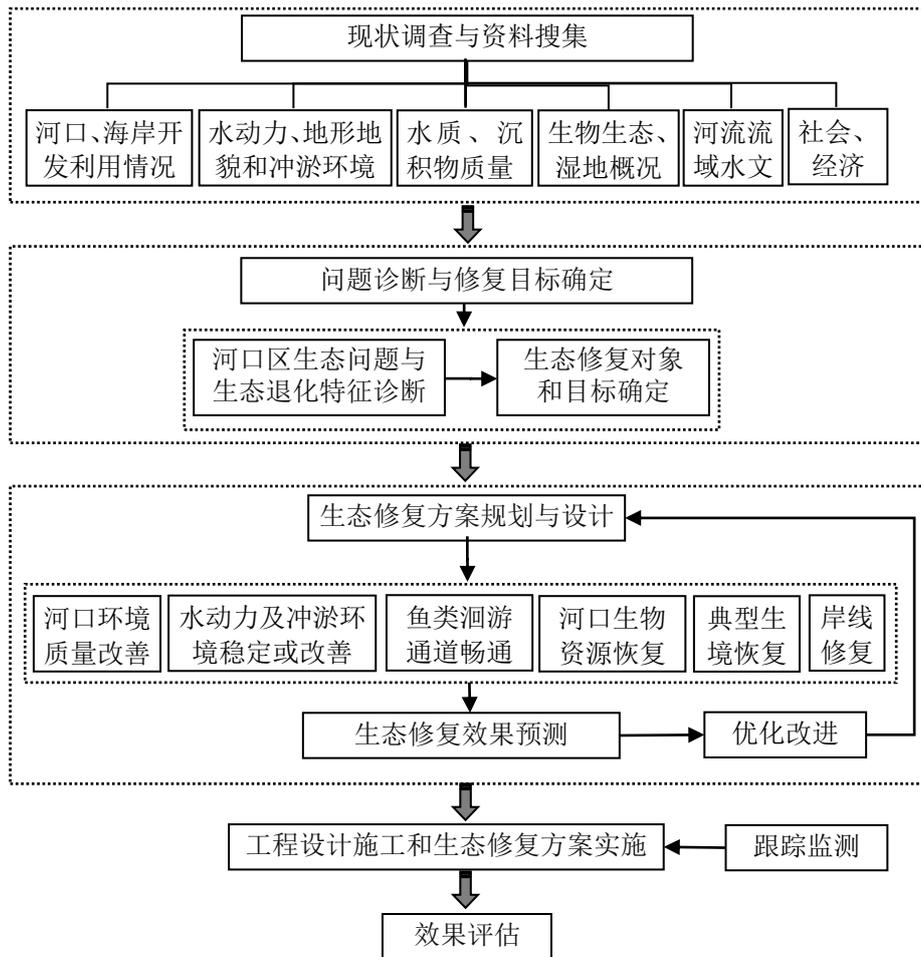


图 6.2-1 河口生态修复技术流程

## 6.2.3 前期调查

河口区生态修复资料收集及前期调查内容主要包括：河口、海岸开发利用情况、河口湿地概况、水质、沉积物环境、生物生态、水动力环境、地形地貌及冲淤环境河流水文、社会、经济等，调查内容与要求见表 6.2-1。

表 6.2-1 河口区生态修复前期调查基本内容与要求

调查项目	内容与要求
河口、海岸开发利用情况	以收集资料为主。收集河口海洋工程、海岸工程分布、面积、规模；围垦和滩涂养殖种类、方式、面积等；海洋捕捞方式、种类、捕捞量等；收集河流入海污染物总量、浓度等；滩涂、围垦、海上养殖位置、污染物总量；入海排污口位置、布局、规模、污染物入海量等。
河口湿地概况	以收集资料为主。收集河口湿地范围、面积；湿地植物种类、植被类型、面积；湿地水禽种类和数量。
水质、沉积物环境	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查河口、生态修复工程区周边水质环境质量，包括无机氮、活性磷酸盐、COD、溶解氧、活性硅酸盐、悬浮物、重金属等；沉积物环境质量，包括有机碳、重金属等。补充调查要求可参考 GB 17378.4-2007、GB 17378.5-2007、HY/T 147.1-2013、HY/T 147.2-2013、HY/T 085-2005、T/CAOE 20.9-2020。
生物生态	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查河口初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼、游泳动物、流域洄游鱼类、鸟类，入侵生物、珍稀濒危生物、重点保护动植物等。补充调查要求可参考 GB 17378.7-2007、GB/T 12763.6-2007、HJ710.4、HY/T 085-2005、T/CAOE 20.9-2020。
水动力环境	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查河口、生态修复区域周边河口水文连通性、潮流、波浪、悬浮物等资料。补充调查要求可参考 GB/T 12763.8-2007、GB/T 12763.10-2007、T/CAOE 20.9-2020。
地形地貌及冲淤环境	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查河口、生态修复工程区周边淤积速率、侵蚀强度、水深地形、沉积物类型、沉积物粒度特征等资料。补充调查要求可参考 GB/T 12763.8-2007、GB/T 12763.10-2007、HY/T 085-2005、T/CAOE 20.9-2020。
河流水文	以收集资料为主。收集河流入海径流，包括淡水入海量、含沙量等；流域洪涝灾害频次、等级；流域水闸大坝数量、等级；过鱼设施设置情况等。
社会、经济	以收集资料为主。生态修复前交通运输业、旅游业、渔业、工业、农业等产业的社会、经济资料，细化到生态修复工程区周边县/区级行政单位，以统计年鉴数据为主。

## 6.2.4 问题诊断与目标确定

### 6.2.4.1 问题诊断

从河口、流域尺度（主要包括河口下游段和河口中游段），确定生态修复的区域和布局，识别河口生态空间格局、河口生态系统质量、生态系统综合效益等方面主要问题。

根据河口、海岸开发利用现状、河口湿地概况、河流水文、水动力环境、地形地貌和冲淤环境等方面的研究分析，综合考虑河口生态安全、生态保护、生态连通的要求，识别河口生态空间格局存在问题并分析原因。

根据水质、沉积物环境、生物生态、河口湿地概况等方面的研究分析，识别河口在水质、沉积物质量、生物资源量、生物多样性、生态胁迫等方面存在的问题并分析原因。

根据河口区社会、经济相关研究分析，结合生态系统服务的研究成果，识别生态效益、经济效益和社会效益协调方面存在的问题并分析原因。

#### **6.2.4.2 目标确定**

收集河口，重点是生态修复区域附近的历史资料，包括常规监测、专项调查、学术研究等获得的生态系统数据作为参照生态系统。

综合考虑上位生态修复规划要求和区域生态功能定位，结合生态问题识别与诊断结果，对应目标参照生态系统，优化河口生态空间布局、促进河口生态连通、提升河口生态安全；维护或改善河口生态、环境质量，消除生态胁迫影响、保证河口生态功能实现；提高河口生态系统服务价值，促进生态效益、经济效益和社会效益协调等方面，提出河口生态修复的总体目标、定量或半定量的具体指标。

#### **6.2.5 修复措施**

针对河口区存在的问题，统筹考虑整个河口生态系统的完整性，可执行一项或多项修复措施，从而达到修复整个生态系统的目标。河口区常见修复措施有如下几项：

##### **6.2.5.1 生态空间格局优化**

###### **a) 生态胁迫因素消除**

对河口区沿岸产业布局进行合理规划调整，严重污染产业调出河口区；协调河口自然资源开发利用与生态环境保护的关系，科学论证河口区海洋开发利用活动布

局的合理性和适宜性，适当退出不合理的海岸工程和海洋工程；合理布局滩涂养殖、围垦养殖和浅海养殖。

## b) 生境保护与恢复

### 1) 建立河口湿地保护区

对部分敏感、受损严重或重要栖息地的河口湿地进行保护，建立保护区制度，给予适当的恢复和保护时间空间。

### 2) 恢复鸟类栖息觅食场所

根据鸟类的繁殖特点和巢位空间分布、食性特点、活动空间和时间特点等，通过恢复受损湿地面积、保护河口重要湿地等措施为鸟类创造宜居环境；根据鸟类的觅食特点，在保证环境友好的条件下，合理配置食源；对于易受人为干扰的鸟类栖息地，设置对鸟类栖息地与周边区域的安全距离以确保鸟类得到充分保护。

### 3) 清淤疏浚

对受阻行洪通道实施必要的疏浚(疏浚泥沙应资源化利用),从而疏导水沙流向、调整潮滩格局，保障河口区行洪安全。疏浚范围、深度可通过数模、物模等模拟分析预测，确保各通道的畅通和安全，必要时划定河口治导线。清淤疏浚土综合利用必须满足相应的标准。

### 4) 促淤保滩

保滩促淤主要有生物措施和工程措施两种。生物措施通过在滩面上、堤坝外侧种植耐盐植物，起到消波缓流、促使挟沙落淤的作用；工程措施主要是在滩面修建工程，如丁坝、顺坝、潜堤等，工程措施需经过数模、物模等模拟分析预测，科学确定工程的规模、布局等，并应避免形成新的生态环境问题。

### 5) 恢复鱼类洄游通道

根据流域不同鱼类的洄游习性人为地增设一定辅助设施，帮助其完成洄游行为。河口区一般通过建设双向纳潮闸、引潮堤等设施，控制河道或滞洪湖的水体交换，

通过闸门的开闭，形成洄游鱼类的生态通道。

#### 6) 其他措施

生态空间格局优化中的退围/填还海、堤坝拆除等措施，参考 6.3.5.1 节。

### 6.2.5.2 生态系统质量恢复或提升

#### a) 生态胁迫因素消除

生态系统质量恢复或提升中，生态胁迫因素消除的主要措施为控制或清除入侵种，详见第 5 章各类典型生态系统修复措施的相关内容。

#### b) 河口环境质量改善

##### 1) 控制入海污染源

对整个流域污染源进行治理，加强入海河流陆源污染（含海漂垃圾、海滩垃圾）控制，削减入海污染负荷，改善河口海域水质环境。明确流域的生态功能和保护要求，实施以水质改善为核心的流域分区管理，因地制宜综合运用水污染治理、水资源配置、水生态保护等措施，运用控源减排、循环利用、生态修复、强化监管等多种手段，开展多污染物协同治理，以防促治、防治并举，提高污染防治的科学性、系统性和针对性。流域污染控制措施包括农村生活污水收集与处理、畜禽养殖废水治理、流域周边污水处理厂提标改造、河岸整治等。

##### 2) 改善沉积物质量

判断河口污染类型，重金属污染型河口重点控制重金属排放，可采用化学沉淀法、氧化还原法、浮上法、电解法、吸附法、离子交换法、膜分离等方法去除重金属污染；有机质污染型河口可采用植物修复、动物修复和微生物修复等生物修复技术方法去除过量的有机质，改善沉积物质量。

#### c) 生物群落修复

根据参照生态系统生物种群现状，结合自然环境条件和已有研究基础，通过在湿地种植适宜水生植被，在海上增殖放流、建设人工渔礁等方式，恢复和增加河口

湿地生物多样性和生物量。增殖放流可采用放流游泳生物、贝类底播人工增殖等方式，同时强化和规范增殖放流管理，加强增殖放流效果跟踪评估。

#### d) 其他生态修复措施

对于河口区内的红树林生态系统、珊瑚礁生态系统、海草床生态系统及盐沼生态系统等一些特殊生物群落的修复参照第5章相关要求。

河口主要生态问题与生态修复目标和措施见表6.2-2。

表 6.2-2 河口生态问题、修复目标和措施

生态问题		修复目标		生态修复措施
生态空间格局	河口区自然资源不合理开发或过度开发	生态空间格局优化，生态廊道连通	河口区自然资源开发利用与生态环境保护相协调	合理规划产业布局；适当退出不合理的海岸工程和海洋工程；合理控制养殖区
	行洪通道淤积，河口区防潮行洪能力减弱，影响行洪安全		提升防潮行洪能力，保障河口行洪安全	清淤疏浚，调整潮滩格局；退围/填还海；堤坝拆除
	流域来沙减少，滩面冲刷、串沟发育、沙体不稳		河口冲淤稳定，潮滩发育良好，生态功能恢复	滩涂防护，促淤保滩；利用清淤疏浚土造滩；海滩修复与养护
	典型生境面积减少、破碎化趋势增加		典型生境面积维持或扩大、破碎化程度降低	建立河口湿地保护区；恢复典型生境（海洋生态敏感区、滩涂湿地、红树林、盐沼、海草床、珊瑚礁等）面积；恢复鸟类栖息觅食场所
	鱼类洄游通道受阻		恢复或重建鱼类等洄游通道，保障鱼类产卵场、索饵场、越冬场三场一通道之间的连接	恢复鱼类洄游通道，设置过鱼设施；清淤疏浚
生态空间格局	人工化构筑物导致海陆连通性下降、自然岸线减少，生态缓冲功能不足	生态空间格局优化，生态廊道连通	保持和恢复海岸的连接度与连通性，构建自然化、生态化的海岸线，生态恢复岸线长度增加	生态海堤建设；海堤生态化建设；退围/填还滩

生态问题		修复目标		生态修复措施
	生态效益与社会效益、经济效益不协调	三效益协调	生态效益、社会效益、经济效益提升的同时，协调发展	
生态系统质量	入海污染物增加导致河口海水水质呈下降趋势	生态系统质量恢复或提升，生态胁迫因素消除	改善河口水质环境	陆海统筹，实施入海污染物总量控制；控制流域污染；控制养殖污染；海漂垃圾治理；海滩垃圾治理
	生物入侵侵占本地物种生存空间		控制或清除入侵种	入侵种防治；恢复红树林、盐沼植被等
	生态退化，生物资源量下降		海洋生物资源量增加	生物群落修复；恢复典型生境生物资源量；增殖放流
	生物多样性降低		生物多样性指数增加	
	河口沉积物重金属、有机质含量升高，有害物质累积，导致河口生态系统退化		河口重要生境得到整治及修复，沉积物环境改善	控制污染源的重金属排放；通过生物修复技术去除有机污染物
生态系统综合效益	生态系统服务功能下降	生态系统服务功能提高	河口生态系统供给功能、调节功能、文化功能、支持功能等增强	通过上述各项生态修复措施实现
	生态效益与社会效益、经济效益不协调	三效益协调	生态效益、社会效益、经济效益提升的同时，协调发展	

## 6.2.6 跟踪监测

河口生态修复跟踪监测、调查应遵循全面覆盖、重点代表的原则，包括河口湿地概况、水环境、沉积物环境、生物生态、水动力及冲淤变化、河流水文、河口和海岸开发利用情况、社会、经济等监测、调查内容。具体监测内容见表 6.2-3，根据生态修复目标和生态修复措施的不同，选择不同的监测、调查指标。

表 6.2-3 河口生态修复跟踪监测、调查基本要求

监测内容	监测要求	
河口湿地概况	监测指标	参照 HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020 中滨海湿地指标进行监测，包括河口湿地范围、面积；湿地植物种类、植被类型、生物量、密度、盖度；湿地水禽种类和数量；入侵物种等指标
	监测频率	修复前开展 1 次，修复后 2 年内开展 1 次，3-5 年内 1 次
	监测技术要求	按 HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020 规定执行
水环境	监测指标	参照 HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020 中河口生境指标进行监测，包括无机氮、活性磷酸盐、COD、溶解氧、活性硅酸盐、悬浮物、重金属等指标，根据河口实际情况，侧重主要污染物质
	站位布设	根据河口特征，调查站位顺淡水入海扩散带，按一定距离布设，呈锋面状，覆盖河口海域。对于流域面积超过 1000km <sup>2</sup> 的大型河口站位数量宜 20-40 个之间，流域面积在 1000km <sup>2</sup> 以下的中小型河口站位数量宜在 10-20 个之间
	监测频率	修复前开展 2 次本底调查，修复后 2 年内开展 2 次不同季节的调查，3-5 年内开展 2 次不同季节的调查
	监测技术要求	按 GB 17378.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行
沉积物环境	监测指标	参照 HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020 中河口生境指标进行监测，包括海洋沉积物重金属含量、有机质等指标
	站位布设	同水环境监测站位布设，一般不少于水环境监测站位 50%
	监测频率	修复前需要开展 1 次本底调查，修复后 2 年内开展 1 次，3-5 年内开展 1 次
	监测技术要求	按 GB 17378.5-2007 规定执行
生物生态	监测指标	参照 HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020 中海洋生物指标进行监测，包括初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼、游泳动物、流域洄游鱼类、鸟类，生态修复工程区及周边污损生物、入侵生物、珍稀濒危生物、重点保护野生动植物等
	站位布设	同水环境监测站位布设，不少于水环境监测站位的 60%；污损生物、入侵生物布设在海洋生态修复项目区及周边区域；鸟类观测样地、样线和样点设置参考 HJ 710.4
	监测频率	修复前需要开展一次本底调查，修复后 2 年内开展 2 次不同季节的调查，3-5 年内开展 2 次不同季节的调查
	监测技术要求	按 GB 17378.7-2007、GB/T 12763.6-2007、HJ710.4 规定执行
水动力及冲淤环境	监测指标	参照 HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020 中河口生境指标进行监测，包括流速、流向、泥沙、水深、淤积速率、侵蚀强度、沉积物粒度特征等

监测内容	监测要求	
	站位布设	根据河口特征,尽可能均匀布设,呈扇面状。以能反映出监测要素趋势为宜
	监测频率	修复前需要开展一次本底调查,修复后2年内开展1次,3-5年内开展1次
	监测技术要求	按GB/T 12763.2-2007规定执行
河流水文	监测指标	参照HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020中生态压力因素指标设置,包括入海河流年径流量、年输沙总量、河口闸坝建设及过鱼设施设置情况等指标
	监测频率	修复前开展1次,修复后开展1次
	监测技术要求	按HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020规定执行,以调研和收集资料为主
河口、海岸开发利用情况	调查指标	参照HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020中生态压力因素指标设置,包括河口污染物总量、浓度;入海排污口污染物入海情况;围填海(面积、分布、平面布置等);堤坝(分布、长度);油田(数量、施工方式等);养殖(种类、面积、方式);海洋捕捞(捕捞方式、捕捞种类、捕捞量);滨海旅游(项目类型、分布、规模);航道工程疏浚情况等
	调查区域	河口周边区域,重点是生态修复区域周边区域,以区/县级为单位
	调查频率	修复前开展1次,修复后2年内开展1次,3-5年内1次
	调查技术要求	按HY/T 085-2005、T/CAOE20.9-2020规定执行,以调研和收集资料为主
社会、经济	调查指标	生态修复前交通运输业、旅游业、渔业、工业、农业等产业的社会、经济资料,以统计年鉴数据为主。
	调查区域	河口周边区域,重点是生态修复区域周边区域,以区/县级为单位
	调查频率	修复前开展1次,修复后2年内开展1次,3-5年内1次

## 6.2.7 修复效果评估

### 6.2.7.1 修复效果评估阶段

项目效果评估目的主要是通过监测手段分析项目实际实施内容与考核指标的符合性,评价项目实施的完成情况与实施效果。根据修复的不同阶段,应开展工程竣工评估、初期修复效果评估和中长期修复效果评估三个阶段评估。

#### a) 工程竣工验收评估

主要海洋生态修复工程竣工后,1年左右时间开展一次竣工验收评估。

#### b) 初期修复效果评估

基于跟踪监测、调查开展初期修复效果评估,主要生态修复工程竣工后2年左右开展,根据评估结果及时采取必要的补救措施。重点对照修复目标,从生态空间格局优化、生态廊道连通,生态系统质量恢复或提升,生态胁迫因素消除,生态系

统服务功能提高，三效益协调几方面对应开展修复效果评估。

c) 中长期修复效果评估

鉴于河口区域生态修复工程在自然海况下的稳定性和持久性要求，维护修复工程的中长期成效，应在修复工程竣工后 3-5 年或更长期的时间，组织开展修复成效中长期评估。

6.2.7.2 评估内容

根据全面评估，突出重点的原则，通过定量和定性相结合的方法，分析河口生态修复后，生态修复各分项目标和总体目标的实现情况，客观评估生态修复工程实施的成效和存在的问题。

表 6.2-4 修复效果评估参考指标一览表

修复目标	监测、调查内容	修复效果评估参考指标
河口区自然资源开发利用与生态环境保护相协调	河口湿地概况；河口、海岸开发利用情况；社会、经济	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；投入产出水平比；社会满意度等指标
提升防潮行洪能力，保障河口行洪安全	水动力及冲淤环境；河流水文；沉积物环境；河口、海岸开发利用情况	特征点最大流速、河口潮汉流量及分流比、河道壅高等指标；特征点冲淤率、水深、岸滩稳定性、沉积物类型等指标
生态空间格局优化，生态廊道连通	河口冲淤稳定，潮滩发育良好，生态功能恢复	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；特征点最大流速、河口潮汉流量及分流比、河道壅高等指标；特征点冲淤率、水深、岸滩稳定性、沉积物类型等指标
典型生境面积维持或扩大、破碎化程度降低	河口湿地概况；生物生态	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；初级生产力、底栖生物、洄游鱼类资源量等指标
恢复或重建鱼类等洄游通道，保障鱼类产卵场、索饵场、越冬场三场一通道之间的连接	河口湿地概况；生物生态；河流水文	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；初级生产力、底栖生物、洄游鱼类资源量等指标；河口潮汉流量及分流比等指标
保持和恢复海岸的连接度与连通性，构建自然化、生态化的海岸线，生态恢复岸线长度增加	河口湿地概况；河口、海岸开发利用情况；水动力及冲淤环境；河流水文；生物生态	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；岸线修复率；特征点最大流速、河口潮汉流量及分流比、河道壅高等指标；特征点冲淤率、水

修复目标		监测、调查内容	修复效果评估参考指标
			深、岸滩稳定性、沉积物类型等；初级生产力、底栖生物、洄游鱼类资源量等指标
生态系统质量恢复	海洋生物资源量增加	河口湿地概况；河口、海岸开发利用情况；生物生态	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵种等指标；初级生产力、底栖生物、洄游鱼类资源量等指标
	生物多样性指数增加		
	改善河口水质环境	河口、海岸开发利用情况；水环境；沉积物环境；水动力及冲淤环境	河口污染物总量、入海污染物等指标；海水水质指标；海洋沉积物质量指标；特征点最大流速、河口潮汉流量及分流比、河道壅高等指标；特征点冲淤率、水深、沉积物类型等
	河口重要生境得到整治及修复，沉积物环境改善	水环境；沉积物环境	海水水质指标；海洋沉积物质量指标
	控制或清除入侵物种	河口湿地概况；生物生态	河口湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标
生态系统服务功能提高	河口生态系统供给功能、调节功能、文化功能、支持功能等增强	此项评估所必须的监测、调查内容	生态系统服务价值相应指标；投入产出水平比；社会满意度等指标

### 6.2.7.3 评估方法

修复效果的评估针对生态修复目标的实现情况开展。通过时间序列对比法，对生态修复工程区域的连续跟踪监测结果进行评估，分析河口生态系统变化趋势；然后根据分析结果，采用与目标值对比法，对比修复区域生态修复前、后的监测结果，评估生态修复目标的实现情况。

根据生态修复的目标和评估内容设定可量化的修复效果的评价指标。

生态修复效果评价指标的标准值可通过以下几个途径确定：

- a) 参考参照生态系统或生态修复前的状态值。
- b) 通过预测，获取恢复生态系统的目标值。
- c) 在科学的预测和判断的基础上，结合专家的意见和社会公众的期望调查获取目标值。

## 6.3 海湾生态修复

### 6.3.1 基本要求

针对海湾淤浅、纳潮量下降、湿地丧失、水质下降、生物物种减少或典型渔业资源衰退、生态连通性下降等问题，基于河海联动、陆海统筹的指导思想，实现“整体保护、系统修复、区域统筹、综合治理”，采取工程措施与生物措施相结合，自然恢复为主、人工修复为辅的方式，开展海湾生态修复，提升海湾的生态环境质量，恢复海湾的生态服务功能，实现区域生态系统的良性循环。海湾生态修复应符合如下基本要求：

a) 生态修复须基于海湾开发利用现状，与生态修复规划、生态环保规划、国土空间规划等充分协调；

b) 海湾生态修复应统筹考虑、整体布局，避免同类工程选址和规模确定的随意性；

c) 应通过前期科学评估和论证，诊断海湾存在的生态问题，开展海湾生态修复方案设计，有针对性地开展生态修复；

d) 海湾生态修复工程的实施，不得违规、违法用海，禁止以海湾生态修复的名义进行围填海、非法占用海域；海洋生态修复不应造成新的生态与环境问题，不得损害海湾内重要或关键生物物种资源和栖息地；不宜采用以景观建设为主的方式进行海湾生态修复；禁止伪生态工程，杜绝盆景项目、形象工程。

e) 生态修复跟踪监测应同步开展。

### 6.3.2 修复流程

海湾生态修复流程包括海湾水动力环境和生态环境现状调查、生态问题诊断、生态修复方案设计、工程施工、后期监测与效果评估等。具体工作流程如图 6.3-1。

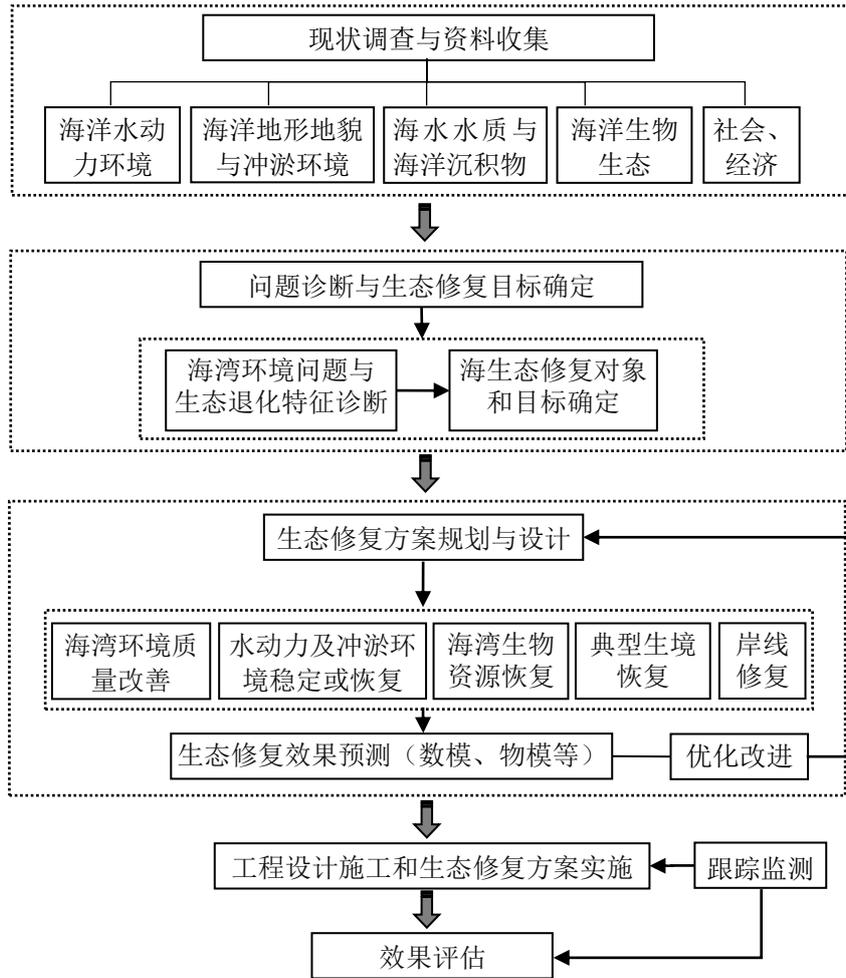


图 6.3-1 海湾生态修复工作流程

### 6.3.3 前期调查

海湾生态修复前期调查应包括以下内容：

a) 海域空间、海岸线资料，应收集海湾内（尤其是生态修复工程区）多年来遥感影像资料、海岸线变化资料，包括海域使用论证报告、岸线修测数据、无人机航拍资料等。

b) 海洋水动力资料，应收集海湾内（尤其是生态修复工程区）实施海洋生态修复前的海洋水动力调查资料，包括海湾纳潮量、波浪、生态修复工程区及周边、生态敏感区边界特征点水动力变化情况的相关资料。

c) 海洋地形地貌和冲淤环境资料，应收集海湾内（尤其是生态修复工程区）实施海洋生态修复前水深、地形、地貌、沉积物类型、理化性质的相关资料。

d) 海水水质和沉积物质量资料，应收集海湾内（尤其是生态修复工程区）实施

海洋生态修复前海水水质、海洋沉积物调查资料，重点包括工程区及周边、生态敏感区及周边海水水质变化情况、海洋沉积物质量变化情况的相关资料。

**表 6.3-1 海湾生态修复调查基本内容与要求**

调查项目	内容与要求
海湾、海岸开发利用情况	以收集资料为主。收集海湾多年来遥感影像资料、无人机航拍资料，生态修复工程区岸线修测资料，近年来海洋工程、海岸工程的概况、分布、规模；滩涂养殖、浅海养殖的种类、面积；海洋捕捞方式、种类、捕捞量等；入海排污口位置、布局、规模、污染物入海量等
海洋水动力环境	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查海湾纳潮量，海湾内、生态修复区域周边和海洋生态敏感区边界特征点海洋水动力调查资料，补充调查要求可参考 GB/T 12763.2-2007
海洋地形地貌和冲淤环境	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查海湾内、生态修复工程区周边、生态环境敏感区边界特征点，水深、地形、沉积物理化性质资料，补充调查要求可参考 GB/T 12763.8-2007、GB/T 12763.10-2007
海水水质环境	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查海湾内、生态修复工程区周边，生态修复前海水水质调查资料，调查项目以悬浮物、化学需氧量、营养盐等为主，补充调查要求可参考 GB 17378.4-2007、HY/T 147.1-2013
海洋沉积物质量	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查海湾内、生态修复工程区周边，生态修复前海洋沉积物调查资料，调查项目以重金属、有机碳为主，补充调查要求可参考 GB 17378.5-2007、HY/T 147.2-2013
海洋生物生态	收集资料与现场调查互为补充。收集或补充调查海湾内，生态修复前初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼、游泳动物、鸟类，入侵物种、重要经济物种、珍稀濒危生物、重点保护动植物等。补充调查要求可参考 GB 17378.7-2007、GB/T 12763.6-2007、HJ710.4
海洋生态敏感区	以收集资料为主。收集海洋生态敏感区涉及的相关批文、范围、保护对象、保护要求、多年来保护对象资源量、栖息环境变化情况、保护对象生活习性等方面的资料
社会、经济	以收集资料为主。海洋生态修复前交通运输业、旅游业、渔业、工业、农业等产业的社会、经济资料，细化到生态修复工程区周边县/区级行政单位，以统计年鉴数据为主

e) 海洋生物生态资料，应收集海湾内（尤其是生态修复工程区）实施海洋生态修复前初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼、游泳动物、入侵生物、鸟类、重要经济物种、珍稀濒危生物、重点保护动植物等生态要素的资料。

f) 海洋生态敏感区资料应收集敏感区涉及的相关批文、范围、保护对象、保护要求、多年来保护对象资源量、栖息环境变化情况、保护对象生活习性等方面的资料。

g) 社会、经济资料，应收集海湾内（尤其是生态修复工程区）实施海洋生态修复前经济产值、旅游收入、渔业收入、农业收入、海域价值、海岸带土地增值，以及海洋生态修复工程经济投入等方面的资料。

h) 结合海湾自然地理条件、生态环境特征、生态系统自然演替规律、生态修复工程规模等，参考海湾历史状态或周边类似海湾生态系统状态，确定相应的参照生态系统。对根据周边类似海湾生态系统状态建立参照生态系统的，在前期调查中同步开展对参照生态系统的调查。

### **6.3.4 问题诊断与目标确定**

#### **6.3.4.1 问题诊断**

从海湾尺度，确定生态修复的区域和布局，识别海湾生态空间格局、海湾生态系统质量、生态系统综合效益等方面主要问题。

根据海湾、海岸开发利用情况，海湾水动力环境、海洋地形地貌和冲淤环境、海水水质环境，社会、经济等方面的研究分析，从海湾开发强度、海湾淤浅、海湾水交换能力、海湾典型生境分布、生态连通性等方面识别海湾生态空间格局存在问题并分析原因。

根据海洋生物生态、海洋生态敏感区、海水水质环境、海洋沉积物质量等方面的研究分析，从海水水质、海洋沉积物质量、生物资源量、生物多样性、生态胁迫等方面识别海湾生态系统质量存在问题并分析原因。

根据海湾生态修复前后社会、经济相关研究分析，结合生态系统服务的研究成果，识别生态效益、经济效益和社会效益协调方面存在的问题并分析原因。

#### **6.3.4.2 目标确定**

收集海湾，重点是生态修复区域附近的历史资料，包括常规监测、专项调查、学术研究等获得的生态系统数据作为参照生态系统。

综合考虑上位生态修复规划要求和区域生态功能定位，结合生态问题识别与诊断结果，对应目标参照生态系统，重点围绕优化生态空间布局、促进生态系统间连通性、恢复或提升生态系统质量和稳定性，消除生态胁迫因素、提高海湾生态系统服务功能，促进生态效益、经济效益和社会效益协调等方面，提出海湾生态修复的总体目标、定量或半定量的具体指标。

### **6.3.5 修复措施**

### 6.3.5.1 生态空间格局优化

#### a) 生态胁迫因素消除

在科学评价海湾水域滩涂资源禀赋和生态环境承载力的基础上，协调国土空间规划，遵循“三线一单”要求，合理规划海湾产业布局，控制产业规模；充分协调滨海湿地保护与滩涂开发利用，生物多样性保护与港口、临港工业发展；合理利用资源禀赋，不盲目布局旅游产业与能源产业；适当退出不合理的海岸工程或海洋工程；控制养殖污水、临港工业污水，以及其他产业污水排放。

#### b) 生境保护与恢复

##### 1) 恢复海洋生态敏感区

对于海洋开发活动占用海洋生态敏感区的，通过退出占用区域的方式恢复其面积；对于海洋开发活动影响海洋生态敏感区并导致其结构和功能受损、资源量下降的，通过工程措施或生物措施进行生境修复。

##### 2) 退围/填还海、堤坝拆除

通过科学论证，适当采取退围/填还海、退养还滩、退耕还湿等方式，逐步修复已经破坏的滩涂湿地；通过科学论证，采用清淤疏浚、人工沟渠建造等方式构建沟渠网络，恢复滩涂湿地的日常潮汐，妥善处置疏浚土。

对于明显淤浅的海湾，通过合理规划和科学论证，计算构筑物拆除范围与规模尺度等，拆除不合理构筑物（堤坝、围垦等），改善水文动力条件，增加纳潮量，改善海湾水交换能力。

退围/填还海或堤坝拆除的拆除方式，应以对周边海域生态环境影响程度最小为原则；应彻底清除拆除过程中产生的工程垃圾，避免对周边海域生态环境产生不利影响。

##### 3) 清淤疏浚

根据海湾多年来冲淤变化趋势、水深变化情况，基于海湾的生态环境特征，区分淤积与自然滩涂的差异，谨慎采取清淤疏浚措施，科学合理论证清淤疏浚的必要性、可行性和生态影响，计算清淤范围和深度，妥善处置疏浚土。

### 6.3.5.2 生态系统质量恢复或提升

#### a) 海湾环境质量改善

##### 1) 入海污染物总量控制

实施陆海统筹，对排入海湾的污染源进行源头控制，减少入海污染物总量，完善入海排污口管理制度，开展重点流域水环境综合整治，根据海湾环境容量实施入海污染物总量控制。

## 2) 海漂垃圾和海滩垃圾治理

强化海湾周边城镇、工业污染源及海漂垃圾的防治和监管，注重加强海漂垃圾和海滩垃圾源头管控；合理设置垃圾收集设施，建立海漂垃圾打捞和海滩垃圾清运制度。

## 3) 海湾水体生态修复

主要针对富营养化海域，采用大型海藻（如江蓠、龙须菜、海带等）、贝类等进行生态修复。在网箱养殖区，低温季节可选用龙须菜、高温季节可选用江蓠进行生态修复；在污水排放海区，可选用由贝类和大型海藻组成的贝藻符合生态系统进行生态修复。

### b) 增殖放流

根据海湾生态系统特点，实施海洋生物增殖放流，完善群落结构，恢复海湾生产力。科学评估增殖放流的必要性，放流品种的选择要符合渔业行政主管部门要求，外来物种的增殖放流必须经过严格的科学论证，且经过省级以上渔业行政主管部门组织的生态安全评估方可进行。增殖放流应当遵守省级以上人民政府渔业行政主管部门制定的水生生物增殖放流技术规范，采取适当的放流方式，科学、合理地选择放流时间和地点，防止或者减轻对放流水生生物的伤害。

### c) 大型藻类资源恢复

通过建设人工藻礁和种源补充的方式恢复大型藻类资源。其中，人工藻礁为海洋藻类提供生长繁殖场所，从而吸引水生动物到藻场来索饵繁育，种源补充通过补充种质资源，增加资源恢复的潜力。人工藻礁需论证设置的必要性、可行性和生态影响，科学合理论证人工藻礁投放区选址、礁区平面布置、礁体材料、形状和规模，并应加强管理、维护和效果评估。

### d) 其他

涉及海湾岸滩、湿地、珊瑚礁、红树林、海草床等具体生态系统的生态修复措施详见第5章相关要求。涉及海湾沉积物环境改善的生态修复措施见第6.2.5.2节。

海湾生态问题、修复目标和修复措施见表6.3-2。

表 6.3-2 海湾生态问题、修复目标和措施

生态问题		修复目标		生态修复措施
生态空间格局	开发强度过大导致资源耗竭、环境恶化	生态空间格局优化、生态廊道连通	海湾产业布局与规模合理、产业污水得到有效控制	合理规划海湾产业布局、控制产业规模；退出不合理的海岸工程或海洋工程；控制产业污水排放
	海湾面积萎缩、海域淤积，岸滩地形地貌改变		海湾纳潮量增加、淤浅区域水深增加，岸滩地形地貌恢复	退围/退填还海；堤坝拆除；清淤疏浚；沿岸工程整治改造
	水动力交换能力减弱		海湾水动力环境改善，水交换能力增强	退围/填还海；海堤开口；堤坝拆除；清淤疏浚
	典型生境面积减少、破碎化趋势增加		典型生境面积维持或扩大、破碎化程度降低	恢复典型生境（海洋生态敏感区、滩涂湿地、红树林、盐沼、海草床、珊瑚礁等）面积；退围/填还滩
	人工化构筑物导致海陆连通性下降、自然岸线减少		保持和恢复海岸的连续性和生态连通性，构建自然化、生态化的海岸线，增加或恢复自然岸线长度	生态海堤建设；海堤生态化建设；海滩修复与养护；退围/填还滩
生态系统质量	入海污染物增加导致海湾海水水质、海洋沉积物质量呈下降趋势	生态系统质量恢复或提升，生态胁迫因素消除	海湾海水水质环境，海洋沉积物质量改善	入海污染物总量控制；海漂垃圾治理；海滩垃圾治理；海湾水体生态修复；清淤疏浚
	生物入侵侵占本地物种生存空间		控制或清除入侵种	入侵种防治；恢复红树林、盐沼植被等
	生态退化，生物资源量下降		海洋生物资源量增加	增殖放流；大型藻类恢复；恢复典型生境和生物资源量
	生物多样性降低		生物多样性指数增加	
生态系统综合效益	生态系统服务功能下降	生态系统服务功能提高	海湾生态系统供给功能、调节功能、文化功能、支持功能等增强	通过上述各项生态修复措施实现
	生态效益与社会效益、经济效益不协调		效益协调	

### 6.3.6 跟踪监测

海湾生态修复跟踪监测、调查应遵循全面覆盖、重点代表的原则，包括海湾生

境、海洋水动力环境、海洋地形地貌及冲淤环境、海水水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、社会、经济等项目。具体监测、调查内容及要求见表 6.3-3，根据修复效果评估需要，可选择不同监测、调查指标。

表 6.3-3 海湾生态修复跟踪监测、调查基本要求

监测、调查内容	监测、调查要求	
海湾、海岸开发利用情况	调查指标	参照 HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中海湾生境指标设置，海湾内滩涂湿地面积、海岸线长度、海岸线类型；入海排污口污染物入海情况；围填海（面积、分布、平面布置等）；堤坝（分布、长度）；养殖（种类、面积、方式）；海洋捕捞（捕捞方式、捕捞种类、捕捞量）；滨海旅游（项目类型、分布、规模）；航道工程疏浚情况等
	调查频率	修复前开展 1 次，修复后 2 年内开展 1 次，3-5 年内开展 1 次
	调查技术要求	按 GB/T 12343.1、全国海岸线修测技术规程的规定执行
海洋水动力环境	监测指标	参照 HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中水文指标进行监测，重点考虑潮流、波浪（海湾内的岸滩修复项目考虑）等
	站位布设	海湾近岸区（含入海河口、生态修复工程区附近）、海湾中部、湾口及海洋生态敏感区
	监测频率	修复前开展 1 次，修复后 2 年内开展 1 次，3-5 年内 1 次
	监测技术要求	按 GB/T 12763.2-2007 规定执行
海洋地形地貌及冲淤环境	监测指标	参照 HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中水文、沉积物指标进行监测，重点考虑水深、海床冲淤、岸滩冲淤、沉积物类型、粒度等
	站位布设	海湾近岸区（含入海河口、生态修复工程区附近）、海湾中部、湾口及生态环境敏感区
	监测频率	修复前开展 1 次，修复后 2 年内开展 1 次，3-5 年内 1 次
	监测技术要求	按 GB/T 12763.8-2007、GB/T 12763.10-2007 规定执行
海水水质环境	监测指标	参照 HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中水环境监测指标进行监测，重点考虑溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐等指标，根据海湾实际情况，侧重主要污染物
	站位布设	海湾近岸区（含入海河口、生态修复工程区附近）、海湾中部、湾口、人类开发活动密集区以及生态环境敏感区，除考虑以上因素外，其他区域尽可能均匀布设
	监测频率	修复前需要开展 2 次本底调查，修复后 2 年内开展 2 次不同季节的调查，3-5 年内开展 2 次不同季节的调查
	监测技术要求	按 GB 17378.4-2007、HY/T 147.1-2013 规定执行
海洋沉积物	监测指标	参照 HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中海湾生境指标进行监测，包括海洋沉积物重金属含量、有机碳等指标
	站位布设	同水环境监测站位布设，一般不少于水环境监测站位的 50%
	监测频率	修复前需要开展 1 次本底调查，修复后 2 年内开展 1 次，3-5

监测、调查内容	监测、调查要求	
		年内开展 1 次
	监测技术要求	按 GB 17378.5-2007 规定执行
海洋生物生态	监测指标	参照 HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中生物指标进行监测，重点考虑大型底栖生物、潮间带生物、入侵生物、鸟类、重要经济物种、重点保护动植物等
	站位布设	同海水水质环境监测站位布设；入侵生物布设在海洋生态修复项目区及周边区域；鸟类观测样地、样线和样点设置参考 HJ 710.4
	监测频率	修复前需要开展 1 次本底调查，修复后 2 年内开展 2 次不同季节的调查，3-5 年内开展 2 次不同的调查
	监测技术要求	按 GB 17378.7-2007、GB/T 12763.6-2007、HJ710.4 规定执行
海洋生态敏感区（如有涉及）	监测指标、站位布设、监测频次与技术要求	重点考虑面积、成活率等，涉及到红树林、海草床、盐沼、珊瑚礁等典型生态系统的，监测指标、站位布设、监测频次、监测技术要求等详见 5~8 章节要求
管理利用现状	调查指标	参照 GB/T 29726-2013、HY/T 084-2005、T/CAOE20.10-2020 中社会经济指标、海域开发活动指标进行调查，重点调查区域经济、海洋相关产业、海洋开发活动、入海污染物变化、重大污染事故等
	调查区域	海湾周边区域，重点是生态修复工程区周边区域，以区/县级为单位
	调查频率	修复前开展 1 次，修复后 2 年内开展 1 次，3-5 年内 1 次
	调查技术要求	按 GB/T 29726-2013、HY/T 084-2005 规定执行，以调研和收集资料为主

### 6.3.7 修复效果评估

#### 6.3.7.1 修复效果评估阶段

项目效果评估目的主要是通过监测手段分析项目实际实施内容与考核指标的符合性，评价项目实施的完成情况与实施效果。根据修复的不同阶段，应开展工程竣工评估、初期修复效果评估和中长期修复效果评估三个阶段评估。

##### a) 工程竣工验收评估

主要海洋生态修复工程竣工后，1 年左右时间开展一次竣工验收评估。

##### b) 初期修复效果评估

基于跟踪监测、调查开展初期修复效果评估，主要生态修复工程竣工后 2 年左右开展，根据评估结果及时采取必要的补救措施。重点对照修复目标，从生态空间格局优化、生态廊道连通、生态系统质量恢复或提升、生态胁迫因素消除、生态系统服务功能提高、三效益协调几方面对应开展修复效果评估。

c) 中长期修复效果评估

考虑到海湾修复工程在自然海况下的稳定性和持久性要求，维护修复工程的中长期成效，应在修复工程竣工后 3-5 年或更长期的时间，组织开展修复成效中长期评估。

6.3.7.2 评估内容

根据全面评估、突出重点的原则，通过定量和定性相结合的方法，分析海湾生态修复后，生态修复各分项目标和总体目标的实现情况，客观评估生态修复工程实施的成效和存在的问题。

修复效果评估参考指标见表 6.3-4。

表 6.3-4 修复效果评估参考指标一览表

修复目标	监测、调查内容	修复效果评估参考指标	
生态空间格局优化、生态廊道连通	海湾产业布局与规模合理、产业污水得到有效控制	海湾、海岸开发利用情况；海水水质环境；社会、经济	海湾内滩涂湿地面积、海岸线长度、海岸线类型；海水水质状况；投入产出水平比；社会满意度等指标
	海湾纳潮量增加、淤浅区域水深增加，岸滩地形地貌恢复	海洋水动力环境；海洋地形地貌及冲淤环境	海湾纳潮量、海湾水交换率、特征点最大流速、波高衰减率等；沉积物类型、水深、岸滩稳定性等
	海湾水动力环境改善，水交换能力增强	海洋水动力环境；海洋地形地貌及冲淤环境；海水水质环境	海湾纳潮量、海湾水交换率、特征点最大流速等；沉积物理化性质、水深、特征点冲淤率等；海水水质状况
	典型生境面积维持或扩大、破碎化程度降低	海湾、海岸开发利用情况；海洋生物生态；海洋生态敏感区	海湾内滩涂湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；海洋生态敏感区面积；岸线修复率等
	保持和恢复海岸的连续性和生态连通性，构建自然化、生态化的海岸线，增加恢复岸线长度	海湾、海岸开发利用情况；海洋生物生态；海洋水动力环境	海湾内滩涂湿地面积、海岸线长度、海岸线类型；岸线修复率；潮间带生物等
生态系统质量恢复或提升，生态系统稳定，生	海湾海水水质环境，海洋沉积物质量改善	海湾、海岸开发利用情况；海水水质环境；海洋沉积物环境；海洋水动力环境	海水水质状况；海洋沉积物状况；海湾纳潮量、海湾水交换率等
	海洋生物资源量增加	海湾、海岸开发利用情况；海洋生物生态；海洋生态敏感区	海湾内滩涂湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；初级生产力、大型底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼、游泳动物、重要经济物种等；海
	生物多样性指数增加	海湾、海岸开发利用情况；海洋生物生态；海洋生态敏感区	海湾内滩涂湿地面积、湿地植被种类、生物量、密度、湿地水禽种类和数量、入侵物种等指标；初级生产力、大型底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼、游泳动物、重要经济物种等；海

修复目标		监测、调查内容	修复效果评估参考指标
态胁迫因素消除			洋生态敏感区生物资源量、成活率
	控制或清除入侵种	海湾、海岸开发利用情况；海洋生物生态；海洋生态敏感区	海湾内滩涂湿地面积、湿地植被种类、生物量；入侵物种复发率等指标；海洋生态敏感区生物资源量、成活率等指标
生态系统服务功能提高	海湾生态系统供给功能、调节功能、文化功能、支持功能等增强	此项评估所必须的监测、调查内容	生态系统服务价值相应指标；投入产出水平比；社会满意度等指标
效益协调	生态效益、社会效益、经济效益提升的同时，协调发展		

### 6.3.7.3 评估方法

修复效果的评估针对生态修复目标的实现情况开展。通过时间序列对比法，对生态修复工程区域的连续跟踪监测结果进行评估，分析海湾生态系统变化趋势；然后根据分析结果，采用与目标值对比法，对比修复区域生态修复前、后的监测结果，评估生态修复目标的实现情况。

根据生态修复的目标和评估内容设定可量化的修复效果的评价指标。

生态修复效果评价指标的标准值可通过以下几个途径确定：

- a) 参考参照生态系统或生态修复前的状态值。
- b) 通过预测，获取恢复生态系统的目标值。
- c) 在科学的预测和判断的基础上，结合专家的意见和社会公众的期望调查获取目标值。

## 6.4 海岛生态修复

### 6.4.1 基本要求

针对海岛面积相对较小、生态系统较为脆弱、资源环境易受损等特点，以“维护或恢复海岛生态系统完整性、陆海统筹、多措联动、整体设计”为原则，采用自然恢复为主、人工修复为辅的措施，开展海岛周边海域、潮间带和岛陆空间的生态修复，提升海岛生态环境质量，发挥海岛生态服务功能。海岛生态修复应符合如下基本要求：

a) 修复工程应符合国土空间规划、海岛保护规划及海岸带保护与利用规划等相关规划。

b) 尊重自然，顺应自然，采用自然恢复为主、人工修复为辅的措施，遵循生态学规律，严守生态红线，最大程度保留和恢复海岛的生态服务功能。

c) 在客观评估海岛生态系统损害的基础上，充分考虑海岛现状、生态禀赋、胁迫因素等要素，深入分析修复适宜性，因地制宜确定海岛生态修复方案，确保修复效益持久发挥。

d) 修复技术实施依据的数据、资料应客观、有效、准确，严格按照规定的标准、程序和方法进行修复方案设计。

e) 考虑海岛周边海域、潮间带、岛陆的空间结构特征，开展多种修复类型优化设计，多措并举，建成具有一定规模的海岛空间综合保护修复体系。

### 6.4.2 修复流程

修复流程主要包括前期调查、目标分析、修复方案设计、修复实施和跟踪监测5个阶段。

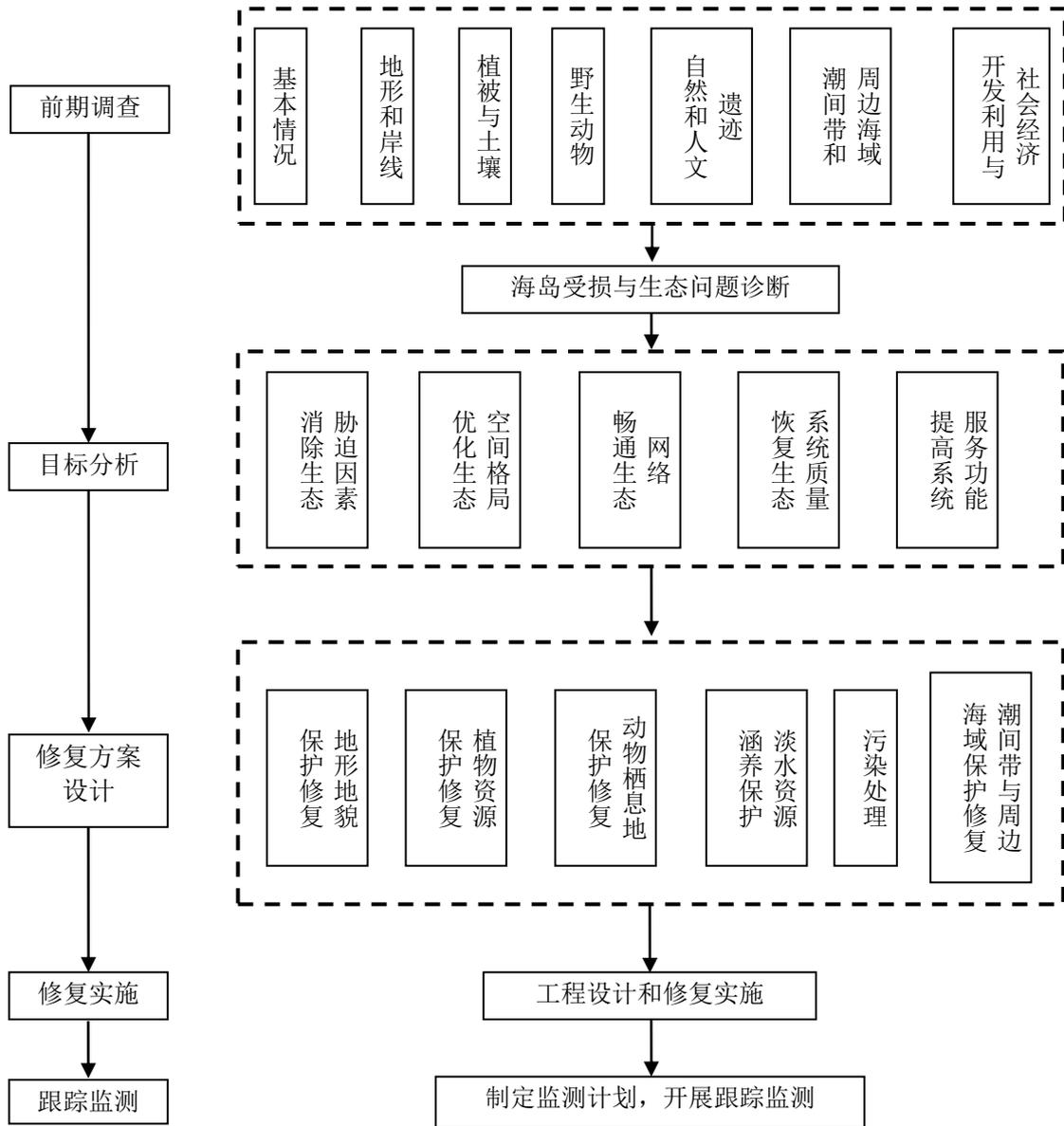


图 6.4-1 海岛修复流程图

### 6.4.3 前期调查

#### 6.4.3.1 调查目的

通过调查和资料分析掌握海岛自然地理和地质环境、岛陆及周边海域自然资源、海岛动植物分布及典型生态系统、自然灾害，结合收集的涉岛工程的概况、施工情况、空间分布、岸线利用情况、已采取的生态保护措施等，分析海岛生态问题，评估受损状况，为制定生态保护修复与管控措施、开展整治修复等提供依据。

#### 6.4.3.2 调查区域

前期调查区域宜覆盖拟开展海岛生态修复的区域及可能影响项目实施或受到项目实施影响的周边区域。前期调查阶段,尽可能明确可设定为参照生态系统的海岛,并开展相应的生态调查。

#### 6.4.3.3 调查内容

通过资料收集和现场调查,掌握海岛岸线类型和分布、植被、动物、周边海域水质以及海岛潮间带底栖生物等区域自然环境的基本资料,收集海岛已开展的工程概况、施工情况、空间分布、岸线利用情况、已采取的生态保护修复措施等项目背景资料。

a) 岛陆空间特征和海岸线资料。包括海岛位置、类型、地形地貌和海岸线等,应收集海岛(尤其是生态修复工程区)多年的遥感影像资料、海岸线类型及其变化资料,包括岸线实测数据、无人机航拍资料等。

b) 岛陆植被与土壤资料。收集海岛植被覆盖分布类型和范围及其历史变化情况;当分布或记载有特有、珍稀和濒危植物时,应开展详细调查或收集。收集海岛表层土壤类型、分布、理化特征、环境质量等资料。

c) 海岛动物资料。确定重点保护动物及迁徙鸟类栖息地范围和分布;当海岛记载或分布有特有、珍稀濒危野生动物(包括龟鳖类),以及作为主要鸟类筑巢繁殖地或迁徙停歇地的海岛,应开展详细调查或收集,内容包括:动物种类、分布、特征,受威胁因素及影响程度,栖息地、繁育地及保护现状等。

d) 自然和人文遗迹。主要包括海岛自然遗迹(主要为典型火山地貌、海蚀地貌、黄土沉积、海滩岩、沙丘、海滩等)和人文遗迹(主要为人类活动遗址、遗迹等)的类型、分布、开发利用和保护状况等。

e) 潮间带和周边海域资料。收集、调查海岛周边潮间带类型、位置分布、受损情况等资料;重点确定海滩分布、范围、规模等内容;收集海岛周边海水水质、海洋沉积物调查资料;收集海岛周边海域水动力调查资料,包括波浪、海流、潮汐、悬浮泥沙等相关资料。

f) 海岛开发利用及社会、经济资料。收集、调查海岛开发利用类型、规模、分布,以及经济产值、旅游收入、渔业收入、农业收入和海洋生态修复工程经济投入等方面的资料。

表 6.4-1 海岛基本信息调查或收集表

要素	调查或收集内容
位置与类型	海岛位置、海岛类型（按物质组成：基岩岛、沙泥岛、珊瑚岛）
地形和岸线	海岛地形、地貌特征；海岛岸线类型、长度、位置
植被	（1）全岛植被覆盖率；（2）植被调查：植被类型、面积与分布；植物群落的种类组成与结构，盖度、胸径、株高和冠幅等；外来植物物种的种类、分布及危害等；植被的保护与利用现状；（3）特有、珍稀和濒危植物调查：植物种类、数量、分布及其保护等情况。
土壤	相关内容包括表层土壤类型、分布、理化特征、环境质量，当用岛项目涉及污染排放的，须根据排放特征污染物，补充相关调查。
动物	（1）陆生脊椎动物：主要陆生脊椎动物（兽类、两栖爬行类、鸟类）的种类；简要描述其栖息地、繁殖地、觅食区等现状、受干扰因素和保护现状。（2）特有、珍稀濒危野生动物（包括龟鳖类），主要鸟类筑巢繁殖地或迁徙停歇地等方面的调查：动物种类、分布、特征；受威胁因素及影响程度；栖息地、繁育地及保护现状。
自然和人文遗迹	海岛自然遗迹（主要为典型火山地貌、海蚀地貌、黄土沉积、海滩岩、沙丘地貌、海滩等）和人文遗迹（主要为人类活动遗址、遗迹等）的类型、分布、开发利用和保护状况等。
潮间带滩与周边海域	岛滩及周边海域地形、潮间带表层沉积物类型与质量、潮间带生物、海水水质、海洋沉积物类型与质量、海洋生物质量、海洋生态及海岛周边海域水力情况等。
海岛开发利用及社会经济	海岛开发利用类型、规模、分布，以及经济产值、旅游收入、渔业收入、农业收入和海洋生态修复工程经济投入等。

## 6.4.4 问题诊断与目标确定

### 6.4.4.1 问题诊断

通过现状调查，结合历史变化对比，分析海岛岸线、海滩、植被分布、动植物群落、生物多样性、岛体稳定性等方面存在的问题，开展海岛生态问题诊断，识别引起海岛生态退化的主要胁迫因素和驱动因子，诊断海岛受损与生态退化问题。

### 6.4.4.2 目标确定

结合资料收集和现状调查数据，根据生态问题诊断结果，筛选生态修复重点区域和对象，从生态系统结构、功能及稳定性等方面提出生态修复目标。海岛生态问题、修复目标和修复措施见表 6.4-2。

表 6.4-2 海岛生态问题、修复目标和修复措施

生态问题	修复目标	生态修复措施
------	------	--------

生态胁迫	自然灾害频发, 防灾减灾能力不足, 生态系统受损	生态胁迫因素消除	提升海岸防护能力	修复受损海岸; 修复受损生态群落, 构建后滨生态防护体系, 恢复红树林、盐沼植被等
	入海污染物增加导致海水水质呈下降趋势		改善海水水质	控制入海污染物总量; 治理海漂垃圾和海滩垃圾
	外来生物入侵侵占本地物种生存空间		控制或清除外来入侵种	引入天敌; 防治外来入侵种; 修复岛陆植被; 恢复红树林、盐沼植被等
	炸山取石、乱砍滥伐、滥捕滥猎等导致生态失衡		提升岛体稳定性和生态安全性	保护修复地形地貌、岛陆植被与植物资源、动物及其栖息地等; 污染处理
生态空间格局	海湾面积萎缩、海域淤积	生态空间格局优化、生态网络畅通	海湾纳潮量增加、淤浅区域水深增加	退围/退填还海; 堤坝拆除; 清淤疏浚
	水动力交换能力减弱		水动力环境改善, 水交换能力增强	退围/填还海; 海堤开口; 堤坝拆除; 清淤疏浚
	典型生境面积减少、破碎化趋势增加		典型生境面积维持或扩大、破碎化程度降低	恢复典型生境(海洋生态环境敏感区、滩涂湿地、红树林、盐沼、海草床、珊瑚礁等)面积
	人工化构筑物导致海陆连通性下降、自然岸线减少		保持和恢复海岸的连接度与连通性, 构建自然化、生态化、绿植化的海岸线, 生态恢复岸线长度增加	生态海堤建设; 海滩修复与养护; 促淤保滩; 退围/填还滩
生态系统质量	生态退化, 生物资源量下降	生态系统质量恢复	海洋生物资源量增加	退塘还林(还草); 增殖放流; 人工鱼礁; 大型藻类恢复; 典型生境生态修复
	生物多样性降低		生物多样性指数增加	
生态效益与经济、社会效益	生态系统服务功能下降	生态系统服务功能提高	海岛生态系统供给功能、调节功能、文化功能、支持功能等增强	通过上述各项生态修复措施实现
	生态效益与社会效益、经济效益不协调	三效益协调	生态效益、社会效益、经济效益提升的同时, 协调发展	

#### 6.4.4.3 修复方式确定

根据退化及受损程度, 海岛生态修复的方式包括有效管理的自然恢复、人工辅助恢复和生态系统重建性修复三种类型。

a) 有效管理的自然恢复。适用于退化程度较轻的情形，可自然恢复到相对稳定状态的海岛生态系统，如由于乱砍滥伐、过度放牧、过度捕捞等，但未严重改变海岛地形地貌和降低生物资源的，可采取封山育林、改变放牧时间和放牧强度或停止放牧、严格执行休渔期禁止捕捞等措施，消除外界压力或干扰因素，促进生态系统自然恢复到相对稳定的状态。

b) 人工辅助恢复。适用于海岛生境受损退化未显现的情形。主要针对需要花费大量的人力、物力逆转受损海岛生态系统的情形，通过人为辅助调控，结合自然恢复过程，经过较长时间来恢复生态系统。这种修复类型的海岛生态系统特点是生物多样性下降，生产力下降，植物种类发生明显变化；但土壤和沉积物未显著受损。通过消除胁迫因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者参照本底生态系统予以针对性修复，促进生态系统恢复。

c) 重建性修复。针对海岛生境几乎丧失生态功能，并在相对短的时间内无法自然恢复的情况下，需通过重建非生物环境，以岛陆土壤修复为基础，减少水土流失，增加土壤渗透性，提高土壤的水分维持能力，保护土壤表层，增加肥力，为岛陆植被的修复提供适宜的微环境，逐步开展重建性修复。

## **6.4.5 修复措施**

### **6.4.5.1 地形地貌的保护修复**

#### **a) 海岸整治修复**

海岸防护措施包括丁坝、离岸堤等构筑物防护和海滩养护等软性防护措施，具体要求参考 6.1.5.1 和 6.1.5.3。

对造成海岛岸滩严重侵蚀、严重影响海岛滨海生态健康的连岛堤坝或沿岸工程进行整治改造，改善水动力环境条件，恢复海岛海岸与岸滩原有形态，恢复与提升海岛岸滩生态功能。对比分析不同措施实施前后地形地貌的变化（含岸线变化）、近岸输沙特征、泥沙运移趋势和冲淤变化等。分析上述变化是否有利于海岛岸滩稳定性，是否有利于改善区域冲淤速率，减缓或者降低岸线侵蚀。具体技术要求可参照 T/CAOE 21.9-2020 执行。

#### **b) 岛体修复**

岛体地形地貌修复的主要技术措施为边坡工程，主要针对滑坡和崩塌进行治理。

##### **1) 滑坡治理**

利用抗滑挡墙和边坡锚固作为排水、减重及加固。确定潜在滑移块体的位置、规模、形态、大小及稳定状态，确定边坡的工程性质与稳定性重要程度，选择合理的破坏准则和安全系数，决定锚杆布局、安设角度及预应力值，设计锚杆和锚杆体的类型和尺寸，验算锚杆稳定性和设计锚头等主要内容。

## 2) 边坡水土流失的治理

海岛边坡防护技术形式多样，如喷混植生、格构防护、喷锚支护等。

喷混植生适用于坡比为 1:1~1:0.5 的非光滑岩坡面，如砾石层、软石、破碎岩、较硬的岩石、极酸性岩土、开挖后的岩体边坡以及挡土墙、护面墙、混凝土结构边坡等不宜绿化的恶劣环境。

格构防护适用于风化较严重的岩质边坡、坡面稳定的较高土质边坡和松散堆积体滑坡的治理；适用于有视觉景观和生态效果要求或边坡稳定性要求较高的公共场所。

喷锚支护能使锚杆、混凝土喷层和围岩形成共同作用的体系，有效地稳定围岩，防止岩体松动、分离。当岩体比较破碎时，还可以利用丝网拉挡锚杆之间的小岩块，增强混凝土喷层，辅助喷锚支护，防止因个别危石崩落引起的坍塌。

### 6.4.5.2 植被与植物资源保护修复

a) 海岛红树林生态修复参照 5.1 执行。

b) 滨海盐碱地植被修复参照 5.2 执行

c) 后滨沙地植被修复参照 6.1.5.4 执行。

d) 裸露山体植被修复可参考 GB-T 38360-2019 执行。在植物选择上，从植被恢复的短期效益和长期效果出发，选取有利于重建海岛植物群落、恢复海岛自然植被顺向演替过程中的先锋种或阶段种，同时根据立地情况，宜林则林、宜草则草、宜荒则荒。

e) 珍稀濒危及特有植物的修复可采用就地保护和迁地保护两种方式，具体内容可参考 LY/T 1819-2009、LY/T 2590-2016、LY/T 2938-2018 等标准执行。

### 6.4.5.3 动物及其栖息地保护修复

a) 生境修复及改善

1) 生境修复

针对生境的植被恢复通常采取封禁等自然恢复方法或人工辅助自然恢复的措施。海岛上的滩涂、沼泽、灌丛、疏林等通过封育措施能够恢复林草植被时，应采取封禁方式恢复；经封育不能恢复或恢复较慢的区域，应采取补植（播）乡土植物等人工措施辅助恢复植被；水生植被恢复应以能够稳定、恢复或改善湿地生态环境质量，且能定植的沉水、浮水和挺水植物物种为主。

## 2) 生境改善

生境改善措施主要根据保护对象的生物学习性和生态特征而定。要综合考虑海岛上动物的特性、食物的可利用性、捕食和竞争等因素，在满足动物对生境的基本需求基础上，要重视构建野生动物生活的小生境。生境改善主要采取微地形改造、植被控制、食源种群重建、水深控制、补充食源地等措施。

### b) 生态廊道构建

加强野生动物及其栖息地生境保护恢复，连通物种迁徙扩散生态廊道；加强候鸟迁徙沿线重点海岛湿地保护，开展退化水域、湿地修复，提高水域连通性；开展退围还海还滩、岸滩修复、河口海湾生态修复、红树林、珊瑚礁等典型海洋生态系统保护修复、热带雨林保护、防护林体系等工程建设。提升重要区域生态环境，推进陆海统筹治理，促进近岸局部海域海洋水动力条件恢复；维护海岛海岸带重要生态廊道，保护生物多样性；恢复典型滨海湿地生态系统结构和功能，提升海岛海岸带生态系统服务功能和防灾减灾能力。

## 6.4.5.4 海岛污染处理

a) 生活污水处理工程包括污水收集管网和污水处理设施两部分，污水处理后需要继续回用的还需要配套污水回用设施。优先采用低成本、易管理、少维护的工艺，如厌氧池、生物塘、人工湿地等处理技术。处理后的生活污水尽可能回用，可用于农业灌溉、景观绿化、地层回灌等方面。

b) 生活垃圾进行初步的垃圾分类后，不能回收的集中收集到专门的垃圾处理场所，根据垃圾种类及海岛具体情况采用堆肥、焚烧、卫生填埋等一种或多种方法组合处理，尽量避免垃圾渗滤水对环境造成污染。

c) 应及时清理和妥善处置无居民海岛的海漂垃圾。

d) 针对海岛周边海域及滩涂油污，鼓励利用生物尤其是微生物及其产物，诱导或加快环境中溢油降解，修复受污染环境。

### 6.4.5.5 周边海域的保护修复

针对水文动力及冲淤环境的，参考《围填海工程生态建设技术指南（试行）》。

### 6.4.6 跟踪监测

根据生态保护修复重点，从修复类型着手，根据监测内容、监测项目及监测频次等，制定针对性的跟踪监测计划。监测内容、监测项目、监测频次等的确定可参照表 6.4-3 选取。

表 6.4-3 跟踪监测计划

序号	修复类型	监测内容	主要监测项目	监测频次
1	地形地貌保护修复	岛体、岸线、海滩、边坡	岸线属性、长度及岸线变化	修复完成后立即进行 1 次
2	植被与植物保护修复	植被与植物	植被类型和面积，植物种类，古树名木位置、数量、保护现状	修复完成后立即进行 1 次，3 年后跟踪监测 1 次
3	动物及其栖息地保护修复	动物及其栖息地	动物的种类和数量	修复完成后立即进行 1 次，3 年后跟踪监测 1 次
4	淡水资源保护	淡水资源	淡水资源分布、储存量	每隔 3 年开展一次监测
5	工业用岛保护修复	节能减排、污废水气清洁处理、监测站或监测点布设、防灾减灾	达标率、监测点布设情况、灾害应急管控措施	修复完成后立即进行 1 次，每个季度跟踪监测 1 次
6	污染处理	污废水、土体废弃物、海漂垃圾	达标率、处理率	每个季度跟踪监测 1 次
7-1	滨海湿地修复	盐沼及环境要素	参照盐沼生态修复内容	修复完成后立即进行 1 次；3 年后跟踪监测 1 次
		红树林及环境要素	参照红树林生态修复内容	
		珊瑚礁及环境要素	参照珊瑚礁生态修复内容	
		海草床及环境要素	参照海草床生态修复内容	
7-2	海洋生物资源恢复	海洋生物	浮游植物、浮游动物、鱼卵仔鱼、游泳生物、底栖生物、潮间带生物、大型藻类以及增殖放流生物品种等	修复完成后首年春秋季节各监测 1 次
7-3	水文动力及冲淤环境恢复	水文动力和冲淤环境	水深地形、流速流向、断面潮通量等	修复完成后立即进行 1 次

## 6.4.7 修复效果评估

### 6.4.7.1 修复效果评估阶段

项目效果评估目的主要是通过监测手段分析项目实际实施内容与考核指标的符合性，评价项目实施的完成情况与实施效果。根据工程实施的不同阶段，应开展工程竣工评估、初期修复效果评估和中长期修复效果评估三个阶段评估。

#### a) 工程竣工验收评估

海岛生态修复工程竣工后，1 年左右时间开展一次竣工验收评估。结合用岛情况，重点对修复工程实施情况，包括工程规模、完成度及完成质量、合法合规情况、滞后/变动情况及其他绩效指标完成情况进行评估。

#### b) 初期修复效果评估

基于跟踪监测开展初期修复效果评估，生态修复工程竣工后 2 年左右开展，根据评估结果及时采取必要的补救措施。结合海岛修复工程生态监测能力建设情况，重点对修复后的岛陆动植物资源、海岛地形地貌、淡水资源、海滩资源、岸线资源、典型生态系统及社会经济状况等开展评估，海域部分则主要选取海水水质环境、海洋生物生态环境、海洋水动力环境、海底地形地貌及冲淤环境等指标。

#### c) 中长期修复效果评估

考虑到海岛修复工程在自然条件下的稳定性和持久性要求，维护修复工程的中长期成效，应在修复工程竣工后 2-5 年或更长期的时间，组织开展修复成效中长期评估。

### 6.4.7.2 评估内容

根据全面评估、突出重点的原则，通过定量和定性相结合的方法，分析海岛生态修复工程实施后的生态资源变化、环境改善状况、综合效益提升情况等内容，客观评估生态修复工程实施的成效和存在的问题。

修复效果评估指标见表 6.4-4。

表 6.4-4 修复效果评估指标一览表

	评估目标	供选指标
生态资源	海岛生态修复工程实施前、后岛陆、潮间带、	岛陆生态资源指标：动物资源、植物与植被资源、珍稀濒危物种、淡水资源、海滩资源、土石资源、自然与人

	海域的生物资源变化情况	文遗迹、典型生态系统
		潮间带生态资源指标：潮间带生物
		海域生态资源指标：浮游植物、浮游动物、浅海大型底栖生物、渔业资源
环境质量	海岛生态修复工程实施前、后的地形地貌和周边海域动力环境及质量的变化情况	岛陆环境：海岛地形地貌、植被覆盖率
		海域环境质量：水质、沉积物
		海域动力环境：岸线变化、沿岸冲淤率及方向、特征点潮流流速流向、特征点冲淤率
综合效益	经济效益、社会效益、生态效益的协调性	经济效益：投入产出率、投资回收期、经济驱动收益
		社会效益：就业贡献率、公众满意度
		生态效益：生态系统服务价值、生态景观破碎化或自然性指数
负向指标	海岛生态修复工程实施对海岛的负面影响	外来入侵种、生态损害或灾害事件

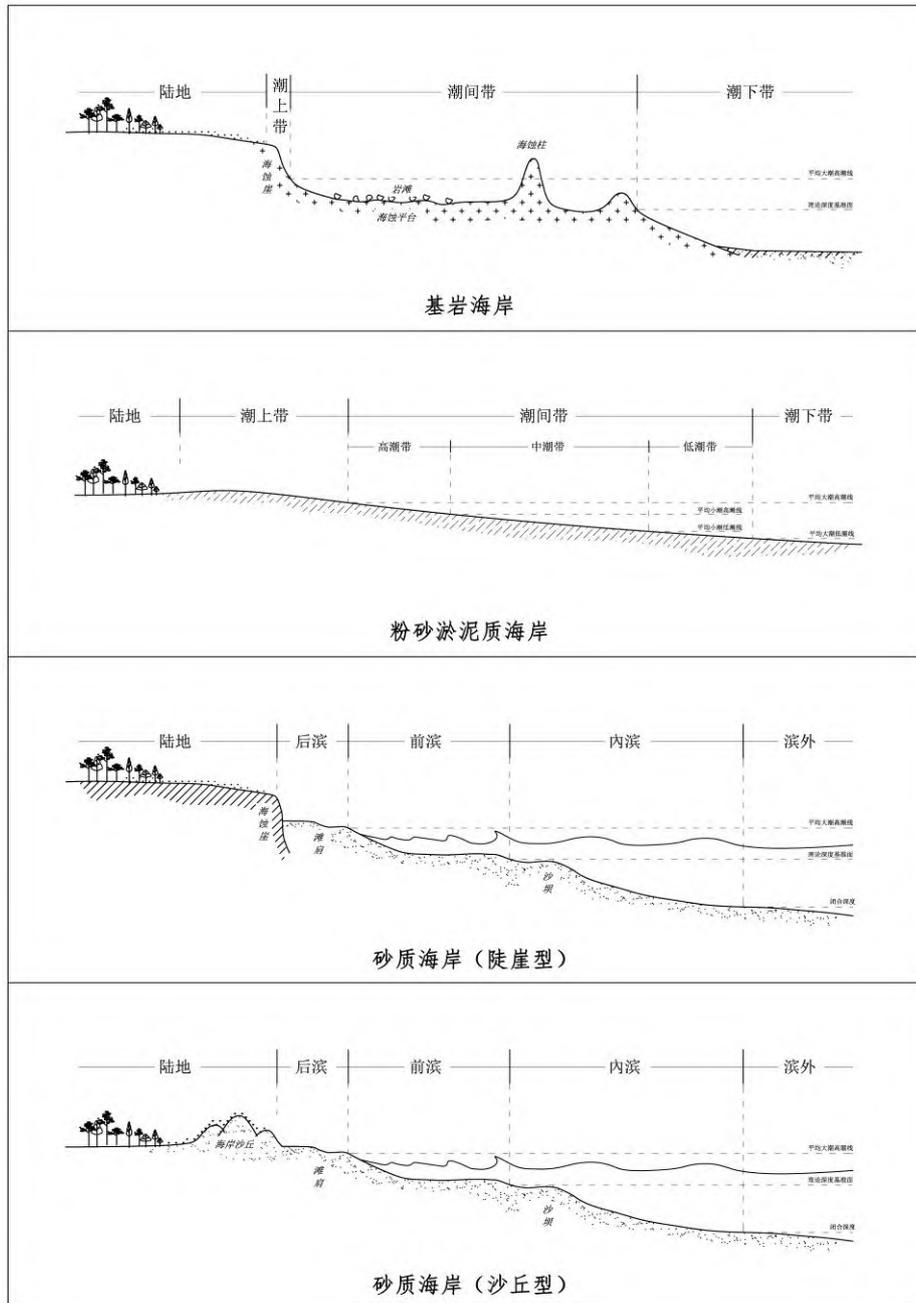
### 6.4.7.3 评估方法

修复效果的评估针对生态修复目标的实现情况开展。通过时间序列对比法，对生态修复工程区域的连续跟踪监测结果进行评估，分析海岛陆域、岸滩和周边海域生态系统变化；根据分析结果，采用与目标值对比法，对比修复区域生态修复前、后的监测结果，评估生态修复目标的实现情况。

# 附录 A

## (资料性附录)

### 常见海岸类型



## 附录 B

### (资料性附录)

#### 我国红树林植物的繁殖体及种苗类型选择

种名	繁殖方式	推荐苗木类型
卤蕨 <i>Acrostichum aureum</i>	孢子	容器苗
尖叶卤蕨 <i>Acrostichum speciosum</i>	孢子	容器苗
木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i>	种子	容器苗
海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>	种子	容器苗
杯萼海桑 <i>Sonneratia alba</i>	种子	容器苗
海桑 <i>Sonneratia caseolaris</i>	种子	容器苗
海南海桑 <i>Sonneratia × hainanensis</i>	种子	容器苗
卵叶海桑 <i>Sonneratia ovata</i>	种子	容器苗
拟海桑 <i>Sonneratia × gulngai</i>	种子	容器苗
木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	胎生	胚轴苗
海莲 <i>Bruguiera sexangula</i>	胎生	容器苗/胚轴苗
尖瓣海莲 <i>Bruguiera sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i>	胎生	容器苗/胚轴苗
角果木 <i>Ceriops tagal</i>	胎生	容器苗/胚轴苗
秋茄 <i>Kandelia obovata</i>	胎生	胚轴苗
正红树 <i>Rhizophora apiculata</i>	胎生	胚轴苗
红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	胎生	胚轴苗
红榄李 <i>Lumnitzera littorea</i>	种子	容器苗
榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	种子	容器苗
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	胎生	容器苗
白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	隐胎生	容器苗
小花老鼠簕 <i>Acanthus ebracteatus</i>	种子	容器苗
老鼠簕 <i>Acanthus ilicifolius</i>	种子	容器苗
瓶花木 <i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>	种子	容器苗
水椰 <i>Nypa fruticans</i>	隐胎生	容器苗

×：为自然杂交种。

## 参考文献

- [1] 《围填海工程生态建设技术指南》(国海规范〔2017〕13号)
- [2] 《全国海岸线修测技术规程》(自然资办函〔2019〕1187号)
- [3] 《海堤生态化建设技术指南(试行)》(自然资办函〔2020〕509号)
- [4] 邱广龙. 潮间带海草床的生态恢复. 北京:中国林业出版社,2014.
- [5] 杨长平,孙典荣. 南海区渔业资源增殖放流关键技术与示范. 北京:中国农业出版社,2019.
- [6] 蔡锋等. 中国海滩养护技术手册. 北京:海洋出版社,2015.
- [7] 陈彬,俞炜炜. 海洋生态恢复理论与实践. 北京:海洋出版社,2012.
- [8] 李永祺,唐学玺. 海洋恢复生态学. 青岛:中国海洋大学出版社,2016.