

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾  
中心海域）二期海域使用论证报告书  
（公示稿）


海南正永生态工程技术有限公司

统一社会信用代码：91460100MA5RJ4F35Y

2025年10月



## 论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4602042025002209		
论证报告所属项目名称	三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期		
<b>一、编制单位基本情况</b>			
单位名称	海南正永生态工程技术有限公司		
统一社会信用代码	91460100MA5RJ4F35Y		
法定代表人	张光星		
联系人	李奇映		
联系人手机	18202010913		
<b>二、编制人员有关情况</b>			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
李奇映	BH000628	论证项目负责人	李奇映
李奇映	BH000628	1. 概述 3. 项目所在海域概况 6. 国土空间规划符合性分析 9. 结论 10. 报告其他内容	李奇映
陈曼萍	BH001704	2. 项目用海基本情况 4. 资源生态影响分析 5. 海域开发利用协调分析 7. 项目用海合理性分析 8. 生态用海对策措施	陈曼萍
<p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</p> <p style="text-align: right;">承诺主体(公章):</p> <div style="text-align: center;">  <p>2025年10月10日</p> </div>			

项目基本情况表

项目名称	三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期			
项目地址	海南省三亚市三亚湾中心海域			
项目性质	公益性（√）		经营性（）	
用海面积	2.0672ha		投资金额	7024.10 万元
用海期限	5 年		预计就业人数	/人
占用岸线	总长度	0m	邻近土地平均价格	/万元/ha
	自然岸线	0m	预计拉动区域经济产值	/万元
	人工岸线	0m	填海成本	/万元/ha
	其他岸线	0m		
海域使用类型	“特殊用海”中的“海洋保护修复及海岸防护工程用海”		新增岸线	0m
用海方式		面积	具体用途	
透水构筑物		2.0672	珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁用海，珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床布设区域用海	
注：邻近土地平均价格是指用海项目周边土地的价格平均值。				

# 摘要

## 1. 项目用海基本情况

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期珊瑚礁修复区选址在西岛东侧海域，用海面积 1.6000 公顷，种植珊瑚数量 32000 株；考虑珊瑚苗种移植存活率 0.65 的情况下，共 49230 株。造礁石珊瑚的修复方法主要是采用苗圃将珊瑚培育成枝状长度 8~15cm 或块状直径 8cm 左右的可移植的珊瑚株，然后迁移到底播区域，其中采用人工珊瑚增殖礁 750 个。珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区选址于鹿回头近岸海域，用海面积 0.4672 公顷，用海内容为珊瑚苗床布设。项目总投资为 7024.10 万元。

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目用海类型为“特殊用海”中的“海洋保护修复及海岸防护工程用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“其他用海”，二级类为“其他用海”。用海方式为构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）。项目申请用海总面积为 2.0672 公顷，不占用岸线，申请用海期限为 5 年。

## 2. 项目立项情况

2022 年 5 月 10 日，项目取得《三亚市发展和改革委员会关于三亚湾海洋生态修复工程可行性研究报告的重新批复》（三发改投〔2022〕119 号），三亚市发展和改革委员会同意建设三亚湾海洋生态修复工程，项目在全国投资项目在线审批监管平台代码为 2111-460200-04-01-428984；2024 年 9 月 27 日，项目取得《三亚市发展和改革委员会关于变更三亚湾海洋生态修复工程项目名称的复函》（三发改函〔2024〕1144 号），为与申报海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程项目名称一致，三亚市发展和改革委员会原则同意项目名称变更为“三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目”；2024 年 12 月 24 日，根据《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程专班办公室关于同意三亚市南繁基地核心区农田生态系统格局优化与质量提升等 13 个项目总体设计备案的函》（琼自然资函〔2024〕1675 号），项目已纳入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程项目；2025 年 4 月 17 日，项目取得《三亚市发展和改革委员会关于三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）初步设计及概算的批复（三发改农经〔2025〕43 号）》，三亚市发展和改革委员会原则同意项目初步设计方案。

### 3. 项目用海必要性

根据《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告方案》的要求，三亚市自然资源和规划局委托中国海洋大学编制了《三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态评估报告》和《三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态保护修复方案》，针对三亚凤凰岛二期项目拆除项目，提出了三亚湾海洋生态修复方案（工程）。根据三亚湾海洋生态修复工程的工可、初步设计，工程分两阶段实施，第一阶段（凤凰岛及附近海域）：工程建设内容包括珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等三部分，该项目已于 2022 年 11 月 26 日完成施工。第二阶段为三亚湾海洋生态修复工程（西岛及附近海域），目前已实施完成 304.5 公顷的渔业资源保护工程，即人工鱼礁工程、增殖放流。根据《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施方案（2023—2025 年）》，《三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）》列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，总体绩效目标（2023—2024 年）分为产出指标和满意度指标，其中产出指标中数量指标为生态保护修复总面积 707.27hm<sup>2</sup>，珊瑚礁修复面积 1.6 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁生境保育面积 5.67 hm<sup>2</sup>，栖息地修复面积 700 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁株数 32000 株。因施工完成的三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）仅包含 304.5 hm<sup>2</sup> 的栖息地修复，因此对于剩下的指标需要调整、重新选址设计，即为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）的建设内容。本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）中的二期工程，用海内容包括珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海。因此，本项目建设用海是必要的。

### 4. 规划符合性

本项目珊瑚礁修复工程符合《海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020—2029 年）》，项目利用的国土空间功能分区为东西瑁洲珊瑚礁生态保护区、鹿回头半岛—榆林角珊瑚礁生态保护区，符合其空间准入、利用方式、保护要求等相关管理规定，由此，本项目用海符合所处功能分区的管控要求。本项目珊瑚礁修复工程涉及海洋生态保护红线，项目用海有利于修复区域内珊瑚礁资源。同时根据《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4 号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复—（6）海域、

海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求，符合国土空间规划“三区三线”划定成果的管控要求。因此，通过对项目所在海域国土空间规划分区的管控要求、国土空间规划“三区三线”划定成果和《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》的符合性分析，同时结合项目用海对所在海域国土空间规划分区的利用情况及对周边海域国土空间规划分区的影响情况，本项目珊瑚礁修复工程用海符合国土空间规划“三区三线”划定成果、《海南省国土空间规划（2021—2035 年）》《三亚市国土空间总体规划（2021—2035 年）》《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》。

## 5. 占用岸线情况

本项目不占用岸线，也无新增人工岸线。

## 6. 利益相关者协调情况

根据项目用海对海域开发活动的影响分析结果，论证范围内海域开发利用活动较多，主要包括旅游娱乐用海、交通运输用海、渔业用海和特殊用海等。项目用海涉及利益相关者主要有海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处（保护区用海单位）和三亚海事局（海上交通安全协调部门）。

根据利益相关者协调分析结论，本项目用海与利益相关者及利益协调责任部门具有可协调性，用海申请单位应切实落实与利益相关者的协调方案，并与相关利益者签订相关协议，取得利益相关者的同意和支持，避免用海冲突，保障用海秩序。

## 7. 资源生态影响及生态保护修复措施

### （1）资源生态影响

#### ① 水文动力影响结论

根据潮流数模预测结果，项目珊瑚礁修复区所在海域的潮流动力中等，工程前后流速的改变幅度较小，工程后流速最大减小 2.0cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚礁修复区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与珊瑚礁修复区的最远距离约 280m，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小；项目珊瑚苗圃培育区所在海域的潮流动力微弱，工程前后流速的改变幅度很小，工程后流速最大减小幅度只有 0.005cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚苗圃培育区周边的小范围内，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

## ②波浪影响结论

根据波浪数模预测结果，珊瑚礁修复区建设在珊瑚礁礁坪上，外海传来的波浪在珊瑚礁礁坪的外沿即破碎，传播至本工程区时已大幅度衰减，同时部分珊瑚增殖礁礁体采用拼接凸起与拼接槽相互咬合构成组合，每 20 块礁体可为一组进行拼接，形成两排，可确保前后左右均有礁体衔接，避免错位和移动，可增加礁体稳定性，有效降低波浪推力。珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床设施选择框架结构，四个角打入底质 80cm，同时每个苗床布置四个锚固系统，巩固安装，以更好地抵御风浪。

## ③ 冲淤环境影响结论

根据冲淤数模预测结果，项目建设完成后，由于珊瑚增殖礁和珊瑚苗床对水流产生一定的阻挡作用，流速略有减小，因此，泥沙将在珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区落淤。但由于流速改变幅度较小，海水悬沙含量也较小，因此项目区附近的年淤积强度最大值分别为珊瑚礁修复区 2.5cm/a、珊瑚苗圃培育区 1.5cm/a；冲淤的范围也只局限在珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区附近的较小范围内，其中珊瑚礁修复区冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右，这主要是由于无论是涨潮还是落潮，水动力的变化区域都在珊瑚礁修复区的北侧。

因此，总体而言，本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小，主要集中在项目区附近的小范围内，其中珊瑚礁修复区最大淤积幅度在 2.5cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右。珊瑚苗圃培育区最大淤积幅度在 1.5cm/a 左右。

## ④ 水质环境影响结论

项目珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较小；珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质 ( $>10\text{mg/L}$ ) 面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束。除此之外，施工期生活污水、含油废水和生产废水均妥善处置，不外排，施工期废水对项目区水质环境影响较小。

## ⑤ 沉积物环境影响结论

根据沉积物质量监测结果，工程区域的沉积物质量状况良好，施工产生的沉积物来

源于本海域，不会对本海域沉积物的理化性质产生影响。因此，本工程施工过程中产生的悬浮物扩散和沉降后，沉积物的环境质量不会产生较大变化，仍将基本保持现有水平。此外，施工期的污染物均经过接收处理，不直接在工程区域排放，因此对工程海域的沉积物环境产生影响较小。

#### ⑥ 生态环境影响结论

项目实施对周围海洋生态环境和资源的影响主要为珊瑚增殖礁投放造成底栖生物损失以及施工期悬浮泥沙入海对海洋生物的损失，经估算，本工程珊瑚增殖礁建设造成底栖生物损失量为 2.82kg，施工悬浮泥沙影响导致浮游植物损失  $0.05 \times 10^{11}$  cells，浮游动物损失 4.2kg，鱼卵损失  $0.06 \times 10^7$  粒，仔鱼损失  $0.03 \times 10^6$  尾，游泳动物资源损失 4.65kg。本项目为珊瑚礁生态系统修复项目，包括珊瑚增殖礁投放、珊瑚移植等生态补偿措施；通过在特定海域实施珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程，有利于修复珊瑚礁资源，改善海域生态环境。项目所选的珊瑚增殖礁礁体材料对自然海域环境无任何污染，所有材料在投放前都经过清洗，对海洋环境无损害作用。珊瑚增殖礁的投放能促进造礁石群落的恢复，加速珊瑚礁生态系统的修复进程，项目建设所造成的渔业资源损失是可接受的。

#### （2）生态保护修复措施

本项目为生态修复项目，主要通过投放珊瑚苗床培育珊瑚、投放珊瑚增殖礁进行珊瑚移植修复，项目本身就是区域生态修复措施的具体实施，项目建成后对本海域珊瑚礁生态系统的保护具有重要的作用。

### 8. 项目选址、方式、面积和期限的合理性

#### （1）选址合理性

项目珊瑚苗圃培育区选址于鹿回头近岸海域，珊瑚礁修复区选址于西岛东侧海域。均位于海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区实验区内，项目对珊瑚礁资源有着积极影响，符合《海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020—2029 年）》的总体目标。项目选址区位和社会条件满足项目建设和营运要求，选址区域的自然资源和海洋生态条件适宜，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突问题。因此，本项目选址是合理的。

#### （2）平面布置合理性

本项目具体用海内容包括投放珊瑚苗床建设珊瑚苗圃培育区进行珊瑚种苗培育、投放珊瑚增殖礁建设珊瑚礁修复区进行珊瑚移植修复。项目在满足建设项目需要的基础上，最大程度减少了对海域的改变，最大限度地节约了用海面积，平面布置体现了集约、节



约用海的原则。拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水结构，项目建设对海域自然属性和基本功能影响较小，保持了流场的流畅性，不会对海洋生物洄游通道造成影响，项目平面布局有利于生态环境保护，能最大程度减少对周边其他用海活动的影响，因此，项目平面布置合理。

### （3）用海方式合理性

项目拟投放的珊瑚增殖礁为镂空混凝土结构、珊瑚苗床为镂空不锈钢框架结构，均位于海域下层，珊瑚增殖礁和珊瑚苗床对水流变化影响较小，为透水构筑物。项目采用透水构筑物的用海方式，在满足项目需求的同时，尽最大可能地维护海域基本功能，最大限度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响。项目建设对修复和保全区域海洋生态系统具有重要作用。项目建设是以修复区域珊瑚礁生态系统为主要目标。项目的用海方式是合理的。

### （4）用海面积合理性

项目珊瑚苗床、珊瑚增殖礁礁体布局根据《海岸带生态减灾修复技术导则第 4 部分：珊瑚礁》（T/CAOE 21.4-2020）和《海洋生态修复技术指南第 2 部分：珊瑚礁生态修复》（GB/T 41339.2-2022）以及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》中关于本项目珊瑚礁修复工程的绩效指标等要求进行设计，用海面积和各功能单元符合相关的行业设计标准和规范，符合三亚市用海控制性指标要求，用海面积不宜减少，因此，项目用海面积合理。

### （5）用海期限合理性

本项目为珊瑚礁生态系统修复项目，属于公益事业用海，结合《中华人民共和国海域使用管理法》管理规定及项目保育年限，本项目申请用海期限为 5 年合理。

## 目 录

<b>1 概述 .....</b>	<b>1</b>
1.1 论证工作由来 .....	1
1.2 论证依据 .....	3
1.3 论证等级和范围 .....	7
1.4 论证重点 .....	8
<b>2 项目用海基本情况 .....</b>	<b>10</b>
2.1 用海项目建设内容 .....	10
2.2 平面布置和主要结构、尺度 .....	11
2.3 项目主要施工工艺和方法 .....	26
2.4 项目用海需求 .....	36
2.5 项目用海必要性 .....	41
<b>3 项目所在海域概况 .....</b>	<b>47</b>
3.1 海洋资源概况 .....	47
3.2 海洋生态概况 .....	49
<b>4 资源生态影响分析 .....</b>	<b>109</b>
4.1 资源影响分析 .....	109
4.2 生态影响分析 .....	115
<b>5 海域开发利用协调分析 .....</b>	<b>139</b>
5.1 海域开发利用现状 .....	139
5.2 项目用海对海域开发活动的影响 .....	144
5.3 利益相关者界定 .....	146
5.4 相关利益协调分析 .....	147
5.5 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析 .....	149
<b>6 国土空间规划符合性分析 .....</b>	<b>150</b>
6.1 所在海域国土空间规划分区基本情况 .....	150
6.2 项目用海对海域国土空间规划分区的影响分析 .....	151
6.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析 .....	152

<b>7 项目用海合理性分析 .....</b>	<b>159</b>
7.1 用海选址合理性分析 .....	159
7.2 用海平面布置合理性分析 .....	163
7.3 用海方式合理性分析 .....	165
7.4 占用岸线合理性分析 .....	167
7.5 用海面积合理性分析 .....	168
7.6 用海期限合理性分析 .....	172
<b>8 生态用海对策措施 .....</b>	<b>173</b>
8.1 概述 .....	173
8.2 生态用海对策 .....	173
8.3 生态保护修复措施 .....	177
<b>9 结论 .....</b>	<b>178</b>
9.1 项目用海基本情况 .....	178
9.2 项目用海必要性结论 .....	178
9.3 项目用海资源生态影响分析结论 .....	179
9.4 海域开发利用协调分析结论 .....	181
9.5 国土空间规划符合性分析结论 .....	181
9.6 项目用海合理性分析结论 .....	181
9.7 项目用海可行性结论 .....	183

# 1 概述

## 1.1 论证工作由来

三亚是海南自由贸易港建设的关键区域，项目作为“海”向生态修复工程，通过多举并施的方法，改善三亚市的海洋生态环境，助力三亚打造宜居宜业生态城市，为三亚经济圈建设提供良好生态本底。珊瑚礁对环境和人类活动敏感，近三十年全球珊瑚礁破坏加剧，我国也不例外。调查数据显示，项目区珊瑚礁生物资源出现退化，表明珊瑚礁处于受损退化状态。针对三亚湾珊瑚礁退化严重亟需修复、渔业资源衰竭的问题，开展三亚湾海洋生态修复项目，从珊瑚礁修复、渔业资源恢复等多角度出发，通过多举并施的方法，改善三亚湾海洋生态环境，打造成生态环境优良、人海和谐共处、开发利用活动协调有序的生态、生活、生产“三生”共融的蓝色海湾。

2022年5月10日，由中交天津港湾工程设计院有限公司编制的《三亚湾海洋生态修复工程可行性研究》获得重新批复。项目分为两个阶段实施，第一阶段为《三亚湾海洋生态修复工程项目（凤凰岛及附近海域）》，初步设计及施工图由上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司进行编制，目前已施工完成。第二阶段为《三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）》，初步设计（2023年6月）及施工图（2023年9月）同样由上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司进行编制，目前已施工完成。

然而在第二阶段的设计调查过程中发现珊瑚移植区和人工鱼礁区与其他项目存在冲突和覆盖率等问题，因此第二阶段的最终设计与工可中内容存在冲突，第二阶段实际实施内容为304.5公顷的渔业资源修复工程，其中珊瑚礁修复等内容均取消实施。

2023年9月，海南省财政厅、海南省自然资源和规划厅、海南省生态环境厅印发了《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023-2025年）绩效目标表和项目信息表》及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施方案（2023—2025年）》，将《三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）》列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，并重新制定绩效目标及项目名称，项目名称更新为《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目》，总体绩效目标（2023—2024年）分为产出指标和满意度指标，其中产出指标中数量指标为生态保护修复总面积707.27hm<sup>2</sup>，珊瑚礁修复面积1.6hm<sup>2</sup>，珊瑚礁生境保育面积5.67hm<sup>2</sup>，栖息地修复面积700hm<sup>2</sup>，珊瑚礁株数32000株。

2024 年 11 月，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司编制完成《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目总体设计》，并于 2024 年 12 月 24 日完成海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程工作专班办公室的备案（琼自然资函〔2024〕1675 号）。因施工完成的三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）仅包含 304.5 hm<sup>2</sup> 的栖息地修复，因此对于剩下的指标需要进行调整指标、重新选址设计。设计过程中，本项目名称调整为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）。

表 1.1-1 海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023-2025 年）绩效目标表

项目考核指标		可实施范围指标
珊瑚礁修复面积（hm <sup>2</sup> ）	1.6	1.6
珊瑚礁生境保育面积（hm <sup>2</sup> ）	5.67	6
栖息地修复面积（hm <sup>2</sup> ）	700	304.5+400=704.5 其中 304.5 hm <sup>2</sup> 已由三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）实施完成
修复总面积（hm <sup>2</sup> ）	707.27	712.1
珊瑚礁株数（株）	32000	32000（考虑存活率 0.65，共种植 49230 株）

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）的主要建设内容包括珊瑚礁修复工程、栖息地修复工程和珊瑚保育工程。其中：（1）珊瑚礁修复工程：西岛珊瑚礁修复区选择在西岛东侧，珊瑚礁修复面积 1.6 公顷，种植珊瑚数量 32000 株。考虑珊瑚苗种移植存活率 0.65 的情况下，共 49230 株。造礁石珊瑚的修复方法主要是采用苗圃将珊瑚培育成枝状长度 8-15cm 或块状直径 8cm 左右的可移植的珊瑚株，然后迁移到底播区域。其中采用人工珊瑚增殖礁 750 个。（2）栖息地修复工程：在三亚深水区海洋牧场工程的 400 公顷范围设置一块人工鱼礁区，在鱼礁区内规划 5 个鱼礁群，投放人工鱼礁 80352 空方、新建浮标 4 个，标识牌 1 个、深水海洋牧场人工智能监测系统 1 套等。增殖放流：根据三亚湾生态特点，选择鲷科类、石斑鱼类共计 2180000 尾等岩礁性鱼类等进行分阶段放流。（3）珊瑚保育工程：珊瑚保育区域暂选鹿回头海域，保育面积范围约 6 公顷，包括敌害生物清理、珊瑚苗床制作及安装、珊瑚移植原位修复等。本报告仅针对珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区用海和珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海进行海域论证。

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）分为一期和二期开展，一期的主要建设内容为栖息地修复工程，栖息地修复工程论证报告已于 2025 年 8 月 22 日

通过评审，目前正在报批阶段；二期主要建设内容为珊瑚礁修复工程和珊瑚保育工程，为本报告论证内容。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》和《海南省实施〈中华人民共和国海域使用管理法〉办法》的规定，项目用海需进行海域使用论证，项目建设方三亚环通工程管理有限公司委托海南正永生态工程技术有限公司（以下简称“我司”）开展本项目海域使用论证工作。我司接受委托后，在根据业主单位提供的相关资料，并在工程附近海域现场调查的基础上，充分收集了项目附近海域的开发利用现状、相关规划等资料，按照《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）及有关规范，编制完成《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期海域使用论证报告书》。

## 1.2 论证依据

### 1.2.1 国家法律、法规和规范性文件

（1）《中华人民共和国海域使用管理法》（第九届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议，自 2002 年 1 月 1 日起施行）；

（2）《中华人民共和国环境保护法》（全国人民代表大会常务委员会，2016 年 11 月 7 日修订通过，2016 年 11 月 7 日起施行）；

（3）《中华人民共和国海上交通安全法》（中华人民共和国第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议修订，2021 年 9 月 1 日起施行）；

（4）《中华人民共和国海洋环境保护法》（2023 年 10 月 24 日第十四届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第二次修订，2024 年 1 月 1 日起施行）；

（5）《中华人民共和国渔业法》（2013 年 12 月 28 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第四次修正，自 2014 年 3 月 1 日起施行）；

（6）《中华人民共和国港口法》（2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第三次修正）；

（7）《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（2018 年 3 月 19 日第三次修订）；

（8）《中华人民共和国防治船舶污染海洋环境管理条例》（2018 年 3 月 19 日《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》（国务院令 第 676 号）第六次修订）；

（9）《建设项目环境保护管理条例》（国务院，2017 年 10 月 1 日起施行）；

（10）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议修订，2020年9月1日起施行）；

（11）《中华人民共和国海域使用管理法》（2001年10月27日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过，2002年1月1日起施行）；

（12）《中华人民共和国安全生产法》（2014年8月31日第十二届全国人民代表大会常务委员会第十次会议第二次修正）；

（13）《中华人民共和国自然保护区条例》（2017年10月7日，第687号中华人民共和国国务院令第二次修订）；

（14）《中华人民共和国海岛保护法》（中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议于2009年12月26日通过，自2010年3月1日起施行）；

（15）《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令2023第7号，2024年1月1日实施）；

（16）《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》（自然规〔2021〕1号）。

### 1.2.2 地方法律、法规和规范性文件

（1）《海南省环境保护条例》（2017年11月30日海南省第五届人民代表大会常务委员会第三十三次会议第四次修正，2018年1月1日起施行）；

（2）《海南省海洋环境保护规定修正案（二）》（海南省人民代表大会常务委员会，2017年11月30日修订，2018年6月12日起施行）；

（3）《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》（海南省人民代表大会常务委员会，2017年1月1日起施行）；

（4）《海南省自然保护区条例》（2022年5月31日海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议第二次修正）；

（5）《海南省海洋主体功能区规划》（海南省人民政府，2013年）；

（6）《海南省实施〈中华人民共和国海域使用管理法〉办法》（2025年4月1日海南省第七届人民代表大会常务委员会第十七次会议修订通过，自2025年5月1日起施行）；

（7）《海南省生态保护红线管理规定》（2022年5月31日，海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议通过修订）

（8）《海南省实施〈中华人民共和国渔业法〉办法》（海南省人民代表大会常务委员会，2015 年 7 月 31 日海南省第五届人民代表大会常务委员会第十六次会议第二次修订）；

（9）《海南省海域使用权审批出让管理办法》（海南省人民政府，琼府〔2022〕41 号，2022 年 11 月 16 日实施）；

（10）《海南省国土空间规划（2021—2035 年）》（国函〔2023〕97 号）；

（11）《三亚市国土空间规划（2021—2035 年）》（琼府函〔2023〕188 号）；

（12）《海南省海岸带及海洋空间规划（2021—2035 年）》，海南省自然资源与规划厅，2025 年 4 月。

### 1.2.3 标准规范

（1）《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）；

（2）《海域使用分类》（HY/T123-2009）；

（3）《海籍调查规范》（HY/T124-2009）；

（4）《海域使用面积测量规范》（HY 070-2022）；

（5）《海洋观测规范 第 2 部分：海滨观测》（GB/T 14914.2-2019）；

（6）《海洋监测规范》（GB17378-2007）；

（7）《海洋调查规范》（GB12763-2007）；

（8）《海水水质标准》（GB3097-1997）；

（9）《海洋生物质量》（GB18421-200）；

（10）《渔业水质标准》（GB11607-1989）；

（11）《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；

（12）《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）；

（13）《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）；

（14）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）；

（15）《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（国家海洋局，自 2002 年 4 月 1 日起施行）；

（16）《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018，环境保护部，自 2018 年 7 月 1 日起施行）；



（17）《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T 231-2021，交通运输部，自 2021 年 7 月 1 日起施行）；

（18）《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442.1-2020，生态环境部，自 2021 年 3 月 1 日起施行）

（19）《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资源部，自 2023 年 11 月起试行）；

（20）《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018，环境保护部，自 2019 年 3 月 1 日起施行）；

（21）《宗海图编绘技术规范》（HY/T251-2018，自然资源部，自 2018 年 11 月 1 日起施行）。

### 1.2.4 项目技术资料

（1）项目建设单位的委托书；

（2）《三亚湾海洋生态保护修复工程工程可行性研究报告（报批稿）》，中交天津港湾工程设计院有限公司，2021 年 10 月；

（3）《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）初步设计报告（报批稿）》，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，2025 年 3 月；

（4）《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）施工图报告》，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，2025 年 3 月；

（5）《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）测量地形图电子版》，三亚市水利水电勘测设计院有限公司，2024 年 12 月；

（6）《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目岩土工程勘察报告（施工图勘察）》，三亚市水利水电勘测设计院有限公司，2024 年 11 月；

（7）《三亚市南边海国际游艇码头项目（秋季）海洋环境调查水文观测报告》，海南正永生态工程技术有限公司，2021 年 1 月；

（8）《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复第二部分海洋环境现状调查报告》，海南正永生态工程技术有限公司，2024 年 7 月；

（9）《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复二期鱼礁区本底调查报告》，海南正永生态工程技术有限公司，2025 年 1 月；

(10)《三亚湾海洋生态修复工程三亚湾海域珊瑚礁本底调查报告》，海南正永生态工程技术有限公司，2023 年 9 月；

(11) 项目建设单位提供的其他资料。

## 1.3 论证等级和范围

### 1.3.1 论证等级

项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）的二期工程，其中珊瑚礁修复区选址于西岛东侧海域，共投放人工珊瑚增殖礁 750 个，确定项目珊瑚礁修复区透水构筑物用海面积为 1.6000 公顷；项目珊瑚苗圃培育区位于鹿回头近岸海域，用海内容为珊瑚苗床布设，确定珊瑚苗圃培育区用海面积 0.4672 公顷。根据设计方案，项目拟投放的珊瑚增殖礁为镂空混凝土结构、珊瑚苗床为镂空不锈钢框架结构，均位于海域下层，珊瑚增殖礁和珊瑚苗床对水流变化影响较小，为透水构筑物。

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）中论证等级判定表，项目珊瑚礁修复区、珊瑚苗圃培育区按照构筑物（一级用海方式）中的人工鱼礁（二级用海方式）进行等级判定，确定项目用海论证等级为二级。因此，本项目海域使用论证等级为二级（表 1.3.1-1）。

表 1.3.1-1 海域使用论证等级判据

一级用海方式	二级用海方式	本项目用海规模	论证等级判据			确定项目论证等级
			用海规模	所在海域特征	论证等级	
构筑物	人工鱼礁	珊瑚礁修复区投放珊瑚增殖礁用海面积总计 1.6000 公顷；珊瑚苗圃培育区用海面积总计 0.4672 公顷	用海面积大于（含）50ha	所有海域	一	二
			用海面积小于 50ha	所有海域	二	
最终确定等级						二

### 1.3.2 论证范围

按照导则要求，二级论证项目的论证范围应以项目用海外缘线为起点进行划定，向外扩展不小于 8km。

本项目论证范围界定为：以项目珊瑚礁修复工程用海外边缘为界，向西、南各外扩

8km，向东、北至海岸线，论证范围内海域面积约 288.24km<sup>2</sup>。论证范围见图 1.3.2-1。

## 1.4 论证重点

根据项目用海类型和所在海域特征，对照《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）中表 C.1 海域使用论证重点参照表，同时考虑本项目特殊用海的特殊性，确定本项目论证重点为：

- （1）选址合理性；
- （2）用海面积合理性分析；
- （3）海域开发利用协调分析；
- （4）项目用海对海域资源环境的影响分析。



图 1.3.2-1 项目论证范围图

## 2 项目用海基本情况

### 2.1 用海项目建设内容

(1) 项目名称：三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期

(2) 项目性质：新建

(3) 建设单位：三亚环通工程管理有限公司

(4) 地理位置：项目珊瑚礁修复区位于西岛东侧海域，珊瑚苗圃培育区位于鹿回头近岸海域。项目地理位置见图 2.1-1。



图 2.1-1 项目地理位置图

#### (5) 项目建设内容与规模

① 珊瑚礁修复工程：珊瑚礁修复区选择在西岛东侧海域，珊瑚礁修复面积 1.6 公顷，种植珊瑚数量 32000 株。考虑珊瑚苗种移植存活率 0.65 的情况下，共 49230 株。造礁石珊瑚的修复方法主要是采用苗圃将珊瑚培育成枝状长度 8-15cm 或块状直径 8cm 左右的可移植的珊瑚株，然后迁移到底播区域。其中采用人工珊瑚增殖礁 750 个。

② 珊瑚保育工程：珊瑚保育区域位于鹿回头近岸海域，面积范围约 6 公顷，工程内容包括敌害生物清理、珊瑚苗床制作及安装、珊瑚移植原位修复等；其中珊瑚苗床海底布置需申请海域，确定珊瑚苗圃培育区用海面积 0.4672 公顷，

(6) 项目总投资：工程概算总投资为 7024.10 万元，其中建筑工程费为 5161.96 万

元，工程建设其他费用 1539.12 万元（含建设临时用地费 240.62 万元），预备费为 323.02 万元。资金来源为政府投资。

## 2.2 平面布置和主要结构、尺度

### 2.2.1 项目平面布置

本项目建设紧紧围绕三亚湾珊瑚礁生态系统的保护和修复，针对三亚湾珊瑚礁生态系统存在的问题和薄弱环节，开展相关修复工程，以整体提升三亚湾的海洋生态功能，促进人与自然的和谐发展，故不进行平面方案比选。

西岛位于三亚珊瑚礁国家级自然保护区的东西瑁洲片区，是三亚市活的造礁石珊瑚覆盖率最高的区域，珊瑚礁的存在可以衍生繁育海绵贝类、虾蟹、海葵、水母、海藻、鱼类等，其中海绵为玳瑁的主要食物，因此珊瑚礁区域也是玳瑁的觅食繁衍场所。

由于近期的人为大力开发和旅游业蓬勃发展，加上风暴潮、海洋动力等自然作用对岸滩造成的冲击侵蚀作用，导致该区域珊瑚礁存在退化现象，不利于整个西瑁洲岛的健康生态发展，需要对该区域进行珊瑚礁生态修复。

根据《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》中关于本项目珊瑚礁修复工程的绩效指标等要求，结合《三亚湾海洋生态修复工程三亚湾海域珊瑚礁本底调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2023 年 9 月）中的本底调查资料及测量资料，选取 1.6 公顷进行珊瑚礁修复，计划种植珊瑚数量 32000 株。考虑存活率 0.65，共种植 49230 株。造礁石珊瑚的修复方法主要是采用苗圃将珊瑚培育成枝状长度 8-15cm 或块状直径 8cm 左右的可移植的珊瑚株，然后迁移到底播区域。其中投放人工珊瑚增殖礁 750 个，投方量约为 597 空方。

珊瑚礁修复工程投放珊瑚增殖礁礁体类型分为蜂巢型珊瑚礁，链条式珊瑚礁，3D 仿生珊瑚礁，根据投放珊瑚增殖礁类型在项目用海区设置 3 个珊瑚礁群，每个珊瑚礁群共投放 5 组珊瑚增殖礁单位珊瑚礁，每组 50 个珊瑚礁，每个珊瑚礁群总计投放 250 个珊瑚礁。

珊瑚礁修复工程总平面图见图 2.2.1-1，珊瑚增殖礁礁群布置图见图 2.2.1-2，珊瑚增殖礁单位礁体布置图见图 2.2.1-3。

根据《三亚湾海洋生态修复工程三亚湾海域珊瑚礁本底调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2023 年 9 月）的调查结果，鹿回头海域 16 至 35 号站位硬质底质

（礁石和活珊瑚之和）覆盖度在 16.2%~93.4%之间，软质底质覆盖度在 6.6%~83.8%之间，珊瑚覆盖度在 5.60%~91.00%之间，大型海藻覆盖度在 0.00%~52.20%之间，鹿回头海域珊瑚覆盖度<10%的站位为 29、30、31 站位，活珊瑚占硬质底质比例较高，珊瑚礁生长状况良好，软质底质占比海域很高，不适宜珊瑚移植，但适宜在软质底质中建设珊瑚苗圃，因此在鹿回头近岸海域进行珊瑚保育，面积约 6 公顷，满足绩效要求 5.67 公顷，建设内容包括敌害生物清理、珊瑚苗床制作及安装、珊瑚移植原位修复等。用海内容主要为珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床布置用海，用海面积 0.4672 公顷。珊瑚保育工程区域平面图见图 2.2.1-4。



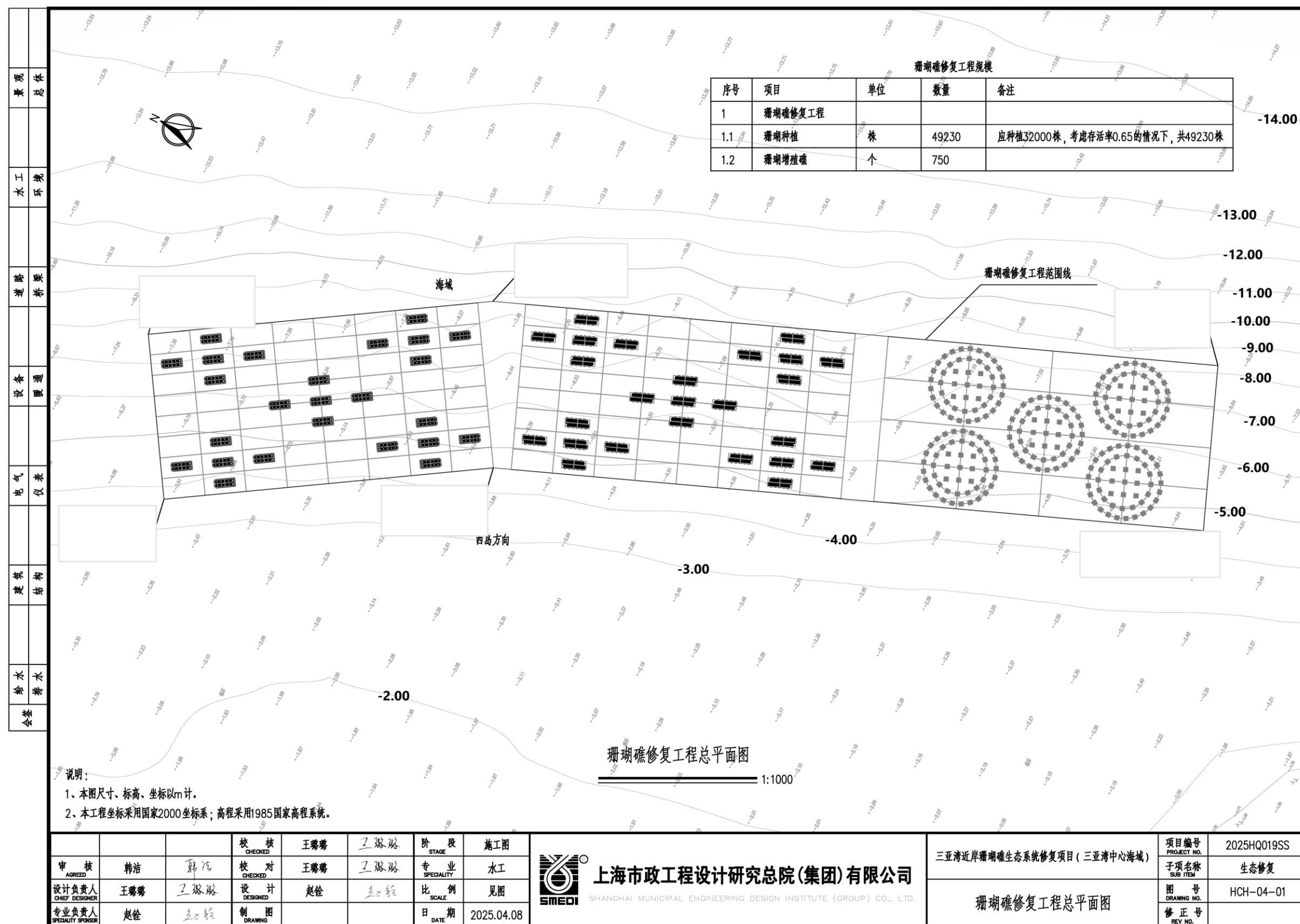
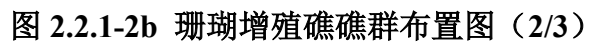


图 2.2.1-1 珊瑚礁修复工程总平面布置图







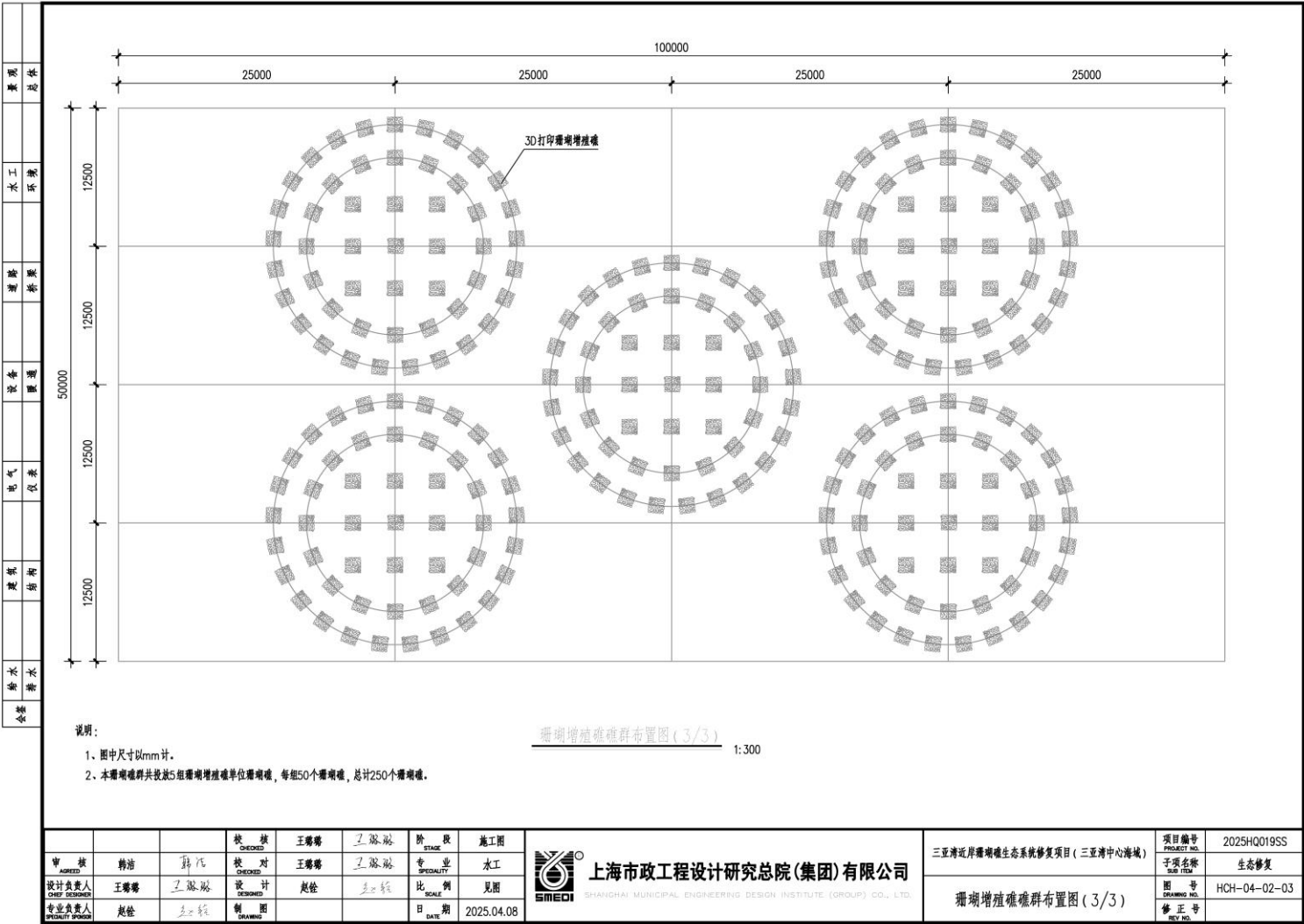
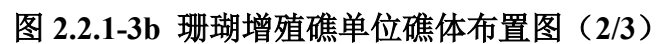
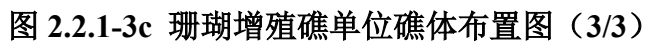


图 2.2.1-2c 珊瑚增殖礁礁群布置图（3/3）







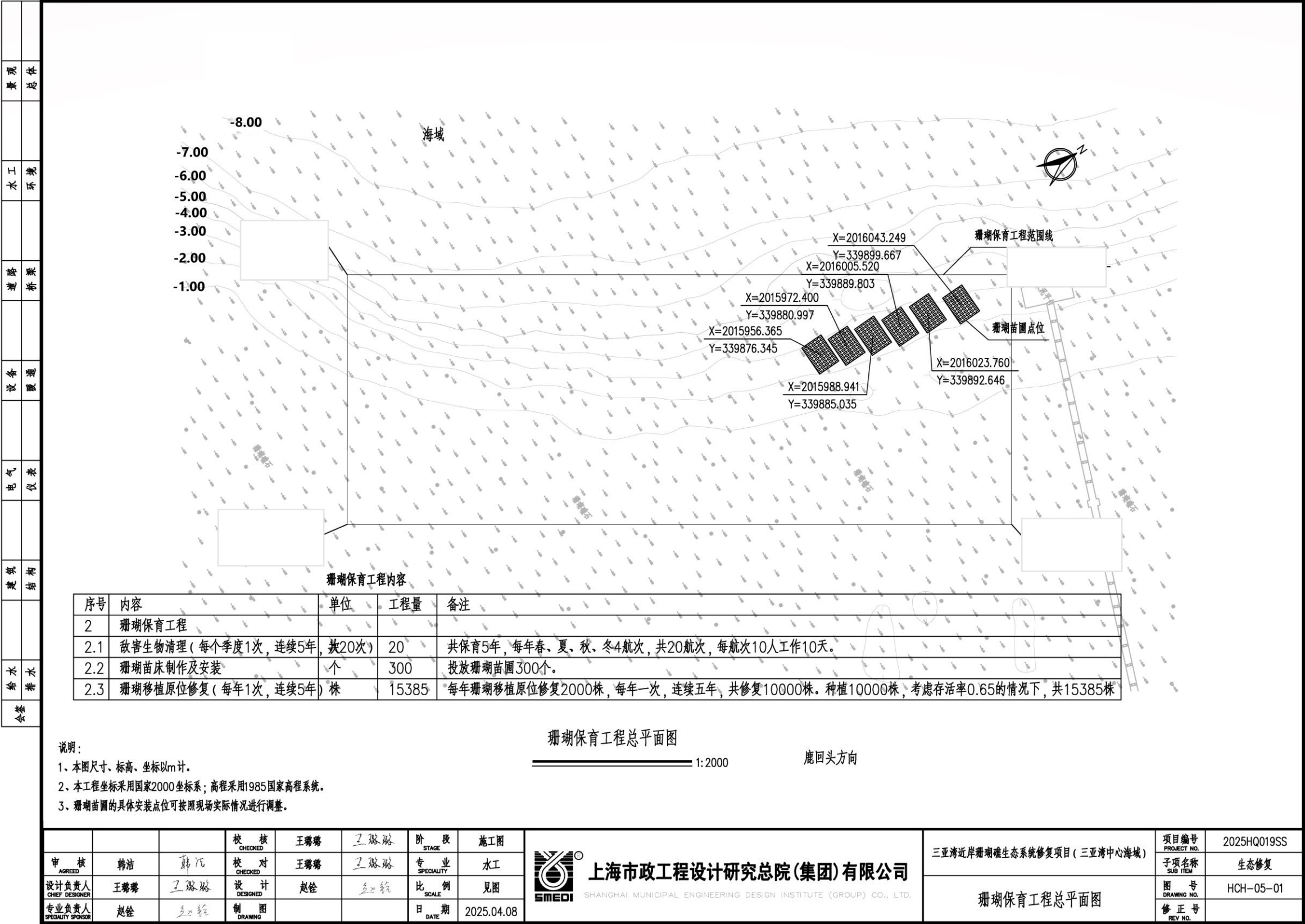


图 2.2.1-4 珊瑚保育工程总平面图





2.2.2 主要结构及尺度

2.2.2.1 珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁结构及尺度

项目选取组合人工礁体作为珊瑚移植礁。其优势在于礁体高度接近 0.8m，能够有效减少沉积物和泥沙对珊瑚的影响。礁体内部空间大，有利于鱼类和无脊椎动物聚集，实现鱼礁的作用。礁体之间通过组合相互连接，增强礁体稳固性和抗浪性。礁体顶部适合珊瑚移植，珊瑚接受的光照和水流更符合其生长需求。

礁体采用拼接凸起与拼接槽相互咬合构成组合。每 20 块礁体可为一组进行拼接，形成两排。可确保前后左右均有礁体衔接，避免错位和移动。

礁体类型分为蜂巢型珊瑚礁，链条式珊瑚礁，3D 仿生珊瑚礁。

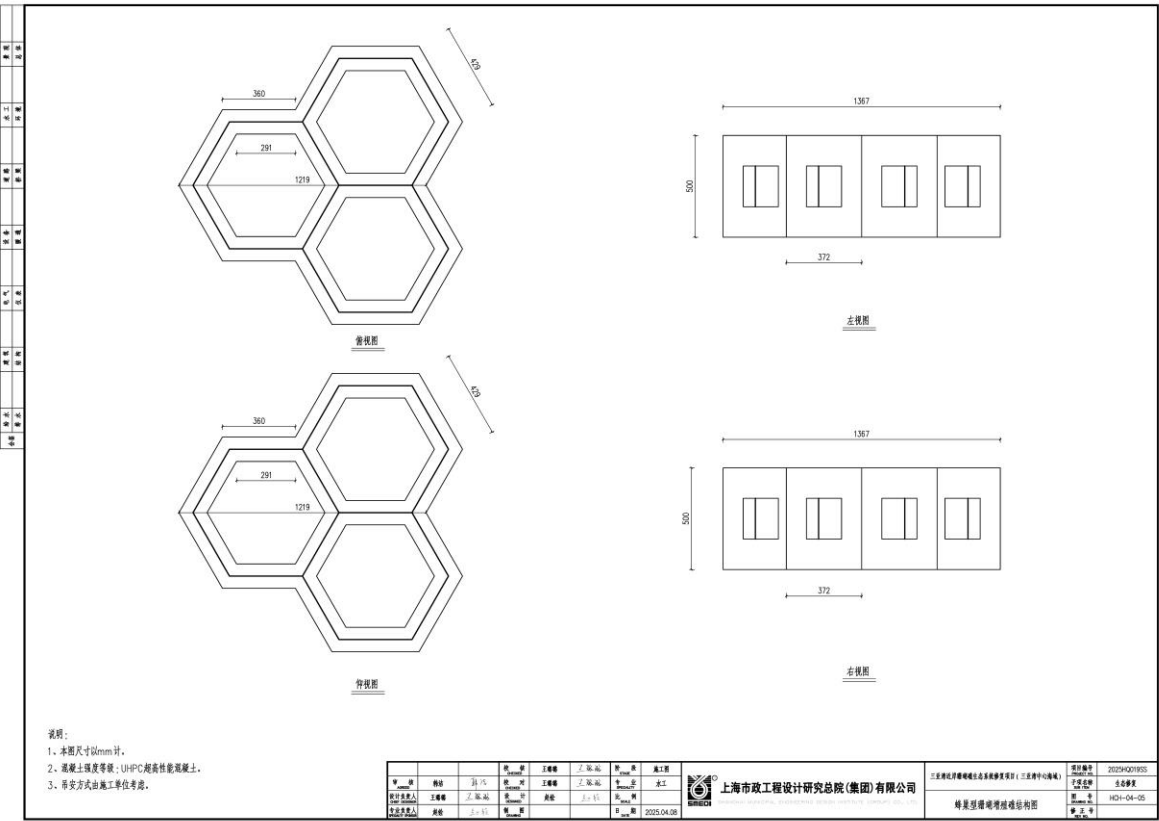


图 2.2.2-1 蜂巢型珊瑚增殖礁结构图

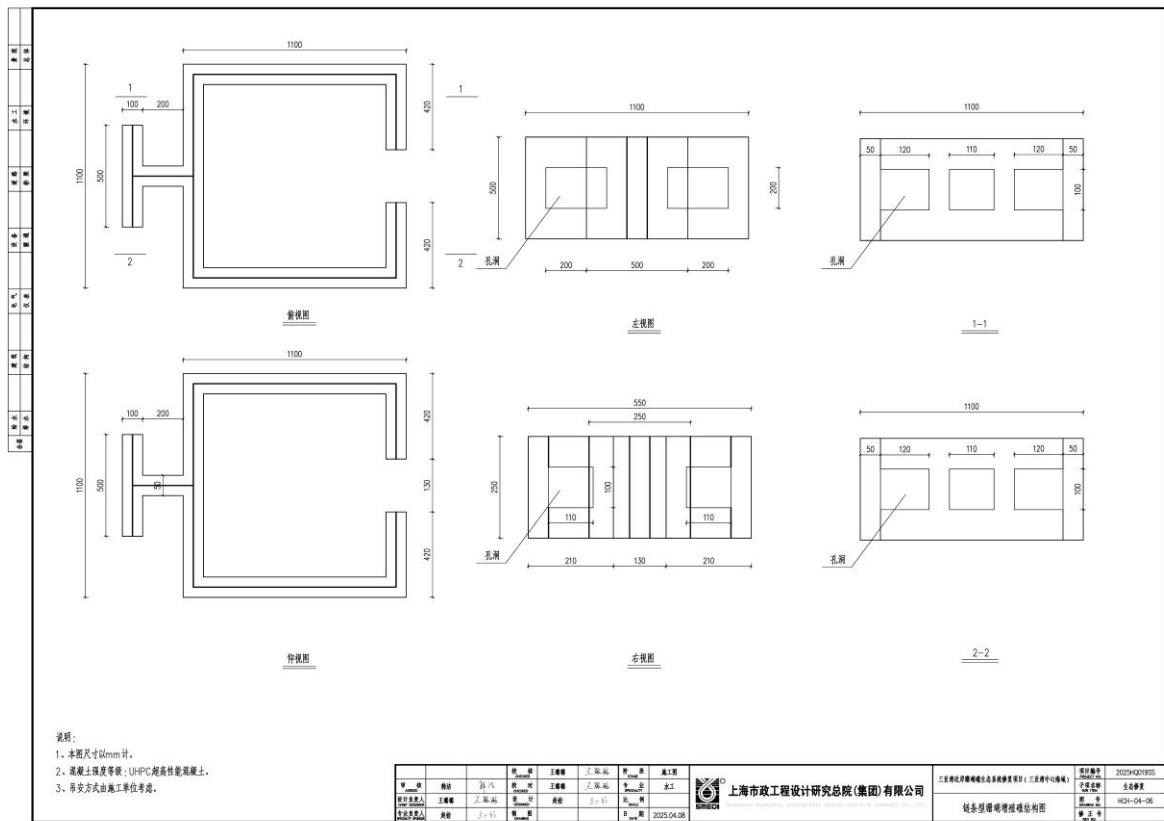


图 2.2.2-2 链条型珊瑚增殖礁结构图

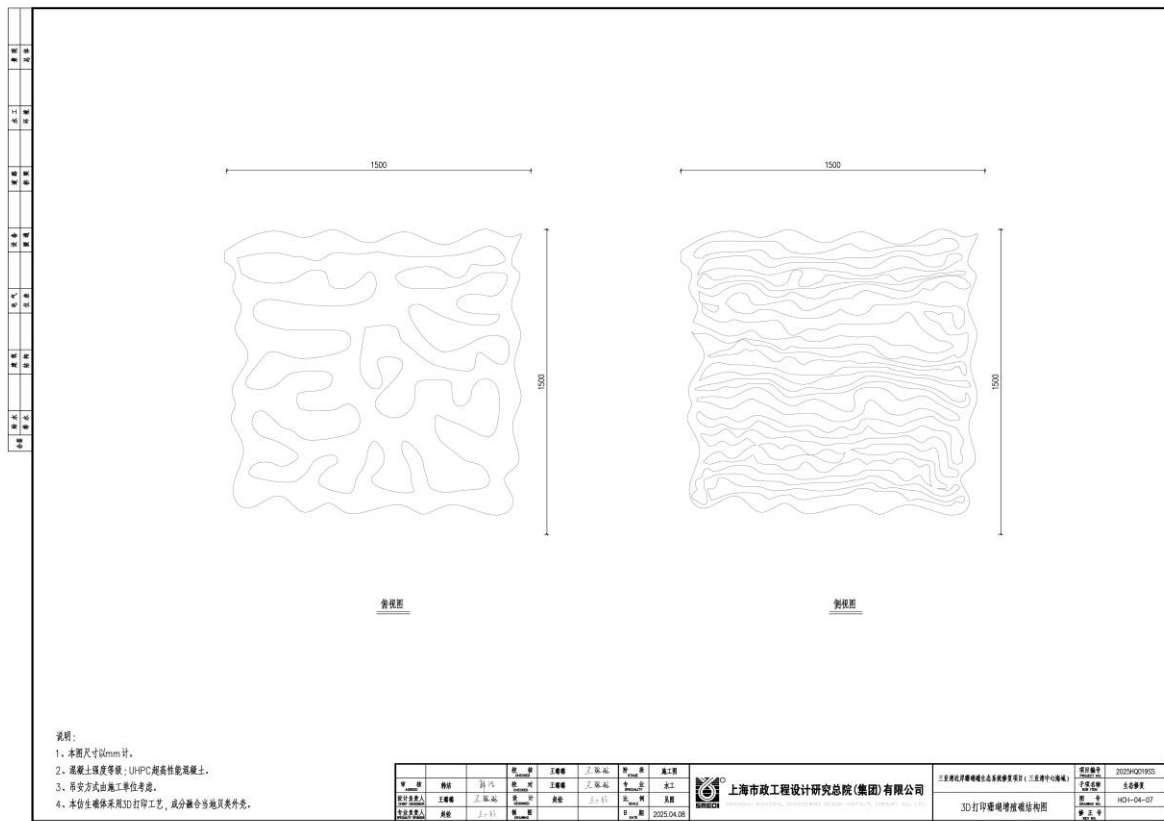


图 2.2.2-3 3D 打印珊瑚增殖礁结构图



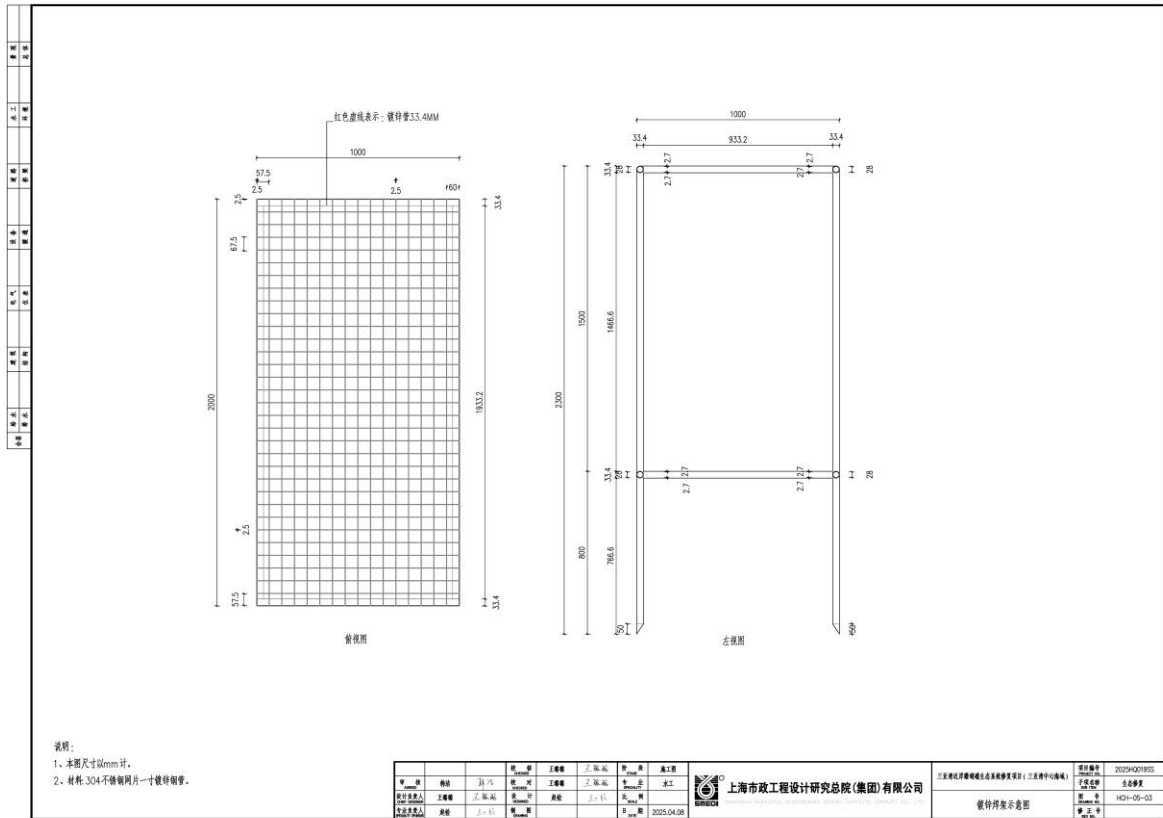


图 2.2.2-5 镀锌焊架示意图

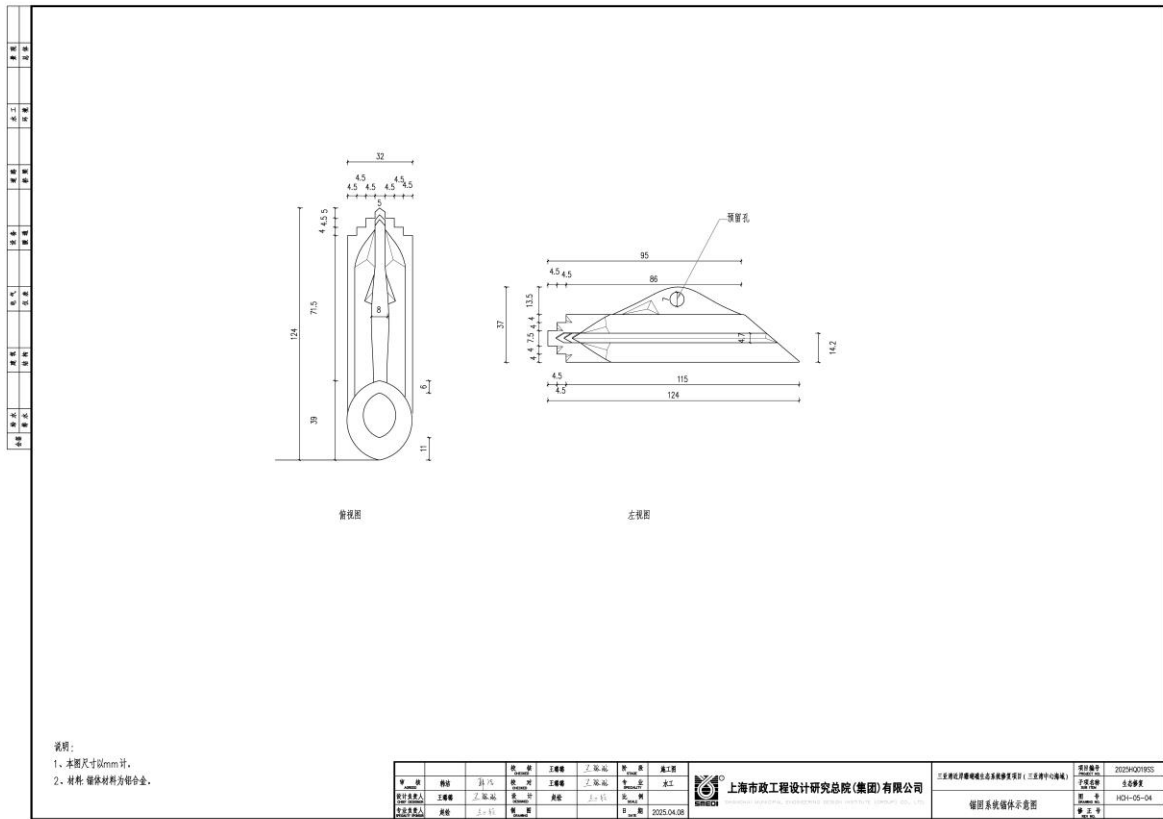


图 2.2.2-6 锚固系统锚体示意图



图 2.2.2-7 不锈钢苗床示意图

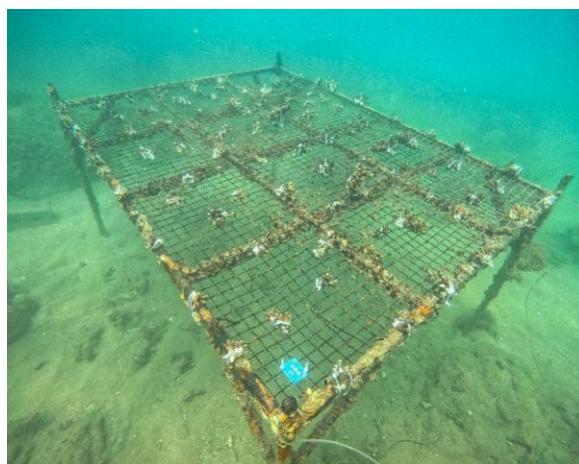


图 2.2.2-8 不锈钢苗床培育效果图

## 2.3 项目主要施工工艺和方法

### 2.3.1 施工条件

#### （1）交通条件

施工水域较为开阔，水上施工的水域面积较大，各类施工船舶干扰较少，有利于开展多个作业面。因此，项目建设依托交通条件十分理想。

#### （2）外部协作条件

##### ① 水电条件

供电根据当地公共供电系统情况，通过业主提供的供电接点接入；供水在本工程施工期间可依托当前供水设施。

##### ② 通信条件

本工程后方市政基础设施比较完善，有线和无线通信条件良好，移动通信已经覆盖整个地区。本工程所需要的有线电话可以通过室外通信电缆或者光缆从港区外接引。

### ③ 场地条件

本项目不在沿岸新建靠泊码头。施工期间利用红塘湾莲花岛码头进行珊瑚增殖礁、珊瑚苗床的运输。出运码头位于红塘湾莲花岛北侧，珊瑚增殖礁、珊瑚苗床均为外购，该码头可作为珊瑚增殖礁、珊瑚苗床出运码头以及海上施工人员上、下船位置，临时出运码头距离珊瑚礁修复区域的运距为 20km，距离珊瑚保育区的运距为 36km。码头后方设施工营地，

### （3）建设材料

珊瑚增殖礁、珊瑚苗床可在当地就近采购，根据施工进度计划及材料使用计划分批陆运到出运码头。

### （4）施工能力

本工程的水工结构方案设计施工均很成熟，华南地区建设施工力量较强，有多家专业施工单位，承担过很多水工项目的施工服务，施工能力强、水上施工经验丰富，因此完全有能力承接本工程的施工任务。

## 2.3.2 主要项目施工工艺及方法

### 2.3.2.1 施工流程

珊瑚礁本底调查→珊瑚苗种培育→苗圃培育→预制混凝土礁体→投放准备工作→礁体装运→礁体投放→海底原位珊瑚苗种补种、人工礁体珊瑚苗种移植→海上浮标建造和投放→竣工验收

### 2.3.2.2 施工方法

#### 1、珊瑚种苗合法来源

珊瑚礁生态修复所需移植造礁石珊瑚来源必须合法合规，应来自于合法采集或培育的造礁石珊瑚个体，实施单位应提供相关的合法证明材料。特别强调：造礁石珊瑚为国家二级保护动物，用于该项目的造礁石珊瑚来源必须合法合规，因此为本项目提供造礁石珊瑚种苗来源的单位必须具备水生野生动物特许捕捉证（石珊瑚）和水生野生动物人工繁育许可证（石珊瑚），提供的种类需与农业农村厅批准的水生野生动物特许捕捉证（石珊瑚）批准的珊瑚物种一致。

论证报告要求造礁石珊瑚来源必须合法合规，珊瑚苗种服务方应保证珊瑚苗种的合法性、种类及数量要求。

珊瑚种苗可先在珊瑚苗圃培育区进行培育，珊瑚苗圃建设首先投放珊瑚苗床，利用少量的珊瑚母体拆分成多个珊瑚断枝；将各个断枝培育于建设好的苗圃中，进行珊瑚礁培育；待珊瑚礁断枝培育成枝状长度 8-15cm 或块状直径 8cm 左右的珊瑚个体后再拆分进行珊瑚底播移植。

项目珊瑚种苗由三亚珊瑚礁生态研究所、三亚热带海洋学院负责提供，初步统计约有 48000 株种苗。

## 2、珊瑚种类筛选

造礁石珊瑚种类的选择首先考虑的应当是该区域的造礁石珊瑚优势种，因为优势种对该环境较为适应，并且构成了造礁石珊瑚群落的主要组成部分，所以选择优势种才能保证用于修复的造礁石珊瑚能够在修复区的环境中正常生存，促进珊瑚礁的造礁石珊瑚种群恢复正常。

其次在沉积物与污染物较多的环境中，应选择对环境限制因子耐受性较高的常见种。例如角孔珊瑚或蜂巢珊瑚等沉积物耐受性强的种类，而不应选择一些耐受性相对较差的鹿角珊瑚种类。而在台风破坏作为主要影响因子的情况下，应当选择如杯形珊瑚或块状的滨珊瑚作为修复种类，减少被海浪破坏的概率。

此外，在非环境胁迫造成的珊瑚礁退化状况下（例如船只搁浅、海水升温或长棘海星暴发造成的退化），可以选取能够快速生长的优势造礁石珊瑚种类用于修复，其中多以鹿角珊瑚、蔷薇珊瑚、杯型珊瑚等为主。它们能够快速增加造礁石珊瑚数量，提高珊瑚覆盖率。值得注意的是，在选择主要的修复种类的同时也要选取一些其他的珊瑚种类用于修复，避免修复后的珊瑚礁生态系统种类构成单一、抗逆性差，容易在疾病或环境胁迫下迅速退化。

鹿角珊瑚是热带珊瑚礁的最具代表性的群体，生长成分支状，有利于形成结构复杂的三维结构，并且生长速度较快，为各种生物提供栖息地等生态功能。

具体的造礁石珊瑚备选种类选择，首先选择的种类都是三亚湾海域的常见种；另外从生态功能恢复及显效速度来考虑则选择生长快速鹿角珊瑚属为主，同时为了增加多样性，辅以选择一些块状珊瑚和其他珊瑚。包括风信子鹿角珊瑚（*Acropora hyacinthus*）、美丽鹿角珊瑚（*Acropora muricata*）、中间鹿角珊瑚（*Acropora intermedia*）、指状蔷薇珊瑚（*Montipora digitata*）杨氏鹿角珊瑚（*Acropora yongei*）、盘枝鹿角珊瑚（*Acropora latistella*）、二叉鹿角珊瑚（*Acropora divaricata*）、佳丽鹿角珊瑚（*Acropora pulchra*）、细

枝鹿角珊瑚（*Acropora nana*）、澄黄滨珊瑚（*Porites lutea*）、十字牡丹珊瑚（*Pavona decussata*）、柱角孔珊瑚（*Goniopora columna*）、腐蚀刺柄珊瑚（*Hydnophora exesa*）、美龙氏盘星珊瑚（*Dipsastraea veroni*）、肉质扁脑珊瑚（*Platygyra carnosus*）、截顶蔷薇珊瑚（*Montipora truncata*）、秘密角蜂巢珊瑚（*Favites abdita*）。

珊瑚种类优先采用周边海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区内的现有种类，本项目的珊瑚种源应进行基因分析，供应的同种珊瑚应有 5 个或以上的母株来源，避免修复后期生态功能衰退。

### 3、珊瑚运输工艺

珊瑚移植过程中，首先要在不同的地点采集所需移植的珊瑚。同时珊瑚母体在珊瑚作业船上用凿子造成所需大小的珊瑚断枝，并放入浸泡在海水中的塑料筐中。对于在珊瑚迁出点采挖出来的较小个体珊瑚，将珊瑚采集后，在水下直接装入篮子中，集中放置到一起，最后统一搬运上活水船。

一筐珊瑚中只装同一种珊瑚，避免珊瑚不同种类间相互竞争。搬上运输船只时，搬运要迅速，减少珊瑚离水时间。由于三亚夏季气温在 30℃ 以上，空气干燥，珊瑚长时间离水可能造成珊瑚不适或死亡，因此需要考虑运输过程中尽量避免珊瑚离开海水。因此，迁出珊瑚的运输应采用带有活水舱的渔船，可以保证运输过程中珊瑚不离开海水，能够提高珊瑚的存活率，减少迁出过程中因运输造成的死亡。活水舱船只选择 50t 以上的，活水舱可以达到 3~4m<sup>3</sup>，可以一次运输较多的珊瑚个体。

活水舱内可以根据舱体的情况，搭建数层支架，能够叠放多层珊瑚个体，同时支架支撑能够避免珊瑚个体相互挤压、碰撞，保证珊瑚的完整性。放置珊瑚时应逐一将珊瑚放入活水舱中，并摆放平整。避免直接将整筐珊瑚倾倒入活水舱内，会破坏珊瑚个体，造成珊瑚堆叠。

船只应选择天气较好、海浪平静的时间运输珊瑚，避免因海浪影响，造成船只摇摆，活水舱内的珊瑚相互碰撞、堆叠。运输时间过程中，需要每一个小时观察活水舱内珊瑚状况一次，确保珊瑚状况正常。

将培育的珊瑚移植至西岛珊瑚礁修复区，种植的珊瑚易于适应环境并可得到保护。





图 2.3.2-1 运输船图片

#### 4、珊瑚礁底播移植

运输船只抵达珊瑚移入地后，将活水舱内珊瑚取出，并重新放入篮筐内搬运至移入地海区水底。根据整备时的珊瑚方案，将各种类珊瑚分类分批放置到划分好的相应区域。

块状珊瑚、表覆状珊瑚以及叶状珊瑚个体可直接放置在珊瑚礁上，无需特别固定，但注意避免放置到泥沙或沙底上，以免被沙子和悬浮物覆盖。

根据造礁石珊瑚待修复区的前期调查发现，西岛东侧修复区海域均以礁石和沙质底质为主。礁石底质可采用珊瑚底播移植方式进行修复，沙质底质需要利用人工礁体作为珊瑚移植基底，在其上移植珊瑚，避免泥沙掩埋珊瑚。

#### 5、珊瑚底播移植

在三亚湾环境下，台风和海浪对海域影响严重，因此在西岛移植珊瑚需要考虑采用能够抵御海浪影响的底播移植技术。所以能够在三亚湾应用的方法为移植钉固定、粘合剂固定和人工礁体移植。

分枝状珊瑚适合采用移植钉与人工礁体方法移植，而块状、表覆型珊瑚则适合采用粘合剂固定在自然礁石上或人工礁体表面。

在大块的珊瑚礁石和硬质珊瑚礁底质上捆绑固定移植珊瑚的方法可采用 η 钉移植法。利用两根钉脚间的凹槽避免珊瑚上下移动，同时由于钉体同珊瑚间有多个接触点，珊瑚组织可更快地向钉体上攀附生长，加快珊瑚表面积的增加，更有利于珊瑚生长。

用于珊瑚移植固定的移植钉为长度 8~15cm、具有长短脚的 η 形钉，两脚间相距 0.6~2cm。其中一脚长，为主要固定脚，用于插入塑料膨胀胶粒中，起到稳固移植钉、防止移植钉脱落多大作用。另一脚稍短，为辅助脚，其尖头部分敲入珊瑚礁中，起到防止移植钉旋转的作用。移植钉体两脚上具有突起的小刺或锯齿，用于稳固珊瑚，防止滑动。移植钉脚的外侧具有凹槽，可用于固定捆绑珊瑚的扎带，防止扎带滑动，造成珊瑚移动或松脱。

移植珊瑚前，先使用带钻头的水下气钻或电钻在珊瑚礁底质上钻出适合大小的小洞，并将塑料胶粒放入小洞。小洞的直径应比塑料膨胀胶粒稍大、深度大于胶粒的长度，但也要确保移植钉插入放入小洞的胶粒后能稳固且不易被拔出。

移植钉的长脚放入塑料胶粒后，应用锤子轻轻钉入，直至移植钉短脚触及珊瑚礁底质后，再用力锤下，让短脚的尖端钉入珊瑚礁内。

将要移植的珊瑚长轴与珊瑚礁底质垂直方向放入移植钉的双脚间，让珊瑚尽量靠近移植钉体上的短刺或锯齿。再用塑料扎带将珊瑚绑缚在移植钉上，调整扎带陷入移植钉两侧的凹槽后再用力系紧，确保珊瑚不会脱落。

珊瑚移植钉需预先使用水下电钻或气钻在坚实的珊瑚死亡骨骼或坚固的珊瑚礁底质上钻出 5cm 左右深度的小孔，再放入膨胀胶粒。将 η 形珊瑚移植钉长脚钉入膨胀胶粒中，用锤子敲打至短脚钉入珊瑚礁中。

将要移植的珊瑚苗种垂直放置在 η 形珊瑚移植钉两脚之间，珊瑚枝紧贴两脚，用两条塑料扎带一上一下将珊瑚枝捆紧在移植钉上。用力拉紧塑料扎带后，轻轻用手摇动珊瑚枝，确定其不会摇动，珊瑚移植完成。

粘合剂固定方法是利用环氧树脂胶作为水下粘合剂，通过 A、B 组分的混合，粘合剂会在一定时间内硬化，在硬化前将珊瑚用粘合剂粘在礁石或人工礁体上。在用粘合剂移植珊瑚前，应先将欲移植珊瑚的底质清理干净，去除表面的藻类、沉积物、碎石等影响黏附效果的杂物，并用刷子清理表面。随后将粘合剂的 A、B 组分按照 1:1 比例混合均匀，并分成每份 50g 左右的大小。移植珊瑚时，每个珊瑚用一份粘合剂固定，先将粘合剂用力按压在珊瑚底部，再将珊瑚连同粘合剂一起用力按在移植基底表面。

移植后，注意在 48h 内粘合剂未完全硬化前不要触碰移植珊瑚，避免碰掉珊瑚。在







图 2.3.2-4 固定移植 1 年的珊瑚生长至珊瑚礁底质



图 2.3.2-5 采用粘合剂移植的珊瑚个体

## 6、珊瑚礁人工礁体移植

利用人工礁体作为珊瑚移植的辅助固定物，将珊瑚固定在移植礁体的珊瑚移植枝上，可以避免珊瑚被海浪打翻、脱落。同时由于距离珊瑚礁底质具有一定距离，在移植初期可以避免被敌害生物摄食。经过 1~2 年，珊瑚个体逐渐生长扩大，可以同四周的珊瑚礁生长至一起，整个移植礁体形成珊瑚礁的一部分。

## 2.3.3 主要施工机械

项目主要施工机械及设备见表 2.3.3-1。

表 2.3.3-1 项目施工机械设备一览表

序号	设备名称	型号规格	数量	用途
1	自卸汽车	60t	2 辆	礁体陆上运输
2	运输船舶	200t	2 艘	礁体运输、珊瑚运输
3	吊机	60~75t	2 台	礁体装卸
4	GPS 定位系统	--	2 台	测量定位

### 2.3.4 施工进度安排

根据本项目的规模和施工特点，本项目的总施工工期拟定为 16 个月，各项工程项目的施工进度安排详见表 2.3.4-1。

表 2.3.4-1 施工进度及安排

序号	项目名称	第一年				第二年											
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	总工期																
2	施工准备																
3	珊瑚礁修复工程																
4	珊瑚保育工程																
6	竣工验收																

## 2.4 项目用海需求

**用海面积：**项目珊瑚礁修复区选址于西岛东侧海域，共投放人工珊瑚增殖礁 750 个，确定项目珊瑚礁修复工程用海面积为 1.6000 公顷；珊瑚苗圃培育区位于鹿回头近岸海域，投放珊瑚苗床 300 个，确定珊瑚苗圃培育区用海面积 0.4672 公顷，项目宗海位置图和宗海界址图见图 2.4-1 和图 2.4-4。

**用海类型：**根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目用海类型为“特殊用海”中的“海洋保护修复及海岸防护工程用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“其他用海”，二级类为“其他用海”。

**用海性质：**本项目为海洋生态修复项目，项目用海性质为公益性；根据《海南省海域使用管理办法》“第十九条从事公益性服务事业用海及国家法律、法规另有规定的，可以免缴海域使用金”。

**用海方式：**构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）。

**申请用海期限：**本项目珊瑚礁修复工程申请用海期限为 5 年。

**项目申请占用岸线情况：**本项目不占用岸线，也不形成新的岸线。

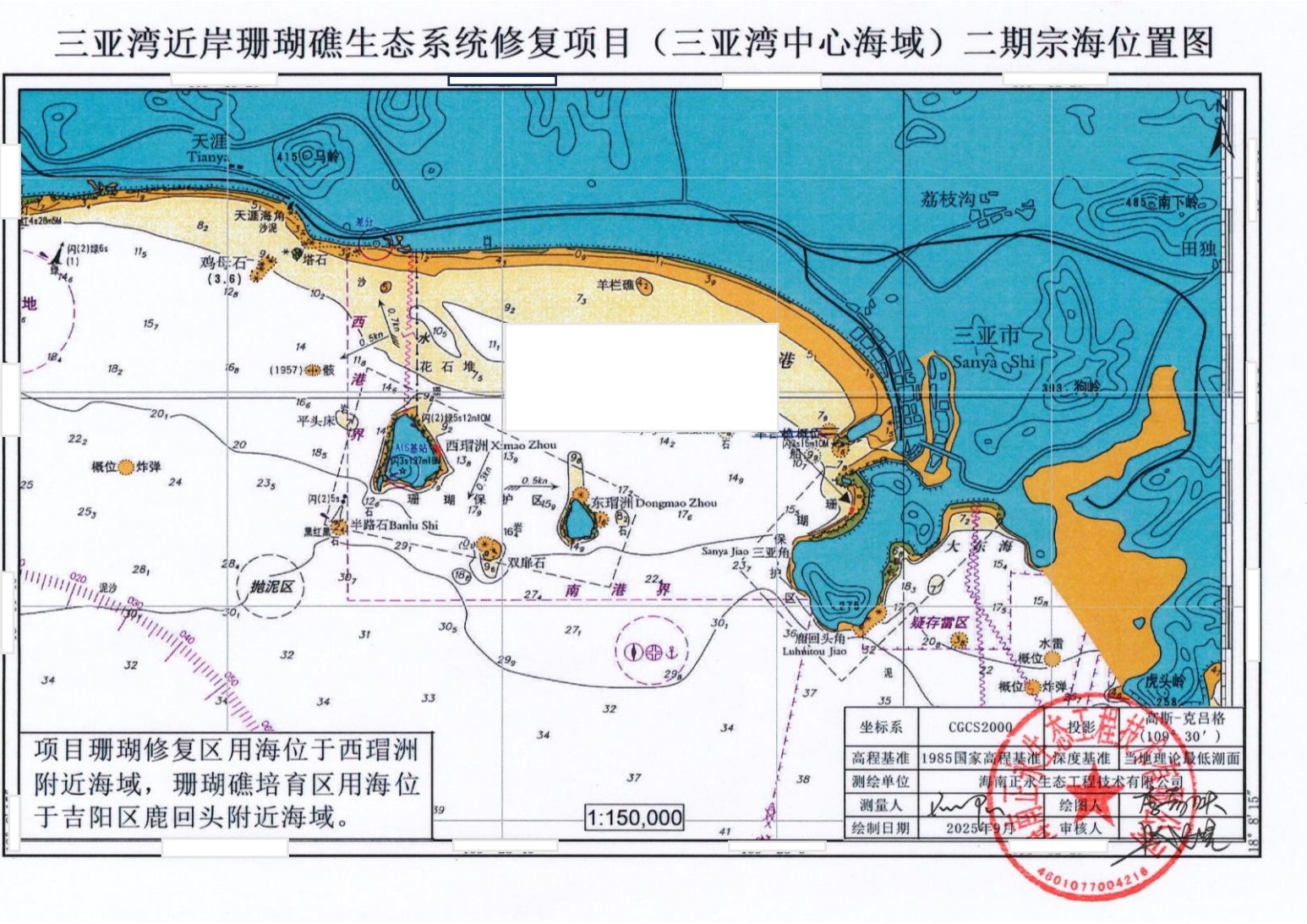


图 2.4-1 项目宗海位置图



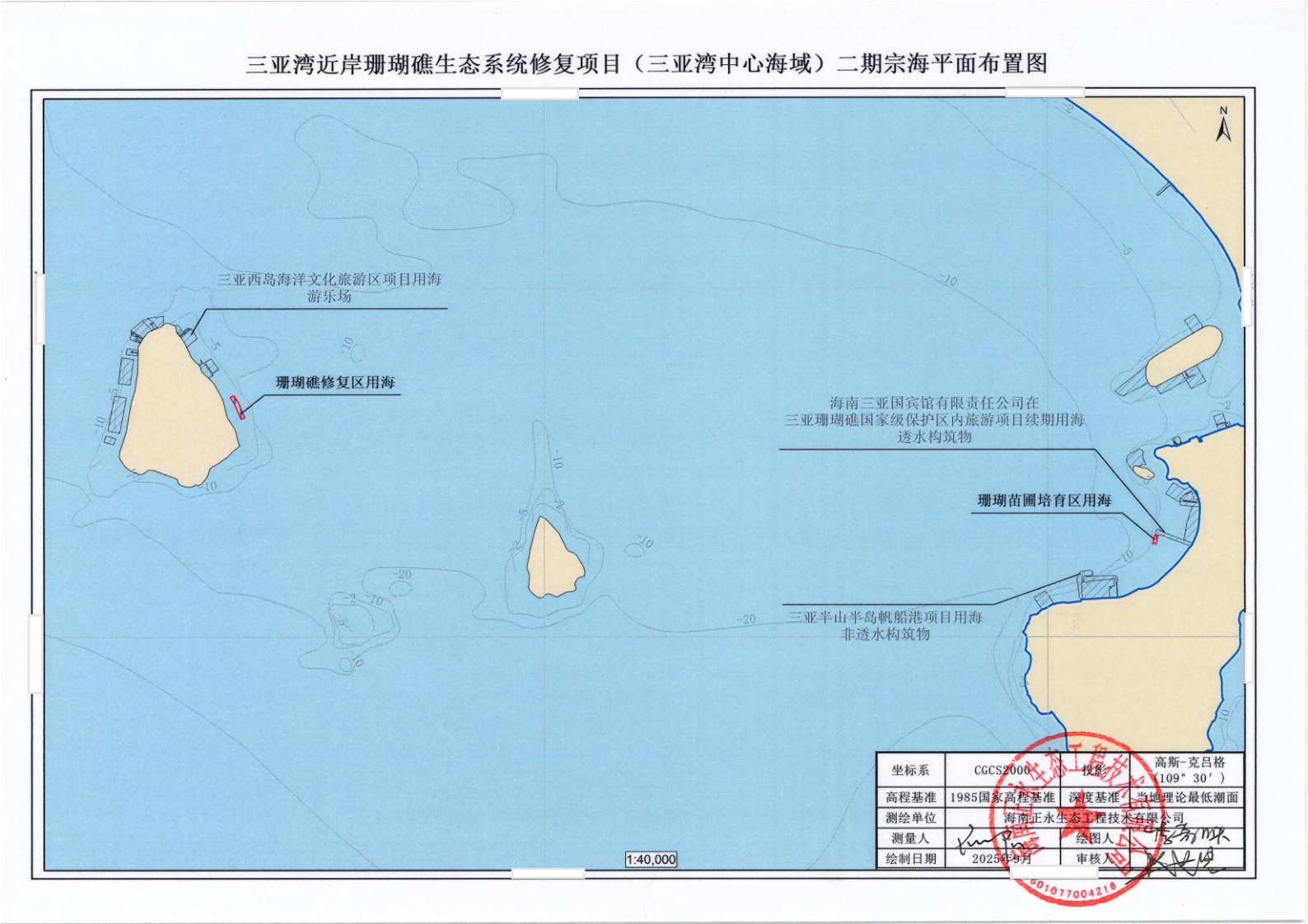


图 2.4-2 项目宗海平面布置图

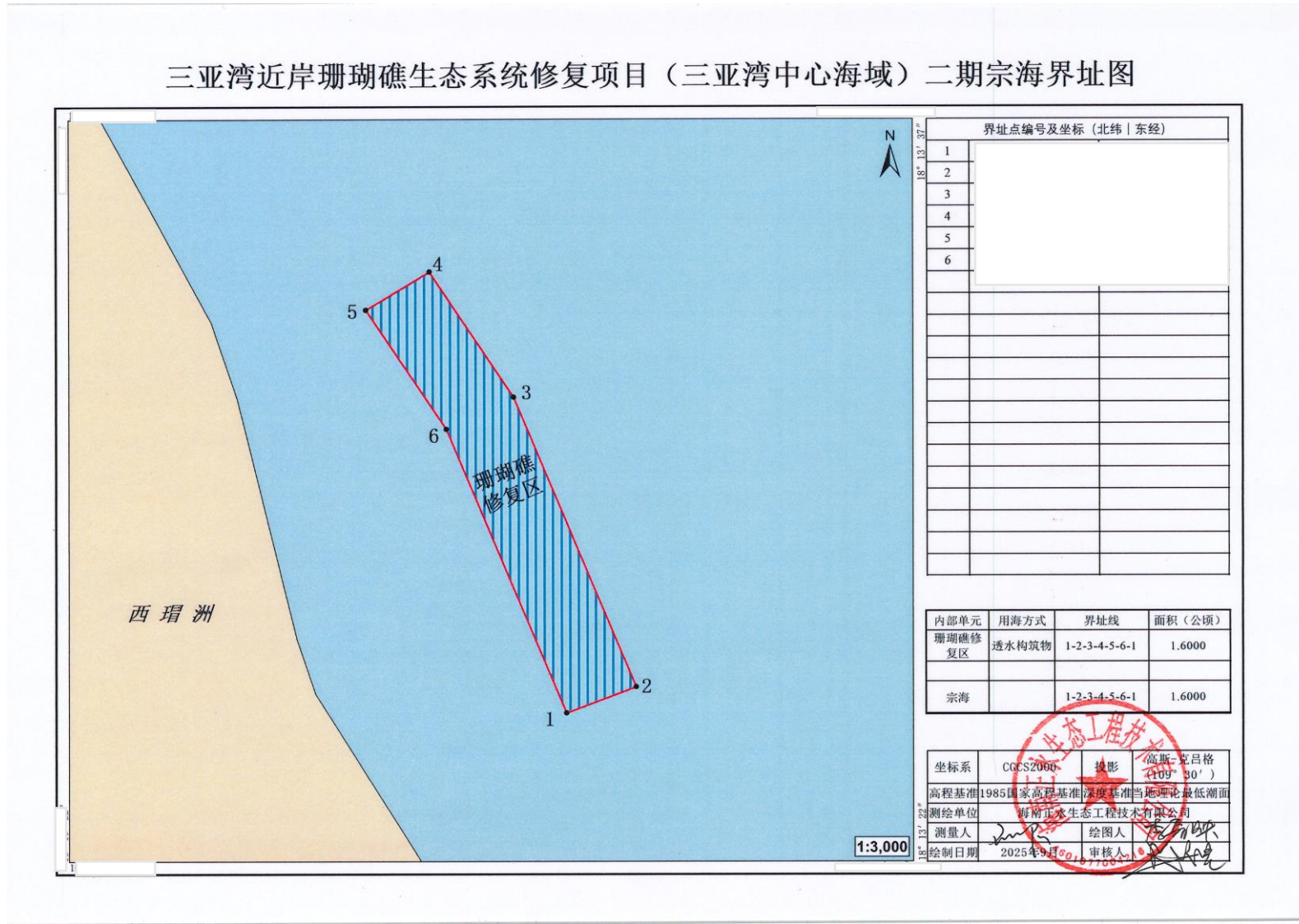


图 2.4-3 项目珊瑚礁修复区宗海界址图





## 2.5 项目用海必要性

### 2.5.1 工程建设的必要性

#### 1、本项目是山水林田湖草沙一体化保护修复一个重要部分

习近平总书记高度重视海南生态保护工作，多次要求“海南要坚持生态立省不动摇”；2022年4月，在三亚和五指山视察时分别指出，“加强陆海统筹”，“热带雨林是宝库、是水库、粮库、钱库，更是碳库”。

坚持山水林田湖草沙生命共同体理念，通过实施一体化保护和修复工程，有效解决区域内热带雨林结构简单化、河流水生态失衡、水资源时空调节能力不足、海岸湿地生态系统退化、农田生态系统生态功能不高等生态环境问题；实现工程区生态环境质量明显提升，陆海生态廊道通畅，海岸带湿地生态系统稳定性加强，农业面源污染负荷显著降低，入海河流水质明显改善，珊瑚礁白化污染胁迫强度明显降低，水土流失强度有效降低，水源涵养能力明显提升，生态系统碳汇能力显著增强，生物多样性保护成效显著等目标；最终建立热带雨林生态绿库、南繁万顷生态良田、滨海热带生物家园、陆海联动生态廊道四大修复场景，保护和恢复一个充满活力的海南南部热带陆海生态系统，擦亮我国这颗珍贵的热带生态明珠，为海南自由贸易港建设和区域高质量绿色发展提供坚实的生态助力与保障，也为人类共建“地球生命共同体”打造一个“陆海统筹、山海联动”生态保护修复的中国新范式。

本项目已列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，项目实施有利于珊瑚礁及重要海洋生物的保护和修复，维持工程区域的生物多样性，是山水林田湖草沙一体化保护修复一个重要部分。

#### 2、本项目是落实中央第三生态环境保护督察组整改要求的重要措施

2020年5月，中央第三生态环境保护督察组（以下简称督察组）对海南省开展了第二轮生态环境保护督察。2020年10月，海南省委、省政府公布了《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告方案》，提出三亚凤凰岛二期将于2022年底前，除国际邮轮母港码头外，拆除其余填海形成的陆域。2021年6月，三亚凤凰岛二期拆除工作开始施工，2022年3月25日，拆除工作施工完毕。

按照《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告方案》的要求，贯彻落实《关于进一步加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》指导精神——“依据海洋功能区划和围填海生态评估技术指南开展生态评估，科学确定海洋生态环境影响程度，

提出生态损害赔偿和生态保护修复方案，并责成用海主体予以落实”，三亚市自然资源和规划局委托中国海洋大学编制了《**三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态评估报告**》。根据生态评估结论，凤凰岛二期拆除后，三亚内河和三亚湾东部水体交换能力有所提高，为推进落实中央生态环保督察整改情况中“待凤凰岛二岛部分区域拆除工作完成后，再开展相应生态修复工作”，进一步改善三亚湾海洋生态环境，打造成生态环境优良、人海和谐共处、开发利用活动协调有序的生态、生活、生产“三生”共融的蓝色海湾，三亚市自然资源和规划局委托中国海洋大学编制了《**三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态保护修复方案**》，根据生态保护修复方案，方案基于三亚湾海洋生态环境现状，通过珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、西岛生态护岸修复工程、三亚湾海洋生态环境监测等，改善三亚湾海洋生态环境。

根据《三亚市发展和改革委员会关于三亚湾海洋生态修复工程可行性研究报告的重新批复》，项目工可阶段主要建设内容包括珊瑚礁修复工程、西岛生态护岸修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等四部分，并将三亚湾海洋生态修复工程分两阶段实施。第一阶段（凤凰岛及附近海域）：工程建设内容包括珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等三部分；第二阶段（西岛及附近海域）：工程建设内容包括珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、西岛生态护岸修复工程等三部分。

项目初步设计阶段时，第一阶段三亚湾海洋生态修复工程（凤凰岛及附近海域）与可研批复（一阶段）实施内容完全一致，无任何调整与改变。项目已于 2022 年 11 月 26 日完成施工。第二阶段三亚湾海洋生态修复工程（西岛及附近海域）项目推进过程中，取消珊瑚礁修复和西岛生态护岸修复工程内容，减少渔业资源保护工程面积。因此，三亚湾海洋生态修复工程（西岛及附近海域）主要建设内容为渔业资源保护工程。因此第二阶段实际实施内容为 304.5 公顷的渔业资源修复工程，其中珊瑚礁修复等内容均取消实施。

2023 年 9 月，海南省财政厅、海南省自然资源和规划厅、海南省生态环境厅印发了《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施方案（2023—2025 年）》，将《三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）》列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，总体绩效目标（2023—2024 年）分为产出指标和满意度指标，其中产出指标中数量指标为生态保

护修复总面积 707.27hm<sup>2</sup>，珊瑚礁修复面积 1.6 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁生境保育面积 5.67 hm<sup>2</sup>，栖息地修复面积 700 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁株数 32000 株。因施工完成的三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）仅包含 304.5 hm<sup>2</sup> 的栖息地修复，因此对于剩下的指标需要进行调整指标、重新选址设计，即为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域），主要建设内容包括珊瑚礁修复工程、栖息地修复工程和珊瑚保育工程。

本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）的二期工程，主要建设内容包括珊瑚礁修复工程和珊瑚保育工程。因此项目是落实中央第三生态环境保护督察组整改要求的重要措施。

### 3、项目建设符合《海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020—2029 年）》的相关要求

《海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020—2029 年）》提出总体目标：坚持“保护为主”的原则，分析研究保护区管理现状和存在的问题，科学划分保护区功能分区，合理规划保护区重点建设项目，解决保护区建设和发展中存在的问题；加快保护区队伍建设，完善基础设施设备，健全保护与开发管理规章制度，提高保护区自身的管护和发展能力，使现有的珊瑚礁及其生态环境得到有效保护，提高保护区活的造礁石珊瑚平均覆盖率，力争保护区核心区活的造礁石珊瑚覆盖率达到 35%以上，缓冲区活的造礁石珊瑚覆盖率达到 15%~20%，实验区活的造礁石珊瑚覆盖率达到 10%~15%；积极开展对外交流，进一步提高保护区的科研水平，通过保护、恢复、培育、修复等科学手段，使受损的珊瑚礁及其生态系统得到迅速恢复和发展扩大；适度开发利用保护区自然资源，促使资源保护与开发协调一致，促进保护事业和地方经济的和谐发展；建成集保护、科研、宣传教育、对外交流、生态旅游于一体，设施完善、设备先进、科技发达、管理高效、功能齐全、可持续发展的国内领先、世界著名的自然保护区。

本项目位于海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区实验区内。项目对珊瑚礁资源有着积极影响，珊瑚苗圃培育区投放的珊瑚苗床可以进行珊瑚种苗培育，投放珊瑚增殖礁能够为珊瑚礁生物提供新的栖息场所，通过在珊瑚增殖礁上移植珊瑚幼苗或珊瑚断枝，加速珊瑚礁的生长和恢复，有利于修复区域内珊瑚礁资源，项目修复珊瑚礁生态系统与规划总体目标一致，因此项目建设符合《海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020—2029 年）》。

### 4、三亚珊瑚礁生态系统退化现状需要修复工作

珊瑚礁生态系统被称为海洋中的热带雨林，具有护岸、保礁的重要生态功能，对于降低风暴台风破坏、减轻海流海浪侵蚀、补充流失的沙石、稳固岸线结构、营造宜居环境等具有重要意义。

由于全球气候变化和人类活动的干扰，我国及世界珊瑚礁普遍严重退化。蔡榕硕等（2021）《全球变化背景下暖水珊瑚礁生态系统的适应性与修复研究》认为，相比全球暖水珊瑚礁的变化而言，中国南海珊瑚礁的平均退化速率高于全球平均值，局部区域退化的速率更高。根据黄晖主编《中国珊瑚礁状况报告：2010-2019》，我国的珊瑚礁和造礁石珊瑚群落基本处于“一般”或者“差”的状况。在过去的 30 年里，我国南海珊瑚礁同样面临严重的退化问题，尤其以我国的海南岛和大陆近岸珊瑚礁的丰度退化了 80%，而离岸的活造礁石珊瑚覆盖率同样呈现下降趋势。

三亚珊瑚礁是我国最具有代表性的珊瑚礁之一，因此 1990 年我国就把三亚珊瑚礁列入第一批国家级自然保护区。但是，目前三亚珊瑚礁生态系统同样处于退化状态，主要表现在造礁石珊瑚覆盖率低，具有较好珊瑚礁代表性功能的鹿角珊瑚被环境耐受性的块状珊瑚取代，珊瑚白化甚至死亡事件时有发生。

因此，在人类活动和全球气候变化影响的大背景下，三亚珊瑚礁生态系统如果依靠自然恢复会非常缓慢甚至会继续恶化，因此急需持续地对珊瑚礁生态系统进行人工干预的生态修复。

## **5、本项目是海南岛海岸带生态保护和修复的重要举措**

2020 年中央全面深化改革委员会第十三次会议审议通过的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021-2035 年）》，其中环海南岛属于全国海岸带 12 个重点海洋生态区之一，规划提出推进“蓝色海湾”整治，开展退围还海还滩、岸线岸滩修复、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工程建设。其中海南岛重要生态系统保护和修复专栏提出要“全面保护修复热带雨林生态系统，加强珍稀濒危野生动植物栖息地保护恢复，建设生物多样性保护和河流生态廊道。以红树林、珊瑚礁、海草床等典型生态系统为重点，加强综合整治和重要生境修复，强化自然岸线、滨海湿地保护和恢复。”本项目是海南岛重要生态系统保护和修复工程中的重要一环，通过珊瑚移植、种植、增殖放流等措施，增加珊瑚礁覆盖率和海底生物多样性，改善海洋生态环境，同时形成海岸防护屏障，提升海南岛海岸带生态系统结构完整性和功能稳定性。

2021 年 12 月，海南省林业局针对目前海南省保护区所面临的典型海洋生态系统退

化、热带雨林生态系统完整性不足等生态问题，并根据海南省委、省政府的统一安排部署，编制了《海南省自然保护区生态修复规划（2021-2035 年）》，《规划》要求在三亚珊瑚礁自然保护区开展珊瑚礁修复，修复珊瑚 6.5 公顷，其中近期修复 0.5 公顷，中期修复 1 公顷，远期修复 5 公顷。

综上所述，本项目的建设是非常必要的。

## 2.5.2 项目用海必要性

根据《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告方案》的要求，三亚市自然资源和规划局委托中国海洋大学编制了《三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态评估报告》和《三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态保护修复方案》，针对三亚凤凰岛二期项目拆除项目，提出了三亚湾海洋生态修复方案（工程）。

而根据三亚湾海洋生态修复工程的工可、初步设计，将工程分两阶段实施，第一阶段（凤凰岛及附近海域）：工程建设内容包括珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等三部分，该项目已于 2022 年 11 月 26 日完成施工。第二阶段为三亚湾海洋生态修复工程（西岛及附近海域）：目前已实施完成 304.5 公顷的渔业资源保护工程。即人工鱼礁工程、增殖放流的建设。

2023 年 9 月，海南省财政厅、海南省自然资源和规划厅、海南省生态环境厅印发了《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施方案（2023—2025 年）》，将《三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）》列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，并重新制定绩效目标及项目名称，项目名称更新为《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目》，总体绩效目标（2023—2024 年）分为产出指标和满意度指标，其中产出指标中数量指标为生态保护修复总面积 707.27hm<sup>2</sup>，珊瑚礁修复面积 1.6 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁生境保育面积 5.67 hm<sup>2</sup>，栖息地修复面积 700 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁株数 32000 株。因施工完成的三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）仅包含 304.5 hm<sup>2</sup> 的栖息地修复，因此对于剩下的指标需要进行调整指标、重新选址设计，即为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）建设内容，本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）中的二期工程，用海内容包括珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海。因此，本项目建设用海是必要的。



项目珊瑚苗圃培育区苗床布放以 10 个珊瑚苗床为一行、5 个珊瑚苗床为一列，间距 1m 排列，形成一个由 50 个苗床组成，占地 14m×19m 的苗圃区。项目共建设 6 个珊瑚苗圃培育区，计划投放 300 个苗床。因此，项目珊瑚苗床用海是必要的。

项目珊瑚礁修复工程建设 3 个珊瑚礁修复区，在 100m×50m 的珊瑚礁修复区内均匀布置 5 个链条式珊瑚礁礁体群，每个礁体群由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字型布置组成，单位礁体前后间距 4m、左右间距 6.5m，每个单位礁体由 10 个单体链条式珊瑚礁采用拼接槽相互咬合、两排组合的方式构成，单位礁体规格为 6m×2.25m。项目在 100m×50m 的珊瑚礁修复区内均匀布置 5 个蜂巢型珊瑚礁礁体群，每个礁体群由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字型布置组成，单位礁体前后间距 3.648m、左右间距 5.202m，每个单位礁体由 10 个单体蜂巢型珊瑚礁采用拼接凸起、两排组合的方式构成，单位礁体规格为 7.298m×2.602m。项目在 100m×50m 的珊瑚礁修复区内均匀布置 5 个 3D 打印珊瑚礁礁体群，礁体群直径为 25m，每个礁体群由 50 个单体 3D 打印珊瑚礁均匀布置。根据《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》指标要求，项目珊瑚礁修复面积为 1.6 公顷，能够满足珊瑚增殖礁单体 750 个的投放。因此，项目珊瑚礁修复工程用海是必要的。

综上所述，项目用海是必要的。

## 3 项目所在海域概况

### 3.1 海洋资源概况

#### 3.1.1 滨海旅游资源

本项目珊瑚礁修复工程位于西瑁州岛东侧海域、珊瑚保育工程位于鹿回头近岸海域，项目论证范围内的滨海旅游资源主要为西瑁洲岛旅游风景区、鹿回头风景区。

西瑁洲岛与东瑁洲岛恰似在碧波中鼓浪而行的两只玳瑁，“波浮双玳”自古便是三亚的一道胜景。西岛以其秀美的山体，迷人的珊瑚礁，清澈的海水和松软的海滩，成为三亚旅游观光、休闲度假的胜地之一。西岛海上游乐世界是一个汇聚了汇聚海上运动、潜水观光、天然浴场、沙滩娱乐、椰林休闲的动静皆宜的立体海岛景区。

牛鼻仔岭为基岩岛，又叫岭仔鼻、牛王岭，因浪打在岛体上发出像牛鼻喘息的声音，当地称牛鼻仔岭。位于海南省三亚市，北距西瑁洲 0.12 千米，陆域面积 30306 平方米，海拔 31.2 米。由两个小山头组成，地势北高南低，岛上长有乔木、灌木、草丛。周边海域珊瑚资源丰富，生态环境良好，属三亚珊瑚礁国家级自然保护区的东西瑁洲片区。为无居民海岛，曾作为军事用岛，有多处部队遗留的碉堡，该岛是西瑁洲景区的景点之一，岛北部山顶有一座公牛雕塑，岛南部设有两个观海亭，北侧修筑有堤坝与西瑁洲相连，岛上水电从西瑁洲引入。

鹿回头风景区坐落在三亚市西南端鹿回头半岛内，共有大小五座山峰，最高海拔 181 米，是国家 4A 级旅游景区。公园三面环海，一面毗邻三亚市区，是登高望海、观看日出日落与俯瞰三亚市全景的佳处。鹿回头风景区是三亚市历史文化的源泉，是三亚市得名“鹿城”的由来，也是三亚市的文化标志和历史记忆。景区的“鹿回头”雕塑，高 15 米，长 10 米，宽 5 米，是海南岛内极负盛名的花岗岩雕塑。

#### 3.1.2 港口资源

论证范围内港口资源主要有三亚港区和肖旗港。

三亚港位于三亚河入海口处，目前以客运功能为主，货运功能已基本搬迁至南山港区，主要由以下码头组成：三亚港务局码头、凤凰岛国际邮轮码头、三亚凤凰岛国际客运码头、三亚海榆渔民专业合作社游艇码头、三亚水上救助基地码头、三亚救捞局救捞码头、海警码头、三亚玛瑞纳酒店游艇码头。三亚港务局码头位于三亚河入海口处，煤炭、木材等货运功能已基本搬迁至南山港区，拥有 5000 吨级和 3000 吨级杂货泊位各 2

个，设计年通过能力 62 万 t。凤凰岛国际邮轮码头位于三亚市河口外，由三亚凤凰岛发展有限公司投资建设。目前已建成 8 万 GT 泊位 1 个，码头岸线总长 370m，设计年通过能力 60 万人次。三亚河口外东侧、南侧建有三亚海榆渔民专业合作社游艇码头、三亚水上救助基地码头、三亚救捞局救捞码头、海警码头、三亚玛瑞纳酒店游艇码头。

肖旗港是三亚湾景观带的西大门，是城市主要的标志和景观之一。肖旗港不仅承担西岛旅游配套渡船码头功能、三亚市西部旅游的客运码头和游艇码头功能，同时又是三亚市西部城市区域性的生态休闲、文化、娱乐和公共活动中心。成为三亚湾中心区游艇基地、三亚湾重要的游艇旅游服务港，并与天涯海角、南山等景区形成整体西部观光旅游区，助力海南自贸区的发展。

### 3.1.3 渔业资源

三亚市南邻南海，渔业资源丰富，海洋生物种类繁多，鱼类品种有 1064 种，虾类 350 种，蟹类 325 种，软体动物 700 种，其中经济价值较高的有 402 种。盛产红鱼、马鲛鱼、鲳鱼、海参、龙虾、鱿鱼、鲍和大珠母贝等四十多种优质海产品，主要经济鱼类是带鱼、鲳鱼、鲷、鳎鱼、远东拟沙丁鱼、蓝圆鲹、海鳗、石斑鱼、金线鱼、鲈鱼、鲷鱼、金枪鱼、马面鲀等。由于近年来小型作业船只在近海狂捞滥捕，近岸海域渔业资源已利用过度，渔业资源有所降低；外海区渔业资源属中等利用程度，尚有一定开发潜力。

### 3.1.4 岸线资源

论证范围内的岸线资源包括三亚湾的岸线，岸线总长度约 45.002km，岸线资源包括人工岸线和自然岸线。人工岸线主要有构筑物和填海造地岸线；自然岸线包括基岩岸线和砂质岸线。经估算，论证范围内人工岸线长度约 13.642km，其中，构筑物岸线长度约 11.687km，填海造地岸线长度约 1.955km，人工岸线主要为构筑物岸线；自然岸线长度约 31.360km，其中，砂质岸线长度约 25.982m、基岩岸线长度约 5.378km。

### 3.1.5 海岛资源

论证范围内较大的海岛为西瑁洲岛，周边较大的岛还有东瑁洲岛以及牛鼻仔岭、双扉石、双扉西、叠石、鸡母石、石离角等一些小海岛。东瑁洲面积约 49.7 公顷，地势东南高，西北低，植被覆盖率在 90%以上，为边防驻军用岛，岛上建有码头、道路、营房等。西瑁洲位于本用海南侧约 1.6km，为有居民海岛，南高北低，长 2050m，宽 1350m，面积约 211.8 公顷。岛岸较平直，沿岸东、北、西部为珊瑚礁盘，目前由三亚西岛大洲旅业有限公司和三亚西岛旅游开发有限公司共同开发经营滨海旅游项目，是三亚重要的

旅游景点。

### 3.1.6 生态资源

论证范围内主要的生态资源为红树林和珊瑚礁。三亚河—临春河沿岸一带存在红树林资源；项目珊瑚礁修复工程和珊瑚保育工程珊瑚苗圃用海区位于海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区用海内，存在珊瑚礁资源。

#### （1）红树林

目前，三亚市的红树林主要分布在三亚河—临春河、榆林河、亚龙湾青梅港、铁炉港等河岸及入海口，项目论证范围内的红树林主要分布在三亚河—临春河。三亚市红树林资源各地类总面积 384.66hm<sup>2</sup>。其中：现有红树林林地面积 104.93hm<sup>2</sup>，占总面积的 27.28%；红树林未成林造林地面积 30.98hm<sup>2</sup>，占 8.05%；红树林未成林封育地面积 5.01hm<sup>2</sup>，占 1.3%；红树林苗圃地面积 3.79hm<sup>2</sup>，占 0.99%；红树林宜林地面积 239.95hm<sup>2</sup>，占 62.38%。

#### （2）珊瑚礁

项目海域周边珊瑚礁分布主要集中于海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区内，保护区位于三亚市南部近岸海域，保护区保护对象为珊瑚礁及其生态系统，地理位置坐标在 18°10'30"~18°15'30"N，109°20'50"~109°40'30"E 范围内，由亚龙湾片区、鹿回头半岛—榆林角沿岸片区、东西瑁洲片区组成。其中，亚龙湾片区位于三亚市亚龙湾野猪岛、西排和东排海域，面积 2376.59hm<sup>2</sup>，占用岸段长 5.57km；鹿回头半岛—榆林角片区位于三亚鹿回头至大小东海海域，面积 1865hm<sup>2</sup>，占用岸段长 19.45km；东西瑁洲片区位于三亚市三亚湾东西瑁洲岛海域，面积 2852.51hm<sup>2</sup>。项目珊瑚礁修复工程和珊瑚保育工程珊瑚苗圃用海区位于三亚珊瑚礁国家级自然保护区位于项目区缓冲区内。详见图 2.5.1-1 项目与海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区范围叠置图。

## 3.2 海洋生态概况

### 3.2.1 区域气候与气象

项目所在区域三亚市的气候属热带海洋性季风气候，日照时间长，平均气温较高，全年温差小，四季不分明。本报告气温、降水、风况、湿度、雷暴等资料均采用三亚市气象站（地理坐标为东经 109.58°，北纬 18.22°）2009~2019 年的气象数据进行统计，

项目区域的海洋气象概况如下：

### 3.2.1.1 气温

三亚 2009~2019 年平均气温为 23.0℃，各月平均气温都在 18℃ 以上，5~9 月相对较高，平均气温均可达 25℃ 以上，12 月至翌年 2 月份较低，约 20.0℃。本区极端最高气温为 33.3℃，极端最低气温为 5.6℃。

### 3.2.1.2 降水

三亚地区年降水量丰富，各月均有降水，年平均降水量为 1686.9mm，年降水日数平均为 127.6 天。有旱季和雨季之分，5~10 月为雨季，其间集中了全年 85% 以上的降水量和 65% 以上的降水日；11 月至翌年 4 月为旱季，降水量较少。年最大降水量为 2186.2mm（2010 年），年最小降水量为 1110.2mm（2014 年），日最大降水量为 224mm，最长连续降水日数为 15 天。

### 3.2.1.3 相对湿度

三亚 2009~2019 年平均相对湿度为 89%，全年各月相对湿度变化不大，其中 2~9 月份湿度较大，均达到 90% 或以上。月最小相对湿度为 41%，出现在 12 月。

### 3.2.1.4 风况

三亚大风天气主要来源于冷空气和热带气旋，其中热带气旋引起的大风强度更大，三亚  $\geq 20\text{m/s}$  的风速出现在 6~10 月，均为热带气旋所致，热带气旋引起的最大风速瞬间达 45m/s（SW），全年平均风速 5.2m/s。三亚以 E、NE 和 ENE 风向为最多。

## 3.2.2 水文动力

### 3.2.2.1 潮汐

#### （1）基准面及转换关系

本区域 76 榆林基准面、1985 国家高程基准、理论最低潮面间的转换关系见图 3.2.2-1。

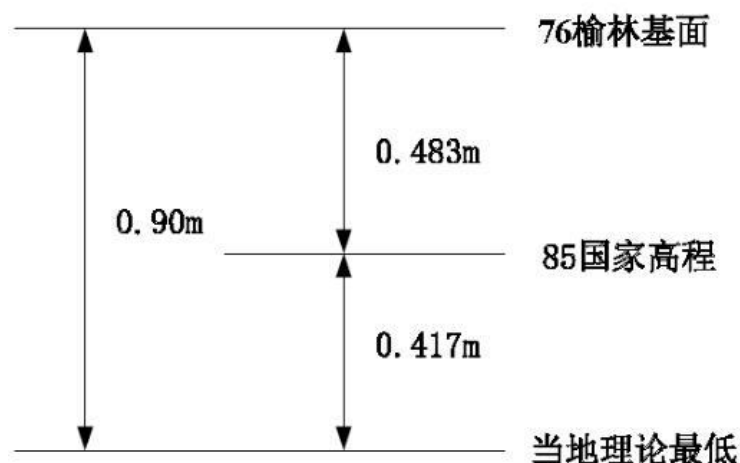


图 3.2.2-1 基准面及转换关系

### （2）潮汐性质及潮型

本区潮汐同时受南海和北部湾两潮汐系统的影响。潮波主要表现为前进波性质，潮波从南海传至湾口东南水域，继续向西传播，一部分潮波向西北偏西方向传向北部湾，一部分向北进入三亚湾和三亚港水域。

三亚湾的主要日潮与半日潮潮位振幅比为 2.88，属不规则全日潮。一年中约有 1/2 的天数是半日潮，1/2 天数是日潮。多年平均潮差 0.79m，为弱潮海区。

### （3）潮位特征值

三亚湾海洋观测站有十几年的历史资料，根据国家海洋局三亚海洋环境监测站 1997~2011 年实测潮汐资料统计，三亚湾的潮位特征值（国家 85 基面）如下：

平均潮位：72cm（国家 85 高程，以下相同）

平均潮差：83 cm

最大潮差：203 cm（出现日期为 2004 年 12 月 14 日）

最高潮位：216 cm（出现时间为 2011 年 10 月 4 日 3 时 43 分）

最低潮位：-43 cm（出现时间为 2000 年 7 月 31 日 18 时 30 分）

平均涨潮历时：10.47h

平均落潮历时：7.63h

### 3.2.2.2 实测潮流

项目实测潮流引用《三亚市南边海国际游艇码头项目（秋季）海洋环境调查水文观测报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2021 年 1 月）的调查结果。本次调查在三亚湾布设 6 个站点。调查时间为 2020 年 12 月 5 日至 6 日。调查站位见图 3.2.2-2 和表

3.2.2-1。

表 3.2.2-1 水文动力调查站位表

略



图 3.2.2-1 水文动力调查站位图

### (1) 潮汐特征

潮位采用自动潮位仪进行观测，观测时间基本与潮流同步。将观测期间潮高基面订正至当日平均海平面，潮位过程线见图 3.2.2-3。

根据潮位过程曲线图，大潮期观测到的潮型为全日潮型，一个观测周期内有一次高潮和一次低潮。

根据高、低潮位统计表 3.2.2-2，大潮期 A1 站高潮出现于 12 月 6 日 1:00，潮高为平均海平面以上 73.78cm；低潮出现于 12 月 6 日 11:00，潮高为平均海平面以下 62.83cm；高低潮差为 136.61cm。大潮期 A3 站高潮出现于 12 月 6 日 1:00，潮高为平均海平面以上 76.36cm；低潮出现于 12 月 6 日 11:00，潮高为平均海平面以下 64.28cm；高低潮差为 140.64cm。

A1、A3 站高低潮发生时间几乎同步，A3 站高低潮差较 A1 站大。

涨潮历时约 15 小时，落潮历时约 10 小时。涨潮历时大于落潮历时。

表 3.2.2-2 高、低潮位统计表

略

略

图 3.2.2-3 大潮期 A1、A3 站潮位过程曲线图

## （2）实测海流统计分析

### ① 实测涨、落潮特征

根据调查结果，绘制出不同潮期各站流速、流向分布图（图 3.2.2-4）及潮流矢量图（图 3.2.2-5），并对涨落潮期流速特征值进行统计，详见表 3.2.2-3，分析观测期间工程海域潮流特征如下：

- a. A1、A2 站受地形影响，流向较为复杂，形似旋转流；A3、A4、A5 和 A6 呈现很好的往复流形态，A3 流向较为发散，A4、A5 和 A6 流向主要集中在 NW~NE 之间。
- b. 大潮期，A1、A2、A3、A4、A5 和 A6 站海流最大流速分别为 12.67cm/s、11.84cm/s、30.5cm/s、72.73cm/s、64.65cm/s、70.25cm/s。
- c. 由于落潮历时较小，落潮期平均流速整体上大于涨潮平均流速。
- d. 大潮期各观测站海流流速最大值出现在涨潮期间半潮面附近。

表 3.2.2-3 大潮期实测海流分层流速特征值统计表（流速：cm/s，流向：°）

略

略

图 3.2.2-4a A1 站流速、流向过程曲线图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-4b A2 站流速、流向过程曲线图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-4c A3 站流速、流向过程曲线图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-4d A4 站流速、流向过程曲线图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-4e A5 站流速、流向过程曲线图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略



图 3.2.2-4f A6 站流速、流向过程曲线图（2020 年 12 月 5 日～6 日）

略

图 3.2.2-5a 大潮期各站表层流速矢量图（2020 年 12 月 5 日～6 日）

略

图 3.2.2-5b 大潮期各站中层流速矢量图（2020 年 12 月 5 日～6 日）

略

图 3.2.2-5c 大潮期各站底层流速矢量图（2020 年 12 月 5 日～6 日）

略

图 3.2.2-5d 大潮期各站垂向平均流速矢量图（2020 年 12 月 5 日～6 日）

## ② 潮流调和分析

对潮流的调和分析采用准调和分析方法进行，对实测的流速、流向过程曲线经过修匀后采用引入引进差比数的方法，分析得出的各站各层的  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $M_4$ 、 $MS_4$  等 6 个分潮的调和常数和椭圆要素。

### a. 潮流类型

按照《海港水文规范》，潮流可分为规则的、不规则的半日潮流和规则的、不规则的全日潮流，可以用潮流形态数  $F = (W O_1 + W K_1) / W M_2$ （ $W$  为分潮流椭圆长轴的长度）来判别。

当 $0 < F \leq 0.5$	规则半日潮流
当 $0.5 < F \leq 2.0$	不规则半日潮流
当 $2.0 < F \leq 4.0$	不规则全日潮流
当 $4.0 < F$	规则全日潮流

表 3.2.2-4 给出各站各层的  $F$  值，由表可知，观测期间，潮型系数基本在 0.77～22.48 之间，由表 3.2.2-4 可得，此海区的潮汐性质主要为规则全日潮流。

由表 3.2.2-5 可知，可知 A1、A2 站  $M_2$  半日分潮流最大， $O_1$ 、 $K_1$  全日分潮流次之， $S_2$  半日分潮流和  $MS_4$  四分之一分潮流均较大，有时  $MS_4$  四分之一分潮流与  $M_2$  半日分潮流旗鼓相当，表明靠近三亚河河口区域有很强的浅水效应。A3、A4、A5 和 A6 站  $O_1$ 、 $K_1$  全日分潮流最大， $M_2$  半日分潮流次之， $MS_4$  四分之一分潮流较小，说明在本海区，离岸较远的区域浅水效应较小。

表 3.2.2-4 潮流性质参数表

略

表 3.2.2-5a A1 站调和常数、椭圆要素表（振幅：cm，流速：cm/s，方向：°）

略

表 3.2.2-5b A2 站调和常数、椭圆要素表（振幅：cm，流速：cm/s，方向：°）

略

表 3.2.2-5c A3 站调和常数、椭圆要素表（振幅：cm，流速：cm/s，方向：°）

略

表 3.2.2-5d A4 站调和常数、椭圆要素表（振幅：cm，流速：cm/s，方向：°）

略

表 3.2.2-5e A5 站调和常数、椭圆要素表（振幅：cm，流速：cm/s，方向：°）

略

表 3.2.2-5f A6 站调和常数、椭圆要素表（振幅：cm，流速：cm/s，方向：°）

略

#### b. 潮流运动形式

旋转率的大小是表示潮流椭圆短轴与长轴之比，其值越小，表示潮流运动的来复流越明显，当旋转率  $k$  为 0 时，潮流为严格的往复流；当旋转率  $k$  为 1 时潮流为理想的旋转流，通常  $k$  值在 0.0~1.0 之间。其比值前面正负号表示潮流矢量随时间变化是按顺时针或逆时针方向， $K$  值的符号为“+”时，旋转的方向为逆时针， $k$  值的符号为“-”时，旋转的方向为顺时针。

由表 3.2.2-5 中旋转率可知，各站各分潮流的椭圆率有正有负，以负居多，表明左、右旋都有。表 3.2.2-6 给出各站  $K_1$ 、 $M_2$  分潮流的旋转率  $k$ 。从表中可以看出，A3、A4、A5 和 A6 站全日分潮流旋转率值较小，半日分潮流旋转率值较大，总体上呈现往复流特征；A1、A2 站半日分潮流旋转率值稍小，全日分潮流旋转率值较大，总体上呈现旋转流特征，较大的旋转率值主要与风、地形有关。

表 3.2.2-6  $K_1$ 、 $M_2$  分潮流旋转率（ $k$ ）统计表

略

#### c. 可能最大潮流流速

根据《海港水文规范》，对规则全日潮流海区，潮流可能最大流速采用下面公式计算的大值：

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M2} + \vec{W}_{S2} + 1.600 \vec{W}_{K1} + 1.450 \vec{W}_{O1}$$

计算得到各站的潮流可能最大流速，其结果详见表 3.2.2-7。从表中可知，潮流可能最大流速最大为 91.46cm/s，出现在 A6 站表层，最小 0.78cm/s，出现在 A1 站中层。

#### d. 水质点的最大可能运移距离

根据《海港水文规范》，对规则全日潮流海区，水质点的最大可能运移距离采用下面公式计算的大值：

$$\vec{L}_{\max} = 142.3 \vec{W}_{M2} + 137.5 \vec{W}_{S2} + 438.9 \vec{W}_{K1} + 429.1 \vec{W}_{O1}$$

计算得到各海流观测站潮流水质点的最大可能运移距离，其结果见表 3.2.2-8。从表中可知，水质点的最大可能运移距离最大值为 25.5km，出现在 A4 站中层，最小值为 0.2km，出现在 A2 站中层。

**表 3.2.2-7 潮流可能最大流速及其流向表（单位：流速：cm/s；流向：°）**

略

**表 3.2.2-8 水质点最大可能运移距离表**

略

## ② 余流

余流主要是由温盐效应、风应力和地形等因素引起的流动，它是从实测海流资料中剔除了周期性潮流的剩余部分。表 3.2.2-9 为观测期间各站各层余流分析成果表，图 3.2.2-6 给出了观测期间各站各层的余流矢量图。现根据本次观测的海流测量资料，分析调查海区的余流特征如下：

大潮期余流速度在 0.85~9.42cm/s 之间，其中 A6 站最大、A1 站最小，方向主要受地形影响，A1 站主要为西北向，A2 站主要为东南向，A5 站主要为北偏东向，其余站位主要东偏南向。一般地，余流速度往中下层，受水下地形和底摩擦等影响，流速有所减小。

**表 3.2.2-9 大潮期余流流速、流向表（流速：cm/s，流向：°）**

略

略

图 3.2.2-6 大潮期余流矢量图

### （3）悬浮泥沙

#### ① 悬沙特征分析

各站涨落潮期含沙量分布见表 3.2.2-10，各站含沙量分布见图 3.2.2-7，分析工程区含沙量有如下特征：

- a. 观测期间工程区含沙量不大，悬沙平均值介于 7.53~18.20mg/L 之间。
- b. 各站含沙量垂向方向上分层不明显，总体上看表层悬浮泥沙含量较大。
- c. 大潮期观测站含沙量浓度最大值为 33.0mg/L，出现在涨潮期 A5 站表层。

表 3.2.2-10 涨落潮期含沙量最大值（单位：mg/L）

略

略

图 3.2.2-7a A1 站悬浮泥沙含量分布图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-7b A2 站悬浮泥沙含量分布图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-7c A3 站悬浮泥沙含量分布图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-7d A4 站悬浮泥沙含量分布图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-7e A5 站悬浮泥沙含量分布图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

略

图 3.2.2-7f A6 站悬浮泥沙含量分布图（2020 年 12 月 5 日~6 日）

#### ② 单宽输沙率计算

海岸地区的泥沙输移是波浪和潮流共同作用的结果，一般来说，波浪掀沙，但波浪本身对泥沙的搬运能力较弱。泥沙一旦处于悬浮状态，相对较小的稳定流即可搬运泥沙，即使这种流速小于临界启动流速。因此潮流输沙对于海岸带的泥沙输运和地形地貌演变具有重要的意义。现基于 2021 年 9 月实测的流速资料和同步观测的水体含沙量资料，

进行输沙率计算。计算公式为：

$$Q_i = \int_0^t q_i(\phi_{ij}, U_{ij}, \theta_{ij}) dt$$

其中： $u_{ij}^t$ 表示t时刻第i个测站第j个测点（层）的流速， $\theta_{ij}^t$ 表示t时刻第i个测站第j个测点（层）的流速； $\phi_{ij}^t$ 表示t时刻第i个测站第j个测点（层）的含沙量； $q_i(\phi_{ij}, U_{ij}, \theta_{ij})$ 为第i个测站沿高度的单时输沙率，由实测流速及含沙量计算得出。

根据各个测站实测数据，按照实测期间的潮位值分别统计涨潮和落潮期内的单宽输沙率，最后相加得到全潮单宽输沙率。计算步骤如下：

- 1) 计算t时刻各个测站每个测点的输沙率 $q_{ij}^t$ ；
- 2) 设南北向为y轴，东西向为x轴；对各测点输沙率 $q_{ij}^t$ 进行分解，得 $q_{ijx}^t$ 、 $q_{ijy}^t$ ；
- 3) 求得每个测站在t时刻的输沙率，亦即对t时刻每个测站的各个测点的x、y分量分别求和；
- 4) 每个测站所得的输沙率分别按照涨潮时间和落潮时间累加，得各个测站在一个全潮周期内（约25小时）涨潮和落潮的输沙量 $Q_x$ 、 $Q_y$ ；
- 5) 将涨潮和落潮时段的输沙量分别合成，得到落潮、涨潮输沙率和净输沙率。

计算以正北方向为基准，角度为与正北方向的夹角，以顺时针为正向。经计算，大潮期间的单日单宽输沙率见表3.2.2-11。

由表3.2.2-11可知，大潮期A6站的输沙率最大，达到0.0531t/m/d，A2站输沙率最小，为0.0008t/m/d。输沙率基本与平均流方向相同，这也说明平均流的大小和方向控制了输沙率。

总体来说，项目区输沙率较小。

表3.2.2-11 大潮期各站全日单宽输沙率

略

### 3.2.2.3 波浪

略

### 3.2.3 地形地貌与冲淤环境

#### 3.2.3.1 地质构造

三亚地区在大地构造上处于华南褶皱系南缘，岩浆活动和构造活动频繁。海南岛的区域地质构造主要受东西向断裂控制，三亚地区位于琼南拱形断块隆起的九所-陵水断裂南侧。地质构造以华夏纬向构造为格架，并与华夏、新华夏系等构造系复合形成了本区特征。新构造运动在三亚湾海岸带以不对称穹状隆起为特点，以间歇性上升为主，局部产生断陷，形成各级夷平面台地。

本次勘察在岸边的滨海沉积平原和山前冲洪积平原第四系地层未发现断裂活动的痕迹，区域稳定性较好。琼南地区历史上发生过多地地震，但多为弱震和微震，陆上地震最高震级不超 4.5 级，区域地质抗震设防烈度为 6 度。

据《海南岛地质》（构造地质），本场地及其邻近区域的主要构造形迹有：东西向的九所—陵水构造带；北东向构造有三亚褶皱构造带，东岭褶皱构造带；北北东组构造形迹有文昌—琼海—三亚断陷构造带，其南端的红砂断裂带；南北向及北西向构造有昌城—乐东—田独断裂带。以上各断裂均距离本项目较远，其作用均对本场地未造成直接影响，本工程区域范围内未发现断层及次生构造带存在，工程区属地质构造稳定区域。

#### 3.2.3.2 工程地质

珊瑚礁修复工程区工程地质引用《三亚西岛码头工程地质勘察报告》（中机三勘岩土工程有限公司，2017 年 6 月）的调查结果，钻孔平面共布设勘探钻孔 14 个（均为水上钻孔），孔距 26.00~61.00 m，设计孔深 35.00~40.00m。钻孔平面布置图见图 3.2.3-1。

西岛区域勘察揭露的地层自上而下由第四系全新统海相沉积层（ $Q_4^m$ ）和第四系上更新统海相沉积（ $Q_3^m$ ）等组成。自上而下划分 4 个工程地质单元层，其岩性特征描述如下：

第①层，粗砂（ $Q_4^m$ ）：黄褐色，饱和，松散，石英质，亚圆形，以粗砂颗粒为主，中砂次之，含珊瑚碎屑，粘粒含量约 5%，层厚 0.60~2.40m，层顶埋深 0.00m，在各钻孔均有揭露。

第②层，珊瑚（ $Q_4^m$ ）：灰白色，礁石钙质胶结，胶结程度好，质较软，钻进慢，岩芯呈柱状，柱长 10~20cm，局部呈碎块状、块状，潮退局部露出水面时可见大块状，

岩芯断续不完整，层厚 6.30~8.30m，层顶埋深 0.60~2.40m，其层顶高程-0.75~-6.01m，在各钻孔均有揭露。

第③层，含砂粉质粘土（ $Q_4^m$ ）：灰色，可塑~硬塑（野外特征），含砂颗粒，局部含砂量较重，干强度中等，韧性中等，无摇振反应。层厚 6.80~8.90m，层顶埋深 8.00~9.00m，其层顶高程-7.37~-13.65m，在各钻孔均有揭露。

第④层，粉质粘土（ $Q_3^m$ ）：褐黄色、灰黄色，硬塑（野外特征），夹薄层粉细砂及薄层粘土，干强度中等，韧性中等，无摇振反应。揭露层厚 17.90~25.00m，层顶埋深 15.70~17.30m，其层顶高程-15.90~-21.15m，在各钻孔中均有揭露。

部分钻孔柱状图见图 3.2.3-2。

略

图 3.2.3-1 工程钻孔平面位置图

略

图 3.2.3-2a 钻孔柱状图（部分）

### 3.2.3.3 区域水下地形

根据 2024 年 11 月三亚市水利水电勘测设计院有限公司在项目用海区附近的水下地形测量结果，项目珊瑚礁修复工程区域水深变化范围约为-4m~-8m（1985 国家高程基准），水深自西南向东北逐渐增加，地形变化相对较平缓，起伏小，无明显的地形突变地带，坡度 0.8%，海底地势总体上呈自西岛岸边向海逐渐加深；项目珊瑚保育工程区域水深-1m~-7m（1985 国家高程基准），珊瑚苗床布放区域水深-2m~-3m（1985 国家高程基准），水深自鹿回头沿岸向海逐渐增加，地形变化相对较平缓，起伏小，无明显的地形突变地带，坡度约为 0.7%。

略

图 3.2.3-3 珊瑚礁修复工程区域等深线图

略

图 3.2.3-4 珊瑚保育工程区域等深线图

### 3.2.3.4 珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁稳定性分析

珊瑚增殖礁的稳定计算主要计算抗滑移及抗倾覆。

根据项目初步设计，珊瑚增殖礁的应流面面积约为  $0.50m^2$ 。三种混凝土用量为 0.240、

0.173、1.016 立方米。钢筋重量为 28.93kg、27.01kg，其中 3D 打印礁体无配筋。以稳定性最差的礁体进行计算。

### （1）抗滑移计算

参考(陈小艳,谢琳,王发云. 三亚湾海洋牧场人工鱼礁结构设计及稳定性分析[J]. 海洋科学,2017,41(10):19-23.) 礁体不被水流冲击而发生滑动，此时需满足礁体与海底间的静摩擦力大于流体作用力。可得理想滑动安全系数的计算式如下：

$$S_F = \frac{F}{F_0} = \frac{\sigma g V \mu (1 - \rho / \sigma)}{F_0}$$

式中： F—礁体与海底间的最大静摩擦力（N）

$\sigma$ —礁体材料的密度（ $\text{kg/m}^3$ ）； $\sigma = 2500 \text{ kg/m}^3$ ，2500 为混凝土的密度，计算 F 时还应加上钢筋的量

V—礁体的实体体积（ $\text{m}^3$ ）； $V = 0.173 \text{ m}^3$

$\rho$ —海水密度（ $\text{kg/m}^3$ ）； $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\mu$ —礁体与海底间的静摩擦系数，取 0.5~0.6；

$F_0$ —礁体所受的流体作用力（N）；

若校验结果  $SF > 1.2$ ，则满足稳定条件。

$$F_0 = \rho A v^2 = 1000 \times 0.5 \times v^2 = 0.5 v^2 \text{ KN}$$

$$F = ((2500 - 1000) \times 0.173 + 27.01) \times 10 \times 0.5 = 1.43 \text{ KN}$$

$$1.2 \times 0.5 v^2 \leq 1.43$$

$$v \leq 1.54 \text{ m/s}$$

说明流速大于 1.54m/s 礁体才会发生滑移。

### （2）抗倾覆计算

参考(陈小艳,谢琳,王发云. 三亚湾海洋牧场人工鱼礁结构设计及稳定性分析[J]. 海洋科学,2017,41(10):19-23.)，要求礁体不被水流冲至翻滚，在理想状态下（假设礁体未陷入泥沙）需满足礁体的阻抗转矩大于流体作用力对礁体产生的动转矩。可得理想滚动安全系数的计算式如下：

$$S_F = \frac{\sigma g V (1 - \rho / \sigma) l_w}{F_0 h_0}$$



式中：

$h_0$ —流体作用力 $F_0$ 的最大作用高度（m）；

$l_w$ —礁体重心至可能回转中心的水平距离（m）；

若校验结果 $SF \geq 1.2$ ，则满足稳定条件。

$$\frac{2.86 \times 0.55}{0.5v^2 \times 0.5} = 1.2$$

计算得出， $v=2.29\text{m/s}$

说明需流速大于  $2.29 \text{ m/s}$  才可能发生倾覆。

### 3.2.4 海水水质现状调查与评价

论证范围内海水水质、海洋沉积物、海洋生态环境现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复第二部分海洋环境现状调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2024 年 7 月）的调查结果。

项目用海区内海水水质、海洋沉积物、海洋生态环境现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复二期鱼礁区本底调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2025 年 1 月）的调查结果。

#### 3.2.4.1 调查范围及站位布设

##### （1）2024 年 5 月春季调查

调查内容包括海水水质、海洋沉积物质量、海洋生态（叶绿素 a 及其生产力、浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼卵和仔稚鱼、渔业资源、生物体质量）。本次调查共布设海水水质调查站位 20 个，海洋沉积物质量调查站位 12 个。海洋生态调查站位和渔业资源调查站位各 12 个。海水水质、海洋沉积物质量、海洋生态调查时间为 2024 年 5 月 26 日至 5 月 29 日；渔业资源调查时间为 2024 年 4 月 25 日。调查站位见表 3.2.4-1 和图 3.2.4-1。

表 3.2.4-1 调查站位表（2024 年 5 月）

略

##### （2）2024 年 8 月补充调查

调查内容包括海水水质、海洋沉积物质量、海洋生态（叶绿素 a 及其生产力、浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼卵和仔稚鱼、渔业资源、生物体质量）。本次调查共布设海水水质调查站位 18 个，海洋沉积物质量、海洋生态调查站位各 10 个。海水水质、

海洋沉积物质量、海洋生态调查时间为 2024 年 8 月 22 日至 8 月 23 日；渔业资源调查时间为 2024 年 8 月 26 日。调查站位见表 3.2.4-2 和图 3.2.4-1。

表 3.2.4-2 调查站位表（2024 年 8 月）

略  
略

图 3.2.4-2 调查站位图（2024 年 8 月）

（3）调查站位符合性分析

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023），二级论证海水水质调查站位不少于 12 个、海洋沉积物质量调查站位不少于 6 个、海洋生物质量采集点不少于 2 处、海洋生态调查站位不少于 8 个；结合 2024 年 5 月现状调查站位和 2024 年 8 月补充调查站位，详见图 3.2.4-1，论证范围内海水水质调查站位共 18 个、海洋沉积物质量调查站位 11 个、海洋生态（渔业资源）调查站位 11 个，调查站位满足导则要求。

3.2.4.2 调查内容及调查方法

海水水质的调查内容包括：水深、透明度、水温、盐度、溶解氧、pH 值、硝酸氮、氨氮、亚硝酸氮、活性磷酸盐、化学需氧量、悬浮物、油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷。

海水采样根据《海洋监测规范第 3 部分：样品采集、贮存及运输》（GB17378.3-2007）确定海水采样层次。并根据规定，使用桶式采水器采集不同层次的海水样品，其中海水油类样品只采集表层。海水采样层次见表 3.2.4-3。

海水水质分析方法采用《海洋监测规范第 4 部分：海水分析》（GB17378.4-2007）中的海水分析标准方法，具体分析方法详见表 3.2.4-4。

表 3.2.4-3 水质采样层次

水深范围 m	标准层次	底层与相邻标准层次最小距离
小于 10	表层	
10~25	表层、底层	
25~50	表层、10m、底层	
50~100	表层、10m、50 m、底层	5m
100 以上	表层、10m、50 m、以下水层酌情加层、底层	10m
注 1：表层系指海面以下 0.1~1m；		
注 2：底层，对河口及港湾海域最好离底 2m 的水层，深海或大风浪可酌情增大离底距离。		

表 3.2.4-4 海水水质分析方法

调查内容	分析项目	分析方法	检测标准（方法）名称	检出限
海水水质	水温	表层温度计法	GB 17378.4 -2007（25.1）	--
	pH	pH 计法	GB17378.4-2007（26）	--
	盐度	盐度计法	GB17378.4-2007（29.1）	--
	透明度	透明度盘法	GB 17378.4 -2007（22）	--
	溶解氧	碘量法	GB 17378.4 -2007（31）	0.08mg/L
	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	GB 17378.4 -2007（32）	0.02mg/L
	氨氮	次溴酸盐氧化法	GB 17378.4 -2007（36.2）	0.0004mg/L
	亚硝酸盐氮	萘乙二胺分光光度法	GB 17378.4 -2007（37）	0.0003mg/L
	硝酸盐氮	铈钼还原法	GB 17378.4 -2007（38.2）	0.0007mg/L
	活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	GB 17378.4 -2007（39.1）	0.0006mg/L
	油类	紫外分光光度法	GB 17378.4 -2007（13.2）	0.0035mg/L
	悬浮物	重量法	GB 17378.4 -2007（27）	--
	铜	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.4 -2007（6.1）	0.2μg/L
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.4 -2007（7.1）	0.03μg/L
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.4 -2007（8.1）	0.01μg/L
	总铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.4—2007（10.1）	0.4μg/L
	锌	火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.4 -2007（9.1）	3.1μg/L
	汞	原子荧光法	GB17378.4-2007（5.1）	0.007μg/L
	砷	原子荧光法	GB17378.4-2007（11.1）	0.5μg/L

3.2.4.3 评价标准

（1）2024 年 5 月春季调查评价标准

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求（见表 3.2.4-5）可知，本项目的 1、2 号站执行第二类海水水质标准；3 号站执行第三类海水水质标准；4 号站执行第四类海水水质标准；5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20 号站海水水质标准应维持现状。

表 3.2.4-5 调查海域海洋功能区划海洋环境保护要求

序号	站号	所属功能区名称	代码	环境保护要求
1	1、2	三亚湾-红糖湾旅游度假区	HN055BII	执行二类海水水质标准。
2	3	三亚港区	HN086DIII	执行三类海水水质标准。
3	4	三亚倾废区	HN104DIV	执行四类海水水质标准。
4	5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20	--	--	海水水质标准应维持现状，经论证改变功能类型后，根据开发类型确定其水质标准。

## (2) 2024 年 8 月补充调查评价标准

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求（见表 3.2.4-6）可知，本项目的 13、14、15、16、17、18 号站执行第一类海水水质标准；1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 号站海水水质标准维持现状。

**表 3.2.4-6 调查海域海洋功能区划海洋环境保护要求**

序号	站号	所属功能区名称	代码	环境保护要求
1	1、2、3、4、5、6、 7、8、9、10、11、 12	--	--	海水水质标准应维持现状，经论证改变功能类型后，根据开发类型确定其水质标准。
2	13、14、15、16、 17、18	三亚国家级珊瑚礁自然保护区	HN011AI	执行一类海水水质标准。

### 3.2.4.4 评价方法

水质现状评价利用单项水质参数法进行评价，评价标准值见表 3.2.4-7。

#### ① 单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数

$$S_{i,j} = C_{i,j} / C_{s,i}$$

式中： $S_{i,j}$ —i 污染物在 j 点的污染指数；

$C_{i,j}$ —i 污染物在 j 点的实测值；

$C_{s,j}$ —i 污染物的评价标准值，mg/L。

#### ② DO 的标准指数为：

$$S_{DO,j} = DO_s / DO_j \quad DO_f \leq DO_s$$

$$S_{DO,j} = \frac{|DO_f - DO_j|}{DO_f - DO_s} \quad DO_f > DO_s$$

$$DO_f = (491 - 2.65S) / (33.5 + T)$$

式中： $DO_s$ —溶解氧的水质标准，mg/L；

$DO_j$ —j 点的溶解氧，mg/L；

$DO_f$ —饱和溶解氧浓度，mg/L；

S—实用盐度符号，量纲为 1；

T—水温，℃。

#### ③ pH 的标准指数为：

$$S_{\text{pH},j} = \frac{7.0 - \text{pH}_j}{7.0 - \text{pH}_{\text{sd}}} \quad \text{pH}_j \leq 7.0$$

$$S_{\text{pH},j} = \frac{\text{pH}_j - 7.0}{\text{pH}_{\text{su}} - 7.0} \quad \text{pH}_j > 7.0$$

式中： $S_{\text{pH},j}$ —pH 值的指数，大于 1 表明该水质因子超标；

$\text{pH}_j$ —pH 值实测统计代表值；

$\text{pH}_{\text{su}}$ —评价标准中 pH 值上限值；

$\text{pH}_{\text{sd}}$ —评价标准中 pH 值下限值；

水质参数的标准指数 $>1$ ，表明该水质参数超过了规定的水质标准。

表 3.2.4-7 水质评价标准值

评价因子	评价标准值 (第一类)	评价标准值 (第二类)	评价标准值 (第三类)	评价标准值 (第四类)	引用标准
pH	7.8~8.5		6.8~8.8		海水水质标准 (GB3097-1997)
DO	>6mg/L	>5mg/L	>4mg/L	>3mg/L	
COD	≤2mg/L	≤3mg/L	≤4mg/L	≤5mg/L	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	≤0.015mg/L	≤0.030mg/L		≤0.045mg/L	
无机氮	≤0.20mg/L	≤0.30mg/L	≤0.40mg/L	≤0.50mg/L	
锌	≤20μg/L	≤50μg/L	≤100μg/L	≤500μg/L	
镉	≤1μg/L	≤5μg/L	≤10μg/L		
铅	≤1μg/L	≤5μg/L	≤10μg/L	≤50μg/L	
铜	≤5μg/L	≤10μg/L	≤50μg/L		
总铬	≤50μg/L	≤100μg/L	≤200μg/L	≤500μg/L	
油类	≤0.05mg/L		≤0.30mg/L	≤0.50mg/L	
汞	≤0.05μg/L	≤0.2μg/L		≤0.5μg/L	
砷	≤20μg/L	≤30μg/L	≤50μg/L		

### 3.2.4.5 海水水质调查结果与评价

#### (1) 2024 年 5 月春季调查海水水质调查结果与评价

本次海水水质调查项目包括水温、透明度、pH 值、盐度、溶解氧（DO）、硝酸盐氮（ $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ ）、氨氮（ $\text{NH}_3^{-}\text{-N}$ ）、亚硝酸盐氮（ $\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ ）、活性磷酸盐（ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ）、悬浮物、化学需氧量（COD）、油类、铜、铅、镉、锌、总铬、汞和砷共 19 项。布设调查站位 20 个，其中 1 号站水深小于 10m，采集表层；2、3 站位调查水深在 10m~25m 之间，采集表、底层水样；4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14 站位调查水深在 25m~50m 之间，采集表、10m、底层水样；15、16、17、18、19、20 站位调查水深在 50m~100m

之间，采集表、10m、50m、底层水样。本次调查共采集 62 个层次海水样品。海水水质各要素监测结果和统计结果列于表 3.2.4-8。

根据《海水水质标准》（GB 3097-1997）中对部分水质参数的分类规定，本次调查水质现状评价因子为 pH 值、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮、油类、总铬、汞、砷、铜、铅、镉和锌。

各水质各评价因子的单项标准指数计算和统计结果及超标率列见表 3.2.4-9。

由表 3.2.4-9 可以看出，调查海域的 pH 值、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮、油类、总铬、汞、砷、铜、铅、镉和锌含量均符合海洋功能区划要求的相应海水水质标准要求，其中 1、2 号站符合功能区划要求的第二类海水水质标准；3 号站符合功能区划要求的第三类海水水质标准；4 号站符合功能区划要求的第四类海水水质标准；5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20 号站海水水质标准应维持现状。

海水溶解氧含量的 8 号站中层（10m）；14 号站表层及中层（10m）；17 号站中层（50m）；19 号站底层号站样品含量轻微超标，超出所处功能区划要求的第一类海水水质标准，符合第二类海水水质标准。其余站位样品均符合所处海洋功能区划的水质标准要求。该监测层次的海水溶解氧含量  $>6\text{mg/L}$  符合第一类海水水质标准，但经水质参数法计算标准指数值大于 1，即超海水水质标准要求。指数值大于 1 的原因可能是随着水温的升高，海水中溶解氧的溶解度减小，溶解氧自海水逸出至大气中但这一过程往往滞后于海水增温过程，由此便形成海水溶解氧呈过饱和状态，同理浮游植物生长旺盛期，浮游植物光合作用产生大量氧气，当浮游植物释放氧气的速率大于溶解氧自海水中逸出速率时，海水溶解氧也呈现过饱和状态，这种情况即便是在未发生富营养的海水中也十分常见。因此，溶解氧呈过饱和状态的海水不应被视为遭受污染。

## （2）2024 年 8 月补充调查海水水质调查结果与评价

本次海水水质调查项目包括水温、透明度、pH 值、盐度、溶解氧（DO）、硝酸盐氮（ $\text{NO}_3^--\text{N}$ ）、氨氮（ $\text{NH}_3^--\text{N}$ ）、亚硝酸盐氮（ $\text{NO}_2^--\text{N}$ ）、活性磷酸盐（ $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ ）、悬浮物、化学需氧量（COD）、油类、铜、铅、镉、锌、总铬、汞和砷共 19 项。布设调查站位 18 个，其中 13、14、15、16、17 号站水深小于 10m，采集表层；1、2、18 站位调查水深在 10m~25m 之间，采集表、底层水样；3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 站位调查

水深在 25m~50m 之间，采集表、10m、底层水样。本次调查共采集 41 个层次海水样品。海水水质各要素监测结果和统计结果列于表 3.2.4-10。

根据《海水水质标准》（GB 3097-1997）中对部分水质参数的分类规定，本次调查水质现状评价因子为 pH 值、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮、油类、总铬、汞、砷、铜、铅、镉和锌。

各水质各评价因子的单项标准指数计算和统计结果及超标率列见表 3.2.4-11。

由表 3.2.4-11 可以看出，调查海域的 pH 值、溶解氧、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、总铬、汞、砷、铜、铅、镉和锌含量均符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）中第一类海水水质标准要求。依据近岸海域功能区划要求调查 13、14、15、16、17、18 号站符合近岸海域功能区划要求的第一类海水水质标准；1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 号站海水水质标准维持现状。其中海水油类 3 号站超《海水水质标准》（GB 3097-1997）的第一、二类海水水质标准，符合第三类海水水质标准。其余站位样品均符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）的水质标准的第一、二类要求。海水油类偏高的原因可能是调查海域来往渔船捕捞及运输较多，机舱含油污水可能存在渗漏入海的情况。

**表 3.2.4-8 水质要素分析结果统计（2024 年 5 月）**

略

**表 3.2.4-10 水质要素分析结果统计(续)（2024 年 5 月）**

略

**表 3.2.4-11 水质标准指数（2024 年 5 月）**

略

**表 3.2.4-10 水质要素分析结果统计（2024 年 8 月）**

略

**表 3.2.4-10 水质要素分析结果统计(续)（2024 年 8 月）**

略

**表 3.2.4-11 水质标准指数（2024 年 8 月）**

略

3.2.5 海洋沉积物质量现状调查与评价

论证范围内海洋沉积物环境现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复第二部分海洋环境现状调查报告》(海南正永生态工程技术有限公司,2024 年 7 月)的调查结果。

项目用海区内海洋沉积物环境现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复二期鱼礁区本底调查报告》(海南正永生态工程技术有限公司,2025 年 1 月)的调查结果。

3.2.5.1 调查站位

(1) 2024 年 5 月春季调查

本次调查共布设海洋沉积物质量调查站位 12 个。海洋沉积物质量调查时间为 2024 年 5 月 26 日至 5 月 29 日。调查站位见表 3.2.4-1 和图 3.2.4-1。

(2) 2024 年 8 月补充调查

本次调查共布设海洋沉积物质量调查站位各 10 个。海洋沉积物质量调查时间为 2024 年 8 月 22 日至 8 月 23 日。调查站位见表 3.2.4-2 和图 3.2.4-1。

3.2.5.2 调查内容及调查方法

本次海洋沉积物调查分析项目为油类、硫化物、有机碳、铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、粒度。

海洋沉积物采样按照《海洋监测规范第 3 部分：样品采集、贮存及运输》(GB17378.3-2007) 中的规定进行。

海水沉积物分析方法采用《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》GB 17378.5-2007 中的沉积物分析标准方法，及《海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球物理调查》GB/T 12763.8-2007 中的沉积物分析标准方法，具体分析方法详见表 3.2.5-1。

表 3.2.5-1 海洋沉积物分析方法

调查内容	调查项目	分析方法	检测标准（方法）名称	检出限
海洋沉积物	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB17378.5-2007（17.1）	0.3×10 <sup>-6</sup>
	油类	紫外分光光度法	GB17378.5-2007（13.2）	3.0×10 <sup>-6</sup>
	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	GB17378.5-2007（18.1）	--
	铜	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（6.1）	0.5×10 <sup>-6</sup>
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（7.1）	1.0×10 <sup>-6</sup>



调查内容	调查项目	分析方法	检测标准（方法）名称	检出限
	铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（10.1）	$2.0 \times 10^{-6}$
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（8.1）	$0.04 \times 10^{-6}$
	锌	火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（9）	$6.0 \times 10^{-6}$
	总汞	原子荧光法	GB17378.5-2007（5.1）	$0.002 \times 10^{-6}$
	砷	原子荧光法	GB17378.5-2007（11.1）	$0.06 \times 10^{-6}$
	粒度	筛析法/激光粒度仪	GB/T 12763.8—2007 （6.3）	--

3.2.5.3 评价标准

（1）2024 年 5 月春季调查评价标准

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求（见表 3.2.5-2）可知，本项目的 1、3、5、7、8、9、11、12、13、15、17、19 号站海洋沉积物质量标准应维持现状。

表 3.2.5-2 调查海域海洋功能区划海洋环境保护要求

序号	站号	所属功能区名称	代码	环境保护要求
1	1	三亚湾-红糖湾旅游度假区	HN055BII	海洋沉积物标准应维持现状，经论证改变功能类型后，根据开发类型确定其水质标准。
2	3	三亚港区	HN086DIII	
3	5、7、8、9、11、12、13、15、17、19	--	--	

（2）2024 年 8 月补充调查评价标准

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求（见表 3.2.5-3）可知，对调查海域海洋沉积物并未规定相应的执行目标；因此本项目的 2、3、5、6、9、11、12、15、17、18 号站海洋沉积物质量标准维持现状。

表 3.2.5-3 调查海域海洋功能区划海洋环境保护要求

序号	站号	所属功能区名称	代码	环境保护要求
1	2、3、5、6、9、11、12	--	--	海洋沉积物质量标准应维持现状，经论证改变功能类型后，根据开发类型确定其沉积物标准。
2	15、17、18	三亚国家级珊瑚礁自然保护区	HN011AI	

3.2.5.4 评价方法

沉积物质量评价采用单项分指数法，评价标准值见表 3.2.5-4。

单项沉积物参数 i 在第 j 点的标准指数

$$S_{i,j} = C_{i,j} / C_{s,i}$$

式中： $S_{i,j}$ — $i$  污染物在  $j$  点的污染指数；

$C_{i,j}$ — $i$  污染物在  $j$  点的实测值；

$C_{s,i}$ — $i$  污染物的评价标准值。

沉积物参数的标准指数  $>1$ ，表明该沉积物参数超过了规定的沉积物标准。

表 3.2.5-4 沉积物质量标准

项目	第一类	第二类	第三类	引用标准
油类 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 500.0$	$\leq 1000$	$\leq 1500$	《海洋沉积物质量》(GB18668—2002)
锌 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 150.0$	$\leq 350$	$\leq 600$	
镉 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 0.50$	$\leq 1.50$	$\leq 5.0$	
铅 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 60.0$	$\leq 130$	$\leq 250$	
铜 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 35.0$	$\leq 100$	$\leq 200$	
铬 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 80$	$\leq 150$	$\leq 270$	
有机碳 (%)	$\leq 2.0$	$\leq 3.0$	$\leq 4.0$	
总汞 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 0.2$	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	
砷 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 20$	$\leq 65$	$\leq 93$	
硫化物 ( $\times 10^{-6}$ )	$\leq 300$	$\leq 500$	$\leq 600$	

3.2.5.5 海洋沉积物调查结果与评价

(1) 2024 年 5 月春季调查海洋沉积物调查结果与评价

本次沉积物调查分析项目为油类、硫化物、有机碳、铜、铅、锌、铬、镉、总汞和砷共 10 项。在调查海区共布设调查站位 12 个，共采集 12 个海洋表层沉积物。沉积物样品外观为灰色；沉积物类型多为泥和泥沙；样品无明显的硫化氢气味。表层沉积物各要素监测及统计结果列于表 3.2.5-5。

表 3.2.5-5 沉积物分析结果

略

由表 3.2.5-6 可知，三亚湾附近海域沉积物类型有含砾泥质砂、粉砂、砂质粉砂、含砾泥、砾质泥，其中砂质粉砂占比较高占本次沉积物总数量的 66.7%，其次为含砾泥质砂、粉砂、含砾泥和砾质泥占本次沉积物总数量的 8.3%。

表 3.2.5-6 表层沉积物粒度分析结果

略

根据《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002) 中对部分沉积物质量参数的分类规定，

本次沉积物质量评价因子为油类、硫化物、有机碳、锌、镉、铅、铜、铬、总汞和砷共 10 项。

各沉积物单项标准指数计算和统计结果及超标率列见表 3.2.5-7。

**表 3.2.5-7 沉积物单项分指数**

略

从表 3.2.5-7 可以看出，调查海域的表层沉积物中油类、硫化物、有机碳、铜、铅、锌、镉、铬、总汞和砷均符合《海洋沉积物质量》（GB18668—2002）中第一类海洋沉积物质量标准，依据近岸海域功能区划要求调查 1、3、5、7、8、9、11、12、13、15、17、19 号站海洋沉积物质量标准应维持现状。

## （2）2024 年 8 月补充调查海洋沉积物调查结果与评价

本次沉积物调查分析项目为油类、硫化物、有机碳、铜、铅、锌、铬、镉、总汞和砷共 10 项。在调查海区共布设调查站位 10 个，共采集 10 个海洋表层沉积物。沉积物样品外观为灰色；沉积物类型为沙泥、泥沙和泥；样品无明显的硫化氢气味。表层沉积物各要素监测及统计结果列于表 3.2.5-8。

**表 3.2.5-8 沉积物分析结果**

略

由表 3.2.5-9 可知，三亚湾附近海域沉积物类型有砂质粉砂、砾质泥质砂、粉砂、砾质泥、含砾泥，其中砂质粉砂、砾质泥质砂占比较高，占本次沉积物总数量的 30.0%。其次为粉砂占本次沉积物总数量的 20.0%，含砾泥和粉砂占本次沉积物总数量的 10.0%。

**表 3.2.5-9 表层沉积物粒度分析结果**

略

根据《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）中对部分沉积物质量参数的分类规定，本次沉积物质量评价因子为油类、硫化物、有机碳、锌、镉、铅、铜、铬、总汞和砷共 10 项。

各沉积物单项标准指数计算和统计结果及超标率列见表 3.2.5-10。

**表 3.2.5-10 沉积物单项分指数**

略

从表 3.2.5-10 可以看出，调查海域的表层沉积物中油类、有机碳、硫化物、铜、铅、

锌、镉、铬、总汞和砷均符合《海洋沉积物质量》（GB18668—2002）中第一类海洋沉积物质量标准，依据近岸海域功能区划要求调查 2、3、5、6、9、11、12、15、17、18 号站海洋沉积物质量标准维持现状。

3.2.6 海洋生态现状调查与评价

论证范围内海洋生态环境现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复第二部分海洋环境现状调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2024 年 7 月）的调查结果。

项目用海区内海洋生态环境现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复二期鱼礁区本底调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2025 年 1 月）的调查结果。

3.2.6.1 调查站位

（1）2024 年 5 月春季调查

本次调查共布设海洋生态调查站位和渔业资源调查站位各 12 个。海洋生态调查时间为 2024 年 5 月 26 日至 5 月 29 日；渔业资源调查时间为 2024 年 4 月 25 日。调查站位见表 3.2.4-1 和图 3.2.4-1。

（2）2024 年 8 月补充调查

本次调查共布设海洋生态调查站位 10 个。海洋生态调查时间为 2024 年 8 月 22 日至 8 月 23 日；渔业资源调查时间为 2024 年 8 月 26 日。调查站位见表 3.2.4-2 和图 3.2.4-1。

3.2.6.2 调查内容

海洋生态和渔业资源具体调查项目详见表 3.2.6-1

表 3.2.6-1 调查项目

调查内容	调查项目	采样及分析方法
海洋生态	叶绿素 a 及初级生产力。	按照《海洋调查规范》GB/ T 12763-2007 和《海洋监测规范》GB 17378-2007 的要求进行
	浮游植物：种类、丰度、优势种、多样性指数和均匀度。	
	浮游动物：种类、丰度和生物量、优势种、多样性指数和均匀度。	
	底栖生物：种类、生物量和密度、优势种、丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度。	

调查内容	调查项目	采样及分析方法
	鱼卵和仔稚鱼：种类及种群结构、生物量及分布、资源密度	
渔业资源	资源密度、渔获种类、渔获量、渔获率、鱼类资源状况（包括各大类群种类分布）	

### 3.2.6.3 采样方法

#### （1）叶绿素 a 及初级生产力

采样层次：根据《海洋调查规范》（GB/T 12763.6-2007）规定，样品采集层次与海水水质样品采集层次相同。

初级生产力的估算采用叶绿素 a 法，按联合国教科文组织（UNESCO）推荐的下列公式估算：

$$P = \frac{Chla \cdot Q \cdot D \cdot E}{2}$$

式中：

P—现场初级生产力（mg·C/(m<sup>2</sup>·d)）

Chla—真光层内平均叶绿素 a 含量（mg/m<sup>3</sup>）

Q—不同层次同化指数算术平均值，取 3.71

D—昼长时间（h），根据季节和海区情况取 12.0 小时

E—真光层深度（m），取透明度(m)×2.71

#### （2）浮游植物

采样层次：底—表垂直拖。

调查方法：利用浅水Ⅲ型浮游生物网采样，拖网方式为底——表垂直拖，采用 5% 中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行种类鉴定及按个体计数法进行计数、统计和分析。

#### （3）浮游动物

采样层次：底—表垂直拖

调查方法：利用浅水Ⅰ型浮游生物网采样，拖网方式为底——表垂直拖。采用 5% 中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

#### （4）大型底栖生物

采样层次：海洋沉积物表层采样和表层拖网。

调查方法：底栖生物的定量样品采用 0.065m<sup>2</sup> 的采泥器采集，每站采样 3 次；定性

样品采用阿氏拖网采集，拖拽时间为 6min，拖速为 2-3 节。采集样品采用 75%无水乙醇固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

### （5）游泳动物

根据调查海域海底地形，在近岸浅水区 1 号、3 号和 7 号站位放置流刺网，其余的站位均为单囊底拖网渔船调查。流刺网网具规格：外网衣网目尺寸为 80mm，内网衣网目尺寸为 35mm，网长为 32m。每个站点放置网列长度为 416m。单囊底拖网渔船：船号为“琼临渔 00136”，单拖网渔船，船长 20.4 米，船宽 5.6 米，主机 530 千瓦。网具底纲长 5.0m，浮纲长 5.0m，网口宽 5.0m，网目为 10.0cm，网囊网目为 3.0cm，拖网每个调查站位各拖 1 网次，每网次为单网。

优势渔获物分析通过 Pinkas 等应用的相对重要性指标（IRI）来确定：

$$IRI = (N+W) \times F \times 10^4$$

N 为某种类的尾数占总渔获尾数的百分比；W 为某种类的质量占总渔获质量的百分比；F 为某种类在调查中被捕获的站位数与总调查站位数之比。本报告以 IRI 大于 100 为优势种

资源密度（kg/km<sup>2</sup>）和现存资源量(t)根据扫海面积法估算，公式如下：

$$D = Y \times 10^{-3} / (A(1-E)) \quad B = D \cdot S$$

B=现存资源量(t)，D=资源密度(kg/km<sup>2</sup>)，A=每小时扫海面积(km<sup>2</sup>/h)，

S=调查监测水域面积(km<sup>2</sup>)，Y=平均渔获率(kg/h)，E=逃逸率(这里取 0.5)。

### （6）鱼卵和仔稚鱼

采样层次：底—表垂直拖和表层拖网

调查方法：利用浅水I型浮游生物网采样，定性样品采用平行拖网采集，定量样品采用垂直拖网采集。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

#### 3.2.6.4 分析方法

海洋生态分析方法依据《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》（GB/T 12763.6-2007）、《海洋监测规范第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》（GB 17378.7-2007）中所确定的方法。详见表 3.2.6-2。

表 3.2.6-2 海洋生态分析方法

调查内容	调查项目	分析方法	检测标准（方法）名称
海洋生物	叶绿素 a	分光光度法	GB 17378.7 -2007（8.2）
	浮游植物	镜检法	GB 17378.7 -2007（5）
	浮游动物	镜检法	GB 17378.7 -2007（5）
	大型底栖生物	镜检法	GB 17378.7 -2007（6）
	游泳生物	现场分类、称重、计数	GB/T 12763.6 -2007（14）
	鱼卵和仔稚鱼	镜检法	GB/T 12763.6-2007（9）

### 3.2.6.5 评价方法

用反映生物群落特征指数，优势度、多样性指数( $H'$ )、均匀度( $J'$ )、丰富度和单纯度对所调查的生物群落结构特征进行分析。计算公式如下：

(1) 优势度 ( $Y$ ):

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

(2) Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

(3) Pielou 均匀度指数:

$$J = H' / H_{\max}$$

式中:  $P_i = n_i / N$ ;  $H_{\max} = \log_2 S$ , 为最大多样性指数;  $n_i$ : 第  $i$  种的个体数量 ( $\text{ind} \cdot \text{m}^2$ );  $N$ : 某站总生物数量 ( $\text{ind} \cdot \text{m}^2$ );  $f_i$ : 某种生物的出现频率(%);  $S$ : 出现生物总种数。

(4) 丰富度指数

$$d = (S-1) / \log_2 N$$

$d$  表示丰富度指数;  $S$  表示样品中的总种数;  $N$  表示群落中所有物种的总丰度

(5) 单纯度指数

$$C = \text{SUM}(n_i / N)^2$$

$C$  表示单纯度指数;  $N$  为群落中所有物种丰度或生物量,  $n_i$  为第  $i$  个物种的丰度或生物量

### 3.2.6.6 海洋生态调查结果

#### 1、2024 年 5 月春季调查海洋生态调查结果

(1) 叶绿素 a 与初级生产力

### ① 叶绿素 a 与初级生产力结果

初级生产力采用叶绿素 a 法,按照联合国教科文组织(UNESCO)推荐的下列公式:  
 $P = Chla \cdot Q \cdot D \cdot E / 2$  计算,其结果见表 3.2.6-3。

表 3.2.6-3 调查海区叶绿素 a 含量和初级生产力

略

由表 3.2.6-3 可见,调查海域叶绿素 a 含量范围为  $(0.24 \sim 2.16) \text{ mg/m}^3$ ,平均值为  $0.66 \text{ mg/m}^3$ ,表层叶绿素 a 含量范围为  $(0.22 \sim 1.80) \text{ mg/m}^3$ ,平均值为  $0.62 \text{ mg/m}^3$ ; 10m 叶绿素 a 含量范围为  $(0.02 \sim 0.88) \text{ mg/m}^3$ ,平均值为  $0.36 \text{ mg/m}^3$ ; 50m 叶绿素 a 含量范围为  $(0.12 \sim 0.76) \text{ mg/m}^3$ ,平均值为  $0.52 \text{ mg/m}^3$ ; 底层叶绿素 a 含量范围为  $(0.22 \sim 2.51) \text{ mg/m}^3$ ,平均值为  $0.70 \text{ mg/m}^3$ 。各站点间有略微差异。根据美国环保局(EPA)关于叶绿素 a 含量的评价标准(叶绿素 a 含量低于  $4 \text{ mg/m}^3$  为贫营养区,  $4 \sim 10 \text{ mg/m}^3$  为中营养区,超过  $10 \text{ mg/m}^3$  为富营养区),调查站位均为贫营养区。

调查海域初级生产力变化范围是  $(118.72 \sim 1667.85) \text{ mg} \cdot \text{C/m}^2 \cdot \text{d}$ ; 平均值为  $401.06 \text{ mg} \cdot \text{C/m}^2 \cdot \text{d}$ 。初级生产力分布见图 3.2.6-1。

略

图 3.2.6-1 调查海域初级生产力分布图

### ② 小结

调查海区叶绿素 a 含量范围为  $(0.24 \sim 2.16) \text{ mg/m}^3$ ,调查站位均为贫营养区;调查海区初级生产力变化范围是  $(118.72 \sim 1667.85) \text{ mg} \cdot \text{C/m}^2 \cdot \text{d}$ 。

### (2) 浮游植物

根据本次调查所采集到的样品,调查海域共鉴定到浮游植物 3 门 38 属 102 种(包括变型及变种),以硅藻类占多数,浮游植物种类名录见附录 1。各调查站位浮游植物的细胞丰度介于  $(0.01 \sim 2.04) \times 10^5 \text{ cells/m}^3$  之间,平均细胞丰度为  $0.22 \times 10^5 \text{ cells/m}^3$ 。调查海域浮游植物优势种类明显,主要为透明根管藻、菱形藻、窄隙角毛藻、短角藻原变种、细弱海链藻、席藻、奇异棍形藻等。各站位的浮游植物丰富度指数介于 2.01~3.45 之间,平均值为 2.81,单纯度指数介于 0.10~0.23 之间,平均值为 0.16,多样性指数介于 3.23~3.98 之间,平均值为 3.55,均匀度指数介于 0.63~0.77 之间,平均值为 0.70。

### (3) 浮游动物



据本次调查所采集到的标本鉴定，调查海域浮游动物共有 10 类 37 属 50 种，不包括浮游幼体、鱼卵及仔鱼，其中桡足类有 36 种，管水母类有 3 种，被囊类有 2 种，花水母类有 2 种，毛颚类有 2 种，端足类有 1 种，介形类有 1 种，十足类有 1 种，枝角类有 1 种，水螅水母类有 1 种，浮游动物种类名录见附录 2。浮游动物丰度范围为  $(1.42\sim187.17)$  ind./m<sup>3</sup>，平均丰度为 55.43ind./m<sup>3</sup>；生物量范围为  $(0.56\sim62.96)$  mg/m<sup>3</sup>，平均生物量为 17.76mg/m<sup>3</sup>。该海域浮游动物优势种类主要有百陶箭虫、小哲水蚤、中华哲水蚤、亚强真哲水蚤、异尾宽水蚤、短尾类幼体、中型莹虾、长尾类幼体、小齿海樽、肥胖箭虫。该水域浮游动物多样性指数范围在 2.81~3.75 之间，平均值为 3.35；均匀度指数范围在 0.63~0.95 之间，平均值为 0.80；丰富度指数范围在 1.95~3.03 之间，平均值为 2.37；单纯度指数范围在 0.10~0.25 之间，平均值为 0.15。

#### （4）大型底栖动物

本次调查，调查海域大型底栖动物共采集鉴定到 6 门 58 科 75 种，其中环节动物有 22 种，节肢动物有 22 种，软体动物有 16 种，棘皮动物有 9 种，脊索动物有 5 种，刺胞动物有 1 种，大型底栖动物种类名录见附录 3。各站位底栖生物栖息密度的幅度为  $(15.38\sim92.31)$  ind./m<sup>2</sup>，平均密度为 35.47ind./m<sup>2</sup>；生物量的幅度为  $(0.24\sim11.67)$  g/m<sup>2</sup>，平均生物量为 2.80g/m<sup>2</sup>。调查海域大型底栖动物栖息密度主要以环节动物门为主，平均密度为 14.96ind./m<sup>2</sup>，其次为节肢动物门，平均密度为 14.53ind./m<sup>2</sup>，最低为刺胞动物门，平均密度均为 0.43ind./m<sup>2</sup>；生物量以环节动物门为主，平均生物量为 0.75g/m<sup>2</sup>，其次为棘皮动物门，平均生物量为 0.73g/m<sup>2</sup>，最低为软体动物门，平均生物量为 0.02g/m<sup>2</sup>。调查期间该海域大型底栖动物优势种类突出，优势种为双形拟单指虫、印痕倍棘蛇尾、太平洋稚齿虫、纳加索沙蚕和玉虾。各站丰富度的幅度为 0.20~1.53，平均值为 0.73；各站单纯度的幅度为 0.11~0.72，平均值为 0.32；各站多样性指数的幅度为 0.65~3.24，平均值为 1.94；各站均匀度的幅度为 0.65~1.00，平均值为 0.93。

#### （5）游泳动物

本次共采集到获游泳动物 72 种，隶属于 13 目 43 科，其中鱼类为 9 目 33 科 53 种，甲壳类 2 目 8 科 17 种，头足类 2 目 2 科 3 种，游动动物种类名录详见附录 4。游泳动物的平均渔获率为 3.772kg/h 和 252ind./h。其中，鱼类为 2.791kg/h 和 180ind./h，甲壳类的平均渔获率为 0.340kg/h 和 8ind./h，头足类的平均渔获率为 0.641kg/h 和 64ind./h。根

据扫海面积法估算，评价区及附近海域内 1 号、3 号和 7 号站位放置流刺网，不做资源密度评估。其余站位目前游泳动物的平均资源密度约为  $379.808\text{kg}/\text{km}^2$  和  $25677\text{ind.}/\text{km}^2$ ，其中鱼类约为  $279.454\text{kg}/\text{km}^2$  和  $18192\text{ind.}/\text{km}^2$ ，甲壳类约为  $34.120\text{kg}/\text{km}^2$  和  $859\text{ind.}/\text{km}^2$ ，头足类约为  $66.234\text{kg}/\text{km}^2$  和  $6626\text{ind.}/\text{km}^2$ 。根据相对重要性指数（*IRI*）公式计算评价调查海域内的相对重要性指标（*IRI*），并以 *IRI* 大于 100 作为优势渔获物的判断指标，本次调查的优势渔获种类共有 10 种。其中红鲷的 *IRI* 最高，为 2731.09；其他优势渔获物依次为中国枪乌贼（2680.16）、眼斑拟鲈（2164.52）、日本绯鲤（1565.66）、多齿蛇鲭（1394.22）、马面鲀（471.05）、逍遥馒头蟹（312.26）、叫姑鱼（151.66）、短穗乌贼（151.44）和大头狗母鱼（109.88）等。本次调查海域渔获物中，鱼类平均幼体比例为 63.01%；虾类平均幼体比例为 75.00%；蟹类平均幼体比例为 40.38%；头足类平均幼体比例为 87.83%。项目海域渔获物重量密度丰富度指数（*d*）均值为 1.78（1.15-3.27），单纯度指数（*C*）均值为 0.18（0.11-0.25），多样性指数（*H'*）均值为 3.06（2.65-3.70），均匀度指数（*J'*）均值为 0.70（0.61-0.86）。渔获物尾数密度丰富度指数（*d*）均值为 5.63（2.08-18.89），单纯度指数（*C*）均值为 0.15（0.11-0.31），多样性指数（*H'*）均值为 3.23（2.27-3.69），均匀度指数（*J'*）均值为 0.74（0.61-0.82）。

## （6）鱼卵与仔稚鱼

### ① 种类组成

本次调查，三亚湾附近海域鱼卵与仔稚鱼共鉴定种类 34 种，隶属于 27 个科，鉴定到科的有 5 种，鉴定到属的 14 种，鉴定到种的 15 种。从发育阶段来看，鱼卵出现种类有 24 种，仔鱼出现种类有 8 种，稚鱼出现种类有 4 种（详见附录 7.5）。

垂直拖网共采集到鱼卵 152 粒，仔鱼 9 尾，稚鱼 2 尾。鱼卵数量以鰺具有数量上的绝对优势，占总数比例的 39.47%，隆头鱼科一种占 25% 占，鲷占 17.76%；仔鱼数量以鰺虎鱼具有数量上的绝对优势，占总数比例的 33.33%；稚鱼数量以燕赤鲷和革鲀科一种具有数量上的绝对优势，各占总数比例的 50%（详见表 3.2.6-4）。

水平拖网共采集到鱼卵 4859 粒，仔鱼 4 尾，稚鱼 2 尾。鱼卵数量以鰺具有数量上的绝对优势，占总数比例的 64.64%，鲷占 22.02%，隆头鱼科一种占 11.69%；仔鱼数量以大眼银汉鱼和鰺具有数量上的绝对优势，各占总数比例的 50%；稚鱼数量以圆鲹和条尾鲱具有数量上的绝对优势，各占总数比例的 50%；（详见表 3.2.6-4）。

表 3.2.6-4 鱼卵与仔稚鱼种类比例

略

## ② 数量分布

本次垂直拖网调查各站位鱼卵密度范围为（0.00~13.09）粒/ $\text{m}^3$ ，平均值为 2.33 粒/ $\text{m}^3$ 。其中最高出现在 9 号站位，密度为 13.09 粒/ $\text{m}^3$ ，1 号站位密度 10.16 粒/ $\text{m}^3$ ；仔稚鱼密度范围为（0.00~0.46）尾/ $\text{m}^3$ ，平均值为 0.13 尾/ $\text{m}^3$ 。其中最高出现在 3 号站位，密度为 0.46 尾/ $\text{m}^3$ ，19 号站密度 0.30 尾/ $\text{m}^3$ ；（详见表 3.2.6-5）。

表 3.2.6-5 鱼卵和仔稚鱼密度

略

## 2、2024 年 8 月补充调查海洋生态调查结果

### （1）叶绿素 a 与初级生产力结果

#### ① 叶绿素 a 与初级生产力结果

初级生产力采用叶绿素 a 法，按照联合国教科文组织(UNESCO)推荐的下列公式：

$P = \text{Chla} \cdot Q \cdot D \cdot E/2$  计算，其结果见表 3.2.6-6。

表 3.2.6-6 调查海区叶绿素 a 含量和初级生产力

略

由表 3.2.6-6 可见，调查海域叶绿素 a 含量范围为（0.28~1.33） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 0.74 $\text{mg}/\text{m}^3$ ，表层叶绿素 a 含量范围为（0.20~1.73） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 0.64 $\text{mg}/\text{m}^3$ ；10m 叶绿素 a 含量范围为（0.20~1.77） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 0.91 $\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素 a 含量范围为（0.32~1.71） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 0.92 $\text{mg}/\text{m}^3$ 。各站点间有略微差异。根据美国环保局（EPA）关于叶绿素 a 含量的评价标准（叶绿素 a 含量低于 4 $\text{mg}/\text{m}^3$  为贫营养区，4~10 $\text{mg}/\text{m}^3$  为中营养区，超过 10 $\text{mg}/\text{m}^3$  为富营养区），调查站位均为贫营养区。

调查海域初级生产力变化范围是（17.49~432.41） $\text{mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ；平均值为 209.57 $\text{mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。初级生产力分布见图 3.2.6-2。

略

图 3.2.6-2 调查海域初级生产力分布图

## ② 小结

调查海区叶绿素 a 含量范围为（0.28~1.33） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，调查站位均为贫营养区；调查

海区初级生产力变化范围是  $(17.49\sim432.41) \text{ mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

## （2）浮游植物

根据本次调查所采集到的样品，调查海域共鉴定到浮游植物 3 门 38 属 95 种（包括变型及变种），以硅藻类占多数，浮游植物种类名录见附录 6。各调查站位浮游植物的细胞丰度介于  $(0.30\sim21.45) \times 10^5 \text{ cells}/\text{m}^3$  之间，平均细胞丰度为  $6.34 \times 10^5 \text{ cells}/\text{m}^3$ 。调查海域浮游植物优势种类明显，主要为伏氏海毛藻、细弱海链藻、菱形海线藻、丛毛辐杆藻、劳氏角毛藻、透明辐杆藻、掌状冠盖藻、钟形中鼓藻、海链藻、拟旋链角毛藻等。各站位的浮游植物丰富度指数介于 0.90~3.55 之间，平均值为 2.02，单纯度指数介于 0.09~0.23 之间，平均值为 0.17，多样性指数介于 2.92~4.43 之间，平均值为 3.41，均匀度指数介于 0.58~0.77 之间，平均值为 0.66。

## （3）浮游动物

据本次调查所采集到的标本鉴定，调查海域浮游动物共有 13 类 39 属 45 种，不包括浮游幼体、鱼卵及仔鱼，其中桡足类有 23 种，腹足类有 3 种，毛颚类有 3 种，管水母类有 3 种，水螅水母类有 3 种，被囊类有 2 种，枝角类有 2 种，端足类有 1 种，介形类有 1 种，磷虾类有 1 种，十足类有 1 种，栉水母类有 1 种，花水母类有 1 种，浮游动物种类名录见附录 7。浮游动物丰度范围为  $(19.83\sim139.42) \text{ ind.}/\text{m}^3$ ，平均丰度为  $60.28 \text{ ind.}/\text{m}^3$ ；生物量范围为  $(3.88\sim49.40) \text{ mg}/\text{m}^3$ ，平均生物量为  $15.68 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。该海域浮游动物优势种类主要有异尾宽水蚤、锥形宽水蚤、双生水母、百陶箭虫、长尾类幼体、短尾类幼体、蔓足类幼体、肥胖箭虫、亚强真哲水蚤、中型莹虾。该水域浮游动物多样性指数范围在 2.88~3.93 之间，平均值为 3.47；均匀度指数范围在 0.71~0.88 之间，平均值为 0.81；丰富度指数范围在 1.99~3.53 之间，平均值为 2.54；单纯度指数范围在 0.09~0.19 之间，平均值为 0.14。

## （4）大型底栖动物

本次调查，调查海域大型底栖动物共采集鉴定到 6 门 50 科 69 种，其中节肢动物有 35 种，环节动物有 13 种，脊索动物有 9 种，棘皮动物有 7 种，软体动物有 4 种，纽形动物有 1 种，大型底栖动物种类名录见附录 8。各站位底栖生物栖息密度的幅度为  $(10.26\sim92.31) \text{ ind.}/\text{m}^2$ ，平均密度为  $36.41 \text{ ind.}/\text{m}^2$ ；生物量的幅度为  $(1.27\sim23.14) \text{ g}/\text{m}^2$ ，平均生物量为  $7.71 \text{ g}/\text{m}^2$ 。调查海域大型底栖动物栖息密度主要以节肢动物门为主，平均

密度为 15.38ind./m<sup>2</sup>，其次为环节动物门，平均密度为 13.85ind./m<sup>2</sup>，最低为脊索动物门和纽形动物门，平均密度均为 1.03ind./m<sup>2</sup>；生物量以节肢动物门为主，平均生物量为 3.59g/m<sup>2</sup>，其次为环节动物门，平均生物量为 2.52g/m<sup>2</sup>，最低为纽形动物门，平均生物量为 0.23g/m<sup>2</sup>。调查期间该海域大型底栖动物优势种类突出，优势种为短脊鼓虾、皱皮蛇尾和锥唇吻沙蚕。各站丰富度的幅度为 0.00~1.59，平均值为 0.75；各站单纯度的幅度为 0.14~1.00，平均值为 0.34；各站多样性指数的幅度为 0.00~3.20，平均值为 1.97；各站均匀度的幅度为 0.00~1.00，平均值为 0.86。

### （5）游泳动物

本次共采集到游泳动物 61 种，隶属于 8 目 35 科，其中鱼类为 6 目 24 科 32 种，甲壳类 2 目 11 科 29 种，本次未捕获到头足类，游泳动物种类名录详见附录 9。游泳动物的平均渔获率为 0.036kg/h 和 1.4ind./h。其中，鱼类为 0.018kg/h 和 0.5ind./h，甲壳类的平均渔获率为 0.018kg/h 和 0.5ind./h，本次未捕获到头足类。根据扫海面积法估算，评价区及附近海域内的 10 个站位均放置地笼网，不做资源密度评估。根据相对重要性指数（*IRI*）公式计算评价调查海域内的相对重要性指标（*IRI*），并以 *IRI* 大于 100 作为优势渔获物的判断指标，本次调查的优势渔获种类共有 17 种。其中日本瞳鲷的 *IRI* 最高，为 1115.51；其他优势渔获物依次为鳞斑蟹（987.92）、猛虾蛄（894.61）、矛形梭子蟹（741.33）、逍遥馒头蟹（528.87）、双刺静蟹（458.07）、薄氏梭子蟹（436.76）、直额蟳（305.64）、纤细梭子蟹（225.99）、叫姑鱼（221.79）、大头银姑鱼（197.53）、日本蟳（186.00）、近缘新对虾（183.71）、陈氏天竺鲷（149.61）、红纹长鳍天竺鲷（145.18）、眼斑拟鲈（132.19）和鹰爪虾（116.51）等。本次调查海域渔获物中，鱼类平均幼体比例为 32.36%；虾类平均幼体比例为 80.90%；蟹类平均幼体比例为 50.16%；本次未捕获到任何头足种类。项目海域渔获物重量密度丰富度指数（*d*）均值为 3.11（1.96-4.57），单纯度指数（*C*）均值为 0.10（0.06-0.17），多样性指数（*H'*）均值为 3.64（2.91-4.35），均匀度指数（*J'*）均值为 0.94（0.85-0.98）。渔获物尾数密度丰富度指数（*d*）均值为 13.58（-184.20-268.44），单纯度指数（*C*）均值为 0.14（0.09-0.27），多样性指数（*H'*）均值为 3.27（2.38-3.92），均匀度指数（*J'*）均值为 0.84（0.79-0.89）。

### （6）鱼卵与仔稚鱼

#### ① 种类组成

本次调查，三亚湾附近海域鱼卵与仔稚鱼共鉴定种类 29 种，隶属于 23 个科，鉴定到科的有 9 种，鉴定到属的 8 种，鉴定到种的 12 种。从发育阶段来看，鱼卵出现种类有 22 种，仔鱼出现种类有 10 种，稚鱼出现种类有 1 种，鱼卵与仔稚鱼种类名录详见附件 10。

垂直拖网共采集到鱼卵 50 粒，仔鱼 5 尾，稚鱼 1 尾。鱼卵数量以鲷具有数量上的绝对优势，占总数比例的 32%，隆头鱼科一种占 24%，日本鳀占 10%；仔鱼数量以鰕虎鱼具有数量上的绝对优势，占总数比例的 40%，白姑鱼属、鲷科一种和燕鲷各占 20%；稚鱼数量以鲷科一种具有数量上的绝对优势，占总数比例的 100%（详见表 5.6-1）。

水平拖网共采集到鱼卵 549 粒，仔鱼 10 尾，稚鱼 0 尾。鱼卵数量以鲷具有数量上的绝对优势，占总数比例 35.52%，隆头鱼科一种占 33.15%；仔鱼数量以鲷科一种和海猪鱼具有数量上的绝对优势，各占总数比例 20%，其他种类各占 10%；未采集到稚鱼；（详见表 3.2.6-7）。

**表 3.2.6-7 鱼卵与仔稚鱼种类比例**

略

## ② 数量分布

本次垂直拖网调查各站位鱼卵密度范围为(0.51~2.54)粒/ $m^3$ ，平均值为 1.26 粒/ $m^3$ 。其中最高出现在 17 号站位，密度为 2.54 粒/ $m^3$ ，15 号站位密度 2.21 粒/ $m^3$ ，2 号站位密度 1.68 粒/ $m^3$ ；仔稚鱼密度范围为（0.00~0.49）尾/ $m^3$ ，平均值为 0.11 尾/ $m^3$ 。其中最高出现在 18 号站位，密度为 0.49 尾/ $m^3$ ，9 号站位密度 0.32 尾/ $m^3$ ，12 号站位密度 0.25 尾/ $m^3$ ，其他站位未采集到仔稚鱼；（详见表 3.2.6-8）。

**表 3.2.6-8 鱼卵和仔稚鱼密度**

略

## 3.2.7 海洋生物体质量现状调查与评价

论证范围内海洋生物体质量现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复第二部分海洋环境现状调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2024 年 7 月）的调查结果。

项目用海区内海洋生物体质量现状引用《三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目栖息地修复二期鱼礁区本底调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2025 年 1 月）的

调查结果。

### 3.2.7.1 调查站位

#### （1）2024 年 5 月春季调查

本次调查共布设渔业资源调查站位 12 个。渔业资源调查时间为 2024 年 4 月 25 日。调查站位见表 3.2.4-1 和图 3.2.4-1。

#### （2）2024 年 8 月补充调查

本次调查共布设渔业资源调查站位 10 个。渔业资源调查时间为 2024 年 8 月 26 日。调查站位见表 3.2.4-2 和图 3.2.4-1。

### 3.2.7.2 调查内容

生物体质量调查项目为：铜、铅、镉、锌、铬、总汞、砷、石油烃。

### 3.2.7.3 采样方法

#### ①样品采集

样品选取渔业资源调查的常见经济种、优势种和潮间带调查的常见种和优势种。

#### ②样品制备

##### 1) 贝类样品的制备

用塑料刀或塑料刷除去贝壳外部所有的附着物，用蒸馏水或清洁海水漂洗每一个样品个体，让其自然流干，拉出足丝。用天平称个体全重，并记下重量。用另一把塑料刀插入足丝神出口，切断闭合肌，打开贝壳。用蒸馏水或清洁海水洗贝壳内的软组织，用塑料刀和镊子取出软组织，让水流尽。

单个样品：按上述步骤将至少 10 个个体的软组织放入已称重的塑料容器内，再称重，记下鲜重。盖紧，贴上标签。用尺子测量并记录贝壳长度。

多个样品：按上述步骤将至少 10 个个体的软组织放入已知重量的塑料容器中，称重，记下鲜重。于匀浆器中匀化样品，将匀浆样放回原塑料容器，再称重，并记录总重量，计算匀浆样重。贴上样品标签。

各生物个体大小应相近，并在取出生物组织前分别测量其个体长度和总重量。

##### 2) 虾蟹类样品的制备

单个样品用尺子量虾体长，将虾放在聚乙烯称样膜上，称重，记下长度和鲜重。用塑料刀将腹部和头胸部及尾部分开，小心将其内脏从腹部取出。腿全部切除。将腹部翻

下，用塑料刀沿腹部外甲边缘切开，用塑料镊子取出肌肉。检查性腺，记录所鉴别的性别。用镊子将肌肉移入塑料容器中，称重并记录鲜重。盖紧容器，标上号码。将几个容器一起放入同一塑料袋中，并附样品登记清单，结紧袋口，低温冰箱中保存。

多个样品按上述方法制备样品，仔细地记录各个个体长度、鲜重、腹部肌肉重和性别。每个样品须包括 6 个以上性别相同、大小相近的个体肌肉。将样品放入匀浆器中匀化腹部肌肉，转入已知重量的塑料容器中盖紧，标上号码，称重，记下鲜重和其他数据。将几个容器放在同一塑料袋中，并附上样品登记清单，结紧袋口，在低温冰箱中保存。

### 3) 中小型鱼样制备

单个个体样品先测量鱼的叉长，并于聚乙烯称样膜上称重。鉴定性腺性别，记下叉长和体重。用蒸馏水或清洁海水洗涤鱼样，将它放在工作台上，用塑料刀切除胸鳍并切开背鳍附近自头至尾部的鱼皮。在鳃附近和尾部，横过鱼体各切一刀；在腹部，鳃和尾部两侧各切一刀。四刀只切在鱼体一侧，且不得切太深，以免切开内脏，玷污肉片。用镊子将鱼皮与肉片分离，谨防外表皮玷污肉片。用另一把塑料刀将肌肉与脊椎分离，并用镊子取下肌肉。将组织盛于塑料容器中，称重并记录重量。若一侧的肌肉量不能满足分析用量，取另一侧肌肉补充。盖紧容器，贴上标签或记号，做好记录，于低温冰箱中保存。

多个体样品要仔细记下各个体长、鲜重、肌肉重。个体数不应少于 6 个，且性别应相同，大小相近。用匀浆器匀化鱼组织，将匀浆样转入已知重量的塑料容器中，盖紧，贴上标签并称重，记下匀浆样重和其他数据。置于低温冰箱中存放。

### 4) 大型鱼样制备

若必要，将现场采集的样品放在-2℃-4℃冰箱中过夜，使部分解冻以便于切片。用蒸馏水或清洁海水洗涤鱼样。将鱼样置于清洁的工作台上，剔除残存的皮和骨，用塑料刀切去表层，再用另一把塑料刀重复操作一次，留下不受污染的肌肉组织。将肌肉组织放入塑料容器中，盖紧，贴上标签，称重，将数据记入记录表，样品存于低温冰箱中。

#### 3.2.7.4 分析方法

生物体质量分析方法采用《海洋监测规范第 6 部分：生物体分析》(GB 17378.6-2007)中的生物体分析标准方法，具体分析方法详见表 3.2.7-1。

表 3.2.7-1 生物体质量分析方法



调查内容	调查项目	分析方法	检测标准（方法）名称	检出限(干重)
生物 体 质 量	铜	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (6.1)	$0.4\times 10^{-6}$
	铅	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (7.1)	$0.04\times 10^{-6}$
	镉	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (8.1)	$0.005\times 10^{-6}$
	锌	火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (9.1)	$0.4\times 10^{-6}$
	铬	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (10.1)	$0.04\times 10^{-6}$
	总汞	原子荧光法	GB 17378.6 -2007 (5.1)	$0.002\times 10^{-6}$
	砷	原子荧光法	GB 17378.6 -2007 (11.1)	$0.2\times 10^{-6}$
	石油烃	荧光分光光度计	GB 17378.6 -2007 (13)	$0.2\times 10^{-6}$

3.2.7.5 评价标准

(1) 2024 年 5 月春季调查评价标准

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求（见表 3.2.7-2）可知，本项目的 1、3、5、7、8、9、11、12、13、15、17、19 号站海洋生物质量标准应维持现状。

表 3.2.7-2 调查海域海洋功能区划海洋环境保护要求

序号	站号	所属功能区名称	代码	环境保护要求
1	1	三亚湾-红糖湾旅游度假区	HN055BII	海洋生物质量标准应维持现状，经论证改变功能类型后，根据开发类型确定其水质标准。
2	3	三亚港区	HN086DIII	
3	5、7、8、9、11、12、13、15、17、19	--	--	

(2) 2024 年 8 月补充调查评价标准

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求（见表 3.2.7-3）可知，对调查海域海洋生物体并未规定相应的执行目标；因此本项目的 2、3、5、6、9、11、12、15、17、18 号站海洋生物质量标准应维持现状。

表 3.2.7-3 调查海域海洋功能区划海洋环境保护要求

序号	站号	所属功能区名称	代码	环境保护要求
1	2、3、5、6、9、11、12	--	--	海洋生物质量标准应维持现状，经论证改变功能类型后，根据开发类型确定其生物体标准。
2	15、17、18	三亚国家级珊瑚礁自然保护区	HN011AI	

3.2.7.6 评价方法

生物体质量评价采用单项分指数法。评价标准值见表 3.2.7-4。

生物体质量参数的标准指数 $>1$ ，表明该生物体质量参数超过了规定的生物体质量标准。

表 3.2.7-4 生物体质量标准

项目	评价标准值( $10^{-6}$ )		
	软体类（非双壳贝类）	甲壳类	鱼类
石油烃	20	20	20
铜	100	100	20
铅	10	2	2
锌	250	150	40
镉	5.5	2.0	0.6
总汞	0.3	0.2	0.3
砷	1	1	1
备注	海洋生物质量(双壳贝类)评价标准采用《海洋生物质量》(GB18421-2001)规定的标准值；其他软体动物、甲壳动物和定居性鱼类等的重金属、石油烃的评价标准参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025)附录 A		

3.2.7.7 海洋生物体质量调查结果与评价

1、2024 年 5 月春季调查海洋生物体质量调查结果与评价

（1）生物体质量要素监测和统计结果

本次生物体质量样品主要来自渔业资源调查底拖网、流刺网采集的渔获物，在设定的站位获取具有代表性的本地经济种类、本地常见种和优势种（本次捕获的均为当季经济种类）。

本次生物体质量调查分析项目为石油烃、锌、镉、铅、铜、铬、砷和总汞共 8 项。在项目区附近海域布设了 12 个渔业资源调查站位作为生物体质量监测站位，生物体样品选用各调查站位的常见种和优势种进行分析，本次调查采集生物体种类有鱼类（叫姑鱼、多齿蛇鲻、红鲷）等；甲壳类（长眼看守蟹、逍遥馒头蟹）；头足类（中国枪乌贼）。

生物体各要素监测及统计结果列于表 3.2.7-5。

表 3.2.7-5 生物体质量分析结果统计

略

① 石油烃

调查海域的鱼类生物体石油烃含量范围为 $(1.3\sim 8.7)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $3.4\times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体石油烃含量范围为 $(3.2\sim 3.3)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $3.3\times 10^{-6}$ ；头足类生物体石油烃含

量范围为 $(0.8\sim 10.8)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $2.7\times 10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

## ② 铜

调查海域的鱼类生物体铜含量范围为 $(0.3\sim 8.2)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $2.0\times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体铜含量范围为 $(0.4\sim 1.2)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.8\times 10^{-6}$ ；头足类生物体铜含量范围为 $(1.1\sim 3.9)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $2.4\times 10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

## ③ 铅

调查海域的鱼类生物体铅含量范围为 $(0.06\sim 1.67)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.35\times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体铅含量范围为 $(0.10\sim 0.28)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.19\times 10^{-6}$ ；头足类生物体铅含量范围为 $(0.06\sim 0.41)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.18\times 10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

## ④ 镉

调查海域的鱼类生物体镉含量范围为 $(0.016\sim 0.391)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.097\times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体镉含量范围为 $(0.054\sim 0.058)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.056\times 10^{-6}$ ；头足类生物体镉含量范围为 $(0.017\sim 0.262)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.121\times 10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

## ⑤ 锌

调查海域的鱼类生物体锌含量范围为 $(1.1\sim 39.3)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $8.3\times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体锌含量范围为 $(1.2\sim 5.0)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $3.1\times 10^{-6}$ ；头足类生物体锌含量范围为 $(1.2\sim 17.6)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $7.9\times 10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

## ⑥ 铬

调查海域的鱼类生物体铬含量范围为 $(0.09\sim 0.39)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.18\times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体铬含量范围为 $(0.08\sim 0.12)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.10\times 10^{-6}$ ；头足类生物体铬含量范围为 $(0.08\sim 0.35)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.16\times 10^{-6}$ 。

## ⑦ 总汞

调查海域的鱼类生物体总汞含量范围为 $(0.023\sim 0.167)\times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.077\times 10^{-6}$ ；

甲壳类生物体总汞含量范围为 $(0.022\sim0.042)\times10^{-6}$ ，平均值为  $0.032\times10^{-6}$ ；头足类生物体总汞含量范围为 $(0.007\sim0.107)\times10^{-6}$ ，平均值为  $0.028\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

### ⑧ 砷

调查海域的鱼类生物体砷含量范围为 $(0.4\sim4.3)\times10^{-6}$ ，平均值为  $2.4\times10^{-6}$ ；甲壳类生物体砷含量范围为 $(0.6\sim1.5)\times10^{-6}$ ，平均值为  $1.1\times10^{-6}$ ；头足类生物体砷含量范围为 $(2.1\sim6.5)\times10^{-6}$ ，平均值为  $3.7\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。其中甲壳类（1 号站）；鱼类（1、3、7、8、9、11、15 号站）；头足类（5、8、9、11、12、13、15、17、19 号站）样品砷含量均大于 1，为超标样品。

### （2）生物体质量评价

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中对不同样品类型的分类规定，本次生物体监测质量评价因子为石油烃、锌、镉、铅、铜、砷和总汞共 7 项。

生物体单项分指数结果见表 3.2.7-6。

从表 3.2.7-6 可以看出，调查海域的生物体石油烃、铜、铅、锌、镉和总汞均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。依据近岸海域功能区划要求调查 1、3、5、7、8、9、11、12、13、15、17、19 号站海洋生物体质量标准维持现状。

根据标准要求鱼类（5、12、13、17、19 号站）符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。而甲壳类（1 号站）；鱼类（1、3、7、8、9、11、15 号站）；头足类（5、8、9、11、12、13、15、17、19 号站）样品砷含量均大于 1，为超标样品。经过分析，根据河北省唐山市疾病预防控制中心张文德《海产品中砷的形态分析现状》分析，鱼类及软体动物中主要为有机态砷，有机态砷又分为水溶性砷和脂溶性砷，水溶性砷高于脂溶性砷，其中有机态砷约占总砷含量的 80%以上。我国学者韦超等对中国海产品中砷的形态进行了分析，海产品中主要是有机砷，而无机砷含量极低。鱼贝类中有机砷的萃取率占总砷的 61%~91%，萃取液中无机砷含量仅占总萃取砷的 0.3%~1.7%。萃取过程中没有对有机砷产生分解和影

响。本次检测方法为总砷检测，结合相关研究说明，样品中的无机砷含量极低，生物体质量仍然是相对安全的。

表 3.2.7-5 生物体单项分指数

略

## 2、2024 年 8 月补充调查海洋生物体质量调查结果与评价

### （1）生物体质量要素监测和统计结果

本次生物体质量样品主要来自渔业资源调查地笼网采集的渔获物，在设定的站位获取具有代表性的本地经济种类、本地常见种和优势种（本次捕获的均为当季经济种类）。

本次生物体质量调查分析项目为石油烃、锌、镉、铅、铜、铬、砷和总汞共 8 项。在项目区附近海域布设了 10 个渔业资源调查站位作为生物体质量监测站位，生物体样品选用各调查站位的常见种和优势种进行分析，但本次调查 11、12 号站未能采集到常见种及优势种作为生物体质量样品，故本次生物体质量样品站位为 8 个调查站位。本次调查采集生物体种类有鱼类（海鳗、匀斑裸胸鲷、伏氏眶棘鲈、日本瞳鲷、叫姑鱼）；甲壳类（鳞斑蟹、远洋梭子蟹、沙栖新对虾、猛虾蛄）。

生物体各要素监测及统计结果列于表 3.2.7-6。

表 3.2.7-6 生物体质量分析结果统计

略

### ① 石油烃

调查海域的鱼类生物体石油烃含量范围为未检出~ $0.4 \times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.2 \times 10^{-6}$ ，检出率为 57.1%；甲壳类生物体石油烃含量范围为未检出~ $2.5 \times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.8 \times 10^{-6}$ ，检出率为 80.0%。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

### ② 铜

调查海域的鱼类生物体铜含量范围为  $(0.2 \sim 1.2) \times 10^{-6}$ ，平均值为  $0.4 \times 10^{-6}$ ；甲壳类生物体铜含量范围为  $(8.0 \sim 22.9) \times 10^{-6}$ ，平均值为  $15.0 \times 10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

### ③ 铅

调查海域的鱼类生物体铅含量范围为 $(0.04\sim1.39)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.36\times10^{-6}$ ；甲壳类生物体铅含量范围为 $(0.01\sim0.60)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.17\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

#### ④ 镉

调查海域的鱼类生物体镉含量范围为未检出 $\sim0.260\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.079\times10^{-6}$ ，检出率为 71.4%；甲壳类生物体镉含量范围为 $(0.006\sim0.123)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.053\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

#### ⑤ 锌

调查海域的鱼类生物体锌含量范围为 $(0.8\sim13.1)\times10^{-6}$ ，平均值为 $3.0\times10^{-6}$ ；甲壳类生物体锌含量范围为 $(16.0\sim48.9)\times10^{-6}$ ，平均值为 $31.9\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

#### ⑥ 铬

调查海域的鱼类生物体铬含量范围为 $(0.13\sim0.64)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.34\times10^{-6}$ ；甲壳类生物体铬含量范围为 $(0.15\sim1.28)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.45\times10^{-6}$ 。

#### ⑦ 总汞

调查海域的鱼类生物体总汞含量范围为 $(0.016\sim0.112)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.056\times10^{-6}$ ；甲壳类生物体总汞含量范围为 $(0.021\sim0.092)\times10^{-6}$ ，平均值为 $0.050\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。

#### ⑧ 砷

调查海域的鱼类生物体砷含量范围为 $(0.2\sim3.7)\times10^{-6}$ ，平均值为 $2.0\times10^{-6}$ ；甲壳类生物体砷含量范围为 $(2.8\sim7.8)\times10^{-6}$ ，平均值为 $5.4\times10^{-6}$ 。各类型样品均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。其中甲壳类（2、6、9、17、18 号站）；鱼类（2、6、17、18 号站）样品砷含量均大于 1，为超标样品。

## （2）生物体质量评价

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中对不同样品类型的分类规定，本次生物体监测质量评价因子为石油烃、锌、镉、铅、砷、铜和总汞共 7 项。

生物体单项分指数结果见表 3.2.7-7。

**表 3.2.7-7 生物体单项分指数**

略

从表 3.2.7-7 可以看出，调查海域的生物体石油烃、铜、铅、锌、镉和总汞均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。依据近岸海域功能区划要求调查 2、3、5、6、9、11、12、15、17、18 号站海洋生物体质量标准维持现状。

根据标准要求鱼类（3、5、15 号站）符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。而甲壳类（2、6、9、17、18 号站）；鱼类（2、6、17、18 号站）样品砷含量均大于 1，为超标样品。经过分析，根据河北省唐山市疾病预防控制中心张文德《海产品中砷的形态分析现状》分析，鱼类及软体动物中主要为有机态砷，有机态砷又分为水溶性砷和脂溶性砷，水溶性砷高于脂溶性砷，其中有机态砷约占总砷含量的 80% 以上。我国学者韦超等对中国海产品中砷的形态进行了分析，海产品中主要是有机砷，而无机砷含量极低。鱼贝类中有机砷的萃取率占总砷的 61%~91%，萃取液中无机砷含量仅占总萃取砷的 0.3%~1.7%。萃取过程中没有对有机砷产生分解和影响。本次检测方法为总砷检测，结合相关研究说明，样品中的无机砷含量极低，生物体质量仍然是相对安全的。

## 3.2.8 珊瑚礁资源现状调查与评价

项目用海区域珊瑚礁资源现状引用《三亚湾海洋生态修复工程三亚湾海域珊瑚礁本底调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2023 年 9 月）的调查结果。

### 3.2.8.1 调查范围和方法

#### （1）调查范围

本底调查范围为三亚湾西岛附近海域及鹿回头附近海域，避开三亚珊瑚礁保护区核心区及已修复区，珊瑚本底调查分两个阶段完成，第一阶段为摸排调查阶段，选择最低

潮位-6m 以浅区域作为排查区域，均匀布设调查站位，以调查站位为中心  $100\text{m} \times 100\text{m}$  为调查单元，合理布置珊瑚样带，初步拟选珊瑚礁修复区；第二阶段对珊瑚礁修复区进行本底调查，以  $50\text{m} \times 50\text{m}$  为调查单元，在垂直方向和水平方向布设珊瑚调查样带，摸清珊瑚礁生境的具体情况，

## （2）珊瑚礁调查方法

### ① 珊瑚样带

在珊瑚礁调查海区以低潮位水深为准，选择 1-3 个不同水深，平行海岸线方向布设 50 米等深线断面样带。由经验丰富或经培训的 2 名专业潜水员沿着 50m 断面样带同步缓慢前进，过程中拍摄、记录珊瑚群落资源及栖息生境状况，第 1 位调查人员用水下数码相机从断面线的一端开始沿着断面线摄像，第 2 位调查人员用高清相机对样带两侧各 1m 宽的区域内不同珊瑚进行整体高清拍照。详见图 3.2.8-1。

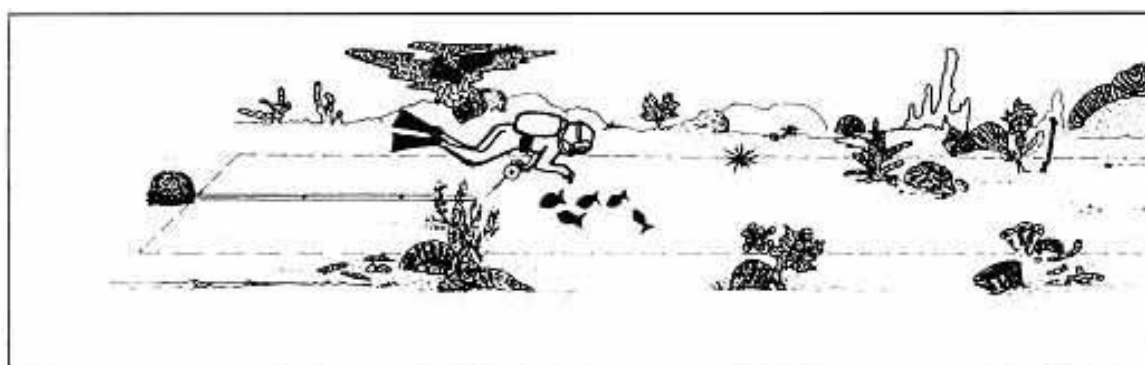


图 3.2.8-1 断面法调查布设断面示意图

### ② 样框调查

以样带为中心，随机放置  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$  的样框拍摄 20 张照片，记录 5cm 以下小个体珊瑚的生长情况。每个  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$  的样框面积为  $2500\text{ cm}^2$ ，将样框进行网格化分析，每个样框分为  $10\text{cm} \times 10\text{ cm}$  共 25 个小网格计数，从而统计出硬珊瑚补充量（单位：个/ $\text{m}^2$ ）。

## （3）分析方法

回归实验室进行影像资料生物指标数据提取挖掘与统计分析，掌握珊瑚礁资源分布范围及分布面积，活硬珊瑚覆盖度、种类、死亡率、补充量、大型藻类覆盖度、海葵/管虫覆盖度等数据。

### ① 活硬珊瑚覆盖度



通过电脑播放软件仔细浏览每一条 50 m 断面样带影像，判读样带断面正下方的底质类型，每 0.1m 距离，用代码标注记录一个数据，代表该点正下方所对应的底质类型，共记录 500 个点，由此计算出活硬珊瑚的覆盖度。详见图 3.2.8-2。

活硬珊瑚覆盖度=拥有活珊瑚的点 / 500×100%

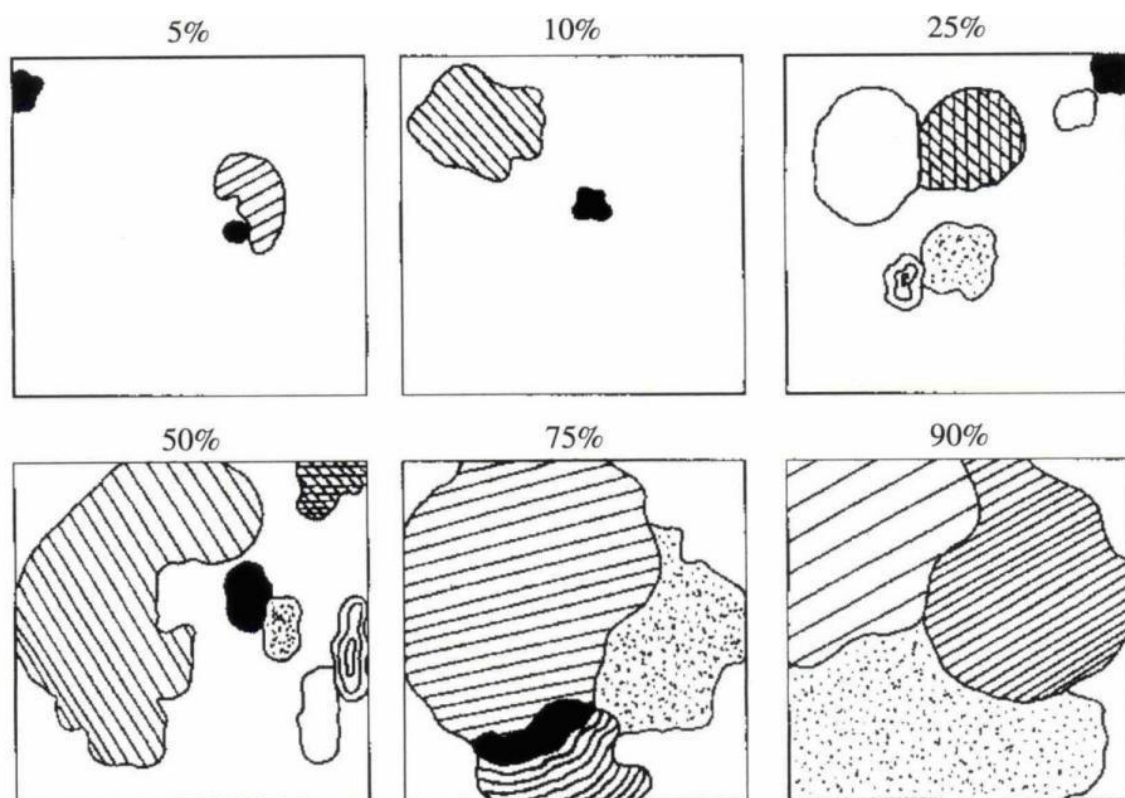


图 3.2.8-2 珊瑚盖度判断标准参考图

## ② 珊瑚种类鉴定

硬珊瑚种类的鉴定、分类参照国内外权威书籍分类方法、珊瑚标本图片，结合大小洞天历史研究、分类资料，在计算机看图软件细致比对、观察样带上的珊瑚图像、礁区特写照片，鉴定和分类硬珊瑚种属。国外参考权威书籍包括：《Coral of the world》(Verson,2000)、《Staghorn corals of the world》(Wallace,1999)；内地及港澳台参考权威书籍包括：《台湾石珊瑚志》《台湾珊瑚礁地图（上/下）》（戴昌凤，2011）、《香港石珊瑚图鉴》（陈乃观，2005）、《中国动物（腔肠动物门）珊瑚虫纲石珊瑚目硬珊瑚》邹仁林、《西沙群岛珊瑚礁生物图册》（黄晖，2018）。

## ③ 硬珊瑚死亡率

依据《珊瑚礁生态监测技术规程》（HY/T 082-2005）硬珊瑚死亡率测定方法，分析样带、样框影像资料及记录数据，测定调查断面上硬珊瑚总个数及死亡个数，并估计死

亡时间。珊瑚死亡特征判别标准为：活珊瑚都呈现不同的颜色，判断死亡珊瑚的标准是珊瑚的颜色为白色或黑色，早期死亡的为黑色，近期死亡的为白色。死亡时间判别标准如下：30d 以内珊瑚单体骨骼白色、完整清晰；0.5a 以内珊瑚单体被小型藻类或薄层沉积物覆盖；1a-2a 之内珊瑚单体结构轻微腐蚀，但仍然能分辨出珊瑚的属级分类单位；2a 以上珊瑚单体结构消失，或单体上的附着生物（藻类、无脊椎动物等）已经很难取下。

判读样带断面正下方的底质类型，每 0.1m 距离，用代码标注记录一个数据，代表该点正下方所对应的底质类型，共记录 500 个点，由此计算出硬珊瑚死亡率。

硬珊瑚死亡率=硬珊瑚死亡骨骼占据的点 / 500×100%

#### ④ 硬珊瑚补充量

统计每组 50 cm×50 cm 样框照片中拥有直径小于 5 cm 的珊瑚个体的数量，计算硬珊瑚补充量（单位：个/m<sup>2</sup>）。

#### ⑤ 大型藻类覆盖度

判读样带断面正下方的大型藻类，每 0.1m 距离，用代码标注记录一个数据，代表该点正下方所对应的大型藻类，共记录 500 个点，由此计算出大型藻类覆盖度。

大型藻类覆盖度=大型藻类占据的点 / 500×100%

#### ⑥ 海葵/管虫覆盖度

判读样带断面正下方的海葵/管虫，每 0.1m 距离，用代码标注记录一个数据，代表该点正下方所对应的海葵/管虫，共记录 500 个点，由此计算出海葵/管虫覆盖度。

海葵/管虫覆盖度=海葵/管虫占据的点 / 500×100%

#### ⑦ 岩石/礁石/砂/死珊瑚等覆盖度

判读样带断面正下方的岩石/礁石/砂/死珊瑚，每 0.1m 距离，用代码标注记录一个数据，代表该点正下方所对应的岩石/礁石/砂/死珊瑚，共记录 500 个点，由此计算出岩石/礁石/砂/死珊瑚覆盖度。

岩石/礁石/砂/死珊瑚覆盖度=岩石/礁石/砂/死珊瑚占据的点 / 500×100%

#### ⑧ 礁栖生物调查方法

礁栖生物监测采用珊瑚礁拍摄断面视频，记录断面两侧各 1m 宽范围内常见种类的个体数量。

### ⑨ 珊瑚礁鱼类调查方法

珊瑚礁鱼类监测采用带状断面普查法，沿着断面游向另一端，记录断面两侧各 1m 宽的范围内常见种类的个体数量，记录每条鱼类的种类名称、体长范围。

### ⑩ 珊瑚礁生态系统健康状况评价

将底质类型分类，计算各区域的珊瑚礁健康指数（Condition index, CI），它可以用来表述珊瑚礁生态系统的健康状况和遭受环境压力的程度（详见表 3.2.8-1）。计算公式如下：

$$CI = Lg[LC/(DC + AL + OT)]$$

式中：LC 为活珊瑚的覆盖度；DC 为死珊瑚的覆盖度；AL 为藻类的覆盖度；OT 为其它生物群落覆盖度。

表 3.2.8-1 半定性估算尺度

等级	标度
非常差	<-0.602
很差	-0.602~-0.176
一般	-0.176~0.176
很好	0.176~0.602

## 3.2.8.2 第一阶段调查

### （1）调查站位

2023 年 8 月 17 日至 2023 年 8 月 20 日对西岛及鹿回头海域珊瑚礁分布区进行珊瑚礁生境摸排工作（避开保护区核心区及已修复区），共布设珊瑚调查站位 35 个，其中西岛海域调查站位 15 个，鹿回头海域调查站位 20 个，每个站位在-1m 至-6m 水层选择代表区域水平布设 1 条珊瑚样带，样带长度为 50m，以样带为中心两边外扩 50m 作为定性调查区域，调查内容为底质类型分布、种类组成、覆盖度、补充量、死亡率、大型海藻、珊瑚礁鱼类、礁栖生物、敌害生物和病害等。

调查站位见表 3.2.8-2、图 3.2.8-3、图 3.2.8-4。

表 3.2.8-2 珊瑚礁调查站位表

略

略

图 3.2.8-3 西岛珊瑚礁调查站位图

略

图 3.2.8-4 鹿回头珊瑚礁调查站位图

## （2）第一阶段珊瑚调查结果

### ① 硬珊瑚覆盖度

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 35 个站位的活硬珊瑚覆盖情况，详见表 3.2.8-3。35 个站位的硬珊瑚覆盖度为 3.40%~91.00%，平均覆盖度为 36.36%。其中，西岛附近海域 15 个站位的硬珊瑚覆盖度为 3.40%~82.20%，平均覆盖度为 41.81%。覆盖度最高的站位为 3 号站位，覆盖度为 82.20%，覆盖度最低的站位为 12 号和 15 号站位，覆盖度为 3.40%。详见图 3.2.8-5；鹿回头附近海域 20 个站位的硬珊瑚覆盖度为 5.60%~91.00%，平均覆盖度为 32.27%。覆盖度最高的站位为 21 号站位，覆盖度为 91.00%，覆盖度最低的站位为 31 号站位，覆盖度为 5.60%。详见图 3.2.8-6。

表 3.2.8-3 三亚湾附近海域珊瑚分布情况

略

略

图 3.2.8-5(a) 西岛附近海域各站位硬珊瑚覆盖度和总珊瑚覆盖度柱状图

略

图 3.2.8-5(b) 鹿回头附近海域各站位硬珊瑚覆盖度和总珊瑚覆盖度柱状图

略

图 3.2.8-6(a) 西岛附近海域各站位珊瑚覆盖度分布

略

图 3.2.8-6(b) 鹿回头附近海域各站位珊瑚覆盖度分布

### ② 软珊瑚覆盖度

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 35 个站位 35 条断面线的软珊瑚覆盖度情况（表 3.2.8-3）。35 个站位的软珊瑚覆盖度为 0.00%~1.00%，平均覆盖度为 0.04%。其中，西岛附近海域 15 个站位的软珊瑚覆盖度为 0.00%~0.20%，平均覆盖度为 0.01%。覆盖度最高的站位为 1 号站位，覆盖度为 0.20%，其余站位均未发现有软珊瑚覆盖，覆盖度为 0.00%。详见图 3.2.8-7；鹿回头附近海域 20 个站位的软珊瑚覆盖度为 0.00%~1.00%，平均覆盖度为 0.06%。覆盖度最高的站位为 26 号站位，覆盖度为 1.00%，次高的站位为 30 号站位，覆盖度为 0.02%，其余站位均未发现有软珊瑚覆盖，覆盖度为 0.00%。

详见图 3.2.8-8。

略

图 3.2.8-7 西岛附近海域各站位软珊瑚覆盖度和总珊瑚覆盖度柱状图

略

图 3.2.8-8 鹿回头附近海域各站位软珊瑚覆盖度和总珊瑚覆盖度柱状图

### ③ 礁区底质类型

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 35 个站位，其中，西岛附近海域 15 个站位中，12 号和 15 号以砂质底质为主，其余站位均以礁石底质为主。详见图 3.2.8-9。岩石占比为 0.00%，砂质底质占比为 22.19%，礁石占比为 35.96%，珊瑚总覆盖度占比为 41.85%。详见图 3.2.8-10。鹿回头附近海域 20 个站位中，16 号、24 号、26 号、27 号、29 号、30 号、31 号、32 号、33 号和 34 号站位以砂质底质为主，其余站位均以礁石底质为主。详见图 3.2.8-11。岩石占比为 0.00%，砂质底质占比为 51.85%，礁石占比为 15.75%，珊瑚总覆盖度占比为 32.40%。详见图 3.2.8-12。

略

图 3.2.8-9 西岛附近海域各调查站位底质类型百分比

略

图 3.2.8-10 西岛附近海域各底质类型百分比

略

图 3.2.8-11 鹿回头附近海域各调查站位底质类型百分比

略

图 3.2.8-12 鹿回头附近海域各底质类型百分比

### ④ 西岛和鹿回头附近海域的生境

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄，本次三亚湾附近海域调查各个站位的水下生境情况。详见图 3.2.8-13。

图 3.2.8-13 西岛及鹿回头半岛附近海域水下生境

略

### ⑤ 硬珊瑚种类

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性），本次调查共记录鉴定硬珊瑚 13 科 26

属 63 种，其中，西岛附近海域共记录鉴定硬珊瑚 11 科 21 属 44 种，鹿回头附近海域共记录鉴定硬珊瑚 13 科 24 属 57 种。硬珊瑚种类名录详见附录 11。

本次三亚湾附近海域调查优势种类分别为鹿角杯形珊瑚、橙黄滨珊瑚、丛生盔形珊瑚、标准蜂巢珊瑚、叶形牡丹珊瑚、团块角孔珊瑚、片扁脑珊瑚、风信子鹿角珊瑚和壳形足柄珊瑚等。其余种类分别为薄片刺孔珊瑚、标准厚丝珊瑚、丹氏蜂巢珊瑚、丹氏牡丹珊瑚、短小鹿角珊瑚、盾形陀螺珊瑚、多孔鹿角珊瑚、多孔同星珊瑚、多星孔珊瑚、弗利吉亚肠珊瑚、辐射合叶珊瑚、腐蚀刺柄珊瑚、复叶陀螺珊瑚、海氏沙珊瑚、赫氏叶状珊瑚、花鹿角珊瑚、灰黑滨珊瑚、火焰滨珊瑚、精巧扁脑珊瑚、巨锥鹿角珊瑚、卷曲扁脑珊瑚、菌形叶状珊瑚、阔裸肋珊瑚、两叉鹿角珊瑚、秘密角蜂巢珊瑚、牡丹梳状珊瑚、盘枝鹿角珊瑚、毗邻沙珊瑚、青灰蔷薇珊瑚、肉质扁脑珊瑚、肾形真叶珊瑚、十字牡丹珊瑚、石松鹿角珊瑚、梳状菊花珊瑚、穗枝鹿角珊瑚、索马里角孔珊瑚、同双星珊瑚、网状菊花珊瑚、伍氏杯形珊瑚、细枝鹿角珊瑚、小扁脑珊瑚、小角孔珊瑚、小粒菊花珊瑚、小五边角蜂巢珊瑚、小叶鹿角珊瑚、芽枝鹿角珊瑚、瘿叶蔷薇珊瑚、疣状杯形珊瑚、圆纹蜂巢珊瑚、指形鹿角珊瑚、指状蔷薇珊瑚、中华扁脑珊瑚、中间鹿角珊瑚和壮实鹿角珊瑚等。

#### ⑥ 软珊瑚种类

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性），本次调查共记录鉴定软珊瑚 3 种，其中，西岛附近海域 3 种，鹿回头附近海域 1 种。软珊瑚种类名录详见附录 12。种类分别为短指软珊瑚、瘤状短指软珊瑚和柔软短指软珊瑚。

#### ⑦ 珊瑚补充量

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 35 个站位的硬珊瑚补充量为  $0.00\text{ind./m}^2 \sim 0.38\text{ind./m}^2$ ，平均补充量为  $0.04\text{ind./m}^2$ ；其中，西岛附近海域 15 个站位的补充量为  $0.00\text{ind./m}^2 \sim 0.06\text{ind./m}^2$ ，平均补充量为  $0.01\text{ind./m}^2$ 。最高补充量站位为 11 号站位，补充量为  $0.06\text{ind./m}^2$ ；次高补充量站位为 10 号站位，补充量为  $0.02\text{ind./m}^2$ ；其余站位均未发现有硬珊瑚补充，补充量均为  $0.00\text{ind./m}^2$ 。详见图 3.1.8-14。鹿回头附近海域 20 个站位的补充量为  $0.00\text{ind./m}^2 \sim 0.38\text{ind./m}^2$ ，平均补充量为  $0.06\text{ind./m}^2$ 。最高补充量站位为 29 号站位，补充量为  $0.38\text{ind./m}^2$ ；最低补充量站位分别为 21 号、22 号、24 号、25 号、26 号、30 号和 34 号站位，均未发现有硬珊瑚补充，补充量均为  $0.00\text{ind./m}^2$ 。

详见图 3.2.8-15。

略

图 3.2.8-14 西岛附近海域珊瑚补充量分布图

略

图 3.2.8-15 鹿回头附近海域珊瑚补充量分布图

### ⑧ 大型海藻

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄(定性),本次调查共记录鉴定大型藻类 14 种。其中,西岛附近海域 14 种,鹿回头附近海域 4 种。大型海藻种类名录详见附录 13。种类分别为伴绵藻、缠结罗氏藻、脆枝果胞藻、耳突卡帕藻、费氏马尾藻、腹扁二叉藻、蕨藻、宽角叉珊藻、喇叭藻、南方团扇藻、琼枝、三亚马尾藻、叶状叉节藻和总状蕨藻等。

用截线样条法调查(定量)三亚湾附近海域 35 个站位 35 条断面线的大型藻类覆盖度情况(表 3.2.8-3)。35 个站位的大型藻类覆盖度为 0.00%~57.20%,平均覆盖度为 11.94%。其中,西岛附近海域 15 个站位的覆盖度为 1.40%~57.20%,平均覆盖度为 19.55%。最高覆盖度的站位为 9 号站位,覆盖度为 57.20%。最低覆盖度的站位分别为 1 号和 3 号站位,覆盖度均为 1.40%。详见图 3.2.8-16。鹿回头附近海域 20 个站位的覆盖度为 0.00%~52.20%,平均覆盖度为 6.24%。最高覆盖度的站位为 21 号站位,覆盖度为 52.20%。最低覆盖度的站位分别为 16 号、18 号、24 号、26 号、28 号和 30 号站位,均未发现有大型藻类覆盖,覆盖度均为 0.00%。详见图 3.2.8-17。

略

图 3.2.8-16 西岛附近海域大型藻类分布情况

略

图 3.2.8-17 鹿回头附近海域大型藻类分布情况

### ⑨ 大型底栖生物

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄(定性),本次调查共记录鉴定大型底栖 11 种。其中,西岛附近海域 6 种,鹿回头附近海域 7 种。大型底栖动物种类名录详见附录 14。种类分别为大刺羽螅、端棍水母、多孔螅、光缨鳃虫、海齿花、娇嫩多孔螅、蓝环冠海胆、面包海星、四色篷锥海葵、许氏大羽花和紫点双辐海葵等。

#### ⑩ 三亚湾附近海域的珊瑚死亡及敌害情况

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域的珊瑚礁资源，在 1 号、17 号、23 号和 32 号站位发现少量珊瑚死亡情况（表 3.2.8-3）。平均珊瑚死亡率为 0.05%。其中，西岛附近海域 15 个站位的平均死亡率为 0.03%；鹿回头附近海域 20 个站位的平均死亡率为 0.07%；通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性），其中，西岛附近海域 15 个站位均未发现白化现象；鹿回头附近海域 20 站位中 19 号、28 号和 30 号站位发现少量白化现象，详见图 3.2.8-18。本次调查未发现长棘海星、核果螺等敌害生物。

略

图 3.2.8-18 白化现象

#### ⑪ 西岛和鹿回头附近海域的珊瑚礁鱼类

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性），本次调查共记录鉴定珊瑚礁鱼类 28 种。其中，西岛附近海域 10 种，鹿回头附近海域 24 种。珊瑚礁鱼类种类名录详见附录 15。种类分别为八带蝴蝶鱼、斑卡雀鲷、齿颌眶棘鲈、红纹长鳍天竺鲷、虹纹紫胸鱼、花斑短鳍蓑鲉、金尾雀鲷、镜斑蝴蝶鱼、克氏双锯鱼、丽蝴蝶鱼、丽鳍天竺鲷、裂唇鱼、六带豆娘鱼、密鳃鱼、三带蝴蝶鱼、三点白、三纹蝴蝶鱼、三线眶棘鲈、双绦蝴蝶鱼、丝蝴蝶鱼、网纹宅泥鱼、尾斑光鳃鱼、五带豆娘鱼、五带巨牙天竺鲷、细带天竺鲷、细纹蝴蝶鱼、斜纹蝴蝶鱼和新月锦鱼等。

### 3.2.8.3 第二阶段调查

#### （1）调查站位

从第一阶段调查中初选西岛东南侧海域 8 至 12 号站位为珊瑚礁修复区，该海域珊瑚垂直分布均在 100m 以内，低潮时-0.5m 至-6m 水层垂直分布为 50m 左右，故本阶段本底调查在此水层以 50m×50m 为调查单元，共布置 18 个调查单元，在垂直方向和水平方向共布设珊瑚调查样带 37 条，其中布设 50m 样带 35 条，30m 样带 2 条。

2023 年 9 月 5 日至 2023 年 9 月 7 日对拟选珊瑚礁修复区海域进行珊瑚礁生境摸排工作。样带布设详见图 3.2.8-19，样带控制点见表 3.2.8-4。

表 3.2.8-4 珊瑚调查坐标

略

略



图 3.2.8-19 珊瑚礁修复区初步选址区域珊瑚礁调查站位图

## （2）第二阶段珊瑚调查结果

### ① 硬珊瑚覆盖度

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的活硬珊瑚覆盖情况，详见表 3.2.8-5。37 条样带的硬珊瑚覆盖度为 1.60%~23.20%，平均覆盖度为 8.65%。覆盖度最高的样带为 57-58 号样带，覆盖度为 23.20%，覆盖度最低的样带为 15-16 号样带，覆盖度为 1.60%。详见图 3.2.8-20。

表 3.2.8-5 三亚湾附近海域珊瑚分布情况（第二阶段）

略

略

图 3.2.8-20 三亚湾附近海域各样带硬珊瑚覆盖度和总珊瑚覆盖度柱状图

### ② 软珊瑚覆盖度

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的软珊瑚覆盖度情况（表 3.2.8-5）。37 条样带的软珊瑚覆盖度为 0.00%~2.80%，平均覆盖度为 0.17%。覆盖度最高的样带为 27-28 号样带，覆盖度为 1.00%，次高的样带为 19-20 号样带，覆盖度为 1.60%，第三高的样带为 57-58 号样带，覆盖度为 1.20%，第四高的样带分别为 13-14 号和 17-18 号样带，覆盖度均为 0.40%，其余样带均未发现有软珊瑚覆盖，覆盖度为 0.00%。详见图 3.2.8-21。

略

图 3.2.8-21 三亚湾附近海域各样带软珊瑚覆盖度和总珊瑚覆盖度柱状图

### ③ 礁区底质类型

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带，1-2 号和 49-50 号样带以砂质底质为主，其余样带均以礁石底质为主。详见图 3.2.8-22。岩石占比为 0.00%，砂质底质占比为 29.86%，礁石占比为 61.32%，珊瑚总覆盖度占比为 8.82%。详见图 3.2.8-23。

略

图 3.2.8-22 三亚湾附近海域各调查样带底质类型百分比

略

图 3.2.8-23 三亚湾附近海域各底质类型百分比

④ 三亚湾附近海域的生境

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄，本次三亚湾附近海域调查各条样带的水下生境情况。详见图 3.2.8-24。

略

图 3.2.8-24 三亚湾附近海域水下生境情况

⑤ 硬珊瑚种类

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定硬珊瑚 12 科 24 属 49 种。硬珊瑚种类名录详见附录 16。

本次三亚湾附近海域调查优势种类分别为鹿角杯形珊瑚、橙黄滨珊瑚、精巧扁脑珊瑚、丛生盔形珊瑚、疣状杯形珊瑚、标准蜂巢珊瑚、片扁脑珊瑚和秘密角蜂巢珊瑚等。其余种类分别为粗野鹿角珊瑚、大角孔珊瑚、丹氏蜂巢珊瑚、盾形陀螺珊瑚、多孔鹿角珊瑚、多曲杯形珊瑚、多星孔珊瑚、风信子鹿角珊瑚、弗利吉亚肠珊瑚、辐射合叶珊瑚、腐蚀刺柄珊瑚、复叶陀螺珊瑚、黄麻蜂巢珊瑚、灰黑滨珊瑚、棘星珊瑚、简短耳纹珊瑚、锯齿刺星珊瑚、卷曲耳纹珊瑚、菌形叶状珊瑚、壳形足柄珊瑚、联合真叶珊瑚、毗邻沙珊瑚、翘齿蜂巢珊瑚、青灰蔷薇珊瑚、肉质扁脑珊瑚、十字牡丹珊瑚、梳状菊花珊瑚、索马里角孔珊瑚、同双星珊瑚、团块角孔珊瑚、网状菊花珊瑚、五边角蜂巢珊瑚、细枝鹿角珊瑚、小扁脑珊瑚、小粒菊花珊瑚、小叶鹿角珊瑚、叶形牡丹珊瑚、圆纹蜂巢珊瑚、指形鹿角珊瑚、钟摆角孔珊瑚和锥突刺星珊瑚等。

⑥ 软珊瑚种类

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定软珊瑚 3 种。软珊瑚种类名录详见附录 17。种类分别为短指软珊瑚、短足软珊瑚和瘤状短指软珊瑚等。

⑦ 珊瑚补充量

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的硬珊瑚补充量为  $0.00\text{ind./m}^2 \sim 0.14\text{ind./m}^2$ ，平均补充量为  $0.01\text{ind./m}^2$ ；最高补充量样带为 29-30 号样带，补充量为  $0.14\text{ind./m}^2$ ；最低补充量样带分别为 1-2 号、2-3 号、5-6 号、6-7 号、7-8 号、8-9 号、9-10 号、11-12 号、12-13 号、13-14 号、14-15 号、15-16 号、16-17 号、17-18

号、18-19 号、19-20 号、21-22 号、23-24 号、27-28 号、33-34 号、35-36 号、39-40 号、43-44 号、45-46 号、49-50 号和 53-54 号样带，均未发现有硬珊瑚补充，补充量均为  $0.00\text{ind./m}^2$ 。详见图 3.2.8-25。

略

图 3.2.8-25 三亚湾附近海域珊瑚补充量分布图

#### ⑧ 大型海藻

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定大型藻类 19 种。大型海藻种类名录详见附录 18。种类分别为伴绵藻、巢沙菜、齿形蕨藻、脆枝果胞藻、耳突卡帕藻、费氏马尾藻、腹扁二叉藻、环蠕藻、蕨藻、喇叭藻、马尾藻、南方团扇藻、三亚马尾藻、网地藻、网球藻、小团扇藻、叶状叉节藻、紫衫状海门冬和总状蕨藻等。

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的大型藻类覆盖度情况（表 3.2.8-5）。37 条样带的大型藻类覆盖度为  $22.00\%\sim 63.40\%$ ，平均覆盖度为  $38.76\%$ 。最高覆盖度的样带为 31-32 号样带，覆盖度为  $63.40\%$ 。最低覆盖度的样带为 27-28 号样带，覆盖度为  $22.00\%$ 。详见图 3.2.8-26。

略

图 3.2.8-26 亚湾附近海域大型藻类分布情况

#### ⑨ 大型底栖生物

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定大型底栖 13 种。大型底栖动物种类名录详见附录 19。种类分别为大刺羽螭、多孔螭、光缨鳃虫、海齿花、核果螺、黑海参、焦棘螺、面包海星、四色篷锥海葵、许氏大羽花、芋螺、圆凸叶海牛和紫点双辐海葵等。

#### ⑩ 三亚湾附近海域的珊瑚死亡及敌害情况

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的珊瑚礁资源，各条样带均未发现珊瑚死亡情况（表 3.2.8-5）。平均珊瑚死亡率为  $0.00\%$ 。通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性）19 条样带，37-38 号和 51-52 号样带发现少量白化现象，详见图 3.2.8-27。本次调查未发现长棘海星，37-38 号和 41-42 号样带发现少量核果螺等敌害。详见图 3.2.8-28。

略

图 3.2.8-36 白化现象

略

图 3.2.8-37 核果螺现象

⑪ 三亚湾附近海域的珊瑚礁鱼类

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定珊瑚礁鱼类 7 种。珊瑚礁鱼类种类名录详见附录 20。种类分别为金尾雀鲷、六带豆娘鱼、网纹宅泥鱼、尾斑光鳃鱼、五带巨牙天竺鲷、五带豆娘鱼和线斑衔虾虎鱼等。

⑫ 总结

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的总平均珊瑚覆盖度为 8.82%，其中平均硬珊瑚覆盖度为 8.65%，平均软珊瑚覆盖度为 0.17%，平均死珊瑚覆盖度为 0.00%。

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带，1-2 号和 49-50 号样带以砂质底质为主，其余样带均以礁石底质为主。岩石占比为 0.00%，砂质底质占比为 29.86%，礁石占比为 61.32%，珊瑚总覆盖度占比为 8.82%。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定硬珊瑚 12 科 24 属 49 种。优势种类分别为鹿角杯形珊瑚、橙黄滨珊瑚、精巧扁脑珊瑚、丛生盔形珊瑚、疣状杯形珊瑚、标准蜂巢珊瑚、片扁脑珊瑚和秘密角蜂巢珊瑚等。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定软珊瑚 3 种。种类分别为短指软珊瑚、短足软珊瑚和瘤状短指软珊瑚等。

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的硬珊瑚平均补充量为 0.01ind./m<sup>2</sup>；最高补充量样带为 29-30 号样带，最低补充量样带分别为 1-2 号、2-3 号、5-6 号、6-7 号、7-8 号、8-9 号、9-10 号、11-12 号、12-13 号、13-14 号、14-15 号、15-16 号、16-17 号、17-18 号、18-19 号、19-20 号、21-22 号、23-24 号、27-28 号、33-34 号、35-36 号、39-40 号、43-44 号、45-46 号、49-50 号和 53-54 号样带，均未发现有硬珊瑚补充。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定大型藻类 19 种。种类分别为伴绵藻、巢沙菜、齿形蕨藻、脆枝果胞藻、耳突卡帕藻、费氏

马尾藻、腹扁二叉藻、环蠕藻、蕨藻、喇叭藻、马尾藻、南方团扇藻、三亚马尾藻、网地藻、网球藻、小团扇藻、叶状叉节藻、紫衫状海门冬和总状蕨藻等。用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的大型藻类平均覆盖度为 38.76%。最高覆盖度的样带为 31-32 号样带，最低覆盖度的样带为 27-28 号样带。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定大型底栖 13 种。种类分别为大刺羽螭、多孔螭、光缨鳃虫、海齿花、核果螺、黑海参、焦棘螺、面包海星、四色篷锥海葵、许氏大羽花、芋螺、圆凸叶海牛和紫点双辐海葵等。

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 37 条样带的珊瑚礁资源，各条样带均未发现珊瑚死亡情况。平均珊瑚死亡率为 0.00%。通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性）19 条样带，37-38 号和 51-52 号样带发现少量白化现象，本次调查未发现长棘海星，37-38 号和 41-42 号样带发现少量核果螺等敌害。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性）19 条样带，本次调查共记录鉴定珊瑚礁鱼类 7 种。种类分别为金尾雀鲷、六带豆娘鱼、网纹宅泥鱼、尾斑光鳃鱼、五带巨牙天竺鲷、五带豆娘鱼和线斑衔虾虎鱼等。

### 3.2.9 海洋自然灾害分析

#### 3.2.9.1 热带气旋

2010~2018 年间，西北太平洋和南海共生成 223 个热带气旋，平均每年生成 27.9 个。有 69 个热带气旋进入南海或在南海生成，有 13 个登陆海南岛。其中，1002 号台风“康森”于 2010 年 7 月 16 日 19 时 50 分左右在海南岛三亚亚龙湾一带沿海登陆。按月份统计，7 月登陆次数最多，6 月和 8 月为其次，1 月~4 月和 12 月没有热带气旋登陆三亚。

以三亚站的气压为指标，根据各热带气旋对三亚市的影响严重程度，摘录 2000~2019 年热带气旋登陆时三亚实测气压<990hpa 的热带气旋列于下表。

表 3.2.9-1 2000~2019 年热带气旋一览表（登陆时三亚实测气压<990hpa）

序号	编号	起止时间	登陆时间				
			登陆强度	登陆点	时间	中心气压/hpa	中心风力/级
1	0016	09/02—09/10	TY	陵水三亚	09/09 08h	975	12
2	0518	09/20—09/28	STY	陵水	09/26 03h	970	12

3	1002	07/12—07/17	TY	三亚	07/16 20h	968	12
4	1005	08/22—0824	TD	三亚南部	08/23 22h	985	10
5	1108	07/25—07/30	STS	文昌	07/29 18h	980	10
6	1117	09/24—09/30	TY	文昌	09/29 14h	960	14
7	1309	07/31—08/02	STS	文昌东南	08/02 17h	980	8
8	1330	11/04—11/11	STY	三亚南部	11/10 14h	955	14
9	1409	07/12—07/20	SuperTY	文昌	07/18 15h	910	17
10	1508	06/21—06/24	STS	万宁	06/24 19h	982	10
11	1603	07/26—07/28	STS	万宁	07/26 22h	985	10
12	1621	10/13—10/19	STS	万宁	10/18 10h	960	14
13	1809	07/17—07/23	TD	万宁	07/18 5h	983	9
14	1944	08/31—09/04	STS	万宁	09/02 10h	995	7

### 3.2.9.2 风暴潮

据统计，三亚的风暴潮发生次数和强度与海南岛北部岸段接近，但成灾次数很少，1971 年的 7126 号台风在榆林港引发的风暴潮，迭加在天文高潮位上，潮水淹没榆林港码头面约 10cm，据调查该次台风过程最大增水 1.11m，最高潮位 2.60m。8906、8926、8928 号台风在三亚登陆或经过三亚附近海面，一个月内有连续三个台风影响，在三亚有热带气旋记录以来，实属罕见。三个台风均在三亚造成一定增水，8926 号台风从海南岛南部登陆，8928 号台风使榆林验潮站的实测潮位比正常潮位偏高 1.24m，8928 号台风使实测潮位比正常潮位偏高 1.38m。

由于三亚海岸朝向基本为 SE-S-SW，热带气旋在三亚以北的区域登陆，登陆前刮北风，在三亚沿岸基本上是离岸风，并不利于三亚市沿岸的风暴增水；气旋登陆后，开始刮 S-SW 风，有利于三亚沿岸的风暴增水，但此时气旋往往已经开始减弱；直接登陆三亚的热带气旋由于低气压作用及强风作用，三亚有较明显增水。根据统计与分析，登陆三亚的热带气旋所引发的增水以单峰型为主，峰值通常在热带气登陆时或登陆后 5h 以内，登陆前则有小幅的增减水波动，9612、0016、0518 号台风引发的风暴潮都表现出该特征，图 3.2.9-1a～图 3.2.9-1c 为以上三场台风引发的增水过程曲线图。

登陆或影响海南岛南部沿岸的热带气旋常伴有大风、暴雨，也曾多次在三亚河、宁远河等流域形成洪水，在风暴潮、洪水共同作用下，易引起海岸侵蚀、海堤损坏，其灾害损失与事故风险不容忽视。

施工期间风暴潮发生时，可能会对施工船舶造成损坏，并危及施工人员的生命安全。施工期施工单位应关注天气及潮位信息，选择合适的天气及潮位条件施工，热带气旋影

响期间停止施工作业。

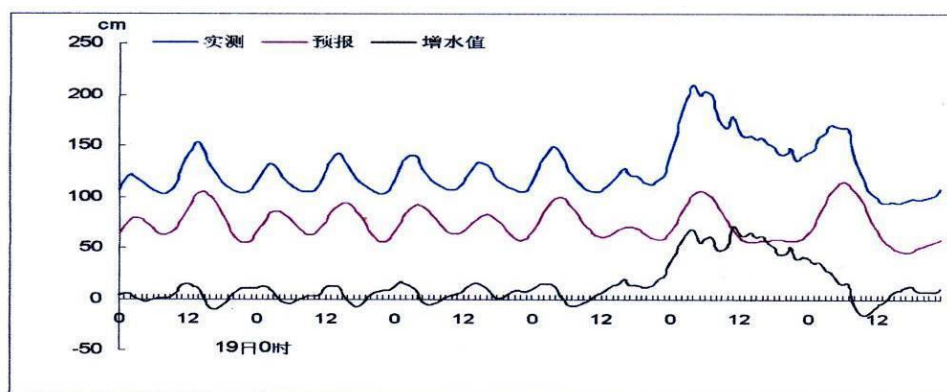


图 3.2.9-1a 9612 号台风增水过程曲线图（8 月）

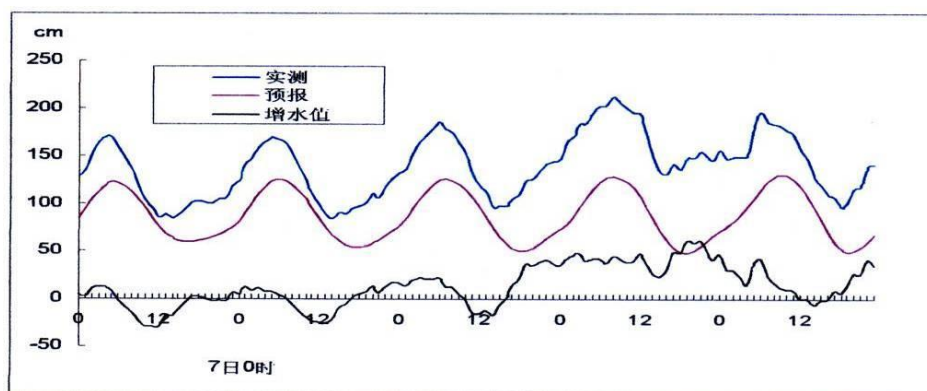


图 3.2.9-1b 0016 号台风增水过程曲线图（9 月）

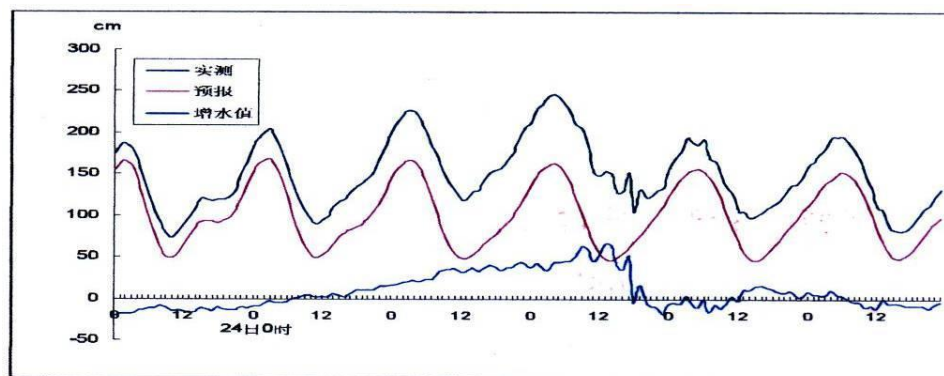


图 3.2.9-1c 0518 号台风增水过程曲线图（9 月）

## 4 资源生态影响分析

### 4.1 资源影响分析

#### 4.1.1 对海洋空间资源的影响

##### （1）对海域空间资源的影响

本项目珊瑚礁修复工程申请用海总面积为 2.4672 公顷，其中申请珊瑚礁修复区 1.600 公顷，申请珊瑚苗圃培育区 0.4672 公顷。即占用海洋空间资源 2.4672 公顷。

##### （2）对岸线资源的影响

根据海南省最新海岸线修测成果，本项目不占用岸线，也不形成新的岸线。

#### 4.1.2 对海洋生物资源的影响

海洋生物资源损害量评估依据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）规定的方法进行。

根据项目特点，项目造成海洋资源损失主要体现在两个方面：一是珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁用海期间占用海域空间的海洋生物资源量损失；二是施工过程中，珊瑚增殖礁投放过程中产生的悬浮泥沙扩散范围内的海洋生物资源损失。

##### 4.1.2.1 对底栖生物的影响

本项目珊瑚增殖礁投放破坏或改变了生物原有的栖息环境，对底栖生物产生一定的影响。项目施工改变水域内的底质环境，使生物原有的栖息环境遭到破坏，使得少量活动能力强的潮间带动物逃往他处而大部分种类将被覆盖、清除。

但项目施工完成后，将形成新的栖息环境，达到一个新的生态平衡，因此项目施工对潮间带生物和底栖生物生态环境影响是可逆的。

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）（以下简称《规程》），占用渔业水域，使该部分渔业水域功能被破坏或海洋生物资源栖息地丧失。各种类生物资源损害量评估按下式计算：

$$Wi = Di \times Si$$

式中：

$Wi$ ——第  $i$  种生物资源受损量，单位为尾或个或千克（kg）；

$Di$ ——为评估区域内第  $i$  种生物资源密度，单位为尾（个）/km<sup>2</sup>、尾（个）/km<sup>3</sup>、



kg/km<sup>2</sup>;

$S_i$ ——为第  $i$  种生物占用的渔业资源水域面积或体积，单位为 km<sup>2</sup> 或 km<sup>3</sup>。

根据设计施工方案，项目投放珊瑚增殖礁数量 750 个，珊瑚增殖礁总投影面积为：  
 $(6 \times 2.25 \times 25) + (7.298 \times 2.602 \times 25) + (3.14 \times 0.5 \times 0.5 \times 250) \approx 1008 \text{ m}^2$

根据 2024 年 5 月海域生态调查数据进行生物损失计算，底栖生物平均生物量为 2.80g/m<sup>2</sup>。

由此人工鱼礁建设造成底栖生物的损失量 =  $1008 \times 2.8 \times 10^{-3} \approx 2.82 \text{ kg}$

#### 4.1.2.2 对浮游生物的影响

施工扰动的泥沙和悬浮物将造成水体透明度下降，削弱水体的真光层厚度，溶解氧降低，减缓浮游植物的光合作用，进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长。浮游植物生物量降低导致局部水域初级生产力水平降低。此外，施工作业产生的悬浮物会黏附在滤食性浮游动物体表，干扰其正常的生理功能，滤食性浮游动物吞食悬浮颗粒会造成内部消化系统紊乱。

参照《规程》，港池疏浚过程在悬浮物扩散范围内对海洋生物产生的持续性损害，按以下公式计算：

$$M_i = W_i \times T$$

$$W_i = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times S_j \times K_{ij}$$

式中：

$M_i$  为第  $i$  种生物资源累计损害量； $W_i$  为第  $i$  种生物资源一次性平均损失量；

$T$  为污染物浓度增量影响的持续周期数（以年实际影响天数除以 15），个；

$D_{ij}$  为某一污染物第  $j$  类浓度增量区第  $i$  种类生物资源密度；

$S_i$  为某一污染物第  $j$  类浓度增量区面积；

$K_{ij}$  为某一污染物第  $j$  类浓度增量区第  $i$  种类生物资源损失率；

$n$  为某一污染物浓度增量分区总数。

上述各参数的取值如下：

上述各参数的取值如下：

（1）污染物浓度增量区面积（ $S_i$ ）和分区总数（ $n$ ）

根据水质影响预测结果，表 4.1.2-1 列出了各分区的面积，超第二类海水标准的区域悬浮物增量基本在 10mg/L~50mg/L 之间，本工程施工叠加产生的悬浮物浓度增量分区总数取 4。

表 4.1.2-1 悬浮物浓度增量区面积（km<sup>2</sup>）

浓度（mg/L）	10~20	20~50	50~100	≥100
珊瑚增殖礁投放悬浮泥沙扩散	0.012	0.018	0	0

（2）生物资源损失率（*K<sub>ij</sub>*）

由于悬沙浓度增量小于 10mg/L 对生物影响较小，造成的损失率很小，因此近似认为悬浮泥沙对海洋生物不产生影响。参照《规程》中的“污染物对各类生物损失率”，近似按超标倍数  $B_i \leq 1$ 、 $1 < B_i \leq 4$  倍、 $4 < B_i \leq 9$  倍及  $B_i \geq 9$  倍损失率范围的中值确定本工程增量区的各类生物损失率，详见表 4.1.2-2。

表 4.1.2-2 本工程悬浮物对各类生物损失率

分区	浓度增量范围（mg/L）	超标倍数（ $B_i$ ）	各污染区的面积（km <sup>2</sup> ）	各类生物损失率（%）			
				浮游植物	浮游动物	鱼卵和仔稚鱼	游泳动物
I区	10~20	$B_i \leq 1$ 倍	0.326	5	5	5	1
II区	20~50	$1 < B_i \leq 4$ 倍	0.424	15	15	17	5
III区	50~100	$4 < B_i \leq 9$ 倍	0	40	40	40	15
IV区	>100	$B_i \geq 9$ 倍	0	50	50	50	20

（3）持续周期数（*T*）和计算区水深

根据项目施工方案，珊瑚增殖礁投放海上施工产生悬浮泥沙影响的影响时间按 180 天计，算得污染物浓度增量影响的持续周期数别为 12。根据工程海域测量资料，项目珊瑚礁修复工程所在海域平均水深取 6m。

（4）生物资源密度（*D<sub>ij</sub>*）

根据 2024 年 5 月海洋生态环境结果，浮游植物平均细胞丰度为  $0.22 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，浮游动物平均生物量为  $17.76 \text{mg/m}^3$ 。

悬浮泥沙扩散导致浮游生物损失情况：

浮游植物损失量 =  $0.22 \times 10^5 \times 12 \times 6 \times (0.012 \times 0.05 + 0.018 \times 0.15) \times 10^6 \approx 0.05 \times 10^{11} \text{cells}$

浮游动物损失量 =  $17.76 \times 10^{-6} \times 12 \times 6 \times (0.012 \times 0.05 + 0.018 \times 0.15) \times 10^6 \approx 4.2 \text{kg}$

### 4.1.2.3 对渔业资源的影响

工程施工过程中，对游泳生物也会产生一定的影响。鱼类等游泳动物，适应水环境变化的能力相对较强，但对于环境骤然变化，反应是敏感的，项目施工过程中引起的水中悬浮泥沙含量增加，必然引起“驱散效应”、鱼类等游泳动物将避开浑浊区。

人工鱼礁投放过程引起水中悬浮物增加，使游泳生物的呼吸器官积聚泥沙，严重损害呼吸器官的滤水和呼吸功能，甚至导致其窒息死亡。根据有关实验数据，悬浮物的含量为 80000mg/L 时，鱼类最多只能存活 1 天；含量为 6000mg/L 时，最多能存活 1 周；若每天做短时间搅拌，使沉淀的淤泥泛起，保持悬浮物质含量达到 2300mg/L，则鱼类能存活 3~4 周；通常悬浮物浓度的含量在 200mg/L 以下时，不会导致直接死亡。

在水生食物链中，除了初级生产者——浮游藻类以外，其他营养级上的生物既是消费者，也是上一营养级生物的饵料。因此，浮游植物生物量的减少，会使以浮游植物为饵料的浮游动物生物量也相应减少，以浮游生物为食的鱼类等由于饵料的贫乏而导致资源量下降。工程施工属于短期行为，随着施工期的结束，其环境影响会很快消失。

参照《规程》中的“污染物对各类生物损失率”，小于 10mg/L 增量浓度范围内的海域同样近似认为悬浮泥沙对鱼卵和仔稚鱼不产生影响。根据 2024 年 5 月海域生态调查数据进行生物损失计算，游泳动物平均资源密度为 379.808kg/km<sup>2</sup>，鱼卵平均密度为 2.33 粒/m<sup>3</sup>，仔稚鱼密度为 0.13 尾/m<sup>3</sup>，则鱼卵和仔稚鱼的损失量为：

$$\text{游泳动物损失量} = 379.808 \times 12 \times (0.012 \times 0.01 + 0.018 \times 0.05) \approx 4.65\text{kg}$$

$$\text{鱼卵损失量} = 2.33 \times 12 \times 6 \times (0.012 \times 0.05 + 0.018 \times 0.17) \times 10^6 \approx 0.06 \times 10^7 \text{ 粒}$$

$$\text{仔稚鱼损失量} = 0.13 \times 12 \times 6 \times (0.012 \times 0.05 + 0.018 \times 0.17) \times 10^6 \approx 0.03 \times 10^6 \text{ 尾}$$

根据上述计算结果，本工程珊瑚增殖礁建设造成底栖生物损失量为 2.82kg，施工悬浮泥沙影响导致浮游植物损失  $0.05 \times 10^{11}$  cells，浮游动物损失 4.2kg，鱼卵损失  $0.06 \times 10^7$  粒，仔鱼损失  $0.03 \times 10^6$  尾，游泳动物资源损失 4.65kg。本项目为珊瑚礁生态系统修复项目，包括珊瑚增殖礁投放、珊瑚移植等生态补偿措施；通过在特定海域实施珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程，有利于修复珊瑚礁资源，改善海域生态环境。项目所选的珊瑚增殖礁礁体材料对自然海域环境无任何污染，所有材料在投放前都经过清洗，对海洋环境无损害作用。珊瑚增殖礁的投放能促进造礁石群落的恢复，加速珊瑚礁生态系统的修复

进程，项目建设所造成的渔业资源损失是可接受的。

### 4.1.3 对其他海洋资源的影响分析

项目论证范围内其他海洋资源主要是港口资源、旅游资源、岛礁资源、珊瑚礁资源。

#### 4.1.3.1 对港口资源的影响分析

论证范围内港口资源主要有肖旗港和三亚港，距离相对较远。项目施工船舶不会在三亚港、肖旗港通航、锚泊，项目施工产生的悬浮泥沙扩散范围较小，不会扩散到上述港口区内。因此，本项目用海对红塘港、肖旗港影响较小。

#### 4.1.3.2 对旅游资源的影响分析

本项目位于未占用西岛和鹿回头半岛景区资源。项目实施后，项目周边海域的水体仍能保持一类海水水质，满足区域内旅游娱乐用海所需水质要求。项目实施不影响周边景区开展海上旅游娱乐用海活动。因此项目实施后对西岛和鹿回头半岛景区的海上景观影响较小。

#### 4.1.3.3 对珊瑚礁资源的影响分析

##### （1）施工悬浮泥沙对珊瑚礁生态环境的影响分析

工程施工过程中产生的污染物（SS）造成水体中悬浮物浓度增加，降低海水的透光度，影响共生藻类的光合作用，大量的悬浮物也会使珊瑚虫窒息死亡，其他礁栖生物也会因生存环境的恶化而受到影响，从而对污染物（SS）扩散区域的珊瑚生态造成不利影响。根据相关研究，当污染物（SS）的沉积率大于  $100\text{mg}/\text{cm}^2$  时，可在几天内杀死珊瑚组织。当污染物（SS）的沉积率小于  $12\text{mg}/\text{cm}^2$  时，与透明颗粒层（可能有细菌和硅藻引起）结合后也可以杀死新附着的珊瑚。研究表明，珊瑚短期受到的污染物（SS）影响，将会影响到珊瑚长期的生长，减少幼体珊瑚量，延迟珊瑚恢复。且不同的水体浑浊度对造礁石珊瑚生长均有不同程度的抑制作用，且抑制作用随浑浊度的增加而加强。

项目珊瑚保育工程珊瑚苗圃投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较少。珊瑚修复工程投放珊瑚增殖礁进行珊瑚移植、提高珊瑚幼虫附着率，投礁区以砂质为主要类型的海底，礁体布放过程由潜水员在水下进行，并且逐个布放，因此珊瑚增殖礁礁体触底引起的悬浮泥沙很小，远小于常规水面抛投作业引起的悬浮泥沙源强。珊瑚增殖礁吊放后由潜水员在水下直接放置在海床上，无需进行水下固定。实际作业时，一方面将对礁体进行分区施工，结合潮流特征，尤其对距离珊瑚较近的礁体，尽量选择

不利于悬浮沙向珊瑚礁分布区扩散的潮期施工，以降低悬浮沙对珊瑚礁生境的不利影响；

本项目周边有珊瑚礁分布区，珊瑚增殖礁投放时避开珊瑚生长区域，产生的悬浮物影响海水水质的范围在工程区域周边，对西岛周边海域的珊瑚及其生境会产生一定的影响。从修复区内及周边珊瑚位置关系来看，通过合理选择施工方式（船上缓慢吊放+潜水员辅助调整）、施工时间（选择不利于悬浮沙向珊瑚礁分布区扩散的潮期作业），悬浮沙对项目区珊瑚生境的影响是很小的。

珊瑚增殖礁投放和珊瑚移植后西岛周边海域珊瑚礁分布较之前会有所增加，礁石底质较之前也会有所增加，对珊瑚的生长和恢复具有积极的作用，有利于恢复海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区内的珊瑚礁生态系统。

## （2）施工作业船舶抛锚影响分析

施工船舶抛锚会对珊瑚礁造成直接的物理损害，如刮伤、破坏和破碎，这些损害可能会导致珊瑚礁的死亡。此外，船舶频繁抛锚还可能会引起沉积物的悬浮，导致水质变差，影响珊瑚礁的生长。

珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程施工时应尤其注意船舶抛锚影响，尽量在海流风浪条件相对较好的天气施工，结合实况海流条件确定最佳锚泊区，准备锚泊时提前关闭动力设备，尽量利用海流动力到达设计锚泊位置，减少船舶抛锚走行距离和锚具对海床的刮擦强度。经采取措施后，可能控制并避免船舶抛锚对珊瑚造成破坏影响。

## （3）珊瑚移植过程中对现有珊瑚礁的影响分析

珊瑚移植过程由潜水员水下操作，作业人员主要在修复区内活动，基本不会由于人员水下活动对项目区现有珊瑚造成破坏。调查显示，珊瑚礁修复区发现珊瑚礁敌害生物，如珊瑚移植过程中不慎带入珊瑚礁敌害生物，则可能会将其引入项目海域导致珊瑚礁破坏。

## （4）施工废弃物及污染物排放对珊瑚礁生态环境影响分析

施工过程中会产生多种废弃物和污染物，包括建筑垃圾、油污、生活污水等。建筑垃圾主要来源于施工过程中的混凝土废料、包装材料等，这些垃圾如果未经妥善处理直接丢弃到海中，会在海底堆积，覆盖在珊瑚礁表面，影响珊瑚礁的生长和繁殖。油污主要来自施工船舶和机械设备的泄漏，油类物质会在水面形成油膜，阻止氧气进入海水，导致海水缺氧，同时油中的有害物质会对珊瑚礁生物产生毒性作用。生活污水则含有大量的有机物、氮、磷等营养物质，如果未经处理直接排放到海中，会导致海水富营养化，引发藻类过度繁殖。

藻类过度繁殖会对珊瑚礁产生严重的危害。一方面，藻类会与珊瑚争夺光照、营养和空间资源，抑制珊瑚的生长和繁殖。另一方面，一些藻类会产生毒素，对珊瑚礁生物造成毒害作用。此外，藻类过度繁殖还会改变珊瑚礁生态系统的生态平衡，导致珊瑚礁生态系统中的生物种类和数量发生改变，降低珊瑚礁生态系统的生物多样性和稳定性。同时，施工废弃物和污染物的排放还可能会对珊瑚礁周边的水质造成污染，影响海水的物理、化学性质，如水温、盐度、酸碱度等，进一步对珊瑚礁的生长和生存产生不利影响。

施工过程中施工船舶上设置污水收集罐，船舶生活污水排入接收设施上岸处理。施工船舶上设置油水分离器和油污水罐，含油污水及时接收上岸，由船舶运营方联系资质单位接收处理，严禁向水域排放含油污水，船舶生活垃圾统一收集后上岸由环卫部门统一处置。施工船舶、机械设备发生作业操作性或事故性的残油、废油应及时盛接，与生活垃圾中分拣出来的危险废物交由有危险废物处理资质的单位将其安全处置。项目施工过程中产生的各项污染物均妥善处置，不排海，对珊瑚礁资源的影响较小。

#### （5）珊瑚增殖礁对珊瑚礁生态环境的影响分析

珊瑚增殖礁礁体的投放为珊瑚提供附着场所，有利于修复珊瑚礁资源，增殖珊瑚礁鱼类资源。礁体表面采用特殊的粗糙化的处理技术，增加礁体表面积，并且有利于生物附着，提高生物蓄积能力；珊瑚增殖礁投放后，在礁体周围形成饵料场，吸引生物聚集，产生集鱼效果。

#### （6）项目珊瑚礁修复工程实施后对珊瑚礁生态环境的影响分析

本项目为珊瑚礁生态系统修复项目，对珊瑚礁生态环境有着积极影响，投放珊瑚增殖礁能够为珊瑚礁生物提供新的栖息场所。珊瑚增殖礁礁体的结构和材质可以模拟自然珊瑚礁的生态环境，吸引珊瑚礁生物附着和生长。具有复杂孔隙结构的珊瑚增殖礁礁体可以为小型海洋生物提供躲避天敌的场所，促进生物多样性的增加；珊瑚增殖礁可以作为珊瑚礁恢复的载体，通过在珊瑚增殖礁上移植珊瑚幼苗或珊瑚断枝，加速珊瑚礁的生长和恢复。

## 4.2 生态影响分析

### 4.2.1 项目用海对水文动力环境的影响分析

根据《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T231-2021）的要求，建立项目工程附近海域的潮流数值模型，以预测本项目工程对海洋环境的影响。

#### 4.2.1.1 模型建立

数值模型采用有限体积元方法对二维潮流运动基本方程组（见式 7.1-1 至 7.1-3）进行离散，得到离散方程组，从而得出流速、流向、潮位。考虑到滩地随涨、落潮或淹没或露出，因此采用活动边界技术，以保证模型计算的精度和连续性。

##### ● 控制方程

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (4.2.1-1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - R_b \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} u + fv + \tau_{sx} \quad (4.2.1-2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - R_b \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} v - fu + \tau_{sy} \quad (4.2.1-3)$$

式中： $A_h$  水平方向扩散系数， $\eta$  为平均海面起算的海面高度， $u$ 、 $v$  为垂向平均流的东、北分量， $H=\eta+h$  总水深， $h$  为平均海面起算的水深， $f$  为体现地球自转效应的科氏参数， $R_b$  为海底摩擦系数， $g$  为重力加速度， $t_{sx}, t_{sy}$  为风对自由水面的剪切力在 X、Y 方向的分量；其中： $t_{sx} = f_s r_a u_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$ ， $t_{sy} = f_s r_a v_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$ ；式中： $f_s$  为风阻力系数； $\rho_a$  为空气密度， $u_w, v_w$  风速在 X、Y 方向的分量。本次模拟未考虑风应力的影响。

##### ● 边界条件和初始条件

###### (1) 边界条件

在本研究采用的数值模式中，需给定两种边界条件，即闭边界条件和开边界条件。

所谓开边界条件即水域边界条件，可以给定水位、流量或调和常数。对于本次数值模拟方案，计算域外海大网格开边界条件给定潮汐调和常数。潮汐现象可视作为许多不同周期振动的叠加，分潮振幅（H）和迟角（g）只与地点有关，称为潮汐调和常数。从理论上讲，分潮的数目是很多的，但大部分影响不大，一般以  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$ 、 $K_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $Q_1$  分潮最大，因此计算域外海开边界选取 8 个主要分潮（ $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$ 、 $K_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $Q_1$ ）叠加，其值根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献提供，并根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整。

所谓闭边界条件即水陆交界条件，计算水域与陆地交界的固边界上 $\Gamma_2$ 有：

$$\vec{U} \cdot \vec{h} \Big|_{\Gamma_2} = 0 \quad (4.2.1-4)$$

式中： $\vec{h}$ 为固边界法向； $\zeta^*(x, y, t)$ 、 $u^*(x, y, t)$ 和 $v^*(x, y, t)$ 为已知值(实测或准实测或分析值)。式(7.1-4)中的 $\vec{U}$ 为流速矢量( $|\vec{U}| = \sqrt{u^2 + v^2}$ )，其物理意义为流速矢量沿固边界的法向分量为零。

#### (2) 初始条件

$$\left. \begin{aligned} \zeta(x, y, t) \Big|_{t=t_0} &= \zeta_0(x, y, t_0) \\ u(x, y, t) \Big|_{t=t_0} &= u_0(x, y, t_0) \\ v(x, y, t) \Big|_{t=t_0} &= v_0(x, y, t_0) \end{aligned} \right\} \quad (4.2.1-5)$$

式中： $\zeta_0(x, y, t_0)$ 、 $u_0(x, y, t_0)$ 和 $v_0(x, y, t_0)$ 为初始时刻 $t_0$ 的已知值。

#### (3) 活动边界处理

本模型采用干湿点判断法处理潮滩活动边界，在岸边界处，将邻近计算点的水位等值外推，根据潮滩“淹没”与“干出”过程同潮位变化的相关关系，当水深 $h \leq 0$ 时，潮滩露出，当水深 $h > 0$ 时，潮滩淹没。如果在某一时刻某节点干出，那么将此格点从有效计算域中去掉；同时，对流速做瞬时垂直壁处理，将与此水位点相邻的流速点设置为零流速；如果某个水位点判断为淹没，则将此点归入计算域。为了确保潮流方程不失去物理意义，选取一个最小水深 $h_{\min}$ 作为判断值，若 $h \leq h_{\min}$ ，则认为网格点干出。

#### (4) 计算域的确定及网格剖分

从满足工程研究需要出发，选定计算域为三亚以南海域。具体范围为：纬度 $16^{\circ}46'N$ 至 $17^{\circ}40'N$ ，经度 $107^{\circ}48'E$ 至 $111^{\circ}42'E$ ，东西长约433km，南北宽约223km。

本模型采用三角形网格剖分计算区域，三角形网格节点数为16397个，三角形个数为31177个，相邻网格节点最大间距为5400m，位于外海边界处；最小间距为40m，位于项目工程区域附近。网格剖分见图4.2.1-1和图4.2.1-2（局部放大）。

模型水深和岸线由以下海图确定：2021年6月出版图号为10016（香港至海防，比例尺1:1000000）海图，2020年3月出版图号为16341（三亚港附近，比例尺1:25000）海图，2021年出版图号为16170（大洲岛至三亚港，比例尺1:150000）。项目区域水深



由最近实测的 1:1000 水下地形测量资料插值后取得。所有水深都转化至平均海平面再插值至网格点上，项目区域计算水深分布和网格剖分见图 4.2.1-3。

计算域外海开边界条件根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献提供，采用防潮边界，并根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整，另外河流边界采用多年平均流量控制，如三亚河和宁远河。

#### 4.2.1.2 模型验证

项目附近海区的实测海流资料为海南正永生态工程技术有限公司于 2020 年 12 月 5 日至 6 日实测数据，模型的计算时间步长为 20s，每隔半个小时输出网格点的水位和流速、流向用于模型的验证。

潮流的验证：本项目工程的水文现状调查设置了 6 个海流测站（A1 至 A6，调查站位见图 4.2.1-4）。根据实测资料和模型计算结果绘制流向、流速验证曲线如图 4.2.1-6～图 4.2.1-9。由于实测流速为表层、0.6H、底层三层或者表层、0.2H、0.6H、0.8H、底层，而本模型为二维模型，因此采用垂向平均实测流速、流向资料进行验证。

潮位的验证：潮位资料采用海南正永生态工程技术有限公司 2020 年 12 月 5 日 11:00～2020 年 12 月 6 日 12:00（大潮期）的 2 个站点（A1 和 A3 站，站点位置图见图 4.2.1-4），潮位验证曲线见图 4.2.1-5。

根据潮位验证曲线（图 4.2.1-5）分析显示，模型计算潮位过程与实测潮位过程吻合良好，潮位验证的平均绝对误差为 6.9cm，模型计算潮位基本可以反映实际潮位过程。

根据流速、流向验证曲线（图 4.2.1-6 至图 4.2.1-9）分析显示，模型计算流速、流向与实测流速、流向基本吻合，综上所述可知，模型计算潮位、潮流流速、流向与实测值基本吻合，验证效果较好，因此，本报告中采用模型基本可以反映工程海域的流场状况，可用于本项目工程的动力场和物质输运分析。

略

图 4.2.1-1 数学模型计算网格（大范围）

略

图 4.2.1-2a 项目附近网格图（珊瑚礁修复区附近局部放大）

略

图 4.2.1-2b 项目附近网格图（珊瑚苗圃培育区附近局部放大）

略

图 4.2.1-3 数学模型计算区域水下地形图

略

图 4.2.1-4 测流站点和验潮点位置示意图（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-5a A1 号站潮位验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-5b A3 号站潮位验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-6 大潮期，A1 站流速流向验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-7 大潮期，A2 站流速流向验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-8 大潮期，A3 站流速流向验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-9 大潮期，A4 站流速流向验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-10 大潮期，A5 站流速流向验证（2020 年 12 月 5-6 日）

略

图 4.2.1-11 大潮期，A6 站流速流向验证（2020 年 12 月 5-6 日）

#### 4.2.1.3 工程前后项目区域潮流动力场变化分析

##### （1）珊瑚礁修复区潮流场变化分析

本项目拟在西岛东侧海域进行珊瑚礁修复，投放珊瑚增殖礁，为透水构筑物，在模型中通过增大海底粗糙度来体现珊瑚增殖礁的存在，数值模拟的水深条件不变。

为反映项目区域海域潮流特征，本报告给出潮汐动力较强的大潮情况下落急与涨急时刻的潮流特征，工程前后的流场分布见图 4.2.1-12 和图 4.2.1-13。流场的数值计算结果表明：

- ① 项目所在海域位于西岛东侧，涨潮时潮流自东南向西北上溯，落潮时自西北向

东南下泄，项目区涨潮最大流速约 30cm/s，落潮最大流速约 20cm/s，涨急流速略大于落急流速，表现出一定的涨潮优势。这主要是由于落潮时珊瑚礁修复区位于近岸区，落潮时近岸区的潮流为补偿流，珊瑚礁修复区以东区域落潮时流向为自西北向东南，流速较大，在近岸由于西岛的阻挡形成了与涨潮流流向相似的补偿流，但补偿流流速较小，最大在 20cm/s 左右。

② 将工程后的流速大小减去工程前的流速绘制工程前后流速大小改变图见图 4.2.1-14，由图 4.2.1-14 可知，工程前后流速的改变值很小，最大改变幅度只有-2.0cm/s 左右，这是由于项目所在的东岛近岸海域流速较小，底摩擦系数对于流速大小的改变作用有限，工程前后的流速改变也很小。

总体来说，项目所在海域的潮流动力中等，工程前后流速的改变幅度较小，工程后流速最大减小 2.0cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚礁修复区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与珊瑚礁修复区的最远距离约 280m，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

略

图 4.2.1-12a 工程前涨急流场图（珊瑚礁修复区）

略

图 4.2.1-12b 工程后涨急流场图（珊瑚礁修复区）

略

图 4.2.1-13a 工程前落急流场图（珊瑚礁修复区）

略

图 4.2.1-13b 工程后落急流场图（珊瑚礁修复区）

略

图 4.2.1-14a 工程前后涨急流速改变等值线图（珊瑚礁修复区）

略

图 4.2.1-14b 工程前后落急流速改变等值线图（珊瑚礁修复区）

## （2）珊瑚礁培育区潮流场变化分析

为反映项目区域海域潮流特征，本报告给出潮汐动力较强的大潮情况下落急与涨急时刻的潮流特征，工程前后的流场分布见图 4.2.1-15 和图 4.2.1-16。流场的数值计算结

果表明：

① 珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区位于鹿回头至小青洲连线的弱流区内，无论是涨急还是落急，最大流速都小于 10cm/s，水动力微弱。鹿回头西侧岬角处最大流速可达到 60cm/s。

② 将工程后的流速大小减去工程前的流速绘制工程前后流速大小改变图见图 4.2.1-17，由图 4.2.1-17 可知，工程前后流速的改变值很小，最大改变幅度只有 -0.005cm/s 左右，工程前后的流速改变很小。

因此，珊瑚礁培育区海域的潮流动力微弱，工程前后流速的改变幅度很小，工程后流速最大减小幅度只有 0.005cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚礁培育区周边的小范围内，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

略

图 4.2.1-15a 工程前涨急流场图（珊瑚苗圃培育区）

略

图 4.2.1-15b 工程后涨急流场图（珊瑚苗圃培育区）

略

图 4.2.1-16a 工程前落急流场图（珊瑚苗圃培育区）

略

图 4.2.1-16b 工程后落急流场图（珊瑚苗圃培育区）

略

图 4.2.1-17a 工程前后涨急流速改变等值线图（珊瑚苗圃培育区）

略

图 4.2.1-17b 工程前后落急流速改变等值线图（珊瑚苗圃培育区）

## 4.2.2 波浪对珊瑚礁修复工程的影响分析

### 4.2.2.1 波浪数学模型

利用数值计算方法推算海浪的波高和周期是目前研究海洋的一种方法，为了推算工程海域的设计波要素，选择海浪模式 SWAN（Simulation Waves Nearshore）。SWAN 起源于 20 世纪 80 年代后期，经过几代发展和改进，现在已发展到第三代，是国际和国内都普遍应用的浅水波浪数值预报模型。它考虑了波浪浅化、折射、绕射、底摩擦、破碎、

白浪、风能输入。SWAN 适用于海岸、湖泊和河口地区的风浪、涌浪及混合浪的预报，由于其合理计入浅水波浪破碎效应、同其他模式相比，该模式尤其对于破波带适用。

荷兰 Delft 科技大学，Ris, R.C., L.H.Holthuijsen 和 N.Booij，总结历年来波浪能量输入、耗散及转换的研究成果提出并发展了适用于海岸、湖泊及河口地区的 SWAN 浅水海浪预报模式。N.Booij 等人对 SWAN 模式以波浪线性理论及现场观测资料 SWAN 进行验证，结论表明第三代浅水谱波浪模型 SWAN 能准确合理地模拟潮流、地形、风场环境下的波浪场。

#### （1）波作用量平衡方程

SWAN 在考虑有流场影响时，谱能量密度不守恒，只有波作用量  $N(\sigma, \theta)$ （能量密度  $E(\sigma, \theta)$  与相对频率  $\sigma$  之比）守恒。 $N(\sigma, \theta)$  随时间、空间而变化。在笛卡尔坐标系下，波作用量平衡方程可表示为：

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (4.2.2-1)$$

式（4.2.2-1）左边第一项为  $N$  随时间的变化率；第二和第三项表示  $N$  在空间  $x$ 、 $y$  方向上的传播；第四项表示由于流场和水深所引起的  $N$  在  $\sigma$  空间的变化；第五项表示  $N$  在  $\theta$  空间的传播，亦即水深及流场而引起的折射；方程右边的  $S$  代表以谱密度表示的源汇项，包括风能输入、波与波之间非线性相互作用和由于底摩擦、白浪、破碎等引起的能量损耗； $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_\theta$  和  $C_\sigma$  分别代表在  $x$ 、 $y$ 、 $\sigma$  和  $\theta$  空间的波浪传播速度：

$$\begin{aligned} C_x &= \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \\ C_y &= \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y \\ C_\sigma &= \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla d \right] - C_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \\ C_\theta &= \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \end{aligned} \quad (4.2.2-2)$$

其中  $\vec{k} = (k_x, k_y)$  为波数； $d$  为水深  $\vec{U} = (U_x, U_y)$  为流速； $s$  为沿  $\theta$  方向空间坐标； $m$  为垂直于  $s$  的坐标；算子  $\frac{\partial}{\partial t}$  定义为： $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{C} \cdot \nabla_{x,y}$

## （2）源汇项的处理方法

对于源函数项：

$$S = S_{wind}(\sigma, \theta) + S_{ds} + S_{nl} \quad (4.2.2-3)$$

处理如下：

### ● 风一浪间的相互作用 ( $S_{wind}(\sigma, \theta)$ )

关于风生浪的计算方案采用 Phillips 于 1957 年提出的“共振”机制及 Miles 于 1957 年提出的平行流不稳定性风浪生成理论的结合形式。前者适用于风浪产生的初始阶段，后者适用于风浪成长的主要阶段，两者之间互为补充。因此，该计算方案充分考虑了这两种物理机制在海浪生成过程中不同阶段的重要作用。若用  $S_{wind}(\sigma, \theta)$  代表风对浪的作用，则风生浪源函数可表示为线性增长部分和指数增长部分，即： $S_{wind}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta)$ ，其中  $A$  与  $B$  依赖于波的频率、方向及其风的频率和方向，系数  $A$ 、 $B$  的选取直接影响着海浪的模拟效果。

$$A = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{g^2 2\pi} \{U_* \max[0, \cos(\theta - \theta_w)]\}^4 H \quad (4.2.2-4)$$

$$\text{式中 } H = \exp(-(\sigma / \sigma_{FM}^*)^{-4})$$

$\theta_w$  为风向； $H$  为滤波器； $\sigma_{FM}^*$  为风海面状态充分发展后的峰值频率。根据 Janssen, B 的表达式：

$$B = \beta \frac{\rho_a}{\rho_w} \left(\frac{U_*}{C_{ph}}\right)^2 \max[0, \cos(\theta - \theta_w)]^2 \sigma \quad (4.2.2-5)$$

其中  $\beta$  为 Miles 常数，它是通过无维临界高度  $\lambda$  得出，即

$$\beta = \frac{1.2}{k^2} \lambda \ln^4 \lambda, \lambda \leq 1, \lambda = \frac{g Z_e}{C_{ph}^2} e^r$$

$Z_e$  称为有效海表粗糙长度，依赖于粗糙长度及由于海表波浪的存在而引起的波

诱导应力和海表风引起的湍流风应力，因此，该方案综合考虑了包含海、气边界层及海面粗糙度在内的风、浪之间的相互作用。

● 耗散作用（ $S_{ds} = S_{white} + S_{bottom} + S_{breaking}$ ）

海浪成长、消亡过程中，耗散机制起着至关重要的作用，它也是决定海浪能否充分发展的重要因素。该模式主要考虑三种耗散机制：白浪耗散、底摩擦作用及深度诱导破碎（depth-induced breaking）所引起的能量耗散。

a) 白浪耗散作用

海面在风的持续作用下（特别是大风），风浪不断产生、发展，其中一部分破碎，波破碎直接形成海洋白浪，白浪衰败后留下的泡沫要很长时间才能消亡；同时，与白浪伴生的还有海水中的气泡和空气中的水沫滴。研究表明：白浪在海-气交换过程中起着重要作用。SWAN 模式中的白浪耗散取 WAMDI group 的表达式，用  $S_{white}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma, d)$  来表示， $\tilde{\sigma}$  和  $\tilde{k}$  分别表示平均频率和平均波数； $\Gamma$  是波陡系数，依赖于所有波的波陡，同时，它也依赖于风输入源函数的计算公式。

b) 底摩擦作用

底摩擦作用与海底地形及粗糙度有关，本文选取 Hasselmann 的表达式：

$$S_{bottom}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (4.2.2-6)$$

$C_{bottom}$  是底摩擦系数，本文中  $C_{bottom}$  取常数  $0.038 \text{m}^2 \text{s}^{-3}$

c) 深度诱导波破碎作用

取水平方向上，由于波破碎导致单位面积上能量的平均耗散率为

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left( \frac{\bar{\sigma}}{2\pi} \right) H_m^2 \quad (4.2.2-7)$$

其中  $\alpha_{BJ} = 1$ ， $\bar{\sigma}$  为平均频率， $H_m$  为给定深度的最大波高， $Q_b$  是由破碎的波所

决定  $E_{tot} = \int_0^{2\pi\infty} \int_0 E(\sigma, \theta) d\theta d\sigma$ 。

因此，波破碎源函数的表达式为：

$$S_{breaking}(\sigma, \theta) = -D \frac{E(\sigma, \theta)}{E_{tot}} \quad (4.2.2-8)$$

● 非线性波-波相互作用( $S_{nl}$ )

波浪从风中获得能量后成长，其能量又在不同波之间再分配。因此，波一波相互作用，是海浪生成、成长的重要机制。研究发现：在深水情形，四波共振相互作用控制着海浪波谱的发展，它把能量从高频转移到低频中去；而在浅水中，三波相互作用的结果是把低频的能量向高频转换。在近岸浅水区，由于海底地形复杂多变，因此一般须考虑三波和四波之间的相互作用。四波共振相互作用的计算较为复杂，SWAN 采用 Hassenlmann 所提出的方案，并用 DIA (Discrete interaction approximation) 的方法求解，而三波相互作用则根据 Eldeberk 的方案获得并利用 LTA (Lumped Trida Approximation) 的方法求解。

(3) 波作用量平衡方程的数值算法

SWAN 模式采用全隐式有限差分格式，无条件稳定，允许较大的时间步长。对波作用量平衡方程进行离散：

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{N_{i_t,n}^{i_t} - N_{i_t-1}^{i_t}}{\Delta t} \right]_{i_x,i_y,i_\sigma,i_\theta} + \left[ \frac{[C_x N]_{i_x} - [C_x N]_{i_x-1}}{\Delta x} \right]_{i_y,i_\sigma,i_\theta}^{i_t,n} + \left[ \frac{[C_y N]_{i_y} - [C_y N]_{i_y-1}}{\Delta x} \right]_{i_x,i_\sigma,i_\theta}^{i_t,n} \\ & + \left[ \frac{(1-\nu)[C_\sigma N]_{i_\sigma+1} + 2\nu[C_\sigma N]_{i_\sigma} - (1+\nu)[C_\sigma N]_{i_\sigma-1}}{2\Delta\sigma} \right]_{i_x,i_y,i_\theta}^{i_t,n} \\ & + \left[ \frac{(1-\eta)[C_\theta N]_{i_\theta+1} + 2\eta[C_\theta N]_{i_\theta} - (1+\eta)[C_\theta N]_{i_\theta-1}}{2\Delta\sigma} \right]_{i_x,i_y,i_\sigma}^{i_t,n} \\ & = \left[ \frac{S}{\sigma} \right]_{i_x,i_y,i_\sigma,i_\theta}^{i_t,n} \end{aligned} \quad (4.2.2-9)$$

其中  $i_t$  为时间层标号； $i_x, i_y, i_\sigma$  和  $i_\theta$  为  $x, y, \sigma$  和  $\theta$  方向相应网格标号； $\Delta t, \Delta x, \Delta y, \Delta\sigma$  和  $\Delta\theta$  为时间步长、地理空间  $x, y$  方向步长、谱空间相对频率  $\sigma$ 、方向分布  $\theta$  的步长， $n$  为每时间层迭代次数；方程右边源汇项中的  $n^*$  为  $n$  或  $n-1$ ； $\eta \in [0,1], \nu \in [0,1]$ ，系数  $\nu$  和  $\eta$  的取值大小决定了谱空间的差分格式是偏于迎风格式还是偏于中心格式，因此决定了在频谱空间和方向空间的数值离散程度和收敛性强弱，如当  $\nu=0$  或  $\eta=0$  时为中心差分格式，数值离散趋于 0，计算准确度最高，当  $\nu=1$  或  $\eta=1$  时为迎风差分格式，数值离散程度最大，但收敛性最好。



#### 4.2.2.2 外海波要素及特征点选取

南京水利科学研究院在《三亚新机场临空产业园旅游产业园区一期工程波浪数值模型研究》中，依据 1970 年～2013 年的热带气旋资料，对影响南中国海的 228 次台风浪过程进行了数值后报，并对台风浪后报结果采用 Poisson-Gumbel 复合极值分布律，确定了三亚外海 25m 等深线深附近水域不同重现期的设计波浪要素，如表 4.2.2-1 所列。

**表 4.2.2-1 三亚外海-25m 设计波要素（1970~2013）**

略

为了计算工程方案各设计水位下的波要素，采用 SWAN 浅水波浪模型把验证好的设计波要素推算 50 年一遇、2 年一遇波要素的极端高水位、设计高水位条件下的波高。波浪模型计算网格见图 4.2.2-1，图中红点为-25m 处的波浪要素验证点，波浪验证见表 4.2.2-2。

根据波浪概况，结合岸线走向，利用上述波浪数学模型，本报告计算了 W 向、SW 向、S 向及 SE 向 50 年一遇、2 年一遇的波浪分别在极端高水位、设计高水位条件下的波浪场分布，计算工况见表 4.2.2-3。

**表 4.2.2-2 波浪要素验证**

略

**表 4.2.2-3 计算波浪工况**

略

略

**图 4.2.2-1 波浪模型计算网格**

略

**图 4.2.2-2 特征点布置图**

#### 4.2.2.3 计算结果及分析

项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区所在海域受 SE 至 SW 区间内的波浪作用较明显，传至西岛近岸海域，受地形、水深等条件限制，波高逐渐减小。表 4.2.2-4 至表 4.2.2-7 列出了不同波浪入射方向下各工程特征点的设计波要素，不同方向、不同水位组合条件下有效波高  $H_s$  等值线分布见图 4.2.2-3～图 4.2.2-18。

50 年一遇波浪，极端高水位情况下，工程区最大波高为 1.92m，出现在 SE 和 S 向，

最小波高为 0.86m，出现在 W 向；50 年一遇波浪，设计高水位情况下，工程区最大波高为 1.22m，出现在 SE 向，最小波高为 0.74m，出现在 W 向；从 50 年一遇的波浪条件来看，珊瑚礁修复区波高绝对值较小，这主要是因为本工程建设在珊瑚礁礁坪上，外海传来的波浪在珊瑚礁礁坪的外沿即破碎，传播至本工程区时已大幅度衰减。

2 年一遇波浪条件下，极端高水位情况下，工程区最大波高为 1.81m，出现在 SE 向，最小波高为 0.63m，出现在 W 向；2 年一遇波浪，设计高水位情况下，工程区最大波高为 1.16m，出现在 SE 向，最小波高为 0.51m，出现在 W 向。波高也较小。

从波浪条件来看，礁坪上波浪破碎后珊瑚礁修复区的波浪较小，同时珊瑚礁修复区部分珊瑚增殖礁礁体采用拼接凸起与拼接槽相互咬合构成组合，每 20 块礁体可为一组进行拼接，形成两排，可确保前后左右均有礁体衔接，避免错位和移动，可增加礁体稳定性，有效降低波浪推力。

**表 4.2.2-4 50 年一遇波浪，极端高水位情况下，工程点的波高值 单位：m**  
略

**表 4.2.2-5 50 年一遇波浪，设计高水位情况下，工程点的波高值 单位：m**  
略

**表 4.2.2-6 2 年一遇波浪，极端高水位情况下，工程点的波高值 单位：m**  
略

**表 4.2.2-7 2 年一遇波浪，设计高水位情况下，工程点的波高值 单位：m**  
略  
略

**图 4.2.2-3 50 年一遇 SE 向浪极端高水位情况，有效波高分布图**  
略

**图 4.2.2-4 50 年一遇 S 向浪极端高水位情况，有效波高分布图**  
略

**图 4.2.2-5 50 年一遇 SW 向浪极端高水位情况，有效波高分布图**  
略

**图 4.2.2-6 50 年一遇 W 向浪极端高水位情况，有效波高分布图**  
略

图 4.2.2-7 50 年一遇 SE 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-8 50 年一遇 S 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-9 50 年一遇 SW 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-10 50 年一遇 W 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-11 2 年一遇 SE 向浪极端高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-12 2 年一遇 S 向浪极端高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-13 2 年一遇 SW 向浪极端高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-14 2 年一遇 W 向浪极端高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-15 2 年一遇 SE 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-16 2 年一遇 S 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-17 2 年一遇 SW 向浪设计高水位情况，有效波高分布图  
略

图 4.2.2-18 2 年一遇 W 向浪设计高水位情况，有效波高分布图

## 4.2.3 项目用海对地形地貌和冲环境的影响分析

### 4.2.3.1 计算公式

根据 2020 年 12 月水文测验的同步分层悬沙采样分析结果：6 站的实测平均悬沙含量为 10.69mg/l。

为了定量地研究本项目工程完成以后周边近岸区的泥沙回淤情况，在完成潮流数值

计算以后，对于泥沙的淤积影响进行计算分析。回淤强度的计算采用公式（4.2.3-1）进行计算：

$$p = \frac{\alpha \omega t}{\gamma_d} \left[ 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{2m} \right] \quad (4.2.3-1)$$

式中， $\omega$  为泥沙沉速，单位 m/s，根据 2020 年 12 月的实测悬沙含量和粒度分析资料，项目所在海域所含悬沙为粘土质粉砂和粉砂，平均粒径为 0.012mm，在此取粘土质粉砂的沉速为 0.05cm/s。

#### 4.2.3.2 计算参数的确定

$\alpha$  为沉降几率，取 0.67；

$t$  为年淤积历时，单位取秒（S），一年即为 31557600 秒；

$S$  为水体平均悬沙含量，取 2020 年 12 月 6 个水文测站的平均悬沙含量 10.69mg/L，即 0.01069kg/m<sup>3</sup>；

$\gamma_d$  为泥沙干容重，按照公式  $\gamma_d = 1750 \times D_{50}^{0.183}$  计算，单位为 kg/m<sup>3</sup>， $D_{50}$  为泥沙中值粒径；

$V_1$ ， $V_2$  分别为数值计算工程前、工程后全潮平均流速，单位为 m/s，全潮平均流速的取值采用流速大小绝对值的平均值；

$M$  根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

根据以上设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后珊瑚苗圃培育区和珊瑚礁修复区附近泥沙每年回淤强度情况，绘制出冲淤强度等值线图（见图 4.2.3-1，-表示淤积，+表示冲刷）。

略

图 4.2.3-1a 珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放后附近冲淤图

略

图 4.2.3-1b 珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区苗床投放后附近冲淤图

#### 4.2.3.3 计算结果分析

由图 4.2.3-1 可以看出，项目建设完成后，由于珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁和珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床对水流产生一定的阻挡作用，流速略有减小，因此，泥沙将在珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区落淤。但由于流速改变幅度较小，海水悬沙含量也较小，因此

项目区附近的年淤积强度最大值分别为珊瑚礁修复区 2.5cm/a，珊瑚礁培育区 1.5cm/a；冲淤的范围也只局限在珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区附近的较小范围内，其中珊瑚礁修复区冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右，这主要是由于无论是涨潮还是落潮，水动力的变化区域都在珊瑚礁修复区的北侧。

图 4.2.2-1 中所示为本项目工程完成以后第一年的最大冲淤强度，随着水下地形的改变，其水动力场也发生相应的改变，大概经过两至三年的时间，项目区周围海域即可达到冲淤平衡状态。

因此，总体而言，本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小，主要集中在项目区附近的小范围内，其中珊瑚礁修复区最大淤积幅度在 2.5cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右。珊瑚苗圃培育区最大淤积幅度在 1.5cm/a 左右。

## 4.2.4 项目用海对水质环境的影响分析

### 4.2.4.1 悬浮泥沙对水质的影响分析

#### （1）水环境的影响因子

本项目施工过程中，人工鱼礁投放施工产生的悬浮泥沙将对海域环境产生一定的影响。通常，施工产生的悬浮泥沙源强越大，水质越浑浊，对环境的影响也就越大。再则，其影响程度还取决于海域的环境容量（负荷限度），即海域的地理条件和水体的活跃程度。后者主要是指海流的输运、扩散能力和海水的更新率。一般来说，海域越封闭，水域容积越小，海水交换能力越弱，稀释能力越低，环境负荷能力也就越低。

环境影响预测的目的，在于将上述原则与系统工程的方法联系起来，预测围堰施工所形成的悬浮物影响浓度场和定量地描述可能产生的环境后果，为采取防范措施提供科学依据。

#### （2）悬浮物扩散数学模式

根据《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T231-2021）及有关研究方法，建立工程海域二维潮流泥沙输运扩散模型。用差分方法对二维潮流泥沙输运扩散基本方程组（如下）进行离散，得到离散方程组，根据潮流模型计算出的水位、流速，从而得出在潮流动力作用下的水体含沙量分布。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出，采用活动边界技术，以保证计算的精度和连续性。

二维潮流泥沙输运扩散基本方程：

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial S}{\partial y}) + F_s / H + Q_s / H$$

$$Q_s = Q_0 - S\omega (1-R)$$

$$R = \begin{cases} \frac{\alpha D_{50}}{\beta + D_{50}} (u_* - u_{*cr}) & (u_* \geq u_{*cr}) \\ 0 & (u_* \leq u_{*cr}) \end{cases}$$

$$u_{*cr} = 0.04 \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \sqrt{g D_{50}}$$

$S$  为铅直方向积分的水体含沙浓度； $D_x$ 、 $D_y$  分别为  $x$ 、 $y$  方向的泥沙扩散系数； $F_s$  为泥沙源汇函数或床面冲淤函数， $Q_0$  为海底疏浚产生的悬浮泥沙量； $\rho_s$  为悬砂密度（取沉积物干密度为  $1.12\text{g/cm}^3$ ）； $\rho_0$  为海水密度（取为  $1.035\text{g/cm}^3$ ）； $\gamma$  为海水分子运动粘性系数（取为  $10^{-3}\text{cm}^2/\text{s}$ ）； $u_*$ 、 $u_{*cr}$  分别为摩擦速度和泥沙再悬浮速度； $R$  为沉降泥沙的再悬浮率（）； $D_{50}$  为泥沙的中值粒径。

泥沙源函数按下面方法确定：

底部切应力计算公式：

$$\tau = \rho f_b U U$$

当  $\tau \leq \tau_d$  时，水中泥沙处于落淤状态，则：

$$F_s = \alpha \omega S (1 - \frac{\tau}{\tau_d})$$

当  $\tau_d < \tau < \tau_e$  时，海底处于不冲不淤状态，则：

$$F_s = 0$$

当  $\tau \geq \tau_e$  时，海底泥沙处于起动状态，则：

$$F_s = -M (\frac{\tau}{\tau_e} - 1)$$

以上各式中： $U$  为平均流速； $\omega$  为泥沙沉降速度； $S$  为水体含沙量； $\alpha$  为沉降几率；

$\tau_d$  为临界淤积切应力； $\tau_e$  为临界冲刷切应力； $M$  为冲刷系数。

悬浮泥沙沉降速度采用张瑞瑾（1998）提出的泥沙沉降速度的通用公式：

$$\omega = \sqrt{(13.95 \frac{v}{d_s})^2 + 1.09 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d_s} - 13.95 \frac{v}{d_s}$$

其中， $\gamma$ 、 $\gamma_s$ 分别为水、泥沙的容重； $d_s$ 为悬浮泥沙的中值粒径； $v$ 为黏滞系数。

关于临界淤积切应力 $\tau_d$ ，这里采用窦国仁（1999）提出的计算公式：

$$\tau_d = \rho f_b U_c U_c$$

其中 $U_c$ 为临界海底泥沙起动速度。

$$U_c = k \left[ \ln 11 \frac{h}{\Delta} \right] \left( \frac{d'}{d_*} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{3.6 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d_s + \left( \frac{\gamma_0}{\gamma'_0} \right)^{1/2} \frac{\varepsilon_0 + g h \delta (\delta / d_s)^{1/2}}{d_s}}$$

式中： $k=0.32$ ； $d_*=10$ ； $\varepsilon_0=1.75\text{cm}^3/s$ ，为综合泥沙粘结力，一般泥沙取该值；

$\delta=2.31 \times 10^{-5}\text{cm}$ ，是薄膜水厚度参数； $\gamma_0$ 为海底泥沙干容重； $\gamma'_0$ 泥沙颗粒的稳定干容

重； $h$ 为水深； $\rho_s$ 为泥沙密度；

$$d' = \begin{cases} 0.5\text{mm} & \text{当 } d \leq 0.5\text{mm} \text{ 时} \\ d & \text{当 } 0.5\text{mm} \leq d \leq 10\text{mm} \text{ 时} \\ 10\text{mm} & \text{当 } d \geq 10\text{mm} \text{ 时} \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{cases} 1.0\text{mm} & \text{当 } d \leq 0.5\text{mm} \text{ 时} \\ 2d & \text{当 } 0.5\text{mm} \leq d \leq 10\text{mm} \text{ 时} \\ 2d_*^{1/2} d^{1/2} & \text{当 } d \geq 10\text{mm} \text{ 时} \end{cases}$$

①定解条件

● 初始条件

$$S(x, y, t)|_{t=t_0} = S_0(x, y, t_0)$$

式中： $S_0(x, y, t_0)$ 为初始时刻 $t_0$ 的已知值。

● 边界条件

计算水域与陆地交界的固边界 $\Gamma_1$ 上有：

$$S(x, y, t)|_{\Gamma_1} = S^*(x, y, t) \quad (\text{当水流流入计算域时})$$

$$\frac{\partial(HS)}{\partial t} + \frac{\partial(HSu)}{\partial x} + \frac{\partial(HSv)}{\partial y} = 0 \quad (\text{当水流流出计算域时})$$

计算水域与陆地交界的固边界  $\Gamma_2$  上有：

$$\frac{\partial S}{\partial h} = 0$$

式中： $S^*(x, y, t)$  为已知值（实测或准实测或分析值）， $h$  为陆地边界的单位法向矢量，上式的物理意义为泥沙沿固边界的法向通量为零。

## ②数值方法

将一个时间步长分为两个半步长，在每个半时间步长内，依下述求解过程计算潮位及  $x$ 、 $y$  方向流速。离散差分方程如下：

前半步长：

$$As1S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + Bs1S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + Cs1S_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = Ds1$$

后半步长：

$$As2S_{i,j-1}^{n+1} + Bs2S_{i,j}^{n+1} + Cs2S_{i,j+1}^{n+1} = Ds2$$

上式中  $As1$ 、 $Bs1$ 、 $Cs1$ 、 $Ds1$ 、 $As2$ 、 $Bs2$ 、 $Cs2$ 、 $Ds2$  为已知系数。

## （3）悬浮泥沙源强

根据实施方案，项目珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区投放珊瑚苗床 300 个，投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较小，可忽略不计。

项目珊瑚礁修复工程投放 750 个珊瑚增殖礁，投放量约 597 空方，单体空方量约为  $0.796\text{m}^3$ 。珊瑚增殖礁投礁产生的水体悬浮泥沙为礁体投放时扰动底床产生的悬浮泥沙。投放产生的水体悬浮物包括两部分，一部分为礁体自身携带的泥土进入水体形成的悬浮物，一部分为投放礁体时扰动底床产生的悬浮物。项目珊瑚增殖礁携带的泥土含量很低，可忽略不计；珊瑚增殖礁选择在砂质底质区域投放，珊瑚增殖礁投放过程中搅动产生的悬浮泥沙量按投放量的 0.5% 计，每个珊瑚增殖礁投放过程中搅动产生的悬浮泥沙量为  $0.00398\text{m}^3$ 。每个珊瑚增殖礁投放时间约 5min，悬浮泥沙干容重取  $1120\text{kg/m}^3$ ，则单个珊瑚增殖礁投放产生的悬浮泥沙瞬时源强为  $0.015\text{kg/s}$ 。



## 预测工况：

珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放过程 25 个源点叠加悬浮泥沙扩散情况，单个源点源强为 0.015kg/s。

略

图 4.2.4-1 珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放过程悬浮物源强位置图

### （4）悬浮物分布的计算结果及分析

自悬浮物产生的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。由于持续作业，云团核心浓度（中心含沙量）随着时间的推移而不断升高，云团面积不断扩大。在初始阶段，这一过程演变很快，但经过一定时间后，浓度随时间的变化变缓，至某一时间不再升高，即达到所谓“平衡态”。它表征了各种因素（源强、自净能力）对环境水质的影响程度。潮混合使核心浓度达到平衡态的时间，决定于水域的地形特征和流场的强弱以及流态。通常，水域小，流场强，达到平衡态的时间就短。

图 4.2.3-2 为珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放 34 个源点叠加超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，超 III 类水质（ $>100\text{mg/L}$ ）面积为  $0.000\text{km}^2$ ，超 IV 类水质（ $>150\text{mg/L}$ ）面积为  $0.000\text{km}^2$ 。未出现超 III 类海水水质。

由珊瑚增殖礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放过程中产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。

珊瑚礁修复增殖礁投放引起的悬浮物扩散包络范围不同浓度的超标面积见表 4.2.4-1。

表 4.2.4-1 悬浮物扩散包络浓度增量面积（ $\text{km}^2$ ）

略

略

图 4.2.4-2 珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放施工 32 个源点叠加悬沙增量包络范围图

由此可知，本项目施工产生的悬浮泥沙的浓度增量和范围都很小。此外，施工过程中产生的悬浮泥沙对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内（1 小时）也就结束。

#### 4.2.4.2 水污染物环境影响分析

项目施工期废水主要有施工人员的生活污水、施工船舶舱底油污水，施工船舶上设置污水收集罐，船舶生活污水排入接收设施上岸处理。施工船舶上设置油水分离器和油污水罐，含油污水及时接收上岸，由船舶运营方联系资质单位接收处理，严禁向水域排放含油污水，施工期船舶含油污水对项目海域水质环境影响较小。

#### 4.2.5 对海洋沉积物环境的影响分析

##### （1）施工悬浮泥沙对沉积物环境的影响分析

泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流的输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。项目珊瑚保育工程珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较少；珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投放过程中超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。工程施工属于短期行为，随着施工期的结束，其环境影响会很快消失。同时根据沉积物质量监测结果，工程区域的沉积物质量状况良好，施工产生的沉积物来源于本海域，不会对本海域沉积物的理化性质产生影响。因此，本工程施工过程中产生的悬浮物扩散和沉降后，沉积物的环境质量不会产生较大变化，仍将基本保持现有水平。

##### （2）施工期污染物排放对沉积物环境的影响分析

施工期的污染物均经过接收处理，不直接在工程区域排放，因此对工程海域的沉积物环境产生影响较小。

综上所述，项目实施对沉积物环境影响较小。

#### 4.2.6 项目用海生态影响分析

##### 4.2.6.1 施工期对海洋生态的影响分析

##### （1）对浮游生物的影响分析

施工期珊瑚增殖礁投放施工过程中产生的悬浮物增加，造成水体透明度下降，从而使溶解氧降低，会对浮游植物的光合作用产生不利影响，导致单位水体浮游植物生物量减少，从而使以浮游植物为饵料的浮游动物在单位水体中拥有的生物量也相应地减少。由于项目施工产生的悬浮泥沙量较小，扩散范围相对较小，且影响持续时间较短。

因此，项目建设不会对浮游生物产生明显不利影响。

### （2）对底栖生物的影响分析

珊瑚增殖礁投放在一定程度上改变了该海域局部区域底栖生物的栖息环境，导致底栖生物被挖起死亡或被掩埋致死，因此底栖生物资源受到一定影响。工程施工过程中产生的泥沙沉积和悬浮物扩散对附近水域的底栖生物也将产生一定的影响，但由于项目建设规模较小，且整体施工期较短，施工造成的环境影响是局部的，施工结束后底栖生物的种类和数量也会逐渐得到恢复，因此施工期间不会对底栖生物造成较大的影响。

### （3）对渔业资源的影响分析

施工期珊瑚增殖礁投放过程中水下人工作业对游泳生物产生一定的驱散效应。珊瑚增殖礁礁体投放产生的悬浮泥沙，造成水体浑浊水质下降，游泳生物的栖息环境遭到一定的破坏，不仅影响鱼类的存活和生长，而且由于悬浮性泥沙颗粒粘附在鱼卵的表面，会妨碍鱼卵的呼吸，阻碍与水体之间氧与二氧化碳的充分交换，可能导致鱼卵部分死亡和影响幼体的发育。但是总的来说，由于游泳生物尤其是成年鱼体具有一定的回避性和迁移性，水体中悬浮物含量的增加对它们的影响较小，游泳生物的回避效应使得该海域的生物量有所下降，从而影响该区域内的生物群落的种类组成和数量分布。随着施工的开始，游泳生物的种类和数量会逐渐得到恢复。因此，施工期间产生的悬浮物不会对渔业资源造成较大的影响。

#### 4.2.6.2 营运期对海洋生态的影响分析

项目主要为珊瑚礁生态系统修复项目，运营期不产生污水、废气、固体废物等污染物，且对海域生态环境有改善作用。项目实施后，投放的珊瑚增殖礁礁体虽然改变了水生生物和底栖生物原有的生境，但其特殊的空心结构，能够为各种水生生物提供更多的立体生长和生活空间，改善水生生物的生长环境，为移植珊瑚提供硬质基础，最终达到修复珊瑚礁生态系统的目的。

珊瑚增殖礁礁体的投放为珊瑚提供附着场所，有利于修复珊瑚礁资源，增殖珊瑚礁鱼类资源。礁体表面采用特殊的粗糙化的处理技术，增加礁体表面积，并且有利于生物附着，提高生物蓄积能力。珊瑚增殖礁礁体依靠造礁石珊瑚和其他重要的造礁生物共同构成复杂的空间三维结构，形成了无数的洞穴和孔隙，是众多海洋生物的栖息地，为许多鱼类和海洋无脊动物提供产卵、繁殖和躲避敌害的场所，具有极高的生物多样性。珊

瑚增殖礁礁体投放后，在礁体周围形成饵料场，吸引生物聚集，产生集鱼效果。

项目运营期通过珊瑚种植修复，会增加珊瑚覆盖度，促进鱼类等各种海洋生物生长，珊瑚礁修复区域生物多样性得到保护，对区域海洋生态的影响是积极的、有益的。

#### 4.2.6.3 对“三场一通道”的影响

本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，该保护区的管控要求为“禁止在保护区内进行底拖网作业”，本项目海洋牧场建设项目，未有底拖网作业行为，因此符合管理要求。

由于整个南海海区-40m 等深线以浅全部为南海北部幼鱼繁育场保护区范围，在海南省、广东省、广西壮族自治区近海海域开展养殖活动均不可避免地会占用该保护区，虽然项目建设不属于渔业限制行为，但项目施工对底质扰动不可避免会对幼鱼幼虾成长造成影响；考虑到南海北部幼鱼繁育场保护区横跨整个广东、广西和海南沿海，本项目建设占用海域面积及施工造成的悬浮物增量扩散面积相对整个保护区面积微小，施工期和产生的废水和垃圾均不向海域排放，以减轻对海洋环境及南海北部幼鱼繁育场保护区的影响。

#### 4.2.7 对区域生态保护红线的影响分析

项目珊瑚礁修复区及珊瑚苗圃培育区用海涉及海洋生态保护红线，详见图 4.2.6-1。项目为海洋珊瑚礁生态系统修复工程，对海洋环境有积极的影响。根据《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4 号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目建设符合海南省生态保护红线准入管理目录；

根据《三亚湾海洋生态修复工程可行性研究报告的重新批复》（2022 年 5 月 10 日），三亚湾海洋生态修复工程包括珊瑚礁修复工程、西岛生态护岸修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等四部分，并将三亚湾海洋生态修复工程分两阶段实施。第一阶段（凤凰岛及附近海域）：工程建设内容包括珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等三部分；第二阶段已列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，第一部分为三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域），工程建设内容为渔业资源保护工程，目前已施工完成，本项目为第二阶段

修复项目中的二期工程，工程建设内容为珊瑚礁移植工程、珊瑚保育工程。因此，项目建设符合《海南省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》，项目建设符合国土空间规划中生态保护红线的准入要求。

项目珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较小；珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束。除此之外，施工期生活污水、含油废水和生产废水均妥善处置，不外排，施工期废水对项目区水质环境影响较小。

同时在实际施工作业时，一方面将在施工前进行详细本底调查，珊瑚增殖礁投放施工避开珊瑚分布区；另一方面将对礁体进行分区施工，结合潮流特征，尤其对距离珊瑚较近的礁体，尽量选择不利于悬浮沙向珊瑚礁分布区扩散的潮期施工，以降低悬浮沙对珊瑚礁生境的不利影响。

项目施工过程中产生的悬浮物主要来自本海区，经扩散沉降后，沉积物的环境质量不会产生明显的变化，沉积物质量状况仍保持现有水平。由于施工产生的影响是暂时的，可逆的，随着施工结束影响消失，施工结束后对海洋生态保护红线基本不会产生影响。

本项目为珊瑚礁生态系统修复项目，对珊瑚礁资源有着积极影响，珊瑚苗圃可以为珊瑚礁生态修复提供种苗，投放珊瑚增殖礁礁体能够为珊瑚礁生物提供新的栖息场所。珊瑚增殖礁礁体的结构和材质可以模拟自然珊瑚礁的生态环境，吸引珊瑚礁生物附着和生长。具有复杂孔隙结构的珊瑚增殖礁礁体可为小型海洋生物提供躲避天敌的场所，促进生物多样性的增加；珊瑚增殖礁可以作为珊瑚礁恢复的载体，通过在珊瑚增殖礁上移植珊瑚幼苗或珊瑚断枝，加速珊瑚礁的生长和恢复。

综上所述，项目建设对生态保护红线影响较小且项目实施有利于生态保护红线内珊瑚礁资源的恢复。

略

图 4.2.6-1 项目珊瑚礁修复工程及珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海与海洋生态保护红线位置关系图

## 5 海域开发利用协调分析

### 5.1 海域开发利用现状

#### 5.1.1 社会经济概况

根据《2024 年三亚市国民经济和社会发展统计公报》，初步核算，2024 年全市地区生产总值（GDP）1004.70 亿元，按不变价计算，同比增长 3.4%，占全省地区生产总值比重为 12.7%。其中，第一产业增加值 114.18 亿元，同比增长 3.8%；第二产业增加值 144.03 亿元，同比增长 17.5%；第三产业增加值 746.49 亿元，同比增长 1.1%。三次产业结构为 11.4:14.3:74.3。

全市实现地方一般公共预算收入 154.15 亿元，同比增长 4.6%。其中，税收收入 105.63 亿元，同比下降 0.3%；非税收入 48.52 亿元，同比增长 17.0%。税收收入中，增值税 22.17 亿元，同比增长 2.9%；企业所得税 12.73 亿元，同比增长 0.7%；土地增值税 27.90 亿元，同比下降 6.4%；契税 15.01 亿元，同比下降 23.0%；房产税 9.61 亿元，同比增长 72.5%；城镇土地使用税 3.89 亿元，同比增长 27.9%；城市维护建设税 4.21 亿元，同比增长 1.1%；个人所得税 5.73 亿元，同比增长 0.7%。全市地方一般公共预算支出 252.52 亿元，同比增长 8.6%。其中，卫生健康支出 23.30 亿元，同比下降 10.1%；教育支出 28.48 亿元，同比增长 6.5%；节能环保支出 1.80 亿元，同比下降 23.1%；社会保障和就业支出 21.54 亿元，同比下降 1.3%；城乡社区支出 28.56 亿元，同比增长 31.4%。

全年居民消费价格指数（CPI）同比下降 0.2%。其中，食品烟酒类同比下降 1.2%；衣着类同比下降 2.6%；居住类同比增长 2.9%；生活用品及服务类同比增长 0.8%；交通和通信类同比下降 2.8%；教育文化和娱乐类同比下降 0.2%；医疗保健类同比增长 0.1%；其他用品和服务类同比增长 0.8%。

全市年末户籍人口 785001 人，比上年末增加 27327 人。其中，男性 392518 人，女性 392483 人。按民族分，汉族 505014 人，占总人口的 64.3%；黎族 247338 人，占总人口的 31.5%；回族 12652 人，占总人口的 1.6%；苗族 4505 人，占总人口的 0.6%；壮族 3020 人，占总人口的 0.4%；其他民族 12472 人，占总人口的 1.6%。

全年农林牧渔业总产值 162.52 亿元，按可比价计算，同比增长 4.0%。其中，农业产值 112.96 亿元，同比增长 2.3%；林业产值 2.88 亿元，同比增长 74.3%；牧业产值 7.57 亿元，同比下降 6.0%；渔业产值 28.18 亿元，同比增长 11.2%；农林牧渔专业及辅助性活动产值 10.93 亿元，同比增长 7.4%。

全年全市规上工业总产值同比增长（按可比价计算）49.1%。其中，轻工业产值同比下降 45.7%；重工业产值同比增长 50.8%。从经济类型看，股份制企业产值同比增长 51.5%；外商及港澳台企业产值与上年持平。从各行业看，农副食品加工业产值同比下降 70.3%；食品制造业产值同比增长 12.2%；非金属矿物制品业产值同比下降 9.0%；燃气生产供应业产值同比增长 2.9%；电力、热力生产和供应业产值同比增长 10.1%。

全年全市建安工程投资同比下降 4.4%。建筑业增加值 88.58 亿元，同比下降 1.7%。全市资质内建筑业企业（本地注册）49 家，全年签订合同额（含新签订和上年度结转）200 亿元，同比增长 94.1%；资质内建筑业总产值 38.53 亿元，同比下降 7.1%。

全年全市固定资产投资同比增长 7.8%。其中，房地产投资同比增长 37.8%；非房地产投资同比下降 10.9%。从构成看，建筑工程投资同比下降 4.8%；安装工程投资同比增长 13.5%；设备工器具购置投资同比下降 12.4%；其他费用投资同比增长 40.8%。从分行业投资完成情况看，第一产业投资同比下降 14.6%；第二产业投资同比下降 22.6%；第三产业投资同比增长 9.8%。全年固定资产投资到位资金 875.42 亿元，同比下降 6.1%，资金到位率为 122.4%。其中本年资金来源 700.38 亿元，同比下降 12.0%，占全部资金来源的 80.0%。本年资金中，国家预算内资金 116.69 亿元，与上年持平；国内贷款 108.16 亿元，同比增长 5.3%；自筹资金 263.87 亿元，同比下降 0.4%；其他资金来源 23.49 亿元，同比下降 2.8%。

全年全市房地产投资同比增长 37.8%。房屋施工面积 1333.6 万平方米。其中，住宅 764.26 万平方米，办公楼 135.11 万平方米，商业营业用房 150.84 万平方米，其他房屋施工面积 283.38 万平方米。房屋施工面积中，本年新开工面积 246.46 万平方米，其中，住宅 171.06 万平方米。本年房屋竣工面积 206.35 万平方米，其中，住宅 148.98 万平方米。房屋销售面积 161.77 万平方米。房地产开发投资到位资金 585.50 亿元，同比下降 11.3%，资金到位率为 166.7%。其中本年资金来源 419.24 亿元，同比下降 21.1%，占全部资金来源的 71.6%。本年资金中，国内贷款 88.50 亿元，同比增长 6.6%；自筹资金 142.65 亿元，同比下降 11.2%；其他资金 12.14 亿元，同比下降 5.3%。

全年全市社会消费品零售总额 408.94 亿元，同比下降 15.9%。按消费类型分，餐饮收入 52.21 亿元，同比增长 0.9%；商品零售额 356.73 亿元，同比下降 17.9%。从限上单位零售情况看，粮油、食品类同比增长 15.4%；服装、鞋帽、针织品类同比下降 22.3%；日用品类同比下降 35.1%。限上单位汽车零售额 62.83 亿元，同比下降 1.3%。其中，新能源汽车零售额 34.41 亿元，同比增长 24.0%。离岛免税销售实现零售额 194.06 亿元，

同比下降 28.9%。

全年凤凰机场旅客吞吐量 2142.59 万人次，同比下降 1.6%。其中进港 1075.83 万人次，同比下降 1.7%。凤凰机场飞行 129642 班次，同比下降 3.8%。

全年全市接待过夜游客人数 2615.52 万人次，同比增长 1.7%。其中，过夜国内游客 2540.44 万人次，与上年基本持平；过夜入境游客 75.07 万人次，同比增长 152.6%。全年过夜游客总花费 904.47 亿元，同比增长 0.9%，其中国内过夜游客总花费 864.10 亿元，同比下降 2.6%；入境游客总花费 56038 万美元，同比增长 325.1%。旅游饭店平均开房率为 65.6%，同比回落 2.6 个百分点。全市列入统计的旅游宾馆（酒店）327 家，拥有客房 65132 间，同比增长 7.1%；拥有床位 104310 张，同比增长 3.6%。全市共有 A 级及以上景区 15 处，其中，5A 级景区 4 处，4A 级景区 6 处。

年末全市金融机构本外币存款余额 2074.75 亿元，同比增长 3.0%；贷款余额 1373.92 亿元，同比下降 0.9%。全市银行业金融机构资产总额 2428.13 亿元，同比下降 2.2%；负债总额 2385.85 亿元，同比下降 1.9%；不良贷款率 4.9%，同比回落 0.8 个百分点。

全年三亚居民人均可支配收入 41540 元，同比增长 4.4%。从收入来源看，工资性收入 24250 元，同比增长 3.7%；经营净收入 7822 元，同比增长 5.9%；财产净收入 4556 元，增长 5.0%；转移净收入 4912 元，同比增长 4.8%。按常住地分，城镇常住居民人均可支配收入 47666 元，同比增长 3.9%。其中，工资性收入 29216 元，同比增长 3.1%；经营净收入 7128 元，同比增长 5.6%；财产净收入 5607 元，同比增长 4.7%；转移净收入 5715 元，同比增长 4.8%。农村常住居民人均可支配收入 24599 元，同比增长 7.0%。其中，工资性收入 10517 元，增长 7.9%；经营净收入 9740 元，同比增长 6.5%；财产净收入 1649 元，同比增长 7.8%；转移净收入 2693 元，同比增长 5.0%。

全年空气质量达标（AQI≤100）364 天，达标率 99.5%。细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）平均浓度 11 微克/立方米，可吸入颗粒物（PM<sub>10</sub>）平均浓度 23 微克/立方米。全市自然保护区 7 个，其中国家级 1 个，省级 1 个。自然保护区总面积 12354.7 公顷，其中国家级保护区 8500 公顷，省级保护区 1844.6 公顷。造林面积 453.02 公顷。其中，人工造林 89.91 公顷；更新造林 363.11 公顷。

### 5.1.2 海域开发利用现状

根据现场勘查及从海南省海域使用动态监管中心查询的结果，在本项目论证范围内的主要的海洋开发活动是交通运输用海、特殊用海、旅游娱乐用海和渔业用海等。



### 5.1.2.1 旅游娱乐用海

本项目论证范围内周边海域分布有多宗旅游娱乐用海，主要有：

（1）西北侧距离约 8.495km 的三亚市天涯海角海上巴士码头工程项目用海，主要用海方式为透水构筑物、港池、蓄水用海，包括码头、栈桥、港池，总用海面积为 2.6648 公顷，权属三亚市交通运输局；

（2）北侧距离约 5.431km 的三亚肖旗港游艇码头改扩建工程旅游娱乐用海，为旅游基础设施用海，用海方式包括建设填海造地、非透水构筑物及透水构筑物用海，总用海面积为 44.6614 公顷，权属三亚西岛旅游开发有限公司；

（3）北侧距离分别约 0.376km、1.258km 的三亚西岛水上训练基地项目和三亚西岛海洋文化旅游区项目旅游娱乐用海，为旅游基础设施用海，包括游乐场、浴场、码头及平台用海，总用海面积分别为 16.0147 公顷、15.5201 公顷，权属三亚西岛旅游开发有限公司；

（4）北侧约 4.471km 的亚沙会比赛场地三亚湾段水球与游泳海上栈桥项目，用海方式为透水构筑物，用海面积为 1.1204 公顷，权属三亚旅游文化投资集团有限公司；

（5）东北侧三亚河出海口附近有多宗游艇码头用海，分别为三亚河下游出海口西侧游艇码头工程、三亚鸿洲国际游艇码头三期工程、三亚鸿洲国际游艇会码头、三亚鹿回头广场游船游艇码头工程项目、三亚市南边海国际游艇码头项目，最近距离分别为 2.214km、2.054、2.248、2.662、2.090，用海方式为透水构筑物、港池蓄水等，用海面积分别为 3.1943 公顷、6.3778 公顷、1.7530 公顷、6.7746 公顷、11.7782 公顷，分别权属三亚鸿洲国际游艇会有限公司、三亚城投旅游投资有限公司、三亚商务区开发建设有限公司；

（6）项目珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海范围紧邻海南三亚国宾馆有限责任公司在三亚珊瑚礁国家级保护区内旅游项目续期用海。用海方式为非透水构筑物、透水构筑物、港池、蓄水等、浴场、专用航道、锚地及其它开放式，用海面积 16.5806 公顷，权属海南三亚国宾馆有限责任公司。

（7）西南侧 0.635km 的三亚半山半岛帆船港项目，用海方式为非透水构筑物、港池、蓄水等，用海面积 14.0575 公顷，权属三亚鹿回头旅游区开发有限公司。

### 5.1.2.2 渔业用海

项目用海区周边主要的渔业用海分别为：

（1）西南侧距离约 4.282km 的三亚湾海洋生态保护修复工程项目，总用海面积为

116.2367 公顷，其中人工鱼礁类透水构筑物用海面积 32.5245 公顷，开放式养殖用海面积 83.7122 公顷，权属三亚环境投资集团有限公司；

（2）西南侧距离约 5.883km 的三亚湾海洋生态保护修复工程项目（西岛及附近海域），总用海面积为 297.1509 公顷，其中透水构筑物用海面积 27.1348 公顷，开放式养殖用海面积 70.0161 公顷，权属三亚环境投资集团有限公司；

（3）西南侧距离 5.466km 三亚湾休闲海洋牧场项目，项目总用海面积为 149.8850 公顷，其中包括人工鱼礁投礁区（用海方式为透水构筑物）用海面积 4.5345 公顷，浮式深水网箱养殖区（用海方式为深水网箱养殖）用海面积 32.6531 公顷，半潜式深远海网箱养殖区（用海方式为深远海网箱养殖）用海面积 22.1589 公顷，休闲渔业养殖区（用海方式为休闲渔业养殖等）用海面积 62.5100 公顷，海上休闲旅游平台区（用海方式为透水构筑物）用海面积为 2.7289 公顷，海上休闲旅游娱乐区（用海方式为开放式游乐场）用海面积为 25.2996 公顷。权属海南高速公路股份有限公司。

（4）西南侧距离 4.689km 三亚市东西瑁洲海域海洋牧场项目，项目总用海面积为 103.4901 公顷，其中包括人工鱼礁投礁区（用海方式为透水构筑物）用海面积 23.9820 公顷，自然增殖区（用海方式为开放式养殖）用海面积 79.5081 公顷，权属三亚市农业农村局。

### 5.1.2.3 交通运输用海

项目用海区周边主要的交通运输用海分别为：

（1）北侧约 2.298km 的三亚凤凰岛客运码头，用海方式为专用巷道，用海面积 4.643 公顷，权属三亚凤凰岛国际邮轮港发展有限公司

（2）北侧约 1.967km 的三亚凤凰岛国际邮轮港发展有限公司交通运输用海，透水构筑物、港池、蓄水等，用海面积 5.2724 公顷，权属三亚凤凰岛国际邮轮港发展有限公司；

（3）东北侧约 1.573km 的交通运输部南海救助局交通运输用海，用海方式为非透水构筑物、港池、蓄水等，用海面积 2.3592 公顷，权属交通运输部南海救助局；

（4）东北侧约 2.054km 的缉私码头用海，用海方式为非透水构筑物，用海面积 0.0510 公顷，权属中华人民共和国三亚海关；

### 5.1.2.4 海底工程用海

项目用海区周边有一宗海底工程用海，为三亚河口通道工程，位于项目东北侧 1.992km 处，用海方式为跨海桥梁、海底隧道等，用海面积 0.4637 公顷，权属三亚商务

区开发建设有限公司。

### 5.1.2.5 特殊用海

项目用海区周边主要的特殊用海分别为：

（1）北侧距离约 3.241km 的三亚湾人工补沙实验段拦沙堤工程，用海方式为透水构筑物，用海总面积为 0.0853，权属三亚市海洋与渔业监测中心；

（2）西北侧距离约 1.017km 的海洋环境立体观测与珍稀物种资源保护，为科研教学用海，用海方式为海底电缆管道、专用航道、锚地及其它开放式，用海面积 19.5565 公顷，权属中国科学院深海科学与工程研究所；

（3）西北侧约 1.489km 的珊瑚礁生态系统观测研究样区项目，为科研教学用海，用海方式为专用航道、锚地及其它开放式，用海面积 3.308 公顷，权属中国科学院南海海洋研究所。

### 5.1.3 海域使用权属现状

根据搜集的资料以及论证范围内项目海区海域使用现状情况，阐明了与项目用海相邻的确权用海项目的权属来源、权属内容等，详见表 5.1.3-1 和图 5.1.3-1。

表 5.1.3-1 论证范围内海域使用权属表

略

略

图 5.1.3-1a 论证范围内海域使用

略

图 5.1.3-1b 论证范围内海域使用

## 5.2 项目用海对海域开发活动的影响

根据项目用海资源生态影响分析内容，项目用海对周边海域开发活动的影响一方面是项目施工产生悬浮泥沙对用海活动区的海水水质的影响；另一方面项目用海对项目毗邻的用海活动的影响。

项目论证范围内海域开发利用活动较多，主要包括旅游娱乐用海、交通运输用海、渔业用海和特殊用海。

### 5.2.1 项目对旅游娱乐用海项目的影响分析

根据海域使用权属现状分析，本项目论证范围内的旅游娱乐用海项目较多，主要的

用海方式为透水构筑物、非透水构筑物、建设填海造地、游乐场、浴场用海等，与本项目距离在 7.3km~8.7km 之间，与本项目相对较远，根据资源生态影响范围与开发利用现状的叠置图分析，施工期对水质环境的影响并未扩散到其用海区域，因此，本项目实施不会对红塘湾--天涯海角--三亚湾沿岸旅游娱乐用海产生影响。

与本项目距离较近的有：约 0.376km 的三亚西岛水上训练基地项目（三亚西岛旅游开发有限公司）和距离约 1.258km 的三亚西岛海洋文化旅游区项目旅游娱乐用海项目（三亚西岛大洲旅业有限公司），位于西瑁洲岛附近海域，用海类型为旅游基础设施用海，用海方式包括游乐场、浴场、码头及平台（透水构筑物）用海，用海面积分别为 16.0147 公顷和 15.5201 公顷；项目珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海范围紧邻海南三亚国宾馆有限责任公司在三亚珊瑚礁国家级保护区内旅游项目续期用海。

项目珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较小；珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束。

因此，本项目实施不会对周边的旅游娱乐用海项目产生影响。

### 5.2.2 项目对交通运输用海项目的影响分析

项目论证范围内的交通运输用海与本项目用海区距离较远，施工期间，施工船舶会增加附近海域的通航密度，与往来该海域的渔船、旅游船只等难免发生相互干扰，也增加了船舶碰撞几率，存在一定的交通安全隐患。项目在实施过程中，要提前与海上交通管理部门做好联系和协调，避免项目施工船只对周边码头船舶航行的影响，并加强风险控制，制定完善的风险应急处置措施，一旦发生溢油风险事故，及时启动应急预案，避免造成较大的污染事故。

### 5.2.3 项目对附近渔业用海项目的影响分析

本项目用海区周边海域有 4 宗渔业用海，均为海洋牧场用海，与本项目距离相对较远，项目珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮

物较小；珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为  $40\text{m}$  左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束。除此之外，施工期生活污水、含油废水和生产废水均妥善处理，不外排，施工期废水对项目区水质环境影响较小。

#### 5.2.4 项目对特殊用海项目的影响分析

本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期工程，用海区域位于海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区缓冲区内，因此项目施工过程中会对保护区产生一定程度的影响。

项目珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较少；珊瑚修复区投放珊瑚增殖礁进行珊瑚移植、提高珊瑚幼虫附着率，珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为  $40\text{m}$  左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束，因此施工产生悬浮泥沙对保护区的影响较小。

同时在实际施工作业时，一方面将在施工前进行详细本底调查，珊瑚增殖礁投放施工避开珊瑚分布区；另一方面将对礁体进行分区施工，结合潮流特征，尤其对距离珊瑚较近的礁体，尽量选择不利于悬浮沙向珊瑚礁分布区扩散的潮期施工，以降低悬浮沙对珊瑚礁生境的不利影响。项目珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程施工过程中产生的悬浮物主要来自本海区，经扩散沉降后，沉积物的环境质量不会产生明显的变化，沉积物质量状况仍保持现有水平。由于施工产生的影响是暂时的，可逆的，随着施工结束影响消失，施工结束后对保护区基本不会产生影响。

综上所述，项目施工对海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区影响较小。

### 5.3 利益相关者界定

#### （1）利益相关者界定原则

根据《海域使用论证技术导则》，利益相关者指受到项目用海影响而产生直接利益关系的单位和个人。界定的利益相关者应该是与该项目存在直接利害关系的个人、企事

业单位或其他组织或团体。通过对本项目周围用海现状的调查，分析项目用海对周边开发活动的影响情况，按照利益相关者的界定原则，来界定本项目的利益相关者。

## （2）利益相关者界定

利益相关者是指与项目建设有直接利益关系或者受到项目用海影响的个人、企事业单位或其他组织或团体。

根据项目用海对所在海域开发活动的影响分析结果和资源生态影响范围与开发利用现状的叠置分析图，以及现场的勘察和历史资料的搜集，结合项目用海资源生态影响分析内容以及上述分析内容，项目用海涉及利益相关者主要是海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处（保护区用海单位），由于项目海上施工需要三亚海事局进行协调，因此，本项目用海需要利益协调的部门为：三亚海事局。具体情况见表 5.3-1、表 5.3-2。

表 5.3-1 项目用海主要利益相关者界定表

序号	附近开发用海项目	位置及距离	主要利益相关者	主要利益相关	是否利益相关
1	海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区用海	占用	海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处	施工可能对保护区水质、珊瑚礁生境产生一定影响。	是

表 5.3-2 项目用海利益协调部门界定表

序号	附近开发用海项目	位置及距离	利益协调部门	主要利益协调内容
1	海上船只交通航行	项目所在海域	三亚海事局	（1）本项目用海的实施可能影响附近船只的通航安全；（2）水上水下施工许可问题。

## 5.4 相关利益协调分析

### 5.4.1 与海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处的协调分析

本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期工程，用海区域位于海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区内，项目的实施可有效修复保护区内的珊瑚礁生态系统。根据资源生态影响分析，悬浮泥沙会增加海水的浑浊度，减薄水体的真光层厚度。理论上，当悬浮泥沙均值超过 10mg/L 会对珊瑚造成不利影响，长期超过此值则会对珊瑚造成严重的胁迫。根据三亚湾的水质历史调查资料，该海域的水体悬浮物基本都在 10mg/L 以上，但西岛周边珊瑚礁生态系统并未因此受到影响。本项目实际施工时，珊瑚礁投放施工，悬浮泥沙量较少，施工停止后会很快沉降，施工期悬浮泥沙扩散范围较小，因此悬浮泥沙对保护区珊瑚礁生态环境影响有限。

考虑到项目用海区位于保护区用海内，项目用海应更好地做好施工期环境保护措施，

避免发生溢油风险。建议业主单位应与保护区管理部门进行协商，并向其报备项目产生事故溢油的实际情况，制定各项安全、环保措施和溢油应急预案。目前用海单位已取得《海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处关于征求对三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目意见的复函》，海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处原则同意在海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区海域开展修复工作。具体的协调详见表 5.4.1-1。

表 5.4.1-1 与海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处的利益协调内容

利益相关者	影响内容	协调人	协调方案	协调结果要求
海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处	施工产生悬浮泥沙以及船舶碰撞溢油事故可能对保护区珊瑚礁资源造成影响。	海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处、本项目用海单位	（1）施工期船舶作业过程中，做好标识，禁止在保护区内任意抛锚停泊；（2）制定安全环保措施和溢油应急预案，应向海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处报备项目产生事故溢油的实际情况；（3）本项目用海单位应积极参与海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处有关珊瑚礁保护修复的公益项目。（4）征求海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处关于本项目选址的意见。	施工期保护区内的珊瑚礁及其生境没有影响。目前用海单位已取得《海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处关于征求对三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目意见的复函》

## 5.4.2 与三亚海事局的协调分析

本项目建设施工期间，人工鱼礁投放施工船舶占用一定的海域空间，一方面对项目海域来往航行船舶和周边养殖作业船只的航行会造成一定的不利影响，另一方面加大了该海区的通航密度，与其他进出该海域的船舶难免发生相互干扰，存在一定的交通安全隐患，给用海区通航环境带来一定的不利影响。

根据上述影响，项目用海单位应该积极联系海事管理部门，做好通航安全评估和相关措施，防范出现意外碰撞的可能性。

表 5.4.2-1 与海事管理部门的利益协调分析

利益相关者	影响内容	协调人	协调方案	协调结果要求
三亚海事局	施工期船舶会增大船舶通航密度，存在一定的交通安全	本项目用海单位、三亚海事局	(1)在项目用海范围的外围设置醒目的标志标识，警示或提示往来船舶，防止发生船舶误入发生碰撞事故；(2)项目用海单位应该向海事部门进行申请，由海事局颁布施工期的航行通告，施工单位严格按照规定要求施	避免发生船只碰撞事故，安全施工。

利益相关者	影响内容	协调人	协调方案	协调结果要求
	隐患		工，建议办理水上水下施工许可证，施工及过往船只服从海事部门的现场监督管理，将施工期对用海区通航环境的影响降低到最小；(3)根据当地海域船舶交通流规律对运输船舶进出施工水域时间进行必要的协调，与主管部门积极沟通，相互通告船舶动态，服从海事部门统一管理，并采取积极主动的避让措施；(4)应向有关部门申请设置施工作业区水域，并由海事部门发布公告并设置航标、警示标志，明确标示施工水域，确保海区船舶交通安全；(5)应严格按施工方案和作业方式在规定的施工作业区内作业，减少对用海区船舶的影响；(6)加强施工作业船舶监管，施工作业时保持瞭望，避免与过往、停泊船只发生碰撞事故。	

## 5.5 项目用海对国防安全和国家海洋权益的协调性分析

### 5.5.1 与国防安全和军事活动的协调性分析

项目用海毗邻用海区内没有国防设施和军事活动区，没有涉及军事用海，项目用海对国防安全和军事活动不会产生不良影响。

### 5.5.2 对国家海洋权益的协调性分析

本项目虽然位于南海海域，但地处我国海南省近岸，远离领海基线附近海域；本项目用海区及临近也没有对国家海洋权益有特殊意义的海上构造物、标志物，本项目用海不会对国家海洋权益产生影响。



## 6 国土空间规划符合性分析

### 6.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

#### （1）《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》

依据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》以资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价为基础，服务自由贸易港建设等国家战略需要，按照陆海统筹、生态优先的原则，将全省陆域划分为城市化发展区、农产品主产区、重点生态功能区，将近岸海域划分为海洋生态空间（内部一红线）、海洋开发利用空间，即“两空间内部一红线”。根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》，按照“两空间内部一红线”分区要求，构建“两空间内部一红线”近岸海域总体布局，对近岸海域开发保护功能进行引导。“两空间”包括海洋生态空间和海洋开发利用空间，“一红线”为海洋生态保护红线。根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》，本项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海涉及海洋生态保护红线，位于海洋生态空间。见图 6.1-1。

略

图 6.1-1 与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》-海洋空间布局叠置图

#### （2）《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》

2023 年 11 月 30 日海南省人民政府批复了《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》基于国土空间规划分区体系，将海域空间划分为生态保护区、生态控制区和海洋发展区。在海洋发展区内进一步划定 6 类二级功能分区，明确海洋分区发展引导，突出主导功能。海洋发展区用于开展海洋渔业、交通运输、工矿通信、游憩等活动。生态保护区内的自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，经依法批准的科学研究观测、调查监测、生态修复等法律、法规和国家有关规定允许的活动除外。其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

根据《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海位于生态用海区，详见图 6.1-2。

略

图 6.1-2 项目用海与《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》海洋功能分区叠置图

#### （3）《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》

根据《海南省国土空间生态修复规划(2021-2035 年)》(以下简称《生态修复规划》),修复分区突出海南岛自然地理和生态系统的完整性、连通性,以重点流域、区域、海域等为基础单元,划分中部山地生态保护修复区、海岸带生态保护修复区、台地平原生态修复区、流域生态廊道生态保护修复区 4 类国土空间生态修复分区。根据《生态修复规划》,三亚市海岸带生态修复重点项目包括 7 类项目 17 个子项目,本项目周边海域的修复项目有河口潟湖海湾生态系统修复重点项目-9 三亚市三亚湾生态保护修复综合项目和珊瑚礁生态系统修复重点项目-5 三亚市三亚湾西岛东南侧珊瑚礁生态系统修复项目,生态保护修复重大工程布局图详见图 6.1-3,本项目为三亚湾海洋生态修复工程第二阶段中的第二部分工程内容中的二期工程,即三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目(三亚湾中心海域)的二期工程,已列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中。

略

图 6.1-3 生态保护修复重大工程布局图

## 6.2 项目用海对海域国土空间规划分区的影响分析

### 6.2.1 项目用海对海域国土空间规划分区的利用情况

本项目珊瑚礁修复区拟使用的国土空间规划分区为东西瑁洲珊瑚礁生态保护区、珊瑚苗圃培育区拟使用的国土空间规划分区为鹿回头半岛一榆林角珊瑚礁生态保护区。

鹿回头半岛一榆林角珊瑚礁生态保护区位于三亚市鹿回头半岛一榆林角海域。东至 109°32'41.60", 西至 109°27'21.60", 南至 18°10'29.11", 北至 18°13'54.11"; 东西瑁洲珊瑚礁生态保护区位于三亚市东西瑁洲及其周边海域。东至 109°25'51.60", 西至 109°20'51.60", 南至 18°11'59.11", 北至 18°15'29.11"; 生态保护区空间准入要求为生态保护红线内自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动;自然保护地核心保护区外,仅允许开展对生态功能不造成破坏的有限人为活动;严格按照自然保护地管理规定、生态红线管理规定、珊瑚礁保护规定等进行管理。利用方式要求为禁止改变海域自然属性;保护要求为保护珊瑚礁及其生态系统;保护海洋生物多样性。

鹿回头半岛一榆林角珊瑚礁生态保护区海域面积为 173.93 公顷,而本项目珊瑚苗圃培育区利用该功能区面积 0.4672 公顷,约占 0.26%;东西瑁洲珊瑚礁生态保护区海域面积为 2910.23 公顷,而本项目珊瑚礁修复区利用该功能区面积 1.6000 公顷,约占 0.05%。可见,本项目用海占用所在功能区面积比例相对较小,而本项目珊瑚礁修复区用海方式

为透水构筑物、珊瑚苗圃培育区用海方式为种植用海，基本不会对海域的主导功能产生影响，另外，项目珊瑚礁修复工程也对区域珊瑚礁资源恢复起到积极作用，符合该区的主导功能。本项目属于珊瑚礁生态系统修复项目，其实施基本不会对生态环境产生影响，

### 6.2.2 项目用海对周边海域各国土空间规划分区的影响

根据《海南省国土空间规划（2021—2035 年）》和《三亚市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，论证范围内周边的主要海洋功能分区从海洋空间方面来说分布有海洋开发利用空间和近岸海域海洋生态保护红线；从具体的海洋功能分区方面来说，项目论证范围内其他功能区主要是游憩用海、生态保护区、特殊用海区和交通运输用海区。

项目珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较少；珊瑚修复区投放珊瑚增殖礁进行珊瑚移植、提高珊瑚幼虫附着率，珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束，因此施工产生悬浮泥沙对周边功能区的影响较小。

## 6.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析

### 6.3.1 与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》，按照“两空间内部一红线”分区要求，构建“两空间内部一红线”近岸海域总体布局，对近岸海域开发保护功能进行引导。

“两空间”包括海洋生态空间和海洋开发利用空间，“一红线”为海洋生态保护红线。本项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海涉及海洋生态保护红线，位于海洋生态空间。

海洋生态空间管控要求为按照生态保护红线相关要求进行管理。根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》，严格落实生态保护红线管理规定，生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，法律法规另有规定的除外。生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海区域位于自然保护地一般控制区，拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水构筑物，构筑物尺度较小，工程体量较小，项目建设

引起的区域水动力和冲淤变化很小，不会对生态保护红线内珊瑚礁资源产生影响，不会破坏该生态保护红线的生态功能。同时项目对珊瑚礁资源有着积极影响，投放珊瑚增殖礁能够为珊瑚礁生物提供新的栖息场所。珊瑚增殖礁礁体的结构和材质可以模拟自然珊瑚礁的生态环境，吸引珊瑚礁生物附着和生长。具有复杂孔隙结构的珊瑚增殖礁礁体可以为小型海洋生物提供躲避天敌的场所，促进生物多样性的增加；珊瑚增殖礁可以作为珊瑚礁恢复的载体，通过在珊瑚增殖礁上移植珊瑚幼苗或珊瑚断枝，加速珊瑚礁的生长和恢复，有利于修复区域内珊瑚礁资源。

同时根据《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求。因此，项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海符合《海南省国土空间规划（2021-2035年）》海洋生态空间管控要求。

综上所述，项目用海符合《海南省国土空间规划（2021-2035年）》。

### 6.3.2 与《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》的符合性分析

《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》基于国土空间规划分区体系，将海域空间划分为生态保护区、生态控制区和海洋发展区。在海洋发展区内进一步划定6类二级功能分区，明确海洋分区发展引导，突出主导功能。海洋发展区用于开展海洋渔业、交通运输、工矿通信、游憩等活动。生态保护区内的自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，经依法批准的科学研究观测、调查监测、生态修复等法律、法规和国家有关规定允许的活动除外。其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

同时《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》提出实施山水林田湖草沙一体化保护与修复，进行**典型海洋生态系统保护修复**，以提升海洋生物多样性为目标，加强滨海红树林、**珊瑚礁等典型海洋生态系统修复**。针对性实施中华白海豚等珍稀濒危物种栖息地的保护工程，珊瑚礁及海马生境恢复工程、海草生境保护修复工程、领海基点岛及近岸海岛修复工程，恢复海底森林，提高海草床生态系统质量和稳定性。

珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海区域位于生态用海区，用海区域位于自然保护

地一般控制区，拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水构筑物，构筑物尺度较小，工程体量较小，项目建设引起的区域水动力和冲淤变化很小，不会对生态保护红线内珊瑚礁资源产生影响，不会破坏该生态保护红线的生态功能。同时项目符合《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求。因此，项目符合生态保护区的管控要求。

本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）的二期工程，已列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，项目建设有利于三亚湾中心海域珊瑚礁及重要海洋生物的保护和修复，维持工程区域的生物多样性。

综上，项目建设符合《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》中生态保护区的管控要求以及规划要求。

### 6.3.3 与国土空间规划“三区三线”划定成果的符合性分析

2022年10月14日，自然资源部办公厅发布《自然资源部办公厅关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2207号），说明从发布之日起以“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。

“三区三线”是根据城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的空间，分别对应划定的城镇开发边界、永久基本农田保护红线、生态保护红线三条控制线。根据海南省国土空间基础信息平台查询结果（图6.3.3-1），本项目不占用城镇开发边界、永久基本农田，项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海区域涉及海洋生态保护红线。

略

图 6.3.3-1 项目与“三区三线”版生态保护红线位置关系图（引自海南省国土空间基础信息平台）

项目拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水构筑物，构筑物尺度较小，工程体量较小，项目建设引起的区域水动力和冲淤变化很小，不会对生态保护红线内珊瑚礁资源产生影响，不会破坏该生态保护红线的生态功能。同时项目对珊瑚礁资源有着积极影响，投放珊瑚增殖礁能够为珊瑚礁生物提供新的栖息场所。珊瑚增殖礁礁体的结构和材质可

以模拟自然珊瑚礁的生态环境，吸引珊瑚礁生物附着和生长。具有复杂孔隙结构的珊瑚增殖礁礁体可以为小型海洋生物提供躲避天敌的场所，促进生物多样性的增加；珊瑚增殖礁可以作为珊瑚礁恢复的载体，通过在珊瑚增殖礁上移植珊瑚幼苗或珊瑚断枝，加速珊瑚礁的生长和恢复，有利于修复区域内珊瑚礁资源。

同时根据《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求。

综上所述，项目符合国土空间规划“三区三线”划定成果的管控要求。

#### 6.3.4 与《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》的符合性分析

根据《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》，三亚市海岸带生态修复重点项目包括7类项目17个子项目，本项目周边海域的修复项目有河口潟湖海湾生态系统修复重点项目-9 三亚市三亚湾生态保护修复综合项目和珊瑚礁生态系统修复重点项目-5 三亚市三亚湾西岛东南侧珊瑚礁生态系统修复项目，

根据《三亚湾海洋生态修复工程可行性研究报告的重新批复》，三亚湾海洋生态修复工程包括珊瑚礁修复工程、西岛生态护岸修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等四部分，并将三亚湾海洋生态修复工程分两阶段实施。本项目为三亚湾海洋生态修复工程第二阶段中的第二部分工程内容中的二期工程，即三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）的二期工程，已列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中。

因此，项目建设符合《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》。

#### 6.3.5 与《三亚市海域使用详细规划》的符合性分析

《三亚市海域使用详细规划》提出“海洋生态环境保护目标。污染物排海总量得到控制，入海排污口污染物排放达标率要求达到99%以上，显著改善海洋生态环境质量，重点保护三亚湾、亚龙湾、大东海、海棠湾等重要海湾的生态环境，以及蜈支洲、小青洲、西瑁洲、东锣岛、西鼓岛等海岛生态，严格保护三亚珊瑚礁自然保护区、铁炉港红树林自然保护区和亚龙湾青梅港红树林自然保护区的珊瑚礁和红树林生态系统，规范海域海岛海岸带整治修复项目管理。”

根据《三亚市海域使用详细规划》，项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海区域位于生态保护区内其他区域，详见图 6.3.5-1。

略

图 6.3.5-1 项目用海与《三亚市海域使用详细规划》关系图

项目拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水构筑物，构筑物尺度较小，工程体量较小，项目建设引起的区域水动力和冲淤变化很小，不会对生态保护红线内珊瑚礁资源产生影响，不会破坏该生态保护红线的生态功能。同时项目符合《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4 号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求。因此，项目符合所处生态保护区内其他区域的管控要求。

项目属于珊瑚礁生态系统修复项目，通过在海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区内进行珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程来恢复区域珊瑚礁资源，切实保护区域珊瑚礁生态系统，项目建设符合《三亚市海域使用详细规划》海洋生态环境保护目标。

综上所述，本项目建设符合《三亚市海域使用详细规划》。

6.3.6 与《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》的符合性分析

根据《海南省生态环境厅关于发布〈海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）〉的函》（琼环函〔2024〕167 号）以及《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》分析本项目与其符合性。

（1）与“三极一带一区”区域生态环境管控要求的符合性分析

本项目所在地三亚市属于三亚经济圈，本项目与“三极一带一区”区域生态环境管控要求符合性分析见表 6.3.6-1，经分析可知本项目能够满足其原则要求。

表 6.3.6-1 项目与“三极一带一区”区域生态环境管控要求的符合性分析（摘录）

区域	区位范围	总体生态环境管控要求	符合性分析
三亚经济圈	包括三亚、陵水、乐东、保亭 4 市县	4.禁止明显破坏生态环境的建设活动。	符合。本项目为生态保护修复项目，主要开展珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程，修复和改善海洋环境质量，修复区域内珊瑚礁资源。增殖和优化渔业资源，提高海区的生物多样性和生物资源的生产力；

区域	区位范围	总体生态环境管控要求	符合性分析
			项目施工期会对区域生态环境产生一定的影响，但影响时间短暂，随着施工结束，水质很快恢复到原来水平。另外，项目施工产生的生活污水、船舶含油污水及生活垃圾等均收集上岸合理处置，严禁排海，对区域海洋环境影响较小。运营期间，项目本身不会产生污染物。综上，项目建设对生态环境有益，不属于明显破坏生态环境的建设活动。

**（2）与生态环境准入清单（2023 年版）的符合性**

经查询“海南省生态环境分区管控公众服务平台”，项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海区域属于三亚市近岸海域生态保护红线其他区域优先保护单元 2（管控单元编码：HY46020010009），详见图 6.3.6-1，区域管控要求符合性分析详见表 6.3.6-2。因此，项目建设符合所处海南省生态环境分区管控单元的管控要求。

综上所述，项目建设符合《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》。

略

**图 6.3.6-1 项目与海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）叠置图（引自海南省生态环境分区管控公共服务平台）**

**表 6.3.6-2 项目涉及管控单元符合性分析**

管控单元分区/编码	纬度	管控要求	符合性分析
三亚市近岸海域生态保护红线其他区域优先保护单元 2（管控单元编码：HY46020010009）	空间布局约束	1.执行生态空间（生态保护红线其他区域）普适性管控要求。生态保护红线其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的人为活动。生态保护红线内涉及自然保护地的，遵循现有法律法规要求，空间重叠区域从严要求。2.执行自然保护区普适性管控要求。自然保护地整合优化方案国务院批准前，各类自然保护地按照现行经依法批准的保护边界管理。自然保护区的核心区和缓冲区，严禁建设任何生产和经营性设施。禁止在自然保护区的缓冲区开展旅游和生产经营活动。在自然保护区的	<b>符合。</b> 项目珊瑚礁修复区、珊瑚苗圃培育区用海涉及生态保护红线，用海区域位于自然保护区一般控制区，拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水构筑物，构筑物尺度较小，工程体量较小，根据预测，物尺度较小，工程体量较小，项目建设引起的区域水动力和冲淤变化很小，不会对生态保护红线内珊瑚礁资源产生影响，不会破坏该生态保护红线的生态功能。同时项目符合《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办



管控单元分区/编码	纬度	管控要求	符合性分析
		实验区内，不得建设污染环境、破坏资源或者景观的生产设施。严禁开设与自然保护区保护方向不一致的参观、旅游项目。3.执行珊瑚礁/珊瑚礁自然保护区普适性管控要求。禁止采挖珊瑚礁；禁止以爆破、钻孔、施用有毒物质等方式破坏珊瑚礁；禁止任何单位和个人在珊瑚礁自然保护区内围海造地和修建损害自然保护区的海上、海岸生产设施；任何单位和个人不得占用、填毁珊瑚礁；禁止在珊瑚礁自然保护区设置排污口。4.执行森林公园普适性管控要求。在森林旅游景区景点内不得修建商品房和其他影响自然景观的永久性建筑物、构筑物。森林旅游景区景点内禁止从事采石、挖砂、取土等活动及法律法规禁止的其他活动。	（2023）4号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求。项目不建设污染环境。破坏资源或者景观的生产设施，施工过程中不会采挖珊瑚、不会破坏现有珊瑚礁，不属于森林旅游景区景点内禁止从事采石、挖砂、取土等活动及法律法规禁止的其他活动。

7 项目用海合理性分析

7.1 用海选址合理性分析

7.1.1 自然资源和海洋生态适宜性分析

根据本底调查，西岛东南侧海域珊瑚覆盖度<10%，珊瑚礁生长状况一般，珊瑚礁生态系统退化较为明显，亟需进行人工珊瑚修复，且其生境适宜采用人工礁石投放进行珊瑚修复，因此选为珊瑚礁修复区。鹿回头近海海域软质底质占比海域很高，不适宜珊瑚移植，但适宜在软质底质中建设珊瑚苗圃。珊瑚保育工程选址区域水深-1m~-7m（1985 国家高程基准），珊瑚苗床布放区域水深-2m~-3m（1985 国家高程基准），珊瑚苗床设施选择框架结构，四个角打入底质 80cm，苗床整体高度为 1.5m，水深条件满足苗床布设，

项目珊瑚苗圃培育区用海选址于鹿回头近岸海域，珊瑚礁修复区选址于西岛东侧海域。参考《海洋生态修复技术指南第 2 部分：珊瑚礁生态修复》（GB/T41339.22022）、《海洋牧场珊瑚礁建设技术规范》（T/SCSF0010-2021）以及国内外相关研究成果，本项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海选址区域自然资源和海洋生态的适宜性分析见表 7.1.1-1。

表 7.1.1-1 项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海选址区域自然资源和海洋生态的适宜性分析

选址条件	选址要求	选址海域情况	适宜性
气候条件	热带季风气候	项目所在区域三亚市的气候属热带海洋性季风气候，年平均气温为 23.0℃，年平均降水量为 1686.9mm，日照时间长。	适宜
地形地貌	适宜在较浅、坡度较缓区生长	根据 2024 年 11 月三亚市水利水电勘测设计院有限公司在项目用海区附近的水下地形测量结果，项目珊瑚礁修复工程区域水深变化范围约为-4m~-8m（1985 国家高程基准），水深自西南向东北逐渐增加，地形变化相对较平缓，起伏小，无明显的地形突变地带，坡度 0.8%，海底地势总体上呈自西岛岸边向海逐渐加深；	适宜

选址条件	选址要求	选址海域情况	适宜性
		项目珊瑚保育工程区域水深-1m~-7m（1985 国家高程基准），珊瑚苗床布放区域水深-2m~-3m（1985 国家高程基准），水深自鹿回头沿岸向海逐渐增加，地形变化相对较平缓，起伏小，无明显的地形突变地带，坡度约为 0.7%；项目选址区域水深较浅，坡度平缓，适宜珊瑚生长。	
底质类型	适宜在礁石和岩石等坚硬底质生长	根据 2023 年 9 月第二阶段珊瑚礁本底调查结果，珊瑚礁修复工程所处西岛东侧海域底质类型为砂质底质。	投放珊瑚增殖礁增加硬质基底后适宜
悬沙	适宜在无悬沙和低悬沙海域生长，平均悬浮物浓度低于 10mg/L。	根据 2024 年 8 月调查结果，项目珊瑚礁修复工程用海区域调查站位（13、14、15、16、17 号站）悬浮物平均值为 7.5 mg/L。	适宜
沉积速率	适宜生长在低沉积速率的海域	项目区域海域水动力条件较强，调查过程中未观察到有被沉积物覆盖的珊瑚	适宜
水温	适宜温度为 18~ 30℃，最适温度 23~27℃	项目所在海域为热带海域，水温适合珊瑚生长，根据 2024 年 8 月调查结果，项目珊瑚礁修复工程用海区域调查站位（13、14、15、16、17 号站）海水温度平均值为 28.8℃。	适宜
盐度	正常生长盐度为 27~40，最适盐度为 34~37	根据 2024 年 8 月调查结果，项目珊瑚礁修复工程用海区域调查站位（13、14、15、16、17 号站）海水盐度平均值为 33.529。	适宜
pH	适合造礁石珊瑚生长的平均 pH 值范围 8.10~ 8.25	根据 2024 年 8 月调查结果，项目珊瑚礁修复工程用海区域调查站位（13、14、15、16、17 号站）海水 pH 平均值为 8.1，项目区域适合珊瑚的生长。	适宜
水深、光照	水深小于 15m，保证区域的光照强度大于表层的 2%	根据 2024 年 11 月三亚市水利水电勘测设计院有限公司在项目用海区附近的水下地形测量结果，项目珊瑚礁修复工程区域水深变	适宜

选址条件	选址要求	选址海域情况	适宜性
		化范围约为-4m~-8m（1985 国家高程基准），珊瑚保育工程区域水深-1m~-7m（1985 国家高程基准），珊瑚苗床布放区域水深-2m~-3m（1985 国家高程基准），水深较浅，光照强度达到珊瑚生长要求。	
波浪、海流与潮流	合适的波浪、海流和潮流强度，阈值受珊瑚种类和地形的影响，因地制宜；尽量避免选择常遭受 风等自然灾害的区域	珊瑚礁修复工程选择西岛东侧近岸海域，避开有较强水动力条件的 远岸海域；同时投放人工礁体，起消波弱流作用，同时为珊瑚提供生长基底。	适宜
污染物	符合一类海水水质标准	根据 2024 年 8 月调查结果，项目珊瑚礁修复工程用海区域调查站位（13、14、15、16、17 号站）海水水质评价因子均达到一类海水水质标准，选址区域水环境质量较好。	适宜
沉积物	水质清澈（透明度>3 m）；平均悬浮物浓度低于 10mg/L，沉积速率低于 10mg/（cm <sup>2</sup> ·d）	根据 2024 年 8 月调查结果，项目栖息地修复工程用海区域调查站位（13、14、15、16、17 号站）海洋沉积物调查因子均符合一类海洋沉积物质量标准，选址区域海洋沉积物质量良好；	适宜
珊瑚群落	不存在未知的或无法解决的引发珊瑚群落死亡、白化或病害的压力源	根据 2023 年 8 月和 9 月珊瑚礁本底调查结果，西岛及鹿回头近岸海域具有一定的造礁石 珊瑚群落而且种类较多，并有少量的软珊瑚分布，珊瑚的死亡、白化或病害均很少。项目开展珊瑚礁生态修复，在不破坏原有珊瑚的前提下，在鹿回头海域开展珊瑚种苗培育、敌害生物清理和珊瑚移植修复，在西岛东侧海域投放珊瑚增殖礁进行珊瑚移植，提高区域珊瑚覆盖率。	适宜
大型底栖藻类	大型藻类覆盖率较低的区域	项目珊瑚礁修复工程区域的珊瑚礁资源调查样带大型藻类覆盖率为 13.60%~52.20%，平均覆盖率为 35.09%。项目珊瑚礁修复工程	项目珊瑚礁修复工程珊瑚移植优先选用生长速度快、抗逆性强的鹿角珊瑚属，修复

选址条件	选址要求	选址海域情况	适宜性
		珊瑚移植优先选用生长速度快、抗逆性强的珊瑚品种，主要选择生长快速鹿角珊瑚属为主（根据研究显示，此类珊瑚在低藻类竞争下的存活率比慢生长品种高30%以上）；避免选用幼体脆弱、生长缓慢的品种（如石芝珊瑚、脑珊瑚）。修复方式采用将珊瑚苗固定在珊瑚增殖礁礁体上，而非直接附着在天然底质（减少与藻类的基质竞争），同时礁体设计为“多孔结构”，利于水流交换，可有效降低藻类附着概率。	方式采用将珊瑚苗固定在珊瑚增殖礁礁体上，礁体设计为“多孔结构”，利于水流交换，可有效降低藻类附着概率。
植食性鱼类和大型底栖动物	植食性鱼类和大型底栖动物多样性和密度较高的区域	项目通过栖息地修复工程开展增殖放流，增加生物多样性，加强项目所在周边海域食物链和生态群落结构稳定。	适宜。项目栖息地修复工程建设内容包含增殖放流。
珊瑚敌害生物	长棘海星、小核果螺等珊瑚敌害生物密度较低的区域，一般长棘海星密度低于15只/hm <sup>2</sup> ，小核果螺密度低于2只/m <sup>2</sup>	根据2023年8月和9月珊瑚礁本底调查结果，近局部有少量核果螺。	适宜。项目珊瑚保育工程建设内容包含敌害生物清理

7.1.2 项目选址区位和社会条件适宜性分析

三亚市是全国知名的热带滨海旅游城市，地理位置优越，旅游环境和基础设施良好，已经建成了一批各具特色的旅游景区和国内一流的度假酒店，开发了一批颇具吸引力的滨海度假旅游产品，旅游产业发展逐步走上了国际化、品牌化、规模化、集约化的发展轨道，已成为中国首选的度假旅游目的地之一。三亚市政府决定通过完善基础设施、严控污染源、加强环境治理、规范开发行为、开展生态修复等一系列有效措施，将三亚湾地区打造成环境优美、人海和谐、经济发展、生态一流的示范区。

目前，三亚湾珊瑚礁由于人类活动（如开发过度、环境污染严重）以及气候变化影响加剧等影响，导致三亚湾区域珊瑚礁生态系统退化、海洋渔业环境条件破坏和环境质量的下降，渔业资源衰竭等问题。

本项目为海洋生态修复项目，项目位于三亚湾中心海域内，主要通过珊瑚礁修复工程修复区域珊瑚礁生态系统，改善三亚湾中心海域海洋生态环境，打造成生态环境优良、

人海和谐共处、开发利用活动协调有序的生态、生活、生产“三生”共融的蓝色海湾。项目珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海选址于海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区实验区内，项目对珊瑚礁资源有着积极影响，符合海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020—2029年）的总体目标。因此，项目区位上符合相关规划的要求，满足项目运营的要求。

从项目建设条件看，项目用海区水域开阔，水上施工的水域面积较大，有利开展多个作业面。项目投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁通过采购获得，选定红塘湾莲花岛为堆存场地以及临时出运码头。供电、供水、有线通信等均可依托三亚市现有设施。此外，海南地区常驻多家专业施工队伍，技术力量雄厚，施工设备、机具齐全、经验丰富，完全能承担本项目的施工。本工程具备良好的施工条件。

因此，项目选址区位和社会条件能满足项目建设和运营的要求。

### 7.1.3 与其他用海活动的协调性分析

根据 5.2 节项目用海对海域开发活动的影响分析结果，论证范围内海域开发利用活动较多，主要包括旅游娱乐用海、交通运输用海、渔业用海和特殊用海。项目用海涉及到利益相关者及利益协调部门主要有海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处（保护区用海单位）、三亚海事局（海上交通安全协调部门）。

项目用海单位在与利益相关者、需协调部门切实执行利益协调措施后，项目用海与周边其他用海活动相适应。

综上所述，项目选址区位和社会条件满足项目建设和营运要求，选址区域的自然资源 and 海洋生态条件适宜，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突问题。因此，本项目选址是合理的。

## 7.2 用海平面布置合理性分析

### 7.2.1 项目用海平面布置体现节约集约用海原则

本项目具体用海内容包括投放珊瑚苗床建设珊瑚苗圃培育区进行珊瑚种苗培育、投放珊瑚增殖礁建设珊瑚礁修复区进行珊瑚移植修复。

项目根据鹿回头近岸海域珊瑚分布和底质情况，在鹿回头近岸海域沙质底质区域建设 6 个珊瑚苗圃培育区，计划投放 300 个苗床。苗床布放以 10 个珊瑚苗床为一行、5 个珊瑚苗床为一列，间距 1m 排列，形成一个由 50 个苗床组成，占地 14m×19m 的苗圃区。

项目根据西岛周边海域珊瑚分布情况和底质情况，在西岛东侧的砂质底质区域通过投放珊瑚增殖礁增加区域硬质基底，从而在珊瑚增殖礁进行珊瑚移植。项目根据投放珊瑚增殖礁类型规划 3 个珊瑚礁修复区，共计投放珊瑚增殖礁 750 个，其中蜂巢型珊瑚礁 250 个、链条式珊瑚礁 250 个、3D 仿生珊瑚礁 250 个。项目以点对点的投礁方法开展珊瑚增殖礁投放工作，具体可视实际情形进行调整，注意不要布放到礁石上。

项目拟在  $100\text{m} \times 50\text{m}$  的珊瑚礁修复区内均匀布置 5 个链条式珊瑚礁礁体群，每个礁体群由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字型布置组成，单位礁体前后间距 4m、左右间距 6.5m，每个单位礁体由 10 个单体链条式珊瑚礁采用拼接槽相互咬合、两排组合的方式构成，单位礁体规格为  $6\text{m} \times 2.25\text{m}$ 。

项目拟在  $100\text{m} \times 50\text{m}$  的珊瑚礁修复区内均匀布置 5 个蜂巢型珊瑚礁礁体群，每个礁体群由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字型布置组成，单位礁体前后间距 3.648m、左右间距 5.202m，每个单位礁体由 10 个单体蜂巢型珊瑚礁采用拼接凸起、两排组合的方式构成，单位礁体规格为  $7.298\text{m} \times 2.602\text{m}$ 。

项目拟在  $100\text{m} \times 50\text{m}$  的珊瑚礁修复区内均匀布置 5 个 3D 打印珊瑚礁礁体群，礁体群直径为 25m，每个礁体群由 50 个单体 3D 打印珊瑚礁均匀布置。

综上所述，项目在满足建设项目需要的基础上，最大程度减少了对海域的改变，最大限度地节约了用海面积。因此项目平面布置体现了集约、节约用海的原则。

### 7.2.2 项目用海平面布置有利于生态保护

项目拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水结构，项目建设对海域自然属性和基本功能影响较小，保持了流场的流畅性，不会对海洋生物洄游通道造成影响。珊瑚增殖礁排列规律，形成的通道，有利于游泳生物的活动通畅，对海底覆盖面积小，减少可能对海底底栖生物的影响。珊瑚礁移植一段时间后有利于恢复项目区域海域的珊瑚礁生态系统和构建珊瑚礁生物物种丰富的生态系统健康状态。项目平面布置体现了珊瑚礁生态修复的要求，既满足珊瑚礁修复工作的用海需要，也避免修复活动对周围海域生态系统造成不良影响。

因此，项目的平面布局有利于生态环境保护。

### 7.2.3 项目用海平面布置已最大程度减少对水文动力环境和冲淤环境的影响

根据潮流数模预测结果，项目珊瑚礁修复区所在海域的潮流动力中等，工程前后流速的改变幅度较小，工程后流速最大减小 2.0cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚礁修复区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与珊瑚礁修复区的最远距离约 280m，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小；项目珊瑚苗圃培育区所在海域的潮流动力微弱，工程前后流速的改变幅度很小，工程后流速最大减小幅度只有 0.005cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚苗圃培育区周边的小范围内，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

根据冲淤数模预测结果，本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小，主要集中在项目区附近的小范围内，其中珊瑚礁修复区最大淤积幅度在 2.5cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右。珊瑚苗圃培育区最大淤积幅度在 1.5cm/a 左右。

### 7.2.4 项目用海平面布置能最大程度减少对周边其他用海活动的影响

通过前面章节的分析，本项目的平面布置方案是适宜的，在本项目实施过程中，要采取有效措施，最大限度地减少污染物扩散，减少对周边环境的影响，保护周边环境，在此基础上能与周边其他用海活动相适应。

综上所述，项目用海平面布置体现集约节约用海原则，有利于生态保护，同时最大程度减少对水文动力环境和冲淤环境的影响，能最大程度减少对周边其他用海活动的影响，因此，项目平面布置合理。

## 7.3 用海方式合理性分析

项目珊瑚礁修复工程主要用海内容包括珊瑚苗圃建设、珊瑚增殖礁投放，根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），本项目用海类型为“特殊用海”中的“海洋保护修复及海岸防护工程用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“其他用海”，二级类为“其他用海”；本项目用海方式为构筑物（一级用海方式）中的透水构筑物（二级用海方式）。如表 7.3-1 所示。



表 7.3-1 项目用海方式

用海类型	用海方式	用海原因
“特殊用海”中的“海洋保护修复及海岸防护工程用海”	透水构筑物	珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁用海，珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床用海

### 7.3.1 用海方式是否遵循尽最大可能不填海和少填海、不采用非透水构筑物，尽可能采用透水式、开放式的用海原则

本项目珊瑚礁修复工程主要是以珊瑚礁生态系统保护工程为主，具体用海内容包括投放珊瑚苗床建设珊瑚苗圃培育区进行珊瑚培育、投放珊瑚增殖礁建设珊瑚礁修复区进行珊瑚移植修复。本项目用海方式为构筑物中的透水构筑物。因此，项目用海方式遵循尽最大可能不填海和少填海、不采用非透水构筑物，尽可能采用透水式、开放式的用海原则。

### 7.3.2 用海方式能最大程度地减少对海域自然属性的影响，有利于维护海域基本功能

根据设计方案，项目拟投放的珊瑚增殖礁为镂空混凝土结构、珊瑚苗床为镂空不锈钢框架结构，均位于海域下层，珊瑚增殖礁和珊瑚苗床对水流变化影响较小，为透水构筑物。本项目用海方式为透水构筑物用海，基本不会对海域的主导功能产生影响，不改变海域自然属性，项目珊瑚苗床、珊瑚增殖礁投放等措施增加西岛和鹿回头近岸海域珊瑚覆盖率和海底生物多样性，从而改善海洋生态环境，同时形成海岸带防护屏障，提升珊瑚礁生态减灾能力，实现海洋生态价值最大化。同时，项目属于海洋生态修复项目，其实施基本不会对生态环境产生影响，项目用海不会改变海域的基本属性，符合并有利于维护海域基本功能。

### 7.3.3 用海方式能最大程度地减少对区域海洋生态系统的影响

根据设计方案，项目拟投放的珊瑚增殖礁为镂空混凝土结构、珊瑚苗床为镂空不锈钢框架结构，均位于海域下层，用海方式为透水构筑物，项目施工过程中不会对周边珊瑚礁及其生态系统产生影响，项目建设的目的是在增殖和恢复珊瑚礁资源和渔业资源，有效地改善海域自然生态环境的同时，促进了珊瑚资源和渔业资源的可持续发展。珊瑚增殖礁可以改造、修复海洋生态环境，使原本生产力较低、鱼种较少的沙泥底质环境改变成生产力较高、鱼种较多的岩礁渔场。珊瑚增殖礁设计结构复杂，孔隙、洞穴繁多，具

有空间效应，可以提供各种鱼类栖息，形成空间层次分布，成为洄游性或底栖性鱼类作为它们摄食、避难、定居、繁殖的适宜场所。礁体的孔隙、洞穴也是鱼类产卵的温床，而在礁体内孵化不久的鱼苗也可以在礁体的保护之下有较安全的空间，不致任意遭到大鱼吞噬，从而有效地保护了鱼类资源。珊瑚增殖礁的投放能促进造礁石群落的恢复，加速珊瑚礁生态系统的修复进程。

### 7.3.4 用海方式能最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响

根据潮流数模预测结果，项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区所在海域的潮流动力中等，工程前后流速的改变幅度较小，工程后流速最大减小 2.0cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚礁修复区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与珊瑚礁修复区的最远距离约 280m，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小；项目珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区所在海域的潮流动力微弱，工程前后流速的改变幅度很小，工程后流速最大减小幅度只有 0.005cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚苗圃培育区周边的小范围内，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

根据冲淤数模预测结果，本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小，主要集中在项目区附近的小范围内，其中珊瑚礁修复区最大淤积幅度在 2.5cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右。珊瑚苗圃培育区最大淤积幅度在 1.5cm/a 左右。

### 7.3.5 用海方式有利于保持自然岸线和海域自然属性

本项目为生态修复工程，主体工程均位于海域，因而项目建设不需要占用岸线。项目用海方式为透水构筑物，项目的用海方式基本不改变海域的自然属性，对所在海域基本功能基本不会产生影响。

综上所述，项目采用透水构筑物的用海方式，是在满足项目需求的同时，尽最大可能地维护海域基本功能，最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响。项目建设对修复和保全区域海洋生态系统具有重要作用。项目建设是以修复区域珊瑚礁生态系统为主要目标。项目的用海方式是合理的。

## 7.4 占用岸线合理性分析

项目建设不占用海岸线。项目主体工程均位于海域，因而项目建设不需要占用岸线，也无新增人工岸线。

## 7.5 用海面积合理性分析

### 7.5.1 用海面积合理性分析

#### 7.5.1.1 项目用海面积及各功能单元符合相关行业设计标准和规范

根据项目建设内容、规模、主要平面设计尺度信息和主要建设经济技术指标，给出了本项目各用海单元的面积，如表 7.5.1-1 所示。

项目珊瑚苗床、珊瑚增殖礁礁体布局根据《海岸带生态减灾修复技术导则第 4 部分：珊瑚礁》（T/CAOE 21.4-2020）和《海洋生态修复技术指南第 2 部分：珊瑚礁生态修复》（GB/T 41339.2-2022）以及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》中关于本项目珊瑚礁修复工程的绩效指标等要求进行设计，确定本项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区用海面积为 1.6 公顷、珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海面积为 0.4672 顷。

因此，本项目用海面积和各功能单元符合相关的行业设计标准和规范。

表 7.5.1-1 项目各用海单元面积确认情况表

建设内容		建设规模	主要平面设计尺度	经济技术指标		功能单元	用海面积（公顷）
珊瑚保育工程	珊瑚苗圃培育区	建设 6 个珊瑚苗圃培育区，计划投放 300 个苗床，确定用海范围呈不规则矩形，用海面积为 0.4672 公顷	共布置 6 个珊瑚苗圃培育区，苗床布放以 10 个珊瑚苗床为一行、5 个珊瑚苗床为一列，间距 1m 排列，形成一个由 50 个苗床组成，行程占地 14m×19m 的苗圃区。	珊瑚苗床	2m×1m×1.5m（长×宽×高）的苗床	珊瑚苗圃培育区	0.4672
				苗圃区	以 10 个珊瑚苗床为一行、5 个珊瑚苗床为一列，间距 1m 排列，形成一个由 50 个苗床组成，形成占地 14m×19m 的苗圃区		
珊瑚修复工程	珊瑚礁修复区	项目根据投放珊瑚增殖礁类型规划 3 个珊瑚礁修复区，共计投放珊瑚增殖礁 750 个，其中蜂巢型珊瑚礁 250 个、链条式珊瑚礁 250 个、3D 仿生珊瑚礁 250 个。确定用海范围呈不规则矩形布置，用海面	均匀布置 5 个链条式珊瑚礁礁体群，每个礁体群由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字型布置组成，单位礁体前后间距 4m、左右间距 6.5m，每个单位礁体由 10 个单体链条式珊瑚礁采用拼接槽相互咬合、两排组合的方式构成，单位礁体规格为 6m×2.25m。	珊瑚增殖礁单体	高度 0.5m 的链条式珊瑚礁	珊瑚礁修复区	1.6000
				单位礁体	由 10 个单体链条式珊瑚礁采用拼接槽相互咬合、两排组合的方式构成，单位礁体规格为 6m×2.25m		
				珊瑚礁群	由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字形布置组成，单位礁体前后间距 4m、左右间距 6.5m		

建设内容		建设规模	主要平面设计尺度	经济技术指标		功能单元	用海面积（公顷）
		积为 1.5988 公顷	均匀布置 5 个蜂巢型珊瑚礁礁体群，每个礁体群由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字型布置组成，单位礁体前后间距 3.648m、左右间距 5.202m，每个单位礁体由 10 个单体蜂巢型珊瑚礁采用拼接凸起、两排组合的方式构成，单位礁体规格为 7.298m×2.602m。	珊瑚增殖礁单体	高度 0.5m 的蜂巢型珊瑚礁		
				单位礁体	由 10 个单体蜂巢型珊瑚礁采用拼接凸起、两排组合的方式构成，单位礁体规格为 7.298m×2.602m。		
				珊瑚礁群	由 5 个单位礁体间隔错落、呈“十”字形布置组成，单位礁体前后间距 3.648m、左右间距 5.202m		
			均匀布置 5 个 3D 打印珊瑚礁礁体群，礁体群直径为 25m，每个礁体群由 50 个单体 3D 打印珊瑚礁均匀布置	珊瑚增殖礁单体	直径 1m 的 3D 打印珊瑚礁		
				珊瑚礁群	由 50 个单体 3D 打印珊瑚礁均匀布置，礁体群直径为 25m		

### 7.5.1.2 项目用海面积符合产业用海面积控制指标要求

项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区和珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海选址于海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区用海范围内，采取珊瑚培育、珊瑚移植等措施增加西岛及鹿回头周边海域珊瑚覆盖率和海底生物多样性，改善海洋生态环境，同时形成海岸带防护屏障，提升珊瑚礁生态减灾能力，实现海洋生态价值最大化。项目用海符合三亚市产业用海面积控制性指标要求。

### 7.5.1.3 项目用海减少海域使用面积的可能性

项目用海本着节约使用海域的原则进行平面设计，用海面积符合相关设计规范，节省了海域面积。用海面积的量算严格按照《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）的要求。项目珊瑚苗床、珊瑚增殖礁礁体布局根据《海岸带生态减灾修复技术导则第4部分：珊瑚礁》（T/CAOE 21.4-2020）和《海洋生态修复技术指南第2部分：珊瑚礁生态修复》（GB/T 41339.2-2022）以及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025年）绩效目标表和项目信息表》中关于本项目珊瑚礁修复工程的绩效指标等要求进行设计。不宜减少海域使用面积。

综上所述，本项目用海面积和各功能单元符合相关的行业设计标准和规范，符合三亚市用海控制性指标要求，用海面积不宜减少，因此，项目用海面积合理。

## 7.5.2 宗海图绘制

项目用海范围的界定，是以《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025年）绩效目标表和项目信息表》绩效要求，结合《三亚湾海洋生态修复工程项目（三亚湾中心海域）初步设计报告》（上海市工程设计研究总院（集团）有限公司，2025年3月）、《三亚湾海洋生态修复工程项目（三亚湾中心海域）施工图》（上海市工程设计研究总院（集团）有限公司，2025年4月）所提供项目平面布置方案，根据《海籍调查规范》的有关规定进行确定的。其中，各内部单元的界址点是由三亚湾海洋生态修复工程项目（三亚湾中心海域）用海推荐方案的总平面布置图（2000国家大地坐标系，111°中央经线）导入ARCGIS软件中计算得到的。各内部单元的面积是借助于ARCGIS10.8软件按照中央经线109°30′、CGCS2000坐标系、高斯-克吕格投影后自动求得的。

**珊瑚苗圃培育区：**根据《海籍调查规范》5.3.2.2节，“透水构筑物用海以构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线为界。有安全防护要求的透水构筑物用海在透水构筑物及

其防护设施垂直投影的外缘线基础上外扩不小于 10 m 保护距离为界”，因此项目珊瑚苗圃培育区用海面积以苗圃区范围外扩 10 范围为界，扣除与海南三亚国宾馆有限责任公司在海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区内旅游项目续期用海透水构筑物用海重叠范围，具体折线界址点见宗海界址图，计得珊瑚苗圃培育区用海面积 0.4672 公顷。

**珊瑚礁修复区：**根据《海籍调查规范》第 5.4.1.4 节，“以废弃船、堆石、人工块体及其他投弃物形成的人工鱼礁用海，以被投弃的海底人工礁体外缘顶点的连线或主管部门批准的范围为界”。珊瑚礁修复区珊瑚增殖礁投放区域用海界址范围以实际设计的范围为界。具体折线界址点见宗海界址图，计得珊瑚礁修复区用海面积 16000 公顷。

本项目最终确定的海域使用宗海位置图和海域使用宗海界址图见图 7.5.2-1、图 7.5.2-2。

## 7.6 用海期限合理性分析

### （1）海域使用管理法规定

根据《中华人民共和国海域使用管理法》的规定：“海域使用权最高期限，按照下列用途确定：（1）养殖用海十五年；（2）拆船用海二十年；（3）旅游、娱乐用海二十五年；（4）盐业、矿业用海三十年；（5）公益事业用海四十年；（6）港口、修造船厂等建设工程用海五十年。”

本项目为海洋生态修复项目，属于公益事业用海，按照《中华人民共和国海域使用管理法》最高允许申请用海期限为 40 年。

### （2）项目保育年限

项目保育年限为 5 年。

### （3）本项目申请用海期限

依据海域法规定，结合工程本身性质以及项目用海实际需求，本项目工程申请用海期限为 5 年。为了加强海域使用管理，项目申请用海期限 5 年是合理的，与海域法管理规定相适应。海域使用权到期后，本项目用海需求和规模没有发生改变，需要继续用海，建设单位如需要继续使用该海域，应当最迟于期限届满前两个月向海洋主管部门申请续期，获准后方可继续用海。

## 8 生态用海对策措施

### 8.1 概述

本项目珊瑚礁修复工程主要是以珊瑚礁生态系统保护工程为主，具体用海内容包括投放珊瑚苗床建设珊瑚苗圃培育区进行珊瑚培育、投放珊瑚增殖礁建设珊瑚礁修复区进行珊瑚移植修复。用海方式包括透水构筑物和种植用海。用海产生的主要生态问题有以下几点：

（1）透水构筑物和种植用海基本不改变海域自然属性，对海洋生态系统影响较小。珊瑚增殖礁投放会直接占用部分海域，使现存底栖生物的栖息场所遭到破坏，本工程珊瑚增殖礁投放造成底栖生物损失量为 2.82kg；

（2）项目施工产生的悬浮泥沙入海，将一定程度地会对海域的生态系统产生一定的影响。施工悬浮泥沙影响导致浮游植物损失  $0.05 \times 10^{11}$  cells，浮游动物损失 4.2kg，鱼卵损失  $0.06 \times 10^7$  粒，仔鱼损失  $0.03 \times 10^6$  尾，游泳动物资源损失 4.65kg。

### 8.2 生态用海对策

#### 8.2.1 生态保护措施

（1）施工期工程施工严格控制在施工作业范围内，不得超出划定的施工作业范围施工，以减小对珊瑚培育、珊瑚修复施工作业面外珊瑚礁资源的影响；

（2）选择在海流风浪条件相对较好的天气施工，结合实况海流条件确定最佳锚泊区，准备锚泊时提前关闭动力设备，尽量利用海流动力到达设计锚泊位置，减少船舶抛锚走行距离和锚具对海床的刮擦强度；

（3）针对产生悬浮泥沙的施工环节应重点进行污染防治，珊瑚增殖礁礁体的投放应选择不利于悬浮沙向珊瑚礁分布区扩散的潮期作业，选择适当的礁体投放方式（船上缓慢吊放+潜水员辅助调整），礁体触底后再脱钩，投放后不要在水底拖放移动，本项目珊瑚增殖礁和珊瑚苗床布置采用潜水员水下安装摆放的方式，减少悬浮泥沙的扩散范围，减少对周边海域的影响。

（4）珊瑚增殖礁投放前进行潜水调查，进行详细的珊瑚礁本底调查精确定位，适当调整珊瑚增殖礁放置位置，避免压覆活珊瑚。

（5）定期对珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程项目位置周边的珊瑚礁进行巡视，对沉积到珊瑚表面的悬浮物进行人工清理，主要方式为潜水员每天潜水巡视，如果发现珊



瑚表面覆盖有悬浮物，就采用水下吸污机对其进行处理，清除附着在珊瑚表面的沉积物，避免对珊瑚礁造成影响。以减小悬浮物对珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程项目区域及周边珊瑚礁的影响。

（6）施工期船舶生活污水和船舶含油污水由船舶方委托专业单位接收处理，严禁向附近海域排放影响珊瑚礁生境，施工期固体废物统一收集上岸交由环卫部门处理，严禁随意海抛。

（7）项目施工过程中存在事故性溢油风险，一旦发生溢油事故，油膜扩散至珊瑚礁，破坏珊瑚礁的生长环境。因此，项目应采用有效的溢油风险防范措施，对船舶进行严格管理，杜绝溢油事故的发生，同时做好溢油风险防范措施和应急预案。

（8）施工期应加强珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程项目区附近珊瑚礁跟踪监测，及时掌握项目区附近珊瑚礁分布情况，一旦发现实际影响程度超出模拟预测量危及珊瑚礁生境，一旦发生危及珊瑚礁的情况，立即采取相关措施，保护好珊瑚礁的生长环境。

## 8.2.2 生态跟踪监测

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）“12.2.2 生态跟踪监测：涉及新建填海、非透水构筑物〔长度大于（含）500 m 或面积大于（含）10 ha〕，封闭性围海〔面积大于（含）10 ha〕等完全或严重改变海域自然属性的用海项目，核电，石化工业，油气开采、海上风电等用海项目，以及论证范围内涉及典型海洋生态系统的用海项目，应根据资源生态影响分析结果，结合相关管理要求，提出生态跟踪监测方案，包括生态监测内容、站位、次等主要内容。”项目涉及珊瑚礁生态系统。珊瑚礁修复及保育生态跟踪监测如下：

### （1）监测内容

监测项目：珊瑚生长情况（品种、覆盖率等）；造礁石珊瑚种类；活珊瑚覆盖率；珊瑚死亡率；硬珊瑚补充量；珊瑚白化与病害情况；敌害生物种类与数量；移植珊瑚的存活率；移植或自然附着珊瑚的生长率；大型底栖无脊椎动物；鱼类；大型藻类；碎石、沙和泥覆盖率；人工礁保存率。

### （2）监测频率

修复完成后第一个自然年的1月、3月、6月、12月份各开展一次跟踪监测；第二年和第三年的3月、9月份各开展一次跟踪监测。第四年、第五年各监测一次。修复后

持续开展 5 年的跟踪监测。

### （3）监测范围

在项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区范围内设置 6 个珊瑚礁资源调查站位，于西岛附近海域布设对照区、参考区，各设置 1 个珊瑚礁资源调查站位；在项目珊瑚苗圃培育区范围内设置 4 个珊瑚礁资源调查站位。共布设 12 个珊瑚礁资源监测站位，具体位置详见表 8.2.2-1 和图 8.2.2-2。

表 8.2.2-1 珊瑚礁资源跟踪监测站位坐标

略

略

图 8.2.2-1 珊瑚礁资源跟踪监测站位图—西岛

略

图 8.2.2-2 珊瑚礁资源跟踪监测站位图-鹿回头

## 8.2.3 修复效果评估

珊瑚礁生态修复效果评估采用目标值对比法和时间序列对比法。

### （1）目标值对比法

用于评估修复区的现状是否达到目标值的水平，以恢复率来表征。以大型底栖无脊椎动物（不含造礁珊瑚敌害生物和长刺海胆）和鱼类的种类数和密度，造礁珊瑚的种类数、覆盖度，移植造礁珊瑚的成活率和生长率等正向指标作为评估指标。基于评估指标的监测数据和目标值，依次计算各个指标的恢复率、站位恢复率和修复区恢复率，经评估后得到修复区的恢复状况（表 8.2.3-1）。

其中，指标恢复率计算方法如以下公式所示：

$$S_{ij} = \frac{I_{ij}}{R_i} \times 100\%$$

式中：

$S_{ij}$ ——第  $i$  评估指标在  $j$  时刻的修复区中的恢复率；

$I_{ij}$ ——第  $i$  评估指标在  $j$  时刻的修复区中的指标值；

$R_i$ ——第  $i$  评估指标的目标值。

表 8.2.3-1 站位和修复区恢复率的效果等级评估

效果等级	I	II	III	IV
	优	良	中	差
站位恢复率 $W_j$	$W_j \geq 90\%$	$90\% > W_j \geq 70\%$	$70\% > W_j \geq 50\%$	$W_j < 50\%$
修复区恢复率 $\overline{W}_j$	$\overline{W}_j \geq 90\%$	$90\% > \overline{W}_j \geq 70\%$	$70\% > \overline{W}_j \geq 50\%$	$\overline{W}_j < 50\%$

（2）时间序列对比法

用于评估生态修复措施对珊瑚礁恢复的作用，即生态修复措施是否达到预期的修复效果，以修复率来表征。基于评估指标的监测数据和目标值，依次计算各个指标的修复率、站位修复率和修复区修复率，经评估后得到修复区的修复状况（表 8.2.3-2）。

其中，指标恢复率计算方法如以下公式所示：

$$P_{ij} = \frac{I_{ij} - I_{i0} \times \frac{C_{ij}}{C_{i0}}}{R_i - I_{i0}} \times 100\%$$

式中：

$P_{ij}$ ——第*i*个评估指标从生态基线调查时刻到 *j* 时刻之间的修复率；

$I_{ij}$ ——第*i*个评估指标在 *j* 时刻的修复区中的指标值；

$I_{i0}$ ——第*i*个评估指标在生态基线调查时修复区中的指标值；

$C_{ij}$ ——第*i*个评估指标在 *j* 时刻的对照区中的指标值。

表 8.2.3-2 站位和修复区恢复率的效果等级评估

效果等级	I	II	III	IV
	优	良	中	差
站位修复率 $V_j$	$V_j \geq 90\%$	$90\% > V_j \geq 70\%$	$70\% > V_j \geq 50\%$	$V_j < 50\%$
修复区修复率 $\overline{V}_j$	$\overline{V}_j \geq 90\%$	$90\% > \overline{V}_j \geq 70\%$	$70\% > \overline{V}_j \geq 50\%$	$\overline{V}_j < 50\%$

8.2.4 维护与管理

（1）管护频率

移植初期管护频率宜每周一次，待珊瑚成活率趋于稳定，管护频率可降为每月至每季度一次。

（2）管护措施

- ① 定期观测移植珊瑚的存活情况，当成活率<65%时应开展补充移植；
- ② 对移植珊瑚的生长状况进行监测，及时清理患病和白化的个体或组织；
- ③ 及时清除病虫害、污损生物和外来入侵生物，防控珊瑚敌害生物；

④ 人工清除或通过放流植食性鱼类等措施控制藻类规模；

⑤ 定期清理修复区内的海洋垃圾。

以上管护措施在 5 年管护期内应保持。

### 8.3 生态保护修复措施

本项目为生态修复项目，主要通过投放珊瑚苗床培育珊瑚、投放珊瑚增殖礁进行珊瑚移植修复，项目本身就是区域生态修复措施的具体实施，项目建成后对本海域珊瑚礁生态系统的保护具有重要的作用。

## 9 结论

### 9.1 项目用海基本情况

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）二期珊瑚礁修复区选址在西岛东侧海域，用海面积 1.6000 公顷，种植珊瑚数量 32000 株；考虑珊瑚苗种移植存活率 0.65 的情况下，共 49230 株。造礁石珊瑚的修复方法主要是采用苗圃将珊瑚培育成枝状长度 8~15cm 或块状直径 8cm 左右的可移植的珊瑚株，然后迁移到底播区域，其中采用人工珊瑚增殖礁 750 个。珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区选址于鹿回头近岸海域，用海面积 0.4672 公顷，用海内容为珊瑚苗床布设。项目总投资为 7024.10 万元。

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目珊瑚礁修复工程用海类型为“特殊用海”中的“海洋保护修复及海岸防护工程用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“其他用海”，二级类为“其他用海”。用海方式为构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）。项目申请用海总面积为 2.0672 公顷，其中珊瑚礁修复区用海面积 1.6000 公顷，珊瑚苗圃培育区用海面积 0.4672 公顷。项目不占用岸线，申请用海期限为 5 年。

### 9.2 项目用海必要性结论

根据《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告方案》的要求，三亚市自然资源和规划局委托中国海洋大学编制了《三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态评估报告》和《三亚凤凰岛二期项目拆除项目生态保护修复方案》，针对三亚凤凰岛二期项目拆除项目，提出了三亚湾海洋生态修复方案（工程）。而根据三亚湾海洋生态修复工程的工可、初步设计，将工程分两阶段实施，第一阶段（凤凰岛及附近海域）：工程建设内容包括珊瑚礁修复工程、渔业资源保护工程、三亚湾海洋生态环境监测等三部分，该项目已于 2022 年 11 月 26 日完成施工。第二阶段为三亚湾海洋生态修复工程（西岛及附近海域）：目前已实施完成 304.5 公顷的渔业资源保护工程。即人工鱼礁工程、增殖放流的建设。根据《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施方案（2023—2025 年）》，《三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）》列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，总体绩效目标（2023—2024 年）分为产出指标和满意度指标，其中产出指标中数

量指标为生态保护修复总面积 707.27hm<sup>2</sup>，珊瑚礁修复面积 1.6 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁生境保育面积 5.67 hm<sup>2</sup>，栖息地修复面积 700 hm<sup>2</sup>，珊瑚礁株数 32000 株。因施工完成的三亚湾海洋生态修复工程项目（西岛及附近海域）仅包含 304.5 hm<sup>2</sup> 的栖息地修复，因此对于剩下的指标需要进行调整指标、重新选址设计，即为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）建设内容，本项目为三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）中的二期工程，用海内容包括珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区用海。因此，本项目建设用海是必要的。

## 9.3 项目用海资源生态影响分析结论

### 9.3.1 水文动力影响结论

根据潮流数模预测结果，项目珊瑚礁修复区所在海域的潮流动力中等，工程前后流速的改变幅度较小，工程后流速最大减小 2.0cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚礁修复区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与珊瑚礁修复区的最远距离约 280m，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小；项目珊瑚苗圃培育区所在海域的潮流动力微弱，工程前后流速的改变幅度很小，工程后流速最大减小幅度只有 0.005cm/s 左右，流速改变的范围仅限于珊瑚苗圃培育区周边的小范围内，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

### 9.3.2 波浪影响结论

根据波浪数模预测结果，珊瑚礁修复区建设在珊瑚礁礁坪上，外海传来的波浪在珊瑚礁礁坪的外沿即破碎，传播至本工程区时已大幅度衰减，同时部分珊瑚增殖礁礁体采用拼接凸起与拼接槽相互咬合构成组合，每 20 块礁体可为一组进行拼接，形成两排，可确保前后左右均有礁体衔接，避免错位和移动，可增加礁体稳定性，有效降低波浪推力。珊瑚苗圃培育区珊瑚苗床设施选择框架结构，四个角打入底质 80cm，同时每个苗床布置四个锚固系统，巩固安装，以更好地抵御风浪。

### 9.3.3 冲淤环境影响结论

根据冲淤数模预测结果，项目建设完成后，由于珊瑚增殖礁和珊瑚苗床对水流产生一定的阻挡作用，流速略有减小，因此，泥沙将在珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区落淤。但由于流速改变幅度较小，海水悬沙含量也较小，因此项目区附近的年淤积强度最大值

分别为珊瑚礁修复区 2.5cm/a、珊瑚苗圃培育区 1.5cm/a；冲淤的范围也只局限在珊瑚礁修复区和珊瑚苗圃培育区附近的较小范围内，其中珊瑚礁修复区冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右，这主要是由于无论是涨潮还是落潮，水动力的变化区域都在珊瑚礁修复区的北侧。

因此，总体而言，本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小，主要集中在项目区附近的小范围内，其中珊瑚礁修复区最大淤积幅度在 2.5cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 230m 左右。珊瑚苗圃培育区最大淤积幅度在 1.5cm/a 左右。

### 9.3.4 水质环境影响结论

项目珊瑚保育工程珊瑚苗床投放时由潜水员用铁锤将苗床四角固定在海底，同时布置 4 个锚固系统，苗床安装及锚固系统布置时均由潜水员在水下进行，因此产生悬浮物较小；珊瑚礁修复工程珊瑚增殖礁投礁过程中引起的悬浮泥沙影响很小，超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为  $0.030\text{km}^2$ ，未出现超 III 类海水水质，产生的悬浮物增量大于  $10\text{mg/L}$  的最远距离为 40m 左右。项目珊瑚增殖礁投放过程对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就结束。除此之外，施工期生活污水、含油废水和生产废水均妥善处理，不外排，施工期废水对项目区水质环境影响较小。

### 9.3.5 沉积物环境影响结论

根据沉积物质量监测结果，工程区域的沉积物质量状况良好，施工产生的沉积物来源于本海域，不会对本海域沉积物的理化性质产生影响。因此，本工程施工过程产生的悬浮物扩散和沉降后，沉积物的环境质量不会产生较大变化，仍将基本保持现有水平。此外，施工期的污染物均经过接收处理，不直接在工程区域排放，因此对工程海域的沉积物环境产生影响较小。

### 9.3.6 生态环境影响结论

项目实施对周围海洋生态环境和资源的影响主要为珊瑚增殖礁投放造成底栖生物损失以及施工期悬浮泥沙入海对海洋生物的损失，经估算，本工程珊瑚增殖礁建设造成底栖生物损失量为 2.82kg，施工悬浮泥沙影响导致浮游植物损失  $0.05 \times 10^{11}\text{cells}$ ，浮游动物损失 4.2kg，鱼卵损失  $0.06 \times 10^7$  粒，仔鱼损失  $0.03 \times 10^6$  尾，游泳动物资源损失 4.65kg。本项目为珊瑚礁生态系统修复项目，包括珊瑚增殖礁投放、珊瑚移植等生态补偿措施；通过在特定海域实施珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程，有利于修复珊瑚礁资源，

改善海域生态环境。项目所选的珊瑚增殖礁礁体材料对自然海域环境无任何污染，所有材料在投放前都经过清洗，对海洋环境无损害作用。珊瑚增殖礁的投放能促进造礁石群落的恢复，加速珊瑚礁生态系统的修复进程，项目建设所造成的渔业资源损失是可接受的。

## 9.4 海域开发利用协调分析结论

根据本项目海域开发利用协调分析，本项目利益相关者为海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处，利益相关协调责任单位为三亚海事局。

在做好与海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处、三亚海事局协调的基础上，在落实相关措施后，项目用海与其他用海活动是可协调的。

## 9.5 国土空间规划符合性分析结论

根据《海南省国土空间规划（2021—2035 年）》和《三亚市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区和珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海范围所处海洋功能分区从海洋空间方面位于海洋生态空间，从具体的海洋功能分区方面来说，项目所处功能区为生态保护区。项目实施有利于修复区域内珊瑚礁资源，同时根据《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4 号）中“8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复-（6）海域、海岛、海岸线生态修复；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流”，项目满足生态红线准入要求。因此，项目珊瑚保育工程、珊瑚礁修复工程符合《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》海洋生态空间管控要求。

本项目珊瑚礁修复工程珊瑚礁修复区和珊瑚保育工程珊瑚苗圃培育区用海范围不占用城镇开发边界、永久基本农田，涉及海洋生态保护红线，施工过程中对生态保护红线的影响较小，用海符合国土空间规划“三区三线”划定成果的管控要求。

同时，项目已列入海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复项目中，项目用海符合《海南省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》。

综上所述，项目用海符合国土空间规划。

## 9.6 项目用海合理性分析结论

### （1）选址合理性

项目珊瑚保育工程选址于鹿回头近岸海域，珊瑚礁修复工程选址于西岛东侧海域。位于海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区实验区内，项目对珊瑚礁资源有着积极影响，符



合海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区总体规划（2020-2029 年）》的总体目标。项目选址区位和社会条件满足项目建设和营运要求，选址区域的自然资源和海洋生态条件适宜，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突问题。因此，本项目选址是合理的。

## （2）平面布置合理性

本项目具体用海内容包括投放珊瑚苗床建设珊瑚苗圃培育区进行珊瑚种苗培育、投放珊瑚增殖礁建设珊瑚礁修复区进行珊瑚移植修复。项目在满足建设项目需要的基础上，最大程度减少了对海域的改变，最大限度地节约了用海面积，平面布置体现了集约、节约用海的原则。拟投放的珊瑚苗床、珊瑚增殖礁均为透水结构，项目建设对海域自然属性和基本功能影响较小，保持了流场的流畅性，不会对海洋生物洄游通道造成影响，项目平面布局有利于生态环境保护，能最大程度减少对周边其他用海活动的影响，因此，项目平面布置合理。

## （3）用海方式合理性

项目拟投放的珊瑚增殖礁为镂空混凝土结构、珊瑚苗床为镂空不锈钢框架结构，均位于海域下层，珊瑚增殖礁和珊瑚苗床对水流变化影响较小，为透水构筑物。项目采用透水构筑物的用海方式，是在满足项目需求的同时，尽最大可能地维护海域基本功能，最大限度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响。项目建设对修复和保全区域海洋生态系统具有重要作用。项目建设是以修复区域珊瑚礁生态系统为主要目标。项目的用海方式是合理的。

## （4）用海面积合理性

项目珊瑚苗床、珊瑚增殖礁礁体布局根据《海岸带生态减灾修复技术导则第 4 部分：珊瑚礁》（T/CAOE 21.4-2020）和《海洋生态修复技术指南第 2 部分：珊瑚礁生态修复》（GB/T 41339.2-2022）以及《海南南部典型热带区域山水林田湖草沙一体化保护和修复工程（2023—2025 年）绩效目标表和项目信息表》中关于本项目珊瑚礁修复工程的绩效指标等要求进行设计，用海面积和各功能单元符合相关的行业设计标准和规范，符合三亚市用海控制性指标要求，用海面积不宜减少，因此，项目用海面积合理。

## （5）用海期限合理性

本项目为海洋生态修复项目，属于公益事业用海，结合《中华人民共和国海域使用管理法》管理规定及项目保育年限，本项目珊瑚礁修复工程申请用海期限为 5 年合理。

## 9.7 项目用海可行性结论

综上所述，本项目建设符合《海南省国土空间规划（2021—2035 年）》《三亚市国土空间总体规划（2021—2035 年）》等相关规划，符合国家当前产业发展政策，用海必要。选址区域的社会条件、自然资源、环境条件满足项目用海要求，项目平面布置、用海方式、用海面积、占用岸线和用海期限合理。项目不占用岸线，不进行围填海，项目用海对周边用海活动影响较小，与周边利益相关者和利益协调责任部门具有可协调性。项目建设将会对该区域海洋生态环境带来一定的影响。在切实落实了本论证报告提出的生态用海对策措施，切实落实了利益相关者的协调措施的前提下，从海域使用角度考虑，该项目用海是可行的。

