三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复

工程环境影响报告书

（征求意见稿）

浙江省环境科技有限公司

Zhejiang Environment Technology Co.,Ltd.

二0二三年九月

目录

概述.....1
一、评价任务由来及评价目的.....1
二、建设项目的特点.....3
三、环境影响评价的工作过程.....4
四、分析判定相关情况.....5
五、关注的主要环境问题及环境影响.....6
六、环境影响评价的主要结论.....6
1 总则.....1
1.1 编制依据.....1
1.2 环境影响要素识别和评价因子筛选.....6
1.3 环境功能区划.....8
1.4 评价标准.....17
1.5 评价等级和评价范围.....23
1.6 评价内容与评价重点.....28
1.7 环境敏感目标.....28
2 工程概况.....31
2.1 项目基本情况.....31
2.2 项目由来及建设必要性.....36
2.3 已建工程.....46
2.4 拟建工程.....63
2.5 施工方案.....87
2.6 工程土石方平衡.....93
2.7 项目用海情况.....94
3 工程分析.....95
3.1 工程各阶段污染环节与环境影响分析.....95
3.2 工程各阶段非污染环节与环境影响分析.....106
4 环境现状调查与评价.....107
4.1 自然环境概况.....107

4.2 海洋资源概况.....123
4.3 环境敏感目标概况.....126
4.4 环境质量现状调查与评价.....136
4.5 工程所在海域海洋环境质量现状回顾评价.....221
5 环境影响预测与评价.....234
5.1 水文动力环境影响分析.....234
5.2 地形地貌与冲於环境影响影响分析.....309
5.3 岸滩稳定性影响分析.....323
5.4 水质环境影响分析.....339
5.5 沉积物环境影响分析.....348
5.6 海洋生态环境影响分析.....349
5.7 大气环境影响分析.....357
5.8 声环境影响分析.....358
5.9 固体废物环境影响分析.....359
5.10 对周边环境敏感目标影响分析.....361
6 环境风险分析与评价.....368
6.1 环境风险评价概述.....368
6.2 环境风险危害识别.....369
6.3 源项分析.....371
6.4 环境风险事故预测与评价.....377
6.5 环境风险防范措施.....401
6.6 环境风险应急计划.....403
6.7 事故防范措施与环境风险应急计划可行性分析.....414
7 环境保护措施及其可行性论证.....416
7.1 污染防治措施及其可行性论证.....416
7.2 海洋生态保护措施及其可行性论证.....427
7.3 环境保护对策措施汇总.....432
7.4 清洁生产与总量控制.....436
8 环境影响经济损益分析.....438
8.1 环境保护设施和对策措施的费用估算.....438

8.2 社会效益分析.....441
8.3 经济效益分析.....441
8.4 环境效益分析.....442
9 工程的环境可行性分析.....443
9.1 主体功能区规划符合性分析.....443
9.2 海洋功能区划符合性分析.....445
9.3 国土空间总体规划符合性分析.....455
9.4 国土空间生态修复规划符合性分析.....458
9.5 “三线一单”、生态保护红线、“三区三线”符合性分析.....460
9.6 生态环境保护规划符合性分析.....473
9.7 海洋环境保护规划符合性分析.....478
9.8 其他相关规划符合性分析.....483
9.9 政策符合性分析.....487
9.10 工程建设合理性分析.....491
10 环境管理与监测计划.....500
10.1 施工期环境管理.....500
10.2 施工期环境监理.....500
10.3 环境监测计划.....505
10.4 环境保护管理和环境监测的可行性和时效性.....513
11 环境影响评价结论.....514
11.1 工程概况及工程分析结论.....514
11.2 环境现状分析与评价结论.....516
11.3 环境影响预测分析与评价结论.....518
11.4 环境风险分析与评价结论.....523
11.5 环境保护对策的合理性、可行性结论.....524
11.6 工程的环境可行性结论.....525
11.7 公众参与主要结论.....525
11.8 评价结论.....525

概述

一、评价任务由来及评价目的

（一）评价任务由来

（1）原规划建设项目概况及实际建设情况

原海航集团拟在三亚红塘湾海域建设三亚新机场，规划的三亚新机场人工岛工程位于担油港至南山景区之间岸段的岸外 3.6~7.6km 海域。在三亚新机场人工岛的东北角陆侧约 1km 处，规划了近椭圆形临空产业园人工岛，面积 4.18km^2，离岸最近距离 0.76km。规划先期建设的临空产业园一期工程人工岛占用海域约 0.48km^2，位于规划的临空产业园人工岛的西北部近岸部分。

三亚新机场临空产业园一期工程（以下简称“临空产业园一期”）于 2015 年 7 月取得三亚市发改委备案登记，同步征求了海南省相关职能部门及军方关于项目用海意见。2016 年 2 月获得原海南省海洋与渔业厅项目海洋环评核准批复，2016 年 7 月获得原海南省海洋与渔业厅项目海域使用论证用海批复并办理项目海域使用权证书。

临空产业园一期工程于 2015 年 12 月开展工程沉箱、扭王字块预制构件施工准备工作，2016 年 12 月基本完成，形成陆域面积约 38.4 公顷。

临空产业园一期工程尚未完工阶段，原建设单位继续在一期周边填海，2017 年 7 月省市海洋执法部门下达停工通知，迄今处于停工状态。根据 2017 年 8 月海南省海域动态监管中心测量报告，在临空产业园一期周边共违规填海形成陆域面积 100 余公顷（其中临空产业园一期和三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程（以下简称“临空产业园二期”）内 88.9 公顷，三亚新机场填海项目起步工程（以下简称“新机场起步工程”）内 12.7 公顷，同时，建设三亚新机场填海栈桥工程（以下简称“栈桥工程”）连接临空产业园和新机场起步工程，占用海域 2.5 公顷。

2017 年停工后，临空产业园内共形成 88.9 公顷围填海区域（不含新机场起步工程），受围堰未全面封闭情况下风浪影响，至 2019 年 7 月减小至 68.6 公顷，2022 年 4 月减小至 56.1 公顷。0m 以上区域的砂石量 2019 年至 2022 年由 329 万方减少至 259 万方；新机场起步工程 2017 年停工时已吹填形约 12.7 公顷的 0m 以上的成陆区，受外围波浪作用，至 2019 年 7 月，高程 0m 以上区域已减少至 9.7 公顷，2022 年减少至 3.8 公顷。根据 2022 年 4 月测量结果，目前该区域最低潮位露出水面的违规填海面积尚有约 60 公顷（其中临空产业园二期 56.1 公顷，新机场起步工程 3.8 公顷），填海砂石物

料共约 2328 万方。

（2）整改要求及填海查处情况

2020 年 5 月第二轮中央环保督察指出“针对违法围填海问题，海南省虽然对第一轮环保督察指出的相关违法违规填海项目实施‘暂停建设、暂停营业’政策，但对后续处置整改既没有详细、可操作的整改行动计划，也没有推进落实，始终对恢复建设营业标准和具体整改要求不明确、不具体，导致后续处置整改尺度不一”。该问题涉及三亚红塘湾新机场围填海项目。《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告整改方案》，针对该问题整改制定了 3 条整改措施，主要是将合法审批部分作为机场功能配套区，纳入三亚新机场片区规划，在依法审批建设的基础上将非法填海的拆除工作与新机场填海工程统筹实施，并开展生态修复。

2020 年 12 月和 2022 年 10 月海口海事法院针对省市主管部门对三亚新机场投资建设有限公司、三亚新机场临空产业园空港区建设发展有限公司申请的强制执行进行了裁决。目前仅有原三亚市海洋与渔业局处罚已执行到位。因省自然资源和规划厅对海口海事法院做出的不准予执行处罚裁决不服，已于 2022 年 10 月 31 日向省高院提出行政复议。

2022 年 4 月，鉴于该整改措施中三亚新机场建设事宜的调整，且 2022 年 4 月 18 日冯飞省长在省政府常务会议上的指示精神要求，第二轮中央生态环境保护督察问题整改主要事项在 2022 年底前实现“清零”，并进一步梳理三亚红塘湾新机场整改事项，科学优化整改方案。

（3）编制实施过程

因填海项目实施已近 5 年，工程区岸滩、水下地形已有一定调整，加之工程量巨大，整改实施过也可能造成一定的二次不利影响。三亚市委托编制了《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》，评估了填海工程的主要生态环境影响，基本明确了填海的整改拆除方案，提出了以珊瑚礁修复和岸滩为主的生态修复对策。在此基础上，为科学制定修复方案，三亚市自然资源和规划局委托编制了《海南三亚红塘湾围填海项目拆除处置技术方案技术报告》、《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》，在回顾填海主要生态环境影响和整改拆除方案基础上，结合整改拆除后的地形条件、水文泥沙环境特征以及岸滩冲於状况，考虑拆除后废弃物料再利用，选取岸滩修复区段和珊瑚礁修复区域，并提出相应的修复方案。

为加快推进中央生态环境保护督察三亚红塘湾违规围填海项目的整改工作，2023

年 5 月 22 日省政府“两重一大会议已原则同意三亚市报送的红塘湾项目优化整改措施”，2023 年 6 月 29 日取得三亚市自然资源局《关于开展三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程项目前期研究工作的函》（三自然资海〔2023〕184 号），2023 年 7 月 3 日取得三亚市发展和改革委员会《关于三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程立项的批复》（三发改农经〔2023〕102 号）。《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程可行性研究报告》在《海南三亚红塘湾围填海项目拆除处置技术方案技术报告》（报批版）、《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》（报批稿）的研究成果基础上深化完善，确定拆除 2017 年实施的临空产业园二期违规围填部分、新机场起步工程违规围填部分、新机场人工岛钢圆筒试验段、临空产业园与新机场起步工程之间的栈桥工程等，建设临空产业园区域珊瑚礁修复和周边冲刷岸段砂质岸滩修复及配套工程。

根据《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等相关法律、法规的要求，三亚环境投资集团有限公司（项目代管单位）委托我公司进行该项目环境影响评价工作（委托书见附件）。我公司接受委托后，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十四、海洋工程 158 海洋生态修复工程——工程量在 10 万立方米及以上的清淤、滩涂垫高等工程；涉及环境敏感区的堤坝拆除、临时围堰等改变水动力的工程”，应编制环境影响报告书。在收集工程等相关资料、认真分析研究，对工程所在区域进行现场踏勘和调研的基础上，编制完成了《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程环境影响报告书》。

（二）评价目的

本评价旨在查明建设项目评价范围内的环境质量现状，在全面分析建设项目施工期和营运期的主要污染因子种类和数量的基础上，预测和评价建设项目对周围环境的影响范围和程度，阐明该项目的环境效益、经济效益和社会效益，提出相应的环境保护措施和建议，从环境保护角度论证该工程建设的合理性和可行性，从而为工程开发主管部门和环境保护主管部门提供决策依据，为项目的环境保护设计提供科学依据，为建设单位实施完善的环境管理提供可操作依据。

二、建设项目的特点

本项目包括违规围填海项目拆除和生态修复工程（砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程）。红塘湾违规围填海项目拆除范围为 2017 年实施的临空产业园二期违规围填部分、新机场起步工程违规围填部分、新机场人工岛钢圆筒试验段、临空产业园与新

机场起步工程之间的栈桥工程等；生态修复范围为临空产业园区域珊瑚礁修复和周边冲刷岸段砂质岸滩修复及配套工程。同时，为减小施工悬沙对海洋环境影响设置拦污屏，并依托临空产业园一期施工临时栈桥进行物料运输。

本项目总投资为 42887.06 万元，其中环境保护投资 24398.98 万元，占总投资的比例为 56.89%，计划工期约 24 个月。

工程周边主要环境敏感目标为：三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、沿岸珊瑚礁、天涯海角景区、南山-大小洞天景区、领海基点、砂质岸线、生态红线、养殖区、重要渔业水域等。

工程在建设过程中及建成后对海洋环境的主要影响为：拆除工程实施后恢复所在海域自然属性，砂质岸线修复工程实施后改变所在海域自然属性，将导致项目附近海域水动力、地形地貌与冲淤环境变化；施工悬浮泥沙对海水水质的影响，对工程海域浮游生物、底栖生物、游泳动物、珊瑚造成的损失与影响；工程占海和施工悬沙造成海洋生物的损失；施工悬沙扩散、水动力及冲淤环境变化、溢油风险均可能对周边海域敏感目标产生一定影响。

三、环境影响评价的工作过程

（一）现场踏勘过程

我公司在接收建设单位环评委托后，立即组织了现场踏勘，对工程所在海域的开发利用现状进行调查，收集了工程海域环境质量现状调查成果、环境功能区划及与本工程相关的规划文件。

（二）海洋环境现状调查过程

本项目海洋环境现状调查资料引用的是《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程珊瑚现状调查报告》、《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度夏季航次）》、《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度秋季航次）》对项目所在海域的环境现状调查资料。

（三）公众参与过程

本项目环评阶段，建设单位依据《环境影响评价公众参与办法》（2019 年 1 月 1 日起开始执行）的有关规定开展了公众参与工作。在 2023 年 7 月 7 日正式委托浙江省环境科技有限公司承担环境影响评价工作后，在 2023 年 7 月 10 日在三亚市天涯区人民

政府官网上首次公开了本项目环境影响评价信息，符合《环境影响评价公众参与办法》中第九条“建设单位应当在确定环境影响报告书编制单位后 7 个工作日内，进行环评信息首次公开”的要求。

（四）支撑性专题报告及评审情况

本项目实施对项目所在海域水动力环境、地形地貌与冲於环境造成一定的影响，建设单位委托水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院开展《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程潮流数学模型专题研究》、《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程波浪数学模型专题研究》、《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程岸滩演变专题研究》，并于 2023 年 8 月 31 日通过了专家评审会（评审意见见附件）。

同时，项目所在海域沿岸分布珊瑚礁，建设单位委托国家海洋局海口海洋环境监测中心站开展《三亚红塘湾围填海项目拆除工程珊瑚礁影响专题研究》，并于 2023 年 8 月 30 日通过了专家评审会（评审意见见附件）。

（五）环境影响报告书编制过程

在上述工作的基础上，评价单位依据项目工程可行性研究报告、海洋环境质量现状调查报告及相关专题研究成果，针对工程特点和区域海洋水质、生态环境现状，对项目建设的主要海洋环境影响进行了预测、分析和评价，给出有针对性的污染防治措施、生态影响减缓措施，提出了环境管理与监测计划要求，明确了建设项目可行与否的结论，编制完成了三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程环境影响报告书》。

四、分析判定相关情况

工程建设符合国家产业政策，符合所在海域海洋环境保护要求和海域使用管理要求，项目的选址和建设符合国家及地方发布的各项规划、功能区划、生态环境保护规划。相关情况的判定结果见表 1。

表 1 项目相关情况判定结果一览表

序号	类别	判定依据	判定结果
1	功能区划	《海南省主体功能区规划》	符合
2		《海南省总体规划（空间类 2015-2030 年）——主体功能区专篇》	符合
3		《海南省总体规划（空间类 2015-2030）——海洋功能区划和海岛保护专篇》	符合

4		《海南省海洋功能区划（红塘湾海域）修改方案》（国海管字〔2016〕218号）	符合
5		《海南省近岸海域环境功能区划（2010年修编）》	符合
6	国土空间规划	《海南省国土空间总体规划（2020-2035年）》	符合
7		《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》	符合
8		《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》	符合
9		《海南省三亚市国土空间生态修复规划（2021-2035年）》	符合
10	三区三线	三亚市“三区三线”划定成果	符合
11	三线一单	《关于海南省“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》	符合
12		《关于三亚市“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》	符合
13	生态红线	《海南省人民政府关于划定海南省生态保护红线的通告》	符合
14		《海南省生态保护红线管理规定》	符合
15		《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录(修订)的通知》	符合
16	环境保护规划	《海南省生态功能区划》	符合
17		《海南省“十四五”生态环境保护规划》	符合
18		《三亚市“十四五”生态环境保护规划》	符合
19		《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》	符合
20		《三亚市“十四五”海洋生态环境保护规划》	符合
21	保护规定	《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》	符合
22	相关规划	《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035年）》	符合
23		《国家生态文明试验区（海南）实施方案》	符合
24		《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》	符合
25		《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》	符合
26		《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021-2025年）》	符合
27	政策	《产业结构调整指导目录（2019年本）》	符合
28		《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》	符合

五、关注的主要环境问题及环境影响

本项目关注的主要环境问题及环境影响为：

（1）工程建设占用海域占用海域对海洋生态环境的影响和损失，施工悬沙对周边海域海水水质、海洋生态环境的影响；

（2）工程建设及实施对周边珊瑚生态系的影响；

（3）工程建设及实施过程对周边海域水文动力和冲淤环境产生的影响。

六、环境影响评价的主要结论

本项目符合产业政策，符合海洋功能区划、国土空间总体规划、国土空间生态修复规划等相关规划。本项目拆除工程实施后恢复海域自然属性，砂质岸线修复工程实施后有利于维持岸滩稳定，珊瑚礁修复工程实施后构建珊瑚生态系统，工程的实施改善海域生态环境质量，有助于保护海域自然岸线及珊瑚礁海洋生态系统，有利于促进

环境友好空间格局的形成。

本项目实施对所在海域洋生态环境、大气环境和声环境的影响在可接受范围内，在建设单位认真落实本报告提出的各项环保对策措施和议，加强环境保护管理的前提下，从环境保护角度，项目建设可行。

1 总则

1.1 编制依据

1.1.1 法律法规及部门规章

1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014 年 4 月 24 日修订；

2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修订；

3) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2017 年 11 月 4 日修订；

4) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017 年 6 月 27 日；

5) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日修订；

6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，2018 年 12 月 29 日修正；

7) 《中华人民共和国水土保持法》，2011 年 3 月 1 日；

8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 4 月 29 日修订；

9) 《中华人民共和国海上交通安全法》，2021 年 9 月 1 日；

10) 《中华人民共和国海域使用管理法》，2002 年 1 月 1 日实施；

11) 《中华人民共和国渔业法》，2013 年 12 月 28 日修订；

12) 《中华人民共和国清洁生产促进法》，2012 年 2 月 29 日修订；

13) 《中华人民共和国野生动物保护法》，2017 年 1 月；

14) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院 682 号令，2017 年 7 月 16 日；

15) 《环境影响评价公众参与办法》，2018 年 7 月 16 日；

16) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》，生态环境部 2020 年 11 月 30 日；

17) 《中华人民共和国防治海洋工程建设项目污染损害环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日；

18) 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日实施；

19) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2017 年 3 月 1 日修订；

20) 《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》，交通运输部 2017 年 5 月 17 日修订；

21) 《中华人民共和国水上下活动通航安全管理规定》，2019 年 5 月 1 日；

22)《中华人民共和国水生野动物保护实施条例》，2013 年 12 月 7 日修订；

23)《中华人民共和国自然保护区条例》，2017 年 10 月 7 日修订；

24)《海洋自然保护区管理办法》，1995 年 5 月 29 日；

25)《国务院关于印发中水生物资源养护行动纲要的通知》，2006 年 2 月 14 日；

26)《水生生物增殖放流管理规定》（农业部令第 20 号，2009 年 5 月 1 日施行）；

27)《农业农村部办公厅关于进一步明确涉渔工程水生生物资源保护和补偿有关事项的通知》（农办渔〔2018〕50 号）；

28)《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），2022 年 1 月 13 日；

29)《产业结构调整目录（2019 年本）》，国家发展改革委，2019 年 10 月 30 日；

30)《国家危险废物名录》（2021 版），2021 年 1 月 1 日实施；

31)《国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填的通知》，国发〔2018〕24 号；

32)《自然资源部、国家发展和改革委员会关于贯彻落实<国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知>的施行意见》（自然资规〔2018〕5 号）；

33)《围填海域管控办法》（2016 年）；

34)《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》，2018 年 4 月 11日；

35) 国务院印发《中(海南)自由贸易试验区总体方案》，国发〔2018〕34 号；

36)《国务院关于推进海南际旅游岛建设发展的若干意见》，〔2009〕44 号；

37) 国家海洋局《关于大洲岛生态自然保护区和三亚珊瑚礁建设方案的批复》，国海管发〔1993〕224 号；

38) 国家海洋局《关于三亚珊瑚礁级自然保护区与发展批复》，环字〔2004〕405 号；

39) 国家海洋局《关于进一步加强自然保护区域使用管理工作的意见》，国海函〔2006〕3 号；

40) 国家海洋局《关于进一步规范自然保护区内开发活动管理的若干意见》，国海发〔2006〕26 号；

41) 环保部、国家海洋局等十门《关于进一步加强涉及自然保护区开发建设活动监督管理的通知》，环发〔2015〕57 号。

42)《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》，2016 年 5 月 26 日修正；

43)《海南省实施<中华人民共和国海域使用管理法>办法》，2008 年 8 月；

44)《海南省自然保护区管理条例》，1991 年 10 月 16 日起施行；

45) 三亚市人民政府《关于保护国家珊瑚礁自然区的布告》，市政〔1992〕95 号；

46)《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》，2017 年 1 月 1 日。

1.1.2 功能区划与相关规划

1) 《全国主体功能区规划》（国发[2010]46 号）；

2) 《全国海洋主体功能区规划》（国发[2015]42 号），2015 年 8 月 1 日；

3) 《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》（国函[2012]182 号）；

4) 《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，2021 年 1 月 28 日；

5) 《海南省主体功能区规划》，2013 年 12 月 28 日；

6) 《海南省总体规划（空间类 2015-2030）》，2017 年 9 月；

7) 《海南省国土空间规划》（2021-2035 年）；

8) 《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》（琼自然资修〔2022〕125 号），2022 年 5 月 6 日；

9) 《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，国函〔2012〕181 号；

10)《海南省洋功能区划红塘湾海域）修改方案》，（国海管字〔2016〕218 号）；

11)《海南省近岸海域环境功能区划（2010 年修编）》，2012 年 3 月；

12)《海南省环境保护条例》（2017 年 8 月 1 日施行）；

13)《海南省生态保护补偿条例》（2021 年 1 月 1 日起施行）；

14)《海南省海洋环境保护规定修正案》（2017 年 11 月 30 日）；

15)《海南省生态保护红线》，2021 年 6 月；

16)《海南省生态保护红线管理规定》（2022 年修订）；

17)《海南省“十四五”生态环境保护规划》（琼府办〔2021〕36 号），2021 年 7 月 22 日；

18)《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》（琼环海字〔2021〕4 号），2021 年 12 月 31 日；

19)《三亚市总体规划（空间类 2015-2030 年）》；

20)《海南省三亚市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》，2023 年 4 月；

21)《三亚市国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要和二〇三五年远景目标纲

要》，2021 年 6 月 22 日；

22)《三亚市“十四五”海洋生态环境保护规划》（三府〔2022〕66 号），2022 年 2 月 28 日；

23)《三亚市人民政府办公室关于印发三亚市城市规划区声环境功能区划分方案（2011-2010）的通知》（三府办〔2012〕290 号）。

1.1.3 技术导则、标准和规范

1) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
2) 《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）；
3) 《海洋工程环境影响评价管理规定》（国海环字〔2017〕7 号）；
4) 《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ 2.2-2018）；
5) 《环境影响评价技术导则-声环境》（HJ 2.4-2021）；
6) 《环境影响评价技术导则-生态环境》（HJ19-2022）；
7) 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）；
8) 《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）；
9) 《海洋生态资本评估技术导则》（GB/T 28058-2011）；
10) 《海洋生态损害赔偿与生态补偿评估方法》（DB46/T238-2013）；
11) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）；
12) 《海洋监测规范》（GB17378-2007）；
13) 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；
14) 《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》；
15) 《海洋渔业资源调查规范》（SC/T 9403-2012）；
16) 《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442.1~10-2020）；
17) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（2002 年 4 月）；
18) 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；
19) 《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）；
20) 《海洋生物质量》（GB 18421-2001）；
21) 《声环境质量标准》（GB3096 -2008）；
22) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
23) 《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）；
24) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；

25) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；

26) 《非道路移动机械用柴油排气污染物放限值及测量方法（中国第三、四阶段）（GB20891-2014）；

27) 《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》（GB36886-2018）；

28) 《一般工业固体废物贮存、处理场污染控制标准》（GB18599-2020）；

29) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；

30) 《水生生物增殖放流技术规程》（SC/T9401-2010）；

31) 《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 5 部分：珊瑚礁》（T/CAOE20.5-2020）；

32) 《海堤生态化建设技术指南（试行）》；

33) 《海洋生态修复技术指南（试行）》，自然资办函〔2021〕1214 号，2021.07；

34) 《海滩养护与修复技术指南》（HY/T 255-2018）。

1.1.4 有关技术文件

1) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程可行性研究报告》（报批稿），中设可欣设计集团有限公司，2023 年 7 月；

2) 《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》，水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院，2023 年 2 月；

3) 《海南三亚红塘湾围填海项目拆除处置技术方案技术报告》（报批版），中交第四航务工程勘察设计院有限公司，2023 年 7 月；

4) 《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》（报批稿），水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 中国科学院南海海洋研究所，2023 年 7 月；

5) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程珊瑚现状调查报告》，国家海洋局海口海洋环境监测中心站，2023 年 9 月；

6) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度夏季航次）》，国家海洋局海口海洋环境监测中心站，2023 年 9 月；

7) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度秋季航次）》，国家海洋局海口海洋环境监测中心站，2023 年 9 月；

8) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程潮流数学模型研究》，水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院，2023 年 9 月；

9) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程波浪数学模型专题研究》，水利

部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院，2023 年 9 月；

10) 《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程岸滩演变专题研究》，水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院，2023 年 9 月；

11) 《三亚红塘湾围填海项目拆除工程珊瑚礁影响专题研究》，国家海洋局三沙海洋环境监测中心站，2023 年 9 月；

12) 建设单位提供的其他工程技术资料。

1.2 环境影响要素识别和评价因子筛选

1.2.1 环境影响要素识别

根据本项目工程特点，结合周边环境敏感目标分布，施工期间产生的悬浮泥沙、施工人员生活污水及生活垃圾、施工船舶污染物、施工船舶溢油风险事故等可能对周围海域环境质量产生一定的影响，本工程环境影响因素识别见表 1.2-1。

表 1.2-1 工程环境影响因素识别一览表

时段	环境要素	影响因子	工程内容及表征	影响程度
施工期	水质	COD、SS、石油类	施工悬沙	-2S
			施工人员生活污水、施工船舶含油水、施工船舶生活污水	-1S
	沉积物	石油类	施工悬沙	-2S
			施工人员生活污水、施工船舶含油水、施工船舶生活污水	-1S
	海洋生态	近岸海域生境及生物、浮游动植物、鱼卵、仔稚鱼、游泳生物等	拆除工程恢复近岸海域生境，修复工程占用近岸海域	+2L
			施工悬沙	-2S
		珊瑚礁	施工悬沙	-2S
	陆域生态	临空一期临时堆土场水土流失	临空一期临时堆土场易水土流失	-1S
	大气环境	TSP、CO、NOx、烃类	施工扬尘、施工船舶和机械尾气	-1S
	声环境	L_{Aeq}	施工船舶和机械噪声	-1S
	固体废物	/	拆除的回填砂和水工构筑物、建筑垃圾、施工人员生活垃圾和施工船舶生活垃圾	-1S
	环境风险	溢油	溢油造成岸线破坏和生物生态损失	-2S
营运期	水文动力环境、地形地貌与冲於环境	海域潮流场、波浪场、岸滩冲於变化	拆除工程和修复工程对周边海域潮流、波浪和冲於平衡的影响，对红塘湾岸线的岸滩稳定影响	+2L
	海洋生态	近岸海域生境及生物、浮游动植物、鱼卵、仔稚鱼、游泳生物等	人工岛拆除恢复近岸海域生境	+2L
		珊瑚礁	珊瑚礁修复	+2L

注：+表示正面影响，-表示负面影响；

0 表示无影响；1 表示环境要素所受影响程度较小或轻微，进行影响描述；2 表示环境要素所受影响程度为中等或较敏感，进行重点评价；

L 表示长期影响，S 表示短期影响

1.2.2 评价因子筛选

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》的有关要求，同时结合工程海域周边环境和工程自身特点，确定本工程环境质量现状评价因子和环境影响预测评价因子，见表 1.2-2、表 1.2-3。

表 1.2-2 环境质量现状评价因子

序号	环境要素	现状评价因子
1	水文动力环境	海流流速、流向
2	地形地貌与冲淤环境	岸线分布与地貌特征、水下地形特征、地形地貌冲於变化特征
3	水质环境	pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、石油类、砷、汞、铜、铅、锌、镉、总铬、硫化物
4	沉积物环境	有机碳、硫化物、总汞、铜、铅、镉、锌、砷、铬、石油类
5	海洋生态环境	叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物
6	生物质量	铬、铜、铅、锌、镉、砷、汞、石油烃
7	渔业资源	游泳生物、鱼卵和仔稚鱼
8	珊瑚	物种分布现状、种群特征
9	大气环境	SO_2、NO_2、O_3、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、TSP
10	声环境	等效连续 A 声级

表 1.2-3 环境影响预测评价因子

评价时段	环境影响要素	预测评价因子	工程内容
施工期	水质环境	悬浮物	拆除工程、砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程施工
	沉积物环境	悬浮物	
	海洋生态环境	生物资源损失	
	渔业资源	游泳生物、鱼卵和仔稚鱼损失	
	珊瑚	底栖生境、水质、饵料	
	陆域生态环境	水土流失情况	
	大气环境	TSP	
	声环境	等效连续 A 声级	
	固体废物	生活垃圾、施工固废	
工程实施后	水文动力环境	项目周边海域潮流场、波浪场变化	岸线修复工程、珊瑚礁修复工程占用海域
	地形地貌与冲淤环境	项目周边海域地形地貌与冲淤环境的变化、岸滩演变	
	珊瑚	水动力变化和珊瑚礁修复工程实施影响珊瑚	
事故状态	海水水质、沉积物及生态环境、周边环境敏感目标	施工船舶溢油	施工船舶溢油事故

1.3 环境功能区划

1.3.1 海洋功能区划

根据《海南省海洋功能区划（红塘湾海域）修改方案》（国海管字〔2016〕218号）、《海南省总体规划（空间类 2015-2030）——海洋功能区划和海岛保护专篇》，本项目拆除工程所在海域海洋功能区划属于“天涯海角旅游休闲娱乐区（A5-32）”、“红塘湾工业与城镇用海区（B3-01）”，修复工程位于“天涯海角旅游休闲娱乐区（A5-32）”、“红塘湾港口航运区（A2-10）”、“南山旅游休闲娱乐区（A5-31）”、“红塘湾工业与城镇用海区（B3-01）”，本工程与海洋功能区划的位置关系见图 1.3-1。

工程周边临近海洋功能区有“南山农渔业区（B1-06）”、“三亚湾农渔业区（B1-05）”、“海南岛西南部保留区（B8-06）”、“三亚湾旅游休闲娱乐区（A5-31）”、“三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)（A6-11）”、“崖州湾旅游休闲娱乐区（A5-34）”、“崖州湾农渔业区（A1-17）”、“南山港港口航运区（A2-11）”、“海南岛近海农渔业区”（B1-07）。

项目所在海域及周边海洋功能区划登记见表 1.3-1。

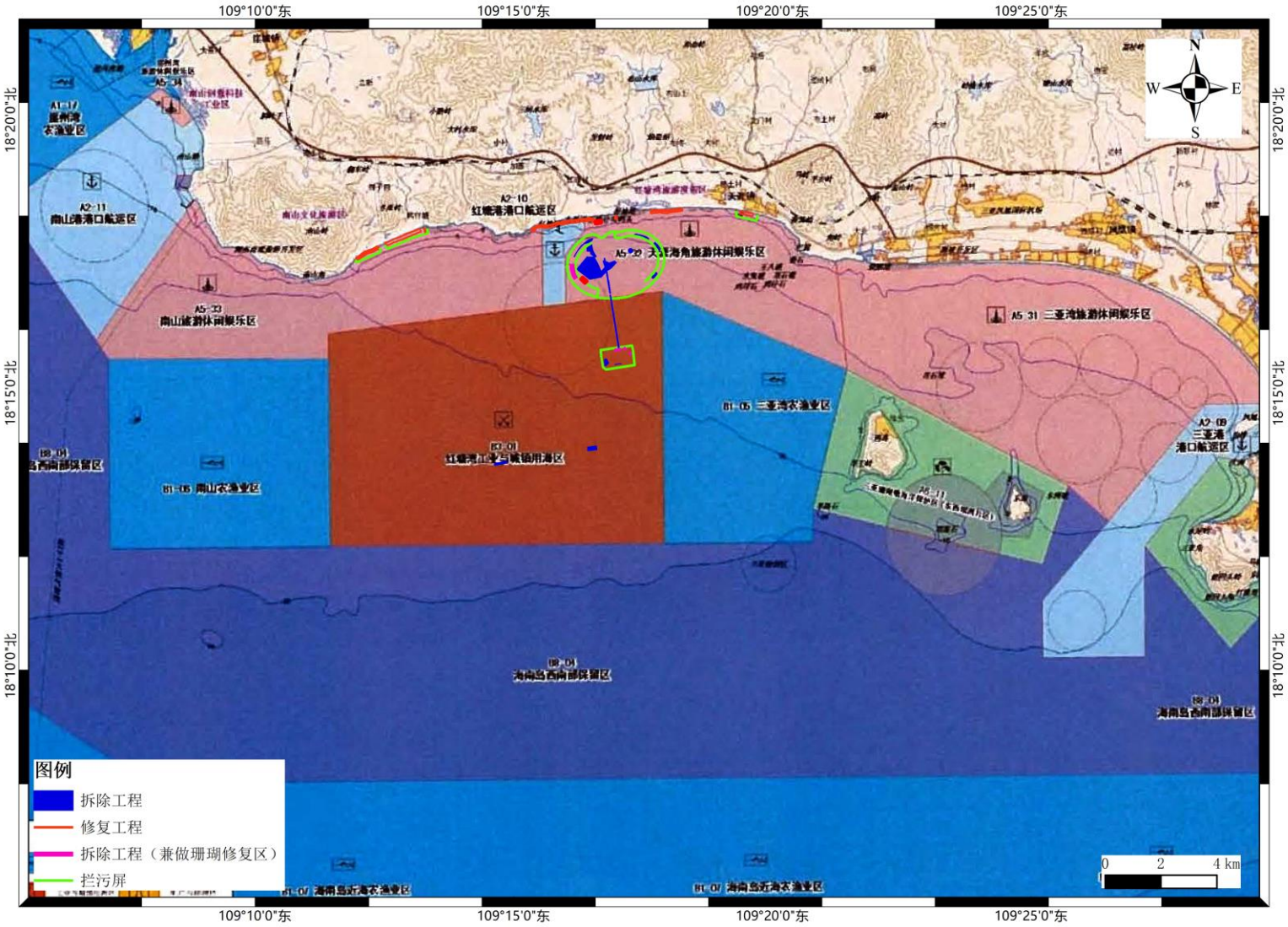


图 1.3-1 本工程与海洋功能区划位置关系图

表 1.3-1 本项目所在海域及周边海洋功能区划登记表（摘录）

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围	功能区类型	面积 hm^2	岸段长度 km	海域使用管理要求			海洋环境保护要求	
								用途管制	用海方式	海域整治	重点保护目标	环境保护要求
83	A5-32	天涯海角旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚市天涯镇至红塘岭南部海域。	旅游休闲娱乐区	2701.81	18.49	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，兼顾农渔业用海，开展名贵品种增殖和休闲渔业开发；涉海工程建设需征求相关部门意见。	天涯海角岸段禁止改变海域自然属性，红塘湾岸段允许适度改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	保持岸滩原有形态，强化海岸治理工程，严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质；保护旅游资源。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
84	A2-10	红塘港港口航运区	三亚市	位于三亚红塘岭红塘村南部海域。	港口航运区	261.92	1.52	主导用海类型为交通运输用海，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域；兼顾海底管道、路桥交通功能；涉海工程建设需征求相关部门意见。新机场建成，油码头搬迁后转划为旅游码头功能。	允许适度改变海域自然属性，围填海用于港口配套设施、路桥交通等建设。	加强项目用海动态监测和跟踪管理，防淤、防污染。	保护港口、航道水深条件；保护水域宽度，防止淤积。	执行三类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
85	A5-33	南山旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚市崖城镇南部海域。	旅游休闲娱乐区	4469.61	14.58	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，可兼顾农渔业用海，沿岸可适度增养殖鲍鱼等珍贵渔业品牌，可适度开发休闲渔业项目；涉海工程建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌；保护水质。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
160	B	红塘湾工	三亚	位于三亚	工业	886		主导用海类型为城镇建设用	允许改变海域	实施海域环	保护海域自	执行三类海水水

	3-01	业与城镇用海区	市	市红塘湾近岸海域。	与城镇用海区	1.69		海，兼顾交通运输用海与旅游娱乐功能；填海造地实施总量控制，重点保障海上机场建设需求；涉海工程建设需征求相关部门意见。	自然属性。根据海上机场、交通运输港口码头、旅游服务设施等建设需要可填海造地，但需注意填海造地对生态环境的影响。	境综合整治，海洋工程需协调好与周边功能区的关系。	然生态环境。	质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准。
159	B1-05	三亚湾农渔业区	三亚市	位于三亚湾东、西瑁洲岛南部周边海域。	农渔业区	2788.95		主导用海类型为开放式养殖用海，可兼顾旅游娱乐用海，开展休闲渔业活动；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许适度改变海域自然属性。	合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发。	保护海域自然生态环境。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
161	B1-06	南山农渔业区	三亚市	位于三亚市南山南部海域。	农渔业区	4282.52		主导用海类型为渔业用海，主要为增养殖用海，可兼顾旅游娱乐用海；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许适度改变海域自然属性。	合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发。	保护海域自然生态环境。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
162	B8-04	海南岛西南部保留区	三亚市-乐东县-东方市-昌江县	位于海南岛西南部近海海域。	保留区	237718.45		无主导用海类型，维持现有用海现状，今后根据经济社会发展需要，经科学论证明确其具体使用功能后可调整功能；注意海底管线的保护，海上设施建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性。		保护海域自然生态环境；保护金色小沙丁鱼、蓝圆鲹等水产种质资源；保护近海渔业资源；保护海底管线。	海水水质标准、海洋沉积物质量标准、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。
165	B	海南岛近	海南	海南岛周	农渔	126		主导用海类型为捕捞用海，	严格限制改变	本着保护性	保护海域自	执行一类海水水

	1-07	海农渔业区	省	边近海海域，领海外缘线以内	业区	9868.24		可兼顾开放式养殖用海和旅游娱乐用海；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见	海域自然属性。	开发的原则，禁止渔业资源过度捕捞	然生态环境；保护渔业资源；保护海底管线	质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准
80	A6-11	三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)	三亚市	位于三亚市三亚湾东西瑁洲岛海域	海洋保护区	2852.51		主导用海类型为海洋保护区用海，试验区可适当开展生态旅游，缓冲区可适当开展科研教学，但应严格控制规模；严格按照自然保护区管理法规管理，缓冲区只可进行经批准的科学研究、教学实习活动，实验区只能进行经批准的科学实验、教学实习、参观考察、旅游以及驯化、繁殖珍稀、濒危野生动植物等活动；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见。	保护区核心区用海方式应禁止改变海域自然属性，缓冲区和实验区应严格限制改变海域自然属性，在该保护区管理机构统一规划和指导下，实验区内可有计划地进行适度开发活动。	修复和保护珊瑚礁生态系统和海岛地形地貌，加强监控系统建设。	保护珊瑚礁及其生态环境；保护海洋生物多样性；保护海底管线。	执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
		三亚珊瑚礁海洋保护区（亚龙湾片区）		位于三亚市亚龙湾野猪岛、西排和东排海域		2376.59	5.57					
		三亚珊瑚礁海洋保护区（鹿回头半岛-榆林角片区）		位于三亚市鹿回头至大、小东海海域		1865	19.45					
82	A5-31	三亚湾旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚河至肖旗河岸段海域。	旅游休闲娱乐区	7561.83	18.49	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，可兼顾港口航运用海，为附近船只提供防台避风海域；保障海上防台避风安全，旅游基础设施建设不得占用防台锚地水域；涉海工程建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	强化海岸综合治理和管理，保持岸滩原有形态，严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沙滩、沿岸地质地貌和水质。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

86	A2-11	南山港港口航运区	三亚市	位于南山岭西侧崖州湾东部海域。	港口航运区	2804.43	2.61	主导用海类型为交通运输用海，合理规划港口基础设施建设，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域；可适当兼顾旅游娱乐和工业与城镇建设用海；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许适度改变海域自然属性。	加强项目用海动态监测和跟踪管理，防淤、防污染。	保护港口、航道水深条件；保护水域宽度，防止淤积。	执行不劣于三类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准。
89	A1-17	崖州湾农渔业区	三亚市	位于崖州湾宁远河口岸段及该岸段西南部海域	农渔业区	5826.4	21.58	主导用海类型为渔业基础设施用海和开放式增养殖用海，主要为崖州中心渔港建设用海、抗风浪深水网箱养殖和重要渔业品种增殖用海。合理规划渔业生产所必须的基础设施建设，保证渔船停靠、装卸作业和避风所需海域。兼顾旅游用海，开展生态养殖观光等休闲渔业活动；涉海工程建设需征求相关部门意见。	应严格限制改变海域自然属性，避免对河口水动力环境产生影响，注意河口生态保护。	合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发：加强用海动态监测和跟踪管理，防止海水污染和淤积。	保护河口水动力环境；保护底质环境和渔业资源；保护航道。	渔港港区执行不劣于三类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准；其它海域执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
90	A5-34	崖州湾旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚市南山岭崖州湾海域	旅游休闲娱乐区	83.02	1.55	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和水上运动娱乐用海，可兼顾交通运输用海，作为南山港扩展用海。协调与南山港港口用海区的关系：涉海工程建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性，除浅海海域允许适当留填海用于旅游休闲度假外，其他区域禁止围填。	严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沙滩及海岸地貌。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

1.3.2 近岸海域功能区划

根据《海南省近岸海域环境功能区划》（（2010 年修编），近岸海域环境功能区划各功能区基本情况见表 1.3-2 和图 1.3-2，本项目位于红塘港区（HN086DIII）、三亚湾-红塘湾旅游度假区（HN053BII）、南山旅游区（HN054BII），周边近岸海域环境功能区为三亚国家级珊瑚礁自然保护区（HN011AI）、三亚倾废区（HN103DIV）、三亚南山排污混合区（HN007W）、崖州养殖区（HN021BII）、南山港区（HN087DIII）、崖州渔港区（HN088DIII）。

表 1.3-2 本项目及周边近岸海域环境功能区划一览表

环境功能区名称	代码	位置	面积（km^2）	主导功能	水质目标
红塘港区	HN086DIII	三亚天涯镇红塘沿岸	2.61	港口	III
三亚湾-红塘湾旅游度假区	HN053BII	三亚港以西及凤凰镇、天涯镇沿海	78.29	旅游、浴场、娱乐	II
南山旅游区	HN054BII	三亚南山旅游区沿岸及南山港、崖州渔港外侧海域	42.46	旅游、娱乐	II
三亚国家级珊瑚礁自然保护区	HN011AI	三亚东西瑁洲岛，鹿回头、大小东海、亚龙湾一带海域	85	珊瑚礁保护	I
三亚倾废区	HN103DIV	三亚	2.7	疏浚物倾倒	IV
三亚南山排污混合区	HN007W	三亚南山港东侧海域	1.05	排污	边界水质按二类控制
崖州养殖区	HN021BII	三亚崖城镇崖州渔港外侧海域	9.90	渔业	II
南山港区	HN087DIII	三亚崖城镇南山岭西海岸四马码头南 1200m	7.40	港口	III
崖州渔港区	HN088DIII	三亚崖城镇港门港内湾	3.31	港口	III

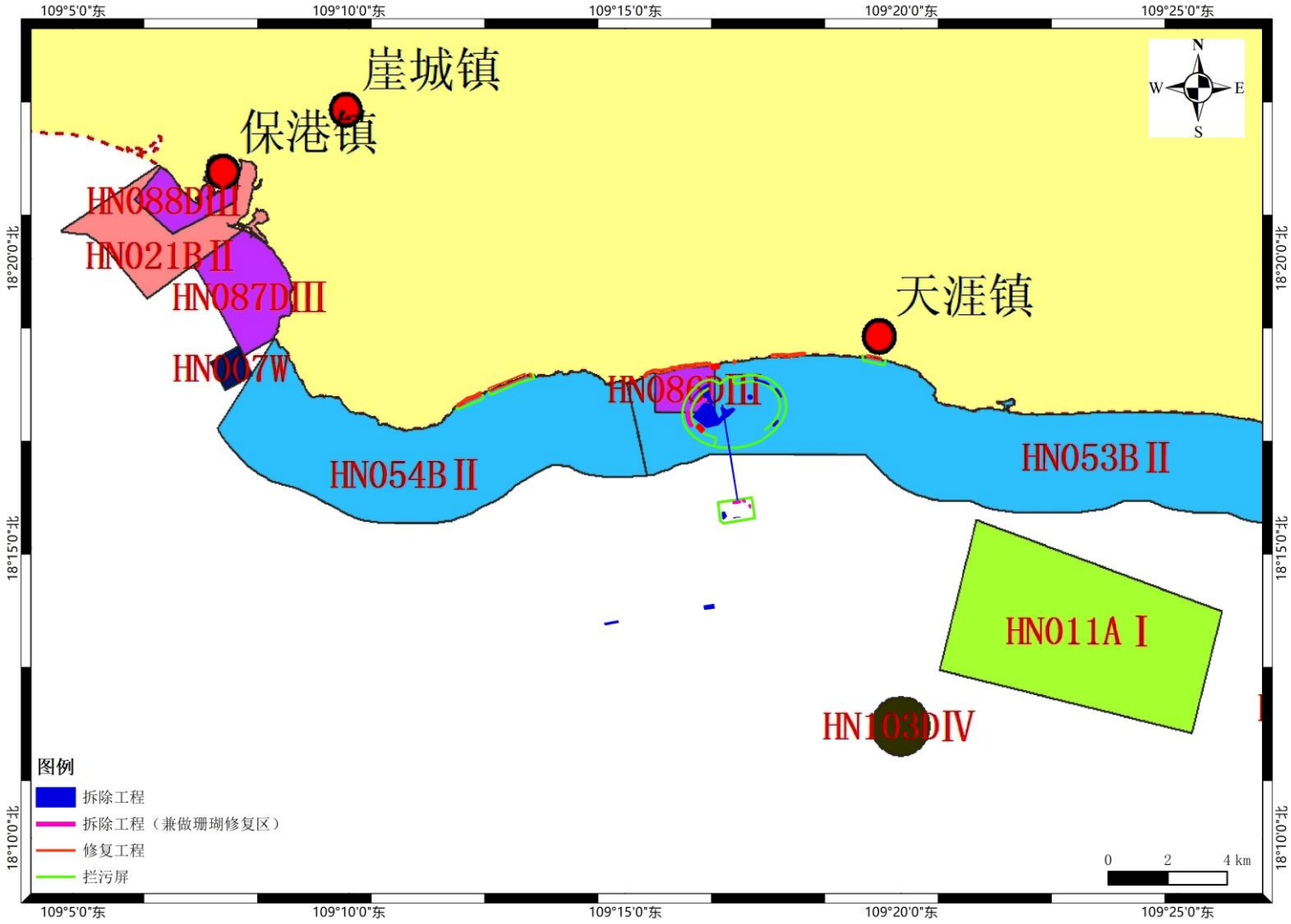


图 1.3-2 本项目与近岸海域环境功能区划功能区划一览表

1.3.3 生态功能区划

根据《海南省生态功能区划》（2005 年），海南省共有 38 个生态功能区，根据各区的生态保护和产业发展方向，划分为严格保护生态区、控制性开发利用区与资源开发利用区等 3 类生态功能区。

本项目所在区域属 I 海南岛海岸带生态区、I-3 南部海蚀海积岸生态亚区中的 I-3-2 三亚旅游与城镇发展生态功能区，见表 1.3-3 和图 1.3-3。

表 1.3-3 三亚旅游与城镇发展生态功能区划

生态功能分区单元			所在区域与面积	主要生态环境问题	生态环境敏感性	主要生态系统服务功能	主要生态保护措施	产业发展方向
生态区	生态亚区	生态功能区						
I 海南岛海岸带生态区	I-3 南部海蚀海积岸生态亚区	I-3-2 三亚旅游与城镇发展生态功能区	包括除藤桥镇以外的三亚市沿海乡镇，面积 926.61km^2	海岸侵蚀、海岸带陆地生态系统结构人工化	地质灾害、洪涝、风暴潮	生物多样性保护、海岸带防护、社会生产功能	红树林、珊瑚礁和海防林保护，城市周围和道路两边绿化工程建设	滨海旅游业、房地产业、海洋产业、生物制药等高新技术产业

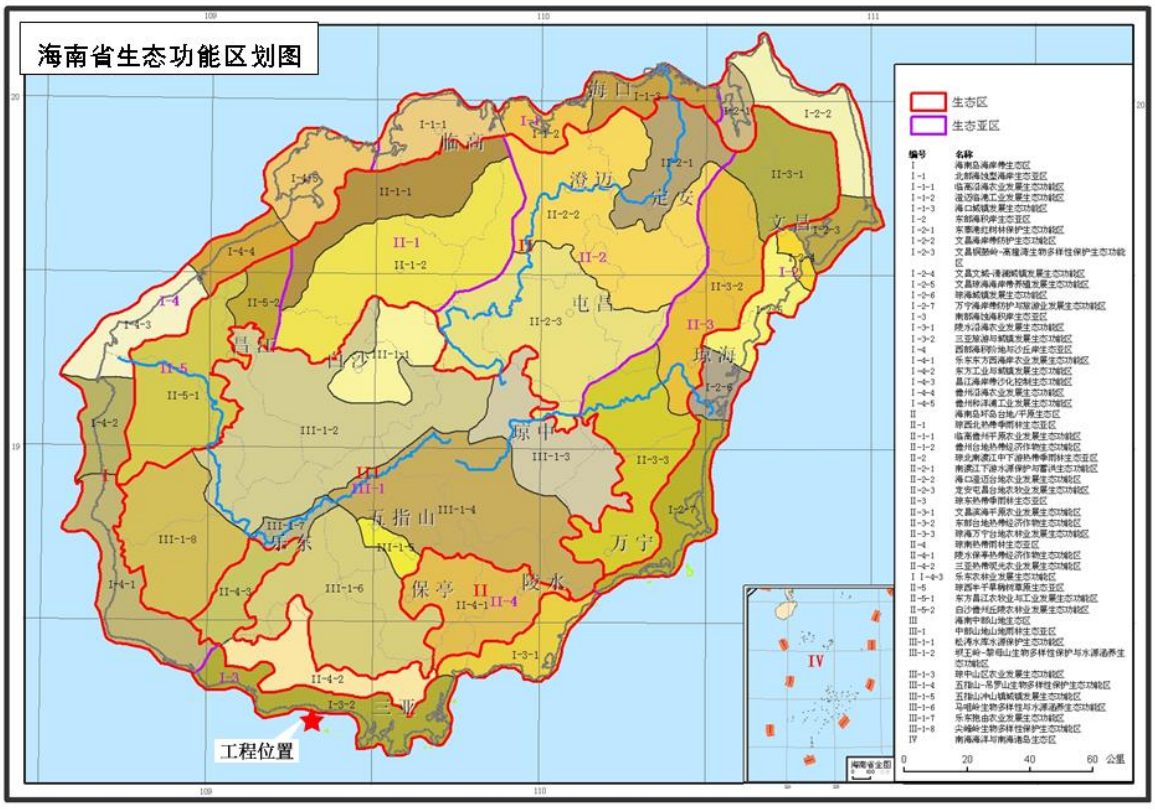


图 1.3-3 海南省生态功能区划图

1.3.4 环境空气质量功能区划

本项目位于红塘湾附近，周边以旅游、居住、商业为主，居住、商业、工业混杂，所在区域无环境空气质量功能区划。根据《环境空气质量标准》（GB3095-2012），本项目所在区域环境空气功能区为二类区。

1.3.5 声环境功能区划

根据《三亚市城市规划区声环境功能区划分方案（2011~2020）》，本项目所在区域未划分声环境功能区划。根据《声环境质量标准》（GB3096-2008），本项目周边分布南山景区、商业、居住区，项目所在区域声环境质量按 2 类声环境功能区划要求执行。

1.4 评价标准

1.4.1 环境质量标准

1.4.1.1 海洋环境质量标准

根据《海南省海洋功能区划（红塘湾海域）修改方案》（国海管字［2016］218号）、《海南省总体规划（空间类 2015-2030）》海洋功能区划和海岛保护专篇和《海南省近岸海域环境功能区划》（2010 年修编）从严要求，评价海域海洋环境质量评价标准如下：

天涯海角旅游休闲娱乐区、南山旅游休闲娱乐区、三亚湾农渔业区、南山农渔业区、三亚湾旅游休闲娱乐区、崖州湾农渔业区其他海域、崖州湾旅游休闲娱乐区、红塘港港口航运区（部分）：执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准；

红塘港港口航运区（部分）：执行三类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准；

红塘湾工业与城镇用海区（部分）、南山港港口航运区、崖州湾农渔业区渔港港区：执行三类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准；

红塘湾工业与城镇用海区（部分）：执行二类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准；

海南岛西南部保留区：海水水质标准、海洋沉积物质量标准、海洋生物质量标准维持现状；

三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)、海南岛近海农渔业区：执行一类海水水

质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准；

鱼类、甲壳类和软体类样品生物质量（除石油烃外）评价标准采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中规定的海洋生物体内污染物评价标准，石油烃评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

标准值详见表 1.4-1~表 1.4-4。

表 1.4-1 海水水质标准 单位：mg/L

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
SS	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
pH（无量纲）	7.8~8.5		6.8~8.8	
DO>	6	5	4	3
COD≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.030	0.045
Hg≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
Cd≤	0.001	0.005	0.01	0.01
Pb≤	0.001	0.005	0.010	0.050
Cu≤	0.005	0.010	0.050	0.050
Zn≤	0.020	0.050	0.10	0.50
As≤	0.020	0.030	0.050	
石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50
硫化物≤	0.02	0.05	0.10	0.25

表 1.4-2 沉积物质量标准

序号	项目	第一类	第二类	第三类
1	汞（$\times10^{-6}$）≤	0.20	0.50	1.00
2	镉（$\times10^{-6}$）≤	0.50	1.50	5.00
3	铅（$\times10^{-6}$）≤	60.0	130.0	250.0
4	锌（$\times10^{-6}$）≤	150.0	350.0	600.0
5	铜（$\times10^{-6}$）≤	35.0	100.0	200.0
6	铬（$\times10^{-6}$）≤	80.0	150.0	270.0
7	砷（$\times10^{-6}$）≤	20.0	65.0	93.0
8	有机碳（$\times10^{-2}$）≤	2.0	3.0	4.0
9	硫化物（$\times10^{-6}$）≤	300.0	500.0	500.0
10	石油类（$\times10^{-6}$）≤	500.0	1000.0	1500.0

表 1.4-3 海洋贝类生物（双壳）质量标准值（鲜重）单位：mg/kg

序号	项目	第一类	第二类	第三类
1	总汞≤	0.05	0.10	0.30
2	镉≤	0.2	2.0	5.0
3	铅≤	0.1	2.0	6.0
4	铬≤	0.5	2.0	6.0

序号	项目	第一类	第二类	第三类
5	砷≤	1.0	5.0	8.0
6	铜≤	10	25	50（牡蛎 100）
7	锌≤	20	50	100（牡蛎 500）
8	石油烃≤	15	50	80

表 1.4-4 非双壳贝类生物生物质量评价标准（鲜重）单位：mg/kg

生物类别	总汞	铜	铅	镉	锌	石油烃
软体动物	≤0.30	≤100	≤10.0	≤5.5	≤250	≤20
甲壳动物	≤0.20	≤100	≤2.0	≤2.0	≤150	/
鱼类	≤0.30	≤20	≤2.0	≤0.6	≤40	≤20

1.4.1.2 环境空气质量标准

环境空气执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012）及修改单中的二级标准，具体见表 1.4-5。

表 1.4-5 环境空气质量标准限值

污染物项目	平均时间	二级标准限值	单位	标准来源
SO_2	年平均	60	μg/m³	《环境空气质量标准》（GB3095-2012）
	24 小时平均	150		
	1 小时平均	500		
NO_2	年平均	40		
	24 小时平均	80		
	1 小时平均	200		
PM_{10}	年平均	70		
	24 小时平均	150		
$PM_{2.5}$	年平均	35		
	24 小时平均	75		
TSP	年平均	200		
	24 小时平均	300		
CO	24 小时平均	4	mg/m³	
	1 小时平均	10		
O_3	日最大 8 小时平均	160	μg/m³	
	1 小时平均	200		

1.4.1.3 声环境质量标准

声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准，具体见表 1.4-6。

表 1.4-6 声环境质量标准限值（单位：dB（A））

声环境功能区类别	时段		标准来源
	昼间	夜间	
2 类	60	50	《声环境质量标准》（GB3096-2008）

1.4.2 污染物排放标准

1.4.2.1 废水

本项目施工期废水主要为陆域施工人员生活污水、施工船舶含油污水、施工船舶生活污水。在施工营地和人工补砂区域设置移动式环保厕所，陆域施工人员生活污水经移动式环保厕所收集，定期外运至市政污水处理厂处理，执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级标准、《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 中三级标准的较严着；施工船舶含油污水、施工船舶生活污水执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）中相关排放控制要求，船舶机舱含油污水同时还应执行《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发[2007]165 号）。

表 1.4-7 陆域施工人员生活污水排放标准

	排放标准	pH	COD	BOD_5	SS	氨氮	TN	TP
污水类别	《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级	6.5~9.5	500	350	400	45	70	8
	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 中三级标准	6~9	500	300	400	/	/	/
生活污水排放标准	《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）A 级及污水处理厂接管标准严者	6~9	500	300	400	45	70	8

表 1.4-8《船舶水污染物排放控制标准》

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求	
船舶含油废水	沿海	400 总吨及以上船舶	油污水处理装置出水口石油类限值为 15mg/L（排放应在船舶航行中进行）或收集并排入接收设施。	
		400 总吨以下非渔业船舶		
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内海域	400 总吨及以上的船舶，以及 400 总吨以下且经核定许可载运 15 人及以上的船舶	不得直接排入环境水体	利用船载收集装置收集，排入接收设施；
				利用船载生活污水处理装置处理：2012 年 1 月 1 日以前安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，执行 BOD_5≤50mg/L，SS≤150mg/L，耐热大肠菌群数≤2500 个/L；2012 年 1 月 1 日及以后安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，执行 BOD_5≤25mg/L，SS≤35mg/L，耐热大肠菌群数≤1000 个/L，COD_{Cr}≤125mg/L，pH6~8，总氯（总余氯）<0.5 mg/L
	3 海里<与最近陆地间距离≤12 海里的海域		同时满足：（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
	与最近陆地间距离>12 海里的海域		船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	

1.4.2.2 废气

本项目施工期废气主要为施工扬尘、施工船舶和机械废气。扬尘排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中“表 2 新污染源无组织排放监控浓度限值”；施工过程中使用到的非道路柴油移动机械污染物的排放物应按照《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国第三、四阶段)》（GB20891-2014）修改单和《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》（GB36886—2018）中标准限值，及其配套技术规范《非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求》（HJ1014-2020）中的相关环境管理要求执行；施工船舶废气执行《交通运输部关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的通知》（交海发〔2018〕168 号）排放控制要求。

表 1.4-9 大气污染物排放限值

序号	污染物	无组织排放监控浓度限值	
		监控点	浓度（mg/m^3）
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0
2	二氧化硫	周界外浓度最高点	0.40
3	氮氧化物	周界外浓度最高点	0.12

表 1.4-10 非道路移动柴油机械排气烟度限值

类别	额定净功率（P_{max}）/kW	光吸收系数/m^{-1}	林格曼黑度级数
II 类	P_{max}＜19	2.00	1
	19≤P_{max}＜37	1.00	
	P_{max}≥37	0.80	

表 1.4-11 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值

阶段	额定功率（P_{max}）W）	CO (g/kW·h)	HC (g/kW·h)	NOx (g/kW·h)	HC+NOx (g/kW·h)	PM (g/kW·h)	NH_3 (ppm)	PN (#/kW·h)
第三阶段	P_{max}＞560	3.5	—	—	6.4	0.20	—	—
	130≤P_{max}≤560	3.5	—	—	4.0	0.20	—	—
	75≤P_{max}＜130	5.0	—	—	4.0	0.30	—	—
	37≤P_{max}＜75	5.0	—	—	4.7	0.40	—	—
	P_{max}＜37	5.5	—	—	7.5	0.60	—	—
第四阶段	P_{max}＞560	3.5	0.40	3.5,0.67a	—	0.10	25b	—
	130≤P_{max}≤560	3.5	0.19	2.0	—	0.025		5×1012
	56≤P_{max}＜130	5.0	0.19	3.3	—	0.025		
	37≤P_{max}＜56	5.0	—	—	4.7	0.025		
	P_{max}＜37	5.5	—	—	7.5	0.60		—

a 适用于可移动式发电机组用 P_{max}＞900kW 的柴油机；
b 适用于使用反应剂的柴油机

表 1.4-12 船舶废气污染物排放控制要求

污染物	时限要求	排放控制要求
硫氧化物和颗粒物	2019 年 1 月 1 日起	海船进入排放控制区使用硫含量≤0.5%m/m 的船用燃油。
	2022 年 1 月 1 日起	海船进入沿海控制区海南区域，使用硫含量≤0.1%m/m 的船用燃油。
氮氧化物	2000 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶	单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦应满足《国际防止船舶造成污染公约》第一阶段氮氧化物排放限值要求。
	2011 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶；2015 年 3 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶	单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求。
	2022 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装、进入沿海控制区海南水域的中国籍国内航行船舶	单缸排量≥30L 的船用柴油发电机应满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。

1.4.2.3 噪声

施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

表 1.4-13《建筑施工厂界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）

昼间 dB(A)	夜间 dB(A)
70	55

1.4.2.4 固体废物

一般工业固废贮存参照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020），船舶垃圾排放执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）中相关排放控制要求。

表 1.4-14《船舶水污染物排放控制标准》

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求
船舶垃圾	在任何海域，应将应将塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物、焚烧炉灰渣、废弃渔具和电子垃圾收集并排入接收设施		
	对于食品废弃物，在距最近陆地 3 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 3 海里至 12 海里（含）的海域，粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。		
	对于货物残留物，在距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 12 海里以外的海域，不含危害海洋环境物质的货物残留物方可排放。		
	对于动物尸体，在距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。		
	在任何海域，对于货舱、甲板和外表面清洗水，其含有的清洁剂或添加剂不属于危害海洋环境物质的方可排放；其他操作废弃物应收集并排入接收设施。		

1.5 评价等级和评价范围

1.5.1 评价等级

1.5.1.1 海洋环境

本工程拆除临空产业园一期、三亚新机场填海项目起步工程、三亚新机场填海栈桥工程、三亚新机场人工岛工程南护岸试验段，产生拆除物料总计 293.56 万 m^3，包括块石 20.43 万 m^3、回填砂 273.13 万 m^3、成品预制构件 1464 件（堆叠一层，约 1.5 万 m^3）；人工补砂约 129.92 万 m^3、6.04km，建设生态护岸 4km，建设拦沙堤 370m；珊瑚礁修复工程建设珊瑚苗圃培育区（2 个，共 4ha）、投放人工礁体 500 个（120m^3，4ha），共占用海域 8ha；建设配套环保设施拦污屏 22.285km，拆除物料依托已建 0.76km 栈桥运输。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）评价等级判定依据，本项目位于生态环境敏感区，因此确定本项目水文动力环境、水质环境、沉积物环境、生态和生物资源环境评价等级均为 1 级，地形地貌与冲淤环境评价等级为 2 级。

表 1.5-1 水文动力、水质、沉积物、生态环境评价工作等级判定依据

工程类型	工程类型和工程内容	工程规模	工程所在海域特征和生态环境类型	单项海洋环境影响评价等级			
				水文动力环境	水质环境	沉积物环境	生态和生物资源环境
围海、填海、海上堤坝类工程	海上堤坝工程；海中筑坝、护岸、围堤（堰）、防波（浪）堤、导流堤（坝）、引堤（坝）等工程；海中堤防建设及维护工程；促淤冲於工程；海中建闸等工程	长度大于 2km	生态环境敏感区	1	1	2	1
			其他海域	2	2	2	2
		长度 2km~1km	生态环境敏感区	1	2	2	1
			其他海域	2	3	3	3
		长度 1km~0.5km	**生态环境敏感区**	**2**	**2**	**2**	**2**
			其他海域	3	3	3	3
海上和海底物资储藏设施、跨海桥梁、海底隧道类工程	海上和海底物资储藏设施、跨海桥梁、海上机场与工厂、海上和海底物资储藏设施等工程；上述工程（水工构筑物）和设施的废弃、拆除等	所有规模	**生态环境敏感区**	**1**	**1**	**1**	**1**
			其他海域	2	2	2	1
大型海水养殖场、人工鱼礁类工程	各类人工鱼礁工程	固体物质投放量大于 3 万 m^3	生态环境敏感区	1	1	1	1
			其他海域	2	2	2	2
		固体物质投放量 3×	生态环境敏感区	2	1	2	1

		10^4m^3~$1\times10^4m^3$	其他海域	3	3	3	2
		固体物质投放量 $1\times10^4m^3$~$0.2\times10^4m^3$	**生态环境敏感区**	**2**	**2**	**2**	**2**
			其他海域	3	3	3	3
其他海洋工程	水下基础开挖等工程；疏浚、冲（吹）填工程；海中取土（沙）等工程；挖入式港池、船坞和码头等工程；海上水产品加工工程等	开挖、疏浚、冲（吹）填、倾倒量大于 $300\times10^4m^3$	生态环境敏感区	1	1	2	1
			其他海域	2	2	3	2
		开挖、疏浚、冲（吹）填、倾倒量 $300\times10^4m^3$~$50\times10^4m^3$	**生态环境敏感区**	**2**	**1**	**2**	**1**
			其他海域	3	2	3	2
		开挖、疏浚、冲（吹）填、倾倒量 $50\times10^4m^3$~$10\times10^4m^3$	生态环境敏感区	2	1	3	1
			其他海域	3	2	3	2

表 1.5-2 地形地貌与冲淤环境工作等级判定依据

评价等级	工程类型和工程内容
1	面积 $50\times10^4m^2$ 以上的围海、填海、海湾改造工程，围海筑坝、防波堤、导流堤（长度等于和大于 2km）等工程；连片和单项填砂开采工程；其他类型海洋工程中不可逆改变或严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较严重冲刷、淤积的工程项目
2	**面积 $50\times10^4m^2$~$30\times10^4m^2$ 的围海、填海、海湾改造工程，围海筑坝、防波堤、导流堤（长度 2km~1km）等工程；其他类型海洋工程中较严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生冲刷、淤积的工程项目**
3	面积 $30\times10^4m^2$~$20\times10^4m^2$ 的围海、填海、海湾改造工程，围海筑坝、防波堤、导流堤（长度 1km~0.5km）等工程；其他类型海洋工程中改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生交微弱冲刷、淤积的工程项目
注：其他类型海洋工程的工程规模可依据表 2 中工程规模的分档确定。	

表 1.5-3 本项目海洋环境评价等级

工程类型	本项目建设内容	单项海洋环境影响评价等级				
		水文动力环境	水质环境	沉积物环境	生态和生物资源环境	地形地貌与冲淤环境
海上堤坝工程；海中筑坝、护岸、围堤（堰）、防波（浪）堤、导流堤（坝）、引堤（坝）等工程；海中堤防建设及维护工程；促淤冲於工程；海中建闸等工程	建设拦沙堤 370m	2	2	2	2	3

海上和海底物资储藏设施、跨海桥梁、海上机场与工厂、海上和海底物资储藏设施等工程；上述工程（水工构筑物）和设施的废气、拆除等	拆除临空产业园一期、三亚新机场填海项目起步工程、三亚新机场填海栈桥工程、三亚新机场人工岛工程南护岸试验段	1	1	1	1	2
各类人工鱼礁工程	投放人工礁体 500 个（120m^3，4ha）	2	2	2	2	3
水下基础开挖等工程；疏浚、冲（吹）填工程；海中取土（沙）等工程；挖入式港池、船坞和码头等工程；海上水产品加工工程等	拆除物料总计 293.56 万 m^3，人工补砂约 129.92 万 m^3	2	1	2	1	3
本工程		**1**	**1**	**1**	**1**	**2**

1.5.1.2 大气环境

本项目大气环境影响因素主要为施工船舶和机械废气，对大气环境影响是暂时的，随着施工结束逐渐消失。本项目营运期不产生大气污染物，不会对大气环境产生影响。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），本项目不进行大气环境定级，仅做简单分析。

1.5.1.3 声环境

本项目修复工程邻近 2 类声环境功能区，仅施工期施工船舶和机械噪声，对声环境影响是暂时的，随着施工结束逐渐消失，项目建成后不产生噪声，建设前后评价范围内敏感目标噪声级增高量在 3dB(A)以下，受噪声影响人口数量不产生变化。

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009)中的 5.2.3“建设项目所处的声环境功能区为 GB 3096 规定的 1 类、2 类地区，或建设项目建设前后评价范围内敏感目标噪声级增高量在 3dB(A）～5dB(A）（含 5dB(A)，或受影响人口数量增加较多时，按二级评价”，声环境评价等级为二级。

1.5.1.4 环境风险

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018），本项目涉及的危险物质为船舶燃料油，水上施工船舶最大吨级为 5000 吨，根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）附录 C 中的要求，5000 吨级运砂船（杂货船）燃油舱总舱容按照 390m^3 考虑，则油类物质最大总存在量约 351t，由此计算危险物质数量与临界量比值（Q）为 0.14，Q＜1，环境风险潜势为 I，确定海域环境风险评价等级为简单分析。

1.5.2 评价范围

1.5.2.1 海洋环境

本项目水文动力环境、水质环境、沉积物环境、生态和生物资源环境评价等级均为 1 级，地形地貌与冲淤环境评价等级为 2 级，根据《海洋工程环境影响评价技术导则》各要素调查评价范围的技术要求，结合本项目周边敏感区的分布情况，本项目评价范围以项目外缘线为界，东侧以拦污屏向外扩 15km，南侧以新机场人工岛钢圆筒试验段向外扩 13km、西侧以拦污屏向外扩 9km，岸边以海岸线为界，评价范围面积约为 890km^2。评价范围能够满足海水水质、海洋沉积物、海洋生态等影响要素评价范围技术要求。

评价范围控制点坐标见表 1.5-1，评价范围示意图见图 1.5-1。

表 1.5-1 评价范围界点坐标

界点	经度	纬度
A	109°6′57.82″	18°21′14.307″
B	109°6′57.82″	18°7′4.263″
C	109°27′49.847″	18°7′4.263″
D	109°27′49.847″	18°16′49.794″

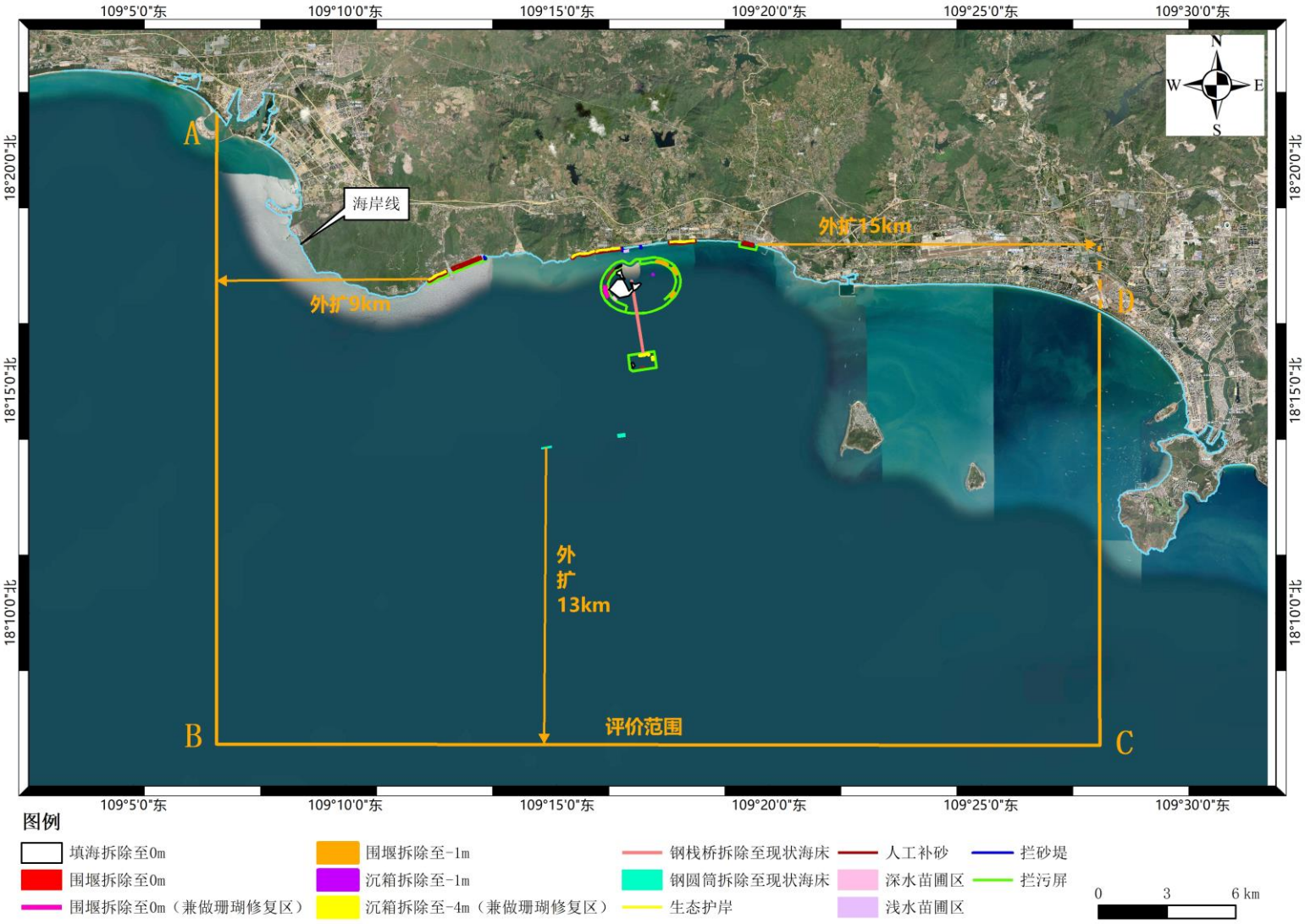


图 1.5-1 本项目评价范围

1.5.2.2 大气环境

根据《环境影响评价技术导则 大气》（HJ2.2-2018），本项目不进行大气环境定级，仅做简单分析。

1.5.2.3 声环境

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），三级评价范围以项目边界外扩 200m。

1.6 评价内容与评价重点

1.6.1 评价内容

本次评价内容主要包含拆除工程、砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程。根据拟建工程特点和周围区域环境特征，评价内容主要包括对周边海水水质、沉积物、海洋生态和生物资源、水文动力、海洋地形地貌与冲於环境影响和环境风险进行分析。

1.6.2 评价重点

根据本项目所在环境特征，结合工程建设特点，确定本项目评价重点为：

1）工程实施对海域水质、沉积物、生态环境及渔业资源的影响评价；

2）工程实施对周边水动力、地形地貌、岸滩演变的影响分析；

3）工程实施对珊瑚礁等周边生态环境敏感目标的影响评价；

4）各阶段污染和非污染环境保护对策措施，生态保护补偿和恢复对策措施分析；

5）工程施工期环境事故风险评价。

6）项目与海洋功能区划、生态保护红线、“三区三线”划定成果、“三线一单”等相关规划和政策的符合性。

1.7 环境敏感目标

1）海洋环境敏感目标：主要包括三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、沿珊瑚礁、天涯海角景区、南山-大小洞天景区、领海基点、砂质岸线、生态红线、养殖区、重要渔业水域等，见表 1.7-1 和图 1.7-1~1.7-2。

2）陆域环境敏感目标；主要包括天涯海角景区、南山-大小洞天景区、马岭社区、布甫村、红塘村、南山村等，见表 1.7-1 和图 1.7-1。

表 1.7-1 环境敏感区和保护目标一览表

序号	类型		名称	保护对象	位置关系		备注
					方位	距离 km	
1	海洋环境敏感目标	自然保护区	三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）	保护珊瑚礁及其生境	E	7.5	与生态红线-东西瑁洲珊瑚礁、海洋功能区划-三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)重叠
2		风景名胜区	天涯海角景区	保护沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质；保护旅游资源	N	1.3km	
3			南山-大小洞天景区	保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌；保护水质	--	0	在其中
4		领海基点	深石礁领海基点	保证领海基点地形地貌稳定	W	9.8	与生态红线深石礁特别保护海岛重叠
5		砂质岸线	砂质岸线	海滩等海岸地貌、岸线功能的稳定性	--	0	在其中
6		生态红线	珊瑚礁	东西瑁洲珊瑚礁	E	7.5	与三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、海洋功能区划-三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)重叠
7				鹿回头半岛-榆林角珊瑚礁	SE	19.6	
8				南山-大小洞天珊瑚礁	S	0.1	
9				天涯海角珊瑚礁	E	2.1	
10			重要渔业资源产卵场	海南岛西南部重要渔业资源产卵场	S	2.7	
11			海岸防护物理防护极重要区	天涯海角海岸防护物理防护极重要区	E	0.6	
12				南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区	--	0	在其中
13			防风固沙	海岸带防风固沙	--	0	在其中
14			水土保持	环岛台地、平原水土保持	--	1.2	位于人工岛掩护区西侧人工补砂和南山景区人工补砂区之间
15			特别保护海岛	深石礁特别保护海岛	W	9.8	与深石礁领海基点重叠
16		海洋功能区划	天涯海角旅游休闲娱乐区	保护沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质；保护旅游资源。	--	0	在其中
17			南山旅游休闲娱乐区	保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地	--	0	在其中

				貌；保护水质。			
18			三亚湾旅游休闲娱乐区	保护沙滩、沿岸地质地貌和水质。	E	6	
19			三亚湾农渔业区	保护海域自然生态环境。	E	0.1	
20			南山农渔业区	保护海域自然生态环境。	W	5.8	
24			海南岛近海农渔业区	保护海域自然生态环境；保护渔业资源；保护海底管线	S	11.2	
25			三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)	保护珊瑚礁及其生态环境；保护海洋生物多样性；保护海底管线。	E	7.5	与三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、生态红线-东西瑁洲珊瑚礁重叠
26		重要生态系统	沿岸珊瑚礁	珊瑚礁生态系统	--	0	在其中
27			鸭仔塘溪	保护河流水质、河道行洪安全	--	0	紧邻鸭仔塘口门拦砂堤
28			担油港潟湖	保护排洪通畅	--	0.4	位于人工岛掩护区西侧人工补砂和红塘湾东部至天涯镇人工补砂区之间
29		养殖区	西岛附近养殖区	保证养殖的海水水质要求	E	3.9	
30			人工鱼礁	保证养殖的海水水质要求	SE	5.6	
31			崖州港附近养殖区	保证养殖的海水水质要求	NW	10.7	
32		重要渔业水域	南海北部幼鱼繁育场保护区	幼鱼及其生境，保护期为全年	--	0	在其中
33	陆域环境敏感目标	风景名胜区	天涯海角景区	大气环境	N	1.3km	
34			南山-大小洞天景区	大气和声环境	--	0	在其中
35		居住区	马岭社区	大气和声环境	N	0.05	
36			布甫村	大气环境	N	0.23	
37			红塘村	大气环境	N	0.4	
38			南山村	大气环境	N	0.22	

2 工程概况

2.1 项目基本情况

2.1.1 项目基本情况概述

项目名称：三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程

项目性质：新建

建设单位：三亚市天涯区交通运输局

地理位置：项目位于海南岛南端三亚市西侧的红塘湾海域，红塘湾的西侧为南山角，距南山旅游文化景区 6km，东侧为天涯海角，距天涯海角景区约 7km，北侧有海拔 288m 左右的塔岭向海延伸。本项目中心坐标 [redacted]，地理位置见图 2.1-1。

建设内容：三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程包括违规围填海项目拆除和生态修复工程（砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程）。

红塘湾违规围填海项目拆除范围为 2017 年实施的临空产业园二期违规围填部分、新机场起步工程违规围填部分、新机场人工岛钢圆筒试验段、临空产业园与新机场起步工程之间的栈桥工程等；生态修复范围为临空产业园区域珊瑚礁修复和周边冲刷岸段砂质岸滩修复及配套工程。同时，为减小施工悬沙对海洋环境影响设置拦污屏，并依托临空产业园一期施工临时栈桥进行物料运输。

施工工期：24 个月，其中拆除工程施工工期 12 个月，生态修复工程施工工期 24 个月。

项目投资：总投资为 42887.06 万元，环境保护投资 24398.98 万元，环境保护设施投资占总投资的比例为 56.89%。



图 2.1-1a 本项目地理位置图

2.1.2 评价工程内容

本工程包括违规围填海项目拆除和生态修复工程（砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程），本次评价内容见表 2.1-1。

表 2.1-1 本项目建设内容一览表

序号	项目	规模	备注
1	**拆除工程**		
1.1	临空二期	拆除物料 261.8 万方	临空产业园一期以南和以西部分吹填区拆除至 0m
			1473m 围堰拆除至 0m，拆除后的围堰作为岸滩掩护的离岸潜堤和珊瑚礁自然或人工修复的礁基
			796m 围堰和 2 个沉箱拆除至-1m，拆除后的围堰作为岸滩掩护的离岸潜堤
1.2	新机场起步区	拆除物料约 7.57 万方	填海部分拆除至 0m
			抛石围堰拆除至 0m
			东、北护岸 14 个混凝土沉箱拆除至理论基面-4m，作为珊瑚礁人工修复的礁基
1.3	新机场人工岛南护岸试验段	拆除物料约 24.13 万方	19 个钢圆筒和 17 对副格及内部回填砂拆除至现状海床
1.4	新机场填海栈桥	3.1km	拆除至现状海床
2	**砂质岸线修复工程**		
2.1	人工补砂	总补沙约 129.92 万方、6.04km	人工岛掩护区西侧约 2km
			红塘湾东部至天涯镇附近约 1.8km 的 2 段岸段，分别长 1.3km、0.5km
			南山景区长期冲刷的 2 段岸段：南海观音人工岛以西岸段 0.84km、以东 1.4km，共 2.24km
2.2	生态护岸工程	4km	南山景区的南海观音人工岛以西岸段 0.83km
			临空一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸岬角 2.1km 岸段
			已建拦砂堤至天涯社区岸段 1.07km
2.3	拦砂堤	370m	人工岛掩护区东侧拦砂堤 95m（堤头 25m、堤身 70m）
			人工岛掩护区西侧拦砂堤 125m（堤头 25m、堤身 100m）
			鸭仔塘口门拦砂堤 150m（堤根放坡 45m、堤身 80m、堤头放坡 25m）
3	**珊瑚礁修复工程**		
3.1	珊瑚苗圃培育区	4 公顷	深水苗圃区和浅水苗圃区各 2 公顷，计划建设 600 个水下苗圃，培育珊瑚苗 60000 株
3.2	珊瑚礁修复	4 公顷	临空岛西侧围堰修复区面积 3.582 公顷
			起步区沉箱修复区 1 面积约 0.276 公顷
			起步区沉箱修复区 2 面积约 0.167 公顷
3.3	底播移植珊瑚	60000 株	临空岛西侧围堰修复区修复珊瑚 54000 株（直接底播 44000 株、礁体移植 10000 株）
			起步区沉箱修复区 1 修复珊瑚 4400 株（直接底播）
			起步区沉箱修复区 2 修复珊瑚 1600 株（直接底播）
3.4	投放人工礁体	500 个	临空岛西侧围堰修复区投放人工礁体 500 个
	投放扭王字块	190 个	起步区沉箱修复区 1 投放扭王字块 126 个
			起步区沉箱修复区 2 投放扭王字块 64 个
3.5	修复区放流	/	总数量石斑幼体 6 万尾、食草性螺类 5 万幼体，紫红笛鲷

			幼体 50 万尾，篮子鱼 50 万尾和海参 2 万幼体
4	**配套环保设施**		
4.1	拦污屏	22.285km	拆除临空产业园四周设 3 道，总长 14.82km
			拆除起步工程填海部分四周设 1 道，长 3.475km
			红塘湾东部至天涯镇附近人工补砂外侧设 1 道，长 1.08km
			南山景区人工补砂外侧设 2 道，南海观音人工岛以西侧长 1.12km、南海观音人工岛以东侧长 1.79km，共 2.91km
5	**依托工程**		
5.1	临空产业园一期已建施工栈桥	0.76km	堆存于临空产业园一期的拆除物料运输

2.1.3 总平面布置

2.1.3.1 拆除工程

临空产业园一期以南和以西部分吹填区和 1473m 围堰高出理论基面 0m 的部分拆除至理论基面 0m，拆除后的围堰作为岸滩掩护的离岸潜堤和珊瑚礁自然或人工修复的礁基；临空产业园一期人工岛东侧 796m 围堰拆除至-1m，拆除后的围堰作为岸滩掩护的离岸潜堤；临空产业园总拆除物料约 261.8 万 m^3。剩余的沙体可整体自然冲刷降低至理论基面-4m 左右达到基本稳定状态。

三亚新机场填海项目起步工程填海部分和抛石围堰拆除至理论基面 0m，恢复海域自然属性；三亚新机场填海项目起步工程东、北护岸 14 个混凝土沉箱拆除至理论基面-4m，作为珊瑚礁人工修复的礁基，拆除物料约 7.57 万 m^3。

三亚新机场填海栈桥工程 3.1km 钢栈桥拆除至现状海床，恢复海域原状。

三亚新机场人工岛工程南护岸试验段 19 个钢圆筒和 17 对副格及内部回填砂拆除至现状海床，恢复海域原状，拆除物料约 24.13 万 m^3。

2.1.3.2 砂质岸线修复工程

人工岛掩护区西侧约 2km 岸段，红塘湾东部至天涯镇附近约 1.8km 岸段，南山景区长期冲刷的约 2.24km 岸段，实施滩肩补砂，滩肩宽度 20~40m，总计补沙约 129.92 万方，总长 6.04km。

在沙丘冲刷严重的岸段，对沙丘根部实施生态护岸工程，长度 4km。在南山景区的南海观音人工岛以西 0.83km 岸段、临空产业园一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸岬角 2.1km 岸段以及已建拦砂堤至天涯社区 1.07km 岸段实施。

人工岛掩护区东侧拦沙堤长度 95m（含堤头 25m、堤身 70m）、人工岛掩护区西侧拦沙堤长度 125m（堤头 25m、堤身 100m）、鸭仔塘口门拦沙堤长度 150m（堤根放坡 45m、堤身 80m、堤头放坡 24m），共 3 座拦沙堤、总长 370m。

2.1.3.3 珊瑚礁修复工程

人工珊瑚苗圃培育区：规划 2 个珊瑚苗圃培育区，深水苗圃区和浅水苗圃区各 2 公顷，合计 4 公顷。选取稳定性较好的树形苗圃和框架式苗圃进行前期珊瑚种苗培育，计划建设 600 个水下苗圃，培育珊瑚苗 60000 株。

珊瑚礁生态修复区：珊瑚礁修复面积总共 4 公顷，共底播移植珊瑚 60000 株，投放 500 个人工礁体和 190 个扭王字块。其中临空岛西侧围堰修复区面积 3.582 公顷，底播移植珊瑚 54000 株（投放十二脚型礁体体 500 个），起步区沉箱修复区 1 面积约 0.276 公顷，底播移植珊瑚 4400 株（投放扭王字块 126 个），起步区沉箱修复区 2 面积约 0.167 公顷（投放扭王字块 64 个），底播移植珊瑚 1600 株。

在珊瑚礁生态修复区拟放流总数量石斑幼体 6 万尾、食草性螺类 5 万幼体，紫红笛鲷幼体 50 万尾，篮子鱼 50 万尾和海参 2 万幼体。

珊瑚存活率：保证底播移植珊瑚一年后珊瑚存活率达到 70%。

项目施工期结束后在连续管护与监测 3 年。

在项目施工期结束后 1 年进行一次后评估。

工程总体布局见图 2.1-2。

2.2 项目由来及建设必要性

2.2.1 项目由来

2.2.1.1 原规划建设项目情况

原海航集团拟在三亚红塘湾海域建设三亚新机场，规划的三亚新机场人工岛工程位于担油港至南山景区之间岸段的岸外 3.6~7.6km 海域。新机场人工岛呈近长方形布置，顺岸方向的长边长 6408m，向海方向短边长 3670m，东南角和西北角倒角处理。人工岛所在海域水深在理论基面-16m 至-24m，海床整体较为平缓，平均坡度 1：500 左右。在三亚新机场人工岛的东北角陆侧约 1km 处，规划了近椭圆形临空产业园人工岛，面积 4.18km^2，顺岸长轴长约 3.1km，离岸方向短轴长约 2.0km，所在海域水深-9.5m~-14.5m，平均坡度 1：400 左右。产业园人工岛离岸最近距离约 760m。临空产业园与新机场人工岛之间留出宽度约 1km、平均水深-15m 左右（14.5m~16.5m）的通道。规划先期建设的临空产业园一期工程人工岛，该岛占用海域约 0.48km^2，位于规划的临空产业园人工岛的西北部近岸部分。

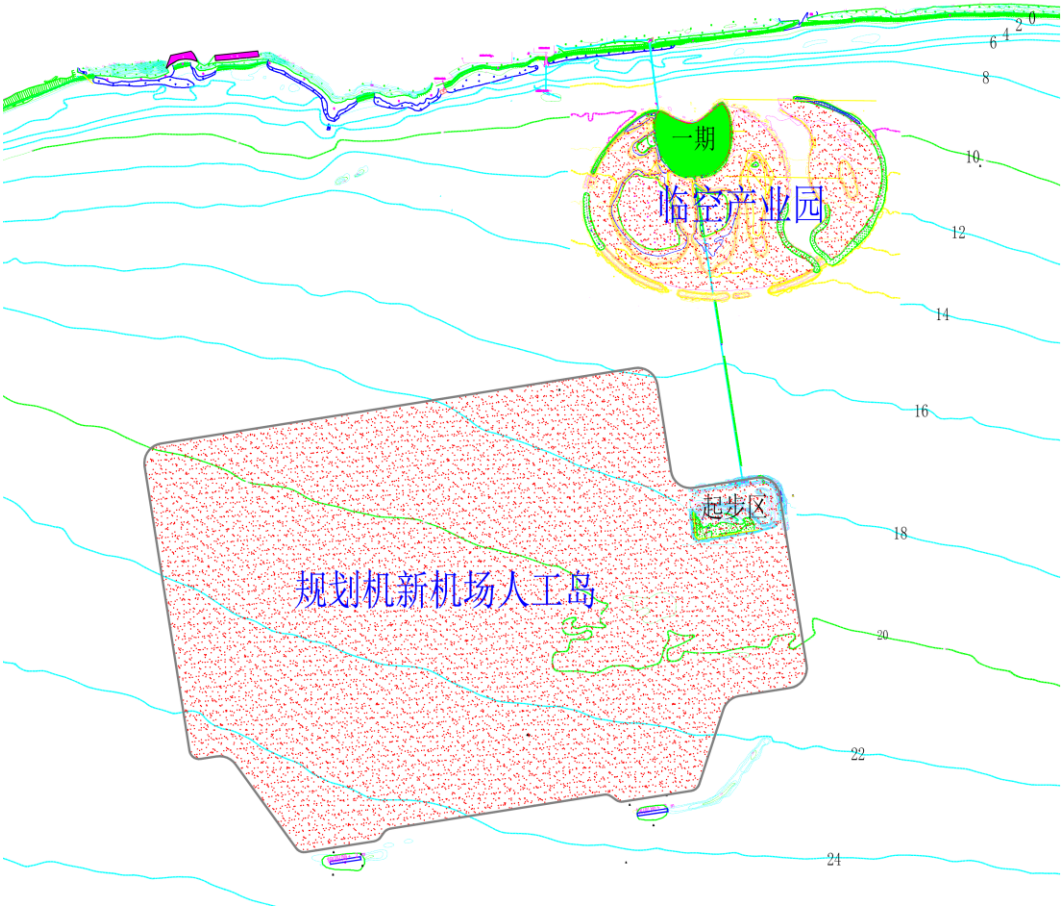


图 2.2-1 规划三亚新机场建设内容与位置示意图

2.2.1.2 项目建设过程

临空产业园一期人工岛 2015 年 7 月取得三亚市发改委备案登记，同步征求了海南省相关职能部门及军方关于项目用海意见。原海南省海洋与渔业厅 2015 年 10 月分别组织召开项目海域使用论证报告书、海洋环境影响报告书专家评审会，并通过专家评审。2016 年 2 月获得原海南省海洋与渔业厅项目海洋环评核准批复，2016 年 7 月获得原海南省海洋与渔业厅项目海域使用权出让批复并办理项目海域使用权证书。

临空产业园一期项目于 2015 年 12 月开展工程沉箱、扭王字块预制构件施工准备工作，2016 年 12 月基本完成，形成陆域面积约 38.4 公顷。

临空产业园一期工程尚未完工阶段，原建设单位继续在一期周边填海，2017 年 7 月省市海洋执法部门下达停工通知，迄今处于停工状态。根据 2017 年 8 月海南省海域动态监管中心测量报告，在一期周边共违规填海形成陆域面积 100 余公顷（其中临空产业园内 88.9 公顷，机场本岛起步区内 12.7 公顷），同时，建设跨海大桥连接临空产业园和起步区，占用海域 2.5 公顷。

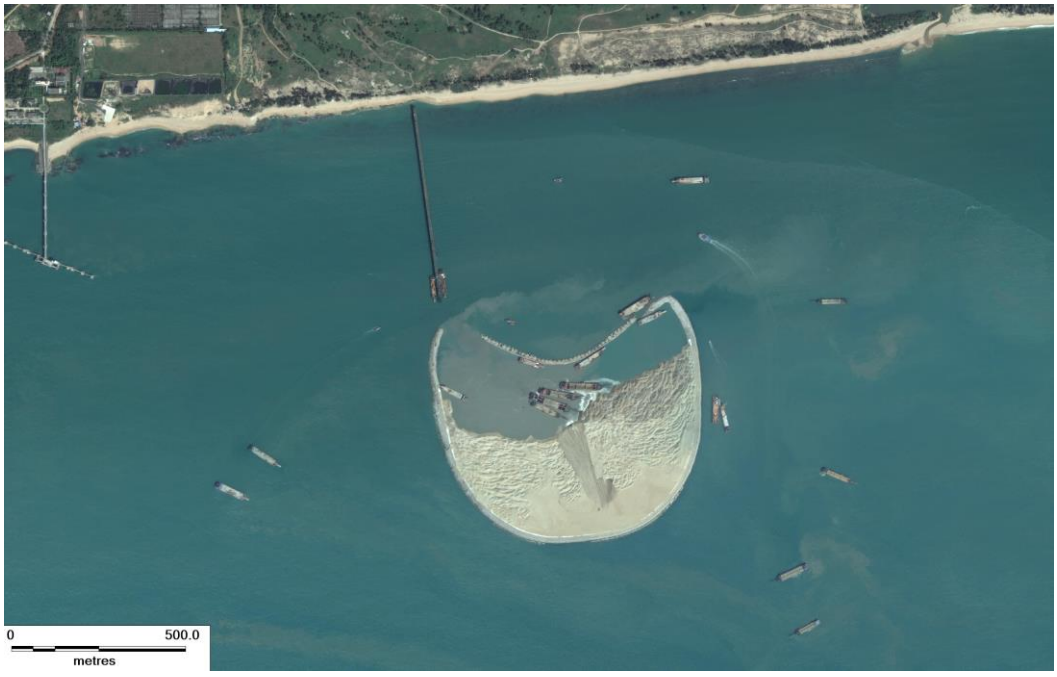


图 2.2-2 2016 年 10 月卫星遥感影像显示的临空产业园一期围填施工

2016 年初，三亚新机场临空产业园一期工程 47.8879 公顷人工岛批复后开工建设，至 2016 年 10 月已基本完成，形成出露水面区域约 42.5 公顷，围堰总长约 2.6km。2017 年初，临空产业园人工岛二期以及新机场人工岛起步区开始吹填，形成部分陆域和围堰以及施工栈桥，至 2017 年 7 月全面停工时，共形成抛石围堰 6.1km 左右，约 90.5 公顷区域已吹填出水（含出水围堰）。加上 2016 年完成的一期工程，共形

成出水区域面积约 133.0 公顷；机场起步区形成出水区域约 13.5 公顷，两座长约 3.1km 和 0.76km 的施工栈桥。根据 2022 年 4 月测量结果，目前该区域最低潮位露出水面的违规填海面积尚有约 60 公顷（其中临空产业园 56.1 公顷，起步区 3.8 公顷），填海砂石物料共约 2328 万方。

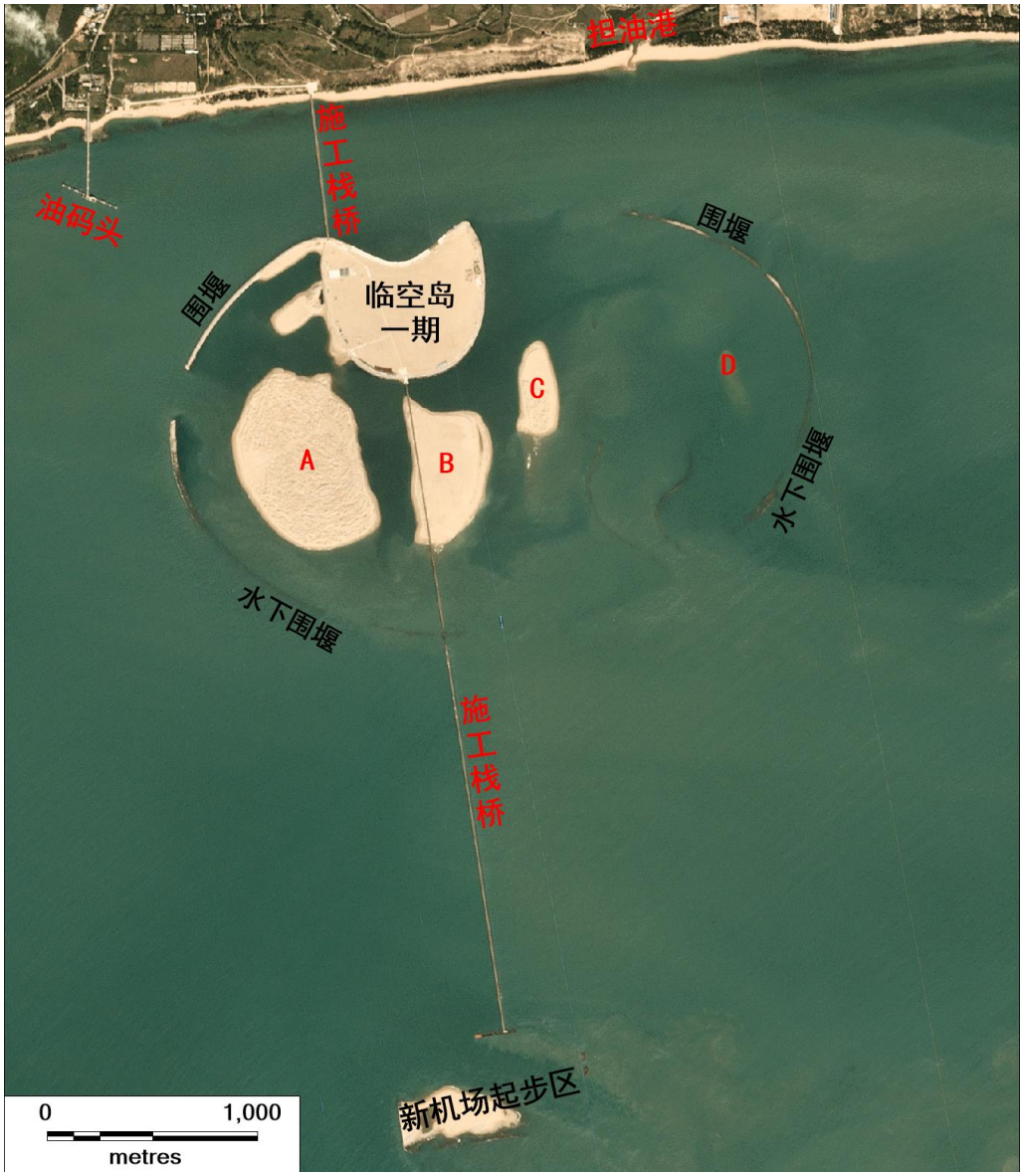


图 2.2-3 2017 年 11 月卫星影像显示的红塘湾围填海停工后的建设内容

2.2.1.3 整改要求及填海查处情况

2020 年 5 月第二轮中央环保督察指出“针对违法围填海问题，海南省虽然对第一轮环保督察指出的相关违法违规填海项目实施‘暂停建设、暂停营业’政策，但对后续处置整改既没有详细、可操作的整改行动计划，也没有推进落实，始终对恢复建设营业标准和具体整改要求不明确、不具体，导致后续处置整改尺度不一”。该问题涉及三亚红塘湾新机场围填海项目。《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报

告整改方案》，针对该问题整改制定了 3 条整改措施，主要是将合法审批部分作为机场功能配套区，纳入三亚新机场片区规划，在依法审批建设的基础上将非法填海的拆除工作与新机场填海工程统筹实施，并开展生态修复。

2020 年 12 月和 2022 年 10 月，海口海事法院针对省市主管部门对三亚新机场投资建设有限公司、三亚新机场临空产业园空港区建设发展有限公司申请的强制执行进行了裁决：

（1）临空产业园二期：对省生态环境厅作出的 16000 万元的行政处罚准予执行、恢复海域原状准予执行，由省生态环境厅组织实施；对省自然资源和规划厅作出的 23474.75 万元的处罚不予执行，做出的恢复海域原状准予执行，由省自然资源和规划厅组织实施。

（2）三亚新机场人工岛项目起步区：对省生态环境厅做出的 22836.88 万元的行政处罚准予执行，恢复海域原状准予执行，由省生态环境厅组织实施。对原三亚市海洋与渔业局做出的 1649.9 万元的处罚准予执行，恢复海域原状准予执行，由原三亚市海洋与渔业局结合新机场的建设组织实施。

（3）钢圆筒和跨海大桥：对原三亚市海洋与渔业局做出的 837.59 万元的处罚准予执行，恢复海域原状准予执行，由原三亚市海洋与渔业局结合新机场的建设组织实施。

目前，仅有原三亚市海洋与渔业局处罚的共 2487.49 万元罚款已执行到位。因省自然资源和规划厅对海口海事法院做出不准予执行 23474.75 万元处罚的裁决不服，已于 2022 年 10 月 31 日向省高院提出行政复议。

2022 年 4 月，鉴于该整改措施中三亚新机场建设事宜的调整，且 2022 年 4 月 18 日冯飞省长在省政府常务会议上的指示精神要求，第二轮中央生态环境保护督察问题整改主要事项在 2022 年底前实现“清零”，并进一步梳理三亚红塘湾新机场整改事项，科学优化整改方案。

2.2.1.4 编制实施过程

因填海项目实施已近 5 年，工程区岸滩、水下地形已有一定调整，加之工程量巨大，整改实施过程也可能造成一定的二次不利影响。有必要在已建工程实施以来的相关环境影响、岸滩冲淤等方面后评估基础上，对不同整改方案的施工影响、方案实施后的岸滩影响恢复情况、整改后可能造成的二次影响进行评估，重点关注岸滩影响和珊瑚礁影响等关键问题，从有利于恢复围填海工程造成的不利影响、尽可能减小整改

施工和整改后不利影响角度提出并推荐整改方案，为科学实施整改方案决策提供依据。

2022 年，三亚市委托编制了《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》，评估了填海工程的主要生态环境影响，基本明确了填海的整改拆除方案，提出了以珊瑚礁修复和岸滩为主的生态修复对策。在此基础上，为科学制定修复方案，三亚市自然资源和规划局委托编制了《海南三亚红塘湾围填海项目拆除处置技术方案技术报告》、《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》，在回顾填海主要生态环境影响和整改拆除方案基础上，结合整改拆除后的地形条件、水文泥沙环境特征以及岸滩冲淤状况，考虑拆除后废弃物砂石料再利用，选取了岸滩修复区段和珊瑚礁修复区域，并提出相应的修复方案。

为加快推进中央生态环境保护督察三亚红塘湾违规围填海项目的整改工作，2023 年 5 月 22 日省政府“两重一大会议已原则同意三亚市报送的红塘湾项目优化整改措施”，2023 年 6 月 29 日取得三亚市自然资源局《关于开展三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程项目前期研究工作的函》（三自然资海〔2023〕184 号），2023 年 7 月 3 日取得三亚市发展和改革委员会《关于三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程立项的批复》（三发改农经〔2023〕102 号）。《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程工程可行性研究报告》在《海南三亚红塘湾围填海项目拆除处置技术方案技术报告》（报批版）、《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》（报批稿）的研究成果基础上深化完善，确定拆除 2017 年实施的临空产业园二期违规围填部分、新机场起步工程违规围填部分、新机场人工岛钢圆筒试验段、临空产业园与新机场起步工程之间的栈桥工程等，建设临空产业园区域珊瑚礁修复和周边冲刷岸段砂质岸滩修复及配套工程。

2.2.2 填海工程影响及存在问题

2.2.2.1 填海工程环境影响分析

《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》根据工程前后多次现场监测和模拟计算结果，评估了 2016 年至 2017 年红塘湾附近填海项目的环境影响，对工程前后各主要生态环境影响指标评估如下：

（1）海水水质变化

（1）各个季度石油类最大值均有一定程度的上升趋势，这可能与近年来工程周边

海域的开发利用引起的船舶活动有关。

（2）各季节 COD 在一定范围内波动，除夏季外，未见各季节 COD 浓度有明显上升趋势。

（3）各季节无机氮浓度有一定上升趋势，这可能与陆域源入海有关，但水质情况总体较好。

（4）磷酸盐浓度均小于一类海水水质标准，且各季度最大值、最小值浓度在一定范围内随季节正常波动，未见明显上升趋势。

（5）铅为项目周边海区主要超标因子，随季节在一定范围内波动，不存在明显上升趋势，推测项目海域铅超标与海域本底条件有关。

（6）2019 年春、夏季锌浓度最大值均超过一类海水水质标准，2019 年度各季度金属锌浓度最大值较历史调查数据均有所上升，推测可能与周边海域开发引起船舶活动有关。

（2）沉积物质量变化

沉积物石油类、硫化物和铅等因子变化波动不大，海洋沉积物各因子浓度未出现明显升高趋势。

（3）海洋生态影响

（1）浮游植物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域浮游植物群落具有稳定性。

（2）浮游动物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域浮游动物群落具有稳定性。

（3）潮间带生物的种类数有所增加，栖息密度有所降低，疑与近期潮间带岸滩的冲淤调整有关。

（4）底栖生物植物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域底栖生物群落具有稳定性，未因周边海域近年来的开发利用导致不可逆影响。

（5）已有填海工程引起丧失的各种底栖、浮游生物在当地的广阔海域均有大量分布，因此工程建设不会造成物种多样性降低的生态问题。相反，已形成的围堰和填沙，使原来平坦海床的地貌出现明显起伏，水下地形多样化程度增加，在某种程度上有利于海域物种多样性的提升。已有调查也显示，在已实施的围堰周边抛石和扭王块

体上已有较多的珊瑚和其它生物生长。

（6）临空产业园二期施工结束后 90.5 公顷区域已吹填出水（含出水围堰）；机场起步区形成出水区域约 13.5 公顷，共占用海域面积约为 104 公顷（不考虑水下已吹填部分），填海总填方约 2328 万方。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）（简称《规程》）推荐方法计算，填海的海洋生物资源损失量为：鱼卵 8.15×10^{6} 粒，仔稚鱼 2.05×10^{5} 尾，游泳动物 1.12×10^{3}kg，浮游动物 7.94×10^{2}kg，浮游植物 7.65×101^{3}cell，底栖生物 10.62t。

（7）调查数据显示，工程海域 10 公里范围内不是中华白海豚主要活动区，但是鉴于中华白海豚及印太江豚分属我国国家一级和二级重点保护野生动物，工程施工对中华白海豚等海洋哺乳动物的影响及其保护方案必须引起施工单位及相关部门的重视。在工程的填海造地海域，造成中华白海豚及印太江豚可活动水域的丧失，而原本当地的海洋生物会因这部分生境的消失而被迫迁移到别处。填海工程因占用海域对中华白海豚及印太江豚饵料资源减损有一定影响，但可恢复，工程建设的生境占地对中华白海豚及印太江豚的不利影响相对有限。

（4）珊瑚礁变化

2014 年可以代表新机场项目之前的状况，活的造礁石珊瑚覆盖率约 35%，2016 年海洋三所调查的 34%和海科院调查的 24%差了 10%，可能是两家单位的调查站位所致，2019-2020 年海南省海科院调查的珊瑚覆盖率分别为 27.1%、37.2%，2019-2020 年中科院南海所调查的珊瑚覆盖率分别为 32.1%、37.9%，2019 年相差 5%、2020 年相差 0.7%，可以认为活的造礁石珊瑚覆盖率基本上恢复到 2014 年的水平。

2018~2020 年调查记录的造礁石珊瑚中鹿角珊瑚占比较小，优势种已经变为角孔珊瑚、蔷薇珊瑚，角孔珊瑚、蔷薇珊瑚是最典型的耐受悬浮物和沉积物的造礁石珊瑚，结合水质调查发现红塘湾海域悬浮物及浊度很高，应该是反映了近几年悬浮物对红塘湾海域的造礁石珊瑚有明显的胁迫，造成了种类和群落结构的较大变化。

调查显示，重点站位（2~4m）具有较高悬浮物含量，导致水体浑浊和沉降速率较高，进而对该区域敏感型造礁石珊瑚（如鹿角珊瑚属）的生长产生胁迫效应。调查发现的该区域珊瑚覆盖率较高且珊瑚群落以悬浮物耐受型的块状珊瑚为优势种，即与上述报道区域结果相一致，表明在近岸浑浊水体中，不同珊瑚类群对悬浮物的耐受性存在差异，进而影响珊瑚群落结构。从不同站位悬浮物浓度、浊度和沉降速率分布情况看，靠近围填海区域的红塘站和三美湾站悬浮物浓度和水体浊度均显著低于西岛附

近；不同水深沉降速率较高的主要在天涯、南山和三美湾，靠近填海工程的红塘 1、红塘 2、莲花 1、莲花 2 和东侧的西岛站沉降速率均明显低于天涯、南山和三美湾。可见，就悬浮物浓度、水体浊度和沉降速率而言，2022 年监测的结果中围填海工程的影响已不再显著。

围填区外围抛石区域零星的珊瑚分布和一定量的其他生物分布，但未构成珊瑚礁。主要分布在-6m 以浅区域，水深超过 6m 的抛石区极少发现珊瑚分布。珊瑚种类、数量、分布水深逐渐增加，从方位看人工岛区域西侧珊瑚种类、数量多于东侧，南侧珊瑚种类、数量多于北侧。

（5）水动力改变

工程海域较为开敞，涨潮以西北流为主，落潮以东南流为主，往复流特征明显。已有围填海工程实施后，涨落潮阶段的流速变化主要表现为围填区东西两侧的流速减小，围填区南北两侧即围填区之间的海峡通道流速增大。其中临空产业园人工岛南北两侧局部增大幅度可达 30cm/s 左右，东西两侧流速减小 10cm/s 的范围在 4km 左右。与工程前后的实测结果接近。

工程北侧的太平洋石油公司码头附近工况间波高平均减小超过了 30%。围填工程实施后，整个影响范围主要集中在塔岭至天涯镇西侧长约 8km 的范围，表现为掩护区附近的波浪减弱，掩护区两侧波浪方向偏转。对南山景区岸段和天涯海角岸段的波浪场没有影响。

（6）水下地形和岸滩冲淤变化

工程实施后未形成周边海床明显的冲淤变化，地形变化主要是围填工程直接改变的地形，未影响到周边海床自然的稳定状态。围堰未完全封闭情况下，吹填出水的沙堆有一定冲刷，主要堆积在沙堆水下部分，外围未形成明显淤积，流失量较小。

工程实施 5 年来，受围填区掩护的岸段平均向海淤积约 20m，淤积泥沙总量在 8 万方左右，主要集中在-2m 以上部分，形成高程约 2.5m~3.0m 的滩肩，担油港口门附近受河口影响波动较大；人工岛掩护区东侧（六横路向东约 2.0km 岸段）5 年来平均冲刷后退 6m 左右，流失泥沙约 4 万方，主要向西运移堆积在人工岛掩护区的担油港口门附近，最大冲刷部位在六横路东侧，5 年间断面最大后退约 11m。人工岛掩护区西侧约 2.1km 岸段平均冲刷后退 5m 左右，5 年间流失泥沙量约 3 万方，最大冲刷部位在油码头东侧。岸段岩滩海滩相间分布、岸线曲折，海滩岩对岸线已形成较好掩护，

随着海滩岩出露范围增大冲刷逐渐趋缓。人工岛建设以来，其影响范围主要在人工岛掩护区及两侧约 6km 范围，在 2019 年以后，岸滩冲淤已趋向稳定，冲淤变化已非常缓慢。这与岸滩冲淤发展趋势、外围已形成围堰顶部的冲刷降低、掩护区东侧拦沙堤的实施和冲刷岸段海滩岩的掩护等方面因素有关。

上述 6km 以东的天涯镇、天涯海角岸段，以西的三美湾、南山景区岸段未因已实施人工岛工程建设形成明显冲淤调整，其冲淤变化主要为海滩自然冲淤波动和局部工程（巴士码头、南山观音人工岛防护区扩大等）影响。

（7）违规围填区的冲淤变化

2017 年停工后，临空产业园内共形成 88.9 公顷围填海区域（不含起步区），受围堰未全面封闭情况下风浪影响，至 2019 年 7 月减小至 68.6 公顷，2022 年 4 月减小至 56.1 公顷。0m 以上区域的砂石量 2019 年至 2022 年由 329 万方减少至 259 万方；新机场起步区 2017 年停工时已吹填形约 12.7 公顷的 0m 以上的成陆区，受外围波浪作用，至 2019 年 7 月，高程 0m 以上区域已减少至 9.7 公顷，2022 年减少至 3.8 公顷。

2017 年停工后，临空产业园周边共形成低潮可出露的围堰总约 5.9km，2022 年，南部和通道两侧围堰高程整体降低至-2m~-4m，东南部和西南部降低至 0~-2m，均成为低潮不出露的潜堤。低潮可出露的堤段仅有整个区域的北部围堰，出水堤总长由 2017 年停工时的约 5.9km 减小至约 2.2km。

临空产业园违规围填区的泥沙冲刷主要在围堰掩护条件较差的区段，但冲刷主要集中在-4m 以浅区段，冲刷泥沙也主要堆积在吹填区边坡附近，未有向周边流失的趋势。

目前临空产业园违规围填区低潮出露部分总面积仅约 56 公顷，东南部的 C 区和 D 区两片区域 0m 以上部分已冲刷殆尽，成为水下浅滩；新机场起步区的成陆区也仅剩约 3.8 公顷低潮出露，其余均为水下浅滩；临空产业园围堰只有北部长约 2.2km 为出水堤区段，其余均已成为潜堤。

总体而言，已有填海工程后对海洋环境的影响主要为：一是开敞填海过程中产生的悬浮物对海水水质的影响；悬浮泥沙对工程海域浮游生物、底栖生物、游泳动物等造成的损失与影响，以及悬浮泥沙对沿岸珊瑚礁生存环境的影响；二是填海直接占用海域对海域海洋生态环境的影响，同时改变了海域水动力和冲淤环境平衡，造成岸滩冲淤调整，局部掩埋珊瑚礁，对沿岸珊瑚礁分布区产生一定的影响。其中重点是施工期悬浮泥沙影响、占用海域生物损失、岸滩冲淤影响和珊瑚礁影响。2019 年之后，活

的造礁石珊瑚珊瑚礁覆盖率基本恢复到工程前水平，施工结束后悬浮泥沙也不再是生态环境影响的主要方面，但因工程实施引起岸滩冲淤对近岸珊瑚礁的掩埋，需要通过生态修复加以补救；岸滩冲淤方面，尽管 2019 年之后岸滩冲淤调整已明显趋缓，但整改拆除方案实施后，仍有一定冲淤条件，特别是对围填海引起的岸滩冲刷区，实施有针对性的修复是十分必要的。除填海工程影响外，红塘湾海岸整体自然冲刷，岸滩修复应考虑海岸整体的冲淤动态和修复需要。

2.2.2.2 存在问题

已实施的围填海工程对海洋环境的影响主要是岸滩冲淤和珊瑚礁，其中岸滩冲淤影响主要集中在人工岛掩护区及其两侧长约 6km 岸段，围填工程实施后掩护区淤积、东西两侧冲刷迅速发展，但 2019 年之后明显趋缓；对珊瑚礁的影响主要是施工期悬浮泥沙影响下活的造礁石珊瑚种类、群落结构和优势种发生变化。

2.2.3 项目建设必要性

（1）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。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央对生态文明建设高度重视，对贯彻绿色发展理念决心坚定。2018 年 4 月 13 日，习近平总书记在庆祝海南建省办经济特区 30 周年大会上发表重要讲话，提出海南要牢固树立和全面践行绿水青山就是金山银山的理念，在生态文明体制改革上先行一步，为全国生态文明建设作出表率。生态文明建设事关中华民族永续发展和“两个一百年”奋斗目标的实现。保护生态环境就是保护生产力，改善生态环境就是发展生产力。海南生态环境是大自然赐予的宝贵财富，必须倍加珍惜、精心呵护，使海南真正成为中华民族的四季花园。并特别指出要严格保护海洋生态环境，建立健全陆海统筹的生态系统保护修复和污染防治区域联动机制。中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《国家生态文明试验区（海南）实施方案》要求海南省加强海洋环境资源保护，严格按照主体功能定位要求，加强海岸带保护，实施最严格的围填海管控和岸线开发管控制度，除国家重大战略项目外，全面停止新增围填海项目审批，并加快处理围填海历史遗留问题。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加强海洋类型各类保护地建设和规范管理。

（2）落实中央生态环境保护督察整改要求的需要。

为深入贯彻落实习近平生态文明思想，根据《中央生态环境保护督察工作规定》，中央第三生态环境保护督察组（以下简称督察组）对海南省开展了第二轮生态环境保护督察，并对自然保护区生态环境问题统筹开展专项督察。经党中央、国务院批准，督察组于近日向海南省委、省政府进行了反馈。2020 年 5 月第二轮中央环保督察指出“针对违法围填海问题，海南省虽然对第一轮环保督察指出的相关违法违规填海项目实施‘暂停建设、暂停营业’政策，但对后续处置整改既没有详细、可操作的整改行动计划，也没有推进落实，始终对恢复建设营业标准和具体整改要求不明确、不具体，导致后续处置整改尺度不一”。该问题涉及三亚红塘湾新机场围填海项目。《海南省贯彻落实中央第三生态环境保护督察组督察报告整改方案》，针对该问题整改制定了 3 条整改措施，主要是将合法审批部分作为机场功能配套区，纳入三亚新机场片区规划，在依法审批建设的基础上将非法填海的拆除工作与新机场填海工程统筹实施，并开展生态修复。

（3）增加海洋生态系统的可持续性发展，避免环境恶化，促进经济的长远发展的需要。

海洋生态系统可支撑渔业、旅游业、民用航运以及其他经济活动，拆除填海工程并开展生态修复，可以保护生物多样性，维护海洋生态系统的可持续发展。

填海工程对周边生态环境的影响非常大，可能会导致湿地、河流、沿海海域、岛屿等诸多自然生态系统退化、缩减，甚至消失，影响沿海生态平衡与环境质量。拆除填海工程是维护海洋生态环境、保护自然资源、保障后代美好生存环境的必要措施。

海洋具有长期经济效益，如渔业、旅游业等，而填海工程建设虽然对短期经济发展有所贡献，但长期来看会对经济造成不可忽视的负面影响，拆除填海工程并开展生态修复则有助于促进沿海经济增长，提高区域可持续发展水平。

综上所述，尽快对红塘湾违规填海项目开展拆除和生态修复工作是必要的，而且迫在眉睫。

2.3 已建工程

2.3.1 临空产业园二期

2.3.1.1 原设计方案

（1）平面方案

三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工程，在一期工程基础上扩展建设，形成陆域面积 379.4 万 m^2，外护岸长 6723.1m，内护岸长 4257.8m，潜堤 2 道长 252.3m，分隔围堰长 1460.9m，陆域容积量 6030.34 万 m^3。

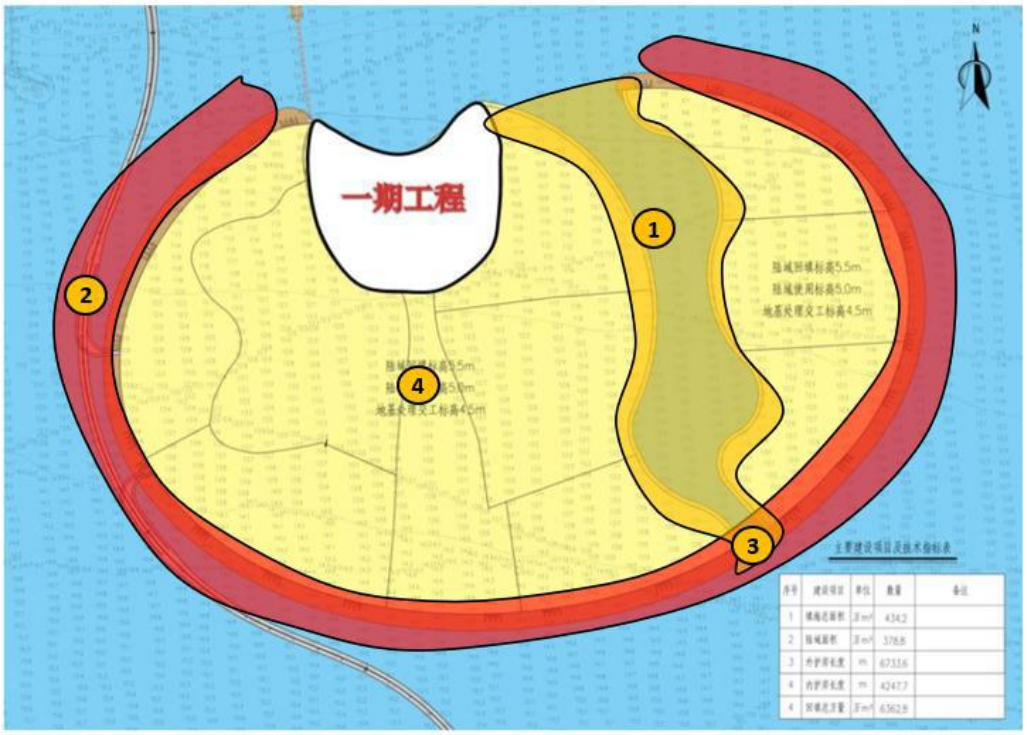


图 2.3-1 临空二期工程平面示意图

（2）结构方案

直立式护岸：长度为 2346.2m，水道两侧内护岸采用圆沉箱直立式结构，其结构与临空一期工程的直立式护岸一致。直立式护岸典型设计断面如下：

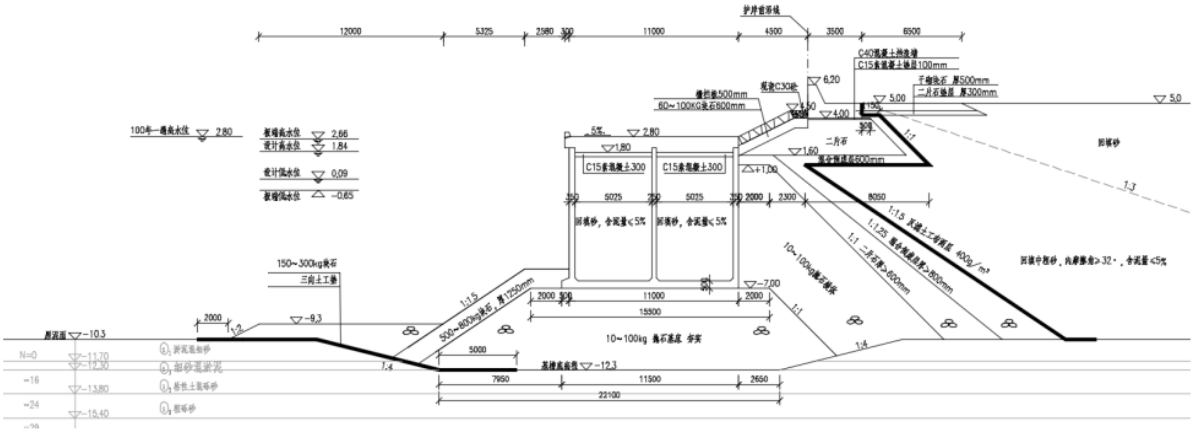


图 2.3-2 临空二期工程直立式护岸断面图

斜坡式护岸：长度为 8634.7m，外护岸结构采用抛石斜坡堤，其结构与临空一期工程的斜坡式护岸类似，仅扭王字块体的规格不同(相应的垫层石规格也不同)。斜坡

式护岸典型设计断面如下：

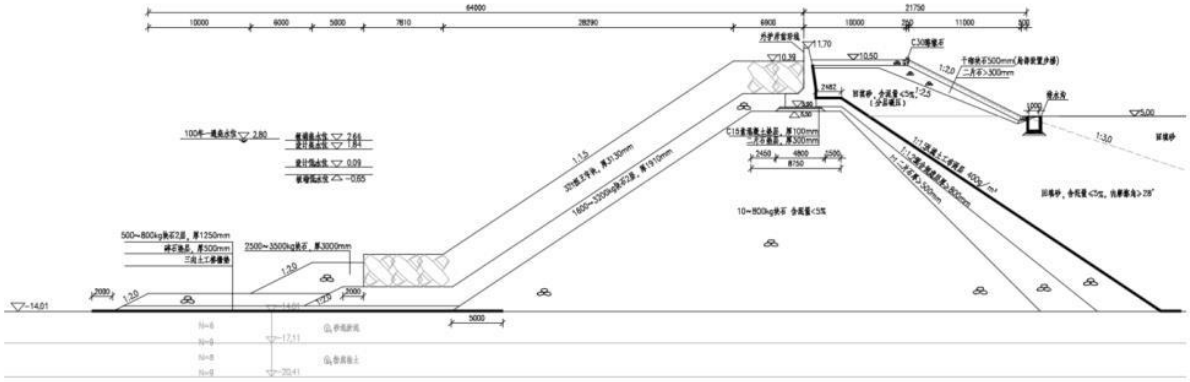


图 2.3-3 临空二期工程斜坡式护岸断面图

潜堤：内护岸在南面口面处设了 2 道潜堤，长度 252.3m，为抛石斜坡堤，堤心为 10～500kg 抛填块石，潜堤表层铺设 32t 扭王字块体防护。潜堤典型设计断面如下：

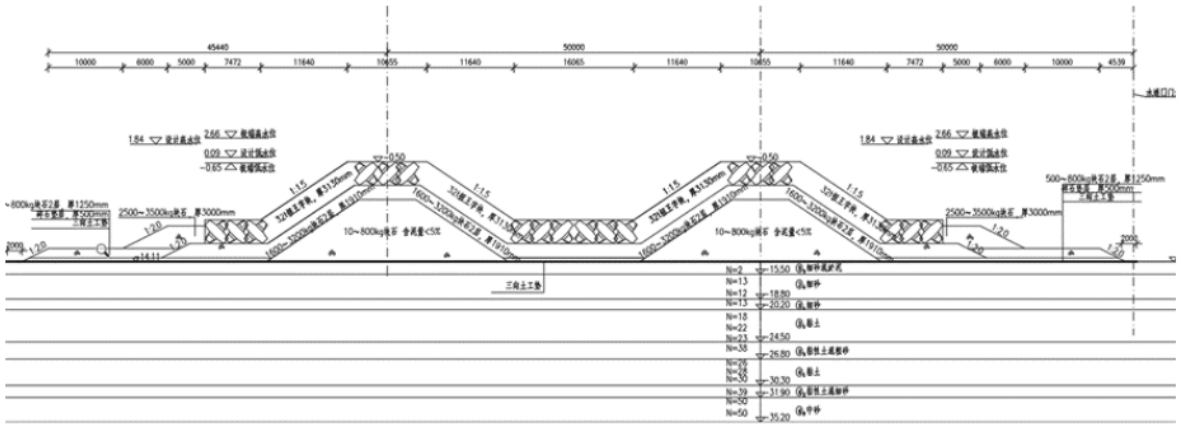


图 2.3-4 临空二期工程潜堤断面图

陆域形成与地基处理：本工程人工岛陆域总面积为 3793676m^2，通过吹填为主、陆上推填为辅的工艺，逐步将场地回填至标高 5.5m（内护岸后方 15m 范围、临时围堰前方场地的回填标高为 1.0m），然后进行地基处理。地基处理后场地将发生沉降，需平整场地至交工标高 4.5m（内护岸挡浪墙所在位置区域场地平整后的标高为 1.0m，施工挡浪墙及相关结构后，挡浪墙与临时围堰之间分层回填碾压至交工标高 4.2m）。接着对环岛公路所在区域再分层填筑回填料至交工标高 7.2m~9.7m。在陆域回填至标高 5.5m（内护岸区域临时围堰前方场地的回填标高为 1.0m）后采用振冲密实法进行地基处理。环岛公路段按不大于 50cm 的松铺厚度分层回填砂土至交工标高。

2.3.1.2 施工及现状情况

根据施工记录及现场初步调查，三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工

程施工情况如下：

（1）栈桥西侧北护岸：护岸采用抛石斜坡堤，斜坡结构采用 19t 扭王字块体护面，护面块体的层厚为 2.63m；其垫层块石的重量为 1000～2000kg，厚 1.65m，堤心石重量为 10~800kg 块石。堤心石、扭王块和垫层块石已完成，内侧倒滤层也已施工且在背后吹填砂压布。



图 2.3-5 临空二期工程栈桥西侧已实施护岸平面图（北段）

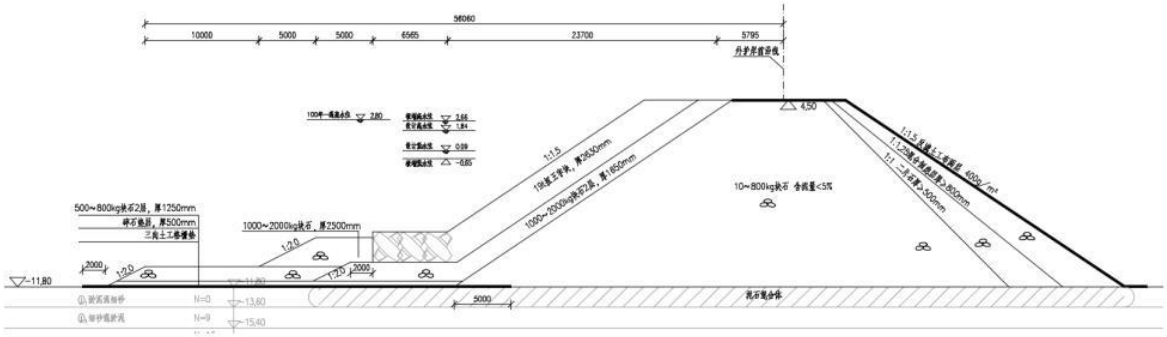


图 2.3-6 临空二期工程栈桥西侧已实施护岸断面示意图（北段）

（2）栈桥西侧南护岸：护岸结构同栈桥西侧北护岸，堤心石和垫层块石已完成，扭王块体部分安装，内侧倒滤层未施工。

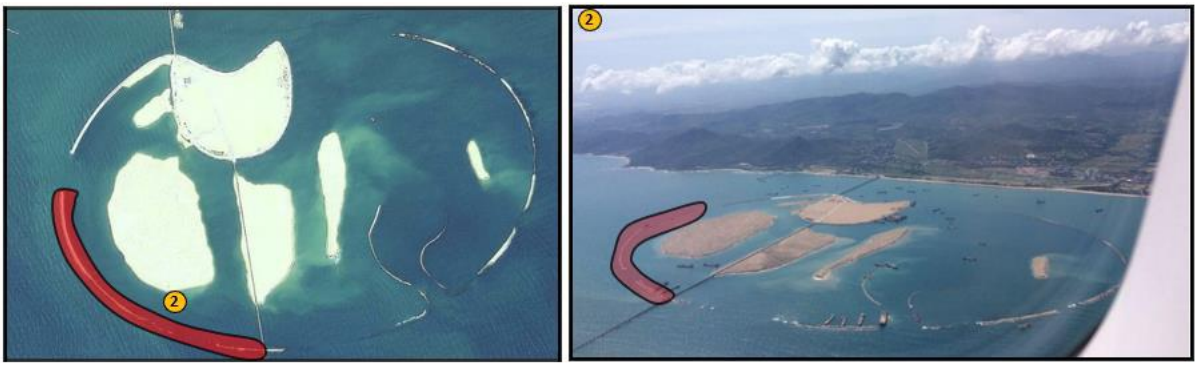


图 2.3-7 临空二期工程栈桥西侧已实施护岸平面图（南段）

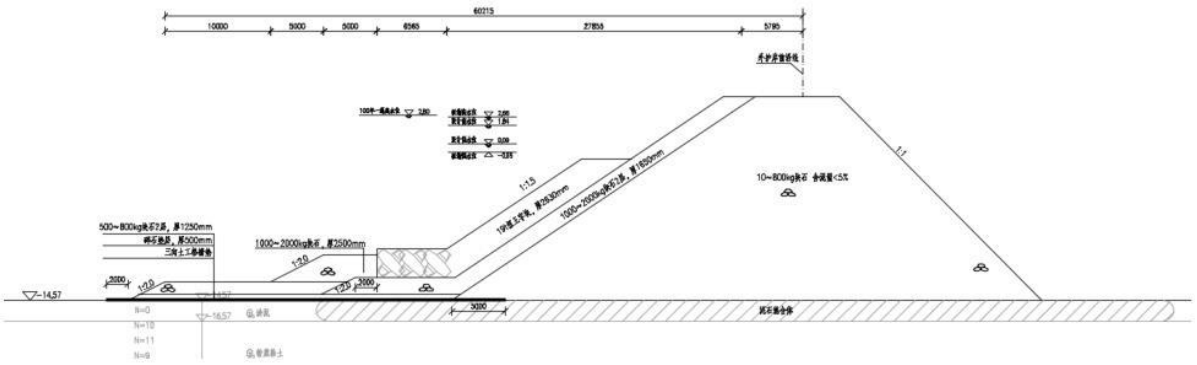


图 2.3-8 临空二期工程栈桥西侧已实施护岸断面示意图（南段）

（3）口门西侧至栈桥护岸：护岸结构基本同栈桥西侧北护岸，其垫层块石的重量为 1600～3200kg，厚 1.91m。堤心石和垫层块石已完成，扭王块体和内侧倒滤层未施工。

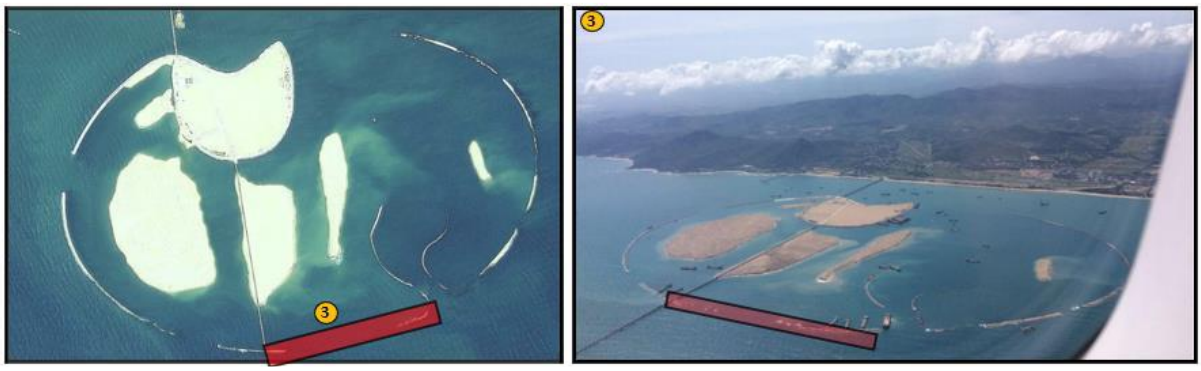


图 2.3-9 临空二期工程口门西侧至栈桥段已实施护岸平面图

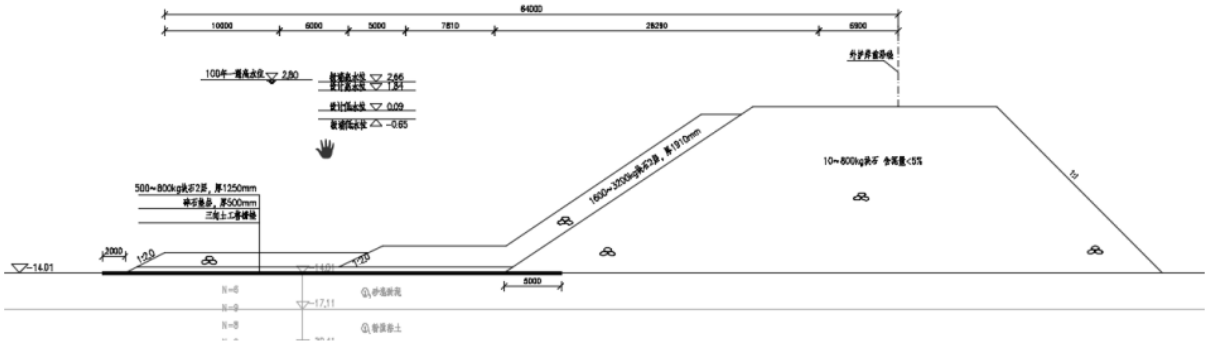


图 2.3-10 临空二期工程口门西侧至栈桥段已实施护岸断面示意图

（4）口门东侧护岸：护岸采用抛石斜坡堤，斜坡结构采用 25t 扭王字块体护面，护面块体的层厚为 2.88m；其垫层块石的重量为 1250～2500kg，厚 1.76m，堤心石重量为 10~800kg 块石。堤心石、扭王块体和垫层块石已完成，内侧倒滤层未施工。

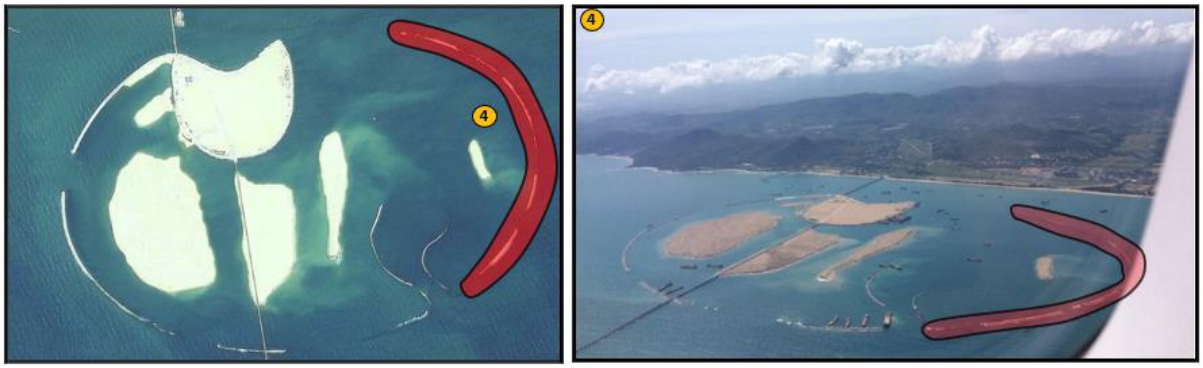


图 2.3-11 临空二期工程口门东侧已实施护岸平面图

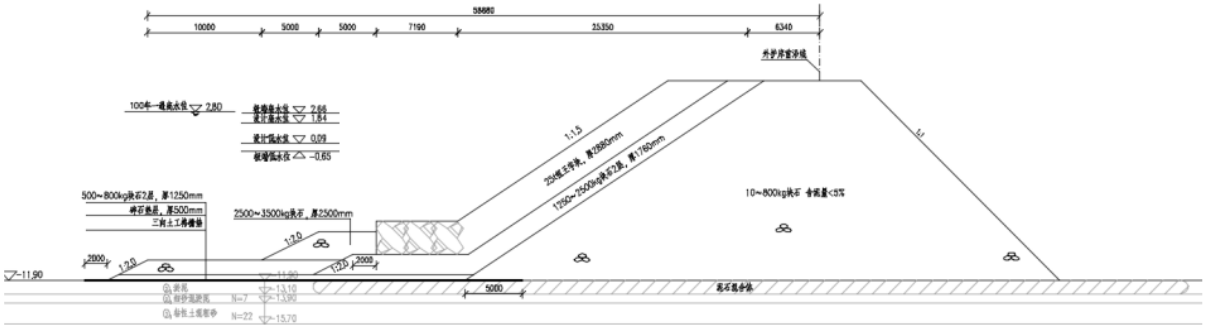


图 2.3-12 临空二期工程口门东侧已实施护岸断面示意图

（5）斜坡段内护岸：护岸采用抛石斜坡堤，其垫层块石的重量为 500～800kg，厚 1.25m。堤心石和垫层块石已完成，内侧倒滤层未施工。

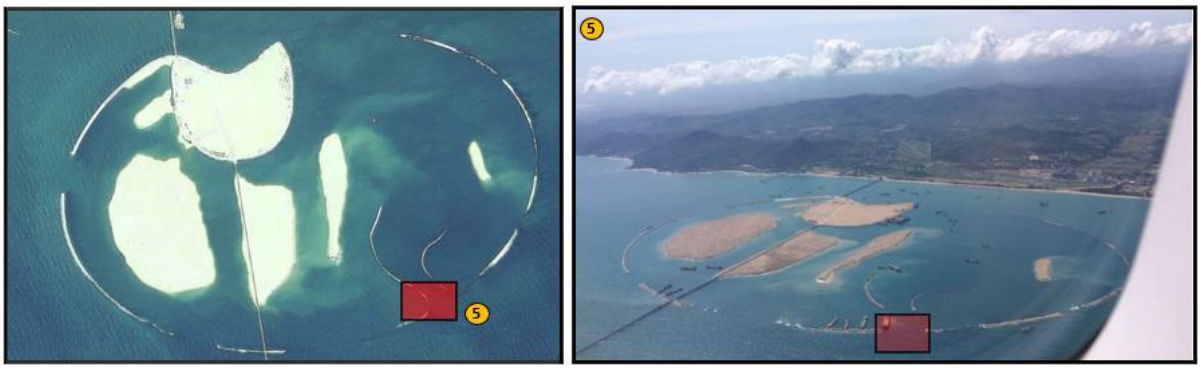


图 2.3-13 临空二期工程斜坡段内护岸已实施护岸平面图

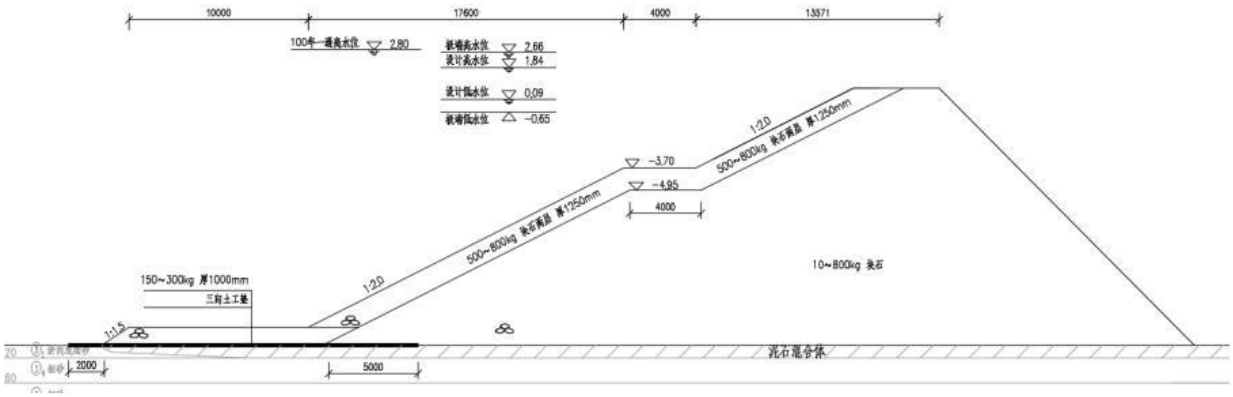


图 2.3-14 临空二期工程斜坡段内护岸已实施护岸断面示意图

（6）直立段内护岸：直立段挖泥均已经完成，并完成了部分抛石基床，在西侧内护岸靠北段已安装了 2 个圆沉箱。

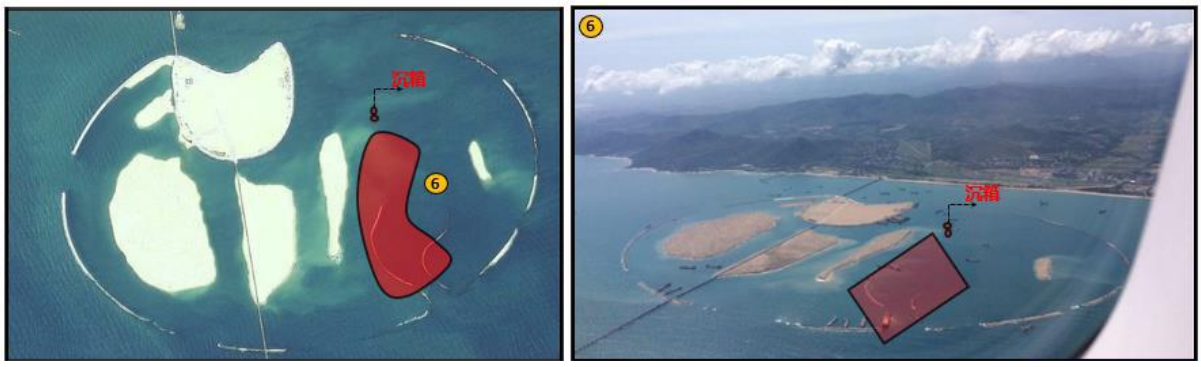


图 2.3-15 临空二期工程直立段内护岸已实施护岸平面图

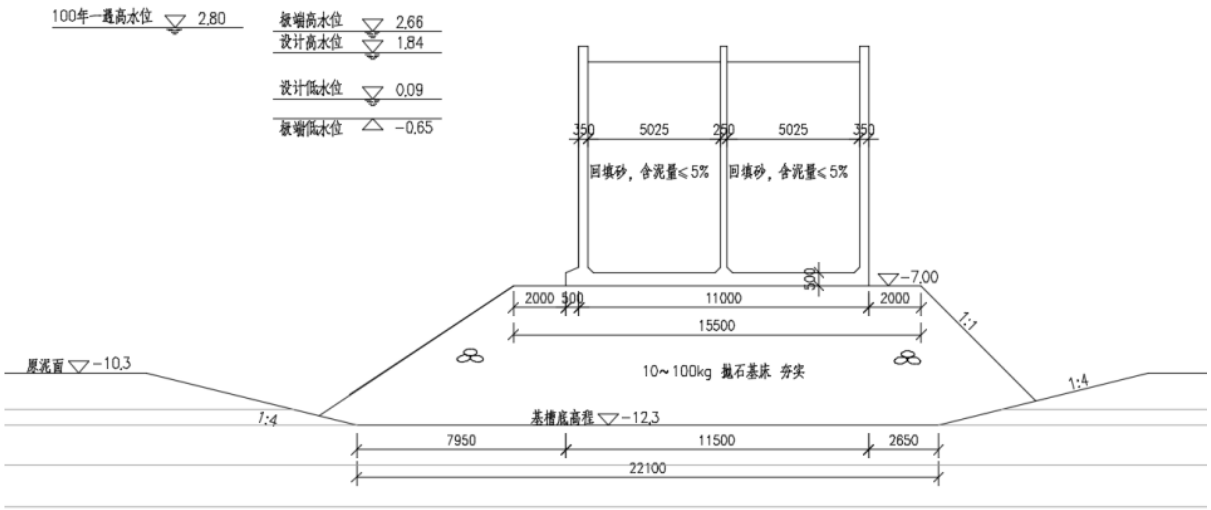


图 2.3-16 临空二期工程直立段内护岸已实施护岸断面示意图

（7）陆域形成：已回填部分中粗砂，地基处理尚未进行。

2.3.2 三亚新机场填海项目起步工程

2.3.2.1 原设计方案

（1）平面方案

起步工程水工建筑物包括西、南临时护岸，东、北护岸沉箱结构。设计东护岸长571.16m，北护岸长 650.00m，南护岸长 907.67m，西护岸长 497.30m，回填砂 766.28万方。

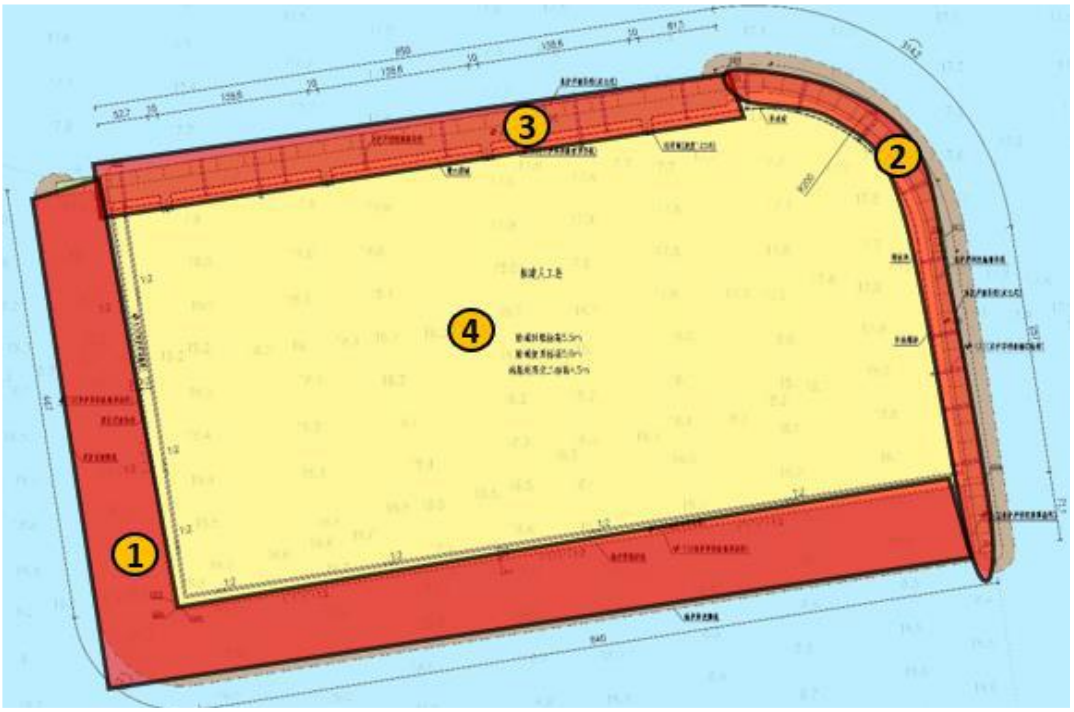


图 2.3-17 起步工程平面图

（2）结构方案

斜坡式护岸：西、南临时护岸堤心采用 10~500kg 块石，护面块体采用 23t 的扭王字块；垫层块石的重量为 1000～2000kg；护岸底部设 1000~2000kg 块石棱体；护底块石的重量取 500~800kg，长度为 10m。

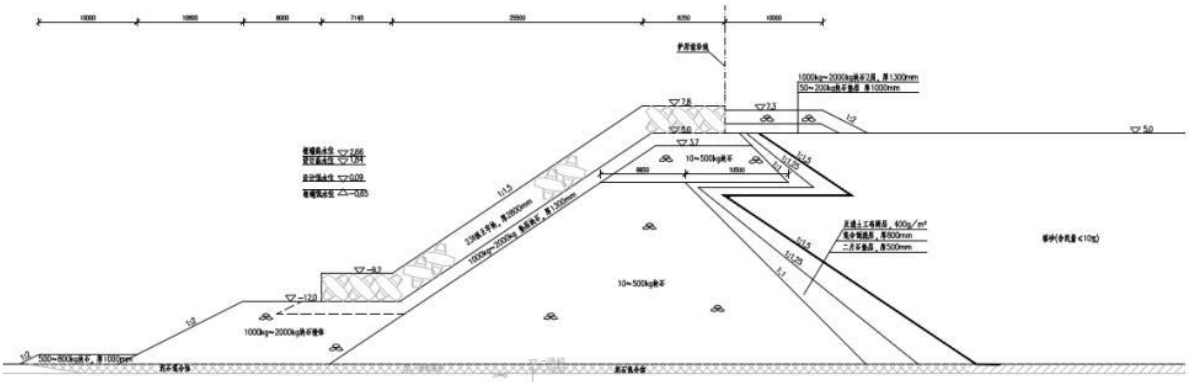


图 2.3-18 起步工程西南护岸设计断面图

直立式东护岸：东护岸为直立式结构，基槽开挖至-29m~-34m 的粉质粘土层后换填 10~500kg 的块石，换填块石顶抛填 4m 厚的 10~100kg 块石并夯实形成基床，上设方沉箱，沉箱主尺度为 19.24m×19.8m×21.5m，单个沉箱重约 4600t。沉箱内部回填中粗砂，沉箱上部为 C40 的现浇挡浪墙，前沿顶高程为 5.0m。挡浪墙顶高程为 13.2m、顶宽为 3m。沉箱后方局部设置抛石减压棱体，棱体后方为回填中粗砂并振冲密实。抛石基床护肩设置 15t 扭王字块体及 800~1500kg 的垫层块石。护岸前抛填 40m 宽的护底块石，护底块石采用 800~1500kg 块石。

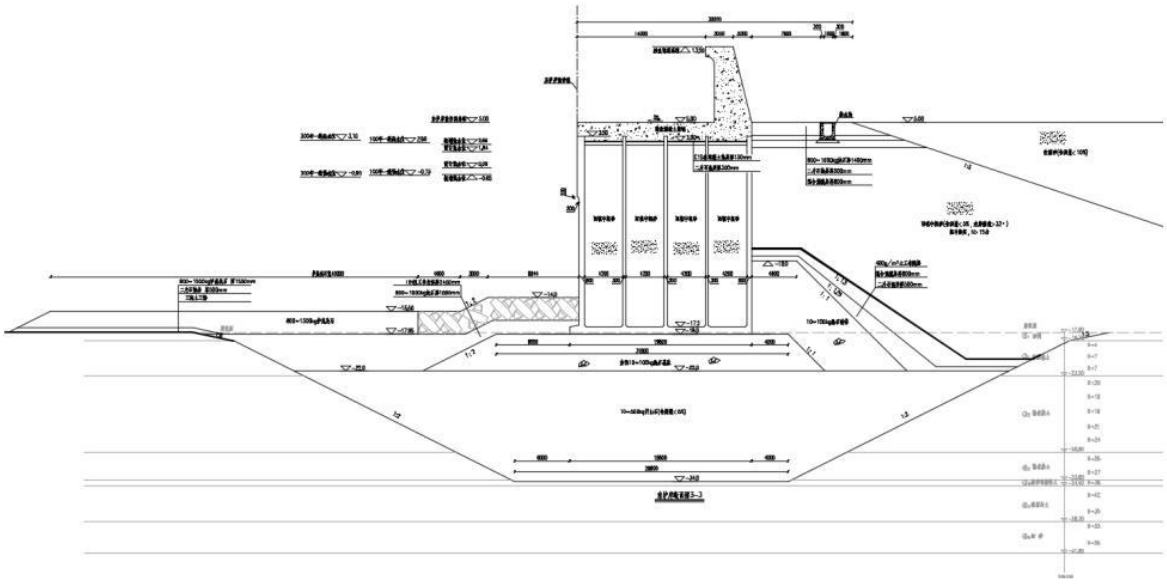


图 2.3-19 起步工程东护岸设计断面图

直立式北护岸：北护岸兼做机场人工岛建设期的临时码头，采用直立式沉箱结构。基槽开挖至-26~-33m 后换填 10~500kg 的块石，换填块石顶抛填 4m 厚的 10~100kg 块石并夯实形成基床，上设方沉箱，沉箱主尺度为 28.04m×16.1m×18.0m，单个沉箱重约 4000t。沉箱内部回填中粗砂，沉箱上部为 C40 的现浇胸墙，胸墙顶高程为 2.8m。沉箱后方局部设置抛石减压棱体，棱体后方为回填中粗砂，抛石基床前方设置 300~500kg 的护底块石。胸墙后方设置现浇挡浪墙，挡浪墙顶标高为 6.2m。

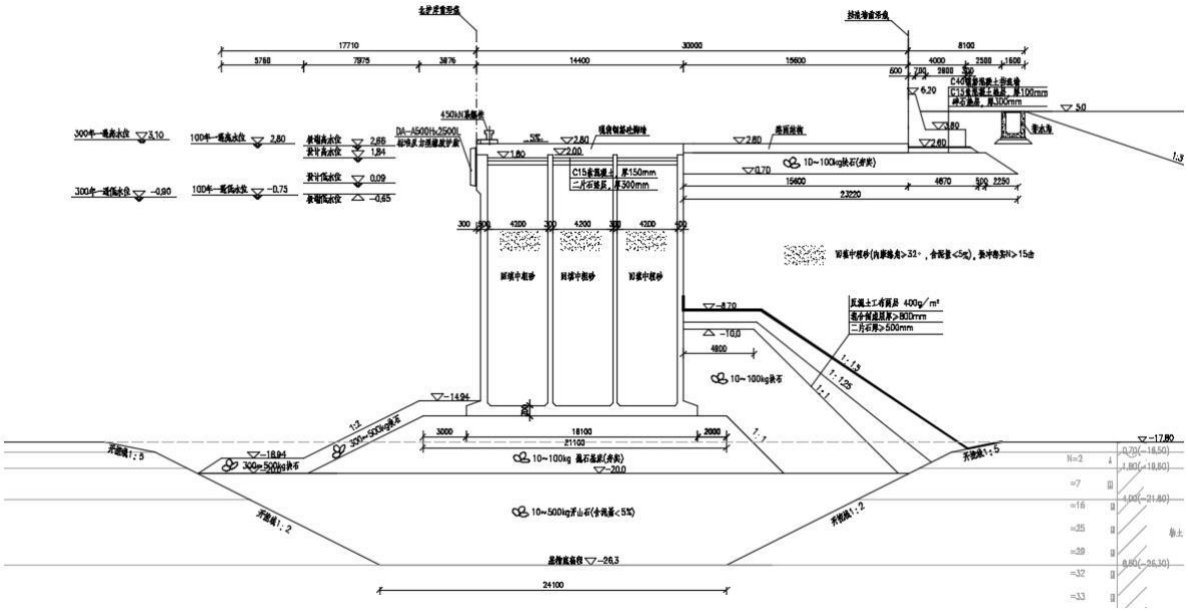


图 2.3-20 起步工程北护岸设计断面图

陆域形成与地基处理：人工岛陆域面积共 37.98 万 m^2，优先考虑选取砂料进行陆域回填，将场地回填至标高+5.5m（临时围堰北侧前方场地的回填标高为+1.4m，东侧为+3.0m），然后进行地基处理。地基处理后场地将发生沉降，需平整场地至交工标高+4.5m（北护岸挡浪墙所在位置区域在场地平整后的标高为+0.7m，东护岸为+2.3m），西、南护岸后方 30m 范围内，需平整场地至交工标高+5.7m。考虑采用振冲密实法作为大面积场地的地基处理方法。在陆域回填至标高+5.5m（临时围堰北侧前方场地的回填标高为+1.4m，东侧为+3.0m）后采用振冲密实法进行地基处理，振冲密实加固面积为 343969 万 m^2。对北、东护岸护岸前沿线和临时围堰之间区域以及西、南护岸后方 30m 范围区域，在振冲密实处理后进行分层碾压填筑，分层碾压面积约为 46400m^2。

2.3.2.2 施工及现状情况

根据现场初步调查，新机场起步区工程施工情况如下：

（1）西南临时护岸：已完成堤心石抛填，垫层块石的抛理，西南拐角处局部位置已安装扭王字块。

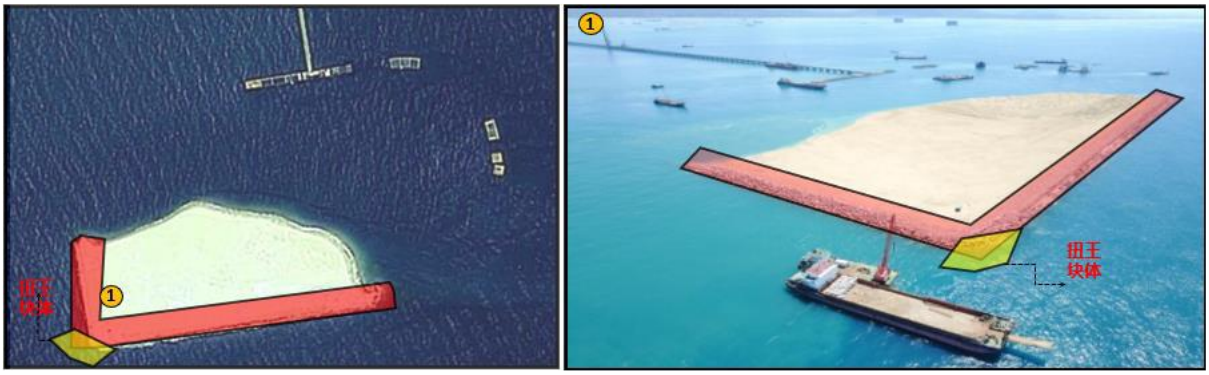


图 2.3-21 起步工程西南护岸已实施平面图

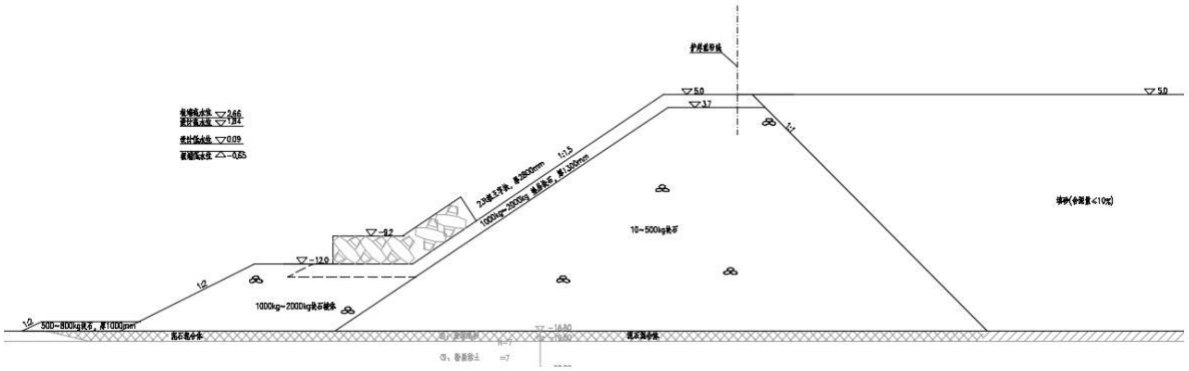


图 2.3-22 起步工程西南护岸已实施断面示意图

（2）东、北护岸：已完成基槽开挖、基床换填开山石及抛石基床的施工，其中东护岸沉箱安装完成 7 件，箱内均未回填；北护岸沉箱安装完成 8 件，其中 3 件完成了箱内回填。

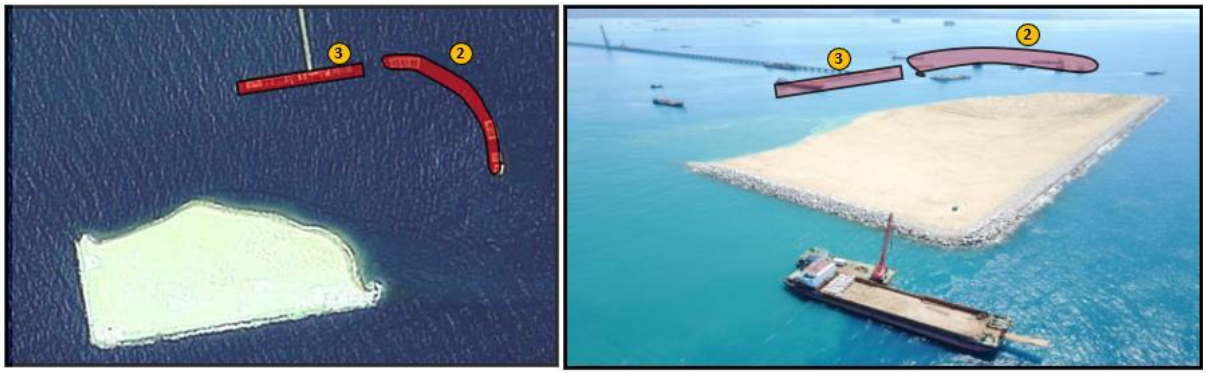


图 2.3-23 起步工程东、北护岸已实施平面图

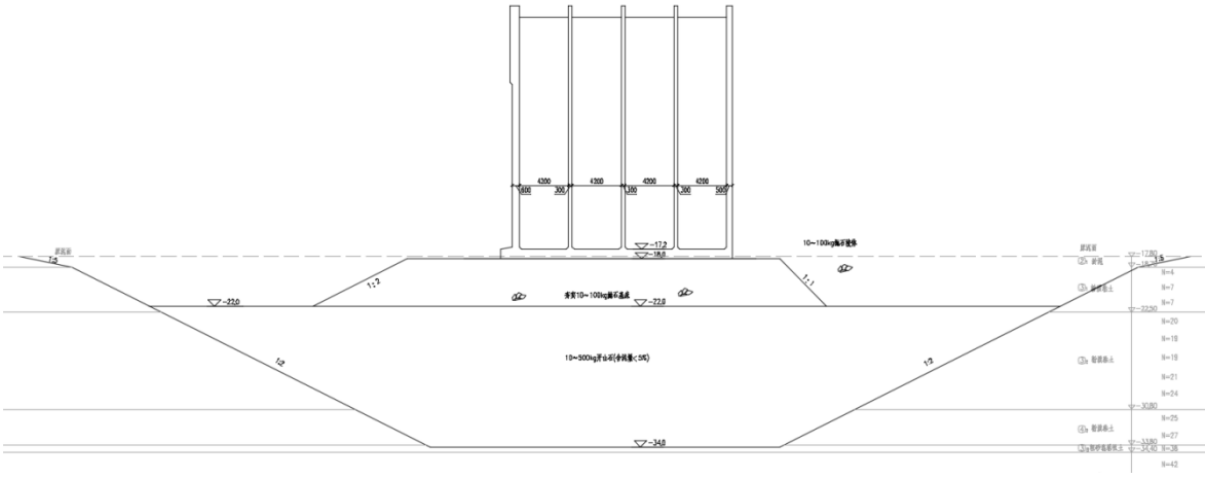


图 2.3-24 起步工程东护岸已实施断面示意图

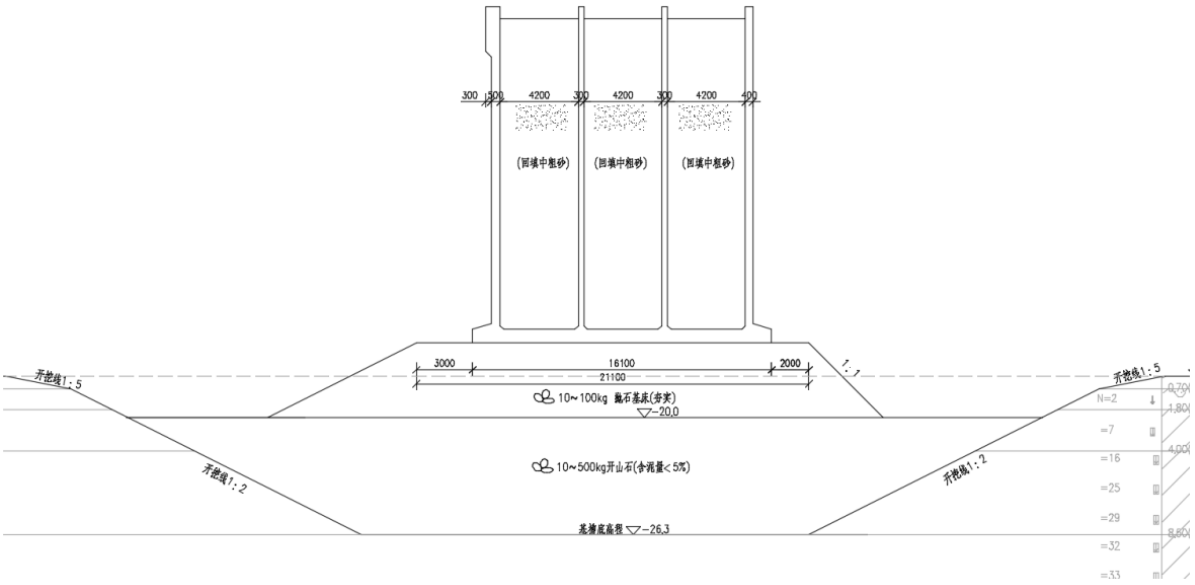


图 2.3-25 起步工程北护岸已实施断面示意图

（3）陆域形成：回填砂自西南角开始回填，目前已完成西南临时护岸掩护范围内的吹填，尚未进行地基处理。

2.3.3 三亚新机场人工岛工程南护岸试验段

2.3.3.1 原设计方案

（1）平面方案

三亚新机场人工岛工程南护岸试验段（钢圆筒护岸工程），位于新机场人工岛的东南侧和西南侧，为 2 段离岸式钢圆筒护岸，东南护岸、西南护岸长均为 327m。



图 2.3-26 钢圆筒护岸设计平面图

（2）结构方案

钢圆筒和钢副格均采用 Q345B 钢材，钢圆筒直径 30m，壁厚 22mm，副格海侧壁厚 20mm、陆侧壁厚 16mm，相邻钢圆筒的中心距为 33m。首先开挖基槽至设计标高，并换填中粗砂。钢圆筒（钢副格）振沉完毕后，立即回填筒内中粗砂，并振冲密实。钢圆筒顶部采用厚度 2m 的现浇混凝土封顶。钢圆筒海陆两侧抛填 10~100kg 块石，海侧内肩采用 2000kg～3000kg 块石护面，外肩采用 15t 扭王字块护面。钢圆筒上部安装 50t 扭王字块护面，后方设置挡浪墙，其顶标高为+11.50m。钢圆筒护岸设计断面如下图：

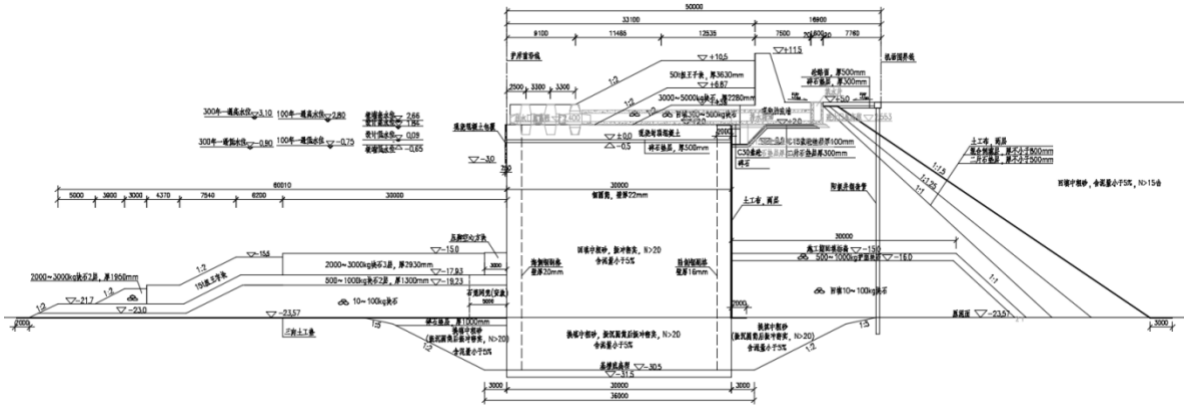


图 2.3-27 钢圆筒护岸设计断面图

2.3.3.2 施工及现状情况

根据施工记录，东南侧钢圆筒护岸已施工完成 294m，施工的内容包括，基槽开挖，基槽内回填中粗砂，钢圆筒振沉 9 个，钢副格振沉 8 对，钢圆筒（副格）内回填

中粗砂，钢圆筒（副格）前后抛填 10~100kg 块石。

西南侧钢圆筒护岸已施工完成 327m，施工的内容包括，基槽开挖，基槽内回填中粗砂，钢圆筒振沉 10 个，钢副格振沉 9 对，钢圆筒（副格）内回填中粗砂。

现场情况及东南侧、西南侧已完成钢圆筒护岸典型断面分别如下图。



东南侧



西南侧

图 2.3-28 钢圆筒护岸工程航拍图

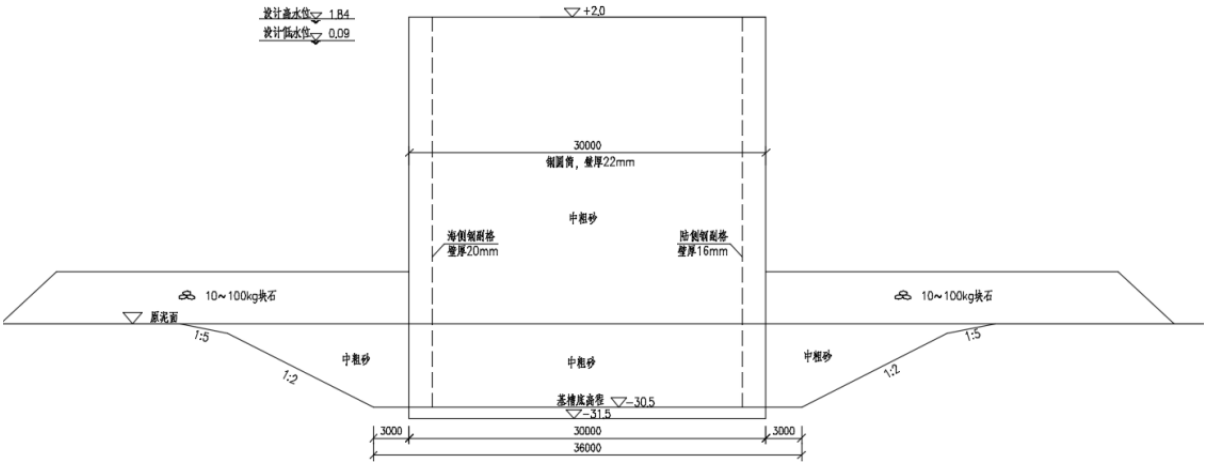


图 2.3-29 东南侧钢圆筒护岸已实施断面示意图

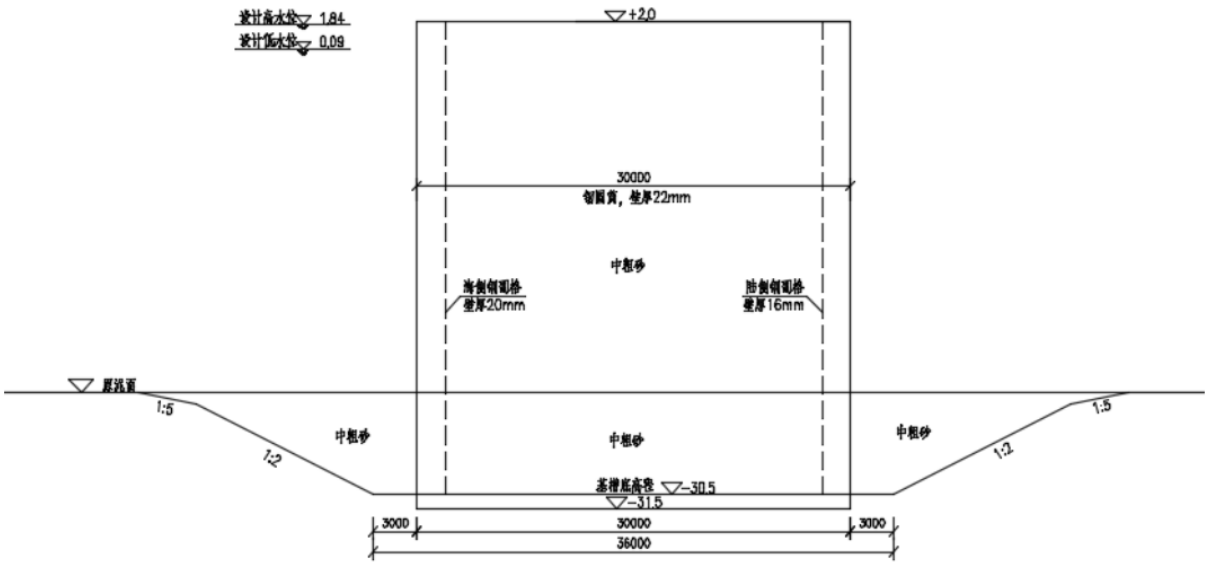


图 2.3-30 西南侧钢圆筒护岸已实施断面示意图

2.3.4 三亚新机场填海栈桥工程

三亚新机场填海栈桥工程为红塘湾陆域至新机场起步区间的栈桥（1#栈桥、过渡区栈桥、2#栈桥），栈桥长度约为 3997m。主要结构包括：（1）桥面板：10mm 厚的防滑钢板和钢板下铺的 I12.6 工字钢；（2）工字钢横梁：I25a 工字钢横梁与上部 I12.6 工字钢焊接，通过 U 型卡与下部贝雷架连接；（3）贝雷梁：“321”型贝雷梁、HD202 高抗剪型贝雷梁；（4）桩顶分配梁：双拼或三拼 I63a 工字钢，与上部贝雷架采用 U 型卡连接；（5）钢管桩基础：Φ820×16mm 钢管桩，钢管桩间的平连横杆Φ273×8m 钢管，剪力撑 28a 槽钢。（6）桥梁附属结构：栏杆立柱 I20a 工字钢，Φ48×3.5mm 连接钢管。

根据现场初步调查，1#栈桥（760m）、过渡区栈桥（1175m）已建成，过渡区栈桥（1175m）与 2#栈桥（1862m）之间存在 68m 缺口，无法与陆域形成连续通道；2#栈桥部分上部结构未实施。



图 2.3-31 设计栈桥平面布置图



图 2.3-32 现状栈桥实施平面图

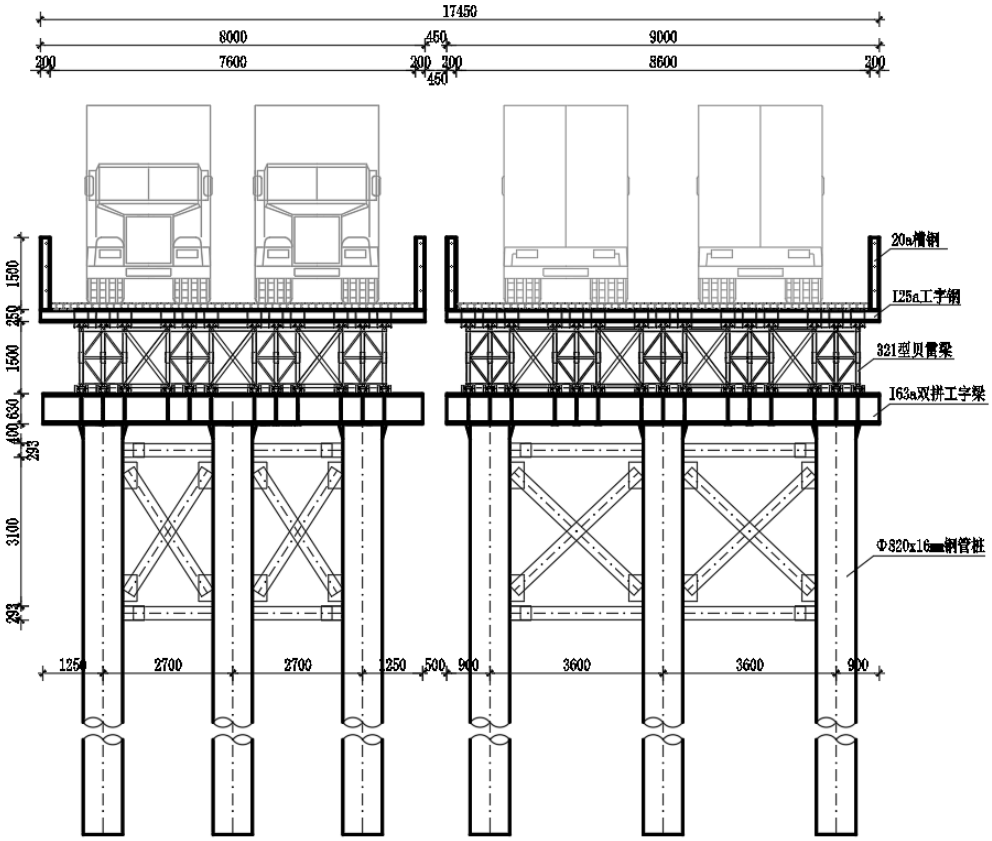


图 2.3-33 1#栈桥断面图

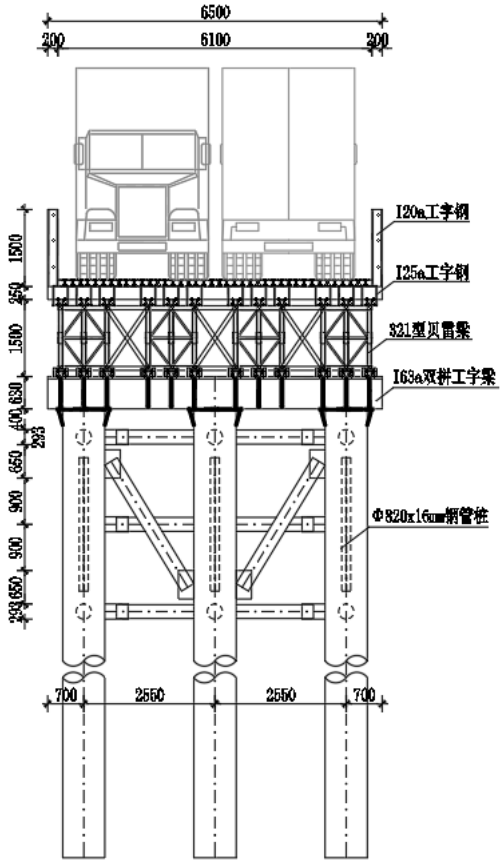


图 2.3-34 过渡区栈桥断面图

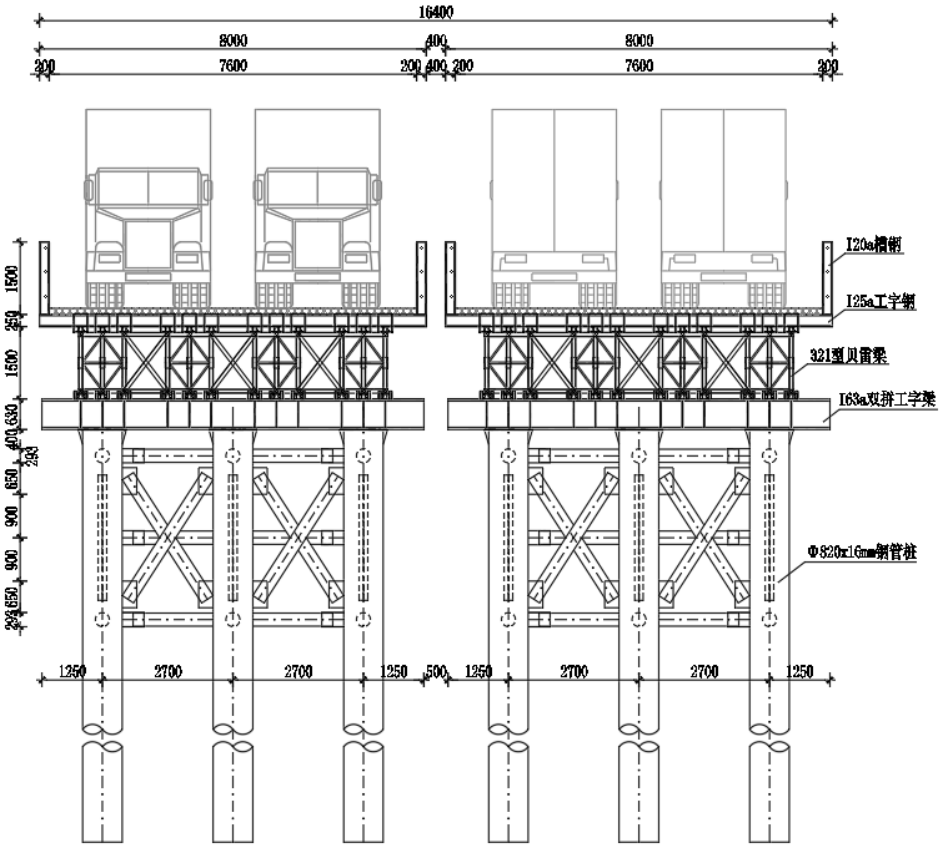


图 2.3-35 2#栈桥断面图



图 2.3-36 栈桥工程现状照片

2.4 拟建工程

2.4.1 拆除工程

2.4.1.1 拆除高程

本项目拆除工程包括临空产业园二期违规围填部分、新机场人工岛起步工程违规围填部分、新机场人工岛钢圆筒试验段、临空产业园与新机场人工岛起步工程之间的施工便桥。根据《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》确定各区域拆除高程如下：

①临空产业园一期以西、南部分吹填区域和围堰高出理论基面 0m 的部分拆除至理论基面 0m，现状低于理论基面 0m 部分维持现状；

②临空产业园一期以东的围堰高出理论基面-1m 的部分拆除至理论基面-1m，其余现状低于理论基面-1m 部分不做处理；

③三亚新机场填海项目起步工程填海部分和抛石围堰拆除至理论基面 0m；

④三亚新机场填海项目起步工程东、北护岸 14 个混凝土沉箱拆除至理论基面-4m；

⑤三亚新机场填海栈桥工程 3.1km 钢栈桥拆除至现状海床；

⑥三亚新机场人工岛工程南护岸试验段 19 个钢圆筒和 17 对副格及内部回填砂拆除至现状海床。

平面布置图见图 2.4-1。

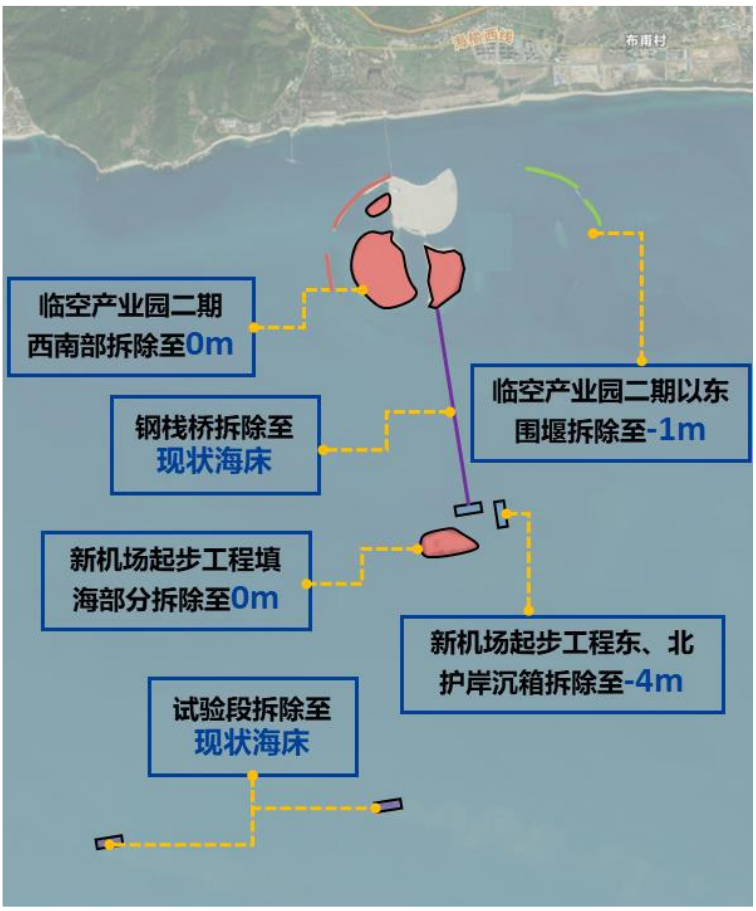


图 2.4-1 拆除工程平面布置示意图

2.4.1.2 临空产业园二期

本工程拆除内容为临空产业园二期工程中的水工建筑物及陆域，包括护岸结构沉箱直立式护岸、抛石斜坡式护岸以及陆域回填料，拆除建筑物平面示意图见图 2.4-2。

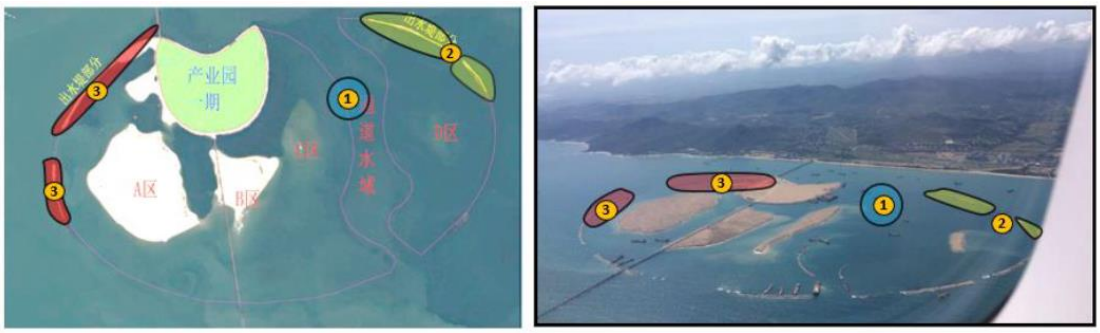


图 2.4-2 拆除建筑物平面示意图

（1）平面拆除方案

1）挖除临空二期工程陆域海砂至 0m 标高；

2）护岸结构拆除由临空岛一期分别向南护岸方向进行拆除；

3）靠南侧护岸最后拆除。

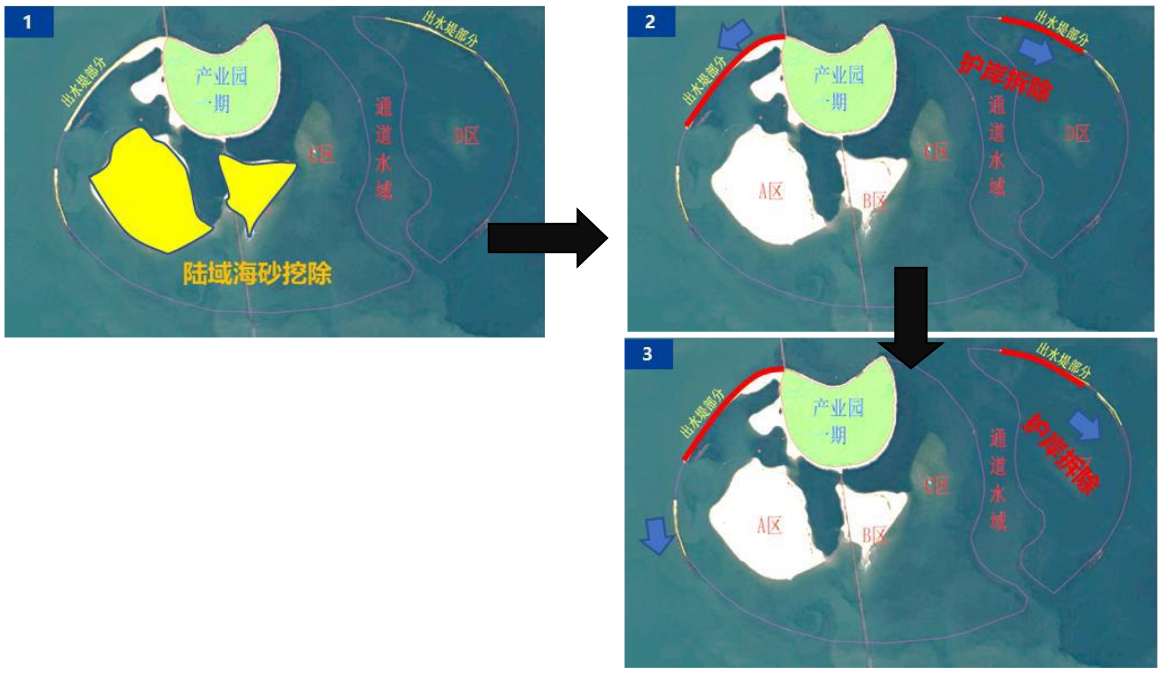


图 2.4-3 临空二期工程拆除工序图

（2）竖向护岸拆除方案

①直立式护岸仅包括 2 个圆形沉箱，沉箱其上部无其它结构，沉箱下方的抛石基床底面局部已设置泥面以下，无需考虑拆除。该沉箱为直径 11.0m 的圆沉箱，顶标高为+2.1m，底标高为-7.0m，沉箱底板厚 500mm，外壁厚 350mm，内侧分隔板厚 250mm，单个沉箱重约 560t。沉箱切割至标高-1.0m。

②③斜坡式护岸为抛石斜坡堤型式，斜坡结构采用扭王字块体护面，②东侧斜坡护岸拆除至-1.0m，③西侧护岸拆除至 0.0m。主要拆除内容有：护面块体（扭王字块）的拆除、抛石（堤身、垫层、倒滤层等）的拆除。

水工建筑物按由上往下的顺序分层拆除。临空二期工程剩余部分作为珊瑚礁自然或人工修复的礁基和岸滩掩护的离岸潜堤。

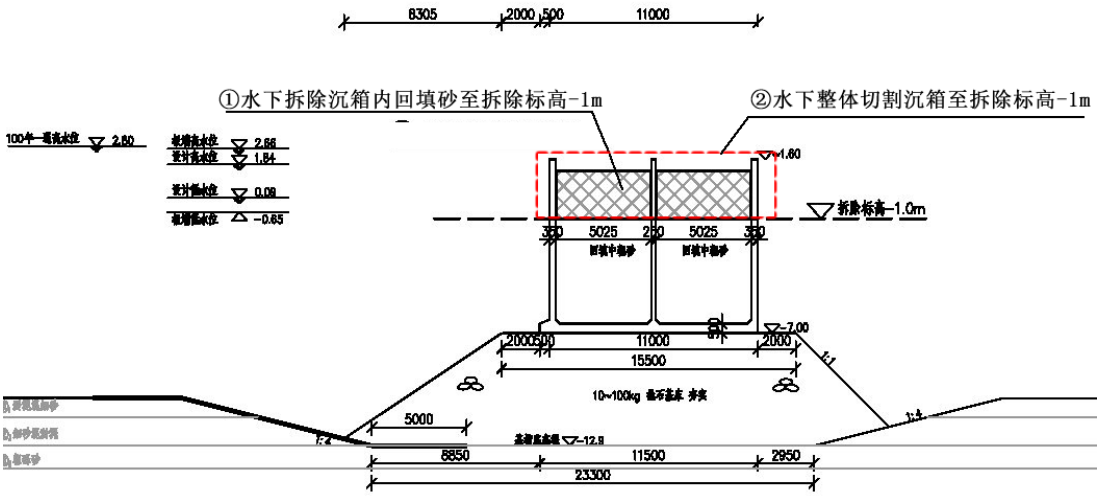


图 2.4-4 直立式护岸（沉箱）拆除竖向图

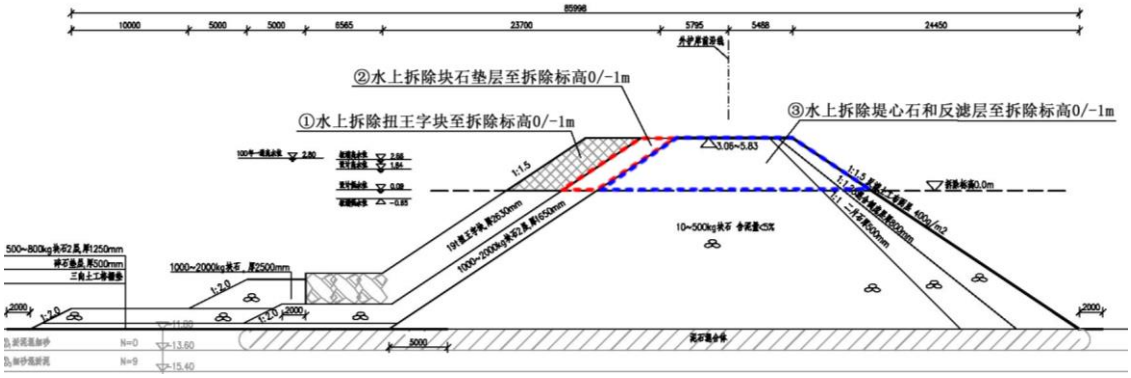


图 2.4-5 斜坡式护岸拆除竖向图

2.4.1.3 三亚新机场填海项目起步工程

本工程拆除内容为起步工程的水工建筑物及陆域，包括西、南临时斜坡护岸标高 0m 以上部分以及东、北护岸标高-4m 以上部分。拆除顺序为先拆除陆域回填砂然后再拆除护岸结构，拆除建筑物平面示意图见下图。

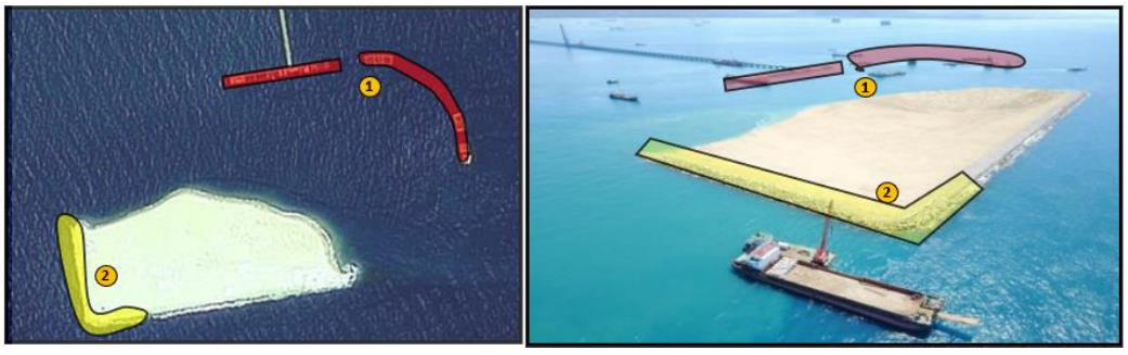


图 2.4-6 拆除建筑物平面示意图

（1）平面拆除方案

1）挖除三亚新机场填海项目起步工程陆域海砂至 0m 标高；

2）护岸结构拆除由栈桥分别向西南护岸方向进行拆除；

3）最后西南护岸进行拆除。

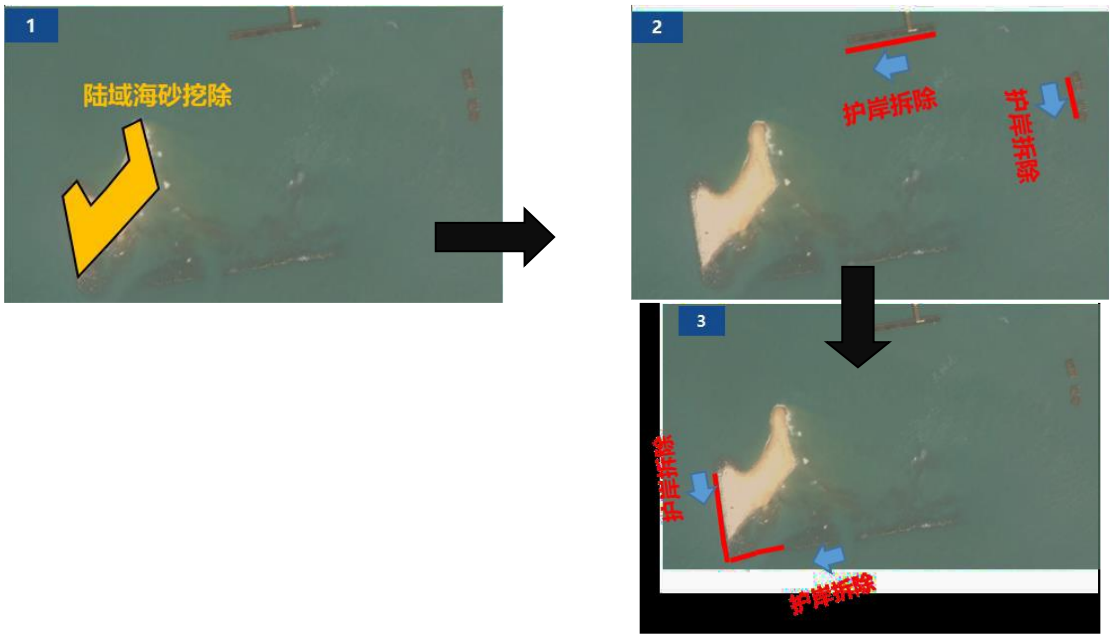


图 2.4-7 起步工程拆除工序图

（2）竖向护岸拆除方案

①直立式护岸包括东、北护岸（实际施工安装了 15 件沉箱），已安装的沉箱其上部无其它结构。沉箱下方的抛石基床底面局部已设置泥面以下，无需考虑拆除。主要拆除内容有：沉箱内抽砂、沉箱切割。沉箱切割至标高-4.0m。

②斜坡式护岸为抛石斜坡堤型式，斜坡结构采用扭王字块体护面，对斜坡式护岸 0m 标高以上部分的拆除，主要拆除内容有：护面块体（扭王字块）的拆除、抛石（堤身、垫层、倒滤层等）的拆除。上述水工建筑物按由上往下的顺序分层拆除。

起步区工程剩余部分作为珊瑚礁自然或人工修复的礁基和岸滩掩护的离岸潜堤。

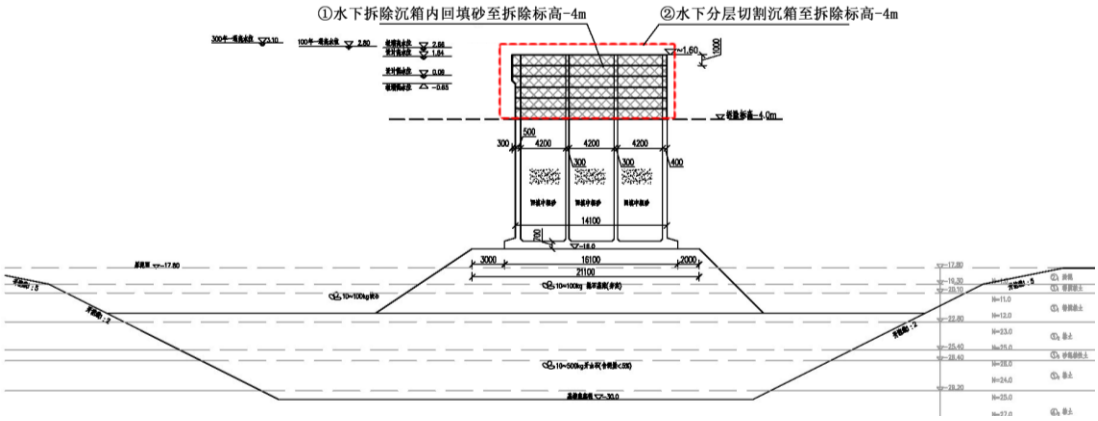


图 2.4-8 直立式护岸（沉箱）拆除竖向图

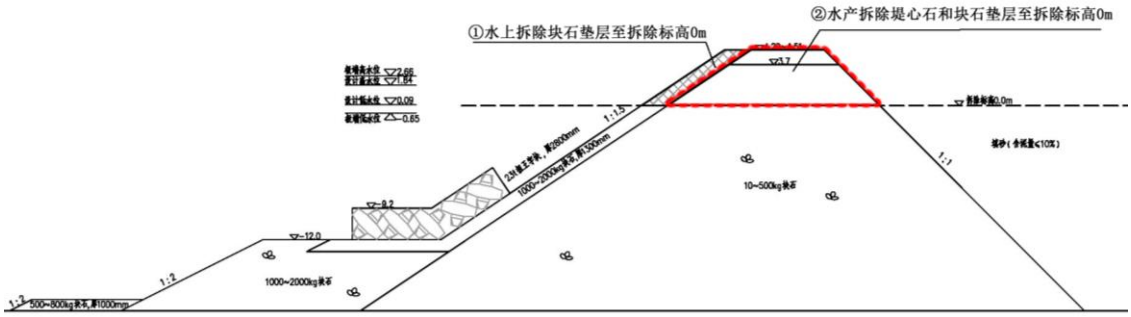


图 2.4-9 斜坡式护岸拆除竖向图

2.4.1.4 三亚新机场人工岛工程南护岸试验段

钢圆筒护岸工程需要拆除的内容包括 19 个钢圆筒和 17 对副格及其内侧中粗砂以及外侧抛填块石，其中东南侧包括 9 个钢圆筒和 8 对副格，西南侧包括 10 个钢圆筒和 9 对副格，单个钢圆筒重量不超过 750t，设计拆除至原泥面。

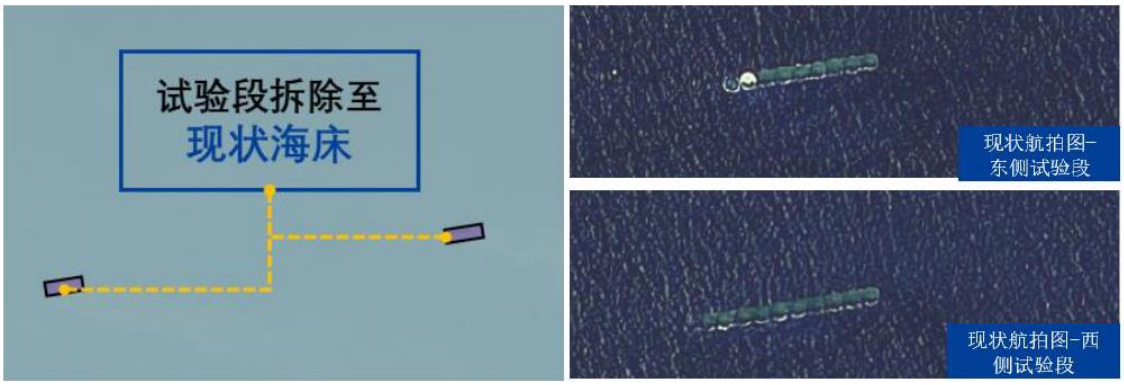


图 2.4-10 拆除建筑物平面示意图

本次钢圆筒护岸拆除流程：①外侧抛石清理→②筒内及副格内开挖→③切割标高测设→④副格水下切割施工→⑤切割榫槽施工→⑥钢圆筒水下切割施工→⑦副格吊运→⑧钢护筒切割、吊运→⑨陆地分解。

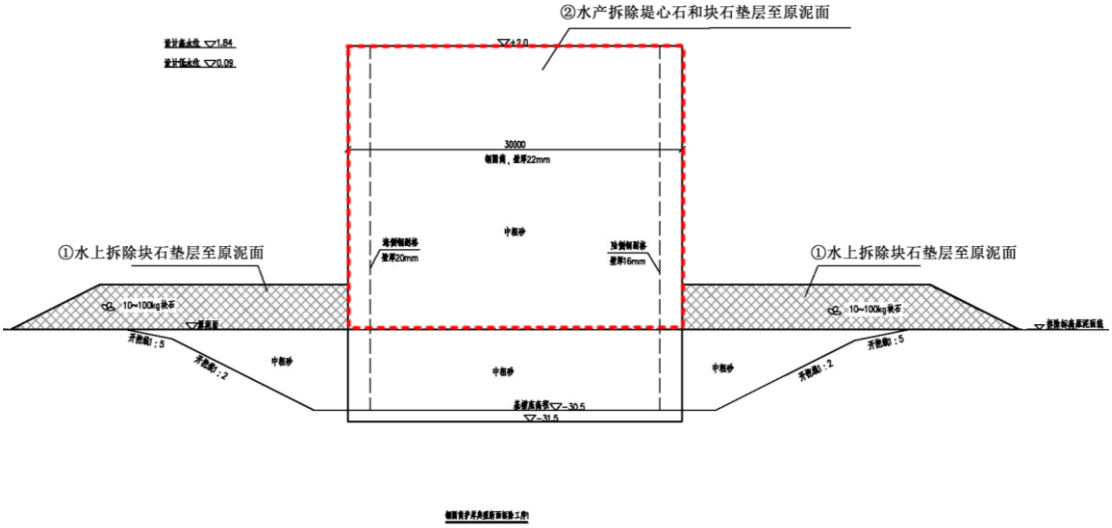


图 2.4-11 钢圆筒拆除竖向图

2.4.1.5 三亚新机场填海栈桥工程

本工程拆除的内容为临空产业园至新机场起步区间的栈桥，栈桥长度约为3105.2m。拆除的主要结构包括：

（1）桥面板：10mm 厚的防滑钢板和钢板下铺的 I12.6 工字钢；

（2）工字钢横梁：I25a 工字钢横梁与上部 I12.6 工字钢焊接，通过 U 型卡与下部贝雷架连接；

（3）贝雷梁：“321”型贝雷梁、HD202 高抗剪型贝雷梁

（4）桩顶分配梁：双拼或三拼 I63a 工字钢，与上部贝雷架采用 U 型卡连接；

（5）钢管桩基础：Φ820×16mm 钢管桩，钢管桩间的平连横杆 Φ273×8m 钢管，剪力撑 28a 槽钢。

（6）桥梁附属结构：栏杆立柱 I20a 工字钢，Φ48×3.5mm 连接钢管。

栈桥的拆除工作同钢栈桥的搭设工作顺序基本相反，按后安先拆的顺序分跨依次拆除。

钢栈桥的拆除流程：拆除护栏、面板（1.0t 一件）→拆除贝雷架（1.0t 一件）→拆除钢管桩→材料运输至指定堆存区，均采用水上拆除工艺。

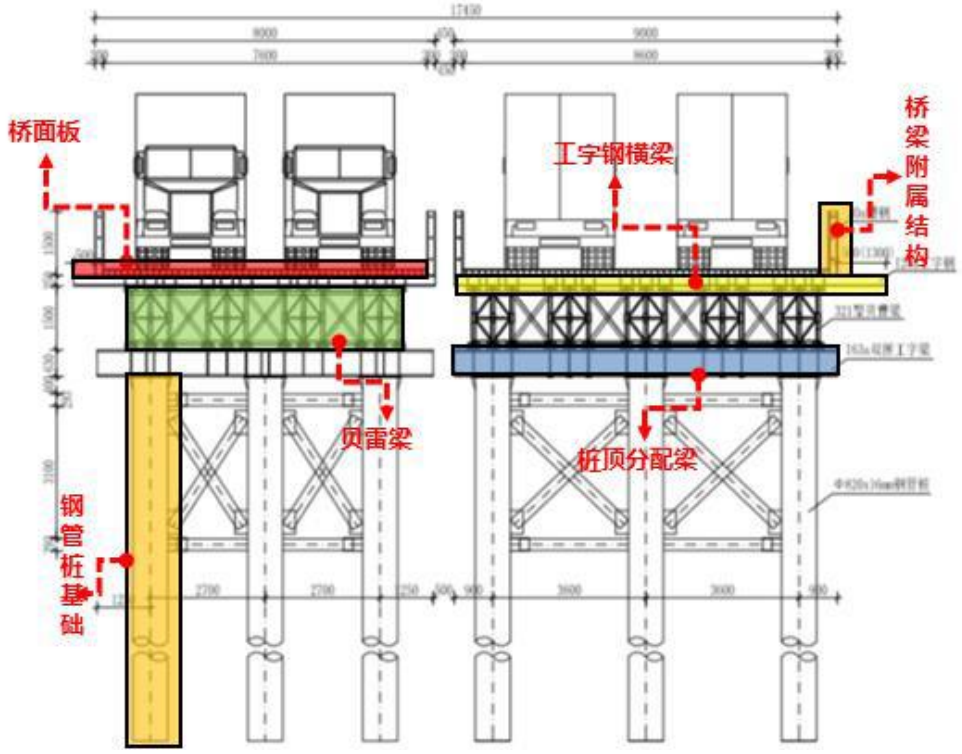


图 2.4-12 栈桥拆除竖向图

2.4.2 砂质岸线修复工程

本项目砂质岸线修复工程包括人工补砂、生态护岸、旁通输沙、拦砂堤，平面布置图见图 2.4-13。



图 2.4-13 砂质岸线修复工程平面布置图

2.4.2.1 人工补砂工程

人工补砂范围为人工岛围填海实施以来已形成冲刷的人工岛掩护区西侧约 2km 岸段，红塘湾东部至天涯镇附近岸段长期冲刷、海滩岩广泛出露的冲刷现状约 1.8km 岸段、南山景区长期冲刷约 2.24km 岸段（南山景区岸段）。

2.4.2.1.1 砂源说明

本项目补砂的砂源为本项目拆除工程（三亚红塘湾机场整改项目）产生的砂，拆

除海砂拟通过“吸沙船”用泵吹填至补砂岸段。

2.4.2.1.2 拟补沙岸段原始海滩沙粒径级配特征

（1）红塘湾东部至天涯镇附近人工补沙段

该岸段现状海滩沙中值粒径在 0.6～1.1mm 左右，粒径在 2mm 以上的极粗砂和砾砂含量 2%～30%不等，基本没有 0.1mm 以下的细颗粒泥沙。因处于波浪冲洗带，泥沙分选较好，整体颗粒较粗。

（2）人工岛掩护区西侧补沙段

人工岛掩护区西侧即临空产业园连岛栈桥连道桥至塔岭基岩海岸的侵蚀岸段，原始海滩沙中值粒径 0.7~1.0mm 左右，海滩沙分选很好，粒径范围主要集中在 0.4mm～2.0mm 范围，基本没有 2mm 以上和 0.4mm 以下的泥沙颗粒。

（3）南山景区岸段

南山景区岸段海滩沙较为均一，中值粒径 0.5～0.6mm 左右，粒径分布范围也很窄，主要在 0.2mm 至 2.0mm 之间，粒径大于 2mm 和小于 0.2mm 的颗粒含量均小于 2%。

2.4.2.1.3 沙源地泥沙粒径特征

从泥沙粒径角度，根据对本项目围填海拆除区域现场调查和采样分析结果，本项目拟拆除区域现场泥沙色泽和组分较好。泥沙以中值粒径 0.50mm 至 0.95mm 之间为主，0.10mm 以下的颗粒含量均小于 5%，整体在拟补沙岸段的粒径分布范围内，对拟补沙岸段是适宜的。同时，这些沙源已经过一次疏浚和吹填过程，细颗粒泥沙流失较多，沙体中可悬浮的颗粒很少，对海滩补沙有利。

根据泥沙显微分析，泥沙颗粒中肉色颗粒含量较多，与拟修复岸段较为接近，从色泽方面，可以达到海滩补沙要求。

2.4.2.1.4 补砂剖面设计

补沙剖面设计主要是确定补沙剖面的设计参数，包括滩肩宽度、滩肩设计高程、滩面坡度等。

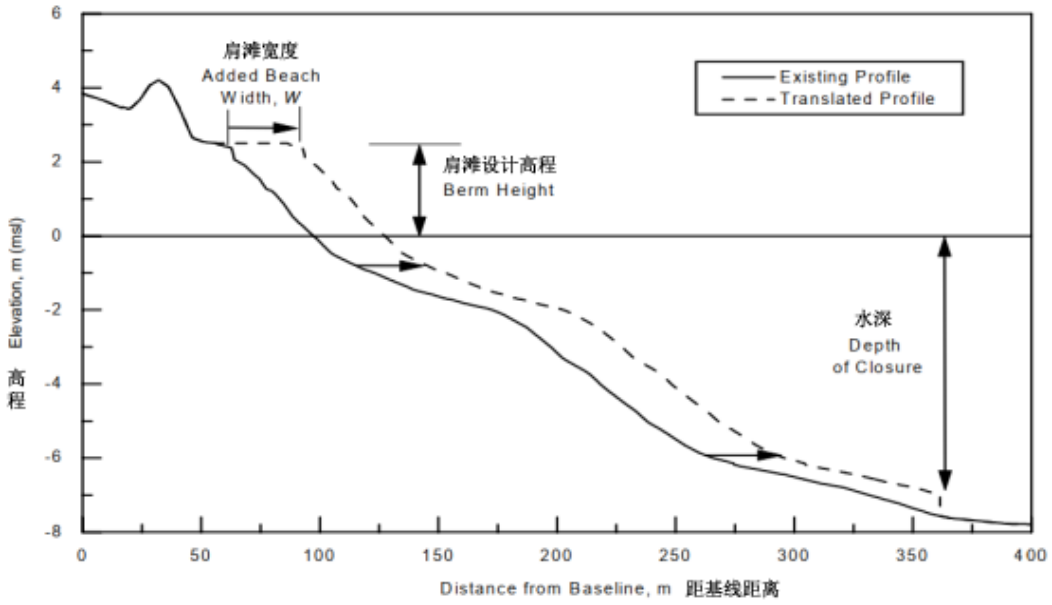


图 2.4-14 补沙剖面示意图

（1）滩肩宽度设计

根据《海南三亚红塘湾违法围填海项目生态修复方案研究》，本工程滩肩宽度按照当地自然滩肩，红塘湾东部至天涯镇附近岸段滩肩宽度为 30~40m，人工岛掩护区西侧和南山景区岸段滩肩宽度为 20~30m。

（2）滩肩高程设计

根据《海南三亚红塘湾违法围填海项目生态修复方案研究》，本工程滩肩高程按照当地自然滩肩，选择 4m～5m 高程。

（3）滩面坡度设计

根据《海滩养护与修复技术指南》（HY/T255-2018），推荐滩肩经济宽度为 30m~60m，养护或修复海滩设计的施工坡度推荐使用 1：8~1：15。本工程区域的施工坡度暂定为 1：8。

2.4.2.1.5 补砂方案

（1）红塘湾东部至天涯镇附近人工补沙方案

已建拦砂堤补沙岸段长 3.8km，该岸段在填海工程实施前即处于冲刷状态。临空产业园人工岛实施后，长约 2km 岸段冲刷加剧。冲刷主要发生在海滩部分，在海滩持续冲刷后退过程中，后方沙丘也出现坍塌。已有的生态管袋拦砂堤建设以来，一定程度上减缓了这一岸段的冲刷。同时，考虑该岸段岸外有珊瑚礁分布，为不影响水下珊瑚礁，人工补沙宜采用滩肩补沙和沙丘补沙相结合形式，不宜采用离岸补沙形式，分 2 段进行人工补砂，分别长 1.3km、0.5km，共 1.8km。

该岸段岸外水深相对较浅，近岸基本为砂质床面，-2m 以上没有珊瑚礁分布，沙丘高程在 7～9m。滩肩高程按照当地自然滩肩，选择 4m～5m 高程，滩肩宽度 30m～40m。考虑后方沙坝坍塌，补沙范围也应包括沙丘部分，沙丘增宽约 5m。单宽平均补沙量约为 209.3m^3/m，补沙总量约 37.6 万方。

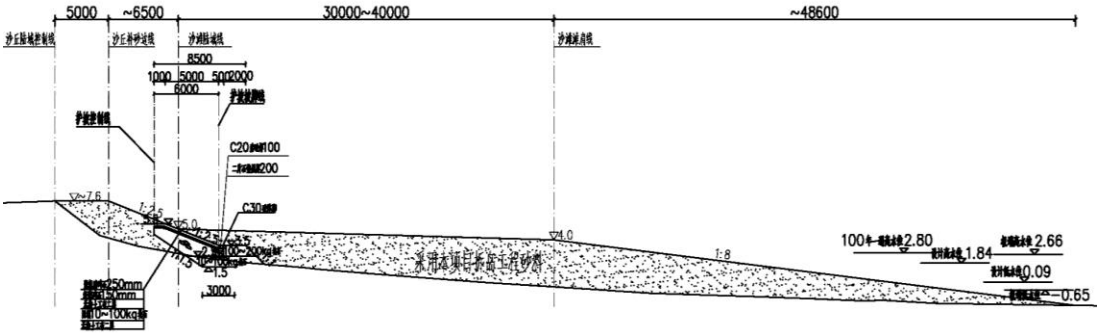


图 2.4-15 红塘湾东部至天涯镇附近补沙典型断面示意图

（2）人工岛掩护区西侧人工补沙方案

该岸段冲刷历史悠久，海滩岩全面出露，在形成对后方岸滩和沙丘保护的同时也因长期冲刷而局部断裂，形成锯齿状岸滩。人工岛工程实施后，处于掩护区西侧的这一岸段冲刷有所加剧，局部沙坝坍塌严重。2019 年在冲刷最严重的油码头东侧岸段实施类似海滩岩作用的两段离岸潜堤，填补了部分海滩岩“缺口”，受掩护岸段得到了修复。该岸段海滩岩现状海滩岩大致以断续的线形发育在岸线以外 20m～100m 的区域。

因海滩岩外围珊瑚礁发育，人工补沙应主要集中在海滩岩至岸线附近及后方沙丘，不宜开展岸外补沙。人工补沙以滩肩和沙丘补沙形式进行，形成滩肩宽度 20m～30m，滩肩高程采用当地现状自然滩肩高程 4～5m，补沙岸段总长约 2km。考虑后方沙坝坍塌，补沙范围也应包括沙丘部分，沙丘增宽约 5m。单宽平均补沙量约为 207m^3/m，补沙总量约 41.4 万方。

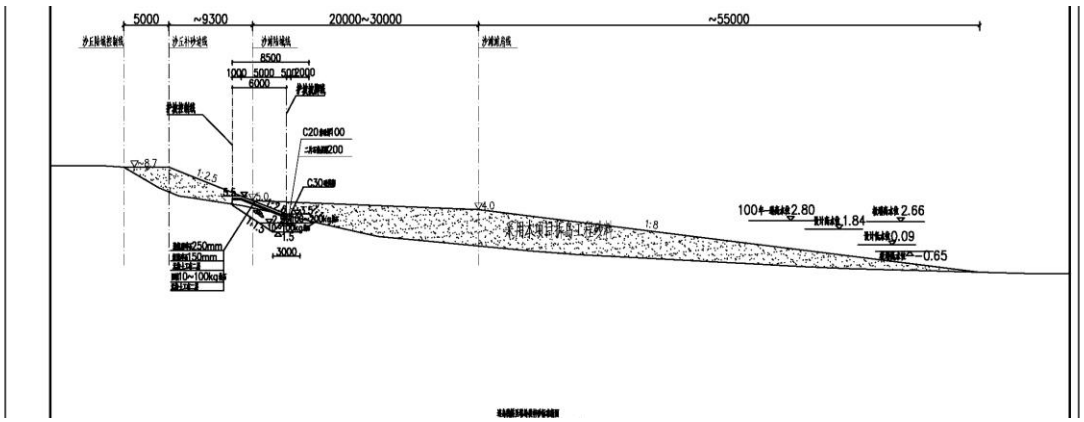


图 2.4-16 人工岛掩护区西侧补沙段典型断面示意图

（3）南山景区岸段人工补沙方案

在南山观音人工岛两侧共约 2240m（西侧约 840m、东侧约 1400m）实施人工补沙。本岸段海滩岩分布较高，波浪较强，补沙形成的滩肩高程应在 4m 以上，补沙主要以海滩岩以上部分为主。设计滩肩高程 4m～5m，滩肩宽度 20m～30m。考虑后方沙坝坍塌，补沙范围也应包括沙丘部分，沙丘增宽约 5m。单宽平均补沙量约为 233.5m^3/m，补沙总量约 50.92 万方。

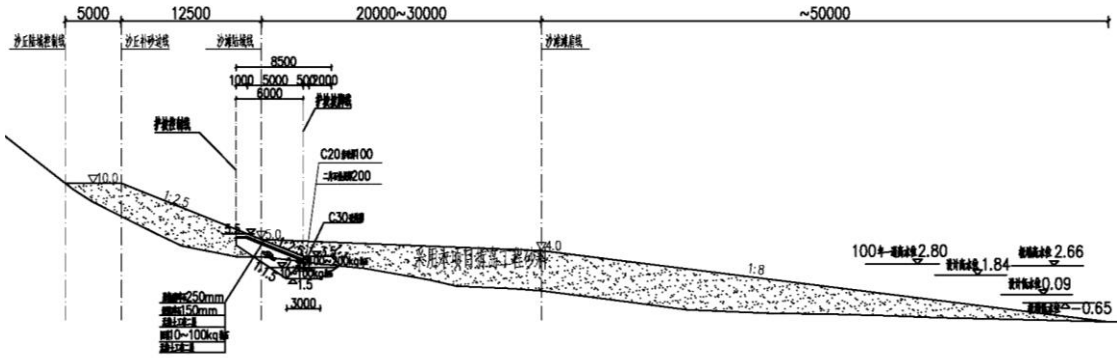


图 2.4-17 南山景区补沙段典型断面示意图

2.4.2.1.6 补砂损失

根据《海滩养护与修复技术指南》（HY/T255-2018）第 7.7 条“施工补沙量需要考虑施工过程以及海滩养护后的沙体自然调整和流失”1.3 倍至 1.5 倍。综合考虑周边工程补沙效果，本工程表层砂量、底层砂量流失系数采用 1.30，包括计算的沉降量 5%和 25%的余量（用于考虑程施工中波浪、潮流等扩散造成的沙量损失）。

2.4.2.2 生态护岸

在沙丘冲刷严重的岸段，补沙修复完成后仍需对沙丘根部实施生态护岸工程。生态护岸修复拟在南山景区的南海观音人工岛以西岸段、临空产业园一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸岬角以及已建拦砂堤至天涯社区岸段实施。

护坡生态化改造总长度为 4km，护坡拟采用斜坡式结构方案，顶高程为 5.5m。对现状沙滩进行开挖，坡度 1：1.5，基槽底高程 1.5m。基槽内回填 10~100kg 块石，其上现浇 C30 砼镇脚，顶高程 3.5m，底高程 2.5m。镇脚前设置 1m 厚 100~200kg 护底块石，镇脚下依次设置 100mm 厚 C20 素砼、200mm 厚二片石垫层。堤身采用 10~100kg 块石回填，坡面采用聚氨酯碎石护面结构，由上至下依次为 250mm 厚 20～30mm 聚氨酯碎石、150mm 厚碎石垫层及两层 400g/m^2 无纺土工布。

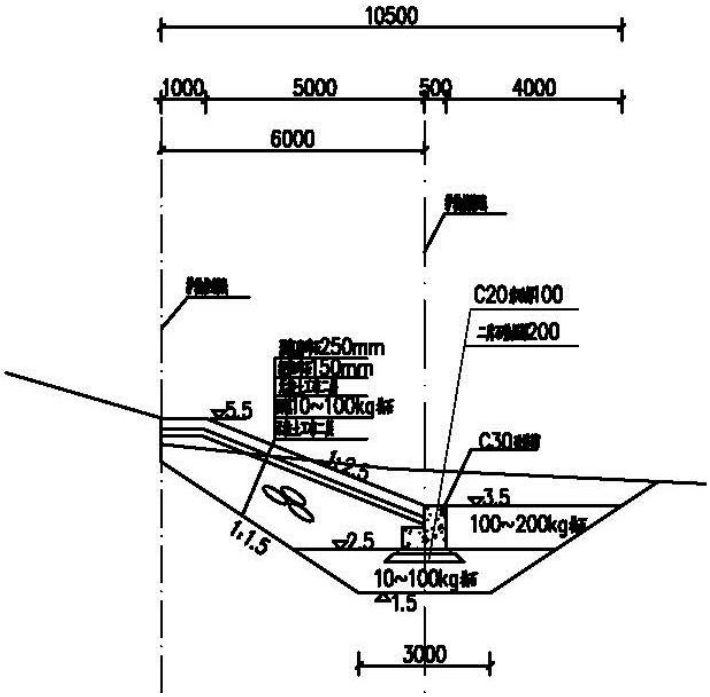


图 2.4-18 生态护岸断面图

2.4.2.3 旁通输沙

整改方案实施后，临空产业园人工岛掩护区仍是主要的淤积段，并可能局部掩埋近岸珊瑚礁，不利影响较大。采用旁通输砂形式，定期将淤积岸段的淤积泥沙人工搬运至冲刷岸段，是通过人工手段调节岸滩冲淤、实现岸滩形态整体趋稳的重要手段。就本岸段而言，旁通输砂主要挖取临空产业园掩护区淤积段的淤积泥沙，运送至东西两侧冲刷较为严重的区段。根据《海南三亚红塘湾违法围填海项目生态修复方案研究》结果，方案实施后淤积区年淤积泥沙量在 1.5～2 万方，一般 3～5 年实施一次旁通输砂，具体取砂段和补沙段，根据定期监测结果给出的冲淤幅度进一步确定。

2.4.2.4 拦砂堤

2.4.2.4.1 人工岛掩护区东西两侧拦砂堤

临空产业园人工岛实施后，引起东西两侧岸滩的冲刷和人工岛掩护区的明显淤积。在临空产业园人工岛东侧冲淤分界点附近实施拦砂堤工程后，很大程度上减缓了东侧岸滩的冲刷和掩护区岸段的淤积。

整改工程实施后，临空产业园一期工程成为主要的出水建筑物，其冲淤趋势主要是临空产业园一期工程两侧的冲刷和掩护区的淤积。但因围堰未全面拆除，仍具有一定的掩护作用，这种效应并不十分显著。即便实施了人工补沙工程，掩护区岸段的淤积和两侧岸段的冲刷趋势仍将持续。为减小补沙后上述冲淤趋势下进一步的两侧冲刷

中间淤积，有必要在临空产业园一期人工岛掩护区的两侧冲淤分界点附近各增设一条拦砂堤。拦砂堤长度初步可借鉴已建拦砂堤工程，延伸至堤头水深-2m 附近，根部连接后方沙坝，东侧拦砂堤 95m（堤头 25m、堤身 70m），西侧拦砂堤 125m（堤头 25m、堤身 100m）。

因拟建拦砂堤附近的沙滩下方和外围均为海滩岩和基岩，拦砂堤可采用本项目拆除工程的拆除石料和扭王块制作，实现废弃物再利用。



图 2.4-19 临空产业园一期人工岛掩护区东西两侧拦砂堤示意图

2.4.2.4.2 鸭仔塘口门拦砂堤

鸭仔塘是南山观音岸段主要的河口，位于沙滩最东端，紧靠基岩海岸。该河口常因泥沙淤积而堵塞，口内水体无法交换。在南山景区实施人工补沙后，泥沙来源更加丰富，将进一步加剧河口的堵塞问题。

同时，补沙后泥沙运移至海滩东端，在河口附近缺少岬角拦截的情况下，部分泥沙也可能向东流失。

为此，在补沙工程基础上，在鸭仔塘口门增设拦砂堤，一是作为沙滩岸段的终端，减小泥沙向东流失堵塞河口，二是作为鸭仔塘河口的口门导堤，有利于河口通畅，改善口内水交换条件。

因拟建拦砂堤位置下方为基岩，属于海滩东边界，靠近基岩海岸，拦砂堤拟采用临空产业园拆除块石和扭王块构建。堤顶高程不低于 3m，堤头至-3m 附近，堤长约

150m（堤根放坡 45m、堤身 80m、堤头放坡 25m）。



图 2.4-20 南山景区鸭仔塘拦砂堤示意图

2.4.2.4.3 拦砂堤主要结构、尺度

拦砂堤拟采用本项目拆除工程拆除石料和扭王块制作，实现废弃物再利用。

①拦砂堤起点段

拦砂堤采用斜坡式结构，拦砂堤顶高程为 2.0m，拦砂堤设计底高程为 0m，先对堤根沙体进行开挖，再抛填堤心石，堤心石采用 10~100kg 块石；护面块体采用 200~400kg 块石；护底采用 200~400kg 大块石，西侧护底宽 5m，东侧护底宽 3m；为防止波浪对护底下方沙质基础淘刷，护底块石下方依次设置 500mm 厚二片石垫层及加筋护底垫进行防护。拦砂堤建设完成后将该段沙滩利用开挖沙恢复，并保证沙滩顶高程与补沙区域自然过渡衔接。

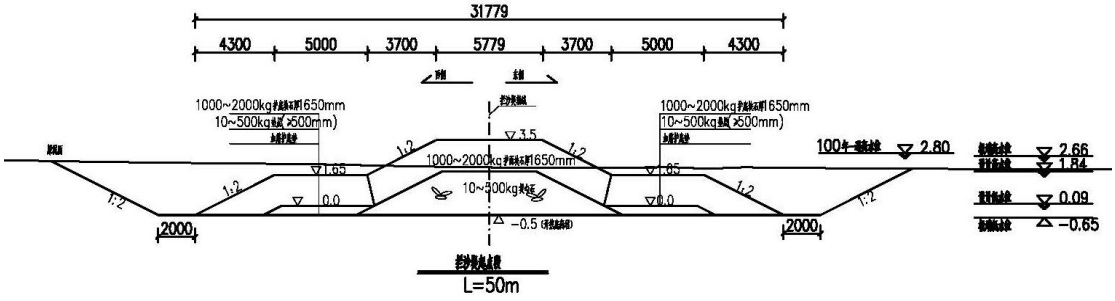


图 2.4-21 拦砂堤起点段标准断面图

②拦砂堤堤身段

护面块体采用 19t 扭王字块，下方铺设 1000~2000kg 垫层块石，坡比 1:2，护底采用 1000~2000kg 大块石，护底宽 5m，块石下铺设 500mm 厚 10~500kg 块石垫层及加筋护底垫。

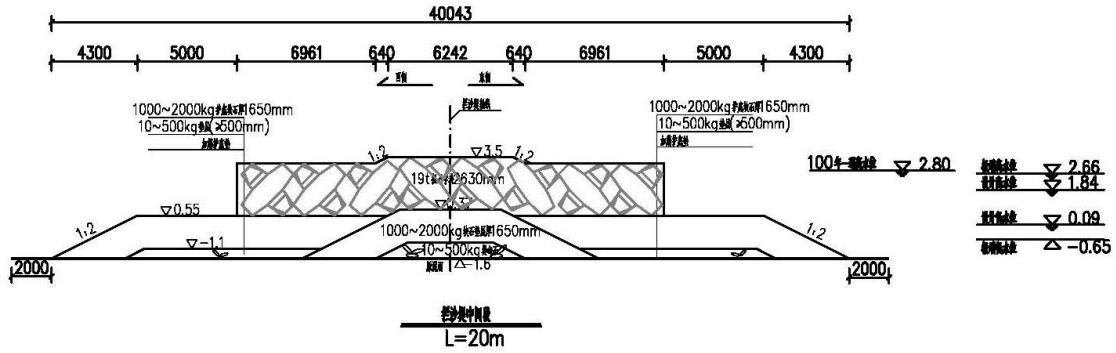


图 2.4-22 拦砂堤堤身段标准断面图

③拦砂堤堤头段

护面块体采用 19t 扭王字块，下方铺设 1000~2000kg 垫层块石，坡比 1:2，护底采用 1000~2000kg 大块石，护底宽 10m，块石下铺设 500mm 厚 10~500kg 块石垫层及加筋护底垫。

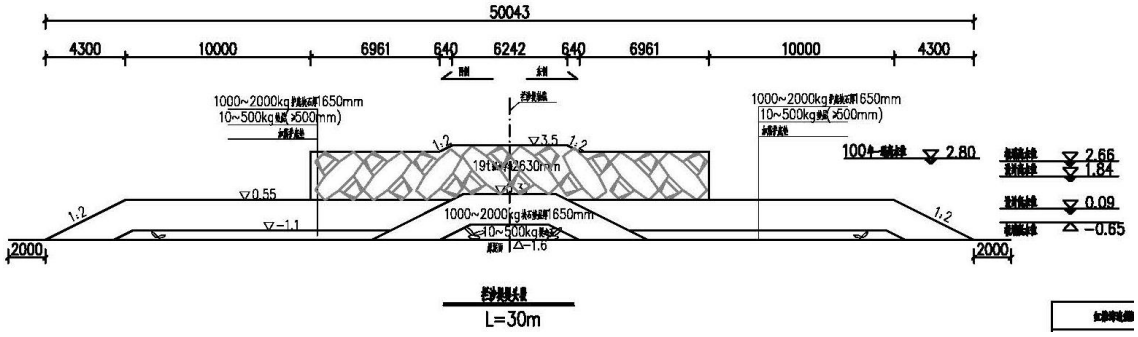


图 2.4-23 拦砂堤堤头段标准断面图

2.4.3 珊瑚礁修复工程概况

本项目珊瑚礁修复工程主要包括人工珊瑚苗圃培育区（珊瑚浅水苗圃区和珊瑚深水苗圃区）、珊瑚礁生态修复区（围堰修复区和沉箱修复区）。



图 2.4-24 珊瑚礁修复工程平面布置

2.4.3.1 珊瑚礁修复与苗圃布局

（1）人工珊瑚苗圃培育

人工珊瑚苗圃培育区：规划 2 个珊瑚苗圃培育区，深水苗圃区和浅水苗圃区各 2 公顷，合计 4 公顷。选取稳定性较好的树形苗圃和框架式苗圃进行前期珊瑚种苗培育，计划建设 600 个水下苗圃，培育珊瑚苗 60000 株。

浅水苗圃区水深条件 2~6m，位于临空产业园一期人工岛北侧原生礁盘边缘 4~6m 水深处，深水苗圃区水深条件 8~15m，位于临空产业园二期围堰修复区附近水深 10~12m 处，这两个地方水流和海浪均合适、水质良好。

（2）珊瑚礁生态修复区

珊瑚礁生态修复区：珊瑚礁修复面积总共 4 公顷，共底播移植珊瑚 60000 株，投放 500 个人工礁体和 190 个扭王字块。其中临空岛西侧围堰修复区面积 3.582 公顷，底播移植珊瑚 54000 株（投放十二脚型礁体体 500 个），起步区沉箱修复区 1 面积约

0.276 公顷，底播移植珊瑚 4400 株（投放扭王字块 126 个），起步区沉箱修复区 2 面积约 0.167 公顷（投放扭王字块 64 个），底播移植珊瑚 1600 株。

在珊瑚礁生态修复区拟放流总数量石斑幼体 6 万尾、食草性螺类 5 万幼体，紫红笛鲷幼体 50 万尾，篮子鱼 50 万尾和海参 2 万幼体。

珊瑚存活率：保证底播移植珊瑚一年后珊瑚存活率达到 70%。

项目施工期结束后在连续管护与监测 3 年。

在项目施工期结束后 1 年进行一次后评估。

2.4.3.2 珊瑚种苗选择与来源

造礁石珊瑚为国家二级保护动物，珊瑚礁生态修复所需移植造礁石珊瑚来源必须合法合规，应来自合法采集或培育的造礁石珊瑚个体，实施单位应提供相关的合法证明材料。因此特别强调：为本项目提供造礁石珊瑚种苗来源的单位必须具备水生野生动物特许捕捉证（石珊瑚）和水生野生动物人工繁育许可证（石珊瑚），提供的种类和数量需与农业农村厅批准的水生野生动物特许捕捉证（石珊瑚）批准的珊瑚物种一致。同时为了避免大量采集野外原生造礁石珊瑚，对自然珊瑚礁造成破坏，本项目造礁石珊瑚来源为通过人工构建珊瑚苗圃技术大规模培育珊瑚获得。

2.4.3.3 珊瑚种类、规格筛选

本项目具体的种类选择：首先选择的种类都是红塘湾附近的常见种，从生态功能恢复及显效速度来考虑选择生长快速鹿角珊瑚属为主，同时为了增加多样性，辅以选择一些块状珊瑚和其他珊瑚。

修复区所在的红塘湾及莲花岛附近记录到的鹿角珊瑚属的种类有：多孔鹿角珊瑚（*Acroporamillepora*）、花鹿角珊瑚（*Acroporaforida*）芽枝鹿角珊瑚（*Acroporagemmifera*）、指形鹿角珊瑚（*Acroporadigitifera*）、风信子鹿角珊瑚（*Acroporahyacinthus*）、小叶鹿角珊瑚（*Acroporamicrophthalma*）、细枝鹿角珊瑚（*Acroporanana*）、佳丽鹿角珊瑚（*Acroporapulchra*）、美丽鹿角珊瑚（*Acroporamuricata*）、简单鹿角珊瑚（*Acroporaaustera*）、匍匐鹿角珊瑚（*Acroporapalmerae*）等 11 种鹿角珊瑚。本项目修复主要以上述 11 种鹿角珊瑚为主，辅助以下面 9 种块状和其他生活型的造礁石珊瑚：坚实滨珊瑚（*Poritessolida*）、毗邻沙珊瑚（*Psammocoracontigua*）、十字牡丹珊瑚（*Pavonadecussata*）、柱角孔珊瑚（*Gonioporacolumna*）、腐蚀刺柄珊瑚（*Hydnophoraexesa*）、美龙氏盘星珊瑚

（*Dipsastraeaveroni*）、肉质扁脑珊瑚（*Platygyracarnosus*）、截顶蔷薇珊瑚（*Montiporatruncata*）、秘密角蜂巢珊瑚（*Favitesabdita*）进行大规模培育，然后底播移植。

2.4.3.4 珊瑚苗圃工艺

本工程区域水深水质情况均较好，满足珊瑚修复要求，采用先进行珊瑚断枝培育再进行移植的园艺式苗圃培育，具体步骤如下：

（1）首先利用少量的珊瑚母体拆分成多个珊瑚断枝；

（2）将各个断枝培育于建设好的树状和框架式苗圃中，进行珊瑚礁培育；

（3）待珊瑚礁断枝培育成的珊瑚个体后进行珊瑚底播移植。

珊瑚苗圃在移植时能最大程度减少对母体珊瑚的影响，可以短时间内提供大量的移植个体，增加可利用珊瑚个体数量。

2.4.3.5 珊瑚运输工艺

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

2.4.3.6 珊瑚底播移植

在种植珊瑚前，需要对选定好的珊瑚修复区进行整备。整备内容包括：清除海底垃圾和不利于珊瑚的藻类、海绵、核果螺、长棘海星等生物；对修复区划分好分区，确定各个分区应放置的珊瑚数量和种类；如有需要，在修复区内搭建珊瑚暂养苗圃，将不适合直接移植在珊瑚礁底质上的珊瑚放置在苗圃上临时培育。

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

整株的分枝珊瑚可直接放置在珊瑚礁底质上，无需固定。珊瑚碎片或分枝需要固定至苗圃上或寻找可以扦插的孔洞固定。块状珊瑚、表覆状珊瑚以及叶状珊瑚个体可直接放置在珊瑚礁上，无需特别固定，但注意避免放置到泥沙或沙底上，以免被沙子和悬浮物覆盖。

珊瑚礁待修复区以柳钉与珊瑚增殖礁结合的方式进行造礁石珊瑚的种植。

（1）铆钉珊瑚移植法

铆钉珊瑚种植方法主要使用Π形进行珊瑚移植。

移植珊瑚前，先使用带钻头的水下气钻或电钻在珊瑚礁底质上钻出适合大小的小洞，并将塑料胶粒放入小洞。小洞的直径应比塑料膨胀胶粒稍大、深度大于胶粒的长度，但也要确保移植钉插入放入小洞的胶粒后能稳固且不易被拔出。移植钉的长脚放入塑料胶粒后，应用锤子轻轻钉入，直至移植钉短脚触及珊瑚礁底质后，再用力锤下，让短脚的尖端钉入珊瑚礁内。

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

在珊瑚礁石底质上珊瑚移植密度应在 2~10 株/m^2 范围之间，迁移的珊瑚需要整株移植。本次柳钉法采用现状区域内的扭王字块体以及岩质浅水区作为修复移植基座。

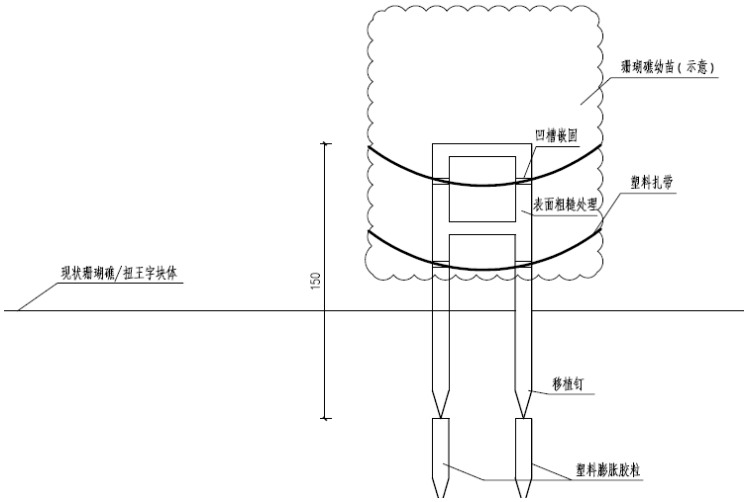


图 2.4-25 珊瑚礁移植钉示意图

（2）珊瑚礁人工礁体移植

迁移珊瑚采用的礁体移植方法包括使用水泥制作的十二脚型礁体，在礁体表面移植珊瑚，减少敌害生物和沉积物的影响。预计投放珊瑚移植礁体 500 个，礁体采用十二脚型礁体，每个珊瑚移植礁体表面可移植珊瑚 20 株左右，总计在珊瑚移植礁体表面上移植珊瑚约 10000 株。

十二脚型礁体主框架为长 1.26 米×宽 0.8 米×高 0.6 米钢筋混凝土结构，重量约 560 公斤，礁体内含有钢筋直径 1cm 螺纹钢筋，混凝土包裹在钢筋表面，能防止钢筋锈蚀。每个礁体可移植珊瑚 20~30 株，模仿天然珊瑚礁大量孔洞结构供礁栖生物栖息

生活，可根据海域的地形和波浪情况组合成不同性质的阵型。

采用混凝土一体浇筑成型，主要包括钢筋混凝土主体、海水上交流孔和海水下交流孔。礁体高度为 350mm，礁体底部直径为 800mm，礁体侧壁厚度非定值，从 120mm~170mm 不等，礁体上部为直径 500mm 的圆环平台，中间直径 260mm 为空心结构；海水上交流孔直径为 100mm，4 个海水上交流孔圆心在同一水平面上；海水下交流孔为半椭圆，长轴 300m，短轴 100mm，4 个海水下交流孔圆心在同一水平面上。

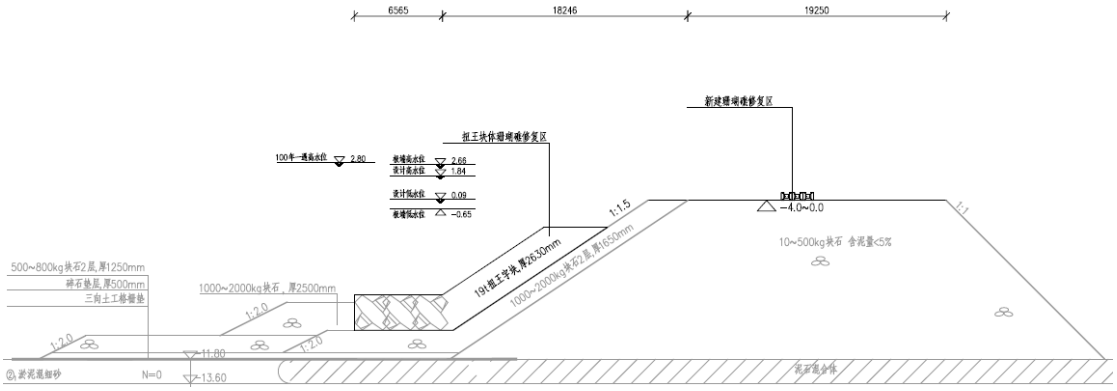


图 2.4-26 围堰修复珊瑚礁区断面图

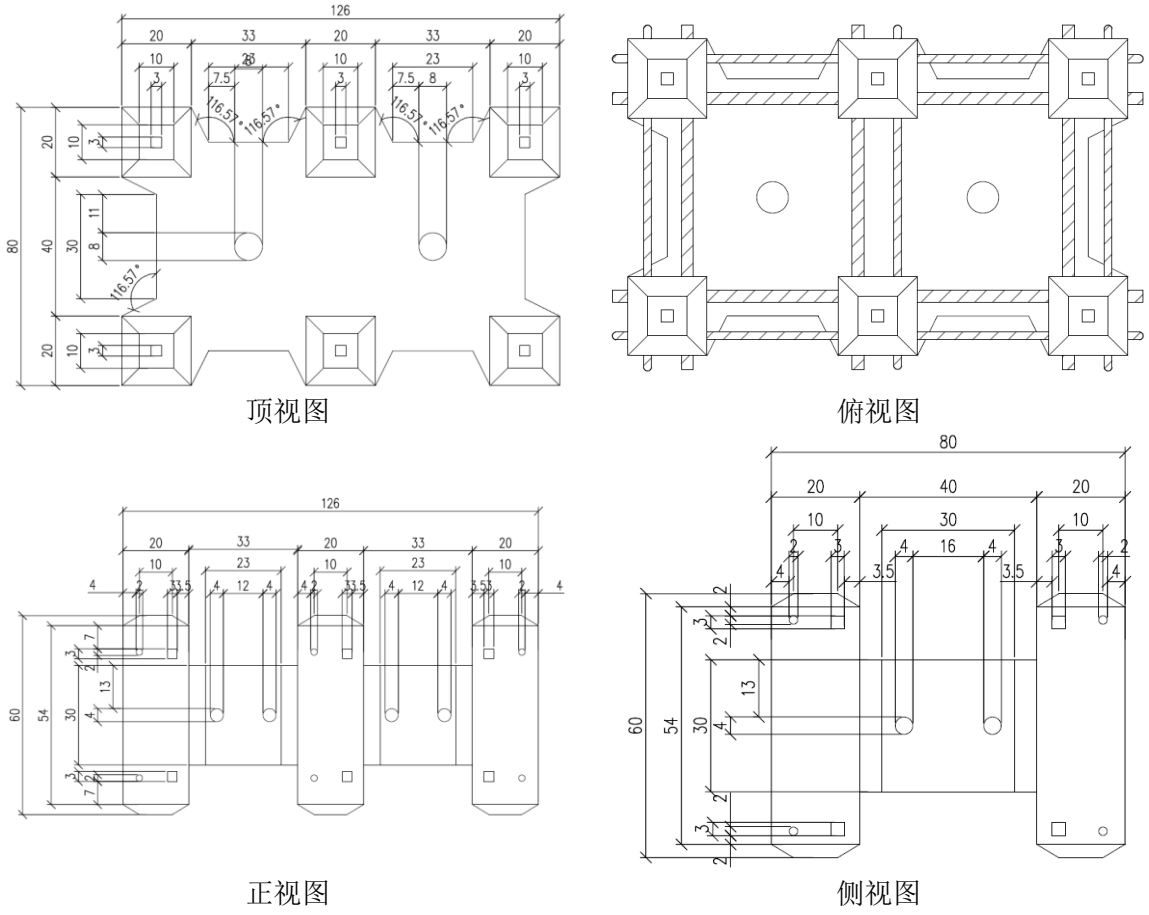


图 2.4-27 十二脚型礁体三视图

2.4.3.7 珊瑚礁管护方案

（1）珊瑚苗圃管护

珊瑚修复工作，在珊瑚苗圃构建完成后，应定期对珊瑚苗圃进行管护。

红棠湾海域渔船来往频繁，渔船撒网捕鱼可能人为破坏珊瑚苗圃，另外海南为台风高发地区，受台风影响破坏影响，珊瑚苗圃可能损坏，并且污损生物会附着在苗圃上，从而导致苗圃损坏。

珊瑚苗圃管护内容：清除珊瑚苗圃上生长的挂网、污损生物、沉积物、每藻等，被破坏苗圃更换以及死珊瑚更换。

珊瑚苗圃管护的频率和时间：1）考虑到冬季（11-2 月份）浪大水浑，水体浑浊度高，不利于珊瑚生长，因此在 12-1 月份可对珊瑚苗圃进行管护，3-5 月份光照条件好，有利于珊瑚生长，因此在 2-3 月份可开展一次珊瑚苗圃管护；3）6-10 月份为台风高发期，珊瑚苗圃可能遭到破坏，同时为珊瑚高温白化期，珊瑚可能白化死亡，因此在 6-10 月进行两次维护。

因此建议每年管护 4 次，一共 2 年。时间分别为，每年 12-1 月份、2-3 月份、8 月份、10 月份。

表 2.4-1 珊瑚苗圃管护要求

管护内容	监测要求	
珊瑚苗圃	范围	珊瑚苗圃区
	管护频率	每年管护 4 次，一共 2 年。时间分别为，每年 12-1 月份、2-3 月份、8 月份、10 月份。可根据项目进度和天气问题适当调整。
	管护指标	清除珊瑚苗圃上生长的挂网、污损生物、沉积物、海藻等，被破坏苗圃更换以及死珊瑚更换。
	技术要求	符合 GB/T41339.2-2022 的规定

（2）珊瑚修复区管护

受天气、人为以及珊瑚适应环境等因素影响，珊瑚移植完后，应对底播移植的珊瑚进行多次管护。

常见的管护措施包：定期观测移植珊瑚的存活情况，当成活率<70%时应开展补充移植：对移植珊瑚的生长状况进行监测，及时清理患病和白化的个体或组织：及时清除病敌害生物、污损生物，防控珊瑚敌害生物比如核果螺、长棘海星等；定期清理礁体上的藻类控制藻类规模；定期清理修复区内的海洋垃圾包括渔网、塑料垃圾等废弃物。

珊瑚修复区管护的频率和时间：1、移植初期为珊瑚生长的适应期，因此在移植后1-4 个月对珊瑚修复区进行 2 次管护；2、在项目完成移植后，进行持续三年的管护，每年对珊瑚修复区进行平均 4 次管护，分别为：1）冬季后即 2-3 月份对珊瑚修复区进行一次管护；2）台风高发期和热高温后即在 8-10 月份对珊瑚修复区进行两次管护；3）当存活率<70%，再次对珊瑚修复区进行管护。

表 2.4-2 珊瑚修复管护要求

管护内容	监测要求	
珊瑚移植	范围	珊瑚修复区
	管护频率	1、移植初期为珊瑚生长的适应期，因此在移植后 1-4 个月对珊瑚修复区进行 2 次管护； 2、在项目完成移植后，进行持续三年的管护，每年对珊瑚修复区进行平均 4 次管护，分别为：1）冬季后即 2-3 月份对珊瑚修复区进行一次管护；2）台风高发期和热高温后即在 8-10 月份对珊瑚修复区进行两次管护；3）当存活率<70%，再次对珊瑚修复区进行管护。
	管护指标	定期观测移植珊瑚的存活情况，对移植珊瑚的生长状况进行监测，及时清理患病和白化的个体或组织；及时清除病敌害生物、污损生物，防控瑞瑚敌害生物比如核果螺、长棘海星等；定期清理礁体上的藻类控制藻类规模；定期清理修复区内的海洋垃圾包括渔网、塑料垃圾等废弃物。
	技术要求	符合 GB/T41339.2-2022 的规定

2.4.3.8 修复效果评估

珊瑚移植修复工作完成后三年内，由业主方指定具备相关资质的单位，对实施方珊瑚礁生态修复效果进行评估，主要评估指标为：珊瑚存活率、珊瑚数量、珊瑚种类、珊瑚覆盖率、珊瑚的生长情况进行评估。

2.4.4 配套环保设施

拆除工程施工过程中产生悬浮泥沙，造成对海洋生物的损害和水质污染，其影响是短期的、可逆的，随施工结束而结束。施工期间为尽量减小拆除时引起的水体扰动导致水体浑浊，在施工区域周围设置 7 道拦污屏、总长 22.285km，其中拆除临空产业园四周设 3 道、长 14.82km、宽 13m；拆除起步工程填海部分四周设 1 道、长 3.475km、宽 13m；红塘湾东部至天涯镇附近人工补砂外侧设 1 道、长 1.08km、宽 6m；南山景区人工补砂外侧设 2 道、长 2.91km（南海观音人工岛以西侧长 1.12km、南海观音人工岛以东侧长 1.79km）、宽 6m。平面布置见图 2.1-2。

拦污屏可随海水涨落，中间为土工布，起过滤作用，下面固定在海底，使得工程施工产生的悬浮物最大程度的被过滤下来，对相邻海水水质影响较小。同时在施工期，对珊瑚礁、浮游生物等附近海域进行实时动态监测，根据悬浮泥沙浓度的大小对

拦污屏层数的设置和布置进行适当调整，严防悬浮物扩散到保护区内。

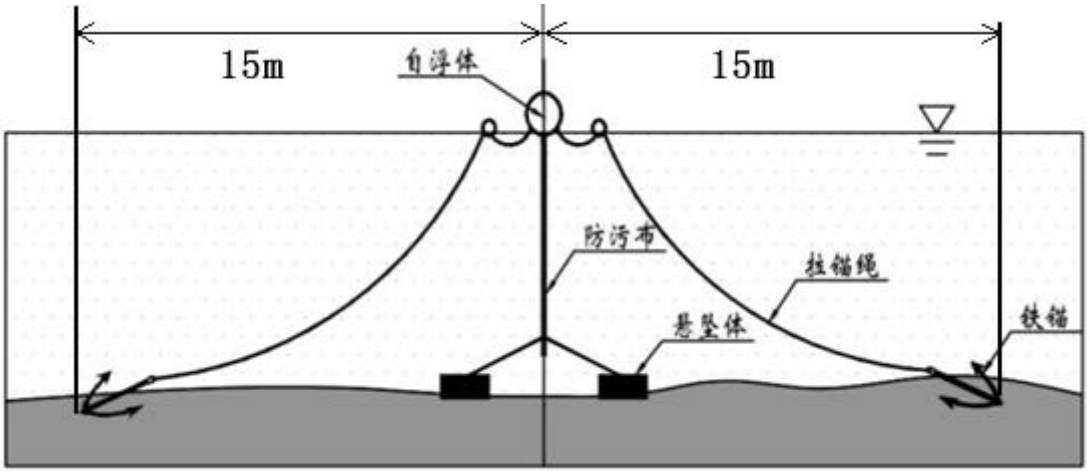


图 2.4-28 拦污屏断面图

2.4.5 依托工程

本项目拆除物料堆存于临空产业园一期，依托三亚新机场填海栈桥工程 1#栈桥外运，采用钢管桩式引桥，自沙滩边缘至人工岛西北角，总长约 760m，宽 8m，设计顶高程为 5.0m。

三亚新机场临空旅游产业园项目一期工程的建设内容包含 1#栈桥，《三亚新机场临空旅游产业园项目一期工程海洋环境影响报告书》于 2016 年 2 月获得原海南省海洋与渔业厅项目海洋环评核准批复。

2.4.6 临时工程

本项目计划在人工岛掩护区后方陆域空地设置施工营地，拟采取集装箱房，办公、生活采用分区管理，在施工营地和人工补砂区域配套设置移动式环保厕所。

本项目拆除工程拆除物料包含回填砂、石料（各规格块石、二片石及碎石）、成品混凝土预制构件（预制沉箱及各规格扭王字块体）、钢制构件（钢圆筒、临时栈桥构件）等，石料、成品混凝土预制构件、钢制构件和部分回填砂船运至临空一期堆存，部分回填砂直接船运至人工补砂区使用，生态护岸、拦沙堤外购少量物料暂存于各工程施工区域，不单独设临时堆场。

临时工程平面布置见图 2.4-29。

2.5 施工方案

2.5.1 施工条件

拟建工程区水陆交通便利，能满足施工所需交通条件，施工用水、用电、通讯等均可依托附近既有设施解决。

本工程不需要征用耕地，不涉及移民安置，为工程的实施提供了条件。

本工程作业条件良好，常年海况良好，有效作业时间较长。

本工程附近砂、石料资源丰富，交通便利，来料方便，劳动力充足。海南地区常驻有多家技术力量雄厚，设备齐全，施工经验丰富的专业施工队伍，完全能承担本项目的施工。

2.5.2 拆除工程施工工艺

2.5.2.1 临空产业园二期工程

（1）回填砂拆除

陆域回填砂拆除的具体施工工艺为：反铲挖掘机→运输车→临时作业平台→驳船→皮带机→人工补砂岸段补砂或临空产业园一期临时堆存。

①反铲挖掘机将拟拆除区域的砂堆放至运输车上。

②运输车通过临时作业平台将砂转运至驳船。

③驳船将砂运至目的地，再通过皮带机将砂运输至人工补砂岸段补砂或临空产业园一期临时堆存。

（2）直立护岸（沉箱）拆除

沉箱仓格内切割线以上的回填砂抽取→沉箱切割→起重设备吊运至临时堆放区。拟拆除高程处一次切割，整体吊运至临空产业园一期人工岛临时堆存，沉箱重量约220t，采用履带吊进行吊运。

①仓格内回填砂抽取：采用抓斗船+潜水渣浆泵将仓格内回填砂抽取，施工时需保证各仓格均匀抽取。

②沉箱切割：根据拆除标高要求，确定沿高度方向的切割位置，并配置相应能力的起重设备。由潜水员在沉箱侧壁上安装绳锯机、导向轮，利用绳锯机进行沉箱切割。

③起重设备吊运至临时堆放区：沉箱切割完成后，利用驳船+履带吊缓缓起吊切割的块体，利用四点吊的方式将割除的沉箱平稳放在驳船上，然后转运至临空产业园一

期临时堆存。

（3）斜坡护岸拆除

依次进行扭王字块、块石拆除，分段施工，自上而下拆除。

扭王字块采用方驳吊机组进行拆除，为扭王字块安装的逆向操作。水上的扭王字块采用钢丝绳固定后吊至方驳，水下扭王字块需潜水员辅助固定钢丝绳再吊至方驳，拆除的扭王字块由方驳转运至临空产业园一期人工岛临时堆存。

块石采用抓斗船配平板驳进行拆除，拆除的扭王字块由方驳转运至临空产业园一期人工岛临时堆存。

临空产业园二期拆除工程施工工艺见图 2.5-1。

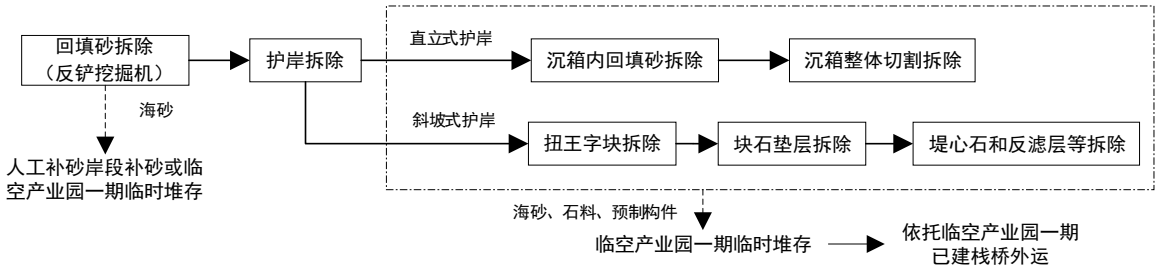


图 2.5-1 临空产业园二期拆除工程施工工艺流程图

2.5.2.2 新机场起步工程

陆域回填砂拆除分为边缘区域回填砂拆除和靠近护岸区域，边缘区域回填砂拆除、斜坡护岸拆除的施工方案与临空产业园二期工程施工方案一致，直立护岸（沉箱）拆除仅切割高度不同，每隔 1m 进行一次切割，分块吊运至临空产业园一期人工岛临时堆存，沉箱重量约 200t。

靠近护岸区域回填砂拆除的具体施工工艺为：小型绞吸船→人工补砂岸段补砂或临空产业园一期临时堆存。

①小型绞吸船将拟拆除区域的砂吸入船舱内。

②小型绞吸船将砂运输至消人工补砂岸段补砂或临空产业园一期临时堆存。

新机场起步工程拆除工程施工工艺见图 2.5-2。

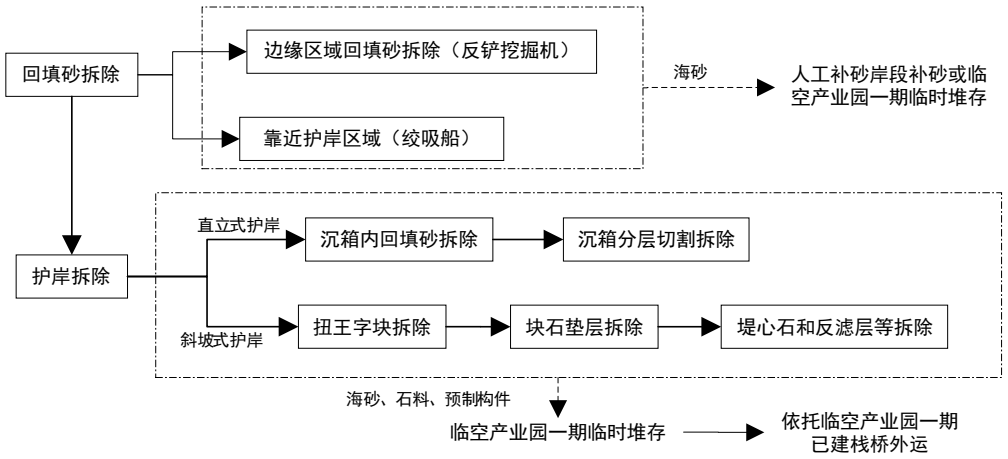


图 2.5-2 新机场起步工程拆除工程施工工艺流程图

2.5.2.3 钢圆筒试验段工程

本次钢圆筒拆除施工流程为：外侧抛石清理→筒内及副格内开挖→切割标高测设、水下切割→钢圆筒及副格吊运。

①外侧抛石清理：钢圆筒和副格外侧 10~100kg 块石采用抓斗船抓到驳船上，运至临空产业园一期人工岛临时堆存。

②筒内及副格内开挖：采用抓斗船配合抽沙泵开挖至现状泥面。

③切割标高测设、水下切割：采用测绳确定切割标高后，对钢圆筒进行分层分块切割，按竖向 5m 跨度为间隔由上至下进行分块切割，先切割吊运副格，后切割吊运钢圆筒，采用绳锯机切割钢圆筒，利用电弧氧切割副格。

④钢圆筒及副格吊运：切割完成后，履带吊对副格进行起吊，吊运至临空产业园一期空地内存放。

钢圆筒试验段工程拆除工程施工工艺见图 2.5-3。

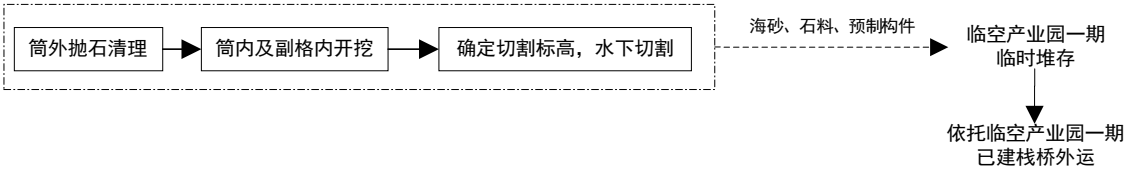


图 2.5-3 钢圆筒试验段工程拆除工程施工工艺流程图

2.5.2.4 栈桥工程

栈桥工程拆除施工工艺流程：拆除护栏、桥面板连接→拆除 I12.6 工字钢分配梁→拆除贝雷架→拆除桩顶工字钢分配梁→拆除剪刀撑及平连横杆→拆除钢管桩→材料运输至指定堆存区。

拆除桥面、工字钢梁、贝雷架、桩顶工字钢分配梁、剪刀撑及平连横杆等：人工配合机械逐项拆除，运至临空一期人工岛临时堆存。

拆除钢管桩：使用“钓鱼法”进行施工，利用履带起重机配合水下切合将钢管桩切割拆除，运至临空一期人工岛临时堆存。

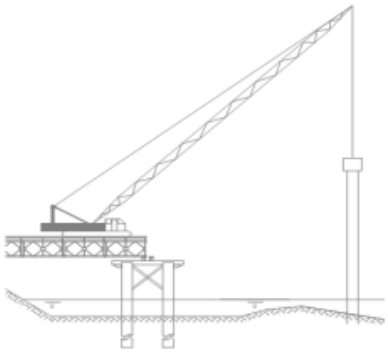


图 2.5-4 水下切割后“钓鱼法”拆除钢管桩

栈桥工程拆除工程施工工艺见图 2.5-5。

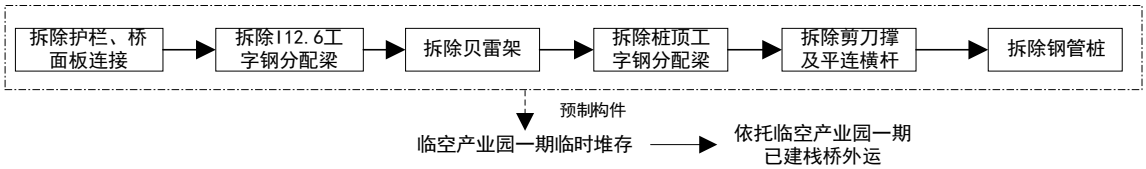


图 2.5-5 栈桥工程拆除工程施工工艺流程图

2.5.3 砂质岸线修复工程施工工艺

2.5.3.1 人工补砂

施工准备→补沙区垃圾清理→本项目拆除工程砂料挖除→水上运输至补砂区→水上吹砂至沙滩→推土机进行场地平整碾压→分项工程验收。

人工补砂施工工艺见图 2.5-6。

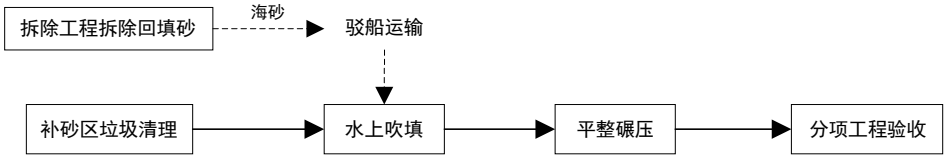


图 2.5-6 人工补砂施工工艺流程图

2.5.3.2 生态护岸

护坡生态化总体施工顺序：施工准备→测量放线→基槽开挖→铺设无纺土工布→回填块石→基床平整→二片石垫层施工→现浇 C20 素砼→现浇砼镇脚→铺设无纺土工布→碎石垫层施工→预埋植栽竹管→回填海沙→分项工程验收。

生态护坡施工工艺见图 2.5-7。

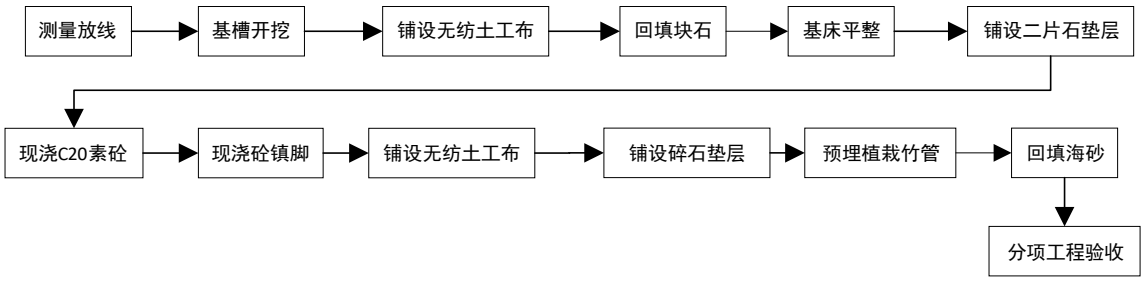


图 2.5-7 生态护坡施工工艺流程图

2.5.3.3 拦沙堤

拦沙堤由堤头向堤根方向施工。

施工准备→基槽沙开挖→铺设柔性加筋护底垫→铺设护底下二片石→推填堤心石→护底块石施工→推填垫层块石→扭王字块安装→分项工程验收。

拦沙堤施工工艺见图 2.5-8。

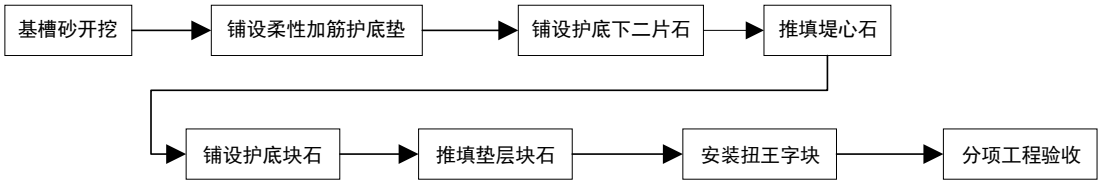


图 2.5-8 拦沙堤施工工艺流程图

2.5.4 珊瑚礁修复工程施工工艺

（1）珊瑚苗圃建设：将珊瑚苗种培育至 5-8 厘米，然后将 5-8 厘米的珊瑚苗种培育成可用于底播移植的珊瑚个体。

（2）珊瑚运输：将珊瑚采集后，珊瑚的运输应采用带有活水舱的渔船，保证运输过程中珊瑚不离开海水，并摆放平整。避免直接将整筐珊瑚倾倒入活水舱内，会破坏珊瑚个体，造成珊瑚堆叠。

（3）珊瑚底播移植：在种植珊瑚前，需要对选定好的珊瑚修复区进行整备，将各种类珊瑚分类分批放置到划分好的相应区域。采用铆钉固定、人工礁体等方式移植珊瑚。

珊瑚礁修复施工工艺见图 2.5-9。

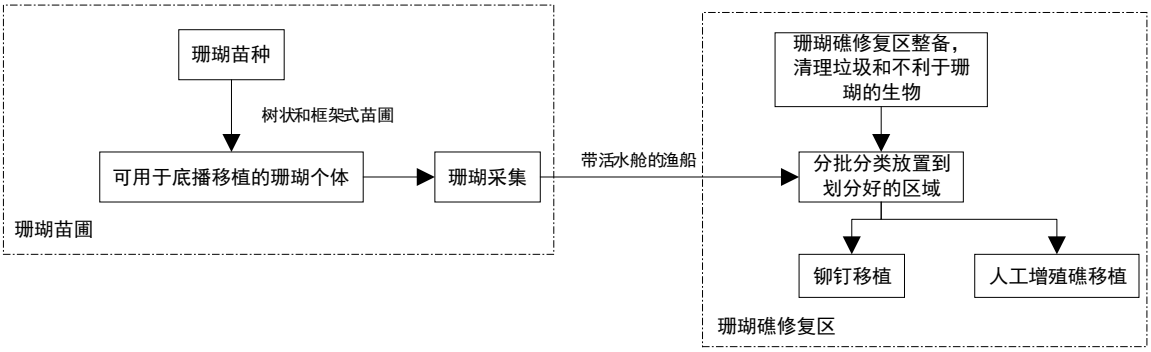


图 2.5-9 珊瑚礁修复施工工艺流程图

2.5.5 施工机械

本项目主要施工机械见表 2.5-1。

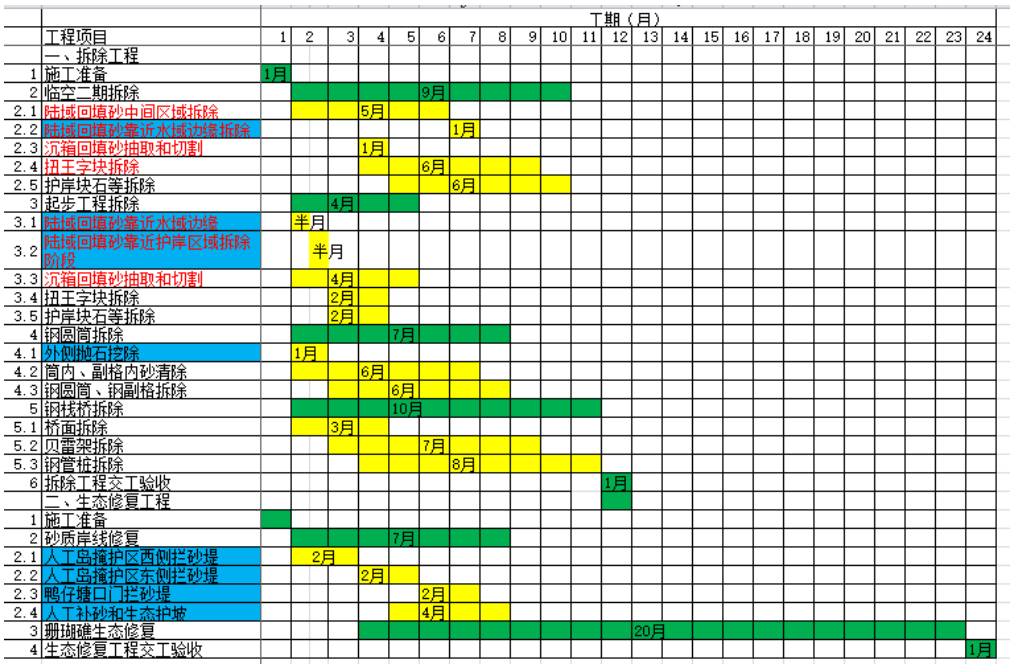
表 2.5-1 本项目主要施工机械一览表

序号	设备	型号	功率/吨位	单位	数量
1	绞吸船	拼装式绞吸挖泥船	1000m^3/台班	艘	2
2	钢桩定位船			艘	1
3	皮带运砂船	吸运卸	5000 吨	艘	3
4	自卸汽车	自卸载重汽车	20m^3	辆	30
5	挖掘机	320Gx	108kw	台	8
6	装载机	L6833B	3.3m	台	10
7	破碎锤			台	3
8	履带吊		300t	台	1
9	履带吊		150t	台	1
10	运料甲板驳船		4000t	艘	5
11	抓斗船组		8m^{3}抓斗	艘	2
12	接力泵船			艘	2
13	起重船		1000t	艘	1
14	潜水班组作业船			艘	2
15	推土机			台	1
16	绳锯机			台	若干

2.5.6 施工进度安排

本项目高峰期船舶施工人数 200 人，其中拆除工程和砂质岸线修复工程施工人数 150 人、珊瑚礁修复工程施工人数 50 人；陆域施工人数 50 人，预计施工工期 24 个月，其中拆除工程计划工期 12 个月，生态修复工程计划工期 24 个月。

表 2.5-2 本项目施工进度表



2.6 工程土石方平衡

（1）拆除工程拆除物料

本项目拆除工程承拆除物料主要为回填砂、石料（各规格块石、二片石及碎石）、成品混凝土预制构件（预制沉箱及各规格扭王字块体）、钢制构件（钢圆筒、临时栈桥构件）等。产生拆除物料总计约 293.56 万 m^3+1464 件，其中海砂约 273.13 万 m^3、石料 20.43 万 m^3、成品混凝土预制构件约 1464 件（堆叠一层，占地约 1.5 万 m^2）。

（2）砂质岸线修复工程需方量

砂质岸线修复工程需石料 14.97 万 m^3、129.92 万 m^3，利用扭王字块 654 件，工程量见表 2.6-2。

表 2.6-1 拆除物料工程量表

序号	项目		数量
1	临空二产业园二期	陆域海砂	244.8 万 m^3
		沉箱内海砂	0.046 万 m^3
		25t 扭王块体	100 件
		19t 扭王块体	843 件
		石料	17 万 m^3
		沉箱	2 件
2	三亚新机场填海项目起步工程	陆域海砂	4.01 万 m^3
		沉箱内海砂	0.59 万 m^3
		23t 沉箱扭王块体	521 件
		沉箱	14 件
		石料	2.97 万 m^3
3	三亚新机场人工岛工程南	钢圆筒	19 件

	护岸试验段	副格	34 件
		筒内回填砂	23.68 万 m^3
		石料	0.45 万 m^3
4	三亚新机场填海栈桥工程	栈桥	3.1km

表 2.6-2 砂纸岸线修复工程量表

序号	项目		数量	备注
1	补砂工程	人工补砂量	129.92 万 m^3	利用拆除工程回填砂
2	生态护岸	坡面整平夯实	51935m^3	取厚度 1m
		抛填 100~200kg 块石	12983.75m^3	利用拆除工程石料
		抛填 10~100kg 块石	44983.7m^3	利用拆除工程石料
		2 层 400g/m^2 无纺土工布	162197m^3	
		碎石垫层	3835.2m^3	利用拆除工程石料
		20~30mm 聚氨酯碎石	6392m^3	利用拆除工程石料
		现浇 C30 素砼挡墙	2996.25m^3	
		C20 素砼	479.4m^3	
		二片石垫层	1278.4m^3	利用拆除工程石料
3	拦砂堤	10~500kg 堤心石	6545.5m^3	利用拆除工程石料
		1000~2000kg 块石	20192.475m^3	利用拆除工程石料
		19t 扭王块体	645 件	利用拆除工程石料
		加筋护底垫	14996.05m^3	利用拆除工程石料

（3）珊瑚礁修复工程需方量

珊瑚礁工程投放 500 个人工礁体（外购）、190 个扭王字块（利用拆除工程）。

（3）土石方平衡

本项目土石方平衡见表 2.6-3。

表 2.6-3 本项目土石方平衡表

类型	挖方量	需方量		利用量	外购量	外运量
海砂（万 m^3）	273.13	129.92		129.92	0	143.21
石料（万 m^3）	20.43	14.97		14.97	0	5.46
成品预制构件（件）	1464	砂质岸线修复工程	654	654	0	629
		珊瑚礁修复工程	690	190	500	

2.7 项目用海情况

2.7.1 项目申请用海情况

2.7.2 岸线使用情况

本项目生态护坡占用自然岸线 4m，其中南山景区的南海观音人工岛以西岸段 0.83km（即 AB 段）、临空一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸岬角 2.1km 岸段（即 CD 段、EF 段）、已建拦砂堤至天涯社区岸段 1.07km（即 GH 段），不新增岸线，本项目占用岸线位示意图见图 2.7-4。

3 工程分析

3.1 工程各阶段污染环节与环境影响分析

3.1.1 产污环节分析

本项目包括违规围填海项目拆除和生态修复工程（砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程）。施工结束后仅对珊瑚礁进行持续 3 年的管护，无营运期，本次对施工期环境污染进行分析。

本项目拆除工程施工阶段产生施工悬沙；拆除工程产生拆除物料，参与作业的船舶和人员会产生船舶含油污水、生活污水和生活垃圾。

本项目砂质岸线修复工程包括人工补沙、拦沙堤、生态护岸；人工补沙、拦沙堤施工会产生施工悬沙，人工补砂工程清理的垃圾，参与作业的船舶和人员会产生船舶含油污水、生活污水和生活垃圾。

本项目珊瑚礁修复工程包括人工珊瑚苗圃培育区（珊瑚浅水苗圃区和珊瑚深水苗圃区）、珊瑚礁生态修复区（围堰修复区和沉箱修复区），除投放人工礁体，均采用蛙人操作。另外，人工礁体投放至临空产业园二期已拆除的围堰上，基本无悬沙产生。参与作业的船舶和人员会产生船舶含油污水、生活污水和生活垃圾。

施工期的产污环节见图 3.1-1~3.1-9。

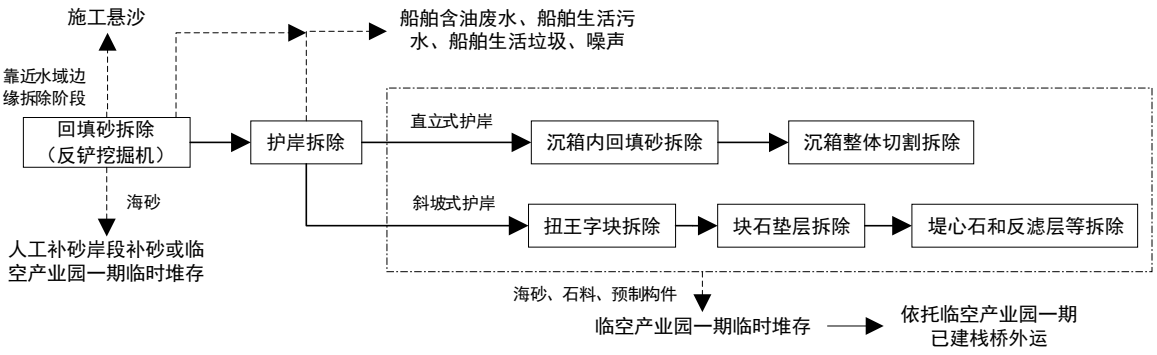


图 3.1-1 临空产业园二期拆除工程施工产污环节图

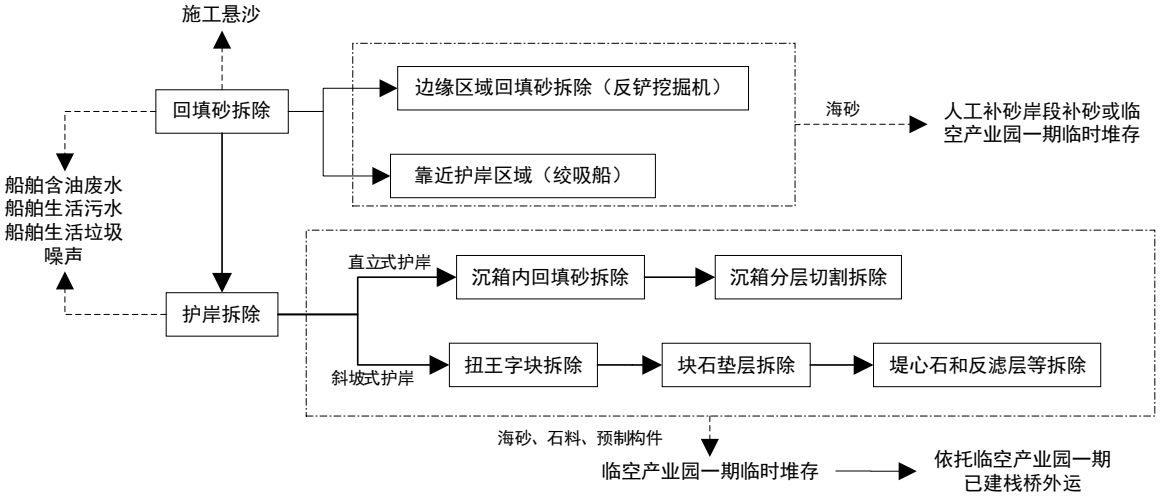


图 3.1-2 新机场起步工程拆除工程施工产污环节图

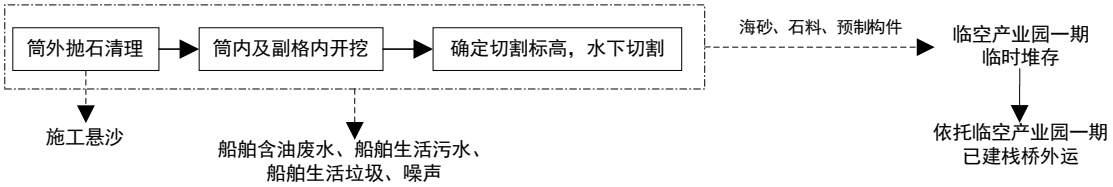


图 3.1-3 钢圆筒试验段工程拆除工程施工产污环节图

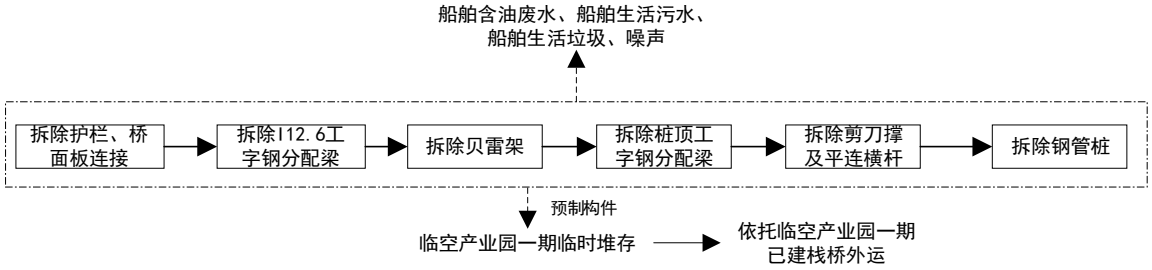


图 3.1-4 栈桥工程拆除工程施工产污环节图

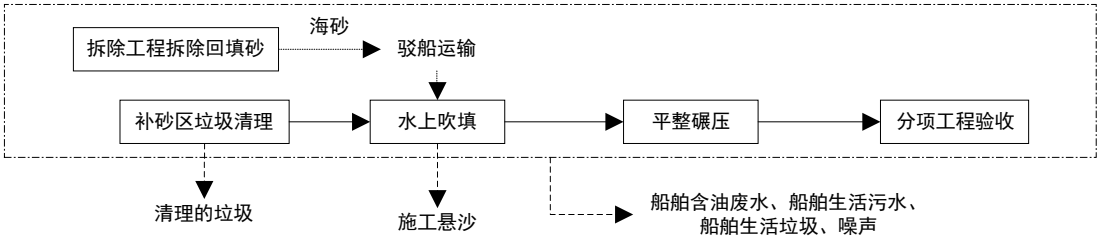


图 3.1-5 人工补砂施工产污环节图

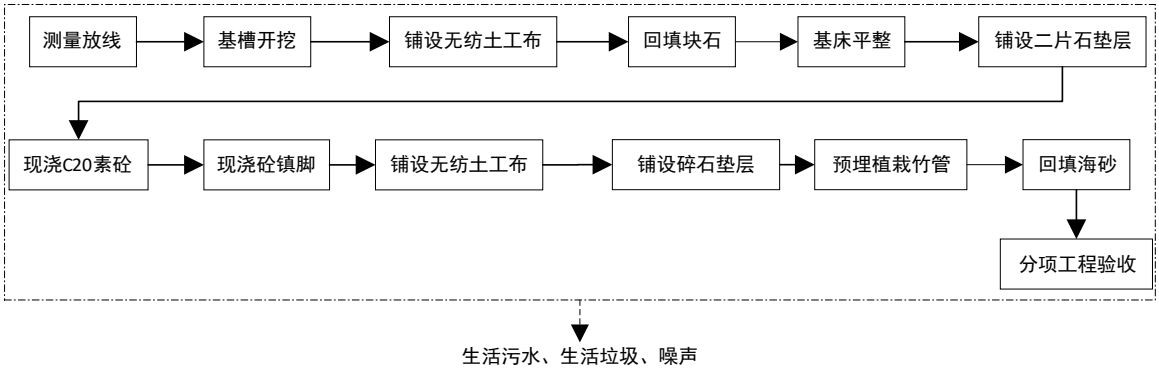


图 3.1-6 生态护坡施工产污环节图

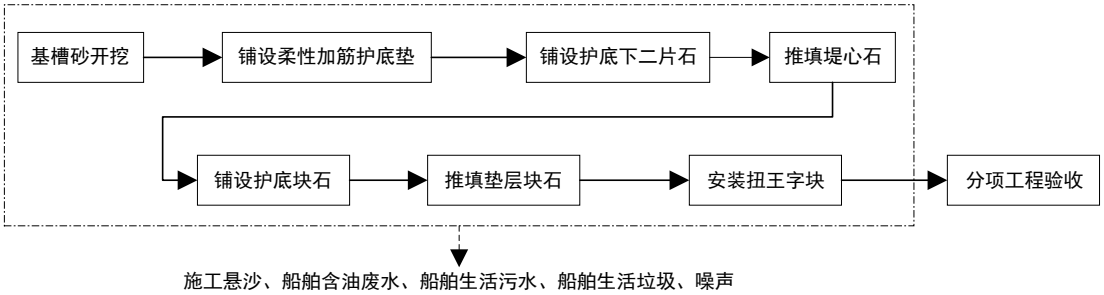


图 3.1-7 拦沙堤施工产污环节图

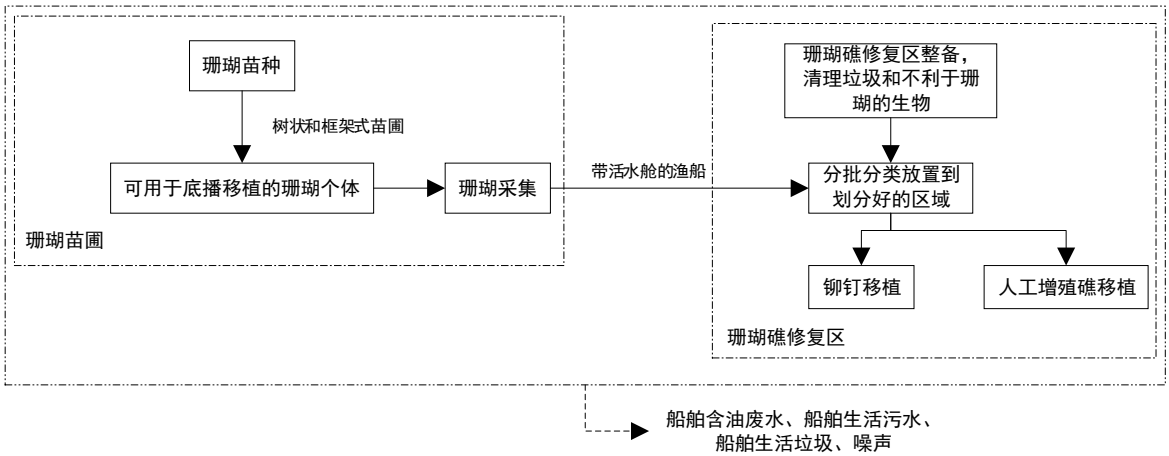


图 3.1-8 珊瑚礁修复施工产污环节图

3.1.2 施工期污染源强估算

3.1.2.1 施工悬沙

（1）临空产业园二期拆除

此项拆除内容为临空产业园二期工程中的水工建筑物及陆域，包括护岸结构沉箱直立式护岸、抛石斜坡式护岸以及陆域回填料。拆除顺序为先拆除陆域回填砂然后再拆除护岸结构。

陆域回填砂采取反铲挖掘机拆除，陆域回填砂中间区域拆除无悬沙产生，靠近水域边缘拆除时会产生施工悬沙；沉箱直立式护岸拆除首先进行回填砂抽取在进行沉箱切割，回填砂抽取过程产生的悬沙局限在沉箱内，无法扩散至沉箱外，沉箱切割不悬沙，因此在沉箱直立式护岸拆除过程中不产生施工悬沙；抛石斜坡式护岸拆除依次进行扭王字块、块石拆除，扭王字块采用吊机拆除，块石采用抓斗船拆除，因护岸均由块石组成，且拆除至理论基面 0/-1m，此处水深约 10m，不会扰动海床，故不产生施工悬沙。

综上，悬浮物主要来自于陆域回填砂靠近水域边缘拆除阶段，施工时间 1 个月（第 7 月），施工采用 8m^3 反铲挖掘机，挖泥效率为 240m^3/h。

抛石基床拆除阶段的悬浮物发生量按《水运工程建设项目环境影响评价指南》（JTS/T105-2021）中提出的公式进行估算：

$$Q=R/R_0\times T\times W_0$$

式中：Q——疏浚作业悬浮物发生量（t/h）；

R——现场流速悬浮物临界粒子累积百分比（%），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 89.2%，本项目取 89.2%；

T——挖泥船疏浚效率（m^3/h），选取 240m^3/h；

W_0——悬浮物发生系数（t/m^3），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 0.038t/m^3，本项目取 0.038t/m^3。

R_0——发生系数 W0 时的悬浮物粒径累积百分比（%），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 80.2%，本项目取 80.2%；

经计算，悬浮物源强约为 10.14t/h，即 2.82kg/s。

（2）新机场起步工程拆除

本工程拆除内容为起步工程的水工建筑物及陆域，包括西、南临时斜坡护岸标高 0m 以上部分以及东、北护岸标高-4m 以上部分。拆除顺序为先拆除陆域回填砂然后再拆除护岸结构。

陆域回填砂拆除分为边缘区域回填砂拆除和靠近护岸区域，靠近护岸区域采用绞吸船拆除，边缘区域回填砂拆除、护岸拆除的施工方案与临空产业园二期工程施工方案一致。同临空二期工程，悬浮物主要来自于陆域回填砂靠近水域边缘和靠近护岸区域拆除阶段。靠近水域边缘施工时间半个月（第 2 月前半个月），采用 8m^3 反铲挖掘机，挖泥效率为 240m^3/h，悬浮物源强约为 2.82kg/s；靠近护岸区域施工时间半个月

（第 2 月后半个月），采用 1000m^3/h 绞吸船，悬浮物发生量按《水运工程建设项目环境影响评价指南》（JTS/T105-2021）中提出的公式进行估算：

$$Q=R/R_0\times T\times W_0$$

式中：Q——疏浚作业悬浮物发生量（t/h）；

R——现场流速悬浮物临界粒子累积百分比（%），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 89.2%，本项目取 89.2%；

T——挖泥船疏浚效率（m^3/h），选取 1000m^3/h；

W_0——悬浮物发生系数（t/m^3），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 0.038t/m^3，本项目取 0.038t/m^3。

R_0——发生系数 W0 时的悬浮物粒径累积百分比（%），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 80.2%，本项目取 80.2%；

经计算，悬浮物源强约为 42.26t/h，即 11.74kg/s。

（3）钢圆筒试验段工程拆除

钢圆筒护岸工程需要拆除的内容包括 19 个钢圆筒和 17 对副格及其内侧中粗砂以及外侧抛填块石，拆除顺序为先进行外侧抛石清理，在拆除钢圆筒回填砂然后再拆除钢护筒。悬浮物主要来自于外侧抛石清理阶段，施工采用 8m^3 抓斗式挖泥船，挖泥效率为 240m^3/h，悬浮物源强约为 2.82kg/s。

（4）人工补砂工程

补沙过程悬浮物强度与抛填作业方式类似，采用 1000m^3/h 的绞吸船进行施工，悬浮物产生量按《港口建设项目环境影响评价规范》（JTS105-1-2011）中提出的公式进行估算：

$$Q=R/R_0\times T\times W_0$$

式中：Q——疏浚作业悬浮物发生量（t/h）；

R——现场流速悬浮物临界粒子累积百分比（%），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 23%，本项目取 23%；

T——绞吸船吹填效率（m^3/h），选取 1000m^3/h；

W_0——悬浮物发生系数（t/m^3），宜现场实测法确定，无实测资料时可取 0.00149t/m^3，本项目取 0.00149t/m^3。

R_0——发生系数 W0 时的悬浮物粒径累积百分比（%），宜现场实测法确

定，无实测资料时可取 36.5%，本项目取 36.5%；

经计算，悬浮物源强约为 0.94t/h，即 0.26kg/s。

（5）拦沙堤

拦沙堤施工悬沙主要来自于堤根沙体开挖、抛石。

1）拦沙堤堤根沙体开挖

堤根沙体开挖采用 8m^3 抓斗式挖泥船，挖泥效率为 240m^3/h，悬浮物发生量按《水运工程建设项目环境影响评价指南》（JTS/T105-2021）中提出的公式进行估算，悬浮物源强约为 2.82kg/s。

2）拦沙堤抛石

抛石一方面由于将细颗粒泥沙带入水中增加水体悬浮物浓度；另一方面抛石挤出的泥沙过程也产生颗粒悬浮物。

i)抛石挤淤：

$$S_1=(1-\theta_1)\rho_1\alpha_1 P$$

式中：S_1 为抛石挤淤的悬浮物源强（kg/s），θ_1 为海底沉积物天然含水率（%），ρ_1 为海底泥沙中颗粒物的天然干密度（kg/m^3），α_1 为泥沙悬浮颗粒物所占百分率（%），P 为平均挤淤强度（m^3/s）。

3 个拦沙堤施工抛石总方量为 41734.03m^3，施工时间为 6 个月，每月施工 30 天，施工时间 180 天，抛石强度 231.86m^3/d，日施工时长约 12h，则 P=0.0054m^3/s，θ_1=40%，ρ_1=1400kg/m^3，α_1=20%，则拦沙堤抛石挤淤产生源强为 0.91kg/s。

ii)石料泥沙入海源强

参考崔雷等《填海工程悬浮物对海域环境影响的数值模拟研究》（《人民珠江》2017 年 11 期），抛石施工作业时产生的悬浮泥沙产生量可按下式计算：

$$Q=E\times c\times\alpha\times\rho$$

式中：Q——围堰（或护岸）抛石作业悬浮泥沙源强，kg/s；

E——围堰（或护岸）抛石作业效率，m^3/s；

c——石料中泥土含量，%（体积），以 5%计；

α——泥土进入海水后悬浮泥沙产生系数，以 10%计；

ρ——泥土密度，取 2.65t/m^3。

拦沙堤抛石强度 231.86m^3/d，日施工时长约 12h，抛填块石土量要求低于 5%，流失率以 10%计算；土壤密度以 2.65t/m^3 算，则抛石过程石料泥沙中细颗粒引起的悬浮

泥沙入海量约为 0.07kg/s。

综上，拦沙堤抛石产生的源强应为泥沙入海源强叠加抛石挤淤的源强，为 0.98kg/s。

3.1.2.2 废气

本项目废气主要为施工扬尘、施工船舶和施工机械尾气。

（1）施工扬尘

本工程填海区陆域拆除开挖和运输将产生扬尘。施工期间产生的扬尘主要取决于施工作业方式、材料的堆放及风力等因素，其中受风力因素的影响最大。随着风速的增大，施工扬尘产生的污染程度和超标范围也将随之增强和扩大。

①施工现场扬尘

根据交通运输部天津水运工程科学研究院在天津港施工现场起尘规律研究，在集装箱项目建设过程砂石料堆存产生的风蚀起尘、卡车卸料时产生的粉尘污染、道路二次扬尘、水泥拆包的粉尘污染、场地扬尘等共同作用下，未采取环保措施时，施工现场面源污染源强为 0.79mg/m^3。采取环保措施时，面源污染源强为 0.12mg/m^3。

②车辆扬尘

据调研相关资料表明，在未采取抑尘措施的情况下，施工场地道路扬尘影响范围超过 200m，在距路边下风向 50m，TSP 浓度大于 10mg/m^3；在距路边下风向 150m，TSP 约为 5.09mg/m^3，超过 GB3095-2012 中二级标准。如采取洒水措施，将利于 TSP 沉降，在施工下风向 200m 外，TSP 浓度满足二级标准，施工路段洒水降尘试验结果见表 3.1-1。

表 3.1-1 施工路段洒水降尘试验结果

距路边距离（m）		0	20	50	100	200
TSP (mg/m^3)	不洒水	11.03	2.89	1.15	0.86	0.56
	洒水	2.11	1.4	0.68	0.6	0.29

（2）尾气

废气污染主要为各类施工机械、船舶所排放的尾气。船舶排放的大气污染物主要包括船舶柴油机所排放的 NO_X、CO、SO_2、NMHC 化合物等污染物，施工机械及运输车辆的发动机排放的尾气中含有 CO、NO_X、PM、NMHC 化合物等污染物。

考虑到施工单位使用符合环保标准要求的机械设备及船舶，以及海船进入排放控制区，应使用符合《海南省交通运输厅海南海事局关于印发海南省实施船舶大气污染

物排放控制区的通告》(琼交管运[2019]290 号)的燃料，2022 年 1 月 1 日起，应使用硫含量不大于 0.1%m/m 的船用燃油。这些废气的产生量不大，影响范围、时间有限。

3.1.2.3 废水

本项目废水主要为施工船舶含油污水、施工船舶生活污水、陆域施工人员生活污水。

（1）施工船舶含油污水

根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018），不同吨级船舶含油污水产生量见表 3.1-2。

本工程施工船舶吨位在 500~5000t 之间，拆除工程和砂质岸线修复工程相关船舶施工时间 10 个月，珊瑚礁修复工程施工 20 个月，每月施工 25 天，经计算，本项目船舶含油污水总产生量为 2928.75t，见表 3.1-3。

表 3.1-2 船舶含油污水水量

船舶吨级 DWT（t）	舱底油污水产生（t/d·艘）	船舶吨级 DWT（t）	舱底油污水产生（t/d·艘）
500	0.14	25000~50000	7.00~8.33
500~1000	0.14~0.27	50000~100000	8.33~10.67
1000~3000	0.27~0.81	100000~150000	10.67~12.00
3000~7000	0.81~1.96	150000~200000	12.00~15.00
7000~15000	1.96~4.20	200000~300000	15.00~20.00
15000~25000	4.20~7.00	-	-

表 3.1-3 船舶含油污水核算结果表

施工船舶	船舶数量/艘	规格参数	施工天数（天）	船舶含油污水 t/d/艘	船舶含污水产生量（t）
绞吸船	2	1000m^3	250	0.27	135
钢桩定位船	1	500 吨	250	0.14	35
皮带运砂船	3	5000 吨	250	1.385	1038.75
运料甲板驳船	5	4000t	250	1.098	1372.5
抓斗船组	2	8m^3 抓斗	250	0.14	70
接力泵船	2	500 吨	250	0.14	70
起重船	1	1000t	250	0.27	67.5
潜水班组作业船	2	500 吨	500	0.14	140
合计					2928.75

（2）施工船舶生活污水

施工建设期施工船舶作业人员盥洗、淋浴、洗涤等将产生生活污水，主要污染因子为 COD、氨氮和 SS 等。参考海上建设项目建设阶段相关统计资料，生活污水产生量按每人 80L/d。

施工船舶总施工人数 200 人，其中拆除工程和砂质岸线修复工程施工人数 150

人、珊瑚礁修复工程施工人数 50 人；拆除工程和砂质岸线修复工程相关船舶施工时间 10 个月，珊瑚礁修复工程施工 20 个月，每月施工 25 天，船舶生活污水产生情况见表 3.1-4。

表 3.1-4 船舶生活污水核算结果表

施工内容	作业人数（人）	作业天数(天)	生活污水(m^3)
拆除工程和砂质岸线修复工程	150	250	3000
珊瑚礁修复工程	50	500	2000
合计			5000

（3）陆上施工人员生活污水

本项目砂质岸线修复工程在补砂后采用推土机平整，在沙滩上施工，施工人数 50 人，施工 10 个月，每月施工 25 天，根据《海南省地方用水定额》（DB46/T449-2021），施工人员按分散式供水用水定额 80L/人•d 计算。废水产生量按用水量的 90%计，施工基地作业人员生活污水产生量为 3.6m^3/d，总量约 900m^3。

3.1.2.4 噪声

本项目噪声主要为施工船舶、车辆及机械噪声，主要噪声源强见表 3.1-5。

表 3.1-5 施工期主要噪声源及源强一览表

序号	噪声源	最大声级 dB（A）	测点与声源距离（m）
1	施工船舶	100	5
2	自卸汽车	89	5
3	挖掘机	85	5
4	装载机	90	5
5	破碎锤	100	5
6	履带吊	90	5
7	推土机	86	5
8	抽沙泵	92	5
9	绳锯机	90	5

3.1.2.5 固体废物

本项目固体废物主要为拆除物料、人工补砂清理垃圾、船舶生活垃圾和陆上施工人员生活垃圾。

（1）拆除物料

本项目拆除工程承拆除物料主要为回填砂、石料（各规格块石、二片石及碎石）、成品混凝土预制构件（预制沉箱及各规格扭王字块体）、钢制构件（钢圆筒、临时栈桥构件）等。产生拆除物料总计约 293.56 万 m^3+1464 件，其中海砂约 273.13 万 m^3、石料 20.43 万 m^3、成品混凝土预制构件约 1464 件（堆叠一层，占地约 1.5 万 m^2）。

回填砂（129.92 万 m^3）直接船运至人工补砂区进行补砂，回填砂（143.21 万 m^3）和石料、成品混凝土预制构件、钢制构件堆存于临空产业园一期，部分石料（14.97 万 m^3）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤和生态护坡建设，部分成品混凝土预制构件（645 件扭王字块）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤，部分成品混凝土预制构件（190 件扭王字块）用于珊瑚礁修复工程建设。

（2）人工补砂清理垃圾

人工补砂前需对补砂区进行垃圾清理，清理垃圾约 0.5t。

（3）船舶生活垃圾

参考海上建设项目建设阶段相关统计资料，船舶生活垃圾按每人 1.0kg/d 计算，施工船舶总施工人数 200 人，其中拆除工程和砂质岸线修复工程施工人数 150 人、珊瑚礁修复工程施工人数 50 人；拆除工程和砂质岸线修复工程相关船舶施工时间 10 个月，珊瑚礁修复工程施工 20 个月，每月施工 25 天，船舶生活污水产生情况见表 3.1-6。

表 3.1-6 船舶生活垃圾核算结果表

施工内容	作业人数（人）	作业天数(天)	生活垃圾（t）
拆除工程和砂质岸线修复工程	150	250	37.5
珊瑚礁修复工程	50	500	25
合计			62.5

（4）陆上施工人员生活垃圾

本项目砂质岸线修复工程在补砂后采用推土机平整，在沙滩上施工，施工人数 50 人，施工 10 个月，每月施工 25 天，参照《水运工程建设项目环境影响评价指南》（JTS/T 105-2021），生活垃圾产生量按 1.0kg/d 人计算，则施工人员生活垃圾量为 12.5t，收集交由市政环卫部门统一处理。

3.1.3 污染源强汇总

本项目施工、营运期主要污染物产生及排放情况见表 3.1-7。

表 3.1-7 污染源源强汇总

时期	种类	污染源		主要污染物	源强	产生情况	处置措施
施工期	入海泥沙	临空产业园二期边缘陆域拆除		SS	2.82kg/s	-	连续排放
		新机场起步工程陆域拆除	边缘区域陆域	SS	2.82kg/s	-	连续排放
			靠近护岸区域	SS	11.74kg/s	-	连续排放
		钢圆铜试验段工程拆除		SS	2.82kg/s	-	连续排放
		人工补砂工程		SS	0.26kg/s	-	连续排放
		拦沙堤	堤根开挖	SS	2.82kg/s	-	连续排放
			抛石	SS	0.98kg/s	-	连续排放
	废水	船舶含油污水		石油类	-	2928.75t	执行铅封规定，运至陆域，交由有资质的单位处置
		船舶生活污水		COD、氨氮、SS	-	5000m^3	收集后运至陆域，交由有资质的单位处置
		陆域施工人员生活污水		COD、氨氮、SS	-	900m^3	经移动式环保厕所收集，定期外运至市政污水处理厂处理
	废气	施工场地扬尘		0.79mg/m^3	TSP	0.12mg/m^3	定期洒水、清扫，运输车辆按时冲洗；施工垃圾及时清运等
		运输车辆扬尘		11.03mg/m^3		2.11mg/m^3	
		施工机械、施工车辆尾气		少量	NOx、CO、SO_2、PM、NMHC 化合物等	少量	采用油耗低的车辆工机械正常运行；保持施工机械正常运行
	噪声	施工船舶、车辆及机械		84~95dB（A）	等效声级	84~95dB（A）	选用低噪声的施工设备，噪声大的设备夜间禁止施工
	固体废物	拆除物料		回填砂	-	129.92 万 m	129.92 万 m^3 直接船运至人工补砂区进行补砂，143.21 万 m^3 堆放在临空产业园一期
				石料	-	20.43 万 m^3	堆放在临空产业园一期，其中 14.97 万 m^3 用于砂纸岸线修复工程建设
				成品混凝土预制构件	-	1464 件	堆放在临空产业园一期，其中 654 件用于砂纸岸线修复工程建设，190 件用于珊瑚礁修复工程建设
				钢制构件	-	若干	堆放在临空产业园一期
		人工补砂清理垃圾		生产、生活垃圾	-	0.5t	市政环卫部门统一处理
		施工船舶生活垃圾		生活垃圾	-	62.5t	市政环卫部门统一处理
		陆域施工人员生活垃圾		生活垃圾	-	12.5	市政环卫部门统一处理

3.2 工程各阶段非污染环节与环境影响分析

工程施工期和施工结束后非污染环境影响主要有以下几方面：

（1）工程施工将导致项目附近海域水动力、冲淤环境变化，对周边海域的珊瑚礁及其生境产生一定的影响。

（2）工程施工产生的悬浮泥沙影响海水水质，对工程区附近海域水质、海洋生物、重要生物（珊瑚）及其生境造成一定的影响；

（3）工程占海海域，造成海洋生物的损失；

（4）拆除工程实施后，原有的人岛陆域将恢复为海域，将改变原有人工岸线形态，潮流态和流速也将产生变化，由此必然引发海域水动力冲淤环境发生变化，并改变局部海域原有的冲淤平衡。

（5）砂质岸线修复工程和珊瑚礁修复工程实施后，将改变海域自然属性及岸滩地形，工程后将引起工程及附近水动力场的变化，进而导致地形地貌和泥沙冲淤环境的变化。

（6）工程实施后将避免红塘湾海域岸滩进一步淤积或冲刷，避免岸滩淤积段对珊瑚礁的直接掩埋。

4 环境现状调查与评价

4.1 自然环境概况

4.1.1 气候气象

项目位于海南省三亚市，属热带海洋性季风气候，冬季气候温暖干燥，雨量较少；夏季高温多雨，并常有雷电、暴雨、台风。采用中国科学院生态系统研究网络三亚站数据和信息网站 2005 年至 2015 年的气象资料统计，具体如下：

4.1.1.1 气温

本区气温较高，年平均气温为 26.7℃。各月平均气温都在 22℃以上（表 4.1-1），4～10 月份较高，平均为 28.6℃，11 月至翌年 3 月份较低，平均为 24.0℃。本区极端最高气温为 38℃（2006 年 7 月 24 日），极端最低气温为 11.7℃（2005 年 3 月 6 日）。

表 4.1-1 逐月平均气温(℃)(2005 年-2015 年)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均气温	22.1	23.5	25.6	27.6	29.1	28.9	29.1	28.8	28.4	27.5	25.7	23.7

4.1.1.2 降水

三亚地区有旱季和雨季之分，5 月～10 月为雨季，降水量约占全年的 90%，11 月至翌年 4 月为旱季，降水量较少。多年平均降水量为 1252mm，逐月平均降水量见表 4.1-2。

表 4.1-2 逐月平均降水量(mm) (2005 年-2015 年)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均降水量	4	5	10	65	92	131	210	228	216	264	40	8

4.1.1.3 风况

据三亚气象站统计，三亚以 E、NE 和 ENE 风向为最多，约占全年总频率的 37%（表 4.1-3，图 4.1-1），一年内几乎有 8 个月的时间被上述风向控制，其余 4 个月（5～8 月）风向较乱，但以 W、WSW 风向为主，约占这 4 个月风频率的 40%。各向平均风速、最大风速及频率见**错误!未找到引用源。**-3，逐月平均风速见表 4.1-4，三亚市全年平均风向频率分布如**错误!未找到引用源。**4.1-1，不同季节风向玫瑰图见**错误!未找到引用源。**4.1-2。

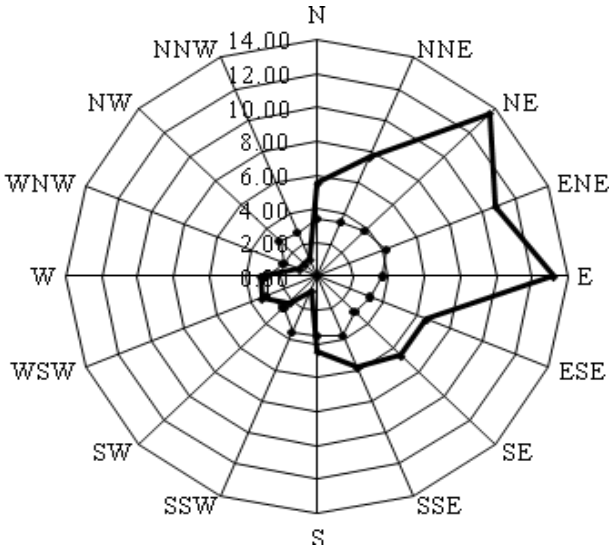


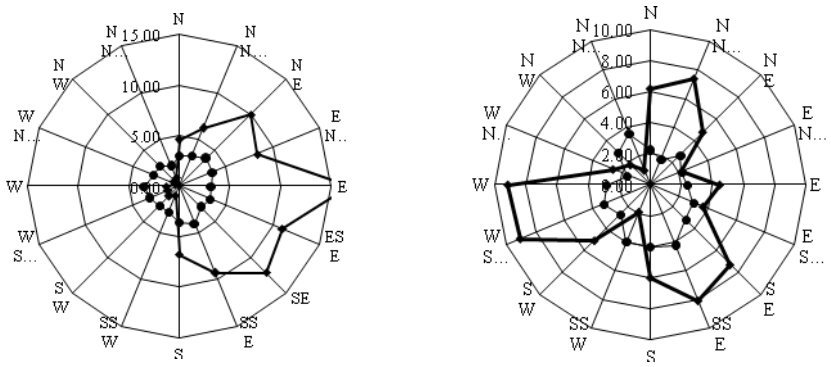
图 4.1-1 三亚市全年平均风向频率分布图

表 4.1-3 各向平均风速、最大风速及频率表

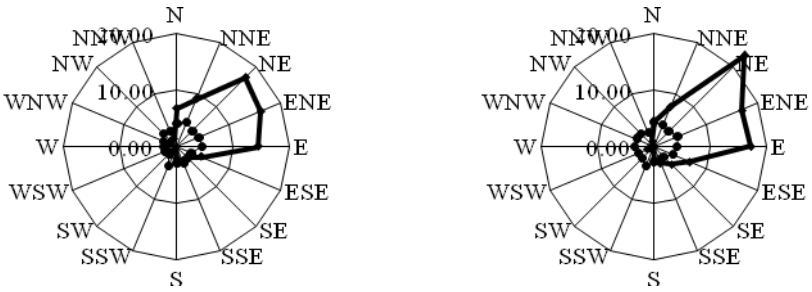
方位	最大风速(m/s)	平均风速(m/s)	频率(%)
N	12.0	1.7	5
NNE	24.0	2.2	7
NE	20.0	3.1	13
ENE	18.0	3.4	10
E	23.0	3.0	14
ESE	17.0	3.1	7
SE	17.0	2.8	7
SSE	16.0	3.2	5
S	14.0	3.3	4
SSW	19.0	2.9	1
SW	20.0	3.2	3
WSW	18.0	3.5	4
W	20.0	3.4	3
WNW	12.0	3.0	1
NW	30.0	2.0	1
NNW	11.0	1.5	1

表 4.1-4 逐月平均风速

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
风速(m/s)	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.2	1.2	1.4	1.9	1.7	1.9



A、春季　　B、夏季



C、秋季　　D、冬季

图 4.1-2 各季节风频率玫瑰图

4.1.1.4 相对湿度

三亚气候湿润，多年平均相对湿度 76%，8 月份湿度最大为 83%，12 月份气候相对干燥，相对湿度为 69%。逐月平均相对湿度见**错误!未找到引用源。**4.1-5。

表 4.1-5 逐月平均相对湿度（%）（2005 年-2015 年）

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相对湿度	71	75	75	76	77	79	80	83	80	76	71	69

4.1.2 海洋水文

4.1.2.1 潮位与基准面

（1）基准面及转换关系

本区域 76 榆林基准面、国家 85 高程基准、理论最低潮面间的转换关系见图 4.1-3。

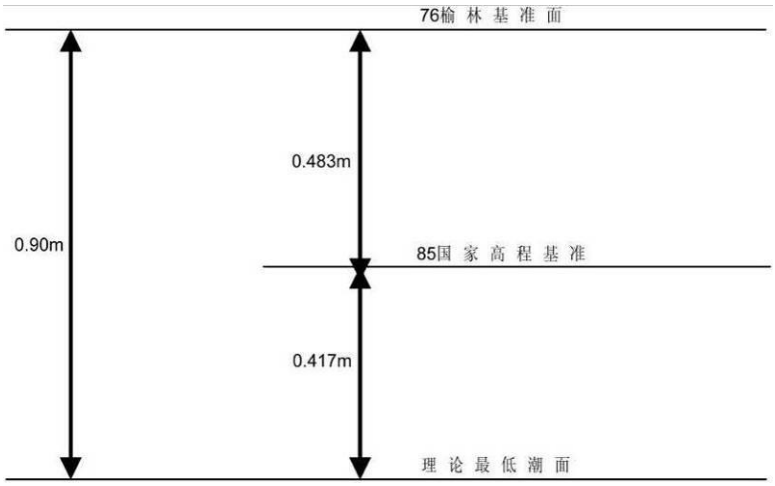


图 4.1-3 基准面及转换关系

注：本报告高程基准全部采用当地理论最低潮面（往海底方向），下同。

（2）历史潮汐统计数据

工程区附近最近的潮汐长期观测站位于三亚湾东侧约 10km 的榆林站，距离本工程项目区约 26km，根据榆林观测站 1954～1992 年 39 年的潮位资料，计算潮汐性质 $\frac{H_{01}+H_{K1}}{HM_2}=2.85$，属不正规日潮性质。一个月中日潮约占 1 天，半日潮天数 5～14 天，其余为混合潮。本海区属弱潮海区，潮差较小。

历史潮位特征值（当地理论最低潮面起算）：

历年最高潮位——2.577m(1971 年)；

历年最低潮位——-0.493m（1968 年）；

平均海平面——0.897m；

平均高潮位——1.287m；

平均低潮位——0.427m；

理论最高潮面——2.380；

平均潮差——0.86m；

最大潮差——2.14m；

涨潮平均历时——11 小时 32 分；

落潮平均历时——7 小时 24 分。

（3）潮汐观测

为了进一步说明工程所在地的潮汐特点，2016 年在红塘湾沿岸设置 1 个潮位观测站，观测一个潮周年，并对观测数据进行统计分析，以下潮汐分析资料来源于《三亚

红塘湾及其邻近海域波浪、潮流、泥沙观测报告-周年潮位观测》（2017 年 06 月 中国科学院南海海洋研究所），水文观测期时间 2016 年 1 月 23 日 15 时至 2017 年 4 月 30 日 23 时，每 10 分钟采集 1 次数据。资料处理采用潮汐调和分析法计算得到各个分潮的调和常数。潮位观测站设于红塘湾沿岸，109°15.293'E、18°17.939'N，见图 4.1-4。

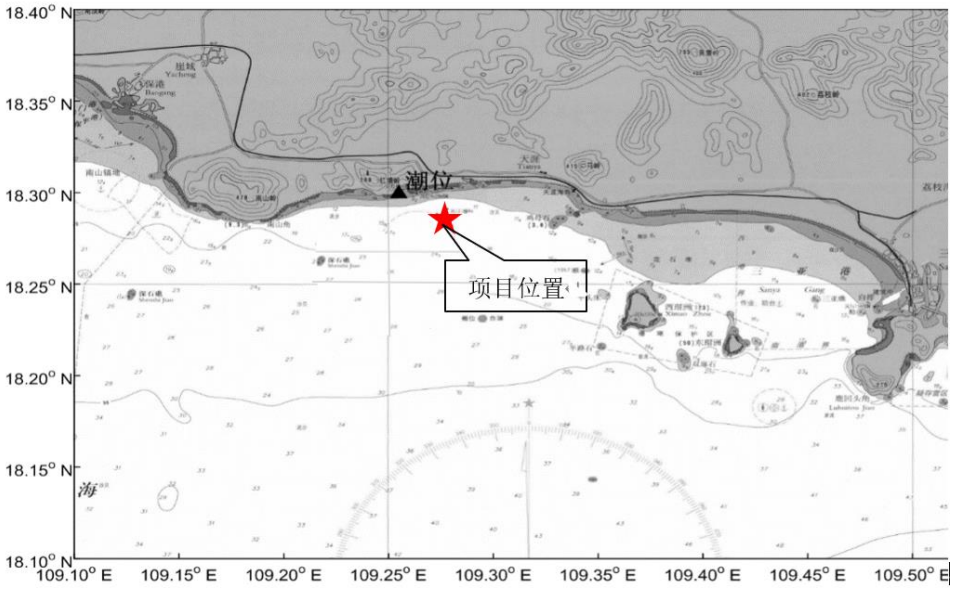


图 4.1-4 潮位观测站位图

通过对观测期间的潮位进行调和分析，潮汐性质特征值 $F=\frac{H_{K1}+H_{O1}}{H_{M2}}$，得出 F 值为 2.27~2.76，属于不规则日潮混合潮，潮汐性质及潮型与榆林站的历史统计数据基本一致。一年中约有 1/2 的天数是半日潮，1/2 天数是日潮。从潮位过程曲线可以看出，本次海区潮汐日不等现象显著，相邻高潮或低潮的不等以及涨落潮历时的不等情况每天都在改变。观测期间典型潮位过程见图 4.1-5。

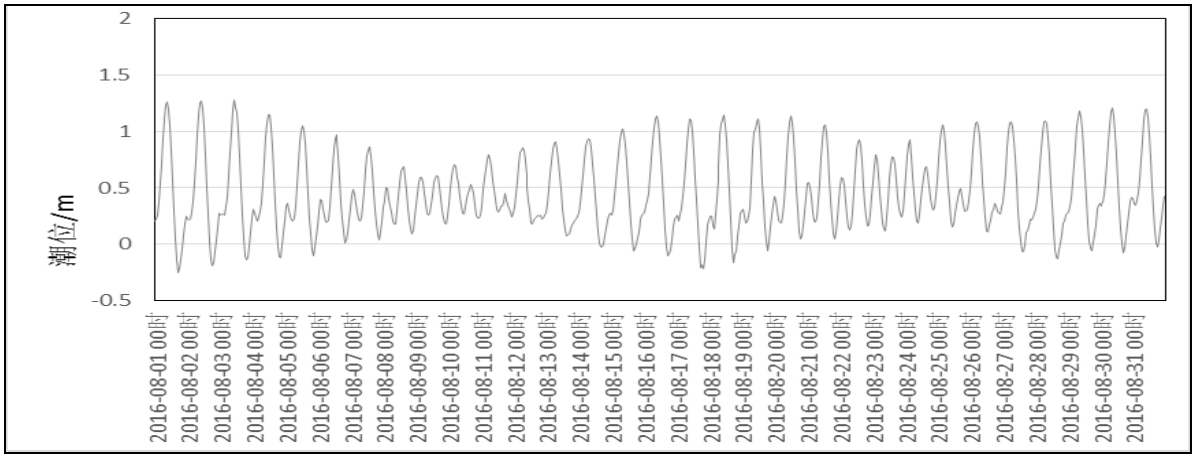


图 4.1-5 红塘湾 2016 年 8 月 1 日至 31 潮位过程（85 基面）

三亚红塘湾附近海域的潮汐属于不规则全日潮混合潮，海区的潮汐日不等现象显著；全年最高潮位 2.26m（当地理论基面）；全年最低潮位 0.01m。全年平均潮位为 0.55m；平均潮差为 0.77m；最大潮差为 1.96m，出现在 2016 年 12 月；最高潮位为 1.84m，出现在 2016 年 12 月 16 日 0 时 10 分；最低潮位为-0.41m，出现在 2016 年 6 月 7 日 20 时 10 分；总体上，调查海区的涨潮历时比落潮历时长。实测潮汐特征值和历史潮汐特征值基本一致。各月特征潮位见表 4.1-6 和图 4.1-6。

表 4.1-6 红塘湾 2016~2017 年各月特征潮位（单位：m，s）

特征值	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
最高潮位	1.68	1.45	1.23	1.47	1.34	1.29	1.26	1.34	1.37	1.72	1.69	1.84	2.26
最低潮位	-0.19	-0.21	-0.20	-0.25	-0.38	-0.41	-0.39	-0.27	-0.04	-0.10	-0.17	-0.102	0.01
平均水位	0.56	0.54	0.52	0.50	0.50	0.35	0.35	0.45	0.50	0.71	0.73	0.93	0.97
平均高潮位	1.03	0.94	0.93	0.90	0.94	0.75	0.71	0.90	0.93	1.11	1.24	1.27	1.39
平均低潮位	0.16	0.14	0.15	0.10	0.08	-0.03	-0.02	0.05	0.17	0.32	0.29	0.22	0.55
平均潮差	0.93	0.81	0.78	0.79	0.86	0.79	0.73	0.84	0.76	0.78	0.94	1.04	0.84
最大潮差	1.81	1.58	1.29	1.65	1.72	1.70	1.65	1.56	1.27	1.76	1.77	1.96	1.64
平均涨潮历时	7.7	6.58	6.73	6.82	7.88	6.94	5.41	5.73	5.45	6.01	7.47	8.68	6.78
平均落潮历时	5.13	5.00	4.85	4.97	5.03	5.10	5.28	7.00	5.75	5.38	6.67	5.30	5.46

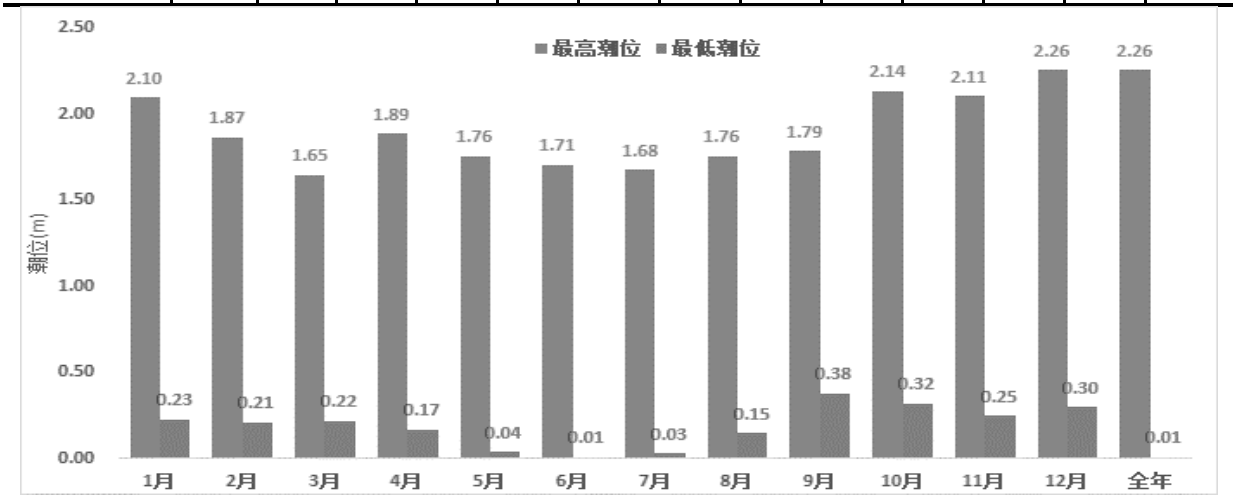


图 4.1-6 红塘湾 2016~2017 年各月特征潮位对比

4.1.2.2 波浪

2016 年在红塘湾沿岸设置 1 个波浪位观测站，观测一周年，并对观测数据进行统计分析，以下波浪分析资料引自《三亚红塘湾及其邻近海域波浪、潮流、泥沙观测报告-周年波浪观测》（2017 年 06 月中国科学院南海海洋研究所）。

（1）测点位置与时间

波浪观测点选在红塘湾海区，位置为 18°15.961′N，109°15.960′E，该处海图水深约 15m，流速较小。测点的位置分布见图 4.1-7。

观测时间为一个潮周年，具体时间为：2016 年 4 月 30 日 0:00 正式开始，于 2017 年 4 月 29 日 23:00 结束。

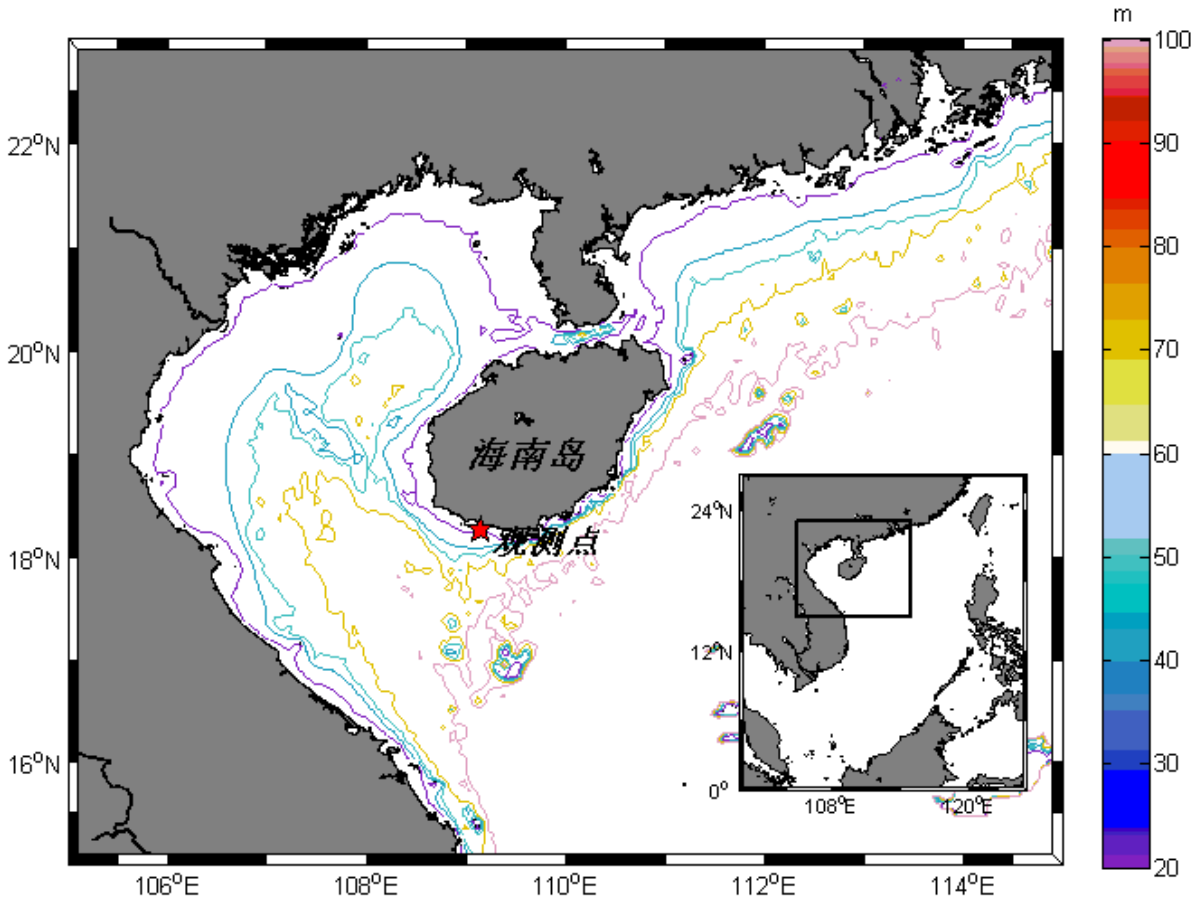
（2）波浪特征

三亚红塘湾海区处在南海海域，工程海区偏 SSE 向浪出现最多，与观测点的位置和外海波浪传入相关。具体波浪特征分析如下：

1）波高特征

在观测年中年最大波高 Hm=4.57m、最大周期 Tm=17s；年最大十分之一大波波高 H1/10=3.46m、最大周期 T1/10=15s；年最大有效波高 Hs=2.84m、对应的周期 Ts=13.6s。

年最大平均波高 Hz=1.76m、对应的周期 Tz=8.89s；年平均最大波高 Hm=0.85m、对应的周期 Tm=5.61s；年平均十分之一大波波高 H1/10=0.64m、对应的周期 T1/10=5.49s；年平均有效波高 Hs=0.51m、对应的周期 Ts=5.17s；年平均波高 Hz=0.32m、对应的周期 Tz=3.72s。



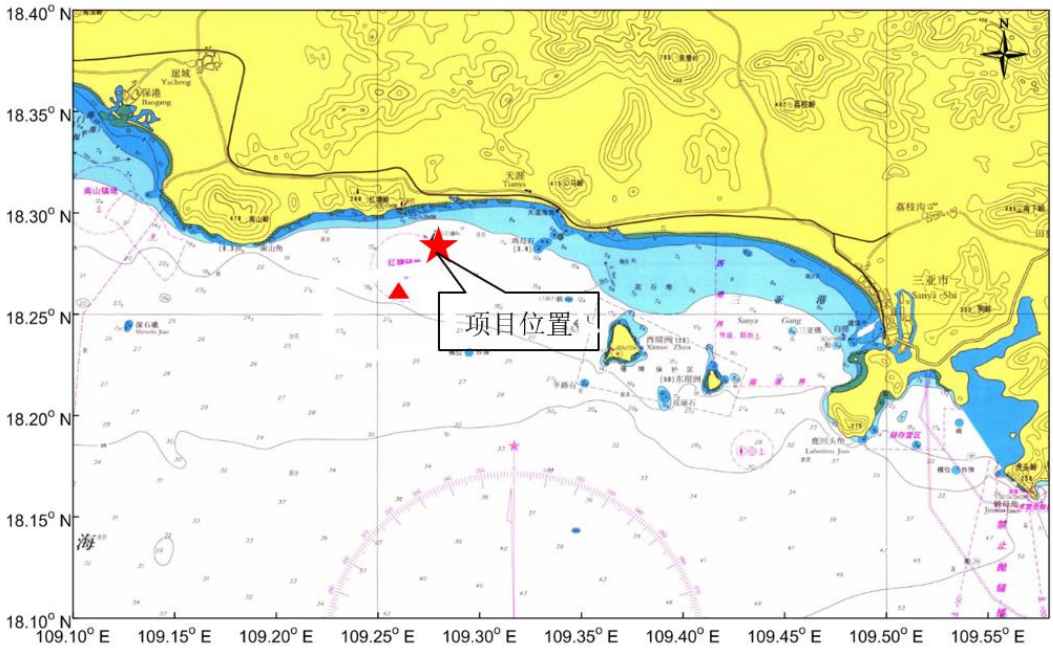


图 4.1-7 波浪观测点位示意图

在观测年中年有效波高 Hs≥1.0m 波浪的出现率为 10.93%；年有效波周期 Ts≥5.0s 波浪的出现率为 49.27%；年最大 1/10 部分大波平均波高 H1/10≥1.0m 波浪的出现率为 9.32%。

在观测年中，H4%≥0.6m 的浪，全年共出现了 3504 小时、分布在 234 天中，各月份均有出现；H4%≥0.8m 的浪，全年共出现了 2016 小时，分布在 151 天中，各月份均有出现；H4%≥1.0m 的浪，全年共出现了 956 小时，分布在 82 天中，除 1 月、2 月和 3 月份，其余各月均有出现；H4%≥1.2m 的浪，全年共出现了 513 小时，分布在 46 天中，除 12 月、1 月、2 月和 3 月份，其余各月份均有出现；H4%≥1.5m 的浪，全年共出现了 255 小时，分布在 25 天中，6 月~10 月均有出现；H4%≥2.0m 出现了 80 小时，分布在 10 天中，出现在 7 月~10 月。

2）波向特征

在观测年中全年最大浪的浪向为 SW；全年次最大浪的浪向为 WSW；全年常浪向为 SSE，出现率为 43.01%；全年次常浪向为 S，出现率为 29.21%；除 8 月和 10 月外，各个月的常浪向均为 SSE 向。全年 S-SE 方位间浪的出现率为 86.15%。在观测年中除 10 月份外，各月份的波浪基本上都是风浪和以风浪为主的混合浪。全年和各季的有效波浪玫瑰图见图 4.1-8。

3）台风浪

观测期间，受到影响较大台风仅有 1621 号台风莎莉嘉。台风莎莉嘉是 2016 年第

21 号强热带风暴。2016 年 10 月 12 日，在菲律宾以东洋面上，热带扰动 93W 加强生成为 2016 年第 21 号台风莎莉嘉。“莎莉嘉”（强台风级）的中心已于 2016 年 10 月 18 日 09 点 50 分在海南省万宁市和乐镇登陆，登陆时中心附近最大风力有 14 级（45 米/秒），中心最低气压 950 百帕。台风期间，观测点最大有效波高为 2.67m，最大有效周期为 13.6s。

（3）小结

在观测年中年有效波高 Hs≥1.0m 波浪的出现率为 10.93%；年有效波周期 Ts≥5.0s 波浪的出现率为 49.27%；年最大 1/10 部分大波平均波高 H1/10≥1.0m 波浪的出现率为 9.32%，全年最大浪的浪向为 SW；全年次最大浪的浪向为 WSW；全年常浪向为 SSE，出现率为 43.01%；全年次常浪向为 S，出现率为 29.21%，观测期间，影响最大的台风期间，观测点最大有效波高为 2.67m，最大有效周期为 13.6s。

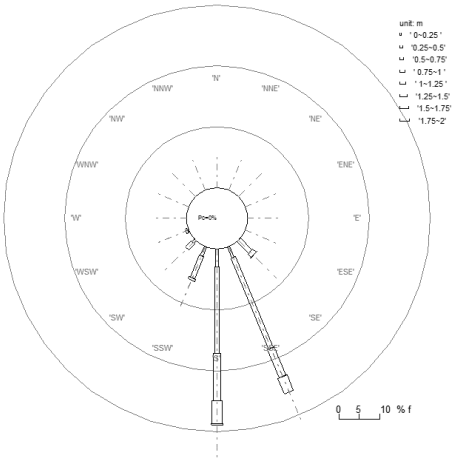


图 4.1-8a Hs 波浪玫瑰图(春季)

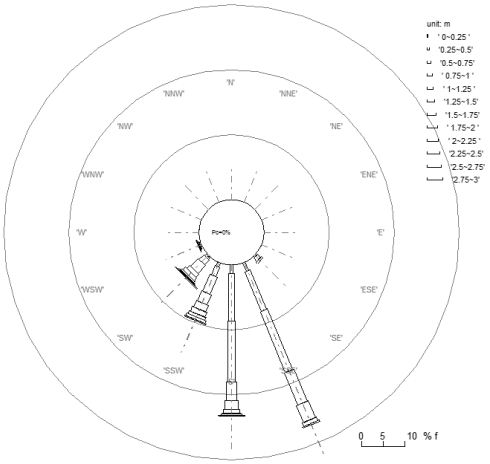


图 4.1-8b Hs 波浪玫瑰图(夏季)

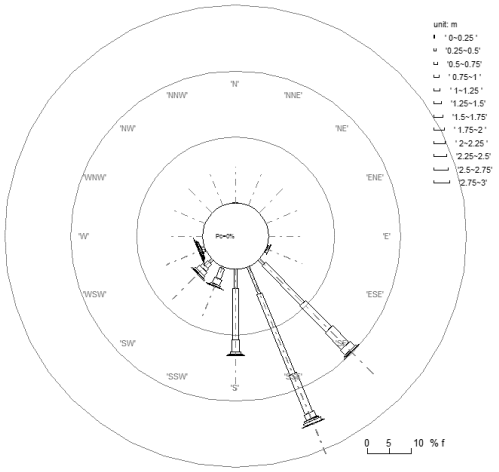


图 4.1-8c Hs 波浪玫瑰图(秋季)

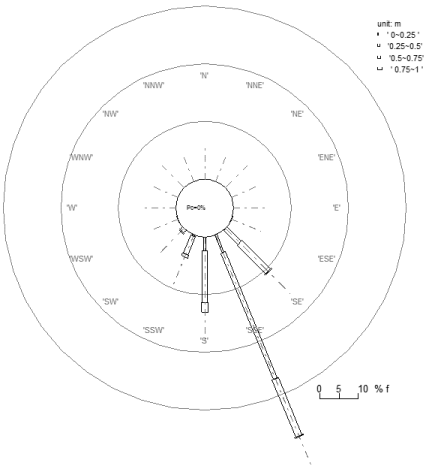


图 4.1-8d Hs 波浪玫瑰图(冬季)

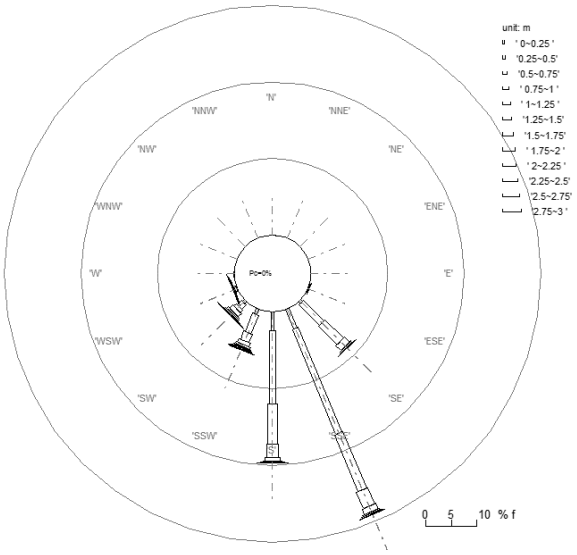


图 4.1-8e Hs 波浪玫瑰图（2016-2017 年全年）

4.1.3 工程地质

本项目地质勘察工作正在进行中，现阶段参考邻近区域《三亚凤凰岛二期项目拆除工程莲花岛及红塘湾消纳场勘测项目(红塘湾消纳场部分)岩土工程勘察报告》介绍本项目地质情况。

4.1.3.1 工程地质条件

（1）地形地貌及周边环境

本工程位于三亚市天涯区红塘村东南侧红塘港附近海域海岸边。工程区海岸线呈东西走向，其岸坡为海岸冲积平原，区域地貌属滨海地貌单元，现状场地起伏较大，地面标高约为 0.5~13.5m。

（2）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次地震，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）地震概况

三亚区域第三纪以来的新构造运动继承了早期构造运动的特点，依然受东西向、北东向及北西向构造的控制，但也有其独特性：1）第三纪以来本区地壳以缓慢上升为主；2）新构造运动继承了早期构造的控制作用，并继续活动，如地震、热泉等均分布在东西向构造带上，但强度较弱；3）本区现今构造活动性较弱。

本区地震活动较弱，除崖县田独历史上有 4 级地震（1752）、崖县高峰近期有 4.1 级地震（1982）外，基本没有大的地震活动。

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），拟建工程区地震动峰值加速度为 0.05g，对应地震基本烈度为 6 度，地震动反应谱特征周期为 0.35s。

综上，项目区现今构造活动性较弱，没有大的地震活动，区域稳定性较好，对本工程影响较小。

（4）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 8 个层组。自上而下依次为：

①-1 素填土（Q^{ml}）和①-2 杂填土、②淤泥质粉质粘土（Q_4^{mc}）、③粗砂（Q_4^{mc}）、

④粉质粘土（Q_4^{mc}）、⑤砾砂（Q_4^{m}）、⑥粉砂（Q_4^{m}）和⑦粉质粘土（Q_4^{m}）等。

（5）特殊性岩土

根据钻探资料，本工程区特殊性岩土主要为①-1 素填土（Q_4^{ml}）、①-2 杂填土（Q_4^{ml}）和②淤泥质粉质粘土（Q_4^{mc}）。①-1 素填土在部分场地有分布，该地层由人工堆积而成，回填厚度不一，多呈松散~稍密状，水位以下饱和，细粒含量少，渗透性较好，现状土质比较均匀，周边岸坡未发现有失稳现象。①-2 杂填土局部分布，多为松散状态，均匀性及自稳性差，含杂少量建筑垃圾块、碎石组成。杂填土中存在的建筑垃圾、角砾和粗颗粒成分，透水性较好，层厚较薄，对本项目工程影响不大。②淤泥

质粘土层只揭露于 ZK14 号孔处，属软土，此类土工程性能较差，具抗剪强度低、压缩性高、高灵敏度和流变性等特征，分布范围较小，周边场地未发现有地面开裂及沉陷等现象。

（6）不良地质作用

工程区为滨海沉积地貌单元。根据区域地质资料和现场踏勘，未发现有活动性断裂带构造痕迹，周边亦未发现有崩塌、滑坡、泥石流等不良地质作用，揭露的地层无软土层分布，无软土震陷影响。

4.1.3.2 岩土工程评价

（1）岩土层性质评价

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：

①-1 素填土（Q_4^{ml}）：近十年回填，以中细砂为主，呈松散～稍密状，土质分布较为均匀，中等压缩性，粘聚力小，内摩擦角较大，对本工程项目堆土影响较小。

①-2 杂填土（Q_4^{ml}）：近十年回填，岩性以粗砂混粘性土为主，呈松散状，层厚较薄，土质不均匀，中等压缩性，粘聚力小，内摩擦角较大，对本工程项目堆土影响较小。

②淤泥质粉质粘土（Q_4^{mc}）：为海陆交潜沉积类土，软塑状，该层只揭露于 ZK14 号孔处，高压缩性，fak=70kPa，Es1-2=1.67MPa，具抗剪强度低、压缩性高、高灵敏度和流变性等特征。但因分布范围较小，且埋藏较深，故对本工程项目堆土影响较小。

③粗砂（$Q_4^{mc)}$：为海陆交潜沉积类土，稍密～中密状，饱和，石英质砂局部含较多中砂和少量粘粒，土质均匀度较好，低压缩性，fak=170kPa，ES1-2=11.5MPa，可用作为天然地基持力层。

④粉质粘土（Q_4^{mc}）：可塑状，韧性中等，干强度较高，具有一定压缩性，fak=230kPa，ES1-2=7.50MPa，可作为桩基持力层。

⑤砾砂（Q_4^{m}）：为海相沉积类土，中密状，饱和，主要成分以石英、长石为主，含少量黏粒，局部含少量砾粒，土质均匀度较好，低压缩性，fak=210kPa，ES1-2=12.6MPa，可作为桩基持力层。

⑥粉砂（Q_4^{m}）：海相沉积类土，稍密～中密状，饱和，石英质砂粒，局部含少量粗砂及砾砂，土质均匀度较好，低压缩性，fak=150kPa，ES1-2=10.3MPa，可作为桩基

持力层。

⑦粉质粘土（Q_4^m）：海相沉积类土类，可塑状，局部呈硬塑，切面光滑程度一般，含一定量砂颗粒，干强度较高，具有一定压缩性，fak=240kPa，ES1-2=7.66MPa，可作为桩基持力层。

（2）地基均匀性评价

根据钻探资料，场地表层土主要为①-1 素填土、①-2 杂填土和③粗砂等，①-1 素填土和①-2 杂填土层，工程性能较差，土质不均匀，工程性能欠稳定，场地地形起伏较大，层厚较不均匀，故可判定为不均匀地基。

（3）环境水的腐蚀性评价

工程区环境水对混凝土结构具弱腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具强腐蚀性，应做好相应的防腐蚀措施。

（4）特殊性岩土评价

根据钻探资料，本工程区特殊性岩土主要为①-1 素填土（Q_4^{ml}）、①-2 杂填土（Q_4^{ml}）和②淤泥质粉质粘土（Q_4^{mc}）。①-1 素填土在部分场地有分布，该地层由人工堆积而成，回填厚度不一，多呈松散~稍密状，水位以下饱和，细粒含量少，渗透性较好，现状土质比较均匀，周边岸坡未发现有失稳现象。①-2 杂填土局部分布，多为松散状态，均匀性及自稳性差，含杂少量建筑垃圾块、碎石组成。杂填土中存在的建筑垃圾、角砾和粗颗粒成分，透水性较好，层厚较薄，对本项目工程影响不大。②淤泥质粘土层只揭露于 ZK14 号孔处，属软土，此类土工程性能较差，具抗剪强度低、压缩性高、高灵敏度和流变性等特征，分布范围较小，周边场地未发现有地面开裂及沉陷等现象。

（5）不良地质作用评价

工程区为滨海地貌单元。根据区域地质资料和现场踏勘，未发现有活动性断裂带构造痕迹，工程区岸坡坍塌现象，周边亦未发现有崩塌、滑坡、泥石流以及地面沉陷等不良地质现象。

（6）稳定性评价

1）区域稳定性评价

本场地地貌属滨海地貌单元，在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。

2）场地稳定性评价

本场地属中软土类型场地类别，根据《水运工程抗震设计规范》（JTS146-2012）和《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）的有关规定，综合判别本场地属对建筑抗震一般地段。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。

场地无滑坡、崩塌、泥石流、地陷、地裂等不良地质作用。场地及周边无断裂通过，地基土为中软场地土。

综合判定场地稳定性评价为稳定场地。

3）地基稳定性评价

现状场地地基基本稳定，未发现有沉陷和堤防变形失稳现象。

① -1 素填土和① -2 杂填土层，为人工回填土，欠固结状态，压缩性较大，对地基稳定性造成一定影响。

②淤泥质粉质粘土层，为软弱土层，具有高压缩性和流变性，为地基不利土层，因只揭露于 ZK14 号钻孔处，分布范围较小，该层埋藏较深，故对场地影响有限，在该处堆载土层时应做好监测工作，分层堆载。

③粗砂、⑤砾砂和⑥粉砂层，其透水性较好，黏粒含量较低，在海水涨落潮和堆载作用下，会产生超静孔隙水压力和渗透压力，对地基稳定性造成一定影响。

④粉质粘土和⑦粉质粘土层具有一定压缩性，在附加荷载作用下可能会产生一定沉降。

（5）场地适宜性评价

场地稳定性为稳定场地，抗震地段类型为一般地段，地下水对工程建设影响较小，地表排水条件尚可，综合上述要素，适宜性评价划分为较适宜。

4.1.4 自然灾害

4.1.4.1 雷暴

年平均雷暴日数为 63 天，占全年天数的 17.26%。雷暴天数最多的年份可达 100 天，占总天数的 27.4%；最少的年份雷暴日数也有 51 天，占总天数的 13.97%。平均雷暴天数最多的 8 月和 9 月份，最多的年份可达 20 天，全月 2/3 的时间受雷暴影响。11 月到翌年的 2 月基本没有雷暴。各月平均雷暴日数见表 4.1-7。

表 4.1-7 各月平均雷暴日数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
日数(天)	0	0	1	3	9	9	10	13	13	5	0	0	63

4.1.4.2 热带气旋

影响本区的极端天气主要为热带气旋，1949 年～2014 年共 66 年间，中心进入 18.1°N～18.8°N、110°E～108°E 的矩形区域内的热带气旋为 70 个，平均每年约有 1.1 个。登陆三亚的台风 11 个、强热带风暴或热带风暴 7 个，热带低压 3 个。按月份统计，热带气旋 5 月和 10 月登陆次数最多，7 月和 8 月为其次，1 月～4 月和 12 月没有热带气旋登陆（表 4.1-8）。根据各热带气旋对三亚市的影响严重程度，摘录热带气旋登陆时三亚站实测气压<990hpa 的热带气旋列于表 4.1-9、图 4.1-9。

表 4.1-8 登陆三亚的热带气旋按月统计频数表

月份	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	合计
个数/个	4	2	3	3	3	4	2	21
比例%	19.05	9.5	14.3	14.3	14.3	19.05	9.5	100

表 4.1-9 登陆(或严重影响)三亚的部分热带气旋简况

序号	编号	起止时间	登陆强度	登 陆 时			
				登 陆 点	时间	中心气压/Hpa	中心风力/级
1	7113	07.09～07.18	STS	三亚陵水	07．17．16～17h	983	9～10
2	7126	10.01～10.09	STS	三亚	10．9．05～17h	980	11
3	7318	11.11～11.20	T	三亚	10．18．19～20h	973	12
4	7809	08.09～08.13	TS	陵水三亚	08．11．10h	983	8
5	8105	06.27～07.05	T	三亚	07．04．02～03h	965	12
6	8521	10.11～10.22	T	三亚	10．21．08h	970	12
7	8905	06.04～06.12	T	陵水三亚	06．10．11～12h	960	12
8	8926	09.29～10.03	T	三亚	10．02．23～24h	970	12
9	9016	08.24～08.30	T	三亚南部经过	08．29．02h	965	12
10	9204	06.24～07.01	T	三亚	06．28．05h	965	12
11	9508	08.24～08.30	T	三亚	08．28．10h	980	10
12	9612	08.18～08.23	T	三亚	08．22．06h	970	12
13	0016	09.02～09.10	T	陵水三亚	09．09．08h	975	12
14	0518	09.20～09.28	T	万宁陵水	09．26．03h	970	12

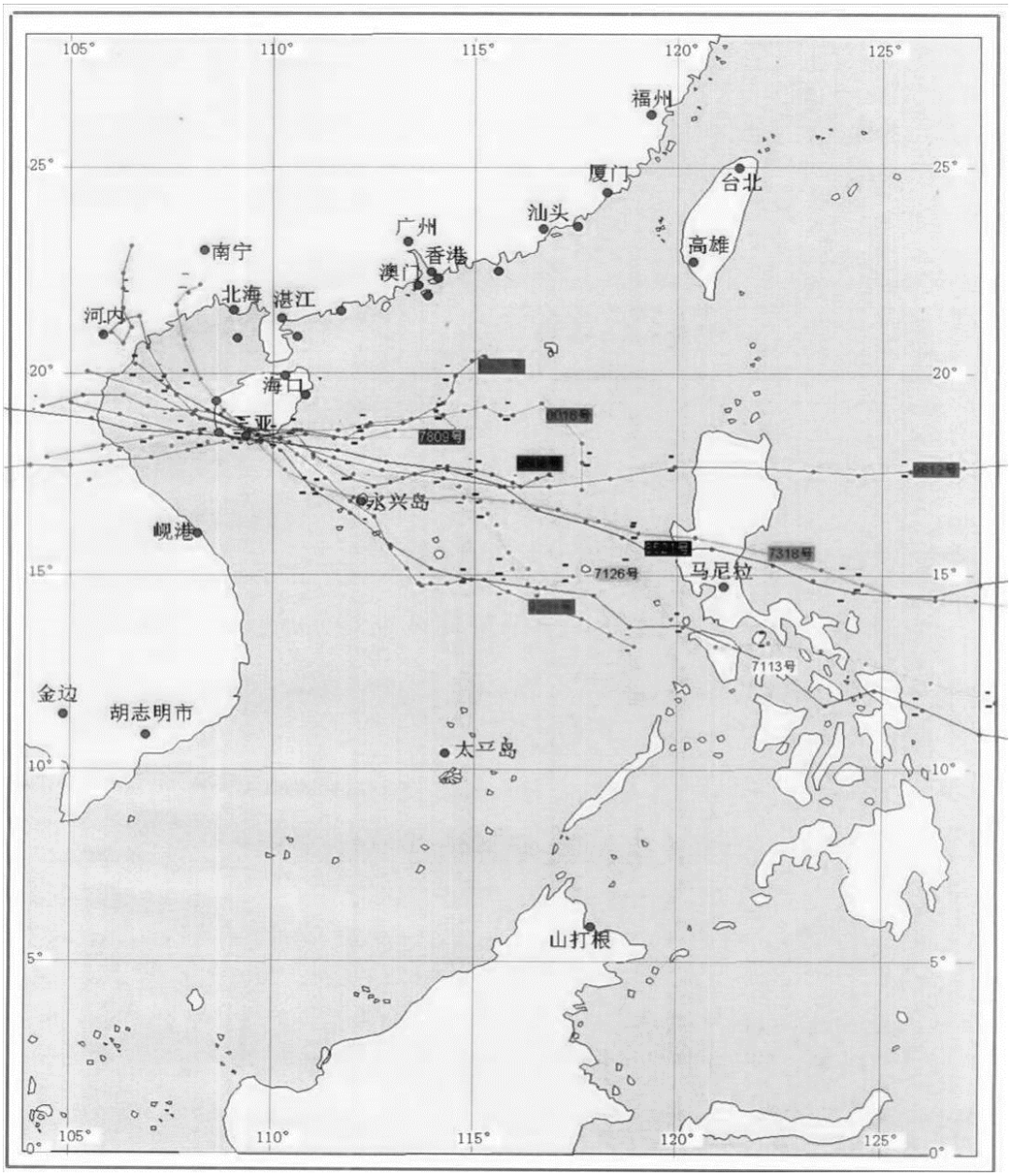


图 4.1-9 1949 年～2006 年登陆(或严重影响)三亚的部分热带气旋路径图

近几年来，登陆三亚的热带气旋等极端天气相对较少，以 2013 年海燕台风（编号 201330）和 2016 年莎莉嘉（编号 20161621）这两次台风对三亚影响最大，海燕台风中心离项目最近距离约为 104km，莎莉嘉台风中心离项目最近距离约为 140km，影响三亚时均加强为强台风，最大风力达 14 级。

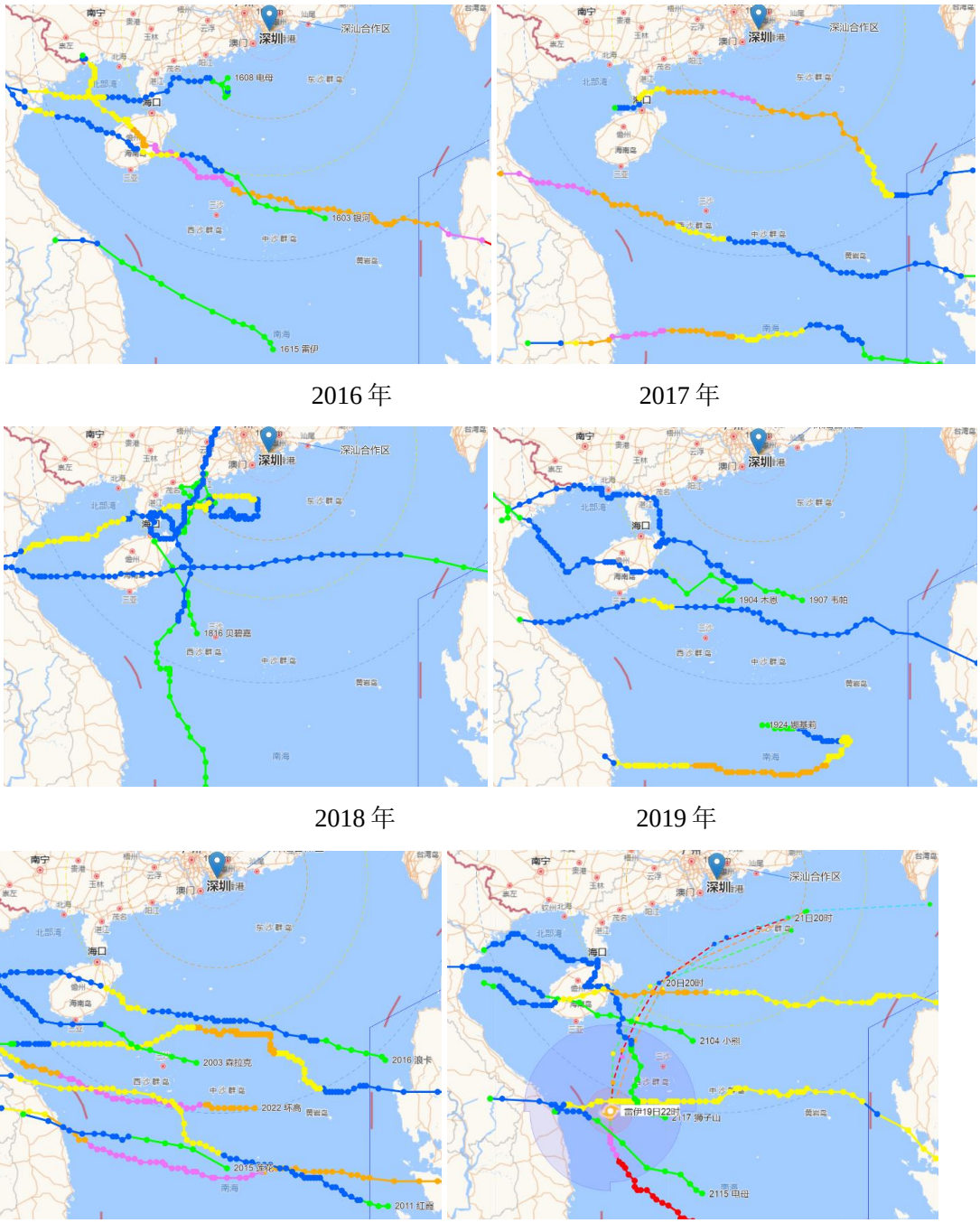


图 4.1-10 2016 年至 2021 年影响三亚海域的主要台风路径

4.2 海洋资源概况

4.2.1 岸线资源

在本工程关注的南山角至天涯海角附近约 20km 岸线上，主要分为基岩岸线和砂质岸线两大类，及马岭、红塘岭、塔岭、南山岭等山丘前沿，基岩岸线之间为砂质岸线。但大多数砂质海岸的海滩并不完整，前沿多分布有海滩岩，在靠近基岩岬角附近

海滩内多有岩礁块石分布。南山角至天涯海角之间约 20km 的岸线分为四种类型，即基岩岸线、沙滩岸线、海滩岩沙滩岸线和岩块沙滩岸线。

（1）基岩岸线

基岩海岸主要分布在南山角岸段、鸭子塘至三美湾、塔岭岸段、天涯海角东部等，均为山丘前沿的临海部分。基岩岸线全长约 8.2km。

（2）沙滩岸线

基岩岸线之间分布的南山风景区、三美湾以及塔岭至天涯海角之间的岸线全部属于砂质海岸，总长约 11.8km，占岸段总长的 58%左右。但因多数砂质海岸的沙滩并不完整，间或有岩礁块石和海滩岩分布。目前完整的沙滩岸线长度仅约 3.1km，约占岸线总长的 16%。

（3）海滩岩沙滩岸线

海滩岩出露是沿岸沙丘冲刷后退的结果和地貌表现，对后方沙滩和沙丘形成一定保护。本岸段的海滩岩主要分布在沿岸沙丘的前沿，出露较为广泛。海滩岩前沿多有陡坎分布，海滩岩出露部分以上由沙滩及沙丘覆盖。在红塘湾 20km 岸线上，有海滩岩分布的岸线 7.5km，约占岸线总长的 38%。

（4）岩块礁石沙滩岸线

此处岩块礁石特指砂质海岸上间或分布岩礁、岩块等零散基岩的岸线。主要分布在天涯海角景区和南山风景区西部，是海岸景观的重要组成部分，全长约 1.2km。

4.2.2 港口资源

三亚港是我国最南方的商港，拥有生产用码头泊位 7 个，其中 5000 吨级泊位 2 个、1500 吨级泊位 1 个、500 吨级泊位 2 个、客运和件杂货运泊位各 1 个，可通航海南岛沿海各地，与广州、湛江、北海、江门、香港等港口开通货运航线。三亚凤凰岛国际客运港已建成 8 万吨级豪华客运码头 1 个并投入使用，亚洲最大最豪华的旗舰邮轮、排水量 7.6 吨“处女星”号邮轮从 2008 年 4 月起执航“香港—三亚—越南—香港”定期航线，邮轮在三亚凤凰岛国际客运港停靠。

按照三亚市港口建设规划，随着南山港和崖州中心渔港的建成使用，三亚港的货运和渔港功能将转移，整个三亚港区将改建为旅游客运中心港口区，逐步转化为旅游港口功能。

（1）崖州渔港

总用海面积 176.2340 hm^2，包括各类码头 13 个，2758m 长的防浪护岸，整个渔港

建成后年鱼货卸港量 8 万吨，可满足 800 艘大、中、小型渔船停泊、避风和补给。

（2）南山港

南山港区一期工程位于南山岭西侧崖州湾东部海域，该区水深条件好，-10m 等深线临近海岸，北部纵深有宽阔的腹地，靠近崖城，同时有南山岭岬角的屏护，泥沙来源少，具备建设大型深水良港的条件。根据三亚市的港口发展总体布局，确定崖州湾的南山港规划为国际区域枢纽港，为三亚市发展仓储业、中转贸易和本地临海加工业服务。

（3）肖旗港

肖旗港又名烧旗港由烧旗河（因明末王烷在此烧旗得名）和冲会溪注入而形成的小河口港，涨潮时当地渔民和西瑁洲岛渔民的小渔船可乘潮进出停靠、避风。2008 年三亚西岛旅游开发有限公司在肖旗港口门外东西两侧投资修建了防波堤，同时在港内北侧修建了长约 300m 的交通码头，作为接送西瑁洲岛居民及观光游客上下岛的岛渡码头。防波堤修建后，港内泊稳条件较好，也有利于当地渔民的停靠、避风。经现场勘查发现，目前，除了作为西瑁洲岛岛渡交通码头外，港内东北侧仍有少量当地小渔船停靠。

4.2.3 渔业资源

根据项目周边近期渔业资源调查显示，项目所在海域中多鳞鳢和鰤为优质种类，经济种有小沙丁鱼、小公鱼、鳀科、鲹科、绯鲤、带鱼和舌鳎科等。鱼卵以鳀科鱼类占优，仔鱼数量以小沙丁鱼最多。

项目附近海域的渔业水域主要有南海北部幼鱼繁育场保护区、南海底层、近底层鱼类产卵场等。

4.2.4 旅游资源

三亚市地处热带，北靠高山，南临大海，自然景色优美，名胜古迹众多，旅游资源极为丰富，是我国著名的热带国际化滨海旅游城市。三亚境内汇聚阳光、海水、沙滩、气候、森林、温泉、动物、岩洞、田园、风情十大旅游资源，山、城、河、海浑然一体，拥有南山、大小洞天两个 5A 级景区，亚龙湾、天涯海角等五个 4A 级景区和鹿回头、西瑁洲、蜈支洲岛、大东海等著名景点，是中国热带滨海旅游资源最丰富、最集中的地区，被誉为最适宜人类居住的地区之一，也是中国著名的旅游度假胜地。

（1）天涯海角景区

天涯海角是以观赏自然景观为主的游览胜地。苍山、碧海、银沙、巨磊、礁石，浑然一体；椰林、波涛、渔帆、鸥燕、云虹，呈现出一派南国特有的画卷。景区的“南天一柱”风涛奇观，使之成为富有神奇色彩的著名游览胜地。这里风貌独特，石林耸立，惊涛拍岸，景物壮观，被称为“海南一绝”。海边巨大石磊，独占海湾一角长60m，高 10 余 m，圆中见方，方中见圆。远如石，近似山，具有独特的景观。

（2）西岛海洋文化旅游区

西岛海洋文化旅游区位于西瑁洲上，与东瑁洲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。西岛海洋文化旅游区以其秀美的山体，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。西岛海洋文化旅游度假区由西岛海上游乐世界和牛王岭游览区两大版块组成。

（3）南山佛教风景旅游区

南山佛教风景旅游区位于三亚市南山，是中国最南端的佛教胜地和三亚热带海滨风景名胜区，是一个以秀丽的热带海滨风光、历史古迹和民俗风情为特色，以佛教文化交流、旅游观光和度假休闲为主要内容的文化旅游区。

（4）大小洞天风景旅游区

三亚大小洞天位于三亚市以西 40km 处的南山山麓，始创于南宋(公元 1187 年)，是海南省历史最悠久的风景名胜，是中国最南端的道家文化旅游胜地，自古因其奇特秀丽的海景、山景、石景与洞景被誉为“琼崖八百年第一山水名胜”，现已发展成为国家首批 5A 级旅游景区。三亚大小洞天依托得天独厚的生态资源、天工造化的山海形胜和深厚的历史文化底蕴，目前已形成了六个游览区域。

（5）滨海浴场

本项目位于红塘湾，毗邻的三亚湾具有得天独厚的自然条件和区位条件，湾内海域宽阔，海滨、沙滩、椰林构成蓝、白、绿相配合的热带海湾景观，是开展帆船、快艇等海上运动项目和滨海旅游项目的最佳场所。经过多年开发，目前三亚湾度假旅游区基础设施完善。三亚湾沿岸建有多家旅游度假宾馆酒店，部分沙滩已开辟小型海水浴场。鹿回头湾和西瑁洲周边海域以水下旅游为主，同时开展水上运动娱乐、沙滩休闲娱乐和渔业休闲旅游。

4.3 环境敏感目标概况

本项目周边海域环境敏感区主要包括三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、沿

岸珊瑚礁、天涯海角景区、南山-大小洞天景区、领海基点、砂质岸线、生态红线、养殖区、重要渔业水域等，周边陆域环境敏感区主要包括天涯海角景区、南山-大小洞天景区、马岭社区、布甫村、红塘村、南山村等，具体见表 1.7-1 和图 1.7-1。

4.3.1 海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区

海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区是 1990 年经国务院批准设立的国家级海洋类型自然保护区，位于海南省三亚市南部近岸，地理位置在东经 109°20′50″～09°40′30″E，北纬 18°10′30″～18°15′30″N 范围内。1992 年 2 月 26 日，国家海洋局批准设立“海南三亚国家级珊瑚礁自然保护区管理处”，负责本保护区的保护、建设与管理工作。

为了保护三亚区域的珊瑚礁及其生态环境，1992 年 7 月 5 日，三亚市人民政府根据国务院的批复颁布了《关于保护三亚国家珊瑚礁自然保护区的布告》(市府[1992]95 号)，给出保护区三个片区的具体坐标，保护区海域面积共 55.68km^2，陆域界为沿岛四周沿岸最高潮位线向陆 30m 宽岸带。1993 年 6 月 4 日，国家海洋局《关于大洲岛海洋生态自然保护区和三亚珊瑚礁自然保护区建设方案的批复》(国海管发[1993]224 号)批准的保护区总面积 85km^2，由三个片区组成，即东西瑁洲片区、鹿回头半岛—榆林角片区、亚龙湾片区，面积分别为 31.08km^2、30.15km^2 和 23.76km^2。1996 年 7 月 5 日，海南省海洋厅《关于下达三亚国家珊瑚礁自然保护区亚龙湾片分区划分方案的通知》(琼海资字[1996]62 号)，保护区外部界限按照三亚市人民政府批准的范围确定，划分核心区、缓冲区和实验区，并给出该片区外围以及各功能区的具体坐标，见图 4.3-1 和表 4.3-1 和表 4.3-2。

海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区是以保护珊瑚礁及其生态环境为主，集资源与生态保护、科普宣传教育、科学研究、对外交流与合作、生态旅游、自然资源永续利用等多功能于一体的综合型国家级自然保护区。保护对象是珊瑚礁及其生境，即各种浅海造礁石珊瑚、软珊瑚及其它珊瑚、珊瑚礁和其它海洋生物构成的生态系统及海洋生态环境，是海洋生态类型自然保护区。

海南三亚珊瑚礁国家级自然保护区的主导用海类型为海洋保护区用海，试验区可适当开展生态旅游，缓冲区可适当开展科研教学，但应严格控制规模；严格按照自然保护区管理法规管理，缓冲区只可进行经批准的科学研究、教学实习活动，实验区只能进行经批准的科学实验、教学实习、参观考察、旅游以及驯化、繁殖珍稀、濒危野生动植物等活动；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见。

本工程距三亚珊瑚礁国家级自然保护区是最近距离约为 7.5 公里。

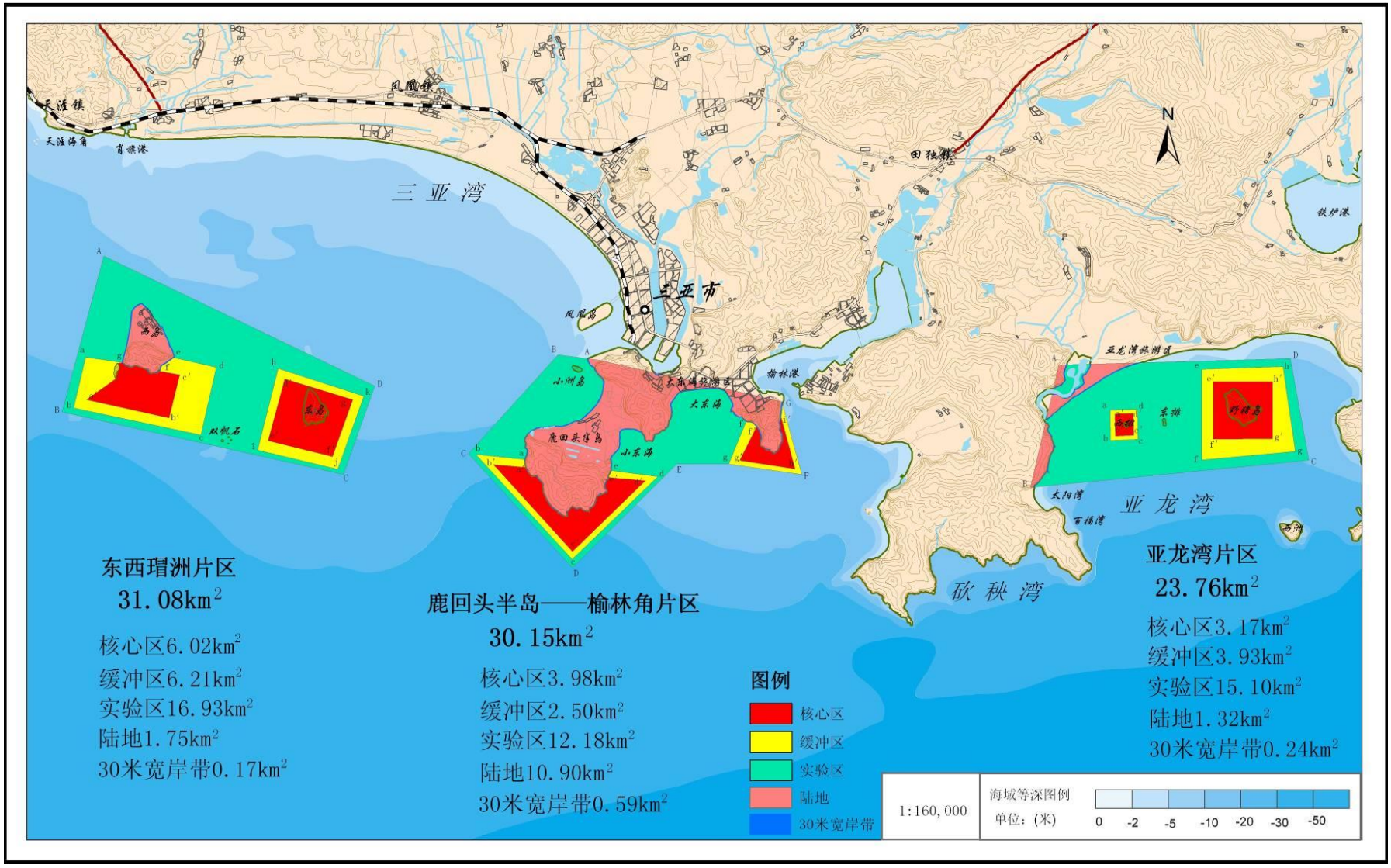


图 4.3-1 海洋环境保护目标分布图（三亚珊瑚礁保护区分区图）

表 4.3-1 三亚珊瑚礁国家级自然保护区三区范围及坐标

保护区名称片区	界点编号	坐标		面积 (km^2)
		纬度	经度	
东西瑁洲片区	A	18°15′29.11″	109°21′31.60″	31．08
	B	18°12′59.11″	109°20′51.60″	
	C	18°11′59.11″	109°25′21.60″	
	D	18°13′24.11″	109°25′51.60″	
鹿回头半岛-榆林角片区	E	18°13′49.11″	109°29′26.60″	30.15
	F	18°13′54.11″	109°28′47.60″	
	G	18°12′19.11″	109°27′21.60″	
	H	18°10′29.11″	109°29′01.61″	
	I	18°12′09.11″	109°30′41.61″	
	J	18°12′09.11″	109°31′31.61″	
	K	18°11′59.11″	109°32′41.61″	
	L	18°13′09.12″	109°32′22.61″	
亚龙湾片区	M	18°13′44.30″	109°36′48.64″	23.76
	N	18°11′46.41″	109°36′21.30″	
	O	18°12′12.63″	109°40′48.62″	
	P	18°13′50.28″	109°40′30.74″	
总计				85

表 4.3-2 功能分区面积统计表 （单位：km^2）

保护区名称片区	核心区	缓冲区	实验区	陆地	30m 宽岸带	总计
东西瑁洲片区	6.02	6.21	16.93	1.75	0.17	31.08
鹿回头半岛-榆林角片区	3.98	2.50	12.18	10.90	0.59	30.15
亚龙湾片区	3.17	3.93	15.10	1.32	0.24	23.76
总计	13.17	12.64	44.21	13.97	1.00	85

4.3.2 工程区沿岸珊瑚

工程周边珊瑚礁调查共鉴定出造礁石珊瑚 11 科 26 属 93 种（包含 1 未定类群）。其中鹿角珊瑚科和裸肋珊瑚科种类最多，分别有 28 种和 29 种，占总种类数量的 30.43%和 31.52%；其次为滨珊瑚科，有 12 种，占 13.04%；杯形珊瑚科有 6 种，占 6.52%；真叶珊瑚科和木珊瑚科各有 4 种，分别占 4.35%；其他珊瑚科（未定类群、菌珊瑚科、铁星珊瑚科、同星珊瑚科）的种类共计有 6 种。调查区域内造礁石珊瑚的优势种主要有 5 种（优势度大于 1%），按照优势度从高到低分别为斯氏伯孔珊瑚、澄黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、柱形角孔珊瑚、疣状杯形珊瑚。其中斯氏伯孔珊瑚占绝对优势。

有珊瑚分布的地方其活珊瑚覆盖率范围为 0.2~49.8%，平均为 11.3%。三亚红塘湾围填海项目周边海域各站活珊瑚覆盖率分布状况详见图 4.3-2。

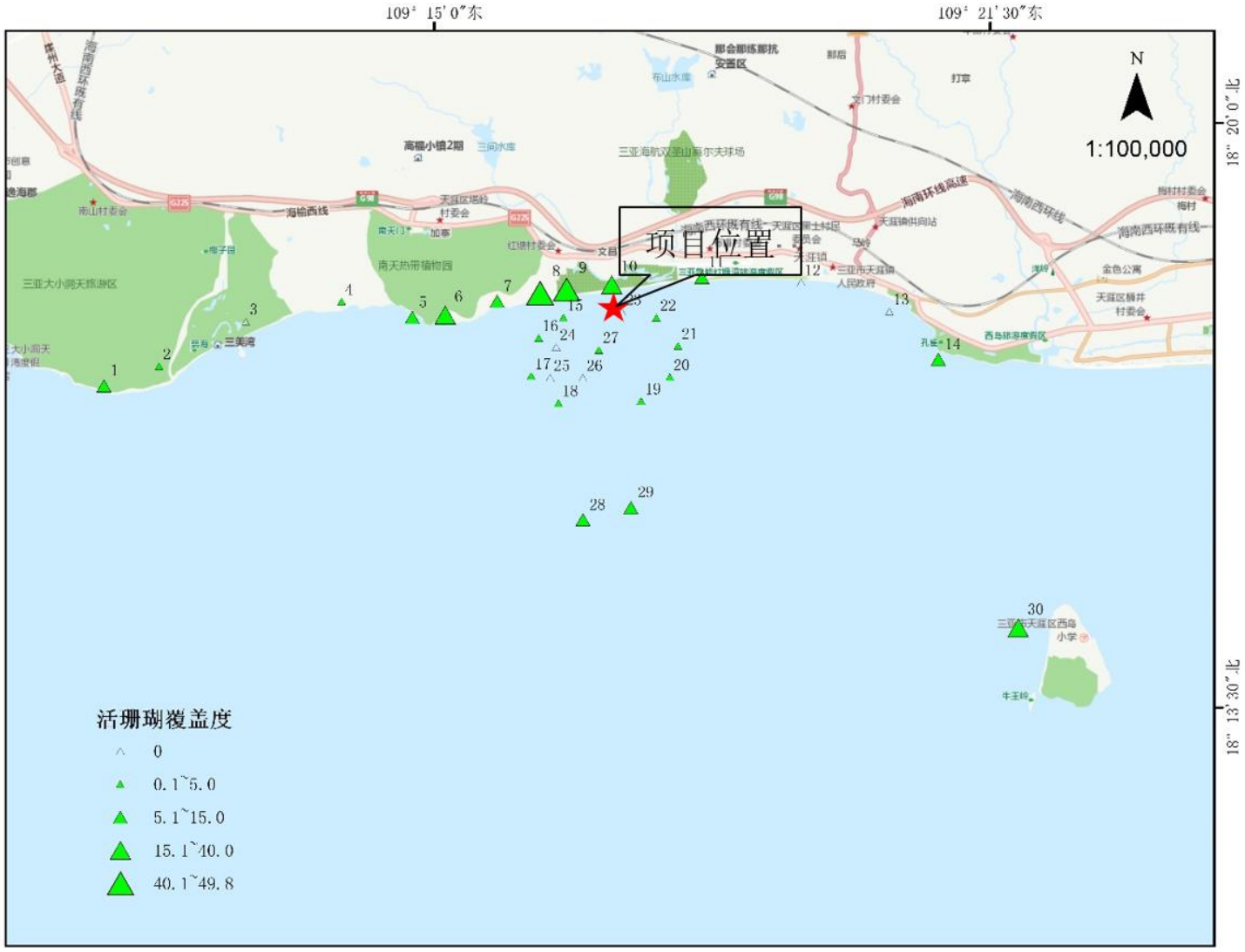


图 4.3-2 工程与沿岸珊瑚礁位置关系图

4.3.3 南海北部幼鱼繁育场保护区

根据《中国海洋渔业水域图（第一批）》（中华人民共和国农业部公告（第 1089 号），2002.2）和《南海北部近海虾类资源调查报告》（中国水产科学研究院南海水产研究所，1982.12），本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内。

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线、17 个基点连线以内水域，保护期为 1~12 月。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，保护区与项目的位置关系和 17 个基点的地理位置，见图 4.3-3 和表 4.3-3。

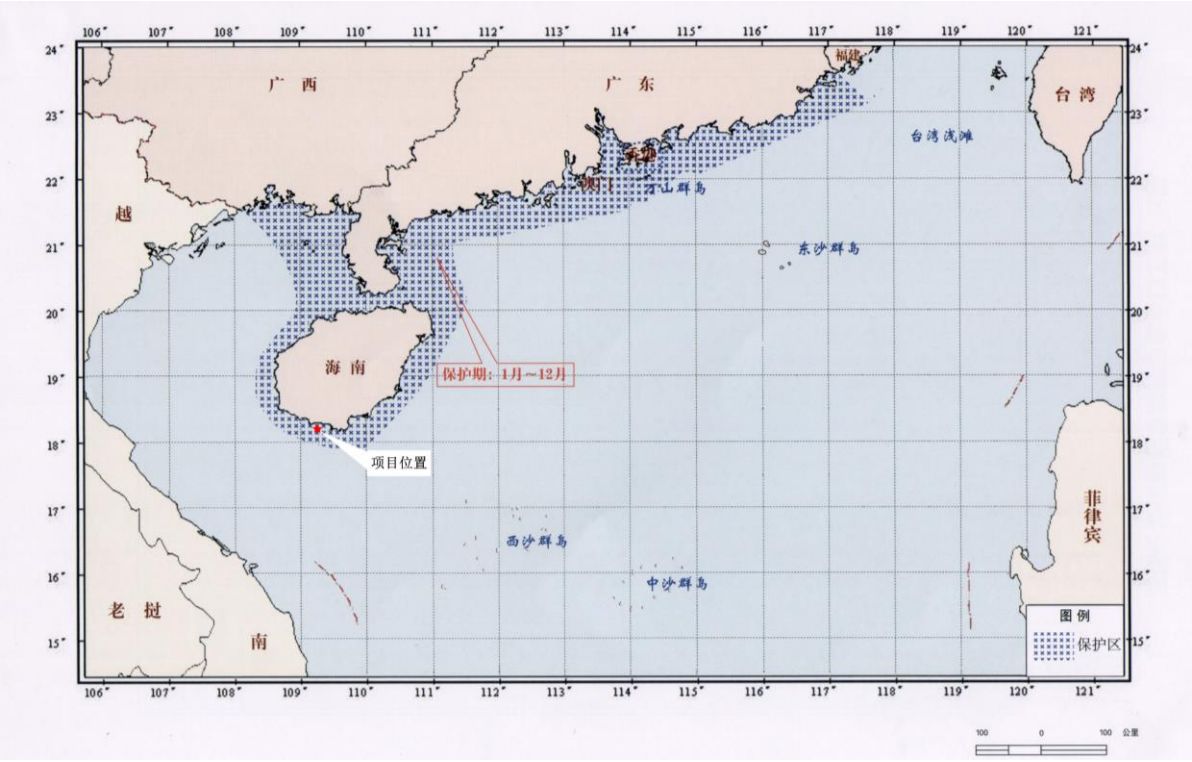


图 4.3-3 南海北部幼鱼繁育场保护区与项目的位置关系示意图

表 4.3-3 南海北部幼鱼繁育场保护区基点地理位置表

基点编号	东经	北纬	基点编号	东经	北纬
第一基点	117°40′	23°10′	第十基点	109°00′	18°00′
第二基点	117°25′	23°00′	第十一基点	108°30′	18°20′
第三基点	115°10′	22°05′	第十二基点	108°20′	18°45′
第四基点	114°50′	22°05′	第十三基点	108°20′	19°20′
第五基点	114°00′	21°30′	第十四基点	109°00′	20°00′
第六基点	111°20′	21°00′	第十五基点	108°50′	20°50′
第七基点	111°35′	20°00′	第十六基点	108°30′	21°00′
第八基点	110°40′	18°30′	第十七基点	108°30′	21°31′
第九基点	109°50′	17°50′			

4.3.4 天涯海角景区

天涯海角景区包括 18 个景观单元，其中一级景观单元 5 个，二级景观单元 4 个，三级景观单元 9 个。景区是以热带海疆地貌和独具人文情怀的摩崖石刻为主要特征，具有国家文化代表意义的国家级风景游览区。由天涯海角核心游赏区和马岭生态观光区组成。

景区以“天涯文化”情景交融体验和海疆风光观光活动为主，开展自然天涯观光，人文天涯、情感天涯和民俗天涯体验等游赏活动；主要集中在马岭山麓以南与滨海带之间。景区突出三亚独具特色的“天涯文化”；营造“椰风海韵”、“海角尚非尖，天涯更有天。波清湾面阔，沙白磊石圆”的游赏意境。

景区挖掘和延伸景区文化内涵，构建“山、海、田、景、林”一体的游览和景观体系。 保护“天涯”、“海角”、“南天一柱”等摩崖石刻，形成马岭山体、中部田洋、水系和椰林等自然生态环境。

天涯海角景区的重点保护目标为沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质，以及保护旅游资源；环境保护要求为执行第二类海水水质标准，第一类海洋沉积物标准，以及第一类海洋生物质量标准。

管控要求：加强对风景名胜区内海洋、海岸、沙滩带和沙坝的保护，严格禁止填海、侵占岸线、挖沙取土和污染海水水质；在海域保护区内，禁止捕捞等活动，严禁向区内排放污水；严格保护珊瑚礁和岛屿，禁止开展任何与保护无关的活动。景区内码头建设需严格控制规模、位置和配套设施，不得破坏海洋和海岸生态环境系统。控制游客容量，加强海岸生态环境建设和修复。

4.3.5 南山-大小洞天景区

南山-大小洞天景区包括 19 个景观单元，其中一级景观单元景点 2 个，二级景观单元 6 个，三级景观单元 11 个。

南山-大小洞天景区是以奇特秀丽的海景、山景、石景、历史悠久的名人胜迹和佛教道教文化为特征，以宗教文化体验为主要功能的国际文化旅游胜地。由南山佛教文化游赏区、大小洞天文化游赏区、南山岭生态观光区组成。

景区开展佛教文化体验、国际交流、观音文化体验、道教文化体验和海滨风光观赏等游赏活动，主要集中在南山和大小洞天两大游赏区。南山游赏区强化佛教文化特色，大小洞天游赏区强化道教文化特色。

本项目关注的重点保护目标为沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌，以及保护水

质；环境保护要求为执行第二类海水水质标准，第一类海洋沉积物标准，以及第一类海洋生物质量标准。

管控要求：加强对风景名胜区内海洋、海岸、沙滩带和沙坝的保护，严格禁止填海、侵占岸线、挖沙取土和污染海水水质；在海域保护区内，禁止捕捞等活动，严禁向区内排放污水；严格保护珊瑚礁和岛屿，禁止开展任何与保护无关的活动。景区内码头建设需严格控制规模、位置和配套设施，不得破坏海洋和海岸生态环境系统。控制游客容量，加强海岸生态环境建设和修复。



图 4.3-4 海洋环境保护目标分布图（南山-大小洞天景区局部放大）

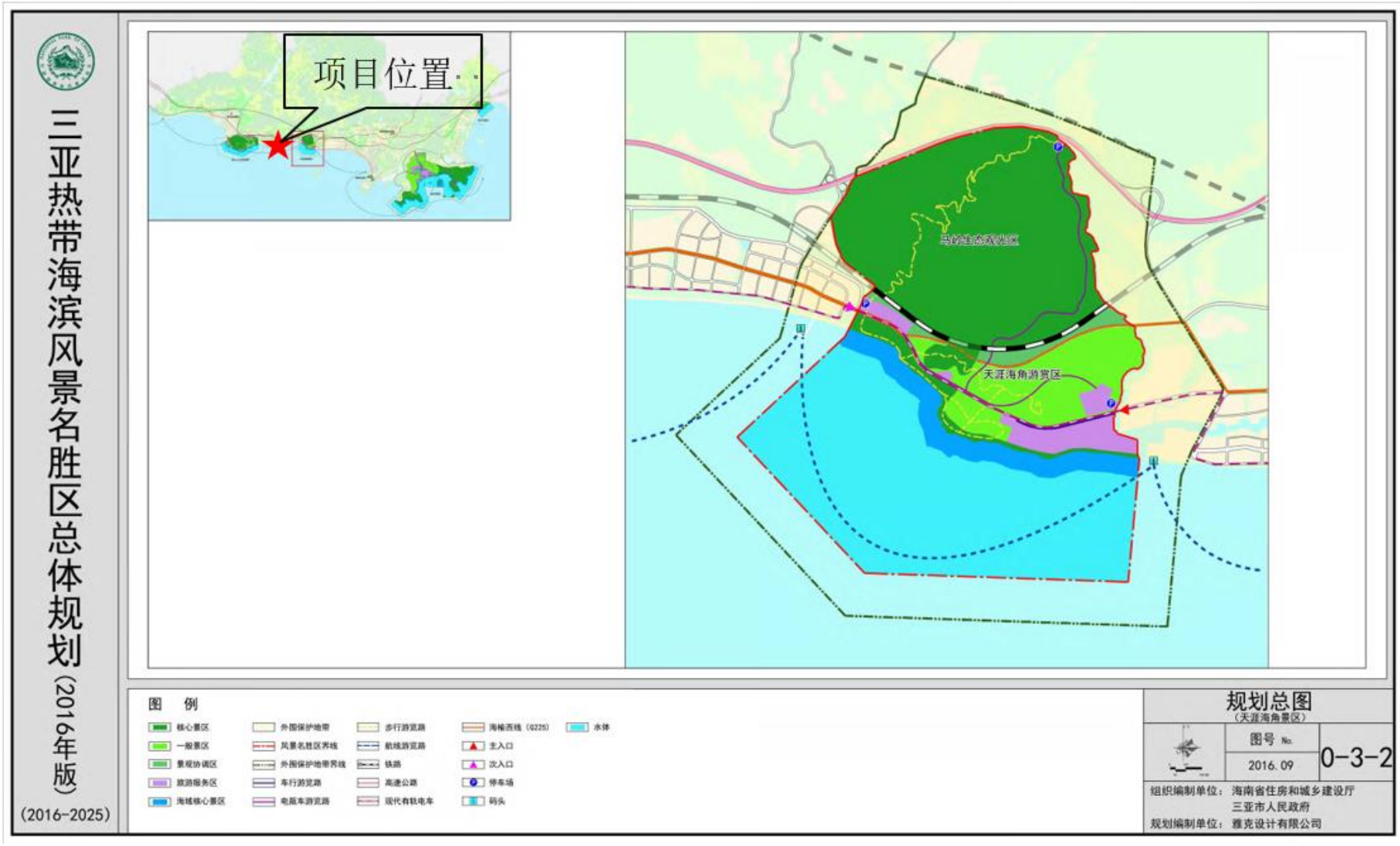


图 4.3-5 海洋环境保护目标分布图（天涯海角景区局部放大）

4.4 环境质量现状调查与评价

4.4.1 资料来源

本项目海洋环境质量现状调查与评价的调查资料来源情况如表 4.4-1 所示。

表 4.4-1 调查资料来源一览表

调查内容	调查时间	资料来源	编制单位
水文动力环境	2021 年 4 月、8 月、10 月和 12 月	《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》	水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院
地形地貌与冲於环境		《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》	水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院
水质、沉积物、海洋生态	夏季：2023 年 9 月	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度夏季航次）》	国家海洋局海口海洋环境监测中心站
水质、海洋生态	秋季：2023 年 9 月	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度秋季航次）》	国家海洋局海口海洋环境监测中心站
珊瑚礁现状	2023 年 9 月	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程珊瑚现状调查报告》	国家海洋局海口海洋环境监测中心站

4.4.2 水文动力环境现状调查与分析

本节内容引自《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》（水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院，2023 年 2 月）。

4.4.2.1 调查概况

2021 年 4 月、8 月、10 月和 12 月分别设置 15 个潮流泥沙观测固定站位进行了不同季节的同步潮流泥沙观测。调查站位见表 4.4-2 和图 4.4-1，调查时间见表 4.4-3。

表 4.4-2 2021 年潮流泥沙观测站位

站号	经度（E）	纬度（N）	水深（m）	站号	经度（E）	纬度（N）	水深（m）
V1	[redacted]	[redacted]	7.4	V9	[redacted]	[redacted]	26.5
V2	[redacted]	[redacted]	22.2	V10	[redacted]	[redacted]	33.3
V3	[redacted]	[redacted]	30.4	V11	[redacted]	[redacted]	13.0
V4	[redacted]	[redacted]	19.2	V12	[redacted]	[redacted]	27.0
V5	[redacted]	[redacted]	25.8	V13	[redacted]	[redacted]	36.5
V6	[redacted]	[redacted]	32.0	V14	[redacted]	[redacted]	34.0
V7	[redacted]	[redacted]	8.3	V15	[redacted]	[redacted]	50.0
V8	[redacted]	[redacted]	15.0	——	——	——	——

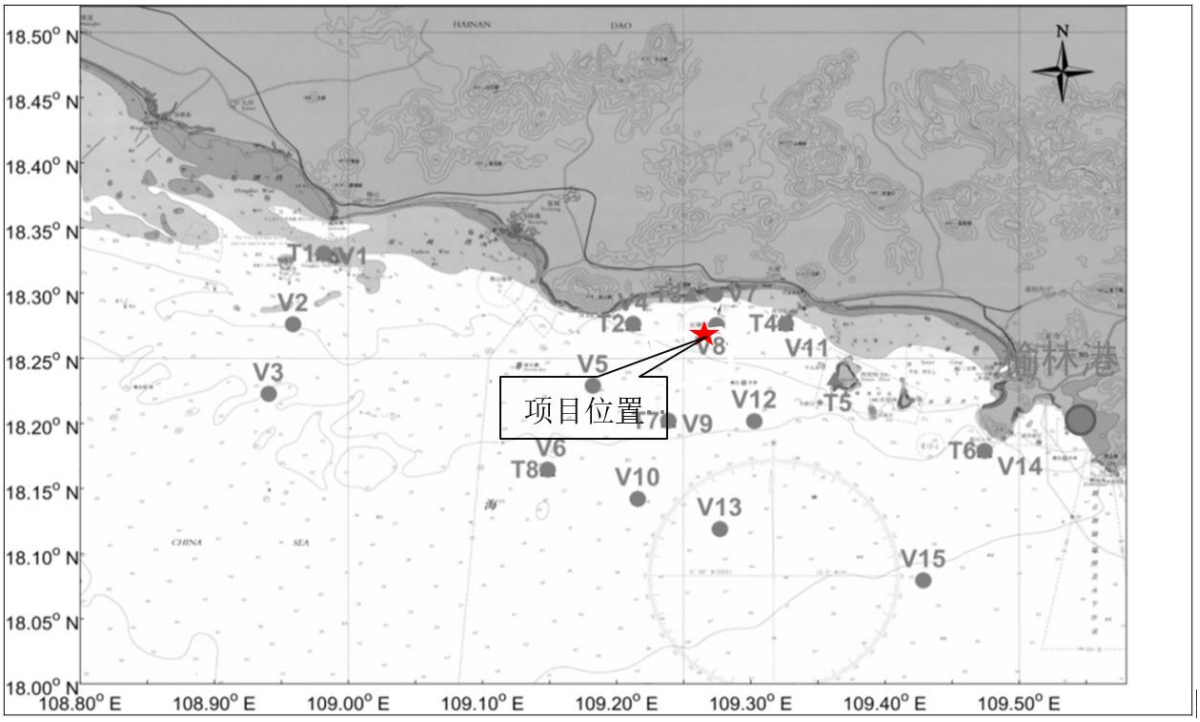


图 4.4-1 2021 年项目附近海域水文调查站位示意图

表 4.4-3 2021 年水文观测时间

春季	大潮	2021 年 4 月 29 日 9 时～2021 年 4 月 30 日 10 时
	中潮	2021 年 4 月 26 日 11 时～2021 年 4 月 27 日 12 时
	小潮	2021 年 5 月 8 日 10 时～2021 年 5 月 9 日 11 时（小潮）
夏季	大潮	2021 年 8 月 08 日 11 时～2021 年 8 月 09 日 12 时
	中潮	2021 年 7 月 27 日 11 时～2021 年 7 月 28 日 12 时
	小潮	2021 年 7 月 17 日 11 时～2021 年 7 月 18 日 12 时
秋季	大潮	2021 年 10 月 26 日 10 时～2021 年 10 月 27 日 11 时
	中潮	2021 年 10 月 23 日 11 时～2021 年 10 月 24 日 12 时
	小潮	2021 年 10 月 20 日 12 时～2021 年 10 月 21 日 13 时
冬季	大潮	2021 年 12 月 06 日 10 时～2021 年 12 月 07 日 11 时
	中潮	2021 年 12 月 09 日 11 时～2021 年 12 月 10 日 12 时
	小潮	2021 年 12 月 12 日 11 时～2021 年 12 月 13 日 12 时

4.4.2.2 潮流分析

海区全年大、小潮的实测海流以潮流为主，潮流运动为往复流，流向以西北-东南向为主，涨潮时流向为西北向，落潮时流向为东南向，流速随涨落潮变化而变化，一般情况下涨潮流速大于落潮流速，调查海区表、中、底层的流向比较接近，表层流速大于中、底层流速。大潮期间，落潮历时略大于涨潮历时；中潮期间，涨潮历时大于落潮历时；小潮期间，涨落潮历时大致相等。具体：

（1）春季实测海流（2021 年 4 月）

2021 年 4 月春季实测海流以潮流为主，潮流运动基本为往复流，流向以西北-东南

向为主，涨潮流流向西北，落潮流流向东南。流速随涨落潮变化而变化，各站表、中、底层的流向也比较接近。各测站流速统计值见表 4.4-4，流速矢量图见图 4.4-2。

调查海域各站海流的往复流特征明显，海流主导流向为 NW-SE，涨潮流向为 NW，落潮方向为 SE。近岸 V4 站、V7 站、V8 站及 V11 站受地形影响流向发生变化，其中 V7 站主导流向为 SW-NE。全潮观测期间，各站实测海流呈现正规全日潮流特征，各站各层流向较为一致。

小潮期最大涨潮流速 58.3cm/s，最大涨潮平均流速 17.4cm/s，流向分别为 135°和 106°；最大落潮流速 43.6cm/s，最大落潮平均流速 21.9cm/s，流向分别为 111°和 106°。

中潮期最大涨潮流速 54.0cm/s，最大涨潮平均流速 17.9cm/s，流向分别为 293°和 306°；最大落潮流速 64.9cm/s，最大落潮平均流速 19.4cm/s，流向分别为 298°和 92°。

大潮期最大涨潮流速 119.3cm/s，最大涨潮平均流速 33.6cm/s，流向分别为 290°和 301°；最大落潮流速 105.3cm/s，最大落潮平均流速 27.6cm/s，流向分别为 96°和 104°。

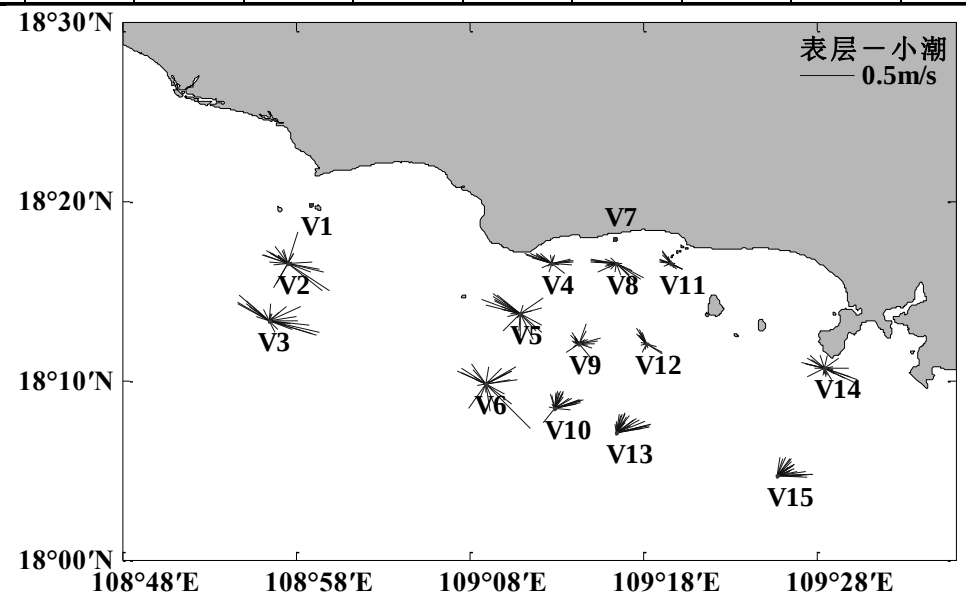
表 4.4-4a 各测站大潮潮段最大流速特征值统计表（单位：流速（m/s）,流向（°））

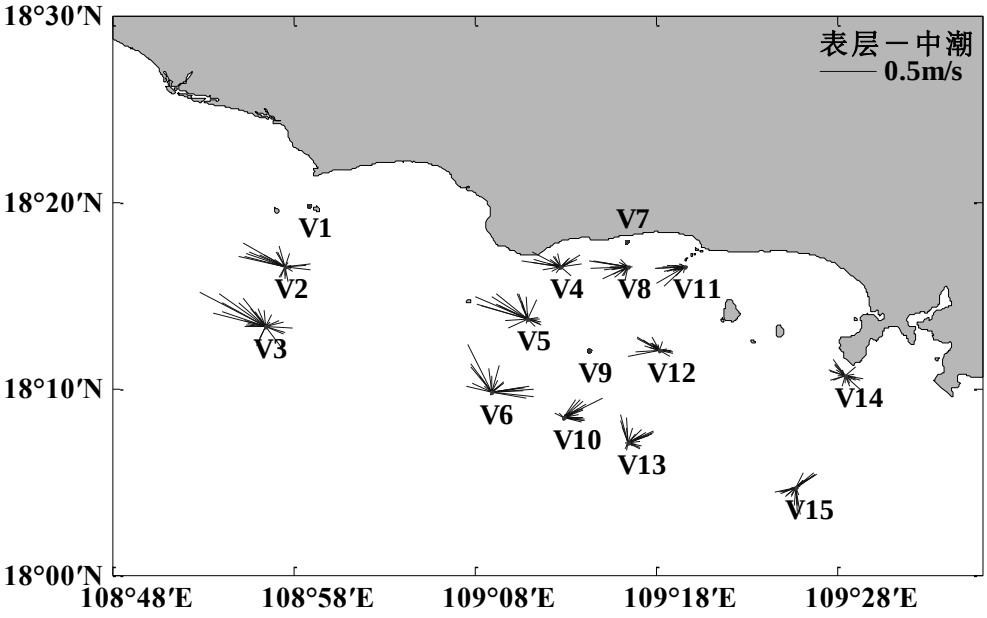
项目测点	落　潮					涨　潮				
	实测最大			平均最大		实测最大			平均最大	
	流速	流向	测点	流速	流向	流速	流向	测点	流速	流向
V1	0.45	79.5	表层	0.29	74.3	0.60	292.7	中层	0.32	291.4
V2	0.52	110.8	中层	0.37	81.4	0.74	275.0	表层	0.41	257.9
V3	0.60	128.3	中层	0.37	104.2	0.86	280.7	表层	0.56	288.7
V4	0.66	104.1	表层	0.33	107.6	0.75	262.8	表层	0.41	271.5
V5	0.62	110.5	中层	0.33	127.3	0.66	277.4	中层	0.40	276.7
V6	0.65	119.2	中层	0.36	120.2	0.66	301.8	表层	0.40	275.9
V7	0.29	93.9	中层	0.15	103.3	0.18	311.2	表层	0.11	301.6
V8	0.46	96.5	中层	0.32	106.9	0.50	272.5	表层	0.25	259.3
V9	0.54	97.6	中层	0.30	104.8	0.70	292.3	表层	0.37	274.6
V10	0.56	110.5	中层	0.34	120.7	0.61	296.7	表层	0.39	276.6
V11	0.44	124.8	中层	0.25	115.3	0.40	269.1	表层	0.18	262.0
V12	0.52	98.4	中层	0.29	110.2	0.66	293.2	表层	0.36	276.1
V13	0.48	105.1	中层	0.30	116.3	0.64	297.2	表层	0.37	287.7
V14	0.70	150.5	表层	0.39	135.9	0.66	270.4	表层	0.41	279.5
V15	0.56	88.3	表层	0.30	95.6	0.59	308.3	表层	0.42	304.0

表 4.4-4b 各测站小潮潮段最大流速特征值统计表（单位：流速（m/s）,流向（°））

项目测点	落　潮					涨　潮				
	实测最大			平均最大		实测最大			平均最大	
	流速	流向	测点	流速	流向	流速	流向	测点	流速	流向

V1	0.49	84.3	表层	0.24	86.7	0.36	295.4	表层	0.25	288.8
V2	0.53	65.9	表层	0.33	74.9	0.59	300.3	表层	0.40	290.8
V3	0.56	57.9	表层	0.37	61.2	0.65	308.0	表层	0.42	297.9
V4	0.48	89.4	表层	0.30	92.0	0.44	273.5	中层	0.27	290.1
V5	0.44	86.7	表层	0.30	90.9	0.41	320.9	表层	0.30	282.1
V6	0.45	106.3	表层	0.31	92.5	0.43	341.8	表层	0.34	301.6
V7	0.22	44.5	底层	0.13	111.0	0.24	213.3	底层	0.09	264.3
V8	0.35	90.1	中层	0.21	118.5	0.38	280.8	表层	0.25	260.0
V9	0.50	88.4	表层	0.31	71.5	0.42	276.0	中层	0.26	293.5
V10	0.47	87.2	表层	0.33	73.7	0.40	325.7	表层	0.29	305.9
V11	0.30	78.7	中层	0.18	111.8	0.31	273.8	中层	0.18	277.5
V12	0.49	82.9	表层	0.32	68.1	0.39	281.1	中层	0.25	296.0
V13	0.50	67.7	表层	0.34	60.2	0.38	317.3	表层	0.25	322.3
V14	0.50	118.6	表层	0.32	105.9	0.40	321.5	中层	0.23	298.6
V15	0.40	82.1	表层	0.21	69.5	0.35	276.7	中层	0.23	265.6





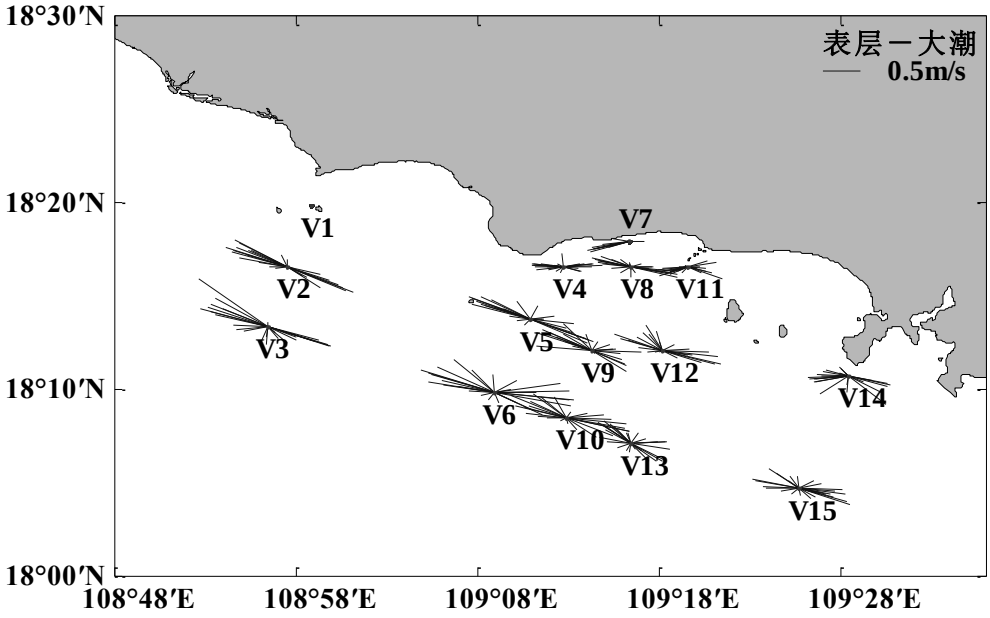


图 4.4-2 春季表层流速矢量图

（2）夏季实测海流（2021 年 8 月）

各站层的流速值过程线多起伏，实测海流以潮流为主，本海区潮流运动基本为往复流，流向以西北-东南向为主，涨潮流流向西北，落潮流流向东南。流速随涨落潮变化而变化，各站表、中、底层的流向也比较接近。

调查海域各站海流的往复流特征明显，海流主导流向为 NW-SE,涨潮流向为 NW，落潮方向为 SE。近岸 V4 站、V7 站、V8 站及 V11 站受地形影响流向发生变化，其中 V7 站主导流向为 SW-NE。全潮观测期间，各站实测海流呈现正规全日潮流特征，各站各层流向较为一致。

小潮期最大涨潮流速 68.1cm/s，最大涨潮平均流速 42.7cm/s，流向分别为 285°和 278°；最大落潮流速 66.9cm/s，最大落潮平均流速 44.8cm/s，流向分别为 115°和 120°。

中潮期最大涨潮流速 142.1cm/s，最大涨潮平均流速 84.4cm/s，流向分别为 281°和 283°；最大落潮流速 128.6cm/s，最大落潮平均流速 81.5cm/s，流向分别为 95°和 102°。

大潮期最大涨潮流速 115.9cm/s，最大涨潮平均流速 72.8cm/s，流向分别为 287°和 286°；最大落潮流速 141.6cm/s，最大落潮平均流速 94.3cm/s，流向分别为 113°和 115°。

（3）秋季实测海流（2021 年 10 月）

2021 年 10 月秋季实测海流以潮流为主，本海区潮流运动基本为往复流，流向以

西北-东南向为主，涨潮流流向西北，落潮流流向东南。流速随涨落潮变化而变化，各站表、中、底层的流向也比较接近。

调查海域各站海流的往复流特征明显，海流主导流向为 NW-SE,涨潮流向为 NW，落潮方向为 SE。近岸 V4 站、V7 站、V8 站及 V11 站受地形影响流向发生变化。全潮观测期间，各站实测海流呈现正规全日潮流特征，各站各层流向较为一致。

小潮期最大涨潮流速 49.6cm/s，最大涨潮平均流速 25.2cm/s，流向分别为 284°和 266°；最大落潮流速 59.8cm/s，最大落潮平均流速 27.4cm/s，流向均为 111°；

中潮期最大涨潮流速 92.5cm/s，最大涨潮平均流为 46.8cm/s，流向分别为 296°和 292°；最大落潮流速 93.3cm/s，最大落潮平均流速 46.5cm/s，流向分别为 93°和 129°；

大潮期最大涨潮流速 105.5cm/s，最大涨潮平均流速 65.1cm/s，流向分别为 281°和 289°；最大落潮流速 96.9cm/s，最大落潮平均流速 60.3cm/s，流向分别为 115°和 118°。

小潮期、中潮期涨潮流速小于落潮流速，大潮期涨潮流速大于落潮流速，表层流速大于中、底层流速。

（4）冬季实测海流（2021 年 12 月）

冬季实测海流以潮流为主，潮流运动基本为往复流，流向以西北-东南向为主，涨潮流流向西北，落潮流流向东南。各站表、中、底层的流向也比较接近。观测海区大潮期间平均涨潮流历时 10.7h，平均落潮流历时 9.2h；中潮期间平均涨潮流历时 10.3h，平均落潮流历时 10.0h；小潮期间平均涨潮流历时 8.9h，平均落潮流历时 11.5h。

调查海域各站海流的往复流特征明显，海流主导流向为 NW-SE，涨潮流向为 NW，落潮方向为 SE。近岸 V4 站、V11 站受地形影响流向发生变化，为 W-E 或 W-NE。各站实测海流呈现正规全日潮流特征，各站各层流向较为一致。

大潮期最大涨潮流速 125.6cm/s，最大涨潮平均流速 78.6cm/s，流向分别为 290°和 288°；最大落潮流速 121.2cm/s，最大落潮平均流速 84.5cm/s，流向分别为 107°和 108°。

中潮期最大涨潮流为 111.9cm/s，最大涨潮平均流速 67.7cm/s，流向分别为 89°和 79°；最大落潮流速 125.8cm/s，最大落潮平均流速 75.2cm/s，流向分别为 247°和 243°。

小潮期最大涨潮流速 50.0cm/s，最大涨潮平均流速 39.3cm/s，流向分别为 294°和

288°；最大落潮流速 89.0cm/s，最大落潮平均流速 51.1cm/s，流向分别为 111°和 106°。

4.4.2.3 余流分析

（1）春季

中潮及大潮近岸站位余流方向主要为 SW，外海站位为 NE；小潮站位的余流方向主要为 SE~NE。调查海区余流介于 0.2cm/s～21.1cm/s。中、大、小潮期各站的余流最大值分别为 14.7cm/s、14.6cm/s 和 21.1cm/s，分别出现在 V2 站 0.2H 层、C1 站 0.2H 和 V15 站 0.6H，总体而言，小潮余流>中潮余流>大潮余流。各站各层底层余流流速一般比其余各层流速小。这是由于底摩擦耗能的结果，近海海底余流一般要小于表层。

（2）夏季

除了近岸站位 V4 站和 V7 站的余流方向主要为 SW~NW，其余站位余流方向为 NE~SE，主流向为 SE。调查海区余流介于 0.5cm/s～23.4cm/s。小、中、大潮期各站的余流最大值分别为 22.8cm/s、20.3cm/s 和 23.4cm/s，分别出现在 V6 站表层、V6 站表层和 V9 站 0.2H 层，总体而言，大潮余流>小潮余流>中潮余流。各站底层余流流速一般比其它层流速小。这是由于底摩擦耗能的结果，近海海底余流一般要小于表层。

（3）秋季

小潮期间余流方向有明显的规律性，近岸站各层的余流主要为沿地形岸界的 NW 向，其他远岸站各层则主要为 SE 向；中潮和大潮外海余流表层和底层流向差异较大，表层主要为 SE~SW，中底层主要为 SE~NE。调查海区余流介于 0.3cm/s～19.9cm/s。小、中、大潮期各站的余流最大值分别为 19.9cm/s、19.0cm/s 和 13.6cm/s。总体而言，小潮余流>中潮余流>大潮余流。

（4）冬季

大潮和中潮余流流速较小，各站余流流向不完全一致，规律性不明显；小潮余流流速较大，余流方向有明显的规律性，近岸 V4、V11 站各层的余流主要为沿地形岸界的 NE 向，其他远岸站各层则主要为 SE 向。调查海区余流介于 0.7cm/s～20.7cm/s。大、中、小潮期各站的余流最大值分别为 15.7cm/s、19.5cm/s 和 20.7cm/s，分别出现在 V1 站 0.2H 层、V15 站表层和 V5 站表层，总体而言，小潮余流>中潮余流>大潮余流。

4.4.2.4 悬浮泥沙

调查海区全年大、中、小潮各站表、中、底三层悬沙含沙量较为接近，中层与底

层的含沙量峰值普遍高于表层。从整体变化过程看来，各站不同季节、潮期悬浮泥沙含量一般不超过 0.03kg/m^3。从平面分布来看，悬浮泥沙浓度近岸海域较高，离岸海域较低。

（1）2021 年 4 月春季实测悬沙

调查期间潮流强度较小，悬沙含量不大，整体平均含量在 0.025kg/m^3 以内，悬沙含量周日变化高峰值主要出现在涨急或落急时段。各站的表层、中层和底层悬沙含量差异较小，调查期间个别时刻出现峰值，其它时刻大部分站层的悬沙含量日变化幅度不大。

大潮、中潮、小潮各站表层、中层、底层的算术平均含沙量为 0.0044kg/m^3，0.0044kg/m^3，0.0048kg/m^3，表层、中层、底层最大算术平均含沙量分别为 0.0089kg/m^3、0.0093kg/m^3、0.0086kg/m^3，均发生在大潮期 V3 站。调查期间各层最大的含沙量时均值，大潮期出现在 V3 站，中潮期出现在 V1 站，小潮期出现在 V14 站。

悬沙含量高值区位于调查区的 V2 站、V6 站一带，其它站的悬沙含量相对较小。调查期各站层悬沙含量范围为 0.0001kg/m^3～0.0223kg/m^3。各站最大含沙量在表层、中层、底层均有体现，整体差异性较小。

（2）2021 年 8 月夏季实测悬沙

调查期间潮流强度较小，悬沙含量不大，各站位基本符合高潮位时含沙量较低，而在低潮位时含沙量较高规律，整体平均含量在 0.070kg/m^3 以内，各站悬沙含量在大部分时间段均较小，在 0.020kg/m^3 以内。悬沙含量周日变化高峰值主要出现在涨急或落急时段。各站的表层、中层和底层悬沙含量差异较小，调查期间个别时刻出现峰值，其它时刻大部分站层的悬沙含量日变化幅度不大。

大潮、中潮、小潮调查期间，各站表层、中层、底层的算术平均含沙量为 0.0075kg/m^3，0.0079kg/m^3，0.0083kg/m^3，调查区属低悬沙浓度海区，表层、中层、底层最大算术平均含沙量分别为 0.0225kg/m^3、0.0263kg/m^3、0.0288kg/m^3，分别是中潮期 V1 站、中潮期 V1 站、大潮期 V1 站。调查期间各层最大的含沙量时均值均出现在 V1 站。

悬沙含量高值区位于调查区的 V1 站、V5 站一带，其它站的悬沙含量相对较小。调查期各站层悬沙含量范围为 0.0008kg/m^3～0.0655kg/m^3。各站最大含沙量在表层、中层、底层均有体现，整体差异性较小。

调查期间表、中、底三层悬沙混合样的中值粒径 Φ 值，在 4.37Φ～7.50Φ

（0.0055mm～0.0484mm）。大潮期各站悬沙平均中值粒径为 0.0162mm（5.94Φ）；中潮期各站悬沙平均中值粒径为 0.0156mm（6.00Φ）；小潮期各站悬沙平均中值粒径为 0.0319mm（4.97Φ）；全潮期各站悬沙平均中值粒径为 0.0213mm（5.56Φ）。各站表、中、底层悬沙混合样品中砂的平均含量为 20.00%，粉砂的平均含量为 60.45%，粘土的平均含量为 19.55%，调查海区悬沙组成主要为砂质粉砂。

（3）2021 年 10 月秋季实测悬沙

部分站位基本符合高潮位时含沙量较低，而在低潮位时含沙量较高规律。调查海域悬沙含量不超过 0.040kg/m^3。悬沙含量周日变化高峰值主要出现在涨急或落急时段，大部分站、层的悬沙含量日变化幅度不大。垂向分布上各站的表层、中层和底层悬沙含量差异较小，平面分布上，悬浮泥沙浓度近岸海域较高，离岸海域较低。

大潮、中潮、小潮调查期间，各站表层、中层、底层的算术平均含沙量为 0.0058kg/m^3，0.0059kg/m^3，0.0062kg/m^3，调查区属低悬沙浓度海区，表层、中层、底层最大算术平均含沙量分别为 0.0126kg/m^3、0.0122kg/m^3、0.0138kg/m^3，分别是小潮期 V6 站、小潮期 V6 站、大潮期 V1 站。大潮、中潮、小潮调查期间各层最大的含沙量时均值分别出现在 V1 站、V14 站、V6 站。

悬沙含量高值区位于调查区的 V1 站、V11 站一带，其它站的悬沙含量相对较小。调查期各站层悬沙含量范围为 0.0005kg/m^3～0.0394kg/m^3。各站最大含沙量在表层、中层、底层均有体现，整体差异性较小。

调查期间，垂线平均含沙量时均值、最大值均出现在 V1 站。垂线平均含沙量时均值控制在 0.015kg/m^3 以内，大部分情况下在 0.010kg/m^3 以内。

调查期间表、中、底三层悬沙混合样的中值粒径 d 为 0.0092mm～0.0327mm（4.93Φ～6.77Φ）。大潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0163mm（5.94Φ）；中潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0150mm（6.06Φ）；小潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0205mm（5.61Φ）；全潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0173mm（5.86Φ）。各站表、中、底层悬沙混合样品中砂的平均含量为 15.54%，粉砂的平均含量为 64.37%，粘土的平均含量为 20.09%，调查期间海区悬沙组成主要为粘土质粉砂。

（4）2021 年 12 月冬季实测泥沙

调查海域各站位基本符合高潮位时含沙量较低，而在低潮位时含沙量较高规律。调查期间悬沙含量不大，基本在 0.100kg/m^3 以内。悬沙含量周日变化高峰值主要出现在涨急或落急时段。各站的表层、中层和底层悬沙含量差异较小，调查期间个别时刻

出现峰值，其它时刻大部分站层的悬沙含量日变化幅度不大。

大潮、中潮、小潮调查期间，各站表层、中层、底层的算术平均含沙量为0.0139kg/m^3，0.0148kg/m^3，0.0162kg/m^3，调查区属低悬沙浓度海区，表层、中层、底层最大算术平均含沙量分别为 0.0481kg/m^3、0.0431kg/m^3、0.0475kg/m^3，分别是大潮期 V3 站、大潮期 V3 站、中潮期 V2 站。大潮、中潮、小潮调查期间各层最大的含沙量时均值分别出现在 V3 站、V2 站、V2 站。

悬沙含量高值区位于调查区的 V1 站至 V3 站一带，其它站的悬沙含量相对较小。调查期各站层悬沙含量范围为 0.0013kg/m^3～0.0998kg/m^3。各站最大含沙量在表层、中层、底层均有体现，主要在底层和中层。

调查期间，垂线平均含沙量时均值最大值，大潮期间出现在 V3 站，中潮期和小潮期间均出现在 V2 站。垂线平均含沙量时均值控制在 0.05kg/m^3 以内，大部分情况下在 0.02kg/m^3 以内。

调查期间表、中、底三层悬沙混合样的中值粒径 d 为 0.0064mm～0.0285mm（5.14Φ～7.28Φ）。大潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0093mm（6.74Φ）；中潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0141mm（6.15Φ）；小潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0148mm（6.08Φ）；全潮期各站悬沙平均中值粒径 d 为 0.0127mm（6.30Φ）。各站表、中、底层悬沙混合样品中砂的平均含量为 10.05%，粉砂的平均含量为 69.63%，粘土的平均含量为 20.32%，调查期间海区悬沙组成主要为粘土质粉砂。

4.4.2.5 底质泥沙

工程区近岸海域底质调查资料引自海南省海洋开发规划设计研究院于 2013 年 10 月在工程海域的调查成果。在工程海域 10 米等深线以内，布设 75 个底质取样点，取样点位置见图 4.4-3。

从工程区底质类型、海岸地貌特征和海岸地形格局可知，拟建工程附近为砂质海岸，岸线性质为开敞平直的自然岸线，底质类型以砂为主。工程附近岸线为砂质岸线和基岩岸线相间分布。根据工程地质勘察资料，-10m 以深区域钻孔近表层沉积物多为粘土夹砂，即砂质海床主要分布在近岸区域，在拟建工程附近的深水区，以粘土夹砂为主。

底质分布整体表现为近岸较粗，深水区较细的特点。其中拟建工程岬角附近及其向西的南山风景区沙滩区以砂为主，中值粒径在 0.4~0.7mm，中中值粒径分布见图 4.4-4，拟建工程向东，局部海滩岩出露，以砂为主，但粒径变化较大，总体表现为自

工程附近向天涯海角方向逐渐由粗砂变为粉砂质砂，中值粒径由 0.4~1.0mm 左右减小至 0.12~0.2mm。这种沿岸泥沙自西向东逐渐变细的分布趋势，也代表了当地沿岸泥沙整体的运移方向。

根据泥沙特征粒径分布和粒径级配分析，本次采样主要分布在-10m 以浅的区域。工程区附近西侧粒径相对较粗，以粒径大于 0.5mm 的粗沙为主。沉积物中基本没有粒径小于 0.063mm 的粉沙和粘土颗粒分布，其中近岸略粗于深水区；在拟建人工岛东侧岸段，除靠近东岬角（天涯海角）附近外，-5m 以浅区域粒径也相对较粗，且分布很不均匀，中值粒径大多大于 0.3mm，局部大于 1.3mm。但在-5m 以深区域，普遍分布细沙或粉沙质沙，中值粒径普遍小于 0.1mm，粉沙含量可达 20%~35%左右，并含有少量粒径小于 0.004mm 的粘性颗粒。

4.4.2.6 小结

综上，本海域海流以潮流为主，潮流运动基本为往复流，流向以西北-东南向为主，项目海域余流差别较大，悬沙含量不大。

4.4.3 地形地貌与冲於环境现状调查与评价

本节内容引自《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》（水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院，2023 年 2 月）。

4.4.3.1 岸线现状类型分布

在本工程关注的南山角至天涯海角附近约 20km 岸线上，主要分为基岩岸线和砂质岸线两大类，及马岭、红塘岭、塔岭、南山岭等山丘前沿，基岩岸线之间为砂质岸线。但大多数砂质海岸的海滩并不完整，前沿多分布有海滩岩，在靠近基岩岬角附近海滩内多有岩礁块石分布。南山角至天涯海角之间约 20km 的岸线分为四种类型，即基岩岸线、沙滩岸线、海滩岩沙滩岸线和岩块沙滩岸线。

1）基岩岸线

基岩海岸主要分布在南山角岸段、鸭子塘至三美湾、塔岭岸段、天涯海角东部等，均为山丘前沿的临海部分。基岩岸线全长约 8.2km。

2）沙滩岸线

基岩岸线之间分布的南山风景区、三美湾以及塔岭至天涯海角之间的岸线全部属于砂质海岸，总长约 11.8km，占岸段总长的 58%左右。但因多数砂质海岸的沙滩并不完整，间或有岩礁块石和海滩岩分布。目前完整的沙滩岸线长度仅约 3.1km，约占岸

线总长的 16%。

3）海滩岩沙滩岸线

海滩岩出露是沿岸沙丘冲刷后退的结果和地貌表现，对后方沙滩和沙丘形成一定保护。本岸段的海滩岩主要分布在沿岸沙丘的前沿，出露较为广泛。海滩岩前沿多有陡坎分布，海滩岩出露部分以上由沙滩及沙丘覆盖。在红塘湾 20km 岸线上，有海滩岩分布的岸线 7.5km，约占岸线总长的 38%。

4）岩块礁石沙滩岸线

此处的岩块礁石特指砂质海岸上间或分布岩礁、岩块等零散基岩的岸线。主要分布在天涯海角景区和南山风景区西部，也是海岸景观的重要组部分，岸线全长约 1.2km。

表 4.4-5 工程附近岸线类型分布（南山角至天涯海角附近约 20km 岸线）

岸线类型	岸段分布	岸线长度（km）	占比%
基岩岸线	南山角岸段	[redacted]	[redacted]
	鸭子塘至三美湾	[redacted]	[redacted]
	塔岭岸段	[redacted]	[redacted]
	天涯海角东部	[redacted]	[redacted]
	小计	[redacted]	[redacted]
完整沙滩岸线	海上观音人工岛掩护段	[redacted]	[redacted]
	鸭子塘河口	[redacted]	[redacted]
	三美湾东段	[redacted]	[redacted]
	临空岛掩护区	[redacted]	[redacted]
	巴士码头至天涯海角天涯石	[redacted]	[redacted]
	小计	[redacted]	[redacted]
海滩岩+沙滩	海上观音以西	[redacted]	[redacted]
	海上观音以东	[redacted]	[redacted]
	三美湾西段	[redacted]	[redacted]
	太平洋石油码头附近	[redacted]	[redacted]
	担油港至巴士码头	[redacted]	[redacted]
	小计	[redacted]	[redacted]
岩块礁石+沙滩	南山景区西部	[redacted]	[redacted]
	天涯海角	[redacted]	[redacted]
	小计	[redacted]	[redacted]

4.4.3.2 沿岸沙丘分布

沿岸沙丘是砂质海岸的重要组成部分。在本次研究岸段，沿岸沙丘分布较多，在南山角与塔岭之间的南山风景区岸段和塔岭至天涯海角附近的岸段均基本连续分布。沙丘分布岸段总长约 9.9km，约占岸线总长的 50%和砂质海岸岸线的 84%。

表 4.4-6 工程附近沿岸沙丘分布（南山角至天涯海角附近约 20km 岸线）

沿岸沙丘分布岸段	沙丘长度（km）	沙丘特征	占比%
南山角岸段	[redacted]	位于南山观音砂质海滩后方，沙丘高大，顶高程 17～24m，上部为灌木和防护林，沙丘前沿海滩岩广泛出露	[redacted]
鸭子塘至三美湾	[redacted]	位于三美湾海滩后方，规模较小，顶高程 8m 左右，局部生长灌木	[redacted]
塔岭以东至担油港	[redacted]	位于塔岭和马岭山丘临海的基岩岸线以东，属于塔岭至马岭大沙丘的西段。沙丘高程在 7～9m，上部为灌木和草地。除人工岛掩护岸段外海滩岩广泛分布于沙丘前沿，沙丘后方为担油港潟湖，东段被担油港口门切断	[redacted]
担油港至天涯镇	[redacted]	属塔岭和马岭之间沙丘的中段，沙丘高程在 9m～14m，上部为灌木和防护林，沙丘前发育海滩岩，沙丘处于冲刷环境。	[redacted]
天涯镇附近	[redacted]	位于天涯镇马岭村所在部位，属于塔岭和马岭之间大沙丘的东段，沙丘上部建筑物密集，高程 4～9m。	[redacted]
合计	[redacted]	分布于基岩山丘临海的基岩岬角之间，沙丘整体较为完	[redacted]

		整，但前沿广泛出露海滩岩表明该岸段沙丘自然冲刷后退。	

4.4.3.3 岸滩地貌

1）南山角基岩海岸

南山角为崖州湾和红塘湾的分界的基岩岬角，沿岸以基岩为主，沿岸基岩长期受海浪冲刷较为圆滑，同时受构造运动影响节理发育。

2）南山景区砂质海岸

南山角基岩海岸向东与塔岭前沿基岩之间发育一段沙滩，为南山观音人工岛所在沙滩，沙滩长约 2km，砂质较粗，中值粒径 0.6mm 左右，沙滩后方的沿岸沙丘发育较好，沙丘高程多在 17m～24m 之间，沙丘后方为原鸭仔塘所在的潟湖低地。

沙丘海侧至海滩区域坡度在 1:2 左右，沙丘根部前沿沙滩坡度一般在 1:7。沙滩外围多有海滩岩分布，海滩岩出露较多，出露部位多在-1m～2m 附近。沙滩中部岸外建有南山观音人工岛，人工岛直接约 180m，离岸距离 200m。在人工岛掩护下其陆侧形成向海延伸 50m 左右的沙嘴。在沙嘴部位和沙滩东部鸭子塘河口附近泥沙堆积较多，未见海滩岩出露。岸滩剖面表现为在-3m 左右转折，沙滩前沿至-3m 附近坡度较陡，在 1:1 左右；-3m 以下成为相对平缓的海床，坡度 1:20~1100，沿岸方向上坡度自西向东逐渐平缓。南山景区西部海滩与南山角基岩岸线之间，岩块与沙滩相间分布，后方也是沿岸沙丘与基岩山丘之间的过渡。

3）鸭子塘至塔岭

鸭子塘至塔岭岸段后方以基岩山丘为主，仅三美湾约 500m 范围有沙滩分布。沙滩西部有海滩岩分布，海滩岩高程在 0m 左右，海滩岩以上部分滩面坡度 1:8，-1m~-3m 平缓，平均坡度 1:100 左右，-3m 以下坡度 1:60 左右。沙滩以东为塔岭前沿的基岩岸线。

4）塔岭至天涯海角

塔岭至太平洋石油码头附近：塔岭岬角至太平洋石油码头以西约 1km 为塔岭前沿基岩岸线。太平洋石油码头东西两侧各约 1km 岸段，岸边有沙滩分布，但后方无明显沙坝发育，沙滩前沿海滩岩明显，露出水面的海滩岩呈直线分布于岸外，最大高程在+1m 左右，对岸滩形成一定保护。因海滩岩沿岸分布不均匀造成岸滩掩护条件的存在差异，沙滩岸线曲折，掩护较好的部位沙嘴发育，海滩岩局部缺失或较低部位海滩岸线向陆侧凹入超过 100m。

太平洋石油码头至天涯镇附近：太平洋石油码头向东约 1km 至临空岛延岸，为太

平洋石油码头附近海滩岩分布区域，与上述岸滩特征一致，陆侧开始有沙坝分布，岸外-2m 以浅区域岩礁分布较多，地形起伏。太平洋石油码头附近临空岛掩护区，在临空岛实施前沿岸海滩岩较广泛出露。临空岛工程实施以来，岸滩整体淤积，海滩岩基本埋没，水上部分沙滩完整，后方沿岸沙丘发育，沙丘高程 7～11m，分布草地和防护林。岸滩剖面表现为沙坝前沿至-2m 水上平均坡度在 1:8 左右；-2m~-4m 有一定起伏，局部隆起；-4m~-8m 坡度在 1:40 左右；-8m 以深非常平缓，至-10m 附近为人工岛北侧岛壁。

担油港东侧约 500m 起至天涯镇马岭村长约 3km 岸段，处于已部分实施的临空人工岛掩护区外，前沿海滩岩发育，后方沿岸沙丘高于担油港以西部分，沿岸沙丘最大高程 9m～14m，沙丘上部多为防护林。沙丘前沿局部冲刷形成陡坎，局部海滩岩因沙丘塌落泥沙堆积而埋没，但海滩岩水下部分依然清晰。岸坡存在一定坡折，-2m 以上部分平均坡度 1:7~1:8，离岸 100m～250m 水深-2~-3m 地形有一定起伏，-3m~-6m 坡度 1:30 左右；-6m 以深非常平缓，坡度小于 1:100。

5）天涯镇至天涯海角

天涯镇岸段自岸向海依次分布沿岸沙丘、海滩和海滩岩；沿岸沙丘高程在 4～9m，民居建筑物紧邻海滩，海滩宽度 30m 左右，坡度 1:8~1:10；海滩前沿海滩岩连续分布，因岸滩存在一定冲淤动态，海滩岩时有埋没；离岸 200～300m 附近地形局部隆起，离岸 300m 以外大于-5m，坡度非常平缓，多小于 1:100。天涯镇村落的东端为在建的巴士码头，因码头施工期施工船舶和溢油建筑物影响，在码头西侧约 300m 岸段冲刷表现明显，滩面狭窄，局部建筑物堤基冲刷出露。巴士码头东侧约 300m 范围海滩宽阔，滩肩高程 4m～5m，滩面宽度可达 50m～80m。滩肩至-1m 坡度 1:8 左右，-1m 以下平缓。海滩岩在这一岸段不再出露。天涯海角天涯石西侧，是以天涯石为岬角形成的岬湾岸线，湾内有小河入注，粗砂为主，海滩后方的沿岸沙坝在此消失，沿岸未见海滩岩分布。天涯海角的天涯石向东约 700m，是天涯海角景区的沙滩分布岸段。该岸段以基岩块石与沙滩相间分布为特征，低潮以上海滩宽度 20～40m，以中细砂为主，滩面坡度 1:8 左右。天涯海角景区沙滩以东，基岩广泛分布，岸外礁石较多，岸边少有沙滩。

4.4.3.4 工程海域水下地形

红塘湾附近水下地形等深线稀疏，地形平缓，岬角附近等深线稠密，地形坡度较陡。本工程所在的塔岭附近，基岩岬角前沿水深可达-6m，-10m，-10m 线距岬角仅约

300m，-15m 线距离岬角 1km 左右，2016 年初开工建设的临空产业园人工岛目前已形成围堰的范围约为长轴 3km、短轴 2km 的顺岸布置椭圆形，离岸最近距离约 670m，所在区域水深约-9m~-15m；此外在当初拟建新机场人工岛东北角水深 20m 附近实施了约 900m×500m 的近矩形起步区围填工程，南护岸附近进行了钢圆筒基槽开挖和部分试桩。

工程 2016 年初开工前（2015 年 12 月测）至 2019 年 7 月，工程区海域的水下地形变化仅表现在工程直接引起的地形改变，即抛填和开挖部位分别表现为地形的增高和降低，在工程周边，海床地形几乎没有任何变化。

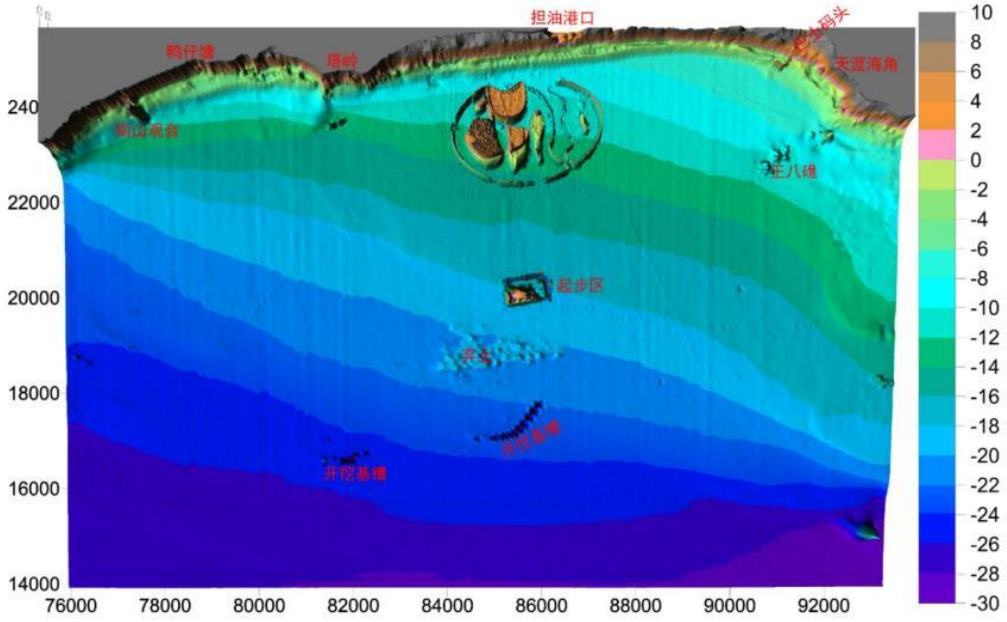


图 4.4-9 海域已有人工岛围填工程实施 2 年后（2019.7）

4.4.4 海水水质环境质量现状调查与评价

本次调查数据引自《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度夏季航次）》（国家海洋局海口海洋环境监测中心站，2023 年 8 月）、《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023 年度秋季航次）》（国家海洋局海口海洋环境监测中心站，2023 年 9 月）。

4.4.4.1 调查概况

站点布设依据：根据 2019 年三亚新机场人工岛附近海域海洋环境调查的历史站点及环评范围要求布设站点。

调查站位见图 4.4-10 和表 4.4-7。

表 4.4-7a 夏季海洋环境现状调查站位及内容

序号	站号	纬度（N）	经度（E）	监测内容
1	新增 1	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
2	新增 2	[redacted]	[redacted]	水质
3	新增 3	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
4	新增 4	[redacted]	[redacted]	水质
5	P12	[redacted]	[redacted]	水质
6	P13*	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
7	P14	[redacted]	[redacted]	水质
8	P15	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
9	P18	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
10	P19	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
11	P20*	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
12	P21	[redacted]	[redacted]	水质
13	P24	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
14	P25	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
15	P26	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
16	P27	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
17	P30	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
18	P31*	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物
19	P32	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
20	P33	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物
21	新增 5	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物
22	新增 6	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
23	新增 7	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物
24	新增 8	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
25	C2	[redacted]	[redacted]	潮间带生物
26	C3	[redacted]	[redacted]	潮间带生物
27	C4	[redacted]	[redacted]	潮间带生物

注：水质监测站包括叶绿素 a 和水文项目；浮游生物包括浮游植物和浮游动物。潮间带根据实际情况可以调整站位的经纬度。

*表示该站采双平行样。

表 4.4-7b 秋季海洋环境现状调查站位及内容

站号	经度	纬度	调查因子
1*	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
2	[redacted]	[redacted]	水质
3	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
4	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
5*	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物
6	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
7	[redacted]	[redacted]	水质
8	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
9	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
10	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
11	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态

12	[redacted]	[redacted]	水质
13	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
14	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
15*	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
16	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
17	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
18*	[redacted]	[redacted]	水质
19	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
20	[redacted]	[redacted]	水质
21	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
22	[redacted]	[redacted]	水质
23	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
24	[redacted]	[redacted]	水质
25	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
26	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
27	[redacted]	[redacted]	水质
28	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
29	[redacted]	[redacted]	水质
30	[redacted]	[redacted]	水质
31	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
C2	[redacted]	[redacted]	潮间带生物
C3	[redacted]	[redacted]	潮间带生物
C4	[redacted]	[redacted]	潮间带生物

注：水质监测站包括叶绿素 a 和水文项目；浮游生物包括浮游植物和浮游动物。潮间带根据实际情况可以调整站位的经纬度。* 表示该站采双平行样。

4.4.4.2 调查与分析方法

1.调查方法

采样层次：水深小于 10 米时，在海面下 0.5 米取 1 个水样；水深大于 10 米且小于 25 米时，取海面下 0.5 米和海底上 2 米的表底层水样；水深大于 25 米且小于 50 米时，取海面下 0.5 米、10 米水深处和海底上 2 米的表中底层水样；水深大于 50 米且小于 100 米时，取海面下 0.5 米、10 米水深处、50 米水深处和海底上 2 米的水样。油类采集表层样品。

采样工具：使用 QCC10-10 型球阀式采水器采集海水样品，其中油类使用 TC-800FC 型表层油类采水器。

2.分析方法

海水水质分析方法及方法检出限见表 4.4-8。

表 4.4-8 海水水质分析方法

类别	监测项目	分析方法	方法检出限	检测标准（方法）名称
海水水质	透明度	透明圆盘法	/	《海洋监测规范》GB17378.4-2007
	盐度	盐度计法	/	

pH	pH 计法	/
溶解氧	碘量法	/
化学需氧量	碱性高锰酸钾法	/
氨氮	次溴酸盐氧化法	/
亚硝酸盐氮	萘乙二胺分光光度法	/
硝酸盐氮	锌-镉还原法	/
活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	/
油类	紫外分光光度法	3.5μg/L
悬浮物	重量法	/

4.4.4.3 调查因子

本次调查的因子包括水温、深度、水色、透明度、盐度、pH、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、油类、悬浮物、氨氮（NH_4^+-N））、硝酸盐氮（NO_3^--N）、亚硝酸盐氮（NO_2^--N）、活性磷酸盐（PO_4^{3-}-P）、铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、总铬（Cr）、汞、砷（As）共 21 项。

4.4.4.4 评价标准

根据《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，调查站位执行的标准详见表 4.4-8。

表 4.4-8a 夏季各调查站位执行标准

调查站位	所在功能区	执行标准
新增 1、新增 2、P12、P18	三亚湾旅游休闲娱乐区	二类
新增 3	三亚港港口航运区	不劣于三类
新增 4、P15、P21、P27、P33、新增 8	海南岛近海农渔业区	一类
P19	三亚湾农渔业区	二类
P20、P26、P32、新增 7	海南岛西南部保留区	维持现状
P24、P30	南山旅游休闲娱乐区	二类
P25	红塘湾保留区	维持现状
P31、新增 6	南山红塘湾农渔业区	二类
新增 5	南山港港口航运区	不劣于三类

表 4.4-8b 秋季各调查站位执行标准

调查站位	所在功能区	执行标准
4、8、10、12、14、16、18、20、21、25、27、30、31	海南岛近海农渔业区	一类
3、7、11、15、19、23、24、26、28、29	海南岛保留区	维持现状
22	南山港港口航运区	不劣于三类
1、2、5、9、13、17	三亚湾旅游休闲娱乐区	二类
6	海洋保护区	一类

4.4.4.5 评价方法

监测点位的等级评价采用单因子污染指数评价法，根据《环境影响评价技术导则地表水环境》（HJ2.3-2018），一般性水质因子的指数计算公式为（1），溶解氧（DO）的标准指数计算公式为（2）和（3），pH 值的指数计算公式为（4）和（5）：

$$S_{i,j}=\frac{C_{i,j}}{C_{Si}} \qquad （1）$$

式中：$S_{i,j}$——评价因子 i 的水质指数，大于 1 表明该水质因子超标；

$C_{i,j}$——评价因子 i 在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

C_{si}——评价因子 i 的水质评价标准限值，mg/L。

$$S_{DO,j}=\frac{DO_s}{DO_j} \qquad DO_j \le DO_f \qquad （2）$$

$$S_{DO,j}=\frac{\left|DO_f-DO_j\right|}{DO_f-DO_s} \qquad DO_j>DO_f \qquad （3）$$

式中：$S_{DO,j}$——溶解氧的标准指数，大于 1 表明该水质因子超标；

DO_j——溶解氧在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

DO_s——溶解氧的水质评价标准限值，mg/L；

DO_f——饱和溶解氧浓度，mg/L，对于盐度比较高的入海河口、近岸海域，DO_f=（491-2.65S）/（33.5+T）

S——实用盐度符号，量纲为 1；

T——水温，℃。

$$S_{pH,j}=\frac{7.0-pH_j}{7.0-pH_{sd}} \qquad pH_j \le 7.0 \qquad （4）$$

$$S_{pH,j}=\frac{pH_j-7.0}{pH_{su}-7.0} \qquad pH_j>7.0 \qquad （5）$$

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_{sd}——评价标准中 pH 值的下限值；

pH_{su} ——评价标准中 pH 值的上限值。

4.4.4.6 调查结果

调查结果见表 4.4-9。

表 4.4-9a 夏季海水水质调查结果

要素	全海区			
	最低值	最高值	平均值	检出率(%)
水温(℃)				100
盐度				100
pH				100
DO(mg/L)				100
COD(mg/L)				100
PO_4-P(μg/L)				100
无机氮（μg/L）				100
油类(mg/L)				100
悬浮物(mg/L)				100
Cu				/
Pb				100
Zn				100
Cd				/
Hg				100
As				100
总铬				/

注：检出率占样品频数的 1/2 以上(包括 1/2)或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算。

表 4.4-9b 秋季水质要素监测结果统计

要素	全海区			
	最低值	最高值	平均值	检出率(%)
水温(℃)				100
盐度				100
pH				100
DO(mg/L)				100
COD(mg/L)				100
PO_4-P(μg/L)				100
无机氮（μg/L）				100
油类(mg/L)				100
悬浮物(mg/L)				100
Cu				100
Pb				100
Zn				100
Cd				100
Hg				100
As				100
总铬				100

注：检出率占样品频数的 1/2 以上(包括 1/2)或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算。

4.4.4.7 评价结果

（1）单个站点海水水质状况

以各监测站点所在海洋功能区环境保护要求的水质类别为目标水质类别，计算水质各评价指标的单因子污染指数，如表 4.4-10。可以看出，各监测站点各评价项目的单因子污染指数均小于 1，说明各监测站点的水质类别均满足所在海域海洋功能区环境保护要求。

（2）富营养化状况

化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐浓度均达到一类水质要求，因此，未出现富营养化状况。

表 4.4-10a 夏季各监测站点各评价项目的单因子污染指数和水质现状类别

站号	pH	DO	COD	DIN	PO_4-P	油类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	总铬	执行标准	水质现状类别	是否符合功能区要求目标类别
新 1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	二类	是
新 2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
新 3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于三类	一类	是
新 4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
新 5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于三类	一类	是
新 6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
新 7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于现状水平	一类	是
新 8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
P12	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
P13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
P14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
P15	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
P18	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
P19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
P20	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于现状水平	一类	是
P21	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
P24	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
P25	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于现状水平	一类	是
P26	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于现状水平	二类	是
P27	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	二类	是
P30	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
P31	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	二类	是
P32	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于现状水平	一类	是
P33	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是

注：（1）检出率占样品频数的 1/2 以上(包括 1/2)或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算；

（2）各监测站点各评价项目的实测统计代表值为该站点各采样层次监测结果的均值。

表 4.4-10b 秋季各监测站点各评价项目的单因子污染指数和水质现状类别

站号	pH	DO	COD	DIN	PO_4-P	油类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	总铬	执行标准	水质现状类别	是否符合功能
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
15	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
16	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
17	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	二类	一类	是
18	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
20	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
21	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
22	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	不劣于三类	一类	是
23	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
24	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是

25	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
26	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
27	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
28	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
29	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	维持现状	一类	是
30	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是
31	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	一类	是

注：（1）检出率占样品频数的 1/2 以上(包括 1/2)或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算；

（2）各监测站点各评价项目的实测统计代表值为该站点各采样层次监测结果的均值。

4.4.5 沉积物环境质量现状调查与评价

4.4.5.1 调查因子

沉积物调查因子有硫化物、有机碳、油类、铜、铅、锌、镉、铬、砷、总汞、粒度共计 11 项。

4.4.5.2 调查与分析方法

1.调查方法

使用抓斗式采样器采集表层样品，取上部 0～5 cm 的沉积物，如一次采样量不够，须再次采样。若因采泥器在提升过程中受海水冲刷，致使样品流失过多或因沉积物太软，采泥器下降过猛，沉积物从耳盖中冒出，均须重采。

2.分析方法

海洋沉积物分析方法及方法检出限见表 4.4-11。

表 4.4-11 分析方法

类别	监测项目	分析方法	方法检出限	检测标准（方法）名称
海洋沉积物	粒度	沉积物粒度分析	/	《海洋监测规范 》GB17378.5-2007、《海洋调查规范》GB/T12763.8-2007
	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	/	
	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	0.3×10^{-6}	
	总汞	原子荧光法	2.0×10^{-9}	
	砷	原子荧光法	0.06×10^{-6}	
	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.5×10^{-6}	
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	1.0×10^{-6}	
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}	
	铬	无火焰原子吸收分光光度法	2.0×10^{-6}	
	锌	火焰原子吸收分光光度法	6.0×10^{-6}	
	油类	紫外分光光度法	3.0×10^{-6}	

4.4.5.3 评价标准

根据《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，调查站位执行的标准详见表 4.4-12，根据生态环境部 2020 年颁布的《近岸海域海洋环境监测技术规范 第十部分 评价及报告》（HJ 442.10-2020），采用一类沉积物质量标准计算样品超标率。

表 4.4-12 各调查站位执行标准

调查站位	所在功能区	执行标准
新增 1、新增 2、P12、P18	三亚湾旅游休闲娱乐区	一类
新增 3	三亚港港口航运区	二类
新增 4、P15、P21、P27、P33、新增 8	海南岛近海农渔业区	一类
P13、P14	三亚珊瑚礁海洋保护区	一类
P19	三亚湾农渔业区	一类

P20、P26、P32、新增 7	海南岛西南部保留区	维持现状
P24、P30	南山旅游休闲娱乐区	一类
P25	红塘湾保留区	维持现状
P31、新增 6	南山红塘湾农渔业区	一类
新增 5	南山港港口航运区	二类

4.4.5.4 评价方法

监测点位的等级评价与水质评价方法相同，采用单因子污染指数评价法。

4.4.5.5 调查结果

海洋沉积物调查结果见表 4.4-13。

表 4.4-13 三亚近岸海域表层沉积物粒度测定结果统计表

站位	平均粒径(mm)	中值粒径(mm)	偏态值 Skf	峰态值 K_g	分选系数(φ)	砾石(%)	砂(%)	粉砂(%)	粘土(%)	沉积物类型
新 1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾砂
新 3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾泥
新 5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾砂
新 7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	砂质粉砂
P13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	砾质砂
P15	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	砂质粉砂
P18	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾泥质砂
P20	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	砂质粉砂
P24	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾砂
P25	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾泥质砂
P31	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	含砾泥质砂
P33	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	砾质砂
最小值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	——
最大值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	——
平均值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	——

4.4.5.6 评价结果

海洋沉积物评价结果见表 4.4-14。

评价结果表明：本航次所有监测站位的沉积物质量现状类别均为一类，满足所在海域海洋功能区环境保护要求。监测区域沉积物相对一类沉积物质量的点位超标率为 0，区域沉积物综合质量分级为良好。

表 4.4-14 海洋沉积物评价结果

站位	有机碳	硫化物	油类	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As	总汞	执行标准	是否符合功能区要求	沉积物质量现状类别
S1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S12	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S17	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S21	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
S23	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	一类	是	一类
最小值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	——	——	——
最大值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	——	——	——
平均值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	——	——	——

注：检出率占样品频数的 1/2 以上(包括 1/2)或不足 1/2 时,未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算。

4.4.6 海洋生态环境现状调查与评价

4.4.6.1 调查因子

海洋生态调查因子包括叶绿素-a、初级生产力、浮游植物：种类、个体数量、分布、多样性指数和均匀度、浮游动物：生物量、种类、数量、多样性、底栖生物：生物量、种类、数量、多样性。

4.4.6.2 调查方法

浮游生物：浮游植物用浅水III型浮游生物网、浮游动物用浅水I型浮游生物网由底至表垂直拖拽采集样品，起网速度保持在 0.5 m/s 左右。网升至适当高度后，用冲水设备自上而下反复冲洗网衣外表面（切勿使冲洗的海水进入网口），使粘附于网上的标本集中于网底管内。将网收入甲板，开启网底管活门，把标本装入标本瓶，再关闭网底管活门，用洗耳球吸水冲洗筛绢套，如此反复多次，直至残留标本全部收入标本瓶中。采集的样品用用鲁哥试剂或样品体积 5 %的甲醛溶液进行固定。

鱼卵和仔、稚鱼：利用浅水I型浮游生物网采样。定性样品在海水表层（0~3 m）进行水平拖网 10~15 min，船速为 1~2 kn；定量样品由海底至海面垂直拖网。采集的样品用样品体积 5%甲醛溶液固定。

底栖生物：定量样品用抓斗式采泥器采集，定性样品用阿拖网采集，采集的样品用样品体积 5%甲醛溶液固定。

潮间带生物：采集的样品用样品体积 5%甲醛溶液固定。

海洋生物体：本项目生物质量分析所需的生物样品来源为市场直接购买，主要包括经济鱼类和虾蟹类，取得后分袋、冰冻保存，取可食部分进行分析。

4.4.6.3 评价方法

根据《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》（HY/T 215-2017），种类多样性指数（H'）(Shannon-Wiener 多样性指数)计算公式为

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \qquad (2)$$

式中：H'——种类多样性指数；

P_i——第 i 种的个体数占该调查站位总个体数之比；

$$P_i = \frac{N_i}{N} \qquad (3)$$

式中：N_i——第 i 种的个体数量；N——调查站位的所有个体数量。

采用马卡列夫丰富度指数大小表示群落（或样品）中种类丰富程度。一般而言，健康的环境，种类丰富度高，污染环境则相反。种类丰富度指数（d）(Margalef 丰富度指数)公式为：

$$d = \frac{S-1}{\ln N} \qquad (4)$$

式中：d——种类丰富度指数；S——调查站位所有的物种数目；N——调查站位的所有个体数量。

优势度（Y）计算公式为：

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

式中：n_i 为第 i 种的个体数；f_i 是该种在各站中出现的频率；N 为所有站每个种出现的总个体数。

4.4.6.4 调查结果

1.叶绿素-a 及初级生产力

夏季调查海区各站点之间叶绿素-a 含量的变化幅度较小。表层叶绿素-a 含量的变化范围为（0.133~1.79）μg/L，平均值为 0.465 μg/L；底层叶绿素-a 含量的变化范围为（0.134~4.43）μg/L，平均值为 0.750 μg/L。初级生产力介于（21.0~921.2）mg·C/(m^2·d)之间，平均值为 179.3 mg·C/(m^2·d)。

秋季调查海区各站点之间叶绿素-a 含量的变化幅度较小。表层叶绿素-a 含量的变化范围为（0.027~1.46）μg/L，平均值为 0.2372 μg/L；10m 层叶绿素-a 含量的变化范围为（0.0442~0.201）μg/L，平均值为 0.0926 μg/L；底层叶绿素-a 含量的变化范围为（0.0264~0.399）μg/L，平均值为 0.1386 μg/L。初级生产力介于（6.66~47.83）mg·C/(m^2·d)之间，平均值为 22.44 mg·C/(m^2·d)。

监测结果列于表 4.4-15 中。

表 4.4-15a 夏季叶绿素-a 和初级生产力监测结果

站号	叶绿素-a 含量/(μg/L)			初级生产力
	表层	10m	底层	mg.C/（m^2·d）
新 1				
新 3				
新 6				
新 8				
P13				
P15				

P18				
P19				
P20				
P24				
P25				
P26				
P27				
P30				
P32				
平均值				

表 4.4-15b 秋季叶绿素-a 和初级生产力监测结果

站号	叶绿素-a 含量/(μg/L)			初级生产力
	表层	10m	底层	mg.C/（m^2·d）
1				
3				
4				
6				
8				
9				
10				
11				
13				
14				
15				
16				
17				
19				
21				
23				
25				
26				
28				
31				
平均值				

2.浮游植物监测结果

（1）种类组成

本次夏季调查区域共鉴定到包括硅藻、甲藻、蓝藻 3 大门类在内的 87 种（含变种、变型及个别未定种的属）（结果详见附录 I 浮游植物种类名录）。其中硅藻门 70 种，占总种数的 80%；甲藻门 13 种，占总种数的 15%；蓝藻门 4 种，占总种数的 5%。本次秋季调查区域共鉴定到包括硅藻、甲藻、蓝藻及针胞藻 4 大门类在内的 109 种（含变种、变型及个别未定种的属）（结果详见附录 I 浮游植物种类名录）。其中硅藻门 76 种，占总种数的 70%；甲藻门 27 种，占总种数的 25%；蓝藻门 5 种，占总种数的 4%；针胞门 1 种，占总种数的 1%。

各站位浮游植物种类组成见表 4.4-16。

表 4.4-16a 夏季各站位浮游植物种类组成

站号	门类			
	硅藻门（种）	甲藻门（种）	蓝藻门（种）	总种数（种）
新 1	18	1	2	21
新 3	34	2	2	38
新 6	26	3	2	31
新 8	31	2	0	33
P13	16	1	2	19
P15	26	5	3	34
P18	14	0	2	16
P19	21	5	2	28
P20	26	6	2	34
P24	31	6	2	39
P25	17	1	1	19
P26	18	5	2	25
P27	31	7	2	40
P30	23	3	2	28
P32	22	6	3	31
均值	24	4	2	30

表 4.4-16b 秋季各站位浮游植物种类组成

站号	门类			
	硅藻门（种）	甲藻门（种）	蓝藻门（种）	总种数（种）
1	36	10	2	48
3	18	4	3	25
4	19	3	2	24
6	33	9	3	45
8	8	5	1	14
9	8	4	2	14
10	11	4	2	17
11	9	6	4	19
13	34	5	3	42
14	14	5	2	21
15	10	9	1	20
16	7	6	1	14
17	27	9	2	38
19	8	4	3	15
21	11	2	2	15
23	15	7	1	23
25	11	3	2	16
26	11	4	2	17
28	12	3	2	17
31	18	3	2	23
平均值	16	5	2	23
17 号站监测到针胞藻 1 种。				

（2）丰度

本次夏季调查各测站浮游植物的细胞丰度变化为 1.27×10^5~9.34×10^5cells/m^3，平均为 3.86×10^5cells /m^3，最高值出现在 P20 号站，最低值出现在 P26 号站。本次秋季调查各测站浮游植物的细胞丰度变化为 0.45×10^5~27.00×10^5cells/m^3，平均为 4.31×10^5cells /m^3，最高值出现在 1 号站，最低值出现在 14 号站。（见表 4.4-17）。

表 4.4-17a 夏季各测站浮游植物丰度（$\times10^5$cells/m^3）

站位	细胞丰度
新 1	4.63
新 3	8.25
新 6	3.57
新 8	2.32
P13	3.61
P15	3.06
P18	5.99
P19	2.97
P20	9.34
P24	1.38
P25	3.58
P26	1.27
P27	3.17
P30	3.38
P32	1.40
最小值	1.27
最大值	9.34
平均值	3.86

表 4.4-17b 秋季各测站浮游植物丰度（$\times10^5$cells/m^3）

站位	细胞丰度
1	27
3	0.95
4	0.68
6	2.5
8	1.7
9	0.6
10	0.67
11	1.6
13	6.8
14	0.45
15	1.9
16	0.85
17	8.9
19	1.6
21	8.6
23	3.7
25	0.49

26	13
28	3.3
31	1.0
最小值	0.45
最大值	27
平均值	4.31

（3）优势种

优势种的确定由优势度决定，根据实际调查情况，本次调查把浮游植物中的优势度 $Y \geq 0.02$ 的种类作为该海域的优势种类。

夏季调查期间该水域浮游植物优势种共出现了 6 种，均属于硅藻门，分别为柔弱伪菱形藻（*Pseudo-nitzschia delicatissima*）、劳氏角毛藻（*Chaetoceros lorenzianus*）、掌状冠盖藻（*Chaetoceros lorenzianus*）、拟旋链角毛藻（*Chaetoceros pseudocurvisetus*）、翼根管藻纤细变型（*Rhizosolenia alata f. gracillima*）、距端假管藻（*Pseudosolenia calcar-avis*）。其中以柔弱伪菱形藻（*Pseudo-nitzschia delicatissima*）为调查区域的第一优势种，优势度为 0.46；第二优势种为劳氏角毛藻（*Chaetoceros lorenzianus*），优势度为 0.15；第三优势种为掌状冠盖藻（*Chaetoceros lorenzianus*），优势度为 0.05；这三种优势种主导着调查期间本海域浮游植物的丰度。秋季调查期间该水域浮游植物优势种共出现了 2 种，一种属于硅藻门、一种属于蓝藻门，分别为笔尖形根管藻（*Rhizosolenia styliformis var. styliformis*）、铁氏束毛藻（*Trichodesmium thiebaultii*）。其中以铁氏束毛藻（*Trichodesmium thiebaultii*）为调查区域的第一优势种，优势度为 0.52；第二优势种为笔尖形根管藻（*Rhizosolenia styliformis var. styliformis*），优势度为 0.07，（见表 4.4-18）。

表 4.4-18a 夏季浮游植物的优势种和优势度

门类	优势种	拉丁文名	出现频率（%）	优势度
硅藻	柔弱伪菱形藻	*Pseudo-nitzschia delicatissima*	100	0.46
	劳氏角毛藻	*Chaetoceros lorenzianus*	93.33	0.15
	掌状冠盖藻	*Chaetoceros lorenzianus*	93.33	0.05
	拟旋链角毛藻	*Chaetoceros pseudocurvisetus*	66.67	0.04
	翼根管藻纤细变型	*Rhizosolenia alata f. gracillima*	86.67	0.03
	距端假管藻	*Pseudosolenia calcar-avis*	93.33	0.02

表 4.4-18b 秋季浮游植物的优势种和优势度

门类	优势种	拉丁文名	出现频率（%）	优势度
蓝藻	铁氏束毛藻	*Trichodesmium thiebaultii*	95	0.52
硅藻	笔尖形根管藻	*Rhizosolenia styliformis var. styliformis*	90	0.07

（4）多样性指数（*H'*）和丰富度指数（*d*）

夏季调查期间各测站的浮游植物多样性指数介于 1.96~4.01 之间，平均值为 2.76。多样性指数最高值出现在 P20 号站位，最低值出现在 P15 号站位；丰富度指数变化范围在 2.47~5.36，平均为 4.12；丰富度最高值出现在 P27 号站位，最低值出现在 P18 号站位。秋季调查期间各测站的浮游植物多样性指数介于 0.7~4.2 之间，平均值为 2.4。多样性指数最高值出现在 13 号站位，最低值出现在 11 号站位；丰富度指数变化范围在 1.82~6.79，平均为 3.47；丰富度最高值出现在 1 号站位，最低值出现在 8 号站位。详见表 4.4-19。

表 4.4-19a 夏季各站位浮游植物多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

站位	多样性指数（*H′*）	丰富度指数（*d*）
新 1	3.08	3.43
新 3	2.83	4.69
新 6	2.96	4.30
新 8	3.02	4.62
P13	1.96	2.88
P15	1.96	4.33
P18	2.58	2.47
P19	3.03	4.22
P20	4.01	5.31
P24	2.86	4.96
P25	2.61	2.68
P26	2.83	3.84
P27	2.20	5.36
P30	2.77	4.02
P32	2.65	4.77
最小值	1.96	2.47
最大值	4.01	5.36
平均值	2.76	4.12

表 4.4-19b 秋季各站位浮游植物多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

站位	多样性指数（*H′*）	丰富度指数（*d*）
1	3.99	6.79
3	3.72	4.23
4	3.45	3.89
6	4.06	6.73
8	1.06	1.82
9	3.13	2.98
10	3.09	2.69
11	0.70	2.56
13	4.20	6.07
14	0.74	2.82
15	1.25	2.76
16	1.31	1.98
17	2.41	5.08
19	2.24	2.00

21	2.82	2.52
23	1.09	3.19
25	2.69	2.59
26	2.38	2.87
28	1.31	2.25
31	2.36	3.47
最小值	0.7	1.82
最大值	4.2	6.79
平均值	2.4	3.47

3.浮游动物监测结果

（1）种类组成

据本次夏季调查所采集到的标本鉴定，调查海域浮游动物共有 11 类 102 种。其中，桡足类最多，有 40 种，占浮游动物总种数的 42%；浮游幼体（包含鱼卵仔鱼）有 14 种，占浮游动物总种数的 20.59%；腔肠动物有 19 种，均占浮游动物总数 20%；毛颚类有 10 种，均占浮游动物总种类数的 11%；糠虾类、被囊类和端足类各有 4 种，均占浮游动物总种类数的 4%；十足类、枝角类、磷虾类和翼足类各有 2 中，均占浮游动物总种类数的 2%。

秋季调查海域浮游动物共有 11 类 119 种。其中，桡足类最多，有 57 种，占浮游动物总种数的 48%；腔肠动物有 20 种，均占浮游动物总数 17%；浮游幼体（包含鱼卵仔鱼）有 15 种，占浮游动物总种数的 12%；被囊类有 9 种，均占浮游动物总种类数的 7%；毛颚类有 7 种，均占浮游动物总种类数的 6%；糠虾类有 4 种，均占浮游动物总种类数的 3%；十足类、端足类各有 2 种，均占浮游动物总种类数的 2%；翼足类、磷虾类和介形类各有 1 种，均占浮游动物总种类数的 1%。

（2）密度和湿重生物量

本次夏季调查海域浮游动物密度范围为（7.6～100.9）ind/m^3，平均密度为 50.4 ind/m^3。不同站位间的浮游动物栖息密度有所不同，以 P18 号站最高，P27 号站最低。浮游动物湿重生物量范围为（11.05～123.28）mg/m^3，平均生物量为 57.44 mg/m^3，其中以 P18 号站最高，P27 号站最低。本次秋季调查海域浮游动物密度范围为（17.1～84.6）ind/m^3，平均密度为 45.1ind/m^3。不同站位间的浮游动物栖息密度有所不同，以 15 号站最高，26 号站最低。浮游动物湿重生物量范围为（13.16～89.36）mg/m^3，平均生物量为 49.33 mg/m^3，其中以 15 号站最高，26 号站最低。

各站位浮游动物湿重生物量与栖息密度的平面分布存在一定的相关性。结果详见表 4.4-20。

表 4.4-20a 夏季各测站浮游动物密度（ind/m³）和湿重生物量(mg/m³)分布表

站位	密度（ind/m³）	湿重生物量（mg/m³）
新 1	[redacted]	[redacted]
新 3	[redacted]	[redacted]
新 6	[redacted]	[redacted]
新 8	[redacted]	[redacted]
P13	[redacted]	[redacted]
P15	[redacted]	[redacted]
P18	[redacted]	[redacted]
P19	[redacted]	[redacted]
P20	[redacted]	[redacted]
P24	[redacted]	[redacted]
P25	[redacted]	[redacted]
P26	[redacted]	[redacted]
P27	[redacted]	[redacted]
P30	[redacted]	[redacted]
P32	[redacted]	[redacted]
最小值	[redacted]	[redacted]
最大值	[redacted]	[redacted]
平均值	[redacted]	[redacted]

表 4.4-20b 秋季各测站浮游动物密度（ind/m³）和湿重生物量(mg/m³)分布表

站位	密度（ind/m³）	湿重生物量（mg/m³）
1	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]
31	[redacted]	[redacted]
最小值	[redacted]	[redacted]
最大值	[redacted]	[redacted]
平均值	[redacted]	[redacted]

（3）优势种

优势种的确定由优势度决定，根据实际调查情况，本次调查把浮游动物中的优势

度 $Y \geq 0.02$ 的种类作为该海域的优势种类。（见表 4.4-21）

夏季调查期间该海域浮游动物优势种类主要有 7 种，分别为肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）、亚强次真哲水蚤（*Subeucalanus subcrassus*）、驼背隆哲水蚤（*Acrocalanus gibber*）、正型莹虾（*Lucifer typus*）、短额刺糠虾（*Acanthomysis brevirostris*）、琴形箭虫（*Sagitta lyra*）。调查海域浮游动物主要以肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）为优势种，优势度最高，达 0.08，亚强次真哲水蚤（*Subeucalanus subcrassus*）次之，为 0.07。秋季调查期间该海域浮游动物优势种类主要有 3 种，分别为亚强次真哲水蚤（*Subeucalanus subcrassus*）、肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）、磁蟹溞状幼体（*Zoea larvae (Porcellana)*）。调查海域浮游动物主要以亚强次真哲水蚤（*Subeucalanus subcrassus*）为优势种，优势度最高，达 0.05，肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）次之，为 0.046。

表 4.4-21a 夏季浮游动物的优势种

优势种	拉丁文名	出现频率	优势度
肥胖箭虫	*Sagitta enflata*	93.33	0.08
亚强次真哲水蚤	*Subeucalanus subcrassus*	86.67	0.07
驼背隆哲水蚤	*Acrocalanus gibber*	60.00	0.04
正型莹虾	*Lucifer typus*	66.67	0.04
短额刺糠虾	*Acanthomysis brevirostris*	60.00	0.02
琴形箭虫	*Sagitta lyra*	53.33	0.02

表 4.4-21b 秋季浮游动物的优势种

优势种	拉丁文名	出现频率	优势度
亚强次真哲水蚤	*Subeucalanus subcrassus*	60.00%	0.05
肥胖箭虫	*Sagitta enflata*	70.00%	0.046
磁蟹溞状幼体	*Zoea larvae (Porcellana)*	60.00%	0.02

（4）多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

夏季调查期间各站位多样性指数有所差异，范围在 1.54~4.54 之间，平均值为 3.78，最高值出现在 P20 号站位，最低值出现在 P26 号站位。各站位丰富度指数有所差异，范围在 1.28~5.26 之间，平均值为 3.41，最高值出现在 P20 号站位，最低值出现在 P26 号站位。秋季调查期间各站位多样性指数有所差异，范围在 1.74~4.43 之间，平均值为 3.46，最高值出现在 11 号站位，最低值出现在 26 号站位。各站位丰富度指数有所差异，范围在 0.99~4.48 之间，平均值为 2.91，最高值出现在 25 号站位，最低值出现在 21 号站位（见表 4.4-22）。

表 4.4-22a 夏季浮游动物多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

站位	多样性指数（H′）	丰富度指数 d）

新 1	3.62	3.03
新 3	4.19	3.78
新 6	4.14	4.26
新 8	3.34	2.79
P13	3.68	3.59
P15	4.08	3.64
P18	3.69	2.77
P19	4.11	3.63
P20	4.54	5.26
P24	3.96	3.07
P25	4.17	3.45
P26	1.54	1.28
P27	3.49	2.98
P30	3.94	3.34
P32	4.22	4.21
最小值	1.54	0.55
最大值	4.54	0.97
平均值	3.78	0.91

表 4.4-22b 秋季浮游动物多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

站位	多样性指数（*H′*）	丰富度指数 *d*）
1	2.71	2.02
3	3.37	2.42
4	3.42	3.08
6	3.66	2.80
8	3.18	2.85
9	2.67	1.80
10	4.39	4.42
11	4.43	4.13
13	3.16	1.91
14	4.00	3.48
15	2.75	3.08
16	4.00	3.31
17	3.58	2.79
19	4.12	3.60
21	1.90	0.99
23	4.01	3.45
25	4.38	4.48
26	1.74	1.17
28	3.78	2.87
31	4.03	3.55
最小值	1.74	0.99
最大值	4.43	4.48
平均值	3.46	2.91

4.大型底栖生物

（1）种类组成

根据定性调查结果表明，夏季本海域共采获 6 个生物类别中的 51 种底栖生物。其

中刺胞动物动物 1 种，占总种类数的 1.96%；环节动物 3 种，占总种类数的 5.88%；棘皮动物 4 种，占总种类数的 7.84%；脊索动物 5 种，占总种类数的 9.80%；软体动物 13 种，占总种类数的 25.49%；节肢动物 25 种，占总种类数的 49.02%。

秋季本海域共采获 5 个生物类别中的 67 种底栖生物。其中节肢动物 33 种，占总种类数的 49%；软体动物 22 种，占总种类数的 33%；脊索动物 6 种，占总种类数的 9%；棘皮动物 5 种，占总种类数的 7%；环节动物 1 种，占总种类数的 2%。

（2）湿重生物量和栖息密度

调查结果表明，夏季各站位底栖生物栖息密度的变化幅度为（8.00~24.00）ind/m^2，平均密度为 12.00ind/m^2，最高出现在 P25 号站位；湿重生物量的变化幅度为（0.67~24.33）g/m^2，平均生物量为 6.01g/m^2，最高出现在新 3 号站位，最低出现在 P32 号站位。

秋季各站位底栖生物栖息密度的变化幅度为（8.00~83.00）ind/m^2，平均密度为 31.90ind/m^2，最高出现在 6 号站位；湿重生物量的变化幅度为（2.41~64.08）g/m^2，平均生物量为 22.78g/m^2，最高出现在 9 号站位，最低出现在 23 号站位。

调查结果详见表 4.4-23。

表 4.4-23a 夏季各站位大型底栖动湿重生物量(g/m^2)和栖息密度(ind/m^2)

站位	栖息密度(ind/m^2)	湿重生物量(g/m^2)
新 1	[redacted]	[redacted]
新 3	[redacted]	[redacted]
新 6	[redacted]	[redacted]
新 8	[redacted]	[redacted]
P13	[redacted]	[redacted]
P15	[redacted]	[redacted]
P18	[redacted]	[redacted]
P19	[redacted]	[redacted]
P20	[redacted]	[redacted]
P24	[redacted]	[redacted]
P25	[redacted]	[redacted]
P26	[redacted]	[redacted]
P27	[redacted]	[redacted]
P30	[redacted]	[redacted]
P32	[redacted]	[redacted]
最小值	[redacted]	[redacted]
最大值	[redacted]	[redacted]
平均值	[redacted]	[redacted]

表 4.4-23b 秋季各站位大型底栖动湿重生物量(g/m^2)和栖息密度(ind/m^2)

站位	栖息密度(ind/m²)	湿重生物量(g/m²)
1	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]
31	[redacted]	[redacted]
最小值	[redacted]	[redacted]
最大值	[redacted]	[redacted]
平均值	[redacted]	[redacted]

（3）优势种

优势种的确定由优势度决定，根据计算公式，f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况，本次调查把底栖生物中的优势度 $Y \geq 0.02$ 的种类作为该海域的优势种类。通过计算，夏季该区域的底栖生物优势种类有 2 种，分别为彩虹明樱蛤、双齿围沙蚕；秋季该区域的底栖生物优势种类有 1 种，为矛形梭子蟹（见表 4.4-24）。

表 4.4-24a 夏季底栖生物的优势种和优势度

优势种	拉丁文名	出现频率	优势度
彩虹明樱蛤	*Moerella iridescens*	20.00%	0.03
双齿围沙蚕	*Perinereis aibuhitensis*	33.33%	0.07

表 4.4-24b 秋季底栖生物的优势种和优势度

优势种	拉丁文名	出现频率	优势度
矛形梭子蟹	*Portunus hastatoides*	25%	0.025

（4）多样性指数（H′）和丰富度指数（d）

多样性指数和丰富度指数根据底栖生物定量样品进行计算，结果表明：夏季调查期间各站位的底栖生物多样性指数介于 0~1.58 之间，平均值为 0.57。丰富度指数介于

0~0.44 之间，平均值为 0.15。大部分站位定量底栖生物种类数较少，导致多样性指数偏低，在新 3、新 5、P15、P19、P24、P27 和 P32 站位只有一种底栖生物出现，多样性指数和丰富度指数为 0。秋季调查期间各站位的底栖生物多样性指数介于 0~2.52 之间，平均值为 1.52。丰富度指数介于 0~2.57 之间，平均值为 1.63。大部分站位定量底栖生物种类数较少，导致多样性指数偏低，在 4、6 号站位只有一种底栖生物出现，多样性指数和丰富度指数为 0。详见表 4.4-25。

表 4.4-25a 夏季底栖生物的多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

站位	多样性指数 H′	丰富度指数 d
新 1	1.00	0.25
新 3	0	0
新 6	0	0
新 8	1.00	0.25
P13	1.00	0.33
P15	0	0
P18	1.00	0.25
P19	0	0
P20	0.92	0.28
P24	0	0
P25	1.58	0.44
P26	1.00	0.25
P27	0	0
P30	1.00	0.25
P32	0	0
最小值	0	0
最大值	1.58	0.44
平均值	0.57	0.15

表 4.4-25b 秋季底栖生物的多样性指数（*H′*）和丰富度指数（*d*）

站位	多样性指数 *H′*	丰富度指数 *d*
1	1.58	1.82
3	1.00	1.44
4	0.00	0.00
6	0.00	0.00
8	1.96	1.74
9	1.58	1.82
10	1.79	1.67
11	2.52	2.57
13	2.00	2.16
14	2.32	2.49
15	1.79	1.67
16	2.00	2.16
17	0.92	0.91
19	2.25	2.23
21	1.92	1.86

23	1.50	1.44
25	1.00	1.44
26	1.58	1.82
28	1.00	1.44
31	1.58	1.82
最小值	0	0
最大值	2.52	2.57
平均值	1.52	1.63

5.潮间带生物

（1）种类组成

夏季调查断面潮间带生物经鉴定共有 2 大门类 7 种。其中最多的是节肢动物，占总种数的 71.4%。在 C2 断面的高潮带发现 1 种潮间带生物，中潮带发现 1 种潮间带生物，低潮带发现 1 种潮间带生物；在 C3 断面的高潮带发现 1 种潮间带生物，中潮带发现 1 种潮间带生物，低潮带发现 1 种潮间带生物；在 C4 断面的高潮带发现 1 种潮间带生物，中潮带发现 2 种潮间带生物，低潮带发现 2 种潮间带生物。

秋季调查断面潮间带生物经鉴定共有 2 大门类 5 种，其中最多的是软体动物，占总种数的 80%。在 C2 断面的高潮带发现 1 种潮间带生物，中潮带发现 1 种潮间带生物；在 C3 断面的高潮带发现 1 种潮间带生物，中潮带发现 1 种潮间带生物；在 C4 断面的高潮带发现 1 种潮间带生物，中潮带发现 3 种潮间带生物，低潮带发现 2 种潮间带生物。

（2）生物密度及生物量

1）水平分布

夏季调查 C2 断面的潮间带生物平均密度为 8.00ind./m^2，平均生物量为 0.683g/m^2；C3 断面的潮间带生物平均密度为 6.00ind./m^2，平均生物量为 3.409g/m^2；C4 断面的潮间带生物平均密度为 10.00ind./m^2，平均生物量为 6.210g/m^2。秋季调查 C2 断面的潮间带生物平均密度为 2.00ind./m^2，平均生物量为 2.42g/m^2；C3 断面的潮间带生物平均密度为 2.00ind./m^2，平均生物量为 1.33g/m^2；C4 断面的潮间带生物平均密度为 18.8ind./m^2，平均生物量为 13.94g/m^2。

潮间带生物密度及生物量的水平分布如表 4.4-26 所示。

表 4.4-26a 夏季潮间带生物密度及生物量的水平分布

断面名称	调查项目	软体动物	节肢动物	平均值	合计
C2	密度（ind./m^2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m^2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C3	密度（ind./m^2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C4	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 4.4-26b 秋季潮间带生物密度及生物量的水平分布

断面名称	调查项目	软体动物	节肢动物	平均值	合计
C2	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C3	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C4	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

2）垂直分布

夏季调查潮间带生物的密度表现为中潮带最高，为 20.00ind./m²，低潮带为 16.00ind./m²，高潮带为 12.00ind./m²，大小顺序为：中潮带>低潮带>高潮带。低潮带生物量最高，为 12.075g/m²，中潮带为 5.575g/m²，高潮带为 2.953g/m²，大小顺序为：低潮带>中潮带>高潮带。秋季调查潮间带生物的密度表现为中潮带最高，为 35.3ind./m²，低潮带为 30.00ind./m²，高潮带为 5.30ind./m²，大小顺序为：中潮带>低潮带>高潮带。高潮带生物量最少，为 5.3g/m²，中潮带为 23.4g/m²，低潮带为 18.4g/m²，大小顺序为：中潮带>低潮带>高潮带。

潮间带生物密度及生物量的垂直分布如表 4.4-27 所示。

表 4.4-27a 夏季潮间带生物密度及生物量的垂直分布

潮带名称	调查项目	节肢动物	软体动物	合计
高潮带	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
中潮带	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
低潮带	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 4.4-27b 秋季潮间带生物密度及生物量的垂直分布

潮带名称	调查项目	节肢动物	软体动物	合计
高潮带	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
中潮带	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
低潮带	密度（ind./m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	生物量（g/m²）	[redacted]	[redacted]	[redacted]

3）优势种

按照优势度 Y≥0.02 来确定本次定量调查的潮间带生物优势种类，夏季调查优势种有 7 种，分别是：痕掌沙蟹 *Ocypode stimpsoni*、棕毛活额寄居蟹 *Diogener jubatus*、弯螯活额寄居蟹 *Diogenes deflectomanus*、小翼拟蟹守螺 *Cerithidea microptera*、楯桑椹螺属 *Clypemorus* sp.、东方银杏蟹 *Actaea ruppellii orientalis* 和活额寄居蟹属 *Diogenes* sp.。其中痕掌沙蟹优势度最高，为 0.333，其次是棕毛活额寄居蟹和东方银杏蟹，为 0.056。秋季调查优势种有 4 种，分别是：痕掌沙蟹 *Ocypode stimpsoni*、平轴螺 *Planaxis sulcatus*、渔舟蜒螺 *Nerita albicilla*、黑瘤楯桑椹螺 *Clypemorus humilis*。其中痕掌沙蟹优势度最高，为 0.18，其次是平轴螺，为 0.14。

潮间带生物优势种及密度分布如表 4.4-28 所示。

表 4.4-28a 夏季潮间带生物优势种及密度分布（单位：ind./m2）

断面名称	痕掌沙蟹	棕毛活额寄居蟹	弯螯活额寄居蟹	小翼拟蟹守螺	楯桑椹螺属	东方银杏蟹	活额寄居蟹属
C2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
C4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
平均值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
优势度	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 4.4-28b 秋季潮间带生物优势种及密度分布（单位：ind./m^2）

种类	痕掌沙蟹	平轴螺	渔舟蜒螺	黑瘤楯桑椹螺
优势度	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

4）多样性指数及均匀度

本次夏季调查发现，C2 断面的多样性指数为 1.50，C3 断面的多样性指数为 0.92，C4 断面的多样性指数为 1.92。C2 断面的均匀度指数为 0.95，C3 断面的均匀度指数为 0.92，C4 断面的均匀度指数为 0.96。秋季调查发现，C2、C3 断面因只有一个种类，其多样性指数及均匀度指数均为 0；C4 断面的多样性指数为 1.93，均匀度指数为 0.83。

潮间带生物多样性指数和均匀度指数如表 4.4-29 所示。

表 4.4-29a 夏季潮间带生物多样性指数及均匀度

断面名称	种类数	多样性指数（H'）	均匀度（J）
C2	3	1.50	0.95
C3	2	0.92	0.92
C4	4	1.92	0.96
平均值	3	1.45	0.94

表 4.4-29b 秋季潮间带生物多样性指数及均匀度

断面名称	种类数	多样性指数（H'）	均匀度（J）
C2	1	0	0
C3	1	0	0
C4	5	1.93	0.83
平均值	2.3	0.64	0.28

4.4.7 海洋生物质量现状调查与评价

4.4.7.1 调查因子

分析生物体内的总汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌和石油烃含量。

4.4.7.2 调查方法

调查采样方式为单艘渔船底层脱网作业方式，并从各站位获取的鱼获中选出获取量较大的鱼类和甲壳类生物体样品，每个站位选取 1 至 2 种共 21 个游泳动物样品进行生物质量分析。

4.4.7.3 评价方法

生物质量评价采用单因子污染指数法进行评价，污染程度随实测浓度增大而加重。计算公式为：

$$Pi = \frac{Ci}{Cio}$$

式中：*Pi*—某污染因子的污染指数，即单因子污染指数；

Ci—某污染因子的实测浓度；

Cio—某污染因子的评价标准。

凡是单因子指数小于或等于 1 者，为该监测站水体没有遭受该要素的污染，大于 1 者为遭受污染，该值越大污染越重。

4.4.7.4 评价标准

采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

4.4.7.5 调查及评价结果

海洋生物质量调查结果见表 4.4-30，评价结果见表 4.4-31。

评价结果显示，调查海域鱼类、软体类和甲壳类生物质量基本处于较稳定状态，

生体内的总汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌和石油烃含量全部符合相应的评价标准。甲壳类体内石油烃含量较高的原因与其栖息环境等有一定关系，而鱼类体内石油烃含量较高的原因与其活动范围较大，受调查海域海水中油类含量、表层沉积物油类含量等因素影响有关。

表 4.4-30 生物残毒分析结果（湿重）

站号	名称	类别	石油烃	总汞	砷	锌	镉	铅	铜	铬
			($\times10^{-6}$)							
1	褐篮子鱼	鱼类								
	尖尾鳗									
3	红星梭子蟹	甲壳类								
	短棘鲳	鱼类								
6	短棘鲳	鱼类								
	鹰爪虾	甲壳类								
8	蓝圆鲹	鱼类								
	短鞘	软体类								
9	大吻叫姑鱼	鱼类								
10	长棘银鲈	鱼类								
	锈斑蟳	甲壳类								
11	大吻叫姑鱼	鱼类								
	短沟对虾	甲壳类								
13	海鳗	鱼类								
	二长棘鲷									
14	网纹裸胸鳝	鱼类								
	中国枪乌贼	软体类								
15	尖嘴魟	鱼类								
	二长棘鲷									
16	大吻叫姑鱼	鱼类								
	中型新对虾	甲壳类								
17	多齿蛇鲻	鱼类								
	虎斑乌贼	软体类								
19	短棘鲳	鱼类								
	须赤虾	甲壳类								
22	细鳞鲴	鱼类								
24	海鳗	鱼类								
	锈斑蟳	甲壳类								

注：1、“nd”表示未检出，检出率占样品频数的 1/2 以上(包括 1/2)或不足 1/2 时,未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算。

表 4.4-31 生物体污染物标准指数

站号	样品名称	类别	石油烃	总汞	砷	锌	镉	铅	铜	铬
1	褐篮子鱼	鱼类								
	尖尾鳗	鱼类								

3	红星梭子蟹	甲壳类	[redacted]							
	短棘鲳	鱼类	[redacted]							
6	短棘鲳	鱼类	[redacted]							
	鹰爪虾	甲壳类	[redacted]							
8	蓝圆鲹	鱼类	[redacted]							
	短鞘	软体类	[redacted]							
9	大吻叫姑鱼	鱼类	[redacted]							
10	长棘银鲈	鱼类	[redacted]							
	锈斑蟳	甲壳类	[redacted]							
11	大吻叫姑鱼	鱼类	[redacted]							
	短沟对虾	甲壳类	[redacted]							
13	海鳗	鱼类	[redacted]							
	二长棘鲷	鱼类	[redacted]							
14	网纹裸胸鳝	鱼类	[redacted]							
	中国枪乌贼	软体类	[redacted]							
15	尖嘴魟	鱼类	[redacted]							
	二长棘鲷	鱼类	[redacted]							
16	大吻叫姑鱼	鱼类	[redacted]							
	中型新对虾	甲壳类	[redacted]							
17	多齿蛇鲻	鱼类	[redacted]							
	虎斑乌贼	软体类	[redacted]							
19	短棘鲳	鱼类	[redacted]							
	须赤虾	甲壳类	[redacted]							
22	细鳞鲴	鱼类	[redacted]							
24	海鳗	鱼类	[redacted]							
	锈斑蟳	甲壳类	[redacted]							

4.4.7.6 小结

鱼类、软体类和甲壳类体内含量高低顺序为：鱼类含量均值：锌＞砷＞铜＞铅＞总汞＞铬＞镉；甲壳类含量均值：锌＞铜＞铅＞砷＞镉＞铬＞总汞；软体类含量均值：锌＞铜＞砷＞铅＞铬＞镉＞总汞；不同重金属含量在三者体内的差异性较小。两种生物体内锌、砷等的含量相对较高，铬、总汞和镉的含量相对较低，生物体表现出对必需元素的主动吸收能力比较明显。

鱼类体内的石油烃、砷、锌、镉、铅和铜的平均含量均小于甲壳类、软体列，而鱼类体内的总汞的平均含量则大于甲壳类、软体类，除了锌和铜两种较高含量的要素在甲壳类、软体类体内显著大于鱼类之外，其他各要素在两种生物体内的含量差异不大。

调查海域鱼类、软体类和甲壳类生物质量基本处于较稳定状态，生体内的总汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌和石油烃含量全部符合相应的评价标准。甲壳类体内石油烃

含量较高的原因与其栖息环境等有一定关系，而鱼类体内石油烃含量较高的原因与其活动范围较大，受调查海域海水中油类含量、表层沉积物油类含量等因素影响有关。

4.4.8 渔业资源现状调查与评价

4.4.8.1 调查时间

夏季调查时间为：2023 年 8 月 21 日~8 月 23 日，秋季调查时间为：2023 年 9 月 13 日~9 月 15 日。

4.4.8.2 调查范围及站位布设

夏季渔业资源调查共设置 15 个站位，秋季渔业资源调查共设置 20 个站位，站位坐标信息见表 4.4-32，站位分布情况详见图 4.4-11。

表 4.4-32a 夏季调查站位一览表

站位名称	北纬	东经
新增 1	[redacted]	[redacted]
新增 3	[redacted]	[redacted]
P13	[redacted]	[redacted]
P15	[redacted]	[redacted]
P18	[redacted]	[redacted]
P19	[redacted]	[redacted]
P20	[redacted]	[redacted]
P24	[redacted]	[redacted]
P25	[redacted]	[redacted]
P26	[redacted]	[redacted]
P27	[redacted]	[redacted]
P30	[redacted]	[redacted]
P32	[redacted]	[redacted]
新增 6	[redacted]	[redacted]
新增 8	[redacted]	[redacted]

表 4.4-32b 秋季调查站位信息表

站位名称	经度	纬度
1	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]

15	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]
31	[redacted]	[redacted]

4.4.8.3 调查方法

本次渔业资源调查租用渔船（船号：琼临渔 02118）进行调查。网具规格：底纲长 15m，浮纲长 15m，网口高 4m，网衣长 15m，网口目 40mm，网囊目 20mm。游泳动物调查均按《海洋调查规范》及中华人民共和国农业部 2008 年 3 月颁布的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》进行，每个站位拖网 1 次，每次放网一张，拖时为 1h，拖速为 3kn。

4.4.8.4 鱼卵、仔稚鱼调查结果

4.4.8.4.1 种类

夏季鱼卵初步鉴定出 6 种，鱼卵鉴定到科的有 4 种，鉴定到属的有 1 种，鉴定到种的有 1 种。鱼卵中鲈形目的种数有 3 种，占总种数的 50.0%；鲱形目、鳀形目和仙鱼目的种数各有 1 种，均占总种数的 16.7%。仔稚鱼初步鉴定出 2 种，2 种仔稚鱼均能鉴定到科。仔稚鱼中鲈形目和鲽形目各有 1 种，均占总种数的 50.0%。各调查站位所出现鱼卵种类数均为 0~2 种，所出现仔稚鱼种类数在 0~2 种之间。

秋季鱼卵与仔稚鱼共鉴定种类 25 种，鉴定到科的有 8 种，鉴定到属的 5 种，鉴定到种的 11 种，1 种未定种。从发育阶段来看，鱼卵出现种类有 12 种，仔鱼出现种类有 10 种。

4.4.8.4.2 数量分布

夏季调查海域共捕获鱼卵数量 20 粒，密度分布在 0~4.310 粒/m^3 之间，平均为 0.583 粒/m^3。其中 P18 站位密度最高，为 4.310 粒/m^3，P27 站位密度最低，为 0.132 粒/m^3，其余站位鱼卵密度在 0.167~0.744 粒/m^3 之间，新增 1、P15、P20*和 P32 站位未捕获到鱼卵。共捕获仔稚鱼数量 3 尾，密度分布在 0~0.442 尾/m^3 之间，平均为 0.054 尾/m^3。其中新增 6 站位密度最高，为 0.442 尾/m^3，其次为 P19 站位，为 0.260 尾/m^3，其余站位均未捕获到仔稚鱼。各站位定量鱼卵和仔稚鱼的种类数、数量及密度如表

4.4-33 所示。

秋季调查垂直拖网调查各站位鱼卵密度范围为（0.00~6.67）粒/m^3，平均值为 1.01 粒/m^3。其中最高出现在 21 号站位，密度为 6.67 粒/m^3；10 号站位居二，密度 2.89 粒/m^3；3 号站位居三，密度 1.22 粒/m^3；仔稚鱼范围为（0.00~0.32）粒/m^3，平均值为 0.3 粒/m^3。其中最高出现在 25 号站位，密度为 0.32 粒/m^3；16 号站位居二，密度 0.16 粒/m^3，见表 4.4-33。

表 4.4-33a 夏季各站位定量鱼卵和仔稚鱼的种类数、数量及密度

站位名称	鱼卵			仔稚鱼		
	种类数	数量（粒）	密度（粒/m^3）	种类数	数量（尾）	密度（尾/m^3）
新增 1						
新增 3						
P13*						
P15						
P18						
P19						
P20*						
P25						
P26						
P27						
P32						
新增 6						
新增 8						
平均值						

表 4.4-33b 秋季鱼卵和仔稚鱼密度

站位	鱼卵(粒/m^3)	仔稚鱼(尾/m^3)
1		
3		
4		
6		
8		
9		
10		
11		
13		
14		
15		
16		
17		
19		
21		
23		

25	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]
31	[redacted]	[redacted]
平均值	[redacted]	[redacted]

4.4.8.5 游泳动物调查结果

4.4.8.5.1 种类

夏季调查共捕获游泳动物 68 种，隶属于 3 大类。甲壳类有 15 种，占总种数的 22.1%；鱼类有 48 种，占总种数的 70.6%；头足类有 5 种，占总种数的 7.4%。

秋季调查共捕获游泳动物 67 种，隶属于 3 大类。甲壳类有 16 种，占总种数的 23.9%；鱼类有 47 种，占总种数的 70.1%；头足类有 4 种，占总种数的 6.0%。

4.4.8.5.2 渔获率

夏季调查发现，游泳动物平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 292.07ind./h 和 19.42kg/h。甲壳类平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 97.93ind./h 和 4.61kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 33.5%和总平均重量渔获率的 23.7%；鱼类平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 188.53ind./h 和 13.69kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 64.6%和总平均重量渔获率的 70.5%；头足类平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 5.60ind./h 和 1.12kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 1.9%和总平均重量渔获率的 5.8%。

秋季调查发现，游泳动物平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 290.30ind./h 和 13.43kg/h。鱼类平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 201.25ind./h 和 10.38kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 69.3%和总平均重量渔获率的 77.3%；头足类平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 9.10ind./h 和 0.88kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 3.1%和总平均重量渔获率的 6.6%；甲壳类平均个体渔获率和平均重量渔获率分别为 79.95ind./h 和 2.17kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 27.5%和总平均重量渔获率的 16.1%。

各站位的重量渔获率和个体渔获率见表 4.4-34。

表 4.4-34a 夏季各站位的重量渔获率（kg/h）和个体渔获率（ind./h）

站位名称	鱼类		头足类		甲壳类		总计	
	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率
新增 1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
新增 3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

站位名称	鱼类		头足类		甲壳类		总计	
	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率
P13								
P15								
P18								
P19								
P20								
P24								
P25								
P26								
P27								
P30								
P32								
新增 6								
新增 8								
平均值								

表 4.4-34b 秋季各站位的重量渔获率（kg/h）和个体渔获率（ind./h）

站位名称	鱼类		头足类		甲壳类		总计	
	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率
1								
3								
4								
6								
8								
9								
10								
11								
13								
14								
15								
16								
17								
19								
21								
23								
25								
26								
28								
31								
平均值								

4.4.8.5.3 资源密度

夏季调查发现，游泳动物平均个体密度和平均重量密度分别为 10513.56ind./km^{2}和 699.14kg/km^2；甲壳类平均个体密度和平均重量密度分别为 3525.32ind./km^2 和

165.90kg/km^2；鱼类平均个体密度和平均重量密度分别为 6786.66ind./km^2 和 492.94kg/km^2；头足类平均个体密度和平均重量密度分别为 201.58ind./km^2 和 40.29kg/km^2。

秋季调查发现，游泳动物平均个体密度和平均重量密度分别为 10449.96ind./km^2 和 483.46kg/km^2；鱼类平均个体密度和平均重量密度分别为 7244.42ind./km^2 和 373.76kg/km^2；头足类平均个体密度和平均重量密度分别为 327.57ind./km^2 和 31.77kg/km^2；甲壳类平均个体密度和平均重量密度分别为 2877.97ind./km^2 和 77.93kg/km^2。

各站位的个体密度和重量密度见表 4.4-35。

表 4.4-35a 夏季各站位的个体密度（ind./km^2）和重量密度（kg/km^2）

站位名称	鱼类		头足类		甲壳类		总计	
	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度
新增 1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
新增 3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P15	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P18	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P20	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P24	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P25	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P26	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P27	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P30	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
P32	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
新增 6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
新增 8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
均值	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 4.4-35b 秋季各站位的个体密度（ind./km^2）和重量密度（kg/km^2）

站位名称	鱼类		头足类		甲壳类		总计	
	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

站位名称	鱼类		头足类		甲壳类		总计	
	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度
10	[redacted]							
11								
13								
14								
15								
16								
17								
19								
21								
23								
25								
26								
28								
31								
平均值								

4.4.8.5.4 **优势种**

确定相对重要性指数 IRI 大于 500 为优势种，夏季监测中优势种有 7 个，为：短棘鳚 *Leiognathus equulus*、须赤虾 *Metapenaeopsis barbata*、犬牙鲆 *Ratabulus megacephalus*、多齿蛇鲻 *Saurida tumbil*、大鳞舌鳎 *Cynoglossus macrolepidotus*、锈斑蟳 *Charybdis feriatus*、海鳗 *Muraenesox cinereus*。秋季监测中优势种有 9 个，分别为：犬牙鲆 *Ratabulus megacephalus*、奥奈银鲈 *Gerres oyena*、短棘鳚 *Leiognathus equulus*、尖尾鳗 *Uroconger lepturus*、刀额新对虾 *Metapenaeus ensis*、大吻叫姑鱼 *Johnius macrorhynus*、长棘银鲈 *Gerres filamentosus*、锈斑蟳 *Charybdis feriatus*、白姑鱼 *Argyrosomus argentatus*。优势种的渔获重量、尾数及 IRI 指数见表 4.4-36。

表 4.4-36a 夏季游泳动物优势种的渔获重量、尾数及 IRI 指数

物种名称	出现率(%)	渔获个数		渔获重量		IRI
		(ind.)	(%)	(g)	(%)	
短棘鳚	46.67	978	22.32	44.43	15.25	1753
须赤虾	86.67	712	16.25	11.85	4.07	1761
犬牙鲆	53.33	541	12.35	18.79	6.45	1003
多齿蛇鲻	66.67	321	7.33	32.30	11.09	1228
大鳞舌鳎	73.33	152	3.47	9.86	3.38	503
锈斑蟳	100.00	135	3.08	28.16	9.67	1275
海鳗	93.33	34	0.78	17.57	6.03	635

表 4.4-36b 秋季游泳动物优势种的渔获重量、尾数及 IRI 指数

物种名称	出现率(%)	渔获个数	渔获重量	IRI

		(ind.)	(%)	(g)	(%)	
奥奈银鲈	90.00	577	9.94	37.05	13.79	2136
长棘银鲈	100.00	325	5.60	26.89	10.01	1561
短棘鳊	90.00	495	8.53	13.67	5.09	1225
大吻叫姑鱼	100.00	325	5.60	14.76	5.49	1109
尖尾鳗	90.00	376	6.48	10.74	4.00	943
刀额新对虾	85.00	376	6.48	7.98	2.97	803
锈斑蟳	90.00	191	3.29	13.66	5.09	754
犬牙鲬	45.00	592	10.20	16.79	6.25	740
白姑鱼	90.00	190	3.27	8.83	3.29	590

4.4.8.5.5 小结

夏季游泳动物调查结果显示，游泳动物种类有 68 种，包含：甲壳类、鱼类和头足类；游泳动物平均个体密度和平均重量密度分别为 10513.56ind./km^{2}和 699.14kg/km^2。其中鱼类是最主要类群，其次是甲壳类。从种类组成特征来看，优势种有 7 个，短棘鳊和须赤虾资源最为丰富。

秋季游泳动物调查结果显示，游泳动物种类有 67 种，包含：甲壳类、鱼类和头足类；游泳动物平均个体密度和平均重量密度分别为 10449.96ind./km^{2}和 483.46kg/km^2。其中鱼类是最主要类群，其次是甲壳类。从种类组成特征来看，优势种有 9 个，奥奈银鲈资源最为丰富。

4.4.9 珊瑚礁现状调查

本节内容引自《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程珊瑚现状调查报告（报批稿）》（国家海洋局三沙海洋环境监测中心站，2023 年 9 月）。

4.4.9.1 调查范围、站点

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T 19458-2014），一级评价等级的建设项目，评价范围扩展距离一般不小于 8~30km，本次评价结合敏感目标分布情况，以项目外边缘扩展 15km 与海岸线围成的区域作为评价范围。

本项目珊瑚礁调查站位的布设原则结合三亚新机场项目珊瑚礁调查的历史站位布设情况（《三亚新机场项目红塘湾沿岸珊瑚礁调查、影响评估及保护修复方案专题研究报告》，中科院南海所，2019），同时针对本项目拆除工程和生态修复工程的具体位置进行重点加密布设，总计 30 个珊瑚礁生态调查站位。三亚珊瑚礁主要分布在 10 米以内，因此，在每个调查站位设 2～3 米和 6～8 米 2 个调查断面，每条断面布设长 50m 的样线，沿着珊瑚礁长轴方向布设。每条断面根据区域面积大小，均匀布设站位数量，站位间距保持 500-1000 米。具体站位经纬度及分布示意图见表 4.4-37、图 4.4-

12。

表 4.4-37 珊瑚礁生态系统监测站位

序号	站位	经度	纬度	监测内容	备注（沿用站位）	调查水深（m）
1	1	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	6	2.6~6.7
2	2	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	7	3.7
3	3	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	10	3~6
4	4	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	11	2.6~2.7
5	5	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	12	2.6
6	6	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	13	4.0~6.9
7	7	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	14	2.5
8	8*	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	15*	3.0
9	9	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	16	1.4~1.6
10	10	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	17	2.5~2.8
11	11	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	18	1.7~2.9
12	12	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	19	3~6
13	13	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	20	3~6
14	14*	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	21*	4.3
15	15	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	26	3~6
16	16	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	27	2
17	17	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	28	3~6
18	18	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	29	3.2~6.2
19	19	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	30	4
20	20	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	31	4.7~5.0
21	21	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	32	5.7
22	22	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	33	4.5
23	23	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	34	3~6
24	24	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	35	3~6
25	25	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	36	3~6
26	26	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	37	3~6
27	27	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	38	2.7
28	28	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	39	2.0~6.5
29	29*	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	40*	1.9
30	30	[redacted]	[redacted]	珊瑚礁生态系统	46	2.8

***代表平行站位**

4.4.9.2 调查内容

对珊瑚礁生态状况进行调查，生态状况调查包括珊瑚和生物群落，具体包括造礁石珊瑚、珊瑚礁鱼类、大型底栖无脊椎动物、大型底栖藻类（表 4.4-38）。

表 4.4-38 珊瑚礁调查内容

调查内容	调查要素	调查方式
珊瑚	造礁石珊瑚：种类、活珊瑚覆盖率、珊瑚死亡率、硬珊瑚补充量、珊瑚白化与病害情况	现场调查
生物群落	珊瑚礁鱼类：种类、丰度与体长范围	现场调查
	大型底栖无脊椎动物：珊瑚礁常见大型底栖无脊椎动物的种类、密度	现场调查
	大型底栖藻类：种类、覆盖度、高度	现场调查
环境要素	海水：盐度、pH、溶解氧、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、活性磷酸盐、总氮、总磷、叶绿素 a、悬浮物、化学需氧量、石油类	现场调查、实验分析
	水文气象：水温、透明度、水深、海况、简易天气状况	现场调查
	沉积物：沉积物粒度、底质类型	现场调查、实验分析
	人类活动：海岸带工程、疏浚、采石、采沙、排污口设置、海水养殖、旅游开发等	现场调查

4.4.9.3 调查、分析方法

1.调查方法

采样器和贮样器的选择与使用、样品的采集、贮存和运输均严格按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)执行。

（1）海水样品采集：水深小于 10 米时，在海面下 0.5 米取 1 个水样；水深大于 10 米且小于 25 米时，取海面下 0.5 米和海底上 2 米的表底层水样；水深大于 25 米且小于 50 米时，取海面下 0.5 米、10 米水深处和海底上 2 米的表中底层水样；水深大于 50 米且小于 100 米时，取海面下 0.5 米、10 米水深处、50 米水深处和海底上 2 米的水样。油类采集表层样品。

采样工具：使用 QCC10-10 型球阀式采水器采集海水样品，其中油类使用 TC-800FC 型表层油类采水器。

（2）海洋沉积物采集：使用抓斗式采样器采集表层样品，取上部 0～5 cm 的沉积物，如一次采样量不够，须再次采样。若因采泥器在提升过程中受海水冲刷，致使样品流失过多或因沉积物太软，采泥器下降过猛，沉积物从耳盖中冒出，均须重采。

（3）水文气象观测：按照《海洋调查规范第 2 部分海洋水文观测》GB/T 12763.2-2007、《海洋调查规范第 3 部分海洋气象观测》GB/T12763.3-2007 规定的要求进行。各

站位分别测量一次表层和底层水温、透明度，各断面测量一次水深。气象观测按照GB/T 12763.3 规定的要求进行，每日观测记录一次海况、简易天气状况。

2.珊瑚礁生态系统调查

（1）样带铺设：每个断面，在 2~4 m、5~7 m 和 9~12 m 处沿等深线布设 1~3 条断面，样带之间相互平行，样带长度 50 m。若珊瑚实际分布水深超过 12 m，应布设 3 条断面，各断面水深可适当调整。按断面布设要求铺设大于 50 m 的样带皮尺，作为一条断面。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。

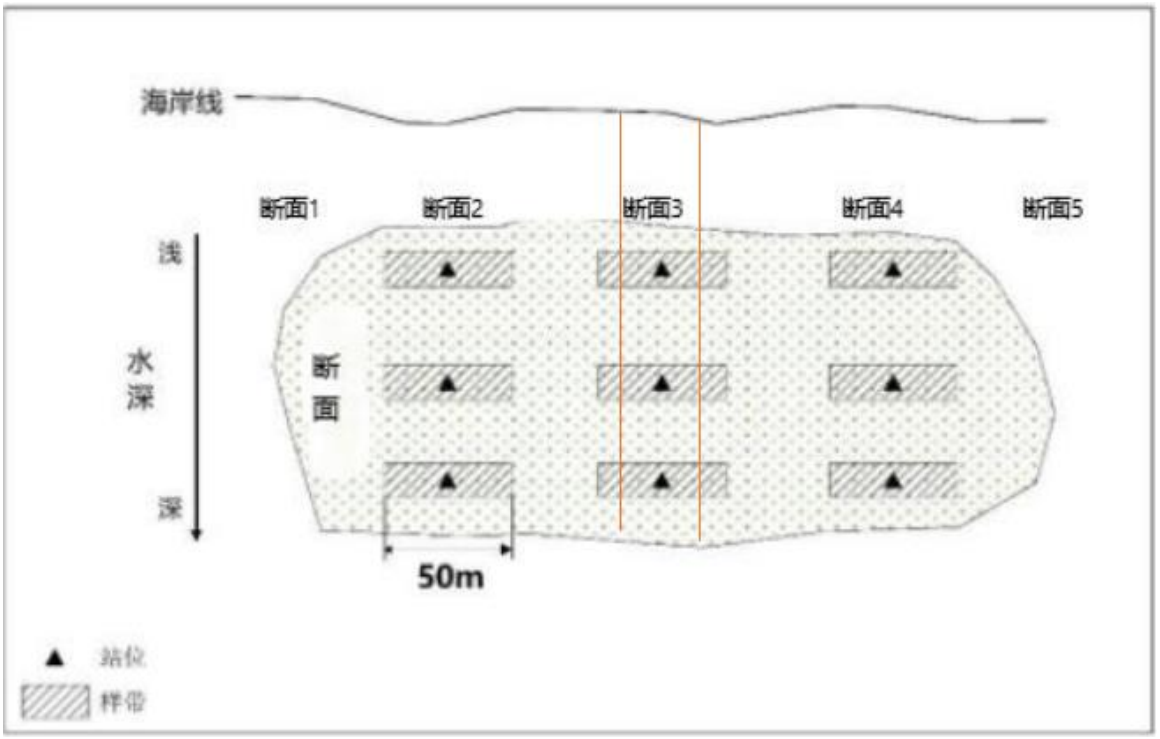


图 4.4-13 珊瑚礁样带布设示意图

断面皮尺铺设完后，依次开展珊瑚礁鱼类、珊瑚群落、硬珊瑚补充量等项目现场拍摄工作。

（2）珊瑚礁鱼类调查：珊瑚礁鱼类调查采用带状断面录像法。现场调查期间，每个站位首先开展珊瑚礁鱼类项目调查工作。

样带铺设完后，静待 10 min 后，一名调查技术人员手持摄像机，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 5

min。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。

（3）珊瑚群落调查：一名调查技术人员手持摄像机，镜头离样带 0.2~0.3 m，从起点开始沿样带皮尺缓慢匀速游动，镜头垂直向下对准皮尺，拍摄皮尺和皮尺下面的生物和基质，镜头画面应避免晃动，保证清晰。一直拍摄到样带皮尺终点为止，录像时长至少 10 min。

另一名调查技术人员在录像人员之后微距拍摄样带皮尺下各种类珊瑚照片，并少量采集稀有种类标本，用于辅助种类鉴定和名录附图展示。

（4）硬珊瑚补充量调查：在样带线两侧各 2.5 m 范围内的礁石上随机放置 10 个 50 cm×50 cm 样方或 40 个 25 cm×25 cm 样方，拍摄样方照片。样方应随机布设，避免人为放在沙、珊瑚、藻类或其他生物较多的区域内。

（5）大型底栖无脊椎动物调查：沿样带两侧各 1 m，长度 50 m 范围内获取影像资料，记录所有可见的大型底栖无脊椎动物大类，包括软珊瑚、柳珊瑚、海绵、海百合、海鞘、海葵、海星、海参、双壳类、螺类，并单独记录敌害生物（长棘海星和核果螺）。

应采用以下方式之一进行拍摄：

a) 录像拍摄。拍摄录像时，镜头45度朝向前下方，对准样带一侧1 m范围内，分来回拍摄样带两侧各1 m范围内可见的大型底栖无脊椎动物，录像时长至少10 min。

b) 照片拍摄。拍摄样带两侧各1 m范围内所有可见的大型底栖无脊椎动物照片。

（6）大型底栖藻类调查：在断面两侧各 2.5 m 范围内随机放置 10 个 50 cm×50 cm 样方或 40 个 25 cm×25 cm 样方，拍摄样方照片，微距拍摄各类藻类照片，必要时采集各类藻类样品。

4.4.9.4 珊瑚礁生态状况调查结果

1.珊瑚群落

三亚红塘湾围填海项目珊瑚礁生态调查发现：在布设的 30 个调查站位中，3、12、13、23、24、25、26 站位无珊瑚分布，均为沙地或淤泥。其余 23 个站位发现活造礁石珊瑚，分布区域广，但种类分布、活珊瑚覆盖率等因素存在差异。

2.珊瑚种类

此次调查共鉴定出造礁石珊瑚 11 科 26 属 93 种（包含 1 未定类群）。其中鹿角珊瑚科和裸肋珊瑚科种类最多，分别有 28 种和 29 种，占总种类数量的 30.43%和 31.52%；其次为滨珊瑚科，有 12 种，占 13.04%；杯形珊瑚科有 6 种，占 6.52%；真叶珊瑚科和木珊瑚科各有 4 种，分别占 4.35%；其他珊瑚科（未定类群、菌珊瑚科、铁星珊瑚科、同星珊瑚科）的种类共计有 6 种。各科珊瑚种类组成详见图 4.4-14，部分珊瑚种群图片见图 4.4-15。

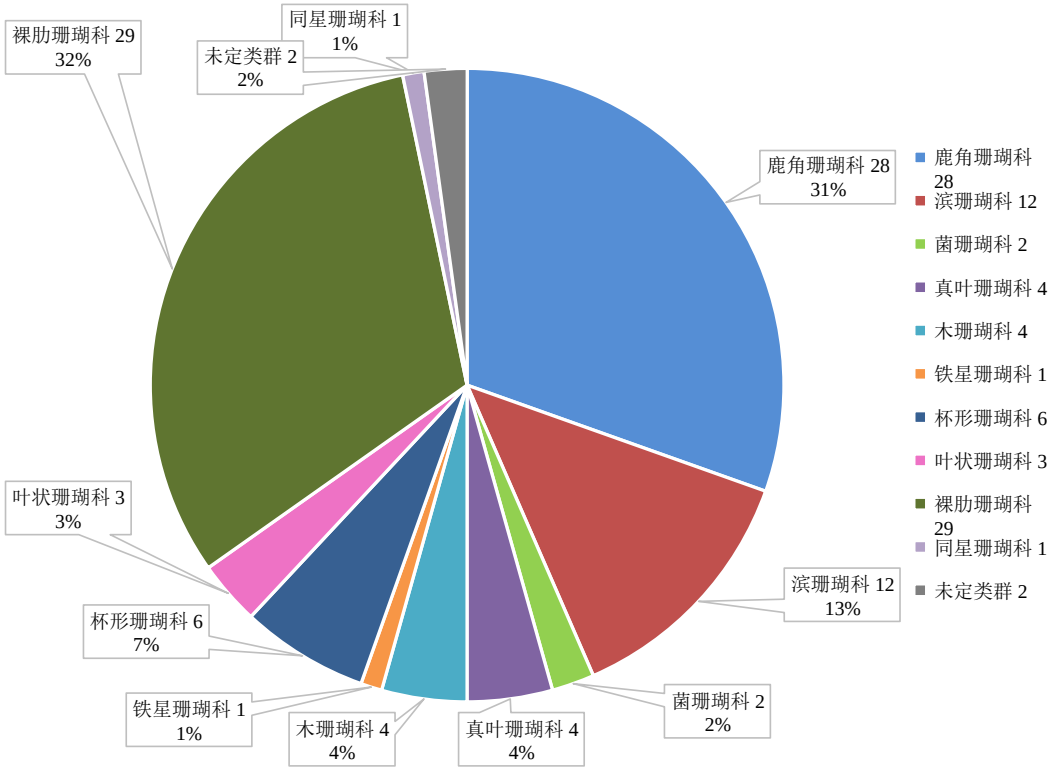
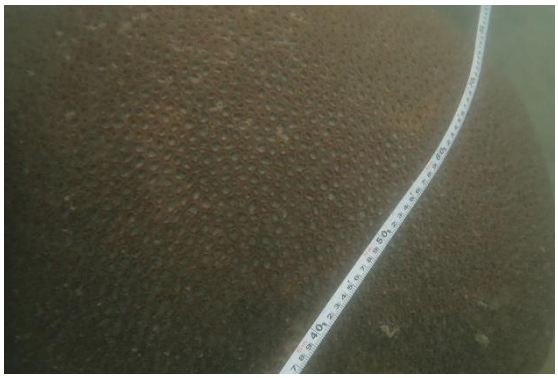


图 4.4-14 调查区域造礁石珊瑚主要种类组成



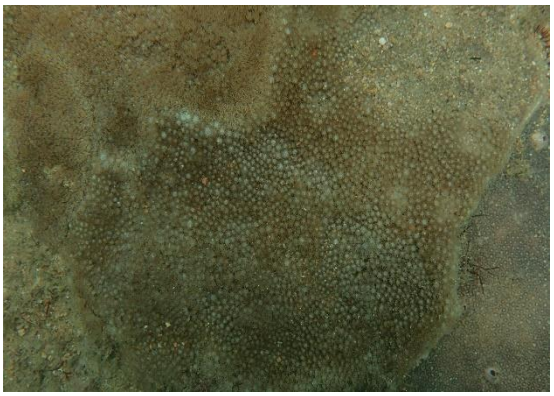
皱折陀螺珊瑚 *Turbinaria mesenterina*



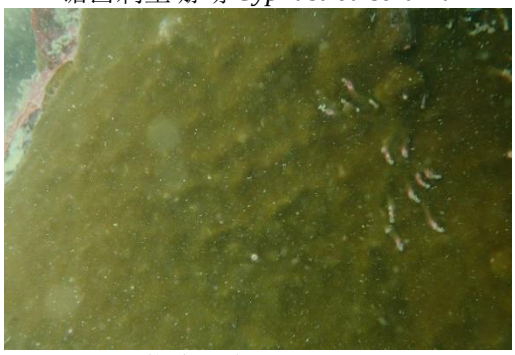
标准盘星珊瑚 *Dipsastraea speciosa*



锯齿刺星珊瑚 *Cyphastrea serailia*



斯氏伯孔珊瑚 *Bernardpora stutchburyi*



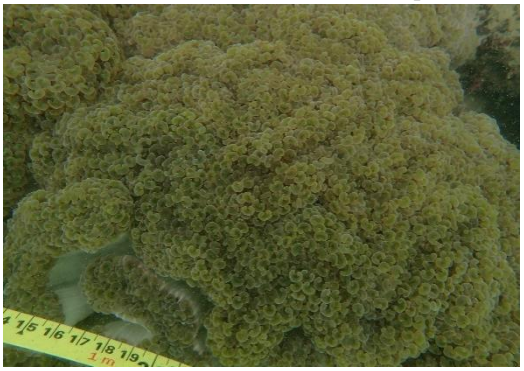
澄黄滨珊瑚 *Porites lutea*



多孔同星珊瑚 *Plesiastrea versipora*



十字牡丹珊瑚 *Pavona decussata*



肾形纹叶珊瑚 *Fimbriaphyllia ancora*

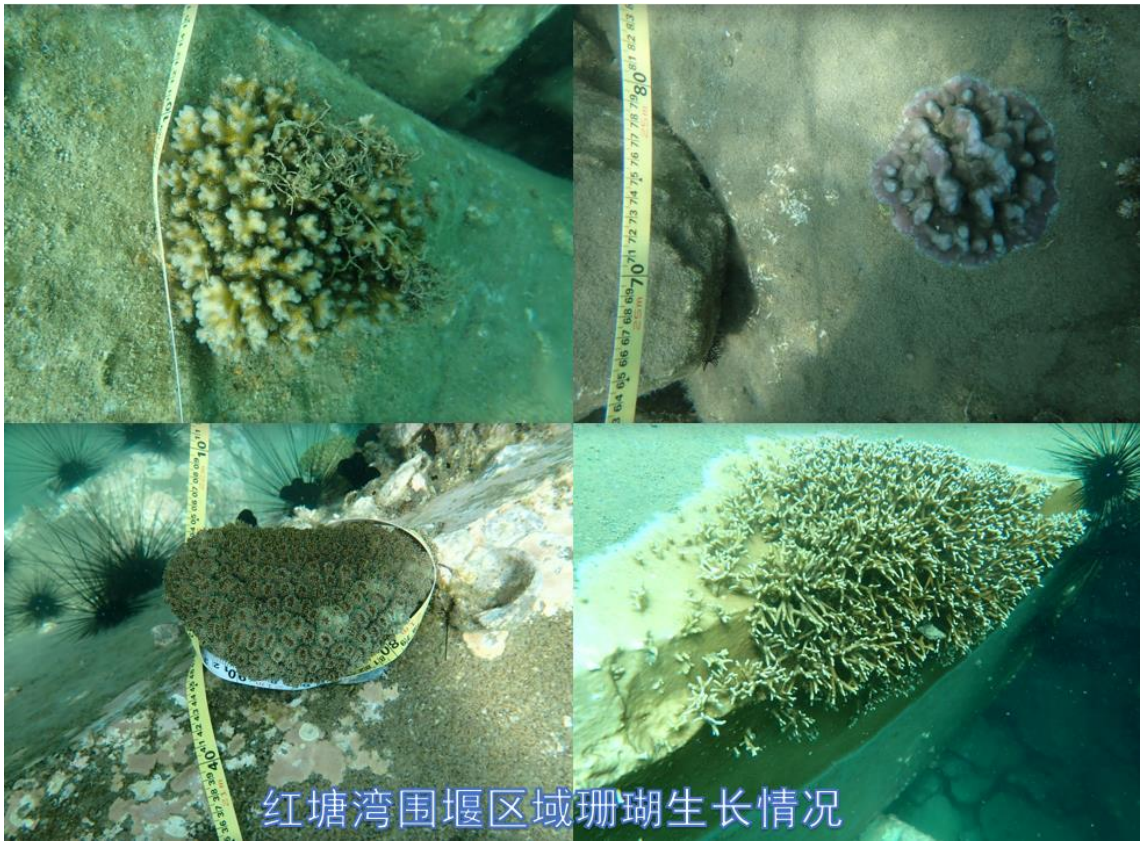


图 4.4-15 调查区域造礁石珊瑚群落生境

有造礁石珊瑚分布的各调查站位，其珊瑚种类数量范围为 1~36 种，其中 10 号站种类数量最多，为 36 种；其次是 9 号站，为 31 种；22 号站种类数量最少，为 1 种。造礁石珊瑚种类数量分布状况详见图 4.4-16。

3.活珊瑚覆盖率

有珊瑚分布的各站位其活珊瑚覆盖率范围为 0.2~49.8%，**平均为 11.3%**。其中 8 号站位最高，达 49.8%；其次为 9 号站位，覆盖率 42.7%；最低为 22 号站，覆盖率为 0.2%。三亚红塘湾围填海项目周边海域各站活珊瑚覆盖率分布状况详见图 4.4-17。

4.珊瑚优势种

调查区域内造礁石珊瑚的优势种主要有 5 种（优势度大于 1%），按照优势度从高到低分别为斯氏伯孔珊瑚、澄黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、柱形角孔珊瑚、疣状杯形珊瑚。其中斯氏伯孔珊瑚占绝对优势。

在有造礁石珊瑚分布的站位中，个澄黄滨珊瑚在 18 个站位有被发现，其次是斯氏伯孔珊瑚在 13 个站位有被发现，鹿角杯形珊瑚在 12 个站位中有被发现，疣状杯形珊瑚在 10 个站位有被发现，柱形角孔珊瑚在 8 个站位有被发现。

表 4.4-39 调查区域优势种

中文名	拉丁名	频度	相对盖度	覆盖率	优势度
斯氏伯孔珊瑚	*Bernardpora stutchburyi*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
澄黄滨珊瑚	*Porites lutea*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
鹿角杯形珊瑚	*Pocillopora damicornis*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
柱形角孔珊瑚	*Goniopora columna*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
疣状杯形珊瑚	*Pocillopora verrucosa*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
小角孔珊瑚	*Goniopora minor*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
火焰滨珊瑚	*Porites rus*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
锯齿刺星珊瑚	*Cyphastrea serailia*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
皱折陀螺珊瑚	*Turbinaria mesenterina*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
丛生盔形珊瑚	*Galaxea fascicularis*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
叶状蔷薇珊瑚	*Montipora foliosa*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
五边角蜂巢珊瑚	*Favites pentagona*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
标准盘星珊瑚	*Dipsastraea speciosa*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
板叶角蜂巢珊瑚	*Favites complanata*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
团块滨珊瑚	*Porites lobata*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
翼形蔷薇珊瑚	*Montipora peltiformis*	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

5.硬珊瑚补充量

调查区域各站位间的硬珊瑚补充量分布不均匀，密度变化范围为 0~4.2 ind./m^2，平均为 1.4 ind./m^2。其中 17 号站最高，为 4.2 ind./m^2，27 号站位均未发现硬珊瑚补充量。

新生珊瑚的种类主要为裸肋珊瑚科。各调查站点硬珊瑚补充量统计结果见表 4.4-40。

表 4.4-40 调查区域各站硬珊瑚补充量 (ind./m^2)

站位	补充量密度(ind./m^2)	站位	补充量密度(ind./m^2)
1	[redacted]	15	[redacted]
2	[redacted]	16	[redacted]
4	[redacted]	17	[redacted]
5	[redacted]	18	[redacted]
6	[redacted]	19	[redacted]
7	[redacted]	20	[redacted]
8	[redacted]	21	[redacted]
9	[redacted]	22	[redacted]
10	[redacted]	27	[redacted]
11	[redacted]	28	[redacted]
14	[redacted]	29	[redacted]
平均值		1.4	

6.死亡与白化

珊瑚一年内的死亡率为该站位一年内死亡的珊瑚占所有珊瑚的百分比，调查区域

各站位珊瑚总死亡率变化范围为 0~0.3%，平均为 0.01%。大部分调查站位未发现珊瑚死亡现象，只有 9 号站位发现有珊瑚死亡，死亡率为 0.30%。各站位死亡率统计结果见图 4.4-19。

珊瑚白化率为该站位白化珊瑚占活珊瑚的百分比，调查区域各站位珊瑚白化率变化范围为 0~0.2%，平均为 0.02%。8 号站的白化率最高，为 0.2%，9、11 号站位为 0.1%，其余站位均未发现白化珊瑚。各站位死亡率统计结果见图 4.4-19。

7.底质及生物覆盖情况

适宜珊瑚礁生长的底质类型主要为礁石、碎石、沙等，除了生长了造礁石珊瑚外，还可能有软珊瑚、柳珊瑚、海绵、海葵、大型底栖藻类等大型底栖固着生物，此外在人类活动密集区域还可能出现正在使用的人工鱼礁、珊瑚苗圃以及废弃的水泥块、网箱、硬质金属等海洋垃圾。

本次调查以覆盖率来衡量大型底栖固着生物和底质的数量。大部分造礁石珊瑚和其他的大型底栖生物主要固着在礁石等稳固的底质上，而在碎石、沙、泥质的区域只有少量生物可以固着生活，因此礁石覆盖率的高低可以在一定程度上反映该断面或站位造礁石珊瑚的生长潜力。同时，大型底栖固着生物（特别是底栖藻类）覆盖率的高低，也在一定程度上反映了该断面或站位造礁石珊瑚受到的竞争压力。

调查区域各站底质上固着生长的生物除了造礁石珊瑚外，主要还有大型底栖藻类、软珊瑚、海绵等生物，如表 4.4-41，各类底栖生物覆盖情况如下：

大型底栖海藻在样带上的覆盖率范围为 0~39.4%，平均为 5.8%。其中 7 号站最高，覆盖率高达 39.4%，有 11 个站位藻类覆盖率超 1%。各站软珊瑚在样带上的覆盖率范围为 0~22.3%，平均为 1.8%，大部分站位样带上无软珊瑚分布，仅有 8 个站位出现软珊瑚。海绵在样带上的覆盖率为 0~3.0%，平均为 0.5%。有 10 个站位出现海绵，14 号站位海绵覆盖率最高。柳珊瑚在样带上的覆盖率为 0~0.8%，平均为 0.1%，仅 5 个站位出现柳珊瑚。有 3 个站位出现多孔螅，平均覆盖率为 0.1%。其他生物平均覆盖率为 3.4%。

各站位样带上的礁石覆盖率范围为 23.6%~95.6%，平均为 64.0%，大部分站位礁石覆盖率超 40.0%。碎石覆盖率范围为 0~0.6%，11 号站位的碎石覆盖率最高。沙覆盖率范围为 0%~61.8%，平均为 12.2%，2 号站位的沙覆盖率最高，其次为 11、14 和 10 号站位，其他各站均低于 30.0%。

总体而言，调查区域珊瑚礁分布区底质以礁石为主，碎石、沙和泥相对较少。

表 4.4-41 调查区域各站底质及生物覆盖情况统计表（单位/%）

站位	石珊瑚	礁石	碎石	沙	海藻	软珊瑚	海绵	柳珊瑚	多孔螅	其他
1										
2										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
27										
28										
29										
30										
平均										

注：统计表中所有数据来源于断面样带判读统计数据。

8.小结

调查区域珊瑚礁生态调查共鉴定出造礁石珊瑚 11 科 26 属 93 种（包含 1 未定类群），其中鹿角珊瑚科和裸肋珊瑚科种类最多，分别有 28 种和 29 种，占总种类数量的 30.43%和 31.52%。主要分布在岸线修复区域内，拆除区域珊瑚礁分布种类较少。鉴定出的优势种主要有 5 种，按照优势度从高到低分别为斯氏伯孔珊瑚、澄黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、柱形角孔珊瑚、疣状杯形珊瑚。其中斯氏伯孔珊瑚占绝对优势。

调查区域各站活珊瑚覆盖率范围为 0.2~49.8%，平均为 11.3%。其中岸线修复区域活珊瑚覆盖率较高，拆除区域覆盖率较低。各站点间的硬珊瑚补充量分布不均匀，密度变化范围为 0~4.2 ind./m^2，平均为 1.4 ind./m^2。其中 17 号站最高，为 4.2 ind./m^2，27 号站位未发现硬珊瑚补充量，岸线修复区域硬珊瑚补充量略高于拆除区域。新生珊瑚的种类主要为裸肋珊瑚科。

调查区域珊瑚总死亡率变化范围为 0~0.3%，平均为 0.01%，未发现造礁石珊瑚的大面积死亡。珊瑚白化率为 0~0.2%，平均为 0.02%，大部分站位未发现白化珊瑚。此航次调查时各站位均未发现其他珊瑚病害。岸线修复区域及项目拆除区域均未有珊瑚大量死亡、白化。

调查区域珊瑚礁分布区底质以礁石为主，碎石、沙相对较少，为造礁石珊瑚的生长和新珊瑚的附着提供较大的生长空间。

4.4.9.5 珊瑚礁鱼类调查结果

1.种类组成

通过潜水拍摄样带视频的方法，调查方式包括样带定量调查法（即布设长 50 米，宽 5 米的样带，记录样带范围内的鱼类）和定性调查法。

此次调查共观测到珊瑚礁鱼类 19 科 53 种（图 4.4-21）。其中，雀鲷科种类最多，为 18 种，其次是隆头鱼科，为 12 种，其他科均少于 3 种。

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>斑棘眶锯雀鲷 Stegastes obreptus</td><td>克氏双锯鱼 Amphiprion clarkii</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>五带豆娘鱼 Abudefduf vaigiensis</td><td>长鳍高体盔鱼 Pteragogus aurigarius</td></tr>
</table>



辐纹叉鼻鲀 *Arothron mappa*



圆拟鲈 *Parapercis cylindrica*



裂带鹦天竺鲷 *Ostorhinchus compressus*



蓝黑新雀鲷 *Neopomacentrus cyanomos*

图 4.4-22 调查区域珊瑚礁鱼类部分照片

2.种类密度

从调查站位鱼类密度的分布来看（表 4.4-42），全海域珊瑚礁鱼类各科平均密度为 13.05 ind./250m^2。不同鱼类的密度差异较大雀鲷科密度最高，分布范围较广（图 4.4-23），平均密度为 160.74 ind./250m^2，占总体的 64.85%，其次是蠕鳢科，平均密度为 69.35 ind./250m^2，占总体的 27.98%，第三为鳚科，平均密度为 6.22 ind./250m^2，占总体的 2.51%，其他科的密度较低，密度较低的鱼类大部分只出现了一种。鱼类食性主要以小形无脊椎动物为食的鱼类为主。

表 4.4-42 调查区域珊瑚礁鱼类不同科属平均密度及百分比

科名	平均密度 ind./250m^2	百分比%
鳚科	[redacted]	[redacted]
刺尾鱼科	[redacted]	[redacted]
单鳍鱼科	[redacted]	[redacted]
笛鲷科	[redacted]	[redacted]
蝴蝶鱼科	[redacted]	[redacted]
篮子鱼科	[redacted]	[redacted]
隆头鱼科	[redacted]	[redacted]
拟鲈科	[redacted]	[redacted]
鲔科	[redacted]	[redacted]
雀鲷科	[redacted]	[redacted]

蠕鳢科	[redacted]	[redacted]
天竺鲷科	[redacted]	[redacted]
鲀科	[redacted]	[redacted]
虾虎鱼科	[redacted]	[redacted]
烟管鱼科	[redacted]	[redacted]
羊鱼科	[redacted]	[redacted]
银鲈科	[redacted]	[redacted]
鹦嘴鱼科	[redacted]	[redacted]
鲀科	[redacted]	[redacted]
各科均值	[redacted]	

从调查区域不同珊瑚礁鱼类平均密度的变化来看，周边海域蓝黑新雀鲷平均密度最高（图 4.4-24），为 139.00 ind./250m^2，占比为 56.08%，其次是断带舌塘鳢，平均密度为 69.35 ind./250m^2，占比为 27.98%，第三为斑氏新雀鲷，平均密度为 9.26 ind./250m^2，占比为 3.74%，其它珊瑚礁鱼类平均密度相对较低，平均密度在 0.04~6.22 ind./250m^{2}之间，占比在 0.02~2.51%之间（表 4.4-43）。

表 4.4-43 调查区域珊瑚礁鱼类不同种类平均密度及百分比

种类	平均密度（ind/250m^2）	百分比%	种类	平均密度（ind/250m^2）	百分比%
黑斑鳊	[redacted]	[redacted]	三斑雀鲷	[redacted]	[redacted]
刺尾鱼	[redacted]	[redacted]	三斑宅泥鱼	[redacted]	[redacted]
单鳍鱼	[redacted]	[redacted]	五带豆娘鱼	[redacted]	[redacted]
黑带鳞鳍梅鲷	[redacted]	[redacted]	细鳞光鳃鱼	[redacted]	[redacted]
勒氏笛鲷	[redacted]	[redacted]	胸斑眶锯雀鲷	[redacted]	[redacted]
叉纹蝴蝶鱼	[redacted]	[redacted]	菲律宾雀鲷	[redacted]	[redacted]
弓月蝴蝶鱼	[redacted]	[redacted]	黑边波光鳃鱼	[redacted]	[redacted]
马夫鱼	[redacted]	[redacted]	蓝纹高身雀鲷	[redacted]	[redacted]
褐篮子鱼	[redacted]	[redacted]	网纹宅泥鱼	[redacted]	[redacted]
篮子鱼	[redacted]	[redacted]	**断带舌塘鳢**	[redacted]	[redacted]
断带紫胸鱼	[redacted]	[redacted]	带背鹦天竺鲷	[redacted]	[redacted]
海猪鱼	[redacted]	[redacted]	裂带鹦天竺鲷	[redacted]	[redacted]
裂唇鱼	[redacted]	[redacted]	辐纹叉鼻鲀	[redacted]	[redacted]
绿尾唇鱼	[redacted]	[redacted]	康培氏衔虾虎鱼	[redacted]	[redacted]
三叶唇鱼	[redacted]	[redacted]	无鳞烟管鱼	[redacted]	[redacted]
双眼斑海猪鱼	[redacted]	[redacted]	黑斑绯鲤	[redacted]	[redacted]
新月锦鱼	[redacted]	[redacted]	奥奈银鲈	[redacted]	[redacted]
缘鳍海猪鱼	[redacted]	[redacted]	蓝臀鹦嘴鱼	[redacted]	[redacted]
云斑海猪鱼	[redacted]	[redacted]	鹦嘴鱼	[redacted]	[redacted]
杂色尖嘴鱼	[redacted]	[redacted]	花彩圆鳞鲀	[redacted]	[redacted]
长鳍高体盔鱼	[redacted]	[redacted]			
珠光海猪鱼	[redacted]	[redacted]			
圆拟鲈	[redacted]	[redacted]			

六斑九棘鲈	[redacted]	[redacted]			
班卡雀鲷	[redacted]	[redacted]			
斑棘眶锯雀鲷	[redacted]	[redacted]			
斑氏新雀鲷	[redacted]	[redacted]			
金尾雀鲷	[redacted]	[redacted]			
克氏双锯鱼	[redacted]	[redacted]			
蓝黑新雀鲷	[redacted]	[redacted]			
六带豆娘鱼	[redacted]	[redacted]			
霓虹雀鲷	[redacted]	[redacted]			
雀鲷	[redacted]	[redacted]			

3.站位密度

从调查站位鱼类密度的分布来看，不同站位鱼类平均密度有所差异，各站位珊瑚礁鱼类密度在 3~563.00 ind./250m^2 之间，均值为 143.93 ind./250m^2。从单个调查站位来看，平均密度超过 100 ind./250m^2 的有 10 个站位，分别为 7、10、15-22、号站位，珊瑚礁鱼类密度也较大，分别为 169 ind./250m^2、563.00 ind./250m^2、240 ind./250m^2、310.00 ind./250m^2、492.00 ind./250m^2、270.50 ind./250m^2、269.50 ind./250m^2、254.00 ind./250m^2、331.50 ind./250m^2、112.00 ind./250m^2。平均密度超过 50 ind./250m^2 的有 1 个站位，是 28 号站，平均密度为 61.00 ind./250m^2。其它调查站位平均密度均为 50 ind./250m^2 以下，平均密度在 3~43.00 ind./250m^2 之间（表 4.4-44、图 4.4-25）。

4.优势种

珊瑚礁鱼类优势度≥0.02 的优势种有 2 种，为雀鲷科的蓝黑新雀鲷、断带舌塘鳢（表 4.4-44）。第一优势种蓝黑新雀鲷在调查区域各调查断面的出现频率达 56.08，优势度为 0.206，其次是断带舌塘鳢，出现频率达 27.98，优势度为 0.028，其余各种类出现频率相对较低。

表 4.4-44 调查区域珊瑚礁鱼类主要优势种及出现频率

优势种	出现频率	优势度
蓝黑新雀鲷	56.08	0.206
断带舌塘鳢	27.98	0.028

5.小结

本次调查共发现珊瑚礁鱼类 19 科 53 种，雀鲷科、隆头鱼科是主要种类；全海域珊瑚礁鱼类各科平均密度为 13.05 ind./250m^2，雀鲷科密度最高，平均密度为 160.74 ind./250m^2，鱼类食性主要以小形无脊椎动物为食的鱼类为主，各站位珊瑚礁鱼类密度在 3~563.00 ind./250m^2 之间，均值为 143.93 ind./250m^2，10 号站位珊瑚礁鱼类密度最大，平均为 563.00 ind./250m^2；优势种为蓝黑新雀鲷、断带舌塘鳢。

4.4.9.6 大型底栖无脊椎动物调查结果

1.种类组成

对调查区域 30 个站位的珊瑚礁调查样带分析后，共发现软珊瑚、柳珊瑚、海葵、海星、海百合、海胆、海绵、海鞘、甲壳类、贝类、螺类、多毛类、水螅和海蛞蝓等大型底栖无脊椎动物共计 15 个大类（部分种类的照片如图 4.4-26 所示）。受摄像机拍摄清晰度和生物体表附着物等因素的限制，绝大多数动物无法准确鉴定到种、属级分类阶元。

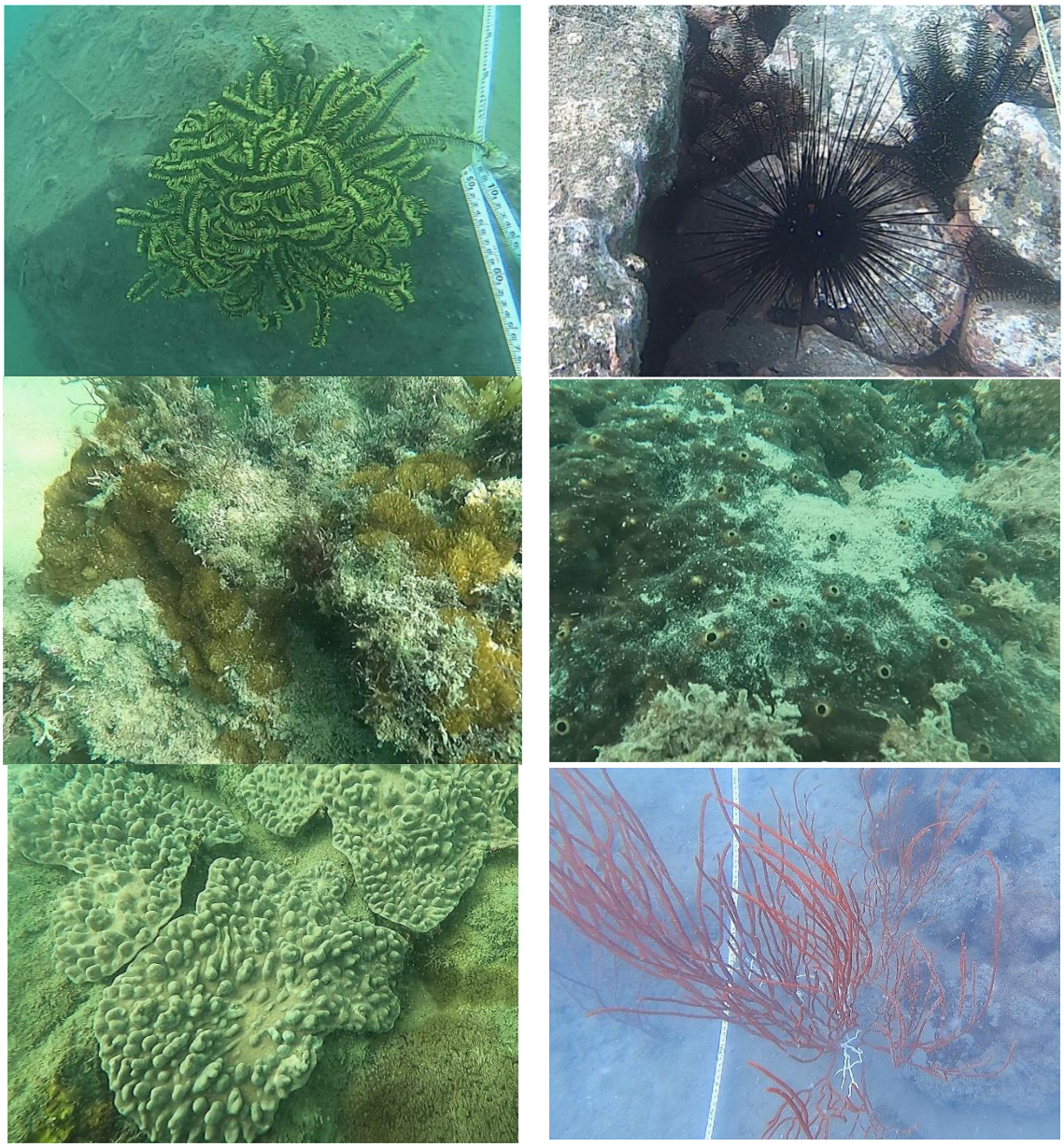




图 4.4-26 调查区域部分大型底栖无脊椎动物照片

2.密度与分布

调查区域各站位大型底栖无脊椎动物栖息密度在 3.7~1408.0 ind./100 m^2 之间，平均栖息密度为 280.5 ind./100 m^2，27 号站的平均栖息密度最高，最低栖息密度在 30 号站（表 4.4-45）。在所有调查站位中，有 9 个站位未发现大型底栖无脊椎动物，故不参与统计分析。

根据不同大型底栖无脊椎动物栖息密度在各调查站位的分布来看（表 4.4-44），5 号和 11 号站发现的种类数多，物种最为丰富，均有 9 个大类；其次物种数最多的是 6 号、14 号和 15 号站，有 8 个大类。

表 4.4-45 调查区域各站位大型底栖无脊椎动物栖息密度

站位	密度（ind./100m^2）	站位	密度（ind./100m^2）
1	[redacted]	15	[redacted]
2	[redacted]	16	[redacted]
4	[redacted]	17	[redacted]
5	[redacted]	18	[redacted]
6	[redacted]	19	[redacted]
7	[redacted]	20	[redacted]
8	[redacted]	21	[redacted]
9	[redacted]	22	[redacted]
10	[redacted]	27	[redacted]

11	[redacted]	28	[redacted]
14	[redacted]	30	[redacted]
平均		280.5	

从整个调查区域来看（图 4.4-27），大型底栖无脊椎动物海百合和贝类的栖息密度相对最高，其平均栖息密度为分别为 92.5 ind./100m^2 和 82.7 ind./100m^2，两者合计占总平均栖息密度的 62.5%；其余各类大型底栖无脊椎动物的平均栖息密度在 0.02~33.7 ind./100m^2 之间，裸鳃类的平均栖息密度最低，均仅为 0.02 ind./100m^2。

本次调查珊瑚敌害生物，在 9 和 30 号站视频资料中发现核果螺（图 4.4-28）。

3.小结

本次在调查区域进行珊瑚礁生态调查共发现软珊瑚、柳珊瑚、海葵、海星、海百合、海胆、海绵、海鞘、甲壳类、贝类、螺类、多毛类、水螅和海蛞蝓等大型底栖无脊椎动物共计 15 个大类，栖息密度在 3.7~1408.0 ind./100 m^2 之间，平均栖息密度为 280.5 ind./100 m^2。海百合和贝类的栖息密度相对最高，两者合计占总平均栖息密度的 62.5%，裸鳃类的平均栖息密度最低。此次调查时在调查区域发现敌害生物核果螺。

表 4.4-46 调查区域各种大型底栖无脊椎动物栖息密度(单位：ind./100m^2)

站位 种类	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	19	20	21	22	27	28	30	合计
软珊瑚	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
柳珊瑚	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海葵	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海星	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海百合	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海参	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海胆	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海绵	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
海鞘	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
甲壳类	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
贝类	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
螺类	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
多毛类	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
水螅	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
裸腮类	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
合计	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：表中“0”表示未发现该类生物，计算平均值时以 0 计

4.4.9.7 大型底栖藻类调查结果

1.主要种类

三亚红塘湾围填海项目珊瑚礁生态调查共鉴定大型藻类 3 门 13 目 17 科 37 种，其中，绿藻门 5 种，褐藻门 10 种，红藻门 22 种。部分种类图片见图 4.4-。各站位大型海藻种类数在 1~13 种之间。其中，11 号站位附近海域大型藻类种类最为丰富，发现 13 种大型藻类，1、8、9 号站位附近海域发现大型藻类种类最少，仅有 1 种。

2.覆盖率和高度

调查区域各站位的大型海藻覆盖率在 0.25~62.00%之间（表 4.4-47），平均覆盖率为 18.11%，其中，7 号站位附近海域的覆盖率最高，有约 62.00%面积被大型藻类覆盖，其次是 4 号站位，平均覆盖率约为 45.00%；10 号站位附近覆盖率最低，仅为 0.25%。调查区域各站位大型藻类覆盖率分布较不均匀，各站位间有一定的差异，整体呈斑块状分布。调查区域各站位的大型海藻的平均高度在 0.26~5.00 cm 之间，平均为 2.02 cm。高度较高的种类主要为石花菜（*Gelidium amansii*）、殖丝藻（*Ganonema farinosum*）、脆叉节藻（*Amphiroa fragilissima*）、马尾藻（*Sargassum denticarpum*）等，高度均在 5 cm 以上；耳壳藻属（*Peyssonnelia*）、中叶藻（*Mesophyllum mesomorphum*）、肋叶藻（*Anadyomene wrightii*）等藻类高度最低，普遍小于 0.5 cm。在所有调查站位中，有 9 个站位未发现大型藻类，故不参与统计分析。

表 4.4-47 调查区域珊瑚礁大型藻类覆盖率和高度

站位	站位平均覆盖率/%	平均高度/cm	站位	站位平均覆盖率/%	平均高度/cm
1	[redacted]	[redacted]	15	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	16	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	17	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	18	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	19	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	20	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	21	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	22	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	28	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	29	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	平均	[redacted]	[redacted]

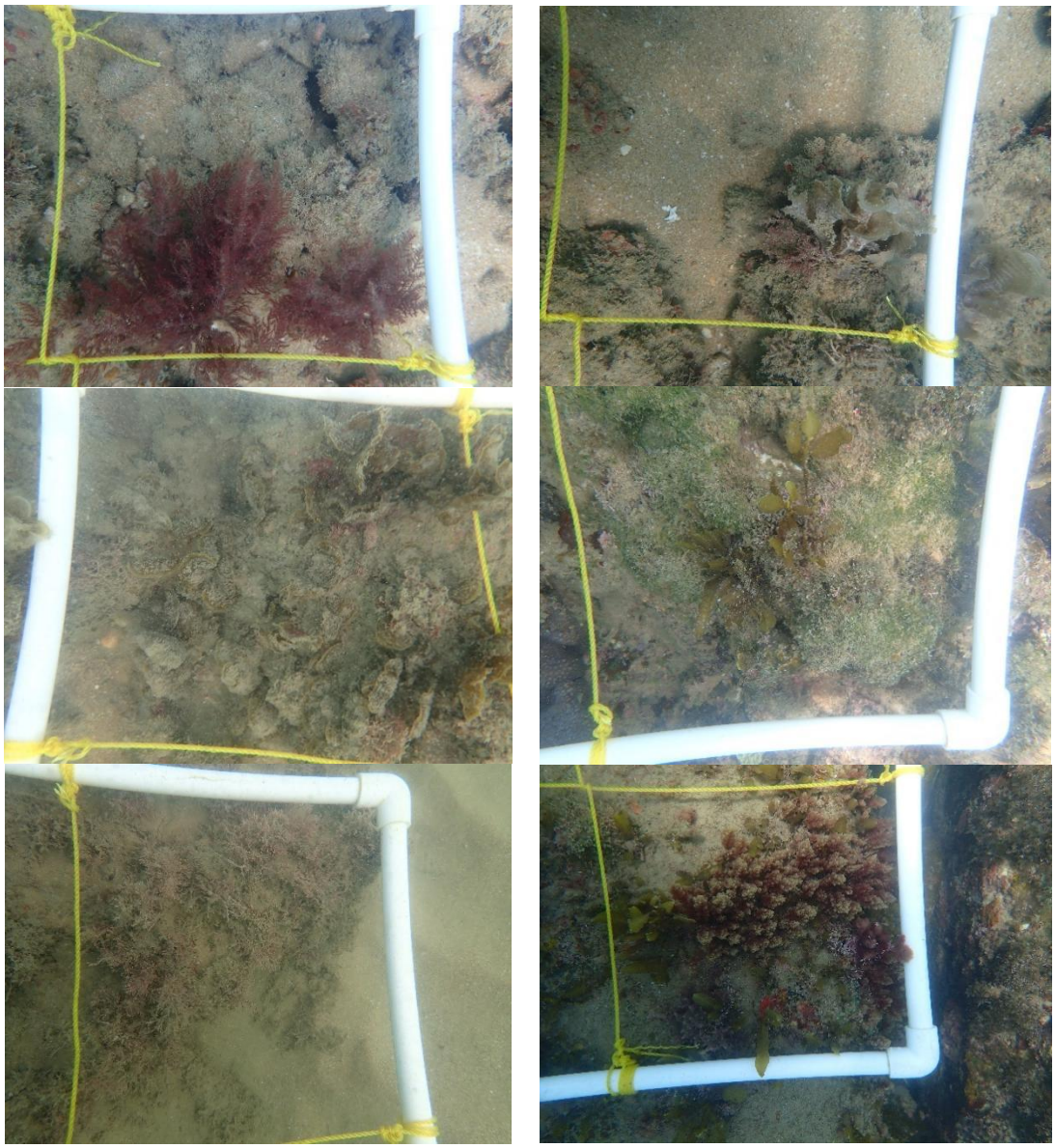


图 4.4-29 调查区域部分大型海藻图片

3.优势种

调查区域的优势种主要有耳壳藻（*Peyssonnelia inamoena*）、宽角叉珊藻（*Jania adhaerens*）、脆叉节藻和囊藻（*Colpomenia sinuosa*），4 个种类出现的频率都相对较高，均在 30%以上；肋叶藻、羽状羽藻（*Bryopsis pennata*）、*Caulerpa cupressoides*、网球藻（*Dictyosphaeria cavernosa*）、南方团扇藻（*Padina australis*）、细裂仙菜（*Ceramium macilentum*）、仙菜属（*Ceramium* sp.）、珊瑚藻（*Corallina officinalis*）、石花菜（*Gelidium amansii*）、细基江蓠（*Gracilaria tenuistipitata*）、巢沙菜（*Hypnea pannosa*）、沙菜（*Hypnea valentiae*）、蓝色拟鸡毛菜（*Pterocladiella caerulescens*）和两个未定种藻类则出现的较低，均只在 1 个站位出现（表 4.4-48）。

表 4.4-48 调查区域各大型藻类出现比例

大型藻类	拉丁文名	出现站位数（个）	出现频率/%
肋叶藻	*Anadyomene wrightii*	1	4.76%
羽状羽藻	*Bryopsis pennata*	1	4.76%
Caulerpa cupressoides	*Caulerpa cupressoides*	1	4.76%
总状蕨藻	*Caulerpa racemosa*	2	9.52%
网球藻	*Dictyosphaeria cavernosa*	1	4.76%
囊藻	*Colpomenia sinuosa*	7	33.33%
拜氏网地藻	*Dictyota bartayresiana*	3	14.29%
网地藻	*Dictyota implexa*	2	9.52%
匍扇藻	*Lobophora variegata*	4	19.05%
南方团扇藻	*Padina australis*	1	4.76%
包式团扇藻	*Padina boryana*	2	9.52%
小团扇藻	*Padina minor*	5	23.81%
团扇藻	*Padina* sp.	3	14.29%
马尾藻	*Sargassum denticarpum*	6	28.57%
喇叭藻	*Turbinaria ornata*	2	9.52%
叶状叉节藻	*Amphiroa foliacea*	4	19.05%
脆叉节藻	*Amphiroa fragilissima*	7	33.33%
紫杉状海门冬	*Asparagopsis taxiformis*	3	14.29%
纵胞藻	*Centroceras clavulatum*	2	9.52%
细裂仙菜	*Ceramium macilentum*	1	4.76%
仙菜属	*Ceramium* sp.	1	4.76%
珊瑚藻	*Corallina officinalis*	1	4.76%
Dichotomaria marginata	*Dichotomaria marginata*	2	9.52%
殖丝藻	*Ganonema farinosum*	2	9.52%
石花菜	*Gelidium amansii*	1	4.76%
细基江蓠	*Gracilaria tenuistipitata*	1	4.76%
巢沙菜	*Hypnea pannosa*	1	4.76%
沙菜	*Hypnea valentiae*	1	4.76%
宽角叉珊藻	*Jania adhaerens*	7	33.33%
中叶藻	*Mesophyllum mesomorphum*	5	23.81%
耳壳藻	*Peyssonnelia inamoena*	9	42.86%
东方耳壳藻	*Peyssonnelia orientalis*	2	9.52%
红耳壳藻	*Peyssonnelia rubra*	4	19.05%
蓝色拟鸡毛菜	*Pterocladiella caerulescens*	1	4.76%
脆枝果胞藻	*Tricleocarpa fragilis*	5	23.81%
未定种 1		1	4.76%
未定种 2		1	4.76%

4.小结

本次调查共鉴定大型海藻大型藻类 3 门 13 目 17 科 37 种，各站位大型海藻种类数在 1~13 种之间。其中，11 号站位附近海域大型藻类种类最为丰富，发现 13 种大型藻类。藻类平均覆盖率为 18.11%，其中，7 号站位附近海域的覆盖率最高，有约 62.00%面积被大型藻类覆盖，其次是 4 号站位，平均覆盖率约为 45.00%。大型海藻高度平均在 0.26~5.00 cm 之间，平均为 2.02 cm，其中，最高的大型藻类为石花菜。调查

区域大型底栖海藻优势种主要有耳壳藻、宽角叉珊藻、脆叉节藻和囊藻。

4.4.9.8 环境要素特征

1.水环境要素特征

本次调查共采集 30 个站位的海水样品，监测的水质要素包括水温、透明度、盐度、pH、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮）、活性磷酸盐、总氮、总磷、悬浮物、石油类、叶绿素-a 等共 13 项。水质要素统计结果列于表 4.4-49。

各水质要素的调查结果及其分布情况分析如下。

（1）水温

监测海域海水水温变化范围为 27.8℃～32.0℃，平均值为 30.3℃。

（2）透明度

监测海域海水透明度变化范围为 1.0～7.5 m，平均透明度为 3.0 m。

（3）盐度

监测海域表层海水盐度介于 33.211～33.589‰之间，平均值为 33.402‰。由图 4.4-30，表层海水盐度平面分布较均匀，各站位差异不明显。

（4）pH

监测海域海水 pH 变化范围为 8.07～8.21，平均值为 8.15。

（5）溶解氧（DO）

监测海域表层海水溶解氧浓度变化范围为 5.90～7.79 mg/L，平均值为 6.83 mg/L。海水溶解氧浓度差异不大，除 9 号站外，其它站位基本符合第一类海水水质标准要求（6 mg/L）。图 4.4-31 为表层海水溶解氧浓度平面分布。

（6）化学需氧量（COD）

监测海域海水 COD 变化范围为 0.124～1.46 mg/L，平均值为 0.42 mg/L。图 4.4-32 为表层海水 COD 浓度平面分布情况。由图 4.4-，调查海域海水 COD 浓度较低，平面分布略有差异，但均符合第一类海水水质标准要求（≤2 mg/L）。

（7）无机氮(DIN)

监测海域表层海水无机氮浓度变化范围为 6.634～82.130 μg/L，平均值为 28.491 μg/L，调查区域的海水无机氮均符合一类水质标准要求（≤200 μg/L）。图 4.4-33 为表层海水无机氮浓度平面分布情况图。

海水 DIN 的形态构成受水温、pH、悬浮颗粒物的吸附和硝化作用等的综合影响，

不同区域 NH_4-N 和 NO_2-N 所占比重情况有所不同。调查海域海水无机氮主要以 NO_3-N 为主，其次为 NH_4-N 和 NO_2-N。

（8）活性磷酸盐

监测海域表层海水活性磷酸盐浓度变化范围为 0.972～10.8 μg/L，平均值为 2.079 μg/L。图 4.4-34 为表层海水中活性磷酸盐浓度平面分布图。由图可知，海水活性磷酸盐浓度的平面分布表现为：11 号站位最高（10.8 μg/L），其次为 10 号站（8.43 μg/L），其余各站为差异不明显。调查海域海水活性磷酸盐浓度均较低，且均符合第一类海水水质标准要求（≤15 μg/L）。

（9）油类

监测海域表层海水油类浓度变化范围为 0.0088～0.0243 mg/L，平均值为 0.0142 mg/L。调查海域表层海水油类浓度的平面分布情况见图 4.4-35。监测区域表层海水油类浓度分布较为均匀，且较低，均符合第一类海水水质标准要求（≤0.05mg/L）。

（10）悬浮物

监测海域表层海水悬浮物浓度变化范围为 2.54～7.98 mg/L，平均值为 5.01 mg/L，所有测站海水悬浮物浓度均小于 10 mg/L。调查海域表层海水悬浮物浓度的平面分布情况见图 4.4-26。

（11）叶绿素-a

监测海域表层海水叶绿素-a 浓度变化范围为 0.052～0.704 μg/L，平均值为 0.218 μg/L。表底层海水叶绿素-a 含量无明显差异，调查海域海水叶绿素-a 含量较低（图 4.4-37）。

就叶绿素-a 的含量来讲，参考美国环保局（EPA）关于叶绿素-a 含量的评价标准：＜4 mg/m^3 为贫营养，4～10 mg/m^3 为中营养，>10 mg/m^3 为富营养。调查海区属于贫营养，不存在富营养化现象。

表 4.4-49a 水质要素监测结果统计（表 1）

序号	站号	深度(m)	透明度（m）	采样层次	采样时间(d-h m)	采样水深(m)	水温(℃)	pH	盐度	DO(mg/L)	COD_{Mn}(mg/L)
1	1	21.4	3.3	表层	10-1235	0.5	29.4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2				底层	10-1241	19.4	28.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	2	17.5	3.0	表层	10-1252	0.5	29.5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4				底层	10-1258	15.5	28.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	3	12.4	4.2	表层	10-1310	0.5	27.8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6				底层	10-1315	10.4	26.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	4	9.5	3.6	表层	10-1330	0.5	29.0	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	5	12.0	5.2	表层	10-1350	0.5	29.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9				底层	10-1356	10.0	27.8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
10	6	8.4	2.2	表层	12-1145	0.5	31.5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	7	4.6	2.5	表层	12-1132	0.5	31.5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	8	4.0	3.0	表层	12-1041	0.5	30.5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	9	3.6	1.0	表层	13-0920	0.5	30.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	10	5.1	1.2	表层	13-1326	0.5	31.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
15	11	3.0	1.0	表层	13-1310	0.5	31.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
16	12	4.0	1.6	表层	13-1252	0.5	31.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
17	13	3.6	1.5	表层	13-1236	0.5	31.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
备注		8 为现场平行站位，所示结果为平均值；溶解氧均采集平行双样，所示结果为平均值。									
18	14	4.8	1.6	表层	13-1216	0.5	31.0	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
19	15	10.8	2.4	表层	12-1022	0.5	28.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
20				底层	12-1025	8.8	26.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
21	16	12.3	2.6	表层	12-1205	0.5	31.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
22				底层	12-1210	10.3	28.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
23	17	13.2	4.5	表层	12-1242	0.5	31.4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24				底层	12-1250	11.2	28.9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

25	18	13.8	5.1	表层	12-1301	0.5	31.0	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
26				底层	12-1307	11.8	27.5	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
27	19	15.8	3.0	表层	13-1018	0.5	30.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
28				底层	13-1022	13.8	28.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
29	20	13.6	2.0	表层	13-1003	0.5	30.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
30				底层	13-1007	11.6	29.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
31	21	11.5	1.3	表层	13-0953	0.5	29.8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
32				底层	13-0956	9.5	28.9	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	22	11.2	1.8	表层	13-0942	0.5	32.0	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
34				底层	13-0946	9.2	31.3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
备注		14 为现场平行站位，所示结果为平均值；溶解氧均采集平行双样，所示结果为平均值。									
35	23	9.8	1.0	表层	13-0933	0.5	30.4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
36	24	8.7	4.1	表层	12-1510	0.5	29.8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
37	25	2.5	2.5	表层	12-1500	0.5	29.8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
38	26	12.3	7.1	表层	12-1445	0.5	30.0	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
39				底层	12-1450	10.3	28.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	27	2.0	>2.0	表层	12-1430	0.5	30.0	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
41	28	18.0	4.5	表层	12-1331	0.5	29.6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
42				底层	12-1335	16.0	27.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
43	29	19.2	7.5	表层	12-1350	0.5	29.3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
44				底层	12-1400	17.2	27.1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
45	30	11.5	2.7	表层	13-1130	0.5	29.8	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
46				底层	13-1135	9.5	28.2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
备注		29 为现场平行站位，所示结果为平均值；溶解氧均采集平行双样，所示结果为平均值。									

表 4.4-49b 水质要素监测结果统计（表 2）

序号	站号	采样层次	NO_2-N(mg/L)	NO_3-N(mg/L)	NH_3-N(mg/L)	PO_4-P(mg/L)	悬浮物(mg/L)	油类(mg/L)	叶绿素-a(μg/L)	波浪（海况）	天气现象
1	1	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	3	多云
2		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
3	2	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	3	多云
4		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
5	3	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
6		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
7	4	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
8	5	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
9		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
10	6	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	晴
11	7	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	晴
12	8	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	1	晴
13	9	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
14	10	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
15	11	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
16	12	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
17	13	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
18	14	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
备注		8、14 为现场平行站位，所示结果为平均值；油类均采集现场平行双样，所示结果为其平均值；1、6、9 表层样营养盐进行实验室平行测定，所示结果为平均值。									
19	15	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	1	晴
20		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
21	16	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	晴
22		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
23	17	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	晴
24		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
25	18	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	晴
26		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		

27	19	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
28		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
29	20	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
30		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
31	21	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
32		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
33	22	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
34		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
35	23	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
36	24	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	1	晴
备注		油类均采集现场平行双样，所示结果为其平均值；24 表层样营养盐进行实验室平行测定，所示结果为平均值。									
37	25	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	1	晴
38	26	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	晴
39		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
40	27	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	3	晴
41	28	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	3	晴
42		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
43	29	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	3	晴
44		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
45	30	表层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	2	多云
46		底层	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
备注		29 为现场平行站位，所示结果为平均值；油类均采集现场平行双样，所示结果为其平均值。									

2.沉积环境要素特征

本航次共采集 11 个站位的表层沉积物，样品通过挖泥斗采集，监测要素为粒度。沉积物粒度分析结果见表 4.4-50。

表 4.4-50 沉积物粒度分析结果

站位	平均粒径 Mz (mm)	中值粒径 Md (mm)	偏态值 Skf	峰态值 K_g	分选系数 σi (φ)	砾石 (%)	砂 (%)	粉砂 (%)	粘土 (%)	沉积物类型
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
18	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

作为粒度参数之一的中值粒径 Md，指示了底质粒度频率分布的中心趋势，其大小反映了底质的平均动能情况，是水动力强弱的综合表征。调查区域沉积物中值粒径变化范围为 0.4364~1.0862 mm，平均值为 0.6251 mm；平均粒径范围为 0.2167~1.2767 mm，平均值 0.6846 mm；分选系数范围为 0.48~2.41 之间，分选性处于“中等、差”等级。从质量分数上看，沉积物粒径组成主要以含砾砂为主，其次是砂，沉积物类型主要有含砾砂、砂、含砾质泥质砂。

3.小结

珊瑚是一种低等的腔肠动物，它的生长不仅要有适宜的附着基底、充足的光照、良好的水体运动更新，而且对水环境的要求也是很高的，如适宜且稳定的温度（适宜温度 18~30℃，最适温度 23~27℃）、适宜的盐度（正常生长盐度 27~40，最适盐度 34~37）、洁净、透明度高、水质较好的海水等。监测结果表明：监测海域海水平均水温为 30.3℃，平均盐度为 33.402‰，适宜珊瑚的生长，且波动幅度小；各测站海水 COD、活性磷酸盐、总磷和油类含量较低，按照《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的类别和《近岸海域海洋环境监测技术规范 第十部分 评价及报告》（HJ 442.10-2020）进行评价，调查海域海水水质状况级别为优。

珊瑚喜好生长在清洁的海域里，海水中过多的悬浮物质或沉积物均对珊瑚的生长有害，悬浮物会影响珊瑚的成长速率，妨碍珊瑚幼虫的附着和发育及改变珊瑚的生长

形态。悬浮物会导致海水透明度降低，并减少珊瑚的光合作用，进而影响珊瑚的代谢、生长和繁殖，较高的悬浮物浓度还会导致珊瑚群落结构的变化，适宜低光照强度的珊瑚会成为优势种群，并且珊瑚会倾向于变成易于清除沉积物的生长形态。

4.4.10陆域环境现状调查与评价

本节内容引自三亚市生态环境局公布的《2022 年三亚市生态环境状况公报》。

4.4.10.1 环境空气质量

2022 年，三亚市环境空气质量优良率为 100%，空气质量指数（AQI）范围为 15~95。2022 年三亚市环境空气质量有效监测天数共 365 天，其中，全年空气质量指数 AQI 属一级（优）的天数共 309 天，占全年有效监测天数的 84.7%，属二级（良）的天数共 56 天，占全年有效监测天数的 15.3%。

三亚市细颗粒物（$PM_{2.5}$）日平均浓度范围为 2～36 微克/立方米，年平均浓度为 11 微克/立方米；可吸入颗粒物（PM_{10}）日平均浓度范围为 5～51 微克/立方米，年平均浓度为 21 微克/立方米；臭氧（O_3）日最大 8 小时平均浓度范围为 30～153 微克/立方米，日最大 8 小时平均浓度第 90 百分位数为 111 微克/立方米。二氧化硫（SO_2）日平均浓度范围为 2～6 微克/立方米，年平均浓度为 3 微克/立方米；二氧化氮（NO_2）日平均浓度范围为 2～14 微克/立方米，年平均浓度为 6 微克/立方米；一氧化碳（CO）日平均浓度范围为 0.3～0.8 毫克/立方米，日平均浓度第 95 百分位数为 0.6 毫克/立方米。

二氧化硫（SO_2）、二氧化氮（NO_2）、可吸入颗粒物（PM_{10}）、细颗粒物（$PM_{2.5}$）的年平均浓度均符合国家一级标准，一氧化碳（CO）日平均浓度第 95 百分位数符合国家一级标准，臭氧（O_3）日最大 8 小时平均浓度第 90 百分位数符合国家二级标准，属于达标区。

与 2021 年相比，环境空气质量优良率持平；主要污染物 PM_{10}、NO_2、$PM_{2.5}$、SO_2 浓度分别下降 3、2、1、1 微克/立方米，CO 日平均浓度第 95 百分位数持平，O_3 日最大 8 小时平均浓度第 90 百分位数上升 5 微克/立方米。

4.4.10.2 声环境质量

1.区域声环境质量

2022 年，三亚市昼间区域声环境质量总体较好。三亚市区域环境噪声共设 213 个监测点位，昼间平均等效声级为 53.3 分贝。声源构成中社会生活噪声占 86.8%、交通

噪声占 6.6%、施工噪声占 6.6%。与 2021 年相比，三亚市区域昼间声环境质量保持较好，平均等效声级下降 0.5 分贝。

2.功能区声环境质量

2022 年，三亚市功能区声环境质量昼间监测点次总体达标率为 97.2%，同比上升 2.8 个百分点；夜间总体达标率为 88.9%，同比上升 11.1 个百分点。2022 年夜间达标率符合《“十四五”噪声污染防治行动计划》中达标率达到 85%的要求。

3.道路交通声环境质量

2022 年，三亚市昼间道路交通声环境质量总体为好。三亚市市区各主要交通干线上共有 40 个道路交通噪声监测点位，监测路段总长度为 96.68 公里，昼间等效声级长度加权平均值为 66.8 分贝。与 2021 年相比，三亚市昼间道路交通声环境质量保持为好，平均等效声级下降 0.9 分贝。

4.5 工程所在海域海洋环境质量现状回顾评价

4.5.1 回顾历史资料选取

本工程周边海域自 2014 年以来进行了包括凤凰岛在内的围填海工程及其它海洋工程建设活动，对项目所在区域的海洋环境及敏感目标造成一定的影响，为了充分分析工程所在海域环境质量变化情况，本评价收集不同阶段的海洋环境质量调查和科学考察资料对海水水质环境、海洋沉积物环境、海洋生态环境、海洋水文动力、海洋冲淤、工程海域周边重要生物保护目标（珊瑚）变化趋势进行回顾评价。

为了充分了解项目周边海域环境变化情况，增加历史资料的可比性，本次评价选取 2013 年（填海前）、2015 年（填海中）、2019（填海后）和 2023 年（现状）秋季在工程所在海域开展的环境质量现状的调查结果进行对比分析。其中，由于海洋沉积物调查非每季均进行，故引用收集到的 2015 年 5 月、2019 年 4 月及现状 2023 年 8 月调查数据。引用的历史调查资料概况见表 4.5-1，历史调查站位分布见图 4.5-1。

表 4.5-1 回顾性评价的调查资料来源情况

评价因子	调查时间	资料来源	编制单位	站位数量
海水水质	2013.10	《三亚市天涯海角海上巴士码头工程环评报告表》	海南省海洋开发规划设计研究院	12
	2015.9	《三亚红塘湾附近海域海洋环境现状调查及检测报告（秋季航次）》	国家海洋局海口海洋环境监测中心站	48
	2019.9	《三亚红塘湾附近海域海洋环境现状调查（秋季航次）调查报告》		56
	2023.9	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023年度秋季航次）》		
海洋沉积物	2015.5	《三亚红塘湾附近海域海洋环境现状调查及检测报告（夏季航次）》		24
	2019.4	《三亚红塘湾附近海域海洋环境现状调查（春季航次）调查报告》		27
	2023.8	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023年度夏季航次）》		12
海洋生态	2013.10	《三亚市天涯海角海上巴士码头工程环评报告表》	海南省海洋开发规划设计研究院	12
	2015.9	《三亚红塘湾附近海域海洋环境现状调查及检测报告（秋季航次）》	国家海洋局海口海洋环境监测中心站	29
	2019.9	《三亚红塘湾附近海域海洋环境现状调查（秋季航次）调查报告》		32
	2023.9	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程--海洋环境本底调查（2023年度秋季航次）》		

4.5.2 海水水质、沉积物、海洋生态环境质量回顾评价

4.5.3 海水水质回顾评价

根据本项目工程特点结合现状调查中未发现超标现象，选取代表性调查因子石油类、COD、无机氮、活性磷酸盐。历年海水水质监测数据见表 4.5-2。

表 4.5-2 调查海域海水水质历史监测数据

项目	第一类海水水质标准	调查时间	表层		
			最小值	最大值	最大超标倍数
石油类（mg/L）	≤0.05mg/L	2013 年秋季	0.003	0.029	0
		2015 年秋季	0.008	0.041	0
		2019 年秋季	0.0146	0.059	0.18
		2023 年秋季	0.0084	0.03	0
COD（mg/L）	≤2mg/L	2013 年秋季	0.26	0.50	0
		2015 年秋季	0.09	1.24	0
		2019 年秋季	0.048	0.832	0
		2023 年秋季	0.15	0.674	0
无机氮(μg/L)	≤200μg/	2013 年秋季	2	10	0
		2015 年秋季	6	53	0
		2019 年秋季	22.99	128.53	0
		2023 年秋季	5.06	83	0
活性磷酸盐(μg/L)	≤15μg/L	2013 年秋季	2	8	0
		2015 年秋季	0.7	14.2	0
		2019 年秋季	0.22	7.26	0
		2023 年秋季	2.54	6.08	0

注：“nd”表示未检出，取检出限的 1/2 量参加统计运算。

（1）石油类

调查区水质石油类历年监测值变化如图 4.5-2 所示。由图可知：石油类浓度的最小值均未超标，总体分析石油类浓度最小值的变化波动较小；石油类浓度最大值 2019 年秋季超标。石油类含量逐年上升，这可能与近年来工程周边海域的开发利用引起的船舶活动有关。

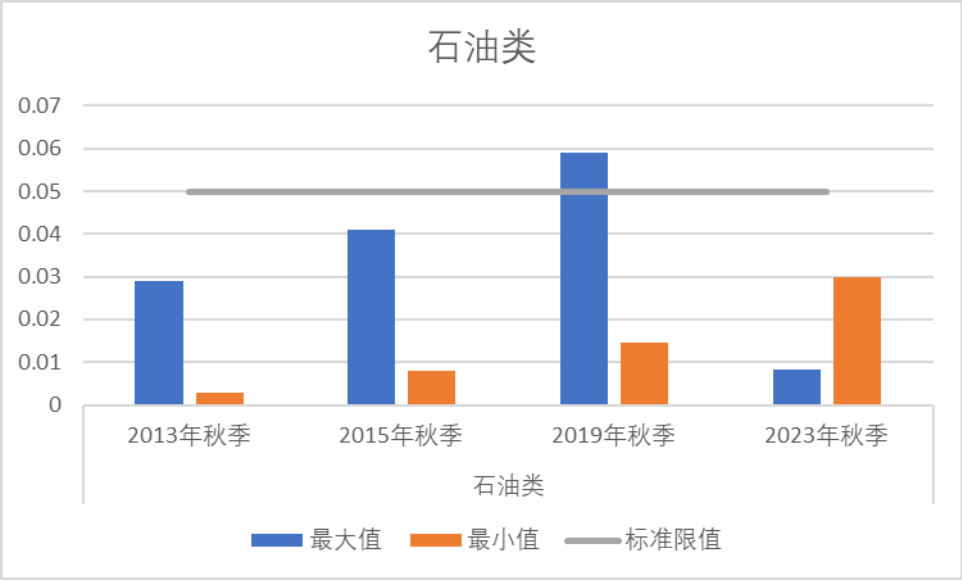


图 4.5-2 石油类监测历年变化图

（2）COD

调查区水质 COD 历年监测值如图 4.5-3 所示。由图 4.5-3 可知：总体而言，各年 COD 调查数据均未超标，最小值变化不大，最大值先上升后下降存在一定波动，综上所述，各年 COD 在一定范围内波动，未见 COD 浓度有明显上升趋势。

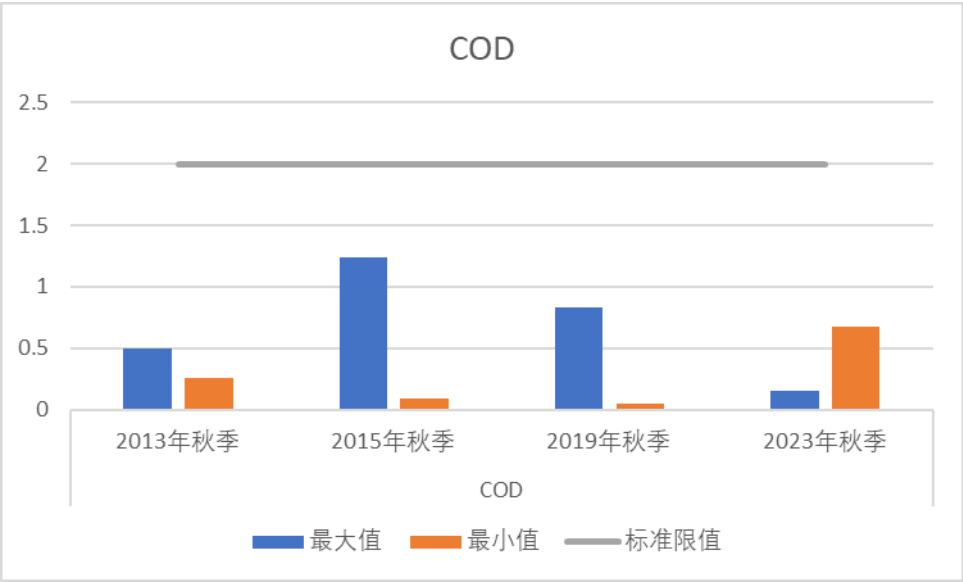


图 4.5-3 水质 COD 监测历年变化变化图

（3）无机氮

调查区水质无机氮历年监测值变化如图 4.5-4 所示。由图可知：历年无机氮监测的最小值没有明显差异，且均小于一类海水水质标准；最大值呈上升趋势，但均未超一

类海水水质标准，可能与陆域源入海有关，水质情况总体较好。

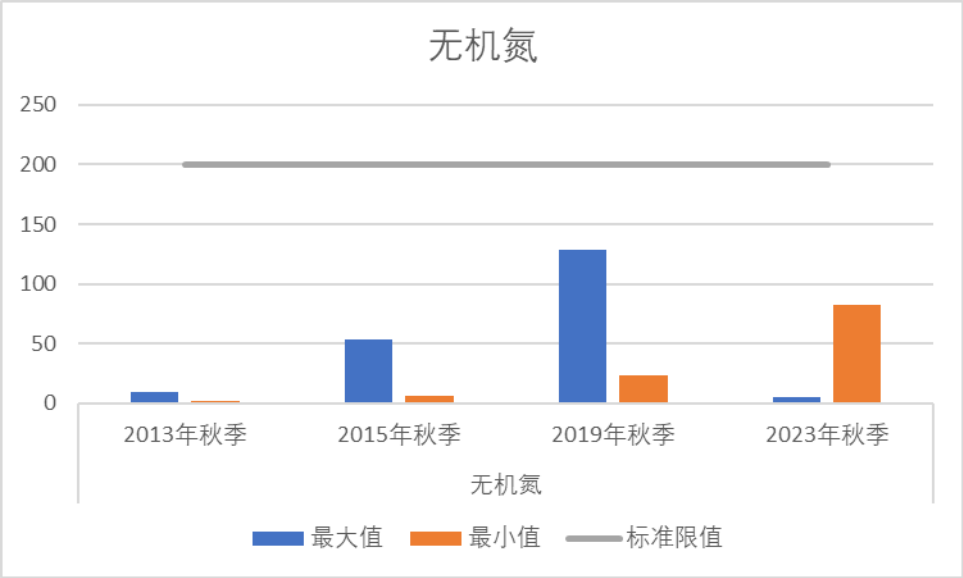


图 4.5-4 水质无机氮监测历年变化变化图

（4）活性磷酸盐

调查区水质活性磷酸盐历年监测值变化如图 4.5-5 所示。历年磷酸盐浓度均小于一类海水水质标准，且各年活性磷酸盐最大值、最小值浓度在一定范围内随季节正常波动，未见明显上升趋势。

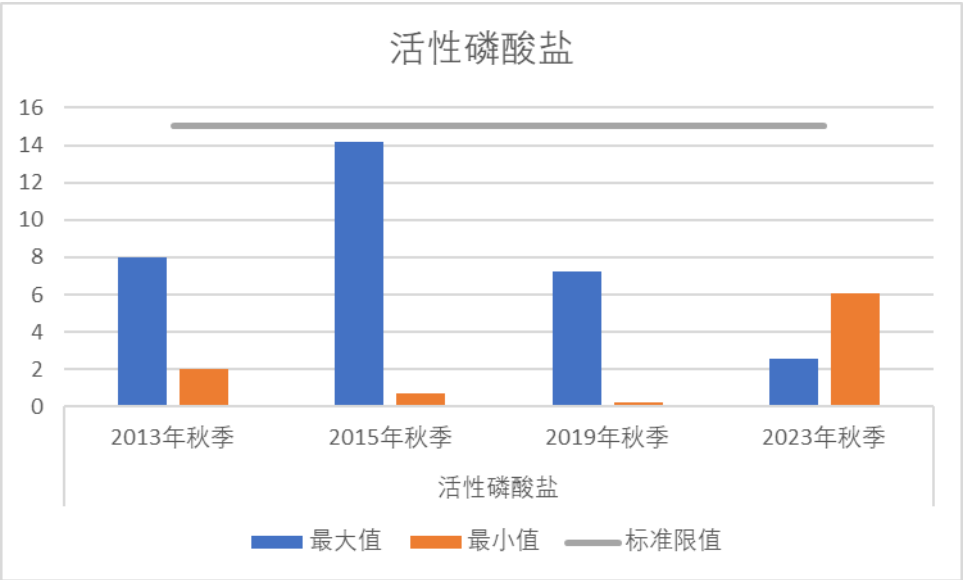


图 4.5-5 活性磷酸盐监测历年变化变化图

4.5.4 沉积物回顾评价

根据本工程特点选取硫化物、石油类、铅，进行海洋沉积物环境回顾性评价。

表 4.5-3 项目周边海域海洋沉积物调查历史数据表

项目	评价标准	调查时间	最小值（×10-6）	最大值（×10-6）	超标倍数
硫化物	≤300.0×10-6	2015 年 5 月	16.7	65.5	0
		2019 年 4 月	1.5	13.8	0
		2023 年 8 月	0	48.0	0
石油类	≤500.0×10-6	2015 年 5 月	8.4	53.8	0
		2019 年 4 月	2.5	28.1	0
		2023 年 8 月	1.5	34.0	0
铅	≤60.0×10-6	2015 年 5 月	3	9.5	0
		2019 年 4 月	11.3	25.2	0
		2023 年 8 月	16.2	46.8	0

由表 4.5-3 可知，各年份沉积物浓度均符合《海洋监测规范》中沉积物一类标准要求。

根据三亚湾海域沉积物代表年份监测数据，分析调查区沉积物石油类、硫化物和铅等因子最大值、最小值历年变化趋势如下图 4.5-6 所示，经过对比分析表明，各因子沉积物质量最小值变化波动不大，未出现明显升高趋势；硫化物、石油类含量最大值先下降后升高，铅含量呈上升趋势，均未超一类海洋沉积物质量标准。

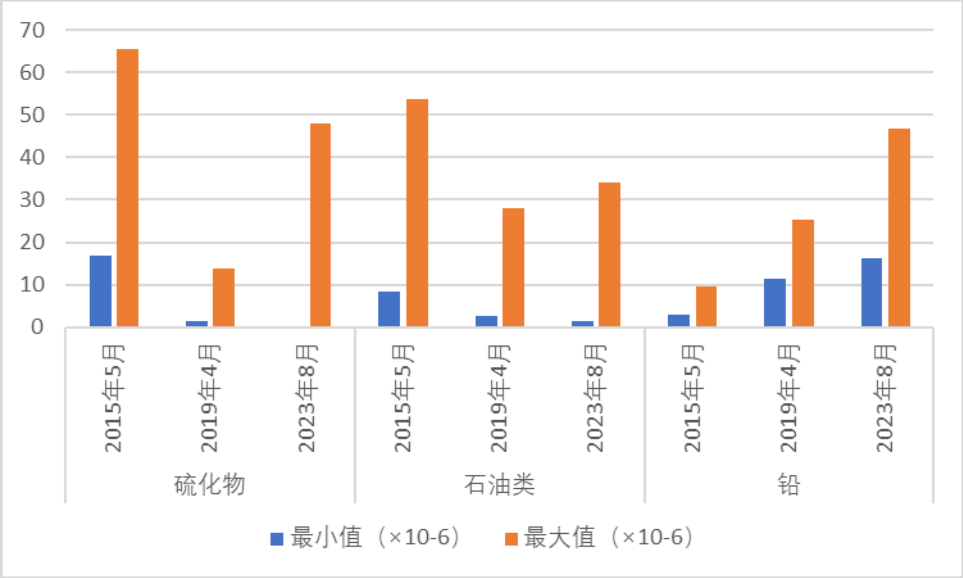


图 4.5-6 沉积物各因子监测历年变化

4.5.5 海洋生态回顾评价

根据本项目工程特点选取浮游植物、浮游动物、底栖生物和潮间带生物作为本次回顾性评价因子。

（1）浮游植物

浮游植物历年调查结果列于表 4.5-4 中。由表 4.5-4 可见，浮游植物种群优势种均

为硅藻，浮游植物细胞平均数量呈上升的趋势，在历年监测结果中，虽然浮游植物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域浮游植物群落具有稳定性。

表 4.5-4 浮游植物历年调查结果

项目	浮游植物			
调查时间	2013 年 10 月	2015 年 9 月	2019 年 9 月	2023 年 9 月
种类数（种）	81	50	110	109
主要类群及所占比例	硅藻 67.9 %	硅藻 72.0%	硅藻 70.91%	硅藻 70%
细胞数量（10^4cell/m^3）	0.58~24.82	1.04~105	0.58～34000	4.5~270
细胞数量平均值（10^4cell/m^3）	5.16	11.3	1152.63	43.1
多样性指数	3.34	2.28	1.86	2.4
均匀度	0.69	0.72	0.42	/
优势度	0.34	0.17	0.10	0.52
优势种	柱状脆杆藻	覆瓦根管藻	日本星杆藻	铁氏束毛藻

（2）浮游动物

浮游动物历年主要指标结果列于表 4.5-5 中。由表 4.5-5 可见，浮游动物生物量先上升后下降，总体变化不大，其中 2015 年达到最大，为 317.84mg/m^3，2013 年最低，为 0.51mg/m^3，在历年监测结果中，虽然浮游动物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域浮游动物群落具有稳定性。

表 4.5-5 浮游动物历年调查结果

项目	浮游动物			
调查时间	2013 年 10 月	2015 年 9 月	2019 年 9 月	2023 年 9 月
种类数（种）	57	74	105	119
生物量（mg/m^3）	0.51~11.7	1.22~317.84	4.22～142.6	13.16～89.36
生物量平均值（mg/m^3）	4.84	73.24	32.73	49.33
平均丰度（ind/m^3）	511.57	182.92	43.82	45.1
多样性指数	2.97	3.40	3.20	3.46
均匀度	0.69	0.85	0.91	/
优势度	0.082	0.185	0.04	0.05
主要优势种	小拟哲水蚤	肥胖箭虫	肥胖箭虫	亚强次真哲水蚤

（3）底栖生物

底栖生物调查结果列于表 4.5-6 中。由表 4.5-6 可见，底栖生物生物量呈先上升后下降的趋势，栖息密度也在一定范围内波动，在历年监测结果中，虽然底栖生物植物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域底栖生物群落

具有稳定性，未因周边海域近年来的开发利用导致不可逆的影响。

表 4.5-6 底栖生物历年调查结果

项目	底栖生物			
调查时间	2013 年 10 月	2015 年 9 月	2019 年 9 月	2023 年 9 月
种类数（种）	13	94	57	67
生物量（g/m²）	0.05~40.8	1.11~106.80	0.87~30.20	2.41~64.08
生物量平均值（g/m²）	2.19	25.3	9.72	22.78
栖息密度（个/m²）	32~64	13.33~113.33	7~47	8.00~83.00
栖息密度平均值（个/m²）	41.14	62.76	21.44	31.90
多样性指数	1	2	1.38	1.52
均匀度	1	0.89	0.98	/
优势度	0.16	0.15	0.04	0.025
主要优势种	象牙光角贝	矛形梭子蟹	环肋笔螺	矛形梭子蟹

（4）潮间带生物

潮间带生物调查监测数据如表 4.5-7：

表 4.5-7 潮间带生物历年调查结果

项目	调查时间	种类数（种）	生物量（g/m²）	生物量平均值（g/m³）	栖息密度（个/m²）	栖息密度平均值（个/m²）
潮间带生物	2013 年 10 月	10	7.52~389.28	68.45	48~1840	229.33
	2015 年 9 月	5	0~71.96	18.7	0~276	35.78
	2019 年 9 月	21	0.92~103.36	26.96	3~147	30.56
	2023 年 9 月	5	0~19.5	19.47	0~30	29.3

对比 2013 年 10 月到 2023 年 9 月数据结果，潮间带生物的种类数有所增加，栖息密度有所降低。

4.5.6 工程周边海域重要生物回顾性评价

2016 年三亚新机场投资建设有限公司委托对三亚新机场人工岛工程项目影响海域进行珊瑚调查与影响评估，并撰写了 2016 年的调查。结合三次的调查资料，能更全面地反映本区域的珊瑚礁生物资源状况。

中国科学院南海海洋研究所于 2014 年 4 月也做了珊瑚礁调查，但是已经有的资料中，站位比较少，尤其在红塘湾海域没有站位，只有一个红塘湾与三美湾交界处的站位，也一起作一些比较分析。2014 年调查已有的资料的 14 个站位如图 4.5-16。回顾评价历史数据引用与来源见表 4.5-8。

以及本次 2023 年 9 月国家海洋局三沙海洋环境监测中心站在项目所在海域周边进行的珊瑚礁生态调查。

表 4.5-8 珊瑚礁回顾性评价历史数据引用与来源

调查时间	调查资料	调查单位	调查范围	备注
2014 年 4 月	现状调查	中国科学院南海海洋研究所	红塘湾沿岸区域 1 个站位，调查站位见图 4.5-20a	红塘湾与三美湾交界处的站位
2016 年	三亚新机场人工岛工程项目影响海域珊瑚调查与影响评估报告	国家海洋局第三海洋研究所	涵盖了三亚珊瑚礁保护区的鹿回头区域、西岛区域，以及三亚湾整个近岸区域。调查按照等距离岸线 500m 左右一个站位，每个站位的调查范围大致为 200m×200m，总计调查站位 137 个，调查站位见图 4.5-20b	/
2014 年-2020 年	红塘湾沿岸区域的珊瑚礁生态调查	海南省海洋与渔业科学院	红塘湾沿岸区域	国家生态监控区调查，仅有活的造礁石珊瑚覆盖率的数据
2018~2020 年	现状调查	中国科学院南海海洋研究	三亚新机场珊瑚礁野外现场调查区域	/
2023 年	《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程珊瑚现状调查报告（报批稿）》	国家海洋局三沙海洋环境监测中心站	以本项目外边缘扩展 15km 与海岸线围成的区域作为评价范围	/

4.5.6.1 造礁石珊瑚覆盖率对比

2014 年 4 月调查结果显示，调查的 14 个站位中造礁石珊瑚覆盖率均值为 18.1%，最大值出现在红塘湾西 3m，最小值出现在小东海 3m。造礁石珊瑚覆盖率高于 20%的站位分别有红塘湾西、西岛、小洲岛、鹿回头、鹿回头角、东排和后海。

2016 年调查发现，有珊瑚分布的区域有鹿回头、西岛、红塘湾、南山至南山港区域。其中鹿回头区域珊瑚平均覆盖率为 14.38%，平均珊瑚补充量为 0.17 ind/m^2，西岛区域珊瑚平均覆盖率 17.94%，均珊瑚补充量为 0.13 ind/m^2，红塘湾区域珊瑚平均覆盖率为 17.37%，平均珊瑚补充量分别为 0.18 ind/m^2，南山以西至南山港区域珊瑚平均覆盖率为 12.04%。

2018-2020 年调查发现，造礁石珊瑚覆盖率最高的是三亚湾的东西瑁洲区域，整个分区的平均覆盖率为 20.71%，然后是三亚湾的鹿回头区域和红塘湾的红塘湾沿岸区域，其平均覆盖率分别为 16.17%和 19.09%。此外，活的造礁石珊瑚的平均覆盖率超过 10%的区域还有小洲岛区域和南山角-大小洞天区域。覆盖率最低的是凤凰岛-天涯海角区域、三亚河河口区域，平均覆盖率为 0.00%。整个三亚珊瑚礁活的造礁石珊瑚

平均覆盖率只有 12.56%，非常低。

本次调查发现，造礁石珊瑚覆盖率范围为 0.2~49.8%。其中岸线修复区域活珊瑚覆盖率较高，拆除区域覆盖率较低。各站点间的硬珊瑚补充量分布不均匀。

由于造礁石珊瑚分布是不均匀的，其覆盖率受到调查位置影响很大，而珊瑚调查的站位不同，难以比较，因此只能平均来看大概的变化趋势。各单位红塘湾海域造礁石珊瑚覆盖率如下表所示：

表 4.5-9 2014、2016 年、2018-2020 年和本次珊瑚调查各区域代表站位活的造礁石珊瑚覆盖率

调查时间	2014	2016	2018-2020	2023
2014 海南省海科院	[redacted]			
2016 年海洋三所		[redacted]		
2018~2020 中科院南海所			[redacted]	
2023 年国家海洋局三沙监测站				[redacted]

2014 年可以代表新机场项目之前的状况，活的造礁石珊瑚覆盖率约 18.1%，2016 年三所调查的珊瑚礁覆盖率为 17.37%，2018-2020 年调查的珊瑚礁覆盖率 19.09%，本次调查发现造礁石珊瑚覆盖率为 11.3%。2020 年之前的调查结果没有大的差别，可以认为活的造礁石珊瑚覆盖率基本上恢复到 2014 年的水平，本次调查结果较低，可能受海域开发活动的影响。

4.5.6.2 造礁石珊瑚种类对比

2014 年调查的 14 个站位，共记录到造礁石珊瑚 13 科 29 属 67 种，优势种类为丛生盔形珊瑚、橙黄滨珊瑚、单星蔷薇珊瑚、繁锦蔷薇珊瑚、鹿角杯形珊瑚、中华扁脑珊瑚、斯氏角孔珊瑚、秘密角蜂巢珊瑚。

2016 年对整个调查区域出现并可以鉴定识别的造礁石珊瑚种类合计有 58 种，其中红塘湾到南山港区域共 52 种，西岛 27 种，鹿回头 25 种。丛生盔形珊瑚、澄黄滨珊瑚、秘密角蜂巢珊瑚、多孔鹿角珊瑚、标准蜂巢珊瑚、伞房鹿角珊瑚、精巧扁脑珊瑚、疣状杯形珊瑚、二异角孔珊瑚、十字牡丹珊瑚等为主要常见种。

2018-2020 年调查区记录到 12 科 33 属 107 种造礁石珊瑚。扁平角孔珊瑚、斯氏角孔珊瑚、火焰滨珊瑚、膨胀蔷薇珊瑚、丛生盔形珊瑚、叶状蔷薇珊瑚、变形蔷薇珊瑚、十字牡丹珊瑚为主要常见种。

本次调查共鉴定出造礁石珊瑚 11 科 26 属 93 种（包含 1 未定类群）。其中鹿角珊瑚科和裸肋珊瑚科种类最多，其次为滨珊瑚科、杯形珊瑚科、真叶珊瑚科、木珊瑚科

及其他珊瑚科（未定类群、菌珊瑚科、铁星珊瑚科、同星珊瑚科）。

调查各分区的主要优势种见表 4.5-10。

在红塘湾海域，2016 和 2018-2020 年调查记录到的造礁石珊瑚种类差别特别大，2016 红塘湾的优势种是鹿角珊瑚和蔷薇珊瑚，2018-2020 年调查记录的造礁石珊瑚中鹿角珊瑚占比较小，优势种已经变为角孔珊瑚、蔷薇珊瑚，角孔珊瑚、蔷薇珊瑚是最典型的耐受悬浮物和沉积物的造礁石珊瑚，2023 年调查的珊瑚优势种为斯氏伯孔珊瑚、澄黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、柱形角孔珊瑚、疣状杯形珊瑚，结合水质调查发现红塘湾海域悬浮物及浊度很高，应该是反映了近几年悬浮物对红塘湾海域的造礁石珊瑚有明显的胁迫，造成了种类和群落结构的大变化。

4.5.6.3 珊瑚礁鱼类对比

2016 年对珊瑚礁鱼类的调查发现，西瑁洲鱼类调查共记录珊瑚礁鱼类种类 15 种。主要以雀鲷科 Pomacentridae、隆头鱼科 Labridae、蝴蝶鱼科 Chaetodontinae、天竺鲷科 Apogonidae 为主，主要优势种为网纹宅泥鱼、雀鲷、天竺鲷、倒盖鳞鱼、六线豆娘鱼、三重尾斑光鳃鱼等。珊瑚礁鱼类密度为 29 ind/100m^2。鹿回头区域共记录了珊瑚礁鱼类 9 种，主要优势种为褐篮子鱼。在调查中珊瑚礁鱼类的体型较小，体长多在 5～10cm 之间，平均为 18 ind/100m^2。红塘湾区域珊瑚礁鱼类调查共记录了珊瑚礁鱼类种类 14 种，主要以篮子鱼科、雀鲷科为主，主要优势种为褐篮子鱼、黑新箭齿雀鲷等。在调查中珊瑚礁鱼类的体型较小，体长多在 5～10cm 之间，大型的有经济价值的珊瑚礁鱼类（如石斑鱼）几乎没有见到。鱼类密度较低，平均为 16ind/100m^2。

2018-2020 年对珊瑚礁鱼类调查共记录到珊瑚礁鱼类种类共 40 种，主要以雀鲷科 Pomacentridae、隆头鱼科 Labridae、天竺鲷科 Apogonidae 为主，主要优势种为白尾雀鲷 *Pomacentrus chrysurus*、斑棘眶锯雀鲷 *Stegastes obreptus*、黑边波光鳃鱼 *Pomachromis richardson*i、杜氏海猪鱼 *Halichoeres dussumieri*、新月锦鱼 *Thalassoma lunare*、六带豆娘鱼 *Abudefduf sexfasciatus*、纵带天竺鲷 *Ostorhinchus angustatus*、条尾光鳃鱼 *Chromis ternatensis*、 金尾雀鲷 *Pomacentrus chrysurus* 等，种类不算多，而且较名贵鱼类少。在调查中珊瑚礁鱼类的个体都非常的小型(体长在 1～20cm 之间占绝大多数)，＞20cm 的鱼仅 3 尾，不足 1%，没有记录＞30cm 的鱼。而一些大型的有经济价值的珊瑚礁鱼类以及较名贵鱼类（如石斑鱼等）几乎没有见到。珊瑚礁普查(Reefcheck)所用指示人类活动干扰较大的种类也极少，都是 20cm 以内的鱼，＞30cm 的鱼没有。从分析所调查的鱼类密度和鱼类种数结果可以看到调查区域内鱼类密度很低，平均约 0.17 尾/100m^2，平均每条样带鱼类种数 6 种，其中三亚湾鹿回头、小洲岛（有鱼群）、凤凰岛、东西瑁洲区域珊瑚礁鱼类种较多。

本次调查共发现珊瑚礁鱼类 19 科 53 种，雀鲷科、隆头鱼科是主要种类；全海域珊瑚礁鱼类各科平均密度为 13.05 ind./250m^2，雀鲷科密度最高，平均密度为 160.74 ind./250m^2，鱼类食性主要以小形无脊椎动物为食的鱼类为主，各站位珊瑚礁鱼类密度在 3~563.00 ind./250m^2 之间，均值为 143.93 ind./250m^2，10 号站位珊瑚礁鱼类密度最大，平均为 563.00 ind./250m^2；优势种为蓝黑新雀鲷、断带舌塘鳢。

与 2016 年相比，2018-2023 年调查珊瑚礁鱼类在种类丰度上有所上升，但是在种群数量上有了较大的下降。

4.5.6.4 珊瑚礁栖的大型底栖动物对比

2016 年的调查发现红塘湾附近海域的珊瑚礁大型底栖动物种类较多，常见的种类包括海参、海胆、海百合、海葵、龙虾、海笔、海星等。其中以海参最为常见，主要是黑海参 *Holotburia atra*；海胆次之，主要是刺冠海胆 *Diadema setosum*。

2018-2020 年调查发现大型底栖动物有大型海胆、海参、海星、海百合、长棘海星、管虫、江珧、海菊蛤、珍珠贝、牡蛎、寄居蟹、蝾螺、红口螺、荔枝螺、马蹄螺、宝贝、棘螺、核果螺、蜒管螺、玉螺、骨螺、砗磲、海蛇尾、海蛞蝓、海绵、藤壶、海鞘、枪虾。此次调查监测到大型海胆平均密度为 0.20 个/100m^2，主要分布在鹿回头区域。海参平均密度为 0.28 个/100m^2，主要分布在天涯海角区域和红塘湾沿岸区域。海百合的平均密度为 2.90 个/100m^2，主要分布在三亚湾的东西瑁洲区域、红塘湾的天涯海角区域和红塘湾沿岸区域。管虫的平均密度为 2.33 个/百平方米，主要分布在三亚湾的鹿回头区域、凤凰岛区域、东西瑁洲区域以及红塘湾的红塘湾沿岸区域。寄居蟹的平均密度为 1.48 个/100m^2，主要分布三亚湾的鹿回头区域、小洲岛区域以及红塘湾的天涯海角区域和南山角-大小洞天区域。

本次在调查区域进行珊瑚礁生态调查共发现软珊瑚、柳珊瑚、海葵、海星、海百合、海胆、海绵、海鞘、甲壳类、贝类、螺类、多毛类、水螅和海蛞蝓等大型底栖无脊椎动物共计 15 个大类，栖息密度在 3.7~1408.0 ind./100 m^2 之间，平均栖息密度为 280.5 ind./100 m^2。海百合和贝类的栖息密度相对最高，两者合计占总平均栖息密度的 62.5%，裸鳃类的平均栖息密度最低。此次调查时在调查区域发现敌害生物核果螺。

4.5.6.5 小结

根据目前可获得的有限历史资料，在红塘湾区域历年调查记录到的造礁石珊瑚种类差别较大，2016 红塘湾的优势种是鹿角珊瑚和蔷薇珊瑚，而 2018-2020 年调查记录的造礁石珊瑚中鹿角珊瑚占比较少，优势种已经变为角孔珊瑚、蔷薇珊瑚，角孔珊瑚、蔷薇珊瑚是最典型的耐受悬浮物和沉积物的造礁石珊瑚，本次调查优势种为斯氏伯孔珊瑚、澄黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、柱形角孔珊瑚、疣状杯形珊瑚，结合水质调查发现红塘湾海域悬浮物及浊度较高，反映了近几年悬浮物对红塘湾海域的造礁石珊瑚有明显的胁迫，造成了种类和群落结构的大变化。历年调查珊瑚礁鱼类在种类丰度上有上升趋势，但是在种群数量上有较大下降。

5 环境影响预测与评价

5.1 水文动力环境影响分析

5.1.1 潮流场影响分析

5.1.1.1 中国近海大区域潮波数学模型

南海的潮波主要是经巴士海峡传入的太平洋潮波，穿越水深很大的南海盆地分别与中南半岛、马来西亚、泰国湾曲折岸线相作用，形成复杂的潮波体系。关于南海的潮波，海洋研究者通过实测资料、数值模拟和卫星资料进行过很多的研究。与东中国海潮波体系不同，南海潮波基本以全日潮为主。相对而言，由于地形复杂、实测资料缺乏，对于南海潮波的认识要缺乏的多，其例证是多次研究者的数值模拟结果相差显著，而南海西南部水域，相关研究甚少。为此，本文在西北太平洋潮波模型框架下，利用全球潮波模型 NAO99 提供相对精确边界条件，在较大范围的西北太平洋潮波体系下对南海潮波运动进行较精确的模拟，并利用沿海潮位站实测潮位调和常数进行验证。在此基础上，对计算主要的全日分潮、半日分潮分布进行分析。最后，考虑海平面上升影响，利用数学模型对海平面上升对潮波体系和潮汐的影响进行预测。

5.1.1.1.1 模型基本方程

模型采用球面坐标下的二维潮波传播方程，不考虑盐度、温度和其它物质浓度变化的影响（即 Boussinesq 近似）；并采用 Boussinesq 假定、静压假定和刚盖假定；考虑地球曲率和科氏加速度随纬度的变化。模型方程如下：

$$\frac{1}{a\cos\varphi}\left[\frac{\partial}{\partial\lambda}(UD)+\frac{\partial}{\partial\varphi}(VD\cos\varphi)\right]+\frac{\partial\zeta}{\partial t}=0 \tag{5-1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{U}{a\cos\varphi}\frac{\partial U}{\partial\lambda}+\frac{V}{a}\frac{\partial U}{\partial\varphi}-\frac{UV}{a}tg\varphi=fV-\frac{g}{a\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(\zeta-\overline{\zeta}\right)$$
$$+\frac{A_H}{a^2\cos\varphi}\left[\frac{1}{\cos\varphi}\frac{\partial^2U}{\partial\lambda^2}+\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\cos\varphi\frac{\partial U}{\partial\varphi}\right)\right]-\frac{k_b}{D}\sqrt{U^2+V^2}U \tag{5-2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{U}{a\cos\varphi}\frac{\partial V}{\partial\lambda}+\frac{V}{a}\frac{\partial V}{\partial\varphi}-\frac{U^2}{a}tg\varphi=-fU-\frac{g}{a}\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\zeta-\overline{\zeta}\right)$$
$$+\frac{A_H}{a^2\cos\varphi}\left[\frac{1}{\cos\varphi}\frac{\partial^2V}{\partial\lambda^2}+\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\cos\varphi\frac{\partial V}{\partial\varphi}\right)\right]-\frac{k_b}{D}\sqrt{U^2+V^2}V \tag{5-3}$$

式中：t为时间；λ为东经，φ为北纬；U、V分别为沿水深平均的潮流速在λ、φ方向上的分量；D为总水深$D=h+\zeta$，h为静水深，ζ为相对于静海面的波动值；f为科氏力分量，$f=2\omega\sin\varphi$，ω为地球自转角速度；a为地球平均半径，g为重力加速度，A_H为水平涡粘系数，可视为常量；k_b为运动阻力系数$k_b=g/C^2$，$C=D^{\frac{1}{6}}/n$，C为谢才系数，n为曼宁系数；$\overline{\zeta}$为因引潮力引起的海面变化值，即平衡潮潮高。

5.1.1.1.2 模型范围和边界条件

模型范围包括西北太平洋边缘的东中国海、南中国海、菲律宾海、日本海、苏禄海以及靠近的太平洋海域。模型东边界在东经 90°位置，西边界在东经 161°10'位置，南边界在北纬 0°，北边界在 61°位置；模型网格为 2'×2'。模型水深资料由 GEBCO 提供（被订正到平均海平面）。西北太平洋潮波模型计算网格见图 5.1-1。

模型采用 DSI 方法离散，时间步长 450s。水平涡粘系数A_H取为 10m^2/s。底部摩阻通过曼宁系数确定，曼宁系数一般在 0.015-0.025 之间。

模型初始条件，给定恒定潮位场，流速为 0。

闭边界满足流体不可入条件，即

$$\vec{U}_H\cdot\vec{n}=0 \qquad (5\text{-}4)$$

式中：$\vec{U}_H=(\overline{U}_\lambda,\overline{U}_\varphi)$为水平流速矢量，$\vec{n}$为边界法向。

开边界给定潮位过程线。潮位过程线由潮汐调和常数按以下形式给定：

$$\zeta=\sum H_i\cos(\sigma_i t-\theta_i) \qquad (5\text{-}5)$$

式中：H_i、σ_i、θ_i分别为分潮的振幅、角频率和迟角。

潮位过程线由全球潮波模型 NAO99 提供，该模型网格为 0.5°×0.5°，预报潮位包含 16 个短周期分潮（M_2、S_2、K_1、O_1、N_2、P_1、K_2、Q_1、M_1、J_1、OO_1、$2N_2$、Mu_2、Nu_2、L_2、T_2）和 7 个长周期分潮（M_{tm}、M_f、M_{Sf}、M_m、M_{Sm}、S_{sa}、S_a）。

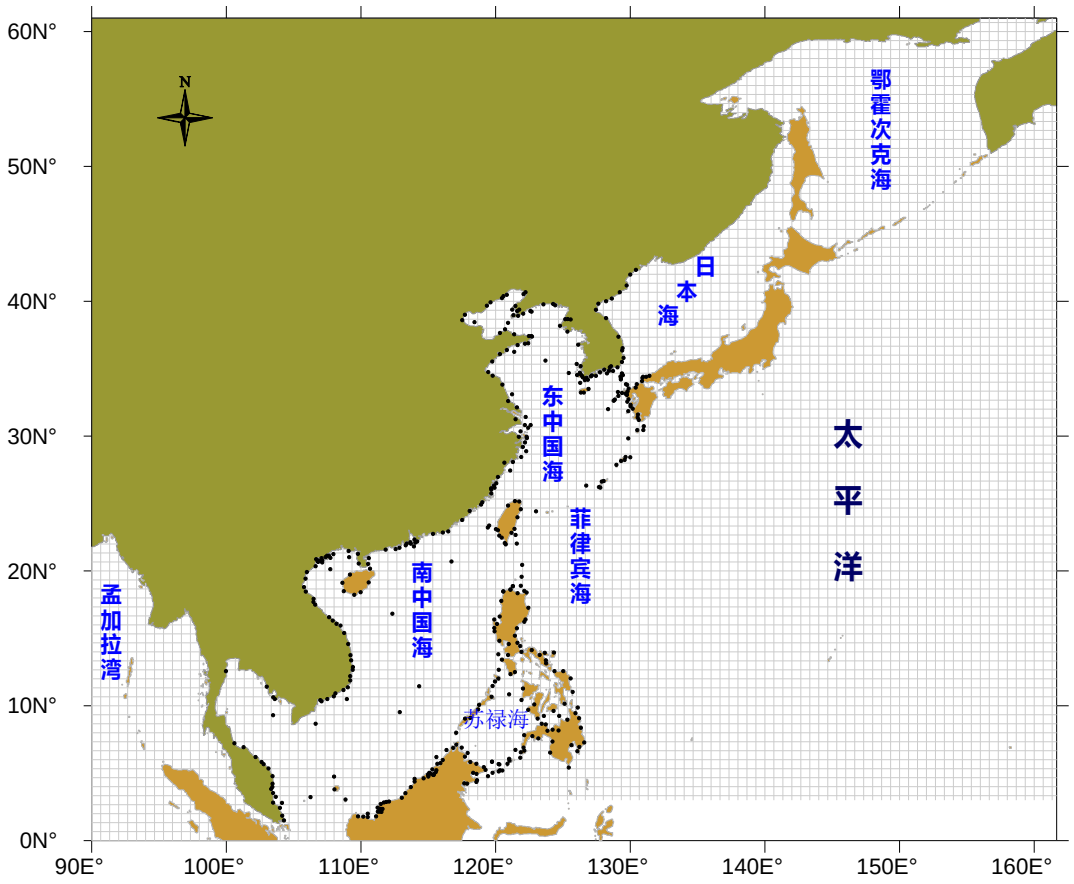


图 5.1-1 西北太平洋潮波模型计算网格图（每隔 20 条画 1 条；●为潮位站）

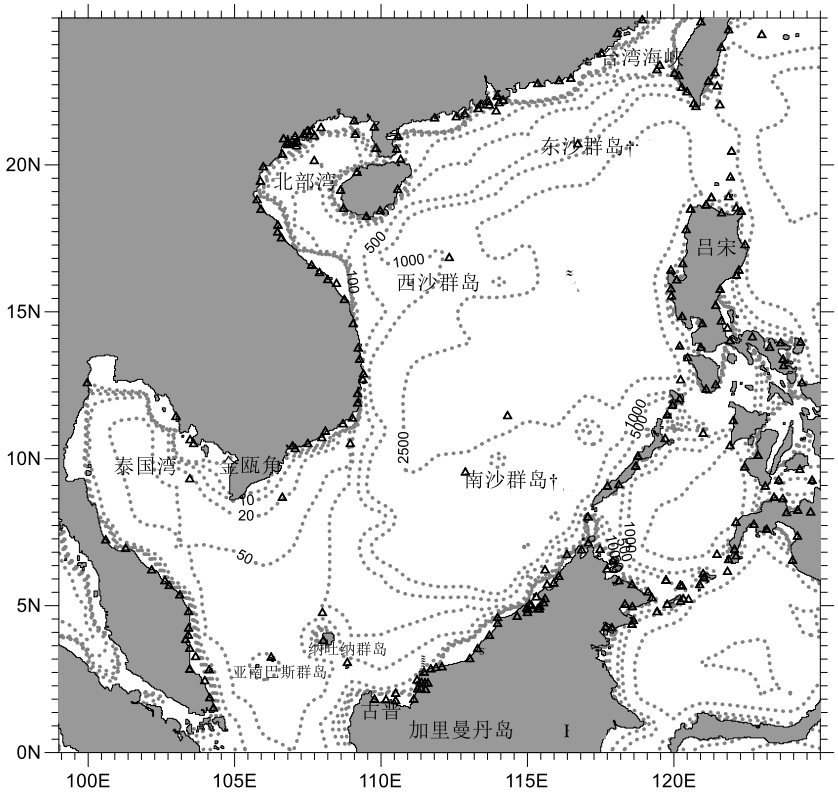


图 5.1-2 南海局部地形和验证点分布（△为潮位观测站）

5.1.1.1.3 模型验证

模型对《英国潮汐表》435 个潮位站 4 个主要分潮（M_2、S_2、K_1、O_1）以及若干潮流观测点准调和常数进行了对比验证（潮位站的站位见图 5.1-3）。由于本部分主要为大范围潮波计算结果，只对潮位验证结果进行说明。表 5.1-1 为各站计算结果与实测值之间的绝对值平均偏差。图 5.1-3 为 4 个主要分潮的调和常数计算结果与实测结果比较。可以看出计算四个主要分潮 M_2、S_2、K_1、O1 振幅绝对值平均偏差分别为：8.3cm、4.9cm、5.1cm 和 5.2cm；迟角的绝对值平均偏差分别为：12.5°、14.8°、10.7°和 10.2°。

表 5.1-1 258 个测站主要分潮调和常数绝对值平均误差

M_2		S_2		K_1		O_1	
振幅(cm)	迟角(°)	振幅(cm)	迟角(°)	振幅(cm)	迟角(°)	振幅(cm)	迟角(°)
7.7	14.6	4.9	17.4	6.1	11.9	6.8	11.2

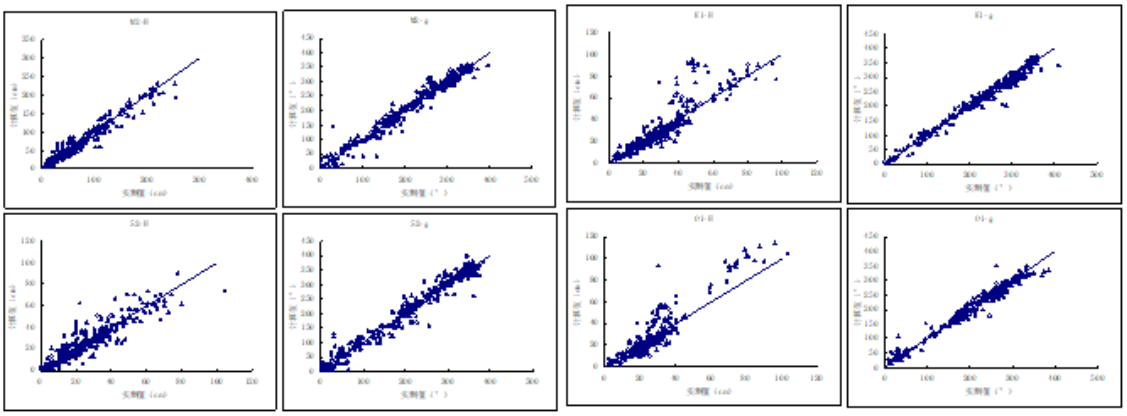


图 5.1-3 计算调和常数与实测结果比较

5.1.1.1.4 大范围潮汐特征

在南海盆地，由于水深很大，潮波传播速度很快。M_2 分潮等迟角线稀疏，大致平行呈东南走向，振幅在 10cm～20cm 之间，变化很小，呈大洋潮波的性质。在近岸和海湾，振幅有很大变化，在北部湾内 M_2 分潮最大振幅在 30cm 左右，在金瓯角和古晋达士湾附近的波腹区，最大振幅均超过 100cm，见图 5.1-4。

南海的全日潮波在北部湾口形成一旋转潮波系统，等振幅线则由湾口向里递增，在湾顶达到最大，振幅将近 100cm 左右。等迟角线显示，潮波在琼州海峡由西向东传播。南海陆架的全日潮分布也较复杂。在金瓯角和古晋附近位置形成波腹区，在泰国湾口的宋卡附近有一左旋潮波系统，由此振幅向湾顶和湾口增加，在湾顶处达到最大超过 100cm 左右。等迟角线显示在南边界处全日潮波由南海向爪哇海传播，见图 5.1-

5。

表 5.1-2 为南海西南水域不同研究者得到的 M_2 分潮和 K_1 分潮无潮点位置比较。总体来说，南海西南海域半日无潮点的分歧主要在于：其一泰国湾内的无潮点位置；其二纳吐那岛附近的无潮点及赤道附近的无潮点存在与否；以上所列结果各有异议。对于全日潮无潮点的认识基本一致：在泰国湾内和北部湾口各存在一无潮点。

表 5.1-2 南海西南水域 M_2 分潮和 K_1 分潮无潮点位置比较

	M_2	K_1
Ye Anle(1983)	9°19′N，99°58′E；8°27′N，104°07′E	8°18′N，101°19′E
愈慕耕(1984)	10°00′N，101°04′E；2°18′N，106°16′E	8°28′N，101°53′E
沈育疆(1985)	11°12′N，100°30′E；7°36′N，105°00′E 2°30′N，106°36′E	8°37′N，102°03′E
Fang(1986)	11°15′N，100°00′E；9°10′N，103°25′E 0°30′N，107°00′E	8°15′N，102°00′E
方国洪(1994)	11°00′N，99°30′E；8°30′N，103°30′E 4°30′N，106°15′E；2°30′N，106°30′E	8°15′N，102°10′E
曹德明(1997)	11°10′N，99°40′E；8°25′N，103°30′E 0°00′N，107°00′E；	8°18′N，102°12′E
本报告	4°16′N，106°54′E；8°38′N，103°36′E；	8°16′N，101°46′E

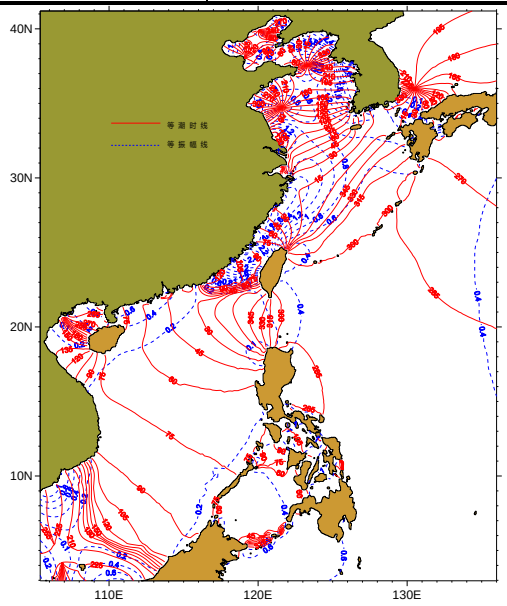


图 5.1-4 M_2 分潮同潮图

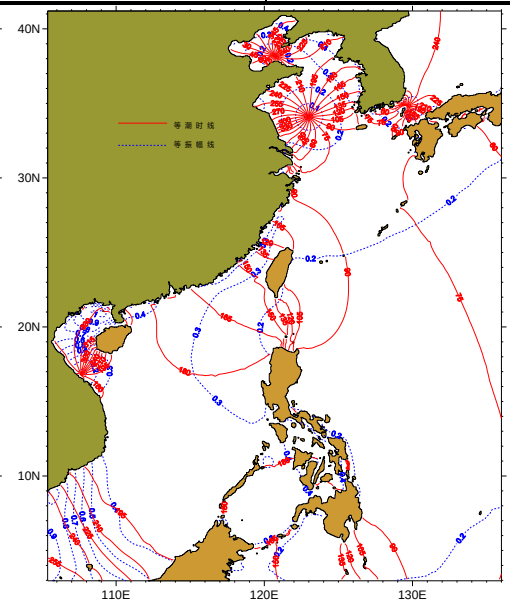
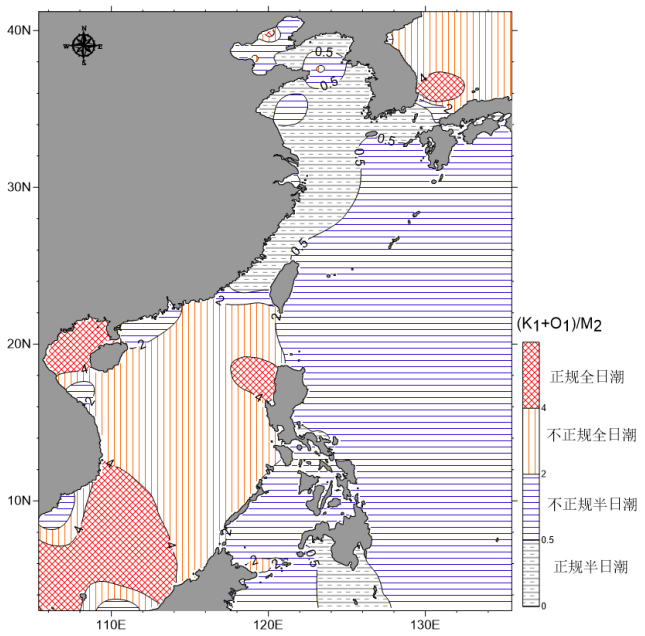


图 5.1-5 K_1 分潮同潮图

南海的潮型分布以全日潮为主。南海盆地大部分为不正规全日潮；台湾海峡南部、广东西部沿海为不正规半日潮，北部湾内为正规全日潮。南海盆地以南水域大部分为正规全日潮，在全日潮无潮点、半日潮波腹区分布不规则全日潮和不规则半日潮，见图 5.1-6。图 5.1-7 为利用模型计算得到的平均潮差分布，可以看出南海盆地大部分海域平均潮差在 0.50-1.0m 之间，北部湾、泰国湾湾顶、越南金瓯角和马来西亚古

晋附近平均潮差超过 2.0m。



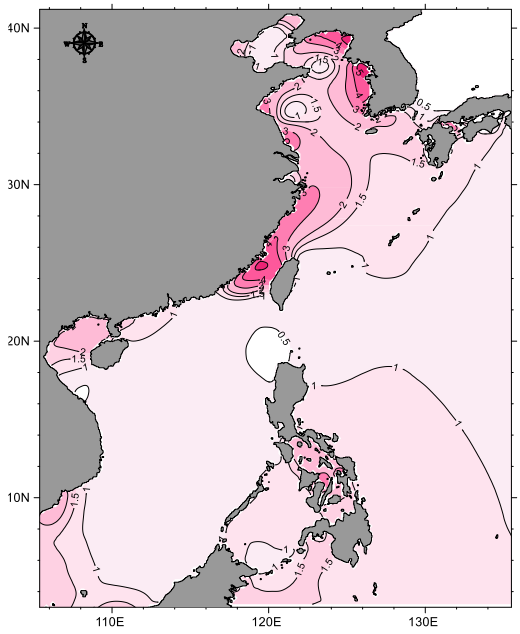


图 5.1-6 潮型分布图　　**图 5.1-7 平均潮差分布图**

5.1.1.2　工程区局部潮流泥沙数学模型

5.1.1.2.1　基本方程

（1）连续方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)u]+\frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)v]=0 \qquad (5\text{-}6)$$

（2）动量方程

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=f\cdot v-g\frac{\partial \zeta}{\partial x}-\frac{gu\sqrt{u^2+v^2}}{C^2(h+\zeta)}+\varepsilon_x\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \qquad (5\text{-}7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-f\cdot u-g\frac{\partial \zeta}{\partial y}-\frac{gv\sqrt{u^2+v^2}}{C^2(h+\zeta)}+\varepsilon_y\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \qquad (5\text{-}8)$$

其中：ζ 为潮位，h 为水深；$u=\frac{1}{h+\zeta}\int_{-h}^{\zeta}u\,dz$，$v=\frac{1}{h+\zeta}\int_{-h}^{\zeta}v\,dz$，分别为 x、y 方向垂线平均流速；表示时间；f 为科氏力系数($f=2\omega\sin\varphi$，ω 是地球自转的角速度，φ 是所在地区的纬度)；g 重力加速度，$g=9.8m/s^2$；C 为谢才系数，$C=\frac{1}{n}(h+\zeta)^{1/6}$，$n$ 为曼宁系数；ε_x、ε_y 为 x、y 方向紊动扩散系数。

5.1.1.2.2 定解条件

（1）初始条件

$$\begin{cases} u\ t,x,h\big|_{t\ t_0} \quad u_0\ x,h \\ v\ t,x,h\big|_{t\ t_0} \quad v_0\ x,h \\ z\ t,x,h\big|_{t\ t_0} \quad z_0\ x,h \end{cases}$$

其中：u_0、v_0、ζ_0分别为初始流速、潮位；潮位、流速初始值通常取常数，t_0为起始计算时间。

（2）边界条件

水流边界条件：

开边界G_0采用流速边界：$u\big|_{\ 0} \quad u(t,x,h)$

$$v\big|_{\ 0} \quad v(t,x,h)$$

或采用水位边界：$z\big|_{\ 0} \quad z(t,x,h)$

式中，u、v、ζ，分别用流速过程或潮位过程控制。闭边界G_c采用不可入条件，即$V_n \quad 0$，法向流速为 0，n 为边界的外法向。模型开边界采用潮位过程控制，潮位过程由中国近海大区域模型提供。

5.1.1.3 计算方法与计算参数

模型计算方法采用 ADI 法，ADI 法为一种隐、显交替求解的有限差分格式，是对以上非恒定流偏微分方程进行数值求解的有效方法。即在建立差分方程时，将任一时刻的时步长 t分为两个半时步长。在前半时步长内，将连续方程与 ξ 方向动量方程联合隐式求解 u 和 ζ；在后半时步长内，将连续方程与 η 方向动量方程联合隐式求解 v 和 ζ。

潮流数学模型计算时糙率计算式为：$n= n_0+n_{k(h)}$，其中 n_0=0.012~0.016，$n_{k(h)}$是受水深调节部分；本次模型的糙率取值为 0.015~0.022，时间步长取为 5s；粘度取 1m^2/s。

5.1.1.4 计算区域与网格

在最新实测地形和最新海图基础上，建立包括了整个三亚湾、红塘湾、崖州湾、

及其外围部分海域的潮流数学模型。模型范围东起锦母角，西至角头鼻，东西长65km；南北宽 30km，外边界至水深-80m 处（图 5.1-8）。数学模型采用的是矩形网格。网格为变步长，步长为 5~500m，在工程区与地形突变区进行局部加密（图 5.1-8）。模型选取范围和网格大小可满足工程方案的工程尺度。

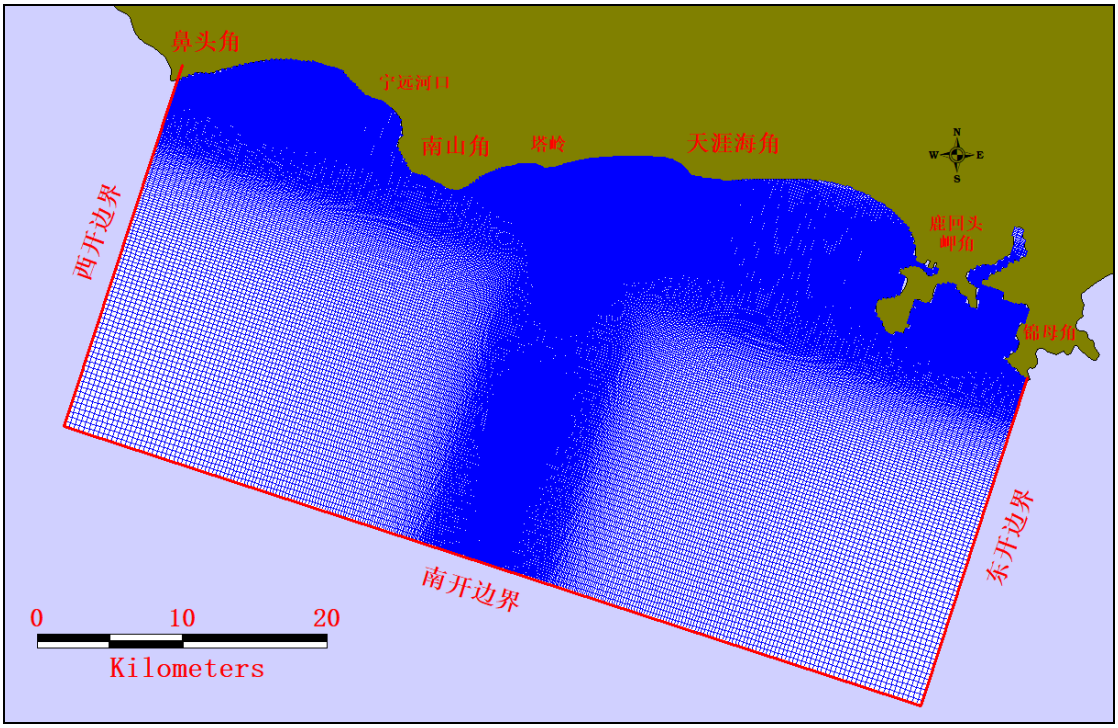


图 5.1-8 工程区潮流泥沙数学模型模型范围示意图

5.1.1.5 模型验证

根据 2021 年 4 月 29 日 9 时～2021 年 4 月 30 日 10 时（大潮）；2021 年 5 月 8 日 10 时～2021 年 5 月 9 日 11 时（小潮），6 个潮位站和 10 个流速测点的实测大、小潮数据（图 5.1-9），对模型进行了验证，验证结果如图 5.1-10~5.1-12 所示。

图 5.1-10 分别为大、小潮潮位验证结果反映，从图中可以看出，模型计算潮位和实测潮位吻合较好，振幅误差均在 10cm 以内，相位误差在 0.5h 以内，满足相关规范要求。各站计算潮位均能反映所测资料的潮位过程特征和峰值特征。图 5.1-11 为流速及流向验证情况。

根据《水运工程模拟试验技术规程》（JTS-T 231-2021）要求，模型验证偏差数值应满足以下条件：

（1）高低潮时间的相位允许偏差为 0.5h，最高最低潮位值允许偏差为 0.1m。

（2）憩流时间和最大流速出现的时间允许偏差为 0.5h，流速过程线的形态基本一致。

（3）测点涨落潮时段平均流速允许偏差为+10%；试验水域流速较小时，涨落急时段平均流速允许偏差为+10%。

（4）往复流时，测站主流流向允许偏差为±10°，平均流向允许偏差为±10°，旋转流时测站流向允许偏差为±15°。

验证结果显示，高低潮位时间均小于 0.5h，最高最低潮位偏差小于 0.1m；憩流时间和最大流速出现的时间偏差均小于 0.5h，流速过程线整体一致；

流速流向方面，大潮阶段各测点涨落潮时段平均流速偏差均小于 10%。但在小潮阶段，因海域小潮阶段流速均很小，基本不超过 0.3m/s，受仪器设备敏感度等方面的影响较大，部分测点验证结果与实测结果偏差较大。考虑到本次测点较多，且小潮整体流速很小，小潮时个别点位验证流速偏差且主要在工程区外围。根据《水运工程模拟试验技术规程》（JTS-T 231-2021）要求，“当模型范围较大，验证测站较多，自然条件较复杂时，模型验证超出允许偏差的测站不应超过总验证测站的 20%，且其位置不应集中在试验研究的关键部位”。总体而言，数学模型的计算值和实测值的振幅及相位均符合良好。表明本项研究建立的潮流泥沙数学模型能够反映研究海域的潮流运动特性和天然流场，特别是对计算起关键作用的大潮过程，为进行工程方案流场计算提供了可靠的基础。

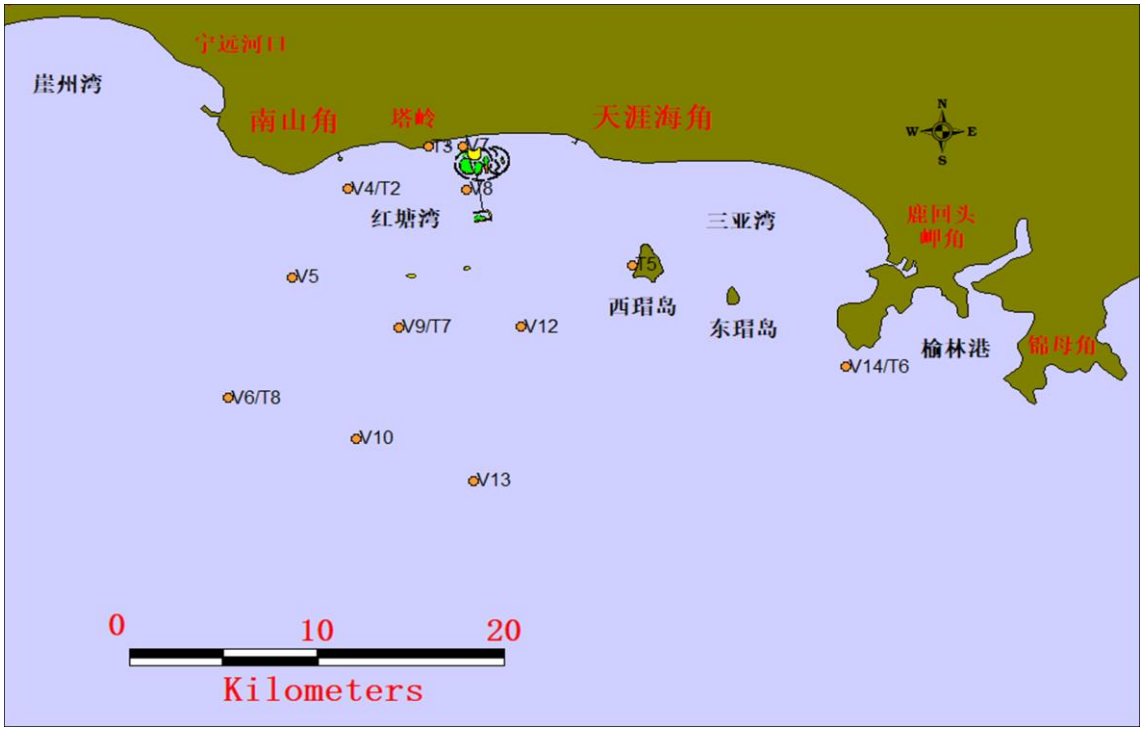


图 5.1-9 水文测点布置图

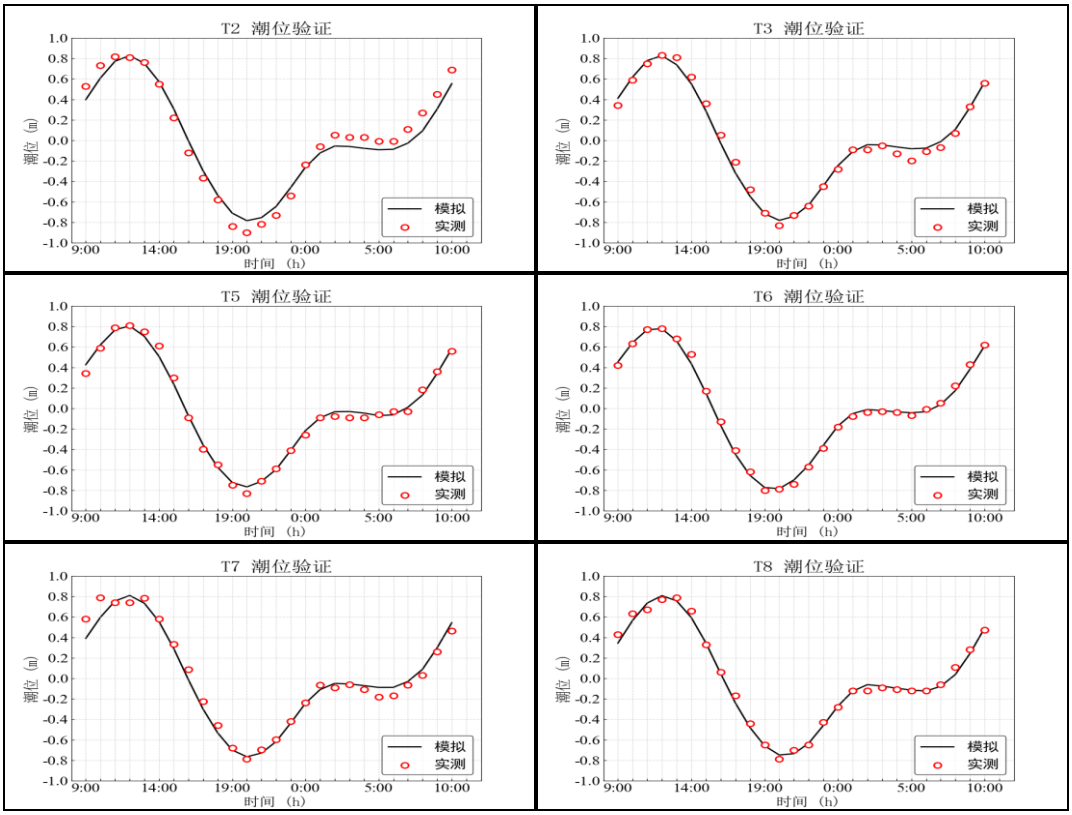


图 5.1-10a 大潮潮位验证

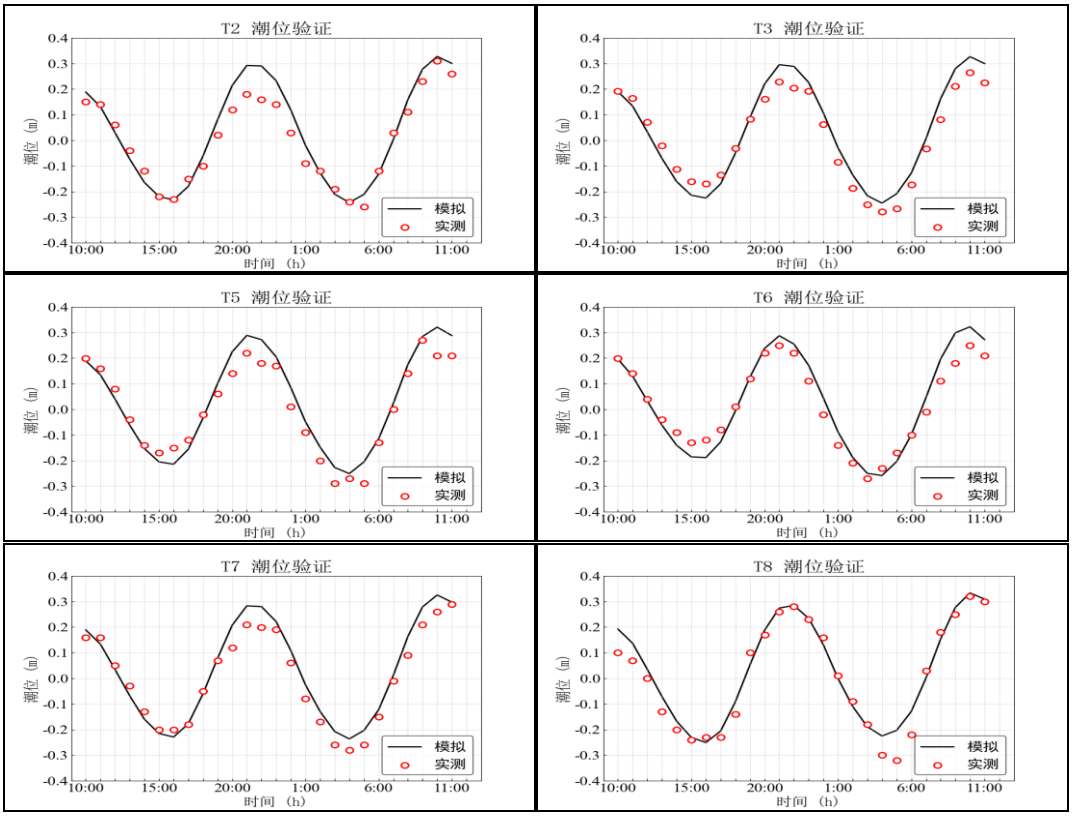
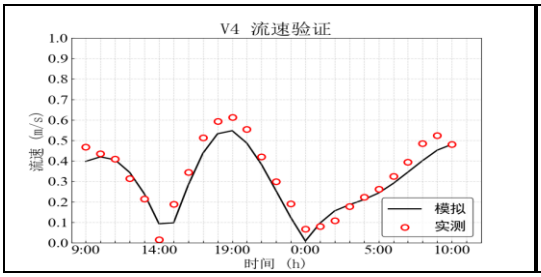
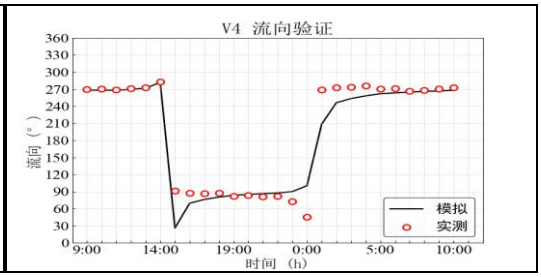
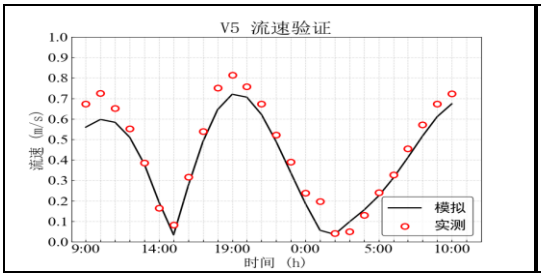
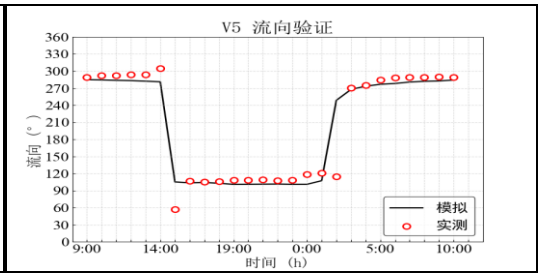


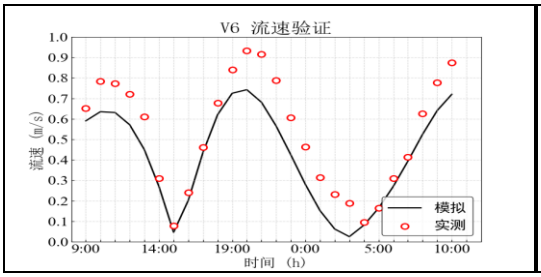
图 5.1-10b 小潮潮位验证

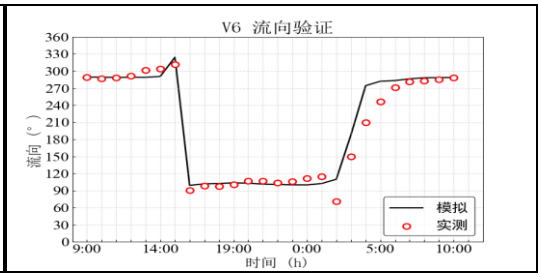

V4 流速验证
流速（m/s）
时间（h）
模拟
实测

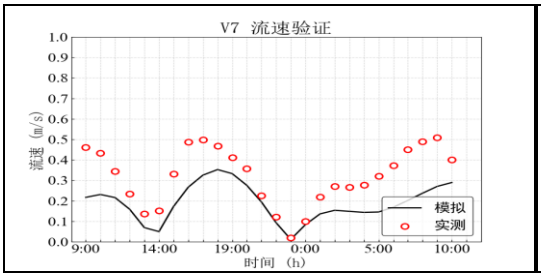

V4 流向验证
流向（°）
时间（h）
模拟
实测

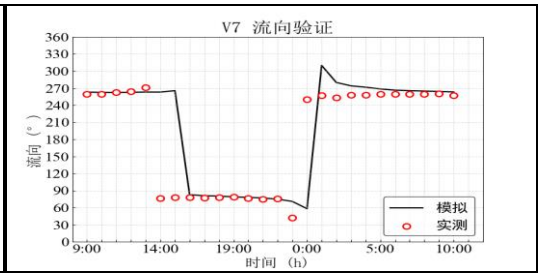

V5 流速验证
流速（m/s）
时间（h）
模拟
实测

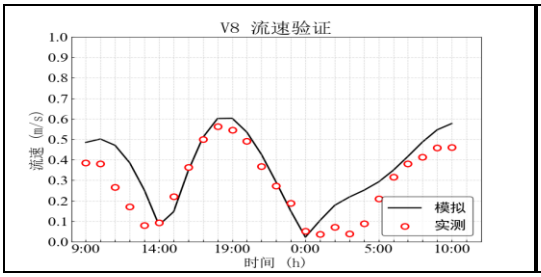

V5 流向验证
流向（°）
时间（h）
模拟
实测

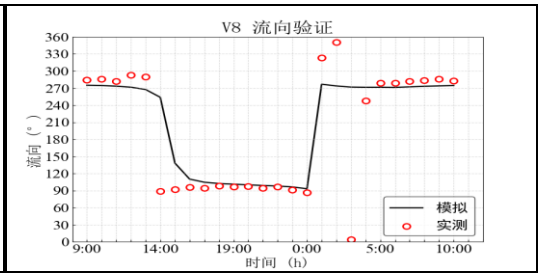

V6 流速验证
流速（m/s）
时间（h）
模拟
实测

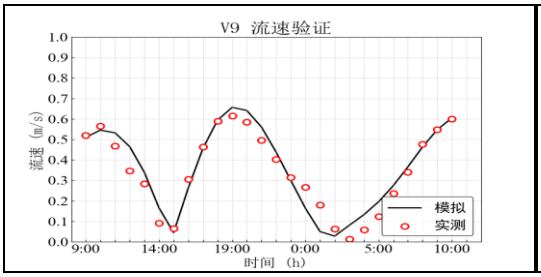

V6 流向验证
流向（°）
时间（h）
模拟
实测

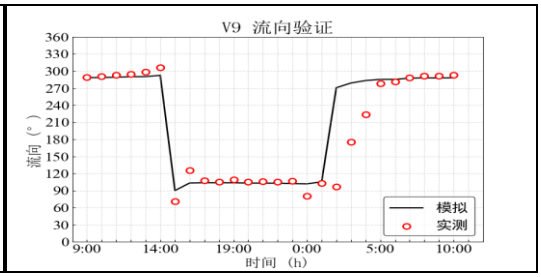

V7 流速验证
流速（m/s）
时间（h）
模拟
实测


V7 流向验证
流向（°）
时间（h）
模拟
实测


V8 流速验证
流速（m/s）
时间（h）
模拟
实测


V8 流向验证
流向（°）
时间（h）
模拟
实测


V9 流速验证
流速（m/s）
时间（h）
模拟
实测


V9 流向验证
流向（°）
时间（h）
模拟
实测

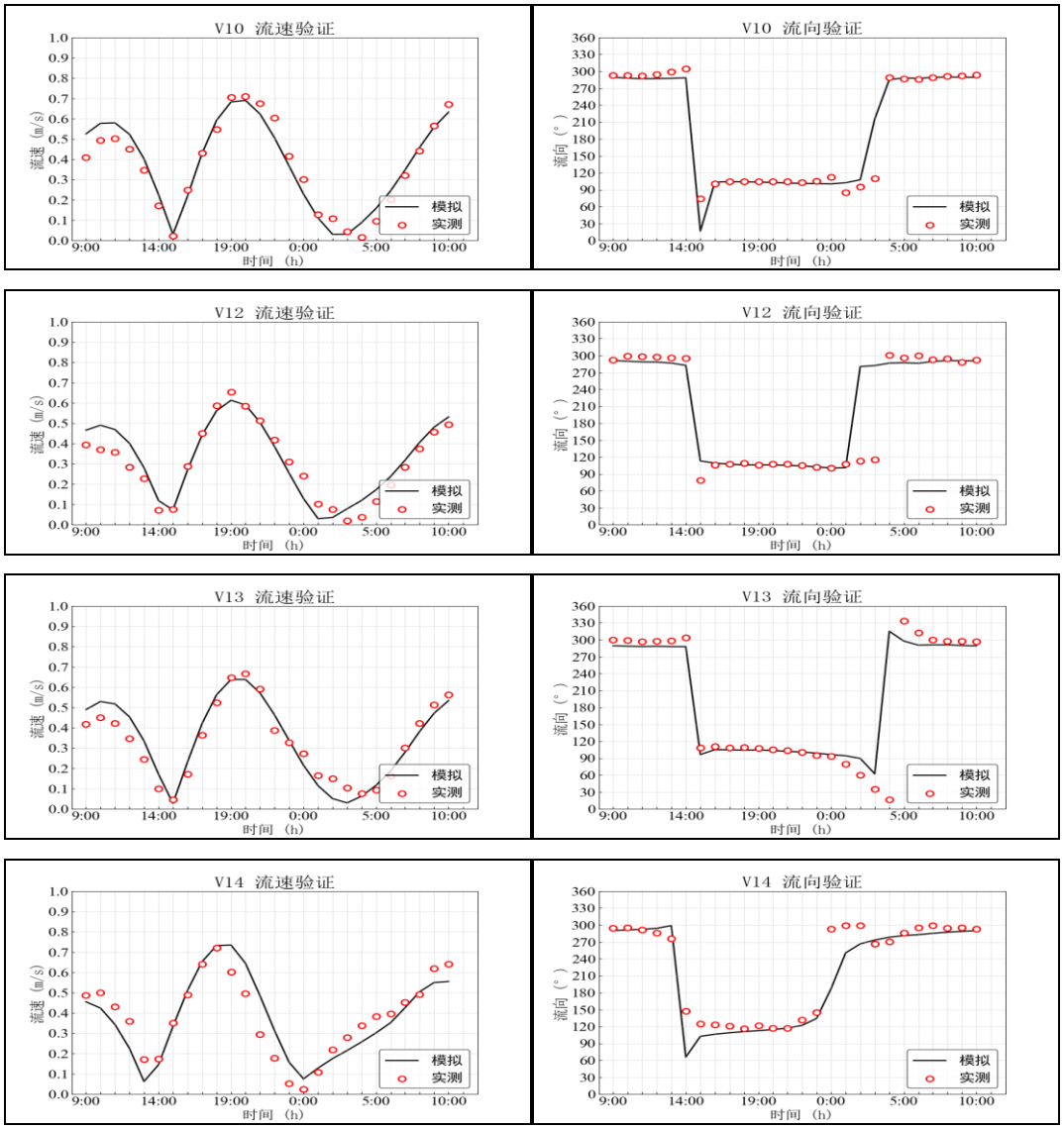
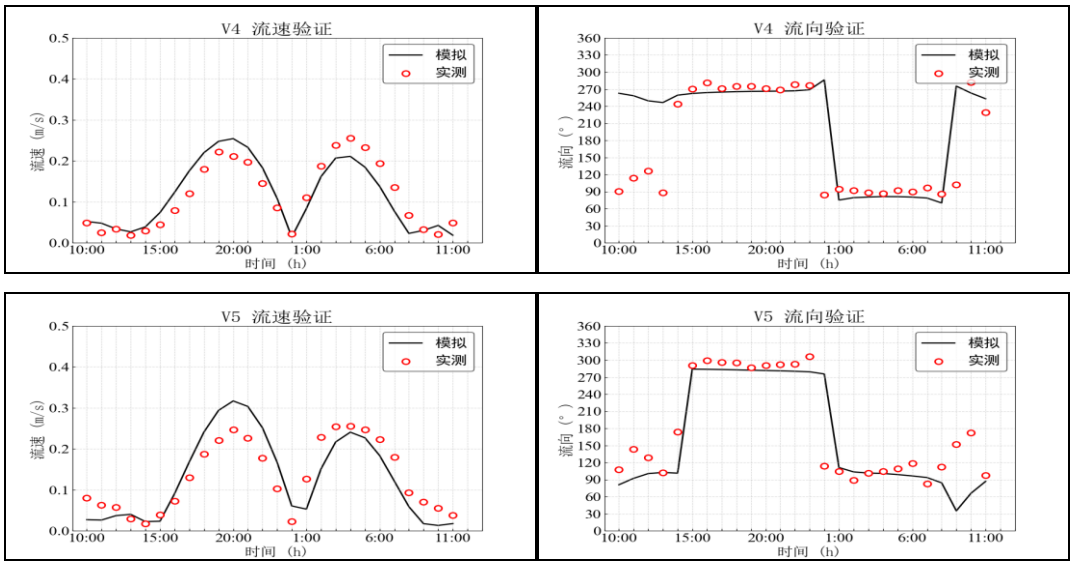
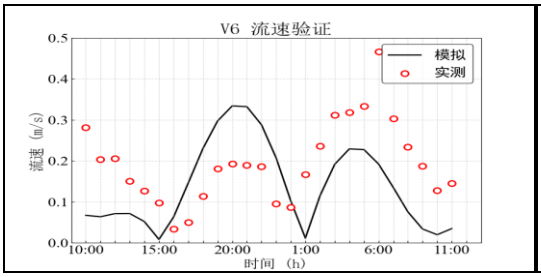
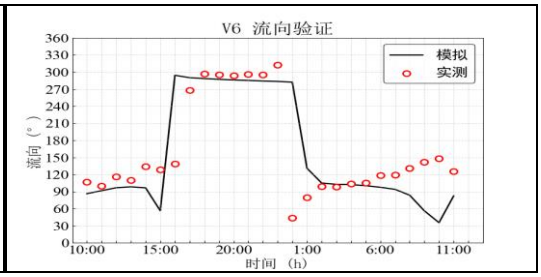
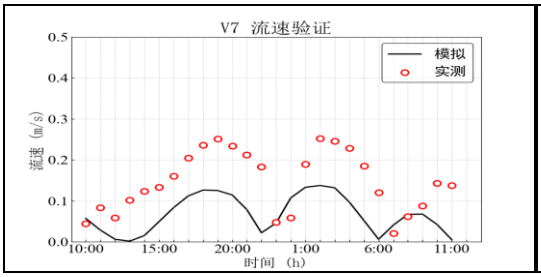


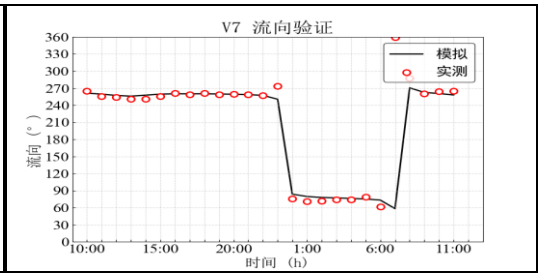
图 5.1-11a 大潮流速、流向验证

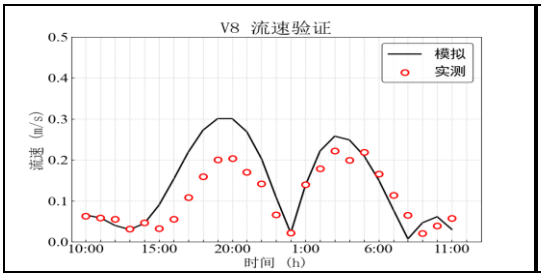


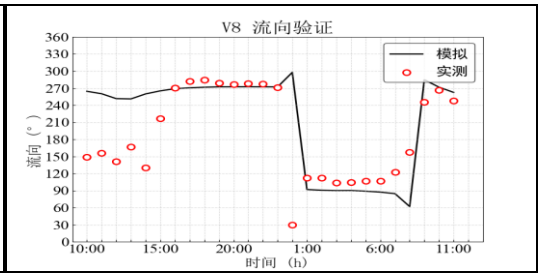

V6 流速验证
模拟
实测
流速（m/s）
时间（h）

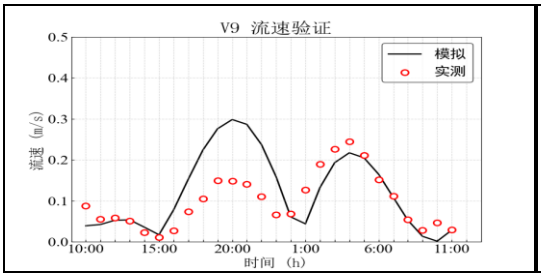

V6 流向验证
模拟
实测
流向（°）
时间（h）

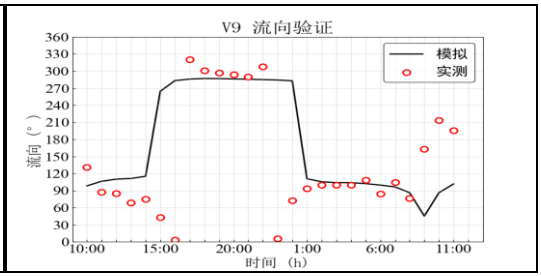

V7 流速验证
模拟
实测
流速（m/s）
时间（h）

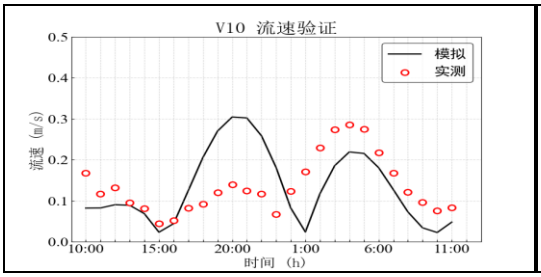

V7 流向验证
模拟
实测
流向（°）
时间（h）

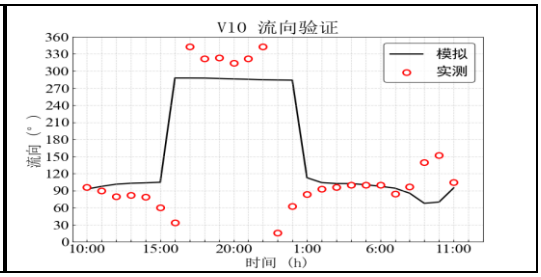

V8 流速验证
模拟
实测
流速（m/s）
时间（h）

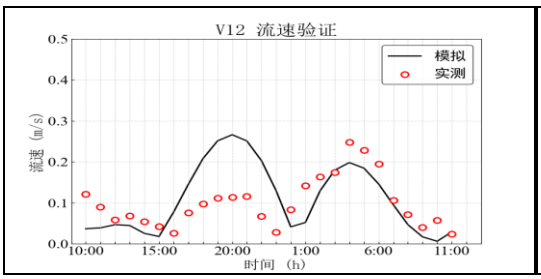

V8 流向验证
模拟
实测
流向（°）
时间（h）

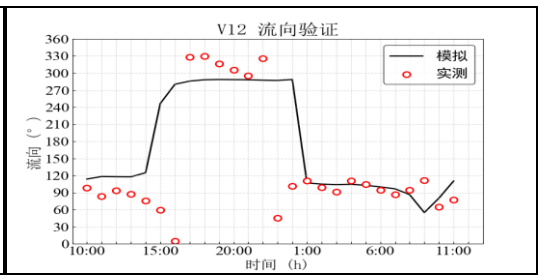

V9 流速验证
模拟
实测
流速（m/s）
时间（h）


V9 流向验证
模拟
实测
流向（°）
时间（h）


V10 流速验证
模拟
实测
流速（m/s）
时间（h）


V10 流向验证
模拟
实测
流向（°）
时间（h）


V12 流速验证
模拟
实测
流速（m/s）
时间（h）


V12 流向验证
模拟
实测
流向（°）
时间（h）

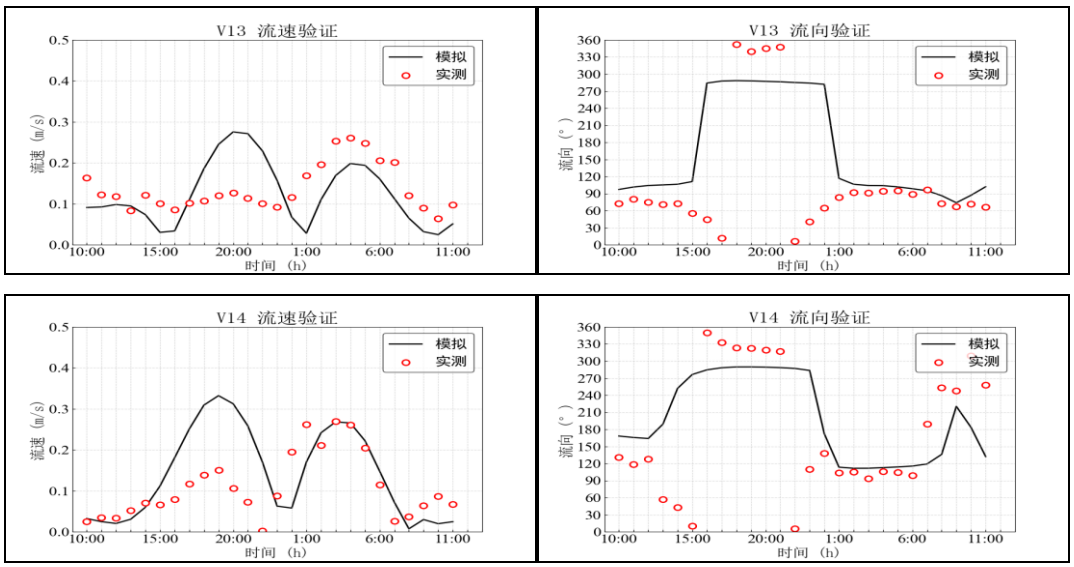


图 5.1-11b 小潮流速、流向验证

5.1.1.6 计算工况

为认识拆除方案及修复方案实施后的流场影响，考虑了现状条件、拆除工程实施后、拆除工程和修复工程全部实施后三种工况，分别进行计算对比。

表 5.1-3 计算工况及说明

计算工况	编号	方案说明
方案一	SY-X1	2023 现状地形，现有的涉海工程均保留
方案二	SY-X2	拆除工程实施后
方案三	SY-X3	拆除工程和修复工程实施后

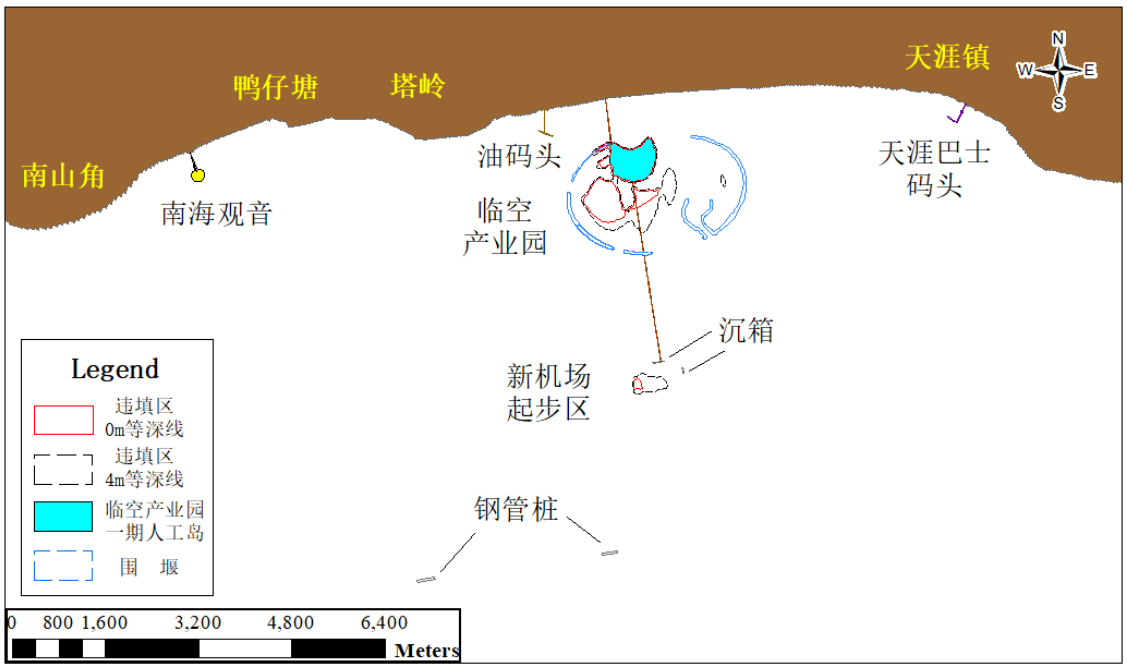


图 5-1.12 现状方案（方案一）

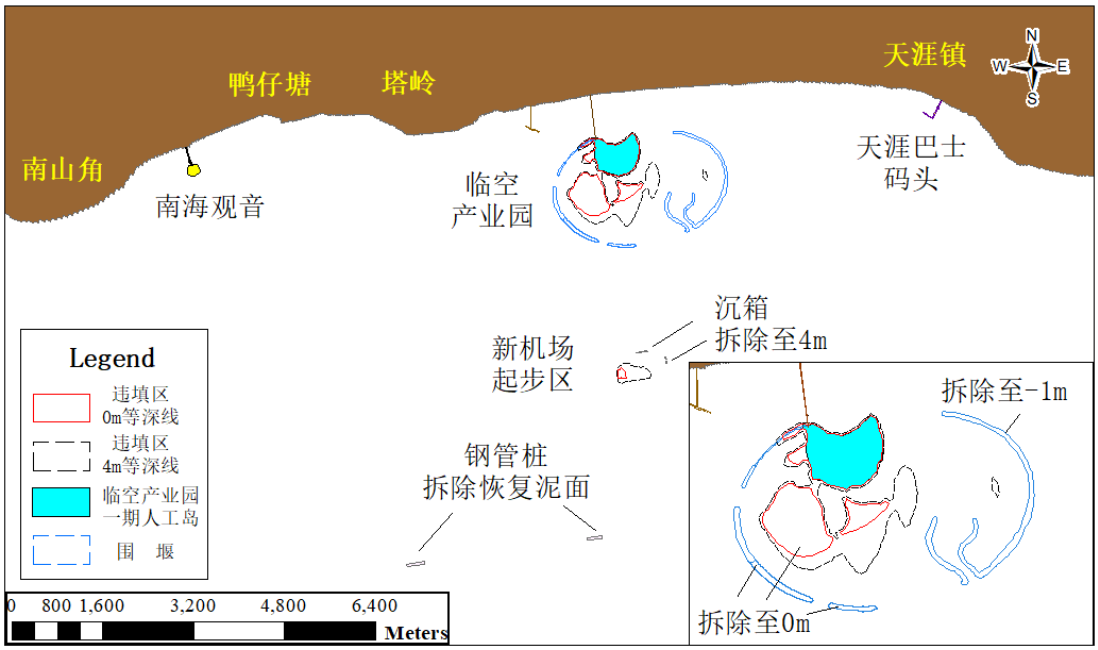


图 5-1.13 拆除工程实施后（方案二）

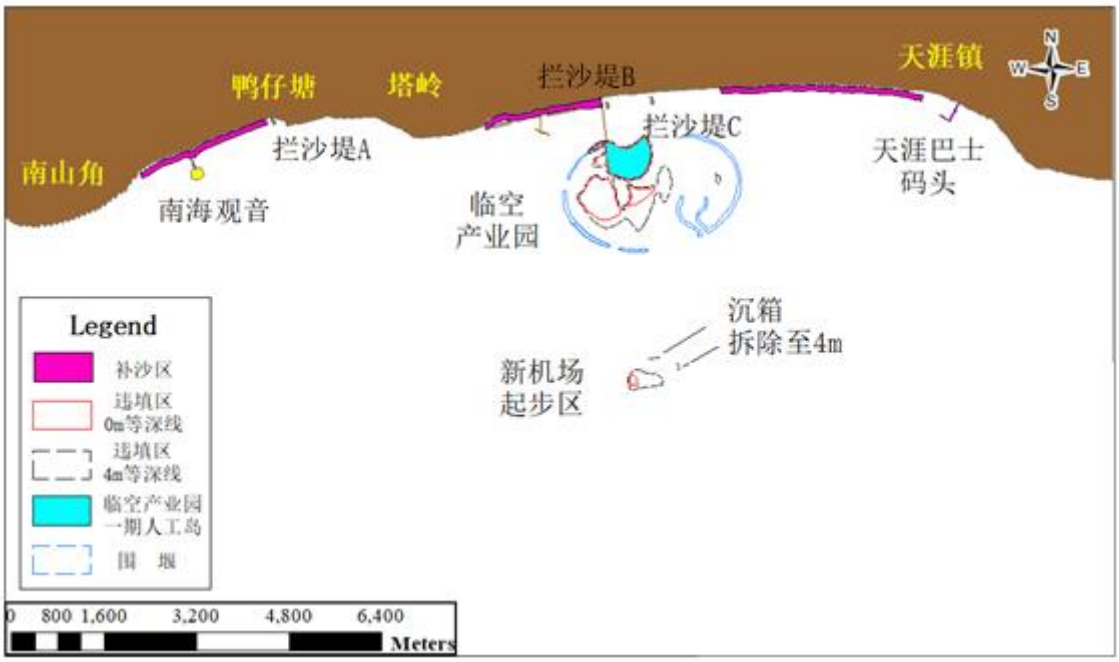


图 5-1.14 拆除工程和修复工程全部完成（方案三）

5.1.1.7 预测结果

5.1.1.7.1 现状条件下的流场特征

在经验证的模型中，计算分析了工程附近海域的自然流场特征。图 5.1-15 给出了现状条件下（方案一）工程海域的大潮涨落潮流矢图。计算结果显示，涨落潮过程中，潮流大致沿等深线走向向西偏北方向流动，整体流向与海南岛南岸的岸线整体走势和水下地形等深线走势基本一致；落潮时，外海潮流基本以涨潮相反的方向流向东

侧，表现出较为明显的往复流特征，涨落潮的流向分别在 290° 和 110° 左右。

受已有围填海工程影响，临空产业园围堰和新机场起步区的南北两侧流速相对较大，东西两侧受围堰和围填区阻水影响流速较小。但总体上未改变海域整体涨潮西北西、落潮东南东的往复流流场特征。

从流速分布情况看，未受围填工程影响的区域，涨落急期间-10m 以深区域流速整体差异不大，大潮最大流速均可达 0.8m/s 左右；-10m 以浅区域流速明显较小，除靠近岬角附近外，水流流速基本随水深变浅逐渐减小。-2m 以浅的近岸浅水区水流流速很小。

工程区所处的红塘湾海域潮流为近东、西向往复流，临空产业园及新机场起步区建设后，对由东向西涨潮流和由西向东的落潮流有一定阻水和挑流作用（图 5.1-15）。临空产业园与近岸之间水域流速增大，临空产业园一期与围堰之间水域流速减小。涉海工程拆除恢复自然泥面后，人工岛东侧迎水面对涨落潮流的阻水作用和背水面的缓流区消失，原南北两侧的分流现如今可从现有工程区流通，其流速有所增大。

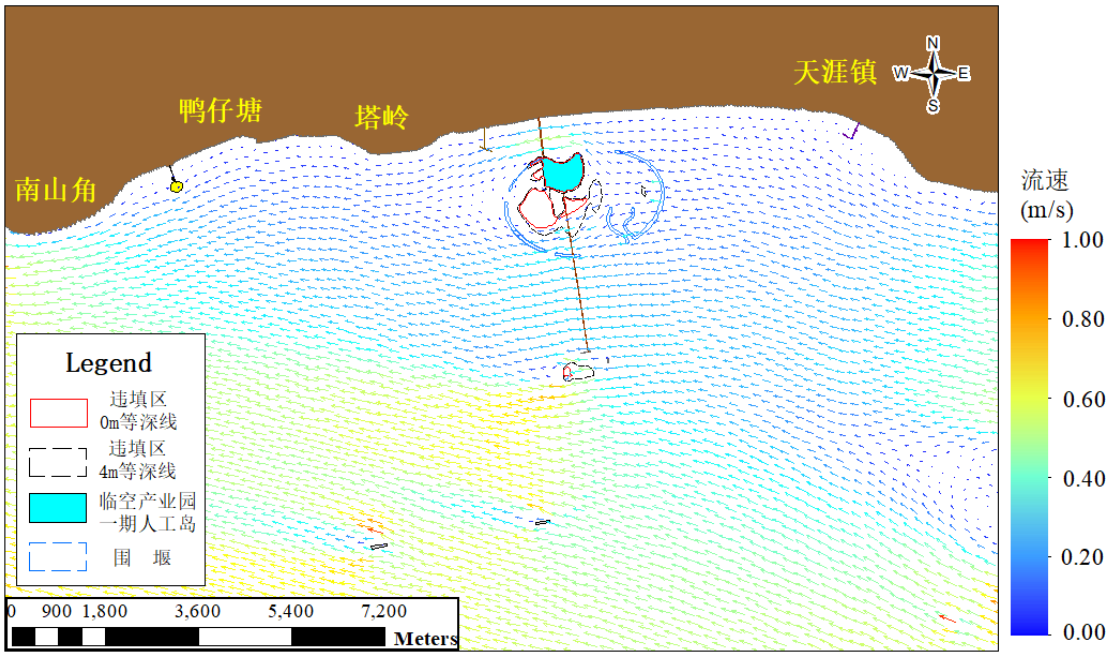


图 5.1-15a 现状方案（方案一）大潮涨潮大范围流场图

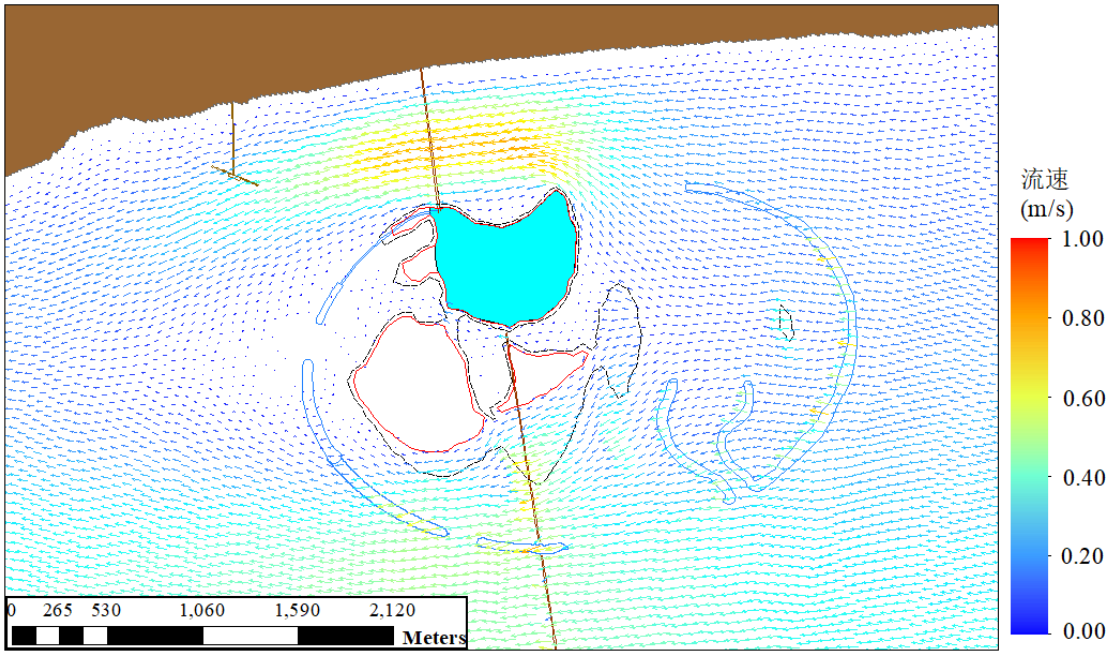


图 5.1-15b 现状方案（方案一）大潮涨潮局部流场图

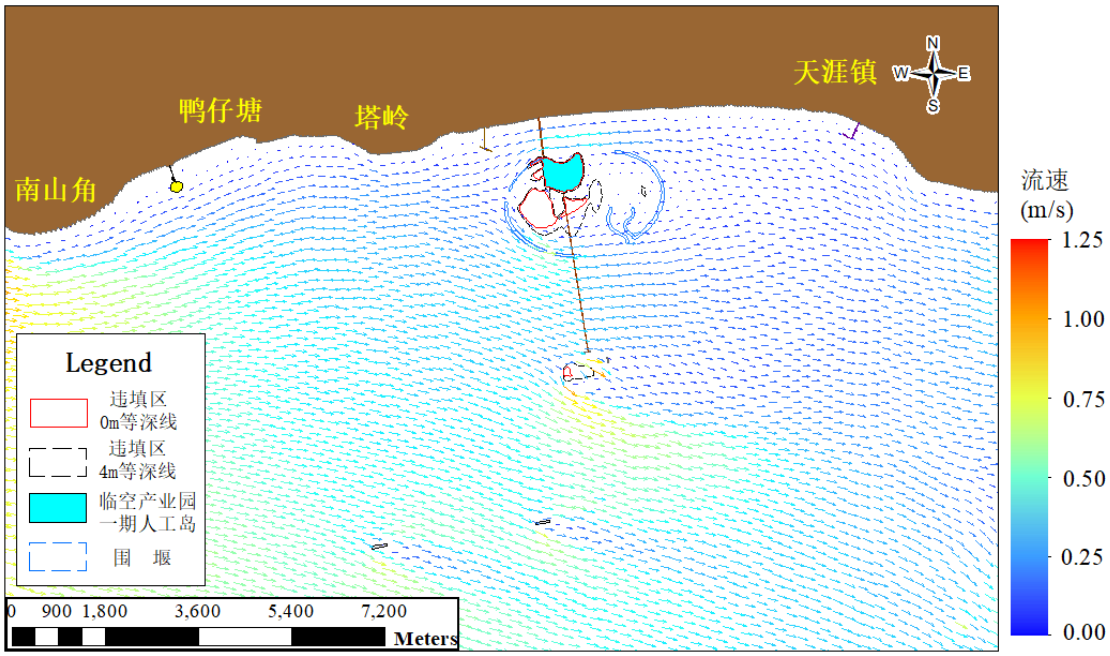


图 5.1-15c 现状方案（方案一）大潮落潮大范围流场图

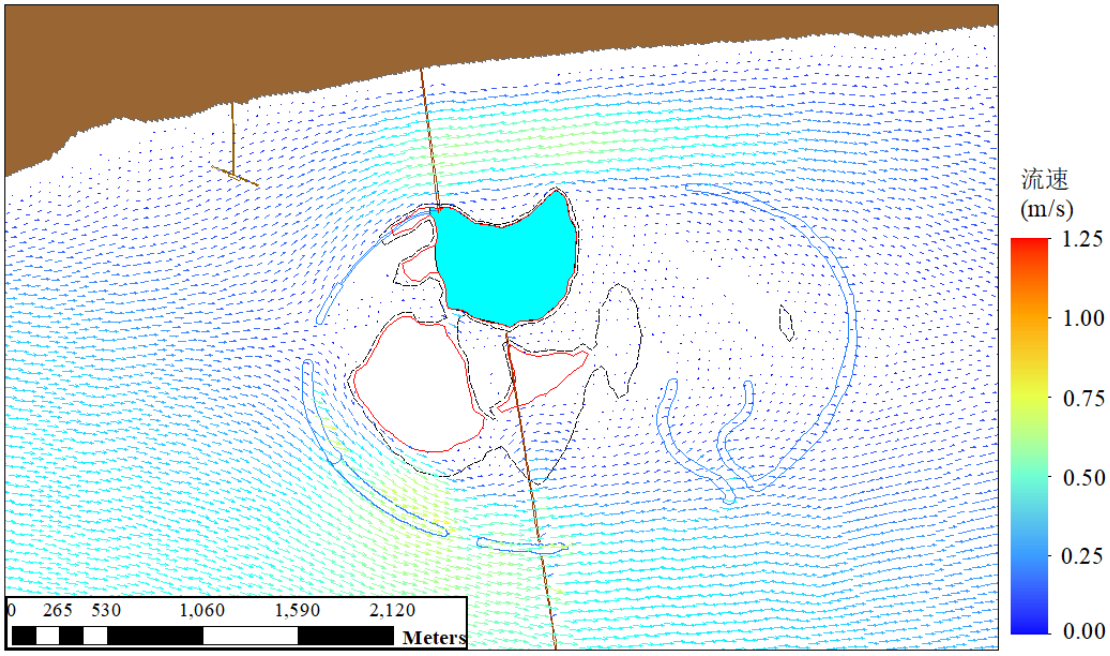


图 5.1-15d 现状方案（方案一）大潮落潮局部流场图

5.1.1.7.2 拆除工程实施后（方案二）的流场特征和变化

拆除工程实施后（方案二）的流场计算结果显示，因现状条件下填海区存在较为明显的阻水作用，造成填海区东西两侧的流速相对较小、填海区与陆域之间的流速增大；与现状相比，涨落潮流场特征基本不变（图 5.1-17）。整改拆除后，流场改变主要表现在临空产业园二期和新机场起步区东西两侧的流速增大、两岛之间的流速减小。临空产业园二期和新机场起步区整体拆除至深度为理论基面 0m，拆除后拆除区的水深较浅，流场改变较小。其中临空产业园一期东西两侧约 3 平方公里范围内流速整体减小了约 5cm/s~20cm/s，与填海工程建设前相比有所改善，临空产业园一期与陆域之间流速变化不大；临空产业园一期与新机场起步区之间约 2 平方公里范围内流速减小约 5cm/s；新机场起步区东西两侧流速增大 5cm/s~30cm/s。

拆除工程实施后（方案二）的流场见图 5.1-16a~图 5.1-16d，拆除工程实施后（方案二）与现状（方案一）相比的大潮流速变化等值线见图 5.1-17a 和图 5.1-17b。拆除方案实施后对不同区段的影响范围和程度比较见表 5.1-4。

表 5.1-4 拆除工程实施后（方案二）对不同区段的影响范围和程度比较

方案	区域	流速变化	幅度	范围
方案二	临空岛及东西两侧	流速增大	5~20cm/s	3km^2
	临空岛与陆域之间	流速减小	0	0
	临空岛与机场起步区之间	流速减小	5cm/s	2km^2
	机场起步区东西两侧	流速增大	5~30cm/s	1km^2

在现有工程基础上对吹填区进行拆除，因临空产业园一期工程本身已有较大的阻水作用，拆除其南侧的违规围填区，对近岸区域的流场影响非常有限，拆除后高程的降低使其处于淹没状态，流速增大，原阻水区域的流速也有所增大，但幅度非常有限。同时，考虑本海域为开敞海域，周边无明显阻隔，基本不存在水交换问题，水流的变化对海域生态环境的影响本身就相对较小。

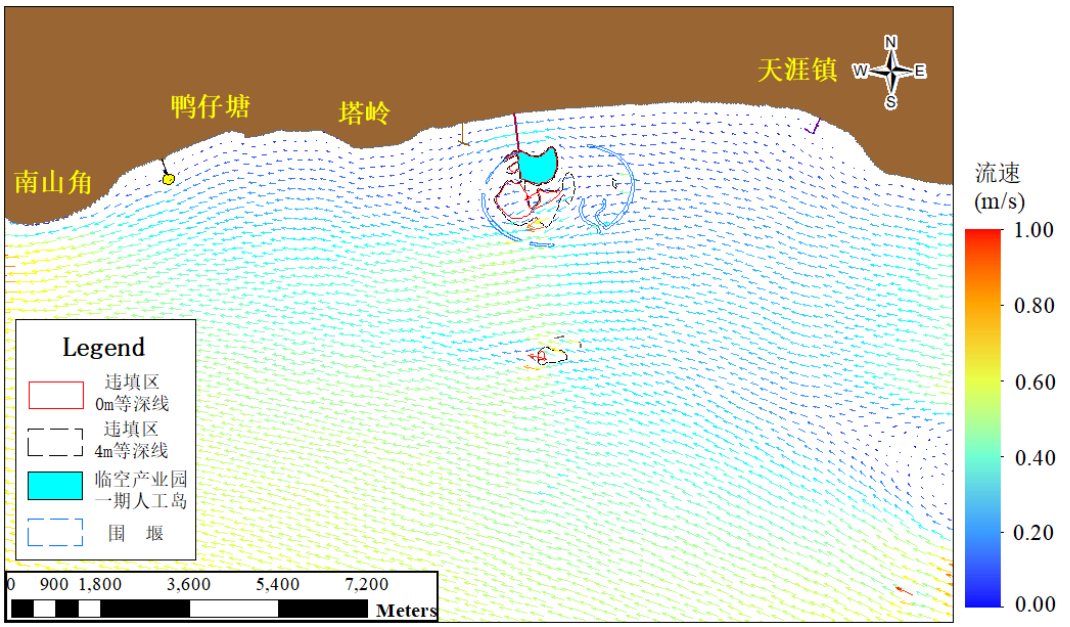


图 5.1-16a 拆除工程实施后（方案二）大潮涨潮大范围流场图

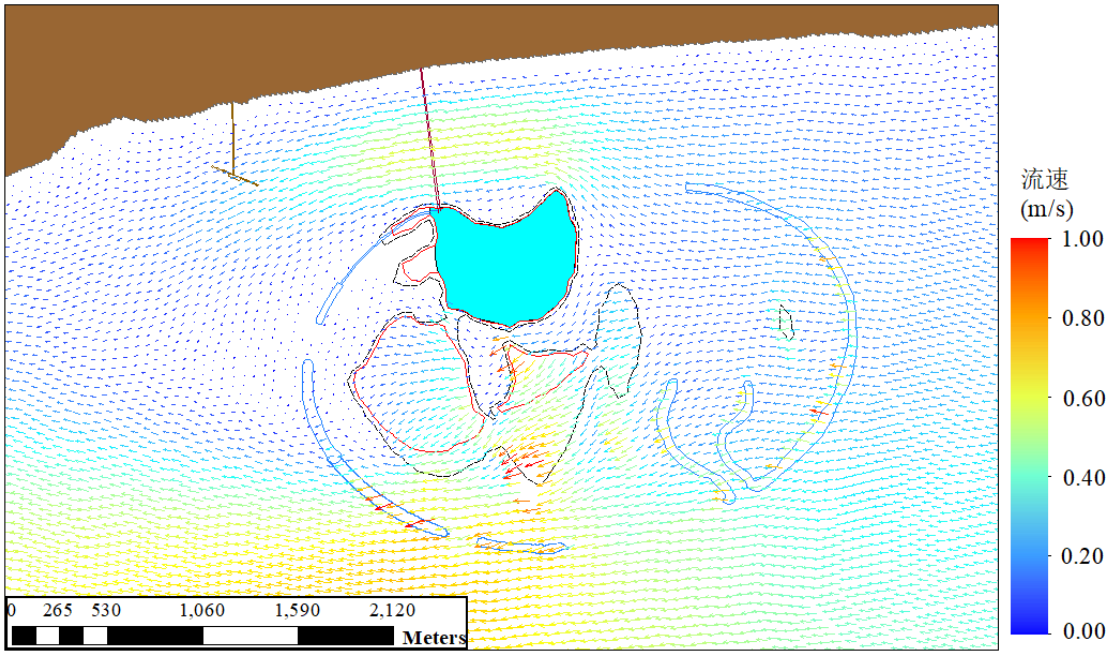


图 5.1-16b 拆除工程实施后（方案二）大潮涨潮局部流场图

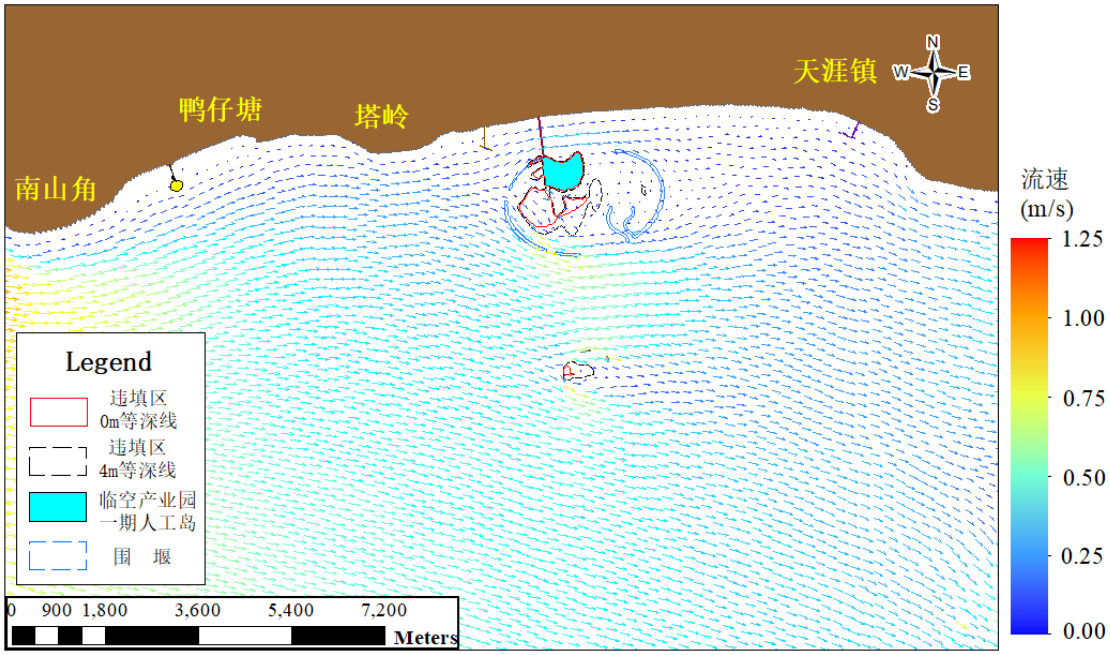


图 5.1-16c 拆除工程实施后（方案二）大潮落潮大范围流场图

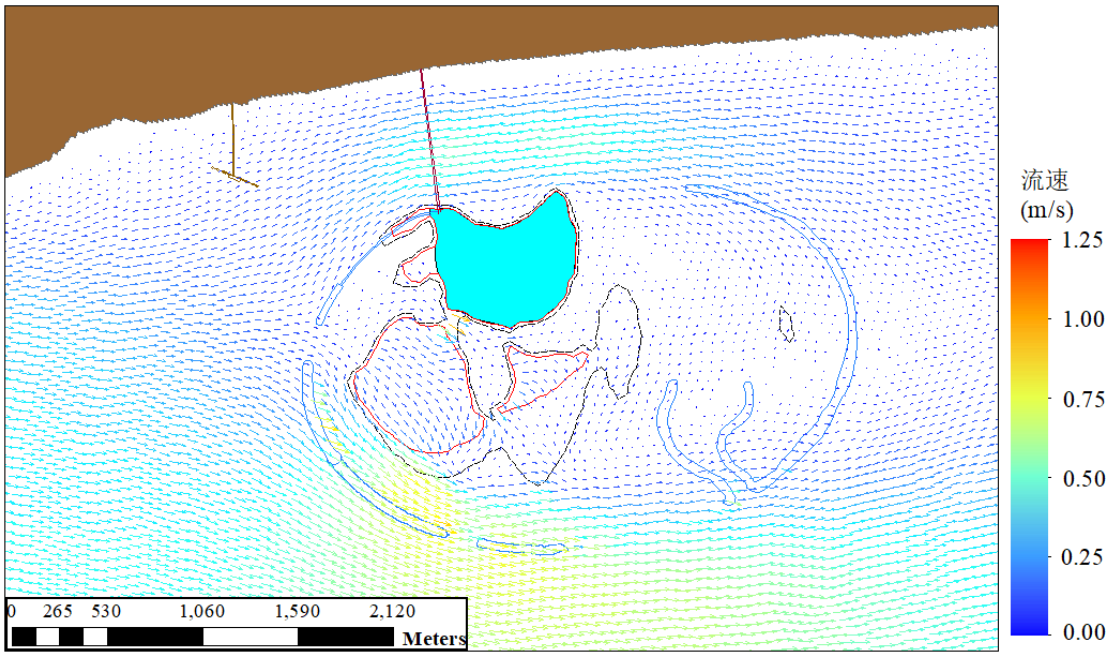


图 5.1-16d 拆除工程实施后（方案二）大潮落潮局部流场图

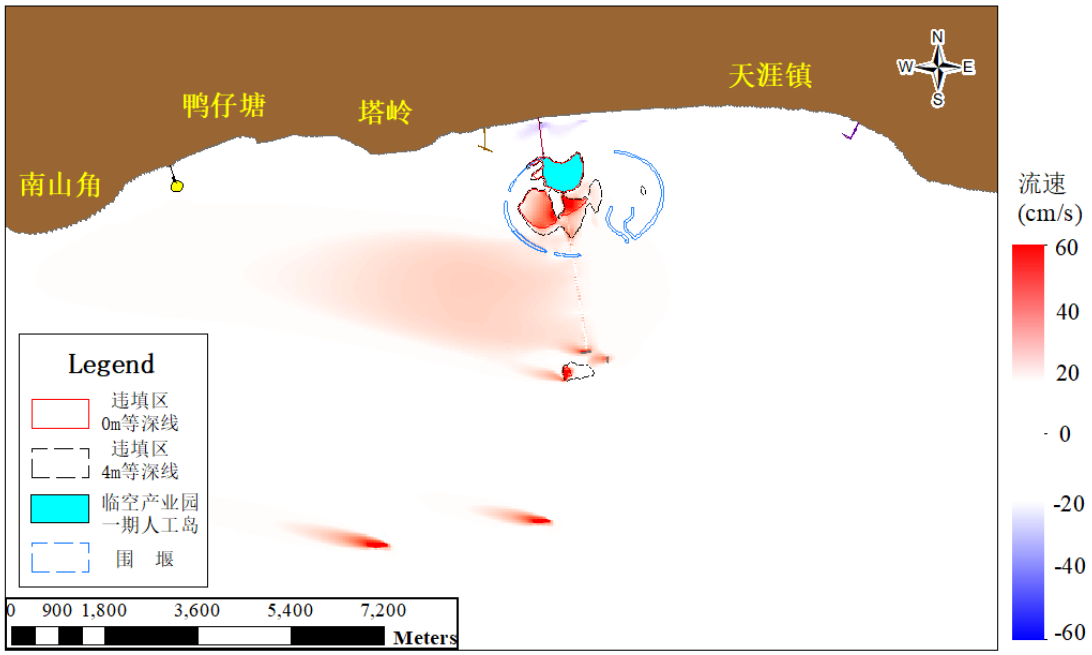


图 5.1-17a 拆除工程实施后（方案二）大潮涨潮平均流速变化等值线图

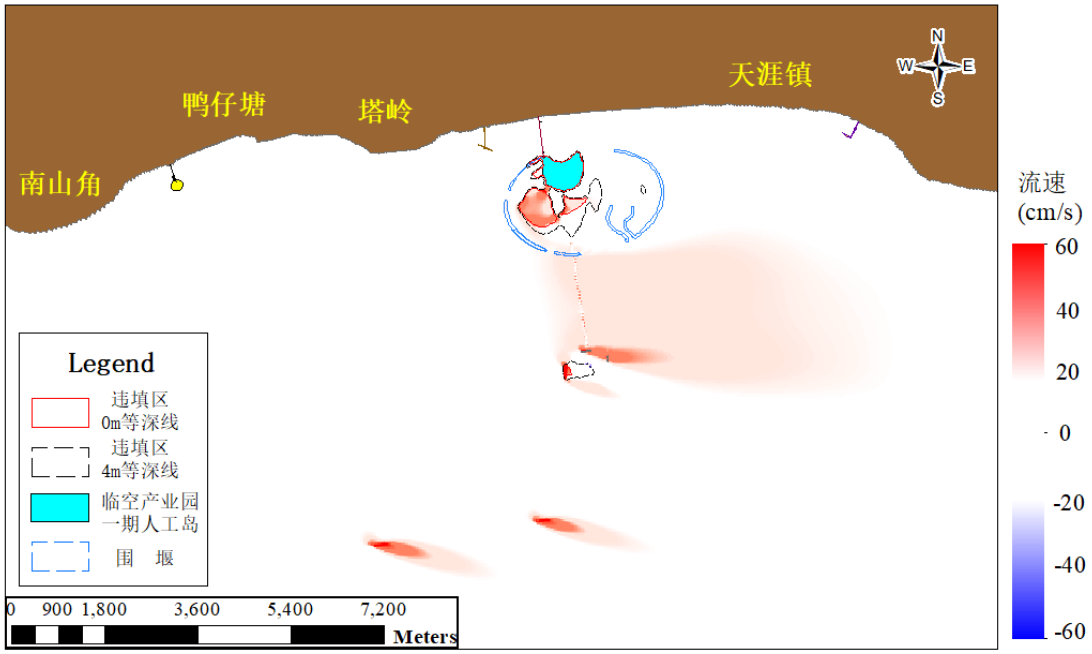


图 5.1-17b 拆除工程实施后（方案二）的大潮落潮平均流速变化等值线图

5.1.1.7.3 拆除工程+修复工程实施后（方案三）的流场特征和变化

与方案二相比，方案三在方案二的基础上增加了修复工程。其中珊瑚礁修复内容不改变水下地形，不产生对流场的影响。就砂质岸线修复工程而言，各修复措施主要集中在狭窄的潮间带附近，拦沙堤堤头最大也只延伸至-3m 水深，且近岸流速本身不大，对流场的影响不大。因此，与现状条件相比，拆除工程+修复工程实施后的流场影响主要是拆除工程的影响，方案三与方案二并无显著区别。

拆除工程+修复工程实施后（方案三）的流场计算结果显示，因现状条件下填海区存在较为明显的阻水作用，造成填海区东西两侧的流速相对较小、填海区与陆域之间的流速增大；与现状相比，涨落潮流场特征基本不变（图 5.1-18）。

在近岸修复区，人工补沙段对水流基本没有影响，鸭子塘拦沙堤前沿流速涨落急流速分别增大约 4cm/s 和 5cm/s。临空产业园掩护区两侧的拦沙堤头部附近流速增大 10cm/s 左右。

拆除工程+修复工程实施后（方案三）的流场见图 5.1-18a~图 5.1-18d，拆除工程+修复工程实施后（方案三）与现状（方案一）相比的大潮流速变化等值线见图 5.1-19a 和图 5.1-19b。拆除方案实施后对不同区段的影响范围和程度比较见表 5.1-5。

表 5.1-5 拆除工程+修复工程实施后（方案三）的对不同区段的影响范围和程度比较

方案	区域	流速变化	幅度	范围
方案三	临空岛及东西两侧	流速增大	5~20cm/s	3km^2
	临空岛与陆域之间	流速减小	0	0
	临空岛与机场起步区之间	流速减小	5cm/s	2km^2
	机场起步区东西两侧	流速增大	5~30cm/s	1km^2

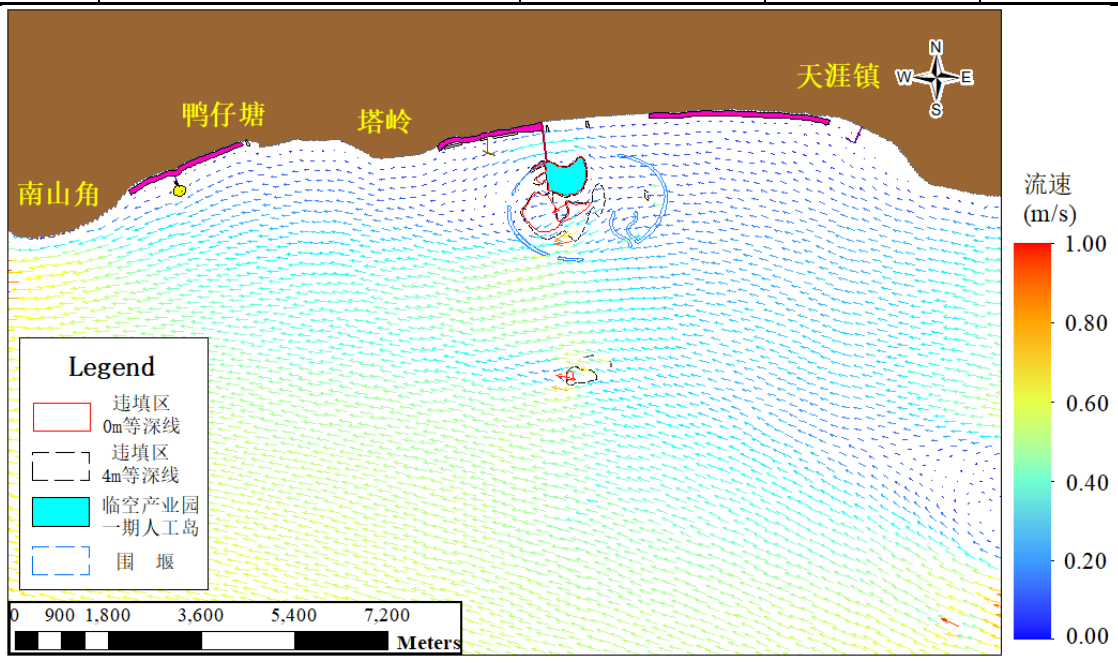


图 5.1-18a 拆除工程+修复工程实施后（方案三）大潮涨潮大范围流场图

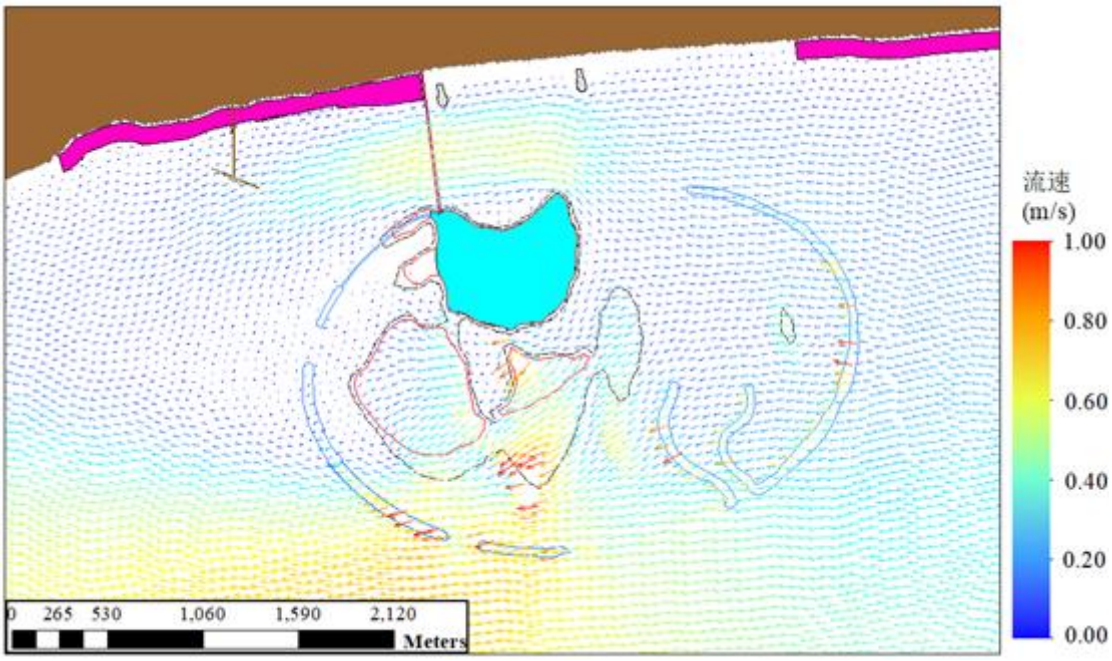


图 5.1-18b 拆除工程+修复工程实施后（方案三）大潮涨潮局部流场图

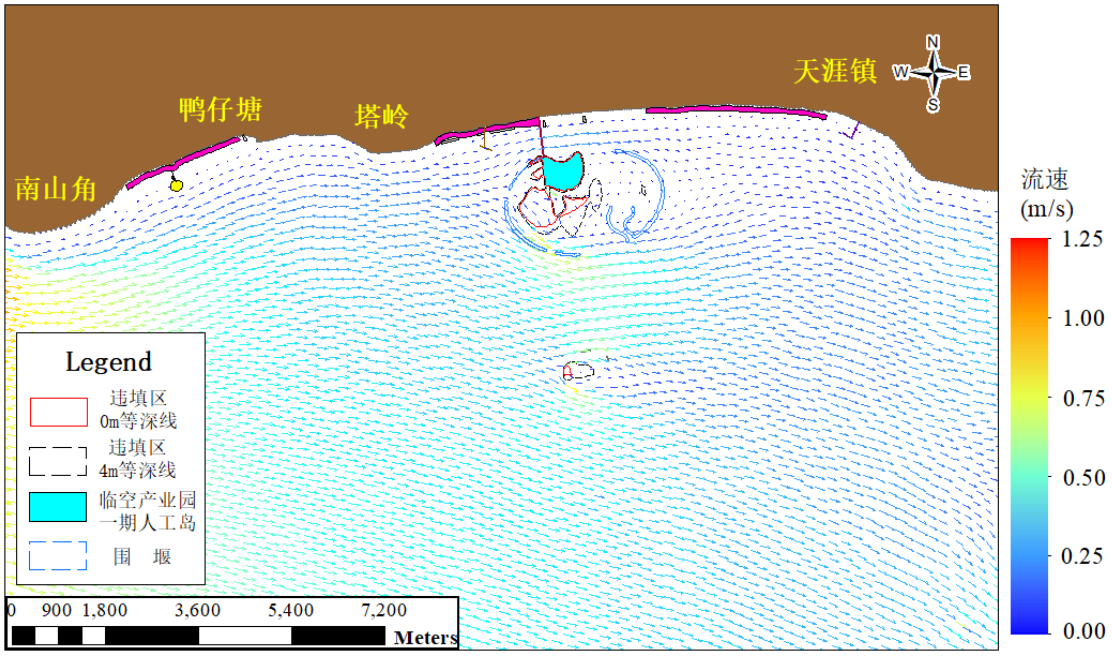


图 5.1-18c 拆除工程+修复工程实施后（方案三）大潮落潮大范围流场图

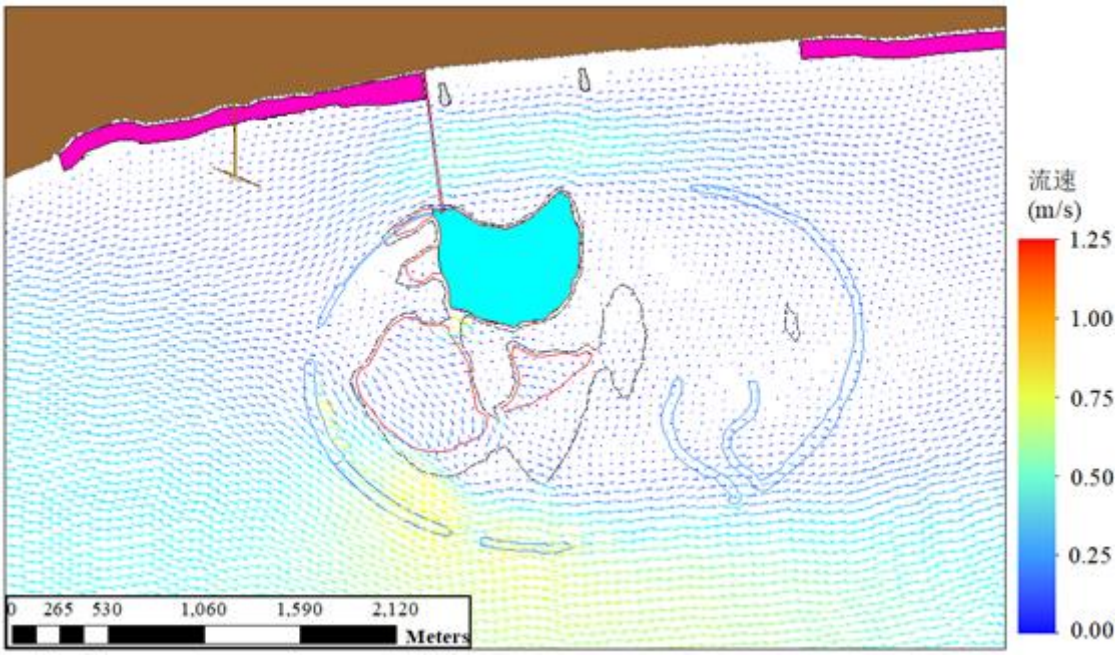


图 5.1-18d 拆除工程+修复工程实施后（方案三）大潮落潮局部流场图

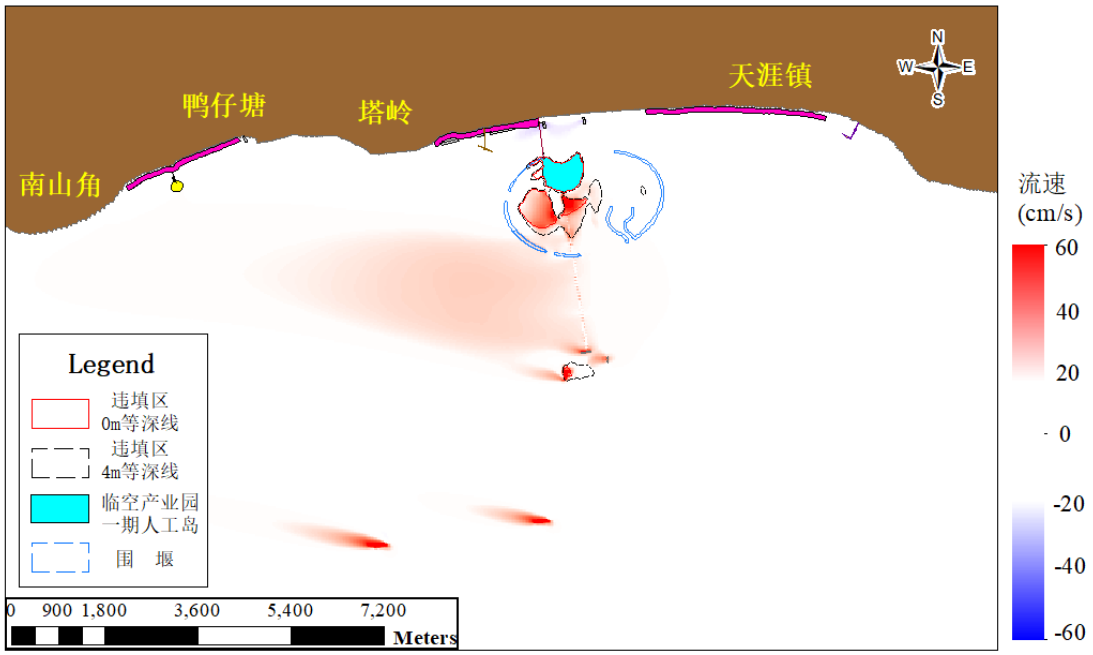


图 5.1-19a 拆除工程+修复工程实施后（方案三）大潮涨潮平均流速变化等值线

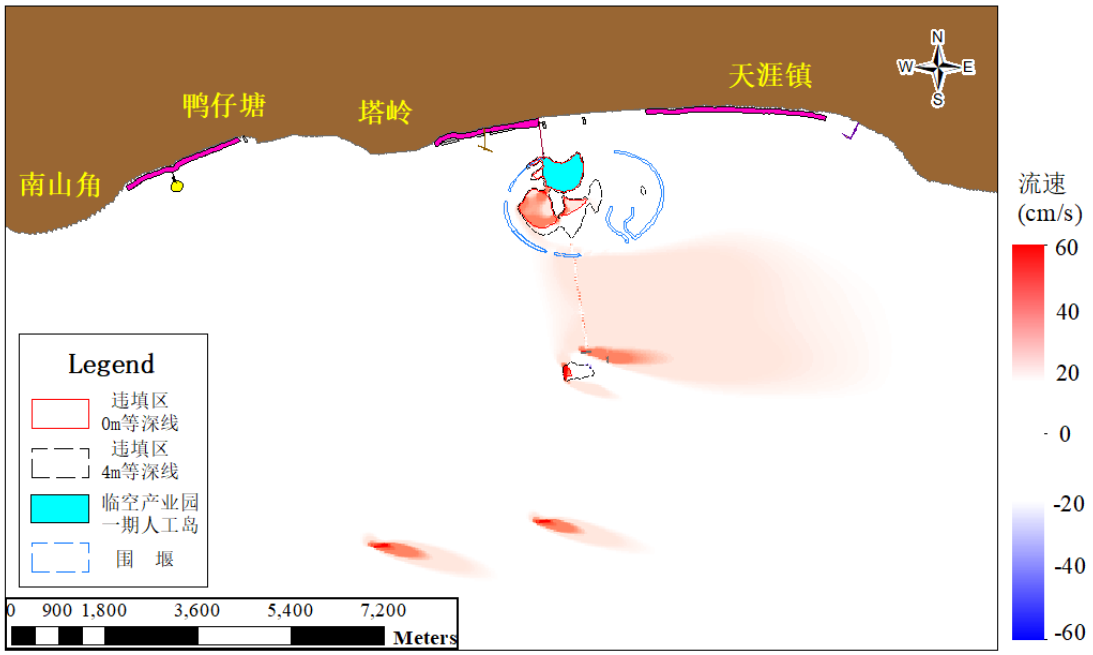


图 5.1-19b 拆除工程+修复工程实施后（方案三）大潮落潮平均流速变化等值线

5.1.1.7.4 预测特征点的潮流模拟结果

为认识项目对周边敏感目标水流影响情况，在拆除区和修复区附近各布设特征点（图 5.1-20），统计拆除工程和修复方案实施后所需关注的各点位特征流速变化（表 5.1-6、表 5.1-7）。拆除工程实施后的计算结果表明，拆除至理论基面 0m 和-1m 情况下水深仍较浅，主要是恢复了水域自然属性，对流场的影响较为有限。修复工程主要集中在近岸岸滩区域，这些区域天然流速较小，工程实施后的流速影响很小，主要在 3 个拦沙堤堤头附近表现出流速的局部增大，增大幅度一般小于 10cm/s。

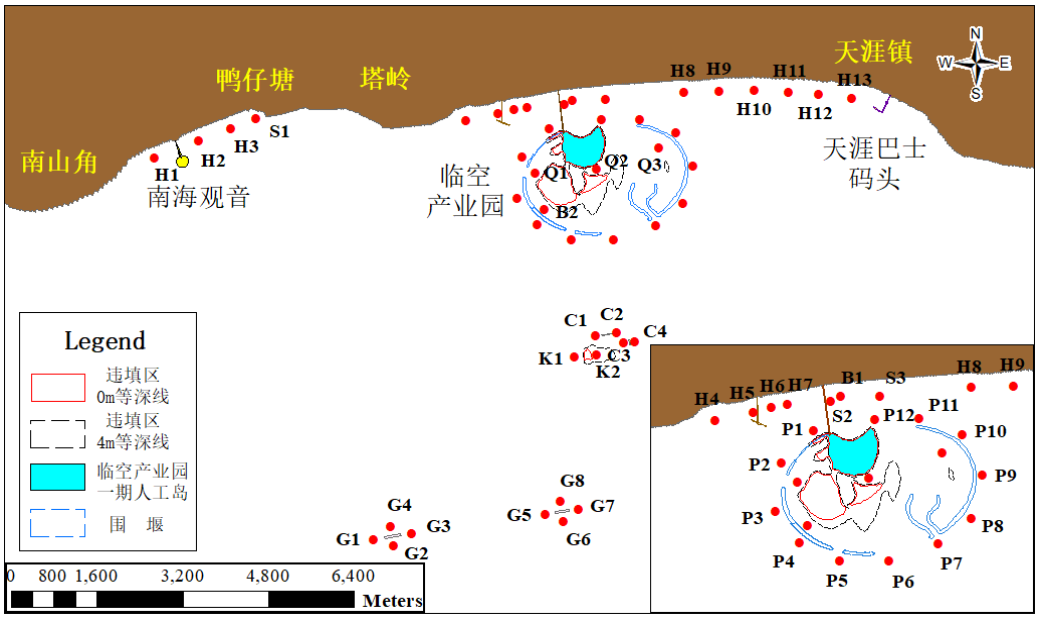


图 5.1-20 工程附近敏感区域特征点布置示意图

表 5.1-6 现状方案方案一与拆除方案方案二特征点位潮动力变化特征

单位：流速：m/s，流向：°

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
南山景区至鸭仔塘岸段	H1	方案一	0.18	260	0.20	260	0.19	63	0.21	62
		方案二	0.18	260	0.20	260	0.19	63	0.21	62
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	H2	方案一	0.15	240	0.17	240	0.18	60	0.20	60
		方案二	0.15	240	0.17	240	0.18	60	0.20	60
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	H3	方案一	0.17	228	0.18	228	0.20	62	0.22	56
		方案二	0.17	228	0.18	228	0.20	62	0.22	56
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	S1	方案一	0.13	233	0.14	233	0.23	72	0.24	72
		方案二	0.14	233	0.14	233	0.23	72	0.23	72
		差值	0.01	0	0.01	0	0.00	0	0.01	0
塔岭东侧补沙修复岸段	H4	方案一	0.08	243	0.10	245	0.09	77	0.12	74
		方案二	0.08	243	0.10	245	0.09	77	0.12	75
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1
	H5	方案一	0.12	252	0.13	252	0.10	72	0.11	77
		方案二	0.12	252	0.10	252	0.10	72	0.11	77
		差值	0.00	0	0.03	0	0.00	0	0.01	0
	H6	方案一	0.17	250	0.18	251	0.18	67	0.23	68
		方案二	0.15	250	0.15	251	0.14	67	0.20	68
		差值	0.02	0	0.03	0	0.04	0	0.03	0
	H7	方案一	0.21	255	0.23	249	0.26	75	0.29	76
		方案二	0.18	255	0.19	249	0.20	74	0.18	75
		差值	0.04	0	0.04	0	0.06	1	0.09	0
	S2	方案一	0.43	263	0.48	263	0.42	85	0.48	85
		方案二	0.36	263	0.41	263	0.36	85	0.42	85
		差值	0.07	0	0.08	0	0.05	0	0.06	0
	B1	方案一	0.35	258	0.39	258	0.32	91	0.37	91
		方案二	0.29	258	0.33	258	0.27	91	0.32	91
		差值	0.06	0	0.07	0	0.04	0	0.05	0
	S3	方案一	0.32	249	0.36	249	0.36	87	0.42	87
		方案二	0.27	249	0.31	249	0.31	87	0.36	87
		差值	0.05	0	0.05	0	0.06	0	0.07	0
天涯镇西侧补沙岸段	H8	方案一	0.08	264	0.09	264	0.09	94	0.11	92
		方案二	0.09	264	0.11	264	0.05	94	0.07	92
		差值	0.01	0	0.02	0	0.04	0	0.04	0
	H9	方案一	0.07	272	0.09	272	0.06	92	0.08	89
		方案二	0.08	272	0.10	272	0.05	92	0.06	89
		差值	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.03	0
天涯镇西侧补沙岸	H10	方案一	0.04	269	0.06	267	0.07	100	0.09	103
		方案二	0.04	269	0.07	267	0.07	100	0.09	103
		差值	0.01	0	0.01	0	0.00	0	0.00	0
	H11	方案一	0.03	274	0.04	274	0.07	98	0.09	100

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
段		方案二	0.03	274	0.05	274	0.07	98	0.10	100
		差值	0.00	0	0.01	0	0.00	0	0.01	0
	H12	方案一	0.04	271	0.01	271	0.06	105	0.03	107
		方案二	0.04	271	0.05	271	0.06	105	0.06	107
		差值	0.04	0	0.03	0	0.00	0	0.03	0
	H13	方案一	0.08	277	0.10	277	0.10	111	0.03	110
		方案二	0.08	277	0.10	277	0.10	111	0.04	110
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.01	0
临空产业园内部水域	Q1	方案一	0.16	228	0.18	228	0.06	130	0.07	119
		方案二	0.19	235	0.22	235	0.08	148	0.08	150
		差值	0.03	7	0.03	7	0.01	18	0.01	30
	Q2	方案一	0.15	268	0.18	268	0.48	127	0.55	127
		方案二	0.23	282	0.26	282	0.55	128	0.62	128
		差值	0.08	14	0.08	14	0.07	1	0.07	1
	Q3	方案一	0.23	248	0.25	248	0.53	130	0.59	130
		方案二	0.48	262	0.53	262	0.55	95	0.60	95
		差值	0.25	14	0.28	14	0.02	35	0.01	35
	B2	方案一	0.27	248	0.30	248	0.31	108	0.35	108
		方案二	0.48	262	0.52	262	0.56	102	0.61	102
		差值	0.20	27	0.22	27	0.25	6	0.27	6
新机场起步区沉箱附近海域	C1	方案一	0.14	283	0.15	283	0.20	121	0.22	120
		方案二	0.42	270	0.45	270	0.46	104	0.50	104
		差值	0.28	13	0.30	13	0.26	17	0.28	16
	C2	方案一	0.17	260	0.19	260	0.12	123	0.13	123
		方案二	0.36	274	0.39	274	0.39	107	0.42	107
		差值	0.19	14	0.21	14	0.27	16	0.29	17
	C3	方案一	0.32	290	0.36	290	0.40	64	0.47	64
		方案二	0.27	275	0.31	275	0.35	80	0.41	80
		差值	0.05	25	0.05	25	0.05	16	0.06	169
	C4	方案一	0.12	293	0.13	293	0.17	43	0.19	46
		方案二	0.13	263	0.14	263	0.14	52	0.15	55
		差值	0.01	30	0.01	30	0.03	9	0.03	9
临空产业园外围海域-编号次序自一期人工岛开始为逆时针	P1	方案一	0.06	270	0.07	270	0.30	81	0.35	81
		方案二	0.08	268	0.09	268	0.33	78	0.37	78
		差值	0.02	2	0.02	2	0.03	0	0.03	0
	P2	方案一	0.30	208	0.34	208	0.50	82	0.57	82
		方案二	0.42	230	0.46	230	0.55	95	0.61	95
		差值	0.12	22	0.13	22	0.05	13	0.04	13
	P3	方案一	0.37	231	0.41	231	0.51	104	0.58	104
		方案二	0.49	293	0.53	293	0.60	105	0.67	105
		差值	0.11	62	0.12	62	0.09	1	0.09	1
	P4	方案一	0.34	278	0.37	278	0.40	109	0.46	109
		方案二	0.43	285	0.47	285	0.54	115	0.61	115
		差值	0.09	7	0.10	7	0.14	6	0.15	6
	P5	方案一	0.28	273	0.30	273	0.30	84	0.35	84
		方案二	0.34	280	0.37	280	0.35	86	0.42	86
		差值	0.06	7	0.07	7	0.04	3	0.07	3

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
	P6	方案一	0.22	268	0.24	268	0.13	122	0.17	122
		方案二	0.26	260	0.28	260	0.14	125	0.18	125
		差值	0.04	0	0.04	0	0.00	3	0.01	3
	P7	方案一	0.17	259	0.19	259	0.06	83	0.07	83
		方案二	0.20	260	0.22	260	0.07	90	0.03	90
		差值	0.03	1	0.03	1	0.01	7	0.04	7
	P8	方案一	0.17	263	0.20	263	0.20	75	0.23	75
		方案二	0.20	263	0.22	263	0.17	83	0.19	83
		差值	0.03	0	0.03	0	0.03	8	0.04	8
	P9	方案一	0.20	273	0.23	273	0.37	83	0.42	83
		方案二	0.21	273	0.24	273	0.31	120	0.35	120
		差值	0.01	0	0.01	0	0.06	37	0.07	37
	P10	方案一	0.46	268	0.51	268	0.45	114	0.52	114
		方案二	0.39	280	0.44	280	0.39	130	0.46	130
		差值	0.07	12	0.07	12	0.05	16	0.06	16
	P11	方案一	0.01	273	0.01	273	0.40	90	0.44	90
		方案二	0.19	283	0.19	283	0.32	100	0.35	100
		差值	0.17	10	0.18	10	0.08	10	0.10	10
	P12	方案一	0.43	287	0.47	287	0.33	82	0.34	82
		方案二	0.51	273	0.55	273	0.05	81	0.03	81
		差值	0.09	14	0.09	14	0.28	1	0.31	1
新机场起步区海域	K1	方案一	0.39	277	0.42	277	0.53	124	0.57	124
		方案二	0.55	283	0.58	283	0.55	101	0.59	101
		差值	0.16	5	0.16	5	0.02	23	0.02	23
	K2	方案一	0.43	256	0.57	256	0.54	135	0.58	135
		方案二	0.55	278	0.58	278	0.55	140	0.58	140
		差值	0.12	12	0.01	12	0.01	5	0.00	5
新机场起步区南翼西侧钢管桩	G1	方案一	0.37	280	0.53	280	0.34	109	0.37	109
		方案二	0.52	281	0.55	281	0.52	103	0.56	103
		差值	0.14	1	0.03	1	0.19	6	0.19	6
	G2	方案一	0.58	275	0.61	275	0.51	102	0.55	102
		方案二	0.55	283	0.58	283	0.55	104	0.58	104
		差值	0.03	8	0.03	8	0.04	2	0.04	2
	G3	方案一	0.33	302	0.35	302	0.52	106	0.55	106
		方案二	0.53	283	0.55	283	0.53	104	0.57	104
		差值	0.20	21	0.20	21	0.01	2	0.01	2
	G4	方案一	0.50	280	0.53	280	0.53	92	0.58	92
		方案二	0.53	283	0.55	283	0.52	104	0.56	104
		差值	0.02	3	0.02	3	0.01	12	0.02	12
新机场起步区南翼东侧钢管桩	G5	方案一	0.41	285	0.50	285	0.33	113	0.35	113
		方案二	0.52	284	0.54	284	0.53	103	0.56	103
		差值	0.09	1	0.04	1	0.20	10	0.21	10
	G6	方案一	0.54	281	0.58	281	0.49	102	0.53	102
		方案二	0.53	284	0.55	284	0.53	103	0.57	103
		差值	0.02	3	0.03	3	0.04	1	0.04	1
	G7	方案一	0.39	285	0.42	285	0.53	95	0.57	95
		方案二	0.55	284	0.58	284	0.55	103	0.59	103

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
		差值	0.16	1	0.16	1	0.02	8	0.02	8
	G8	方案一	0.54	287	0.57	287	0.54	103	0.58	103
		方案二	0.55	284	0.58	284	0.55	103	0.58	103
		差值	0.01	3	0.01	3	0.01	0	0.00	0

表 5.1-7 现状方案方案一与修复方案方案三征点位潮动力变化

单位：流速：m/s，流向：°

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
南山景区至鸭仔塘岸段	H1	方案一	0.18	260	0.20	260	0.19	63	0.21	62
		方案三	0.18	260	0.20	260	0.19	63	0.21	62
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	H2	方案一	0.15	240	0.17	240	0.18	60	0.20	60
		方案三	0.15	240	0.17	240	0.18	60	0.20	60
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	H3	方案一	0.17	228	0.18	228	0.20	62	0.22	56
		方案三	0.17	228	0.18	228	0.20	62	0.22	56
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	S1	方案一	0.13	233	0.14	233	0.23	72	0.24	72
		方案三	0.16	245	0.18	242	0.27	63	0.29	68
		差值	0.03	12	0.04	9	0.04	9	0.05	4
塔岭东侧补沙修复岸段	H4	方案一	0.08	243	0.10	245	0.09	77	0.12	74
		方案三	0.08	243	0.10	245	0.09	77	0.12	75
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1
	H5	方案一	0.12	252	0.13	252	0.10	72	0.11	77
		方案三	0.12	252	0.10	252	0.10	72	0.11	77
		差值	0.00	0	0.03	0	0.00	0	0.01	0
	H6	方案一	0.17	250	0.18	251	0.18	67	0.23	68
		方案三	0.15	250	0.15	251	0.14	67	0.20	68
		差值	0.02	0	0.03	0	0.04	0	0.03	0
	H7	方案一	0.21	255	0.23	249	0.26	75	0.29	76
		方案三	0.18	255	0.19	249	0.20	74	0.18	75
		差值	0.04	0	0.04	0	0.06	1	0.09	0
	S2	方案一	0.43	263	0.48	263	0.42	85	0.48	85
		方案三	0.40	256	0.39	250	0.35	79	0.38	80
		差值	0.03	7	0.09	13	0.07	6	0.10	5
	B1	方案一	0.35	258	0.39	258	0.32	91	0.37	91
		方案三	0.29	258	0.33	258	0.27	91	0.32	91
		差值	0.06	0	0.07	0	0.04	0	0.05	0
	S3	方案一	0.32	249	0.36	249	0.36	87	0.42	87
		方案三	0.38	243	0.39	249	0.41	87	0.43	87
		差值	0.06	6	0.03	0	0.05	0	0.01	0
天涯镇西侧补	H8	方案一	0.08	264	0.09	264	0.09	94	0.11	92
		方案三	0.09	264	0.11	264	0.05	94	0.07	92
		差值	0.01	0	0.02	0	0.04	0	0.04	0

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
沙岸段	H9	方案一	0.07	272	0.09	272	0.06	92	0.08	89
		方案三	0.08	272	0.10	272	0.05	92	0.06	89
		差值	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.03	0
天涯镇西侧补沙岸段	H10	方案一	0.04	269	0.06	267	0.07	100	0.09	103
		方案三	0.04	269	0.07	267	0.07	100	0.09	103
		差值	0.01	0	0.01	0	0.00	0	0.00	0
	H11	方案一	0.03	274	0.04	274	0.07	98	0.09	100
		方案三	0.03	274	0.05	274	0.07	98	0.10	100
		差值	0.00	0	0.01	0	0.00	0	0.01	0
	H12	方案一	0.04	271	0.01	271	0.06	105	0.03	107
		方案三	0.04	271	0.05	271	0.06	105	0.06	107
		差值	0.04	0	0.03	0	0.00	0	0.03	0
	H13	方案一	0.08	277	0.10	277	0.10	111	0.03	110
		方案三	0.08	277	0.10	277	0.10	111	0.04	110
		差值	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.01	0
临空产业园内部水域	Q1	方案一	0.16	228	0.18	228	0.06	130	0.07	119
		方案三	0.19	235	0.22	235	0.08	148	0.08	150
		差值	0.03	7	0.03	7	0.01	18	0.01	30
	Q2	方案一	0.15	268	0.18	268	0.48	127	0.55	127
		方案三	0.23	282	0.26	282	0.55	128	0.62	128
		差值	0.08	14	0.08	14	0.07	1	0.07	1
	Q3	方案一	0.23	248	0.25	248	0.53	130	0.59	130
		方案三	0.48	262	0.53	262	0.55	95	0.60	95
		差值	0.25	14	0.28	14	0.02	35	0.01	35
	B2	方案一	0.27	248	0.30	248	0.31	108	0.35	108
		方案三	0.48	262	0.52	262	0.56	102	0.61	102
		差值	0.20	27	0.22	27	0.25	6	0.27	6
新机场起步区沉箱附近海域	C1	方案一	0.14	283	0.15	283	0.20	121	0.22	120
		方案三	0.42	270	0.45	270	0.46	104	0.50	104
		差值	0.28	13	0.30	13	0.26	17	0.28	16
	C2	方案一	0.17	260	0.19	260	0.12	123	0.13	123
		方案三	0.36	274	0.39	274	0.39	107	0.42	107
		差值	0.19	14	0.21	14	0.27	16	0.29	17
	C3	方案一	0.32	290	0.36	290	0.40	64	0.47	64
		方案三	0.27	275	0.31	275	0.35	80	0.41	80
		差值	0.05	25	0.05	25	0.05	16	0.06	169
	C4	方案一	0.12	293	0.13	293	0.17	43	0.19	46
		方案三	0.13	263	0.14	263	0.14	52	0.15	55
		差值	0.01	30	0.01	30	0.03	9	0.03	9
临空产业园外围海域	P1	方案一	0.06	270	0.07	270	0.30	81	0.35	81
		方案三	0.08	268	0.09	268	0.33	78	0.37	78
		差值	0.02	2	0.02	2	0.03	0	0.03	0
	P2	方案一	0.30	208	0.34	208	0.50	82	0.57	82
		方案三	0.42	230	0.46	230	0.55	95	0.61	95
		差值	0.12	22	0.13	22	0.05	13	0.04	13
	P3	方案一	0.37	231	0.41	231	0.51	104	0.58	104
		方案三	0.49	293	0.53	293	0.60	105	0.67	105

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
		差值	0.11	62	0.12	62	0.09	1	0.09	1
	P4	方案一	0.34	278	0.37	278	0.40	109	0.46	109
		方案三	0.43	285	0.47	285	0.54	115	0.61	115
		差值	0.09	7	0.10	7	0.14	6	0.15	6
	P5	方案一	0.28	273	0.30	273	0.30	84	0.35	84
		方案三	0.34	280	0.37	280	0.35	86	0.42	86
		差值	0.06	7	0.07	7	0.04	3	0.07	3
	P6	方案一	0.22	268	0.24	268	0.13	122	0.17	122
		方案三	0.26	260	0.28	260	0.14	125	0.18	125
		差值	0.04	0	0.04	0	0.00	3	0.01	3
	P7	方案一	0.17	259	0.19	259	0.06	83	0.07	83
		方案三	0.20	260	0.22	260	0.07	90	0.03	90
		差值	0.03	1	0.03	1	0.01	7	0.04	7
	P8	方案一	0.17	263	0.20	263	0.20	75	0.23	75
		方案三	0.20	263	0.22	263	0.17	83	0.19	83
		差值	0.03	0	0.03	0	0.03	8	0.04	8
	P9	方案一	0.20	273	0.23	273	0.37	83	0.42	83
		方案三	0.21	273	0.24	273	0.31	120	0.35	120
		差值	0.01	0	0.01	0	0.06	37	0.07	37
	P10	方案一	0.46	268	0.51	268	0.45	114	0.52	114
		方案三	0.39	280	0.44	280	0.39	130	0.46	130
		差值	0.07	12	0.07	12	0.05	16	0.06	16
	P11	方案一	0.01	273	0.01	273	0.40	90	0.44	90
		方案三	0.19	283	0.19	283	0.32	100	0.35	100
		差值	0.17	10	0.18	10	0.08	10	0.10	10
	P12	方案一	0.43	287	0.47	287	0.33	82	0.34	82
		方案三	0.51	273	0.55	273	0.05	81	0.03	81
		差值	0.09	14	0.09	14	0.28	1	0.31	1
新机场起步区海域	K1	方案一	0.39	277	0.42	277	0.53	124	0.57	124
		方案三	0.55	283	0.58	283	0.55	101	0.59	101
		差值	0.16	5	0.16	5	0.02	23	0.02	23
	K2	方案一	0.43	256	0.57	256	0.54	135	0.58	135
		方案三	0.55	278	0.58	278	0.55	140	0.58	140
		差值	0.12	12	0.01	12	0.01	5	0.00	5
新机场起步区南翼西侧钢管桩	G1	方案一	0.37	280	0.53	280	0.34	109	0.37	109
		方案三	0.52	281	0.55	281	0.52	103	0.56	103
		差值	0.14	1	0.03	1	0.19	6	0.19	6
	G2	方案一	0.58	275	0.61	275	0.51	102	0.55	102
		方案三	0.55	283	0.58	283	0.55	104	0.58	104
		差值	0.03	8	0.03	8	0.04	2	0.04	2
	G3	方案一	0.33	302	0.35	302	0.52	106	0.55	106
		方案三	0.53	283	0.55	283	0.53	104	0.57	104
		差值	0.20	21	0.20	21	0.01	2	0.01	2
	G4	方案一	0.50	280	0.53	280	0.53	92	0.58	92
		方案三	0.53	283	0.55	283	0.52	104	0.56	104
		差值	0.02	3	0.02	3	0.01	12	0.02	12
新机	G5	方案一	0.41	285	0.50	285	0.33	113	0.35	113

区域	点位编号	方案说明	涨潮流速	涨潮流向	涨急流速	涨急流向	落潮流速	落潮流向	落急流速	落急流向
场起步区南翼东侧钢管桩		方案三	0.52	284	0.54	284	0.53	103	0.56	103
		差值	0.09	1	0.04	1	0.20	10	0.21	10
	G6	方案一	0.54	281	0.58	281	0.49	102	0.53	102
		方案三	0.53	284	0.55	284	0.53	103	0.57	103
		差值	0.02	3	0.03	3	0.04	1	0.04	1
	G7	方案一	0.39	285	0.42	285	0.53	95	0.57	95
		方案三	0.55	284	0.58	284	0.55	103	0.59	103
		差值	0.16	1	0.16	1	0.02	8	0.02	8
	G8	方案一	0.54	287	0.57	287	0.54	103	0.58	103
		方案三	0.55	284	0.58	284	0.55	103	0.58	103
		差值	0.01	3	0.01	3	0.01	0	0.00	0

5.1.1.8 小结

（1）就拆除工程而言，工程方案实施后的流场影响计算表明，拆除工程实施后，在一定程度上减弱了由东向西涨潮流和由西向东落潮流共同作用下所引起的阻水作用，整体表现为局部绕流和背水面缓流区减小，水域的流通使局部流速增大。

（2）就珊瑚礁修复工程而言，珊瑚礁修复内容不改变水下地形，不产生对流场的影响。就砂质岸线修复工程而言，岸滩修复主要集中在狭窄的潮间带附近，拦沙堤堤头最大也只延伸至-3m 水深，且近岸流速本身不大，对流场的影响不大。因此，与现状条件相比，拆除工程+修复工程实施后的方案三流场影响主要是拆除工程的影响，方案三与方案二并无显著区别。

（3）就砂质岸线修复工程而言，人工补沙段对水流基本没有影响，鸭子塘拦沙堤前沿流速涨落急流速分别增大约 4cm/s 和 5cm/s。临空产业园掩护区两侧的拦沙堤头部附近流速增大 10cm/s 左右。

5.1.2 波浪场影响分析

5.1.2.1 近岸波浪数学模型

5.1.2.1.1 SWAN 模型

为了研究工程附近的波浪，本研究采用 SWAN 模型计算外海波要素。

SWAN 模型建立依据的基本方程和原理描述如下：

动谱能量方程形式如下

$$\frac{\partial}{\partial t}N+\frac{\partial}{\partial x}C_xN+\frac{\partial}{\partial y}C_yN+\frac{\partial}{\partial \sigma}C_\sigma N+\frac{\partial}{\partial \theta}C_\theta N=\frac{S}{\sigma} \qquad (5\text{-}9)$$

其中 N 为动谱能量密度，σ 为相对波浪频率，θ 为波向，C_x、C_y为波浪沿 x、y 方

向传播的速度，C_σ、C_θ为波浪在 σ、θ 坐标下的传播速度。S 为源汇项，如下式表示

$$S=S_{in}+S_{nl}+S_{ds}+S_{bot}+S_{surf} \quad (5\text{-}10)$$

上式中：S_{in} 为风能输入项；S_{nl} 为非线性波-波相互作用的能量传输；S_{ds} 为波浪白帽耗散造成的能量损失；S_{bot} 为波浪底部摩阻所造成的能量损失；S_{surf} 为波浪破碎所导致的能量损失。

（1）风能输入项

相关研究成果表明，风浪的成长率由波龄决定，海洋表面的空气拖曳力在风浪的生成中起着重要作用。风能输入项 S_{in} 可以采用如下形式表示：

$$S_{in}(f,\theta)=\max(\alpha,\gamma E(f,\theta)) \quad (5\text{-}11)$$

上式中，α 为线性增长率，γ 为非线性增长率。

非线性增长部分系数 γ 可如下表示：

$$\gamma=(\frac{\rho_a}{\rho_w})(\frac{1.2}{\kappa^2}\mu\ln^4\mu)\sigma[(\frac{u_*}{c}+z_\alpha)\cos(\theta-\theta_w)] \quad \mu\le 1 \quad (5\text{-}12\text{-}1)$$

$$\gamma=0 \qquad \mu>1 \qquad (5\text{-}12\text{-}2)$$

式中：ρ_a 为空气密度；ρ_w 为水体密度；κ 为卡门常数 0.41；μ 为无量纲临界高度，如下表示：

$$\mu=kz_o\exp(\kappa/x) \quad (5\text{-}13)$$

$$x=(\frac{u_*}{c}+z_\alpha)\cos(\theta-\theta_w) \quad (5\text{-}14)$$

$$z_\alpha=0.011 \quad (5\text{-}15)$$

σ 为相对角度；u*为风摩阻速度；c 为波速，θ、θ_w 分别为波向和风向。

线性增长部分系数 α 如下表示：

$$\alpha=\begin{cases}\dfrac{c}{g^2 2\pi}(-(u_*\cos(\theta-\theta_w)^4)\exp\left[-\left[\dfrac{\sigma}{\sigma_{PM}}\right]\right)^{-4}\Rightarrow\cos(\theta-\theta_w)>0\\ 0\Rightarrow\cos(\theta-\theta_w)\le 0\end{cases} \quad (5\text{-}16)$$

式中 $c=1.5\times10^{-5}$；g 为重力加速度； u*为风摩阻速度；θ、θ_w 分别为波向和风向；

σ 为相对角度；σ_{PM} 为谱峰频率，可表示为：

$$\sigma_{PM}=\frac{0.13g}{28u_*} \qquad (5\text{-}17)$$

拖曳力系数 C_D 如下表示：

$$C_D=1.2875\cdot10^{-3} \qquad U_w<7.5m/s \qquad (5\text{-}18\text{-}1)$$

$$C_D=0.8\cdot10^{-3}+6.5\cdot10^{-5}U_w \qquad U_w\geq7.5m/s \qquad (5\text{-}18\text{-}2)$$

式中 U_w 为 10 米高度风速。

（2）非线性波-波相互作用项

四波相互作用项按照 Hasselmann 等所提出离散相互作用近似（discrete interaction approximation(DIA)量化考虑非线性波-波相互作用项 S_{nl}，DIA 经发展以后，广泛采用于第三代波浪模型中。

三波相互作用在浅水条件时显得十分重要，因为它会导致能量在各个频率之间发生穿越传递。本模型采用有 Eldeberky 和 Battjes 出的简化方法考虑三波相互作用。

（3）白帽损耗

假设白帽损耗的动力学诱因是由于压力引起的能量损失，白帽损耗所引起的耗散项如下表示：

$$S_{ds}=-\omega E \qquad (5\text{-}19)$$

白帽损耗项可以进一步表示为如下形式：

$$S_{ds}(f,\theta)=-C_{ds}\left(\frac{\alpha'}{\alpha_{PM}^{1/4}}\right)^m\left\{(1-\delta)\frac{k}{\bar{k}}+\delta\left(\frac{k}{\bar{k}}\right)^2\right\}\bar{\sigma}E(f,\theta) \qquad (5\text{-}20)$$

上式中，α' 为全局谱陡，如下表示：

$$\alpha'=\bar{k}\sqrt{E_{tot}} \qquad (5\text{-}21)$$

E_{tot} 为波能谱总波能；α'_{PM} 为 PM 谱波陡；在 WAM cycle 4 中，常数 $C_{ds}=4.1\times10^{-5}$、δ=0.5，m=4；$\bar{\sigma}$ 为平均相对角频；$\bar{k}$ 为平均波数。

（4）底部摩阻损耗

因底部摩阻损耗而导致的能量耗散由下式表示

$$S_{bot}(f,\theta) = -(C_f + f_c(\bar{u}\cdot\bar{k})/k)\frac{k}{\sinh 2kd}E(f,\theta) \qquad (5\text{-}22)$$

上式中，C_f 为摩阻系数；k 为波数；d 为水深，f_c 为水流摩阻系数；u 为流速。C_f 范围介于 01-0.1m/s，具体取值需根据底床条件及水流条件综合考虑。C_f 定义如下：

$$C_f = f_w u_b \qquad (5\text{-}23)$$

式中 f_w 为恒定摩擦因子，u_b 为波浪圆周质点速度均方差，由下式给出：

$$u_b = \left[2\int_{f_1}^{f_{\max}}\int_{\theta}\frac{\bar{\sigma}^2}{\sinh^2(kh)}E(f,\theta)d\theta df\right]^{1/2} \qquad (5\text{-}24)$$

参数尼古拉斯粗糙高度 k_n 用以描述当地地理性质糙率，由此摩擦因子可进一步如下式表示：

$$f_w = e^{-5.977+5.213(a_b/k_n)^{-0.194}} \qquad a_b/k_n \geq 2.016389 \qquad (5\text{-}25\text{-}1)$$

$$f_w = 0.24 \qquad a_b/k_n < 2.016389 \qquad (5\text{-}25\text{-}2)$$

上式中 a_b 为波浪底部质点圆周位移，可由下式给出：

$$a_b = \left[2\int_{f_1}^{f_{\max}}\int_{\theta}\frac{1}{\sinh^2(kh)}E(f,\theta)d\theta df\right]^{1/2} \qquad (5\text{-}26)$$

k_n 默认值为 0.04m。根据以往研究，k_n 取 0.01~0.04 之间。

（5）波浪破碎损耗

浅水地区波浪破碎及能量损耗项如下式表示：

$$S_{surf}(f,\theta) = -\frac{2\alpha_{BJ}Q_b\bar{f}}{X}E(f,\theta) \qquad (5\text{-}27)$$

式中 α_{BJ} 为率定常数，用以衡量波浪破碎率；Q_b 为波浪破碎部分；$\bar{f}$ 为平均频率；X 为以当前随机波总波能与最大允许传播波高波能的比率，如下式定义：

$$X = \frac{E_{tot}}{(H_m^2/8)} = \left(\frac{H_{rms}}{H_m}\right)^2 \qquad (5\text{-}28)$$

上式中 E_{tot} 为总波能，H_m 为最大允许波高。在浅水中，最大波高往往受到当地水深的影响。因此可以用相对波高指标 γ 来判断波浪破碎与否，γ 取值介于 0.5 至 1.0 之间，且受到岸滩边坡大小和波要素的影响。

根据瑞利分布，Q_b 可由下式决定：

$$\frac{Q_b-1}{\ln Q_b}=X=\left(\frac{H_{rms}}{H_m}\right)^2 \qquad (5\text{-}29)$$

上式可采用 Newton-RapHson 迭代方法求解，其非线性迭代的初值可由下列显式近似给出：

$$Q_b=(1+2x^2)\exp(-1/x) \qquad x<0.5 \qquad (5\text{-}30\text{-}1)$$

$$Q_b=1-(2.04z)(1-0.44z) \qquad z=1-x \quad 0.5\le x<1 \qquad (5\text{-}30\text{-}2)$$

$$Q_b=1 \qquad x\ge 1 \qquad (5\text{-}30\text{-}3)$$

该式在起伏地形和平坦地形上均有良好的应用。

（6） 绕射

模型中采用联合折绕射近似来考虑波浪的绕射。该方法在忽略相位信息的前提下，基于缓坡方程来考虑波浪的绕射和折射。在考虑绕射时，模型中波数 k 可以按照如下表示：

$$k^2=\kappa^2(1+\delta_a) \qquad (5\text{-}31)$$

κ 为线性波理论决定的分离参数；δ_a 为绕射参数，由下式决定：

$$\delta_a=\frac{\nabla\cdot(cc_g\nabla a)}{\kappa^2 cc_g a} \qquad (5\text{-}32)$$

c 和 c_g 为未考虑绕射作用下的波浪相位速度和波群速度；a 为波幅。

（7）定解条件

1）边界条件

数学模型通常使用开边界（水边）和闭边界（岸边）两种边界条件。对于开边界，采用涌浪边界：

$$\zeta|_b = \zeta(x、y、t) \quad (5\text{-}33)$$

进行控制。对于闭边界则根据不可入原理，取波浪边界为 0，即

$$\zeta|_b = 0 \quad (5\text{-}34)$$

实际模型计算中，采用无反射透浪边界。

2）初始条件

计算开始时，整个计算区域内各点的波作用量就是计算的初始条件，即

$$\zeta(x, y, t_0) = \zeta_0(x, y) \quad (5\text{-}35)$$

5.1.2.1.2 抛物型缓坡方程模型

外海波浪传入近岸浅水地区时，受多种因素的影响，将产生一系列复杂的变化：由于地形变化的影响，将产生折射及浅水变形现象；遇到岛屿、防波堤等障碍物时，波浪能绕过障碍物，传播至受障碍物掩护的水域，产生波浪绕射现象。在确定深水波浪要素后，可采用波浪折射、绕射联合计算的高阶非线性抛物型方程数学模型模拟波浪由外海向工程区的传播，得出工程附近大范围水域的波浪场。

考虑底摩擦损耗和风能输入的非线性缓坡方程可用下式表示：

$$(CC_g\phi_x)_x + K^2CC_g\phi + M\phi = 0 \quad (5\text{-}36)$$

$$M\phi = (-\omega^2k^2D|A|^2 + i\omega F)\phi + (CC_g\phi_y)_y \quad (5\text{-}37)$$

式中，ϕ 为波势，k 为波数，C 为波速，C_g 为波群速，ω 为圆频率，A 为波幅，$D = \frac{ch4kh + 8 - 2th^2kh}{8sh^4kh}$ 为考虑波浪非线性参数，F 为考虑波能损耗和风能输入的参数。式(5-36)可改写为

$$\phi_{xx} + \frac{(CC_g)_x}{CC_g}\phi_x + K^2(1 + \frac{M}{K^2CC_g})\phi = 0 \quad (5\text{-}38)$$

Booij 推导出缓坡方程的抛物型方程高阶近似型式

$$\frac{\partial}{\partial x}\{(KCC_g)^{1/2}(1 + \frac{P_1M}{K^2CC_g})\}\phi = iK(KCC_g)^{1/2}(1 + \frac{P_2M}{K^2CC_g})\phi \quad (5\text{-}39)$$

$P_1 = 0$（Radder or Kirby，低阶），$P_1 = 1/4$（Booij，高阶），$P_2 = P_1 + 1/2$。

对考虑底摩擦损耗和风能输入的非线性缓坡方程，其高阶抛物型近似方程可简写成

$$(kCC_g)\phi_x+\{\frac{1}{2}(kCC_g)_x-ik^2CC_g+\frac{i}{2}\omega^2k^2D|A|^2+\frac{\omega}{2}F\}\phi-(P_1B+iP_2)M'\phi$$

$$+\frac{P_1}{k}(M'\phi)_x=0 \qquad (5\text{-}40)$$

其中 $B=\frac{k_x}{k^2}+\frac{(kCC_g)_x}{2k^2CC_g}$， $M'\phi=(CC_g\phi_y)_y$

令 $P=CC_g$

$$R=-(P_1B+iP_2)(CC_g)_y+\frac{P_1}{k}(CC_g)_{yx}$$

$$S=\frac{1}{2}(kCC_g)_x-ik^2CC_g+\frac{i}{2}\omega^2k^2D|A|^2+\frac{\omega}{2}F$$

$$T=-(P_1B+iP_2)CC_g+\frac{P_1}{k}(CC_g)_x$$

则式（5-40）简写为

$$kP\phi_x+R\phi_y+S\phi+T\phi_{yy}+\frac{P_1}{k}(CC_g)_y\phi_{xy}+\frac{P_1}{k}(CC_g)\phi_{xyy}=0 \qquad （5\text{-}41）$$

式(5-41)采用 Crank-Nicolson 格式，令 $P=CC_g$，差分如下

$$\frac{(kP)_j^{i+1}+(kP)_j^i}{2}\cdot\frac{\phi_j^{i+1}-\phi_j^i}{\Delta x}+R_j^i\frac{(\phi_{j+1}^{i+1}-\phi_{j-1}^{i+1})+(\phi_{j+1}^i-\phi_{j-1}^i)}{4\Delta y}+S_j^i\frac{\phi_j^{i+1}+\phi_j^i}{2}$$

$$+T_j^i\frac{(\phi_{j+1}^{i+1}-2\phi_j^{i+1}+\phi_{j-1}^{i+1})+(\phi_{j+1}^i-2\phi_j^i+\phi_{j-1}^i)}{2\Delta y^2}+[\frac{P_1}{k}(CC_g)_y]_j^i\frac{(\phi_{j+1}^{i+1}-\phi_{j-1}^{i+1})-(\phi_{j+1}^i-\phi_{j-1}^i)}{2\Delta y\Delta x}$$

$$+[\frac{P_1}{k}(CC_g)]_j^i\frac{(\phi_{j+1}^{i+1}-2\phi_j^{i+1}+\phi_{j-1}^{i+1})-(\phi_{j+1}^i-2\phi_j^i+\phi_{j-1}^i)}{\Delta x\Delta y^2} \qquad (5\text{-}42)$$

边界条件

$$\frac{\partial\phi}{\partial n}+ikA\phi=0 \quad , \quad A=\cos\alpha\frac{R-1}{R+1}, \qquad (5\text{-}43)$$

略去某些小项，简化后得

$$\phi_y-[ik_0tg\theta+ikA/\cos\theta]\phi=0 \qquad (5\text{-}44)$$

抛物型方程数学模型计算效率高，适用于大范围波浪折射、绕射的联合计算。改进的适用于方向谱的不规则高阶抛物型方程数学模型允许较大范围的波向变化，且考虑了底摩擦导致的波能损耗、风能输入导致的波高增长和波浪非线性的影响，计算结果更加合理可靠。该模型已成功应用于“长江口深水航道整治工程结构物设计波浪推

算”、“洋山深水港一期工程港区及进港航道波浪场数值计算”、“宝港马迹山矿石中转港设计波要素推算”、“宁波港北仑港区四期工程”等十多个大型港口航道工程。

5.1.2.1.3 不规则波的模拟

根据波浪理论，不规则波可假定由不同方向、不同频率的组成波迭加而成，当波-波非线性相互作用可以忽略时，不规则波波面可表示为

$$\zeta(x,y,t)=\sum_m\sum_n a_{mn}\cos(k_m x\cos\theta_n+k_m y\sin\theta_n-2\pi f_m t+\varepsilon_{mn}) \quad (5-45)$$

式中ζ为波面高度，a_{mn}是组成波振幅，f_m是组成波频率，k_m是组成波波数，θ_n是组成波波向，ε_{mn}是随机初相位，服从(0, 2π)区间的均匀分布。

波浪能量在频率和方向上的分布可由波浪方向谱$S(f,\theta)$表示

$$S(f,\theta)=S(f)G(f,\theta) \quad (5-46)$$

式中$S(f)$是频率谱，$G(f,\theta)$是方向分布函数。

不规则波有效波高和波谱的关系为

$$H_s\approx 4.0\sqrt{m_0} \quad (5-47)$$

式中m_0是波谱的零阶矩，定义为

$$m_0=\int_0^{\infty}\int_{-\pi}^{\pi}S(f,\theta)\mathrm{d}\theta\mathrm{d}f \quad (5-48)$$

在不规则波模型中，方向谱采用等能量分割法进行离散。组成波振幅 a_{mn}可由离散化的波谱确定。

5.1.2.2 深水波浪要素的确定

工程区外海缺乏长期波浪观测资料，难以用实测波浪资料分析确定三亚外海水域的深水波要素。从前面分析可以看出，工程外海大浪主要是台风引起的，为了研究工程附近的波浪，本研究依据 1949 年~2018 年期间在广东、海南沿海出现的对工程海域影响较大的台风资料，建立包含南太平洋和南中国海在内的大范围台风浪数学模型，对历次台风进行波浪场数值模拟，推算大范围和工程局部范围内的波浪场分布。通过大范围模型计算，提取工程区深水处（水深约为-40m）不同方向出现的年极值波高，进行频率分析，确定工程外海深水波浪要素。

5.1.2.2.1 台风浪模型建立

台风浪模型采用基于非结构网格的波作用量平衡方程（SWAN）进行构建。模型如前文章节所述，在此不赘述。

进行台风风场模拟时，需选择合适的风场模式，本报告采用台风模型风场与背景风场相结合的方式生成模型计算风场。

台风模型风场选用 Young and Sobey（1981）台风模型风场。基于该模型，距离台风中心 r 处的旋转梯度风 Vg 可以如下表示：

$$V_g(r)=V_{\max}\cdot\left(\frac{r}{R_{mw}}\right)^7\cdot\exp\left(7\left(1-\frac{r}{R_{mw}}\right)\right)\quad r<R_{mw}\qquad(5\text{-}49)$$

$$V_g(r)=V_{\max}\cdot\exp\left((0.025R_{mw}+0.05)\right)\quad r\geq R_{mw}\qquad(5\text{-}50)$$

气压由下式给出：

$$p(r)=p_c+(p_n-p_c)\cdot\exp(-\frac{R_{mw}}{r})\qquad(5\text{-}51)$$

上式中所需两个参数最大风速半径 Rmw（李茜，段忠东，2005）及最大风速 Vmax（李小莉等，1995）分别由下式给出：

$$R_{mw}=28.52\tanh[0.0873(\phi-28)]+12.22\exp(\frac{p_c-1013.2}{33.86})+0.2V_a+37.2\qquad(5\text{-}52)$$

$$V_{\max}=6.68(1013.2-P_c)^{0.634}\qquad(5\text{-}53)$$

式中 ϕ 为台风中心纬度；Pc 为台风中心气压；Va 为台风移动速度，可从台风路径资料中获得。

背景风场采用 ERA5 后报数据集。该数据集为欧洲中期预报中心（ECMWF）第五代再分析数据集，用以替代以往的 ERA40 及 ERA-Interim 数据集。该数据集提供 0.25°×0.25°（约 25km×25km）等间距经纬度分辨率下的大气多层后报结果，预计于 2020 年中期完成整个项目，实现自 1950 年以来至今所有大气、海洋的逐时多层要素后报，目前已实现 1979 年至今的所有要素数据。再分析采用 4D-Var 方法同化地面站、卫星及其他区域模型预报结果，使得本数据集得以实现时空分辨率上细节的准确后报。

由此可以将台风模型风场与 ERA5 背景风场如下所示结合：

$$\begin{cases}W_{add}=W_t,\ \ r<R_1\\ W_{add}=(1-\alpha)W_t+\alpha W_{CCMP},\ \ R_1\leq r\leq R_2\\ W_{add}=W_{CCMP},\ \ r>R_2\end{cases}\qquad(5\text{-}54)$$

上式中 R1、R2、α 均在模拟中做相应的调整。

台风浪模型范围包括整个南中国海区域及部分东海，经度范围为 105°~135°E，纬度范围为 1°~25°N，最大网格尺度 1°（约 120km），最小网格尺度 0.05°（约 5km），如图 5.1-21 所示。

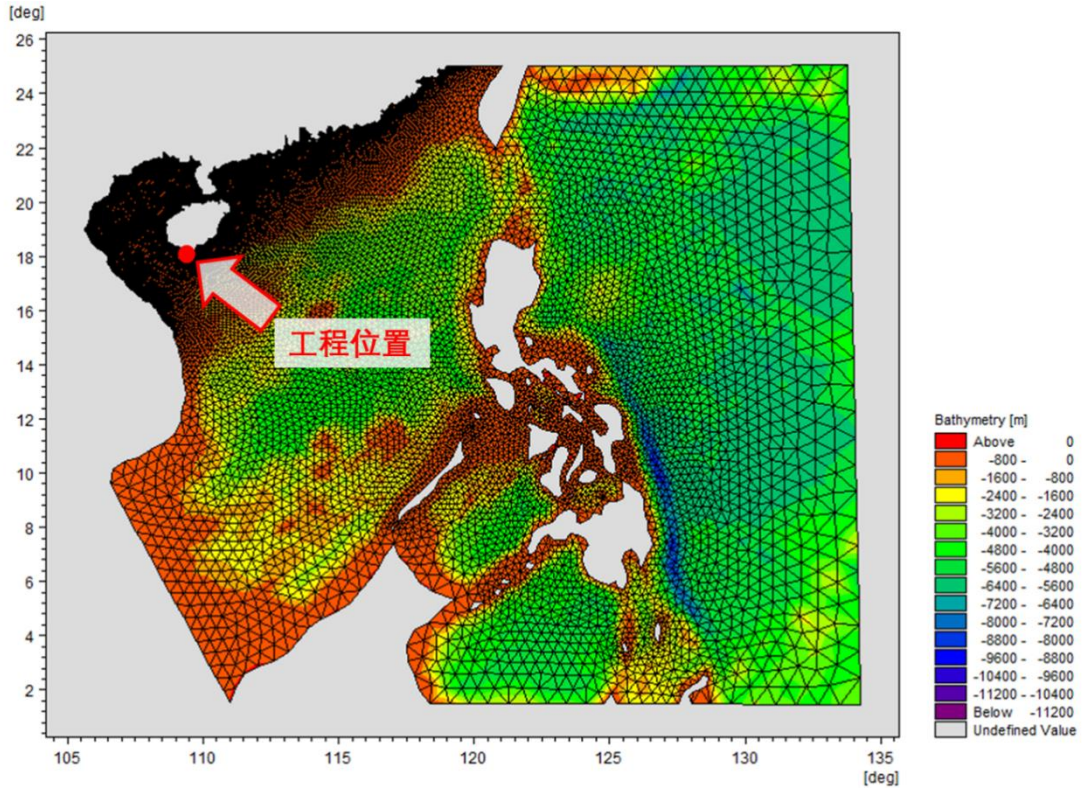


图 5.1-21 大范围台风浪模型计算范围及网格示意图（经纬度坐标）

5.1.2.2.2 波浪数学模型验证

台风浪模型采用 2017 第 19 号“杜苏芮”台风进行验证。该台风于 9 月 11 日凌晨 3 时在帕劳海域生成，于在 12 日 8 时将其升格为热带低气压，并移向海南岛一带。受到同期“泰利”台风影响，“杜苏芮”台风强度受到抑制，未能快速增强。不过在穿过菲律宾中部进入南海后，很快就远离了“泰利”台风，并开始增强。9 月 15 日，杜苏芮临近海南岛南侧，最近距离为 112km，对应时刻中心最大风速为 38m/s，并于当天稍后时间在越南登陆，登陆后迅速减弱。“杜苏芮”台风路径图见图 5.1-22。

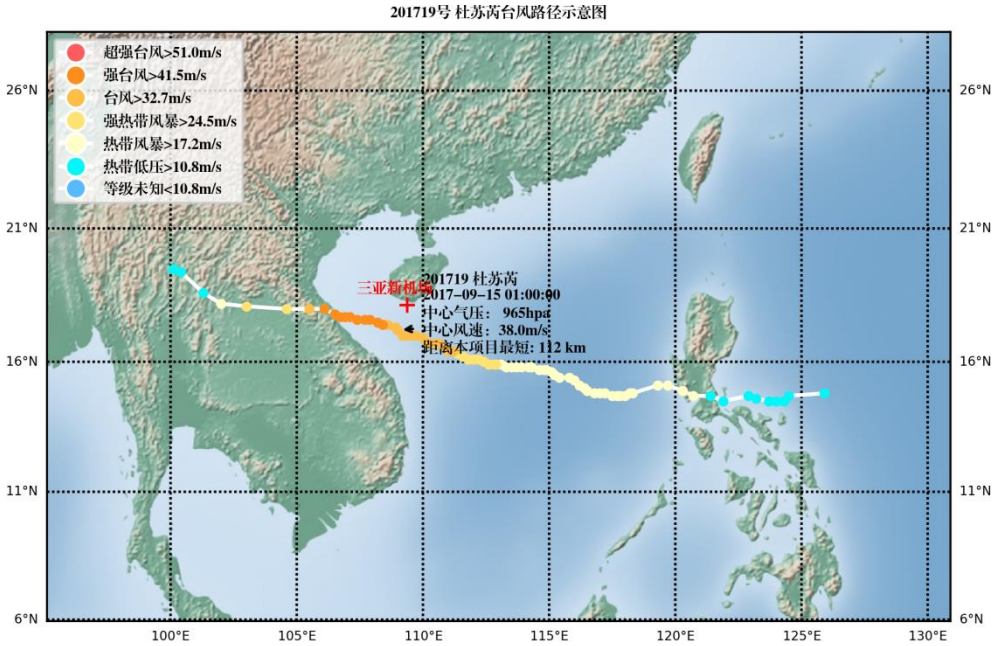


图 5.1-22 2017 年第 19 号台风“杜苏芮”路径图

波浪结果采用台风期间崖州沿海 3m 浮标实测波高、周期、主波向资料进行验证，时间为 9 月 14 日 12 时至 16 日 12 时，如图 5.1-23~5.1-25 所示。从图中可以看出，模型计算结果与观测值在时间、量级上吻合良好。“杜苏芮”台风期间，崖州浮标观测有效波高极值为 6.68m，出现时间为 9 月 15 日凌晨 4 点，对应平均周期为 9s；计算结果极值也出现在 15 日凌晨 4 点，有效波高为 6.65m，对应平均周期为 8.93s，与观测值相对误差分别为-0.4%，-0.7%，符合规程要求。

模型计算所采用风场示例如图 5.1-26 所示，不同时刻有效波高计算结果如图 5.1-27 所示。从图中可以看出，由于“杜苏芮”台风期间，计算模型区域存在双台风中心，共同在计算区域内生成台风浪。

由此可以认为，本报告所建立的台风浪波浪模型是合理的，可用于后续台风系列作用下的波浪场计算，并为推求深水波浪要素奠定基础。

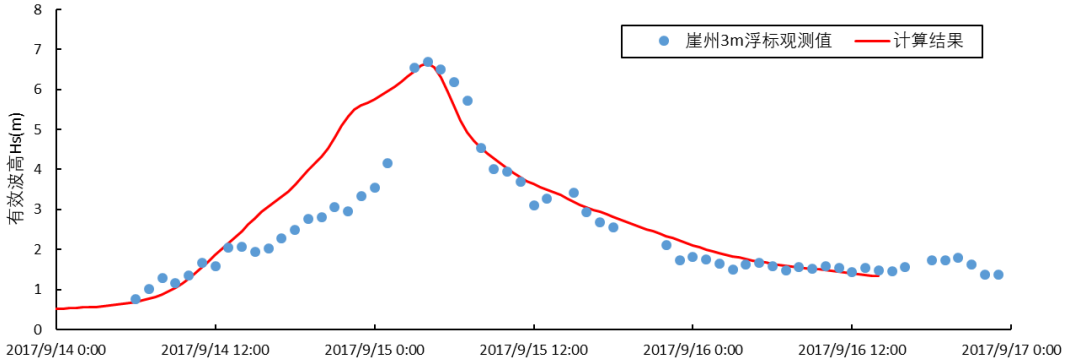


图 5.1-23 观测与计算的波高对比图

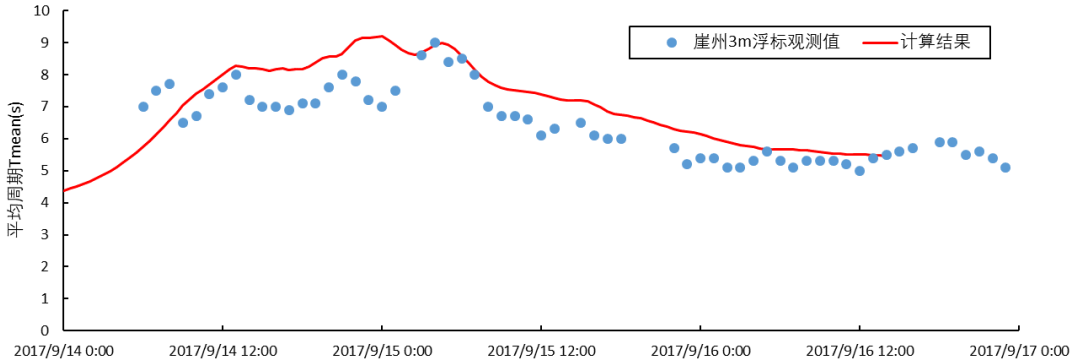


图 5.1-24 观测与计算的周期对比图

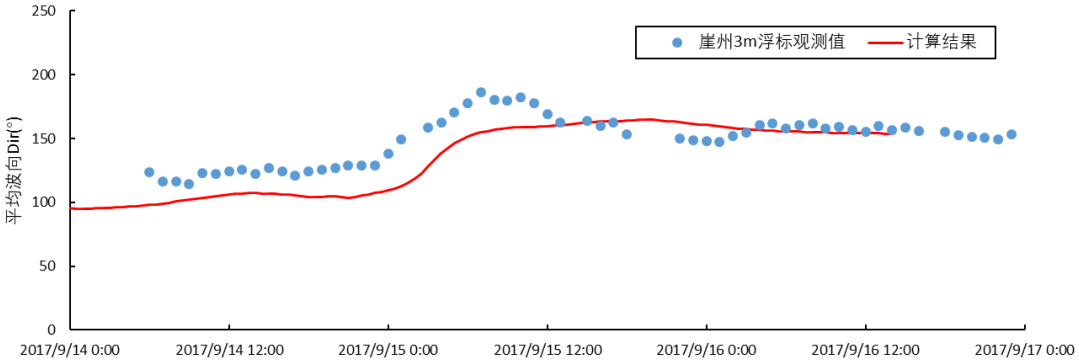


图 5.1-25 观测与计算的主波向对比图

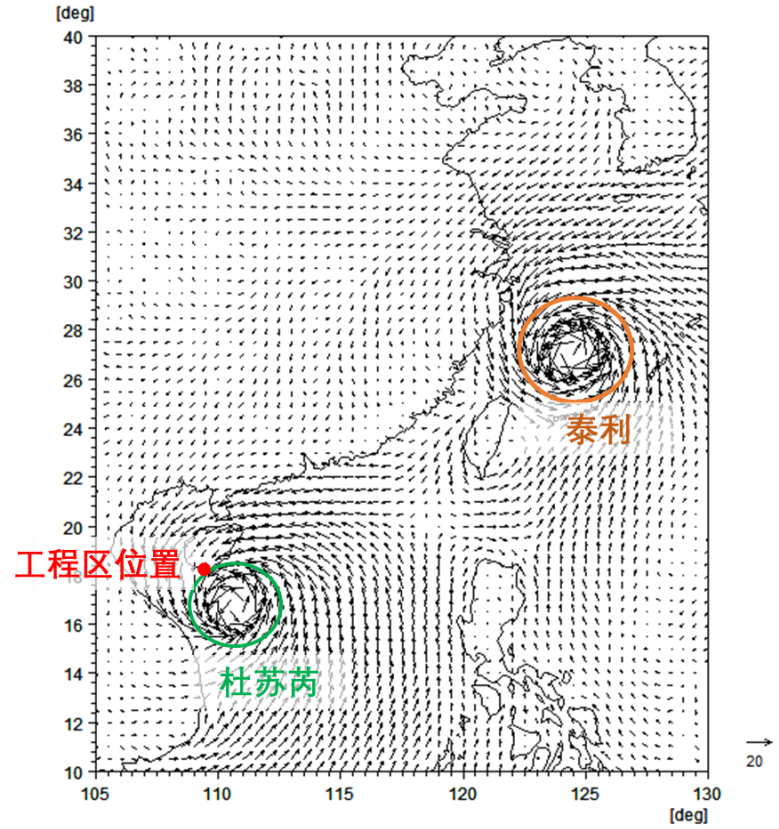


图 5.1-26 2017 年 9 月 14 日 16 时生成风场矢量图（单位:m/s）

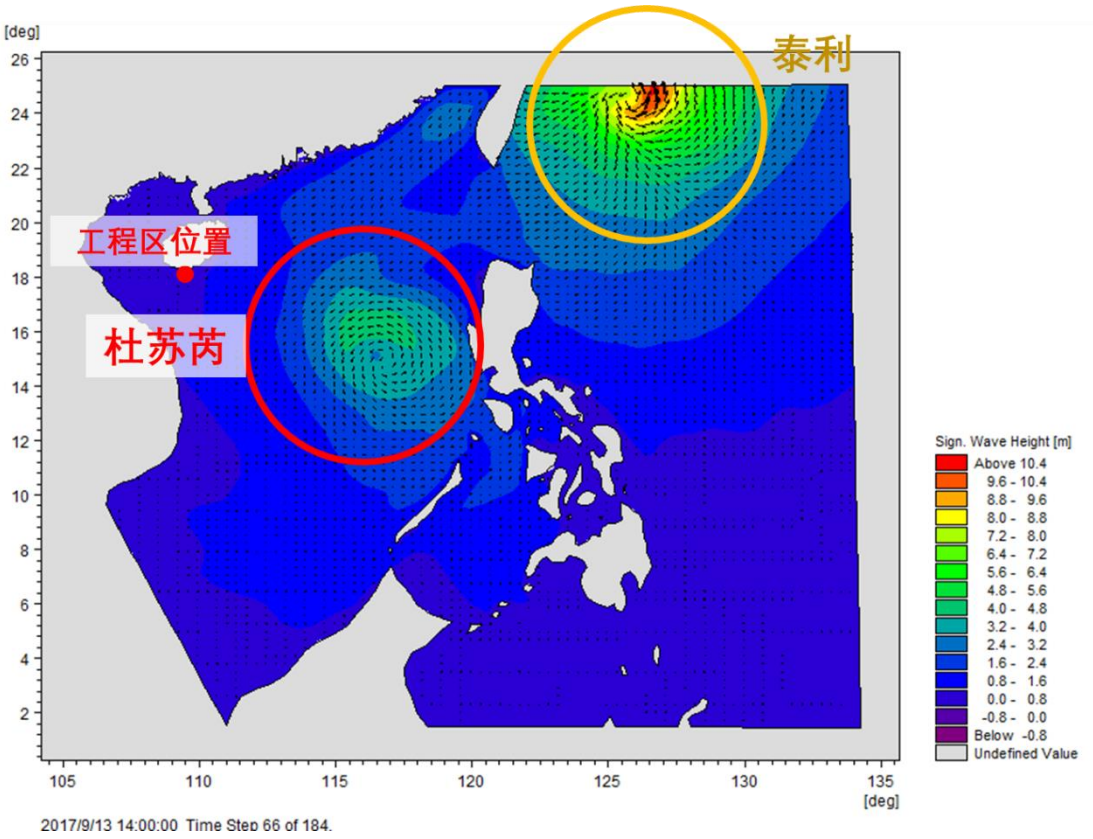


图 5.1-27a 2017 年 9 月 13 日 14 时有效波高分布（单位:m）

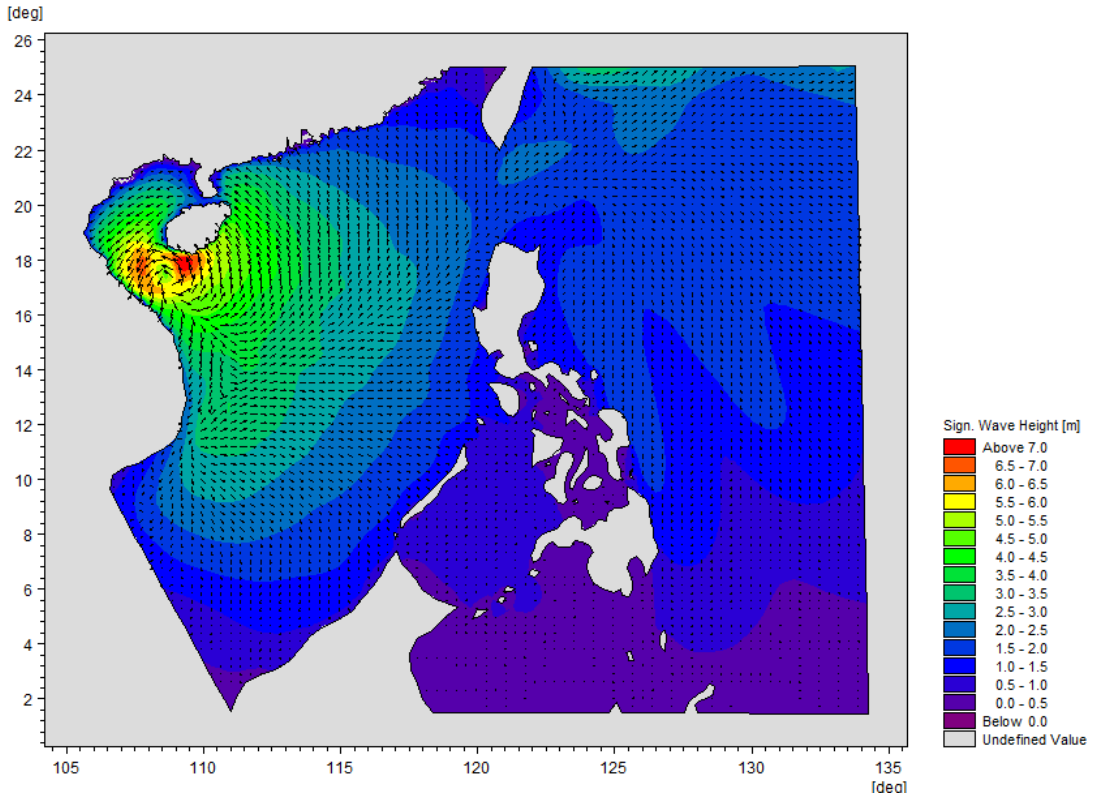


图 5.1-27b 2017 年 9 月 15 日 4 时有效波高分布（单位:m）

5.1.2.2.3 深水波浪要素推算

深水点位于工程区以南-40m 水深处，地理坐标 109.3839°E，18.14024°N，见图 5.1-28。

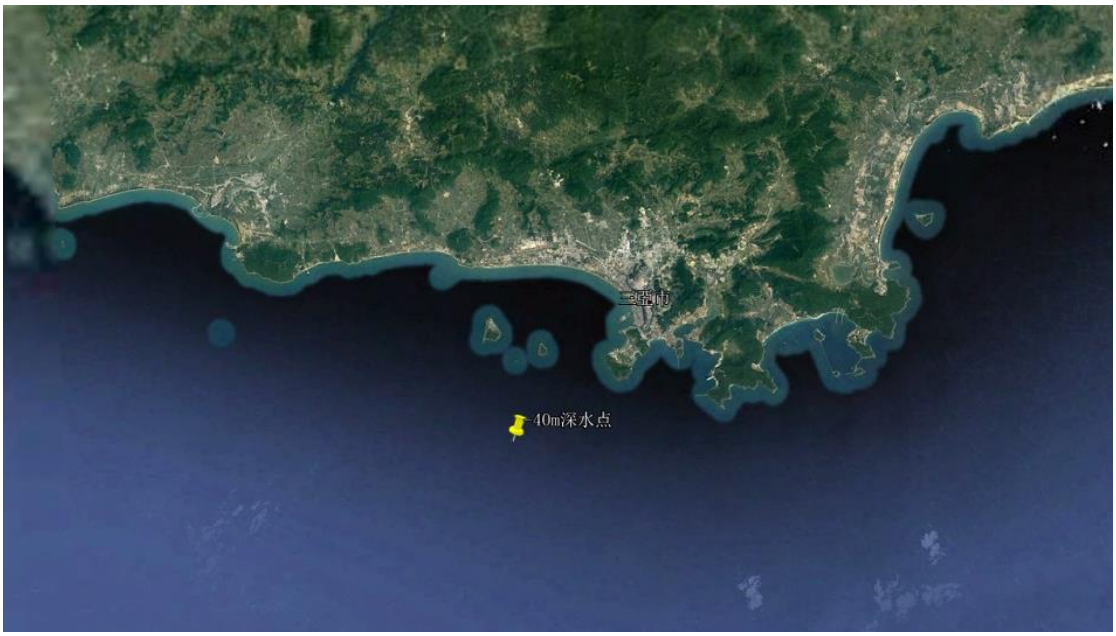


图 5.1-28 -40m 深水点位置示意图

报告收集了 1949~2018 年台风路径资料，针对其中对本项目有潜在影响的 210 场台风过程进行了台风浪计算。针对 1979 年以后台风，采用 ERA5 数据集考虑背景风场；对于 1979 年以前台风，只考虑台风模式生成风场。

对台风浪推算结果采用 Poisson 复合 P-III 分布进行分方向频率分析。该方法是对每一次台风浪过程中选取指定波向上的最大波高 Hs，采用 P-III 分布拟合这些极值波高的经验频率点，按最小二乘准则估计 P-III 分布的参数。而台风大浪的出现是一随机点过程，基本满足平稳性、独立增量性和普通性条件，故一年中台风大浪的出现次数近似服从 Poisson 分布，可按 Poisson 复合 P-III 分布计算不同重现期波高，计算公式如下：

$$\frac{1}{T_R} = p = P\{H \geq H_p\} = 1 - \exp\left\{-\lambda\left[1 - F\left(H_p\right)\right]\right\} \qquad (5\text{-}55)$$

式中，λ 为台风大浪的年平均出现次数，T_R 为波浪重现期，p 为波浪出现频率，H_p 表示重现期为 T_R 的波高，F(x)为 P-III 分布。

采用上述方法计算出 SE~ESE、S~SSE、SW~SSW、W~WSW 几个主要方向不同重现期波要素（见表 5.1-8），各方向中 SE~ESE 向外海波高最大，100 年一遇 Hs 达到

10.65m，对应的平均波周期为 12.9s。这几个方向 P-III 分布拟合历次台风浪极值波高的情况见图 5.1-29~5.1-32，从图中可见，各方向分布曲线和经验频率点拟合良好。

河海大学在三亚新机场临空产业园波浪数学模型中，基于 1949~2015 年台风浪累年各项波浪极值结果，对-40 等深线处 M0 点有效波高和对应平均周期关系进行拟合，采用 80%包络线法得到如下关系：

$Tm=3.95Hs^{0.5}$ （5-56）

本报告重现期波浪要素中的平均周期采用（5-56）依据对应有效波高进行推求。

表 5.1-8 外海-40m 处设计波要素（1949 年~2018 年）

重现期	SE~ESE		S~SSE		SW~SSW		W~WSW	
	Hs (m)	$\overline{T}$ (s)	Hs (m)	$\overline{T}$ (s)	Hs (m)	$\overline{T}$ (s)	Hs (m)	$\overline{T}$ (s)
300	12.39	13.9	11.19	13.2	9.73	12.3	9.68	12.3
100	10.65	12.9	9.61	12.2	8.34	11.4	8.26	11.4
50	9.61	12.2	8.79	11.7	7.49	10.8	7.30	10.7
25	8.54	11.5	7.93	11.1	6.61	10.2	6.34	9.9
20	8.19	11.3	7.63	10.9	6.33	9.9	6.02	9.7
10	7.07	10.5	6.69	10.2	5.41	9.2	5.04	8.9
5	5.89	9.6	5.66	9.4	4.47	8.4	4.03	7.9
2	4.13	8.0	4.00	7.9	3.07	6.9	2.65	6.4

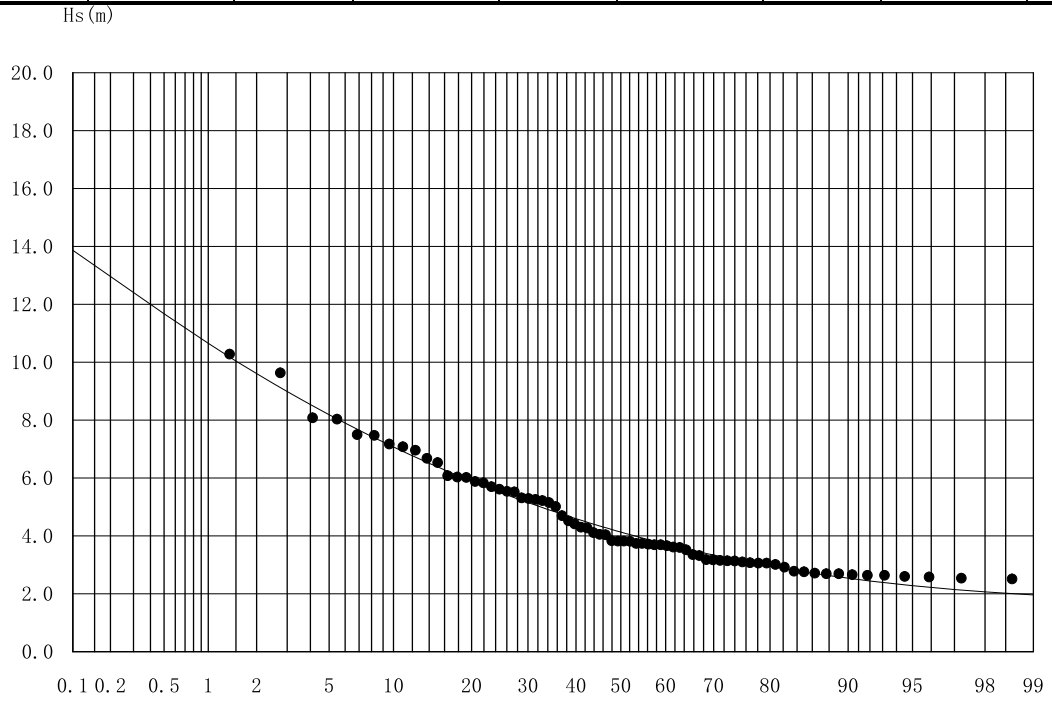


图 5.1-29 SE~ESE 向外海台风浪极值波高 Hs 分布适线

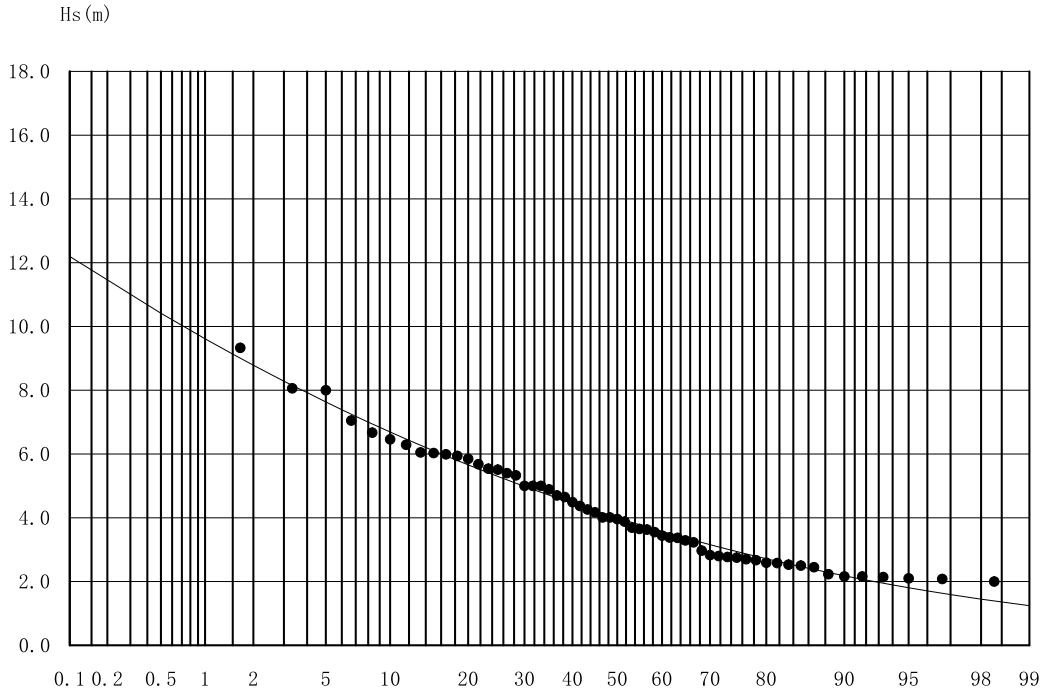


图 5.1-30 S~SSE 向外海台风浪极值波高 Hs 分布适线

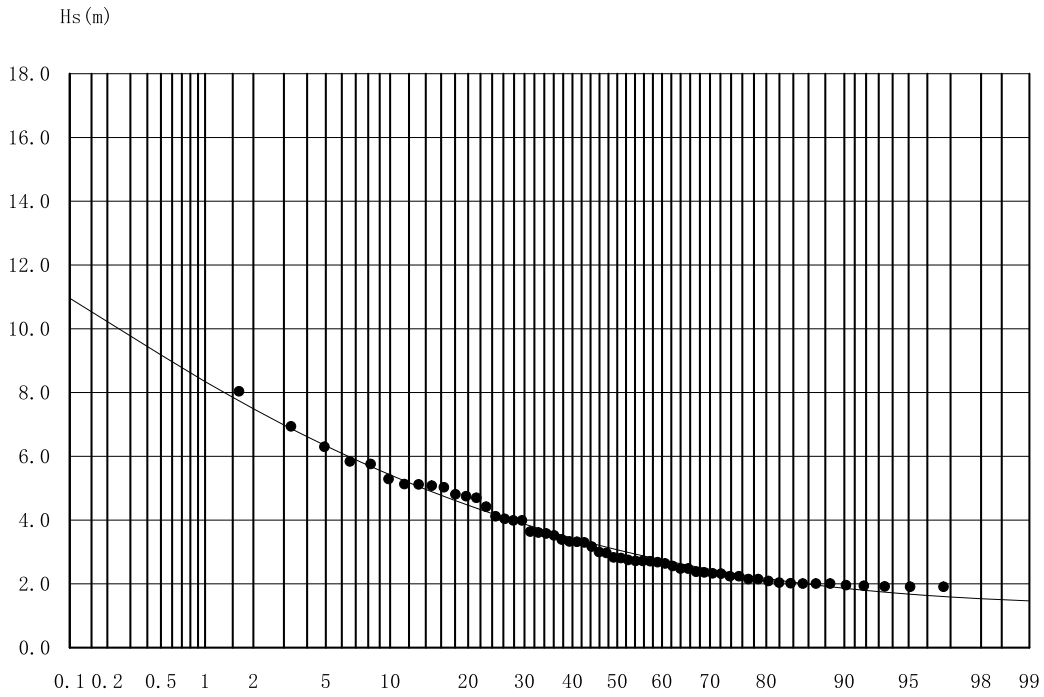


图 5.1-31 SW~SSW 向外海台风浪极值波高 Hs 分布适线

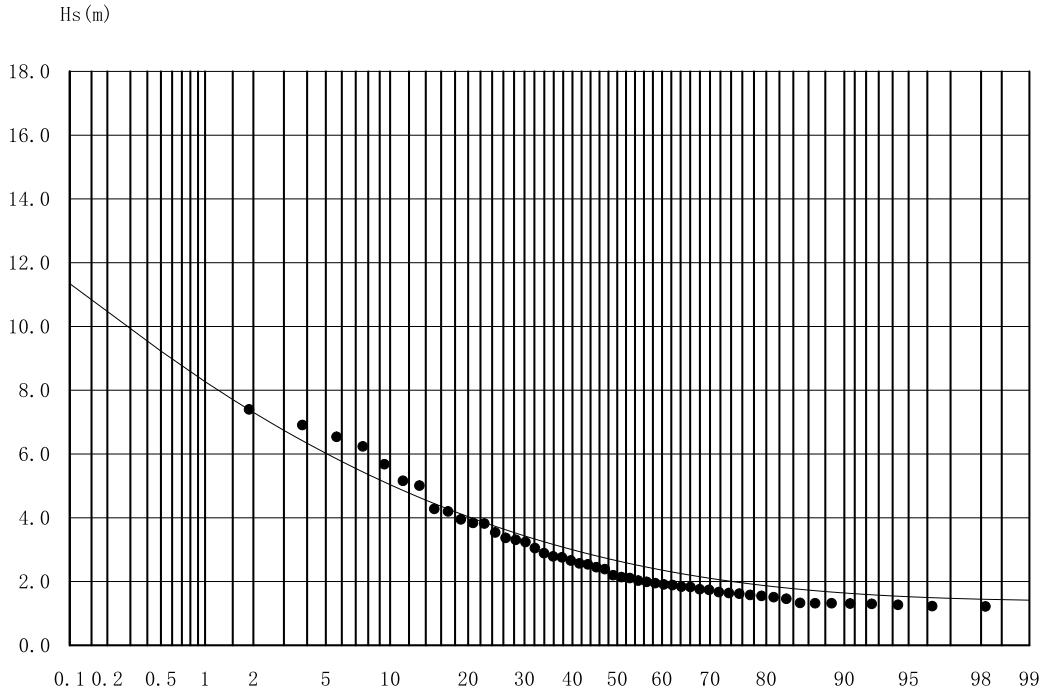


图 5.1-32 W~WSW 向外海台风浪极值波高 Hs 分布适线

5.1.2.2.4 深水波浪要素合理性分析

为了验证统计所得深水波浪要素的合理性，本报告收集了以往针对三亚新机场的相关科研报告，列举如下：

（1）河海大学于 2016 年针对三亚新机场临空产业园人工岛项目开展了整体波浪数学模型研究，通过台风浪模型模拟了 1979 年~2015 年历场台风浪过程，提取了工程区外-35m~-45m 处 E0、M0，W0 三点（如图 5.1-33 所示）波浪累年各向极值序列，基于复合极值分布推算了个重现期波浪要素，如表 5.1-9 所示。其中 E0 点处 100 年一遇各方向最大有效波高为 10.5m，出现在 ESE 向；M0 点 100 年一遇各方向最大有效波高为 10.0m，亦出现在 ESE 方向。

（2）华南理工大学于 2017 年针对三亚新机场人工岛工程项目开展了波浪整体数学模型专项研究。报告中对 1949~2015 年历年影响三亚工程的台风浪进行了模拟，并提取了工程区外海-45m 处深水点的波浪累年各方向极值序列，计算点位置如图 5.1-34 所示。报告采用复合极值分布方法推求了不同重现期深水波浪要素，如表 5.1-10 所示。报告同时针对 P-III 型分布与复合极值分布所的结果进行了对比，认为在华南近岸区，两种结果相近。W 点处 100 年一遇各方向最大有效波高为 11.0m，出现在 ESE 方向。

对比上述报告成果可知，如考虑水深差异对于重现期波浪要素差异的影响，本报

告计算成果与以往成果基本处于同一量级，100 年一遇各向最大有效波高为 10.65，出现在 SE~ESE 方向，对应平均周期为 12.9s，推算结果与以往成果基本一致。2 年一遇重现期条件下，本次推算结果均略大于以往成果，但保持与以往成果同一量级。

综上可知，本报告推算深水波浪要素是合理的。

表 5.1-9 河海大学 2016 年报告深水波浪要素表（1979~2015 年）

站位	波向	重现期							
		2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	300 年	500 年
E0	E	4.5	5.8	6.7	7.8	8.6	9.4	10.7	11.3
	ESE	4.5	6.1	7.2	8.5	9.5	10.5	12.0	12.7
	SE	3.9	5.4	6.3	7.4	8.3	9.2	10.5	11.1
	SSE	3.6	4.8	5.6	6.6	7.3	8.0	9.1	9.7
	S	3.5	4.6	5.3	6.2	6.9	7.6	8.7	9.1
	SSW	3.2	4.3	5.0	5.8	6.5	7.1	8.2	8.6
	SW	3.1	4.2	4.9	5.8	6.5	7.2	8.2	8.7
	WSW	2.8	4.0	4.8	5.8	6.5	7.3	8.4	9.0
	W	2.2	3.6	4.5	5.6	6.4	7.2	8.5	9.1
M0	E	4.2	5.5	6.3	7.4	8.2	9.0	10.2	10.8
	ESE	4.3	5.9	6.9	8.2	9.1	10.0	11.5	12.2
	SE	3.7	5.0	5.8	6.9	7.7	8.5	9.7	10.3
	SSE	3.3	4.4	5.1	6.0	6.6	7.3	8.3	8.8
	S	3.2	4.3	4.9	5.8	6.4	7.0	8.0	8.5
	SSW	3.0	4.0	4.6	5.4	6.0	6.6	7.6	8.0
	SW	3.0	4.1	4.8	5.7	6.3	7.0	8.0	8.4
	WSW	2.8	4.0	4.7	5.6	6.3	7.0	8.0	8.5
	W	2.4	3.7	4.5	5.5	6.3	7.0	8.2	8.7
W0	E	4.0	5.2	6.1	7.1	7.9	8.6	9.8	10.4
	ESE	4.1	5.6	6.5	7.8	8.7	9.5	10.9	11.6
	SE	3.4	4.7	5.5	6.5	7.3	8.1	9.2	9.8
	SSE	3.1	4.2	4.8	5.7	6.3	7.0	8.0	8.4
	S	3.1	4.1	4.8	5.6	6.2	6.8	7.7	8.2
	SSW	2.7	3.5	4.1	4.8	5.3	5.8	6.6	7.0
	SW	3.0	4.0	4.7	5.5	6.2	6.8	7.8	8.2
	WSW	2.7	3.8	4.4	5.3	5.9	6.5	7.5	7.9
	W	2.5	3.7	4.5	5.4	6.1	6.8	7.9	8.4

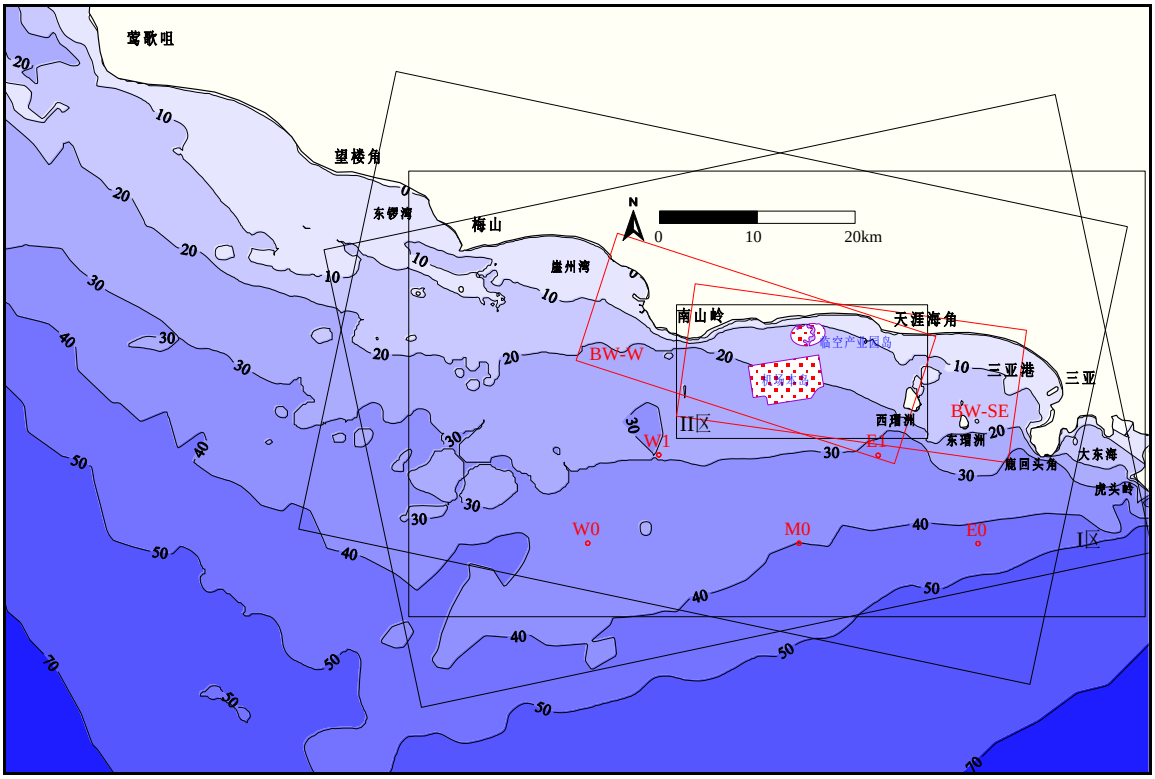


图 5.1-33 河海大学 2016 年报告中深水波要素分析站位示意图

表 5.1-10 华南理工本 2017 年报告外海 W 点重现期浪要素（1949 年～2015 年）

主波向	重现期（年）	$H_{13\%}$ (米)	$\overline{H}$ (米)	主波向	重现期（年）	$H_{13\%}$ (米)	$\overline{H}$ (米)
ESE	500	13.50	8.90	SE	500	13.44	8.86
	300	12.71	8.34		300	12.65	8.30
	100	11.00	7.17		100	10.95	7.13
	50	9.91	6.42		50	9.87	6.40
	25	8.81	5.68		25	8.76	5.65
	10	7.28	4.67		10	7.23	4.63
	5	5.99	3.82		5	5.92	3.77
	2	3.38	2.13		2	2.99	1.88
SSE	500	12.47	8.18	S	500	10.76	7.00
	300	11.67	7.63		300	10.01	6.49
	100	9.93	6.44		100	8.37	5.39
	50	8.82	5.69		50	7.33	4.70
	25	7.69	4.94		25	6.27	4.00
	10	6.12	3.90		10	4.80	3.04
	5	4.78	3.03		5	3.54	2.23
	2	2.57	1.61		2	2.57	1.61
SSW	500	8.44	5.44	SW	500	7.74	4.97
	300	7.87	5.06		300	7.17	4.59
	100	6.63	4.24		100	6.00	3.82
	50	5.85	3.73		50	5.40	3.43
	25	5.04	3.20		25	4.90	3.11
	10	3.92	2.48		10	4.10	2.59
	5	3.40	2.14		5	3.60	2.27
	2	2.60	1.63		2	2.60	1.63

WSW	500	7.74	4.97	W	500	7.48	4.80
	300	7.17	4.59		300	6.95	4.45
	100	6.00	3.82		100	5.80	3.69
	50	5.50	3.50		50	5.20	3.30
	25	4.90	3.11		25	4.70	2.98
	10	4.20	2.66		10	4.00	2.53
	5	3.60	2.27		5	3.50	2.21
	10	3.40	2.14		10	3.40	2.14
	5	2.90	1.82		5	2.90	1.82
	2	2.10	1.32		2	2.10	1.32

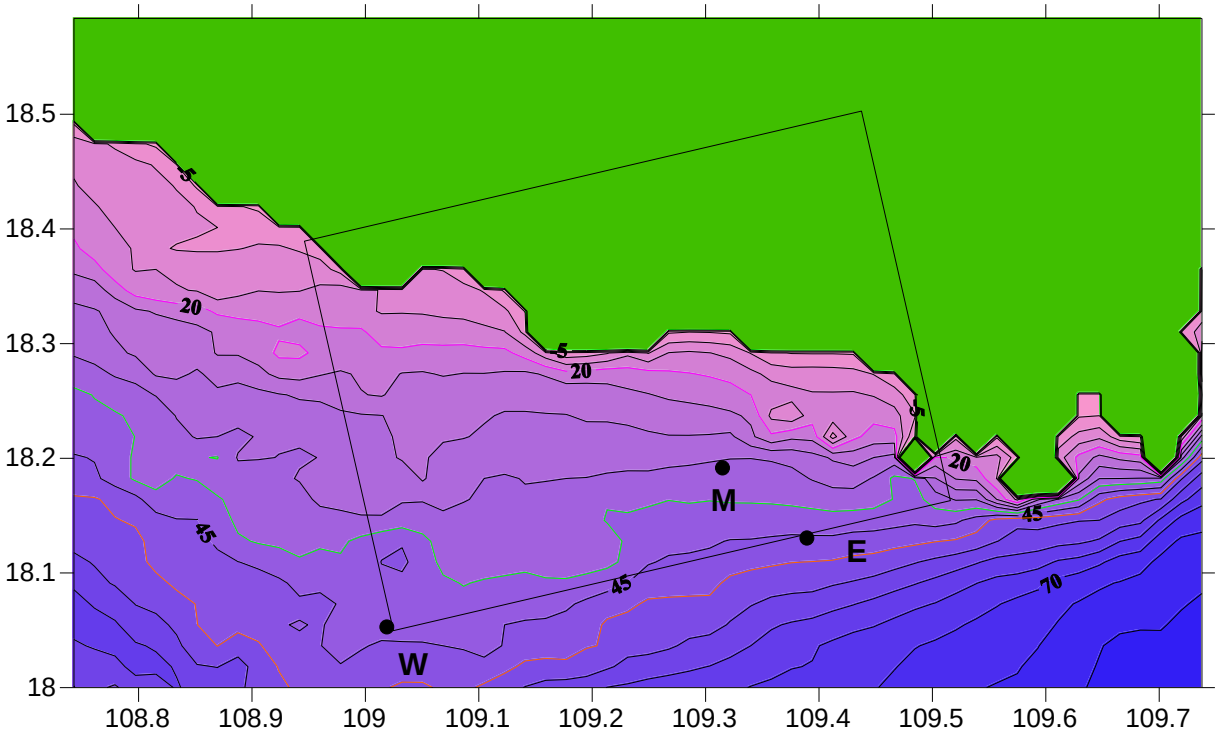


图 5.1-34 华南理工大学 2017 年报告深水计算点位置示意图

5.1.2.3 计算域设置

外海波浪从深水向近岸传播过程中会发生折射、绕射和浅水变形，在建筑物前会产生波浪反射，在浅水区会发生波浪破碎以及波浪非线性相互作用。采用考虑底摩擦影响的高阶非线性抛物型方程数学模型可以较好的模拟大范围水域波浪向近岸的传播变形。本文采用上一节介绍的多方向不规则波浪折射绕射传播变形数学模型计算程序进行大范围水域的波浪场计算。计算范围包括整个红塘湾水域，考虑地形变化、岸线和岛屿对波浪传播变形的影响。波浪数学模型的起始边界取在-40m 等深线附近。各向计算区域均约为 70Km×50Km。沿波浪传播方向的计算网格空间步长取为 10m。入射波边界的输入波谱为 Jonswap 谱，谱峰升高因子取为 3.3，方向谱沿主方向设置为 $\cos^2(\theta-\theta_0)$的分布。对影响工程水域的 7 个主要波向（SE、SSE、S、SSW、SW）、设计高水位、2 年一遇波浪进行工程水域大范围波浪传播变形计算。通过数学模型模拟了各

方位的工程附近海域波浪分布。

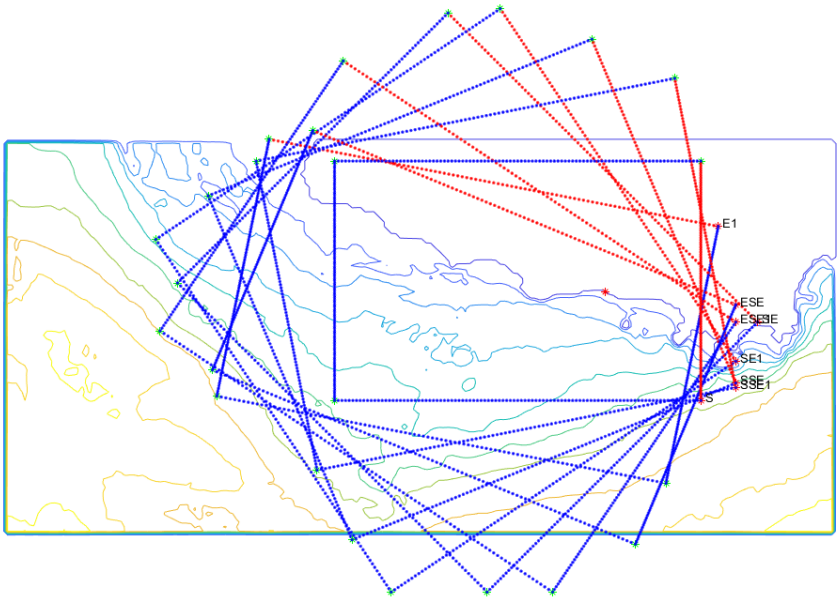


图 5.1-35 计算范围示意图

红塘湾附近水下地形等深线稀疏，地形平缓，岬角附近等深线稠密，地形坡度较陡。2016 年初开工建设的临空产业园人工岛目前已形成围堰的范围约为长轴 3km、短轴 2km 的顺岸布置椭圆形，离岸最近距离约 670m，所在区域水深约-9m~-15m；此外在当初拟建新机场人工岛东北角水深 20m 附近实施了约 900m×500m 的近矩形起步区围填工程，南护岸附近进行了钢圆筒基槽开挖和部分试桩（图 5.1-36）。钢圆筒顶高程+2m。

此次部分堤开挖到 0m 或者-1m，变成了潜堤。波浪通过离岸堤、潜堤，波浪会发生破碎和反射，使得波浪通过离岸堤、潜堤后，波高变小，可用传递波高系数表示。传递波高系数与堤顶在水位以上的高度 h_c、堤前设计波高 H、堤顶宽度等有关。本报告根据《波浪作用下抛石堤的稳定性及消浪特性》中的传递波高系数方法，通过堤顶在水位以上的高度 h_c、堤前设计波高 H、堤顶宽度、波陡计算得到。

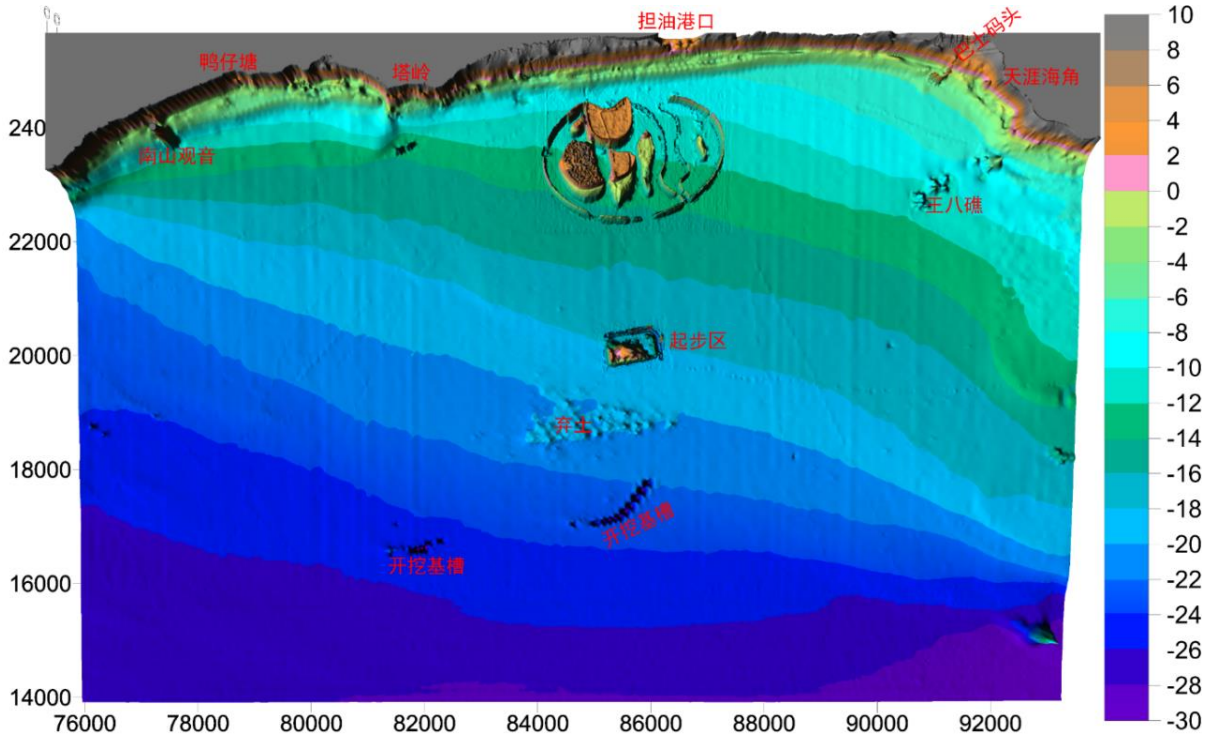


图 5.1-36 水下地形图

5.1.2.4 计算工况设置

（1）工况设置

本次计算共考虑两种工况，工况 1 为现状条件，工况 2 为拆除工程实施后，见表 5.1-11。

表 5.1-11 计算工况及说明

计算工况	方案说明
工况 1	现状地形，现有的涉海工程均保留
工况 2	拆除工程实施后

（2）控制点位置

图 5.1-37 为拦沙堤、苗圃区控制点位置示意图。B1、B2、B3 为三处拦沙堤的控制点，A1 为深水苗圃区控制点，A2 为浅水苗圃区控制点。

图 5.1-38 为沉箱和大圆筒控制点位置示意图。D1~D4 为沉箱处控制点。E1 和 E2 为大圆筒处控制点。

图 5.1-39 为人工补砂区控制点位置示意图。T1~T16 为人工补砂区控制点。

本次计算控制点波要素时仅考虑工况 2 下的波要素。

本次计算考虑对周边环境和工程影响时考虑工况 1 和工况 2 下的波高分布并进行比较。

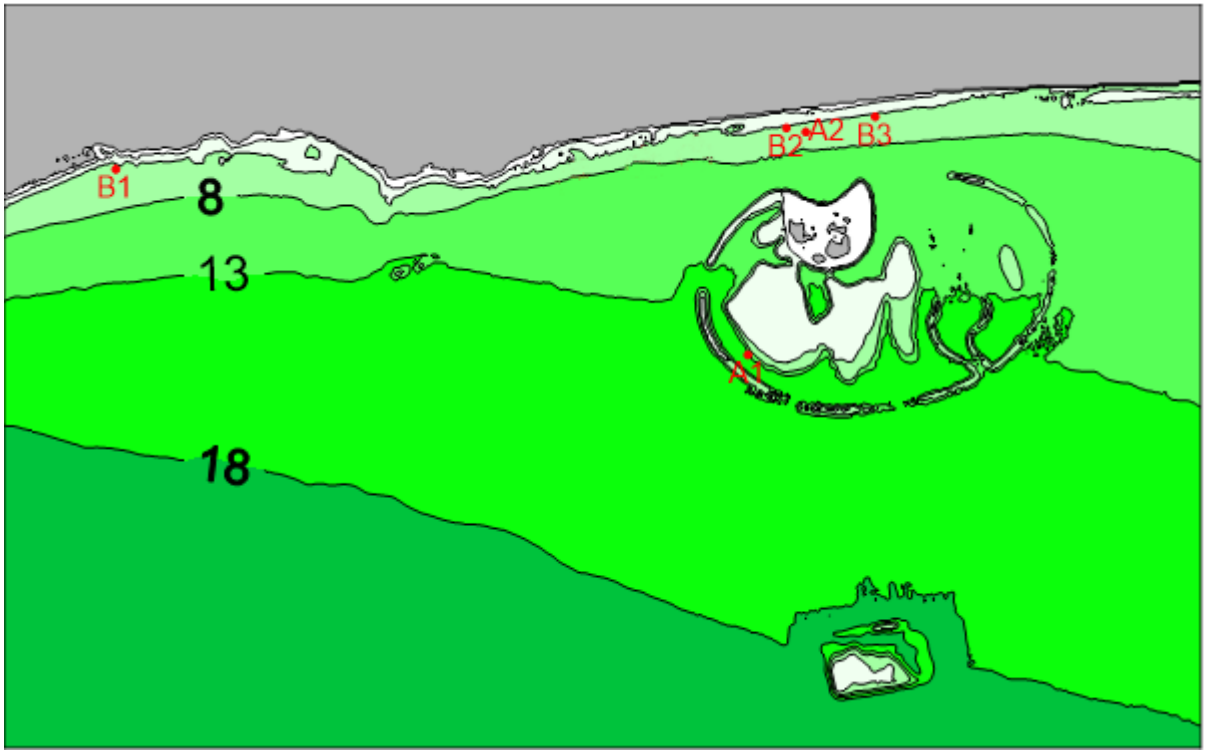


图 5.1-37 拦沙堤、苗圃区控制点位置示意图

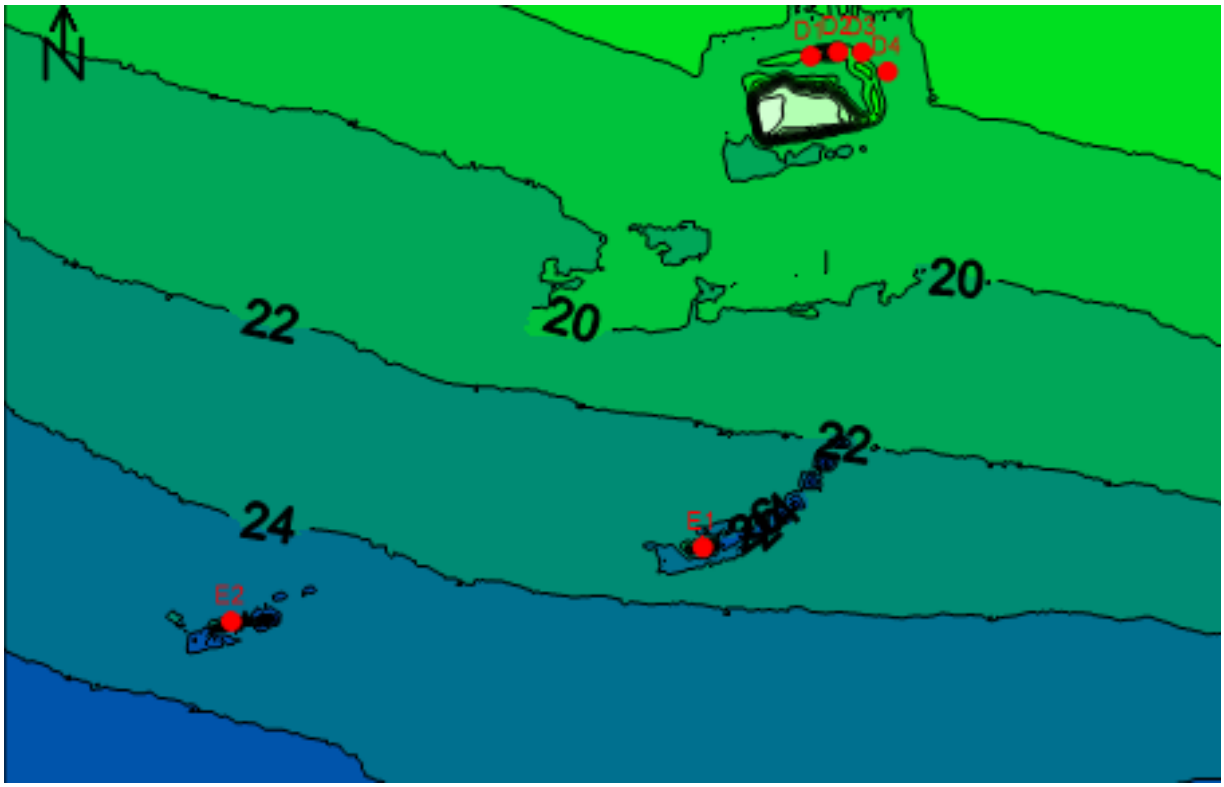


图 5.1-38 沉箱和大圆筒控制点位置示意图

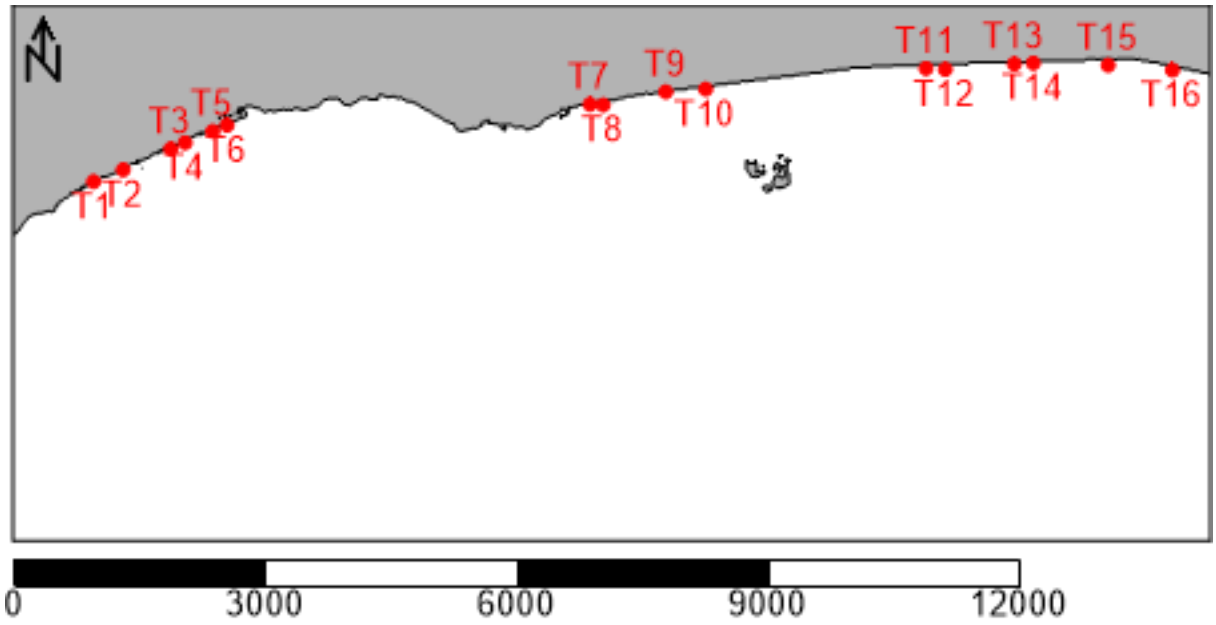


图 5.1-39 沙滩修复区控制点位置示意图

（3）周边敏感目标

为了研究拆除方案对周边敏感目标的影响，本文选取了 15 个代表点（H1~H15）研究拆除方案前后波高的变化。图 5.1-40 为海洋环境敏感目标特征点对应图，表 5.1-12 为海洋环境敏感目标特征点对应表。

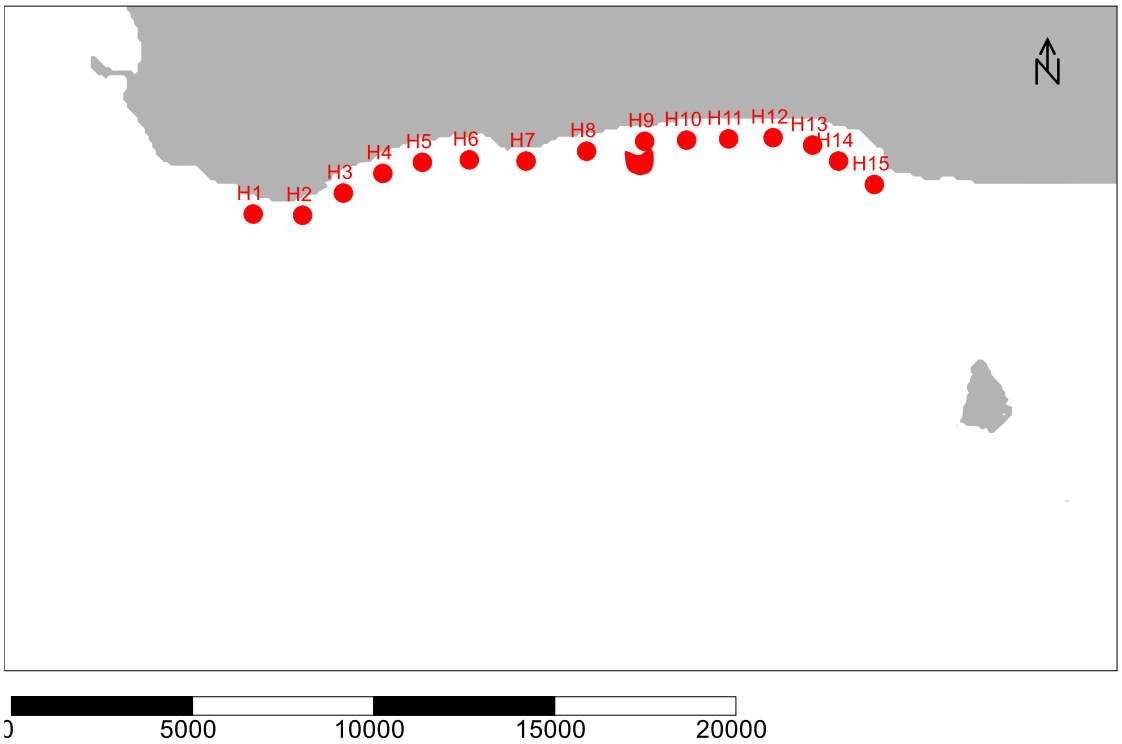


图 5.1-40 环境敏感目标控制点位示意图

表 5.1-12 海洋环境敏感目标特征点对应表

序号	敏感区名称	对应的特征点
1	沿岸珊瑚礁	H1~H11
2	天涯海角旅游休闲娱乐区	H12~H15
3	天涯石、海角石	H15
4	南山旅游休闲娱乐区	H1~H5
5	南海观音	H4

5.1.2.5 预测结果

（1）控制点波要素计算结果

图 5.1-41~图 5.1-45 是各向（SE、SSE、S、SSW、SW 向）拦沙堤处 50 年一遇波浪重现期、极端高水位组合下工况 2 的有效波高分布图。表 5.1-13~表 5.1-17 是拦沙堤处 50 年一遇和各种水位组合工况下工况 2 的控制点位置的波浪要素计算成果。

由图可见：

1）由于受临空产业园一期工程和椭圆形围堰工程的影响，临空产业园一期工程偏北侧的有效波高明显减小。

2）当波浪从 SE、SSE 向传来时，临空产业园一期工程和椭圆形围堰对临空产业园一期工程西北侧、北侧、东北侧的拦沙堤有一定的掩护作用。

3）当波浪从 S 向传来时，波浪在临空产业园一期工程西侧外海有效波高最大，有效波高超过了 7m。当波浪从 S 向传来时，在 50 年一遇重现期波浪和极端高水位条件下，临空产业园一期工程西侧的拦沙堤（B1）H1%均达到极限波高。在 50 年一遇波浪、极端高水位条件下，西侧拦沙堤（B1）处极限波高分别为 4.46m、6.64m、5.24m。

当波浪从 SSW、SW 向传来时，临空产业园一期工程和椭圆形围堰对临空产业园一期工程西北侧、北侧、东北侧的拦沙堤有一定的掩护作用。当波浪从 SW 传来时，在 50 年一遇波浪、极端高水位条件下，临空产业园北侧的拦沙堤（B2 点）H1%波高达到极限波高，极限波高为 4.72m。

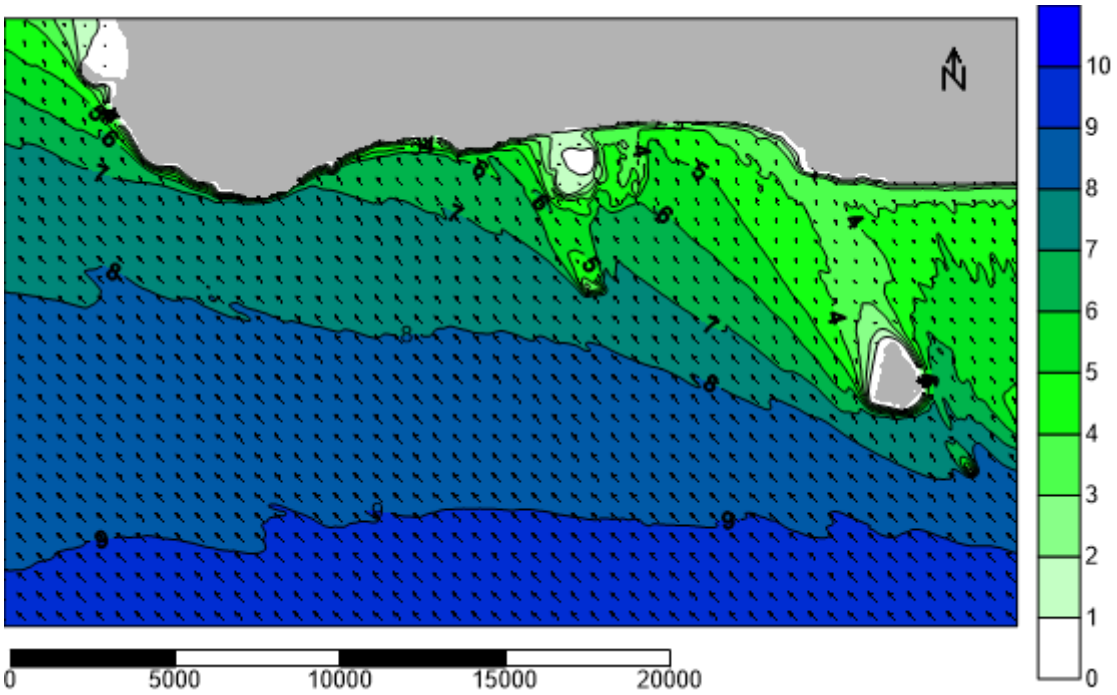


图 5.1-41 三亚拦沙堤 50 年 1 遇 SE 向波浪下有效波高（m）分布图

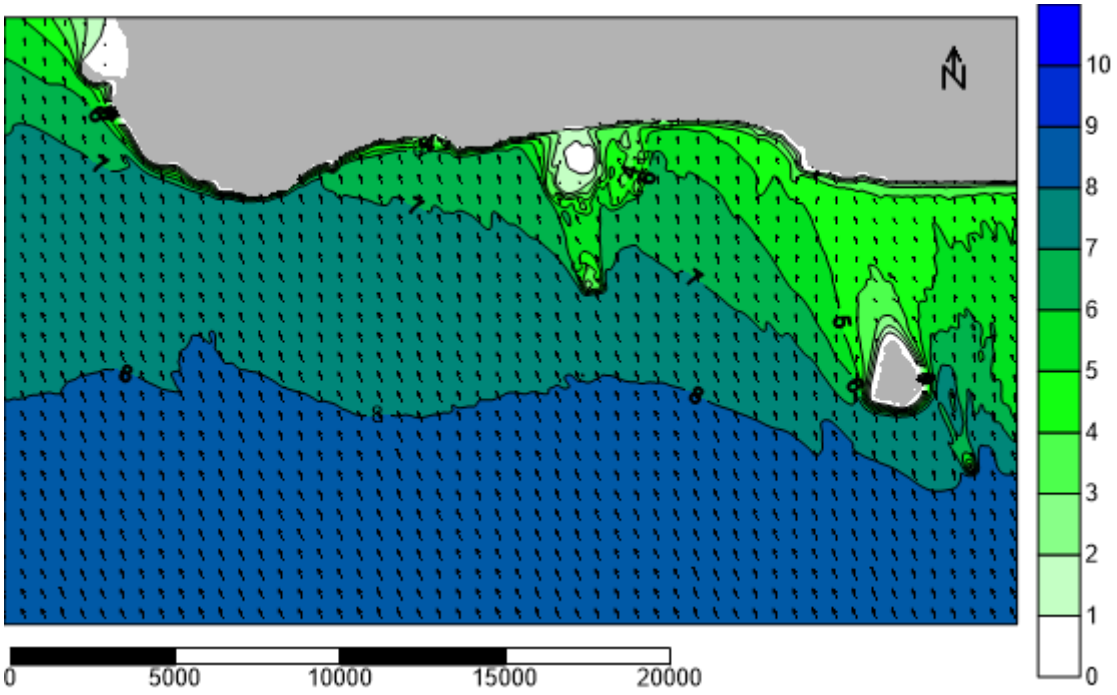


图 5.1-42 三亚拦沙堤 50 年 1 遇 SSE 向波浪下有效波高（m）分布图

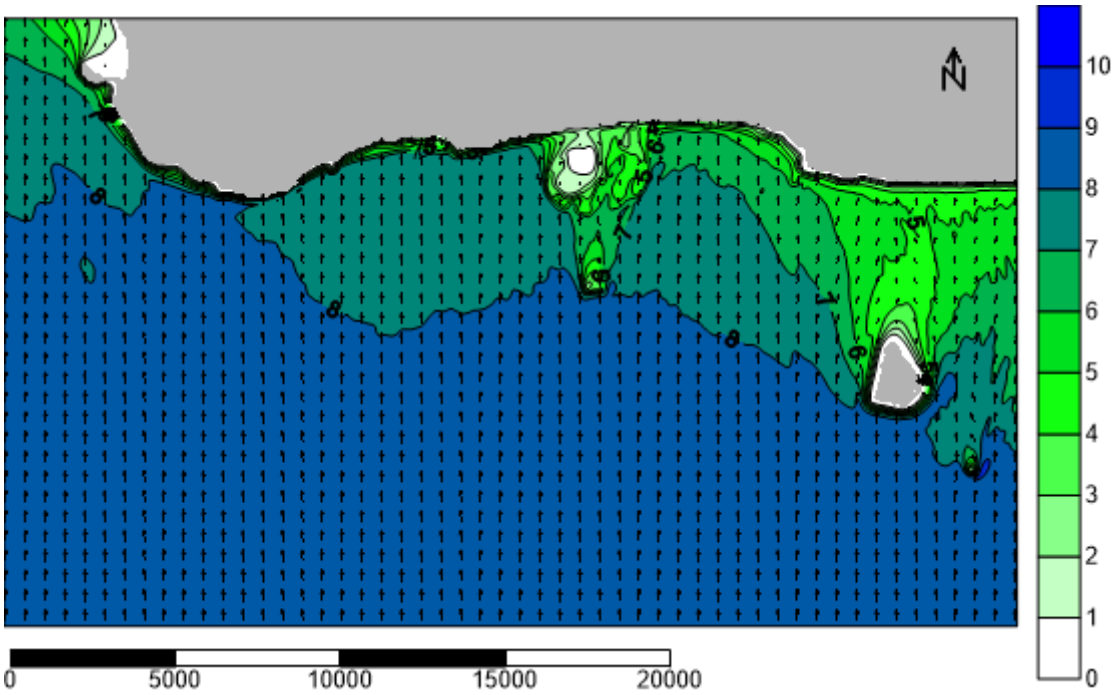


图 5.1-43 三亚拦沙堤 50 年 1 遇 S 向波浪下有效波高（m）分布图

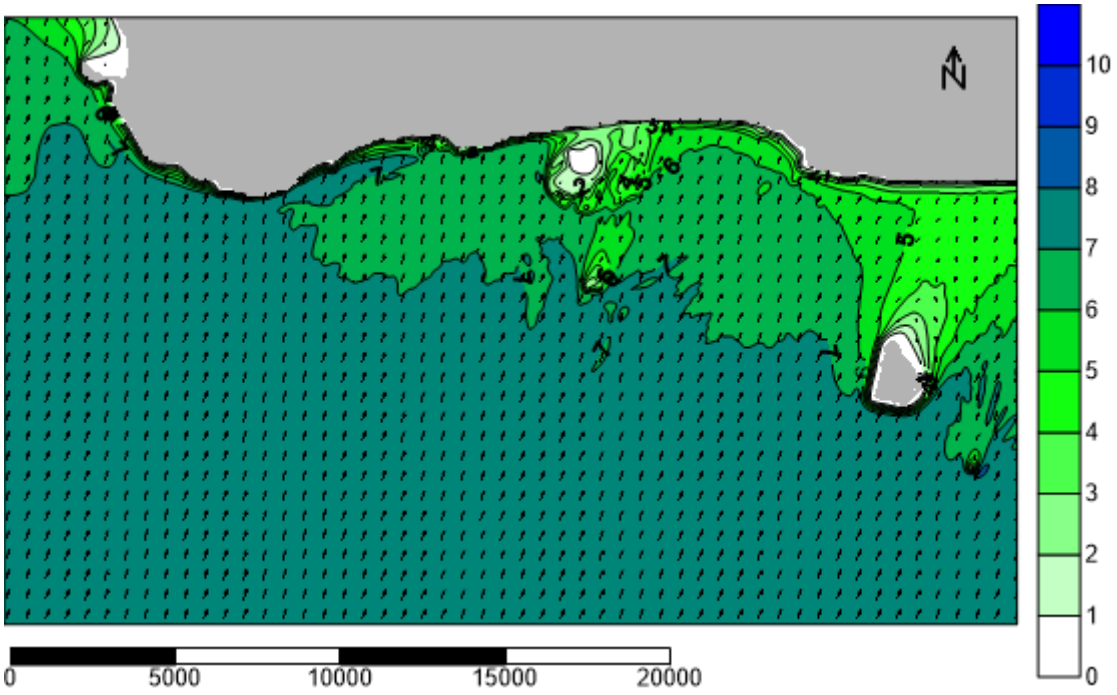


图 5.1-44 三亚拦沙堤 50 年 1 遇 SSW 向波浪下有效波高（m）分布图

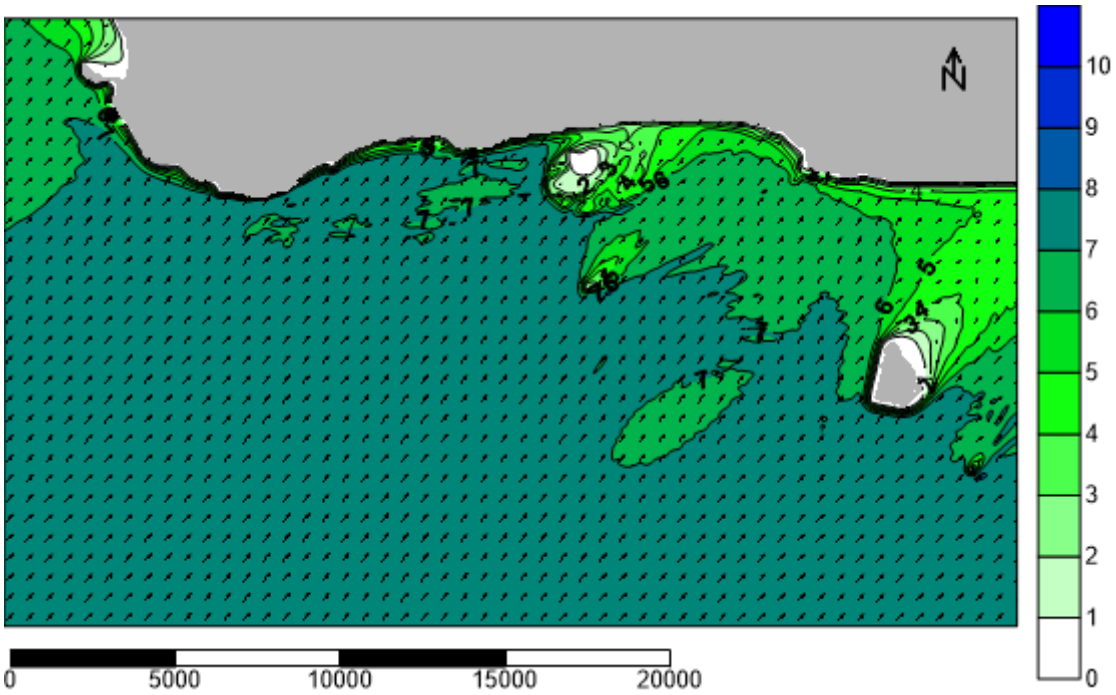


图 5.1-45 三亚拦沙堤 50 年 1 遇 SW 向波浪下有效波高（m）分布图

图 5.1-46~图 5.1-50 为各向 10 年一遇波浪重现期和极端高水位组合条件下的有效波高分布图。表 5.1-18~表 5.1-22 是深水苗圃和浅水苗圃区位置在 10 年一遇波浪重现期和极端高水位组合工况下工况 2 的波浪要素计算成果。

由图和表可知：

1）椭圆形围堰工程对深水苗圃区波浪有一定的削弱作用。对深水苗圃区影响最大的波浪是 S 方向，在 10 年一遇波浪条件、极端高水位条件下，深水苗圃区有效波高是 4.23m。

2）由于浅水苗圃区南侧有临空产业园一期工程，对 S 向波浪有明显的掩护作用。对浅水苗圃区影响最大的波浪是 SW 方向，在 10 年一遇波浪条件、极端高水位条件下，浅水苗圃区有效波高是 3.22m。

表 5.1-23~表 5.1-24 是大圆筒和沉箱处的 2 年一遇波浪重现期和设计高水位组合工况下控制点位置的波浪要素计算成果。大圆筒和沉箱处的 2 年一遇最大有效波高为 3.92m。

表 5.1-25 为沙滩修复区处 S 向 2 年一遇波浪、设计高水位下工况 2 的计算结果。对应沙滩修复区，最大波浪从 S 向传来。

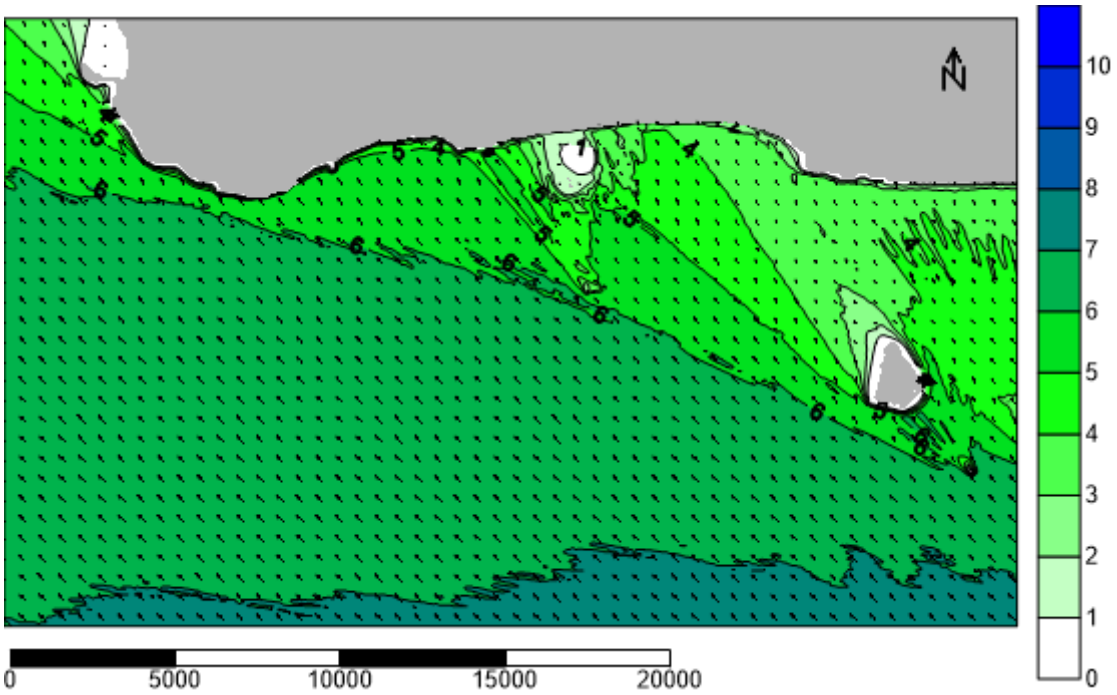


图 5.1-46 10 年 1 遇波浪、极端高水位下 SE 向波浪有效波高（m）分布图

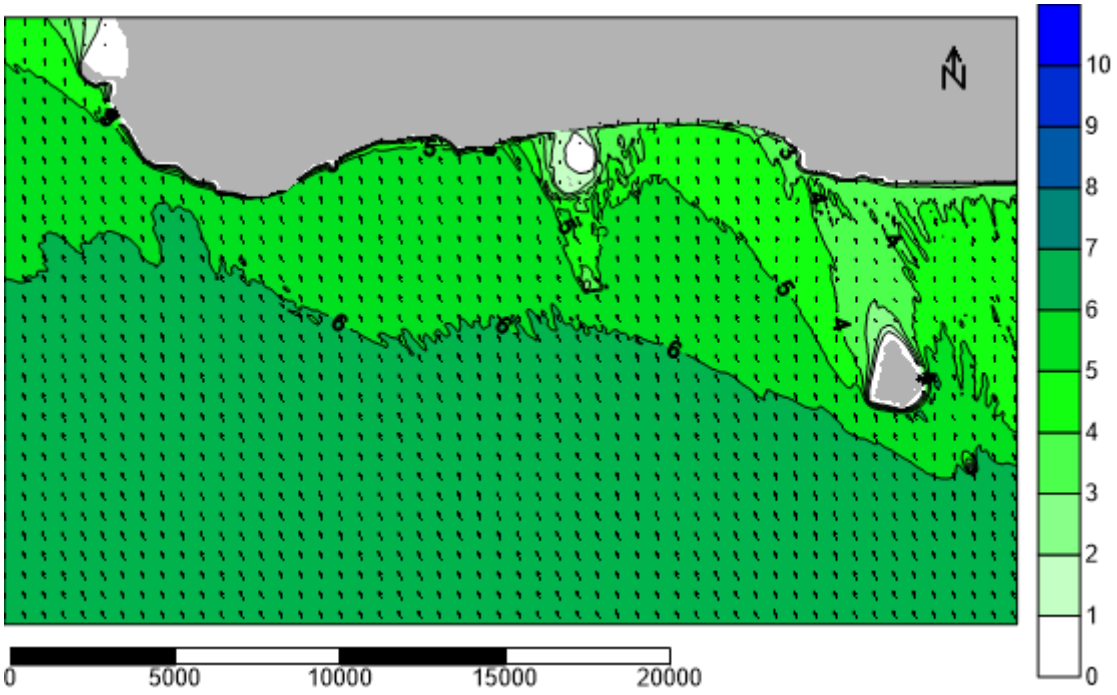


图 5.1-47 10 年 1 遇波浪、极端高水位下 SSE 向波浪有效波高（m）分布图

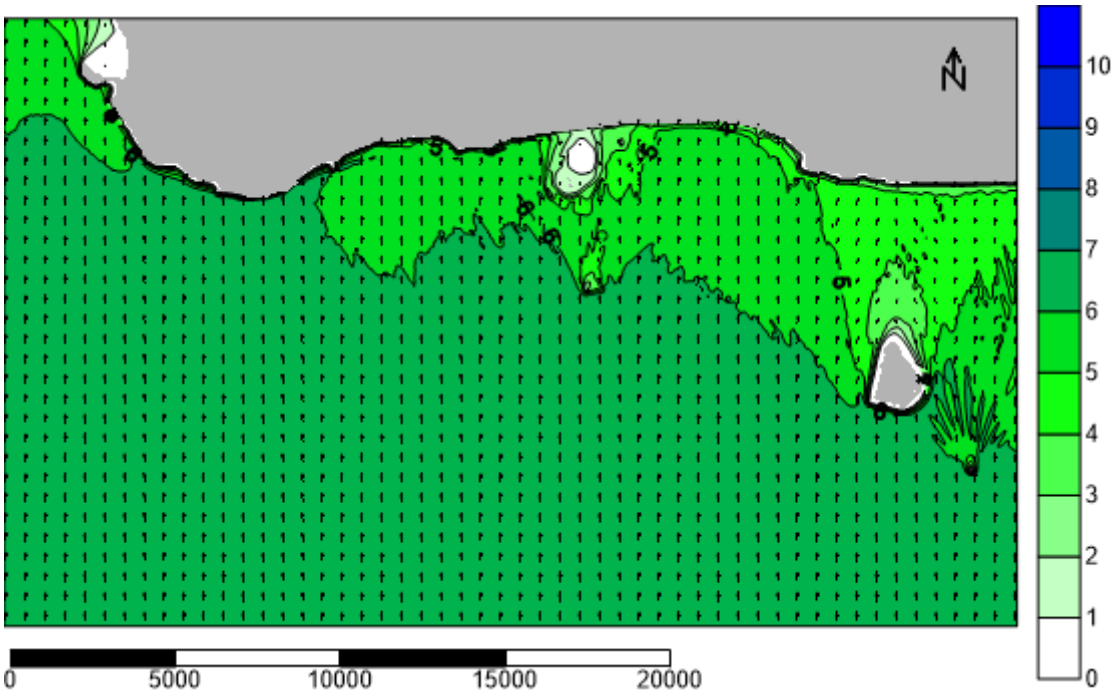


图 5.1-48 10 年 1 遇波浪、极端高水位下 S 向波浪有效波高（m）分布图

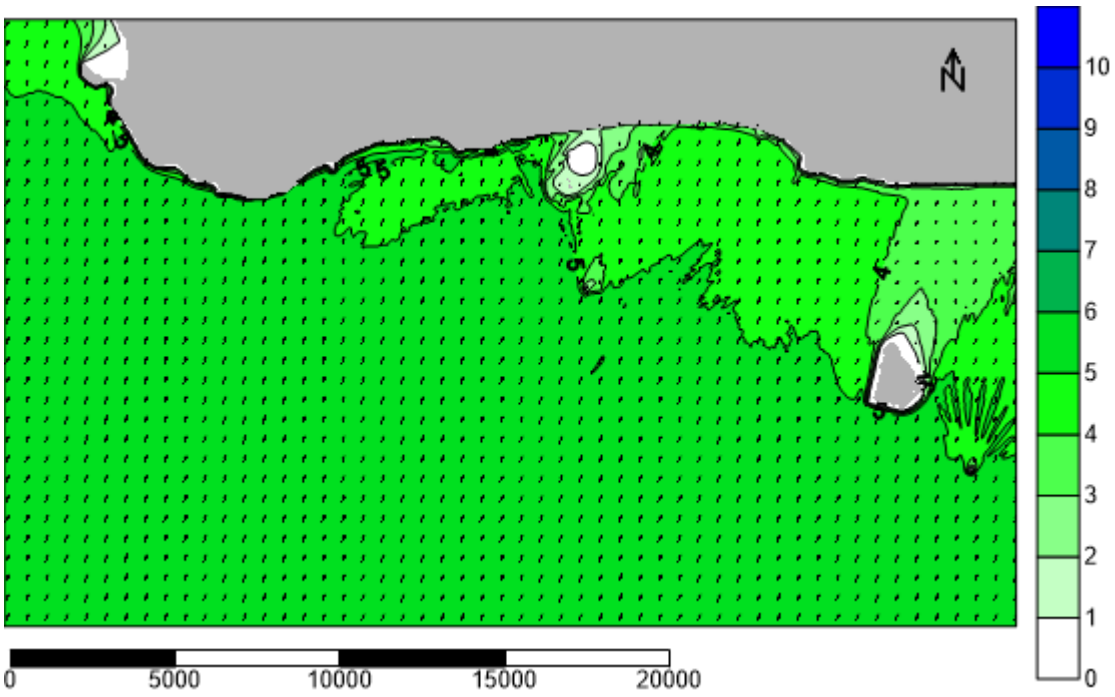


图 5.1-49 10 年 1 遇波浪、极端高水位下 SSW 向波浪有效波高（m）分布图

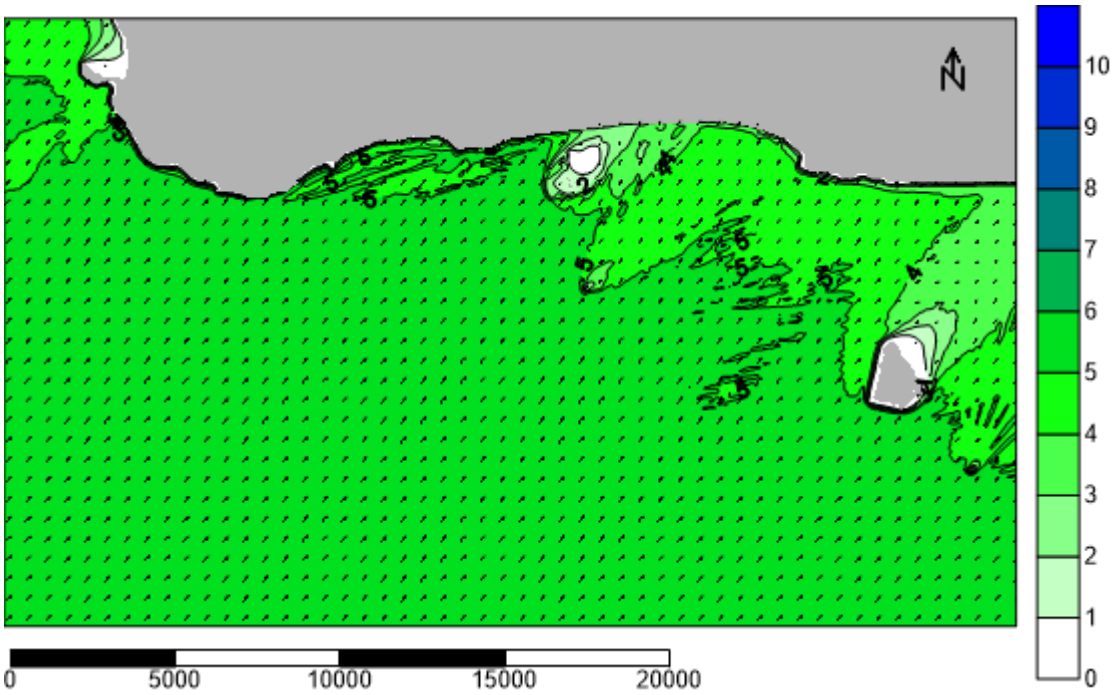


图 5.1-50 10 年 1 遇波浪、极端高水位下 SW 向波浪有效波高（m）分布图

表 5.1-13 拦沙堤 SE 向 50 年一遇波浪计算结果

位置	50 年一遇+极端高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.86	4.46*	4.46*	4.39	3.92	2.83	10.8	85.1
B2	7.26	2.29	1.97	1.91	1.62	1.05	10.8	87.3
B3	7.66	4.34	3.82	3.72	3.25	2.23	10.8	89.5
位置	50 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.04	3.93*	3.93*	3.93*	3.65	2.67	10.7	79.4
B2	6.44	2.17	1.87	1.81	1.54	1.00	10.7	81.8
B3	6.84	4.01	3.54	3.45	3.02	2.08	10.7	84.1
位置	50 年一遇+设计低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	5.19	3.37*	3.18	3.11	2.76	1.96	10.5	72.5
B2	5.59	1.74	1.50	1.45	1.23	0.80	10.5	75.1
B3	5.99	3.17	2.78	2.71	2.35	1.60	10.5	77.5
位置	50 年一遇+极端低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	3.55	2.31*	2.31*	2.31*	2.16	1.58	10.4	60.0
B2	3.95	1.56	1.35	1.31	1.12	0.74	10.4	63.1
B3	4.35	2.45	2.15	2.10	1.83	1.25	10.4	66.1

表 5.1-14 拦沙堤 SSE 向 50 年一遇波浪计算结果

位置	50年一遇+极端高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.86	4.46*	4.46*	4.46*	4.01	2.91	10.8	85.1
B2	7.26	2.35	2.02	1.95	1.66	1.08	10.8	87.3
B3	7.66	4.21	3.70	3.61	3.14	2.14	10.8	89.5
位置	50年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.04	3.93*	3.93*	3.93*	3.67	2.69	10.7	79.4
B2	6.44	2.20	1.89	1.83	1.56	1.02	10.7	81.8
B3	6.84	3.75	3.30	3.22	2.80	1.91	10.7	84.1
位置	50年一遇+设计低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	5.19	3.37*	3.17	3.10	2.75	1.96	10.5	72.5
B2	5.59	1.81	1.55	1.51	1.28	0.83	10.5	75.1
B3	5.99	2.79	2.43	2.37	2.04	1.36	10.5	77.5
位置	50年一遇+极端低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	3.55	2.31*	2.31*	2.31*	2.20	1.62	10.4	60.0
B2	3.95	1.50	1.29	1.25	1.07	0.70	10.4	63.1
B3	4.35	2.22	1.94	1.89	1.64	1.11	10.4	66.1

表 5.1-15 拦沙堤 S 向 50 年一遇波浪计算结果

位置	50年一遇+极端高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.86	4.46*	4.46*	4.46*	4.09	2.99	10.8	85.1
B2	7.26	3.59	3.14	3.05	2.64	1.78	10.8	87.3
B3	7.66	3.90	3.41	3.32	2.88	1.95	10.8	89.5
位置	50年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.04	3.93*	3.93*	3.93*	3.68	2.70	10.7	79.4
B2	6.44	3.30	2.89	2.81	2.44	1.65	10.7	81.8
B3	6.84	3.43	3.00	2.92	2.53	1.71	10.7	84.1
位置	50年一遇+设计低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	5.19	3.37*	3.37*	3.37*	3.03	2.20	10.5	72.5
B2	5.59	2.60	2.27	2.20	1.90	1.27	10.5	75.1
B3	5.99	2.57	2.23	2.17	1.86	1.23	10.5	77.5
位置	50年一遇+极端低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	3.55	2.31*	2.31*	2.31*	2.24	1.66	10.4	60.0
B2	3.95	2.09	1.83	1.78	1.55	1.05	10.4	63.1
B3	4.35	2.12	1.85	1.80	1.56	1.05	10.4	66.1

表 5.1-16 拦沙堤 SSW 向 50 年一遇波浪计算结果

位置	50 年一遇+极端高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.86	4.46*	4.46*	4.46*	4.03	2.93	10.2	80.0
B2	7.26	4.68	4.17	4.07	3.59	2.52	10.2	82.0
B3	7.66	3.56	3.10	3.02	2.60	1.74	10.2	84.0
位置	50 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.04	3.93*	3.93*	3.93*	3.66	2.68	10.1	74.6
B2	6.44	4.19*	3.77	3.69	3.26	2.30	10.1	76.9
B3	6.84	3.14	2.73	2.66	2.29	1.53	10.1	79.0
位置	50 年一遇+设计低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	5.19	3.37*	3.18	3.11	2.76	1.96	10.0	68.9
B2	5.59	3.26	2.87	2.80	2.45	1.69	10.0	71.3
B3	5.99	2.37	2.05	1.99	1.70	1.12	10.0	73.6
位置	50 年一遇+极端低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	3.55	2.31*	2.31*	2.31*	2.20	1.62	9.9	57.0
B2	3.95	2.57*	2.33	2.27	2.01	1.42	9.9	60.0
B3	4.35	1.90	1.65	1.61	1.38	0.92	9.9	62.7

表 5.1-17 拦沙堤 SW 向 50 年一遇波浪计算结果

位置	50 年一遇+极端高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.86	4.46*	4.46*	4.46*	4.02	2.92	10.2	80.0
B2	7.26	4.72*	4.72*	4.66	4.16	3.01	10.2	82.0
B3	7.66	4.21	3.70	3.61	3.14	2.14	10.2	84.0
位置	50 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	6.04	3.93*	3.93*	3.93*	3.61	2.64	10.1	74.6
B2	6.44	4.19*	4.19*	4.19*	4.03	2.98	10.1	76.9
B3	6.84	3.93	3.46	3.38	2.95	2.03	10.1	79.0
位置	50 年一遇+设计低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	5.19	3.37*	3.02	2.95	2.61	1.84	10.0	68.9
B2	5.59	3.63*	3.38	3.31	2.93	2.08	10.0	71.3
B3	5.99	2.99	2.61	2.54	2.20	1.48	10.0	73.6
位置	50 年一遇+极端低水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
B1	3.55	2.31*	2.31*	2.29	2.05	1.48	9.9	57.0

B2	3.95	2.57*	2.57*	2.57*	2.39	1.75	9.9	60.0
B3	4.35	2.23	1.95	1.90	1.65	1.12	9.9	62.7

表 5.1-18 深水苗圃区和浅水苗圃区 SE 向 10 年一遇波浪计算结果

位置	10 年一遇+极端高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
A1	17.66	5.47	4.69	4.55	3.86	2.50	8.9	99.6
A2	8.16	-	-	-	-	-	-	-

表 5.1-19 深水苗圃区和浅水苗圃区 SSE 向 10 年一遇波浪计算结果

位置	10 年一遇+极端高水位							
	Dep	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
A1	17.66	5.46	4.68	4.54	3.85	2.50	8.9	99.6
A2	8.16	-	-	-	-	-	-	-

表 5.1-20 深水苗圃区和浅水苗圃区 S 向 10 年一遇波浪计算结果

位置	10 年一遇+极端高水位							
	Dep	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
A1	17.66	5.96	5.13	4.97	4.23	2.76	8.9	99.6
A2	8.16	-	-	-	-	-	-	-

表 5.1-21 深水苗圃区和浅水苗圃区 SSW 向 10 年一遇波浪计算结果

位置	10 年一遇+极端高水位							
	Dep	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
A1	17.66	5.47	4.69	4.55	3.86	2.50	8.3	90.5
A2	8.16	3.13	2.70	2.62	2.24	1.47	8.3	68.3

表 5.1-22 深水苗圃区和浅水苗圃区 SW 向 10 年一遇波浪计算结果

位置	10 年一遇+极端高水位							
	Dep	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
A1	17.66	5.55	4.76	4.62	3.92	2.54	8.3	90.5
A2	8.16	4.34	3.80	3.71	3.22	2.19	8.3	68.3

表 5.1-23 沉箱和大圆筒 SE 向 2 年一遇波浪计算结果

位置	2 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
D1	18.30	4.76	4.06	3.93	3.32	2.13	7.9	85.2
D2	18.30	4.97	4.25	4.12	3.48	2.24	7.9	85.2
D3	20.90	5.02	4.28	4.14	3.49	2.24	7.9	88.0
D4	21.80	5.03	4.28	4.15	3.49	2.23	7.9	88.9

E1	25.30	5.56	4.73	4.58	3.85	2.46	7.9	91.5
E2	28.60	5.59	4.74	4.59	3.85	2.45	7.9	93.4

表 5.1-24 沉箱和大圆筒 SSE 向 2 年一遇波浪计算结果

位置	2 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
D1	18.30	4.85	4.14	4.01	3.39	2.18	7.9	85.2
D2	18.30	5.38	4.61	4.46	3.78	2.44	7.9	85.2
D3	20.90	5.42	4.62	4.48	3.78	2.43	7.9	88.0
D4	21.80	5.36	4.57	4.43	3.73	2.39	7.9	88.9
E1	25.30	5.62	4.78	4.63	3.89	2.49	7.9	91.5
E2	28.60	5.63	4.78	4.62	3.88	2.47	7.9	93.4

表 5.1-25 沉箱和大圆筒 S 向 2 年一遇波浪计算结果

位置	2 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
D1	18.30	4.59	3.92	3.79	3.20	2.05	7.9	85.2
D2	18.30	5.46	4.68	4.53	3.84	2.48	7.9	85.2
D3	20.90	5.51	4.71	4.56	3.85	2.48	7.9	88.0
D4	21.80	5.52	4.71	4.56	3.85	2.47	7.9	88.9
E1	25.30	5.64	4.80	4.65	3.91	2.50	7.9	91.5
E2	28.60	5.68	4.83	4.67	3.92	2.50	7.9	93.4

表 5.1-26 沙滩修复区处 S 向 2 年一遇波浪计算结果

位置	2 年一遇+设计高水位							
	Dep	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{T}$ (s)	L (m)
T1	2.51	1.63*	1.47	1.44	1.27	0.90	7.9	38.1
T2	1.64	1.07*	0.96	0.94	0.83	0.58	7.9	31.1
T3	0.93	0.60*	0.54	0.53	0.47	0.33	7.9	23.6
T4	1.41	0.92*	0.82	0.80	0.71	0.50	7.9	28.9
T5	1.75	1.14*	1.02	1.00	0.88	0.62	7.9	32.1
T6	1.57	1.02*	0.92	0.89	0.79	0.56	7.9	30.5
T7	3.80	2.47*	2.22	2.17	1.92	1.35	7.9	46.3
T8	3.31	2.15*	1.93	1.89	1.67	1.18	7.9	43.4
T9	3.27	2.13*	1.91	1.87	1.65	1.16	7.9	43.2
T10	1.60	1.04*	0.94	0.92	0.81	0.57	7.9	30.8
T11	3.66	2.38*	2.13	2.08	1.84	1.30	7.9	45.5
T12	3.42	2.22*	1.99	1.95	1.72	1.21	7.9	44.1
T13	2.99	1.94*	1.75	1.71	1.51	1.06	7.9	41.4
T14	2.62	1.70*	1.53	1.49	1.32	0.93	7.9	38.9
T15	2.60	1.69*	1.52	1.48	1.31	0.92	7.9	38.8
T16	3.01	1.96*	1.76	1.72	1.52	1.07	7.9	41.5

（2）对敏感目标的影响

图 5.1-51~图 5.1-55 为工况 1 下 SE~SW 方向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图。图 5.1-56~图 5.1-60 为工况 2 下 SE~SW 方向 2 年一遇、设计高水位下有效波高

分布图。

表 5.1-27~表 5.1-31 分别为 2 年 1 遇波浪、设计高水位条件下 SE~SW 向波浪工程前后波高和波高变化。

由图和表可见，当波浪从 SE 向传来时，拆除工程对于南山旅游休闲区和南山观音影响有限，在 2 年一遇波浪条件下，拆除工程后位于钢圆筒西北侧的南山旅游休闲区和沿岸珊瑚礁波高增大不超过原波高的 5%。在工况 2 中，由于三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工程西南部拆除至理论基面 0m，以东长约 950m 围堰拆除至理论基面-1m，临空产业园一期工程西北侧、北侧和东北侧（H7~H10）沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高均明显增加，波高增加了 0.2~0.5m。拆除工程后对于天涯海角旅游休闲区和天涯石沿线波高几乎没有影响。

当波浪从 SSE 向传来时，拆除工程对于南山旅游休闲区和南山观音影响有限，在 2 年一遇波浪条件下，拆除工程后位于南山旅游休闲区和沿岸珊瑚礁波高增大不超过原波高的 3%。在工况 2 中，由于三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工程西南部拆除至理论基面 0m，以东长约 950m 围堰拆除至理论基面-1m， 临空产业园一期工程西北侧、北侧和东北侧（H7~H10）沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高均明显增加，波高增加了 0.15~0.5m。拆除工程后对于天涯海角旅游休闲区和天涯石沿线波高几乎没有影响。

当波浪从 S 向传来时，拆除工程对于南山旅游休闲区和南山观音几乎没有影响，在 2 年一遇波浪条件下，拆除工程后位于南山旅游休闲区和沿岸珊瑚礁波高增大不超过原波高的 1%。在工况 2 中，由于三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工程西南部拆除至理论基面 0m，以东长约 950m 围堰拆除至理论基面-1m， 临空产业园一期工程西北侧、北侧和东北侧（H8~H10）沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高均明显增加，波高增加了 0.2~0.5m。拆除工程后对于天涯海角旅游休闲区和天涯石沿线波高影响小于 1%。

当波浪从 SSW 向传来时，拆除工程对于南山旅游休闲区和南山观音没有影响。在工况 2 中，由于三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工程西南部拆除至理论基面 0m，以东长约 950m 围堰拆除至理论基面-1m，临空产业园一期工程北侧和东北侧（H9~H10）沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高均明显增加，波高增加了 0.40~0.51m。拆除工程后对于天涯海角旅游休闲区和天涯石沿线波高影响有限，波高影响小于 3%。

当波浪从 SW 向传来时，拆除工程对于南山旅游休闲区和南山观音没有影响。在

工况 2 中，由于三亚新机场临空国际旅游商贸区填海工程二期工程西南部拆除至理论基面 0m，以东长约 950m 围堰拆除至理论基面-1m，临空产业园一期工程北侧和东北侧（H9~H11）沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高均明显增加，波高增加了 0.25~0.60m。拆除工程后对于天涯海角旅游休闲区和天涯石附近波高影响一定影响，2 年一遇波高增大约 5%。

在 2 年一遇波浪、设计高水位条件下，外海偏 SE 向、偏 SSE 向、偏 S 向、偏 SW 向波浪时环境敏感目标的波浪变化见表 5.1-32。

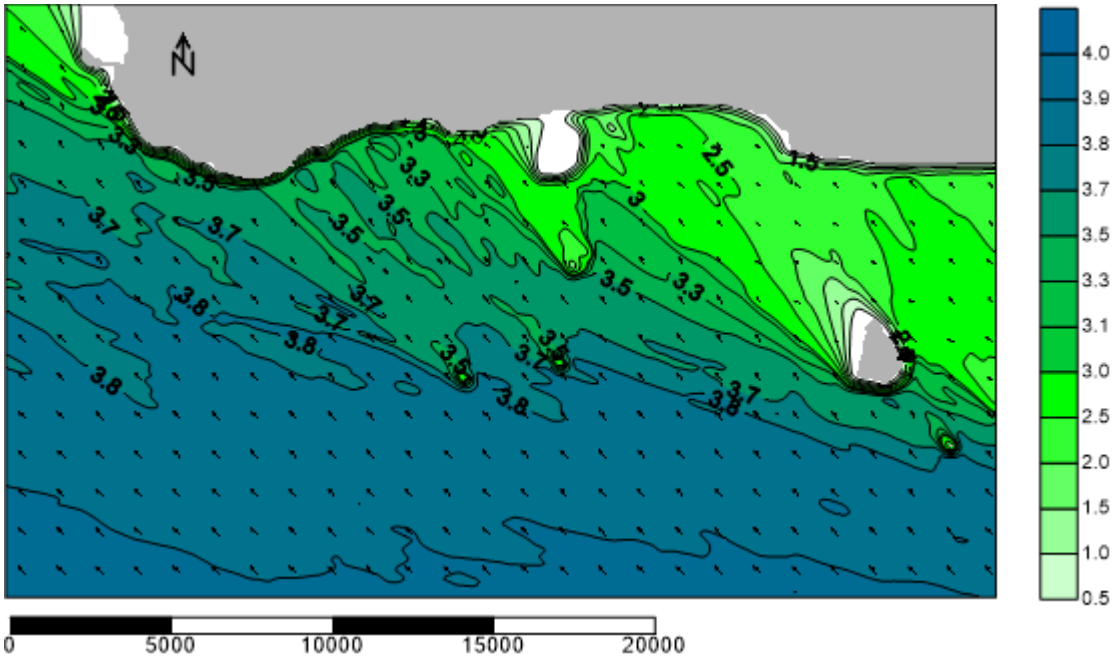


图 5.1-51 SE 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 1）

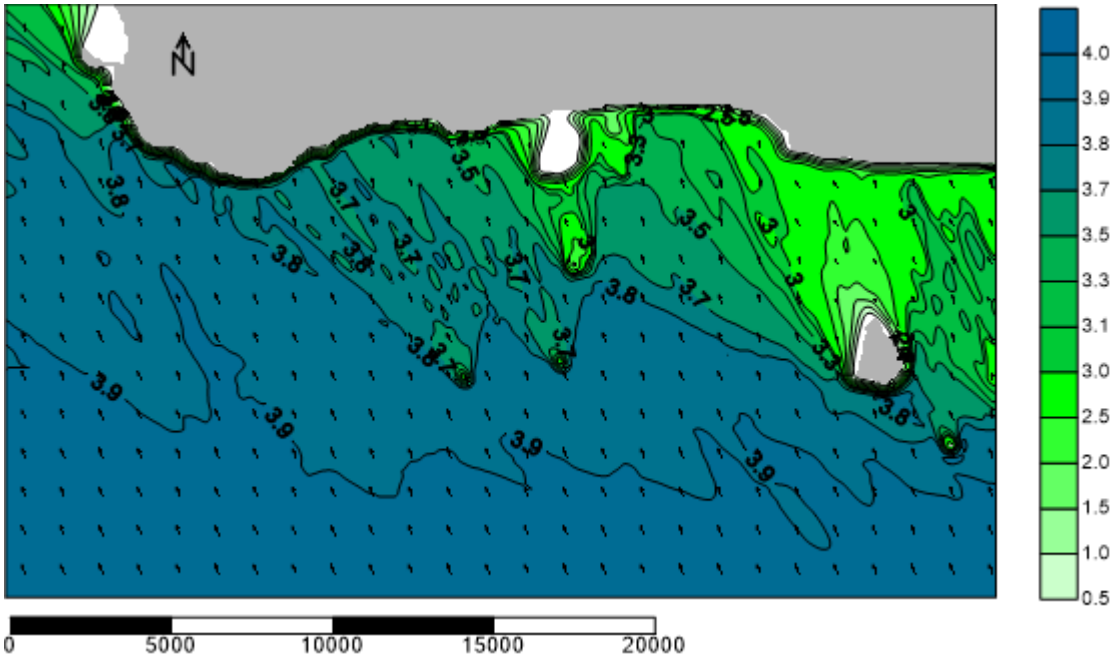


图 5.1-52 SSE 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 1）

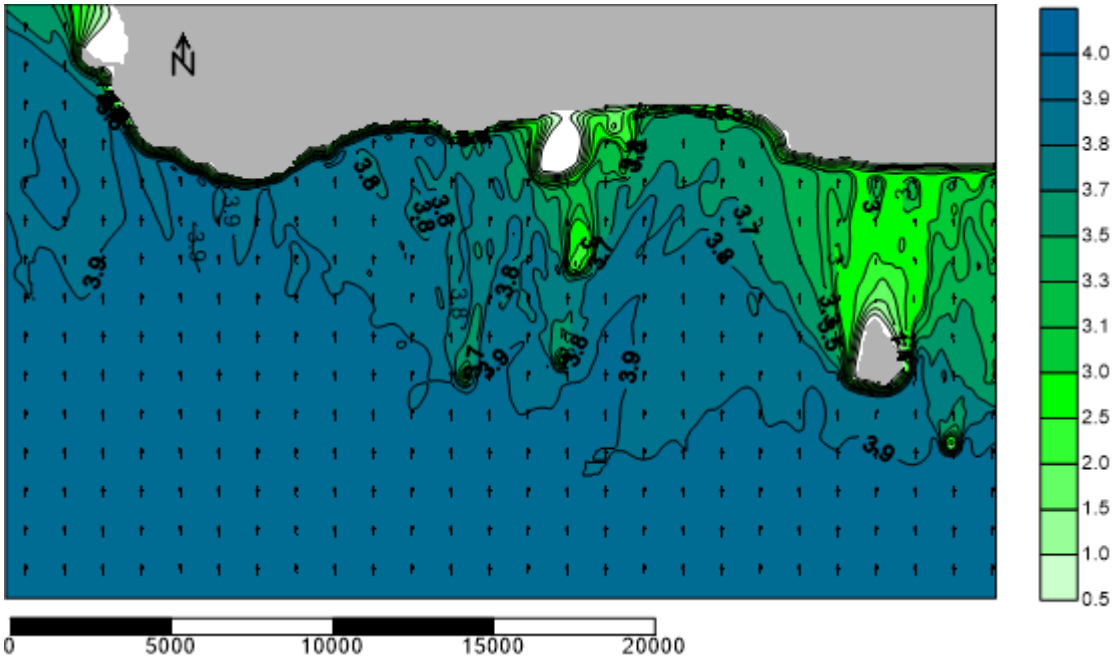


图 5.1-53 S 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 1）

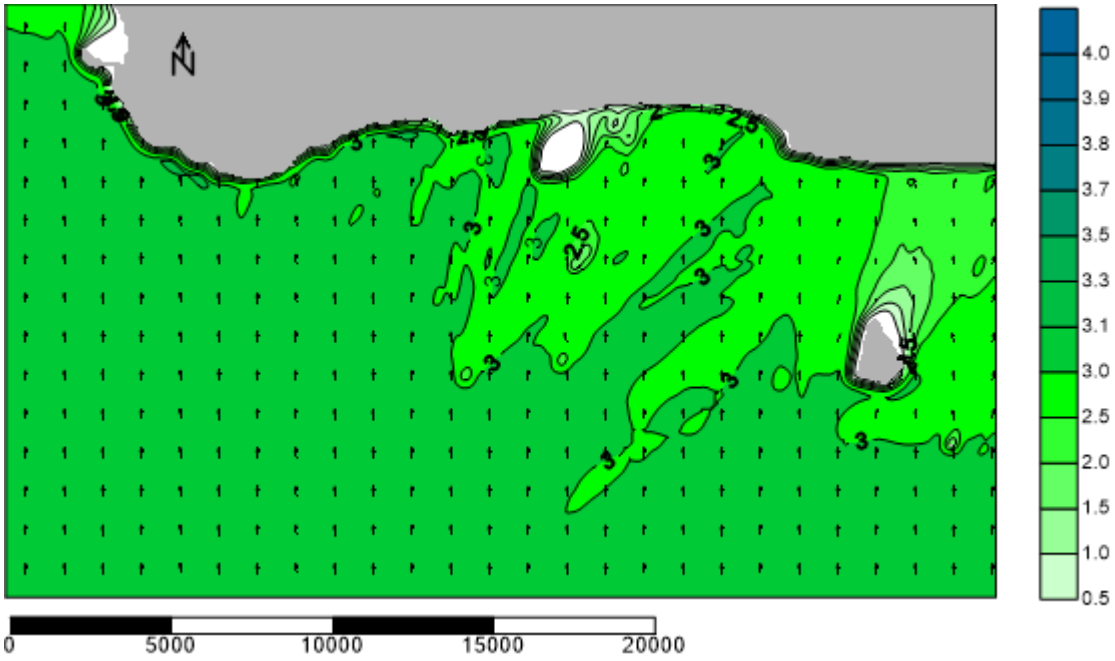


图 5.1-54 SSW 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 1）

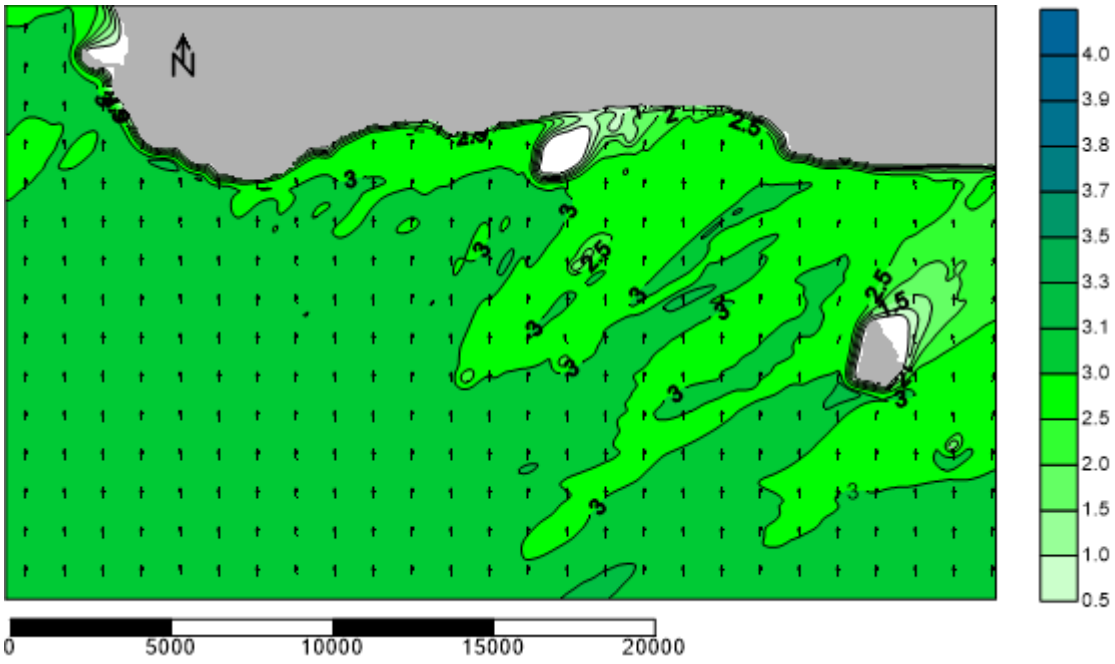


图 5.1-55 SW 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 1）

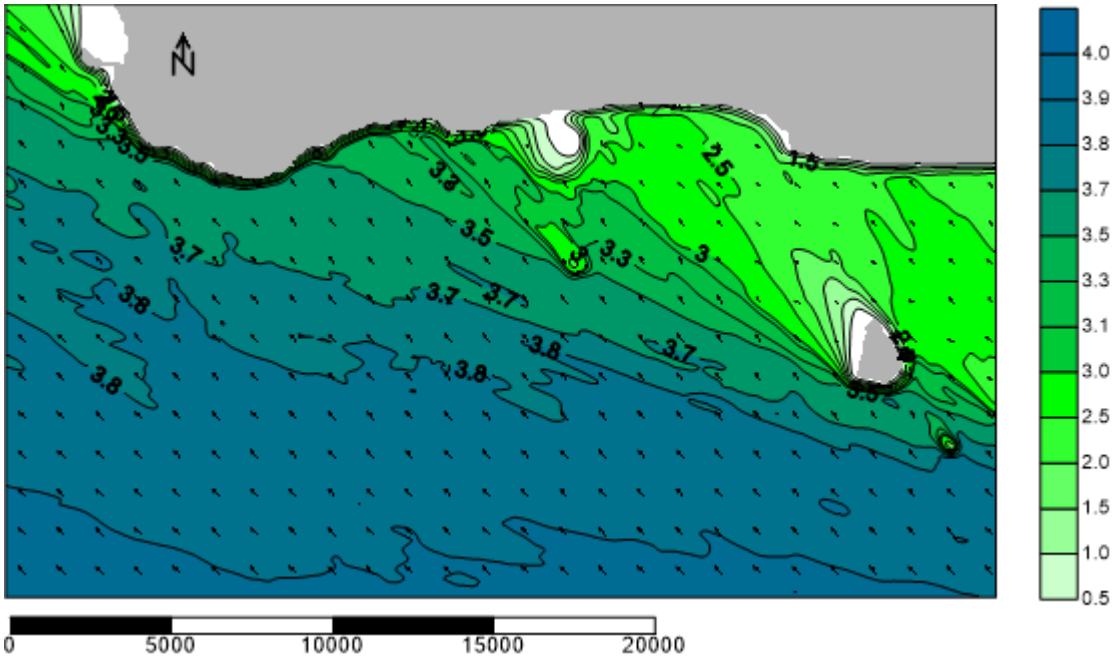


图 5.1-56 SE 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 2）

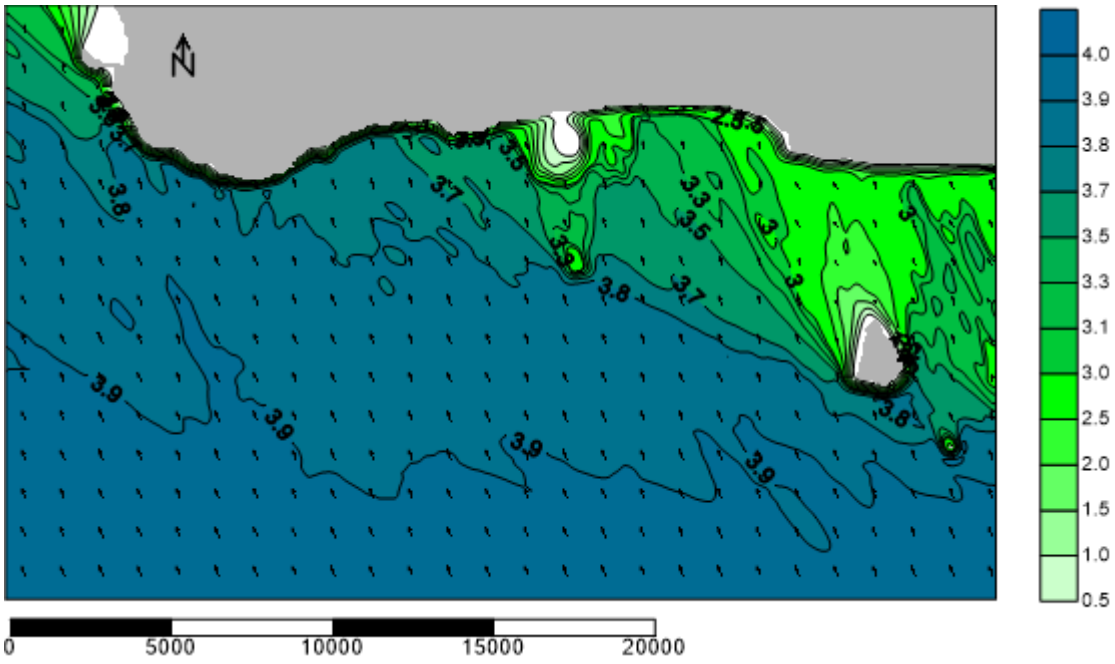


图 5.1-57 SSE 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 2）

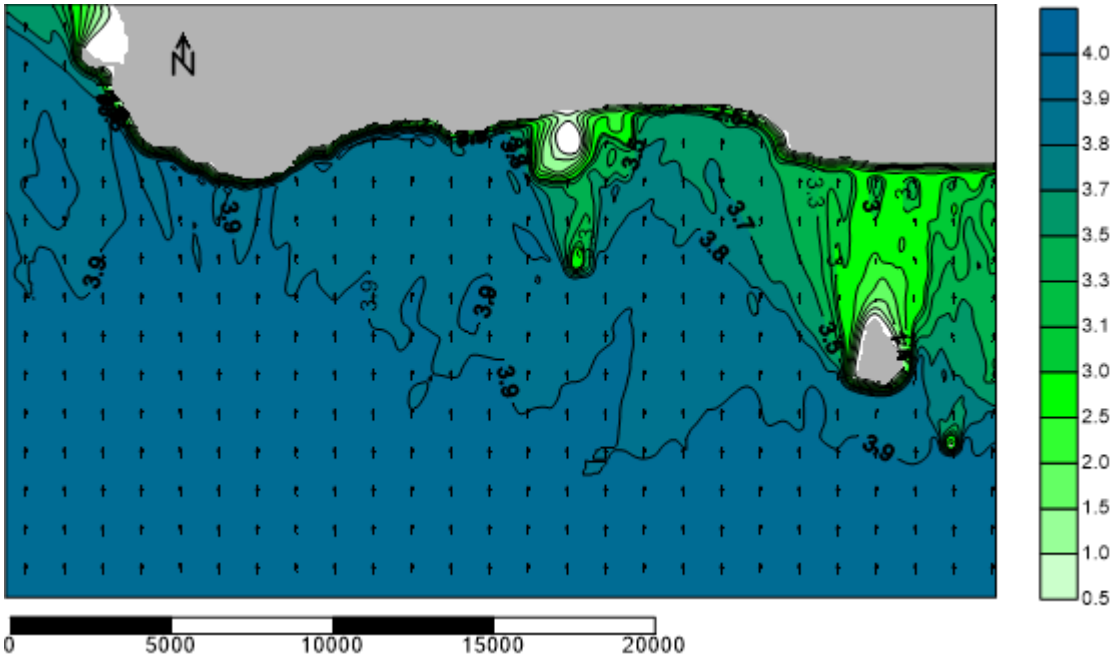


图 5.1-58 S 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 2）

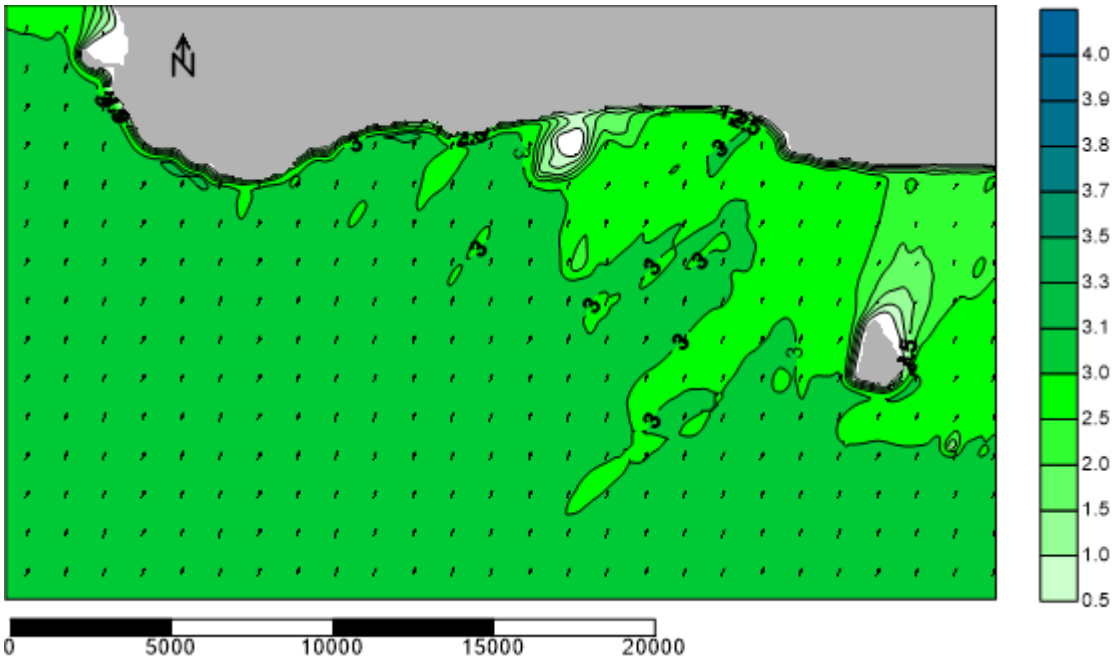


图 5.1-59 SSW 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 2）

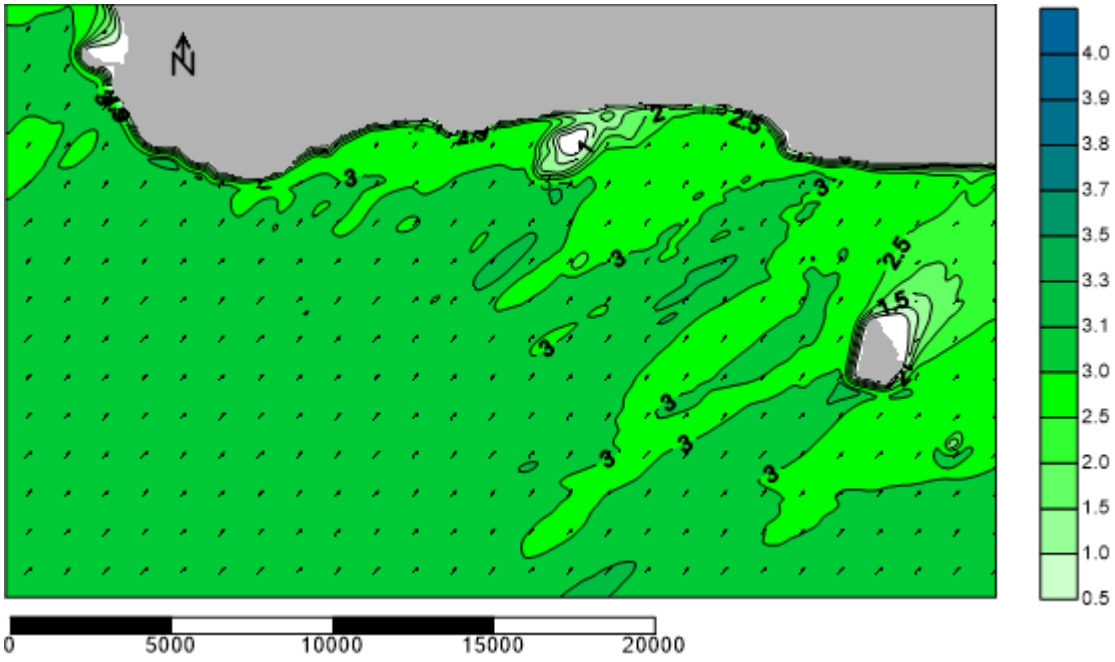


图 5.1-60 SW 向 2 年一遇、设计高水位下有效波高分布图（工况 2）

表 5.1-27 2 年 1 遇波浪、设计高水位条件下 SE 向波浪工程前后波高变化

工程点	$H_{13\%}$ (m) 工况 1	$H_{13\%}$ (m) 工况 2	波高变化(m)
H1	3.50	3.62	0.12
H2	3.48	3.60	0.12
H3	3.60	3.68	0.08
H4	3.43	3.51	0.08
H5	3.33	3.44	0.11
H6	3.18	3.26	0.08

H7	2.98	3.22	0.24
H8	1.40	1.82	0.42
H9	0.87	1.08	0.21
H10	1.10	1.53	0.43
H11	2.66	2.66	0
H12	2.75	2.75	0
H13	2.33	2.33	0
H14	2.32	2.32	0
H15	2.03	2.03	0

表 5.1-28 2 年 1 遇波浪、设计高水位条件下 SSE 向波浪工程前后波高变化

工程点	$H_{13\%}$ (m) 工况 1	$H_{13\%}$ (m) 工况 2	波高变化(m)
H1	3.79	3.81	0.02
H2	3.73	3.81	0.08
H3	3.75	3.81	0.06
H4	3.72	3.77	0.05
H5	3.65	3.73	0.08
H6	3.60	3.67	0.07
H7	3.50	3.67	0.17
H8	2.42	2.84	0.42
H9	0.63	0.81	0.18
H10	1.73	2.18	0.45
H11	3.31	3.35	0.04
H12	3.34	3.34	0
H13	2.98	2.98	0
H14	3.06	3.06	0
H15	2.74	2.74	0

表 5.1-29 2 年 1 遇波浪、设计高水位条件下 S 向波浪工程前后波高变化

工程点	$H_{13\%}$ (m) 工况 1	$H_{13\%}$ (m) 工况 2	波高变化(m)
H1	3.92	3.92	0
H2	3.92	3.93	0.01
H3	3.86	3.87	0.01
H4	3.90	3.91	0.01
H5	3.83	3.85	0.02
H6	3.85	3.88	0.03
H7	3.72	3.85	0.13
H8	3.35	3.60	0.25
H9	0.43	0.71	0.28
H10	1.71	2.21	0.50
H11	3.58	3.67	0.09
H12	3.66	3.68	0.02
H13	3.52	3.54	0.02
H14	3.59	3.59	0
H15	3.43	3.43	0

表 5.1-30 2 年 1 遇波浪、设计高水位条件下 SSW 向波浪工程前后波高变化

工程点	$H_{13\%}$ (m) 工况 1	$H_{13\%}$ (m) 工况 2	波高变化(m)
H1	3.05	3.05	0
H2	3.04	3.04	0

H3	3.01	3.01	0
H4	3.05	3.05	0
H5	3.03	3.04	0.01
H6	3.05	3.06	0.01
H7	2.98	3.01	0.03
H8	2.94	2.99	0.05
H9	0.45	0.93	0.48
H10	1.21	1.72	0.51
H11	2.55	2.71	0.16
H12	2.84	2.91	0.07
H13	2.86	2.92	0.06
H14	2.92	2.96	0.04
H15	2.90	2.91	0.01

表 5.1-31 2 年 1 遇波浪、设计高水位条件下 SW 向波浪工程前后波高变化

工程点	$H_{13\%}$ (m) 工况 1	$H_{13\%}$ (m) 工况 2	波高变化(m)
H1	3.04	3.04	0
H2	2.98	2.98	0
H3	2.92	2.92	0
H4	2.88	2.88	0
H5	2.92	2.92	0
H6	2.95	2.95	0
H7	2.93	2.94	0.01
H8	2.97	2.98	0.01
H9	0.96	1.44	0.48
H10	0.82	1.42	0.60
H11	2.00	2.26	0.26
H12	2.55	2.72	0.17
H13	2.66	2.81	0.15
H14	2.79	2.92	0.13
H15	2.92	2.94	0.02

表 5.1-32 敏感目标波高变化

序号	周边开发活动名称	偏 SE 向浪,对应的特征点波高变化	偏 SSE 向浪,对应的特征点波高变化	偏 S 向浪,对应的特征点波高变化	偏 SW 向浪,对应的特征点波高变化
1	南山旅游区附近沿岸珊瑚礁	增加<5%	增加<3%	增加<1%	增加<1%
2	临空产业园一期附近沿岸珊瑚礁	增加 0~0.5m	增加 0~0.5m	增加 0~0.5m	增加 0~0.6m
3	天涯海角旅游休闲娱乐区	<1%	增加<1%	增加<3%	增加 5%
4	天涯石、海角石	增加<1%	增加<1%	增加<3%	增加 5%
5	南山旅游休闲娱乐区	增加<5%	增加<3%	增加<1%	增加<1%
6	南海观音	增加<5%	增加<3%	增加<1%	增加<1%

5.1.2.6 小结

1、本工程海域的波浪主要为 SE~SW 向外海来浪。本文首先计算了外海-40m 水

深处的外海波要素。然后根据深水波要素，采用综合考虑波浪折射、绕射和底摩擦影响的高阶非线性抛物形数学模型，推算 SE~SW 向外海波浪向工程区的传播变形，得出各控制点的波要素。

2、根据 2015-2016 年 1 年波浪观测，红塘湾浮标全年常浪向为 SSE，出现率为 43.01%；全年次常浪向为 S，出现率为 29.21%。

3、根据 SWAN 模型的计算结果，100 年一遇 ESE~SE、SSE~S、SSW~SW、WSW~W 方向-40m 水深处的有效波高分别为 10.65m、9.61m、8.34m、8.26m。

4、当波浪从 S 向传来时，在 50 年一遇重现期波浪和极端高水位条件下，临空产业园一期工程西北侧的拦沙堤（B1）H1%均达到极限波高。在 50 年一遇波浪、极端高水位条件下，西北侧拦沙堤（B1）处极限波高分别为 4.46m、6.64m、5.24m。

5、当波浪从 SW 传来时，在 50 年一遇波浪、极端高水位条件下，临空产业园一期北侧的拦沙堤（B2 点）H1%波高达到极限波高，极限波高为 4.72m。

6、椭圆形围堰工程对深水苗圃区波浪有一定的削弱作用。对深水苗圃区影响最大的波浪是 S 方向，在 10 年一遇波浪条件、极端高水位条件下，深水苗圃区最大有效波高是 4.23m。

7、由于浅水苗圃区南侧有临空产业园一期工程，对 S 向波浪有明显的掩护作用。影响最大的波浪是 SW 方向，在 10 年一遇波浪条件、极端高水位条件下，浅水苗圃区最大有效波高是 3.22m。

8、大圆筒和沉箱处的 2 年一遇最大有效波高为 3.92m。

9、当波浪从 SE 向传来时，在 2 年一遇波浪条件下，拆除工程后南山旅游休闲区和沿岸珊瑚礁波高增大不超过原波高的 5%。拆除工程后临空产业园一期工程附近 5km 沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高增加了 0~0.5m。

10、当波浪从 S 向传来时，在 2 年一遇波浪条件下，拆除工程后南山旅游休闲区和沿岸珊瑚礁波高增大不超过原波高的 1%。拆除工程后临空产业园一期工程附近 5km 沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高增加了 0~0.5m。

11、当波浪从 SW 向传来时，拆除工程后对于天涯海角旅游休闲区和天涯石附近波高影响一定影响，2 年一遇波高增大约 5%。拆除工程后临空产业园一期工程附近 5km 沿岸珊瑚礁 2 年一遇波高增加了 0~0.6m。

5.2 地形地貌与冲於环境影响影响分析

5.2.1 现状条件下海床冲淤变化

2017 年初，临空产业园人工岛（莲花岛）开始吹填，至 2017 年 7 月全面停工时，共形成抛石围堰 6.1km 左右，约 90.5 公顷区域已吹填出水（含出水围堰）。加上 2016 年完成的一期工程，共形成出水区域面积约 133.0 公顷；机场起步区形成出水区域约 13.5 公顷（图 5.2-1）。



图 5.2-1a 2017 年 8 月莲花岛围填海停工后红塘湾卫星影像

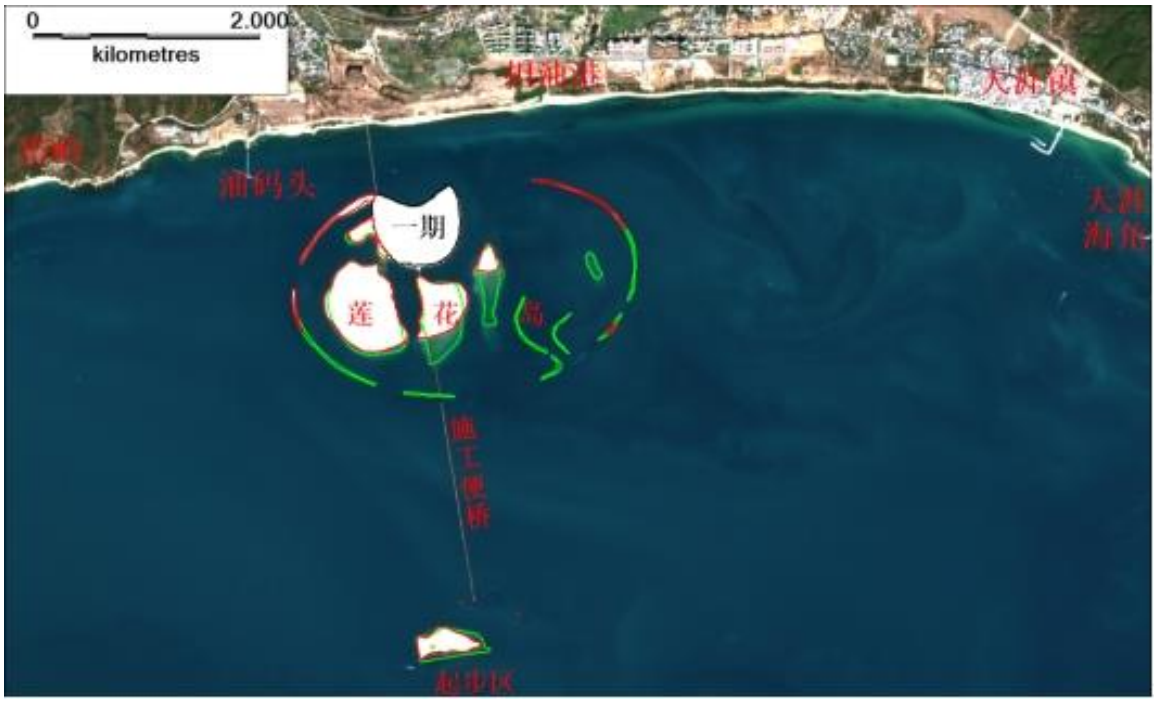


图 5.2-1b 2019 年 2 月红塘湾海域卫星影像

为准确掌握红塘湾围填海实施后地形变化，收集了围填工程实施前 2015 年该海域实测的水下地形图（图 5.2-2），停工后于 2019 年 7 月实测的水下地形图（图 5.2-3），代表围填海工程全面停工后的地形状况。

根据停工后的实测地形，红塘湾围填海主要是获得批复并于 2016 年实施的临空产业园一期人工岛、2016-2017 年实施的临空产业园违规围填海部分及新机场人工岛起步区三个部分。

其中临空产业园一期人工岛已达到设计高程，围堰完整。临空产业园其余违规围填海部分有抛石围堰及其内部抛填的沙堆，新机场人工岛起步区主要是抛石堤和沉箱形成的围堰及内部的填沙区。2022 年 3 月已实施围填区进行了地形测量，评估吹填区泥沙流失状况。

工程实施前后的地形、断面对比显示，工程 2016 年初开工前（2015 年 12 月测）至 2019 年 7 月，工程区海域的水下地形变化仅表现在工程直接引起的地形改变，地形改变主要是抛石堤和吹填砂直接引起，即抛填和开挖部位分别表现为地形的增高和降低，在工程周边，海床地形几乎没有任何变化（图 5.2-4）。目前已实施的人工岛的规模和所在水深区域均较大，实测资料显示工程实施后未引起海床地形的冲淤调整。因此，根据工程前后地形数据对比，能够较为准确的测算出抛填砂量。

与代表 2017 年全面停工后的 2019 年地形相比，近期主要变化是在临空产业园一

期人工岛上堆放了部分凤凰岛二期拆除的泥沙，以及部分建筑废料，其余海域基本没有人工工程影响。地形变化也主要在围堰没有完全形成的堆沙区，表现为沙堆上部的冲刷和根部附近的淤积，在各区域外围均未形成明显的淤积。

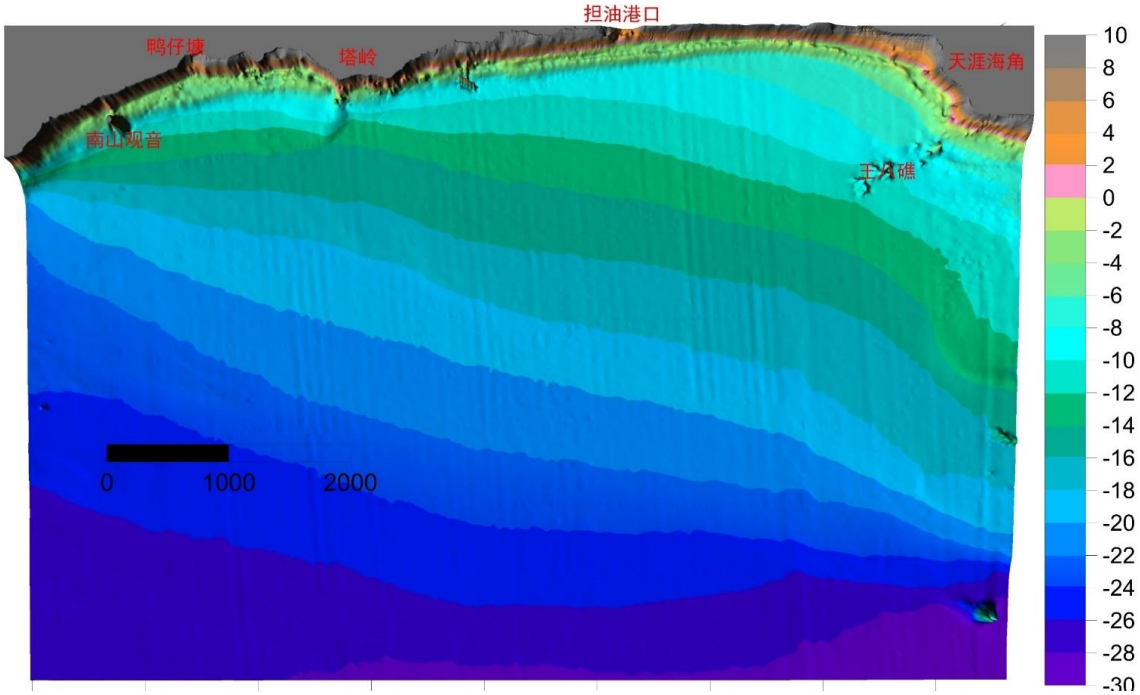


图 5.2-2 红塘湾海域围填前水下地形（2015 年 12 月测）

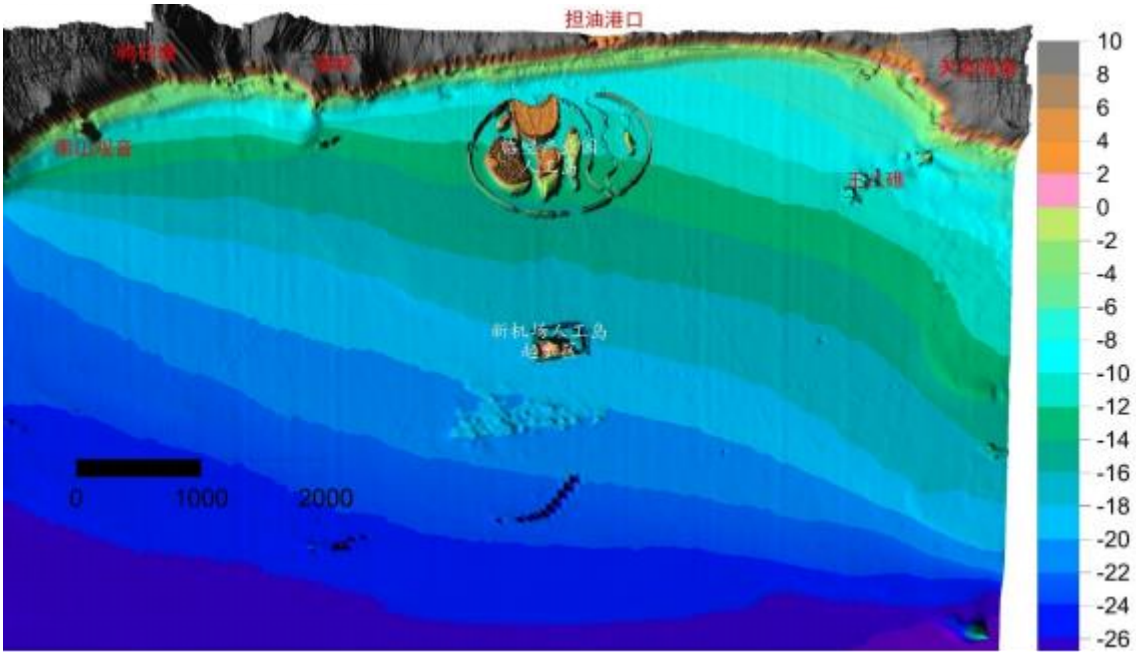


图 5.2-3 红塘湾海域围填工程停工 2 年后水下地形（2019 年 7 月测）

（2015.12~2019.7），+表示淤积，-表示冲刷

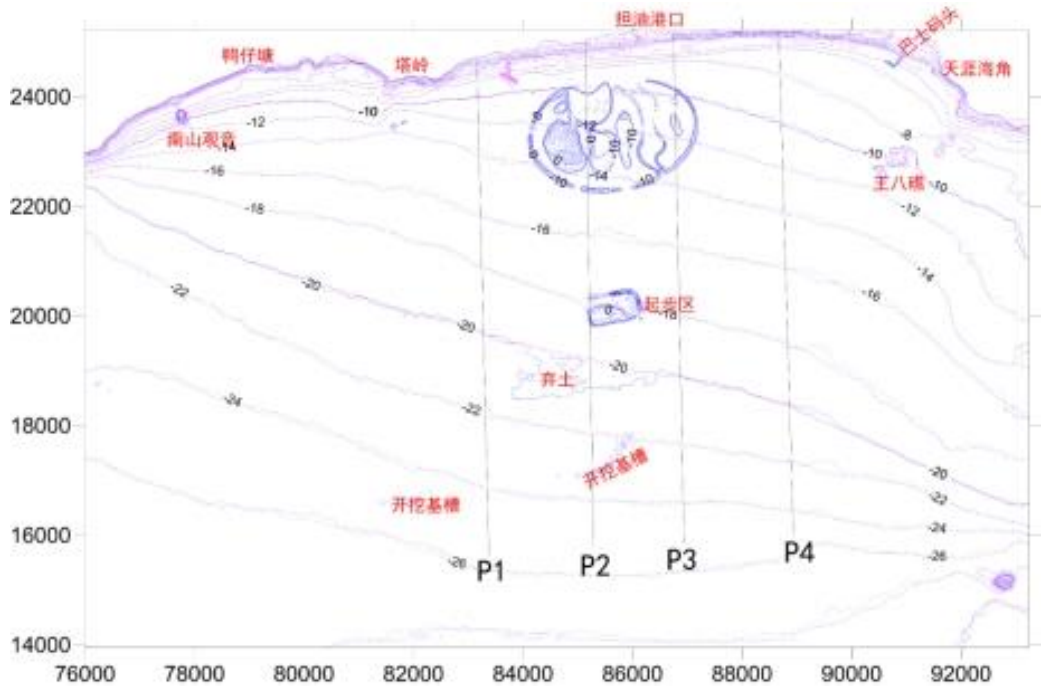


图 5.2-4a 红塘湾附近围填工程实施前后水下地形等深线变化（2015.12~2019.7）

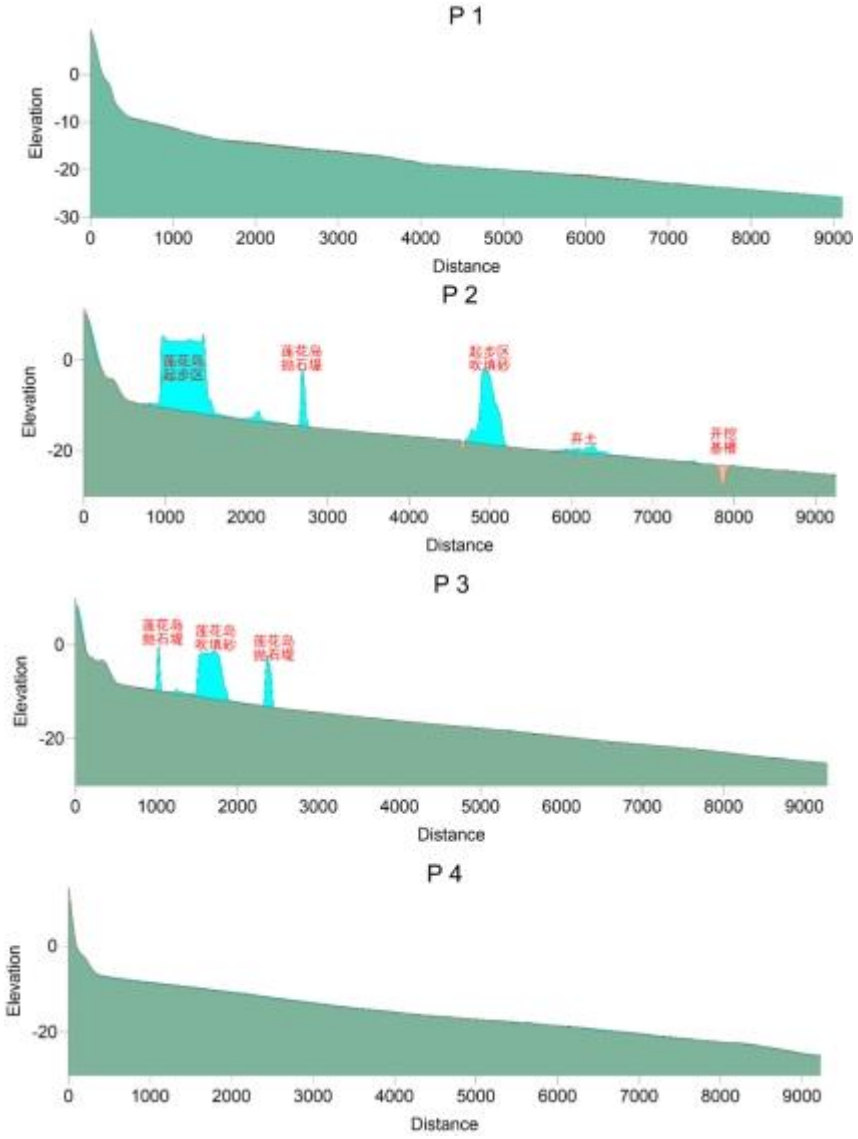


图 5.2-4b 红塘湾附近海域人工岛围填工程实施前后断面变化

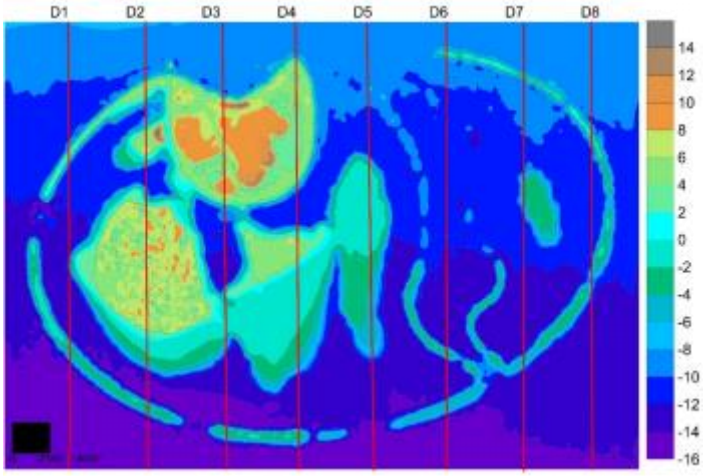


图 5.2-5a 临空产业园人工岛附近 2022 年实测地形及断面位置

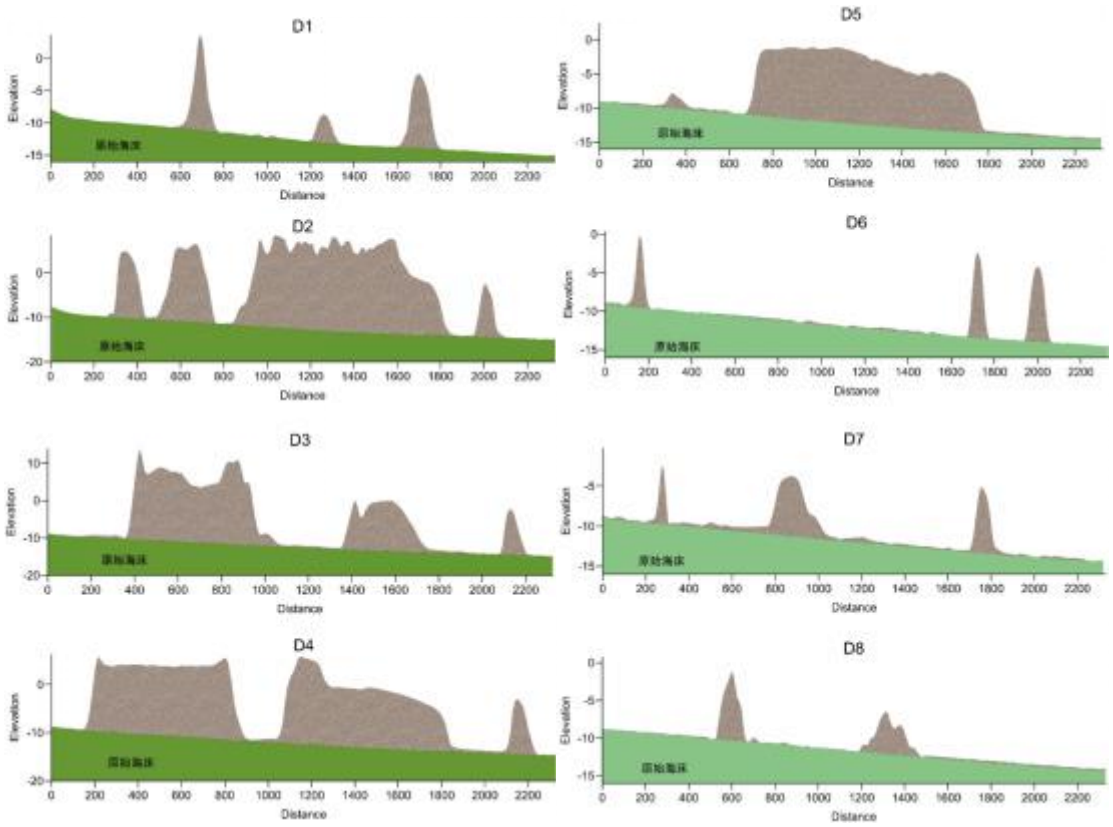


图 5.2-5b 临空产业园人工岛附近 2022 年实测地形提取断面地形特征

临空产业园和新机场人工岛起步区违规围填成陆部分因未形成封闭围堰，在波浪和水流作用下存在一定冲淤变化。

根据 2019 年 7 月和 2022 年 4 月两次实测地形结果，分析了停工以来已实施违规围填区的地形、砂量等特征指标的变化。

临空产业园围违规围填的主要泥沙堆积区在临空岛一期的南侧和东侧，自西向东 A、B、C、D 四个堆积区体量依次减小，其中 A、B 和 C 区之间相互靠近，都在在临空岛一期的南部，D 区相对靠近东侧。卫星遥感影像显示，2017 年停工后，上述 4 个区域均在低潮位以上，面积分别约为 41 公顷、22 公顷、10 公顷和 1.5 公顷左右（图 5.2-6）。至 2022 年 1 月，只有 A 区和 B 区有低潮出露部分，面积分别约为 39 公顷和 13 公顷。C 区和 D 区均已在低潮位下，无出露部分。

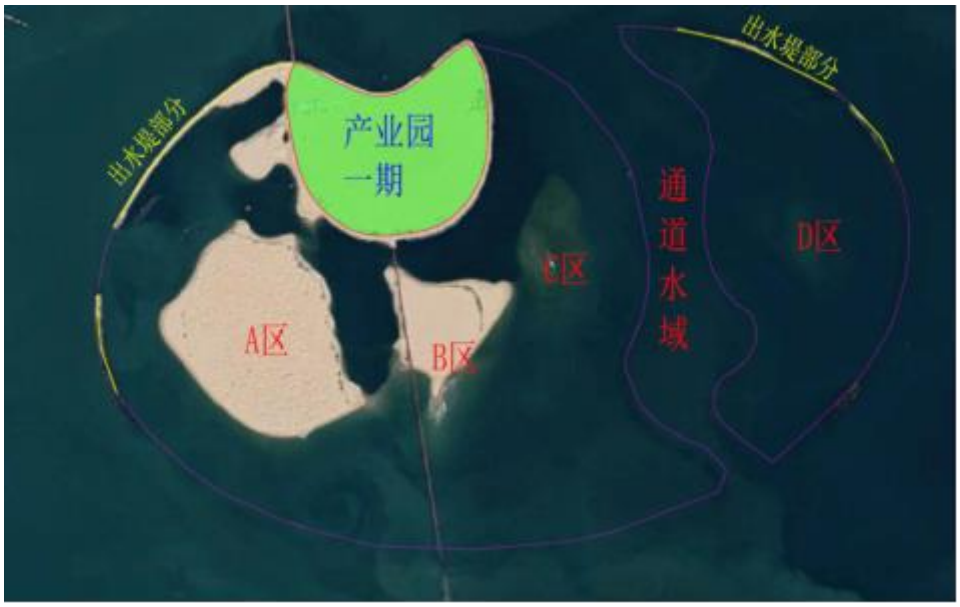


图 5.2-6a 临空产业园人工岛 2017 年停工后低潮位卫星遥感影像

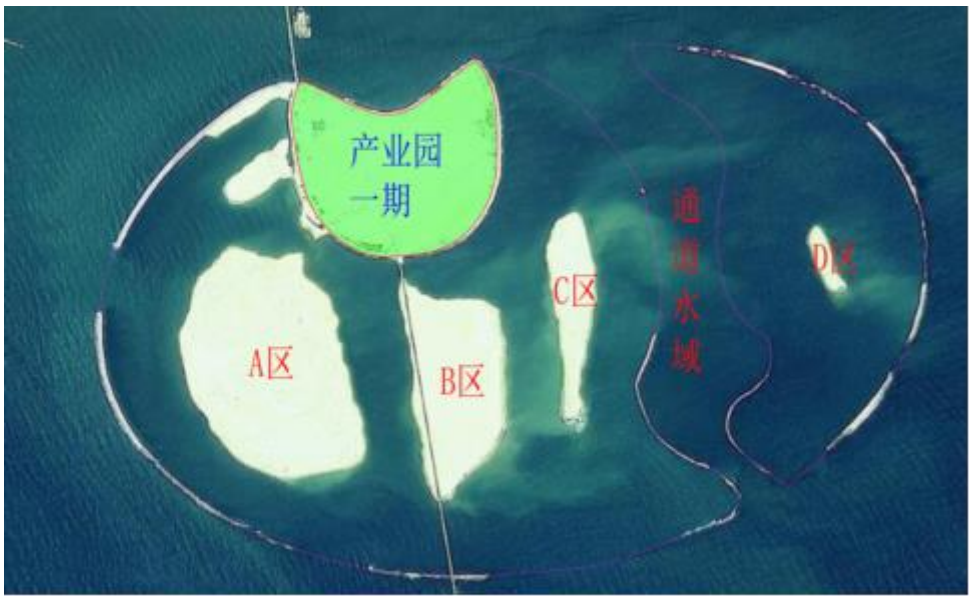


图 5.2-6b 临空产业园人工岛 2022 年 1 月潮位卫星遥感影像

2017 年停工初期卫星影像显示（图 5.2-7），临空产业园的外围堰轮廓基本形成，外围堰出水部分总长约 4.8km（不包括已完全封闭的临空岛一期围堰），仅局部有缺口。围堰内部通道水域南部的东西两侧也已形成长约 1.1km 的两段分隔围堰出露水面，**低潮可出露的围堰总长约 5.9km。至 2022 年 1 月，低潮可出露的堤段仅有整个区域的北部围堰，总长约 2.2km，其余堤段均在水下。**

根据 2019 年和 2022 年实测地形资料，因围堰尚未形成完整的防护，大部分堤段顶部均为抛石，无护面，主浪向来浪方向的南部、东南部和西南部护岸的顶部块石已

被波浪打至水下。其中东南部和西南部围堰目前整体高程在-2m~0m 左右，南部和通道水域两侧的围堰顶高程多在-4m~-2m。0m 以上低潮可出露的围堰仅在围填区的西北部和东北部等背浪区段分布，临空岛一期以东约 950m 左右，以西约 1250m，总长约 2.2km。

根据 2019 年和 2022 年实测地形，A、B、C 区-4m 以上部分连为一体。其中 A 区面积最大，堆积高度在理论基面以上 4~8m 左右。近年来南部有所冲刷后退，后退幅度 50m~100m，冲刷主要在-2m 以上部分，-2m 以下变化不大（图 5.2-8~图 5.2-10）；

B 区出水部分高程在+5m 左右，2019 年至 2022 年间，因南侧围堰高程较低，南部冲刷较多，整体冲刷后退约 300m，形成宽度达 500m 左右、水深-1m 左右的浅滩（图图 5.2-8~图 5.2-10）。

C 区东南侧围堰高程较低，受冲刷相对较多，停工时已形成约 10 公顷的低潮出露面积，目前，目前整体高程在-2m~-4m 左右，北部在 2019 年 0m 以上部分至 2022 年已冲刷至 0m 以下，目前全部为水下浅滩（图 5.2-8~图 5.2-10）。

D 区位于东部，面积较小，周边围堰较低，冲刷较为明显。停工初期，尚有部分为低潮出露区，目前整体顶高程在-3m~-4m 左右，2019 年至 2022 年间高程略有降低（图 5.2-8~图 5.2-10）。

在围堰方面，2017 年停工初期卫星影像显示（图 5.2-6），临空产业园的外围堰轮廓基本形成，外围堰出水部分总长约 4.8km（不包括已完全封闭的临空岛一期围堰），仅局部有缺口。围堰内部通道水域南部的东西两侧也已形成长约 1.1km 的两段分隔围堰出露水面，出露的围堰总长约 5.9km。根据 2019 年和 2022 年实测地形资料，因围堰尚未形成完整的防护，大部分堤段顶部均为抛石，无护面，主浪向来浪方向的南部、东南部和西南部护岸的顶部块石已被波浪打至水下。其中东南部和西南部围堰目前整体高程在-2m~0m 左右，南部和通道水域两侧的围堰顶高程多在-4m~-2m。0m 以上低潮可出露的围堰仅在围填区的西北部和东北部等背浪区段分布，临空岛一期以东和以西各 950m 左右，总长约 1.9km。

从断面对比和等深线对比结果看，各吹填区的冲刷主要发生在-4m 以浅的区域，冲刷泥沙主要淤积在吹填区北坡，吹填区外围未形成明显淤积，总体泥沙流失并不明显。主要是因为本区域吹填物以粗砂为主，泥沙运动形式以波浪作用下的临底运动为主，未形成泥沙的大量悬浮和远距离输运。

根据项目停工后 2019 年的实测地形，2019 年 7 月时，临空产业园人工岛违规围填

形成的 0m 以上成陆区约 68.6 公顷，0m 以上部分的沙总量约为 329 万方；至 2022 年 4 月，0m 以上部分的面积已减少至约 56.1 公顷，砂量减少至 259 万方，减少了约 70 万方，0m 以上部分的面积和砂量分别减少了约 18%和 21%，平均每年大约减少 8%左右。各分层对比显示，0m 以上部分减少量约 70 万方，按照 1m 分层，至-4m~-5m 层，砂量基本平衡，没有明显增减。以下各层均表现为泥沙的净增加。可见，**在当前动力条件下，堆积体泥沙的可能冲刷主要发生在-4m 以浅部分。**

从各等深线以上的吹填区面积（等深线的包络面积）对比看（图 5.2-6），2019 年至 2022 年间，违规吹填区的面积减小主要在-4m 以上部分，-4m 以下部分面积开始明显增大，在断面变化对比中也有体现，表现为大致以-4m 为界，-4m 以上部分的迎浪侧多有冲刷，-4m 以下部分的背浪侧有所淤积，沙堆冲刷后形成顶高程-2~-4m 的平坦浅滩。

总体而言，因整个临空产业园区域东南部现状围堰相对较低，对已吹填沙体的掩护条件较差，其对应位置的 B 区和 C 区沙体南部冲刷较为明显，且主要发生在-4m 以浅区段的冲刷和-4m 以深区段的淤积。其他区域变化相对较小。

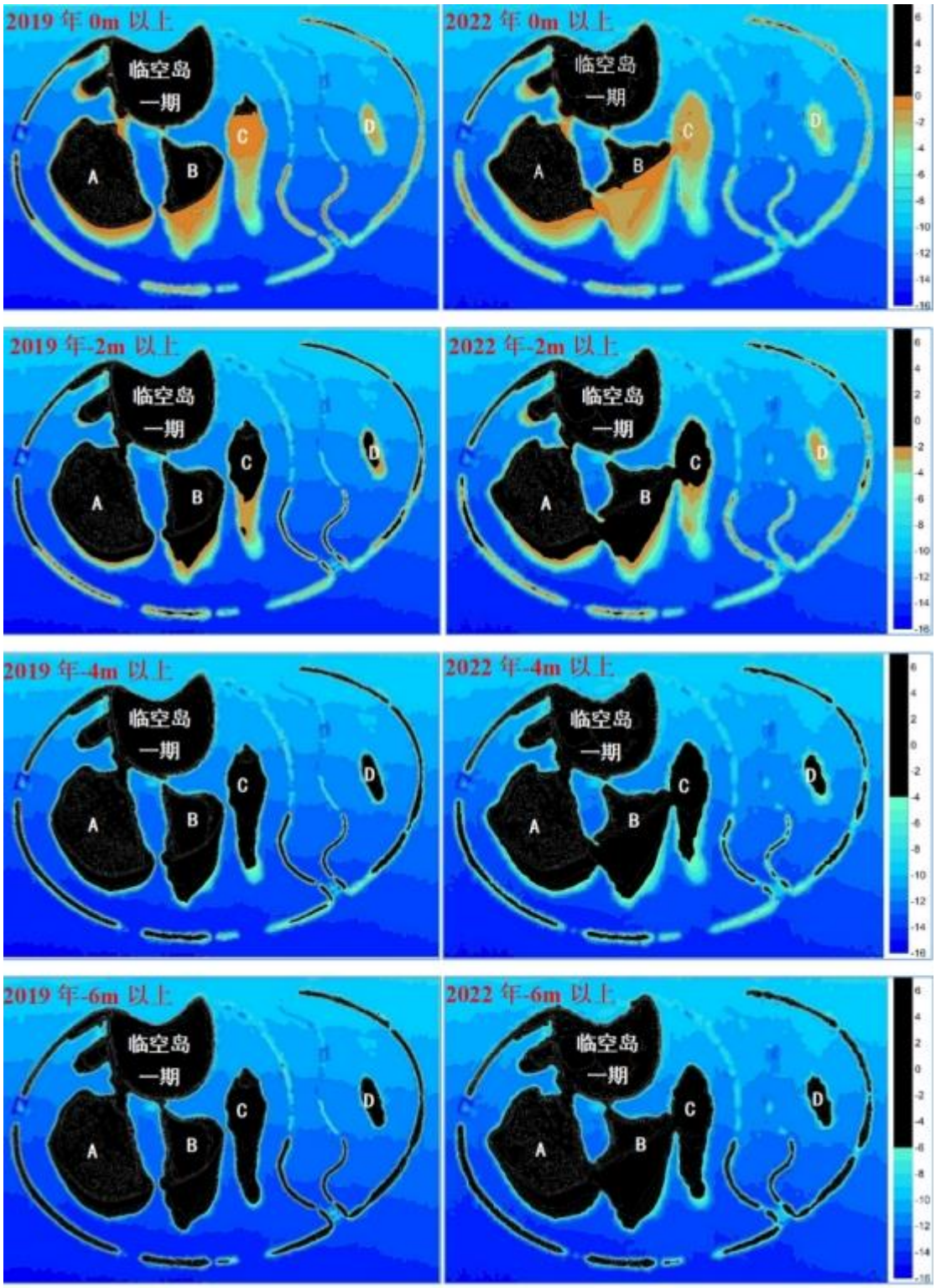


图 5.2-7 2019 年至 2022 年临空产业园不同水深以上部分区域范围（黑色）对比

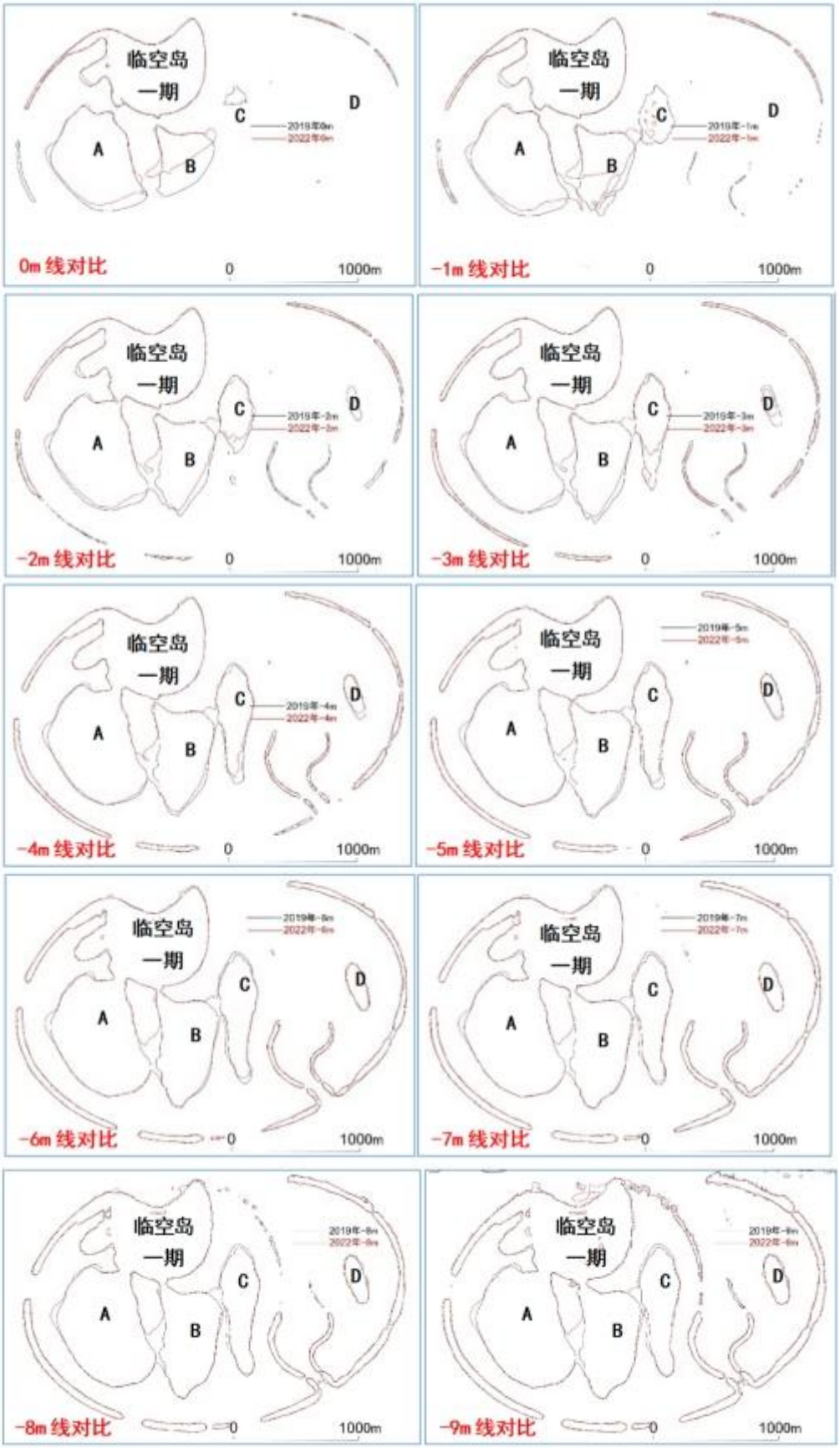


图 5.2-8 2019 年至 2022 年临空产业园区域不同等深线对比

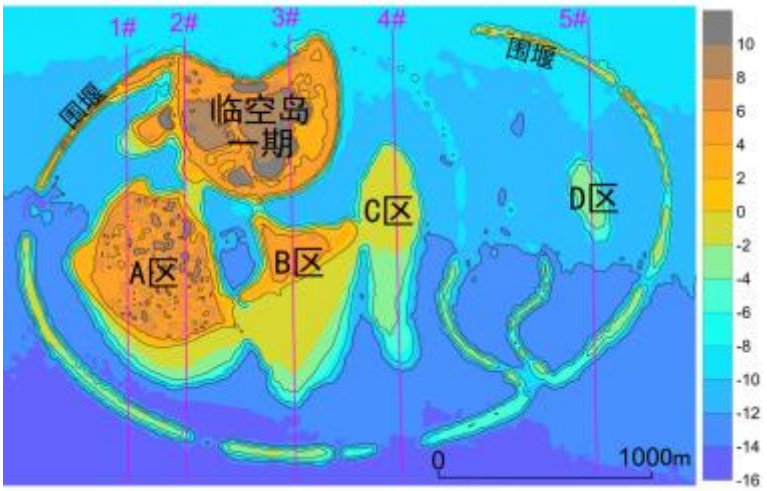


图 5.2-9a 临空产业园区域 2022 年地形及断面位置示意图

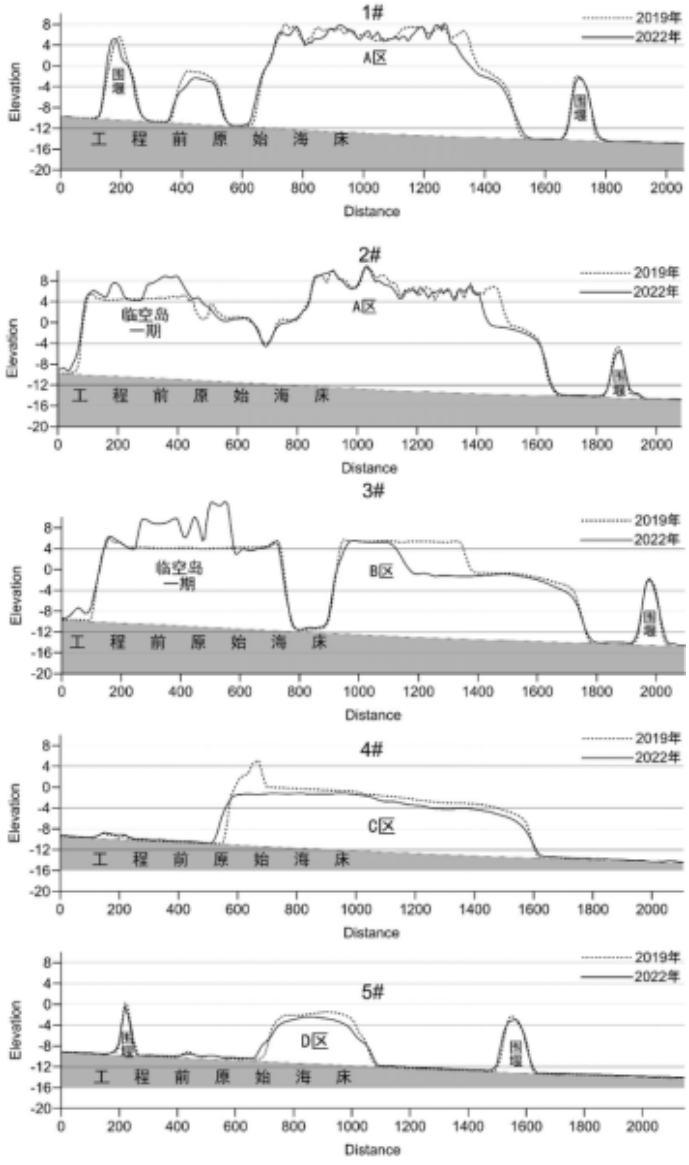


图 5.2-9b 临空产业园区域 2022 年断面对比（断面方向均为自北向南）

表 5.2-1 临空产业园违规围填部分在不同水深以上部分的面积和砂量变化

起算高程	面积（公顷）		变化量	体积（万方）		变化量
	2019.7	2022.4	2019.7~2022.4	2019.7	2022.4	2019.7~2022.4
0m 以上	68.6	56.1	-12.5	329	259	-70
-1m 以上	87	68	-19	405	320	-85
-2m 以上	103.5	95	-8.5	497	404	-93
-3m 以上	114	112	-2	610	508	-102
-4m 以上	128.7	127.4	-1.3	734	627	-107
-5m 以上	137.4	139	1.6	867	759	-108
-6m 以上	144.1	149.6	5.5	1007	903	-104
-7m 以上	150.8	159.2	8.4	1154	1058	-96
-8m 以上	158.4	169.8	11.4	1308	1222	-86
-9m 以上	173.9	192.5	18.6	1473	1400	-73

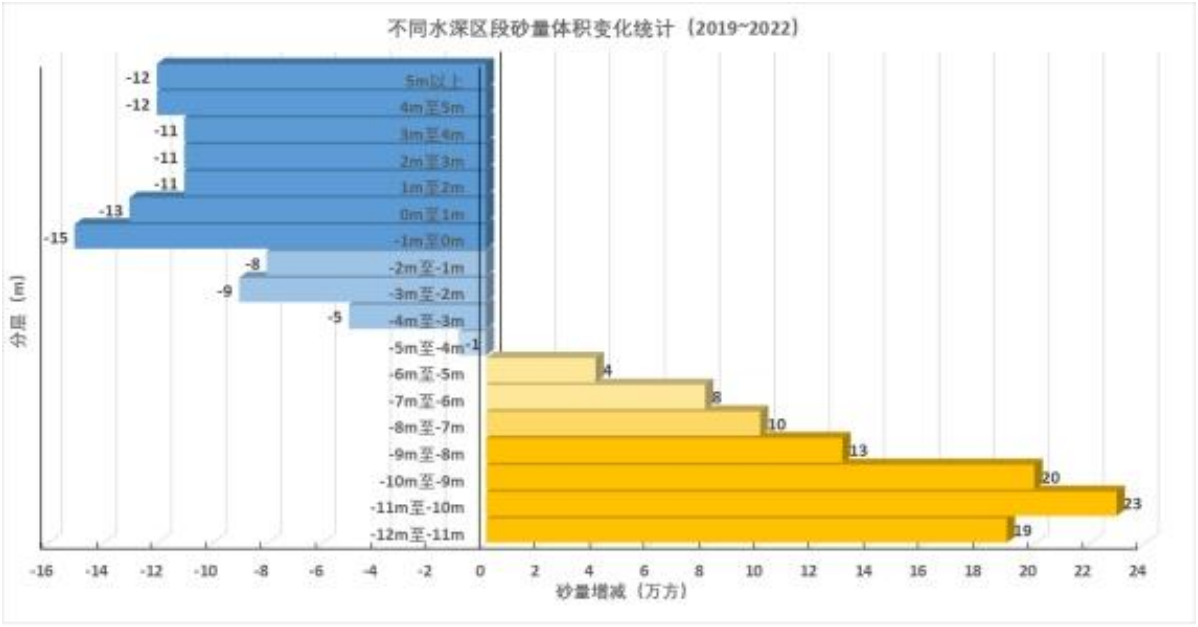


图 5.2-10 不同水深区段砂量体积变化统计（2019~2022）

5.2.2 拆除方案（方案二）实施后的海床冲淤变化分析

拆除方案实施后的流场计算结果显示，因现状条件下填海区存在较为明显的阻水作用，造成填海区东西两侧的流速相对较小、填海区与陆域之间的流速增大；与现状相比，涨落潮流场特征基本不变。整改拆除后，流场改变主要表现在临空产业园和新机场起步区东西两侧的流速增大、两岛之间的流速减小。临空产业园和新机场起步区整体拆除至深度为理论基面 0m，拆除后拆除区的水深较浅，流场改变较小。其中临空岛东西两侧约 3 平方公里范围内流速整体减小了约 5cm/s~20cm/s，与填海工程建设前相比有所改善，临空岛与陆域之间流速变化不大；临空岛与新机场起步区之间约 2 平方公里范围内流速减小约 5cm/s；新机场起步区东西两侧流速增大 5cm/s~30cm/s。

因整改区域内潮流流速整体较小，人工岛建设 5 年来未见人工岛以外的海床区域出现冲刷和淤积现象，冲淤变化主要集中在人工岛吹填的可活动泥沙堆放区。因此，从潮流场变化角度，局部拆除只是对原有稳定海床动力格局的部分恢复，流速变化较小，不致引起进一步的海床冲淤调整。

整改拆除工程实施后，后未形成周边海床明显的冲淤变化格局，地形变化主要是围填工程直接改变的水下地形，未影响到周边海床的自然稳定状态。围堰未完全封闭情况下，吹填形成的沙堆有一定冲刷，吹填沙堆出露面积减小。根据现状已吹填的临空产业园人工岛和新机场起步区人工岛的冲刷状况，冲刷主要在-4m 以浅区域，冲刷泥沙主要堆积在背浪侧的边坡，堆沙区外围未形成明显淤积，流失量较小，临空产业园和新机场起步区的年平均冲刷量分别约为 39 万方和 9.5 万方。

临空产业园填海部分拆除至理论基面 0m，临空产业园总拆除砂石量 256 万方。按照当前冲刷速率，方案实施后约 9 年后，拆除剩余的沙量可整体自然冲刷降低至理论基面-4m 左右达到基本稳定状态。

新机场起步区人工岛离岸较远，规模较小，水深大，该岛吹填成陆的区域已由 2017 年的 12.7 公顷减小至 2022 年的约 3.8 公顷。从自然修复角度，泥沙部分可在不久的将来实现自然稳定，并恢复海域自然属性。但为及时恢复海域自然属性，修复中宜将抛石围堰和填沙拆除至理论基面 0m，推荐拆除至理论基面 0m 的方案二，拆除砂石量约 7 万方。按照当前每年约 9.5 万方的冲刷速率，拆除方案实施 5 年后吹填区将自然进一步冲刷降低至-4m 左右，达到基本稳定状态。

5.2.3 拆除+修复方案（方案三）实施后海床冲淤变化分析

因修复方案主要集中在近岸边滩区，对水动力影响范围很小，不改变整改拆除后的动力格局，水流变化很小，布置引起进一步的海床冲淤。因处于临空产业园整改拆除区域的波浪下游侧，也不影响到拆除区的冲淤变化。

修复方案实施后的岸滩冲淤，主要集中在近岸边滩区域。因这种冲刷的动力作用主要是波浪沿岸输砂引起，具体冲淤过程详见岸滩演变报告和波浪泥沙物理模型试验研究报告。

5.2.4 小结

工程区现状条件下的冲淤变化主要在浅水区，包括近岸浅滩区和已吹填未防护的非法填海区。其中临空产业园二期吹填部分年平均流失泥沙量在 39 万方左右，新机场

起步区年平均冲刷量在 9.5 万方左右，平均冲刷厚度在 0.3m/a 左右，冲刷主要集中在-4m 以上部分，冲刷泥沙主要堆积在-4m 以下的边坡；整改拆除方案实施后，因外围水下围堰不实施拆除，主要拆除部分在水面以上部分，对流场影响甚微，对水下地形冲淤不产生直接影响，冲淤变化仍主要集中在已吹填的浅水区泥沙，冲刷下限大致在-4m 左右；修复方案主要集中在岸滩部分，主要改变的是岸滩地形，不构成对水下区域水动力条件的明显改变，也不致形成对海床冲淤的明显影响，修复方案实施后的冲淤变化也主要集中在岸滩附近的浅水区。

5.3 岸滩稳定性影响分析

5.3.1 岸滩侵蚀模型建立

本工程采用丹麦水工试验所（DHI）开发的 Litpack 模型的 litline 模块，构建岸线演变模型，Litline 中的岸线演变计算建立在单线理论基础上，假设岸滩剖面在变形过程中保持不变，海岸泥沙运动的向岸和向海侧两条界线保持不变，等深线与岸线平行，岸滩演变可简化为剖面的前进或后退。由以上假设，根据沿岸输沙质量守恒（即认为某一段海岸中，进入和输出的沿岸输沙率的差值就等于该段海岸的淤积率或冲刷率），可得到沿岸输沙的连续方程如下：

$$\frac{\partial y_c}{\partial t} = -\frac{1}{h_{act}}\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{Q_{sources}}{h_{act}\cdot \Delta x}$$

式中：yc 为岸线距基线的距离；t 为时间；hact 为可活动海岸剖面的高度；Q 为以体积衡量的沿岸输沙量；X 为沿岸方向上的距离；△x 为沿岸方向上的计算步长 Qsources 为泥沙源汇项

（1）沿岸输沙率计算公式

$$Q = Q_{byp} + (Q_{un} - Q_{byp})\frac{Q_{dif}}{Q_{un}}$$

$Q_{byp}Q_{byp}$—当建筑物的头部处于破波带内时，发生在头部的离岸侧的沿岸输沙量；

$Q_{dif}Q_{dif}$ — 在无$Q_{byp}Q_{byp}$ 时，考虑绕射影响的沿岸输沙率；

$Q_{un}Q_{un}$ — 不受建筑物影响时，考虑波浪浅水变形和折射影响得到的沿岸输沙率。

（2）岸线计算范围：人工岛建设后的波浪影响范围主要在天涯海角至南山角之

间，考虑到本岸段特殊的地形和岸线特征，将肖旗港西侧的基岩岸线和崖州湾东侧的南山港基岩岸线之间的岸段作为岸线计算范围，包括了南山景区沙滩、天涯海角等敏感目标，并在东西两侧预留不小于 2km 的缓冲岸段长度，模拟范围共约 24km，沿岸风险分为间隔 20m 共 1200 个计算单元。其中岬角附近的基岩岸段进行了固化处理，无冲淤变化。地形、岸线、沉积物采用本工程实测水下地形和底质取样分析结果。模型岸线采用 2015 年实测地形图 0m 线。根据地形测图、岸滩调查和剖面测量成果，岸线局部剧烈转折部位进行适当的平滑处理以避免模型计算发散。

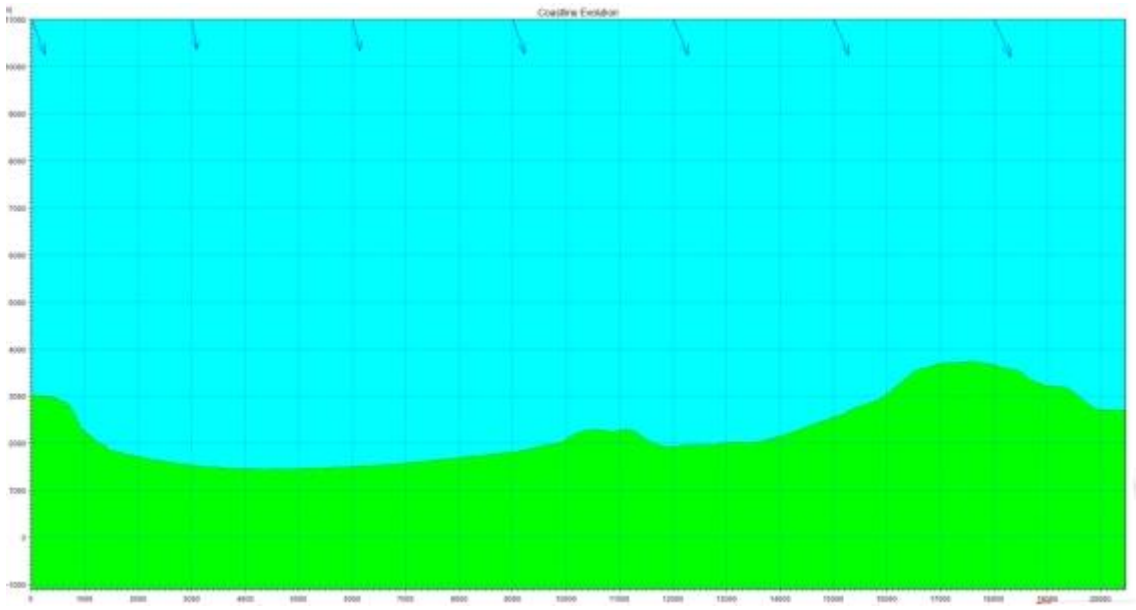


图 5.3-1 数值模拟范围示意图

5.3.2 数值计算条件

因工程区岸线曲折，并非单一的平直砂质海岸，不同岸段的波浪作用条件差异较大，特别是工程区东侧岸段天涯海角附近因受西瑁洲和天涯海角外水下暗礁影响，与西侧岸段的波浪已有明显差异。因此为准确模拟沿岸泥沙输运以及工程建设后的岸线冲淤调整，本评价采用河海大学数学模型报告中根据 CCMP 风场数据，模拟 2001-2010 年全年南海海域大范围波浪场，统计从而得到 2001-2010 年工程海域深水（30m）的分级分向波浪数据，由波浪数学模型计算提供的近岸-6m 水深附近沿岸各点的年平均代表波浪条件。沿岸各点处计算所得的波浪玫瑰图见图 5.3-2。

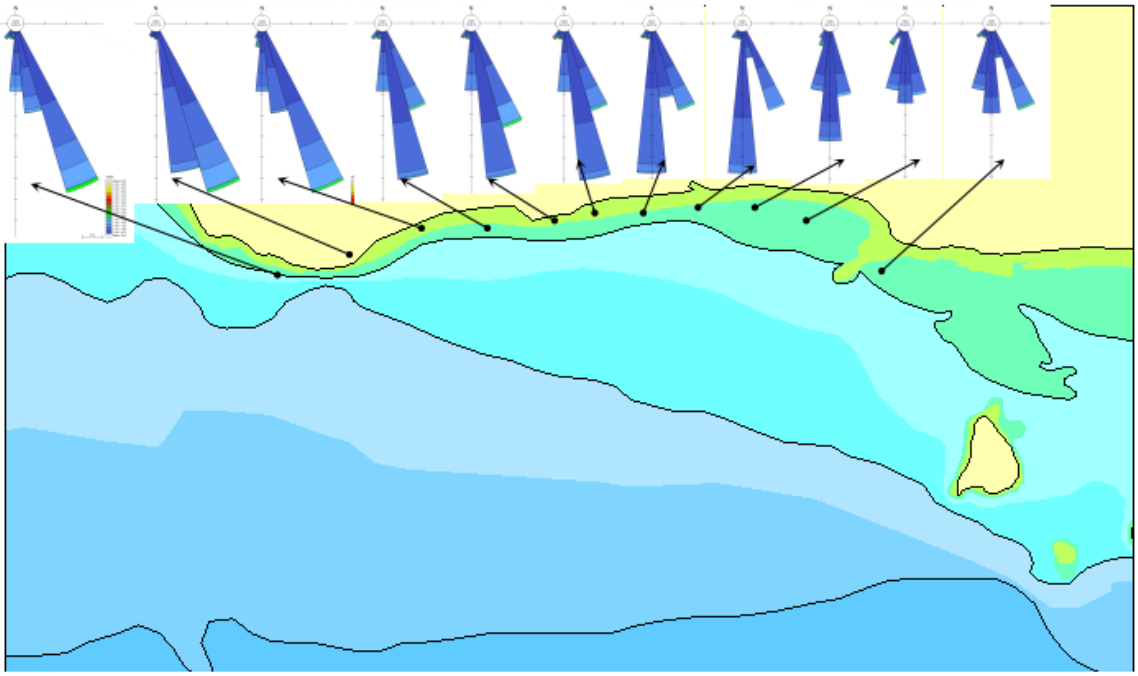


图 5.3-2 海域近岸各计算点波浪玫瑰图

5.3.3 模型验证

5.3.3.1 南山观音人工岛实施后的岸线变化验证

模型所在岸段近年来没有大规模的工程建设，岸线冲淤变化幅度也相对较小。对工程岸段影响较为明显的工程为南山景区的南山观音人工岛工程。该工程于 1999 年 10 月 27 日正式开工，2000 年 1 月 5 日开始人工岛工程施工，2000 年 12 月完成了人工岛及圆通宝殿工程主体，2003 年 1 月工程主体完工。

在工程建设前期，于 2000 年修筑施工通道，连接陆地与人工岛，施工通道于 2011 年初拆除。在施工通道存在的 2011 年间，因拦截沿岸输砂，形成施工通道两侧的岸线冲淤调整。主要表现为西侧靠近人工岛施工通道岸段因拦截沿岸输砂形成淤积体，淤积体以西岸段冲刷，施工通道东侧缓慢冲刷。为此，以 2000 年岸线为基础，计算了 2000 年至 2010 年施工通道影响其两侧岸线的冲淤调整过程，并与在此期间卫星遥感影像显示的岸线变化情况进行了对比。

计算结果显示，施工通道形成 1 年后，其西侧约 130m 范围内即形成较大的堆积体，堆积体最大宽度约 45m，东侧堆积范围较小。堆积体向西约 800m 范围沙滩普遍冲刷，最大冲刷后退幅度 5m 左右，东侧冲刷范围约 400m，最大冲刷后退幅度约 6m。之后，堆积和冲刷幅度逐渐减缓，至 2005 年，堆积体最大宽度约 78m。通道建成 5 年后，堆积体的发展速度已小于 3m/a，两侧的冲刷后退幅度也小于 1m/a。至

2010 年施工通道拆除前，淤积体最大淤积宽度为 88m，西侧冲刷区最大冲刷后退约 10m，东侧最大冲刷后退幅度约为 8m。

从冲淤量级和分布情况看，模拟所得的工程影响下岸线冲淤变化与卫星遥感影响所显示的较为接近，见图 5.3-3~图 5.3-5。

从 2008 年和 2010 年影像资料冲淤发展过程看，至少至 2010 年，施工通道拦截沿岸泥沙形成的淤积体已基本达到稳定，2008 年至 2010 年未有显著变化，与模拟计算结果一致，淤积体基本稳定后的最大淤积宽度也与模拟计算结果一致。

5.3.3.2 台风浪影响下人工岛附近冲淤验证

台风浪影响是沙滩岸线冲淤变化的主要时段，特别是有工程影响或靠近固定边界的岸段，因台风浪期间的波浪条件与平常天气条件下存在较大差异，即便是在平常天气条件下达到动态平衡的岸线，在台风浪中心因靠近固定边界也可能形成较大的冲淤调整。

2016 年 10 月的 1621 号台风莎莉嘉在 10 月 17 日至 19 日影响工程海域，格局本工程外海实测资料，实测最大波高 4.21m，波高大于 2m 的时段约 1.5 天。这一阶段，工程区的临空岛一期围填工程已基本形成。

采用台风前后的卫星遥感影像数据，对本次台风前后的岸线变化进行分析。其中 2016 年 10 月 12 日影像代表台风前，成像时刻三亚港潮位为 1.18m。2016 年 10 月 23 日卫星影像代表台风后，成像时刻三亚港潮位 1.05m。两幅影像成像潮位相差仅 0.13m，按照这一部位沙滩坡度一般在 1:4~1:10 左右考虑，成像潮位的影响小于 2m。对比结果显示，在已实施人工岛掩护区的淤积岸段在台风过程中淤积体整体继续向海淤进，最大淤积幅度 7m（考虑潮位影响应在 6m 左右）。明显淤积的岸段长约 900m。淤积体东西两侧均有不同程度的冲刷，幅度不超过 5m。

在建立的模型中，依据工程区台风期间实测波浪过程模拟了临空岛一期工程实施后经过上述台风影响后的岸线变化。计算结果显示，在人工岛陆侧，台风后岸线淤积主要发生在人工岛掩护的约 1km 岸段。最大淤积幅度 5m；东侧至担油港附近普遍冲刷，冲刷后退幅度在 2~4m 之间；西侧油码头附近略有冲刷，冲刷后退幅度 2m 左右。

与同期卫星遥感影像资料对比结果比较，模拟计算的冲淤岸段分布基本一致，其中人工岛西侧油码头附近在卫星遥感影像中未表现出明显冲刷后退，与模拟计算结果略有差异，应与这一岸段海滩岩掩护下长期稳定的岸线格局有关；人工岛掩护段的淤积岸线从长度和淤积幅度方面，模拟结果和卫星影像对比结果一致；掩护区东侧至担

油港附近的岸线冲刷后退情况，模拟结果与卫星影像显示的结果也较为接近。

验证结果显示，模型计算结果与实际情况在冲淤分布和最大冲淤幅度方面基本一致，为岸线冲淤演变模拟、工程实施对岸线冲淤的影响及防护对策研究提供了可靠基础。



图 5.3-3 南山观音人工岛附近 2010 年岸线特征（航拍）



图 5.3-4 南山观音人工岛附近 2010 年岸线特征（卫星照片）



图 5.3-5 南山观音施工通道实施后岸线变化模拟（底图为 2010 年影像）

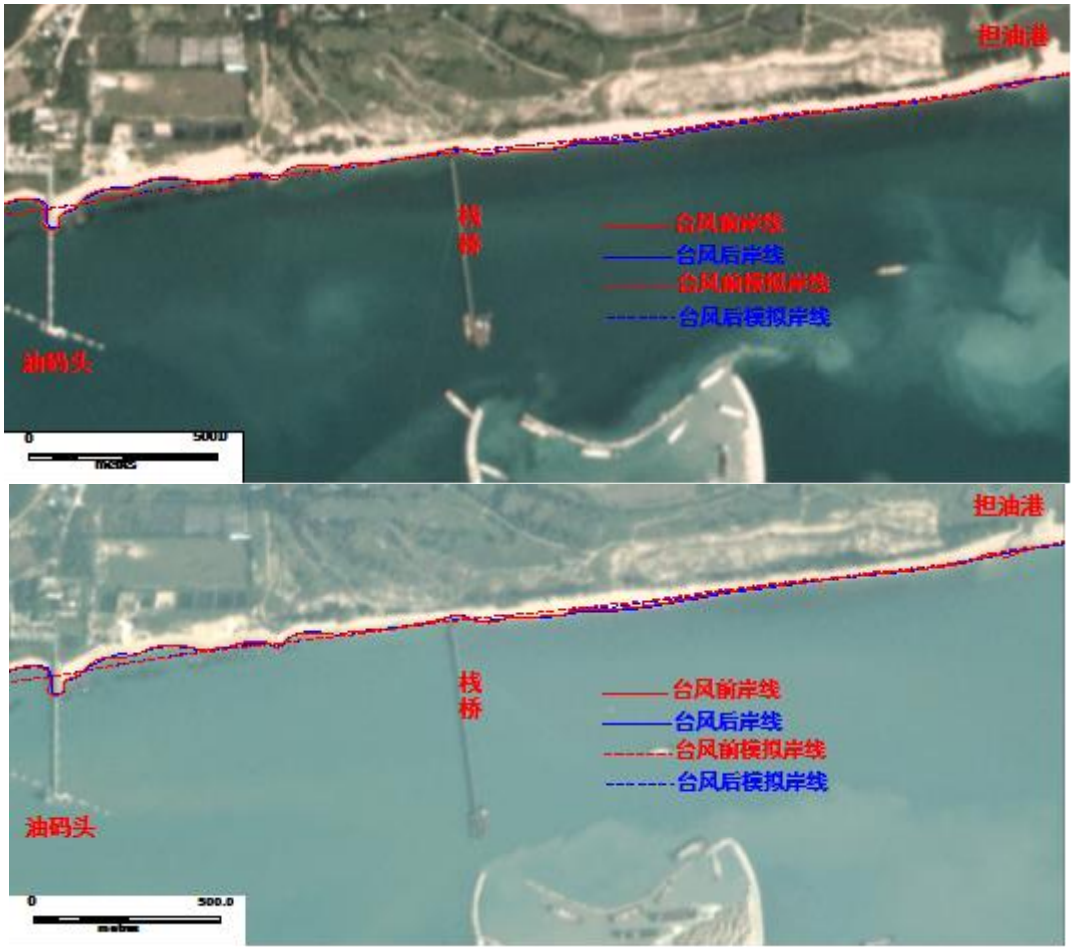


图 5.3-6 工程海域台风前后岸线变化实测与模拟结果对比（上图 2016.10.12GF1 遥感影像底图，下图 2016.10.23GF1 遥感影像底图）

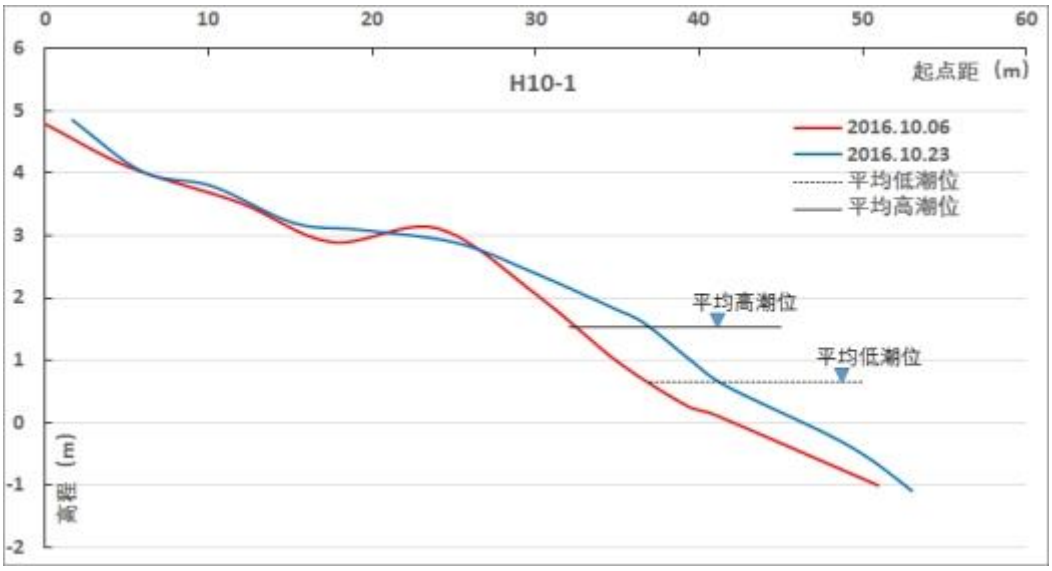


图 5.3-7 人工岛工程实施后 2016 年 10 月台风前后陆侧淤积体岸滩剖面对比

5.3.4 预测方案设计

红塘湾违规填海项目中，新机场起步区和外围钢圆筒均在原规划新机场人工岛范围，在红塘湾外约 4~7km，水深在-17~-25m 左右；临空产业园人工岛距离约 0.8km，水深 9~15m 左右。本项目拆除的围填区主要在这两处区域内。修复方案包括岸滩修复和珊瑚礁修复。因珊瑚礁修复区部改变水下地形，不产生对岸滩冲淤的影响，因此计算中不考虑珊瑚礁修复方案；岸滩修复方案包括人工补沙和拦沙堤等内容。为此，本项研究主要考虑现状条件下的冲淤变化、整改产出方案实施后的岸滩冲淤变化和整改方案与修复方案全部实施后的岸滩冲淤变化。同时，为认识人工岛围填工程实施后的影响，也以临空产业园围填海工程实施前的 2015 边界条件，计算了人工岛建设前的岸滩冲淤。各计算方案见表 5-3.1。

表 5.3-1 计算方案组合与说明

计算工况	方案说明
方案 0	2015 年地形，人工岛工程建设前
方案一	2023 现状地形，现有的涉海工程均保留
方案二	拆除工程实施后
方案三	拆除工程+修复工程实施后

5.3.5 预测结果

5.3.5.1 临空产业园人工岛工程实施前的岸滩冲淤计算结果（方案 0）

计算结果显示（图 5.3-8），在不考虑已在施工的人工岛情况下，冲刷岸段主要包括：（1）天涯海角附近长约 520m 岸段，30 年平均冲刷后退 11.9m，泥沙流失量约为

5.8 万方；（2）天涯镇以西长约 4.9km 岸段，整体冲刷，但因海滩岩掩护，局部差异较小处理的岸线和地形（相当于临空产业园人工岛工程和新机场已实施的起步工程全部，30 年平均冲刷后退 4.9m，最大冲刷后退约 10.6m，泥沙流失量约 19.5 万方；（3）在南山景区岸段约 1km 岸段冲刷明显。因该岸段两侧基岩岬角发育，且受南山观音人工岛工程影响，局部冲淤波动活跃，趋势性冲刷不很明显，但局部冲淤调整幅度较大。冲刷段 30 年平均冲刷后退约 12.3m，冲刷泥沙量约 12.3 万方。

在天涯海角以西至天涯镇东侧（天涯巴士码头附近）长约 1.8km 岸段，天涯海角外的王八礁等礁体掩护，加上天涯巴士码头的掩护，有一定的淤积，30 年平均淤积约 11.2m，最大淤积约 24m，淤积泥沙总量约 16.1 万方。在无人工岛工程状态下，其余岸段的趋势性冲淤变化幅度均较小。

模拟计算工程建设前下岸线冲淤分布与围填海项目实施前工程区岸段的岸线冲淤格局基本一致，冲淤速率也基本接近，进一步表明模型能够较为准确的模拟这一海岸的岸滩演变特征。

5.3.5.2 现状条件下的岸线模拟结果（方案一）

已实施的临空产业园（含已实施的全部围填区以及在担油港东侧已实施的临时生态砂管丁坝）为边界条件，岸线采用 2019 年实际岸线的计算结果显示（图 5.3-9），在已实施的工程中，离岸最近且规模最大的是临空产业园人工岛及其围堰，离岸距离约 0.7~2.5km，对波浪场的影响范围相也主要集中在人工岛附近约 7km 的范围，天涯海角冲刷段、天涯镇以东的淤积段以及南山景区和三美湾附近均未受到明显影响，上述岸段的冲淤状况与工况 0 基本相同。

在人工岛掩护区附近，天涯镇至塔岭岸段的冲淤影响相对较大，表现为人工岛掩护区的淤积和掩护区两侧的冲刷。其中天涯镇向西至人工岛掩护区的约 2.5km 岸段冲刷增强，30 年平均冲刷后退约 9.2m、最大冲刷后退 13.5m，流失泥沙总量约 37 万方。与方案 0 相比冲刷强度有所增大，30 年平均冲刷后退幅度增大 4.3m。

在已建临空产业园掩护段（担油港附近至现状连岛大桥接陆点附近）长约 2.6km 的岸段整体淤积。由于淤积体东侧在 2019 年实施长约 60m 的生态砂管拦沙堤，在一定程度上减缓了淤积进程和局部最大淤积。该岸段 30 年间岸线平均向海淤积约 22m，最大淤积幅度在 62m 左右，位于担油港附近，其中靠近担油港附近的掩护段东部淤积幅度较大，掩护区西部因靠近基岩岸线来沙较少，淤积相对较小。

在已建拦沙堤部位，5 年内拦沙堤东侧即可淤满，出现绕堤现象。但拦沙堤东侧

长约 400m 的岸段在 5 年后基本保持稳定，拦沙堤西侧 200m 范围内略有冲刷，但最大冲刷幅度不超过 10m。这种冲淤格局与拦沙堤建设以来的岸滩冲淤发展情况接近。

在已建临空产业园人工岛掩护区西侧约 2km 岸段（现状临空产业园连岛栈桥附近至油码头西侧塔岭基岩岸线）为人工岛掩护区西侧的冲刷岸段。但因该岸段海滩岩早已出露，岸外海滩岩分布广泛，冲刷后退相对较慢。

塔岭附近的基岩岸线以西，因距离已实施的人工岛相对较远，受其影响较小，与方案 0 相比未出现明显的冲淤变化。可见，已实施的临空产业园人工岛影响下的岸滩冲淤主要集中在人工岛掩护区及其两侧约 6~7km 岸段，表现为掩护区的淤积和两侧的冲刷，与人工岛实施两年来的冲淤变化情势接近。

5.3.5.3 拆除工程实施后的模拟结果（方案二）

方案二将临空产业园二期西南侧填海区和围堰拆除至理论基面 0m，东北侧（只有围堰）拆除至理论基面-1m，拆除剩余部分的留存对冲刷岸段起到了一定的防护作用，对改善方案一实施后的岸滩冲淤剧烈调整有一定的减缓作用（图 5.3-10）。

方案实施后的计算结果显示，与现状情况相比，担油港以东的冲刷岸段的冲刷幅度有所减轻，冲刷岸段长度减小约 760m，平均冲刷后退幅度减小 2m 左右；现状围填区掩护岸段仍然保持淤积，但幅度明显减小，担油港附近 30 年最大淤积幅度由 62m 左右减小至 40m 左右，对现状岸线冲淤格局改变较小。在已审批的临空产业园一期人工岛陆侧掩护区，因两侧波浪条件增强，最大淤积幅度增大至 67m 左右。

方案二不拆除临空产业园一期人工岛，其总的趋势是一期人工岛掩护区淤积和掩护区两侧冲刷。当两侧填海部分和围堰拆除至理论基面 0m 和-1m 后，这些拆除剩余部分将起到一期人工岛掩护区两侧冲刷岸段的岸外潜堤作用，对人工岛掩护区两侧的冲刷岸段具有一定掩护作用，能在一定程度上减缓其冲刷。但因临空产业园一期人工岛掩护区东侧目前已有较多泥沙淤积，也为临空产业园一期人工岛掩护区的淤积提供了沙源，使一期人工岛掩护段淤积增大。

5.3.5.4 拆除工程+修复工程实施后的模拟结果（方案三）

方案三的修复工程包括了人工补沙、拦沙堤等内容。其中已建拦沙堤至天涯社区 1.8km 岸段补沙约 37.6 万方、单位岸线长度补沙 209.3m^3/m，人工岛掩护区西侧约 2km 岸段补沙 41.4 万方，单位岸线长度补沙 207m^3/m，南山景区岸段约 2.24km 补沙 50.92 万方、单位岸线长度补沙 233.5m^3/m。计划开展砂质岸线补沙总计约 6.04km，补

沙总量约 129.92 万方。

其中人工岛掩护区东侧和西侧拦沙堤分别长约 100m 和 70m，堤头至水深-2m 附近；鸭子塘西侧拦沙堤长约 80m，堤头至水深-3m 附近。

在临空产业园一期人工岛西侧的油码头附近，海岸长期处于冲刷状态，海滩岩多分布在岸外，局部断裂形成不连续分布，海滩岩缺口位置后方冲刷严重，局部岸线已后退至海滩岩后方 100m 左右。人工补沙和配套修复方案实施后计算结果显示，在红塘湾东部的已建拦沙堤至天涯社区附近形成宽度约 40m 的滩肩，在连岛桥至塔岭基岩海岸形成宽度在 30m 左右的滩肩，在南山景区岸段补沙后形成宽度 30m 左右的滩肩。

方案实施 10 年后和 30 年后历年岸线变化件图 5.3-11。

（1）已建拦沙堤至天涯社区补沙段

补沙后，岸滩整体增宽，冲刷较为明显。补沙初期岸段东部长约 2.1km 岸段表现为冲刷，冲刷泥沙部分向东运移淤积在天涯镇附近，在长约 300m 岸段上形成淤积，但幅度不超过 20m；大部分冲刷泥沙向西运移，在已建拦沙堤以东落淤，并有部分绕堤，在拦沙堤西侧形成淤积。补沙修复 10 年后，补沙段东部的冲刷岸段最大冲刷 30m 左右，最大冲刷部位 10 年后基本冲刷至补沙前的状况；在补沙段西部靠近拦沙堤附近，因补沙后滩肩宽度较大，虽部分泥沙堆积在已建拦沙堤以东，因拦沙堤头部的泥沙绕堤现象存在，滩肩宽度增长较慢，滩肩宽度最大增至 40m 左右后基本停止变化。

之后，随着侵蚀进一步进行，整体表现为全线冲刷，年平均冲刷后退速率在 1~2m 左右。30 年后，拦沙堤以东约 1.8km 岸段仍在现状岸线之外，但再向东靠近天涯镇附近约 2km 岸段整体已后退至现状岸线之后。与现状岸线相比，其中补沙段最大后退幅度在 10m 左右，平均约 5m，补沙段总泥沙流失量在 96 万方左右，部分向西绕堤进入人工岛掩护区，部分向东进入到天涯社区东侧岸段。

（2）已建拦沙堤与新建东侧拦沙堤之间（担油港附近）

已建拦沙堤与新建东侧拦沙堤之间（担油港附近）岸线长约 1.1km 岸段，受外围拆除后高程在-1m 左右的围堰掩护，且两侧受拦沙堤保护，整个岸段整体冲淤波动不大，两拦沙堤之间表现出西侧淤积东侧略有冲刷的趋势，但幅度不大。

（3）临空产业园人工岛掩护区（两拦沙堤之间）

不拆除的临空产业园一期人工岛掩护区长约 800m 岸段处于两拦沙堤之间，但受拦沙堤绕堤泥沙影响，岸线仍有向海淤积趋势。10 年后最大淤积幅度约 20m，30 年后最大向海淤积约 50m。

（4）西拦沙堤至塔岭基岩岸段

临空产业园一期人工岛掩护区西侧拦沙堤以西至塔岭附近长约 2km 岸段，补沙后形成整体平均宽度 30m 左右的滩肩，对岸外相关海滩岩进行了修复。数模对岸线进行了平滑处理，计算结果显示整体表现为西冲东淤。其中西侧靠近塔岭基岩岸线附近 10 年后即冲刷至现状岸线附近，30 年后约 1km 岸线比现状岸线有所后退，平均后退幅度在 6m 左右，最大约 10m。东侧靠近拦沙堤附近略有淤积，最大淤积幅度在现状岸线外 20~30m。计算结果线上该岸段冲刷较为严重，30 年冲刷泥沙量约 41 万方，占补沙总量的约 76%。因该岸段海滩岩、后方基岩沙丘和下伏地层影响因素较多，本研究主要按可活动泥沙计算，计算结果应偏保守。

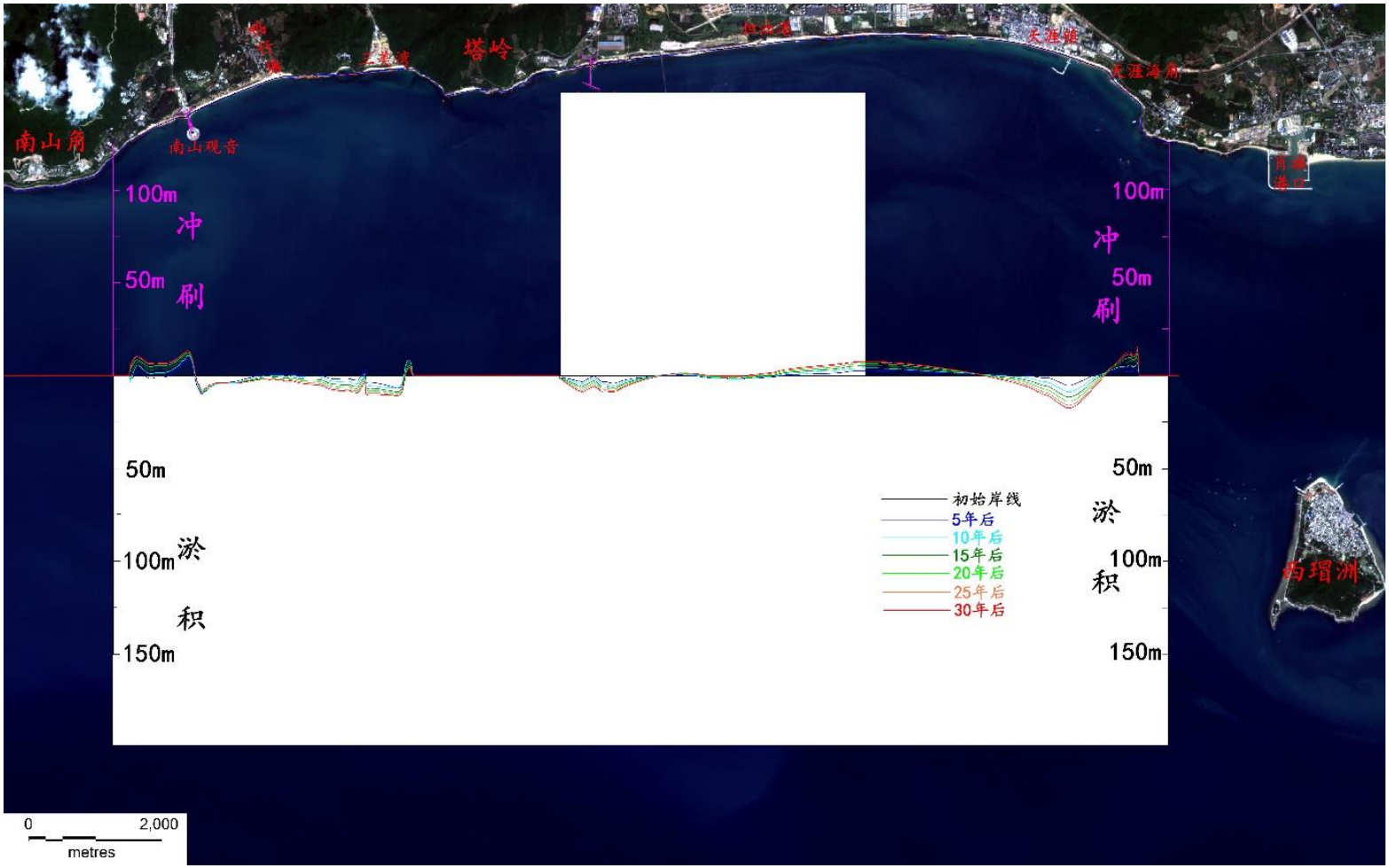
（5）南山景区岸段

南山景区岸段，补沙后滩肩宽度明显增宽，但自西向东的沿岸输砂趋势依然存在，在东端拦沙堤拦截下，整体表现为西冲东淤的态势。在南山观音人工岛附近，岸滩整体较为稳定，冲淤波动幅度不大。仅在靠近海滩东端的拦沙堤以西，形成较为明显的淤积，淤积泥沙可达到拦沙堤的端部附近，10 年后淤积至现状岸线外约 25m，30 年后淤积至现状岸线外约 55m，对拦截自西向东输运的泥沙起到了较好的作用。南山关于西侧冲刷相对较为明显，其中靠近塔岭的约 300m 岸段 10 年后可冲刷至现状岸线位置，30 年后最大冲刷后退幅度在 13m 左右。南山观音以西约 600m 岸段 30 年后整体处于现状岸线附近。整改岸段 30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%。

5.3.5.5 小结

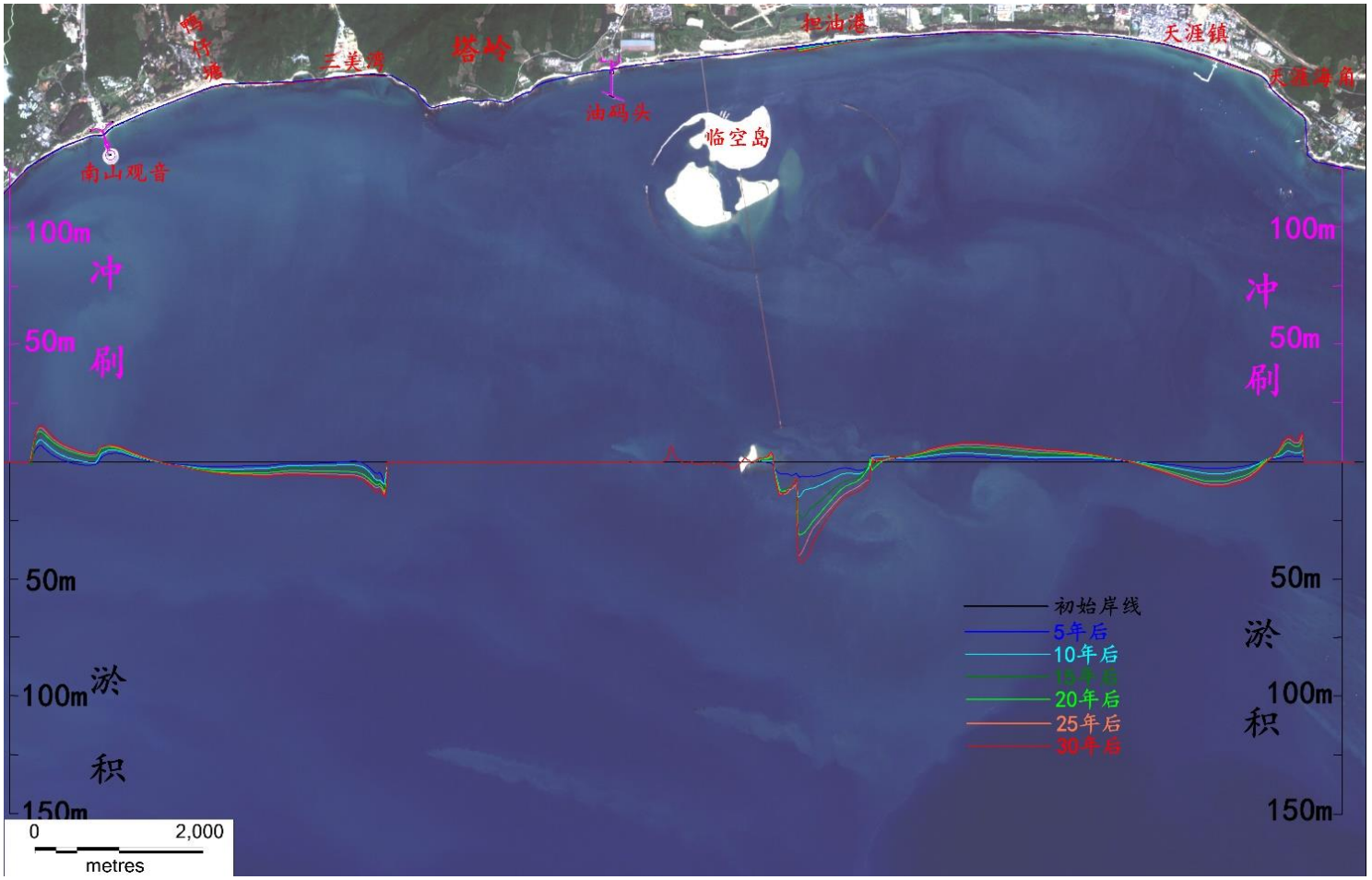
在前述总体的岸滩修复方案条件下，修复岸段的海滩状况可得到较大程度的恢复。在配套工程实施后，工程实施 10 年后，仅有局部岸段可能冲刷发展到现状岸线位置。已建拦沙堤至天涯镇、西拦沙堤至塔岭、南山景区附近三个岸段 30 年后的泥沙流失量分别约为 73%、76%和 70%，流失泥沙达到 50%的年限分别约为 16 年、14 年和 17 年，平均约为 16 年。尽管按照流失 50%作为重补沙标准时重补周期约为 16 年，但因岸段补沙量较大，建议按照工程实施后的实际监测结果进一步确定，在沙源方面考虑从淤积岸段取沙向冲刷岸段补沙的旁通输砂形式。

因拟修法岸段海滩岩、沙丘、外围礁石发育，修复岸段地形较为复杂。在设计阶段，按照项目建设相关要求，进一步优化工程布置方案，并根据物理模型试验，进一步优化和明确补沙方案、补沙量和配套工程的具体尺度。



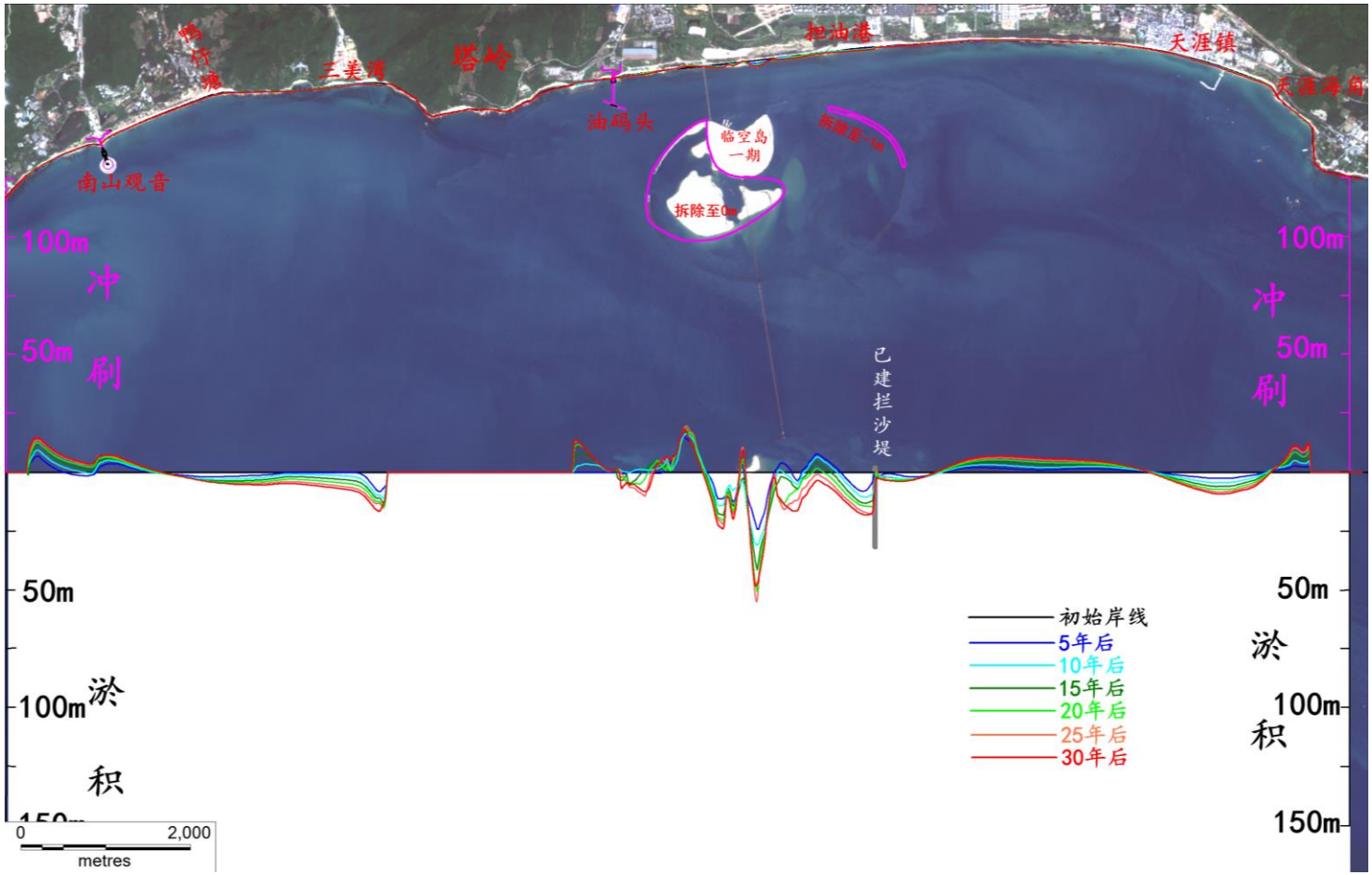
① 上部为岸线冲淤变化；②下部为岸线冲淤变化幅度（放大 20 倍），东西向位置对应。

图 5.3-8 不考虑已实施的围填围填工程条件下的岸线冲淤变化（方案 0）



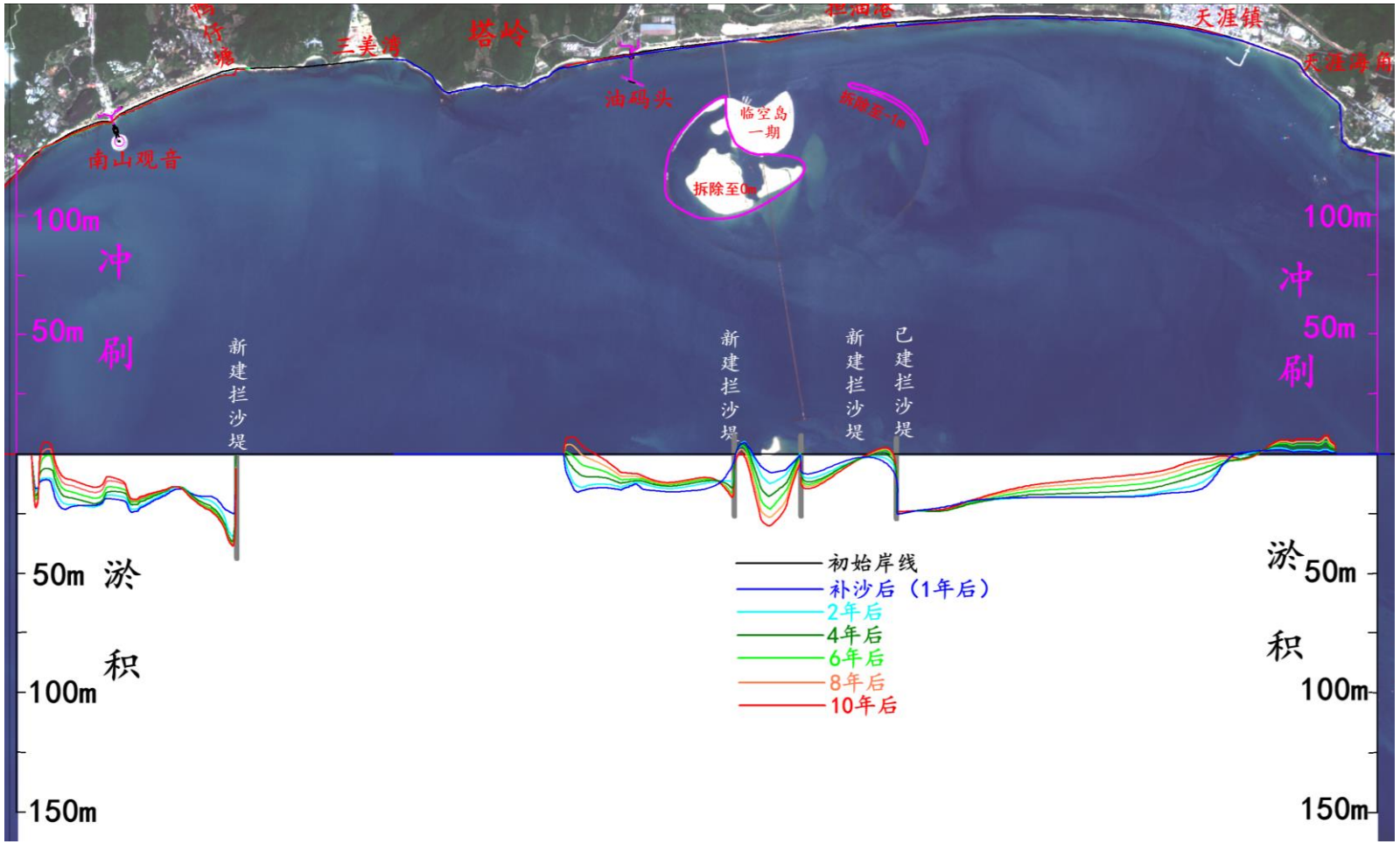
①上部为岸线冲淤变化；②下部为岸线冲淤变化幅度（放大 20 倍），东西向位置对应。

图 5.3-9 现状条件下（考虑已实施的围填和丁坝）的岸线冲淤变化（方案一）



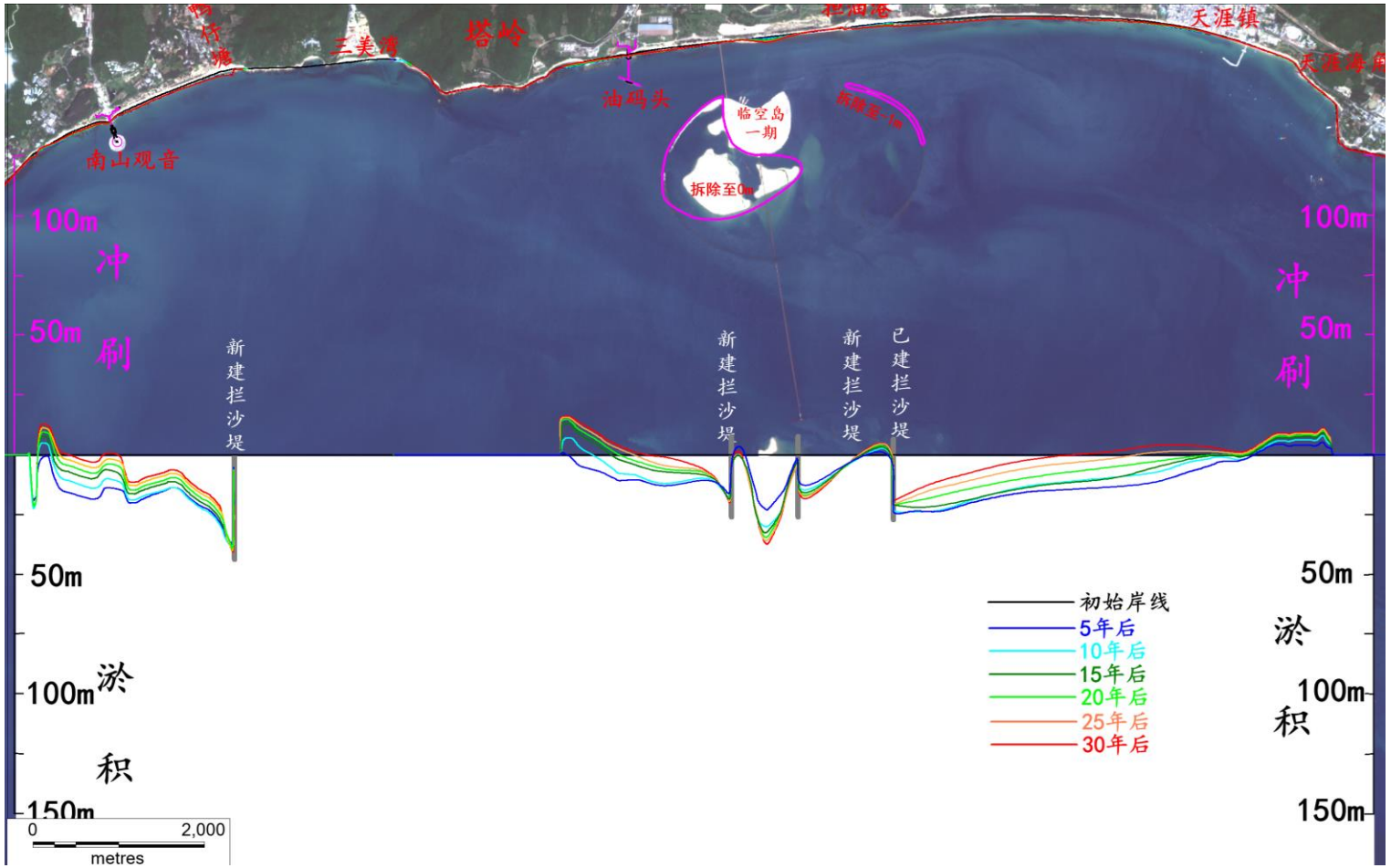
①上部为岸线冲淤变化；②下部为岸线冲淤变化幅度（放大 20 倍），东西向位置对应。

图 5.3-10 拆除方案实施后的岸线冲淤变化（方案二）



①上部为岸线冲淤变化；②下部为岸线冲淤变化幅度（放大 20 倍），东西向位置对应。

图 5.3-11a 拆除方案+修复方案实施 10 年后的岸线冲淤变化（方案三）



①上部为岸线冲淤变化；②下部为岸线冲淤变化幅度（放大 20 倍），东西向位置对应。

图 5.3-11b 拆除方案+修复方案实施 10 年后的岸线冲淤变化（方案三）

5.4 水质环境影响分析

5.4.1 施工期悬浮泥沙对水质环境影响评价

根据工程的实际情况，在工程施工期间，主要环境影响因子是施工过程中产生的悬浮泥沙。悬浮泥沙在海洋水文动力条件的作用下扩散、输运和沉降，形成浓度场，对海域环境产生影响。通过预测求得悬浮泥沙扩散的浓度场后，即可依据海水水质标准，评价其对周围环境的影响程度。

5.4.1.1 预测模型

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：

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

$$Q_S=Q_0-S\omega\left(1-R\right)$$

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

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

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(取石英密度为 2.65g/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}cm^2/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：

$$\tau=\rho f_b UU$$

当$\tau \le \tau_d$时，水中泥沙处于落淤状态，则：$F_s = \alpha\omega S(1-\frac{\tau}{\tau_d})$

当$\tau_d < \tau < \tau_e$时，海底处于不冲不淤状态，则：$F_s = 0$

当$\tau \ge \tau_e$时，海底泥沙处于起动状态，则：$F_s = -M(\frac{\tau}{\tau_e}-1)$

以上各式中：U 为平均流速；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：

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

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；ν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。

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

式中：k =0.32；$d_* = 10$；$\varepsilon_0 = 1.75cm^3/s$，为综合泥沙粘结力，一般泥沙取该值；$\delta = 2.31\times10^{-5}cm$，是薄膜水厚度参数；$\gamma_0$为海底泥沙干容重；$\gamma'_0$泥沙颗粒的稳定干容重；$h$为水深；$\rho_s$为泥沙密度；

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

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

①定解条件

- 初始条件

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

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：

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

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

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

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

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

5.4.1.2 预测源强

各施工过程悬浮物扩散源强设定汇总表见表 5.4-1。

表 5.4-1 悬浮沙预测源强设定

序号	工程内容	源强（kg/s）
1	临空二期陆域回填砂靠近水域边缘拆除阶段	2.82
2	三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近水域边缘	2.82
3	三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近护岸区域拆除阶段	11.74
4	钢圆筒护岸工程外侧抛石清理	2.82
5	人工补砂	0.26
6	拦沙堤堤根沙体开挖	2.82
7	拦沙堤抛石	0.98

在此选取钢圆筒护岸工程外侧抛石清理源点 5 个，三亚新机场抛石基床拆除源点 9 个，三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近护岸区域拆除源点 4 个，临空二期填海区外围拆除源点 29 个，人工补沙源点 38 个，拦沙堤堤根沙体开挖源点 4 个，拦沙堤抛石源点 3 个，共 92 个源点（见图 5.4-1）。

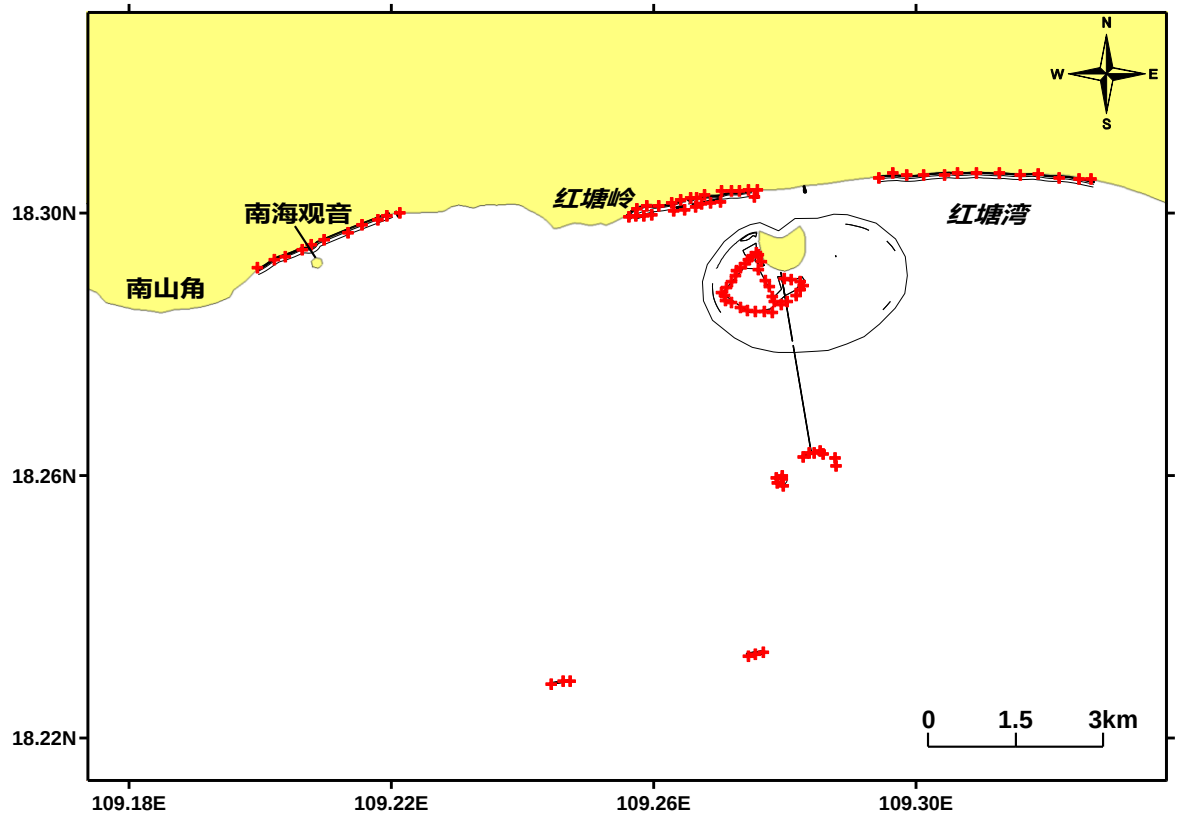


图 5.4-1 悬浮物源强位置图

5.4.1.3 预测工况

工况 1：三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近水域边缘+钢圆筒护岸工程外侧抛石清理+人工岛掩护区西侧拦砂堤共 10 个源点叠加。

工况 2：三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近护岸区域拆除阶段+钢圆筒护岸工程外侧抛石清理+人工岛掩护区西侧拦砂堤共 11 个源点叠加。

工况 3：人工岛掩护区东侧拦砂堤+鸭仔塘口门拦砂堤+人工补砂+临空二期陆域回填砂靠近水域边缘拆除阶段 81 个源点叠加。

本次工程设置拦污屏，在上述 3 个工况基础上增加拦污屏进行预测。

5.4.1.4 预测结果

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 5.4-2a 为工况 1 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 0.791km^2，超III类水质(＞100mg/L)面积为 0.020km^2，超IV类水质(＞150mg/L)面积为 0.014km^2。

图 5.4-2b 为工况 1 设置拦污屏后悬浮泥沙部分区域设置拦污屏后的最大包络线图。通过计算可知，超I、II类水质(＞10mg/L)面积为 0.716km^2，超III类水质(＞100mg/L)面积为 0.020km^2，超IV类水质(＞150mg/L)面积为 0.014km^2。

图 5.4-3a 为工况 2 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 1.071km^2，超III类水质(＞100mg/L)面积为 0.032km^2，超IV类水质(＞150mg/L)面积为 0.024km^2。

图 5.4-3b 为工况 2 设置拦污屏后悬浮泥沙部分区域设置拦污屏后的最大包络线图。通过计算可知，超I、II类水质(＞10mg/L)面积为 0.856km^2，超III类水质(＞100mg/L)面积为 0.032km^2，超IV类水质(＞150mg/L)面积为 0.024km^2。

图 5.4-4a 为工况 3 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 3.340km^2，超III类水质(＞100mg/L)面积为 0.042km^2，超IV类水质(＞150mg/L)面积为 0.011km^2。

图 5.4-4b 为工况 3 设置拦污屏后悬浮泥沙部分区域设置拦污屏后的最大包络线图。通过计算可知，超I、II类水质(＞10mg/L)面积为 3.037km^2，超III类水质(＞100mg/L)面积为 0.042km^2，超IV类水质(＞150mg/L)面积为 0.011km^2。

由施工过程悬浮物增量扩散面积可知，本项目施工过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在项目周边的较小范围内，大于 10mg/L 的包络范围未进入到南山角附近的珊瑚礁分布区。设置拦污屏后，大于 10mg/L 的包络范围未进入到临空产业园周边的珊瑚礁分布区。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（12 小时）也就结束。

悬浮物不同浓度的超标面积见表 5.4-2，不同超标倍数包络面积见下表 5.4-3，大于 10mg/L 悬浮泥沙（SS）增量扩散距离见表 5.4-4，大于 10mg/L 悬浮泥沙增量在东、南、西、北四个方向的最远扩散距离分别为 1.49km、0.35km、1.23km 和 0.28km。

表 5.4-2 悬浮物不同浓度增量的包络面积（km^2）

悬浮物浓度	>10mg/L(超 I、	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L(超 III 类	>150mg/L(超 IV 类

增量	II 类海水水质)			海水水质)	海水水质)
工况 1	0.791	0.293	0.057	0.020	0.014
工况 1 增加拦污屏	0.716	0.293	0.057	0.020	0.014
工况 2	1.071	0.412	0.101	0.032	0.024
工况 2 增加拦污屏	0.856	0.379	0.101	0.032	0.024
工况 3	3.340	1.477	0.485	0.042	0.011
工况 3 增加拦污屏	3.037	1.239	0.485	0.042	0.011

表 5.4-3 不同超标倍数包络面积（km^2）

工况	Bi≤1	1＜Bi≤4	4＜Bi≤9	Bi>9
工况 1	0.498	0.236	0.037	0.02
工况 1 增加拦污屏	0.423	0.236	0.037	0.02
工况 2	0.659	0.311	0.069	0.032
工况 2 增加拦污屏	0.477	0.278	0.069	0.032
工况 3	1.863	0.992	0.443	0.042
工况 3 增加拦污屏	1.798	0.754	0.443	0.042

表 5.4-4 大于 10mg/L 悬浮泥沙（SS）增量扩散距离统计

扩散方向	>10mg/L 等值线距项目区的最远距离
东向	1.49km
南向	0.35km
西向	1.23km
北向	0.28km

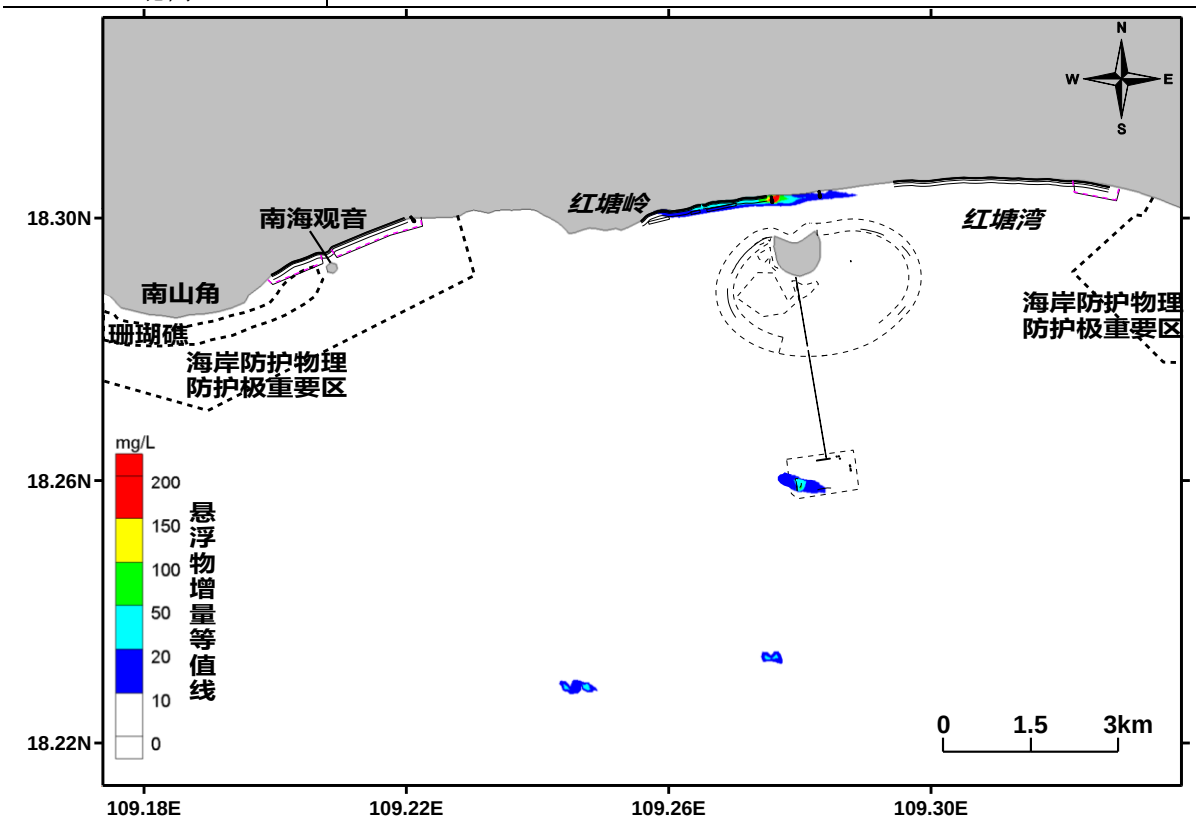


图 5.4-2a 工况 1 悬沙增量包络范围

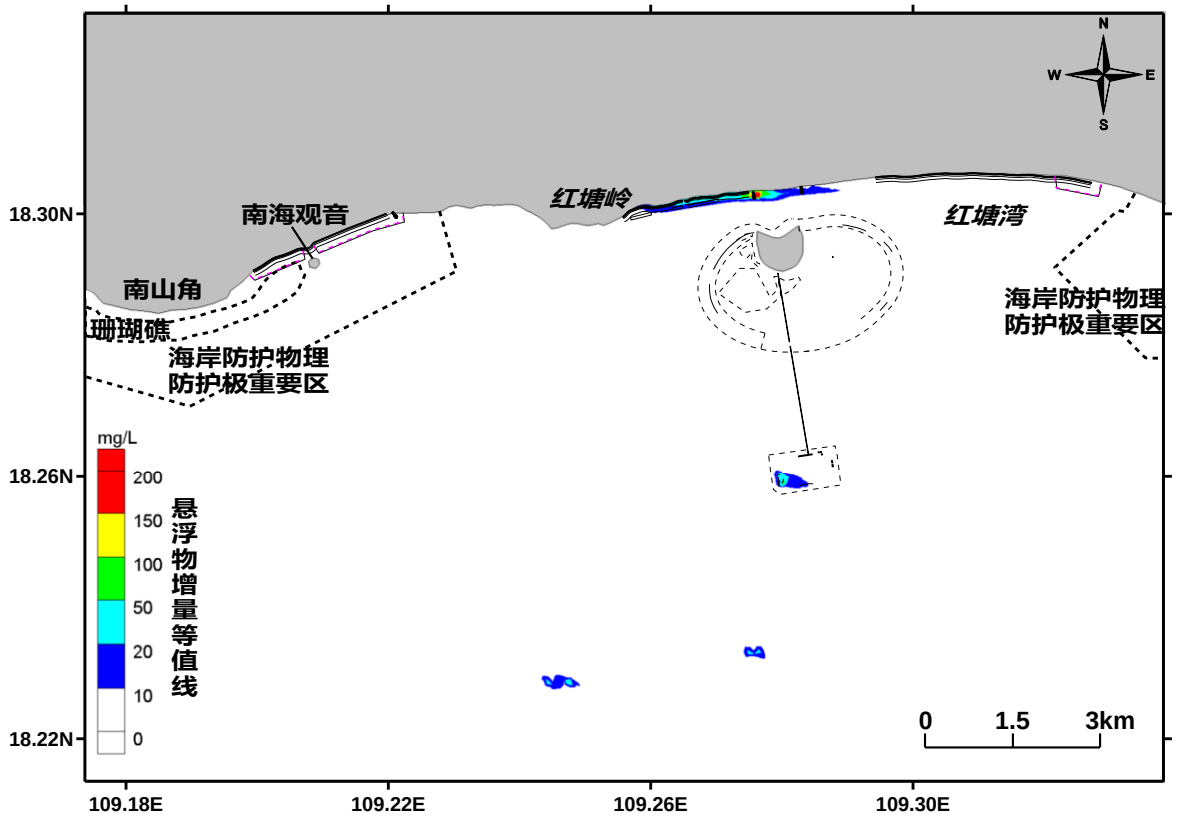


图 5.4-2b 工况增加拦污屏悬沙增量包络范围

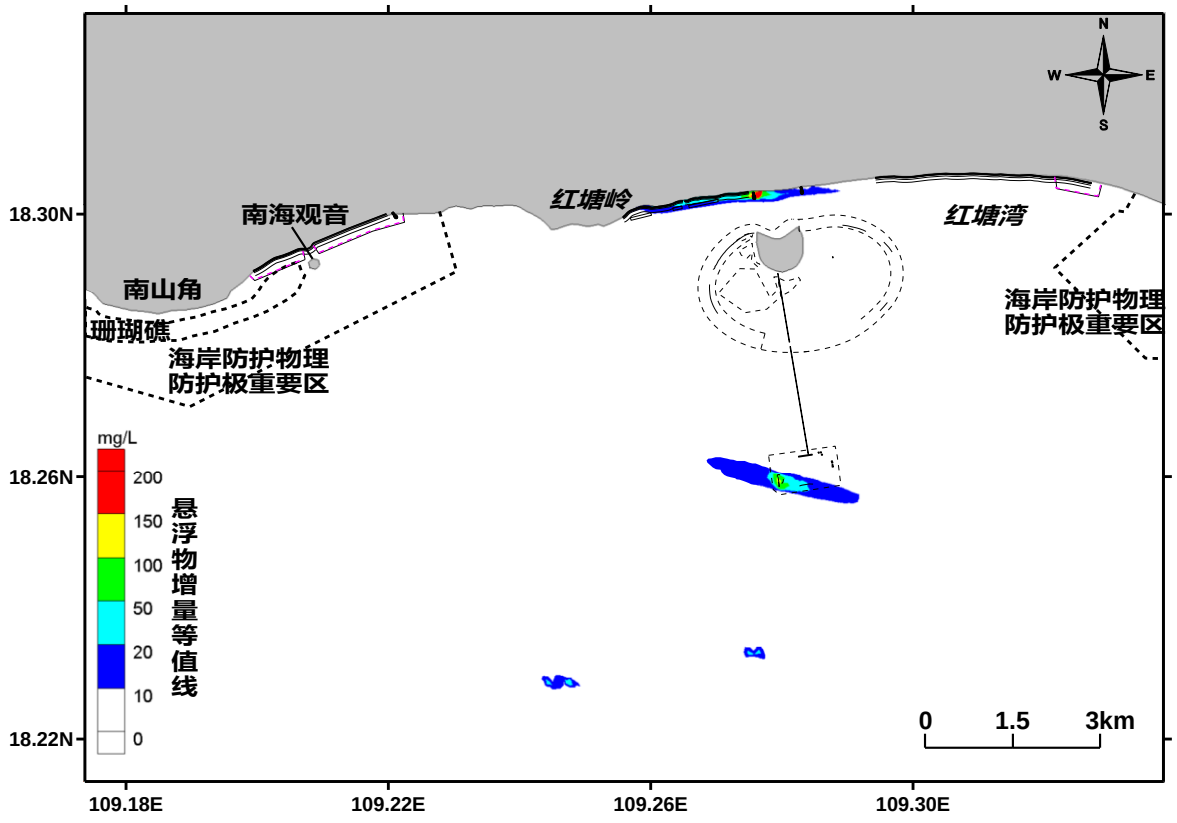


图 5.4-3a 工况 2 悬沙增量包络范围

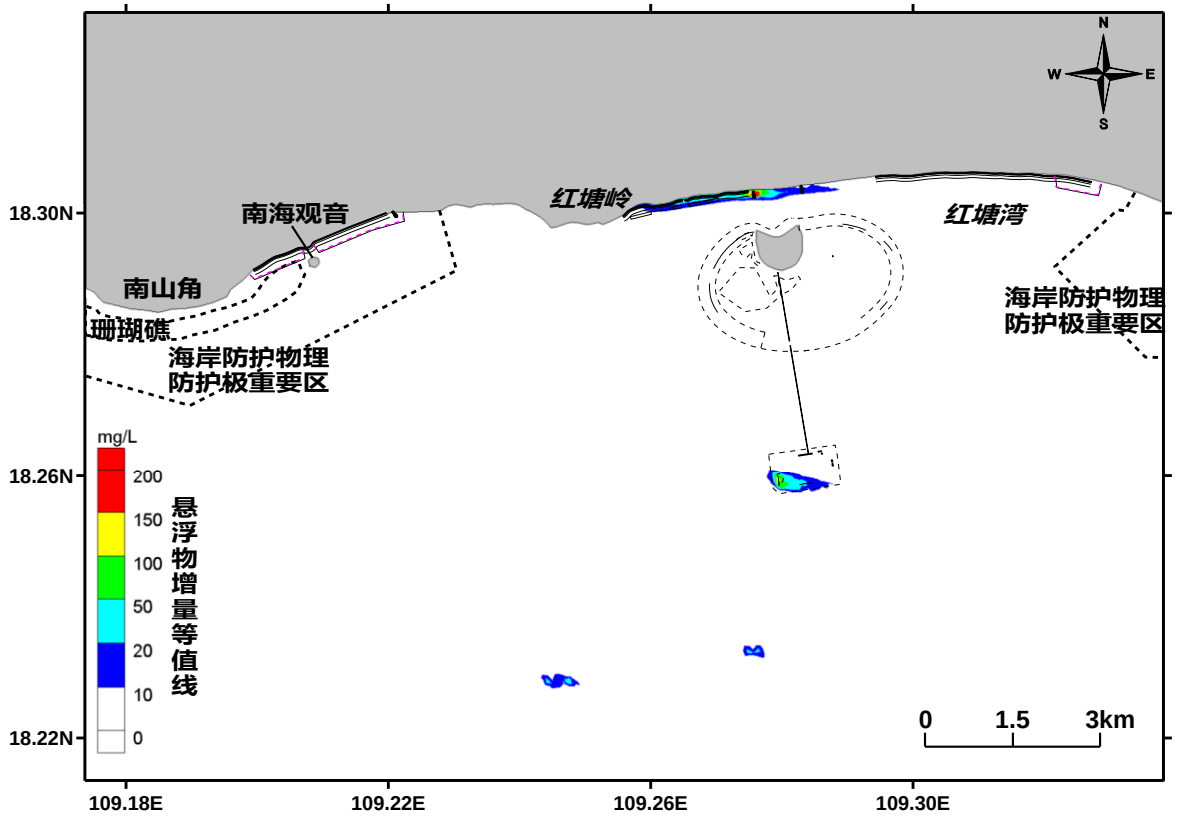


图 5.4-3b 工况 2 增加拦污屏悬沙增量包络范围

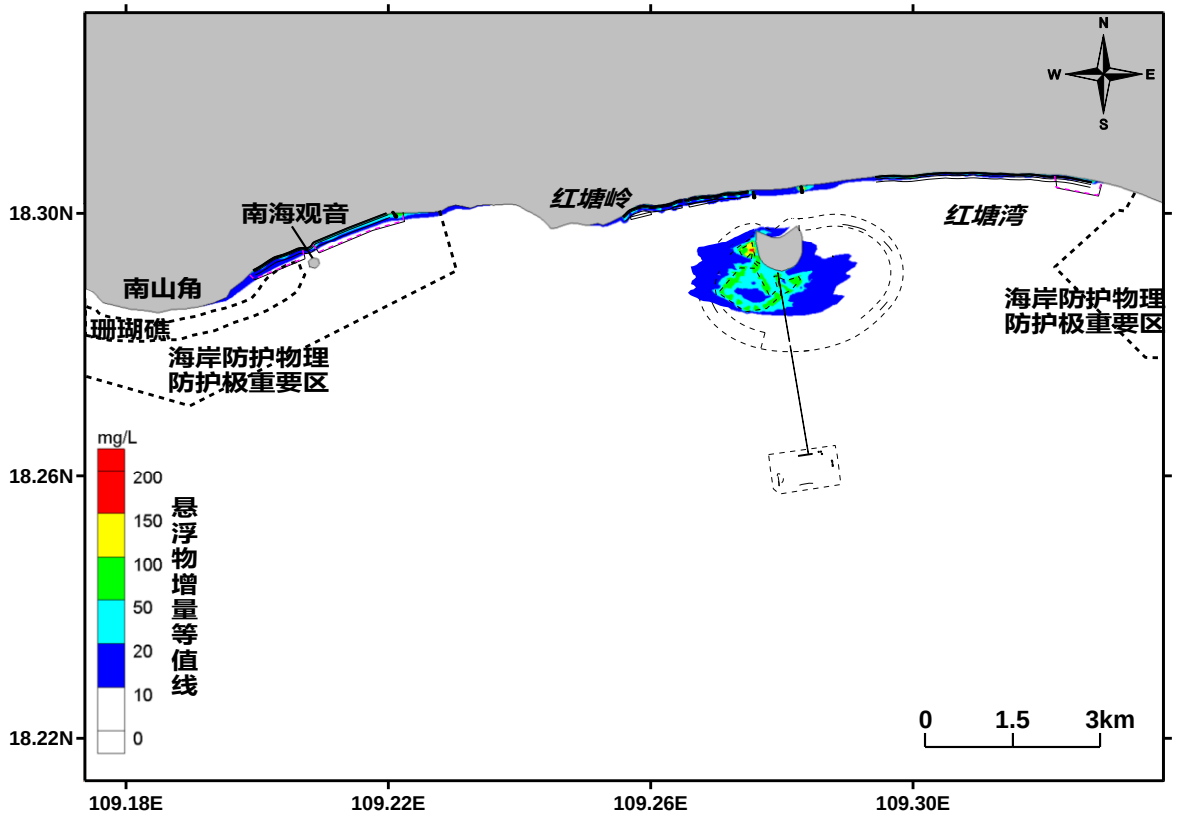


图 5.4-4a 工况 3 悬沙增量包络范围

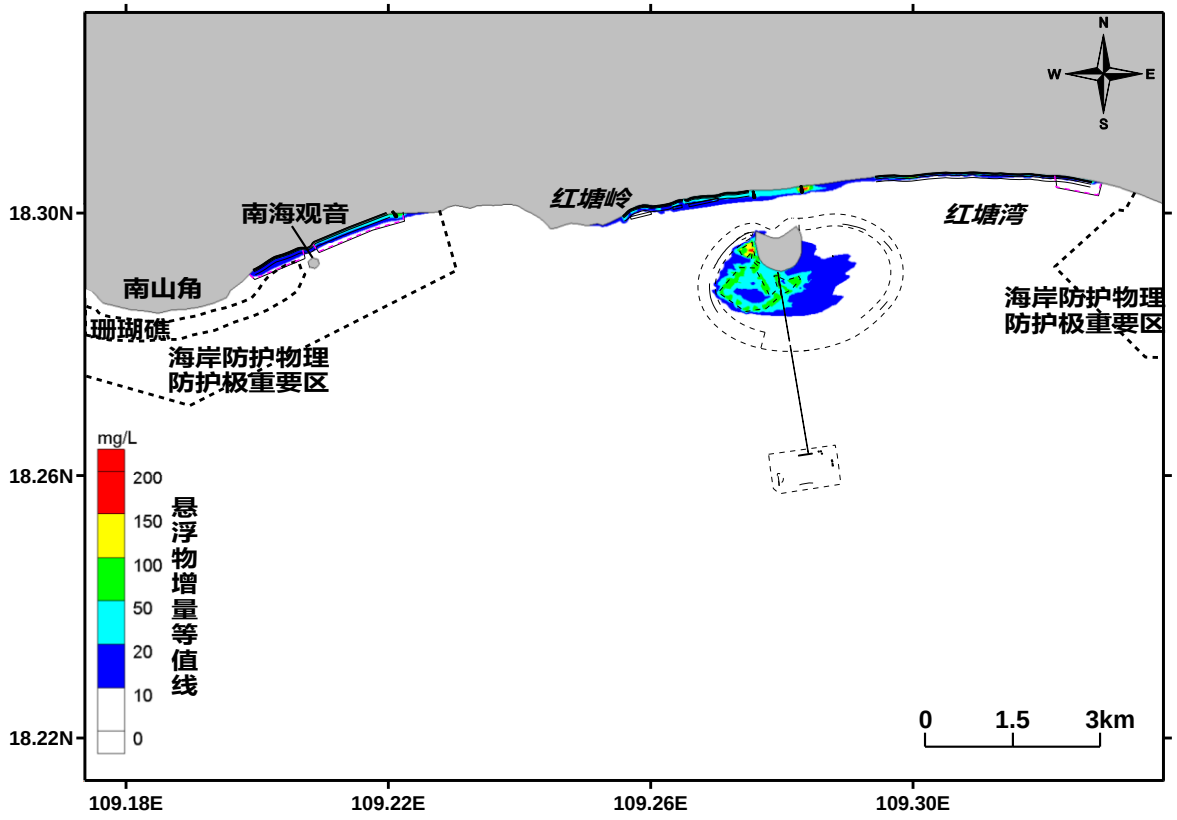


图 5.4-4b 工况 3 增加拦污屏悬沙增量包络范围

5.4.2 施工期水环境影响分析

（1）船舶机舱含油污水

施工单位船舶产生的机舱含油污水将按照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》的要求进行铅封后，交由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理，禁止向海域排放。

（2）船舶生活污水

施工单位船舶产生船舶生活污水，收集后，交由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理，禁止向海域排放。

（3）陆域施工人员生活污水

陆域施工过程中，施工人员产生的生活污水经厂区设置的移动厕所收集后，定期外运至污水处理厂处理，不外排。

5.4.3 小结

本工程施工产生的悬浮物影响主要集中在施工区域，设置拦污屏后各工况产生的大于 10mg/L 悬浮物扩散最远距离为 1.49km，包络线面积最大为 3.037km^2。施工时悬浮沙对海水水质的影响是短暂的，施工结束 12h 后，水质恢复至背景值。

施工期间生活污水、船舶机舱含油污水等污染物均得到合理有效的处置和处理，禁止排海，不会对周边海域生态环境产生不利影响。

5.5 沉积物环境影响分析

5.5.1 工程占用海域对沉积物环境的影响

（1）砂质岸线修复工程用海

工程位于红塘湾海域，拦沙堤面积约 0.985 万 m^2，工程建设将占用红塘湾约 0.985 万 m^2 的海域沉积环境，使其由浅海变为海堤或岸滩，该范围内的海域沉积环境将不复存在。

（2）珊瑚礁修复工程用海

珊瑚礁修复工程中的苗圃培育区占用约为 4 万 m^2 沉积物环境，珊瑚礁修复区占用约为 4 万 m^2。礁体占用海域使沉积环境被覆盖，绝大多数底栖生物将死亡。

5.5.2 施工产生的悬浮泥沙扩散和沉降对沉积物的影响

本项目施工期施工作业会形成悬浮泥沙，采取拦污屏措施后，施工期大于 10mg/L 悬浮物扩散最远距离为 1.49km。悬浮泥沙进入水体中，其中颗粒较大的悬浮泥沙会直接沉降在挖泥区域内，形成新的表层沉积物环境，颗粒较小的悬浮泥沙会随海流漂移扩散，并最终沉降在挖泥区域周围的海底，将原有的表层沉积物覆盖。在上述沉降过程中，沉积物中原有的污染因子，会部分转移至水体中，其余部分仍保留在悬浮泥沙中，并随之沉降形成新的沉积物环境。

现状调查资料表明，所在海域沉积物环境质量尚好，均满足《海洋沉积物质量》的第一类标准；一般情况下，其化学溶出物有限。因此，泥沙悬浮扩散再沉降可能使工程区附近局部区表层沉积物类型、粒度参数等物理特性发生一定变化，但对表层沉积物化学质量指标的影响很小，不会引起海域总体沉积环境质量的变化。

5.5.3 工程实施后海床冲淤对沉积物的影响

依据水利部、交通运输部、国家能源局南京水利科学研究院等单位 2023 年 9 月编制的《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程潮流数学模型研究》报告，拆除工程和修复工程实施后，对项目海域流场影响甚微，对水下地形冲淤不产生直接影响，该海域的冲淤变化基本与现状条件保持一致，主要分布在浅水区，不会引起海域总体沉积环境质量的变化。另外，本项目为退填还海工程，拆除工程的实施有利于占用海

域周边沉积物环境的恢复。

5.6 海洋生态环境影响分析

5.6.1 工程建设对海洋生态环境的影响分析

工程施工期对海洋生态环境的影响主要是砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程占海以及项目施工造成的泥沙入海对海洋生物及其生境等的影响。

5.6.1.1 对浮游生物的影响

施工作业引起施工水域内的局部浑浊，浮游生物将受到不同程度的影响，尤其是滤食性浮游动物受到的影响较大，这主要是由于施工作业引起水中悬浮物增加，悬浮颗粒会粘附在动物体表，干扰其正常的生理功能，滤食性浮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。

据有关资料，水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活和繁殖有明显的抑制作用。过量的悬浮物质会堵塞浮游桡足类动物的食物过滤系统和消化器官，尤其在悬浮物含量大到 300mg/L 以上时，这种危害特别明显。在悬浮物质中，又以粘性淤泥的危害最大，泥土及细砂泥次之。同时，过量的悬浮物质对鱼、虾类幼体的存活也会产生明显的抑制作用。

比照长江口航道疏浚悬浮泥沙对水生生物的毒性效应的试验结果，当悬浮泥沙浓度达到 9mg/L 时，将影响浮游动物的存活率和浮游植物的光合作用。因此，施工过程泥沙入海将对悬浮物增量超过 10mg/L 海域范围内的浮游生物产生一定的影响。由施工期悬浮泥沙预测结果可知，施工作业的悬浮物浓度增值大于 10mg/L 最大影响范围为 3.037km^2 的水域，在这一范围内，将可能对水生生物造成不良影响。施工引起的环境影响是局部的，且这种不良影响是暂时的，到施工结束后的第 12 小时基本恢复到正常值。

随着项目施工的结束，泥沙的沉降作用，水质将逐渐恢复，浮游生物和游泳生物群落会逐渐恢复正常。浮游生物群落的重新建立需要几天到几周时间，游泳生物由于活动力强，也会逐渐建立起新的群落。

5.6.1.2 对底栖生物影响

在工程区周边海域，施工期间产生的悬浮泥沙最终将沉降至海底，覆盖原有的底质，施工过程对底栖生物的直接影响为施工区周边海域内的底栖生物及其栖息地被损

伤破坏。对于生存于底质表层的底栖动物（如虾类），会因缺氧窒息和机械压迫而死亡；对于常年生存于底质内部的底栖动物（如沙蚕、有壳软体类），绝大多数仍能正常存活；对于活动能力较强的底栖动物（如鳜虎鱼），在受到惊扰后，会迅速逃离受污染的区域。

工程施工引起的悬浮泥沙增量高于 100mg/L 的范围约 0.042km^2，悬浮泥沙扩散与沉降会对底栖生物产生一定影响。施工结束后，工程区附近海域的底栖生物群落会逐渐恢复、重建。

5.6.1.3 对渔业资源的影响

施工作业悬浮泥沙入海引起海水悬浮物增加，可能将对游泳鱼类的正常生理行为产生影响，由于海洋生物的“避害”反应，施工区附近海域自然生长的游泳动物也将变少。泥沙悬浮物在许多方面对鱼类产生不同的影响。

首先，悬浮微粒对鱼类的机械作用，水体中含有大小不同的，从几十微粒到十余微米的矿质颗粒，在悬浮微粒过多时将导致海水的混浊度增大，透明度降低， 不利于天然饵料的繁殖生长。

其次，水中大量存在的悬浮物也会使鱼类造成呼吸困难和窒息现象，因为这些微粒随鱼的呼吸动作进入鳃部，将沉积在鳃瓣、鳃丝及鳃小片上，不仅损伤鳃组织，而且将隔断了气体交换的进行，甚至严重时导致窒息。不同的鱼类对悬浮物质含量高低的耐受范围有所区别。据有关实验数据，悬浮物质的含量为 8×10^4mg/L 时，鱼类最多只能存活 1 天；含量为 6×10^3mg/L 时，最多能存活 1 周；若保持悬浮物质含量达到 2.3×10^3mg/L 时，则鱼类能存活 3～4 周。通常认为悬浮物质的含量在 200mg/L 以下时，不会导致鱼类直接死亡。但在施工作业点中心区附近的鱼类，即使悬浮物浓度过高也未能引起死亡，但其腮部会严重受损，从而影响鱼类今后的存活和生长。

悬浮物对渔业资源的影响除可产生直接致死效应外，还存在间接、慢性的影响，例如：造成生物栖息环境的改变或破坏，引起食物链和生态结构的逐步变化，导致生物多样性和生物丰度下降；造成水体中溶解氧、透光度和可视性下降，使光合作用强度和初级生产力发生变化，影响某些种类的生长和发育；混浊的水体使某些种类的游动、觅食、躲避致害、抵抗疾病和繁殖的能力下降，降低生物群体的更新能力等。

根据施工期悬浮泥沙预测结果，施工悬浮泥沙浓度增量 10mg/L 等值线最大包络面积为 3.037km^2，影响面积较大但其影响主要发生在施工期。因此，必须加强施工过程的管理、监督，严格执行所规定的施工工艺方法，尽量减少泥沙散落入海。

5.6.2 海洋生物损失量评估

本项目建设造成的海洋生物资源影响主要体现在：（1）砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程占用海域导致的底栖生物资源和渔业资源损失；（2）施工产生的悬浮泥沙扩散造成的底栖生物资源和渔业资源损失。

损失计算按中华人民共和国水产行业标准 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》中的有关规定进行计算。

5.6.2.1 生物损失量评估方法

5.6.2.1.1 占用渔业水域生物损失计算方法

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公式（1）计算：

$$W_i = D_i \times S_i \quad ..(1)$$

式中：W_i—第 i 种生物资源受损量，单位为尾或个或千克（kg），在这里指底栖生物和潮间带生物资源受损量；

Di—评估区域内第 i 种生物资源密度，单位为尾（个）每平方千米[尾（个）/km^2]、尾（个）每立方千米[尾（个）/km^3]或千克每平方千米（kg/km^2）；

S_i—第 *i* 种生物占用的渔业水域面积或体积，单位为平方千米（km^2）或立方千米（km^3）。

5.6.2.1.1 污染物扩散对海洋生物资源损害评估

污染物扩散范围内对海洋生物资源的损害评估，分一次性损害和持续性损害。本项目施工期悬浮物影响范围有限，在短时间内可恢复背景值，因此按一次性平均受损量评估。

（1）一次性平均受损害量评估按公式（2）计算：

当污染物浓度增量超过《渔业水质标准》（同《海水水质标准》第一类标准）标准值时，其损害按以下公式计算：

$$W_i = \sum_{j=1}^{n} D_{ij} \times S_j \times K_{ij} \quad （2）$$

式中：W_i——第 *i* 种类生物资源一次性平均损失量，单位为尾、个、千克（kg）；

D_{ij}——某一污染物第 *j* 类浓度增量区第 *i* 种类生物资源密度，单位为尾/平方千米（尾/km^2）、个/平方千米（个/km^2）或千克/平方千米（kg/km^2）；

S_j——某一污染物第 *j* 类浓度增量区面积，单位为平方千米（km^2）；

K_{ij}——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——某一污染物浓度增量分区总数。

污染物对各类生物的损失率见下表。

表 5.6-1 污染物对各类生物损失率

污染物 *i* 的超标倍数（B_i）	鱼卵和仔稚鱼%	成体%	幼体%
B_i≤1 倍（10～20mg/L）	5	1	5
1＜B_i≤4 倍（20～50mg/L）	20	5	20
4＜B_i ≤9 倍（50～100mg/L）	40	15	40
B_i ≥9 倍（>100mg/L）	50	20	50

（2）持续性损害受损量评估：

当污染物浓度增量区域存在时间超过 15d 时，应计算生物资源的累计损害量。计算以年为单位的生物资源的累计损害量按以下公式计算：

$$M_i = W_i \times T \quad （4）$$

式中：M_i—第 i 种类生物资源累计损害量，单位为尾、个或千克（kg）；

W_i—第 i 种类生物资源一次平均损害量，单位为尾、个或千克（kg）；

T—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），单位为个。

5.6.2.2 海洋生物资源损失计算参数

（1）生物资源密度

按《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）中的有关规定进行计算。根据海洋生态及渔业资源调查结果，生物资源平均密度见下表。

表 5.6-2 生物资源平均密度表

调查时间	鱼卵	仔稚鱼	游泳动物			底栖生物
	粒/m^3	尾/m^3	kg/km^2			g/m^2
2023 年夏季	0.583	0.054	699.14			6.01
2023 年秋季	1.01	0.3	483.46			22.78
平均值	0.7965	0.177	成体 2.26%	13.363	591.3	14.395
			幼体 97.74%	577.937		

（2）海域水深

临空产业园二期和珊瑚礁修复区水深在 5~15m 之间，本次取平均水深 10m；三亚新机场起步工程水深在 15~20m，本次取平均水深 17.5m；钢圆筒试验段水深在 20~25m，本次取平均水深 22.5m；砂质岸线修复工程水深在 0~3m，本次取平均水深 1.5m，则本次施工区域以平均水深 13m 进行计算。

（3）占用渔业水域面积

本项目砂质岸线修复工程和珊瑚礁修复工程涉及永久占用海域，其中砂质岸线修复工程的拦沙堤占用海域 0.985 公顷，珊瑚礁修复区占用海域 4 公顷，永久性占用海域 4.985 公顷。本项目拦污屏和珊瑚礁苗圃区涉及临时占海，拦污屏占海面积约 62.7246 公顷，珊瑚礁苗圃去占海面积约 4 公顷，临时性占用海域 66.7246 公顷。

（4）悬浮沙增量区面积

本项目以布设拦污屏后各工况产生的悬浮沙浓度增量分区面积计算生物资源损失量。根据《规程》附录 B，悬浮物浓度增量分区数为 4 个，根据悬沙扩散预测结果列出浓度增量分区数及各区面积，浓度增量区面积见下表。

表 5.6-3 悬浮沙浓度增量分区数及各区面积（km^2）

工况	悬浮沙浓度增量各区面积			
	Bi≤1	1＜Bi≤4	4＜Bi≤9	Bi>9
	10-20mg/L	20-50mg/L	50-100mg/L	＞100mg/L
工况 1 增加拦污屏	0.423	0.236	0.037	0.02
工况 2 增加拦污屏	0.477	0.278	0.069	0.032
工况 3 增加拦污屏	1.798	0.754	0.443	0.042

（5）持续周期数

本次将各工程施工工序分为 3 个工况，工况 1：三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近水域边缘+钢圆筒护岸工程外侧抛石清理+人工岛掩护区西侧拦砂堤；工况 2：三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近护岸区域拆除阶段+钢圆筒护岸工程外侧抛石清理+人工岛掩护区西侧拦砂堤；工况 3：人工岛掩护区东侧拦砂堤+鸭仔塘口门拦砂堤+人工补砂+临空二期陆域回填砂靠近水域边缘拆除阶段。

三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近水域边缘、三亚新机场填海项目起步工程陆域回填砂靠近护岸区域拆除阶段施工时间均为半个月，钢圆筒护岸工程外侧抛石清理施工时间为 1 个月，人工岛掩护区西侧拦砂堤、人工岛掩护区东侧拦砂堤、鸭仔塘口门拦砂堤施工时间均为 2 个月，临空二期陆域回填砂靠近水域边缘拆除阶段施工时间为 1 个月，人工补砂施工时间为 4 个月。

考虑到不同施工时序的叠加影响，工况一以半个月连续施工进行考虑，施工持续周期数为 1；工况二以 1 个半个月连续施工进行考虑，施工持续周期数为 3；工况一以 4 个月连续施工进行考虑，施工持续周期数为 8。

5.6.2.3 生物损失量核算

5.6.2.3.1 悬浮泥沙扩散对渔业资源的影响

施工引起的悬浮泥沙扩散对渔业资源的影响见表 5.6-4，施工悬浮泥沙造成海洋生物的损失量见表 5.6-5~表 5.6-7。

表 5.6-4 悬浮沙对渔业生物资源损失核算参数

工况	悬浮沙浓度增量各区面积 km^2				施工时间（月）	持续周期数
	Bi≤1	1＜Bi≤4	4＜Bi≤9	Bi>9		
工况 1 增加拦污屏	0.423	0.236	0.037	0.02	半个月	1
工况 2 增加拦污屏	0.477	0.278	0.069	0.032	1 个半月	3
工况 3 增加拦污屏	1.798	0.754	0.443	0.042	4 个月	8

表 5.6-5 工况一施工悬浮沙扩散对渔业资源影响评价

生物资源	资源密度	影响面积（km^2）		水深 m	损失率	持续周期	一次性损失量	总损失量-
鱼卵粒/ m^3	0.7965	Bi≤1	0.423	13	5%	1	2.19E+05 粒	9.65E+05 粒
		1＜Bi≤4	0.236		20%		4.89E+05 粒	
		4＜Bi≤9	0.037		40%		1.53E+05 粒	
		Bi>9	0.02		50%		1.04E+05 粒	
仔稚鱼尾/m^3	0.177	Bi≤1	0.423	13	5%	1	4.87E+04 尾	2.14E+05 尾
		1＜Bi≤4	0.236		20%		1.09E+05 尾	
		4＜Bi≤9	0.037		40%		3.41E+04 尾	
		Bi>9	0.02		50%		2.30E+04 尾	
渔业资源成体 kg/km^2	13.363	Bi≤1	0.423	/	1%	1	0.057kg	0.342 kg
		1＜Bi≤4	0.236		5%		0.158kg	
		4＜Bi≤9	0.037		15%		0.074 kg	
		Bi>9	0.02		20%		0.053 kg	
渔业资源幼体 kg/km^2	577.937	Bi≤1	0.423	/	5%	1	12.223 kg	53.835 kg
		1＜Bi≤4	0.236		20%		27.279 kg	
		4＜Bi≤9	0.037		40%		8.553 kg	
		Bi>9	0.02		50%		5.779 kg	

表 5.6-6 工况二施工悬浮沙扩散对渔业资源影响评价

生物资源	资源密度	影响面积（km^2）		水深 m	损失率	持续周期	一次性损失量	总损失量-
鱼卵粒/ m^3	0.7965	Bi≤1	0.477	13	5%	3	2.47E+05 粒	1.27E+06 粒
		1＜Bi≤4	0.278		20%		5.76E+05 粒	
		4＜Bi≤9	0.069		40%		2.86E+05 粒	
		Bi>9	0.032		50%		1.66E+05 粒	
仔稚鱼尾/m^3	0.177	Bi≤1	0.477	13	5%	3	5.49E+04 尾	2.83E+05 尾
		1＜Bi≤4	0.278		20%		1.28E+05 尾	
		4＜Bi≤9	0.069		40%		6.35E+04 尾	
		Bi>9	0.032		50%		3.68E+04 尾	
渔业资源	13.363	Bi≤1	0.477	/	1%	3	0.064 kg	0.473kg
		1＜Bi≤4	0.278		5%		0.186 kg	

成体 kg/km²		4＜Bi≤9	0.069		15%		0.138 kg	
		Bi>9	0.032		20%		0.086 kg	
渔业资源幼体 kg/km²	577.937	Bi≤1	0.477	/	5%	3	13.784 kg	71.115 kg
		1＜Bi≤4	0.278		20%		32.133 kg	
		4＜Bi≤9	0.069		40%		15.951 kg	
		Bi>9	0.032		50%		9.247 kg	

表 5.6-7　工况三施工悬浮沙扩散对渔业资源影响评价

生物资源	资源密度	影响面积（km²）		水深 m	损失率	持续周期	一次性损失量	总损失量-
鱼卵 粒/ m³	0.7965	Bi≤1	1.798	13	5%	8	9.31E+05 粒	4.54E+06 粒
		1＜Bi≤4	0.754		20%		1.56E+06 粒	
		4＜Bi≤9	0.443		40%		1.83E+06 粒	
		Bi>9	0.042		50%		2.17E+05 粒	
仔稚鱼 尾/m³	0.177	Bi≤1	1.798	13	5%	8	2.07E+05 尾	1.01E+06 尾
		1＜Bi≤4	0.754		20%		3.47E+05 尾	
		4＜Bi≤9	0.443		40%		4.08E+05 尾	
		Bi>9	0.042		50%		4.83E+04 尾	
渔业资源成体 kg/km²	13.363	Bi≤1	1.798	/	1%	8	0.240 kg	1.744 kg
		1＜Bi≤4	0.754		5%		0.504 kg	
		4＜Bi≤9	0.443		15%		0.888 kg	
		Bi>9	0.042		20%		0.112 kg	
渔业资源幼体 kg/km²	577.937	Bi≤1	1.798	/	5%	8	51.957 kg	253.657 kg
		1＜Bi≤4	0.754		20%		87.153 kg	
		4＜Bi≤9	0.443		40%		102.410kg	
		Bi>9	0.042		50%		12.137 kg	

5.6.2.3.2　工程占用海域对底栖生物的影响

本项目永久占用海域 4.985 万 m²，临时占海 66.7246 万 m²，该面积内的底栖生物损失率按 100%计算，底栖生物的损失量算见下表。

表 5.6-8 工程永久占用覆盖对底栖生物的影响评价

施工影响类型		生物资源	影响面积		生物量	损失率（%）	损失量
永久占海	拦沙堤	底栖生物	0.985 万 m²	4.985 万 m²	14.395g/m²	100	0.72t
	珊瑚礁修复区		4 万 m²				
临时占海	拦污屏		62.7246 万 m²	66.7246 万 m²			9.61t
	珊瑚礁苗圃区		4 万 m²				
合计							10.32t

5.6.3 海洋生物资源补偿经济价值评估

5.6.3.1　计算方法

1）鱼卵、仔稚鱼经济价值的计算

鱼卵、仔稚鱼的经济价值应折算成鱼苗进行计算。鱼卵、仔稚鱼经济价值按公式③计算：

$$E=P\times W\times M \quad \cdots\cdots\cdots\

施工影响类型	生物资源	影响面积	损失量	单价	换算	补偿年限（年）	金额(万元)
永久占海	底栖生物	4.985 万 m^2	0.72t	10 元/kg	100%	20	14.35
临时占海		66.7246 万 m^2	9.61t			3	28.82
合计：							43.17

5.6.4 珊瑚礁生态系统损失服务价值

根据《三亚红塘湾围填海项目拆除工程对珊瑚礁影响评估报告》（国家海洋局三沙海洋环境监测中心站，2023 年 9 月），本项目影响范围内珊瑚礁生态系统服务总价值为 302.33 万元/a，按 20 年计算，则合计损失服务价值约 6046.6 万元。

5.6.5 小结

综上所述，本项目施工共造成鱼卵损失 1.8×10^8 粒，仔稚鱼损失 1.67×10^7 尾，渔业资源成体损失 5.03t，底栖生物损失 15.64t，本项目造成的海洋生物经济损失即所需的海洋生物经济补偿金额估算约为：悬沙海洋生物损失 45.25 万元+工程占海生物损失 43.17 万元+珊瑚礁生态系统损失 6046.6 万元=6133.529 万元。

5.7 大气环境影响分析

大气污染源主要为施工期施工机械、车辆及船舶排放的废气和拆建物料在施工、运输、堆存期间产生的扬尘。其中施工机械、车辆及船舶排放的废气主要是由其所采用的燃料及设备决定，如果采用清洁型燃料，在车辆、机械设备及船舶排气口加装废气过滤器，同时保持车辆及有关设备化油器、空气滤清器等部位的清洁，废气污染的影响基本可以接受；施工扬尘源一般高度较低，粉尘颗粒较大，属于瞬时源，污染扩散范围较小，危害时间较短，其影响主要在施工场地附近 100m 范围内，对施工人员影响较大。运输过程中的扬尘属于流动性、间歇性大气污染源，一般来说，此类污染源的排放量较小，影响范围也不大。易起尘的物料要加盖蓬布、控制车速，防止物料洒落和产生扬尘；对施工现场以及运送土石方的的道路应定期清扫洒水，保持车辆出入口路面清洁、润湿，以减少施工车辆引起的地面扬尘污染，并尽量要求运输车辆减缓行车速度；施工现场铺设临时的施工便道，铺设碎石或细沙，以减少运输车辆轮胎带泥上路和造成二次扬尘。施工期间扬尘对本工程周边地区及沿途运输道路的影响基本可以得到控制。

项目施工机械和车辆主要集中在临空产业园一期附近，距离周边大气环境敏感目标较远，且施工废气随施工结束而结束，项目施工对大气敏感目标影响较小。

5.8 声环境影响分析

本项目实施对声环境产生的影响主要体现在工程施工阶段。由于各种施工机械设备的运转和各类车辆的运行，不可避免地将产生噪声污染。

施工机械体积相对庞大，其运行噪声也较高，在实际施工过程中，往往是各种机械同时工作，各种噪声源的声能量相互迭加，噪声级将会更高，辐射面也会更大。

本项目施工期施工机械噪声影响预测可采用点声源扩散模型：

$$L_{p2}=L_{p1}-20\lg\left(\frac{r}{r_2}\right)$$

式中：L_{p1}、L_{p2}——分别为 r_1、r_2 距离处的声压级；

r_1、r_2——分别为预测点离声源的距离。

由此式可计算出，项目施工时噪声值随距离衰减的情况，见下表。

表 5.8-1 距施工机械不同距离处的噪声值单位：dB(A)

序号	机械名称	源强	不同距离处的噪声预测值						
			10m	20m	40m	60m	80m	100m	150m
1	船舶	100	80	74	68	64	62	60	56
2	挖掘机	85	65	59	53	49	47	45	41
3	自卸汽车	89	69	63	57	53	51	49	45
4	装载机	90	70	64	58	54	52	50	46
5	破碎锤	100	80	74	68	64	62	60	56
6	履带吊	90	70	64	58	54	52	50	46
7	推土机	86	66	60	54	50	48	46	42
8	绳锯机	90	70	64	58	54	52	50	46
9	抽沙泵	92	72	66	60	56	54	52	48

表 5.8-2 不同施工机械的噪声达标排放所需衰减距离单位：m

序号	机械名称	昼间达标排放所需衰减距离	夜间达标排放所需衰减距离
1	船舶	32	175
2	挖掘机	6	31
3	自卸汽车	9	50
4	装载机	9	50
5	破碎锤	32	175
6	履带吊	9	50
7	推土机	6	35
8	绳锯机	9	50
9	抽沙泵	12	70

项目在施工阶段各种机械噪声昼间达标排放所需衰减距离为 6～32m，夜间达标距离为 31～175m。施工期噪声昼间影响距离在 32m 以内，夜间影响距离在 175m 以内。

根据预测结果，施工期间的施工设备噪声级较高，对施工操作人员和周边居民区及其他敏感点有一定的影响，应从生产工艺、设备、劳动保护和管理等方面采取保护

措施，如尽量采用较先进的低噪声施工设备；组织好施工安排，高声级的施工设备尽可能不同时使用，夜间不施工等，使各受声点的噪声水平降至可以接受的程度；合理疏导进入施工场地的车辆，减少汽车会车时的鸣笛声。但总体而言，施工期噪声影响面相对较窄，具有暂时性和间歇性的特点，随着施工活动的结束，影响即消失。

对周边村庄的影响：根据预测，施工期噪声昼间影响距离在 32m 以内，夜间影响距离在 175m 以内，本项目周边 200m 范围内的声环境敏感目标主要为砂质岸线修复工程所在的南山-大小洞天景区和距离修复工程较近的马岭社区（N，50m），对周边声环境的产生一定的影响。建议合理安排施工计划，夜间不施工，降低噪声对沿线居民的影响。

5.9 固体废物环境影响分析

工程施工期间固体废物主要包括船舶垃圾、施工人员生活垃圾和拆除物料等。

（1）船舶生活垃圾：由施工船舶配备专用设施收集船舶生活垃圾，交给具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理，不排海，基本不会对海域环境产生影响。

（2）人工补砂区清理垃圾、陆域的施工人员生活垃圾：分类收集后由环卫部门清运，统一处理，不会造成环境污染和景观影响。

（3）工程拆除物料：本项目产生拆除物料总计约 293.56 万 m^3+1464 件，其中海砂约 273.13 万 m^3、石料 20.43 万 m^3、成品混凝土预制构件约 1464 件（堆叠一层，占地约 1.5 万 m^2）。根据业主提供的具体处置方案，所有工程拆除物料将部分修复工程利用、部分堆存于临空一期，不外抛、不浪费；禁止在中途将建筑垃圾倾倒入海、所有拆除物料必须运输至指定位置。工程拆除物料转运过程的具体环境影响见表 5.9-1。

表 5.9-1 拆除物料转运暂存的环境影响分析

<table>
<tr><th colspan="2">拆除物料</th><th colspan="3">处置方案</th><th rowspan="2">影响分析</th><th rowspan="2">要求建议</th></tr>
<tr><th>种类</th><th>数量</th><th>处置数量</th><th>暂存地点</th><th>最终处置</th></tr>
<tr><td rowspan="2">海砂</td><td rowspan="2">273.13 万 m^3</td><td>129.92 万 m^3</td><td>无</td><td>直接船运补砂区，用于人工补砂</td><td>在补砂过程，沙滩修复面平整过程存在悬浮泥沙入海的环境影响</td><td>建议补砂工程应与拆除工程衔接好工期；建议补砂单位在补砂前，对拟利用的海砂进行粒径、级配、颜色等分析，符合补砂利用要求的，方可用于补砂</td></tr>
<tr><td>143.21 万 m^3</td><td rowspan="6">莲花岛临空产业园区一期</td><td>暂存临空产业园一期，等待挂牌拍卖</td><td rowspan="2">由于采用抓斗陪泥驳的挖除工艺，泥驳中砂的含水率较低，在卸砂至莲花岛过程中存在少量砂水渗透，对海域环境有一定影响。</td><td rowspan="5">按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）中的相关规定、结合莲花岛现状，要求卸至莲花岛护岸内侧，不可直接卸在岸边或者护岸上；在砂石堆场覆盖塑料薄膜、四周设施排水沟、碎石垫层和沉淀池，减少泥沙进入海域；接纳单位应做好废弃物暂存、处置的环境防护措施；成品预制构件在转运和处置过程要落实《三亚市建筑废弃物综合利用管理办法》的要求、做好申报和废弃物处置工作；应开展废弃物接收、暂存、处置的环境管理工作，包括环境影响评价等。</td></tr>
<tr><td>石料</td><td>20.43 万 m^3</td><td>14.97 万 m^3</td><td>用于砂质岸线修复工程</td></tr>
<tr><td rowspan="3">成品预制构件</td><td rowspan="3">1464 件</td><td>5.46 万 m^3</td><td>暂存临空产业园一期，等待挂牌拍卖</td></tr>
<tr><td>654 件</td><td>用于砂质岸线修复工程</td><td rowspan="3">预制构件在转运过程基本没有泥沙附着，在日常堆放过程不对对海洋环境造成影响。</td></tr>
<tr><td>190 件</td><td>用于珊瑚礁修复工程</td></tr>
<tr><td>629 件</td><td>暂存临空产业园一期，等待挂牌拍卖</td></tr>
</table>

5.10 对周边环境敏感目标影响分析

5.10.1对珊瑚礁的影响分析

根据国家海洋局三沙海洋环境监测中心站编制的《三亚红塘湾围填海项目拆除工程对珊瑚礁影响评估报告》（送审稿）的调查结果，珊瑚礁主要分布在红塘湾沿岸区域及拆除临空产业园二期工程中的人工构筑物（护岸、扭王字块、沉箱等）上，面积约为 28868m^2；红塘湾沿岸区域主要分布在南山寺沿岸海域，面积约为 175043m^2；三美湾至担油港沿岸海域，面积约为 726075m^2，天涯海角游览区沿岸海域，面积约为 332736m^2。项目建设施工过程对珊瑚礁生态系统的影响主要为施工悬浮泥沙、岸滩冲淤以及施工期间的环境风险等。

（1）三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）影响分析

本项目距三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）最近距离约为 7.5km。

根据本项目悬浮泥沙影响预测以及冲淤影响预测结果可知，施工期悬浮沙扩散及项目建设引起的冲淤变化基本不会对三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）的珊瑚礁生态系统造成影响。同时，根据“潮流泥沙数学模型研究”和“波浪整体数学模型”结果，工程实施后，不会对三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）的特征流速和波浪波高产生变化。

（2）沿岸珊瑚礁影响分析

1）直接影响

本项目用海范围内珊瑚分布范围为 1262722m^2，其中拆除临空产业园二期工程区域内珊瑚礁分布面积约为 28868m^2，红塘湾沿岸区域珊瑚礁分布面积约为 1233854m^2。

拆除工程的护岸上有珊瑚礁分布，护岸、扭王字块、沉箱等拆除造成珊瑚礁生存环境的改变，如对护岸、扭王字块、沉箱采取切割的施工方式，会对珊瑚礁造成直接破坏；护岸、扭王字块等采用吊装拆除的方式，在吊装过程中暴露在水面以上的时间过长或吊装速度过快，均会对珊瑚礁造成直接破坏。但随着陆域回填料的拆除，最大限度消除围填海项目造成的不良生态环境影响，恢复围填海项目的海域属性，生态正效应明显，有利于形成各种复杂多样的小生境，利于珊瑚和其他生物在此环境中生长繁殖和达到新的生态系统平衡。

砂质岸线修复工程直接导致三美湾至担油港沿岸海域约 44022m^2 珊瑚礁分布区产

生直接影响。

2）间接影响

a.悬浮泥沙扩散

悬浮泥沙扩散是拆除项目实施对周边海域珊瑚礁影响最大的因素之一。本项目施工过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在项目周边的较小范围内，大于 10mg/L 的包络范围未进入到南山角附近的珊瑚礁分布区。设置拦污屏后，大于 10mg/L 的包络范围未进入到临空产业园周边的珊瑚礁分布区，对周边珊瑚影响较小。

b.水动力影响

本项目周边珊瑚主要分布在红塘湾沿岸海域，根据数值模拟结果，珊瑚分布区域的水动力变化较小，变化最大的区域为临空产业园一期工程南侧。根据有关资料，项目用海区内流速降低不利于珊瑚的生长繁殖，也不利于珊瑚虫浮浪幼体的领地扩张和繁殖。潮流场变化对珊瑚礁鱼类的分布及捕食策略有一定程度的影响。但是珊瑚分布范围内由于拆除项目实施引起的水动力变化范围和程度较小，整体来看潮流场和水动力变化对珊瑚群落、礁栖生物、珊瑚生境等的影响较为有限。

c.冲淤影响

以冲刷为主的区域，冲淤变化对生境方面的影响主要是较为强烈的冲刷引起悬浮物以及基底条件的变化。短时间、强度弱的冲刷对珊瑚基底的影响可忽略，长时间且高强度的冲刷不利于珊瑚幼体的生长，可能造成珊瑚种类多样性降低。同时冲刷伴随着水体扰动翻转、浊度升高，对珊瑚造成不利影响。以淤积为主的区域，泥沙淤积可能对珊瑚礁、海洋底栖动物等的生境进行掩埋，从而引起部分珊瑚礁生物的死亡。

拆除工程实施后，拆除项目实施造成的冲淤环境变化区域主要集中在项目附近，可能对担油港两侧的珊瑚造成一定影响，但冲淤对其影响较为有限。拆除工程实施基本不会影响项目周边海域的泥沙冲淤趋势，基本不会因改变区域泥沙冲淤趋势而影响到项目周边海域的珊瑚礁生态系统。岸滩修复施工主要影响的是三美湾至担油港沿岸海域的珊瑚礁，加之岸滩补沙增加了泥沙来源，且岸滩补沙范围离珊瑚礁分布区较近，后期会引起悬浮物的变化，可能导致水体透明度降低等或泥沙掩埋部分珊瑚礁分布区造成珊瑚礁群落的变化。

d.溢油扩散等危险事故

珊瑚对海洋的环境变化十分敏感，且无法像鱼类等可以移动的生物一样逃离危险品、油类扩散影响范围，也无法找到一个可以躲避的场所，所以溢油、危险品扩散等

事故将对珊瑚造成非常严重的威胁。

珊瑚礁是由珊瑚在其生命活动中分泌的大量碳酸钙经过世代不断地交替堆积而形成的。溢油会导致珊瑚虫的骨骼被破坏，产卵量下降，幼体的存活率降低，并使成体的生长缓慢。珊瑚虫生殖组织的生长也会受到影响（Guzman H M, et al., 1994；Guzman H M et al., 1991）。有研究表明，溢油发生几天后，珊瑚礁低潮线 1~3m 宽的空间几乎不存在任何生物；在溢油重污染区，水下 1~2m 内，珊瑚礁的生物死亡率约在 17%~30%，其恢复时间约为几年。项目施工工程中可能发生施工船舶跑、漏、冒油或者溢油事故的情形，严重改变所在海域水质环境，从而造成珊瑚及礁栖生物死亡。

整体来看，溢油对珊瑚礁生态系统的影响是灾难性的。建议项目施工及营运期均应做好风险防范措施，避免溢油、爆炸等事故的发生，并做好应急预案，预备应急设备，尽量减小对周边海域珊瑚礁生态系统的影响。

5.10.2对砂质岸线的影响

根据预测结果，岸滩修复方案实施后，修复岸段的海滩状况可得到较大程度的恢复，工程实施 10 年后，仅有局部岸段可能冲刷发展到现状岸线位置。已建拦沙堤至天涯镇、西拦沙堤至塔岭、南山景区附近三个岸段 30 年后的泥沙流失量分别约为 73%、76%和 70%，流失泥沙达到 50%的年限分别约为 16 年、14 年和 17 年，平均约为 16 年，可以有效维持海域砂质岸线海滩现状。

5.10.3对风景名胜区的影响分析

本项目砂质岸线修复工程内容位于南山-大小洞天景区，距天涯海角景区最近 1.3km，对其影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响、施工废气及噪声影响，但这种影响是暂时的，会随着施工结束而消失。同时，实施砂质岸线修复工程可以有效维持海域砂质岸线海滩现状，有利于恢复海上观音和天涯海角段后方的沙滩，对南山-大小洞天景区和天涯海角产生有利影响。

5.10.4对生态红线的影响分析

本项目砂质岸线修复工程内容位于南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区、海岸带防风固沙，四周分布东西瑁洲珊瑚礁（E，7.5km）、鹿回头半岛-榆林角珊瑚礁（SE，19.6km）、南山-大小洞天珊瑚礁（S，0.1km）、天涯海角珊瑚礁（E，2.1km）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（S，2.7km）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（E，0.6km）、环岛台地、平原水土保持（位于人工岛掩护区西侧人工补砂和南山景

区人工补砂区之间，1.2km）、深石礁特别保护海岛（W，9.8km）。

本项目施工废水、固废等处置合理，不排海，对南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区、海岸带防风固沙的影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响，但这种影响是暂时的，施工结束 12h 后水质恢复至背景值，会随着施工结束而消失。砂质岸线修复工程的实施有利于海岸带防护，维持岸滩稳定，有利于南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区、海岸带防风固沙。同时，本项目砂质岸线修复工程属于重要生态修复工程，符合生态红线管控要求。

本项目实施对四周分布生态红线的影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响，由施工悬沙预测可知，本项目施工过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在项目周边的较小范围内，大于 10mg/L 的包络范围未进入到南山角附近的珊瑚礁分布区及其他生态红线区，且施工结束 12h 后水质恢复至背景值，会随着施工结束而消失，不会对其造成影响。

5.10.5对海洋功能区的影响

本工程的实施对海洋功能区的影响主要体表现在：施工悬浮物对海水水质及生态环境的影响，工程实施对对水动力环境（波浪和潮流变化）的影响，对水下地形地貌环境的影响，工程实施对岸滩冲淤环境的影响。

根据预测结果，施工悬沙对所在海域水质的影响，但这种影响是暂时的，施工结束 12h 后水质恢复至背景值，会随着施工结束而消失；波浪和潮流变化、岸滩冲淤环境变化、水下地形地貌变化影响的海洋功能区主要为天涯海角旅游休闲娱乐区、南山旅游休闲娱乐区。

天涯海角旅游休闲娱乐区环境保护保护要求为“保护沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质；保护旅游资源”，南山旅游休闲娱乐区环境保护保护要求为“保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌”，砂质岸线修复工程的实施，可有效缓解本功能区岸滩冲刷作用，有效地保护了“沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌”、“保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌”，不会对其造成不利影响。

5.10.6对养殖区的影响分析

本项目周边分布养殖区为东侧 3.9km 的西岛附近养殖区、东南侧 5.6km 的人工鱼礁、西北侧 10.7km 的崖州港附近养殖区，项目实施对其影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响，各工况产生的大于 10mg/L 悬浮物扩散最远距离为 1.49km，未扩散到

养殖区内，不会对养殖区造成影响。

5.10.7对南海北部幼鱼繁育场的影响

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线、17 个基点连线以内水域，保护期为 1~12 月。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。

本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区海域，施工过程产生的悬浮泥沙扩散影响保护区水质和生态环境，影响鱼类的饵料生物资源，导致饵料资源减少，适宜栖息空间缩小，对项目周围海域的渔业资源产生一定的不利影响。项目施工虽然对鱼类的繁育产生一定影响，施工结束后及时采取生态补偿措施恢复渔业资源等措施，将影响控制在一定范围和可接受程度内。

表 5.10-1 工程对环境敏感目标影响情况分析表

序号	名称		施工悬浮沙影响	水文动力影响	岸滩冲淤环境影响
1	自然保护区	三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）	无影响	无影响	无影响
2	风景名胜区	天涯海角景区	无影响	无影响	无影响
3		南山-大小洞天景区	砂质岸线修复工程	特征流速的变化幅度最大为 0.05m/s，波浪波高增加 5%	30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%
4	领海基点	深石礁领海基点	无影响	无影响	无影响
5	生态红线	东西瑁洲珊瑚礁	无影响	无影响	无影响
6		鹿回头半岛-榆林角珊瑚礁	无影响	无影响	无影响
7		南山-大小洞天珊瑚礁	砂质岸线修复工程	波浪波高增加 0~0.12m	30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%
8		天涯海角珊瑚礁	无影响	波浪波高增加 0~0.02m	30 年后，后退至现状岸线之后。补沙段最大后退幅度在 10m 左右，平均约 5m
9		重要渔业资源产卵场	无影响	无影响	无影响
10		天涯海角海岸防护物理防护极重要区	无影响	波浪波高增加 0~0.02m	30 年后，后退至现状岸线之后。补沙段最大后退幅度在 10m 左右，平均约 5m
11		南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区	砂质岸线修复工程	波浪波高增加 0~0.12m	30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%
12		防风固沙	砂质岸线修复工程	波浪波高增加 0~0.12m	30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%
13		水土保持	砂质岸线修复工程	特征流速的变化幅度最大为 0.05m/s，波浪波高增加 0~0.24m	30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%
14		深石礁特别保护海岛	无影响	无影响	无影响
15	海洋功能区划	天涯海角旅游休闲娱乐区	拆除工程和修复工程	特征流速的变化幅度最大为 0.04m/s，波浪波高增大于 5%	整体表现为全线冲刷，其中补沙段最大后退幅度在 10m 左右，平均约 5m，补沙段总泥沙流失量在 96 万方左右，部分向西绕堤进入人工岛掩护区，部分向东进入到天涯社区东侧岸段
16		南山旅游休闲娱乐区	砂质岸线修复工程	特征流速的变化幅度	30 年后流失泥沙量约 46 万方，约占补沙量的 70%

序号	名称		施工悬浮沙影响	水文动力影响	岸滩冲淤环境影响
				最大为 0.05m/s，波浪波高增加 5%	
17		三亚湾旅游休闲娱乐区	无影响	无影响	无影响
18		三亚湾农渔业区	无影响	基本无影响	无影响
19		南山农渔业区	无影响	无影响	无影响
20		海南岛近海农渔业区	无影响	无影响	无影响
21		三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)	无影响	基本无影响	无影响
22	重要生态系统	沿岸珊瑚礁	砂质岸线修复工程	特征流速的变化幅度最大为 0.09m/s，南山旅游区附近沿岸珊瑚礁，波浪波高增加 <5%；临空产业园一期附近沿岸珊瑚礁，波浪波高增加 0~0.6m	担油港以东的冲刷岸段的冲刷幅度有所减轻，冲刷岸段长度减小约 760m，平均冲刷后退幅度减小 2m 左右；现状围填区掩护岸段仍然保持淤积，但幅度明显减小，担油港附近 30 年最大淤积幅度由 62m 左右减小至 40m 左右
25	养殖区		无影响	基本无影响	无影响
26	重要渔业水域	南海北部幼鱼繁育场保护区	影响	影响	影响

6 环境风险分析与评价

6.1 环境风险评价概述

6.1.1 评价目的、评价内容和评价重点

（1）评价目的

环境风险评价的目的是以突发性事故导致的危险物质环境急性损害防控为目标，对建设项目的环境风险进行分析、预测和评估、提出环境风险预防、控制、减缓措施，明确环境风险监控及应急建议要求，为建设项目环境风险防控提供科学依据。

（2）评价内容

本项目环境风险评价主要工作内容为：识别涉及环境风险的事故类型；分析事故风险概率；预测风险事故对环境的影响；制定相应的风险防范措施、应急对策以及应急设备配置方案，见表 6.1-1。

表 6.1-1 环境风险评价内容一览表

序号	程序	主要内容
1	风险识别	污染风险事故类型
2	源项分析	事故发生概率、源强及事故高发区
3	风险影响预测	事故危害程度
4	风险评价	综合评价风险可接受水平
5	降低风险对策	减少事故概率和危害后果对策
6	应急能力评估	综合评估本项目污染风险能力，提出应急能力建设方案
7	评估结论	得到风险评估结论

（3）评价重点

1）本项目施工期施工船舶对海洋环境的风险影响；

2）风险溢油应急能力评估及应急处理措施。

6.1.2 环境风险评价等级

按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）的要求，环境风险等级判定如下：

（1）危险系统及危险性分级

根据国家标准 GB12268-2012《危险货物品名表》中易燃易爆化学物品的定义，指以燃烧爆炸为主要特性的压缩气体、液化气体、易燃液体、易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品、氧化剂和有机过氧化物以及毒害品、腐蚀品中部分易燃易爆化学物品。

本项目涉及的危险物质主要为施工船舶使用的燃料油，临界量为 2500t。

根据本项目工程概况，本项目水上施工船舶最大吨级为 5000 吨，根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）附录 C 中的要求，5000 吨级运砂船（杂货船）燃油舱总舱容按照 390m³ 考虑，则油类物质最大总存在量约 351t，由此计算危险物质数量与临界量比值（Q）为 0.14，Q＜1，环境风险潜势为 I，确定海域环境风险评价等级为简单分析。

6.2 环境风险危害识别

6.2.1 物质危险性识别

按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）对本项目所涉及的有毒有害、易燃易爆物质进行危险性识别，物质危险性识别标准见表 6.2-1。

本项目涉及的风险物质为施工船舶燃料油，油品特性表见表 6.2-2。

表 6.2-1 物质危险性标准

类别	序号	LD50(大鼠经口)mg/kg	LD50(大鼠经皮)mg/kg	LC50(小鼠吸入 4h)mg/L
有毒物质	1	＜5	＜1	＜0.01
	2	5＜LD50＜25	10＜LD50＜50	0.1＜LC50＜0.5
	3	25＜LD50＜200	50＜LD50＜400	0.5＜LC50＜2
易燃物质	1	可燃气体一在常压下以气态存在并与空气混合形成可燃混合物；其沸点(常压下)是 20℃或 20℃以下的物质		
	2	易燃液体——闪点低于 21℃，沸点高于 20℃的物质		
	3	可燃液体——闪点低于 55℃，压力下保持液态，在实际操作条件下(如高温高压)可以引起重大事故的物质		
爆炸性物质		在火焰影响下可以爆炸，或者对冲击、摩擦比硝基苯更为敏感的物质		

表 6.2-2 燃料油的理化、燃烧爆炸性和毒理性质

类别	项目	燃料油
理化性质	外观与性状	黄色或棕色液体
	闪点/沸点(℃)	≥60℃/282~338℃
	相对密度	对水 0.856~0.941
	溶解性	不溶于水
燃烧爆炸危险性	危险性类别	第 3 类易燃液体
	闪点(℃)	52~55
	爆炸极限(v%)	3.1~11.6
	火灾危险性分类	乙 B
	禁忌物	硝酸、浓硫酸、高锰酸钾等强氧化剂
	灭火方法	消防人员须穿全身消防服，佩戴空气呼吸器，在上风向灭火。喷水冷却燃烧罐和临近罐，直至灭火结束。处在火场中的储罐若发生异常变化或发出异常声音，须马上撤离。灭火剂：泡沫、干粉、二氧化碳。
毒理	毒性	低毒

类别	项目	燃料油
性质	健康危害	急性中毒主要表现为乏力、头痛、酩酊感、神志恍惚等；严重者出现定向力障碍、意识模糊等。吸入液体可引起肺炎，严重时可发生肺水肿。慢性影响以神经衰弱综合症为主要表现，还有呼吸道刺激症状，接触性皮炎等。

6.2.2 风险类型识别

本工程涉及的事故风险主要为施工期船舶可能产生的船舶污染事故，船舶污染事故是指船舶在航行过程、靠泊以及其他作业过程中发生燃料油泄漏造成的海洋环境污染事故，可分为操作性污染事故和海难性污染事故。操作性船舶污染事故多发生于靠泊后船舶装卸货物及加装燃油环节，发生的原因多为人为因素、机械和设备故障等，尽管每次产生的泄漏量不大，但事故频率较高，污染物总量也较大。海难性船舶污染事故主要是海上交通事故导致，事故发生率较低，但一旦发生污染损害很大。

据南海海域船舶历史溢油事故，船舶污染的操作性事故可分为工艺性泄漏、操作错误，海难性事故可分为船舶碰撞、船舶搁浅、船舶自身翻沉、船体破损、火灾等。操作性污染事故按事故发生的环节又可分为码头装卸作业、加燃料油、其他作业等。海难性污染事故一般是伴随着船舶交通事故发生的，事故致因与船舶交通事故大体相同。操作性污染事故多发生的地点是码头、系泊区前沿，海难性污染事故多发地点在航道和锚地。

6.2.3 有毒有害物质扩散途径的识别

有毒有害物质扩散途径包括大气、地表水、海洋、地下水、土壤等途径。本工程可能发生的风险类型为船舶燃料油污染事故，因此发生风险事故时，有毒有害物质主要通过海洋、大气等途径扩散。

（1）海洋环境

当发生船舶燃料油泄漏事故时，燃料油会扩散至海水中，影响海水水质。若未能及时采取风险防范和应急措施，溢油会在风和波浪的共同作用下向外扩散，对工程周边的儋州新英湾红树林市级自然保护区、儋州磷枪石岛珊瑚礁自然保护区、珊瑚礁生态系统等敏感目标造成不利影响。

（2）大气环境

海上发生船舶燃料油泄漏事故时，泄漏的燃料油在海上漂移并挥发；若泄漏的燃料油遇到静电或明火，可能会发生火灾事故产生 SO_2、CO 等次生污染物，影响周围环境空气质量。

表 6.2-3 事故有毒有害物质扩散途径

环境要素	泄漏事故	火灾爆炸事故
大气环境	√	√
海洋环境	√	

6.2.4 可能受影响的环境保护目标的识别

当发生原油或船舶燃料油泄漏事故时，若未能及时采取风险防范措施，可能会对周围的海洋环境保护目标造成污染。

本工程的海洋环境保护目标主要是海域评价范围内的三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、沿岸珊瑚礁、天涯海角景区、南山-大小洞天景区、领海基点、砂质岸线、生态红线、养殖区、重要渔业水域等，分布情况见 1.7.1 节。

6.2.5 风险识别结果

建设项目环境风险识别汇总见表 6.2-4。

表 6.2-4 风险识别汇总表

序号	危险单元	主要风险源	主要危险物质	环境风险类型	环境扩散途径	可能受影响的环境敏感目标
1	施工船舶	船舶碰撞	燃料油	船舶污染事故	大气、海洋	三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、沿珊瑚礁、天涯海角景区、南山-大小洞天景区、领海基点、砂质岸线、生态红线、养殖区、重要渔业水域等，分布情况见 1.7.1 节

6.3 源项分析

6.3.1 事故发生概率

本节事故概率分析主要参考国际、国内相关统计数据，溢油事故源项分析主要从船舶污染事故方面进行统计分析。

根据国际油轮船东防污染联合会（ITOPF）统计资料，本报告对 1970~2018 年全球范围内船舶溢油事故发生频率、溢油量和事故致因进行了统计分析。统计期间，全球范围共发生溢油事故 9726 起，其中大于 700 吨的大规模溢油事故 460 起，7~700 吨的中等规模溢油事故 1368 起，小于 7 吨的小型溢油事故 7898 起。从事故发生的数量上看，溢油事故以溢油量小于 7 吨的小规模事故为主，但由于全球范围内上报、统计标准不一致，造成小规模事故的统计数据相对不完整。因此，在溢油事故发生频率及溢油量的分析中，主要针对中等规模、大规模溢油事故的统计数据进行分析。而在事故的发生环节及事故致因分析中，则对全部统计数据进行分析。

6.3.1.1 全球频率统计分析

全球范围内 1970~2018 年共发生 7 吨以上溢油事故 1840 起，分年度统计数据分析详见表 6.3-1 和图 6.3-1~图 6.3-2。

表 6.3-1 1970~2018 年溢油事故数量统计

年度	7-700 吨	>700 吨
1970	7	29
1971	18	14
1972	48	27
1973	28	31
1974	90	27
1975	96	20
1976	67	26
1977	70	16
1978	59	23
1979	60	32
1970~1979 年合计	543	245
1970~1979 年平均	54.3	24.5
1980	52	13
1981	54	7
1982	46	4
1983	52	13
1984	26	8
1985	33	8
1986	27	7
1987	27	11
1988	11	10
1989	32	13
1980~1989 年合计	360	94
1980~1989 年平均	36	9.4
1990	50	14
1991	30	7
1992	31	10
1993	31	11
1994	26	9
1995	20	3
1996	20	3
1997	28	10
1998	25	5
1999	20	5
1990~1999 年合计	281	77
1990~1999 年平均	28.1	7.7
2000	21	4
2001	18	3
2002	11	3

年度	7-700 吨	>700 吨
2003	19	4
2004	20	5
2005	22	3
2006	12	4
2007	12	3
2008	7	1
2009	7	2
2000~2009 年合计	149	32
2000~2009 年平均	14.9	3.2
2010	5	4
2011	4	1
2012	7	0
2013	5	3
2014	4	1
2015	6	2
2016	4	1
2017	4	2
2018	3	3
2010~2018 年合计	42	17
2010~2018 年平均	4.7	1.9

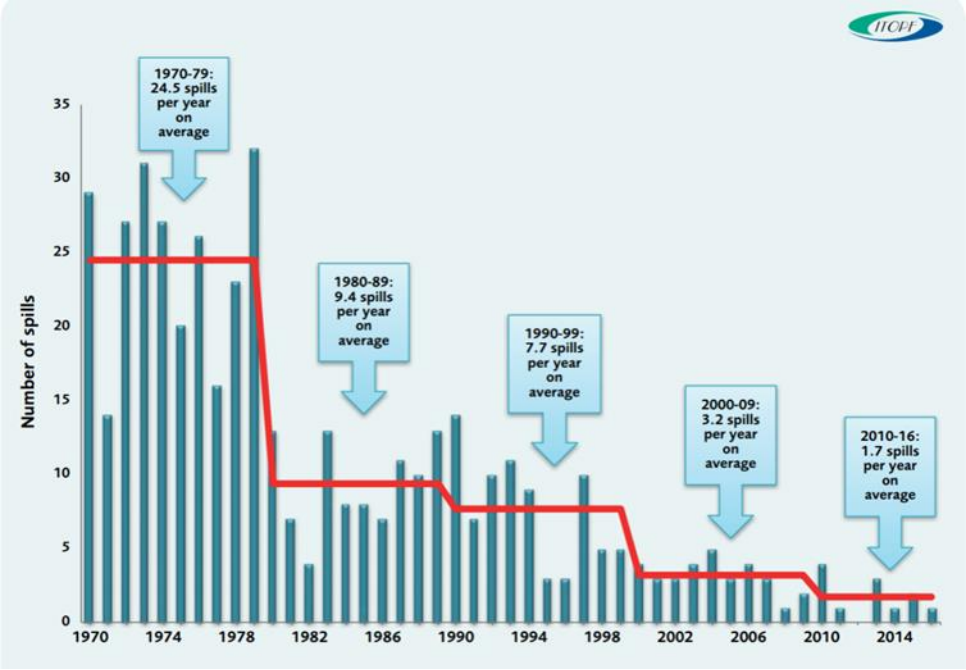


图 6.3-1 1970-2018 年大规模溢油事故发生数量年度分布图

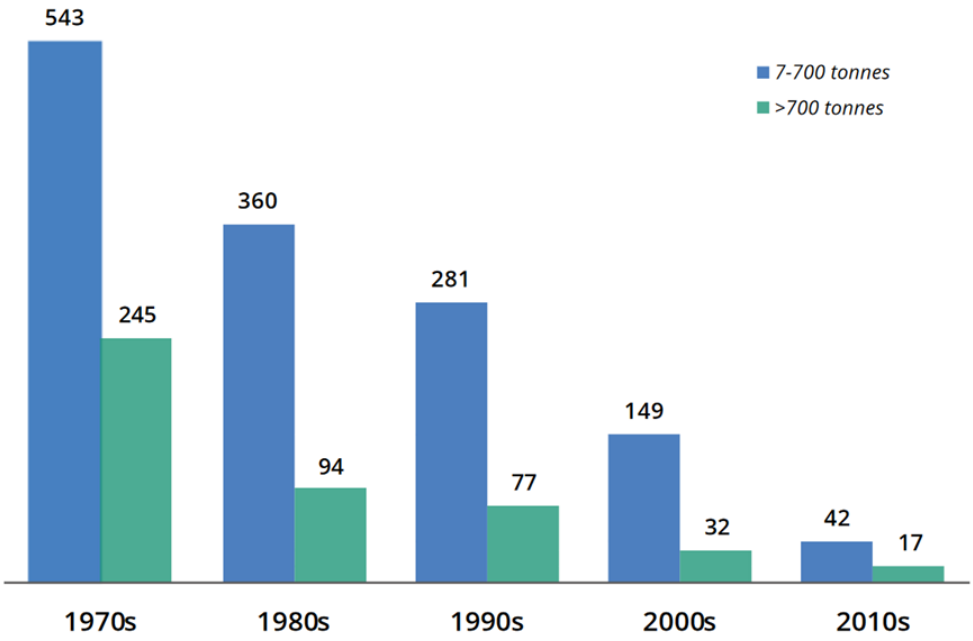


图 6.3-2 1970~2018 年中等以上规模溢油事故数量统计

（2）溢油量统计

1970~2018 年间年度溢油事故总溢油量统计、分析结果见表 6.3-2 和图 6.3-3，表中数据未统计溢油量小于 7 吨的小规模溢油事故。1970~2018 年船舶溢油事故共造成 585.7 万吨油品泄漏。

表 6.3-2 1970~2018 年年度溢油量

年度	溢油量（吨）	年度	溢油量（吨）
1970	383,000	1980	206,000
1971	144,000	1981	48,000
1972	313,000	1982	12,000
1973	159,000	1983	384,000
1974	173,000	1984	29,000
1975	351,000	1985	85,000
1976	364,000	1986	19,000
1977	276,000	1987	38,000
1978	393,000	1988	190,000
1979	636,000	1989	164,000
1970~1779 年合计	3,192,000	1980~1789 年合计	1,174,000
1990	61,000	2000	14,000
1991	431,000	2001	9,000
1992	167,000	2002	66,000
1993	140,000	2003	43,000
1994	130,000	2004	17,000
1995	12,000	2005	15,000
1996	80,000	2006	12,000

年度	溢油量（吨）	年度	溢油量（吨）
1997	72,000	2007	15,000
1998	13,000	2008	2,000
1999	28,000	2009	3,000
1990~1999 年合计	1,133,000	2000~2009 年合计	196,000
2010	12,000		
2011	2,000		
2012	1,000		
2013	7,000		
2014	4,000		
2015	7,000		
2016	6,000		
2017	7,000		
2018	116,000		
2010~2018 年合计	163,000		

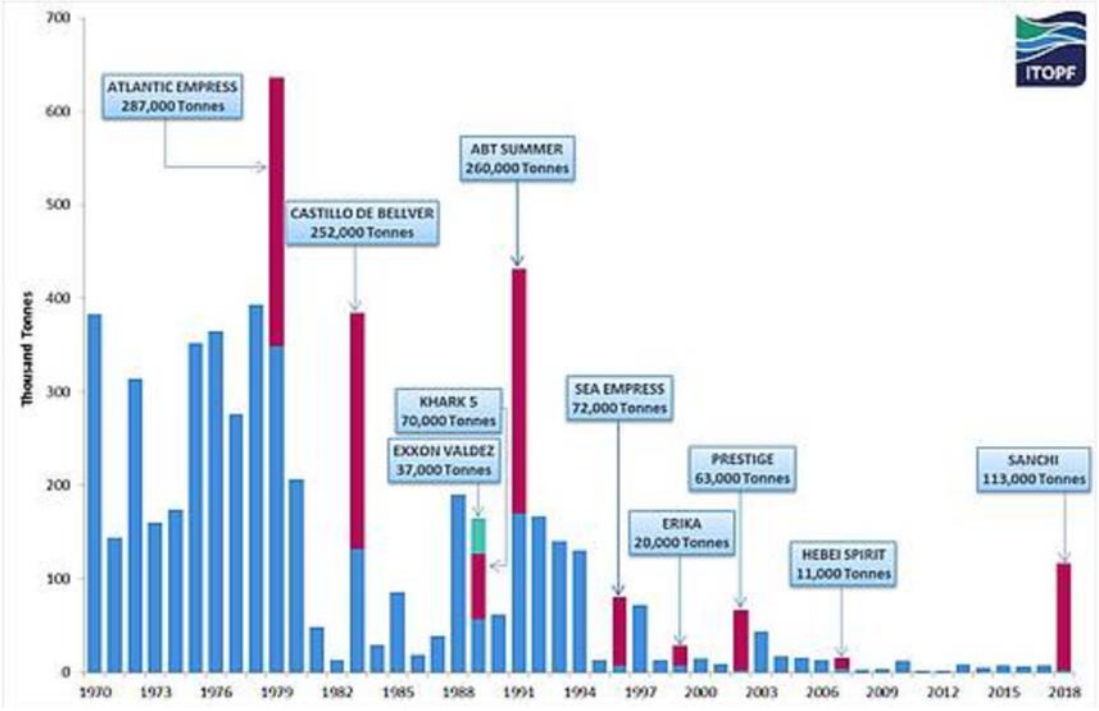


图 6.3-3 1970~2018 年中等以上规模溢油事故总溢油量统计框图

6.3.1.2 我国沿海船舶溢油事故分析

据我国 1997 年-2020 年统计资料（见表 6.3-3），期间发生的 452 起溢油事故中，原因主要是油轮突遇恶劣天气，风大、流急、浪高，加之轮机失控，造成船舶触礁、碰撞、搁浅引起溢油污染事故，其中碰撞和搁浅造成的事故占总事故的 55%，相应的溢油量占总溢油量的 43.6%。其中，事故溢油规模在 1 吨以上溢油事故 178 起，其中操作性事故 145 起，占总溢油事故的 82%；灾难性事故 33 起，占总溢油事故的 18%。145 起操作性事故的溢油量为 648t，平均每起溢油量为 4.7t，占总溢油量的 8%；33 起

海难性溢油量为 7735t，平均每起溢油量为 234t，占总溢油量的 92%。178 起溢油事故的溢油量总计 8383t，总平均每起溢油量 47 吨。可见，操作性事故的溢油量平均 5t 左右，海难性事故的溢油量平均 250t 左右。

表 6.3-3 1997～2020 年我国港口年船舶、码头溢油事故统计结果

事故原因	事故次数	占总数比例（%）	溢油事故发生地区					
			码头	港湾	进港航道	近岸 50 海里以内	外海	其他地区
机械事故	11	2	0	1	1	5	3	1
碰撞	128	28	5	41	25	45	9	1
爆炸	31	7	5	5	0	6	15	1
失火	17	4	10	2	0	1	4	0
搁浅	123	27	1	27	40	53	0	2
撞击	46	10	18	15	5	5	2	1
结构破损	94	21	8	9	4	7	54	12

6.3.1.3 三亚海域船舶交通事故情况分析

根据 2010 至 2023 年 8 月三亚海域船舶事故统计资料，2010 年至 2022 年 13 年内该海域共发生碰撞等海上交通事故 72 起，以碰撞事故和搁浅事故为主，见表 6.3-4。

2010~2022 年，三亚海域共发生碰撞等海上交通事故引起的溢油 24 起，溢油事故的发生频率为 1.85 次/年。

6.3.1.4 本项目施工期事故发生概率

根据上述船舶事故统计分析资料可知，三亚海域共发生碰撞等海上交通事故引起的溢油 24 起，溢油事故的发生频率为 1.85 次/年。本项目位于海南岛南端三亚市西侧的红塘湾，溢油事故的发生概率为 1.85 次/年。

6.3.2 风险事故情形分析

根据风险识别的结果，选取本项目最大船型船舶运输过程事故风险作为本项目典型事故风险情形。

参照《水上溢油环境风险评估技术导则（JT/T 1143-2017》中的要求，建设项目的可能最大水上溢油事故溢油量，按照设计代表船型的 1 个货油边舱或燃料油边舱的容积确定，本项目最大预测船型为 5000 吨级施工船，根据该导则附录 C，5000 吨级施工船单个燃油舱油量保守按照 39m^3 计，可能最大水上溢油事故溢油量约为 35.1t。

表 6.3-5 预测源强汇总表

序号	事故类型	泄漏介质	事故概率	源强
1	5000t 级施工船	燃料油	1.85 次/a	35.1t

6.4 环境风险事故预测与评价

6.4.1 溢油预测模式

本次模拟采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的形成，即把溢油分成许多离散的小油滴（或小斑块）来模拟溢油在水体中的输运扩散过程。采用“粒子—扩散”概念的方法可以真实地重现许多实际观测到的溢油扩散特征。例如潮流和风将油膜拉长，波浪导致油膜的破裂等特征。模拟的粒子个数为600个。

“粒子扩散”的概念，是把浓度场模拟为由大量的粒子组成的“云团”，其个每一个粒子携带一定数据的示踪物质，采用拉格朗日法模拟油粒子在特定的流场条件下发生平移和位移的过程。再叠加油粒子在湍流场中的随机运动，即采用同时考虑到平流和湍流的扩散模式。

油粒子的运动模式

①漂移粒子模型方法将运动过程分成两个主要部分，即平流过程和扩散过程，采用确定性方法模拟溢油（粒子团）的输移过程。溢油在每一瞬时的三维空间位置和分布状态是各种运动过程综合作用的结果。

根据拉格朗日观点，单位个粒子在Δt时间内的空间位移可以表达为：

$$\Delta \gamma_i = U_i \Delta t + W_i \Delta t + \gamma_i'$$

其中γ_i代表第 i 个粒子的位置，向量U_i代表在该时间步长的开始时质点位置处的平流速度，此平流速度由初始潮流场给出。向量W_i代表垂直沉降速度。随机变量γ_i'称为随机走动距离。

输移介质的平流是潮流、风海流、地转流和密度的合成流。平流所引起的每个粒子的位移容易求得：

$$\begin{cases} D_x = u \bullet D_t \\ D_y = v \bullet D_t \end{cases}$$

上式中，u为x方向的水平速度；v为y方向的水平速度；D_t为时间步长。

风导输移是引起平流输移的另一个重要因素。风对海面上油层的作用主要表现为两个方面，一是风生漂流的作用，另一方向是风应力直接作用在油膜上。风对油膜输移的直接作用为：

$$U_x = f \bullet W$$

上式中，W 为风速向量；f 为风因子矩阵。

②水平扩散过程

油膜的扩散过程可分为重力—惯性力、重力—粘性力和表面张力—粘性力相平衡的 3 个阶段。油粒子的随机运动导致模型粒子团随时间增大，到一定程度后再慢慢变小。湍流扩散理论研究表明，粒子团的随机走动的“方差”等于粒子团方差的时间变化，即有：

$$\langle y'^2 \rangle = \sigma^2(t+\Delta t) - \sigma^2(t)$$

亦即：$$\langle y'^2 \rangle \approx \frac{d\sigma^2}{dt}\Delta t$$

上式中，<>表示对所有粒子求平均；$\sigma(t)$ 为 t 时刻粒子团的标准差。将粒子团的方差的时间变化率定义为扩散系数 K，则有：

$$K = \frac{1}{2}\frac{d\sigma^2}{dt}$$

则在一维情况下，随机走动的方差与扩散系数的关系为：

$$\langle x'^2 \rangle \approx 2K\Delta t$$

这一关系式描述了随机运动过程与湍流扩散系数之间的关系。根据上式，可

以得出随机运动的距离为：

$$x' = \eta\sqrt{2k\Delta t}$$

上式中，η 为一个随机变量，服从正态分布。如果以均匀分布随机变量来表示上式，则是：

$$x' = \zeta\sqrt{6k\Delta t}$$

上式中，ζ 为[-1，1]之间的均匀分布随机数。

6.4.2 预测模式中有关参数的设定

（1）溢油类型

通过风险事故分析，对溢油事故发生概率的大小及溢油类型发生的危害程度进行分析，本报告选取施工船舶碰撞溢油开展预测。

（2）溢油位置的选择

根据项目施工方案，同时考虑项目周边敏感目标分布，本次预测选取三个溢油点进行预测，分别位于钢圆筒拆除工程附近、三亚新机场填海起步工程填海部分附近和

海滩岩修复区，具体见图 6.4-1。

（3）源强

根据施工船舶最大吨位，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》附录 C.8 中杂货船、驳船燃油舱中燃油数量关系，船舶燃料油平均密度取 0.9t/m^3，5000 吨级运砂船和 4000 吨级运料甲板驳船溢油源强见下表。

表 6.4-1 溢油预测源强设定

船型	泊位等级	燃油舱单舱燃油量	源强（t）
5000 吨级运砂船（杂货船）	5000t	39m^3	35.1t
4000 吨级运料甲板驳船	4000t	31m^3	27.9t

（7）溢油计算工况

根据潮流状况与盛行风况的条件确定预测组合。潮流分涨潮初始时刻和落潮初始时刻两种时刻发生溢油的状况；考虑夏、冬两季和不利风况下涨潮期、落潮期的溢油，其中风速为平均风速和最大作业风速。夏季风向为 WSW，风速为 3.5m/s；冬季风向为 NE，风速为 3.1m/s；不利风向为 SE 和 WSW，风速为 13.6m/s。

溢油工况组合情况见表 6.4-2 所示。

表 6.4-2 溢油工况组合表

工况	预测点位置	潮期	风向		风速（m/s）	备注
1	1#（钢圆筒拆除工程附近，27.9t，109.23826218°E，18.22674258°N）	涨潮	夏季主导风向	WSW	3.5	平均风速
2		落潮				
3		涨潮	冬季主导风向	NE	3.1	平均风速
4		落潮				
5		涨潮	不利风向	SE	13.6	最大作业风速
6		落潮				
7	2#（三亚新机场填海起步工程填海部分附近，35.1t，109.27881718°E，18.26203899°N）	涨潮	夏季主导风向	WSW	3.5	平均风速
8		落潮				
9		涨潮	冬季主导风向	NE	3.1	平均风速
10		落潮				
11		涨潮	不利风向	SW	13.6	最大作业风速
12		落潮				
13	3#（人工岛掩护区人工补砂区附近，27.6t，109.26555634°E，18.29830612°N）	涨潮	夏季主导风向	WSW	3.5	平均风速
14		落潮				
15		涨潮	冬季主导风向	NE	3.1	平均风速
16		落潮				
17		涨潮	不利风向	SE	13.6	最大作业风速
18		落潮				

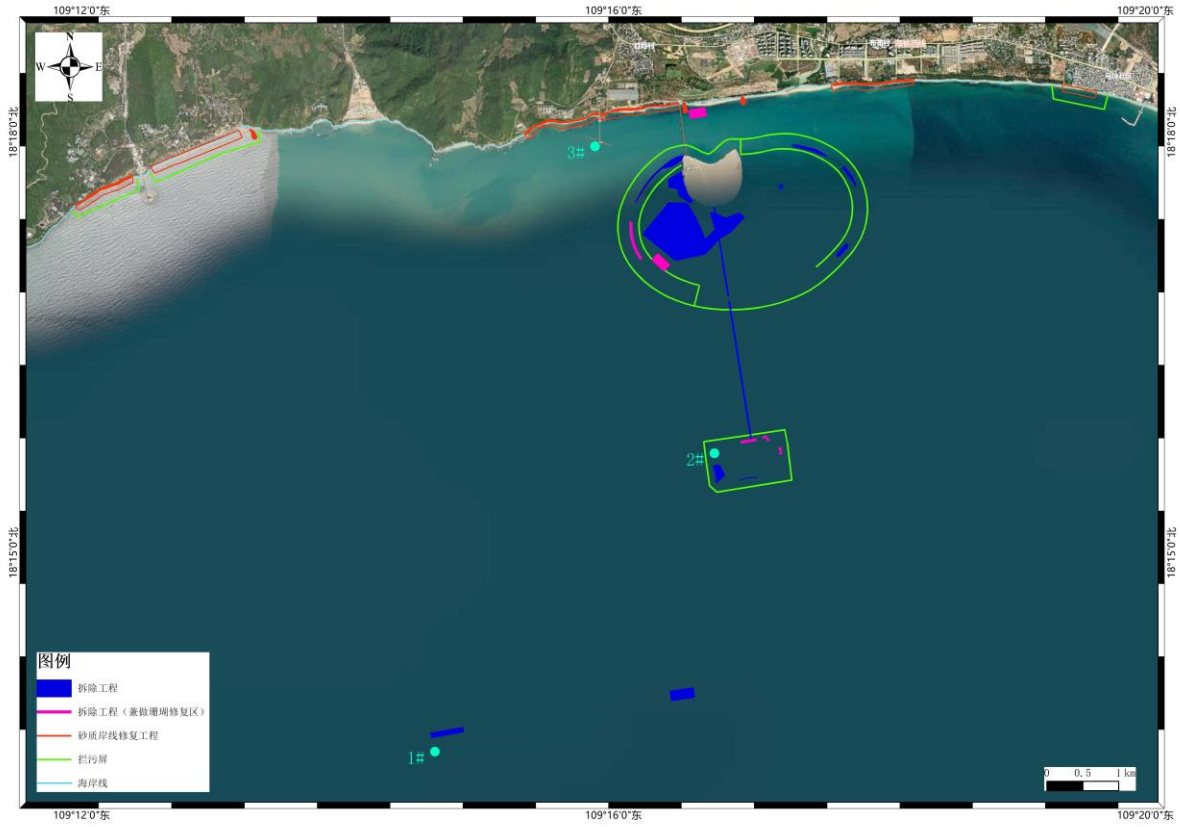


图 6.4-1 溢油源点位置示意图

6.4.3 溢油预测结果分析

6.4.3.1 溢油源点 1#模拟结果分析

由图 6.4-2 可知，由于本海区的潮流动力中等，溢油扩散受风应力和潮流的共同作用。夏季 SW 风时（工况 1 和工况 2），油粒子表现为向溢油点的北侧近岸海域扩散，大部分油粒子在南山角至天涯海角之间的近岸靠岸并停止运动。冬季 NE 风作用时（工况 3 和工况 4），油粒子表现为呈“S 型”向西南离岸方向扩散，冬季 NE 向风作用时油粒子不靠岸，主要影响溢油点西南侧外海海域。

不利风向 SE 向大风作用时（工况 5 和工况 6），油粒子一路向溢油点西北部近岸海域扩散，最远影响到龙栖湾近岸海域。

各种工况油膜扩散的影响范围见表 6.4-3

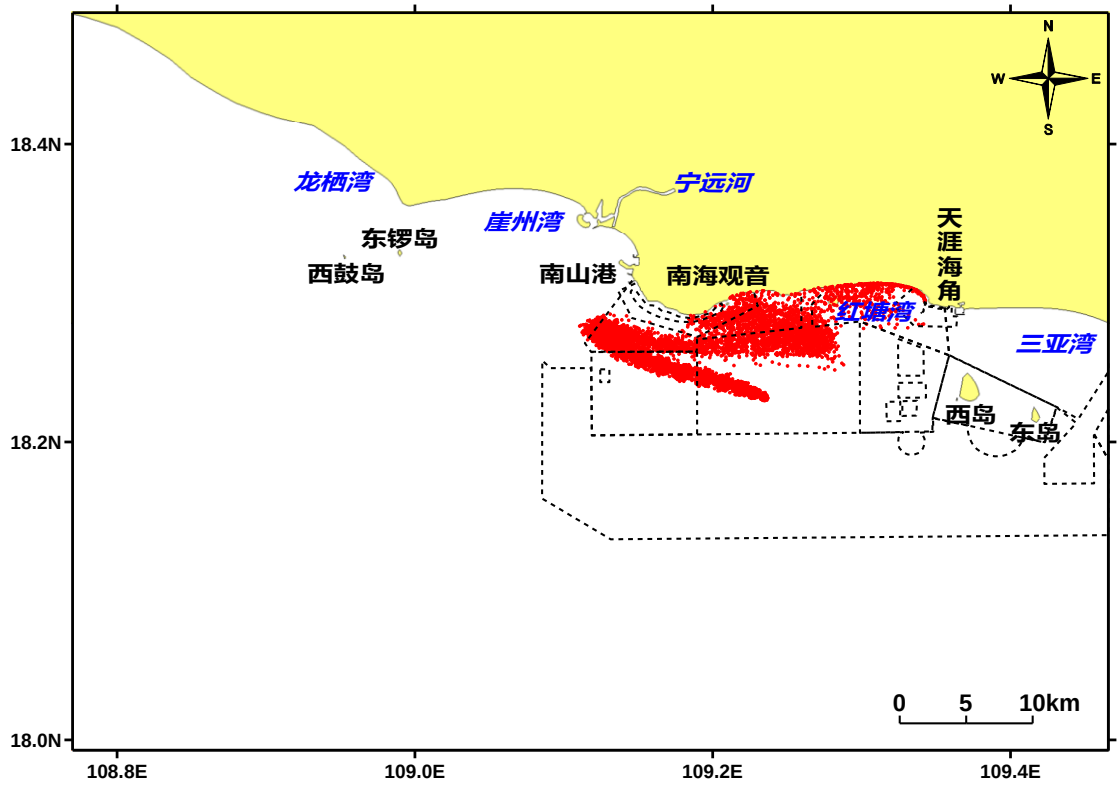


图 6.4-2a 工况 1，大潮期夏季 WSW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 3.5m/s）

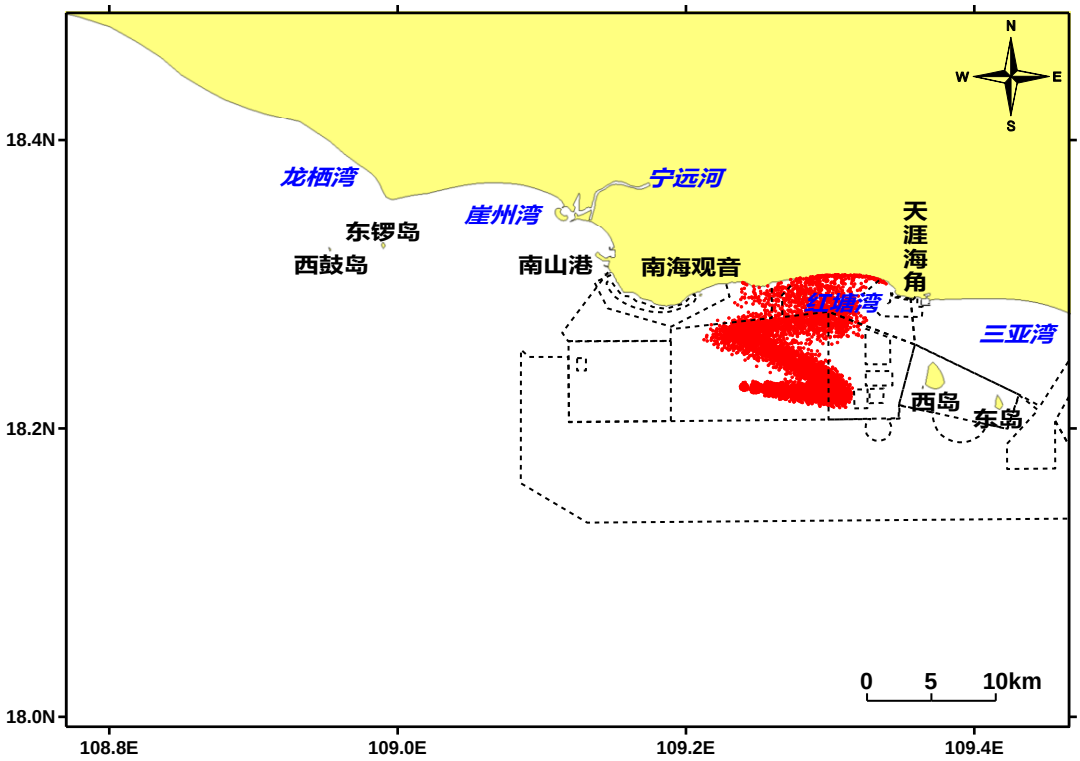


图 6.4-2b 工况 2，大潮期夏季 WSW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 3.5m/s）

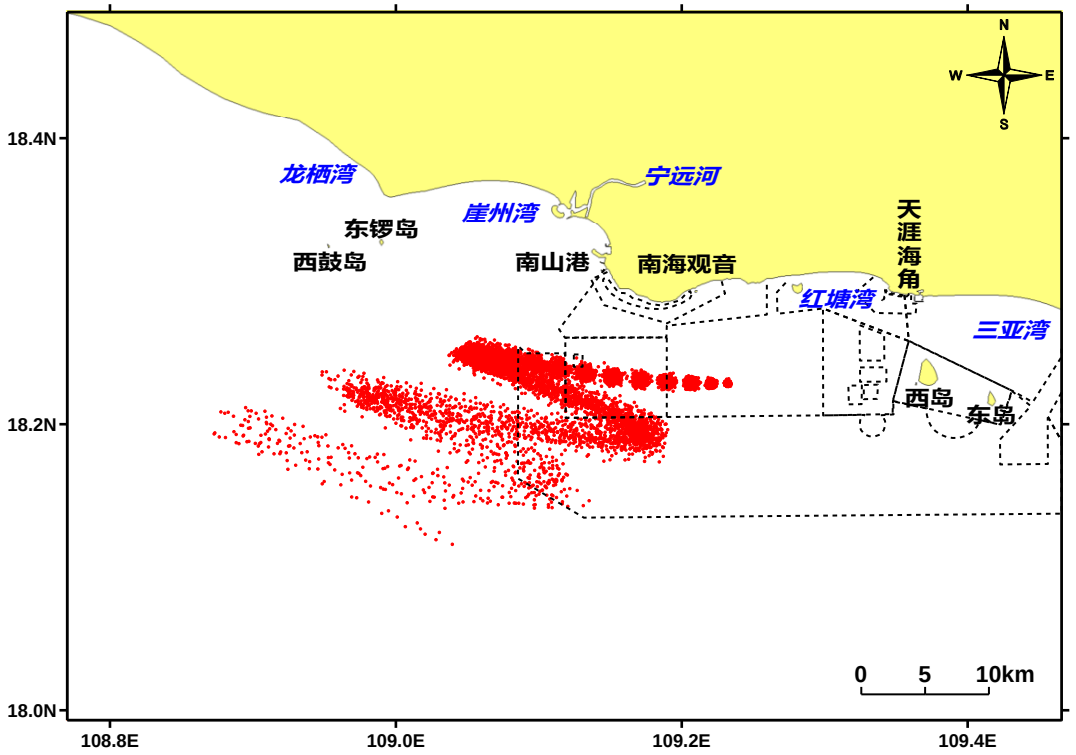


图 6.4-2c 工况 3，大潮期冬季 NE 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 3.1m/s）

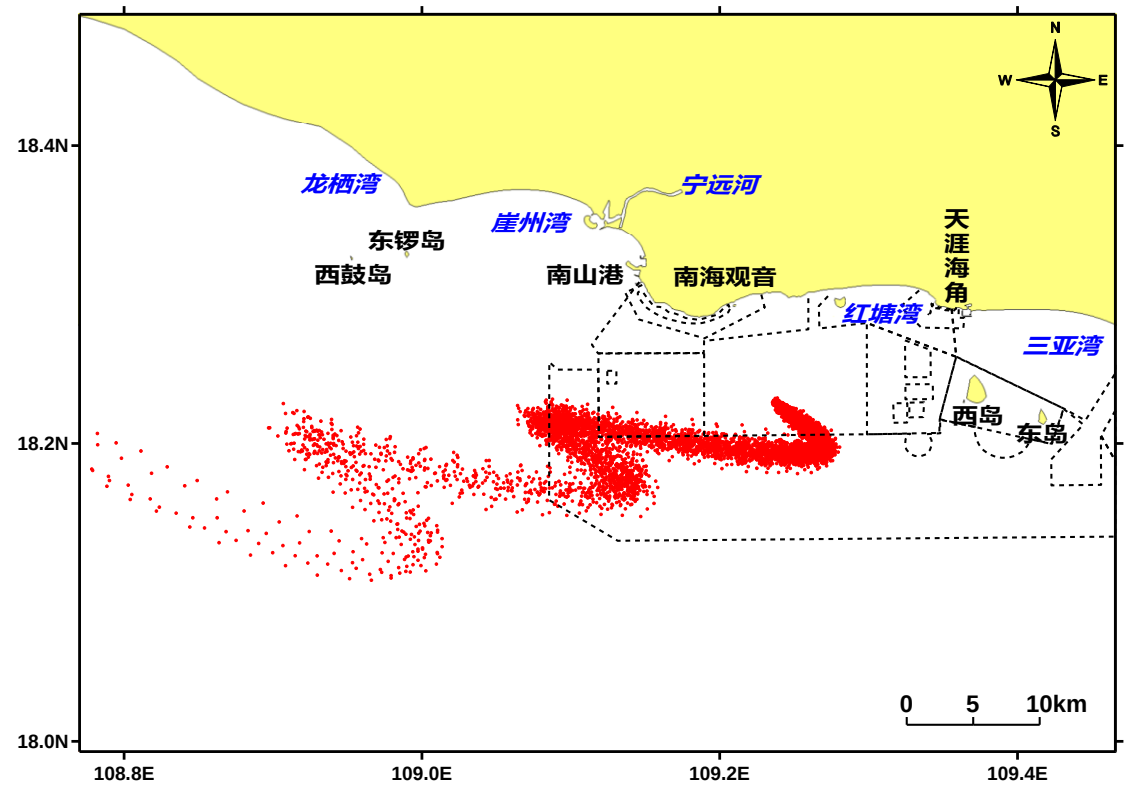


图 6.4-2d 工况 4，大潮期冬季 NE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 3.1m/s）

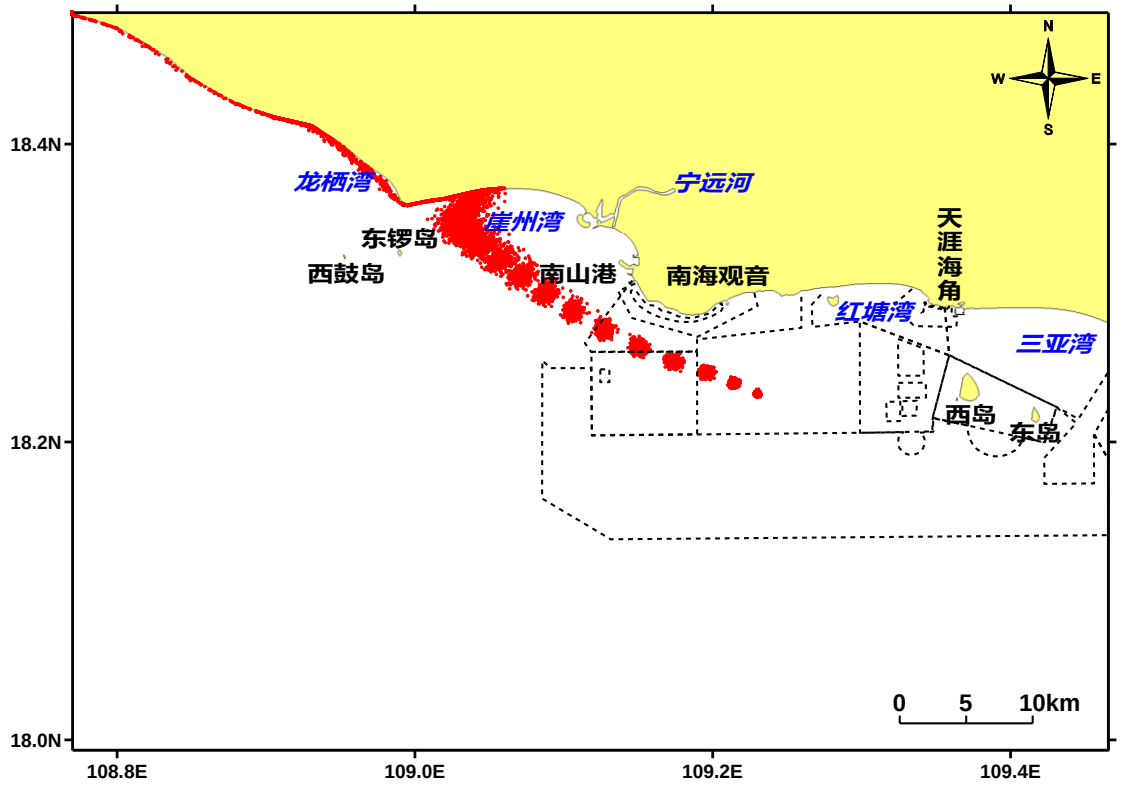


图 6.4-2 工况 5，不利风向 SE 风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 13.6m/s）

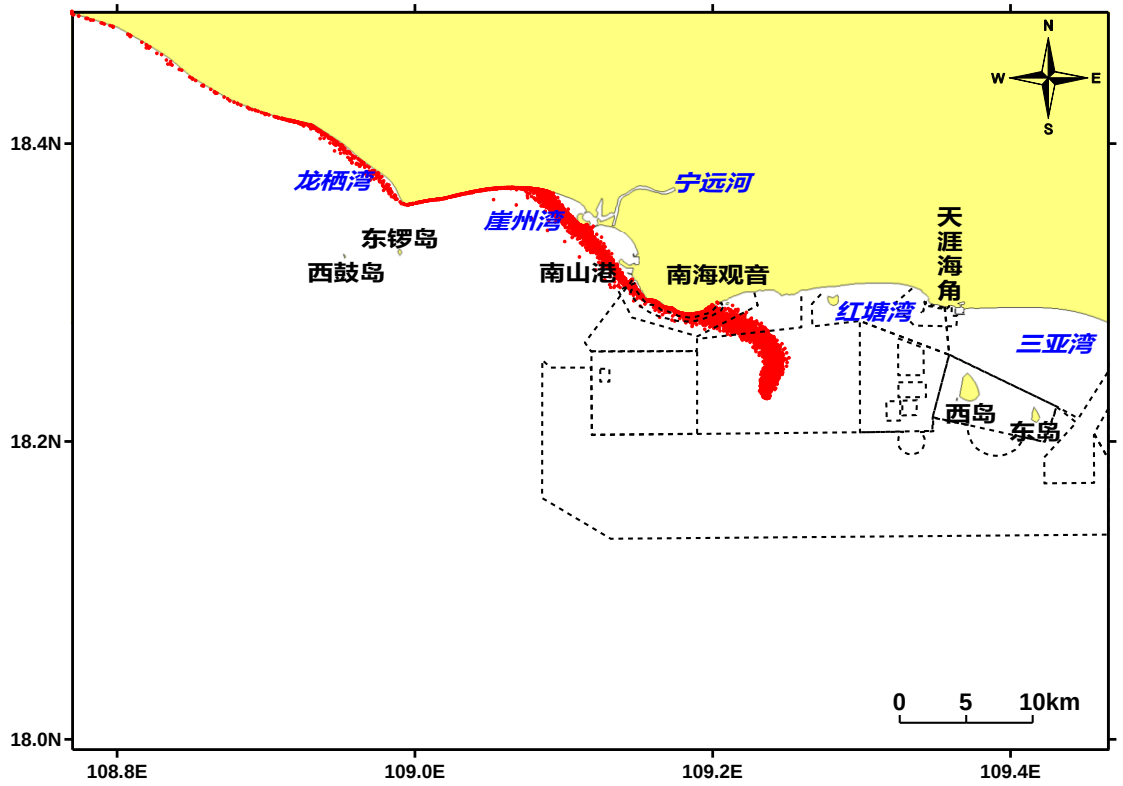


图 6.4-2 工况 6，不利风向 SE 风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 13.6m/s）。

表 6.4-3a 各工况油膜漂移扩散影响范围(km²)

情景	岸边吸附量（m³）	污染岸线长度（km）	飘移距离（km）	扫水面积（km²）	抵岸时间（h）	抵岸地点
工况 1	3.4	25.7	27.3	153.8	22h	南山角
工况 2	3.7	18.9	19.0	116.9	29h	红塘湾
工况 3	--	--	45.1	265.7	--	--
工况 4	--	--	53.3	308.3	--	--
工况 5	2.1	42.1	58.2	109.1	14h	崖州湾
工况 6	3.9	53.7	57.5	88.0	8h	南山角

表 6.4-3b 各工况油膜对敏感区的影响(km²)

情景	影响敏感目标和时间	残油量
工况 1	南山农渔业区（5h）、南山旅游休闲娱乐区（9h）、南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（17h）、南山-大小洞天珊瑚礁（19h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（26h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（35h）、三亚湾农渔业区（36h）	2.3
工况 2	三亚湾农渔业区（4h）、南山旅游休闲娱乐区（24h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（31h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（34h）	2.5
工况 3	南山农渔业区（5h）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（8h）、深石礁特别保护海岛（7h）	1.1
工况 4	海南岛西南部重要渔业资源产卵场（3h）、南山农渔业区（12h）	1.0
工况 5	南山农渔业区（4h）、南山旅游休闲娱乐区（5h）	1.5
工况 6	南山旅游休闲娱乐区（6h）、南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（8h）、南山-大小洞天珊瑚礁（9h）、	1.7

6.4.3.2 溢油源点 2#模拟结果分析

由图 6.4-3 可知，由于本海区的潮流动力中等，溢油扩散受风应力和潮流的共同作用。夏季 SW 风时（工况 7 和工况 8），油粒子表现为向溢油点的北侧近岸海域扩散，大部分油粒子在南山角至天涯海角之间的近岸靠岸并停止运动。冬季 NE 风作用时（工况 9 和工况 10），油粒子表现为呈“S 型”向西南离岸方向扩散，冬季 NE 向风作用时油粒子不靠岸，主要影响溢油点西南侧外海海域。

不利风向 SW 向大风作用时（工况 11 和工况 12），油粒子迅速在溢油点的北侧近岸红塘湾和三亚湾西部靠岸。

各种工况油膜扩散的影响范围见表 6.4-4。

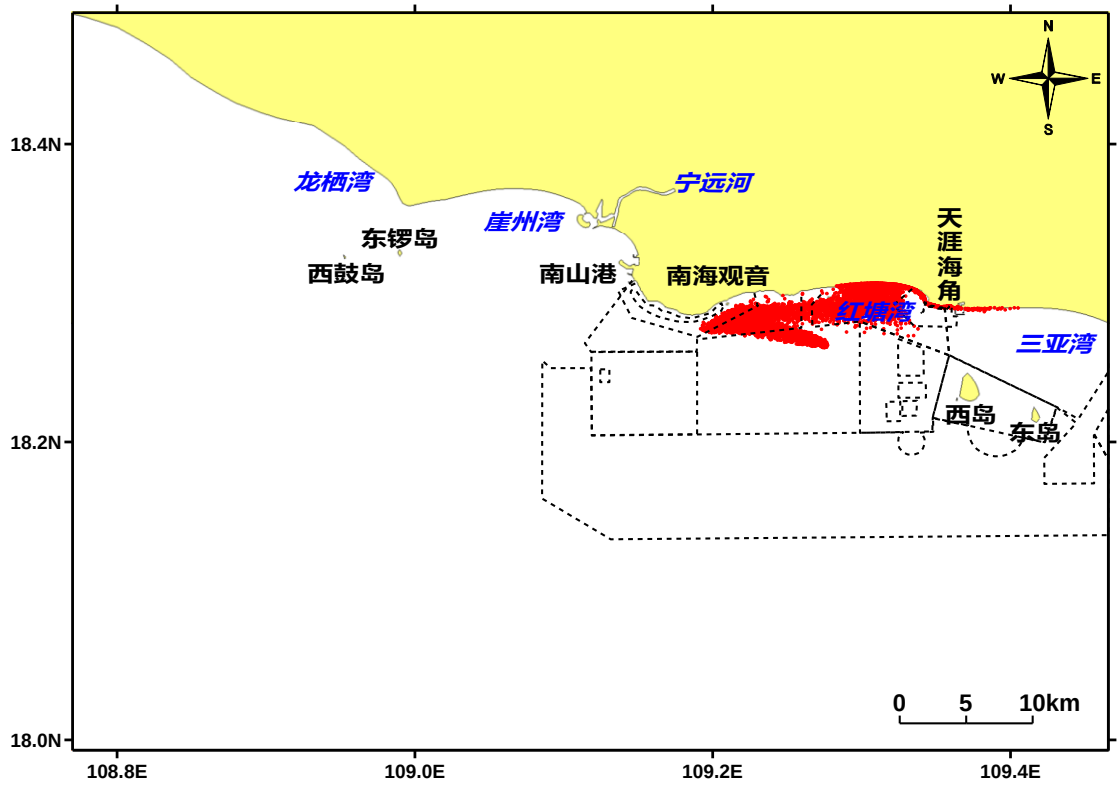


图 6.4-3a 工况 7，大潮期夏季 WSW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 3.5m/s）

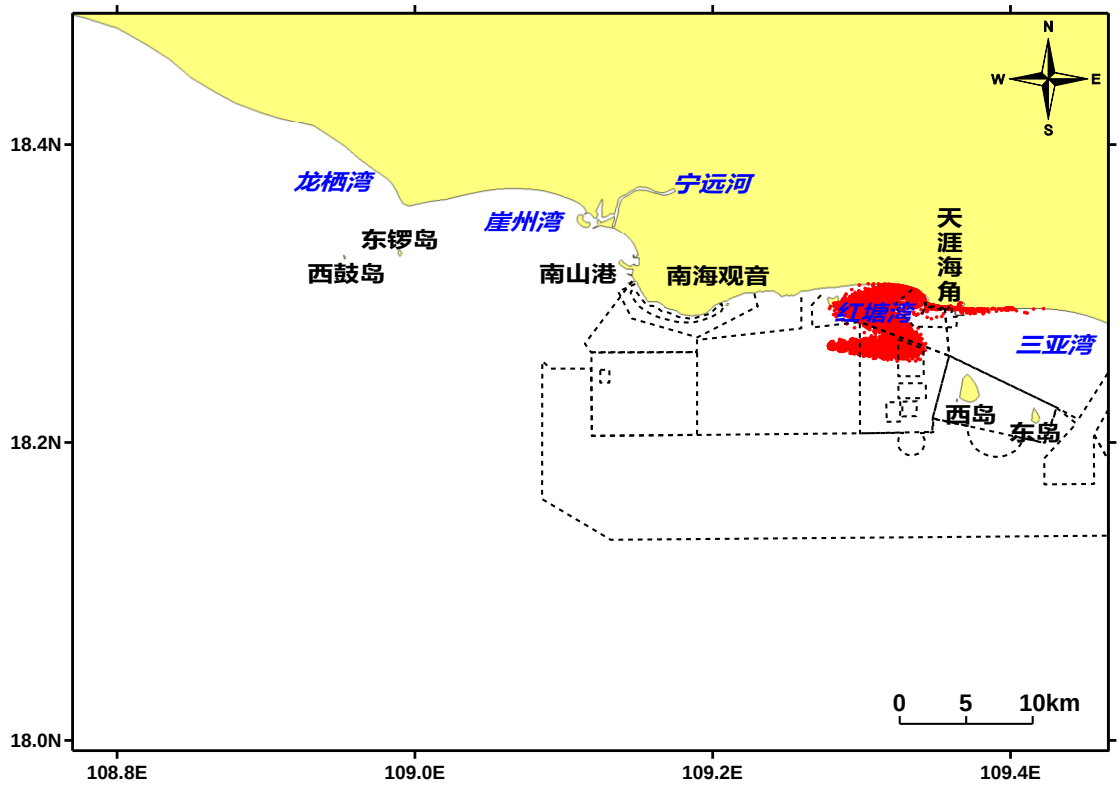


图 6.4-3b 工况 8，大潮期夏季 WSW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 3.5m/s）

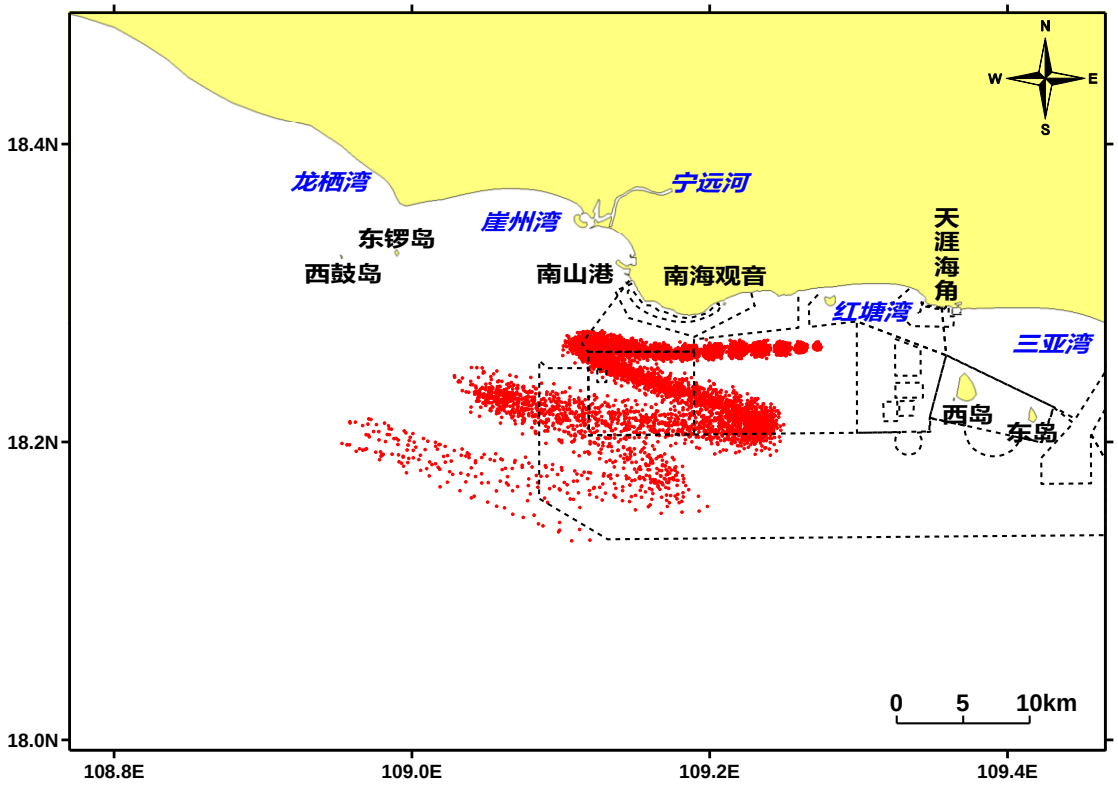


图 6.4-3c 工况 9，大潮期冬季 NE 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 3.1m/s）

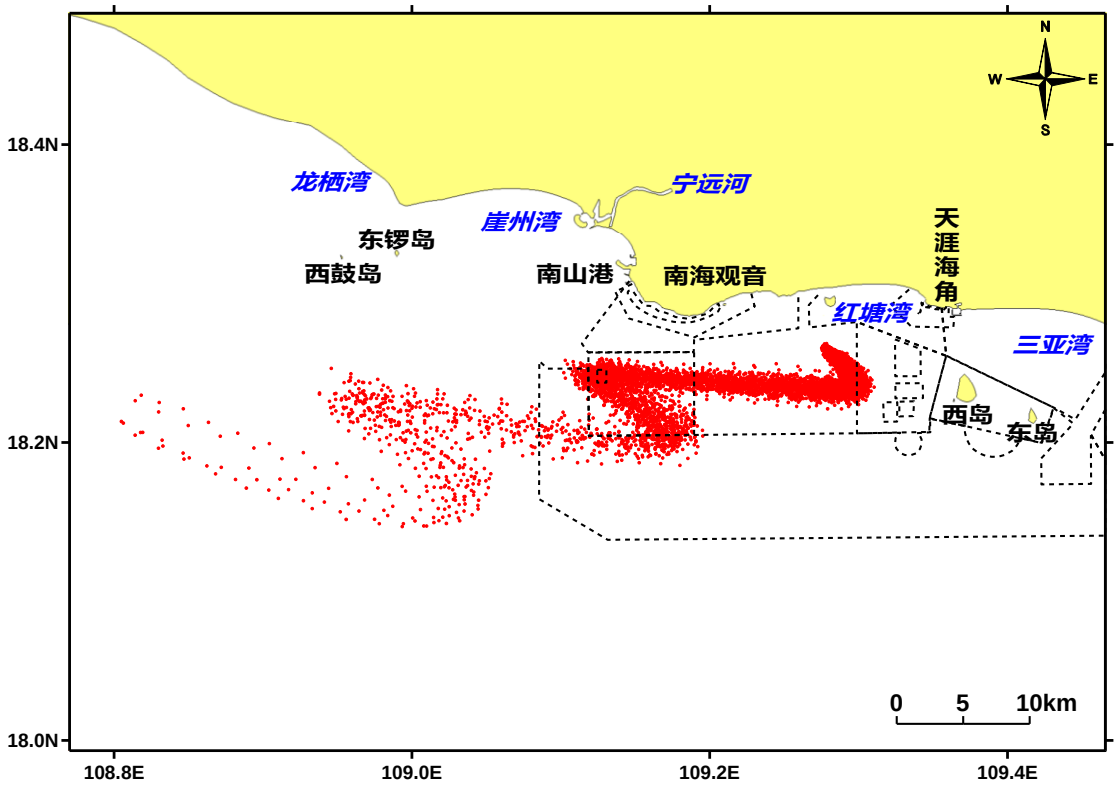


图 6.4-3d 工况 10，大潮期冬季 NE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 3.1m/s）

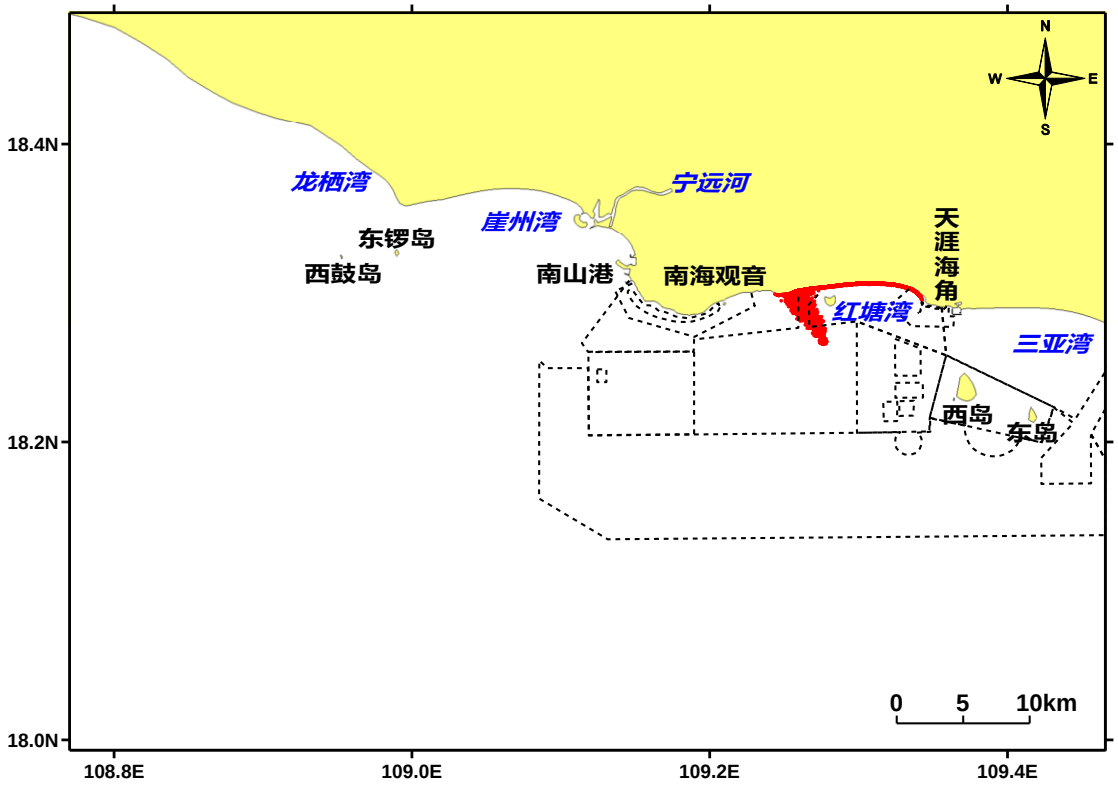


图 6.4-3e 工况 11，不利风向 SW 风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 13.6m/s）

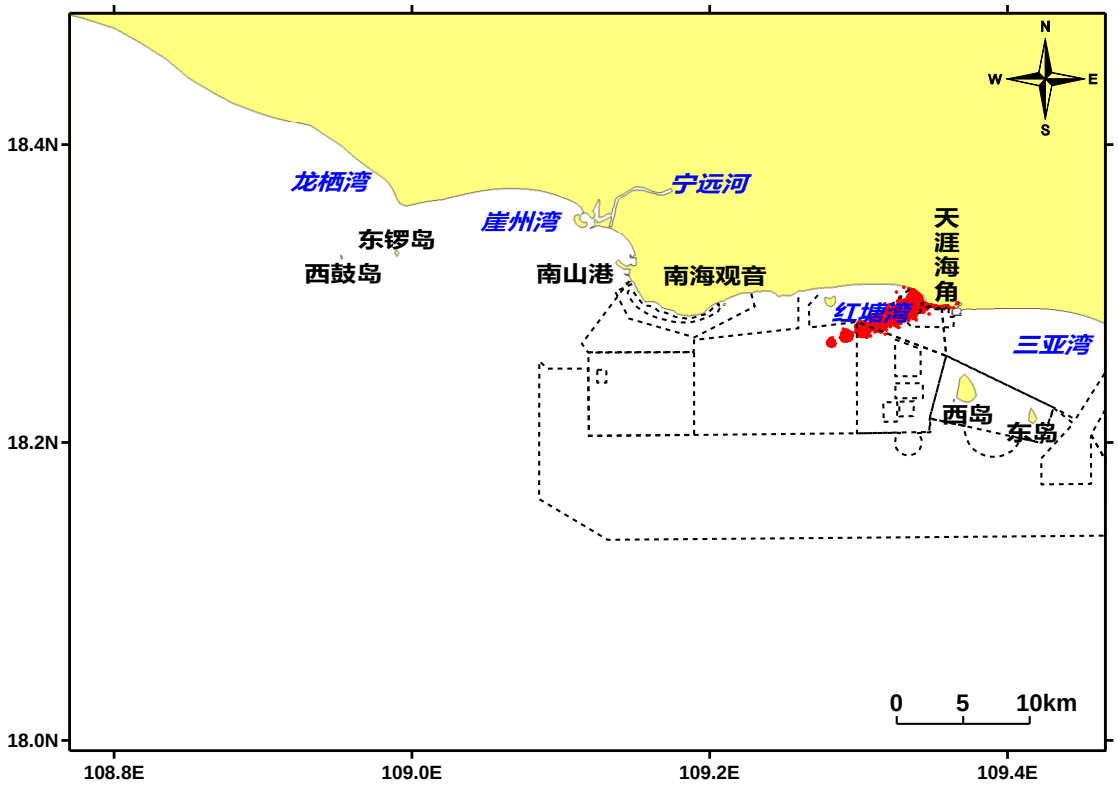


图 6.4-3f 工况 12，不利风向 SW 风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 13.6m/s）

表 6.4-4a 各工况油膜漂移扩散影响范围(km^2)

情景	岸边吸附量（m^3）	污染岸线长度（km）	飘移距离（km）	扫水面积（km^2）	抵岸时间（h）	抵岸地点
工况 7	4.5	30.2	24.6	92.5	19h	红塘湾
工况 8	4.9	21.7	17.5	71.2	26h	红塘湾
工况 9	--	--	46.0	267.1	--	--
工况 10	--	--	54.1	306.8	--	--
工况 11	6.1	13.0	14.7	23.6	4h	红塘湾
工况 12	6.6	8.3	12.5	35.1	5h	天涯海角

表 6.4-4b 各工况油膜对敏感区的影响(km^2)

情景	影响敏感目标和时间	残油量
工况 7	南山旅游休闲娱乐区（5h）、南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（11h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（18h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（31h）、天涯海角珊瑚礁（32h）、三亚湾旅游休闲娱乐区（33h）	3.2
工况 8	三亚湾农渔业区（3h）、养殖区（6h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（8h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（23h）、天涯海角珊瑚礁（24h）、三亚湾旅游休闲娱乐区（25h）	3.5
工况 9	南山旅游休闲娱乐区（7h）、南山农渔业区（7h）、深石礁特别保护海岛（14h）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（23h）	1.5
工况 10	三亚湾农渔业区（4h）、南山农渔业区（15h）、深石礁特别保护海岛（21h）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（26h）	1.3
工况 11	南山农渔业区（3h）、南山旅游休闲娱乐区（4h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（8h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（9h）	1.8
工况 12	三亚湾农渔业区（3h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（4h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（5h）、天涯海角珊瑚礁（5h）	1.6

6.4.3.3 溢油源点 3#模拟结果分析

由图 6.4-4 可知，由于本海区的潮流动力中等，溢油扩散受风应力和潮流的共同作用。夏季 SW 风时（工况 13 和工况 14），油粒子表现为向溢油点的北侧近岸海域扩散，大部分油粒子在南山角至三亚湾西部之间的近岸靠岸并停止运动。冬季 NE 风作用时（工况 15 和工况 16），油粒子表现为呈“S 型”向西南离岸方向扩散，冬季 NE 向风作用溢油发生在落潮时油粒子不靠岸，主要影响溢油点西南侧外海海域，溢油发生在涨潮时，油粒子在涨潮流作用和自由扩散运动时在南山角和南海观音附近海域靠岸。

不利风向 SW 向大风作用时（工况 17 和工况 18），油粒子迅速在溢油点的北侧近岸靠岸，最远向西北影响到龙栖湾海域。

各种工况油膜扩散的影响范围见表 6.4-5。

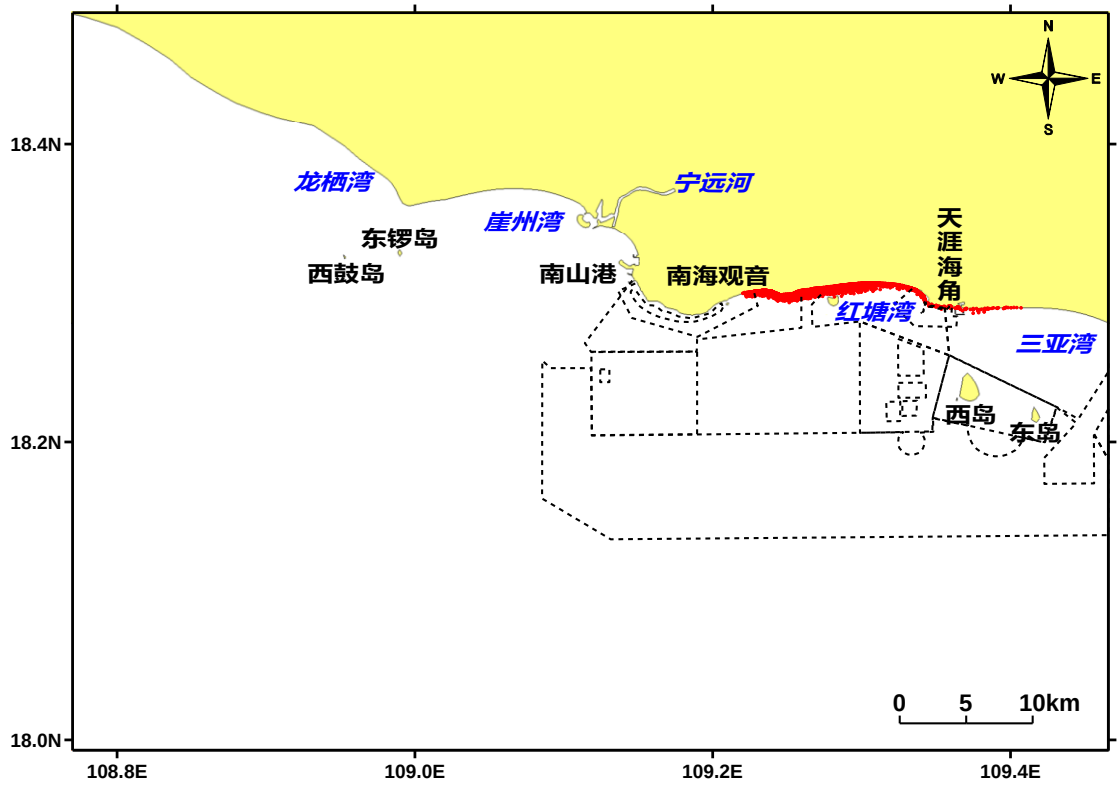


图 6.4-4a 工况 13，大潮期夏季 WSW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 3.5m/s）

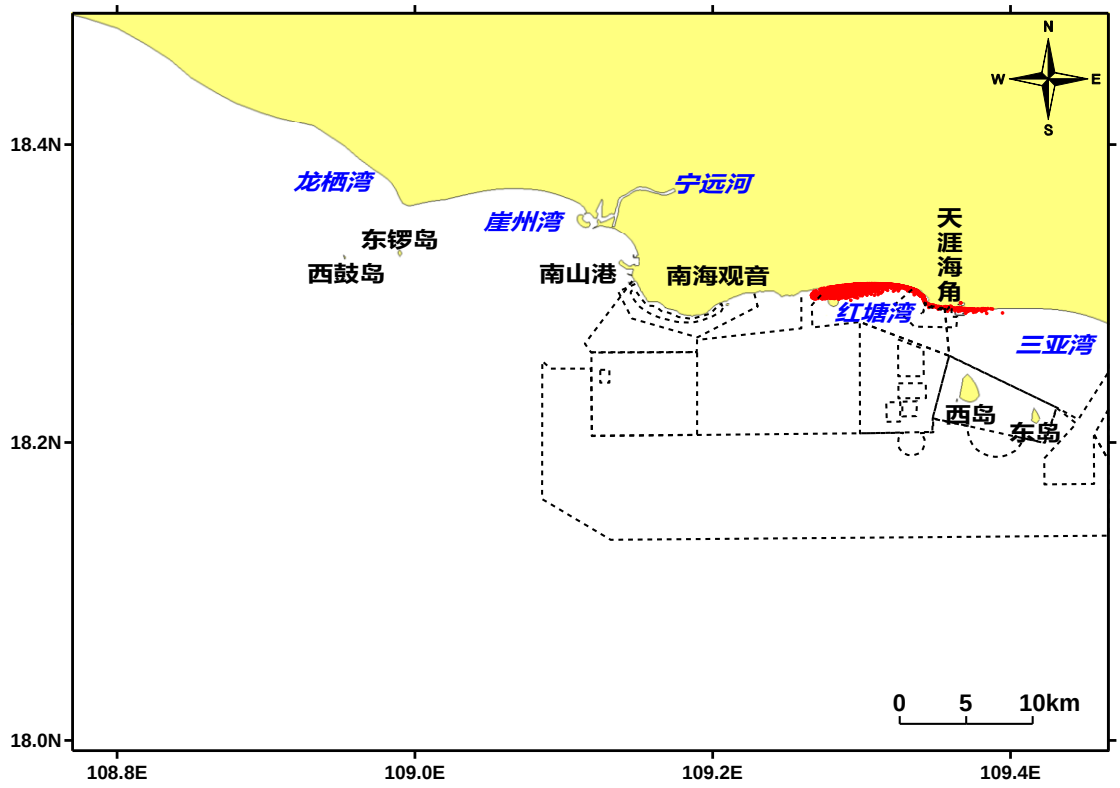


图 6.4-4b 工况 14，大潮期夏季 WSW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 3.5m/s）

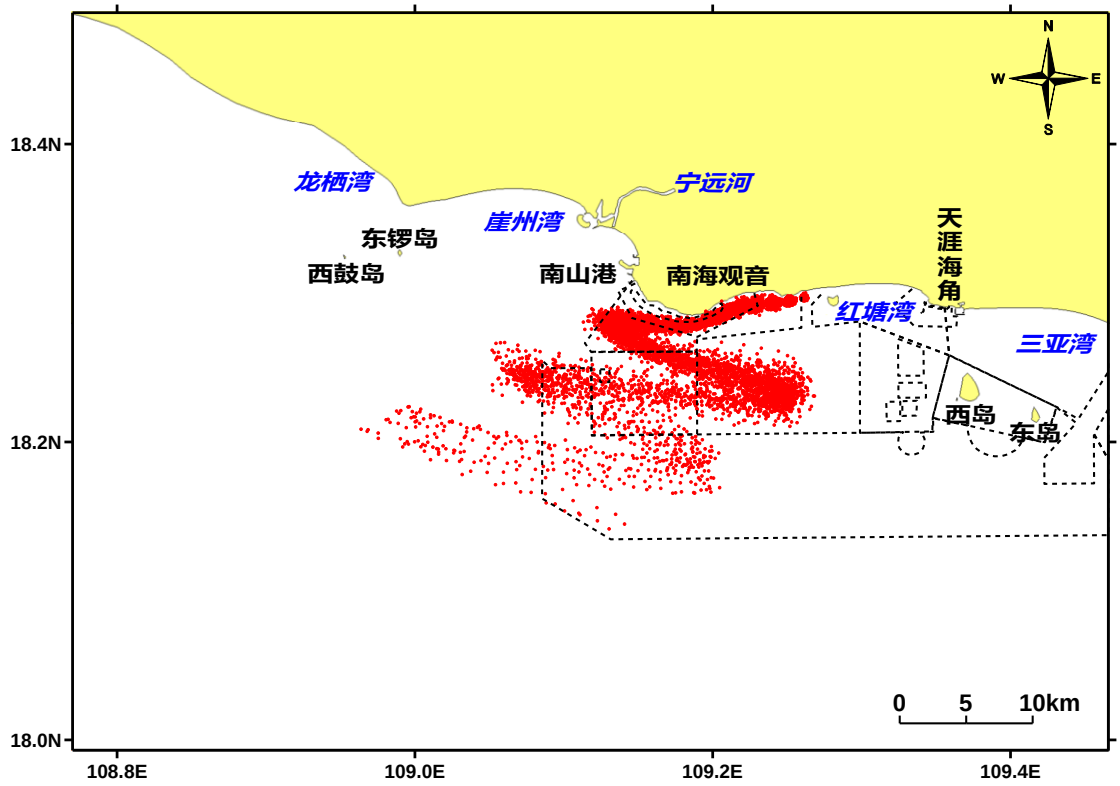


图 6.4-4c 工况 15，大潮期冬季 NE 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 3.1m/s）

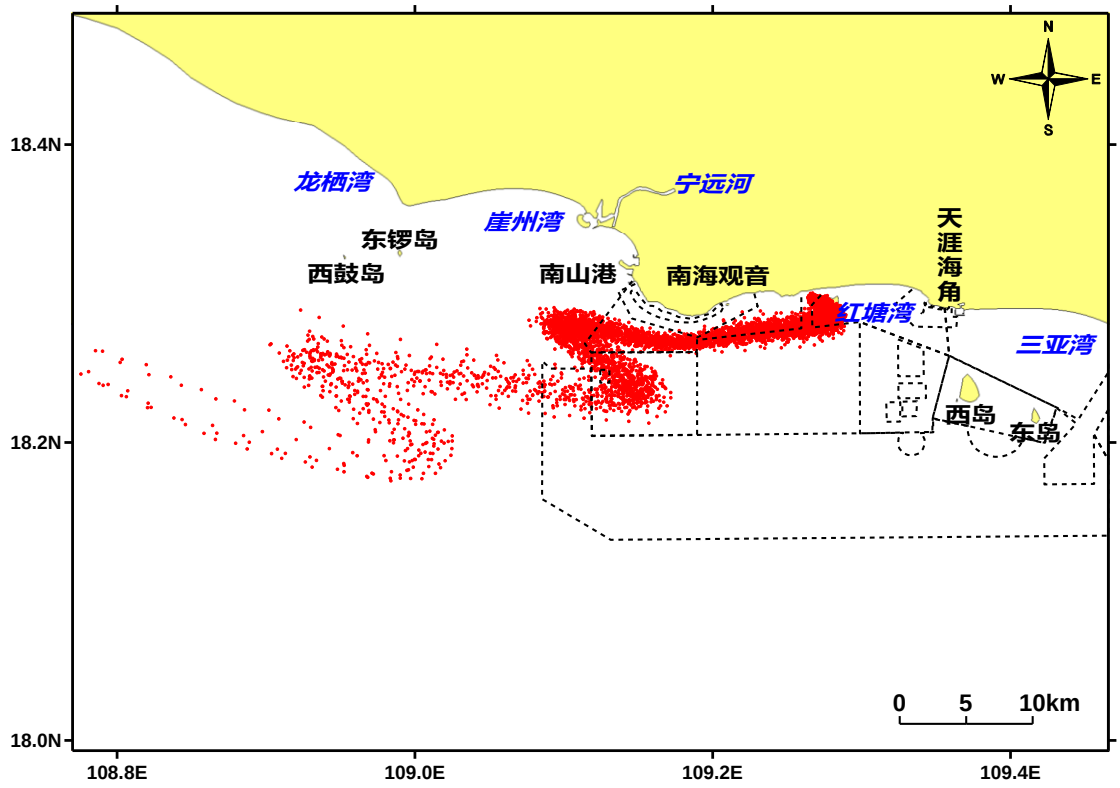


图 6.4-4d 工况 16，大潮期冬季 NE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 3.1m/s）

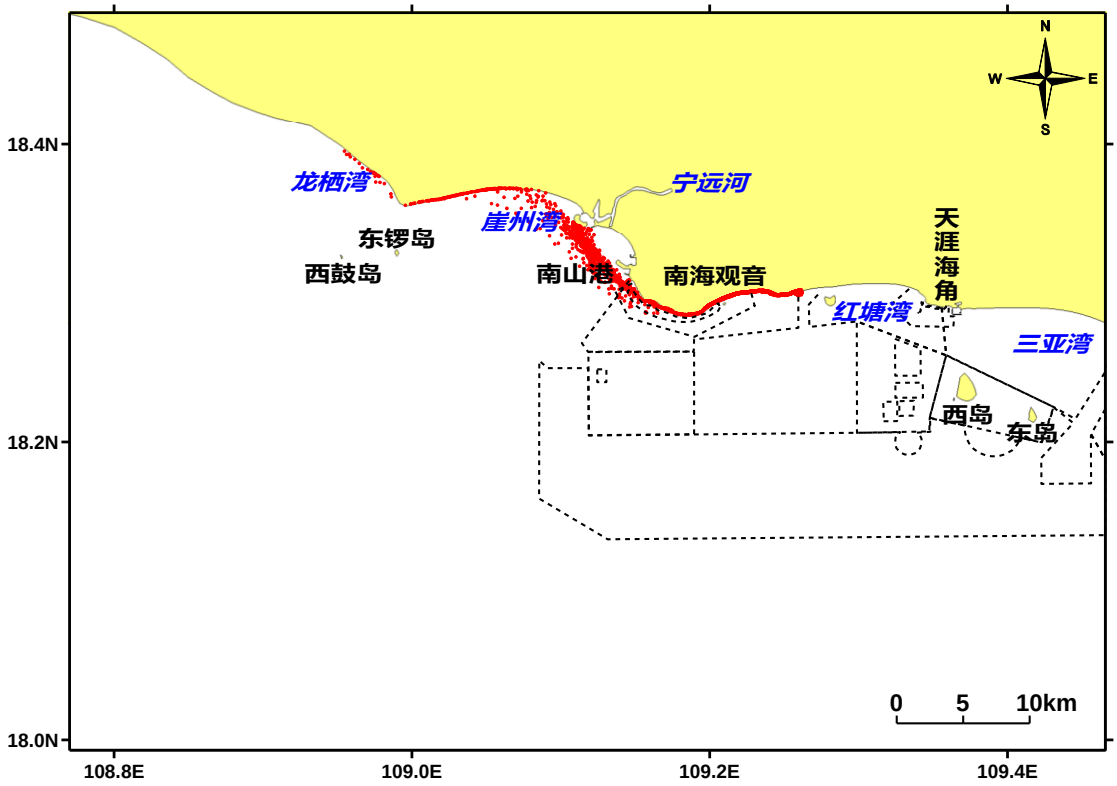


图 6.4-4 工况 17，不利风向 SE 风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（风速 13.6m/s）

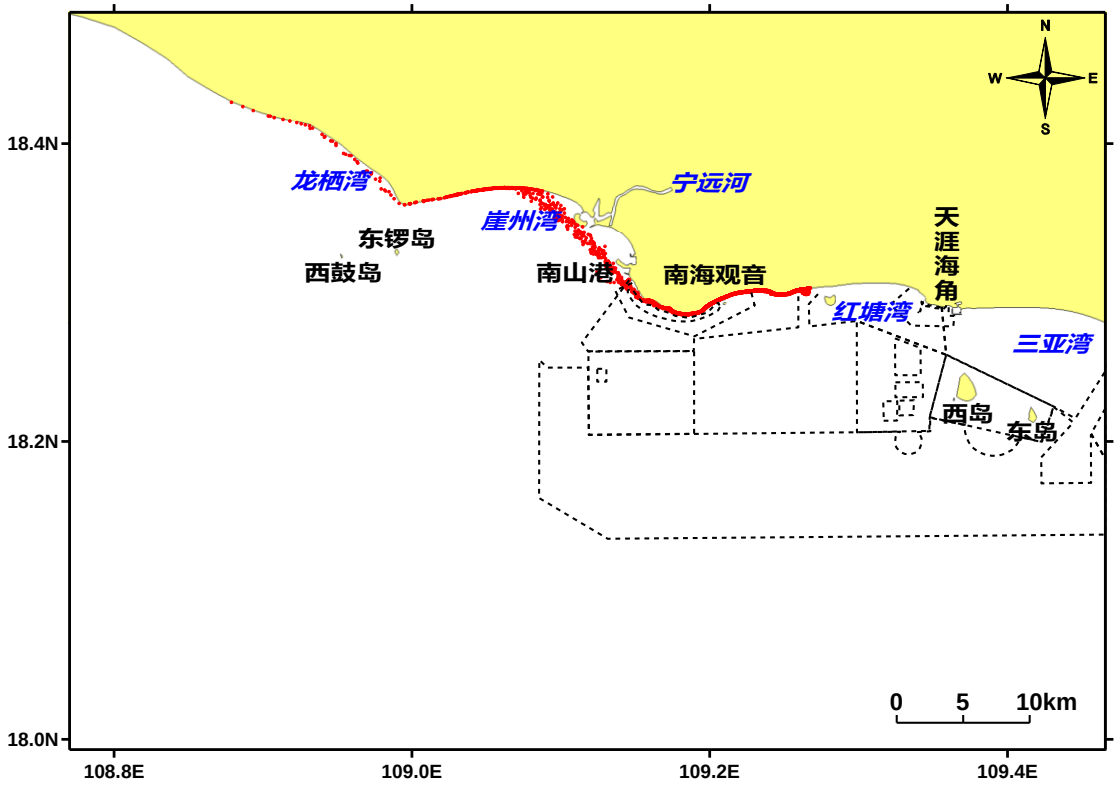


图 6.4-4 工况 18，不利风向 SE 风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（风速 13.6m/s）

表 6.4-5 各工况油膜漂移扩散影响范围(km²)

情景	岸边吸附量（m³）	污染岸线长度（km）	飘移距离（km）	扫水面积（km²）	抵岸时间（h）	抵岸地点
工况 13	18.8	28.6	23.1	30.1	1h	红塘湾
工况 14	19.3	19.3	14.9	21.4	1h	红塘湾
工况 15	5.6	11.2	45.2	257.5	1h	--
工况 16	--	--	62.5	295.4	--	--
工况 17	13.1	33.6	42.5	36.8	1h	红塘湾
工况 18	11.0	38.7	47.3	41.9	1h	红塘湾

表 6.4-5b 各工况油膜对敏感区的影响(km²)

情景	影响敏感目标和时间	残油量
工况 13	南山旅游休闲娱乐区（3h）、南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（7h）、天涯海角旅游休闲娱乐区（1h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（18h）、天涯海角珊瑚礁（19h）、三亚湾旅游休闲娱乐区（20h）	5.5
工况 14	天涯海角旅游休闲娱乐区（1h）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（5h）、天涯海角珊瑚礁（13h）、三亚湾旅游休闲娱乐区（15h）	5.2
工况 15	南山旅游休闲娱乐区（1h）、南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（4h）、南山-大小洞天珊瑚礁（7h）、南山农渔业区（14h）、深石礁特别保护海岛（29h）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（30h）	1.6
工况 16	天涯海角旅游休闲娱乐区（1h）、南山旅游休闲娱乐区（7h）、南山农渔业区（15h）、深石礁特别保护海岛（18h）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（23h）	1.5
工况 17	南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（3h）、南山-大小洞天珊瑚礁（6h）	3.4
工况 18	南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（4h）、南山-大小洞天珊瑚礁（7h）	3.2

6.4.4 事故后果分析

6.4.4.1 溢油污染风险事故影响分析

油品在水环境中有三种存在形式：

- Ø 漂浮在水面的油膜；
- Ø 溶解分散态，包括溶解和乳化状态；
- Ø 凝聚态的残余物，包括沉积物中的残余物。

油膜是油品输入水体的初始状态，根据模型预测结果，溢油量较小，风速较小时，溢出物主要受往复潮流控制，污染范围较小；风速较大时，在潮流和风场的共同作用下，溢出物漂移的范围较大，污染面积亦较大；但当风速特别大时（如台风时），溢出的原油主要受风的控制，污染面积较大。

如果船舶发生事故溢油，对水域生态环境会造成严重的损害。石油类污染物不但会使鱼、虾、贝、藻等海产生物带有异臭、异味而失去食用价值，而且会危害水域浮

游植物、浮游动物、底栖生物的生长发育，降低水域生物生产力，破坏整个生物群落结构，导致生态系统恶化和渔业资源的生产损失。在分析、统计浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼类的石油中毒致死浓度范围、不同浓度下半致死时间及石油溢出事故对水产的异味影响的基础上，类比历史上发生过的事故对海洋生态和渔业资源的影响可知，一旦发生较大规模的溢油事故，可能会对海洋生态和渔业资源造成严重污染损害。

生态毒理学试验表明，各类生物对石油类污染都会有反应。敏感性顺序一般是：卵期→仔稚体→幼体→成体。一般情况下，当分散于水体中的石油类浓度大于0.05mg/L 时，就会对生物生长发育会产生不利影响，如浓度大于 1mg/L，对生物就有直接致伤致死作用。通常当石油类浓度为 25mg/L 时，水体表面已存在漂浮的油膜，在油膜覆盖下，水体中的生物会因石油中毒和缺氧窒息而大量死亡。溢油入海后，一部分覆盖水面，一部分蒸发进入大气，另一部分则溶解和分散于水中。扩散在水中的油将长时间停留在水中，直至被水生生物吞食，或与水中固体物质进行交换而沉入水底。

（1）事故溢油对水质环境的影响分析

受溢油影响的水域，油膜覆盖在水体表面，可溶性组分不断溶于水中，在风浪的冲击下，油膜不断破碎分散，并与水混合成为乳化油，增加了水中的石油类浓度。

溢油会引起水中石油类浓度增加，这是国内外学者都公认的，但由于这是一个复杂过程，至今还没有一种较满意的定量方法。

油膜覆盖下，影响海-气之间的交换，致使溶解氧减小，从而影响水的物理化学和生物化学过程。

溢油影响的范围，污染岸线长度、油膜面积都与溢油量大小、溢油期的风向、流况和岸线地形等有密切关系。

（2）溢油对沉积物环境影响分析

油品泄漏后，尽管一段时间后，泄漏的油品可能会在海面上消失，但部分已发生乳化，和生物残骸、泥沙沾在一起沉入海底并扩散。

油块可在重力作用下沉降，从而影响沉积物表面物理性质和化学成分。

类比塔斯曼海号船舶溢油事故对沉积物的影响进行分析。根据塔斯曼海号船舶溢油的相关报道，2002 年 11 月 23 日凌晨 4 时左右，马耳他籍“塔斯曼海”油轮与中国沿海船舶“顺凯 1 号”在天津海域发生碰撞，造成“塔”轮所载约 200 吨原油泄漏。根据中

国海洋大学专家对塔斯曼海轮溢油的技术评估报告，报告认为，此次事故中溢出的原油对沉积物的影响范围及程度相对较轻；对污损修复方式的选择，报告认为应采用海水自净的自然恢复方法。

溢油事故造成事故海域海水和沉积物环境油类浓度升高，事故发生 4 个月后，海水环境已自然恢复到事故发生前的水平，渔业生产也已基本恢复正常，海底沉积物环境中油类污染物经过 11 个月也已降低到沉积物质量一类标准，其平均油类含量仍比事故前高出 0.68 倍。 应重视本工程物料泄漏对海域沉积物影响，一旦发生溢漏事故，需采取相应措施（如喷洒凝油剂），减少沉降量；事后污损修复方式采取机械修复法和生物修复法。

（3）事故溢油对水生生物资源的影响分析

一旦发生事故溢油，将对油膜扫过水域的水生生物资源造成一定影响。油膜覆盖下，影响水-气之间的交换，致使溶解氧减小，光照减弱，从而影响浮游动物、浮游植物及底栖生物的生长。而溶解及乳化后的油类会对水生生物资源造成一定危害。沉积到底质的石油将对底栖生物造成影响。表 6.4-6 和 6.4-7 列举了油污染对一些海洋生物的影响情况。

表 6.4-6 石油产品对海洋生物的致死浓度

生物种类	2 号燃料油或煤油	废油（ppm）
海洋植物	<100μg/L	10
鳍鱼	50μg/L	1700
幼体和卵	0.1μg/L	1.25
浮游甲壳动物	5～50ppm	15～20
底栖甲壳动物	0.56mg/L	

表 6.4-7 石油产品对海洋生物的致死浓度

种类	石油产品种类	浓度（ppm）	亚致死反应
普通小球藻	精制萘	1	抑制生长
硅藻、双鞭毛藻	油	0.1～0.0001	抑制或减缓细胞分裂
日本星杆藻	煤油	3～38	降低生长速度
海胆幼体	船用燃油的萃取物	0.1～1	影响受精卵发育
大西洋鳕鱼幼体	BP1002	0～10	破坏捕食行为
大螯虾	原油、煤油	10	影响化学感受捕食行为
贻贝	原油	1	加快呼吸、减少捕食
滨螺	BP1002	30	明显抑制生长

①对浮游植物的影响

浮游植物位于海洋食物链的底层，是海洋生态系统中的生产者，占海洋生物生产

力的 90%以上。海洋表层是事故性溢油污染最严重的区域，对浮游植物的影响是最频繁的，也是最严重的。溢油对海洋浮游植物的影响将对整个海洋食物链造成影响，并进而破坏海洋的生态平衡。实验证明石油会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍它们的光合作用。溢油对于浮游植物的影响程度决定于石油的类型、浓度和浮游植物的种类。根据国内外许多毒性实验结果表明，作为鱼、虾类饵料的浮游植物，对各类油类的耐受力都很低，石油急性中毒浓度在 0.1～10mg/L，通常为 1mg/L。对于更敏感的生物种类，油浓度低于 0.1mg/L 时会妨碍其细胞的分裂和生长的速率。

②对浮游动物的影响

浮游动物通过摄食或直接吸收碳氢化合物而受到影响，其急性中毒浓度在 0.1～15mg/L。通常幼体对于石油污染的敏感度大于成体，永久性浮游动物幼体的敏感性大于临时性底栖生物幼体。不同的浮游生物的敏感性存在一定的差异。Mironov 等曾将黑海某些桡足类和技角类暴露于 0.1ppm 的石油海水中，当天浮游动物全部死亡。当石油含量降至 0.05ppm，小型拟哲水蚤 *Paracalanus sp*．的半致死时间为 4 天，而胸刺镖蚤 *CentroPages*、鸟缘尖头蚤和长腹剑水蚤 *Oithona* 的半致死天数依次为 3 天、2 天和 l 天。另外，Mironov 对不同浓度对桡足类幼体的影响实验表明，永久性(终生性)浮游动物幼体的敏感性大于阶段性(临时性)的底栖生物幼体，而它们各自的幼体的敏感性又大于成体。

③对底栖动物的影响

底栖动物大部分种类大多数时间在海底生活，只有少部分幼体营临时型浮游生活，多数底栖生物石油急性中毒致死浓度范围在 2.0～15mg/L，幼体的致死浓度范围更小一些，而软件动物双壳类能吸收水中含量很低的石油。石油浓度为 0.01ppm 就能引起牡蛎、海胆、寄居蟹、海盘车等耐油性差的底栖动物的死亡，石油浓度在 0.1～0.01ppm 时，对某些底栖甲壳类动物（藤壶、蟹等）幼体有明显毒性。据吴彰宽研究表明，胜利原油对对虾 *Penaeus orientalis* 各发育阶段影响的最低浓度分别是受精卵 56mg/L，无节幼体 3.2mg/L、蚤状幼体 0.1mg/L，糠虾幼体 1.8mg/L，仔虾 5.6mg/L，其中蚤状幼体为最敏感的阶段。胜利原油对对虾的幼体的 96h-LC_{50} 为 11.1mg/L。

溢油一旦搁滩，在大量油类覆盖的滩面，固着性生物，如贝类、甲壳类生物和藻类会窒息死亡。在油膜蔓延的滩面上，幼贝发育不良，产量下降，成年贝会因沾染油臭而降低市场价值。在潮下带的养殖贝类，也会受到严重的油污染。这些滤食性双壳

类在摄食时也同时摄入海水中的悬浊油分（乳化油滴）。进入蛤类胃中的乳化油滴破乳后结合成更大的油滴，并在体内积累，引起某些生理功能障碍，终因胃中油积累过多不能排泄而死亡。据 Cilfillan 实验，当油浓度达到 1.0mg/L 时，可使贻贝产生呼吸加快，捕食减少的致死效应。沉积在底质孔隙中的油浓度过高，会引起贝类大量死亡。此外，由于作为对虾饵料的贝类大量减少，对虾即便不直接中毒致死也会因缺乏饵料而影响生长发育，降低产量。值得注意的是，溢油对贝类的危害不是暂时性的。漫滩的污油会随潮汐涨落在附近周期性摆动，面积逐渐扩大，在波浪扰动下部分被掩埋进入沉积环境；潮下带溢油也会由于风化和吸附沉降进入沉积环境。这些进入底泥中的油类靠化学降解作用去除需数月之久。使贝类幼体或中毒发育不良或窒息死亡，使急性污染变成沉积环境的长期污染。

④对渔业资源的影响

石油污染对渔业资源的影响是最重要的影响之一，特别是对鱼卵和仔幼鱼的危害最严重。发生溢油事故后，进入海洋环境的油品，在波生湍流扰动下形成乳化水滴进入水体，直接危害鱼虾的早期发育；高浓度的石油会使鱼卵和仔幼鱼在短时间内大量死亡，低浓度的长期的亚急性毒性可干扰鱼类的繁殖和摄食。据黄海水产研究所对虾活体实验，油浓度低于 3.2mg/L 时，无节幼体变态率与人工育苗的变态率基本一致；但当油浓度大于 l0mg/L 时，无节幼体因受油污染影响变态率则明显上升。对虾的蚤状幼体对石油毒性最为敏感，浓度低于 0.1mg/L 时，蚤状幼体的成活率和变态率基本一致，即无明显影响；当浓度达到 1.0mg/L 时，蚤状幼体便不能成活，96hL50 值为(0.62~0.86)mg/L，即安全浓度为(0.062~0.086) mg/L；浓度大于 3.2mg/L 时，可致幼体在 48 小时内死亡。不同的石油组分其毒性是不同的，以 96 小时鲻鱼的半致死剂量为例，阿拉伯也门麦瑞波原油为 15.8mg/L，镇海炼油厂的混合废油为 1.64mg/L，胜利原油为 6.5mg/L，东海平湖原油为 2.88mg/L。同一种石油对不同鱼类的毒性也是不同的，以胜利原油 96 小时的半致死剂量为例，真鲷仔鱼为 1.0mg/L，牙鲆仔鱼为 1.6mg/L。

溢油对鱼类的影响是多方面的，首先石油会引起鱼类摄食方式、洄游路线、种群繁殖的改变或个体失衡。在鱼类的不同发育阶段其影响程度也不相同，其中对早期发育阶段的鱼类危害最大。油污染对早期发育鱼类的毒性效应，主要表现在滞缓胚胎发育，影响孵化，降低生理功能，导致畸变死亡。以对鲱鱼的实验为例，当石油浓度为 3mg/L 时，其胚胎发育便受到影响，在 3.1～11.9mg/L 浓度下，孵出的大部分仔鱼多为

畸形，并在一天内死亡。对真鲷和牙鲆鱼也有类似结果。当海水油含量为 3.2mg/L 时，真鲷胚胎畸变率较对照组高 2.3 倍；牙鲆仔鱼死亡率达 22.7%，当含油浓度增到 18mg/L 时，孵化仔鱼死亡率达 84.4%，畸变率达 96.6%。Linden 的研究认为，油品中可溶性芳香烃的麻醉作用导致鱼类胚胎活力减弱，代谢低下，当胚胎发育到破膜时，由于能量不足引起初孵仔鱼体形畸变。此外，溢油漂移期间，渔区和捕捞作业会受到很大的影响。成龄鱼类为回避油污而逃离渔场，渔场遭到破坏导致渔获减少；捕获的鱼类也可因沾染油污而降低市场价值。 此外，海洋中一旦发生油污染，扩散的油分子会迅速随风及水的流动而扩散，水产动、植物一旦与其接触，即会在短时间内发生油臭，从而影响食用价值。以 20 号燃料油为例，当油浓度为 0.004mg/L 时，5 天就能对对虾产生油味，14 天和 21 天分别使文蛤和葛氏长臂虾产生异味。

⑤溢油的中、长期影响及其恢复期

溢油对渔业资源中的中、长期影响主要是造成渔业资源种类、数量及组成的改变，从而使渔业长期逐渐减产。这种影响在海洋环境中可持续数年至十几年，因溢油规模及溢油地点而异(NRC,1985)。一般，在近岸、封闭海湾或盐沼地发生溢油的恢复时间相对要长些。对法国布列塔尼发生的 Amoco Cadiz 溢油影响的研究表明，溢油后 1a，在两个湾里有几种鱼类的幼体完全消失，而其成体的生长则显著减缓，并且出现病态及畸变，估计其资源恢复到平衡至少需几年时间(Maurin,1984；NRC,1985)。对美国马萨诸塞州 Buzzards 湾发生的佛罗里达号油驳轮溢油的研究发现，溢油后 3～4a，大型底栖生物仍没有明显的恢复，而盐沼潮间带的某些蟹类在溢油 7a 后仍未完全恢复，估计溢油的影响最少持续 10a(NRC,1985)。对加利福尼亚附近发生的一次溢油的研究也表明，大多数种群在溢油几年后才得到恢复，但鲍鱼在 16a 后仍未出现，而且许多种类也没有达到溢油前的丰度(GESAMP,1977)。对 Chedabucto 湾发生的 Arrow 号油船溢油的研究发现，溢油后 6a，底栖生物的种类多样性仍明显低于对照点，其中软壳蛤的生长率至 9 a 后还比较低(NRC,1985)。Barry 等(1975)曾报道了一次溢油的研究结果，溢油初期潮间带蛤类大量死亡，估计其资源最少要在 5～6a 后才有明显的恢复。Hiyama(1979)报道了日本 SetolnlandSea 一次溢油的观察，表明溢油初期沿岸渔业曾受严重损害，但 1a 后基本恢复正常，其主要归因于采取迅速而有力的恢复工作。

⑥本项目溢油对海洋生态系统与渔业资源影响类比分析

本评价采用类比分析法进行溢出事故对海洋生态与渔业资源影响分析，类比溢出事故为珠江口“3.24 重大溢油事故”，溢出物为船舶燃料油，溢出量为 500 多吨。类比

分析中，溢出物对浮游植物 24 小时 LC_{50} 取 1mg/L、对浮游动物 48 小时 LC_{50} 取 0.05mg/L、对鱼类资源 24 小时 LC_{50} 取 25mg/L，这些数值基本能够代表本工程主要有毒化学品的毒性指标。

表 6.4-8 燃料油对海洋生物的 LC_{50} 文献值（mg/L）

品 名	浮游植物	浮游动物	底栖生物	鱼类
燃料油	1	0.05	15	25

根据交通部水运科学研究所的调查研究结果（图 6.4-5），该溢油事故引起事故当年海洋生态系统发生较为显著的变化，直到事故第二年，生态系统才逐步恢复正常，鱼类资源当年损失约 4 成，由于正值产卵期，对鱼卵和仔稚鱼的伤害较显著，因此鱼类资源较显著的损失会持续 3～4 年，事故后 7 年，鱼类资源量逐步得到恢复。

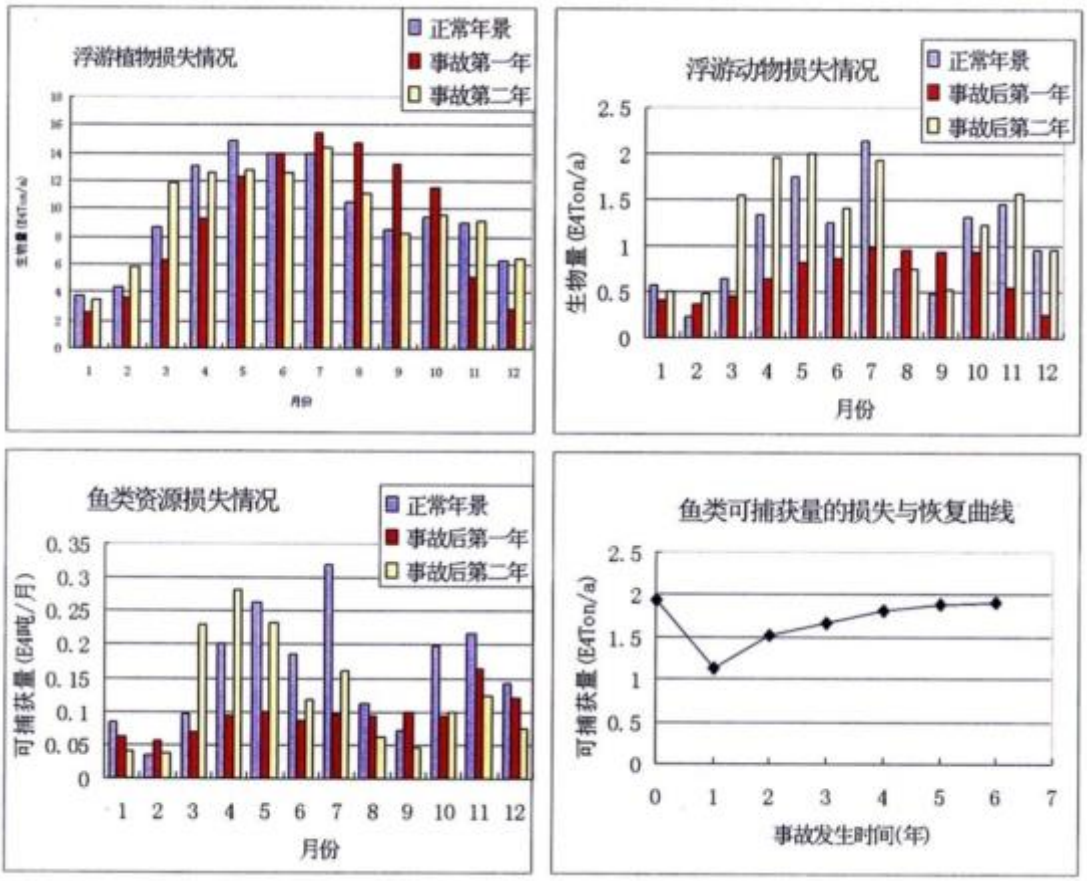


图 6.4-5 珠江口“3.24 重大溢油事故”海洋生物与渔业资源影响分析结果

（4）事故溢油对敏感目标的影响分析

根据预测结果，溢油事故发生后，将对项目周边的生态红线区、海洋功能区及养殖区造成影响。

1）溢油事故对生态红线区的影响

根据预测结果，溢油事故影响到的生态红线区涉及南山-大小洞天珊瑚礁（6h，工况 17）、天涯海角珊瑚礁（5h，工况 12）、海南岛西南部重要渔业资源产卵场（3h，工况 4）、天涯海角海岸防护物理防护极重要区（5h，工况 12 和工况 14）、南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区（3h，工况 17）、深石礁特别保护海岛（7h，工况 3）。燃料油抵达上述生态红线区后，将会对该区域的保护对象造成影响。

2）溢油事故对海洋功能区的影响

根据预测结果，溢油事故影响到的海洋功能区涉及天涯海角旅游休闲娱乐区（1h，工况 13、工况 14 和工况 16）、南山旅游休闲娱乐区（1h，工况 15）、三亚湾旅游休闲娱乐区（15h，工况 14）、三亚湾农渔业区（3h，工况 8 和工况 12）、南山农渔业区（3h，工况 11）。燃料油抵达上述海洋功能区后，将会对该区域海域环境造成影响，对该区域保护对象造成影响。

3）溢油事故对养殖区的影响

根据预测结果，溢油事故发生后 6 小时即将抵达养殖区，污染养殖内水质环境，导致养殖区水生生物中毒死亡。

4）明确主要敏感环境资源保护顺序

本项目所在海域主要环境保护目标包括自然保护区、重要渔业水域等。建议根据南海海域敏感资源保护次序的划分原则以及事故预测结果，确定本项目敏感环境资源的优先保护顺序。本项目海洋环境保护目标优先次序为：三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）>南山-大小洞天珊瑚礁≈天涯海角珊瑚礁>养殖区≈海南岛西南部重要渔业资源产卵场≈三亚湾农渔业区≈南山农渔业区>天涯海角旅游休闲娱乐区≈南山旅游休闲娱乐区≈三亚湾旅游休闲娱乐区>天涯海角海岸防护物理防护极重要区≈南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区。

表 6.4-4 环境敏感区和易受损资源的保护次序

环境敏感区和易受损害的资源名称	保护次序
自然保护区	1
饮用水和工业用水	2
水产养殖和海洋自然水产资源	3
盐田	4
濒危动植物栖息地	5
潮间带生物	6
湿地	7
名胜古迹、景观和旅游娱乐场所	8
农田	9

各种类型的岸线	10
船舶和水上设施	11

6.4.4.2 溢油事故危害后果评价

根据《水上溢油环境风险评估技术导则》，水上溢油事故概率等级划分和溢油事故危害后果等级划分见表 6.4-5 和表 6.4-6，可能最大水上溢油事故风险准则矩阵示意图见图 6.4-2。

本工程最大可能发生事故溢油量约为 35.1t，全年发生溢油事故总概率约为 2.3 次/年。由此确定本项目的风险概率和风险后果处于中风险区。

表 6.4-5 最可能发生事故风险概率划分

等级	事故概率/发生一次事故的频率
很高	≥1/≤1 个工作年
较高	0.1~1/(1~10)个工作年
中等	0.02~0.1/(10~50)个工作年
较低	0.01~0.02/(50~100)个工作年
很低	0.001~0.01/(100~1000)个工作年
极低	<0.001/1000 个工作年
注：区间值前一个数量级包括本数，后一个数量级不包括本数	

表 6.4-6 最可能事故危害后果定性分类

危害后果	量级划分
C1	溢油 10000t 以上，或造成直接经济损失 a 10 亿元以上，或危害后果指数 b≥20
C2	溢油（1000~10000）t，或造成直接经济损失（2~10）亿元，或危害后果指数 16~20
C3	溢油（500~1000）t，或造成直接经济损失（1~2）亿元，或危害后果指数 12~16
C4	溢油（100~500）t，或造成直接经济损失 5000 万元~1 亿元，或危害后果指数 8~12
C5	溢油（50~100）t，或造成直接经济损失（1000~5000）万元，或危害后果指数 4~8
C6	溢油 50t 以下，或造成直接经济损失不足 1000 万元，或危害后果指数<4
注 a：直接经济损失计算按照《中华人民共和国海上船舶污染事故调查处理规定》有关要求确定 注 b：参照《水上溢油环境风险评估技术导则》附录 A 方法一计算	

风险等级 / 溢油量 / 事故概率	50t以下	50~100t	100~500t	500~1000t	1000~10000t	10000t以上
≥1/≤1个工作年						
0.1~1/(1~10)个工作年					高风险区	
0.02~0.1/(10~50)个工作年			中风险区			
0.01~0.02/(50~100)个工作年						
0.001~0.01/(100~1000)个工作年		低风险区				
<0.001/1000个工作年		▲				

图 6.4-2 最可能发生事故风险评估矩阵图

6.4.5 小结

通过数学模型分别计算了在 P1 和 P2 溢油点泄油 50t 后 8 种工况下的影响范围和 72 小时内的扫海面积。从计算结果看：

在不同预测工况（不同风向、风速、潮流）下，油膜（72 小时）扫海面积为 21.4 至 308.3 平方公里。其中，溢油发生后在 1 小时内进入天涯海角旅游休闲娱乐区和南山旅游休闲娱乐区、3 小时可达重要渔业资源产卵场生态红线区和海岸防护物理防护极重要区生态红线区、5 小时内可达到珊瑚礁生态红线区、6 小时内可达到养殖区。

从模拟预测和案例类比分析可知，在项目所在海域一旦发生较大规模油品泄漏事故，会对海洋生态和渔业资源造成严重污染损害。

综合溢油可影响的保护目标的位置、溢油到达时间、影响频率、保护物种的敏感性，本项目海洋环境保护目标优先次序为：三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）>南山-大小洞天珊瑚礁≈天涯海角珊瑚礁>养殖区≈海南岛西南部重要渔业资源产卵场≈三亚湾农渔业区≈南山农渔业区>天涯海角旅游休闲娱乐区≈南山旅游休闲娱乐区≈三亚湾旅游休闲娱乐区>天涯海角海岸防护物理防护极重要区≈南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区。

6.5 环境风险防范措施

6.5.1 船舶碰撞溢油事故风险防范措施

（1）设置施工管理机构。为了保障工程水域施工期间正常的通航秩序，确保通航安全维护工作的顺利进行，为项目施工提供有力的安全保障，建议在施工期设置管理机构：主要负责施工期与施工单位及其他单位之间的协调；对通航安全维护管理的内部工作进行组织；定期或不定期与海事部门联系，通报通航安全维护工作情况。按照施工维护方案，保障水上通航安全和施工作业的顺利进行。遇有突发性事件时应及时向海事部门报告和请示，视情况采取相应的应急处置措施。

（2）施工单位应切实加强运输船舶的管理，认真制定船舶管理制度，加强船舶安全管理，确保船舶运输安全，制定符合规定并合理可行的碰撞、搁浅、火灾、防油污等各种应急预案。

（3）施工船舶应证照齐全（检验证书、适航证书、国籍证书、防油污证、防生活污染证及承载证书、船舶吨位证书等），船舶配员符合要求，船员应具有有效的适任证

书，严禁无证或证书不齐全的船舶进场施工。

（4）业主和施工方应按规定办理施工作业手续，申请划定施工水域和安全作业区域。业主应督促施工方落实施工期间的监管措施和施工安全保障措施，在施工现场设置必要的警示装置，并确保施工船舶及人员的适航、适任。业主和施工方应和海事主管部门建立有效联系，请求对施工水域的有效监管，包括申请安全作业区和警戒区、发布航行通告、设置有关标志、申请通航维护及巡航工作等。

（5）施工作业船舶和设施，应尽量避免影响正常航行船舶的通航安全，在有影响时应征得海事主管部门的同意。施工船舶应按规定显示有关信号，派专人守听指定的VHF 频道，保证船舶间的避让协调通讯及接受海事主管机关的询问。航行船舶与施工船舶均应严格遵守《国际海上避碰规则》及海事主管机关制定的交通管理措施。

（6）施工船舶应严格执行《中华人民共和国海洋环境保护法》、《防治船舶污染海洋环境管理条例》等相关法律法规，制定施工期间的防污染应急预案。施工方应备有足够的防止污染器材和设备，水上、水下船舶施工应采取预防措施，防止油类、油性混合物和其他废弃物污染海域。

（7）船舶驾驶员的业务技术应符合要求。按《防治船舶污染海洋环境管理条例》，对所用船舶及其人员应提出严格的书面管理要求及所应承担的防止船舶溢油责任和义务，并落实本条例规定的防治污染有关措施。船员对可能出现事故溢油的人为原因与自然因素应学习、了解，提高溢油危害的认识及安全运输的责任感和责任心。

（8）施工船舶应配备符合要求的消防救生设备，定期进行消防救生演习。作业人员应树立安全意识，解缆和冲洗甲板人员必须规范穿着救生衣、戴安全帽要，严禁穿拖鞋作业。

（9）对施工设备定时检查和监控，对设备的安全隐患要及时整改，确保设备技术性能良好。

（10）实施值班、了望制度是减少船舶事故发生可能性的重要措施。

（11）及时掌握天气情况，避免在恶劣天气条件下施工作业。实时关注风向风速。

（12）必要的人力、物力和资金应具体落实到位，保证施工作业期间的监管工作顺利进行。

（13）应备有通讯联络器材设备，当出现事故时，能顺畅地与三亚海域溢油应急指挥部联络，并积极配合海事主管部门和生态环境主管部门、渔业主管部门等相关部

门做好应急工作。

6.5.2 针对敏感目标的风险防范措施

本项目周边海域环境敏感区复杂，主要为三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）、沿珊瑚礁和砂质岸线，一旦发生溢油事故 1h 将抵达红塘湾岸线、5h 将抵达天涯海角珊瑚礁分布区、6h 将抵达南山-大小洞天珊瑚礁分布区，对其造成影响。针对本项目施工期船舶碰撞事故导致燃料油泄漏事故，拟采取以下措施：

（1）充分利用本项目配备的溢油应急设备，在周边应急物资抵达前对浮油开展围控与导流，将围油栏布设在珊瑚礁分布区外围，在油膜抵达敏感区前进行导流，使油膜远离敏感区，可满足溢油发生初期对周边环境保护目标的保护需求。

（2）加强溢油应急能力建设，项目施工期间应配备围油栏 4500m，4.5t 吸油材料，2.2t 溢油分散剂，以满足 35.1t 溢油处置能力的基本需求。

（3）一旦发生溢油，当水温高于 15℃，应在征得主管部门同意的情况下，提前喷洒消油剂，阻止溢油进入敏感区。如果溢油漂移到距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，需在逆向溢油漂流的方向布放 1~2 道导流围油栏，改变溢油漂移方向，使其向相对不敏感水域方向漂移，集中并进行回收作业。

6.6 环境风险应急计划

6.6.1 事故应急预案

船舶溢油事故发生后，能否迅速而有效地作出溢油应急反应，对于控制污染、消除污染、减少污染损失等都起着关键性作用。本项目应建立严格的安全生产规章制度，根据有关的法律、法规和《三亚市船舶及其活动污染海洋环境应急预案》编制溢油事故应急预案，并报有关部门批准，建立事故应急反应的组织指挥系统和通畅有效的应急指挥通讯网络，积极配合海事局和海洋与渔业、环保等管理部门做好相关应急工作。一旦出现溢油事故，立即启动应急预案。

（1）应急预案内容

总则，包括编制目的、编制依据、适用范围和工作原则等；

应急组织指挥体系与职责，包括领导机构、工作机构、地方机构或者现场指挥机构、环境应急专家组等；

预防与预警机制，包括应急准备措施、环境风险隐患排查和整治措施、预警分级指标、预警发布或者解除程序、预警相应措施等；

应急处置，包括应急预案启动条件、信息报告、先期处置、分级响应、指挥与协调、信息发布、应急终止等程序和措施；

后期处置，包括善后处置、调查与评估、恢复重建等；

应急保障，包括人力资源保障、财力保障、物资保障、医疗卫生保障、交通运输保障、治安维护、通信保障、科技支撑等；

监督管理，包括应急预案演练、宣教培训、责任与奖惩等；

本项目的概况、周边环境状况、环境敏感点等；

本项目的环境危险源情况分析，主要包括环境危险源的基本情况以及可能产生的危害后果及严重程度；

应急物资储备情况，针对单位危险源数量和性质应储备的应急物资品名和基本储量等；

附则，包括名词术语、预案解释、修订情况和实施日期等；

附件，包括相关单位和人员通讯录、标准化格式文本、工作流程图、应急物资储备清单等。

（2）组织指挥

为保证快速反应，应组成本项目溢油应急指挥部，接受三亚市船舶污染事故应急指挥部的领导，负责组建本项目的应急队伍、培训与演习等。在发生溢油事故时，作为应急现场指挥部的成员。

（3）应急培训与队伍建设

建立溢油防范教育和培训制度。全体人员都应接受溢油应急培训，了解溢油行动计划的有关常识，掌握应急设备器材的使用方法。按照《防治船舶污染海洋环境管理条例》，落实船舶及其人员应承担的防止船舶溢油责任和义务，以及该条例规定的防治污染有关措施。人的不安全行为是事故因果链中引发事故的直接原因，规范船员操作行为能直接阻止事故的发生。

（4）应急通讯

船舶应配备必要的移动电话、VHF 等海上安全保障设施，负责海上通信联系、助航、航标指示、海事警报、气象海况预报等安全监督业务。当出现溢油事故时，能顺畅地与三亚海事局及相关应急队伍联络，并积极配合三亚海事局和环保部门、海洋渔业部门、自然保护区主管部门做好相关应急工作。

（5）事故报告程序和报告内容

发生船舶污染事故时应及时报告，应立即向应急指挥部报告，应急指挥部办公室实行 24 小时值班，具体联系：

①甚高频（VHF）、中高频（MF、HF）等船用通信系统；

②全国统一水上遇险求救电话：12395；

③应急指挥部办公室值班电话：0898-88272063；

事故报告内容包括：事故源名称（发生溢油事故的船舶、设施或码头名称等）、时间和地点、事故类型或发生事故的原因、溢出油的部位与溢油品种、溢油初步估计及进一步溢油的可能性、发生事故处的气象与水文状况、溢油油膜漂移方向及受溢油污染威胁的区域、已采取和准备采取的溢油污染防治措施、报告人的姓名、单位、地址、日期和联系方式等。

此外，发生船舶溢油事故时，应及时通知相邻的码头，必要时要求相邻单位予以控制污染等方面的协助。

（6）应急响应

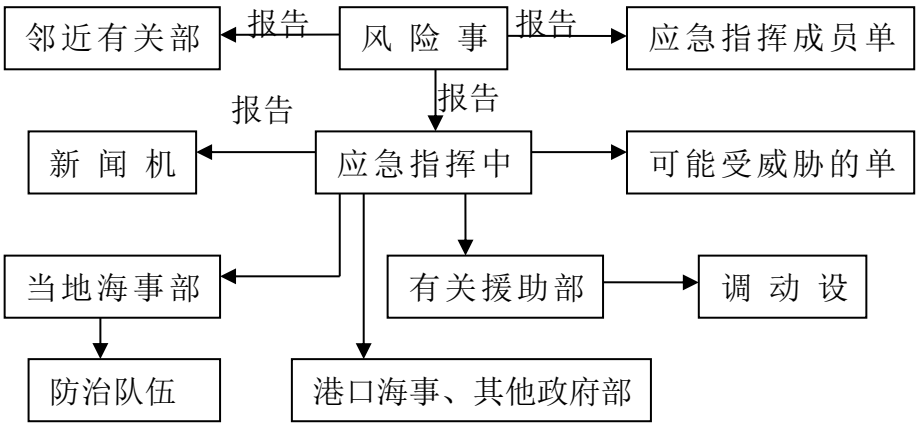


图 6.6-1 事故应急计划主要流程图

为了确保有关人员能在发生事故时能及时得到警报并针对发生的紧急情况作出相应的反应、采取应对措施而设定应急响应程序。应急指挥中心应根据事故溢油量、危害程度和发展事态、事故大小级别，作出适当的响应。

应制定事故应急计划流程，确保在溢油事故发生时，能立即启动应急预案，及时采取措施。

（7）应急对策与污染控制措施

A.启动分级应急响应程序

发现溢油事故后，应立即通知相关操作人员，采取一切办法切断事故源。并作出

判断，启动分级应急响应程序，迅速通知应急指挥部、海事部门和环保部门等主管部门。现场应急指挥中心立即按职责实施事故救援。

B.消除泄漏的措施

迅速查明事故发生的源点、泄漏部位和原因。初步判断船舶破损情况，组织堵漏和将残油转移。当肇事船舶作业有困难时，可按以下几点协助进行。作业要求：

①必要时，由救捞人员进行水下探摸。采取各种可能的方法，尽力封堵破损口。

②将残油驳至其他舱或可接收油的油驳及油囊中。

③为保证两船安全并靠，应在两船船舷之间设置足够的碰垫，并准备移动式球形碰垫。过驳时派专人随时调整和加固缆绳，密切监视输油管及油舱状况。

C.溢油的围控

①当船舶在码头前沿溢油时，在事故码头周围布设一道或多道围油栏进行围控。如果发生汽油等易燃油品泄漏时，还应增设防火围油栏，调用消防船待命，采取防火与防爆措施。

②船舶在锚地、航道上溢油时，事故现场的海况(波高、流速、风速等)符合围油栏的作业条件许可时，采用围油栏在海上进行定位围控。

③在现场围油不可能的情况下，可用围油栏将溢油诱导至利于进行清除作业且对环境敏感区影响较小的水域，再进行清除作业。

④当溢油受风和流的影响有可能向环境敏感区漂移时，需在敏感区周围布设围油栏，减少污染损害。

无论是围油栏围油，还是撇油器回收溢油，都受到海况的制约。因此，定期对海域环境参数进行监测，设置溢油漂移路径数值模拟实时预报系统，对准确而迅速地布置围油栏，控制油污染以及保护海洋环境十分有益。

D.海域海岸溢油清除

溢油被限制在一定的水域之后，应及时对其进行回收、处理，根据溢油量的大小，油的扩散方向、气象及海况条件，迅速高速围油方向和面积，缩小围圈，用吸油船最大限度地回收流失的油，然后加分散剂进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻其对海域的污染。水面溢油回收后的应急储存也很关键，除了利用当地储油设施和调动油船外，还应使用水上应急储油装置如浮动油囊，陆岸应急储油装置如轻便储油软罐等，以顺利完成水面溢油回收后的处理。

E.主要环境敏感目标的溢油围控及清除

船舶发生溢油事故后，除立即向指挥部报告外，还应立即通知三亚珊瑚礁国家级自然保护区等环境敏感目标的管理部门，立即采取预防溢油污染措施。

（8）应急设备

建议本项目船舶事故应急处理可依托已有应急处理设施，与具有事故处理能力的单位签订事故处理合作协议，同时本项目应按《港口码头溢油应急设备配备要求》配置溢油应急设备。

（9）应急状态终止与恢复措施

当事故现场得到控制、溢油污染无继发可能、溢油污染损害索赔取证记录已完成，进入索赔准备后，经环境、消防、卫生等有关主管部门批准，确认终止时机。应急状态终止后，应根据上级有关部门的指示和实际情况，继续进行环境监测和评价工作，直至自然过程或其他补救措施无需继续进行为止。

6.6.2 溢油应急计划

6.6.2.1 三亚市船舶及其活动污染海洋环境应急预案概况

2015 年三亚市政府编制的《三亚市船舶及其活动污染海洋环境应急预案》（以下简称预案）适用于对三亚管辖海域范围内造成或可能造成船舶及其有关作业活动污染海洋环境事故的应急反应组织、指挥和协调；主要包括总则、组织结构与工作职责、预警与预防机制、应急响应、应急行动、后期处置、信息发布、应急保障、监督与管理及附则十个部分组成。有关企业可能发生污染海洋环境的，应当依据有关的法律、法规和本预案的要求制定的应急预案。

在三亚市突发公共事件应急办公室的领导下，以“三亚海事局海上搜救应急指挥中心”为平台，设立“三亚市船舶污染事故应急指挥部”(简称“应急指挥部”)，负责三亚市防治船舶及其有关作业活动污染海洋环境工作，业务上受三亚海上搜救分中心、海南省海上搜救中心指导。应急指挥部下设办公室，挂靠三亚海事局指挥中心。

现场指挥由船舶污染事故应急指挥部授权的人员担任，可以是 1 人或多人，无授权情况下，由三亚海事或渔业主管部门现场最高行政人员担任。在应急处置期间，按照职责分工、专业特长，从各成员单位抽调一定数量的专业人员，组成若干个非常设编制的、具有码头消防和污染处置能力的应急工作组。

6.6.2.2 三亚周边海域船舶污染应急能力

本工程周边分布有三亚华利清污有限公司、海南江海实业有限公司、海南石油太

平洋公司码头、崖城 13-1 气田南山终端码头等应急力量。一旦发生溢油事故，应及时、充分地调动、利用三亚周边现有的溢油应急设备，以减轻溢油对环境的影响。

表 6.6-2 海南石油太平洋公司码头防污应急设备清单

设备名称	规格型号	技术参数	生产厂家
绳式收油机	SS-10	10m^3/h	青岛华海环保工业公司
真空收油机	ZK-10m3/h	10m^3/h	广州泰洋环保公司
电动隔膜泵	DBY-15	15m^3/h	青岛金奥工贸有限公司
PVC 围油栏	WGV-1-750	460m	青岛华海环保工业公司
吸油毡	PP-2	1.5t	青岛华海环保工业公司
消油剂	浓缩型	1.5t	青岛华海环保工业公司、广州泰洋环保公司
移动储油罐	QG-2	21m3	青岛华海环保工业公司
油拖网	TYT-4	4m3	广州泰洋环保公司
溢油分散剂喷洒装置	PS40	40L/min	广州泰洋环保公司
溢油报警系统		2 套	青岛华海环保工业公司

表 6.6-3 崖城 13-1 气田南山终端码头防污应急人员防护设备配备表

序号	项目名称	数量	序号	项目名称	数量
1	杜邦防护衣	20 套	9	吸收材料（消防砂）	5 套
2	防火隔热服	15 套	10	泄露处理桶	5 个
3	空气呼吸器	20 套	11	塑料软刷	10 个
4	防毒面具	30 个	12	塑料簸箕	10 个
5	护目罩	100 个	13	胶布	20 卷
6	防尘口罩	50 个	14	肥皂	20 卷
7	抗腐蚀手套	100 双	15	救生艇	1 艘
8	便携式可燃气体探测仪	2 台			

表 6.6-4 崖城 13-1 气田南山终端码头防污应急器材

名称		型号	数量	存放地点	备注
消油剂	消油剂	GM-2(55 加仑/桶)	6 桶	南山终端 2#化学品仓库	有效期至 2015 年 8 月
	消油剂	GM-2(55 加仑/桶)	6 桶	海洋石油 606	有效期至 2015 年 8 月
	消油剂	GM-2(55 加仑/桶)	6 桶	南鸥	有效期至 2015 年 8 月
吸油类设备	吸油粉末	56.6 升/袋	200 袋	南山终端	
	吸油垫纸	3M,T-151,17"×19", 200 片/袋	30 袋	南山终端	
	沾油丝	12.5 米/条	80 条	南山终端	
	吸油栏	2.9 米/条	250 条	南山终端	
	吸油栏	3MPetreleum	65 条	南山终端	
消油剂喷洒设备	船载喷洒装置		2 套	海洋石油 606、南鸥各一套	总喷洒速率 2.4 吨/小时
	喷雾器	X-PERT/4 加仑	9	南山终端	

名称		型号	数量	存放地点	备注
	喷雾器	2 加仑	2	南山终端	
	喷雾器	3 加仑	2	南山终端	
	喷雾器	21/4 加仑	18	南山终端	
围油栏	围油栏	6"×12"(30 米/节)	420m	南山终端	日常作业布放兼顾应急
	围油栏	12"×24"	600m	南山终端	应急
	围油栏	38"	200m	南山终端	应急
撇油器及其组件	撇油器	CRUCIAL	1 台	南山终端	
撇油器及其组件	撇油器	Skim-Pak	1 台	南山终端	
	液压吸油泵	CRUCIAL	1 台	南山终端	卸载速率 15m3/h
	撇油头	Skim-Pak	1 台	南山终端	
	撇油头	CRUCIAL	1 台	南山终端	
	吸油管	2"	2 条	南山终端	
	吸油管	2"	1 批	南山终端	
	柴油机	带驱动液压泵	1 台	南山终端	
	柴油机	带驱动液压泵	1 台	南山终端	
	清刷泵	CURICAL	1 台	南山终端	
储存装置	tote tank	550Gallon	16	南山终端	
	tote tank	250Gallon	16	南山终端	
其它	布栏机	BR-75*8HM	3 套	南山终端	
	围油栏布放艇		1 艘	南山终端	
	移动式水箱		5	南山终端	
	围油栏连接头		3 个	南山 C4	
	围油栏连接头插销		40 个	南山 C4	围油栏连接头插销
	围油栏潮汐增补器		4 个	南山 C4	围油栏潮汐增补器
	小推车		4 台	南山 C4	小推车

表 6.6-5 海南江海实业有限公司防污设备清单

设备名称	设备参数	类型	数量	存放地点
吸油毡	20KG/包	纤维型	3 包	公司仓库
消油剂	20KG/桶	浓缩型	10 桶	公司仓库
吸油拖栏	3 米/条	XTL-250	400 米	公司仓库
消油喷洒装置	20 立方/小时	PS40	1 套	公司仓库

表 6.6-6 三亚华利清污有限公司防污设备清单

设备名称	设备参数	类型	数量	存放地点	有效期
浮子式 PVC 围油栏	总高 1.5 米	WGV1500 型	1000 米	公司仓库	
浮子式橡胶围油栏	总高 0.9 米	WGV900 型	1000 米	公司仓库	
岸滩围油栏	总高 0.6 米	WAT600 型	2000 米	公司仓库	
防火围油栏	总高 0.9 米	WGF900 型	200 米	公司仓库	
充水机		WAT600 型	4 台	公司仓库	
转盘式收油机	20 立方/小时	ZSJ20	3 台	公司仓库	

硬刷式收油机	10 立方/小时	ZS10	1 台	公司仓库	
动态斜面收油机	100 立方/小时	DX100	2 台	公司仓库	
船用喷洒装置	20 立方/小时	PSH80	2 台	公司仓库	
便携式喷洒装置	20 立方/小时	PSH20	6 台	公司仓库	
热水清洗机	10 立方/小时	热水型	1 台	公司仓库	
冷水清洗机	20 立方/小时	冷水型	2 台	公司仓库	
吸油毡	20KG/包	pp-2\pp-5	6 吨	公司仓库	三年
吸油拖栏	3 米/条	XTL-200	1200 米	公司仓库	三年
油拖网		SW-6	1 套	公司仓库	
消油剂	20KG/桶	富肯-2	10 吨	公司仓库	三年
卸载泵装置	100 立方/小时	XZB100	2 台	公司仓库	
化学吸收剂	颗粒	英必斯	3 吨	公司仓库	三年
储油囊			4 套	公司仓库	
污油水车	5 立方		2 台	公司仓库	
污油水分离池	200 立方		1 个	公司仓库	
污油储存罐	30 立方		2 个	公司仓库	
番龙油 9	340 总吨	回收船	1 艘	三亚内港	
琼儋州渔油 10004	113 总吨	回收、储存	1 艘	三亚内港	
围油栏布放艇	60 匹	辅助船	1 艘	三亚内港	
华利 2 号	80KW	辅助船	1 艘	三亚内港	
华利 3 号	80KW	辅助船	1 艘	三亚内港	
华利 4 号	40KW	辅助船	1 艘	三亚内港	
华利 1 号	38 总吨	辅助船	1 艘	三亚内港	
琼三亚 L1093		辅助船	1 艘	三亚内港	

表 6.6-7 海事防污设备统计表

序号	设备名称	参数	类型	数量	存放地点	保管人	替代保管人
1	固体浮子式橡胶围油栏	米	WGJ1100	800	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
2	不锈钢连接夹板	件	1100 型	78	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
3	不锈钢铰链式快速接头兼拖头	套	1100 型	2	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
4	不锈钢螺栓	套	M12×35	650	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
5	吸油拖栏	米	XTL-Y220	1302	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
6	溢油分散剂	吨	浓缩型	2	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
7	转盘式收油机	台	ZSY20	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
8	消油剂喷洒装置	套	PS80	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
9	快速布放围油栏	米	KSW1000	200	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
10	卷绕机	套	1000 型	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
11	卷绕机动力站	台	1000 型	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
12	拖头	套	1000 型	2	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
13	轻便储油罐	个	QG-V10	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
14	吸油毡	吨	PP-5	2	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
15	下行式收油机	套	DXS40 型	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
16	高温高压清洗剂	套	BCH1217B	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
17	防爆卸载泵	套	XZB100F	1	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
18	防护服	套		10	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚
19	防护鞋	双	41#/42#	各 5	三亚华利公司仓库	林龙	刘志坚

6.6.2.3 应急响应时间与溢油应急设备配备要求

根据数值模拟结果，一旦溢油，溢油油膜最快 1h 左右以内将影响到环境敏感目标。

根据三亚周边海域船舶污染应急能力状况，位于红塘的海南石油太平洋公司码头防污应急设备库距离本工程区最远处约 5km，约需 1h 可到达本工程区；崖城 13-1 气田南山终端码头防污应急设备库距离本工程区最远处约 20km，约需 4h 到达本工程；三亚周边海域其他现有应急设备与物资距离本工程区较远。根据《三亚市船舶及其活动污染海洋环境应急预案》（2015），“在应急行动启动，应急指挥部下达指令后，港区内水域发生船舶污染事故，应急力量在 30 分钟以内到达，1 小时内有效开展清污或防备行动，1.5 小时内完成岸线敏感资源保护”，可见三亚周边海域的现有防污应急设备与物资尚不能满足应急响应的要求。

因此，本工程需配备相关的溢油应急设备。本工程最大施工船舶为 5000 吨级运砂船，根据《港口码头溢油应急设备配备要求》（JT/T451-2009）中的“海港其它码头溢油应急设备配备要求(1000 吨级~5000 吨级(含))”，本工程应在施工营地配备溢油应急设备。根据源项分析，本项目最大溢油量为 35.1t，考虑到本项目周边环境敏感，将本项目最大溢油量确定为应急目标，因此本项目应急目标为 35.1t。具体应急物资的处置能力核算如下：

（1）机械回收能力

机械回收能力计算公式：

$$E = \frac{T \times P1}{\rho \times \alpha \times Y \times 6 \times (1-\eta)}$$

式中：E——收油机回收能力，m^3/h；

T——溢油量，溢油应急目标 35.1t；

P_1——机械回收占溢油的比例，本评价取 60% ；根据《船舶溢油应急能力评估导则》中规定机械回收量占总溢油量的比例为 40~60%，由于本项目处于近岸海域，机械回收量占总溢油量的比例选取高值，故取 60%。

ρ——回收油水混合物密度，单位为吨每立方米（t/m^3），本评价取原油密度 $0.9t/m^3$；

α——收油机回收效率，本评价取 5% ；根据《船舶溢油应急能力评估导则》表 1 中规定开阔水域对重质原油、燃料油的收油速率为标定值的 5%。

Y——收油作业天数，本评价取 1 天；

6——每天收油作业时间，单位 h，本评价取 10h；

η——富裕量，根据经验，本评价取 20%。

根据核算满足本项目应急能力目标所需收油机回收能力 58.5m^3/h。

（2）溢油围控能力

参考《船舶溢油应急能力评估导则》（JT/T 877-2013）提供的技术方法，围油栏需求总数量 L 总见下式：

$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$

式中：

L——围油栏的总数量，单位为米；

L_1——溢油源围控的围油栏数量，L_1=3×(B+W)×N_1，式中 B：最大船型船舶的船长（取 5000t 运砂船船长约 97m），W：最大船型船舶的船宽（取 5000t 运砂船船宽约 16m），N_1：布设围控的围油栏层数，取 2；

L_2——收油作业配套的围油栏数量，L_2＝D×100，D 为“收油系统”数量，2 台收油机同时作业情况下 D 取 2；

L_3——导流配套的围油栏数量，L_3=U× N_2，式中 U：一组围油栏的长度，N_2：所需导流的围油栏的组数，按照通常海上溢油带的短边长度为 100-500m，本项目按照 U 为 500m 计算，N_2 取 4；

L_4——防护配套的围油栏数量，L_4＝(L_1+ L_2+ L_3)× $\oint$，式中 $\oint$：加权系数，取值区间为 0.2~0.5，环境敏感度越高，取值越大，本项目取 0.5。

因此经过计算确定，满足本项目应急能力目标所需 L_1=678m，L_2＝200m，L_3＝2000m，L_4＝1439m，L＝L_1+L_2+L_3+L_4＝4317m。

（3）污油储存能力

根据《船舶溢油应急能力评估导则》（JT/T 877-2013），临时存储能力根据机械回收能力、储存容积、转运能力等因素计算临时储存能力。一般情况下，临时储存能力应满足收油机工作 12h 回收的油水混合物储存需求，可根据转运能力进行相应的调整。转运能力指能够通过过驳、运输、卸载等方式及时将回收的油水混合物转移处理，保障回收作业连续进行的能力。

海上溢油的临时储存和转运设备可使用带油舱的船舶、油轮、油驳，也可使用浮动油囊和轻便式储油罐。根据《船舶溢油应急能力评估导则》（JT/T 877-2013），临时储存能力可采用以下方法进行计算：

S=12*E

其中：S 为临时存储能力，E 为收油机标定小时回收能力要求。

根据核算本项目应急能力目标所需收油机回收能力 58.5m^3/h，则需要临时储存能力 702m^3。

（4）溢油分散能力

本项目中，溢油清除主要考虑使用吸油材料、凝油剂、溢油分散剂等物质对易蒸发原油和其轻质炼制品的清除，同时考虑对较薄油层和较难使用收油机工作区域进行溢油清除。

根据《船舶溢油应急能力评估导则》（JT/T 877-2013），溢油分散剂配置数量的估算方法如下：

$G=T\times10^3\times P_2\times R$

其中：G--需喷洒的溢油分散剂数量，单位 kg；T--总泄漏量，单位吨，取值 35.1t；P_2--溢油分散剂处理溢油量占总溢油量的比例，取 30%；R--溢油分散剂与油的用量配比，常规型分散剂取值为 0.3~1，浓缩型分散剂取值为 0.1~0.2，本项目取值 0.2。

由此计算得到本工程需要溢油分散剂 2.106 吨。

（5）油污吸附能力

常规的吸附材料为吸油毡，也是目前处理日常作业小型船舶污染事故的常用材料之一，它主要将水面溢油直接渗透到材料内部或吸附于表面，以便于回收溢油，通常有聚氨酯、聚乙烯、聚丙烯、尼龙纤维和尿素甲醛泡沫等材料。

我国<船用吸油毡>行业标准规定，其吸油性应达到本身重量 10 倍以上，吸水性为本身重量 10%以下，持油性保持率 80%以上。所需数量计算如下：

$I = T\times P_3 \div（J\times K\times \varphi_1）$

式中：

I——吸收吸附材料数量，t(单位:吨)； T——总溢油量，t(单位:吨);P_3——吸附回收量占总溢油量的比例，取值区间 20%-30%，本评价取 30%； J——吸收吸附倍数，本评价取 10；K——油保持率，本评价取 80%；φ_1——吸收吸附加权系数，取 0.3。

经计算，按照溢油量 35.1t 为目标，需要配备 4.4t 吸油毡。

（6）溢油应急能力可行性分析

本项目拟配备的溢油应急设备具体见表 6.6-7。其中，可使用经改造后符合相关要

求的船舶兼用或专用为围油栏布放艇。应按照相关要求对溢油应急设备进行定期检查和及时更新，保持溢油应急设备处于有效状态。

表 6.6-7 本工程溢油应急设备配备要求

设备名称		施工营地的配备要求	交通艇、指挥艇上的配备要求
围油栏	应急型（m）	4500	4500
收油机	总能力（m^3/h）	60	60
油拖网	数量（套）	1	1
吸油材料	数量（t）	4.5	4.5
溢油分散剂	浓缩型，数量（t）	2.2	2.2
溢油分散剂喷洒装置	数量（套）	1	1
储存装置	有效容积（m^3）	710	710
围油栏布放艇	数量（艘）	1	1

根据对机械回收能力、溢油围控能力、污油储存能力、溢油分散能力和油污吸附能力的核算可以看出，本项目配备应急物资将按照 35.1t 处置能力进行配备，应急响应时间为 0~0.5h，符合周边环境敏感目标的应急响应需求。

①机械回收能力

收油机能力 60m^3/h，大于 35.1t 溢油量对应的 58.5 m^3/h 的收油机能力需求；

②溢油围控能力

围油栏 4500m，大于 5000t 运砂船对应的 4317m 的围油栏长度需求。

③污油储存能力

污油储存能力 710m^3 临时储油设施，大于本项目 702m^3 储存需求。

④溢油分散能力

溢油分散剂 2.2 吨，满足 35.1t 溢油量处置能力的基本需求。

⑤油污吸附能力

吸油毡 4.5 吨，满足 35.1t 溢油量处置能力的基本需求。

6.7 事故防范措施与环境风险应急计划可行性分析

本工程周围有诸多敏感区，一旦发生较大类型溢油，周围海域受到污染，珊瑚礁分布区、生态红线区和海洋功能区都将受到严重影响。由此可见，油田开发的溢油应急策略应具备高效性，一旦出现溢油事故，装备有足够的溢油应急设备的船只应在溢油开始扩散前就第一时间赶到现场并展开溢油收集工作。

项目施工前，建议建设单位按照本评价要求，配备对应规模的应急设备，能够保证在 0~0.5h 抵达事故区域并对一般类型溢油做出反应，避免对海洋环境的影响。而对

于较大类型溢油，可借助于区域性溢油应急能力进行应急处理，以便将对海洋的影响降到最低。

7 环境保护措施及其可行性论证

7.1 污染防治措施及其可行性论证

7.1.1 水污染防治措施

7.1.1.1 悬浮沙污染防治措施

1）制定完善的施工计划，合理安排施工顺序。在拆除施工前，首先进行拦污屏安装，并安排定期巡查，检查拦污屏状态是否完好。一旦发现损坏拦污屏损坏，应停工后修复或更换拦污屏再开工。拦污屏设置见图 7.1-1。

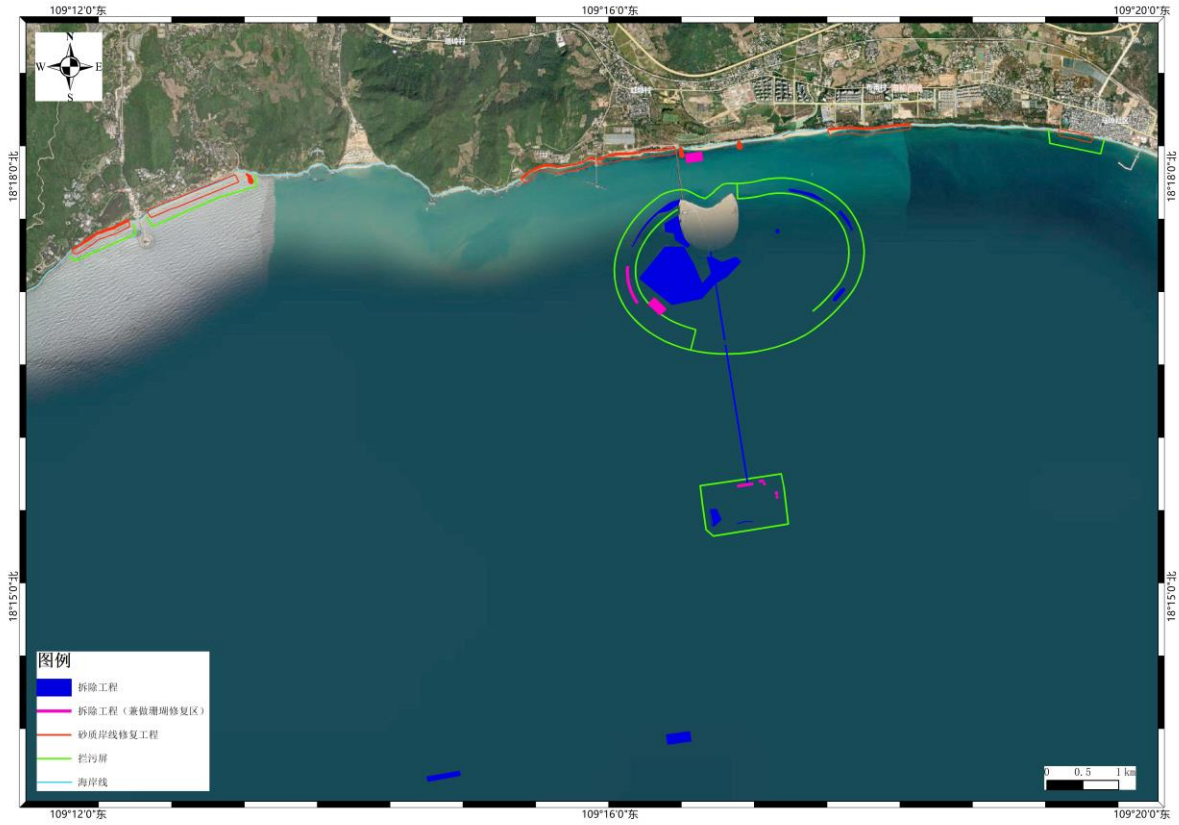


图 7.1-1 拦污屏、进出通道设置示意图

2）开工前检查施工设备状态是否正常，尤其是船舱的开闭门，防止运输沿途泄漏。

3）关注施工气象条件，避免在大风、大浪、大潮等不利条件下施工，减少拆除物料的冲刷流失量并减小入海悬浮沙的扩散范围。

4）按运砂船核定装载量严格控制运输量，防止超载导致拆除物料运输途中外溢。

5）开展施工监测工作，在悬浮沙影响范围内、进出通道处及必要的环境敏感区附近设置监测点，合理选择监测频率。在环境敏感区监测点水质不达标时，及时采取减

少同时运行的施工设备数量、暂停施工等补救措施，待监测水域悬浮沙增量降低到正常水平后再正常施工。

6）加强人员管理，对管理人员及施工作业人员进行必要的培训，施工现场设专人管理，防止人为因素对水质造成不必要的影响。

7.1.1.2 施工船舶含油污水和生活污水处理措施

1）施工船舶含油污水产生量 2928.75t。施工船舶应按照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》对船舶含油污水实施铅封，运至陆域，交由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理，禁止向海域排放，同时做好交接记录台账，以备核查。

2）施工船舶加强管理，经常检查机械设备性能情况，杜绝出现跑、冒、滴、漏现象，防止发生机油溢漏事故。如发现甲板上机械设备漏冒油等情况，应立即停机处理，及时收集油水防止流入海中。

3）严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物；不得在施工区域清洗油舱和有污染物质的容器。

4）经核算施工期间船舶生活污水产生量为 5000m^3，利用船载收集装置收集，运至陆域，交由具备相关资质的船舶污染清除单位处理，不得直接排入环境水体，同时做好交接记录台账，以备核查。

5）施工期间陆上施工人员生活污水产生量为 900m^3，在施工营地和人工补砂区域配套设置移动式环保厕所，陆上施工人员生活污水经移动式环保厕所收集，定期外运至市政污水处理厂处理。

7.1.2 废气污染防治措施

施工过程中大气污染源主要是施工扬尘、施工船舶和机械尾气，为降低施工对该区域环境空气的影响，施工过程中应采取以下措施：

（1）本项目拆除物料堆场设在临空一期人工岛，堆存物料使用防风抑尘网进行覆盖，配备洒水车或雾炮机，定时对堆场进行洒水抑尘，减少扬尘产生。

（2）本项目施工船机选用环保型运输车辆、船舶和设备，使用符合要求的清洁燃料，确保尾气达标排放。定期对施工船舶和机械进行维护保养，保证船只的各项条件符合有关控制空气污染的法规要求，使各项性能参数和运行工况均处于最佳状态，从而减少柴油机的排放污染。

（3）施工人员日常生活和施工作业中，尽量使用天然气、电力等清洁能源，减少

大气污染物的产生和排放。

（4）合理安排作业时间，避免施工人员长时间处于恶劣施工环境中；为施工人员配备防尘口罩等必要的防护用品，保障施工人员身体健康。

7.1.3 噪声污染防治措施

施工期间主要噪声源为施工机械（主要有车辆、船舶等）噪声，采取的降噪措施如下：

（1）优先选用性能良好的低噪声施工设备，日常应注意对施工设备的维修保养，使各种施工机械保持良好的运行状态。

（2）合理安排施工进度和时间，加强对施工船舶噪声的控制与管理，尽量避免夜间施工，如确实需要进行夜间施工，应按规定向相关主管部门报备，并按要求进行公示，夜间施工避免使用高噪声设备，减小施工噪声对周围声环境的影响。

（3）加强行车管理，限制运输车辆行车速度，加强施工船舶管理，减少船舶非必要鸣笛。

（4）加强施工人员防护，合理安排排班计划，避免长时间在高噪声环境作业；为施工人员配备必要的降噪防护用品，如降噪耳机等；对高噪声设备采取加装隔声罩等措施，减小作业期间对周围环境的不利影响。

7.1.4 固体废物污染防治措施

本项目固体废物主要为拆除物料、人工补砂清理垃圾、船舶生活垃圾和陆上施工人员生活垃圾，施工过程中应采取以下污染防治措施：

（1）本项目拆除工程的拆除物料主要为回填砂、石料（各规格块石、二片石及碎石）、成品混凝土预制构件（预制沉箱及各规格扭王字块体）、钢制构件（钢圆筒、临时栈桥构件）等，产生拆除物料总计约 293.56 万 m^3+1464 件，其中海砂约 273.13 万 m^3、石料 20.43 万 m^3、成品混凝土预制构件约 1464 件（堆叠一层，占地约 1.5 万 m^2）。

回填砂（129.92 万 m^3）直接船运至人工补砂区进行补砂，其中红塘湾东部至天涯镇附近补沙量约 37.6 万方、人工岛掩护区西侧补沙量约 41.4 万方、南山景区岸段补沙量约 50.92万方。回填砂（143.21 万 m^3）和石料、成品混凝土预制构件、钢制构件堆存于临空产业园一期，部分石料（14.97 万 m^3）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤和生态护坡建设，部分成品混凝土预制构件（645 件扭王字块）用于砂纸岸线修复工程拦

沙堤，部分成品混凝土预制构件（190 件扭王字块）用于珊瑚礁修复工程建设，剩余的拆除物料在临空一期人工岛进行临时堆存，后续将尽快进行挂牌拍卖、处置。

海沙拆除补沙的运输路线见图 7.1-2。

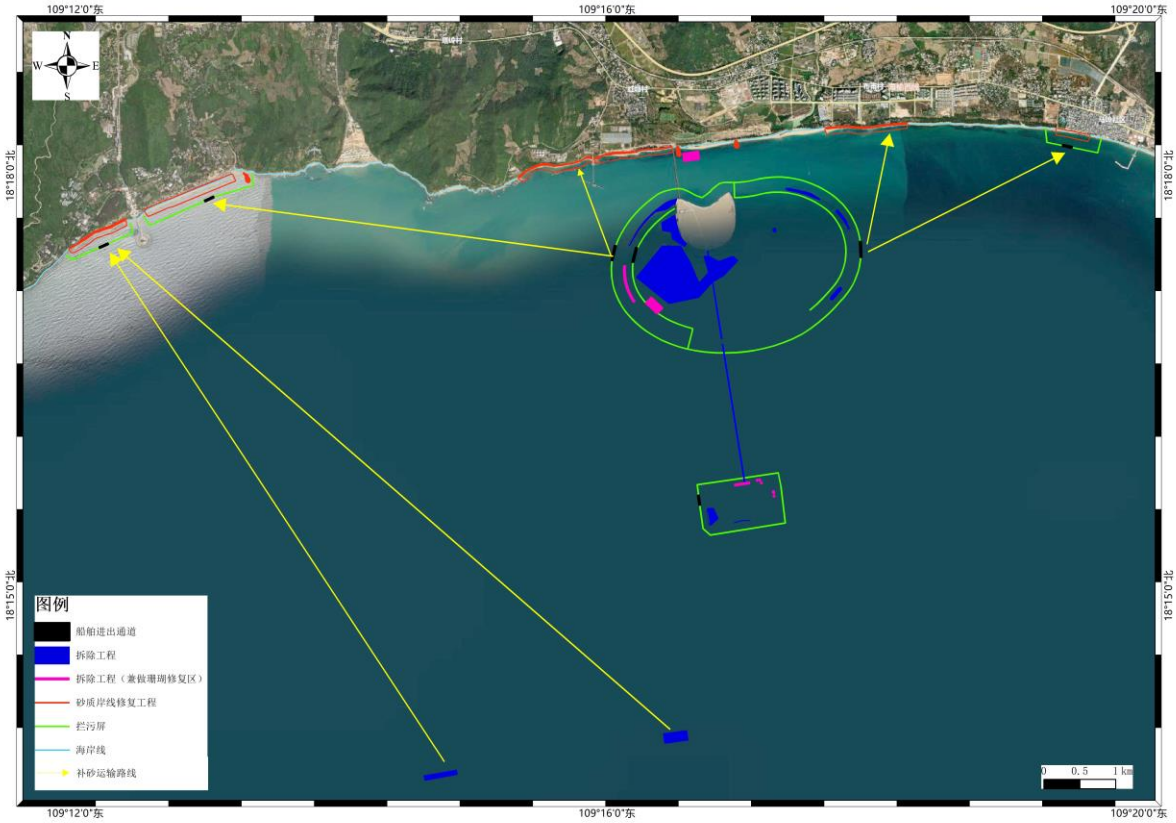


图 7.1-2 海沙拆除补沙运输路线示意图

（2）船舶生活垃圾产生量约 62.5t，经收集后，由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理。

（3）人工补砂清理垃圾约 0.5t，施工人员陆上生活垃圾产生量约 12.5t，分类收集后，统一交环卫部门处理。

（4）加强对施工单位的监督管理，禁止将施工垃圾，特别是有毒有害固体废物混入砂质岸线修复物料中。

7.1.5 污染环境保护措施可行性分析

7.1.5.1 拦污屏设置可行性

本项目施工过程中会产生悬浮沙，影响周围海水水质。为建设施工悬沙对海洋生态环境的影响，在工程四周设置拦污屏，并同步开展水质监测，确保施工悬沙控制措施落实到位。

① 拦污屏组成

拦污屏结构由自浮体、防污布、悬坠体、铁锚、拉锚绳组成，详见图 7.1-3。

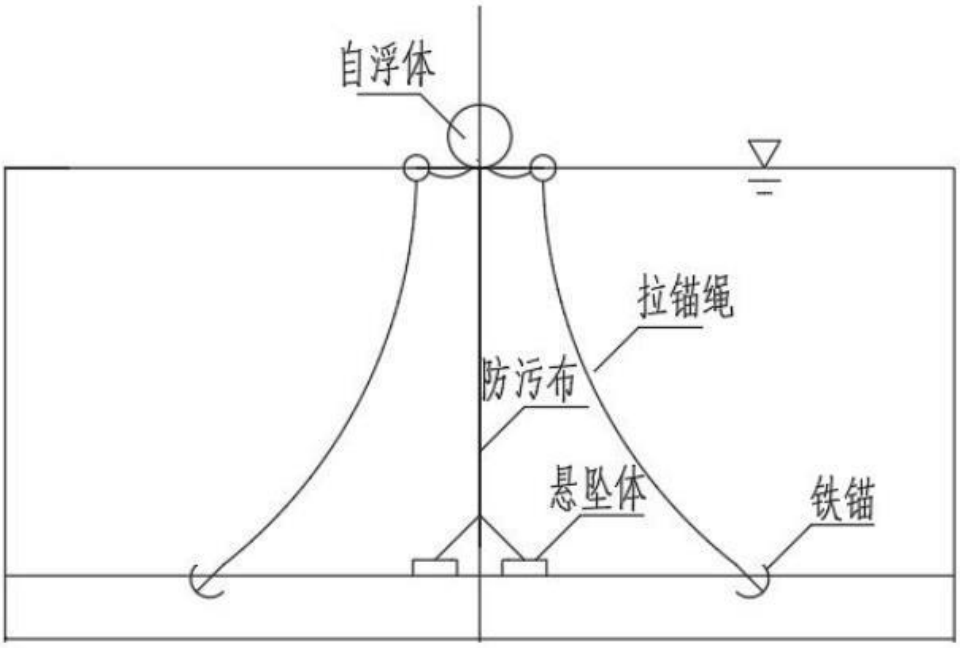


图 7.1-3 拦污屏断面图

②其他工程拦污屏拦沙效果情况

拦污屏拦沙效果根据其他工程拦污屏（即拦污屏）应用实例和相关文章的实测数据来判断。根据表 7.1-1 中其他工程实例，布设一层拦污屏的挡沙效果在 61.8%~90%之间，布设两层拦污屏的挡沙效果在 90%以上。

表 7.1-1 其他工程拦污屏挡沙效果情况

类比工程	拦污屏布设层数	挡沙效率
海州湾日照港北港区港口岸线退岸还海修复整治工程	1	80%~90%
恒逸（文莱）PMB 石油化工项目	2	90%以上
埃及苏赫纳第二集装箱码头	1	80%~90%
厦门大小嶝纳尼造地工程	1	61.8%

a、《关于在海州湾日照港北港区港口岸线退岸还海修复整治工程中设置拦污屏等环保措施的研究分析》

根据杨代军 2018 年发表的文章，对“海州湾日照港北港区港口岸线退岸还海修复整治工程”拦污屏的应用效果进行了研究，表明在水流较小（≤0.25m/s）的场合，拦污屏外面水的混浊度（mg/L）可比屏内或上游的减少 80～90%。虽然可能有混浊物在屏下面流动，就整体而言，水体上层悬浮物量大大减少了；在中等流（≤0.5m/s）情况下，合理布放和维护拦污屏也可有效地控制（在屏体下面）的混浊水流。b、恒逸（文莱）PMB 石油化工项目

根据李浩等 2015 年发表的《拦污屏在环保疏浚施工中的实际运用》，长江武汉航

道工程局在恒逸（文莱）PMB 石油化工项目中使用了拦污屏，并取得了良好的效果。施工内容包括东、西港池、航道共约 1000 万 m^3 的疏浚工程，施工设备为 3500m^3/h 绞吸式挖泥船。其中西港池疏浚量约 400m^3，距离保护区最小距离约 0.8km，采用拦污屏将西港池施工区与保护区的分界全部拦截。采用孔径为 0.07mm 的防污布，可拦截 80%以上的悬浮物，若布设第二层防污布，拦污效率可达 90%以上。

c、埃及苏赫纳第二集装箱码头

参考郭家永 2021 年发表的《浅谈拦污屏在非封闭倾废区的应用》，埃及苏赫纳第二集装箱码头位于苏伊士运河南入口约 40km，在开罗东南方向 140km。工程包括疏浚、回填（地基处理）、码头结构、护岸等，针对开敞式水域抛填、吹填后扩散范围较大的特点，采用“拦污屏”方式最大程度降低抛填影响，降低周边污染以满足环保要求达到环保施工。在水流较小（≤0.5knot）的场合，拦污屏外面水的混浊度（mg/L）可比屏内或上游的减少 80~90%。虽然可能有混浊在屏下面流动，就整体而言，水体上层悬浮物量大大减少了。

d、厦门大小嶝纳尼造地工程

厦门海域清淤整治及大小嶝纳泥造地工程实施时，为减缓悬浮泥沙的环境影响，尝试采用简易拦污屏对中转坑进行围护。根据施工过程中海洋环境监测数据显示拦污屏对悬浮泥沙扩散的抑制效果达到 61.8%。



图 7.1-4 拦污屏设置效果示意图

e、凤凰岛二期项目拆除工程

根据《凤凰岛二期项目拆除工程环境影响报告书》，工程拟拆除凤凰岛二岛人工岛49.41hm^2，拆除岸壁式沉箱码头 1610m，预计施工工期 18 个月。工程距三亚珊瑚礁国家级自然保护区是最近距离约为 0.36 公里。为了减小施工对周边敏感目标的影响，拟在凤凰岛二期周边布设拦污屏，具体布位为凤凰岛岛屿护岸线外侧 100m，共布设两道拦污屏。

施工影响区域三亚港航运区、三亚湾近岸海域、珊瑚礁保护区监测点位每月监测 1 次，于 11 月 24 日实施监测；排口海水 H1 监测点位每周监测 1 次，于 11 月 28 日实施监测。工程排海口测点 H1 悬浮物浓度为 8mg/L，经过拦污屏的测点悬浮物浓度为 3～5mg/L，其中距离 H1 点最近的三亚湾海域 3#测点悬浮物浓度为 3mg/L，拦污屏对悬浮泥沙抑制效率约为 62.5%。

③本项目设置拦污屏前后悬浮沙预测情况

本项目设置拦污屏前、后悬浮沙扩散包络范围见表 7.1-2 和图 7.1-5~图 7.1-6。

表 7.1-2 悬浮沙不同浓度增量的包络面积（km^2）

悬浮沙浓度增量	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L
工况一					
布设拦污屏前	0.791	0.293	0.057	0.02	0.014
布设拦污屏后	0.716	0.293	0.057	0.02	0.014
减小面积	0.075	0	0	0	0
减小比例	9.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
工况二					
布设拦污屏前	1.071	0.412	0.101	0.032	0.024
布设拦污屏后	0.856	0.379	0.101	0.032	0.024
减小面积	0.215	0.033	0	0	0
减小比例	20.07%	8.01%	0.00%	0.00%	0.00%
工况三					
布设拦污屏前	3.34	1.477	0.485	0.042	0.011
布设拦污屏后	3.037	1.239	0.485	0.042	0.011
减小面积	0.303	0.238	0	0	0
减小比例	9.07%	16.11%	0.00%	0.00%	0.00%

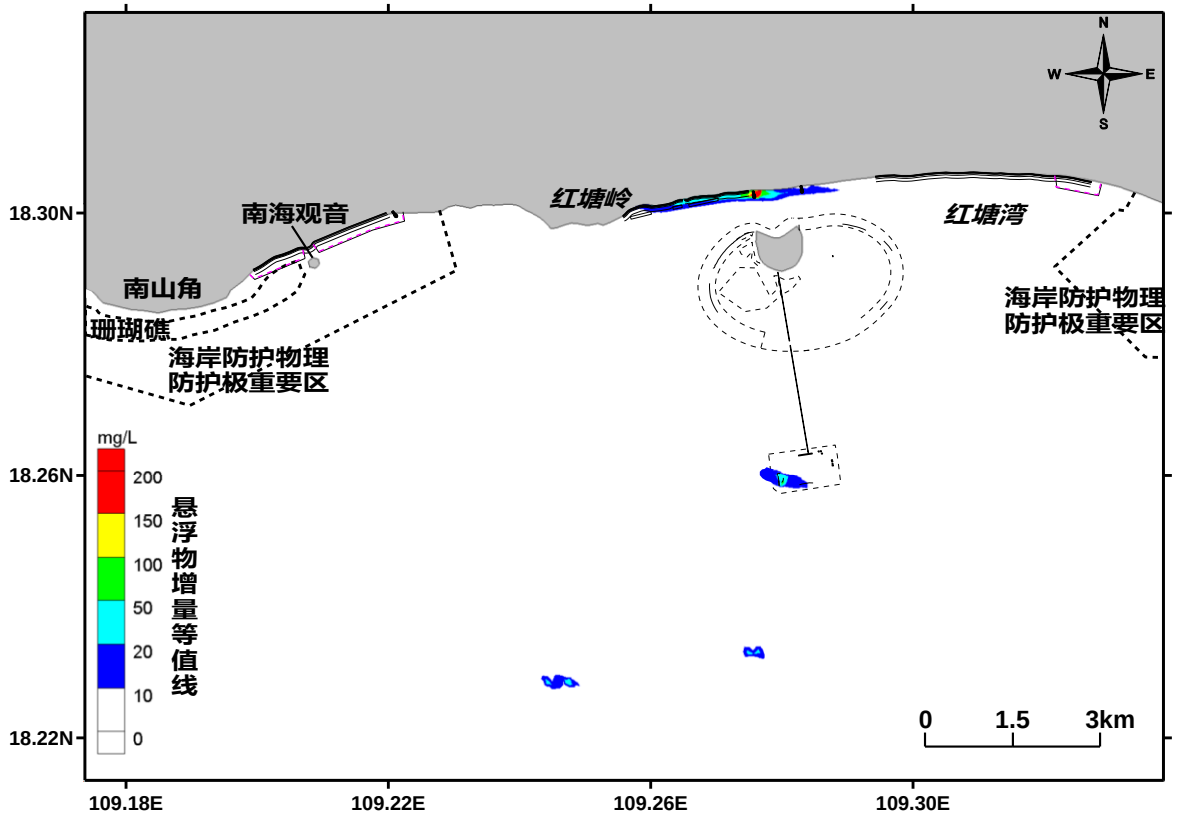


图 7.1-5a 工况 1 悬沙增量包络范围

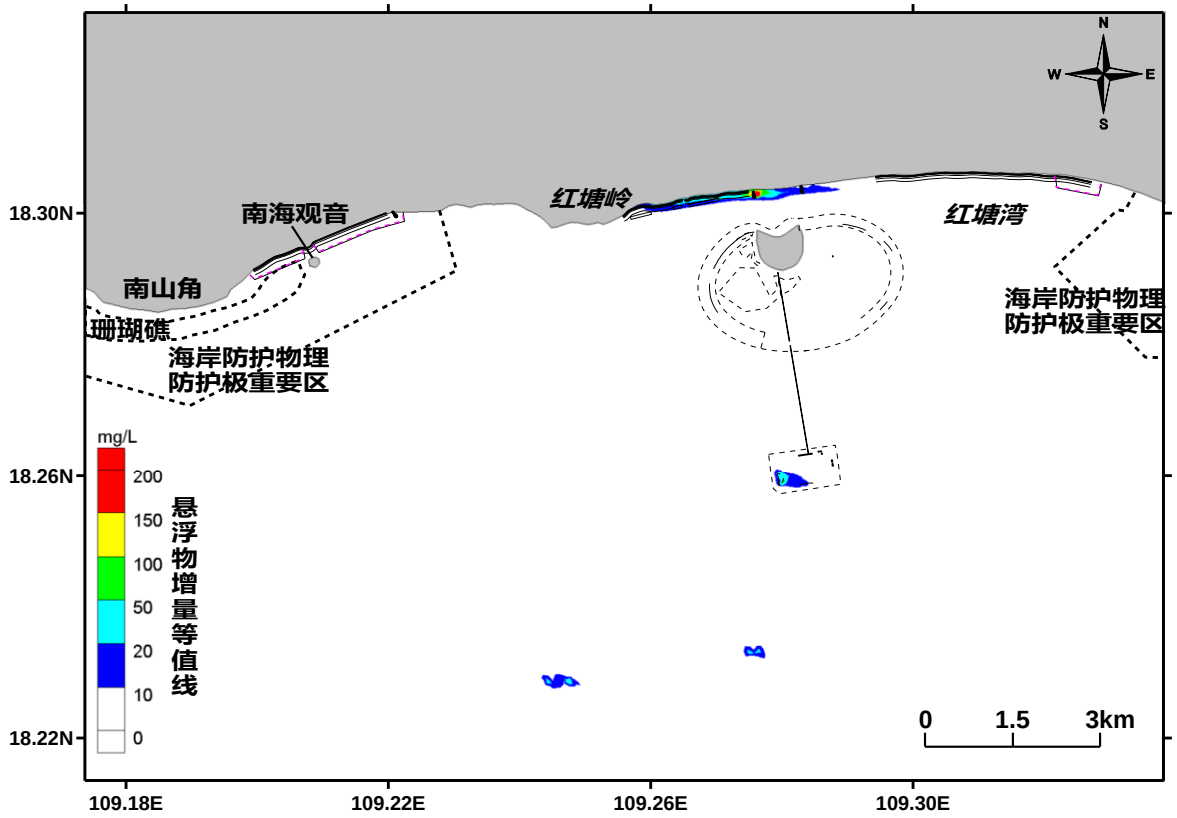


图 7.1-5b 工况增加拦污屏悬沙增量包络范围

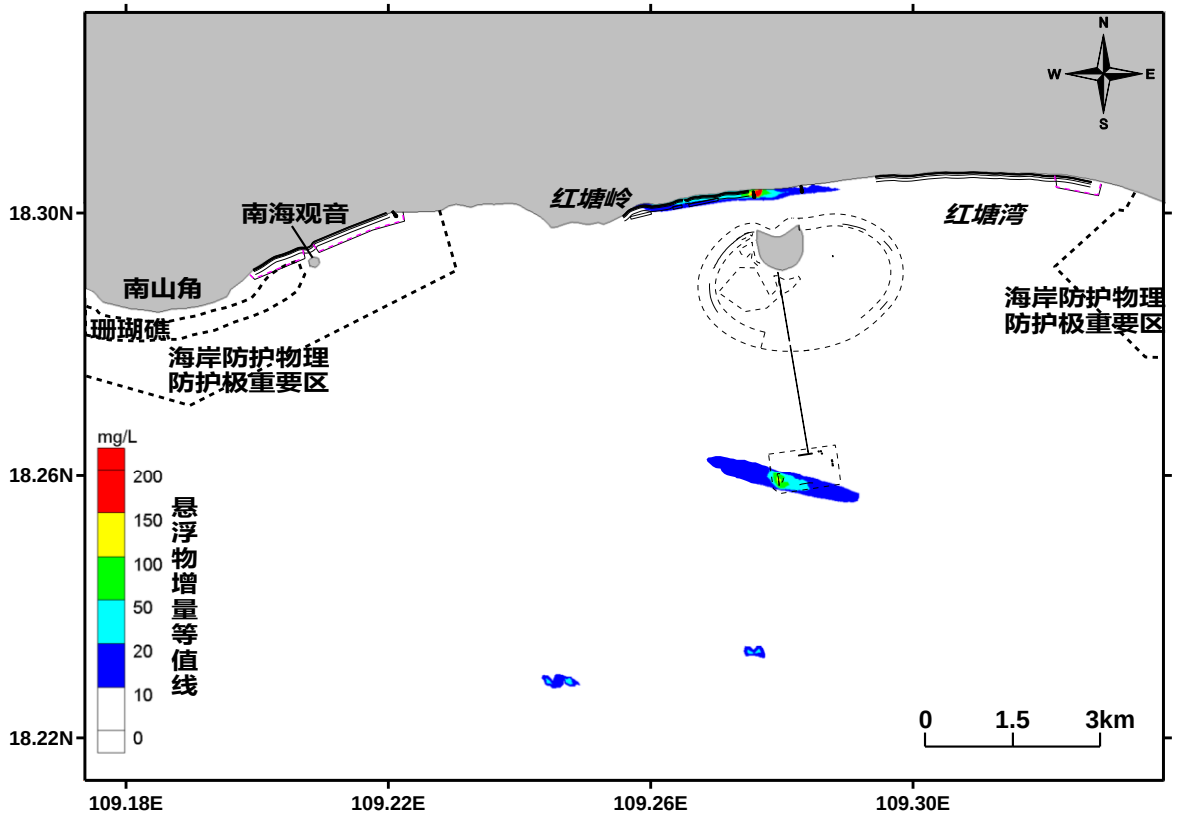


图 7.1-6a 工况 2 悬沙增量包络范围

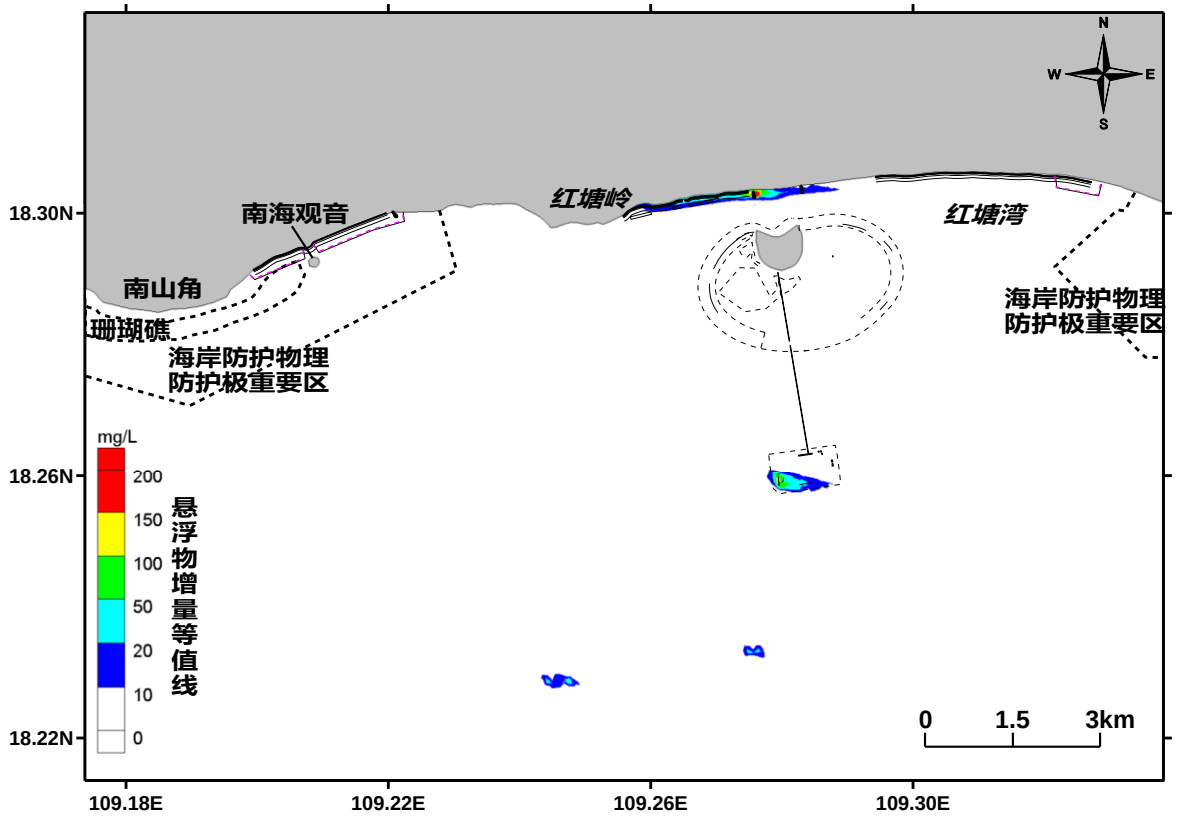


图 7.1-6b 工况 2 增加拦污屏悬沙增量包络范围

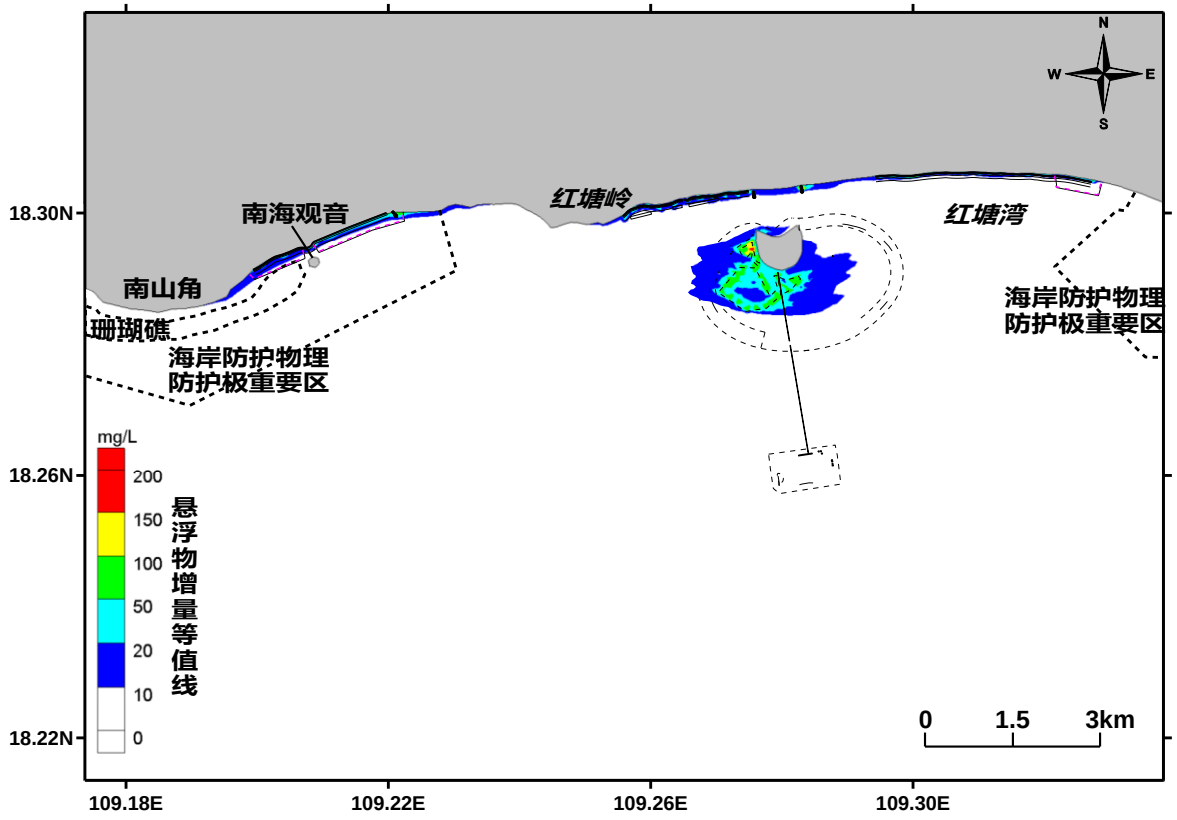


图 7.1-7a 工况 3 悬沙增量包络范围

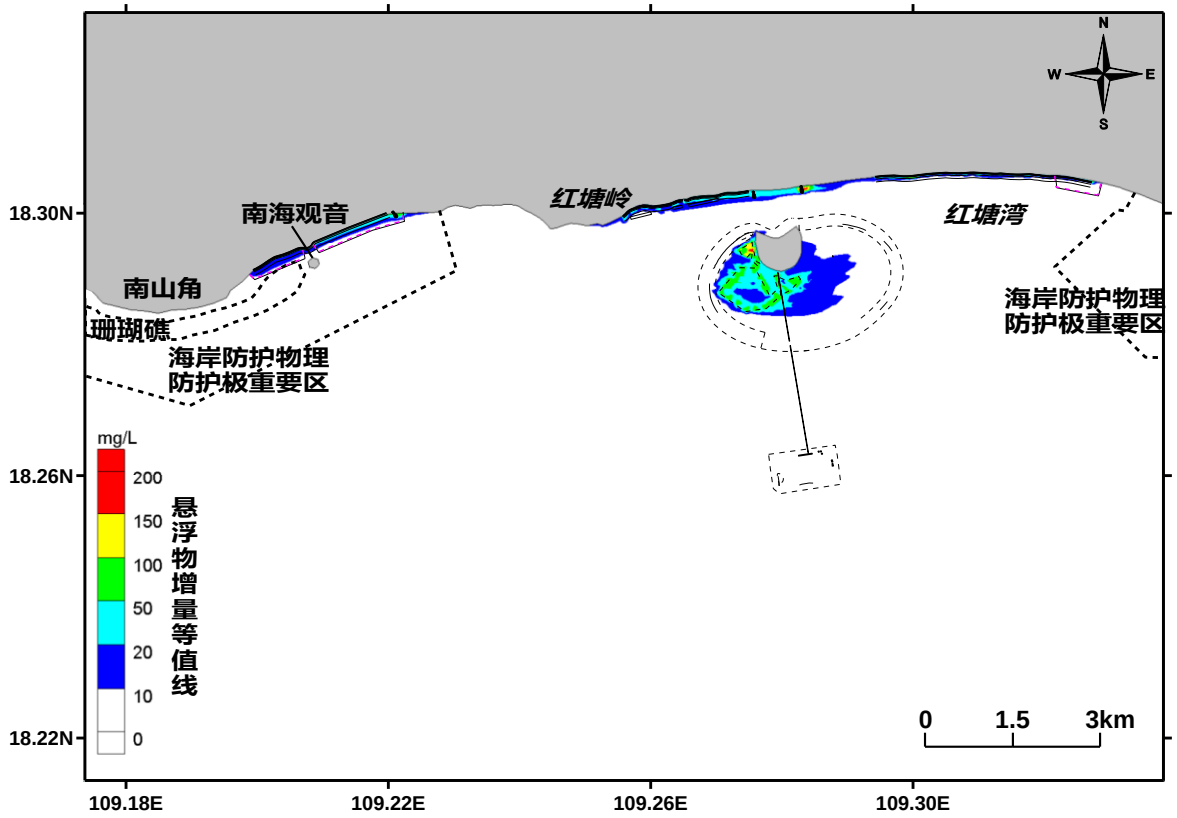


图 7.1-7b 工况 3 增加拦污屏悬沙增量包络范围

预测结果显示，＞100mg/L 悬浮泥沙增量范围主要集中在拦砂堤附近，因拦砂堤

所在区域分布珊瑚礁，珊瑚礁与工程间距小无法布置拦污帘，钢圆筒护岸工程附近无珊瑚分布故不设置拦污帘，临空二期、起步工程、其余区域补砂区四周设置拦污屏，拦污屏拦污效率按 50%计算，＞10mg/L 悬浮泥增量减小面积分别为 0.075km^2、0.215km^2、0.303km^2，与工况中的施工活动总面积分别减小 9.48%、20.07%、9.07%。

综上，本项目设置拦污屏后，＞10mg/L 悬浮泥沙增量范围有不同程度的减小，说明合理布置拦污屏可以有效的控制悬浮沙扩散范围，将大大降低对周围海洋生态环境的影响，故设置拦污屏是可行的。

7.1.5.2 拆除物料处置可行性

本项目遵循先利用，后处置的原则，回填砂（129.92 万 m^3）直接船运至人工补砂区进行补砂，石料（14.97 万 m^3）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤用于砂纸岸线修复工程拦沙堤和生态护坡建设工程，成品混凝土预制构件（645 件扭王字块）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤，成品混凝土预制构件（190 件扭王字块）用于珊瑚礁修复工程建设，剩余拆除物料堆放在临空产业园一期，后续将尽快进行挂牌拍卖、处置。

（1）临空产业园一期现状

临空产业园一期工程为 1 个离岸式人工岛，用海面积约 48.0 公顷，形成可利用土地面积约 38.4 公顷。其中护岸边缘 30m 临时安放临空产业园二期工程的扭王字块，剩余可利用陆地面积为 31.6 公顷。

2021 年，凤凰岛二期拆除过程中，部分拆除物料堆放在临空产业园一期和红塘湾近岸区域。凤凰岛二期共拆除砂石料 606.5 万 m^3，其中三亚湾和亚龙湾沙滩修复用量 66.7 万 m^3，亚龙湾西段补沙 26 万 m^3，中部水厂处置石料 20 万 m^3。目前临空岛一期存放约 90 万 m^3，堆场面积约 218846m^2，约占整个岛体面积的一半以上。

（2）堆存方案

临空产业园一期（莲花岛）可利用土地面积约 38.4 公顷，除去施工临时道路和其他堆置物占地面积约 28.67 公顷，实际可供本项目堆放拆除物料的面积约 9.73 公顷。

根据《莲花岛消纳场堆高论证报告》建议堆料高度为 6.0m，本次拆除物料占地约 7.5 公顷，目前临空一期未堆放区面积 9.73 公顷可以满足本工程拆除物料的堆放需求。



图 7.1-7 拆除物料堆场可利用土地区域示意图

根据《三亚凤凰岛二期项目拆除工程》拆除物料的堆存利用方案，其拆除物料通过莲花岛现状码头运至莲花岛，后将物料通过钢栈桥转运至红塘湾堆存。本次拆除物料存储方式与凤凰岛物料处置方式相同，故莲花岛作为消纳场可满足本项目的拆除物料堆存转运要求。

7.1.5.3 其他污染防治措施可行性

本项目采用的污染防治措施和污染物外委处置的方案与三亚凤凰岛二期项目拆除工程保持一致，均有运行实例可以参考，因此，本项目染防治措施可行。

7.2 海洋生态保护措施及其可行性论证

7.2.1 海洋生态保护措施

（1）本工程所在的南海北部幼鱼繁育场保护区保护期为 1~12 月，施工作业无法避开渔业资源的繁育期和敏感期，因此，合理安排作业时间，对整个施工进行合理规划，尽量缩短工期，以减轻可能带来的海洋生态环境的损害和影响；

（2）人工补沙采用滩肩补沙和沙丘补沙相结合形式，为干法施工，可减小施工悬沙产生量，从而减少对沿岸珊瑚礁和海洋生态环境的影响；

（3）施工期间和施工结束后，应对项目附近的生态环境和生物资源、珊瑚礁、岸滩进行跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势，以便及时采取调控措施。

（4）积极开展生态补偿工作，减少施过程对海洋物的影响。

7.2.2 海洋生物资源保护措施

7.2.2.1 海洋生物资源保护措施

（1）根据预测章节，本项目开发将对海洋渔业资源造成一定的损失。根据农业部

《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）的有关规定，通过增殖放流，恢复区域因施工期而受损的海洋生物资源，增加食物网的复杂性，逐渐修复形成良好的区域海洋生态环境，维护区域海洋生态环境的稳定性。

本项目应开展增殖放流工作，拟采取的增殖放流方案主要内容如下：

①增殖放流品种选择原则

选择当地海域自然生态状况中原有的、确需恢复资源种群的品种；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。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，本项目增殖放流应选择处于食物链低端的物种，促进生物多样性发展；选择增殖放流的物种应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物种；增殖放流投放前应对物种进行检疫，投放健康苗种。

依据《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，2022 年 1 月 13 日）“附件 3-10　南海增殖放流分水域适宜性评价表”，海南儋州行政区域内适宜放流的物种有：青石斑鱼、布氏鲳鲹、紫红笛鲷、红笛鲷、斑节对虾、日本对虾、克氏海马、大珠母贝、点斑篮子鱼、尖翅燕鱼、豹纹鳃棘鲈、红九棘鲷、波纹唇鱼、中国蛏等 14 种。

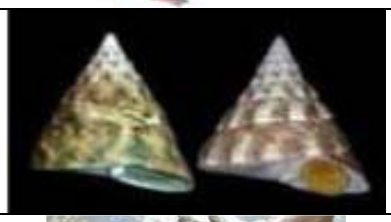
②增殖放流地点和品种

本次在珊瑚礁生态修复区拟放流总数量石斑幼体 6 万尾、食草性螺类 5 万幼体，紫红笛鲷幼体 50 万尾，篮子鱼 50 万尾和海参 2 万幼体。放流的紫红笛鲷、篮子鱼多喜欢栖息于珊瑚礁、珊瑚丛区域，且从食物链的生态角度，鲷科鱼类能抑制珊瑚天敌核果螺的爆发增殖，可同时促进珊瑚礁修复。

增殖放流苗种数量和规格见表 7.2-1。

表 7.2-1 增殖放流苗种数量和规格表

序号	种类		规格（cm）	数量
1	篮子鱼		全厂≥5	50 万尾

2	石斑鱼（鱼苗）		全厂≥5	6 万尾
3	紫红笛鲷		全厂≥5	50 万尾
4	螺（草食性）		1cm	5 万
5	海参		全厂≥3	2 万

③增殖放流时间

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，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。

④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。

⑤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<0.5m/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。

⑥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，对增殖放流水域组织巡查，防止非法捕捞增殖放流生物资源。根据《海洋调查规范》（GB/T 12763）和《渔业生态环境监测规范》（SC/T 9102）的方法，

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。首年春、秋 2 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。

⑦增殖放流的监管

增殖放流的监管按照中华人民共和国农业部令第 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。

（2）施工期产生的船舶含油污水收集后铅封处理，船舶含油污水、船舶生活污水和船舶生活垃圾均交由有资质的船舶污染清除单位接收处理；陆域施工生活污水由设置的移动式环保厕所收集，定期外运至污水处理厂处理。拆除物料部分直接用于砂质岸线修复，其余均堆放于临空一期人工岛，后续挂牌处置。

（3）拆除施工前在工程周围设置拦污屏，可有效降低悬浮沙扩散浓度，同时加强海洋生态监测，适时调整施工进度，减小对海洋生态的影响。

（4）建设单位应合理安排施工工序和进度，尽量避开本海域休渔期（5~8 月），或尽可能降低施工强度、控制施工范围。

7.2.3 珊瑚礁保护措施

（1）实施珊瑚礁修复工程

根据《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》（水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 中国科学院南海海洋研究所，2023 年 7 月），针对拆除工程实施后对工程区域珊瑚礁的影响，开展珊瑚礁修复工程，主要工程内容是对拆除后的临空岛西侧围堰和新机场起步区沉箱进行珊瑚修复，具体建设情况见 2.4.3 节。

（2）为保证底播移植珊瑚一年后珊瑚存活率达到 70%，采取的保护措施如下：

1）珊瑚礁修复开展前期迁入实验。在正式进行珊瑚移植前，先行开展前期珊瑚迁入实验，将部分珊瑚移植至迁入地，观察珊瑚迁移后的生长状况，一段时间后成活率在 70%以上方可正式开展珊瑚移植。如成活率低于 70%，则应查明原因，继续实验，直至成活率达标。

2）开展跟踪监测。建立包括责任单位、修复方案编制及实施单位、监管机构的监测与修复成效反馈机制，对移植保护区域内的珊瑚礁实时开展跟踪监测，根据珊瑚的生长状况，并及时优化调整移植修复方案。

3）加强人为活动管控。项目建设单位、珊瑚迁移和修复施工单位在实施过程中应

接受自然资源管理部门的监督检查；在生态修复实施期间以及修复完成后 3 年内持续开展人为活动调查，对生态修复项目范围内的疏浚、采石、采砂、排污口设置、海水养殖、旅游开发等人为活动进行跟踪监测，并开展相应后期管护和清除工作。

4）进行修复效果评估，分析项目实际实施内容与考核指标的符合性，评价项目实施的完成情况与实施效果。

（3）为减小项目对沿岸珊瑚的影响，采取的珊瑚礁保护措施如下：

1）合理安排施工时序，先进行回填砂及外侧抛石清理，减少悬浮泥沙源强，从源头上控制悬浮泥沙产生量，再进行护岸（沉箱）、钢圆筒拆除施工。

2）施工前布设拦污屏，严格控制悬浮泥沙的扩散范围，减少工程实施对项目区域现状珊瑚礁的影响。

3）距离珊瑚礁较近的施工区域尽可能的选择在涨潮时间段进行施工，以减少悬浮泥沙向珊瑚礁区域扩散范围，减少对珊瑚的影响。

4）定期对珊瑚礁进行巡视，对沉积到珊瑚表面的悬浮物进行人工清理，主要方式为潜水员定期潜水巡视，如果发现珊瑚表面覆盖有悬浮物，就采用水下吸污机对其进行处理，清除附着在珊瑚表面的沉积物。

5）将施工期工程施工严格控制在施工作业范围内，不得超出划定的施工作业范围施工，施工船舶不得在珊瑚礁分布区抛锚，避免对破坏珊瑚礁。

6）施工期船舶生活污水和船舶含油污水收集上岸，交由有处理资质的单位统一接收处理，严禁向附近海域排放影响珊瑚礁生境，施工期固体废物统一收集上岸交由环卫部门处理，疏浚土吹填上岸或外运至指定抛泥区，严禁随意海抛。

7）施工期存在事故性溢油风险，一旦发生溢油事故，油膜扩散至珊瑚礁，破坏珊瑚礁的生长环境。因此，采取有效的溢油风险防范措施，对船舶在进行严格管理，杜绝溢油事故的发生，同时做好溢油风险的防范措施和应急预案。

7.2.4 岸滩保护措施

（1）实施砂质岸线修复工程

根据《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》（水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 中国科学院南海海洋研究所，2023 年 7 月），针对拆除工程实施后对项目周边岸滩演变的影响，开展砂质岸线修复工程，主要工程内容是对长期冲刷岸段实施滩肩补砂、对沙丘根部实施生态护岸、建设拦沙堤，具体建设情况见 2.4.2 节。

（2）为保证砂质岸线修复效果采取的措施

根据《海滩养护与修复技术指南》（HY/T25-2018），海滩养护设计命不低于 5 年，当海滩修复填沙流失量超过 50%时须进行再养护补沙。项目建设后，建设单位应当定期开展沙滩和水下剖面的监测，当泥沙流失量达到 50%时，进行维护性补沙，以维护砂质岸滩的稳定性。根据《三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程岸滩演变专题研究》，本项目对红塘湾冲刷岸段的修复和防护效果显著，工程实施后近局部岸段仍有一定冲刷，30 年后的流失率仅约 70%。按照流失 50%作为重补周期的判别标注，本项目实施后整体的重补周期应在 15 年左右。

（3）开展跟踪监测

在项目区域布设岸滩和水下地形监测断面，进行长期跟踪监测，并在热带气旋影响后加密监测，以了解岸滩冲淤状况，为维护性补沙提供依据。当补沙量流失超过 50%时，由建设单位组织进行维护性补沙，以维持沙滩功能及景观。

7.2.5 陆域生态环境保护措施

（1）严格施工人员管理，禁止非法捕杀鸟类等猎杀野生动物的行为，减少对野生动物的干扰。

（2）生态护岸、拦沙堤和海滩岩修复工程外购少量的石料暂存于各工程施工区域，不单独设临时堆场，减少物料堆放对地表植被的影响。

（3）本项目拆除工程拆除物料堆放在临空产业园一期，在堆放前，临空产业园一期堆放场地应该布设排水沟，排水沟采用梯形断面，浆砌石衬砌，沟体下方铺设厚碎石垫层。

（4）为了防止砂石堆放过程中产生二次流失，对堆放的砂石采取临时的防护措施。临时堆场采用临时苫盖，四周设置编织土袋拦挡。

7.2.6 可行性分析

本项目采取的生态保护措施均为海洋工程常见的措施，技术可行，经济合理，可以有效减少对生态环境的影响。

7.3 环境保护对策措施汇总

本项目环境保护对策措施汇总见表 7.3-1。

表 7.3-1 环境保护对策措施一览表

序号	环境保护措施	环境保护措施内容	规模	预期效果	实施地点及投入时间	责任主体
1	悬浮沙减缓措施	1.制定完善的施工计划，合理安排施工顺序。在拆除施工前，首先进行拦污屏安装，并安排定期巡查，检查拦污屏状态是否完好。一旦发现损坏拦污屏损坏，应停工后修复或更换拦污屏再开工； 2.开工前检查施工设备状态是否正常，尤其是船舱的开闭门，防止运输沿途泄漏； 3.关注施工气象条件，避免在大风、大浪、大潮等不利条件下施工，减少拆除物料的冲刷流失量并减小入海悬浮沙的扩散范围； 4.按运砂船核定装载量严格控制运输量，防止超载导致拆除物料运输途中外溢； 5.开展施工监测工作，在悬浮沙影响范围内、进出通道处及必要的环境敏感区附近设置监测点。在环境敏感区监测点水质不达标时，及时采取减少同时运行的施工设备数量、暂停施工等补救措施，待监测水域悬浮沙增量降低到正常水平后再正常施工； 6.加强人员管理，对管理人员及施工作业人员进行必要的培训，施工现场设专人管理，防止人为因素对水质造成不必要的影响。	拦污屏22.285km	尽量减少对海洋环境扰动时间和扰动范围	在二期拆除区域、起步工程拆除区域和砂质岸线修复工程区域所在海域；对应工程施工过程	建设单位和施工单位
2	废水处理	1.施工应按照海事局的要求，实施船舶污水的铅封管理，由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理； 2.施工船舶加强管理，杜绝出现跑、冒、滴、漏现象，防止发生机油溢漏事故。发现甲板漏冒油等情况，应立即停机处理，及时收集油水防止流入海中； 3.严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物；不得在施工区域清洗油舱和有污染物质的容器； 4.船舶生活污水收集后运至陆域，交由具备相关资质的船舶污染清除单位处理，不得直接排入环境水体； 5.在人工补砂区和施工营地设立移动式环保厕所对生活污水进行收集处理。	--	避免对海洋环境造成不必要的影响	施工场地，整个施工过程	
3	废气处理	1.本项目拆除物料堆场设在临空一期人工岛，堆存物料使用防风抑尘网进行覆盖，配备洒水车或雾炮机，定时对堆场进行洒水抑尘，减少扬尘产生。 2.使用环保型运输车辆、船舶，并选用清洁的燃料，加强对船舶柴油机运行管理，使各项性能参数和运行工况均处于最佳状态，使尾气达标排放； 3.施工人员日常生活和施工作业中，尽量使用天然气、电力等清洁能源，减少大气污染物的产生和排放；	防风抑尘网，洒水车或雾炮机	减小对废气的影响	施工场地，整个施工过程	

序号	环境保护措施	环境保护措施内容	规模	预期效果	实施地点及投入时间	责任主体
		4.合理安排作业时间，避免施工人员长时间处于恶劣施工环境中；为施工人员配备防尘口罩等必要的防护用品，保障施工人员身体健康；				
4	噪声防治措施	1.优先选用性能良好的低噪声施工设备，日常应注意对施工设备的维修保养，使各种施工机械保持良好的运行状态； 2.合理安排施工进度和时间，加强对施工船舶噪声的控制与管理，尽量避免夜间施工，如需夜间施工，应按规定向相关主管部门报备，并按要求进行公示，夜间施工避免使用高噪声设备，减小施工噪声对周围声环境的影响； 3.加强行车管理，限制运输车辆行车速度；加强施工船舶管理，减少船舶非必要鸣笛； 4.加强施工人员防护，合理安排排班计划，避免长时间在高噪声环境作业；为施工人员配备必要的降噪防护用品，如降噪耳机等；对高噪声设备采取加装隔声罩等措施，减小作业期间对周围环境的不利影响	--	减小施工噪声影响	施工场地，整个施工过程	
5	固体废弃物处理	1.本项目拆除物料中的部分海砂直接船运至人工补砂区进行补砂，剩余海砂和石料、成品预制构件等拆除物料堆存于临空产业园一期，后期部分石料和成品预制构件用于拦沙堤、海滩岩修复等。其余堆存物料尽快挂牌拍卖、处置。 2.施工船舶垃圾经收集后，由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理； 3.施工人员陆上生活垃圾分类收集后，统一交环卫部门处理； 4.加强对施工单位的监督管理，禁止将施工垃圾，特别是有毒有害固体废物混入砂质岸线修复物料中。	临空产业园一期堆场，1 处	不可回用的于拆除物料堆场暂存，生活垃圾不排放	施工场地，整个施工过程	
6	海洋生态保护措施	1.本工程所在的南海北部幼鱼繁育场保护区保护期为 1~12 月，施工作业无法避开，因此，合理安排作业时间，对整个施工进行合理规划，尽量缩短工期，以减轻可能带来的海洋生态环境的损害和影响； 2.人工补沙采用滩肩补沙和沙丘补沙相结合形式，为干法施工，可减小施工悬沙产生量，从而减少对沿岸珊瑚礁和海洋生态环境的影响； 3.施工期间和施工结束后，应对项目附近的生态环境和生物资源、珊瑚礁、岸滩进行跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势，以便及时采取调控措施。 4.积极开展生态补偿工作，减少施过程对海洋物的影响。	--	避免对海洋生态环境造成不必要的影响	施工场地，整个施工过程	
7	海洋生物资源保护措施	1.落实增殖放流等工作。 2.落实各项污染物处置措施，减小对渔业资源造成的影响。 3.合理安排施工工序和进度，尽量避开本海域休渔期（5~8 月）。	6486.49 万元	减轻对生态环境的影响	投放站位与当地渔业部门协商，施工完成后 1 年	

序号	环境保护措施	环境保护措施内容	规模	预期效果	实施地点及投入时间	责任主体
					内	
8	珊瑚礁保护措施	1.实施珊瑚礁修复工程； 2.为保证底播移植珊瑚一年后珊瑚存活率达到 70%，采取的珊瑚礁保护措施：珊瑚礁修复开展前期迁入实验、开展跟踪监测、加强人为活动管控、进行修复效果评估。 3.为减小项目对沿岸珊瑚的影响，采取的珊瑚礁保护措施：合理安排施工时序、施工前布设拦污屏、距离珊瑚礁较近的施工区域尽可能的选择在涨潮时间段进行施工、定期对珊瑚礁进行巡视、将施工期工程施工严格控制在施工作业范围内、施工期船舶生活污水和船舶含油污水收集上岸、采取有效的溢油风险防范措施，对船舶在进行严格管理，杜绝溢油事故的发生，同时做好溢油风险的防范措施和应急预案。	--	减轻对珊瑚礁的影响，恢复珊瑚礁生态系统、补偿生态环境的影响	施工场地，整个施工过程	
9	岸滩保护措施	1.实施砂质岸线修复工程； 2.为保证砂质岸线修复效果，重补周期应在 15 年左右。 3.开展跟踪监测	--	减轻对岸滩的冲刷影响	砂质砂质岸线修复工程区，施工完成后	
10	陆域生态保护措施	1.严格控制堆放物料的控制范围，减少物料堆放对地表植被的影响； 2.严格施工人员管理，禁止非法捕杀鸟类等猎杀野生动物的行为，减少对野生动物的干扰。 3、在堆放前，临时堆放场地应该布设排水沟，排水沟采用梯形断面，浆砌石衬砌，沟体下方铺设厚碎石垫层； 4、为了防止砂石堆放过程中产生二次流失，对堆放的砂石采取临时的防护措施。临时堆场采用临时苫盖，四周设置编织土袋拦挡。	--	减轻对陆域生态环境的影响	陆域施工场地，整个施工过程	

7.4 清洁生产与总量控制

7.4.1 清洁生产

清洁生产是保护环境、保持社会经济与环境可持续发展的关键，它要求生产企业通过源头消减实现在生产过程中控制和减少污染物排放，是主动、有效的行为和对策，可达到节能、降耗、减污、增效的目标。针对三亚红塘湾围填海项目拆除及生态修复工程特征，本报告主要从施工方式、施工设备、污染物处置方式、环境管理水平等方面，进行围填海项目拆除及生态修复工程的清洁生产分析。

7.4.1.1 建设项目清洁生产内容

1、施工方式的清洁生产分析

本项目在拆除工程施工前，首先在陆域海沙拆除工程外围安装拦污屏，之后在工程范围内按照制定好的工序分步拆除。包括陆域海沙挖除、护岸结构拆除（沉箱、扭王字块、块石、钢圆筒）。

通过采用该施工方式，能很大程度减少入海泥沙对海水水质和海洋生物的影响，符合清洁生产要求。

2、施工设备的清洁生产分析

本项目拆除施工采用的绞吸船、钢桩定位船、皮带运砂船、挖掘机、自卸汽车、装载机、破碎锤、履带吊、运料甲板驳船、抓斗船组、接力泵船、起重船、潜水班组作业船等都是本次拆除工程必备的机械设备，基于国内生产水平，均属于较先进的施工机具，基本符合清洁生产要求。

3、污染物及拆除物料处置方式的清洁生产分析

本项目实施过程中产生的污染物主要包括：施工船舶废水和垃圾、施工人员陆域生活污水和生活垃圾等；人工补砂区清理的垃圾；拆除物料主要有海沙、块石和成品预制构件。

施工时严格管理施工船舶和施工机械，施工船舶应按照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》对船舶含油污水实施铅封，船舶生活污水严格遵守《船舶水污染物排放标准》（GB 3552-2018），利用船载收集装置收集，船舶含油污水、生活污水、生活垃圾均交由具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理，禁止向海域排放。陆域施工人员生活污水经设立的移动式环保厕所进行收集后，定期外运至污水处理厂处理，不外排。

人工补砂区清理的垃圾和施工人员陆上生活垃圾经分类收集后，定期交由当地环卫部门统一处理处置，不外排。

拆除物料的海沙优先考虑由本项目砂质岸线修复工程直接利用，剩余运至拆除物料堆场暂存；石料、成品预制构件全部运至拆除物料堆场暂存，部分可后续可由项目砂质岸线修复工程拦沙堤、海滩岩修复等水工构筑物直接利用。

由此，本项目在污染物处理方面，较全面地考虑了废水、固废等污染源；在拆除物料处置方面，优先考虑用作砂质岸线修复工程的材料，均符合清洁生产要求。

4、环境管理要求

项目建设过程中将实施严格的环境管理，施工时严格按照施工组织方案施工，不得随意更改施工作业计划、施工作业面布设、施工方式与施工工艺等；严禁作业船舶带“病”作业，严禁油料泄漏或倾倒废油料；严格落实污染物处理处置方案，认真核查废水、废弃物去向，各类污染物不得随意排海。此外，建设单位应会同地方海洋环保部门做好施工期间环境监测工作，加强工程施工过程的环境监测与管理，对施工质量和环境保护进行全盘掌控，对社会各方提出的环境投诉及时整改，通过环境管理保障和提升项目清洁生产水平。

7.4.1.2 建设项目清洁生产评价

本项目建设过程中，使用的施工设备先进，拆除物料充分利用，各类污染物处理处置去向符合清洁生产要求，环境管理水平能够达到较高水平，这些都是清洁生产在项目建设过程中的体现。总体来看，本项目清洁生产水平能够达到同类项目中较好水平。

7.4.2 总量控制

根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，确定总量控制因子有：①大气环境污染物：$PM_{2.5}$、二氧化硫，氮氧化物、挥发性有机物。②水环境污染物：化学需氧量，氨氮。

（1）水污染物总量控制指标：项目施工期各项污染物均已妥善处理处置，无营运期，不涉及新申请水污染物总量控制指标。

（2）大气污染物总量控制指标；本项目施工期废气主要为施工船舶、机械和车辆废气，无营运期，不涉及新申请大气污染物总量控制指标。

综上，本项目不涉及新增申请总量控制。

8 环境影响经济损益分析

项目建设会给当地的环境、社会和经济造成一定影响。一般来说，项目的建设对当地社会、经济的影响主要是正面的，对环境的影响主要是负面的。经济损益易于用货币表示，表达较为直观；社会损益、环境损益有关因素较多，难以用货币定量表示，仅做定性分析。

8.1 环境保护设施和对策措施的费用估算

本工程建设直接的环保工程投资主要包括污染物处理处置、生态资源修复与补偿、环境跟踪监测等相关费用的投入。

本项目的环保投资约 24398.98 万元，项目总投资为 42887.06 万元，环保投资约占总投资 56.89%，具体环保投资概算见表 8.1-1。

表 8.1-1 工程环保投资估算一览表

序号	项目内容	费用（万元）	备注
一	污染物处理处置费用		
1	船舶污染物处置费用	30.14	
2	施工场地污染物处置费用	45	详见 8.1.1 节
3	拦污屏布设预留费用	5235.5	
小计		5310.64	
二	溢油应急物资费用		
1	配备围油栏、收油机、吸油材料等	100	详见 8.1.2 节
小计		100	
三	生态补偿/修复费用		
1	选择合适海域，增殖放流，跟踪监测及后期评估	6135.014	
2	珊瑚苗圃培育繁殖珊瑚、珊瑚礁迁地移植、珊瑚礁修复、人工礁体制作与运输	3069.65	详见 8.1.3 节
3	岸滩修复	8440.76	
小计		17645.424	
四	环境跟踪监测费用		
1	海水水质跟踪监测	35.46	
2	海洋沉积物跟踪监测	15	
3	海洋生物生态跟踪监测	126	
4	悬浮泥沙跟踪监测	31.46	详见 8.1.4 节
5	岸滩地形、地貌和水下地形地貌跟踪监测	675	
6	珊瑚礁生态跟踪监测	360	
7	应急监测	100	
小计		1342.92	
合计		25201.38	--

8.1.1 污染物处理处置费用

8.1.1.1 船舶污水和船舶垃圾接收处理投资估算

根据工程分析，拆除工程施工人员高峰期需 200 人次，最长施工期 12 个月进行估算，估算费用详见表 8.1-2。

表 8.1-2 船舶含油污水及船舶垃圾接收处理费

序号	主要环保措施	投资估算（万元）	估算依据
1	船舶含油污水接收处理费	14.6	每天接收一次，每次 200 元。 接收费：200 元/次×1 次/天×365d×2a=14.6 万元
2	船舶生活污水接收处理费	14.6	每天接收一次，每次 200 元。 接收费：200 元/次×1 次/天×365d×2a=14.6 万元
3	船舶生活垃圾接收处理费	0.94	收集运输到环卫接收点的费用按 150 元/吨。 接收费：150 元/吨×62.5 吨=1.095 万元
合计		30.14	--

8.1.1.2 施工场地废水、废气、固废污染防治费

施工场地人员生活污水、扬尘废气、固废污染防治措施等环保费用见表 8.1-3。

表 8.1-3 施工场废水、废气、固废污染防治费

序号	主要环保措施	投资估算（万元）
1	人工补砂区和施工营地移动厕所	15
2	施工营地配备生活垃圾收集、清运	10
3	施工场地喷淋、洒水等防尘设备	20
总计		45

8.1.1.3 拦污屏布设费用

根据《洋浦港洋浦港区航道改扩建工程施工及环保方案论证报告》类比，本项目采用土工布拦污屏，拦污屏单价为 200 元/m^2。

本项目拦污屏长度 22.285km，其中砂质岸线修复工程长 1.08+2.91=3.99km、宽 6m，拦沙堤施工时间 2 个月、人工补砂施工时间 4 个月，因此不考虑破损更换；拆除工程长 14.82+3.475=18.295km、宽 13m，临空二期拆除产生悬沙工序施工时间为 6 个月、起步区拆除产生悬沙工序施工时间为 1 个月，因此不考虑破损更换，则拦污屏预留布置费用为 5235.5 万元。

8.1.2 溢油应急物资费用

本项目在施工营地、交通艇、指挥艇上配备应急物资，配备围油栏、收油机、吸油材料等，参考市场价，费用约 100 万元。

8.1.3 生态补偿、修复费用

生态补偿及生态修复费用主要包括渔业等生物资源补偿、珊瑚礁补偿及生态修复、海洋生态系统服务价值费用和岸滩修复等，估算费用详见表 8.1-4。

表 8.1-4 资源损失补偿费用估算

序号	项目	内容说明	投资估算（万元）
1	渔业等生物资源补偿费用	选择合适海域，增殖放流，跟踪监测及后期评估	6135.014
2	珊瑚礁修复工程费用	珊瑚苗圃培育繁殖珊瑚、珊瑚礁迁地移植、珊瑚礁修复、人工礁体制作与运输	3069.65
3	砂质岸线修复工程费用	人工补砂、生态护岸及拦沙堤建设等	8440.76
合计			17645.424

8.1.4 环境跟踪监测费用

费用估算参考海南省生态环境监测协会于 2021 年 10 月发布的《关于印发<海南省生态环境监测社会化服务收费参考价格（试行）>的通知》（琼环测协[2021]34 号），未列入该收费标准的项目参照外省、市同类行业的收费标准。各项费用估算见表 8.1-5。

表 8.1-5 环境监测估算

序号	监测内容	投资估算（万元）	估算依据
1	海水水质	35.46	施工期春、秋季各监测 1 次；施工结束后每年春、秋季各监测 1 次，连续监测 3 年，设 11 个站位，海水水质采样及数据分析处理收费基价为 2860 元。另每次加租船费 10000 元，费用：2860 元/站次×11 站次×5 年×2 季+10000 元/船次×4 船次=23.448 万元
2	海洋沉积物	15	施工期春、秋季各监测 1 次；施工结束后每年春、秋季各监测 1 次，连续监测 3 年，设 6 个站位，海洋沉积物采样及数据分析处理收费基价为 2500 元。取样航次可与水质同期。累计监测站次：6 站×5 年×2 季=60 站次。费用：2500 元×6 站次×5 年×2 季=15 万元。
3	海洋生物生态	126	施工期春、秋季各监测 1 次；施工结束后每年春、秋季各监测 1 次，连续监测 3 年，设 7 个站位，其中叶绿素 a、初级生产力及游泳动物参考国家海洋局于 2003 年 3 月发布的《海域使用论证收费标准（试行）》中海洋生物取样与实验室分析收费基价表，每站次的叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵仔鱼、游泳动物等调查项目采样及数据分析处理收费基价分别为 900 元、900 元、1800 元、1800 元、2800 元、1800 元、8000 元，则海洋生物生态采样及数据分析处理收费基价为 18000 元。取样航次可与水质同期。费用：18000 元×7 站次×5 年×2 季=126 万元
4	悬浮泥沙	31.46	施工期每月监测 1 次，设 11 个站位，海水水质采样及数据分析处理收费基价为 2860 元，费用：2860 元/站次×11 站次×10 月=31.46 万元
5	岸滩地形、地貌和水下地形地貌监测	675	监测频率：施工期及施工结束后每年 5 月和 11 月前后各一次。若遇对三亚海域产生较大影响的强台风，台风后加测一次。每年共监测 2~3 次，设置 26 条岸滩监测断面，岸滩地貌和和水下地形地貌同步监测。按照工程实施及实施后岸滩监测 5 年计，每年监测费用为 135 万元，5 年监测总费用约为 135 万元/年×5 年=675 万元

序号	监测内容	投资估算（万元）	估算依据
6	珊瑚礁生态跟踪监测	360	按照工程实施及实施后珊瑚礁监测 9 次，设 10 个站位，费用约为 40 万元/年×9 次=360 万元
7	应急监测	100	对台风等灾害性天气导致的不可预见环境风险事故应急性监测
合计		1342.92	--

8.2 社会效益分析

（1）拆除工程和修复工程是海南省和三亚市落实“中央生态文明建设”和“中央环保督察”的重要举措。有助于进一步加强环保督察队伍建设，提升督察效能；进一步完善督察整改制度规范，建立长效机制。

（2）通过本项目的开展，在保护和整治修复海域生态环境的同时，带动临近沿海地区及部分内陆地区经济的健康持续发展，增加就业岗位和居民经济收入，改善海岸和近岸海域的投资环境，提高公众对政府公共服务的满意度，形成良好的社会氛围和社会秩序，减少社会不安定因素。

（3）岸滩修复和护坡生态化改造可以有效减轻台风风暴潮灾害带来的经济损失，保护区内基础设施、固定资产、群众生命及财产都将得到有效保护，社会效益显著，为区域社会稳定、经济持续发展创造了良好的基础条件。

（4）项目的实施能够提升滨海城市形象，提高公众的幸福感和公众对政府公共服务的满意度，增强公众保护岸线、保护海洋的意识，丰富沿岸地区居民的娱乐生活，有利于形成保护环境的社会氛围。随着当地生态环境全面根本的改善，必将促进该区域经济和社会文化的发展，促进该区域的两个精神文明建设。

8.3 经济效益分析

（1）本项目为市政投资公益性基础性项目，不产生直接的经济效益。但在间接经济效益方面，生态岸线工程的实施，可提高区域防潮减灾能力，有效减轻区域内台风风暴潮灾害带来的经济损失，使得区域内基础设施、固定资产、群众生命及财产都将得到有效保护，对保障经济社会发展和经济社会活动正常运行具有重要作用；修复工程的实施，可改善海洋资源环境，减轻海洋环境污染造成的经济损失，提高近岸海域生态环境质量，有利于海洋生物资源的保护与恢复，可提高当地渔业生产的经济效益。

（2）本项目的开展和实施，将综合整治海域生态环境，恢复生态景观，进而改善

区域的生态环境，带动区域经济发展，实现经济、资源与环境和谐发展。

8.4 环境效益分析

（1）根据当前海洋生态环境整治修复的管理和技术要求，实施违规围填海项目拆除和生态修复工程，提高红塘湾海域海洋生物多样性及均匀性，能够直接产生较大的海洋生态效益，促进海洋生态环境的改善。

（2）通过岸滩修复和护坡生态化改造提升红塘湾沿岸海洋灾害防治能力，遏制岸线侵蚀趋势，形成稳定合理的滨海岸线。岸滩修复与植被建设可保护沿海土地、植被等自然资源，为动植物的生长和繁衍创造有利条件，对促进区域生态环境改善具有积极作用。

（3）通过珊瑚礁修复，恢复珊瑚礁自然面貌，能够为更多的海洋底栖生物提供食物来源、栖息场所以及繁衍场所，为该区域海洋生物群落结构稳定及多样性提供物质基础，改善海域生态环境，维护海岸带生态安全。

9 工程的环境可行性分析

9.1 主体功能区规划符合性分析

9.1.1 与海南省主体功能区规划的符合性分析

2013 年 12 月，海南省人民政府印发了《海南省主体功能区规划》。

（1）本项目涉及的《海南省主体功能区规划》主要内容

根据《全国主体功能区规划》的划分，《海南省主体功能区规划》也将国土空间分为优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域四个主体功能区。本项目位于三亚市，属于**重点开发区域**。

重点开发区域发展重点包括：“加快推进具有海南特色的城镇化。做强做优中心城市，全面加快以海口为中心的省会经济圈建设，支持三亚建设成为世界级热带滨海度假旅游城市”，“加强对自然保护区、生态公益林、水源保护区等的保护，加强防御台风和风暴潮能力建设。**构建以沿海红树林、青皮林、珊瑚礁、港湾湿地为主体的沿海生态带和海洋特别保护区**”。

重点开发区域环境政策：

重点开发区域要结合环境容量，实行严格的污染物排放总量控制指标，达到国家主要污染物排放总量控制要求。

重点开发区域要注重从源头上控制污染，建设项目要加强环境影响评价和环境风险防范，开发区和重化工业集中地区要按照发展循环经济的要求进行规划、建设和改造。

（2）符合性分析

本项目拆除工程实施后恢复海域自然属性，砂质岸线修复工程实施后有利于维持岸滩稳定，保护岸线资源，珊瑚礁修复工程实施后构建珊瑚生态系统，保护珊瑚礁，构建以沿海珊瑚礁为主体的沿海生态带，符合重点开发区域的发展重点。本项目各项污染物得到妥善处理，不排海，加强施工期溢油风险防范措施，施工期溢油风险可控，符合重点开发区域环境政策。

综上，本项目的建设符合《海南省主体功能区规划》要求。



图 9.1-1 本项目在海南省主体功能区划分总图中的位置

9.1.2 与海南省海洋主体功能区规划的符合性分析

（1）本项目涉及的海南省海洋主体功能区主要内容

根据《海南省总体规划（空间类 2015-2030）——主体功能区专篇》第二部分海洋主体功能区，项目所在海域属于重点开发区域。

重点开发区域是支撑全省海洋经济持续增长的区域。充分发挥海口市和三亚市作为我省 21 世纪海上丝绸之路的重要战略支点作用，打造以海口、三亚为中心的现代服务业合作战略支点，我省海洋经济发展的增长极，是未来我省经济发展的重要载体，城镇建设用海、港口和临港产业用海、海洋工程和资源开发的重点建设区域。

发展方向和开发原则：实施据点式集约开发。在科学分析海洋资源环境承载力的基础上，实施据点式集约开发，严格控制开发活动规模和范围，形成现代海洋产业集群，科学稳妥推进特色海洋经济产业项目和园区建设。港口和临港产业用海应满足国家区域发展战略要求，合理布局，促进临港产业集聚发展。控制建设规模，防止低水平重复建设和产业结构趋同化。严格环境准入，禁止占用和影响周边海域旅游景区、自然保护区、河口行洪区和防洪保留区等。实施围填海总量控制。科学选择围填海位

置和方式，最大程度降低围填海对海域自然岸线、海域功能和海洋生态环境造成的损害。严格监管围填海开发活动。重点保障三亚门户机场建设需要。

注重海洋生态环境保护。注重该区域海洋自然保护区、滨海湿地、红树林、珊瑚礁等海洋生态系统的保护，维护海洋生物多样性，保持海洋生态系统的健康性，增强海洋生态系统调节能力。海洋工程建设等活动应注重对海洋生态环境的影响，尽量减少海洋开发利用活动对海洋生态环境造成的损失。

（2）符合性分析

本项目拆除工程实施后恢复海域自然属性，砂质岸线修复工程实施后有利于维持岸滩稳定，保护岸线资源，珊瑚礁修复工程实施后构建珊瑚生态系统，保护珊瑚礁，构建以沿海珊瑚礁为主体的沿海生态带，有助于保护海域自然岸线及珊瑚礁海洋生态系统，符合海洋生态保护的发展方向及开发原则。

综上，本项目的建设符合《海南省海洋主体功能区规划》要求。

9.2 海洋功能区划符合性分析

9.2.1 与海南省海洋功能区划的符合性分析

根据《海南省海洋功能区划（红塘湾海域）修改方案》（国海管字［2016］218号）、《海南省总体规划（空间类 2015-2030）——海洋功能区划和海岛保护专篇》，本项目拆除工程所在海域海洋功能区划属于“天涯海角旅游休闲娱乐区（A5-32）”、“红塘湾工业与城镇用海区（B3-01）”，修复工程位于“天涯海角旅游休闲娱乐区（A5-32）”、“红塘湾港口航运区（A2-10）”、“南山旅游休闲娱乐区（A5-31）”、“红塘湾工业与城镇用海区（B3-01）”。

工程周边临近海洋功能区有“南山农渔业区（B1-06）”、“三亚湾农渔业区（B1-05）”、“海南岛西南部保留区（B8-06）”、“三亚湾旅游休闲娱乐区（A5-31）”、“三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)（A6-11）”、“崖州湾旅游休闲娱乐区（A5-34）”、“崖州湾农渔业区（A1-17）”、“南山港港口航运区（A2-11）”、“海南岛近海农渔业区”（B1-07）。

项目所在海域及周边海洋功能区划登记见表 9.2-1，本工程与海洋功能区划的位置关系见图 9.2-1。

（2）本项目与所处海洋功能区管理要求的符合性分析

本项目与海洋功能区划符合性分析见表 9.2-2。

表 9.2-1 本项目所在海域及周边海洋功能区划登记表（摘录）

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围	功能区类型	面积 hm^2	岸段长度 km	海域使用管理要求			海洋环境保护要求	
								用途管制	用海方式	海域整治	重点保护目标	环境保护要求
83	A5-32	天涯海角旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚市天涯镇至红塘岭南部海域。	旅游休闲娱乐区	2701.81	18.49	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，兼顾农渔业用海，开展名贵品种增殖和休闲渔业开发；涉海工程建设需征求相关部门意见。	天涯海角岸段禁止改变海域自然属性，红塘湾岸段允许适度改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	保持岸滩原有形态，强化海岸治理工程，严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质；保护旅游资源。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
84	A2-10	红塘港港口航运区	三亚市	位于三亚红塘岭红塘村南部海域。	港口航运区	261.92	1.52	主导用海类型为交通运输用海，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域；兼顾海底管道、路桥交通功能；涉海工程建设需征求相关部门意见。新机场建成，油码头搬迁后转划为旅游码头功能。	允许适度改变海域自然属性，围填海用于港口配套设施、路桥交通等建设。	加强项目用海动态监测和跟踪管理，防淤、防污染。	保护港口、航道水深条件；保护水域宽度，防止淤积。	执行三类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
85	A5-33	南山旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚市崖城镇南部海域。	旅游休闲娱乐区	4469.61	14.58	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，可兼顾农渔业用海，沿岸可适度增养殖鲍鱼等珍贵渔业品牌，可适度开发休闲渔业项目；涉海工程建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌；保护水质。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

160	B3-01	红塘湾工业与城镇用海区	三亚市	位于三亚市红塘湾近岸海域。	工业与城镇用海区	8861.69		主导用海类型为城镇建设用海，兼顾交通运输用海与旅游娱乐功能；填海造地实施总量控制，重点保障海上机场建设需求；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许改变海域自然属性。根据海上机场、交通运输港口码头、旅游服务设施等建设需要可填海造地，但需注意填海造地对生态环境的影响。	实施海域环境综合整治，海洋工程需协调好与周边功能区的关系。	保护海域自然生态环境。	执行三类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准。
159	B1-05	三亚湾农渔业区	三亚市	位于三亚湾东、西瑁洲岛南部周边海域。	农渔业区	2788.95	0	主导用海类型为开放式养殖用海，可兼顾旅游娱乐用海，开展休闲渔业活动；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许适度改变海域自然属性。	合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发。	保护海域自然生态环境。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
161	B1-06	南山农渔业区	三亚市	位于三亚市南山南部海域。	农渔业区	4282.52	0	主导用海类型为渔业用海，主要为增养殖用海，可兼顾旅游娱乐用海；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许适度改变海域自然属性。	合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发。	保护海域自然生态环境。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
162	B8-04	海南岛西南部保留区	三亚市-乐东县-东方市-昌江县	位于海南岛西南部近海海域。	保留区	237718.45		无主导用海类型，维持现有用海现状，今后根据经济社会发展需要，经科学论证明确其具体使用功能后可调整功能；注意海底管线的保护，海上设施建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性。		保护海域自然生态环境；保护金色小沙丁鱼、蓝圆鲹等水产种质资源；保护近海渔业资源；保护海底管线。	海水水质标准、海洋沉积物质量标准、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。
165	B1-	海南岛	海南	海南岛	农渔	1269		主导用海类型为捕捞用	严格限制改变海	本着保护性	保护海域自	执行一类海水水

	07	近海农渔业区	省	周边近海海域，领海外缘线以内	业区	868.24		海，可兼顾开放式养殖用海和旅游娱乐用海；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见	域自然属性。	开发的原则，禁止渔业资源过度捕捞	然生态环境；保护渔业资源；保护海底管线	质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准
80	A6-11	三亚珊瑚礁海洋保护区(东西瑁洲片区)	三亚市	位于三亚市三亚湾东西瑁洲岛海域	海洋保护区	2852.51		主导用海类型为海洋保护区用海，试验区可适当开展生态旅游，缓冲区可适当开展科研教学，但应严格控制规模；严格按照自然保护区管理法规管理，缓冲区只可进行经批准的科学研究、教学实习活动，实验区只能进行经批准的科学实验、教学实习、参观考察、旅游以及驯化、繁殖珍稀、濒危野生动植物等活动；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见。	保护区核心区用海方式应禁止改变海域自然属性，缓冲区和实验区应严格限制改变海域自然属性，在该保护区管理机构统一规划和指导下，实验区内可有计划地进行适度开发活动。	修复和保护珊瑚礁生态系统和海岛地形地貌，加强监控系统建设。	保护珊瑚礁及其生态环境；保护海洋生物多样性；保护海底管线。	执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
		三亚珊瑚礁海洋保护区（亚龙湾片区）		位于三亚市亚龙湾野猪岛、西排和东排海域		2376.59	5.57					
		三亚珊瑚礁海洋保护区（鹿回头半岛-榆林角片区）		位于三亚市鹿回头至大、小东海海域		1865	19.45					
82	A5-31	三亚湾旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚河至肖旗河岸段海域。	旅游休闲娱乐区	7561.83	18.49	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，可兼顾港口航运用海，为附近船只提供防台避风海域；保障海上防台避风安全，旅游基础设施	严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	强化海岸综合治理和管理，保持岸滩原有形态，严格控制生活等污水直接排放	保护沙滩、沿岸地质地貌和水质。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

								建设不得占用防台锚地水域；涉海工程建设需征求相关部门意见。		入海，防止海洋环境状况恶化。		
86	A2-11	南山港港口航运区	三亚市	位于南山岭西侧崖州湾东部海域。	港口航运区	2804.43	2.61	主导用海类型为交通运输用海，合理规划港口基础设施建设，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域；可适当兼顾旅游娱乐和工业与城镇建设用海；涉海工程建设需征求相关部门意见。	允许适度改变海域自然属性。	加强项目用海动态监测和跟踪管理，防淤、防污染。	保护港口、航道水深条件；保护水域宽度，防止淤积。	执行不劣于三类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准。
89	A1-17	崖州湾农渔业区	三亚市	位于崖州湾宁远河口岸段及该岸段西南部海域	农渔业区	5826.4	21.58	主导用海类型为渔业基础设施用海和开放式增养殖用海，主要为崖州中心渔港建设用海、抗风浪深水网箱养殖和重要渔业品种增殖用海。合理规划渔业生产所必须的基础设施建设，保证渔船停靠、装卸作业和避风所需海域。兼顾旅游用海，开展生态养殖观光等休闲渔业活动；涉海工程建设需征求相关部门意见。	应严格限制改变海域自然属性，避免对河口水动力环境产生影响，注意河口生态保护。	合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发：加强用海动态监测和跟踪管理，防止海水污染和淤积。	保护河口水动力环境；保护底质环境和渔业资源；保护航道。	渔港港区执行不劣于三类海水水质标准，二类海洋沉积物质量标准，二类海洋生物质量标准；其它海域执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。
90	A5-34	崖州湾旅游休闲娱乐区	三亚市	位于三亚市南山岭崖州湾海域	旅游休闲娱乐区	83.02	1.55	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和水上运动娱乐用海，可兼顾交通运输用海，作为南山港扩展用海。协调与南山港港口用海区的关系：涉海工程建设需征求相关部门意见。	严格限制改变海域自然属性，除浅海海域允许适当留填海用于旅游休闲度假外，其他区域禁止围填。	严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	保护沙滩及海岸地貌。	执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

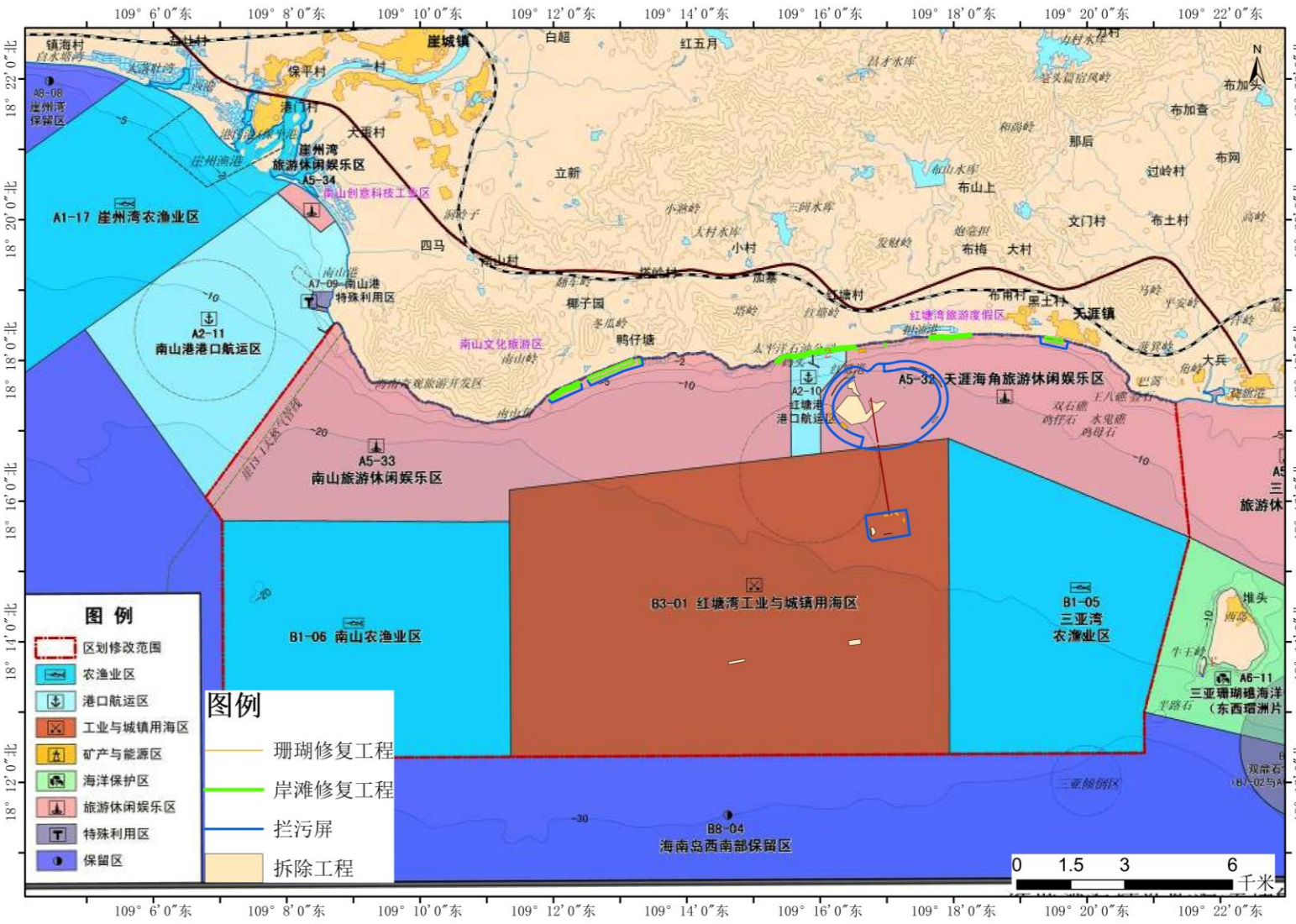


图 9.2-1 本工程与海洋功能区划位置关系图

表 9.2-2 与所处海洋功能区管理要求的符合性分析

功能区名称	管理要求			符合性分析	是否符合
天涯海角旅游休闲娱乐区	海域使用管理要求	用途管制	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，兼顾农渔业用海，开展名贵品种增殖和休闲渔业开发；涉海工程建设需征求相关部门意见。	本工程在该功能区拟进行违规围填部分拆除、砂质岸线修复及珊瑚礁修复。拆除工程均在已围填区域进行，拆除后恢复海域自然属性；砂质岸线修复工程实施后有利于维持岸滩稳定，保护岸线资源；珊瑚礁修复工程实施后构建珊瑚生态系统，保护珊瑚礁。无其他涉海工程建设，与用途管制要求不冲突。	不冲突
		用海方式	天涯海角岸段禁止改变海域自然属性，红塘湾岸段允许适度改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	本项目在此功能区拟进行围填海拆除工程，拆除后该部分恢复海域自然属性，砂质岸线修复工程拦沙堤位于红塘湾岸段，改变海域自然属性；其他工程均不改变海域自然属性，符合用海方式要求。	符合
		海域整治	保持岸滩原有形态，强化海岸治理工程，严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	本项目在此功能区拟进行砂质岸线修复工作，实施后将恢复因围填海造成的岸线受损，工程所产生的污废水将妥善处理，不直接排放入海。符合海域整治要求。	符合
红塘港港口航运区	海域使用管理要求	用途管制	主导用海类型为交通运输用海，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域；兼顾海底管道、路桥交通功能；涉海工程建设需征求相关部门意见。新机场建成，油码头搬迁后转划为旅游码头功能。	本项目在此功能区拟进行砂质岸线修复工程，船舶运砂将合理安排路线，不影响码头、通航等所需海域不涉及用途管制要求。无涉海工程建设，符合用途管制要求。	不涉及
		用海方式	允许适度改变海域自然属性，围填海用于港口配套设施、路桥交通等建设。	本项目在此功能区拟进行砂质岸线修复工程，拦沙堤改变海域自然属性；其他工程均不改变海域自然属性，符合用海方式要求。	符合
		海域整治	加强项目用海动态监测和跟踪管理，防淤、防污染。	本项目在此功能区拟进行砂质岸线修复工程，后续将对岸滩进行跟踪监测，符合海域整治要求。	符合
南山旅游休闲娱乐区	海域使用管理要求	用途管制	主导用海类型为旅游娱乐用海，用于旅游基础设施建设、浴场和游乐场用海，可兼顾农渔业用海，沿岸可适度增养殖鲍鱼等珍贵渔业品牌，可适度开发休闲渔业项目；涉海工程建设需征求相关部门意见。	本工程在此功能区拟进行砂质岸线修复，砂质岸线修复工程实施后有利于维持岸滩稳定，保护岸线资源。无其他涉海工程建设，与用途管制要求不冲突。	不冲突
		用海方式	严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。	本项目在此功能区拟进行砂质岸线修复工作，拦沙堤改变海域自然属性；其他工程均不改变海域自然属性，拦沙堤经《三亚	符合

				红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》、《海南三亚红塘湾围填海项目生态修复方案研究》充分论证，符合用海方式要求。	
		海域整治	严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	本项目在此功能区拟进行砂质岸线修复工作，各项污染物得到妥善处理，不排海，符合海域整治要求。	符合
红塘湾工业与城镇用海区	海域使用管理要求	用途管制	主导用海类型为城镇建设用海，兼顾交通运输用海与旅游娱乐功能；填海造地实施总量控制，重点保障海上机场建设需求；涉海工程建设需征求相关部门意见。	本工程在该功能区拟进行违规围填部分拆除及珊瑚礁修复，拆除工程均在已围填区域进行，拆除后恢复海域自然属性，符合该功能区用途管制要求	符合
		用海方式	允许改变海域自然属性。根据海上机场、交通运输港口码头、旅游服务设施等建设需要可填海造地，但需注意填海造地对生态环境的影响。	本项目在此功能区拟进行围填海拆除工程和珊瑚礁修复工程，拆除后该部分恢复海域自然属性，珊瑚礁修复不改变海域自然属性，且有助于海洋生态环境的保护，符合用海方式要求。	符合
		海域整治	实施海域环境综合整治，海洋工程需协调好与周边功能区的关系。	本项目在此功能区拟进行围填海拆除工程和珊瑚礁修复工程，属于海域环境综合整治的举措，有助于海域环境综合整治的进行，符合海域整治要求。	符合

综上所述，本项目的建设符合《海南省总体规划（空间类 2015-2030）——海洋功能区划专篇》的相关要求。

9.2.2 与海南省近岸海域环境功能区划的符合性分析

根据《海南省近岸海域环境功能区划》（（2010 年修编），本项目位于红塘港区（HN086DIII）、三亚湾-红塘湾旅游度假区（HN053BII）、南山旅游区（HN054BII），周边近岸海域环境功能区为三亚国家级珊瑚礁自然保护区（HN011AI）、三亚倾废区（HN103DIV）、三亚南山排污混合区（HN007W）、崖州养殖区（HN021BII）、南山港区（HN087DIII）、崖州渔港区（HN088DIII）。

各功能区的主导功能及水质目标见表 9.2-3，本项目与近岸海域环境功能区划位置关系见图 9.2-2。

表 9.2-3 项目所在区域及周边近岸海域功能区汇总表

环境功能区	代码	位置	面积/km^2	主导功能	水质目标
红塘港区	HN086DIII	三亚天涯镇红塘沿岸	2.61	港口	III
三亚湾-红塘湾旅游度假区	HN053BII	三亚港以西及凤凰镇、天涯镇沿海	78.29	旅游、浴场、娱乐	II
南山旅游区	HN054BII	三亚南山旅游区沿岸及南山港、崖州渔港外侧海域	42.46	旅游、娱乐	II
三亚国家级珊瑚礁自然保护区	HN011AI	三亚东西瑁洲岛，鹿回头、大小东海、亚龙湾一带海域	85	珊瑚礁保护	I
三亚倾废区	HN103DIV	三亚	2.7	疏浚物倾倒	IV
三亚南山排污混合区	HN007W	三亚南山港东侧海域	1.05	排污	边界水质按二类控制
崖州养殖区	HN021BII	三亚崖城镇崖州渔港外侧海域	9.90	渔业	II
南山港区	HN087DIII	三亚崖城镇南山岭西海岸四马码头南 1200m	7.40	港口	III
崖州渔港区	HN088DIII	三亚崖城镇港门港内湾	3.31	港口	III

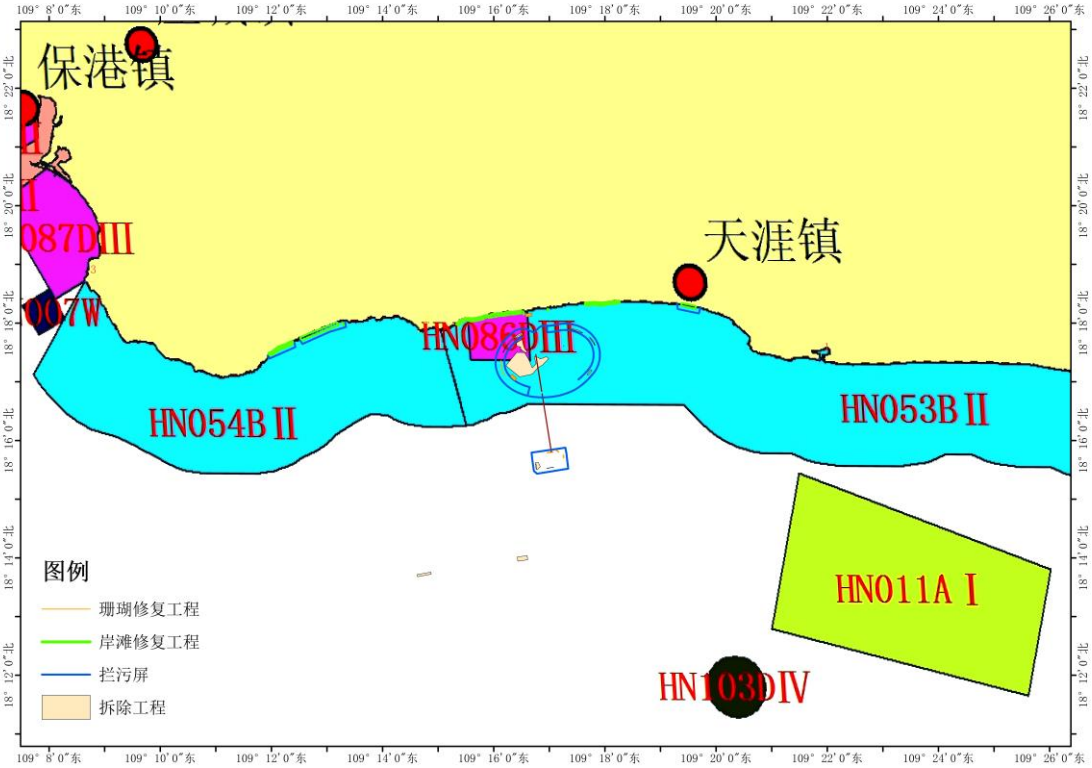


图 9.2-2 本项目在海南省近岸海域环境功能区划中的位置

本项目违规围填海拆除工程位于“红塘港区”（水质目标为三类）和“三亚湾-红塘湾旅游度假区”（水质目标为二类），拆除工程将产生一定的悬浮泥沙，但工程将设置拦污屏，可有效控制悬浮泥沙扩散范围，且施工期悬浮泥沙对水质的影响是暂时的（约 12h），将随着施工的结束而消失。施工船舶污染物收集后运至陆域交由有资质的单位处置，不排海。实施围填海拆除工程可基本维持上述功能区水质现状，满足其水质要求。

本项目砂质岸线修复工程位于“红塘港区”（水质目标为三类）、“三亚湾-红塘湾旅游度假区”（水质目标为二类）和“南山旅游区”（水质目标为二类），人工补砂工程将产生一定的悬浮物，但工程将设置拦污屏，可有效控制悬浮泥沙扩散范围，大于 5mg/L 的包络范围将不会进入到南山角附近的珊瑚礁分布区。且施工期悬浮泥沙对水质的影响是暂时的（约 12h），将随着施工的结束而消失。运砂船舶和施工污水、垃圾将统一回收处理，不排海。实施砂质岸线修复工程可基本维持上述功能区水质现状，满足其水质要求。

本项目珊瑚礁修复工程位于“红塘港区”（水质目标为三类）和“三亚湾-红塘湾旅游度假区”（水质目标为二类），珊瑚礁修复工程的实施不会产生悬浮泥沙，对水质

几乎无影响。施工船舶污染物收集后运至陆域交由有资质的单位处置，不排海。实施珊瑚礁修复工程可维持上述功能区水质现状，满足其水质要求。

综上，本项目符合《海南省近岸海域环境功能区划》的相关要求。

9.3 国土空间总体规划符合性分析

9.3.1 与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

（1）项目涉及的《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》相关内容

本项目位于海南省三亚市红塘湾，属于“南部海域”。

保护功能引导：南部海域：包括三亚、陵水、乐东近岸海域。重点保护珊瑚礁、红树林、海草床等生态系统；重点开展珊瑚礁、海草床、红树林等生态环境保护与修复工程，修复受损的自然岸线，加大“蓝色海湾”整治工程力度。

表 9.3-1 近岸海域保护功能引导对照表（节选）

海域单元	地区	重点保护对象
南部海域	三亚 陵水 乐东	保护三亚沿岸的珊瑚礁、红树林、陵水新村和黎安潟湖内的海草床生态系统，**三亚南山、天涯海角海岸地貌**，以及海岛地貌及其生态系统，重点整治修复陵水新村港和黎安港海域海岸、三亚沿岸珊瑚礁生态系统、铁炉港海湾、海棠湾北部岸段、三亚湾岸滩、乐东龙栖湾海岸生态

强化岸段综合保护利用：海南岛西南部（陵水至儋州）海岸带，保护儋州、三亚等地红树林和珊瑚礁、陵水海草床等生态系统以及东方黑脸琵鹭、中华白海豚等珍稀动植物；高水平发展滨海度假和海岛观光旅游；建设国家深海综合试验场，支持洋浦港打造国际集装箱枢纽港，在儋州、东方、三亚海域布局深远海大型养殖渔场。

根据海南省近岸海域及相邻陆域的资源特点、环境状况和地理区位，统筹岸段两侧海洋开发利用现状和社会经济发展需要，划定严格保护、限制开发和优化利用 3 类功能岸线。

严格保护岸线：将自然形态保持完好、生态功能与资源价值显著的自然岸线划定为严格保护岸线。主要包括自然保护地核心保护区、生态保护红线海岸防护极重要区所在岸线。保护岸线按照生态保护红线有关要求进行管理，确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变。除国防安全需要外，禁止在严格保护岸线范围内构建永久性建筑物、围填海、开采海砂等损害海岸地形地貌和生态环境的活动。

限制开发岸线：将自然形态保持基本完整、生态功能与资源价值较好、开发利用程度较低的岸线划定为限制开发岸线。限制开发岸线严格控制改变海岸自然形态和影响生态功能的活动，适度发展旅游、休闲渔业等产业，严格海域使用审批。

优化利用岸线：将集约利用人工化程度较高、海岸防护与开发利用条件较好的岸线划定为优化利用岸线。主要包括港口工业岸线、城镇生活岸线、渔业发展岸线和旅游娱乐岸线等。优化利用岸线为沿海地区产业集聚、产业升级和产城融合提供空间，要统筹规划、集中布局确需占用海岸线的建设项目，推动海域资源利用方式向绿色化、生态化转变。

严格保护海洋生物资源：加强海洋生态系统和海洋生物多样性保护，为海洋生物资源提供特殊保护。开展海洋生物多样性调查与观测，加大重要海洋生物资源及其栖息地保护力度，恢复修复红树林、海草床、珊瑚礁、重要河口、重要滩涂及浅海水域、重要渔业资源产卵场等热带海洋典型生态系统和海洋生物资源生长环境。

（2）符合性分析

本项目拟在违规围填海拆除后进行珊瑚礁修复及砂质岸线修复工程，岸线修复包括南山景区岸段，符合保护功能引导和严格保护海洋生物资源要求。

本项目砂质岸线修复工程中的南山景区岸段及红塘湾东部至天涯镇附近岸段处于生态保护红线内，属于严格保护岸线，本项目在以上两个岸段进行岸滩补沙、沙丘补沙及生态护岸，南山景区岸段东端建设拦沙堤，以减小红塘湾海岸整体自然冲刷和历史围填海工程影响对岸滩影响，工程实施后对岸线生态环境保护有益。

综上，本项目的实施符合《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》。

9.3.2 与《三亚市总体规划（空间类 2015-2030 年）》符合性分析

（1）项目涉及的《三亚市总体规划（空间类 2015-2030 年》相关内容

①近岸海域生态保护功能区，即近岸海域生态保护红线区。近岸海域生态保护空间管控要求如下：

■管控细则

禁止围填海；禁止采挖海砂；不得新增入海陆源工业直排口；严格控制河流入海污染物排放；严格限制非透水构筑物等改变海域自然属性的开发活动；控制近岸海水养殖规模，鼓励生态养殖、深水网箱养殖、现代化海洋牧场建设；对已遭受破坏的海洋生态红线区，实施可行的整治修复措施，恢复原有生态功能；实行海洋垃圾巡查清理制度，有效清理海洋垃圾。

■管控措施

近岸海域生态保护红线分区管控要求按照国家和我省相关规定执行。

②港口航运区管理要求：要加强项目用海动态监测和跟踪管理，防淤、防污染。

港口区要合理规划港区基础设施建设，保证船舶停靠、避风和通航所需海域；允许适度改变海域自然属性；可适当兼顾旅游娱乐、渔业基础设施和工业与城镇建设用海；严格执行港口区海水水质标准。锚地区要保证船舶停靠、避风和通航所需海域；执行二类海水水质。

③工业与城镇用海区管理要求：工业与城镇围填海应做好与土地利用总体规划、城乡规划、河口防洪规划和综合整治规划等的衔接，突出节约集约用海原则，合理控制规模，优化空间布局，提高海域空间资源的整体使用效能。优先安排国家、省发展战略确定的建设用海，重点安排公共休闲旅游、交通等基础设施用海或公益性科研项目用海，从严审批影响海域自然属性用海项目。填海造地等改变海域自然属性的开发活动应在合理设计和科学论证指导下进行，在适宜的海域，采用离岸、人工岛式围填海，减少对海洋水动力环境、岸滩及海底地形的影响，防止海岸侵蚀，禁止在可能造成生态严重失衡的地方进行围填海活动。

工业用海应落实环境保护措施，严格实行污水达标排放，控制温水排放温度和扩散范围，避免工业生产造成海洋环境污染，严格执行海洋环境的管理要求，防范海上溢油等海洋环境突发污染事件。严格控制开发利用过程中废弃物的排放，制定环境灾害应急预案和快速反应体系，加强开发利用活动监视监测，确保周围海域海洋环境及生态安全。扩展巡航路线，强化海监执法力度，保护珍贵矿产与海上能源，保障开采勘探作业的安全。

④旅游休闲娱乐区管理要求：要严格控制陆源污水排放入海，减少对近海海域的污染和对沙滩的破坏，防止海洋环境状况恶化；合理规划旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量，不得占用防台锚地水域；可适当兼顾农渔业和交通运输用海，适度开展休闲渔业活动和名贵品种增殖；亚龙湾、天涯海角岸段禁止围填海，崖州湾浅海海域允许适当围填海，用于旅游休闲度假基础设施建设，其它海域严格限制改变海域自然属性；保护沙滩、沿岸地质地貌、珊瑚礁、红树林、海草床及其生态系统；执行一类或二类海水水质标准。

（2）符合性分析

①本项目南山岸段修复工程位于近岸海域生态保护功能区，工程内容为对受侵蚀的砂质岸线实施滩肩补砂及配套工程，不进行围填海、采挖海砂等管控细则禁止的行为，工程实施有助于岸线保护，恢复原有生态功能。符合近岸海域生态保护空间管控要求。

②本项目涉及的海洋功能分区占用港口航运区、工业与城镇用海区和旅游休闲娱乐区。

在港口航运区进行砂质岸线修复工程，不改变海域自然属性，对水质影响较小，施工不会影响航道正常通行安全，施工结束后不占用相关海域。符合港口航运区管理要求。

在工业与城镇用海区进行围填海拆除工程和珊瑚礁修复工程，拆除后该部分恢复海域自然属性，珊瑚礁修复有助于海洋生态环境的保护。本项目各项污染物得到妥善处理，不排海；建设单位已制定较完善的环境风险应急预案，并与周围的应急力量形成联防联控，有能力应对海洋自然灾害和突发环境事件，符合工业与城镇用海区管理要求。

在旅游休闲娱乐区进行违规围填海拆除工作，拆除后海域恢复自然属性；无其余涉海项目；本项目在该区域拟进行砂质岸线修复工作，保护受损岸线；本项目不涉及渔业、养殖等活动。施工期对水质影响较小，可维持现状水质，符合旅游休闲娱乐区管理要求。

综上，本项目符合《三亚市总体规划（空间类 2015-2030 年》。

9.4 国土空间生态修复规划符合性分析

9.4.1 与《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》的符合性分析

（1）本项目位于海岸带生态保护修复区，主攻方向为改善近岸海域生态环境质量，提升海岸带生态系统稳定性和服务价值，增强区域抵御海岸侵蚀、台风、风暴潮等海洋灾害能力。

（2）本项目涉及的海岸带生态保护修复重点任务：

开展典型海洋生态系统保护修复：开展南渡江、万泉河、昌化江等重要河流入海口，万宁小海、博鳌潟湖、琼海龙湾、亚龙湾、文昌八门湾、乐东龙栖湾、儋州新英湾、洋浦湾等潟湖和海湾，新英港、东寨港、铁炉港、青梅港等区域红树林，三亚、文昌、琼海等市县珊瑚礁、海草床的整体保护、系统修复。推动海口东寨港、文昌清澜港、万宁老爷海等区域退塘还湿，修复退化和受损的滨海湿地，为大白鹭、斑嘴鸭、勺嘴鹬、金丝燕、红腹滨鹬、黑脸琵鹭等鸟类迁徙停歇创造良好环境。扩大种植椰子、青皮、木麻黄等树种为主的老化基干林带，加强自然岸线和沿海防护林海岸综合防护体系建设，提升海岸带生态系统稳定性和景观价值。

专栏 5-2 海岸带生态保护修复重大工程（节选）
…… 2 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，在 2021-2030 年分 2 个阶段实施完成。 ——海湾生态系统修复项目：在三亚湾、天涯区、崖州区近岸海域开展海域清淤、渔排整治、岸线修复、海堤改造等工作，修复海湾生态系统 1655 公顷，2021-2030 年实施完成。 ——珊瑚礁生态系统修复项目：在蜈支洲岛、崖州区、三亚湾西岛东南侧等区域实施珊瑚礁生态系统修复工程，清理整顿违法建设，严格监管用海活动，逐渐恢复珊瑚礁栖息环境，修复珊瑚礁生态系统 24 公顷，2021-2025 年实施完成。 ……

（3）符合性分析

本项目位于三亚市天涯区，拟进行砂质岸线修复及珊瑚礁修复工程，属于三亚市海岸带生态修复重点项目。工程的实施有助于保护海域自然岸线及珊瑚礁海洋生态系统，符合开展典型海洋生态系统保护修复的要求。

本项目不占用海南省自然保护地（图 9.4-1）；涉及三亚市天涯区沿岸海域生态系统修复项目（图 9.4-2）；砂质岸线修复项目中的南山景区岸段（约 2.24km）位于海南省海域生态保护红线内（图 9.4-3），该部分工程内容为对受侵蚀的砂质岸线实施滩肩补砂及配套工程，工程实施有助于岸线保护，且符合各类生态保护红线要求。

综上，本项目的建设符合《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》。

9.4.2 与《海南省三亚市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》的符合性分析

（1）海岸带及海洋生态系统修复区生态保护修复主攻方向

强化陆海统筹生态保护修复，针对陆海并重整体性保护问题，修复沿岸沙滩岸线，修复建设陆海缓冲带，对海防林进行生态修复，对海岸海防林进行整体保育及提质增效，提高滨海植被景观，提升水环境质量，将利用海洋和保护海洋相结合，通过海洋牧场等方式对重要海洋生物进行恢复保护，以此提升滨海生物多样性，减轻海水养殖及旅游活动对海岸带的污染和破坏。

（2）对于海湾综合生境提升及海洋生态系统保护修复两类生态保护修复任务，共设置 7 片生态保护修复重点区域。本项目位于红塘湾生态保育重点区。

红塘湾生态保育重点区位于崖州区东南部以外，区内以珊瑚礁生态系统为主。针对当前区内存在的珊瑚物种减少、优势物种改变、活珊瑚覆盖率降低等珊瑚礁生态系统退化问题，设置红塘湾珊瑚礁自然保护项目，通过开展珊瑚礁本底调查，环境监测与防治，珊瑚礁生境修复和种植修复等措施提高珊瑚礁生态系统的稳定性。

表 9.4-1 三亚市国土空间生态保护修复重点区域（节选）

生态保护修复任务	生态保护修复重点区域
海湾综合生境提升；海洋生态系统保护修复	三亚湾生态保育重点区；亚龙湾生态保育重点区；崖州湾生态保育重点区；海棠湾生态保育重点区；**红塘湾生态保育重点区**；鹿回头生态保育重点区。

表 9.4-2 三亚市国土空间生态保护修复项目安排（节选）

序号	生态保护修复重点工程	所包含生态修复项目	
		重点项目	一般项目
10	典型海洋生态系统生态保护重点工程	海棠湾红树林保护修复项目；榆林港红树林自然保护项目；三亚河入海口河段红树林保护修复项目；三亚市三亚湾西岛东南侧珊瑚礁生态系统修复项目；三亚市三亚湾、东锣岛海草床生态系统修复项目；三亚市崖州区珊瑚礁生态系统修复项目；蜈支洲岛近海珊瑚礁修复项目；**红塘湾珊瑚礁自然保护项目**；鹿回头海草床自然保护项目	三亚珊瑚礁国家级自然保护区珊瑚礁修复项目；崖州湾海草床自然保护项目。

（3）符合性分析

本项目拟进行侵蚀受损砂质岸线修复工程，修复沿岸沙滩岸线，符合海岸带及海洋生态系统修复区生态保护修复主攻方向。本项目拟在红塘湾进行珊瑚礁修复工程，需要对珊瑚礁进行重建，通过养护和保护促进潜堤周边珊瑚礁自然发育，逐步形成完整的珊瑚礁生态系统，以达到珊瑚礁保护的目的，符合红塘湾生态保育重点区的修复任务。

综上，本项目的建设符合《海南省三亚市国土空间生态修复规划（2021-2035年）》。

9.5 “三线一单”、生态保护红线、“三区三线”符合性分析

9.5.1 与“三线一单”生态环境分区管控符合性分析

9.5.1.1 与海南省“三线一单”生态环境分区管控的符合性分析

2021 年 4 月，海南省委办公厅、海南省政府办公厅印发《关于海南省“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》（琼办发〔2021〕7 号），要求落实好“三线一单”工作。

本项目为海上已围填区域拆除及生态修复工程，不涉及陆域环境管控单元。工程位置主要位于“优先管控单元”中的“海南省三亚市近岸海域优先保护区 16”（环境管控单元编码：HY46020010016），“重点管控单元”中的“海南省三亚市近岸海域重点管控区 7”（环境管控单元编码：HY46020020007）、“海南省三亚市近岸海域重点管控区 8”（环境管控单元编码：HY46020020008）和“一般管控单元”中的“海南省三

亚市近岸海域一般管控区 7”（环境管控单元编码：HY46020030007）、“海南省三亚市近岸海域一般管控区 9”（环境管控单元编码：HY46020030009）（图 9.5-1），管控要求和符合性分析见表 9.5-1。

根据分析，本项目符合《关于海南省“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》的环境管控单元准入要求。

表 9.5-1a 本项目与海南省“三线一单”“优先保护区”中的环境管控单元准入要求的符合性

管控单元	生态环境分区类型	管控要求	环境管控单元准入要求	本项目符合性	是否符合
海南省三亚市近岸海域优先保护区 16	海洋生态红线（限制类）	空间布局约束	禁止围填海、爆破等可能危及文化遗迹安全、有损海洋自然景观的开发活动。经批准可适度建设旅游基础设施，适度开展旅游娱乐活动。	本项目在该单元内仅进行岸线修复工作，不涉及围填海、爆破等可能危及文化遗迹安全、有损海洋自然景观的开发活动。	符合

表 9.5-1b 本项目与海南省“三线一单”“重点管控区”中的环境管控单元准入要求的符合性

管控单元	生态环境分区类型	管控要求	环境管控单元准入要求	本项目符合性	是否符合
海南省三亚市近岸海域重点管控区 7	旅游度假区、工业与城镇用海区	污染物排放管控	1.完善崖州镇具备污水收集处理能力，城镇污水处理率达到 95%，实现农村生活污水治理设施建设全覆盖。 2.完善三亚红沙污水处理厂配套管网建设。 3.红塘湾海域水质稳定达标前，崖州区实行新（改、扩）建设项目总磷等主要污染物排放总量减量置换。	本项目施工期污染物均妥善处理，不会对红塘湾水质产生影响。	符合
		环境风险防控	红沙污水处理厂应采取有效措施，防止事故废水直接排入水体。完善污水处理厂在线监控系统联网，实现污水处理厂的实时、动态监管。	本项目产生的废水不经由红沙污水处理厂处理。	不涉及
海南省三亚市近岸海域重点管控区 8	港口区	空间布局约束	1.红塘港区到港船舶含油污水、生活污水等含有有毒有害物质的污水，残油、废油，垃圾等禁止进入水体。 2.禁止在港口区、锚地、航道、通航密集区、航道与码头前沿线之间的海域以及规定的航线内进行与航运无关、或有碍航行安全的活动。	1.本项目施工船舶生活污水收集至岸上集中处理；船舶油污水由海事部门认可的接收单位接收处置，不在港区内排放。2.本项目施工不会影响航道正常通行安全，施工结束后不占用相关海域。	符合
		污染	加快完善红塘港港口污水和垃圾接	施工船舶生活污水收集至	符合

		物排放管控	收、转运及处理处置设施建设，提高含油污水等接收处置能力，禁止未经处理的船舶污水和垃圾直接排放。	岸上集中处理；船舶油污水由海事部门认可的接收单位接收处置，不在港区内排放。施工期船舶垃圾采用专门垃圾袋收集贮存集中到岸上后由海事局认可的有资质的接收单位处理。	
		环境风险防控	加强红塘港口溢油和船舶危险化学品事故应急反应能力建设，港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，配备与其污染风险相适应的物资设备和应急力量。	本项目拟针对船舶油污制定较完善的溢油污染应急计划，配备的应急物资和周围应急力量可满足溢油风险需要。	符合

表 9.5-1c 本项目与海南省“三线一单”“一般管控区”中的环境管控单元准入要求的符合性

管控单元	生态环境分区类型	管控要求	环境管控单元准入要求	本项目符合性	是否符合
海南省三亚市近岸海域一般管控区 7	度假旅游区	空间布局约束	1.旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量。2.强化海岸综合治理和管理，保持岸滩原有形态。	1.本项目无新增旅游开发必须的基础设施建设。2.本项目在该区域进行砂质岸线修复工程，有助于强化海岸综合治理和管理。	符合
		污染物排放管控	1.严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。2.实施三亚湾污染治理。	本项目施工船舶生活污水收集至岸上集中处理；船舶油污水由海事部门认可的接收单位接收处置，不在港区内排放。	符合
海南省三亚市近岸海域一般管控区 9	度假旅游区	空间布局约束	严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必需的基础设施建设，控制开发容量。	本项目在该区域仅进行岸线修复，不改变海域自然属性。	符合
		污染物排放管控	严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化。	本项目施工船舶生活污水收集至岸上集中处理；船舶油污水由海事部门认可的接收单位接收处置，不在港区内排放。	符合

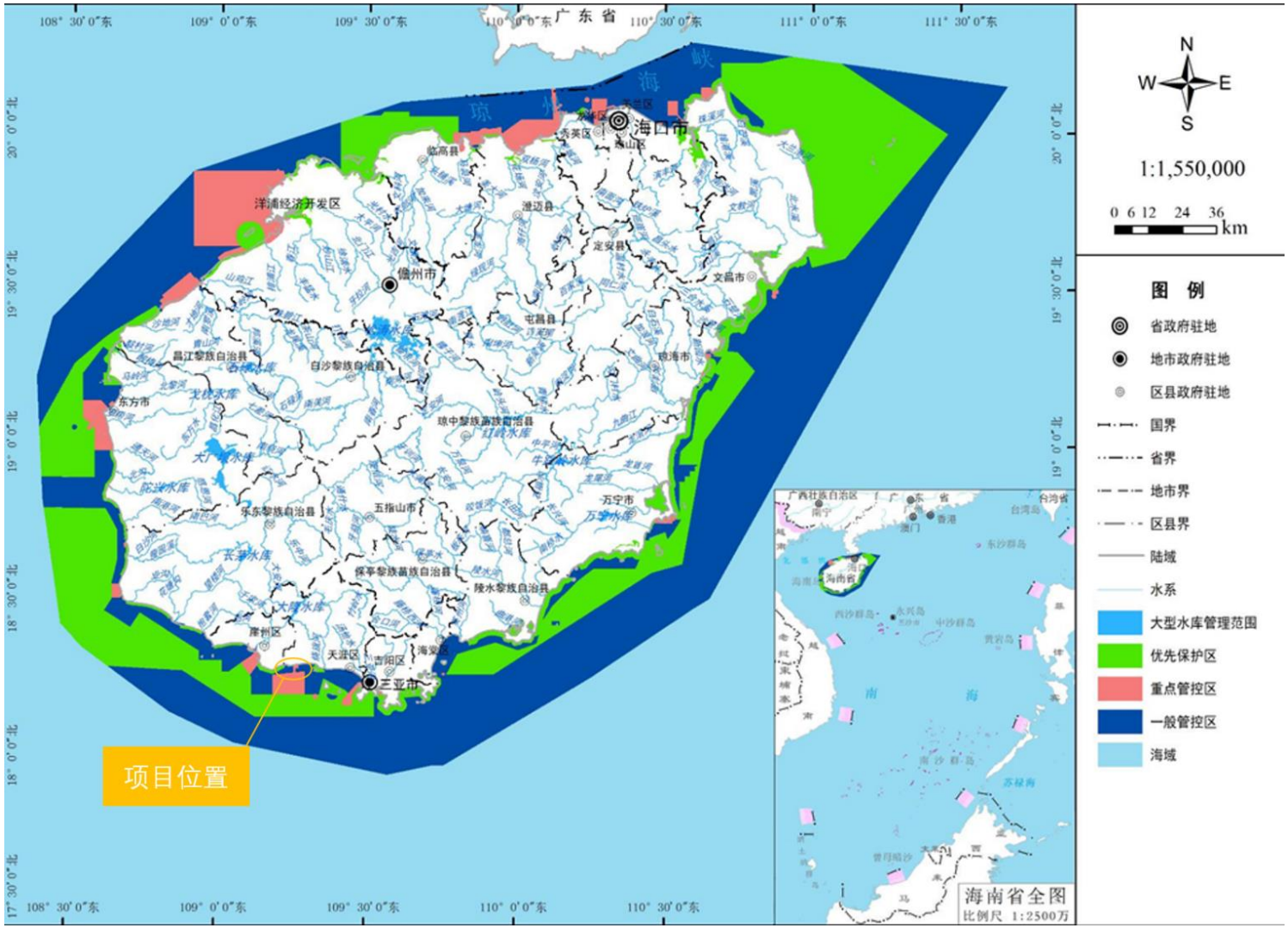


图 9.5-1a 海南省海域环境管控单元分布图

9.5.1.2 与三亚市“三线一单”生态环境分区管控的符合性分析

2021年6月，中共三亚市委办公室 三亚市人民政府办公室联合印发《关于三亚市“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》。

（一）本项目涉及的《关于三亚市“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》主要内容：

划分环境管控单元。全市共划分优先保护、重点管控、一般管控三类环境管控单元，包括陆域环境管控单元、海岛环境管控单元、近岸海域环境管控单元。

——优先保护单元指以生态环境保护为主的区域，主要包括生态保护红线（陆域、海洋）以及自然保护地、饮用水水源保护区等生态功能重要区和生态环境敏感区。

——重点管控单元指涉及水、大气、土壤、自然资源等资源环境要素重点管控的区域。其中陆域重点管控单元主要包括现有和规划城镇建设集中区、产业园区、重要港区等开发强度高、污染排放强度大、环境问题相对集中的区域；海岛重点管控单元主要包括现状开发建设和未来可开发的海岛；近岸海域重点管控单元主要包括工业与城镇用海区、港口区、渔港区、倾废区、排污混合区等海域。

——一般管控单元指除优先保护单元和重点管控单元以外的其他区域。

落实生态环境管控要求。依据相关法律法规和文件精神，对标海南自由贸易港生态环境质量要求，衔接三亚市区域发展战略和生态功能定位，坚持目标导向和问题导向，体现总体管控和差异化管控要求，从空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控和资源利用效率等方面，明确生态环境准入要求，制定全市、四区、六湾及各环境管控单元四个层次的生态环境准入清单。着重加强城镇建设集中区、产业园区、港区、旅游度假区、近岸海域环境管理，严格落实生态环境准入清单要求。

从保护三亚市近岸海域核心生态环境战略资源的角度出发，在全市总体生态环境管控要求的基础上，突出各湾区生态环境特征、发展定位及未来环境压力等，统筹推进各湾区差异化管控。

（二）符合性分析

本项目与三亚市海域环境管控单元位置关系见图 9.5-2，与优先保护、重点管控、一般管控的管控单元准入要求符合性分析见表9.5-2。

表 9.5-2a 本项目与三亚市“三线一单”“优先保护单元”中的管控单元准入要求的符合性分析

环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控分区	总面积（km^2）	重大生态环境问题	管控要求	生态环境准入清单	本项目符合性	是否符合
HY4602011710013	南山-大小洞天自然景观与历史文化遗迹	自然景观与人文遗迹区	12.78	海滩岩、海滩、沿岸沙堤等海岸带生态系统；砾石滩、地质遗迹和特殊地貌	空间布局	1.禁止改变海域自然属性。 2.禁止围填海、爆破等可能危及文化遗迹安全、有损海洋自然景观的开发活动。 3.保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌。	本项目在该区域仅进行砂质岸线修复，不改变海域自然属性；无围填海、爆破等开发活动；符合保护沿岸海滩海岸地貌的要求	符合
					污染物排放	严格控制陆源污水排放入海。	本项目产生污水较少，将集中处理，不排放入海。	符合

表 9.5-2b 本项目与三亚市“三线一单”“重点管控单元”中的管控单元准入要求的符合性分析

环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控分区	总面积（km^2）	重大生态环境问题	管控要求	生态环境准入清单	本项目符合性	是否符合
HY4602011720004	红塘湾工业与城镇用海	工业与城镇用海区	88.53	-	空间布局	1.涉海工程需征求相关部门意见 2.海上机场、交通运输港口码头、旅游服务设施等建设需要注意对海域水动力、泥沙冲淤、地形地貌等的影响，避免对海域自然生态环境造成负面影响。 3.周边海域开展生态修复	工程是认真落实海南省委省政府有关中央生态环境保护督察整改要求的重要举措；本项目在该区域拟进行围填海拆除工程，拆除后恢复海域自然属性，不建设新设施，对周边海域生态环境有益；本项目将在该区域进行珊瑚礁修复工作	符合
					污染物排放	禁止设置直排排污口	各项污染物委托处置，不外排，未设置排污口	符合
					环境风险	1.加强填海区及周边海域生物多样性监测； 2.加强水质监测	本项目将合理布置后续跟踪监测工作	符合
HY460	红塘湾港	港口	3.71	-	空间	1.保护港口、航道水深条件，被保护水域	本项目拟进行违规围填海拆除工作，拆除后海	符合

2011720005	口区	区			布局	宽度防治淤积，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域； 2.兼顾海底管道、路桥交通功能； 3.涉海工程、围填海用于港口配套设置等需征求相关部门意见。 4.新机场建成，油码头搬迁后转划为旅游码头。	域恢复自然属性，有助于保护港口航道水深条件等，工程实施时将合理安排船舶为止，不影响通航；本工程不影响海底管道、路桥交通等功能；工程是认真落实海南省委省政府有关中央生态环境保护督察整改要求的重要举措。	
					污染物排放	1.加快建设船舶污染物接收处置设施、加强污染物排放监测和监管。 2.强化污染物控制，粉尘、废弃、油污、废水等废弃物达标排放； 3.禁止船舶污水直排，禁止排放油类污染物。	施工船舶生活污水收集至岸上集中处理；船舶油污水由海事部门认可的接收单位接收处置，不在港区内排放。施工期船舶垃圾采用专门垃圾袋收集贮存集中到岸上后由海事局认可的有资质的接收单位处理。	符合
					环境风险	1.加强用海动态监测和跟踪管理，符合海上交通安全要求。 2.加强船舶溢油风险及突发事故污染风险防控，提高溢油事故综合控制清除能力	本项目施工船舶仅在施工区域停留，并制定相应安全防治措施，符合海上交通安全要求。本项目拟针对船舶油污配备必要的风险应急物资和人员，并与周围应急单位形成联动，定期开展应急培训，保障应急设备物资质量和储备，具备快速响应和应急监测能力。	符合

表 9.5-2c 本项目与三亚市“三线一单”“一般管控单元”中的管控单元准入要求的符合性分析

环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控分区	总面积（km^2）	重大生态环境问题	管控要求	生态环境准入清单	本项目符合性	是否符合
HY46020117200010	三亚湾旅游休闲娱乐区	旅游休闲娱乐区	97.55	保持独特的石景岸线和沙滩岸线资源；局部岸滩的冲淤动态平衡产生变化，岸滩	空间布局	1.严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量； 2.旅游基础设施不得占用防台锚地水域，涉海项目建设需征求相关部门意见。 3.保持岸滩原有形态，保护沙滩、沿岸地质地貌和水质。 4.经科学论证后，采取人工措施加强侵蚀岸线的保	本项目在该区域进行违规围填海拆除工程和砂质岸线修复工程。拆除工程实施后海域将恢复自然属性；岸线修复工程实施后可改善因人工岛建设及海滩自然冲淤波动等造成的砂质岸线受损，保护沙滩、沿岸地	符合

				呈现出侵蚀后退迹象		护和修复。 5.海水浴场禁止从事养殖、捕捞生产活动，停靠渔业船舶。	质地貌等。本项目不涉及渔业、养殖等活动。	
					污染物排放	1.严格控制生活等污水直接排放入海； 2.禁止倾倒垃圾 3.禁止船舶污水直排，禁止排放油类污染物	本项目施工船舶生活污水收集至岸上集中处理；施工期船舶垃圾采用专门垃圾袋收集贮存集中到岸上后由海事局认可的有资质的接收单位处理；船舶油污水由海事部门认可的接收单位接收处置，不直接排放；	符合
					环境风险	1.加强肖旗港、防台锚地等区域船舶溢油风险及突发事故污染风险防控 2.加强用海区生态环境监测	本项目施工期污染物均妥善处理，不会对红塘湾水质产生影响。	符合
					资源利用效率	潜水区域实行潜水旅游活动最大容量控制制度	本项目不涉及潜水旅游活动	不涉及
HY4602011730012	南山旅游休闲娱乐区	旅游休闲娱乐区	31.00	-	空间布局	1.禁止围填海、采摘珊瑚和贝类、炸鱼、电鱼、毒鱼等可能破坏珊瑚礁生态系统的活动。 2.严格限制改变海域自然属性，合理规划论证旅游开发必须的基础设施建设，控制开发容量； 3.除用于旅游基地基础设施建设、浴场和游乐场用海外，可适度开发休闲渔业项目，涉海项目建设需征求相关部门意见。 4.沿岸可适度增养殖鲍鱼等珍贵渔业品种。	本项目在该区域仅进行砂质岸线修复工程，不涉海，不开发建设旅游项目等。	符合
					污染物排放	1.严格控制生活等污水直接排放入海，防止海洋环境状况恶化； 2.珊瑚礁集中分布区内禁止设置排污口。	本项目在该区域仅进行岸线修复工程，产生的污废水较少，且将集中处理，不排海；本项目不涉及该区域珊瑚礁集中分布区内，且不设排污口	符合
					资源利用效率	珊瑚礁集中分布区域内的潜水区域实行潜水旅游活动最大容量控制制度	本项目不涉及该区域内珊瑚礁集中分布区	不涉及

综上，本项目的建设符合《三亚市“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》的管控要求。

9.5.2 与生态保护红线符合性分析

9.5.2.1 本项目与《海南省人民政府关于划定海南省生态保护红线的通告》的符合性分析

2016 年 9 月，海南省人民政府发布《海南省人民政府关于划定海南省生态保护红线的通告》（琼府[2016]90 号）。

（1）项目涉及的《海南省人民政府关于划定海南省生态保护红线的通告》相关内容

管控原则：

(一)I类生态保护红线区。

根据《海南省生态保护红线管理规定》，除下列情形外，I类生态保护红线区内禁止各类开发建设活动。

1.经依法批准的国家和省重大基础设施、重大民生项目、生态保护与修复类项目建设；

2.农村居民生活点、农(林)场场部(队)及其居民在不扩大现有用地规模前提下进行生产生活设施改造。

(二)II类生态保护红线区。

II类生态保护红线区内禁止工业、矿产资源开发、商品房建设、规模化养殖及其它破坏生态和污染环境的建设项目。

确需在II类生态保护红线区内进行下列开发建设活动的，应当符合省和市县总体规划。

1.经依法批准的国家和省重大基础设施、重大民生项目、**生态保护与修复类项目建设；**

2.湿地公园、地质公园、森林公园等经依法批准、不破坏生态环境和景观的配套旅游服务设施建设；

3.经依法批准的休闲农业、生态旅游项目及其配套设施建设；

4.经依法批准的河砂、海砂开采活动；

5.军事等特殊用途设施建设；

6.其他经依法批准，与生态环境保护要求不相抵触，资源消耗低、环境影响小的

项目建设。

（2）符合性分析

本项目与海南省生态保护红线位置关系见图 9.5-3，仅南山景区岸线修复工程在II类生态保护红线区内，其余工程内容不在海南省生态保护红线范围内。

II类生态保护红线区可以进行生态保护与修复类项目建设，本项目的南山景区岸线修复工程属于生态保护与修复类项目，其工程内容为对南山景区长期冲刷的约2.24km 岸段实施滩肩补砂及配套工程，符合《海南省人民政府关于划定海南省生态保护红线的通告》的管控原则。

综上，本项目的建设符合《海南省人民政府关于划定海南省生态保护红线的通告》的要求。

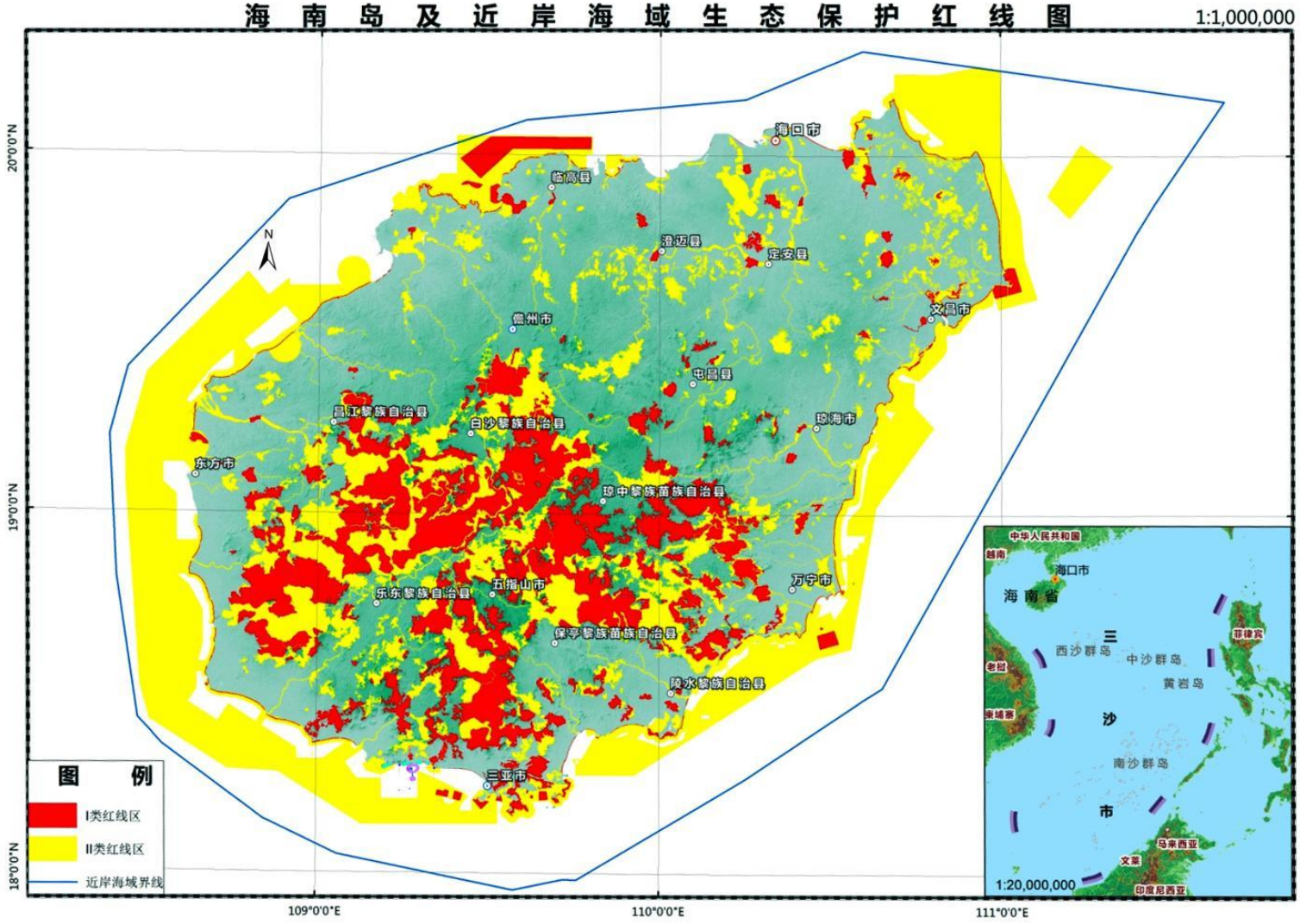


图 9.5-3a 项目与海南省生态保护红线的位置关系图

9.5.2.2 本项目与《海南省生态保护红线管理规定》的符合性分析

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《海南省人民代表大会常务委员会关于修改<海南省生态保护红线管理规定>的决定》。

（1）项目涉及的《海南省生态保护红线管理规定》主要内容

第十五条生态保护红线内自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，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，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的下列人为活动：

（一）零星的原住民在不扩大现有建设用地和耕地规模前提下，修缮生产生活设施，保留生活必需的少量种植、放牧、捕捞、养殖；

（二）因国家重大能源资源安全需要开展的战略性能源资源勘查，公益性自然资源调查和地质勘查；

（三）自然资源、生态环境监测和执法活动，灾害防治和应急抢险活动；

（四）经依法批准进行的非破坏性科学研究观测、标本采集；

（五）经依法批准的考古调查发掘和文物保护活动；

（六）适度的参观旅游和相关的必要公共设施建设；

（七）确需建设且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施以及防洪、供水设施建设与运行维护；

（八）重要生态修复工程；

（九）法律、法规和国家有关规定允许开展的其他活动。

（2）符合性分析

本项目中砂质岸线修复工程中的南山景区岸段（约 2.24km）处于生态保护红线内，拟实施滩肩补砂、生态护岸及配套工程的建设。其余工程内容不在生态保护红线范围内，红塘湾东部至天涯镇附近岸段修复工程（东侧拦污屏）距最近的生态红线约 0.5km，拆除工程距最近的生态红线约 2.51km。

本项目位于生态保护红线内的工程内容属于重要生态修复工程，属于《海南省生态保护红线管理规定》中允许进行的活动，符合其管理要求。

综上，本项目的建设符合《海南省生态保护红线管理规定》的要求。

9.5.2.3 本项目与《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录》符合性分析

2023年1月17日，海南省人民政府办公厅发布《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录(修订)的通知》（琼府办〔2023〕4号）。经修订后的管理目录适用于我省陆域生态保护红线和海洋生态保护红线，2023年2月17日起施行。

（1）《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录》（节选）

一、海南省生态保护红线内自然保护地核心保护区准入目录

序号	准入类型
1	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。

二、海南省生态保护红线内其他区域准入目录

序号	准入类型
8	依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复。包括： （1）退耕还林、退果还林、退塘还湿、防护林建设、森林灾害综合治理、古树名木树种保护； （2）矿山生态治理恢复； （3）流域水环境保护治理，河道和航道疏浚，防洪治涝； （4）有害生物和外来物种入侵防治； （5）水土保持、防沙治沙、植被恢复、潟湖整治、海湾整治、**岸线整治**等综合治理修复； （6）海域、海岛、**海岸线生态修复**；珊瑚礁、海草床、红树林等海洋生态系统修复工程及渔业增殖放流； （7）全域土地综合整治相关的建设用地复垦和生态修复。

（2）符合性分析

本项目中砂质岸线修复工程中的南山景区岸段（约2.24km）处于生态保护红线内，拟实施滩肩补砂、生态护岸及配套工程的建设。其余工程内容不在生态保护红线范围内，红塘湾东部至天涯镇附近岸段修复工程（东侧拦污屏）距最近的生态红线约0.5km，拆除工程距最近的生态红线约2.51km。

本项目位于生态保护红线内的工程内容属于岸线整治及海岸线生态修复工程，属于《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录》中允许进行的活动，符合其管理要求。

综上，本项目的建设符合《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录》的要求。

9.5.3 与三亚市“三区三线”划定成果的符合性分析

根据三亚市“三区三线”划定成果中生态保护红线矢量数据叠图（见图9.5-4），

本项目砂质岸线修复工程有部分（南山景区附近约 2.24km 岸段及红塘湾东部约 1.15km 岸段）在“三区三线”划定的生态保护红线范围内，拆除工程及珊瑚礁修复工程不涉及生态保护红线范围，拆除工程与生态保护红线最近距离约为 2.51km。

本项目处于生态保护红线范围内的工程内容为对受侵蚀的砂质岸线实施滩肩补砂及配套工程，工程实施有助于岸线保护，且符合各类生态保护红线要求。

9.6 生态环境保护规划符合性分析

9.6.1 与《海南省生态功能区划》的符合性分析

2005 年 6 月，海南省人民政府批准实施了《海南省生态功能区划》。

（1）《海南省生态功能区划》（节选）

生态功能区划方案：

按地貌、水热组合等自然条件划分出 4 大生态区，即海南海岸带生态区（I），海南环岛台地、平原生态区（II），海南中部山地生态区（III）南海海域和南海诸岛岛屿生态区（IV）；在进一步将I、II、III三个生态区细化为 10 个生态亚区和 38 个生态功能区。

本项目位于I-3-2 三亚旅游与城镇发展生态功能区，面积 926.61km2，见图 9.3-2，属于控制性开发利用区，是海南省生态保护和经济建设的缓冲地带，可进行对生态环境影响不大的经济建设和资源开发活动，其生态保护要求和产业发展方向为：加强农业开发活动的环境管理，治理水土流失，通过生物和工程措施，进行退化生态系统的恢复和重建。鼓励开展生态旅游、生态农业项目，限制大规模的工业和建设项目，农业和林业项目必须有生态保护措施，工业和旅游项目必须配套建设污染治理设施。加强人居环境和基础设施建设，利用本地资源(如农产品、林产品、矿产资源) 进行深加工项目，增加产品附加值。

（2）符合性分析

本项目位于I-3-2 三亚旅游与城镇发展生态功能区，其中拆除施工区域为已围填区域，拆除施工结束后该部分恢复为自然海域。海南省生态功能区划简表见表 9.3-1，本项目在海南省生态功能区划图中的位置见图 9.3-2。

表 9.6-1 海南省生态功能区划简表（节选）

生态功能分区单元			所在区域与面积	主要生态环境问题	生态环境敏感	主要生态系统服务	主要生态保护措施	产业发展方向
生态	生态	生态功						

区	亚区	能区			性	功能		
I 海南岛海岸带生态区	I-3 南部海蚀海积岸生态亚区	I-3-2 三亚旅游与城镇发展生态功能区	包括除藤桥镇以外的三亚市沿海乡镇，面积926.61km^2	海岸侵蚀、海岸带陆地生态系统结构人工化	地质灾害、洪涝、风暴潮	生物多样性保护、海岸带防护、社会生产功能	红树林、珊瑚礁和海防林保护，城市周围和道路两边绿化工程建设	滨海旅游业、房地产业、海洋产业、生物制药等高新技术产业

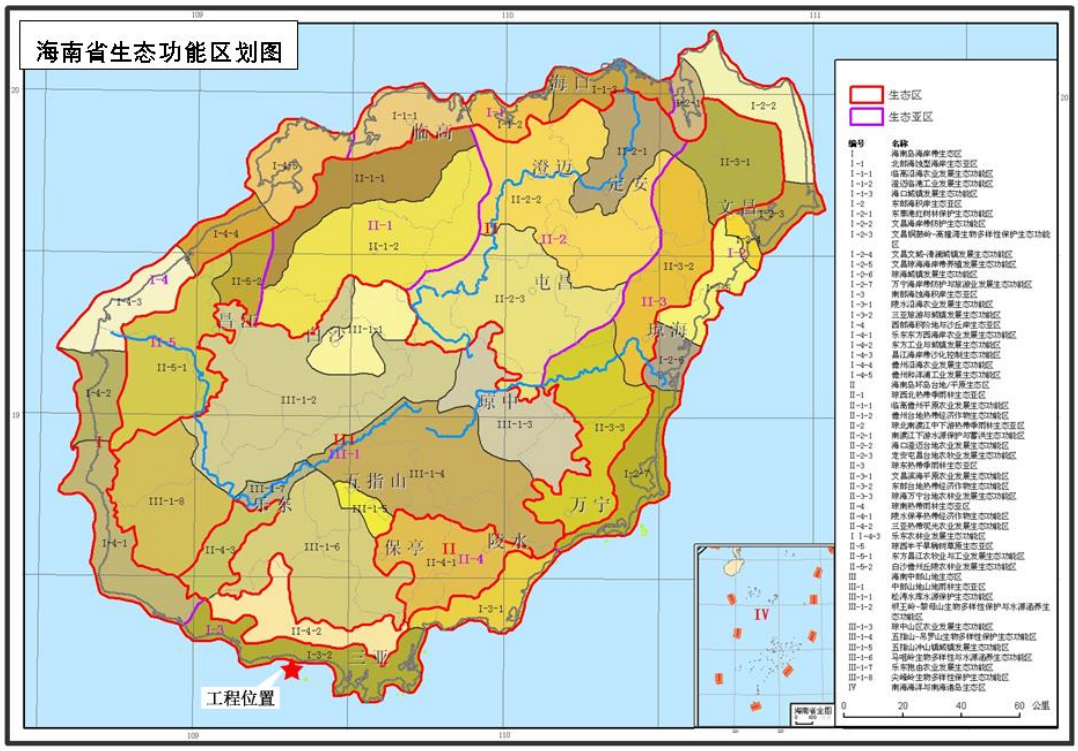


图 9.6-1 本项目在海南省生态功能区划图中的位置

本项目包括砂质岸线修复工程，通过岸滩补砂、沙丘补沙及生态护岸和拦沙堤建设等方式对因人工岛工程建设、海滩自然冲淤波动和其他局部工程（巴士码头、南山观音人工岛防护区扩大等）进行修复。本项目珊瑚礁修复工程，通过对重建珊瑚礁的养护与保护促进潜堤周边珊瑚礁自然发育，逐步形成完整的珊瑚礁生态系统。故本项目将进行退化生态系统的恢复和重建，符合生态保护要求和产业发展方向。

综上所述，本项目的建设符合《海南省生态功能区划》的相关要求。

9.6.2 与《海南省“十四五”生态环境保护规划》的符合性分析

2021 年 7 月，海南省人民政府发布《海南省“十四五”生态环境保护规划》（琼府办[2021]36 号）。

（1）本项目涉及的《海南省“十四五”生态环境保护规划》主要内容

严格保护自然海岸线。优化海岸带生产、生活和生态空间布局，实施最严格的围填海管控和海岸线开发管控制度，除国家重大战略项目外，全面停止新增围填海项目审批，切实扭转“向海索地”。科学处理围填海历史遗留问题。严控无居民海岛自然海岸线开发利用。

建立入海污染物总量控制制度。全面实施重点海域（海湾）污染物总量控制制度，拓展入海污染物排放总量控制范围，做好总量控制制度与排污许可制度衔接。以流域、海域保护目标和环境容量确定入河（海）排污口的氮、磷等主要污染物控制要求，科学确定排放标准，倒逼排河（海）污染整治力度提升，减少入河（海）污染物排放总量。

加强海洋生态系统保护与修复。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，加强海洋各类保护地建设和规范管理，不断提升海洋生态系统质量和稳定性。

拓展公众亲海岸滩岸线。充分挖掘沿海市县适宜亲海区域，因地制宜拓展亲水岸滩岸线，最大程度增加自然岸线和生活岸线。实施亲海区域环境综合整治，开展砂质岸滩和亲水岸线整治与修复，清退非法、不合理的人工构筑物等，恢复海滩自然风貌。在公众亲海区域严格落实海岸建筑退缩线制度，禁止在退缩线内新建、改建、扩建建筑物及构筑物，切实保障亲海岸线的公共开放性。

（2）符合性分析

项目拆除区域为已围填陆域，施工期各项污染物均得到合理处置，不排海，不会对海洋生态系统产生影响，符合入海污染物总量控制要求。同时，项目珊瑚礁修复工程的实施对珊瑚礁生态系统有正效益，符合加强海洋生态系统保护与修复的要求。

本项目砂质岸线修复工程建设的拦沙堤将占用部分自然岸线，但工程内容对岸线保护有益且不进行额外的岸线开发，符合严格保护自然岸线和实施亲海区域环境综合整治，开展砂质岸滩和亲水岸线整治与修复的要求。

综上，本项目的建设符合《海南省“十四五”生态环境保护规划》。

9.6.3 与《三亚市“十四五”生态环境保护规划》的符合性分析

三亚市生态环境局与 2023 年 1 月 12 日印发《三亚市“十四五”生态环境保护规划。

（1）《三亚市“十四五”海洋生态环境保护规划》（节选）

实施岸线保护工程。严格落实国家法律法规、规章和《海南省生态保护红线管理规定》，根据海洋生态红线的不同类型，分区、分类制定相应的管控措施，实施海岸带分类分段精细化管控，推动形成海岸带生态、生产、生活空间的合理布局。加强海洋保护区选划和建设管理，严格功能分区管理，进一步保护和修复海洋保护区的生态系统及其功能。合理控制海岛开发建设，推行岛长制，加强海岛管理保护。严格控制和审查三亚湾沿岸的开发建设项目。严禁在旅游岸线开山挖石、在沙滩和 3km 以内的浅海水域开采海沙。

加强近岸海域溢油风险防控。进一步明确近岸海域和海岸的溢油污染治理责任主体，完善应急响应和指挥机制。开展海上溢油污染近岸海域风险评估，防范溢油等污染事故发生。加强溢油应急物资库建设，根据《三亚市总体规划（空间类 2015-2030）》及三亚市各片区控制性详细规划，在不同海域分别建设应急设备库，每个分区应急设备应急处置能力达到 200-300 吨，全市海上溢油应急处置能力达到 1000 吨。

海洋生态修复行动。针对围填海工程、海岛开发建设、港口码头建设及生产运行对海洋生态环境的影响，实施一批珊瑚礁修复、海草床修复、增殖放流等工程，加大重要海洋生物资源及其栖息地保护力度，加强海洋类型各类保护地建设和规范管理。建设人工鱼礁海洋牧场，开展人工鱼礁投放、海藻场构建、礁区增殖放流，提升海域生物固碳。完成亚龙湾青梅河口珊瑚礁生态修复工作。加强已清退养殖岸线的生态修复，巩固水产养殖清退成果。推进瑞吉度假酒店配套游艇码头、西岛旅游区码头项目整改，并开展生态修复。加快凤凰岛二岛拆除进度，2023 年底前开展相应生态修复工作。

六大海湾分类规划指导。针对崖州湾、红塘湾、三亚湾、榆林湾、亚龙湾、海棠湾六大湾区制定“一湾一规”的美丽海湾分类管理建设规划。崖州湾重点开展盐灶河、宁远河、章波河等入海河流整治，制定实施“一河一策”方案，推进污水管网基础设施建设以及海岸带养殖场和码头围填海生态保护修复。红塘湾重点开展生态补偿、岸滩冲淤防护以及应急能力建设。三亚湾开展入海河流水环境整治、海绵城市建设、人工补沙维持自然岸线风貌小洲岛生态修复以及应急排水等工作。榆林湾重点开展大茅河加强河长制管理，实施河道清淤、农村生活污水整治，加强污水处理站运行管理，加快水产养殖清退工作以及修复受损人工护岸等。亚龙湾加强河长制管理，实施河道清淤、畜禽养殖治理、农村生活污水整治。加强沙滩岸线管理，实施沿岸防护

工程以及青梅港红树林管理和保护。海棠湾重点开展污染物入海总量削减、河长制和污水处理站运行管理、加大生物多样性修复力度，进行区域生物多样性保护以及生态护岸工程建设等。

表 9.3-2 三亚“十四五”生态环境保护重点工程项目分解表（节选）

工程类别	项目名称	建设内容	实施期限	投资概算	责任部门
生态系统保护与恢复	重点海湾污染综合整治和生态修复	实施珊瑚礁修复、海草床修复、增殖放流等工程，遏制海洋生态退化趋势，主要修复工程有：大茅河入海口海岸带养殖场生态修复和红树林保护工程、三亚湾人工补沙实验段拦沙堤工程、三亚湾砂质海岸保护修复工程、亚龙湾西段人工补沙项目、大东海西侧补沙工程、东锣岛人工鱼礁区项目、小洲岛生态修复工程、**红塘湾机场生态修复工程**、三亚市海棠区藤桥河生态修复项目、后海生态修复工程、皇后湾湾护岸工程和东锣岛生态修复项目等修复工程。	2021-2025	3.2亿元	市自然资源和规划局、市林业局、三亚海事局、吉阳区政府、海棠区政府、三亚机场家机场建设股份有限公司

（2）符合性分析

本项目拟针对船舶油污配备必要的风险应急物资和人员，并与周围应急单位形成联动，定期开展应急培训，保障应急设备物资质量和储备，具备快速响应和应急监测能力。符合加强近岸海域溢油风险防控的要求。

本项目珊瑚礁修复工程，需要对珊瑚礁进行重建，通过养护和保护促进潜堤周边珊瑚礁自然发育，逐步形成完整的珊瑚礁生态系统。本项目已制定较完善的跟踪监测计划，对项目周围珊瑚礁定期开展监测和调查，符合加强海洋资源保护与生态修复的要求。

本项目砂质岸线修复工程，通过岸滩补砂、沙丘补沙及生态护岸和拦沙堤建设等方式对因人工岛工程建设、海滩自然冲淤波动和其他局部工程（巴士码头、南山观音人工岛防护区扩大等）造成的岸线损害进行修复，符合实施岸线保护工程的要求，同时符合红塘湾重点开展生态补偿、岸滩冲淤防护以及应急能力建设的规划指导要求。

本项目属于三亚“十四五”生态环境保护重点工程项目中的红塘湾机场生态修复工程，拟进行红塘湾临空产业园二期等项目拆除及周围砂质岸线、珊瑚礁的修复工作，工程的实施有利于促进环境友好空间格局的形成，推进红塘湾生态环境的保护和修复。

综上，本项目的建设符合《三亚市“十四五”生态环境保护规划》。

9.7 海洋环境保护规划符合性分析

9.7.1 与《“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性分析

2022 年 1 月，生态环境部、发展改革委、自然资源部、交通运输部、农业农村部、中国海警局联合印发《“十四五”海洋生态环境保护规划》。

（1）本项目涉及的《“十四五”海洋生态环境保护规划》主要内容

①规划期限和范围

本规划期限 2021 年至 2025 年，部分重点目标任务展望至 2035 年。规划范围为我国内水、领海、毗连区、专属经济区、大陆架及其他管辖海域（未包括港、澳、台地区）。

②十四五”全国海洋生态环境保护主要指标

表 9.7-1 “十四五”全国海洋生态环境保护主要指标

序号	指标	2020 年	2025 年
1	近岸海域水质优良（一、二类）比例	77.4%	79%左右
2	国控河流入海断面劣 V 类水质比例	0.5%	基本消除
3	自然岸线保有率	35%	＞35%
4	整治修复岸线长度		≥400 千米
5	整治修复滨海湿地面积		≥2 万公顷
6	推进美丽海湾建设数量		50 个左右

③加强海洋生态系统保护

严守海洋生态保护红线，开展海洋生态保护红线勘界定标，实现红线精准落地。加快制定海洋生态保护红线管控制度，鼓励地方配套出台细化的生态保护红线管控措施。加强珊瑚礁、红树林、海草床、牡蛎礁、河口、海湾、海岛等生态系统保护，维护和提升海洋生态系统质量和稳定性。严格保护自然岸线，清理整治非法占用自然岸线、滩涂湿地等行为，自然岸线保有率不低于 35%。探索海岸建筑退缩线制度。严格围填海管控，除国家重大项目外，全面禁止围填海，加强海域海岛资源开发保护过程中的生态环境管理。

④修复海洋生态系统

恢复修复典型海洋生态系统。充分利用海洋生态系统调查监测结果，加强生态修复前期论证和适宜性评价，准确识别和诊断生问题，合理确定生态修复的目标任务。坚持陆海统筹、河海联动，以提升生态系统质量和稳定性为导向，整体推进海岸带生态保护修复，重点推动入海河口、海湾、滨海湿地与红树林、珊瑚礁、海草床等典型生态系统保护修复和海岸线、砂质岸滩等的整治修复。强化海洋生态保护修复项目跟

踪监测，掌握修复区域生态和减灾功能提升情况。沿海各省（区、市）完善重大生态修复工程论证、实施、管护、监测机制，确保海洋生态保护修复工程科学有效。

（2）符合性分析

本项目砂质岸线修复工程，通过岸滩补砂、沙丘补沙及生态护岸和拦沙堤建设等方式对因人工岛工程建设、海滩自然冲淤波动和其他局部工程（巴士码头、南山观音人工岛防护区扩大等）造成的岸线损害进行修复。其中拦沙堤的建设需占用自然岸线，但工程属于生态修复工程，对环境保护有益。本项目珊瑚礁修复工程，需要对珊瑚礁进行重建，通过养护和保护促进潜堤周边珊瑚礁自然发育，逐步形成完整的珊瑚礁生态系统。本项目已制定较完善的跟踪监测计划，对岸滩变化及项目周围珊瑚礁定期开展监测和调查，符合加强海洋生态系统保护和修复海洋生态系统的要求。

综上所述，本项目的建设符合《“十四五”海洋生态环境保护规划》的管控要求。

9.7.2 与《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性分析

2021 年 12 月，海南省生态环境厅印发《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》。

（1）本项目涉及的《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》主要内容

《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》范围涵盖海南省行政辖区全部海域，包括海南岛周边海域、海岛和三沙岛礁及其海域。重点规划范围为海南岛近岸海域，即海南岛海岸线至领海外部界线之间的海域，琼州海峡以广东省和海南省间海域行政区域界线为界。《规划》时限为 2021—2025 年，以 2020 年为基准期。

海洋生态保护修复取得实效。海洋生态破坏趋势根本遏制，重要海洋生态系统和生物多样性得到有效保护，海洋生态系统保持健康。海南岛自然岸线保有率不低于 60%，岸线整治修复长度不少于 70 千米，滨海湿地生态修复面积不少于 5350 公顷，其中，新增红树林湿地不少于 1700 公顷，红树林修复面积不少于 3200 公顷。

表 9.7-2 海南省“十四五”海洋生态环境保护规划主要指标（节选）

序号	指标			指标类别	2020 年现状值	2025 年目标值
1	海洋生态健康	海南岛自然岸线保有率（%）		约束性	62.72	＞60
2		海岸线整治修复长度（千米）		预期性	/	≥70
3		滨海湿地生态修复面积[2]（公顷）		预期性	/	≥5350
4		其中	红树林修复面积（公顷）	预期性	/	≥4900
5			海草床生态系统修复面积[3]（公顷）	预期性	/	≥250
6			珊瑚礁生态系统保护修复面积[4]（公顷）	预期性	/	≥200

7		珍稀濒危生物（白蝶贝）种群数量[5]（个/平方米）	预期性	/	≥0.05
8	亲海环境品质	整治修复亲海岸滩长度（千米）	预期性	/	≥70
9		基本建成“美丽海湾”数量（个）	预期性	/	19

持续稳妥处理全省围填海历史遗留问题。依法扎实推进海口市南海明珠人工岛、如意岛、葫芦岛，三亚市三亚湾凤凰岛二岛、红塘湾新机场，儋州市海花岛，万宁市日月湾人工岛，澄迈县盈滨半岛滨乐港湾度假区，文昌市南海度假村人工岛、东郊椰林湾人工岛等围填海项目整治，科学处理历史遗留问题。

严控海岸带及无居民海岛利用。对海岸带生产、生活、生态空间布局进行优化，对海岸线实施分类保护与利用。严格保护自然岸线，对建设项目占用自然岸线实行“占用与修复平衡”制度。整治修复受损岸线，严控无居民海岛自然海岸线开发利用。加强无居民海岛保护和管理，已开发的要严格监管，严格管控新增无居民海岛开发利用。

加强珊瑚礁生态系统保护和修复。开展珊瑚礁本底调查。对文昌及琼海近岸海域、陵水白排岛、分界洲岛及赤岭近岸海域和东方鱼鳞洲等未纳入保护区范围的珊瑚礁进行严格保护。在三亚市、儋州市及文昌市等珊瑚礁生态系统受损区域和昌江县、陵水县及琼海市等珊瑚礁生态系统退化区域开展珊瑚礁生态修复，以自然恢复为主、人工修复为辅开展珊瑚修复工作，逐渐恢复珊瑚礁栖息环境。到 2025 年，现有重要的珊瑚礁生态系统得到保护和修复，恢复和扩大珊瑚礁面积，提高珊瑚礁保护率，珊瑚礁新增保护及修复面积不低于 200 公顷。

修复退化砂质岸线。加强海岸侵蚀监测。在退化砂质岸段，实施岸滩防护、生态修复及人工补砂等保护、整治和修复工程。严格保护沿海防护林，开展沿海防护林建设。到 2025 年，岸线整治修复长度不低于 70 千米。

加强典型海洋生态系统常态化监测监控。对海湾、潟湖、红树林、珊瑚礁、海草床等典型海洋生态系统状况开展监测，加快构建海洋生态监测监控网络。对各类重要海洋生态功能区、关键海洋物种分布区等开展常态化监管，加强国家重要湿地名录中的滨海湿地专项监管。定期评估重点区域海洋生态系统质量和稳定性，探索开展气候变化对海洋生态系统的影响和风险评估。2025 年年底前，纳入常态化监控的典型海洋生态系统达 3 个以上，覆盖我省主要海洋生态系统类型。

加强海洋突发环境事件应急能力建设。建设海南省应急管理综合应用平台，强化海洋突发环境事件应急响应信息管理。加强省级及沿海市县（区）人才队伍、实验室、应急船舶、应急装备、物资保障、应急场地、接收处理等应急监测和应急处置能

力建设。建立海洋环境应急专职和兼职队伍，丰富专家库。开展海洋应急人员定期培训和应急设备库定期维护，系统提高海洋应急队伍专业水平、保障应急物资设备质量。加大海口、洋浦、三亚、清澜、八所等重点港口应急设备及应急物资储备，形成覆盖重点海域的快速响应和应急监测能力。

（2）符合性分析

本项目属于红塘湾新机场围填海项目整治，通过合理可行的违规围填海区域拆除方案及生态修复方案，可科学处理历史遗留问题，符合持续稳妥处理全省围填海历史遗留问题的要求。

本项目对项目周边砂质岸滩进行补砂、实施生态护岸等工程以修复岸线，其配套工程拦沙堤的建设将占用少量自然岸线，但工程属于生态修复工程，对环境保护有益，符合严控海岸带及无居民海岛利用、修复退化砂质岸线和保护修复典型生态系统的要求。

本项目珊瑚礁修复工程，需要对珊瑚礁进行重建，通过养护和保护促进潜堤周边珊瑚礁自然发育，逐步形成完整的珊瑚礁生态系统。本项目已制定较完善的跟踪监测计划，对项目周围珊瑚礁定期开展监测和调查，以达到修复珊瑚礁生态系统的目的，符合加强珊瑚礁生态系统保护和修复的要求。

建设单位已制定完善的跟踪监测计划，加强海洋生态环境监测，符合加强典型海洋生态系统常态化监测监控的要求。

本项目拟针对船舶油污配备必要的风险应急物资和人员，并与周围应急单位形成联动，定期开展应急培训，保障应急设备物资质量和储备，具备快速响应和应急监测能力。符合加强海洋突发环境事件应急能力建设的要求。

综上，本项目的建设符合《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》的管控要求。

9.7.3 与《三亚市“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性分析

（1）本项目涉及的《三亚市“十四五”海洋生态环境保护规划》主要内容

①总体目标：

一是提升自然岸线品质，近岸海域优良（一、二类）水质面积比例≥99.39%，天然红树林面积不减少，岸滩和近海海洋垃圾治理实现全覆盖，海洋风险防控体系健全；二是持续改善入海河流水质，入海排污口清理整治率达 100%，直排口达标排放率 100%，全面消除入海河流海水劣四类和地表水劣 V 类水体；三是修复清退后的沿海水

产养殖岸滩，修复侵蚀岸线，建设护岸工程，提升自然岸线品质，修复部分海域珊瑚礁和海草床；四是提升六大海湾环境风险防控能力，南山港、三亚港、太平洋油库码头等港口码头危险品泄露、船舶溢油事故应急能力总体提升。

②海洋生态修复行动

实施重要资源与生境保护修复行动，遏制海洋生态退化趋势。针对围填海工程、海岛开发建设、港口码头建设及生产运行对海洋生态环境的影响，实施一批珊瑚礁修复、海草床修复、增殖放流等工程，遏制海洋生态退化趋势，主要修复工程有：大茅河入海口海岸带养殖场生态修复和红树林保护工程、三亚湾人工补沙实验段拦沙堤工程、三亚湾西段砂质海岸保护修复工程、亚龙湾西段人工补沙项目、凤凰岛二期退填还海生态修复工程、大东海西侧补沙工程、东锣岛人工鱼礁区项目、小洲岛生态修复工程、南山港滚装码头围填海生态保护修复项目、红塘湾机场生态修复工程、三亚市海棠区藤桥河生态修复项目、后海生态修复工程、皇后湾湾护岸工程和东锣岛生态修复项目等 14 个修复工程。

表 9.7-3“十四五”期间三亚市涵养环境保护重点工程项目一览表（节选）

任务类别	项目名称	项目内容	牵头单位	总投资（万元）	完成时限
海洋生态修复行动	红塘湾机场生态修复工程	采用海洋生物人工增殖放流，珊瑚礁修复、重建 15hm^2 进行生态补偿。	三亚机场建设股份有限公司	12000	2025 年底前

表 9.7-4 重点工程项目、环境问题和目标指标对应（节选）

海湾（湾区）	拟开展的工程项目/政策措施						
	工程措施类别	工程措施名称	具体实施内容	具体实施区域对象	拟解决的突出问题	目标指标	责任单位
红塘湾	海洋生态保护修复	红塘湾机场生态修复工程	开展珊瑚礁生态系统修复重建工程	红塘湾机场区域	红塘湾机场围填海项目对珊瑚礁的影响	修复、重建 15 公顷珊瑚礁，实现生态补偿	三亚机场建设股份有限公司

（2）符合性分析

本项目位于红塘湾（见图 9.4-1），将通过人工补砂、建设生态护岸等方式对受损砂质岸线进行修复，工程实施后可提升自然岸线品质。同时，本项目属于“十四五”期间三亚市涵养环境保护重点工程项目，将在拆除工程周边通过投放珊瑚礁苗圃、珊瑚礁移植等方式修复珊瑚礁生态系统，符合总体目标中“修复侵蚀岸线，建设护岸工程，提升自然岸线品质，修复部分海域珊瑚礁和海草床”的要求。

综上所述，本项目的建设符合《三亚市“十四五”海洋生态环境保护规划》对海洋生态环境和海湾环境保护规划指标的相关要求。

9.8 其他相关规划符合性分析

9.8.1 与《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035年）》的符合性分析

2020年6月，国家发展改革委 自然资源部联合印发了《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035年）》。

（1）本项目涉及的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035年）》主要内容

海岸带生态保护和修复重大工程

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、柽柳等典型海洋生态系统保护修复、热带雨林保护、防护林体系等工程建设，加强互花米草等外来入侵物种灾害防治。重点提升粤港澳大湾区和渤海、长江口、黄河口等重要海湾、河口生态环境，推进陆海统筹、河海联动治理，促进近岸局部海域海洋水动力条件恢复；维护海岸带重要生态廊道，保护生物多样性；恢复北部湾典型滨海湿地生态系统结构和功能；保护海南岛热带雨林和海洋特有动植物及其生境，加强海南岛水生态保护修复，提升海岸带生态系统服务功能和防灾减灾能力。

专栏4-7 海岸带生态保护和修复重点工程
……
2 海南岛重要生态系统保护和修复 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。**
……

（2）符合性分析

本项目为围填海拆除及周围岸线、珊瑚礁生态修复工程。，拆除工程实施后海域将恢复自然属性；岸线修复工程实施后可改善因人工岛建设及海滩自然冲淤波动等造成的砂质岸线受损；珊瑚礁修复工程实施后可对珊瑚礁生态系统进行生态补偿。符合“推进‘蓝色港湾’“蓝色海湾”整治，开展退围还海还滩、河口海湾生态修复、红树林、珊瑚礁、柽柳等典型海洋生态系统保护修复”的要求。

故本项目的建设符合《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—

2035 年）》。

9.8.2 与《国家生态文明试验区（海南）实施方案》的符合性分析

2019 年 5 月，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》。

（1）本项目涉及的《国家生态文明试验区（海南）实施方案》主要内容

重点任务（节选）

（二）推动形成陆海统筹保护发展新格局

1．加强海洋环境资源保护。严格按照主体功能定位要求，加强海岸带保护，2019 年年底前编制完成海南省海岸带保护与利用综合规划，实施海岸带分类分段精细化管控，推动形成海岸带生态、生产、生活空间的合理布局。实施最严格的围填海管控和岸线开发管控制度，除国家重大战略项目外，全面停止新增围填海项目审批。加快处理围填海历史遗留问题。到 2020 年全省海岛保持现有砂质岸线长度不变。严控无居民海岛自然岸线开发利用。2020 年年底前编制完成海南省海洋自然资源资产负债表。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，加强海洋类型各类保护地建设和规范管理。在三沙市开展岛礁生态环境综合整治专项行动，实施岛礁生态保护修复工程。和监督考核，适时开展规划实施评估。建立规划动态调整机制，适应经济社会发展新需求。

（2）符合性分析

本项目拟将三亚红塘湾临空产业园二期等违规围填海区域拆除，推进加快处理围填海历史遗留问题；同时进行砂质岸线、珊瑚礁修复工程，有助于海洋生态系统和海洋生物多样性保护符合加强海洋环境资源保护的任务要求。

综上，本项目的建设符合《国家生态文明试验区（海南）实施方案》。

9.8.3 与《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》的符合性分析

《海南省人民代表大会常务委员会关于修改〈海南经济特区海岸带保护与开发管理规定〉的决定》已由海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十一次会议于 2016 年 5 月 26 日通过，现予公布，自 2016 年 6 月 1 日起施行。

2019 年 12 月，海南省人民代表大会常务委员会对《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》进行修改，并于 2020 年 2 月施行。

（1）项目涉及的《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》主要内容

生态保护红线区：（一）沿海区域自平均大潮高潮线起向陆地延伸最少二百米范围内的重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域；（二）沿海区域自平均大潮高潮线起向海洋延伸海岸带范围内的重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域。

对污染物排放的要求：任何单位和个人不得违反有关法律法规的规定向海岸带范围内的湿地、河口、潟湖、半封闭海湾等生态环境敏感区排放污水、倾倒废弃物和垃圾。

（2）符合性分析

本项目仅有红塘湾东部至天涯镇附近岸段及南山景区岸段的砂质岸线生态修复工程在生态保护红线区内，且符合生态保护红线相关要求，其余工程位置不涉及生态保护红线。

本工程各项污染物均可得到妥善处置，不排放、倾倒至生态环境敏感区。

综上，本项目的建设符合《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》的相关规定。

9.8.4 与《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》的符合性分析

2022 年 6 月，海南省人民政府发布了《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》（琼府[2022]22 号）。

（1）《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》主要内容

第七条 沿海区域自海岸线向陆地延伸最少 200 米（以下简称海岸带陆域 200 米）范围内的重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域，以及沿海区域自海岸线起向海洋延伸海岸带范围内的重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域，依法划入生态保护红线。

第八条 县级以上人民政府及其相关部门应当按照《海南经济特区海岸带保护与利用管理规定》等规定，对划入生态保护红线的海岸带实行严格保护和管控。

（一）海岸带陆域 200 米生态保护红线范围内的自然保护地核心保护区，原则上禁止人为活动，**依法经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**；

（二）海岸带陆域 200 米生态保护红线范围内除自然保护地核心保护区外的其他区域，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，因国家重大

战略项目、对生态功能不造成破坏的有限人为活动，选址无法避开海岸带陆域 200 米生态保护红线范围内除自然保护地核心保护区以外的其他区域的，按照国家和省生态保护红线管理有关规定执行；

（三）沿海区域自海岸线向海洋延伸海岸带的海域部分生态保护红线，按照国家和本省海洋环境保护和海域使用分级分类管理要求，严格控制围填海、污染物排放和其他改变或影响近岸海域自然属性和生态环境的开发活动。

第二十一条 严格控制海岸带污染物排放。任何单位和个人不得违反有关法律法规规定，超标准排放污染物，向海岸带排放污水、倾倒废弃物和垃圾，在海岸带范围内新建入海排污口。

（2）符合性分析

本项目仅有红塘湾东部至天涯镇附近岸段及南山景区岸段的砂质岸线生态修复工程在生态保护红线区内，且属于生态修复项目，符合生态保护红线相关要求，其余工程位置不涉及生态保护红线。

本项目各项污染物均可得到妥善处置，不会向海岸带排放污水、倾倒废弃物和垃圾，符合对污染物排放的要求。

综上所述，本项目的建设符合《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》的相关要求。

9.8.5 与《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》的符合性分析

2016 年 11 月海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过了《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》，并于 2017 年 1 月 1 日起施行。

（1）项目涉及的《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》主要内容

第十四条 禁止任何单位和个人在珊瑚礁自然保护区内围海造地和修建损害自然保护区的海上、海岸设施。

任何单位和个人不得占用、填毁珊瑚礁。因国家和本省重点建设工程的需要，必须占用、填毁珊瑚礁的，应当进行环境影响评价，依法办理审批手续。

环境影响评价报告中应当设专章评估建设工程对珊瑚礁生态环境的影响，提出相应的减少珊瑚礁损害的施工方案及应采取的保护措施，预防、控制或者减轻建设工程对海洋环境和海洋资源造成的影响和破坏，对受到影响的珊瑚礁提出生态损害赔偿方案。

（2）符合性分析

本项目拟拆除三亚红塘湾临空二期、三亚新机场起步工程、钢圆筒等违规围填海工程，并将为消除这些工程的建设环境影响对珊瑚礁进行生态损害补偿，不占用珊瑚礁自然保护区。本项目拆除工程及岸线修复工程将产生悬浮泥沙，但在布设拦污屏后大于 5mg/L 的包络范围将不会进入到南山角附近的珊瑚礁分布区，对现有珊瑚几乎无影响。

故本项目的建设符合《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》的相关要求。

9.9 政策符合性分析

9.9.1 与产业政策的符合性分析

本项目为围填海拆除及生态修复工程，根据国家发改委《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，属于“第一类鼓励类”—“四十三、环境保护与资源节约综合利用”—“2、海洋环境保护及科学开发、海洋生态修复”。本项目不属于《市场准入负面清单（2022 年版）》（发改体改规[2022]397 号）禁止准入的行业、工艺、产品及开发活动清单；不属于《海南省产业准入禁止限制目录（2019 年版）》（琼发改产业[2019]1043 号）中禁止类和限制类产业。

因此，本项目建设符合国家及海南省产业政策。

9.9.2 与《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析

（1）《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》内容节选

打造可持续海洋生态环境：

探索建立沿海、流域、海域协同一体的综合治理体系。严格围填海管控，加强海岸带综合管理与滨海湿地保护。拓展入海污染物排放总量控制范围，保障入海河流断面水质。加快推进重点海域综合治理，构建流域－河口－近岸海域污染防治联动机制，推进美丽海湾保护与建设。防范海上溢油、危险化学品泄露等重大环境风险，提升应对海洋自然灾害和突发环境事件能力。完善海岸线保护、海域和无居民海岛有偿使用制度，探索海岸建筑退缩线制度和海洋生态环境损害赔偿制度，自然岸线保有率不低于 35%。

专栏 14　重要生态系统保护和修复工程
07 海岸带 以黄渤海、长三角、粤闽浙沿海、粤港澳大湾区、**海南岛**、北部湾等为重点，**全面保**

护自然岸线，整治修复岸线长度 400 公里、滨海湿地 2 万公顷，营造防护林 11 万公顷。

（2）符合性分析

本项目为围填海拆除及生态修复项目，包含受损砂质岸线修复工程，不占用自然岸线，不降低自然岸线保有率，施工范围无需保护的滨海湿地。本项目施工期产生的污废水可得到妥善处置，不入海。建设单位已制定较完善的环境风险应急预案，并与周围的应急力量形成联防联控，有能力应对海洋自然灾害和突发环境事件。

综上所述，本项目符合《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》要求。

9.9.3 与《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》的符合性分析

2021 年 1 月，海南省第六届人民代表大会第四次会议审查批准《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》。

（1）《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》内容节选

加强重要生态系统保护和修复

坚持保护优先、自然恢复为主，推进重点区域生态修复，提升生态系统质量和稳定性，维护生物多样性，加强海岛防疫，防止外来有害生物入侵，筑牢生态安全屏障。

实施其他重要生态系统保护与修复。按照自然生态系统整体性、系统性及其内在规律，优先加强国家公园、自然保护区等各类自然保护地建设。推行林长制。实施天然林保护、南渡江昌化江万泉河三大流域综合治理和生态修复、水土流失综合防治、沿海防护林体系建设等重要生态系统保护和修复重大工程，加强重点生态功能区、重点流域生态保护修复，统筹实施滨海湿地，特别是红树林、珊瑚礁、河口、潟湖、岛屿等各类重要生态系统生态修复工程项目。有序推进矿山生态修复。实施以乡镇为基本单元的全域土地综合整治，优化农村生产、生活、生态空间。

（2）符合性分析

本项目拟进行违规围填海拆除工程、砂质岸线修复工程及珊瑚礁修复工程。拆除工程实施后将恢复海域自然环境，珊瑚礁修复有助于海洋生态环境的保护，符合加强重要生态系统保护和修复的要求。

综上所述，本项目的建设符合《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和

二〇三五年远景目标纲要》。

9.9.4 与《三亚市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》的符合性分析

2021 年 6 月，三亚市七届人大八次会议审议通过《三亚市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》

（1）项目涉及的《三亚市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》主要内容

强化用海管理。高标准修编海洋功能区划，实施严格的围海总量控制和规范审批程序，除国家和省重大基础设施建设、重点民生项目和重点海域生态修复治理项目外，严禁围填海。对可开发利用海域和无居民海岛，严格环境准入与环境保护要求。实行海岸线资源分类保护利用，建立健全基于生态系统的海岛综合管理体系，合理控制海岛开发建设，推行岛长制，加强海岛管理保护。加快三亚海域基准价格评估，为海域资源使用提供基准价格信息。探索海域资源交易市场建设，探索招拍挂等方式为主的海域资源出让使用模式。

强化基本生态控制线管理，加大全域生态环境保护和生态修复力度，探索建立山水林田湖草海系统修复和综合治理机制。

（2）符合性分析

本工程拟进行红塘湾临空产业园二期等违规围填区域拆除，拆除后该海域恢复原状，符合强化用海管理的要求。本工程拟进行岸线及珊瑚礁修复工程，扎实推进了海岸带、珊瑚礁生态修复，符合推进全域生态保护的要求。

综上，本工程符合《三亚市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》。

9.9.5 与《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021-2025 年）》的符合性分析

2021 年 6 月，海南省自然资源和规划厅发布了《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021-2025 年）》。

（1）《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021-2025 年）》内容节选

南部：海洋旅游与高新技术产业增长极。包括三亚、陵水和乐东 3 市县及周边海域，建设具有全球影响力的海洋科技教育创新中心、具有世界竞争力的海洋旅游示范区。

强化海岸线、海域、无居民海岛保护。对海岸线实施分类保护与利用，严格保护自然岸线，严控生产岸线，对建设项目占用自然岸线实行“占用与修复平衡”制度，整治修复受损岸线，严控无居民海岛自然海岸线开发利用。加强围填海管控，海洋生态保护红线区范围内全面禁止实施围填海。除国家重大战略项目、省政府为落实党中央、国务院、中央军委决策部署提出具有重大战略意义的围填海项目外，在我省管辖海域全面禁止填海造地。加强无居民海岛保护和管理，已开发的要严格监管，严格管控新增无居民海岛开发利用。

加大海洋生态修复整治力度。实施海洋生物养护工程，严格执行近海海域禁渔、伏季休渔制度，加强南海海域重要海洋生物繁殖场、索饵场、越冬场、洄游通道及水产种质资源保护区的保护和修复。实施河口、海湾、海岛、海岸带、珊瑚礁、红树林、海草床等重要生态系统的保护与修复。保护修复东寨港、清澜港、铁炉港、新英湾等红树林生态系统，保护修复文昌、琼海、陵水、三亚等区域珊瑚礁、海草床和沿海自然岸线等，实施重要流域入海河口综合治理和生态修复。持续稳妥处理全省围填海历史遗留问题。

（2）符合性分析

本工程拟进行红塘湾临空产业园二期等违规围填海区域的拆除工作，拆除后恢复为海域。本工程拟进行岸线及珊瑚礁修复工程，扎实推进了海岸带、珊瑚礁生态修复，符合强化海岸线、海域、无居民海岛保护和加大海洋生态修复整治力度的要求。

综上，本项目的建设符合《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021-2025年）》。

9.9.6 与围填海管控政策的符合性

（1）本项目涉及的围填海相关政策内容

2018 年 7 月，国务院发布《国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》（国发〔2018〕24 号）

要求：“ 四、加强海洋生态保护修复（十）强化整治修复。制定滨海湿地生态损害鉴定评估、赔偿、修复等技术规范。坚持自然恢复为主、人工修复为辅，加大财政支持力度，积极推进“蓝色海湾”、“南红北柳”、“生态岛礁”等重大生态修复工程，支持通过退围还海、退养还滩、退耕还湿等方式，逐步修复已经破坏的滨海湿地。”

根据《围填海项目生态保护修复方案编制技术指南(试行)》，“围填海项目生态保护修复应根据项目实际情况，选择海岸线、滨海湿地、海洋生物资源、水文动力和冲

淤环境、海岛生态系统等作为生态保护修复重点。对严重破坏海洋生态环境需要拆除的，还应关注海洋生境重建。同时，拆除方案应从海洋生态保护角度进行比选分析，给出推荐方案。”

（2）符合性分析

本项目积极开展生态修复研究，在确定对红塘湾临空产业园二期违规围填部分、新机场人工岛起步工程违规围填部分、新机场人工岛钢圆筒试验段、临空产业园与新机场人工岛起步区之间的施工便桥等项目拆除后，进行了多方案比选，并给出了推荐方案。本项目通过退填还海的方式，逐步修复已被破坏的海洋生境。拆除工程进行同时将开展岸线及珊瑚礁生态修复工作，持续改善海洋生态环境质量。

综上所述，本工程符合围填海管控政策的相关要求。

9.10 工程建设合理性分析

9.10.1工程选址的合理性分析

本项目建设紧紧围绕三亚红塘湾新机场项目整治工程进行红塘湾临空产业园等违规填海部分拆除，同时针对海洋生态存在的问题和薄弱环节，开展相关修复工程，以整体提升红塘湾的海洋生态功能，促进人与自然的和谐发展，故不进行拆除工程选址合理性分析。

9.10.1.1 砂质岸线修复工程

本项目岸滩修复选择人工岛围填海实施以来已形成冲刷的人工岛掩护区西侧约 2km 岸段和东侧约 2km 岸段。同时考虑红塘湾东部至天涯镇附近岸段长期冲刷，海滩岩广泛出露的冲刷现状，以及南山景区长期冲刷的约 2km 岸段。本项目修复岸段选址及合理性分析如下：

（1）临空产业园东侧至天涯社区岸段

该岸段处于临空产业园人工岛掩护区以东，是人工岛包括人工岛影响下的冲刷岸段和靠近天涯社区附近的自然冲刷岸段。目前处于冲刷状态的岸段全长约 3.8km，海滩岩时有出露，海滩宽度不足 10m，后方沙坝冲刷塌落严重，已危及沙坝上的防护林。该岸段近岸浅水区珊瑚礁分布较少。因其中有其他项目建设，本工程布设位置在红塘湾东部约 1.15km 岸段与天涯镇附近约 0.5km 岸段，共计 1.65km 岸段

综上，该岸段侵蚀严重，岸线修复将产生的次生影响较小，宜进行岸线修复。

（2）临空产业园一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸岬角之间长约 2km 的岸段。

该岸段在工程前即处于冲刷状态，岸线全长约 2km，全岸段海滩岩全面出露。受人工岛围填影响，冲刷加剧，近 5 年来平均冲刷后退在 5m 左右。虽然 2019 年之后冲刷明显减缓，但冲刷的趋势依旧，有必要进行人工补沙。同时，因该岸段近岸珊瑚礁发育较好，人工补沙宜采用滩肩补沙形式，形成高滩肩，并部分修复后方沙丘。

综上，该岸段受冲刷较为严重，且修复措施将考虑近岸珊瑚礁，选用合理人工补砂方式，并可修复后方沙丘，修复岸段选择合理。

（3）南山景区岸段

南山景区岸段冲刷已久，海滩岩基本全线出露，后方沙坝高程达 10m 以上，因根部淘刷塌落严重，危及上部的防风林。但景区外海滩现状分布很窄，海滩岩出露范围局部可达+2.5m 左右。因该岸段为一个独立的海湾，尽管凹入深度不大，但两端均为基岩海岸固定岬角，形成长约 2.5km 的沙滩岸线。冲淤情势看，目前南山观音人工岛西侧岸段冲刷更为明显，局部海滩岩断开，后方沙坝在大风浪作用下淘刷根部后坍塌较多；东部海滩岩完整连续且分布较高，对后方沙坝形成较好掩护。

该海岸虽然是两侧有固定岬角的独立海湾，但因两侧岬角均较短，海湾凹入深度有限，在斜向波浪作用下容易形成向两侧基岩岬角外围深水区流失。在海滩东端的鸭仔塘口门附近，常因泥沙在此堆积堵塞鸭仔塘口门，旱季内侧多为“死水”，水质难以保障。

该岸段在有必要实施人工补沙修复的同时，为控制海滩泥沙流失并影响东侧发育较好的珊瑚礁，也为改善鸭仔塘内的水交换环境，在海滩东端的基岩附近增设拦沙堤也是十分必要的。

综上，该岸段受冲刷较为严重，且将通过设置拦沙堤的形式减轻对附近珊瑚礁的影响，改善鸭仔塘内水文交换，修复岸段选择合理。

9.10.1.2 珊瑚礁修复工程

（一）珊瑚礁修复区选址

根据造礁石珊瑚生长特性，需要阳光进行光合作用，另外根据三亚湾造礁石珊瑚普遍分布的深度，所以修复区选址还需要合适的水深。水深在 0m~-6m 适宜珊瑚礁生长的硬质浅水片区有：

片区 1：临空产业园围堰西侧约 5ha，水深在 0m~-6m，其中北段外侧有较多扭王字块：露出水面约有 40 个，水下估计有 100 个；

片区 2：临空产业园围堰南侧约 3ha，水深在 0m~-6m，外围没有扭王字块；

片区 3：临空产业园围堰东侧约 5ha，水深在 0m~-6m，外围基本上没有扭王字块；

片区 4：原来的新机场起步区抛石围堰西侧和南侧约 1ha，有较多扭王字块：露出水面约有 100 个，水下估计有 200 个；

片区 5：原来的新机场起步区 2 片沉箱区，面积有 0.4 +0.2=0.6ha。将来拆除需要切割至-4m 水深，沉箱拆除以后的顶部应该是硬质基底，可能有混凝土碎块。沉箱区由于靠外海，离岸边有 4.5km，因此海浪较强。

以上是 5 个可供选址的片区，本项目选择片区 5 的部分区域和片区 5 作为本项目珊瑚礁生态修复的选址。

围堰片区 2 和片区 3 主要是大小不等的石块组成，底质不够稳固，需要补充较多的人工礁体或者扭王字块作为珊瑚生长的稳固基底，所以没有选择片区 2 和片区 3。片区 4 是原来的新机场起步区西侧和南侧的抛石围堰，也有很多扭王字块，但是这片区域非常狭窄陡峭，面积也小，所以没有选择片区 4 作为本项目的珊瑚移植区。

本项目选择的珊瑚礁生态修复珊瑚移植区包括临空产业园围堰西侧（围堰修复区）和原来的新机场起步区的 2 片沉箱区（沉箱修复区）2 个部分，其中围堰修复区 3.4ha，沉箱修复区 0.6ha，2 个珊瑚移植区面积合计 4ha：

A.围堰修复区（3.4ha），位于临空产业园围堰西侧，总面积约 5ha，水深在 0m~-6m，本项目选择其中北段的 3.4ha 作为其中一个修复区。主要是因为这一段围堰外侧有较多扭王字块（露出水面约有 40 个，水下估计有～100 个），扭王字块是稳固的硬质基质，可以提供良好的珊瑚生长基底，围堰中间碎石区通过少量投放人工礁体（拟投放 500 个人工礁体）也可以提供珊瑚生长基底进行珊瑚礁修复。

B.沉箱修复区（0.6ha），位于原来的新机场起步区的 2 片沉箱区，分别称为沉箱修复区 1 和沉箱修复区 2，面积分别为 0.4ha 和 0.2ha，2 个沉箱修复区合计 0.6ha。大的一片沉箱修复区 1 位于栈桥末端，有 0.4ha；小的一片沉箱修复区 2 位于起步区的东侧，有 0.2ha，因此二片合计面积有 0.4 +0.2=0.6ha。

沉箱将来拆除切割至-4m 水深，沉箱拆除以后的顶部大部分为硬质基底，可能还有混凝土碎块。沉箱区离岸边有 4.5km，海浪很强，不利于珊瑚附着和生长，在这里进行珊瑚礁生态修复可能需要投放少量扭王字块，并提供珊瑚生长基底。

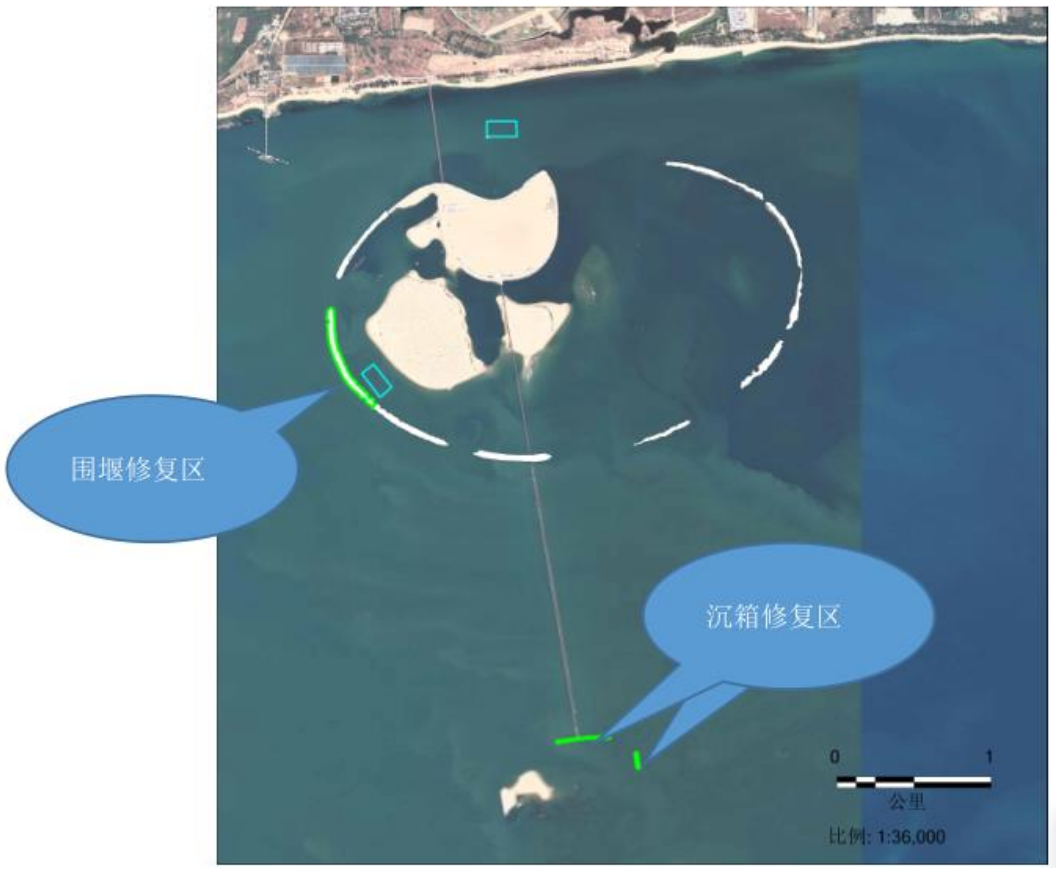


图 9.10-1 本项目珊瑚礁生态修复区珊瑚移植区选址（绿色框，共 4ha）

（二）珊瑚苗圃区选址

本项目需要建设 600 个水下苗圃，培育珊瑚苗 60000 株以上，因此规划 2 个珊瑚苗圃培育区，深水苗圃区和浅水苗圃区各 2ha，合计 4ha。苗圃区的选址主要是考虑集约化和操作的便利性，因此为保证珊瑚苗种的存活率，以及便于后续工作开展，苗圃建立原则上不宜距离修复区域太远，同时海浪海流不能太强，浅水苗圃区水深条件为 2～5m，深水苗圃区水深条件为 8～15m 由此考虑，浅水苗圃区位于莲花岛北，深水苗圃区位于围堰修复区附近选择合适地点进行苗圃构建。

本项目选址的“浅水苗圃区”在原生礁盘边缘的 4～6m 水深处，“深水苗圃区”在围堰修复区旁边水深 10～12 米，这两个地方水流和海浪均合适，水质良好，符合苗圃水深条件，其他不利因素较少，故适宜作为珊瑚礁苗圃区。



图 9.10-2 本项目珊瑚苗圃区（蓝色框）选址（共 4 公顷）

9.10.2平面布置合理性分析

9.10.2.1 平面布置原则

按照《三亚红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》及《红塘湾违法填海项目生态修复方案研究》中平面布置进行设计，在此基础上合理优化。

生态优先：在总平面布置中，要以恢复生态系统为主要目标。优先保留和恢复原有的海洋湿地、岸线景观等生态环境，保护和增加生物多样性，提供恢复自然生态功能的条件。

空间合理利用：在总平面布置中，应合理利用围填海区域的空间资源考虑到土地的多种用途，可以根据当地的土地规划和发展需求，确定合适的用地功能，如农业、渔业、旅游等，使得资源能够最大化地发挥经济效益和生态效益。

连续性和连通性：总平面布置中应注重生态系统各部分之间的连续性和连通性。

通过合理的布局和设计，使得不同生态区域之间能够形成连续的生境，有利于物种的迁移和繁衍，维持生态系统的稳定。

可持续发展：总平面布置应符合可持续发展的原则。考虑到各种生态和社会因素，要综合考虑经济、环境和社会发展的可持续性，平衡各种利益的关系，确保长期的生态和经济效益。

本项目建设紧紧围绕红塘湾海洋生态环境的保护和修复，针对海洋生态存在的问题和薄弱环节，开展相关修复工程，以整体提升红塘湾的海洋生态功能，促进人与自然的和谐发展，故不进行平面方案比选。

9.10.2.2 平面布置方案

（一）拆除工程

本项目拆除工程平面布置方案根据《三亚市红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证报告》确定，从岸滩影响角度，临空产业园一期人工岛南侧和西侧较高的区段拆除至理论基面 0m 附近较为适宜，不致引起岸线的进一步大的调整；临空产业园人工岛以东的区段，现状整体相对较低，东北部围堰可拆除至更低以期进一步减小对岸滩冲淤的影响，从各影响要素的比较而言，拆除至-1m 较为适宜。具体布置如下图所示：

临空产业园一期以南和以西部分吹填区和 1472m 围堰高出理论基面 0m 的部分拆除至理论基面 0m；临空产业园一期人工岛东侧 796m 围堰拆除至-1m，临空产业园总拆除砂石量 233.50 万方。剩余的沙体可整体自然冲刷降低至理论基面-4m 左右达到基本稳定状态。

三亚新机场填海项目起步工程填海部分和抛石围堰拆除至理论基面 0m，恢复海域自然属性，拆除砂石量约 6.46 万方；三亚新机场填海项目起步工程东、北护岸 15 个混凝沉箱拆除至理论基面-4m，作为珊瑚礁修复的礁基。

三亚新机场填海栈桥工程 3.1km 钢栈桥拆除至现状海床，恢复海域原状。

三亚新机场人工岛工程南护岸试验段 19 个钢圆筒和 17 对副格及内部回填砂拆除至现状海床，恢复海域原状。

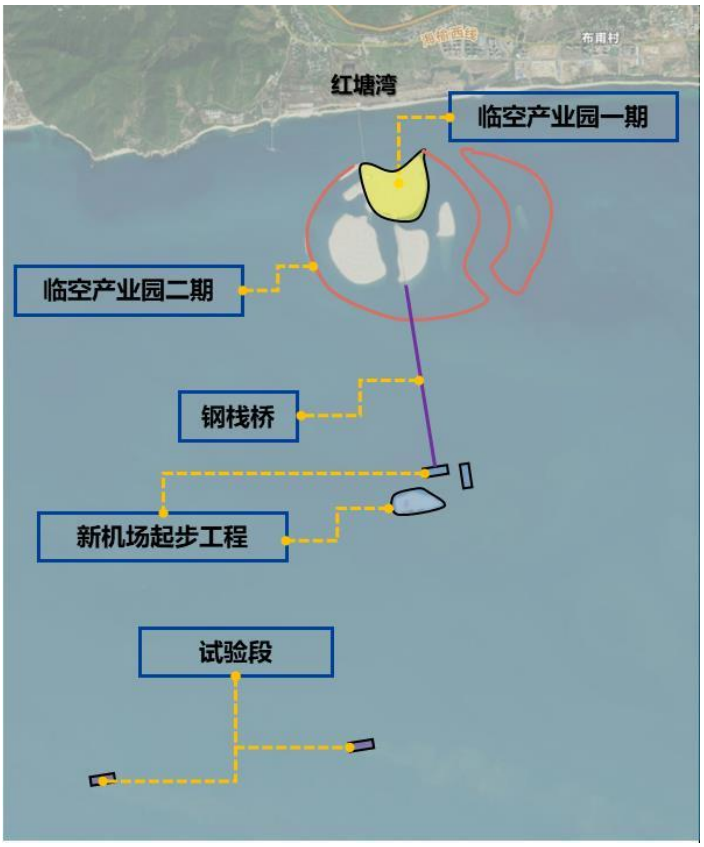


图 9.10-3 拆除工程平面布置图

（二）砂质岸线修复工程

本次砂质岸线修复工程根据现场实际情况和补砂修复方案，共分为岸滩补沙工程、沙丘补砂及生态护岸工程和新建拦砂堤工程三项内容。

岸滩和沙丘补沙主要在岸滩冲刷严重、沙丘冲刷后退明显的区段。根据岸滩监测结果，天涯镇以西至本项目东侧的冲刷段长约 3.5km 岸段，后方原有沙坝高约 6~8m，围填海工程实施前已有一定冲刷，海滩岩出露，沙坝植被破坏；人工岛掩护区西侧至塔岭长约 2km 岸段长期处于冲刷状态，人工岛建设后冲刷加剧，近年来随着海滩岩出露后的保护作用冲刷明显减缓，但仍亟待修复；南山景区岸段长约 2km 岸段虽处于已围填工程影响范围之外，但冲刷状况仍很严重，后方高达 10m 以上的沙丘不停的塌落，青皮林受损严重。

岸滩补砂范围为人工岛围填海实施以来已形成冲刷的人工岛掩护区西侧约 2km 岸段（临空产业园一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸呷角）和红塘湾东部至天涯镇附近岸段长期冲刷，海滩岩广泛出露的冲刷现状，约 3.8km 岸段。因其中有其他项目建设，本工程在此岸段两端进行布设，即红塘湾东部约 1.15km 岸段与天涯镇附近约 0.5km 岸段，共计 1.65km 岸段（已建拦沙堤至天涯社区岸段）以及南山景区长期冲刷

的 2.24km 岸段（南山景区岸段）。

计划开展砂质岸线补砂总计约 6390m。

（2）沙丘补沙及生态护岸

后方沙丘冲刷塌落并造成青梅树损失也是本海岸冲刷的重要表现之一。高程达 10m 以上的沙丘，其冲刷的主要过程是高潮大浪阶段波浪淘刷沙丘根部泥沙引起。因此，在沙丘冲刷严重的岸段，补沙修复完成后仍需对沙丘根部实施生态护岸工程。生态护岸尽可能将与下方的海滩岩作为基础，具有植被生长的功能，坡度平缓，有利于海陆生态平缓过渡。生态护岸修复拟在南山景区的南海观音人工岛以西岸段、临空产业园一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸呷角以及已建拦沙堤至天涯社区岸段实施。

计划开展生态护岸工程长度约 3980m。

（3）拦沙堤

本岸段的岸滩冲淤，除自然冲刷外，冲淤较大的岸段主要是人工岛建设引起的沿岸输砂格局调整，形成自东西两侧向人工岛掩护区输砂的趋势。从减小沿岸输砂影响的角度，在临空产业园一期外围填海区拆除后成为离岸潜堤的背景下，主要考虑在东侧的担油港附近和西侧的连岛栈桥附近实施拦沙堤工程。

本岸段涉及南山景区东端的鸭仔塘河口，河口内侧水域不大，有一定渴湖特性，但因岸滩冲淤调整剧烈，河口时有堵塞，特别是在枯季降水量少的情况下，河口经常连续淤塞，内侧水交换条件差。本次砂质岸线修复工程实施后岸滩泥沙量更多，将对河口造成更多不利影响。因此，在河口建设拦沙堤保护河口通畅，改善口内水交换条件。

拟建拦沙堤 3 座。

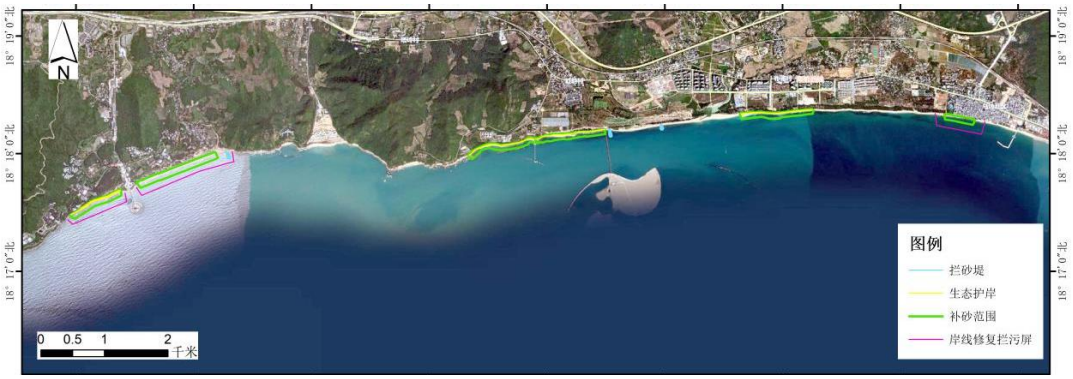


图 9.10-4 砂质岸线修复工程平面布置图

（三）珊瑚礁修复工程

根据 2023 年 2 月水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院完成的《三亚

红塘湾违规围填海项目环境影响评估及优化措施论证》报告，本项目需要重建不少于3.7 公顷的珊瑚礁，这些重建的珊瑚礁作为进一步生长的种子，通过养护和保护，促进潜堤周边珊瑚礁自然发育，逐步形成完整的珊瑚礁生态系统。

近期珊瑚礁外业调查在临空产业园（莲花岛）和起步区工程周边围堰石块上发现有造礁石珊瑚自然生长，因此充分利用临空产业园和起步区周边的围堰形成的离岸潜堤和潜堤内适宜水域作为珊瑚礁修复重建的场所是合理的。

珊瑚礁修复工程具体布置如下：



图 9.10-5 珊瑚礁修复平面布置图

9.10.3环境影响可接受性分析

本项目属于生态修复工程，工程的实施有利于促进环境友好空间格局的形成。本项目南山景区岸段修复工程，所在岸段位于生态保护红线内，但工程目的为对受损岸滩进行修复，不破坏生态环境，符合生态保护红线等各项管控要求。

本项目各项污染物得到妥善处理，不排海，加强施工期溢油风险防范措施，施工期溢油风险可控，建设单位拟设置环境监理，并预留足够的资金，可保证相应防治措施得到落实。从环境保护的角度，该项目建设产生的环境影响是可接受的。

10 环境管理与监测计划

10.1 施工期环境管理

通过实施环境管理，制定并落实建设项目环境监理、监测计划，对项目建设施工全过程进行环境管理和环境监测，及时发现与项目建设有关的环境问题，对环保措施进行修正和改进，保证全过程环保工程措施的有效运行，使项目的建设和环境、资源的保护相协调，保障经济和社会的可持续发展。

施工期的环境管理更多的是承包商的责任，然而建设单位必须确保每一位承包商遵守各项与环保相关的条例、管理规定，如《建设工程施工现场管理规定-文明施工管理、环境管理》，在工程招标过程中最好选择取得 ISO9000 和 ISO14000 认证的企业，并且要求投标人要有健全的环境保护机构，在施工组织文件中要有详细的环境保护措施和方案。工程发包时，业主需要与各承包商签订环境保护目标责任书，并且最好委托专业的环境咨询机构执行环境监理工作，确保施工过程产生最小的不良环境影响和零投诉率。

10.2 施工期环境监理

10.2.1施工期环境监理组织

（1）施工期环境监理是在项目施工期实施的环境保护措施。施工期环境监理工作应由建设单位委托具有相应资质的施工监理机构，要求施工监理机构配备专职环境保护监理工程师，负责施工期的环境管理与监督。

（2）环境监理单位应成立环境监察工作小组，实施环境监察审核具体工作。

（3）环境监理工作小组应根据环评报告书中环境监理内容及项目建设实际情况，提出环境监理工作计划，并报送相应环境管理部门和建设单位。

10.2.2环境监理遵循的原则

从事工程建设环境监理活动，应当遵循守法、诚信、科学的准则。确立环境监理是“第三方”的原则，应当将环境监理和业主的环境管理、政府部门的环境监督执法严格区分开来，并为业主和政府部门的环境管理服务。监理工作中应理顺和协调好业主单位、施工单位、工程监理单位、环境监理单位、环境监测单位及政府环境行政主管部门及各方面的关系，为做好环境监理工作创造有利条件。

监理单位应根据工程特点，制定符合工程实际情况规范化的监理制度，使监理工作有序展开。

10.2.3环境监理范围及阶段

（1）环境监理范围

工程项目拆除区与工程直接影响区域，包括拆除主体工程、转运运输过程、拆除物料临时存储。

监理内容：包括生态保护、水土保持、污染物防治等环境保护工作的所有方面，以生态环境保护（珊瑚移植修复、砂质岸线修复、海洋环境跟踪监测）和水保措施的落实为重点。

监理内容：包括海洋生态环境保护、污染物防治、水土保持、地质灾害防治、以及社会环境等环境保护工作的所有方面，以海洋生态环境保护和水保措施的落实为重点。

（2）监理阶段

本项目的工程环境监理阶段分为施工准备阶段、施工阶段以及工程保修阶段（交工验收及缺陷责任期）三个阶段。

（3）环境监理的工作程序

本项目的环保监理工作程序见图 10.2-1。

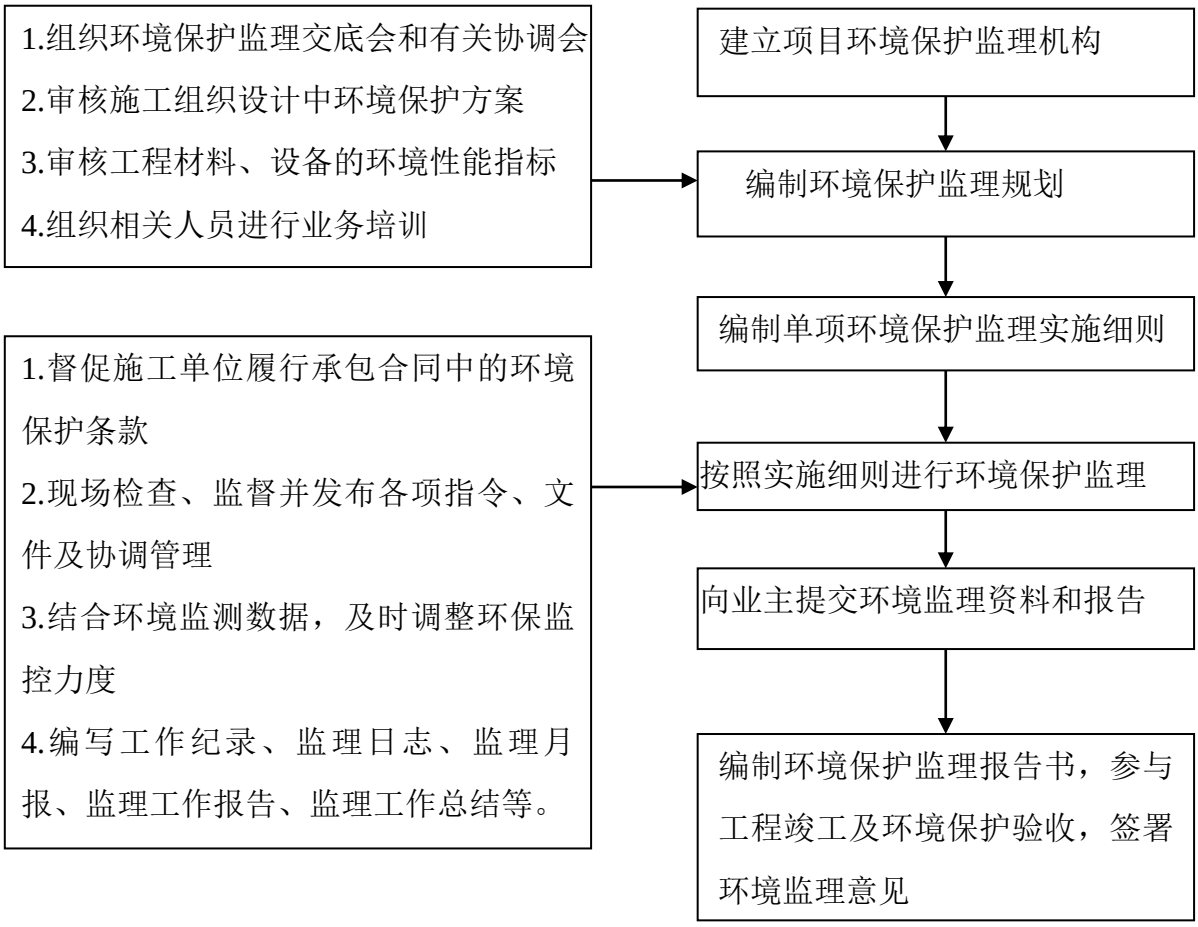


图 10.2-1 监理的工作程序图

10.2.4环境监理工作方式

根据本工程施工范围大、工期相对较长的特点，环境监理应按照施工进程实施动态管理。环境监理工作方式以日常巡视为主，辅以必要的环境监测，以便及时调整环保监控力度。对主要污染工序进行全过程的旁站监理，确保各承包商的施工行为符合有关环保法律、法规和合同中环境保护条款的规定。

对于环评中的相关要求和内容，环保监理人员应在开工前熟悉与工程有关内容。

10.2.5环境监理机构及工作制度

拟建项目可参照主体工程监理的组织管理体系设置环境监理组织机构。设立环保总监，主管工程环境监理工作；成立环监办负责组织实施；设立各环监代表处和环监驻地办，具体承担环境监理任务。现场环境监理工程师由驻地办专业监理工程师兼任。

环境监理的工作制度主要包括：工作记录、人员环境培训、报告、函件来往、例会、环境监理奖惩以及环境监理资料归档等制度。

10.2.6环境监理重点

工程环境监理主要包括环保达标监理和环保工程监理。环保达标监理是使主体工程的施工符合环境保护的要求，如污水、噪声、废气等排放应达到有关的标准等。环境监理包括生态保护、水土保持、污染物防治等环境保护工作的所有方面，以海洋生态环境保护（珊瑚移植修复、人工鱼礁投放、海洋环境跟踪监测）和水保措施的落实为重点。

环境监理工程师除应根据本监理重点开展工作外，还应根据工程施工的实际情况采取相应的临时措施。

（1）环保达标监理

1）施工准备阶段

施工准备阶段的主要环境监理内容是：检查施工合同中环境保护条款落实情况，审查施工组织设计中的环保措施，与建设单位、设计单位、工程监理单位、施工单位一同进行工程区、施工场地、施工便道现场核对优化以及对施工环保措施的审查等。其监理要点见表 10.2-1。

表 10.2-1 施工准备阶段环境监理重点

施工活动	监理重点	监理方法
施工招投标	编制工程环境监理工作计划	文件审查
	复核施工合同中的环保条款	文件复核
	复核施工标段现场环境敏感点和保护目标	现场巡视、记录
	审查承包商的施工组织设计中的环保措施	文件审查
	审批承包商的施工期环境管理计划	文件审查
	审查分项工程开工申请中的施工方案及相应环保措施	文件审查
临时材料堆放场	检查材料仓库和临时材料堆放场防止物料散漏的污染措施	巡视

2）施工阶段

施工期是环境监理的重点阶段，其监理要点见表 10.2-2。

表 10.2-2 建设与施工工艺控制监理内容

单位工程	监理地点	监理方法	监理重点及内容
拆除工程	施工范围	巡查	①检查施工工艺是否环评报告书一致，如拆除时序安排、拆除工艺、拆除机械等； ②检查拆除工程及砂质岸线修复工程所在海域是否按照有要求布设拦污屏，拦污屏是否经常进行检查和更换； ③检查是否落实环评报告书环保措施（包括粉尘、噪声等减缓措施）； ④检查是否在施工前先对周边珊瑚进行异地移植。
运输过程	施工船只	检查及巡查	①核对施工船只的证件是否齐全。

单位工程	监理地点	监理方法	监理重点及内容
			②检查是否按照环评报告书的要求，设置污水和垃圾收集设施，是否由有资质单位的船舶进行转运处理。 ③检查施工船只运输过程是否存在跑冒滴漏问题。
砂石物料堆放	堆放点	巡查	①检查砂石物料是否运至报告书要求的制定的位置 ②检查材料堆放是否采取遮盖措施 ③检查堆放点四周是否设置排水沟以及必要过滤、防渗措施
珊瑚礁修复工程	珊瑚移植区、苗圃区、投礁区	检查及巡查	①检查是否编制珊瑚修复方案和落实珊瑚修复工作； ②检查是否开展珊瑚修复效果跟踪调查和效果评估工作； ③检查是否按照环评报告书要求开展海洋跟踪监测和调查； ④检查是否按照要求投放增殖放流，并对效果进行评估。
砂质岸线修复工程	修复岸段	检查及巡查	①检查是否编制砂质岸线修复方案和落实岸线修复工作； ②检查是否开展岸线修复效果跟踪调查和效果评估工作； ③检查是否按照环评报告书要求开展岸滩地形跟踪监测和调查；

3）竣工验收阶段

竣工验收阶段的环境监理工作主要包括：施工场地、施工便道、拌合站等临时用地清场及恢复措施监理；环保工程、生态补偿等的落实情况监理，环境监理预验收工作，整理资料，编写总结报告，协助业主准备竣工环保验收工作等。

（2）环保工程监理

环保工程与其它围填海主体工程一样，实施质量、进度和费用监理，其中重点为质量监理，监理要点为：

1）检查环境工程设施设计单位的环保专业设计资质；

2）检查环境工程设计图纸的完整性；

3）检查设施的环境效果是否达到相应设计要求。

10.2.7环境监理文件编制

（1）环境保护监理计划编制

环境保护监理计划是环境保护监理单位接受业务委托之后，监理单位应根据合同、环评要求、施工计划及工程的实际情况，制定本项目环境保护监理计划，明确环境保护监理工作范围、内容、方式和目标。

（2）环境保护监理实施细则编制

环境保护监理实施细则是在环境保护监理规划的基础上，由项目环境保护监理机构的专业环境保护监理工程师针对建设工程单项工程编制的操作性文件。本项目应根据工程实际情况及环评要求编制环境保护监理实施细则。

（3）环境保护监理总结报告编制

环境保护监理工作完成后，项目环境保护监理机构应及时进行监理工作总结，向建设单位提交监理工作总结，主要内容包括：委托监理合同履行情况概述，监理任务或监理目标完成情况评价。

10.2.8环境监理考核

建设单位每半年对环境监理工作进行一次考核，主要考核对国家和地方有关的环境保护法律、法规和文件以及指挥部相关文件的执行情况、环境监理工作开展情况和各施工单位施工现场环境保护和水土保持的现状。环境监理工作完成后，应及时提交就工程环境监理情况的总结报告，该报告作为环保单项验收的资料之一。建设单位在环境保护单项工程考核和验收时，应请项目主管及地方环保单位、海洋、渔业、海事管理部门有关人员参加。

10.2.9环境监理档案管理

环境监理档案应包括环境监理文件和监理资料等。

（1）环境监理文件主要包括：环境保护监理规划、环境保护监理实施细则、环境保护监理总结报告等。

（2）环境监理资料主要包括：

①日常工作记录：主要记录当天环境监理的工作内容、发生环境影响时采取的措施以及执行情况等；

②环境监理月报：主要对本月的监理工作进行汇总总结，记录本月环境监理工作内容，施工中发生环境影响时采取的措施以及执行情况等；

③与业主、施工单位往来函件及与工程环境监理有关的其它资料。

环境监理档案的管理应制定相应管理制度，专人负责本项目各类环境监理资料的收集、分类、整理与归档，作为工程环境保护验收的重要资料及环境管理的重要资料。

10.3 环境监测计划

环境监测是实施环境管理和监督的手段，也是对环境影响评价结果进行验证的重要手段。环境监测计划包括环境监测的项目、频次、监测实施机构、监督机构等内容。建设单位应切实落实本评价提出的跟踪监测计划，如在跟踪监测的过程中发现异常，应及时上报海洋行政主管部门，并及时采取防治措施。

10.3.1海洋环境质量跟踪监测与评价

根据工程分析结果，施工各阶段产生污染物对海水水质环境、沉积物及海洋生态环境产生一定的影响，为了掌握工程建设对海洋环境质量的影响程度，施工期各阶段及施工结束后，应根据建设项目海洋环境质量现状监测相关规定实施海水水质、沉积物、海洋生态环境的跟踪监测，具体监测计划见表 10.3-1。

表 10.3-1 海洋环境监测计划一览表

监测项目	监测内容	站位布设	站位布设目的	监测频次	监测方法
海水水质	水温、pH、盐度、悬浮物、生化需氧量、溶解氧、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷	11 个，见图 10.3-1	监控工程海域水质环境质量	施工期春、秋季各监测 1 次；施工结束后每年春、秋季各监测 1 次，连续监测 3 年	《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）《海洋监测规范》（GB17378-2007）《海洋渔业调查规范》（SC/T 9403-2012）
海洋沉积物	总有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷	6 个，见图 10.3-1	监控工程海域沉积物环境质量		
海洋生态	叶绿素 a 及初级生产力	7 个，潮间带 3 条，见图 10.3-1	监控工程海域海洋生态环境质量		
	浮游植物：种类组成、数量分布、优势种优势度、生物多样性指数				
	浮游动物：种类组成、数量分布（包括生物量和丰度）、优势种优势度、生物多样性指数				
	底栖生物（定量和定性）：种类组成、数量分布（包括生物量和丰度）、优势种优势度、生物多样性指数				
	生物质量：总汞、铬、砷、铜、铅、锌、镉和石油烃。				
	游泳生物（鱼类、头足类、甲壳类）：种类组成、密度分布（重量和尾数密度）以及优势种，各类群的幼体比例。				
	鱼卵仔鱼（定量和定性）：种类组成、优势种、数量分布				
	潮间带生物：种类组成、数量分布（包括生物量和丰度）、优势种优势度、生物多样性指数，按不同底质分高、中、低三个潮带分别统计。	潮间带 3 条，见图 10.3-1			
施工悬沙	悬浮物	11 个，见图 10.3-2	施工区悬浮泥沙变化情况	施工期每月监测 1 次	



图 10.3-1 海洋环境质量跟踪监测站位示意图

表 10.3-2 海洋环境质量跟踪监测调查站位一览表

序号	站号	经度	纬度	调查内容
1	C2	[redacted]	[redacted]	海洋生态（潮间带）
2	C3	[redacted]	[redacted]	海洋生态（潮间带）
3	C4	[redacted]	[redacted]	海洋生态（潮间带）
4	1	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
5	4	[redacted]	[redacted]	水质
6	10	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
7	14	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
8	24	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态
9	29	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
10	34	[redacted]	[redacted]	水质
11	SZ1	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物
12	SZ2	[redacted]	[redacted]	水质
13	SZ3	[redacted]	[redacted]	水质、沉积物、海洋生态
14	SZ4	[redacted]	[redacted]	水质、海洋生态



图 10.3-2 施工悬沙跟踪监测站位示意图

表 10.3-3 施工悬沙跟踪监测站位一览表

站号	经度			纬度		
XS1		[redacted]			[redacted]	
XS2						
XS3						
XS4						
XS5						
XS6						
XS7						
XS8						
XS9						
XS10						
XS11						

10.3.2 岸滩地形及地貌、水下地形地貌形跟踪监测

整改方案和修复方案实施后，对工程区附近的岸线、海床将产生一定影响，尽管通过一定的工程措施，能够有效减缓或消除不利影响。为更好的保护项目区域岸滩地形与地貌，优化工程对策，开展对工程区附近岸滩、海床的跟踪监测和分析研究，及时掌握岸滩及海床冲淤变化情况，以采取有效措施。具体内容如下：

岸滩地形断面监测：跟踪断面主要从 2016 年以来实施的 H6~H13 断面中选取，具体布设位置如图 10.3-3。因基岩海岸可能形成局部淤积，监测断面将包括基岩岸线。监测范围包括岸上沙坝顶部至水下-10m 水深。沙滩区测点间距应小于 2m，水下部分

测点间距应小于 10m。



图 10.3-3 岸滩监测断面布置示意图

施工期及施工结束后每年 5 月和 11 月前后各一次。若遇对三亚海域产生较大影响的强台风，台风后加测一次。每年共监测 2~3 次。

岸滩地貌和沉积物监测：与岸滩断面监测同步，在各岸滩断面位置设置采样点，每次监测采集高滩区和低滩区沉积物各一个，基岩岸段在未发生淤积前暂不采样，仅记录岸滩性质。

调查工程区附近自天涯海角至南山角岸段的岸滩地貌，以及西岛西北部岸滩地貌标注记录特征地貌和冲淤表现，典型部位拍照记录。调查部位不仅限于断面测量位置，应整个岸段连续实施调查，记录岸滩各种变化，掌握岸滩形态变化的地貌表现特征。

遥感监测：订购并解译每年春季和秋季工程区附近卫星遥感影像各一幅，对比分析工程区岸段整体的岸线变化情况。

分析研究：与监测成果同步，对每次岸滩断面、岸滩地貌和水下地形监测成果进行对比分析和总结，给出各种地形地貌、冲淤变化的分析计算结果，分析给出各种冲淤变化的原因和机理，并提出相应的应对策建议。

在分析研究基础上，每年提交年度监测研究分析报告，组织专家评审，并邀请相关主管单位、利益相关单位和个人代表参加，**根据岸滩跟踪监测结果，进一步优化和明确防护对策，包括确定人工补沙具体时机、旁通输砂实施频率、补沙量等，调整跟踪监测方案。**会商解决特殊天气因素引起的和未预见岸滩问题及应对措施。并为后续岸滩开发与保护提供基础数据和技术支撑。

表 10.3-4 岸滩地形及地貌、水下地形地貌形跟踪监测一览表

监测	监测	监测指标	监测	站位布设目的	监测	监测	责任

时段	项目		站位			频次	方法	单位
施工期及施工期结束后	岸滩地形	距起测点高程	见图10.3-3	监控工程对岸滩冲刷影响	19km岸段布设10条断面，整体变化	每年共监测2-3次	《海洋调查规范》GB12763.2-2007	国家行政主管部门认可的监测单位
					环境敏感区增设12个断面，满足敏感目标监控要求			
					岸滩冲淤明显段增设4个岸滩断面			
	岸滩地貌	高滩区和低滩区的沉积物、记录岸滩性质		监控岸滩形态变化的地貌表现特征				
	水下地形地貌	地形测量：导航定位、水深水位测量		监控工程对海床冲淤影响				
		海底侧扫声纳调查						
		海底浅层剖面调查						
	整体岸线	卫星遥感影像	/	监控历年岸滩冲淤整体变化		春、秋季各1次	/	

10.3.3珊瑚礁生态修复跟踪监测与评价

参照《珊瑚礁生态监测技术规程》（HY/T082-2005）、《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则》（第 5 部分：珊瑚礁）（ICS07.060T/CAOE20.2-2020）定期对工程所在海域珊瑚礁开展监测。分析工程施工前后珊瑚礁资源变化趋势，及时发现及解决问题。

监测范围：珊瑚礁修复区、珊瑚礁保护区、红塘湾沿岸珊瑚礁集中分布区的监测。

监测站位：根据珊瑚礁现状分布情况，在机场临空产业园及近岸区域及红塘湾沿线共设置监测站位 10 个（图 10.3-4），尽量与 2018 至 2022 年监测站位重叠，便于跟踪。后续可根据珊瑚礁修复区域要求，增加修复区监测内容。

与监测成果同步，对每次珊瑚礁监测成果进行对比，分析珊瑚礁资源逐年变化趋势。根据珊瑚礁跟踪监测结果，进一步优化和明确防护对策，调整跟踪监测方案。

监测频次：第 1 年内宜在修复后 1 个月、3 个月和 12 个月各开展 1 次监测；第 2 年和第 3 年各 2 次，第 4 年和第 5 年各 1 次，共 9 次。

物理及化学监测指标：水深、水温、盐度、透明度、悬浮物、悬浮物沉降速率、浊度、光照、底质类型、溶解氧、pH。

生物指标：珊瑚健康状况（珊瑚种类、覆盖率、死亡珊瑚覆盖率、病敌害、硬珊瑚补充量）、大型底栖藻类、珊瑚礁鱼类（雀鲷科 Pomacentridae、隆头鱼科 Labridae、

天竺鲷科 Apogonidae、蝴蝶鱼科 Chaetodontinae 等）。

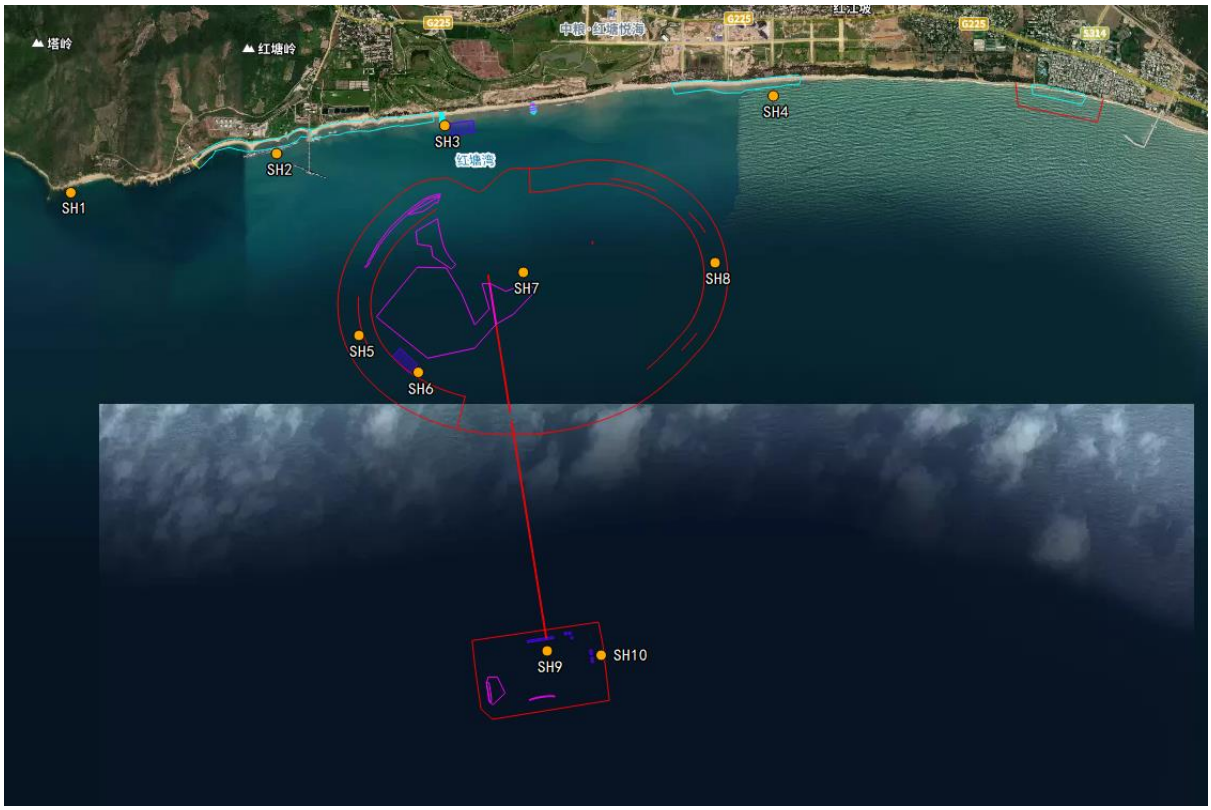


图 10.3-4 珊瑚礁监测站位布局

10.3.4事故应急监测计划

配合政府部门对防污染设备的检查工作，以及在事故状态下配合有关部门作好对事故的跟踪监测。

发生溢油事故时除在常规监测站位进行水质监测外，根据事故性质、事故影响的大小，视具体情况增加对海洋生态环境、海洋生物质量、沉积物环境的监测，站位布设根据实际情况进行调整。可采用有偿服务的方式委托海洋行政主管部门认可的监测单位开展环境事故跟踪监测。

一旦发生溢油事故，应进行事故状态下的环境跟踪监测。其目的是掌握溢油事故可能威胁到的环境敏感点、油膜影响范围外附近海域等海水中石油类污染物的浓度等。监测站位、监测频率等应根据溢油事故情况与监测部门协商确定，包括以下内容：

（1）监测范围：受溢油影响的海域。

（2）监测项目：

海水水质：DO、COD、pH、石油类、重金属等；

沉积物环境：石油类、重金属、硫化物等；

生态环境：生物残毒（石油类）、底栖生物、浮游动物、浮游植物等。

（3）监测频次：监测频次应根据污染程度，能反映所污染海域的海水水质和生态污染程度。

10.4 环境保护管理和环境监测的可行性和时效性

完备的环境保护管理机构设置、完善的环境管理制度是落实各项环保措施的基本保证。施工期的海水水质、海洋沉积物、海洋生态环境的监测，可以及时地反映工程施工引起的海洋环境质量变化，有效地指导施工期的环境保护管理。施工结束后的海洋环境监测，可以基本反映工程区域海洋环境质量的变化趋势。对岸滩地形及地貌、水下地形地貌的监测，可以准确描述工程海域的冲淤变化趋势。对特殊物种（珊瑚礁）的监测，可以有效地掌握珊瑚礁的生境情况。

从监测站位布设、监测项目设置、监测时段和监测频率分析，本工程区域水环境质量、海洋生态环境和水文动力与冲淤环境等海洋环境要素的跟踪监测计划是可行的，且具有较强的实效性。

11 环境影响评价结论

11.1 工程概况及工程分析结论

11.1.1工程概况

本工程包括拆除工程、砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程。

（1）拆除工程

临空产业园一期以南和以西部分吹填区和 1472m 围堰高出理论基面 0m 的部分拆除至理论基面 0m，拆除后的围堰作为岸滩掩护的离岸潜堤和珊瑚礁自然或人工修复的礁基；临空产业园一期人工岛东侧 796m 围堰拆除至-1m，拆除后的围堰作为岸滩掩护的离岸潜堤；临空产业园总拆除物料约 261.8 万方。剩余的沙体可整体自然冲刷降低至理论基面-4m 左右达到基本稳定状态。

三亚新机场填海项目起步工程填海部分和抛石围堰拆除至理论基面 0m，恢复海域自然属性；三亚新机场填海项目起步工程东、北护岸 14 个混凝土沉箱拆除至理论基面-4m，作为珊瑚礁人工修复的礁基，拆除物料约 7.57 万方。

三亚新机场填海栈桥工程 3.1km 钢栈桥拆除至现状海床，恢复海域原状。

三亚新机场人工岛工程南护岸试验段 19 个钢圆筒和 17 对副格及内部回填砂拆除至现状海床，恢复海域原状，拆除物料约 24.13 万方。

（2）砂质岸线修复工程

人工岛掩护区西侧约 2km 岸段，红塘湾东部至天涯镇附近约 1.8km 岸段，南山景区长期冲刷的约 2.24km 岸段，实施滩肩补砂，滩肩宽度 20~40m，总计补沙约 256 万方，总长 8.04km。

在沙丘冲刷严重的岸段，对沙丘根部实施生态护岸工程，长度 4km。在南山景区的南海观音人工岛以西 0.83km 岸段、临空产业园一期连岛栈桥根部至塔岭基岩海岸岬角 2.1km 岸段以及已建拦砂堤至天涯社区 1.07km 岸段实施。

人工岛掩护区东侧拦沙堤长度 95m（含堤头 25m、堤身 70m）、人工岛掩护区西侧拦沙堤长度 125m（堤头 25m、堤身 100m）、鸭仔塘口门拦沙堤长度 150m（堤根放坡 45m、堤身 80m、堤头放坡 24m），共 3 座拦沙堤、总长 370m。

（3）珊瑚礁修复工程

人工珊瑚苗圃培育区：规划 2 个珊瑚苗圃培育区，深水苗圃区和浅水苗圃区各 2

公顷，合计 4 公顷。选取稳定性较好的树形苗圃和框架式苗圃进行前期珊瑚种苗培育，计划建设 600 个水下苗圃，培育珊瑚苗 60000 株。

珊瑚礁生态修复区：珊瑚礁修复面积总共 4 公顷，共底播移植珊瑚 60000 株，投放 500 个人工礁体和 256 个扭王字块。其中临空岛西侧围堰修复区面积 3.582 公顷，底播移植珊瑚 54000 株（投放十二脚型礁体体 500 个），起步区沉箱修复区 1 面积约 0.276 公顷，底播移植珊瑚 4400 株（投放扭王字块 126 个），起步区沉箱修复区 2 面积约 0.167 公顷（投放扭王字块 64 个），底播移植珊瑚 1600 株。

在珊瑚礁生态修复区拟放流总数量石斑幼体 6 万尾、食草性螺类 5 万幼体，紫红笛鲷幼体 50 万尾，篮子鱼 50 万尾和海参 2 万幼体。

珊瑚存活率：保证底播移植珊瑚一年后珊瑚存活率达到 70%。

项目施工期结束后在连续管护与监测 3 年。

在项目施工期结束后 1 年进行一次后评估。

11.1.2工程分析

（1）施工期主要污染物及源强

本项目施工环节包括填海区拆除、钢圆铜拆除、栈桥拆除、人工补砂、拦沙堤和海滩岩修复等；临空产业园二期工程边缘陆域拆除、新机场起步工程边缘区域陆域拆除和钢圆筒外侧抛石清理产生的悬浮物排放源强为 2.82kg/s，新机场起步工程靠近护岸区域拆除产生的悬浮物排放源强为 11.74kg/s，人工补砂产生的悬浮物排放源强为 0.26kg/s，拦沙堤堤根开挖产生的悬浮物排放源强为 2.82kg/s、抛石产生的悬浮物排放源强为 0.98kg/s。施工船舶机舱含油污水产生总量为 2928.75t、船舶生活污水 5000m^3，船舶生活垃圾 62.5t；陆域施工人员产生的生活垃圾总量 12.5t、生活污水总量为 900m^3，人工补砂清理垃圾约 0.5t，拆除物料总计约 293.56 万 m^3+1464 件，其中海砂约 273.13 万 m^3、石料 20.4 万 m^3、成品混凝土预制构件约 1464 件（堆叠一层，占地约 1.5 万 m^2）。。

（2）非污染环境影响因素

工程施工将导致项目附近海域水动力、冲淤环境变化，对周边海域的珊瑚礁及其生境产生一定的影响。

施工产生的悬浮泥沙影响海水水质，对工程区附近海域水质、海洋生物、重要生物（珊瑚）及其生境造成一定的影响。

工程占海海域，造成海洋生物的损失。

拆除工程实施后，原有的人岛陆域将恢复为海域，将改变原有人工岸线形态，潮流态和流速也将产生变化，由此必然引发海域水动力冲淤环境发生变化，并改变局部海域原有的冲淤平衡。

砂质岸线修复工程和珊瑚礁修复工程实施后，将改变海域自然属性及岸滩地形，工程后将引起工程及附近水动力场的变化，进而导致地形地貌和泥沙冲淤环境的变化。

工程实施后将避免红塘湾海域岸滩进一步淤积或冲刷，避免岸滩淤积段对珊瑚礁的直接掩埋。

（3）环境风险

施工期环境事故风险主要来自于施工船舶事故溢油环境风险。

11.2 环境现状分析与评价结论

11.2.1海水水质环境现状评价结论

本次夏季调查共进行了 24 个站位的水质调查，秋季调查共进行了 31 个站位的水质调查，对 13 项因子进行了分析评价，调查结果表明：各季节各监测站点各评价项目的单因子污染指数均小于 1，说明各监测站点的水质类别均满足所在海域海洋功能区环境保护要求。

11.2.2沉积物环境质量现状评价结论

本次夏季调查共进行了 12 站位的沉积物调查，对 11 因子进行了分析评价。本次沉积物主要以砂为主，经评价所有调查因子均符合一类沉积物要求。沉积物质量状况良好。

11.2.3海洋生态现状评价结论

（1）叶绿素 a 与初级生产力

夏季调查结果表明：项目所在海域叶绿素 a 表层均值为 0.465mg/m^3，底层均值为 0.750mg/m^3。初级生产力均值为 179.3mgC/(m^2·d)。

秋季调查结果表明：项目所在海域叶绿素 a 表层均值为 0.2372mg/m^3，10cm 层均值为 0.0926mg/m^3，底层均值为 0.1386mg/m^3。初级生产力均值为 22.44mgC/(m^2·d)。

（2）浮游植物

夏季调查海域共获得浮游植物 3 门 87 种。其中，硅藻门 70 种，蓝藻门 4 种，甲藻

门 16 种。优势种 6 种，分别为柔弱伪菱形藻、劳氏角毛藻、掌状冠盖藻、拟旋链角毛藻、翼根管藻纤细变型、距端假管藻。细胞密度平均值为 386000 个/m^3。

秋季调查海域共获得浮游植物 4 门 109 种。其中，硅藻门 76 种，蓝藻门 5 种，甲藻门 27 种。优势种 2 种，分别为笔尖形根管藻、铁氏束毛藻。细胞密度平均值为 431000 个/m^3。

（3）浮游动物

夏季调查共鉴定浮游动物 102 种，浮游幼体及鱼卵仔鱼 14 种。其中桡足类有 40 种，腔肠动物有 19 种，毛颚类有 10 种，糠虾类、被囊类和端足类各有 4 种，十足类、枝角类、磷虾类和翼足类各有 2 种。浮游动物优势种 7 种，分别为肥胖箭虫、亚强次真哲水蚤、驼背隆哲水蚤、正型莹虾、短额刺糠虾、琴形箭虫。个体密度均值为 50.4 个/m^3，湿重生物量均值为 57.44mg/m^3。

秋季调查共鉴定浮游动物 119 种，浮游幼体及鱼卵仔鱼 15 种。其中，桡足类有 57 种，腔肠动物有 20 种，被囊类有 9 种，毛颚类有 7 种，糠虾类有 4 种，十足类、端足类各有 2 种，翼足类、磷虾类和介形类各有 1 种。浮游动物优势种 3 种，分别为亚强次真哲水蚤、肥胖箭虫、磁蟹溞状幼体。个体密度均值为 45.1 个/m^3，湿重生物量均值为 49.33mg/m^3。

（4）底栖生物

夏季调查海域共发现大型底栖生物 51 种，其中刺胞动物动物 1 种，环节动物 3 种，棘皮动物 4 种，脊索动物 5 种，软体动物 13 种，节肢动物 25 种。优势种类有 2 种，分别为彩虹明樱蛤、双齿围沙蚕。栖息密度平均为 12.00 个/m^2，湿重生物量平均为 6.01g/m^2。

秋季调查海域共发现大型底栖生物 67 种，其中节肢动物 33 种，软体动物 22 种，脊索动物 6 种，棘皮动物 5 种，环节动物 1 种。优势种类有 1 种，为矛形梭子蟹。栖息密度平均为 31.90 个/m^2，湿重生物量平均为 22.78g/m^2。

（5）潮间带生物

夏季调查共鉴定潮间带生物 7 种，隶属于节肢动物、软体动物。水平分布生物量平均值为 6.87g/m^2，垂直分布生物量平均值为 6.87g/m^2。

秋季调查共鉴定潮间带生物 5 种，隶属于节肢动物和软体动物。水平分布生物量平均值为 11.79g/m^2，垂直分布生物量平均值为 15.70g/m^2。

（6）生物体质量

夏季调查结果表明，软体动物（双壳类）、甲壳类、鱼类，生物质量评价因子总汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌含量均满足《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的质量标准，石油烃含量满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中的质量标准。

11.2.4海洋渔业资源调查结论

（1）鱼卵、仔稚鱼

夏季调查采集到鱼卵 4 种，仔稚鱼 2 种。鱼卵的总平均密度为 0.583 粒/m^3，仔稚鱼的总平均密度为 0.054 尾/m^3。

秋季调查采集到鱼卵 12 种，仔稚鱼 10 种。鱼卵的总平均密度为 1.01 粒/m^3，仔稚鱼的总平均密度为 0.3 尾/m^3。

（2）游泳生物

夏季调查共鉴定游泳动物 68 种，隶属于 3 大类。甲壳类有 15 种，鱼类有 48 种，头足类有 5 种，渔业资源密度平均值为 699.14kg/km^2。

秋季调查共捕获游泳动物 67 种，隶属于 3 大类。甲壳类有 16 种，鱼类有 47 种，头足类有 4 种，渔业资源密度平均值为 483.46kg/km^2。

11.2.5珊瑚礁现状调查

调查区域珊瑚礁生态调查共鉴定出造礁石珊瑚 11 科 26 属 93 种，其中鹿角珊瑚科和裸肋珊瑚科种类最多，分别有 28 种和 29 种。优势种主要有 5 种，分别为斯氏伯孔珊瑚、澄黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、柱形角孔珊瑚、疣状杯形珊瑚。

各站活珊瑚覆盖率平均为 11.3%，各站点间的硬珊瑚补充量密度平均为 1.4 ind./m^2，珊瑚总死亡率变化平均为 0.01%，白化率平均为 0.02%。

11.2.6陆域环境现状监测结论

根据《2022 年三亚市生态环境状况公报》，本项目位于环境空气质量达标区，区域昼间声环境质量较好。

11.3 环境影响预测分析与评价结论

11.3.1水文动力环境影响分析与评价结论

潮流场影响分析：本项目实施后主要是拆除工程的影响。拆除工程实施后，在一定程度上减弱了由东向西涨潮流和由西向东落潮流共同作用下所引起的阻水作用，整

体表现为局部绕流和背水面缓流区减小，水域的流通使局部流速增大。珊瑚礁修复工程不改变水下地形，不产生对流场的影响。砂质岸线修复工程主要集中在狭窄的潮间带附近，拦沙堤堤头最大也只延伸至-3m 水深，且近岸流速本身不大，对流场的影响不大。

波浪场影响分析：由于受临空产业园一期工程和椭圆形围堰工程的影响，临空产业园一期工程偏北侧的有效波高明显减小。当波浪从 SE、SSE、SSW、SW 向传来时，临空产业园一期工程和椭圆形围堰对临空产业园一期工程西北侧、北侧、东北侧的拦沙堤有一定的掩护作用，当波浪从 S 向传来时，波浪在临空产业园一期工程西侧外海有效波高最大。

11.3.2地形地貌与冲淤环境影响分析与评价结论

整改拆除方案实施后，因外围水下围堰不实施拆除，主要拆除部分在水面以上部分，对流场影响甚微，对水下地形冲淤不产生直接影响，冲淤变化仍主要集中在已吹填的浅水区泥沙，冲刷下限大致在-4m 左右；修复方案主要集中在岸滩部分，主要改变的是岸滩地形，不构成对水下区域水动力条件的明显改变，也不致形成对海床冲淤的明显影响，修复方案实施后的冲淤变化也主要集中在岸滩附近的浅水区。

11.3.3岸滩稳定性影响评价与评价结论

本项目拆除工程实施后，对现状情况下岸滩冲淤剧烈调整有一定的减缓作用，拆除剩余部分将起到一期人工岛掩护区两侧冲刷岸段的岸外潜堤作用，对人工岛掩护区两侧的冲刷岸段具有一定掩护作用，能在一定程度上减缓其冲刷。但因临空产业园一期人工岛掩护区东侧目前已有较多泥沙淤积，也为临空产业园一期人工岛掩护区的淤积提供了沙源，使一期人工岛掩护段淤积增大。

本项目砂质岸线修复后，岸滩整体增宽，冲刷较为明显，补沙初期岸段东部长约 2.1km 岸段表现为冲刷，冲刷泥沙部分向东运移淤积在天涯镇附近，在长约 300m 岸段上形成淤积，但幅度不超过 20m；大部分冲刷泥沙向西运移，在已建拦沙堤以东落淤，并有部分绕堤，在拦沙堤西侧形成淤积。补沙修复 10 年后，补沙段东部的冲刷岸段最大冲刷 30m 左右，最大冲刷部位 10 年后基本冲刷至补沙前的状况；在补沙段西部靠近拦沙堤附近，因补沙后滩肩宽度较大，虽部分泥沙堆积在已建拦沙堤以东，因拦沙堤头部的泥沙绕堤现象存在，滩肩宽度增长较慢，滩肩宽度最大增至 40m 左右后基本停止变化。

11.3.4水质环境影响评价与评价结论

本工程施工产生的悬浮物影响主要集中在施工区域，各工况叠加产生的大于10mg/L 悬浮物扩散最远距离为 1.49km，包络线面积最大为 3.037km^2。施工时悬浮沙对海水水质的影响是短暂的，施工结束 12h 后，水质恢复至背景值。

施工期间生活污水、船舶机舱含油污水等污染物均得到合理有效的处置和处理，禁止排海，不会对周边海域生态环境产生不利影响。

11.3.5沉积物环境影响评价与评价结论

本项目拦沙堤、珊瑚修复工程占用海域，将破坏海底沉积物环境。施工悬沙沉降在施工区域区域周围的海底，将原有的表层沉积物覆盖，会对这一范围内的沉积物产生一定的影响。本项目施工影响海洋沉积物属于短期效应，施工结束后很快可以恢复到当地水平。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尚好，由于施工期产生的悬浮泥沙来源于本项目施工附近海域，因此不会对本海域海洋沉积物物理、化学性质产生影响，对既有的沉积物环境产生的影响甚微，不会引起海域总体沉积环境质量的变化。

本项目实施后，对水下地形冲淤不产生直接影响，该海域的冲淤变化基本与现状条件保持一致，主要分布在浅水区，不会引起海域总体沉积环境质量的变化。另外，本项目为退填还海工程，拆除工程的实施有利于占用海域周边沉积物环境的恢复。

11.3.6海洋生态影响分析与评价结论

工程施工期对海洋生态环境的影响主要是砂质岸线修复工程、珊瑚礁修复工程占海以及项目施工造成的泥沙入海对海洋生物及其生境等的影响。

据估算，本项目施工共造成鱼卵损失 6.78×10^6 粒，仔稚鱼损失 1.51×10^6 尾，渔业资源成体损失 2.559kg，底栖生物损失 10.7t。本项目造成的海洋生物经济损失即所需的海洋生物经济补偿金额估算约为：悬沙海洋生物损失 45.25 万元+工程占海生物损失 43.17 万元+珊瑚礁生态系统损失 6046.6 万元=6135.014 万元。

11.3.7大气环境影响分析与评价结论

大气环境影响主要来源于施工期施工机械、车辆及船舶排放的废气和拆建物料在施工、运输、堆存期间产生的扬尘，项目施工机械和车辆主要集中在临空产业园一期附近，距离周边大气环境敏感目标较远，且施工废气随施工结束而结束，项目施工对大气敏感目标影响较小。

11.3.8声环境影响分析与评价结论

声环境影响主要是施工船舶和施工机械噪声，施工期噪声昼间影响距离在 32m 以内，夜间影响距离在 175m 以内，施工期噪声影响面相对较窄，具有暂时性和间歇性的特点，随着施工活动的结束，影响即消失。

项目周边 200m 范围内的声环境敏感目标主要为砂质岸线修复工程所在的南山-大小洞天景区和距离修复工程较近的马岭社区（N，50m），对周边声环境的产生一定的影响。建议合理安排施工计划，夜间不施工，降低噪声对沿线居民的影响。

11.3.9固体废物环境影响分析与评价结论

由施工船舶配备专用设施收集船舶生活垃圾，交给具备相关资质的船舶污染清除单位接收处理，不排海；人工补砂区清理垃圾、陆域的施工人员生活垃圾：分类收集后由环卫部门清运，统一处理，不会造成环境污染和景观影响；所有工程拆除物料将部分修复工程利用、部分堆存于临空一期，不外抛、不浪费；禁止在中途将建筑垃圾倾倒入海、所有拆除物料必须运输至指定位置。

11.3.10　周边环境敏感目标影响分析与评价结论

11.3.10.1　对珊瑚礁的影响

三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）影响：根据本项目悬浮泥沙影响预测以及冲淤影响预测结果可知，施工期悬浮沙扩散及项目建设引起的冲淤变化基本不会对三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）的珊瑚礁生态系统造成影响，不会对三亚珊瑚礁自然保护区（东西瑁洲片区）的特征流速和波浪波高产生变化。

沿岸珊瑚礁影响：拆除工程的护岸和沿岸上有珊瑚礁分布，砂质岸线修复工程和拆除施工会对珊瑚礁造成直接破坏，但随着陆域回填料的拆除，最大限度消除围填海项目造成的不良生态环境影响，恢复围填海项目的海域属性，生态正效应明显，有利于形成各种复杂多样的小生境，利于珊瑚和其他生物在此环境中生长繁殖和达到新的生态系统平衡。

本项目施工过程中产生的悬浮物扩散范围只局限在项目周边的较小范围内，大于 10mg/L 的包络范围未进入到南山角附近的珊瑚礁分布区，设置拦污屏后大于 10mg/L 的包络范围未进入到临空产业园周边的珊瑚礁分布区，对周边珊瑚影响较小；珊瑚分布区域的水动力变化范围和程度较小，整体来看潮流场和水动力变化对珊瑚群落、礁栖生物、珊瑚生境等的影响较为有限；拆除工程实施后，基本不会影响项目周边海域

的泥沙冲淤趋势，基本不会因改变区域泥沙冲淤趋势而影响到项目周边海域的珊瑚礁生态系统，岸滩补沙范围离珊瑚礁分布区较近，后期会引起悬浮物的变化，可能导致水体透明度降低等或泥沙掩埋部分珊瑚礁分布区造成珊瑚礁群落的变化。

11.3.10.2 对砂质岸线的影响

据预测结果，岸滩修复方案实施后，修复岸段的海滩状况可得到较大程度的恢复，工程实施 10 年后，仅有局部岸段可能冲刷发展到现状岸线位置，可以有效维持海域砂质岸线海滩现状。

11.3.10.3 对风景名胜区的影响

本项目砂质岸线修复工程内容位于南山-大小洞天景区，距天涯海角景区最近 1.3km，对其影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响、施工废气及噪声影响，但这种影响是暂时的，会随着施工结束而消失。同时，实施砂质岸线修复工程可以有效维持海域砂质岸线海滩现状，有利于恢复海上观音和天涯海角段后方的沙滩，对南山-大小洞天景区和天涯海角产生有利影响。

11.3.10.4 对生态红线的影响

本项目施工废水、固废等处置合理，不排海，对南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区、海岸带防风固沙的影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响，但这种影响是暂时的，施工结束 12h 后水质恢复至背景值，会随着施工结束而消失。砂质岸线修复工程的实施有利于海岸带防护，维持岸滩稳定，有利于南山-大小洞天海岸防护物理防护极重要区、海岸带防风固沙。同时，本项目砂质岸线修复工程属于重要生态修复工程，符合生态红线管控要求。

本项目实施对四周分布生态红线的影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响，施工悬沙扩散范围只局限在项目周边的较小范围内，大于 10mg/L 的包络范围未进入到南山角附近的珊瑚礁分布区及其他生态红线区，且施工结束 12h 后水质恢复至背景值，会随着施工结束而消失，不会对其造成影响。

11.3.10.5 对海洋功能区的影响

本工程的实施对海洋功能区的影响主要体表现在：施工悬浮物对海水水质及生态环境的影响，工程实施对对水动力环境（波浪和潮流变化）的影响，对水下地形地貌环境的影响，工程实施对岸滩冲淤环境的影响。

根据预测结果，施工悬沙对所在海域水质的影响，但这种影响是暂时的，施工结

束 12h 后水质恢复至背景值，会随着施工结束而消失；波浪和潮流变化、岸滩冲淤环境变化、水下地形地貌变化影响的海洋功能区主要为天涯海角旅游休闲娱乐区、南山旅游休闲娱乐区。

天涯海角旅游休闲娱乐区环境保护保护要求为“保护沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌和水质；保护旅游资源”，南山旅游休闲娱乐区环境保护保护要求为“保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌”，砂质岸线修复工程的实施，可有效缓解本功能区岸滩冲刷作用，有效地保护了“沙滩、砾石滩、沿岸地质地貌”、“保护沿岸山体和砾石滩、海滩等海岸地貌”，不会对其造成不利影响。

11.3.10.6 对养殖区的影响分析

本项目项目实施对养殖区影响主要为施工悬沙对所在海域水质的影响，各工况产生的大于 10mg/L 悬浮物扩散最远距离为 1.49km，未扩散到养殖区内，不会对养殖区造成影响。

11.3.10.7 对南海北部幼鱼繁育场的影响

本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区海域，施工过程产生的悬浮泥沙扩散影响保护区水质和生态环境，影响鱼类的饵料生物资源，导致饵料资源减少，适宜栖息空间缩小，对项目周围海域的渔业资源产生一定的不利影响。项目施工虽然对鱼类的繁育产生一定影响，施工结束后及时采取生态补偿措施恢复渔业资源等措施，将影响控制在一定范围和可接受程度内。

11.4 环境风险分析与评价结论

一旦发生较大规模油品泄漏事故，会对海洋生态和渔业资源造成严重污染损害。在不同预测工况（不同风向、风速、潮流）下，油膜（72 小时）扫海面积为 21.4 至 308.3 平方公里。其中，溢油发生后在 1 小时内进入天涯海角旅游休闲娱乐区和南山旅游休闲娱乐区、3 小时可达重要渔业资源产卵场生态红线区和海岸防护物理防护极重要区生态红线区、5 小时内可达到珊瑚礁生态红线区、6 小时内可达到养殖区。

本项目在施工营地、交通艇、指挥艇上配备应急物资，将按照 35.1t 处置能力进行配备、应急响应时间为 0~0.5h，一旦出现溢油事故，装备有足够的溢油应急设备的船只应在溢油开始扩散前就第一时间赶到现场并展开溢油收集工作，而对于较大类型溢油，可借助于区域性溢油应急能力进行应急处理，以便将对海洋的影响降到最低。

11.5 环境保护对策的合理性、可行性结论

（1）施工水污染物防治措施

本项目施工期合理安排施工计划，避免在大风、大浪等不利条件下施工；优化施工工艺，从源头上降低悬浮物产生量。优化施工顺序，首先进行拦污屏安装，在进行后续施工。对悬浮泥沙产生重点环节定期开展施工监测，根据监测结果及时采取补救措施。加强施工期巡视、监控与监测，如遇恶劣天气后需检查拦污屏受损情况，一旦发现损坏拦污屏损坏，应停工后修复或更换拦污屏再开工。

参加作业的船舶产生机舱含油污水，将按照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》的要求予以铅封，运回陆地交由有资质单位接收处理。船舶产生生活污水，将按照《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）的要求，收集在船上的卫生设施中，运回陆地处理。

陆域施工生活污水经移动式环保厕所收集后，定期外运至市政污水处理厂处理，不外排。

（2）生态环境影响减缓措施

工程建设造成一定程度的海洋生态、渔业资源损失，建设单位通过增殖放流的方式对海洋生物资源进行修复。

（3）固体废弃物污染防治措施

本工程拆除物料主要为回填砂、石料（各规格块石、二片石及碎石）、成品混凝土预制构件（预制沉箱及各规格扭王字块体）、钢制构件（钢圆筒、临时栈桥构件）等，回填砂（129.92 万 m^3）直接船运至人工补砂区进行补砂，回填砂（143.21 万 m^3）和石料、成品混凝土预制构件、钢制构件堆存于临空产业园一期，部分石料（14.97 万 m^3）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤和生态护坡建设，部分成品混凝土预制构件（645 件扭王字块）用于砂纸岸线修复工程拦沙堤，部分成品混凝土预制构件（190 件扭王字块）用于珊瑚礁修复工程建设，剩余的拆除物料在临空一期人工岛进行临时堆存，后续将尽快进行挂牌拍卖、处置。

施工船舶垃圾分类收集，运回陆地处理。人工补砂清理垃圾和陆域施工人员生活垃圾，分类收集，交由环卫部门接收处理。

综上，本工程采用的生态环境影响、水污染物、固体废弃物污染防治等一系列措施可有减缓工程建设对海洋环境的影响，工程采用的环境保护对策措施合理、可行。

为保证采用的环境保护措施落实到位，建设单位应委托具有相关处理措施和能力

的施工单位，并明确相关污染物处理要求。

11.6 工程的环境可行性结论

本项目属于生态修复工程，工程建设符合产业政策，符合《海南省主体功能区规划》、《海南省海洋主体功能区规划》，符合所在海域海洋功能区划和近岸海域环境功能区划的海洋环境保护要求和海域使用管理要求，符合海南省和三亚市“三线一单”生态环境分区管控单元、生态保护红线、“三区三线”相关管控要求和规定，符合《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》、《三亚市总体规划（空间类 2015-2030 年》、《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》、《海南省三亚市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》等，项目的选址和建设符合国家及地方发布的各项规划、功能区划、生态环境保护规划。

11.7 公众参与主要结论

建设单位采取网络平台、报纸和张贴公告等形式开展了本项目环境影响评价公众参与工作。在 2023 年 7 月 10 日（委托环评后第 1 个工作日）在三亚市天涯区人民政府官网上首次公开了本项目环境影响评价信息，提供公众意见表链接，明确公众可以通过信件、电话和电子邮件等方式自公告之日起至报告书征求意见稿公示前，向建设单位或评价单位反馈意见表。

11.8 评价结论

本项目符合产业政策，符合海洋功能区划、国土空间总体规划、国土空间生态修复规划等相关规划。本项目拆除工程实施后恢复海域自然属性，砂质岸线修复工程实施后有利于维持岸滩稳定，珊瑚礁修复工程实施后构建珊瑚生态系统，工程的实施改善海域生态环境质量，有助于保护海域自然岸线及珊瑚礁海洋生态系统，有利于促进环境友好空间格局的形成。

本项目实施对所在海域洋生态环境、大气环境和声环境的影响在可接受范围内，在建设单位认真落实本报告提出的各项环保对策措施和议，加强环境保护管理的前提下，从环境保护角度，项目建设可行。