

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾
中心海域）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7月



论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4602032025001602		
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）		
一、编制单位基本情况			
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		
二、编制人员有关情况			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
陈曼萍	BH001704	论证项目负责人	陈曼萍
陈曼萍	BH001704	1. 概述 3. 项目所在海域概况 5. 海域开发利用协调分析 8. 生态用海对策措施 9. 结论	陈曼萍
韩春妹	BH000990	2. 项目用海基本情况 4. 资源生态影响分析 6. 国土空间规划符合性分析 7. 项目用海合理性分析 10. 报告其他内容	韩春妹
<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: right;">  <p>2025年7月9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）			
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	400ha	投资金额	7024.10 万元	
用海期限	1 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	“渔业用海”中的“增养殖 用海”		新增岸线	0m
用海方式	面积		具体用途	
透水构筑物	33.7562ha		栖息地修复工程人工鱼礁区用海	
开放式养殖	366.2438ha		栖息地修复工程增殖放流区用海	
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

一、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）选址于三亚湾中心海域开展海洋生态修复。项目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。本报告仅针对栖息地修复工程进行海域使用论证，用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海。

栖息地修复工程拟在三亚湾深水区海洋牧场规划的 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。同时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。项目总投资为 7024.10 万元，栖息地修复工程建设投资 3495.61 万元。

项目申请用海单位为三亚环通工程管理有限公司。项目申请总用海面积为 400 公顷，其中申请人工鱼礁区用海面积为 33.7562 公顷，包括人工鱼礁区 1（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 2（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 3（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.6194 公顷、人工鱼礁区 4（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 5（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷。申请增殖放流区（用海方式为开放式养殖）用海面积为 366.2438 公顷。项目申请用海期限为 1 年。

二、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工作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。

三、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 707.27hm²，珊瑚礁修复面积 1.6 hm²，珊瑚礁生境保育面积 5.67 hm²，栖息地修复面积 700 hm²，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 hm²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，即为本项目建设内容，建设内容包括珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程和栖息地修复工程。因此，本项目建设用海是必要的。

四、规划符合性

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）》，项目栖息地修复工程用海范围所处海洋功能分区从海洋空间方面为海洋开发利用空间，从具体的海洋功能分区方面来说，项目所处功能区为海南岛近海渔业用海区。项目主要在三亚湾中心海域海洋牧场规划区进行人工鱼礁建设，属于渔业用海，符合渔业用海区的管控要求。

项目栖息地修复工程用海范围不占用海洋生态保护红线、城镇开发边界、永久基本农田，施工过程中对生态保护红线的影响较小，项目栖息地修复工程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。

五、占用岸线情况

项目栖息地修复工程用海范围位于三亚湾深水区海洋牧场规划海域，根据《海籍调查规范》的岸线界定要求、方法以及海南省最新海岸线修测成果，本项目不占用岸线，也无新增人工岸线。

六、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。项目用海涉及到利益相关者为当地渔民，利益协调部门为三亚海事局和海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处。

根据利益相关者协调分析结论，本项目用海与利益相关者和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。

七、资源生态影响分析结论

1、资源生态影响

（1）项目用海占用海域空间资源 400 公顷，不占用岸线资源。

（2）项目施工建设可能会对区域底栖生物、浮游生物、渔业资源造成一定损失，本工程人工鱼礁建设造成底栖生物损失量为 37.9kg，施工悬浮泥沙影响导致浮游植物

损失 4.22×10^{11} cells, 浮游动物损失 340.6kg, 鱼卵损失 4.94×10^7 粒, 仔鱼损失 2.76×10^6 尾, 游泳动物资源损失 55.74kg。本项目用海中 366.2438 公顷的区域作为增殖放流区, 项目实施本就有渔业资源养护的作用。相对于项目建成后对本海域渔业资源增殖养护的作用, 项目建设所造成的渔业资源损失是可接受的。

(3) 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 2.5cm/s 左右, 流速改变的范围仅限于人工鱼礁投礁区周边的小范围内, 流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与项目区的最远距离约 1.2km, 对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

(4) 本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小, 主要集中在人工鱼礁区附近的小范围内, 冲淤幅度最大值只有 3cm/a 左右, 冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 90m 左右。

(5) 项目建设对水质环境的影响主要是人工鱼礁投放过程中产生的悬浮泥沙增量对水质的影响。一方面, 根据数模计算结果, 由扩散面积可见礁体投放过程引起的悬浮泥沙影响很小, 超 I、II 类水质 ($>10\text{mg/L}$) 面积为 0.750km^2 , 超 III 类水质 ($>100\text{mg/L}$) 面积为 0.000km^2 , 超 IV 类水质 ($>150\text{mg/L}$) 面积为 0.000km^2 。未出现超 III 类海水水质。由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知, 本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超 I、II 类水质 ($>10\text{mg/L}$) 扩散的最远距离约为 110m 左右。悬浮泥沙的扩散范围仅局限于海洋牧场投礁区周边的小范围内。项目人工鱼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。综上所述, 项目建设会对项目海域水质产生一定影响, 在采取了相应的措施之后, 能将影响减缓至最低。

(6) 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。

2、生态保护修复措施

(1) 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间；

(2) 施工期加强施工区附近水域的水质监测。掌握施工活动与水体中悬浮物增量的规律，尽可能避免对海洋生态产生不利影响；

(3) 海上施工避开渔业资源繁殖季节。减小悬沙影响程度和范围，减小对鱼卵仔鱼的影响；

(4) 施工过程中应尽可能采用对水体扰动小的机械设备，并设置相关防护设施，减少泥沙的扩散和再悬浮。减小悬沙影响程度和范围，减小对鱼卵仔鱼的影响；

(5) 施工准确定位、详细记录其过程，严格按照施工平面布置进行作业，避免在一个区域重复作业。减少对项目所在海域底质扰动的强度；

(6) 施工前先驱散该区域的水生生物。有利于减少对水生动物的干扰；

本项目为海洋生态修复项目，栖息地修复工程主要通过投放人工鱼礁以及在礁体周围海域开展增殖放流的开放式养殖，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渔业资源增殖养护具有重要的作用。

八、项目用海合理性

1、用海选址合理性

栖息地修复工程用海选址于《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》规划内的三亚湾深水区海洋牧场（400公顷）用海区域内，主要用海内容为人工鱼礁、增殖放流。项目选址区位和社会条件满足项目建设和营运要求，选址区域海水水深在40m左右，底质类型为淤泥质粉质粘土，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，且项目用海有利于海洋产业协调发展。因此，本项目选址是合理的。

2、用海平面布置合理性

项目栖息地修复工程结合三亚湾深水区海洋牧场区域规划用海范围进行平面布置，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，项目平面布置体现了集约、节约用海的原则。平面布置有利于生态保护，同

时已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。

3、用海方式合理性

项目用海建设主要内容为人工鱼礁建设和增殖放流，其用海方式分别为透水构筑物、开放式养殖，项目用海方式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，人工鱼礁用海方式也对渔业资源恢复起到积极作用，符合该区的主导功能。本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。项目用海的目的是在修复海洋生物栖息地、保护海洋生态、增殖和恢复渔业资源，有效地改善海域自然生态环境的同时，促进了渔业资源的可持续发展。

通过分析，项目采用透水构筑物、开放式养殖用海方式，不改变海域自然属性，有利于维护海域基本功能。遵循了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。能最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响。因此，项目用海方式合理。

4、用海面积合理性

根据本项目建设内容、规模、主要平面设计尺度信息和主要建设经济技术指标，得出了本项目各用海单元的面积，即人工鱼礁区用海面积、增殖放流区面积。用海面积符合《海洋牧场建设规划设计技术指南》（T/SCSF0011-2021）、《人工鱼礁建设选址技术规程》（T/SCSF0012-2021）、《人工鱼礁礁体制作技术规范》（T/SCSF0005-2020）的标准和要求。

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”。人工鱼礁礁群共 5 块，计得人工鱼礁区用海面积 33.7562 公顷（包括人工鱼礁区 1 用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 2 用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 3 用海面积 6.6194 公顷、人工鱼礁区 4 用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 5 用海面积 6.7842 公顷）。根据《海籍调查规范》第 5.4.1.3 节，“无人工设施的人工投苗或自然增殖的人工管养用海，以实际使用或主管部门批准的范围为界”，由此确定宗海界址图中折线 1-2-3-4-1 范围内，人工鱼礁群 1、2、3、4、5 除外，围成的区域为增殖放流区，计得用海面积为 366.2438 公顷。因此，项目申请总用海面积为 400 公顷，其用海面积满足

项目用海需求，

界址点测量和用海面积量算符合《海籍调查规范》、《海域使用面积测量规范》和《宗海图编绘技术规范》，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，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。

根据本项目设计要求，人工鱼礁单体的设计使用寿命不宜小于 30 年。本项目主体为人工鱼礁，其结构设计使用年限为 30 年。

根据施工进度安排，本项目栖息地修复工程建设施工工期为 11 个月。由此，本项目用海申请单位申请项目用海的实际使用年限为 1 年。

综上所述，为加强海域使用管理，以及项目用海实际需求和用海性质，本项目申请用海期限 1 年是合理的。

目 录

1 概述	3
1.1 论证工作由来	3
1.2 论证依据	5
1.3 论证等级和范围	9
1.4 论证重点	10
2 项目用海基本情况	12
2.1 用海项目建设内容	12
2.2 平面布置和主要结构、尺度	12
2.3 项目主要施工工艺和方法	27
2.4 项目用海需求	36
2.5 项目用海必要性	39
3 项目所在海域概况	44
3.1 海洋资源概况	44
3.2 海洋生态概况	48
4 资源生态影响分析	111
4.1 资源影响分析	111
4.2 生态影响分析	116
5 海域开发利用协调分析	132
5.1 海域开发利用现状	132
5.2 项目用海对海域开发活动的影响	137
5.3 利益相关者界定	139
5.4 相关利益协调分析	140
5.5 项目用海对国防安全和国家海洋权益的协调性分析	142
6 国土空间规划符合性分析	144

6.1 所在海域国土空间规划分区基本情况	144
6.2 项目用海对海域国土空间规划分区的影响分析	145
6.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析	147
7 项目用海合理性分析	154
7.1 用海选址合理性分析	154
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	167
7.6 用海期限合理性分析	171
8 生态用海对策措施	172
8.1 概述	172
8.2 生态用海对策	172
8.3 生态保护修复措施	177
9 结论	179
9.1 项目用海基本情况	179
9.2 项目用海必要性结论	179
9.3 项目用海资源生态影响分析结论	180
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	182
9.6 项目用海合理性分析结论	182
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须修复、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707.27hm²，珊瑚礁修复面积1.6hm²，珊瑚礁生境保育面积5.67hm²，栖息地修复面积700hm²，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 hm²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 绩效考核调整表（引自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）

原项目考核指标		可实施范围指标
珊瑚礁修复面积（hm ² ）	1.6	1.6
珊瑚礁生境保育面积（hm ² ）	5.67	6
栖息地修复面积（hm ² ）	700	304.5+400=704.5 其中 304.5 hm ² 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 ² ）	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。本报告仅针对栖息地修复工程进行海域论证。

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）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

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)《国务院关于推进海南国际旅游岛建设发展的若干意见》(国发〔2009〕44号，2009年12月31日)；

(15)《海南自由贸易港建设总体方案》(中共中央、国务院，2020年6月1日)。

(16)《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)；

(17)《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)；

(18)《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日海南省第五届人大常委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06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>办法修正案(二)》(海南省人民代表大会常务委员会，2018年4月3日修订，2018年5月15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)《海南省现代化海洋牧场发展规划(2021-2030年)》(海南省农业农村厅，2021年1月)；

(9)《国家生态文明试验区(海南)实施方案》(2019年5月中共中央办公厅、国务

院办公厅印发)；

(10)《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)；

(11)《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)；

(12)《关于支持海洋渔业高质量发展有关用海政策的若干意见》(海南省自然资源和规划厅、海南省财政厅、海南省农业农村厅，琼自然资规〔2022〕5号，2022年11月16日实施)；

(13)《海南省现代化海洋牧场发展规划(2024-2030年)》；

(14)《海南省养殖水域滩涂规划(2021-2030年)修编》；

(16)《三亚市养殖水域滩涂规划(2018-2030年)》；

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

(18)《三亚市国土空间规划(2021-2035年)》(琼府函〔2023〕188号)。

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)《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T19485-2014)

- (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);
- (22)《人工鱼礁建设技术规范》(SC/T9416-2014,农业农村部,自2014年6月1日起施行);
- (23)《混凝土结构设计规范》(GB50010-2015,住房和城乡建设部和国家质量监督检验检疫总局,自2015年9月22日起施行);
- (24)《区域性人工鱼礁建设容量评估及布局规划技术规范》(中国水产研究院南海水产研究所,2019年12月);
- (25)《海洋牧场分类》(SC/T 9111-2017);
- (26)《海洋牧场建设技术指南》(GB/T 40946-2021)。

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

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“18 渔业用海”中的“1802 增养殖用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“渔业用海”，二级类为“开放式养殖用海”和“人工鱼礁用海”。本项目用海方式包含构筑物用海（一级方式）中的透水构筑物用海（二级方式）、开放式用海（一级方式）中的开放式养殖用海（二级方式）。

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。本报告仅针对栖息地修复工程进行海域使用论证，用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海。栖息地修复工程是在三亚湾深水区海洋牧场规划的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。

根据项目宗海图，确定栖息地修复工程用海面积为 400.0000 公顷，其中。本项目人工鱼礁区透水构筑物用海面积为 33.7562 公顷，增殖放流区开放式养殖用海面积为 366.2438 公顷。根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）中论证等级判定表，确定透水构筑物论证等级为二级、开放式养殖用海论证等级为三级。同一用海项目按不同的用海方式、用海规模所判定的等级不一致时，采用就高不就低的原则确定论证等级。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

本项目用海方式	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	
透水构筑物	栖息地修复工程人工鱼礁区透水构筑物面积总计 33.7562 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	
开放式养殖	栖息地修复工程人工鱼礁区开放式养殖用海 366.2438 公顷	用海面积大于（含）700ha	所有海域	二	
		用海面积小于 700ha	所有海域	三	
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。项目珊瑚礁修复工程和珊瑚培育工程不申请用海，但考虑到其处于海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区用海范围内，项目实施过程中可能会对海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区产生一定的影响，因此确定本项目论证范围为：以项目建设区域外边缘为界，向西、东、南各外扩 8km，向北至海岸线，论证范围内海域面积约 740.89km²。论证范围见图 1.3.2-1。

略

图 1.3.2-1 项目论证范围图

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，同时考虑本项目为渔业用海特殊性，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。

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）

(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：栖息地修复工程用海位于三亚湾深水区海洋牧场规划海域。项目地理位置见图 2.1-1。

略

图 2.1-1 项目区位图

(5) 项目建设内容与规模

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。本报告仅针对栖息地修复工程进行海域使用论证，用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海。

栖息地修复工程拟在三亚湾深水区海洋牧场规划的 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。

(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（其中栖息地修复工程费用为 3495.61 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 工程用海平面布置

本工程选取的栖息地修复区域位于《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030 年）》近岸海域海洋牧场选址布局内的三亚湾深水区海洋牧场选址范围内。

该区域水深约 40m，水深较大，对来往船只不会产生影响，海底流速 0.8-1.5m/s，海底地形坡度平缓，海洋环境质量良好，适合进行集鱼礁建设。

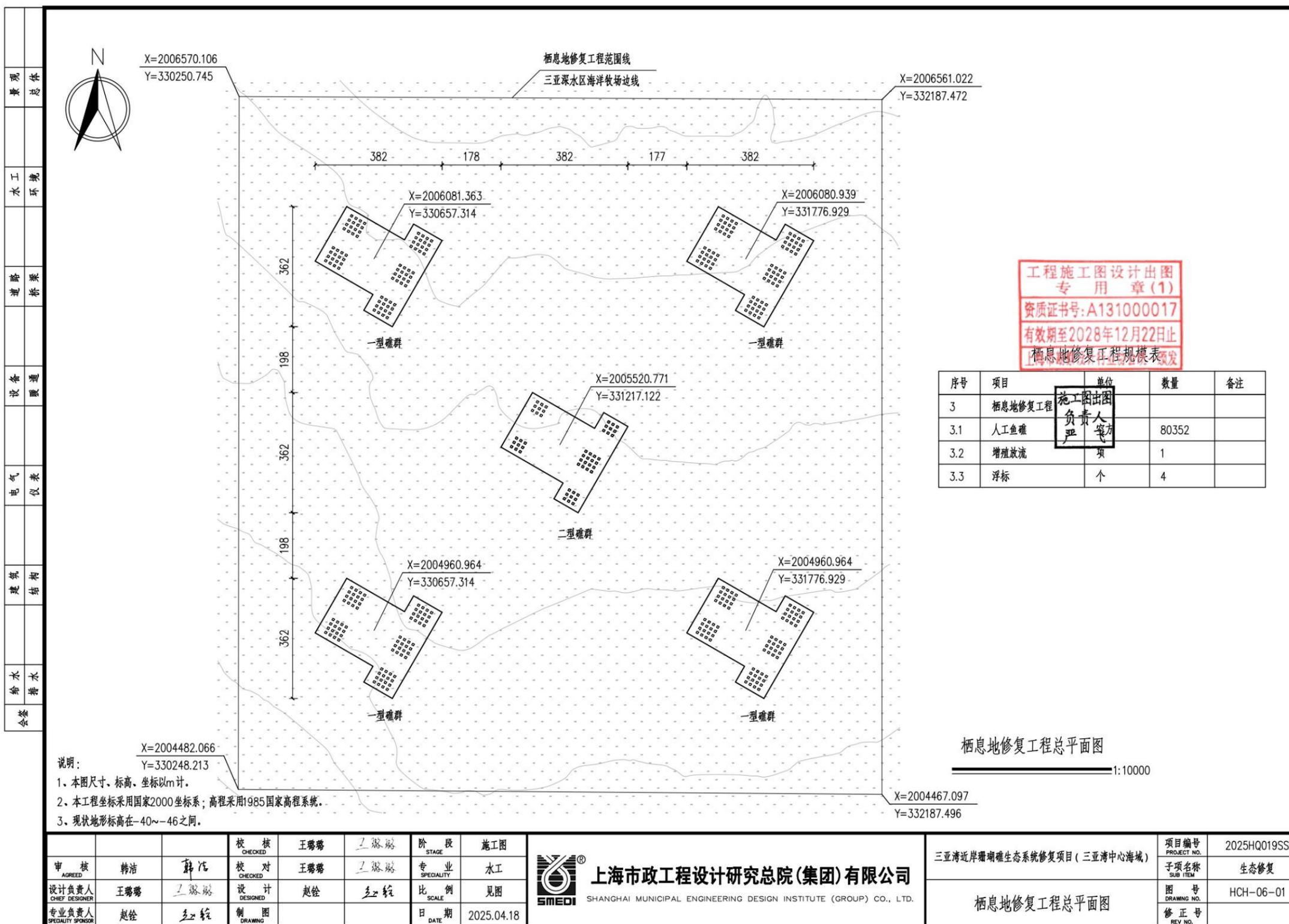
人工鱼礁应采用集群式分布：根据海域面积和鱼类洄游习性，采用线性、网格状或岛状布局，形成人工渔场。

间距控制：相邻鱼礁间距一般为礁体高度的 3-5 倍，避免相互遮挡或过度密集导致资源竞争。

项目设置一块人工鱼礁区，礁区海域面积 400 公顷，在鱼礁区内规划 5 个鱼礁群，投放人工鱼礁 80352 空方，主要建设休闲生态型钢筋混凝土礁体。鱼礁群布置形式为两种，位于四个角的四个鱼礁群，每个鱼礁群外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 60m，沿平行水流方向间距 150m，每个单位鱼礁内安放 80 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。位于中间的 1 个鱼礁群，外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 75m，沿平行水流方向间距 180m，单位鱼礁内安放 56 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。

人工鱼礁区的潮流走向为东南至西北，本工程礁体以水流方向为参照进行布置。

栖息地修复工程总平面布置见图 2.2.1-1，人工鱼礁单位礁群布置见图 2.2.1-2。



工程施工图设计出图
 专用章(1)
 资质证书号:A131000017
 有效期至2028年12月22日止
 栖息地修复工程规模表

序号	项目	单位	数量	备注
3	栖息地修复工程	施工图出图		
3.1	人工鱼礁	负责人签字	80352	
3.2	增殖放流	项	1	
3.3	浮标	个	4	

说明：
 1. 本图尺寸、标高、坐标以m计。
 2. 本工程坐标采用国家2000坐标系；高程采用1985国家高程系统。
 3. 现状地形标高在-40~-46之间。

			校核 王璐璐	阶段 施工图	上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司 SHANGHAI MUNICIPAL ENGINEERING DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.	项目编号 2025HQ019SS
审核 韩洁	校对 王璐璐	设计 赵铨	专业 水工	比例 见图		子项名称 生态修复
设计负责人 王璐璐	制图 赵铨	日期 2025.04.18				图号 HCH-06-01
专业负责人 赵铨						修正号

图 2.2.2-1 栖息地修复工程总平面图

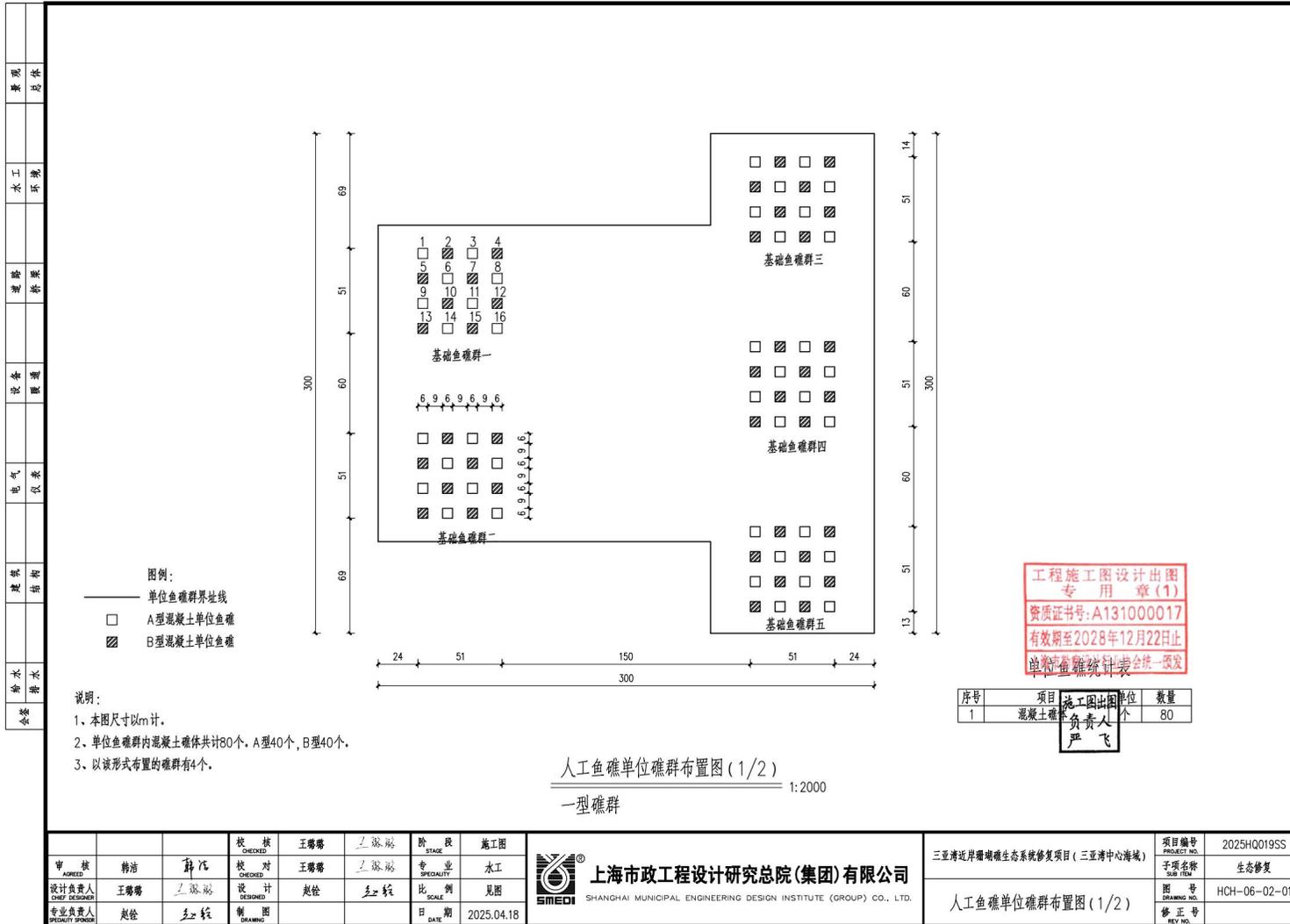


图 2.2.1-2a 人工鱼礁单位礁群布置图 (1/2)

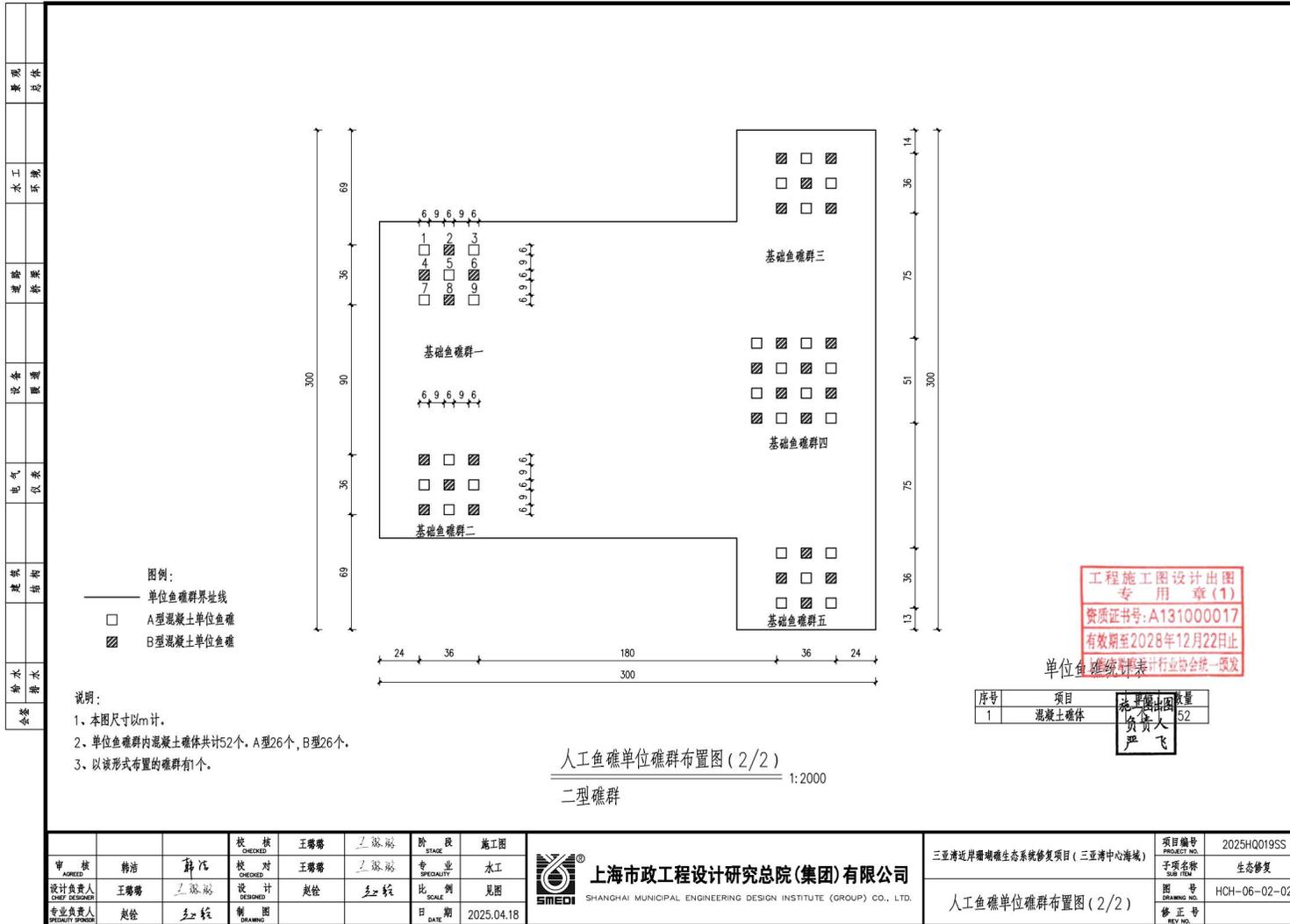


图 2.2.2-1b 人工鱼礁单位礁群布置图 (2/2)

审核	特洁	蒋化	校核	王璐璐	王璐璐	阶段	施工图	上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司 SHANGHAI MUNICIPAL ENGINEERING DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.	项目编号	2025HQ019SS
设计负责人	王璐璐	王璐璐	校对	王璐璐	王璐璐	专业	水工		子项名称	生态修复
专业负责人	赵铨	赵铨	设计	赵铨	赵铨	比例	见图		图号	HCH-06-02-02
日期	2025.04.18	2025.04.18	制图			日期	2025.04.18		修正号	

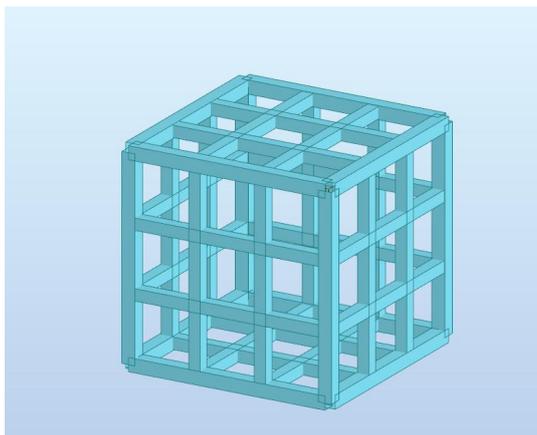


图 2.2.2-2 A 型鱼礁三维视图

B 型礁体：礁体由 C30 钢筋混凝土构成空箱，B 型箱体 6 个面各开 9 个直径 1.5m 圆孔。

表 2.2.2-2 B 型礁体单体参数表

序号	项目	单位	数量
1	尺寸（长×宽×高）	m	6.0×6.0×6.0
2	空方体积	m ³	216.0
3	混凝土方量	m ³	35.5

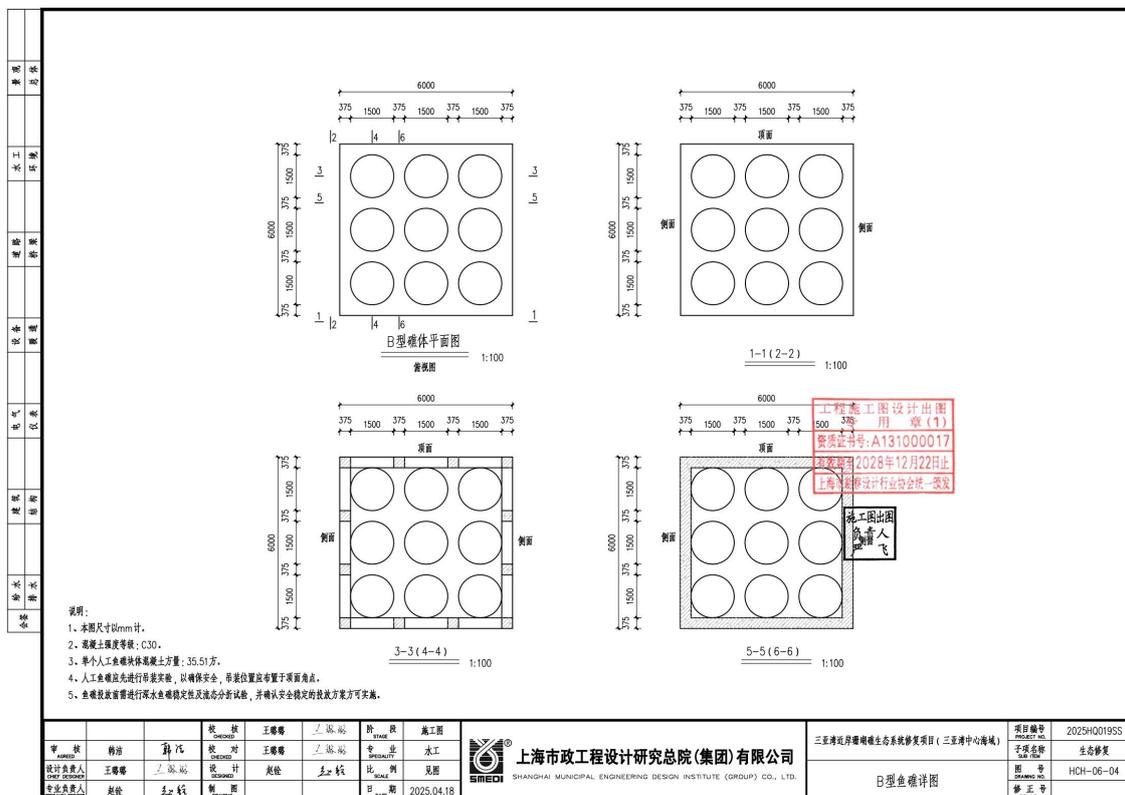


图 2.2.2-3 B 型鱼礁详图

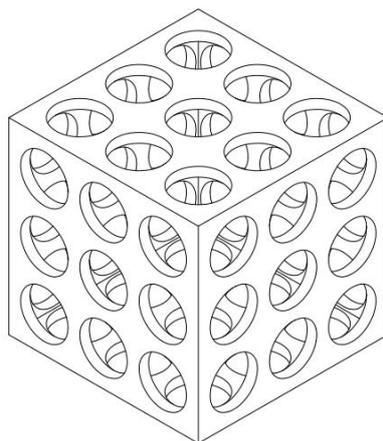


图 2.2.2-4 B 型礁体三维视图

2.2.2.2 浮标结构与尺度

在项目区海域周边设置 4 个直径 1.5m 的海上界址和警示浮标。目的是标示海洋牧场位置，并为途经或跨越海洋牧场海域的船舶的航行安全提供助航服务。

海洋牧场海上警示浮标主要构成内容，包括浮筒、锚链、太阳能供电系统和灯具等。

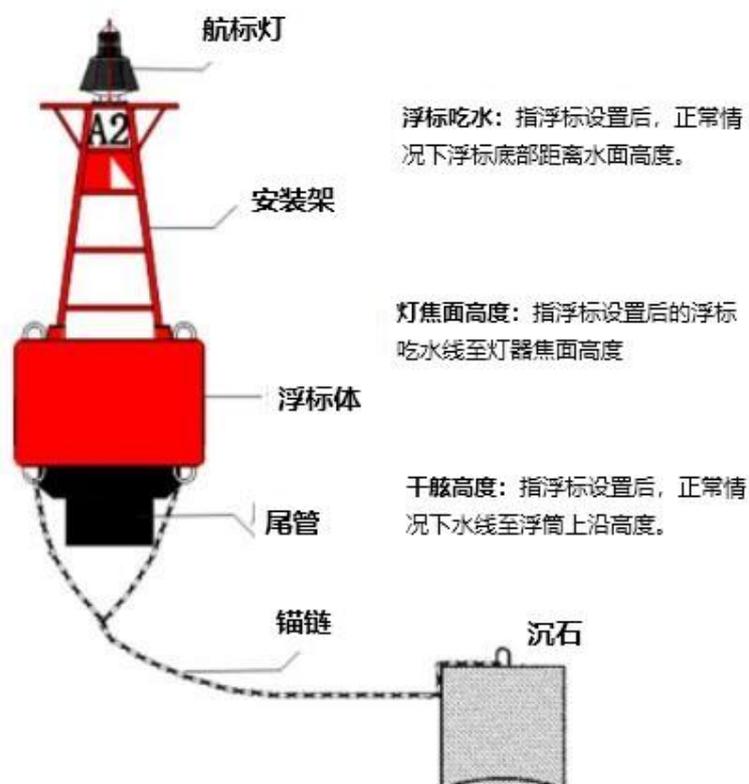


图 2.2.2-5 海上警示浮标效果图

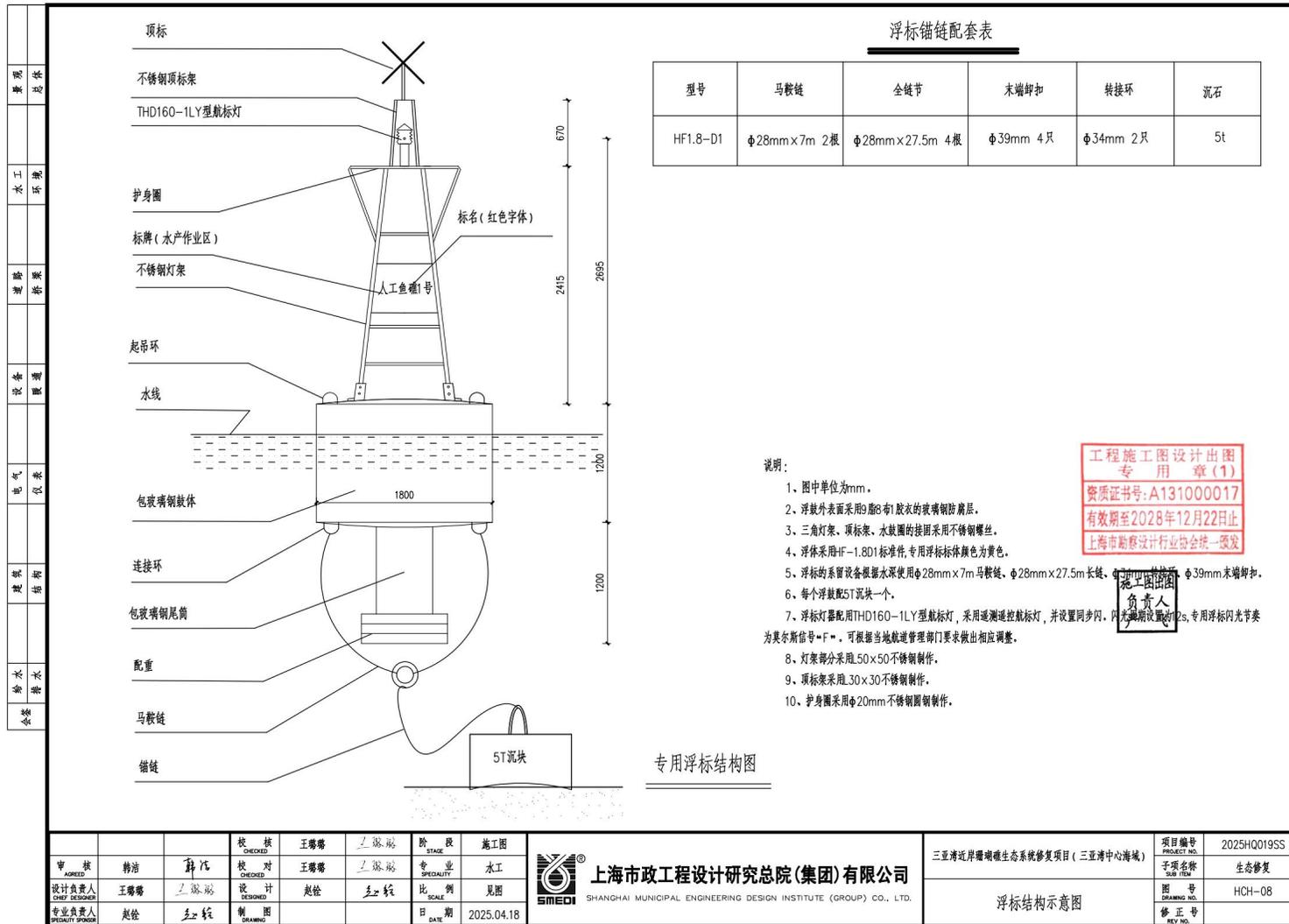


图 2.2.2-6 浮标结构示意图

2.2.2.3 增殖放流方案

针对三亚湾渔业资源特点，制定科学的增殖放流方案，适当扩大放流的种类、数量和区域，提高渔业资源量，改善资源种群结构。增殖放流可采用放流游泳生物、贝类底播等方式进行。增殖放流的亲体、苗种等水生生物应当是本地种，增殖放流应严格执行《水生生物增殖放流管理规定》等相关规定。

参照《海洋牧场人工渔业增殖放流技术规范》，增殖放流区域应为人工鱼礁海洋牧场生境区，因本项目进行栖息地修复投放人工鱼礁，故符合。规划方面符合性详见《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》，基本条件符合《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》及本底调查情况。

（1）增殖放流品种选择原则

根据三亚湾生态特点，参考《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》（农渔发〔2022〕1号），选择鲷科类、石斑鱼类等岩礁性鱼类等进行分阶段放流，该两种物种在该文件中的定位为种群修复及渔民增收。对于增殖放流种类的选择，要遵守如下原则：

① 处于食物链的低端，促进生物多样性的发展

根据食物链金字塔原理，越是食物链低端的物种，所拉长的层级越高。在本增殖放流的物种中，以底播增殖为主，鱼类次之。常见的贝类等每年会排放大量的受精卵为其他海洋生物的幼体、幼鱼等提供开口饵料，促使其他海洋生物的发展和生物多样性的提高，同时，它们也能自我发育，形成新的种群，提高本海域的海洋生物丰度。

本次修复区域为珊瑚礁生态系统，根据调查资料显示，修复区域存在着珊瑚天敌核果螺爆发的潜在危险，鲷科鱼类可作为增殖种，从食物链的生态角度能抑制核果螺的爆发增殖。

② 苗种来源稳定

增殖放流的物种属于农业农村部审定的物种，在海南有稳定的生产来源。饵料生物主要为三亚地方性的物种。

③ 苗种健康

投放的物种要符合农业农村部增殖放流物种的质量标准进行投放，要对物种进行检疫，投放健康的物种。

根据有关规定，用于放流的水生经济物种需为本地原种或子一代，禁止放流外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种。结合海南三亚国家级

珊瑚礁自然保护区资源现状、水域环境承载力、种苗供应市场情况，确定增殖放流水生生物品种。

本项目根据底播生物习性、苗种供应、开发潜力等原则，筛选出适合三亚湾海域底播增殖的主要经济种类。

④ 非外来物种

根据农业农村部规定，禁止投放外来物种。

表 2.2.2-3 海南省海洋牧场适宜增殖放流的参考物种

序号	重要海域	行政面积	面积 (km ²)	适宜放流物种
1	大洲岛海域	海南万宁	600	青石斑鱼、卵形鲳鲹、军曹鱼、紫红笛 鲷、红笛鲷、斑节对虾、日本对虾、长 毛对虾、墨吉对虾、绿海龟*、克氏海 马*、大珠母贝*
2	亚龙湾	海南三亚	700	
3	大东海海域	海南三亚	600	

注：1、带*的品种为珍稀濒危物种

2、表格引自《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030 年）》

(2) 增殖放流品种选择

根据上述标准以及周边海域及当地的实际情况，选择如下表物种进行放流。根据实际情况，本项目拟增殖放流苗种规格与数量如表 2.2.2-4 所示。

表 2.2.2-4 增殖放流苗种规格表

种类		要求	
石斑鱼 (成鱼)		放流规格	体重 ≥ 1kg/尾
		放流地点	栖息地修复工程范围
		放流方式	选择定点集中放流，在每个人工鱼礁区中部选择 1 个点
		放流总量	50000 尾
		放流时间	3-7 月
石斑鱼 (鱼苗)		放流规格	体长 ≥ 5cm
		放流地点	栖息地修复工程范围
		放流方式	选择定点集中放流，在每个人工鱼礁区中部选择 1 个点
		放流总量	700000 尾
		放流时间	3-7 月
紫红笛鲷		放流规格	体长 ≥ 5cm
		放流地点	栖息地修复工程范围
		放流方式	选择定点集中放流，在每个人工鱼礁区中部选择 1 个点
		放流总量	700000 尾

种类		要求	
		放流时间	11-12 月
		放流规格	体长 $\geq 3\text{cm}$
		放流地点	栖息地修复工程范围
		放流方式	选择定点集中放流，在每个人工鱼礁区中部选择 1 个点
		放流总量	700000 尾
		放流时间	11-12 月
		放流规格	体长 $\geq 2\text{cm}$
		放流地点	栖息地修复工程范围
		放流方式	选择定点集中放流，在每个人工鱼礁区中部选择 1 个点
		放流总量	30000 尾
		放流时间	3-5 月和 5-10 月

(3) 增殖放流时间和海区选择

放流时间和海区的选择也是决定放流效果的重要因素。在不同季节进行放流，对鱼苗放流后的成活率有很大的影响。在海南省最适宜进行增殖放流的时间是 3-7 月份及 11-12 月，此时间段种苗多、海区初级生产力高，因为产卵场的水温、盐度、溶解氧、饵料生物和敌害生物等环境条件对仔稚鱼的存活率有很大的影响。在此段时间放流，水域饵料生物丰富、敌害生物少，生态环境和其他理化因子都比较适宜放流种苗的栖息生长，不仅可以提高成活率，还有利于放流物种的回归。结合以往增殖放流工作经验、相关法律法规的要求，建议采购具有《水产苗种生产许可证》，信誉良好、技术水准高并具备相应生产能力的苗种养殖单位供苗。且主要加强对苗种供应单位的技术指导和监督检查，在放流苗种亲体选择、种质鉴定等方面严格把关，同时将指导做好对放流苗种进行病害检疫和药物残留检验，确保苗种健康、优质、无病害，无禁用药物残留，避免对放流水域生态造成不良影响。

根据不同增殖放流种类选择不同的运输工具、运输方式和运输时间。运输过程中，避免剧烈颠簸，阳光暴晒和雨淋。运输成活率达到 90% 以上。

① 投放时间和位置

根据增殖放流物种的生物学特性和增殖放流水域环境条件确定适宜的投放时间。在人工鱼礁区增殖放流。

② 气象条件

选择晴朗、多云或阴天进行增殖放流，其中海洋风力七级以下。

③ 投放方法

常规投放——人工将水生生物尽可能贴近水面（距离不超过 1m）顺风缓慢放入增殖放流水域。在船上投放时，船速 $<0.5\text{m/s}$ 。

潜水撒播——适用于贝类等底栖生物增殖放流。由潜水员将增殖放流生物均匀撒播到预定水域。

④ 投放记录

物种投放过程中，观测并记录投放水域的底质、水深、水温、盐度、流速、流向等水文参数及天气、风向和风力等气象参数。

增殖放流后，业主指定第三方资质单位定期监测增殖放流对象的生长、洄游分布及其环境因子状况。增殖放流完成后首年春季各监测 1 次进行增殖放流效果评价，监测报告报海洋行政主管部门备案。

（4）增殖放流的监管

增殖放流对象生物应以当地优势种为主，且符合国家与地方的增殖放流管理规定，增殖放流规程按 SC/T9401 的规定执行。在资源增殖型鱼礁附近放流岩礁性和洄游性到鱼礁产卵、索饵的经济种类，以恢复海域生产力。增殖放流量应根据鱼礁区物理化学环境、饵料生物环境和主要对象生物特征估算的生态容量来确定。

增殖放流的监管按照中华人民共和国农业农村部令第 20 号《水生生物增殖放流管理规定》执行，具体的投放站位、物种、数量和时间应与当地渔业部门协商确定。增殖放流专项资金应专款专用，并遵守有关管理规定。用于增殖放流的人工繁殖的水生生物物种，应当来自有资质的生产单位。其中，属于经济物种的，应当来自持有《水产苗种生产许可证》的苗种生产单位；属于珍稀、濒危物种的，应当来自持有《水生野生动物驯养繁殖许可证》的苗种生产单位。

渔业行政主管部门应当按照“公开、公平、公正”的原则，依法通过招标或者议标的方式采购用于放流的水生生物或者确定苗种生产单位。用于增殖放流的亲体、苗种等水生生物应当是本地种。苗种应当是本地种的原种或者子一代，确需放流其他苗种的，应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证。禁止使用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种进行增殖放流。用于增殖放流的水生生物应当依法经检验检疫合格，确保健康无病害、无禁用药物残留。渔业行政主管部门组织开展增殖放流活动，应当公开进行，邀请渔民、有关科研单位和社会团体等方面的代表参加，并接受社会监督。增殖放流的水生生物的种类、数量、规格等，应当向社会公示。

渔业行政主管部门应当在增殖放流水域采取划定禁渔区、确定禁渔期等保护措施，加强增殖资源保护，确保增殖放流效果。渔业行政主管部门应当组织开展有关增殖放流的科研攻关和技术指导，并采取标志放流、跟踪监测和社会调查等措施对增殖放流效果进行评价。

2.2.2.4 深水海洋牧场人工智能监测系统

深水海洋牧场人工智能监测系统包括水面智能无人船平台、水下鱼类核心探测设备、基于人工智能算法数据后处理平台等三个主要部分组成。整套系统实现对区域内的水中鱼类和其他水生物通过 AI 智能算法进行自动识别与自动统计，进行持续跟踪监测。获取如下相关数据与视频证据：数量和密度、种群结构、个体大小和生物量推算、行为与空间分布。

（1）水面智能无人船平台主要技术参数

水面智能无人船平台具有非常高的扩展性，适合搭载各类海洋环境探测、监测系统和取样设备。此外，无人船平台机动灵活，可以节省海上施工布放，极端天气的撤离与再布放费用。为了保证系统核心探测设备鱼探仪的正常工作，开发相应的供电与传输，信息采集、处理、存储与传输等支撑系统。目前可采用两种作业方式进行深水海洋牧场监测：走航式和固定式，具体方案如下图所示。

根据项目需求，水面智能无人船平台在船中部月池舱设置有鱼探仪固定装置，安装鱼探仪。此外，配套有锚泊系统、水面光伏、全景警戒雷达、4G/5G 基站、北斗定位与短报文系统，数据处理器、配电柜、接线箱、雷达反射器、驱鸟装置、系泊锚链及底锚等。水面智能无人船平台具有水面目标探测与识别、声光报警功能、能源存储与供给功能、信息存储与传输功能等。系统组成如下图所示。



图 2.2.2-7 水面智能无人船平台系统组成

表 2.2.2-5 水面智能无人船平台技术参数

项目	主要技术参数
主尺度	6.0m×3.1m×4.0m
浮体型深	1.0m
整体吃水	3.0m
排水量	-6.0t
浮体结构	铝合金材料或 HDPE 材料，耐海水腐蚀设浮力舱、电池舱、中心月池舱安装探鱼声呐外围设防撞护舷
上部结构	两台小型风力机、太阳能电池板、GPS、北斗，通信系统 4G/5G、多参数气象站、橙色锚灯

(2) 水下鱼类核心探测设备主要技术参数

水下鱼类核心探测设备基于水声学原理，可研究鱼类的数量、分布、大小、行为和生物量；分析沉水植物的空间分布、密度和冠盖高度；确定水底的形态和底质组成并测量水深。主要技术参数如下。

- 波束类型：分裂波束或单波束
- 换能器频率：38, 70, 120, 200, 420 和 1000kHz
- 信号类型：数字信号
- 通过 NMEA0183 协议实时显示水深和航速
- 换能器内置 pitch and roll 传感器
- 主机内置 500G 内存，可将数据存在主机内，无需连接电脑工作
- 回声检出限：-140dB

- 动态范围：大于 160dB
- 脉冲频率：0.01-30 次/秒可调
- 脉冲宽度：0.1-1.0 毫秒可调
- 探测距离：0-2000 米
- 旁瓣效应：-35dB
- 电缆长度：标配 7.5 米，（7.5-275 米可选）
- 功耗：30W
- 适配电源：11-14V 直流电或 90-264V 交流电
- 主机：49×39×19cm，9kg
- 换能器：200, 400, 1000kHz：直径 18cm，高 17cm，4kg
38, 70, 120kHz：直径 26cm，高 22cm，14-17kg

（3）基于人工智能算法数据后处理平台

本系统包含岸基服务器与显示器、云端数据存储与处理中心，软件包含针对水下鱼类核心探测设备、水下摄像头、水质监测传感器等采集到的光学、声呐图像等数据，开发具有图像增强、目标智能识别与数据处理人工智能算法等功能的软件系统。

主要功能如下：不同类型鱼类数量和密度、鱼类种群结构、鱼类个体大小和生物量推算、鱼类行为与空间分布

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人工鱼礁的运输。出运码头位于红塘湾莲花岛北侧，该码头可作为鱼礁成品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，距离栖息地修复区的运距为 38km。码头后方设施工营地、礁体预制场、礁体吊装区，项目海上出运码头及海上运输路线见图 2.3.1-1。

略

图 2.3.1-1 项目海上出运码头及海上运输路线图

（3）建设材料

预制构件所需的材料，其存放场地可布置在预制场，主要材料供应如钢筋、水泥、碎石、砂等可在当地就近采购，根据施工进度计划及材料使用计划分批陆运到预制现场；而工程现场施工所需的块石、片石、碎石、砂等材料，可根据施工进度计划及材料使用计划分批直接陆运到施工现场。施工材料均供应充足，能够满足本工程的需求。

（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 人工鱼礁施工工艺及方法

1、施工方法及施工要求

（1）施工方法：本工程人工鱼礁施工，主要是钢筋混凝土预制礁体浇筑、陆上运输和装船海运至指定海域抛投两个大部分。

（2）施工要求：

鱼礁块体制作应先确定配合比，浇筑混凝土前，应检查模板、支架钢筋和预埋件位置的正确性。应将模板内的木屑、水泥和钢筋埋件上的灰浆、油污清除干净。所涉的钢筋焊接应采用双面搭接满焊，焊接质量应符合钢筋混凝土施工规范中对钢筋焊接的相关要求。

混凝土浇筑完毕后应及时加以覆盖，结硬后保湿养护 10 天以上。

鱼礁单体采用吊车安装，在装运安装过程必须达到设计强度才能吊运安装。

预制件的存放场地应符合靠近制作点或安装现场地势平坦，有足够存放面积和承载力，如因场地不足，礁体需要进行多层堆放，必须将堆放方式报经设计院同意方可实施。

鱼礁单体所有吊装过程必须采用四点起吊，投放时必须配备 GPS 定位仪，投放误差不得大于 5 米，且必须下放到海底才能脱钩。

2、施工工艺流程

本项目施工工艺流程主要由鱼礁的预制及养护、陆上运输至莺歌海渔港、礁体吊装装船、海上运输及礁体投放等几个部分组成。项目施工工艺流程图见图 2.3.2-1。

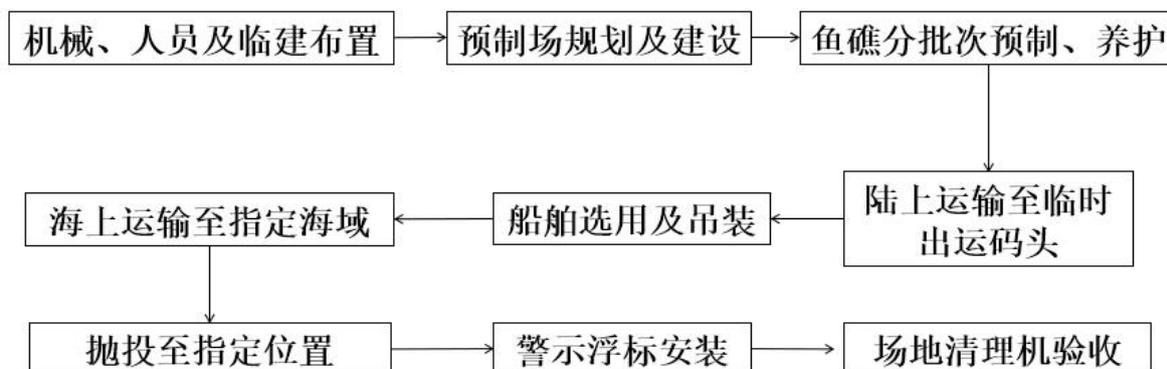


图 2.3.2-1 人工鱼礁施工工艺流程

3、预制礁体的制作工艺

(1) 人工鱼礁礁体制作及运输施工顺序如下：



图 2.3.2-2 人工鱼礁礁体制作及运输施工顺序

(2) 礁体预制方法

从附近供应商处购买商品混凝土，将其运送至项目鱼礁预制场，然后严格按照设计标准进行人工礁体的成型预制。鱼礁预制流程见图 2.3.2-3。

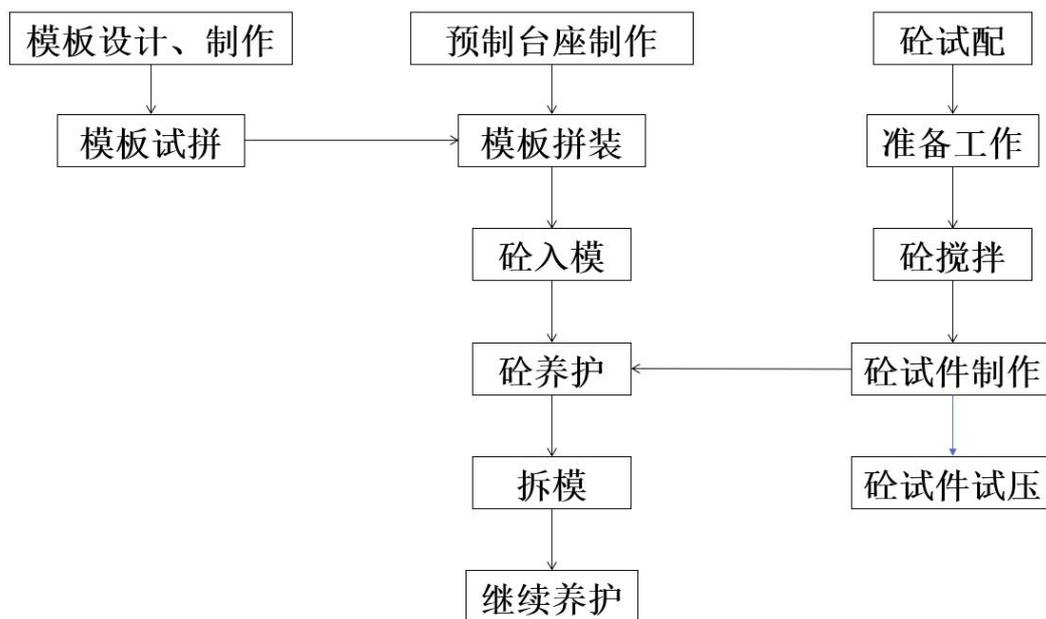


图 2.3.2-3 项目人工鱼礁预制流程图

人工鱼礁预制包括模板工程及砼工程，具体如下：

①模板工程内容如下：

a 模板结构：鱼礁预制件的成型方式采用立式，模板采用全钢模，沿顶面纵向对称轴将侧模板分成两块，拼模时用螺栓紧固，从上口下灰浇注，片与片之间的拼缝处设橡胶条防止漏浆。鱼礁模板底部作三个支撑轮，便于模板移动。

b 模板加工制作：模板在专业模板加工厂加工制作，模板及支架的材料应符合相应的国家现行规范标准的规定。加工好的模板须具有足够的强度、刚度和稳定性，加工验收严格按水运工程质量检验标准进行，验收合格的模板需清除浮锈，喷涂防锈漆，并编号。

c 模板清理：在浇筑混凝土前，模板表面应彻底清理干净，并检查橡胶条有无脱落，如有脱落及时更换。清理合格后涂刷脱模剂，脱模剂应涂刷均匀，不得污染混凝土。

d 模板支立：模板必须按施工图进行放样，正确安装，精准就位，重要部位应多设控制点，以利检查校正，模板应支立牢固、拼装时拼缝平顺、严密、不得漏浆。模板安装完成后进行自检，自检合格报监理工程师进行验收。

e 拆模：构件浇筑完成，根据气温情况合理确定模板的拆除时间，具体根据构件强度确定。拆模用千斤顶缓慢进行，当模板脱离混凝土 5cm 左右时，施工人员从模板两侧将模板抬起，然后将模板运到下一底胎上。拆下的模板及配件，应将表面的灰浆、污

垢清除干净，并及时进行维修整理，增加模板的周转次数，提高浇筑质量。模板安装完成后进行自检，自检合格报监理工程师进行验收，合格后进行下一道工序施工。

② 砼工程包括：

a 运输：混凝土水平运输采用 13m³ 砼罐车进行，混凝土运输过程中应避免发生离析、漏浆、泌水和塌落度损失较大等现象。为满足预制需要，计划配备 4 辆砼罐车运输砼，砼罐车直接卸料入模浇筑。

b 振捣：采用插入式振捣密实，不碰撞模板，采用快插慢拔、上下抽动的方式，保证上下混凝土结合成整体。振捣程度以混凝土表面呈现水泥浆和不再沉落为度。

c 二次振捣：混凝土一次浇筑到顶，成型后，在混凝土初凝前，进行二次振捣和二次抹面，以防砼松顶。

d 养护：鱼礁预制件成品在模板拆除后及时进行土工布包裹洒水养护，并连续保持其表面潮湿养护 14 天

4、鱼礁的运输及装卸

（1）陆上运输及装卸

本项目不在沿岸新建靠泊码头，施工期间利用莲花岛码头进行人工鱼礁的运输。出运码头位于红塘湾莲花岛北侧，业主单位为三亚新机场投资建设有限公司。该码头可作为鱼礁成品出运码头以及海上施工人员上、下船位置，出运码头距离本项目海域约 10km，码头后方设礁体预制区和吊装区，临时出运码头位置见图 2.3.1-1。

混凝土构件预制场地位于出运码头后方地块，根据与红塘湾莲花岛海上出运码头之间的距离、路况、场地、混凝土构件尺寸等实际情况，配备 6 辆自卸平板车和 3 台起重轮胎吊，用于将预制礁体从预制场地到码头港口的装载、运输、吊运。所有机械均配备专人驾驶操作，确保工程进度和设备和安全运行。

预制件吊运存放时，强度必须达到要求，养护要达到规范要求。装运预制礁体前，必须对预制礁体进行检查、验收，不符合技术要求时应予修整和清理。鱼礁单体所有吊装过程必须采用四点吊，不得对构件造成损坏。用于吊运礁体的吊绳其强度和长度应提前确定。

（2）码头装卸及海上运输

码头装卸有专人负责，运输车将混凝土礁体运至码头，车辆停稳后用起重机将混凝

土礁体吊放在船舶适当位置上，放置稳定，并预留出装载机械运行通道，保证装船工序的顺利进行。项目海上运输路线如图 2.3.1-1 所示，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，距离栖息地修复区的运距为 38km。礁体运输及投放所用的驳船及辅助船只均必须性能良好、证书齐全，特别是必须有适航礁体投放水域的等级证书。用驳船装运预制件礁体时，礁体与礁体之间，礁体与船甲板之间不得直接接触，如有必要，应进行稳性计算及采取加固措施。参与海上运输的船员需具有船运资格，严格执行海上航行的有关规程。

5、人工鱼礁投放

人工鱼礁投放流程：船舶定位抛锚→安设解钩装置→礁体定位→安放鱼礁→检查调整船舶定位抛锚。

①礁体投放选择在休渔期间，海况较好的时间。这样既可促使礁区的渔业资源更快恢复，又便于海上施工。投放前建设单位应制定投放方案，并报海洋与渔业行政主管部门和海事部门，由海事部门核准发布航行公告。投放方案应包括投放海域、投放时间、运输路线和作业船舶等内容。

②人工鱼礁礁体的建造与投放施工要选择有相应资质，能提供施工、吊装、大规模运输和海上定位投放一条龙服务的单位。海上吊装投放施工由船上起重机操作人员与船员共同完成。船员负责海上寻找目标海域和事先测量人员做好的海面标记定点锚定，起重机操作人员负责实施吊装投放。海上投放定位要准确，施工单位在吊机上安装 GPS 卫星定位仪，每一个鱼礁单位的投放都要先编号，然后按预定方案定好位后方可投放，投放以后在图纸上标好位置，以便日后查找，一般精度误差在 1~3m 之间。

③为了保证投放效果，在海面上设置相应的边长正方形标志带，一座礁投完后，标志带才能拆除，以避免单位鱼礁无法一次投放完毕而无法准确定位等问题。

④投放作业船只需要前后双锚固定，考虑潮流的影响，海面标志物固定后也还是会随潮流变化而移动，因此，考虑适当缩小标志带边长，尽量安排在小潮汐流前后投放。

⑤投放采用礁体触底后再脱钩的方式，礁体稳定，礁体采用单层布置，避免外力按压导致礁体受损，保证礁体的安全稳定；

⑥施工过程确保在流速小，绳索倾斜偏移少、小潮时潮位变化也不大的前提下，可通过在钢索上用油漆做标记的方式，辅助判断水下礁体的沉降效果，减少不均匀的问题。

⑦用声学影像设备实时扫描监测礁体投放过程。

⑧礁体投放完毕后，应清除所有的临时设施，包括浮标灯，整理礁体投放结果（投放位置及编号），并绘制礁型示意图、礁体平面布局示意图，并明确标注礁区四周界标。

2.3.2.2 警示浮标施工工艺及方法

(1) 施工顺序：

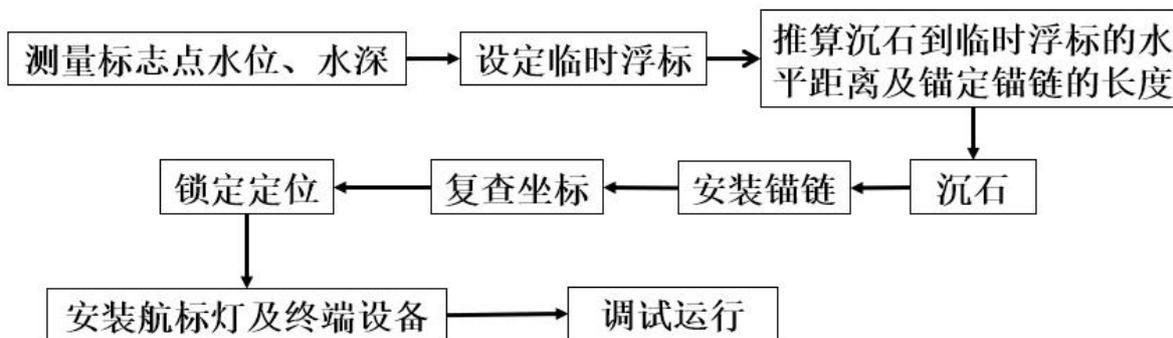


图 2.3.2-4 警示浮标施工顺序

(2) 施工方案

按照总平面布置图安装顺序，在事前设置好经纬度坐标对安装水域内进行浮标点试放定位，用测量安装船上的 GPS 导航仪经纬度和航行控制仪的控制引导，航行至坐标点附近约 2m 处进行小锚初始定位，同时测量此点处水深推算水位高程来复核此处海域标高。当符合设计要求时，开始进行正式定点抛石，即进行测量安装船四向四锚定位锁定（四向抛锚为主、副船协助进行，平潮时水流流速及船舶流动位移性较小，产生误差可调整中消除），再次复核浮标点经纬度并调整船位到位后，用测量安装船吊放临时浮标（用安装船起吊设备将临时泡沫标、锚链、小型沉石安装点位）。

将运输船准备好的浮标及沉石一起拖运至临时浮标点施工处，用测量安装船吊下浮标并用副船锁定在临时浮标点位，拆除临时浮标，同时测量安装船（按照此处水深及海床标高和最高潮水位推算的沉石距离及锚链长度）进行沉石定位锚定浮标，GPS 导航仪发射接收器安放在浮标中心位置，进行复查浮标的经纬度和设计经纬度的误差，如有误差就进一步调整锚链长度，直至浮标坐标符合设计要求。

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	机械设备名称	单位	数量	规格型号	用途
1	施工运输船	艘	1	全长 85.90 米，型宽 16 米，满载吃水 6.07 米，载重量 2000t，船舶设有浮式起重机 1 座，起重机安全工作符合 156.8kN	礁体运输及礁体投放等
2	驳船	艘	1	600t	非机动船，靠泊，接驳
3	机动艇	艘	1	轻型船艇，型号：M295,限载 4 人，载重 400kg	应急、救援等偶然使用
4	拖船	艘	1	441kw	动力船，拖动驳船等
5	辅助船	艘	1	动力 2000KW,DSV,潜水工作船	搭运潜水人员、设备及其它
6	大型平板车	辆	6	50t	礁体陆上运输
4	轮胎吊	辆	3	30t	礁体吊装
5	装载车	辆	5	20t	原材料运输
6	切断机	台	3	GQ40	礁体预制
7	弯曲机	台	2	GW-40	礁体预制
8	电焊机	台	1	BXG	礁体预制
9	砼搅拌机	台	2	JZC-350	礁体预制
10	砂浆机	台	2	VJW-200	礁体预制
11	振动棒	台	5	HZ-50	礁体预制
12	混凝土罐车	辆	4	13m3	商品混凝土运输

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，其中栖息地修复工程施工期为 11 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	珊瑚培育工程																	
5	栖息地修复工程																	
6	竣工验收																	

2.4 项目用海需求

用海面积：栖息地修复工程是在三亚湾深水区海洋牧场规划的 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，确定栖息地修复工程用海面积为 400.0000 公顷，其中人工鱼礁区 33.7562 公顷，增殖放流区 366.2438 公顷。项目宗海位置图和宗海界址图见图 2.5-1 和图 2.5-2。

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“18 渔业用海”中的“1802 增养殖用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“渔业用海”，二级类为“开放式养殖用海”和“人工鱼礁用海”。

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。

用海方式：构筑物用海（一级方式）中的透水构筑物用海（二级方式）、开放式用海（一级方式）中的开放式养殖用海（二级方式）。

申请用海期限：本项目为海洋生态修复项目，结合《中华人民共和国海域使用管理法》相关规定以及项目用海实际需求和用海性质，本项目申请用海期限 1 年。

项目申请占用岸线情况：本项目用海位于三亚湾中心海域内，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。

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）宗海位置图

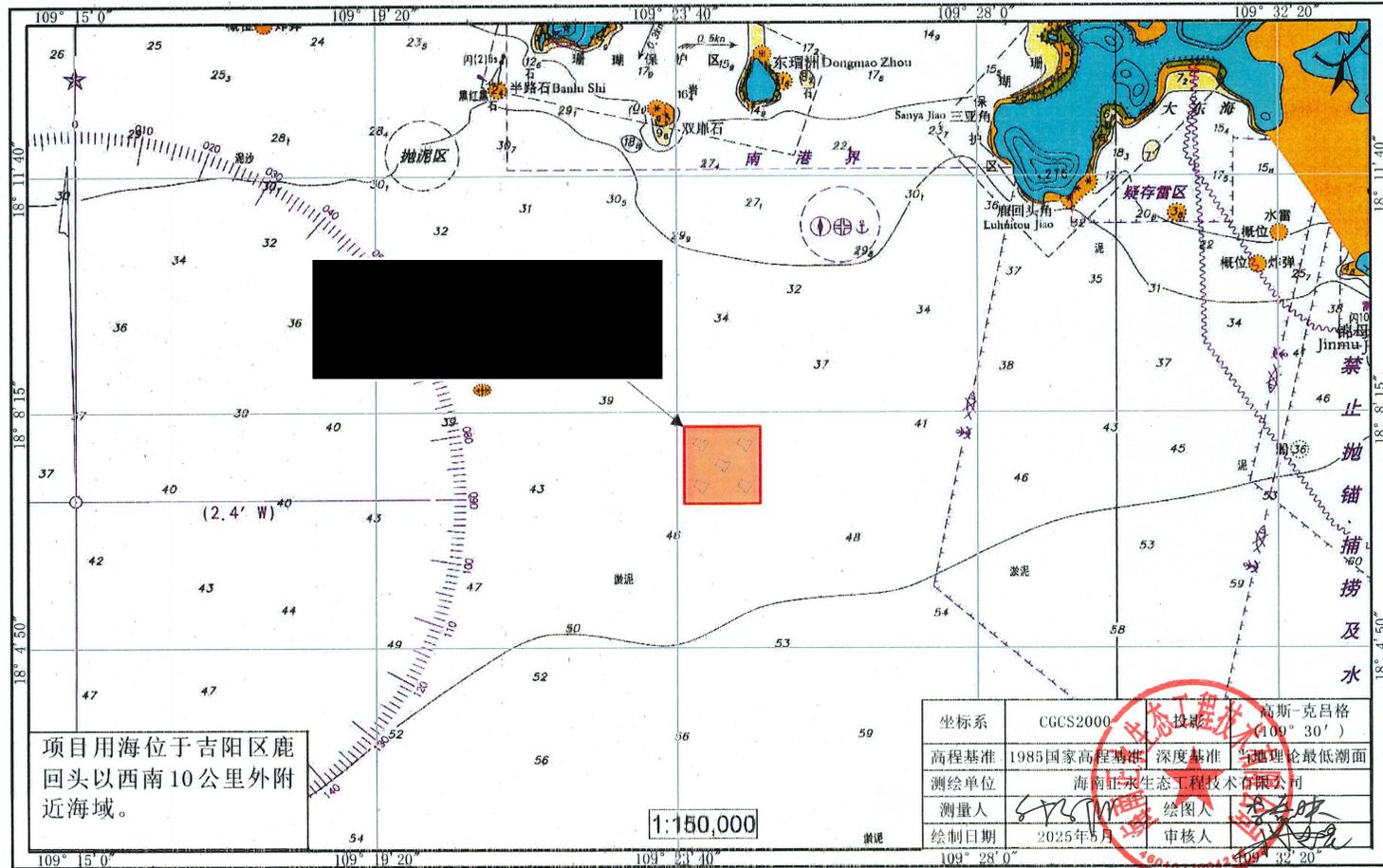


图 2.5-1 项目宗海位置图

三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）宗海界址图

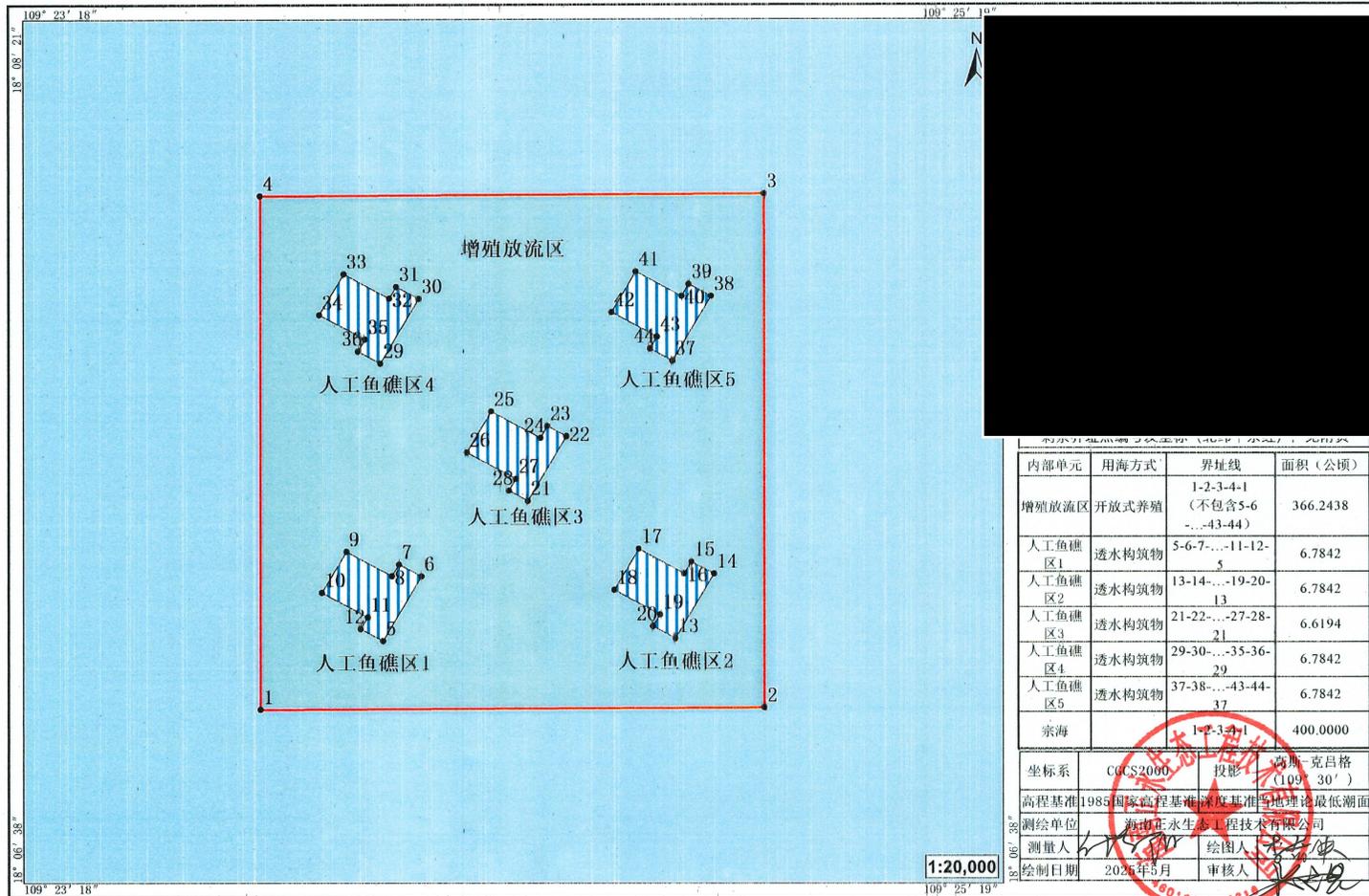


图 2.5-2 项目栖息地修复工程宗海界址图

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，农田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。

其中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、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。据2021年发布的世界珊瑚礁现状报告，仅仅2009-2018年10年间世界珊瑚礁丧失了14%，相当于损失了11700平方公里的珊瑚礁。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都处于“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。

3、本项目是建设国家生态文明试验区的需要

海南省的珊瑚礁面积占全国总面积 98% 以上，珊瑚礁的保护修复对全国和我省海洋生态环境质量改善、建设生态环境一流的自贸港有重要意义。

2019 年 5 月 12 日中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《国家生态文明试验区（海南）实施方案》，明确提出要加强海洋环境资源保护，加强海洋生态系统和海洋生物多样性保护，开展海洋生物多样性调查与观测，恢复修复红树林、海草床、珊瑚礁等典型生态系统，加大重要海洋生物资源及其栖息地保护力度。

为了贯彻习近平生态文明思想，按照习近平总书记在海南考察时提出要“要保护好珊瑚礁”的重要指示精神，2023 年 12 月海南省自然资源和规划厅印发《海南省珊瑚礁生态保护修复三年行动方案（2023-2025 年）》，提出到 2025 年，完成珊瑚礁修复面积 100 公顷以上。

因此，本项目是贯彻习近平总书记关于海南生态文明建设和生态环境保护重要讲话和重要指示批示精神，建设国家生态文明试验区的需要。

4、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》要求在海南三亚国家级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。

5、本项目是保护、恢复三亚湾渔业资源，发展海洋生态休闲旅游，落实国家及海南省关于大力发展海洋牧场政策的需要

2018年4月11日出台的《中共中央 国务院关于支持海南全面深化改革开放的指导意见》（中发〔2018〕12号）提出，“支持建设现代化海洋牧场”。高起点和高标准地规划和建设海南省海洋牧场，是海南省贯彻落实国家海洋牧场发展战略、养护海洋渔业资源和保护海洋生态环境、促进海洋渔业持续健康发展的迫切需要。《海南省人民政府关于促进现代渔业发展的意见》（琼府〔2016〕116号）提出，“制定并实施海洋牧场和人工鱼礁建设规划，严格按照规划开展近海海洋牧场、人工鱼礁建设和渔业增殖放流，促进水生生物资源和海洋生态环境修复”。编制海南省现代化海洋牧场发展规划，科学地指导推进海南省现代化海洋牧场建设，是贯彻落实海南省委、省政府关于发展海洋牧场要求、养护海洋渔业资源和保护海洋生态环境、促进海洋渔业持续健康发展的迫切需要。

通过增殖放流，可有效增加天然水生生物资源量、提高水域生产力，改善生物群落结构、修复水域生态环境，是国内外在水生生物资源养护方面普遍采用的做法。渔业资源增殖放流是在对野生鱼、虾、蟹、贝类等进行人工繁殖、养殖或捕捞天然苗种在人工条件下培育后，释放到渔业资源出现衰退的天然水域中，使其自然种群得以恢复。多年的实践证明，渔业资源增殖放流是目前恢复水生生物资源量的重要和有效手段，应充分发挥其应有的作用。

人工鱼礁的引入有助于恢复渔业资源，投放在海域中的人工鱼礁（上升流礁）在迎面流附近产生涌升流，这种涌升流将海洋底层低温而营养丰富的海水带上来，使海

洋浮游动植物在人工鱼礁礁体及区域内增殖，从而为鱼类等水生生物提供大量饵料丰富的饵料、舒适安全的生长环境自然使人工鱼礁的集鱼、增殖效果不一般。且有助于改善水质，减少海洋赤潮等海洋灾害发生的频率，恢复海域生态环境，稳定海域生态系统。人工鱼礁还可带动休闲旅游业的发展，生态旅游业是三亚市重点产业，生态环境、生态资源及生态文化丰富的区域往往成为旅游胜地，人工鱼礁可使渔业有机地融入旅游业，建于不同港湾的人工鱼礁区，海岸景色和生物资源各异，可成为海上不同的观光旅游区与休闲垂钓区，为海洋生态旅游增添新亮点。

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707.27hm²，珊瑚礁修复面积1.6hm²，珊瑚礁生境保育面积5.67hm²，栖息地修复面积700hm²，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304.5hm²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，即为本项目建设内容，建设内容包括珊瑚培育工程、珊瑚

礁修复工程和栖息地修复工程。因此，本项目建设用海是必要的。

项目栖息地修复工程结合三亚湾深水区海洋牧场区域规划用海范围，用海范围呈矩形布置，总用海面积约为 400 公顷。项目根据海区的特点以及建设目标要求，设置在项目区域均匀分布，建设以诱集游泳类生物为目的休闲生态型人工鱼礁。人工鱼礁区平均水深条件在-40m 左右，根据“礁高水深比为 0.25、礁体宽度与礁体高度相应”的原则，本项目人工鱼礁单体尺寸为 6m×6m×6m。根据“1 个单位鱼礁以不少于 15 个单体鱼礁组成，单位鱼礁内单体鱼礁之间的距离宜为 1.5~2.5 倍礁宽”，确定本项目位于四个角的四个鱼礁群，每个鱼礁群外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 60m，沿平行水流方向间距 150m，每个单位鱼礁内安放 80 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。位于中间的 1 个鱼礁群，外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 75m，沿平行水流方向间距 180m，单位鱼礁内安放 56 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。满足规范“鱼礁群之间的距离应小于 1000m，宜为 50~100 倍礁宽”的要求。根据鱼礁相关技术要求，人工鱼礁区需要用海 400 公顷，能够满足鱼礁单体 376 个的投放。因此，项目栖息地修复工程人工鱼礁用海是必要的。

同时根据项目的需求以及三亚湾海洋牧场用海规划要求，为使投放的人工鱼礁能够产生最大的生态效益，建造“海底森林”，创造稳定的近海局部水域生态系统，营造一定规模的适宜各种海洋动植物的生长和繁殖提供良好的栖息环境，促进区域渔业资源自然增殖，本项目将栖息地修复工程人工鱼礁区外的海域布置为增殖放流区，其需要用海 366.2438 公顷。因此，项目栖息地修复工程增殖放流区用海是必要的。

为充分体现三亚湾近岸珊瑚礁生态系统修复项目（三亚湾中心海域）栖息地修复工程的建设需求，项目涉及栖息地修复工程用海（用海方式为透水构筑物和开放式养殖）是十分必要的。

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

本项目论证范围内海洋资源主要为滨海旅游资源、港口资源、渔业资源、岸线资源、生态资源等

3.1.1 滨海旅游资源

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，属于海南三亚国家级珊瑚礁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，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。三亚鱼汛渔场是海南岛周围海域三大著名鱼汛渔场之一，渔场面积 1.4 万 km²，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、鳓鱼、远东拟沙丁鱼、蓝圆鲈、海鳗、石斑鱼、金线鱼、鲐鱼、鲮鱼、金枪鱼、马面鲀等。据相关统计资料估计，三亚鱼汛渔场年捕捞量在 4.88 万吨左右，是海洋捕捞的黄金海域。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 83.819km，岸线资源包括人工岸线和自然岸线。人工岸线主要有围海、构筑物和填海造地岸线；自然岸线包括基岩岸线、砂质岸线和泥质岸线。经估算，论证范围内人工岸线长度约 35.123km，其中，围海岸线长度约 2.741km、构筑物岸线长度约 25.788km，填海造地岸线长度约 6.594km，人工岸线主要为构筑物岸线；自然岸线长度约为 48.698km，其中，砂质岸线长度约 35.459m、基岩岸线长度约 13.119km，泥质岸线长度约 0.12km。详见图 3.1.4-1、图 3.1.4-2。

略

图 3.1.4-1 岸线类型（一级类）分布图

略

图 3.1.4-2 岸线类型（二级类）分布图

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。西瑁洲岛为有居民海岛，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。

略

图 3.1.5-1 项目论证范围内的海岛分布图

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。

（1）红树林

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落，它是海湾、河口地区生态系统的重要组成部分，对维护海湾、河口地区的生态平衡起着不可替代的重要作用。长期以来，由于对红树林的重要作用认识不足，忽视了对沿海滩涂红树林的建设和保护，致使红树林人为破坏严重，在滩涂红树林区出现随意采伐、围垦、养殖和无序开发等现象，红树林大面积的减少，严重破坏了沿海滩涂地区的生态环境，降低其净化环境污染、防浪护堤护岸、保护生物多样性和抗御各种自然灾害的能力。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，项目评价范围内的红树林主要分布在三亚河-临春河，详见图 3.1.6-1。



图 3.1.6-1 潮见桥及三亚桥以上的沿岸红树林

三亚市红树林是我国分布最南（南海岛礁除外）的红树林，具有成林历史较长，植株高大，嗜热型种类多，典型性强等特点。过去，在三亚市沿海淤泥较深的河流海口和海湾滩涂广泛分布，物种种类相对较多，植株生长旺盛。但是，近年来，由于遭受人为破坏及生态系统的退化，红树林面积大为萎缩，部分红树物种呈现濒危性和珍稀性的特征，生态保护与修复刻不容缓。

三亚市红树林资源各地类总面积 384.66hm²。其中：现有红树林林地面积 104.93hm²，占总面积的 27.28%；红树林未成林造林地面积 30.98hm²，占 8.05%；红树林未成林封育地面积 5.01hm²，占 1.3%；红树林苗圃地面积 3.79hm²，占 0.99%；红树林宜林地面积 239.95hm²，占 62.38%（表 3.1.6-1）。

表 3.1.6-1 三亚市红树林资源按地类面积统计表单位：hm²

分区域	红树林有林地	红树林苗圃地	红树林未成林封预地	红树林未成林造林地	红树林宜林地	合计
三亚河-临春河	35.49			4.87	4.17	44.53
榆林河	6.65				38.59	45.24
青梅港	48.60		5.0	1.14	1.43	56.18
铁炉港	10.95	3.79		24.97	190.86	230.57
其他	3.24				4.9	8.14
总计	104.93	3.79	5.01	30.98	239.95	384.66

（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，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，保护区范围见图 5.3.6-2。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 2376.59hm²，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 1865hm²，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 2852.51hm²。

略

图 3.1.6-2 三亚珊瑚礁国家级自然保护区功能区划图

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℃。各月平均气温分布见表 3.2.1-1。

表 3.2.1-1 各月平均气温（单位：℃）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
月平均	18.3	19.4	21.2	23.5	25.6	26.3	25.7	25.6	25.1	23.5	22	19.3	23.0

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。各月降水量、降水日数、平均大雨和暴雨日数分布见表 3.2.1-2。

表 3.2.1-2 各月降水量、降水日数、平均大雨和暴雨日数分布

月份	降水量 (mm)	降水日数 (R≥0.1mm) (天)	平均大雨 (≥25mm) 日数	平均暴雨 (≥50mm) 日数	最长连续降水日数	一日最大降水量(mm)
1	10.3	6.3	0	0	5	18.1
2	8.8	5.9	0	0	4	21
3	22	6.5	0.09	0.09	4	51.2
4	75.5	6.4	1.18	0.36	6	121.1
5	94.6	10.1	1.55	0.27	9	80.2
6	186.1	12.5	2	1	10	195
7	345.6	16.3	4.82	1.91	14	213.7
8	207.5	15.1	2.09	0.73	11	224
9	317	18.5	4.45	1.91	15	119
10	314	14.2	3.82	1.91	13	203.8
11	84.5	9.9	1	0.36	10	167.4
12	21	5.9	0.18	0.09	6	58.8
全年	1686.9	127.6	21.18	8.63	15	224

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，逐月平均相对湿度见表 3.2.1-3。

表 3.2.1-3 各月平均相对湿度 (%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
月平均	86	90	92	92	91	91	91	91	91	87	87	84	89

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≥20m/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。风向玫瑰图见图 3.2.1-1，各向平均风速、最大风速及频率见表 3.2.1-4，逐月平均风速见表 3.2.1-5。

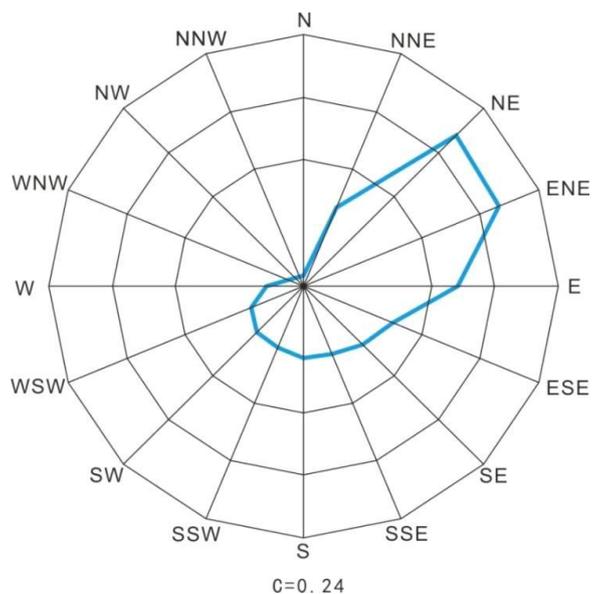


图 3.2.1-1 各向风频率玫瑰图

表 3.2.1-4 各向平均风速、最大风速及频率表

方位	最大风速 (m/s)	平均风速 (m/s)	频率 (%)
C	0.2	0	0.24
N	16	3.8	1.13
NNE	18.2	6.5	6.3
NE	34	7.4	16.73
ENE	32.4	6.4	16.7
E	27.8	5.5	12.17
ESE	28.3	4.4	7.65
SE	28.1	3.8	6.63
SSE	24.6	3.5	5.74
S	21.7	3.1	5.69
SSW	20.8	2.8	5.42
SW	16.4	3.2	5.61
WSW	21.1	4.6	4.56
W	19.3	5.5	3.05
WNW	17.7	4.2	1.11
NW	10.7	2.9	0.64

表 3.2.1-5 各月平均风速

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
风速 (m/s)	6.8	5.5	5.2	4.7	3.7	3.8	3.9	4.2	4.6	6.1	7.1	7.1	5.2

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。

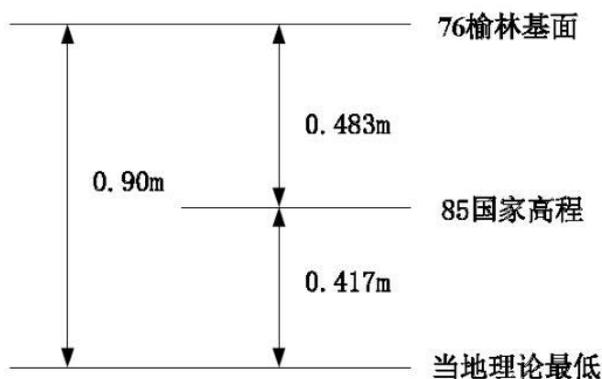


图 3.2.2-1 基准面及转换关系

(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，一部分为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

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，表示潮流运动的往复流越明显，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：

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1}$$

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：

$$\vec{L}_{\max} = 1423\vec{W}_{M2} + 137.5\vec{W}_{S2} + 4389\vec{W}_{K1} + 429.1\vec{W}_{O1}$$

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

注：表中方向只为其一，±180° 为另一方向

表 3.2.2-8 水质点最大可能运移距离表

单位：距离：km；方向：°

略

注：表中方向只为其一，±180° 为另一方向

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} 表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点(层)的流速， θ'_{ij} 表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点(层)的流速； ϕ'_{ij} 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} ；
- 2) 设南北向为 y 轴，东西向为 x 轴；对各测点输沙率 q'_{ij} 进行分解，得 q'_{ijx} 、 q'_{ijy} ；
- 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

根据《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），项目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。项目主要对栖息地修复工程人工鱼礁区进行勘察，勘察范围总面积约 400hm²。栖息地修复工程人工鱼礁区位于三亚市东岛南侧海域，距离东岛垂直距离约 8.80km，距海岸线垂直距离约 9.00km。项目区海底标高 -44.41 ~ -39.82m，地势平缓，地貌类型为海洋陆架沉积地貌。

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 地层岩性及岩土特征

根据本次勘察的野外钻探、原位测试及室内土工试验资料结果，本场地在勘探深度范围内所分布的地层自上而下分 2 个层组。自上而下依次为：①淤泥质粉质粘土（ Q_4^m ）；②粘土（ Q_4^m ）。各地层的埋藏分布具体情况详见《工程地质剖面图》和《钻孔柱状图》，本次勘察所揭露的各地层分布及主要特征如下。

①淤泥质粉质粘土：灰黑，以软塑状为主，表层部分呈流塑状，局部混有较多砂粒及贝壳碎屑。取芯率大于 90%。该层主要分布于项目区的表层，揭露层厚 1.20m~3.60m；

②粘土：棕黄色，灰色，可塑状，切面光滑，局部夹少量砂粒，干强度中等，韧性中等。取芯率大于 90%。该层层面埋深 1.20m~3.60m，揭露层厚 2.00m~8.80m；

根据钻探资料，本工程区特殊性岩土主要为①淤泥质粉质粘土（ Q^m ）。①淤泥质粉质粘土在全场均有分布，主要分布于场地的表层，厚度 1.20~3.60m，平均厚度 2.21m，其下为可塑状粘土层。该地层为海相沉积而成，呈流塑~软塑状，局部夹少量砂粒及贝壳碎屑，土质不均匀，欠固结，承载力低，压缩性高。

3.2.3.3 岩土体的主要物理力学参数建议值

根据室内岩土试验结果、钻探、现场原位测试等结果，确定场地各地基岩土层的承载力特征值（ f_{ak} ），综合建议值列于下表：

表 3.2.3-1 岩土层主要物理力学性质指标建议值（承载力和压缩模量）

层号及土层名称	土工试验		标贯击数（修正）			综合建议值	
	f_{ak} (kPa)	E_{s1-2} (MPa)	N' (击)	f_{ak} (kPa)	E_{s1-2} (MPa)	F_{ak} (fa) (kPa)	E_{s1-2} (E0) (MPa)
①淤泥质粉质粘土	60	3	——	——	——	60	3.0
②粘土	220	9.6	6.9	150	6.7	150	6.7

3.2.3.4 岩土工程评价

根据勘察成果，并结合拟建场地具体情况和拟建物工程特点等综合分析，对拟建工程场地地基土的工程特性评价如下：

①淤泥质粉质粘土（ Q_4^m ）：海相沉积，流塑～软塑状，局部夹少量砂粒及贝壳碎屑，且砂粒分布不均匀，土质不均匀， $f_{ak}=60kPa$ ， $E_{s1-2}=3.0MPa$ ，承载力低，压缩性高，该层工程性能差。

②粘土（ Q_4^m ）：可塑状，局部夹少量砂粒，干强度中等，韧性中等，中等压缩性， $f_{ak}=150kPa$ ， $E_{s1-2}=6.7MPa$ ，该层工程性能较好。

1、2 层土在栖息地修复范围内分布较均匀，淤泥质粉质粘土的工程性能较差，常规水利水运项目中基本无法作为持力层。本项目采用箱型鱼礁，礁体中间为空，根据计算（详见下文的人工鱼礁稳定性分析），该层土能够满足本项目要求，可作为本项目基础。下图为钻孔布置平面图，钻孔仅布置于栖息地修复区域，共 16 个钻孔，孔位间距约 600～700m。

略

图 3.2.3-1 钻孔布置平面图

略

图 3.2.3-2a 工程地质剖面图

略

图 3.2.3-2b 工程地质剖面图

略

图 3.2.3-2c 工程地质剖面图

略

图 3.2.3~2d 工程地质剖面图

略

图 3.2.3-2e 工程地质剖面图

略

图 3.2.3-2f 工程地质剖面图

略

图 3.2.3-2g 工程地质剖面图

略

图 3.2.3-2h 工程地质剖面图

3.2.3.5 地震

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）有关规定，拟建场地抗震设防烈度为 6 度，设计地震分组为第一组，设计基本地震加速度为 0.05g，反应谱特征周期为 0.35s。地震作用和抗震措施应符合 6 度的抗震设防要求。

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

略

图 3.2.4-1 调查站位图（2024 年 5 月）

（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 3.2.4-2。

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）

3.2.4.2 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	镉还原法	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。详见图 3.2.4-3。

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
----	----	---------	----	--------

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。

略

图 3.2.4-3 调查海域海洋功能区划

(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。详见图 3.2.4-4。

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。

略

图 3.2.4-4 调查海域海洋功能区划

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，°C。

③ pH 的标准指数为：

$$S_{pH,j} = \frac{7.0 - pH_j}{7.0 - pH_{sd}} \quad pH_j \leq 7.0$$

$$S_{pH,j} = \frac{pH_j - 7.0}{pH_{su} - 7.0} \quad pH_j > 7.0$$

式中：S_{pH, j}—pH 值的指数，大于 1 表明该水质因子超标；

pH_j—pH 值实测统计代表值；

pH_{su}—评价标准中 pH 值上限值；

pH_{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 ₄ ³⁻ -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	

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
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(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₃⁻-N)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)、活性磷酸盐(PO₄³⁻-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号站调查水深在10m~25m之间，采集表、底层水样；4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14号站调查水深在25m~50m之间，采集表、10m、底层水样；15、16、17、18、19、20号站调查水深在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>6mg/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氮这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（NO₃⁻-N）、氨氮（NH₃-N）、亚硝酸盐氮（NO₂⁻-N）、活性磷酸盐（PO₄³⁻-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号站调查水深在10m~25m之间，采集表、底层水样；3、4、5、6、7、8、9、10、11、12号站调查水深在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 3.2.4-2。

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^{-6}
	油类	紫外分光光度法	GB17378.5-2007（13.2）	3.0×10^{-6}
	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^{-6}
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（7.1）	1.0×10^{-6}
	铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（10.1）	2.0×10^{-6}
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（8.1）	0.04×10^{-6}
	锌	火焰原子吸收分光光度法	GB17378.5-2007（9）	6.0×10^{-6}
	总汞	原子荧光法	GB17378.5-2007（5.1）	0.002×10^{-6}
	砷	原子荧光法	GB17378.5-2007（11.1）	0.06×10^{-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。详见图3.2.4-3。

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。详见图 3.2.4-4。

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,j}—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 (×10 ⁻⁶)	≤500.0	≤1000	≤1500	《海洋沉积物质量》 (GB18668—2002)
锌 (×10 ⁻⁶)	≤150.0	≤350	≤600	
镉 (×10 ⁻⁶)	≤0.50	≤1.50	≤5.0	
铅 (×10 ⁻⁶)	≤60.0	≤130	≤250	
铜 (×10 ⁻⁶)	≤35.0	≤100	≤200	
铬 (×10 ⁻⁶)	≤80	≤150	≤270	
有机碳 (%)	≤2.0	≤3.0	≤4.0	
总汞 (×10 ⁻⁶)	≤0.2	≤0.5	≤1.0	
砷 (×10 ⁻⁶)	≤20	≤65	≤93	
硫化物 (×10 ⁻⁶)	≤300	≤500	≤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

注：“ND”表示未检出。

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

注：检出率大于等于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/2 来计算，检出率小于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/4 来计算。

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、总汞和砷均符合调查海域海洋功能区划的相关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

注：“ND”表示未检出。

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

注：检出率大于等于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/2 来计算，检出率小于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/4 来计算。

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 3.2.4-2。

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。	
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/(m²·d)）

Chla—真光层内平均叶绿素 a 含量（mg/m³）

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 0.065m² 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/km²）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/km²)，A=每小时扫海面积(km²/h)，

S=调查监测水域面积(km²)，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：

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

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 (ind.·m²)； N ：某站总生物数量 (ind.·m²)； 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： $P = \text{Chla} \cdot Q \cdot D \cdot E / 2$ 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

注：“-”表示水深不到该采集层次

由表 3.2.6-3 可见，调查海域叶绿素 a 含量范围为（0.24~2.16） mg/m^3 ，平均值为 0.66 mg/m^3 ，表层叶绿素 a 含量范围为（0.22~1.80） mg/m^3 ，平均值为 0.62 mg/m^3 ；10m 叶绿素 a 含量范围为（0.02~0.88） mg/m^3 ，平均值为 0.36 mg/m^3 ；50m 叶绿素 a 含量范围为（0.12~0.76） mg/m^3 ，平均值为 0.52 mg/m^3 ；底层叶绿素 a 含量范围为（0.22~2.51） mg/m^3 ，平均值为 0.70 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 mg/m^3 为贫营养区，4~10 mg/m^3 为中营养区，超过 10 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（118.72~1667.85） $\text{mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ；平均值为 401.06 $\text{mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。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（0.24~2.16） 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（118.72~1667.85） $\text{mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

（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 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（0.01~2.04） $\times 10^5 \text{cells}/\text{m}^3$ 之间，平均细胞丰度为 $0.22 \times 10^5 \text{cells}/\text{m}^3$ 。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（1.42~187.17） $\text{ind.}/\text{m}^3$ ，平均丰度为 $55.43 \text{ind.}/\text{m}^3$ ；生物量范围为（0.56~62.96） mg/m^3 ，平均生物量为 $17.76 \text{mg}/\text{m}^3$ 。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（15.38~92.31） $\text{ind.}/\text{m}^2$ ，平均密度为 $35.47 \text{ind.}/\text{m}^2$ ；生物量的幅度为（0.24~11.67） g/m^2 ，平均生物量为 $2.80 \text{g}/\text{m}^2$ 。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 $14.96 \text{ind.}/\text{m}^2$ ，其次为节肢动物门，平均密度为 $14.53 \text{ind.}/\text{m}^2$ ，最低为刺胞动物门，平均密度均为 $0.43 \text{ind.}/\text{m}^2$ ；生物量以环节动物门为主，平均生物量为 $0.75 \text{g}/\text{m}^2$ ，其次为

棘皮动物门，平均生物量为 $0.73\text{g}/\text{m}^2$ ，最低为软体动物门，平均生物量为 $0.02\text{g}/\text{m}^2$ 。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 $0.20\sim 1.53$ ，平均值为 0.73 ；各站单纯度的幅度为 $0.11\sim 0.72$ ，平均值为 0.32 ；各站多样性指数的幅度为 $0.65\sim 3.24$ ，平均值为 1.94 ；各站均匀度的幅度为 $0.65\sim 1.00$ ，平均值为 0.93 。

（5）游泳动物

本次共采集到游泳动物 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 $3.772\text{kg}/\text{h}$ 和 $252\text{ind.}/\text{h}$ 。其中，鱼类为 $2.791\text{kg}/\text{h}$ 和 $180\text{ind.}/\text{h}$ ，甲壳类的平均渔获率为 $0.340\text{kg}/\text{h}$ 和 $8\text{ind.}/\text{h}$ ，头足类的平均渔获率为 $0.641\text{kg}/\text{h}$ 和 $64\text{ind.}/\text{h}$ 。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）、多齿蛇鲻（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（.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鲂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鲤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/m³，平均值为 2.33 粒/m³。其中最高出现在 9 号站位，密度为 13.09 粒/m³，1 号站位密度 10.16 粒/m³；仔稚鱼密度范围为（0.00~0.46）尾/m³，平均值为 0.13 尾/m³。其中最高出现在 3 号站位，密度为 0.46 尾/m³，19 号站密度 0.30 尾/m³；（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： $P=Chla \cdot Q \cdot D \cdot E/2$ 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

注：“--”表示水深不到该采集层次

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）mg/m³，平均值为 0.74mg/m³，表层叶绿素 a 含量范围为（0.20~1.73）mg/m³，平均值为 0.64mg/m³；10m

叶绿素 a 含量范围为 (0.20~1.77) mg/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) mg/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， $4\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$ 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) 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 (17.49~432.41) $\text{mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

(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 (0.30~21.45) $\times 10^5\text{cells}/\text{m}^3$ 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 (19.83~139.42) $\text{ind.}/\text{m}^3$ ，平均丰度为 $60.28\text{ind.}/\text{m}^3$ ；生物量范围为 (3.88~49.40) mg/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 (10.26~92.31) ind./m²，平均密度为 36.41 ind./m²；生物量的幅度为 (1.27~23.14) g/m²，平均生物量为 7.71 g/m²。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 15.38 ind./m²，其次为环节动物门，平均密度为 13.85 ind./m²，最低为脊索动物门和纽形动物门，平均密度均为 1.03 ind./m²；生物量以节肢动物门为主，平均生物量为 3.59 g/m²，其次为环节动物门，平均生物量为 2.52 g/m²，最低为纽形动物门，平均生物量为 0.23 g/m²。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 0.036 kg/h 和 1.4 ind./h。其中，鱼类为 0.018 kg/h 和 0.5 ind./h，甲壳类的平均渔获率为 0.018 kg/h 和 0.5 ind./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)、直额蛄 (305.64)、纤细梭子蟹 (225.99)、叫姑鱼 (221.79)、大头银姑鱼 (197.53)、日本蛄 (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录10。

垂直拖网共采集到鱼卵50粒,仔鱼5尾,稚鱼1尾。鱼卵数量以鳚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、鰕科一种和燕鳐各占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。鱼卵数量以鳚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%;仔鱼数量以鰕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/m³,平均值为1.26粒/m³。其中最高出现在17号站位,密度为2.54粒/m³,15号站位密度2.21粒/m³,2号站位密度1.68粒/m³;仔稚鱼密度范围为(0.00~0.49)尾/m³,平均值为0.11尾/m³。其中最高

出现在 18 号站位，密度为 0.49 尾/m³，9 号站位密度 0.32 尾/m³，12 号站位密度 0.25 尾/m³，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 3.2.4-2。

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)	0.4×10 ⁻⁶
	铅	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (7.1)	0.04×10 ⁻⁶
	镉	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (8.1)	0.005×10 ⁻⁶
	锌	火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (9.1)	0.4×10 ⁻⁶
	铬	无火焰原子吸收分光光度计	GB 17378.6 -2007 (10.1)	0.04×10 ⁻⁶
	总汞	原子荧光法	GB 17378.6 -2007 (5.1)	0.002×10 ⁻⁶
	砷	原子荧光法	GB 17378.6 -2007 (11.1)	0.2×10 ⁻⁶
	石油烃	荧光分光光度计	GB 17378.6 -2007 (13)	0.2×10 ⁻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。详见图 3.2.4-3。

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。详见图 3.2.4-4。

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 C。		

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于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

注：“ND”为未检出或低于检出限。

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 3.4×10^{-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 3.3×10^{-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 2.7×10^{-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 2.0×10^{-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 0.8×10^{-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 2.4×10^{-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 0.35×10^{-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 0.19×10^{-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 0.18×10^{-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 0.097×10^{-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 0.056×10^{-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 0.121×10^{-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 8.3×10^{-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 3.1×10^{-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 7.9×10^{-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 0.18×10^{-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 0.10×10^{-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 0.16×10^{-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 0.077×10^{-6} ；甲壳类生物体总汞含量范围为 $(0.022\sim 0.042)\times 10^{-6}$ ，平均值为 0.032×10^{-6} ；头足类生物体总汞含量范围为 $(0.007\sim 0.107)\times 10^{-6}$ ，平均值为 0.028×10^{-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。

⑧ 砷

调查海域的鱼类生物体砷含量范围为 $(0.4\sim 4.3)\times 10^{-6}$ ，平均值为 2.4×10^{-6} ；甲壳类生物体砷含量范围为 $(0.6\sim 1.5)\times 10^{-6}$ ，平均值为 1.1×10^{-6} ；头足类生物体砷含量范围为 $(2.1\sim 6.5)\times 10^{-6}$ ，平均值为 3.7×10^{-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。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。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。

（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

注：1."-"表示不参与评价；2.检出率大于等于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/2 来计算，检出率小于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/4 来计算。

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于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

注：“ND”为未检出或低于检出限。

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 $\sim 0.4 \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.2×10^{-6} ，检出率为 57.1%；甲壳类生物体石油烃含量范围为未检出 $\sim 2.5 \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.8×10^{-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 0.4×10^{-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 15.0×10^{-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 $(0.04 \sim 1.39) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.36×10^{-6} ；甲壳类生物体铅含量范围为 $(0.01 \sim 0.60) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.17×10^{-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未检出 $\sim 0.260 \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.079×10^{-6} ，检出率为 71.4%；甲壳类生物体镉含量范围为 $(0.006 \sim 0.123) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.053×10^{-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 $(0.8 \sim 13.1) \times 10^{-6}$ ，平均值为 3.0×10^{-6} ；甲壳类生物体锌含量范围为 $(16.0 \sim 48.9) \times 10^{-6}$ ，平均值为 31.9×10^{-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 $(0.13\sim 0.64) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.34×10^{-6} ；甲壳类生物体铬含量范围为 $(0.15\sim 1.28) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.45×10^{-6} 。

⑦ 总汞

调查海域的鱼类生物体总汞含量范围为 $(0.016\sim 0.112) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.056×10^{-6} ；甲壳类生物体总汞含量范围为 $(0.021\sim 0.092) \times 10^{-6}$ ，平均值为 0.050×10^{-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。

⑧ 砷

调查海域的鱼类生物体砷含量范围为 $(0.2\sim 3.7) \times 10^{-6}$ ，平均值为 2.0×10^{-6} ；甲壳类生物体砷含量范围为 $(2.8\sim 7.8) \times 10^{-6}$ ，平均值为 5.4×10^{-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。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。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。

（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

注：1."-"表示不参与评价；2.检出率大于等于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/2 来计算，检出率小于 1/2 的，未检出样品按照检出限的 1/4 来计算。

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，避开海南三亚国家级珊瑚礁自然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，先对排查海域进行水下地形剖面测量，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 100m×100m 为调查单元，合理布置珊瑚样带，初步拟选珊瑚修复区；第二阶段对珊瑚修复区进行本底调查，以 50m×50m 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 50 m 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 1 m 宽的区域内不同珊瑚进行整体高清拍照。详见图 3.2.8-1。

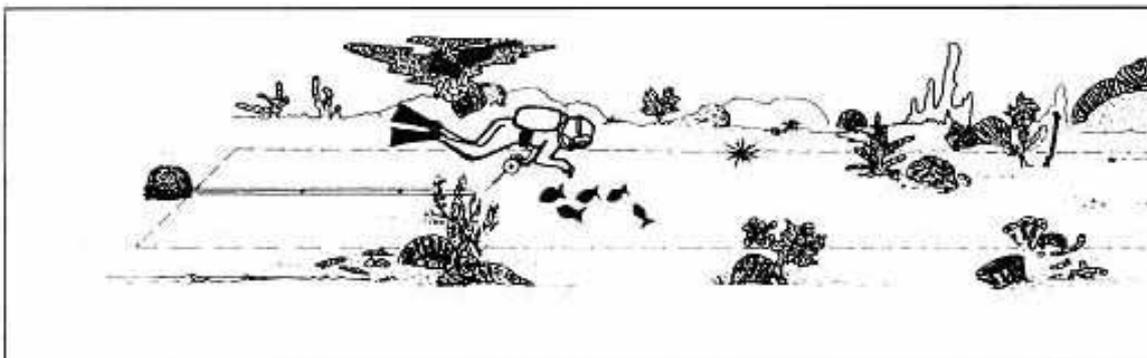


图 3.2.8-1 断面法调查布设断面示意图

② 样框调查

以样带为中心，随机放置 50cm×50cm 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 50cm×50cm 的样框面积为 2500 cm²，将样框进行网格化分析，每个样框分为 10cm×10 cm 共 25 个小网格计数，从而统计出硬珊瑚补充量（单位：个/m²）。

（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%

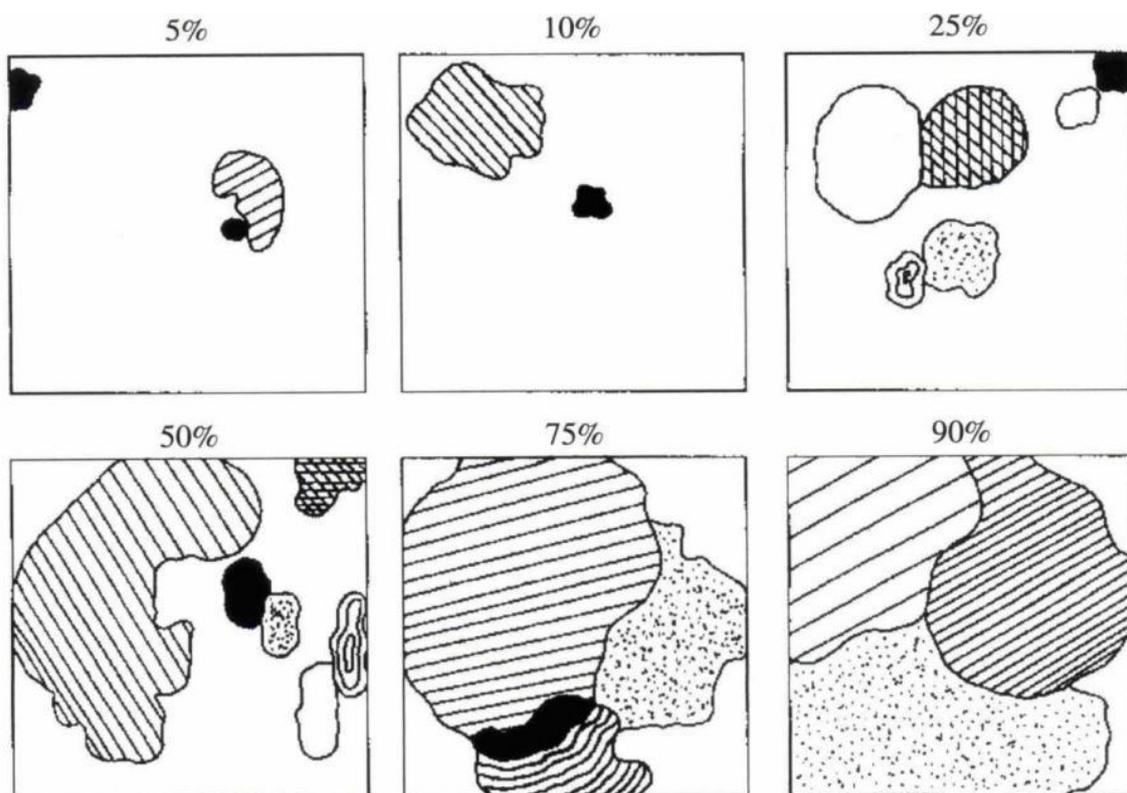


图 3.2.8-2 珊瑚盖度判断标准参考图

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/T082-2005 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；2 a 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/m²）。

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
非常好	>0.602

(4) 水下地形剖面调查

岸滩部分采用网络 RTK 工作模式技术进行实时动态差分定位，水下部分采用测深仪舷挂走航的方式进行测深，断面的水下部分测量由中海达测深仪 HD-310 采用舷挂走航的方式测量获取，测量前后需在测区海域水面平静，流速较小时用检查板对测深仪进行改正（水深≤20 米）或采用水文资料计算（水深>20 米），且保证船舶处于稳定状态，测深仪处于正常工作状态，当沿海波高超过 0.6m，内河波高超过 0.4m 时，应停止作业；测深仪换能器应安装在距测量船船首 1/3-1/2 船长处。水深小于 20m 时，可用声速仪、水听器或检查版对测深仪进行校正，直接求取测深仪的总改正数；水深为 20~200m 时，可采用水文资料计算深度改正数。水深大于 20 米，声速对测深精度影响较大时，应进行声速改正。

此外，潮汐数据为实测，浅滩高程采用网络 RTK 模式按图根水准精度观测，水位观测在测前 10 分钟开始，测后 10 分钟结束，每 10 分钟观测一次。

本次测量高程采用当地理论最低潮位作为深度基准，平面采用国家 2000 大地坐标系。剖面测量比例尺为 1:500。

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（避开海南三亚国家级珊瑚礁自然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。

2023 年 8 月 12 日至 2023 年 8 月 13 日在西岛及鹿回头海域布设 13 条水下地形测量剖面。

调查站位见表 3.2.8-2、表 3.2.8-3、图 3.2.8-3、图 3.2.8-4、图 3.2.8-5 和图 3.2.8-6。

表 3.2.8-2 珊瑚礁调查站位表

略

表 3.2.8-3 水深测量剖面断面表

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

略

图 3.2.8-5 西岛水下地形剖面图

略

图 3.2.8-6 鹿回头水下地形剖面图

(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 3.2.8-4。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 3.2.8-7；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 3.2.8-8。

表 3.2.8-4 三亚湾附近海域珊瑚分布情况

略

略

图 3.2.8-7(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 3.2.8-7(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 3.2.8-8(a) 西岛附近海域各站位珊瑚覆盖度分布

略

图 3.2.8-8(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 3.2.8-4）。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 3.2.8-9；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 3.2.8-10。

略

图 3.2.8-9 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 3.2.8-10 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 3.2.8-11。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 3.2.8-12。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 3.2.8-13。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 3.2.8-14。

略

图 3.2.8-11 西岛附近海域各调查站位底质类型百分比

略

图 3.2.8-12 西岛附近海域各底质类型百分比

略

图 3.2.8-13 鹿回头附近海域各调查站位底质类型百分比

略

图 3.2.8-14 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 3.2.8-15。

略

图 3.2.8-15 三亚湾附近海域主要硬珊瑚

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、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、瘦叶蔷薇珊瑚、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。详见图 3.2.8-16。

略

图 3.2.8-16 三亚湾附近海域主要硬珊瑚

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。详见图 3.2.8-17。

略

图 3.2.8-17 三亚湾附近海域主要软珊瑚

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 0.04ind./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 0.01ind./m^2 。最高补充量站位为 11 号站位，补充量为 0.06ind./m^2 ；次高补充量站位为 10 号站位，补充量为 0.02ind./m^2 ；其余站位均未发现有硬珊瑚补充，补充量均为 0.00ind./m^2 。详见图 3.1.8-18。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 0.06ind./m^2 。最高补充量站位为 29 号站位，补充量为 0.38ind./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 0.00ind./m^2 。详见图 3.2.8-19。

略

图 3.2.8-18 西岛附近海域珊瑚补充量分布图

略

图 3.2.8-19 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。详见图 3.2.8-20。

略

图 3.2.8-20 三亚湾附近海域主要大型藻类

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 3.2.8-4）。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 3.2.8-21。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 3.2.8-22。

略

图 3.2.8-21 西岛附近海域大型藻类分布情况

略

图 3.2.8-22 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。详见图 3.2.8-23。

略

图 3.2.8-23 三亚湾附近海域主要大型底栖生物

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 3.2.8-4）。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 3.2.8-24。本次调查未发现长棘海星、核果螺等敌害生物。

略

图 3.2.8-24 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、双缘蝴蝶鱼、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。详见图 3.2.8-25。

略

图 3.2.8-25 三亚湾附近海域主要珊瑚礁鱼类

(3) 第一阶段水下地形剖面结果

① 剖面走势图

各剖面走势图详见图 3.2.8-26。

略

图 3.2.8-26 各剖面走势图

② 剖面高程

各剖面高程详见表 3.2.8-5。

表 3.2.8-5 各剖面高程

略

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 3.2.8-27，样带控制点见表 3.2.8-6。

略

图 3.2.8-27 珊瑚修复区初步选址区域珊瑚礁调查站位图

表 3.2.8-6 珊瑚调查坐标

略

（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 3.2.8-7。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 3.2.8-28。

表 3.2.8-7 三亚湾附近海域珊瑚分布情况（第二阶段）

略

略

图 3.2.8-28 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 3.2.8-7）。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 3.2.8-29。

略

图 3.2.8-29 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 3.2.8-30。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 3.2.8-31。

略

图 3.2.8-30 三亚湾附近海域各调查样带底质类型百分比

略

图 3.2.8-31 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 3.2.8-32。

略

图 3.2.8-32 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、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。详见图 3.2.8-33。

略

图 3.2.8-33 三亚湾附近海域主要硬珊瑚

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。详见图 3.2.8-34。

略

图 3.2.8-34 三亚湾附近海域主要软珊瑚

⑦ 珊瑚补充量

用截线样条法调查（定量）三亚湾附近海域 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 0.01ind./m^2 ；最高补充量样带为 29-30 号样带，补充量为 0.14ind./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 0.00ind./m^2 。详见图 3.2.8-35。

略

图 3.2.8-35 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。详见图 3.2.8-36。

略

图 3.2.8-36 三亚湾附近海域主要大型藻类

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 3.2.8-7）。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 3.2.8-37。

略

图 3.2.8-37 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。种类分别为大刺羽鳃、多孔鳃、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。详见图 3.2.8-38。

略

图 3.2.8-38 三亚湾附近海域主要大型底栖生物

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 3.2.8-7）。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 3.2.8-39。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 3.2.8-40。

略

图 3.2.8-39 白化现象

略

图 3.2.8-40 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。详见图 3.2.8-41。

略

图 3.2.8-41 三亚湾附近海域主要珊瑚礁鱼类

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./m²；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。种类分别为大刺羽螅、多孔螅、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—08/24	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，并危及施工人员的人身安全。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。

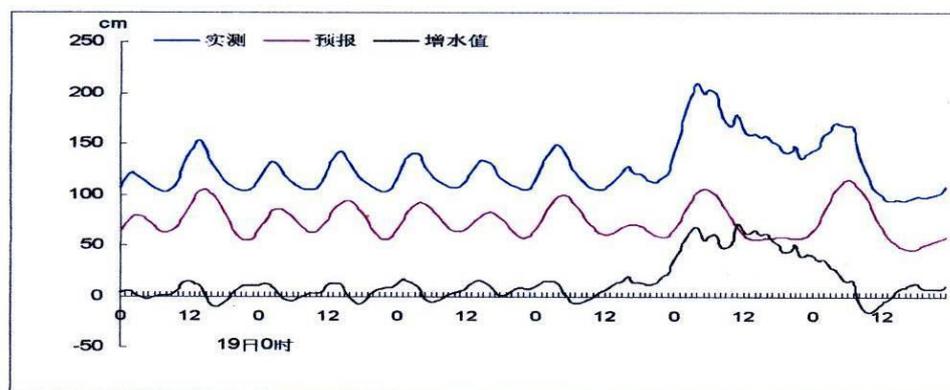


图 3.2.9-1a 9612 号台风增水过程曲线图（8 月）

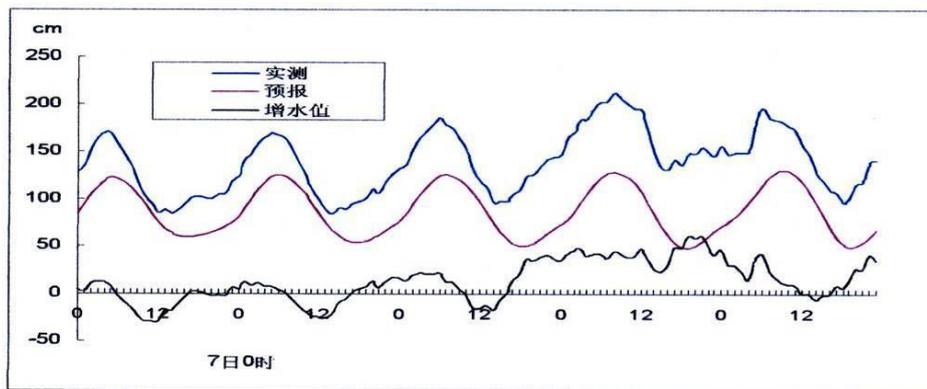


图 3.2.9-1b 0016 号台风增水过程曲线图（9月）

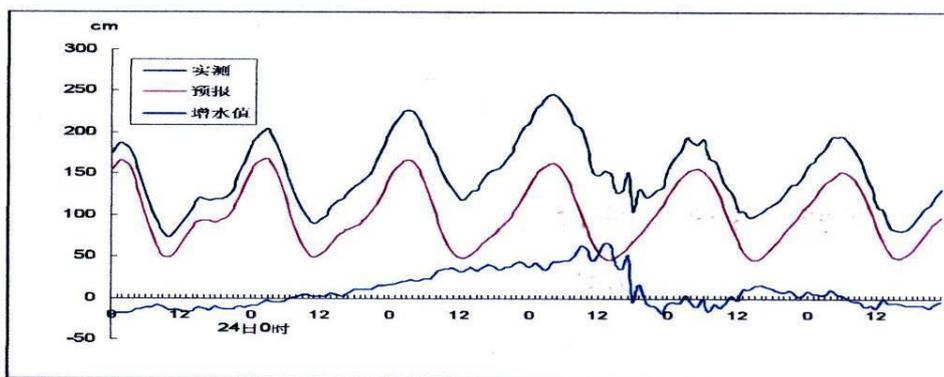


图 3.2.9-1c 0518 号台风增水过程曲线图（9月）

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

本项目申请用海总面积为 400 公顷，其中申请人工鱼礁区 33.7562 公顷，申请增殖放流区 366.2438 公顷。即占用海洋空间资源 400 公顷。

（2）对岸线资源的影响

本项目用海位于三亚湾深水区海洋牧场规划海域，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：一是海洋牧场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，鱼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

本项目人工鱼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：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：

W_i ——第 i 种生物资源受损量，单位为尾或个或千克（kg）；

D_i ——为评估区域内第 i 种生物资源密度，单位为尾（个）/km²、尾（个）/km³、kg/km²；

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 km² 或 km³。

根据设计施工方案，本项目总投入人工鱼礁礁体数量 376 个，人工鱼礁占用海域的总投影面积为 $6 \times 6 \times 376 = 13536 \text{m}^2$ 。根据 2024 年 5 月海域生态调查数据进行生物损失计算，11 号站底栖生物平均生物量为 2.80g/m^2 。

由此人工鱼礁建设造成底栖生物的损失量 $= 13536 \times 2.80 \times 10^{-3} \approx 37.9 \text{kg}$

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粘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_j 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：

（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 (km²)

浓度 (mg/L)	10~20	20~50	50~100	≥100
悬浮泥沙扩散	0.326	0.424	0	0

(2) 生物资源损失率 (K_{ij})

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 Bi≤1、1<Bi≤4 倍、4<Bi≤9 倍及 Bi≥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 (Bi)	各污染区的面积 (km ²)	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	Bi≤1 倍	0.326	5	5	5	1
II区	20~50	1<Bi≤4 倍	0.424	15	15	17	5
III区	50~100	4<Bi≤9 倍	0	40	40	40	15
IV区	>100	Bi≥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，人工鱼礁投放施工工期为 90 天，算得污染物浓度增量影响的持续周期数别为 6。根据工程海域测量资料，项目所在海域平均水深取 40m。

(4) 生物资源密度 (D_{ij})

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 0.22×10⁵cells/m³，浮游动物平均生物量为 17.76mg/m³。

悬浮泥沙扩散导致浮游生物损失情况：

$$\text{浮游植物损失量} = 0.22 \times 10^5 \times 6 \times 40 \times (0.326 \times 0.05 + 0.424 \times 0.15) \times 10^6 \approx 4.22 \times 10^{11} \text{ cells}$$

$$\text{浮游动物损失量} = 17.76 \times 10^{-6} \times 6 \times 40 \times (0.326 \times 0.05 + 0.424 \times 0.15) \times 10^6 \approx 340.6 \text{ kg}$$

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混浊区。

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/km²，鱼卵平均密度为 2.33 粒/m³，仔稚鱼密度为 0.13 尾/m³，则鱼卵和仔稚鱼的损失量为：

$$\text{游泳动物损失量} = 379.808 \times 6 \times (0.326 \times 0.01 + 0.424 \times 0.05) \approx 55.74 \text{kg}$$

$$\text{鱼卵损失量} = 2.33 \times 6 \times 40 \times (0.326 \times 0.05 + 0.424 \times 0.17) \times 10^6 \approx 4.94 \times 10^7 \text{粒}$$

$$\text{仔稚鱼损失量} = 0.13 \times 6 \times 40 \times (0.326 \times 0.05 + 0.424 \times 0.17) \times 10^6 \approx 2.76 \times 10^6 \text{尾}$$

根据上述计算结果，本工程人工鱼礁建设造成底栖生物损失量为 37.9kg，施工悬浮泥沙影响导致浮游植物损失 4.22 × 10¹¹ cells，浮游动物损失 340.6kg，鱼卵损失 4.94 × 10⁷ 粒，仔鱼损失 2.76 × 10⁶ 尾，游泳动物资源损失 55.74kg。本项目用海中 366.2438 公顷的区域作为增殖放流区，项目实施本就有渔业资源养护的作用。相对于项目建成后对本海域渔业资源增殖养护的作用，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红塘港和肖旗港。本项目用海距离红塘港、肖旗港相对较远。项目施工船舶不会在红塘港、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，本项目用海对于红塘港、肖旗港影响较小。

4.1.3.2 对旅游资源的影响分析

本项目用海位于三亚湾深水区海洋牧场区域内，未占用景区资源。由于距离周边景区较远，不影响周边景区开展海上旅游娱乐用海活动。项目距离三亚湾和西瑁洲较远，项目实施后对三亚湾和西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

本项目栖息地修复工程用海区域内无珊瑚礁，距离最近的珊瑚生长区为项目用海区北侧的海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区内，本项目通过在海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区开展珊瑚培育工程和珊瑚礁修复工程进行珊瑚修复工作。

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。

项目珊瑚培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，因此产生悬浮物较小。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，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，并且逐个布放，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。因此施工产生悬浮泥沙对珊瑚礁的影响较小。同时在实际施工作业时，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。同时根据人工鱼礁悬沙数模计算结果, 项目人工鱼礁投放过程中超 I、II 类水质 (>10mg/L) 面积为 0.750km², 超 III 类水质 (>100mg/L) 面积为 0.000km², 超 IV 类水质 (>150mg/L) 面积为 0.000km²。未出现超 III 类海水水质。本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超 I、II 类水质 (>10mg/L) 扩散的最远距离约为 110m 左右, 人工鱼礁投放产生的悬浮泥沙未扩散至珊瑚分布区。

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。

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 4.2.1-1 至 4.2.1-3) 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, η 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； ρ_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 Γ_2 有：

$$\vec{U} \cdot \vec{n} \Big|_{\Gamma_2} = 0 \tag{4.2.1-4}$$

式中： \vec{n} 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(4.2.1-4)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

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

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，采用分潮边界，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 日施测数据，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，综上分析可知，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（工程附近局部放大）

略

图 4.2.1-2b 项目附近网格图（工程附近局部放大）

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

潮位实测期间属于不正规半日潮，潮差为 140cm 左右，在一天之中有两次涨潮和两次落潮，落潮最大流速要大于涨潮最大流速。

本项目拟在三亚湾深水区海洋牧场规划海域投放人工鱼礁，为透水构筑物，在模型中通过增大海底粗糙度来体现人工鱼礁的存在，数值模拟的水深条件不变。本节利用已经通过验证的数值模型，预测本项目实施前、后项目海域的水文动力场环境的改变。

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）项目所在海域为开阔外海，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 60cm/s，落潮最大流速约 70cm/s，落急流速略大于涨急流速，表现出一定的落潮优势。在近岸区岬角附近海域，如鹿回头角岬角，西岛和东岛南端岬角，都存在岬角挑流作用，涨落急流速都可达到 70cm/s 左右。近岸区如鹿回头的东西两侧等区域最大流速小于 10cm/s，为弱流海洋环境。

（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 -2.5cm/s 左右，这是由于项目所在海域水深较大，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 2.5cm/s 左右，流速改变的范围仅限于人工鱼礁投礁区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与项目区的最远距离约 1.2km，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

略

图 4.2.1-12b 工程后涨急流场图

略

图 4.2.1-13a 工程前落急流场图

略

图 4.2.1-13b 工程后落急流场图

略

图 4.2.1-14a 工程前后涨急流速改变等值线图

略

图 4.2.1-14b 工程前后落急流速改变等值线图

4.2.2 项目用海对地形地貌和冲淤环境的影响分析

4.2.2.1 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（4.2.2-1）进行计算：

$$p = \frac{\alpha \omega t}{\gamma_d} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{2m} \right] \quad (4.2.2-1)$$

式中， ω 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。

4.2.2.2 计算参数的确定

α 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/m³;

γ_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/m³, 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,计算得到工程后人工鱼礁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 4.2.2-1, -表示淤积, +表示冲刷)。

略

图 4.2.2-1 项目工程附近冲淤图

4.2.2.3 计算结果分析

由图 4.2.2-1 可以看出,人工鱼礁建设完成后,由于人工鱼礁对水流产生一定的阻挡作用,人工鱼礁区流速略有减小,因此,泥沙将在人工鱼礁区落淤。但由于流速改变幅度较小,海水悬沙含量也较小,因此人工鱼礁区附近的年淤积强度最大值也只有 0.03m/a,即 3cm/a 左右;冲淤的范围也只局限在人工鱼礁附近的较小范围内,冲淤幅度大于 1cm/a 的范围与人工鱼礁区的最远距离在 90m 左右。

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,人工鱼礁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,主要集中在人工鱼礁区附近的小范围内,冲淤幅度最大值只有 3cm/a 左右,冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 90m 左右。

4.2.3 项目用海对水质环境的影响分析

4.2.3.1 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； ρ_s 为悬砂密度(取沉积物干密度为 1.12g/cm^3)； ρ_0 为海水密度(取为 1.035g/cm^3)； γ 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($0 \leq R \leq 1$)； 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：

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

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：

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

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

τ_d 为临界淤积切应力； τ_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：

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

其中， γ 、 γ_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 τ_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。

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

式中： $k=0.32$ ； $d_* = 10$ ； $\varepsilon_0 = 1.75 \text{cm}^3 / \text{s}$ ，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； γ_0 为海底泥沙干容重； γ'_0 泥沙颗粒的稳定干容

重； h 为水深； ρ_s 为泥沙密度；

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

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

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 Γ_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 Γ_2 上有：

$$\frac{\partial S}{\partial \vec{n}} = 0$$

式中： $S^*(x, y, t)$ 为已知值(实测或准实测或分析值)， \vec{n} 为陆地边界的单位法向矢量，式(25)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：

$$AslS_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + BslS_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + CslS_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = Dsl$$

后半步长：

$$As_2S_{i,j-1}^{n+1} + Bs_2S_{i,j}^{n+1} + Cs_2S_{i,j+1}^{n+1} = Ds_2$$

上式中 As_1 , Bs_1 , Cs_1 , Ds_1 , As_2 , Bs_2 , Cs_2 , Ds_1 , Ds_2 为已知系数。

(3) 悬浮泥沙源强

根据实施方案，项目栖息地修复工程投放 372 个人工鱼礁，投放量约 80352 空方。人工鱼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。本项目共投放 750 个钢混鱼礁，单体空方量为 216m³，钢混鱼礁投放产生的水体悬浮物包括两部分，一部分为鱼礁自身携带的泥土进入水体形成的悬浮物，一部分为投放船礁时扰动底床产生的悬浮物。项目鱼礁携带的泥土含量很低，可忽略不计；工程区底质为淤泥质粉质粘土、粘土，鱼礁投放过程中搅动产生的悬浮泥沙量按投放量的 0.5% 计，每个人工鱼礁投放过程中搅动产生的悬浮泥沙量为 1.08m³。每个鱼礁投放时间约 30min，悬浮泥沙干容重取 1120kg/m³，则单个人工鱼礁投放产生的悬浮泥沙瞬时源强为 0.672kg/s。

预测工况：人工鱼礁投放过程 95 个源点叠加悬浮泥沙扩散情况，单个源点源强为 0.672kg/s。

略

图 4.2.3-1 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 为人工鱼礁投放 95 个源点叠加的悬浮泥沙增量分布最大包络线图。通过计算可知，超 I、II 类水质（>10mg/L）面积为 0.750km²，超 III 类水质（>100mg/L）面积为 0.000km²，超 IV 类水质（>150mg/L）面积为 0.000km²。未出现超 III 类海水水质。

由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬

浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超 I、II 类水质（>10mg/L）扩散的最远距离约为 110m 左右。

人工鱼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 4.2.3-1。

表 4.2.3-1 悬浮物扩散包络浓度增量面积（km²）

悬浮物浓度增量	>10mg/L(超 I、II 类海水水质)	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L(超 III 类海水水质)	>150mg/L(超 IV 类海水水质)
工况 1	0.750	0.424	0.000	0.000	0.000

略

图 4.2.3-2 围堰施工 12 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（3 小时）也就结束。

4.2.3.2 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，临时施工场地设置环保厕所，陆域施工人员生活污水委托市政粪污车定期清掏外运处理。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。临时施工场地设置临时沉淀池，施工废水经沉淀后用于人工鱼礁预制构件、施工场地喷洒降尘循环使用，严禁排海。

综上所述，施工期生活污水、含油废水和生产废水均不外排，因此施工期废水对项目区水质环境影响较小。

4.2.4 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。根据预测，悬浮泥沙增量超 I、II 类水质（>10mg/L）面积为 0.750km²，超 III 类水质（>100mg/L）面积为 0.000km²，超 IV 类水质（>150mg/L）面积为 0.000km²。未出现超 III 类海水水质。由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。

所有源点叠加后超 I、II 类水质 ($>10\text{mg/L}$) 扩散的最远距离约为 110m 左右。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。

4.2.5 项目用海生态影响分析

4.2.5.1 施工期对海洋生态的影响分析

(1) 对浮游生物的影响分析

施工期人工鱼礁投放产生的悬浮物增加, 水体透明度下降, 从而使溶解氧降低, 对水生生物产生诸多的负面影响。最直接的影响是削弱了水体的真光层厚度, 对浮游植物的光合作用产生不利影响, 进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长, 降低单位水体浮游植物数量, 导致局部水域内初级生产力水平降低, 使浮游植物生物量降低。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在单位水体中拥有的生物量也相应地减少。同时, 人工鱼礁投放海域内的局部混浊, 悬浮颗粒会黏附在动物体表, 干扰其正常的生理功能, 滤食性游游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒, 造成内部消化系统紊乱。

(2) 对底栖生物的影响分析

人工鱼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。人工渔礁投放区内损失的底栖生物不会恢复, 区域内的生态环境将丧失。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, 悬浮物运移和沉积可引起贝类动物外套腔和水管受到堵塞致死。施工结束后, 项目区及周边海域的底栖生物群落将逐步恢复并重建。

(3) 对游泳动物的影响分析

施工期人工鱼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。人工鱼

礁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。随着施工结束,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游泳生物造成较大的影响。

4.2.5.2 营运期对海洋生态的影响分析

海洋牧场是指基于海洋生态系统原理,在特定海域通过人工鱼礁、增殖放流等措施,构建或修复海洋生物繁殖、生长、索饵或避敌所需的场所,增殖养护渔业资源,改善海域生态环境,实现渔业资源可持续利用的渔业模式。本项目在拟规划海洋牧场中设置人工鱼礁区和自然增殖区,结合发达的海上养殖业,在项目区域发展“上层海域养殖、底层海域人工鱼礁增殖”的“清洁生产+立体开发”海洋牧场。

项目营运期通过自然增殖、休闲渔业养殖等方式可实现渔业资源的自然增殖和人工增殖,在环境容量允许的前提下,可提升所在海域的渔业资源密度,改善渔业环境,实现渔业资源的恢复和增殖,对所在海域的海洋生态环境具有一定的正面效应。

(1) 营造新的生态环境

礁体投放海中后,形成新的生态环境,对水生生物的繁殖和成长起着重要作用。礁体对其周围以及内部的流速形态直接产生影响,礁体的外部形状及内部构造不同,其影响程度也不同,由于礁体周围流速的变化,礁体根部流速较快区域的细沙土被移出,使礁体周围的海底地质变粗,被移出的细沙土又在流速减弱处堆积,从而引起局部海底形态的改变,由于许多底栖生物的分布对泥沙粒径有选择性,所以底泥粒径的变化对底栖生物,特别是环节动物的分布产生了影响。

海中投放鱼礁后,周围光、味、音环境也发生变化。在光线到达的范围内,礁体的周围形成光学阴影,随着照度的增强,在水中形成暗区,暗区的大小、与礁体的大小成正比。礁体上及周围的生物所产生的分泌物、有机物分子的扩散,直接影响礁体下流方向的味环境。礁体受到流的冲击所产生的固有振动和附着在礁体上的生物以及聚集在周

围的生物的发声，可传到离礁几百米远的地方。礁体的存在改变了海水中的声学效应(声场)，即提高了对声波的反射效率。当海水由于礁体产生涡动而发生声波或者有声波碰到礁体被反射后，声波便可以沿水中“声道”传到很远的地方，为鱼类趋礁行为提供了“向导”。

(2) 对生物环境的影响

礁体投放后形成的上升流，将海底深层的营养盐类带到光照充足的上层，促进了浮游生物的繁殖，提高了海洋初级生产力，同时，礁体作为一种基质，附着着生物开始在其表面着生，礁体周围的底栖生物和浮游生物的种类、数量、分布发生变化。以往的调查研究表明，随着植物的着生量受水深、透明度的影响。一般情况下，由于礁体的上面及侧面上部光照充分，所以着生量大，水浅的水域着生量也较大。随着动物的着生量，在透明度高、底质较粗、流速较快的水域中较大，附着生物总量，在一定时间内逐渐增大。船礁的内部和后方聚集着许多动物，其中，桡足类主要分布在礁后面，糠虾类多分布在鱼礁内部，桡足类在流速快的时候，集中于鱼礁后的流影处。流速慢的时候活跃在鱼礁体的后面。

可见，礁体的设置，首先为附着生物的栖息、繁殖提供了全新的场所，接着为其他动物提供栖息地，而这些动物又成了鱼类的食物，为新的动物群落奠定了基础。

(3) 对渔业资源的影响

在人工鱼礁礁体投放后，由于海流变缓、生物附着面积进一步增大，海洋生物的种类与密度将显著增大。为鱼类生存提供更多的食物，有益于海洋鱼类的生长、单位面积海域鱼类的产量将显著提高。

人工鱼礁渔业是“海上牧场化”的渔业，它不投饵，所诱集的主要对象是游泳生物，其排泄物污染在渔场中影响是极其轻微的，况且人工鱼礁区周围水体交换畅通，所以人工鱼礁对渔场不构成损害。同时人工鱼礁会限制底拖捕捞作业，符合我国海洋渔业产业结构调整政策。

(4) 对渔场的影响

礁体投放海里一段时间后在其表面上都会吸附着许多附着生物，附着生物的种类多、数量大、生长迅速，除了能诱集鱼类外，还大大增加了海域的次级生产力，加速了海域有机物的积累和循环。礁体的投放通过架起的阴影空间产生阴影效应，可使喜阴鱼类聚

集并形成鱼类庇护场所，既适合海藻类、附着生物、浮游生物的生长，达到吸引、诱集周边鱼类聚集的目的，又可为幼鱼提供产卵和庇护场所。同时这些鱼礁作为海底的突出物，不仅使海水在这里产生涡流，还能因阻流作用而形成上升流，把底层的营养物带到中上层，为浮游生物的生长创造良好的条件。总之鱼礁投放后会形成小型渔场。

建设人工鱼礁是保护渔业资源的有利措施。所谓对渔场的影响是指在一些水流不畅通、水交换率低的浅水内湾，如果人工鱼礁布点过密，容易引起湾内自身污染。本工程位于开阔海域，人工鱼礁渔业是牧场化渔业，人工鱼礁渔场不投饵，诱集的主要对象是游泳生物，不构成污染。

（5）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”，本项目是海洋牧场建设项目，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于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。

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_{2.5}）平均浓度 11 微克/立方米，可吸入颗粒物（PM₁₀）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

根据现场勘察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 19.64km 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）西北侧距离约 16.97km 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）西北侧距离分别约 11.32km、12.01km 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）东北侧约 15.98km 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 14.37km、14.36km、14.45km、14.59km、14.09km，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）东北侧 12.22km 处为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。

（7）东北侧 10.96km 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）西北侧距离约 11.16km 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）西北侧距离约 11.07km 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）西北侧距离 11.53km 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）西北侧距离 10.35km 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）东北侧约 13.75km 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）东北侧约 14.05km 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 13.39km 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 14.20km 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 14.21km 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）东北侧距离约 15.29km 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）东北侧距离约 10.42km 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）东北侧约 10.56km 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 5.1.3-1 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，根据项目用海资源生态影响和施工工艺等分析，并结合项目周边海域开发利用现状，绘制施工期悬沙扩散范围与开发利用现状的叠置分析图，如图 5.2-1。

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，旅游娱乐用海项目主要分布在三亚湾西岛沿岸，主要的用海方式为透水构筑物、港池蓄水等，与本项目相对较远，项目实施过程中产生的悬浮物仅在用海区域内扩散，且随施工结束

影响消失，因此，本项目实施不会对三亚湾和西岛沿岸旅游娱乐用海产生影响。

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主要有三亚凤凰岛客运码头、三亚凤凰岛国际邮轮港发展有限公司交通运输用海、交通运输部南海救助局交通运输用海、缉私码头用海，与本项目用海区域距离较远，根据悬浮泥沙扩散范围，悬沙扩散区域并未到油码头港区。项目礁体预制拟定在红塘湾莲花岛，人工鱼礁投礁施工期间，施工船舶会增加附近海域的通航密度，与港口船舶及往来该海域的渔船、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

项目论证范围内的渔业用海主要为三亚湾海洋生态保护修复工程项目、三亚湾海洋生态保护修复工程项目（西岛及附近海域）、三亚湾休闲海洋牧场项目、三亚市东西瑁洲海域海洋牧场项目。均为海洋牧场项目，与本项目栖息地修复工程的距离较远，且用海性质相同。根据本项目施工期悬浮泥沙扩散预测结果，项目实施过程中产生的悬浮物仅在用海区域内扩散，不会扩散至周边渔业用海区，且随施工结束影响消失，因此，项目用海对周边渔业用海影响较小。

5.2.4 项目对特殊用海项目的影响分析

项目用海附近的特殊用海有三亚湾人工补沙实验段拦沙堤工程、海洋环境立体观测与珍稀物种资源保护、珊瑚礁生态系统观测研究样区项目，与本项目距离较远，本项目施工产生的悬浮泥沙均未扩散至该用海区域，不会对其产生影响。

5.2.5 项目对保护区用海的影响分析

项目珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程位于海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区缓冲区内，项目珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程不申请用海，但是在保护区用海范围内进行珊瑚修复工作。

项目珊瑚培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

较小。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，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，并且逐个布放，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。因此项目施工产生悬浮物较少，对保护区的影响较小。

同时在实际施工作业时，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。项目珊瑚培育工程、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，悬浮物会在数小时内迅速衰减背景浓度值，施工结束后对保护区基本不会产生影响。

根据预测，项目人工鱼礁投放产生悬浮泥沙增量超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为 0.750km^2 ，超 III 类水质（ $>100\text{mg/L}$ ）面积为 0.000km^2 ，超 IV 类水质（ $>150\text{mg/L}$ ）面积为 0.000km^2 。未出现超 III 类海水水质。由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）扩散的最远距离约为 110m 左右。项目施工过程产生的悬浮泥沙未扩散至保护区内，项目栖息地修复工程人工鱼礁投放对保护区生态环境基本没有影响。

综上所述，项目施工对海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区用海影响较小。

略

图 5.2.5-1 项目各工程与保护区关系图

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，针对项目用海过程中影响渔民传统作业海域，项目用海利益相关者为当地渔民。由于项目海上施工需要三亚海事局进行协调，同时针对项目实施过程中可能对保护区水质、珊瑚礁生境产生一定的影响，需要与海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处进行协调。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 利益相关者

利益相关者	使用状况	利益相关内容	责任人	影响程度
当地渔民	使用中	影响传统作业海域、施工期和运营期渔船交通安全	用海申请单位	影响小

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。
2	海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区用海	栖息地修复工程北侧 7.3km 处	海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处	项目实施过程中可能对保护区水质、珊瑚礁生境产生一定的影响

5.4 相关利益协调分析

5.4.1 与当地渔民的协调分析

项目建设对当地传统作业的渔民的影响主要是影响了当地渔民的传统作业海域，可能会使其转移作业渔场或改变其生产作业方式，以维持其正常的经济收入。此外，施工期对渔船的航行安全上也存在一定的影响。

本项目施工期施工船舶进出作业会在一定程度上影响渔船停泊，甚至改变渔民赶潮捕鱼的习惯航线和海域。因此，本项目用海对当地渔民存在一定的影响，但影响是暂时的，随着施工作业结束，这种影响便不复存在。由于本项目用海水深在 40m 左右，鱼礁投放后礁体顶端距离水面仍在 34m 左右，投放的礁体对一般捕捞渔船航行没有影响。

项目用海与现状用海渔业生产者利益协调具备可协调性。具体见表 5.4.1-1。

表 5.4.1-1 与当地渔民的利益协调内容

利益相关者	影响内容	协调人	协调方案	协调结果要求
当地渔民	施工期投	用海申请	①用海申请单位鱼礁投放船舶航行应服	保证来往船只

利益相关者	影响内容	协调人	协调方案	协调结果要求
	放船舶会增大船舶通航密度，存在一定的安全隐患	单位	从海事管理部门的管理，在施工水域施工，在施工航行过程中加强瞭望，避免与渔船及其他船只发生碰撞，同时要做好船舶发生碰撞后的应急预案，保证将风险降到最小。 ②用海申请单位避免渔船随意进入项目用海区捕捞，造成礁体及捕捞渔具的破坏。同时加强宣传工作，让当地的渔民了解项目建设的位置、内容、规模及项目建设的重要意义。此外相关部门和周边渔民进行沟通协调，取得渔民对项目建设的理解和支持，在渔业生产作业时注意避让。	安全航行，避免发生碰撞事故、保障渔民可持续生产作业，保障经济收入。

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隐患	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，将施工期间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	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
			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。	

5.4.3 与海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处的协调分析

本项目栖息地修复工程用海区不涉及保护区用海，但考虑到项目珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程建设内容位于保护区用海范围内，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》（附件 8），海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处原则同意在三亚珊瑚礁保护区海域开展修复工作。具体的协调详见表 5.4.3-1。

表 5.4.3-1 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》（附件 8）

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，没有涉及到军事用海，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；本项目用海区及邻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）》，本项目用海位于海洋开发利用空间。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

略

图 6.1-2 与《海南省国土空间规划（2021-2035年）》-生态保护红线叠置图

(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）》，本项目栖息地修复工程用海范围位于海洋发展区中的渔业用海区。

略

图 6.1-3 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 6.1-4,本项目为三亚湾海洋生态修复工程项目(三亚湾中心海域),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,工程建设内容为珊瑚礁移植工程、珊瑚培育工程、栖息地修复工程。

略

图 6.1-4 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

本项目拟使用的国土空间规划分区为海南岛近海渔业用海区,项目申请用海面积为 400 公顷,其中,人工鱼礁用海 33.7562 公顷,用海方式为透水构筑物;增殖放流区用海 366.2438 公顷,用海方式为开放式养殖。项目不占用海岸线,申请用海期限为 40 年。

海南岛近海渔业用海区位于海南岛近海海域,地理范围东至 111°39'27.266",西至 108°23'14.100",南至 17°57'12.129",北至 20°17'30.119",主导功能为渔业用海,兼顾特殊用海、游憩用海,允许开展海洋牧场建设和休闲渔业活动。严格限制改变海域自然属性。保护要求为保护传统渔业资源和海洋自然生态系统。该功能区海域面积为 1078594.6932 公顷,而本项目用海利用该区面积 400 公顷,约占海南岛近海渔业用海区总面积的 0.037%可见,本项目用海占用所在功能区面积比例相对较小,且均位于规划的三亚湾深水区海洋牧场内,而本项目用海方式大部分为开放式养殖用海,基本不会对

海域的主导功能产生影响，另外，人工鱼礁也对渔业资源恢复起到积极作用，符合该区间的主导功能。本项目属于生态修复项目，其实施基本不会对生态环境产生影响，但需要在施工期做好污染防治措施，本项目拟采取的生态保护对策措施主要从以下几点考虑：

①在礁体投放安装过程中，应实施悬浮物监控计划，控制悬浮泥沙的浓度和扩散范围。本项目鱼礁投放方式为吊装，产生的悬浮泥沙量及范围都很小，只要规范操作，不会悬浮泥沙增加影响海域水质环境。

②避开大风浪季节施工，减少对海域的污染影响。施工期应做好恶劣天气条件下的防护准备，6级以上大风应停止作业。

③礁体投放作业季节及作业周期选择：项目施工期虽不会影响到敏感区，但仍注意尽量避免鱼类的产卵孵化期，无法避免时须配以综合治理手段以保证对环境的影响控制在最小程度，如选择合适潮期作业时间及周期。

④礁体投放进行间断性施工，避免连续作业造成周边海域悬浮泥沙浓度过高和扩散影响范围过大。

⑤施工单位应建立施工废水管理和处理计划，不允许随意排放。若施工船本身无能力处理机舱油污水，则应将污水由海事局认可的有资质单位接收并处理。而本项目栖息地修复工程在运营期对当地生态修复的作用途径主要分为以下几个方面：

①人工鱼礁沉没于海底后，可在礁体周围形成涡流，促使浮游性水生物和附着性水生物在此繁衍生长，从而吸引属于食物链较上层的鱼群聚集，扩展成一个小型的生态圈。

②人工鱼礁可以改造、修复海洋生态环境，增殖渔业资源，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，有助于渔民开发新渔场，有益于渔业资源的可持续发展。

③人工鱼礁可提供幼鱼庇护及鱼类栖息、索饵和产卵的场所，同时可保护渔场环境。投放形体特殊的礁体后，可防止使用破坏性渔具的渔船，尤其沿岸近海底拖网渔船进入礁区或禁渔区内滥捕，避免破坏渔业资源。

④人工鱼礁设计结构复杂，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。

6.2.2 项目用海对周边海域各国土空间规划分区的影响

项目附近海域有多种类型的海洋功能区，现根据项目用海资源环境影响分析所计算、模拟、分析和预测的结果，进一步分析项目用海对海洋功能区的影响。项目所处海洋功能区海南岛近海渔业用海区，周边海洋功能区主要有

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、工矿通信用海区和交通运输用海区。

根据预测，悬浮泥沙增量超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为 0.750km^2 ，超 III 类水质（ $>100\text{mg/L}$ ）面积为 0.000km^2 ，超 IV 类水质（ $>150\text{mg/L}$ ）面积为 0.000km^2 。未出现超 III 类海水水质。由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）扩散的最远距离约为 110m 左右。施工期悬浮泥沙仅在用海范围内扩散，未扩散到周边海洋功能区，对周边海洋功能区的影响较小。

项目礁体预制拟定在红塘湾莲花岛，人工鱼礁投礁施工期间，施工船舶会增加附近海域的通航密度，与港口运油船舶及往来该海域的渔船、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，避免对周边海洋功能区造成较大的污染事故。

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。本项目栖息地修复工程用海位于海洋开发利用空间。

根据《海南省国土空间规划（2021-2035年）》，海洋开发利用空间的管控要求为“在近岸海域依据海洋开发利用现状和适宜性，衔接海洋发展战略，划定海洋开发利用空间。海洋开发利用空间允许集中开展海洋渔业、海洋交通运输业、海洋工矿通信业、海洋旅游业等活动”。《海南省国土空间规划（2021-2035年）》提出：拓展深远海等大水面水产养殖，统筹规划**现代化海洋牧场**。加强水产苗种业空间保障，支持海口、文昌、昌江、

东方、陵水、临高等市县建设以水产品种为主导的现代农业产业园。依托渔港、渔村、现代化海洋牧场等重要载体布局特色休闲渔业。

符合性分析：

本项目栖息地修复工程在三亚湾中心海域海洋牧场规划区进行人工鱼礁建设，属于渔业用海，项目用海选址符合《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》等相关规划要求。通过本项目建设，恢复区域渔业资源和修复海洋生态系统，项目栖息地修复工程符合《海南省国土空间规划（2021-2035年）》海洋开发利用空间的管控要求。

综上所述，项目建设符合《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。

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。

本项目栖息地修复工程用海范围位于海洋发展区中的渔业用海区，主要在三亚湾中心海域海洋牧场规划区进行人工鱼礁建设，属于渔业用海，符合渔业用海区的管控要求。

同时，本项目为三亚湾海洋生态修复工程项目（三亚湾中心海域），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，项目栖息地修复工程用海符合《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》中渔业用海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），本项目栖息地修复工程用海范围不占用海洋生态保护红线、城镇开发边界、永久基本农田。

略

图 6.3.3-1 《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》“三区三线”划定成果局部图

本项目栖息地修复工程为人工鱼礁工程，属于生态修复类项目，项目施工期人工鱼礁投放产生的悬浮泥沙扩散，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。根据预测，悬浮泥沙增量超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）面积为 0.750km^2 ，超 III 类水质（ $>100\text{mg/L}$ ）面积为 0.000km^2 ，超 IV 类水质（ $>150\text{mg/L}$ ）面积为 0.000km^2 。未出现超 III 类海水水质。由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超 I、II 类水质（ $>10\text{mg/L}$ ）扩散的最远距离约为 110m 左右。本项目人工鱼礁投放产生的悬浮泥沙不会扩散到周边的海洋生态保护红线区，不会对周边海洋生态保护红线区产生影响。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。

综上所述，项目栖息地修复工程用海符合国土空间规划“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，工程建设内容为珊瑚礁移植工程、珊瑚培育工程、栖息地修复工程。

因此，项目建设符合《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》。

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》，项目栖息地修复工程用海范围位于海洋牧场用海区，详见图6.3.5-1。项目建设与所处海洋牧场用海区管控要求的符合性见表6.3.5-1，项目在海洋牧场用海区主要进行人工鱼礁投放和增殖放流，符合所处海洋牧场区的管控要求。

项目属于海洋生态修复项目，通过在三亚珊瑚礁自然保护区内进行珊瑚培育工程、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，同时在三亚湾海洋牧场海域进行栖息地修复工程切实恢复区域渔业资源，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》。

表 6.3.5-1 项目建设与海洋牧场用海区管控要求的符合性分析

代码	功能区名称	管控要求		符合性分析
1804-03	海洋牧场用海	用途管控要求	主导功能为通过人工鱼礁、增殖放流等措施对海域生态环境修复，渔业资源增殖的海洋牧场功能，兼顾浅海底播养殖用海、筏式养殖用海、深水网箱养殖用海、深远海网箱养殖用海及开展海钓等休闲渔业活动用海，允许通航、海缆管线等线性穿越，禁止捕捞	符合。本项目栖息地修复工程主要建设内容为人工鱼礁投放和增殖放流，项目实施有助于修复三亚湾中心海域生态环境以及渔业资源增殖，符合所处海洋功能区的海洋牧场功能。
		用海	为透水构筑物、开放式养殖、	符合。本项目栖息地修复工程用海方式

代码	功能区名称	管控要求	符合性分析
		方式 管控 要求	深水网箱养殖、深远海网箱养殖、休闲渔业养殖、海底人工鱼礁增养殖等用海；除必要的海域、海岛生态修复工程以外，禁止填海造地、非透水构筑物等和其他对主导功能造成不可逆影响的用海方式
		用海 管控 要求	严格执行相关规划、法律法规、政策文件，完善人工鱼礁用海审批报备制度，加强对人工鱼礁用海项目的受理审查工作，提高监管力度，加强对该用海海域的巡查工作；严控用海范围，规范游钓用海方式，严禁破坏海域环境行为；用海海域使用权，除按照海域使用管理法的规定申请审批取得外，需通过招标或者拍卖的方式取得；严格规范和把关，严禁将有毒、有害或者其他可能污染海洋环境的材料用作人工鱼礁礁体；人工鱼礁放置与拆除应按照《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的相关要求向海事机构申请；人工鱼礁工程应当由具有相应资质的单位进行设计、施工、监理；建设者在完成人工鱼礁建设后，应当准确测量礁体的位置，并报省渔业行政主管部门和海事部门。
			为透水构筑物和开放式养殖，符合所处海洋功能区用海方式管控要求
			符合。项目礁体制作使用无毒、无害的材料，人工鱼礁投放施工前按照《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的相关要求向海事机构申请水上水下施工许可；人工鱼礁工程委托具有相应资质的单位进行设计、施工、监理。因此，符合所处海洋功能区的用海管控要求。

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

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，主要开展珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程、栖息地修复工程，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；项目施工期人工鱼礁投放产生的悬浮泥沙扩散，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”，项目栖息地修复工程用海范围属于三亚市近海渔业用海区一般管控单元（管控单元编码：HY46020030002），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，项目栖息地修复工程用海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）》。

表 6.3.6-2 项目栖息地修复工程用海涉及管控单元恶性分析

管控单元分区/编码	纬度	管控要求	符合性分析
三亚市近海渔业用海区一般管控单元（管控单元编码：HY46020030002）	空间布局约束	1.主导功能为渔业用海，兼顾特殊用海、游憩用海、工矿通信用海，允许开展海洋牧场建设和休闲渔业活动。 2.严格限制改变海域自然属性。3.保护传统渔业资源和海洋自然生态系统。注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门的意见。	符合。项目栖息地修复工程位于三亚湾深水区海洋牧场区域内，主要建设内容为人工鱼礁投放和增殖放流，属于渔业用海，符合所处功能区主导功能要求；用海方式为透水构筑物 and 开放式养殖，对海域自然属性的影响较小；项目的建设可以使所在海域生态环境得到改

管控单元分区/编码	纬度	管控要求	符合性分析
			<p>善，为海洋生物栖息营造良好环境以及为鱼类等提供繁殖、生长、索饵和庇敌的场所，达到保护、增殖和提高渔获量的目的，项目选址不涉及海底管线区域，项目严格按照要求进行施工作业，避免影响破坏周边海底管线，不会影响周边海底管线的安全；</p>
	<p>污染物管控要求</p>	<p>1.从事海水养殖活动应当保护海域环境，科学确定养殖规模和养殖密度，合理投饵、投肥，正确使用药物，及时规范收集处理固体废物，防止造成海洋生态环境的损害。禁止在氮磷浓度严重超标的近岸海域新增或者扩大投饵、投肥海水养殖规模。向海洋排放养殖尾水污染物等应当符合污染物排放标准。2.禁止排放油类、含油混合物以及其他有毒、有害物质。</p>	<p>符合。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。项目运营期间不产生污染物，不投饵料，完全靠海洋自然生产力养育海洋生物，大大减少因养殖带来的环境污染，具有改善水域生态环境和减排固碳的效果。</p>

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）

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

7.1.1.1 栖息地修复工程选址区域自然资源和海洋生态的适宜性分析

项目栖息地修复工程用海选址于《海南省现代化海洋牧场发展规划(2021-2030年)》规划内的三亚湾深水区海洋牧场(400公顷)用海区域内,主要用海内容为人工鱼礁、增殖放流。人工鱼礁礁址选择关系到鱼礁设置后发挥作用的大小,鱼礁使用寿命、鱼礁对其他作业的影响等,鱼礁选址是人工鱼礁投放的前提。参考《海南省现代化海洋牧场发展规划(2021-2030年)》海洋牧场区域选址要求,本项目栖息地修复工程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 项目栖息地修复工程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
水深条件	人工鱼礁建设地点一般应离岸 500m 以上,海区一般水深在 10~30m 之间。海水透明度好,不浑浊,受风浪影响较小。	本项目栖息地修复工程位于三亚湾深水区海洋牧场海域,离岸距离约 9.27km,海水水深在 40m 左右,海水透明度好,不混浊,满足人工鱼礁投放建设要求	适宜
地形条件	海底地形变化不宜过大,一般情况下单个礁体范围内海底坡度 $i \leq 1/30$ 。	根据本项目的水下地形图,项目区水深变化不大,水深基本在 -40m 左右,水深较为平缓,该海域平均坡降较小,海底地形坡度均在 1% 以内,在充分考虑鱼礁沉陷情况并针对性地对鱼礁进行优化后,适宜人工鱼礁的建设。	适宜
地质条件	海底宽阔平坦,泥沙淤积少、底质坚硬、沙带泥或有贝壳的混合海底,地基承载力在 40Kpa 以上。	根据本项目人工鱼礁区的工程地质勘察报告,项目区域的表层土层为淤泥质粉质粘土,地基承载力为 60Kpa,根据计算(详见 9.4.2.2 人工鱼礁礁体稳定性分析),项目 A 型鱼礁单体基底压力为 17.63 Kpa, B 型鱼礁单体基底压力为 29.15 Kpa,拟投放人工鱼礁地基承载力满足要求。	适宜
水动力条件	水体交换通畅,流速宜 $\leq 1.5\text{m/s}$,年淤积强度小于 30mm,淤泥厚度不宜超过 0.6m,受风浪影响较小。	根据水文动力预测结果,项目所在海域为开阔外海,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 60cm/s,落潮最大流速约 70cm/s,落急流速略大于涨急流速,表现出一定的落潮优势。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	适宜

选址条件	选址要求	选址海域情况	适宜性
		流速最大减小 2.5cm/s 左右，流速改变的范围仅限于人工鱼礁投礁区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与项目区的最远距离约 1.2km，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，主要集中在人工鱼礁区附近的小范围内，冲淤幅度最大值只有 3cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 90m 左右。	
海水水质条件	海水透明度好，不浑浊，不受污染且不是河口的区域，符合二类以上的海水水质标准。	项目栖息地修复工程选址远离河口，距离三亚湾河口最近距离约 14km；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（7、8、9、10、11 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
海洋生态条件	海底沉积物符合 I 类海洋沉积物质量标准，有一定量的浮游植物、浮游动物和底栖生物。	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（7、8、9、10、11 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；项目栖息地修复工程选址区域浮游植物、浮游动物、底栖生物种类丰富，分布均匀，结构稳定，多样性指数和均匀度指数均较高。	适宜
渔业资源条件	海洋生物总量大，且生物群体分布密集的海域，尤其是初级生产力发达和叶绿素 a 含量较高的海域，以此满足生物链的规律。	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。栖息地修复工程选址区域所在海域是传统的鱼类作业区，初级生产力丰富，生物多样性程度高，有利于形成人工鱼礁区生态系统。	适宜
其他涉海项目条件	不与水利、海上开采、航运、海底管线及其他涉海项目和海洋功能区划相冲突的海区。	本项目栖息地修复工程选址于规划的三亚湾深水区海洋牧场区域内，国土空间规划分区为渔业用海区，周边无排污区，远离锚地区、航道区、港口区、海底管道区，不与其他涉海项目和海洋功能区划相冲突。	适宜

7.1.1.2 人工鱼礁礁体稳定性分析

(1) 单体鱼礁抗滑移计算

项目箱型混凝土鱼礁(A 型)单体鱼礁空方体积为 216 空方，混凝土用量为 29.04 立

平方米。单体鱼礁迎流面面积为 15.75m²，钢筋重量为 4040kg。

项目箱型混凝土鱼礁（B 型）单体鱼礁空方体积为 216.0 空方，混凝土用量为 35.5 立方米。单体鱼礁迎流面面积为 20.10m²，钢筋重量 5443kg。

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)

σ —礁体材料的密度(kg/m³); $\sigma = 2500 \text{kg/m}^3$, 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(m³); V=29.04 m³

ρ —海水密度(kg/m³); $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$

μ —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 $S_F > 1.2$, 则满足稳定条件。

A 型:

$$F_0 = \rho A v^2 = 1000 \times 15.75 \times v^2 = 15.75 v^2 \text{KN}$$

$$F = ((2500 - 1000) \times 29.04 + 4040) \times 10 \times 0.5 = 238 \text{KN}$$

$$1.2 \times 15.75 v^2 \leq 238$$

$$v \leq 3.55 \text{m/s}$$

说明流速大于 3.55m/s 时, A 型礁体才会发生滑移。

B 型:

$$F_0 = \rho A v^2 = 1000 \times 20.1 \times v^2 = 20.1 v^2 \text{KN}$$

$$F = ((2500 - 1000) \times 35.5 + 5443) \times 10 \times 0.5 = 293 \text{KN}$$

$$1.2 \times 20.1 v^2 \leq 293$$

$$v \leq 3.49 \text{m/s}$$

说明流速大于 3.49m/s 时, B 型礁体才会发生滑移。

根据 2020 年 12 月水文动力调查结果，本项目周边海域可能最大流速为 0.72m/s，所以礁体不会发生滑移。

(2) 单体鱼礁抗倾覆计算

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 $S_F \geq 1.2$ ，则满足稳定条件。

A 型：

$$\frac{476 \times 3}{15.75 v^2 \times 6} = 1.2$$

计算得出， $v=3.55\text{m/s}$

B 型：

$$\frac{586 \times 3}{20.1 v^2 \times 6} = 1.2$$

计算得出， $v=3.49\text{m/s}$

根据 2020 年 12 月水文动力调查结果，本项目周边海域可能最大流速为 0.72m/s，，所以礁体不会发生倾覆。

(3) 单体鱼礁地基承载力验算

单体鱼礁的地基采用淤泥质粉质粘土，地基承载力为 60KPa。

A 型鱼礁单体基底压力为：

$$F = ((2500 - 1000) \times 29.04 + 4040) \times 10 = 476\text{KN}$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{476}{27.0} = 17.63\text{KPa} < 60\text{KPa}$$

B 型鱼礁单体基底压力为：

$$F = ((2500 - 1000) \times 35.5 + 5443) \times 10 = 586KN$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{586}{20.1} = 29.15KPa < 60KPa$$

因此承载力满足要求。

(4) 单体鱼礁沉降验算

地基持力层为淤泥质粉质黏土。地基承载力 f_a 为 60KPa，压缩模量 E_0 为 3.0MPa。

①计算总重力 G

A 型：

混凝土质量： $29.04m^3 \times 2500kg/m^3 = 72600kg$ 。

总质量： $72600kg + 4040kg = 76640kg$ 。

总重力： $G = mg = 76640kg \times 9.8N/kg = 751072N$ 。

B 型：

混凝土质量： $35.5m^3 \times 2500kg/m^3 = 88750kg$ 。

总质量： $88750kg + 5443kg = 94193kg$ 。

总重力： $G = mg = 94193kg \times 9.8N/kg = 923091.4N$ 。

②计算浮力 $F_{浮}$

浮力公式： $F_{浮} = \rho_{水} g V_{排}$ ，其中 $\rho_{水} = 1000kg/m^3$ 。

A 型： $V_{排} = 29.04m^3$

浮力： $F_{浮} = 1000 \times 9.8 \times 29.04 = 284400N$ 。

B 型： $V_{排} = 35.5m^3$

浮力： $F_{浮} = 1000 \times 9.8 \times 35.5 = 347900N$ 。

③计算底部受力 F

$F = G - F_{浮} = 751072N - 284400N = 466672N$ 。

④底面积

A 型：底面积为 $27m^2$ ，折算为 $6m \times 4.5m$

B 型：底面积为 $20.1m^2$ ，折算为 $6m \times 3.35m$

⑤土层情况

A 型土层情况：

表 7.1.1-1 项目 A 型鱼礁土层情况

层号	土类名称	层厚 (m)	层底标高 (m)	重度 (kN/m ³)	饱和重度 (kN/m ³)	压缩模量 (MPa)
1	淤泥质土	3.60	-3.6	—	20.00	3.00
2	粘性土	10.40	-14.00	—	20.00	6.70

B 型土层情况：

表 7.1.1-2 项目 B 型鱼礁土层情况

层号	土类名称	层厚 (m)	层底标高 (m)	重度 (kN/m ³)	饱和重度 (kN/m ³)	压缩模量 (MPa)
1	淤泥质土	4.00	-4.00	—	20.00	3.00
2	粘性土	10.40	-14.00	—	20.00	6.70

⑥沉降计算

根据《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）中 5.3.5 条的规定，地基沉降量应符合下式要求：

$$S = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{Si}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})$$

采用理正结构工具箱的天然地基沉降计算模块进行计算。中心点压缩情况如下表所示。

表 7.1.1-3 A 型中心点压缩情况

序号	土类名称	层厚 (m)	底标高 (m)	压缩模量 (MPa)	压缩量 (mm)	应力面积 (kN)	平均应力 (kN)
1	淤泥质土	3.600	-3.600	3.000	17.235	51.673	14.354
2	粘性土	10.400	-14.000	6.700	5.138	34.482	3.316

表 7.1.1-4 B 型中心点压缩情况

序号	土类名称	层厚 (m)	底标高 (m)	压缩模量 (MPa)	压缩量 (mm)	应力面积 (kN)	平均应力 (kN)
1	淤泥质土	4.000	-4.000	4.000	27.861	83.510	20.877
2	粘性土	10.400	-14.000	6.700	5.917	39.745	3.975

计算得到 A 型角点沉降为 9.20mm，中心点沉降为 24.61mm；B 型角点沉降为 14.38mm，中心点沉降 37.16mm。

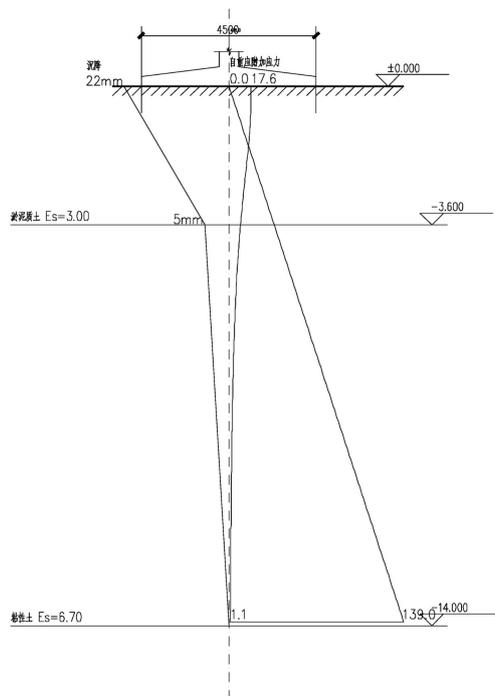


图 7.1.1-1 A 型鱼礁沉降计算结果

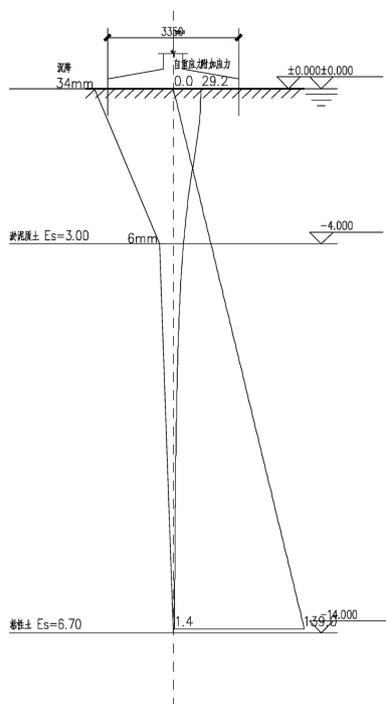


图 7.1.1-2 B 型鱼礁沉降计算结果

（5）单体鱼礁波浪影响分析

参考《波浪作用下海底管道在位稳定性分析》（高福平等，2004）文中的计算方法，Stokes 高阶波理论考虑了自由水面引起的非线性影响，即自由表面的运动条件和动力条件是非线性的，按照 Stokes 二阶波浪理论，波浪引起的距离水表面 Z 位置的水质点运动水平速度 U_x 为

$$U_x = \frac{\pi H}{T} \frac{ch[K(z+d)]}{sh(Kd)} \cos(Kx - \omega t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{T} \right) \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{ch[2K(z+d)]}{sh^4(Kd)} \cos[2(Kx - \omega t)]$$

式中

$\omega = 2\pi/T$ ，K 为波数，波长 L 与周期 T 在有限水深条件下具有如下色散关系

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} th\left(\frac{2\pi}{L}d\right)$$

最大水质点水平速度 U_m 发生在相位 $\theta = kx - \omega t = 0$ 的时刻，即

$$U_m = \frac{\pi H}{T} \frac{ch[K(z+d)]}{sh(Kd)} + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{T} \right) \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{ch[2K(z+d)]}{sh^4(Kd)}$$

根据以上公式计算水质点的水平运动最大速度

$$d/T^2 = 0.5 (m/s^2) \approx 1.7 (ft/s^2)$$

$$H/T^2 = 0.1 (m/s^2) \approx 0.3 (ft/s^2)$$

根据以上公式，计算得到工程区域的 50 年一遇波浪在海底的最大流速为 1.077m/s，小于礁体滑移、倾覆所需要的流速，因此在 50 年一遇波浪情况下，礁体是稳定的。

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，主要通过珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程、栖息地修复工程，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。项目珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程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；栖息地修复工程选址于《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》中划定的三亚湾深水区海洋牧场区域内（该区域规划建设休闲性海洋牧场），项目建设有利于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。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、人工鱼礁礁体为预制构件，选定红塘湾莲花岛为预制场地及堆存场地、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。当地盛产项目建设所需的砂、石料，材质优良，供应充足，交通便利，可满足工程建设的需要。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。本工程可具备良好的施工条件。

根据《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》中的规划布局，依据海洋牧场选址原则，本着生态优先、统筹布局的基本理念，综合考虑海域理化指标、生物资源、地质条件、社会经济等环境因素，进行海南岛近岸海域海洋牧场选址布局，选址布局海洋牧场31处（养护型9处、休闲型22处）、29953公顷（养护型11438公顷、休闲型18515公顷）。根据规划，在海南岛近岸海域选址布局休闲型海洋牧场22处，分别位于西海岸、东海岸、潮滩鼻、青葛、龙湾、潭门、博鳌、甘蔗岛、神州半岛、加井岛、日月湾、香水湾、南湾猴岛、蜈支洲、东西瑁洲、龙栖湾、莺歌海、四更、峨蔓、马袅湾、昌江深水区、三亚湾深水区。本项目栖息地修复工程用海内容为人工鱼礁投放和增殖放流，位于三亚湾深水区海洋牧场区域内，符合《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》。

略

图 7.1.2-1 项目栖息地修复工程与《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030 年）》 海洋牧场规划区叠置图

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等。项目用海利益相关者为当地渔民，需协调部门为三亚海事局（海上交通安全协调部门）和海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处。

项目用海单位在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。

7.1.4 项目用海有利于海洋产业协调发展

项目栖息地修复工程选址于《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030 年）》中划定的三亚湾深水区海洋牧场区域内（该区域规划建设休闲性海洋牧场），区位上符合相关规划的要求。人工鱼礁是海洋牧场建设中最主要的部分，本项目规划建设人工鱼礁区和增殖放流区，为海洋生物提供索饵、庇护、生长、发育和繁育生殖的场所，从而保护渔业资源，提高渔获物的重量和质量。本项目选址及建设内容均符合规划中要求发展休闲型海洋牧场并投放人工集鱼礁的要求。

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，且项目用海有利于海洋产业协调发展。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

项目栖息地修复工程结合三亚湾深水区海洋牧场区域规划用海范围，用海范围呈矩形布置，总用海面积约为 400 公顷。项目根据海区的特点以及建设目标要求，设置在项目区域均匀分布，建设以诱集游泳类生物为目的休闲生态型人工鱼礁。人工鱼礁区平均水深条件在-40m 左右，根据“礁高水深比为 0.25、礁体宽度与礁体高度相应”的原则，本项目人工鱼礁单体尺寸为 6m×6m×6m。根据“1 个单位鱼礁以不少于 15 个单体鱼礁组成，单位鱼礁内单体鱼礁之间的距离宜为 1.5~2.5 倍礁宽”，确定本项目位于四个角的四个鱼礁群，每个鱼礁群外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单

位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 60m，沿平行水流方向间距 150m，每个单位鱼礁内安放 80 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。位于中间的 1 个鱼礁群，外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 75m，沿平行水流方向间距 180m，单位鱼礁内安放 56 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。满足规范“鱼礁群之间的距离应小于 1000m，宜为 50~100 倍礁宽”的要求。根据鱼礁相关技术要求，人工鱼礁区需要用海 400 公顷，能够满足鱼礁单体 376 个的投放。

同时根据项目的需求以及三亚湾海洋牧场用海规划要求，为使投放的人工鱼礁能够产生最大的生态效益，建造“海底森林”，创造稳定的近海局部水域生态系统，营造一定规模的适宜各种海洋动植物的生长和繁殖提供良好的栖息环境，促进区域渔业资源自然增殖，本项目将栖息地修复工程人工鱼礁区外的海域布置为增殖放流区。

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

项目拟投放的人工鱼礁均为透水结构，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。项目栖息地修复工程用海范围内无珊瑚礁、海草床等重要生态系统、不占用生态保护红线，项目人工鱼礁投放会对区域生物造成一定损失，但其施工悬沙造成的影响范围小，且属于暂时性的，随着施工结束而消失。项目用海区域的海流流向基本为沿岸流，人工鱼礁布置基本为错位投放，容易形成底层流速改变形成纹动区，从而形成聚鱼效果。本项目通过海洋牧场建设，起到养护海洋生态栖息地，净化海域水质作用，保护海洋生物多样性和增殖渔业资源。从长远来看，人工鱼礁建设对于整个海域的生态环境和渔业资源均具有积极作用。

因此，项目的平面布局通过合理布局、采用有效的环保措施等布置原则，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

根据水文动力预测结果，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 2.5cm/s 左右，流速改变的范围仅限于人工鱼礁投礁区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与项目区的最远距离约 1.2km，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，主要集中在人工鱼礁区附近的小范围内，冲淤幅度最大值只有 3cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 90m 左右。

综上，项目用海平面布置能最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响。

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，同时已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

项目主要用海内容为人工鱼礁投放，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“18 渔业用海”中的“1802 增养殖用海”。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“渔业用海”，二级类为“开放式养殖用海”和“人工鱼礁用海”；本项目用海方式包含开放式用海中的开放式养殖、构筑物用海中的透水构筑物。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
“18 渔业用海”中的“1802 增养殖用海”	透水构筑物	人工鱼礁用海区
	开放式养殖用海	自然增殖用海区

7.3.1 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

本项目主要是以珊瑚礁生态系统保护工程、渔业资源保护工程为主，具体建设内容包括珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程和栖息地修复工程，项目用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海。

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“18 渔业用海”中的“1802 增养殖用海”。根据《海域使用分

类》（HY/T123-2009），本项目用海类型界定一级类为“渔业用海”，二级类为“开放式养殖用海”和“人工鱼礁用海”；本项目用海方式包含开放式用海中的开放式养殖、构筑物用海中的透水构筑物。

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

本项目用海方式为透水构筑物、开放式养殖，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，项目人工鱼礁对渔业资源恢复起到积极作用，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

本项目用海方式为透水构筑物、开放式养殖，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修复海洋生物栖息地、保护海洋生态、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。人工鱼礁可以改造、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。人工鱼礁设计结构复杂，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

根据水文动力预测结果，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 2.5cm/s 左右，流速改变的范围仅限于人工鱼礁投礁区周边的小范围内，流速改变幅度大于 1cm/s 的范围与项目区的最远距离约 1.2km，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，主要集中在人工

鱼礁区附近的小范围内，冲淤幅度最大值只有 3cm/a 左右，冲淤幅度大于 1cm/a 的最远距离在 90m 左右。

综上，项目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。

7.3.5 用海方式有利于保持自然岸线和海域自然属性

本项目为海洋生态修复工程，主体工程均位于海域，因而项目建设不需要占用岸线。项目的人工鱼礁工程的用海方式为透水构筑物、自然增殖区的用海方式为开放式养殖用海，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、开放式养殖的用海方式，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，兼具保护和修复渔业水域生态环境、养护渔业资源为主要目标。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

根据三亚湾深水区海洋牧场用海规划范围，同时依据《海洋牧场建设规划设计技术指南》（T/SCSF0011-2021），确定了本项目栖息地修复工程用海范围呈矩形布置，总用海范围约为 400 公顷的用海区域。同时根据项目建设内容、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。

根据《人工鱼礁建设选址技术规程》（T/SCSF0012-2021）、《人工鱼礁礁体制作技术规范》（T/SCSF0005-2020）的标准和要求，结合海区的特点以及建设目标要求，设置在项目区域均匀分布，建设以诱集游泳类生物为目的生态型人工鱼礁。人工鱼礁区平均水深条件在-40m 左右，根据“礁高水深比为 0.25、礁体宽度与礁体高度相应”的原则，选择本项目人工鱼礁单体尺寸为 6m×6m×6m。根据“1 个单位鱼礁以不少于 15 个单

体鱼礁组成，单位鱼礁内单体鱼礁之间的距离宜为 1.5~2.5 倍礁宽”，确定本项目 1 单位鱼礁由 16 个单体鱼礁组成（呈 4 行 4 列矩阵分布）或由 9 个单体鱼礁组成（呈 3 行 3 列矩阵分布），则单位鱼礁尺寸为 51m×51m 或 36m×36m。根据人工鱼礁投放区大小、形状和功能，拟投放 5 块人工鱼礁群，位于四个角的四个鱼礁群，每个鱼礁群外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 60m，沿平行水流方向间距 150m，每个单位鱼礁内安放 80 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。位于中间的 1 个鱼礁群，外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 75m，沿平行水流方向间距 180m，单位鱼礁内安放 56 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。满足规范“鱼礁群之间的距离应小于 1000m，宜为 50~100 倍礁宽”的要求。根据鱼礁相关技术要求，人工鱼礁区需要用海 33.7562 公顷，能够满足鱼礁单体 376 个的投放。

根据项目的需求以及三亚湾深水区海洋牧场用海规划要求，为使投放的人工鱼礁能够产生最大的生态效益，建造“海底森林”，创造稳定的近海局部水域生态系统，营造一定规模的适宜各种海洋动植物的生长和繁殖提供良好的栖息环境，促进区域渔业资源自然增殖，本项目将人工鱼礁区外的海域布置设为增殖放流区，其用海面积为 366.2438 公顷。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）	
栖息地 修复工程	人工鱼 礁区	结合三亚湾深水区 海洋牧场区域规划 用海范围，用海范围 呈矩形布置，总用海 面积约为 400 公顷	位于四个角的四个鱼礁群，每个鱼礁群外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 60m，沿平行水流方向间距 150m，每个单位鱼礁内安放 80 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。位于中间的 1 个鱼礁群，外轮廓形状为 T 形，边长 300m，每个礁群内布置 5 个单位鱼礁，单位鱼礁沿垂直水流方向间距 75m，沿平行水流方向间距 180m，单位鱼礁内安放 56 个鱼礁块体，分为 A 型和 B 型，均匀布置，块体间距为 6m。	鱼礁单体	6m×6m×6m(长×宽×高) 箱型混凝土鱼礁，分 A、B 型	人工鱼礁区 1	6.7842	33.7562
				单位鱼礁	16 个鱼礁单体组成(呈 4 行 4 列矩阵分布)，则单位鱼礁尺寸为 51m×51m。9 个鱼礁单体组成（呈 3 行 3 列矩阵分布），则单位鱼礁尺寸为 36m×36m	人工鱼礁区 2	6.7842	
				人工鱼礁群	位于四个角的四个鱼礁群由 5 个单位鱼礁间隔错落、呈“品”字型布置组成。投礁 17280 空方，投放 6×6×6m 礁体 80 个，位于中间鱼礁群由 5 个单位鱼礁间隔错落、呈“品”字型布置组成，投礁 12096 空方，投放 6×6×6m 礁体 56 个	人工鱼礁区 3	6.6194	
						人工鱼礁区 4	6.7842	
	人工鱼礁区 5					6.7842		
增殖放流区		人工鱼礁区外的海域布置设为增殖放流区	除人工鱼礁区外的用海面积为增殖放流区用海面积	增殖放流区	366.2438			

7.5.1.2 项目用海面积符合产业用海面积控制指标要求

项目栖息地修复工程用海选址于《海南省现代化海洋牧场发展规划(2021-2030 年)》中划定的三亚湾深水区海洋牧场区域内（该区域规划建设休闲性海洋牧场）。总面积 400 公顷。人工鱼礁是海洋牧场建设中最主要的部分，本项目栖息地修复工程规划建设人工鱼礁区和增殖放流区，为海洋生物提供索饵、庇护、生长、发育和繁育生殖的场所，从而保护渔业资源，提高渔获物的重量和质量。项目用海面积符合海南省海洋牧场产业发展规划面积的控制指标要求。另外，本项目以生态渔业为主要目标，通过海洋牧场的建设，可以实现高生物量水平的生态平衡，并辐射优化周边海区环境，保障近海海洋资源健康可持续利用与开发。

综上所述，本项目用海符合三亚市用海控制性指标要求。

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。单位鱼礁规模和单位鱼礁间距符合《人工鱼礁建设技术规范》（SC/T 9416-2014）的要求，用海面积符合《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。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、《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030 年）》中划定的三亚湾海洋牧场区域为基础，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》（上海市政工程设计研究总院（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》（上海市政工程设计研究总院（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。

人工鱼礁区：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”。人工鱼礁礁群共 5 块，具体折线界址点见宗海界址图，计得人工鱼礁区用海面积 33.7562 公顷（四个角单个人工鱼礁礁群 6.7842 公顷、中间单个人工鱼礁礁群 6.6194 公顷）。

增殖放流区：根据《海籍调查规范》第 5.4.1.3 节，“无人工设施的人工投苗或自然增殖的人工管养用海，以实际使用或主管部门批准的范围为界”，由此确定宗海界址图中折线 1-2-3-4-5-6-1 范围内，人工鱼礁群 1、2、3、4、5 除外，围成的区域为增殖放流区，计得用海面积为 366.2438 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 2.5-1、图 2.5-2。

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）结构设计服务年限

根据本项目设计要求，人工鱼礁单体的设计使用寿命不宜小于 30 年。本项目主体为人工鱼礁，其结构设计使用年限为 30 年。

（3）项目用海实际使用年限

根据施工进度安排，本项目栖息地修复工程建设施工工期为 11 个月。由此，本项目用海申请单位申请项目用海的实际使用年限为 1 年。

（4）本项目申请用海期限

综上所述，为加强海域使用管理，以及项目用海实际需求和用海性质，本项目申请用海期限 1 年是合理的。

8 生态用海对策措施

8.1 概述

本项目主要是以珊瑚礁生态系统保护工程、渔业资源保护工程为主，具体建设内容包括珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程和栖息地修复工程，项目用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海，用海方式包括透水构筑物、开放式养殖。用海产生的主要生态问题有以下几点：

（1）透水构筑物、开放式养殖基本不改变海域自然属性，对海洋生态系统影响较小。人工鱼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，经计算项目施工人工鱼礁占用造成底栖生物损失量为 37.9kg。

（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，经估算，项目施工悬浮泥沙影响造成浮游植物损失量为 4.22×10^{11} cells、浮游动物损失量为 340.6kg、游泳动物损失量为 55.74kg、鱼卵损失量为 4.94×10^7 粒、仔稚鱼损失量为 2.76×10^6 尾。

8.2 生态用海对策

8.2.1 生态保护措施

8.2.1.1 施工期生态保护对策措施

（1）水环境保护对策措施

① 合理安排设置鱼礁投放工程的施工时间，尽量选择低潮时段，减少施工过程中产生的悬浮泥沙对周边海域的影响；

② 选择适当的礁体投放方式，礁体触底后再脱钩，投放后不要在水底拖放移动，确保最少泥沙释放量，以保护水质不受扰动产生的悬浮泥沙的影响；

③ 鱼礁投放进行间断性施工，避免连续作业造成周边海域悬浮泥沙浓度过高和扩散影响范围过大。

④ 施工船舶应该保持机件工作良好状态，避免因管理不当、操作失误等原因导致船舶跑、冒、滴、漏和自主排放机舱油污水、洗舱水、废油、垃圾等污染事故的发生，同时禁止在投放鱼礁过程中向海洋排放任何污染物；

⑤ 严格管理和节约施工用水、生活用水。

⑥ 加强与当地气象预报部门的联系，在恶劣天气条件下应提前做好施工安全防护工作，避免造成船舶碰撞等事故。

⑦ 项目严格执行国家《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（2007年）和《船舶水污染物排放控制标准》和73/78国际防止船舶污染海洋公约的相关规定，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放，施工单位应按照有关规定将施工船舶上油污水系统阀门进行铅封管理。船舶含油废水经收集后，由有资质单位对船舶油污水进行接收处理。

含油废水的接收、转运、贮存应严格按照船舶污染物五联单制度执行。接收单位在接收船舶污染物后，应向船舶出具污染物接收联单，按照联单格式填写作业名称、作业开始和结束时间、地点以及污染物种类、数量等内容。接收作业完成后，作业双方在联单上签字确认，第一联接收单位留存，第二联交船舶方，施工单位保存油类记录簿等文件至少2年。接收单位将第三、四、五联分别报作业地海事部门、生态主管部门和港航部门。

(2) 降低悬浮泥沙影响的措施

合理安排施工计划，恶劣天气期间不施工，避免悬浮物剧烈扩散。同时，根据季节性海流条件，优化施工作业面、施工工序安排，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱等不利于悬沙扩散的潮期内。

(3) 固体废物污染防治措施

① 施工船舶上设置带有明显分类标志的垃圾收集箱，进行生活垃圾收集。

② 施工中禁止任意向海洋抛弃各类固体废物，同时应尽量避免各类物料散落海中。施工中产生的固体废物应由施工单位负责及时清理处置。施工结束时，需做好施工现场的清理和固体废物的处理处置工作，不得在地面有明显的固体废物残留。对有利用价值的施工废弃材料也应由施工单位负责及时清理处置。

③ 施工船舶、机械设备发生作业操作性或事故性的残油、洗涤油应及时盛接，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。

(4) 施工期海洋生态环境保护措施

① 施工期人工鱼礁应严格按照确定的用海范围进行布放，选择风浪较小的天气施工，施工方式采用吊放的形式，以减少对海底的扰动，减少施工期产生的悬浮泥沙对海

洋生态环境的影响。

② 合理安排施工作业时间，尽量缩短工期，鱼礁安放施工作业尽量避开鱼类等生物的繁殖期，且应尽量安排在落潮期进行，避免因施工作业干扰保护鱼类的生活习性。

③ 施工期间加强工作人员的管理，严禁向海域内随意排放和丢弃污染物，避免对生态环境造成影响。

④ 做好项目周边海域内海水水质环境、沉积物环境、海洋生态环境的监测工作，及时掌握海洋环境变化，以采取有效的保护措施。

⑤ 制定完善的风险应急措施，一旦发生燃料油泄漏事故及其他导致水质不达标事故，及时治理，以尽量减少燃油及其他污染物入海对海洋生物的影响。

⑥ 施工单位在施工前期充分做好生态环境保护的宣传教育工作，增强施工人员的生态保护意识。

⑦ 加强对敌害生物的监视监测工作。

8.2.1.2 运营期生态环境保护措施

运营期本项目不投放饵料，以自然增殖为主，无污染物产生，有利于渔业资源的恢复。

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。”本项目主要是以珊瑚礁生态系统保护工程、渔业资源保护工程为主，具体建设内容包括珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程和栖息地修复工程，项目用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海，论证范围内涉及珊瑚礁典型海洋生态系统，故本报告结合项目整体工程提出生态跟踪监测方案。

8.2.2.1 海洋环境跟踪监测

（1）水质环境监测

① 监测站位：在项目区域海域及附近海域设置水质监测站位 15 个，调查站位见表

8.2.2-1、图 8.2.2-1。

② 监测项目：水色、透明度、COD、溶解氧、无机氮、SS、石油类。

③ 监测频率：施工前、施工中、施工结束后各进行一次监测。

(2) 沉积物监测

① 监测站位布设：选取水质监测站位中的代表站位。调查站位见表 8.2.2-1、图 8.2.2-1。

② 监测项目：石油类、有机碳、Pb、Hg。

③ 监测频率：与水质监测同步。

(3) 海洋生物监测

① 监测站位：选取水质监测站位中的代表站位。调查站位见表 8.2.2-1、图 8.2.2-1。

② 监测项目：浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵仔鱼、游泳动物。

③ 监测频率：与水质监测同步。

(5) 完成单位

建设单位以有偿服务的方式，委托有资质的监测部门实施监测计划。

(6) 执行单位和监督单位

通过实施施工期和工程后的环境监测计划，全面及时地掌握工程运行中的环境状况，若发现对本工程或周围其他用海不利的环境变化，应加密监测频次，并根据实际情况，制定必要的工程补救措施或环保措施。

表 8.2.2-1 海洋环境跟踪监测站位坐标

略

略

图 8.2.2-1 海洋环境跟踪监测站位图

8.2.2.2 栖息地修复工程生态跟踪监测

(1) 人工鱼礁状态调查

礁体位置、数量、沉降量、礁体倾斜程度测量：每 1 年度进行 1 次监测。如遇极端天气，如强台风等，应对鱼礁区域进行应急监测。

(2) 海洋牧场实时监测系统

本项目建设海洋牧场在线监测系统，在线监测系统采用无人监测船在线监测模式，对海洋牧场海域的气象、水文、水质等参数进行实时在线监测，主要监测参数：气温、

湿度、大气压、风速、风向、降雨量等气象参数，流速、流向、水温等水文参数，溶解氧、pH、盐度、浊度、叶绿素、蓝绿藻等水质参数，以及水下视频等数据。浮标监测的优势抗风浪能力强、维护方便等优势，可全天候、全实时对海洋环境进行监测，系统对数据进行分析处理，在线生成分析报告，为环境保护管理部门监控水环境因子变化及水环境污染提供业务支撑。

8.2.3 修复效果评估

人工鱼礁效果为投礁后鱼礁区调查分析值与本底（或对照区）调查分析值的差值。具体调查分析包括生物环境、对象生物和社会经济效果分析等内容。

（1）生物环境

主要对浮游植物、浮游动物、底栖生物、附着生物、鱼卵和仔稚鱼的种类组成及其数量进行调查分析

（2）对象生物

即主要经济种类调查，主要包括种类数、各种类的生物量及其生物学、生态学特征、标志放流回收记录等的调查

（3）社会经济效果分析

调查方法包括渔获物统计调查、渔船作业记录调查和问卷调查。要求：

- ①运用渔获物统计调查法时，应掌握鱼礁区渔获物的上岸地点及销售市场；
- ②运用渔船作业记录调查法时，须选择恰当的对照区，并且选择的渔船应具有代表性；
- ③问卷调查的对象应具有代表性。

（4）调查方法

本项目人工鱼礁聚鱼、增殖放流后的效果调查可采用带状断面录像法，首先进行样带铺设，根据等深线情况布设样带，铺设样带皮尺时，皮尺应拉直，每隔 10 m 固定在礁石上，固定卷尺起点和终点，并放置浮球，标示位置，记录样带起点和终点的位置及水深。

鱼类调查采用带状断面录像法。现场调查期间，每个站位首先开展鱼类项目调查工作。

样带铺设完后，静待 10 min 后，一名调查技术人员手持摄像机方式，离底 0.5 m 左右，从起点开始沿样带皮尺缓慢匀速游动，镜头水平对准皮尺前方，焦距保持在 35 m 左

右，保证画面内容包含皮尺两侧各 2.5 m 范围内的鱼类，录像时镜头避免晃动，保证画面清晰稳定。一直拍摄到样带皮尺终点为止，录像时长至少 5min。拍摄时，其他人员应避免出现在拍摄镜头的前方。另一名调查技术人员在录像拍摄人员之后对断面及两侧鱼类进行微距拍照，作为辅助鉴定分析材料。

根据录像结果，应记录礁体区的鱼类的种类、密度、体长等情况，并与非投放区的鱼类种类、密度、体长等情况作对照评价，判断丰度、密度等情况。

8.2.4 维护与管理

（1）维护

① 定期检查礁体构件连接和整体稳定性情况。对于发生倾覆、破损、埋没、逸散的鱼礁，应采取补救和修复措施，以保证鱼礁功能的正常发挥；对于移位严重的鱼礁，应及时处理，以防止影响海域其他功能的发挥。

② 定期检查礁体。对于礁体表面缠挂的网具、有害附着生物以及其他的有害入侵生物，应采取及时清除，以保证对象生物的良好栖息环境。在投礁三个月以后，要定期（至少每年一次）水下观察礁体是否移位、下陷或损坏。

③ 依托海洋牧场在线监测系统定期监测礁区的水质。收集礁区内对海域环境有危害的垃圾废弃物。收集方法可采用垃圾拦截网、人工收集等物理收集技术。

④ 建立鱼礁档案，对鱼礁的设计、建造、使用过程中出现的问题及时进行详细地记录。

（2）管理

① 建立鱼礁投放备案制度

鱼礁投放完毕后，鱼礁建设单位应及时将礁型、礁群平面布局示意图、礁区边角和中心位置的经纬度等材料报渔业与交通主管部门备案。

② 人工鱼礁管理规章的制定

对不同性质、不同投资主体的鱼礁应采用不同的管理方式，制定相应的管理规定。本项目属于由政府投资建设的人工鱼礁，由三亚渔业行政主管部门制定行政管理办法，其他相关渔政管理部门组织实施。

8.3 生态保护修复措施

8.3.1 生态保护措施

（1）优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作

业时间；

（2）施工期加强施工区附近水域的水质监测。掌握施工活动与水体中悬浮物增量的规律，尽可能避免对海洋生态产生不利影响；

（3）海上施工避开渔业资源繁殖季节。减小悬沙影响程度和范围，减小对鱼卵仔鱼的影响；

（4）施工过程中应尽可能采用对水体扰动小的机械设备，并设置防污帘，减少泥沙的扩散和再悬浮。减小悬沙影响程度和范围，减小对鱼卵仔鱼的影响；

（5）施工准确定位、详细记录其过程，严格按照施工平面布置进行作业，避免在一个区域重复作业。减少对项目所在海域底质扰动的强度；

（6）施工前先驱散该区域的水生生物。有利于减少对水生动物的干扰；

8.3.2 生态修复措施

本项目为海洋生态修复项目，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、投放人工鱼礁以及在礁体周围海域开展增殖放流的开放式养殖，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以及渔业资源增殖养护具有重要的作用。

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）选址于三亚湾中心海域开展海洋生态修复。项目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。本报告仅针对栖息地修复工程进行海域使用论证，用海内容主要是栖息地修复工程人工鱼礁和增殖放流区的用海。

栖息地修复工程拟在三亚湾深水区海洋牧场规划的 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。同时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。项目总投资为 7024.10 万元，栖息地修复工程建设投资 3495.61 万元。

项目申请用海单位为三亚环通工程管理有限公司。项目申请总用海面积为 400 公顷，其中申请人工鱼礁区用海面积为 33.7562 公顷，包括人工鱼礁区 1（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 2（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 3（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.6194 公顷、人工鱼礁区 4（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷、人工鱼礁区 5（用海方式为透水构筑物）用海面积 6.7842 公顷。申请增殖放流区（用海方式为开放式养殖）用海面积为 366.2438 公顷。项目申请用海期限为 1 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。

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707.27hm²，珊瑚礁修复面积1.6hm²，珊瑚礁生境保育面积5.67hm²，栖息地修复面积700hm²，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304.5hm²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，即为本项目建设内容，建设内容包括珊瑚培育工程、珊瑚礁修复工程和栖息地修复工程。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

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2.5cm/s左右，流速改变的范围仅限于人工鱼礁投礁区周边的小范围内，流速改变幅度大于1cm/s的范围与项目区的最远距离约1.2km，对周边的海洋动力环境的影响范围和幅度都较小。

9.3.2 冲淤环境影响结论

本项目工程后引起冲淤的范围和幅度都很小，主要集中在人工鱼礁区附近的小范围内，冲淤幅度最大值只有3cm/a左右，冲淤幅度大于1cm/a的最远距离在90m左右。

9.3.3 水质环境影响结论

项目建设对水质环境的影响主要是人工鱼礁投放过程中产生的悬浮泥沙增量对水质的影响。一方面，根据数模计算结果，由扩散面积可见礁体投放过程引起的悬浮泥沙影响很小，超I、II类水质（>10mg/L）面积为0.750km²，超III类水质（>100mg/L）面积为0.000km²，超IV类水质（>150mg/L）面积为0.000km²。未出现超III类海水水质。由人工鱼礁投放引起的悬浮物扩散面积可知，本项目人工鱼礁投放过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在人工鱼礁周边的小范围内。所有源点叠加后超I、II类水质（>

10mg/L) 扩散的最远距离约为 110m 左右。悬浮泥沙的扩散范围仅局限于海洋牧场投礁区周边的小范围内。项目人工鱼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，施工期施工船舶上设置油水分离器 and 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。综上所述，项目建设会对项目海域水质产生一定影响，在采取了相应的措施之后，能将影响减缓至最低。

9.3.4 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。

9.3.5 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人工鱼礁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，本工程人工鱼礁建设造成底栖生物损失量为 37.9kg，施工悬浮泥沙影响导致浮游植物损失 4.22×10^{11} cells，浮游动物损失 340.6kg，鱼卵损失 4.94×10^7 粒，仔鱼损失 2.76×10^6 尾，游泳动物资源损失 55.74kg。本项目用海中 366.2438 公顷的区域作为增殖放流区，项目实施本就有渔业资源养护的作用。相对于项目建成后对本海域渔业资源增殖养护的作用，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当地渔民，利益相关协调责任单位为三亚海事局和海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处。

在做好与当地渔民、三亚海事局和海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处协调的基础上，在落实相关措施后，项目建设及运营不会对周边船只航行产生影响。在做好环境保护和航行安全的基础上，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）》，项目栖息地修复工程用海范围所处海洋功能分区从海洋空间方面为海洋开发利用空间，从具体的海洋功能分区方面来说，项目所处功能区为海南岛近海渔业用海区。项目主要在三亚湾中心海域海洋牧场规划区进行人工鱼礁建设，属于渔业用海，符合渔业用海区的管控要求。

项目栖息地修复工程用海范围不占用海洋生态保护红线、城镇开发边界、永久基本农田，施工过程中对生态保护红线的影响较小，项目栖息地修复工程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）用海选址合理性

栖息地修复工程用海选址于《海南省现代化海洋牧场发展规划（2021-2030年）》规划内的三亚湾深水区海洋牧场（400公顷）用海区域内，主要用海内容为人工鱼礁、增殖放流。项目选址区位和社会条件满足项目建设和营运要求，选址区域海水水深在40m左右，底质类型为淤泥质粉质粘土，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，且项目用海有利于海洋产业协调发展。因此，本项目选址是合理的。

（2）用海平面布置合理性

项目栖息地修复工程结合三亚湾深水区海洋牧场区域规划用海范围进行平面布置，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，项目平面布置体现了集约、节约用海的原则。平面布置有利于生态保护，同时已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。

（3）用海方式合理性

项目用海建设主要内容为人工鱼礁建设和增殖放流，其用海方式分别为透水构筑物、开放式养殖，项目用海方式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，

人工鱼礁用海方式也对渔业资源恢复起到积极作用，符合该区的主导功能。本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。项目用海的目的是在修复海洋生物栖息地、保护海洋生态、增殖和恢复渔业资源，有效地改善海域自然生态环境的同时，促进了渔业资源的可持续发展。

通过分析，项目采用透水构筑物、开放式养殖用海方式，不改变海域自然属性，有利于维护海域基本功能。遵循了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。能最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响。因此，项目用海方式合理。

（4）用海面积合理性

根据本项目建设内容、规模、主要平面设计尺度信息和主要建设经济技术指标，得出了本项目各用海单元的面积，即人工鱼礁区用海面积、增殖放流区面积。用海面积符合《海洋牧场建设规划设计技术指南》（T/SCSF0011-2021）、《人工鱼礁建设选址技术规程》（T/SCSF0012-2021）、《人工鱼礁礁体制作技术规范》（T/SCSF0005-2020）的标准和要求。项目申请总用海面积为 400 公顷，其用海面积满足项目用海需求，

界址点测量和用海面积量算符合《海籍调查规范》、《海域使用面积测量规范》和《宗海图编绘技术规范》，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，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，

根据本项目设计要求，人工鱼礁单体的设计使用寿命不宜小于 30 年。本项目主体为人工鱼礁，其结构设计使用年限为 30 年。

根据施工进度安排，本项目栖息地修复工程建设施工工期为 11 个月。由此，本项目用海申请单位申请项目用海的实际使用年限为 1 年。

综上所述，为加强海域使用管理，以及项目用海实际需求和用海性质，本项目申请用海期限 1 年是合理的。

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。