



珠海高栏一海上风电项目 环境影响报告书

建设单位：国华华发（珠海）新能源有限公司

环评单位：青岛博研海洋环境科技有限公司

2026 年 01 月

编制单位和编制人员情况表

项目编号	6kzm s9		
建设项目名称	珠海高栏一海上风电项目		
建设项目类别	54—151海洋能源开发利用类工程		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	国华华发 (珠海) 新能源有限公司		
统一社会信用代码	91440404M A D D Q N 3H 5D		
法定代表人 (签章)	姚仲龄		
主要负责人 (签字)	隋宁		
直接负责的主管人员 (签字)	隋宁		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	青岛博研海洋环境科技有限公司		
统一社会信用代码	9137021255080250X P		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
李兴盼	201905035370000019	BH 004660	李兴盼
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
李兴盼	环境影响经济损益分析, 环境管理与监测计划, 产业政策、规划符合性及选址合理性分析	BH 004660	李兴盼
韩云宽	区域环境概况, 环境现状调查与评价, 环境影响预测与评价, 环境风险评价	BH 065441	韩云宽
宋艳春	概述, 总则, 工程概况, 工程分析, 环境保护措施及其可行性论证, 评价结论	BH 004648	宋艳春

目 录

1 概述	1
1.1 项目背景	1
1.2 建设项目特点	2
1.3 环境影响评价过程	3
1.4 分析判定相关情况	5
1.5 关注的主要环境问题及环境影响	7
1.6 环境影响评价结论	8
2 总则	9
2.1 编制依据	9
2.2 评价目的及评价重点	19
2.3 环境影响因素识别和评价因子筛选	21
2.4 环境功能区划	25
2.5 评价标准	34
2.6 评价等级、评价范围	40
2.7 环境保护目标	48
3 工程概况	61
3.1 建设项目概况	61
3.2 地理位置	61
3.3 项目组成	65
3.4 项目建设方案	66
3.5 施工组织方案	94
4 工程分析	125
4.1 工程各阶段环境影响因素识别	125
4.2 工程各阶段污染因子源强估算	127
4.3 工程各阶段生态影响分析	140
5 区域自然环境概况	143
5.1 气象气候	143
5.2 水文动力环境调查	146
5.3 地形地貌及冲淤环境	161
5.4 区域地质概况	169
5.5 海洋资源	196

5.6 海洋自然灾害	205
6 环境现状调查与评价	207
6.1 海水水质现状调查与评价	210
6.2 海洋沉积物现状调查与评价	224
6.3 海洋生态环境现状与评价	229
6.4 海洋渔业资源现状调查与评价	248
6.5 海洋生物质量现状与评价	277
6.6 渔业资源“三场一通道”分布	280
6.7 珍稀濒危海洋生物	283
6.8 典型生态系统	294
6.9 鸟类现状调查与评价	296
6.10 水上水下声环境现状调查与评价	305
6.11 电磁辐射现状调查与评价	328
6.12 环境空气现状调查与评价	333
7 环境影响预测与评价	334
7.1 水动力环境影响评价	334
7.2 地形地貌与冲淤环境影响评价	358
7.3 水质环境影响评价	364
7.4 海洋沉积物环境影响评价	371
7.5 声环境影响评价	372
7.6 电磁环境影响评价	389
7.7 海洋生态环境影响分析	397
7.8 鸟类影响分析	405
7.9 环境敏感目标影响分析	417
7.10 其他环境影响评价	431
8 环境事故风险分析与评价	438
8.1 风险调查	438
8.2 评价等级及评价范围	438
8.3 环境风险识别	439
8.4 溢油事故源项分析	444
8.5 溢油事故影响预测	445
8.6 自然灾害风险分析	471

8.7 环境风险防范及应急措施	472
8.8 海上溢油事故应急预案	474
8.9 小结	479
9 环境保护措施及其可行性论证	480
9.1 施工期污染防治对策	480
9.2 运营期污染防治对策	483
9.3 生态环境保护措施	485
9.4 建设项目环境保护设施和对策措施一览表	493
10 环境影响经济损益分析	496
10.1 经济效益分析	496
10.2 环境保护投资估算	496
10.3 环境保护的经济损益分析	497
10.4 环境保护的经济技术合理性	498
11 环境管理与监测计划	500
11.1 环境管理	500
11.2 环境监测	501
11.3 总量控制	505
11.4 环境影响评价制度与排污许可制度的衔接	505
11.5 “三同时”验收一览表	506
12 产业政策、规划符合性及选址合理性分析	510
12.1 产业政策符合性分析	510
12.2 与国土空间规划符合性分析	510
12.3 与“三区三线”、“三线一单”符合性分析	534
12.4 与相关行业规划、环保规划符合性分析	543
13 环境影响综合评价结论与对策建议	552
13.1 评价结论	552
13.2 建议	561
附表	562
附录	638

1 概述

1.1 项目背景

当前，能源发展正处于深刻变革和重大调整的关键时期。面对全球气候变化和生态环境恶化的双重挑战，大力发展清洁能源已成为能源发展的必然趋势。我国已将可再生能源的开发利用作为能源战略的重要组成部分。《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》明确了“十四五”期间有序发展海上风电的政策方向，将建设广东海上风电基地纳入了规划纲要。

广东省位于我国南部沿海，在海洋资源、海洋产业、海洋科技等方面优势突出，其海域面积宽阔，海上风能资源丰富，港口交通和接入系统条件便利，电力消纳空间大，是建设海上风电场的良好场所。海上风电是推进现代海洋产业体系的重要内容之一，对推动海洋经济发展意义重大。目前，广东省海上风电尚处于起步阶段，海上风电的规模化开发，有利于充分发挥广东省在海洋领域的产业、科技、资源优势，促进海上风电装备及海工装备等产业快速集聚，形成区域性产业高地，有力助推当地经济转型升级，提升海洋经济生产总值。《广东省能源发展“十四五”规划》明确提出：“要加快能源产业发展，坚持新能源项目开发和龙头企业带动、技术创新引领，推进能源产业集聚发展大力发展先进核能、海上风电、太阳能等优势产业。”

2022 年 12 月，国家能源局综合司《关于广东省海上风电规划调整的复函》（国能综函新能〔2022〕103 号）批复同意广东省海上风电规划调整。2023 年 1 月 12 日，广东省发展和改革委员会下发了《关于调整全省海上风电场址的通知》，将《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》场址调整如下：新增省管海域（领海线以内）海上风电场址 7 个，装机容量 18.3GW；规划国管海域（领海线以外专属经济区）粤东海上风电场址基地 7 个，装机容量 35.7GW。其中，新增省管海域（领海线以内）海上风电场址包括珠海高栏场址 1 处，位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，场址最近端距离陆岸约 35km，最远端距离陆岸约 53km，场址面积约 155km²，水深在 30~36m 之间，规划装机容量 100 万千瓦。珠海高栏场址从西向东分为两个风电场项目，分别为珠海高栏一海上风电项目、珠海高栏二海上风电项目。根据《广东省 2023 年省管海域海上风电项目竞争配置结果的通知》（粤发改能源函〔2023〕1602 号），确定国家能源集团获取珠海高栏一海上风电项目的主导开发权。2024 年 3 月 26 日，国华能源投资有限公司成立国华华发（珠海）新能源有限公司，

由该公司负责投资、建设、运营珠海高栏一场址海上风电项目。

珠海高栏一海上风电项目已核准立项，项目代码为：2405-440404-04-01-719291。项目设计装机容量 504MW，拟布置 36 台 14MW 风力发电机组，同时配套建设 1 座 500kV 海上升压站和陆上集控中心。风电机组发出的电能通过 8 回 66kV 集电海底电缆接入 500kV 海上升压站，海上升压站布置 1 台容量为 550MVA 的主变压器，500kV 侧采用线变组接线，66kV 侧采用单母分段接线，升压后通过 1 回 500kV 海底电缆输送到陆上集控中心。项目风电场址位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，场址最近端距离陆岸约 35km，最远端距离陆岸约 53km，场址面积约 74km²，中心离岸距离约 47km，水深介于 32m~37.5m 之间；海缆登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上海岸线处；拟建的陆上集控中心场地位于广东省珠海市金湾区南水镇。其中，项目陆上集控中心、海缆陆上部分线路已单独开展环评，并且已于 2024 年 12 月 31 日取得《珠海市生态环境局关于珠海高栏一海上风电项目陆上集控中心环境影响报告书的批复》（珠环辐建〔2024〕8 号）。

根据《中华人民共和国环境保护法》《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》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，本项目海域工程内容应进行环境影响评价。为此，国华华发（珠海）新能源有限公司委托青岛博研海洋环境科技有限公司承担“珠海高栏一海上风电项目”环境影响评价工作，本报告仅对项目海上风电场、海上升压站、场内 8 回 66kV 集电海缆、风电场至登陆点的 1 回 500kV 送出海底电缆工程进行评价。

1.2 建设项目特点

项目名称：珠海高栏一海上风电项目

项目性质：新建

行业类别：D4415 风力发电、E4834 海底设施铺设工程建筑。

地理位置：项目风电场址位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，场址四至地理坐标为东经 113°05′24.798″~113°10′20.46″，北纬 21°25′26.82″~21°31′38.64″，场址面积 74km²，中心离岸距离约 47km，水深介于 32~37.5m 之间；海缆登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上海岸线处。

建设内容：项目拟布置 36 台 14MW 风电机组，配套建设 1 座 500kV 海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆（路由总长度 58.98km）、1 回 500kV 外送海底电缆（路

由总长度 57.52km)。风电机组发出的电能通过 8 回 66kV 集电海底电缆接入 500kV 海上升压站，海上升压站布置 1 台容量为 550MVA 的主变压器，500kV 侧采用线变组接线，66kV 侧采用单母分段接线，升压后通过 1 回 500kV 送出海底电缆输送至陆上集控中心。本项目总装机容量为 504MW，年上网电量 1493.939GWh，年等效满发小时数为 2964h，容量系数 33.8%。项目用海总面积 378.5100hm²，其中风机机组（透水构筑物）用海面积 179.5536hm²；海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.3564hm²；海底电缆（含 500kV、66kV 集电海缆）用海面积 196.6000hm²。

项目投资：项目海域工程内容总投资 533625 万元，其中环保投资 735.5 万元，约占工程总投资的 0.14%。

施工计划：项目海域工程施工期 16 个月，其中工程主体施工总工期为 15 个月，计划 2026 年 4 月开工，2027 年 7 月全部风机建成投产发电。本工程于 T+0 月开工后，T+3 月后施工准备完成，主体工程开始施工，第 T+13 个月后首批 5 台 14.0MW 机组发电，第 T+16 个月之后全部 36 台风机投产发电。

环评责任：本报告仅对项目海上风机、海上升压站、海底电缆工程进行评价，建设内容为 36 台 14MW 风电机组、1 座海上升压站、场内 8 回 66kV 集电海缆、1 回 500kV 送出海底电缆（风电场至登陆点）。本报告对项目评价时段仅包括施工期及运营期。本项目设计运行期 25 年，工程退役后的初步拆除和清理方案应按照《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》第二十八条规定执行，项目退役期环境影响评价需届时根据废弃工程具体方案进行详细分析、另行评价，不属于本次环评责任范围。项目陆上集控中心、海岸线向陆侧埋地电缆已单独开展环评，并且已于 2024 年 12 月 31 日取得《珠海市生态环境局关于珠海高栏一海上风电项目陆上集控中心环境影响报告书的批复》（珠环辐建〔2024〕8 号），不属于本次环评责任范围。

1.3 环境影响评价过程

本项目在珠海市高栏岛、荷包岛以南海域建设海上风电场，总装机容量为 504MW，建设 36 台 14MW 风电机组、1 座 500kV 海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆（长度 58.98km）、1 回 500kV 外送海底电缆（长度 57.52km），海缆敷设总长度 116.5km。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年），项目总装机容量 5

04MW 风电场建设属于“五十四、海洋工程”中“151 海洋能源开发利用类工程——总装机容量 5 万千瓦及以上的海上风电工程及其输送设施及网络工程”类，应编制环境影响报告书；项目 116.5km 海底电缆敷设属于“五十四、海洋工程”中“152 海底隧道、管道、电（光）缆工程——挖沟埋设单条管道长度 20 公里及以上的海上和海底电（光）缆工程、海上和海底输水管道工程、天然气及无毒无害物质输送管道工程”类，应编制环境影响报告书；项目 500kV 海上升压站建设属于“五十五、核与辐射”中“161 输变电工程——500 千伏及以上的”类，应编制环境影响报告书。根据“建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”的原则，本项目应编制环境影响报告书。

国华华发（珠海）新能源有限公司根据《中华人民共和国环境保护法》《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》《建设项目环境保护管理条例》等法规要求，委托青岛博研海洋环境科技有限公司承担“珠海高栏一海上风电项目”环境影响评价工作。我公司接受委托后，成立项目组，在认真研究建设单位提供的有关资料，对项目进行了现场踏勘，并收集评价区已有资料的基础上，根据国家有关建设项目环境影响评价、海洋工程环境影响评价工作法规和技术规范要求，对项目建设可能造成的环境进行预测和评价，编制完成了《珠海高栏一海上风电项目环境影响报告书》。本评价具体工作过程如下：

（1）2024 年 6 月 17 日，受国华华发（珠海）新能源有限公司委托，青岛博研海洋环境科技有限公司承担“珠海高栏一海上风电项目”的环境影响评价工作。

（2）接受委托后，我单位立即成立了项目组，在认真研究了该项目相关材料的基础上，组织进行了现场踏勘，收集了项目建设和区域环境相关资料。

（3）根据建设单位提供的技术资料进行工程分析，确定评价思路、评价重点及各环境要素评价等级；项目组根据分工进行各章节编写、汇总，提出污染防治对策和生态保护措施，并论证其可行性。编制完成《珠海高栏一海上风电项目环境影响报告书（内审稿）》。

（4）环境影响报告书内审稿进入青岛博研海洋环境科技有限公司内审程序，经校核、审核、审定后，形成《珠海高栏一海上风电项目环境影响报告书（征求意见稿）》。

（5）环境影响评价报告书编制期间，建设单位按照《环境影响评价公众参与办法》要求开展了公众参与。公示期间未收到公众关于本项目的反馈意见。

2024年6月20日，建设单位按照《环境影响评价公众参与办法》的相关要求在环评爱好者网站（网址：[Http://www.eiafans.com/tHread-1431664-1-1.Html](http://www.eiafans.com/tHread-1431664-1-1.Html)）进行项目首次环境影响评价信息公示，公示期间未收到环境保护相关公众反馈信息。

环境影响报告书征求意见稿编制完成后，建设单位于2025年12月16日在全国建设项目环境信息公示平台（网址：<https://www.eiacloud.com/gs/detail/1?id=51216HACLi>）对本项目征求意见稿进行了公示；同时于2025年12月18日、2025年12月22日在《南方都市报》开展了2次报纸公示，于2025年12月16日在荷包村、铁炉村、南水镇政府、高栏村、高栏港大厦分别张贴公告。公示期间未收到公众关于本项目的反馈意见。

2026年1月21日，建设单位在国华能源投资有限公司官方网站（网址：<http://ghtz.shenhuagroup.com.cn/ghtz/1382704013773/202601/b0fda6fc6c034127952a9a9523826915.shtml>）公示了拟报批的环境影响报告书全本以及环境影响评价公众参与说明。公示期间未收到公众关于本项目的反馈意见。

1.4 分析判定相关情况

（1）产业政策符合性

本项目为海上风电场建设工程，项目已取得《珠海市发展和改革局关于珠海高栏一海上风电项目核准的批复》（珠发改核准〔2024〕2号），项目代码为：2405-440404-04-01-719291。

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，项目属于“鼓励类”中“五、新能源”第1项：“风力发电技术与应用：**海上风电场建设**与设备及海底电缆制造等”；根据《市场准入负面清单(2025年版)》，项目不属于禁止准入的负面清单项目；根据《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录（2024年本）》，项目属于“一、鼓励类”第八项“其他”中的“**4.海洋可再生能源**、海水淡化与综合利用、海洋药物和生物制品、海洋工程装备制造、深远海养殖、海洋牧场项目”。综上，本项目建设符合国家产业政策要求。

（2）选址、规划符合性

本项目风电场区、海上升压站、66kV集电海缆位于《广东省国土空间总体规划（2021-2035年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》和《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035年）》划定的工矿通信用海区，500kV送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区，项目建设符合所在功能区的空间准入和管控要求。

项目选址、建设规模符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030）》（2023 年修编），符合《“十四五”可再生能源发展规划》《“十四五”现代能源体系规划》《广东省能源发展“十四五”规划》《2030 年前碳达峰行动方案》《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》等相关规划要求。

（3）“三线一单”符合性分析

1）生态保护红线

本项目不占用广东省“三区三线”划定成果中的生态保护红线区，不在《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》划定的红线区范围，施工作业、悬沙扩散均不会影响红线区，符合生态保护红线要求。

2）环境质量底线

根据《2024 年珠海市环境质量状况》，珠海市 2024 年环境空气质量较好，属于达标区；根据项目海域海洋生态环境质量现状调查结果分析，项目周边海域海水水质、海洋沉积物存在超标现象，调查潮间带沉积物均满足所在功能区标准，调查海域内生物体质量较好。本项目对施工产生的废水、废气、噪声、固废等均采取了规范合理的处理措施，不向海域排放；项目为清洁能源开发利用项目，运营期不产生大气、废水、固体废弃物等污染物，也不会产生大的噪声污染；且本项目实施的同时建设单位将及时对本项目造成的生态损失及时进行补偿修复。因此，本项目的建设对所在海域的海洋环境质量影响较小，对实现珠海市近岸海域环境质量底线影响不大，符合区域环境质量底线要求。

3）资源利用上线

本项目为海上风电项目，项目运营期间不涉及能源、水、土地资源的消耗；且项目属于清洁能源开发利用项目，项目运营可优化区域能源结构，推动可再生资源开发利用，提高全市非化石能源消费比重。因此，本项目建设符合资源利用上线的要求。

4）环境准入清单

根据《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》《珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案（2023 年修订）》，并结合广东省“三线一单”数据管理及应用平台查询结果，项目不涉及优先保护单元，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003），500kV

送出海缆穿越湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003）、湛江-珠海近海农渔业区-劣四类海域（HY44040020030）、高栏港口航运区-劣四类海域（HY44040020018）。

本项目进行海上风电工程建设，充分利用区域风能资源发电，为清洁能源开发利用项目，项目运营可优化区域能源结构，推动可再生资源开发利用。本项目占用海域没有人工鱼礁、珊瑚礁生态系统，项目的开展不会改变海域自然属性、不会影响毗邻海域用海功能。因此，项目建设符合所在海域管控单元的区域布局管控要求。项目根据区域风电规划合理设计布局，海底电缆管道埋设于底土，不影响水体和水面的开发利用，体现节约集约用海；送出海缆登陆段采用定向钻施工方式穿越海岸线，不影响登陆点处海堤的结构稳定性，不影响岸线自然属性，保持岸线形态。因此，项目建设符合所在管控单元能源资源利用要求。项目施工期废水、废气、噪声、固废等均采取了规范合理的处理措施，不向海域排放；运营期不产生大气、废水、固体废弃物等污染物，也不会产生大的噪声污染。因此，项目建设符合所在管控单元的污染物排放管控要求。本项目施工期、运营期均制定海上溢油应急预案、配备溢油应急物资，加强施工期、运营期船舶管理，采取溢油防范措施，降低海上溢油风险，符合所在管控单元环境风险防控要求。因此，项目建设符合所在管控单元的区域布局管控、能源资源利用、污染物排放管控、环境风险防控要求。

综上所述，本项目不占用生态保护红线，符合《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》《珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案》的相关要求。

1.5 关注的主要环境问题及环境影响

本项目主要关注的环境问题及环境影响如下：

（1）施工期风机基础、海上升压站建设以及海缆敷设等施工扰动产生的悬浮泥沙对工程海域水质、沉积物、生态环境的影响；

（2）项目建设占用海域对周边海域水文动力、地形地貌及冲淤环境、海洋生态环境、渔业资源的影响；

（3）施工噪声、风机运行噪声、电磁辐射等对海洋生物影响；风机施工及运营对区域鸟类迁徙、栖息及其生境的影响；

（4）项目施工及运营对中华白海豚自然保护区、生态红线区、渔业资源“三场一通道”、海岛、养殖区、珍稀保护生物（海龟、文昌鱼、中华白海豚）、国控水质监测站点等环境敏感目标的影响；

(5) 海上溢油事故对海洋环境及环境保护目标的影响；

(6) 项目施工及运营期间废水、废气、噪声、电磁辐射和固体废物治理措施的可行性。

1.6 环境影响评价结论

本项目建设符合国家产业政策，符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》的管控要求；符合《“十四五”现代能源体系规划》《广东省能源发展“十四五”规划》《广东省发展改革委关于调整全省海上风电场址的通知》（粤发改能源函〔2023〕48 号）和《广东省海上风电发展规划（2017-2030）》（2023 年修编）。本项目废气、噪声排放及所产生的电磁辐射均满足国家标准要求，废水和固体废物得到妥善处置，对周围环境敏感目标影响较小，各污染防治措施具有经济技术可行性。项目建设对附近海域水质、沉积物、水文动力、地形地貌和冲淤环境的影响较小；本项目实施的同时建设单位将及时对本项目造成的生态损失及时进行补偿修复，项目建设对周边生态环境的影响较小。本项目风险水平为低风险，在落实了相关应急设施，加强风险管理，采取风险防范措施后，可以降低海上溢油环境风险，本项目的环境风险可防可控。

综上，建设单位在认真落实本报告书提出的各项环保对策和建议，并加强环保管理的前提下，从环境保护的角度，项目建设是可行的。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 国家法律法规

(1) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国环境保护法》，主席令第九号，2014年4月24日修订通过，2015年1月1日施行；

(2) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国环境影响评价法》，2018年12月29日修订通过，2018年12月施行；

(3) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国海洋环境保护法》，2023年10月24日修正，2024年1月1日实施；

(4) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国海域使用管理法》，2001年10月发布，2002年1月施行；

(5) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国海岛保护法》，2009年12月26日中华人民共和国主席令第二十二号公布，2010年3月1日起施行；

(6) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国渔业法》（2013年修订），2013年12月28日第四次修正，2014年3月1日起实施；

(7) 中华人民共和国国务院，《中华人民共和国渔业法实施细则》，国务院令732号，2020年11月29日第二次修订，2020年12月11日实施；

(8) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国水污染防治法》，2017年6月27日第二次修正，2018年1月1日起实施；

(9) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国大气污染防治法》，2018年10月26日修订，2018年10月26日施行；

(10) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国噪声污染防治法》，2021年12月24日发布，2022年6月5日起施行；

(11) 全国人民代表大会常务委员会，《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，2020年9月1日施行；

(12) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国清洁生产促进法》，2012年2月29日修订，2012年7月1日施行；

(13) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国突发事件应对法》，2024年6月28日公布，2024年11月1日施行；

(14) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国海上交通安全法》，2021年4月29日修订，2021年9月1日实施；

(15) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国可再生能源法》，2009年12月26日修正，2010年4月1日施行；

(16) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国湿地保护法》，2021年12月24日公布，2022年6月1日施行；

(17) 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国野生动物保护法》，2022年12月30日第二次修订，2023年5月1日施行；

(18) 中华人民共和国国务院，《中华人民共和国自然保护区条例》，国令第167号，2017年10月7日第二次修订；

(19) 中华人民共和国国务院，《建设项目环境保护管理条例》，国令第682号，2017年6月21日修订，2017年10月1日施行；

(20) 中华人民共和国国务院，《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018年3月19日修订，2018年3月19日施行；

(21) 中华人民共和国国务院，《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018年03月19日修订；

(22) 中华人民共和国国务院，《中华人民共和国防治船舶污染海洋环境管理条例》，2018年3月19日第六次修订；

(23) 中华人民共和国国务院，《电力设施保护条例》，2011年1月8日第二次修订。

2.1.2 国家部门规章及规范性文件

(1) 中华人民共和国国务院，《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号），2013年9月10日；

(2) 中华人民共和国国家发展和改革委员会，《产业结构调整指导目录（2024年本）》，发改委令第7号，2024年2月1日实施；

(3) 国家发展改革委 商务部 市场监管总局，《市场准入负面清单(2025年版)》，发改体改规〔2025〕466号，2025年4月16日；

(4) 自然资源部、国家发展和改革委员会、国家林业和草原局，《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录（2024年本）》，自然资发〔2024〕273号，2024年12月2日发布；

- (5) 中华人民共和国生态环境部，《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部 16 号令，2021 年 1 月 1 日实施；
- (6) 中华人民共和国生态环境部，《固定污染源排污许可分类管理名录（2019 版）》，2019 年 12 月 20 日发布实施；
- (7) 生态环境部，《国家危险废物名录（2025 年版）》，2020 年 11 月公布，2021 年 1 月实施；
- (8) 中华人民共和国环境保护部，《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》（环发〔2012〕98 号），2012 年 8 月 7 日；
- (9) 中华人民共和国环境保护部，《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评〔2016〕150 号），2016 年 10 月 27 日印发；
- (10) 中华人民共和国生态环境部，《环境影响评价公众参与办法》，2018 年 7 月 16 日生态环境部令第 4 号公布，2019 年 1 月 1 日施行；
- (11) 中华人民共和国生态环境部，《关于发布<环境影响评价公众参与办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2018 年第 48 号，2018 年 10 月 12 日；
- (12) 中华人民共和国环境保护部、农业部，《关于进一步加强水生生物资源保护严格环境影响评价的通知》，环发〔2013〕86 号，2013 年 8 月 5 日；
- (13) 自然资源部办公厅，《自然资源部办公厅关于北京等省(区、市)启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》，自然资办函〔2022〕220 7 号，2022 年 10 月 14 日发布实施；
- (14) 自然资源部、生态环境部、国家林业和草原局，《关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142 号，2022 年 8 月 16 日；
- (15) 自然资源部办公厅，《海洋灾害应急预案》，2022 年 8 月 30 日印发；
- (16) 中华人民共和国交通运输部，《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》，交海发〔2007〕165 号，2007 年 4 月 10 日发布，2007 年 5 月 1 日起实施；
- (17) 中华人民共和国交通运输部，《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》，2017 年第 15 号令第四次修正，2017 年 5 月 23 日起施行；
- (18) 中华人民共和国交通运输部海事局，《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，2018 年 11 月 30 日；
- (19) 中华人民共和国交通运输部，《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急

防备和应急处置管理规定》，中华人民共和国交通运输部令 2019 年第 40 号修订，2019 年 11 月 28 日施行；

(20) 中华人民共和国交通运输部，《中华人民共和国水上水下作业和活动通航安全管理规定》，中华人民共和国交通运输部令 2021 年第 24 号，2021 年 9 月 1 日施行；

(21) 中华人民共和国国土资源部，《海底电缆管道保护规定》，国土资源部令第 24 号，2004 年 3 月 1 日起施行；

(22) 国家海洋局，《关于铺设海底电缆管道管理有关事项的通知》，国海规范〔2017〕8 号，2017 年 5 月 2 日；

(23) 国家发展改革委、国土资源部、国家环保总局，《风电场工程建设用地和环境保护管理暂行办法》，发改能源〔2005〕1511 号，2005 年 8 月 9 日发布；

(24) 国家能源局、国家海洋局，《海上风电开发建设管理办法》，国能新能〔2016〕394 号，2016 年 12 月 29 日；

(25) 自然资源部，《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》，2024 年 12 月 30 日发布；

(26) 生态环境部、发展改革委、自然资源部、住房城乡建设部、交通运输部、农业农村部、中国海警局，《重点海域综合治理攻坚战行动方案》（环海洋〔2022〕11 号），2022 年 1 月 29 日发布，2022 年 1 月 29 日实施；

(27) 中华人民共和国农业部，《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，2013 年 12 月 7 日第二次修订；

(28) 环境保护部、农业部，《关于进一步加强水生生物资源保护严格环境影响评价管理的通知》（环发〔2013〕86 号），2013 年 8 月 5 日；

(29) 中华人民共和国农业部，《水生生物增殖放流管理规定》，农业部令第 20 号，2009 年 3 月 24 日发布，2009 年 5 月 1 日施行；

(30) 中华人民共和国国务院，《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》（国发〔2021〕23 号），2021 年 10 月 24 日；

(31) 自然资源部办公厅，《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》，自然资办函〔2022〕640 号，2022 年 4 月 15 日；

(32) 环境保护部，《船舶水污染防治技术政策》，环境保护部公告 2018 年第 8 号，2018 年 1 月 11 日。

2.1.3 地方性法规、规章及规范性文件

(1) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省环境保护条例》，2022 年 1 月 30 日第三次修订；

(2) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省海域使用管理条例》，2021 年 9 月 29 日修正；

(3) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省渔业管理条例》，2019 年 9 月 25 日第三次修正；

(4) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省固体废物污染环境防治条例》，2022 年 11 月 30 日第三次修正；

(5) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省大气污染防治条例》，2022 年 11 月 30 日修正；

(6) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省水污染防治条例》，2021 年 9 月 29 日修正；

(7) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省野生动物保护管理条例》，2020 年 3 月 31 日修订；

(8) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省实施〈中华人民共和国海洋环境保护法〉办法》，2018 年 11 月 29 日第二次修正；

(9) 广东省人民代表大会常务委员会，《广东省实施〈中华人民共和国环境噪声污染防治〉办法》，2018 年 11 月 29 日第三次修正；

(10) 广东省人民政府，《广东省人民政府颁布〈广东省铺设海底电缆管道管理办法〉的通知》，粤府〔1999〕20 号，1999 年 4 月 1 日起施行；

(11) 广东省人民政府办公厅，《广东省海洋特别保护区管理规定》，粤府办〔2012〕29 号，2012 年 4 月 17 日施行；

(12) 广东省自然资源厅，《关于印发〈关于推进广东省海岸带保护与利用综合示范区建设的指导意见〉的通知》，粤自然资发〔2019〕37 号，2019 年 6 月 20 日；

(13) 广东省自然资源厅，《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法的通知》，2025 年 6 月 12 日；

(14) 《广东省交通运输厅关于印发广东省珠三角水域船舶排放控制区实施意见的通知》，粤交港〔2017〕469 号；

(15) 《广东省生态环境厅关于开展近岸海域严格控制区管控优化调整试点工作的通知》，粤环函〔2020〕420号；

(16) 《广东省生态环境厅关于优化调整严格控制区管控工作的通知》，粤环函〔2021〕179号；

(17) 广东省人民政府，《关于培育发展战略性新兴产业集群和战略性新兴产业集群的意见》，粤府函〔2020〕82号，2020年5月18日；

(18) 广东省发展和改革委员会、广东省能源局、广东省科学技术厅、广东省工业和信息化厅、广东省自然资源厅、广东省生态环境厅，《广东省培育新能源战略新兴产业集群行动计划（2021-2025年）》，2020年9月25日印发；

(19) 广东省人民政府，《广东省碳达峰实施方案》，粤府〔2022〕56号，2022年6月23日；

(20) 广东省自然资源厅，《关于下发生态保护红线和“双评价”矢量数据成果的函》，2020年12月24日；

(21) 广东省人民政府，《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，粤府〔2020〕71号，2020年12月29日；

(22) 广东省自然资源厅 广东省生态环境厅 广东省林业局，《广东省自然资源厅广东省生态环境厅广东省林业局关于严格生态保护红线管理的通知（试行）》，粤自然资发〔2023〕11号，2023年11月28日；

(23) 广东省生态环境厅，《广东省2023年度生态环境分区管控动态更新成果公告》，2024年12月13日；

(24) 江门市人民政府，《广东江门中华白海豚省级自然保护区管理办法》，江府〔2022〕9号，2022年3月24日；

(25) 珠海市人民代表大会常务委员会，《珠海市环境保护条例》，2025年8月1日修订；

(26) 珠海市人民政府，《珠海市人民政府关于印发珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，珠府〔2021〕38号；

(27) 珠海市人民政府，《珠海市人民政府关于印发珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案（2023年修订）的通知》，珠府〔2024〕91号。

2.1.4 相关规划、功能区划

(1) 生态环境部 国家发展和改革委员会 自然资源部 交通运输部 农业农

村部 中国海警局，《“十四五”海洋生态环境保护规划》，环海洋〔2022〕4号，2022年1月7日；

(2) 国家发展改革委、国家能源局，《“十四五”现代能源体系规划》，发改能源〔2022〕210号，2022年1月29日实施；

(3) 广东省人民政府，《广东省国土空间规划（2021-2035年）》，粤府〔2023〕105号，2023年12月6日；

(4) 广东省自然资源厅，《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035年）》，2023年5月10日；

(5) 广东省自然资源厅，《广东省海岸带及海洋空间规划（2021—2035年）》，2025年1月23日；

(6) 广东省人民政府办公厅，《广东省近岸海域环境功能区划》，1999年7月；

(7) 广东省生态环境厅，《广东省生态环境保护“十四五”规划》，2021年12月8日；

(8) 广东省生态环境厅，《广东省生态环境厅关于印发广东省海洋生态环境保护“十四五”规划的通知》，粤环〔2022〕7号，2022年4月27日；

(9) 广东省人民政府办公厅，《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》，粤府办〔2021〕31号，2021年9月29日；

(10) 广东省人民政府办公厅，《广东省海洋经济发展“十四五”规划》，粤府办〔2021〕33号，2021年9月30日；

(11) 广东省人民政府办公厅，《广东省能源发展“十四五”规划》，粤府办〔2022〕8号，2022年4月13日；

(12) 广东省发展和改革委员会，《广东省海上风电发展规划（2017-2030）（2023年修编）》，2018年4月11日；

(13) 广东省发展和改革委员会，《广东省发展改革委关于调整全省海上风电场址的通知》，粤发改能源函〔2023〕48号，2023年1月12日；

(14) 珠海市人民政府，《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》，珠海府函〔2024〕213号，2024年12月31日；

(15) 珠海市自然资源局，《珠海市海岛保护与利用规划》，2023年7月；

(16) 珠海市人民政府，《珠海市人民政府关于印发珠海市生态环境保护暨生

态文明建设“十四五”规划的通知》，珠府〔2022〕10号；

（17）珠海市生态环境局，《珠海市海洋生态环境保护“十四五”规划》，2022年7月12日；

（18）珠海市人民政府，《珠海市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》，珠府〔2021〕21号，2021年4月22日；

（19）珠海市政府常务会，《珠海市海洋经济发展“十四五”规划》，2021年12月10日；

（20）珠海市人民政府，《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035年）》，2023年12月；

（21）珠海市生态环境局，《珠海市环境空气质量功能区划分（2022年修订）》，珠环〔2022〕197号，2023年1月6日；

（22）珠海市生态环境局，《珠海市声环境功能区区划》，珠环〔2020〕177号，2020年12月9日；

（23）珠海市生态环境局，《〈珠海市声环境功能区区划〉的补充通知》，珠环函〔2023〕112号，2023年9月6日。

2.1.5 技术导则及规范

（1）环境保护部，《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016），2016年12月发布，2017年1月实施；

（2）生态环境部，《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），2025年1月发布，2025年2月实施；

（3）生态环境部，《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），2018年07月发布，2018年12月实施；

（4）生态环境部，《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ/T 2.3-2018），2018年9月发布，2019年3月实施；

（5）环境保护部，《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016），2016年1月发布，2016年1月实施；

（6）生态环境部，《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4—2021），2022年4月发布，2022年7月1日实施；

（7）生态环境部，《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ 964-2018），2018年9月发布，2019年7月实施；

(8) 生态环境部,《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ 19-2022),2022年4月发布,2022年7月1日实施;

(9) 生态环境部,《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018),2018年10月发布,2019年3月实施;

(10) 生态环境部,《环境影响评价技术导则 输变电》(HJ 24-2020),2020年12月发布,2021年3月实施;

(11) 交通运输部,《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T 1143-2017),2017年11月1日实施;

(12) 国家海洋局,《海上风电工程环境影响评价技术规范》,2014年4月17日;

(13) 国家海事局,《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》(试行),海船舶〔2011〕588号,2011年9月16实施;

(14) 中华人民共和国农业部,《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007),2017年12月发布,2008年3月实施;

(15) 国家海洋局,《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》,2002年4月实施;

(16) 国家海洋局,《我国近海海洋综合调查与评价专项技术规范》,2006年4月;

(17) 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007),2007年8月发布,2008年2月实施;

(18) 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,《海洋监测规范》(GB 17378-2007),1998年6月发布,2008年5月实施;

(19) 环境保护部,《近岸海域环境监测规范》(HJ 442-2008),2008年11月发布,2009年1月实施;

(20) 环境保护部,《建设项目竣工环境保护验收技术规范 输变电工程》,2014年10月发布,2015年1月实施;

(21) 国家环境保护总局,《海水水质标准》(GB 3097-1997),1997年12月发布,1998年7月实施;

(22) 国家质量监督检验检疫总局,《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002),2002年3月发布,2002年10月实施;

(23) 国家质量监督检验检疫总局,《海洋生物质量》(GB 18421-2001),2001年8月发布,2002年3月实施;

(24) 生态环境部,《海水、海洋沉积物和海洋生物质量评价技术规范》(HJ 1300-2023),2023年10月1日实施;

(25) 国家海洋局,《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》(HYT 215-2017),2017年2月21日发布,2017年6月1日实施;

(26) 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局,《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法(中国第一、二阶段)》(GB15097-2016),2016年8月22日发布,2018年7月1日实施;

(27) 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局,《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018),2018年1月16日发布,2018年7月1日实施;

(28) 生态环境部、国家市场监督管理总局,《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023),2023年1月20日发布,2023年7月1日实施;

(29) 《辐射环境保护管理导则电磁环境影响评价方法与标准》,(HJ/T10.3-1996),1996年5月10日实施;

(30) 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局,《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014),2015年1月1日实施;

(31) 自然资源部,《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022),2022年9月26日发布,2023年1月1日实施;

(32) 交通运输部,《船舶溢油应急能力评估导则》(JT/T 877-2013),2013年10月9日发布,2014年1月1日实施;

(33) 交通运输部,《溢油应急处置船应急装备物资配备要求》(JT/T 1144-2017),2017年7月4日发布,2017年11月1日实施。

2.1.6 项目基础资料

(1) 项目环境影响评价委托书,2024年6月17日;

(2) 《珠海高栏一海上风电项目预可行性研究报告》,中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司,2024年1月;

(3) 《珠海市发展和改革局关于珠海高栏一海上风电项目核准批复》,珠发改核准〔2024〕2号,2024年5月;

(4) 《珠海市发展和改革局关于珠海高栏一海上风电项目变更核准内容的

批复》，珠发改核准〔2025〕1号，2025年1月；

(5) 《珠海高栏一海上风电项目初步设计报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2025年9月；

(6) 《珠海高栏一海上风电项目冬季全潮水文观测成果报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024年3月；

(7) 《珠海高栏一海上风电场海洋环境现状调查（秋季）生态调查报告》，国家海洋局南海调查技术中心，2024年1月；

(8) 《珠海高栏一海上风电场海洋环境现状调查（春季）生态调查报告》，国家海洋局南海调查技术中心，2024年4月；

(9) 《珠海高栏一海上风电场项目水上水下噪声监测专题研究报告》，中山大学，2024年3月；

(10) 《珠海高栏一风电场项目电磁辐射监测报告》，深圳中检联检测有限公司，2023年12月；

(11) 《高栏一海上风电场项目鸟类现状监测专题报告》，广东省科学院动物研究所，2024年8月；

(12) 《珠海高栏海上风电项目对中华白海豚影响专题报告》，中山大学，2025年7月；

(13) 《珠海高栏场址一海上风电项目路由选择依据说明材料》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院，2024年4月；

(14) 《珠海高栏一海上风电项目通航安全影响咨询报告》，国华（陆河）新能源有限公司、广州港海工程咨询有限公司，2024年4月；

(15) 《珠海高栏一海上风电项目海域使用论证报告书（报批稿）》，青岛博研海洋环境科技有限公司，2024年5月；

(16) 《珠海市海洋发展局关于珠海高栏一海上风电项目用海预审意见的函》。

2.2 评价目的及评价重点

2.2.1 评价目的

(1) 通过现场踏勘和资料收集，查清拟建项目周围区域自然环境和污染源状况；根据区域规划及环境质量现状，识别制约项目的主要环境因素，并提出对策建议。

(2) 通过工程分析和类比调查,确定项目的产污环节、排污特征及生态环境影响因素,确定主要污染源、主要污染物及排放强度,核算污染物排放量,选择适当模式,预测分析该项目环境影响范围和程度,提出环保对策措施。

(3) 依据国家有关环境标准,评价拟采用的污染源治理措施的合理性、可行性和可靠性,经治理后的污染源是否能满足稳定达标排放的要求。以最大限度减少项目对环境的不利影响。对项目分析中发现的环境保护问题提出改进措施或污染防治对策措施和建议。

(4) 从环境保护的角度,对项目建设的可行性给出明确结论,为项目的审批和环境管理提供科学依据。

2.2.2 评价时段、内容及重点

(1) 评价时段

本项目环境影响评价时段包括拟建工程施工期和运营期 2 个时段。

(2) 评价内容

评价主要工作内容:项目概况、工程分析、环境现状调查与评价、环境影响预测与评价(包括水动力环境、地形地貌与冲淤环境、水质环境、海洋沉积物环境、海洋生态环境、大气环境、声环境、电磁环境、固体废物等)、环境风险影响分析与评价、环境保护措施及其可行性论证、环境影响经济损益分析、环境管理与监测计划、政策符合性与项目选址布局合理性分析。

(3) 评价重点

根据本项目特点及周围地区环境特征,本次评价的重点为项目建设对水动力环境、水质环境、沉积物环境、海洋生态环境、环境敏感目标的影响评价,对项目环境保护对策与措施合理性及可行性进行分析。

1) 项目建设对海洋水文动力、地形地貌及冲淤环境的影响预测与评价;

2) 风机机组、海上升压站建设及海缆铺设施工对海水水质、海洋生态、渔业资源的影响;

3) 项目施工期船舶机械运行、打桩噪声和运营期风机运行噪声对海洋生物及其生境的影响预测与评价;

4) 运营期电磁辐射对海洋生物及其生境的影响预测与评价;

5) 项目建设对自然保护、生态保护红线、水生生物三场一通道、海岛、养殖区、珍稀濒危生物、鸟类等环境敏感区、环境敏感目标的影响分析与评价;以及项目建

设对周边海域通航环境的影响分析；

- 6) 项目建设的环境事故风险预测与评价；
- 7) 项目环境保护措施及其可行性分析；
- 8) 工程建设与相关规划及功能区划的符合性分析。

2.2.3 环评责任

本报告仅对项目海上风机、海上升压站、海底电缆工程的环境影响进行评价，建设内容为 36 台 14MW 风电机组、1 座海上升压站、场内 8 回 66kV 集电海缆、1 回 500kV 送出海底电缆（风电场至登陆点）。

本报告对项目评价时段仅包括施工期及运营期。本项目设计运行期 25 年，工程退役后的初步拆除和清理方案应按照《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》第二十八条规定执行，项目退役期环境影响评价需届时根据废弃工程具体方案进行详细分析、另行评价，不属于本次环评责任影响报告书的批复》（珠环辐建〔2024〕8 号），不属于本次环评责任范围。

2.3 环境影响因素识别和评价因子筛选

2.3.1 环境影响因素识别

2.3.1.1 施工期环境影响因素识别

（1）施工期风机机组及海上升压站基础打桩、海缆敷设等环节产生的悬浮泥沙对海水水质环境造成一定影响；施工作业产生的施工人员生活污水、施工船舶含油废水对附近海域海水水质环境产生一定影响。

（2）海上施工船舶、机械燃油尾气对大气环境的影响；

（3）施工船舶航行、海底电缆敷设、施工点打桩作业等产生的噪声对工程附近声环境的影响；

（4）施工期间海上作业产生的生活垃圾和生产垃圾对环境的影响。

（5）项目风机机组及海上升压站建设、海缆敷设产生的悬浮泥沙对海洋生物资源、生态环境造成的影响，项目施工作业噪声对海洋生态和鸟类生态的影响。

2.3.1.2 运营期环境影响因素识别

（1）风机机组、海上升压站维护及检修期间产生的含油污水、维护人员生活污水对周边海域海水水质环境的影响。

（2）风机机组、海上升压站维护及检修期间产生的船舶废气对大气环境的影响。

(3) 风机机组运行噪声对周边海域声环境的影响。

(4) 风机机组、海上升压站维护及检修期间产生的含油废物、维护人员生活垃圾对周边环境的影响。

(5) 海上升压站、输电线路产生的电磁辐射对周边海域海洋生态环境的影响。

(6) 项目风机机组、海上升压站建设占用海域，压缩生物资源生存空间，造成海洋生物损失；项目建成后对周边海域水动力环境、冲淤环境、海洋生态环境产生一定影响，项目风机运行噪声、电磁辐射等对海洋生态和鸟类生态的影响。

项目各阶段环境影响因素识别见表 2.3-1。

表 2.3-1 项目环境影响因素识别一览表

评价时段	环境要素		工程内容及特征	影响性质	影响程度
施工期	海洋生态环境	海水水质	风机机组、海上升压站建设、海缆敷设等施工扰动悬浮泥沙	短期、不利、可逆、非累积	一般
			施工船舶油污水、施工人员生活污水、施工废水	--	无影响
		海洋沉积物	风机机组、海上升压站建设和海缆敷设扰动	短期、不利、可逆、非累积	较小
			施工作业废水、固废	--	无影响
		海洋生态	风机机组、海上升压站建设、海缆敷设施工扰动悬浮泥沙，海缆敷设管沟开挖作业	短期、不利、可逆、非累积	一般
	声环境		打桩作业，施工船舶、机械运行	短期、不利、可逆、非累积	较小
	鸟类		施工作业活动	短期、不利、可逆、非累积	较小
	大气环境		施工船舶、机械燃油	短期、不利、可逆、非累积	较小
	固体废物		扫海清障、定向钻施工固废，施工船舶生活垃圾	--	无影响
	通航环境		施工作业活动、施工船舶通行	--	无影响
	环境风险		施工船舶碰撞事故	短期、不利、可逆、非累积	较小
运营期	海洋生态环境	水文动力	风电机组、海上升压站桩基	长期、不利、可逆、非累积	较小
		地形地貌与冲淤环境	风电机组、海上升压站桩基	长期、不利、可逆、非累积	较小
		海水水质	运维船舶生活污水、机舱含油污水	--	无影响
		沉积物	风电机组、海上升压站检修废水、固废	--	无影响
		海洋生态	风电机组、海上升压站永久占用海域	长期、不利、可逆、非累积	一般
	声环境		风机运行噪声	长期、不利、可逆、非累积	较小

评价时段	环境要素	工程内容及特征	影响性质	影响程度
	电磁环境	升压站、输电线路电能输送工频电磁场	长期、不利、可逆、非累积	较小
	鸟类	风机运行	长期、不利、可逆、非累积	较小
	大气环境	运维船舶燃油尾气	长期、不利、可逆、非累积	较小
	固体废物	运维船舶生活垃圾, 风电机组、海上升压站检修废物	--	无影响
	通航环境	风机运行	--	无影响
	环境风险	风机润滑油和风机、海上升压站变压器油泄露	短期、不利、可逆、非累积	较小

2.3.2 评价因子筛选

根据建设项目环境影响因素识别和特征污染因子识别结果, 结合本区环境状况筛选评价因子见表 2.3-2。

表 2.3-2a 项目生态环境现状评价因子一览表

环境要素		评价因子		
海洋生态环境	水文动力	流速、流向、潮位等		
	地形地貌与冲淤环境	海洋水深地形、冲淤环境		
	水质	水温、悬浮物质、pH、DO、COD、无机氮（以 N 计）、活性磷酸盐（以 P 计）、石油类、铜、锌、铅、汞、镉、铬、砷、总铬		
	沉积物	汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、有机碳、硫化物、石油类		
	潮间带沉积物	含水率、汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、有机碳、硫化物、石油类		
	海洋生态	初级生产力	叶绿素 a	
		浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物、游泳动物（含鱼卵仔稚鱼）	种类组成、生物量、密度（丰度）、种群结构、群落特征、分布范围、物种多样性指数等；	
		珍稀濒危海洋生物及其生境	种类、数量、种群规模、结构、分布、行为特征，生境的面积、质量、连通性等	
		重要水生生物“三场一通道”	分布范围、生产力	
		生态保护红线	主要保护对象数量和种群规模、主要生态功能、物种栖息地连通性	
生物体质量	铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油烃			
大气环境		SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、CO、O ₃		
声环境		水上噪声：等效连续 A 声级 Leq/L _n 、最大声级 L _{max} 、频带声压级分布； 水下噪声：频带声压级、声压谱级以及各测点的峰值声压级		
电磁环境		工频电场强度、工频磁场强度		
鸟类资源		鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国家级重点保护鸟类受保护鸟类的种类与数量		

表 2.3-2b 项目污染影响评价因子一览表

阶段	环境要素	评价因子
施工期	海水水质	施工悬浮泥沙、COD _{Cr} 、BOD ₅ 、SS、氨氮、石油类
	海洋沉积物	定性分析
	废气	THC、SO ₂ 、CO、NO _x
	噪声	等效连续 A 声级 L _{aeq}
	固废	施工人员生活垃圾、扫海清障物、废弃包装物、钻渣泥浆
	环境风险	石油类
运营期	海水水质	COD _{Cr} 、BOD ₅ 、SS、氨氮、石油类
	海洋沉积物	定性分析
	废气	THC、SO ₂ 、CO、NO _x
	噪声	等效连续 A 声级 L _{aeq}
	电磁	工频电场强度、工频磁场强度
	固废	运维人员生活垃圾、检修废物
	环境风险	石油类

表 2.3-2c 项目生态影响评价因子一览表

受影响对象	评价因子	工程内容	影响方式 ¹	影响性质 ²	影响时段 ³
水文动力环境	海流流速、流向	风机机组、海上升压站占用海域	直接	长期可不逆	生产运行期
地形地貌与冲淤环境	冲淤环境变化	风机机组、海上升压站建设占用海域	直接	长期不可逆	生产运行期
初级生产力	叶绿素 a	风机机组、海上升压站建设	直接	短期可逆	施工期
		海底电缆敷设	直接	短期可逆	施工期
		风机运行，电能输送	直接	长期可逆	生产运行期
浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、游泳动物、鱼类浮游生物（鱼卵、仔稚鱼）	种类组成、生物量、密度（丰度）、种群结构、群落特征、分布范围、物种多样性指数等	风机机组、海上升压站建设	直接	短期可逆	施工期
		海底电缆敷设	直接	短期可逆	施工期
		风机运行，电能输送	直接	长期可逆	生产运行期
珍稀濒危海洋生物及其生境	种类、数量、种群规模、结构、分布、行为特征，生境的面积、质量、连通性等	/	/	/	/
重要水生生物“三场一通道”	分布范围、生产力	/	/	/	/
自然保护地和生态保护红线	主要保护对象数量和种群规模、主要生态功能、物种栖息地连通性	/	/	/	/
注 1：影响方式可分为直接、间接、累积生态影响。					

受影响对象	评价因子	工程内容	影响方式 ¹	影响性质 ²	影响时段 ³
注 2：影响性质包括长期和短期、可逆和不可逆。					
注 3：影响时段包括施工期、生产运行期和服务期满后。					

2.4 环境功能区划

2.4.1 近岸海域环境功能区划

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号），本项目风电场址不在广东省近岸海域环境功能区划范围内，项目海缆登陆段所处近岸海域属于“珠海港口功能区”，标识号为 1010，该区主要功能为港口、工业，水质目标为三类海水水质标准。详见表 2.4-1 和图 2.4-1。

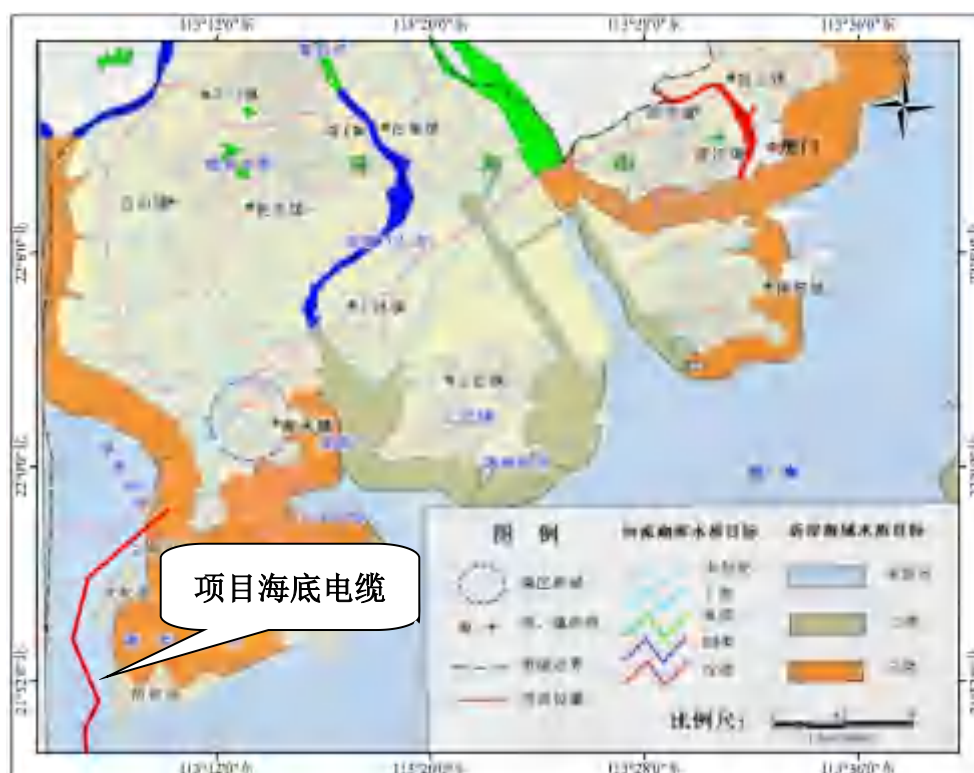


图 2.4-1 项目海缆登陆段与广东省近岸海域环境功能区划叠置图

表 2.4-1 项目海缆登陆段广东省近岸海域环境功能区一览表

标识号	行政区	功能区名称	范围	主要功能	水质目标
1010	珠海市	珠海港口功能区	高栏岛西部沿荷包岛北部、大杧岛东部海域	港口、工业	三类

2.4.2 国土空间规划海洋功能分区

(1) 《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区。项目评价范围内其他海洋功能分区包括：生态保护区、

生态控制区、游憩用海区、特殊用海区等。

(2) 《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》

根据《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区。

(3) 《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》

根据《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区。

(4) 《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》

根据《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，500kV 送出海缆位于渔业用海区和交通运输用海区。



图 2.4-2a 项目与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》中海洋功能区相对位置示意图



图 2.4-2b 项目与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》中海洋功能区相对位置示意图（放大）

广东省海岸带分区发展及管控规划图-环珠江口湾区



图 2.4-3 项目与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》中环珠江口湾区规划相对位置示意图

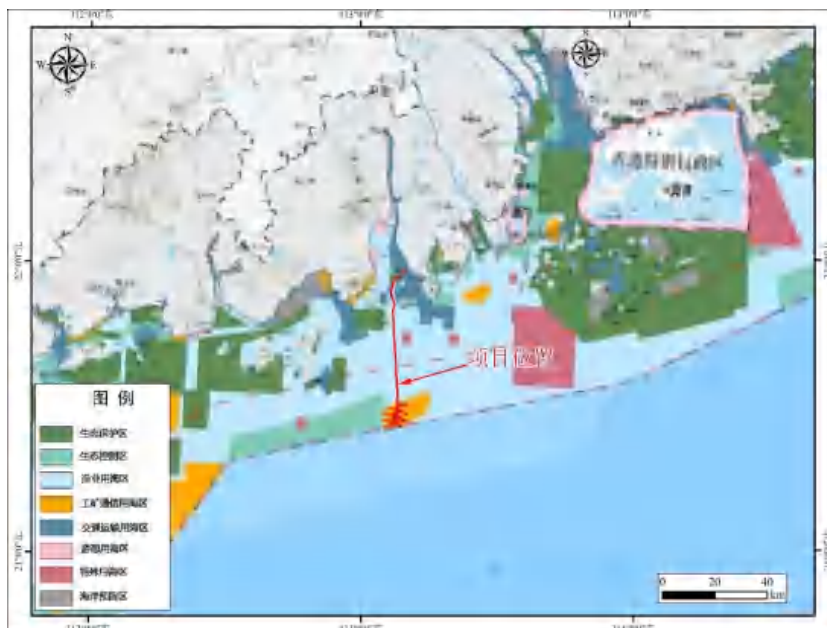


图 2.4-4 项目与《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》中海洋功能分区相对位置示意图

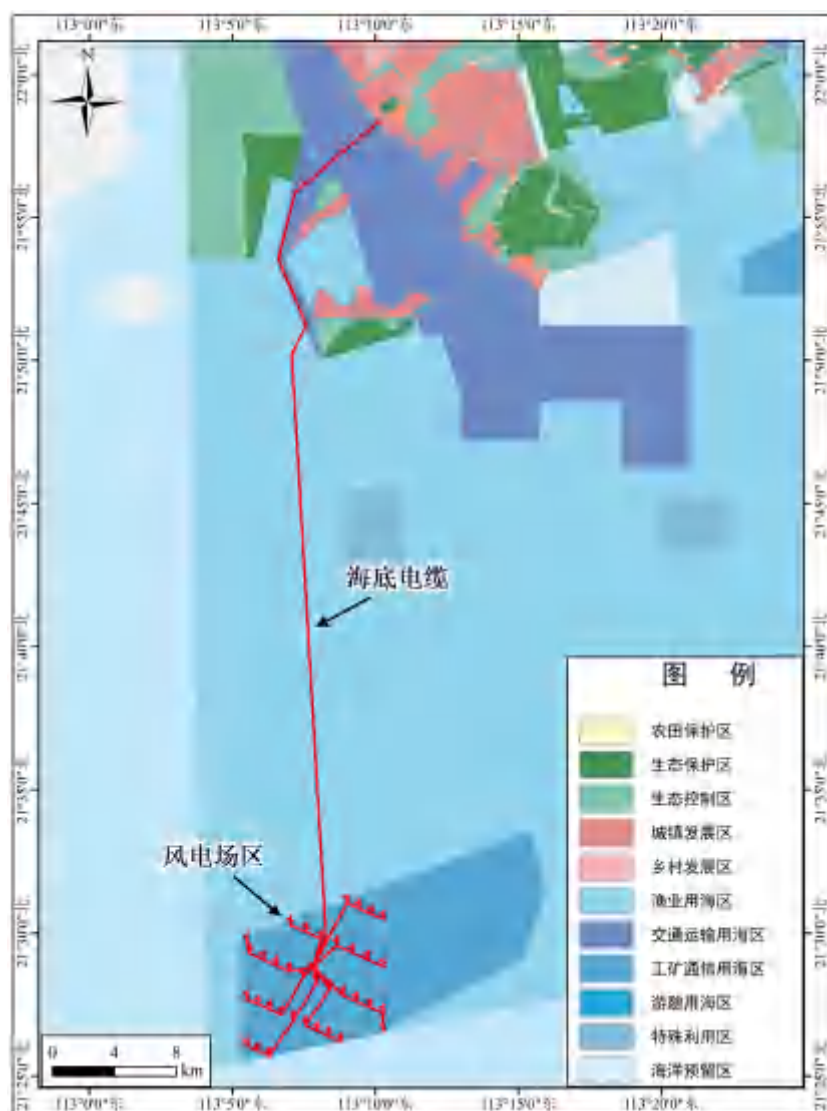


图 2.4-5 项目与《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》中规划分区相对位置示意图

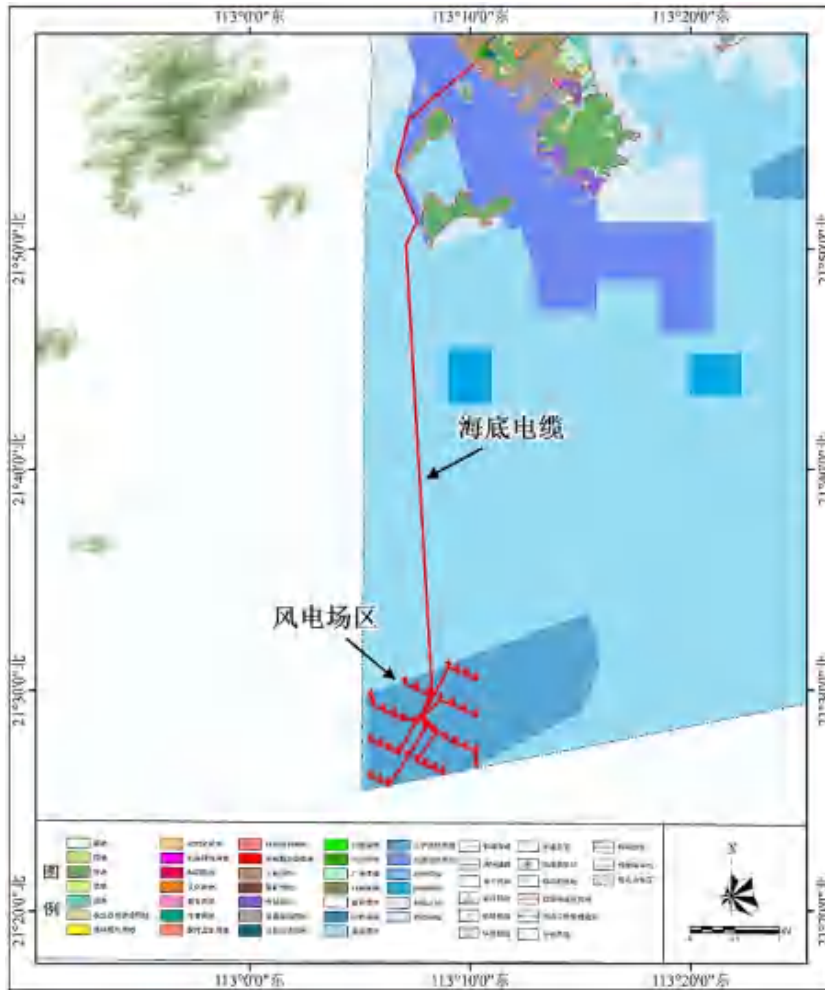


图 2.4-6 项目与《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》中空间规划相对位置示意图

2.4.3 大气环境功能区划

根据《珠海市环境空气质量功能区划分（2022 年修订）》（珠环〔2022〕197 号），项目所在海域未划定功能区。本项目所在海域不属于县级以上人民政府划定的自然保护区、风景名胜区和其她其他需要特殊保护的地区；另外，项目海缆沿线高栏岛、荷包岛以及海缆登陆点周边陆域属于环境空气二类功能区。因此，本项目参考环境空气二类功能区评价，执行《环境空气质量标准》（GB3095-1996）及其修改单）的二级标准限值。

2.4.4 声环境功能区划

根据《珠海市生态环境局关于印发珠海市声环境功能区区划的通知》（珠环〔2020〕177 号）及《珠海市生态环境局关于对《珠海市声环境功能区区划》的补充通知》（珠环函〔2023〕112 号），本项目风电场、海上升压站及海底电缆整体位于海域，暂未划分声环境功能区。项目海缆沿线荷包岛、大杧岛、三角山岛为 2 类声

环境功能区，项目风电场、海上升压站及海底电缆整体所在海域参照 2 类声功能区评价。项目详见图 2.4-7。

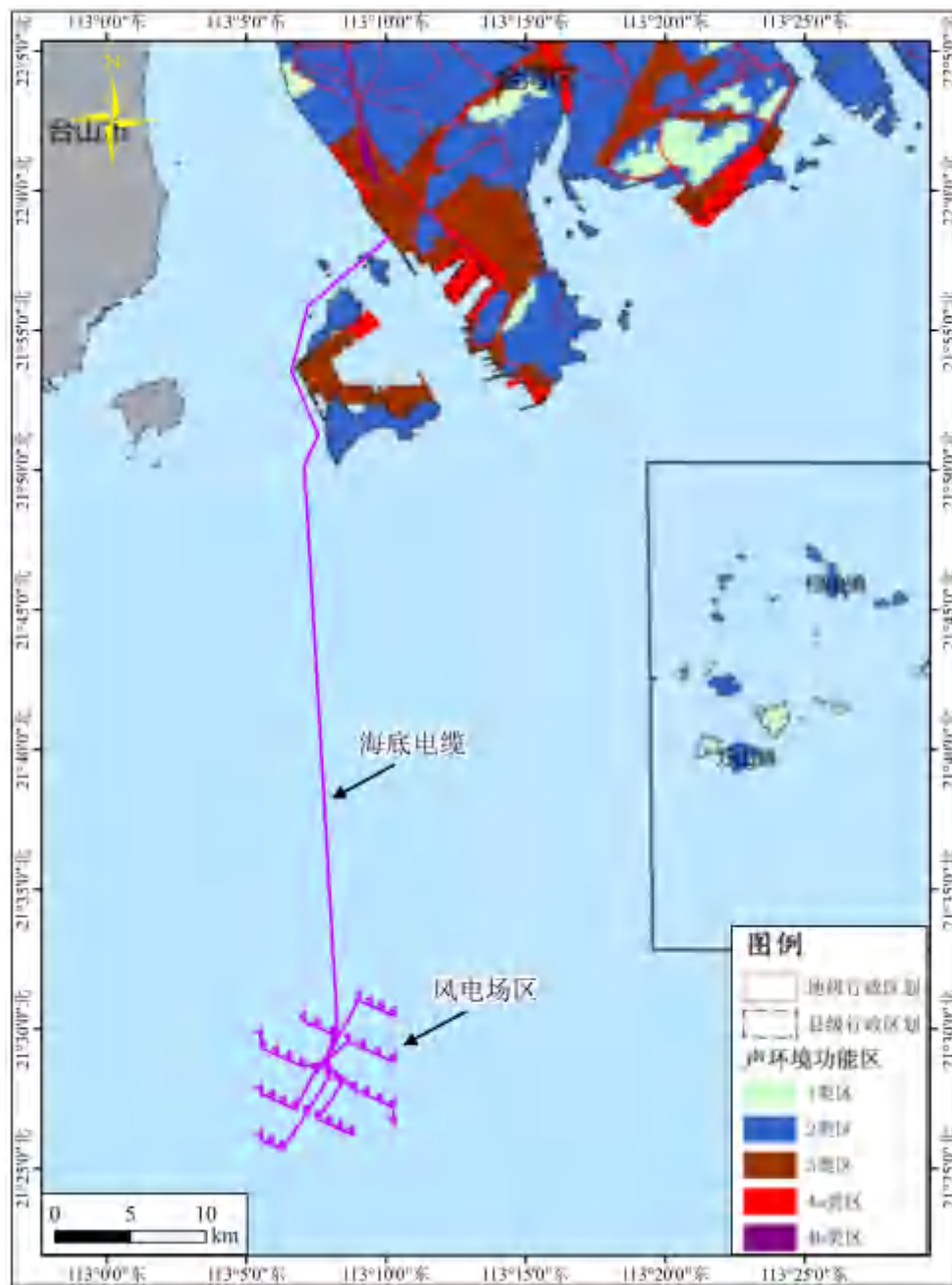


图 2.4-7a 项目与珠海市声环境功能区划图相对位置图

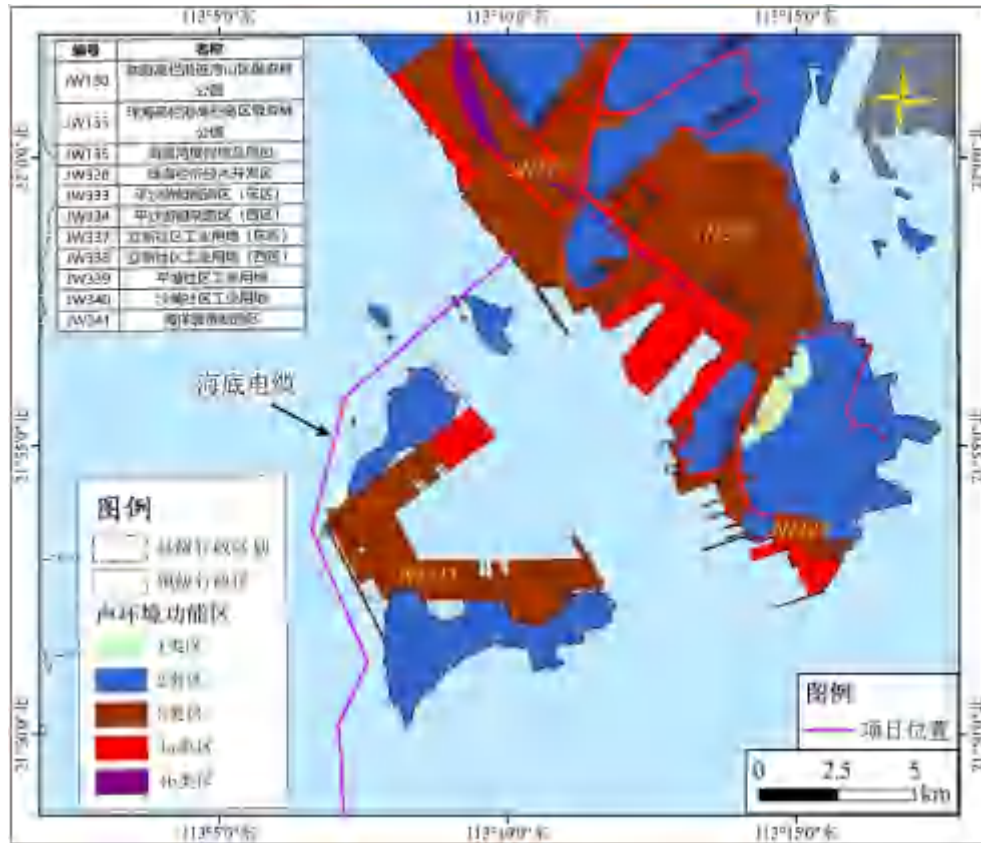


图 2.4-7b 项目与珠海市声环境功能区划图相对位置图

2.4.5 生态环境功能区划

(1) 广东省“三线一单”管控区

本项目位于珠海市金湾区南水镇高栏岛西南侧海域。根据《广东省人民政府关于印发<广东省“三线一单”生态环境分区管控方案>的通知》（粤府〔2020〕71号），本项目风电场区、海上升压站、8回66kV集电海底电缆位于“海域一般管控单元”，500kV送出海缆穿越“海域一般管控单元”、“海域重点管控单元”，见图2.4-8。

(2) 珠海市“三线一单”管控区

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域。根据《珠海市人民政府关于印发珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案（2023年修订）的通知》，并结合广东省“三线一单”数据管理及应用平台查询结果，本项目风电场区、海上升压站、8回66kV集电海底电缆位于湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003），500kV送出海缆穿越湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003）、湛江-珠海近海农渔业区-劣四类海域（HY44040020030）、高栏港口航运区-劣四类海域（HY44040020018）。

本项目与珠海市海域环境管控单元位置关系见图2.4-9。

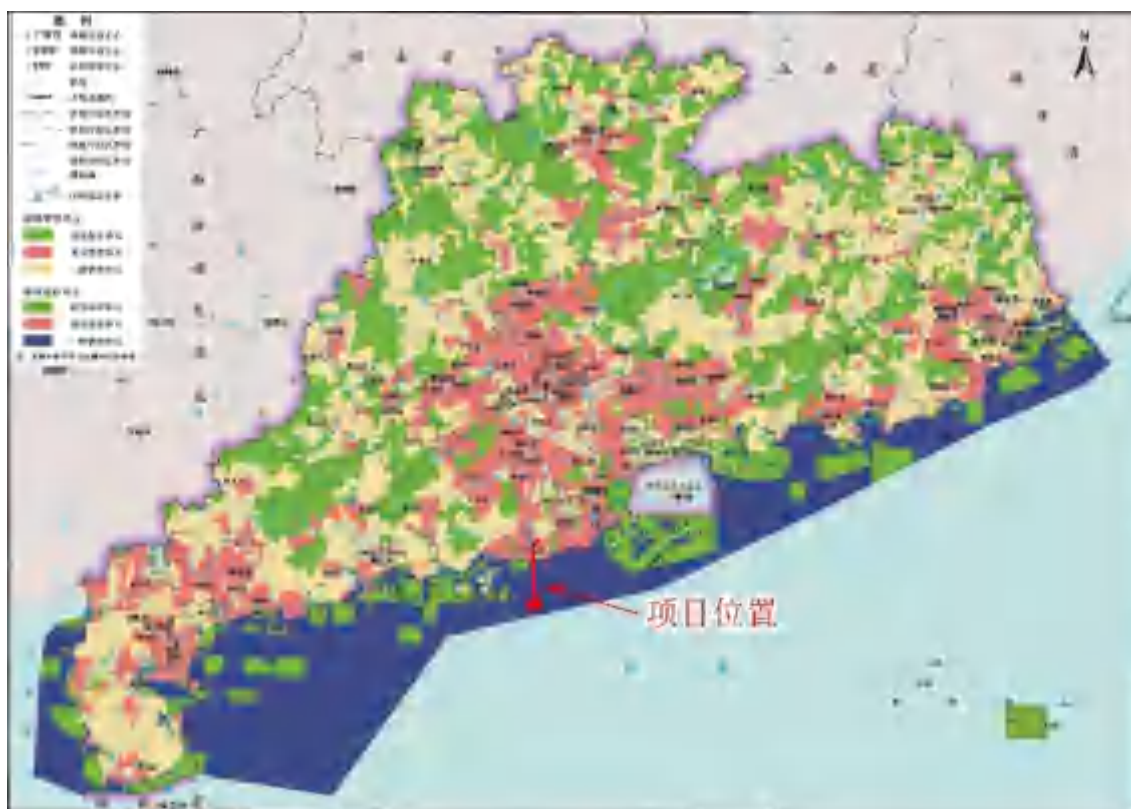


图 2.4-8 项目与广东省“三线一单”生态环境分区管控单元位置关系图

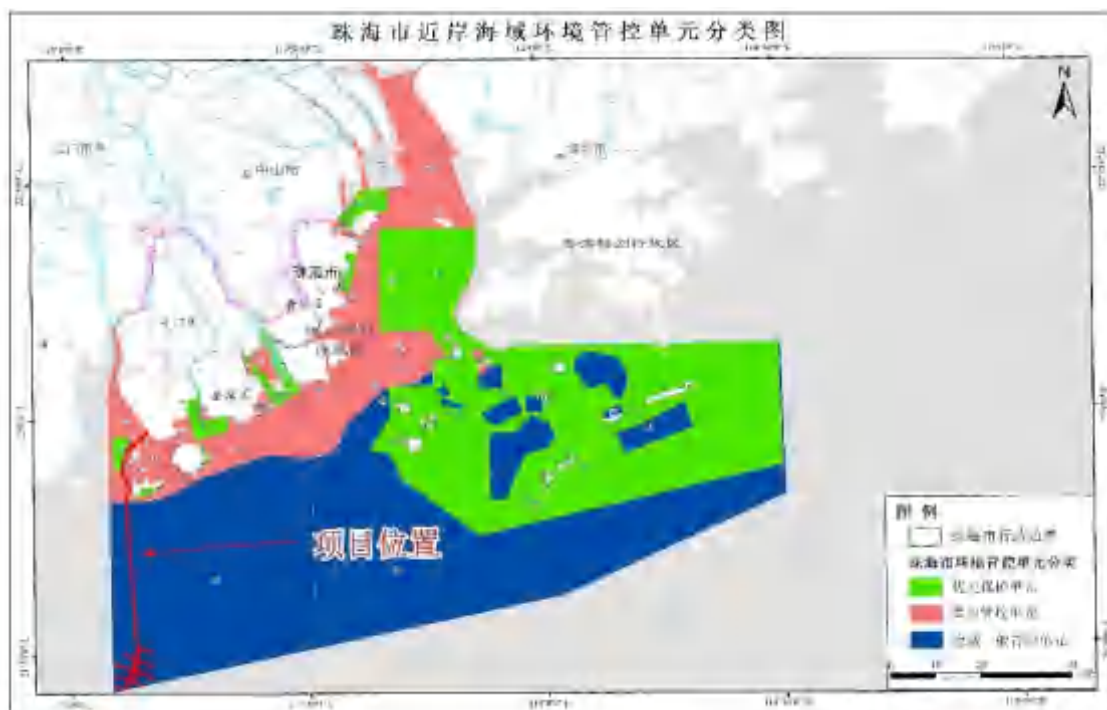


图 2.4-9a 项目与珠海市近岸海域环境管控单元位置关系图

序号	功能区名称	评价区域所属的类别
4	声环境功能区划	根据《珠海市声环境功能区划》，项目风电场、海上升压站及海底电缆整体位于海域，未划定声功能区，项目海缆沿线荷包岛、大杧岛、三角山岛为2类声环境功能区，项目整体所在海域参照2类功能区评价。
5	生态环境功能区划	根据《广东省人民政府关于印发<广东省“三线一单”生态环境分区管控方案>的通知》（粤府〔2020〕71号），本项目风电场区、海上升压站、8回66kV集电海底电缆位于“海域一般管控单元”，500kV送出海缆穿越“海域一般管控单元”、“海域重点管控单元”。根据《珠海市人民政府关于印发珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案（2023年修订）的通知》，本项目风电场区、海上升压站、8回66kV集电海底电缆位于湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003），500kV送出海缆穿越湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003）、湛江-珠海近海农渔业区-劣四类海域（HY44040020030）、高栏港口航运区-劣四类海域（HY44040020018）。
6	生活饮用水源保护区	否
7	基本农田保护区	否
8	自然保护区、风景名胜保护区	否
9	生态功能保护区、生态红线区	否
10	历史文化保护区、文物保护单位	否

2.5 评价标准

2.5.1 环境质量标准

2.5.1.1 海洋环境质量标准

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）5.5 评价标准“在海洋生态环境保护规划或近岸海域生态环境分区管控均未明确质量目标的海域，以维持环境质量现状为目标，或由地方人民政府生态环境主管部门确认应执行的评价标准。”现行规划未明确海水水质、海洋沉积物和海洋生物质量的管控目标，因此，以维持环境质量现状为目标，本次评价参考《广东省国土空间规划（2021-2035年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》确定质量标准。

（1）海水水质标准

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号），本项目风电场址不在广东省近岸海域环境功能区划范围内，项目海缆登陆段所处近岸海域海水水质执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）第三类标准。

根据《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，海水水质执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）第三类标准；500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区，其中渔业用海区海水水质执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）第一类标准，交通运输用海区海水水质执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）第四类标准。本项目所在海域海水水质标准值见表 2.5-1。

表 2.5-1 海水水质执行标准一览表（单位：mg/L，pH 除外）

水质指标	第一类	第二类	第三类	第四类
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	
溶解氧>	6	5	4	3
化学需氧量≤（COD）	2	3	4	5
生化需氧量≤（BOD ₅ ）	1	3	4	5
无机氮≤（以 N 计）	0.200	0.300	0.400	0.500
活性磷酸盐≤（以 P 计）	0.015	0.030	0.030	0.045
汞（Hg）≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
镉（Cd）≤	0.001	0.005	0.010	0.010
铅（PB）≤	0.001	0.005	0.010	0.050
总铬（Cr）≤	0.050	0.100	0.200	0.500
砷（As）≤	0.020	0.030	0.050	0.050
铜（Cu）≤	0.005	0.010	0.050	0.050
锌（Zn）≤	0.020	0.050	0.100	0.500
硒（Se）≤	0.010	0.020	0.020	0.050
镍（Ni）≤	0.005	0.010	0.020	0.050
硫化物≤ （以硫计）	0.020	0.050	0.100	0.250
挥发性酚≤	0.005	0.005	0.010	0.050
石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50

（2）海洋沉积物标准

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，海洋沉积物质量执行《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）第二类标准；500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区，其中渔业用海区海洋沉积物质量执行《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）第一类标准，交通运输用海区海洋沉积物质量执行《海

洋沉积物质量》（GB 18668-2002）第三类标准。本项目所在海域海洋沉积物质量标准值见表 2.5-2。

表 2.5-2 海洋沉积物质量标准一览表（GB18668-2002）

沉积物质量指标	第一类	第二类	第三类
有机碳（ $\times 10^{-2}$ ） $\leq$	2.0	3.0	4.0
硫化物（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	300.0	500.0	600.0
石油类（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	500.0	1000.0	1500.0
铜（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	35.0	100.0	200.0
铅（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	60.0	130.0	250.0
锌（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	150.0	350.0	600.0
镉（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	0.50	1.50	5.00
汞（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	0.20	0.50	1.00
砷（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	20.0	65.0	93.0
铬（ $\times 10^{-6}$ ） $\leq$	80.0	150.0	270.0

（3）海洋生物质量标准

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，贝类生物体内污染物质含量评价标准执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）第二类标准；500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区，其中渔业用海区贝类生物体内污染物质含量评价标准执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）第一类标准，交通运输用海区贝类生物体内污染物质含量评价标准执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）第三类标准。软体动物（非双壳贝类）、甲壳类、鱼类生物体内污染物质（总汞、镉、锌、铅、铜、砷、石油烃等）含量评价标准采用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》中附录 C 规定的其他海洋生物质量参考值。海洋生物体质量标准值见表 2.5-3。

表 2.5-3 海洋生物体质量标准（鲜重： $\times 10^{-6}$ ）

项目	第一类	第二类	第三类	软体动物（非双壳贝类）	甲壳类	鱼类
总汞 $\leq$	0.05	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3
砷 $\leq$	1.0	5.0	8.0	1	1	1
镉 $\leq$	0.2	2.0	5.0	5.5	2.0	0.6
铬 $\leq$	0.5	2.0	6.0	/	/	/
铅 $\leq$	0.1	2.0	6.0	10	2	2

项目	第一类	第二类	第三类	软体动物（非双壳贝类）	甲壳类	鱼类
铜 $\leq$	10.0	25.0	50.0（牡蛎 100）	100	100	20
锌 $\leq$	20.0	50.0	100.0（牡蛎 500）	250	150	40
石油烃 $\leq$	15.0	50.0	80.0	20	20	20

2.5.1.2 大气环境质量标准

根据《珠海市环境空气质量功能区划分（2022 年修订）》，本项目所在区域参照二类环境空气质量功能区评价，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单中的二级标准。具体标准值见表 2.5-4。

表 2.5-5 环境空气质量评价标准一览表

污染物	单位	标准限值				标准来源
		1 小时平均	8 小时平均	日平均	年平均	
SO ₂	μg/m ³	500	-	150	60	《环境空气质量标准》GB3095-2012 二级标准
NO ₂	μg/m ³	200	-	80	40	
NO _x	μg/m ³	250	-	100	50	
PM ₁₀	μg/m ³	-	-	150	70	
PM _{2.5}	μg/m ³	-	-	75	35	
CO	mg/m ³	10	-	4	-	
O ₃	μg/m ³	200	160	-	-	
TSP	μg/m ³	-	-	300	200	

2.5.1.3 声环境质量标准

根据《珠海市生态环境局关于印发珠海市声环境功能区区划的通知》（珠环（2020）177 号）及《珠海市生态环境局关于对《珠海市声环境功能区区划》的补充通知》（珠环函（2023）112 号），本项目风电场、海上升压站及海底电缆整体位于海域，项目海缆沿线荷包岛、大杧岛、三角山岛为 2 类声环境功能区，项目风电场、海上升压站及海底电缆整体所在海域参照 2 类声功能区评价。标准值见表 2.5-5。

表 2.5-5 声环境质量标准限值一览表（单位：dB（A））

标准名称	类别	昼间	夜间
《声环境质量标准》	2	60	50

2.5.1.4 工频电磁场

项目工程内容包括 500kV 海上升压站、500kV 送出海底海缆、66kV 集电海缆，频率 50Hz，根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），工频电场强度控制限值 4kV/m，工频磁感应强度控制限值 100μT。

2.5.2 污染物排放标准

2.5.2.1 废水

项目设置 2 个陆上施工基地，分别位于新会市崖门镇崖门大桥以南的广州打捞局新会抢险打捞基地码头、高栏港码头，均为租赁码头，施工基地施工人员生活污水依托码头化粪池收集，委托有处理能力单位定期清掏外运处置；施工废水主要为施工机械设备、车辆冲洗废水，经施工基地沉淀池处理后回用于场地内洒水抑尘，不外排。

项目船舶生活污水利用船载生活污水收集装置收集，船舶油污水集中收集后密封储存，船舶靠岸后统一委托有处置能力的船舶污染物接收单位统一接收处理。项目施工和运营期船舶含油污水、船舶生活污水执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）的要求，相应标准限值见表 2.5-6。

本项目施工和运营期船舶污染物排放同时执行交通运输部《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发〔2007〕165 号）要求，禁止本管理规定适用的船舶向沿海海域排放油类污染物；船舶所产生的油类污染物须定期排放至岸上或水上移动接收设施；除机舱通岸接头（接收出口）管系外，船舶的油污水系统的排放阀以及能够替代该系统工作的其它系统与油污水管路直接相连的阀门应予以铅封。

表 2.5-6 船舶水污染物排放控制标准一览表

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求	
船舶含油污水	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： （1）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 $BOD_5 \leq 50\text{mg/L}$ ， $SS \leq 150\text{mg/L}$ ，耐热大肠菌群数 ≤ 2500 个/L； （2）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 $BOD_5 \leq 25\text{mg/L}$ ， $SS \leq 35\text{mg/L}$ ，耐热大肠菌群数 ≤ 1000 个/L， $COD_{Cr} \leq 125\text{mg/L}$ ， $pH 6 \sim 8$ ，总氯（总余氯） $< 0.5\text{mg/L}$
	3 海里 $<$ 与最近陆地间距离 ≤ 12 海里的海域			同时满足下列条件： （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。
船舶垃圾	在任何海域，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			

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求
圾	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 25mm 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。		

2.5.2.2 废气

施工期和运营期船舶尾气排放执行《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）、《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168 号）《国际防止船舶造成污染公约》等管控要求。

2.5.2.3 噪声

施工期厂界噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的噪声排放限值（昼间 70dB（A），夜间 55dB（A））。

项目施工期、运营期水下噪声排放参照执行《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）附录 A 中人为水下噪声对海洋哺乳动物、鱼类的影响阈值（表 2.5-7）。

表 2.5-7a 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值（HY/T 0341-2022）

听力分组	非脉冲噪声		脉冲噪声	
	TTS	PTS	TTS	PTS
低频鲸目	179dB SEL _w	199dB SEL _w	168dB SEL _w 或 213 dB SPL _{pk}	183dB SEL _w 或 219dB SPL _{pk}
高频鲸目	178dB SEL _w	198dB SEL _w	170dB SEL _w 或 224 dB SPL _{pk}	185dB SEL _w 或 230dB SPL _{pk}
超高频鲸目	153dB SEL _w	173dB SEL _w	140dB SEL _w 或 196 dB SPL _{pk}	155dB SEL _w 或 202dB SPL _{pk}
海牛目	186dB SEL _w	206dB SEL _w	175dB SEL _w 或 220 dB SPL _{pk}	190dB SEL _w 或 226dB SPL _{pk}
海豹类食肉目	181dB SEL _w	201dB SEL _w	170dB SEL _w 或 212 dB SPL _{pk}	185dB SEL _w 或 218dB SPL _{pk}
其他海洋食肉动物	199dB SEL _w	219dB SEL _w	188dB SEL _w 或 226 dB SPL _{pk}	203dB SEL _w 或 232dB SPL _{pk}

表 2.5-7b 人为水下噪声对鱼类影响阈值（HY/T 0341-2022）

听力分组	致死性或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS（暂时阈值漂移）	声掩蔽	
无鱼鳔	219dB SEL _{cum} 或 213dB SPL _{pk}	216dB SEL _{cum} 或 213dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	（近）中等	（近）高
				（中）低	（中）中等

听力分组	致死性或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS (暂时阈值漂移)	声掩蔽	
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔, 鱼鳔与听力无关	210dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	203dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关	207dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	203dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 高	(近) 高
				(中) 高	(中) 高
				(远) 中等	(远) 中等
卵和幼体	210dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	(近) 中等	(远) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

2.5.2.4 固体废物

项目固体废物按照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020 年修订）》要求进行管理。船舶生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）相关要求（见表 2.5-6），分类收集待船舶靠岸后委托有处置能力的船舶污染物接收单位接收处理；一般固体废物参照执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）相关标准要求；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）。

2.6 评价等级、评价范围

2.6.1 评价等级

2.6.1.1 海洋生态环境评价等级

本项目建设 36 台 14MW 海上风机、1 座 500kV 海上升压站、66kV 场内集电海缆、500kV 送出海底电缆，总装机容量为 504MW，66kV 海缆总长度为 58.98km，500kV 海缆总长度为 57.52km，海缆敷设总长度 116.5km。项目用海总面积 378.5100hm²，其中风机机组（透水构筑物）用海面积 179.5536hm²；海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.3564hm²；海底电缆（含 500kV、66kV 集电海缆）用海面积 196.6000hm²。

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，项目风电场区部分位于南海底层、近底层鱼类产卵场及南海中上层鱼类产卵场，部分海底电缆穿越南海北部幼鱼繁育场保护区，南海国家级及省级渔业品种保护区，属于海洋生态敏感区中的一般敏感区，项目建设不涉及重要敏感区。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），项目用海影

响类型为“用海面积——其他用海——海上风电”，项目用海总面积为 378.5100hm²，海洋生态环境影响评价等级为 1 级；项目 66kV、500kV 海底电缆用海影响类型为“挖沟埋设管缆总长度——海底管道及电（光）缆工程”，海缆敷设总长度 116.5km，评价等级为 2 级。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）“涉及多种影响类型的建设项目，应分别判定评价等级，取其中最高等级作为建设项目评价等级”的原则，综合判定本项目海洋生态环境评价等级为 1 级。

表 2.6-1 项目海洋生态环境影响评价等级判定表（依据 HJ1409-2025）

影响类型 \ 评价等级		1	2	3
挖沟埋设管缆总长度 L（km）		L≥100	60≤L<100	L<60
用海面积 S（hm ² ）	围海	S≥100	S<100	/
	填海	S≥50	S<50	/
	其他用海	S≥200	100≤S<200	S<100

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，并结合建设项目具体情况，确定本项目环境影响评价内容包括海洋水质、海洋沉积物环境、海洋生态（海洋生物生态、鸟类生态）、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、声环境（水下和水上）、电磁环境、环境风险。

本项目总装机容量为 504MW，海缆敷设总长度 116.5km，用海总面积 378.5100hm²，根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，确定本项目水文动力环境、水质环境、沉积物环境、海洋生态、海洋地形地貌与冲淤环境评价等级均为 1 级。

表 2.6-2a 海上风电项目海洋水文动力、水质、沉积物、生态环境影响评价等级判据（依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》）

海上风电项目工程类型	工程规模	工程所在海域特征和生态环境类型	海洋水环境影响评价等级			海洋生态
			水文动力环境	水质环境	沉积物环境	
海上风电机组工程	装机容量≥300MW	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
		近岸海域且非海洋生态环境敏感区	2	1	2	1
		其它海域	2	2	2	2
海底电缆工程	长度≥100km	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
		近岸海域且非海洋生态环境敏感区	2	2	2	1
		其它海域	2	2	2	1
项目综合评价等级			1	1	1	1

表 2.6-2b 海上风电项目海洋地形地貌与冲淤环境影响评价等级判据（依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》）

评价等级	工 程 类 型
1	海上风电项目所有工程类型总占海面积超过 $50 \times 10^4 \text{m}^2$ 以上的或严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较严重冲刷、淤积的工程项目。
2	海上风电项目所有工程类型总占海面积在 $(50 \sim 30) \times 10^4 \text{m}^2$ 的或较严重改变岸线、滩涂、海床自然性状和产生冲刷、淤积的工程项目。
3	海上风电项目所有工程类型总占海面积在 $(30 \sim 20) \times 10^4 \text{m}^2$ 的或有改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较轻微冲刷、淤积的工程项目。

2.6.1.2 大气环境评价等级

项目运营期废气为运维船舶排放尾气，为间断性排放源，对环境空气质量影响较小，故本项目不进行大气环境影响评价等级判定，仅对项目施工期、运营期废气进行定性分析。

2.6.1.3 声环境评价等级

本项目风电场、海上升压站、海底电缆整体位于海域，运营期声环境影响主要体现为风机运行产生的水下噪声影响，根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》要求，水下声环境影响评价工作不划定具体评价等级，故不作水下噪声评价等级判定。

2.6.1.4 电磁环境评价等级

本项目风电机组电能通过 8 回 66kV 集电线路输出交流电至 500kV 海上升压站，海上升压站主变为 66/500kV，升压后通过 1 回 500kV 送出海底电缆输送至陆上集控中心。根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），100kV 以下的交流输变电设施产生的电场、磁场、电磁场的设施属于免于管理范围。因此，本次评价仅对 500kV 海上升压站、500kV 送出海底电缆电磁环境影响进行等级判定。

本项目海底电缆为交流输电，最高电压等级为 500kV，升压站为户内室。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》电磁环境影响评价等级判据，确定本项目海上升压站及 500kV 海缆电磁环境影响评价等级为二级。

表 2.6-3 项目电磁环境影响评价等级判定一览表

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价等级
交流电	500 kV 及以上	输电线路	海底电缆	二级
			边导线投影外 20m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线路	一级
			边导线投影外 20m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线路	二级
		升压变电站	户外式	一级

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价等级
			户内式、地下式	二级
综合判定评价等级				二级

2.6.1.5 环境风险评价等级

(1) 危险物质数量与临界量的比值 (Q)

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025)附录 G, 计算所涉及的每种危险物质在危险单元内的最大存在总量与对应临界量(油类物质参照本标准, 其他物质参照 HJ 169)的比值 Q。在不同厂区的同一种物质, 按其在厂界内的最大存在总量计算。长输管线项目按照两个截断阀之间管段危险物质最大存在总量计算。

当只涉及一种危险物质时, 计算该物质的总量与其临界量比值, 即为 Q;

当存在多种危险物质时, 按照下式计算物质总量与其临界量比值 (Q):

$$Q = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_n}$$

式中: $q_1, q_2, \dots, q_n$ ——每种危险物质的最大存在总量, t;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ ——每种危险物质的临界量, t。

当 $Q < 1$ 时, 该项目环境风险潜势为 I。

当 $Q \geq 1$ 时, 将 Q 值划分为: (1) $1 \leq Q < 10$; (2) $10 \leq Q < 100$; (3) $Q \geq 100$ 。

1) 施工期

项目施工期环境风险主要为施工船舶碰撞溢油, 涉及危险物质主要是施工船舶燃料油。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025)附录 G, 油类物质临界量为 100t, 船舶在线量按单个船舶所载货油或船用燃料油全部舱容的数量确定。

根据本项目施工进度及施工机械配置计划, 本项目涉及的施工船舶的吨位在 250t-20000t 之间, 船舶在线量以最大的 20000t 级船舶进行计算。

根据《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》非油轮船舶燃油最大携带量可以用船舶总吨位推算, 根据船型不同, 一般取总吨位 8~12%, 本评价按照总吨位 10% 计算, 由此计算得本项目施工期单个最大船舶危险物质与临界量的比值 (Q) = $20000t \times 10\% / 100t = 20$ 。

2) 运营期

本项目运营期涉及的危险物质主要是风电场区风机润滑油、变压器油以及海上升压站变压器油、柴油。项目每台风机润滑油约为 0.05t/台，风机变压器储油量约为 6t/台，共 36 台风机，风机总储油量=（0.05t+6t）×36=217.8t。项目海上升压站布置 1 台 500/66kV，容量为 550MVA 的主变压器，设置污水处理间集油罐间及柴油罐间，根据项目设计资料，海上升压站变压器油、柴油储油量约为 35t，则运营期项目总储油量为 252.8t。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 G，油类物质的临界量为 100t，则计算得本项目运营期危险物质与临界量的比值（Q）=252.8t/100t=2.528。

表 2.6-4 项目危险物质数量与临界量比值 Q 计算表

运行阶段	危险物质	临界量/t	最大存储量/t	该物质的 Q 值
施工期	施工船舶燃料油	100	2000	20
运营期	风机和海上升压站储油	100	252.8	2.528

（2）行业及生产工艺（M）

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录 C，将 M 划分为（1）M>20；（2）10<M≤20；（3）5<M≤10；（4）M=5，分别以 M1、M2、M3 和 M4 表示。本项目为海上风电建设项目，为涉及危险物质使用、贮存的项目，行业及生产工艺（M）=5，属于 M4 等级。

表 2.6-5 行业及生产工艺表

行业	评估依据	分值
石化、化工、医药、轻工、化纤、有色冶炼等	涉及光气及光气化工艺、电解工艺（氯碱）、氯化工艺、硝化工艺、合成氨工艺、裂解（裂化）工艺、氟化工艺、加氢工艺、重氮化工艺、氧化工艺、过氧化工艺、胺基化工艺、磺化工艺、聚合工艺、烷基化工艺、新型煤化工工艺、电石生产工艺、偶氮化工艺	10/套
	无机酸制酸工艺、焦化工艺	5/套
	其他高温或高压，且涉及危险物质的工艺过程 a、危险物质贮存罐区	5/套（罐区）
管道、港口/码头等	涉及危险物质管道运输项目、港口/码头等	10
石油天然气	石油、天然气、页岩气开采（含净化），气库（不含加气站的气库），油库（不含加气站的油库）、油气管线 b（不含城镇燃气管线）	10
其他	涉及危险物质使用、贮存的项目	5
a 高温指工艺温度≥300℃，高压指压力容器的设计压力（P）≥10.0MPa； b 长输管道运输项目应按战场、管线分段进行评价。		

（3）危险物质及工艺系统危险性等级（P）

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录 C 确定危险物质及工艺系统危险性等级（P），见表 2.6-6。

根据上述分析，项目行业及生产工艺属于 M4 等级，项目施工期 $10 \leq Q = 20 < 100$ ，确定本项目施工期危险物质及工艺系统危险性等级（P）为 P4；项目运营期 $1 \leq Q = 2.528 < 10$ ，确定本项目运营期危险物质及工艺系统危险性等级（P）为 P4。

表 2.6-6 危险物质及工艺系统危险性等级判断表（P）

危险物质数量与 临界量比值（Q）	行业及生产工艺（M）			
	M1	M2	M3	M4
$Q \geq 100$	P1	P1	P2	P3
$10 \leq Q < 100$	P1	P2	P3	P4
$1 \leq Q < 10$	P2	P3	P4	P4

（4）海洋环境敏感程度（E）

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录G，依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，分为三种类型，E1 为环境高度敏感区，E2 为环境中度敏感区，E3 为环境低度敏感区，环境敏感程度分级判定表见表 2.6-7。

表 2.6-7 箱海洋环境敏感程度分级判定表

敏感性	环境敏感特征
E1	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第一类区域或重要敏感区
E2	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第二类区域或一般敏感区
E3	上述地区之外的其他地区

本项目风电场、海上升压站及海底电缆位于湛江-珠海近海农渔业区，危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质一类区，因此，海洋环境敏感程度为E1。

（5）建设项目环境风险潜势划分

根据建设项目涉及的物质和工艺系统的危险性及其所在地的环境敏感程度，结合事故情形下环境影响途径，对建设项目潜在环境危害程度进行概化分析。本项目所在区域海洋环境敏感程度为 E1，施工期、运营期危险物质及工艺系统危险性（P）均为 P4，因此，本项目施工期、运营期海洋环境风险潜势均为Ⅲ级。

表 2.6-8 建设项目环境风险潜势划分

环境敏感程度（E）	危险物质及工艺系统危险性（P）			
	极高危害（P1）	高度危害（P2）	中度危害（P3）	轻度危害（P4）
环境高度敏感区（E1）	IV ⁺	IV	III	III
环境中度敏感区（E2）	IV	III	III	II
环境低度敏感区（E3）	III	III	II	I

注：IV⁺为极高环境风险。

（6）评价工作等级划分

环境风险评价工作等级划分为一级、二级、三级。根据建设项目涉及的物质及

工艺系统危险性和所在地的环境敏感性确定环境风险潜势,按照表 2.6-9 确定评价工作等级。本项目施工期、运营期海洋环境风险潜势均为Ⅲ级,相应施工期、运营期海洋环境风险评价等级均为二级。

表 2.6-9 评价工作等级划分

环境风险潜势	IV、IV ⁺	Ⅲ	Ⅱ	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析

2.6.2 评价范围

2.6.2.1 海洋生态环境评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025),“a)评价范围以建设项目平面布置外缘线向外的扩展距离确定,1级、2级和3级评价项目在潮流主流向的扩展距离应不小于15km~30km、5km~15km、1km~5km,垂直于潮流主流向的扩展距离以不小于主流向扩展距离的1/2为宜。对于涉及生态敏感区或水动力条件较好的项目,评价范围应根据海域环境特征、污染因子扩散距离等情况,适当扩展。b)管缆、航道类项目穿越非生态敏感区时,以线路中心线向两侧和两端外延1km为考评价范围。穿越一般敏感区时,以线路中心线向两侧和两端外延2km为参考评价范围;穿越重要敏感区时,以线路中心线向两侧和两端外延3km为参考评价范围;实际确定评价范围时,应结合生态敏感区主要保护对象的分布、物种生态习性、项目的穿越方式等适当扩展。”

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》,“海洋水质、海洋沉积物、海洋生态环境影响评价范围主要依据评价区域及周边区域生态完整性确定;以主要评价因子受影响方向的扩展距离确定,1级、2级、3级评价以海上风电项目所有工程外缘线为起点向外扩展一般应分别不小于15km、10km、8km。海底管线沿垂直海底管线路由方向从管线外缘向两侧扩展不少于5km。”

本项目海洋生态环境评价等级为1级,根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》《海上风电工程环境影响评价技术规范》中海洋生态环境评价范围设置规定,确定本项目海洋生态环境评价范围以海上风电场用海外缘线为起点向外扩展15km、500kV外送海底电缆中心线向两侧外扩5km,向岸侧以海岸线为界,据此确定本项目评价范围面积约1988km²。海洋生态环境评价范围详见图2.6-1,范围坐标见表2.6-8。

表 2.6-8 海洋环境评价范围坐标表

边界点	北纬 (N)	东经 (E)
A	22°00'43.268"	113°08'36.109"
B	21°57'17.688"	113°04'34.967"
C	21°53'20.642"	113°03'34.656"
D	21°39'05.517"	113°03'34.302"
E	21°39'05.523"	112°56'44.588"
F	21°17'31.187"	112°56'45.066"
G	21°17'30.148"	113°18'58.975"
H	21°39'04.465"	113°19'01.774"
I	21°39'05.209"	113°10'43.112"
J	21°51'11.437"	113°10'44.011"
K	21°56'28.702"	113°12'08.235"

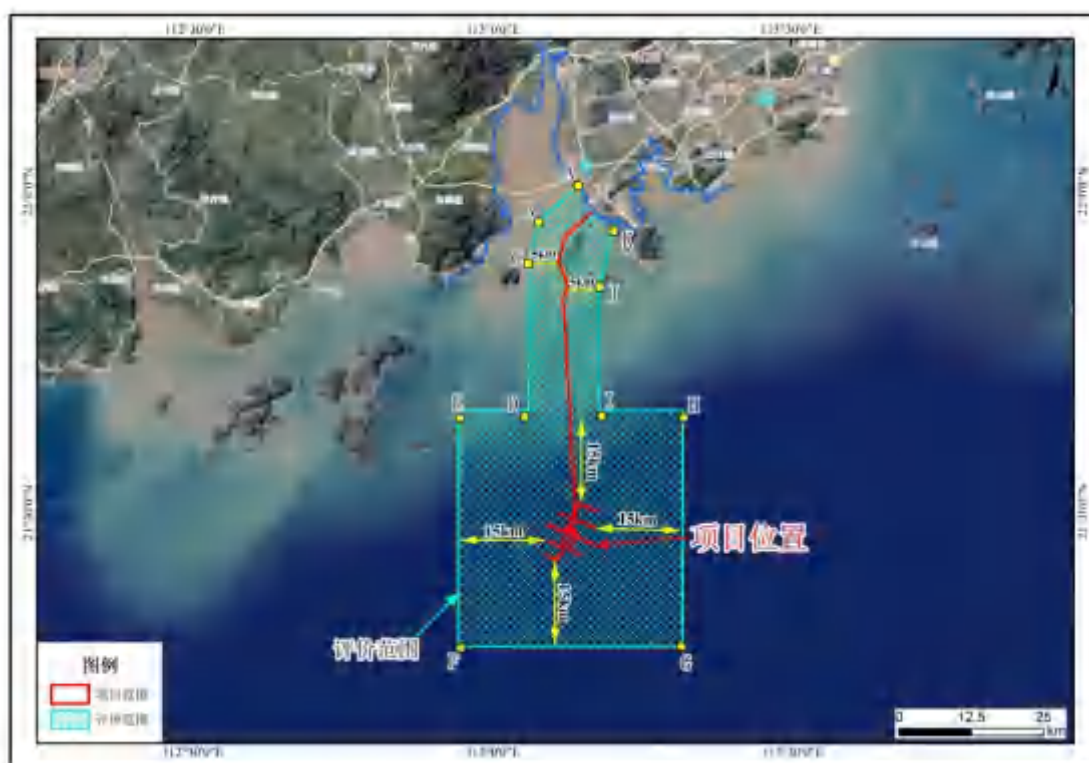


图2.6-1 海洋环境评价范围

2.6.2.2 声环境影响评价范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，水下声环境影响评价范围：应至少与海洋生态评价范围一致。确定本项目水下声环境影响评价范围同海洋生态环境评价范围。

2.6.2.3 电磁环境影响评价范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，确定本项目电磁环境影响评价范围为海底电缆两侧各外扩 50m（水平）范围，海上升压站站界外扩 50m（水平）范围。

2.6.2.4 环境风险评价范围

根据 HJ1409-2025，海洋生态环境风险评价范围根据评价等级合理确定，一般不小于相应评价等级的生态环境影响评价范围。一、二级评价项目的评价范围分别根据危险物质 72h、48h 扩散范围确定，可根据海域特征、生态敏感区分布情况等做适当调整。

本项目海洋环境风险评价等级为二级，评价范围根据事故溢油 48h 扩散范围、海洋生态环境影响评价范围确定。根据事故溢油模拟分析结果，确定本项目环境风险评价范围西南、东北以油膜最大扩散范围为界垂直海岸线向外海延伸；东南延伸至油膜最大扩散范围和海洋生态评价范围最远处为界；向陆侧以海岸线为界，评价范围面积约 10050km²。评价范围见图 2.6-2。

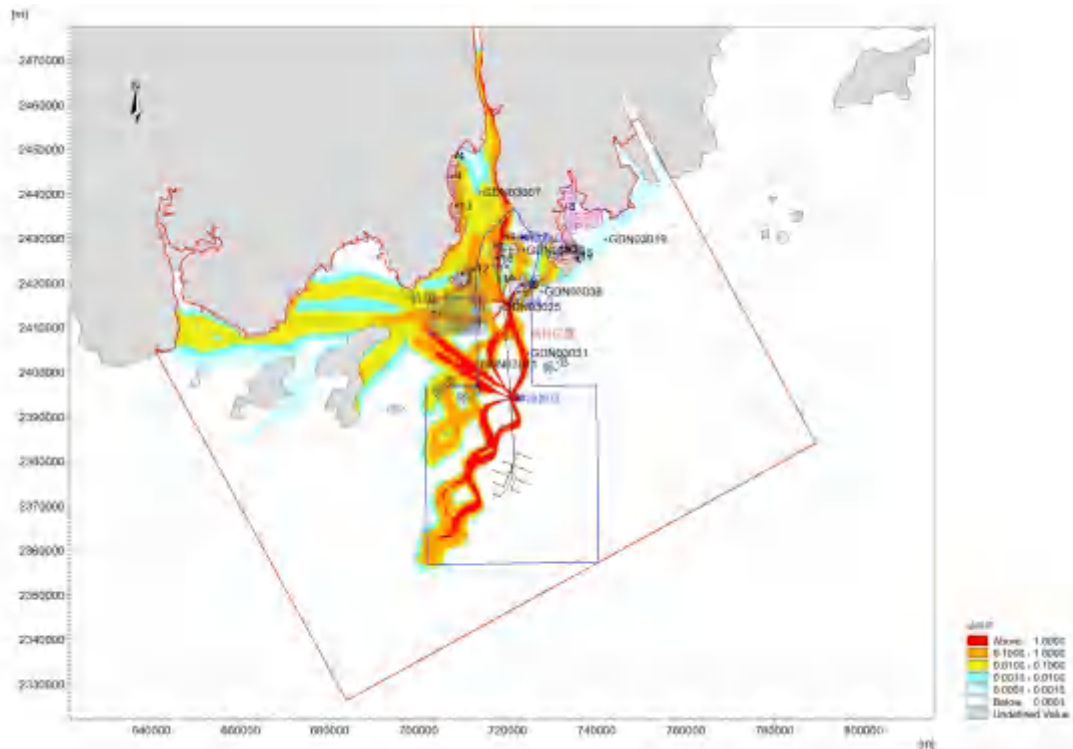


图 2.6-2 海洋环境风险评价范围

2.7 环境保护目标

本项目整体位于海域，根据现场踏勘及调研结果，本项目评价范围内海洋生态环境保护目标主要为自然保护区、生态保护红线区等重要海洋生态敏感区，渔业资源“三场一通道”、海岛等一般海洋生态敏感区以及养殖区、珍稀濒危保护动物及其生。项目评价范围内海洋生态环境保护目标见表 2.7-1。

表 2.7-1 项目评价范围内海洋生态环境保护目标一览表

保护类别		项目名称	相对位置关系	保护对象/要求
重要敏感区	自然保护区	广东江门中华白海豚省级自然保护区	海缆西侧约 4.19km	中华白海豚及其生境
	生态保护红线	江门中华白海豚地方级自然保护区	海缆西侧约 4.19km	中华白海豚及其生境
		荷包岛海岸防护物理防护极重要区	海缆东侧约 1.74km	重要滩涂及浅海水域
		黄茅海重要渔业资源产卵场	海缆西侧约 0.54km	重要渔业资源产卵场及其生境
一般敏感区	三场一通道	南海区幼鱼、幼虾保护区	海缆穿越	幼鱼幼虾及其生境等，保护期 3 月 1 日至 5 月 31 日
		崖门口经济鱼类繁育场保护区	海缆穿越	经济鱼类及其生境等，保护期农历 4 月 20 日至 7 月 20 日
		南海北部幼鱼繁育场保护区	风电场占用、海缆穿越	渔业资源、幼鱼及其生境，禁止在保护区内进行底拖网作业
		南海底层、近底层鱼类产卵场	风电场占用、海缆穿越	渔业资源、幼鱼及其生境
		南海中上层鱼类产卵场	风电场占用、海缆路由穿越	
	海岛	杧仔岛	海缆东侧约 0.20km	海岛岸线、生态环境
		长连排岛	海缆东侧约 0.37km	
		濠洲	海缆西侧约 0.85km	
		濠洲爪岛	海缆西侧约 0.53km	
		园排	海缆东侧约 0.51km	
		三角山岛	海缆东侧约 0.82km	
		北三角山岛	海缆东侧约 1.08km	
		荷包岛	海缆东侧约 0.47km	
		大杧岛	海缆东侧约 0.68km	
养殖区		高栏港经济区濠洲-大杧岛养殖区域项目	海缆西侧约 0.06km	水质及生态环境
		高栏港经济区荷包岛区域养殖项目	海缆西侧约 0.16km	
珍稀物种		中华白海豚（保护级别一级）	评价范围涉及	栖息生境
		海龟（保护级别一级）	评价范围涉及	栖息生境
		文昌鱼（保护级别二级）	评价范围涉及	栖息生境
国控水质监测站点		GDN3020	海缆东侧 3.4km	水质
		GDN3021	海缆东侧 14.4km	
		GDN3025	海缆西侧 0.84km	
		GDN3031	海缆东侧 4.5km	

2.7.1 重要海洋生态敏感区

2.7.1.1 广东江门中华白海豚省级自然保护区

广东江门中华白海豚省级自然保护区位于江门市下辖的台山市大襟岛附近海

域，总面积 107.477km²，是江门市首个和唯一的水生野生动物生态系统类型的省级自然保护区，主要保护对象是中华白海豚。科考发现，江门市大襟岛和上下川岛附近海域有中华白海豚 200 多头，是我国海域第二大集中分布区域。

本项目风电场区、送出海缆均不占用该自然保护区，送出海缆距离该自然保护区最近距离约 4.19km。根据《广东江门中华白海豚省级自然保护区管理办法》（江府〔2022〕9 号），在保护区内进行活动，应遵守下列规定：（一）禁止擅自移动或者破坏保护区界标；（二）禁止在保护区内进行捕捞，但是，法律、行政法规另有规定的除外；（三）海上船舶除执行紧急任务或抢险救灾、救护等特殊情况外，注意减速缓行；（四）禁止在保护区内建设法律法规规定不得建设的项目或生产设施；（五）限制或者禁止其他影响中华白海豚栖息生存环境的活动。

项目与广东江门中华白海豚省级自然保护区相对位置见图 7.2-1。

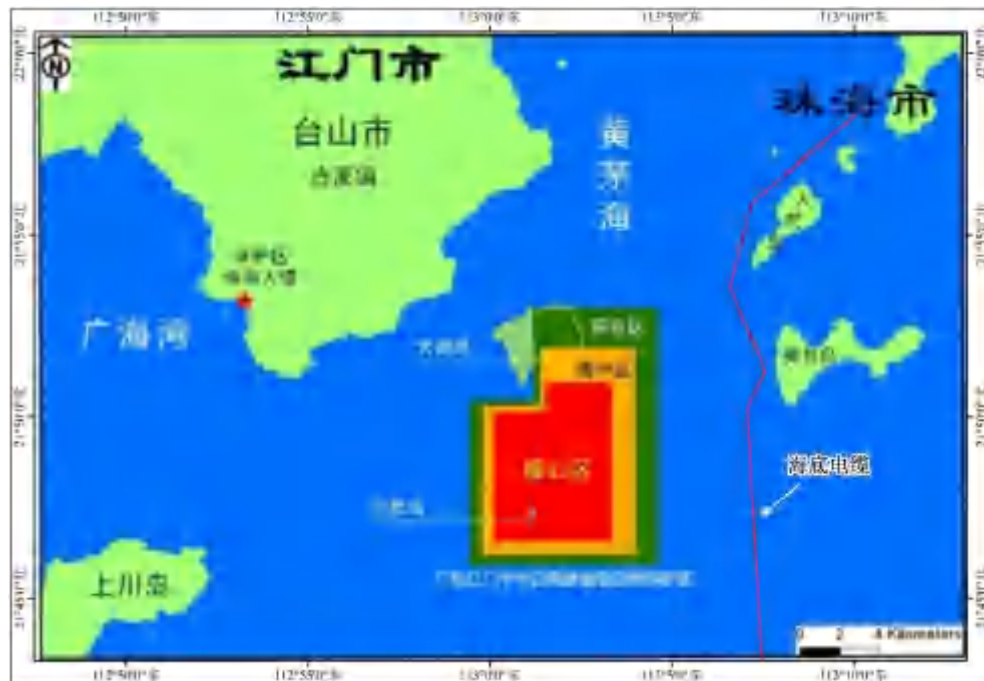


图 2.7-1 项目与广东江门中华白海豚省级自然保护区、周边生态保护红线相对位置图

2.7.1.2 生态保护红线区

将项目与生态保护红线叠加分析，本项目风电场址、海底电缆不占用生态保护红线区，评价范围内共涉及 3 处生态保护红线，送出海缆西侧约 4.19km 处为江门中华白海豚地方级自然保护区，主要环境保护目标为中华白海豚；送出海缆东侧约 1.74km 处为荷包岛海岸防护物理防护极重要区，属于海岸防护物理防护极重要区；送出海缆西侧约 0.54km 处为黄茅海重要渔业资源产卵场，属于重要渔业资源产卵场，主要环境保护内容为海水水质及生态环境。

项目周边生态保护红线区分布见图 7.2-2。

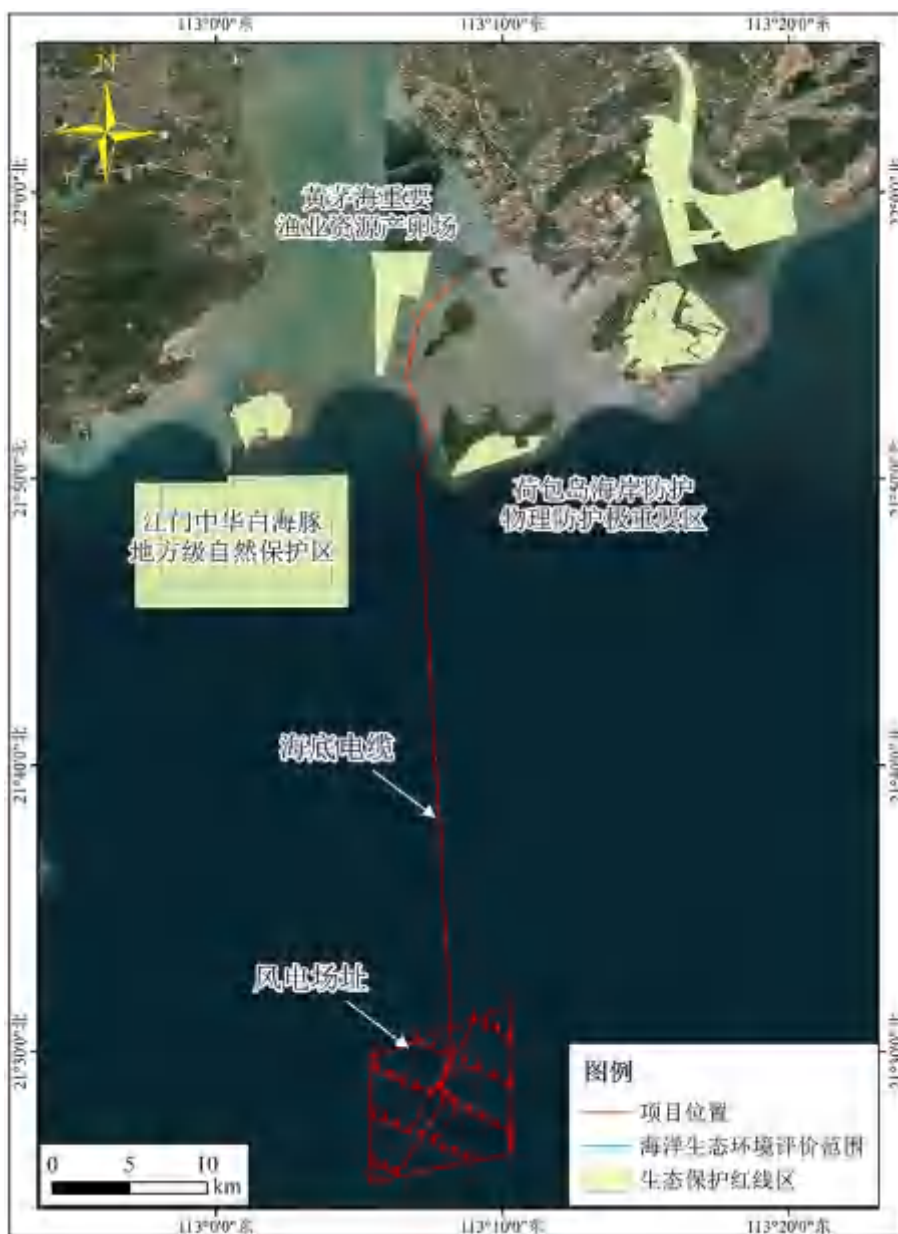


图 2.7-2 项目与广东江门中华白海豚省级自然保护区、周边生态保护红线相对位置图

2.7.2 一般海洋生态敏感区

2.7.2.1 渔业资源“三场一通道”

(1) 南海国家级及省级保护区

1) 南海区幼鱼、幼虾保护区

根据《中国海洋渔业水域图（第一批）》中的南海区渔业水域图（第一批），南海区幼鱼、幼虾保护区共有 4 处：一为广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20 米水深以内的海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日，本项目位于该处幼鱼幼虾保护区内；二为海南省东部沿岸文昌县木栏头浅滩东

北至抱虎角 40 米水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 15 日；三为海南省万宁县大洲岛至陵水县赤岭湾 50 米水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日；四为海南省临高县临高角至东方县八所港 20 米水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 15 日。

本项目海底电缆穿越广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20m 水深以内的海域，位于南海区幼鱼、幼虾保护区内，占用保护区长度约 40km，占用面积约 1.26hm²。

2) 崖门口经济鱼类繁育场保护区

根据《中国海洋渔业水域图（第一批）》中的南海区渔业水域图（第一批），崖门口经济鱼类繁育场保护区南面由台山市广海口的鸡罩山角为起点至少鹅咀对开二海里处，再经大襟西南角及小芒直到南水西南角的连线为界，北面由独崖至二虎的连接线以内的海域范围为保护区，保护期为每年的农历 4 月 20 日至 7 月 20 日。

本项目海底电缆穿越崖门口经济鱼类繁育场保护区范围内。

南海国家级及省级渔业品种保护区分布见图 2.7-3。

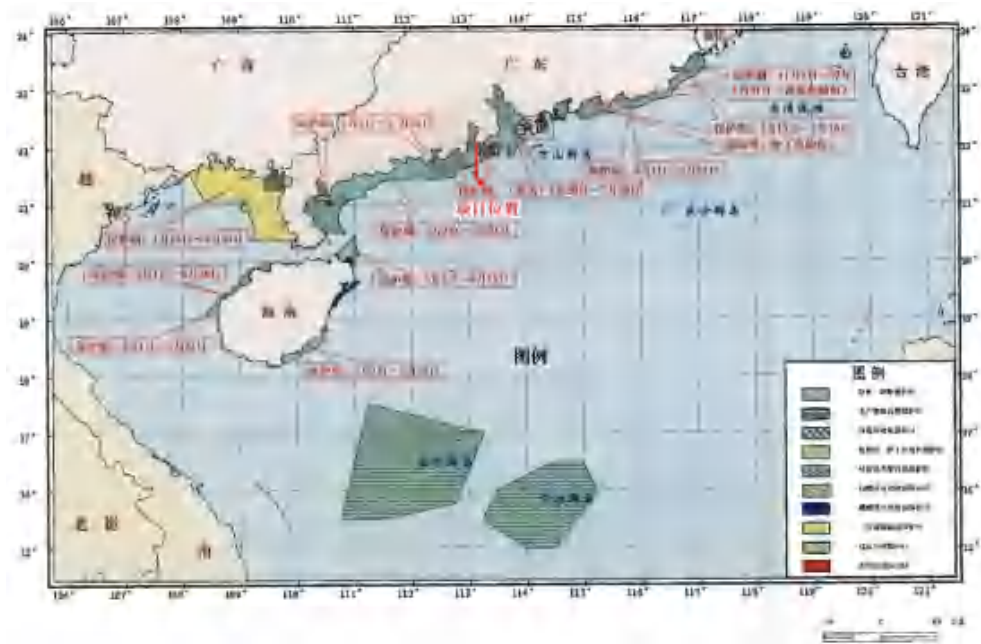


图 2.7-3 项目与南海国家级及省级保护区分布示意图相对位置

(2) 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）》中的南海区渔业水域图（第一批），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。该保护区的管理要求：保护期内禁止拖网船、拖虾船

以及捕捞幼鱼、幼虾为主的作业船只进入本区生产，防止或减少对渔业资源的损害。该保护区主要环境保护内容为海水水质及生态环境。

本项目风电场区及海底电缆位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，见图 2.7-4。

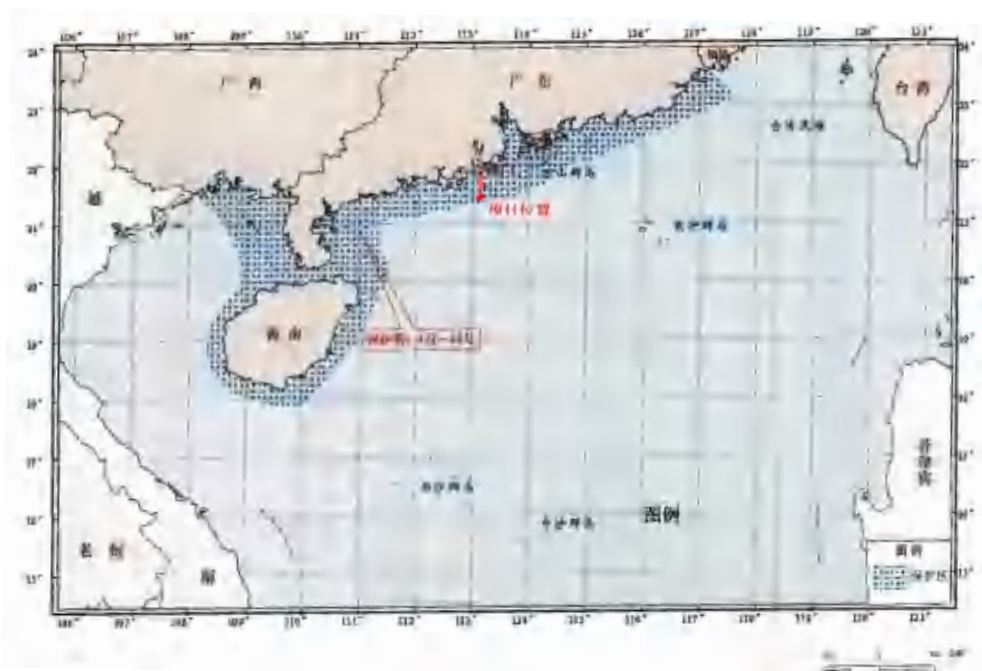


图 2.7-4 项目与南海北部幼鱼繁育场保护区相对位置图

(3) 南海底层、近底层鱼类产卵场

本工程风电场及海底电缆位于南海底层、近底层鱼类产卵场内（图 2.7-5）。南海底层、近底层鱼类产卵场主要包括金线鱼、深水金线鱼、二长棘鲷、红笛鲷、绯鲤类、短尾鳍大眼鲷、长尾大眼鲷、脂眼鲱和黄鲷产卵场。

本项目风电场及海底电缆所在产卵场为金线鱼产卵场（南海北部产卵场：由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近，东经 $111^{\circ}45' \sim 115^{\circ}45'$ ，水深 $25 \sim 107\text{m}$ ，主要在 $40 \sim 80\text{m}$ ，产卵期 3 月~8 月）、绯鲤类产卵场（珠江口近海区：东经 $112^{\circ}55' \sim 115^{\circ}40'$ ，北纬 $21^{\circ}30' \sim 22^{\circ}15'$ ，水深 $20 \sim 87\text{m}$ ，产卵期 3 月~6 月），主要环境保护内容为海水水质及生态环境。

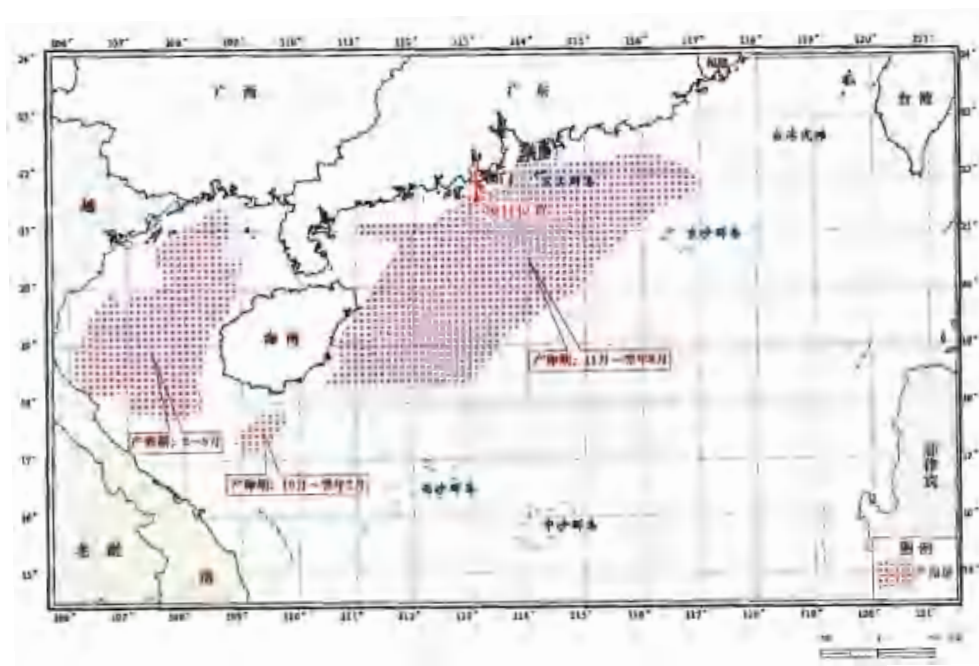


图 2.7-5 项目与南海底层、近底层鱼类产卵场相对位置

(4) 南海中上层鱼类产卵场

南海中上层鱼类产卵场包括蓝圆鲹、鲈鱼和竹荚产卵场，南海中上层鱼类产卵场分布见图 2.7-6，本项目风电场区及海底电缆占用产卵场为蓝圆鲹产卵场（珠江口近海域：东经 $112^{\circ}50' \sim 114^{\circ}30'$ ，北纬 $21^{\circ} \sim 22^{\circ}$ ，水深 60m 以内，产卵期 12 月~翌年 3 月），主要环境保护内容为海水水质及生态环境。

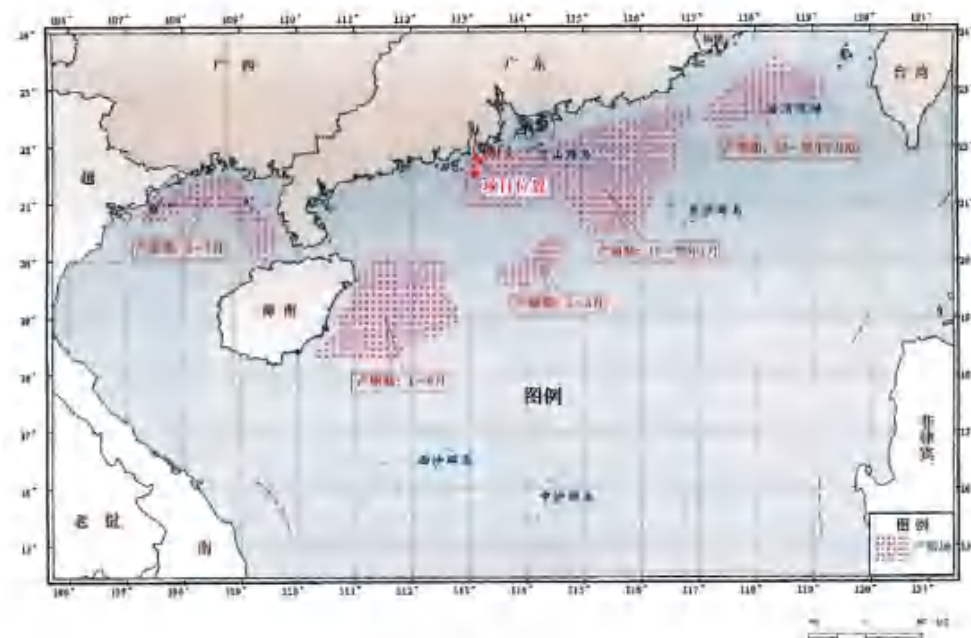


图 2.7-6 项目与南海中上层鱼类产卵场相对位置

2.7.2.2 海岛

1) 大杧岛

大杧岛为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 680m。大杧岛地处黄茅海的出海口，石灰岩结构，表层覆盖灌木，因该岛中部平坦，盛产大杧草，故名大杧岛。大杧岛地形呈人头形，北高且大，南低且小，沿岸多陡岩，凹处是磊石，多岩洞，北侧位于大咀和鸭咀之间有一礁盘。挂榜湾、东涌有水源，常有渔船在两地取水，避风和砍柴。1984 年华南涉危动物研究所在该岛设立研究站，并放养了猴子、鹿。大杧岛自古无人居住。现岛上也没有固定居民，原始生态保存完好，植被丰富，各种珍稀动植物种众多，有热带雨林及观赏植物 600 多种，如将军木、罗汉松、赤楠、余甘子、春花树等，珍稀野生动物 10 多种，如鹿、猴、龟等，沿岛海域还有各类鱼、虾、扇、贝 100 多种，并有成群“白鳍豚”翔游腾跃、追戏游船。

2) 荷包岛

荷包岛为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 470m。荷包岛位于中国广东省珠海市西南端。荷包岛是珠海市 146 个海岛中沙滩最多的海岛，地处黄茅海太平洋的交界，总面积约 12km²，其海岸总长约 28km，海水清澈透明。岛内有大南湾、藏宝湾（宝石滩）、笼统湾等八个海湾，有“十里银滩”之称，海水清澈透明。岛上有山顶平台、龙王庙、观景平台、米莫亭、飞猪台等景点，可登高远眺、海钓等。

3) 杧仔岛

杧仔岛为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 200m，位于大杧岛的南部和荷包岛的西北方向。杧仔岛的面积约为 78051.3m²，岛上主要由花岗岩构成，表面覆盖着黄沙土，并长有刺灌木丛，覆盖面达到 90%。岛屿的形状类似冬瓜，呈南北走向，南部地势较高，北部较低，东部相对平坦。根据《我国第一批开发利用无居民海岛名录》，杧仔岛开发利用类型为交通与工业用岛。

4) 长连排岛

长连排岛为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 370m。长连排岛在大杧岛之西，东距獭洲 3.15km。

5) 獭洲

獭洲为基岩岛，位于本项目西侧，与本项目最近距离约 850m。獭洲岛位于长连排岛西侧，距长连排岛 3.15km，面积约 0.14km²。

6) 獭洲爪岛

獭洲爪岛为基岩岛，位于本项目西侧，与本项目最近距离约 530m。獭洲爪岛与

獭洲岛相隔 325m，东距三角山岛 2.65km。

7) 园排

园排为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 513m。海岛面积约 496.044m²。

8) 三角山岛

三角山岛为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 820m。三角山岛位于獭洲岛、南水岛和大杧岛之间。面积 0.82km²，该岛由三个山峰排成三角形，故名三角山岛，海岛面积约 0.77km²。根据《我国第一批开发利用无居民海岛名录》，三角山岛开发利用类型为交通与工业用岛。

9) 北三角山岛

北三角山岛为基岩岛，位于本项目东侧，与本项目最近距离约 1.08km。北三角山岛位于三角山岛北侧，海岛面积 189.708m²。



图 2.7-7 项目周边海域海岛分布图

2.7.3 养殖区

本项目不占用养殖区，评价范围内仅有两处养殖区，位于送出海缆西侧，分别为高栏港经济区獭洲-大杧岛养殖区域项目（西侧，0.06km）、高栏港经济区荷包岛区域养殖项目（西侧，0.16km），均为开放式养殖。

高栏港经济区獭洲-大杧岛养殖区范围为长方形，东西跨约 1223.9m，南北跨约 5384.8m，养殖区总面积为 659.0990hm²，养殖方式为浮球式养殖，养殖品种为牡蛎

（中蚝），中蚝长度为 5~9cm，重量在 200~449g，育成周期为 4 个月，不投喂饵料和药物。该项目于 2022 年 8 月 12 日取得海域使用权证，海域使用权人为珠海港区惠农投资发展有限公司，用海期限为 2022 年 8 月 12 日至 2027 年 8 月 11 日。根据现场勘察情况（2024 年 3 月 26 日），目前已基本建设完成且已开展养殖活动。

高栏港经济区荷包岛区域养殖区范围为长方形，东西跨约 1199.9m，南北跨约 3999.6m，养殖区总面积为 479.9015hm²，养殖方式为竹排打桩式养殖，养殖品种为生蚝（大蚝），大蚝长度为 10~13cm，重量在 450~1500g，育成周期为 3 个月，不投喂饵料和药物。该项目于 2022 年 8 月 12 日取得海域使用权证，海域使用权人为珠海港区惠农投资发展有限公司，用海期限为 2022 年 8 月 12 日至 2027 年 8 月 11 日。根据现场勘察情况（2024 年 3 月 26 日），通过无人机初步排查与扫点，项目已基本建设完成且已开展养殖活动。



图 2.7-8 项目周边海域养殖区分布图

2.7.4 珍稀濒危和保护生物

根据现场勘查和调研结果，项目评价范围内的珍稀濒危和保护生物主要为海豚、海龟、文昌鱼。

(1) 中华白海豚

中华白海豚(*Sousa chinensis*)是一种沿岸河口定居性的小型齿鲸类，属海洋哺乳动物，是世界上 85 种鲸类之一，国际上习惯称之为印度太平洋驼背豚(Indo-Pacific HumpBack dolphin)。中华白海豚于 1988 年被国务院列为国家一级重点保护动物，隶属齿鲸亚目，海豚科，白海豚属，体长 2.0~2.5m，最长达 2.7m，体重 200~285kg。喜欢栖息在亚热带海区的河口咸淡水交汇水域，生活在浅水区和多岩石处，休息或游玩都会集结在靠近沙滩的海域，其作息通常会与涨潮和日照的时间相配合，晨昏最为活跃，常在涨潮时觅食，食物主要是河口的咸淡水鱼类，也取食头足类，不经咀嚼快速吞食。通常在春季和夏季繁殖，经过 10~12 个月的妊娠期后，每胎产一仔，初生的幼豚体长约 100cm。

中华白海豚广泛分布于西太平洋和印度洋的沿岸水域，属暖水性种类，在澳大利亚北部、印度尼西亚、加里曼丹、马来西亚、马六甲海峡、泰国湾、斯里兰卡及南海沿岸国家均有分布。在中国海域，主要分布东南沿海的河口内湾，北至长江口附近，南至北部湾的越南水域边界。在广东沿海，主要分布于粤东沿海的韩江河口、中部沿海的珠江河口和粤西的雷州湾等。

根据《广电院珠海高栏一海上风电场海洋环境现状春、秋季调查专题报告书》，调查期间未发现中华白海豚。

(2) 印太江豚

印太江豚(*Neophocaena phocaenoides*)是沿岸定居性的小型齿鲸类，与中华白海豚一样，常年栖息于沿岸水域，是广东沿岸水域仅有的 2 种定居性鲸类之一。印太江豚属国家二级重点保护水生动物，隶属鼠豚科，江豚属，广泛分布于印度洋、太平洋温带和热带的沿岸水域。广东沿海江豚主要分布于汕头外海和珠江口外海，其中以珠江口外（包括香港南部水域）的记录较多。在珠江口海域，江豚分布的区域较中华白海豚离岸一些，从深圳的大鹏澳至江门的下川岛海域均有分布，在夏季和秋季江豚趋向于近岸分布，目击次数较多、群体也较大。在汕头海域，于南澎列岛外海各季节均有江豚出现，出现的高峰期在 7 月和 8 月。

根据《广电院珠海高栏一海上风电场海洋环境现状春、秋季调查专题报告书》，

调查期间未发现印太江豚等珍稀海洋生物。

(3) 海龟

海龟是我国第二类重点保护的野生濒危动物，主要分布于西沙群岛、海南岛、广东、广西、台湾、福建、浙江、江苏和山东沿海地区。根据《广东省海洋环境保护规划》研究成果，以及南海水产研究所调查资料，海龟在广东省的主要活动地区为大亚湾、红海湾、汕头。我国已于 1985 年在广东惠东县港口镇海龟湾建立了国家级海龟自然保护区。

海龟生活于近海上层，以鱼类、头足纲动物、甲壳动物以及海藻等为食，每年 4~10 月为繁殖季节，常在礁盘附近水面交尾，需 3~4h。雌性在夜间爬到岸边沙滩上，先用前肢挖一深度与体高相当的大坑，伏在坑内，再以后肢交替挖一口径 20cm、深 50cm 左右的“卵坑”，在坑内产卵。产毕以砂覆盖，然后回到海中。每年产卵多次，每产 91~157 枚。卵白色，圆形，径 41~43mm，壳革质，韧软。孵化期 50~100 天。

本项目周边海域的海陵岛、川山群岛、万山群岛、担杆列岛等区域是海龟洄游及觅食的主要场所。项目场区周边存在海龟活动的历史追踪数据，说明工程附近海域曾有海龟出没，但出现频率较低且分布在周边海域，项目风电场区位于海龟洄游路线周边，但不是海龟的主要活动场所。根据对惠东海龟国家级自然保护区产卵后雌性绿海龟卫星跟踪结果表明，在产卵季节结束后，海龟离开产卵地，又开始在海水中的生活，活动范围较大。

根据《广电院珠海高栏一海上风电场海洋环境现状春、秋季调查专题报告书》，调查期间未发现海龟。

(4) 文昌鱼

文昌鱼，是文昌鱼目文昌鱼科文昌鱼属脊索动物，主要分布于中国，日本、托雷斯海峡、加里曼丹、新加坡、斯里兰卡以及非洲东海岸一带沿海也有分布，依赖水流带来浮游生物及硅藻、植物供其食用，5-7 月为文昌鱼生殖季节，一生中可繁殖 3 次。文昌鱼是珍稀名贵的海洋野生头索动物，被中国列为二类重点保护对象。

根据《珠海高栏一海上风电场海洋环境现状调查（秋季）生态调查报告》（自然资源部南海调查中心，2023 年 11 月），31 号调查站位出现白氏文昌鱼，其他调查点位均未发现。31 号调查站位位于项目风电场区东北侧约 8km 处，水深介于 30~40m 处，周边海域底质主要为粉砂质砂和砂-粉砂-黏土。项目场区水深介于

32~37.5m，底质中值粒径均小于 0.36mm，平均中值粒径为 0.08mm。综上所述，项目场区周边可能存在少量文昌鱼活动，但不是文昌鱼主要活动区域，不是文昌鱼的主要栖息地。

3 工程概况

3.1 建设项目概况

(1) 项目名称：珠海高栏一海上风电项目

(2) 项目性质：新建

(3) 建设单位：国华华发（珠海）新能源有限公司

(4) 项目投资：项目海域工程总投资 533625 万元，其中环保投资 735.5 万元，约占工程总投资的 0.14%。

(5) 施工计划：项目海域工程施工期 16 个月，其中工程主体施工总工期为 15 个月，计划 2026 年 4 月开工，2027 年 7 月全部风机建成投产发电。本工程于 T+0 月开工后，T+3 月后施工准备完成，主体工程开始施工，第 T+13 个月后首批 5 台 14.0MW 机组发电，第 T+16 个月之后全部 36 台风机投产发电。

(6) 施工期临时营地

项目整体施工期间规划 2 个施工基地及 2 大施工作业区。2 个施工基地分别是施工主基地和施工辅助基地；2 大施工作业区分别是 1#海上风电场施工区、2#500kV 送出海缆施工区。施工主基地的布置在新会市崖门镇崖门大桥以南的广州打捞局新会抢险打捞基地码头，主要设置仓库、风机设备堆场及指挥中心办公室、生活区等；施工辅助基地计划布置在风电场陆上集控中心附近的高栏港，属于租赁码头，该基地主要负责承担海上风电场施工的补给及海上施工人员的交通运输，施工建设完成后可作为海上风电场运营维护码头。

项目风电机组等大件堆存与储运基地设于施工主基地；项目钢结构加工在周边大型钢结构加工厂内加工制作完成后直接在厂家的码头装船运至施工现场，本项目不单独设置钢结构加工制作区；混凝土供应选择外购商品混凝土的方案，不需要在现场设置混凝土搅拌站等生产系统。

(7) 运营期劳动定员及工作制度

项目运营期主要进行风机机组、海上升压站维护及检修，依托陆上集控中心劳动定员，不新增劳动定员。计划运营期每月进行 1 次风机维护和检修，每次巡检人员 5 人，每年工作天数为 12 天。

3.2 地理位置

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，项目风电场址最近端距离高栏岛

陆岸 35km，最远端距离陆岸 53km。场址西侧距离上川岛约 30km，西北距离台山最近距离约 45km。项目风电场址四至地理坐标为东经 113°05'24.798"~113°10'20.46"，北纬 21°25'26.82"~21°31'38.64"，场址面积 74km²，中心离岸距离约 47km，水深介于 32m~37.5m 之间。

项目海上升压站设置 1 回三芯 500kV 送出海缆。海缆登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上海岸线处。500kV 送出海缆登陆点出发，向西南方向分别垂直穿越珠海港高栏港区 5 万吨黄茅海航道和崖门出海航道后从獭洲爪岛和大杙岛之间穿过，一共延伸 6.86km 到达养殖区附近转向西南，沿养殖区延伸 4.39km，从养殖区和杙仔岛之间穿过，然后转向东南延伸 4.56km 到达荷包岛附近，然后再次转向西南延伸 2.14km 进入管廊，此后沿管廊一路向南 35.8km 到达高栏场址一边缘，在此转向西南延伸 2.51km，避开场区集电海缆及风机，向西南延伸 1.27km 到达高栏场址一海上升压站。500kV 海缆由登陆点至海上升压站敷设路由长度 57.52km。

本项目风电场址角点坐标及 500kV 送出海缆拐点坐标见表 3.2-1，项目地理位置见图 3.2-1。

表 3.2-1a 项目风电场址坐标表

风电场址角点	坐标	
	纬度 N	经度 E
1	21°25'26.82"	113°05'24.79"
2	21°26'24.14"	113°10'03.81"
3	21°26'32.83"	113°10'20.46"
4	21°31'38.64"	113°10'20.46"
5	21°29'44.77"	113°05'24.79"

表 3.2-1b 项目 500kV 送出海缆拐点坐标表

拐点	纬度 (N)	经度 (E)	路由长度 km	拐点依据
A0	21°58'22.407"	113°10'7.748"	0	定向钻入土点
A1	21°58'22.055"	113°10'7.336"	0.016	登陆点（海岸线处）
A2	21°58'0.148"	113°9'41.742"	1.013	定向钻出土点
A3	21°55'51.629"	113°7'11.659"	6.86	垂直穿越航道，从大杙岛和獭洲爪岛之间穿过，避开养殖区和长连排岛
A4	21°53'32.876"	113°6'36.364"	11.25	避开养殖区和杙仔岛
A5	21°51'15.197"	113°7'34.783"	15.8	绕行养殖区
A6	21°50'11.570"	113°7'4.462"	17.94	进入管廊
A7	21°30'49.490"	113°8'12.778"	53.74	达到高栏场址一边缘
A8	21°29'28.620"	113°8'1.437"	56.25	避让风机和集电缆
A9	21°28'48.867"	113°7'49.349"	57.52	到达海上升压站



图 3.2-1a 项目地理位置图（行政区划图）



图 3.2-1b 项目地理位置图（海图）

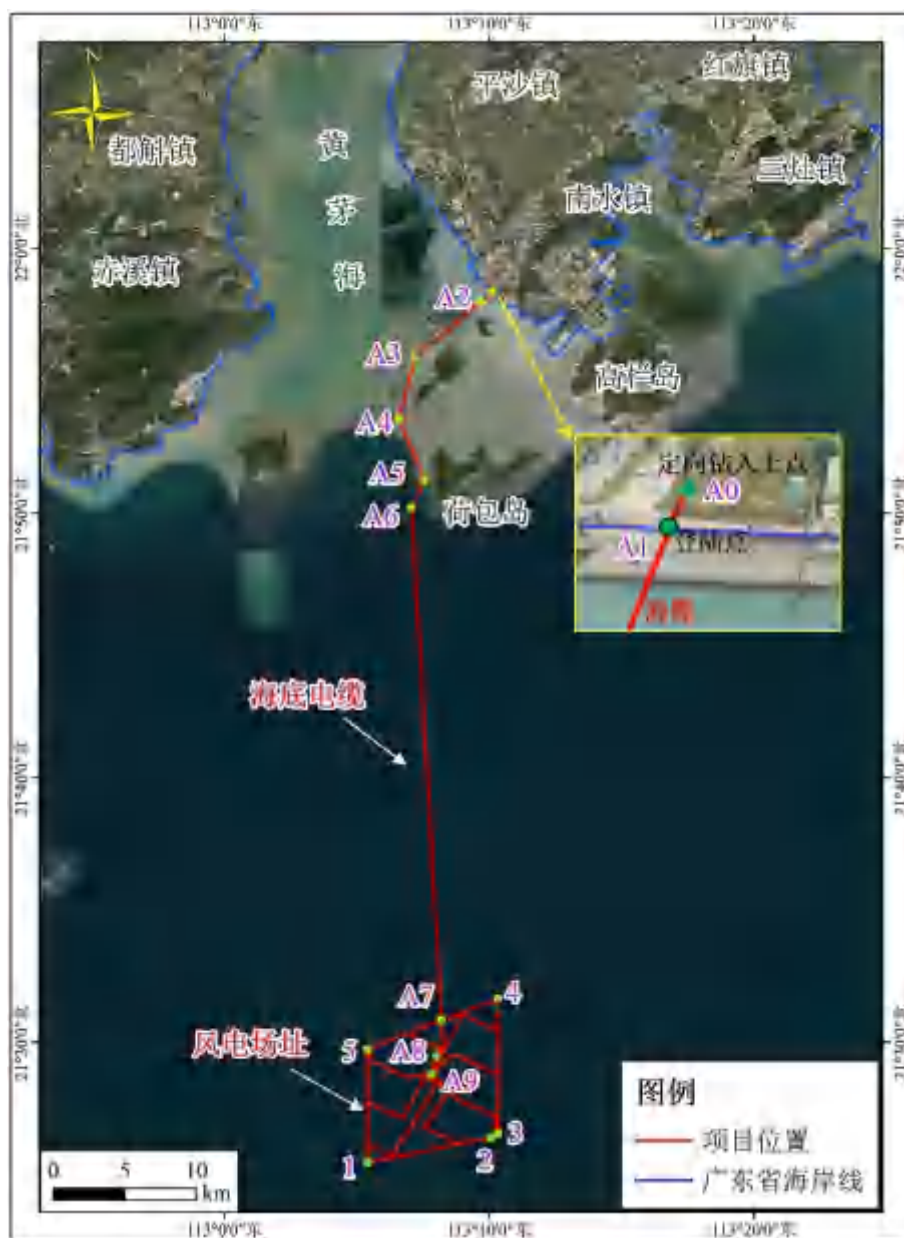


图 3.2-1c 本项目地理位置图（2025 年卫图）



图 3.2-1d 项目海缆登陆点实拍图

3.3 项目组成

项目拟安装 36 台单机容量为 14MW 的风电机组，配套建设 1 座 500kV 海上升压站。项目总装机容量为 504MW，风电机组发出电能通过 8 回 66kV 海底电缆接入海上升压站，升压后通过 1 回 500kV 海底电缆输送到陆上集控中心，以 500kV 电压等级接入电网。

本项目年上网电量为 1493.939GWh，年等效满负荷小时数为 2964h，容量系数为 33.8%。

项目用海总面积 378.5100hm²，其中风机机组（用海方式为透水构筑物）用海面积 179.5536hm²；海上升压站（用海方式为透水构筑物）用海面积 2.3564hm²；海底电缆（含 500kV、66kV 集电海缆，用海方式为海底电缆管道）用海面积 196.6000hm²。

项目工程组成详见表 3.3-1。

表 3.3-1 项目工程组成一览表

工程组成		建设内容
主体工程	风机机组	设置 36 台 14MW 风机机组，采用四桩导管架基础。
	海上升压站	建设 1 座 500kV 海上升压站，位于风电场区中间偏东北位置，采用整体式布置，包括上部结构和下部结构，上部结构采用带支撑的钢框架多层平台结构方案，下部结构采用四桩导管架基础。
	66kV 场内集电海缆	风电场场内采用电压等级为 66kV 的交流交联聚乙烯三芯海缆，按 8 个回路布置，各个回路连接 3~5 台风机，风机连接海缆不交叉重叠，敷设海缆长 58.98km，敷设深度暂定为 3m。
	500kV 送出海缆	海上升压站设置 1 回三芯 500kV 送出海缆，采用电压等级为 500kV 的交流交联聚乙烯三芯海缆，海缆型号为 XLPE3×800mm ² ，一般段海底电缆敷设深度暂定为 3m，穿越航道区域海缆埋深于航道设计底标高下 4m。500kV 送出海缆由海上升压站敷设至珠海十字沥至电厂段海堤上通过定向钻登陆后，通过电缆沟接入陆上集控中心，海上升压站至登陆点敷设海缆长 57.52km。
	控制保护设备及安装工程	防腐蚀、防冲刷、靠船和防撞、空中导航等。
公用工程	供水	海上施工现场施工和生活用水均使用船舶储存的饮用水
	供电	海上施工采用船舶自备发电机或设置移动式柴油发电机
配套工程		包括电气、通信、消防、监测等，风机机组、海上升压站统一布置
依托工程	施工基地	依托新会市崖门镇崖门大桥以南的广州打捞局新会抢险打捞基地码头、高栏港码头。
	陆域集控中心	陆上集控中心、陆上埋地电缆。
环保工程	废水处理	设置船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后上岸交具有处理能力的单位接收后统一处理。
	固体废物	施工期船舶生活垃圾、扫海清障废物做好分类储存，统一收集后上岸交由船舶污染物接收单位统一处理；其他施工垃圾废弃包装物、焊接头等由施工单位集中收集后运至岸上，外售资源回收单位综合利用；定向钻

工程组成		建设内容
		施工钻渣、废弃泥浆集中收集运至岸上，回用于陆上集控中心基础回填。
		项目运维人员生活垃圾做好分类储存，统一收集后上岸交由有能力的船舶污染物接收单位处理；运营维护一般固体废物废弃零部件、废弃包装物分类集中收集，由维护船舶带回岸上，外售资源回收单位综合利用；。
		项目运营维护危险废物废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等分类收集至船舶配备的危险废物垃圾箱中，直接由运维船舶带回岸上，暂存至项目陆上集控中心危废间，与集控中心危险废物一起委托有危废处置资质单位定期清运处理。
	环境风险	依托高栏港溢油应急设备及设备库，并补充施工期溢油应急器材。

3.4 项目建设方案

3.4.1 平面布置

3.4.1.1 总平面布置

项目总装机容量为 504MW，拟建设 36 台 14MW 风电机组，风电机组通过 8 回 66kV 集电海底电缆（总长 58.98km）接入 500kV 海上升压站，升压后以 1 回 500kV 送出海底电缆（总长 57.52km）敷设至登陆点，登陆后直接通过市政预留的绿化管廊以电缆沟的方式敷设至陆上集控中心。

项目总平面布置见图 3.4-1a，项目整体鸟瞰效果图见图 3.4-1b。

3.4.1.2 风电机组布置

本项目风电场区域主要风能方向为 NNE~E。经风电场数值模拟方案比选，同时考虑广东能源珠海高栏二海上风电项目风电场风机组的耦合影响，布置 36 台 WTG1 型的风电机组，风场区面积约为 74km²，基于平行四边形基本单元的规则化排布方法，呈现出“梅花型”的宏观分布。

项目 36 台 14MW 风电机组按照西北~东南成行布置 5 排，行间距 758~1031m（3.0~4.1D），列间距大致为 2728m（10.8D）。风电机组总装机容量为 504MW，风机轮毂中心高度为 155m，叶轮直径 252m，叶片长度 123m。

风机平面布置见图 3.4-2。

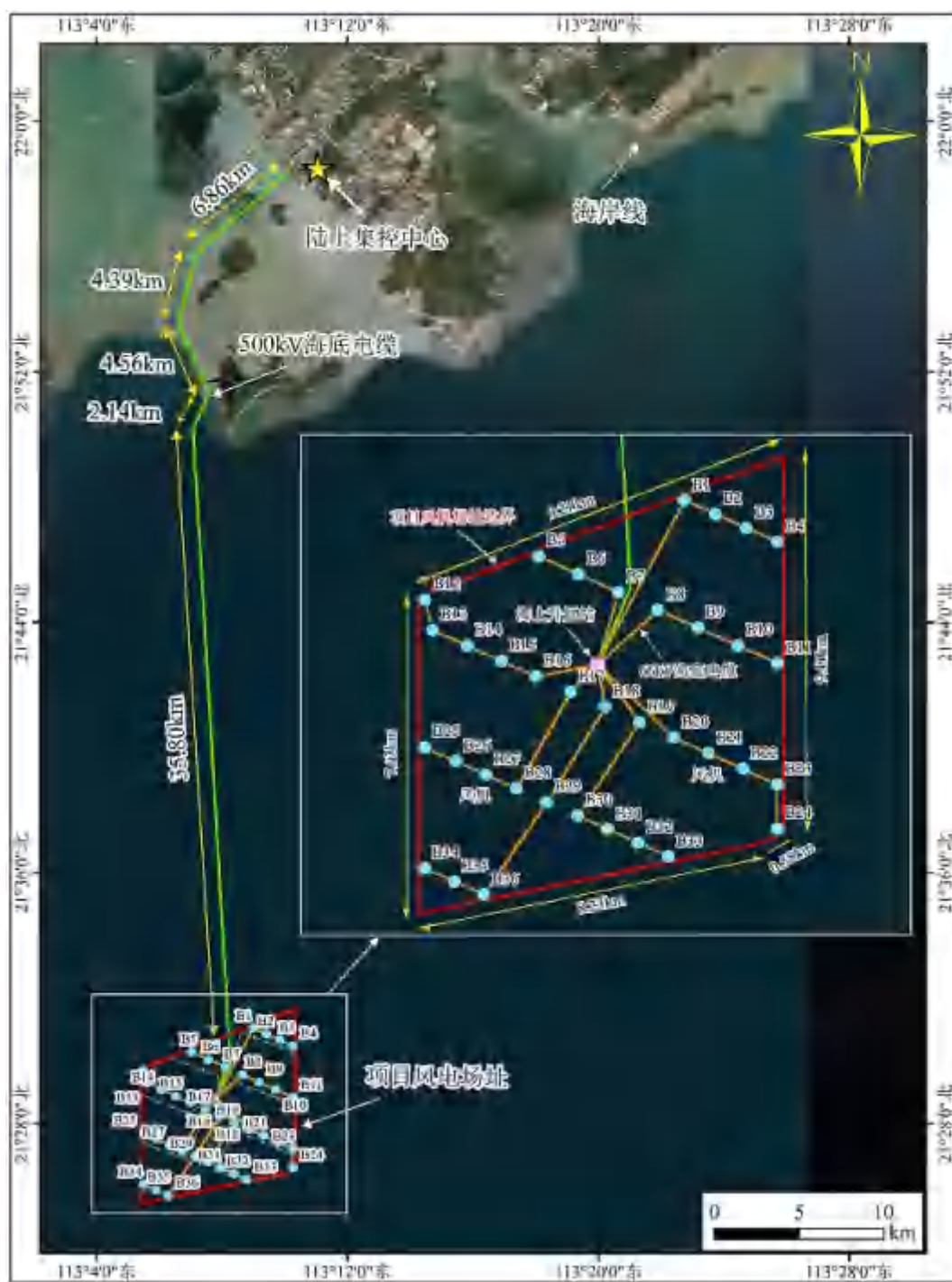


图 3.4-1a 总平面布置图



图 3.4-1b 项目整体鸟瞰效果图

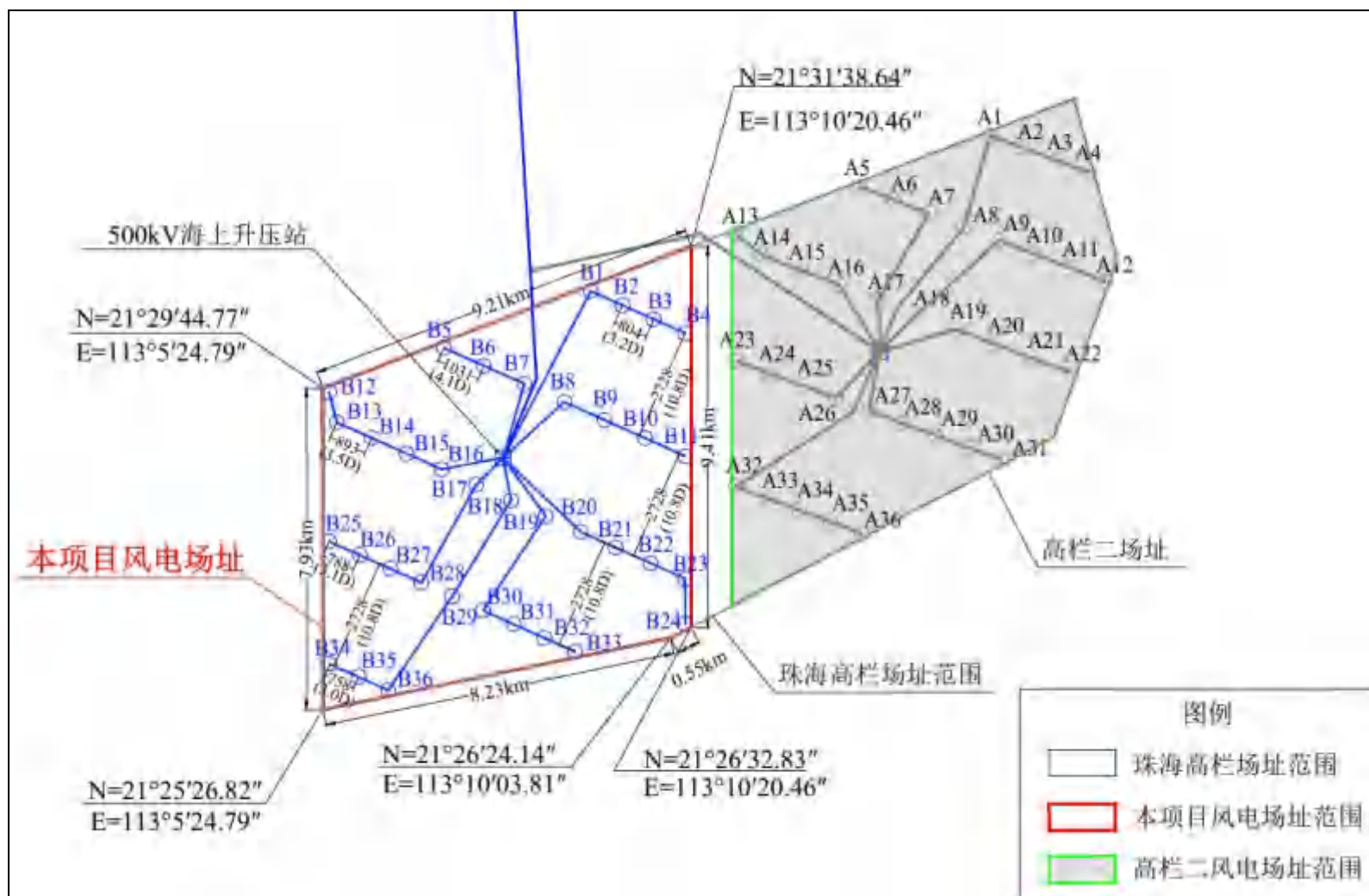


图 3.4-2 风机平面布置图

3.4.1.3 海上升压站

为了使风电机组之间 66kV 集电海底电缆的短捷，同时便于 500kV 送出海底电缆送出至集控中心，将海上升压站布置在风电场的中间偏东北位置，南北向布置，包括上部结构和下部结构，平台尺寸为 42.0m×43.5m，采用整体式布置。海上升压站下部结构采用导管架型式，并设置 4 根钢管桩；上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成，采用四层布置，首层层高为 7.5m，二层层高 8.2m，三层层高 4.8m，各层布置如下（最底层为基准 0m）。

底一层：主要布置救生装置、生活水泵房、临时休息室、污水处理间集油罐间及柴油罐间，兼做电缆层，500kV 及 66kV 海缆通过 J 型管穿过本层夹板引上至配电装置，主变、电抗器至 500kV 配电装置及 66kV 配电装置的电缆采用电缆桥架、支架敷设在此层。

二层：中间布置主变、电抗器、右侧布置 66kV 配电装置、500kV GIS，左侧布置暖通机房、蓄电池室、电阻室、低压配电间、泡沫消防间。

三层：为主变、电抗器及 500kV 配电装置上空，其余区域布置有柴油发电机、二次设备间及暖通机房。

顶层：设有直升机平台、吊车、设备检修孔、水箱、通讯、助航设备（航空障碍灯、雾笛）等设备。

海上升压站布置见图 3.4-3。

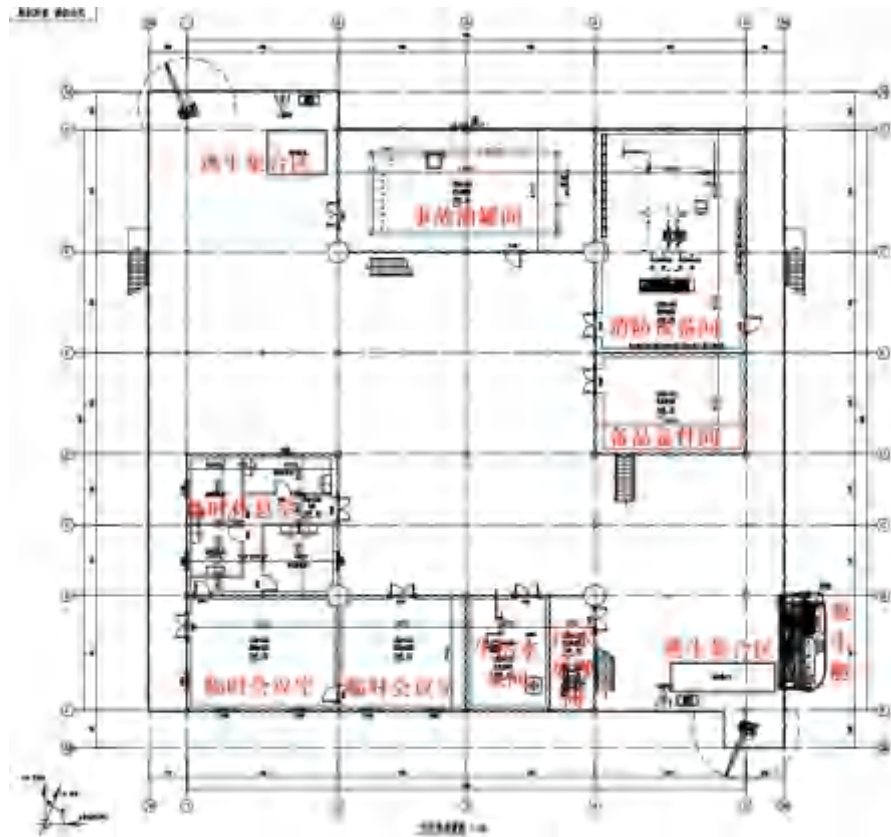


图 3.4-3a 海上升压站一层布置图

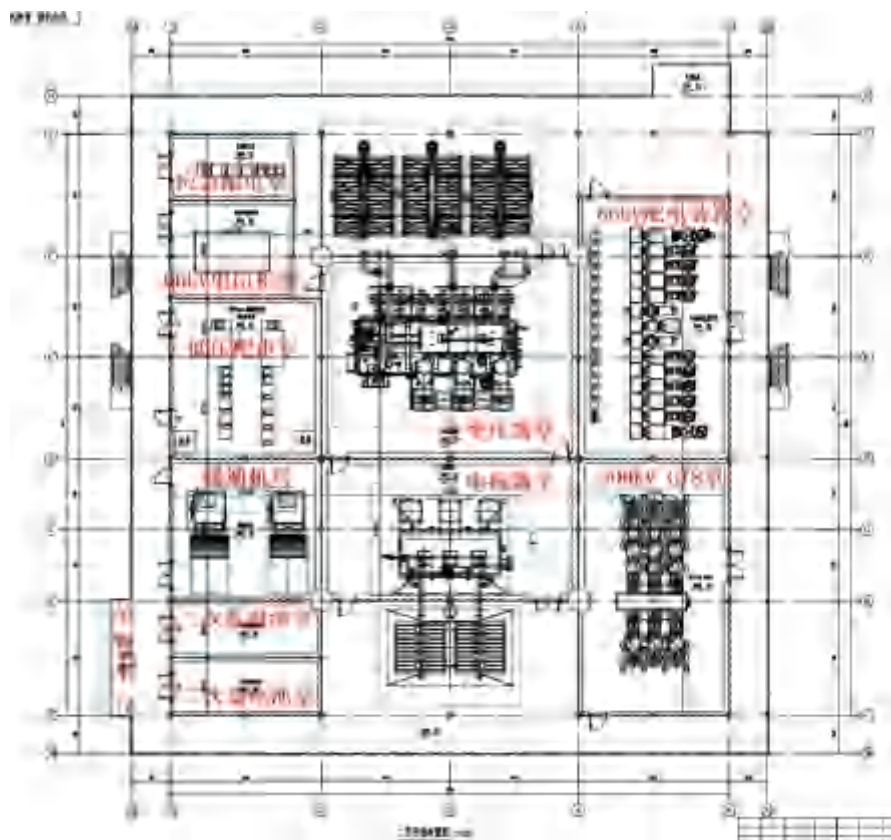


图 3.4-3b 海上升压站二层布置图

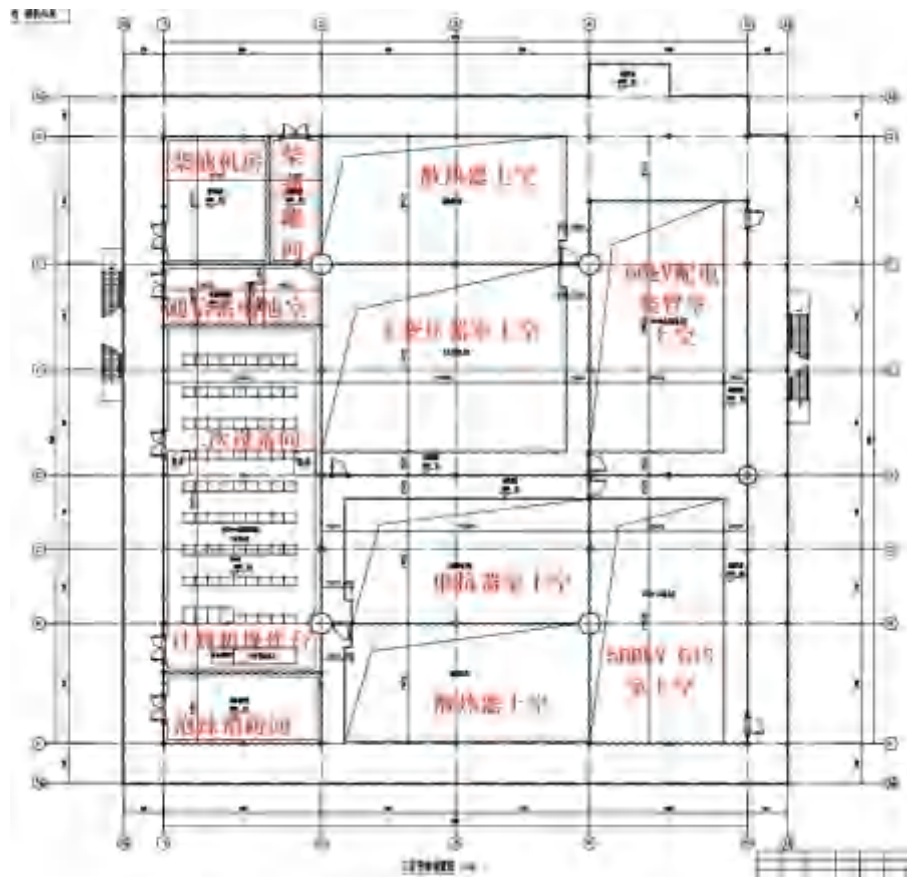


图 3.4-3c 海上升压站三层布置图

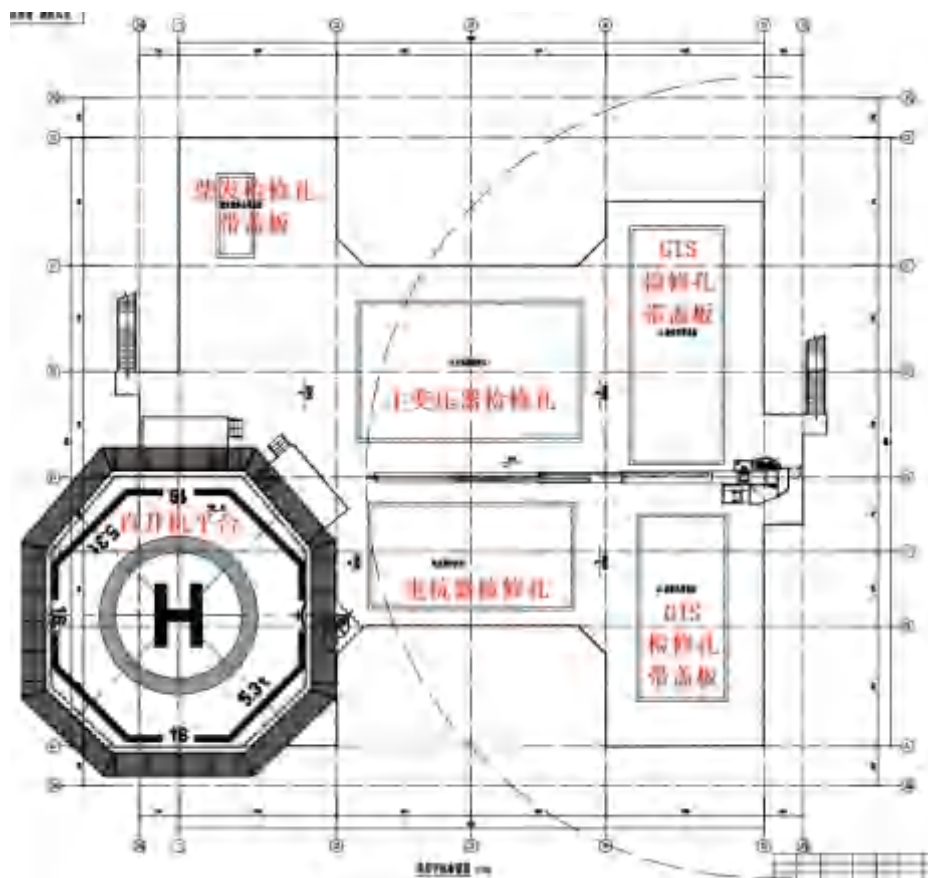


图 3.4-3d 海上升压站顶层布置图

3.4.1.4 海底电缆

(1) 500kV 外送海缆

项目海缆登陆点至海上升压站之间 500kV 外送海缆路由总长度 57.52km。

项目 500kV 外送海缆自登陆点出发，向西南方向分别垂直穿越珠海港高栏港区 5 万吨黄茅海航道和崖门出海航道后从獭洲爪岛和大杙岛之间穿过，一共延伸 6.86km 到达养殖区附近转向西南，沿养殖区延伸 4.39km，从养殖区和杙仔岛之间穿过，然后转向东南延伸 4.56km 到达荷包岛附近，然后再次转向西南延伸 2.14km 进入管廊，此后沿管廊一路向南 35.8km 到达高栏场址一边缘，在此转向西南延伸 2.51km，避开场区集电海缆及风机，向西南延伸 1.27km 到达高栏场址一海上升压站。

项目 500kV 外送海缆拐点坐标见表 3.2-1，外送海缆路由平面布置见图 3.4-4。

(2) 66kV 集电海缆

根据风电机组布置情况，风电机组高压侧采用 3~5 台风电机组为一个联合单元接线方式，各联合单元由 1 回 66kV 集电线路接至 500kV 升压站 66kV 配电装置，风电场共设置 8 回 66kV 集电海缆接入海上升压站，总长度 58.98km。

项目 66kV 集电海底电缆总体路径图见图 3.4-4。

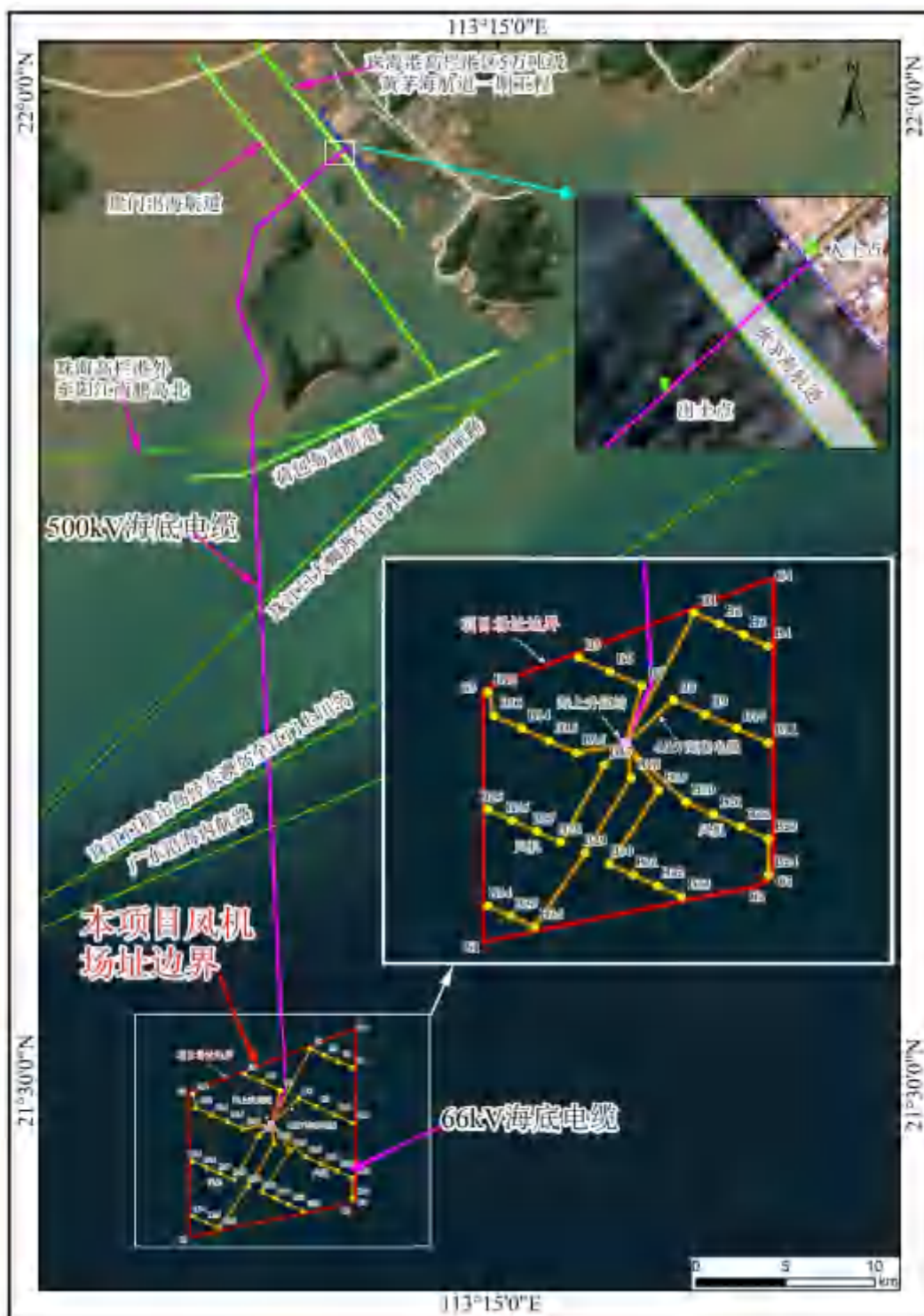


图 3.4-4 海底电缆路径图

3.4.2 结构型式

3.4.2.1 风机结构型式

(1) 风机基础结构

本工程风机地基基础设计级别为甲级，风电机组基础结构安全等级为一级，本工程海上风机基础结构设计年限按 50 年，基础结构使用寿命为 25 年。

1) 风机基础型式

风机基础设计主要依据相关的技术标准和规范，利用本工程场址目前初步的风浪流海洋环境条件测量与计算结果，以及本风场工程地质资料，对全场风机基础进行方案设计。结合本工程的水深和风机荷载等技术要求，风机基础型式初步选定四桩导管架结构。四桩导管架采用先在海底打入四根呈正方形布置的钢管桩，然后进行导管架基础整体吊装，导管架与钢管桩之间通过灌浆连接形成整体，导管架上部为过渡段，顶部通过法兰与塔筒连接。导管架承受波浪、海流荷载、风荷载及风机塔架传递的风机荷载，并将荷载传递给垂直打入海底的钢管桩。

本项目 36 个机位采用四桩导管架基础型式。根据工程海域的水深情况，现阶段设计导管架桩顶标高为-28m~-30m，导管架顶法兰标高均为 26.2m，灌浆连接段长度约为 7m。14MW 四桩导管架基础主体结构平均重量约 1420 吨，钢管桩总重 1330 吨。单根钢管桩桩径 3.3m，壁厚为 40~55mm 之间，平均桩长约 90m，平均入泥约 80m，导管架下部跟开（即桩中心距）为 30m。

2) 风机基础顶高程

海上风机基础平台甲板底面应避免受到海浪的冲击作用，除非按照经受波浪冲击作用进行结构设计。海上风机基础高程设置应避免塔筒底部受潮水、波浪的影响，确保风电机组塔筒内电气设备不浸水。参考《海上风电场工程风电机组基础设计规范》，风电机组平台底面高程按照如下公式进行计算：

$$T=H+2/3 H_b+\Delta$$

式中：

H——50 年重现期下的极端高水位；

H_b——极端高水位的最大波高；

Δ——富裕高度 0.5-1.5m。

本工程 50 年重现期极端高水位 H=4.04m，50 年重现期最大波高 H_b=20.83 m。计算结果为平台底高程不小于 19.43m，对于单桩基础，考虑外平台梁尺寸，基础顶法兰高程至少为 20.5m（85 国家高程）；对于导管架基础和吸力桶基础，甲板底面高程至少为+19.43m（85 国家高程）。根据工程海域的水深情况，水深变化为 3m 左右，整个场址采用同一种规格的导管架，导管架基础高程为+19.5m，导管架基础顶法兰高程取+26.2m，导管架腿直径为 3.3m，四个桩腿在每个立面由三层 X 型交叉钢管连接，交叉管管径 0.7-1.0m。

(2) 风机上部结构形式

风力发电机主要包含风轮、机舱和塔杆三部分，在塔杆底部一般还配备有箱式变压器。机舱是风力发电风电机组的核心部分，内部主要有发电机、齿轮箱、控制系统、刹车机构等组成。本项目选定单机容量为 14.0MW 的风力发电风电机组，风电机组总装机容量为 504MW，风机轮毂中心高度为 155m，叶轮直径 252m，叶片长度 123m。

风机的主要特性参数见表 3.4-1。

表 3.4-1 风机参数特征一览表

项目	单位	WTG1
机型	/	EN-252/14
台数	台	36
额定容量	kW	14000
认证情况	-	型式认证
设计等级	-	IEC S
极端风速（设计值）	m/s	57
50 年一遇极端风速	m/s	79.8
设计寿命	年	25
运行温度	°C	-20~40
生存温度	°C	-30~50
轮毂高度	m	155
叶轮直径	m	252
叶片长度	m	123.1 ±1%
扫风面积	m ²	49876
单位千瓦扫风面积	m ² /kW	3.562
切入风速	m/s	3
额定风速	m/s	12.5
切出风速	m/s	25
发电机类型	-	中速永磁
发电机额定功率	kW	15000
发电机额定电压	V	1250
功率因数	-	1
轮毂尺寸（半径）	m	3.3
机舱尺寸	m	15.9×10.6× 6.1
叶片重量	t	62
轮毂重量	t	95
机舱重量	t	445
发电机重量	t	26
齿轮箱重量	t	138



图 3.4-5b 导管架基础方案图



图 3.2-5c 风机结构形式示意图

3.4.2.2 海上升压站

本工程海上升压站结构安全等级为一级，建筑物结构级别为 1 级，本工程海上升压站基础结构设计年限按 50 年，基础结构使用寿命为 25 年。500kV 海上升压站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。上部结构采用带支撑的钢框架多层平台结构方案，下部结构采用桩靴式导管架型式，并设置 4 根钢管桩。上部结构拟整体安装，即整个升压站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装。

(1) 平台高程

海上升压站底高程的确定国内缺乏相应的规范，本次设计参考相关的行业规范规定《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》（NB/T 3115-2017）以及国外的 DNV 等相关规范，采用以下计算底层甲板上表面高程：

$$T \geq H + 2/3H_b + \Delta + H_t$$

式中：

T---底层甲板上表面高程；

H---100 年一遇极端高水位

H_b ---100 年一遇的最大波高

Δ ---气隙，取为 1.5m

H_t ---底层甲板包括梁在内的结构高度

根据海洋水文资料，海上升压站 100 年一遇极端高水位约为 4.31m，100 年一遇的最大波高约 20.94m，底层甲板结构高 1.2m。计算得到升压站底层上表面高程不得小于 21.07m，底层甲板底面高程不小于 19.87m。

本工程场址范围内水深变化较大，且缺乏长期的实测海洋水文资料，水文参数具有一定程度的不确定性，根据以往经验并综合考虑潮位、波浪、基础沉降、施工等因素，本工程海上升压站底层甲板梁顶高程定为 21.5m。

(2) 上部组块结构

500kV 海上升压站上部组块共四层（含甲板层），平面尺寸约为 42.0m×43.5m，顶层标高约 39.5m（不包括吊机），总重约 3900t（含设备）。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接梁 G1600、G1400、G1200、G1000 和成品梁 HN900、HN700 等，次梁采用热轧 H 型钢 HN900~HN300 等。立柱采用φ2000、φ1400、φ508、φ406 等钢管，主甲板间斜撑采用φ700、φ508、φ406 和φ356 等钢管，各层甲板之上满铺 6mm 厚钢板，25mm 以上钢板全部采用 Z 向钢钢材 DH36 加强。

海上升压站上部组块布置见表 3.4-2。

表 3.4-2 海上升压站上部组块布置汇总表

项目	重量 (t)
钢材总用量	约 2150
舾装、电气、暖通、消防、排水设备及管道重量	约 1750
总重	约 3900

上部组块舾装设计参考海上石油平台舾装，依据《海上固定平台安全规则》(国家经贸委 2000)等规范设计，舾装所有材料都应提供 SOLAS 防火等级证书，同时具有 CCS 的认可证书。上部结构在陆上工厂制作，完成焊接、涂装、电气设备安装调试等工序后运输至现场安装。整个上部结构在结构、建筑、暖通、电气设备安装等施工完成并调试结束后整体吊装到升压站基础上。上部组块与导管架基础连接采用焊接方式。

(3) 基础结构

项目 500kV 海上升压站基础采用导管架型式。导管架采用 4 腿导管架型式，导管架 4 个面的斜度约为 1: 10。主导管采用φ1600~φ1900 钢管，成梯形布置，分别设置φ850~φ1200 水平圆管及斜拉圆管，材质为钢材 DH36、EH36，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 或 EH36-Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台、J 型管、灌浆管线等附属构件。导管架（含附属构件）重 2970t。

钢管桩采用φ4200 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚为 40~75mm。桩长约为 99m，四根桩总重 2350t。钢管桩在陆上加工制作，用打桩船沉桩施工。

在海上升压站沿导管架两侧分别布置φ356mm 的 66kV 海缆保护 J 型套管和

φ660mm 的 500kV 海缆保护 J 型套管。66kV 海缆和 500kV 海缆沿 J 型套管登入、登出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。先进行导管架就位，后进行打桩作业，待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水下灌浆方式连接。

81

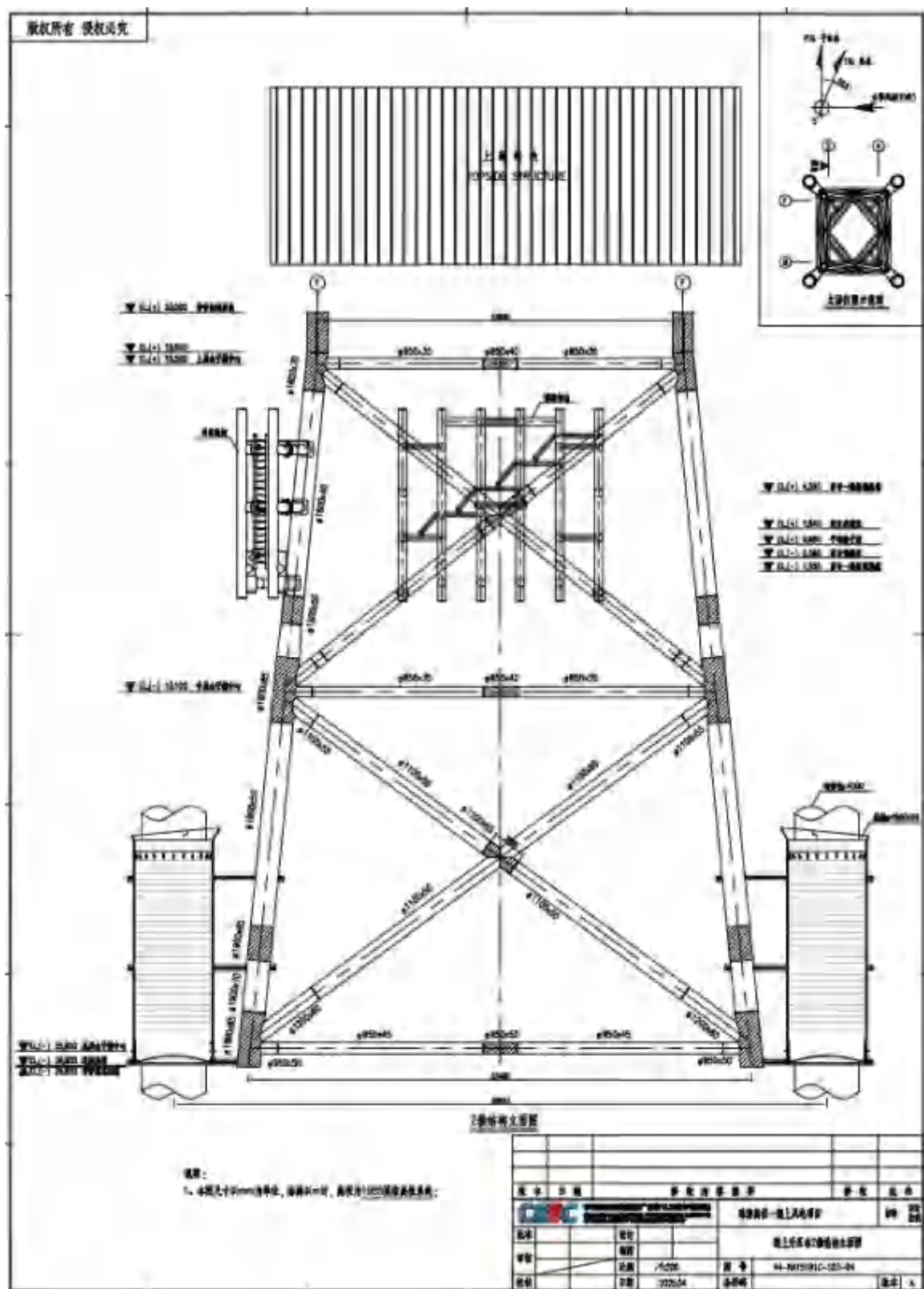


图 3.4-6b 海上升压站结构立面图

83



图 3.4-6d 海上升压站鸟瞰效果图

3.4.2.3 海底电缆

(1) 海缆选型

1) 500kV 外送海缆

500kV海底电缆拟选用 1 回芯 $3 \times 630\text{mm}^2$ XLPE绝缘海缆，海缆型号HYJQF41-F-290/500kV- $3 \times 630\text{mm}^2$ ，500kV外径 297.4mm，长度总计 57.52km（共 1 回）。

2) 66kV 集电海缆

66kV 海底电缆选用铜导体 3 芯交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合海底电缆，66kV 外径 177.2mm，电缆截面从 $3 \times 120 \sim 630\text{mm}^2$ 不等，长度总计 58.98km（共 8 回）。

表 3.4-3 项目各型号 66kV 海底电缆敷设长度统计表

电缆型号	长度 (m)
HYJQF41-F-38/66kV- $3 \times 120\text{mm}^2 + 2 \times 48$	18497
HYJQF41-F-38/66kV- $3 \times 185\text{mm}^2 + 2 \times 48$	12171
HYJQF41-F-38/66kV- $3 \times 400\text{mm}^2 + 2 \times 48$	18915
HYJQF41-F-38/66kV- $3 \times 630\text{mm}^2 + 2 \times 48$	9396
合计	58979

项目三芯海缆的结构见图 3.4-7。

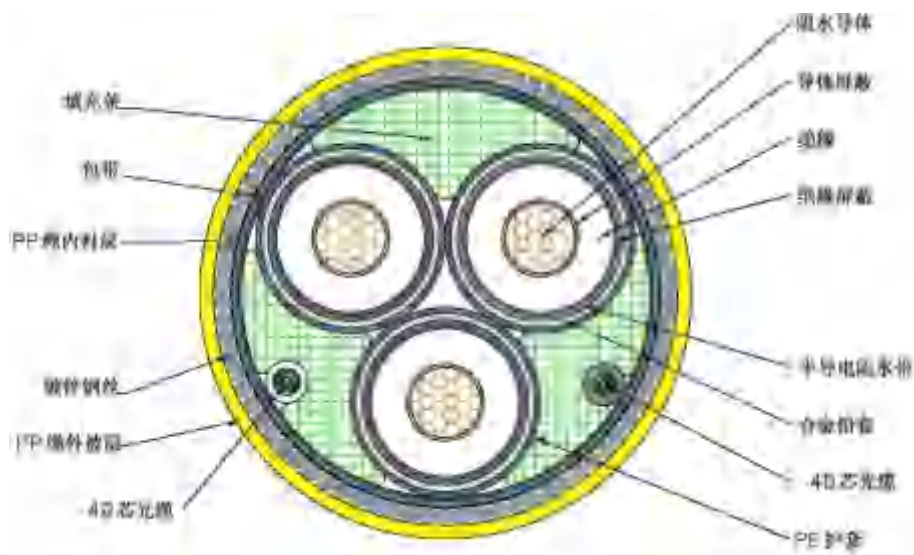


图 3.4-7 三芯电缆典型结构示意图

(2) 海缆埋深设计

根据《电力工程电缆设计规范》（GB 50217-2007）5.7.2 中规定“水下电缆不得悬空于水中，应埋置于水底，……浅水区埋深不宜小于 0.5m，深水航道的埋深不宜小于 2m。考虑本项目风电场区及周边的开发利用活动，风电场内 66kV 集电线路和外输 500kV 海底电缆埋深为 3m，工程 500kV 外输海底电缆穿越广东沿海内航路、珠江口大蜘蛛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、荷包岛南航路、崖门出海航道东东线、崖门出海航道东线在航道区域海缆埋深于航道设计底标高下 4m。经过调研，根据类似海缆项目实际埋设经验，目前国内常规埋设犁可达 3m 及以上，本项目海底电缆均采用埋设犁的方式进行敷设，施工可行。

1) 一般段海底电缆埋深

海域段海缆挖深为海床以下 3m，管道宽度为 0.3141m，即挖深范围为 (3~3.314m)。

2) 航道区域海缆埋深

本项目外输 500kV 海底电缆穿越广东沿海内航路、珠江口桂山岛经东澳岛至江
门上川岛、珠江口大蜘蛛至江门上川岛南航路、荷包岛南航道、珠海高栏港外至阳
江南鹏岛北航路、崖门出海航道、黄茅海航道。

目前广东沿海内航路、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛、珠江口大蜘蛛至江门上川岛南航路、荷包岛南航道、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路周边海域通航的最大船型 30 万吨级船舶，考虑应急抛锚时对海底电缆安全的影响，并结合路由调查结果，本项目外输线缆 500kV 海底电缆所在区域底质以粘土质粉砂为主，万吨

级以下船舶抛锚在粉砂中抛锚入土深度为 0.3~0.7m，30 万吨级船舶的锚在砂泥底中贯穿量为 2.0~2.6m，因此本项目在穿越航路段（广东沿海内航路、珠江口大蜘蛛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、荷包岛南航道）海缆埋深按 4m 控制。

崖门出海航道按 3 万吨设计航道底标高为-12.9m，根据《疏浚与吹填工程施工规范》（JTS207-2012）航道整治疏浚施工超挖深度取 0.5m，根据《海轮通航标准》入锚深度要求不小于 3m。因此本工程海缆过航道段的设计顶标高不小于-16.4m，取-16.9m。

珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程目前为 5 吨级航道，考虑该航道远期规划为 20 万吨级，按 20 万吨设计航道底标高为-21.9m，根据《疏浚与吹填工程施工规范》（JTS207-2012）航道整治疏浚施工超挖深度取 0.5m，根据《海轮通航标准》入锚深度要求不小于 3m，因此本工程海缆过航道段的设计顶标高不小于-25.4m，取-25.9m。

（3）海缆登陆设计

根据《珠海高栏场址一海上风电项目路由选择依据说明材料》，500kV 外送海底电缆登陆段与黄茅海航道交越，拟采用定向钻穿越的方式进行海缆登陆，从陆域向海域钻，泥浆循环回抽，登陆后直接通过市政预留的绿化管廊以电缆沟的方式敷设至陆上集控中心。

定向钻入土点坐标为 21°58'22.40749"N，113°10'07.74775"E，出土点坐标为 21°58'0.148"N，113°9'41.742"E；其中入土点距离海岸线约 16m，出土点距离海岸线约 997m，定向钻施工段长度约 1013m。

项目定向钻入土点位于登陆点后方“T”字水泥路内侧草地上，出土点位于航道外 500m 处，项目定向钻穿越黄茅海航道段海缆挖深为海床以下 9m（设计顶标高-26.9m），穿越海堤埋深 9m，对航道无影响。

项目海缆定向钻施工入土点位置示意图 3.4-8a，海缆穿越海堤段结构示意图 3.4-8b。



图 3.4-8a 海缆定向钻施工入土点位置示意图

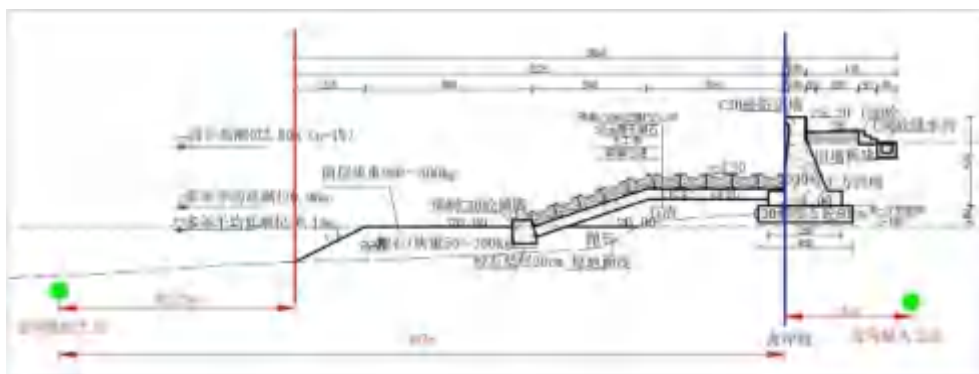


图 3.4-8b 海缆穿越海堤段结构示意图

3.4.3 电气系统

3.4.3.1 电气一次

珠海高栏一场址的装机容量为 504MW，拟安装单机容量为 14MW 的风力发电机组 36 台，功率因数均为+0.95~-0.95 可调。根据风电场装机规模及接入系统电压等级，风电场输变电系统采取两级升压方式。

风电机组-升压变采用“1 机 1 变”单元接线方式，每套风力发电机组配一套升压设备升压至 66kV，升压设备宜布置在塔筒内部的设备平台上。集电线路拟采用 66kV 三芯海底电缆，36 台风力发电机组共分 8 组 66kV 进线接入 500kV 海上升压站的 66kV 配电装置。集电系统采用链形的拓扑布局方案，各个回路考虑功率分布平衡，连接 3~5 台风机，风机连接电缆不交叉重叠。

本项目设 1 座 500MW 海上升压站，海上升压站设 1 台 525/66/10.5kV 容量为 5

50MVA 的三相有载调压型双绕组带平衡绕组变压器，主变低压侧 66kV 配电装置采用两段单母线接线，高压侧 550kV 配电装置采用线路变压器组接线。海上升压站采用 1 回 500kV 三芯 $3\times 630\text{mm}^2$ XLPE 绝缘海底电缆连接至陆上集控中心 550kV 配电装置，陆上集控中心新建 1 回 450m 长的 500kV 电缆线路接入高栏二陆上集控中心，最终通过高栏二陆上集控中心接入电网。高栏二新建两回线路单解口珠海 B 厂~国安线路，导线截面暂按 $4\times 630\text{mm}^2$ 考虑，新建线路长度约 $2\times 1\text{km}$ 。

3.4.3.2 电气二次

本工程机组通过 66kV 升压后最终以 500kV 等级电压接入电网，根据有关调度规程，本工程建成后由广东省中调调度，风电场实时远动信息送南网总调/备调 EMS 系统、广东省中调/备调 EMS 系统和珠海地调 EMS/EMS 系统，有关电度量送广东省电能计量中心。

本工程采用计算机监控，海上风电机组及其升压设备、海上升压站、陆上集控中心的监控系统作为整体统一规划设计。海上升压站按“无人值守”原则设计，在陆上集控中心设置集控室，实现对风电机组及升压设备、海上升压站和陆上集控中心主要电气设备的集中监视和控制。

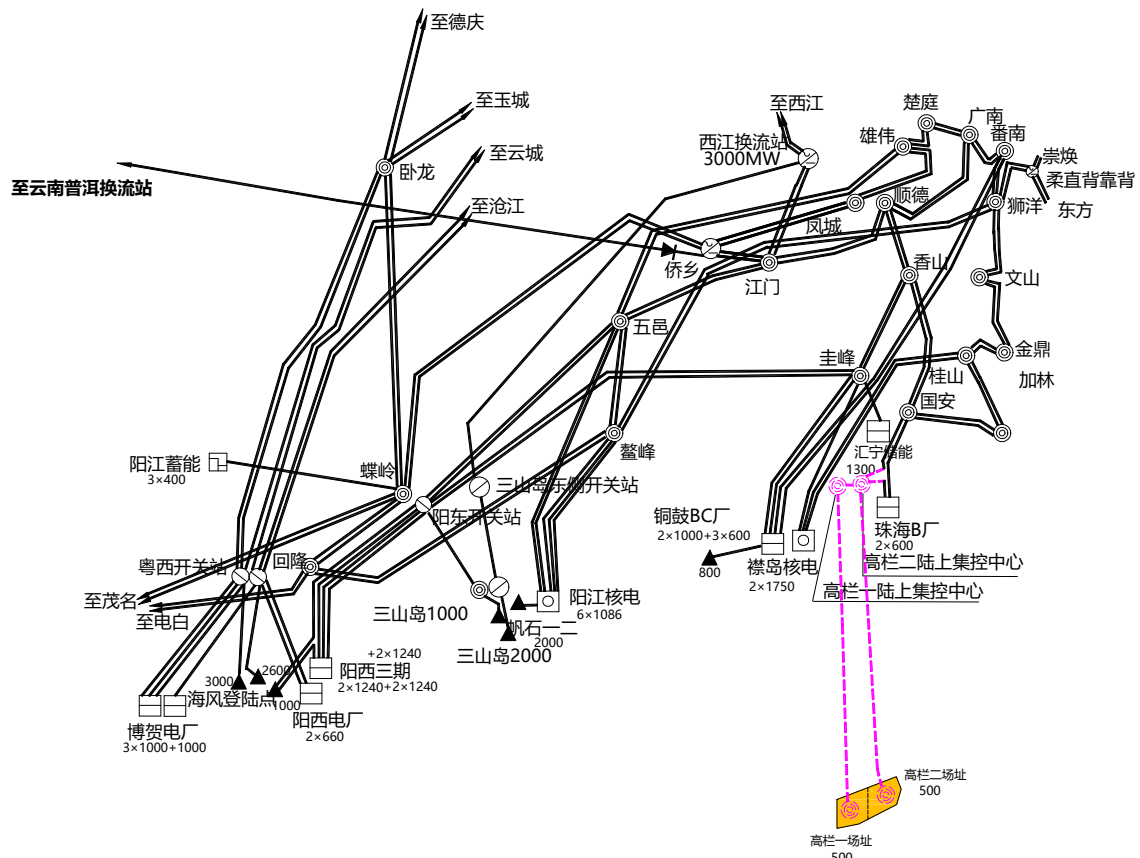


图 3.4-9 项目接入电力系统示意图

3.4.4 其他相关设计

3.4.4.1 防腐蚀设计

本工程风机基础结构使用寿命 25 年，工程建设期 16 个月，本次防腐蚀设计使用年限按 27 年考虑。本项目采用电化学防护进行防腐设计--外加电流阴极保护方法，电化学防护是根据腐蚀微电池原理人为提高待保护材料电位来达到保护目的，通过在金属表面通以足够的阴极电流，使金属表面阴极极化，成为电化学电池中电位均一的阴极，从而防止其表面腐蚀的防腐技术，阴极保护措施一般适用于水下部位，对水位变动区也有一定的保护作用。

3.4.4.2 防冲刷设计

本工程对四桩导管架基础和海上升压站基础分别采用不同的防冲刷措施。根据不同的基础型式对基础结构整体刚度的要求以及防冲刷保护措施、保护范围、工程费用的差别，本工程对四桩导管架基础和海上升压站基础分别采用不同的防冲刷措施。

由于工程所在海域海流流速较小，水深较深，且海床表层主要为粘土，在波浪难以影响海床底的条件下，海床整体形态应处于相对稳定的状态。

依据《Design of offshore wind turbine structures》（DNV-OS -J101: 2014-05）规范中推荐的公式，对桩基周围局部最大冲刷深度和冲刷直径进行估算。

在基础的计算分析中，采用预留冲刷深度的办法可以从结构设计方面解决冲刷造成的稳定、强度和变形的安全性影响。综合考虑工程区域整体冲刷和桩周局部冲刷的影响，结合附近其他工程经验，在结构计算时，本项目采用的冲刷深度暂定为 1.5D。导管架桩基础桩径较小，根据以往项目经验冲刷深度约 1~2m，在结构计算过程中均考虑 1.5 倍桩径作为预留冲刷深度，即不考虑该部分土层对结构强度的影响，且目前没有导管架基础项目采用防冲刷措施，均采用预留冲刷深度进行设计，海缆进入J管前采用弯曲限制器进行保护，弯曲限制器长度约 15m，可以保障海缆在冲刷后的泥面不因水动力因素破坏。

3.4.4.3 靠船和防撞设计

本工程采用综合立体监测系统利用海上环境监测等手段对可能危害风机基础的船只进行先发现预警、通话协调、及时处置，并对肇事船舶取证追责，从而形成对风机基础的综合立体监测保护，最大限度地避免该类事故的发生；综合立体监视风电场周边海面来往船只，实时分析船只与测风塔、风机的位置关系，实时监控显示

和预判船只动态；必要时与船只通话警告驱逐，达到提早预警示警目的；全天候海面视频监控，便于事故中肇事书船只取证。

系统从声、光、电、扰动、温度、应力六个维度建立多级预警模式，及时发现海上船舶抛锚、拖锚、非法渔业活动及海洋工程施工等可能危及风电场及海缆安全的行为，做到防患于未然，能够最大限度的避免风电场遭受人为外力破坏。

综合立体在线监测系统可为海上风电场提供全生命周期内动态监测服务，可有效实现项目经济效益目标：降低施工、运维期间事故发生；减少资产巨额维修费用；提高事故应急响应效率，减少事故延迟损失；提供事故取证、追踪，明确事故责任赔偿。

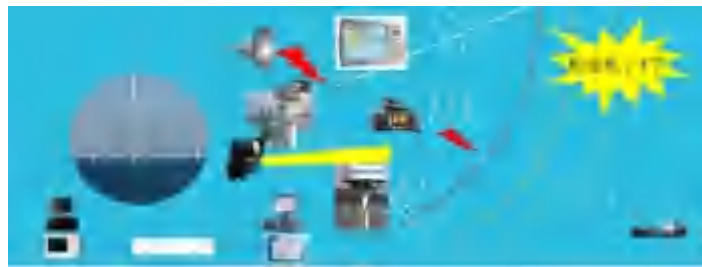


图 3.4-10a 综合立体监测系统示意图



图 3.4-10b 综合立体监测系统架构示意图

3.4.4.4 监测设计

本项目采用 36 台 14MW 风电机组，所有风机基础均需进行不均匀沉降监测及冲刷监测。全场选取选择 4 台风机基础及塔架做重点监测。重点监测的风机基础及塔架设置的监测项目主要有：倾斜监测、振动监测、振动位移监测、钢构件的应力应变监测，其中塔筒及上部过渡段应变监测、倾斜监测、振动监测及振动位移监测应实现动态监测。

(1) 不均匀沉降监测

对每台风机基础均应进行不均匀沉降观测，基础施工时，在每台风机基础平台上均匀设置 4 个沉降观测点，安装位置尽量接近基础环或法兰盘等能反映出风机基础不均匀沉降的关键点处，具体监测布置如下：

从基础施工完当天开始对这 4 个观测点进行观测和记录，监测结果要能反映出风机吊装完成前后基础的不均匀沉降情况。

施工期监测频率：基础平台形成当天进行第一次观测，形成后第 7 天进行第二次观测，机组安装前至少每月观测一次，机组吊装完成当天观测一次；吊装完成后第 7 天观测一次。

运营期采用自动采集系统连续监测。运营期监测频率：所选择的 4 台重点监测风机基础采用自动采集系统连续监测，其余采用人工观测的基础，合同期内每年观测 2 次。

(2) 基础倾斜监测

在重点监测的导管架基础上，每台风机基础在过渡段顶面、风机塔筒中部和顶部各布置 1 套双向倾角仪，每台基础共 3 套。

(3) 主体结构监测

在选取的重点监测导管架基础中，每台导管架基础选择 4 根底部撑管，每根撑管对称布置 4 支钢板应变计，共布置 20 支钢板应变计；选择 1 个 X 撑节点，连接节点的每根撑管对称布置 4 支钢板应变计，共布置 20 支钢板应变计。即单台导管架基础共布置 40 支。

(4) 过渡段和风机塔架底部监测

在选取的重点监测导管架基础中，每台导管架基础在过渡段可能受力较大的区域及塔架底部各均匀布置 4 支动态应变计，即单台导管架基础共布置 8 支。

(5) 倾斜监测

在重点监测的导管架基础上，每台风机基础在过渡段顶面、风机塔筒中部和顶部各布置 1 套双向倾角仪，每台基础共 3 套。

(6) 海上风机整体结构系统振动监测

在重点监测的导管架基础上做振动监测。每台风机在过渡段顶面和每节塔架分别布置 1 套双向加速度计，每台基础共 5 套。

(7) 海上风机整体结构系统振动监测

在重点监测的导管架基础上，在塔架底部和顶部分别布置一套低频振动位移计，每个塔架共 2 套。

（8）冲刷防护监测

本项目在防冲刷深度设计阶段，已考虑预留冲刷深度，采用的冲刷深度为 1.5D。定期对风机基础进行防冲刷监测尤为重要。对每台风机基础均应进行冲刷防护监测。以适宜方式布设测线，采用多波束测深对风机基础周边 100 米×100 米范围实现全覆盖海底地形扫测。海底地形冲刷监测应在基础施工基本完成后，第一年内至少每半年观测一次，至往后一年，共计观测四次。每次观测时间宜选在台风、风暴潮等恶劣天气之后。后续观测频次可根据现场冲刷情况作相应调整。

（9）腐蚀监测

在重点监测的导管架基础上，每台不同高程布置 3 个测点。参比电极通过固定装置固定在风机基础上，参比电极的电缆接入风机监测柜内的自动化腐蚀监测采集装置内。测点沿水深方向均匀布置在平均潮位与泥面线之间，测点的具体布置位置，由腐蚀计算结果和具体建造情况确定。

（10）监测数据传输

除 4 台基础的不均匀沉降采用人工方式监测外，其余监测项目均安装相应的传感器，并实现自动化监测。

在 4 台重点监测的风机基础上，根据监测仪器数量及类型分别布置监测自动化采集装置，各采集装置采集的信号进入升压站内设置的核心交换机内，再利用海缆与陆上集控中心内的采集服务器进行通讯。

监测自动化系统，根据传感器的类型和被测物理量配置合适的采集装置，动态监测设备的有效采样频率设置为 10~50Hz，其中加速度的采集频率一般工况可设置成 30Hz，恶劣工况全部加密监测；钢板应变计等结构应力的有效采样频率为每 4 小时测读 1 次。

3.4.5 依托工程

本项目 500kV 海缆登陆后，以电缆沟的方式敷设至陆上集控中心，项目陆上集控中心、海缆陆上部分线路已单独开展环评，并且已于 2024 年 12 月 31 日取得《珠海市生态环境局关于珠海高栏一海上风电项目陆上集控中心环境影响报告书的批复》（珠环辐建〔2024〕8 号）。

高栏一陆上集控中心位于珠海经济技术开发区南虎片区电厂一路南侧，中心坐

标东经 113°10'51.26"，北纬 21°58'35.47"。根据《关于申请办理珠海高栏一海上风电场项目用地预审意见的复函》，珠海市自然资源局金湾分局于 2024 年 4 月 29 日出具了《关于南水镇装备一路南侧面积约 2.17 公顷项目用地挂牌出让范围一级预审意见的复函》（珠自然资函〔2024〕877 号），本项目陆上集控中心于取得了用地预审意见，见附件 6，用地面积约为 2.17 公顷，用地性质为三类工业用地。陆上集控中心位置见图 3.4-11。



图 3.4-11 陆上集控中心位置示意图

3.4.6 项目用海情况

2024 年初，青岛博研海洋环境科技有限公司根据项目最初可研方案编制完成了《珠海高栏一海上风电项目海域使用论证报告书》，并于 2024 年 5 月 15 日通过了海域使用论证报告书专家评审会，于 2024 年 5 月 25 日取得了《珠海市海洋发展局关于珠海高栏一海上风电项目用海预审意见的函》（附件 6），同意项目用海。根据《珠海市海洋发展局关于珠海高栏一海上风电项目用海预审意见的函》，项目申请用海面积 263.9035hm²，其中风机用海面积为 60.2028hm²，升压站用海面积为 2.3564hm²，用海方式均为透水构筑物用海；海底电缆用海面积为 201.3443hm²，用海方式为海底电缆管道用海。项目申请用海期限为 27 年，项目登陆段拟采用定向钻的施工方式穿越大陆人工岸线 20.4 米。

2025 年 9 月建设单位对项目方案进行调整，目前，建设单位正在同步推进项目

用海调整工作，本报告根据项目调整后方案进行评价。

项目方案调整后，风电机组用海面积按照《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》中规定界定：“海上风电项目风机部分用海方式界定为透水构筑物用海，用海范围包括塔架部分和塔架外扩一定距离的保护范围，具体以塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界。”根据《珠海高栏一海上风电项目初步设计阶段初步设计总说明》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2025年9月），项目用海总面积378.5100hm²，其中风机机组（透水构筑物）用海面积179.5536hm²；海上升压站（透水构筑物）用海面积2.3564hm²；海底电缆（含500kV、66kV集电海缆）用海面积196.6000hm²，最终用海面积根据项目海域使用论证调整批复内容为准。

3.5 施工组织方案

3.5.1 施工条件

（1）材料供应条件

水泥、钢材、油料：本工程项目所需的物资材料主要为水泥、钢材、油料等，珠海市位于广东沿海，紧邻珠三角，上述建筑材料的建材市场均具有较大规模，为本工程的施工提供了非常便利的条件。

（2）水电供应条件

项目海缆登陆点周边市政管网系统完备，陆上施工场地位于高栏港区，高栏港区水电供应从附近的城市市政管网系统进行接引。

对于项目风电场址区域，受自然条件的影响，不存在布置水电设施的条件，施工期间的水电供应由船舶自备的发电设备与淡水补给设施供应，通过补给船进行油料与淡水的补充。

（3）施工机械设备供应条件

项目施工机械设备主要为海洋工程施工类船只。广东珠海及周边地区大型的船舶、钢结构加工类企业和海港施工企业较多，各类船舶使用频繁，适宜本工程的运输驳来源较为广泛。

（4）施工交通运输

1) 交通运输方案

本工程位于广东省珠海市行政所辖之海域，毗邻珠海高栏二海上风电项目，场

址最近端距离高栏岛陆岸 35 公里，最远端距离陆岸 53 公里，主要通过海路与陆上交通系统连接。

根据风机选型所推荐风机类型，风机设备主要是通过海路运输，风机各主要部件在生产厂附近港口装船，通过海路运至施工现场。

风机基础钢结构、钢管桩、海上升压站平台考虑采用沿海钢结构制造企业进行加工制造，钢结构加工完成后，直接在厂家的码头装船运至施工现场，全部为海路运输。

项目送出海缆与集电海缆均采用专用的海缆敷设船在海缆生产基地码头接缆后，直接运输至现场进行敷设。

项目常规建筑材料计划在珠海市当地就近采购，小件物资初步考虑通过陆路运输施工基地，再由基地周边码头运至施工场址。

2) 港口航运条件

本工程风机位于海上，施工物资与设备在到达工程现场后需要进行运输方式的转化与调整，以满足物资场内海上运输的要求。因此，必须在工程现场附近选择合适的港口码头作为物资运输的中转站，承担水陆运输方式的转化、设备物资临时堆场与调整的功能。项目重要设备的运输及安装均需通过海运的方式运抵风场，所以港口成为最为重要的转运与集输中心。

珠海港已形成包括西部的高栏港区、东部的桂山港区以及九洲、香洲、唐家、洪湾、井岸、斗门等港区的港口格局，其中高栏和桂山为深水港区，其它为中小泊位区。

距离本项目风电场最近的港口为高栏港，最近直线距离约 9km。高栏港区是珠海港的主体港区，目前已开发南迳湾和南水两个作业区。南迳湾作业区已成为珠江三角洲地区油气品转运基地，南水作业区已依托电厂、钢厂等建成企业专用码头及公用码头。高栏港目前已投资建设钢结构施工基地，因此，高栏港其现状能够完全满足风电场重件运输的需要，可以作为由陆上运送设备的转运港口之一。

桂山港属于万山港区，万山港区的规划性质为以大宗散货转运为主，并为海岛物资运输和旅游客运服务的港区，桂山港的功能可满足国外风机、海缆等设备重件运输要求。

九洲港区是以城市生产生活物资运输、客运及对香港集装箱喂给为主的港区，地处珠海市区相对繁华地带，目前可停靠千吨级及以下的船只，客、货运兼有，港

区发展受城市制约，需要逐步调整货运功能。根据 2007 年版《珠海港总体规划》，九州港重点发展珠海至香港、深圳的水上高速客运。

香洲、唐家港区位于珠江口西岸，斗门、井岸、洪湾港区位于内河水道，主要为珠海城市建设、生活物资运输和少量喂给香港的集装箱运输及陆岛交通服务，仅建设有千吨级以下生产性泊位。

本风电场场址远离大陆，场址周边 10km 内范围无大型海岛遮挡。场外交通主要通过陆路转海路完成物资及设备的运输。通过海路运输的物资及设备全部运至施工主基地临时存放或施工现场，大件设备的接卸主要利用码头吊机或起重船，海路运输主要依靠场址周边的已有航线。本项目施工船舶数量较多，珠海市沿海属于受台风影响的海域，为确保工程实施期间的船舶作业及航行安全，应采取一定的措施保证施工船舶在大风、台风期间能顺利进入避风锚地避风。预报风力超过 8 级，船舶便须选择锚地避风，风力小于 8 级，船舶可选择工程海域周边的天然槽沟区域抛锚避风。项目施工基地周边的高栏港区有港口设施，同时距离本工程海域最近，因此本工程船舶选择高栏港区进行避风，工程施工期间可根据当地海事部门的航行调迁指令选择具体的锚地和港口进行避风。

本工程场内交通运输的主要有风机基础构件、海上风机主要部件或整机、各种施工设备、零星材料及构配件从施工主基地到风场内各个施工点的运输。运输工具主要为各类运输船、施工专用船舶等，接卸设备主要为码头吊机、船舶自带起重设备或专用起重船等。工程海域水深 40m 以上，距周边主要航道 5km 以内，工程实施期间，风电场场内规划主航道与场址周边现有航道连接，避免船舶搁浅或触礁，确保施工期间的水上运输安全。根据场内水深条件、风机设备、海上施工强度，选择常规的工程船只进行交通运输船舶可以满足要求。

3.5.2 施工总平面布置

(1) 施工基地

结合工程条件及施工条件，本项目施工期间规划 2 个施工基地，分别是施工主基地和施工辅助基地。

结合前期开展的现场勘查工作，施工主基地的布置在新会市崖门镇崖门大桥以南的广州打捞局新会抢险打捞基地码头（基地位置见图 3.5-1）。基地内主要设置仓库、风机设备堆场及指挥中心办公室、生活区等。该基地现状布置有一个突堤高桩码头，码头长度为 200m，设计水深为 7.7m；基地另设置有内港池，港池设沉箱式

码头，施工主基地装卸货与预拼装作业主要在沉箱式码头后方堆放进行，若使用履带吊进行吊装作业时，可在码头前沿预铺大面积钢板以增大地面承载力。码头泊位长度为 300m，港池宽度为 140m，设计水深为 5.5m。基地后方陆域约 7 万 m²，基地硬化条件较好。基地已设堆场面积约 18000m²，另有车间、船台、门机轨道等。基地平面布置见图 3.5-2。

项目施工辅助基地计划布置在风电场陆上集控中心附近的高栏港（基地位置见图 3.5-1），属于租赁码头，该基地主要负责承担海上风电场施工的补给及海上施工人员的交通运输，施工建设完成后可作为海上风电场运营维护码头。

项目 2 个施工基地内均配套建设办公及生活临建设施。其中施工主基地办公及生活楼租用港区周边现有生活楼与办公楼或临时搭建；辅助施工基地办公及生活临建主要采用彩板房结构（新建），考虑到防风防台，建筑层数原则上不超过两层。

表 3.5-1 项目施工基地办公及生活临建配置表

施工基地	占地面积	办公区建筑面积	生活区建筑面积
施工主基地	3000	1200	2800
施工辅助基地	2000	800	1800
合计	5000	2000	4600



图 3.5-1 施工主基地规划卫星图

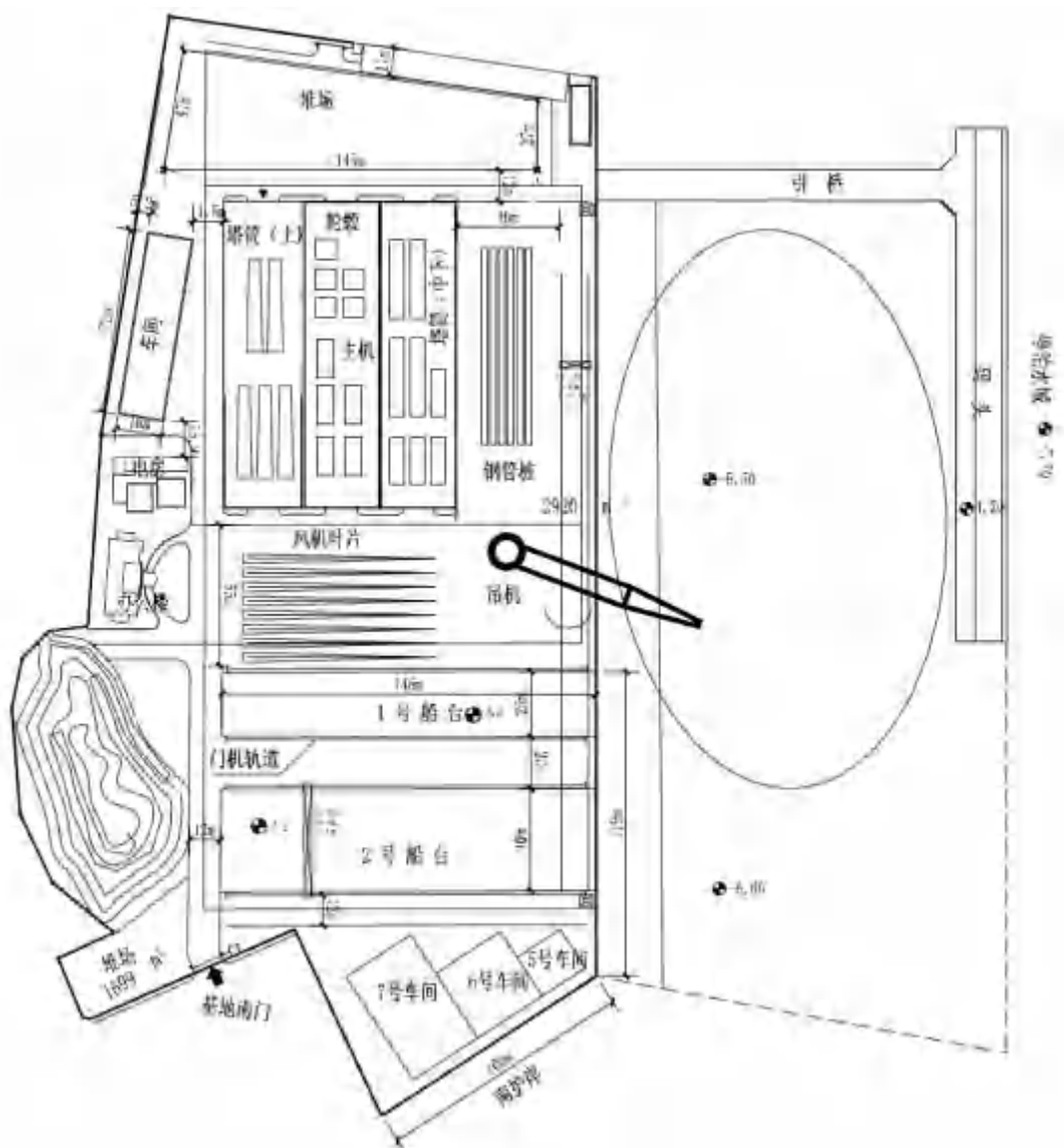


图 3.5-2 广州打捞局新会抢险打捞基地码头现场布置示意图

（2）大件堆存与储运基地

项目规划风电机组堆存场地均位于施工主基地（基地位置见图 3.5-1），风电机组堆存场地主要有塔筒作业区、机舱、轮毂作业区以及风机叶片堆放区。鉴于本工程使用分体风机安装方式，为充分利用好海上每一个风机吊装窗口期，保证每个风机窗口期的风机设备供应，同时考虑珠海海域海况，本工程施工主基地宜暂存 5~6 套风机设备，计划占地 25000m²。

表 3.5-2 风机堆存拼装区面积规划表

序号	区 域	面积 (m ²)
1	码头泊位作业区	5000
2	主机、轮毂堆放区	3000
3	叶片堆存区	10000
4	塔筒、轮毂堆放区	3000

序号	区 域	面积 (m ²)
5	附件堆放	2000
6	机械停放区	2000
总 计		25000

(3) 海上风电场施工区

海上风电场施工区即项目风电场址区，此区域内的施工项目主要有风机基础施工、风机安装施工、升压站基础施工、升压站上部结构安装施工、66kV 场内集电海缆敷设等五大施工项目。此施工区为项目风电场建设过程中最重要的一个施工区域，是海上施工项目，施工难度、施工区域面积是所有施工区中最大的。

(4) 500kV送出海缆施工区

此施工区为海上施工项目，包含 1 回路的 500kV 送出海缆敷设施工、海缆登陆施工。500kV 外送海底电缆登陆段与黄茅海航道交越，拟采用定向钻穿越的方式进行海缆登陆，从陆域向海域钻，项目定向钻入土点位于登陆点后方“T”字水泥路内侧草地上，出土点位于航道外 500m 处，定向钻入土点坐标为 21°58'22.40749"N，113°10'07.74775"E，出土点坐标为 21°58'0.148"N，113°9'41.742"E；其中入土点距离海岸线约 16m，出土点距离海岸线约 997m，定向钻施工段长度约 1013m。项目海缆定向钻施工入土点位置示意图 3.4-8。

(5) 钢结构加工制作区

项目钢结构加工主要包括风机塔筒、风机基础钢结构、海上升压站钢结构及钢管桩的加工厂。根据前期工作调研的成果，本项目钢结构拟在广东中山、广州南沙以及江苏南通地区周边大型钢结构加工厂内加工制作，加工完成后直接在厂家的码头装船运至施工现场。因此，本项目不单独设置钢结构加工制作区。

(6) 混凝土生产系统

本项目风机、海上升压站基础均采用四桩导管架基础，不需要设置大型的砂石料堆场。混凝土供应选择外购商品混凝土的方案，不需要在现场设置混凝土搅拌站等生产系统。

3.5.3 施工机械设备、人员配置

(1) 施工机械设备

本工程施工项目种类较多，按照风机分体安装方案，项目拟配备的主要施工船机设备见表 3.5-3。

表 3.5-3 项目拟配备的主要施工船机设备一览表

施工阶段	名称及规格	单位	数量	用 途	备 注
四桩导管架 基础施工	起重船	艘	2	钢管桩打桩	起升高度 100 米以上, 起重能力 2000t 以上
	液压打桩锤	个	2	钢管桩插打	2000KJ 级以上
	起重船	艘	1	上部基础吊装	起重能力 3500t 级以上
	甲板驳船	艘	4	钢管桩运输	10000t 级以上, 每次运输 6~8 根, 自航
	甲板驳船	艘	2	上部基础运输	10000t 级以上, 每次运输 2 个, 自航
	甲板驳船	艘	2	稳桩平台运输	10000t 级以上, 自航
	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	5000HP
	抛锚艇	艘	2	驳船、起重船等起抛锚	
	交通艇	艘	2	接送人员	
	补给船	艘	2	淡水与生活物资补给	
	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	
	拖轮	艘	8	辅助起抛锚	
风机吊装施 工	自升平台船	艘	2	风机吊装	1000t 主吊、250t 辅助吊, 插腿长 130m 以上, 吊高不小于 140m
	自航驳船	艘	8	风机运输	8000t 级
	拖轮	艘	4	起锚艇(拖轮)	
	供给船	艘	2	淡水、油料	
	交通艇	艘	4	场内交通	
	多功能驳	艘	2	材料运输	
海上升压站 施工	起重船	艘	1	升压站上部组块吊装	起重能力 5000t 级以上
	起重船	艘	1	升压站基础施工	起重能力 4500t 级以上
	液压打桩锤	个	1	钢管桩插打	2000KJ 级以上
	运输驳船	艘	1	升压站上部组块运输	20000t 级, 甲板宽不小于 40m; 自航
	运输驳船	艘	1	钢管桩及导管架基础运输	15000t 级, 甲板宽不小于 40m, 自航
	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	
	锚艇	艘	4	驳船、起重船起抛锚	
	交通艇	艘	1	接送人员	
	补给船	艘	1	淡水与生活物资补给	
海缆敷设	带埋设机的铺缆船	艘	1	500kv 铺缆	载缆 10000t 及以上
	带埋设机的铺缆船	艘	3	66kV 海缆敷设	载缆 3000t 及以上
	两栖式挖掘机	辆	1	电缆沟开挖和土方回填	
	卷扬机	台	2	电缆牵引	

施工阶段	名称及规格	单位	数量	用途	备注
	拖轮	台	2	铺缆船拖航及稳定性控制	
	抛锚艇	艘	2	铺缆船抛锚	
	交通艇	艘	2	接送人员	

(2) 施工人员配置

本项目施工期间需配备充足的各级管理人员、一线施工人员，以保证整个项目的顺利开展。根据项目施工总进度计划安排及施工项目情况，确定项目施工高峰期施工人员定员最高约 340 人。本项目施工人员配置计划见表 3.5-4。

表 3.5-4 项目施工人员配置计划表

工期（月）	管理人员	施工人员	合计
T+1	20	200	220
T+2~T+4	20	200	220
T+5~T+7	40	300	340
T+8~T+10	40	300	340
T+11~T+13	40	300	340
T+14~T+16	40	300	340

3.5.4 施工方案

本项目施工内容主要包括大型钢结构制作、风机基础施工、风机机组安装、海上升压站施工、500kV 送出海缆敷设、66kV 场内海缆敷设等，项目施工期首先进行风机和海上升压站的建设，然后开展海底电缆的敷设。

3.5.4.1 风机基础施工

本工程风机采用四桩导管架基础，共 36 台。风机基础施工主要工序为：导管架、钢管桩制作→导管架、钢管桩运输→沉桩施工→上部基础结构安装。

(1) 导管架、钢管桩制作与场内外运输

本工程所需导管架和钢管均为大型钢结构，建设单位委托工程场区附近的大型钢结构制造企业进行卷制、焊接，钢管桩通过钢结构制造类企业自备物资出运码头海运至工程场区。

完成建造的导管架在场内采用台车配合轨道或模块小车进行运输；导管架在码头前沿通过履带吊或大型门吊起吊、装船并采取可靠措施固定，或采用模块车配合可压载驳船进行过驳装船。导管架场外运输均需利用 10000t 级以上驳船进行，每次装载 2 台，通过拖轮拖带，将装有导管架的驳船运送至风电场安装。

导管架钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前

沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船，采用 10000t 级以上运输货船运输，每次运输 6~8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础施工使用。



图 3.5-3 导管架、钢管桩运输示意图

(2) 钢管桩沉桩施工

项目钢管桩沉桩施工工艺流程见图 3.5-4。

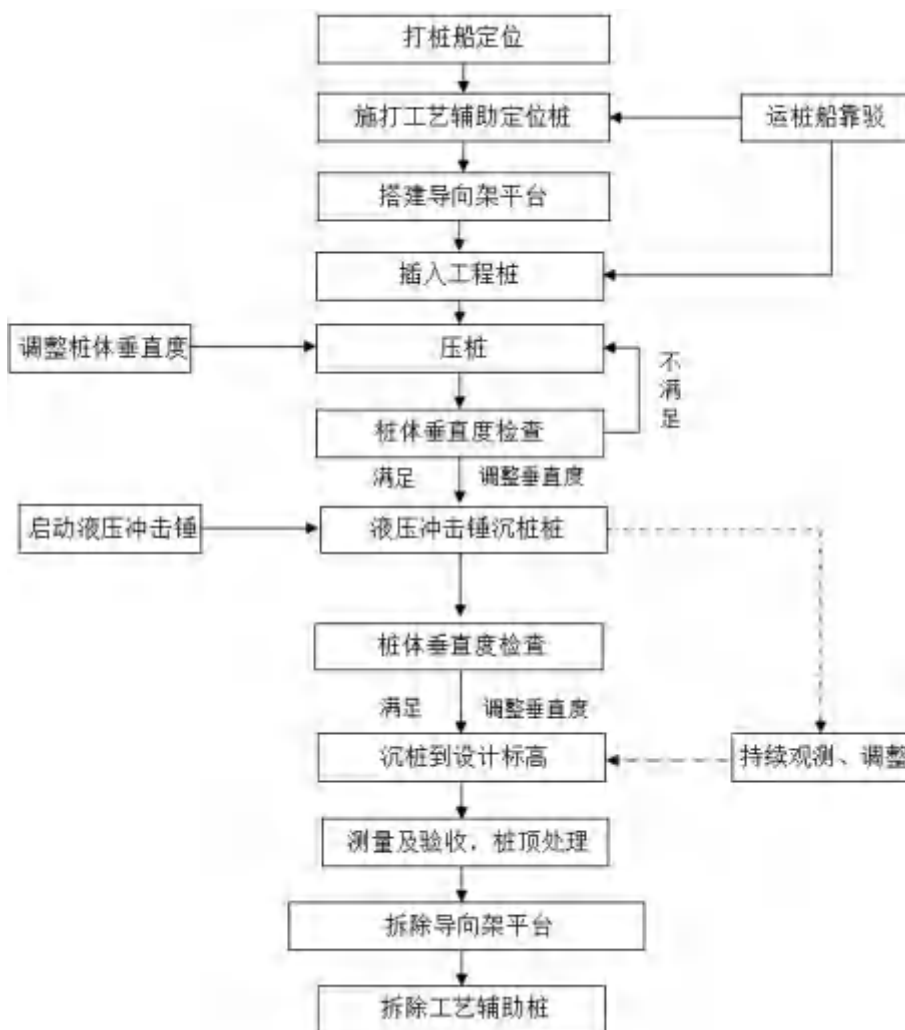


图 3.5-4 项目钢管桩沉桩施工工艺流程图

项目四桩导管架基础对基础沉桩的精度要求相对较高,为了确保沉桩施工精度,需要首先施打工艺辅助桩搭建导向架平台,然后插桩并利用打桩锤进行施工。施工时应加强检核,严格按照设计点位施工,避免风电桩的偏移。项目风机基础施工时,利用工艺钢管桩定位导向钢桁架,辅助工程钢管桩沉桩,沉桩完成后对桩顶进行处理、数据测量及验收,确保基础桩施工合格后,进行基础附属构件的吊装、安装。

1) 作业船抛锚、定位和安装导向架

本工序需要在外海施工,打桩船抛锚采用八字形式,在抛锚位置处挂浮筒。

沉桩施工采用设置工艺辅助桩及导向架的方式来保证钢管桩沉桩的质量控制,通过搭设工艺辅助桩保证导向架的稳定,在工艺导向架上设置三个GPS控制点及两台测倾仪,并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平来保证同机位的钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

①四桩导管架基础导向架设计

四桩导管架基础沉桩施工时设置 4 根工艺辅助桩,辅助桩桩长 90m,直径为 2.2~2.4m,钢管桩壁厚约 30-40mm,周转使用。

工艺辅助桩顶部设置整体式工艺定位架,工艺定位架边长为 35m,高度 50m,采用型钢与四个定位桩套筒制作,桩套筒内径比设计钢管桩直径大 10cm,同时在定位架的上、下层设置液压定位系统,定位架的每边中心底部位置设置双向和高程(X、Y、Z向)均可调节的三维调平装置,该装置与定位架连成整体一并吊装,通过液压系统的调节可纠正钢管桩在沉桩过程中的平面位置和垂直度偏差。工艺定位导向架布置见图 3.5-5a。

②多筒导管架式导向架工艺

工程钢管桩沉桩导向架采用吸力锚+桁架结构型式,导向架底端布置 4 个 $\phi 5\text{m} \times 9\text{m}$ 的吸力锚作为锚固基础,导向架中部沿四个方向均匀布置 4 个 $\phi 3.08\text{m} \times 12\text{m}$ 的钢质套筒加限位挡板的结构作为钢管桩沉桩的导向套筒,导向套筒与吸力锚间通过钢质桁架进行连接固定。导向架桁架结构向上延伸出平均海平面以上 3m,在该水平面布置钢管桩插桩U型导向框架结构,同时布置测量平台监控沉桩情况。多筒导管架示意图见图 3.5-5b。



图 3.5-5a 工艺定位架示意图



图 3.5-5b 多筒导管架示意图

②安装

导向架在全回转起重工程船辅助下吊放入水，预先在导向架顶部布置测量仪器，入泥前调整导向架的位置及朝向。导向架在自重下入泥后，开启吸力锚顶潜水泵抽水，导向架逐步下沉至设计标高（吸力桶顶面距离泥面 5cm）。

导向架下沉过程中，通过顶部平台布置的测量仪器监控整个架子的水平度，并即时通过吊机和潜水泵抽吸进行调整。

③拆除

沉桩结束后，连接导向架吊索具至浮吊船主钩，开启吸力锚顶潜水泵，往吸力锚内压水，浮吊船吊钩上升，逐步将导向架吊离出水。

导向架吊离出水后，浮吊船移船至下一个机位下放导向架，进行下个机位的沉桩作业。

④调平与测量

选取合适位置，安装GPS罗经、倾斜仪以及无线网桥等设备，如图 3.5-6 所示，其中GPS罗经和倾斜仪需要进行标定和校准测量。

吊装作业完成后，根据倾斜仪的数值，指导导向架的调平工作。调平作业结束后，拆除GPS罗经和网桥等设备，保留倾斜仪，进行打桩过程中的导向架水平度监测。

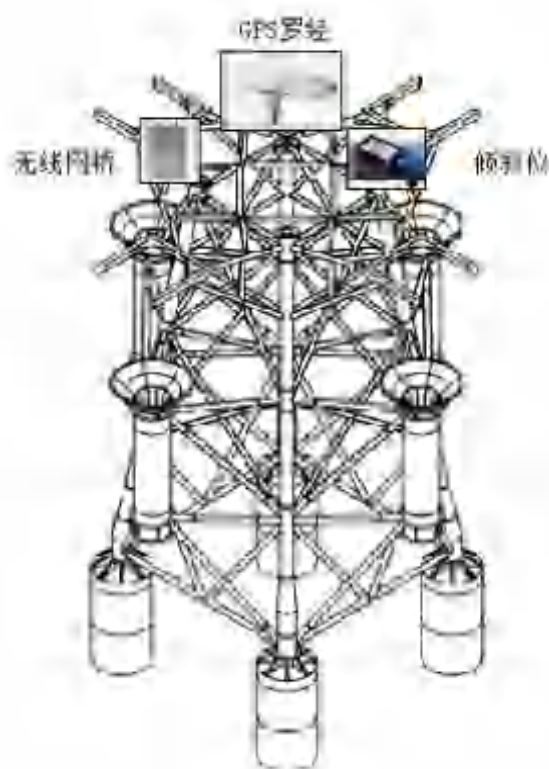


图 3.5-6 导向架安装测量设备

2) 钢管桩沉桩工艺

导管架钢管桩沉桩分为三个阶段：

第一阶段插入工程桩，起重船使用专用的吊桩设备起吊钢管桩，吊入至工艺定位架的桩位固定位置，测量桩的垂直度，下桩并准确定位，完成植桩；

第二阶段采用起重船吊液压冲击锤，将钢管桩锤击至设计标高，过程中持续观测和调整桩的垂直度；

第三阶段采用起重船吊离液压锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩。

沉桩过程中，通过定位导向架的作用控制桩的相对位置和垂直度，并随时监控桩的垂直度，直至沉桩完成。

为保证钢管桩的加工与施工质量，本阶段拟采用整根长管桩的沉桩施工方式，不考虑分段接桩焊接的处理。钢管桩海上沉桩系统包括打桩船、运桩船、抛锚艇、拖轮与交通艇等船舶组合，其中以打桩船为主要施工设备。

3) 钢管桩顶部预处理

本工程地质条件较复杂，且桩顶标高偏差需控制在 50mm 内，可能会出现部分高桩，因此钢管桩要在安装基础钢结构标高位置进行切割处理。

4) 测量、验收

分别精确测量钢管桩的桩顶高程、2个方向的倾斜度、桩中心位置的相对距离及偏差等，填写验收表格并绘制成果图。

(3) 上部基础结构安装

四桩导管架基础结构主要分为上部结构和基础工程桩两部分，上部结构通过底部的筒体与基础工程桩相连，然后通过接缝灌浆的形式连成整体。四桩导管架基础结构示意图 3.5-7。



图 3.5-7 四桩导管架基础结构示意图

施工工艺流程如下：

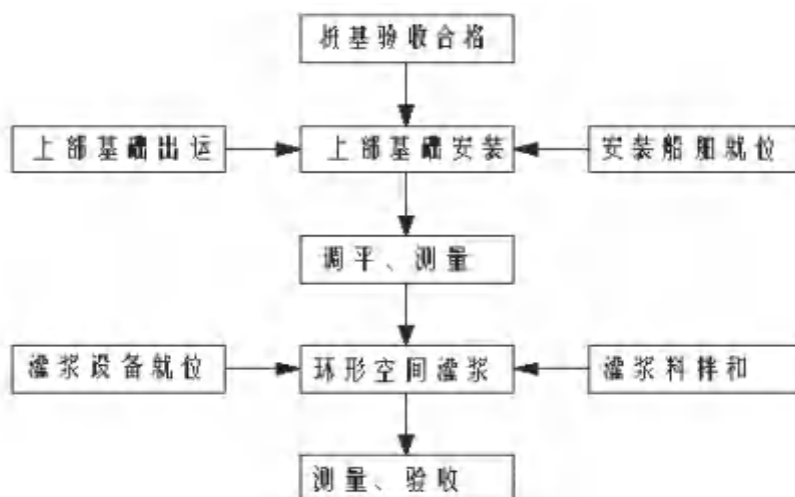


图 3.5-8 上部基础结构施工工艺流程图

主要施工步骤：

1) 钢管桩内清淤作业

导管架基础施工前需对钢管桩内部泥面进行复测，确保泥面高度满足设计要求，对于不满足设计要求的机位，需下潜水员并配备吸泥器进行水下清淤作业，清淤位置为钢管桩内部，清淤后需满足设计标高要求。

2) 上部基础海上吊装及调平施工

起重船、运输船分别抛锚就位→竖直起吊上部基础结构连接段，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位→工作船安装监控仪，起重船下放上部基础结构连接段→通过监控及工作船上揽风控制连接段位置，将连接段钢筒体插入钢管桩→验收合格后，对连接段进行初步固定，完成连接段吊装。

3) 灌浆施工

上部基础吊装完成后，灌浆工作立即开始→利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体→连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材→通过水下视频监控，当灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆→灌浆材料强度达标后，方可进入下一道工序。



图 3.5-9 灌浆检测示意图

导管架连接灌浆作业过程中，工作人员应严格根据灌浆方案确定灌浆量，通过视频监控或潜水员配合，精确把控溢浆时间和溢浆量，灌浆结束后，灌浆设备和管路系统清洗废水收集在工作船上，严禁排海造成海水污染；对风机基础灌浆作业时产生的多余浆料，不可直接丢弃入海，统一收集在工作船配备的废料桶或废料箱内，灌浆结束后统一回收处理。

3.5.4.2 风电设备安装

本项目风机安装采用分体安装方式进行。海上分体吊装方案是将风电机组各组件各自完成自身的预组装后，运至风场机位，在现场依次进行塔筒、机舱、轮毂与叶片组合件的安装。项目风机分体吊装安装施工工艺流程如下：

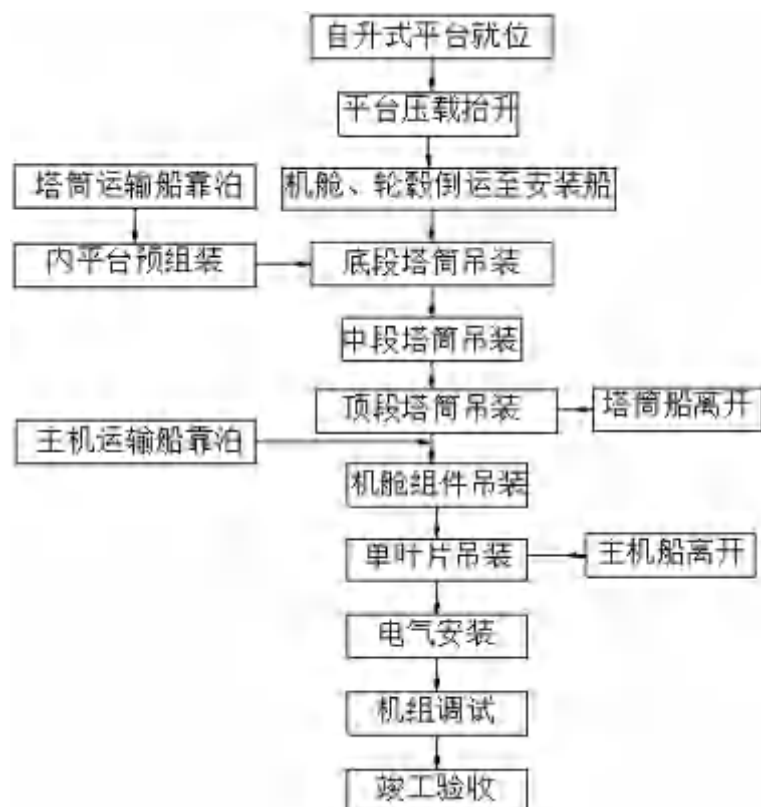


图 3.5-10 风机分体吊装安装施工工艺流程图

（1）风机部件组装

由生产厂家在陆上完成塔筒、机舱、轮毂、风叶等主要部件的预组装，采用履带吊等设备吊放到运输驳船上。

（2）风机海上运输

风机各部件安放在运输驳船的指定位置，并采取可靠固定措施，防止在海上运输过程中发生滑动导致风机部件的损坏。风机部件安放完成后使用拖轮将运输驳拖航至风场指定位置。

（3）风机设备海上安装

考虑到在施工船甲板面组装操作相对比在导管架上操作方便、安全，在下段塔筒吊装之前，预先将塔筒内风机电器设备在船甲板面组装。自升平台船航行至风机基础附近，选择合适的地点就位、顶升，在完成桩腿预压、入泥下沉、顶升、平稳等工序后，船舶上升至海面以上形成稳定的操作平台，进行风机各零散设备的组装工作以及风机设备吊装。风机吊装顺序是：下段塔筒吊装→中段塔筒吊装→上段塔筒吊装→风机机舱与轮毂组装→组合体吊装→单叶片吊装→电气系统安装。

在风力发电风电机组安装方面，风速是影响风力发电风电机组安装的主要因素之一，当风速超过 6 级风时，不允许安装风力发电机组。在与当地气象部门密切联

系的同时，现场观测风力，以便现场施工人员做出可靠判断，确保风力发电机组安装顺利进行。

所有安装作业完成并经验收合格后，移去施工设施，进行风力发电风电机组调试工作。

3.5.4.3 海上升压站施工

海上升压站的施工内容包括钢结构制作、基础施工、上部组块安装三大部分。主要施工工艺流程为：钢结构加工与制作→电气设备安装、调试→导管架沉放→钢管桩沉桩施工→上部平台整体安装→电气设备联动调试。

（1）钢管桩与钢结构平台的制作及运输

钢管桩通过组合导管架结构与上部的钢平台进行连接，上部钢结构平台采用型钢组合拼装。钢结构平台与下部的组合导管架结构属于大尺寸钢结构体，为保证结构体的加工质量，选择风机基础钢结构加工的企业进行生产。

钢管桩、导管架等基础物资生产完成后，即装船运输，直接运抵工程场区施工。按照管桩长度超过 90m 的运输要求，考虑同时运输，夹板面积需要 $100\text{m} \times 45\text{m}$ ，甲板载重 $=100 \times 45 \times 4 \times 0.8 = 14400\text{t}$ ，故本阶段配置选择 15000t 级以上的驳船；考虑运输驳船使用拖轮拖带，驳船的配套拖轮考虑为 5000HP 及以上动力。

（2）钢管桩施工

因海上接桩施工难度较大，本项目拟采用整根管桩沉桩施工的方式，不考虑分段接桩焊接的处理。根据国内海上升压站施工经验，项目采用起重船吊打的方式进行超长大直径管桩的沉桩施工。

根据管桩的设计参数，选择导管架吊装施工所用的浮式起重船进行海上升压站工程基础钢管桩的沉桩施工。桩锤系统根据海上升压站工程基础管桩的设计参数，选用 S-2000 液压打桩锤作为首选锤型。

（3）导管架结构沉放

在导管架运输至海上升压站位置后，首先开始进行导管架的沉放工序。为保证导管架安放水平，施工前，在辅助驳船上配冲喷设备、砂石料等，对海床实施扫海，垫砂整平，确保海床无障碍物及基本平整。本工程导管架结构吊重约 2970t，根据导管架吊重、吊装尺寸的要求，为保证导管架起吊对吊机、船舷不干涉并保持一定安全距离，同时考虑按照起重机 85%起重保证率的设备性能要求，本阶段选用 4500t 级以上的全旋转浮式起重船进行导管架的沉放与钢管桩施工。导管架结构安装尽量

选择风浪环境相对较好的时间进行安装，降低外界环境对导管架安装的影响。导管架安装到位后，及早跟进沉桩施工，以免导管架在风浪作用下滑移，超出偏差要求。

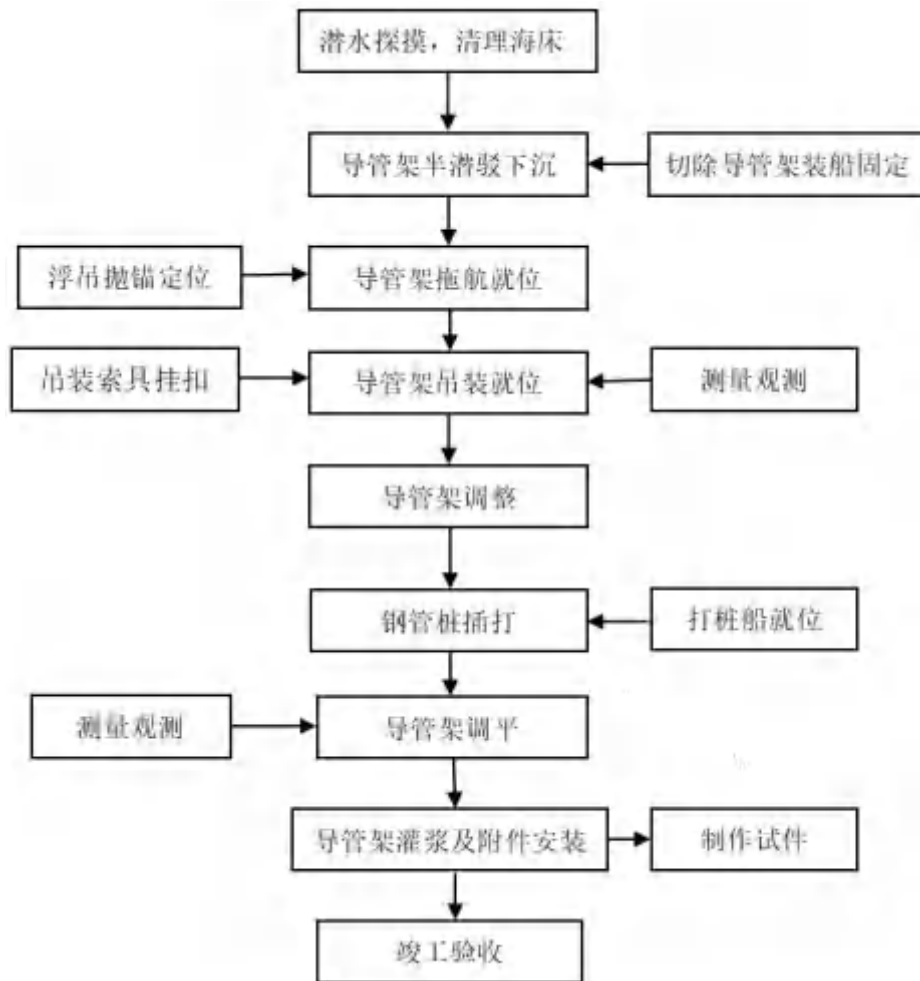


图 3.5-11 升压站桩基础导管架施工流程图

（4）导管架调平及灌浆

基础导管架的调平在沉桩过程中通过边观测、边调整的方式进行，即通过观测沉桩过程中导管架平整度的变化来调整沉桩顺序，从而实现导管架平整度始终处于设计要求的范围。在水平调节完成之后，利用下部水平向的液压油缸工作顶撑在导管架上进行导管架与钢管桩的临时固定。

钢管桩、导管架桩靴之间的间隙灌浆在打桩完毕、调整好导管架与桩管间的间隙后进行。灌浆施工由甲板驳船上所载的灌浆泵高压泵送灌注专用的灌浆材料，灌浆作业前，应进行原材料作业和配合比设计，并进行相关的试验工作。由于可能存在泥沙等杂物，影响灌浆效果，灌浆前可用吸力较强的小型吸泥泵清理底部泥沙，吸泥完成后尽快进行灌浆施工。灌浆材料的性能必须确保满足设计要求，在施工监理方的监督下，采用小型压浆机将材料浆液压至导管与钢管桩的环缝内，自下而上

注满。

施工时，利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体 → 连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材 → 通过监控，当灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆 → 灌浆材料强度达标后，方可进入下一工序。

（5）升压站上部平台运输及安装

在钢管桩施工完成后，进行钢结构平台及内部电气设备的安装工作。为尽量减少现场的安装次数、避免现场焊接所可能造成的质量缺陷，同时降低海上吊装的难度，海上升压站上部平台采用陆上总装的方式，将各层结构分层、分片预制拼装，在相应安装层完成后进行其层面上电气设备的安装工作，最终形成可整体出运的上部组块（包括电气设备）组合体。

海上升压站上部组块采用四层布置，平面尺寸约为 $42.0\text{m} \times 43.5\text{m}$ ，包括钢结构体与内置的电气设备组块。升压站上部组块钢结构重量为 2150t，舾装、电气、暖通、消防、给排水等全部设备重量约 1750t，上部组块总重约 3900t。在海上升压站两侧沿导管架分别布置海缆保护J型套管，电缆保护J型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸和运输稳性要求，要求选用船宽不小于 30m 的大型驳船，同时考虑足够的船舶稳性，推荐选用 20000t 级自航驳船进行运输。



图 3.5-12 海上升压站运输示意图

本升压站工程上部组块与吊架设施的整体动态重量约在 4000t 左右，组块拟定起吊点宽度为 20.0m，吊高考虑吊架与吊具的要求应在 40m 以内，并按照起重机 90% 起重保证率的设备性能要求，起重船的起重设备应具备 35m 以上吊幅、40m 以上吊

高参数、5000t以上的起重能力。



图 3.5-13 上部平台整体吊装示意图

3.5.4.4 海缆敷设施工

(1) 海缆敷设分区

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆；海上升压站与登陆点之间的 500kV 海底电缆。由于船舶有吃水深度，一般不能直接到达陆地登陆点，根据海缆施工的过程，海缆敷设过程可分为始端登陆、中间段敷埋、终端登陆。

对于本项目离岸距离远的特点，考虑国内海缆施工船的载缆能力和单次敷设能力，考虑单回送出海缆至少需要设置一个现场硬接头，以硬接头为边界，需对单回送出海缆进行分段施工。

根据水深与地质条件，本场地采用深埋方式。工程场址海域海床表层基本为细砂、黏土质粉砂及粉砂质黏土，整体埋深条件较好。根据锚重与投入表层深度的关系，穿越航道的电缆敷设深度应为泥面以下 3m-5m，场内海缆敷设深度为 3-4m，铺缆正常海况条件为六级以下风力，海上正常条件下的敷设速度为 2~5m/min。

(2) 海缆敷设施工

本项目海缆除登陆段外，66kV、登陆段至海上升压站 500kV 海缆采用牵引缆绞锚、边敷边埋的敷设方式。具体施工工艺为电缆敷设船敷设，埋设犁后方切割刀随挖出深约 3m 的坑道，海缆同步埋设。与航道交越段的埋深将在航道设增加至 4m，保证海缆安全埋设深度。

海缆深埋敷设施工可以分为施工准备、海缆敷设、后续保护和电缆试验 4 个主要阶段。常规海缆敷设主要施工工艺见下图 3.5-14。

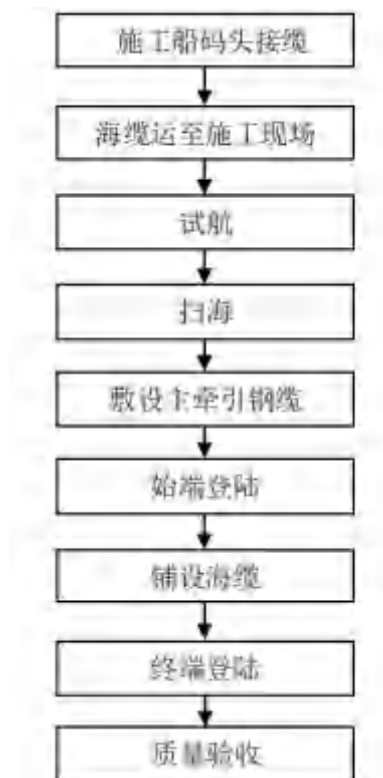


图 3.5-14 海缆敷设施工工艺

1) 施工准备

电缆敷设准备：

- ①敷设前，进行电缆敷设路由调查并根据相关主管部门意见确定最终敷设路由；
- ②施工方案报送相关部门审批并取得作业许可证。
- ③尽可能采用铺缆船直接装缆运输的方式，敷设前对电缆质量进行必要的检查；
- ④敷设施工前，对施工设备及各种仪器仪表进行检查，完成相关的准备工作，落实安全措施，确保其能满足施工准备；
- ⑤施工前，应对预定海域电缆路由进行扫海作业；
- ⑥始端登陆和终端登陆准备。

2) 海缆过驳

项目海底电缆的过缆索作业方式为散装过缆。散装过缆地点为海缆生产厂家码头或施工现场，在海缆过驳前，先对海缆进行出厂试验，待试验符合设计标准后方可进行过驳施工。

首先施工船靠泊海缆厂码头，调整船位并固定，将施工船的旋转式电缆盘退扭

系统安装完毕。过缆时，利用电缆转盘中的驱动装置通过过缆桥将电缆退扭并储盘在承缆转盘架或储缆区中。上述退扭系统由电缆转盘和过缆桥组成，其中电缆转盘由承缆转盘架和驱动装置组成，承缆转盘架根据需要外径不小于 30 米、内径不小于 6 米，驱动装置是布置在转盘外侧的带双向驱动的主动齿轮；过缆桥由导缆架和回转机架组成，形似回转的起重机。为了保证散装过缆施工便利，尽量选择带电动缆盘的施工敷设船。

散装过缆结束之后，施工船舶将海缆运输至施工现场或者指定场所等待进入下一流程。在此过程要妥善保护海缆，并严禁烟火。



图 3.5-15 海缆装船示意图

3) 登陆准备及试航

施工船舶到达不熟悉的施工现场后，首先安排施工船在设计施工路由区域内进行试航，以熟悉施工区域内设计路由的各个关键点及潮水情况。试航过程中，船上的所有埋设设备及后台监测设备进行模拟操作演练，确保船舶、电缆输送机、埋设犁、锚泊系统、卷扬机等重要施工设备及监测装置的正常工作，确保施工顺利进行及海缆敷设质量。

4) 路由扫海

在电缆敷设施工前，对预定固定电缆路由进行扫海操作。路由扫海主要是为施工船施工时清除电缆路由上的一切障碍物，如渔网、废缆、绳索等，如遇到不能清除的障碍物，探明情况后，拟定解决方案并由建设单位确认。按作业方式的不同可分为拖锚扫海，声呐、多波束等仪器扫海，ROV（水下机器人）扫海等方式。施工前需沿每条设计路由往返扫海多次，直至施工路由上无影响埋设犁正常施工的障碍物为止，如发现障碍物则由潜水员水下清理；若遇到不能及时清理的大型障碍物，

由潜水员水下探明情况，按现场探明的实际情况拟订解决方案并立即告知业主及监理。在对主干海缆路由扫海中，应特别注意对深水沟槽的了解，便于施工时采取相应措施。扫海期间注意避开已知的海底管线区域，防止造成意外损坏。

5) 敷设主牵引钢缆

项目采用海缆敷设船接缆，由于海缆施工船一般无自航动力，需靠收绞主牵引钢缆沿设计路由埋设施工。本工程由于工程路由中间有几处转向点，拟采用以下施工方法敷设主牵引钢缆：首先施工船根据DGPS定位，就位于始端登陆点附近路由轴线上，由锚艇在海缆设计路由上距施工船 5km处（或转弯处）抛设牵引锚，并与主牵引钢缆连接后开始敷设主牵引钢缆，直至将主牵引钢缆和施工船上 16t卷扬机连接，施工时，由锚艇敷设主牵引锚。当施工至终端登陆点附近时，将主牵引钢缆与预先设置在海上升压站（或风机）的地锚相连接。敷设时由DGPS定位，在转向点处，沿海缆路由方向延伸 180 米处下锚，确保施工时施工船沿设计路由进行海缆的埋设施工（转角处圆弧平缓过渡）。牵引钢缆敷设时采用DGPS定位系统，牵引钢缆的敷设精度普通工艺误差在 $\pm 10\text{m}$ ，动力定位的误差应在 $\pm 5\text{m}$ 以内。

当施工至主牵引锚附近、完成该段海缆敷埋时，采用同样的施工方法进行主牵引钢缆的敷设及工程海缆的敷埋施工。当海缆敷设船距海缆登陆点的距离小于 5km时，则将主牵引钢缆与预先设置在终端登陆点侧的地锚相连接。

6) 敷埋海缆

本项目海缆采用敷设船和埋设犁敷埋同步施工方式，500kV海缆至陆上登陆点所经过的海域与多个航道交越，海缆在非航道段海缆埋深 3m控制，对具有通航功能的海域，广东沿海内航路、珠江口大蜘蛛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、荷包岛南航道海缆挖深为航道设计底标高以下 4m控制；500kV海底电缆穿越珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程区域和崖门出海航道挖深为航道设计底标高以下 4m，海缆穿越黄茅海航道段的设计顶标高为-25.9m，海缆穿越崖门出海航道的设计顶标高为-16.9m，海底电缆铺设速率以 5m/min计。

埋设犁施工过程不进行任何挖掘工作，仅在海底临时切割出一条管沟，光缆立刻嵌入到管沟中。埋设犁经过该区域后，海底沉积物将管沟掩埋，而不需要填埋工作。在靠近海岛的狭窄海域，目前大型敷缆船均采用DP定位，水深在 2~5m区域敷缆精度可以控制在 5~10m，采用自航式敷设方式，DP定位船舶加埋设犁敷设即可满足狭窄海域敷设要求。

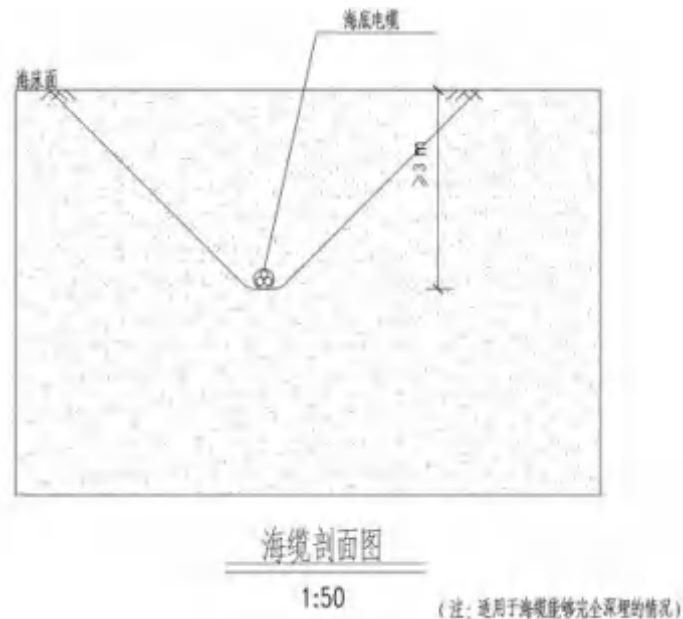


图 3.5-16 电缆埋深示意图

①66kV/500kV 海缆始端登陆

海底电缆在风机平台（或升压站）的登陆，需穿过与桩基固定的“J”管，登平台前应将钢丝绳置换“J”管内预先设置的牵引绳索，用船上绞车将电缆由海底通过“J”管口牵引至平台塔筒内预定位置。其作业步骤（可随风机内部结构的具体设计而调整）如下：

准确测量船舶与平台的距离、水深和平台高度以及电缆余量，计算出登平台所需电缆长度。在船上量取电缆长度和确定切割位置；

铺缆船调整前行方向，用船上吊机抽放海底电缆，当到达设定的电缆截止点后，用电砂轮将海底电缆截断，并将海底电缆头做好绝缘和水密，绑扎好海底电缆拖网（Cable Stoper），再用吊机将电缆头吊放到电缆护管底部（同时在海底电缆吊放过程中，在海底电缆上绑扎适当的浮袋）。

在终点平台（或风机）J型护管上端出口正上方安装一个导向滑轮，潜水员在J型护管下端喇叭口检查方向，另外需要检查是否有海洋生物阻塞喇叭口。

在电缆护管上部喇叭口处，将备好的电缆拖拉钢缆与铁球/其它重物相联接，然后将铁球/其它重物放入电缆护管内，靠铁球/其它重物的重力将电缆拖拉钢缆带到电缆护管底部，同时潜水员下水，到电缆护管底部将已到电缆护管底部的铁球/其它重物与电缆拖缆解掉，然后把由电缆拖拉钢缆与弃到海底的电缆拖拉网头联接。

通过电缆护管上部的导向滑轮将拖拉缆绳引回铺缆船上，通过船上锚机，并在潜水员水下指挥下，牵引钢缆与电缆头连接，将电缆头与平台上通过滑车的钢缆、

钢丝网套可靠连接后，启动船上牵引绞车，将电缆牵引入水，缓缓通过水下“J”管口，直至提升出升压站平台到预定位置，留足设计余量后，将施工船上的电缆沉放至海床，完成海缆始端登陆。

②66kV/500kV 海缆中间段敷埋

海缆中间段敷埋过程中，根据海缆敷设和深埋先后顺序，分为先敷后埋和敷埋同步2种方式。

A.先敷后埋方式：施工船舶根据设计路由，将海缆抛放在海床上面，再由潜水员或ROV 利用水下设备对海床上的海缆进行深埋和后续保护操作。这种施工方式一般适用在地质较差的海底，或大型施工船舶无法进入的较浅海域。

B.敷埋同步方式：敷埋同步方式采用慢绞牵引钢丝敷设方式。施工船一般采用无动力方驳船，驳船吃水浅，便于近海施工。在潮流下，方驳船较其他船舶相对更稳定，给船上施工人员的提供相对稳定的平台。施工过程中，施工船通过专门大锚机来收绞预先抛敷在设计路由上的主牵引钢缆，提供船舶前进动力，使施工船向前移动，同时拖动埋设机进行电缆深埋敷设，如下图 3.5-17 所示。而海缆的埋设速度由卷扬机的绞缆速度来决定，其敷埋速度一般控制在 0~9 m/min。当施工船偏离路由轴线时，采用拖轮及锚艇，在施工船背水侧或背风侧进行顶推，以纠正埋深施工船的航向偏差。施工船上的海缆埋设导航定位系统来控制海缆路由，埋深检测系统来监控埋设速度、埋设机水下姿势等数据，水深测量系统监控水深。

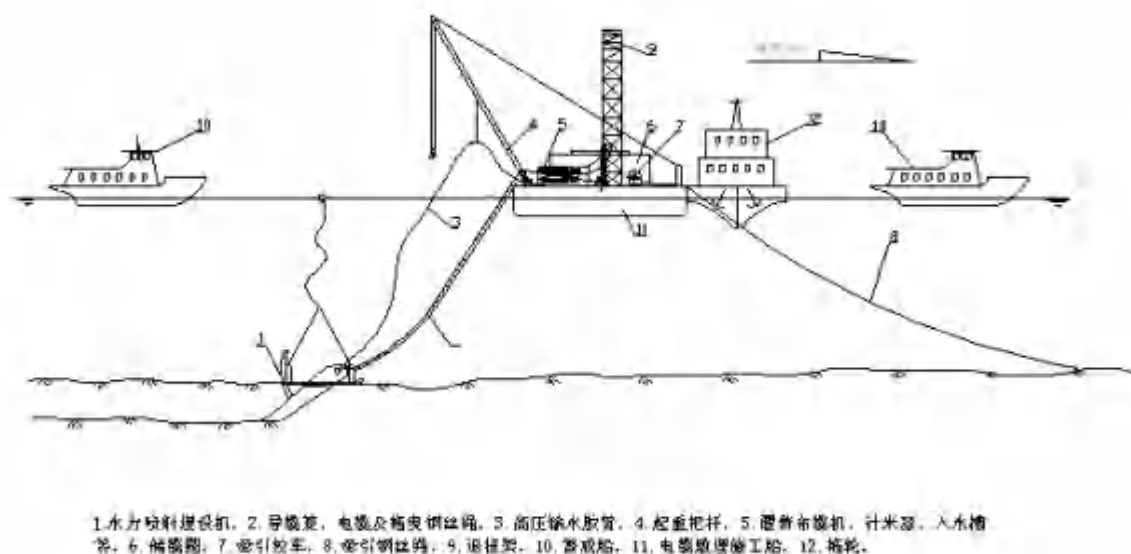


图 3.5-17 海缆敷设示意图

③海缆硬接头施工

根据本项目场址单回海缆长度要求以及国内海缆施工能力，需对单回海缆进行分段，故需进行海缆硬接头施工。

打捞作业前，考虑到硬接头安装时间较长，施工船应根据现场的风浪流情况制定锚泊定位方案。锚泊就位后，打捞已做好标记的海缆端头至船上，海缆接头施工全程在船上进行。

海缆刚性修理接头通常采用预制式结构，外观具有良好的机械性能和防海水腐蚀性能，并且采用高强度不锈钢材料以增强其机械强度。

海缆接头常年处于海水环境，不仅容易造成铠装以及外部护套的腐蚀，而且如果防水密封不到位，海水将直接进入接头内部造成海缆故障。针对海缆密封防水，接头内部每一相接头外部均加装密封套件，包括压板、锥形密封圈、端面、柱形密封圈、压板、密封套筒等。

此外，海缆接头处属于海缆的薄弱环节，需要严格防止外力损伤，需要特殊防护处理。通常接头整体安装有铠装夹具，夹具采用高强度钢材，接头机械外壳采用316L材质或碳钢加海洋重防腐喷漆进行制作，利于高强构件的自身防腐。完成接头的安装后，需对现场接头两端的海缆套装弯曲限制器。

最后，将完成接头安装的海缆置于海床，冲埋至原设计深度。



图 3.5-18 接头灌入绝缘密封胶

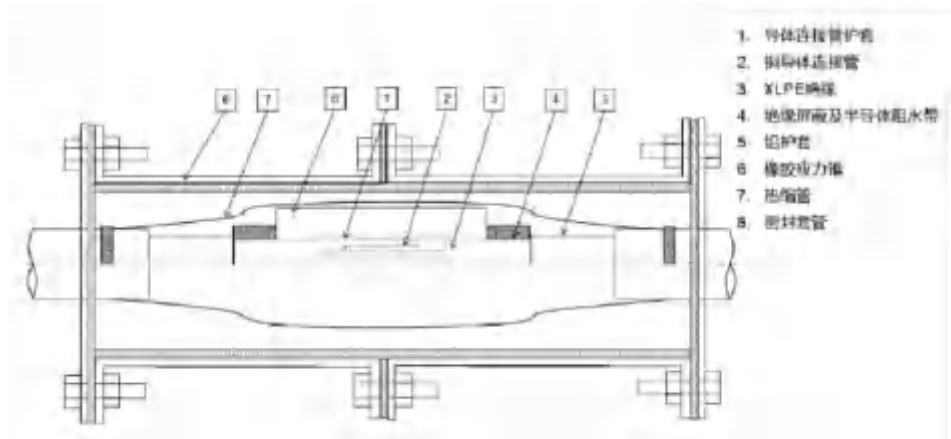


图 3.5-19 接头内部结构示意图

④500kV 海缆登陆段施工

本工程登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上，施工期拟采用定向钻穿越的方式进行海缆登陆，从陆域向海域钻，泥浆循环回抽。定向钻穿孔埋管施工工艺流程为：施工准备→导向孔施工→反拉扩孔、成孔→牵引管道→回填→清场。

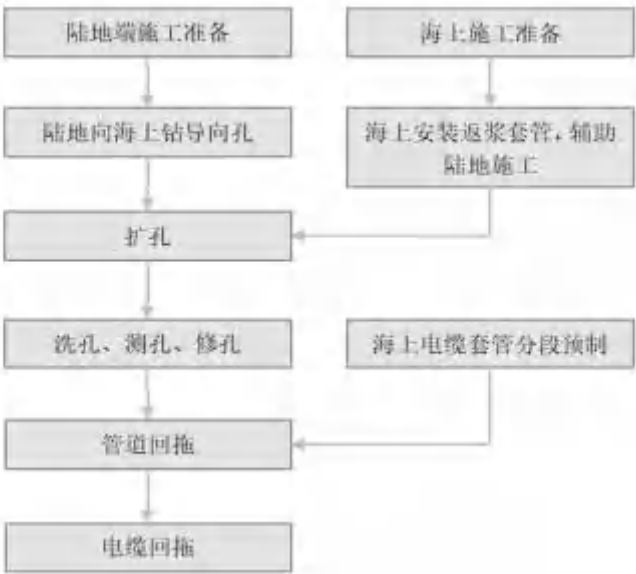


图 3.5-20 定向钻施工工艺流程图

A.施工准备

定向钻施工前需先进行测量定位、场地平整、泥浆配置、基坑开挖等，前期工作准备就绪后，机械设备开始进入施工场地进行施工。用白石灰将入土点作业区10m×4m放线标识，挖掘机配合人工清理作业区中的障碍物。将场地平整后，开挖20m长×5m宽×5m深的泥浆池，排浆池内铺土工布，防止泥浆渗漏污染耕地及地下水源。根据施工场地条件，在陆侧安装钻机，其中心线与确定的管道管顶走向相吻合。浅滩段出钻点需设置船舶锚泊作为接收平台。

项目定向钻入土点坐标为 $21^{\circ}58'22.40749''\text{N}$, $113^{\circ}10'07.74775''\text{E}$, 出土点坐标为 $21^{\circ}58'0.148''\text{N}$, $113^{\circ}9'41.742''\text{E}$, 其中入土点距离海岸线约 16m, 出土点距离海岸线约 997m, 定向钻施工段长度约 1013m。

本项目定向钻穿越黄茅海航道, 预计航道段定向钻段海缆挖深为海床以下 9m (设计顶标高-26.9m), 定向钻出钻点位于航道外 500m 处, 对航道无影响。项目海缆穿越海堤的示意图见图 3.5-21。



图 3.5-21a 海缆定向钻施工入土点位置示意图



图 3.5-21b 海缆穿越海堤段结构示意图

B. 导向孔施工

由陆地向海上进行导向孔穿越, 海上使用船只进行辅助。首先通过钻杆推动钻头旋转用泥浆破土前进, 按照设计的管道穿越曲线钻导向孔, 钻孔过程中, 钻杆与冲洗管交替钻进。在钻进过程中, 随时通过控向装置掌握钻头所处位置, 通过调整

弯管壳的方向，使导向孔符合设计曲线。

C.预扩孔、管道回拖

导向孔完成和冲洗管出土后，钻杆全部抽回，进行扩孔，扩孔方向可由海上向陆地上扩。在冲洗管出土端，连接上切削刀、扩孔器、旋转接头和已预制好的管道，然后开始连续回拖，即在扩孔器扩孔的同时，将钻台上的卡盘向上移动，拉动扩孔器和管道前进，管道就逐渐地被敷设在扩大的孔中，直至管端在入土点露出，完成管道的穿越，钻孔和扩孔的泥屑均随泥浆返回地面。

D.清管测径、泥浆处理、地貌恢复

回拖完成后，单独对回拖完毕的管道进行清管测径；定向钻施工完成后及时进行钻机场地剩余泥浆的处理和设备转场，并对地貌进行恢复。

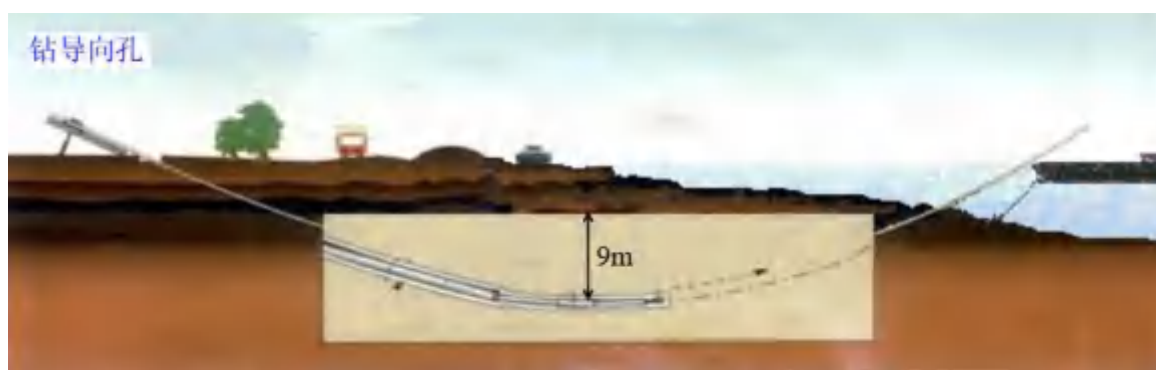


图 3.5-22a 定向钻施工工艺流程示意图

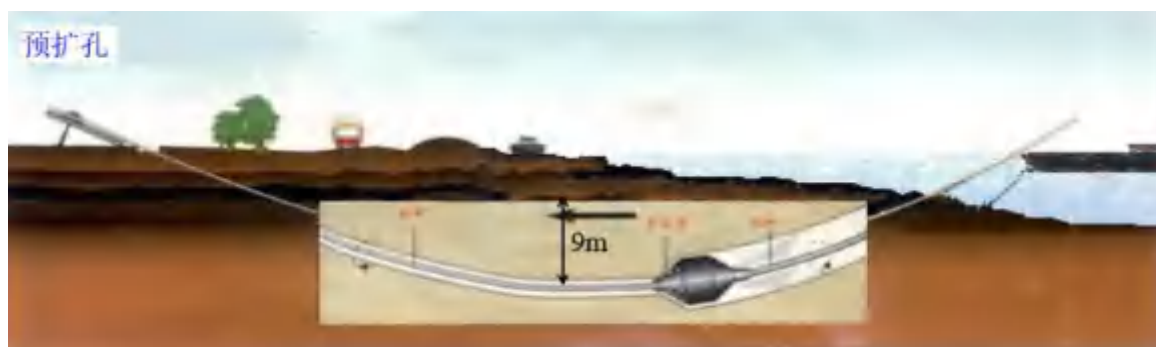


图 3.5-22b 定向钻施工工艺流程示意图



图 3.5-22c 定向钻施工工艺流程示意图

7) 海底电缆保护

海底电缆敷设于海床后，为抵御锚害、拖网等外力的冲击破坏，同时防止海床整体演变后海缆外露并在海流的作用下长期疲劳运动，造成海缆机械性损伤，应加强运营期海底电缆的防护措施，切实保护海缆和工程的安全运行。

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆和海上升压站与登陆点之间的主送出海缆。海缆敷设方式为直埋方式，拟采取以下防护措施进行海缆保护：

①建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆的安全。

②对于穿越航道区的海缆可加大电缆的埋深，在航道内施工时，需向海事主管机关申请交通管制，同时尽量避免航道封航。

③海缆敷设完成后，建议在海缆 J 型管出口处采用海缆弯曲限制器，弯曲限制器最大功能就是对海洋复合软管在外部荷载作用下起到良好的限弯作用，从而确保海洋柔性软管在各种荷载作用下不会过渡弯曲。



图 3.5-23 弯曲限制器示意

8) 海底电缆监测

高栏一海上风电场项目在海上升压站配置 66kV 集电海缆和 500kV 海缆的监测主机，在陆上集控中心设置 500kV 海缆及 66kV 海缆监测的服务器及统一的后台。海缆故障监测的对象主要分为三部分：风电场到升压站 66kV 海缆、升压站到陆上集控中心 500kV 海缆、风电场内集电用 66kV 海缆。

本项目海缆故障监测系统主要由海缆扰动及故障监测模块、海缆温度及应力监测模块、船只海事监测模块及综合管理模块组成（可根据实际设备进行调整），系

统功能结构见图 3.5-24。

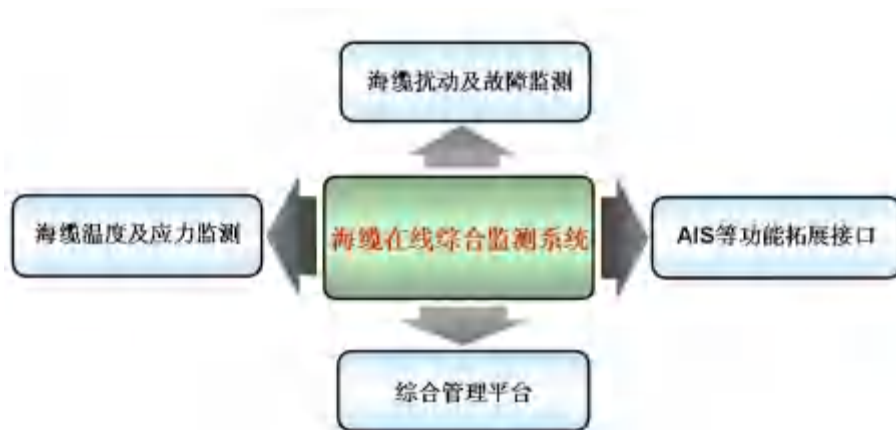


图 3.5-24 系统功能结构示意图

3.5.5 工程量与土石方平衡

本项目建设 36 台海上风机、1 座 500MW 海上升压站、1 回 500kV 海底电缆和 8 回 66kV 海底电缆。海缆敷设海域管沟机械开挖完成后以自然回淤为主，没有多余土石方产生，因此，项目施工期间土石方产生环节主要为风电机组和海上升压站桩基施工、海缆登陆段定向钻施工。

（1）桩基施工清孔渣土

36 台风电机和海上升压站采用先桩法四桩导管架基础。桩基施工不涉及嵌岩桩，采用常规沉桩施工不产生钻渣。风机和海上升压站先桩法四桩导管架基础在导管架安装之前需对已完成沉桩的钢管桩内进行清孔，每台基础清孔产生泥沙约 4~8m³，按最大量 8m³ 计算，36 台风机和 1 座 500MW 海上升压站桩基基础产生泥沙约 296m³，项目桩基施工产生的泥沙全部运输至陆上集控中心施工区，回用于集控中心建设，无废弃土方产生。

（2）定向钻施工废弃钻渣、废弃泥浆

海底电缆登陆段采用定向钻的方式穿堤，定向钻废弃钻渣、废弃泥浆产生量约 9000m³，产生的废弃钻渣、废弃泥浆全部运输至陆上集控中心施工区，回用于集控中心建设，无废弃土方产生。

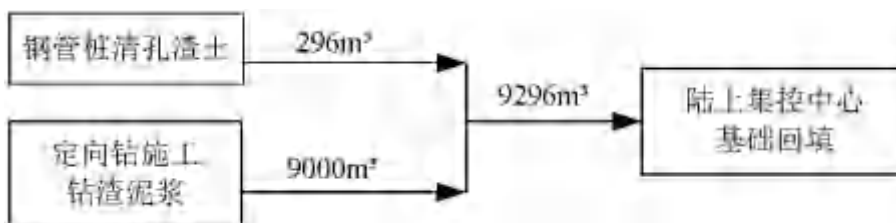


图 3.5-25 项目土石方平衡图

3.5.6 施工总进度

本项目总工期计划为 16 个月，其中工程主体施工总工期为 15 个月，计划 2026 年 4 月开工，2027 年 7 月全部风机建成投产发电。本工程于 T+0 月开工后，T+3 月后施工准备完成，主体工程开始施工，第 T+13 个月后首批 5 台 14.0MW 机组发电，第 T+16 个月之后全部 36 台风机投产发电。

项目准备期主要包括规划的施工基地建设、钢管桩加工制作、风电场场内扫海、施工供水、施工供电、施工通信等准备工程建设。项目准备工作完成以后，开展主体工程的施工。

表 3.5-5 项目施工进度计划及关键节点汇总表

序号	项 目	工期(月)	计划开工(月)	计划结束(月)	备 注
1	施工准备	3	T+0	T+3	主基地改造、配置临建设施
2	导管架及钢管桩制造加工	9	T+2	T+10	
3	非嵌岩四桩导管架沉桩施工	8	T+4	T+11	2 个工作面
4	导管架基础安装施工	8	T+5	T+12	2 个工作面
5	首批风机机组安装	3	T+9	T+11	首批 5 台
	剩余风机机组安装	4	T+12	T+15	2 个工作面
6	66kV 海缆敷设	7	T+9	T+15	工期跨度
7	500kV 送出海缆敷设	3	T+10	T+12	
8	海上升压站上部结构加工制作	8	T+4	T+11	
9	海上升压站下部基础加工制造	4	T+6	T+9	
10	海上升压站基础施工与上部安装调试	1	T+10	T+10	下部基础施工
		1	T+12	T+12	上部组块安装
		2	T+12	T+13	调试
12	首批风机并网调试	3	T+11	T+13	
	剩余风机并网调试	3	T+14	T+16	
13	首批风机投产发电			T+13	里程碑
14	全部风机投产发电			T+16	里程碑

4 工程分析

4.1 工程各阶段环境影响因素识别

4.1.1 施工期主要污染环境影响因素识别

本工程施工期主要施工内容为风机基础施工、风机安装、海上升压站施工、海缆敷设等，在施工过程中可能对周围海域产生一定的环境影响，工程产污环节分析如下：

（1）风机基础及机组安装施工

本工程钢管桩需求量很大，导管架钢管桩由码头前沿进行出运。风机基础施工与机组吊装施工过程中主要污染环节包括：风机基础打桩、工艺辅助定位桩打桩和拆除时产生的悬浮泥沙和噪声；施工船舶航行、机械作业噪声；施工过程中产生的废水主要施工人员生活污水、施工船舶含油污水；废气主要为施工机械和船舶燃油废气；固体废物施工人员生活垃圾、施工垃圾、钢管桩清孔渣土等。风机基础及机组安装施工产污节点见图4.1-1。

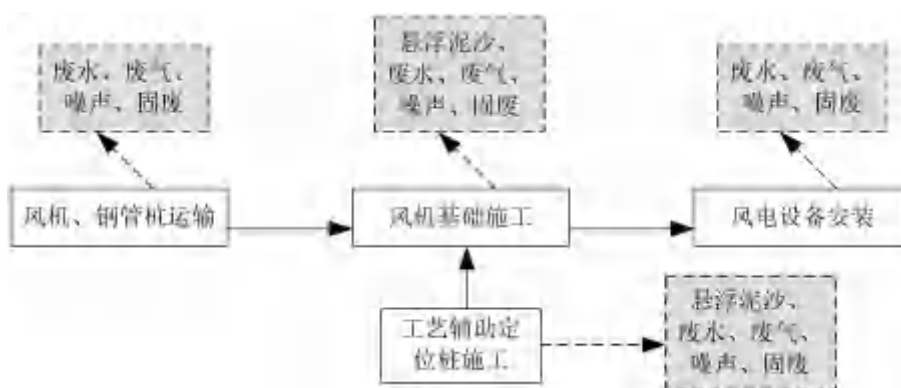


图 4.1-1 风机基础及机组吊装施工产污节点图

（2）海上升压站基础及平台吊装施工

海上升压站基础施工与风机基础施工过程类似，施工主要污染环节包括：打桩时产生的悬浮物和噪声；施工船舶航行、机械作业噪声；施工过程中产生的废水主要施工人员生活污水、施工船舶含油污水；废气主要为施工机械和船舶燃油废气；固体废物施工人员生活垃圾、施工垃圾、钢管桩清孔渣土等。升压站基础及平台吊装施工产污节点见图4.1-2。

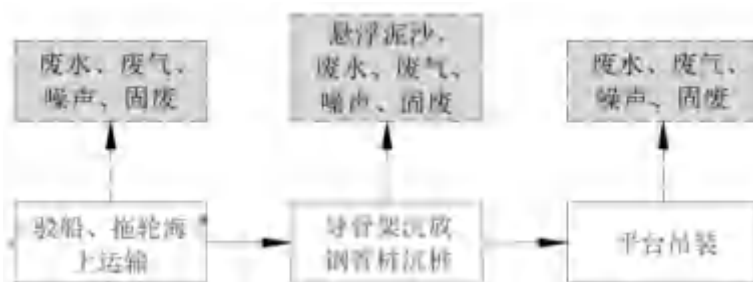


图 4.1-2 海上升压站施工工序和产污节点图

(3) 海底电缆敷设施工

海底电缆施工过程主要污染环节包括：海缆敷设过程中高压水枪和埋设犁犁刀联合作用于海床产生的悬浮泥沙和噪声；施工船舶航行、机械作业噪声；废水主要为施工人员生活污水、施工船舶含油污水；废气主要为施工机械和船舶燃油废气；固体废物施工人员生活垃圾、扫海清障障碍物等。海底电缆敷设施工产污节点见图 4.1-3。

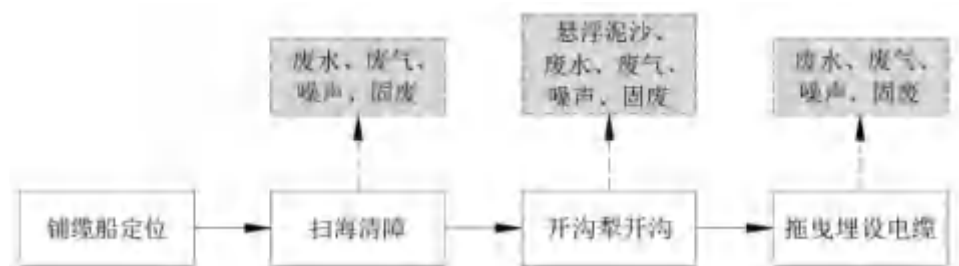


图 4.1-3 海底电缆敷设施工产污节点图

登陆段采用定向钻方式施工，产污环节包括：导向孔施工、管道回拖过程会产生钻渣、废弃泥浆；施工作业会产生船舶含油污水、船舶废气、噪声、生活污水和生活垃圾。定向钻施工产污节点见图4.1-4。

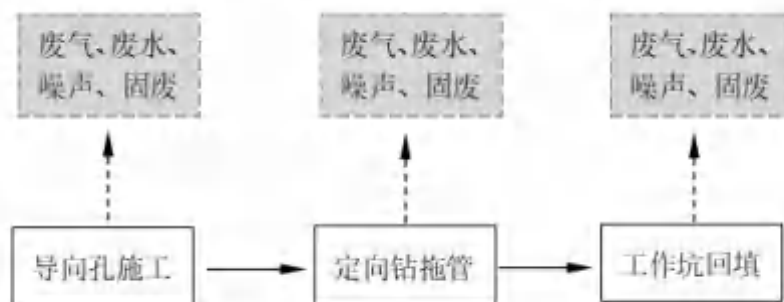


图 4.1-4 海底电缆定向钻施工产污节点图

4.1.2 运营期主要污染环境影响因素识别

运行期风机利用风能转化为机械能，然后通过风机机舱内的发电机转化为电能，经风机内变压器和海上升压站升压后送出接入电网，风机运转发电不产生污染物，

主要环境影响因素为风机运转、海上升压站运行噪声以及电能输送过程中海上升压站、66kV集电海缆、500kV送出海缆产生的工频电磁场。

项目运营期需定期对风电场进行维护和检修，风电场运行维护过程中产污环节包括：运维船舶燃油废气；废水主要为运维人员生活污水、运维船舶含油污水；运维船舶航行噪声；固废主要为运维人员生活垃圾、风电场检修维护固废（包括废零部件、废包装袋（箱）、废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套）。

项目运营期产污环节见图4.1-5。

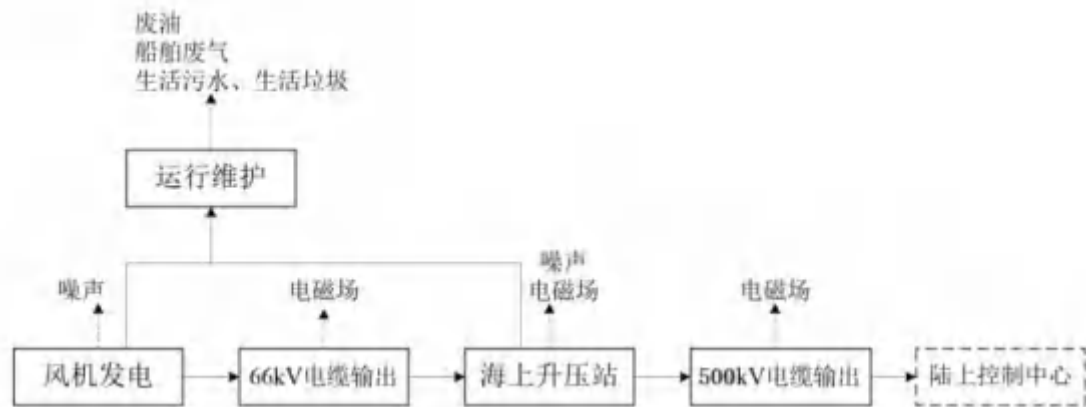


图 4.1-5 运营期产污节点图

4.2 工程各阶段污染因子源强估算

4.2.1 施工期污染因子源强估算

4.2.1.1 悬浮泥沙

施工期间产生悬浮泥沙的施工环节主要为海缆敷设和风机桩基施工。

（1）扫海清障作业悬浮物

扫海作业范围在海缆两侧 50m，采用声呐仪器扫海，发现障碍物才进行打捞回收，因此悬浮泥沙污染仅在打捞点发生。打捞的障碍物主要是绳索、插网、渔网等小型障碍物，打捞操作一般发生在泥面以上，引起海底扰动较小，影响时间为打捞的瞬间。总体来看，扫海清障作业悬浮物影响很小，相比海缆铺设作业产生的悬浮泥沙源强，扫海源强基本可以忽略。

（2）海缆敷设悬浮泥沙

根据设计方案，本工程海底电缆敷设在泥面下 3.0m，由于 500kV 海底电缆穿越航道，从安全角度考虑，航道及其两侧的海底电缆埋深 4.0m，根据同类工程，设海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度 5m/min，单条海缆敷设正常土方

量为 $6\text{m}^3/\text{min}$ ，航道区海缆敷设土方量为 $8\text{m}^3/\text{min}$ 。

泥沙干容重按照 $\gamma_d=1750D_{50}^{0.183}$ 公式计算， D_{50} 为泥沙中值粒径，根据风电场区表层沉积物调查资料及路由区表层沉积物类型分布情况，场区内西南部沉积物类型主要为砂、粉砂质砂、粘土质砂，中值粒径平均值约为 0.159mm ，计算得到沉积物干容重为 $1250\text{kg}/\text{m}^3$ ，场区东北部及路由区沉积物类型主要为粉砂质粘土、粘土质粉砂、砂-粉砂-粘土、砂质粉砂，中值粒径平均值约为 0.035mm ，计算得到沉积物干容重为 $948\text{kg}/\text{m}^3$ 。

项目所在及附近海域表层沉积物悬浮组分约占 20%，施工方案明确本工程海缆为逐条施工，根据不同的施工方法，海缆敷设悬浮泥沙的产生速率计算如下：

1) 航道区附近路由区域（埋深 4.0m ，埋设速度 $5\text{m}/\text{min}$ ，干容重 $948\text{kg}/\text{m}^3$ ）单条海缆施工悬沙源强 $=8(\text{m}^3/\text{min}) \times 20\% \times 948(\text{kg}/\text{m}^3) / 60\text{s}/\text{min} = 25.28\text{kg}/\text{s}$ 。

2) 风电场区东北部区域及路由其他区域（埋深 3.0m ，埋设速度 $5\text{m}/\text{min}$ ，干容重 $948\text{kg}/\text{m}^3$ ）单条海缆施工悬沙源强 $=6(\text{m}^3/\text{min}) \times 20\% \times 948(\text{kg}/\text{m}^3) / 60\text{s}/\text{min} = 18.96\text{kg}/\text{s}$ 。

3) 风电场区西南部区域（埋深 3.0m ，埋设速度 $5\text{m}/\text{min}$ ，干容重 $1250\text{kg}/\text{m}^3$ ）单条海缆施工悬沙源强 $=6(\text{m}^3/\text{min}) \times 20\% \times 1250(\text{kg}/\text{m}^3) / 60\text{s}/\text{min} = 25\text{kg}/\text{s}$ 。

（2）桩基施工

1) 桩基沉桩悬浮泥沙

风机桩基和海上升压站桩基通过液压振动锤振动下沉，施工时振动导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。风机采用四桩导管架，单根管架泥面以下直径 3.3m ，入土深度约 90m ，产生悬浮泥沙占挤压泥土的 1% 计，泥沙密度取 $1250\text{kg}/\text{m}^3$ ，施工时间单次按 5h 算，则风机基础钢管桩的施工悬浮泥沙源强为 $0.60\text{kg}/\text{s}$ 。

海上升压站基础单根管架泥面以下直径 2.0m ，桩入泥约 83m ，再悬浮泥沙占挤压泥土的 1% 计，泥沙密度取 $1250\text{kg}/\text{m}^3$ ，施工时间单次按 5h 算，升压站桩基施工悬浮泥沙源强为 $0.18\text{kg}/\text{s}$ 。

2) 辅助定位桩沉桩悬浮泥沙

辅助定位桩直径 4.2m ，平均入土深度约为 20m ，产生悬浮泥沙占挤压泥土的 1% 计，泥沙密度取 $1018.75\text{kg}/\text{m}^3$ ，施工时间单次按 5h 算，则辅助定位桩沉桩悬浮泥沙源强 $=3.14159 \times (4.2\text{m} \div 2)^2 \times 20\text{m} \times 1\% \times 1018.75\text{kg}/\text{m}^3 \div 5\text{h} \div 3600\text{s} = 0.16\text{kg}/\text{s}$ 。

3) 辅助定位桩拆除悬浮泥沙

辅助定位桩直径 4.2m，平均入土深度约为 20m，辅助桩壁附着泥层厚度约为 0.015m，附着泥沙密度取 1018.75kg/m^3 ，施工时间单次按 5h 算，则辅助定位桩拆除悬浮泥沙源强 $=3.14159 \times (4.2\text{m} \div 2)^2 \times 20\text{m} \times 0.015\text{m} \times 1018.75\text{kg/m}^3 \div 5\text{h} \div 3600\text{s} = 0.24\text{kg/s}$ 。

4.2.1.2 废水

(1) 含油污水

项目施工期间配备起重船、驳船、拖轮、自升平台船、铺缆船、抛锚艇、交通艇等多种类型的施工船舶集中在工程海域作业，施工船舶的吨位在 250t-20000t 之间。项目各施工阶段拟投入施工船舶及其数量统计见表 4.2-2。

施工船舶舱底含油废水是机舱内各闸阀和管路中漏出的水及其运转中漏出的润滑油、燃料油等混合油污水。根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），不同船型船舶舱底油污水产生量见表 4.2-1。经计算，施工期船舶含油污水最大产生量为 68.6t/d（见表 4.2-2）。根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），机舱油污水石油类浓度在 2000~20000mg/L 之间，评价取 10000mg/L，则石油类污染物产生量为 0.686t/d。根据《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》中对海上施工船舶的要求，施工船舶油污水系统按要求进行铅封，船舶油污水统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由有能力的船舶污染物接收单位处理，不在海域内排放。

表 4.2-1 船舶舱底含油污水水量

船舶吨级 DWT (t)	舱底含油污水产生量 (t/d·艘)	船舶吨级 DWT (t)	舱底含油污水产生量 (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 4.2-2 船舶含油污水产生量统计表

工程内容	船舶类型	数量 (艘)	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	油污水产生总量 (t/d)	合计 (t/d)
风机基础施工	2000t 以上起重船	2	0.54	1.08	26.69
	3500t 级以上起重船	1	1	1	
	10000t 级以上甲板驳船	8	2.8	22.4	
	5000HP 拖轮	4	0.14	0.56	
	抛锚艇	2	0.14	0.28	
	交通艇	2	0.14	0.28	
	补给船	2	0.14	0.28	

工程内容	船舶类型	数量 (艘)	舱底油污水产生 量 (t/d·艘)	油污水产生总 量 (t/d)	合计 (t/d)
	灌浆船	1	0.81	0.81	
风机吊装 施工	自升平台船	2	0.27	0.54	24.32
	8000t 级自航驳船	8	2.8	22.4	
	供给船	2	0.14	0.28	
	交通艇	4	0.14	0.56	
	多功能驳	2	0.27	0.54	
海上升压 站施工	5000t 级及以上起重船	1	1	1	11.8
	4500t 级及以上起重船	1	1	1	
	20000t 级甲板驳船	1	4.2	4.2	
	15000t 级甲板驳船	1	4.2	4.2	
	6000HP 拖轮	4	0.14	0.56	
	抛锚艇	4	0.14	0.56	
	交通艇	1	0.14	0.14	
	供给船	1	0.14	0.14	
海缆敷设	10000t 级铺缆船	1	2.8	2.8	5.79
	3000t 级铺缆船	3	0.81	2.43	
	抛锚艇	2	0.14	0.28	
	交通艇	2	0.14	0.28	
合计		62	/	68.6	68.6

(2) 生活污水

项目施工期生活污水主要为海上作业人员产生的生活污水。根据施工期人力资源配置情况(表3.5-1), 高峰时海上作业施工人员数量可达340人, 海上施工人员生活用水量取50L/人·d, 则项目施工期间生活用水量最大为17t/d; 根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS 149-2018), 生活污水产生量按用水量的90%计, 估算施工期生活污水产生量为15.3t/d。

参考《水运工程环境保护设计规范》(JTS 149-2018)及同类型生活污水水质浓度, 项目船舶生活污水中主要污染物浓度为COD≤300mg/L、BOD₅≤200mg/L、SS≤220mg/L、氨氮≤50mg/L, 污染物产生量分别为COD≤4.59kg/d、BOD₅≤3.06kg/d、SS≤3.366kg/d、氨氮≤0.765kg/d。项目船舶生活污水各污染物主要排放量见表4.2-3。

表 4.2-3 施工期生活污水主要污染物产生量表

污染物名称	COD	BOD ₅	SS	氨氮
污染物浓度 (mg/L)	300	200	220	50
污染物产生量(kg/d)	4.59	3.06	3.366	0.765

项目船舶生活污水利用船载生活污水收集装置收集，船舶靠岸后送至岸上并排入接收设施，交由有处置能力的船舶污染物接收单位接收处理，不直接排放入海。

(3) 灌浆溢流

本项目14MW风机导管架基础均采用灌浆连接，单台基础灌浆量约为50m³。灌浆入口位于基础以上，即灌浆顶面位于水面以上，不属于水下灌浆作业。封堵结构采用的是充气式主动封堵工艺，水密性能极好。

风机钢管桩基础灌浆量通过精确计算确定，且灌浆过程机械化自动控制，灌浆施工时有水下监控设备监控，一般情况下不会产生泄漏情况。在灌浆臂提起的瞬间可能会产生少量泄漏，施工单位应加强现场管理，确保不产生溢流泄漏，不会对水质造成明显影响。

4.2.1.3 噪声

项目海上施工噪声主要来自施工船舶航行噪声、海底电缆敷设机械噪声以及风机、海上升压站施工点打桩作业产生的噪声。

(1) 船舶航行噪声

施工时将动用大量的运输船和工作船，作业船只在施工区的频繁行驶将对工程海域产生较大的干扰噪声。船舶通航时噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。声源特性与船舶通航速度有关，表现为：低速运行时以船舶机械噪声为主，高速运行时以螺旋桨噪声为主。

根据厦门五缘湾海域、珠海海域对海洋环境噪声与船舶噪声进行的记录。一般货运船舶噪声的均方根声压级平均值约为 125.5dB re1V/μPa，比海洋环境噪声提高了约 10~15dB re1V/μPa。部分航速较快、吨位较大、航行中仍在施工或其他增大水下噪声的原因的船舶其峰值声压级可以达到 150dB re1V/μPa 以上。

(2) 海底电缆敷设机械噪声

工程海底电缆的埋设由海缆敷设船进行。根据厦门海沧钱屿附近现场调查，由海域进行海缆敷设及船运通过等所造成的水下噪声谱级相比原来的水下环境背景噪声提高约 4~5dB re1V/μPa。本工程水下环境背景噪声峰值声压级 (L_{peak}) 为 149dB~174dB re1V/μPa，故本工程海底电缆敷设施工时叠加环境背景噪声后的水下噪声水平在 154dB~179dB re1V/μPa。

(3) 打桩噪声

本项目规划装机容量为 504MW，拟建设 36 台 14MW 风电机组，风机基础采用

四桩导管架基础形式，桩直径为 3.3m，桩顶高程标高为-28m~-30m，整个风电场区域的平均钢管桩桩长约为 90m，平均入土深度约为 80m。海上升压站基础采用四桩导管架基础形式，桩直径为 4.2m，桩顶高程 21.5m，平均钢管桩桩长约为 98m，平均入土深度约为 82m。

冲击式水下打桩为海上风电场施工期间可能最大的水下噪声源强。桩基施打所产生的水下噪声源强主要取决于桩柱管径、重锤敲击能量、海域水深、海底地质等参量。风机基础打桩在水下所产生的噪声是一个个强的脉冲冲击波，从理论上分析可知，时域上窄的脉冲冲击波在频域上会产生非常宽的频段分布，因此风机打桩噪声功率谱具有宽频率分布特点，由于噪声的不同频率成分其传播中衰减量有所不同，低频衰减慢，传播距离远，而高频衰减快。在一定距离后，主要以 10kHz 以下的频段为主要能量分布。

英国 JRNedwell[JRNedwell, etal, 2007]等对英国 5 个海上风电场 5 种不同直径单管桩在打桩施工时的水下噪声进行现场测量，表明其峰值声源级的变化范围为 237~251dB re 1V/ μ Pa；根据英国 JRNedwell 等研究结果和神泉二现场监测数据显示，在直径 4m 以上时声源级随管桩径直径的变化关系不明显，而跟水深有一定关系，水深越深，影响越小。本工程采用四桩导管架基础形式，风机基础、海上升压站基础桩直径分别为 3.5m、4.2m，区域水深 32m~37.5m；可参考其单桩基础打桩水下噪声源强，综合考虑国内外研究，四桩导管架基础形式风机打桩施工所产生的水下噪声有效声源级取为 237~251dB re 1V/ μ Pa。

表 4.2-4 英国 5 个海上风电场单桩桩基施工水下噪声声源级

海上风电场 数据源	管桩直径 (m)	峰值声源级 (dB re 1V/ μ Pa)	峰值声源级 (dB re 1V/ μ Pa)	海域 水深(m)
North Hoyle	4.0	243	197	10-15
Scooby Sands	4.2	251	196	3-30
Kerish Flats	4.3	237	182	5-8
Barrow	4.7	245	197	10-20
Burbo Bank	4.7	243	186	7-24

根据汕头大学关于大唐南澳海上风电噪声专题报告，桩径和噪声强度存在一定的相关性（见图 4.2.1-2），当桩径小于 5m 时，噪声级随桩径增大显著上升，上升速度约 4dB/m。莆田平海湾一期五万千瓦海上风电项目 2016 年冬季现场测量表明，2m 桩径冲击打桩噪声均方根声源级约为 227dB re 1 μ Pa。

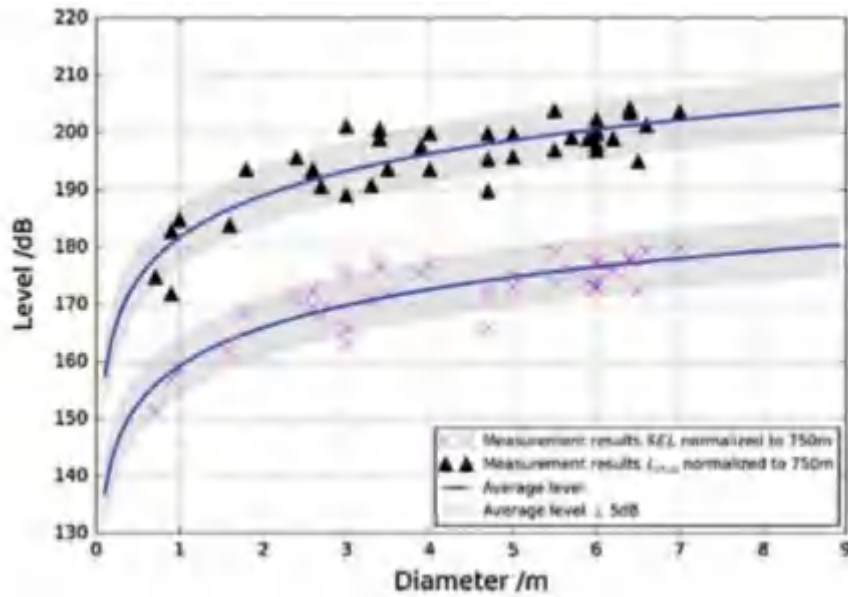


图 4.2-1 桩径与噪声强度的相关关系

根据上述规律，本项目噪声海上升压站打桩噪声，声源级取 227dB re 1 μ Pa；风电机组打桩噪声，声源级取 245dB re 1 μ Pa，传播损失按照 $TL=23\lg R$ ，其中 R 为噪声传播距离。

4.2.1.4 废气

本项目施工区施工船舶、机械设备及施工供电发电机等各类机械设备均以柴油或汽油为燃料。项目施工期废气污染物主要来自施工船舶、机械燃烧柴油排放尾气，主要污染物为 CO、NO_x、SO₂、THC、烟尘等，均为无组织排放。项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，所处位置开阔，场区空气流通性好，燃油废气很快会消散；并且项目施工所用的船舶、机械采用低含硫合格燃油，尾气排放量少、间断性排放，在怠速工况下排放的废气中污染物对外界环境的影响基本上可以接受，随着施工的结束，这些影响也将消失。项目施工废气不会对环境产生明显影响。

4.2.1.5 固体废物

施工期固体废物主要为施工人员生活垃圾、施工垃圾（扫海清障物、废弃包装物、焊接头等）、钢管桩清孔渣土、钻渣泥浆。

（1）生活垃圾

施工期高峰时海上作业施工人员数量可达 340 人，按照每人 1kg/d 的产生量估算，则施工人员垃圾最大产生量为 0.34t/d。船舶生活垃圾由施工船舶收集后运至陆域，待船舶靠岸后，交由有能力的船舶污染物接收单位统一处理。

（2）施工垃圾

本工程海缆铺设作业垃圾主要为扫海清障作业时产生的各类生产垃圾，包括绳索、插网、渔网等小型障碍物，按每 10kg/km 计算，海缆路由长度合计约 116.5km，经估算路由清障作业共产生废弃物约 1.165t。施工单位在施工船舶上设置专门的收集装置，待船舶靠岸后交由有能力的船舶污染物接收单位统一处理。风电机组、海上升压站在安装过程中产生少量废弃包装物、焊接头等施工垃圾，由施工单位集中收集后运至岸上，外售资源回收单位综合利用。

(3) 钢管桩清孔渣土

项目风电机组、海上升压站采用先桩法四桩导管架基础。桩基施工不涉及嵌岩桩，采用常规沉桩施工不产生钻渣。风机和海上升压站先桩法四桩导管架基础在导管架安装之前需对已完成沉桩的钢管桩内进行清孔，每台基础清孔产生泥沙约 4~8m³，按最大量 8m³计算，36 台风机和 1 座 500MW 海上升压站桩基基础产生清孔渣土约 296m³。项目桩基施工产生的渣土全部运输至陆上集控中项目心施工区，回用于集控中心建设，无废弃土方产生。

(4) 钻渣、废弃泥浆

项目送出海缆登陆定向钻施工产生约 9000m³ 的钻渣、泥浆，按泥水 1: 9 核算，则钻渣和泥浆的发生量分别为 900m³ 和 8100m³。泥浆主要成分为膨润土和少量羧甲基纤维素钠，为无毒无害成分。施工过程中的钻渣和泥浆混合物在沉淀池中分离，沉淀上清液仍回用于定向钻施工，钻渣分离干化后运至岸上，回用于项目陆上集控中心基础回填建设；施工结束后剩余无法循环使用的泥浆干化后也用于陆上集控中心基础回填。

4.2.1.6 施工期污染物排放汇总

施工期污染物排放量见表 4.2-5。

表 4.2-5 施工期主要污染物产生情况一览表

环境要素	污染源		主要污染物	污染源强	排放/处理方式
水环境	悬浮泥沙	扫海清障	SS	少量	自然扩散
		海缆铺设		18.96~25.28kg/s	
		桩基施工		0.18~0.60kg/s	
		辅助定位桩沉桩		0.16kg/s	
		辅助定位桩拆除		0.24kg/s	
	船舶舱底油污水		水量	68.6t/d	统一收集后上岸交由有能力的单位接收处理
			石油类	0.686t/d	

环境要素	污染源	主要污染物	污染源强	排放/处理方式
	船舶生活污水	水量	15.3t/d	收集后上岸交由有能力的单位接收处理
		COD	4.59kg/d	
		BOD ₅	3.06kg/d	
		SS	3.366kg/d	
		氨氮	0.765kg/d	
声环境	船舶航行	噪声	>147dB (re 1μPa)	自然传播
	海缆敷设		154dB~179dB re 1V/μPa	
	桩基施打		227~245dB re 1V/μPa	
大气环境	船舶废气	SO ₂ 、NO _x 、CO、THC、烟尘等	少量	采用低含硫燃油，废气自然扩散
固体废物	海上生活垃圾	生活垃圾	0.34t/d	由施工船舶收集上岸，交由有能力的单位接收处理
	扫海清障	渔网、渔具等	1.165t	随船携带，待船舶靠岸后交由有能力的单位接收处理
	风机包装物	包装物	/	施工单位收集运至岸上，外售综合利用
	钢管桩清孔	渣土	296m ³	回用于陆域集控中心基础回填
	定向钻施工	钻渣泥浆	9000m ³	回用于陆域集控中心基础回填

4.2.2 运营期污染因子源强估算

4.2.2.1 废水

项目运营期废水主要是运维人员生活污水、运维船舶舱底含油污水等。

(1) 船舶生活污水

运营期需对风机进行维护和检修，按每月巡检一次，每年工作天数为12天，每次巡检人数5人，巡检人员生活用水量取50L/人•d，则项目运维人员生活用水量最大为3t/d。根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018），生活污水产生量按用水量的90%计，估算运营期船舶生活污水产生量为2.7t/a。

参考《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018）及同类型生活污水水质浓度，项目船舶生活污水中主要污染物浓度为COD≤300mg/L、BOD₅≤200mg/L、SS≤220mg/L、氨氮≤50mg/L，污染物产生量分别为COD≤0.81kg/a、BOD₅≤0.54kg/a、SS≤0.594kg/a、氨氮≤0.135kg/a。项目船舶生活污水各污染物主要排放量见表4.2-7。

项目船舶生活污水利用船载生活污水收集装置收集，船舶靠岸后送至岸上并排

入接收设施，交由有处置能力的船舶污染物接收单位接收处理，不直接排放入海。

表 4.2-6 施工期生活污水主要污染物产生量表

污染物名称	COD	BOD ₅	SS	氨氮
污染物浓度 (mg/L)	300	200	220	50
污染物产生量 (kg/a)	0.81	0.54	0.594	0.135

(2) 检修船舶含油污水

项目设备运营期间需定期进行维修和维护，项目配备 1 艘运维船舶，每月巡查一次，每次检修时间按照一天计算，每年工作天数为 12 天，根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS149-2018) 相关参数计算，舱底油污水产生量取 0.41t/d·艘，机舱油污水石油类浓度在 2000~20000mg/L 之间，评价取 10000mg/L，则本项目舱底油污水总产生量 1.68t/a，污染物石油类总产生量为 16.8kg/d。

根据《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》中对海上施工船舶的要求，运维船舶油污水系统按要求进行铅封，含油污水统一收集在运维船舶上，待船舶靠岸后交由有能力船舶污染物接收单位处理，不在海域内排放。

4.2.2.2 噪声

项目运营期主要噪声源主要是风电机组运行和海上升压站变压器产生的噪声。

(1) 风机噪声

本工程运行期主要噪声源为风机运行产生的噪声，频率在 20Hz~20kHz。风机运行过程中产生的噪声主要有机械（结构）噪声和空气动力学噪声。机械噪声指由于内部机械设备运转时，机械部件间的摩擦力、撞击力或非平衡力，使机械内部部件和壳体振动而辐射发出噪声。空气动力学噪声指风力发电机组的叶片与空气相互作用而产生的噪声。

据近年来国内浙江、江苏等区域沿海或内陆不同风电场、不同单机容量的风力发电机组噪声水平进行的多次实测结果表明：监测值的平均值范围为 38.7(A)~65.8dB(A)，经过点声源衰减模型反推，国产风力发电机组轮毂处的最大声功率级一般在 95~106dB(A)之间。参考国内华东院等相关风电设计单位源强数据，项目所用风机为 3 个叶片、14MW，在风机轮毂处最大声功率级取 110dB(A)。

对水下噪声影响较大的是机组内部的机械噪声，低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。根据国外相关海上风电项目水下噪声测量资料，运行期的风机运转噪声远低于施工期的打桩噪声，风电场在运转时所产生的噪声比较低。根据厦门大学实测东海大桥海上风电场风机水下噪声，风机

运行中水下噪声频谱级基本上都相似, 总体强度随频率增加而明显减小, 在 1~20kHz 频率的功率谱级分布在 140~65dB/1pPa 之间; 在 120~1.5kHz 有一较宽裙带状谱, 强度增加 10~20dB/1uPa。

(2) 海上升压站噪声

海上升压站噪声主要来自于变压器, 项目选用低噪声变压器, 且变压器布置在室内, 主变在海上升压站边界外1m处的噪声值应小于50dB (a), 项目海上升压站变压器产生的噪声基本对外环境不产生影响。

4.2.2.3 废气

本项目为海上风电场建设项目, 海上风电场运营期发电过程无废气产生。

海上升压站拟设置1台柴油发电机组作为事故紧急备用电源, 平时不运行。运行时柴油将作为发电机的能源, 内燃后会产生燃油废气, 主要污染物为CO、NO_x、SO₂、THC、烟尘等, 由于发电机仅在紧急情况启用, 其废气产生量将非常小。

此外, 本项目运营期运维船舶进出项目区期间也会产生少量的船舶燃油废气, 主要污染因子为CO、NO_x、SO₂、THC、烟尘等, 由于本项目每年仅约运维12次, 每次仅约1天, 因此, 运维船舶产生的废气量也非常小。

项目运营期备用柴油发电机、运维船舶燃油废气产生量都非常小, 为间断性排放, 且项目所处位置开阔, 场区空气流通性好, 产生的废气在开阔海域很快会消散, 不会对周边大气环境产生明显影响。

4.2.2.4 固体废物

项目运营期固废主要是运维期间产生的一般固体废物(废零部件、废包装袋(箱))、危险废物(废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等)、运维人员生活垃圾。

(1) 生活垃圾

运维船产生的生活垃圾, 按每次巡检人数5人, 每月巡检一次, 每年工作天数为12天, 按照每人1kg/d的产生量估算, 则巡检人员生活污水垃圾年产生量为60kg/a。

项目运维人员生活垃圾由运维船收集后运至陆域, 交由有能力的船舶污染物接收单位接收处理。

(2) 一般固体废物

1) 废零部件

项目运维产生的废零部件主要包括废旧螺母、螺丝等五金杂件, 产生量约为

0.5t/a，为一般工业固废，废物代码为441-999-09-0001。

2) 废包装袋（箱）

项目零部件更换将产生一定废塑料、废纸箱等产品包装，约0.05t/a，为一般工业固废，废物代码为441-999-07-0002。

项目产生废零部件、废包装袋（箱）分类集中收集，每次运维结束后直接由运维船舶带回岸上，外售资源回收单位综合利用。

（2）检修废物

1) 废润滑油

风电机组设备每年检修一次，定期更换齿轮箱润滑油，风机润滑油0.5t/台，检修过程中产生残油量取润滑油存量的1%，为5kg/a，则36台风机总的残油量为0.18t/a。根据《国家危险废物名录（2025年版）》，风机维修产生的废润滑油属于危险废物，废物类别为HW08废矿物油与含矿物油废物，废物代码为900-214-08。

2) 废变压器油

变压器检修每年一次，维护、更换和拆解等过程将产生废变压器油，废物类别为HW08废矿物油与含矿物油废物，废物代码为900-220-08。项目共设置36台风机（每台风机塔筒内设有1台66kV变压器），单台变压器油量约为6t，海上升压站变压器油量约为35t，维护产生的废变压器油取存量的0.1%，为0.251t/a。

3) 废油桶

润滑油和变压器油使用后将产生一定废油桶，废物类别为HW08废矿物油与含矿物油废物，废物代码为900-249-08。废油桶产生量约0.03t/a。

4) 废铅蓄电池

升压站定期检修会产生少量的废铅蓄电池，废物类别为HW31含铅废物，废物代码为900-052-31，产生量约1.2t/a。

5) 废含油抹布及手套

维修环节将产生各类含润滑油、变压器油等物质的抹布及手套，预计产生量0.01t/a，废物类别为HW49其他废物，废物代码为900-041-49。

项目危险废物分类收集至船舶配备的危险废物垃圾箱中，直接由运维船舶带回岸上，待船舶靠岸后暂存至项目陆上集控中心危废间，与集控中心危险废物一起委托有危废处置资质单位定期清运处理。

4.2.2.5 电磁辐射

本项目新建1座500kV海上升压站，海上升压站电气设备因电压、电流而产生电磁环境影响；站内各种电气设备可能会局部电晕放电，进而产生无线电干扰，通过出线顺着导线方向及通过空间垂直方向朝外传播。由于海上升压站电气设备均布置在室内，经过建筑物的屏蔽，电气设备室外工频场强值基本与周围环境本底值接近，故升压站对电磁环境影响很小。

项目风电机组位于海面上，且不同介质电磁辐射影响的衰减很快，因此，风电场产生电磁影响的主要是输电电缆。

项目风电场区内66kV集电海缆和500kV送出海缆埋设于海底3m以下，并受输电线路保护铠甲屏蔽，沿线环境中电磁场强很小，远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中公众曝露控制限值电场强度4kV/m和磁感应强度100 μ T的评价标准。类比广州市内已运行的500kV木棉变电站工程，变电站外5m处至50m处的工频磁感应强度为0.44~0.13 μ T，均小于0.1mT的限值。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于500kV海底电缆，在距离电缆线20m外，磁感应强度已降在10 μ T以下。

4.2.2.6 运营期污染物排放汇总

运营期污染物排放量见表 4.2-7。

表 4.2-7 运营期主要污染物产生情况一览表

环境要素	污染源	主要污染物	污染源强	排放/处理方式
水环境	运维船舶生活污水	水量	2.7t/a	利用船载生活污水收集装置收集，船舶靠岸后送至岸上并排入接收设施，交由有处置能力的船舶污染物接收单位接收处理
		COD	0.81kg/a	
		BOD ₅	0.54kg/a	
		SS	0.594kg/a	
		氨氮	0.135kg/a	
	运维船舶含油污水	水量	1.68t/aa	统一收集至运维船上，待船舶靠岸后交由有能力的单位接收处理
		石油类	16.8kg//a	
声环境	风机运转	噪声	110dB（a）	自然排放
	海上升压站	噪声	50dB（a）	
大气环境	运维船舶废气	SO ₂ 、NO _x 、CO、THC、烟尘	少量	采用低含硫燃油，废气自然扩散
固体废物	运行维护生活垃圾	生活垃圾	60kg/a	由运维船收集上岸，交由船舶污染物接收单位统一处理

环境要素	污染源	主要污染物	污染源强	排放/处理方式
	运行维护一般固体废物	废零部件	0.5t/a	由运维船收集上岸，外卖资源回收公司综合利用
		废包装袋（箱）	0.05t/a	
	运行维护危险废物	废润滑油	0.18t/a	分类集中收集后直接由运维船舶带回岸上，暂存至项目陆上集控中心危废间，委托有危废处置资质单位定期清运处理。
		废变压器油	0.251t/a	
		废油桶	0.03t/a	
		废铅蓄电池	1.2t/a	
		废含油抹布及手套	0.01t/a	
电磁环境	风电机组、海上升压站、66kV 集电海缆、500kV 海缆线路	工频电场强度	远低于 4kV/m 控制限值	自然排放
		工频磁场强度	远低于 100 μ T 控制限值	

4.3 工程各阶段生态影响分析

4.3.1 施工期生态影响

4.3.1.1 海洋生态影响

（1）对底栖生物的影响

桩基施工扰动海域、海缆采用专业海底电缆敷设船进行深埋敷设，均会对底栖生物群落的栖息环境产生破坏作用，造成一定程度生物量损失。本项目与黄茅海航道交越，登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上，为保护黄茅海航道和珠海十字沥至电厂段海堤，采用定向钻施工，不会破损底栖生物生境。

（2）对浮游生物、游泳生物的影响

项目施工对浮游生物和游泳生物的影响主要来自两方面：一是桩基施工、海缆敷设扰动海床搅起的悬浮沙影响；二是打桩、吊装等作业噪声污染影响。

从施工悬浮沙影响来看，施工过程产生的悬浮物会引起局部海域水体浑浊，这将降低阳光的透射率，从而导致局部海域内海洋初级生产力下降，浮游生物将受到不同程度的影响，尤其是对进行光合作用的浮游植物和滤食性浮游动物的影响较大。此外，海域水体混浊水质下降，也会对渔业资源造成一定的影响。

从施工噪声影响来看，海上风机、升压站施工会增加作业海域水上、水下噪声，尤其是打桩阶段的高强噪声，会对石首科鱼类等噪声敏感生物的生存活动产生影响，海上作业期间会导致游泳生物迁移或受损。

4.3.1.2 鸟类资源影响

项目施工期间对鸟类的影响主要来自两方面：一方面是施工噪声、光照对鸟类的直接影响，包括海上船舶通航、风机及升压站安装时的施工噪声、灯光污染对海面上觅食、迁飞鸟类的影响；另一方面是施工悬浮沙导致游泳生物资源量的减少和栖息场所的改变，间接引起的鸟类觅食活动范围的变化。

4.3.2 运营期生态影响

4.3.2.1 对海域水动力环境影响

本项目风电场建成后，风机和海上升压站的四桩导管架基础竖立在海面，形成阻水结构，对水动力流场造成影响。由于风机桩基桩径有限，占海面积很小，桩基群排间距和列间距均较大，因此工程建设对涨、落潮流场的影响主要集中在桩基周边水域，尤其是风机桩基础周围的流速可能发生一定变化，但不会对场址周边区域外围海洋水动力产生较大影响。

4.3.2.2 对地形地貌和冲淤环境影响

工程在场址海域呈点状分布，风机之间的间距较大，受基础钢结构阻水，潮流经过桩基时将发生绕流现象，桩基周围流场的局部变化可能导致桩基周边局部冲刷和淤积。

4.3.2.3 对海洋生态环境影响

（1）对底栖生物的影响

工程风电场风机、海上升压站采用四桩导管架基础，将对桩基占用海域的底栖生物造成永久性影响；海缆铺设后自然回淤，工程完工后一段时间内海床即可恢复，形成底栖生物新的栖息生境，不会对底栖生物生境造成永久性侵占，但在施工期存在影响。

本工程风机、海上升压站基础采用预留冲刷深度的方式控制冲刷影响，不采用砂被及沙袋冲刷复合保护，不会对底栖生物造成永久性影响。

（2）对浮游生物、游泳生物的影响

项目运行阶段对渔业资源的影响主要是桩基永久占用海域对浮游生物、游泳生物栖息地的侵占，以及机组运行噪声对浮游生物、游泳生物生存活动的影响。

风机、海上升压站基础建设将直接侵占该范围内浮游生物、游泳生物生存活动空间，但基础建成后，钢结构表面可能逐渐附着小型藻类，形成浮游生物、游泳生物新的觅食场所。此外，风电机组运行的低频噪声处在大多数游泳生物能够探测的频段范围内，风机运行噪声将使游泳生物产生趋避，主动逃离，对游泳生物生存

活动影响不大。

4.3.2.4 鸟类资源影响

风电场运行可能会对鸟类在海面上觅食、迁飞行为产生不利影响，表现为：风机运行噪声、叶片反射光、警示灯将会使鸟类产生回避效应，影响其个体信息交流，并可能导致其改变迁徙路线，风机建设运行还可能导致飞行鸟类碰撞致死等，这些都会对鸟类栖息活动范围产生负面影响。

5 区域自然环境概况

5.1 气象气候

本项目地处广东省沿海西部，处于北回归线以南，属于热带至亚热带的过渡气候带。由于受东亚季风影响，本地区气候有较强的季风性和较明显的海洋性，具有气候温和、阳光充足、雨量丰沛和受季风交替影响等特征。温、光、水资源均较丰富，气候条件优越，灾害性天气（热带气旋、干旱、暴雨、风暴潮等）影响较频繁。

5.1.1 气温

根据高栏海洋站 2021 年 1 月~2022 年 12 月每日 4 次的气温数据进行统计，得到海上风电场及其路由海域附近各月的最高、最低和平均气温状况，如表 5.1-1 所示。由表可见：海上风电场年平均气温为 23.7℃，年最高气温达 35.1℃，出现在 9 月，年最低气温为 6.4℃，出现在 1 月、2 月。5 月~10 月是路由区较热的月份，月平均气温均高于 25.0℃；2 月是路由区最冷的月份，月平均气温为 16.6℃。气温的年较差，即最热月与最冷月平均气温的差值，为 12.9℃。3~6 月气温持续上升，每月升温接近 3℃；8 月以后气温逐月下降，以 10~12 月降幅最大，最大降幅达到 5.7℃。

表 5.1-1 各月平均气温统计（单位：℃）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均气温	16.7	16.6	21.3	23.3	26.5	28.3	29.5	28.6	29.3	25.5	22.5	16.8	23.7
最高	23.3	24.2	27.7	28.8	31.1	32.3	34.3	34.5	35.1	32.2	28.5	25.2	35.1
最低	6.4	6.4	14.9	13.2	15.7	24	24.4	23.8	23.6	16.4	14.4	8.6	6.4

5.1.2 降水

海上风电场海域受海洋暖湿气流影响，具有相对充足的水汽来源和水汽输送条件，降水主要来自季风、热带气旋和热带辐合等多种系统形成的降水条件，年降水量较丰富。根据高栏海洋站 2021 年~2022 年的日降水资料统计（见表 5.1-2），本海域各月均有降水，年平均降水量为 1765.9mm。

降水量的季节变化非常明显，夏季降水量多，冬季降水量少。每年 5 月~10 月为雨季，月平均降水量为 246.7mm，集中了全年 80%以上的降水量，其中 5 月降水量最大，为 318.2mm。11 月至翌年 4 月为旱季，降水量不到全年的 20%，1 月降水量最少，仅为 13.8mm。

年平均降水日数为 117 天，每年 5 月~10 月降水日均超过 10 天，其中 8 月降水日最多，为 21 天，5 月、6 月次之，为 14 天，12 月至翌年 4 月降水日较少，其中 1

月降水日最少，为 3 天。

表 5.1-2 项目所在海域降水量统计

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
月平均降水量(mm)	13.8	107.5	42.7	18.7	317.9	260.3	200.3	281.9	174.4	244.8	77.5	25.5	1765.0
日最高降水量(mm)	18.9	53.3	49.5	21.1	148.0	168.1	75.3	45.5	159.2	151.0	28.6	9.6	168.1
月平均降水日数*	3	6	6	6	14	14	13	21	12	10	9	6	117

*注：R>0.1 mm 才认为降水

5.1.3 相对湿度

根据高栏海洋站 2021 年 1 月~2022 年 12 月的相对湿度数据，得到海上风电场及其路由海域附近各月的最大、最小和平均相对湿度，在该地区每月的历年最大湿度均为 100%，最小和平均相对湿度如表 5.1-3 所示。

表 5.1-3 项目所在海域相对湿度统计 (%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
月平均	69	82	88	88	90	88	83	86	76	71	74	63	80
最低	18	37	30	20	38	61	54	55	36	28	28	17	17

5.1.4 气压

根据高栏海洋站 2021 年 1 月~2022 年 12 月每日 4 次的气压数据统计分析，得到海上风电场及其路由海域附近历年各月的最高、最低和平均气压状况，详见表 5.1-4。

表 5.1-4 气压统计 (单位：HPa)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均	1018.8	1017.4	1013.8	1012.8	1008.5	1004.8	1004.1	1005.3	1007.9	1012.2	1014.7	1019.4	1011.6
最高	1027.3	1028.6	1024.4	1024.5	1016.9	1010.6	1011.8	1013.1	1014.4	1021.1	1022.2	1028.5	1028.6
最低	1010.2	1007.1	1003.6	1003.8	1000.7	999.0	991.8	993.8	999.6	994.9	1004.4	1010.9	991.8

5.1.5 风况

根据高栏海洋站 2021 年~2022 年的风速风向资料统计分析得到工程区附近各月最多风向及频率、各月平均风速和最大风速、各向平均风速和最大风速及频率、历年各月大风平均日数等，结果见表 5.1-5。

由表 5.1-5a 可知：工程区 10 月至次年 2 月盛行风向为 N，3 月~5 月、7 月、9 月盛行风向为 S，6 月盛行风向为 SSW，8 月盛行风向为 SSE。

由表 5.1-5b 可知：工程区附近累年平均风速 2.4m/s，平均风速的季节变化不明显，总体来说秋、冬季风速略大；12 月月平均风速最大，为 3.2m/s，其次是 10 月，月平均风速为 2.8 m/s，9 月月平均风速最低，为 1.8m/s；多年最大风速为 16.0 m/s，

极大风速为 26.3m/s，发生在 2022 年 8 月 25 日，此时 2022 年 9 号台风“马鞍”影响工程区。

由表 5.1-5c 可知：项目区域的常风向是 N，其出现频率为 20.8%，其次为 S，其出现频率为 18.4%，ENE、E 和 NE 的出现频率均小于 2%。强风向为 SSE，平均风速为 2.8m/s，相应玫瑰图见图 5.1-1。

该海域大于等于 8 级风（瞬时风速 ≥ 17.2 m/s）的年均大风日数为 21.0d，10 月份最多，多年平均日数为 5.5d，大于等于 6 级风（瞬时风速 ≥ 10.8 m/s）的年均大风日数为 116.5d，表 5.1-5d。

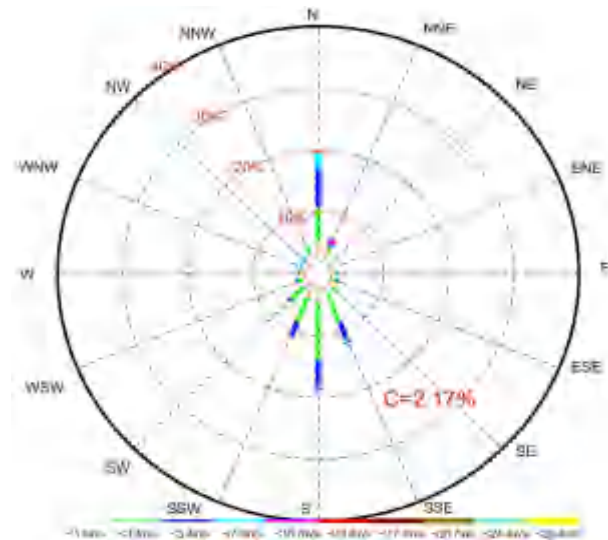


图 5.1-1 项目所在海域风玫瑰图（C 表示静风频率）

表 5.1-5a 高栏海洋站各月最多风向及频率（%）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
多向	N	N	S	S	S	SSW	S	SSE	S	N	N	N	N
频率	32.4	32.0	26.2	32.2	25.1	25.1	20.4	15.5	17.2	35.2	31.5	59.9	20.84

表 5.1-5b 高栏海洋站各月平均、最大风速（m/s）及对应方向（°）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均	2.2	2.6	2.0	2.3	2.6	2.6	2.7	2.1	1.8	2.8	2.3	3.2	2.4
最大	12.1	12.9	11.1	8.7	9.5	10.7	15.8	16.0	9.0	13.9	14.3	13.2	16.0
风向	11	13	12	12	9	337	151	153	153	154	12	14	153
极大	21.5	21.5	19.0	15.1	16.7	21.3	25.0	26.3	16.6	23.7	22.8	23.6	26.3
风向	0	13	9	147	2	337	169	164	170	178	8	15	164

表 5.1-5c 高栏海洋站各风向年平均、最大风速（m/s）与频率（%）

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
频率	20.8	5.6	1.3	1.1	1.7	2.5	3.2	11.8	18.4	10.7	6.2	2.7	2.3	2.2	2.5	4.6
平均	3.5	2.7	0.7	0.8	1.1	1.5	1.4	2.8	2.6	2.4	2.2	1.6	1.4	1.5	1.4	1.8
最大	12.2	14.3	2.3	2.5	3.7	4.9	6.8	16.0	10.9	8.8	8.0	6.4	6.8	7.2	6.9	10.7

表 5.1-5d 高栏海洋站历年各月 ≥ 6 级和 ≥ 8 级大风平均日数（单位：天）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
大于 6 级风天数	10.5	12.0	7.5	7.5	4.5	7.5	6.5	7.5	7.0	19.0	9.0	18.0	116.5
大于 8 级风天数	1.0	2.5	1.5	0.0	0.0	0.5	1.5	1.5	0.0	5.5	3.0	4.0	21.0

5.2 水文动力环境调查

5.2.1 潮汐及水位

(1) 潮汐

此海区的潮汐是由南海潮波系统在珠江口复杂的海岸轮廓和海底地形影响下形成的，主要特征是既受天文潮所制约，又具有河口潮汐的特点。根据高栏海洋站 20 年 1 月~2022 年 12 月连续的逐时潮位观测资料（1985 国家高程系）对路由区的潮汐特征进行统计分析，结果见表 5.2-1。

本海湾潮汐系数为 1.45，属于不规则半日潮型，即在一个太阳日内有两次高潮和两次低潮，而且相邻的高潮或低潮的潮位和潮时不相等。年平均高潮位为 127cm，10 月月平均高潮位最高，为 156cm；年平均低潮位为 4cm，5 月月平均低潮位最低，为 -7cm；多年最高潮位为 246cm，发生在 2021 年 10 月 13 日，多年最低潮位为 -95cm，发生在 2021 年 5 月 28 日；多年平均潮差为 123cm，各月月平均潮差相差不大，其中 4 月月平均潮差最大，为 130cm，1 月月平均潮差最小，均为 111cm；历年最大潮差为 306cm，发生在 2022 年 7 月 14 日。总体而言，本海区潮汐作用较弱，平均潮差小于 2.0m，属于弱潮海区。从平均涨、落潮历时看，涨潮历时大于落潮历时。

表 5.2-1 高栏海洋站潮汐特征统计（潮位单位：cm，时间单位：H）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均潮位	64	65	60	64	59	57	60	60	73	95	77	76	67
最高潮位	220	218	181	193	208	208	243	244	201	246	211	222	246
最低潮位	-86	-69	-85	-70	-95	-88	-85	-80	-51	-40	-88	-82	-95
平均高潮位	117	123	120	127	122	115	115	121	136	156	139	134	127
平均低潮位	6	4	-5	-3	-7	-5	-1	-2	9	29	11	14	4
平均潮差	111	118	124	130	129	121	116	124	128	127	129	119	123
最大潮差	296	263	256	263	288	294	306	295	241	228	289	293	306
平均涨潮历时	6.78	7.13	6.64	7.06	6.97	6.72	6.30	6.50	6.77	7.56	7.60	7.62	6.99
平均落潮历时	6.28	6.64	6.83	6.92	6.99	6.70	7.02	7.09	7.04	6.55	6.73	6.27	6.75

(2) 基面关系

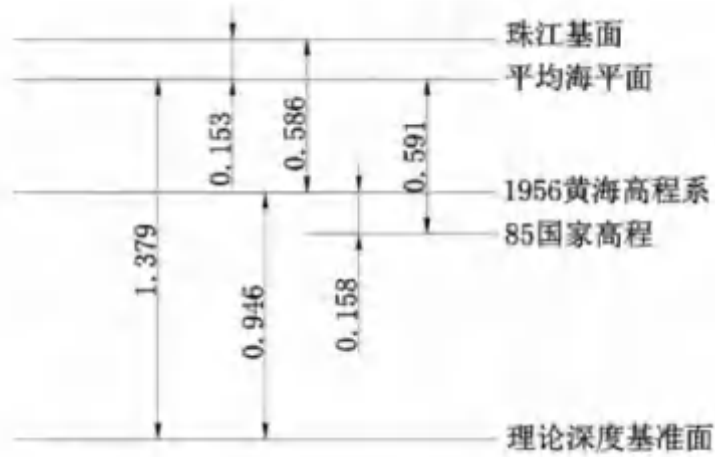


图 5.2-1 基面转换关系（单位：m）

5.2.2 波浪

波浪采用大万山海洋站（21°56.0'N，113°43.0'E）2020 年 1 月～2022 年 12 月实测资料进行分析。

（1）波浪类型

传统波浪类型分风浪、涌浪、混合浪，统计结果显示，大万山海域主要受外海传入的涌浪影响，涌浪为主的混合浪频率达 88.5%，风浪主的混合浪频率为 6.6%，风涌并存的混合浪频率为 4.9%。

（2）波高与波周期特征

本海区年平均 $H_{1/10}$ 为 1.3m，基本上秋冬季波高大于春夏季波高，12 月平均波高最大，为 1.4m，9 月平均波高最小，为 0.9m。历年最大波高为 4.5m，波向为 247°，发生在 2020 年 8 月 1 日，此时台风“森拉克”影响工程区。

年平均周期为 5.3s，平均周期的季节变化较小，10 月月平均 $T_{1/10}$ 最大，为 5.8s，9 月月平均 $T_{1/10}$ 最小，为 4.9s。

表 5.2-2 大万山海洋站波浪统计特征（单位：m）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
最大 h_{max}	2.6	2.8	2.4	2.5	2.4	4.4	4.4	4.9	2.5	4.6	3.6	2.6	4.9
平均 h_{max}	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.8	1.2	2.0	1.6	1.7	1.6
最大 $H_{1/10}$	2.0	2.4	2.0	2.0	2.0	3.4	3.2	3.7	2.0	3.2	2.9	2.2	3.7
平均 $H_{1/10}$	1.1	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.4	0.9	1.6	1.3	1.4	1.3
平均 $T_{1/10}$	5.6	5.5	5.2	5.2	5.1	5.4	5.2	5.5	4.9	5.8	5.2	5.3	5.3

（3）波向

波向表征波动传播方向，以全年资料分 16 个方位进行波向统计。公式为 $P=i/N \times 100\%$ 。其中 P 为每一方向波浪出现频率；i 为每一方向波浪出现次数，N 为统计资

料总次数。对各个方向 $H_{1/10}$ 平均值和最大值进行统计，统计结果见表 5.2-3。波浪玫瑰图，见图 5.2-2。

由图表可见，波浪观测站全年波向主要集中在 ESE、SE 和 SW 三个方向，分布频率分别为 7.4%、55.8%和 13.3%；路由海区常浪向为 SE 向，次常浪向为 SW 向；强浪向为 WSW 向。

表 5.2-3 大万山海洋站波向频率统计（单位：%）

方向 月份	N	NN E	NE	EN E	E	ES E	SE	SS E	S	SS W	SW	WS W	W	WN W	N W	NN W
1	3.2	0.6	1.7	4.3	8.8	26.2	49.2	2.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	1.1
2	4.9	1.1	0.8	2.7	4.9	25.2	55.8	3.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
3	2.2	0.0	0.0	1.7	1.1	9.4	81.3	0.6	2.8	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.6	0.0	0.0	0.8	2.5	13.6	80.8	0.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.1	0.0	0.0	0.0	1.1	2.4	66.9	0.5	7.3	2.2	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.9	0.2	0.5	0.9	1.4	0.7	25.9	6.4	6.7	9.2	44.0	1.6	0.5	0.5	0.5	0.2
7	2.0	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8	25.0	3.2	6.2	4.4	43.3	3.6	1.8	2.0	3.0	0.8
8	2.6	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	36.1	13.5	8.4	6.5	21.7	0.9	1.9	1.3	2.8	2.6
9	0.9	0.5	0.9	3.1	0.9	5.0	49.8	12.1	5.9	1.7	14.5	1.2	1.4	0.9	1.2	0.0
10	7.9	1.1	0.0	1.1	4.0	3.8	62.9	12.6	0.9	0.4	2.9	0.0	0.2	0.7	1.3	0.2
11	5.4	0.3	0.3	0.8	1.6	1.9	83.2	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
12	22.0	0.3	0.0	0.3	0.3	1.6	75.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
全年	4.3	0.5	0.5	1.5	2.4	7.4	55.8	5.5	3.5	2.2	13.3	0.7	0.5	0.5	1.0	0.5
最大 $h_{m_{ax}}$	3.6	4.0	2.8	3.6	3.8	3.8	4.6	4.4	3.8	2.9	3.7	4.9	3.8	2.5	4.2	4.3
平均 $H_{1/10}$	1.7	1.4	1.1	1.2	1.4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.0	1.1	1.4

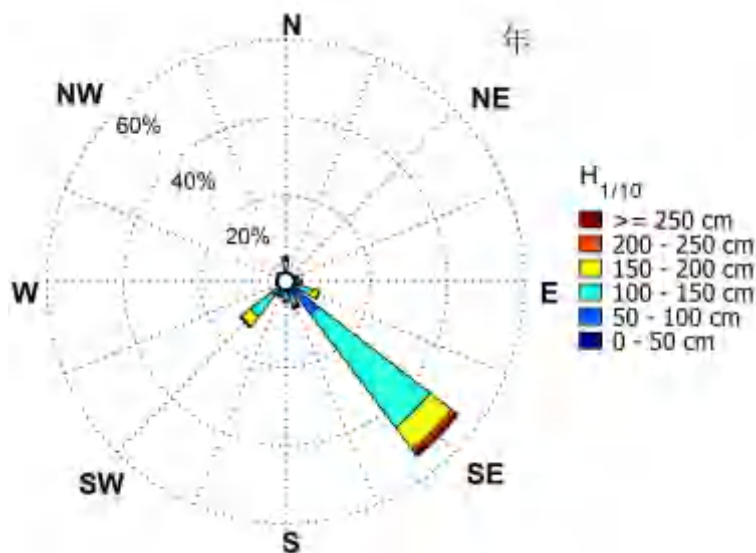


图 5.2-2 大万山站波浪玫瑰图

5.2.3 海流

项目海流资料采用《珠海高栏一海上风电项目冬季全潮水文观测成果报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024 年 3 月）的内容。

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司对项目海域海流开展了大潮

期、中潮期、小潮期共三次调查，其中大潮观测日期为 2023 年 12 月 28 日至 29 日（农历冬月十六至十七），中潮观测日期为 2023 年 12 月 31 日至 2024 年 1 月 1 日（农历冬月十九至二十），小潮观测日期为 2024 年 1 月 3 日至 4 日（农历冬月二十二至二十三）。

（1）站位布设

共布设 9 条海流观测垂线（编号 A1~A9）。各观测垂线位置见图 5.2-3，各站位坐标见表 5.2-4。

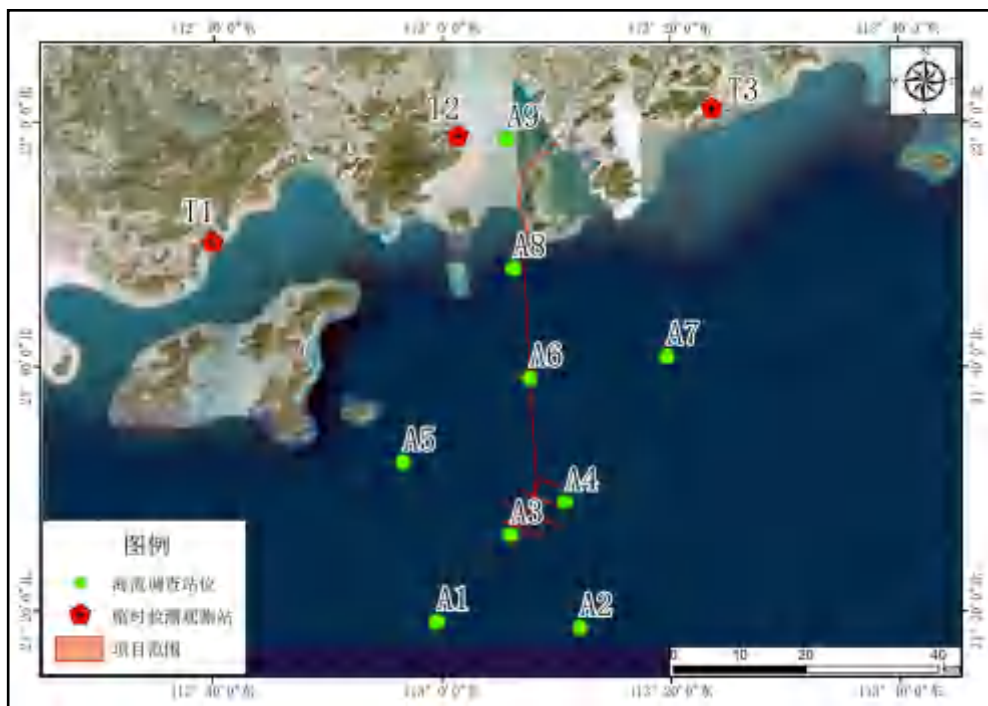


图 5.2-3 观测站位分布图

表 5.2-4a 观测站位坐标一览表

垂线	2000 国家大地坐标系	
	纬度	经度
A1	21°19.205'N	112°59.581'E
A2	21°18.744'N	113°12.064'E
A3	21°26.341'N	113°06.008'E
A4	21°28.986'N	113°10.787'E
A5	21°32.244'N	112°56.614'E
A6	21°39.139'N	113°07.697'E
A7	21°40.901'N	113°19.686'E
A8	21°48.095'N	113°06.255'E
A9	21°58.646'N	113°05.678'E

表 5.2-4b 潮位观测站位坐标一览表

潮位观测站	2000 国家大地坐标系		备注
	纬度	经度	
T1	21°50.734'N	113°40.464'E	深水湾
T2	21°59.267'N	113°01.373'E	钥匙头码头
T3	22°02.895'N	113°24.125'E	珠海机场

(2) 潮汐

1) 大潮期

大潮期潮位观测时间为 2023 年 12 月 28 日 10 时~2023 年 12 月 29 日 12 时，选取整点时刻的潮位数据进行分析，其中秋季潮位观测最高潮时刻为 2023 年 12 月 28 日 22:00，最底潮时刻为 2023 年 12 月 29 日 6:00，如图 5.2-4a 示。

2) 中潮期

中潮期潮位观测时间为 2023 年 12 月 31 日 12 时~2024 年 1 月 1 日 14 时，选取整点时刻的潮位数据进行分析，其中秋季潮位观测最高潮时刻为 2024 年 1 月 1 日 0:00，最底潮时刻为 2024 年 1 月 1 日 8:00，如图 5.2-4b 示。

3) 小潮期

小潮期潮位观测时间为 2024 年 1 月 3 日 8 时~2024 年 1 月 4 日 10 时，选取整点时刻的潮位数据进行分析，其中秋季潮位观测最高潮时刻为 2024 年 1 月 3 日 14:00、2024 年 1 月 4 日 1:00，最底潮时刻为 2024 年 1 月 3 日 8:00、2024 年 1 月 3 日 21:00、2024 年 1 月 4 日 9:00，如图 5.2-4c 示。

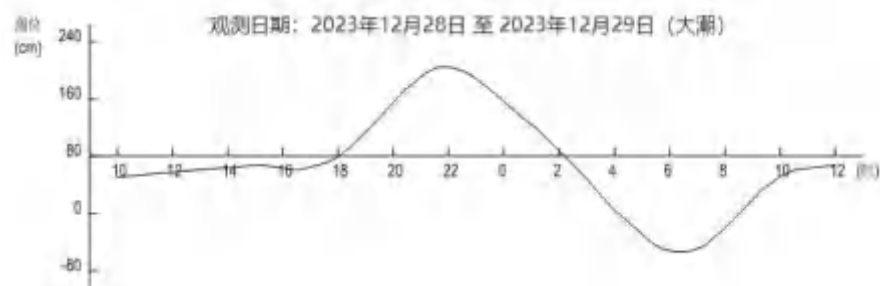


图 5.2-4a 潮位变化曲线（大潮期）

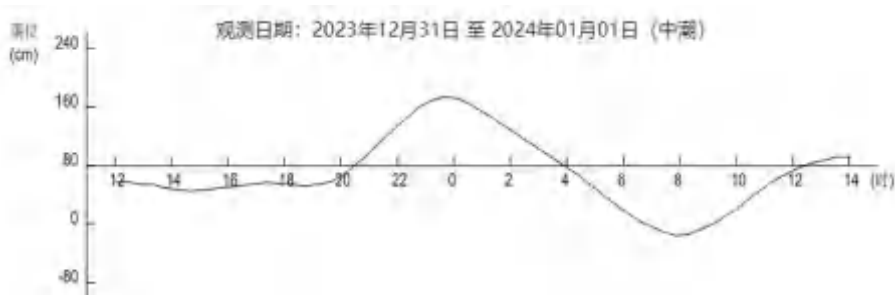


图 5.2-4b 潮位变化曲线（中潮期）



图 5.2-4c 潮位变化曲线（小潮期）

（3）垂线平均流速及其流向

1) 大潮期

大潮期涨潮流时，A1 垂线平均流速介于 7cm/s~31cm/s，平均值为 19.5cm/s，垂线平均流向介于 198°~307°；A2 垂线平均流速介于 7cm/s~33cm/s，平均值为 21.9cm/s，垂线平均流向介于 175°~316°；A3 垂线平均流速介于 6cm/s~28cm/s，平均值为 17.2cm/s，垂线平均流向介于 184°~281°；A4 垂线平均流速介于 13cm/s~30cm/s，平均值为 20.3cm/s，垂线平均流向介于 207°~279°；A5 垂线平均流速介于 4cm/s~31cm/s，平均值为 15.2cm/s，垂线平均流向介于 186°~323°；A6 垂线平均流速介于 2cm/s~23cm/s，平均值为 12.2cm/s，垂线平均流向介于 252°~305°；A7 垂线平均流速介于 3cm/s~28cm/s，平均值为 17.2cm/s，垂线平均流向介于 242°~311°；A8 垂线平均流速介于 3cm/s~23cm/s，平均值为 9.9cm/s，垂线平均流向介于 9°~351°；A9 垂线平均流速介于 1cm/s~57cm/s，平均值为 27.7cm/s，垂线平均流向介于 2°~321°。

大潮期落潮时，A1 垂线平均流速介于 7cm/s~26cm/s，平均值为 16.9cm/s，垂线平均流向介于 142°~307°；A2 垂线平均流速介于 10cm/s~28cm/s，平均值为 17.8cm/s，垂线平均流向介于 125°~324°；A3 垂线平均流速介于 8cm/s~22cm/s，平均值为 14.7cm/s，垂线平均流向介于 128°~262°；A4 垂线平均流速介于 13cm/s~30cm/s，平均值为 19.8cm/s，垂线平均流向介于 156°~248°，平均值为 181°；A5 垂线平均流速介于 4cm/s~10cm/s，平均值为 6.8cm/s，垂线平均流向介于 79°~275°；A6 垂线平均流速介于 2cm/s~23cm/s，平均值为 12.2cm/s，垂线平均流向介于 75°~296°；A7 垂线平均流速介于 3cm/s~18cm/s，平均值为 11.2cm/s，垂线平均流向介于 15°~311°；A8 垂线平均流速介于 7cm/s~38cm/s，平均值为 24.8cm/s，垂线平均流向介于 63°~136°；A9 垂线平均流速介于 17cm/s~70cm/s，平均值为 44cm/s，垂线平均流向介于 20°~198°。

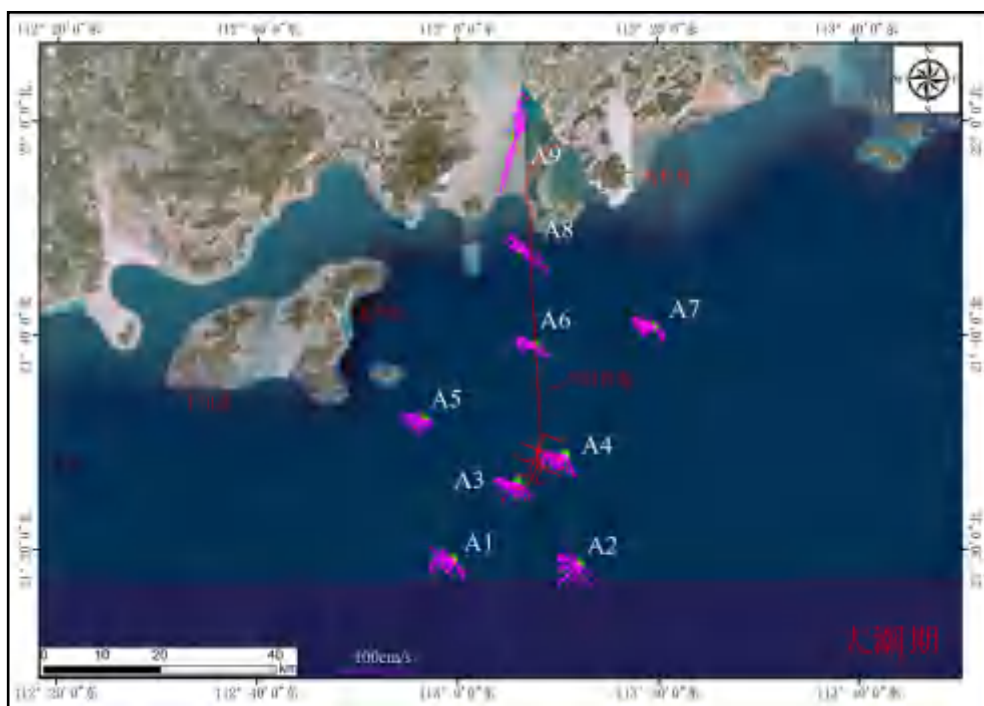


图 5.2-5a 海流矢量图（大潮、垂线平均）

2) 中潮期

中潮期涨潮流时，A1 垂线平均流速介于 7cm/s~29cm/s，平均值为 16.5cm/s，垂线平均流向介于 3°~356°；A2 垂线平均流速介于 4cm/s~41cm/s，平均值为 17.2cm/s，垂线平均流向介于 3°~358°；A3 垂线平均流速介于 1cm/s~39cm/s，平均值为 16.5cm/s，垂线平均流向介于 30°~354°；A4 垂线平均流速介于 2cm/s~47cm/s，平均值为 19.2cm/s，垂线平均流向介于 8°~345°；A5 垂线平均流速介于 2cm/s~37cm/s，平均值为 18.0cm/s，垂线平均流向介于 63°~334°；A6 垂线平均流速介于 6cm/s~33cm/s，平均值为 16.4cm/s，垂线平均流向介于 2°~339°；A7 垂线平均流速介于 6cm/s~32cm/s，平均值为 17.8cm/s，垂线平均流向介于 14°~322°；A8 垂线平均流速介于 5cm/s~49cm/s，平均值为 21.3cm/s，垂线平均流向介于 54°~356°；A9 垂线平均流速介于 2cm/s~54cm/s，平均值为 24.6cm/s，垂线平均流向介于 0°~329°。

中潮期落潮流时，A1 垂线平均流速介于 11cm/s~36cm/s，平均值为 23.4cm/s，垂线平均流向介于 3°~288°；A2 垂线平均流速介于 13cm/s~26cm/s，平均值为 19.1cm/s，垂线平均流向介于 4°~234°；A3 垂线平均流速介于 1cm/s~21cm/s，平均值为 13.6cm/s，垂线平均流向介于 109°~237°；A4 垂线平均流速介于 5cm/s~26cm/s，平均值为 15.1cm/s，垂线平均流向介于 17°~211°；A5 垂线平均流速介于 5cm/s~25cm/s，平均值为 11.7cm/s，垂线平均流向介于 63°~204°；A6 垂线平均流速介于 8cm/s~17cm/s，平均值为 11.6cm/s，垂线平均流向介于 34°~273°；A7 垂线平均流速介于 6cm/s~

s~22cm/s，平均值为 14.0cm/s，垂线平均流向介于 14° ~ 124° ；A8 垂线平均流速介于 8cm/s~25cm/s，平均值为 19.2cm/s，垂线平均流向介于 74° ~ 245° ；A9 垂线平均流速介于 5cm/s~55cm/s，平均值为 36.7cm/s，垂线平均流向介于 13° ~ 199° 。

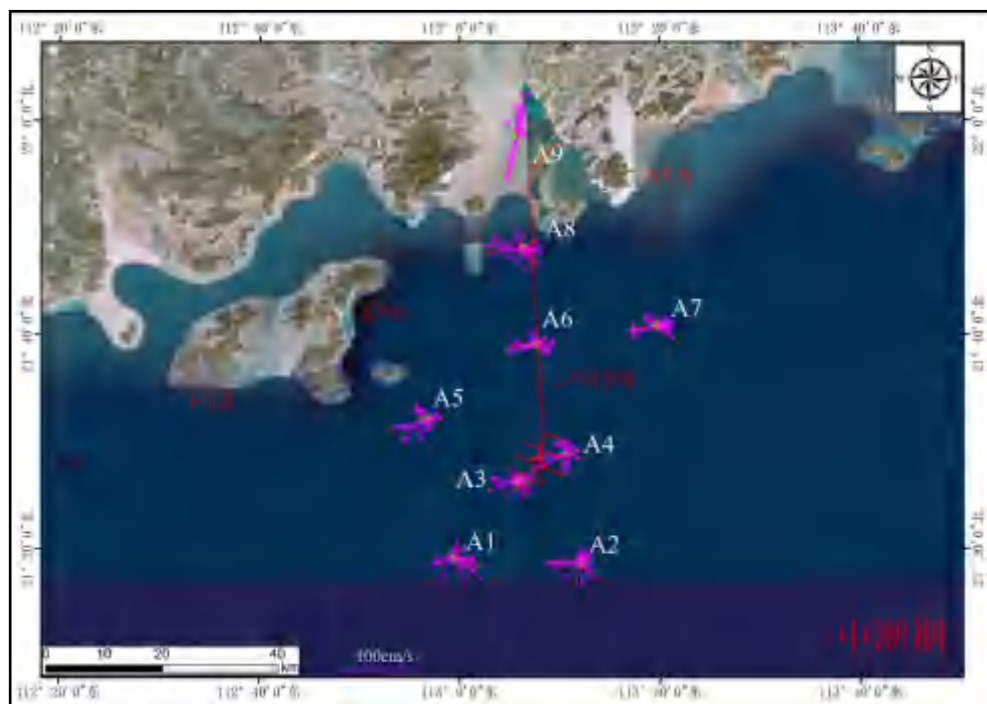


图 5.2-5b 海流矢量图（中潮、垂线平均）

3) 小潮期

小潮期涨潮流时，A1 垂线平均流速介于 7cm/s~23cm/s，平均值为 13.6cm/s，垂线平均流向介于 119° ~ 276° ；A2 垂线平均流速介于 8cm/s~14cm/s，平均值为 11.0cm/s，垂线平均流向介于 121° ~ 303° ；A3 垂线平均流速介于 2cm/s~13cm/s，平均值为 7.1cm/s，垂线平均流向介于 24° ~ 327° ；A4 垂线平均流速介于 2cm/s~15cm/s，平均值为 10.2cm/s，垂线平均流向介于 204° ~ 267° ；A5 垂线平均流速介于 7cm/s~18cm/s，平均值为 13.0cm/s，垂线平均流向介于 147° ~ 257° ；A6 垂线平均流速介于 5cm/s~16cm/s，平均值为 11.7cm/s，垂线平均流向介于 236° ~ 298° ；A7 垂线平均流速介于 3cm/s~18cm/s，平均值为 8.0cm/s，垂线平均流向介于 255° ~ 306° ；A8 垂线平均流速介于 2cm/s~24cm/s，平均值为 11.6cm/s，垂线平均流向介于 165° ~ 343° ；A9 垂线平均流速介于 8cm/s~38cm/s，平均值为 21.2cm/s，垂线平均流向介于 8° ~ 353° 。

小潮期落潮流时，A1 垂线平均流速介于 7cm/s~24cm/s，平均值为 16.5cm/s，垂线平均流向介于 98° ~ 239° ；A2 垂线平均流速介于 4cm/s~25cm/s，平均值为 15.1cm/s，垂线平均流向介于 121° ~ 301° ；A3 垂线平均流速介于 3cm/s~18cm/s，平均值为 9.3cm/s，垂线平均流向介于 87° ~ 267° ；A4 垂线平均流速介于 2cm/s~23cm/s，平均值

为 13.0cm/s，垂线平均流向介于 123°~256°；A5 垂线平均流速介于 8cm/s~25cm/s，平均值为 15.7cm/s，垂线平均流向介于 100°~257°；A6 垂线平均流速介于 5cm/s~26 cm/s，平均值为 13.0cm/s，垂线平均流向介于 146°~285°；A7 垂线平均流速介于 3cm/s~18cm/s，平均值为 10.4cm/s，垂线平均流向介于 83°~316°；A8 垂线平均流速介于 2cm/s~25cm/s，平均值为 12.1cm/s，垂线平均流向介于 132°~343°；A9 垂线平均流速介于 4cm/s~56cm/s，平均值为 27.0cm/s，垂线平均流向介于 30°~339°。

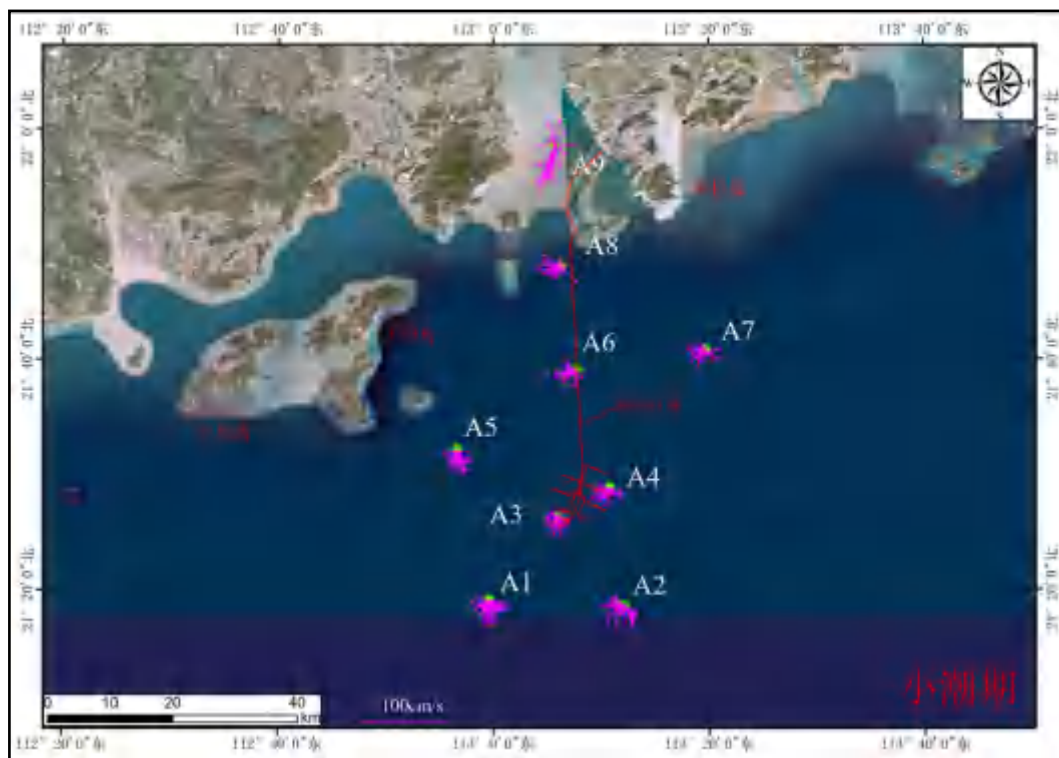


图 5.2-5c 海流矢量图（小潮、垂线平均）

表 5.2-5 观测海域垂线平均流速流向统计表

站位	大潮期		中潮期		小潮期	
	流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)
A1	19	241	19	133	15	180
A2	21	238	17	273	14	223
A3	17	238	16	256	9	209
A4	21	229	18	251	12	217
A5	13	263	16	242	15	174
A6	12	277	15	304	13	250
A7	16	268	17	289	10	244
A8	15	83	21	254	12	267
A9	32	359	28	341	25	197

表 5.2-6 各测站垂线平均流速流向最大值统计表

站位	大潮期		中潮期		小潮期	
	流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)
A1	31	250	36	128	24	192
A2	33	228	41	272	25	268
A3	28	277	39	257	18	199

站位	大潮期		中潮期		小潮期	
	流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)
A4	30	157	47	245	23	247
A5	31	287	37	255	25	173
A6	23	297	33	259	26	253
A7	28	291	32	248	18	239
A8	38	124	49	277	25	266
A9	70	195	55	192	56	198

(4) 最大流速及其流向

根据各垂线各层次和垂线平均海流资料统计最大流速及其流向，结果见表 5.2-7。

表 5.2-7a 最大流速及其流向成果表（大潮，观测时间 2023 年 12 月 28 日~29 日）

垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层		垂线平均	
	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °
A1	38	252	32	304	31	299	35	254	33	245	36	172	31	250
A2	38	222	41	208	41	224	33	155	39	230	35	189	33	228
A3	29	223	33	276	28	223	34	293	28	271	24	264	28	277
A4	37	250	43	267	38	266	31	278	30	146	26	256	30	157
A5	32	270	33	287	36	283	33	288	26	304	23	291	31	287
A6	27	290	28	301	25	293	23	282	23	292	18	286	23	297
A7	32	284	36	292	30	290	28	304	21	291	20	126	28	291
A8	40	121	40	118	40	120	44	133	44	126	32	126	38	124
A9	73	195	67	193	74	193	70	196	68	196	66	197	70	195

表 5.2-7b 最大流速及其流向成果表（中潮，观测时间 2023 年 12 月 31 日~2024 年 1 月 1 日）

垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层		垂线平均	
	流速 cm/ s	流向 °	流速 cm/ s	流向 °	流速 cm/ s	流向 °	流速 cm/ s	流向 °	流速 cm/ s	流向 °	流速 cm/ s	流向 °	流速 cm/ s	流向 °
A1	36	243	36	108	33	265	39	131	41	140	43	144	36	128
A2	45	269	52	276	51	275	42	277	33	222	30	242	41	272
A3	44	259	46	256	50	267	42	267	27	234	29	229	39	257
A4	50	255	52	264	61	251	52	244	42	235	27	212	47	245
A5	44	242	43	253	38	250	40	249	37	215	32	205	37	255
A6	39	268	38	262	34	259	32	256	31	253	27	258	33	259
A7	37	246	36	256	33	252	33	257	32	246	25	285	32	248
A8	67	267	73	270	65	278	47	284	31	301	35	303	49	277
A9	67	11	60	13	61	190	61	182	59	191	54	190	55	192

表 5.2-7c 最大流速及其流向成果表（小潮，观测时间 2024 年 1 月 3 日~4 日）

垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层		垂线平均	
	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °
A1	32	195	22	270	28	159	26	176	26	173	26	173	24	192

垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层		垂线平均	
	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °	流速 cm/	流向 °
A2	31	251	30	198	24	195	27	247	33	282	31	152	25	268
A3	20	179	17	171	24	201	16	171	22	199	22	197	18	199
A4	24	232	27	240	28	251	22	251	22	183	21	240	23	247
A5	44	213	44	207	34	183	30	137	27	107	20	130	25	173
A6	28	261	30	231	29	251	28	262	27	257	19	261	26	253
A7	21	202	23	278	21	238	18	252	18	273	18	313	18	239
A8	37	185	40	268	35	299	28	359	27	6	24	7	25	266
A9	71	195	69	191	65	198	56	200	45	201	44	205	56	198

(5) 潮流的准调和分析

近岸带实测的海流包括由天体引力所产生的潮流以及主要由水文、气象条件所造成的非潮流（也称余流）两部分。潮流是海水受日、月等天体引潮力作用后产生的周期型水平流动。潮流分析的目的是根据海流周日观测资料，采用最小二乘法分离潮流和非潮流，同时算得潮流准调和常数，进而计算其潮流特征值，并判断海区的潮流性质。

潮流性质通常根据潮流判别系数 k 进行判别，判别标准如下：

当 $k \leq 0.5$ 时，潮流性质为规则半日潮流；

当 $0.5 < k \leq 2.0$ 时，潮流性质为不规则半日潮流；

当 $2.0 < k \leq 4.0$ 时，潮流性质为不规则全日潮流；

当 $k > 4.0$ 时，潮流性质为规则全日潮流。

$$k = \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$$

观测海域各垂线各层次 k 值在 0.62~1.19 之间，根据判别标准，各垂线均为不规则半日潮流。

(6) 可能最大流速流向

根据潮流准调和结果计算潮流可能最大流速，在计算潮流可能最大流速时采用以下公式：

对规则半日潮流海区按下式计算：

$$\bar{V}_{\max} = 1.295\bar{W}_{M2} - 1.245\bar{W}_{S2} - \bar{W}_{K1} + \bar{W}_{O1} - \bar{W}_{M4} + \bar{W}_{MS4}$$

对规则全日潮流海区按下式计算：

$$\bar{V}_{\max} = \bar{W}_{M2} - \bar{W}_{S2} - 1.600\bar{W}_{K1} - 1.950\bar{W}_{O1}$$

式中：

$\bar{V}_{\max}$ ——潮流的可能最大流速

$\bar{W}_{M2}$ ——主太阴半日分潮流的椭圆长半轴矢量

$\bar{W}_{S2}$ ——主太阳半日分潮流的椭圆长半轴矢量

$\bar{W}_{K1}$ ——太阴太阳赤纬日分潮流的椭圆长半轴矢量

$\bar{W}_{O1}$ ——主太阴日分潮流的椭圆长半轴矢量

$\bar{W}_{M4}$ ——太阴四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量

$\bar{W}_{MS4}$ ——太阴-太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量

观测海域 a1~a9 垂线均为不规则半日潮流。

潮流可能最大流速计算结果见表 5.2-8。

表 5.2-8 潮流可能最大流速计算结果表

垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层	
	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °
A1	53.7	113	43.1	122	42.1	122	43.8	115	38.8	104	38.7	121
A2	33.3	107	41.6	126	47.7	132	40.4	134	41.6	133	31.5	122
A3	36.9	107	39.3	111	35.9	115	43.4	117	34.8	118	31.1	112
A4	41.2	118	41.3	118	40.0	112	40.7	118	38.4	122	35.0	122
A5	36.6	94	32.7	139	26.8	113	33.8	89	33.9	101	20.3	104
A6	34.2	107	36.4	110	36.1	116	33.3	116	30.5	123	23.9	128
A7	41.1	100	40.3	96	35.1	115	36.2	125	32.5	116	34.1	118
A8	60.4	130	53.3	130	49.8	134	59.1	129	52.1	126	43.7	131
A9	108.5	191	103.9	190	103.4	190	99.4	189	97.3	189	88.3	188

(7) 余流

通过准调和计算各垂线余流，计算结果见表 5.2-9。根据余流结果绘制余流矢量图，见图 5.2-6。

表 5.2-9a 余流成果表（大潮，观测时间 2023 年 12 月 28 日~29 日）

潮次	垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层	
		流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °
大潮	A1	14.6	242	7.8	243	9.1	248	10.4	249	13.5	230	17.4	223
	A2	14.4	255	14.5	250	12.7	242	11.9	232	13.5	227	9.4	201
	A3	12.1	241	11.3	255	9.2	244	9.4	231	11.2	216	11.8	215
	A4	19.7	233	16.2	233	14.6	234	14.4	227	11.8	215	12.9	215
	A5	12.5	261	11.0	272	9.5	273	6.1	259	6.0	252	5.7	268
	A6	8.5	273	7.6	285	6.8	290	3.9	290	3.5	262	4.7	250
	A7	11.6	257	13.9	265	12.7	281	7.7	274	4.1	247	4.9	230
	A8	4.7	210	1.7	175	8.1	77	10.1	81	5.0	78	3.8	46
	A9	3.7	121	2.9	31	3.2	5	2.8	332	3.2	293	3.7	299

表 5.2-9b 余流成果表（中潮，观测时间 2023 年 12 月 31 日~2024 年 1 月 1 日）

潮次	垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层	
		流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °
中潮	A1	2.1	88	6.1	75	5.6	87	9.2	141	9.2	155	9.1	159
	A2	10.5	263	10.6	280	6.9	299	1.4	172	4.7	128	2.2	190
	A3	11.8	277	11.4	291	8.2	293	5.7	193	5.0	161	5.3	169
	A4	13.8	262	13.3	271	10.7	268	7.1	259	6.7	186	6.4	184
	A5	12.5	254	11.5	249	7.1	228	4.7	239	2.5	240	1.2	252
	A6	6.9	309	6.7	315	3.5	326	1.2	231	1.0	141	1.3	175
	A7	1.4	281	3.2	213	2.5	43	1.7	346	0.5	3	0.7	348
	A8	11.3	263	7.8	255	4.6	237	1.3	167	0.6	142	1.7	29
	A9	3.1	292	1.3	306	1.3	3	3.0	0	1.7	304	1.9	289

表 5.2-9c 余流成果表（小潮，观测时间 2024 年 1 月 3 日~2024 年 1 月 4 日）

潮次	垂线	表层		0.2H 层		0.4H 层		0.6H 层		0.8H 层		底层	
		流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °	流速 cm/s	流向 °
小潮	A1	13.9	182	8.1	161	11.8	176	10.8	174	10.3	183	9.2	192
	A2	8.8	221	9.6	221	8.7	224	6.9	223	4.1	224	6.0	193
	A3	7.6	193	3.4	228	3.6	184	4.1	211	3.1	199	4.4	195
	A4	12.0	208	9.9	214	7.9	207	8.8	219	8.5	209	7.4	212
	A5	29.7	201	24.3	201	14	185	11.6	130	10.5	110	8.1	102
	A6	13.7	237	12.8	243	11.7	247	10.1	254	8.4	258	6.8	256
	A7	5.7	227	6.5	232	6.2	239	4.2	243	4.4	258	2.9	277
	A8	21.7	236	22.0	242	15.9	259	8.4	329	7.7	18	5.1	19
	A9	19.3	196	18.1	194	16.3	197	13.3	204	8.2	204	7.0	200

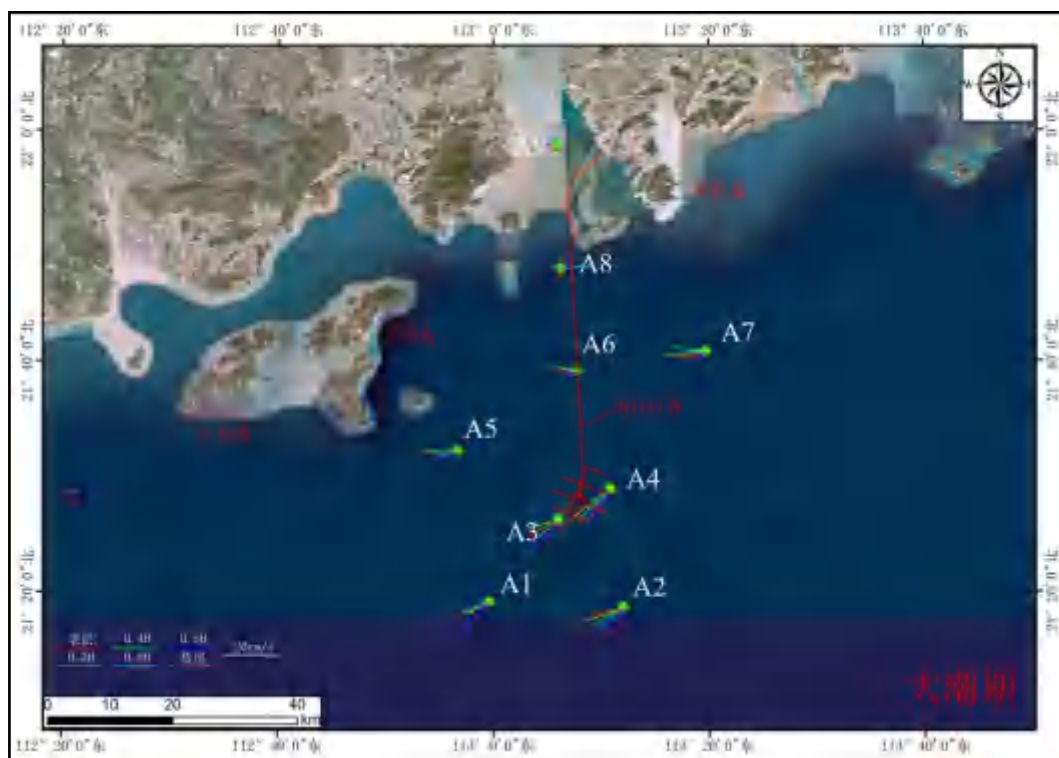


图 5.2-6a 余流矢量图（大潮）

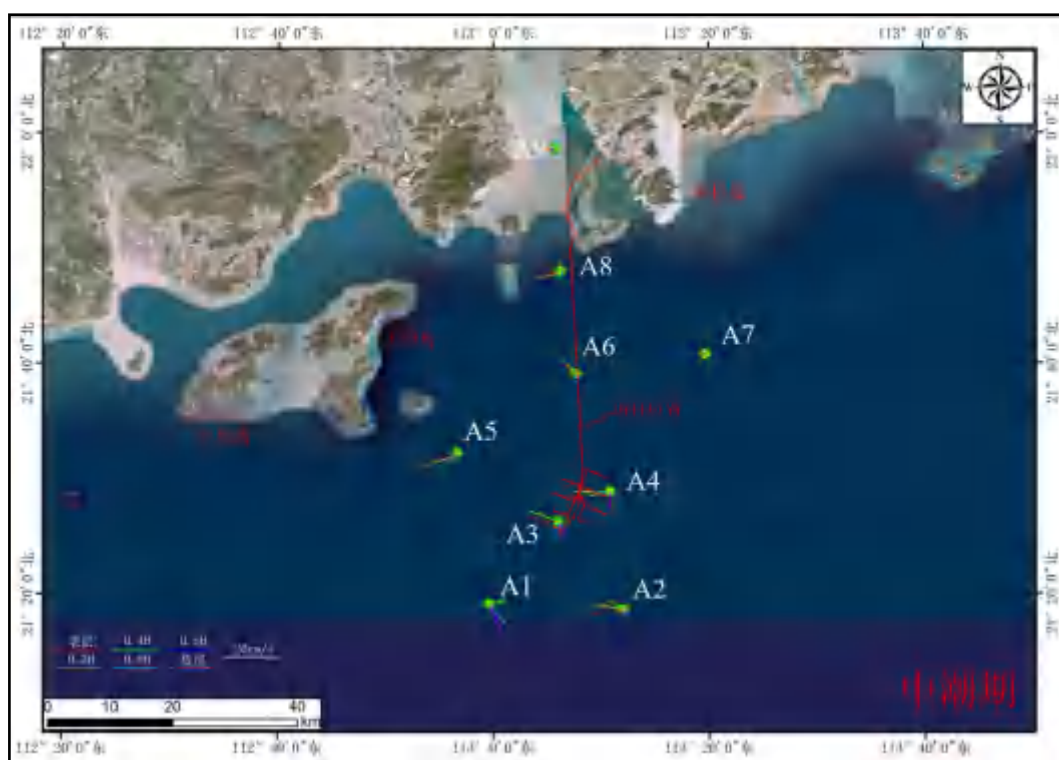


图 5.2-6b 余流矢量图（中潮）

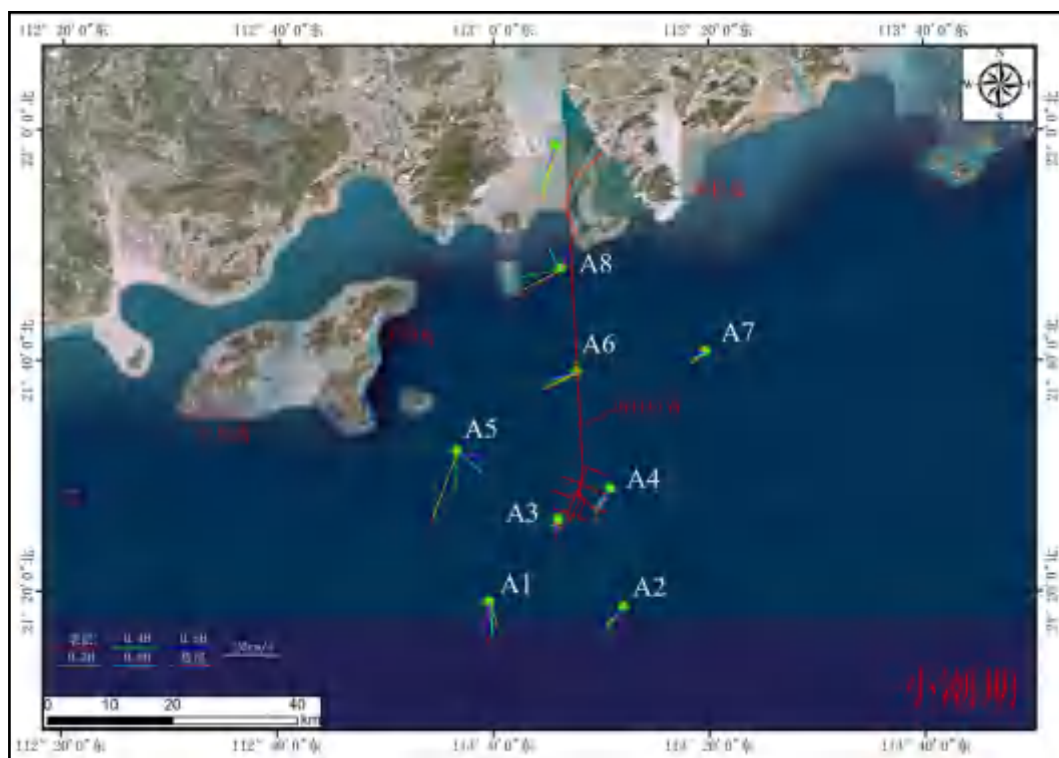


图 5.2-6c 余流矢量图（小潮）

（8）小结

通过实测资料和统计分析结果可以看出本次海流观测期间：

各观测垂线潮流性质为不规则半日潮流。观测海域流速整体较小，海流规律性不强。各观测垂线流速呈现出从浅层次到深层次逐渐减小的趋势，部分时段会出现中间层次流速大于浅层流速的情况。

根据海流矢量图，相对于小潮和中潮，大潮期间各海流观测垂线流速较大，并且各观测垂线表现出了旋转流的特性，同时 A9 垂线具有一定的往复流特性。

在垂线方向上，各垂线流速呈现出从浅层次到深层次逐渐减小的趋势；其中，表层实测最大流速为 73cm/s，流向 195°，发生在 A9 垂线；0.2H 层实测最大流速为 73cm/s，流向 270°，发生在 A8 垂线；0.4H 层实测最大流速为 74cm/s，流向 193°，发生在 A9 垂线；0.6H 层实测最大流速为 70cm/s，流向 196°，发生在 A9 垂线；0.8 H 层实测最大流速为 68cm/s，流向 196°，发生在 A9 垂线；底层实测最大流速为 66 cm/s，流向 197°，发生在 A9 垂线。

在时间上，各垂线的最大流速呈现出从大潮到小潮逐渐减小的趋势；大潮观测期间，最大垂线平均流速为 70cm/s，流向为 195°，发生在 A9 垂线；中潮观测期间，最大垂线平均流速为 55cm/s，流向为 192°，发生在 A9 垂线；小潮观测期间，最大垂线平均流速为 56cm/s，流向为 198°，发生在 A9 垂线。

大潮期间最大余流流速为 19.7cm/s，流向为 233°，发生在 A4 垂线的表层；中潮期间最大余流流速为 17.7cm/s，流向为 224°，发生在 A4 垂线的表层；小潮期间最大余流流速为 29.7cm/s，流向为 201°，发生在 A5 垂线的表层。

5.3 地形地貌及冲淤环境

5.3.1 地貌

路由区位于南海北部近岸海域，南海北部是华南大陆架水下自然延伸，属被动大陆边缘被海水淹没的陆地。一级地貌为陆壳地貌，二级地貌为海岸带地貌及陆架地貌。海底地貌对沿海陆地构造单元具有继承性。此外，地貌发育还受到海平面变化、入海河流输沙、潮流、波浪、海底沉积环境、海岸类型等诸多因素控制，形成复杂的近岸微地貌组合形态。研究区域全新世海进后才被海水淹没，海底地貌发育年轻，离岸地貌类型较为单一，近岸河流带入部分陆源碎屑，并参与现代海洋沉积过程，因此，近岸地貌受河流的动力作用影响较大。

根据《南海北部的潮波传播与海底沙脊和沙波发育》（热带海洋学报，2000），南海北部海域的潮汐振幅和潮流流速分布有很大的区域差异，底质的分布也各有不同，故潮控沙脊和沙波只分布于某些特定地区，而且其形态、成因有明显差别。由历年的水深测量、地球物理扫描和海底沉积调查得知，南海北部陆架浅海的潮控沙脊和沙波主要分布于粤东大陆架和大陆坡（含台湾浅滩），琼州海峡东口与西口以及海南岛西南浅海区。本项目位于珠海高栏岛、荷包岛以南海域，风电场与海底电缆附近没有海底沙波或潮流脊，本项目工程安全不会受沙波移动影响。项目风电场水深约为32m~37.5m，海底地形总体平缓，整体呈东北高西南低趋势，属冲海积地貌单元。场区内未见岛屿分布、未发现明显陡坎、海沟等。

本区地貌类型由岸向海大致分为水下岸坡、陆架堆积-侵蚀平原，见图5.3-1。

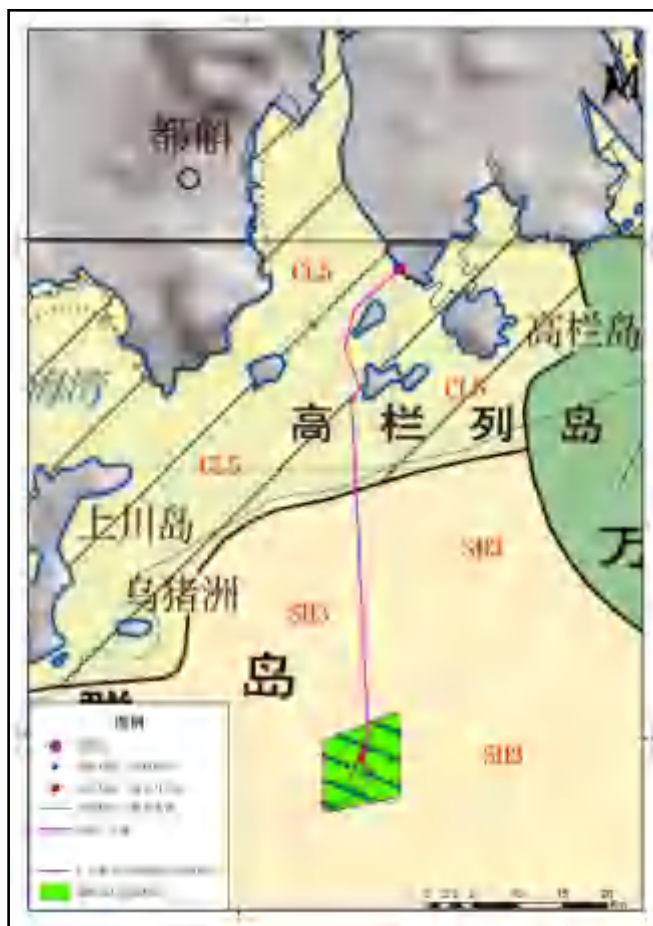


图 5.3-1 路由区海底地貌图（CL5：水下岸坡，SH3：陆架堆积-侵蚀平原）

5.3.2 地形

（1）项目周边区域水深

项目周边区域水深地形资料采用 2014 年地形海图（中国人民解放军海军司令部航海保证部，海图编号 10016（1：1000000））。

根据图 5.3-2，风机、升压站、66kV 海底电缆建设区域水深介于 33.0m~36.0m（当地理论最低潮面，下同），场区水深较深，地势变化较小。

项目 500kV 外输海缆所在海域水深自北向南逐渐变深，邻近海岸处水深约 0.5m，靠近升压站处水深约 35.0m。

区域水深特点总体为由北向南缓慢逐渐增大，等深线规则近平行排列。

（2）项目场区水深

项目场区水深资料采用广东科诺勘测工程有限公司开展的水深地形调查成果。

广东科诺勘测工程有限公司于 2024 年 3 月对项目场区开展了水深地形调查，根据调查结果，项目场区水深介于 32m~37.5m（理论深度基准面），水深变化较小，场区地形较为平坦，地势变化较小，见图 5.3-3。

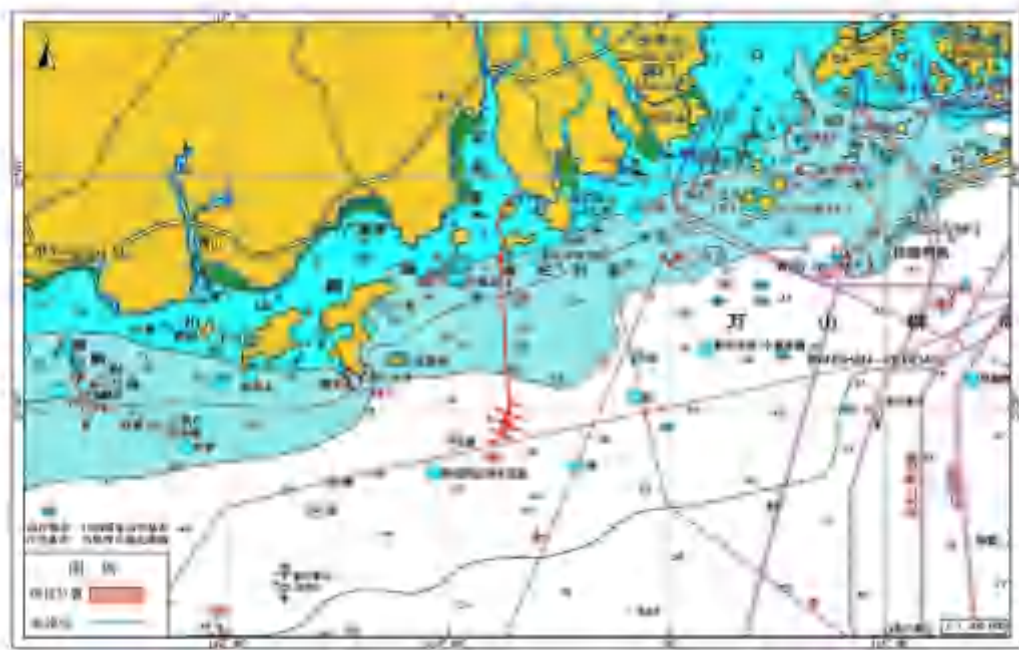


图 5.3-2 项目周边区域水深地形图

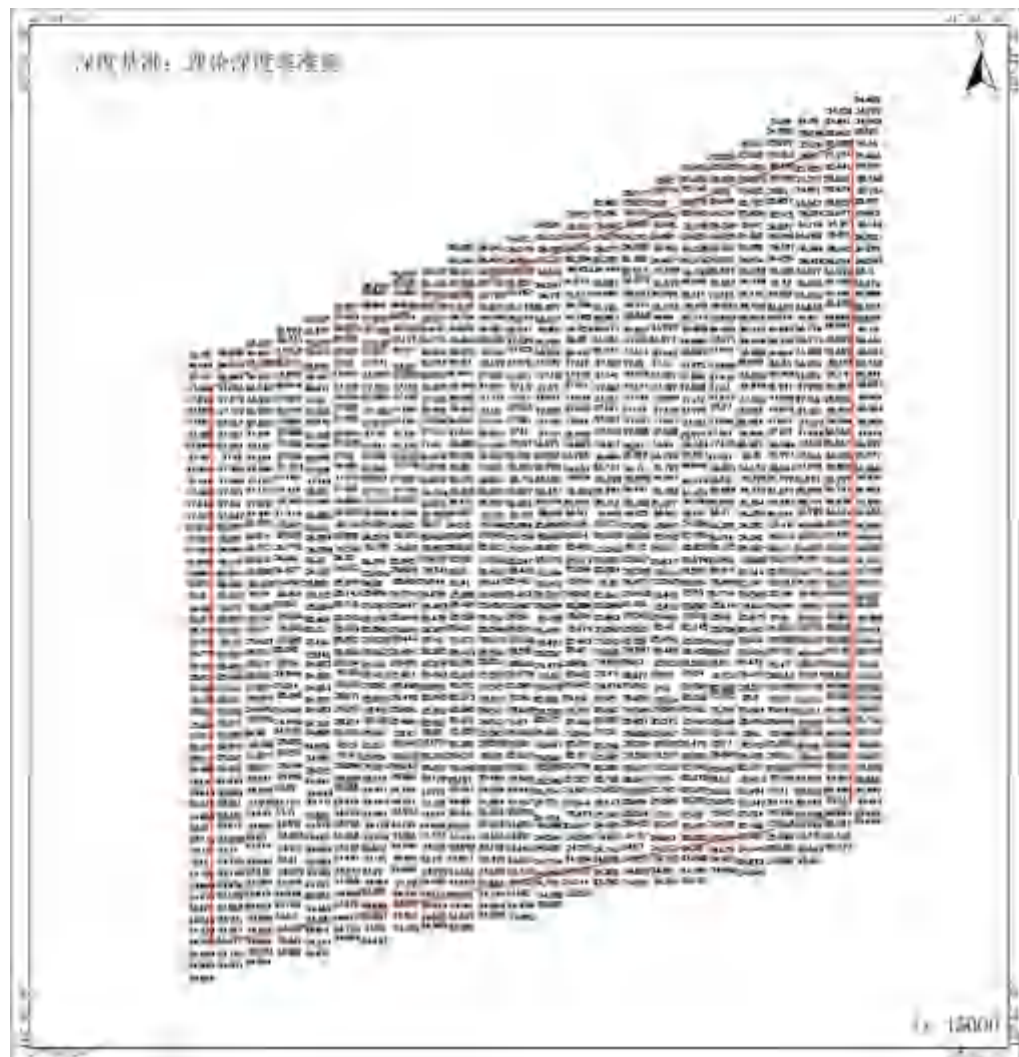


图 5.3-3 项目场区水深地形图

5.3.3 冲淤现状分析

本次收集了 2006 年的海图（中华人民共和国海事局，海图编号 80706（1:120000））和 2024 年的海图（中国人民解放军海道测量局，海图编号 C1210015（1:100000））作为基础资料。将不同年份的等深线数据库进行空间叠加，生成不同年份等深线平面变化图（见图 5.3-4），进行等深线平面变化分析。

本次等深线变化图主要提取 10m、20m 和 30m 等深线，分 2006 年、2024 年两个年份进行比较。可以看出，近年来黄茅海的滩槽平面变化明显，具体表现如下：

（1）10m 等深线，大襟岛南侧与荷包岛南侧变化较大，海床自西向东呈现出淤积-稳定-淤积-稳定交替的状态，最大淤积区域出现在大襟岛南侧，最大淤积距离约 2.5km；其次是荷包岛南侧，淤积距离约 1.2km。

（2）20m 等深线，2006 年至 2024 年变化较小，海床自西向东呈现轻微淤积-稳定的交替状态，最大淤积距离约 0.8km。

（3）30m 等深线，海床自西向东淤积状态逐渐加强，项目东侧等深线向南淤进，最大淤进距离约 12km。

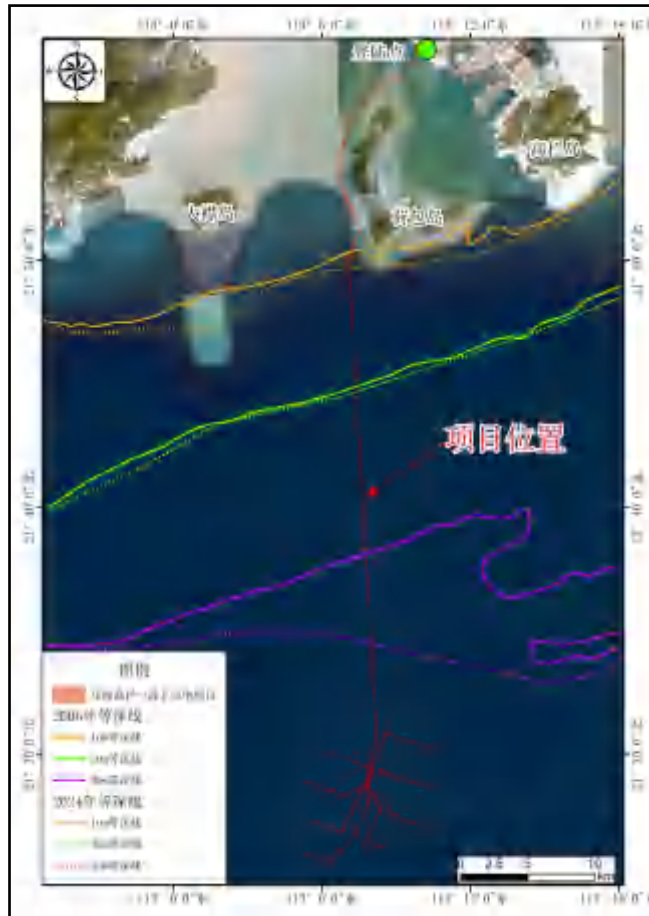


图 5.3-4 等深线对比图

5.3.4 表层沉积物

(1) 周边海域表层沉积物现状分布情况

周边海域表层沉积物现状资料引用《珠海高栏场址一海上风电项目路由选择依据说明材料》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院，2024 年 4 月），路由区域沉积物类型以粉砂质黏土、黏土质粉砂、砂-粉砂-黏土、细砂为主，底质类型整体较为简单，适宜海缆铺设。

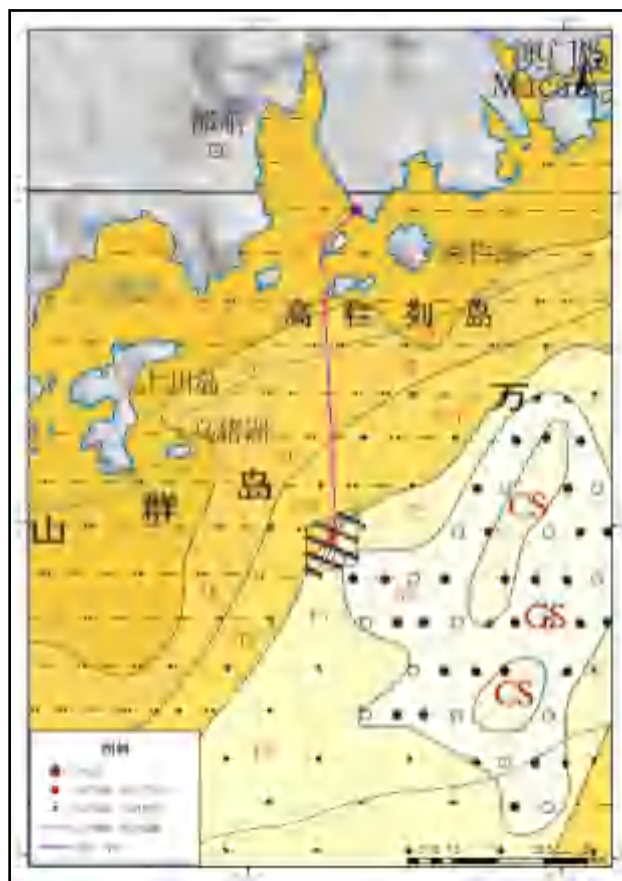


图 5.3-5 路由区及附近表层沉积物分布

(2) 风电机组建设区域表层沉积物现状调查

风电机组建设区域表层沉积物现状资料采用《珠海高栏一海上风电项目冬季全潮水文观测成果报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院，2024 年 3 月）。

中国能源建设集团广东省电力设计研究院于 2023 年 12 月 27 日至 2024 年 1 月 25 日在项目海域开展了 56 个点位（编号 D1~D56）的表层沉积物取样及粒度。各采样站位分布如图 5.4-6 所示，坐标见表 5.3-1，各站沉积物粒度参数见表 5.3-2。

工程海域的沉积物分布以粉砂质砂（TS）样品最多，共计 18 个；其余样品中，砂（S）样品最多，共计 14 个，砂-粉砂-黏土（STY）样品共计 10 个，砂质粉砂（ST）样品和黏土质砂（YS）样品各 5 个，黏土质粉砂（YT）样品共计 4 个。

参与统计的 56 份沉积物样品中，分选程度均为“分选差”的样品。

参与统计的 56 份沉积物样品中，中值粒径 D_{50} 小于 0.05mm 的样品共计 29 个，占 51.79%，其次中值粒径 D_{50} 介于 0.05mm~0.1mm 之间的样品，共计 6 个，占 10.71%，中值粒径 D_{50} 介于 0.1mm~0.2mm 的样品最多，共计 21 个，占 37.50%，中值粒径 D_{50} 的平均值为 0.08mm。

表 5.3-1 沉积物调查站位坐标一览表

取样编号	2000 国家大地坐标系		取样编号	2000 国家大地坐标系	
	纬度	经度		纬度	经度
D01	21°30.130'N	113°04.459'E	D29	21°28.575'N	113°07.443'E
D02	21°30.462'N	113°05.413'E	D30	21°28.247'N	113°06.485'E
D03	21°30.879'N	113°06.440'E	D31	21°27.916'N	113°05.529'E
D04	21°31.240'N	113°07.390'E	D32	21°27.538'N	113°04.496'E
D05	21°31.578'N	113°08.273'E	D33	21°26.508'N	113°04.541'E
D06	21°31.921'N	113°09.121'E	D34	21°26.871'N	113°05.539'E
D07	21°32.290'N	113°10.073'E	D35	21°27.216'N	113°06.526'E
D08	21°32.675'N	113°11.071'E	D36	21°27.555'N	113°07.506'E
D09	21°31.858'N	113°11.089'E	D37	21°27.900'N	113°08.414'E
D10	21°31.455'N	113°10.097'E	D38	21°28.187'N	113°09.292'E
D11	21°31.073'N	113°09.178'E	D39	21°28.493'N	113°10.203'E
D12	21°30.771'N	113°08.313'E	D40	21°28.790'N	113°11.121'E
D13	21°30.442'N	113°07.394'E	D41	21°27.707'N	113°11.110'E
D14	21°30.139'N	113°06.461'E	D42	21°27.405'N	113°10.230'E
D15	21°29.741'N	113°05.439'E	D43	21°27.101'N	113°09.334'E
D16	21°29.398'N	113°04.459'E	D44	21°26.795'N	113°08.444'E
D17	21°28.362'N	113°04.500'E	D45	21°26.484'N	113°07.508'E
D18	21°28.713'N	113°05.464'E	D46	21°26.151'N	113°06.530'E
D19	21°29.114'N	113°06.497'E	D47	21°25.804'N	113°05.512'E
D20	21°29.431'N	113°07.406'E	D48	21°25.472'N	113°04.524'E
D21	21°29.799'N	113°08.321'E	D49	21°24.491'N	113°04.561'E
D22	21°30.120'N	113°09.204'E	D50	21°24.810'N	113°05.586'E
D23	21°30.469'N	113°10.163'E	D51	21°25.138'N	113°06.559'E
D24	21°30.861'N	113°11.082'E	D52	21°25.459'N	113°07.562'E
D25	21°29.867'N	113°11.111'E	D53	21°25.743'N	113°08.469'E
D26	21°29.523'N	113°10.158'E	D54	21°26.028'N	113°09.362'E
D27	21°29.208'N	113°09.263'E	D55	21°26.308'N	113°10.254'E
D28	21°28.888'N	113°08.338'E	D56	21°26.557'N	113°11.106'E

表 5.3-2 沉积物粒度参数成果表

取样编号	D_{50} (mm)	σ_i	S_{ki}	k_g	分选程度	取样编号	D_{50} (mm)	σ_i	S_{ki}	k_g	分选程度
D01	0.0100	3.56	0.02	0.80	差	D29	0.1565	2.76	0.73	1.54	差
D02	0.0118	3.51	0.06	0.74	差	D30	0.1382	2.75	0.68	1.74	差
D03	0.0125	3.60	0.07	0.76	差	D31	0.1511	2.91	0.73	1.25	差
D04	0.0138	3.30	0.07	0.86	差	D32	0.1441	3.18	0.74	1.34	差
D05	0.0223	3.09	0.17	0.86	差	D33	0.1458	2.97	0.73	1.28	差
D06	0.0186	2.85	0.18	0.89	差	D34	0.1317	3.21	0.76	0.92	差

取样 编号	D ₅₀ (mm)	σ_i	S _{ki}	k _g	分选 程度	取样 编号	D ₅₀ (mm)	σ_i	S _{ki}	k _g	分选 程度
D07	0.0179	3.35	0.17	0.93	差	D35	0.1644	3.03	0.73	2.79	差
D08	0.0217	2.91	0.20	0.90	差	D36	0.1757	2.10	0.60	3.62	差
D09	0.0292	3.17	0.26	0.91	差	D37	0.0290	3.20	0.27	0.79	差
D10	0.0225	2.99	0.15	0.86	差	D38	0.0320	2.98	0.25	0.78	差
D11	0.0176	3.42	0.16	0.79	差	D39	0.0299	3.09	0.26	0.80	差
D12	0.0193	2.84	0.21	0.92	差	D40	0.0278	3.01	0.25	0.79	差
D13	0.0106	2.89	0.10	1.12	差	D41	0.0750	3.20	0.56	0.84	差
D14	0.0110	2.52	0.18	1.13	差	D42	0.0978	3.50	0.61	0.79	差
D15	0.0116	2.91	0.03	1.10	差	D43	0.0966	3.06	0.58	0.86	差
D16	0.0138	2.97	0.07	0.99	差	D44	0.1766	2.86	0.72	3.13	差
D17	0.0125	3.24	0.07	0.92	差	D45	0.1843	2.39	0.67	2.76	差
D18	0.0176	3.19	0.10	0.83	差	D46	0.1953	2.21	0.62	2.29	差
D19	0.0750	3.81	0.54	0.72	差	D47	0.1631	2.34	0.64	2.40	差
D20	0.0902	3.02	0.51	1.07	差	D48	0.1538	2.85	0.74	2.93	差
D21	0.0356	3.09	0.21	0.82	差	D49	0.1437	2.68	0.69	2.38	差
D22	0.0346	3.63	0.32	0.77	差	D50	0.1620	2.32	0.66	3.01	差
D23	0.0499	3.03	0.40	0.88	差	D51	0.1527	2.35	0.63	2.52	差
D24	0.0475	3.19	0.41	0.85	差	D52	0.1642	2.72	0.72	3.07	差
D25	0.0417	3.18	0.36	0.82	差	D53	0.1816	2.30	0.64	2.62	差
D26	0.0430	3.20	0.34	0.81	差	D54	0.1612	2.61	0.66	1.74	差
D27	0.0750	2.97	0.46	0.86	差	D55	0.1582	2.46	0.67	2.60	差
D28	0.0410	3.11	0.33	0.88	差	D56	0.1414	2.55	0.66	1.54	差

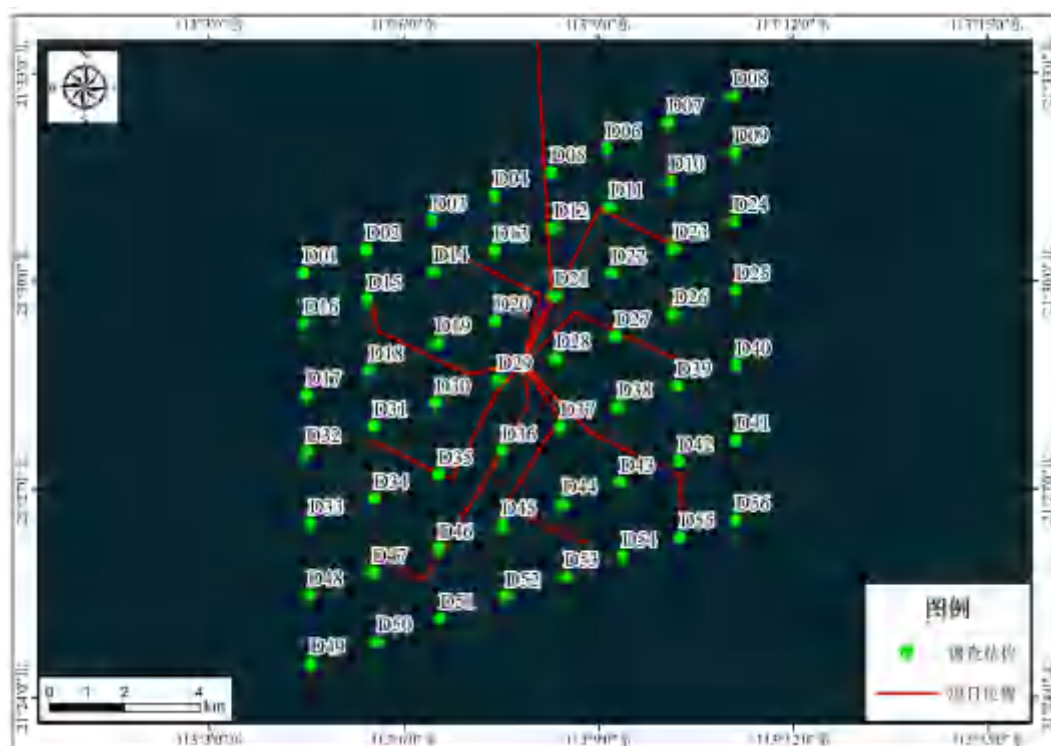


图 5.3-6 表层沉积物调查站位分布图

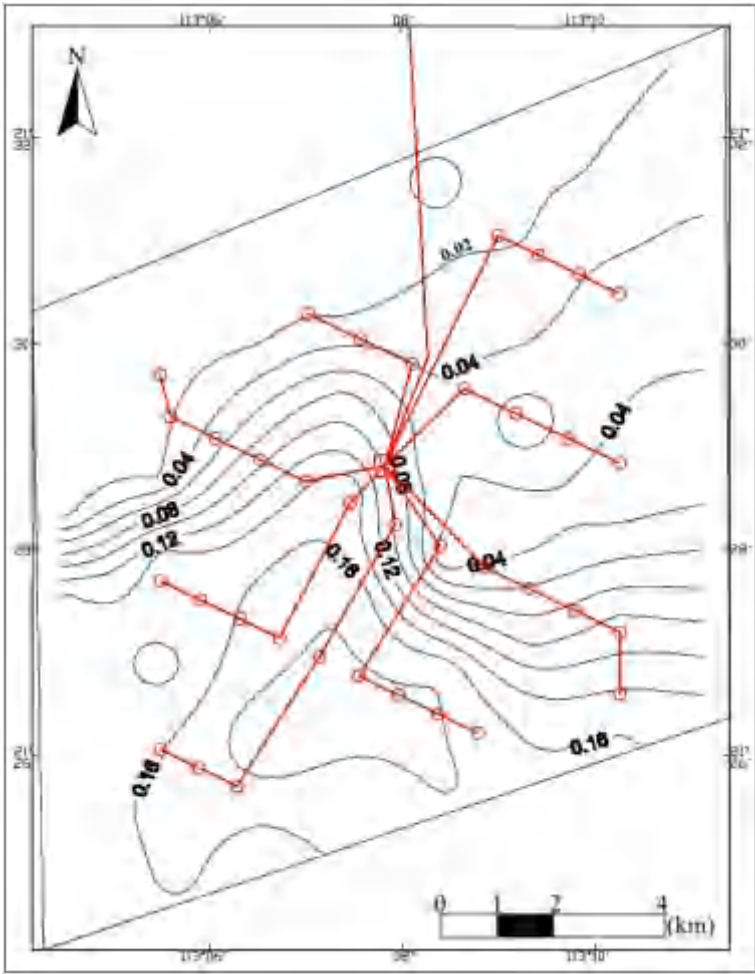


图 5.3-7 中值粒径等值线图

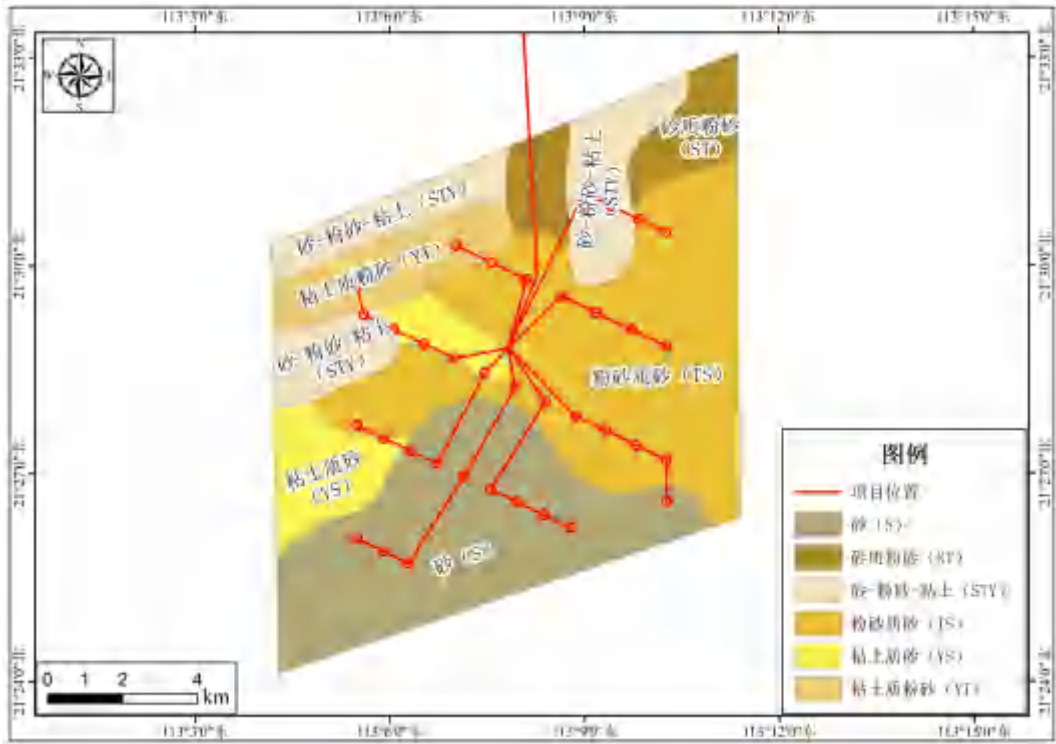


图 5.3-8 表层沉积物类型分布图

5.4 区域地质概况

5.4.1 区域地质构造

珠海高栏港一海上风电项目场址在大地构造上位于华南褶皱系东南沿海。区域内断裂构造发育，经多次构造运动先后形成一系列规模不等、方向不一、性质不同的断裂，其中规模较大的断裂对沉积相和沉积厚度、岩浆活动及构造变形等均有明显的控制作用，在地球物理场中也有不同程度的反映。它们按走向主要分北东向、北西向和东西向三组，北东向深大断裂带主要有：莲花山深断裂带（F1）、滨海大断裂（F5）。北西向深大断裂带主要有：西江大断裂（F6）、广海湾大断裂（F7）。断裂位置及展布如图 5.4-1 所示。



图 5.4-1 场址区域活动断裂分布图（据广东省地震局，2000 年）

(1) 北东向断裂:

1) 莲花山深断裂带 (F1):

莲花山断裂是一条强烈的挤压破碎带, 由 120 多条断裂组成, 广东境内长约 500 公里, 宽 20~40 公里, 局部可达 60 公里, 它呈 $N40^{\circ}E$ 左右展布。地貌上表现为地垒山系。地垒两侧分别为五华—深圳断裂 (北侧主干断裂) 和大埔—海丰断裂 (南侧主干断裂)。

莲花山断裂带具有多期次活动特征, 成生于震旦纪, 经过加里东、印支、燕山等构造运动, 形成了一条复杂的构造岩浆带, 动热变质带, 复式的褶皱带和对冲的构造断裂带。新构造期, 断裂的性质发生了明显的变化。由原来的对冲挤压变成了中部隆起两侧成正断层错落。其北界为五华—深圳断裂, 总体走向 $N45^{\circ}E$, 倾向 NW , 断裂两侧地形反差明显, 下盘为莲花山山脉, 上盘发育一系列晚白垩世~早第三纪初的红盆, 地形上表现为下盘抬升, 上盘陷落的正断层。根据古夷平面分析。显示断裂下盘新生代才开始抬升, 抬升高度自东向西逐渐变缓。如山脉主峰高度在铜鼓嶂为 1526m, 往西鸿图嶂为 1265m, 莲花山为 1028m, 再向西逐渐变成低丘, 最后沉没于海平面之下。据 14C 测定自海丰至深圳一带断块升速率均不大, 海丰 1.38mm/a, 惠东大洲岛 1.33mm/a 和 1.39mm/a, 宝安南头为 0.14mm/a, 显然, 抬升高差与速率都有自东往西而变小的趋势。南侧的大埔—海丰断裂, 倾向 SE , 上盘下降, 亦分布有大小不等的中新代盆地。

莲花山深断裂带的西南段又称为深圳断裂带, 深圳断裂带自淡水、横岗经深圳进入香港地区, 长约 100 多公里。深圳断裂带在印支运动显露雏形, 燕山晚期活动最为强烈, 晚近时期活动性变弱。深圳断裂带较强烈的最后构造活动期为早—中更新世, 具有以水平扭动为主的活动特征, 并伴有微震发生, 活动期的早期以北东向压扭性断裂为主, 晚期以北西向扭压性断裂活动为主。区内尚未发现第四纪全新世的沉积层有被断裂割切的现象, 说明晚更新世以来, 整个深圳断裂带的构造活动已显著减弱。

莲花山深断裂带地震活动水平不高, 震级一般较小, 多呈 NE 向排列。断裂北支集中在西南端珠海、高栏一带, 最大震级为 1905 年磨刀门 5.0 级地震; 南支集中在东北段的海丰地区最大震级 4 级, 于 1693 年和 1874 年发生。

该断裂从场址南部穿过。

2) 滨海大断裂 (F5)

该断裂展布于东南沿海地区的滨海地带，大致位于海水等深线 30-50m 处，其卫星遥感线性信息清晰可辨。在航磁图上，表现为一条十分醒目的剧变负异常带。在海磁图上，东部香港至南澳一带，显示为变化的负磁场带，并以升高和降低的异常带频繁交替变化为特点，西部担杆列岛至围洲岛一带，则表现为剧烈变化的负异常和锯齿状异常为主。在重力图上，该断裂带正好处于布格重力带中正负异常转换的过渡范围内。

岛屿考察证实，在珠江口外的担杆列岛，有走向北东 70°左右，倾向南东，倾角约 85°的挤压带分布，带宽 5-30m。在粤东南彭列岛的顶澎岛，见走向北东 55°，倾向南西，倾角 75°的强烈挤压并遭受错切的断裂构造带。样品经分析鉴定为石英角砾重熔硅化构造岩，带宽约 20m。在福建的兄弟屿，也见岛上出露走向北东 50°~55°的强烈动力变质混合岩构造带。断裂在地貌上形成陡峭的断层崖。可以认为，出露在上述岛屿的断层，应为展布于这些岛屿南部海域的滨海断裂带的次级断裂的反映（国家地震局地壳应力研究所，1993）。南澎列岛海域人工地震测探反射剖面印证了该断裂带的存在。该断裂带是东南沿海地区一条重要的地震构造线，也是新第三纪以来陆地隆起与海域沉降的交替地带。

第四纪以来，断裂仍强烈活动。根据 1980 年南澎列岛海底地质调查发现，沿断裂线两侧海底地貌和沉降物迥然不同，北侧属大陆继承性地形，起伏较大，其上岛屿、礁石星罗棋布、水下谷地、洼地交错其间，并分布泥质细粒沉积物；南侧岛屿消失，地势平坦，分布含砾粗砂沉积物。根据水深线 30m 处沉积砂层颗粒的磨圆度和含有仅适合于淡水河口或潮间带生活的大量生物遗体来看，南海岛至兄弟屿一线，应是古海岸线的分界，由于断裂两侧地壳发生差异性垂直活动，以及水动力条件等原因，使原来分布于古海岸潮间带一侧的砂层被淹没于 30m 深处，这些粗砂沉积物形成于更新世某一时期。据中国科学院南海研究所与石油工业南海地质研究所在南澎列岛海域的人工地震综合剖面，以及大鹏湾南部地震勘探剖面，均证实该断裂已切割了新第三纪至第四纪地层。

该断裂位于场址的东南面，距场址最近直线距离约 24km。

（2）西北向断裂：

1) 西江大断裂（F6）

北起于四会，往南东经肇庆莲扩、三水河口、高要牛眠山，沿西江继续向南东经马口岗、龙池、潭窖山、了哥山、远安，于磨刀门入南海，全长约 150km，走向

北西 $310^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ，倾向北东，倾角 70° 。断裂控制珠江三角洲断陷盆地西缘边界，东侧为珠江三角洲盆地沉陷区，第四系最厚达 64m，西侧为隆起区，在鹤山沙坪一带普遍可见由燕山期花岗岩组成的 25m~40m 和 60m~80m 两级台地。

根据断裂不同段落的几何形态和活动性可将西江断裂分成北段、南段和中段，其中北段位于古劳-广州断裂以北，该段控制三水盆地西界；南段位于新会断裂以南，由多条断层组成，主要出现在燕山期花岗岩中，控制磨刀门第四纪断陷的发育。

断裂南段在场区西南方向通过，由东、西两支断裂组成。西支倾向北东，东支倾向南西，陆域长约 45km。西支分布于黄杨海、泥湾门、白藤水道一带，又称泥湾门断裂；东支基本沿西江主河道左岸发育，致使深水槽多处于河床左侧，又称磨刀门断裂。近场区仅涉及磨刀门断裂。西江断裂南段最后一次强烈活动发生在晚更新世晚期至全新世初期。

该断裂位于场址的东北面，与场址的最近直线距离约 53km。

2) 广海湾大断裂 (F7)

该断裂分布于开平横沙坑、潮境及台山三合、那金一带，走向 $320^{\circ}\sim 350^{\circ}$ ，倾向南西，倾角 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。主要形成于燕山期，断裂北西段切割泥盆系及白垩纪花岗岩，南东段陈坑水库—三合圩一带，寒武系与泥盆系呈断层接触，由于寒武系易于侵蚀，泥盆系组成的北西向山岭西侧，发育线性宽谷，但没有断层活动的地貌显示。该断裂在早更新世早期可能有过微弱的活动，但中更新世以来没有活动过。

该断裂位于场址的西南面，与场址的最近直线距离约 3km。

5.4.2 区域地震

采用中国地震烈度区划图编委会(1996 年)的划分方案。区域范围主要分为华南地震区的雪峰—武夷山地震带、右江地震带及东南沿海地震带的内带、东南沿海地震带的外带。工程场地主要位于东南沿海地震带的外带。

自 1970 年广东省地震台网建立以来至 2020 年，在近场区内共记录到 $m\geq 2.0$ 级地震 7 次，其中最大地震为 1972 发生在南海的 $m3.1$ 级地震。近场区地震零散分布在近场区东北部。近场区范围内的地震活动相对较弱，小震活动频度也相对较低。

风电场的地震动参数主要参考其最近陆域的地震动参数。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)，场地在 II 类场地条件下 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度按 $0.10g$ 考虑，对应的地震基本烈度均为 VII 度。地震动加速度反应谱特征周期按 0.35s 考虑。

5.4.3 工程地质条件

根据区域地质资料及钻探揭示，场区内自上而下地层为第四系全新统海相沉积的淤泥混砂、淤泥质土、粉砂混淤泥等土层（①层，海相沉积）、第四系全新统海陆过渡相的黏性土及砂土层（②层，海陆过渡相沉积）、第四系晚更新统海陆交互相的黏土和砂土层（③层，海陆交互相沉积），各层根据工程性质的差异分为若干个亚层，风电场岩土体分层情况见表 5.4-1，图 5.4-2 至图 5.4-6。

表 5.4-1 场地岩土体工程地质分层表

序号	岩土名称		岩土层编号	状态	地层时代及成因
1	软土	淤泥混砂	① ₁₋₁	流塑	第四系全新统 海相沉积
2		淤泥质土	① ₂	流塑	
3		粉砂混淤泥	① ₃	松散	
4	黏性土	黏土	② ₁	可塑	第四系全新统 海陆过渡相沉积
5		粉质黏土	② ₁₋₁	可塑	
6	砂土	粉砂	② ₃	中密~密实	
7		粉砂混黏性土	② ₃₋₁	中密~密实	
8		中砂	② ₅	密实	
9		中砂砂混黏性	② ₅₋₁	稍密	
10	黏性土	黏土	③ ₁	可塑	第四系晚更新统海陆交互相沉积
11		粉质黏土	③ ₁₋₁	可塑	
12		粉质黏土	③ ₂₋₁	硬塑	
13	砂土	粉砂	③ ₃	密实	
14		粉砂混黏性土	③ ₃₋₁	密实	
15		中砂	③ ₅	密实	
16		中砂混黏性土	③ ₅₋₁	密实	
17		粗砂	③ ₆	密实	

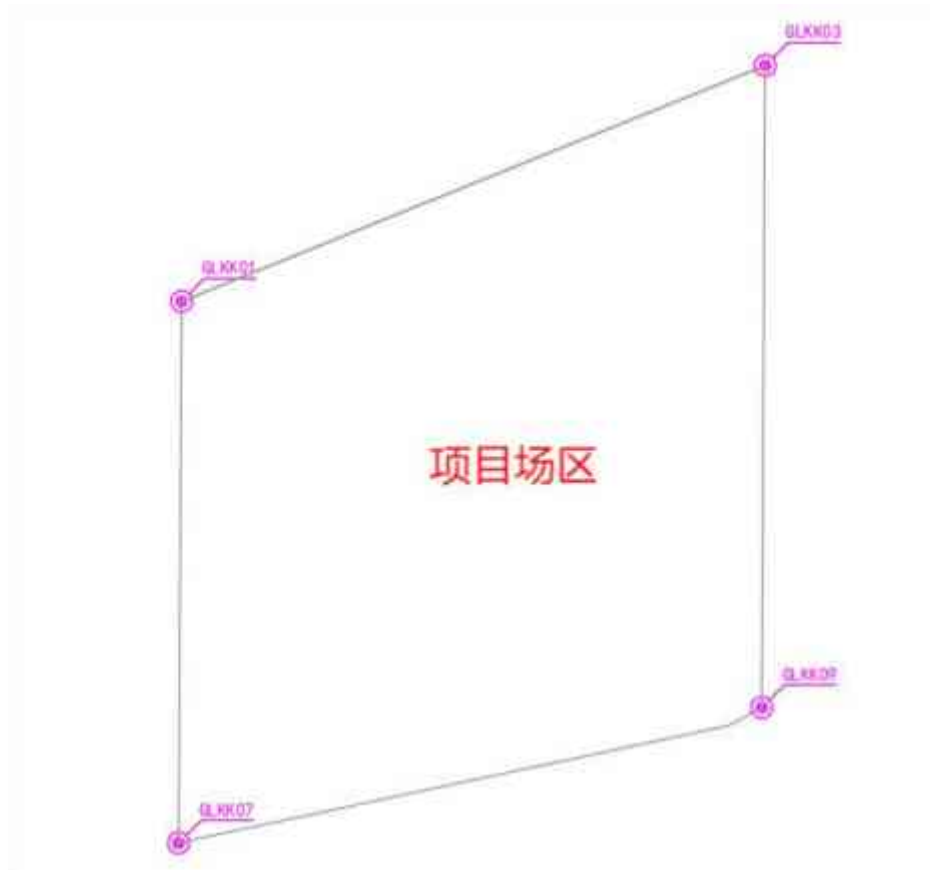


图 5.4-2 钻孔点位分布图

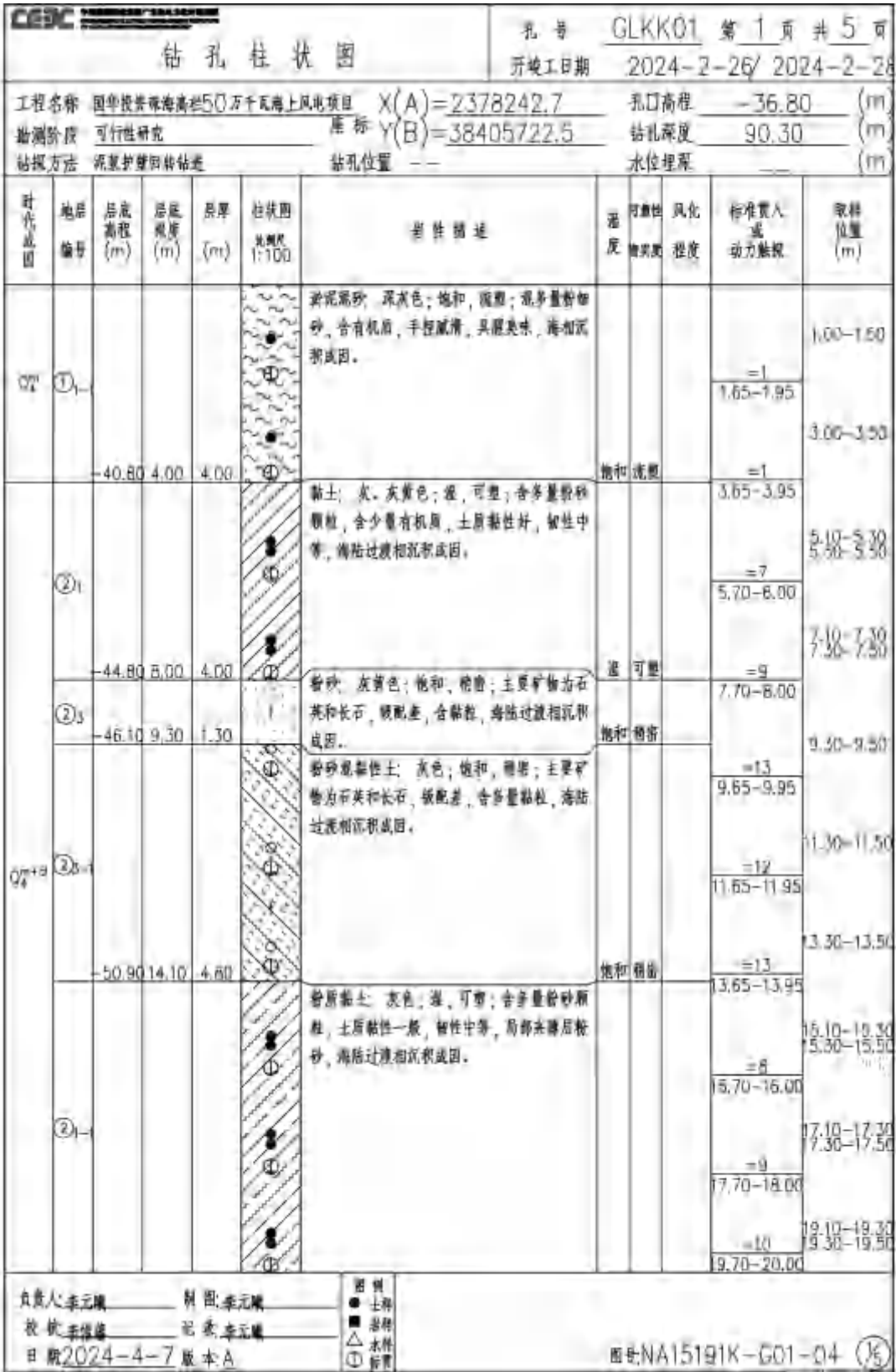


图 5.4-3a GLkk01 孔位钻孔柱状图

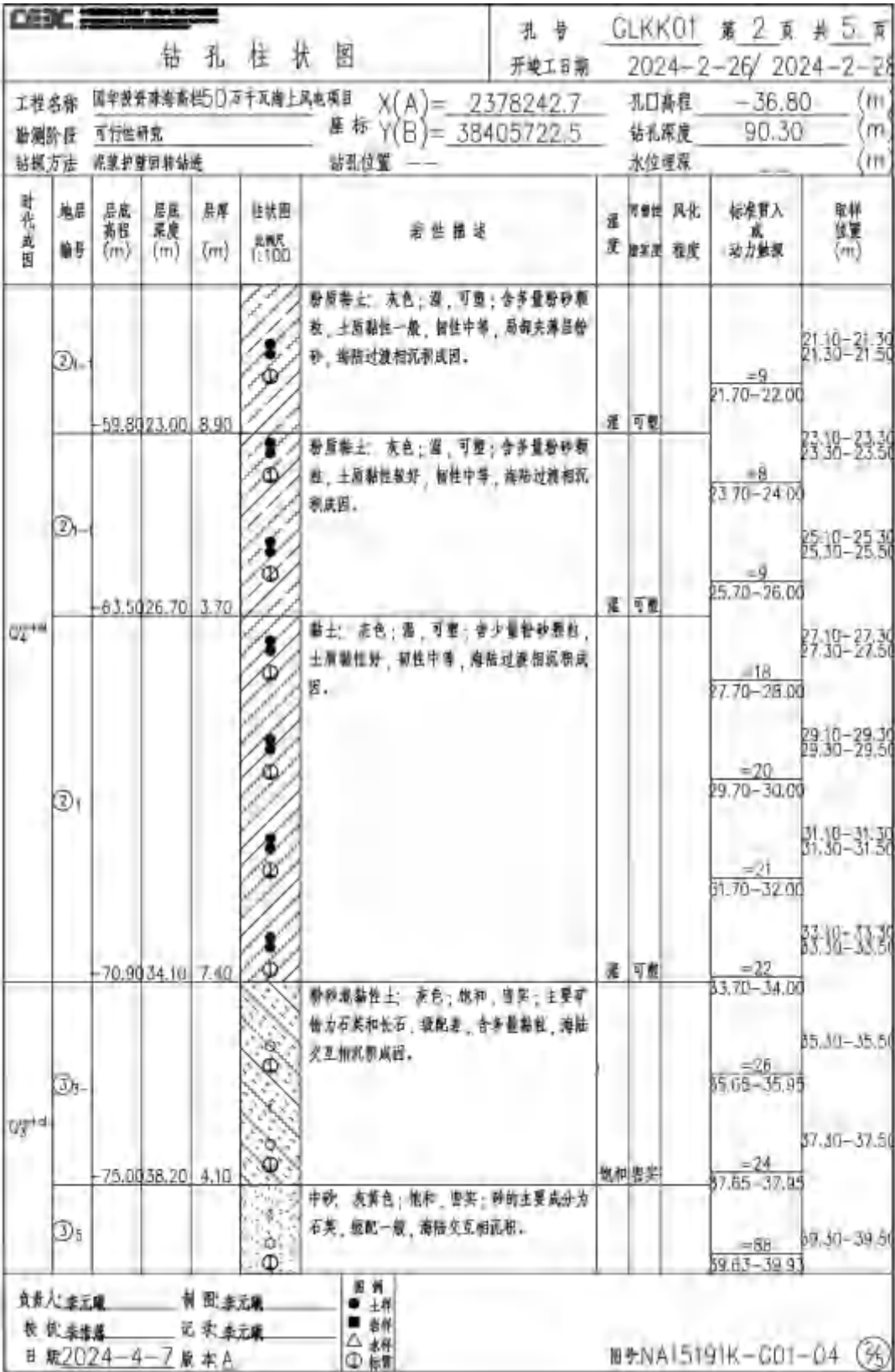


图 5.4-3b GLkk01 孔位钻孔柱状图

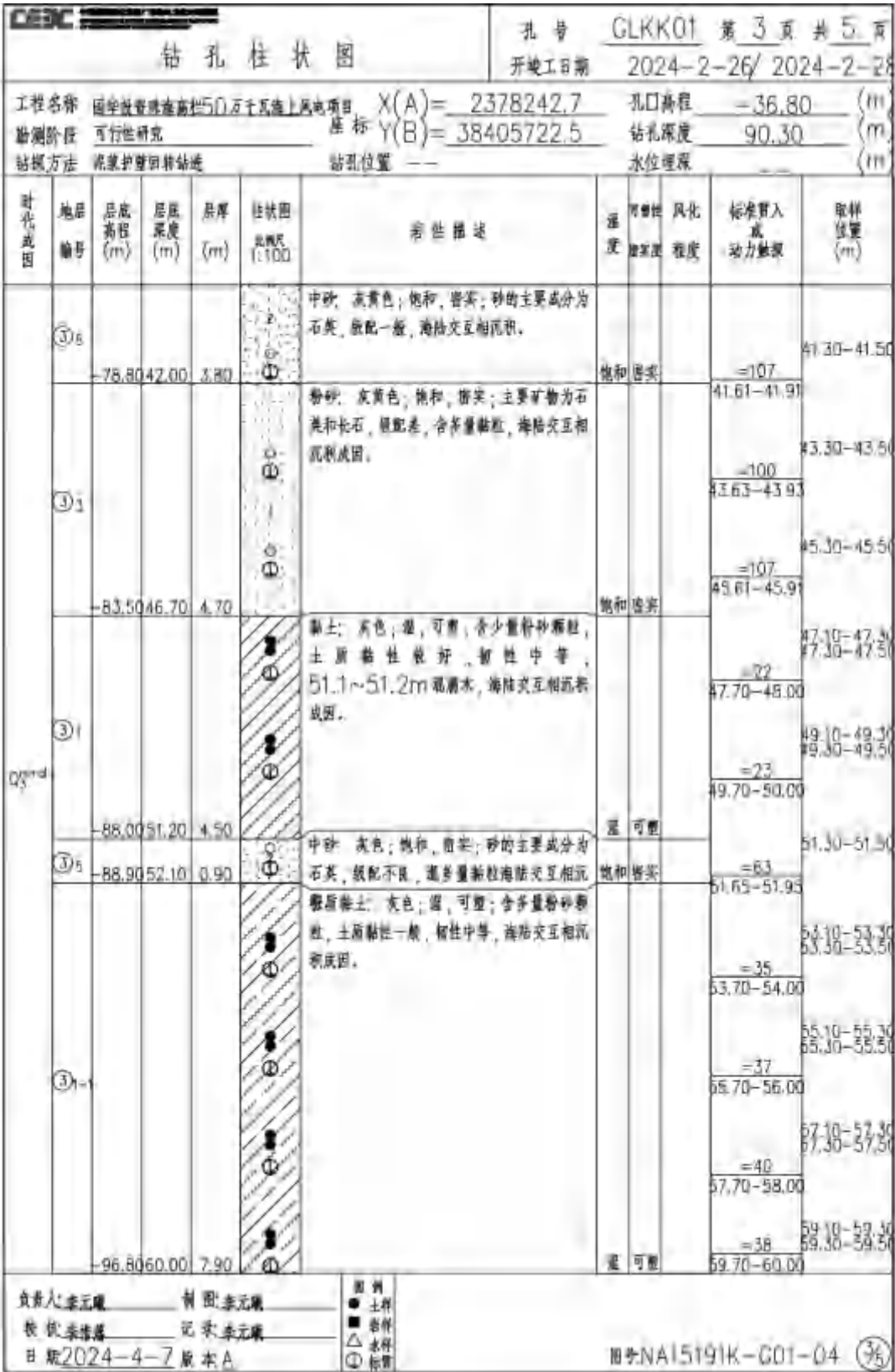


图 5.4-3c GLkk01 孔位钻孔柱状图

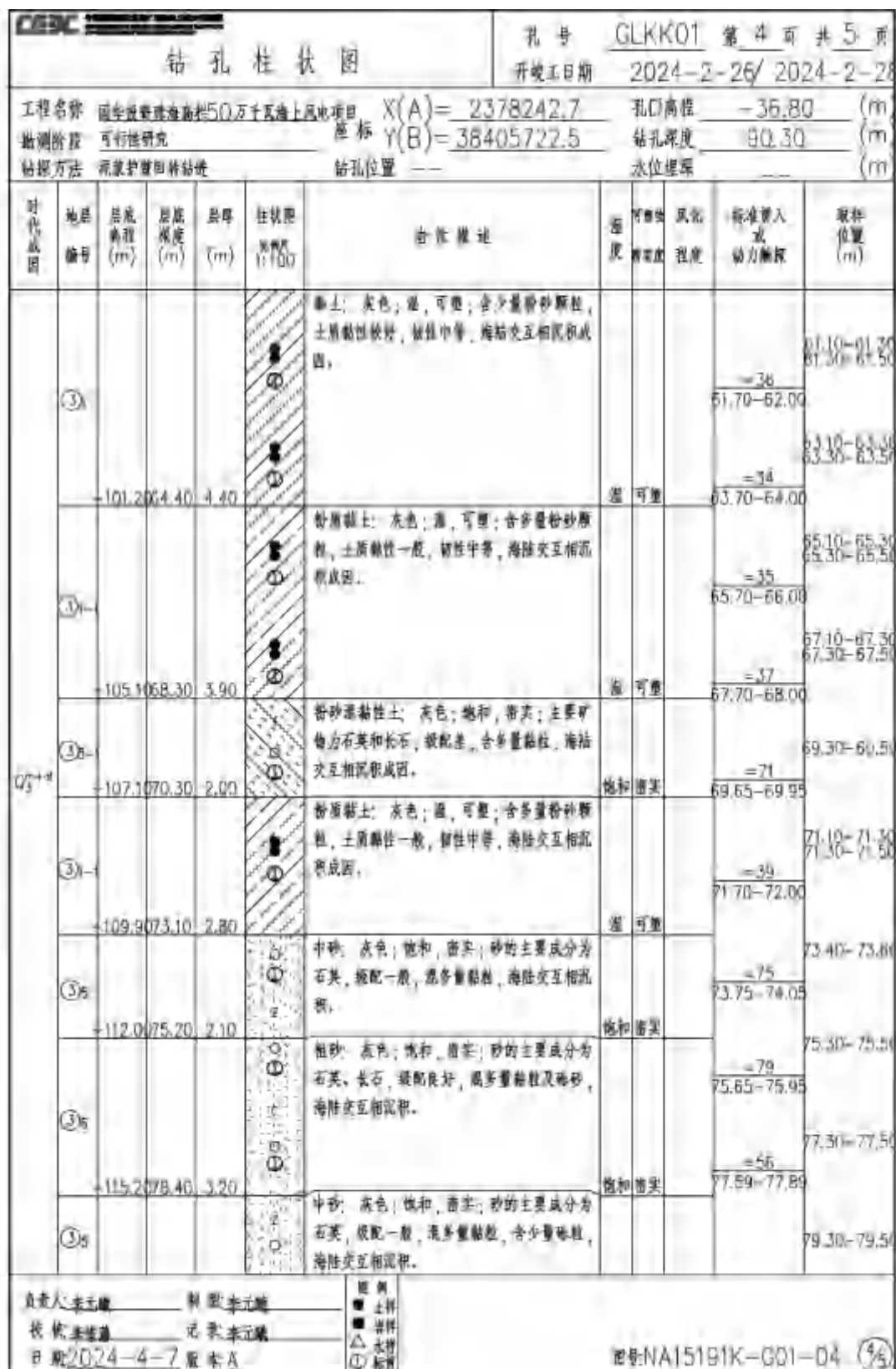


图 5.4-3d GLk01 孔位钻孔柱状图

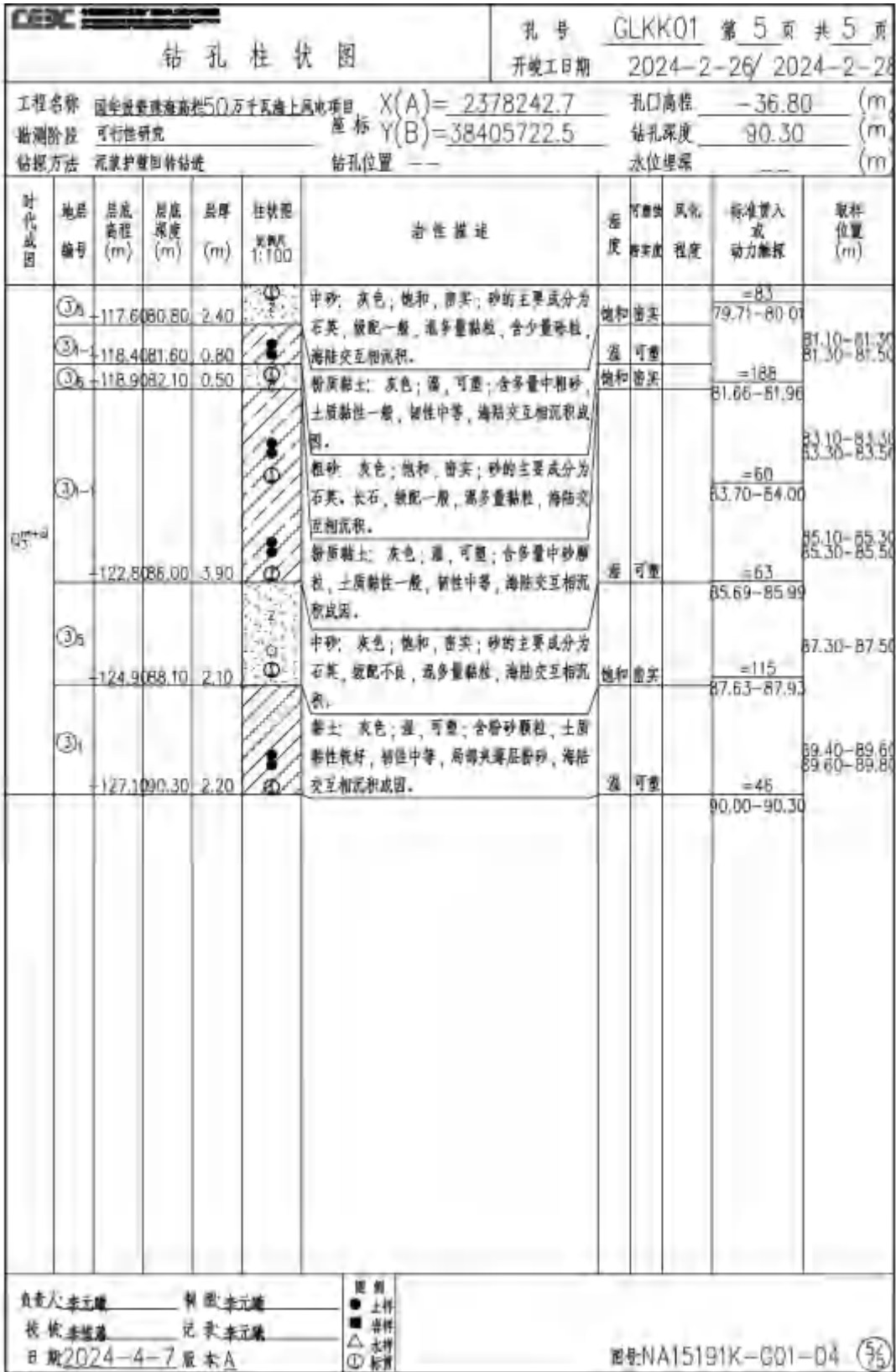


图 5.4-3e GLkk01 孔位钻孔柱状图

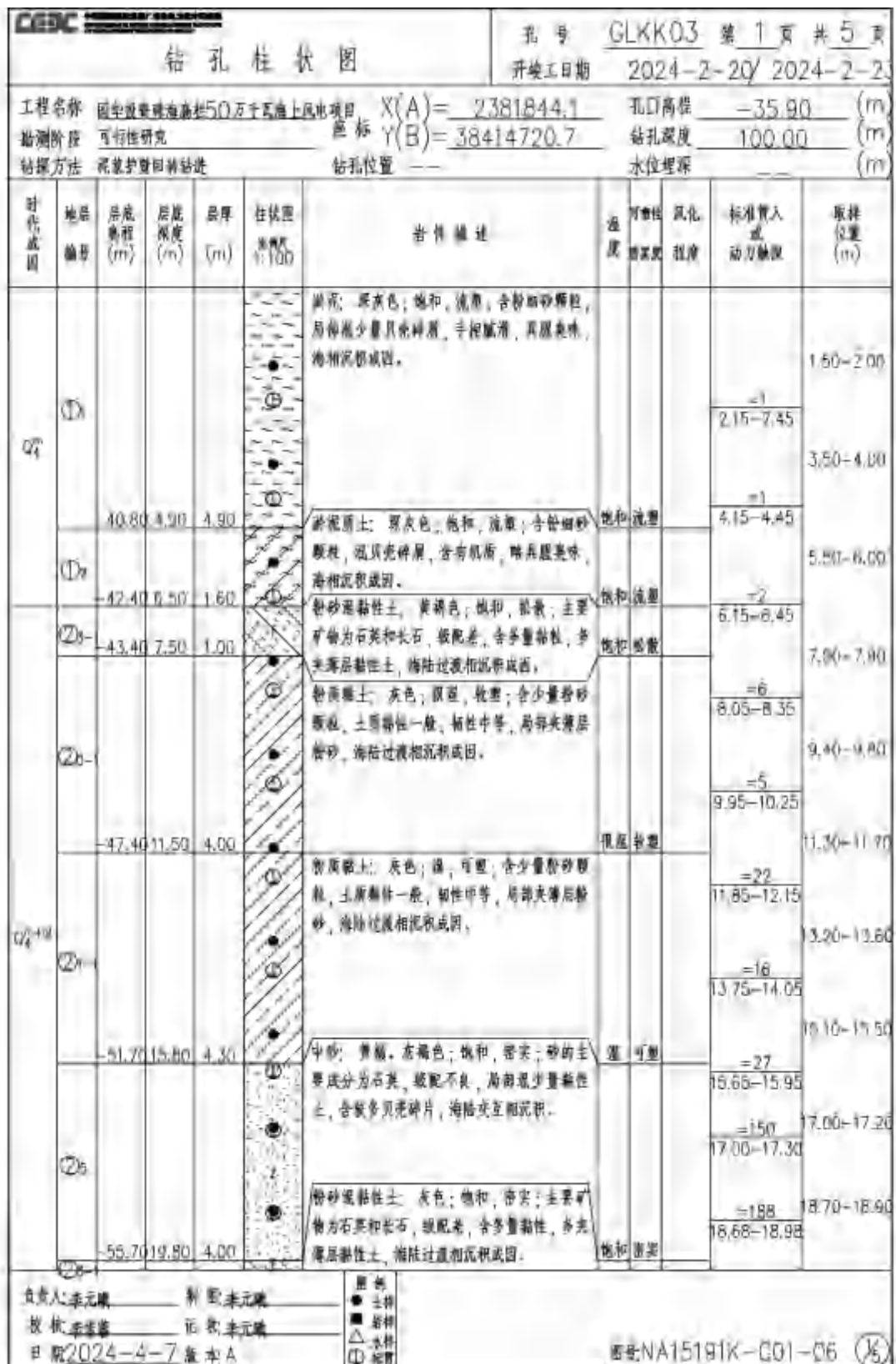


图 5.4-4a GLkk03 孔位钻孔柱状图

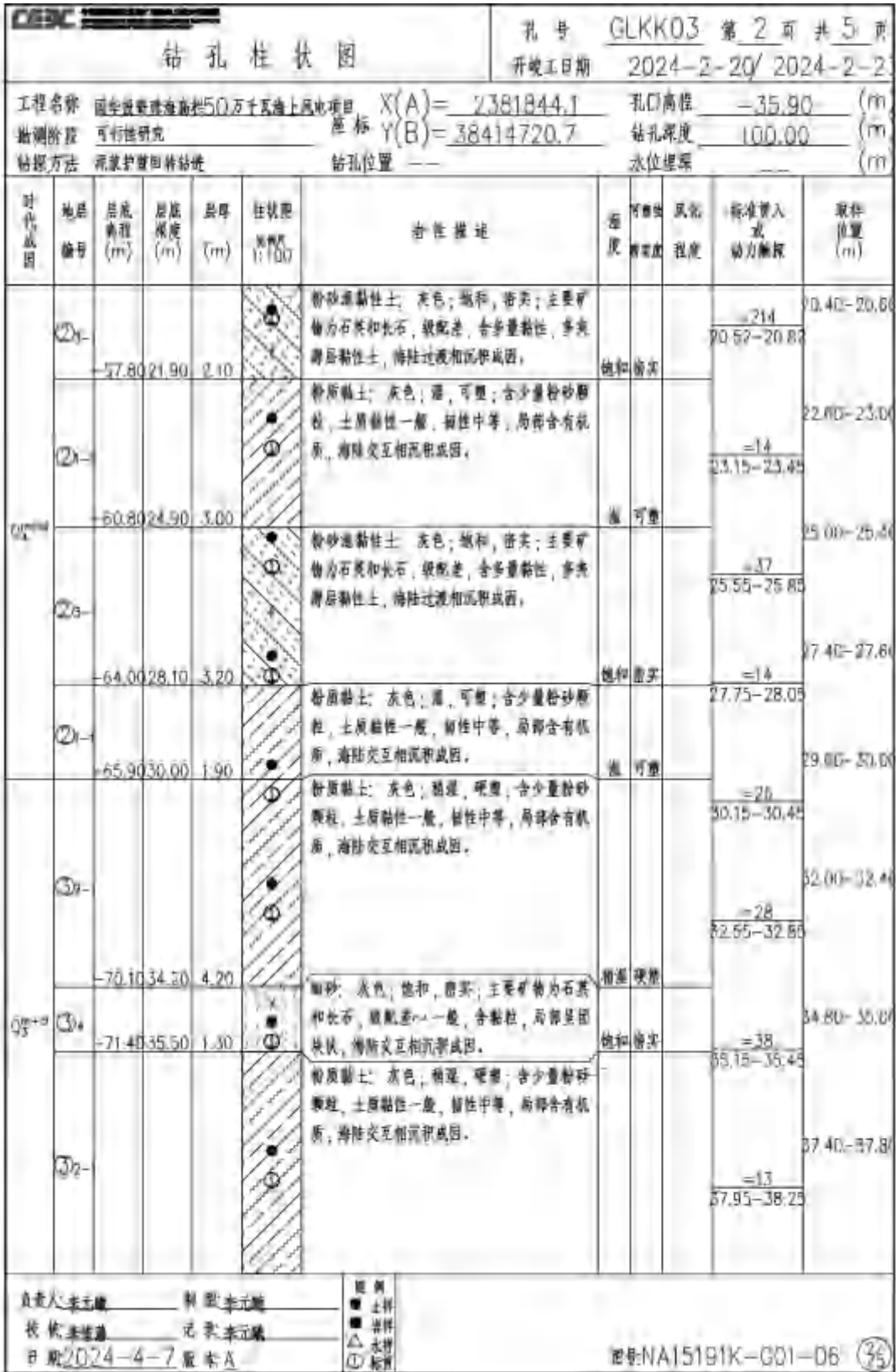
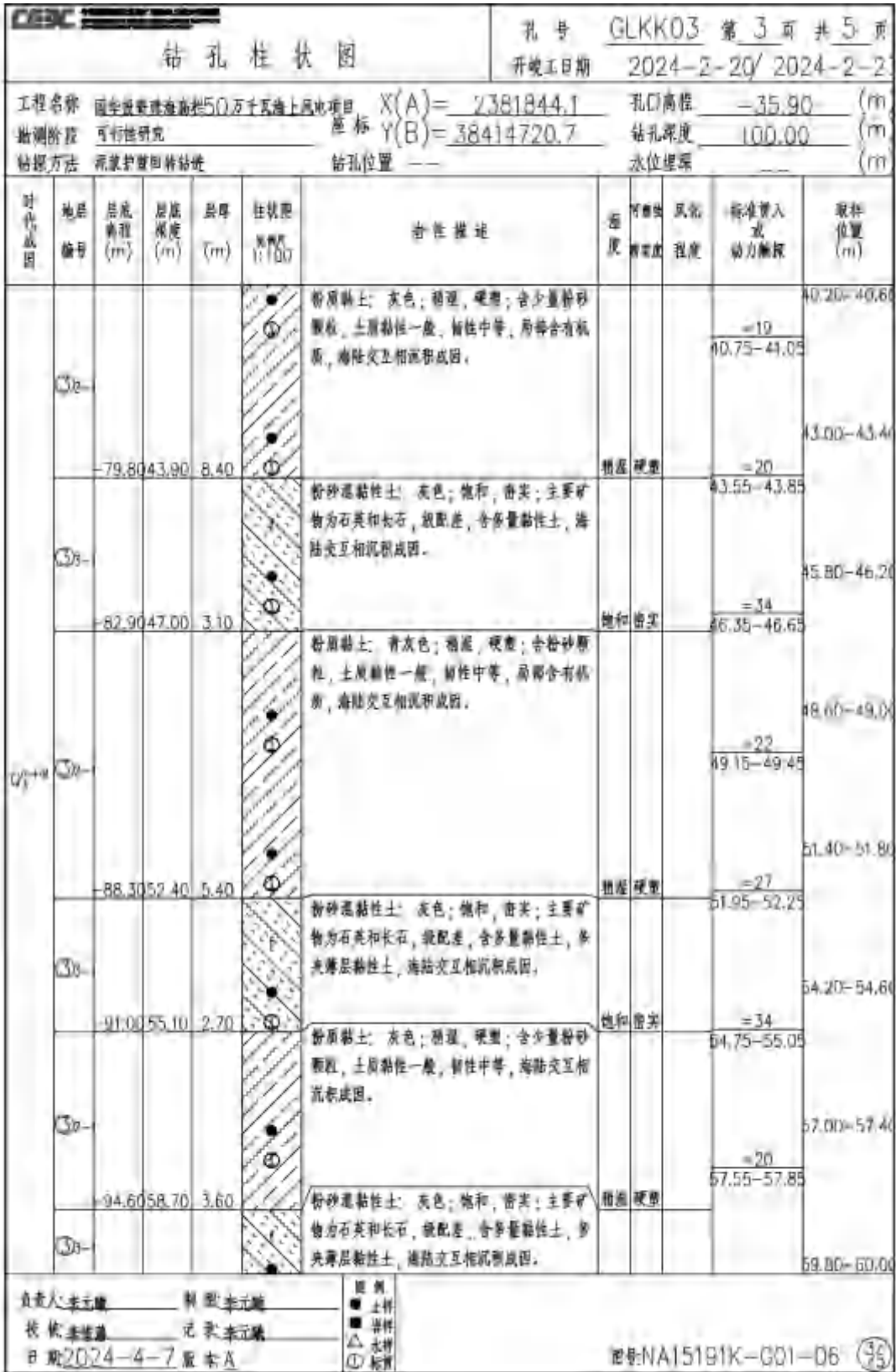


图 5.4-4b GLkk03 孔位钻孔柱状图



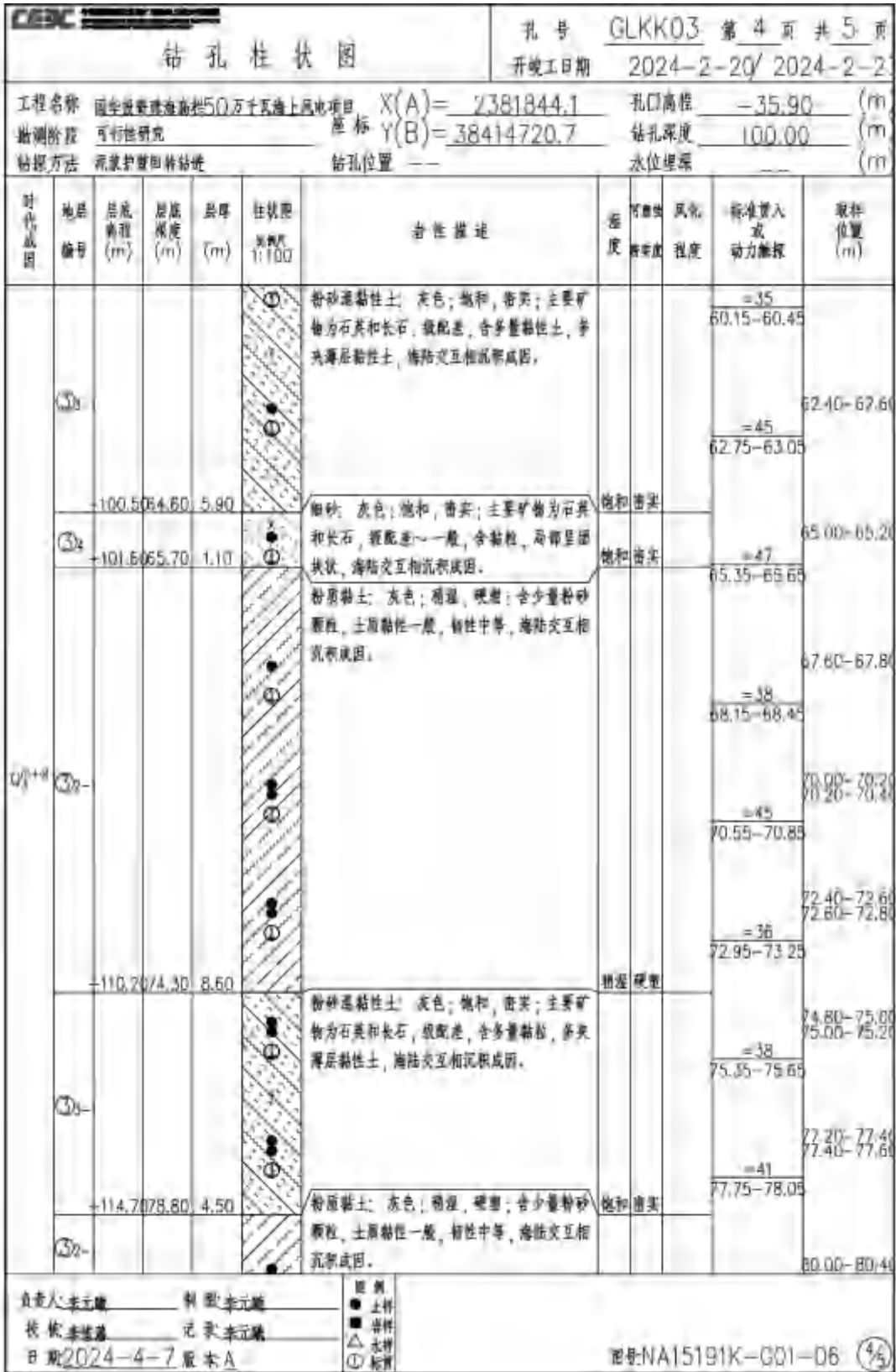


图 5.4-4d GLkk03 孔位钻孔柱状图

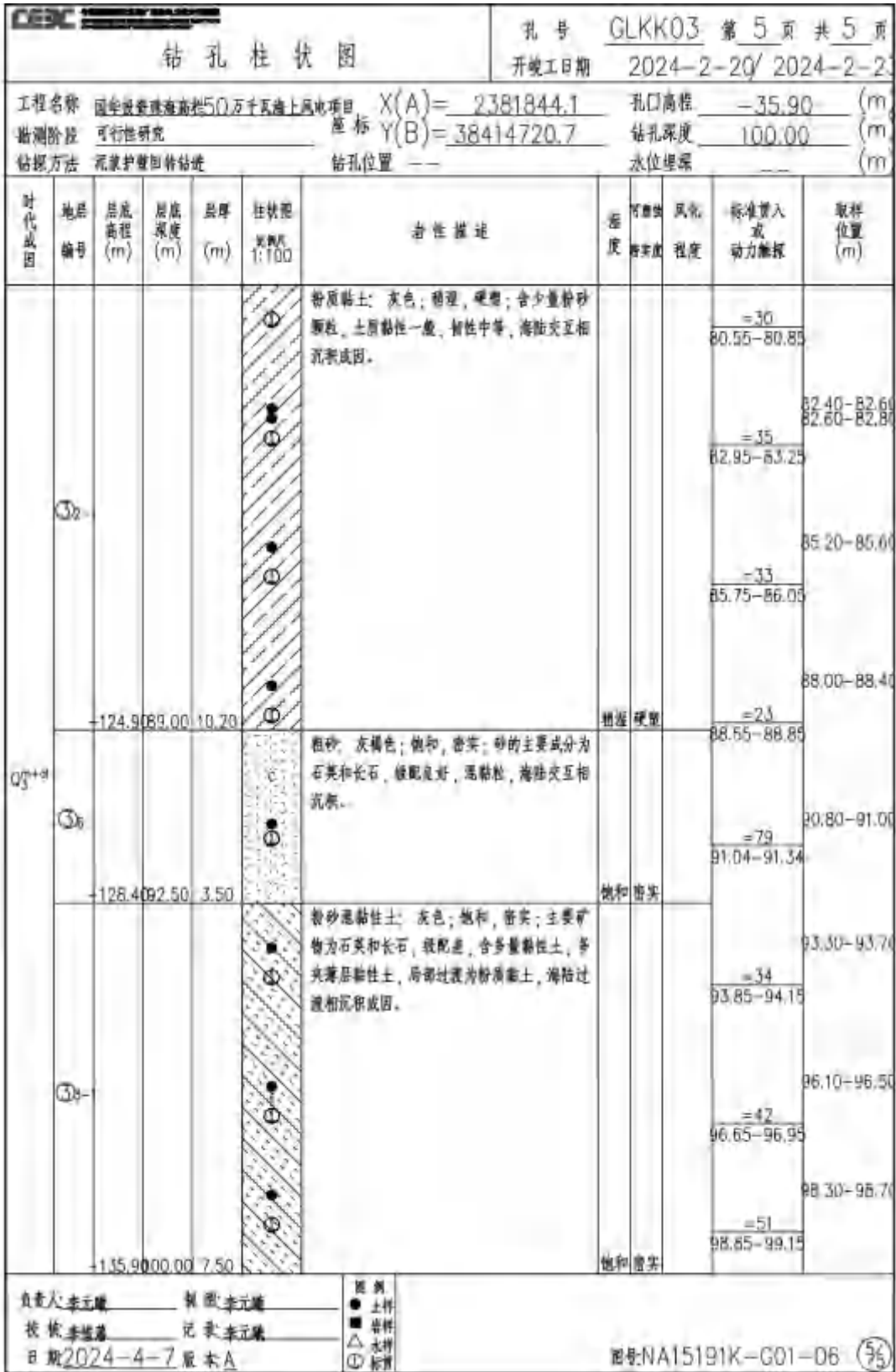


图 5.4-4e GLkk03 孔位钻孔柱状图

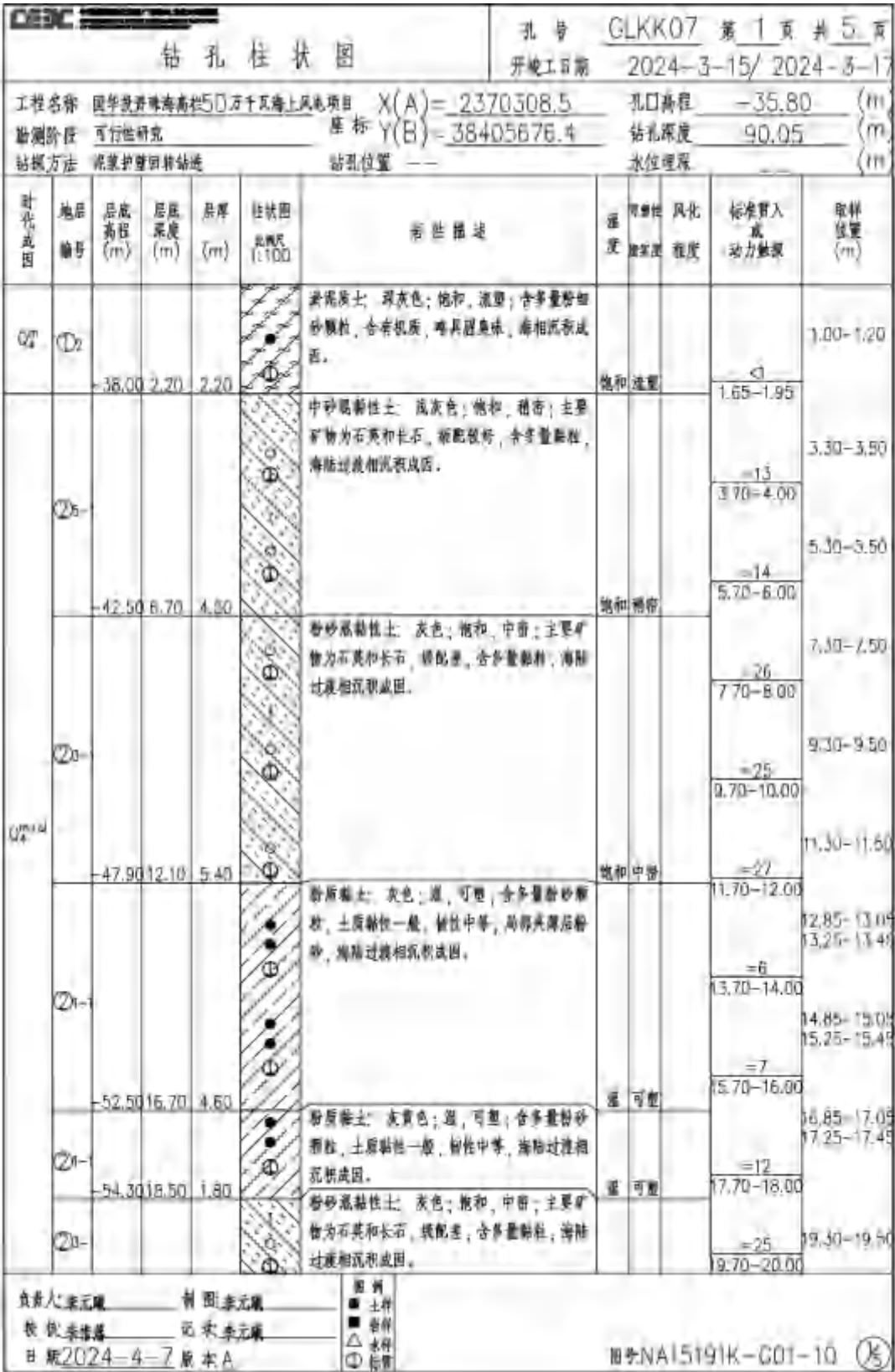


图 5.4-5a GLkk07 孔位钻孔柱状图

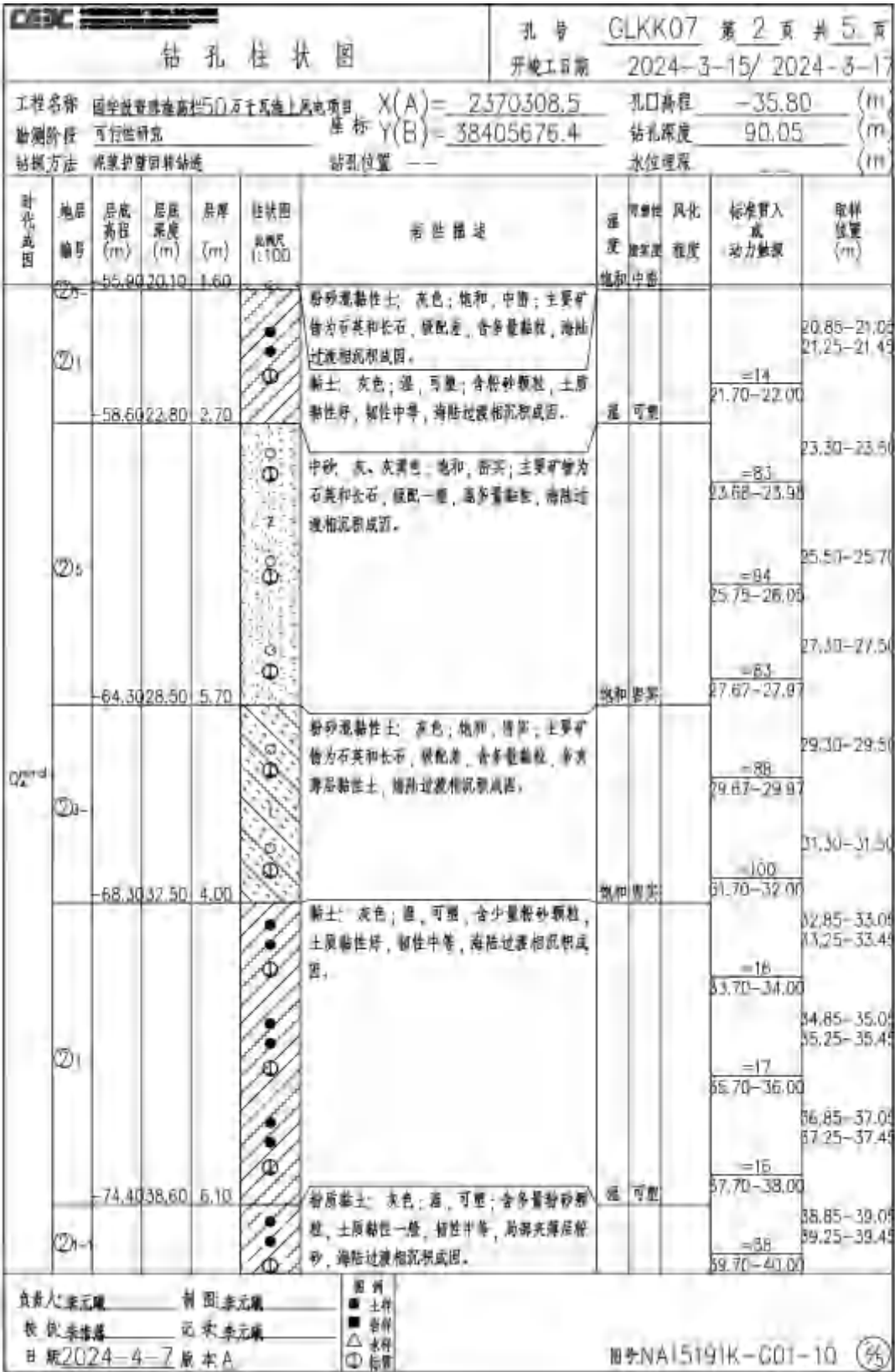


图 5.4-5b GLkk07 孔位钻孔柱状图

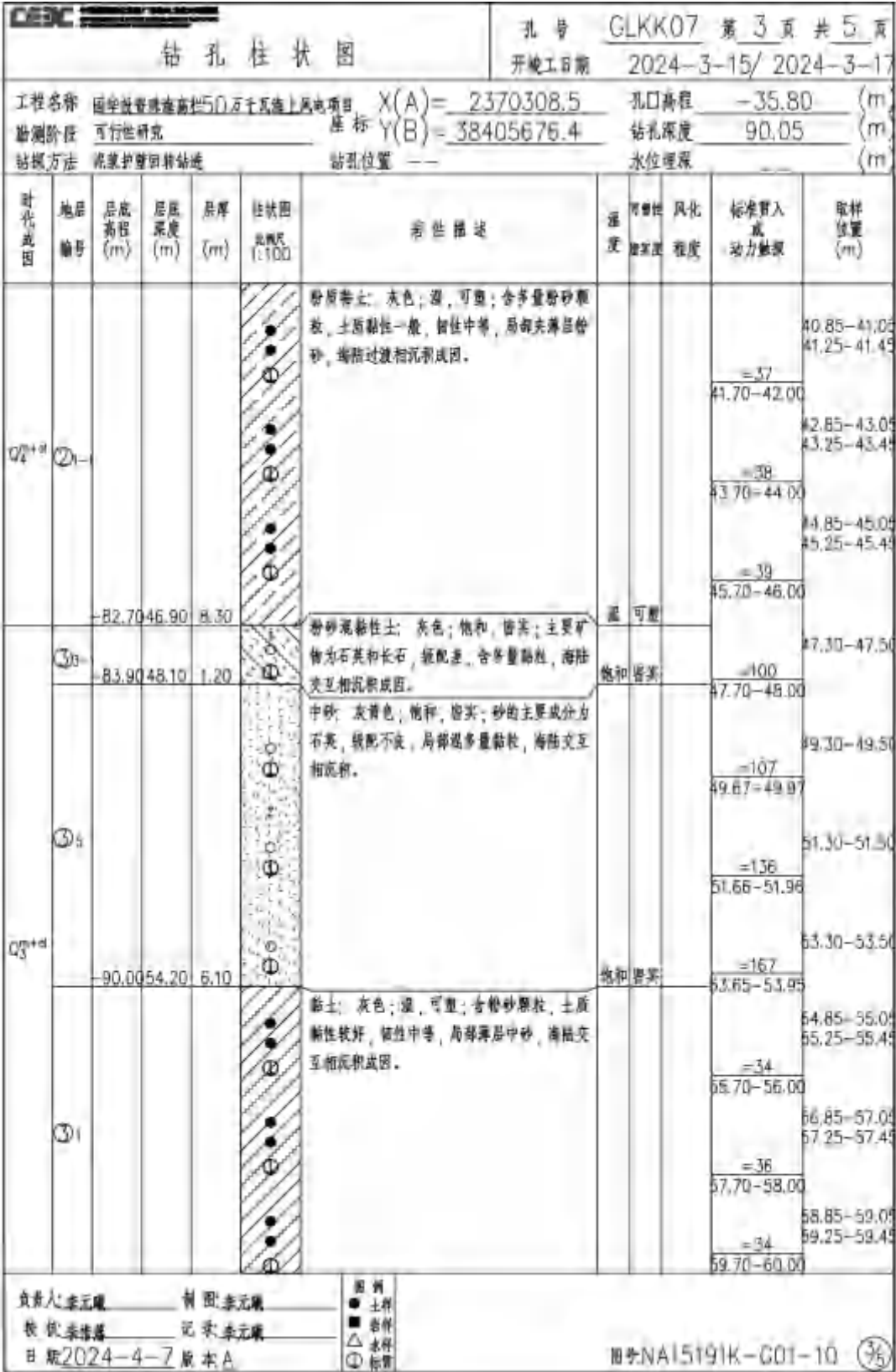


图 5.4-5c GLkk07 孔位钻孔柱状图

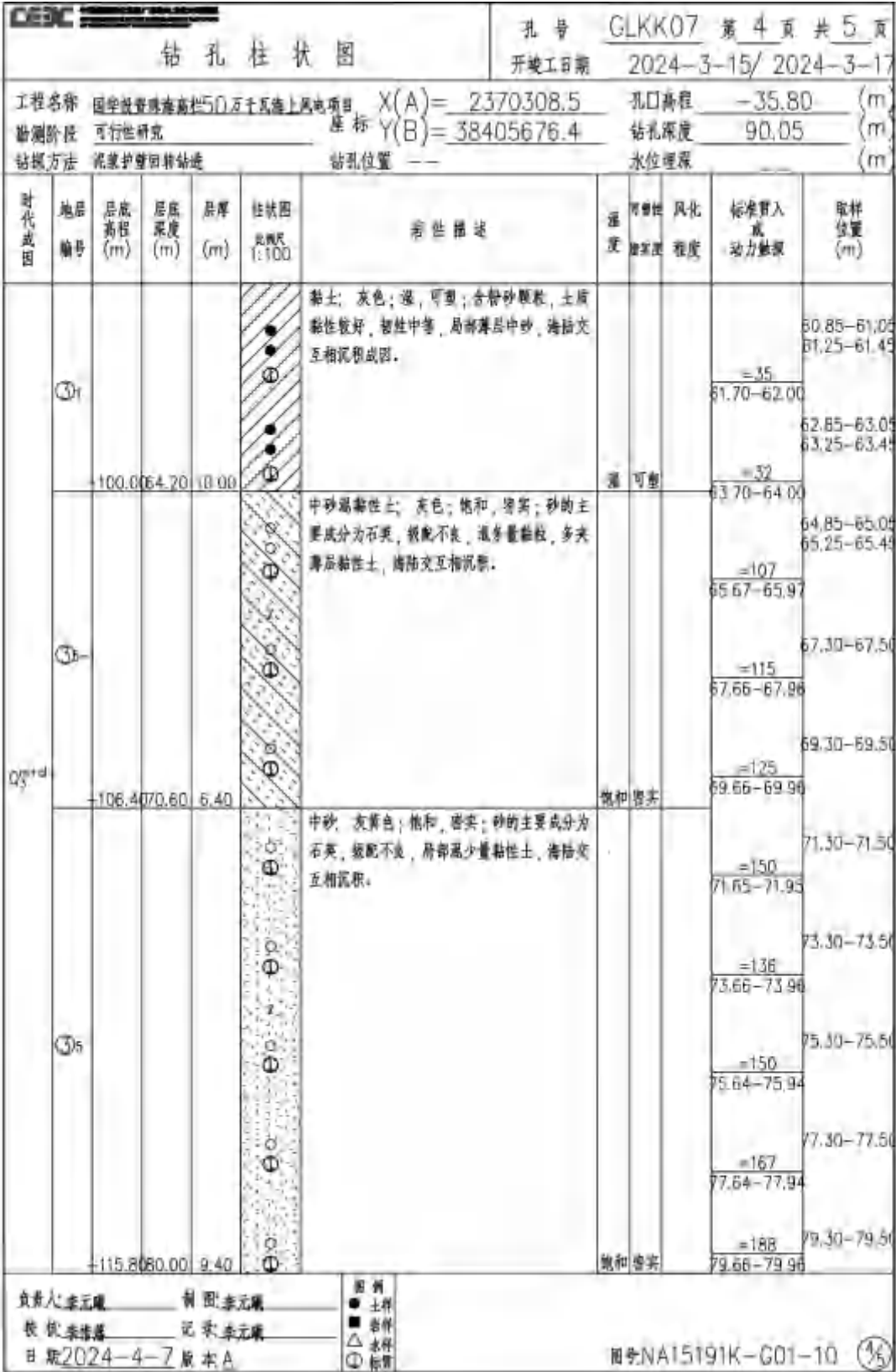
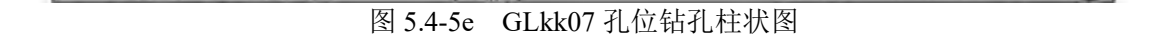


图 5.4-5d GLkk07 孔位钻孔柱状图



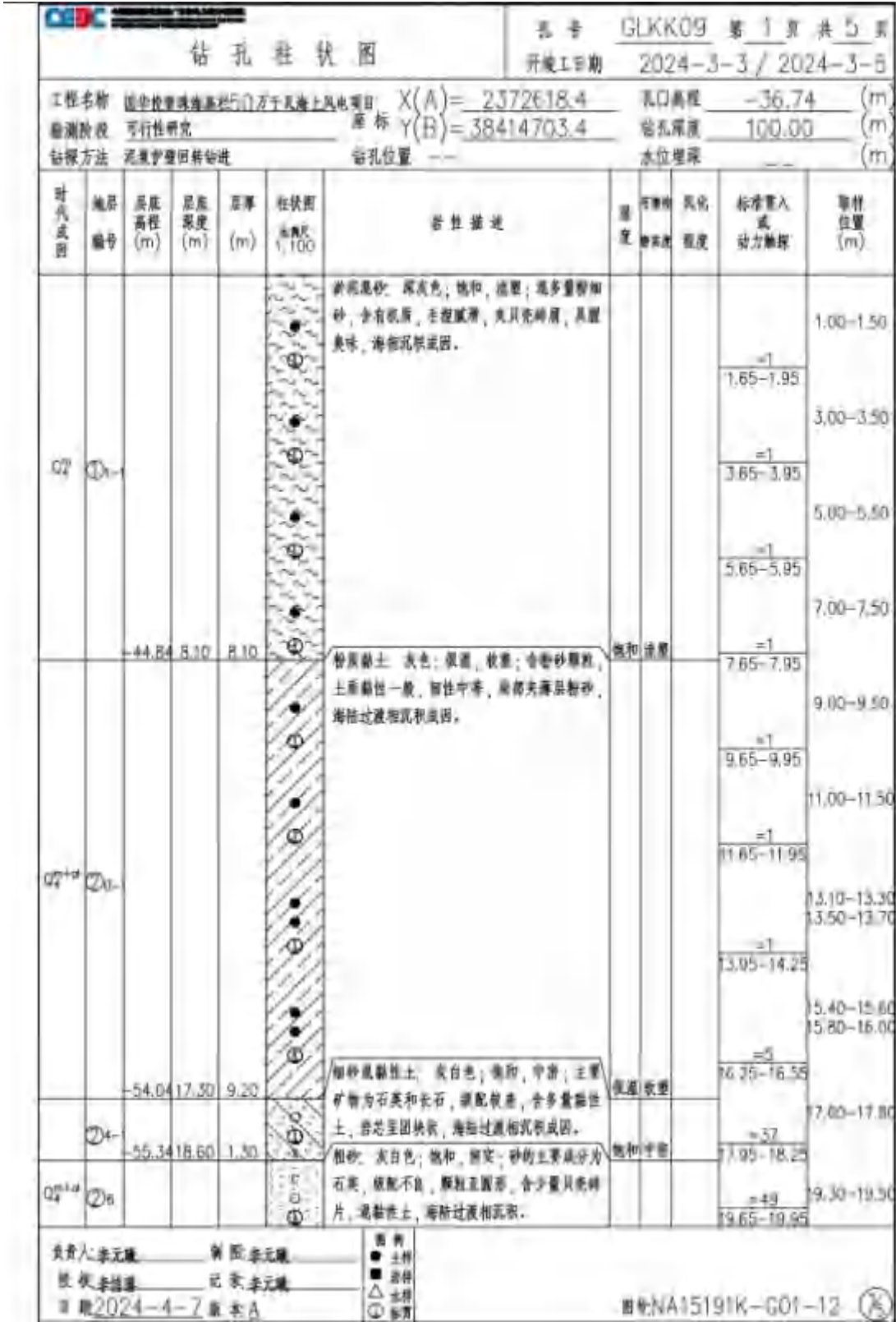


图 5.4-6a GLkk09 孔位钻孔柱状图

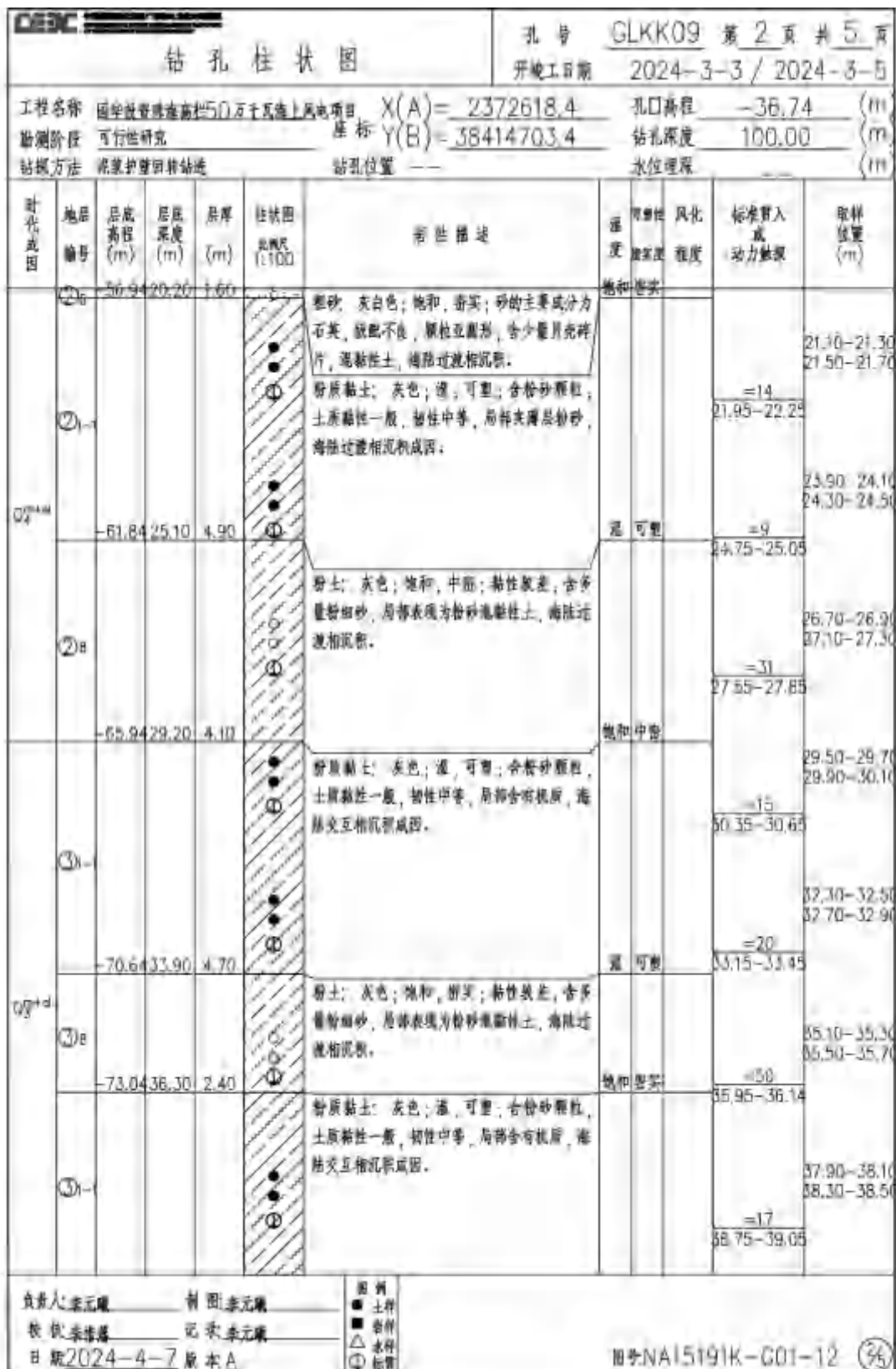


图 5.4-6b GLkk09 孔位钻孔柱状图

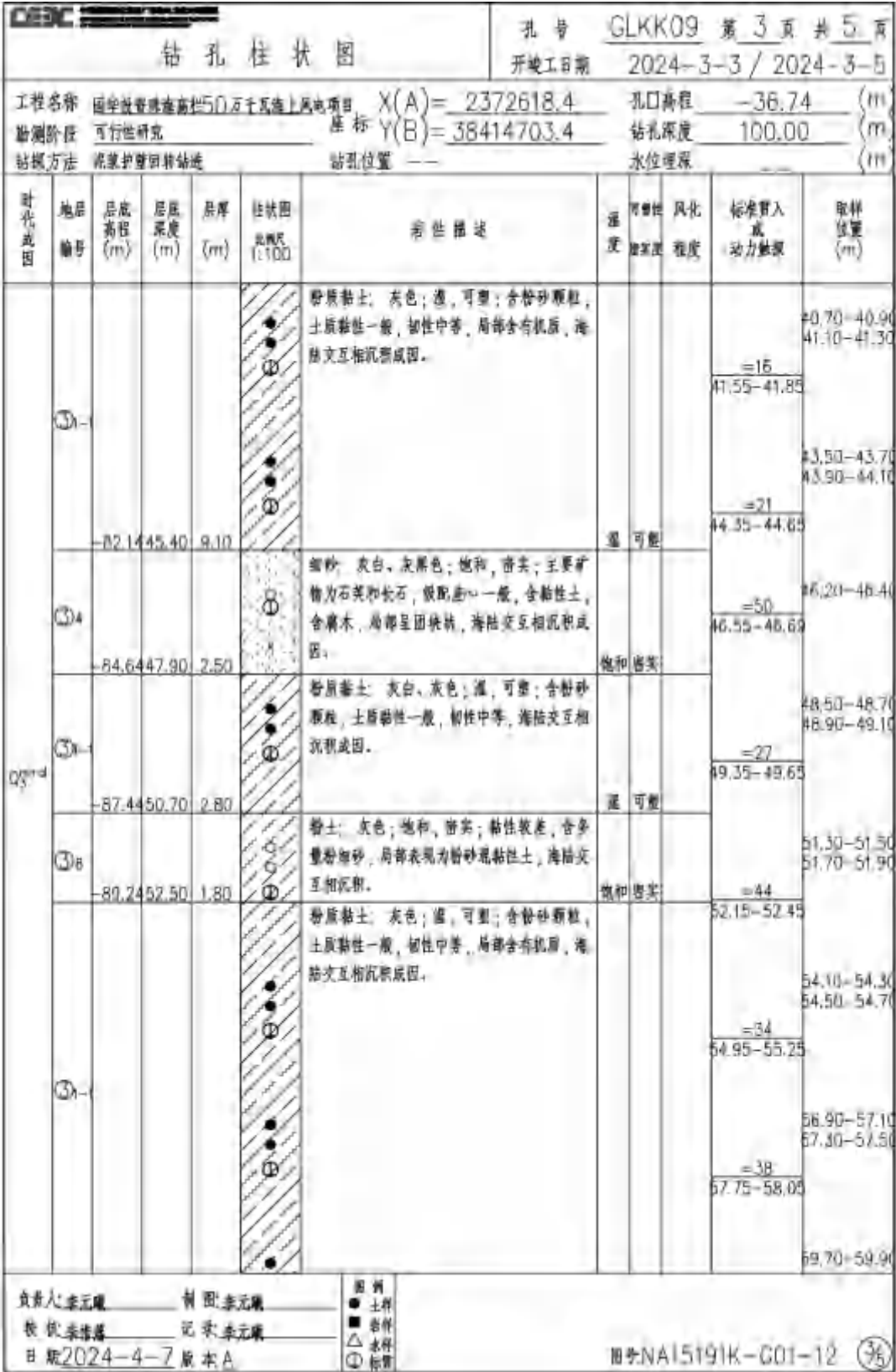
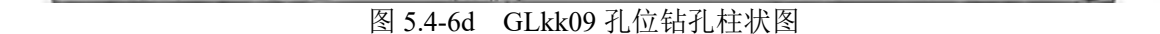


图 5.4-6c GLkk09 孔位钻孔柱状图



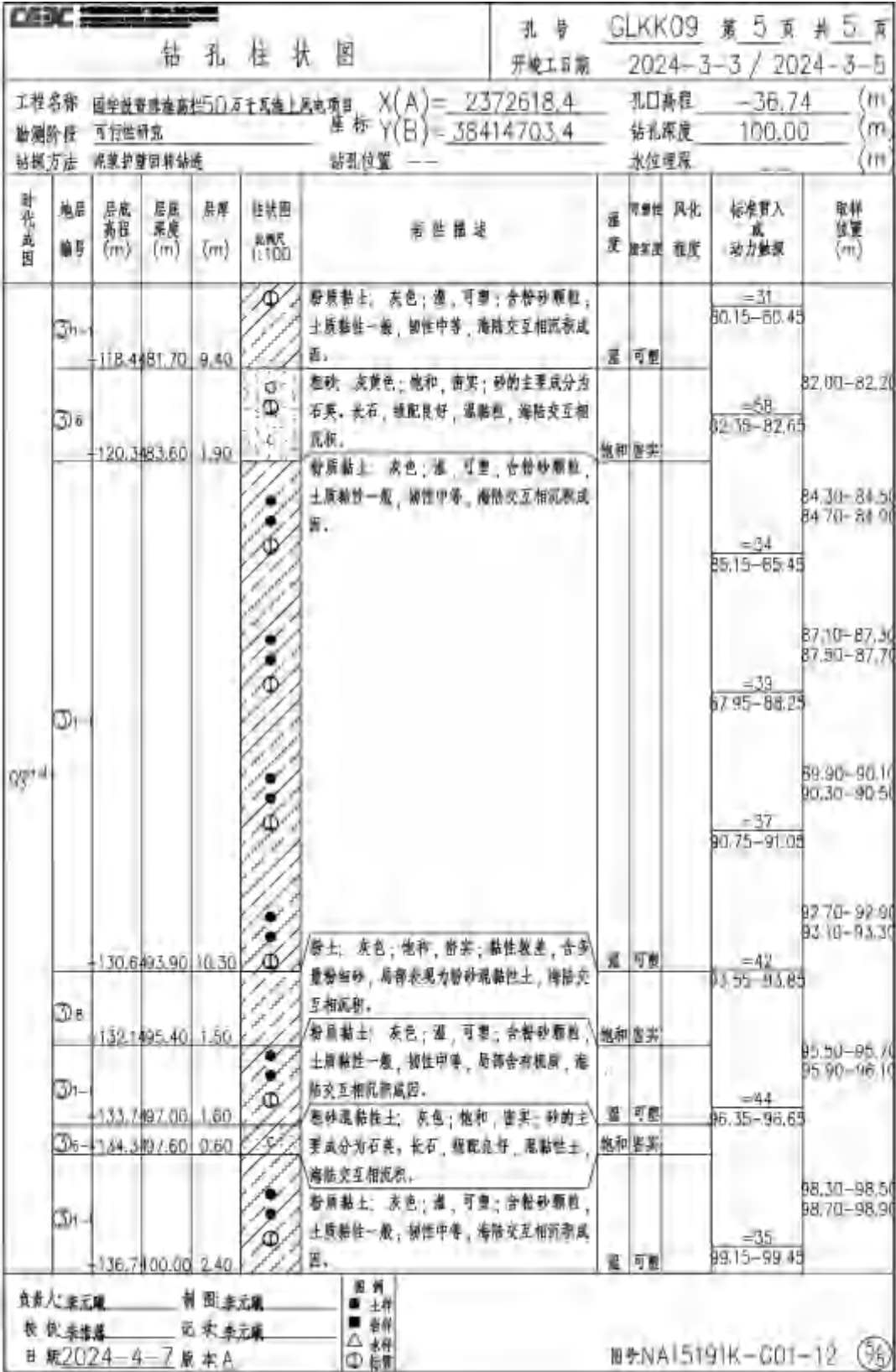


图 5.4-6e GLkk09 孔位钻孔柱状图

5.4.4 不良地质作用

场区海底地形总体较为平缓，本次勘察未见滑坡、崩塌、浅层气、活动沙丘等

不良地质作用及海底地震地质灾害问题，场址可能存在的不良地质作用主要为软土震陷和饱和砂土液化。

5.5 海洋资源

5.5.1 岸线资源

珠海市大陆海岸线总长度为 227.26 千米。海岸地貌大致可分为两种类型的岸段，从珠海市北界至唐家、前山水道以西两段为平原海岸；唐家至前山水道以东为山地港湾海岸。珠海市自东向西主要有唐家湾、东澳岛、金沙滩、飞沙滩、荷包岛沙滩等岸线资源。

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛附近海域，评价范围内岸线长 14848.78 米，岸线类型一级类包括人工岸线和其他岸线，其中人工岸线长 14735.63 米，二级类包括构筑物（10259.48 米）和填海造地（4476.15 米）；其他岸线长 113.15 米，二级类全为河口岸线。项目海缆登陆点处，海缆及保护带宽度占用岸线长度为 20.4 米，岸线类型一级类为人工岸线，二级类为构筑物。

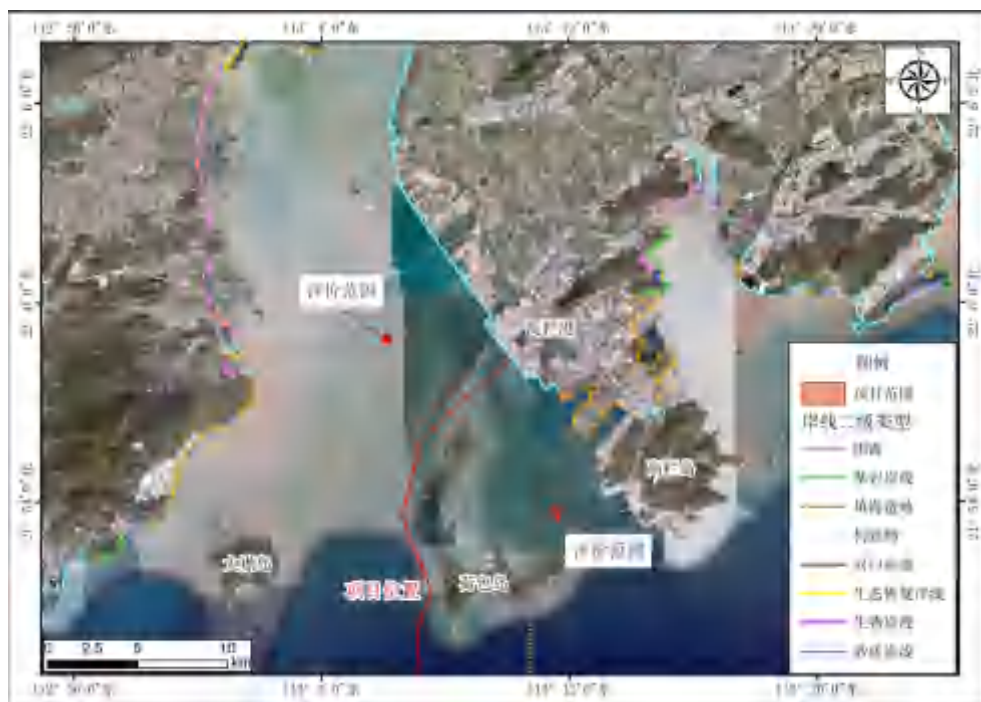


图 5.5-1 岸线资源分布图

5.5.2 湿地资源

珠海市湿地资源分布具有鲜明的地域特点。首先，珠海市地处珠江入海口，受珠江水系影响显著，湿地资源与水系分布密切相关。其次，珠海市作为海滨城市，海洋性气候对湿地资源的形成和分布具有重要影响。此外，珠海市的经济活动也对

湿地资源的分布产生了一定影响，如人工湿地的形成与农业、渔业等产业的发展密切相关。根据《广东省湿地保护规划（2023-2035 年）》，珠海市湿地面积共 41893.58 公顷，主要湿地类型为坑塘水面、河流水面和沿海滩涂。

项目风电场区位于高栏岛、荷包岛以南，水深介于 32 米~37 米海域，不占用湿地资源。项目路由自高栏港西侧入海，向南至风电场区。本项目评价范围内分布湿地资源面积约 15352 公顷，占湿地总面积的 37%，路由穿越区域分布的湿地类型主要有浅海水域，为一般湿地。

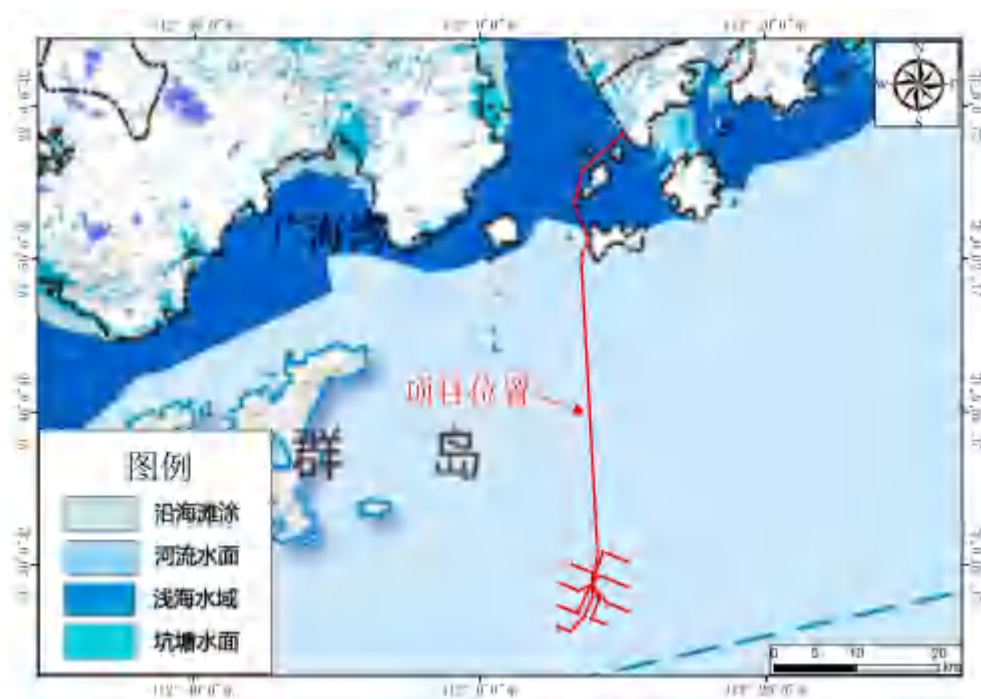


图 5.5-2 项目周边海域湿地资源分布图

5.5.3 岛礁资源

珠海市海洋资源丰富，海域辽阔，海岛众多，拥有大小岛屿 262 个，其中有居民海岛 10 个，无居民海岛 252 个。

珠海市的海岛自东而西可分为 3 个岛群：东岸海岛群北起淇澳岛，南至大九州，南北距离 20 多公里；南岸海岛群东起横琴岛，西至大杧岛，东西距离 50 多公里；东南部海域岛群包括外伶仃岛、三门列岛、隘洲列岛、万山列岛、担杆列岛、佳蓬列岛等。

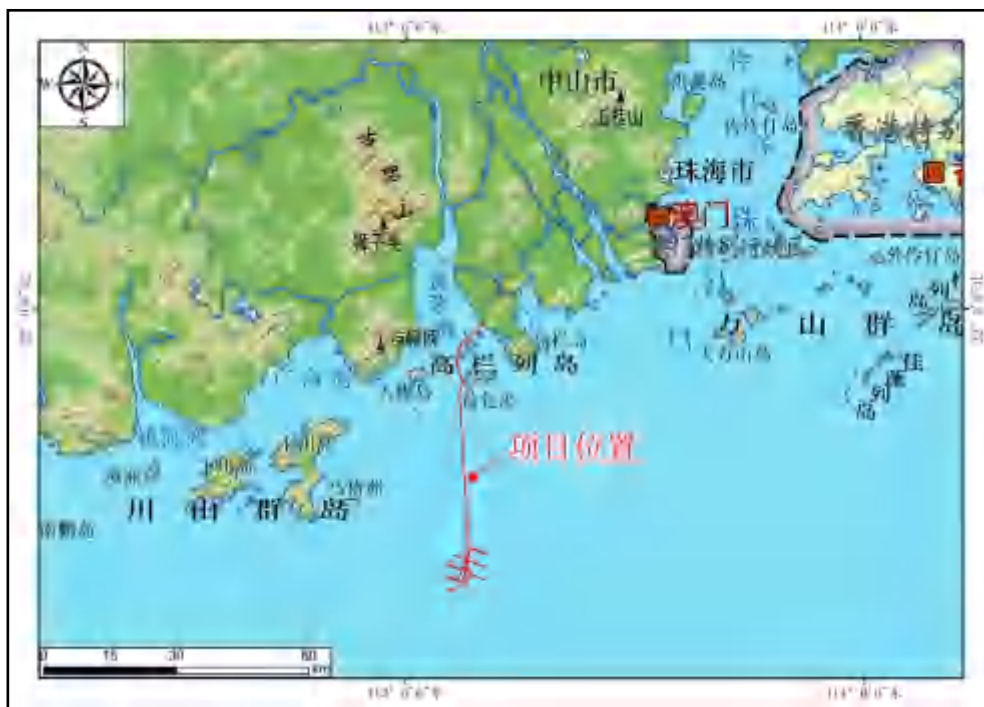


图 5.5-3 项目周边海域海岛分布图

项目位于珠海市南部海域，周边岛礁资源丰富，包括高栏岛、大杠岛、荷包岛、大襟岛、杠仔岛、长连排岛、獭洲爪岛、獭洲、园排、三角山岛、小襟岛等。

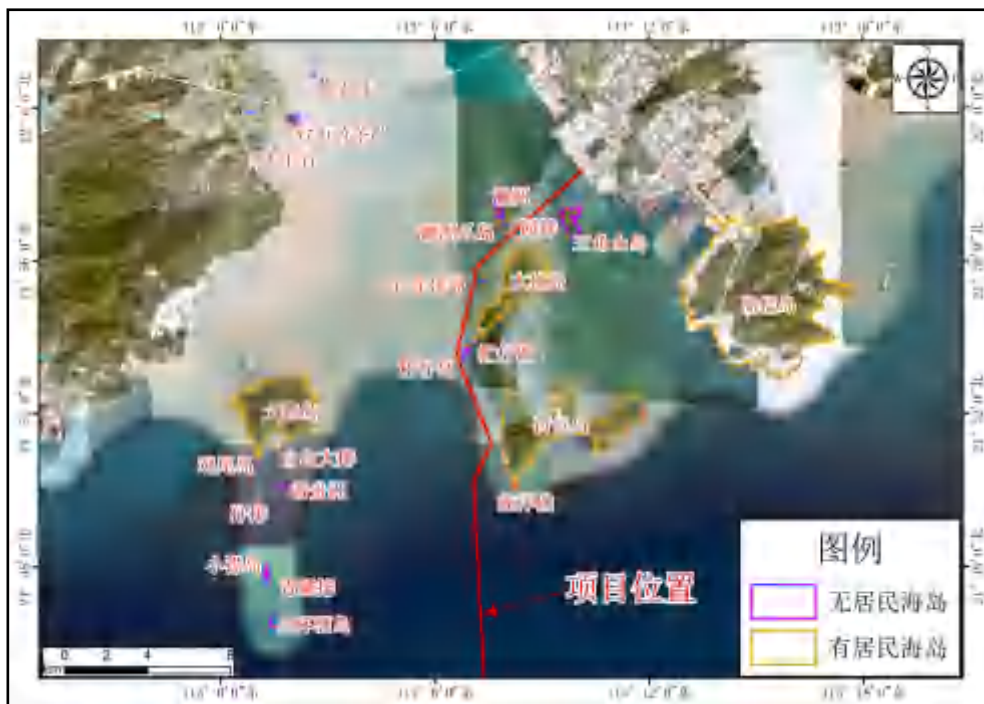


图 5.5-4 项目附近海岛分布图

(1) 高栏岛

高栏岛是金湾区最大的岛屿，也是最具代表性的岛礁资源之一。位于崖门口东侧，鸡啼门出口处，居高栏列岛东部，为高栏列岛之主岛，位于项目 500kV 外输

海缆的东侧 6.8 千米处。岛长 7.5 千米，宽 3.9~7.5 千米，面积 34.31km²，岸线长 3 7.32 千米，岛由红岩石组成，西北稍高，东西稍低，岛上有 200 米以上山峰 3 座，居岛中央的观音山高 418 米。水源充足，岛岸曲折，多为磊石岸和岩岸。岛周 7 个港湾，其中滩口东侧建有石砌堤式码头 1 座。岛上有公路。该岛资源丰富，南迳湾有金砂矿、铁矿，观音山有锡矿。岛周围水深 1~5 米，盛产虾、蟹、大花鱼、鲳鱼、曹白鱼、马鲛等。

岛上有高栏、铁炉、飞沙、沙白石 4 个自然村，1986 年有 480 余户，2800 多人，耕地 2480 亩。以农业和渔业为主，有机动船 50 余艘。岛上有小学 4 所，有信用社、商店、邮电所、派出所等。各乡都有火力发电设备。有班船往来于南水。该岛南侧是广州至湛江、海南岛海上交通必经航道，是珠江口以西重要岛屿之一。

岛上有多个天然沙滩，如大飞沙滩，沙质细腻，是夏季游泳和休闲的好去处。此外，高栏岛还是重要的渔业基地，周边海域鱼类资源丰富，吸引了众多渔民前来捕捞。

（2）荷包岛

荷包岛位于项目 500kV 外输海缆的东侧 0.5 千米处，岛东西长 7.8 千米，南北宽 0.5~4.24 千米，面积 11.82km²，岸线长 25.46 千米。由花岗岩构成，表层为黄沙粘土风化岩，地势西高东低，西部长有茂密树木，东部为灌木及茅草。以磊石岸为主，岛周有 3 个湾，1 个码头，可泊 50t 以下船只。该岛土地肥沃，人们常到此捕鱼，开荒种植，是生财之地，故称“荷包”岛。1986 年岛上有居民 46 户，270 人，以捕鱼和种植为生。岛周围水深 1.5~10.6 米，附近海域产红三、白花、马鲛、鲳鱼等。

（3）大杙岛

大杙岛位于项目 500kV 外输海缆的东侧 0.8 千米处，荷包岛北面，东距高栏岛 7 千米，南距荷包岛 3.1 千米，北距三角岛 1.8 千米，距大陆 12.65 千米。因该岛中部平坦，盛产大杙草而得名。该岛北高且大，南低且小，地形呈人头形，沿岸多陡岩，凹处是磊石，多岩洞，北侧位于大咀和鸭咀之间有一礁盘。挂榜湾、东涌有水源，常有渔船在两地取水，避风和砍柴。1984 年华南涉危动物研究所在该岛设了研究站，并放养了猴子、鹿。大杙岛自古无人居住。现岛上没有固定居民，原始生态保存完好，植被丰富，各种珍稀动植物种众多，有热带雨林及观赏植物 600 多种，如将军木、罗汉松、赤楠、余甘子、春花树等，珍稀野生动物 10 多种，如鹿、猴、龟等，沿岛海域还有各类鱼、虾、扇、贝 100 多种。

(4) 大襟岛

大襟岛位于项目 500kV 外输海缆的西侧 7.1 千米处，东与珠海市大杧岛、荷包岛毗邻，西南与上、下川岛遥遥相望。面积约 9.19km²，岛上平地少。户籍人口约 400 人（2017 年）。

(5) 杧仔岛

杧仔岛为基岩岛，位于项目 500kV 外输海缆的东侧 0.2 千米处。它位于大杧岛的南部和荷包岛的西北方向。杧仔岛的面积约为 78051.3m²，岛上主要由花岗岩构成，表面覆盖着黄沙土，并长有刺灌木丛，覆盖面达到 90%。岛屿的形状类似冬瓜，呈南北走向，南部地势较高，北部较低，东部相对平坦。根据《我国第一批开发利用无居民海岛名录》，杧仔岛开发利用类型为交通与工业用岛。

(6) 长连排岛

长连排岛为基岩岛，位于项目 500kV 外输海缆的东侧 0.3 千米处，与挂榜湾相望，东距獭洲 3.15 公里。

(7) 獭洲

獭洲为基岩岛，位于项目 500kV 外输海缆的西侧 0.8 千米处，面积约 0.14km²。

(8) 獭洲爪岛

獭洲爪岛为基岩岛，位于项目 500kV 外输海缆的西侧 0.5 千米处，与獭洲岛相隔 325 米，东距三角山岛 2.65 公里。

(9) 园排

园排为基岩岛，位于项目 500kV 外输海缆的东侧 0.5 千米处，海岛面积约 496.044m²。

(10) 三角山岛

三角山岛为基岩岛，位于项目 500kV 外输海缆的东侧 0.8 千米处，位于獭洲岛、南水岛和大杧岛之间，东北距大陆 9.85 公里。面积 0.82km²，该岛由三个山峰排成三角形，故名三角山岛，海岛面积约 0.77km²。根据《我国第一批开发利用无居民海岛名录》，三角山岛开发利用类型为交通与工业用岛。

5.5.4 港口航运资源

5.5.4.1 港口资源

珠海港是珠海市的重要港口，截至 2000 年，珠海港由九州、香洲、唐家、桂山和高栏五大海港区 and 前山、湾仔、井岸、斗门四个内河港区总共九个港区组成；珠

海港有码头泊位 109 个，其中万吨级以上泊位 8 个，泊位总长 6937 米，最大靠泊能力 8 万吨；仓库总面积 32764m²，堆场总面积 490490m²；起重装卸机械 219 台，最大起重能力 50t。

距离本项目风电场最近的港口为高栏港，最近直线距离约 9km。高栏港区是珠海港的主体港区，目前已开发南迳湾和南水两个作业区。南迳湾作业区已成为珠江三角洲地区油气品转运基地，南水作业区已依托电厂、钢厂等建成企业专用码头及公用码头。高栏港是国家一类对外开放口岸，总面积是 380km²，拥有珠江三角洲最大吨位的液体化工品码头泊位和建设 30 万吨级石化大码头的良好自然条件，主航道距国际航道（大西水道）-27 米等深线仅 11 千米，并可通过粤西沿海高速公路、高栏港高速、广珠铁路等组成的港口集疏运体系与珠三角地区形成 2 小时经济圈。

桂山港属于万山港区，万山港区的规划性质为以大宗散货转运为主，并为海岛物资运输和旅游客运服务的港区，现已建成 1 个 5 万吨级多点系泊成品油泊位及 2 个 500 吨级成品油泊位，9 个以陆岛运输为主的万吨级以下生产性泊位。桂山港的功能可满足国外风机、海缆等设备重件运输要求。

九洲港区是以城市生产生活物资运输、客运及对香港集装箱喂给为主的港区，地处珠海市区相对繁华地带，目前可停靠千吨级及以下的船只，客、货运兼有，港区发展受城市制约，需要逐步调整货运功能。目前建有多个多用途、客运、滚装泊位。根据 2007 年版《珠海港总体规划》，九州港重点发展珠海至香港、深圳的水上高速客运。

香洲、唐家港区位于珠江口西岸，斗门、井岸、洪湾港区位于内河水道，主要为珠海城市建设、生活物资运输和少量喂给香港的集装箱运输及陆岛交通服务，仅建设有千吨级以下生产性泊位。

5.5.4.2 航道锚地资源

珠海港的航道分为西部、东部和市区三部分。西部高栏港区主航道可乘潮通航 5 万吨级船舶；东部桂山港区为天然深水航道；市区九洲港区原按乘潮通航万吨级船舶的标准设计，目前按乘潮通航 3000 吨级船舶的标准维护，香洲和唐家港区为天然水深航道。

珠海港水域布置有 30 个锚地。高栏港区锚地位于高栏岛南侧；九洲港、唐家港区利用头洲引航锚地、九洲港小型船舶引航锚地、头洲候潮和装卸锚地及桂山引航、检疫和装卸锚地等多处锚地；万山港区、桂山港区利用桂山国际锚地。

本项目风电场离岸较远，周边海域主要航道包括：崖门出海航道二期工程、崖门出海西航道、荷包岛南航道、崖门出海航道、广东沿海内航路、广东沿海外航路、珠江口大蚬洲至江门上川岛南航路、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、高栏港进港航道、珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程等。

表 5.5-1 项目周边海域航道工程统计表

序号	名称	相对位置关系	距离 (km)
1	崖门出海航道二期工程	NW	4.02
2	崖门出海西航道	W	2.77
3	荷包岛南航道	送出海缆交越	/
4	崖门出海航道	送出海缆交越	/
5	广东沿海内航路	送出海缆交越	/
6	广东沿海外航路	S	19.63
7	珠江口大蚬洲至江门上川岛南航路	送出海缆交越	/
8	珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南航路	送出海缆交越	/
9	珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路	送出海缆交越	/
10	高栏港进港航道	E	2.81
11	珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程	送出海缆交越	/



图 5.5-5 项目周边海域航道工程分布图

(1) 崖门出海航道

崖门 5000 吨级出海航道和崖门水道（含上延段）5000 吨级航道已建设完成，

可满足 5000 吨级海轮全潮单向通航，10000 吨级海轮乘潮单向通航，本项目送出海缆西侧约 2.77km。

崖门 5000 吨级出海航道自崖门大桥经黄茅海三角山和大岛之间东汉向口外延伸至荷包岛北侧，全长 43.6km，通航宽度 90m，通航深度 7.2m，设计深度 7.7m（当地理论最低潮面）。2005 年 5 月~2006 年 11 月完成基建疏浚，2007 年 11 月完成试运行期维护，其后又进行了多次台风淤积的维护疏浚。从 2014 年开始，广东省航道事务中心每年均对该航道进行维护疏浚。

崖门水道（含上延段）5000 吨级航道自小岗大桥至崖门大桥全长 34.3km，通航宽度 90m，通航水深 7.9m，设计水深 8.3m（最低通航水位）。2011 年 12 月~2012 年 8 月完成基建疏浚，2014 年 11 月~2015 年 12 月完成了一次维护疏浚。

为保护航道资源，充分利用好航道资源，便于吨位较小的船舶航行现状崖门 5000 吨级出海航道未利用段（东线 QY 段）应保留。在崖门出海航道二期工程交工验收交付使用后，根据船舶通航密度和区域港口发展需要，重新确定该段航道的维护尺度。

（2）珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程（崖门出海航道二期（东东线））

崖门出海航道二期工程起点位于江门新会双水电厂上游边界处，沿崖门水道、珠海港高栏港区 5 万吨黄茅海一期航道，终点接入珠海港高栏港区 15 万吨级主航道，全长约 67.5km。黄茅海作业区航段满足 1 万吨级船舶满载全潮双向通航，其余航段满足 1 万吨级船舶满载全潮单向通航；全航道满足 2 万吨级杂货船、散货船和集装箱船满载乘潮单向通航要求。

崖门水道及潭江段通航水深 10.1m、设计水深 10.5m，设计底高程-9.9m（以当地理论最低潮面起算，下同）；黄茅海段通航水深 10.0m、设计水深 10.6m，设计底高程-10.0m。

单向通航航段（a-R 段）通航宽度 130m，航道挖槽宽 118.0~123.6m；双向通航航段（S-V 段）通航宽度 210m，航道挖宽度 201.6m。崖门出海航道二期于 2023 年整治完成，2023 年 3 月开始试航，2024 年 4 月正式完成验收。

（3）荷包岛南航道

凤尾咀南面至荷包岛东南侧约 11km，规划通航 1 万吨级。

（4）珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路

珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路里程 59.2 海里，航宽 1 海里~2 海里，为粤西沿海近岸航路支线。

（5）珠江口大蚬洲至江门上川岛南航路

珠江口大蚬洲至江门上川岛南航路里程 68 海里，航宽 2 海里，为珠江口近岸航路支线。

（6）广东沿海内航路

广东沿海内航路为干线航路，东接福建沿海中航路，西接湛江港进港航道。航路里程 396.3 海里，航宽约 3 海里~4 海里。

5.5.5 风力资源

项目位于中国广东省珠海市的南部海域，拥有得天独厚的地理位置和气候条件，使得该地区成为风力资源丰富的地区之一。

由于受不同天气和地形的影响，珠海市风向具有随季风变化的基本特征。春季，多东南风和东南偏东风；夏季，南风 and 西南风居多；秋季，以东北风和东北偏东风为主；冬季，以北风和东北风为主。风速季节变化也较明显，全年夏、秋风速较大，冬季风速较小。可利用的风能资源主要分布在沿海地区、近海海上和内陆的高山一带，其中向外海突出的沿岸地区、海岛和内陆地区的高山山脊及海上的风能资源丰富。本风电场处于珠江口高栏岛附近，风能资源较丰富。

ERA5 是使用欧洲中心 ECMWF 综合预测系统（IFS）的 CY41R2 中的四维变分数据同化产生的，垂直方向具有 137 个混合 sigma/pressure（模型）层次，最高水平为 0.01hPa。ERA5 数据集包含一个（31 千米）高分辨率实现（HRES）和一个分辨率降低的十个成员集合（EDA）。目前所使用的 ERA5 再分析数据按次日频率提供，数据空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，时间分辨率为逐时。

项目西北方向约 43 公里有上川岛气象站，东北方向约 87 公里有珠海气象站。利用各气象站的测风历史沿革，对气象站的历年逐月 10min 平均风速序列进行次时、迁站和高度订正。并与同期的再分析资料进行对比，如图 5.5-6 所示。

由图 5.5-6 可知，从年际变化看，2013 年与 2017 年先后出现近 10 年的两个风速峰值，而在 2014 年出现了近 10 年风速的谷值。由此构成了本项目风电场所在区域近 10 年的年平均风速呈现出波动变化形态。就季节变化而言，受本地区冬、夏季风环流控制，冬半年风速大，夏半年风速小的整体态势较为明显。珠海高栏规划场址处无测风塔，根据周边风资源资料进行风资源分析，规划场址风资源评估的年平均

均风能等级为 3 级，100 米高度年平均风速在 7.5m/s~7.7m/s，年平均风功率密度可达到 380~450W/m²。



图 5.5-6 基于气象站与再分析资料的风速时间变化特征

从统计的长年代风向玫瑰图可以看出，本项目风电场所在区域存在两个高频风向扇区，一个是 NNE~E，另一个是 S~SSW，分别对应该区域的冬、夏季风环流。规划场址海域风向频率分布特征为，高频风向扇区基本集中在 NNE~E，风能方向扇区集中在 NNE~E。规划场址风功率密度和风能利用小时数较高，湍流强度较低；风能资源较为丰富，具有很高的并网开发价值。

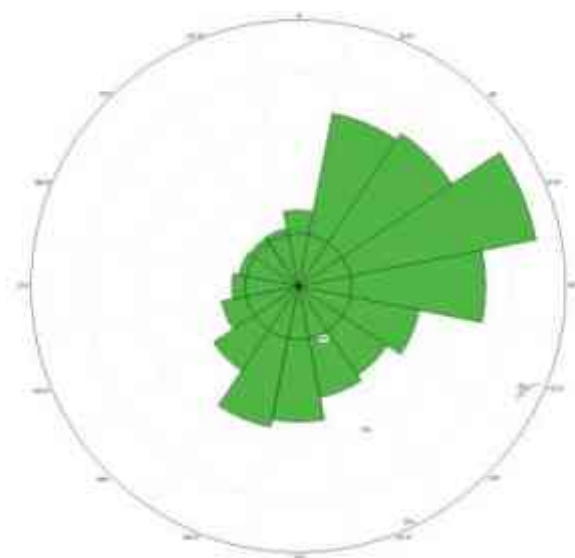


图 5.5-7 长年代风向玫瑰图

5.6 海洋自然灾害

根据《珠海市志》，项目海域及周边区域主要自然灾害为台风灾害。台风风暴潮会导致海堤被毁、房屋倒塌、农田被淹、通讯和电力等设施被毁而产生巨大损失。

风暴潮是热带气旋、温带气旋、海上飚线等风暴过境所伴随的强风和气压骤变而引起叠加在天文潮位之上的海面震荡或非周期性异常升高（降低）现象。渤海湾沿岸的风暴潮主要是由台风引起的台风风暴潮和由温带气旋引起的温带风暴潮两种类型。

据 1992 年~2009 年资料统计，闸坡海洋站热带气旋增水次数，50cm 以上增水一般每年 2 次，热带气旋增水一般出现于 4 月~10 月，但以 7 月~9 月比较多见，其中 9 月是出现热带气旋增水最多的月份。1992 年~2009 年最大增水 198cm，出现于 2008 年 9 月 24 日，是 0814 号强台风黑格比影响所致。闸坡海洋站风暴潮警戒水位 415cm（从潮高基准面起算）。1992 年~2009 年有 6 次受台风影响，最高潮位超过警戒水位，造成风暴潮灾害。分别出现于 1996 年 9 月 9 日，1997 年 8 月 22 日，2001 年 7 月 6 日，2003 年 7 月 24 日，2007 年 10 月 2 日和 2008 年 9 月 24 日。

根据近 5 年（2017 年-2022 年）《中国海洋灾害公报》数据统计，广东海域共发生 12 次台风风暴潮灾害，共造成 85.7342 亿元直接经济损失。

表 5.6-1 近 5 年影响广东省沿海风暴潮一览表

编号	名称	发生时间	直接经济损失（亿元）
1702	“苗柏”台风风暴潮	2017 年 6 月 12 日-13 日	0.17
1713	“天鹅”台风风暴潮	2017 年 8 月 22 日-23 日	51.54
1714	“帕卡”台风风暴潮	2017 年 8 月 26 日-27 日	0.13
1716	“玛娃”台风风暴潮	2017 年 9 月 2 日-4 日	0.26
1720	“卡奴”台风风暴潮	2017 年 10 月 14 日-16 日	1.51
1822	“山竹”台风风暴潮	2018 年 9 月 16 日-17 日	23.70
1823	“百里嘉”台风风暴潮	2018 年 9 月 12 日-13 日	0.0002
2007	“海高斯”台风风暴潮	2020 年 8 月 18 日-19 日	0.4919
2107	“查帕卡”台风风暴潮	2021 年 7 月 19 日-21 日	0.1799
2119	“圆规”台风风暴潮	2021 年 10 月 11 日-14 日	0.1039
2203	“暹芭”台风风暴潮	2022 年 7 月 1 日-3 日	7.4337
2209	“马鞍”台风风暴潮	2022 年 8 月 24 日-25 日	0.2146

6 环境现状调查与评价

本项目周边海域海水水质、沉积物、海洋生物质量、海洋生态、渔业资源调查资料采用《广电网珠海高栏一海上风电场海洋环境现状秋季调查专题报告书》（自然资源部南海调查中心，2024年1月）、《广电网珠海高栏一海上风电场海洋环境现状春季调查专题报告书》（自然资源部南海调查中心，2024年4月）。自然资源部南海调查中心于2023年11月8日~11月27日、2024年3月1日~3月10日开展现场采样及调查工作，其中部分参数由广东创蓝科技有限公司完成测试。2023年秋季调查共设有水质调查站位30个，沉积物调查站位15个，海洋生物生态18个，4条潮间带断面，生物体质量和渔业资源调查调查站位18个；2024年春季调查共设有水质调查站位30个，海洋生物生态18个，3条潮间带断面，生物体质量和渔业资源调查站位18个。调查站位见表6.1-1a、图6.1-1a~图6.1-1b。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），评价范围内涉及海岸（岛岸）时，应开展潮间带沉积物调查。因此，本次评价采用自然资源部南海调查中心于2025年10月13日在项目周边海域开展的潮间带沉积物调查资料。调查站位见表6.1-1b、图6.1-1c。

表 6.1-1a 2023 年秋季、2024 年春季海洋生态环境调查站位表

编号	东经	北纬	2023 年秋季调查内容	2024 年春季调查内容
1	113°09'51.59"	21°56'16.62"	水质	水质
2	113°11'32.94"	21°54'26.55"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
3	113°12'11.25"	21°51'01.25"	水质	水质
4	113°12'11.25"	21°46'56.84"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
5	113°12'08.78"	21°42'58.06"	水质	水质
6	112°56'34.39"	21°39'40.53"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
7	113°04'03.94"	21°39'35.09"	水质、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
8	113°11'53.16"	21°39'35.97"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
9	113°18'41.93"	21°39'35.97"	水质	水质
11	112°56'34.39"	21°32'39.94"	水质	水质
12	113°04'04.67"	21°32'37.84"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
13	113°11'43.59"	21°32'36.94"	水质	水质
14	113°18'36.14"	21°32'36.47"	水质、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源

编号	东经	北纬	2023 年秋季调查内容	2024 年春季调查内容
16	112°56'31.92"	21°26'11.23"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
17	113°03'56.96"	21°25'52.85"	水质、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
18	113°11'39.79"	21°25'57.37"	水质	水质
19	113°18'32.40"	21°25'50.45"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
21	112°56'34.39"	21°18'17.02"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
22	113°03'58.11"	21°18'19.27"	水质	水质
23	113°11'39.63"	21°18'15.85"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
24	113°18'31.65"	21°18'23.87"	水质	水质
26	113°06'22.71"	21°58'22.72"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
27	113°04'24.06"	21°55'49.10"	水质	水质
28	113°04'19.11"	21°52'08.93"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
29	113°04'14.17"	21°48'35.54"	水质	水质
30	113°04'11.70"	21°43'55.47"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
31	113°14'53.63"	21°32'26.89"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
32	113°08'14.29"	21°26'22.84"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
33	113°14'02.81"	21°28'47.86"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
34	113°06'27.21"	21°29'10.09"	水质	水质
C1	113°08'58.44"	22°00'12.74"	潮间带生物	\
C2	113°10'43.50"	21°57'49.48"	潮间带生物	\
C3	113°12'24.85"	21°56'02.86"	潮间带生物	潮间带生物
C4	113°07'40.57"	22°01'53.57"	潮间带生物	潮间带生物
C5	113°10'06.78"	21°58'22.62"	\	潮间带生物

表 6.1-1b 2025 年秋季潮间带沉积物调查断面信息表

断面	东经	北纬	监测项目
C3	113°12'24.85"	21°56'02.86"	潮间带沉积物
C4	113°07'40.57"	22°01'53.57"	潮间带沉积物
C5	113°10'06.78"	21°58'22.62"	潮间带沉积物

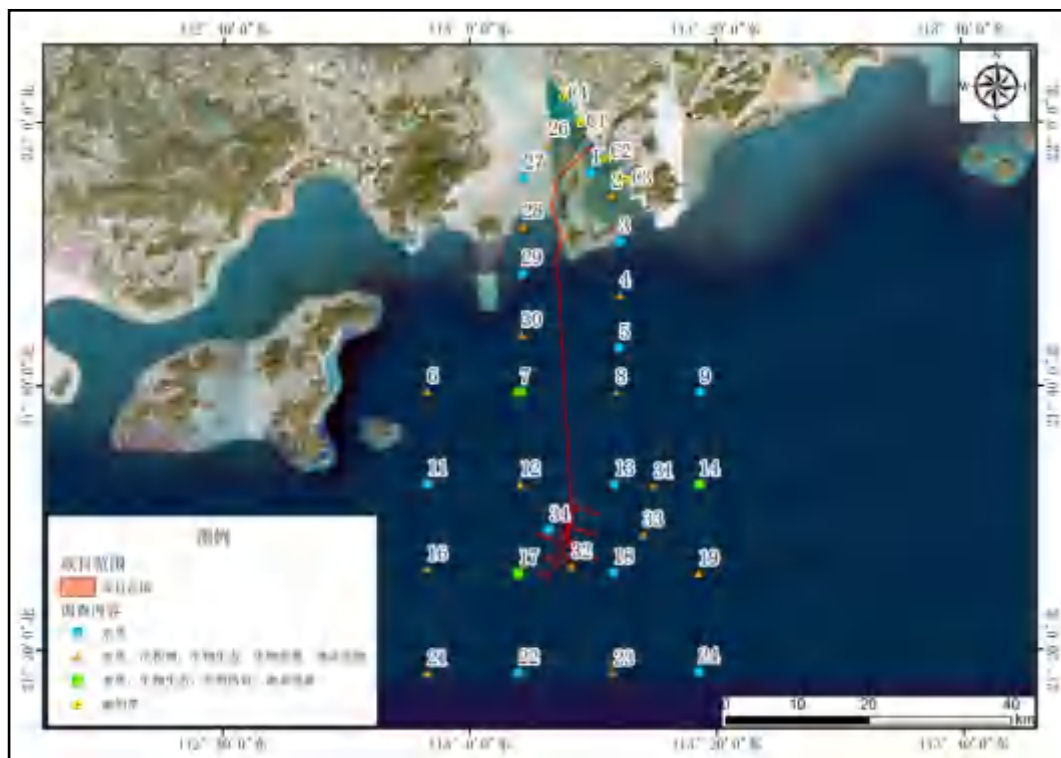


图 6.1-1a 2023 年秋季水质、沉积物、生物生态、渔业资源、生物质量调查站位分布图

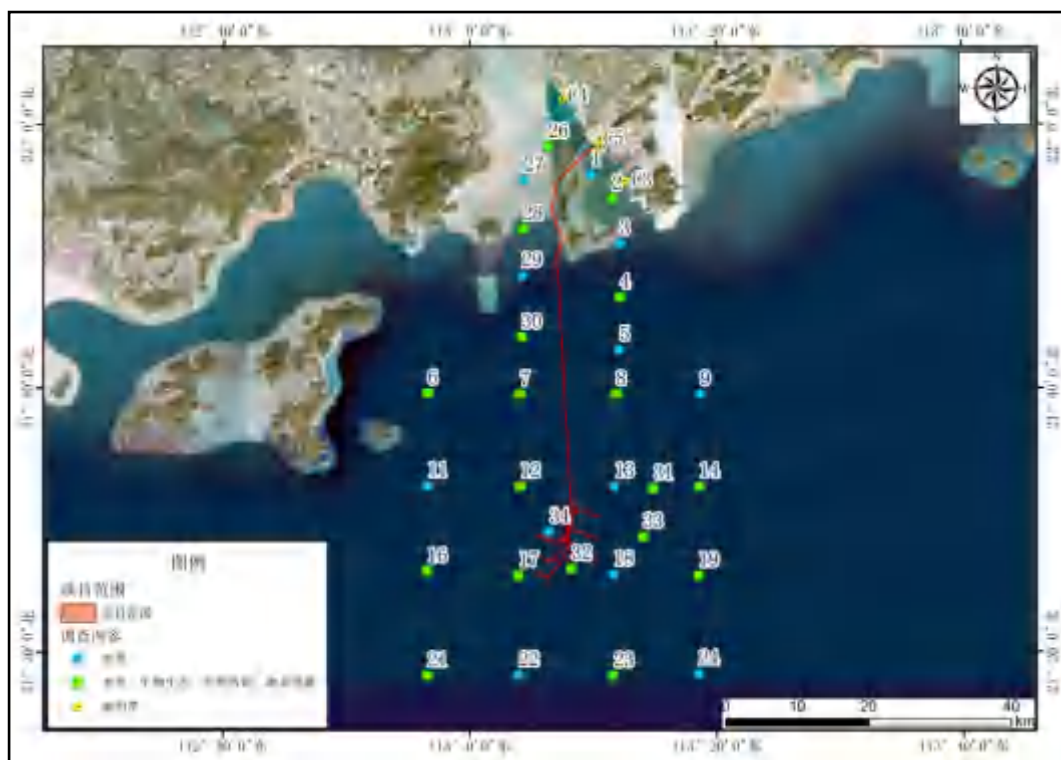


图 6.1-1b 2024 年春季水质、沉积物、生物生态、渔业资源、生物质量调查站位分布图

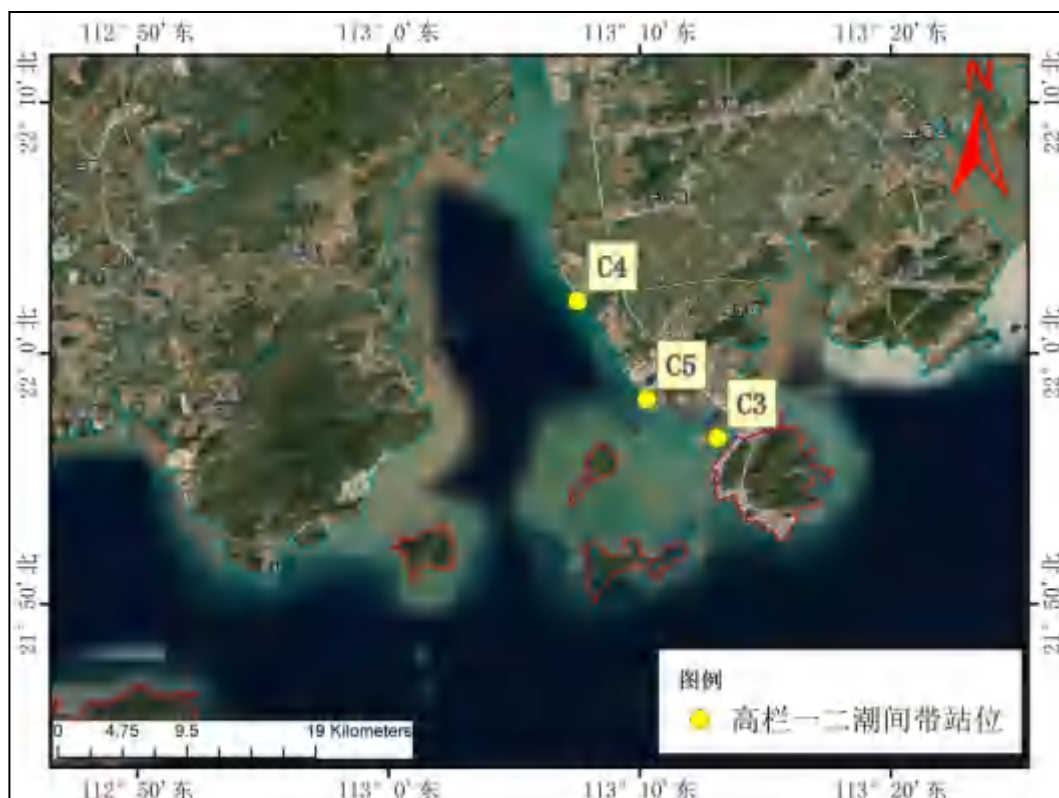


图 6.1-1c 2025 年秋季潮间带沉积物调查断面示意图

6.1 海水水质现状调查与评价

6.1.1 调查概况

自然资源部南海调查中心于 2023 年 11 月 8 日~11 月 27 日开展秋季现场采样及调查工作，于 2024 年 3 月 1 日~3 月 10 日开展春季现场采样及调查工作。

6.1.2 调查项目

水深、pH、盐度、温度、悬浮物、溶解氧（DO）、化学需氧量（ COD_{Mn} ）、无机氮（硝酸盐 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、亚硝酸盐 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、铵盐 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、活性磷酸盐、石油类以及重金属（铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷）。

6.1.3 分析方法

水质样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）和《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行，各项目的分析方法如表 6.1-2。

表 6.1-2 海水调查项目及分析方法表

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
1	水温	《海洋调查规范第 2 部分：海洋水文观测》GB/T12763.2-2007/5.2.1	CTD 法	/
2	pH	《海洋监测规范第 4 部分：海水分析》GB17378.4-2007/26	pH 计法	/
3	盐度	《海洋监测规范第 4 部分：海水分析》	盐度计法	2

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
		GB17378.4-2007/29.1		
4	溶解氧	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/31	碘量法	0.11mg/L
5	悬浮物	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/27	重量法	/
6	化学需氧量	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/32	碱性高锰酸钾法	0.15mg/L
7	硝酸盐氮	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/38.1	镉柱还原法	0.0010mg/L
8	亚硝酸盐氮	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/37	萘乙二胺分光光度法	0.0002mg/L
9	氨氮	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/36.1	靛酚蓝分光光度法	0.0004mg/L
10	活性磷酸盐	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/39.1	磷钼蓝分光光度法	0.0006mg/L
11	挥发酚	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/19	4-氨基安替比林分光光度法	1.1μg/L
12	硫化物	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/18.1	亚甲基蓝分光光度法	0.2μg/L
13	油类	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/13.2	紫外分光光度法	0.0035mg/L
14	汞	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/5.1	原子荧光法	0.007μg/L
15	砷	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/11.1	原子荧光法	0.5μg/L
16	铜	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/6.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L
17	铅	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/7.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L
18	镉	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/8.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L
19	锌	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/9.1	火焰原子吸收分光光度法	0.0031mg/L
20	总铬	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/10.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L
21	生化需氧量	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/33.1	五日培养法	/
22	活性硅酸盐	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/17.1	硅钼黄法	0.0126mg/L
23	硒	《海洋监测规范第4部分：海水分析》 GB17378.4-2007/12.1	荧光分光光度法	0.2μg/L
24	镍	《海洋监测规范第4部分海水分析》GB 17378.4-2007/42	无火焰原子吸收分光光度法	0.5μg/L

6.1.4 评价方法

(1) 评价标准

对照《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）《广东省海岸

带及海洋空间规划（2021-2035 年）》中各个海洋功能区的环境保护要求，将站位及其所属的海洋功能区的海洋环境保护要求分别对照列入表 6.1-4、表 6.1-5，按照就高不就低的原则，得到各站位的海水水质。海域水质现状评价依据标准《海水水质标准》（GB3097-1997），见表 6.1-3。

表 6.1-3 海水水质标准一览表（单位：mg/L（pH 除外））

水质指标	第一类	第二类	第三类	第四类
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	
溶解氧>	6	5	4	3
化学需氧量≤（COD）	2	3	4	5
生化需氧量≤（BOD ₅ ）	1	3	4	5
无机氮≤（以 N 计）	0.200	0.300	0.400	0.500
活性磷酸盐≤（以 P 计）	0.015	0.030	0.030	0.045
汞（Hg）≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
镉（Cd）≤	0.001	0.005	0.010	0.010
铅（PB）≤	0.001	0.005	0.010	0.050
总铬（Cr）≤	0.050	0.100	0.200	0.500
砷（As）≤	0.020	0.030	0.050	0.050
铜（Cu）≤	0.005	0.010	0.050	0.050
锌（Zn）≤	0.020	0.050	0.100	0.500
硒（Se）≤	0.010	0.020	0.020	0.050
镍（Ni）≤	0.005	0.010	0.020	0.050
硫化物≤ （以硫计）	0.020	0.050	0.100	0.250
挥发性酚≤	0.005	0.005	0.010	0.050
石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50

表 6.1-4 各站位所在海洋功能区及其环境保护要求表

功能区划分依据	海洋功能区名称	对应站位	海洋环境保护要求
《广东省近岸海域环境功能区划》	珠海港口功能区	1、2、3	水质目标为三类海水水质标准
《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》	江门中华白海豚地方级自然保护区生态保护区	29	海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量执行第一类标准。
	高栏港生态控制区	26	
	高栏港交通运输用海区	1、2、3	执行海水水质第四类标准、海洋沉积物质量第三类标准和海洋生物质量第三类标准。
	大襟岛交通运输用海区	28	
	黄茅海渔业用海区	27	执行海水水质第一类标准、海洋沉积物质量第一类标准和海洋生物质量第一类标准。
	江门-珠海南部渔业	4、5、6、7、8、9、11、	

功能区划分依据	海洋功能区名称	对应站位	海洋环境保护要求
	用海区	12、13、14、16、17、30	
	高栏海上风电工矿通信用海区	31、32、33、34	执行海水水质第三类标准、海洋沉积物质量第二类标准和海洋生物质量第二类标准。
	/	18、19、21、22、23、24	/

表 6.1-6 各站位环境保护要求表

调查站位	执行的评价标准类别		
	海水水质	海洋沉积物质量	海洋生物质量
29、26、27、4、5、6、7、8、9、11、12、13、14、16、17、30	第一类	第一类	第一类
1、2、3、31、32、33、34	第三类	第二类	第二类
28	第四类	第三类	第三类

(2) 评价方法

评价方法采用《海水水质标准》（GB 3097-1997），根据监测结果，采用单项指数法对水质现状进行评价。水质参数的标准指数 >1 ，表明该水质参数超过了规定的水质标准。

1) 单项水质参数 i 在第 J 点的标准指数

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

式中： $S_{i,j}$ — i 污染物在 J 点的污染指数；

$C_{i,j}$ — i 污染物在 J 点的实测浓度，mg/L；

$C_{s,i}$ — i 污染物的评价标准，mg/L。

2) DO 的标准指数为：

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

$$S_{DO,j} = |DO_f - DO_J| / (DO_f - DO_s) \quad DO_J > DO_f$$

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制，mg/L；

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

S ——实用盐度符号，量纲一；

T ——水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

3) 对 pH 用下式计算：

$$S_{\text{pH}, J} = (7.0 - \text{pH}_J) / (7.0 - \text{pH}_{sd}) \quad \text{pH} \leq 7.0$$

$$S_{\text{pH}, J} = (\text{pH}_J - 7.0) / (\text{pH}_{su} - 7.0) \quad \text{pH} > 7.0$$

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

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。

6.1.5 调查结果及评价结果

(1) 2023 年秋季现状调查及评价结果

1) 调查结果

水质调查结果见附表 1。调查结果表明：

水深：调查海域海水深度范围在 6m~42m 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 26 号站位。

pH：调查海域表层海水 pH 范围在 8.07~8.23 之间，最高值出现在 17 号站位，最低值出现在 6 号站位；中层海水 pH 范围在 8.08~8.22 之间，最高值出现在 17 号站位，最低值出现在 7 号、11 号、12 号、21~23 号站位；底层海水 pH 范围在 8.07~8.22 之间，最高值出现在 17 号站位，最低值出现在 6 号站位。

盐度：调查海域表层海水盐度范围在 21.82~34.00 之间，最高值出现在 22 号站位，最低值出现在 26 号站位；中层海水盐度范围在 33.30~34.00 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 5 号站位；底层海水盐度范围在 28.85~34.00 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 29 号站位。

温度：调查海域表层海水温度范围在 22.3℃~27.1℃之间，最高值出现在 17 号站位，最低值出现在 3 号站位；中层海水温度范围在 23.8℃~26.9℃之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 5 号、8 号站位；底层海水温度范围在 23.2℃~26.9℃之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 29 号站位。

溶解氧：调查海域表层海水溶解氧范围在 6.56mg/L~8.24mg/L 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 6 号站位；中层海水溶解氧范围在 6.53mg/L~7.16mg/L 之间，最高值出现在 13 号站位，最低值出现在 12 号站位；底层海水溶解氧范围在 6.37mg/L~7.44mg/L 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 7 号、12 号站位。

化学需氧量：调查海域海水化学需氧量范围在 0.11mg/L~1.16mg/L 之间，最高

值出现在 1 号站位，最低值出现在 34 号站位；中层海水化学需氧量范围在 0.11mg/L~0.46mg/L 之间，最高值出现在 12 号站位，最低值出现在 24 号、33 号站位；底层海水化学需氧量范围在 0.09mg/L~0.67mg/L 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 7 号站位。

悬浮物：调查海域表层海水悬浮物范围在 0.1mg/L~12.8mg/L 之间，最高值出现在 2 号站位，最低值出现在 33 号站位；中层海水悬浮物范围在 0.1mg/L~12.3mg/L 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 7 号站位；底层海水悬浮物范围在 0.5mg/L~13.4mg/L 之间，最高值出现在 8 号站位，最低值出现在 19 号站位。

氨氮：调查海域表层海水氨氮范围在 2.14 μ g/L~16.23 μ g/L 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 12 号站位，其中 1 号、4 号、5 号、7 号、8 号、11 号、13 号、14 号、16 号~19 号、22 号、30 号~34 号站位氨氮未检出；中层海水氨氮范围在 2.62 μ g/L~6.40 μ g/L 之间，最高值出现在 31 号站位，最低值出现在 16 号站位，其中 7 号、8 号、11 号、14 号、17 号、19 号、21 号、22 号、32 号~34 号站位氨氮未检出；底层海水氨氮范围在 2.74 μ g/L~5.81 μ g/L 之间，最高值出现在 4 号站位，最低值出现在 23 号站位，其中 5 号~9 号、12 号~14 号、17 号~19 号、21 号、24 号、29 号~34 号站位氨氮未检出。

亚硝酸盐：调查海域表层海水亚硝酸盐范围在 0.0056 μ g/L~51.04 μ g/L 之间，最高值出现在 26 号站位，最低值出现在 7 号站位；中层海水亚硝酸盐范围在 0.70 μ g/L~13.33 μ g/L 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 24 号站位；底层海水亚硝酸盐范围在 0.67 μ g/L~37.21 μ g/L 之间。最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 24 号站位。

硝酸盐：调查海域表层海水硝酸盐范围在 0.32 μ g/L~1025.75 μ g/L 之间，最高值出现在 26 号站位，最低值出现在 7 号站位；中层海水硝酸盐范围在 26.98 μ g/L~252.76 μ g/L 之间，最高值出现在 18 号站位，最低值出现在 11 号站位；底层海水硝酸盐范围在 24.8 μ g/L~473.06 μ g/L 之间。最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 16 号站位。

活性磷酸盐：调查海域表层海水活性磷酸盐范围在 2.84 μ g/L~25.06 μ g/L 之间，最高值出现在 3 号站位，最低值出现在 12 号站位；中层海水活性磷酸盐范围在 2.42 μ g/L~10.76 μ g/L 之间，最高值出现在 5 号站位，最低值出现在 34 号站位；底层海水活性磷酸盐范围在 2.73 μ g/L~16.61 μ g/L 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出

现在 34 号站位。

石油类：调查海域海水石油类范围在 $5.7\mu\text{g/L}$ ~ $58.1\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 19 号站位，最低值出现在 30 号、34 号站位，其中 1 号、3 号、5 号、8 号、9 号、28 号站位石油类未检出。

铜：调查海域表层海水铜范围在 $0.1\mu\text{g/L}$ ~ $2.3\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 34 号站位，最低值出现在 14 号站位，其中 18 号、19 号、33 号站位铜未检出；中层海水铜范围在 $0.2\mu\text{g/L}$ ~ $0.8\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 23 号站位，最低值出现在 11 号、16 号、34 号站位，其中 14 号、17 号~19 号、22 号、32 号、33 号站位铜未检出；底层海水铜范围在 $0.2\mu\text{g/L}$ ~ $1.2\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 24 号站位，其中 11 号、12 号、14 号、18 号、19 号、22 号、32 号~34 号站位铜未检出。

铅：调查海域表层海水铅范围在 $0.11\mu\text{g/L}$ ~ $1.02\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 34 号站位，最低值出现在 28 号站位；中层海水铅范围在 $0.13\mu\text{g/L}$ ~ $0.80\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 32 号站位，最低值出现在 17 号站位，其中 19 号站位铅未检出；底层海水铅范围在 $0.04\mu\text{g/L}$ ~ $0.65\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 13 号站位，最低值出现在 33 号站位。

锌：调查海域表层海水锌范围在 $3.2\mu\text{g/L}$ ~ $12.9\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 23 号站位，最低值出现在 8 号站位，其中 31 号站位锌未检出；中层海水锌范围在 $5.6\mu\text{g/L}$ ~ $29.9\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 33 号站位，其中 9 号、13 号、31 号站位锌未检出；底层海水锌范围在 $3.2\mu\text{g/L}$ ~ $14.7\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 14 号站位，最低值出现在 29 号站位，其中 13 号、31 号站位锌未检出。

镉：调查海域表层海水镉范围在 $0.01\mu\text{g/L}$ ~ $0.04\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 3 号站位，最低值出现在 28 号站位，其中除了 1 号、3 号、4 号、26 号~28 号站位，其他站位镉均未检出；中层、底层海水镉均未检出。

总铬：调查海域表层海水总铬仅 9 号站位检出，结果为 $0.4\mu\text{g/L}$ ，其他站位均未检出；中层海水、底层海水总铬均未检出。

汞：调查海域表层海水汞范围在 $0.008\mu\text{g/L}$ ~ $0.015\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 26 号站位，最低值出现在 9 号、31 号站位，其中 5 号~8 号、11 号~14 号、16 号~19 号、21 号、22 号、24 号、28 号、29 号、32 号~34 号站位汞未检出；中层海水汞范围在 $0.008\mu\text{g/L}$ ~ $0.012\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 23 号站位，最低值出现在 24 号站位，其中 5 号、7 号、11 号~14 号、16 号~19 号、21 号、22 号、31 号~34 号站位汞未检

出；底层海水汞范围在 $0.004\mu\text{g/L}$ ~ $0.017\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 4 号站位，其中 6 号、7 号、11 号~14 号、16 号~19 号、21 号~23 号、29 号、31 号、33 号、34 号站位汞未检出。

砷：调查海域海水砷范围在 $0.9\mu\text{g/L}$ ~ $1.5\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 3 号站位，最低值出现在 17 号站位；中层海水砷范围在 $0.9\mu\text{g/L}$ ~ $1.3\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 5 号、9 号站位，最低值出现在 17 号站位；底层海水砷范围在 $0.9\mu\text{g/L}$ ~ $1.4\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 17 号站位。

2) 评价结果

水质评价结果见附表 2。评价结果表明：

pH：用第一、二类海水水质进行评价，调查海域海水 pH 评价结果范围在 0.71~0.82 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

溶解氧：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水溶解氧评价结果范围在 0.01~0.94 之间；用第二类海水水质进行评价，调查海域海水溶解氧评价结果范围在 0.00~0.78 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

化学需氧量：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水化学需氧量评价结果范围在 0.00~0.58 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

无机氮：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.07~5.43 之间，超标率为 24.3%；用第二类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.05~3.62 之间，超标率为 13.5%；用第三类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.04~2.72 之间，超标率为 12.2%；用第四类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.03~2.17 之间，超标率为 9.46%。

活性磷酸盐：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水活性磷酸盐评价结果范围在 0.03~2.17 之间，超标率为 12.2%；用第二类海水水质进行评价，调查海域海水活性磷酸盐评价结果范围在 0.08~0.84 之间。

石油类：用第一、二类海水水质进行评价，调查海域海水石油类评价结果范围在 0.01~1.16 之间，超标率为 3.33%；用第三类海水水质进行评价，调查海域海水石油类评价结果范围在 0.00~0.19 之间。

铜：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水铜评价结果范围在 0.02~0.45 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

铅：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水铅评价结果范围在 0.02~1.02 之间，超标率为 1.35；用第二类海水水质进行评价，调查海域海水铅评价结果范围在 0.00~0.20 之间。

锌：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水锌评价结果范围在 0.08~1.50 之间，超标率为 1.35；用第二类海水水质进行评价，调查海域海水锌评价结果范围在 0.03~0.6 之间。

镉：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水镉评价结果范围在 0.00~0.03 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

总铬：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水总铬评价结果范围在 0.00~0.01 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

汞：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水汞评价结果范围在 0.04~0.34 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

砷：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水砷评价结果范围在 0.05~0.07 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

3) 小结

根据第一类水质标准对 2023 年秋季航次的评价结果可知（附表 2），所有站位的 pH、溶解氧、COD_{mn}、总铬、汞、砷、铜和镉等指标均符合一类海水水质标准，石油类、无机氮、磷酸盐、铅和锌则有不同程度的超标。在 74 个样品中，铅、锌、石油类分别有 1 个样品超标，铅、锌超标率为 1.35%，石油类超标率为 3.33%；磷酸盐有 9 个样品超标，超标率为 12.2%；无机氮有 18 个样品超标，超标率为 24.3%。

按照第二类海水水质标准进行评价，除石油类、无机氮外，所有站位其余指标均满足第二类标准限值。

（2）2024 年春季现状调查及评价结果

1) 调查结果

水质调查结果见附表 3。调查结果表明：

水深：调查海域海水深度范围在 6m~48m 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 26 号站位。

pH：调查海域表层海水 pH 范围在 8.16~8.24 之间，最高值出现在 14 号、18 号站位，最低值出现在 2 号、30 号站位；中层海水 pH 范围在 8.22~8.25 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 5 号站位；底层海水 pH 范围在 8.18~8.24 之间，最

高值出现在 19 号、24 号站位，最低值出现在 29 号站位。

盐度：调查海域表层海水盐度范围在 27.59~34.44 之间，最高值出现在 23 号、24 号站位，最低值出现在 26 号站位；中层海水盐度范围在 31.66~34.47 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 5 号站位；底层海水盐度范围在 28.44~34.48 之间，最高值出现 23 号、24 号站位，最低值出现在 4 号站位。

温度：调查海域表层海水温度范围在 18.5℃~22.4℃之间，最高值出现在 22 号站位，最低值出现在 27 号站位；中层海水温度范围在 19.0℃~22.0℃之间，最高值出现在 22 号、23 号站位，最低值出现在 7 号站位；底层海水温度范围在 18.5℃~21.7℃之间，最高值出现在 22 号站位，最低值出现在 6 号站位。

溶解氧：调查海域表层海水溶解氧范围在 7.15mg/L~8.74mg/L 之间，最高值出现在 3 号站位，最低值出现在 19 号、21 号、24 号站位；中层海水溶解氧范围在 7.15mg/L~7.91mg/L 之间，最高值出现在 5 号站位，最低值出现在 33 号站位；底层海水溶解氧范围在 6.99mg/L~8.30mg/L 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 4 号站位。

化学需氧量：调查海域海水化学需氧量范围在 0.15mg/L~0.86mg/L 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 17 号站位；中层海水化学需氧量范围在 0.14mg/L~0.50mg/L 之间，最高值出现在 19 号站位，最低值出现在 16 号站位；底层海水化学需氧量范围在 0.02mg/L~0.78mg/L 之间，最高值出现在 14 号站位，最低值出现在 12 号站位。

悬浮物：调查海域表层海水悬浮物范围在 0.1mg/L~8.1mg/L 之间，最高值出现在 27 号、28 号站位，最低值出现在 17 号站位；中层海水悬浮物范围在 0.3mg/L~4.9mg/L 之间，最高值出现在 23 号站位，最低值出现在 32 号站位；底层海水悬浮物范围在 0.0mg/L~7.8mg/L 之间，最高值出现在 23 号站位，最低值出现在 16 号、29 号站位。

氨氮：调查海域表层海水氨氮范围在 2.61μg/L~12.31μg/L 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 21 号站位，其中 3 号、5 号~8 号、13 号、16 号、17 号、22 号、23 号、26 号、28 号~33 号站位氨氮未检出；中层海水氨氮范围在 3.82μg/L~10.08μg/L 之间，最高值出现在 14 号站位，最低值出现在 12 号站位，其中仅 12 号和 14 号站位氨氮检出，其余站位氨氮均未检出；底层海水氨氮范围在 3.70μg/L~11.45μg/L 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 5 号站位，其中 6 号~9 号、11

号~13 号、16 号~17 号、21 号~23 号、29 号~31 号、33 号站位氨氮未检出。

亚硝酸盐：调查海域表层海水亚硝酸盐范围在 1.16 $\mu\text{g/L}$ ~17.64 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 8 号站位；中层海水亚硝酸盐范围在 1.45 $\mu\text{g/L}$ ~8.28 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 5 号站位，最低值出现在 9 号站位；底层海水亚硝酸盐范围在 1.45 $\mu\text{g/L}$ ~17.11 $\mu\text{g/L}$ 之间。最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 9 号站位。

硝酸盐：调查海域表层海水硝酸盐范围在 11.84 $\mu\text{g/L}$ ~380.24 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 4 号站位，最低值出现在 17 号站位；中层海水硝酸盐范围在 15.10 $\mu\text{g/L}$ ~222.53 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 5 号站位，最低值出现在 9 号站位；底层海水硝酸盐范围在 17.36 $\mu\text{g/L}$ ~268.98 $\mu\text{g/L}$ 之间。最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 32 号站位。

活性磷酸盐：调查海域表层海水活性磷酸盐范围在 5.10 $\mu\text{g/L}$ ~11.58 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 1 号站位，最低值出现在 8 号站位；中层海水活性磷酸盐范围在 4.75 $\mu\text{g/L}$ ~13.06 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 9 号站位，最低值出现在 33 号站位；底层海水活性磷酸盐范围在 5.87 $\mu\text{g/L}$ ~14.23 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 29 号站位，最低值出现在 23 号站位。

石油类：调查海域海水石油类范围在 6.0 $\mu\text{g/L}$ ~75.5 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 3 号站位，最低值出现在 6 号站位，其中 33 号站位石油类未检出。

铜：调查海域表层海水铜范围在 0.2 $\mu\text{g/L}$ ~2.2 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 22 号站位，最低值出现在 34 号站位；中层海水铜范围在 0.3 $\mu\text{g/L}$ ~4.4 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 18 号、33 号站位，其中 17 号站位铜未检出；底层海水铜范围在 0.3 $\mu\text{g/L}$ ~2.5 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 24 号站位，最低值出现在 12 号、17 号、21 号、33 号站位，其中 11 号、12 号、14 号、18 号、19 号、22 号、32 号~34 号站位铜未检出。

铅：调查海域表层海水铅范围在 0.17 $\mu\text{g/L}$ ~0.65 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 19 号站位，最低值出现在 4 号站位；中层海水铅范围在 0.19 $\mu\text{g/L}$ ~0.55 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 31 号站位，最低值出现在 22 号站位；底层海水铅范围在 0.08 $\mu\text{g/L}$ ~0.69 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 13 号站位，最低值出现在 5 号站位。

锌：调查海域表层海水锌范围在 3.2 $\mu\text{g/L}$ ~14.0 $\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在 27 号站位，最低值出现在 1 号、4 号站位，其中 2 号、3 号、5 号、6 号、8 号、14 号、17

号、23号、24号、26号、30号~34号站位锌未检出；中层海水锌范围在 $3.1\mu\text{g/L}$ ~ $7.3\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在11号站位，最低值出现在24号站位，其中5号、7号、8号、12号、13号、16号、17号、19号、32号站位锌未检出；底层海水锌范围在 $3.1\mu\text{g/L}$ ~ $10.1\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在7号站位，最低值出现在16号、21号站位，其中5号、6号、12号~14号、17号、22号、29号、30号、32号、33号站位锌未检出。

镉：调查海域表层、中层、底层海水镉均未检出。

总铬：调查海域表层海水总铬仅5号站位检出，结果为 $0.5\mu\text{g/L}$ ，其他站位均未检出；中层海水总铬仅33号站位检出，结果为 $1.4\mu\text{g/L}$ ，其他站位均未检出；底层海水总铬均未检出。

汞：调查海域表层海水汞范围在 $0.007\mu\text{g/L}$ ~ $0.017\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在1号站位，最低值出现在16号站位，其中5号、7号、8号、12号~14号、18号、21号、27号、28号、31号~34号站位汞未检出；中层海水汞范围在 $0.008\mu\text{g/L}$ ~ $0.017\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在22号站位，最低值出现在16号、34号站位，其中5号、7号、8号、12号~14号、18号、21号、21号、31号~33号站位汞未检出；底层海水汞范围在 $0.007\mu\text{g/L}$ ~ $0.035\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在14号站位，最低值出现在21号、30号站位，其中5号~9号、12号、13号、18号、19号、31号、33号站位汞未检出。

砷：调查海域海水砷范围在 $1.1\mu\text{g/L}$ ~ $1.5\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在23号站位，最低值出现在27号站位；中层海水砷范围在 $1.3\mu\text{g/L}$ ~ $1.4\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在7号、11号、12号、16号、19号、21号~24号、34号站位，最低值出现在5号、8号、9号、13号、14号、17号、18号、31号~33号站位；底层海水砷范围在 $1.2\mu\text{g/L}$ ~ $1.5\mu\text{g/L}$ 之间，最高值出现在24号站位，最低值出现在4号、13号、21号、29号、30号站位。

2) 评价结果

水质评价结果见附表4。评价结果表明：

pH：用第一、二类海水水质进行评价，调查海域海水pH评价结果范围在0.77~0.83之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

溶解氧：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水溶解氧评价结果范围在0.01~0.86之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

化学需氧量：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水化学需氧量评价结果范围在 0.01~0.43 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

无机氮：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.07~2.02 之间，超标率为 18.9%；用第二类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.05~1.35 之间，超标率为 10.7%；用第三类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.04~1.01 之间，超标率为 1.35%；用第四类海水水质进行评价，调查海域海水无机氮评价结果范围在 0.03~0.81 之间。

活性磷酸盐：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水活性磷酸盐评价结果范围在 0.32~0.95 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

石油类：用第一、二类海水水质进行评价，调查海域海水石油类评价结果范围在 0.07~1.51 之间，超标率为 16.7%；用第三类海水水质进行评价，调查海域海水石油类评价结果范围在 0.01~0.25 之间。

铜：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水铜评价结果范围在 0.02~0.87 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

铅：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水铅评价结果范围在 0.08~0.69 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

锌：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水锌评价结果范围在 0.08~0.70 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

镉：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水镉评价结果均为 0.00。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

总铬：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水总铬评价结果范围在 0.00~0.03 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

汞：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水汞评价结果范围在 0.07~0.70 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

砷：用第一类海水水质进行评价，调查海域海水砷评价结果范围在 0.05~0.08 之间。100%测站符合所在功能区海水水质标准，无超标现象。

3) 小结

根据第一类水质标准对 2024 年春季航次的评价结果可知（附表 4），所有站位的 pH、溶解氧、COD_{mn}、磷酸盐、总铬、汞、砷、镉、铜、铅和锌等指标均符合一类海水水质标准，石油类、无机氮则有不同程度的超标。其中石油类有 5 个样品超

标，超标率均为 16.7%；无机氮有 14 个样品超标，超标率为 2.33%；铅有 4 个样品超标，超标率为 18.9%。

按照第二类海水水质标准进行评价，除石油类、无机氮外，所有站位其余指标均满足第二类标准限值。

6.1.6 项目周边海域国控站点监测结果

本项目评价范围内共涉及 4 处国控水质监测站点，分别为 GDN3020、GDN3021、GDN3025、GDN3031，距离海缆分别 3.4km、14.4km、0.84km、4.5km。



图 2.7-8 项目海洋生态环境评价范围内国控站点分布图

根据广东省近岸海域水质监测信息（2023 年第一期），监测指标包括 pH 值、无机氮、活性磷酸盐、石油类、溶解氧、化学需氧量，GDN3021、GDN3031 站位水质达到《海水水质标准》（GB 3097-1997）第一类标准，GDN3025 站位水质达到《海水水质标准》（GB 3097-1997）第二类标准，GDN3020 站位无机氮超过《海水水质标准》（GB 3097-1997）第三类标准，其他指标均达到第三类标准。

根据广东省近岸海域水质监测信息（2023 年第二期），监测指标包括 pH 值、无机氮、活性磷酸盐、石油类、溶解氧、化学需氧量、铜、汞、镉、铅、总氮、总

磷，GDN3021、GDN3031 站位水质达到《海水水质标准》（GB 3097-1997）第一类标准，GDN3025 站位水质达到《海水水质标准》（GB 3097-1997）第二类标准，GDN3020 站位无机氮超过《海水水质标准》（GB 3097-1997）第三类标准，其他指标均达到第三类标准。

根据广东省近岸海域水质监测信息（2023 年第三期），监测指标包括 pH 值、无机氮、活性磷酸盐、石油类、溶解氧、化学需氧量，GDN3021、GDN3031 站位水质达到《海水水质标准》（GB 3097-1997）第一类标准，GDN3020、GDN3025 站位水质达到《海水水质标准》（GB 3097-1997）第二类标准。

6.2 海洋沉积物现状调查与评价

6.2.1 调查概况

自然资源部南海调查中心于 2023 年 11 月 8 日~2023 年 11 月 27 日对项目场区开展秋季调查，共设有沉积物调查站位 15 个；2025 年 10 月 13 日在项目评价范围内设置 3 个潮间带沉积物调查断面。

6.2.2 调查项目

2023 年 11 月海洋沉积物现状调查因子包括 pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷等，共调查 12 项。

2025 年 10 月潮间带沉积物现状调查因子包括石油类、有机碳、硫化物、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、沉积物粒度分析，共调查 11 项。

沉积物样品的采取方法按《海洋监测规范》（GB 17378-2007）的要求进行。

6.2.3 分析方法

样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）和《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》（GB 17378.5-2007）进行，超出的项目参照其他行业标准。项目海洋沉积物项目分析方法见表 6.2-1a，潮间带沉积物项目分析方法见表 6.2-1b。

表 6.2-1a 海洋沉积物项目及分析方法一览表

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
1	含水率	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/19	重量法	/
2	有机碳	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/18.1	重铬酸钾氧化-还原容量法	0.02%
3	石油类	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/13.1	荧光分光光度法	1.0mg/kg
4	硫化物	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/17.1	亚甲基蓝分光光度法	0.3mg/kg

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
5	铜	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/6.2	火焰原子吸收 分光光度法	2.0mg/kg
6	铅	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/7.2	火焰原子吸收 分光光度法	3.0mg/kg
7	镉	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/8.1	无火焰原子吸收 分光光度法	0.04mg/kg
8	锌	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/9.1	火焰原子吸收 分光光度法	6.0mg/kg
9	总汞	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/5.1	原子荧光法	0.002mg/kg
10	铬	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/10.1	无火焰原子吸收 分光光度法	2.0mg/kg
11	砷	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB17378.5-2007/11.1	原子荧光法	0.06mg/kg
12	pH	《海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球 物理调查》GB/T12763.8-2007/6.7.2	pH 计法	/

表 6.2-1b 潮间带沉积物分析方法一览表

序号	调查项目	保存方法	样品测定方法	检出限 ω
1	铜 (Cu)	聚乙烯袋装，冷藏避光保存	GB 17378.5-2007/6.2 火焰原子吸收分光光度法	2.0mg/kg
2	铅 (Pb)		GB 17378.5-2007 /7.2 火焰原子吸收分光光度法	3.0mg/kg
3	镉 (Cd)		GB 17378.5-2007/8.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg
4	锌 (Zn)		GB 17378.5-2007/9 火焰原子吸收分光光度法	6.0mg/kg
5	总铬 (Cr)		GB 17378.5-2007/10.1 无火焰原子吸收分光光度法	2.0mg/kg
6	砷 (As)		GB 17378.5-2007/11.1 原子荧光法	0.06mg/kg
7	汞 (Hg)	广口玻璃瓶装，冷藏避光保存	GB 17378.5-2007/5.1 原子荧光法	0.002mg/kg
8	粒度	聚乙烯袋装，常温保存	GB/T 12763.8/6.3-2007 激光粒度法	--
11	有机碳	棕色广口玻璃瓶装，充氮气，阴暗处避光保存	GB 17378.5-2007/18.1 重铬酸钾氧化-还原容量法	0.01%
9	石油类	棕色广口玻璃瓶装，充氮气，冷藏避光保存	GB 17378.5-2007/13.2 紫外分光光度法	3.0mg/kg
10	硫化物	棕色广口玻璃瓶装，充氮气，阴暗处避光保存	GB 17378.5-2007 /17.1 亚甲基蓝分光光度法； GB 17378.5-2007 /17.3 碘量法	0.3mg/kg； 4.0mg/kg

6.2.4 评价方法

(1) 评价标准

采用现状评价依据标准《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)进行评价，见表 6.2-2。

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，2023 年秋季沉积物调查站位 26 位于生态控制区，调查站位 4、6、7、8、12、14、16、17 位于渔业用海区，执行海洋沉积物质量第一类标准；调查站位 31、32、33 位于工矿通信用海区，执行海洋沉积物质量第二类标准；调查站位 2、28 位于交通运输用海区，执行海洋沉积物质量第三类标准。

表 6.2-2 海洋沉积物质量标准一览表

沉积物质量指标	第一类	第二类	第三类
有机碳 ($\times 10^{-2}$) $\leq$	2.0	3.0	4.0
硫化物 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	300.0	500.0	600.0
石油类 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	500.0	1000.0	1500.0
铜 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	35.0	100.0	200.0
铅 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	60.0	130.0	250.0
锌 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	150.0	350.0	600.0
镉 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	0.50	1.50	5.00
汞 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	0.20	0.50	1.00
砷 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	20.0	65.0	93.0
铬 ($\times 10^{-6}$) $\leq$	80.0	150.0	270.0

(2) 评价方法

采用单项参数标准指数法计算沉积物的质量指数，即应用公式 $P_i = C_i / C_{si}$ 。

式中： P_i 为第 i 种评价因子的质量指数；

C_i 为第 i 种评价因子的实测值；

C_{si} 为第 i 种评价因子的标准值。

沉积物评价因子的标准指数 > 1 ，则表明该项指标已超过了规定的沉积物质量标准。

6.2.5 调查结果及评价结果

6.2.5.1 2023 年秋季海洋沉积物调查评价结果

(1) 海洋沉积物调查结果

沉积物调查结果见附表 5。调查结果表明：

含水率：调查海域沉积物含水率范围在 21.8%~49.6%之间，最高值出现在 4 号站位，最低值出现在 32 号站位。

有机碳：调查海域沉积物有机碳范围在“未检出”~1.14%之间，最高值出现在 4 号站位，最低值出现在 19 号、23 号、32 号站位。

硫化物：调查海域沉积物硫化物范围在“未检出”~ 118×10^{-6} 之间，最高值出现在4号站位，最低值出现在19号、23号、32号站位。

石油类：调查海域沉积物石油类范围在“未检出”~ 307×10^{-6} 之间，最高值出现在4号站位，最低值出现在19号、21号、23号、32号站位。

铜：调查海域沉积物铜范围在“未检出”~ 48.1×10^{-6} 之间，最高值出现在26号站位，最低值出现在19号、23号、32号站位。

铅：调查海域沉积物铅范围在 3.58×10^{-6} ~ 36.6×10^{-6} 之间，最高值出现在4号站位，最低值出现在23号站位。

锌：调查海域沉积物锌范围在 8.87×10^{-6} ~ 128×10^{-6} 之间，最高值出现在4号站位，最低值出现在19号站位。

镉：调查海域沉积物镉范围在 0.06×10^{-6} ~ 0.15×10^{-6} 之间，最高值出现在6号站位，最低值出现在2号、16号、23号站位。

铬：调查海域沉积物铬范围在 39.8×10^{-6} ~ 101×10^{-6} 之间，最高值出现在4号站位，最低值出现在23号站位。

汞：调查海域沉积物汞范围在“未检出”~ 0.094×10^{-6} 之间，最高值出现在2号站位，最低值出现在19号、23号、32号站位。

砷：调查海域沉积物砷范围在 3.92×10^{-6} ~ 20.8×10^{-6} 之间，最高值出现在4号站位，最低值出现在21号站位。

(2) 海洋沉积物评价结果

沉积物评价结果见附表6，评价结果表明：

有机碳：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物有机碳评价结果范围在0.03~0.57之间。100%测站沉积物有机碳符合所在功能区沉积物质量标准。

硫化物：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物硫化物评价结果范围在0.00~0.39之间。100%测站沉积物硫化物符合所在功能区沉积物质量标准。

石油类：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物石油类评价结果范围在0.00~0.61之间。100%测站沉积物石油类符合所在功能区沉积物质量标准。

铜：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物铜评价结果范围在0.03~1.37之间，超标率为13.3%；用第二类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物铜评价结果范围在0.01~0.48之间。

铅：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物铅评价结果范围在0.

06~0.61 之间。100%测站沉积物铅符合所在功能区沉积物质量标准。

锌：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物锌评价结果范围在 0.06~0.85 之间。100%测站沉积物锌符合所在功能区沉积物质量标准。

镉：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物镉评价结果范围在 0.12~0.30 之间。100%测站沉积物镉符合所在功能区沉积物质量标准。

铬：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物铬评价结果范围在 0.50~1.26 之间，超标率为 20.0%；用第二类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物铬评价结果范围在 0.27~0.67 之间。

汞：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物汞评价结果范围在 0.01~0.47 之间。100%测站沉积物汞符合所在功能区沉积物质量标准。

砷：用第一类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物砷评价结果范围在 0.20~1.04 之间，超标率为 13.3%；用第二类沉积物质量标准进行评价，调查海域沉积物砷评价结果范围在 0.06~0.32 之间。

（3）结论

按照第一类沉积物标准，调查站位沉积物样品有机碳、硫化物、石油类、总汞、铅、锌和镉检测结果均符合第一类沉积物标准。铜、砷和铬则有 2~3 个站位出现轻微程度的超标，其中铜和砷检测参数仅在 4 号和 26 号站位出现超标，超标率为 11%；铬检测参数在 4 号、26 号和 30 号站位出现超标，超标率为 17%。

按照第三类沉积物质量标准进行评价，各调查站位沉积物样品的有机碳、硫化物、石油类、总汞、砷、铜、铅、锌、镉和铬均符合第三类沉积物标准。

6.2.5.2 2023 年秋季潮间带沉积物调查评价结果

潮间带沉积物化学调查结果见附表 7，粒度结果见附表 8。

根据《2024 年广东省生态环境状况公报》，该地区附近海域水质一年四季均为劣四类标准。本次潮间带沉积物样品的铅、锌、镉、汞、硫化物、石油类和有机碳检测结果均符合第一类沉积物标准，第一类沉积物标准达标率为 83.3%。C5 断面的铜和砷以及三条断面的总铬超一类标准，这可能与潮间带断面附近的工业区有关，但三条潮间带断面的所有参数均符合第三类沉积物标准，具体见附表 9。

综上，本次调查潮间带断面内除铜、砷和总铬外，其余参数均符合第一类沉积物标准，第一类沉积物标准达标率为 83.3%，且所有参数均不超过第三类沉积物标准。

6.3 海洋生态环境现状与评价

6.3.1 调查概况

自然资源部南海调查中心于 2023 年 11 月 8 日~2023 年 11 月 27 日对项目场区开展秋季调查，2024 年 3 月 1 日~2024 年 3 月 10 日对项目场区开展春季调查。其中部分参数由广东创蓝科技有限公司完成测试。

6.3.2 调查项目

- (1) 叶绿素 a、初级生产力；
- (2) 浮游植物（种类及组成、个体数量、分布、多样性和均匀度、优势种）；
- (3) 浮游动物（生物量、种类及组成、个体数量、分布、多样性和均匀度、优势种）；
- (4) 底栖生物（种类及组成、栖息密度和分布、生物量、优势种、多样性和均匀度）；
- (5) 潮间带生物（种类及组成、栖息密度和分布、生物量、优势种、多样性和均匀度）。

6.3.3 调查方法

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

采样层次与水质采样层次相同，用采水器采集水样，经 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤（过滤时抽气负压小于 50kPa）后，将滤膜对折，用铝箔包好，存放于低温冷藏壶中，带回实验室分析，采用分光法测定叶绿素 a 的含量。初级生产力采用叶绿素 a 法，按照 Cadee 和 Hegeman（1974）提出的简化公式估算。每 500mL 加入 2.00mL 碳酸镁溶液，使用抽滤泵抽滤。

(2) 浮游生物

1) 浮游植物：浮游植物定量分析样品用浅水 III 型浮游生物网（加重锤）自底至表层作垂直拖网进行采集。垂直拖网时，落网速度不超过 1m/s，起网为 0.5m/s。样品用鲁哥氏碘液固定，加入量为每升水加入 6.00mL~8.00mL。样品带回实验室经浓缩后镜检、观察、鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析。

2) 浮游动物：浮游动物样品用浅水 II 型浮游生物网或浅水 I 型浮游生物网（加重锤）从底层至表层垂直拖曳采集。采得的样品在现场用 5%的中性甲醛溶液固定。

在室内挑去杂物后以湿重法称取浮游动物的生物量，然后在体视显微镜下对标本进行鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

(3) 大型底栖生物

定量样品采用 0.05m^2 采泥器，在每站位连续采集平行样品 4 次，经孔径为 0.50mm 的筛网筛洗干净后，放入 500mL 样品瓶中，加入体积分数为 $5\%\sim 7\%$ 的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。样品在实验室内进行计数、称重及种类鉴定，分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

(4) 潮间带生物

滩涂定量采样分别在高、中、低潮区各进行采集，为获取低潮带的样品，潮间带生物调查必须在大潮期间进行。在泥、沙等底质断面，每个潮区用 $50\text{cm}\times 50\text{cm}\times 10\text{cm}$ 的定量采样框取 3 个样方。将采集的框内样品置于过筛器中淘洗，将潮间带生物挑进聚乙烯瓶中保存。样品用中性甲醛溶液固定，加入量为样品体积的 5% ，带回实验室分析鉴定和计数。测定分析种类组成、数量、分布、优势度、多样性指数和均匀度。

6.3.4 评价方法

参照《海洋监测规范 第 7 部分 近海污染生态调查和生物监测》（GB 17378.7-2007）和《海洋调查规范 第 6 部分 海洋生物调查》（GB/T 12763.6—2007）中规定的方法对叶绿素 a 、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物进行分析。

(1) 初级生产力

采用叶绿素 a 法，按照 Cadee 和 Hegeman (1974) 提出的简化公式估算：

$$P = C_a Q L t / 2$$

式中： P —初级生产力 ($\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\cdot\text{d}$)；

C_a —叶绿素 a 含量 (mg/m^3)；

Q —同化系数 ($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{mgChl-}a\cdot\text{H})$)，根据以往调查结果，取 3.7；

L —真光层的深度 (m)；

t —白昼时间 (H)，根据以往调查结果，春季取 12，秋季取 11。

(2) 优势度 (Y)：

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

(3) SHannon-Weaver 多样性指数 (H') :

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

(4) Pielou 均匀度指数 (J) :

$$J = H' / \log_2 S$$

(5) margalef 丰富度指数 (D) :

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

上述 (2) ~ (5) 式中:

n_i —第 i 种的个体数量 (ind) ;

N —某站总生物数量 (ind) ;

f_i —某种生物的出现频率 (%) ;

P_i —第 i 种的个体数与总个体数的比值;

S —出现生物总种数。

6.3.5 调查结果

6.3.5.1 2023 年秋季调查结果

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

调查站位水体叶绿素 a (附表 10) 平均值的变化范围在 0.34~1.92mg/m³ 之间, 平均含量为 0.72mg/m³。叶绿素 a 的含量最高值出现在 2 号站, 平均值为 1.92mg/m³; 其次为 28 号站, 平均值为 1.71mg/m³; 17 号站最低, 平均值为 0.34mg/m³。

根据水体透明度和表层叶绿素 a 含量对初级生产力进行估算统计 (附表 10), 估算得到的初级生产力范围在 57.21~283.10mgC/m²•d 之间, 平均值为 164.69mgC/m²•d。初级生产力在 32 号站最高 (283.10mgC/m²•d), 其次为 2 号站 (215.53mgC/m²•d), 30 号站最低 (57.21mgC/m²•d)。

(2) 浮游植物

1) 种类组成及分布

本次生态调查共鉴定出浮游植物 5 门 80 种 (含未定种的属), 隶属于蓝藻门、金藻门、甲藻门、硅藻门和裸藻门 5 大门类 (附表 11)。各门类的种类数中, 硅藻门种类最多, 有 62 种, 占总种数的 77.50%; 其次是甲藻门有 13 种, 占总种数的 16.25%; 蓝藻门和金藻门各有 2 种, 占总种数的 2.50%; 裸藻门仅有 1 种, 占总种数的 1.25%。

本次调查浮游植物种类数的空间分布情况，16 号站位浮游植物的种类数最多，有 52 种；其次是 21 号站位，有 43 种；28 号站位最少，仅有 16 种。

2) 个体数量及分布

本次调查浮游植物个体数量的空间分布在 $31.95 \times 10^4 \text{ ind/m}^3 \sim 811.15 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 之间，平均个体数量为 $256.49 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ，其中金藻门的平均个体数量最高，为 $138.11 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ，占浮游植物平均个体数量的 53.85%；其次是硅藻门，平均个体数量为 $87.63 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ，占浮游植物平均个体数量的 34.17%；裸藻门的平均个体数量最低，为 $0.26 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ，占浮游植物平均个体数量的 0.10%。

在水平分布上，7 号站位的浮游植物个体数量最高，为 $811.15 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ；12 号站位次之，个体数量为 $690.87 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ；28 号站位最低，个体数量为 $31.95 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ；浮游植物个体数量的水平分布不均匀。

3) 优势种及分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定本次调查浮游植物的优势种有 4 种，分别是：铁氏束毛藻 (*Trichodesmium thiebautii*)、球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*)、细弱海链藻 (*Thalassiosira subtilis*) 和劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)。其中球形棕囊藻的优势度最高，为 0.538，世界分布广；其次是细弱海链藻，优势度为 0.209，为广布性种；铁氏束毛藻的优势度为 0.106，为热带性种；劳氏角毛藻的优势度为 0.025，为温带至热带近岸性种。

4) 多样性水平

各调查站位浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (J) 如附表 12 所示。调查站位浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 范围在 0.68~3.21 之间，平均值为 1.99，其中 16 号站位多样性指数最高 (3.21)，21 号站位次之 (2.89)，8 号站位的多样性指数最低 (0.68)。整体来说，调查站位多样性指数水平较低。

各调查站位浮游植物的 Pielou 均匀度指数 (J) 范围在 0.16~0.71 之间，平均值为 0.42，其中 28 号站位最高，为 0.71，2 号站位次之 (0.60)，8 号站位最低，为 0.16，整体来说，调查站位均匀度水平较低。

各调查站位浮游植物的丰富度指数 (d) 范围在 0.82~2.33 之间，平均值为 1.34，其中 16 号站位最高，为 2.33，21 号站位次之 (2.12)，28 号站位最低 (0.82)。

5) 小结

浮游植物是测量水质的指示生物，其丰富程度和群落组成结构的变化直接反映水体质量状况。本次浮游植物的调查结果显示，浮游植物种类有 5 门 80 种（含未定种的属），硅藻门是主要的组成门类；浮游植物平均个体数量为 $256.49 \times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ ，其中金藻门的平均个体数量最高，占比 53.85%。从种类组成特征来看，本次调查的优势种有 4 种，球形棕囊藻为第一优势种。经计算，调查站位浮游植物的多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J) 均处于较低水平。

(3) 浮游动物

1) 浮游动物种类组成

本次调查共记录浮游动物 10 个生物类群 76 种。其中桡足类 38 种，占总种数的 50.00%；浮游幼体 10 种，占总种数的 13.16%；水母类 8 种，占总种数的 10.53%；翼足类 5 种，各占总种数的 6.58%；毛颚类和被囊类各 4 种，各占总种数的 5.26%；端足类 3 种，占总种数的 3.95%；介形类 2 种，占总种数的 2.63%；十足类和涟虫类各 1 种，各占总种数的 1.32%。调查海区各站点浮游动物的种类组成详见附表 13。

32 号站的种类数最多，为 44 种（类）；26 号站的种类数最少，为 10 种（类）。种类分布上，桡足类、毛颚类和浮游幼体是调查海区的最常见类群，所有调查站点均有分布，其他类群浮游动物则仅在部分站点有发现。

2) 个体数量及生物量分布

本次调查中，各站位的浮游动物个体数量在 $2.85 \text{ind.}/\text{m}^3 \sim 336.20 \text{ind.}/\text{m}^3$ 之间，平均个体数量为 $137.27 \text{ind.}/\text{m}^3$ ，其中 6 号站的浮游动物个体数量最高，为 $336.20 \text{ind.}/\text{m}^3$ ；7 号站次之，为 $271.20 \text{ind.}/\text{m}^3$ ；23 号站的个体数量最低，为 $2.85 \text{ind.}/\text{m}^3$ 。各站位的浮游动物生物量的变化范围在 $1.684 \text{mg}/\text{m}^3 \sim 138.000 \text{mg}/\text{m}^3$ 之间，平均生物量为 $62.289 \text{mg}/\text{m}^3$ ，最高值出现在 28 号站（ $138.000 \text{mg}/\text{m}^3$ ），最低值出现在 23 号站（ $1.684 \text{mg}/\text{m}^3$ ）。（附表 14）

3) 浮游动物主要类群分布

桡足类、翼足类、毛颚类、十足类和浮游幼体为本次浮游动物调查的主要组成类群。

桡足类：桡足类在 18 个站位均有发现，平均个体数量为 $80.49 \text{ind.}/\text{m}^3$ ，占浮游动物总个体数量的 58.64%，其中 28 号站分布最多，个体数量为 $226.00 \text{ind.}/\text{m}^3$ ，其次是 6 号站，个体数量为 $205.47 \text{ind.}/\text{m}^3$ 。桡足类主要组成太平洋纺锤水蚤、微刺哲水蚤、锥形宽水蚤、叉胸刺水蚤、椭圆形长足水蚤、奥氏长足水蚤、亚强次真哲水蚤

和帽形次真哲水蚤。

翼足类：翼足类出现率是 88.89%，平均个体数量为 7.54ind./m³，占浮游动物总个体数量的 5.49%，其中，最高个体数量分布于 17 号站，个体数量为 36.07ind./m³，其次是 19 号站，个体数量为 28.72ind./m³。翼足类主要组成种类为尖笔帽螺。

毛颚类：毛颚类在 18 个站位均有发现，平均个体数量为 17.95ind./m³，占浮游动物总个体数量的 13.08%，其个体数量变化范围为 1.53ind./m³~49.71ind./m³。其中 4 号站分布最多，其次是 30 号站，个体数量为 49.47ind./m³，23 号站个体数量最低。毛颚类主要组成种类是肥胖箭虫和百陶箭虫。

十足类：十足类出现率是 94.44%，平均个体数量为 14.12ind./m³，占浮游动物总个体数量的 10.28%，其中 7 号站分布最多，个体数量为 51.20ind./m³，其次是 6 号站，个体数量为 39.29ind./m³。十足类主要组成种类是中型莹虾。

浮游幼体：浮游幼体出现率是 100%，平均个体数量为 11.66ind./m³，占浮游动物总个体数量的 8.49%，其中 6 号站分布最多，个体数量为 56.44ind./m³，其次是 7 号站，个体数量为 27.00ind./m³。浮游幼体主要组成种类是短尾类溞状幼体。

其他类群在本次分析中出现的数量较少，占浮游动物平均个体数量的比例不超过 5%。

4) 浮游动物优势种及其分布

优势度计算方法与浮游植物相同，计算各浮游动物的优势度（幼体类和鱼卵稚仔鱼不计），根据 $Y \geq 0.02$ 确定调查海域的优势种。本次调查海域浮游动物优势种有 13 种，为桡足类中太平洋纺锤水蚤（*acartia pacifica*）、微刺哲水蚤（*CantHocalanus pauper*）、锥形宽水蚤（*Temora turBinata*）、叉胸刺水蚤（*Centropages furcatus*）、椭圆形长足水蚤（*Calanopia elliptica*）、奥氏长足水蚤（*Calanopia aurivillii*）、亚强次真哲水蚤（*SuBeucalanus suBcrassus*）和帽形次真哲水蚤（*SuBeucalanus pileatus*）；翼足类中的尖笔帽螺（*Creseis acicula*）；毛颚类中的肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）和百陶箭虫（*Sagitta Bedoti*）；水母类中的拟细浅室水母（*Lensia subtiloides*）；十足类中的中型莹虾（*Lucifer intermedius*）。其中优势度最大的为亚强次真哲水蚤（*SuBeucalanus suBcrassus*）（ $Y=0.181$ ），为最优势种。

5) 多样性水平

调查海域浮游动物 SHannon-Wiener 多样性指数（ H' ）、Pielou 均匀度指数（ J ）和丰富度（ d ）如附表 15 所示。各调查站位的 SHannon-Wiener 多样性指数在 1.92

(4.13 之间, 平均值为 3.43, 最高值出现在 6 号站 (4.13), 最低值出现在 28 号站 (1.92); Pielou 均匀度指数变化范围在 0.44~0.79 之间, 平均值为 0.70, 最高值出现在 26 号站 (0.79), 最低值出现在 28 号站 (0.44); 丰富度 (d) 在 1.54~4.04 之间, 平均值为 3.12, 最高值出现在 32 号站 (4.04), 最低值出现在 26 号站 (1.54)。总体来说, 调查站位的多样性指数处于较高水平, 均匀度处于一般水平。

6) 小结

浮游动物群落变化与环境因素密切相关, 作为反映环境特征的一项重要指标对于海洋环境监测具有重要意义。本次浮游动物调查结果显示, 调查海域内浮游动物种类 76 种, 群落结构主要由桡足类、翼足类、毛颚类、十足类和浮游幼体组成; 浮游动物平均个体数量和平均生物量分别为 137.27ind./m³ 和 62.289mg/m³。从种类组成特征来看, 调查海域内优势种有 13 个, 其中亚强次真哲水蚤优势地位最突出。结合统计多样性水平, 显示该调查海域的多样性指数处于较高水平, 均匀度处于一般水平。

(4) 大型底栖动物

1) 底栖动物种类组成

本次调查共记录大型底栖动物 59 种 (附表 16), 其中环节动物 33 种、软体动物 6 种、节肢动物 9 种、刺胞动物 3 种、纽形动物、棘皮动物和脊索动物各 2 种、蠕虫动物和星虫动物各 1 种。环节动物和节肢动物分别占总种数的 55.93% 和 15.25%, 环节动物是构成本次调查海区大型底栖生物的主要类群。

2) 栖息密度和生物量

分析结果表明, 调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 108.89ind./m², 调查海域以环节动物的平均栖息密度最高, 为 50.00ind./m², 占总平均密度的 45.91%; 节肢动物次之, 平均栖息密度为 15.28ind./m², 占总平均密度的 14.03%; 星虫动物的平均栖息密度最低 (0.28ind./m²), 占总平均密度的 0.26% (附表 17)。

底栖生物的平均生物量为 38.78g/m², 以蠕虫动物的平均生物量居首位, 蠕虫动物的平均生物量为 27.47g/m², 占总平均生物量的 70.83%; 其次为软体动物, 平均生物量为 5.52g/m², 占总平均生物量的 14.22%; 刺胞动物的平均生物量为 1.98g/m², 占总平均生物量的 5.09%; 星虫动物最少, 平均生物量为 0.002g/m², 占总平均生物量的 0.01% (附表 17)。

本次调查结果表明, 各采样站位的底栖生物栖息密度分布不均匀, 变化范围从 1

0.00ind./m²~385.00ind./m²，其中6号站位栖息密度最高，为385.00ind./m²。该站位密度最高的原因在于记录到数量较多的蠕虫动物短吻铲荚蛭（*Listriolobus Brevirostris*）和棘皮动物日本倍棘蛇尾（*AmpHIoplus Japonicus*），它们在该站位的栖息密度分别为140.00ind./m²和115.00ind./m²。其次为4号站位栖息密度较高，为330.00ind./m²，原因是记录到数量较多的环节动物小头虫（*Capitella capitata*）和蠕虫动物短吻铲荚蛭（*Listriolobus Brevirostris*），它们在站位的栖息密度分别为65.00ind./m²和50.00ind./m²。底栖生物栖息密度最低的站位为23号站位，为10.00ind./m²。

本次调查海域的底栖生物的生物量平面分布也不均匀，变化范围从0.26g/m²~288.82g/m²，在18个监测站位中，6号站位的生物量最高，为288.82g/m²。最低的站位为19号站位，生物量为0.26g/m²。

环节动物在调查海区的平均密度为50.00ind./m²，出现频率为100.00%，密度分布范围为5.00ind./m²~175.00ind./m²；平均生物量为1.69g/m²，生物量分布范围为0.08g/m²~5.98g/m²。

节肢动物在调查海区18个站位中14个站位有出现，出现频率为77.78%，平均密度为15.28ind./m²，密度分布范围为0.00ind./m²~50.00ind./m²；平均生物量为1.04g/m²，生物量分布范围为0g/m²~4.68g/m²。

棘皮动物在调查海区18个站位中13个站位有出现，出现频率为72.22%，平均密度为15.00ind./m²，密度分布范围为0.00ind./m²~115.00ind./m²；平均生物量为0.82g/m²，生物量分布范围为0g/m²~7.54g/m²。

3) 保护种类分布

本次调查中出现的白氏文昌鱼（*Branchiostoma Belcheri*）为国家二级保护动物，在调查海区的平均密度为0.28ind./m²，仅在31号站位有出现，出现频率为5.56%，密度分布范围为0ind./m²~5.00ind./m²；平均生物量为0.02g/m²，生物量分布范围为0g/m²~0.32g/m²。

4) 优势种

大型底栖动物种类若按其优势度 $Y \geq 0.02$ 时即被认定为优势种，那么本次调查海区的底栖生物有4个优势种，分别为环节动物的寡鳃齿吻沙蚕（*NepHtys oligoBranchia*）和小头虫（*Capitella capitata*）、蠕虫动物的短吻铲荚蛭（*Listriolobus Brevirostris*）和棘皮动物的日本倍棘蛇尾（*AmpHIoplus Japonicus*），优势度分别为0.023、0.034、0.038和0.083。寡鳃齿吻沙蚕在18个站位中的8个站位出现，平均栖息

密度为 5.56ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的 5.10%；小头虫在 18 个站位中的 9 个站位出现，平均栖息密度为 7.50ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的 6.89%；短吻铲荚蛭在 18 个站位中的 5 个站位出现，平均栖息密度为 15.00ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的 13.78%；日本倍棘蛇尾在 18 个站位中的 12 个站位出现，平均栖息密度为 13.61ind./m²，占底栖生物平均密度的 12.50%，为本次调查第一优势种。

5) 物种多样性指数、丰富度及均匀度

调查海域的各采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 2~18 种/站之间。多样性指数 (H') 变化范围在 0.99~3.65 之间，平均值为 2.65 (附表 18)。多样性指数最高出现在 31 号站位 (3.65)，最低则为 14 号站位 (0.99)，整体来看，多样性指数属于一般水平。丰富度指数范围为 0.30~2.08，平均值为 1.25，其中 28 号站位丰富度指数最高 (2.08)，23 号站位最低 (0.30)；均匀度范围在 0.62~1.00 之间，平均值为 0.89，均匀度指数最高出现在 23 号和 32 号站位，均为 1.00，最低出现在 14 号站位 (0.62)；整体来看，均匀度指数处于较高水平。

6) 小结

本次调查共记录大型底栖动物 59 种，其中环节动物 33 种、软体动物 6 种、节肢动物 9 种、刺胞动物 3 种、纽形动物、棘皮动物和脊索动物各 2 种、螭虫动物和星虫动物各 1 种。调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 108.89ind./m²，平均生物量为 38.78g/m²。本次调查海区的底栖生物有 4 个优势种，分别为环节动物的寡鳃齿吻沙蚕和小头虫、螭虫动物的短吻铲荚蛭和棘皮动物的日本倍棘蛇尾。调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 2~18 种/站。多样性指数变化范围在 0.99~3.65 之间，平均值为 2.65，多样性属于一般水平。丰富度指数范围为 0.30~2.08，平均为 1.25；均匀度范围在 0.62~1.00 之间，平均值为 0.89，均匀度指数处于较高水平。

(5) 潮间带生物

本次潮间带调查共对 4 条潮间带断面 (C1-C4 断面) 进行调查，在各断面的高、中、低潮带各布设站点进行定量样品采集。其中各断面底质类型均为礁石。

1) 种类组成和空间分布

调查断面采集到的潮间带生物经鉴定共有 14 种 (附表 19)，隶属 2 门 11 科。其中发现软体动物种类最多，有 8 种，占总种数的 57.14%；其次为节肢动物，有 6

种，占总种数的 42.86%。

本次调查断面潮间带生物类群种数及空间分布情况，C2 发现潮间带生物种类较多，有 11 种；其次是 C3 断面，发现 9 种生物；C4 断面发现 5 种潮间带生物；C1 断面发现生物种类最少，为 4 种。调查断面潮间带生物中软体动物平均密度最高，为主要构成类群，各断面软体动物种类数介于 2~7 种之间；节肢动物的种类介于 2~6 种之间。

2) 栖息密度及生物量分布

① 栖息密度及生物量的组成

调查断面的潮间带生物总平均栖息密度及生物量见表 6.3-1，总平均栖息密度为 51.33ind./m²，总平均生物量为 68.784g/m²。在潮间带生物平均栖息密度的百分组成中，软体动物栖息密度居首位，为 39.11ind./m²，占 76.19%；其次为节肢动物（12.22ind./m²），占 23.81%。平均生物量组成方面也以软体动物居首位，为 54.782g/m²，占 79.64%；其次为节肢动物（14.002g/m²），占 20.36%。

表 6.3-1 调查断面潮间带平均栖息密度及生物量的组成

项目	软体动物	节肢动物	合计
平均栖息密度 (ind./m ²)	39.11	12.22	51.33
平均生物量 (g/m ²)	54.782	14.002	68.784

② 栖息密度与生物量的水平分布

调查断面潮间带生物栖息密度及生物量的水平分布见表 6.3-2，栖息密度方面，潮间带生物的栖息密度表现为 C4 断面最高，为 72.89ind./m²，其次为 C2 断面（48.44ind./m²），最低出现在 C1 断面，为 41.33ind./m²。潮间带生物生物量方面，C3 断面的生物量最高，为 84.867g/m²，其次为 C4 断面（83.413g/m²），C1 断面生物量最低，为 36.686g/m²。

表 6.3-2 调查断面潮间带栖息密度 (ind./m²) 及生物量 (g/m²) 的水平分布

断面名称	项目	软体动物	节肢动物	合计
C1	栖息密度 (ind./m ²)	36.89	4.44	41.33
	生物量 (g/m ²)	28.937	7.749	36.686
C2	栖息密度 (ind./m ²)	39.11	9.33	48.44
	生物量 (g/m ²)	61.757	8.410	70.167
C3	栖息密度 (ind./m ²)	38.67	4.00	42.66
	生物量 (g/m ²)	79.427	5.440	84.867
C4	栖息密度 (ind./m ²)	41.78	31.11	72.89
	生物量 (g/m ²)	49.006	34.407	83.413
平均值	栖息密度 (ind./m ²)	39.11	12.22	51.33
	生物量 (g/m ²)	54.782	14.002	68.784

③ 栖息密度及生物量的垂直分布

调查断面潮间带栖息密度及生物量的垂直分布见表 6.3-3，在垂直分布上，潮间带生物的栖息密度方面表现为高潮带最高，为 61.99ind./m²，其次为中潮带（46.33ind./m²），低潮带最低，为 45.67ind./m²，即高潮带>中潮带>低潮带。在生物量方面，高潮带生物量最高，为 82.794g/m²，其次为中潮带（66.883g/m²），低潮带最低，为 56.674g/m²，即高潮带>中潮带>低潮带。

表 6.3-3 调查断面潮间带栖息密度（ind./m²）及生物量（g/m²）的垂直分布

潮带名称	项目	软体动物	节肢动物	合计
高潮带	栖息密度（ind./m ² ）	49.33	12.66	61.99
	生物量（g/m ² ）	67.200	15.594	82.794
中潮带	栖息密度（ind./m ² ）	34.00	12.33	46.33
	生物量（g/m ² ）	53.29	13.589	66.883
低潮带	栖息密度（ind./m ² ）	34.00	11.67	45.67
	生物量（g/m ² ）	43.85	12.822	56.674
平均值	栖息密度（ind./m ² ）	39.11	12.22	51.33
	生物量（g/m ² ）	54.782	14.002	68.784

3) 优势种

调查断面潮间带生物优势种以计算优势度（ $Y \geq 0.02$ ）为判断依据，本次调查的优势种有 6 种，分别是单齿螺（*monodonta laBio*）（ $Y=0.044$ ）、粗糙滨螺（*Littorina scaBra*）（ $Y=0.046$ ）、波纹蜃螺（*Nerita undata*）（ $Y=0.522$ ）、近江牡蛎（*Crassostrea ariakensis*）（ $Y=0.029$ ）、白脊藤壶（*Balanus alBicostatas*）（ $Y=0.088$ ）和平背蜆（*Gaetice depressus*）（ $Y=0.027$ ）。波纹蜃螺为本调查第一优势种。

4) 潮间带生物多样性水平

调查断面 SHannon-Wiener 多样性指数（ H' ）和 Pielou 均匀度指数（ J ）如表 6.3-4 所示，SHannon-Wiener 多样性指数范围处于 1.06~2.20 之间，平均值为 1.70。多样性指数在 C3 断面出现最高（2.20），其次为 C2 断面（2.11），C1 断面最低（1.06）。Pielou 均匀度指数数值变化范围在 0.59~0.83 之间，平均值为 0.76。均匀度指数（ J ）在 C3 和 C4 断面出现最高（均为 0.83），其次为 C2 断面（0.78），C1 断面最低（0.59）。调查断面潮间带多样性指数（ H' ）处于较低水平，均匀度指数（ J ）处于一般水平。

表 6.3-4 调查海区潮间带生物多样性指数及均匀度

调查站位	种类数	多样性指数（ H' ）	均匀度（ J ）
C1	4	1.06	0.59
C2	11	2.11	0.78
C3	9	2.20	0.83

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
C4	5	1.41	0.83
平均值	--	1.70	0.76

5) 小结

本次潮间带生物调查结果显示, 定量调查发现潮间带生物的种类包含 2 大类群, 共有 14 种。调查断面总平均栖息密度 51.33ind./m^2 , 总平均生物量为 68.784g/m^2 。从种类组成特征来看, 调查断面优势种有 6 种, 为单齿螺、粗糙滨螺、波纹蜒螺、近江牡蛎、白脊藤壶和平背蜆。波纹蜒螺为第一优势种。调查断面潮间带多样性指数 (H') 处于较低水平, 均匀度指数 (J) 处于一般水平。

6.3.5.2 2024 年春季调查结果

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

调查站位水体叶绿素 a (附表 20) 平均值的变化范围在 $0.59\sim 6.41\text{mg/m}^3$ 之间, 平均含量为 2.17mg/m^3 。叶绿素 a 的含量最高值出现在 2 号站, 平均值为 6.41mg/m^3 ; 其次为 28 号站, 平均值为 5.98mg/m^3 ; 17 号站最低, 平均值为 0.59mg/m^3 。

根据水体透明度和表层叶绿素 a 含量对初级生产力进行估算统计 (附表 20), 估算得到的初级生产力范围在 $310.62\sim 719.86\text{mgC/m}^2\cdot\text{d}$ 之间, 平均值为 $445.77\text{mgC/m}^2\cdot\text{d}$ 。初级生产力在 2 号站最高 ($719.86\text{mgC/m}^2\cdot\text{d}$), 其次为 28 号站 ($671.68\text{mgC/m}^2\cdot\text{d}$), 19 号站最低 ($310.62\text{mgC/m}^2\cdot\text{d}$)。

(2) 浮游植物

1) 种类组成及分布

本次生态调查共鉴定出浮游植物 6 门 86 种 (含未定种的属), 隶属于蓝藻门、金藻门、甲藻门、硅藻门、绿藻门和裸藻门 6 大门类 (附表 21)。各门类的种类数中硅藻门种类最多, 有 57 种, 占总种数的 66.28%; 其次是甲藻门有 23 种, 占总种数的 26.74%; 蓝藻门和金藻门各有 2 种, 各占总种数的 2.33%; 裸藻门和绿藻门各仅有 1 种, 各占总种数的 1.16%。

本次调查浮游植物种类数的空间分布情况, 31 号站位浮游植物的种类数最多, 有 52 种; 其次是 19 号站位, 有 51 种; 28 号站位最少, 仅有 18 种。

2) 浮游植物密度组成及分布

各调查站位浮游植物的密度在 $7.84\times 10^4\text{ind/m}^3\sim 213.00\times 10^4\text{ind/m}^3$ 之间, 平均密度为 $78.84\times 10^4\text{ind/m}^3$, 其中硅藻门的平均密度最高, 为 $57.94\times 10^4\text{ind/m}^3$, 占浮游植

物平均密度的 73.50%；其次是蓝藻门，平均密度为 $9.78 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ，占浮游植物平均密度的 12.41%；绿藻门的平均密度最低，为 $0.03 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ，占浮游植物平均密度的 0.03%。

在水平分布上，12 号站位的浮游植物密度最高，为 $213.00 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ；2 号站位次之，密度为 $192.83 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ；21 号站位最低，密度为 $7.84 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ；浮游植物密度的水平分布不均匀。

3) 优势种及分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定调查浮游植物的优势种有 9 种分别是：红海束毛藻 (*TricHodesmium erytHraeum*)、球形棕囊藻 (*PHaeocystis gloBosa*)、格氏圆筛藻 (*Coscinodiscus granii*)、威利圆筛藻 (*Coscinodiscus wailesii*)、薄壁几内亚藻 (*Guinardia flaccida*)、翼根管藻纤细变型 (*RHizosolenia alata* f. *gracillima*)、透明辐杆藻 (*Bacteriastrum Hyalinum* var. *Hyalinum*)、紧挤角毛藻 (*CHaetoceros coarctatus*) 和齿角毛藻 (*CHaetoceros denticulatus* f. *denticulatus*)。其中威利圆筛藻的优势度最高，为 0.213，为亚热带至北温带种；其次是格氏圆筛藻和齿角毛藻，优势度均为 0.055，威利圆筛藻为世界广布种，齿角毛藻为热带外洋性种；透明辐杆藻的优势度为 0.054，为广温性沿岸种；红海束毛藻的优势度为 0.046，为热带性种；紧挤角毛藻的优势度为 0.037，为热带至亚热带外洋性种；球形棕囊藻的优势度为 0.026，为世界广布种；翼根管藻纤细变型的优势度为 0.021，为暖水性种；薄壁几内亚藻的优势度为 0.020，为热带近岸种。

4) 多样性水平

各调查站位浮游植物的 SHannon-Wiener 多样性指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (J) 如附表 22 所示。调查站位浮游植物的 SHannon-Wiener 多样性指数 (H') 范围在 1.59~4.14 之间，平均值为 3.09，其中 31 号站位多样性指数最高 (4.14)，23 号站位次之 (4.13)，4 号站位的多样性指数最低 (1.59)。整体来说，调查站位多样性指数水平较高。

各调查站位浮游植物的 Pielou 均匀度指数 (J) 范围在 0.35~0.83 之间，平均值为 0.61，其中 21 号站位最高，为 0.83，8 号站位次之 (0.79)，4 号站位最低，为 0.35，整体来说，调查站位均匀度水平一般。

各调查站位浮游植物的丰富度指数 (d) 范围在 0.86~2.62 之间，平均值为 1.76，其中 31 号站位最高，为 2.62，19 号站位次之 (2.56)，28 号站位最低 (0.86)。

5) 小结

浮游植物是测量水质的指示生物，其丰富程度和群落组成结构的变化直接反映水体质量状况。该次浮游植物的调查结果显示，浮游植物种类有 6 门 86 种（含未定种的属），硅藻门是主要的组成门类；浮游植物平均密度为 $78.84 \times 10^4 \text{ind./m}^3$ ，其中硅藻门的平均密度最高，占比 73.50%。从种类组成特征来看，该调查的优势种有 9 种，威利圆筛藻为第一优势种。经计算，调查站位浮游植物的多样性指数 (H') 处于较高水平，均匀度指数 (J) 处于一般水平。

(3) 浮游动物

1) 浮游动物种类组成

该调查共记录浮游动物 10 个生物类群 93 种。其中桡足类 47 种，占总种数的 50.54%；水母类 15 种，占总种数的 16.13%；浮游幼体 9 种，占总种数的 9.68%；毛颚类 7 种，占总种数的 7.53%；端足类 6 种，占总种数的 6.45%；翼足类 3 种，占总种数的 3.23%；介形类和被囊类各 2 种，各占总种数的 2.15%；十足类和等足类各 1 种，各占总种数的 1.08%。调查海区各站点浮游动物的种类组成详见附表 23。

21 号站和 23 号站的种类数最多，为 56 种（类）；28 号站的种类数最少，为 13 种（类）。种类分布上，桡足类、翼足类、毛颚类和浮游幼体是调查海区的最常见类群，所有调查站点均有分布，其他类群浮游动物则仅在部分站点有发现。

2) 浮游动物密度及分布

该调查中，各站位的浮游动物密度在 $13.53 \text{ind./m}^3 \sim 87.50 \text{ind./m}^3$ 之间，平均密度为 44.51ind./m^3 ，其中 26 号站的浮游动物密度最高，为 87.50ind./m^3 ；14 号站次之，为 81.47ind./m^3 ；8 号站的密度最低，为 13.53ind./m^3 。各站位的浮游动物生物量的变化范围在 $2.788 \text{mg/m}^3 \sim 200.552 \text{mg/m}^3$ 之间，平均生物量为 27.529mg/m^3 ，最高值出现在 8 号站 (200.552mg/m^3)，最低值出现在 12 号站 (2.788mg/m^3)。（附表 24）

3) 浮游动物主要类群分布

桡足类、毛颚类、水母类、被囊类和浮游幼体为该次浮游动物调查的主要组成类群。

桡足类：桡足类在 18 个站位均有发现，平均密度为 15.59ind./m^3 ，占浮游动物总密度的 35.02%，其中 14 号站分布最多，密度为 34.97ind./m^3 ，其次是 21 号站，密度为 34.77ind./m^3 。桡足类主要组成微刺哲水蚤、普通波水蚤、异尾宽水蚤和精致

真刺水蚤。

毛颚类：毛颚类在 18 个站位均有发现，平均密度为 11.56ind./m³，占浮游动物总密度的 25.96%，其密度变化范围为 1.24ind./m³~51.25ind./m³。其中 26 号站分布最多，其次是 2 号站，密度为 37.50ind./m³，8 号站密度最低。毛颚类主要组成种类是肥胖箭虫。

水母类：水母类出现率是 94.44%，平均密度为 2.66ind./m³，占浮游动物总密度的 5.97%，其中，最高密度分布于 19 号站，密度为 9.17ind./m³，其次是 4 号站，密度为 7.35ind./m³。水母类主要组成种类为四叶小舌水母。

被囊类：被囊类出现率是 94.44%，平均密度为 2.34ind./m³，占浮游动物总密度的 5.26%，其中 7 号站分布最多，密度为 8.96ind./m³，其次是 2 号站，密度为 5.83ind./m³。被囊类主要组成种类是殖孢囊虫。

浮游幼体：浮游幼体出现率是 100%，平均密度为 9.53ind./m³，占浮游动物总密度的 21.41%，其中 14 号站分布最多，密度为 19.82ind./m³，其次是 7 号站，密度为 18.35ind./m³。浮游幼体主要组成种类是短尾类溞状幼体、长尾类幼体和蛇尾纲长腕幼虫。

其他类群在该次分析中出现的数量较少，占浮游动物平均密度的比例不超过 7%。

4) 浮游动物优势种及其分布

优势度计算方法与浮游植物相同，计算各浮游动物的优势度（幼体类和鱼卵稚仔鱼不计），根据 $Y \geq 0.02$ 确定调查海域的优势种。该调查海域浮游动物优势种有 9 种，为桡足类中微刺哲水蚤（*CantHocalanus pauper*）、普通波水蚤（*Undinula vulgaris*）、异尾宽水蚤（*Temora discaudata*）和精致真刺水蚤（*EucHaeta concinna*）；翼足类中的尖笔帽螺（*Creseis acicula*）；毛颚类中的肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）；水母类中的四叶小舌水母（*Liriope tetrapHylla*）；被囊类中的殖孢囊虫（*Stegosoma magnum*）；十足类中的中型莹虾（*Lucifer intermedius*）。其中优势度最大的为肥胖箭虫（*Sagitta enflata*）（ $Y=0.300$ ），为最优势种。

5) 多样性水平

调查海域浮游动物 SHannon-Wiener 多样性指数（ H' ）、Pielou 均匀度指数（ J ）和丰富度（ d ）如附表 25 所示。各调查站位的 SHannon-Wiener 多样性指数在 2.42（4.42 之间，平均值为 3.72，最高值出现在 14 号站（4.42），最低值出现在 26 号

站（2.42）；Pielou 均匀度指数变化范围在 0.63~0.87 之间，平均值为 0.74，最高值出现在 8 号站（0.87），最低值出现在 2 号站（0.63）；丰富度（ d ）在 2.12~5.55 之间，平均值为 3.94，最高值出现在 23 号站（5.55），最低值出现在 26 号站（2.12）。总体来说，调查站位的多样性指数处于较高水平，均匀度处于一般水平。

6) 小结

浮游动物群落变化与环境因素密切相关，作为反映环境特征的一项重要指标对于海洋环境监测具有重要意义。该次浮游动物调查结果显示，调查海域内浮游动物种类 93 种，群落结构主要由桡足类、毛颚类、水母类、被囊类和浮游幼体组成；浮游动物平均密度和平均生物量分别为 44.51ind./m³ 和 27.529mg/m³。从种类组成特征来看，调查海域内优势种有 9 个，其中肥胖箭虫优势地位最突出。结合统计多样性水平，显示该调查海域的多样性指数处于较高水平，均匀度处于一般水平。

（4）大型底栖动物

1) 底栖动物种类组成

该调查共记录大型底栖动物 55 种（附表 26），其中环节动物最多（26 种），占总种数的 47.27%；节肢动物 12 种，占总种数的 21.82%；软体动物 8 种，占总种数的 14.55%；脊索动物、刺胞动物、纽形动物和棘皮动物各 2 种，各占总种数的 3.64%；蠕虫动物 1 种，占总种数的 1.82%。环节动物是构成该调查海区大型底栖生物的主要类群。

2) 底栖生物栖息密度和生物量

分析结果表明，调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 56.67ind./m²，调查海域以环节动物的平均栖息密度最高，为 23.89ind./m²，占总平均密度的 42.15%；节肢动物次之，平均栖息密度为 9.72ind./m²，占总平均密度的 17.15%；纽形动物和脊索动物的平均栖息密度最低（均为 0.56ind./m²），各占总平均密度的 0.99%（附表 27）。

底栖生物的平均生物量为 52.930g/m²，以蠕虫动物的平均生物量居首位，蠕虫动物的平均生物量为 35.631g/m²，占总平均生物量的 67.32%；其次为节肢动物，平均生物量为 5.517g/m²，占总平均生物量的 10.42%；软体动物的平均生物量为 3.703g/m²，占总平均生物量的 7.00%；纽形动物最少，平均生物量为 0.049g/m²，占总平均生物量的 0.09%（附表 27）。

该调查结果表明，各采样站位的底栖生物栖息密度分布不均匀，变化范围从 15.00ind./m²~140.00ind./m²，其中 4 号站位栖息密度最高，为 140.00ind./m²。该站位密

度最高的原因在于记录到数量较多的蛭虫动物短吻铲荚蛭 (*Listriolobus brevirostris*)，它们在该站位的栖息密度为85.00ind./m²。其次为28号站位栖息密度较高，为135.00ind./m²，原因是记录到数量较多的环节动物足刺拟单指虫 (*Cossurella aciculata*) 和棘皮动物日本倍棘蛇尾 (*AmpHIoplus Japonicus*)，它们在站位的栖息密度分别为45.00ind./m² 和50.00ind./m²。底栖生物栖息密度最低的站位为8号和19号站位，均为15.00ind./m²。

该调查海域的底栖生物的生物量平面分布也不均匀，变化范围从1.075g/m²~336.825g/m²，在18个监测站位中，4号站位的生物量最高，为336.825g/m²。最低的站位为33号站位，生物量为1.075g/m²。

环节动物在调查海区18个站位中16个站位有出现，出现频率为88.89%，平均密度为23.89ind./m²，密度分布范围为0.00ind./m²~80.00ind./m²；平均生物量为2.200g/m²，生物量分布范围为0.000g/m²~6.315g/m²。

节肢动物在调查海区18个站位中13个站位有出现，出现频率为72.22%，平均密度为9.72ind./m²，密度分布范围为0.00ind./m²~35.00ind./m²；平均生物量为5.517g/m²，生物量分布范围为0.000g/m²~35.090g/m²。

棘皮动物在调查海区18个站位中9个站位有出现，出现频率为50.00%，平均密度为8.06ind./m²，密度分布范围为0.00ind./m²~50.00ind./m²；平均生物量为2.377g/m²，生物量分布范围为0.000g/m²~9.585g/m²。

3) 优势种

大型底栖动物种类若按其优势度 $Y \geq 0.02$ 时即被认定为优势种，那么该调查海区的底栖生物有4个优势种，分别为环节动物的足刺拟单指虫 (*Cossurella aciculata*)、蛭虫动物的短吻铲荚蛭 (*Listriolobus brevirostris*)、节肢动物的哈氏和美虾 (*Nihonotrupaea Harmandi*) 和棘皮动物的日本倍棘蛇尾 (*AmpHIoplus Japonicus*)，优势度分别为0.023、0.027、0.026和0.054。足刺拟单指虫在18个站位中的4个站位出现，平均栖息密度为5.83ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的10.29%；短吻铲荚蛭在18个站位中的3个站位出现，平均栖息密度为9.17ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的16.18%；哈氏和美虾在18个站位中的6个站位出现，平均栖息密度为4.44ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的7.84%；日本倍棘蛇尾在18个站位中的8个站位出现，平均栖息密度为6.94ind./m²，占底栖生物平均密度的12.25%，为该调查第一优势种。

4) 物种多样性指数、丰富度及均匀度

调查海域的各采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 3~10 种/站之间。多样性指数 (H') 变化范围在 1.38~3.12 之间, 平均值为 2.18 (附表 28)。多样性指数最高出现在 12 号站位 (3.12), 最低则为 30 号站位 (1.38), 整体来看, 多样性指数属于一般水平。丰富度指数范围为 0.42~1.42, 平均值为 0.84, 其中 12 号站位丰富度指数最高 (1.42), 4 号站位最低 (0.42); 均匀度范围在 0.69~1.00 之间, 平均值为 0.91, 均匀度指数最高出现在 8 号、19 号、21 号和 23 号站位, 均为 1.00, 最低出现在 30 号站位 (0.69); 整体来看, 均匀度指数处于较高水平。

5) 小结

该调查共记录大型底栖动物 55 种, 其中环节动物 26 种、节肢动物 12 种、软体动物 8 种、脊索动物、刺胞动物、纽形动物和棘皮动物各 2 种、蠕虫动物 1 种。调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 56.67 ind./m², 平均生物量为 52.930 g/m²。该调查海区的底栖生物有 4 个优势种, 分别为环节动物的足刺拟单指虫、蠕虫动物的短吻铲荚蠕、节肢动物的哈氏和美虾和棘皮动物的日本倍棘蛇尾。调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 3~10 种/站。多样性指数变化范围在 1.38~3.12 之间, 平均值为 2.18, 多样性属于一般水平。丰富度指数范围为 0.42~1.42, 平均为 0.84; 均匀度范围在 0.69~1.00 之间, 平均值为 0.91, 均匀度指数处于较高水平。

(5) 潮间带生物

该次潮间带调查共对 3 条潮间带断面 (C3 号-C5 号断面) 进行调查, 在各断面的高、中、低潮带各布设站点进行定量样品采集。其中各断面底质类型均为礁石。

1) 种类组成和空间分布

调查断面定量采集到的潮间带生物经鉴定共有 8 种 (附表 29), 隶属 2 门 8 科。其中发现环节动物和节肢动物各发现 4 种, 各占总种数的 50%。

该调查断面潮间带生物类群种数及空间分布情况, C3 号断面发现潮间带生物种类最多, 为 6 种, 其次为 C4 号断面 (3 种), C5 号断面发现种类最少, 仅 2 种。调查断面潮间带生物中, 各断面软体动物和节肢动物种类数均介于 1~3 种之间。

2) 栖息密度及生物量分布

① 栖息密度及生物量的组成

调查断面的潮间带生物总平均栖息密度为 31.70 ind./m², 总平均生物量为 31.981 g/m²。在潮间带生物平均栖息密度的百分组成中, 软体动物栖息密度较高, 为 27.

11ind./m²，占 85.52%；其次为节肢动物（4.59ind./m²），占 14.48%。平均生物量组成方面也以软体动物居首位，为 24.355g/m²，占 76.15%；其次为节肢动物（7.626g/m²），占 23.85%。

② 栖息密度与生物量的水平分布

调查断面潮间带生物栖息密度及生物量的水平分布见表 6.3-5，栖息密度方面，潮间带生物的栖息密度表现为 C4 号断面最高，为 43.55ind./m²，其次为 C3 号断面（27.55ind./m²），最低出现在 C5 号断面，为 24.00ind./m²。潮间带生物生物量方面，C4 号断面的生物量最高，达到 44.714g/m²，其次为 C3 号断面（40.687g/m²），C5 号断面生物量最低，为 10.542g/m²。

表 6.3-5 调查断面潮间带栖息密度（ind./m²）及生物量（g/m²）的水平分布

断面名称	项目	软体动物	节肢动物	合计
C3	栖息密度	22.66	4.89	27.55
	生物量	33.897	6.790	40.687
C4	栖息密度	39.55	4.00	43.55
	生物量	37.296	7.418	44.714
C5	栖息密度	19.11	4.89	24.00
	生物量	1.873	8.669	10.542
平均值	栖息密度	27.11	4.59	31.70
	生物量	24.355	7.626	31.981

③ 栖息密度及生物量的垂直分布

调查断面潮间带栖息密度及生物量的垂直分布见表 6.3-6，在垂直分布上，潮间带生物的栖息密度方面表现为中潮带最高，为 37.33ind./m²，其次为高潮带（34.66ind./m²），低潮带最低，为 23.11ind./m²，即中潮带>高潮带>低潮带。在生物量方面，高潮带生物量最高，为 35.386g/m²，其次为中潮带（33.980g/m²），低潮带最低，为 26.577g/m²，即高潮带>中潮带>低潮带。

表 6.3-6 调查断面潮间带栖息密度（ind./m²）及生物量（g/m²）的垂直分布

潮带名称	项目	软体动物	节肢动物	合计
高潮带	栖息密度	29.33	5.33	34.66
	生物量	25.845	9.541	35.386
中潮带	栖息密度	32.00	5.33	37.33
	生物量	24.805	9.175	33.980
低潮带	栖息密度	20.00	3.11	23.11
	生物量	22.416	4.161	26.577
平均值	栖息密度	27.11	4.59	31.70
	生物量	24.355	7.626	31.981

③ 优势种组成

调查断面潮间带生物优势种以计算优势度（ $Y \geq 0.02$ ）为判断依据，该调查的优

势种有 4 种，分别为软体动物中的单齿螺（*monodonta laBio*）、粗糙滨螺（*Littorina scaBra*）、波纹蜒螺（*Nerita undata*）以及节肢动物中的白脊藤壶（*Balanus alBi costatas*），粗糙滨螺为本调查第一优势种。

④潮间带生物多样性水平

调查断面 SHannon-Wiener 多样性指数（ H' ）和 Pielou 均匀度指数（ J ）如表 6.3-7 所示，SHannon-Wiener 多样性指数范围处于 0.51~2.00 之间，平均值为 1.11。多样性指数在 C3 号断面出现最高（2.00），其次为 C4 号断面（0.81），C5 号断面最低（0.51）。Pielou 均匀度指数数值变化范围在 0.56~0.92 之间，平均值为 0.75。均匀度指数（ J ）在 C3 号断面出现较高（0.92），其次为 C5 号断面（0.77），C4 号断面最低（0.56）。丰富度指数变化范围在 0.13~0.77 之间，平均值为 0.40，丰富度值在 C3 号断面最高（0.77），其次为 C4 号断面（0.30），C5 号断面最低（0.13）。整体来说，调查断面潮间带多样性指数（ H' ）处于较低水平，均匀度指数处于一般水平。

表 6.3-7 调查海区潮间带生物多样性指数及均匀度

调查断面	种类数	多样性指数（ H' ）	均匀度（ J ）	丰富度（ d ）
C3	6	2.00	0.92	0.77
C4	3	0.81	0.56	0.30
C5	2	0.51	0.77	0.13
平均值	--	1.11	0.75	0.40

⑤小结

该次潮间带生物调查结果显示，定量调查发现潮间带生物的种类包含 2 大类群，共有 8 种。调查断面总平均栖息密度 31.70ind./m²，总平均生物量为 31.981g/m²。从种类组成特征来看，调查断面优势种有 4 种，为软体动物中的单齿螺、粗糙滨螺、波纹蜒螺以及节肢动物中的白脊藤壶，粗糙滨螺优势地位突出。调查断面潮间带多样性指数（ H' ）处于较低水平，均匀度处于一般水平。

6.4 海洋渔业资源现状调查与评价

6.4.1 调查概况

（1）调查站位

2023 年秋季调查和 2024 年春季调查分别设有生物体质量和渔业资源调查站位 18 个。调查站位分布情况见图 6.4-1，表 6.1-1。

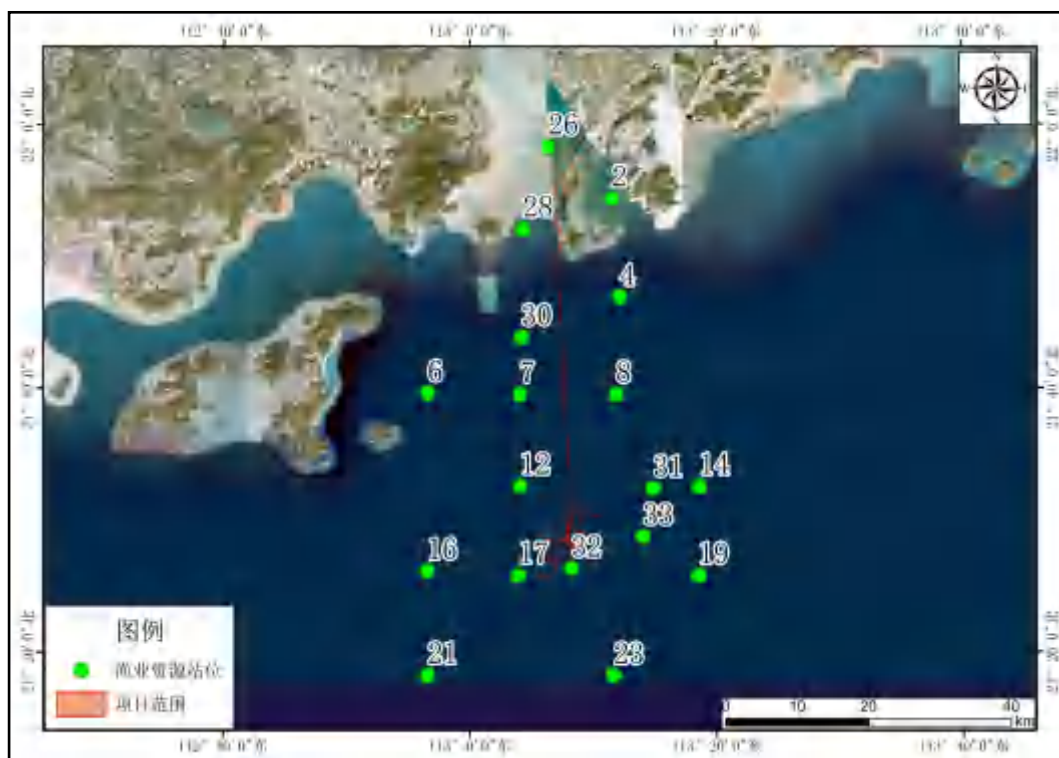


图 6.4-1 渔业资源调查站位分布图

(2) 调查时间

自然资源部南海调查中心于 2023 年 11 月 24 日、11 月 26~27 日对项目场区开展秋季调查，2024 年 3 月 1 日~3 月 10 日对项目场区开展春季调查。

(3) 调查项目

- 1) 鱼卵仔稚鱼（种类数、数量分布、主要种类等）；
- 2) 游泳生物（主要种类、优势种、渔获率及分布、资源密度及分布、分类别种类组成、分类别渔获率及分布、分类别资源密度及分布等）。

6.4.2 调查方法

(1) 鱼卵仔稚鱼

调查选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）的相关规定进行样品的采集、保存和运输。定量采样：网具使用大型浮游生物网（ $30\text{m} < \text{水深} < 200\text{m}$ ）垂直采样，由海底至海面垂直拖网。定性采样：采用水平拖网法，网具采用大型浮游生物网，于表层水平拖曳 10min 取得，拖速保持在 2 节左右。海上采得的浮游生物样品按体积 5% 的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

(2) 游泳动物

游泳生物调查按照《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）的相关规定进行样品的采集、保存和运输。

①调查船舶要求：游泳生物调查船应由专业调查船承担，或选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，调查船舶应具备能在调查海区中定位的卫星定位仪、能在调查海区与陆地基地联络的通讯设备，性能良好的探鱼仪和雷达，能随时观察曳网情况的网位仪，与调查水深和调查网具相匹配的起网机和起吊设备，具备渔获物样品冷藏库或冷冻库。

②调查工作流程：采用单船有翼单囊拖网进行作业。调查时间选择在白天进行，综合拖速、拖向、流向、流速、风向和风速等多种因素，在距离站位位置 2nmile~3 nmile 处放网，拖速控制在 2kn~3kn 左右，经 0.5~1H 后正好到达站位位置或附近。临放网前准确测定船位，放网时间以停止曳纲投放，曳纲着底开始受力时为准。拖网中尽量保持拖网方向朝向拖网站位，注意周围船只动态和调查船的拖网是否正常等，若出现不正常拖网时，视其情况改变拖向或立即起网。临起网前准确记录船位，起网时间以起网机开始卷收曳纲时间为准。如遇严重破网等导致渔获量大量减少时，应重新拖网。

③样品处理：将囊网里全部渔获物收集，记录估计的网次总质量（kg）。渔获物总质量在 40kg 以下时，全部取样分析；渔获物大于 40kg 时，从中挑出大型的和稀有的标本后，从渔获物中随机取出渔获物分析样品 20kg 左右，然后把余下的渔获物按品种和不同规格装箱，记录该站位准确渔获物总质量（kg）。

6.4.3 评价方法

样品的分析采用《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》（GB/T12763.6-2007）进行，各项的分析方法如表 6.4-1。

表 6.4-1 海洋生态调查项目及分析方法一览表

序号	检测指标	检测依据	分析方法
1	游泳动物	《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》GB/T 12763.6-2007/14	目测法
2	鱼类浮游生物（鱼卵仔稚鱼）	《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》GB/T 12763.6-2007/9	镜检法

（1）鱼卵仔稚鱼密度：

水平拖网密度计算：

$$M = \frac{n}{t \cdot V \cdot S}$$

式中：N—鱼卵仔稚鱼密度（ind/m³）；

n—每网鱼卵仔稚鱼数量，单位为（ind）；

S—网口面积（m²），S_{大型浮游生物网}=0.5m²；

t—拖网时间（H）；

V—拖速（m/H）；

垂直拖网密度计算：

$$N = \frac{n}{v}$$

式中：N—鱼卵仔稚鱼密度（ind/m³）；

n—每网鱼卵仔稚鱼数量，单位为（ind）；

v—滤水量（m³），等于网口面积×采样绳长；

（2）渔业资源：

资源数量的评估根据底拖网扫海面积法（密度指数法），来估算评价区的资源重量密度和生物个体密度。

$$S = (y) / a (1-E)$$

式中：S—重量密度（kg/km²）或个体密度（ind/km²）；

a—底拖网每小时的扫海面积（扫海宽度取浮网长度的 2/3）；

y—平均重量渔获率（kg/h）或平均个体渔获率（ind/H）；

E—逃逸率（取 0.5）。

根据渔获物中个体大小悬殊的特点，选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI，来分析渔获物在群体数量组成中其生态的地位，依此确定优势种。

$$IRI = (N+W) F$$

式中：N—某一种类的 ind 数占渔获总 ind 数的百分比；

W—某一种类的重量占渔获总重量的百分比；

F—某一种类出现的断面数占调查总断面数的百分比。

6.4.4 调查结果及评价结果

6.4.4.1 2023 年秋季调查结果与评价

（1）鱼卵仔鱼现状

1) 种类组成

该调查鱼类浮游生物水平和垂直采样调查共获得鱼卵 567ind.共 13 种, 仔稚鱼 124ind.共 10 种。经鉴定共有 15 种(表 6.4-2), 隶属于鲈形目、鲱形目、仙女鱼目、鲻形目、鲈形目和鲷形目等 6 目 14 科(附表 30)。

表 6.4-2 调查海区鱼卵、仔鱼种类组成

种类		拉丁种名	鱼卵	仔稚鱼
鲱形目	小公鱼属	<i>StolepHorus sp.</i>	+	+
	鳀属	<i>Engraulis sp.</i>	+	-
仙女鱼目	蛇鲻属	<i>Saurida sp.</i>	+	-
鲻形目	鲻科	<i>mugilidae</i>	+	-
鲈形目	红娘鱼属	<i>Lepidotrigla</i>	-	+
鲈形目	带鱼科	<i>TricHuuridae</i>	+	+
	鱈科	<i>Sillaginidae</i>	+	+
	鳎科	<i>Leiognathidae</i>	+	-
	鲷科	<i>Sparidae</i>	+	+
	天竺鲷科	<i>apogonidae</i>	+	-
	石首鱼科	<i>Sciaenidae</i>	+	+
	鲹科	<i>Carangidae</i>	-	+
鲷形目	鲷科	<i>BotHidae</i>	+	+
	鳎科	<i>Soleidae</i>	+	+
	舌鳎科	<i>Cynoglossidae</i>	+	+

注: “+”表示有出现,“-”表示未出现。

①水平拖网种类组成

鱼类浮游生物水平拖网调查共获得鱼卵 521ind., 仔稚鱼 98ind.。经鉴定共有 15 种, 隶属于 6 目 14 科, 其中鲈形目为 7 种, 占总种数的 46.67%; 鲷形目有 3 种, 占总种数的 20.00%; 鲱形目为 2 种, 占总种数的 13.33%; 鲻形目、鲈形目和仙女鱼目种类均为 1 种, 各占总种数的 6.67%。水平拖网的鱼卵中发现鲈形目石首鱼科数量最多(215ind.), 在该调查鱼卵中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现鱼卵数量为(1~104) ind.。仔稚鱼中发现鲈形目石首鱼科(42ind.)最多, 此种在仔稚鱼中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现仔稚鱼数量为(3~19) ind.。

②垂直拖网种类组成

鱼类浮游生物垂直拖网调查共获得鱼卵 46ind., 仔稚鱼 26ind.。经鉴定共有 12 种, 隶属于 6 目 11 科, 其中鲈形目为 4 种, 占总种数的 33.33%; 鲷形目为 3 种, 占总种数的 25.00%; 鲱形目为 2 种, 占总种数的 16.67%; 鲻形目、鲈形目和仙女鱼目均为 1 种, 各占总种数的 8.33%。垂直拖网鱼卵中鲈形目石首鱼科发现数量最多(25ind.), 在该调查鱼卵中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现鱼卵数量为(1

~6) ind.。垂直拖网调查仔稚鱼中发现有鲈形目石首鱼科最多 (16ind.)，在该调查仔稚鱼中具有数量上的绝对优势，其余种类发现仔稚鱼数量在 (1~3) ind.之间。

2) 数量分布

该次水平拖网鱼类浮游生物的空间分布情况如表 6.4-3 所示，鱼卵的数量分布范围在 1ind./net (205ind./net 之间，平均值为 28.94ind./net，其中在 6 号站发现鱼卵数量最高 (205ind./net)，其次为 7 号站 (72ind./net)，14 号站鱼卵数量最低 (1ind./net)。仔稚鱼的数量分布范围在 1ind./net (14ind./net 之间，平均数量为 5.44ind./net，7 号站出现最高，数量为 14ind./net，其次为 14 号站 (12ind./net)，2、23、26 和 31 号站最低，均为 1ind./net。

表 6.4-3 鱼类浮游生物水平拖网密度及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵 (ind/net)	仔稚鱼 (ind/net)
2	10	1
4	12	10
6	205	7
7	72	14
8	26	3
12	8	3
14	1	12
16	10	7
17	32	5
19	2	10
21	8	7
23	8	1
26	6	1
28	10	3
30	23	6
31	61	1
32	25	4
33	2	3
最小值	1	1
最大值	205	14
平均值	28.94	5.44

该次垂直拖网鱼类浮游生物的空间分布情况如表 6.4-4 所示，鱼卵的个体数量分布范围在 0.00ind./m³~2.86ind./m³ 之间，平均值为 0.41ind./m³，其中在 6 号站发现鱼卵个体数量最高 (2.86ind./m³)，其次为 7 号站 (1.60ind./m³)，14、19、26、28 和 30 号站个体数量最低，均未发现鱼卵 (0.00ind./m³)；仔稚鱼的个体数量分布范围在 0.00ind./m³ (0.95ind./m³ 之间，平均个体数量为 0.17ind./m³，6 号站出现最高，个体数量为 0.95ind./m³，其次为 7 号站 (0.60ind./m³)，2、4、16、26 和 28 号站仔稚鱼个体数量最低，均未发现仔稚鱼 (0.00ind./m³)。

表 6.4-4 鱼类浮游生物垂直拖网个体数量及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵 (ind./m ³)	仔稚鱼 (ind./m ³)
2	0.83	0.00
4	0.29	0.00
6	2.86	0.95
7	1.60	0.60
8	0.38	0.19
12	0.20	0.20
14	0.00	0.06
16	0.23	0.00
17	0.12	0.06
19	0.00	0.18
21	0.16	0.10
23	0.05	0.05
26	0.00	0.00
28	0.00	0.00
30	0.00	0.26
31	0.20	0.13
32	0.32	0.19
33	0.06	0.06
最小值	0.00	0.00
最大值	2.86	0.95
平均值	0.41	0.17

3) 优势种

鱼类浮游生物的优势种以优势度 (Y) ≥ 0.02 为判断依据, 经计算, 水平拖网调查鱼卵中数量占优势的种类为鲷科 (*Leiognathidae*)、石首鱼科 (*Sciaenidae*) 和舌鳎科 (*Cynoglossidae*), 优势度分别为 0.045、0.312 和 0.110, 其中最优势种为鲷形目石首鱼科; 仔稚鱼中优势种为小公鱼属 (*StolepHorus sp.*)、鳢科 (*Sillaginidae*)、石首鱼科 (*Sciaenidae*) 和鲹科 (*Carangidae*), 优势度分别为 0.050、0.036、0.228 和 0.036, 其中最优势种亦为石首鱼科。

垂直拖网调查鱼卵中数量占优势的种类为小公鱼属 (*StolepHorus sp.*) 和石首鱼科 (*Sciaenidae*), 优势度分别为 0.024 和 0.236, 其中最优势种是鲷形目石首鱼科; 仔稚鱼中优势种为石首鱼科 (*Sciaenidae*), 优势度为 0.305。

4) 小结

鱼卵、仔稚鱼是反映海域资源潜力和资源保持的重要指标, 在海洋生态环境评估具有重要意义。该次鱼卵、仔稚鱼调查结果显示: 经鉴定共有 15 种, 隶属于鲱形目、鲻形目、鲉形目、鲈形目、鲷形目和仙女鱼目等 6 目 14 科。水平拖网获得鱼卵与仔稚鱼 15 种, 调查站位鱼卵和仔稚鱼水平拖网的平均数量分别为 28.94ind./net 和 5.44ind./net, 其中鱼卵最优势种为鲷形目石首鱼科, 仔稚鱼最优势种亦为石首鱼科;

垂直拖网获得鱼卵与仔稚鱼 12 种,调查站位鱼卵和仔稚鱼垂直拖网的平均个体数量分别为 0.41ind./m^3 和 0.17ind./m^3 , 其中鱼卵最优势种为鲈形目石首鱼科,仔稚鱼最优势种亦为石首鱼科。

(2) 游泳动物

游泳动物样品采集使用的网具为巴西网(上纲长度 30 米,网囊网目 4 厘米)。

1) 渔业资源种类组成

① 种类组成

该调查共捕获游泳生物 99 种(附表 31),其中:鱼类 63 种,甲壳类 31 种(虾蛄类 3 种、虾类 12 种和蟹类 16 种)和头足类 5 种。

该调查各站位中,8 号站位种类数最多,为 42 种,其次为 2 号站位,为 35 种,14 号站位种类数最少,为 20 种。

② 多样性

游泳生物的多样性指数分布范围在 $3.32\sim 4.50$ 之间,平均为 4.01,多样性指数最高值出现在 8 号站位,最低出现在 14 号站位,调查站位多样性指数处于较高水平;丰富度指数分布范围在 $2.03\sim 3.97$ 之间,平均为 2.79,丰富度指数最高值出现在 8 号站位(3.97),最低出现在 14 号站位(2.03);均匀度分布范围在 $0.66\sim 0.92$ 之间,平均为 0.83,均匀度最高值出现在 21 号站位(0.92),最低出现在 2 号和 26 号站位(均为 0.66),调查站位均匀度指数处于较高水平(附表 32)。

③ 幼体比例

该调查幼体群体占有游泳生物群体的平均比例 31.72%(附表 33、附表 34、附表 35)。渔获物中,鱼类幼体比例为 30.21%,虾类幼体比例为 40.13%,蟹类幼体比例为 22.87%,虾蛄类幼体比为 34.52%,头足类幼体比例为 40.63%。各类群成体尾数、幼体尾数和幼体比例见附表 34,渔获物各种类幼体比见附表 35。

2) 渔获量

① 总渔获量

渔业资源的平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 32.04kg/h 和 1706.11ind./h ,其中:甲壳类(虾类、蟹类、虾蛄类)的平均重量渔获量和平均个体渔获量分别为 6.79kg/h 和 692.22ind./h ,占平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 21.20%和 40.57%;鱼类平均重量渔获量和平均个体渔获量分别为 24.97kg/h 和 1005.00ind./h ,占平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 77.93%和 58.91%;头足

类重量渔获量和个体渔获量分别为 0.28kg/h 和 8.89ind./h，占平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 0.87%和 0.52%。

②鱼类渔获量

该次游泳生物调查 18 个站位中，鱼类出现率 100%，总渔获量共 449.43kg、18 090 尾。各站位平均重量渔获量为 24.97kg/h，重量渔获量变化范围为 18.75kg/h~35.02kg/h，重量渔获量最低出现在 26 号站位（18.75kg/h），重量渔获量最高出现在 8 号站位，为 35.02kg/h（表 6.4-5）。各站位平均个体渔获量为 1005.00ind./h，个体渔获量变化范围为 335ind./h~3430ind./h，个体渔获量最低出现在 30 号站位（335ind./h），最高个体渔获量出现在 2 号站位，为 3430ind./h（表 6.4-5）。

表 6.4-5 各调查站位鱼类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	3430	22.57
4	555	25.45
6	435	30.64
7	480	23.11
8	720	35.02
12	520	21.50
14	420	26.00
16	710	24.51
17	555	27.91
19	540	24.54
21	720	24.00
23	610	25.64
26	3075	18.75
28	2915	22.13
30	335	21.13
31	850	26.51
32	585	20.53
33	635	29.49
平均值	1005.00	24.97

③甲壳类渔获量

虾类在该次游泳生物调查 18 个站位中均有出现，出现率 100.00%，总渔获量共 17.57kg、6180 尾。各站位平均重量渔获量为 0.98kg/h（表 6.4-6），重量渔获量变化范围 0.01kg/h~3.64kg/h，重量渔获量最低出现在 31 号站位，重量渔获量为 0.01kg/h，重量渔获量最高出现在 26 号站位，重量渔获量为 3.64kg/h。各站位平均个体渔获量为 343.33ind./h，个体渔获量变化范围为 10ind./h~1945ind./h，最高个体渔获量出现在 2 号站位（1945ind./h），最低个体渔获量出现在 23 号站位和 31 号站位，均为 10ind./h（表 6.4-6）。

表 6.4-6 各调查站位虾类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	1945	3.33
4	135	1.13
6	50	0.18
7	150	1.04
8	145	1.11
12	385	1.25
14	135	0.67
16	15	0.04
17	45	0.28
19	30	0.21
21	35	0.10
23	10	0.17
26	1515	3.64
28	1370	3.30
30	30	0.08
31	10	0.01
32	120	0.70
33	55	0.34
平均值	343.33	0.98

该次游泳生物调查 18 个站位中，蟹类出现率 100.00%，总渔获量共 76.12kg、3760 尾。各站位平均重量渔获量为 4.23kg/h（表 6.4-7），重量渔获量变化范围为 0.93kg/h~10.01kg/h，重量渔获量最低出现在 28 号站位（0.93kg/h），重量渔获量最高出现在 8 号站位，为 10.01kg/h。各站位平均个体渔获量为 208.89ind./h，个体渔获量变化范围为 90ind./h~410ind./h，个体渔获量最低出现在 14 号站位（90ind./h），最高个体渔获量出现在 8 号站位，为 410ind./h（表 6.4-7）。

表 6.4-7 各调查站位蟹类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	185	1.02
4	320	8.59
6	110	1.64
7	300	7.10
8	410	10.01
12	195	1.33
14	90	2.49
16	130	2.78
17	180	2.75
19	310	6.17
21	190	4.87
23	175	4.69
26	235	1.43
28	195	0.93
30	170	7.70
31	145	3.39
32	200	4.37
33	220	4.89
平均值	208.89	4.23

虾蛄类在该次游泳生物调查 18 个站位中的 8 个站位中有出现，出现率 44.44%，总渔获量共 28.54kg、2520 尾。各站位平均重量渔获量为 1.59kg/h，重量渔获量变化范围为 0kg/h~10.54kg/h，重量渔获量最低出现在 6 号、7 号、12 号、14 号、17 号、19 号、21 号、30 号、32 号和 33 号站位，重量渔获量均为 0kg/h，重量渔获量最高出现在 26 号站位，为 10.54kg/h（表 6.4-8）。各站位平均个体渔获量为 140.00ind./h，个体渔获量变化范围为 0ind./h~905ind./h，最高个体渔获量出现在 26 号站位（905ind./h），最低个体渔获量出现在 6 号、7 号、12 号、14 号、17 号、19 号、21 号、30 号、32 号和 33 号站位，均为 0ind./h。

表 6.4-8 各调查站位虾蛄类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	780	8.91
4	10	0.03
6	0	0.00
7	0	0.00
8	5	0.06
12	0	0.00
14	0	0.00
16	5	0.02
17	0	0.00
19	0	0.00
21	0	0.00
23	5	0.05
26	905	10.54
28	795	8.78
30	0	0.00
31	15	0.15
32	0	0.00
33	0	0.00
平均值	140.00	1.59

④头足类渔获量

该次游泳生物调查 18 个站位中，头足类出现率 83.33%，总渔获量共 5.02kg、160 尾。各站位平均重量渔获量为 0.28kg/h（表 6.4-9），重量渔获量变化范围为 0kg/h~1.93kg/h，重量渔获量最低站位出现在 7 号、17 号和 33 号站位（均为 0kg/h），重量渔获量最高站位出现在 31 号站位，为 1.93kg/h。各站位平均个体渔获量为 8.89 ind./h，个体渔获量变化范围为 0~20ind./h，个体渔获量最低站位出现在 7 号、17 号和 33 号站位（均为 0ind./h），个体渔获量最高站位出现在 12 号站位，为 20ind./h。

表 6.4-9 各调查站位头足类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)	站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	5	0.03	19	15	0.08
4	15	0.27	21	5	0.03
6	15	0.45	23	10	0.41
7	0	0.00	26	5	0.20
8	10	0.27	28	15	0.18
12	20	0.35	30	5	0.02
14	5	0.16	31	15	1.93
16	15	0.60	32	5	0.03
17	0	0.00	33	0	0.00
平均值	8.89	0.28	\	\	\

⑤各物种渔获量

单种重量渔获量最高为红背圆鲂 (*Decapterus maruadsi*) 的 153.34kg/h, 占总重量渔获量的 26.59%, 其次为棕斑兔头鲈 (*Lagocephalus spadiceus*), 单种重量渔获量为 57.52kg/h, 占总重量渔获量的 9.97%, 最低为细巧仿对虾 (*Parapenaeopsis tennella*), 单种重量渔获量为 0.004kg/h, 占总重量渔获量的 0.001%; 单种个体渔获量最高为麦氏犀鲨 (*Bregmaceros macclllandii*) 的 4180ind./h, 占总个体渔获量的 13.61%, 其次为白腹小沙丁鱼 (*Sardinella albella*), 单种个体渔获量为 2970ind./h, 占总个体渔获量的 9.67%, 最低为棘茄鱼 (*Halieutaea stellata*)、斑鲷 (*Konosirus punctatus*)、内而褶囊海鲶 (*Plicofollis nella*) 和舒氏海龙 (*Syngnathus schlegelii*) 等共 21 种, 均为 5.00ind./h, 各占总个体渔获量的 0.02%。

3) 渔业资源密度

①总资源密度

该调查各站位渔业资源密度分布见表 6.4-10。平均重量密度为 576.64kg/km², 范围为 439.75kg/km²~836.37kg/km², 8 号站位最高 (836.37kg/km²), 12 号站位最低 (439.75kg/km²); 平均个体密度为 30.71×10³ind./km², 个体密度最高的站位为 2 号站位, 其值为 114.20×10³ind./km², 最低为 30 号站位, 其个体密度为 9.72×10³ind./km²。

表 6.4-10 各调查站位的渔业资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	645.44	114.20
4	638.38	18.63
6	592.32	10.98
7	562.47	16.74
8	836.37	23.22
12	439.75	20.16
14	527.58	11.70

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
16	503.09	15.75
17	556.72	14.04
19	557.88	16.11
21	521.96	17.10
23	557.18	14.58
26	622.22	103.22
28	635.64	95.21
30	520.55	9.72
31	575.81	18.63
32	461.22	16.38
33	624.92	16.38
平均值	576.64	30.71

②鱼类资源状况

该调查, 鱼类的资源密度见表 6.4-11。从表中可得出其平均重量密度和平均个体密度分别为 449.40kg/km² 和 18.09×10³ind./km²。在 18 个站位鱼类重量密度分布中, 8 号站位最高, 为 630.35kg/km², 26 号站位最低, 为 337.51kg/km²; 鱼类个体密度分布中, 2 号站位最高, 为 61.74×10³ind./km², 30 号站位最低, 为 6.03×10³ind./km²。

表 6.4-11 各调查站位鱼类资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	406.24	61.74
4	458.01	9.99
6	551.47	7.83
7	415.90	8.64
8	630.35	12.96
12	386.95	9.36
14	468.03	7.56
16	441.23	12.78
17	502.28	9.99
19	441.63	9.72
21	432.00	12.96
23	461.56	10.98
26	337.51	55.35
28	398.38	52.47
30	380.24	6.03
31	477.16	15.30
32	369.43	10.53
33	530.75	11.43
平均值	449.40	18.09

③甲壳类资源状况

该调查, 甲壳类的资源密度见表 6.4-12。从表中得出其平均重量密度和平均个体密度分别为 122.23kg/km² 和 12.46×10³ind./km²。其中, 重量密度范围为 32.68kg/km²~281.12kg/km², 6 号站位最低 (32.68kg/km²), 26 号站位最高, 为 281.12kg/km²; 个体密度分布范围为 2.70×10³ind./km²~52.38×10³ind./km², 2 号站位最高 (52.

$38 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ），16号站位最低，为 $2.70 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 。

表 6.4-12 各调查站位甲壳类资源密度

站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3 \text{ind./km}^2$)
2	238.70	52.38
4	175.48	8.37
6	32.68	2.88
7	146.57	8.10
8	201.14	10.08
12	46.46	10.44
14	56.72	4.05
16	51.10	2.70
17	54.44	4.05
19	114.82	6.12
21	89.36	4.05
23	88.28	3.42
26	281.12	47.79
28	234.03	42.48
30	139.92	3.60
31	63.90	3.06
32	91.20	5.76
33	94.17	4.95
平均值	122.23	12.46

该调查，甲壳类的虾类资源密度见表 6.4-13。其平均重量密度为 17.57kg/km^2 ，重量密度范围为 $0.16 \text{kg/km}^2 \sim 65.60 \text{kg/km}^2$ ，31号站位重量资源密度最低 (0.16kg/km^2)，26号站位最高，为 65.60kg/km^2 ；平均个体密度为 $6.18 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，个体密度最高的站位为 2 号站位，其值为 $35.01 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ；23 和 31 号站位个体密度最低，均为 $0.18 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 。

表 6.4-13 各调查站位虾类资源密度

站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3 \text{ind./km}$)
2	60.00	35.01
4	20.39	2.43
6	3.24	0.90
7	18.78	2.70
8	20.05	2.61
12	22.47	6.93
14	11.98	2.43
16	0.65	0.27
17	5.01	0.81
19	3.77	0.54
21	1.78	0.63
23	3.02	0.18
26	65.60	27.27
28	59.33	24.66
30	1.39	0.54
31	0.16	0.18
32	12.56	2.16
33	6.09	0.99
平均值	17.57	6.18

该调查，甲壳类的蟹类资源密度见表 6.4-14，其平均重量密度为 $76.12\text{kg}/\text{km}^2$ ，28 号站位最低，8 号站位最高，范围为 $16.68\text{kg}/\text{km}^2 \sim 180.10\text{kg}/\text{km}^2$ ；平均个体密度为 $3.76 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ ，个体密度最高的站位为 8 号站位，其值为 $7.38 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ ，最低为 14 号站位，其个体密度为 $1.62 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ 。

表 6.4-14 各调查站位蟹类资源密度

站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$)	站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$)
2	18.29	3.33	19	111.05	5.58
4	154.57	5.76	21	87.58	3.42
6	29.44	1.98	23	84.37	3.15
7	127.79	5.40	26	25.82	4.23
8	180.10	7.38	28	16.68	3.51
12	23.99	3.51	30	138.53	3.06
14	44.74	1.62	31	60.99	2.61
16	50.02	2.34	32	78.64	3.60
17	49.43	3.24	33	88.08	3.96
平均值	76.12	3.76	\	\	\

该调查，甲壳类的虾蛄类资源密度见表 6.4-15。其平均重量密度和平均个体密度分别为 $28.54\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $2.52 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ 。26 号站位的重量密度最高 ($189.70\text{kg}/\text{km}^2$)，6 号、7 号、12 号、14 号、17 号、19 号、21 号、30 号、32 号和 33 号站位重量密度最低，均为 $0\text{kg}/\text{km}^2$ 。26 号站位个体密度最高，为 $16.29 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ ；6 号、7 号、12 号、14 号、17 号、19 号、21 号、30 号、32 号和 33 号站位个体密度最低 (均为 $0 \text{ind.}/\text{km}^2$)。

表 6.4-15 各调查站位虾蛄类资源密度

站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$)
2	160.41	14.04
4	0.52	0.18
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.99	0.09
12	0.00	0.00
14	0.00	0.00
16	0.43	0.09
17	0.00	0.00
19	0.00	0.00
21	0.00	0.00
23	0.89	0.09
26	189.70	16.29
28	158.02	14.31
30	0.00	0.00
31	2.75	0.27
32	0.00	0.00
33	0.00	0.00
平均值	28.54	2.52

④头足类资源密度分布

该调查，头足类的资源密度见表 6.4-16。从表中可得出其平均重量密度和平均个体密度分别为 $5.01\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $0.16\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ 。在 18 个站位头足类重量密度分布中，31 号站位最高，为 $34.76\text{kg}/\text{km}^2$ ，7 号、17 号和 33 号站位最低，均为 $0\text{kg}/\text{km}^2$ ；头足类个体密度分布中，12 号站位最高，为 $0.36\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，7 号、17 号和 33 号站位最低，均为 $0\text{ind.}/\text{km}^2$ 。

表 6.4-16 各调查站位头足类资源密度

站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$)	站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$)
2	0.50	0.09	19	1.43	0.27
4	4.89	0.27	21	0.60	0.09
6	8.17	0.27	23	7.34	0.18
7	0.00	0.00	26	3.60	0.09
8	4.86	0.18	28	3.22	0.27
12	6.35	0.36	30	0.38	0.09
14	2.82	0.09	31	34.76	0.27
16	10.75	0.27	32	0.59	0.09
17	0.00	0.00	33	0.00	0.00
平均值	5.01	0.16	\	\	\

⑤各种类资源密度分布

该次游泳生物调查，单种重量密度最高为红背圆鲂的 $2759.88\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总重量密度的 26.59%，其次为棕斑兔头鲈，其重量密度为 $1035.30\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总重量密度的 9.97%，最低为细巧仿对虾的 $0.06\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总重量密度的 0.001%；单种个体密度最高为麦氏犀鳕的 $75.23\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，占总个体密度的 13.61%，其次为白腹小沙丁鱼，其个体密度为 $53.46\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，占总个体密度的 9.67%，最低为棘茄鱼、斑鰾、内而褶囊海鲶和舒氏海龙等共 21 种，个体密度均为 $0.09\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，均分别占总个体密度的 0.02%。

4) 优势种类和主要经济种类

①鱼类优势种

将鱼类 *IRI* 指数列于附表 36。从表中可得出，鱼类 *IRI* 值在 1000 以上的优势种有 3 种，为：红背圆鲂、棕斑兔头鲈和麦氏犀鳕，这 3 种鱼类的重量渔获量之和为 $221.09\text{kg}/\text{h}$ ，占鱼类总重量渔获量 ($449.43\text{kg}/\text{h}$) 的 49.30%；这 3 种鱼类的个体渔获量之和为 $6445\text{ind.}/\text{h}$ ，占鱼类总个体渔获量 ($18090\text{ind.}/\text{h}$) 的 35.63%。

②甲壳类优势种

将甲壳类 *IRI* 指数列于附表 37。从表中可得出，甲壳类 *IRI* 值在 1000 以上的优势种有 2 种，分别为逍遥馒头蟹和拥剑梭子蟹。这 2 种甲壳类的重量渔获量之和为 59.42kg/h，占甲壳类总重量渔获量（122.24kg/h）的 48.61%；这 2 种甲壳类的个体渔获量之和为 1915ind./h，占甲壳类总个体渔获量（12460ind./h）的 15.37%。

③头足类优势种

将头足类 *IRI* 指数列于附表 38。从表中可得出，头足类 *IRI* 值在 1000 以上的优势种有 1 种，为中国枪乌贼。中国枪乌贼的重量渔获量为 2.62kg/h，占头足类总重量渔获量（5.02kg/h）的 52.31%；个体渔获量为 75ind./h，占头足类总个体渔获量（160ind./h）的 46.88%。

④主要经济种类分述

综合考虑各物种出现站位数、优势度、调查站位平均渔获量大小、调查站位个体渔获量大小、经济价值高低和生物类型代表性，选定分述的该次游泳生物调查的主要经济种类按分类顺序分别为红背圆鲹、褐篮子鱼和拥剑梭子蟹。

5) 小结

该次共采集到游泳动物 99 种，隶属于 16 目 64 科，其中鱼类为 12 目 39 科 63 种，头足类为 3 目 4 科 5 种，甲壳类 2 目 11 科 31 种。游泳动物的平均渔获量为 32.04kg/h 和 1706.11ind./h。其中，鱼类为 24.97kg/h 和 1005.00ind./h，头足类的平均渔获量为 0.28kg/h 和 8.89ind./h，甲壳类的平均渔获量为 6.79kg/h 和 692.22ind./h。根据扫海面积法估算，18 个站位目前游泳动物的平均资源密度约为 576.64kg/km² 和 30.71×10³ind./km²，其中鱼类约为 449.40kg/km² 和 18.09×10³ind./km²，头足类约为 5.01kg/km² 和 0.16×10³ind./km²，甲壳类约为 122.23kg/km² 和 12.46×10³ind./km²。根据相对重要性指数（*IRI*）公式计算评价调查海域内的相对重要性指标（*IRI*），并以 *IRI* 大于 1000 作为优势渔获物的判断指标，该调查的优势渔获种类共有 6 种。其中鱼类优势种有 3 种，分别为红背圆鲹（3660.87）、棕斑兔头鲈（1550.74）和麦氏犀鲂（1274.71）；甲壳类优势种有 2 种，分别为逍遥馒头蟹（2603.14）和拥剑梭子蟹（2542.16）；头足类优势种有 1 种，为中国枪乌贼（4408.24）。该调查海域渔获物中，鱼类平均幼体比例为 30.21%；虾蛄类平均幼体比例为 34.52%；虾类平均幼体比例为 40.13%；蟹类平均幼体比例为 22.87%；头足类平均幼体比例为 40.63%。项目海域渔获物丰富度指数（*d*）均值为 2.79（2.03~3.97），多样性指数（*H'*）均值为 4.01（3.32~4.50），均匀度指数（*J*）均值为 0.83（0.66~0.92）。

6.4.4.2 2024 年春季调查结果与评价

(1) 鱼卵仔鱼现状

1) 种类组成

该调查鱼类浮游生物水平和垂直采样调查共获得鱼卵 3110ind., 仔稚鱼 405ind.。经鉴定共有 21 种 (表 6.4-17), 隶属于鲱形目、鲱形目、仙女鱼目、鲱形目、鲈形目和鲷形目等 6 目 18 科 (附表 39)。

表 6.4-17 调查海区鱼卵、仔鱼种类组成

种类		拉丁学名	鱼卵	仔稚鱼
鲱形目	鲱科	<i>Clupeidae</i>	+	+
	小公鱼属	<i>StolepHorus sp.</i>	-	+
	鳀属	<i>Engraulis sp.</i>	+	+
	鳀科	<i>Engraulidae</i>	-	+
	棱鳀属	<i>THryssa sp.</i>	+	-
仙女鱼目	蛇鲻属	<i>Saurida sp.</i>	+	-
鲱形目	鲱科	<i>mugilidae</i>	+	-
鲈形目	红娘鱼属	<i>Lepidotrigla</i>	-	+
鲈形目	带鱼科	<i>TricHiuridae</i>	+	+
	鱧科	<i>Sillaginidae</i>	+	-
	鲷科	<i>LeiognatHidae</i>	+	+
	鲷科	<i>Sparidae</i>	+	+
	天竺鲷科	<i>apogonidae</i>	+	-
	石首鱼科	<i>Sciaenidae</i>	+	+
	鲷属	<i>Callionymus sp.</i>	+	-
	鲹科	<i>Carangidae</i>	-	+
鲷形目	鲷科	<i>BotHidae</i>	+	+
	牙鲷科	<i>ParalicHtHyidae</i>	+	-
	鲷科	<i>Soleidae</i>	+	-
	舌鲷科	<i>Cynoglossidae</i>	+	+
	鲷科	<i>Pleuronectidae</i>	-	+

注: “+”表示有出现, “-”表示未出现。

①水平拖网种类组成

鱼类浮游生物水平拖网调查共获得鱼卵 2930ind., 仔稚鱼 325ind.。经鉴定共有 21 种, 隶属于 6 目 18 科, 其中鲈形目为 8 种, 占总种数的 38.10%; 鲷形目和鲱形目均有 5 种, 各占总种数的 23.81%, 鲱形目、鲈形目和仙女鱼目种类均为 1 种, 各占总种数的 4.76%。水平拖网的鱼卵中发现鲈形目石首鱼科数量最多 (1681ind.), 在该调查鱼卵中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现鱼卵数量为 (2~367) ind.。仔稚鱼中发现鲈形目石首鱼科 (158ind.) 最多, 此种在仔稚鱼中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现仔稚鱼数量为 (1~63) ind.。

②垂直拖网种类组成

鱼类浮游生物垂直拖网调查共获得鱼卵 180ind., 仔稚鱼 80ind.。经鉴定共有 14 种, 隶属于 6 目 13 科, 其中鲈形目为 6 种, 占总种数的 42.86%; 鲹形目和鲱形目均为 3 种, 各占总种数的 21.43%; 鲷形目和仙女鱼目均为 1 种, 各占总种数的 7.14%。垂直拖网鱼卵中鲈形目石首鱼科发现数量最多 (105ind.), 在该调查鱼卵中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现鱼卵数量为 (1~15) ind.。垂直拖网调查仔稚鱼中发现有鲈形目石首鱼科最多 (47ind.), 在该调查仔稚鱼中具有数量上的绝对优势, 其余种类发现仔稚鱼数量在 (1~20) ind.之间。

2) 数量分布

该次水平拖网鱼类浮游生物的空间分布情况如表 6.4-18 所示, 鱼卵的数量分布范围在 12ind./net (709ind./net 之间, 平均值为 162.78ind./net, 其中在 32 号站发现鱼卵数量最高 (709ind./net), 其次为 16 号站 (439ind./net), 26 号站鱼卵数量最低 (12ind./net)。仔稚鱼的数量分布范围在 1ind./net (49ind./net 之间, 平均数量为 18.06ind./net, 16 号站出现最高, 数量为 49ind./net, 其次为 6 号站 (48ind./net), 21 和 26 号站最低, 均为 1ind./net。

表 6.4-18 鱼类浮游生物水平拖网密度及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵 (ind/net)	仔稚鱼 (ind/net)
2	146	33
4	35	6
6	15	48
7	203	7
8	72	20
12	173	31
14	190	12
16	439	49
17	254	22
19	42	4
21	150	1
23	156	5
26	12	1
28	33	9
30	59	38
31	110	8
32	709	22
33	132	9
最小值	12	1
最大值	709	49
平均值	162.78	18.06

该次垂直拖网鱼类浮游生物的空间分布情况如表 6.4-19 所示, 鱼卵的密度分布范围在 0.00ind./m³~1.88ind./m³ 之间, 平均值为 0.77ind./m³, 其中在 7 号站发现鱼卵

密度最高（1.88ind./m³），其次为 32 号站（1.54ind./m³），2、26 和 28 号站密度最低，均未发现鱼卵（0.00ind./m³）；仔稚鱼的密度分布范围在 0.00ind./m³（2.50ind./m³）之间，平均密度为 0.57ind./m³，2 号站出现最高，密度为 2.50ind./m³，其次为 26 号站（1.25ind./m³），28 号站仔稚鱼密度最低，未发现仔稚鱼（0.00ind./m³）。

表 6.4-19 鱼类浮游生物垂直拖网密度及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵（ind./m ³ ）	仔稚鱼（ind./m ³ ）
2	0.00	2.50
4	0.88	0.58
6	0.48	0.48
7	1.88	1.05
8	0.97	1.17
12	0.85	0.12
14	1.32	0.44
16	0.78	0.31
17	0.72	0.36
19	0.28	0.06
21	0.66	0.05
23	0.80	0.11
26	0.00	1.25
28	0.00	0.00
30	1.00	0.25
31	1.22	0.77
32	1.54	0.42
33	0.46	0.29
最小值	0.00	0.00
最大值	1.88	2.50
平均值	0.77	0.57

3) 优势种

鱼类浮游生物的优势种以优势度（Y）≥0.02 为判断依据，经计算，水平拖网调查鱼卵中数量占优势的种类为鲷科（*Leiognathidae*）、鲷科（*Sparidae*）、石首鱼科（*Sciaenidae*）和牙鲆科（*Paralichthyidae*），优势度分别为 0.053、0.125、0.568 和 0.059，其中最优势种为鲈形目石首鱼科；仔稚鱼中优势种为鳀科（*Engraulidae*）、鲷科（*Leiognathidae*）、石首鱼科（*Sciaenidae*）和鲹科（*Carangidae*），优势度分别为 0.091、0.082、0.409 和 0.042，其中最优势种亦为石首鱼科。

垂直拖网调查鱼卵中数量占优势的种类为石首鱼科（*Sciaenidae*），优势度为 0.551；仔稚鱼中优势种为鳀科（*Engraulidae*）、鲷科（*Leiognathidae*）和石首鱼科（*Sciaenidae*），优势度分别为 0.033、0.021 和 0.527，其中最优势种为鲈形目石首鱼科。

4) 小结

鱼卵、仔稚鱼是反映海域资源潜力和资源保持的重要指标，在海洋生态环境评估具有重要意义。该次鱼卵、仔稚鱼调查结果显示：经鉴定共有 21 种，隶属于鲱形目、鲷形目、鲈形目、鲹形目、鲑形目、鳎形目和仙女鱼目等 6 目 18 科。水平拖网获得鱼卵与仔稚鱼 21 种，调查站位鱼卵和仔稚鱼水平拖网的平均数量分别为 162.78ind./net 和 18.06ind./net，其中鱼卵最优势种为鲑形目石首鱼科，仔稚鱼最优势种亦为石首鱼科；垂直拖网获得鱼卵与仔稚鱼 14 种，调查站位鱼卵和仔稚鱼垂直拖网的平均密度分别为 0.77ind./m³ 和 0.57ind./m³，其中鱼卵最优势种为鲑形目石首鱼科，仔稚鱼最优势种亦为石首鱼科。

(2) 游泳动物

1) 渔业资源种类组成

①种类组成

该调查共捕获游泳生物 73 种（附表 40），其中：鱼类 42 种，甲壳类 26 种（虾蛄类 5 种、虾类 6 种和蟹类 15 种）和头足类 5 种。

该调查各站位中，2 号站位种类数最多，为 30 种，其次为 32 号站位，为 26 种，8 号站位种类数最少，为 15 种。

②多样性

游泳生物的多样性指数分布范围在 2.21~3.37 之间，平均为 2.89，多样性指数最高值出现在 19 号站位，最低出现在 8 号站位，调查站位多样性指数处于一般水平；丰富度指数分布范围在 1.44~2.79 之间，平均为 1.99，丰富度指数最高值出现在 2 号站位（2.79），最低出现在 8 号站位（1.44）；均匀度分布范围在 0.56~0.75 之间，平均为 0.66，均匀度最高值出现在 19 号站位（0.75），最低出现在 2 号站位（0.56），调查站位均匀度指数处于一般水平（附表 41）。

③幼体比例

该调查幼体群体占有游泳生物群体的平均比例 30.44%（附表 42、附表 43）。渔获物中，鱼类幼体比例为 30.21%，虾类幼体比例为 47.13%，蟹类幼体比例为 22.28%，虾蛄类幼体比为 32.29%，头足类幼体比例为 31.15%。各类群成体尾数、幼体尾数和幼体比例见附表 44，渔获物各种类幼体比见附表 45。

2) 渔获量

①总渔获量

渔业资源的平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 38.70kg/h 和 1443.22ind./h，其中：甲壳类（虾类、蟹类、虾蛄类）的平均重量渔获量和平均个体渔获量分别为 2.77kg/h 和 88.06ind./h，占平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 7.15%和 6.10%；鱼类平均重量渔获量和平均个体渔获量分别为 26.83kg/h 和 916.28ind./h，占平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 69.33%和 63.49%；头足类重量渔获量和个体渔获量分别为 9.10kg/h 和 438.89ind./h，占平均总重量渔获量和平均总个体渔获量分别为 23.52%和 30.41%。

②鱼类渔获量

该次游泳生物调查 18 个站位中，鱼类出现率 100%，总渔获量共 482.92kg、16493 尾。各站位平均重量渔获量为 26.83kg/h，重量渔获量变化范围为 9.57kg/h~44.14kg/h，重量渔获量最低出现在 26 号站位（9.57kg/h），重量渔获量最高出现在 32 号站位，为 44.14kg/h（表 6.4-20）。各站位平均个体渔获量为 916.28ind./h，个体渔获量变化范围为 404ind./h~1925ind./h，个体渔获量最低出现在 8 号站位（404ind./h），最高个体渔获量出现在 32 号站位，为 1925ind./h（表 6.4-20）。

表 6.4-20 各调查站位鱼类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	964	23.23
4	728	14.69
6	948	22.29
7	440	16.57
8	404	13.86
12	1044	30.60
14	504	27.85
16	1337	42.67
17	1722	41.06
19	763	42.31
21	1274	33.27
23	1358	36.05
26	432	9.57
28	560	16.80
30	656	18.21
31	702	19.34
32	1925	44.14
33	732	30.40
平均值	916.28	26.83

③甲壳类渔获量

虾类在该次游泳生物调查 18 个站位中 11 个站位有出现，出现率 61.11%，总渔获量共 0.94kg、261 尾。各站位平均重量渔获量为 0.05kg/h，重量渔获量变化范围 0 kg/h~0.29kg/h，重量渔获量最低出现在 2 号、6 号、7 号、8 号、19 号、26 号和 31

号站位，重量渔获量均为 0.00kg/h，重量渔获量最高出现在 17 号站位，重量渔获量为 0.29kg/h。各站位平均个体渔获量为 14.50ind./h，个体渔获量变化范围为 0ind./h～70ind./h，最高个体渔获量出现在 17 号站位（70ind./h），最低个体渔获量出现在 2 号、6 号、7 号、8 号、19 号、26 号和 31 号站位，均为 0ind./h（表 6.4-21）。

表 6.4-21 各调查站位虾类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)	站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	0	0.00	19	0	0.00
4	8	0.04	21	35	0.10
6	0	0.00	23	14	0.05
7	0	0.00	26	0	0.00
8	0	0.00	28	12	0.01
12	24	0.11	30	12	0.04
14	18	0.10	31	0	0.00
16	49	0.12	32	7	0.04
17	70	0.29	33	12	0.04
平均值	14.50	0.05	\	\	\

该次游泳生物调查 18 个站位中，蟹类出现率 100.00%，总渔获量共 43.65kg、1005 尾。各站位平均重量渔获量为 2.42kg/h，重量渔获量变化范围为 0.99kg/h～6.30kg/h，重量渔获量最低出现在 8 号站位（0.99kg/h），重量渔获量最高出现在 17 号站位，为 6.30kg/h。各站位平均个体渔获量为 55.83ind./h，个体渔获量变化范围为 8ind./h～126ind./h，个体渔获量最低出现在 8 号站位（8ind./h），最高个体渔获量出现在 17 号站位，为 126ind./h（表 6.4-22）。

表 6.4-22 各调查站位蟹类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)	站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	36	1.10	19	28	3.31
4	68	3.57	21	42	1.89
6	12	1.67	23	63	1.24
7	24	1.87	26	40	2.33
8	8	0.99	28	64	1.06
12	108	3.39	30	72	1.12
14	48	2.37	31	18	3.68
16	77	1.05	32	63	3.90
17	126	6.30	33	108	2.80
平均值	55.83	2.42	\	\	\

虾蛄类在该次游泳生物调查 18 个站位中的 13 个站位中有出现，出现率 72.22%，总渔获量共 5.20kg、319 尾。各站位平均重量渔获量为 0.29kg/h，重量渔获量变化范围为 0kg/h～0.90kg/h，重量渔获量最低出现在 2 号、6 号、12 号、26 号和 31 号站位，重量渔获量均为 0kg/h，重量渔获量最高出现在 21 号站位，为 0.90kg/h（表 6.

4-23)。各站位平均个体渔获量为 17.72ind./h，个体渔获量变化范围为 0ind./h~49ind./h，最高个体渔获量出现在 21 号站位（49ind./h），最低个体渔获量出现在 2 号、6 号、12 号、26 号和 31 号站位，均为 0ind./h。

表 6.4-23 各调查站位虾蛄类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)	站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	0	0.00	19	21	0.12
4	20	0.21	21	49	0.90
6	0	0.00	23	35	0.83
7	4	0.43	26	0	0.00
8	12	0.23	28	24	0.28
12	0	0.00	30	24	0.28
14	24	0.23	31	0	0.00
16	21	0.82	32	28	0.31
17	21	0.33	33	36	0.23
平均值	17.72	0.29	\	\	\

④头足类渔获量

该次游泳生物调查 18 个站位中，头足类出现率 100.00%，总渔获量共 163.81kg、7900 尾。各站位平均重量渔获量为 9.10kg/h（表 6.4-24），重量渔获量变化范围为 3.29kg/h~14.09kg/h，重量渔获量最低站位出现在 7 号站位（3.29kg/h），重量渔获量最高站位出现在 33 号站位，为 14.09kg/h。各站位平均个体渔获量为 438.89ind./h，个体渔获量变化范围为 164~833ind./h，个体渔获量最低站位出现在 7 号站位（164ind./h），个体渔获量最高站位出现在 23 号站位，为 833ind./h。

表 6.4-24 各调查站位头足类渔获量

站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)	站位	个体渔获量 (ind./h)	重量渔获量 (kg/h)
2	356	7.44	19	210	5.39
4	292	4.87	21	567	13.54
6	344	10.05	23	833	13.95
7	164	3.29	26	200	4.06
8	420	8.91	28	332	7.33
12	558	11.19	30	452	9.30
14	240	6.69	31	498	12.71
16	581	13.27	32	742	9.77
17	553	7.95	33	558	14.09
平均值	438.89	9.10	\	\	\

⑤各物种渔获量

单种重量渔获量最高为长蛇鲻（*Saurida elongata*）的 185.85kg/h，占总重量渔获量的 26.68%，其次为中国枪乌贼（*Uroteuthis chinensis*），单种重量渔获量为 161.02kg/h，占总重量渔获量的 23.12%，最低为七刺栗壳蟹（*Trichonotus setiger*），

单种重量渔获量为 0.003kg/h，占总重量渔获量的 0.0005%；单种个体渔获量最高为中国枪乌贼（*Uroteuthis chinensis*）的 7755ind./h，占总个体渔获量的 29.85%，其次为长蛇鲭（*Saurida elongata*），单种个体渔获量为 7071ind./h，占总个体渔获量的 27.22%，最低为管海马（*Hippocampus kuda*）、银头方鱼（*Branchiostegus argenteatus*）、毛背鱼（*Trichonotus setiger*）和短蛸（*Octopus fangsiao*）等共 7 种，均为 4.00ind./h，各占总个体渔获量的 0.02%。

3) 渔业资源密度

①总资源密度

该调查各站位渔业资源密度分布见表 6.4-25。平均重量密度为 696.47kg/km²，范围为 287.44kg/km²~1046.57kg/km²，32 号站位最高（1046.57kg/km²），26 号站位最低（287.44kg/km²）；平均个体密度为 25.98×10³ind./km²，个体密度最高的站位为 32 号站位，其值为 49.77×10³ind./km²，最低为 7 号站位，其个体密度为 11.38×10³ind./km²。

表 6.4-25 各调查站位的渔业资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	571.86	24.41	19	920.25	18.39
4	420.81	20.09	21	894.61	35.40
6	612.18	23.47	23	938.09	41.45
7	399.02	11.38	26	287.44	12.10
8	431.80	15.19	28	458.71	17.85
12	815.28	31.21	30	521.12	21.89
14	670.15	15.01	31	643.01	21.92
16	1042.74	37.17	32	1046.57	49.77
17	1006.62	44.85	33	856.20	26.03
平均值	696.47	25.98	\	\	\

②鱼类资源状况

该调查，鱼类的资源密度见表 6.4-26。从表中可得出其平均重量密度和平均个体密度分别为 482.88kg/km²和 16.49×10³ind./km²。在 18 个站位鱼类重量密度分布中，32 号站位最高，为 794.42kg/km²，26 号站位最低，为 172.33kg/km²；鱼类个体密度分布中，32 号站位最高，为 34.65×10³ind./km²，8 号站位最低，为 7.27×10³ind./km²。

表 6.4-26 各调查站位鱼类资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	418.17	17.35	19	761.45	13.73
4	264.46	13.10	21	598.85	22.93
6	401.18	17.06	23	648.88	24.44
7	298.24	7.92	26	172.33	7.78
8	249.39	7.27	28	302.41	10.08

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
12	550.78	18.79	30	327.83	11.81
14	501.27	9.07	31	348.02	12.63
16	767.99	24.06	32	794.42	34.65
17	738.98	30.99	33	547.21	13.17
平均值	482.88	16.49	\	\	\

③甲壳类资源状况

该调查，甲壳类的资源密度见表 6.4-27。从表中得出其平均重量密度和平均个体密度分别为 49.79kg/km² 和 1.58×10³ind./km²。其中，重量密度范围为 19.84kg/km²~124.47kg/km²，2 号站位最低（19.84kg/km²），17 号站位最高，为 124.47kg/km²；个体密度分布范围为 0.22×10³ind./km²~3.91×10³ind./km²，17 号站位最高（3.91×10³ind./km²），6 号站位最低，为 0.22×10³ind./km²。

表 6.4-27 各调查站位甲壳类资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	19.84	0.65	19	61.78	0.88
4	68.72	1.72	21	52.00	2.27
6	30.07	0.22	23	38.10	2.01
7	41.48	0.50	26	42.00	0.72
8	22.03	0.36	28	24.36	1.80
12	63.11	2.37	30	25.84	1.95
14	48.54	1.61	31	66.28	0.32
16	35.93	2.65	32	76.34	1.76
17	124.47	3.91	33	55.37	2.81
平均值	49.79	1.58	\	\	\

该调查，甲壳类的虾类资源密度见表 6.4-28。其平均重量密度为 0.94kg/km²，重量密度范围为 0kg/km²~5.21kg/km²，2 号、6 号、7 号、8 号、19 号、26 号和 31 号站位重量资源密度最低（均为 0kg/km²），17 号站位最高，为 5.21kg/km²；平均个体密度为 0.26×10³ind./km²，个体密度最高的站位为 17 号站位，其值为 1.26×10³ind./km²；2 号、6 号、7 号、8 号、19 号、26 号和 31 号站位个体密度最低，均为 0×10³ind./km²。

表 6.4-28 各调查站位虾类资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	0.00	0.00	19	0.00	0.00
4	0.68	0.14	21	1.87	0.63
6	0.00	0.00	23	0.84	0.25
7	0.00	0.00	26	0.00	0.00
8	0.00	0.00	28	0.23	0.22
12	2.06	0.43	30	0.75	0.22
14	1.74	0.32	31	0.00	0.00

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
16	2.20	0.88	32	0.71	0.13
17	5.21	1.26	33	0.71	0.22
平均值	0.94	0.26	\	\	\

该调查，甲壳类的蟹类资源密度见表 6.4-29。其平均重量密度为 43.65kg/km²，8 号站位最低，17 号站位最高，范围为 17.83kg/km²~113.39kg/km²；平均个体密度为 1.00×10³ind./km²，个体密度最高的站位为 17 号站位，其值为 2.27×10³ind./km²，最低为 8 号站位，其个体密度为 0.14×10³ind./km²。

表 6.4-29 各调查站位蟹类资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	19.84	0.65	19	59.53	0.50
4	64.31	1.22	21	33.96	0.76
6	30.07	0.22	23	22.35	1.13
7	33.75	0.43	26	42.00	0.72
8	17.83	0.14	28	19.05	1.15
12	61.05	1.94	30	20.12	1.30
14	42.59	0.86	31	66.28	0.32
16	18.92	1.39	32	70.11	1.13
17	113.39	2.27	33	50.46	1.94
平均值	43.65	1.00	\	\	\

该调查，甲壳类的虾蛄类资源密度见表 6.4-30。其平均重量密度和平均个体密度分别为 5.20kg/km²和 0.32×10³ind./km²。21 号站位的重量密度最高(16.17kg/km²)，2 号、6 号、12 号、26 号和 31 号站位重量密度最低，均为 0kg/km²。21 号站位个体密度最高，为 0.88×10³ind./km²；2 号、6 号、12 号、26 号和 31 号站位个体密度最低（均为 0ind./km²）。

表 6.4-30 各调查站位虾蛄类资源密度

站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)	站位	重量密度 (kg/km ²)	个体密度 (×10 ³ ind./km ²)
2	0.00	0.00	19	2.25	0.38
4	3.73	0.36	21	16.17	0.88
6	0.00	0.00	23	14.91	0.63
7	7.73	0.07	26	0.00	0.00
8	4.20	0.22	28	5.08	0.43
12	0.00	0.00	30	4.97	0.43
14	4.21	0.43	31	0.00	0.00
16	14.81	0.38	32	5.52	0.50
17	5.87	0.38	33	4.20	0.65
平均值	5.20	0.32	\	\	\

④头足类资源密度分布

该调查，头足类的资源密度见表 6.4-31。从表中可得出其平均重量密度和平均

个体密度分别为 $163.80\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $7.90\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ 。在 18 个站位头足类重量密度分布中，33 号站位最高，为 $253.62\text{kg}/\text{km}^2$ ，7 号站位最低，为 $59.30\text{kg}/\text{km}^2$ ；头足类个体密度分布中，23 号站位最高，为 $14.99\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，7 号站位最低，为 $2.95\text{ind.}/\text{km}^2$ 。

表 6.4-31 各调查站位头足类资源密度

站位	重量密度 (kg/km^2)	个体密度 ($\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$)
2	133.85	6.41
4	87.64	5.26
6	180.93	6.19
7	59.30	2.95
8	160.37	7.56
12	201.40	10.04
14	120.33	4.32
16	238.83	10.46
17	143.16	9.95
19	97.02	3.78
21	243.75	10.21
23	251.11	14.99
26	73.11	3.60
28	131.94	5.98
30	167.44	8.14
31	228.72	8.96
32	175.80	13.35
33	253.62	10.04
平均值	163.80	7.90

⑤各种类资源密度分布

该次游泳生物调查，单种重量密度最高为长蛇鲻的 $3345.03\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总重量密度的 26.68%，其次为中国枪乌贼，其重量密度为 $2898.14\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总重量密度的 23.12%，最低为七刺栗壳蟹的 $0.06\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总重量密度的 0.0005%；单种个体密度最高为中国枪乌贼的 $139.58\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，占总个体密度的 29.85%，其次为长蛇鲻，其个体密度为 $127.27\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，占总个体密度的 27.22%，最低为管海马、银头方鱼、毛背鱼和短蛸等共 7 种，个体密度均为 $0.07\times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$ ，均分别占总个体密度的 0.02%。

4) 优势种类和主要经济种类

①鱼类优势种

将鱼类 IRI 指数列于附表 46。从表中可得出，鱼类 IRI 值在 1000 以上的优势种有 3 种，为：长蛇鲻、大头狗母鱼和红背圆鲹，这 3 种鱼类的重量渔获量之和为 $366.92\text{kg}/\text{h}$ ，占鱼类总重量渔获量 ($482.92\text{kg}/\text{h}$) 的 75.98%；这 3 种鱼类的个体渔获量之和为 $12297\text{ind.}/\text{h}$ ，占鱼类总个体渔获量 ($16493\text{ind.}/\text{h}$) 的 74.56%。

②甲壳类优势种

将甲壳类 *IRI* 指数列于附表 47。从表中可得出，甲壳类 *IRI* 值在 1000 以上的优势种有 2 种，分别为逍遥馒头蟹和拥剑梭子蟹。这 2 种甲壳类的重量渔获量之和为 40.53kg/h，占甲壳类总重量渔获量（49.80kg/h）的 81.39%；这 2 种甲壳类的个体渔获量之和为 857ind./h，占甲壳类总个体渔获量（1585ind./h）的 54.07%。

③头足类优势种

将头足类 *IRI* 指数列于附表 48。从表中可得出，头足类 *IRI* 值在 1000 以上的优势种有 1 种，为中国枪乌贼。中国枪乌贼的重量渔获量为 161.02kg/h，占头足类总重量渔获量（163.70kg/h）的 98.36%；个体渔获量为 7755ind./h，占头足类总个体渔获量（7893ind./h）的 98.25%。

④主要经济种类分述

综合考虑各物种出现站位数、优势度、调查站位平均渔获量大小、调查站位个体渔获量大小、经济价值高低和生物类型代表性，选定分述的该次游泳生物调查的主要经济种类按分类顺序分别为大头狗母鱼、长蛇鲻和中国枪乌贼。

5) 小结

该次共采集到游泳动物 73 种，隶属于 14 目 49 科，其中鱼类为 9 目 34 科 42 种，头足类为 3 目 4 科 5 种，甲壳类 2 目 11 科 26 种。游泳动物的平均渔获量为 38.70kg/h 和 1443.22ind./h。其中，鱼类为 26.83kg/h 和 916.28ind./h，头足类的平均渔获量为 9.10kg/h 和 438.89ind./h，甲壳类的平均渔获量为 2.77kg/h 和 88.06ind./h。根据扫海面积法估算，18 个站位目前游泳动物的平均资源密度约为 696.47kg/km² 和 25.98×10³ind./km²，其中鱼类约为 482.88kg/km² 和 16.49×10³ind./km²，头足类约为 163.80kg/km² 和 7.90×10³ind./km²，甲壳类约为 49.79kg/km² 和 1.58×10³ind./km²。根据相对重要性指数（*IRI*）公式计算评价调查海域内的相对重要性指标（*IRI*），并以 *IRI* 大于 1000 作为优势渔获物的判断指标，该调查的优势渔获种类共有 6 种。其中鱼类优势种有 3 种，分别为长蛇鲻（8135.74）、大头狗母鱼（5247.11）和红背圆鲹（1578.16）；甲壳类优势种有 2 种，分别为拥剑梭子蟹（5925.60）和逍遥馒头蟹（5005.88）；头足类优势种有 1 种，为中国枪乌贼（19661.39）。该调查海域渔获物中，鱼类平均幼体比例为 30.21%；虾蛄类平均幼体比例为 32.29%；虾类平均幼体比例为 47.13%；蟹类平均幼体比例为 23.28%；头足类平均幼体比例为 31.15%。项目海域渔获物丰富度指数（*d*）均值为 1.99（1.44~2.79），多样性指数（*H'*）均值为 2.8

9 (2.21~3.37)，均匀度指数 (J) 均值为 0.66 (0.56~0.75)。

6.5 海洋生物质量现状与评价

6.5.1 调查概况

自然资源部南海调查中心于 2023 年 11 月 8 日~2023 年 11 月 27 日对项目场区开展秋季调查，2024 年 3 月 1 日~2024 年 3 月 10 日对项目场区开展春季调查。

6.5.2 调查方法

游泳动物样品的采集和分析均按照《海洋调查规范》GB/T 12763.6-2007 中规定的方法进行。

调查船名为粤珠渔 30006，网具网囊目 4cm，网上纲 30m。每站进行一次拖网，一次拖 1 小时。样品直接冷冻保存，带回实验室分析鉴定和计数。测定分析种类组成、数量、分布、优势度、多样性指数和均匀度。调查的渔获物中选择鱼类、甲壳类和软体类中的代表种类，分析铜、铅、锌、镉、砷、总汞、铬、石油烃含量。

6.5.3 分析方法

生物体样品的预处理和分析方法遵照《海洋监测规范第 6 部分：生物体分析》(GB17378.6-2007) 进行，各项目的分析方法如表 6.5-1。

表 6.5-1 海洋生物体分析及检测限

序号	分析项目	分析方法	检出限/w	规范性引用文件
1	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.40×10^{-6}	GB 17378.6-2007
2	铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}	GB 17378.6-2007
3	锌	火焰原子吸收分光光度法	0.40×10^{-6}	GB 17378.6-2007
4	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.005×10^{-6}	GB 17378.6-2007
5	汞	原子荧光法	0.002×10^{-6}	GB 17378.6-2007
6	砷	原子荧光法	0.20×10^{-6}	GB 17378.6-2007
7	铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}	GB 17378.6-2007
8	石油烃	荧光分光光度法	0.20×10^{-6}	GB 17378.6-2007

6.5.4 评价方法

贝类生物体内污染物质含量评价标准采用《海洋生物质量》(GB18421-2001)，软体动物、甲壳动物、鱼类生物体内污染物质含量评价标准采用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》中附录 C 规定的其他海洋生物质量参考值，具体标准值如表 6.5-2 和表 6.5-3 所示。海洋生物污染物残留量评价方法采用单因子指数法。公式如下：

$$I_i = C_i / S_i$$

式中：I_i—i 项评价因子的标准指数；

C_i—i 项评价因子的实测值；

S_i—i 项评价因子的评价标准值。

评价因子的标准指数>1，则表明该项生物体质量已超过了规定的标准。

表 6.5-2 海洋生物（贝类）质量标准（GB18421-2001）（鲜重：×10⁻⁶）

项目	第一类	第二类	第三类	软体动物（非双壳贝类）	甲壳类	鱼类
总汞≤	0.05	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3
砷≤	1.0	5.0	8.0	1	1	1
镉≤	0.2	2.0	5.0	5.5	2.0	0.6
铬≤	0.5	2.0	6.0	/	/	/
铅≤	0.1	2.0	6.0	10	2	2
铜≤	10.0	25.0	50.0（牡蛎 100）	100	100	20
锌≤	20.0	50.0	100.0（牡蛎 500）	250	150	40
石油烃≤	15.0	50.0	80.0	20	20	20

6.5.5 调查结果

（1）2023 年秋季生物体检测结果

该次生物体来源于渔船底拖网采集捕获的游泳生物，从中挑取了个体较大且优势度较高的鱼类、甲壳类和软体类进行生物体质量检测，检测结果为干重值，本报告湿重值是根据干重检测值和含水率换算后得到。

生物体干重质量检测结果见附表 49，湿重结果见附表 50。从检测结果看，所采集的 54 份海洋生物体中，Hg、as、Cu、PB、Cr、Zn 和石油烃的检出率均为 100%，Cd 的检出率为 88.89%。其中，鱼类 Hg、as、Cu、PB、Cr、Zn 和石油烃检出率均为 100%，Cd 的检出率为 82.35%；甲壳类 Hg、as、Cu、PB、Zn、Cd、Cr 及石油烃的检出率均为 100%；软体类 Hg、as、Cu、PB、Zn、Cd、Cr 及石油烃检出率。

湿重含量结果如下：

汞：该调查中，汞的范围介于（0.004~0.166）mg/kg，平均值为 0.050mg/kg，最小值出现在 2、26 和 28 号站的周氏新对虾，最大值出现在 6 号站的细鳞鲷。

砷：该调查中，砷的范围介于（0.98~13.73）mg/kg，平均值为 4.89mg/kg，最小值出现在 26 号站的龙头鱼，最大值出现在 16 号站的红星梭子蟹。

铜：该调查中，铜的范围介于（0.1~7.9）mg/kg，平均值为 2.0mg/kg，最小值出现在 12、23、30、33 号站的大头狗母鱼和 14、21 号站的长蛇鲻，最大值出现在 2 号站的黑斑口虾蛄。

铅：该调查中，铅的范围介于（0.05~0.14）mg/kg，平均值为 0.09mg/kg，最小值出现在 16、31 号站的红星梭子蟹，26、28 号站的龙头鱼和 28 号站位的黑斑口虾蛄，最大值出现在 7 号站的日本金线鱼。

镉：该调查中，镉的范围介于（<0.005~0.389）mg/kg，平均值为 0.080mg/kg，最小值出现在 4、21 号站的六丝多指马鲛，6、7、19、31 号站的日本金线鱼，最大值出现在 21 号站的拥剑梭子蟹。

锌：该调查中，锌的范围介于（2.1~29.2）mg/kg，平均值为 8.2mg/kg，最小值出现在 7 号站的日本金线鱼，最大值出现在 31 号站的红星梭子蟹。

铬：该调查中，铬的范围介于（0.08~0.41）mg/kg，平均值为 0.21mg/kg，最小值出现在 21 号站的长蛇鲻，最大值出现在 28 号站的黑斑口虾蛄。

石油烃：该调查中，石油烃的范围介于（0.7~27.1）mg/kg，平均值为 6.7mg/kg，最小值出现在 30 号站的大头狗母鱼，最大值出现在 16 号站的中国枪乌贼。

（2）2024 年春季生物体检测结果

该次生物体挑取了个体较大且优势度较高的鱼类、甲壳类和软体类进行生物体质量检测，检测结果为干重值，本报告湿重值是根据干重检测值和含水率换算后得到。

生物体干重质量检测结果见附表 52，湿重结果见附表 53。从检测结果看，所采集的 54 份海洋生物体中，Hg、as、Cu、PB 和 Zn 的检出率为 100%，Cr 的检出率为 98.14%，Cd 的检出率为 96.27%，石油烃的检出率为 94.44%。其中，鱼类 Hg、as、Cu、PB、Cr 和 Zn 检出率均为 100%，Cd 和石油烃的检出率均为 91.18%；甲壳类 Hg、as、Cu、PB、Zn、Cd、Cr 及石油烃的检出率均为 100%；软体类 Hg、as、Cu、PB、Zn、Cd 及石油烃检出率均为 100%，Cr 的检出率为 90.91%。

湿重含量结果如下：

汞：该调查中，汞的范围介于（0.005~0.255）mg/kg，平均值为 0.058mg/kg，最小值出现在 33 号站的褐篮子鱼，最大值出现在 14 号站的土佐鰺。

砷：该调查中，砷的范围介于（0.28~13.3）mg/kg，平均值为 3.82mg/kg，最小值出现在 6 号站的土佐鰺，最大值出现在 30 号站的拥剑梭子蟹。

铜：该调查中，铜的范围介于（0.10~7.17）mg/kg，平均值为 1.88mg/kg，最小值出现在 6 号站和 8 号站的土佐鰺，最大值出现在 7 号站的日本齿指虾蛄。

铅：该调查中，铅的范围介于（0.09~0.19）mg/kg，平均值为 0.14mg/kg，最小

值出现在 2 号站、17 号站、19 号站、21 号站、31 号站的中国枪乌贼，最大值出现在 12 号站、14 号站、21 号站和 26 号站的红背圆鲷。

镉：该调查中，镉的范围介于（ $<0.005\sim0.929$ ）mg/kg，平均值为 0.202mg/kg，最小值出现在 6 号、8 号和 14 号站的土佐鲷，最大值出现 8 号站的中国枪乌贼。

锌：该调查中，锌的范围介于（ $2.68\sim15.2$ ）mg/kg，平均值为 5.64mg/kg，最小值出现在 32 号站的皮氏叫姑鱼，最大值出现在 7 号站的日本齿指虾蛄。

铬：该调查中，铬的范围介于（ $<0.04\sim0.49$ ）mg/kg，平均值为 0.23mg/kg，最小值出现在 32 号站的中国枪乌贼（未检出），最大值出现在 4 号站的日本金线鱼。

石油烃：该调查中，石油烃的范围介于（ $<0.20\sim17.1$ ）mg/kg，平均值为 4.42mg/kg，最小值出现在 2 号站的斑条鲷、7 号站的细鳞鲷和 19 号的斑条鲷，最大值出现在 8 号站的中国枪乌贼。

6.5.6 评价结果

2023 年秋季和 2024 年春季生物体质量指数采用湿重结果进行评价，软体动物（非双壳贝类）、甲壳类、鱼类生物体内污染物质铬无质量标准，均不参与评价。从生物体质量检测结果及其对应质量指数评价（附表 51、附表 54）可以看出，该调查海域鱼类、甲壳类和软体类生物体中汞、铜、铅、锌、镉、石油烃等指标测值含量均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》中附录 C 规定的生物质量标准，未出现超标现象。除 2023 年秋季调查的 16 号站和 31 号站的中国枪乌贼石油烃指标测值含量超标，各生物体各评价因子均符合所在功能区要求，海域内生物体质量较好。

6.6 渔业资源“三场一通道”分布

项目渔业资源资料采用《中国海洋渔业水域图（第一批）》。项目所在海域的“三场一通道”主要有南海底层、近底层鱼类产卵场，南海中上层鱼类产卵场和南海北部幼鱼繁育场保护区。

6.6.1 南海底层、近底层鱼类产卵场

本工程风电场位于南海底层、近底层鱼类产卵场内，位置关系见图 6.6-1。

南海底层、近底层鱼类产卵场主要包括金线鱼、深水金线鱼、二长棘鲷、红笛鲷、绯鲤类、短尾鳍大眼鲷、长尾大眼鲷、脂眼鲱和黄鲷产卵场。

本项目风电场及海底电缆所在产卵场为金线鱼产卵场（南海北部产卵场：由海

南岛东岸一直延伸到汕尾附近，东经 111°45′~115°45′，水深 25m~107m，主要在 40m~80m，产卵期 3 月~8 月）、鲱鲤类产卵场（珠江口近海区：东经 112°55′~115°40′，北纬 21°30′~22°15′，水深 20m~87m，产卵期 3 月~6 月）。

6.6.2 南海中上层鱼类产卵场

南海中上层鱼类产卵场包括蓝圆鲹、鲈鱼和竹荚产卵场，南海中上层鱼类产卵场分布见图 6.6-2，本项目风电场区在产卵场内。风电场区所在海域产卵场为蓝圆鲹产卵场（珠江口近海域：东经 112°50′~114°30′，北纬 21°~22°，水深 60m 以内，产卵期 12 月~翌年 3 月）。

6.6.3 南海北部幼鱼繁育场保护区

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 等深线水域，17 个基点坐标见表 6.6-1。该保护区的保护期为每年 1-12 月，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本项目风电场区位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，见图 6.6-3。

表 6.6-1 南海北部幼鱼繁育场保护区 17 个基点地理位置表

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′			

6.6.4 南海国家级及省级渔业品种保护区

南海国家级及省级渔业品种保护区分布见图 6.6-4，本项目路由位于幼鱼幼虾保护区。

幼鱼幼虾保护区：南海区幼鱼、幼虾保护区共 4 处，一处为广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20m 水深以内的海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。

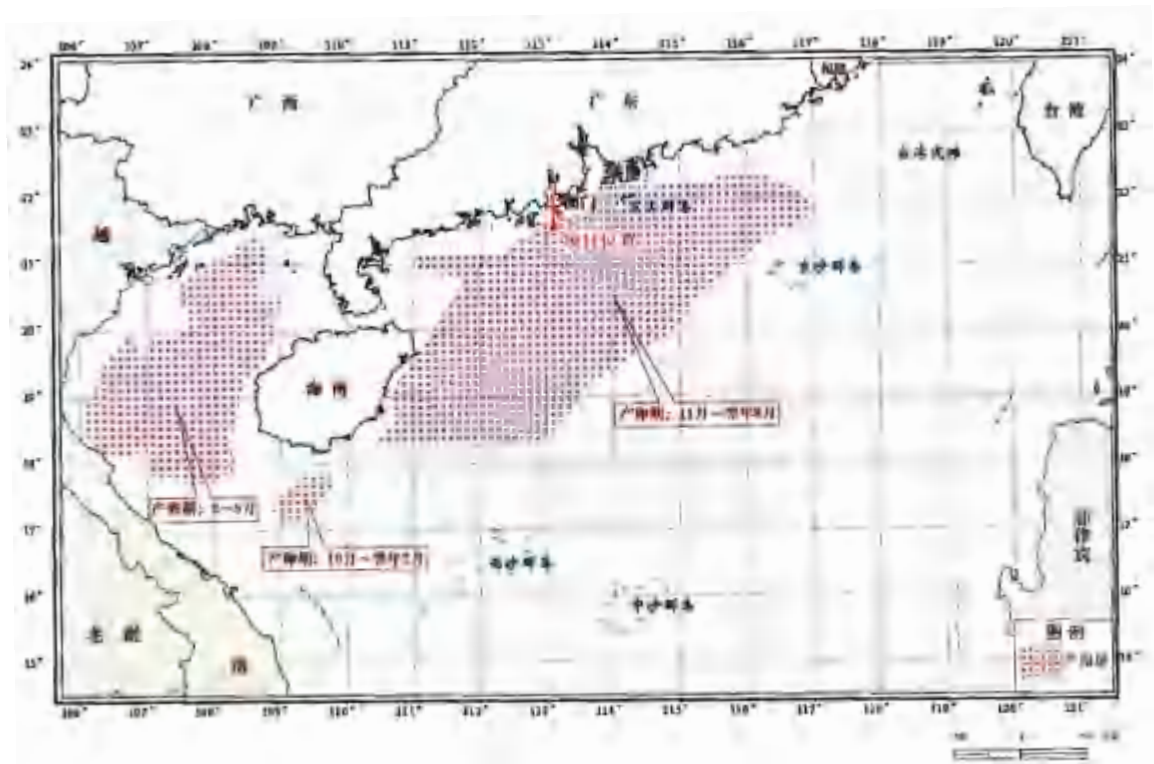


图 6.6-1 本工程与南海底层、近底层鱼类产卵场位置关系（渔业资源“三场一通道”）

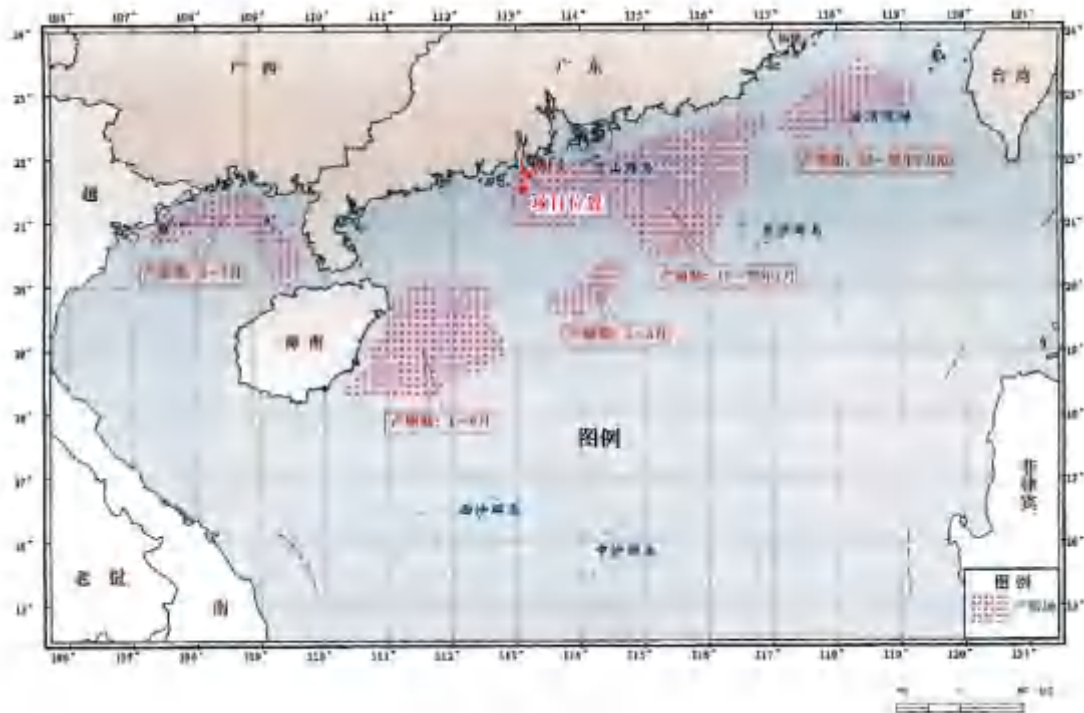


图 6.6-2 本工程与南海中上层鱼类产卵场示意图

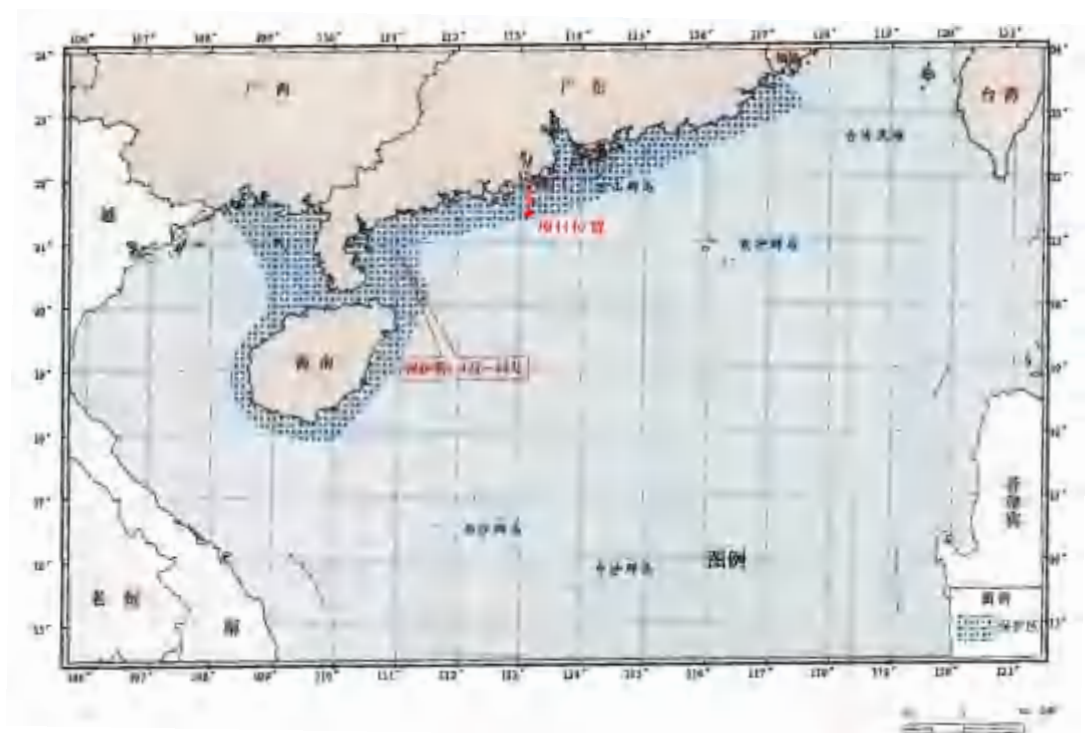


图 6.6-3 本工程与南海北部幼鱼繁育场保护区位置图

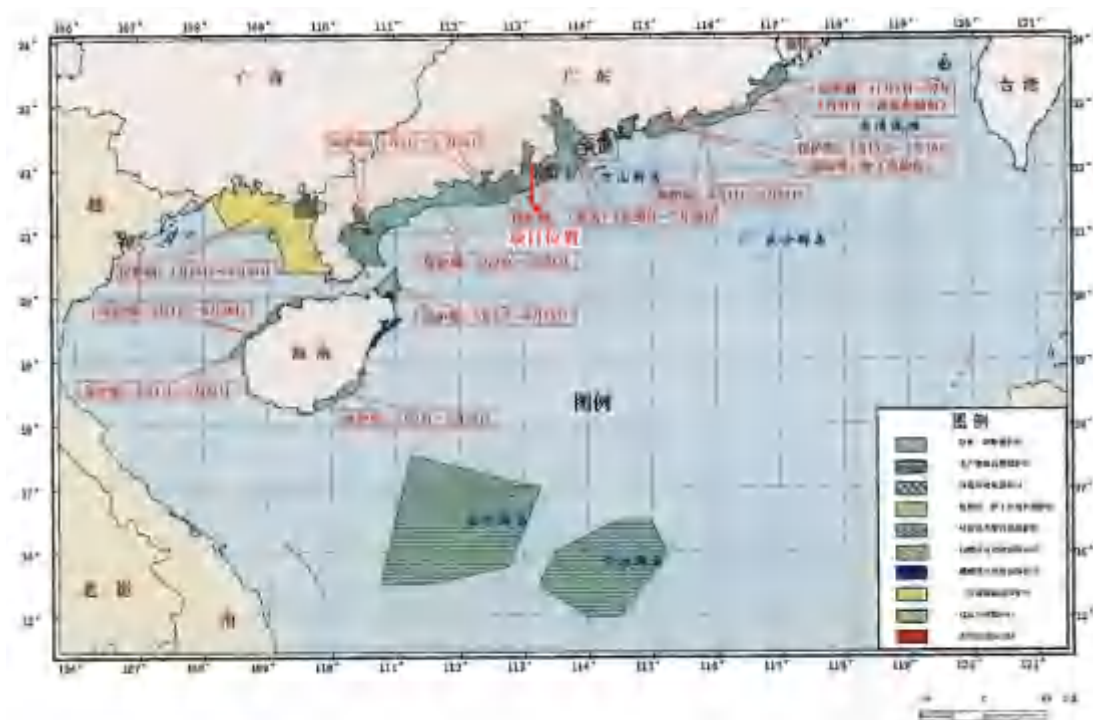


图 6.6-4 本工程与南海国家级及省级渔业品种保护区

6.7 珍稀濒危海洋生物

6.7.1 中华白海豚

中华白海豚属于海豚科，白海豚属，喜欢栖息在亚热带海区的河口咸淡水交汇水域，生活在浅水区和多岩石处，休息或游玩都会集结在靠近沙滩的海域。其作息

通常会与涨潮和日照的时间相配合，晨昏最为活跃，常在潮涨时觅食。中华白海豚分布于从中国东南部经东南亚直到孟加拉湾的沿岸浅海区主要分布于西太平洋、东印度洋，广布于中国东南部沿海，属于国家一级保护动物。

6.7.1.1 江门水域中华白海豚历史调查资料

根据《江门水域中华白海豚空间利用、社群动态及繁殖生态的研究》（曾千惠，2021年），2013年3月至2019年5月对江门水域（包含西黄茅海和川岛水域）的中华白海豚进行了船基照相识别调查。调查期间在江门水域总共观察到451群次的中华白海豚，其中有32群次追随拖网船捕食。2018年至2019年，整体调查区域内的中华白海豚群体的目击密度（GSD）值为 0.07 ± 0.29 ；海豚个体的目击密度（DSD）值为 0.92 ± 4.12 。中华白海豚在整体调查区域的分布并不均匀，其主要分布在江门台山近岸火电厂与大襟岛之间，大襟岛周边水域，大襟岛与大卡亡岛、荷包岛之间，上川岛北部以及上下川岛之间，其中大襟岛周边水域的中华白海豚目击密度相对更高。

山东大学团队2016-2019年的研究表明：江门水域中华白海豚主要活动于水深5~15m、离岸距离小于3km的水域，调查区域中华白海豚活动的最大离岸距离为6.21km。

（1）水深

2016-2019年，中华白海豚群体在整体调查区域的活动位点的最大水深为18.4m，最小水深为2.5m，中位数为8.8m，平均水深为 9.02 ± 2.98 m。统计发现，江门水域中华白海豚主要活动于水深5~15m的水域，偶尔活动于水深15~20m的水域，鲜少活动于水深小于5m的水域。

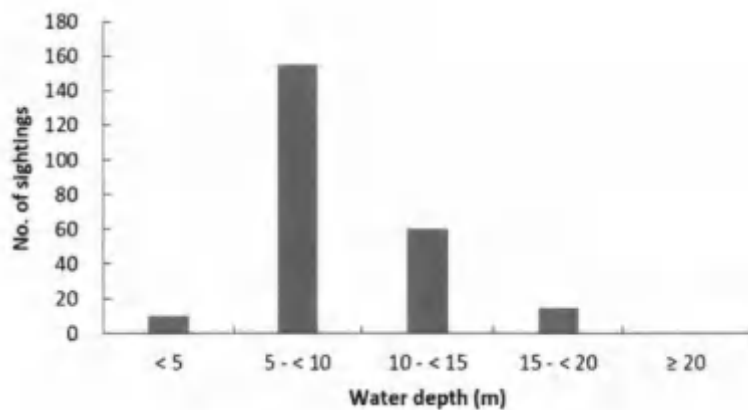


图 6.7-1 2016-2019 年调查区域内中华白海豚活动位点的水深分布

（2）离岸距离

2013-2019 年, 中华白海豚群体在整体调查区域的活动位点的最大离岸距离为 6.21km, 最小离岸距离为 0.02km, 中位数为 0.79km, 平均离岸距离为 1.27 ± 1.23 km。有 88.91% 的中华白海豚群体的活动位点离岸距离小于 3km, 其中 56.32% 的群体活动位点离岸距离小于 1km。

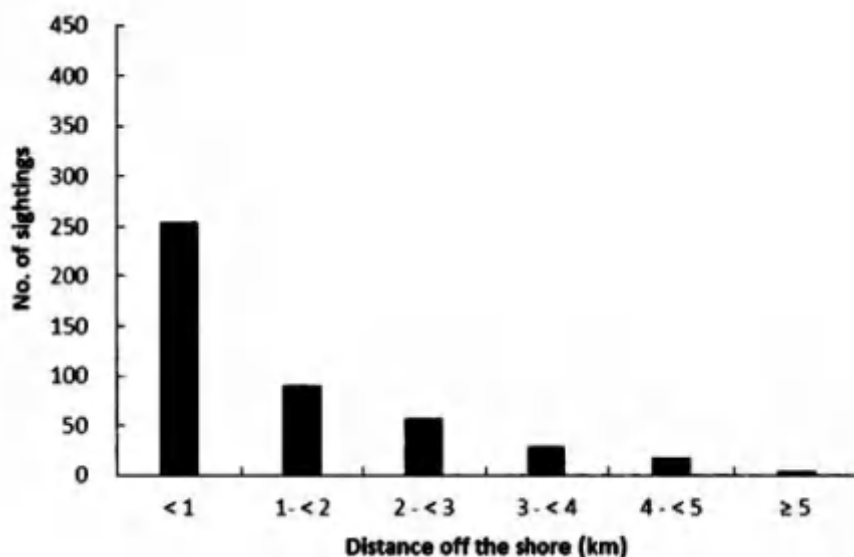
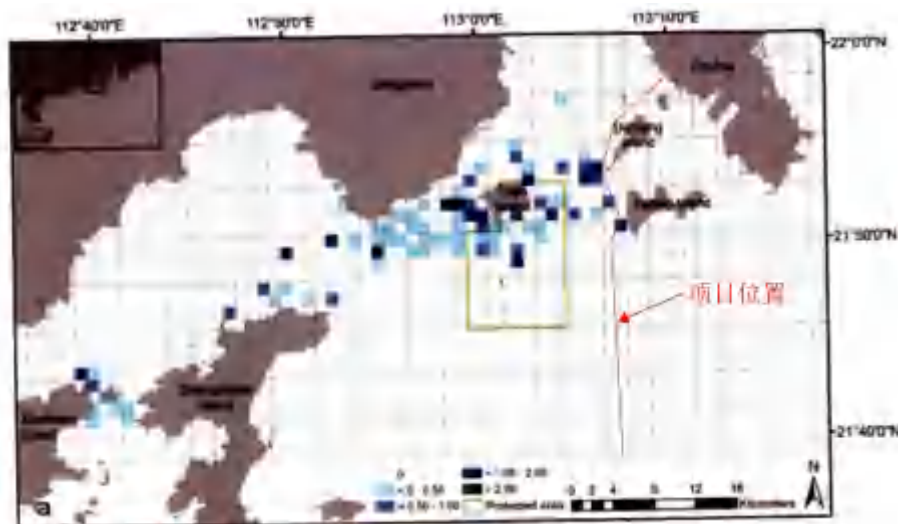


图 6.7-2 2013-2019 年调查区域内中华白海豚活动位点的离岸距离分布

根据图 6.7-1, 项目路由周边海域存在中华白海豚。项目风电场区水深较深且离岸距离较远, 不是中华白海豚主要活动场所。



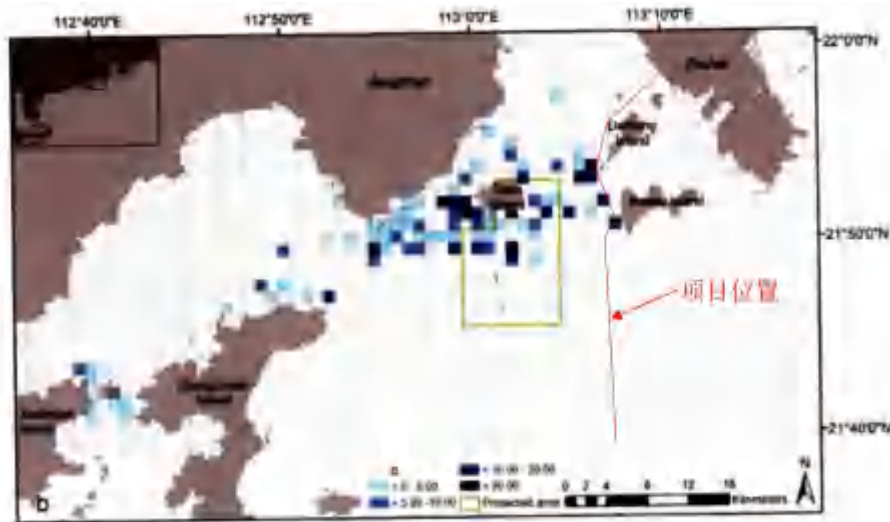


图 6.7-3 2018-2019 调查区域内白海豚分布图 (a.群体目击密度分布图 b.个体目击密度分布图)

6.7.1.2 项目周边海域中华白海豚历史调查资料

本节内容引自《珠海高栏海上风电项目对中华白海豚影响专题报告》（中山大学，2025 年 7 月 26 日）。

本项目地处珠江口西岸，在其周边水域发现有中华白海豚分布。根据中山大学近 10 多年海上初步调查结果显示，项目周边水域中华白海豚的活动区域分布较为不均匀，主要集中在大襟岛和荷包岛的周边水域。该区域中华白海豚活动范围的离岸距离较近，行为状态主要为觅食。

（1）调查区域和海上调查操作方法

本项目调查主要围绕珠海高栏海上风电项目，具体调查范围按照实际情况进行调整。野外调查工作选择在天气良好的情况下开展，即海面风浪 ≤ 3 级，能见度 ≥ 1000 米。以整体覆盖动物活动范围为前提开展野外调查工作。由于中华白海豚活动区域广泛，中华白海豚的游动能力较强及活动范围大，以及种群在各区域分布的联动性。因此，本项目实际工作中的调查范围不仅包含珠海高栏海上风电项目水域，还需在周边水域进行辅助调查。野外调查一般从早上八点到十点间开始。调查过程中，小组成员均使用肉眼观测中华白海豚，并确保观测到船只周围三百六十度的范围。

发现中华白海豚后，记录员记录发现时间，调查船只从侧后方低速（ < 5 节）接近中华白海豚。当与中华白海豚距离 ≤ 20 米时，拍摄员开始收集中华白海豚背鳍照片。拍摄员使用高速数码相机及 100-400 长焦镜头，遵从同等捕获率原则，以避免在数据收集过程中造成误差。记录员用 GPS 记录地理位置，用测深仪测量水深，

并记录中华白海豚群次的编号、离岸距离、风力情况、中华白海豚群体大小、年龄结构、行为及对船只反应等。中华白海豚的年龄结构依据其体色、体长、躯体茁壮程度等划分为 6 个阶段：UC (neonate、calf1、calf2)、UJ (unspotted juvenile)、SJ (spotted juvenile)、SS (spotted subadult)、SA (spotted adult)、UA (unspotted adult)。在采集行为数据时，采用扫描取样法 (scan sampling)，每十分钟记录一次数据。在拍摄员确认群体覆盖率(>90%)及记录员收集足够的行为学数据后，调查小组结束当次追踪，继续搜寻下一个群次的中华白海豚。

另外，使用船基截线抽样法作为补充调查。截线调查方法与上述方法类似，在适宜的观测条件下开展调查，船只以 7-8 kn 的航速沿预设截线航行，由 2 名观察员组成一班同时观测，主观察员用内置指南针双目望远镜观察，副观察员用肉眼观察兼数据记录，每隔半小时按顺序轮换主观察员和副观察员以减轻疲劳。截线观测记录包括观测开始及结束的时间和位置、航速、航向、海况、能见度和航程等，发现海豚将结束一个观测系列。船尽可能靠近海豚群，以估算海豚个体数、群体组成和行为观察等，并拍摄不同侧面的个体照片以供个体识别。海豚目击记录包括初次目击时间、位置、角度、目测距离、个体数、组成和行为等。位置、航速和航程均由手持 GPS 获取，角度由内置指南针望远镜测得。

(2) 数据处理方法

由于各种原因，在自然环境中生活的中华白海豚某些个体会在身体上留下一些标志，如背鳍上的缺刻、身体上疤痕等，有时身体上的色斑也可以作为参考，可以根据这些标志识别不同的中华白海豚个体。野外调查拍摄的照片，经过筛选，选出一些标志特征比较明显的个体照片，与已经识别的个体照片数据库进行比较，分析确认哪些是已识别过的个体，哪些是新增可重复识别的个体，补充入个体数据库，建立个体档案（包括目击时间、位置以及与其关联的个体等）。

采用 DISCOVERY 软件辅助建立中华白海豚个体数据库，以及记录表数据库。个体数据库的建库过程包括(1)首先往照片 EXIF 档中添加中华白海豚群次信息(日期、目击位置、群次、拍摄人员、使用相机型号)；(2)综合考虑照片的对焦、曝光、对比、拍摄角度、拍摄中华白海豚背部(背鳍)的完整度，对照片进行评分(<50, 50-59, 60-69, 70-79, >80)，仅 80 分以上的图片用于建文件，以便降低因不同中华白海豚辨认度带来的误差)；(3)对合格图片的 EXIF 中添加中华白海豚个体信息，包括中华白海豚个体编号、GPS 位置、背鳍方向(左/右)、照片分数、中

华白海豚可辨识度（1-5）及可辨识信息（背鳍形状、斑点密度、永久性伤痕、背鳍棘突缺刻位置等）；（4）处理完的照片使用 DISCOVERY 软件对比建立的个体档案添加入档（图 6.7-4）。记录表数据库主要包括群体，以及环境数据（1）群体信息包括基于皮肤色素的年龄组成、群体大小、群体变化等；（2）行为信息包括动物行为比例、行为变化、行为持续时间、环境信息的影响等；（3）环境信息包括天气、海洋环境、水质参数、地理信息、船只信息、人类行为等。



图 6.7-4 珠江口中华白海豚群体（局部）

展示面板提供信息包括不同个体的背鳍照片、编号、名字、目击时间

（3）项目及周边海域中华白海豚资源调查结果

1）生态调查执行小结

调查范围：珠海高栏海上风电项目及其周边水域（图 6.7-5）。

项目调查时间：2022 年 1 月 1 日至 2025 年 7 月 15 日。

项目调查小结：本项目执行期间，在珠海高栏海上风电项目及其周边水域共计出海 12 航次，总航时 93.95 小时，总航程 2013 公里；目击中华白海豚 22 群次，约 170 头次，详细情况见表 6.7-1。

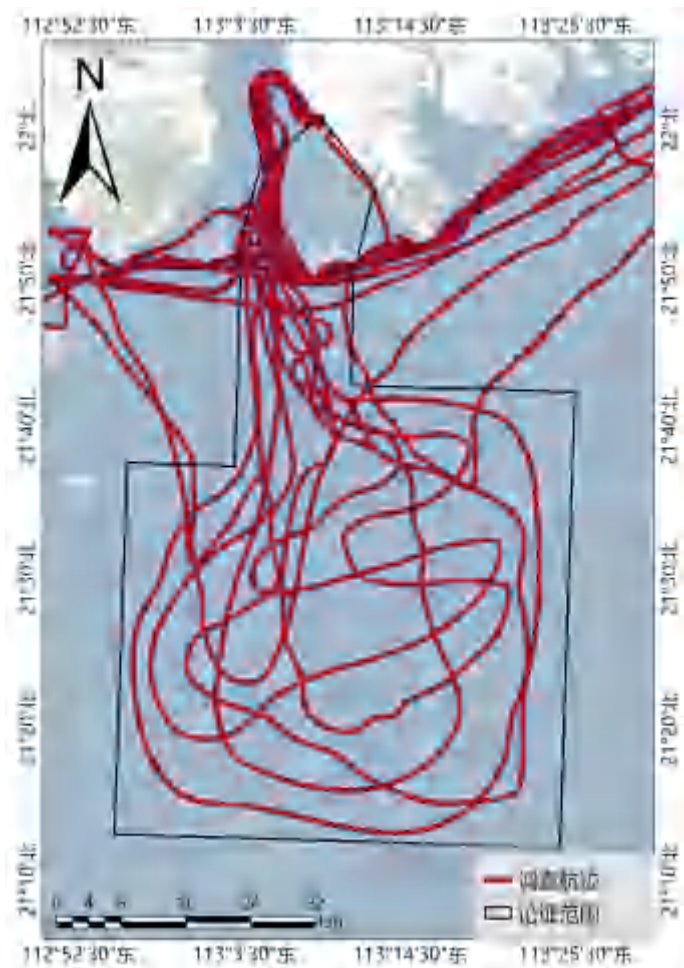


图 6.7-5 本项目调查范围及调查航迹

表 6.7-1 中华白海豚调查信息一览表

序号	年	月	日	群次	头次
1	2022	3	15	4	39
2	2022	3	16	3	15
3	2022	3	17	3	6
4	2023	11	22	4	26
5	2023	11	23	4	48
6	2024	9	11	0	0
7	2024	9	12	0	0
8	2025	6	24	0	0
9	2025	6	25	3	34
10	2025	7	9	0	0
11	2025	7	10	1	2
12	2025	7	11	0	0
合计	-	-	-	22	170

2) 目击记录与分布

本项目执行期间，在珠海高栏海上风电项目及其周边水域出海共目击中华白海豚 22 群次，约 170 头次，其中，最大群 30 头次，最小群 1 头次，平均离岸距离为

$0.91 \pm 0.89\text{km}$ 。本项目调查期间，在珠海高栏海上风电项目论证范围内共目击 2 群次，约 11 头次的中华白海豚，位于荷包岛南侧近岸海域，详见图 6.7-6。

根据 2015-2025 年的观测资料，大襟岛近岸海域为珠海高栏海上风电项目及其周边水域中华白海豚主要分布区，但近年来该海域中华白海豚的目击率呈下降趋势，这一现象与珠江口水域中华白海豚的目击率变化趋势基本一致。拟建项目风电场址距离中华白海豚栖息地较远，距离最近的中华白海豚群体目击点为 34.44 km，风电建设对中华白海豚的影响有限。但 500kV 海底电缆铺设路线毗邻近四年中华白海豚群体目击点，最近距离约为 2.81km。

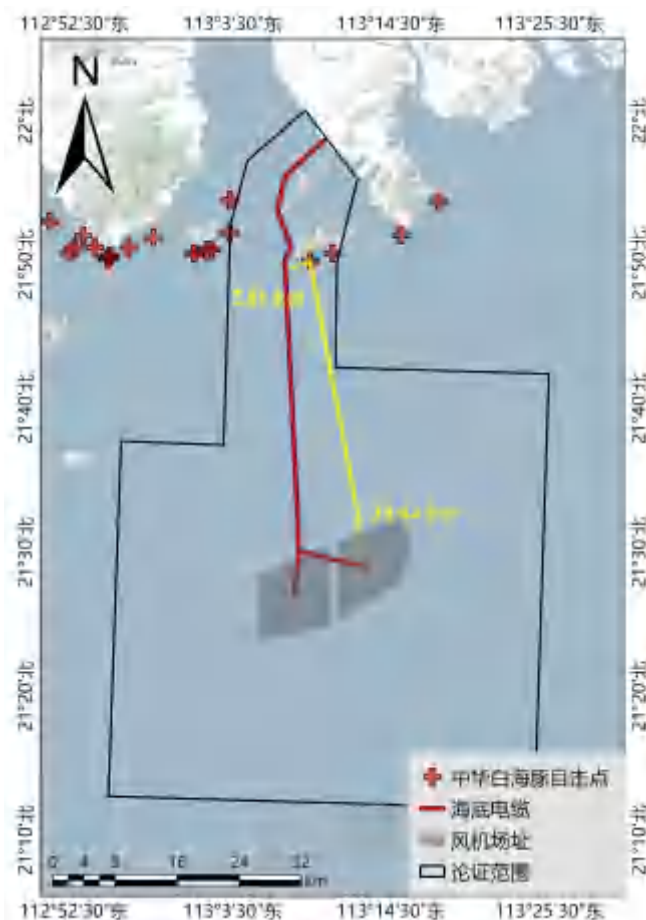


图 6.7-6 2022-2025 年珠海高栏海上风电项目及其周边水域中华白海豚群体目击点

根据本项目调查期间记录的群次信息，中华白海豚主要的行为活动为捕食行为，然后依次为迁移行为、社交行为和休息行为，另有部分群次的行为未知，详见图 6.7-7。

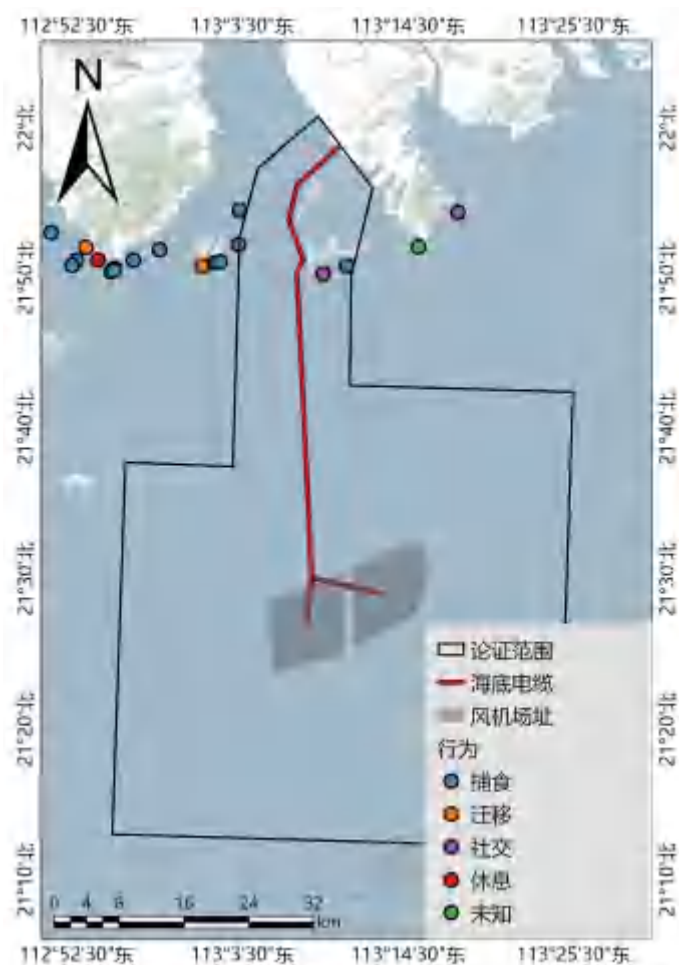


图 6.7-7 珠海高栏海上风电项目及其周边水域中华白海豚行为目击点

3) 年龄结构

中华白海豚的体色随年龄的增加呈现连贯性变化,从初生时的深灰色逐步褪去,至成年时变为粉红色,同时伴随着斑点的形成与消失。尽管体色变化在相近年龄的个体之间存在差异,但种群的年龄结构可以结合体色从整体水平上把握。根据调查经验,可以将中华白海豚分为 6 个时期(图 6.7-6): UC (neonate、calf1、calf2, 无斑点幼体)、UJ (unspotted juvenile, 无斑点青年个体)、SJ (spotted juvenile, 有斑点青年个体)、SS (spotted subadult, 多斑点成年个体)、SA (spotted adult, 少斑点成年个体)与 UA (unspotted adult, 无斑点成年个体)。



图 6.7-8 中华白海豚不同年龄阶段的体色变化

1、UC（无斑点幼体）；2、UJ（无斑点青年个体）；3、SJ（有斑点青年个体）；4、SS（多斑点成年个体）；5、SA（少斑点成年个体）；6、UA（无斑点成年个体）。

根据体色可将中华白海豚划分为六个年龄阶段，各年龄段在拟建项目周边水域中华白海豚群体中所占比例详见图 6.7-9。结果显示中华白海豚群体年龄结构中少斑点成年个体及无斑点成年个体之和约占 72%，青年个体占比约 26.2%，幼年个体占比 1.8%。

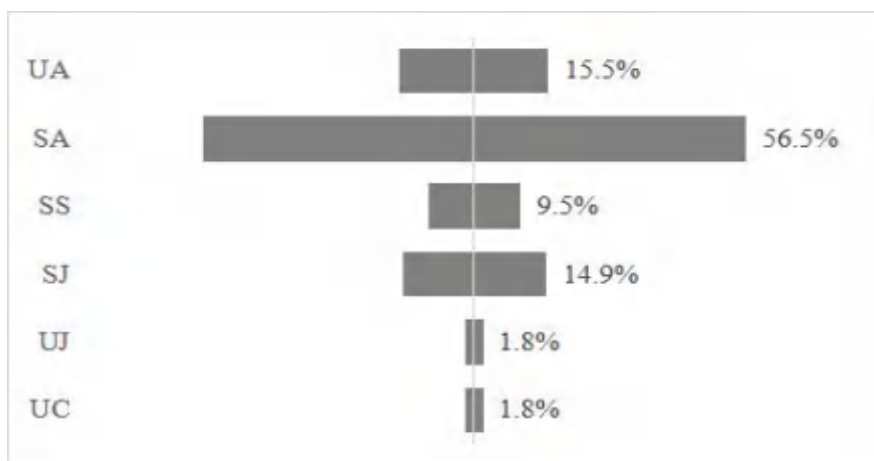


图 6.7-9 珠海高栏海上风电项目及其周边水域中华白海豚群体年龄结构

UC（无斑点幼体）、UJ（无斑点青年个体）、SJ（有斑点青年个体）、SS（多斑点成年个体）、SA（少斑点成年个体）、UA（无斑点成年个体）

6.7.2 海龟

海龟是龟鳖目棱皮龟科和海龟科的海栖龟类的统称，是高度洄游物种，能进行长距离跨洋际洄游，分布于南太平洋和印度洋，在中国分布于北起山东沿海，南至广东沿海各省及台湾、海南等省，南海诸岛尤多，大多生活在比较浅的沿海水域、海湾、珊瑚礁和流入大海的河口等地方。

根据《惠东幼年绿海龟的洄游规律及觅食地选择》（动物学杂志，2021 年），2011 至 2015 年间，将 6 只来自广东惠东海龟国家级自然保护区人工培育 2~14a 的幼年海龟，分为夏季组（3 只）及冬季组（3 只），在其背甲上安装追踪器，6 只幼年绿海龟的洄游路线详见图 6.7-10。

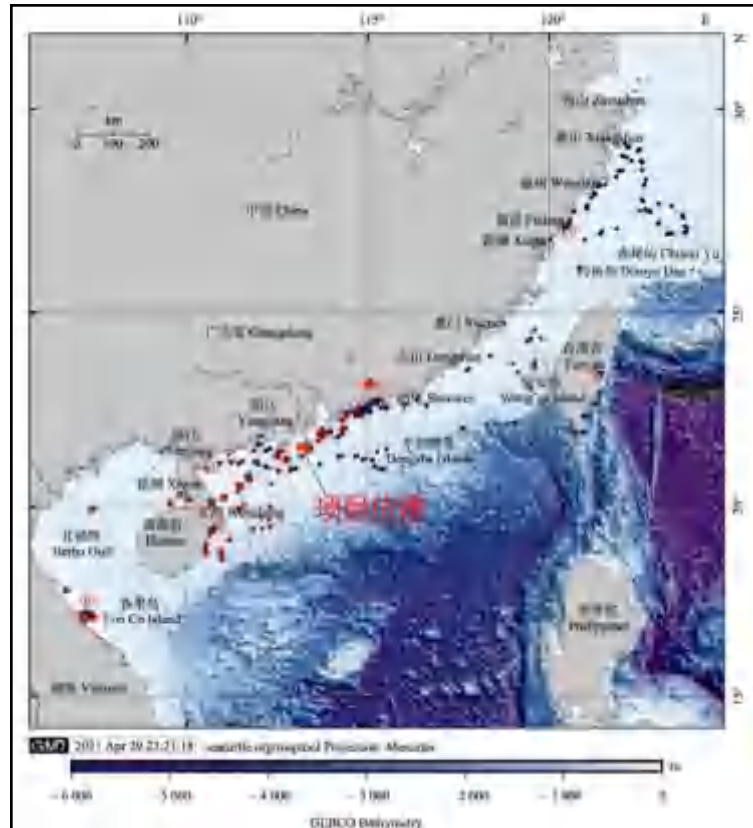


图 6.7-10 6 只海龟的洄游路线

蓝色和红色路线分别代表追踪终点时间在夏季和冬季的幼年绿海龟洄游路线；①~⑥分别代表编号分别为 73040、70464、65415、40470、53744、52694 幼年绿海龟的终点位置；★为起点，广东惠东海龟国家级自然保护区海龟产卵场沙滩。GEBCO Bathymetry 海洋大体水深图等深线标尺，不同颜色代表不同的海水深度。

监测的 6 只绿海龟个体的洄游路线主要沿我国大陆架 140m 等深线以内的近岸浅海，夏、冬季分别往台湾和海南两个方向。洄游路线途经点包括广东阳江的海陵岛，广东江门的川山群岛，东沙群岛，汕尾龟岛福建东山岛及台湾海峡。追踪到的觅食地主要包括越南东部、我国大陆架沿岸及附属海岛，包括海南东寨港至万宁一带、琼州海峡、湛江东海岛、阳江海陵岛、江门川山群岛、珠海万山群岛和担杆列岛、大亚湾及红海湾近岸及诸岛、东沙群岛、台湾海峡、台湾花莲、钓鱼岛北部和福建霞浦至浙江象山沿岸浅海。

综上所述，本项目周边海域的海陵岛、川山群岛、万山群岛、担杆列岛等区域是海龟洄游及觅食的主要场所。根据图 6.7-2 可知，项目场区周边存在海龟活动的历

史追踪数据,说明工程附近海域曾有海龟出没,但出现频率较低且分布在周边海域,项目风电场区位于海龟洄游路线周边,但不是海龟的主要活动场所。

6.7.3 文昌鱼

文昌鱼,是文昌鱼目文昌鱼科文昌鱼属脊索动物,主要分布于中国,日本、托雷斯海峡、加里曼丹、新加坡、斯里兰卡以及非洲东海岸一带沿海也有分布,依赖水流带来浮游生物及硅藻、植物供其食用,5-7月为文昌鱼生殖季节,一生中可繁殖3次。文昌鱼是珍稀名贵的海洋野生头索动物,被中国列为二类重点保护对象。

根据《文昌鱼生态习性及其资源的保护》(动物学杂志,1987),厦门文昌鱼常栖息在海水透明度较高,水质洁净,底质为细小砂砾或粗沙与细沙掺杂的环境中,要求一定的酸碱度和盐度。在50年代初期,厦门文昌鱼生活在水深约为5m~10m,生活的最适盐度为24‰~29‰。漳浦六垵海区水深13m区域,文昌鱼数量最多,密度为500尾/m³;台湾浅滩以及澳角附近水深约30m~50m区域存在文昌鱼,密度为45尾-200尾/m³;台湾海峡南面,靠近厦门岛等地水深达60m区域发现少量文昌鱼,密度为5尾/m³。

根据《广东茂名大放鸡海区文昌鱼分布与底质关系》(热带海洋学报,2006),利用2003年8月至2004年5月南海大放鸡岛周边水域4个季度采集的文昌鱼和砂样进行数据配对,发现砂粒粒径为0.36mm~0.78mm的分布于文昌鱼分布最为密切,且无季节性差别。

根据《珠海高栏一海上风电场海洋环境现状调查(秋季)生态调查报告》(自然资源部南海调查中心,2023年11月),31号调查站位出现白氏文昌鱼,为国家二级保护动物,其他调查点位均未发现。31号调查站位位于项目风电场区东北侧约8km处,水深介于30m~40m处,周边海域底质主要为粉砂质砂和砂-粉砂-黏土。项目场区水深介于32m~37.5m,底质中值粒径均小于0.36mm,平均中值粒径为0.08mm。综上所述,项目场区周边可能存在少量文昌鱼活动,但不是文昌鱼主要活动区域,不是文昌鱼的主要栖息地。

6.8 典型生态系统

6.8.1 海草床

海草是地球上唯一一类可以完全生活在海水中的高等被子植物。全球已知海草的种类有70余种,隶属6科13属;中国现有海草22种,隶属4科10属。大面积

的连片海草被称为海草床。

根据《华南沿海主要海草床及其生境威胁》（科学通报，2006 年），黄小平、黄良民等于 2002 年 9 月~10 月和 2003 年 7 月对广东、海南和广西 3 省主要海草床进行了现场调查，发现广东的海草床主要分布在雷州半岛的流沙湾、湛江东海岛和阳江海陵岛等地，其中，流沙湾海草床的面积约 900 公顷，主要种类包括喜盐草和二药藻，优势种为喜盐草；湛江东海岛海草种类为贝克喜盐草，面积约 9 公顷；阳江海陵岛海草的种类为喜盐草，面积约 1 公顷。

根据《广东沿海海草床的现状、面临的威胁与保护建议》（生物多样性，2024 年），钟超、廖亚琴等通过回顾 21 世纪以来广东海草床研究成果，汇总了广东海草分布信息。根据图 6.8-1，项目建设区域未发现海草床分布。

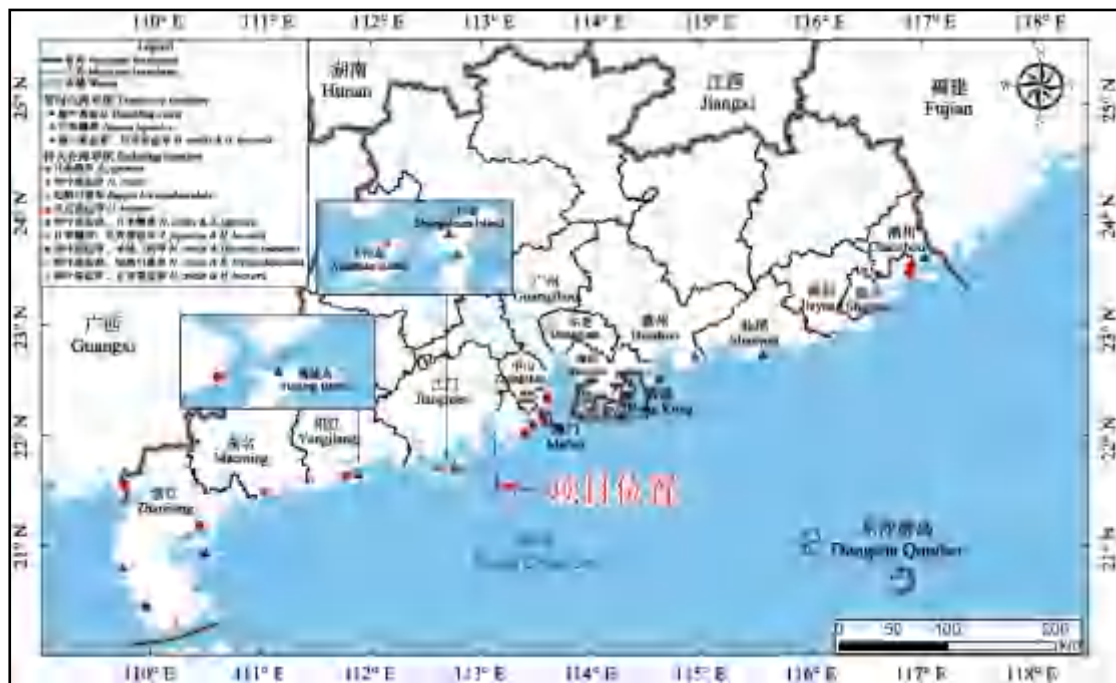


图 6.8-1 广东海草床分布图

6.8.2 牡蛎礁

牡蛎礁是指由活体牡蛎、死亡牡蛎的壳及其他礁区生物共同堆积组成的聚集体。我国已知的牡蛎礁主要分布于天津大神堂、江苏小庙洪、山东莱州湾、福建深沪湾和金門。

广东省珠海市海域虽然是牡蛎养殖长期提供苗种的天然牡蛎苗种区和重要的牡蛎栖息地，但是，珠海市周边海域目前尚未发现成规模的天然牡蛎礁。因此，项目建设区域无成规模的牡蛎礁。

6.8.3 红树林

红树是红树科红树属乔木或灌木。在中国分布于广东琼山、文昌、乐东、崖县等地。性喜光不耐阴、耐水淹、不耐寒，一般生长海浪平静、淤泥松软的浅海盐滩或海湾内的沼泽地。红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带，由红树植物为主体的常绿乔木或灌木组成的湿地木本植物群落

项目建设区域的湿地类型主要为沿海滩涂、浅海水域等，未发现红树林地。

6.8.4 珊瑚礁

珊瑚礁是成千上万的由碳酸钙组成的珊瑚虫的骨骼在数百至数千年的生长过程中形成的，在深海和浅海中均有珊瑚礁存在。

珠海市生态环境局委托中山大学开展珠海市典型海洋生态系统前期调查及分析。调查站点主要分布在外伶仃岛、北尖岛和庙湾岛周边。调查发现，珠海珊瑚礁生态生物多样性非常高，共记录石珊瑚 9 科 17 属 42 种，软珊瑚 8 种。

珠海市的珊瑚礁主要分布在万山群岛及周边海域，尤其是外伶仃岛、北尖岛和庙湾岛等海域。项目建设区域目前尚未发现珊瑚礁分布。

6.9 鸟类现状调查与评价

本节内容引用自《高栏一海上风电场项目鸟类现状监测专题报告》（广东省科学院动物研究所，2024 年 8 月）。

6.9.1 调查概况

（1）调查时间

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，鸟类现状调查周期一般为一年，调查频次每季至少为 1 次以上。广东省科学院动物研究院于 2023 年 11 月 25 日~2023 年 11 月 26 日在项目海域开展了秋季调查，于 2024 年 1 月 30 日~2024 年 1 月 31 日开展了冬季调查，于 2024 年 4 月 28 日~2024 年 4 月 29 日开展了春季调查，于 2024 年 6 月 19 日~2024 年 6 月 20 日开展了夏季调查。调查位置如图 6.9-1 所示。

（2）调查站位布设

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线向外扩展 8km 区域，并视受保护鸟类被影响程度适当增加。结合本项目实际情况，调查范围以工程区域及周边 8km 海域为主，辅以距离风电场最近的珠海市金湾区、斗门区，台山市新会区的部分陆

地海岸线近 3 年鸟类现状调查资料。

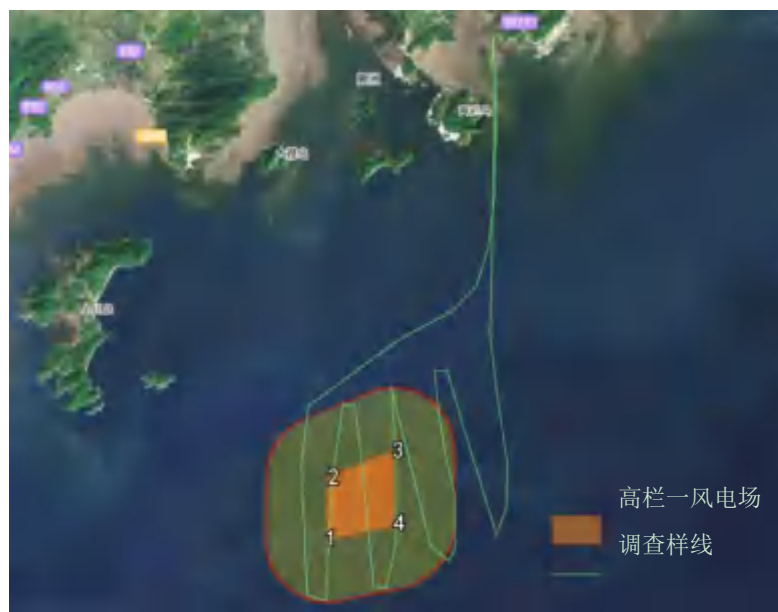


图 6.9-1 风电场鸟类现状调查范围示意图

6.9.2 调查内容

主要包括调查区域环境概况、鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国家级重点保护鸟类的种类与数量。

6.9.3 调查方法

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》制定的方法调查海上风电场及周边的鸟类。

(1) 样线（带）法

对于海上包括风电场区内的鸟类，本次调查主要使用海上样线法进行调查，即调查人员乘船沿固定线路前进，调查人员从船上调查船两侧 400m 以内飞行和水中海鸟，船行的速度在 7-16 节，完整地记录所见样线两侧的鸟种、数量、高度或距离，并采用快照的方法以确定鸟类密度。

其中，调查样线×两侧宽度=调查样带，样带面积为调查评价范围的 10%。实际调查时，先乘船驶至项目实施区域，定位至调查区域坐标角点，再按事前规划好的样线分布图在调查区域内前进，至边界坐标时折返，最后以到达调查区域相对角点为结束。

(2) 样点法

采用样点法作为样线法的补充，在区域内选取固定的观察点进行观察计数，项

目场址内主要选择测风塔作为观测样点，沿岸湿地根据生境异质性选择沙滩、泥滩、红树林、浅海、农田等类型设置观测点，通过乘船或步行用望远镜开展调查。主要采用分区直数法观测记录鸟类，根据地貌、地形、生境类型、可视范围等对所选观测点进行分区，逐一统计各个分区中的鸟类种类和数量，得出观测区域内鸟类总种数和个体数量。

（3）繁殖鸟类调查法

在调查区域内发现具有繁殖和育雏行为的主要种类为环颈鸻（*CHaradriusalexandrinus*）、白额燕鸥（*Sternulaalbifrons*）和岩鹭（*Egretta sacra*），采用密度法估算繁殖种群数量。

（4）休息场统计

在沿岸滩涂发现越冬鸟类休息场，在涨潮时滩涂出露时有多种水鸟在滩上觅食，涨潮时到未淹没沙滩上集群停歇，采用直接计数方法对该区域进行鸟类种类及数量统计。

直接计数法得到的某种鸟类数量总和即为该区域该种鸟类的数量。

样带（方）数量计算公式为 $N = \frac{m}{J} \times \sum_{j=1}^J n_j$ （ N —某区域某种动物数量； m —该区域该物种平均密度； J —该调查区域总面积）。 n_j — J 个样带（方）调查的该物种数量和； J — J 个样带（方）总面积）。

把整个调查过程中的每种鸟类数量总和除以鸟类调查总数量，求出该种鸟类所占百分数。当百分数大于 50% 为极多种，用“++++”表示；百分数为 10%—50%，为优势种，用“+++”表示；当百分数为 1%—10%，为常见种，用“++”表示；当百分数小于 1%，为稀有种，用“+”表示。

监测使用单筒望远镜、双筒望远镜、单反相机、录音笔等工具记录沿途鸟类物种、数量、生境类型等信息。鸟类的鉴定参照《中国鸟类野外手册》，鸟类分类系统见郑光美（2017）《中国鸟类分类与分布名录（第三版）》。

监测在晴朗、风力不大（一般在三级以下）的天气条件下进行。每日监测时间主要为清晨（日出后 0.5 小时至 3 小时）或傍晚（日落前 3 小时至日落）。

6.9.4 调查结果

6.9.4.1 区域鸟类概况

（1）种类特征

在项目区域及周边共记录鸟类 90 种，隶属 13 目 31 科（附表 55）。优势类群

包括鸻形目 (*CHaRaDRIIFORMES*) (29 种) 和雀形目 (*PaSSERIFORMES*) (24 种)。由于本次调查, 主要调查地为海上和沿岸湿地区域, 湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地, 即某一生活史阶段依赖于湿地, 且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据 Howes 等 (1988) 对水鸟的定义, 广义的水鸟包括鹼鹼科 (*Podicipedidae*)、鹭科 (*ardeidae*)、鸭科 (*anatidae*)、秧鸡科 (*Rallidae*)、反嘴鹼科 (*Recurvirostridae*)、鸻科 (*CHaradriidae*)、鹼科 (*Scolopacidae*)、燕鸻科 (*Glareolidae*)、鸥科 (*Laridae*)、燕鸥科 (*Sternidae*)、翠鸟科 (*alcedinidae*) 等鸟类, 其他统称为陆生鸟类。按上述定义, 本次调查的鸟类中, 水鸟有 55 种, 其他 35 种为陆生鸟类种, 主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分, 留鸟共有 35 种 (其中 8 种也有迁徙种群), 迁徙鸟共 55 种, 其中冬候鸟 39 种, 迁徙过境鸟 6 种, 夏候鸟 10 种, 说明本区域是多种迁徙候鸟的越冬地和中途停歇地。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种中, 属于广东省重点保护陆生野生动物的有 24 种, 主要为鸻形目和鹼形目 (*PELECaNIFORMES*) 鸟类, 以鹭科鸟类最多, 有 10 种, 其次为鸥科鸟类, 有 9 种; 属于国家重点保护陆生动物的有 13 种, 其中包括一级保护的黑嘴鸥 (*CHroicocepHalus saundersi*)、东方白鹼 (*Ciconia Boyciana*) 和黑脸琵鹭 (*Platalea minor*) 3 种, 以及二级保护的褐翅鸦鹼 (*Centropus sinensis*)、小鸦鹼 (*Centropus Bengalensis*)、半蹼鹼 (*Limnodromus semipalmatus*)、白腰杓鹼 (*Numenius arquata*)、白琵鹭 (*Platalea leucorodia*)、鸮 (*Pandion Haliaetus*)、黑翅鸢 (*Elanus caeruleus*)、黑鸢 (*milvus migrans*)、白胸翡翠 (*Halcyon smyrnensis*) 等 9 种; 列入国家保护动物红色名录近危及以上级别的有 8 种, 包括属于濒危 (EN) 级别的有东方白鹼和黑脸琵鹭等 2 种, 以及属于易危 (VU) 级别的黑嘴鸥 1 种, 以及属于近危 (NT) 物种的半蹼鹼、白腰杓鹼、白琵鹭、鸮、黑翅鸢等 5 种; 除以上 8 种国家级保护动物外, 其余 82 种均列入“三有”保护名录, 即《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录 (2023 年修订)》; 列入 IUCN 红皮书近危以上级别的物种有 7 种, 其中属于濒危 (EN) 级别的有东方白鹼和黑脸琵鹭等 2 种, 属于易危 (VU) 级别的有黑嘴鸥 1 种, 其余 5 种包括半蹼鹼、黑尾塍鹼 (*Limosa limosa*)、白腰杓鹼和红颈滨鹼 (*Calidris ruficollis*) 4 种, 均为近危 (NT) 级别; 列入 CITES (濒危野生动植物种国际贸易公约) 附录的物种共有 5 种, 其中东方白鹼列入附录 I, 白琵鹭、鸮、黑翅鸢和黑鸢 4 种列入附录 II。详见

附表 55。

以上统计中，除国家重点保护名录和 CITES 名录中有猛禽和鸱鹀类物种以外，其余收录于各名录中的物种均为水鸟，且以迁徙性物种占绝大部分，说明该地区位于东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线上。

（2）数量概况

数量方面，共记录鸟类 20894 只次，其中数量超过 10% 的优势种有 3 种，分别为黑腹滨鹬 (*Calidris alpina*)、白鹭 (*Egretta garzetta*) 和反嘴鹬 (*Recurvirostra avosetta*)，数量分别占调查总数量的 15.4%、11.5% 和 10.0%。常见种 (>1%) 有 15 种，包括凤头潜鸭 (*Aythya fuligula*，数量占调查数量比例为 9.98%，下同)、大白鹭 (*Ardea alba*，7.63%)、环颈鸻 (*Charadrius alexandrinus*，6.58%)、苍鹭 (*Ardea cinerea*，6.30%)、红嘴鸥 (*Chroicocephalus ridibundus*，5.93%)、池鹭 (*Ardeola bacchus*，2.12%)、红颈滨鹬 (*Calidris ruficollis*，1.93%)、绿翅鸭 (*Anas crecca*，1.93%)、赤颈鸭 (*Mareca penelope*，1.44%)、琵嘴鸭 (*Spatula clypeata*，1.43%)、铁嘴沙鸻 (*Charadrius leschenaultii*，1.36%)、牛背鹭 (*Bubulcus ibis*，1.23%)、家燕 (*Hirundo rustica*，1.15%)、青脚鹬 (*Tringa nebularia*，1.15%) 和八哥 (*Acridotheres cristatellus*，1.13%)。15 种常见种数量总占总调查数量的 51.3%，和优势种合并则两者共 18 个物种占调查总数量的 88.3%，说明调查区域鸟类主要物种的优势度明显，从现场调查发现优势种栖息聚集程度较高，主要集中在沿岸沙滩和围垦养殖塘内。

《国际重要湿地公约 (Ramsar)》对重要湿地的评价标准中有这样一条：“如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群 1% 的个体，就应被认为具有国际重要意义”。生态专家认为，水鸟栖息具有混群性，占全球种群数量 1% 以上的水鸟物种，往往可以作为同类水鸟的代表物种，反映整个水鸟的丰富程度，从而反映栖息地的生态环境质量。因此，国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量 1% 数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计 (Wetlands International 2016)。经对比分析，项目用地和周边区域的单次鸟类调查记录到数量超过全球种群数量 1% 以上的物种为黑脸琵鹭，占 1.2%。

（3）2023 年 11 月秋季调查总体情况

调查共记录鸟类 66 种，隶属 12 目 28 科。优势类群包括鸻形目和雀形目，均有

20 种。水鸟共有 36 种，陆鸟 30 种。数量上，共记录 6631 只次，优势种为黑腹滨鹬、白鹭、环颈鸪、大白鹭，数量分别占该月调查总数量的 18.3%、11.8%、11.6% 和 11.3%。常见种（占调查数量在 1%到 10%之间）有 12 种，包括有苍鹭、反嘴鹬、红嘴鸥、池鹭、红颈滨鹬、八哥、麻雀、绿翅鸭、青脚鹬、铁嘴沙鸨、黑尾鸥、琵嘴鸭，以上 12 种共占当季调查数量的 37.6%，与优势种合计共占总数量的 90.7%。优势种数量占比较大。

居留型方面，冬候鸟和留鸟的种类较多，分别有 31 和 28 种，夏候鸟有 4 种，迁徙过境鸟各有 3 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量占优，占总数量的 62.0%，其次为留鸟，占总数量的 34.3%，迁徙过境鸟占总数量的 2.3%，夏候鸟数量较少，占 1.4%。由于该调查在秋末，可以看出已有较多冬候鸟到达调查地。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 25 种（不含三有保护，下同），其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 15 种，包括凤头鹳鹬、黑水鸡、黑翅长脚鹬、反嘴鹬、红嘴鸥、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、鸥嘴噪鸥、普通燕鸥、池鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭、白鹭、蓝翡翠；国家重点保护动物有 9 种，其中两种一级保护，为黑嘴鸥和黑脸琵鹭，其余 7 种为二级保护，分别为褐翅鸦鹃、小鸦鹃、白琵鹭、鸮、黑翅鸢、黑鸢和白胸翡翠；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 5 种，其中黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，黑嘴鸥属于易危（VU）级别，白琵鹭、黑鸢和黑翅鸢属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的有 3 种，其中黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别、黑嘴鸥属于易危（VU）级别，红颈滨鹬属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 4 种，为白琵鹭、黑鸢、鸮和黑翅鸢，均属于附录 II。

（4）2024 年 1 月冬季调查总体情况

该调查共记录鸟类 59 种，隶属 12 目 26 科。优势类群为鸻形目 19 种，其次为雀形目 14 种。水鸟共有 49 种，陆鸟 19 种。数量上，共记录 11522 只次，优势种为凤头潜鸭、黑腹滨鹬、反嘴鹬，数量分别占该月调查总数量的 18.0%、17.3%和 13.3%。常见种有 12 种，包括有红嘴鸥、苍鹭、白鹭、大白鹭、环颈鸪、赤颈鸭、绿翅鸭、牛背鹭、琵嘴鸭、凤头鹳鹬、红颈滨鹬和泽鹬，以上常见种共占当季调查数量的 44.8%，与三种优势种合计共占调查数量的 91.3%。以上数量较多的种类均为水鸟，说明调查范围内的冬季鸟类组成以水鸟为主。

居留型方面，冬候鸟种类最多，有 31 种，其次为留鸟，有 21 种，迁徙过境鸟有 3 种，夏候鸟为 4 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟占绝对优势，占到总数量的 83.2%，留鸟占总数量的 13.9%，过境迁徙鸟占 2.2%，夏候鸟数量较少占 0.7%。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 22 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 17 种，包括凤头鹳鹬、黑水鸡、反嘴鹬、红嘴鸥、黑尾鸥、红嘴巨燕鸥、夜鹭、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭、白鹭；国家重点保护动物有 7 种，其中一级保护有三种，分别为黑嘴鸥、东方白鹳和黑脸琵鹭，二级保护有 4 种，分别为白腰杓鹬、白琵鹭、黑翅鸢和白胸翡翠；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 6 种，其中东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，黑嘴鸥属于易危（VU）级别，白腰杓鹬、白琵鹭和黑翅鸢属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的鸟类有 4 种，其中东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，黑嘴鸥属于易危（VU）级别，黑尾塍鹬、白腰杓鹬和红颈滨鹬属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 3 种，其中东方白鹳属于附录 I，白琵鹭和黑翅鸢属于附录 II。

（5）2024 年 4 月春季调查总体情况

调查共记录鸟类 53 种，隶属 11 目 25 科。优势类群为鸻形目，有 18 种，其次为雀形目，有 15 种。水鸟有 31 种，陆鸟为 22 种。数量上，共记录 1773 只次，优势种为白鹭和大白鹭，数量分别占该月调查总数量的 31.2%和 15.7%。常见种为池鹭、反嘴鹬、家燕、环颈鸻、灰翅浮鸥、铁嘴沙鸻、鸥嘴噪鸥、蒙古沙鸻、小白腰雨燕、红颈滨鹬、青脚鹬、灰鸻、小鹈鹕、麻雀、八哥等 15 种，以上 17 种共占当季调查数量的 89.6%。

居留型方面，本月种类中留鸟共有 25 种，其中 6 种有部分迁徙种群；候鸟共有 28 种，其中 17 种为冬候鸟，迁徙过境鸟和夏候鸟分别有 4 种和 7 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量最多，占总数量的 63.8%，其次为冬候鸟，占总数量的 22.8%，迁徙过境鸟和夏候鸟分别占总数量的 5.7%和 7.7%。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种中，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 15 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、反嘴鹬、红嘴鸥、鸥嘴噪鸥、红嘴巨燕鸥、普通燕鸥、灰翅浮鸥、黄斑苇鹀、夜鹭、绿鹭、池鹭、苍鹭、大白鹭和白鹭；列入国家重点保护野生动物名录的有 6 种，其中黑脸琵鹭为一级保护，褐翅鸦鹃、

白腰杓鹬、白琵鹭、黑翅鸢和黑鸢等 5 种为二级保护；列入国家保护动物红色名录近危级别以上的物种有 4 种，黑脸琵鹭为濒危（EN）级别，白腰杓鹬、白琵鹭和黑翅鸢为近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危级别以上的有 4 种，分别为黑脸琵鹭（EN）、黑尾塍鹬、白腰杓鹬和红颈滨鹬（NT）；列入 CITES 附录 II 的物种有白琵鹭、黑翅鸢和黑鸢 3 种。

（6）2024 年 6 月夏季调查总体情况

调查共记录鸟类 42 种，隶属 10 目 21 科。优势类群为鸽形目，有 15 种，其次为雀形目有 10 种。水鸟有 27 种，陆鸟为 15 种。数量上，共记录 968 只次，优势种为白鹭 1 种，数量占该月调查总数量的 47.0%。常见种有 17 种，分别为池鹭、八哥、家燕、灰翅浮鸥、青脚鹬、大白鹭、环颈鸪、麻雀、小白腰雨燕、林鹬、牛背鹭、普通燕鸥、小鹈鹕、黑枕燕鸥、铁嘴沙鸫、红脚鹬和白鹡鸰，以上 17 种共占当季调查数量的 44.7%。除白鹭数量优势度非常显著外，其余物种数量分布较均匀。

居留型方面，本月种类中留鸟共有 20 种，冬候鸟有 11 种，迁徙过境鸟 3 种，夏候鸟有 8 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上留鸟占绝对优势，有 72.4%，冬候鸟有 13.8%，夏候鸟有 9.5%，迁徙过境鸟有 4.2%。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种中，属于广东省重点保护陆生野生动物的有 15 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、白额燕鸥、黑枕燕鸥、普通燕鸥、灰翅浮鸥、黄斑苇鹀、栗苇鹀、夜鹭、绿鹭、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭、白鹭；列入国家重点保护野生动物名录的有 4 种，包括褐翅鸦鹟、半蹼鹬、白腰杓鹬、黑翅鸢等 4 种，均为二级保护；列入国家保护动物红色名录近危级别以上的物种有 3 种，包括半蹼鹬、白腰杓鹬、黑翅鸢，均为近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危级别以上的有 2 种，为半蹼鹬和白腰杓鹬，均为近危（NT）级别；列入 CITES 附录 II 的物种有黑翅鸢 1 种。

6.9.4.2 海域鸟类现状

调查主要通过乘船沿风电场所在区域以及周边 8km 缓冲区域的样线进行观察，在项目场址范围内观测到的鸟类较少，但在出海路线上的近岸海域发现有较多集群活动的鸟类，在海域中共发现鸟类 5 目 6 科 15 种，共 1910 只次，其中多数个体在离岸 2-5km 范围内发现。数量最多的是红嘴鸥，占海面调查总数量的 44.7%，其次为反嘴鹬，占总数量的 27.7%，数量较多的还有黑尾鸥，占海面调查总数量的 8.1%。其余种类的调查数量均少于总调查数量的 5%，不足 100 只。其中红嘴鸥、黑尾鸥、

红嘴巨燕鸥、白额燕鸥多分布在离岸较近的海面，而普通燕鸥、黑枕燕鸥、西伯利亚银鸥则多在离岸较远海面被记录到，沿海上调查样线零星分布。鸥类飞行高度约在海面至 20m 高，偶尔飞至海面觅食鱼类。凤头潜鸭和反嘴鹬主要被记录到漂浮在海面活动，但一般不高飞。白鹭和大白鹭在海面的记录基本则都是在飞行。

记录到在海面活动的种类中，有黑鸢一种国家二级保护动物，其他种类多为省级重点保护的鸥科和鹭科鸟类。

6.9.4.3 沿岸鸟类现状

调查共记录种类 13 目 31 科 85 种，数量 18984 只次，占本项目调查总数量的 9 0.8%，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域。沿岸鸟类优势种为黑腹滨鹬、白鹭和凤头潜鸭，近岸滩涂上分布较多的还有反嘴鹬、苍鹭、环颈鸪、大白鹭等，均超过记录总数量的 5%。在保护物种方面，属于广东省重点保护陆生野生动物的有 19 种，包括凤头鸊鷉、黑水鸡、黑翅长脚鹬、反嘴鹬、红嘴鸥、鸥嘴噪鸥、红嘴巨燕鸥、灰翅浮鸥、黄斑苇鹀、栗苇鹀、夜鹭、绿鹭、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭、白鹭和蓝翡翠；国家重点保护动物有 12 种，和总体情况一致；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 8 种，同样和总体情况一致，包括属于濒危（EN）级别的有东方白鹳和黑脸琵鹭等 2 种，以及属于易危（VU）级别的黑嘴鸥 1 种，以及属于近危（NT）物种的半蹼鹬、白腰杓鹬、白琵鹭、鸕、黑翅鸢等 5 种；除以上 8 种国家级保护动物外，其余 77 种均列入“三有”保护名录；列入 IUCN 红皮书近危以上级别的物种有 7 种，其中属于濒危（EN）级别的有东方白鹳和黑脸琵鹭等 2 种，属于易危（VU）级别的有黑嘴鸥 1 种，其余 5 种包括半蹼鹬、黑尾塍鹬、白腰杓鹬和红颈滨鹬 4 种，均为近危（NT）级别；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种共有 5 种，其中东方白鹳列入附录 I，白琵鹭、鸕、黑翅鸢和黑鸢 4 种列入附录 II。

6.9.4.4 受影响类群及代表性物种分析

在广东沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸕鹬类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目主要为海域，因此鸕鹬类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，但飞行速度较慢，与风机碰撞的机会不大。鸥类、燕鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时

会跟随渔船在海面集群觅食，然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变，渔船也不会驶入场址，鸥类与风机发生碰撞的几率也随之降低。海洋性鸟类，如军舰鸟、鲣鸟等，会在海面梭巡，但一般不会集大群，且数量较少。此外，黑鸢等猛禽也发现常于海面上空盘旋，尤其黑鸢属于留鸟，且有繁殖种群。

6.10 水上水下声环境现状调查与评价

本节内容引自《珠海高栏海上风电场项目水上水下噪声监测专题研究报告》（中山大学，2024 年 3 月）。

6.10.1 调查站位

中山大学于 2023 年 11 月 27~30 日和 2024 年 3 月 11~14 日对项目海域的声环境质量进行了现场调查。项目场区及周边海域共设置 23 个噪声调查站点（各站点均开展水上、水下声测量），各站点经纬度坐标见图 6.10-1，表 6.10-1。

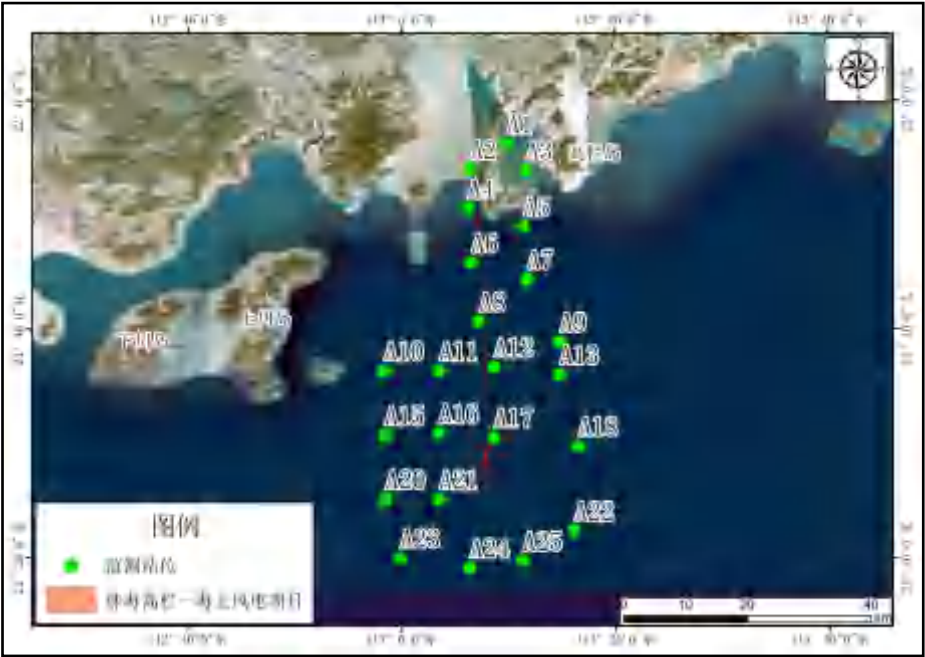


图 6.10-1 调查站位分布图

表 6.10-1 调查站坐标一览表

站位号	经度	纬度	站位号	经度	纬度
A1	113°09'52.981"	21°56'16.566"	A13	113°14'47.548"	21°36'06.343"
A2	113°06'25.898"	21°54'03.787"	A15	112°58'25.972"	21°30'47.614"
A3	113°11'41.474"	21°53'57.512"	A16	113°03'29.488"	21°30'59.000"
A4	113°06'13.658"	21°50'37.511"	A17	113°08'39.390"	21°30'35.744"
A5	113°11'25.462"	21°49'03.140"	A18	113°16'32.052"	21°29'50.780"
A6	113°06'32.530"	21°45'53.424"	A20	112°58'30.637"	21°25'12.072"
A7	113°11'46.561"	21°44'25.476"	A21	113°03'31.482"	21°25'10.600"

站位号	经度	纬度	站位号	经度	纬度
A8	113°07'16.349"	21°40'45.365"	A22	113°16'09.084"	21°22'25.990"
A9	113°14'50.208"	21°38'58.326"	A23	112°59'53.722"	21°20'03.556"
A10	112°58'21.346"	21°36'25.301"	A24	113°06'23.180"	21°19'11.489"
A11	113°03'31.802"	21°36'25.841"	A25	113°11'19.781"	21°19'48.558"
A12	113°08'40.232"	21°36'45.598"			

6.10.2 监测设备

水上噪声采用声级计 AWA5688，水下噪声主要采用自容式水听器等。

表 6.10-2 仪器设备配置表

仪器	数量	备注
声级计	1 台	AWA5688
自容式水听器	3 台	
OBS	2 台	

6.10.3 监测内容

(1) 水上噪声监测内容

每个站点连续测量时间均为 1min 以上，测量计算结果为：

- 1) 等效连续声级 L_{eq} ；
- 2) 最大声级 L_{max} ；
- 3) 给出在 31.5Hz~8kHz 频率范围内的 1/1 倍频程的频带声压级分布。

(2) 水下噪声监测内容

根据各站点不同的海域深度，设置 3 个水层深度：2m、中间层和底层（接近海底），进行同步测量，测量记录时间均为 8min 以上。

调查内容为频带声压级、声压谱级以及各测点的峰值声压级。

1) 水下噪声频带声压级 L_{pf}

$$L_{pf} = 20 \lg \frac{p_f}{p_0}$$

式中： L_{pf} —噪声频带声压级，单位为分贝（dB）；

p_f —测量所得的某频带噪声声压，单位为帕（Pa）；

p_0 —基准声压，单位为帕（Pa），通常取 $p_0 = 1 \mu Pa$ 。

2) 水下噪声声压谱[密度]级 L_{ps}

在海洋中基准声压的谱密度级为 $1 \mu Pa / \sqrt{Hz}$ ，当声能在 Δf 中均匀分布时：

$$L_{ps} = L_{pf} - 10 \lg \Delta f$$

式中： L_{ps} —噪声声压谱级，又称为等效谱级，单位为分贝（dB），基准值为1 $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；

L_{pf} —测得的中心频率为 f 的频带声压级，单位为分贝（dB），基准值为1 μPa ；

Δf —带通滤波器的有效带宽。

3) 背景噪声测量修正值 k

在水下噪声测量中，为减小背景干扰噪声对测量目标的影响，应对测得的结果进行修正，即将实测频带声压级 L_{pf0} 减去修正值 k ，得到修正后的频带声压级 L_{pf} ，如下式所示：

$$L_{pf} = L_{pf0} - k$$

本工程所进行的海洋背景噪声测量用船载方式进行，测量中船位抛锚并关闭发动机和辅机，水下没有其它的干扰声源存在，因此干扰噪声修正值 $k=0$ 。

4) 全频带累积声压级

频率不同的声波是不相干的，不会形成相干干涉，所以，声信号总的声能量是各个频率分量上的能量叠加之和。在获取 1/3 倍频程频带声压级的基础上，可以运用不同频带上的声压级叠加原理，对 1/3 倍频程带宽频带声压级进行累加，求取全频带累积声压级，表示为 L_p ，用于描述各水下测量点上的环境噪声强度。

$$L_p = 10 \lg(10^{0.1L_{pf1}} + 10^{0.1L_{pf2}} + \dots + 10^{0.1L_{pfN}})$$

L_{pf} —中心频率为 f 的 1/3 倍频程频带声压级，单位为分贝（dB）。

6.10.4 噪声监测结果

6.10.4.1 水上声环境监测结果

2023 年 11 月工程海域水上声环境调查结果见表 6.10-3，2024 年 3 月工程海域水上声环境调查结果见表 6.10-4。

由 2023 年 11 月海上声环境现状调查结果可知，海面上环境等效噪声级（a 计权）主要分布在 36~58dB 之间，平均值为 51.0dB。最大声级（a 计权）的平均值为 63.3dB。在 31.5Hz~8kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级（a 计权）的最大动态范围为 35.4dB。

由 2024 年 3 月海上声环境现状调查结果可知，海面上环境等效噪声级（a 计权）

主要分布在 32~66dB 之间，平均值为 54.0dB。最大声级（a 计权）的平均值为 67dB。在 31.5Hz~8kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级（a 计权）的最大动态范围为 64.8dB。

表 6.10-3 2023 年 11 月工程海域水上声环境质量调查结果 (a 计权) (单位: dB/20uPa)

站点编号	最大声级	等效连续声级	累积百分声级 L ₅	累积百分声级 L ₁₀	累积百分声级 L ₅₀	累积百分声级 L ₉₀	累积百分声级 L ₉₅
A1	64.4	52.1	57.8	54.4	49.4	48	47.6
A2	52.1	44.3	45.8	45.4	44	42.8	42.6
A3	61	48.3	53	49.6	46.2	45	44.6
A4	72.2	57.1	64.6	59.2	48.8	46.4	45.8
A5	61.5	52	55.4	54	51	49.6	49.4
A6	59.2	49	52.4	50.6	48	46.6	46.2
A7	67.4	54.3	59.4	57.4	50.8	47.8	47.2
A8	68.2	53.4	58	56	51.4	49.2	48.8
A9	63	54.2	58	56.4	53.4	51.6	51.4
A10	67.1	53.7	58.6	56.6	51.4	49.8	49.4
A11	67.8	55.7	59	58	54.6	52.6	52.2
A12	64.1	52.5	55.8	54.4	51.6	49.4	49
A13	69.7	58	63.8	60.6	55.2	52.4	51.2
A15	65.1	55.9	60.2	59	54.2	51.4	50.6
A16	67.3	56.5	60.6	58.8	55	52.4	52
A17	65.4	55.9	59.8	58.4	54.8	52.4	51.8
A18	66.7	57.5	60.4	59.6	57	54.4	53.8
A20	53.4	36.7	43.4	38	23.6	21.4	21
A21	56	43.9	52.2	49.6	22.2	20.4	20
A22	57.3	46	52	50	42.6	39.8	39.2
A23	60.7	48.2	52	50.8	46.8	43.4	42.4
A24	67	46.6	48.6	46.8	43.4	41.2	40.6
A25	58.8	45.6	51.2	48.2	42	40.2	39.8

表 6.10-4 2024 年 3 月工程海域水上声环境质量调查结果（a 计权）单位：dB/20uPa

站点编号	最大声级	等效连续声级	累积百分声级 L ₅	累积百分声级 L ₁₀	累积百分声级 L ₅₀	累积百分声级 L ₉₀	累积百分声级 L ₉₅
A1	69.3	59.0	61.6	61.0	58.6	56.2	55.6
A2	61.9	43.3	47.2	44.8	40.4	38.4	38.0
A3	76.5	58.4	62.8	60.8	56.0	53.4	52.8
A4	64.0	48.5	54.2	50.8	44.6	41.2	40.6
A5	71.2	61.4	65.6	64.4	59.6	56.6	56.0
A6	71.1	58.3	62.2	61.0	57.4	54.4	53.6
A7	77.2	58.4	61.6	60.2	56.8	54.2	53.8
A8	67.2	54.7	58.4	57.2	53.4	50.2	49.4
A9	72.5	55.9	60.8	57.6	53.2	50.4	49.8
A10	74.6	64.7	69.0	67.8	63.4	59.6	58.6
A11	74.4	60.6	65.6	63.8	58.6	55.4	55.0
A12	69.1	60.9	65.0	63.8	59.8	55.6	54.6
A13	63.0	51.7	55.6	54.4	50.0	46.8	46.2
A15	75.0	65.6	70.4	69.2	64.0	59.8	58.8
A16	57.5	32.5	22.6	21.2	20.0	19.4	19.4
A17	76.1	63.6	68.4	67.0	61.6	56.2	55.0
A18	70.8	59.0	63.0	61.8	57.6	54.6	54.0
A20	59.8	36.0	32.4	26.2	21.2	20.2	20.0
A21	78.2	52.3	48.8	44.4	37.6	35.0	34.4
A22	43.6	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
A23	73.1	53.7	57.0	55.2	51.6	49.2	48.8
A24	44.2	42.7	43.0	42.8	42.8	42.4	42.4
A25	43.6	42.9	43.0	43.0	43.0	42.8	42.8

6.10.4.2 水下声环境监测结果

2023 年 11 月工程海域水下测量深度声环境峰值声压级、频带声压级调查结果见表 6.10-5、表 6.10-6，2024 年 3 月工程海域水下测量深度声环境峰值声压级、频带声压级调查结果见表 6.10-7、表 6.10-8。

由 2023 年 11 月海下声环境现状调查结果可知，海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 80dB，噪声谱级的总动态变化范围是 89dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 43dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 208dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 200dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 192dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 172dB 以下。

由 2024 年 3 月海下声环境现状调查结果可知，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 71dB，噪声谱级的总动态变化范围是 86dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 75dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 181dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 160dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 152dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 144dB 以下。

表 6.10-5 2023 年 11 月各站点设计的测量深度与对应的峰值声压级

站点 编号	测点深度 (m)	峰值声压 (dB/1uPa)	全频带累积声压级 L_p (dB/1uPa)		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
A1	2	115	72	74	80
	4	115	74		
	7	115	76		
A2	2	104	64	78	
	4	111	73		
	7	117	98		
A3	2	112	69	79	
	3	110	69		
	6	119	100		
A4	2	112	72	84	
	5	116	83		
	10	117	97		
A5	2	115	80	84	
	7	111	80		
	14	115	90		
A6	2	111	74	80	
	9	107	75		
	18	118	91		

站点 编号	测点深度 (m)	峰值声压 (dB/1uPa)	全频带累积声压级 Lp (dB/1uPa)		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
A7	2	116	83	81	
	13	108	76		
	26	113	84		
A8	2	115	82	83	
	14	113	80		
	28	116	86		
A9	2	115	75	74	
	15	110	71		
	30	107	75		
A10	2	105	74	77	
	15	117	84		
	29	105	73		
A11	2	116	81	86	
	15	117	87		
	30	118	92		
A12	2	106	74	75	
	16	107	71		
	31	111	80		
A13	2	115	79	77	
	15	107	73		
	30	109	78		
A15	2	110	72	80	
	15	116	84		
	30	119	84		
A16	2	116	78	81	
	18	114	75		
	36	117	91		
A17	2	117	80	82	
	18	108	75		
	36	117	90		
A18	2	114	83	86	
	18	110	82		
	36	116	94		
A20	2	103	67	80	
	19	116	88		
	37	116	85		
A21	2	115	77	77	
	19	97	72		
	38	103	81		
A22	2	104	74	83	
	22	117	88		

站点 编号	测点深度 (m)	峰值声压 (dB/1uPa)	全频带累积声压级 Lp (dB/1uPa)		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
	43	118	87		
A23	2	116	79	83	
	20	116	81		
	39.5	117	90		
A24	2	117	78	84	
	20	116	84		
	40	117	92		
A25	2	102	67	80	
	21	115	83		
	42	118	89		

表 6.10-6a 工程海域水下噪声环境调查结果一频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)															
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A1	2	178	185	175	168	179	176	174	172	184	182	169	176	175	186	175	168
	4	187	176	184	185	184	185	182	183	187	185	178	170	173	183	176	165
	7	170	170	166	185	178	199	188	176	192	180	178	170	181	177	177	163
A2	2	164	180	164	161	184	161	171	166	187	176	159	158	158	171	164	145
	4	183	183	173	173	173	176	178	181	185	186	181	181	186	185	164	143
	7	205	207	204	207	207	206	206	200	203	201	202	201	207	203	199	192
A3	2	161	177	170	174	185	172	163	165	192	177	180	170	173	187	169	168
	3	180	182	186	174	179	174	178	178	180	178	172	180	163	182	168	153
	6	209	199	193	204	207	197	203	201	194	209	205	198	215	203	195	190
A4	2	184	185	180	178	184	172	170	169	170	183	166	180	167	182	173	158
	5	187	200	198	198	191	183	193	190	193	185	187	192	184	194	195	175
	10	196	189	205	196	203	186	192	183	198	187	205	198	204	214	191	188
A5	2	195	199	181	181	185	185	174	175	192	187	171	179	179	185	186	175
	7	193	200	203	196	196	185	193	178	187	183	191	180	187	183	180	162
	14	193	194	189	196	205	189	208	208	176	192	187	185	203	195	198	180
A6	2	189	185	182	175	183	182	176	177	190	190	178	169	168	183	166	169
	9	195	197	193	188	178	182	188	180	183	176	180	178	177	178	164	167
	18	193	194	192	186	191	216	203	199	199	201	191	181	186	199	184	183
A7	2	198	183	195	191	193	182	179	190	189	174	181	187	182	190	195	186
	13	196	183	187	177	192	188	190	177	186	177	180	191	157	180	164	163
	26	198	193	190	178	185	170	207	206	191	188	180	181	191	189	181	154
A8	2	196	203	195	171	180	174	180	176	196	195	177	177	179	182	164	170
	14	178	192	194	184	188	183	198	195	186	181	182	184	183	179	164	174
	28	192	194	193	183	196	201	198	196	186	186	186	196	184	193	158	177

表 6.10-6b 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级（单位：dB/1uPa）														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
A1	2	163	156	173	150	163	151	153	162	158	151	142	148	144	152	134
	4	161	151	167	157	165	160	152	143	143	145	152	148	140	142	143
	7	168	159	162	151	161	147	157	151	134	142	145	151	138	142	140
A2	2	151	154	155	149	153	155	150	146	146	148	150	137	145	128	138
	4	156	157	159	157	159	141	163	160	157	154	141	132	147	142	142
	7	190	192	192	188	183	185	171	180	172	170	173	142	166	160	161
A3	2	138	162	165	155	156	147	153	146	127	141	145	137	143	131	138
	3	158	155	153	155	152	153	150	152	144	152	143	143	146	125	145
	6	185	190	188	194	191	157	182	176	168	165	174	166	173	163	171
A4	2	158	159	179	159	149	150	151	145	146	150	138	144	126	136	134
	5	176	169	165	160	170	158	170	158	147	151	146	144	139	134	131
	10	186	185	187	183	179	178	156	168	165	169	169	163	163	145	158
A5	2	164	164	175	152	169	157	166	149	146	148	134	125	128	133	124
	7	166	157	156	155	151	148	133	129	133	141	134	136	133	120	131
	14	157	157	180	181	175	163	172	154	159	142	138	144	137	141	134
A6	2	164	154	162	163	155	165	150	150	148	147	144	142	131	137	122
	9	160	150	159	157	150	147	150	143	146	143	144	146	143	128	126
	18	174	177	183	170	168	164	172	173	166	154	159	149	152	143	137
A7	2	169	171	166	174	164	173	168	154	153	148	146	141	152	134	138
	13	156	152	164	159	155	155	146	142	143	144	148	135	125	113	139
	26	152	158	153	156	154	153	151	158	147	143	138	134	135	119	131
A8	2	155	168	166	165	163	163	167	151	141	139	134	139	134	135	129
	14	163	158	159	154	148	148	149	145	140	125	129	140	130	134	132
	28	163	145	170	167	157	158	155	156	143	135	145	141	142	136	141

表 6.10-6c 工程海域水下噪声环境调查结果一频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)															
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A9	2	190	186	180	185	183	181	169	180	197	189	180	176	161	185	169	172
	15	192	191	172	176	177	170	180	165	173	168	167	182	167	171	167	159
	30	185	192	192	189	186	179	173	180	174	175	152	174	161	166	159	156
A10	2	190	180	170	175	184	176	174	173	191	187	180	166	177	187	172	173
	15	186	196	201	198	189	194	201	193	193	190	192	193	196	192	187	185
	29	189	187	191	189	182	192	184	169	176	176	174	177	183	170	162	157
A11	2	194	194	189	174	180	185	186	169	193	188	188	189	176	194	191	175
	15	196	199	188	200	204	197	203	205	201	195	201	193	176	194	192	184
	30	203	206	202	205	195	182	197	201	197	196	184	192	194	206	198	192
A12	2	189	184	188	177	186	165	173	177	191	182	177	180	170	186	169	164
	16	187	188	184	175	177	181	186	186	179	176	175	175	170	180	172	164
	31	189	179	189	185	184	179	191	195	186	173	176	176	180	177	166	156
A13	2	191	201	197	176	175	183	179	180	198	195	183	178	173	194	175	171
	15	188	192	193	184	184	176	172	187	173	172	179	179	167	186	168	162
	30	198	179	196	193	189	187	182	194	192	162	175	173	173	190	165	166
A15	2	188	185	189	177	178	171	180	171	187	183	171	176	174	183	172	160
	15	198	195	196	186	195	191	189	199	198	159	200	195	191	191	190	176
	30	201	183	196	197	188	196	184	188	192	198	189	194	183	190	184	178
A16	2	193	190	185	177	187	178	180	170	190	165	176	189	176	187	173	174
	18	192	194	186	184	186	179	184	182	185	173	174	191	171	183	170	166
	36	197	200	199	195	197	203	195	177	192	189	189	197	201	203	191	182
A17	2	193	197	189	195	191	186	180	181	196	192	188	182	164	191	183	182
	18	196	187	184	185	184	178	184	174	180	180	170	181	176	176	172	169
	36	189	198	199	194	183	200	197	196	206	195	194	199	194	202	187	185

表 6.10-6d 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
A9	2	170	157	175	156	153	160	147	157	140	148	143	154	147	140	125
	15	155	151	153	146	148	133	138	145	138	142	140	131	133	134	128
	30	141	157	156	147	136	141	146	128	141	113	133	132	143	122	131
A10	2	167	150	172	151	154	152	153	141	146	148	139	136	132	135	130
	15	175	165	170	171	165	167	164	152	154	148	146	142	135	133	139
	29	153	147	152	130	144	140	136	137	139	138	126	124	135	128	127
A11	2	170	171	175	171	167	167	163	161	145	154	144	142	128	125	128
	15	180	176	164	171	167	166	167	161	150	151	142	133	143	144	130
	30	178	183	185	179	156	182	174	167	150	145	154	157	158	156	156
A12	2	160	163	159	155	155	151	147	147	143	135	139	147	146	138	129
	16	157	155	147	140	143	139	142	135	131	138	136	125	134	126	120
	31	159	143	154	154	137	135	120	137	131	143	142	146	134	110	134
A13	2	165	157	178	168	167	170	154	158	146	144	147	143	137	131	126
	15	158	144	156	157	146	148	148	138	149	139	138	135	131	127	124
	30	163	153	156	152	137	143	149	144	140	143	140	131	138	135	132
A15	2	168	159	164	155	160	157	153	151	145	147	138	129	131	129	133
	15	165	161	162	159	163	163	162	153	153	150	146	142	130	120	134
	30	177	173	171	170	169	163	168	163	160	148	142	149	153	145	150
A16	2	165	161	178	157	163	170	161	149	156	145	145	139	133	132	128
	18	159	163	152	141	150	148	140	146	139	137	141	129	139	126	132
	36	180	173	183	176	175	173	166	163	164	163	166	160	131	151	149
A17	2	169	172	180	167	172	168	173	162	160	154	147	140	143	137	136
	18	168	164	151	147	146	147	153	145	142	148	144	142	140	130	126
	36	184	177	179	171	171	175	174	170	164	170	167	160	160	155	157

表 6.10-6e 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级（单位：dB/1uPa）															
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A18	2	197	201	183	192	190	179	175	168	199	199	182	186	175	192	173	162
	18	198	206	193	196	190	193	183	188	190	174	175	183	178	191	172	161
	36	204	210	189	196	190	204	208	198	195	182	182	199	201	202	180	174
A20	2	172	185	167	171	181	170	166	167	190	174	166	169	156	177	162	165
	19	196	195	193	187	195	198	203	188	192	191	191	190	186	186	200	179
	37	183	189	173	199	194	180	181	197	187	188	176	179	184	191	197	180
A21	2	181	191	182	184	179	171	174	181	195	182	174	182	149	186	171	169
	19	192	181	190	188	184	176	179	174	173	169	167	183	173	178	174	162
	38	178	193	205	202	199	200	180	187	185	181	184	186	179	186	171	169
A22	2	188	189	179	181	182	180	171	178	188	178	176	173	173	184	178	176
	22	187	205	208	188	199	193	188	192	170	197	201	196	195	195	175	181
	43	189	188	187	175	199	194	196	189	198	190	196	194	201	194	195	177
A23	2	165	191	191	184	181	182	183	186	191	192	185	187	180	197	190	181
	20	197	189	193	191	198	189	194	187	177	183	178	196	186	187	178	172
	39.5	199	196	199	200	207	196	194	199	200	194	198	194	196	203	176	185
A24	2	186	185	184	189	195	189	179	189	179	181	188	189	179	186	190	177
	20	198	188	175	188	193	195	195	194	198	190	189	192	176	188	187	179
	40	194	209	202	212	203	198	202	201	197	202	191	191	198	200	192	186
A25	2	180	187	184	170	183	172	176	178	182	183	164	166	167	177	172	171
	21	197	171	191	182	179	184	194	198	194	181	180	195	196	192	193	179
	42	209	210	202	190	198	199	194	193	193	190	196	187	204	197	193	184

表 6.10-6f 工程海域水下噪声环境调查结果一频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
A18	2	164	170	188	161	155	153	155	153	142	149	145	148	133	143	134
	18	166	162	143	147	147	156	149	136	142	134	141	130	137	138	129
	36	169	167	174	171	175	164	164	159	155	154	141	148	140	139	125
A20	2	163	166	159	157	147	150	152	123	144	132	141	139	129	131	133
	19	169	177	165	175	177	176	176	156	159	156	153	149	148	147	138
	37	182	178	174	182	171	182	181	158	164	165	153	154	151	141	140
A21	2	166	164	172	161	159	160	158	146	147	141	145	140	131	132	132
	19	160	162	156	153	151	147	142	123	142	138	137	133	126	133	137
	38	167	162	165	144	156	152	148	146	128	138	144	139	132	133	135
A22	2	184	179	170	163	158	143	158	148	156	148	139	134	138	136	130
	22	178	179	153	171	161	170	161	158	146	146	144	146	141	146	137
	43	186	180	184	179	183	177	175	164	165	166	164	157	158	156	150
A23	2	163	167	167	163	152	172	164	156	142	145	139	132	135	138	131
	20	154	171	159	169	160	157	155	147	147	139	143	138	138	134	138
	39.5	184	183	176	168	180	174	179	164	163	169	158	154	154	149	140
A24	2	166	171	173	163	159	161	158	153	151	150	143	140	134	132	135
	20	172	165	176	171	174	173	165	160	143	144	143	143	139	133	120
	40	188	172	171	165	175	172	174	154	164	163	150	154	147	159	153
A25	2	148	162	141	167	143	134	140	153	148	144	144	144	124	125	125
	21	174	177	160	164	154	167	155	154	159	145	141	138	136	128	128
	42	181	183	177	172	179	185	173	163	164	163	162	149	159	163	153

表 6.10-7 2024 年 3 月各站点设计的测量深度与对应的峰值声压级

站点 编号	测点深度 (m)	峰值声压 (dB/1uPa)	全频带累积声压级 Lp (dB/1uPa)		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
A1	2	114.8	66.2	76	71
	4	106.5	65.5		
	8	115.4	95.3		
A2	2	108	65.7	66	
	4	100.2	53.9		
	7	106.3	77.5		
A3	2	115.8	84.1	72	
	3	102.8	53.9		
	4.8	106.8	78.1		
A4	2	107	68.7	66	
	6	104.4	55.5		
	11	98.9	74.5		
A5	2	118.3	79.7	70	
	12	103.5	51.9		
	23	114.3	77.8		
A6	2	115.1	75.4	85	
	10	118.7	80.5		
	19	114.4	97.8		
A7	2	116.6	80.9	67	
	13	98.2	47.1		
	25	92.4	72.6		
A8	2	114.1	72.5	73	
	15	109.2	61.4		
	30	104.9	85.2		
A9	2	116.7	79.9	71	
	16	102.3	56.8		
	32	104	75.9		
A10	2	112.1	73.1	72	
	15	110.7	60		
	29	112.9	81.6		
A11	2	107.1	74.2	73	
	18	117.6	60.2		
	35	106.7	84.8		
A12	2	113.4	70.4	67	
	16	109.7	55.2		
	32	98.1	76.5		
A13	2	116.3	78.4	71	
	17	111	59.1		
	34	106	74.9		

站点 编号	测点深度 (m)	峰值声压 (dB/1uPa)	全频带累积声压级 Lp (dB/1uPa)		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
A15	2	114.9	79.5	75	
	18	112.2	64.9		
	36	116.1	81.8		
A16	2	105.4	70.2	72	
	16	114	61.4		
	32	104.9	85		
A17	2	114.4	74	67	
	19	114.1	54.8		
	37	95.7	72.1		
A18	2	107.7	68.8	69	
	18	105.9	59.5		
	36	105.1	77.9		
A20	2	115	73.9	68	
	19	106.4	57.2		
	38	104.9	73.5		
A21	2	110.8	70	69	
	19	113	57.7		
	38	98	79.9		
A22	2	111.5	71.6	67	
	20	111	52.6		
	40	98.7	76.4		
A23	2	107.3	69.2	69	
	22	104.5	60.1		
	43	106.2	78.5		
A24	2	106	69.1	67	
	22	112.8	54.9		
	43	98.5	76.8		
A25	2	117.2	77.6	69	
	21	111	52.1		
	42	98	76.5		

表 6.10-8a 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)															
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A1	2	159	149	148	141	144	143	142	141	135	136	125	139	133	124	131	130
	4	148	108	145	149	125	156	128	135	135	141	136	127	140	132	136	129
	8	166	187	182	185	175	170	152	154	151	148	140	134	161	168	144	139
A2	2	155	144	143	149	155	145	150	149	149	140	141	137	137	140	132	136
	4	142	138	136	128	148	127	129	126	126	118	130	105	123	116	129	127
	7	169	162	172	167	156	161	137	140	139	134	138	130	120	134	134	116
A3	2	155	156	156	158	157	166	157	153	155	157	136	148	144	146	144	149
	3	122	135	130	129	126	132	130	133	130	125	124	112	123	127	135	122
	4.8	167	158	169	164	168	161	160	162	152	147	136	150	149	150	142	140
A4	2	160	151	161	143	160	156	152	151	141	148	153	137	146	145	138	147
	6	134	138	132	131	122	123	130	126	126	126	137	120	131	136	133	130
	11	164	157	160	171	148	140	147	150	145	144	153	141	138	143	138	131
A5	2	164	156	163	162	164	164	154	161	146	161	154	158	152	147	155	151
	12	126	135	118	127	138	116	123	120	126	124	121	98	112	119	122	120
	23	165	167	173	166	155	144	158	154	142	148	135	141	143	133	127	136
A6	2	171	165	167	151	157	154	151	159	142	153	163	161	151	151	144	148
	10	134	148	144	170	169	157	160	181	160	154	148	136	152	140	137	139
	19	175	182	198	188	180	166	185	172	153	148	143	142	131	155	147	137
A7	2	157	164	160	155	154	160	160	154	147	161	153	139	142	157	151	147
	13	110	134	124	126	125	124	115	117	100	118	122	125	113	116	112	103
	25	167	167	157	146	160	166	151	156	146	153	158	154	133	139	140	122
A8	2	158	168	154	154	153	158	152	154	134	151	154	153	150	149	145	144
	15	139	140	128	146	146	147	134	142	133	136	130	120	129	127	119	132
	30	172	175	181	182	162	167	161	145	146	132	136	130	138	137	136	130
A9	2	169	165	165	160	159	152	150	165	162	167	164	158	157	151	160	143
	16	98	130	120	127	137	119	120	122	124	127	118	123	125	123	125	125
	32	158	174	157	169	162	158	150	146	146	151	145	139	137	134	141	127

表 6.10-8b 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
A1	2	127	129	130	124	134	127	119	125	114	124	124	111	110	122	121
	4	128	137	115	125	126	124	123	111	121	126	126	124	124	111	119
	8	131	130	128	130	142	133	136	128	120	123	142	119	122	126	122
A2	2	131	132	133	142	140	139	130	123	124	112	115	98	116	112	101
	4	120	118	115	125	123	111	114	119	113	114	115	109	103	111	104
	7	120	122	121	113	125	123	117	120	106	117	115	118	113	106	103
A3	2	147	151	152	137	158	158	151	144	144	137	127	133	124	102	110
	3	123	116	125	122	126	121	119	123	117	124	116	108	104	114	97
	4.8	145	145	138	136	123	128	130	136	126	127	123	106	116	115	114
A4	2	140	130	134	142	132	141	132	112	127	128	122	109	117	113	106
	6	113	133	121	133	116	118	116	116	110	116	110	76	88	108	106
	11	130	123	124	129	123	120	112	117	110	115	115	106	110	101	104
A5	2	151	134	142	144	149	144	147	147	140	137	137	122	126	122	109
	12	118	124	118	123	130	120	117	114	118	99	93	114	102	104	111
	23	137	136	136	133	133	116	125	122	105	120	110	114	107	111	107
A6	2	147	147	139	144	146	147	133	132	133	131	113	111	118	107	98
	10	137	148	145	138	144	139	127	121	124	113	119	109	104	114	112
	19	139	142	137	146	156	154	154	138	137	130	148	135	128	126	117
A7	2	155	137	146	146	161	156	158	154	143	137	133	127	129	122	121
	13	110	103	107	103	108	122	115	108	105	106	106	77	87	96	100
	25	125	114	122	115	122	114	111	101	93	108	106	99	94	99	94
A8	2	144	139	141	134	150	139	133	128	116	120	118	110	98	108	102
	15	131	121	126	126	125	121	127	114	113	123	104	107	102	104	106
	30	125	138	118	139	138	128	128	120	116	117	118	104	100	108	101
A9	2	137	143	146	142	157	148	137	131	141	128	133	120	127	122	117
	16	124	138	127	129	124	120	127	124	126	119	109	111	99	110	107
	32	132	123	127	128	135	128	134	120	123	123	120	109	101	105	102

表 6.10-8c 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)															
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A10	2	157	166	167	158	153	168	152	156	135	151	142	152	144	144	117	142
	15	127	147	144	154	147	150	128	156	136	131	127	136	127	138	131	113
	29	175	172	172	168	159	155	153	147	146	140	135	135	133	139	127	138
A11	2	165	173	160	164	162	158	158	155	148	159	151	146	132	149	148	146
	18	143	131	104	152	147	144	136	140	140	130	122	124	136	126	118	125
	35	167	174	180	184	175	167	160	152	140	137	140	136	135	138	136	127
A12	2	163	150	152	147	145	145	152	143	136	147	152	150	142	150	145	144
	16	128	133	122	139	132	140	131	129	130	117	130	130	130	125	129	131
	32	175	167	159	173	151	151	148	142	128	135	133	142	140	134	140	130
A13	2	159	156	161	154	153	147	163	154	154	148	148	151	151	150	157	149
	17	117	132	119	128	131	120	118	106	119	112	114	106	107	103	110	112
	34	158	172	162	160	154	146	153	152	141	141	132	137	137	147	136	133
A14	2	157	157	161	158	157	165	153	150	157	159	155	147	148	145	154	151
	16	137	137	131	143	152	143	138	136	131	132	142	125	139	138	136	130
	32	176	170	182	189	178	168	170	155	154	146	153	148	152	149	143	147
A15	2	158	157	166	157	158	160	166	160	167	165	160	158	155	158	142	146
	18	142	132	136	143	142	141	130	134	129	133	127	123	126	119	133	127
	36	166	168	161	172	177	161	158	163	160	143	159	158	149	163	131	155
A16	2	159	162	164	156	153	146	145	153	156	149	152	146	147	136	144	138
	16	124	133	122	145	148	151	145	154	144	139	123	135	139	139	139	125
	32	173	172	162	186	169	160	157	155	137	142	134	155	142	147	141	131
A17	2	162	151	152	151	158	158	128	160	156	158	138	156	155	149	148	144
	19	141	137	126	140	131	133	128	134	132	126	116	127	129	127	128	122
	37	169	165	155	159	153	153	135	136	139	137	136	139	130	133	135	132
A18	2	151	158	147	156	153	151	153	151	152	145	144	153	145	134	132	141
	18	126	126	120	125	138	125	115	118	117	107	118	110	111	117	122	137
	36	168	168	164	164	157	141	154	138	135	136	134	135	136	137	141	141

表 6.10-8d 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
A10	2	146	140	144	136	147	136	132	129	132	123	124	125	121	112	107
	15	126	139	133	115	132	124	120	113	109	116	126	105	110	99	119
	29	124	128	124	126	135	119	125	120	106	107	114	104	113	95	108
A11	2	142	142	133	129	140	142	130	128	121	121	119	112	106	89	102
	18	134	131	131	132	131	127	114	117	117	83	110	117	113	106	108
	35	118	126	129	135	127	125	128	117	118	115	118	113	110	112	91
A12	2	140	131	135	141	147	139	129	123	123	110	118	121	109	105	108
	16	131	132	124	122	121	129	110	113	116	110	112	110	104	96	112
	32	139	129	129	133	123	123	108	122	117	108	113	105	105	97	95
A13	2	140	146	141	147	158	148	142	138	134	137	119	129	113	116	122
	17	131	109	130	131	139	131	124	132	119	124	105	107	96	94	107
	34	145	139	137	142	139	131	137	127	116	125	117	111	107	103	95
A14	2	137	141	148	140	149	140	140	129	128	108	123	123	106	111	108
	16	145	143	140	140	137	129	127	128	122	121	122	108	117	115	113
	32	145	148	150	120	143	132	121	132	127	115	131	125	114	113	110
A15	2	151	151	149	147	151	147	137	133	130	126	123	126	120	116	111
	18	144	145	138	144	134	138	137	131	120	129	120	101	99	95	106
	36	149	152	148	140	147	145	132	140	133	132	121	125	114	125	120
A16	2	142	142	136	138	145	139	130	117	125	119	115	103	119	105	104
	16	120	123	125	116	125	123	116	111	113	116	105	107	110	113	105
	32	134	131	123	131	141	136	130	106	122	97	121	115	103	96	104
A17	2	146	146	140	144	150	140	133	114	120	124	117	113	116	111	106
	19	130	136	119	123	123	117	112	95	106	113	111	102	108	101	106
	37	144	130	130	129	129	114	113	118	116	113	110	103	104	100	102
A18	2	143	143	137	142	148	136	135	130	130	121	122	108	114	106	98
	18	118	126	122	134	137	132	129	130	125	120	109	107	105	105	99
	36	124	146	132	146	129	136	134	133	109	128	120	103	113	111	99

表 6.10-8c 工程海域水下噪声环境调查结果一频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级 (单位: dB/1uPa)															
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A19	2	162	156	161	160	157	151	156	139	153	157	145	148	138	145	146	140
	18	136	138	131	134	144	139	127	132	122	120	119	118	107	117	119	105
	35	165	178	168	186	176	162	166	151	140	140	140	136	134	140	134	128
A20	2	157	156	162	151	155	154	157	160	155	152	157	147	151	152	132	143
	19	129	135	135	138	140	135	131	119	128	127	126	120	129	133	129	133
	38	160	154	165	171	149	146	155	151	138	135	143	127	137	138	133	140
A21	2	160	163	160	148	154	143	160	149	139	152	151	147	147	145	144	144
	19	135	139	135	145	135	150	133	144	131	126	124	127	129	116	128	125
	38	170	172	167	183	168	160	154	145	148	139	134	133	131	136	139	129
A22	2	164	161	160	159	155	150	152	154	153	149	151	152	149	152	127	139
	20	134	138	128	128	140	134	123	130	125	124	121	116	124	118	115	127
	40	167	155	164	176	161	150	152	136	143	142	138	129	113	144	137	138
A23	2	155	158	146	148	156	150	144	153	134	141	137	141	141	146	141	145
	22	125	134	131	122	144	121	126	128	116	121	117	131	137	135	136	140
	43	164	168	173	174	162	155	158	146	154	129	131	141	136	144	141	132
A24	2	143	159	159	147	143	145	156	149	142	145	150	126	147	151	145	139
	22	132	136	117	136	136	123	130	110	121	126	130	128	132	132	136	124
	43	171	166	155	173	156	143	149	147	142	151	143	141	139	138	134	143
A25	2	171	155	152	165	154	161	162	162	158	161	146	129	150	149	147	152
	21	135	131	139	126	138	137	132	136	126	125	129	119	127	122	126	121
	42	171	166	165	178	157	153	153	146	147	135	140	134	135	136	133	138

表 6.10-8f 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级

站点 编号	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级（单位：dB/1uPa）														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
A19	2	134	122	129	142	144	132	133	130	126	117	121	110	85	104	104
	18	109	115	124	118	132	114	118	117	117	111	111	110	99	104	108
	35	129	131	124	136	137	133	128	118	123	106	121	107	98	107	99
A20	2	146	150	134	142	160	135	137	124	129	127	124	115	115	116	103
	19	109	133	131	132	134	124	115	121	119	119	111	116	106	104	90
	38	131	128	130	125	127	127	114	126	125	121	106	115	112	92	108
A21	2	143	135	132	139	137	140	130	116	121	115	119	116	103	98	104
	19	127	131	118	123	129	122	120	111	113	111	107	111	100	103	105
	38	131	130	128	132	117	119	130	112	119	106	105	105	100	107	95
A22	2	141	129	135	131	148	136	131	128	110	120	124	112	115	99	99
	20	131	129	117	127	124	113	109	115	118	118	107	104	108	107	109
	40	129	129	128	127	130	110	117	96	118	109	108	114	110	106	100
A23	2	151	135	137	141	155	135	136	120	131	111	114	109	106	91	106
	22	146	127	133	135	135	122	126	100	121	106	118	114	107	108	98
	43	153	134	134	127	135	131	129	128	120	116	120	91	104	103	106
A24	2	142	130	146	139	143	143	131	121	116	120	105	111	116	101	106
	22	134	133	130	117	129	123	119	122	113	109	101	104	105	102	101
	43	134	126	129	121	123	125	113	115	112	111	106	109	107	101	107
A25	2	150	147	145	152	154	141	144	136	123	132	128	111	123	114	107
	21	135	129	121	124	114	122	117	114	114	109	100	111	97	107	103
	42	141	131	133	125	115	121	122	113	106	111	109	100	105	109	97

6.11 电磁辐射现状调查与评价

6.11.1 调查概况

深圳中检联检测有限公司于 2023 年 11 月 27 日~2023 年 11 月 30 日，2024 年 3 月 11 日~2024 年 3 月 14 日在项目场区周边海域共进行了 18 个站位的电磁辐射现状调查。各站位坐标见图 6.11-1，表 6.11-1。

表 6.11-1 电磁辐射站位坐标一览表

样品类别	监测点位置	纬度	经度
电磁辐射 现状监测	a2	N21°54'03.787"	E113°06'25.898"
	a4	N21°50'37.511"	E113°06'13.658"
	a6	N21°45'53.424"	E113°06'32.530"
	a8	N21°40'45.365"	E113°07'16.349"
	a10	N21°36'25.301"	E112°58'21.346"
	a11	N21°36'25.841"	E113°03'31.802"
	a12	N21°36'45.598"	E113°08'40.232"
	a13	N21°36'06.343"	E113°14'47.548"
	a15	N21°30'47.614"	E112°58'25.972"
	a16	N21°30'59.000"	E113°03'29.488"
	a17	N21°30'35.744"	E113°08'39.390"
	a18	N21°29'50.780"	E113°16'32.052"
	a20	N21°25'12.072"	E112°58'30.637"
	a21	N21°25'10.600"	E113°03'31.482"
	a22	N21°22'25.990"	E113°16'09.084"
	a23	N21°20'03.556"	E112°59'53.722"
	a24	N21°19'11.489"	E113°06'23.180"
	a25	N21°19'48.558"	E113°11'19.781"

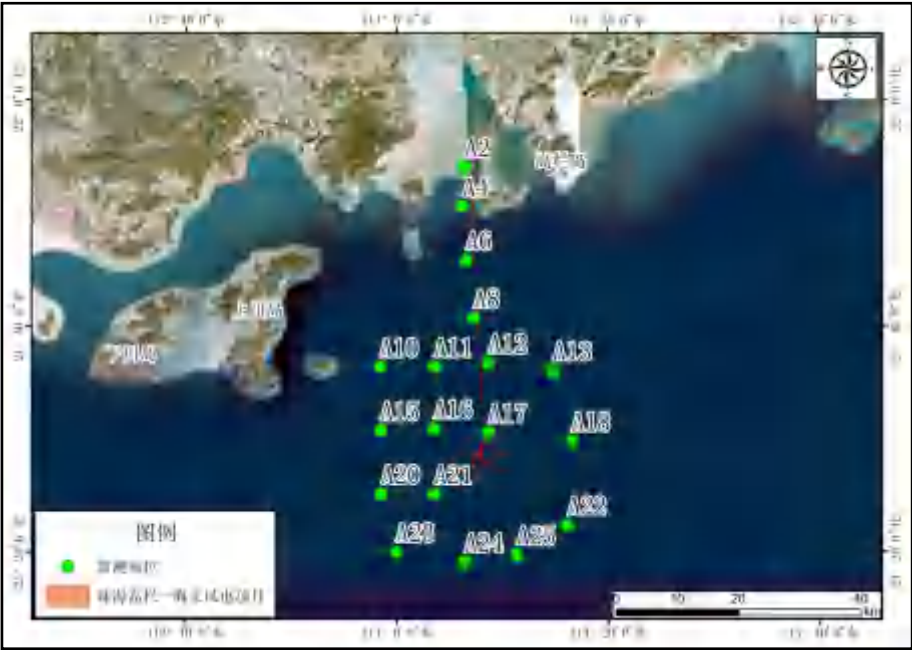


图 6.11-1 电磁辐射站位分布图

6.11.2 监测方法、监测仪器及检出限

电磁辐射环境现状调查监测方法、监测仪器及检出限见表 6.11-2。

表 6.11-2 监测方法、监测仪器及检出限一览表

样品类别	监测项目	监测方法	监测仪器/型号	检出限
电磁辐射 现状监测	工频电场强度	《交流输变电工程电磁环境监 测方法（试行）》HJ 681-201 3	全频段电磁辐射 分析仪/NBm550 工频电磁场探头/ EHP-50F	——
	工频磁场强度			——

注：“——”表示此单元格无内容。

6.11.3 电磁辐射监测结果

根据电磁辐射环境现状监测数据，2023 年 11 月项目周边区域工频电场 RmS 值强度在 0.573V/m~2.430V/m，2024 年 3 月项目周边区域工频电场 RmS 值强度在 0.679V/m~2.82V/m；2023 年 11 月项目周边区域工频磁场 RmS 值强度在 0.0286μT~0.0772μT，2024 年 3 月项目周边区域工频磁场 RmS 值强度在 0.0249μT~0.0651μT。均满足《电磁环境控制限值》GB 8702-2014 表 1 公众曝露控制限值。

表 6.11-3 电磁辐射监测结果表

检测点位置	检测日期	检测项目	N1	N2	N3	N4	N5	RmS 值	《电磁环境控制限值》GB 8702-2014 表 1 公众曝露控制限值
a2	2023.11.29	电场强度（工频电场强度）（V/m）	0.844	0.910	0.962	0.952	1.00	0.935	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0487	0.0423	0.0507	0.0468	0.0437	0.0465	100μT
	2024.03.14	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.65	1.68	1.70	1.69	1.68	1.68	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0322	0.0305	0.0379	0.0317	0.0384	0.0343	100μT
a4	2023.11.29	电场强度（工频电场强度）（V/m）	0.931	0.826	0.939	0.890	0.811	0.881	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0380	0.0302	0.0399	0.0373	0.0376	0.0368	100μT
	2024.03.14	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.22	1.16	1.21	1.15	1.16	1.18	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0341	0.0360	0.0373	0.0363	0.0398	0.0367	100μT
a6	2023.11.28	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.18	1.16	1.12	1.02	1.17	1.13	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0463	0.0364	0.0443	0.0363	0.0379	0.0405	100μT
	2024.03.13	电场强度（工频电场强度）（V/m）	2.81	2.78	2.85	2.78	2.87	2.82	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0260	0.0251	0.0234	0.0260	0.0274	0.0256	100μT
a8	2023.11.28	电场强度（工频电场强度）（V/m）	0.767	0.689	0.712	0.675	0.682	0.706	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0474	0.0468	0.0439	0.0443	0.0460	0.0457	100μT
	2024.03.14	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.88	1.83	1.81	1.85	1.90	1.85	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0345	0.0356	0.0369	0.0394	0.0370	0.0367	100μT
a10	2023.11.28	电场强度（工频电场强度）（V/m）	0.783	0.666	0.658	0.669	0.708	0.698	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0437	0.0400	0.0413	0.0466	0.0411	0.0426	100μT
	2024.03.13	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.74	1.74	1.84	1.79	1.80	1.78	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0505	0.0510	0.0507	0.0446	0.0494	0.0493	100μT
a11	2023.11.28	电场强度（工频电场强度）（V/m）	0.787	0.750	0.826	0.760	0.807	0.786	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0380	0.0398	0.0426	0.0453	0.0445	0.0421	100μT
	2024.03.14	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.58	1.58	1.52	1.54	1.57	1.56	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0430	0.0441	0.0478	0.0482	0.0453	0.0457	100μT
a12	2023.11.30	电场强度（工频电场强度）（V/m）	0.861	0.888	0.822	0.979	0.988	0.910	4000V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（μT）	0.0372	0.0410	0.0345	0.0374	0.0393	0.0379	100μT
	2024.	电场强度（工频电场强度）（V/m）	1.63	1.68	1.63	1.58	1.54	1.61	4000V/m

检测点位置	检测日期	检测项目	N1	N2	N3	N4	N5	RmS 值	《电磁环境控制限值》GB 8702-2014 表 1 公众暴露控制限值
	03.13	磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0305	0.0363	0.0327	0.0311	0.0348	0.0332	100 μT
a13	2023.11.30	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.05	1.19	1.11	1.21	1.06	1.12	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0541	0.0531	0.0490	0.0481	0.0496	0.0508	100 μT
	2024.03.11	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.767	0.721	0.742	0.720	0.746	0.739	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0260	0.0233	0.0241	0.0252	0.0259	0.0249	100 μT
a15	2023.11.28	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.951	0.806	0.958	0.883	0.990	0.920	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0448	0.0573	0.0452	0.0439	0.0552	0.0496	100 μT
	2024.03.13	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.96	2.10	2.06	2.04	1.95	2.02	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0262	0.0256	0.0228	0.0237	0.0266	0.0250	100 μT
a16	2023.11.28	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.72	1.52	1.79	1.58	1.50	1.62	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0723	0.0788	0.0866	0.0759	0.0714	0.0772	100 μT
	2024.03.12	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.27	1.36	1.25	1.30	1.28	1.29	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0369	0.0330	0.0357	0.0347	0.0325	0.0346	100 μT
a17	2023.11.30	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	2.85	2.09	2.63	2.34	2.15	2.43	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0458	0.0482	0.0416	0.0423	0.0469	0.0450	100 μT
	2024.03.13	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.27	1.22	1.27	1.29	1.23	1.26	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0361	0.0329	0.0301	0.0352	0.0320	0.0333	100 μT
a18	2023.11.30	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.42	1.53	1.40	1.58	1.49	1.48	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0497	0.0504	0.0613	0.0456	0.0498	0.0516	100 μT
	2024.03.11	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.09	1.11	1.04	1.11	1.17	1.10	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0654	0.0595	0.0624	0.0637	0.0643	0.0631	100 μT
a20	2023.11.27	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	2.41	2.44	2.50	2.37	2.45	2.43	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0442	0.0353	0.0393	0.0497	0.0410	0.0422	100 μT
	2024.03.12	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.956	0.964	0.974	0.892	0.879	0.934	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0345	0.0387	0.0313	0.0336	0.0381	0.0354	100 μT
a21	2023.11.27	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.694	0.656	0.659	0.632	0.655	0.660	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0293	0.0279	0.0312	0.0298	0.0241	0.0286	100 μT
	2024.	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.60	1.66	1.60	1.61	1.59	1.61	4000 V/m

检测点位置	检测日期	检测项目	N1	N2	N3	N4	N5	RmS 值	《电磁环境控制限值》GB 8702-2014 表 1 公众曝露控制限值
	03.12	磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0426	0.0454	0.0481	0.0474	0.0486	0.0465	100 μT
a22	2023.11.27	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	2.11	2.08	1.87	1.90	1.94	1.98	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0282	0.0330	0.0310	0.0360	0.0264	0.0311	100 μT
	2024.03.12	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	2.01	2.40	2.21	2.44	2.39	2.30	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0621	0.0640	0.0668	0.0683	0.0642	0.0651	100 μT
a23	2023.11.27	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.592	0.557	0.533	0.576	0.605	0.573	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0316	0.0348	0.0327	0.0330	0.0305	0.0326	100 μT
	2024.03.12	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	1.03	1.11	1.03	1.18	1.17	1.10	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0469	0.0444	0.0408	0.0400	0.0430	0.0431	100 μT
a24	2023.11.27	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.631	0.683	0.668	0.697	0.603	0.657	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0318	0.0258	0.0262	0.0299	0.0301	0.0288	100 μT
	2024.03.12	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.657	0.689	0.680	0.681	0.686	0.679	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0317	0.0321	0.0326	0.0314	0.0335	0.0323	100 μT
a25	2023.11.27	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.820	0.784	0.682	0.652	0.744	0.739	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0276	0.0365	0.0270	0.0293	0.0353	0.0314	100 μT
	2024.03.12	电场强度（工频电场强度）（ V/m ）	0.852	0.839	0.847	0.882	0.842	0.852	4000 V/m
		磁感应强度（工频磁场强度）（ μT ）	0.0293	0.0270	0.0289	0.0276	0.0310	0.0288	100 μT

注：1、以上所检点位：主要频率为 50.0Hz；
2、“RmS 值”为方均根值。

6.12 环境空气现状调查与评价

根据《2024 年珠海市环境质量状况》（2025 年 6 月，珠海市生态环境局），2024 年珠海市环境空气质量结果见下表 6.12-1。

表 6.12-1 滨海新区 2024 年环境空气主要污染物浓度表

污染物	评价指标	现状浓度	标准值	占标率（%）	达标情况
SO ₂ （μg/m ³ ）	年平均质量浓度	6	60	11.67%	达标
NO ₂ （μg/m ³ ）		18	40	45%	达标
PM _{2.5} （μg/m ³ ）		19	35	54.29%	达标
PM ₁₀ （μg/m ³ ）		33	70	47.14%	达标
CO（mg/m ³ ）	24h 平均质量浓度第 95 百分位数	0.7	4	17.50%	达标
O ₃ （μg/m ³ ）	8h 平均质量浓度第 90 百分位数	146	160	91.25%	达标

由上表可知，2024 年珠海市环境空气中 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀、O₃ 浓度分别为 6μg/m³、18μg/m³、19μg/m³、33μg/m³、146μg/m³，CO 浓度为 0.7mg/m³。珠海市环境空气质量六项污染物浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准要求，项目区域为达标区域。

7 环境影响预测与评价

7.1 水动力环境影响评价

本项目风电场所在海域水深较大，本节依据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），采用 sigma 坐标系的三维潮流动力方程模拟工程海区的海流场，在此基础上预测风电机组对海域水文动力环境及海底电缆埋设引起的悬浮泥沙对海域水质环境的影响。

7.1.1 水文动力环境数学模型

本项目风电场区水深较大，水动力要素垂向变化明显，为了较准确地模拟水动力场、浓度场的空间结构，潮流计算采用三维数学模型，其控制方程采用基于 Bousinesq 假定和静压假定的三维不可压缩、雷诺平均的 Navier-Stock 方程。为了得到不同水深的高分辨率结果，数学模型平面采用笛卡尔坐标系，垂向采用 σ 坐标系。潮流场数学模型控制方程如下：

（1）模型控制方程

1) 连续性方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0$$

2) 动量方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial \sigma} = -\rho\alpha - g\frac{\partial \eta}{\partial x} + hF_x + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{\mu}{h} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial \sigma} = -\rho\beta - g\frac{\partial \eta}{\partial y} + hF_y + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{\mu}{h} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right)$$

$$hF_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(2hA \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hA \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right)$$

$$hF_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2hA \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

式中， x 、 y 、 σ 为平面笛卡尔坐标系、垂向 σ 坐标系的三个分量； η 为自由水面高程； h 为总水深， $h = \eta + d$ ， d 为静水深； u 、 v 、 w 为流速在 x 、 y 、 σ 方向的分量； f 为科氏力系数参数； A 为水平涡粘系数，采用 Smagorinsky 公式

$$A = \frac{1}{2} C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

进行计算，式中，C 取值 0.25； ν_t 为垂向涡粘系数，由求解 $k-\varepsilon$ 湍流模型求得。

(2) 边界条件

在自由水面和底床的边界条件为：

在自由水面 $\sigma=1$

$$\omega = 0, \quad \left(\frac{\partial \omega}{\partial \sigma} - \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{h}{\rho_0 h_0} (\tau_{sx} - \tau_{sy})$$

式中， τ_{sx}, τ_{sy} 分别为风应力的在 x 、 y 方向的分量；

在底床 $\sigma=0$

$$\omega = 0, \quad \left(\frac{\partial \omega}{\partial \sigma} - \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{h}{\rho_0 h_0} (\tau_{sx} - \tau_{sy})$$

在固壁边界上给定滑移边界条件，即：

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0, \quad \text{grad} \Delta T \cdot \vec{n} = 0$$

式中 $\vec{V}$ 为流速矢量， $\vec{n}$ 为边界法向单位矢量。

在开边界上给定潮位过程 $\eta = \eta_0(t)$ ，开边界的潮位过程由南海潮位预报模型提供。

(3) 计算方法

模型采用非结构网格有限体积方法求解，计算中对水平方向跨越控制体边界的对流通量采用基于近似黎曼解算子（Roe's 格式）进行估算，对垂直方向跨越控制体边界的对流通量采用一阶迎风格式或二中心差分格式计算。所用方法具有物理概念清晰，严格满足物理守恒律，便于模拟复杂边界等优点。

模型的时间差分格式采用显式迎风格式。模型中使用了动态时间步长，依据网格大小在保证模型收敛的条件（ $CFL < 1$ ）下自动调整。

$$\Delta t = \min \left(\sqrt{\Delta x} + \sqrt{\Delta y} \right) \left(\frac{1}{\Delta x} + \frac{1}{\Delta y} \right) \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

式中 Δt 为时间步长， Δx 和 Δy 分别为每个单元 x 和 y 方向上的特征长度比例。

(4) 模型范围与计算网格

考虑到项目所在海域受岛屿、浅海地形等的影响，采用大、小二重嵌套模型来模拟该海域的潮流场，大模型东边界取在汕尾遮浪角（E115°33.68′，N22°39.25′）与（E115°21.82′，N15°16.02′）一线，南边界取在（E108°52.21′，N15°17.93′）与（E115°21.82′，N15°16.02′）一线。大模型计算域东至红海湾，西至北部湾，南至中沙群岛，小模型东边界取在汕尾遮浪角（E115°33.68′，N22°39.25′）与（E115°29.86′，N20°28.13′）一线，西边界取在阳江海陵岛（E111°51.84′，N20°28.13′）与（E111°51.51′，N20°31.60′）一线，南边界取在（E111°51.51′，N20°31.60′）与（E115°29.86′，N20°28.13′）一线，涵盖珠海市、江门市海域及阳江市、汕尾市部分海域，大、小模型截取范围见图 7.1-1。

模型采用三角形网格对计算区域进行离散，大模型网格尺度约 1~10km，小模型网格尺度约 50~2000m，风电场及送出电缆附近局部海域的网格进行加密，加密网格尺度约 50m，模型计算网格见图 7.1-2。模型垂向采用 sigma 坐标，分为 5 层，层次为 0~0.2H、0.2H~0.4H、0.4H~0.6H、0.6H~0.8H、0.8~1.0H，其中最底层作为悬沙与海床交换的边界层。

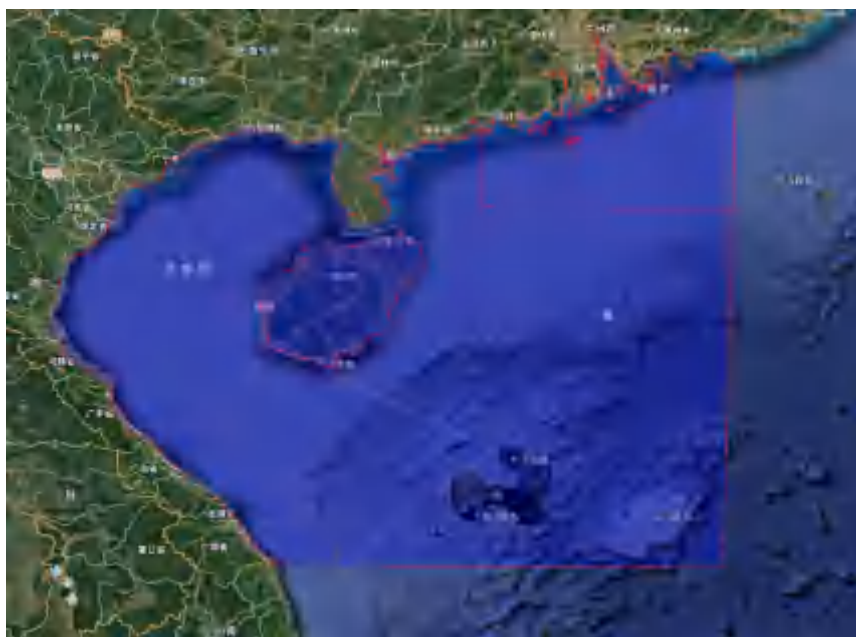


图 7.1-1 大、小模型截取范围示意图

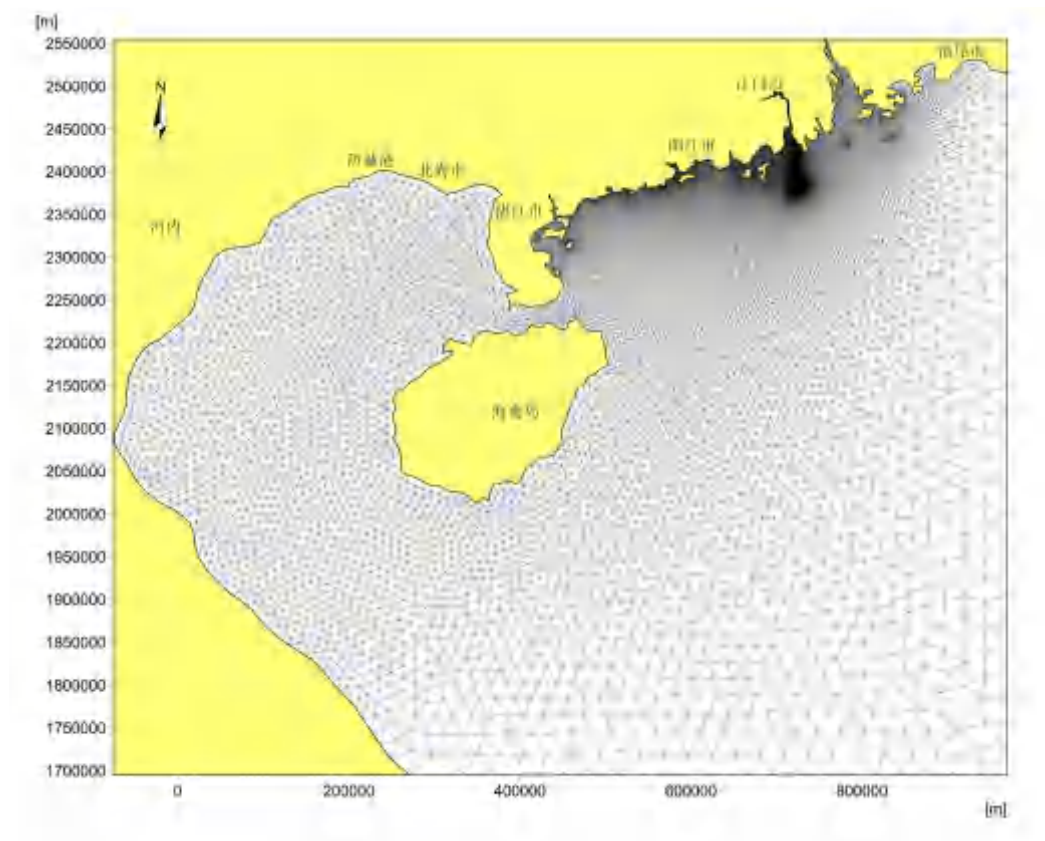


图 7.1-2a 计算网格示意图

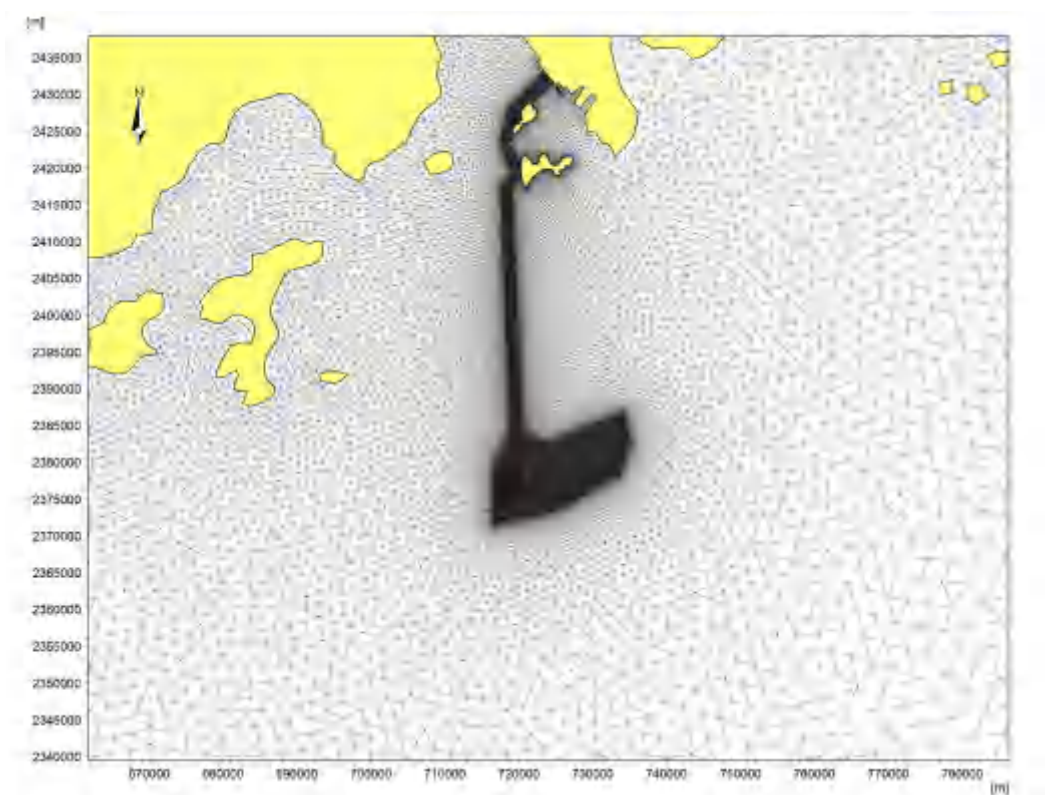


图 7.1-2b 计算网格示意图（风电场附近）

(5) 采用的地形资料及坐标系、高程系

水深地形资料：水深资料为近岸海图水深与 ETOP1 全球地形数据库水深资料融合，其中小模型水深，近岸海区则由中国人民解放军海军司令部航海保证部最新版海图资料读取（15570 黄程山至大放鸡，1: 120000，2012 年，15700 海陵水道至抱尾角，1: 250000，2013 年），风电场区采用本项目可研阶段测量的 1: 2000 水深图。工程海区水下地形见 7.1-3。

模型平面坐标系采用国家 2000 大地坐标系（3°带高斯投影，中央经度 111°），高程采用国家 85 高程基准。

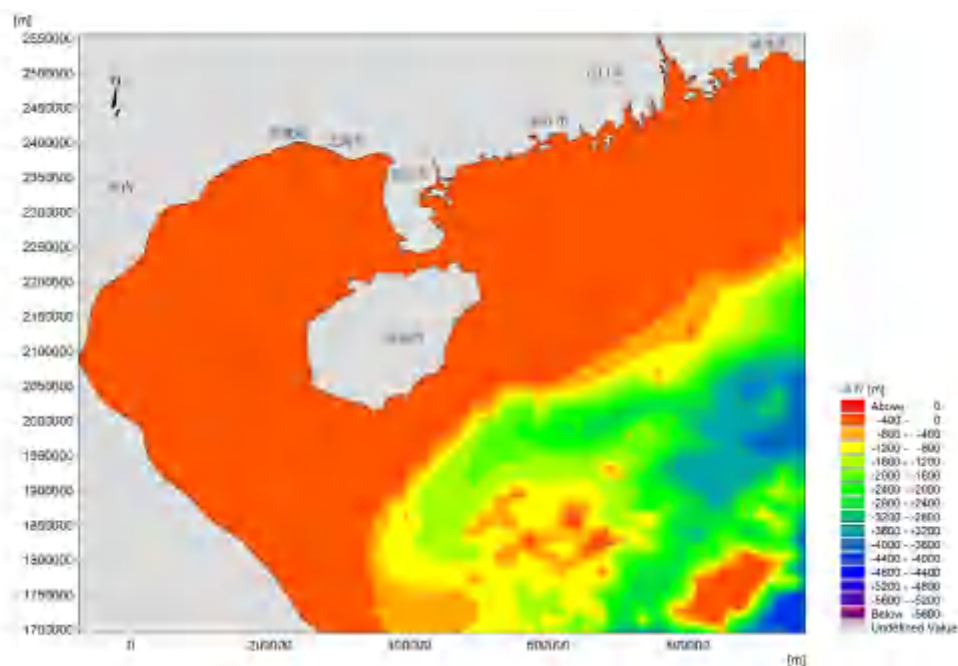


图 7.1-3a 大模型水下地形（国家 85 高程基面）

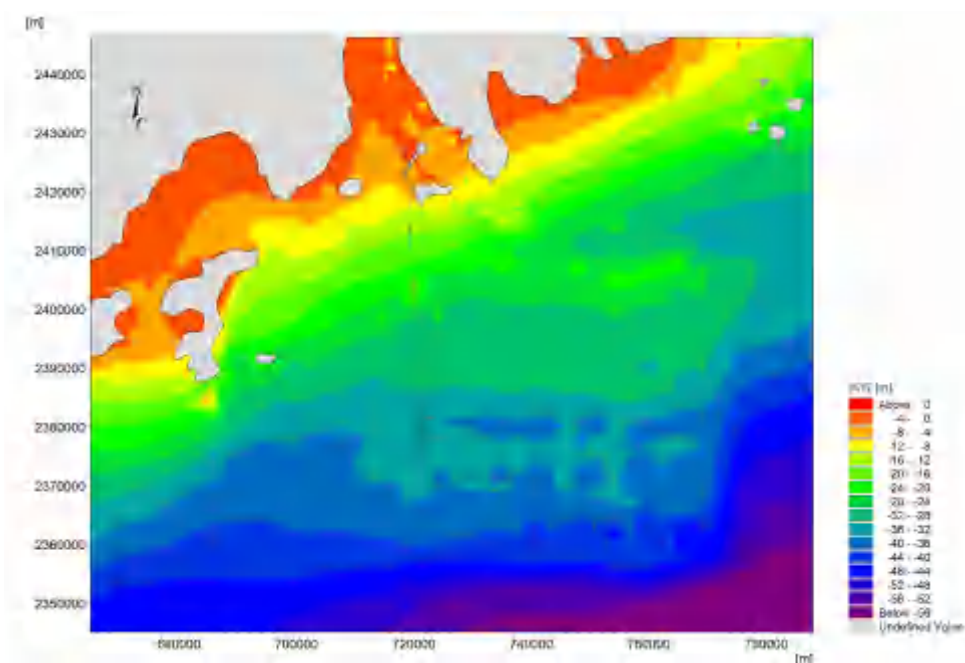


图 7.1-3b 工程附近海域水下地形（国家 85 高程基面）

(6) 边界条件及计算步长

边界条件：大模型共设 2 个外海潮位开边界，采用 DHI 丹麦水利研究所的全球潮汐模型提供的潮位边界。小模型共设 2 个潮位开边界，由大模型计算结果提供。

工程海域潮流受广东沿岸季风环流影响明显，计算中考虑风对潮流的影响，风况资料取自欧洲中期天气预报中心（ECMWF）的 ERA5 再分析风场。

计算步长根据稳定性要求动态调整，取值在 0.1s~5.0s 之间。

(7) 径流输入边界

本项目送出电缆位于黄茅海河口，黄茅海上边界崖门、虎跳门的边界条件由珠江三角洲网河区模型（模型范围见图 7.1-4）提供，该模型的上游河流边界控制流量取自广东省水利厅等单位 2011 年编制的《广东省珠江三角洲流域综合规划修编报告》的设计年径流资料，其中冬季选用 10~3 月的平均流量、夏季选用 4~9 月的平均流量，详见下表。

表 7.1-1 各站径流年内分配表

站名	单位	径流量 (10 ⁸ m ³)												多年平均 (10 ⁸ m ³)	1~3月 (10 ⁸ m ³)	4~9月 (10 ⁸ m ³)	10~12月 (10 ⁸ m ³)
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月				
崖门	流量	2306	2346	3084	3706	10392	14466	14342	12340	3614	5932	3137	2949	1212	30862	4441	3121
	占全年%	2.61	2.66	3.55	4.28	11.99	16.71	16.56	14.01	4.22	6.92	3.63	3.45	1.45	77.8	10.5	0.7
虎跳门	流量	269	280	471	4120	2233	3677	3605	2840	1708	722	515	283	1489	1514	797	423
	占全年%	1.32	1.43	2.26	19.41	10.56	17.71	17.31	13.99	8.23	3.47	2.49	1.39	7.38	7.56	3.7	1.98
崖门	流量	29.6	31.6	35.5	29.6	42.5	131.2	49.5	34.8	76.9	46.1	34.2	11.0	140.9	92.5	98.1	21.2
	占全年%	4	4.26	5.15	4.04	11.15	17.71	6.27	4.48	10.36	6.22	4.66	1.61	19.9	11.4	12.4	2.8
虎跳门	流量	2.5	3.2	4.5	10.1	19.0	25.8	17.2	14.5	9.5	3.3	4.0	3.0	22.3	99.3	107	13.9
	占全年%	1.5	2.58	3.0	8.27	15.35	14.51	14.03	11.83	5.99	4.49	5.3	2.45	11.8	81.2	82	11.8
崖门	流量	7050	7084	7641	4976	8301	14271	15415	11752	3610	4953	1671	1786	6891	30815	3754	2565
	占全年%	2.45	2.53	2.69	1.76	3.005	17.56	15.86	11.81	10.41	5.99	1.44	2.59	11.8	79.3	9.3	5.15
虎跳门	流量	434	603	1038	1890	2646	3674	1025	1480	1069	681	541	403	1319	2013	1482	621
	占全年%	2.74	3.81	6.25	12.34	16.74	19.45	11.74	9.4	6.76	4.37	3.46	2.64	10.0	15.4	10.9	4.85
崖门	流量	10.7	10.9	16.3	19	116.2	142.7	114.8	129.8	121.6	57.3	123	15.6	194	184.1	75.1	144
	占全年%	1.11	1.21	1.70	2.0	14.25	15.84	14.09	15.92	14.43	6.02	1.33	0.16	2.03	19.0	8.5	1.64
虎跳门	流量	1.68	2.13	1.62	1.71	2.58	3.47	4.8	6.21	5.33	3.13	2.09	1.37	1.55	34.1	5.4	1.1
	占全年%	0.74	0.96	0.68	0.01	0.46	0.77	1.67	1.84	1.19	0.63	0.94	0.61	0.03	76.1	11.7	3.49

计算中先由珠江三角洲网河区模型计算出崖门、虎跳门的流量过程，提取作为本项目数模的黄茅海上边界崖门、虎跳门的边界条件，因此本次数模是考虑上游径流入汇影响的。

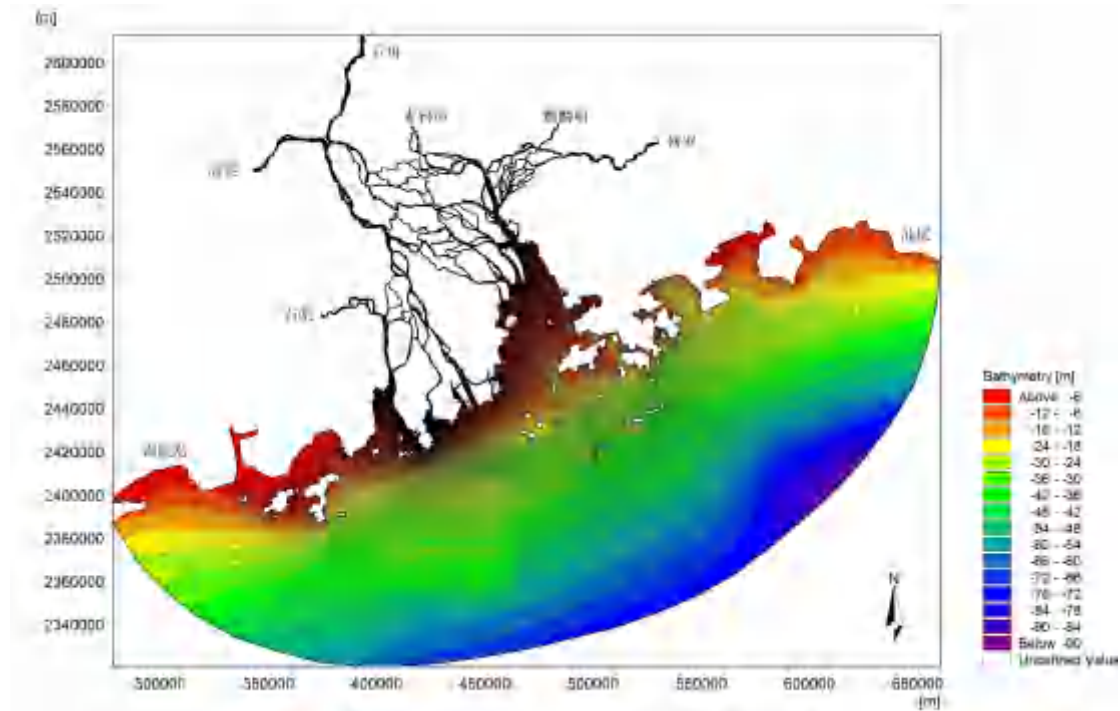


图 7.1-4 珠江三角洲模型范围与网格示意图

(8) 风电桩基的概化处理方法

本项目对工程海域流场的影响主要体现在风机及海上风机桩基对水流的影响，海水中的桩基改变了工程水域局部的水下地形，但由于桩基直径较小（直径约 3.5 m），且结构复杂，定性来讲，工程建设对水文动力的影响范围不会太大。

在研究桩基对海域的水流影响的数值计算中，由于桩基结构复杂，桩基直径较小，如何在大范围流场计算过程中考虑极小尺度桩基的影响一直是水动力数值模拟中的难点，目前对桩基的模拟主要采用两种模式：1）直接模拟法和 2）局部阻力修正法。

直接模拟法首先概化所研究的众多桩基，采用加密网格将每个桩体均作为陆域处理，然而实际工程中桩径较小，且桩形复杂，直接将桩体作为陆域处理会带来一定的概化误差，且会造成网格数量庞大，计算耗时过久的缺点。

局部阻力修正法对桩群所在网格的糙率（或切应力）进行修正并相应抬高网格高程，将桩体作为过水区域处理，这种方法不必描述桩体外形，可以加大计算网格尺度、缩短计算时间，现有的处理方法主要有附加糙率法和附加阻力法等。

本次计算采用附加阻力法。淹没在水流中的物体所受到的水流作用力，计算公式如下：

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho A u^2$$

式中， C_D 为绕流阻力系数，与桩柱形状、相对水深等因素有关，其量值在 0.2~2.0 之间，本次计算采纳前人的研究结果（邓绍云，2007），取为 1.5。 u 为桩基周围的水流流速， A 为桩基在垂直于来流方向的投影面积， ρ 为海水的密度。

（9）模拟验证

根据本项目的水文观测资料，水动力模型的验证时段选取为 2023 年 12 月 28 日~29 日（大潮期）。潮位、潮流验证站位分布见图 7.1-5。

实测与模拟潮位过程曲线如图 7.1-6。由潮位验证图可见，潮位模拟误差相对较小，误差主要出现在低高潮与高低潮之间。各站潮位模拟绝对平均误差，0.06~0.12m 之间。



图 7.1-5 潮位与海流验证点位置图

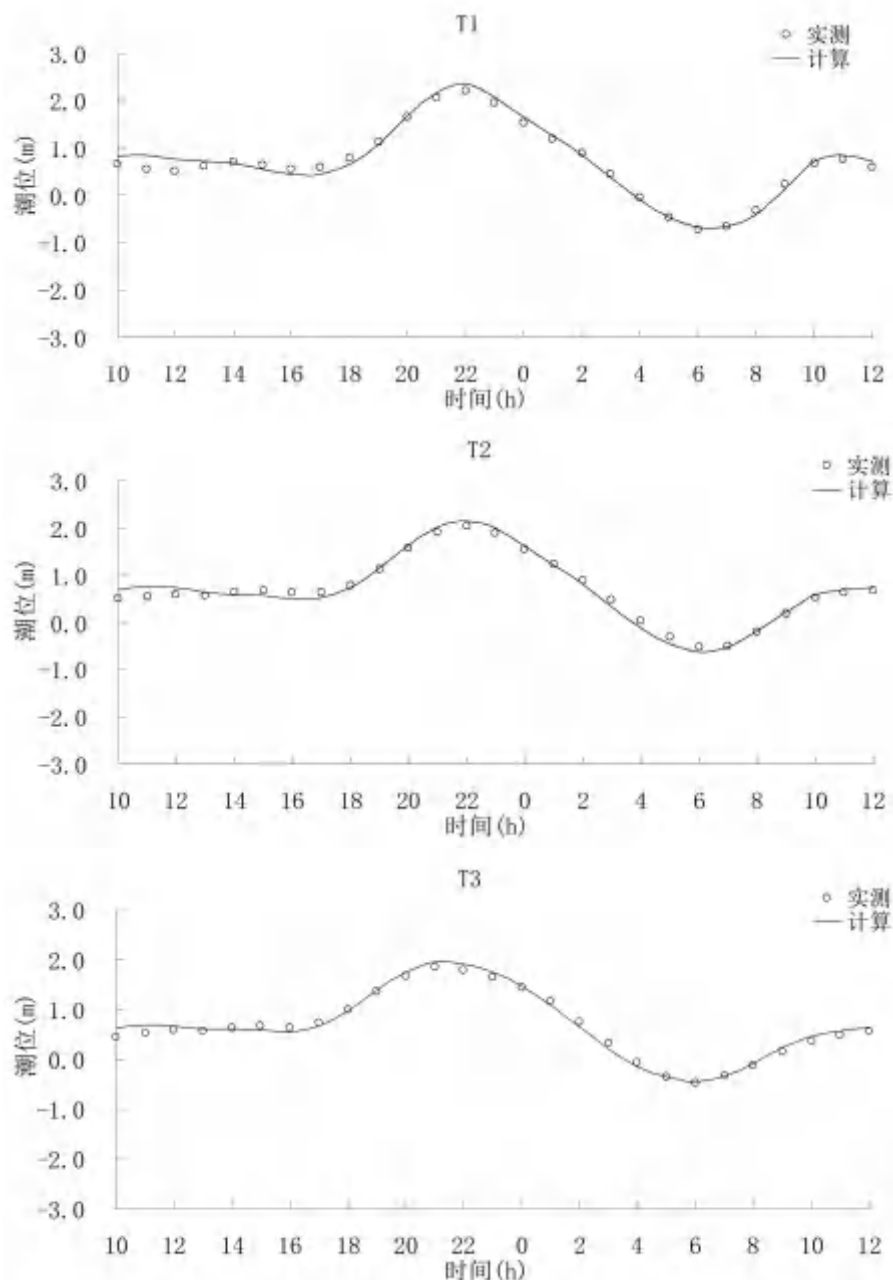


图 7.1-6 T1、T2、T3 站实测与模拟潮位过程曲线

2023 年 12 月 28 日~29 日大潮的潮流验证结果见图 7.1-7。以上验证图片中圆点为实测值，线为计算值。

从流速量级与流向变化趋势而言，绝大多数海流模拟结果均与实测相符，仅个别站点表层流速实测值与模拟值相差略大，不排除观测资料质量或局地因素影响。总体而言，模拟流场可反映本海域实测海流的特征。

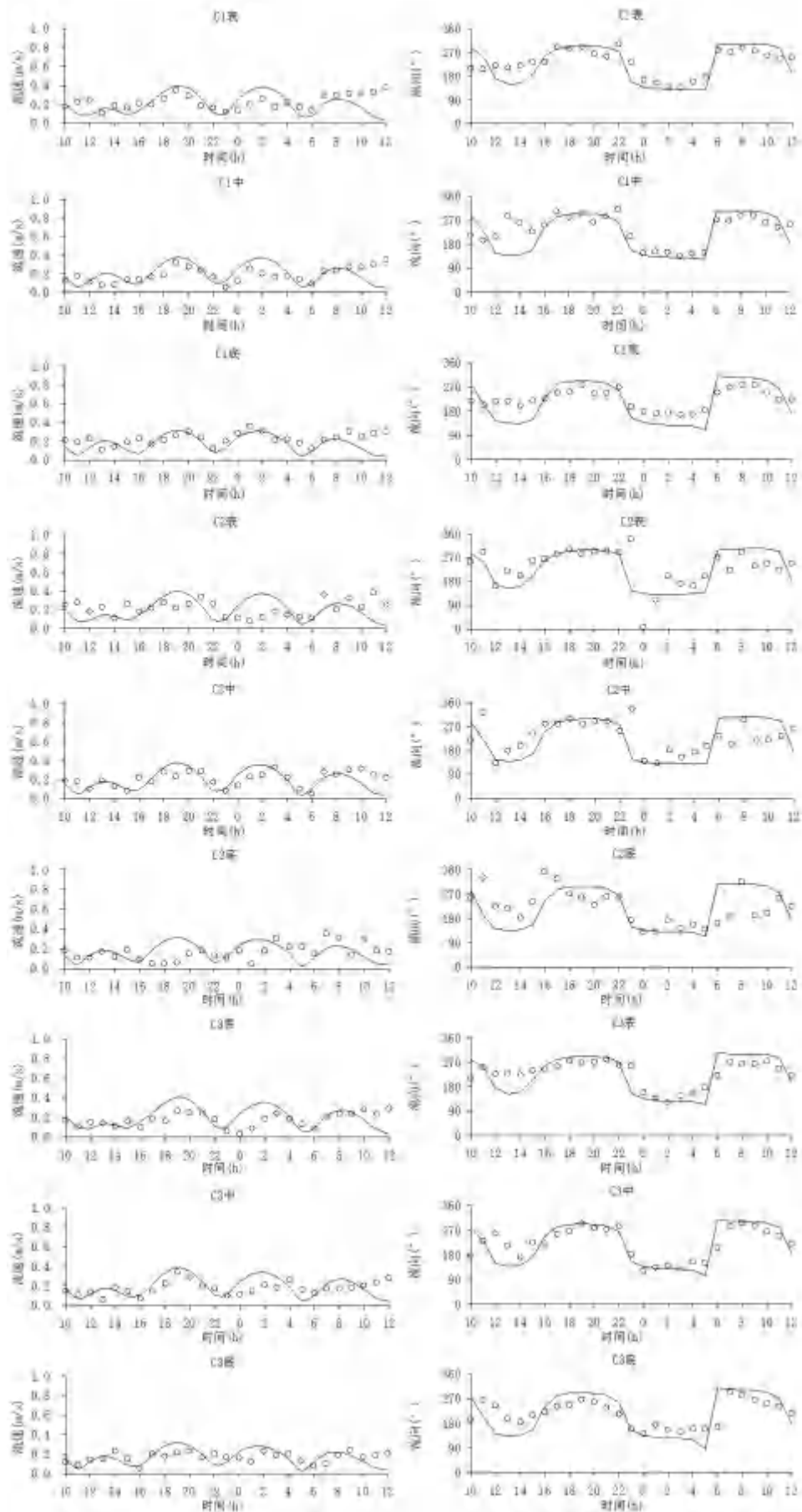


图 7.1-7a 大潮流速流向模拟与实测比较

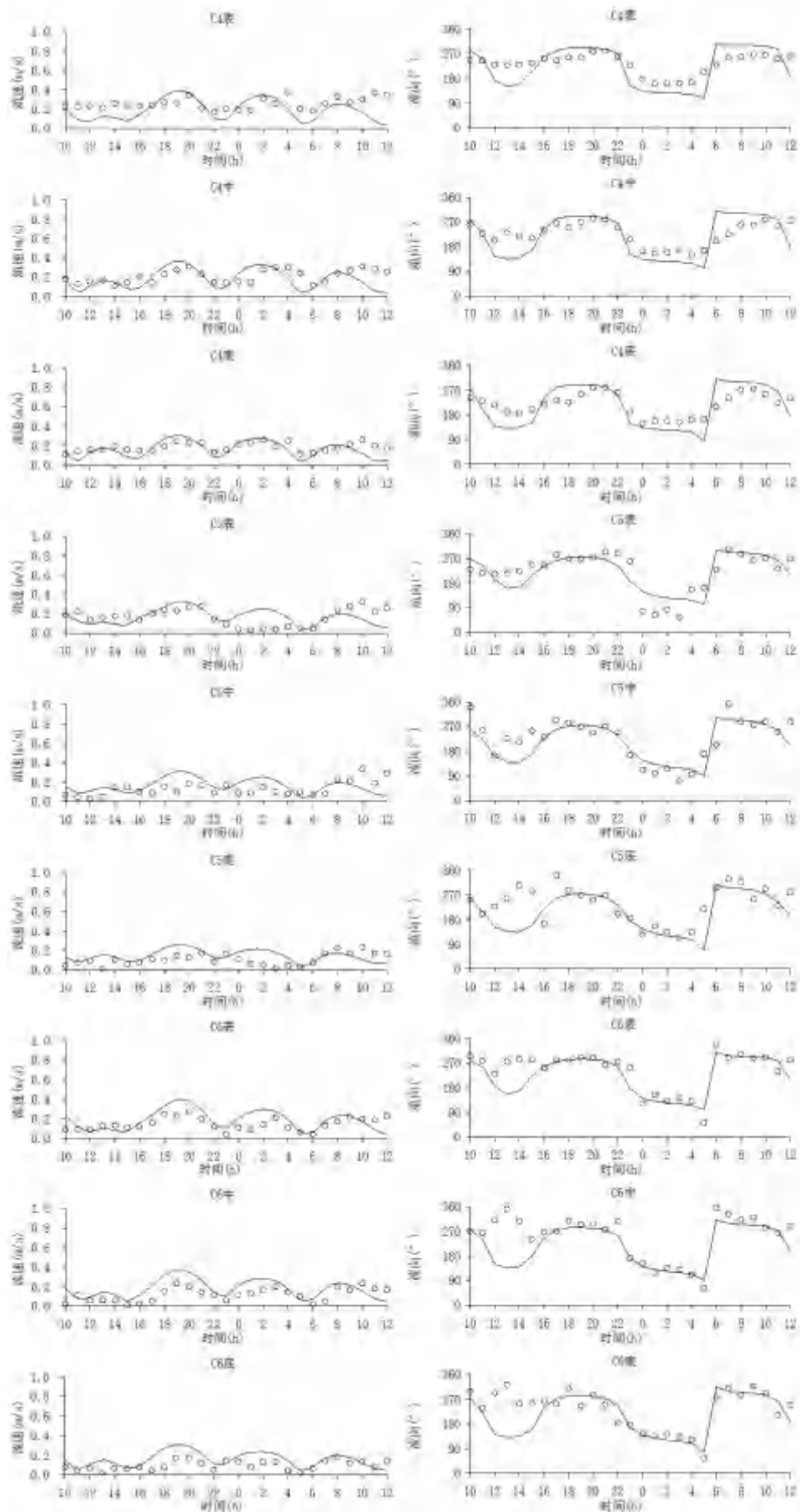


图 7.1-7b 大潮流速流向模拟与实测比较

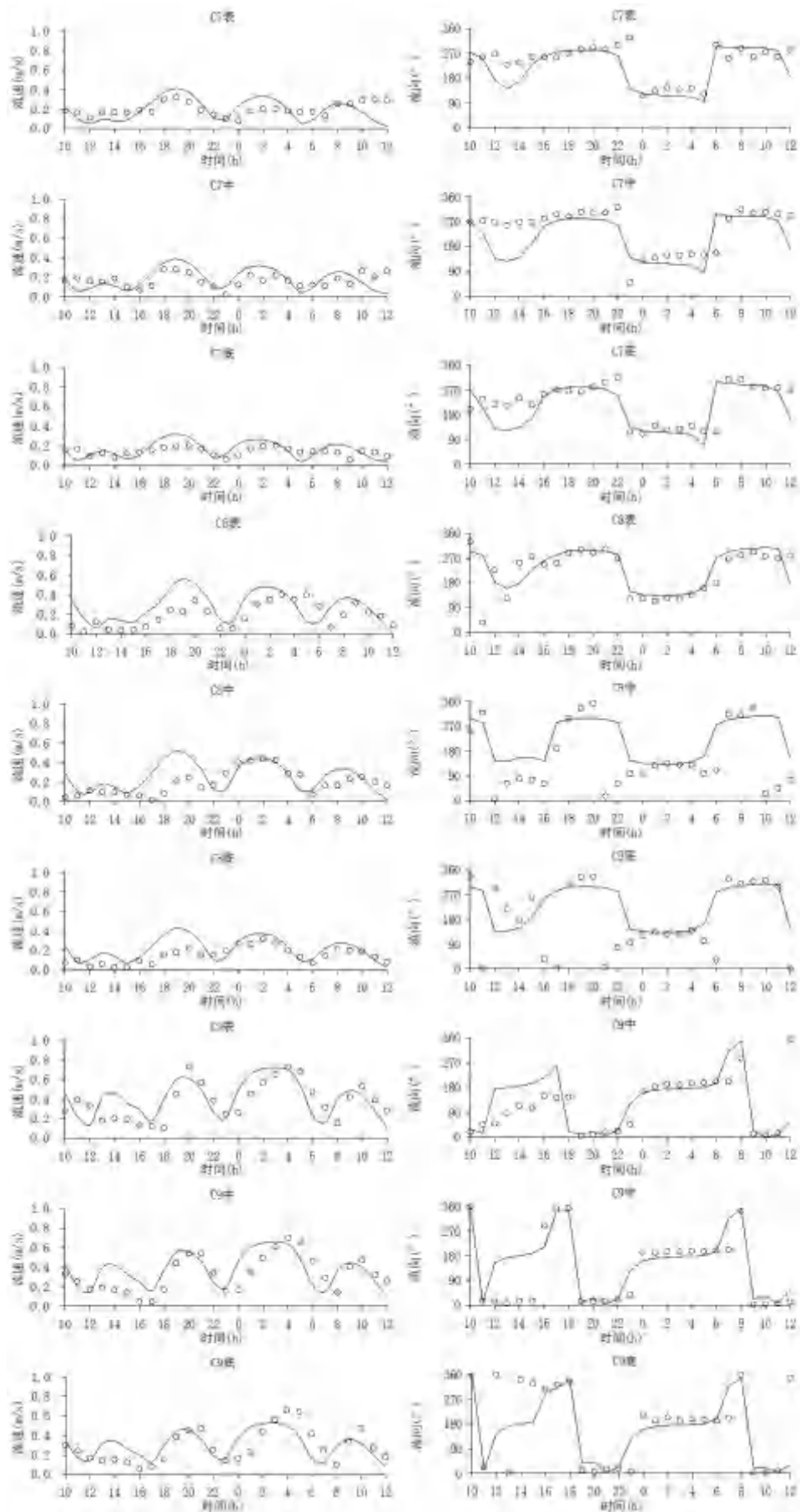


图 7.1-7c 大潮流速流向模拟与实测比较

表 7.1-2 潮位验证误差统计表

测站	类型	大潮高潮时刻			大潮低潮时刻		
		实测	计算	差值	实测	计算	差值
T1	潮位(m)	2.22	2.35	0.13	-0.72	-0.69	0.03
T2	潮位(m)	2.04	2.16	0.12	-0.53	-0.63	-0.10
T3	潮位(m)	1.8	1.92	0.12	-0.47	-0.45	0.02
平均误差				0.13			0.03

表 7.1-3 潮流验证误差

测站	位置	涨潮期							落潮期							
		流速（m/s）				流向（度）			流速（m/s）				流向（度）			
		实测	计算	差值	差率	实测	计算	差值	实测	计算	差值	差率	实测	计算	差值	
C1	表层	0.24	0.29	0.04	18%	281	288	7	0.19	0.23	0.04	20%	156	132	-24	
	中层	0.22	0.26	0.04	18%	290	286	-4	0.17	0.19	0.02	10%	146	130	-16	
	底层	0.22	0.22	0.01	3%	257	283	27	0.26	0.22	-0.04	15%	174	135	-39	
C2	表层	0.26	0.28	0.02	7%	291	294	3	0.13	0.16	0.03	27%	142	134	-9	
	中层	0.24	0.26	0.02	9%	282	291	10	0.21	0.25	0.03	16%	164	132	-31	
	底层	0.10	0.12	0.02	16%	267	289	22	0.19	0.21	0.01	7%	145	128	-17	
C3	表层	0.22	0.27	0.06	26%	269	286	17	0.14	0.16	0.02	12%	149	127	-22	
	中层	0.23	0.27	0.04	19%	275	284	10	0.18	0.24	0.06	33%	138	125	-13	
	底层	0.20	0.23	0.03	14%	244	272	28	0.17	0.20	0.03	16%	157	133	-24	
C4	表层	0.25	0.28	0.03	13%	262	286	24	0.25	0.25	-0.01	2%	171	155	-16	
	中层	0.22	0.26	0.04	16%	265	284	19	0.24	0.24	0.00	1%	160	132	-28	
	底层	0.20	0.22	0.02	12%	256	281	25	0.21	0.20	-0.01	4%	156	118	-38	
C5	表层	0.23	0.26	0.03	13%	279	267	-13	0.05	0.05	0.01	14%	99	125	26	
	中层	0.13	0.17	0.04	27%	269	264	-4	0.10	0.12	0.02	23%	110	121	11	
	底层	0.12	0.14	0.02	20%	270	261	-9	0.05	0.04	-0.01	30%	146	114	-32	
C6	表层	0.21	0.26	0.05	26%	280	277	-2	0.12	0.14	0.02	18%	121	122	1	
	中层	0.15	0.19	0.04	27%	292	276	-17	0.14	0.16	0.02	15%	119	120	1	
	底层	0.11	0.11	0.01	7%	254	273	19	0.09	0.10	0.02	17%	122	115	-6	
C7	表层	0.23	0.30	0.07	29%	280	276	-4	0.17	0.21	0.05	27%	133	113	-19	
	中层	0.20	0.24	0.04	22%	302	275	-27	0.17	0.21	0.05	30%	143	111	-32	
	底层	0.17	0.20	0.04	23%	282	272	-10	0.16	0.19	0.03	21%	125	107	-19	
C8	表层	0.21	0.25	0.04	22%	283	293	9	0.33	0.36	0.04	12%	130	141	11	
	中层	0.14	0.18	0.04	30%	209	223	15	0.37	0.34	-0.03	9%	119	140	21	
	底层	0.15	0.18	0.03	20%	176	192	16	0.24	0.28	0.04	16%	124	139	15	
C9	表层	0.39	0.42	0.03	8%	56	55	-1	0.56	0.64	0.08	15%	187	174	-13	
	中层	0.35	0.39	0.04	13%	127	125	-2	0.50	0.59	0.09	18%	194	174	-20	
	底层	0.30	0.31	0.02	5%	118	128	10	0.45	0.47	0.02	4%	199	174	-25	
平均误差				0.03	17%			6			0.02	16%			-13	

7.1.2 工程前水动力环境

图 7.1-8 是工程海域大潮表层涨急、落急流场。工程海域表层涨急潮流为 NW~NNW 方向，表层落急潮流为 SE~ESE 方向，落急流速大于涨急流速，海岸附近涨急潮流受岸线约束，沿岸线流动；图 7.1-9 是本项目附近海域大潮表、中、底层的涨急、落急流场，由图可见，风电场及其附近海域的表、中、底层潮流流向存在一定差异，但总体偏转角度不大，垂直方向上流向变化不明显；总体而言，风电场及其附近海域涨潮流速与落潮流速相差不大，涨急时刻风电场表层流速为 0.37m/s 左右，落急时刻风电场表层流速为 0.36m/s 左右，流速随水深增大而减少，呈现表层流速>中层流速>底层流速的规律。

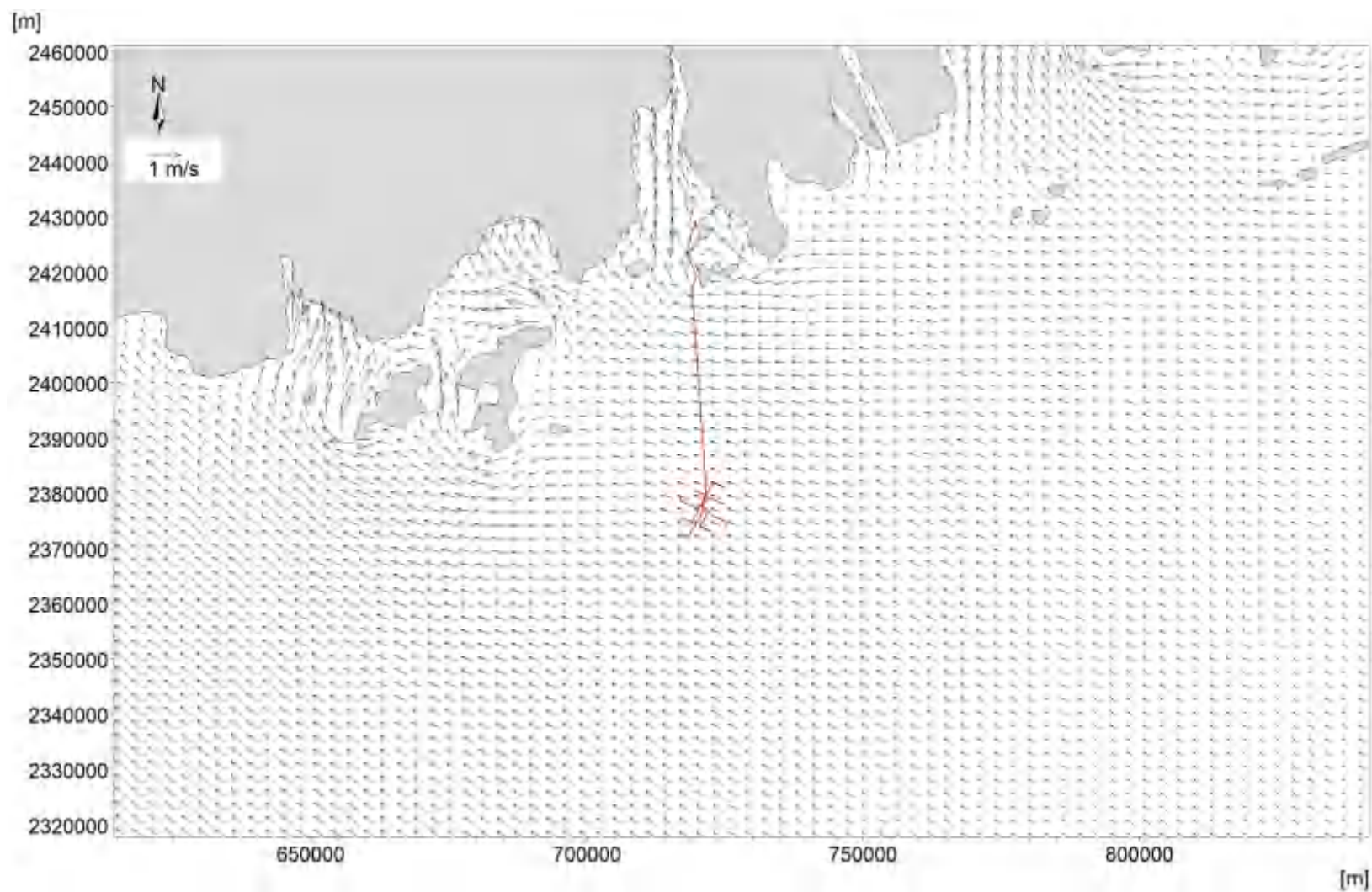


图 7.1-8a 工程海域大潮表层涨急流场

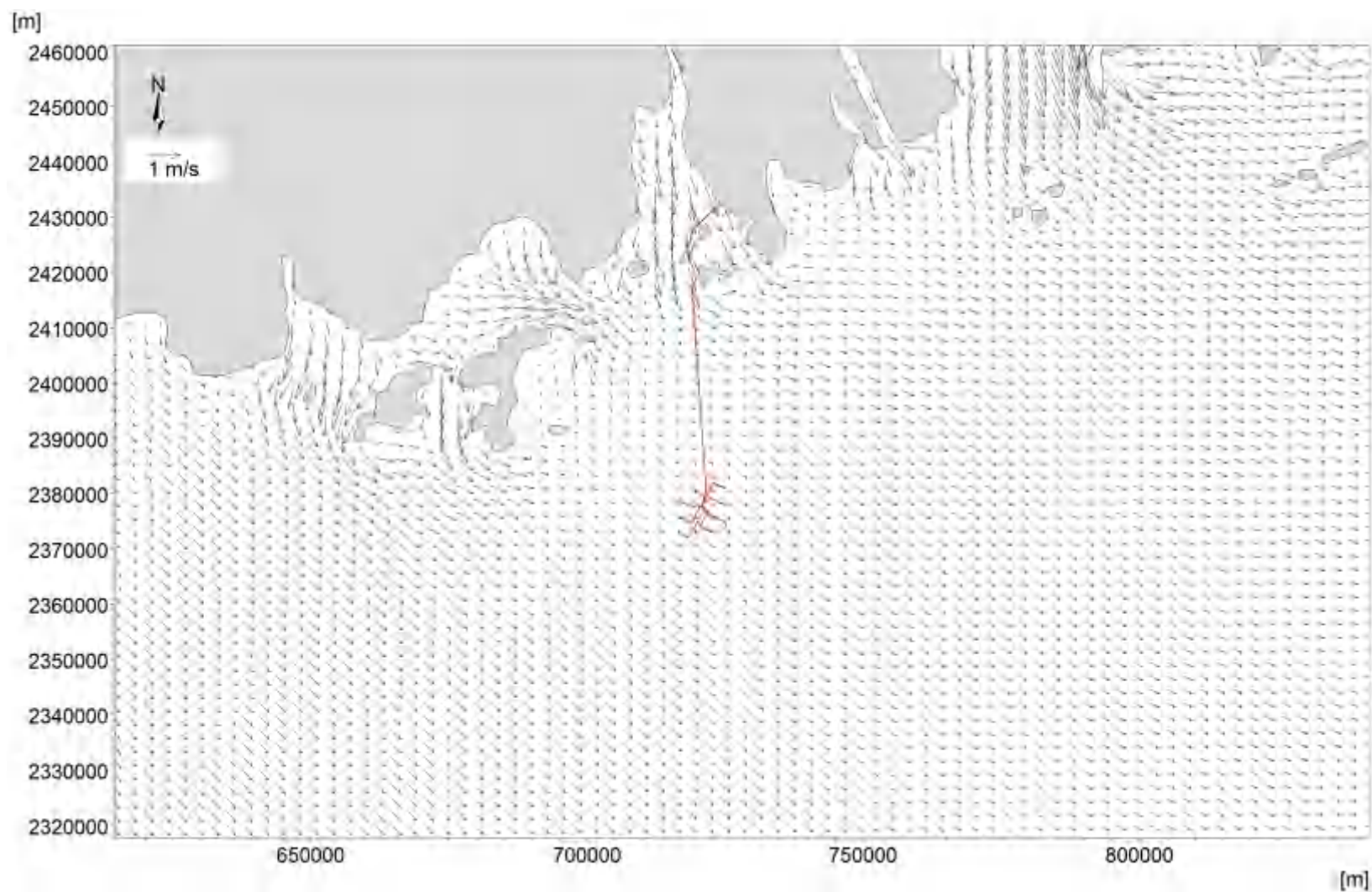


图 7.1-8b 工程海域大潮表层落急流场

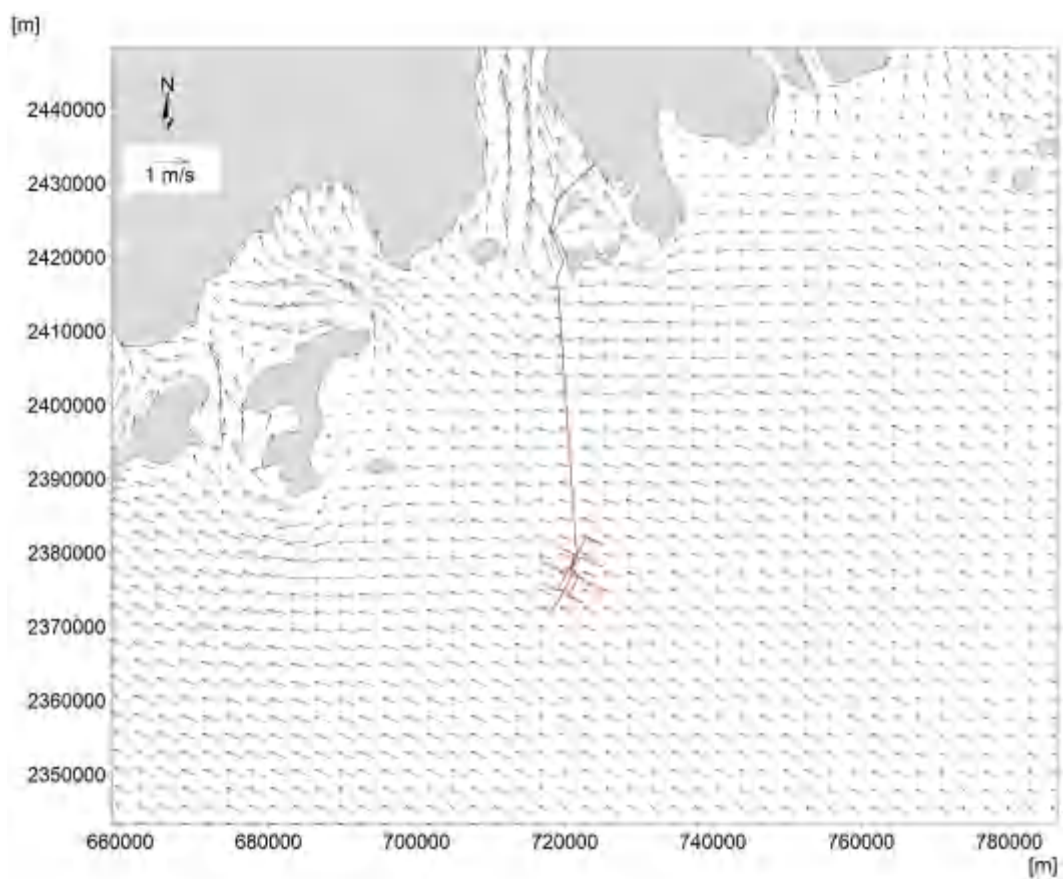


图 7.1-9a 工程附近海域大潮表层涨急流场

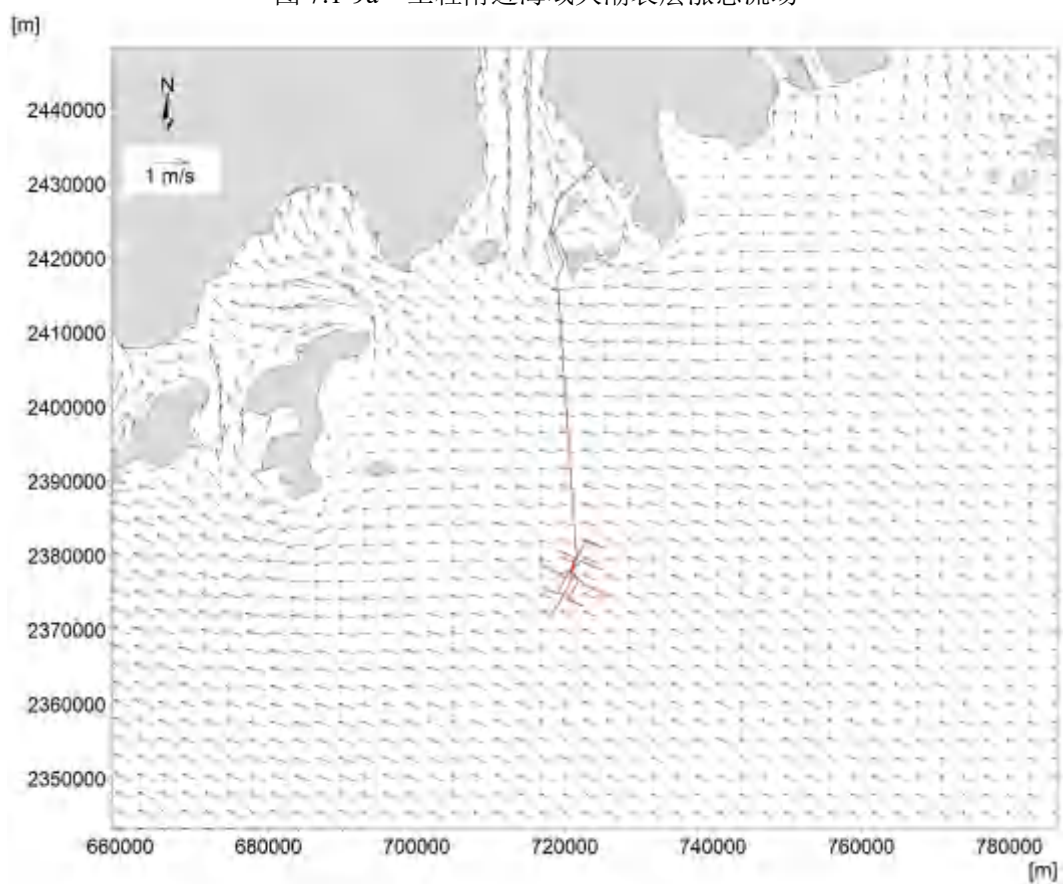


图 7.1-9b 工程附近海域大潮中层涨急流场

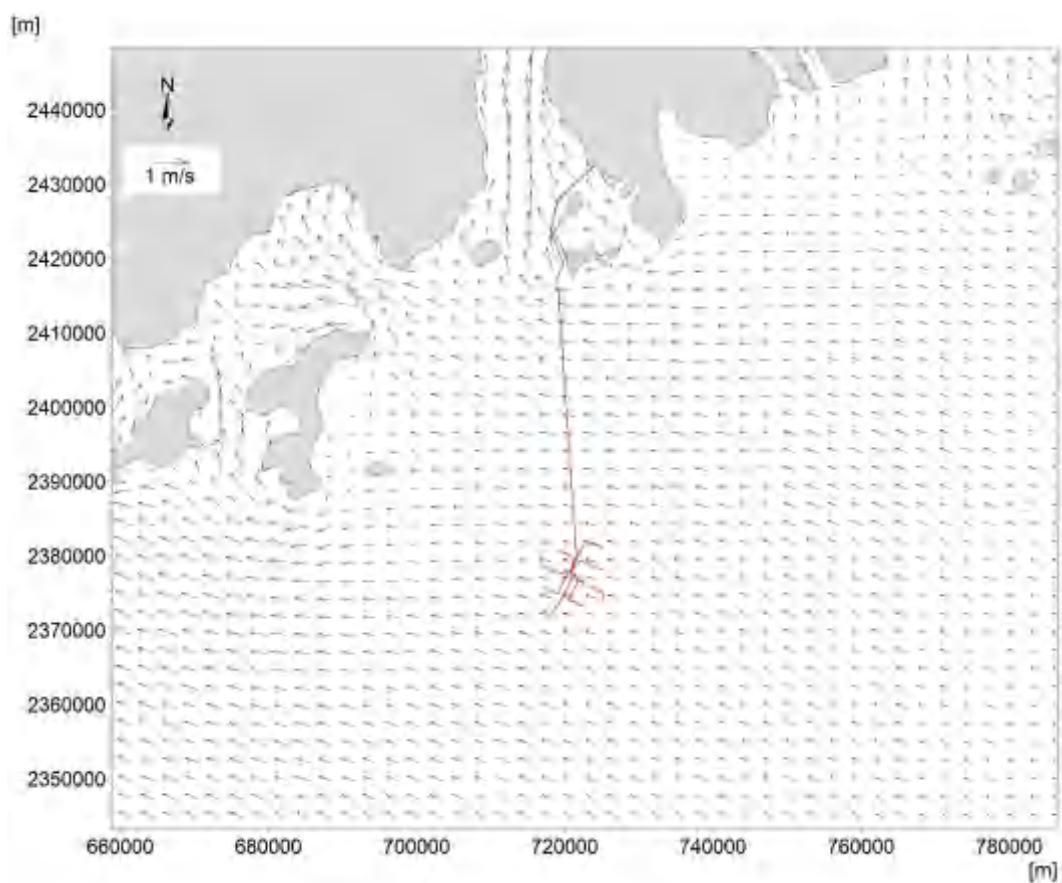


图 7.1-9c 工程附近海域大潮底层涨急流场

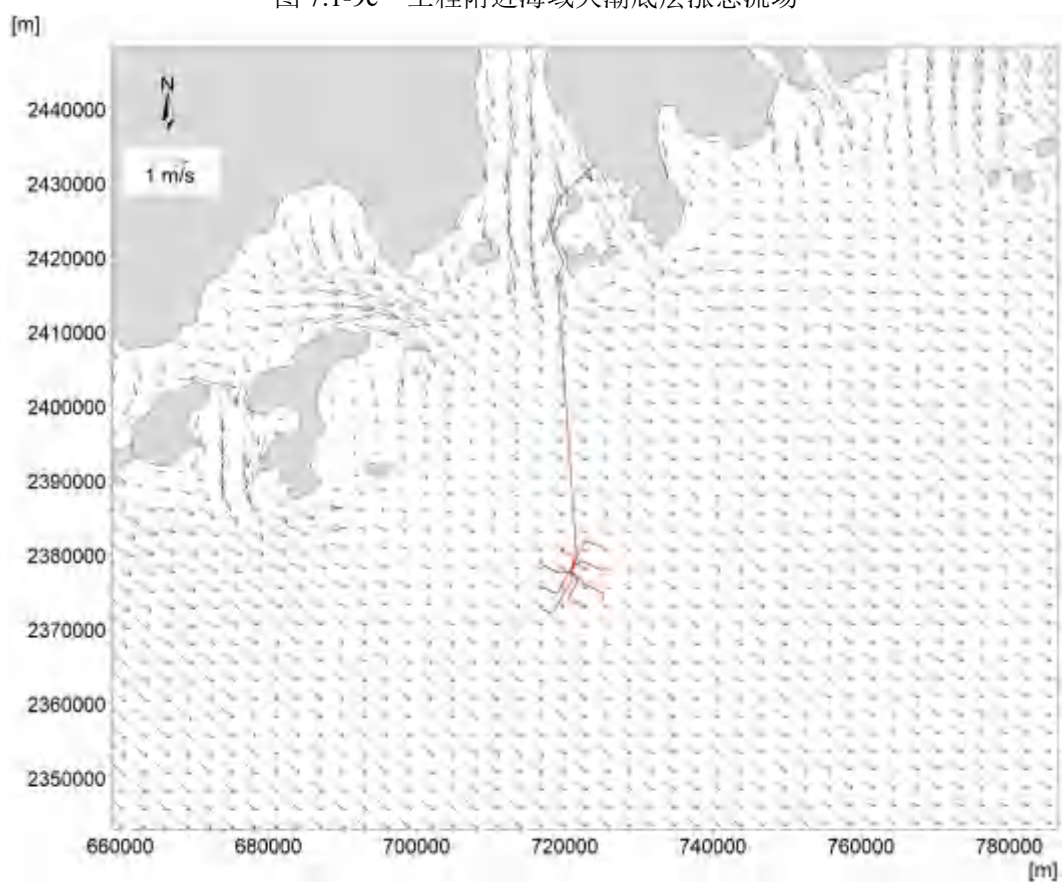


图 7.1-9d 工程附近海域大潮表层落急流场

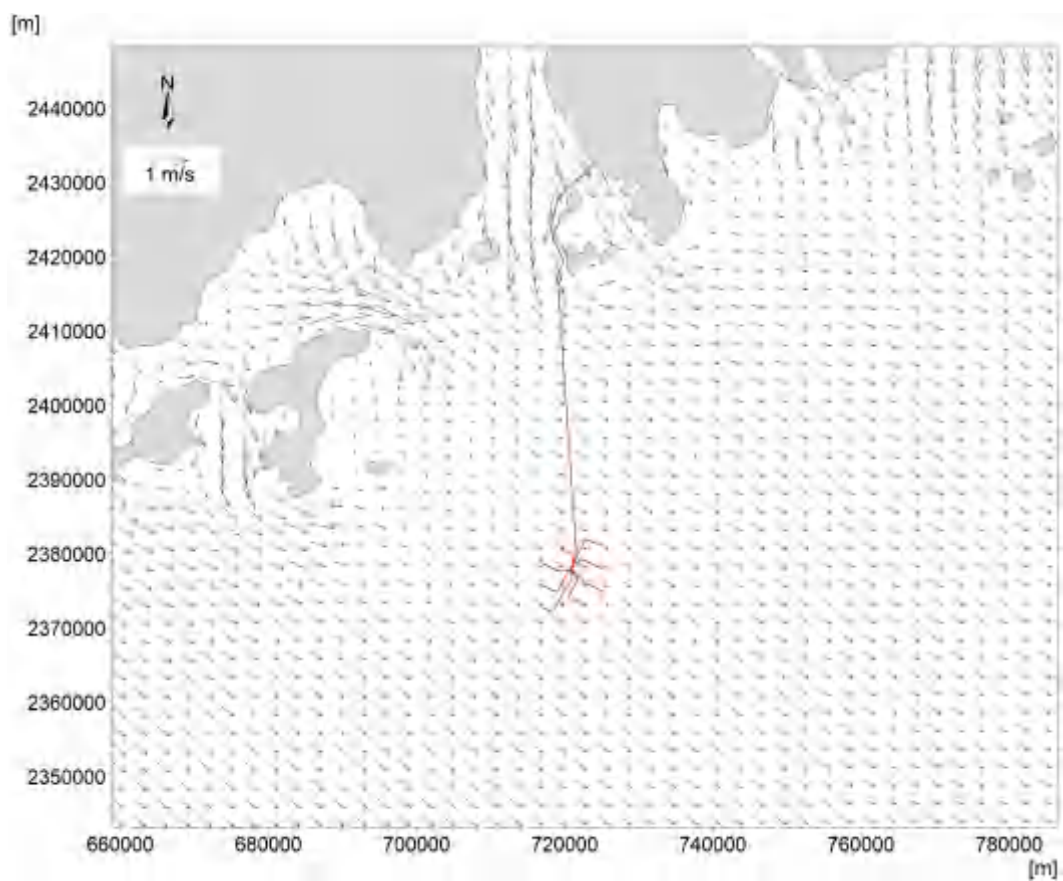


图 7.1-9e 工程附近海域大潮中层落急流场

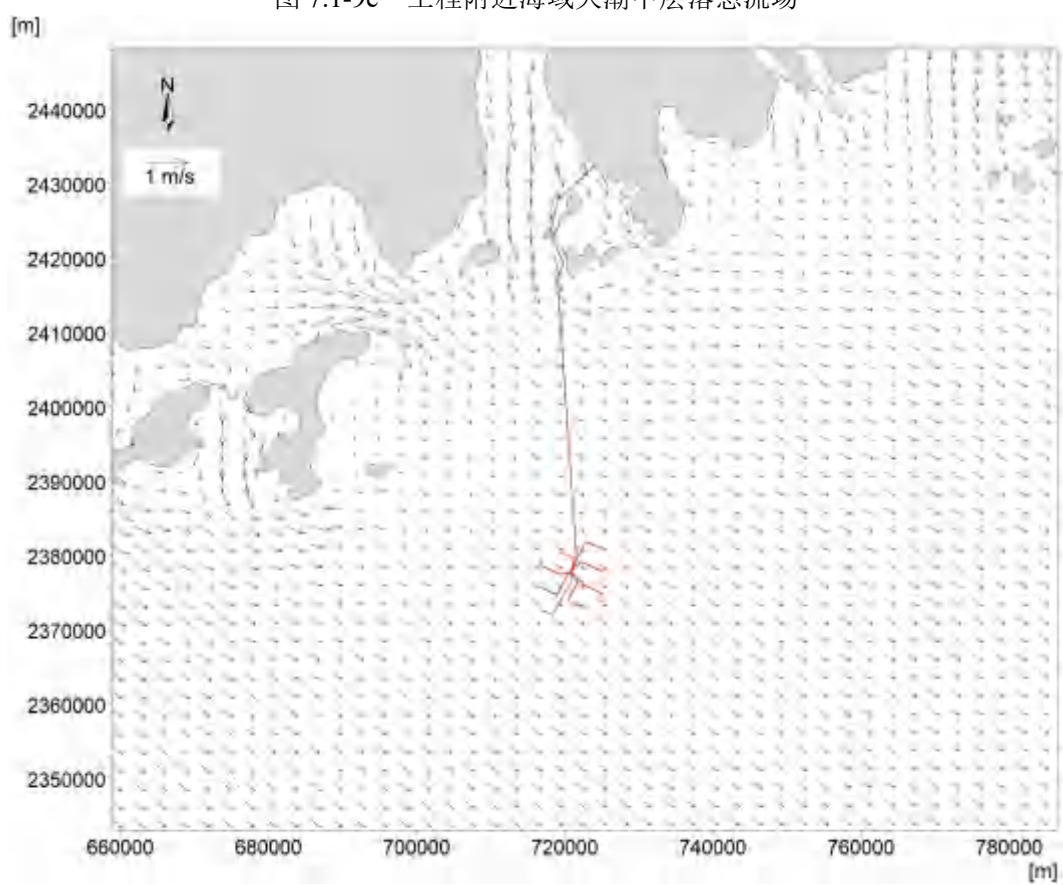


图 7.1-9f 工程附近海域大潮底层落急流场

7.1.3 工程后对水动力影响

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设不影响其所在海域的潮汐动力，工程实施对海域潮汐动力影响主要是风机桩基。

为了直观地观察本工程实施前后工程海域的流场变化特征，将工程前后的流场叠加到一起进行对比，并绘制工程前后流速变化等值线图进行分析。

风电场附近海域工程前后的流场对比见图 7.1-10，图中以蓝色箭头表示工程前的流速矢量，红色箭头表示工程后的流速矢量，将工程前后的流场叠加在一起，可以清楚地显示出工程前后的流场（流速、流向）变化情况。风电场附近海域工程前后流速变化等值线见图 7.1-11。分析上述流场对比图和流速变化等值线图可得到以下规律：

（1）由于风电桩基尺度较小，桩基之间距离较大，风电场建设对工程海域大范围的潮流流态影响很小，工程海域工程前后的潮流场基本一致。

（2）风电场建设对工程海域潮流场的影响仅体现在桩基附近局部小范围区域内的流速、流向略有变化，平面上主要表现为涨落潮方向（风机迎水侧和背水侧）流速有所减小。其中，涨、落急时刻风机桩基基础附近的最大流速变幅为 0.07m/s 和 0.05m/s。从垂向分布上看，工程海域流速表现为表层>中层>底层，但总体差距相对不大。同时，工程前后各层流速变化情况保持一致，变化幅度表现为表层>中层>底层。

（3）工程前后流速变化大于 0.01m/s 的影响范围不超过风电场桩基周边 1.6km。总体而言，风电场建设对工程海域的潮流影响很小。

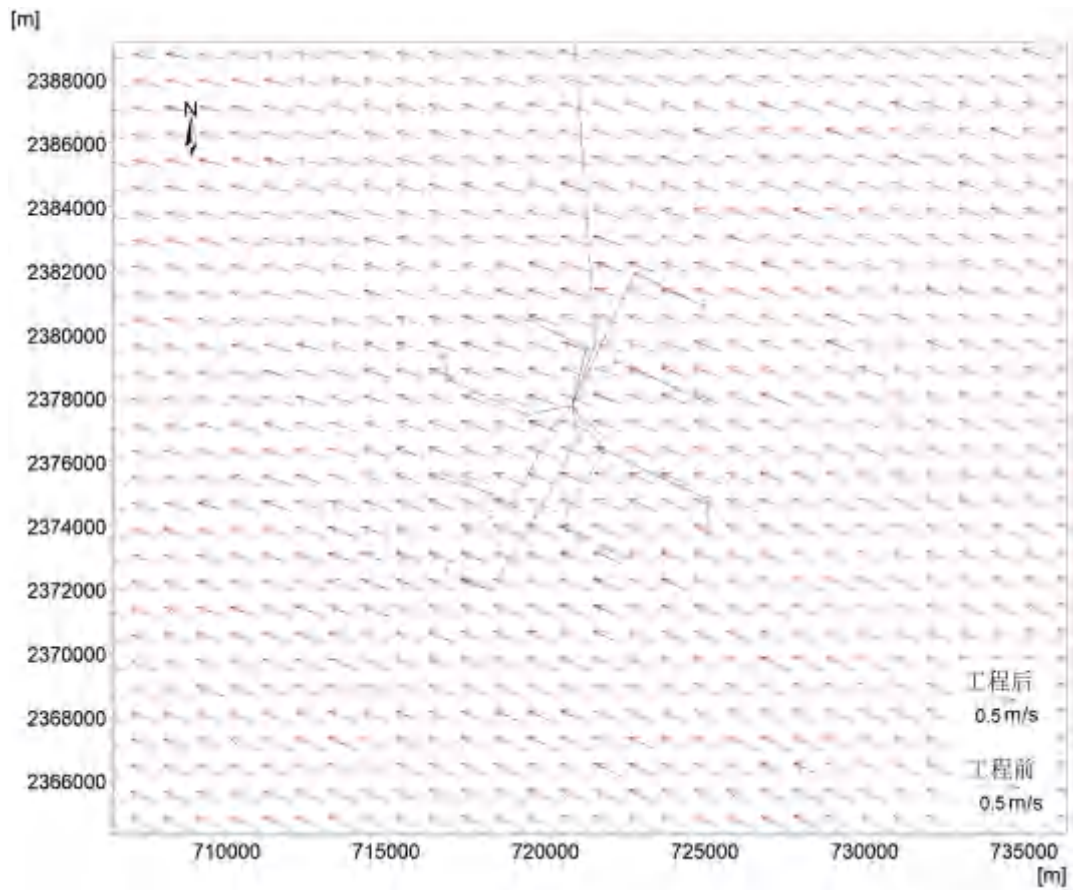


图 7.1-10a 风电场附近海域大潮涨急时刻工程前后表层流场对比图

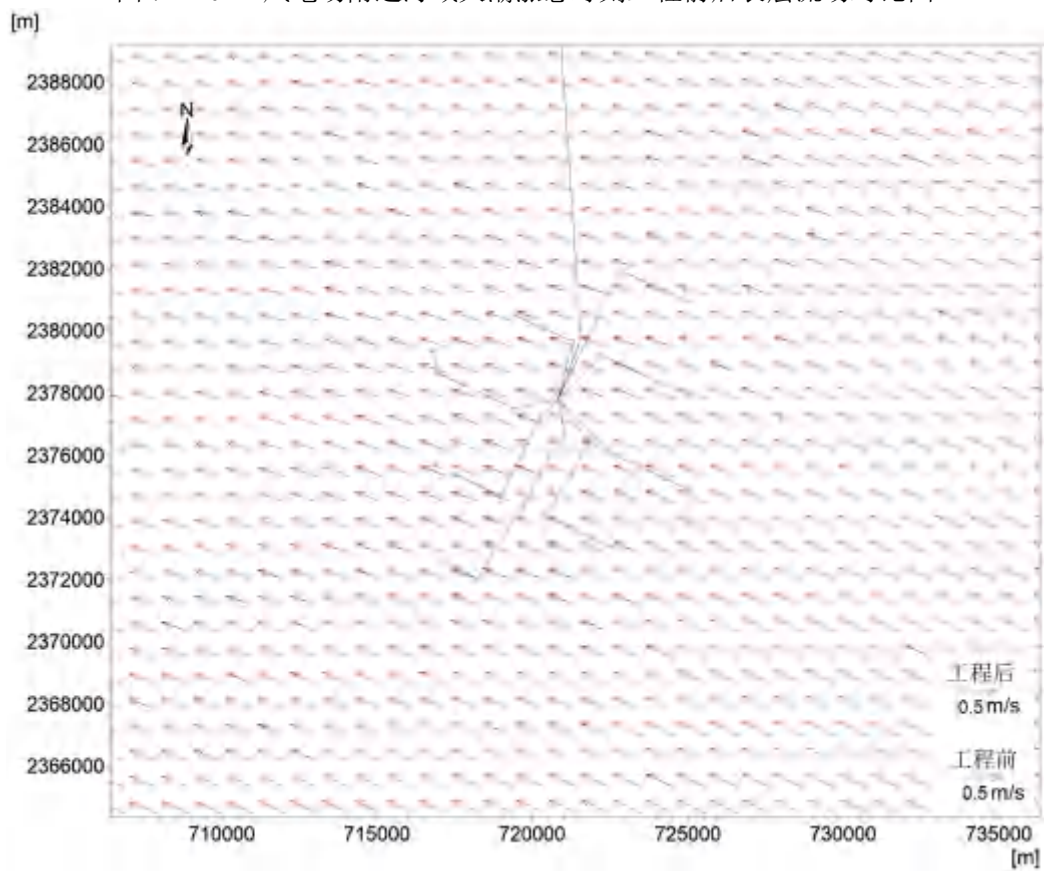


图 7.1-10b 风电场附近海域大潮涨急时刻工程前后中层流场对比图

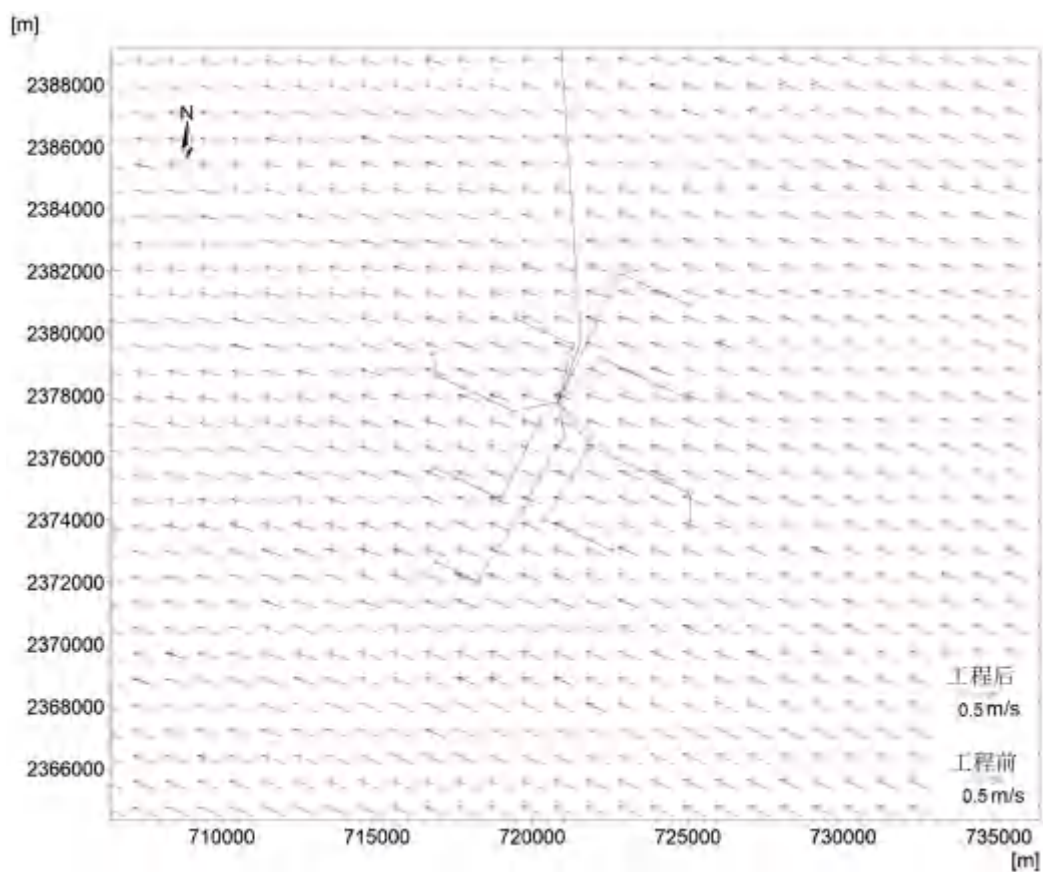


图 7.1-10c 风电场附近海域大潮涨急时刻工程前后底层流场对比图

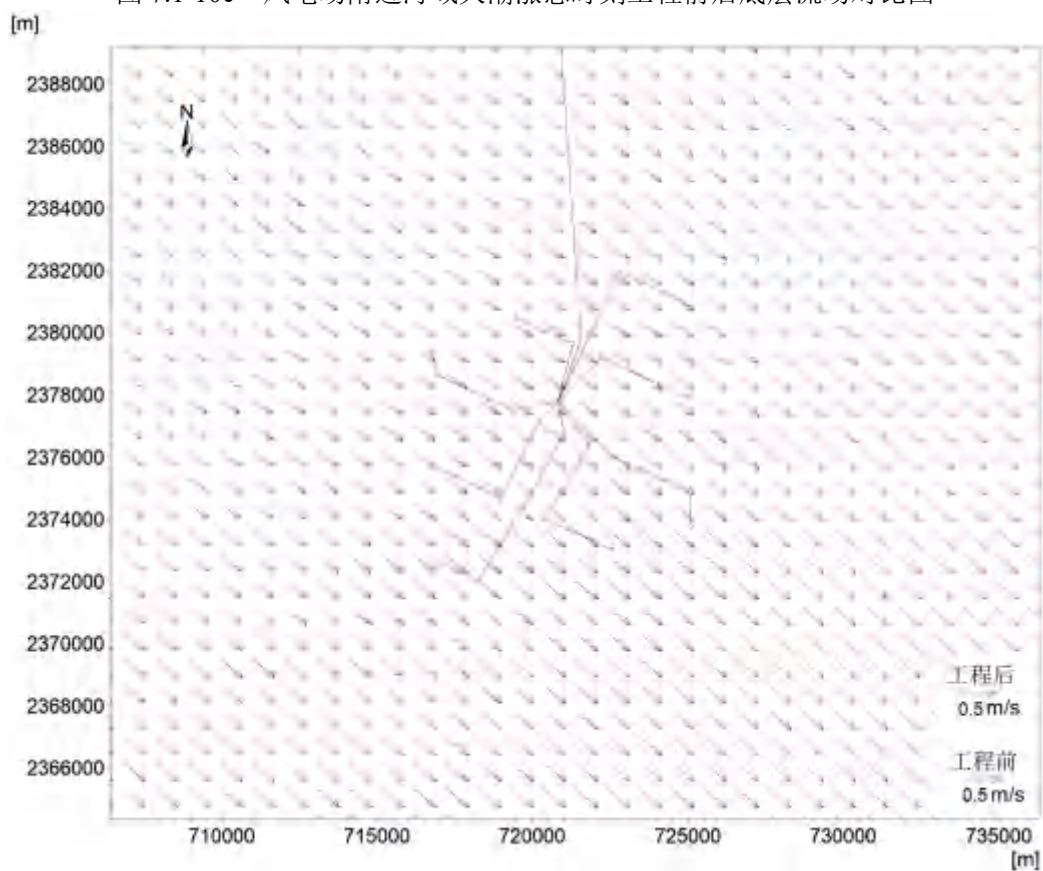


图 7.1-10d 风电场附近海域大潮落急时刻工程前后表层流场对比图

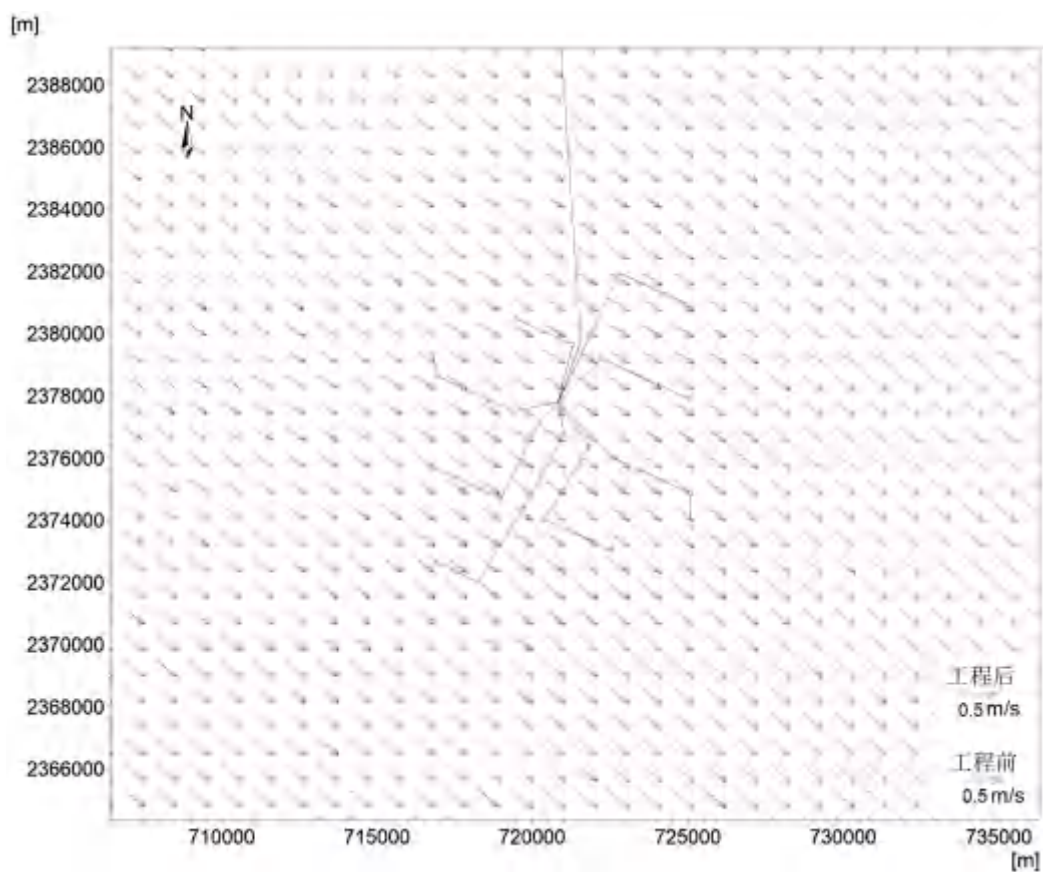


图 7.1-10e 风电场附近海域大潮落急时刻工程前后中层流场对比图

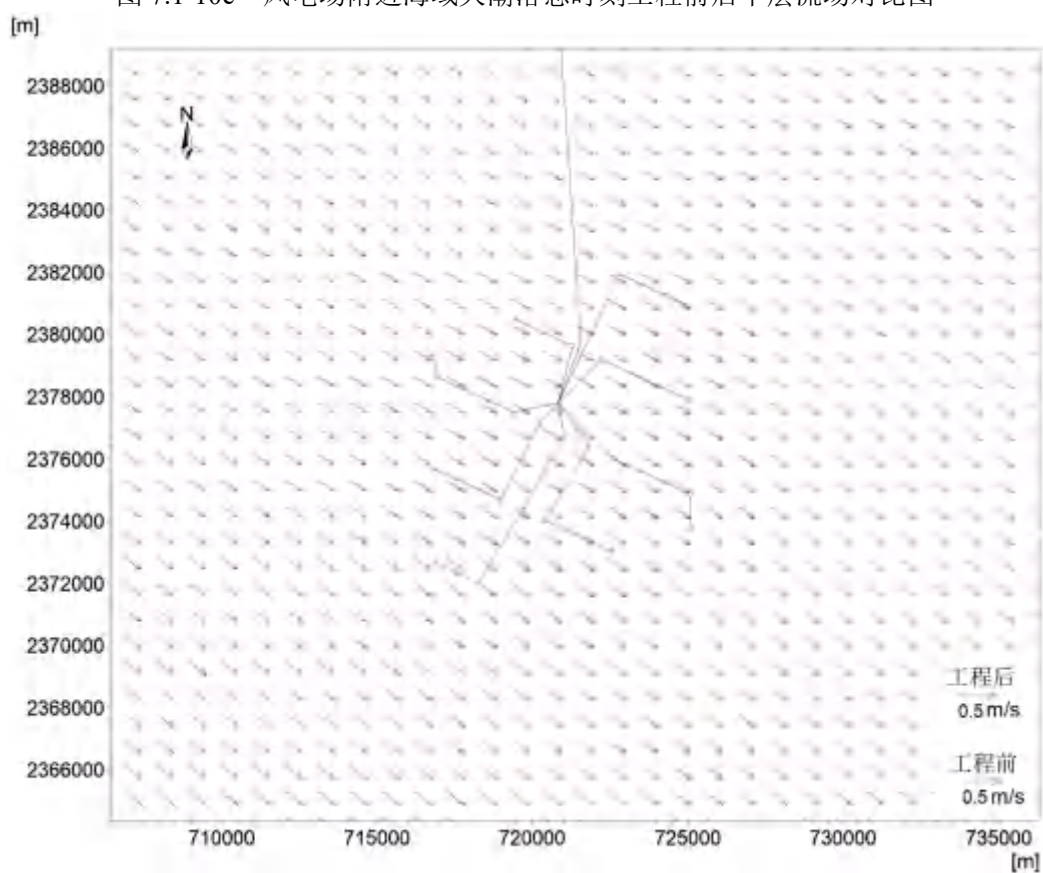


图 7.1-10f 风电场附近海域大潮落急时刻工程前后底层流场对比图

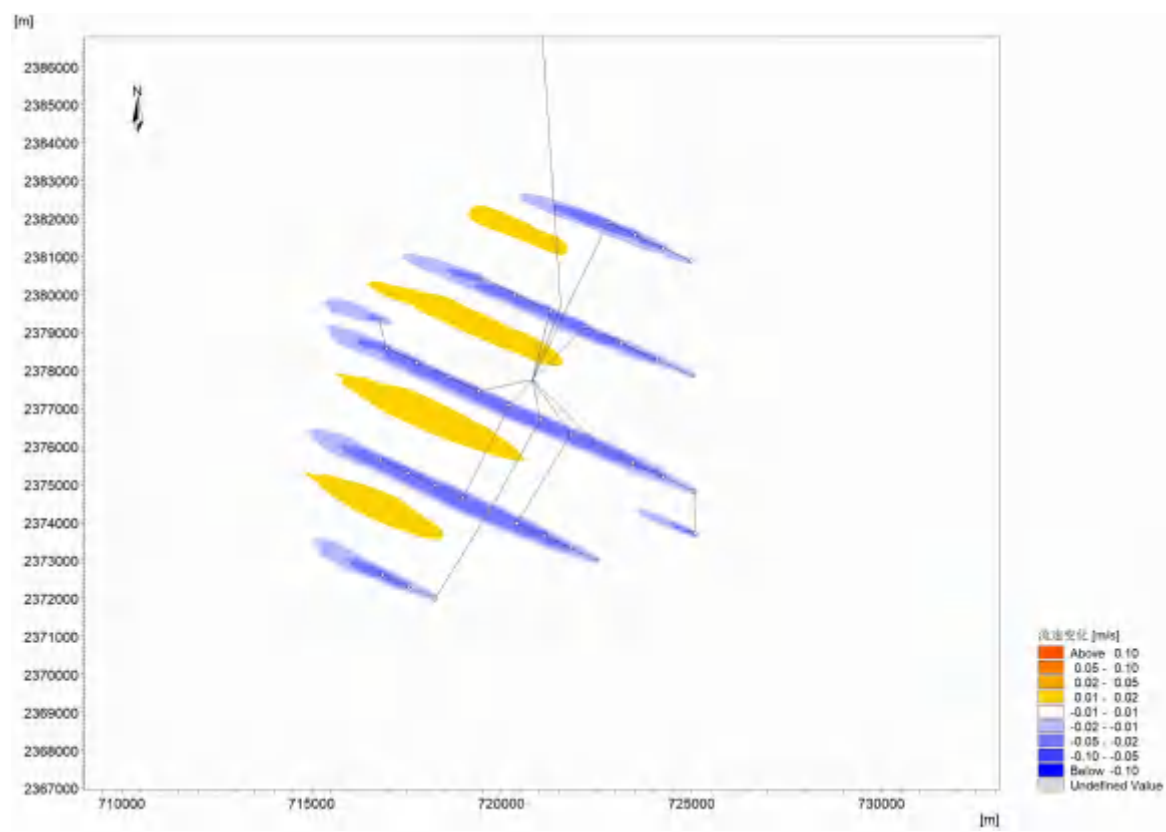


图 7.1-11a 风电场附近海域大潮涨急时刻工程前后表层流速变化等值线图

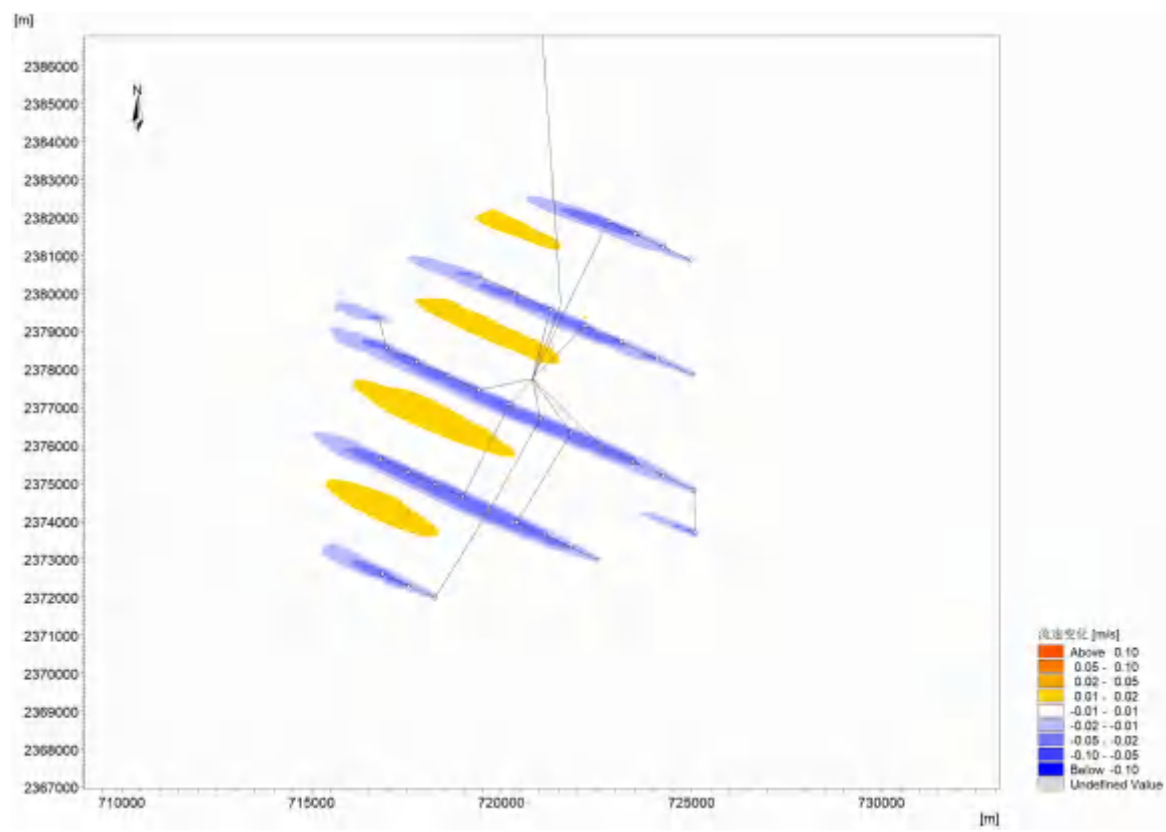


图 7.1-11b 风电场附近海域大潮涨急时刻工程前后中层流速变化等值线图

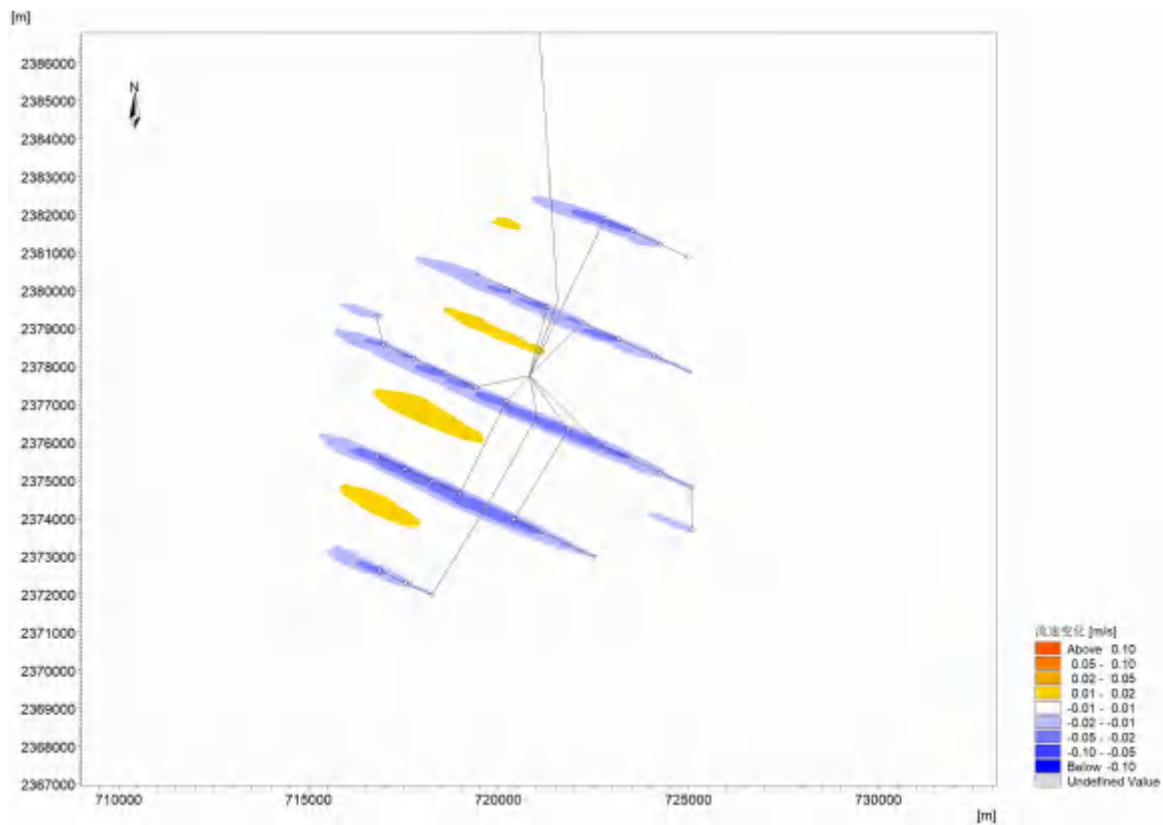


图 7.1-11c 风电场附近海域大潮涨急时刻工程前后底层流速变化等值线图

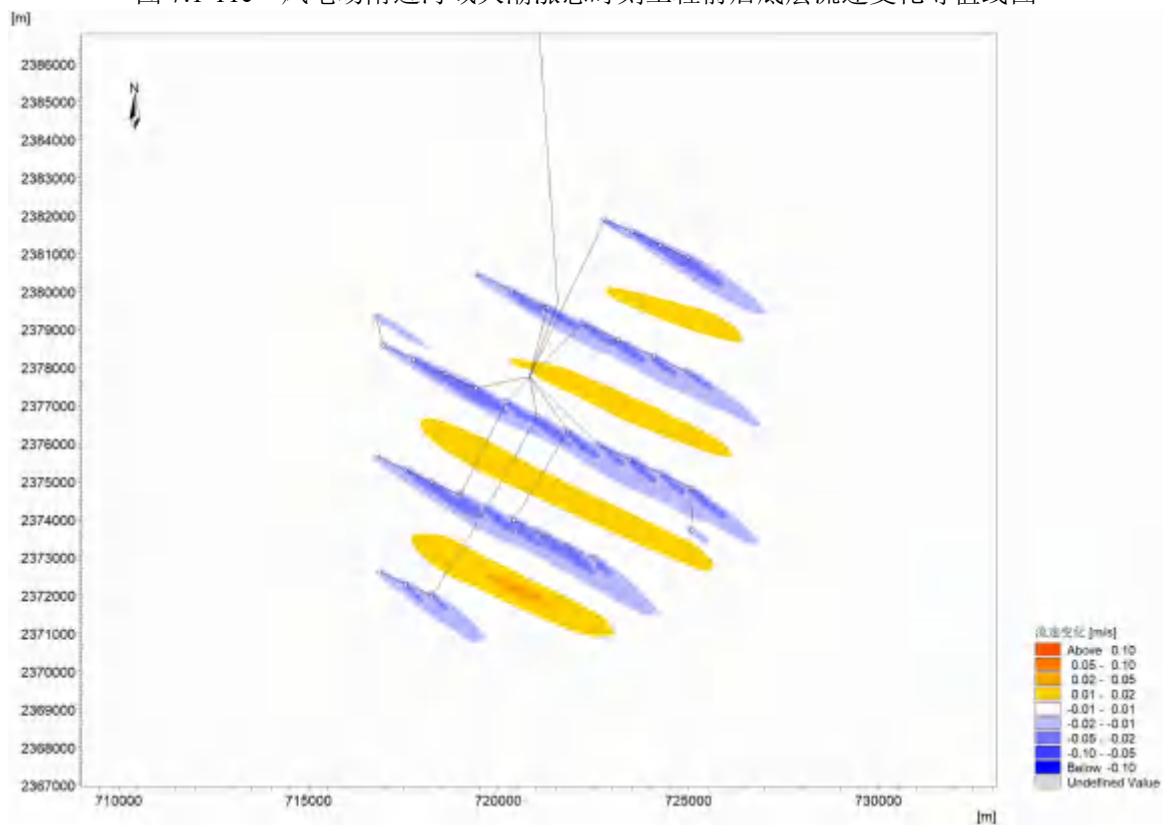


图 7.1-11d 风电场附近海域大潮落急时刻工程前后表层流速变化等值线图

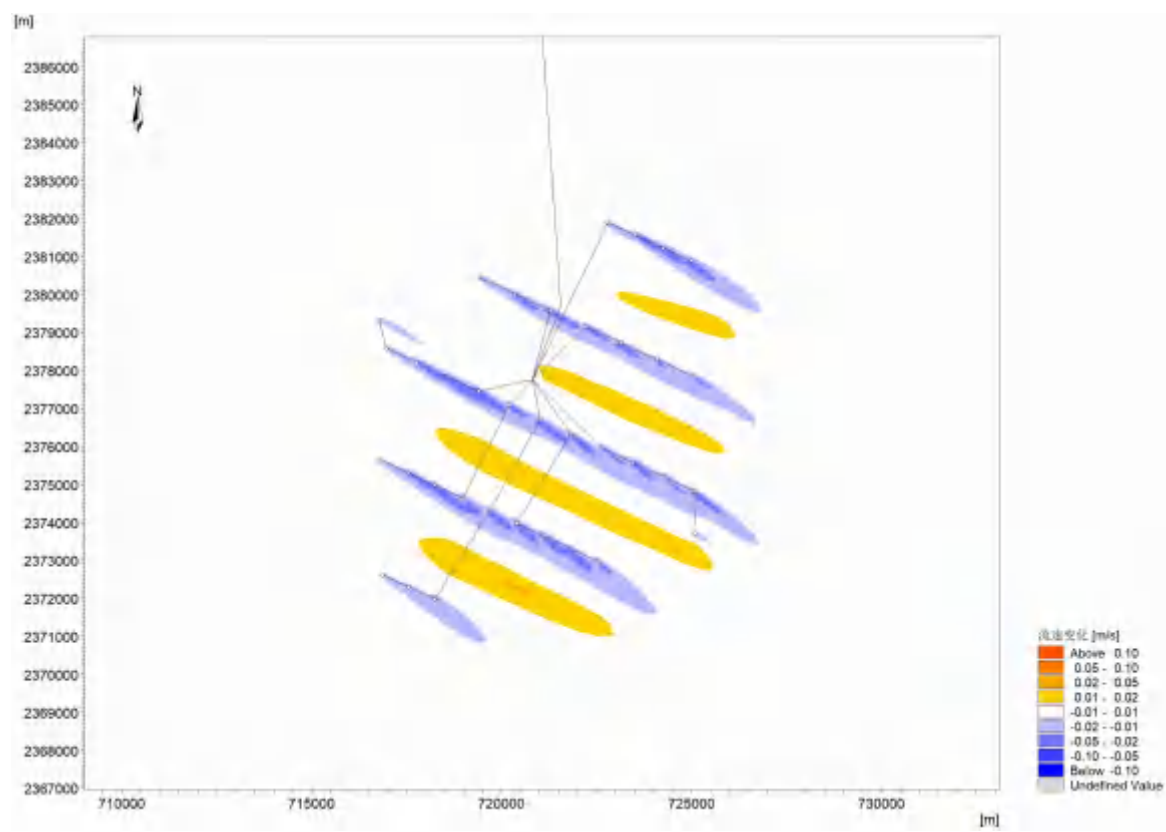


图 7.1-11e 风电场附近海域大潮落急时刻工程前后中层流速变化等值线图

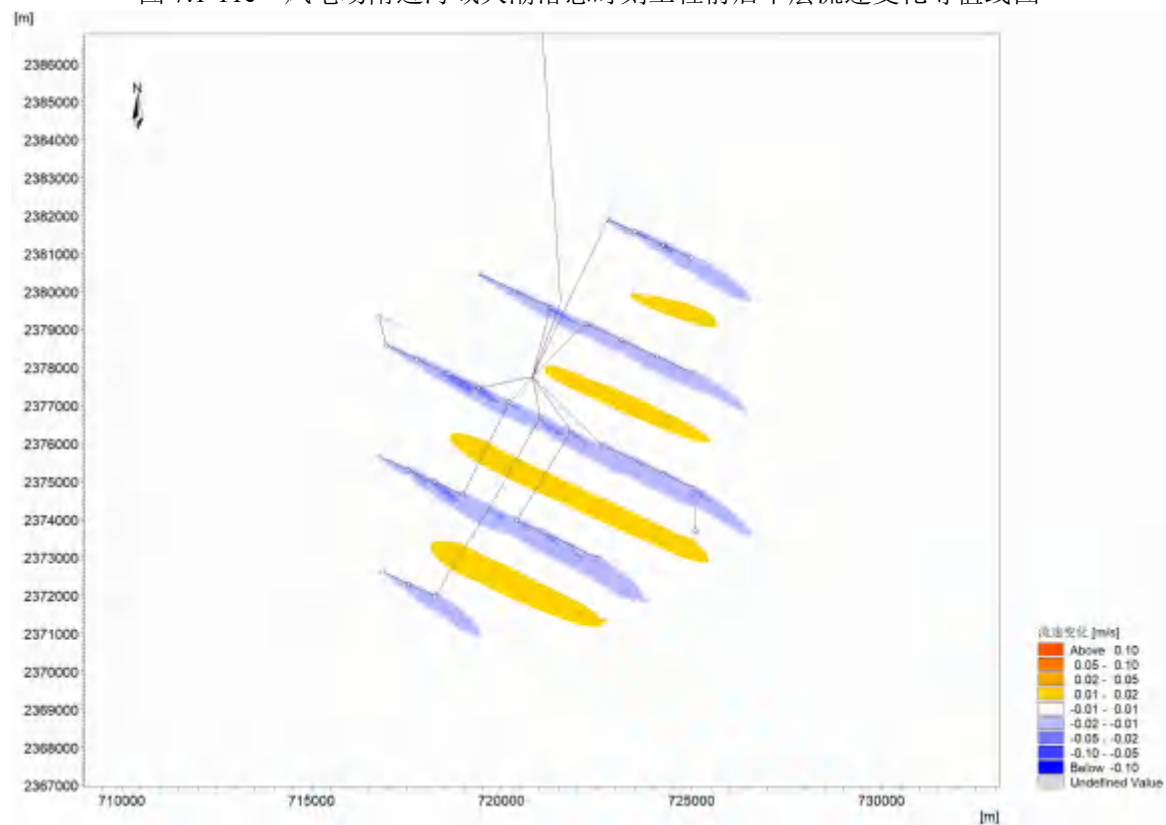


图 7.1-11f 风电场附近海域大潮落急时刻工程前后底层流速变化等值线图

7.2 地形地貌与冲淤环境影响评价

7.2.1 模型介绍

从潮流模型计算结果分析可知,本工程实施对流态的影响主要在风电场桩基内部区域以及风电场临近周边的海域,而对离工程区较远的海域流态影响较小。因此,可初步分析认为工程区附近水域有一定的冲淤变化,距工程区较远处冲淤影响则较小。为进一步确定本次对周围海域冲淤变化的影响,采用近岸海域海洋工程已有广泛应用的半经验半理论的回淤强度公式进行冲淤估算。该模式根据流场变化情况得出冲淤变化情况,对大范围内的冲淤变化情况计算是较为合理的。

(1) 计算公式

本评价采用曹祖德等人研究的计算模式进行冲淤估算。该模式利用二维潮流数值计算模型得到工程前后流场分布变化,再应用冲淤预报模型公式,计算得到各计算区域的冲淤强度,具体计算公式如下:

$$P = \frac{\alpha \omega S t}{\gamma_0} \left(1 - \left(\frac{V'}{V} \right)^2 \frac{d_1}{d_2} \right)$$

式中 P 为冲淤强度 (m/a);

α 为淤积系数,取0.35;

ω 为细颗粒泥沙的絮凝沉降速度 (m/s), 取0.0004~0.0005;

S 为波浪和潮流综合作用下的挟沙力含沙量 (kg/m³);

t 为淤积历时 (s);

γ_0 为淤积物的干容重 (kg/m³);

V 、 V' 分别为工程前、后水流的平均流速 (m/s);

d_1 、 d_2 分别为工程前、后的水深 (m)。

(2) 参数选取

①波浪和潮流综合作用下的挟沙力含沙量 S

$$S = 0.045 \frac{\gamma_s \gamma}{\gamma_s - \gamma} \frac{(|V_1| - |V_2|)^2}{g d_1}$$

式中 γ_s 为泥沙颗粒的容重 (kg/m³);

γ 为海水的容重 (kg/m³);

V_1 为潮流和风吹流的时段平均合成流速 (m/s);

V_2 为波浪水质点的平均水平速度 (m/s) ;

d_1 为平均水深 (m) ;

② 淤积物的干容重 γ_0

$$\gamma_0 = 1750 D_{50}^{0.183}$$

式中 γ_0 淤积物的干容重 (kg/m^3) ;

D_{50} 为淤积物颗粒的中值粒径 (mm) , 根据工程海域底质分析成果, 取 0.08m。

7.2.2 预测结果

根据以上参数, 以 2023 年 8 月 15 日~23 日包含大、中、小潮的半月潮过程作为工程海域的代表动力条件, 计算得到正常天气情况下本项目建设后的海床冲淤变化情况, 见图 7.2-1。

从工程海区附近海域海床年冲淤变化图可以看出, 由受风机桩基阻水影响, 工程实施后风机前后 (涨、落急潮流方向) 主要呈淤积态势, 年淤积厚度最大约 0.24m, 年淤积厚度大于 0.01m/a 的影响区域为距风电场东侧 1.56km、西侧 2.38km、南侧 1.31km、北侧 1.60km 内; 风机两侧 (垂直于涨、落急潮流方向) 主要呈冲刷态势, 年冲刷深度最大约 0.06m, 年冲刷深度大于 0.01m/a 的影响区域为距风电场东侧 0.2km、西侧 2.14km、南侧 1.80km、北侧 1.22km 内。对附近海域粤西江门上川至琼州海峡北水道航路、航道的冲淤影响小于 0.01m/a。

根据上述计算模式和第一年冲淤变化情况结果, 可计算出往后逐年的冲淤变化情况。随着冲淤过程的深入和地形向适应工程实施后动力环境方向的调整, 其冲淤强度将逐年较小, 冲淤平衡后海床冲淤变化分布见图 7.2-2。冲淤平衡后, 最大平衡淤积厚度约 0.74m, 淤积厚度大于 0.01m/a 的影响区域为距风电场东侧 3.59km、西侧 10.70km、南侧 2.77km、北侧 5.83km 内; 最大平衡冲刷深度约 0.59m, 冲刷深度大于 0.01m/a 的影响区域为距风电场东侧 2.25km、西侧 4.01km、南侧 5.44km、北侧 5.82km 内。本项目对附近海域粤西江门上川至琼州海峡北水道航路、航道的冲淤影响小于 0.01m/a。

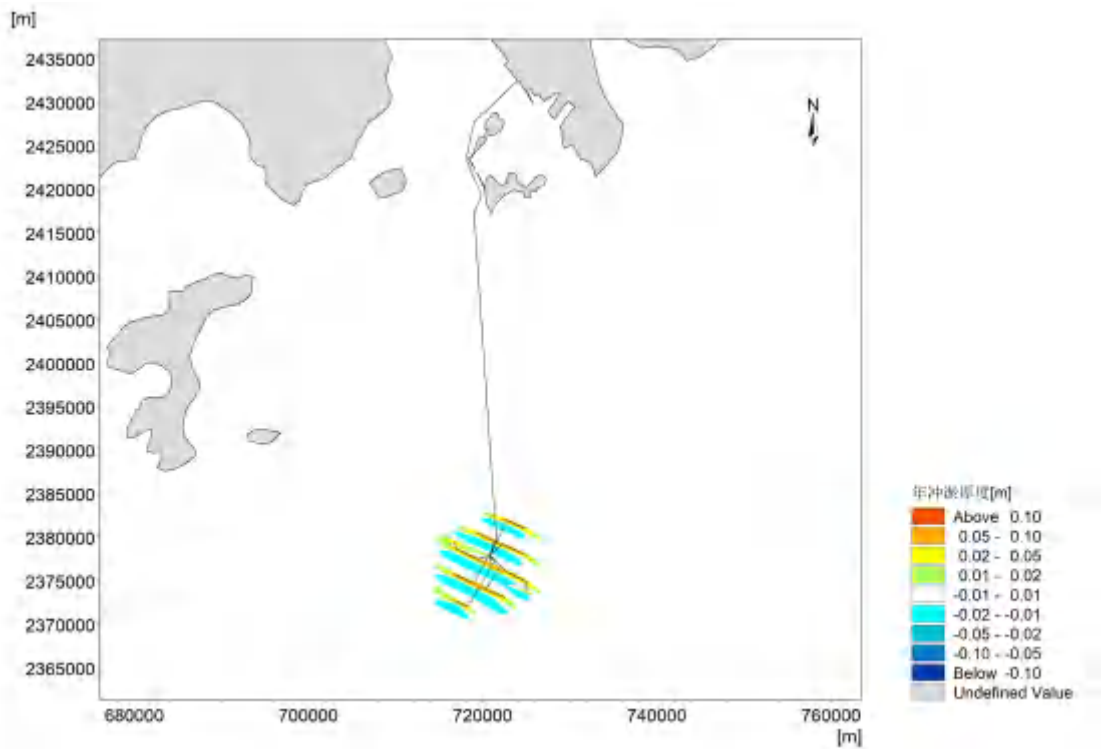


图 7.2-1 风电场附近海域海床年冲淤变化图

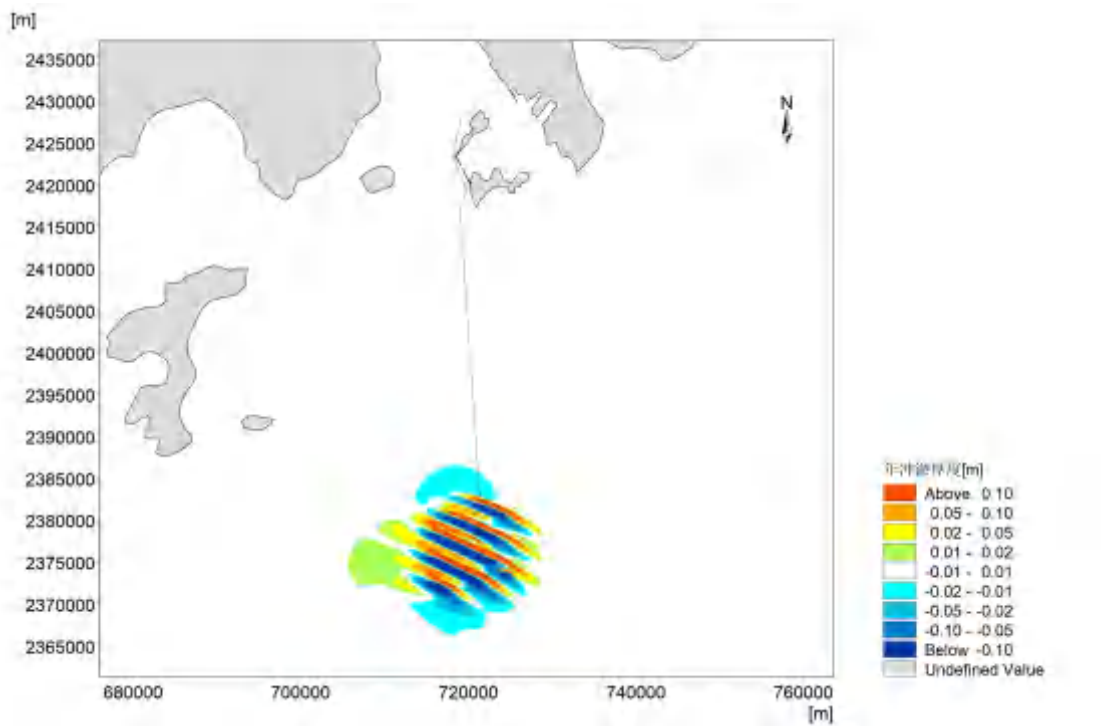


图 7.2-2 风电场附近海域海床平衡冲淤变化图

7.2.3 极端天气条件下的冲淤影响评价

拟建工程所处海域常年受风暴潮影响，因此需考虑风暴潮动力因素。本次风暴潮分析依据《珠海金湾海上风电场项目海洋环境影响报告书》风暴潮模型分析内容，将“天鸽”作为典型风暴潮（台风）过程进行研究。本项目与珠海金湾海上风电场

项目相对位置关系见图 7.2-3，金湾风电项目分析桩径为 2.0m、2.5m、3.0m、3.3m、9.0m，本项目风机桩径为 3.3m，在金湾风电项目分析桩径范围内。



图 7.2-3 台风“天鸽”路径示意图

(1) 水流参数

在工程水域所经历的强风暴潮过程中，以“9316 贝姬”、“0814 黑格比”、“1713 天鸽”影响较大，其中“1713 天鸽”台风更是创造了珠江河口伶仃洋水域新的实测增水值记录。“天鸽”在珠海金湾区登陆，登陆点距离工程位置很近，台风带来的狂风甚至将 100 多米高的测风塔吹倒。

“天鸽”在工程水域引起的水流速度是几个强台风中最大的，故将“天鸽”作为典型风暴潮（台风）过程进行研究。

模拟时段为：2017 年 8 月 16 日 8:00-2017 年 8 月 24 日 13:00，覆盖了台风——登陆——消亡的全过程。

(2) 纯流作用下典型风暴潮过程冲刷模拟

在不考虑波浪的情况下，对桩柱在台风“天鸽”期间潮流作用下的冲刷进行模拟，在潮流作用下，各风机桩柱均出现显著的冲深。总体来看，各风机位置冲刷深度较均匀，其中对于桩径 $a=2.0\text{m}$ 、 2.5m 、 3.0m 、 3.3m ，最大冲刷深度分别为 2.6m、

3.2m、3.8m、4.1m；桩径 $a=9.0\text{m}$ 时，对应最大冲刷深度为 8.2m。

冲刷坑最大宽度基本与桩柱直径成正比，对于桩径 $a=2.0\text{m}$ 、 2.5m 、 3.0m 、 3.3m ，最大冲刷宽度分别为 6.6m、8.1m、9.6m、10.5m；桩径 $a=9.0\text{m}$ 时，对应最大冲刷宽度为 20.7m。

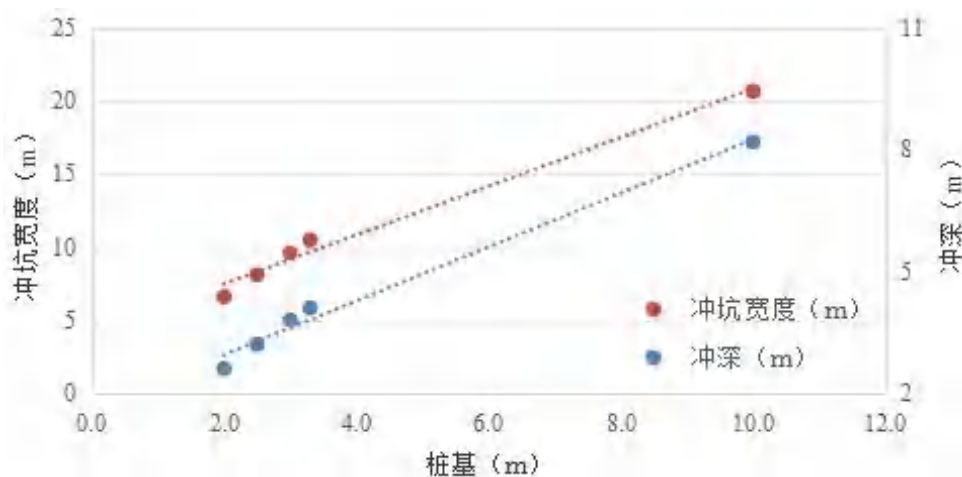


图 7.2-4 不同桩径条件下，“天鸽”的冲深与冲坑宽度分布（考虑潮流）

(3) 考虑波浪后，典型风暴潮冲刷模拟

叠加波浪作用后，各风机位置冲刷深度较均匀，其中对于桩径 $a=2.0\text{m}$ 、 2.5m 、 3.0m 、 3.3m ，最大冲刷深度分别为 5.6m、5.9m、6.1m、6.2m；桩径 $a=9.0\text{m}$ 时，对应最大冲刷深度为 10.6m。

冲刷坑最大宽度基本与桩柱直径成正比，对于桩径 $a=2.0\text{m}$ 、 2.5m 、 3.0m 、 3.3m ，最大冲刷宽度分别为 14.2m、15.1m、15.6m、15.9m；桩径 $a=9.0\text{m}$ 时，对应最大冲刷宽度为 27.2m。

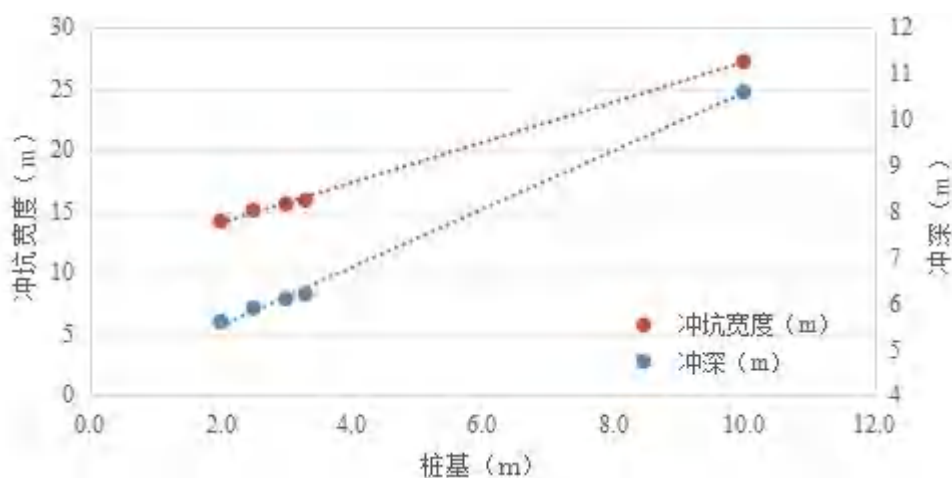


图 7.2-5 不同桩径条件下，“天鸽”的冲深与冲坑宽度分布（考虑波浪和潮流）

(4) 小结

模拟典型风暴潮“天鸽”过程中桩柱局部冲刷深度过程，仅考虑潮流作用时，小桩径（ $2.0\text{m} \leq a \leq 3.3\text{m}$ ）桩柱最大冲刷深度分别为 2.6~4.1m，考虑波浪作用后，最大冲刷深度增大至 5.6~6.2m；大桩径（ $a=9.0\text{m}$ ）考虑纯流、波流共同作用时最大冲刷深度分别为 8.2m、10.6m。冲刷坑最大宽度与桩柱局部冲深成正比，一般可取 3 倍最大冲深。

7.3 水质环境影响评价

7.3.1 施工期水质环境影响

7.3.1.1 悬浮泥沙对水质环境的影响

本工程涉海部分施工环境影响主要有风机基础沉桩、风电场海底电缆铺设工程等，其中海底电缆铺设源强相对较大，是决定施工期水质环境影响大小的控制工况。本节在上述水动力计算的基础上，对本工程施工期产生的悬浮物增量浓度进行预测，据此评估本工程施工对水质环境的影响。

7.3.1.1.1 模型介绍

（1）悬浮物输运扩散方程

采用 Sigma 坐标系下的三维泥沙数学模型对施工造成的悬沙影响进行计算，三维泥沙数学模型的控制方程如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w_f \frac{\partial C}{\partial \sigma} = K_M \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_M \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_v}{D} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) + DS_c$$

其中： C 为水体悬沙含量， Sc 为输入源强， w_f 为泥沙有效沉速， $w_f = w - w_s$ ， w_s 为泥沙静水中沉速。 K_M 为水平扩散系数，采用欧拉公式

$$K_{MX} = 5.93 \sqrt{gH|u|} / C_z \quad K_{MY} = 5.93 \sqrt{gH|v|} / C_z$$

C_z 为 chezy 系数， K_v 为垂直扩散系数，取值为水流垂向紊动扩散系数的 1.1 倍。

$$\text{岸界边界条件: } \frac{\partial C}{\partial \vec{n}} = 0$$

（2）边界条件

侧开边界的边界条件：

$$\text{入流时 } C|_{\Gamma} = P_0;$$

Γ 为水边界， P_0 为边界上浓度，计算冲射式挖沟施工悬沙增量时，因本底悬沙浓度不大，不考虑本底值，取 $P_0=0$ 。

$$\text{出流时 } \frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad U_n \text{ 为边界法向流速;}$$

$$\text{自由表面上: } w_f C + K_v \frac{\partial C}{\partial z} = 0$$

$$\text{海底床面: } -K_v \frac{\partial C}{\partial z} - w_{fb} C_b = \begin{cases} M \left(\frac{v^2}{v_e^2} - 1 \right) & v \geq v_e \\ 0 & v_d < v < v_e \\ w_{fb} C_b \left(\frac{v^2}{v_d^2} - 1 \right) & v \leq v_d \end{cases}$$

式中：M 为冲刷系数，取曹祖德实验参数， $M=6.4 \times 10^{-3}$ ； w_{fb} 为近底层泥沙有效沉速， $w_{fb} = w_s - w$ ， w_s 为泥水静水沉速， $w_{fb} \times C_b$ 为悬沙垂直沉降通量， $K_v \frac{\partial C}{\partial z}$ 为近底层泥沙在湍流运动作用下的上扬通量； V 为底层流速， V_d 为泥沙从悬浮状态落淤的临界流速， V_e 为床面泥沙悬扬临界流速。

泥沙沉速 w_s 采用武汉水利电力学院静水泥沙沉速公式计算，

$$w = \sqrt{\left(13.95 \frac{v}{D}\right)^2 + 1.09 \alpha g D} - 13.95 \frac{v}{D}$$

其中， v 为水运动粘滞系数，取值 $0.01146 \text{ cm}^2/\text{s}$ ； D 为泥沙粒径（mm）； α 为重率系数，取 1.7。根据工程海域表层沉积物调查结果，中值粒径取值 0.08 mm 。

泥沙起动用窦国仁的泥沙起动公式：

$$\text{悬扬临界流速: } V_e = k \left(\ln 11 \frac{h}{\Delta} \right) \left(\frac{d'}{d_*} \right)^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D + \left(\frac{r_0}{r_*} \right)^{5/2} \frac{\varepsilon + g \delta h (\delta / D)^{1/2}}{D}}$$

$$\text{落淤的临界流速: } V_d = k \left(\ln 11 \frac{h}{\Delta} \right) \left(\frac{d'}{d_*} \right)^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D}$$

泥沙起动公式中各参数取值为， $k=0.41$ ， $g=981 \text{ cm/s}^2$ ，当泥沙粒径 $D < 0.05 \text{ cm}$ ，床面糙率 $\Delta = 0.1 \text{ cm}$ ， $d'=0.05 \text{ cm}$ ， $d_*=1.0 \text{ cm}$ ，泥沙粘结系数 $\varepsilon = 1.75 \text{ cm}^3/\text{s}^2$ ，薄膜水厚度参数 $\delta = 2.31 \times 10^{-5} \text{ cm}$ ， h 水深 (cm)， r_0 床面泥沙干容重 (g/cm^3)， r_* 床面泥沙稳定干容重 (g/cm^3)，泥沙容重 $r_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ ，海水容重 $r_s = 1.025 \text{ g/cm}^3$ 。

(3) 初始条件：

据本海域悬沙实测资料，本底悬沙浓度较低，故不考虑本底值和边界值对模型计算的影响，模拟施工期本底值均值为 0，仅考虑悬沙增量。

7.3.1.1.2 预测方案

(1) 水动力条件

分别采用 2023 年 8 月 16 日~23 日包含大、中、小潮的潮汐过程作为悬浮物计算的代表潮型。

(2) 施工源强分析

根据施工期悬浮泥沙源强计算，风电场区西南部区域（埋深 3.0m，埋设速度 5 m/min，干容重 1250kg/m³）单条海缆施工悬沙源强为 25kg/s，航道区附近路由区域（埋深 4.0m，埋设速度 5m/min，干容重 948kg/m³）单条海缆施工悬沙源强为 25.28kg/s，风电场区东北部区域及路由其他区域（埋深 3.0m，埋设速度 5m/min，干容重 948kg/m³）单条海缆施工悬沙源强为 18.96kg/s；风机桩基沉桩悬沙源强为 0.60kg/s，海上升压站基础沉桩悬沙源强为 0.18kg/s。

(3) 计算工况

由于桩基施工与海底电缆埋设管沟开挖位置重叠，源强小于海缆敷设，因此只对海缆敷设开挖进行悬浮泥沙扩散范围预测。

采用近似于实际铺缆开沟的方式模拟施工过程悬沙扩散，即沿电缆线逐时逐段释放悬沙源强。施工悬沙取 363 个代表点，每代表点源强持续时间 2.0 小时，分别考虑涨潮期施工和落潮期施工两种情况，源强分布见图 7.3-1。

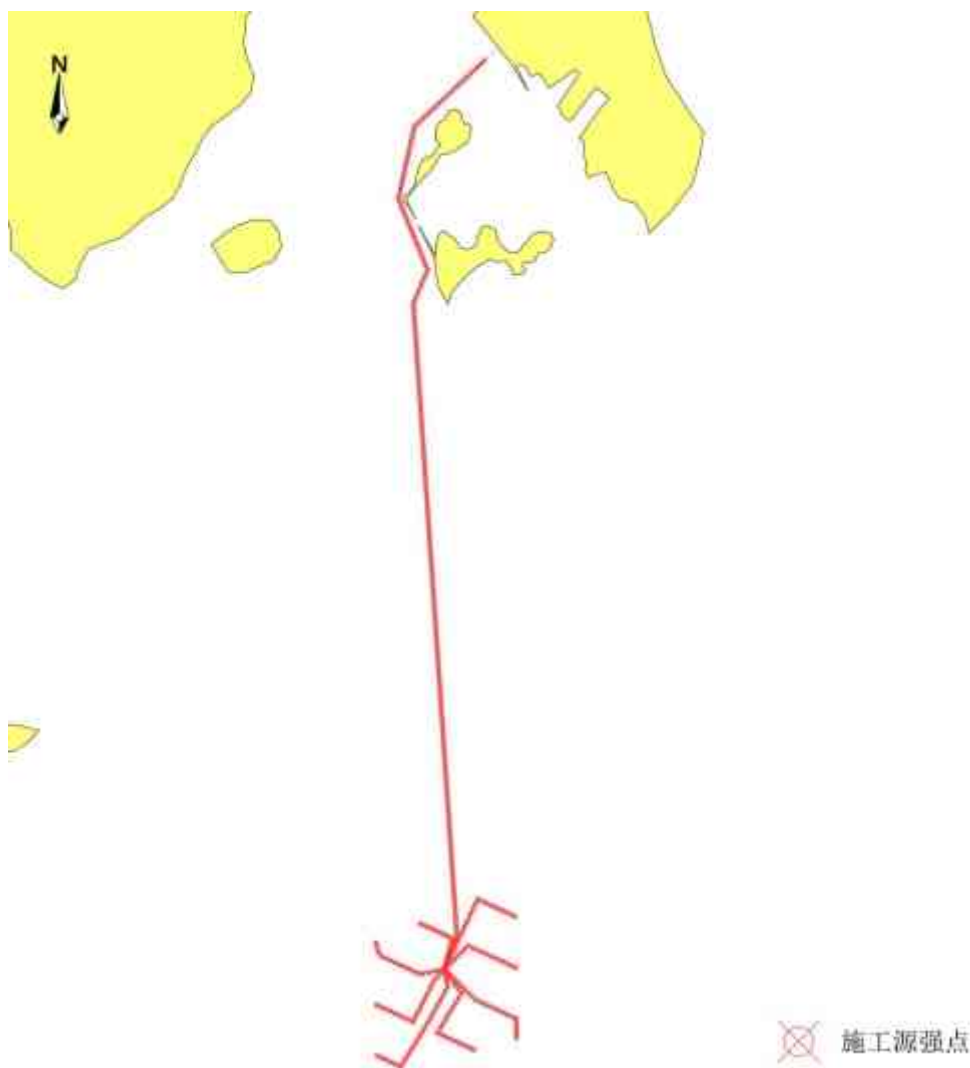


图 7.3-1 工程施工悬沙源强点示意图

7.3.1.1.3 预测结果

计算得出本项目施工作业引起的底层悬浮物最大增量浓度包络见图 7.3-2。对每个网格沿水深方向取各层最大值的平均，可以得到垂向平均的最大增量浓度分布，进而绘制出垂向平均的最大增量浓度包络，见图 7.3-3，不同增量浓度的包络面积统计见表 7.3-1。

悬沙扩散的影响主要位于底层，对中层和表层的影响甚小，底层浓度增量大于 10mg/L 的最大影响面积为 75.59km²，增量浓度大于 10mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 1.6km 海域，增量浓度大于 20mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 1 km 海域，增量浓度大于 50mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.5km 海域，增量浓度大于 100mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.15km 海域，增量浓度大于 150mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.05km 海域。

悬沙影响主要出现在施工点附近海域，这种影响主要在海缆铺设过程出现，海

缆铺设和桩基施工时限较短，一旦施工完毕，工程所在区域周边水质环境可在较短时间内恢复。

表 7.3-1 施工不同浓度增量包络面积统计 单位：km²

层次	>200mg/L	>150mg/L	>100mg/L	>50mg/L	>20mg/L	>10mg/L
表层	<0.01	<0.01	<0.01	0.21	2.08	7.84
中层	<0.01	0.11	0.26	2.52	14.22	36.02
底层	1.53	3.29	6.81	16.30	43.54	75.59
垂向平均	0.07	0.22	0.76	3.20	14.61	34.23

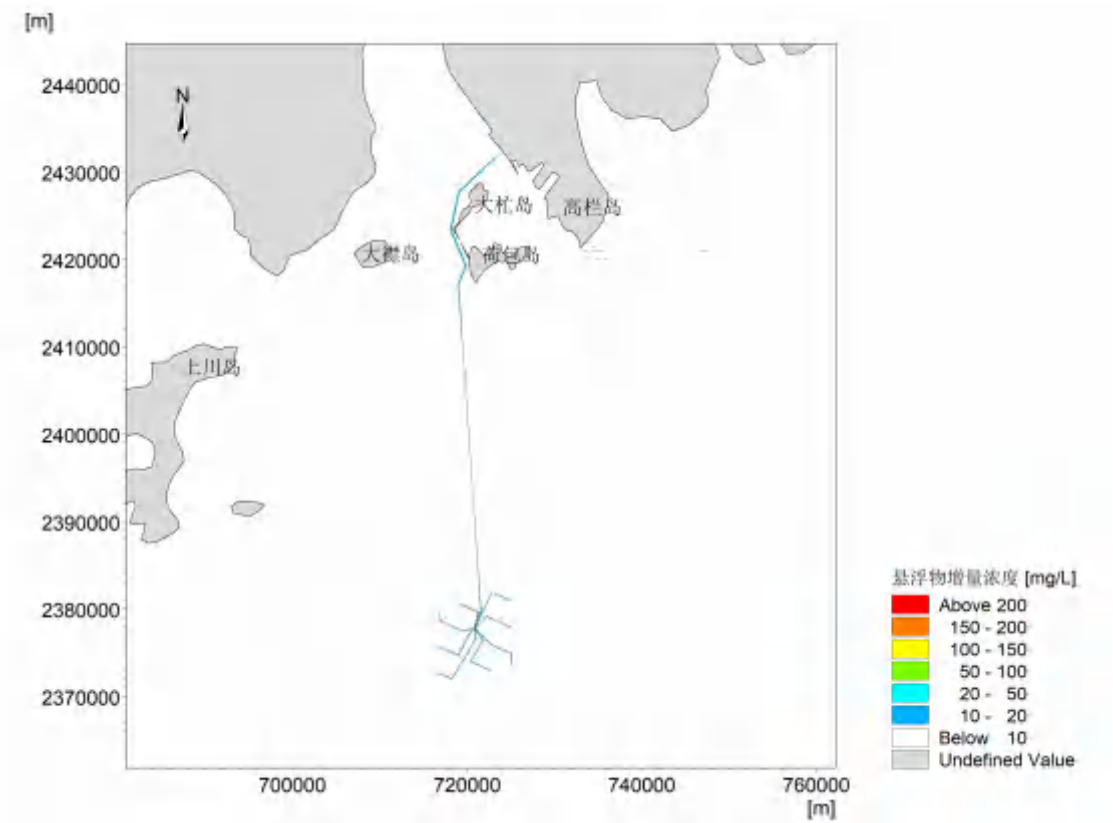


图 7.3-2a 海底电缆铺设作业表层悬浮物增量浓度包络图

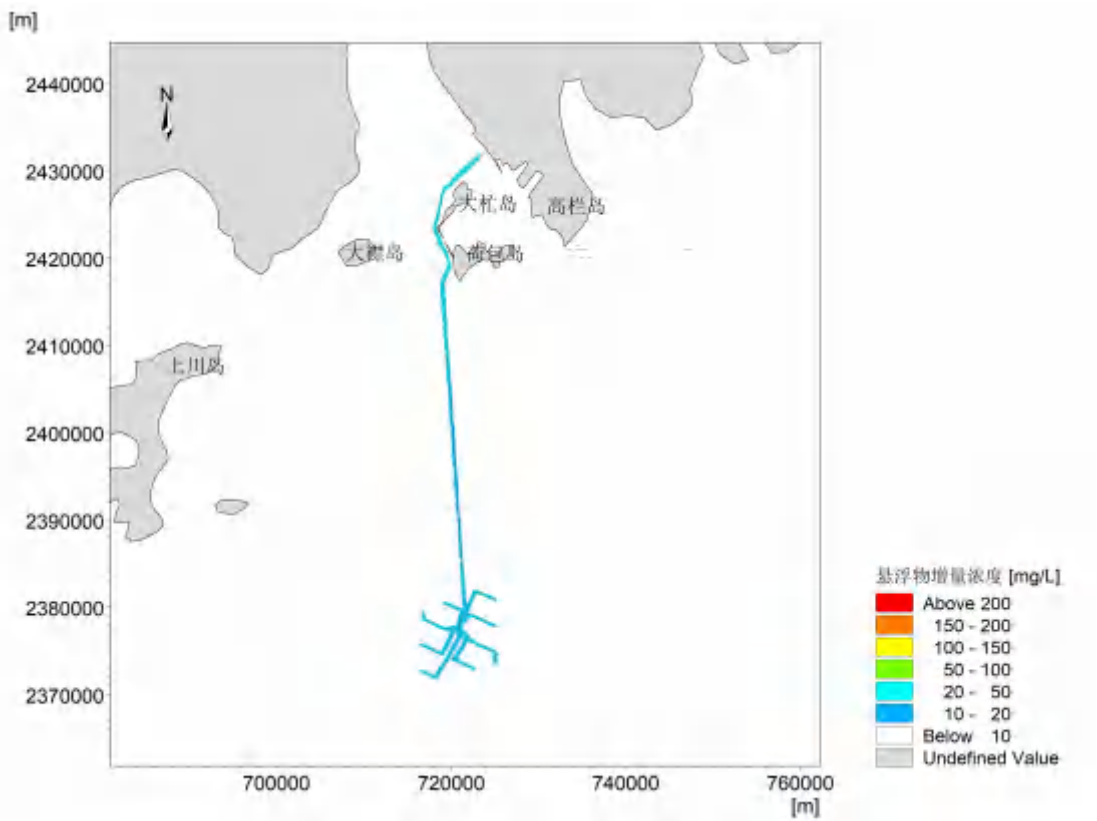


图 7.3-2b 海底电缆铺设作业中层悬浮物增量浓度包络图

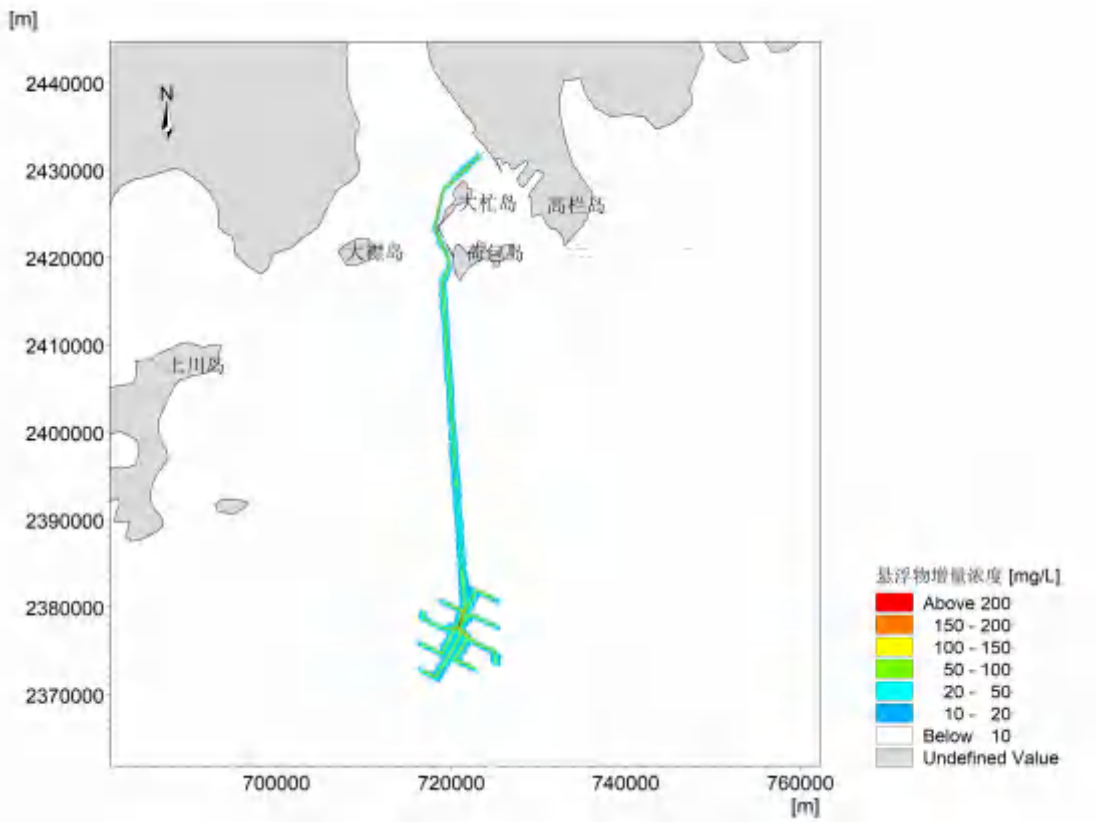


图 7.3-2c 海底电缆铺设作业底层悬浮物增量浓度包络图

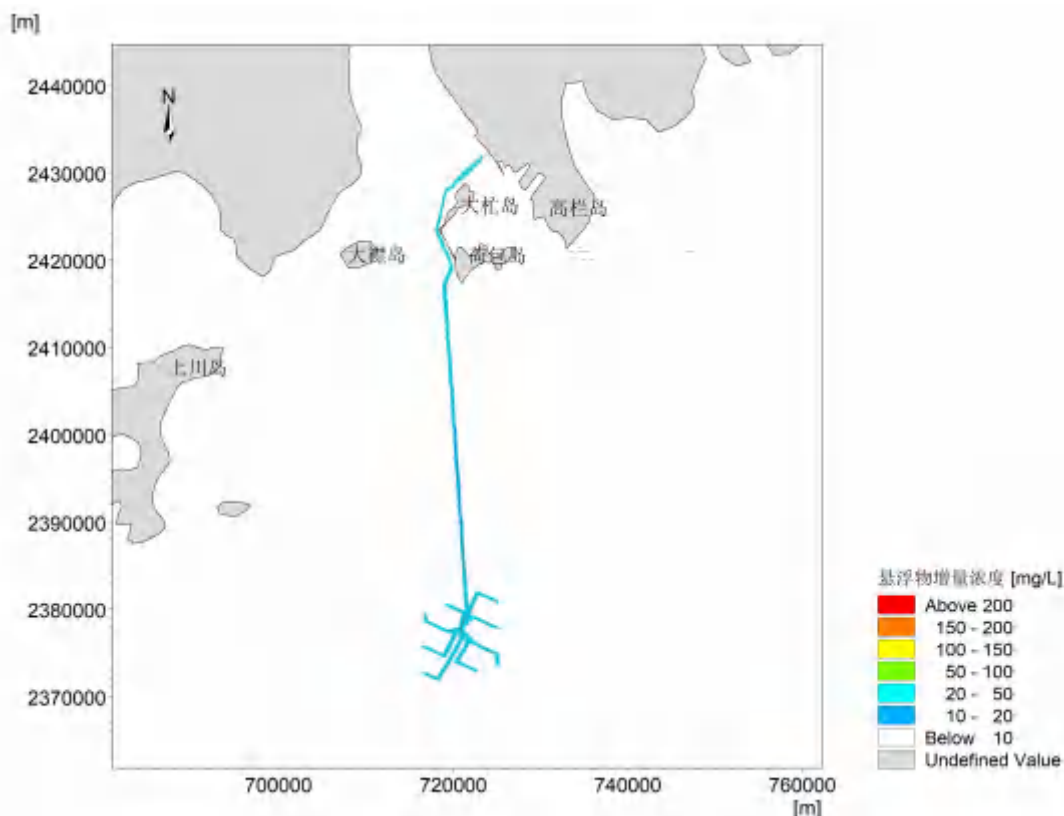


图 7.3-2d 海底电缆铺设作业垂向平均的悬浮物增量浓度包络图

7.3.1.2 施工期污水影响

本工程海上施工期间会产生一定量的生活污水，生活污水中含有较高浓度的 N、P 等物质，未经处理直接排放，则会在一定程度上加重海域的富营养化程度，恶化工程附近海域的水环境。本工程施工船舶设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不在工程所在海域排放，不会影响海域水质。

因此，项目建设对所在海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，一旦施工结束，影响即可消除。

7.3.2 运营期水质环境影响

项目运营期间对海水水质的影响主要为维护人员生活污水、检修船舶含油污水、海上升压站储油、风机维修的废油和风机、升压站基础防腐。

项目运营期间对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、废油等，检修工作人员需按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，维护结束后送交有资质单位进行妥善处置；运营期间风机维护和检修时产生的船舶生活污水、船舱底油污水在运维船上分类收集，待船舶靠岸后，交由有能力单位接收处理；

海上升压站储油罐提供柴油补给，保证柴油发电机能够不间断使用，本项目设置事故油罐，正常情况柴油泄漏不会对海域水质产生影响；本项目采用外加电流阴极保护方法对风机、升压站基础进行防腐，不会将金属离子释放到环境中。

因此，项目运营期间基本不会对所在海域水质环境造成影响。

7.4 海洋沉积物环境影响评价

7.4.1 施工期海洋沉积物环境影响

（1）施工污染物排放对沉积物环境的影响分析

根据沉积物环境现状调查结果，风电场区附近沉积物环境质量状况良好，符合评价海域目标沉积物质量要求。

施工期众多大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生一定数量的含油废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶污水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，将直接污染区域海水水质，进而可能影响工程区域海域沉积物环境质量，造成沉积物中废弃物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。项目施工期应加强管理，施工船舶设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，在船上密封收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不得在海域范围内排放，在严格做好施工期管理、监理和监测的工作的前提下，基本不会所在海域的沉积物环境造成影响。

（2）施工悬沙对沉积物环境的影响分析

本项目海缆敷设、风机桩基施工等过程中会使海域内悬浮泥沙含量增大，悬浮泥沙粒径小、粘度大，沉降到海底后使海底表层沉积物粒径变小，粘性变大。工程搅动海底沉积物在2天内沉积海底，除对海底沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，没有其它污染物混入，不会影响海底沉积物质量。

（3）海缆铺设施工对沉积物环境的影响分析

海底电缆埋设期间搅起来的海底沉积物被堆积在缆沟两侧，在冲埋结束后，在海水运动作用下将回填于缆沟，不会对沉积物性质产生明显影响。

7.4.2 运营期海洋沉积物环境影响

本项目风机基础采用外加电流阴极保护方法，基本不会将金属离子释放到环境中，且运营期产生的废水、固体废物均收集上岸处理，不排放入海，因此，本项目运营期对区域海洋沉积物环境不会产生影响。

7.5 声环境影响评价

7.5.1 施工期噪声影响分析

7.5.1.1 噪声源分析

本项目施工噪声主要来自风机及升压站桩基施打、施工设备、运输船舶等产生的噪声。

水下打桩可分为冲击打桩和振动打桩两类，冲击打使用水锤泵对桩施加冲击力将桩沉入地下，振动打桩使用旋转偏心块对桩施加交变力，通过振动将桩沉入地下（Blackwel 2004）。水下冲击打桩是海洋工程的典型主要强噪声来源，其特点为高声源级，单次冲击表现为脉冲式宽频波形，而对于一根桩柱需要多次冲击才能完成作业，因此表现为连续多个脉冲的脉冲串。本工程采用液压打桩锤进行施工，属于水下冲击打桩方式。

（1）冲击式水下打桩噪声

冲击式水下打桩为海上风电场施工期间最大的水下噪声源强。桩基施打所产生的水下噪声源强主要取决于桩柱管径、重锤敲击能量、海域水深、海底地质等参量。本工程风机和海上升压站均采用四桩导管架基础，风机单桩基直径为 3.5m，海上升压站单桩基直径为 2m，液压打桩锤噪声源强值取工程经验的最大值 216dB 计。

（2）海底电缆敷设噪声

工程海底电缆近海段敷设主要采用专业敷缆船敷设，海底电缆的埋设由海缆敷设船进行，海缆埋设深度大于 3m。根据《阳江青洲三、青洲四海上风电场海缆集中送出工程环境影响评价报告书》类比调查工程作业船噪声声级见下表 7.5-1。

表 7.5-1 施工船舶噪声声级

噪声源	声级, dB (a)	测点距离, 米
铺缆船	85	10
拖轮	75	10
锚艇	75	10

以上施工设备同时运行时，在距离噪声源 10m 处最大噪声值为 85.8dB (a)。

（3）运输船舶

施工设备、材料等运输将动用大量运输船只，这些运输船的频繁行驶经过和施工将对施工海域产生较大干扰噪声。船舶噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。

工程所用船舶以平均航速 10n mile 估算，运输路线为码头至风电场工程区（以中心点计）之间，污染源方式为移动点源，采用 RaNDI 模型进行估算，其源强情况见表 7.5-2。

表 7.5-2 船舶运输噪声排放情况

污染源	产生量	污染物	水下排放量	排放方式
甲板驳船	6 艘	SL	167 dB	移动点源
主起重船	2 艘	SL	156 dB	移动点源
拖轮	4 艘	SL	153 dB	移动点源
交通艇	1 艘	SL	147 dB	移动点源
抛锚艇	4 艘	SL	150 dB	移动点源
补给船	1 艘	SL	145 dB	移动点源
灌浆船	1 艘	SL	162 dB	移动点源

7.5.1.2 噪声影响预测

（1）打桩噪声

1) 噪声影响阈值

对海洋生物保护阈值的要求，主要参考《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)中人为水下噪声对海洋哺乳动物、鱼类的影响阈值(表 7.5-3a、B) 和美国国家海洋渔业局现行采用的（过渡性）保护门限值（NOaa FisHerries NorthHwest Regional Office, 2012）（表 7.5-3c）以及厦门大学对工程海域主要优势物种的实验研究结果。

目前在水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类影响相关阈值判断中，根据水下工程噪声对海洋生物影响的危害性程度进行分级。根据表 7.5-3a，项目区周边海域对噪声比较敏感的海洋哺乳类动物主要为海豚科，听力分组为“高频鲸目”，对脉冲噪声（水下打桩）TTS 阈值为 170dB SEL_w 或 224dB SPL_{pk}，PTS 阈值为 185dB SEL_w 或 230dB SPL_{pk}，对非脉冲噪声（船舶噪声）TTS 阈值为 178dB SEL_w，PTS 阈值为 198dB SEL_w。根据表 7.5-3B，项目区周边海域对噪声比较敏感的鱼类主要为石首科鱼，听力分组为“有鱼鳔，鱼鳔与听力相关”和“有鱼鳔，鱼鳔与听力无关”，物理损伤阈值为 203dB SEL_{cum} 或 207dB SPL_{pk}，TTS 阈值为 186dB SEL_{cum}。根据表 7.5-3c，声源级高于 180dB 的水下噪声为危险级，可能会对海豚的听觉系统造成伤害，主要有打桩噪声和水下爆破噪声；声源级在 120~180dB 范围的水下噪声为警告级，可能会对海豚行为产生影响，主要有施工船舶噪声以及钻孔噪声和疏浚噪声；声源级低于 120dB 的水下噪声强度基本接近海洋环境噪声，评定为安全级。

由于《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）中噪声对哺乳类和鱼类伤害的门限值定的比较松，因此采用美国国家海洋渔业局现行采用的（过渡性）保护门限值进行影响分析。

表 7.5-3a 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值（HY/T 0341-2022）

听力分组	非脉冲噪声		脉冲噪声	
	TTS	PTS	TTS	PTS
低频鲸目	179dB SEL _w	199dB SEL _w	168dB SEL _w 或 213dB S PL _{pk}	183dB SEL _w 或 219dB S PL _{pk}
高频鲸目	178dB SEL _w	198dB SEL _w	170dB SEL _w 或 224dB S PL _{pk}	185dB SEL _w 或 230dB S PL _{pk}
超高频鲸目	153dB SEL _w	173dB SEL _w	140dB SEL _w 或 196dB S PL _{pk}	155dB SEL _w 或 202dB S PL _{pk}
海牛目	186dB SEL _w	206dB SEL _w	175dB SEL _w 或 220dB S PL _{pk}	190dB SEL _w 或 226dB S PL _{pk}
海豹类食肉目	181dB SEL _w	201dB SEL _w	170dB SEL _w 或 212dB S PL _{pk}	185dB SEL _w 或 218dB S PL _{pk}
其他海洋食肉动物	199dB SEL _w	219dB SEL _w	188dB SEL _w 或 226dB S PL _{pk}	203dB SEL _w 或 232dB S PL _{pk}

表 7.5-3b 人为水下噪声对鱼类影响阈值（HY/T 0341-2022）

听力分组	致死性或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS	声掩蔽	
无鱼鳔	219dB SEL _{cum} 或 213dB SPL _{pk}	216dB SEL _{cum} 或 213dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔, 鱼鳔与听力无关	210dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	203dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关	207dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	203dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 高	(近) 高
				(中) 高	(中) 高
				(远) 中等	(远) 中等
卵和幼体	210dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	(近) 中等	(远) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

由于施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间较短，无多声源叠加等特点。海域中有石首鱼科鱼类时，当声源级高于 180dB 时，石首鱼科鱼类有明显应激反应，鲸豚类海洋生物听力受到损害，因此 180dB 为石首鱼科鱼类和鲸豚类海洋生物的危险级阈值，其可能对石首鱼科鱼类和鲸豚类海洋生物的听觉造成系统性伤害。而在声源级为 150dB 时，石首鱼成鱼和幼鱼行为均受到明显干扰，可见 150dB 定为石首鱼科成鱼和幼鱼的警告级阈值。

2) 模式预测

根据参考国外文献资料，估算其打桩施工时的影响范围。采用的声衰减计算公

式为：

$$TL=F \log (D/R)$$

式中： TL 为传播损失，为声源级减去目标声级值（即保护阈值）的差，单位为 dB； D 为目标声级值所在的位置与声源的距离，单位为米； R 为计算传播损失时的参考距离，根据声源级计算点与声源本身的距离而定。 F 是衰减因子，其值会随着海况（如水深、底质状况、海面宽阔程度）和打桩的工程参量（如桩的类型材质、以及桩机功率）而变化。

衰减因子 F 依据施工海域水深及声传播衰减情况，一般的数值在 10~30 之间，基于中船重工七〇二研究所在江苏海域蒋家沙 300MW 海上风电场工程打桩施工的监测结果，以及港珠澳大桥打桩水下噪声源传播衰减和厦门五缘湾打桩噪声传播衰减，本项目打桩噪声预测中的衰减因子 F 取 22。

本项目风机、升压站打桩源强以 216dB 来计算，计算其打桩施工时的影响范围，单个桩基在撞击式施工时所对应的影响距离见表 7.5-4。

表 7.5-4 海洋生物安全距离

声源级保护阈值	风机、海上升压站基础施工（216dB）
180dB（对石首鱼科鱼类和鲸豚目海洋生物听力保护范围）	32m
150dB（石首鱼科成鱼和幼鱼行为造成干扰）	1000m

由于施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间较短，无多声源叠加等特点。单桩基础打桩施工确立在距离桩基最大 32m 范围内为警告区域（对石首鱼科鱼类和鲸豚目海洋生物听力保护范围）。当海域中有石首鱼科成鱼和幼鱼时，根据实际海域环境鱼类可以游开远离噪声干扰区，以 150dB 将对石首鱼科成鱼和幼鱼产生伤害影响为阈值，可算出单桩基础打桩下，与施工风机的相应最大距离为 1000m。

2) 类比分析

本工程水下噪声主要集中在施工期，根据文献资料和国内已建工程，选取的类比对象有：Susanna B.等人研究打桩现场模拟与测试结果、英国苏格兰东北 5MW 风机打桩施工噪声、江苏蒋家沙 300MW 海上风电场打桩噪声。

①国外研究资料类比分析

Susanna B.Blackwell（2004）的研究显示：在水深 12m 的海域，距离撞击式桩基施工 80m 处测量所得的声压级未超过美国国家海洋渔业机构（NmFS）颁布的鲸

类最大可承受声压标准 180dB/re1 μ Pa (NmFS, 2000)。英国另一海上风电场（苏格兰东北，5MW 风机施工）打桩施工（桩径 1.8m，监测海域水深为 14.5~51.4m）噪声监测的强度和频率分布结果显示：打桩噪声的频率分布较宽，在 10Hz~100kHz 的频率带宽上都有较大的噪声能量分布，在小于 10kHz 的频率上声压谱级可达到 100dB 以上。

②江苏蒋家沙水下打桩噪声分析

中船重工第七〇二研究所于 2018 年 2 月 7 日对蒋家沙 300MW 海上风电场打桩噪声进行了现场监测。蒋家沙 300MW 海上风电场风机基础主要采用三桩导管架基础，桩径为 2.2m。此次监测设置了 4 个监测点，距离打桩点 228m（1#测点）、410m（2#测点）、792m（3#测点）、4109m（4#测点）处分别进行了监测。

1#~4#测点的不同水深声压谱（密度）比较结果表明：1#测点的总声级在 157.8dB~166.5dB（20Hz~20kHz）之间，2#测点的总声级在 151.9dB~165.0dB（20Hz~20kHz）之间，3#测点的总声级在 150.6dB~161.4dB（20Hz~20kHz）之间，4#测点的总声级在 129.6dB~142.2dB（20Hz~20kHz）之间。

4 个测点上层水听器测到的噪声与背景噪声监测值对比结果表明：在 1#测点噪声监测值比海洋背景噪声提高了约 10~55dB；2#、3#测点噪声监测值比海洋背景噪声提高了约 2~55dB；4#测点低于 50Hz 和高于 10kHz 的频率范围内，噪声监测结果与环境噪声背景基本接近，50Hz~10kHz 范围内噪声监测值比海洋背景噪声提高了约 2~30dB。

（2）施工期船舶航行

船舶航行引起的水下声环境变化预测，根据厦门大学在厦门五缘湾海域对海洋环境噪声与船舶噪声进行的监测。厦门西海域为厦门港的主要航道，监测的船舶渔船经过时的海洋环境噪声变化情况。一艘渔船由远到近，之后又远离时所（最近距离 20m）监测到的船舶噪声，其监测结果表明：一般货运船舶噪声的均方根声压级平均值约为 125.5dB，比海洋环境噪声提高了约 10~15dB。部分航速较快、吨位较大、航行中仍在施工或其他增大水下噪声的原因的船舶其峰值声压级可以达到 150dB 以上。船舶航行声压谱级的变化，见表 7.5-5。

表 7.5-5 船舶经过前与后的海洋环境噪声变化

频率 (kHz)	0.1	0.5	1	2	5
船舶经过前噪声谱级 (dB)	95	93	94	88	80
船舶经过时噪声谱级 (dB)	108	110	112	100	98

增加谱级数（dB）	13	17	18	12	18
本工程船舶噪声最大值（水下背景噪声在 0.1kHz~5kHz 最大噪声分别为 117.6dB、103.3dB、96.4dB、90.2dB、82.2dB）	130.6	120.3	114.4	108.4	100.2

预计工程的甲板驳船、拖船及交通艇经过海域的水下噪声增加在 18dB 以上，小型船舶经过时，海洋水下噪声增加 10~15dB 之间。

（3）小结

根据模式预测及类比分析结果，在距离声源相近距离的模式预测结果整体略高于相近位置实测噪声结果值；江苏蒋家沙的水下打桩噪声实测结果，在距离桩基 20 m 处时，打桩噪声相比海洋背景噪声提高了约 30~50dB；在距离桩基 40m 处时，打桩噪声相比海洋背景噪声提高了约 20~40dB；在距离桩基 500m 处时，打桩噪声相比海洋背景噪声提高了约 10~20dB；打桩噪声的频率分布较宽，在 10Hz~100kHz 的频率带宽上都有较大的噪声能量分布，在小于 10kHz 的频率上声压谱级可达到 100 dB 以上。工程的大型船舶经过海域的水下噪声增加在 18dB 以上，小型船舶经过时，海洋水下噪声增加 10~15dB 之间。

7.5.1.3 对海洋动物影响分析

（1）工程附近海域主要渔业资源声特性

根据 2023 年 11 月、2024 年 3 月春秋两季的调查资料，工程附近海域鱼卵、仔稚鱼主要有：鲷科、石首鱼科、舌鳎科，最优势种为石首鱼科。游泳生物有：皮式叫姑鱼、口虾蛄、梭子蟹等，其中鱼类、虾类和蟹类多数为经济品种，占有较大的比例。工程海域海洋生物资源丰富，为分析风电场在施工期与运营期对工程海域海洋生物的影响，以该海域中的渔获物优势种来进行影响分析。

表 7.5-6 工程附近海域部分鱼声敏感度表

名称	分类	声敏感度	生活习性
姑鱼	鲷形目 石首鱼科	鱼类主要对于声音频率低于 0.5-1000Hz 敏感。石首鱼类对覆盖它们发声峰值频率的低频最为敏感。	生活在 1-40m 水深，喜栖于浑浊度较高的水域。
口虾蛄	十足目 虾蛄科	平均主频在 167Hz，平均持续时间为 0.02s。	虾蛄多穴居，常在浅海沙底或泥沙底掘穴，穴多为 U 字型。
梭子蟹	十足目 梭子蟹科	暂无	一般生活在 3-5m 深海底生活及繁殖，冬天移居到 10-30m 的深海，喜在泥沙底部穴居。

根据刘贞文等（2014）对石首鱼科声刺激行为研究结果表明：

1）幼鱼的声敏感测试结果

实验结果显示，幼鱼对声波有较为敏感的反应；当频率为 800Hz 时，观察到幼鱼反应较为灵敏，有主动避开声源位置的行为发生；当声压峰值增至约 150dB 时，有少量幼苗开始原地打转或翻转肚皮，有直接致死的趋势；幼苗在 800Hz±50Hz 的声敏感度较强，并且当声强达到 150dB 以上，极有可能导致幼鱼的直接死亡。

2) 小鱼的声敏感测试结果

小鱼未受惊吓时，远离水面而小群分散在池底区域洄游；声压级较小时（<150 dB），观察到小鱼集群有主动避开声源的行为发生，以 600Hz 的频率尤为明显，当声压级达到 187dB，观察到少量小鱼在水池中翻滚打转，特别是在声源正上方的中鱼翻转动作最剧烈，过后对外界的干扰反应变得十分迟钝；信号发射期间，大部分小鱼均远离声源（>4m），有部分小鱼从较深的池底游向较浅的水面区域。当声压级增至 192dB 时观察到有 2 条小鱼当场死亡。实验结束后，受过声音惊扰的小鱼此后基本不再进食；后续数天有较多小鱼逐渐死去。

3) 成鱼的声敏感测试结果

在发射频率 600Hz 声压级 140dB 时，成鱼游动自由，不受影响。但当发射强度大于 150dB 时，鱼群主动避开声源。在发射 192dB 的信号时，观测到鱼群纷纷跳出水面，有部分成鱼翻转身子（鱼肚朝上）沿着水池壁来回绕圈，反应十分迟钝并且不逃跑。虽然实验的整个过程未发现成鱼直接死亡，但经过水下噪声刺激后，这些大黄鱼成鱼在接下来数天内不愿进食，并逐渐有少量死亡现象，在随后半个月时间内死亡率为 90%。

4) 小结

不同规格和年龄的石首鱼科对水中声音的反应存在明显差异。三种不同尺寸的对声音的敏感频率集中在 600~800Hz 频带上，与石首鱼科主动发声时的主要谱峰位置相吻合。不同年龄的石首鱼科的声敏感频率有略微差别，生长年龄越小的鱼，其声敏感频率越高。

(2) 施工期水下噪声对海洋动物的影响

1) 对石首鱼科影响分析

该海域存在石首鱼科鱼类（如皮式叫姑鱼、大头银姑鱼等）。在海域中存在石首鱼科鱼类时，考虑鱼群在海域中游动性，以 150dB 作为对石首鱼如皮式叫姑鱼、大头银姑鱼等产生行为影响为阈值，可算出对本工程在四桩导管架风机基础打桩施工时，与施工风机对应的距离为 1000m 警告区域，应确立在离桩基 1000m 的距离范

围外为安全距离。

根据文献，强噪声对石首鱼科的影响程度有：

①改变鱼的行为模式，包括：摄食、捕获，规避和离开某个区域；遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。

②损害物种的耳朵听觉细胞，石首鱼科的发声强度分别大约为（大鱼：140dB、中鱼 130dB、小鱼 110dB）。施工期水下噪声当超过这些强度后，也将会影响石首鱼科之间的交流。

本工程风机基础打桩在离桩基 32m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 180dB，长时间暴露于此噪声下可能会使得石首鱼科听力受到损害，受到致死致伤的影响，或受噪声影响后不摄食而死亡，在离桩基 1000m 处，打桩所产生的水线下噪声衰减至 150dB，对石首鱼科成鱼和幼鱼听力影响不明显。

因此，本工程基础打桩作业首先应确定 1000m 的安全距离，采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，避免造成大范围鱼类死亡。

2) 施工期对非石首鱼科影响分析

当海洋中人为噪声足够大并且鱼类相对靠近声源时，会造成鱼类内脏破裂导致其死亡或者破坏内耳毛细胞导致暂时（暂时性阈移，TTS）或永久（永久性阈移，PTS）的听力丧失。与许多其他动物不同，鱼类在一生中都可以产生毛细胞，Smith 等（2006）对金鱼的观察表明毛细胞在被声音破坏后可以再生。如果听力丧失是暂时的，那么鱼类在几小时或几天内就可恢复听力，恢复的时间取决于噪声的持续时间以及频率。然而，在听力暂时丧失阶段，鱼类会暴露在一个较高的被捕食风险环境中，并且一些具有重要生物学意义的行为可能会受到抑制。虽然对打桩噪音对鱼类行为影响的研究较少，但其他针对高强度噪声的研究也具有一定参考意义。Skalski 等（1992）发现空气枪暴露后岩鱼的捕获量减少。声呐暴露后，鳕鱼及黑线鳕捕获率也明显下降，并会一直持续几天。Person 等（1992）的研究发现岩鱼在听到空气枪噪声后会改变游动深度及速度，且行为反应阈值为 180dB。厦门大学在如东沿海现场实验，在发射不同强度噪声强度（147~178dB/1μPa）、不同频率（100~900Hz）的脉冲式噪声下，总体上花鲈、鲢、矛尾复鰕虎，鲮鱼等实验鱼种没有出现明显的“逃逸”行为，但在脉冲式频率（频率小于 500Hz）水下噪声有效声压级为 166d

B 时，观测到实验海域鲻鱼、鳙鱼出现明显游动的现象。

类比江苏蒋家沙水下打桩噪声分析，基础打桩施工水下噪声有效声压级为 166dB，影响范围大约在离桩基中心 228m 的距离范围，因此推测，本工程施工期对风电场址所在海域的非石首科鱼类带来一定的影响。

3) 对产卵场和幼鱼保护区的影响分析

本工程风电场位于蓝圆鲹产卵场（水深 60m 以内，产卵期 12 月~翌年 3 月）、金线鱼产卵场（水深 25~107m，主要在 40~80m，产卵期 3 月~8 月）、绯鲤类产卵场（水深 20~87m，产卵期 3 月~6 月）和南海北部幼鱼繁育场保护区。本项目风电场水深在 32~37.5m，金线鱼产卵场水深主要在 40~80m，项目施工对金线鱼产卵场影响较小。在建设过程中应高度重视对蓝圆鲹产卵场和绯鲤类产卵场的保护，避开这些鱼类的繁殖期和育幼期。

4) 施工期对保护动物的影响分析

本工程风电场与广东江门中华白海豚省级自然保护区最近距离约 29km，施工过程不对保护区内的中华白海豚产生影响。

计算水下打桩噪声中华白海豚的噪声剂量分贝值，首先应设计 FIR 数字滤波器模拟中华白海豚听阈特性，然后把相应的水下打桩噪声通过该滤波器，相当于对水下打桩噪声进行计权，即可得到噪声剂量分贝值，根据不同监测点的噪声剂量分贝值，可进行曲线拟合得到噪声剂量分贝值的传播衰减曲线，并根据该传播衰减曲线估计出 $dB_{Ht}(Sousa\ chinensis) = 90$ 和 $dB_{Ht}(Sousa\ chinensis) = 130$ 时对应的距离，为中华白海豚在水打桩施工背景下的声学保护提供安全范围建议。

李松海等人公开发表了关于中华白海豚听阈曲线的测量结果，对中国南海海豚馆一头青年中华白海豚（约 13 岁）和一头老年中华白海豚（约 40 岁）听阈曲线进行测量，发现在 22~128kHz 频段，老年中华白海豚听阈值高于青年中华白海豚，在 50kHz，两者听阈值差值达到 50dB，表明该频段上老年中华白海豚的听觉灵敏度较低；在 5.6~22kHz，老年中华白海豚听阈值低于青年中华白海豚，表明在该频段老年中华白海豚听觉灵敏度更高。汪启铭（2014）选取距打桩 200m、500m、1000m 对应的噪声剂量分贝值平均为 123.7dB、114.4dB、100.6dB：

$$dB_{Ht} = 199.7 - 32.5 \lg R \quad (\text{式 7.5.1-1})$$

由式 7.5.1-1 可知，噪声剂量分贝值的损失系数为 32.5，当距离打桩点 $R \leq 139.5$ m， $dB_{Ht}(Sousa\ chinensis) \geq 130$ ，当 $R \leq 2373.5$ m， $dB_{Ht}(Sousa\ chinensis) \geq 90$ 。

根据上述分析结果，可认为水下打桩噪声造成中华白海豚 TTS 的临界距离是 139.5 m，水下打桩噪声造成中华白海豚发生强烈躲避行为的临界距离是 2373.5m。本工程距离广东江门中华白海豚省级保护区约 29km，在风电场区域进行打桩施工时，不会对保护区内的中华白海豚产生影响。若在打桩施工过程发现风电场区周边 2373.5m 范围内有中华白海豚出现，应先驱赶后再进行施工打桩。

(3) 小结

1) 施工期打桩作业产生的水下噪声对石首鱼科的影响距离为 1000m，施工时应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使石首鱼科鱼类离开施工水域，减小水下噪声导致渔业资源的损失。

2) 施工打桩过程产生的水下噪声在达到 166dB 时，约距离桩基中心 228m，对非石首鱼科，会出现明显游动现象，主动回避水下噪声影响。

3) 项目施工过程主要会对蓝圆鲹产卵场、绯鲤类产卵场和南海北部幼鱼繁育场保护区产生影响，应避开产卵期进行施工。

4) 本项目风电场址距离广东江门中华白海豚省级自然保护区约 29km，风电场区打桩施工，对中华白海豚的影响范围为 2373.5m，不会对保护区内的中华白海豚产生影响。

7.5.2 运营期噪声影响分析

7.5.2.1 噪声源分析

工程运营期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。欧洲一些国家的海上风电项目水下噪声测量资料表明（Nedwell, J.R., Edwards, B., Turnpenny a.W.H., 2003, 2004, 2005, 2007 年）：运营期的风机运转噪声远低于施工期的打桩噪声，风电场在运转时所产生的噪声比较低。风机运行中向水下辐射噪声的主要途径是风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔筒传导到水中、从风机塔筒到海底再辐射到水中三条声传播路径组成，见图 7.5-1。

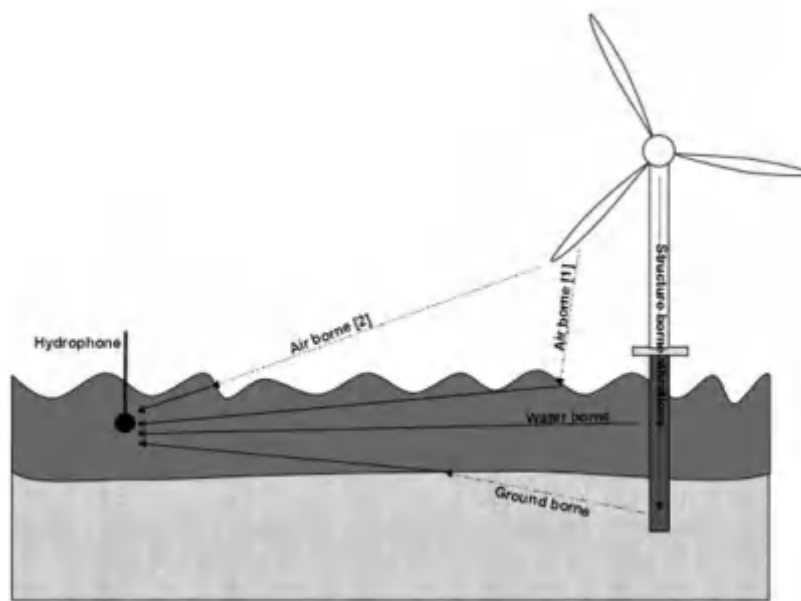


图 7.5-1 风机运行水下噪声传播路径示意图

J.R.Nedwell 等 (J.R.Nedwell et al, 2007) 在 2003 年总结了约 500 次单独测量的浅水风电场运营期水下噪声, 在频率 10Hz-120kHz 上 North Hoyle 的水下噪声平均值约为 116dB/re1 μ Pa, 变化范围为 90~158dB; 而对于 ScroBy Sands 所测结果是水下噪声平均值为 120dB, 变化范围为 100~135dB。测量结果与两个项目在建设前期所测量的海洋背景噪声级相符。同时还注意到, 即使是十分靠近一个正在运行的风机, 其噪声不超过背景噪声 20dB。

厦门大学于 2013 年 1 月对正在运行的上海东海大桥海上风电场水下噪声进行了监测。结果表明: 风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似, 总体强度随频率增加而明显减小, 在 1~20kHz 中声压谱级分布在 140dB 到 65dB 之间, 在 120Hz 到 1.5kHz 有一较宽的裙带状谱, 强度增加为 10~20dB。在离 3 号风机 200m 靠近桥梁及航道上, 100Hz 频点上的声压谱级达到最大为 128dB, 比同样深度不同距离的声压谱级提高 10~20dB。由于水下噪声的时间-空间-频率等随机变化的特性, 测量船只在远离风电场近 4km 处也测量到裙带状的低频背景噪声分布, 因此总体由于风机噪声而引起的强度变化不大, 基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

综上, 虽然测量结果反映出风机运行中在水下产生了噪声, 但是风机噪声的特征并不明显。

7.5.2.2 噪声影响预测

本项目运营期噪声影响主要考虑风机空气动力学噪声影响。

(1) 预测分析

1) 预测方法

根据实测结果与点声源衰减模式预测结果的拟合，在距风力发电风电机组较近情况下，声源为一面源，同时受机械噪声等高频噪声的影响，其噪声不符合点声源的衰减规律；在风力发电风电机组较远情况下，计算点大于风力发电风电机组几何体 1 倍距离后，其噪声衰减规律与点声源模式的衰减规律基本一致。甚至在距离风力发电风电机组水平 50m 以外，噪声计算值与实测值衰减趋势就基本一致。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》附录 C 推荐的预测模式，风力发电风电机组影响预测公式如下：

即假定声音从一个点无衰减传播开来，则距离单台风机声源 r 处预测点A声级 $L_P(r)$ 计算为式(7.5.2-1)：

$$L_P(r) = L_W(r_0) - 10\lg(2\pi r^2) \quad (7.5.2-1)$$

式中： $L_P(r)$ —单台风机声源 r 处预测点A声级，dB (a)

$L_W(r_0)$ —单台风机声源 r_0 处A声级，dB (a)

N 台风轮机距离声音源 r 处的噪音水平总效应 $L_{P, total}(r)$ 计算为式(7.5.2-2)：

$$L_{P, total}(r) = 10\lg \sum_{i=1}^N (10^{L_{P_i}(r)/10}) \quad (7.5.2-2)$$

2) 预测结果

经预测单台风力发电风电机组衰减趋势见图 7.5-2，采用最大声功率 106dB (a) 计算，可知在距风力发电风电机组直线距离 150m 处，噪声已衰减至低于 53.5dB(a)，接近海域水上噪声现状监测的背景值。

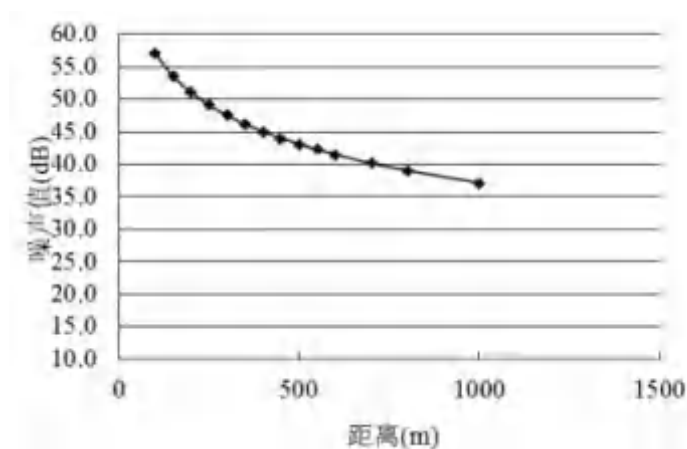


图 7.5-2 风力发电风电机组噪声衰减模拟计算结果

表 7.5-7 风电噪声衰减距离表

与轮毂直线 距离 (m)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	1000
噪声级 dB(a)	57.0	53.5	51.0	49.1	47.5	46.1	45.0	44.0	43.0	41.5	40.1	39.0	37.0

项目海上风电场区域风机行内间距为 780~936m，行间距为 2184~2964m，预测叠加影响后在单排风机外 150m 处，风机噪声可衰减至 53.5dB (a)。根据七〇二研究所对风电场区域的海上噪声背景值监测，场区的背景值在 50.0~61.4dB (a) 之间，考虑最大噪声背景值水平，在 150m 处，叠加风电场运行噪声后为 62.0dB (a)，由于背景值海上风声和海浪声较大，风电场运行噪声对海上声环境影响仅限于风机附近。

根据风力发电风电机组的特性，风力发电风电机组噪声具有指向性，即在顺风向的风机两侧噪声较大，垂直风向的风机叶片两侧噪声较小；而风机布置时为尽可能减小风机之间的尾流影响，控制湍流发生，一般在垂直于主风向上布置风机较多且间距较窄，而在主风向上布置的排数少且排距大，因此风力发电风电机组间噪声叠加影响非常小，多台风机间仅是影响范围的扩大，基本不增加影响程度。

根据预测，本工程风机噪声在 500m（受声点位于海平面上 2m 处）处衰减至 43dB (a)，相对于整个风电场区来说影响范围较小。

(2) 类比分析

1) 类比对象

中国船舶重工集团公司第七〇二研究所 2017 年 3 月 14 日对正在运行的江苏滨海北 H1#100MW 海上风电场工程附近海域进行了水下及水上声环境监测，滨海北 H1#风电场布置 25 台 4.0MW 风力发电机组，目前已建成运行。具体监测站位详见表 7.5-8 和图 7.5-3。类比监测时，风力发电机组正常运行。

表 7.5-8 监测点位置

序号	测试点		距最近风机距离 (米)
	经度 (E)	纬度 (N)	
Ya1	120°13'54.59"	34°23'48.44"	100
Ya2	120°14'0.19"	34°23'48.44"	250
Ya3	120°14'10.08"	34°23'48.44"	500
Ya4	120°15'8.41"	34°23'48.44"	2000
Ya5	120°16'27.26"	34°23'48.44"	4000
Z1	120°12'0.63"	34°23'47.31"	风电场内



图 7.5-3 声环境监测点位布置示意图

2) 可比性分析

风电场区运营期噪声影响预测采用类比分析方法，滨海北 H1#风电场位于江苏省海域海面上，周边没有其它工程，与本工程外围环境基本相同；滨海北 H1#风电场采用的是 4MW 风力发电风电机组，为单桩基础结构形式，单桩直径为 4.6~6.5m，本工程采用的是 14MW 风机发电风电机组，为四桩导管架基础结构形式，单桩直径为 3.5m，根据牛富强、许肖梅等（2016 年）通过海上风电场运营期水下噪声测量及特性初步分析结果，运营期风机产生的水下噪声强度较低，集中分布在 800Hz 以下的低频段，噪声强度与风机功率差异不明显。因此综上，可以滨海北 H1#风电场作为本工程运营期风机噪声影响评价的类比对象。

3) 类比监测结果

测试海域海洋环境噪声总声级在 108.5dB~138.6dB（20Hz~20kHz）之间，最大谱级在 88.1dB~127.3dB 之间，峰值声压在 138.5dB~167.2dB 之间。海面上环境等效噪声级主要分布在 52.1dB~58.4dB 之间，最大等效连续声级约为 58.4dB。

表 7.5-9 工程海域水下噪声峰值声压

测点编号	测点水深	总声级（20HYa-20kHz）（dB）	峰值声压 L_{peak} （dB）
Ya1	1m	131.7	165.3
	3m	133.5	161.9
	5m	138.6	163.0
	7m	119.1	148.8
	9m	119.9	152.2
	11m	121.6	152.5
Ya2	1m	128.8	162.3
	3m	130.0	159.3
	5m	133.2	163.5

测点编号	测点水深	总声级 (20HYa-20kHz) (dB)	峰值声压 L_{peak} (dB)
	7m	121.5	157.7
	9m	123.8	154.8
	11m	125.3	153.3
Ya3	1m	122.3	156.0
	3m	124.2	156.7
	5m	127.7	153.2
	7m	122.2	155.1
	9m	121.6	152.0
	11m	122.3	156.7
Ya4	1m	117.3	151.5
	3m	118.5	155.4
	5m	119.4	150.9
	7m	128.4	161.8
	9m	129.2	158.9
	11m	133.2	167.2
Ya5	1m	127.3	164.1
	3m	127.5	160.1
	5m	131.3	164.6
	7m	123.3	153.8
	9m	123.7	155.4
	11m	125.5	156.1
Z1	1m	108.5	138.5
	3m	110.0	139.4
	5m	109.2	139.0
	7m	118.0	142.9
	9m	120.2	149.5
	11m	120.1	142.9

由类比监测结果分析, 尽管监测点位 Ya1、Ya2 距离运行风机对较近, 但其等效连续 A 声级仍低于离风机较远的 Ya3 监测点位, 由此可见海上风电场运行噪声主要受海风、海浪声影响较大, 受风机转动影响较小。

在相同深度不同水平距离监测点上监测结果表明: 6 个监测点在相同水深处的噪声谱级变化不大, 距运行风机最近的 Ya1 不同水深水下噪声峰值声压级为 148.8~165.3dB, 距风机最远 (4km) 的 Ya5 不同水深水下噪声峰值声压级为 153.8~164.6 dB, 两个点位的噪声峰值声压级变化不大, 由此可见风电场运行对水下噪声环境影响较小。

(3) 小结

1) 根据预测分析, 本工程风机噪声在 500m (受声点位于海平面上 2m 处) 处衰减至 43dB (a), 相对于整个风电场区来说影响范围较小。

2) 通过类比分析表明, 海上风电场运行噪声主要受海风、海浪声影响较大, 受风机转动影响较小, 风机运行产生的水下噪声在相同深度不同距离处的噪声峰值声压级变化不大, 水下噪声受风电场运行对水下噪声环境影响较小。

7.5.2.3 对海洋动物的影响分析

(1) 国外相关研究结果

德国（klaus Betke 等，2004）研究的不同风机、对应不同风速下的噪声谱级，同时画出了海豹和鼠海豚的听阈曲线，见图 7.5-4。丹麦（JakoB Tougaard 等，2009）研究的海上风电场在两种不同风速下的噪声谱级分布图，见图 7.5-5，风电场为丹麦 middelgrundten 海上风电场，风机类型为 2MW。（图中灰色为海洋背景噪声，蓝色为风机产生噪声；红色（正方形）为海豹在该频段上的听阈曲线；红色（圆点）为鼠海豚在该频段上的听阈曲线）。

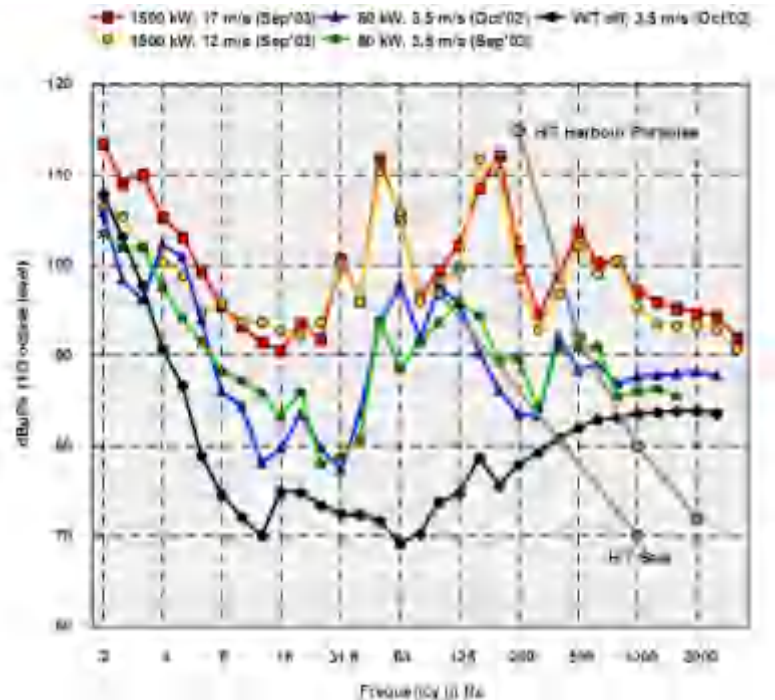


图 7.5-4 不同风机在不同风速下的水下噪声

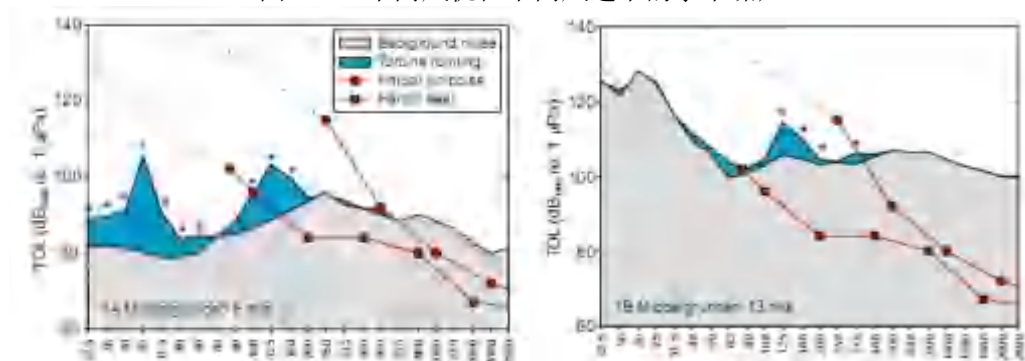


图 7.5-5 丹麦一风电场在两种风速下不同的谱级

根据分析，风机在水中不同风速下产生的声压级变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没

在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

（2）运营期水下噪声对海洋动物的影响分析

根据中国船舶重工集团公司第七〇二研究所于 2017 年 6 月对已经运行的滨海北区 H1#海上风电场水下噪声进行了类比监测。在相同深度不同水平距离监测点上监测表明：7 个监测点在 3m 水深处的噪声谱级变化不大，基本上与原有的环境背景噪声级相当，频率 100Hz 以上的噪声谱级均在 106dB 以下。总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近，因此风电场营运所带来的轻微的噪声增加对鱼类等海洋生物影响不大，即鱼类等海洋生物对海上风电场营运噪声做出行为响应的可能性不大。但不同海洋生物种群间由于声学特性差异较大，对不同性质声音的反应也不一样。

1) 对成鱼的影响

结合海上风电场运营期水下噪声类比测量结果，在综合分析对声音最为敏感的皮氏叫姑鱼声学特性后，可以得出风电场运营期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声相当，风电场运营所带来的轻微的噪声增加对鱼类的影响不大。

2) 对鱼卵、仔鱼影响

由于成年鱼类会主动远离噪声源，幼体是浮游生活且随海流而动，没有能力远离噪声源。因此，仔稚鱼与成熟阶段相比，可能会受到更多的水下噪声的影响。通过类比分析，海上风电场运行噪声主要受海风、海浪声影响较大，受风机转动影响较小，风机运行产生的水下噪声在相同深度不同距离处的噪声峰值声压级变化不大，水下噪声受风电场运行对水下噪声环境影响较小，因此鱼卵、仔稚鱼所受水下噪声影响较小。

3) 对保护动物的影响

本项目风电场与广东江门中华白海豚省级保护区的距离约为 29km，风机运行不会对中华白海豚不会产生影响。根据风电场水下噪声监测结果和国外数据分析，风电场运营期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声基本上相当。若风电场周边有中华白海豚经过，风机产生的水下噪声对中华白海豚的影响程度较小。

（3）小结

根据风电场水下噪声监测结果和国外数据分析，风电场运营期总体的水下噪声

强度比较低，与原海洋环境背景噪声基本上相当。本项目运营期风机产生的噪声对鱼类、中华白海豚等生物产生的影响较小。

7.6 电磁环境影响评价

7.6.1 电磁环境类比分析

7.6.1.1 66kV 集电海缆场内叠加效应分析

本项目风电场 66kV 场内海底电缆基于平行四边形基本单元的规则化排布方法，呈现出“梅花型”的宏观分布。

通过 6 根平行排列的海底电缆进行分析，采用 ansoftmaxwell2D 软件中的交流传导场进行仿真评估。图 7.6-1 和图 7.6-2 分别为 66kV 海底电缆在不同相位下的电场强度。由图可知，电场严格限制在每个核内部，这是由于假设理想条件下的电缆金属护套完全接地。仿真结果与理论分析相吻合。

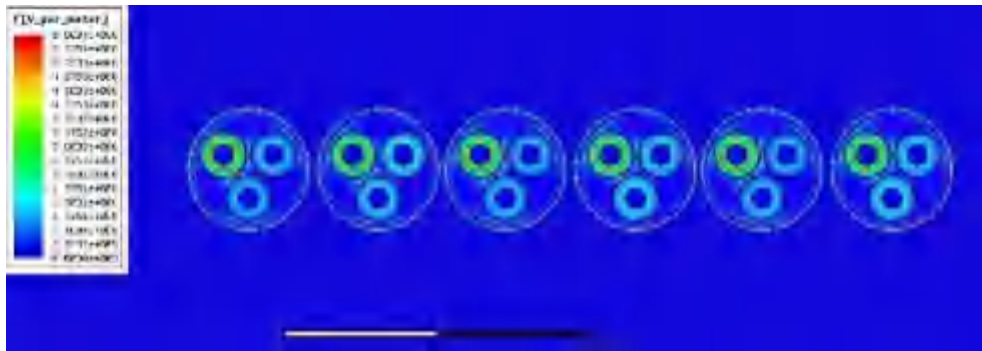


图 7.6-1 相位为 0° 的电场强度 E（不同颜色表示的范围为 0 到 106V/m）

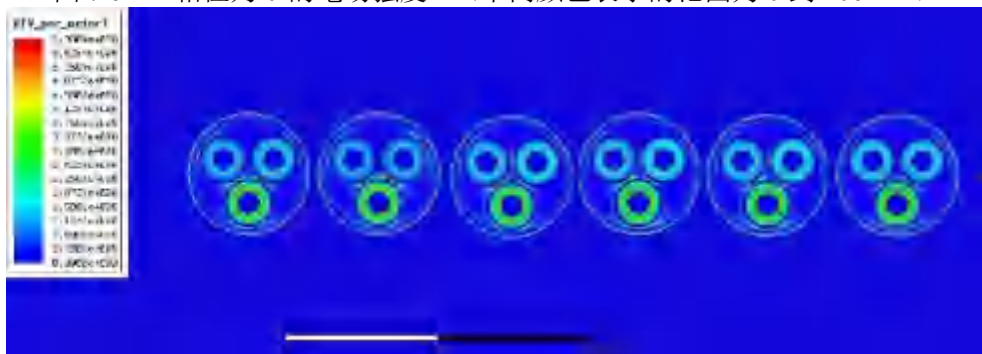


图 7.6-2 相位为 120° 的电场强度 E（不同颜色表示的范围为 0 到 106V/m）

由麦克斯韦方程组可知，变化的电场将产生磁场，并且通过交流电存在于每一相导线，这些时变的磁场使得周围媒质感应出电场，并且导体中存在涡流，下面采用涡流场求解器仿真磁场强度和磁感应强度。

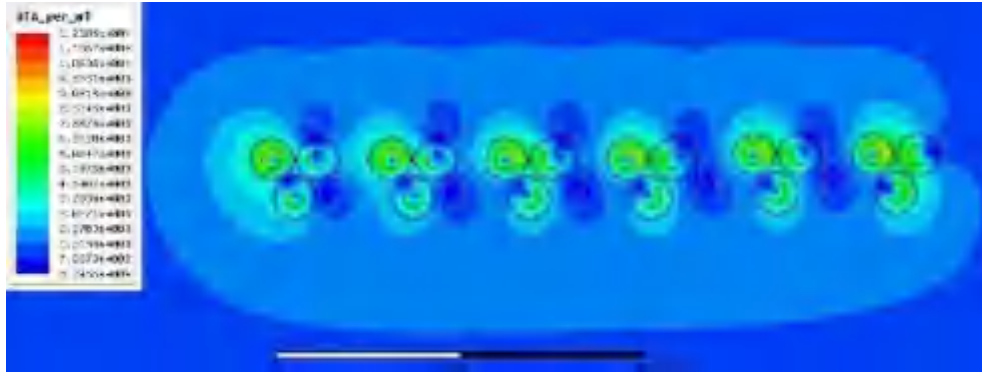


图7.6-3 海底电缆相位为0°的磁场强度H（不同颜色表示的范围为 10^{-4} 到 10^4 A/m）

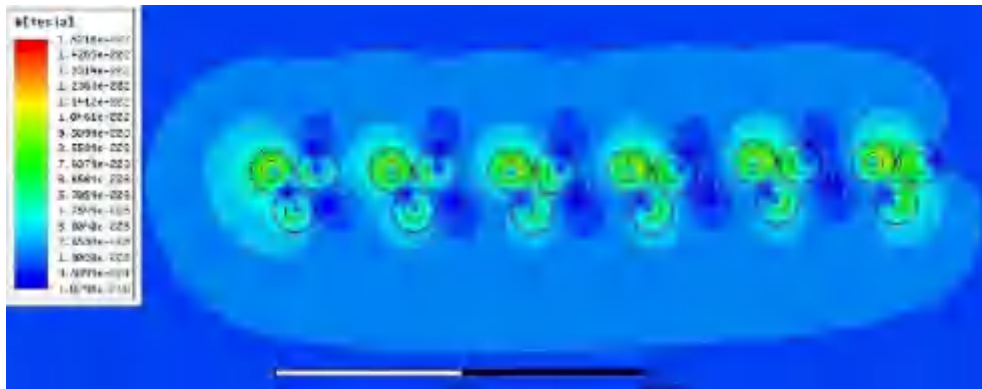


图7.6-4 海底电缆相位为0°磁感应强度（B场）（不同颜色表示的范围为 10^{-10} 到 10^{-2} T）

图 7.6-3、图 7.6-4 分别给出了 6 根电缆并行排列时的磁场强度和磁感应强度。由图可见，并行排列的 6 根电缆磁感应强度的叠加效应将使衰落呈椭圆分布，但总体强度随着距离的增加而减少，而且衰减越来越严重，在离电缆中心点 1m 外的区域中磁感应强度已经降到 $1\mu\text{T}$ 以下。

评价结论表明，风机所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66 kV 的海底电缆本项目通过梅花型分布方式，电流产生的磁场在空间分布对称情况会相互叠加消减，在影响范围比直线分布的低，磁场在海域介质中的衰减特性，在离电缆中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 $1\mu\text{T}$ 以下。据本项目实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（皮式叫姑鱼、口虾蛄、梭子蟹等）等海洋生物的影响在可以接受范围。

7.6.1.2 500kV 海底电缆类比分析

（1）可比性分析

本风电场运行后，500kV 海底电缆电磁场影响预测采用类比分析方法，类比对象为龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目的 220kV 海底电缆线路。可比性分析见表 7.6-1。

表 7.6-1 海底电缆可比性分析

海底电缆	龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目海底电缆（类比电缆）	本工程 500kV 海底电缆
电压等级	220kV	500kV
电缆结构	单芯 1×1200 127/220kV XLPE 绝缘电缆	三芯光缆 500kV 绝缘海缆
电缆截面	1×1200mm ²	3×800mm ²
电缆额定电流	999a	1000a
敷设深度	泥面以下约 2.0m	泥面以下 2.0m
外围环境	海底，地形较为平坦	海底，地形较为平坦

根据公式可以进行预测计算 220kV 导线上方 a 点处的磁场强度：

$$H = \frac{I}{2\pi\sqrt{h^2 + L^2}}$$

式中：I---导线 i 中的电流值；

H---计算 a 点距导线的垂直高度；

L---计算 a 点距导线的水平距离。

从以上公式可看出，电磁的磁场与电流大小成正相关，本工程 500kV 海底电缆的额定电流与龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆额定电流相似。因此本项目选用龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目海底电缆作为类比可行。

龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆线路在额定电流、敷设深度、外围环境方面与本工程海底电缆较为相似。龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆采用单芯电缆，本工程 500kV 海底电缆采用 3 芯电缆，3 芯交流电缆由于三相电流对称，三芯空间排列也对称，三相电流产生的磁场相互叠加使得电缆周围的磁场几乎为零，因此，本工程海底电缆产生工频电场相对于龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆更小，选用龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目作为类比可行。

（2）类比监测

2018 年 3 月 23 日对龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆正上方、距地面 1m、2m、3m、4m、5m 处进行断面监测，监测点位高度距离地面 1.5m。

龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆工频电磁场类比监测结果见表 7.6-2。

表 7.6-2 龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆工频电磁场类比监测结果

序号	监测点位	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (×μT)
E1	线路中心线正上方	1.940	0.2851

序号	监测点位	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
E2	线路中心 线外	1 米	1.936
E3		2 米	1.921
E4		3 米	1.931
E5		4 米	1.949
E6		5 米	1.932

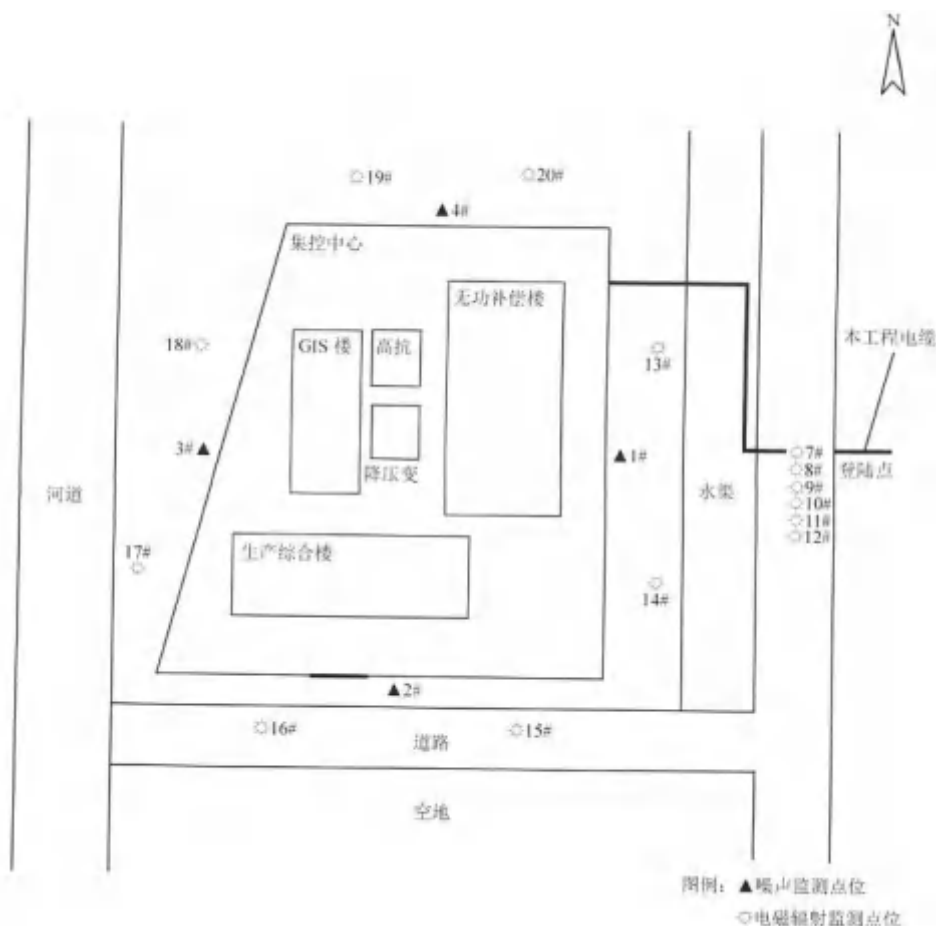


图 7.6-5 龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆电磁环境监测点位示意图

监测结果表明，龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆正常运行的情况下，监测断面各点工频电场强度在 1.932V/m~1.949V/m 之间，远小于 4kV/m 的限值要求；工频磁感应强度在 0.0568 μT ~0.2851 μT 之间，远小于 100 μT 的限值要求。

总体而言，海上风电场 220kV 电缆由于电缆外保护层的遮蔽，产生的电磁场强度非常小，远低于标准限值（居民区工频电场强度 4kV/m，工频磁感应强度 0.1mT）。

（3）本工程 500kV 海缆电磁影响分析

由类比分析可知，220kV 电缆线路由于电缆外层遮蔽产生的电磁场强度非常小，基本与背景值一致。由于工频电场影响与电压等级大小、电缆结构、埋设深度等有

关。龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆采用单芯电缆，本工程 500kV 海底电缆采用 3 芯电缆，3 芯交流电缆由于三相电流对称，三芯空间排列也对称，三相电流产生的磁场相互叠加使得电缆周围的磁场几乎为零，因此，本工程海底电缆产生工频电场可通过龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆产生的工频电场进行类比。根据类比监测结果，电缆管廊一侧边缘外延 0m 处工频电场最大，工频电场强度为 $1.94 \times 10^{-3} \text{ kV/m}$ ，远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中控制限值（工频电场强度 $\leq 4 \text{ kV/m}$ ）要求，因此，可以预测本工程 500kV 海底电缆产生的工频电场也将远小于控制限值（工频电场强度 $\leq 4 \text{ kV/m}$ ）要求。

本工程 500kV 海底电缆的额定电流略与龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆相似。根据对龙源江苏大丰 200MW 海上风电项目 220kV 海底电缆周围工频磁场强度的监测，电缆管廊一侧边缘外延 0m 处工频磁场强度最大，工频磁场为 $0.2851 \mu\text{T}$ ，远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中控制限值（工频磁感应强度 $\leq 100 \mu\text{T}$ ）要求，根据两电缆的额定电流推算，本工程 500kV 海底电缆产生的工频磁场强度仍将远小于控制限值（ $100 \mu\text{T}$ ）的要求。

（4）小结

根据类比监测结果，工频电场、磁场强度随着距离的增加基本呈衰减趋势，因此，预测工程 500kV 海缆工频电场强度和工频磁感应强度均能满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中 4 kV/m 和 $100 \mu\text{T}$ 的限值要求。

7.6.1.3 海上升压站类比分析

工程在海上建设一座 500MW 的 500kV 海上升压站。海上升压站的电磁场影响预测采用山东栖霞 500kV 变电站作为类比站的环境电磁辐射监测进行类比分析。

（1）可比性分析

山东栖霞 500kV 变电站作为类比站，即电压等级为 500kV，主变压器容量、总平面布置基本一致、建设规模、占地面积相近、环境条件及运行工况类似。本评价所选的类比变电站有关情况见表 7.6-3。

表 7.6-3 本工程拟建的 500kV 海上变电站与类比变电站基础情况一览表

项目名称	栖霞 500kV 变电站（类比站）	500kV 海上变电站（本工程）
电压等级	500kV/220kV	500kV/66kV
主变压器容量	监测时：1×750+1×1000mVa，户外布置，三相分体布置	1×500mVa，户外布置，三相分体布置
500kV 进出线规模	监测时：4 回	1 回

项目名称	栖霞 500kV 变电站（类比站）	500kV 海上变电站（本工程）
220kV/66kV 进出线规模	监测时：14 回	8 回
500kV 配电装置形式	户外，采用 HGIS 布置	户外，采用 GIS 布置
220kV/66kV 配电装置形式	户外，采用 GIS 布置	户外，采用 GIS 布置
运行工况	类比变电站主体工程运行稳定、运行时的环境保护设施运行正常，类比变电站的运行工况：2#主变：电压 500kV，电流 351.56a，有功 307.50MW，无功功率 91.34MW；3#主变：电压 500kV，电流 375.02a，有功 325.77MW，无功功率 103.51MW。	变电站主体工程运行稳定、运行时的环境保护设施运行正常。

由表 7.6-3 可见，两个变电站周边均无大的电磁环境干扰源，500kV 海上变电站本期建设规模为 $1 \times 500\text{mVa}$ ，与栖霞 500kV 变电站的主变规模为 $1 \times 750 + 1 \times 1000\text{mVa}$ ，比本工程容量大；栖霞 500kV 变电站 500kV 出线规模和 220kV 出线规模较本工程多；从电气形式及母线形式分析，本海上变电站的 500kV、66kV 配电装置均采用室内 GIS 布置，类比变电站 500kV 配电装置采用户外 HGIS、220kV 采用户外 GIS，与类比变电站相比，本工程变电站对周边产生的电磁环境影响略小于栖霞 500kV 变电站，栖霞 500kV 变电站作为类比变电站是合理的。

（2）监测点布设

在变电站四周围墙外 5m 处布设 8 个监测点位，测量距地面 1.5m 高处的工频电场强度和工频磁感应强度。在栖霞 500kV 变电站西侧围墙外设置了衰减断面，以围墙为起点，垂直于围墙方向，间距为 2m，依次测至 20m，然后间距为 5m，测至 30m 处为止。测量距离地面 1.5m 高度处的工频电场、工频磁场。

（3）类比监测

表 7.6-4 栖霞 500kV 变电站围墙周围的工频电场、工频磁场监测结果

序号	测量点位置	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
1	东厂界北侧 5m 处	95.2	0.495
2	东厂界南侧 5m 处	77.7	0.323
3	南厂界东侧 5m 处	68.1	0.320
4	南厂界西侧 5m 处	55.7	0.298
5	北厂界西侧 5m 处	225.1	0.785
6	北厂界中部 5m 处	323.2	1.327
7	西厂界北侧 5m 处	38.0	0.202
8	西厂界南侧 5m 处	56.1	0.196

表 7.6-5 栖霞 500kV 变电站衰减断面工频电场、工频磁场监测结果

距变电站西侧围墙距离 (m)	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
2	39.0	0.257
4	34.3	0.202
6	26.2	0.147
8	23.6	0.140
10	23.2	0.131
12	21.2	0.126
14	18.2	0.117
16	17.8	0.113
18	15.8	0.113
20	14.9	0.105
25	12.4	0.102
30	11.5	0.101

类比监测结果表明：栖霞 500kV 变电站四周围墙外 5m 处的工频电场强度为 38.0V/m~323.2V/m，满足 4000V/m 评价标准限值的要求；工频磁感应强度 0.196 μT ~1.327 μT ，满足 100 μT 评价标准限值的要求。

由衰减断面监测结果分析：栖霞 500kV 变电站西侧衰减断面处的工频电场强度为 11.5V/m~39.0V/m，工频磁感应强度为 0.101 μT ~0.257 μT ，均满足 100 μT 评价标准限值的要求；二者均随距离围墙距离的增加而降低。

综上，预测本项目 500kV 海上变电站运行产生的工频电场、工频磁场均小于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的工频电场 4000V/m、工频磁感应强度 100 μT 的公众曝露控制限值要求。

7.6.2 电磁对海洋生物的影响

研究表明磁场能够影响某些鱼类在生理、繁殖、生存等方面的能力，有些鱼类的体内具有磁性物质，用于识别地理磁场，从而协助它们进行空间定位。这些鱼类对磁场特别敏感，因此放置在海底地面的电缆将破坏洄游鱼类的地磁模式，影响其定位。在所有重要的硬骨鱼体内都有少量的磁性物质；在软骨鱼类（鲨鱼、鳐科鱼类）中发现了一种与硬骨鱼类不同的磁场感应机制，软骨鱼类通过探测海流运动以及鱼类本身穿过地球磁场活动所产生的磁场获取空间信息，在它们头部、嘴周围以及身体沿线通常都有敏感的电感受器。

7.6.2.1 电磁对海洋生物的影响分析

（1）对鱼类的影响

行为学研究显示鱼类是能够接收磁场强度的。很多鱼类如鲈鱼 (*Perca fluviatilis*)、白斑狗鱼 (*Esox lucius*) 等都趋于选择镶有磁铁的长网袋。洄游鱼类可能会利用磁场进行空间定位。Walker (1984) 发现, 黄鳍金枪鱼 (*T. alacares*) 能够在两个磁场间进行辨识。由于鳗鲡是需要洄游至远方产卵的, 因此在进行鱼类行为与磁力学的研究中对其予以特别的关注。在 Nishi, Kawamura 等 (2004) 对鳗鲡洄游线性的研究中发现, 洄游数千千米进行产卵的日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 对 $12.663\mu\text{T}$ 的磁场变化会产生反应。但 McCleave, Rommel, Catchart 等 (1971, 1973) 在对美洲鳗鲡进行的磁场变化条件测试时所得出的结果却不很明确, Karlsson, Tesch, Wendt 等 (1985, 1992) 在对欧洲鳗鲡 (*A. anguilla*) 进行的实验展示了其对磁场的敏感性。

鱼类的生理方面也与磁场有关。例如, 在溪红点鲑 (*Salvelinus fontinalis*) 的磁场暴露研究中发现, 鱼体内激素水平发生了改变 (Lerch, et al, 1998); 另一项研究显示, 磁场暴露能够延缓鲑鱼 (*Salmo trutta*) 和虹鳟 (*O. mykiss*) 的胚胎发育, 并能改变虹鳟晶胚以及梭鱼 (*Esox lucius*) 和鲤 (*Cyprinus carpio*) 等的循环运动 (Formicki, K. and Winnicki, A, 1998)。Krzemieniewski 等 (2004) 在一项实验室实验中发现, 当欧洲鲇鱼 (*Silurus glanis*) 暴露于一个磁场强度持续为 $0.4\sim 0.6\text{T}$ 磁场中时, 其生物量下降, 死亡率升高, 与之相反, 幼体鳊鱼 (*Platichthys flesus*) 在受到强度 3.7mT 静电磁场影响几个星期时并未受影响 (Boc, Hert, Rea, et al., 2004)。

我国相关学者研究海上风电电磁场对 12 种海洋生物的存活率和行为的影响, 结果表明: 1.00mT (电缆处) 强度磁场对黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 的存活率和行为有一定的影响, 并初步判断距离电缆 1.2m 外 (磁场强度约为 0.20mT) 的位置为海洋鱼类对海上风电电磁场的耐受范围; 文蛤 (*mercenaria mercenaria Linnaeus*) 等贝类对磁场的耐受性较好, 海上风电电磁场对其存活率没有影响; 在风电正常运营的情况下, 底栖生物的存活率也未出现明显差异。

(2) 对其他海洋生物的影响

我国学者唐超等人研究射频电磁辐射 (RF-EmF)、极低频电磁场 (ELF-EmF) 和交变电场 (aEF) 3 种典型电磁环境胁迫对铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 细胞氧化应激的影响作用。研究结果表明: 纵肋织纹螺 (*Nassarius variciferus*) 的回避行为受磁场影响明显, 即在 24h 之内, 4.05mT 和 0.90mT 磁场暴露条件下的纵肋织纹螺分别有 8.30% 和 3.30% 逃离实验缸, 其余均分布于实验缸边缘; 磁场暴露

下黑褐新糠虾 (*Neomysis awatschensis*) 的存活率有所降低, 且在 4.05mT 时表现尤为明显, 存活率与对照组相比显著降低 (10.53%)。也有国外学者的研究结果表明, 肯普的雷德利海龟 (*Lepidochelys kempi*)、绿海龟 (*Chelonia mydas*) 和海龟 (*Caretta*) 都利用地球磁场进行定位并迁移。还有学者通过实验结果证明, 在排除其他因素干扰的情况下, 多刺龙虾 (*Panulirus argus*) 也利用磁场进行定位。

7.6.2.2 本项目海底电缆、升压站电磁对海洋生物影响分析

根据预测分析, 由于磁场在海域介质中的衰减特性, 66kV 海底电缆产生的电磁, 在离电缆中心距离 1m 外, 磁感应强度已降在 1 μ T 以下。根据类比分析 500kV 海底电缆、500kV 升压站产生的磁场在海域中衰减, 在离电缆中心距离 1m 外和升压站厂界外 5m 处, 磁感应强度已降在 1 μ T 以下。符合《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 中规定的工频磁感应强度 100 μ T 的公众曝露控制限值要求。

根据国内外关于电磁场对海洋生物的影响研究结果表明, 贝类、底栖生物等对电磁耐受性较好, 存活率不会产生明显差异。鱼类在磁感应强度降低到 1 μ T 以下, 影响较小。

7.7 海洋生态环境影响分析

7.7.1 施工期对海洋生态的影响分析

根据工程施工组织设计, 在风电场建设过程中, 海缆沟开挖、风机和升压站桩基基础施工是影响海洋生态的主要施工环节, 桩基占海将直接对底栖生物造成损害。由于施工是逐步进行的, 因此, 当生物的栖息环境遭受外来影响时, 一些活动能力较弱的贝类等生物将会在施工过程中损失掉。

(1) 生态影响类型和范围的判定

生态影响途径可以包括直接影响和间接影响两个方面。项目风电场桩基施工直接占用并减少海域, 完全破坏底栖生物生境, 掩埋底栖生物栖息地; 海底电缆沿线内底栖生物和活动能力弱的生物遭受损失, 但施工结束后可恢复。间接影响是由于施工使得局部水域悬浮物增加, 对附近海域水生生物造成毒害等。项目施工活动直接、间接生态影响判定见表 7.7-1。

表 7.7-1 施工活动直接、间接影响判定表

类型	影响区域	影响原因	恢复可能性	生物表现
直接影响	风电场	桩基占海	不可恢复	占用生物生境, 海洋生物消失
	海底电缆区	施工影响	可以恢复	原有底栖生物生境受破坏, 可恢复

类型	影响区域	影响原因	恢复可能性	生物表现
间接影响	施工悬浮物浓度影响区	透明度降低	可以恢复	海洋生物部分受损

(2) 施工期对浮游生物和游泳生物的影响

工程风机和升压站桩基基础施工、海底电缆铺设施工都会引起海底泥沙再悬浮，在施工作业点周围水体中产生大量的悬浮物，形成一定范围的悬浮物高密度分布区域。从而引起水体悬浮物浓度增加，降低水体透光率，造成水体浮游植物生产力下降。一般而言，悬浮物的浓度增加在10mg/L以下时，水体中的浮游植物不会受到影响，而当悬浮物浓度增加50mg/L以上时，浮游植物会受到较大的影响。当悬浮物的浓度增加量在10~50mg/L时，浮游植物将会受到轻微的影响。根据悬浮泥沙预测结果，施工产生的10mg/L浓度悬浮泥沙最大扩散距离约1.6km，面积为75.59km²，大于20mg/L浓度范围为43.54km²，大于50mg/L浓度范围为16.30m²，施工过程会对浮游生物产生一定程度的影响。

施工悬浮物使工程附近局部海域混浊度增加，降低了水体的透光率，限制了浮游植物和底栖植物的光合作用率，导致该水域内初级生产力下降。初级生产力的降低将通过食物链影响到整个生态系统的各个环节。透光率的降低还会改变某些靠光线强弱而进行垂直迁移的浮游动物的生活规律。

对部分游泳生物来讲，悬浮物的影响也较为显著。悬浮固体，细微的固体颗粒会粘附在动物的表面，干扰动物的感觉功能；有些粘附甚至引起动物表皮组织溃烂；通过动物的呼吸，悬浮物会阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难；滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内消化系统混乱。水体的浑浊还会降低水中溶解氧含量，进而对用于生物和浮游动物产生不利影响。

由于水质浑浊，阳光透射率下降，使得该片水域内的游泳生物迁移到别处。在施工期间，洄游到这里或经过这里产卵的群体，由于产卵场的环境受到干扰而改变正常的洄游路线。在这里栖息、生长的一些地方性种类以及幼体、在浅水区索饵成长的幼鱼幼虾，其正常的分布规律被扰乱，导致部分鱼群改变原有的集群和正常的洄游路线。

施工悬沙浓度增加导致海水水质变差，鱼卵和仔稚鱼将受到悬浮泥沙的影响而死亡。悬浮泥沙对鱼卵的影响很大，水体中若含有过量的悬浮固体，细微颗粒会粘附在鱼卵的表面，妨碍鱼卵呼吸，不利于鱼卵的孵化，从而影响鱼类繁殖。据研究，

当悬浮固体物质含量达到 1000mg/L 以上，鱼类的鱼卵能够存活的时间将很短。

从水环境影响预测结果来看，施工悬沙增量大于 10mg/L（超Ⅱ类海水水质标准）的最大影响在施工区域附近，施工期这一范围内，初级生产力下降，渔业资源受到一定的影响。根据以往疏浚工程产生的悬浮物的影响程度来看，悬浮物对水质的影响在工程结束后延续 4~5 个小时可基本消除。因此，施工悬沙对水质的影响属于短期环境效应，随着施工作业结束，水质将逐渐恢复，随之而来的便是生物重新植入。

（3）施工期对底栖生物的影响

风机和升压站基础、海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。本项目共建设36台风机、1座500MW海上升压站、8回66 kV海底电缆和1回500kV海底电缆。装机总容量为504MW，项目总用海面积为378.5100hm²，其中风机（透水构筑物）用海面积179.5536hm²，升压站（透水构筑物）用海面积2.3564hm²，海底电缆（海底电缆管道）用海面积196.6000hm²。

风电机组和升压站桩基将对其用海范围内的海域产生永久性的占用，风机桩基占用海域面积约为1231m²，海上升压站桩基占用海域面积约为66.725m²，在该范围的底栖生物将全部被掩埋、覆盖而灭亡，同时还将长期占用该海域底栖生物的生存空间，导致一定区域范围内底栖生物资源的永久损失，这种对底栖生境的破坏是不可逆的。

本项目海底电缆敷设等海上作业施工，改变了底栖生物原有的栖息环境，局部施工海域将彻底改变其底质环境，使得少量活动能力强的底栖生物逃往他处，而大部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少量能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都难以存活。

施工悬浮物等增加将降低海水透明度，透明度降低会使底栖生物正常的生物过程受到影响，一些敏感种会受损、甚至消失，由于悬浮物影响程度及范围均较小，且施工停止后，可以恢复到接近正常水平。

通过分析可以看出，本工程风电机组和升压站桩基建设对底栖生物栖息环境的彻底破坏，且是永久的、不可恢复的；海底电缆敷设作业将使作业区所在海域底栖生物的栖息环境的破坏，施工结束后，随着新的底栖生物等植入而产生新的栖息环境。

7.7.2 运营期对海洋生态环境的影响分析

(1) 运营期对海洋生物的影响

运营期影响主要是风机和升压站基础占压影响。在风机和升压站桩基群占用海域范围内，原有泥质型的底栖生物类群在很长一段时间内不可恢复。风电场在日常检修中少量的油污水和固废通过收集带回陆上处理，不向海域内排放，对海洋生态环境影响很小。

(2) 运营期对渔业生产的影响

风电场建成运行后，为保护海底电缆和风机的安全运行，该海域禁止底拖网、抛锚，同时由于风机桩的分隔造成渔业捕捞面积缩小，在一定程度上降低了渔业捕捞量，从而引起经济收入下降，对渔民的生活产生一定影响。同时，由于风机和升压站桩基的存在，特别是在迷雾天气，渔船与风机桩相撞的概率大大增加，对渔船和风机都存在一定的安全隐患。由此可见，在风电场营运期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。

然而，风电场风机和升压站桩基的存在，增加了海底的粗糙度，造成紊流的出现，起到人工鱼礁的作用。虽然其建设理论上影响渔业资源修养生息，影响所在水域的捕捞作业，但从形成人工鱼礁的角度来看，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，对渔业资源的影响不仅仅是负面影响，有可能产生正面效应。

尽管营运期风机和升压站的桩基占有水面有限，而且不可避免对渔业捕捞产生影响。但这类影响若与有关利益相关方协商，并予以适当补偿，是可以接受的。风电场运营期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。另外，建议建设单位可采用海上风电结合深水养殖等方式为渔民转岗转业提供新的岗位。

7.7.3 生物资源损失量

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），项目对海洋生物资源的损害评估主要包括占用海域造成的损失以及污染物扩散范围内的海洋生物资源量损害评估。本项目施工期产生悬浮泥沙的过程为风机和海上升压站桩基施工以及海缆敷设，本项目建设造成的海洋生物资源损失包含风机、海上升压站桩基占用海域造成的损失、海缆敷设造成的损失、悬浮泥沙扩散造成的生物资源损失。

(1) 评估方法

1) 悬沙造成的生物资源损失

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。

本工程施工期间产生的悬浮泥沙浓度增量在区域存在时间少于15天，因此按一次性平均受损量评估。

悬浮泥沙对海洋生物资源损害，按公式7.7-1计算：

$$W_i = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times S_j \times K_{ij} \dots\dots\dots (7.7-1)$$

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（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/ km²）、个平方千米（个/km²）、千克平方千米（kg/km²）；

S_j ——某一污染物第*J*类浓度增量区面积，单位为平方千米（km²）；

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，单位为百分之（%）；生物资源损失率取值参见表7.7-1。

n ——某一污染物浓度增量分区总数。

表 5.6-1 污染物对各类生物损失率表

污染物 i 的超标 倍数（Bi）	各类生物损失率（%）			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
Bi≤1 倍	5	<1	5	5
1<Bi≤4 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
4<Bi ≤9 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
Bi ≥9 倍	≥50	≥20	≥50	≥50

注：
 1.本表列出污染物 i 的超标倍数（Bi），指超《渔业水质标准》或超Ⅱ类《海水水质标准》的倍数，对标准中未列的污染物，可参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定；当多种污染物同时存在，以超标标准倍数最大的污染物为评价依据。
 2.损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡，以及生物质量下降等影响因素的综合系数。
 3.本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类，毒性试验数据作相应调整。
 4.本表对 pH、溶解氧参数不适用。

2) 占用水域造成的生物资源损失

工程建设需要占用部分渔业水域，使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7.7-2计算：

$$W_i = D_i \times S_i \dots\dots\dots (7.7-2)$$

式中：

W_i ——第*i*种类生物资源受损量，单位为尾、个、千克（kg）；

D_i ——评估区域内第*i*种类生物资源密度，单位为尾（个）/每平方千米[尾（个）/km²]、尾（个）/每立方千米[尾（个）/km³]、千克/每平方千米（kg/km²）；

S_i ——第*i*种类生物占用的渔业水域面积或体积，单位为平方千米（km²）或立方千米（km³）。

（2）项目用海区域生物资源密度

浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵、仔稚鱼和游泳动物的生物资源密度取2023年11月和2024年3月的调查结果。生物资源密度见表7.7-2。

表 7.7-2 工程影响海域生物资源密度表

类别	生物资源密度	
	单位	密度
浮游植物	ind/m ³	167.665×10 ⁴
浮游动物	mg/m ³	44.909
底栖生物	g/m ²	45.855
鱼卵	ind/m ³	0.59
仔稚鱼	ind/m ³	0.37
游泳动物	kg/km ²	636.555

（3）损失评价结果

1）风机桩基占用海域造成的海洋生物损失

本项目拟建设36台14MW风电机组，均采用四桩导管架基础，桩径为3.3m，风机桩基占用海域面积为 $= (3.3\text{m}/2)^2 \times 3.14 \times 4 \text{（桩）} \times 36 \text{（台）} = 1231\text{m}^2$ 。

1座海上升压站，采用四桩导管架基础，桩径为1.9m，且四桩处均有直径为4.2m的套桩，因此，海上升压站桩基占用海域面积为 $(1.9\text{m}/2)^2 \times 3.14 \times 4 \text{（桩）} + (4.2\text{m}/2)^2 \times 3.14 \times 4 \text{（桩）} = 66.725\text{m}^2$ 。

本项目风机桩基占用海域面积为1231m²、海上升压站桩基占用海域面积为66.725m²，项目风电场址区域平均水深约为33.5m（平均海平面），则风机桩基占用海域造成的生物损失量见表7.7-3。

表 7.7-3 风机和升压站桩基占用渔业水域造成的生物资源损害评估表

影响内容	种类	资源密度	受损面积 (m ²)	水深(m)	损失量
风机桩基占用	浮游植物	167.665×10 ⁴ ind/m ³	1231	33.5	6.91×10 ¹⁰ ind
	浮游动物	44.909mg/m ³			1.85kg
	底栖生物	45.855g/m ²			56.45kg

影响内容	种类	资源密度	受损面积 (m ²)	水深(m)	损失量
	鱼卵	0.59ind/m ³			2.43×10 ⁴ ind
	仔稚鱼	0.37ind/m ³			1.53×10 ⁴ ind
	游泳动物	636.555kg/km ²			0.78kg
海上升压站 桩基占用	浮游植物	167.665×10 ⁴ ind/m ³	66.725	33.5	3.75×10 ⁹ ind
	浮游动物	44.909mg/m ³			0.10kg
	底栖生物	45.855g/m ²			3.06kg
	鱼卵	0.59ind/m ³			1320ind
	仔稚鱼	0.37ind/m ³			827ind
	游泳动物	636.555kg/km ²			0.04kg

2) 海底电缆施工造成的海洋生物损失

①管沟开挖

本项目 66kV 集电海底电缆总长约 58.98km, 500kv 送出海缆总长为 56.51km(扣除定向钻出土点至岸线距离)。海底电缆敷设管沟开挖会造成底栖生物损失, 底栖生物损失以 50%计算, 本工程海底电缆敷设在泥面下 3m 深处, 穿越航道处敷设 4 m 深, 海缆沟槽底宽约 0.3m, 顶宽约 0.5m, 海缆开挖总长度为 115.5km。管沟开挖面积为 $0.5\text{m} \times 115.5\text{km} \times 1000 = 57750\text{m}^2$ 。

海底电缆施工管沟开挖破坏的面积为 57750m², 以造成底栖生物损失 50%计, 本项目海域底栖生物资源密度为 45.855g/m², 海底电缆管沟开挖造成底栖生物损失量为 $45.855\text{g/m}^2 \times 57750\text{m}^2 \times 50\% \div 1000 = 1324.06\text{kg}$ 。

②管沟外覆土

以海底电缆敷设施工产生悬浮物覆盖高度大于 10cm 厚度的范围内大型底栖生物全部死亡计算, 覆盖高度大于 7cm 而小于 10cm 厚度的范围内大型底栖生物一次性损失为 50%计算。本工程海底电缆敷设在泥面下 3m 深处, 海缆沟槽底宽约 0.3m, 顶宽约 0.5m, 敷设速度取 5m/min, 根据类似工程施工经验, 单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20%计, 假定搅动泥沙均匀沉积在海底电缆沟两侧, 使得周围约 10cm 增厚范围内的底栖生物全部死亡, 则单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围为 $3\text{m} \times (0.3\text{m} + 0.5\text{m}) \div 2 \times 20\% \div 0.1\text{m} = 2.4\text{m}$, 即单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围约为两侧各 1.2m, 大于 7cm 而小于 10cm 增厚范围内的底栖生物损失 50%, 则单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围为 $3\text{m} \times (0.3\text{m} + 0.5\text{m}) \div 2 \times 20\% \div 0.07\text{m} \approx 3.4\text{m}$, 即单根电缆开挖埋设大于 7cm 而小于 10cm 增厚范围约为两侧各 0.5m。则项目

海缆管沟外覆土造成底栖生物完全损失面积为： $1.2\text{m} \times 2 \times 115.5\text{km} \times 1000 = 277200\text{m}^2$ ，损失量为 $45.855\text{g/m}^2 \times 277200\text{m}^2 \times 100\% \div 1000 = 12711.01\text{kg}$ ；造成底栖生物 50% 损失面积为： $0.5\text{m} \times 2 \times 115.5\text{km} \times 1000 = 115500\text{m}^2$ ，损失量为 $45.855\text{g/m}^2 \times 115500\text{m}^2 \times 50\% \div 1000 = 2648.113\text{kg}$ 。

综上，海底电缆施工造成的底栖生物损失量为 15.036t。

3) 悬浮泥沙扩散造成的海洋生物资源损失

施工期产生的悬浮泥沙，按照垂向平均悬浮泥沙影响范围统计，施工期间产生的悬浮泥沙超二类水质标准（ $>10\text{mg/L}$ 浓度范围）面积为 34.23km^2 ，大于 20mg/L 浓度范围为 14.61km^2 ，大于 50mg/L 浓度范围为 3.20km^2 ，超三类水质标准（ $>100\text{mg/L}$ 浓度范围）面积为 0.76km^2 ，超四类水质标准（ $>150\text{mg/L}$ 浓度范围）面积为 0.22km^2 。

根据表 7.7-4 生物损失按各超标倍数对应的平均生物损失率计算；项目风电场址区域平均水深约为 33.5m （平均海平面），考虑送出海缆敷设由深海至近岸海域水深逐渐降低，悬浮泥沙扩散范围内平均水深按照 31.5m 进行计算。项目施工悬浮泥沙扩散造成的生物资源损失计算见表 7.7-5。

表 7.7-4 不同计算区域的计算参数值

悬浮泥沙浓度	悬浮泥沙扩散面积 (km^2)	损失率 (%)			
		浮游植物	浮游动物	鱼卵和仔稚鱼	渔业资源
10-20mg/L	19.62	5	5	5	1
20-50mg/L	11.41	20	20	17.5	5
50-100mg/L	2.44	40	40	40	15
$>100\text{mg/L}$	0.76	50	50	50	20

注：悬浮物增量 10~50mg/L 浓度范围面积为 $>10\text{mg/L}$ 浓度范围面积减去 $>50\text{mg/L}$ 浓度范围面积；悬浮物增量 50~100mg/L 浓度范围面积为 $>50\text{mg/L}$ 浓度范围面积减去 $>100\text{mg/L}$ 浓度范围面积。

表 7.7-5 项目施工悬浮泥沙扩散造成的生物资源损失表

种类	资源密度	损失率	受损面积 (km^2)	水深 (m)	损失量	总计
浮游植物 (ind/ m^3)	167.665×10^4	5%	19.62	31.5	$5.181 \times 10^{13}\text{ind}$	$2.440 \times 10^{14}\text{ind}$
		20%	11.41		$1.205 \times 10^{14}\text{ind}$	
		40%	2.44		$5.155 \times 10^{13}\text{ind}$	
		50%	0.76		$2.007 \times 10^{13}\text{ind}$	
浮游动物 (mg/ m^3)	44.909	5%	19.62	31.5	1387.755kg	6534.192kg
		20%	11.41		3228.193kg	
		40%	2.44		1380.682kg	
		50%	0.76		537.561kg	
鱼卵 (ind/ m^3)	0.59	5%	19.62	31.5	$1.823 \times 10^7\text{ind}$	$8.054 \times 10^7\text{ind}$
		17.5%	11.41		$3.711 \times 10^7\text{ind}$	
		40%	2.44		$1.814 \times 10^7\text{ind}$	
		50%	0.76		$7.062 \times 10^6\text{ind}$	

种类	资源密度	损失率	受损面积 (km ²)	水深 (m)	损失量	总计
仔稚鱼 (ind/m ³)	0.37	5%	19.62	31.5	1.143×10 ⁷ ind	5.051×10 ⁷ ind
		17.5%	11.41		2.327×10 ⁷ ind	
		40%	2.44		1.138×10 ⁷ ind	
		50%	0.76		4.429×10 ⁶ ind	
游泳动物 (kg/km ²)	636.555	1%	19.62	/	124.892kg	817.782kg
		5%	11.41		363.155kg	
		15%	2.44		232.979kg	
		20%	0.76		96.756kg	

(4) 小结

综上所述，本项目建设共造成浮游植物损失量 2.44×10^{14} ind，浮游动物损失量 6536.14kg，底栖生物损失量 16741.25kg，鱼卵损失量 8.06×10^7 ind，仔稚鱼损失量 5.05×10^7 ind，游泳动物损失量 818.61kg。

7.8 鸟类影响分析

根据《高栏一海上风电场项目鸟类现状监测专题报告》（广东省科学院动物研究所，2024 年 7 月），四季调查在海域中共发现鸟类 5 目 6 科 15 种，共 1910 只次，其中多数个体在离岸 2~5km 范围内发现。数量最多的是红嘴鸥，占海面调查总数量的 44.7%，其次为反嘴鹬，占总数量的 27.7%，数量较多的还有黑尾鸥，占海面调查总数量的 8.1%。其余种类的调查数量均少于总调查数量的 5%，不足 100 只。其中红嘴鸥、黑尾鸥、红嘴巨燕鸥、白额燕鸥多分布在离岸较近的海面，而普通燕鸥、黑枕燕鸥、西伯利亚银鸥则多在离岸较远海面被记录到，沿海上调查样线零星分布。鸥类飞行高度约在海面至 20m 高，偶尔飞至海面觅食鱼类。凤头潜鸭和反嘴鹬主要被记录到漂浮在海面活动，但一般不高飞。白鹭和大白鹭在海面的记录基本则都是在飞行。记录到在海面活动的种类中，黑鸢为国家二级保护动物，其他种类多为省级重点保护的鸥科和鹭科鸟类。

和海上调查相比，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域，四季调查共记录种类 13 目 31 科 85 种，数量 18984 只次，占本项目调查总数量的 90.8%，沿岸鸟类优势种为黑腹滨鹬、白鹭和凤头潜鸭，近岸滩涂上分布较多的还有反嘴鹬、苍鹭、环颈鸪、大白鹭等，均超过记录总数量的 5%。

7.8.1 施工期对鸟类的影响分析

本项目施工期对鸟类产生影响的施工活动主要有：风电机组施工、海上升压站建设、海缆铺设、船舶运输等施工活动，主要影响因素为占用海域对鸟类栖息及觅

食影响、施工机械噪声及振动影响、施工干扰影响等。

(1) 占用海域对鸟类栖息及觅食影响

1) 海上风电场施工

本项目风电场区均位于海上，水深 32~37.5m，不属于湿地的范畴，场址距离海岸线最近 43km，不属于传统的海洋栖息地中鸟类的觅食区域，仅有少量鸥类在此活动，项目建设期间的噪音较大可能会影响其正常觅食。另一方面，建设期间将会暂时性对海洋底栖生物和鱼类造成影响，进而影响鸟类的食物量，影响鸟类的正常觅食。但由于本项目的施工属于短期行为，建成后的影响仅限于风机周边，对水域的扰动影响有限。另外，由于鸟类有规避性，可以通过主动规避来选择其他地点觅食。因此，海上风场建设期间对鸟类的影响总体非常小。

2) 海缆施工

本风电场的海缆主要分为两部分：其中一部分为各发电风电机组至海上升压站，另一部分为海上升压站至陆地集控中心。第一部分的施工位于风电场的运行区域内，因此对鸟类的影响和风电场施工的影响一致，影响不大。本项目登陆点位于已建成的珠海十字沥至电厂段海堤，升压站至登陆点该部分海缆在铺设过程中需要经过一段滩涂地带，距离岸线约 11.6km 的海底电缆在滩涂湿地范围内，长度约 13.35km，通过敷设船敷设；距离登陆点约 1km 范围的海缆采用定向钻方式施工。定向钻施工段对鸟类无影响，通过敷设船敷设海缆段，施工机械等可能占用鸟类停留、栖息地，对施工区域鸟类觅食、栖息产生影响，但敷设进度快，影响随着施工的结束而消失。

(2) 施工噪声及振动对鸟类的影响

海上风电场建设施工过程中产生的噪声、振动污染，对鸥类和海上迁徙的鸟类有驱赶、惊扰等直接影响，会使鸟类数量和物种多样性有所降低，也会影响鸟类正常的栖息、觅食活动。但鸟类有规避行为，可以通过规避减轻影响程度。调查期间在项目场址范围内观测到的鸟类较少，在出海路线上的近岸海域发现有较多集群活动的鸟类。本项目海上风电场区海域面积小，周边还有广阔的海域，还存在替代的栖息地，鸥类、鹭类等水鸟更习惯于在沿海岸线的潮间带湿地栖息和觅食，因而受到风电场施工噪声的影响有限。因此，海上风电场建设期间的噪声、振动对鸟类影响非常有限，且是短暂的。待施工期结束后，其对鸟类的影响可以消除。

(3) 施工干扰对鸟类的影响

本项目海上风电场施工期间，工程主体建筑物全部位于海上，施工材料、构件、

风机设备等全靠船舶运至各个施工点。海上风机、升压站、海缆的建设施工，需要主起重船、甲板驳船、拖轮、抛锚艇、交通艇、补给船以及灌浆船等专用船舶和机械。

施工船舶的穿梭航行，会干扰鸟类的迁徙行为；施工人员的活动也会干扰鸟类的迁徙和正常觅食。但由于鸟类的警觉性较高，有趋避行为可选择远离施工区域，且施工期风机未运行，施工区对鸟类迁徙的影响不大。

7.8.2 运营期对鸟类的影响分析

（1）对鸟类迁徙的影响

1) 风电场对迁徙鸟类的影响

①本项目风电场对迁徙鸟类的影响

风力资源的地理分布大多与鸟类迁徙通道相重叠，尤其在我国，在沿海、岛屿、内陆湖泊、河流、水库地区的附近是风力资源最丰富的地区，也是水鸟迁徙的主要停歇地带（卞兴忠和蒋志学，2010）。鸟类在全球的迁徙路线可分为8个主要迁飞区（Bamford et al, 2008），我国东南沿海位于其中最大的“东亚-澳大利西亚迁徙通道”上（如下图7.8-1），是多种候鸟迁徙的中途停歇驿站和越冬地，其中沿海滩涂是迁徙水鸟主要集中栖息的区域。本项目所在近岸区域鸟类分布最集中的区域为黄茅海两岸，包括珠海平沙湿地和江门新会银湖湾，距离本项目场址接近70km。该区域分布有多种国家重点保护鸟类，其中黑脸琵鹭的数量在广东省仅次于海丰湿地和深圳湾，是广东沿海重要的黑脸琵鹭越冬地，也是东亚-澳大利西亚候鸟迁徙线上的主要停歇点。

鸟类的迁徙路线，虽然在大尺度上可能体现出空间上的近似关系。但是具体的迁飞路径，停歇地点有很大的种间变异，甚至种内的不同种群之间均有变异。研究鸟类迁徙，需要对鸟类进行环志标记或者卫星追踪调查。目前研究表明，大部分迁徙性水鸟的连续飞行距离较长，经常进行上千公里甚至数千公里的连续飞行（马志军，2013）。大部分对迁徙路线的研究采用直线将营巢地——中途停歇地——越冬地之间联结起来，形成理论上的迁徙路线，然而受地面构造、景观类型、植被、食物及天气等各种条件影响，实际路线有所偏差。如雁鸭类大都集中于内陆水域，沿湖泊、河流迁徙，鸕鹚类则多沿海岸绕行（张孚允和杨若莉，1997）。根据鸟类栖息生境分布情况，结合实际观察，迁徙鸟类在项目场址和8km缓冲区范围内没有聚集停歇点，主要集中在黄茅海两岸滩涂，在新会银湖湾和珠海平沙湿地较为集中，

迁徙路线主要沿海岸迁徙。

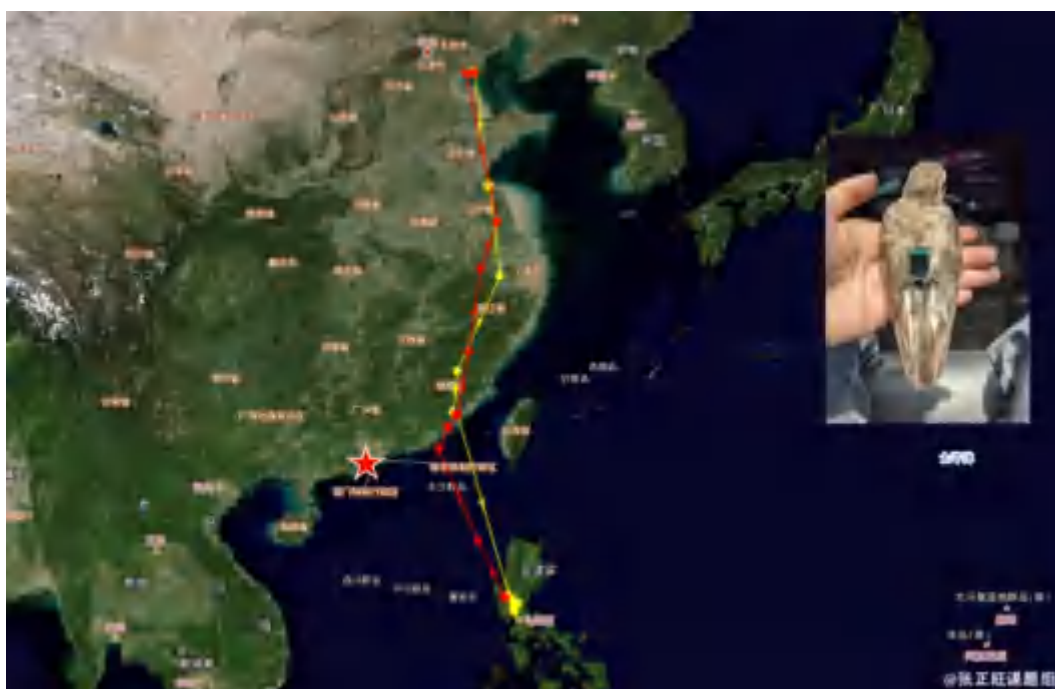
近年来,随着我国科技进步和自主研发力量增强,鸟类卫星跟踪设备往轻量级、长续航、高精度、信号间隔短等方向发展,为明确鸟类迁徙路径提供了极大的便利。通过对比多个研究结果,选取其中不同类群的鸟类作为案例,列举候鸟经过南海或广东沿岸的迁徙路线。从图 7.8-2 可以看出,总体上不同类群的候鸟迁徙路线大致上和图 7.8-1 示意的方向接近,其中鸻类和鹬类多从粤东或粤中便离开沿岸飞越南海往澳大利亚、新西兰等地越冬,而迁徙的鹭类则有部分横越广东沿海,从琼州海峡穿过往越南、泰国等地越冬,总体上飞越粤东以南海域的种类较多。

由于沿海湿地和岛屿位于候鸟迁徙通道上,风电建设会对候鸟迁徙形成一定阻隔,从而缩窄候鸟飞行通道,如 Plonczkier & Simms (2012) 通过四年雷达监测发现雁群逐渐避开离岸风力发电机组所在海域(图 7.8-3)。kriJgsvel 等(2010)在对鸟类穿过风电场飞行路线研究中也发现,在风电场建成后该区域鸟类的通量较之于风电场建设之前明显下降。但海上鸟类迁徙通道一般较宽,以垂直海岸线 5 公里范围内鸟类密度最大。高栏一海上风电场距离最近的荷包岛陆岸有 35km,距离高栏岛超过 40km 里,和大陆岸线之间的空间可满足鸟类飞行需要,对鸟类迁徙通道的阻隔作用较小。

本项目风电场区离岸较远,水深较深,不是鸟类的主要栖息地。根据鸟类调查结果可知,在项目场址范围内观测到的鸟类较少,但在出海路线上的近岸海域发现有较多集群活动的鸟类,多数个体在离岸 2~5km 范围内发现,数量最多的是红嘴鸥,其次为反嘴鹬,数量较多的还有黑尾鸥。本项目场址区域范围有限,迁徙鸟类有足够的主动规避空间,风电场风机对鸟类迁徙影响较小。



图 7.8-1 东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图



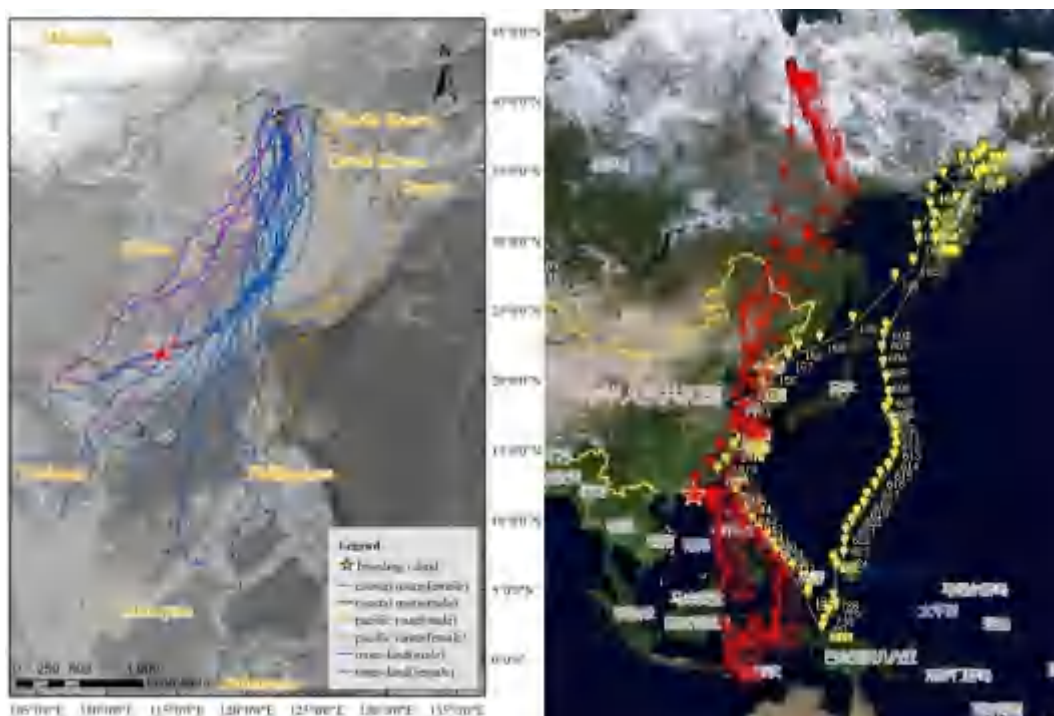


图 7.8-2 不同类群鸟类迁徙路线
(上：环颈鸬；下左：黄嘴白鹭；下右：中杓鸬，星型符号为项目场址)

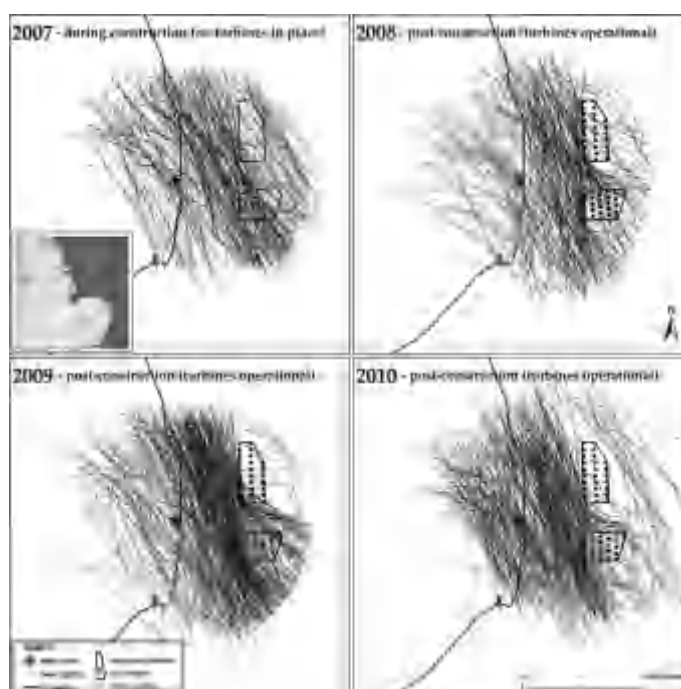


图 7.8-3 雷达监测雁群对风机组的回避情况 (引自 Plonczkier & Simms 2012)

②类比已建风电的影响

目前江苏省已建设华能如东 300MW 海上风电工程，该风电场距离世界遗产地中国黄（渤）海候鸟栖息地（第一期）较近，根据华能如东鸟类跟踪监测报告，四季监测均未记录到风机运营期发生鸟类撞机事件，类比可知海上风机运行对鸟类影响较小。

施蓓等（2021）对我国首座海上风电场——东海大桥海上风电场建设对鸟类的影响研究表明：该风电场 2007 年开工建设，2012 年 5 月至 2013 年 6 月运营期视频观测没有记录到鸟类撞击风机的事件。

2) 鸟类趋避行为影响

海上风电场建设给鸟类迁徙带来的不利影响，主要表现为鸟类的趋避行为会使鸟类选择远离风机飞行，从而在一定程度上减少了鸟类的活动范围，这也是风电场的屏障效应。但从另一个角度来说，鸟类对风电场的这种趋避行为也可以减少鸟类碰撞风机的风险。风电场对鸟类的干扰程度取决于一系列的因素，包括季节、鸟类物种、鸟类的集群规模、鸟类的适应程度、鸟类对风电场建设区域的格局、风电场建设区域到重要栖息地的距离、风电场周边可替换栖息地的可提供性、风机的类型以及鸟类所处的生活史周期（越冬、换羽、繁殖等）等。

BecH 和 Petersen 等（2005）学者曾对丹麦 Horns Rev 海上风电场附近迁徙鸟类的行为进行跟踪观测，研究发现风机建设后，主要鸟类黑海番鸭（*melanitta nigra*）的分布范围发生改变，且其在风电场周边 2~8km 范围内的出现频率明显下降。而在迁徙季节，大部分鸟类会绕过风电场迁飞，只有少部分会穿越部分风电场区域。同时，也发现风电场建成一段时间之后，部分鸟类会对风电场内的环境产生适应性，如小鸥（*Larus minutus*）和普通燕鸥（*Sterna Hirundo*）。

kriJgsveld 等（2008）采用望远镜扫描和全自动雷达观测相结合的方式，对鸟类通过风电场的飞行路径进行了研究。结果表明，鸟类的通量在风电场建设后大大低于风电场建设前所测得的，这也许不全是由于风电场的存在造成的，但与海上风电场特定的离岸位置和风电场区域作业渔船数量的显著减少有一定的关系。

海上风电场对鸟类迁徙的干扰程度与很多因素有关，鸟类在风电场建设初期对风电场表现出趋避特征比较明显，但是随着时间的推移，部分鸟类会对风电场内的环境产生适应性（陆忠民等，2014）。

3) 鸟机相撞影响

当迁徙季节鸟类在迁飞过程需要觅食或者停歇时，基本都是保持着零或者百米以下的飞行高度，如果鸟类规避风险不及时，就有可能发生鸟机相撞。猛禽在追击猎物时常快速俯冲降低飞行高度，遇到能见度较低及强逆风天气时鸟类也会降低飞行高度，存在鸟机相撞风险。项目风电场区离岸距离较远，不是鸟类迁飞过程中的觅食场所，因此对猛禽类影响较小。

本项目风机轮毂高度约为 155m，风轮直径为 252m，总高度为 407m。根据本项目周边区域的鸟类调查结果可知，离岸较近海面鸟类包括红嘴鸥、黑尾鸥、红嘴巨燕鸥、白额燕鸥，一般不会出现在风电场海域，风机对近岸海域鸟类影响较小。离岸较远海岸的鸟类主要是普通燕鸥、黑枕燕鸥、西伯利亚银鸥，在沿海上调查样线零星分布。鸥类飞行高度约在海面至 20m 高，偶尔飞至海面觅食鱼类。凤头潜鸭和反嘴鹬也有被记录到漂浮在海面活动，但一般不高飞，因此风机不会影响鸥类、凤头潜鸭和反嘴鹬的飞行，发生鸟机相撞的概率较小。

综上所述，通常情况下，鸟类在长距离迁徙时飞行高度较高，且在风机群周边飞行时会表现出明显的绕避行为，本项目风机之间的距离较大，屏障效应较弱；仅在恶劣天气以及低空迁飞觅食的情况下才会增加与风机相撞的概率，风机运行对鸟类长距离迁徙的碰撞风险不大。

（2）对鸟类栖息地的影响

鸟类的分布与各种栖息地条件有密切不可分割的关系，依据植被的种类和数量可以把地球上的栖息地分为 11 种类型：极地、苔原、高山、针叶林、落叶林、亚热带常绿林、热带雨林、草原、荒漠、湿地以及海洋。上述栖息地类型中，和本风电场相关的是湿地及海洋两种类型。湿地指一年之中有相当长的时间，土壤饱含水分或被水淹没的地区，包括沼泽、泥炭地、滩涂、河流、河口湾、盐沼、湖泊、池塘、水库、稻田以及退潮时水深不超过 6m 的海水区。海洋生境则是连续而又高度均一的生境，一般会有鸟类在距离海岸 5~10km 范围内取食。

本项目风电场区均位于海上，水深 32~37.5m，不属于湿地的范畴，因此对湿地没有影响。另外，由于风电场边界与海岸线最近距离为 43km，不属于传统的海洋栖息地中鸟类的觅食区域，因此本风电场建成后对鸟类栖息地没有影响。

（3）对鸟类觅食的影响

海上风电场风机的转速较慢，而鸟类视觉极为敏锐，反应机警，能够发现并躲避障碍物，在飞行途中遇到障碍物都会在大约 100~200m 的距离下避开。因此，在天气晴好的情况下，鸟类误撞风电机件的几率极小。建议长时期对鸟类进行连续观测，加强对区域鸟类生活习性（栖息、觅食、迁飞）的观察。

本项目对鸟类的影响将主要局限于海洋生境中，此刻的影响主要来自风力发电风电机组的运营。风机叶片运转和产生的噪声可能会对鸟类的正常觅食活动产生一定影响，甚至不排除发生风机与鸟类碰撞的可能性。由于鸟类本身有趋避行为，风

机对其影响相对比较有限。

根据观察，风电场区出现的鸥类飞行高度约在海面至 20m 高，偶尔飞至海面觅食鱼类，反嘴鹬也有记录到浮在海面活动，但一般不高飞。而风机轮毂高度约为 155m，风轮直径为 252m，总高度为 407m，因此鸟不会撞到风力发电机的叶片；该海域并不是鸟类的主要觅食区，且鸟类本身能主动规避这些区域，因此影响较小。

（4）对鸟类种群结构的影响

风电会引起鸟类种群结构产生变化，一些对风电场适应能力较强的种类能生活在距离风电场较近的地方，而较敏感的鸟类则会迁移出去，这样就造成了风电场周边环境鸟类种群结构的变化。

施蓓等（2021）以我国首座海上风电场—东海大桥海上风电场为研究实例，通过风电场建设前后区域鸟类种群的长期调查观测数据的对比分析，评估了海上风电场的建设对鸟类组成及行为影响。该研究以东海大桥海上风电场 2007 年开工建设为分界点，收集区域附近南汇东滩 1997-2006 年鸟类观测资料、洋山港 2000-2006 年周年鸟类观测资料，并与相同调查区域 2012 年 5 月至 2013 年 6 月观测资料进行物种数、种类组成及数量组成等比较分析，结果表明：区域鸟类的物种数并未产生明显的变化，鸻形目鸟类种类比例有所下降，雀形目种类增加明显，但鸻形目鸟类数量仍占明显优势，这一变化是由风电场建设、近岸其他工程建设、区域陆化发展、生境条件改变等综合作用的结果。风电场区域的视频观测没有记录到鸟类活动的情况，也没有记录到鸟类撞击风机的事件，推测风电场场址已避开迁徙主要通道，或表明鸟类对其产生规避。

（5）噪声和电磁辐射的影响

根据七〇二所对风电场区域的海上噪声背景值监测，噪声背景值在 50.0~61.4dB（a）。考虑最大噪声背景值水平，在 150m 处，风机群叠加风电场运行噪声后为 62.0dB（a），由于背景值海上风声和海浪较大，风电场运行噪声对海上声环境影响仅限于风机附近。根据预测，本项目风机噪声在 500m（受声点位于海平面上 2m 处）处衰减至 43dB（a），故对整个风电场来说影响范围较小，对鸟类的影响也较小，是可以接受的。

本项目建设海上 500kV 升压站 1 座，500kV 和 66kV 海底输电电缆，运行过程中将产生工频电场和工频磁场。预测本项目升压站所产生的电磁强度能够满足《电磁环境控制限值》（GB8702—2014）中标准（4kV/m）要求，最大磁感应强度远小

于评价标准（100 μ T）要求。本项目风电场区位于水深区，周边鸟类栖息数量较少，外输线路采用埋地的方式敷设，风机及线路产生的电磁辐射不会对鸟类产生较大影响。

（6）人为污染对鸟类的影响

海上风电场运营期主要污染物为维护人员生活污水、生活垃圾、运维船舶含油污水以及风机、海上升压站检修维护产生的一般固体废物、含油危险废物。运营期间运维船舶生活污水、生活垃圾、船舱底油污水在运维船上分类收集，待船舶靠岸后，交由有能力的船舶污染物接收单位接收处理；风机、海上升压站检修维护产生的一般固废直接由运维船舶带回岸上外售资源回收单位综合利用，危险废物（废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等）等分类集中收集至含油废物箱中，待船舶靠岸后暂存至项目陆上集控中心危废间，与集控中心危险废物一起委托有危废处置资质单位定期清运处理，不向海域排放。

海上风电场维修可能会发生的漏油事故，海上升压站配备事故油罐用于储存事故漏油，由专门维护人员定期送至陆域集控中心集中处理，同时由于海浪潮汐的稀释作用，少量的漏油事故不会对海洋水质环境造成明显影响。海上风电场不是鸟类的主要觅食和栖息场所，海洋环境污染对鸟类影响不大。

7.8.3 风电场环境事故风险对鸟类的影响

风电场在施工过程中要大量用到船舶运输装备和材料、用船舶进行打桩和吊装施工等，运营期也需要定期通过船只进行检测与维护，存在施工船舶溢油风险。如发生溢油事故，将对海洋生物和海洋生态系统产生深远的不利影响。尽管不同油品的影响程度和持续时间不同，但是总体上，漂浮在水面上的油类会直接导致海洋生物的死亡，也会波及海岸带，进入沉积物，尤其是滩涂沉积物中，缓慢释放，形成持久的毒性。鸟类进入含油水面或者油污染的滩涂，身体上会沾上油污，影响其活动，进而影响生存。油类物质会通过食物链或者直接被摄入鸟类体内，毒害鸟类。溢油事故也会产生长期影响，影响溢油区域活动或者觅食的鸟类。

溢油事故一旦发生，海域水体首先受到影响，部分滩涂周边也会受到影响，除了直接影响这些区域觅食、活动的鸟类，导致鸟类中毒死亡，也会通过影响这些区域的浮游动植物、底栖生物、潮间带生物进而影响区域作为鸟类栖息地的质量，这种影响也将持续较长的时间。

根据现场鸟类观测结果分析，可能受溢油影响的鸟类是直接在水面觅食的鸥类、

燕鸥类、其他海洋性鸟类以及在滩涂区域停歇的鸕鹚类、鸥类、燕鸥类和鹭类等。

对于鸟类栖息地而言，溢油以后油膜扩散，海域活动鸟类由于存在大量其他替换的海域水体栖息和觅食区域，存在有效避免受到溢油影响的可能性。同时，溢油事故发生的概率相对较低，而一旦发生则有可能影响到油膜扫过的区域，一般油膜扫海的范围和面积相对有限，并不会波及到整个海域，也即规划海域各个区域同时受到事故溢油影响的可能性比较小。溢油事故发生后，影响范围之外都存在未受影响的栖息地（海域）作为替补和缓冲，能在一定程度上减缓溢油事故对整个海域鸟类栖息地功能和鸟类群落的影响，不大可能对整个海域鸟类栖息地功能和鸟类群落造成颠覆性影响。

7.8.4 对重点保护鸟类的影响

在广东沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸕鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地。本项目的登陆点陆域区域主要为岩质海岸，没有滩涂生境，因此鸕鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。根据鸟类调查结果，调查期间在海上区域观察到的鸟类主要为红嘴鸥、反嘴鹬、黑尾鸥、红嘴巨燕鸥、白额燕鸥、普通燕鸥、黑枕燕鸥、西伯利亚银鸥、凤头潜鸭、白鹭、大白鹭、黑鸢。以上物种中黑鸢为国家二级保护动物，红嘴鸥、反嘴鹬、黑尾鸥、红嘴巨燕鸥、白额燕鸥、普通燕鸥、黑枕燕鸥、西伯利亚银鸥、白鹭、大白鹭为省级保护动物。

黑鸢属于留鸟，且有繁殖种群，一般单独出现不集大群，属于偶见种类，主要活动于大陆沿岸，白天多停在乔木顶部或电线杆上，在沿海湿地和周边农田上空飞行。调查期间在海上观察到仅有 2~5 只的种群，很少进入深海区域活动。在西班牙南部的 Tarifa 研究发现（Barrios and Rodriguez, 2004），猛禽在风场区域翱翔时，会选择避开叶片旋转能达到的高度范围，如繁殖期和冬季选择在较低的高度飞行（平均在 57~59m 之间），其余时期是飞行高度则在 110m 左右，在其他区域其高度差异不明显（繁殖期 68.20m，越冬期 60.07m，非繁殖季节 79m）。因此风电机组建成后，对黑鸢的影响较小。

其他保护鸟类多数个体在离岸 2~5km 范围内发现，鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，是最有可能受到影响的种类。风电场建成后，鹭科鸟类会选择回避该区域，本项目风电场建设对其影响较小。鸥类、燕鸥类是利用海面

较多的水鸟类群，多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时会跟随渔船在海面集群觅食，然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变，渔船也不会驶入场址，鸥类出现在风电场区的几率也随之降低。

7.8.5 鸟类影响评价结论

（1）施工期影响

本项目施工期对鸟类产生影响因素为占用海域对鸟类栖息及觅食影响、施工机械噪声及振动影响、施工干扰影响。风电场址不在传统的海洋栖息地中鸟类的觅食区域，滩涂湿地范围内海缆施工会影响鸟类栖息、觅食，但影响随着施工结束而消失。

（2）运营期影响

本项目所在近岸区域鸟类分布最集中的区域为黄茅海两岸，包括珠海平沙湿地和江门新会银湖湾，距离本项目风电场址接近 70km。与本项目风电场距离最近的荷包岛陆岸有 35km，距离高栏岛超过 40km，和大陆岸线之间的空间可满足鸟类飞行需要，对鸟类迁徙通道的阻隔作用较小。在项目场址范围内观测到的鸟类较少，多数个体在离岸 2~5km 范围内发现，数量最多的是红嘴鸥，其次为反嘴鹬，数量较多的还有黑尾鸥。本项目场址区域范围有限，迁徙鸟类有足够的主动规避空间，建成后对鸟类迁徙影响较小。

本项目风电场不属于传统的海洋栖息地，不是鸟类的主要觅食区且鸟类本身能主动规避这些区域，因此对鸟类栖息、觅食的影响非常小。风机轮毂高度约为 155m，风轮直径为 252m，总高度为 407m，鸥类飞行高度约为 20m，反嘴鹬一般不高飞，在海面活动，风机对鸟类飞行影响较小。风电场运营期间产生的噪声、电磁辐射较小，对鸟类的影响可接受。

（3）对重点保护鸟类影响

黑鸢在深海区域活动较少，在风电场区翱翔时，可选择避开叶片旋转能达到的高度。鹭科鸟类是会利用近岸海面作为栖息觅食的类型，是最有可能受到影响的种类，鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动，有时会跟随渔船在海面集群觅食。风电场建成后，鱼类分布发生改变，鹭科鸟类、鸥类出现在风电场区的几率也随之降低。

建议在风电场区设立雷达和视频观测系统，并定期开展人工观测，建立长期系统的连续观测体系。施工期间严格管理各类污染排放，合理安排施工时间，合理布

置施工运输路线，减小对鸟类的影响；营运期建议对风机叶片进行涂警示色、加灯光等处理，根据候鸟迁徙节律调节运行时间，并设立鸟类观察救助站，积极与当地野生动物保护管理部门沟通合作，加强鸟类日常活动监测和迁徙高峰预警。

7.9 环境敏感目标影响分析

项目周边的环境敏感目标主要为自然保护区、生态保护红线、渔业资源“三场一通道”、海岛、开放式养殖区、珍稀濒危和保护物种等。

7.9.1 对广东江门中华白海豚省级自然保护区的影响

广东江门中华白海豚省级自然保护区与本项目送出海缆最近距离约 4.19km，与项目风电场址最近距离约 28.64km。项目建设对广东江门中华白海豚省级自然保护区的影响分析主要包括：1）悬浮泥沙造成的影响；2）噪声造成的影响；3）污染物排放影响。

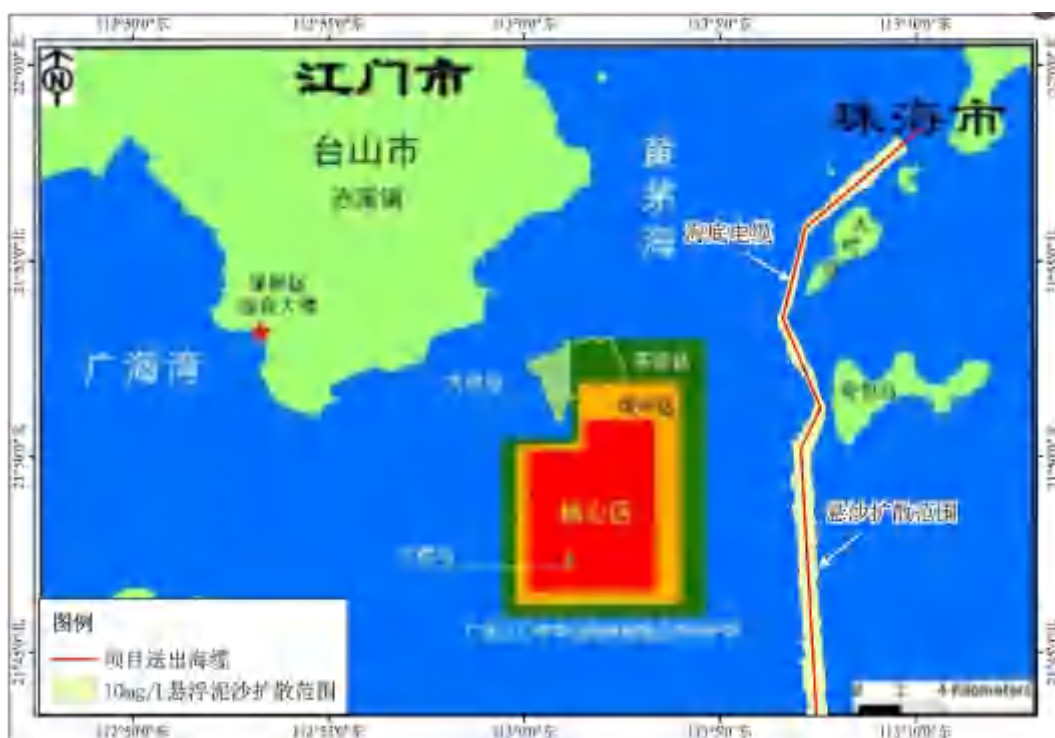


图7.9-1 悬浮泥沙扩散影响范围与保护区叠置图

（1）悬浮泥沙影响

根据悬浮泥沙数值模拟结果，项目建设产生的悬浮泥沙不会扩散至广东江门中华白海豚省级自然保护区。因此，项目建设产生的悬浮泥沙对广东江门中华白海豚省级自然保护区无影响。

（2）噪声影响

根据《珠海高栏海上风电场项目水上水下噪声监测》，水下打桩噪声造成中华白海豚 TTS 的临界距离是 139.5m，打桩噪声造成中华白海豚发生强烈躲避行为的临界距离是 2373.5m。本项目与广东江门中华白海豚省级自然保护区最近距离约 4.19km，风电场址与其距离约 28.64km，距离远远大于中华白海豚发生强烈躲避行为的临界距离，为降低项目施工对中华白海豚的影响，风电场打桩施工前应采用声学驱赶的方式，把可能受到噪声影响的海豚驱赶到安全区域。

（3）污染物排放影响

本项目建设产生的污染物主要有生活污水、船舶含油废水及生活垃圾等，施工期产生的污染物均妥善处理，严禁向海域内排放。同时施工期要加强船舶作业管理，避免船舶碰撞事故溢油扩散对保护区内白海豚产生影响。

（4）与《广东江门中华白海豚省级自然保护区管理办法》符合性分析

根据《广东江门中华白海豚省级自然保护区管理办法》第十三条：（一）禁止擅自移动或者破坏保护区界标；（二）禁止在保护区内进行捕捞，但是，法律、行政法规另有规定的除外；（三）海上船舶除执行紧急任务或抢险救灾、救护等特殊情况下，注意减速缓行；（四）禁止在保护区内建设法律法规规定不得建设的项目或生产设施；（五）限制或者禁止其他影响中华白海豚栖息生存环境的活动。

广东江门中华白海豚省级自然保护区与送出海缆最近距离约 4.19km，与项目风电场址最近距离约 28.64km，项目建设不占用保护区，施工期应加强管理，严格划定作业范围，严禁施工船舶进入保护区范围，同时做好文明培训，严禁施工人员进入保护区进行捕捞活动。施工期产生的悬浮泥沙不会扩散至广东江门中华白海豚省级自然保护区，生活污水、生产废水及固废等均进行妥善处理，严禁向海域内排放，不会影响中华白海豚的栖息生存环境。

综上所述，项目建设不会对广东江门中华白海豚省级自然保护区产生影响。

7.9.2 对生态保护红线区的影响

本项目不占用生态保护红线区。

与项目距离最近的生态保护红线区为送出海缆西侧约 0.54km 的黄茅海重要渔业资源产卵场，本项目施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散到该红线范围内，施工期和运营期的污水和垃圾均妥善处理，不向海域排放，项目避开产卵期施工，因此，项目建设不会对该生态保护红线区的保护目标“重要渔业资源产卵场”造成影响。

本项目距离江门中华白海豚地方级自然保护区的距离有 4.20km，距离较远，本

项目场址所在为深水区，风电场区与海岸线最近距离为 43km，不属于中华白海豚栖息区域，项目建设不会对该生态保护红线区的保护目标“中华白海豚”造成影响。

本项目距离荷包岛海岸防护物理防护极重要区有 1.74km，本项目不在海岸防护物理防护极重要区内施工，根据数模结果，项目建设仅对工程区附近水域有一定的冲淤变化，不会对该区域的地形地貌造成影响，项目建设不会对该生态保护红线区的保护目标“海岸防护物理防护极重要区”造成影响。

因此，工程建设不会对生态保护红线区造成影响。

7.9.3 对渔业资源“三场一通道”的影响

本工程风电场所在海域附近的“三场一通道”主要有南海底层、近底层鱼类产卵场、南海中上层鱼类产卵场、南海北部幼鱼繁育场保护区，工程建设的影响主要是施工期产生的悬浮泥沙扩散的影响和冲淤环境的影响。项目与“三场一通道”的相对位置见图 2.7-3~图 2.7-6。

本项目风电场及海底电缆位于南海中上层鱼类产卵场：蓝圆鲹产卵场（珠江口近海域：东经 112°50′~114°30′，北纬 21°~22°，水深 60m 以内，产卵期 12 月~翌年 3 月），南海底层、近底层鱼类产卵场：金线鱼产卵场（南海北部产卵场：由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近，东经 111°45′~115°45′，水深 25~107m，主要在 40~80m，产卵期 3 月~8 月）、绯鲤类产卵场（珠江口近海区：东经 112°55′~115°40′，北纬 21°30′~22°15′，水深 20~87m，产卵期 3 月~6 月）。本项目风电场区、海底电缆在南海北部幼鱼繁育场保护区内，该保护区的保护期为每年 1~12 月，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。

项目对产卵场的影响主要为施工期悬浮泥沙影响，施工产生的悬沙浓度增加导致海水水质变差，将影响到鱼卵和仔稚鱼的孵化率和成活率，甚至造成其直接死亡，另一方面，施工悬沙浓度的增加也会造成成鱼的回避，使鱼类无法进入该海域产卵。本项目施工悬沙污染主要发生在海底电缆铺设以及打桩环节，以悬沙浓度超过 100mg/L 统一作为游泳生物幼体受影响区，根据 7.3.1.1 节施工悬沙扩散影响预测结果可知，悬浮泥沙主要在底层扩散，表层和中层基本悬沙浓度基本小于 100mg/L，底层悬沙浓度超过 100mg/L 扩散范围海域底层约 6.81 km²，施工结束则很快恢复，该范围内底层鱼类幼体因高浓度的含沙量而发生部分死亡，此外，工程海域分布有游泳能力相对较差的底栖性鱼类，这些鱼类也会因来不及游离施工悬沙影响区从而出现一定比例的死亡。施工过程产生的

悬浮泥沙可能对蓝圆鲹产卵场、金线鱼产卵场、绯鲤类产卵场产生影响，金线鱼产卵场主要分布在 40~80m 水深范围内，本工程风电场区水深 32~37.5m，施工过程不会对金线鱼产卵场产生影响。高浓度的悬浮泥沙排放时间较短，随着施工作业结束，悬浮泥沙将在数小时内恢复海域本底水平，影响也随之消失。蓝圆鲹产卵期为 12 月~翌年 3 月，绯鲤类产卵期 3 月~6 月，建议合理安排桩基施工和海缆敷设施工时间，避免在产卵期进行打桩、海缆敷设作业，若根据施工计划，不可避免，应尽量降低作业强度和频率，降低对鱼类产卵的影响。施工过程中合理调度施工机械和船舶，避让鱼类产卵场区域，降低对鱼类的扰动。

此外，本项目运营期对产卵场的影响主要为风机基础结构占用海域造成其栖息地的减少，本项目风机桩基占用海域面积为 1231m²、海上升压站桩基占用海域面积为 66.725m²，相对所占比例很小，且冲淤范围仅局限于风机和升压站桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。针对项目建设引起的渔业资源损失，建设单位拟采取增殖放流的生态修复措施，以缓解施工对渔业资源造成的损害，恢复区域渔业资源，采取生态补偿措施后，可以将施工对渔业资源造成的不利影响控制在可接受范围内。

因此，工程建设不会对鱼类的产卵活动造成明显影响。

7.9.4 对海岛的影响

(1) 无居民海岛影响分析

本项目附近的无居民海岛有杙仔岛（东侧，200m）、长连排岛（东侧，370m）、獭洲（西侧，850m）、獭洲爪岛（西侧，530m）、园排（东侧，513m）、三角山岛（东侧，820m）、北三角山岛（东侧，1.08km），均为基岩岛。项目送出海缆采用海缆敷设船作业，海缆转盘载重约 8000t 级，而目前国内首艘单个转盘装缆量超过万吨的海缆船“启帆 19 号”，船长 108.6m，型宽为 37.2m，项目与海岛之间的距离能够满足海缆船作业宽度要求，且海缆船采用 DP 定位，精度可以控制在 5m~10m，项目建设不会对海岛基岩造成破坏。送出海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设不影响其所在海域的水文动力；风电场址距无居民海岛最近距离约 41.65km，风机建设前后流速变化大于 0.01m/s 的影响范围不超过风电场桩基周边 1.6km。因此，项目建设对海岛附近海域冲淤环境无影响。

项目施工期应严格划定作业范围，严禁超界限施工，同时要加强船舶管理，尤其在狭窄海域应降低船速，避免发生与海岛碰撞事故。施工期产生的废水及固废等

均进行妥善处理，严禁向海域内排放，项目建设不会影响无居民海岛景观生态。

（2）有居民海岛影响

项目附近的有居民海岛为荷包岛、大杧岛和高栏岛，与送出海缆距离分别为 470m、680m、7.19km，海岛上旅游资源丰富。

大杧岛自古无人居住，原始生态保存完好，植被丰富。项目送出海缆与大杧岛距离约 680m，海缆敷设不会占用海岛，不会对大杧岛植被造成破坏，送出海缆施工为移动式，施工船舶应采用清洁能源，且项目所在海域开阔，船舶尾气对海岛环境影响较小。

荷包岛岛内有 8 处海湾，其中大南湾沙滩有“十里银滩”之称，岛上有众多旅游景点。大南湾位于荷包岛南侧，与本项目有崖岭相隔，送出海缆施工产生的废水及固废等均进行妥善处理，严禁向海域内排放，且施工期船舶不会进入到大南湾海域，项目建设不会对大南湾海域水质环境造成影响。

高栏岛位于项目东侧，本项目与高栏岛距离约 7.19km，距离较远，项目建设不会对高栏岛产生影响。

项目施工期应严格划定作业范围，严禁超界限施工，不得进入荷包岛海湾区域，严禁进入大杧岛，项目建设不会对海岛旅游资源造成影响。

7.9.5 对开放式养殖区的影响

本项目送出海缆西侧有两处开放式养殖区，分别为高栏港经济区獭洲-大杧岛养殖区域项目（西侧，64.48m）、高栏港经济区荷包岛区域养殖项目（W 侧，163.2m），均进行胶丝吊养牡蛎。本项目建设对两处养殖区的影响分析主要包括：（1）悬浮泥沙扩散造成的影响；（2）水文动力环境及冲淤环境变化造成的影响；（3）噪声和电磁的影响；（4）对养殖渔船通行的影响。

（1）悬浮泥沙扩散影响

根据本项目施工工艺及数值模拟的 10mg/L 悬浮泥沙扩散情况可知，项目施工时悬浮泥沙扩散将进入高栏港经济区獭洲-大杧岛养殖区域项目、高栏港经济区荷包岛区域养殖项目。

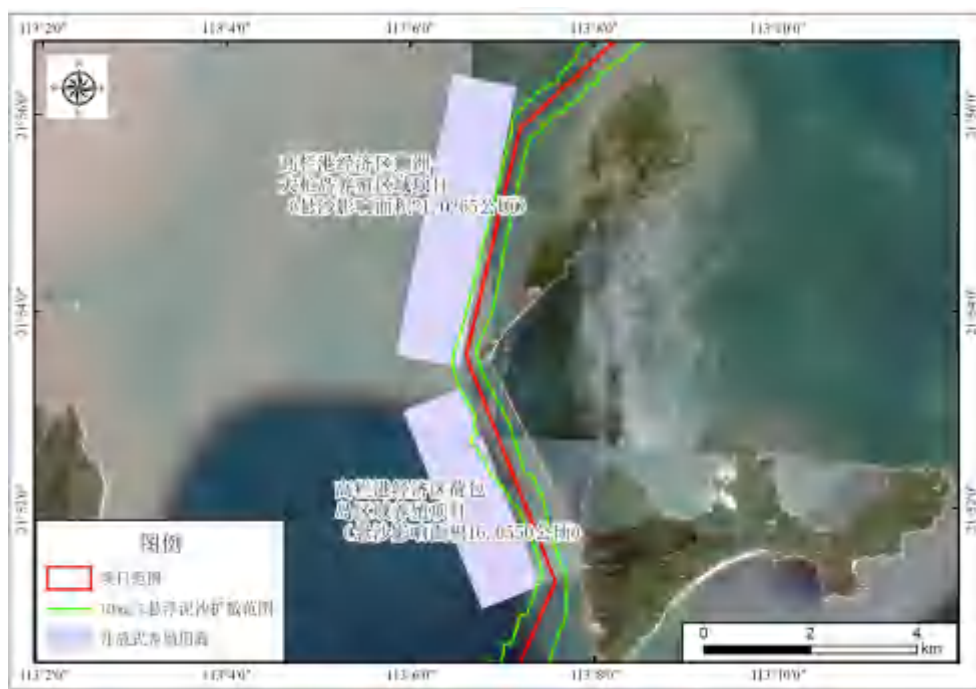


图7.9-2 悬浮泥沙扩散影响范围与开放式养殖区叠置图

根据数值模拟结果，养殖区域内扩散的悬浮泥沙以 10mg/L 为主，悬浮泥沙扩散至高栏港经济区獭洲-大杧岛养殖区域项目、高栏港经济区荷包岛区域养殖项目的范围分别为 21.0265hm^2 、 16.0550hm^2 ，扩散至养殖区域的最大距离分别为 160m 、 234m 。

根据《湛江港区底泥悬浮物对近江牡蛎的毒害效应》（叶健欣，杨锋，李兰涛等.广东海洋大学学报，2010，30（06）：91-94.）：涉海工程所产生悬浮物对养殖牡蛎存活影响，认为当牡蛎养殖场附近涉海工程所产生的悬浮物浓度在达到一定浓度时，首先对小规格（ $2.33\pm 0.78\text{cm}$ ）牡蛎产生毒害影响，当涉海工程所产生的悬浮物浓度保持一定的浓度范围内时，悬浮物对大规格（ $8.2\pm 1.76\text{cm}$ ）牡蛎存活的影响不明显。另根据相关研究，贝类养殖产品对低浓度悬浮泥沙的敏感度较低，对其影响程度较小。

项目西侧两处养殖区牡蛎育成周期为 3~4 个月，项目施工前，建设单位可与养殖进行沟通协调，合理安排送出海缆施工时间，以减小悬浮泥沙对牡蛎生长的影响。本项目养殖区牡蛎采用吊养方式养殖，吊养深度一般为 $2\text{m}\sim 4\text{m}$ ，而悬浮泥沙扩散的影响主要位于底层，对中层和表层的影响甚小。本项目海缆埋深主要在海域底层操作，牡蛎养殖吊养在底层以上，且悬浮泥沙的影响仅局限在施工期，该影响随施工期结束而逐渐消失。

因此，项目施工产生的悬浮泥沙对牡蛎养殖影响较小。

（2）水文动力环境及冲淤环境变化影响

项目风电场址与养殖区距离约 37km，风机建设前后流速变化大于 0.01m/s 的影响范围不超过风电场桩基周边 1.6km；送出海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设不影响其所在海域的水文动力。因此，项目建设对养殖区海域冲淤环境无影响。

（3）噪声和电磁影响

1）施工期噪声影响

本项目风电场区与养殖区最近距离约 37.22km，施工期噪声影响主要为海底电缆施工船舶产生的噪声，养殖区养殖品种为牡蛎，对噪声影响敏感性较低，施工期噪声对牡蛎的影响不明显。

2）运营期噪声和电磁影响

本项目风电场区与养殖区最近距离约 37.22km，运营期风机噪声不会牡蛎生长产生影响。

根据相关研究，电磁强度与电缆距离呈反比，在 1.00mT 时距离海底电缆 0.3m，在 0.20mT 时距离海底电缆 1.20m，对贝类有影响的电磁为 0.90mT 时，与电缆的距离一般小于 1m，由于本项目海缆护套完全埋地，电磁辐射对养殖区牡蛎影响不明显。

（4）养殖渔船通行影响

项目施工期将增加海域船舶交通流量，相应挤占渔船活动海域空间，但渔船的随意性较强，航线无规则，可以从西侧开阔海域进出养殖区，且项目送出海缆施工为移动式，不会长久处于养殖区东侧海域范围，该处施工结束后对渔船的影响随之消失，项目施工期应划定施工作业范围，加强船舶管理，严禁超界限施工。项目送出海缆敷设在泥面下 3m，运营期不影响养殖渔船正常通行。

综上，本项目建设施工期悬浮泥沙会对养殖区内牡蛎造成短暂影响，项目风电场噪声及电磁不会对养殖区牡蛎产生明显影响，项目施工时不会占用养殖区范围，对养殖渔船通行影响较小。

7.9.6 对珍稀物种的影响

7.9.6.1 中华白海豚

（1）索饵场与栖息地

中华白海豚的主要捕食物种主要以河口和近海沿岸物种为主，其中主要在河口至近岸分布占 66.7%，河口和近岸分布种类各占 16.7%，栖息于沙泥底质占 64.3%，

其次是礁区，占 35.7%，温度和盐度选择主要以暖水性和咸淡水鱼种为主，其中暖水性分布占 66.7%，暖温性占 33.3%，咸淡水占 56.2%，海水占 43.8%。口位选择为前位鱼占 69.2%，下位鱼占 30.8%。从中华白海豚捕食鱼类的口位来看，研究海区的前口位鱼占优势，这表明该海区鱼类主要是近海分布的物种，从而说明中华白海豚应主要在水深较浅的区域捕食和活动。

中华白海豚的主食为鱼类和头足类动物，其中石首鱼科出现最为频繁，其次是梅童鱼属和棱鳗属。在珠江口海域的研究结果表明中华白海豚的主要食物种类有龙头鱼、长鳅、鳗鱼、鱼留鱼、白姑鱼、大黄鱼、棘头梅童鱼。从中华白海豚的主要捕食物种的生态型来看，它们主要喜栖于河口至近岸海域、淡咸水的水体环境以及沙泥底的底质类型，这些也都说明了捕食鱼种的河口分布特点。

根据《基于广义可加模型的珠江口中华白海豚栖息地偏向性研究》（四川动物，2015 年），利用广义可加模型分析了珠江口中华白海豚密度分布与海水水质因子的关系。结果表明，影响中华白海豚密度分布的主要水质因子为深度、化学需氧量、活性磷酸盐以及盐度。中华白海豚主要栖息于水深 15m 以内，盐度 10‰~30‰之间的水域。

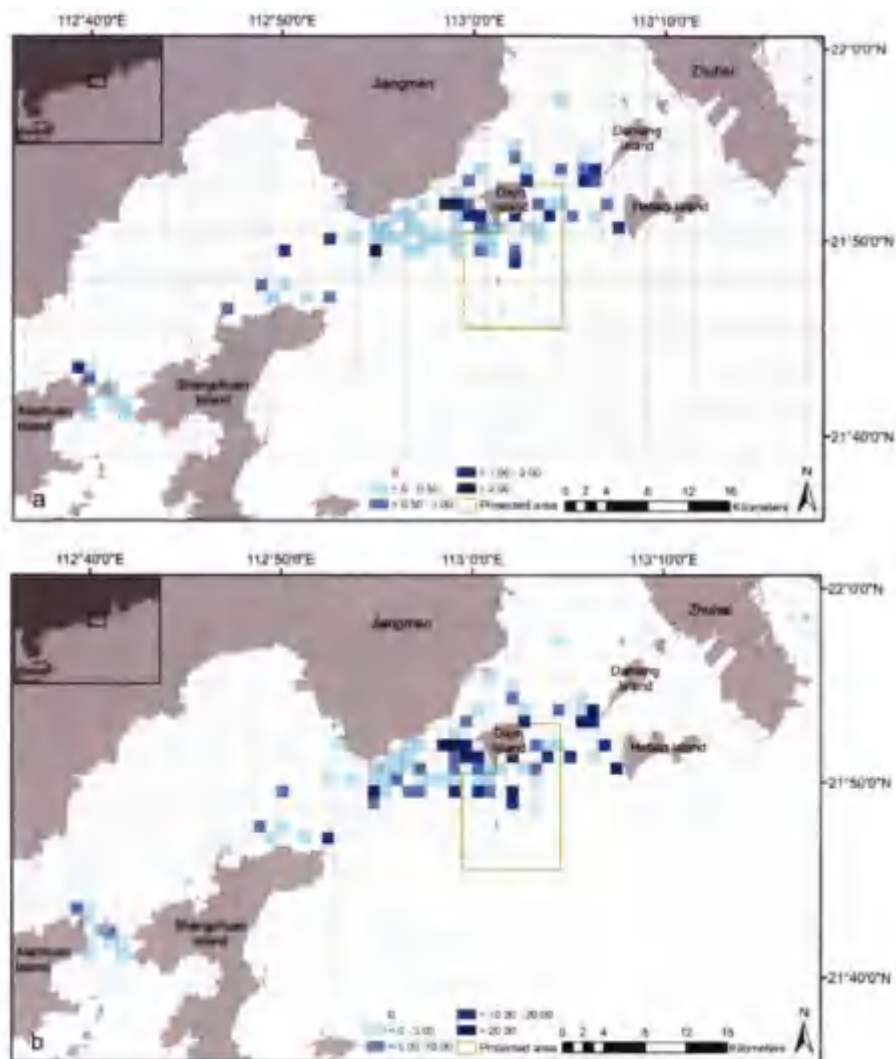


图 7.9-3a 2018-2019 调查区域内白海豚分布图 (a.群体目击密度分布图 b.个体目击密度分布图)

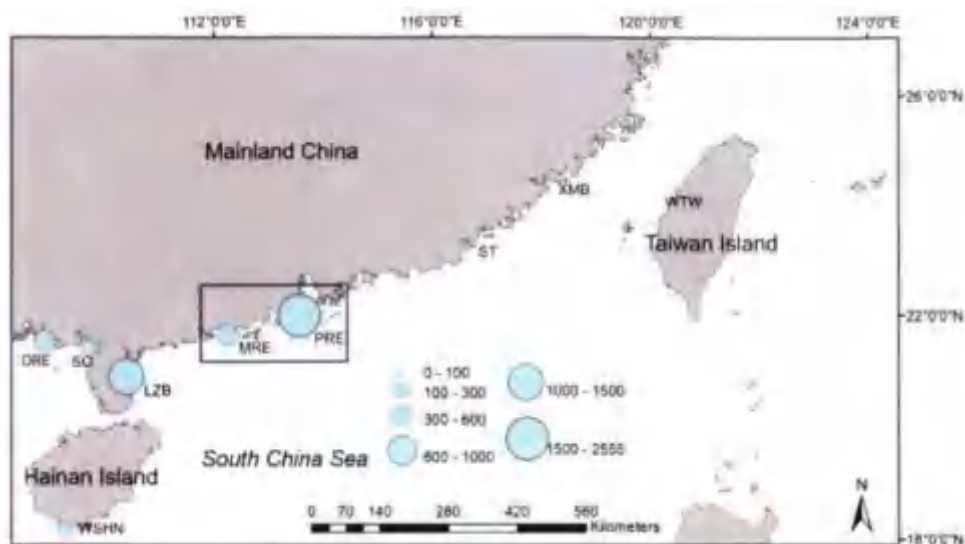


图 7.9-3b 各中华白海豚地理种群在我国东南沿海的分布及种群数量

(2) 对中华白海豚的影响

本项目风电场址距离广东江门中华白海豚省级自然保护区约 29km, 海底电缆与

广东江门中华白海豚省级自然保护区最近距离约 4.19km。项目施工区域距离保护区距离较远，根据数模预测结果，施工产生的悬浮泥沙未扩散到保护区范围，因此本项目的建设不会对保护区内的中华白海豚产生影响。

中华白海豚主要在水深较浅的区域捕食和活动，主要喜栖于河口至近岸海域、淡咸水的水体环境以及沙泥底的底质类型区域。本项目风电场址与岸线最近的距离为 49 公里，位于深水区，中华白海豚在觅食过程不会出现在风电场址区域，因此风电场在施工和运营期均不会对中华白海豚产生影响。

海底电缆施工过程的噪声会对中华白海豚产生影响，但中华白海豚对信号比较敏感，会主动趋避。施工过程产生的悬浮泥沙，对用肺呼吸空气的鲸豚类动物的影响有限，且白海豚长期生活在水体浑浊的河口水域，水中悬浮泥沙的增加不会直接影响白海豚的活动。海缆施工时间较短，噪声及悬浮泥沙的影响会随着施工的结束而结束，因此海缆施工对周边中华白海豚的影响可接受。

另外，根据《珠海高栏海上风电项目对中华白海豚影响专题报告》（中山大学，2025 年 7 月 26 日），项目建设对中华白海豚影响分析如下：

1) 施工期对中华白海豚的主要影响因子识别

①施工干扰可能影响中华白海豚活动

珠海高栏风机场址距离中华白海豚活动水域较远，风机建设过程中的涉海工程对中华白海豚影响有限，但 500 kV 海底电缆铺设路线横穿中华白海豚栖息地，可能会对中华白海豚产生影响。

海缆深埋敷设施工可以分为施工准备、海缆敷设、后续保护和电缆试验 4 个主要阶段。除准备阶段外，均需注意对中华白海豚的影响，特别是海缆敷设阶段。

500 kV 海缆采用牵引绞锚、边敷边埋的敷设方式，电缆敷设船挖出深约 2 米~3 米的坑道，海缆同步埋设，与航道交越段的埋深将在航道设增加至 4 米。虽然，埋设犁施工过程中不进行任何挖掘工作，仅在海底临时切割出一条管沟，光缆立刻嵌入到管沟中，而且埋设犁经过该区域后，海底沉积物将管沟掩埋，而不需要填埋工作。但是，大规模海缆敷设使用的电缆敷设船和维护工作使用的其他工程船可能会直接影响该海域中华白海豚的出现频率，干扰邻近海域中华白海豚的日常活动。因此，有必要采取预防措施来减少对中华白海豚的干扰，比如过往船只降速，密切关注施工海域中华白海豚的动态，及时评估工程对中华白海豚的影响等。

②施工噪音的影响

施工引起的水中噪音污染源大致可分为几类：打桩、重型机器操作及海床挖掘等。因风机建设对中华白海豚影响有限，仅需关注海缆深埋敷设施工时的重型机器操作及海床挖掘等。

中华白海豚需利用声音以侦察周围环境及与同作沟通，水中噪音可能对它们的生活造成不同程度的滋扰。短期内这些噪音会增加它们的压力及改变它们的行为，而长期则可能让它们迁离原本的栖身地、甚至导致它们受伤。因此，应考虑采取相应的避免或缓解措施，以减少施工噪音对中华白海豚的影响。比如，使用“泡沫屏障”减轻噪音的扩散，在施工地点设立 500 m 监视范围等。

③施工混浊区的影响

悬浮物的影响：工程施工填海需大规模挖掘海床，导致水体悬浮物增加，形成混浊区，尽管有隔泥网也无法避免，透光度和含氧量因此下降，影响水质。虽然悬浮物增加对用肺呼吸的鲸豚类动物影响较小，且中华白海豚依靠回声定位，不受视觉限制，但悬浮物可能增加其体表感染的风险。鱼类虽适应浑浊水体，但悬浮有机物消耗溶解氧，可能导致低氧区域，使鱼类回避，进而间接影响中华白海豚的觅食。因此海洋工程施工应采取减少悬浮物的措施，如使用隔泥幕等。

环境污染物的影响：工程施工对海床沉积物和底土的扰动，导致悬浮物的扩散，会不同程度使沉积物中的污染物（如重金属、有机氯化物、石油烃类）释放到水体中造成二次污染。根据过去的研究，影响中华白海豚的污染物包括数种有机氯化物（如 DDT 和 PCBs）和重金属等（Jefferson 20000, 2004; Ning et al., 2020）。多种重金属及有机氯农药含量超标，这些污染物的再度释放尽管不会达到直接毒害中华白海豚的程度，但污染物将通过食物链的传递蓄积在中华白海豚体内，长期暴露这些污染物会影响中华白海豚种群的健康。建议对中华白海豚及其栖息地健康状况进行监测，系统评估中华白海豚的生存状况，这将有助于制定针对性保护措施。

④渔业资源减损后的间接影响

珠海高栏项目建设将影响施工区及其附近海底的底栖生物群落，进而影响底层鱼类的栖息环境和再生机制，致使渔业资源减损。研究表明，中华白海豚较喜欢捕食底层或近底层鱼类（Ning et al., 2020）。因此，项目施工可能会使中华白海豚的食物来源减少，影响中华白海豚的食物保障。

目前渔业资源由于捕捞过度和环境污染等原因已明显衰退，中华白海豚可能已处在食物匮乏的边缘。研究表明，珠江口水域一些中华白海豚个体于近年的活动范

围比以往有所扩大，可能是因食物来源不足，中华白海豚需要更大的活动空间来保证食物供给（Hung & Jefferson 2004；郭浪，2021）。项目施工将进一步降低海豚的食物保障，因此，有必要采取其它生态补偿措施来提升渔业资源量，比如在邻近海域投放人工鱼礁、帮助渔民转业转产以减轻渔业捕捞压力等。

⑤船舶撞击对海豚的直接伤害影响

施工船舶可能会在中华白海豚分布范围出现。虽然，中华白海豚一般不会受到移动缓慢的船只影响，但它仍要面对被船舶碰撞的风险，往来施工船舶将可能改变它们的潜水模式，甚至迫使它们暂时离开原来的栖息地。中华白海豚被船只撞击的风险主要来自高速航行的轮船和渔船。中华白海豚喜欢靠近正在拖网作业的渔船，而渔船起网后的突然加速和转向也容易撞伤中华白海豚。尽管如此，施工船只在施工期间应尽量留意中华白海豚的出没，并尽量慢速航行，以防中华白海豚被碰撞致死或受伤。

2) 营运期对中华白海豚的影响

①营运期水下噪声的影响分析

营运期水下噪声对中华白海豚的影响有限。考美国国家海洋渔业局对水下工程噪声的危险性进行分级。声源级高于 180 dB 的水下噪声为危险级，可能会对海豚的听觉系统造成伤害。声源级在 120 ~180 dB 范围的水下噪声为警告级，可能对海豚行为产生影响。声源级低于 120 dB 的水下噪声强度基本接近海洋噪声，被评定为安全级。运营期所产生的水下噪声大部分在安全级，因此对中华白海豚造成的损伤不大。

项目营运期产生的噪声主要来自于过往船只和工程维护，产生的噪声主要分布于较低的频段。而中华白海豚的回声系统主要利用频率大于 4 kHz 的声信号进行觅食和与同伴沟通，因此项目运营期产生噪声可能对中华白海豚的影响有限。但是，有的应急信号也会出现在低频段（如~0.6 kHz），对这部分频段的声信号将造成掩蔽，对一些行为会有干扰，如母子间的沟通等。每年 4~8 月份的春、夏季是珠江口中华白海豚种群的繁殖高峰季节，该期间运营作业可能会影响到新生幼豚与母豚的联系等，对中华白海豚种群造成一定的负面影响。因此，建议尽可能避免在高峰期进行大规模工程作业，减少或调整大规模挖掘活动的频次和规模。

②营运期水质污染的影响分析

项目可能会释放环境污染物（如重金属以及有机污染物等）而增加水体中污染

物的浓度（比如处理不当的工程废弃物，重新释放沉积物中的污染物等），经长期累积会通过食物链影响中华白海豚。目前，珠江河口成年中华白海豚体内的部分污染物（如 PCB、DDT 和 PBDE 等）的含量已处于相当高的水平，污染物的进一步累积会损害中华白海豚健康。

③运营期溢油风险的影响分析

运营期存在船舶碰撞的溢油风险，如果发生类似时间，溢油漂移路径及覆盖范围可能会与中华白海豚栖息地有大规模重合。石油对中华白海豚有直接的毒害作用，长期暴露会为中华白海豚造成健康风险。生态毒理学实验表明，各类生物对石油类污染都会产生反应，幼体敏感性高于成体，溢油污染会导致中华白海豚存活率下降，为其种群造成生存压力。

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。石油会影响当地的初级生产力，也会进入食物链，通过生物富集作用最后蓄积在中华白海豚体内并对其产生毒害，项目运营时应加以对溢油风险的重视。

3) 影响分析小结

珠海高栏场址不是珠江口中华白海豚种群核心栖息地，但是 500 kV 海底电缆铺设路线毗邻中华白海豚群体目击点。据估算，风机场址距离最近的中华白海豚群体目击点为 34.44 km，500 kV 海底电缆铺设路线距离最近的中华白海豚群体目击点约为 2.81 km。综合 2015-2021 珠江口中华白海豚栖息地分布，珠海高栏场址距离最近的中华白海豚栖息地约 32 km，但 500 kV 海底电缆铺设路线横穿中华白海豚栖息地，距离最近的核心分布区约 10 km。

项目施工期可能会对中华白海豚造成影响，主要包括，干扰中华白海豚的活动、施工噪音、施工导致的混浊区、渔业资源减损后的间接影响及船舶撞击的风险。

项目所占用海域距离中华白海豚栖息地较远，虽然 500 kV 海底电缆铺设路线毗邻中华白海豚群体目击点，但其运营期对中华白海豚的影响有限。影响因子主要包括运营期产生的噪音影响。此外，设备维护涉及的挖掘工作可能会对周遭水域造成一定程度的污染，需采取环境保护措施同时加强监管，控制项目运营对环境造成的不利影响。

7.9.6.2 海龟

根据《广东省海洋环境保护规划》研究成果，以及南海水产研究所调查资料，海龟在广东省的主要活动地区为大亚湾、红海湾、汕头。我国已于 1985 年在广东惠东县港口镇海龟湾建立了国家级海龟自然保护区。根据中国大陆海龟洄游路线卫星追踪图（2001-2010 年），项目所在海域出现过海龟活动踪迹，主要集中在海缆区域，风电场区域未发现海龟踪迹，项目建设可能会对海域出现的海龟造成一定的影响。

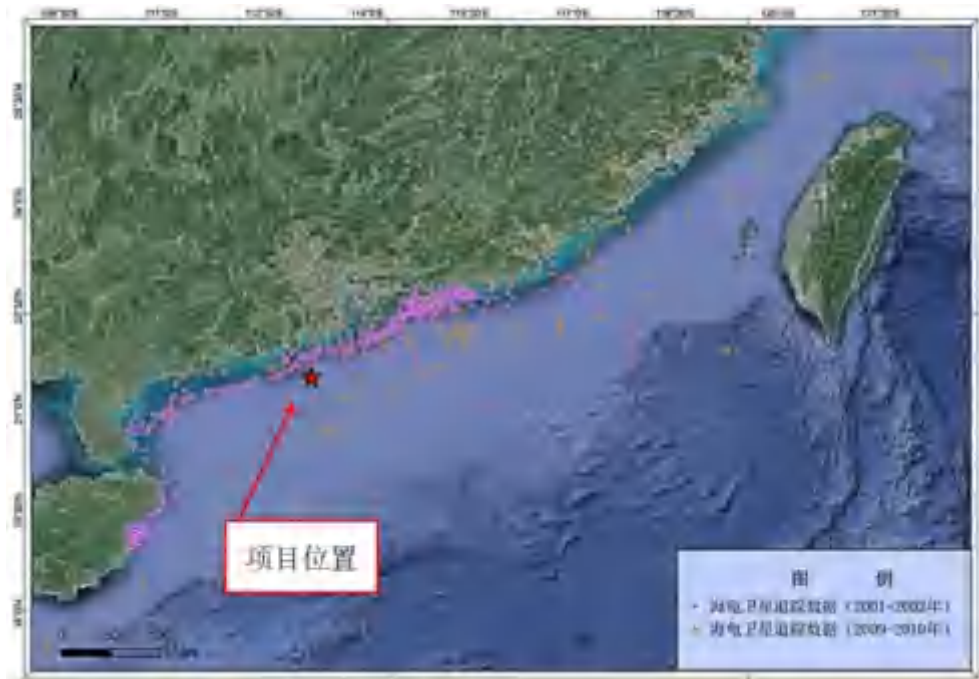


图 7.9-4 中国大陆海龟洄游路线卫星追踪图（2001-2010 年）

海龟生活于近海上层。以鱼类、头足纲动物、甲壳动物以及海藻等为食。每年 4-10 月为繁殖季节，常在礁盘附近水面交尾，需 3~4h。雌性在夜间爬到岸边沙滩上，先用前肢挖一深度与体高相当的大坑，伏在坑内，再以后肢交替挖一口径 20cm、深 50cm 左右的“卵坑”，在坑内产卵。产毕以砂覆盖，然后回到海中。每年产卵多次，每产 91~157 枚。卵白色，圆形，径 41mm~43mm，壳革质，韧软。孵化期 50~100 天。

WHOI 博士后研究员兼研究合著者 andria Salas 表明海龟在暴露于强烈噪音后容易遭受水下听力损失。研究过程针对两种未受威胁的淡水龟类进行了实验，结果表明水龟在经受噪声影响后，听力会受损，需要一定时间恢复。因此本项目海底电缆在施工时，应先驱赶海龟，再施工，避免因施工噪声过大，对海龟听力产生损害。

7.9.6.3 文昌鱼

根据《珠海高栏一海上风电场海洋环境现状调查（秋季）生态调查报告》（20

23 年 11 月)，调查期间 31 号点位出现白氏文昌鱼，为国家二级保护动物，其他调查点位均未发现。

我国的文昌鱼最早发现于厦门，继厦门的文昌鱼首次报道 13 年之后，在胶州湾又发现了新的文昌鱼产地。20 世纪 50 年代，我国科学家对中国沿海海洋生物资源进行过多次调查，先后在海南、北部湾、汕头、金门、烟台等地采到文昌鱼；20 世纪 80 年代，厦门地区的文昌鱼产量急剧下降，调查发现广西合浦、广东遂溪和南澳、福建沿海大部分地区都有文昌鱼的分布；1997 年，又有河北昌黎有文昌鱼的分布报道；近年又在莱州湾和威海发现了文昌鱼；此外，在茂名大放鸡海域，以及台湾的金门、马祖、南湾和基隆附近的野柳、龙洞等地也有文昌鱼分布。白氏文昌鱼生活在水深 8~15m、水质澄清、潮流缓慢、底质为沙的海区，营潜居生活；潜沙时，倒卧潜入疏松的沙质滩里，然后再把前端露出滩面。游泳能力弱，钻沙本领强，移动范围不大。盐度低于 15 时不能正常生活，适宜生长的盐度为 21.0~31.6。植物食性，摄食硅藻，主要种类有圆筛藻、小环藻、舟形藻等。以过滤方式取食。

根据调查，白氏文昌鱼出现位置不在本项目风电场址和海底电缆区域，本项目风电场距离 31 号点位约 8km，本项目风电场水深 32~37.5m，不在白氏文昌鱼生活水深范围内。文昌鱼钻沙本领强，施工产生的悬浮泥沙，不会对文昌鱼产生影响。

7.10 其他环境影响评价

7.10.1 大气环境影响评价

（1）施工期海域大气影响评价

本工程在施工过程中对大气环境的影响主要为施工机械、船舶产生的燃油废气，由于项目施工区域海面较开阔，场区空气流通性好，废气很快会消散，对大气环境影响很小。项目施工区周边无大气环境敏感点，且项目施工机械、船舶废气为间断性排放，随着施工的结束，这些影响也将消失。综上，项目施工废气不会对周边大气环境产生明显影响。

（2）运营期海域大气影响评价

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。项目运营期备用柴油发电机、运维船舶燃油废气产生量都非常小，为间断性排放，且项目所处位置开阔，场区空气流通性好，产生的废气在开阔海域很快会消散，不会对周边大气环境产生明显影响。

7.10.2 固体废物环境影响分析

(1) 施工期海域固体废物影响评价

施工期固体废物主要为施工人员生活垃圾、施工垃圾（扫海清障物、废弃包装物、焊接头等）、钢管桩清孔渣土、钻渣泥浆。

1) 生活垃圾

项目施工高峰期生活垃圾产生量约 340kg/d。项目施工船舶设置带盖垃圾回收桶，生活垃圾集中收集随施工船舶运送至岸上，交由有能力的船舶污染物接收单位统一处理。

2) 施工垃圾

项目施工垃圾主要包括扫海清障物、废弃包装物、焊接头等。其中，海缆铺设扫海清障作业时产生的各类生产垃圾约 1.165t，项目施工船舶上设置专门的收集装置，待船舶靠岸后交由有能力的船舶污染物接收单位统一处理。此外，风电机组、海上升压站在安装过程中产生少量废弃包装物、焊接头等施工垃圾，由施工单位集中收集后运至岸上，外售资源回收单位综合利用。

3) 钢管桩清孔渣土

项目风电机组、海上升压站桩基基础清孔产生泥沙约 296m³，项目桩基施工产生的泥沙全部运输至陆上集控中心施工区，回用于集控中心建设，无废弃土方产生。

4) 钻渣、废弃泥浆

项目送出海缆登陆定向钻施工钻渣泥浆产生总量约 9000m³ 的，泥浆主要成分为膨润土和少量羧甲基纤维素钠，为无毒无害成分。施工过程中的钻渣和泥浆混合物在沉淀池中分离，沉淀上清液仍回用于定向钻施工，钻渣分离干化后运至岸上，回用于项目陆上集控中心基础回填建设；施工结束后剩余无法循环使用的泥浆干化后也用于陆上集控中心基础回填。

综上，项目施工期固废简单，生活垃圾、施工垃圾、钢管桩清孔渣土、钻渣泥浆等均可得到妥善处置，不外排，不会对施工场地及周边环境产生影响。

(2) 运营期海域固体废物影响评价

项目运营期固废主要是运维期间产生的一般固体废物（废零部件、废包装袋（箱））、危险废物（废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等）、运维人员生活垃圾。

项目一般固体废物废零部件、废包装袋（箱）等分类集中收集后直接由运维船

舶带回岸上，外售资源回收单位综合利用。

项目危险废物废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等分类收集至船舶配备的危险废物垃圾箱中，直接由运维船舶带回岸上，待船舶靠岸后暂存至项目陆上集控中心危废间，与集控中心危险废物一起委托有危废处置资质单位定期清运处理。根据《珠海高栏一海上风电项目陆上集控中心环境影响报告书（报批稿）》，集控中心内设置一座油脂及危废暂存间，占地面积约16668m²，危废间建设满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）相关要求，可以同时满足本项目贮存需求。

项目运维人员生活垃圾由运维船收集后运至陆域，交由有能力的船舶污染物接收单位接收处理。

综上，项目运营期间产生的固体废物均能够妥善收集、处理，不向海域排放，对周围环境影响较小。

本项目固体废物产排情况汇总见表7.10-1，危险废物汇总见表7.10-2。

表 7.10-1 项目固体废物产排情况汇总表

序号	产生工序	污染物名称	固废类别	废物类别	废物代码	产生量	治理措施	排放量(t/a)
1	办公生活	生活垃圾	/	/	/	60kg/a	由运维船收集后运至陆域，交由有能力的船舶污染物接收单位接收处理	0
2	风电机组、海上升压站检修维护	废零部件	一般固废	/	441-999-09-0001	0.5t/a	由运维船舶带回岸上，外售资源回收单位综合利用	0
3		废包装袋(箱)	一般固废	/	441-999-07-0002	0.05t/a		0
4		废润滑油	危险废物	HW08	900-214-08	0.18/a	分类集中收集后由运维船舶带回岸上，暂存至项目陆上集控中心危废间，委托有资质单位定期清运处理	0
5		废变压器油	危险废物	HW08	900-220-08	0.251t/a		0
6		废油桶	危险废物	HW08	900-249-08	0.03t/a		0
7		废铅蓄电池	危险废物	HW31	900-052-31	1.2t/a		0
8		废含油抹布及手套	危险废物	HW49	900-041-49	0.01t/a		0

表 7.10-2 项目危险废物汇总一览表

序号	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
1	废润滑油	HW08	900-214-08	0.18/a	机修	液	矿物油	矿物油	每月	T, I	由运维船舶带回岸上，暂存至项目陆上集控
2	废变压器油	HW08	900-220-08	0.251t/a	主变事故、检修	液	矿物油	矿物油	每月	T, I	
3	废油桶	HW08	900-249-08	0.03t/a	机修	固	矿物油	矿物油	每月	T, I	

序号	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
4	废铅蓄电池	HW31	900-052-31	1.2t/a	电池维护更新	固	铅、电解液、电池盖板	铅、电解液	5a	T, C	中心危废间，委托有资质单位定期清运处理
5	废含油抹布及手套	HW49	900-041-49	0.01t/a	机修	固	矿物油	矿物油	每月	T/In	

7.10.3 对通航的影响分析

本项目所在海域分布有较多航道，有珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程、崖门出海航道、荷包岛南航道、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、珠江口大蜘洲至江门上川岛南航路、广东沿海内航路，本项目送出海缆与以上航道均发生交越，与崖门出海西航道距离 2.77km。项目送出海缆敷设过程中将给航道船舶航行安全带来一定的影响，施工船舶在运输、作业过程中会航道过往船舶形成交叉、会遇局面，可能会增加其他船舶的航行、避让困难。

(1) 施工期

1) 物资船舶运输路线的影响

拟建项目场址与附近船舶航道、锚地尚有一定距离，施工期间施工船舶依托附近的航道进入到施工场地，但不会在航道内停留。项目建设所需物资海上运输线路可以从崖门出海西航道运输至海上作业区。

项目物资运输船舶利用航道，将增加航道内船舶交通流量，跟其他船舶容易形成对遇、追越局面。运输船舶在运送风机等大件时，通常航速较低，加上自身尺度的因素，船舶操纵性能较差。当与其他船舶相遇时，如果操作不慎，可能发生碰撞事故。因此，海上风电组大件运输船舶须按照《国际海上避碰规则》，正确显示相应号灯号型，时刻保持正规瞭望和值班，谨慎驾驶，与他船相遇致有碰撞危险时，应按照《国际海上避碰规则》的要求，及早采取行动避让，必要时申请海事主管部门进行交通管制，确保航行安全。

项目施工作业期间，对附近水域交通组织会带来一定影响，因此，在项目施工前，建设单位或施工单位应向海事主管部门申请，划定海上施工作业安全区，并发布相应航行通告；作业船舶正确显示相应号灯号型，表明作业船舶动态，便于过往船舶发现、识别作业船舶；作业船舶保持正规瞭望，对航经作业区附近的船舶保持

高度警戒，提前联系，提醒过往船舶注意避让。在海事部门有力监管下，施工单位和船舶按相关部门的统一部署、统筹安排，采取相关的通航安全保障措施，保障施工作业的安全和过往船舶的通航安全，把项目施工作业对交通组织的影响降低。

2) 与航道交越的影响

本项目送出海缆敷设与崖门出海航道、珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程、荷包岛南航道、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、珠江口大蜘洲至江门上川岛南航路、广东沿海内航路交越，送出海缆为线性工程，与航道交越处施工作业不会停留太久，且项目所在海域水深较深，通航船舶如遇施工作业，周边海域有足够空间供过往船舶操作避让。同时，项目施工前，建设单位或施工单位需向海事主管机关申请交通管制，及时发布施工位置、时间等信息，为通航船舶预留足够时间进行时间调整，选择施工交越前或施工交越后通行，尽量避免航道封航。

3) 通航安全的影响

本项目建设对通航安全影响引自《珠海高栏一海上风电项目通航安全影响咨询报告》。

①与广东沿海内航路、珠江口大蜘洲至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南、荷包岛南航道交越段海缆埋深对通航安全影响分析

根据该报告交通流分析和船舶习惯航路分析，目前周边海域可能通航的最大船型为 30 万吨级。参考《广东省沿海航道通航标准》第 8.2B 条“当穿越航道建筑物所在水域的自然水深大于航道设计水深时，其埋深应包括当地理论最低潮面下的水深和船舶应急抛锚时锚体的入土深度”。

本项目底质以粘土质粉砂为主，万吨级以下船舶抛锚在粉砂中抛锚入土深度为 0.3m~0.7m，30 万吨级船舶的锚在砂泥底中贯穿量为 2.0m~2.6m。本项目穿越航路段（广东沿海内航路、珠江口大蜘洲至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南、荷包岛南航道）海缆埋深按 4m 控制，能够满足 30 万吨级应急抛锚需求。船舶正常通行情况下不在此抛锚，仅在紧急情况时临时应急抛锚。

②与崖门出海航道交越段海缆埋深对通航安全影响分析

崖门出海航道东线（崖门口接新会港区进港航道处至荷包岛东南侧，长度为 40

km)规划为3万吨级航道。按3万吨级航道设计,航道设计底标高为-12.9m(黄茅海段),考虑疏浚超深0.5m,规范标准要求及计算入锚深度要求不小于3m,海缆过航道段的设计顶标高应不小于-16.4m,本工程海缆过航道段的设计顶标高为-16.9m,海缆埋深满足航道通航及锚泊要求。

③与崖门出海航道东东线(珠海港高栏港区5万吨级黄茅海航道一期工程)交越段海缆埋深对通航安全影响分析

崖门出海航道东东线(双水作业区至黄茅海航道,长度为65km)近期规划为5万吨级航道,远期规划为20万吨级航道,按20万吨设计,航道设计底标高为-21.9m(黄茅海段),考虑疏浚超深0.5m,规范标准要求及计算入锚深度要求不小于3m,本工程送出海缆过航道段的设计顶标高应不小于-25.4m。

项目送出海缆以定向钻方式穿越崖门出海航道东东线(珠海港高栏港区5万吨级黄茅海航道一期工程),交越段海底原泥面高程为-17.9m,定向钻钻深为9m,定向钻穿越航道段高程为-26.9m,海缆埋深满足航道通航要求。定向钻出土点距离航道边线约500m,不会对航道通航船舶产生影响。

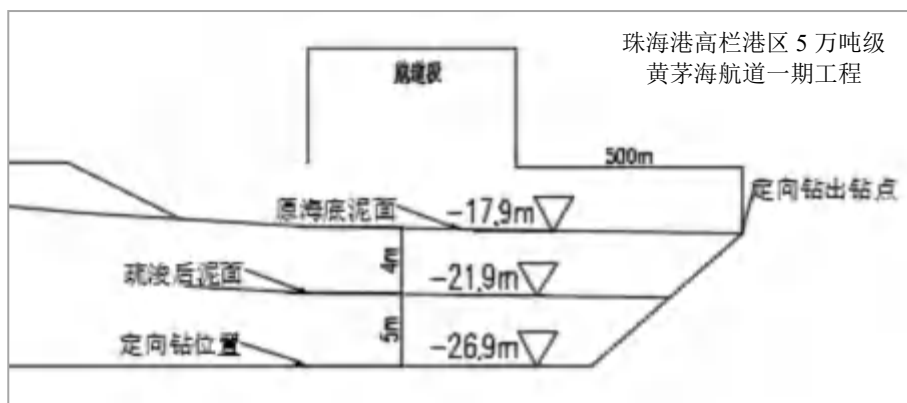


图 7.10-1 本项目定向钻钻深与珠海港高栏港区5万吨级黄茅海航道一期工程高程关系图

表 7.10-1 航道信息一览表

航道名称	规划吨级	设计底标高	疏浚超深	入锚深度	满足通航所需的海缆设计顶标高	本项目海缆设计顶标高	是否满足通航要求
崖门出海航道	3万吨级	-12.9m	0.5m	3m	≥-16.4m	-19.4m	满足
珠海港高栏港区5万吨级黄茅海航道一期工程	20万吨级	-21.9m	0.5m	3m	≥-25.4m	-26.9m	满足

④崖门出海西航道

本项目送出海缆与崖门出海西航道距离约2.77km,满足海缆敷设船舶作业距

离，施工作业时船舶不会进入该航道，项目建设不会对崖门出海西航道产生影响。

根据海域水文动力环境、地形地貌与冲淤环境数值模拟结果，本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设不影响其所在海域的水文动力，风机桩基建设前后流速变化大于 0.01m/s 的影响范围不超过风电场桩基周边 1.6km ，风电场址与航道距离较远，项目建设对海域冲淤环境无影响，不会对航道水深条件产生不利影响。

因此，项目海缆埋设后通过相关官方渠道进行发布告知通航船舶，对该航路船舶通航安全的影响较小。

（2）运营期

工程运营期间，现场维护人员往返风电场区将采用小型船只或快艇，且维修场地仅限于场区内部，对周边的通航环境和通航安全的影响极小。本项目风电场建成后目标明显，且风电场周边海域宽阔、水深足够，有足够的空间供过往船舶操纵避让，通过采取相应的安全保障措施后，其对船舶航路等海上交通环境的影响总体上是可控的。

风场建成后，应按规定在风场区域外围布置专用助航标志，配备 AIS 航标，设置电子围栏等，为风场运营安全得到相应的通航安全保障。建议风电场风机机柱上应涂有醒目的警示色，夜间需采用灯光照射的办法；或在最外排的风机连线外布置一排黄色航行警示标，以警示航行船只进行有效避让，并安装海上风机监视系统，随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态，配备有效的通讯设备，与海事主管部门联系保持畅通，以在发生突发性事件能及时获得海事部门的应急援助。同时应加强渔船管理，禁止渔船等相关船舶在海底电缆保护区抛锚，并采取一定的通航安全保障措施，以保障风机设备和船舶自身的安全。

8 环境事故风险分析与评价

8.1 风险调查

8.1.1 风险源调查

环境风险源调查主要调查建设项目危险物质数量及分布情况、生产工艺特点，本工程为海上风电场建设项目，建设期和运营期风险源主要为施工船舶的燃料油，以及风机和海上升压站储存的润滑油、变压器油等油类物质，对照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录 B 和《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 G，本项目可能涉及的风险物质主要为燃料油、润滑油、变压器油，其危险性识别见表 8.1-1。

表 8.1-1 建设项目涉及危险物质一览表

物料名称	物态	硫含量%不大于	爆炸极限（Vol%）	毒性刺激	闪点（℃）不低于	自燃点（℃）	火灾危险性类别
燃料油	液态	1.5	/	/	66	400~530	丙
润滑油	液体	/	/	/	120~340	300~350	丙
变压器油	液体	/	/	/	140	270	丙

8.1.2 环境风险保护目标调查

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）相关要求，通过对评价范围内可能受影响的环境敏感目标进行调查，本项目环境风险保护目标包括：广东江门中华白海豚省级自然保护区、生态保护红线（江门中华白海豚地方级自然保护区、荷包岛海岸防护物理防护极重要区、黄茅海重要渔业资源产卵场）、“三场一通道”（南海底层、近底层鱼类产卵场、南海中上层鱼类产卵场、南海北部幼鱼繁育场保护区、南海国家级及省级渔业品种保护区）、开放式养殖区（高栏港经济区濠洲-大杧岛养殖区域项目、高栏港经济区荷包岛区域养殖项目）、海岛（杧仔岛、长连排岛、濠洲、濠洲爪岛、园排、三角山岛、北三角山岛、荷包岛、大杧岛）、珍稀物种（中华白海豚、海龟、文昌鱼）。

8.2 评价等级及评价范围

8.2.1 评价等级

根据 2.6.1.5 章节，本项目施工期、运营期危险物质及工艺系统危险性（P）值均为 P4，项目区海洋环境敏感程度为 E1，因此，本项目施工期、运营期海洋环境风险潜势均为 III 级。

根据建设项目涉及的物质及工艺系统危险性和所在地的环境敏感性确定环境风险潜势，按照表 8.2-1 确定评价工作等级。本项目施工期、运营期海洋环境风险潜势均为Ⅲ级，相应施工期、运营期海洋环境风险评价等级均为二级。

表 8.2-1 评价工作等级划分表

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 ^a
^a 是相对于详细评价工作内容而言，在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明。见附录 A				

8.2.2 评价范围

根据 HJ1409-2025，海洋生态环境风险评价范围根据评价等级合理确定，一般不小于相应评价等级的生态环境影响评价范围。一、二级评价项目的评价范围分别根据危险物质 72h、48h 扩散范围确定，可根据海域特征、生态敏感区分布情况等做适当调整。

本项目海洋环境风险评价等级为二级，评价范围根据事故溢油 48h 扩散范围、海洋生态环境影响评价范围确定。根据事故溢油模拟分析结果，确定本项目环境风险评价范围西南、东北以油膜最大扩散范围为界垂直海岸线向外海延伸；东南延伸至油膜最大扩散范围和海洋生态评价范围最远处为界；向陆侧以海岸线为界，评价范围面积约 10050km²。评价范围见图 2.6-2。

8.3 环境风险识别

8.3.1 物质危险性识别

项目涉及的有毒、有害危险物质主要包括燃料油、润滑油、变压器油，其危险物质的理化性质见下表。

表 8.3-1 燃料油理化性质一览表

标识	中文名称：燃料油	英文名：fuel oil	危险性类别：可燃液体
理化性质	外观与性状：有色透明液体，挥发。		主要用途：用于柴油机。
	熔点（℃）：无资料		溶解性：不溶于水，溶于醇等溶剂。
	沸点（℃）：360-460		相对密度（水=1）：0.95-0.98
	燃烧热（kJ/1）：30000-46000		相对密度（空气=1）：1.59-4
	闪点（℃）：≥60		引燃温度（℃）：250
燃烧爆炸危险性	稳定性：常温常压下稳定。		燃烧分解产物：一氧化碳二氧化碳。
	混合物：由各族烃类和非烃类的组成的。		禁忌物：强氧化剂。
	有害物成分：烷烃、环烷烃和芳香烃、含硫、氧、氮化合物。		
	危险特性：其蒸气与空气可形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸。与氧化		

	剂可发生反应。流速过快，容易产生和积聚静电。其蒸气比空气重，能在较低处扩散到相当远的地方，遇火源会着火回燃。若遇高热，容器内压增大，有开裂和爆炸的危险。
	灭火方法：尽可能将容器从火场移至空旷处。喷水保持火场容器冷却，直至灭火结束。处在火场中的容器若已变色或从安全泄压装置中产生声音，必须马上撤离。用雾状水、泡沫、干粉、二氧化碳、砂土灭火。
毒性	吸入高浓度蒸气，常先有兴奋，后转入抑制，表现为乏力、头痛、酩酊感、神志恍惚、肌肉震颤、共济运动失调；严重者出现定向力障碍、谵妄、意识模糊等；蒸气可引起眼及呼吸道刺激症状，重者出现化学性肺炎。吸入液态煤油可引起吸入性肺炎，严重时可发生肺水肿。摄入引起口腔、咽喉和胃肠道刺激症状，可出现与吸入中毒相同的中枢神经系统症状。
环境危害	对环境有危害。对大气可造成污染。
急救	皮肤接触：立即脱去所有被污染的衣物，包括鞋类。用流动清水冲洗皮肤和头发（可用肥皂）。如果出现刺激症状，就医。 眼睛接触：立即用流动、清洁水冲洗至少 15 分钟。如果疼痛持续或复发，就医。眼睛受伤后，应由专业人员取出隐形眼镜。 吸入：如果吸入本品气体或其燃烧产物，脱离污染区。把病人放卧位，保暖并使其安静。开始急救前，首先取出假牙等，防止阻塞气道。如果呼吸停止，立即进行人工呼吸，用活瓣气囊面罩通气或有效的袖珍面具可能效果更佳。呼吸心跳停止，立即进行心肺复苏术。送医院或寻求医生帮助。 食入：禁止催吐。如果发生呕吐，让病人前倾或左侧位躺下（头部保持低位），保持呼吸道通畅，防止吸入呕吐物。仔细观察病情。禁止给有嗜睡症状或知觉降低，即正在失去知觉的病人服用液体。意识清醒者可用水漱口，然后尽量多饮水。寻求医生或医疗机构的帮助。
防护	呼吸系统防护：空气中浓度超标时，建议佩戴自吸过滤式防毒面具（半面罩）。紧急事态抢救或撤离时，应该佩戴空气呼吸器。 眼睛防护：戴化学安全防护眼镜。 身体防护：穿防静电工作服。 手防护：戴橡胶耐油手套。 其他防护：工作现场严禁吸烟。避免长期反复接触。
包装方法	小开口钢桶；内薄钢板桶或镀锡薄钢板桶（罐），外花格箱；内螺纹口玻璃瓶、铁盖压口玻璃、塑料瓶或金属桶（罐），外普通木箱；内螺纹口玻璃瓶、塑料瓶或镀锡薄钢板桶（罐），外满底板花格箱、纤维板箱或胶合板箱。
泄漏处理	应急行动：迅速撤离泄漏污染区人员至安全区，并进行隔离，严格限制出入。切断火源。建议应急处理人员戴自给正压式呼吸器，穿防静电工作服。尽可能切断泄漏源。防止流入下水道、排洪沟等限制性空间。小量泄漏：用砂石或其它不燃材料吸附或吸收。也可以在保证安全情况下，就地焚烧。大量泄漏：构筑围堤或挖坑收容。用泵转移至槽车或专用收集器内，可收或运至废物处理场所处置。
储运	储存注意事项：储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。炎热季节库温不得超过 25℃。应与氧化剂、食用化学品分开存放，切忌混储。采用防爆型照明、通风设施。禁止使用易产生火花的机械设备和工具。储区应备有泄漏应急处理设备和合适的收容材料。 本品铁路运输时限使用钢制企业自备罐车装运，装运前需报有关部门批准。运输时运输车辆应配备相应品种和数量的消防器材及泄漏应急处理设备。夏季最好早晚运输。运输时所用的槽（罐）车应有接地链，槽内可设孔隔板以减少震荡产生静电。严禁与氧化剂、食用化学品等混装混运。运输途中应防曝晒、雨淋，防高温。中途停留时应远离火种、热源、高温区。装运该物品的车辆排气管必须配备阻火装置，禁止使用易产生火花的机械设备和工具装卸。公路运输时要按规定路线行驶，勿在居民区和人口稠密区停留。铁路运输时要禁止溜放。严 禁用木船、水泥船散装运输。

表 8.3-2 变压器油理化性质一览表

标识	中文名称：变压器油	英文名：transformer oil
理化性质	外观与性状：浅色液体。	
	闪点（℃）：140	自燃点（℃）：270
	初馏点（℃）：250	密度：882kg/m ³
	粘度：<13mm ² /s	相对密度（空气=1）：1.59-4
	有害成分：烷烃、环烷族饱和烃、芳香族不饱和烃等组成的化合物	
	溶解性：不溶于水，溶于有机溶剂	
危险特性	物理和化学危险：温度升高超过物理性质的指标时，会释放出可燃的蒸气和分解产物	
	人类健康：矿物白油缓慢生物降解产品将在环境中保留一段时间。存在污染地面、土壤和水的风险	
	环境：吸入蒸气或烟雾（在高温情况下才会产生）会刺激呼吸道。长期或重复皮肤接触会造成脱脂或刺激。眼睛接触可能引起刺激。	
急救	皮肤接触：立即脱去被污染的衣物，擦去矿物油，并用香皂和大量水清洗。衣物未清洗前勿使用。如果发生刺激反应，请与医生联系。	
	眼睛接触：用大量的水清洗。如果发生刺激反应，请与医生联系。	
	吸入：如果吸入雾、烟或蒸气引起刺激反应，立即转移到新鲜空气处。如果呼吸困难可进行吸氧。如症状未缓解，请与医生联系。如呼吸停止应进行人工呼吸并立即送医院就诊。	
泄漏处理	食入：用水清洗口腔。如果吞下量较大请与医生联系。不要进行催吐。	
	个人措施：佩带适当的防护设备。立即熄灭火源。	
	环境措施：防止溢出物进入或蔓延到排水沟、水道和土壤中。与当地环境保护部门联系。如果无危险，应尽快停止泄漏。少量泄漏时，用粘土、沙、土或其它合适的材料吸收。大量泄漏时，用泵将泄漏的油泵入合适的容器中，然后再用上面提到的材料吸收	
储运	避免热、明火和强氧化剂。所有处理设备要进行接地，以防电火花。如果处于高温下或高速运动的机械设备中，可能会释放出蒸汽或雾，因此需要良好的通风，使用防爆通风设备贮存于干燥，凉爽环境下，通风良好处。避免强烈日光，明火和高温	

表 8.3-3 润滑油理化性质一览表

标识	中文名称：润滑油	英文名：lubricating
理化性质	外观与性状：淡黄色粘稠液体。	
	闪点（℃）：120~340	自燃点（℃）：300~350
	溶解性：溶于苯、乙醇、乙醚、氯仿、丙酮等多数有机溶剂。	
危险特性	可燃液体，火灾危险性为丙 B 类，遇明火、高热可燃	
健康危害	急性吸入，可出现乏力、头晕、头痛、恶心，严重者可引起油胎性肺炎，慢性接触者，暴露部位可发生油性痤疮和接触性皮炎。可引发神经衰弱综合症，呼吸道和眼刺激症状及慢性油脂性肺炎。	
急救	皮肤接触：脱去污染的衣着，用大量流动清水清洗。就医。	
	眼接触：提起眼睑，用流动清水或生理盐水冲洗。就医。	
	吸入：迅速脱离现场至空气新鲜处，保持呼吸畅通。如呼吸困难，给输氧。如呼吸停止，立即进行人工呼吸。就医。	
防护处理	食用：饮适量温水，催吐，就医，	
	呼吸系统防护：空气中浓度超标时，必须佩戴自吸过滤式防毒面具（半面罩）；紧急事态抢救或撤离时，应佩戴空气呼吸器。	
	眼睛防护：戴化学安全防护眼镜， 身体防护：穿防毒渗透工作服。	

	手防护：戴橡胶耐油手套。 其他：工作现场严禁吸烟，避免长期反复接触。
泄漏处理	迅速撤离泄漏污染区人员至安全区，并进行隔离，严格限制出入。切断火源。建议应急处理人员戴自给正式呼吸器，穿防毒服。尽可能切断泄漏源。防止流入下水道、排洪沟等限制性空间。小量泄漏：用沙土或其他不燃材料吸附或吸收，减少挥发。大量泄漏：构筑围堤或挖坑收容。用泵转移至槽车或专用收集器内，回收或运至废物处理场所处置。
储运	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。应与氧化剂分开存放，切忌混储。配备相应品种和数量的消防器材。储区应备有泄漏应急处理设备和合适的收容材料。

8.3.2 事故危害识别

本项目为海上风电场建设项目，由海上风电机组、海上升压站、海底电缆等部分组成。参考国内外相关资料，上述项目组成部分在建设期和运行期均存在发生突发环境事故的可能，主要包括项目海域内通航环境风险，船舶碰撞以及船舶与风机碰撞导致的溢油风险，热带气旋、风暴潮、台风等自然灾害风险冲刷造成海缆和海床之间形成淘空的风险、自然灾害导致风机和升压站储存变压油泄漏事故风险，通过分析最终以建设期溢油事故为评价重点，计算模拟，进行预测。

8.3.2.1 船舶溢油事故风险分析

溢油污染分为事故性污染和操作性污染两大类，事故性污染是指船舶碰撞、搁浅、触礁等突发性事故造成的污染；操作性污染是指加油作业以及船舶事故性排放机舱油污水、洗舱水、废油等造成的污染。造成溢油事故除一些不可抗拒的自然因素外，绝大部分是由于操作不当或违章作业等人为原因引起的。

（1）船舶与风机碰撞溢油风险

根据国内外风电场场区水域船舶碰撞事故资料，2014年8月14日，长40m的—OmSPolluxII号风电维护船在进行正常的检查时，由于锚链断裂，船体撞上了Walney近海风力发电场中一个风机，导致船体严重受损，约10t船用汽油泄漏到爱尔兰海中，大约10m宽，0.7海里长的海面遭到溢油污染。泄露的是轻油，能够自动蒸发或者自然降解。

（2）船舶碰撞溢油风险

工程施工期各类船舶数量较多，存在施工船舶之间以及施工船舶与渔船可能发生碰撞溢油事故风险。最可能发生的船舶溢油事故位置为施工作业量较大的风电场附近。溢油发生后，油膜在海面上漂浮扩散，阻止海气交换，将对海洋水环境、生态环境和景观造成影响。

本项目的作业船舶可能影响工程水域船舶的通航，船只相互干扰、碰撞的几率

增加，存在一定的交通安全隐患。

1) 溢油对海域水质和沉积物环境的影响

受溢油影响的海域，油膜覆盖在海水表面，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，增加了水中的石油浓度。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。溢油后，石油的重组分可自行沉积，或粘附在悬浮物颗粒中，沉积在沉积物表面。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。

2) 溢油对海域生物资源的影响

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会对水生生物资源造成一定危害，沉积到底质的油类将对底栖生物造成严重影响。因此，一旦发生事故溢油且处理不及时，将对油膜扫过海域的水生生物资源造成一定影响，主要体现在溢油突发时的急性致死影响及围油、回收油不彻底而产生的长期慢性污染影响。

8.3.2.2 风机和升压站损坏溢油风险分析

本海上风机、升压站及支撑结构设计时，考虑 50 年一遇最大风速情况下，风机发生上述故障无法偏航，叶片正面迎风情况下风机极端荷载，并将其与 50 年一遇极端高潮位下累计平率 $H_{1\%}$ 波浪联合作用，以确保风机、基础结构安全可靠。从风机和升压站的结构来看，风机塔架上百米高，风机直径上百米宽，受风面积大，且在风的作用下运转，存在发生倒塌事故的概率。

运营期风机运转需要润滑油，最大存储量为 0.05t/台，变压器采用“1 机 1 变”单元接线方式，每台变压器带油量不超过 6t，每台风机都配备事故油槽，泄漏情况下可接收全部漏油，不会给周边海洋环境带来油污染。

8.3.2.3 海洋气象灾害风险分析

我国是世界上自然灾害种类最多、活动最频繁、危害最严重的国家之一。台风、暴雨、干旱、冰雹、大雾、高温、低温冷害、雪灾、寒潮、沙尘暴、雷电、龙卷风、大风等气象灾害每年交替发生。近年来我国每年因气象灾害造成的直接经济损失约为 2000 亿元左右。

热带气旋是项目周边区域主要的气象灾害之一，每年 7 月~9 月为热带气旋多发季节，以 8 月中旬至 9 月中旬最为频繁。项目所在海域受到热带气旋影响时，伴随风暴增水、狂风、暴雨、巨浪等，是项目施工期巨大的不安全因素。风暴增水如

果叠加天文大潮高潮位，则有可能超过标高冲走设施、物料等；狂风会吹走施工前沿的未固定物，影响陆域建筑安全；也可能对风机构筑物的安全造成一定的影响。

8.4 溢油事故源项分析

8.4.1 最大可信事故

按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）中的定义，“最大可信事故”系指“基于经验统计分析，在一定可能性区间内发生的事故中，造成环境危害最严重的事故”。

参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）中的定义，“最大可信水上溢油事故”系指“在所有预测的概率不为零的事故中，溢油量最大的水上溢油事故”。

根据风险识别，施工船舶碰撞溢油为本项目主要的风险，本次评价采用施工船舶碰撞后单舱燃料油全部泄漏为本项目的最大可信事故。

8.4.2 事故发生概率

采用类比法预测操作性船舶溢油事故发生的可能性。选取广东省船舶溢油事故数据作为类比对象。

广东省溢油污染事故发生概率为 8.8 次/年，其中 10 吨以下的事故发生概率为 7.2 次/年，10t~50t、100t~500t、500t~1000t、1000t~10000 事故发生概率分别为 0.6 次/年（约 1 年一遇）、0.6 次/年（约 1 年一遇）、0.2 次/年（5 年一遇）、0.2 次/年（5 年一遇）。事故主要涉及湛江港、广州港、珠海港、汕头港，则平均每个港区事故发生概率为 1.8 次/年（1 年 2 次），10t 以下、10t~50t、100t~500t、500t~1000t、1000t~10000t 事故发生概率分别为 1.44（1 年 2 次）、0.12 次/年（约 10 年一遇）、0.12 次/年（约 10 年一遇）、0.04 次/年（25 年一遇）、0.04 次/年（25 年一遇）。本工程在施工期间和单个港区相比动用船舶较少，所以项目所在事故发生概率按 0.01 次/年计算。

表 8.4-1 溢油事故发生概率估算表（次/年）

海域	总事故 概率	<10t	10t~50t	100t~500 t	500t~1000t	1000t~10000t	>10000t
广东省海域 （总）	8.8	7.2	0.6	0.6	0.2	0.2	0
项目所在海 域（平均）	1.76	1.44	0.12	0.12	0.04	0.04	0

8.4.3 溢油源强分析

工程施工期所需的主要船舶包括：起重船、自航驳、自升平台船、甲板驳船、海缆船、多功能驳、拖轮、交通艇、抛锚艇、补给船、灌浆船等，最大船型为总吨 15000t 级的甲板驳船。工程运营期间，现场维护人员往返升压站和风电场区采用 500t 的双体运维船。由于施工期船型较大，载油量较多，故本报告中对施工期船舶发生碰撞时的溢油情况进行模拟分析。

根据本项目施工进度及施工机械配置计划，本项目涉及的施工船舶的吨位在 250t-20000t 之间，船舶在线量以最大的 20000t 级船舶进行计算。

根据《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》非油轮船舶燃油最大携带量可以用船舶总吨位推算，根据船型不同，一般取总吨位 8~12%，本评价按照总吨位 10% 计算，一般船舶配有 10 个燃油舱，溢油源强按 1 个燃油舱的油量进行计算，则船舶溢油量确定为 200t。考虑在 1 个小时内泄漏入海，预测 48 小时油膜的扩散范围。

8.5 溢油事故影响预测

当施工船舶及运营期间事故发生溢油。溢油入海后，先在重力作用下扩散，形成一定面积的油膜，然后在潮流、湍流、扩散以及风作用下，以表面膜的形式在海表面漂浮，在风及海流作用下随之漂移与扩散，与此同时，表面膜还将潮流与波浪作用下不断向四周扩展，使表面膜面积不断扩大。蒸发是表面膜初期发生的主要降解过程，蒸发减少了水面的油类体积，并使油的某些物理化学特性发生变化。

除蒸发外，燃油在水中的降解作用还有溶解、乳化、吸附沉淀等，但这些过程较复杂，难以用数模方式进行模拟预测，因此在本次预测中仅考虑蒸发。

8.5.1 预测模型

采用“油粒子”方法（即把溢油分成许多离散的小油滴）来模拟溢油在海面的漂移过程。“油粒子”的漂移过程分为对流和随机紊动扩散两个主要过程，在每个计算步长内，油粒子的变化都是这两个过程综合作用的结果。“油粒子”的运动轨迹计算公式如下：

$$X = X_0 + (U_{oil} + r \cos B) \Delta t$$

$$Y = Y_0 + (V_{oil} + r \sin B) \Delta t$$

式中： X_0 、 Y_0 为“油粒子”的初始坐标（m）； U_{oil} 、 V_{oil} 为油粒子运动速度的 x 、 y 向分量； r 为随机扩散项， $r = RE$ ， R 为 0~1 之间的随机数， E 为扩散系数；

B 为随机扩散方向, $B = 2\pi R$ 。

(1) 扩展过程

溢油的扩展过程主要受重力、粘力和表面张力的影响。模型采用的是修正的 Fay 重力-粘性力公式计算油膜的扩展过程:

$$\frac{dA}{dt} = K_{spread} A^{1/3} \left(\frac{V}{A} \right)^{4/3}$$

式中: V 为溢油体积; A 为油膜面积, K_{spread} 为油膜扩散系数, t 为时间;

在溢油的初设时刻, $V_0 = \pi R_0^2 h_0$, V_0 为溢油初始体积, R_0 为油膜初始半径, h_0 为油膜初始厚度。

(2) 漂移过程

表层油膜的漂移主要受表层流和风加速两部分影响。风致漂移速度通常取为风速的 2.5~4.4%, 均值为 3.5%。考虑地球自转影响的偏转, 偏转角在北半球为风向的偏右侧, 南半球偏左 0~25°, 均值为 15°。表层流和风对油膜拖曳速度为:

$$U_{oil} = U_{current} + C_{wd} \times U_w \times \sin(\theta_w - 180 + \alpha)$$

$$V_{oil} = V_{current} + C_{wd} \times V_w \times \cos(\theta_w - 180 + \alpha)$$

其中: U_{oil} 、 V_{oil} 为油粒子运动速度的 x 、 y 向分量; $U_{current}$ 、 $V_{current}$ 为表层流的 x 、 y 向分量; C_{wd} 为风拖曳系数; U_w 、 V_w 为风速的 x 、 y 向分量; θ_w 为风向; α 为风偏转角。

(3) 风化过程

本次采用国际上通用的 MIKEZERO 模型进行本次溢油模拟计算。粒子的风化包括蒸发、溶解和形成乳化物等过程, 在这些过程中油粒子的组分发生改变, 但其水平位置没有发生变化。

1) 蒸发

油膜蒸发受油分、气温和水温、溢油面积、风速、太阳辐射和油膜厚度等因素的影响。蒸发率可由下式表示:

$$EVAP = \frac{h_f P_{vap} A}{RT} (1 - M)$$

式中:

$EVAP$ 为蒸发速率;

KE 为质量转移系数 (m/h)，计算公式为：

$$KE = 0.0292 \cdot U_w^{0.78} \cdot D^{-0.11} \cdot Sc^{-0.67} \sqrt{\frac{M+29}{M}}$$

式中：

U_w 为风速 (m/h)；

D 为表面水体油膜直径；

Sc 为施密特数，取 2.7；

Pvp 为蒸气压 (atm)；

A 为单个油粒子与水表面接触的油膜面积 (m²)；

R 为气体常数，取 $8.206 \times 10^{-5} \text{ atm} \times \text{m}^3 / (\text{mol} \times \text{K})$ ；

T 为温度 (K)；

f 为挥发性组分分数；

M 为摩尔分数 (g/mol)。

2) 溶解

当石油进入海洋后，在不断蒸发的同时，石油的溶解过程也开始进行。溶解是油在一定能量的搅动下，形成油粒均匀进入水体的过程。石油挥发性组分和重组分的溶解过程计算如下：

$$DISS_{volatile} = k_{disl} \cdot A \cdot M_{volatile} / M_{total} \cdot P_{volatile} / \alpha_{vap} \cdot C_{volatile}^{sat}$$

$$DISS_{heavy} = k_{dish} \cdot A \cdot M_{heavy} / M_{total} \cdot P_{heavy} \cdot f_{disp} \cdot C_{heavy}^{sat}$$

式中：

k_{disl} 为轻挥发性组分的溶解速率 (m/s)，取 $4.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ；

k_{dish} 为重组分的溶解速率 (m/s)，取 $4.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ；

$M_{volatile}$ 为油粒子轻挥发性组分质量 (kg)；

M_{heavy} 为油粒子重组分质量 (kg)；

α_{vap} 为挥发性组分的密度 (kg/m³)；

ρ_{heavy} 为重组分的密度 (kg/m³)；

A 为单个油粒子与水表面接触的油膜面积 (m²)；

f_{disp} 为提高溶解度的化学分散剂作用，本项目不考虑化学分散剂，取值为 1；

$C_{\text{volatile}}^{\text{sat}}$ 为挥发性组分的水溶性 (kg/kg)，取 2×10^{-5} ；

为重组分的水溶性 (kg/kg)，取 2×10^{-7} 。

3) 乳化

乳化是在海洋溢出的情况下形成两种不同液体，海水和油的混合物。细油滴悬浮在水中（但不溶于水中），形成的乳化体积可达到其形成的油的四倍。此外，粘性乳液在环境中比原油长得多，并且其形成减缓了随后的风化过程。乳化倾向于在强风或和波浪的条件下发生，并且通常直到溢油持续存在于水上或至少几个小时。本模型将乳化描述为油+水和油包水两个阶段之间的平衡过程。乳液的稳定性是决定乳液破乳能力的重要因素，因为不稳定和均匀的乳液会释放水。该过程按一级水释放公式描述：

$$\frac{dY_w}{dt} = \text{watertake} - \text{waterrelease}$$

$$\text{watertake} = K_{em} \cdot (Y_w + 1) \cdot \frac{(Y_{\max} - Y_w)}{Y_{\max}}$$

$$\text{waterrelease} = -\alpha \cdot Y_w$$

式中：

Y_w 为乳化物含水率 (kg/kg)；

$Y_{\max}$ 为最大含水率 (kg/kg)，取 0.85；

watertake 为油品水组分的吸收速率；

waterrelease 为油品水组分的释放速率；

K_{em} 为乳化速率常数，一般取 $2 \times 10^{-6} \text{ s/m}^2$ ；

U_w 为风速 (m/s)；

α 为水释放速率，稳定乳化物 $\alpha=0$ ，中稳定乳化物 $\alpha > 0$ 。

水释放速率 α 与乳化稳定性 S 参数相关，计算公式如下：

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0 - \frac{(\alpha_0 - \alpha_{0.67})S}{0.67} & S < 0.67 \\ \alpha_{0.67} \left[\frac{1.22 - S}{1.22 - 0.67} \right] & 0.67 \leq S < 1.22 \\ 0 & S \geq 1.22 \end{cases}$$

式中：

α_0 为不稳定乳化 $S=0$ 时的释放速率，等于 $\ln(Y_{\max}/0.1)/3600\text{s}^{-1}$ ；

$\alpha_{0.67}$ 为中稳定乳化 $S=0.67$ 时的水释放速率，等于 $\ln(Y_{\max}/0.1)/(24 \cdot 3600)s^{-1}$ ；

S 参数通过 Mackay 和 Zagorski 稳定性指数公式计算。

(4) 油的附着

油可能会附着在岸上或水底，每个油粒子随机取一个介于 0~1 之间的数，当这个数小于给定的数时，该油粒子则附着在岸上或水底。

(5) 相关参数

溢油计算采样国际上广泛使用的 mike 溢油模型进行预测，关键参数参考以往工程经验选取（风拖曳系数取 3.5%），其它参数采用 mike 模型推荐值。

8.5.2 预测组合

(1) 事故位置、溢油种类及溢油量

本项目可能发生溢油事故的方式是施工船舶相互发生碰撞或施工船舶与附近航道船舶之间碰撞导致的溢油事故，预测选取溢油 1#、2#、3#点，位置见图 8.5-1。

本工程海缆路由与珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程、崖门出海航道、荷包岛南航道、珠江口桂山岛经东澳岛至江门上川岛南航路、珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路、珠江口大蜘洲至江门上川岛南航路、广东沿海内航路等发生交越。由于工程海缆与珠海港高栏港区 5 万吨级黄茅海航道一期工程交越处海缆采用定向钻施工，发生船舶碰撞的风险较小；崖门出海航道靠近高栏港，船舶进出频繁，与本项目施工船舶碰撞的概率较大，因此将项目与崖门出海航道交越点设为溢油点 1#；根据《珠海高栏一海上风电项目通航安全影响咨询报告》，结合本项目风电场附近航路航迹带分布情况，主要的航迹带密集区主要分布在项目北侧广东沿海内航路，与本项目施工船舶碰撞的概率较大，因此将项目与广东沿海内航路交越点设为溢油点 3#；同时考虑珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路附近敏感目标分布较为密集，因此将项目与珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路交越点设为溢油点 2#。

崖门出海航道为 3 万吨级航道，珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路主要航行 5~10 万吨级船舶，广东沿海内航路主要航行 20~30 万吨级船舶，按照《船舶污染海域环境风险评价技术规范》（海船舶[2011]588 号），船舶溢油事故溢油量应选取工程可能的最大水上溢油事故溢油量。本工程施工期最大船型为总吨 15000t 级的甲板驳船，当与航道内船舶发生碰撞时，可能最大的溢油量可考虑航道内最大船型单个油舱破裂发生的溢油量。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）

附录 C 表 C6 中 3 万吨级、10 万吨、30 万吨级船舶燃油舱单舱燃油量分别为 312 m³、629m³、3394m³，油种主要为船舶自身携带的轻质燃料油，其密度取 0.89t/m³，故 1#、2#、3#溢油点最可能发生的溢油量分别为 277.68t、559.81t、3020.66t。

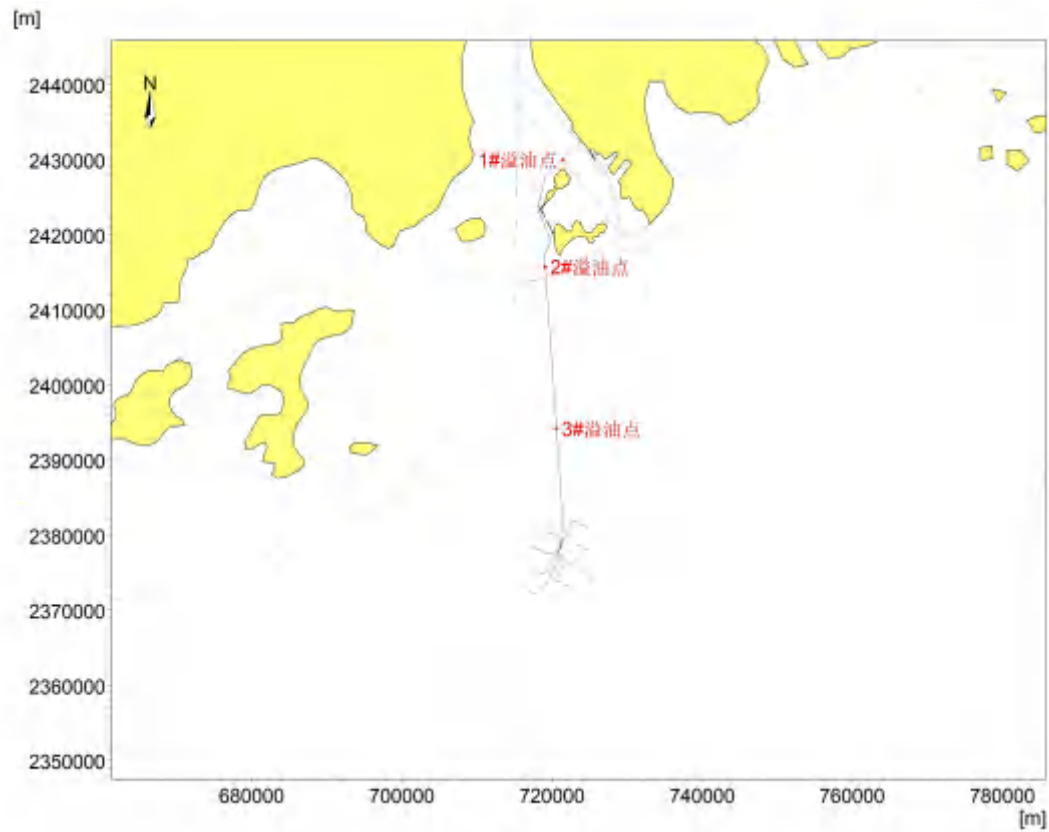


图 8.5-1 溢油位置示意图

(2) 计算工况

假定溢油在1个小时内泄漏入海，风拖曳系数取3.5%。分别对大潮涨潮初期和落潮初期发生泄漏事故的情况进行计算，结果给出事故后48h的预测结果，统计油膜厚度大于0.0001mm的影响范围和扫海面积。

海上风况（风速和风向）对油膜的运动有很大的影响，计算必须考虑风对油膜运动的影响。根据工程海域的风向频率特征并考虑附近环境敏感目标的分布情况，选取可能对计算域内的敏感目标产生影响的不利风向进行预测分析，本项目溢油风险计算方案见表 8.5-1。

表 8.5-1 溢油风险计算方案

序号	风险类型及泄漏位置	泄漏物质及泄漏量	预测风况		事故发生时刻	说明
			风向	风速(m/s)		
1	项目与崖门出海航道交越点（1#）	燃料油 277.68t	SE	3.7	涨潮	夏季主导风
2					落潮	
3			NNE	6.1	涨潮	冬季主导

序号	风险类型及泄漏位置	泄漏物质及泄漏量	预测风况		事故发生时刻	说明
			风向	风速(m/s)		
4			NE	13.8	落潮	不利风
5					涨潮	
6					落潮	
7			E	13.8	涨潮	
8					落潮	
9	项目与珠海高栏港外至阳江南鹏岛北航路交越点（2#）	燃料油 55 9.81t	SE	3.7	涨潮	夏季主导风
10					落潮	
11			NNE	6.1	涨潮	冬季主导风
12					落潮	
13			E	13.8	涨潮	不利风
14					落潮	
15			SW	13.8	涨潮	
16					落潮	
17	项目与广东沿海内航路交越点（3#）	燃料油 302 0.66t	SE	3.7	涨潮	夏季主导风
18					落潮	
19			NNE	6.1	涨潮	冬季主导风
20					落潮	
21			S	13.8	涨潮	不利风
22					落潮	

8.5.3 预测结果

事故溢油预测结果表明，发生泄漏事故时，油膜的扩展轨迹受风和潮流的共同影响。施工船舶在作业航道与主航道交叉处发生燃料油泄漏事故时，油膜到达敏感目标的时间见表8.5-2，油膜最大漂移距离、扫海面积及残余油量统计见表8.5-3，油膜运动轨迹见图8.5-2~图8.5-4。

表 8.5-2a 1#溢油点油膜到达敏感目标时间统计表

编号	敏感目标类型	敏感目标名称	风向 SE		风向 NNE		风向 NE		风向 E	
			风速 3.7m/s		风速 6.1m/s		风速 13.8m/s		风速 13.8m/s	
			涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期
			到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)
1	生态保护红线	江门台山曹峰山地方级自然保护区	-	-	-	-	-	-	-	28
2		江门中华白海豚地方级自然保护区	-	-	12	-	9.5	-	-	-
3		珠江三角洲水土保持-水源涵养生态保护红线	-	-	-	-	-	-	-	-
4		江门市新会区红树林	27	44	-	-	-	-	-	-
5		高栏岛东部重要滩涂及浅海水域	-	-	-	-	-	-	-	-
6		荷包岛海岸防护物理防护极重要区	-	-	-	-	-	-	-	-
7		黄茅海重要渔业资源产卵场	1	10.5	1.5	-	1	-	1	9.5
8		鸡啼门重要河口	-	-	-	-	-	-	-	-
9		珠海高栏港高栏岛地方级森林自然公园	-	-	-	-	-	-	-	-
10	广东省海洋功能区划	荷包岛旅游休闲娱乐区	-	-	-	-	-	-	-	-
11		高栏岛东部旅游休闲娱乐区	-	-	-	-	-	-	-	-
12		大襟岛海洋保护区	-	-	13	-	8	-	-	27
13		都斛农渔业区	14	30	-	-	-	-	5	20.5
14	养殖区	高栏港经济区荷包岛区域养殖项目	-	-	9.5	-	-	-	-	-
15		高栏港经济区獭洲-大杧岛区域养殖项目	12	27.5	7	-	1.5	-	-	9.5

编号	敏感目标类型	敏感目标名称	风向 SE		风向 NNE		风向 NE		风向 E	
			风速 3.7m/s		风速 6.1m/s		风速 13.8m/s		风速 13.8m/s	
			涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期
			到达时间 (h)	到达时间 (h)	到达时间 (h)	到达时间 (h)	到达时间 (h)	到达时间 (h)	到达时间 (h)	到达时间 (h)
16	海岛资源	高栏岛	-	-	-	-	-	-	-	-
17		荷包岛	-	-	-	4	-	-	-	-
18		大杙岛	-	5	-	-	-	0.5	-	1
19		杙仔岛	-	-	-	-	-	-	-	-
20		三角山岛	-	-	-	-	-	-	-	-
21		獭洲	0.5	10	1	1	1	-	0.5	-
22		大襟岛	-	-	-	-	8.5	-	-	28
23	国控站	GDN03007	5	22	-	-	-	-	-	-
		GDN03020	-	1.5	-	1	-	-	-	-
		GDN03038	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03025	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03011	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03031	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03019	-	-	-	-	-	-	-	-
24	登录地点与时间		17h 到达江 门台山都 斛镇一带 岸线。	33.5h 到达 江门台山 都斛镇一 带岸线。	-	4.5h 到达 荷包岛北 侧岸线。	18.5h 到达 上川岛东 北一带岸 线。	0.5h 到达 大杙岛东 北侧岸线。	5.5h 到达 江门台山 赤溪镇一 带岸线。	15h 到达江 门台山赤 溪镇一带 岸线。

表 8.5-2b 2#溢油点油膜到达敏感目标时间统计表

编号	敏感目标类型	敏感目标名称	风向 SE		风向 NNE		风向 E		风向 SW	
			风速 3.7m/s		风速 6.1m/s		风速 13.8m/s		风速 13.8m/s	
			涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期
			到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)
1	生态保护红线	江门台山曹峰山地方级自然保护区	15	28.5	-	-	2.5	-	-	-
2		江门中华白海豚地方级自然保护区	10	-	2.5	-	1.5	5	-	-
3		珠江三角洲水土保持-水源涵养生态保护红线	-	-	-	-	-	-	-	-
4		江门市新会区红树林	-	-	-	-	-	-	-	-
5		高栏岛东部重要滩涂及浅海水域	-	-	-	-	-	-	-	-
6		荷包岛海岸防护物理防护极重要区	-	-	-	-	-	-	-	2
7		黄茅海重要渔业资源产卵场	4.5	12	-	-	-	-	-	-
8		鸡啼门重要河口	-	-	-	-	-	-	-	44.5
9		珠海高栏港高栏岛地方级森林自然公园	-	-	-	-	-	-	-	6.5
10	广东省海洋功能区划	荷包岛旅游休闲娱乐区	-	-	-	-	-	-	-	2.5
11		高栏岛东部旅游休闲娱乐区	-	-	-	-	-	-	-	-
12		大襟岛海洋保护区	4.5	16.5	3	-	1.5	5	-	-
13		都斛农渔业区	29	23.5	-	-	-	-	-	-
14	养殖区	高栏港经济区荷包岛区域养殖项目	-	8.5	-	-	-	-	1.5	-
15		高栏港经济区獬洲-大	-	12	-	-	-	-	-	-

编号	敏感目标类型	敏感目标名称	风向 SE		风向 NNE		风向 E		风向 SW	
			风速 3.7m/s		风速 6.1m/s		风速 13.8m/s		风速 13.8m/s	
			涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期
			到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)
		杧岛区域养殖项目								
16	海岛资源	高栏岛	-	-	-	-	-	-	-	6.5
17		荷包岛	-	-	-	-	-	-	2	2.5
18		大杧岛	-	-	-	-	-	-	-	-
19		杧仔岛	-	-	-	-	-	-	-	-
20		三角山岛	-	-	-	-	-	-	-	-
21		獭洲	-	-	-	-	-	-	-	-
22		大襟岛	15	28.5	-	-	2.5	-	-	-
23	国控站	GDN03007	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03020	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03038	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03025	-	-	-	-	-	1	-	-
		GDN03011	-	-	20.5	19	-	-	-	-
		GDN03031	-	-	-	-	-	-	-	-
		GDN03019	-	-	-	-	-	-	-	32
24	登录地点与时间		27h 到达江门台山赤溪镇一带岸线。	31.5h 到达江门台山赤溪镇一带岸线。	-	-	10h 到达江门台山赤溪镇一带岸线，20h 到达江门台山广海镇一带岸线。	15.5h 到达上川岛东北一带岸线，26h 到达江门台山海宴镇一带岸线，29h 到达下川岛东北一带岸线，41h 到达江门台山北陡镇一带岸线。	2h 到达荷包岛西侧岸线。	6.5h 到达荷包岛西侧岸线，35h 到达珠海金湾区三灶镇一带岸线，45h 到达珠海香洲区横琴岛一带岸线。

表 8.5-2c 3#溢油点油膜到达敏感目标时间统计表

编号	敏感目标类型	敏感目标名称	风向 SE		风向 NNE		风向 S	风向 S
			风速 3.7m/s		风速 6.1m/s		风速 13.8m/s	
			涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期
			到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)
1	生态保护红线	江门台山曹峰山地方级自然保护区	-	-	-	-	-	-
2		江门中华白海豚地方级自然保护区	42.5	42	-	-	-	-
3		珠江三角洲水土保持-水源涵养生态保护红线	-	-	-	-	60	-
4		江门市新会区红树林	-	-	-	-	-	-
5		高栏岛东部重要滩涂及浅海水域	-	-	-	-	-	-
6		荷包岛海岸防护物理防护极重要区	-	-	-	-	-	13.5
7		黄茅海重要渔业资源产卵场	-	-	-	-	16.5	57.5
8		鸡啼门重要河口	-	-	-	-	-	-
9		珠海高栏港高栏岛地方级森林自然公园	-	-	-	-	-	-
10	广东省海洋功能区划	荷包岛旅游休闲娱乐区	-	-	-	-	-	13.5
11		高栏岛东部旅游休闲娱乐区	-	-	-	-	-	-
12		大襟岛海洋保护区	-	-	-	-	-	-
13		都斛农渔业区	-	-	-	-	-	-
14	养殖区	高栏港经济区荷包岛区域养殖项目	-	-	-	-	15	-
15		高栏港经济区獭洲-大杧岛区域养殖项目	-	-	-	-	16	57.5
16	海岛资源	高栏岛	-	-	-	-	-	-
17		荷包岛	-	-	-	-	-	13.5
18		大杧岛	-	-	-	-	-	-
19		杧仔岛	-	-	-	-	16.5	-
20		三角山岛	-	-	-	-	-	-
21		獭洲	-	-	-	-	20	-

编号	敏感目标类型	敏感目标名称	风向 SE		风向 NNE		风向 S	风向 S
			风速 3.7m/s		风速 6.1m/s		风速 13.8m/s	
			涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期	涨潮期	落潮期
			到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)	到达时间(h)
22		大襟岛	-	-	-	-	-	-
23	国控站	GDN03007	-	-	-	-	-	-
		GDN03020	-	-	-	-	-	-
		GDN03038	-	-	-	-	-	-
		GDN03025	-	-	-	-	-	-
		GDN03011	-	20	-	-	-	6
		GDN03031	-	-	-	-	-	-
		GDN03019	-	-	-	-	-	-
24	登录地点与时间		-	-	-	-	23.5h 到达珠海斗门镇一带岸线	13.5h 到达荷包岛南侧岸线，53.5h 到达杧仔岛西侧岸线

表 8.5-3a 1#溢油点油膜最大漂移距离、扫海面积及残余油量统计表

风况	风向	SE		NNE		NE		E	
	风速(m/s)	3.7		6.1		13.8		13.8	
溢油时刻		初涨	初落	初涨	初落	初涨	初落	初落	初落
最大漂移距离(km)	1 小时	2.15	2.36	1.54	3.45	2.51	2.34	3.24	1.88
	12 小时	15.26	8.15	14.9	10.24	22.52	3.12	16.36	7.52
	24 小时	17.22	16.65	25.35	10.24	45.24	3.26	16.89	15.79
	48 小时	23.2	22.14	44.97	10.24	72.27	3.26	17.45	39.52
扫海面积(km ²)	1 小时	0.66	0.65	0.45	1.21	0.78	0.63	1.39	0.47
	12 小时	82.73	25.03	43.41	21.97	76.14	0.70	40.65	6.67
	24 小时	145.41	71.88	85.09	21.97	272.86	0.71	41.47	63.45
	48 小时	198.06	230.71	202.97	21.97	450.59	0.71	47.40	206.03
残存油量(t)	1 小时	273.403	273.404	273.354	273.302	273.233	273.236	272.638	273.242
	12 小时	213.034	216.848	215.316	216.800	212.752	217.522	213.359	216.543
	24 小时	202.330	204.421	200.425	204.244	198.671	208.115	205.604	203.348
	48 小时	183.777	189.275	183.146	188.810	184.171	189.740	188.525	186.383

表 8.5-3b 2#溢油点油膜最大漂移距离、扫海面积及残余油量统计表

风况	风向	SE		NNE		E		SW	
	风速(m/s)	3.7		6.1		13.8		13.8	
溢油时刻		初涨	初落	初涨	初落	初涨	初落	初涨	初落
最大漂移距离(km)	1 小时	2.08	1.91	1.54	2.59	3.46	1.39	2.51	3.43
	12 小时	11.48	7.39	9.14	10.51	21.16	21.58	5.48	17.86
	24 小时	13.86	18.52	19.03	20.69	45.59	47.49	5.48	18.03
	48 小时	20.1	23.73	39.24	41.22	48.5	75.91	5.51	48.52
扫海面积(km ²)	1 小时	0.46	0.57	0.38	0.87	0.92	0.25	0.58	1.43
	12 小时	29.50	27.25	32.75	22.73	92.37	40.94	2.12	42.27
	24 小时	64.12	70.67	63.75	52.75	297.01	194.49	2.12	43.74
	48 小时	137.64	119.51	151.33	123.95	310.75	481.20	2.13	175.41
残存油量(t)	1 小时	551.212	551.198	551.098	551.030	550.837	551.072	550.929	550.805
	12 小时	436.851	437.777	434.179	437.695	430.634	437.667	452.153	437.259
	24 小时	413.860	413.845	411.849	413.574	403.906	408.336	422.156	412.149
	48 小时	381.296	383.159	380.626	382.315	354.384	341.211	380.209	377.941

表 8.5-3c 3#溢油点油膜最大漂移距离、扫海面积及残余油量统计表

风况	风向	SE		NNE		S	
	风速(m/s)	3.7		6.1		13.8	
溢油时刻		初涨	初落	初涨	初落	初涨	初落
最大漂移距离(km)	1 小时	1.47	0.87	1.41	1.59	2.23	1.8
	12 小时	8.48	5.39	12.24	10.03	19.04	21.26
	24 小时	14.92	14.36	22.3	20.81	44.69	26.06
	48 小时	27.05	28.87	44.25	40.77	79.75	26.98
扫海面积(km ²)	1 小时	0.20	0.11	0.20	0.39	0.38	0.37
	12 小时	5.52	4.00	18.52	12.50	24.93	29.11
	24 小时	18.85	13.86	36.20	31.18	67.81	33.55
	48 小时	61.90	49.74	124.79	93.62	146.46	33.63
残存	1 小时	2974.433	2974.487	2973.778	2973.645	2972.417	2972.421

风况	风向	SE		NNE		S	
	风速(m/s)	3.7		6.1		13.8	
	溢油时刻	初涨	初落	初涨	初落	初涨	初落
油量 (t)	12 小时	2332.176	2365.976	2338.840	2365.727	2372.647	2364.378
	24 小时	2228.820	2249.104	2239.177	2248.214	2186.196	2243.480
	48 小时	2085.054	2097.876	2077.886	2095.326	1946.616	2081.942

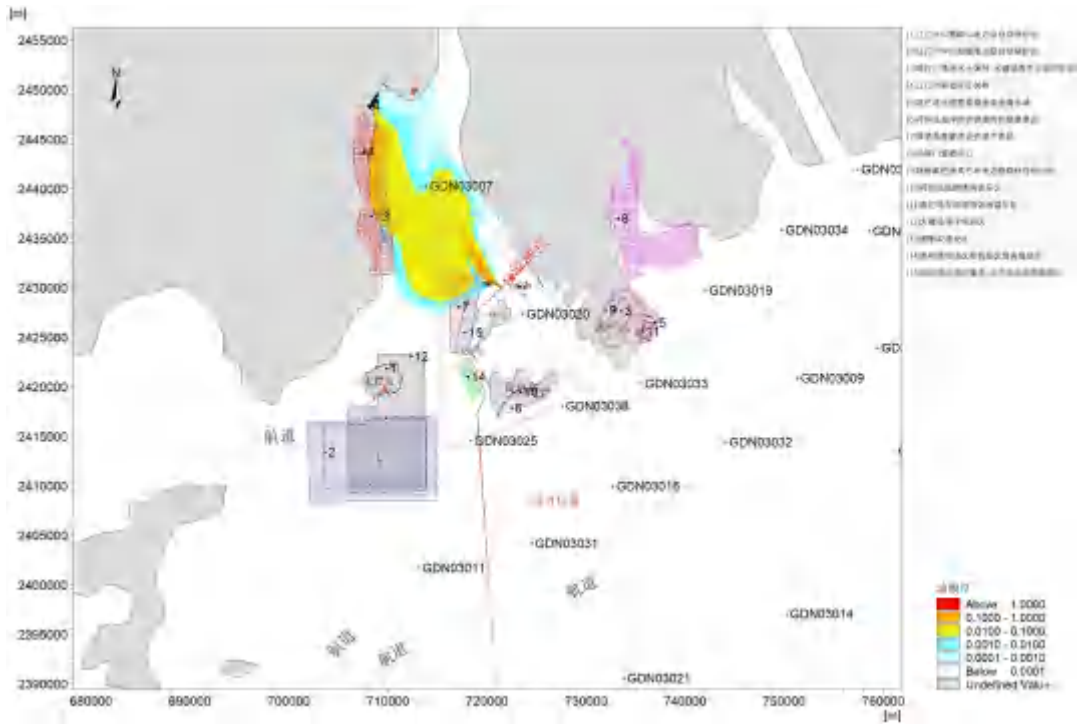


图 8.5-2a 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 SE, 风速 3.7m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

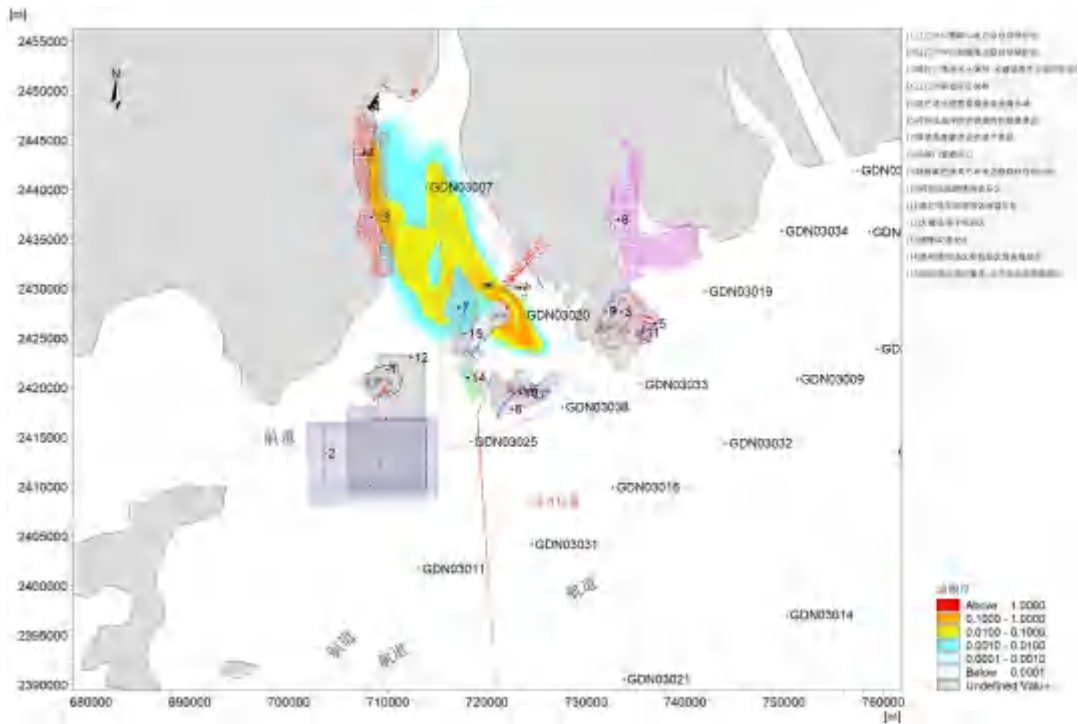


图 8.5-2b 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 SE, 风速 3.7m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

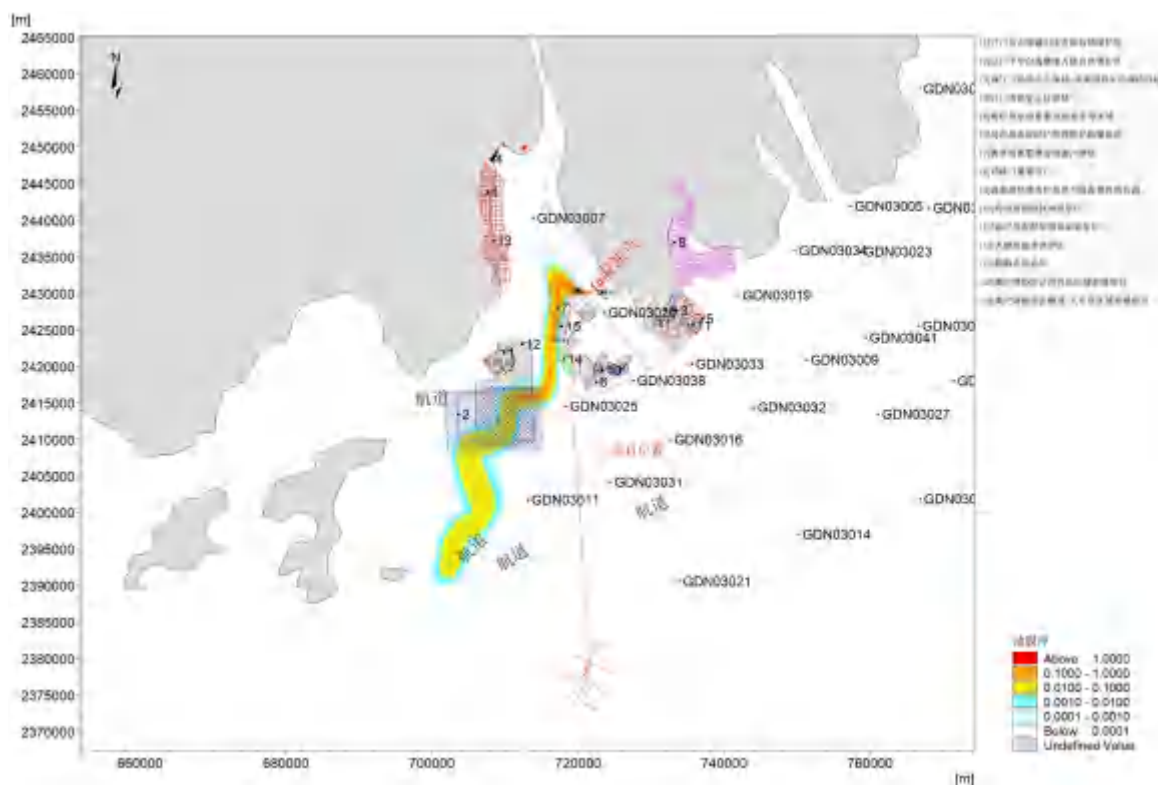


图 8.5-2c 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 NNE, 风速 6.1m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

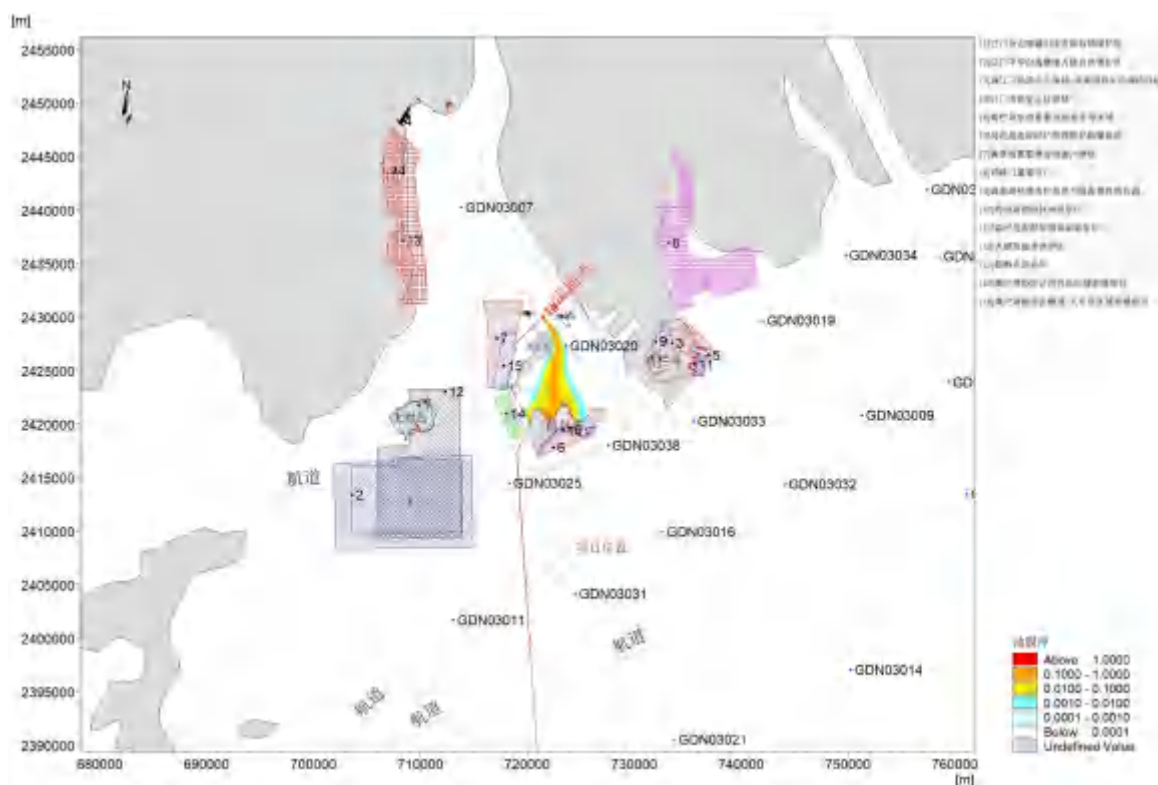


图 8.5-2d 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 NNE, 风速 6.1m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

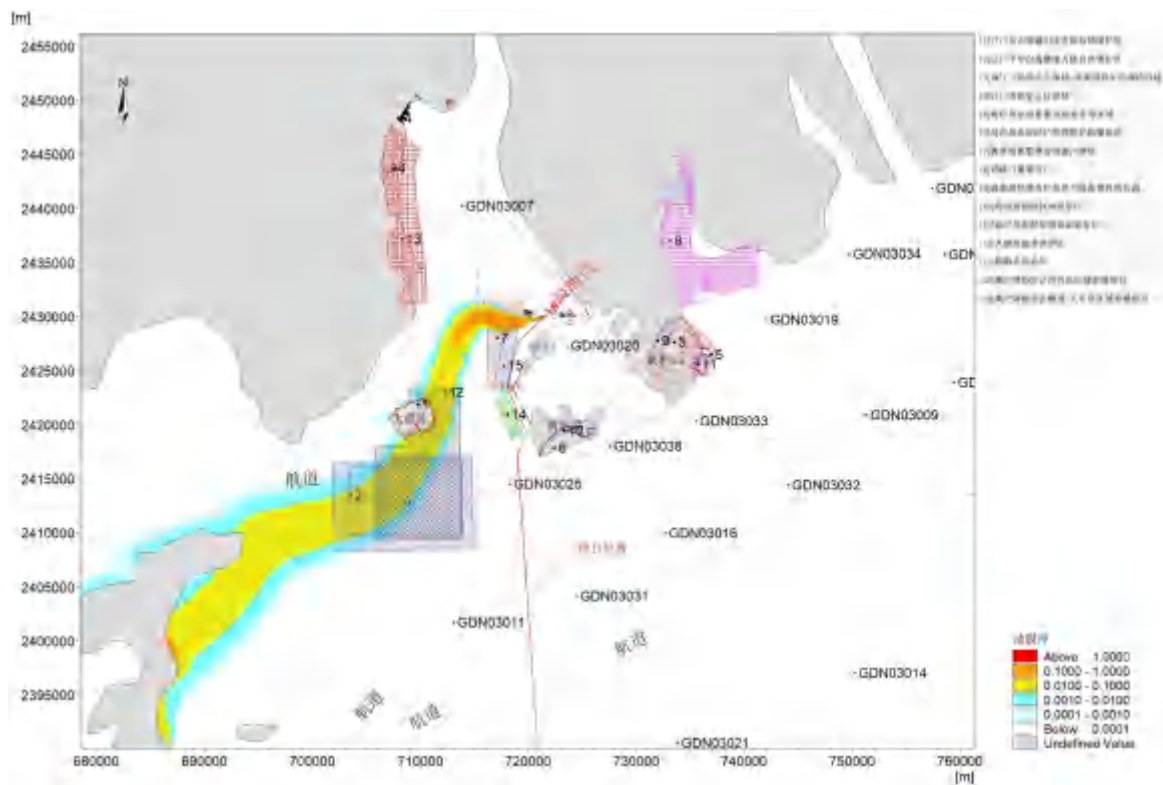


图 8.5-2e 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 NE, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

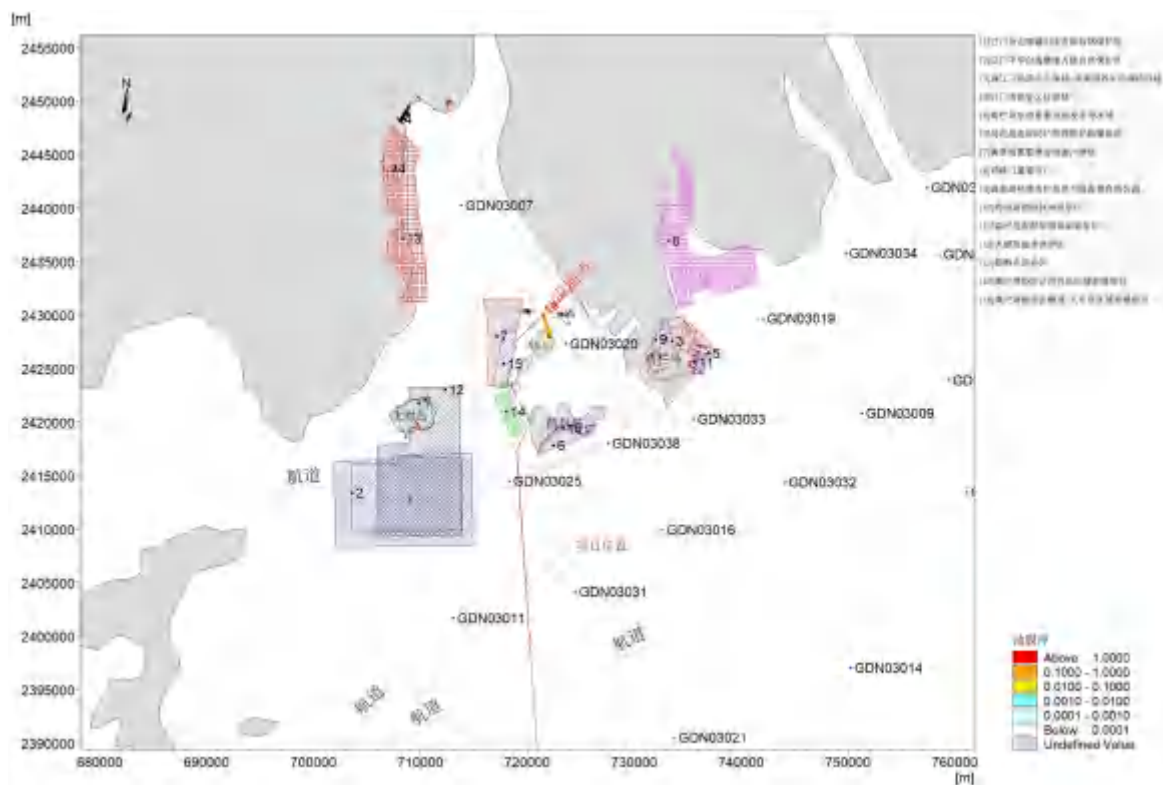


图 8.5-2f 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 NE, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

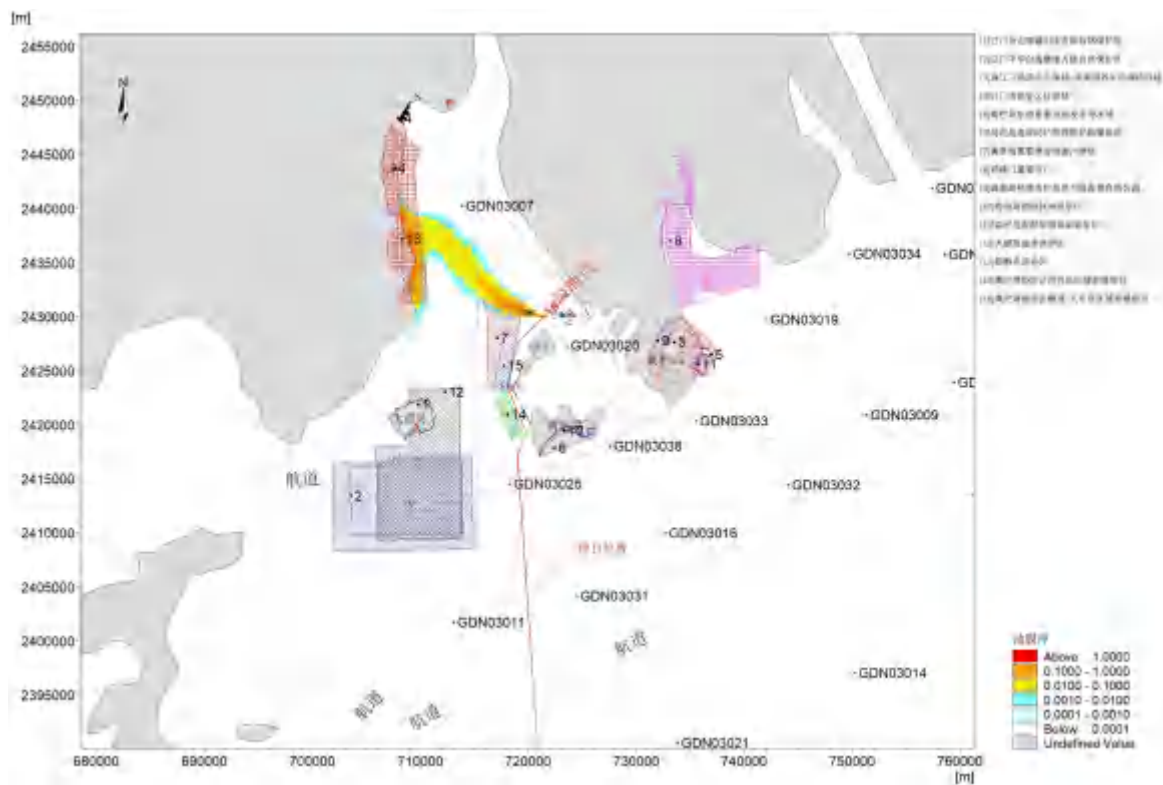


图 8.5-2g 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 E, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

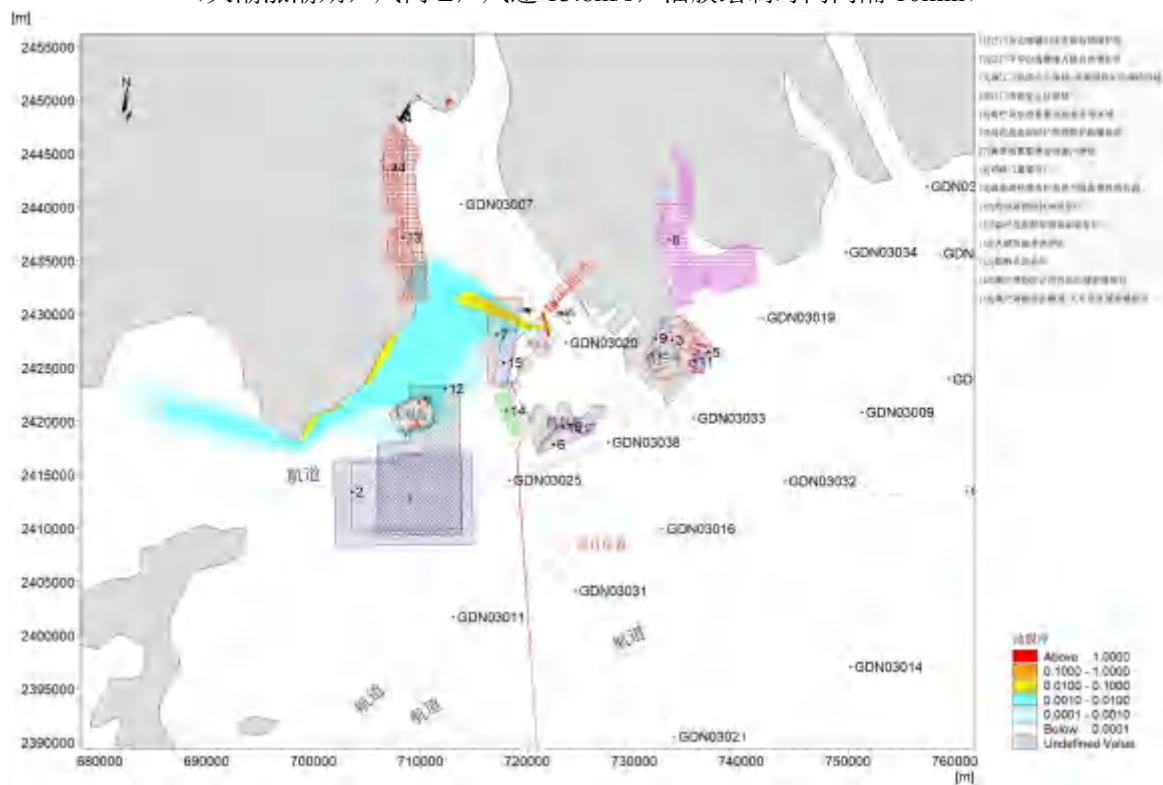


图 8.5-2h 1#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 E, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)



图 8.5-3a 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 SE, 风速 3.7m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

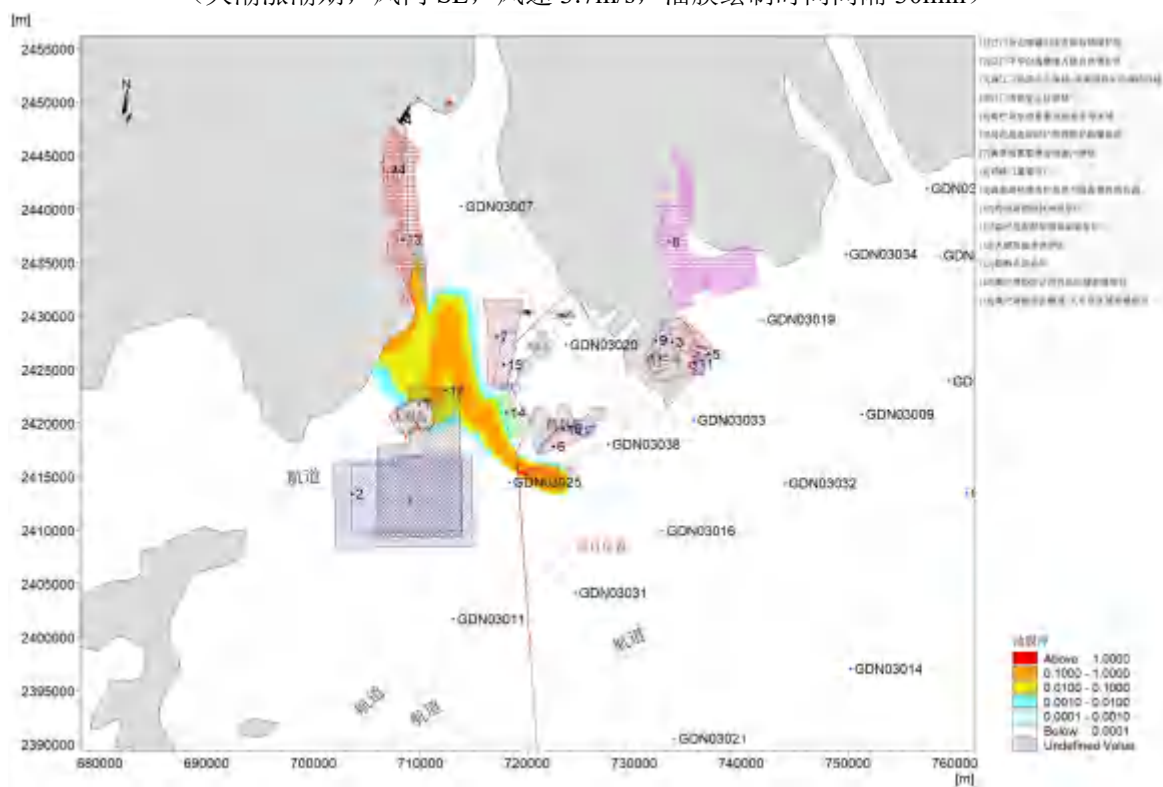


图 8.5-3b 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 SE, 风速 3.7m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

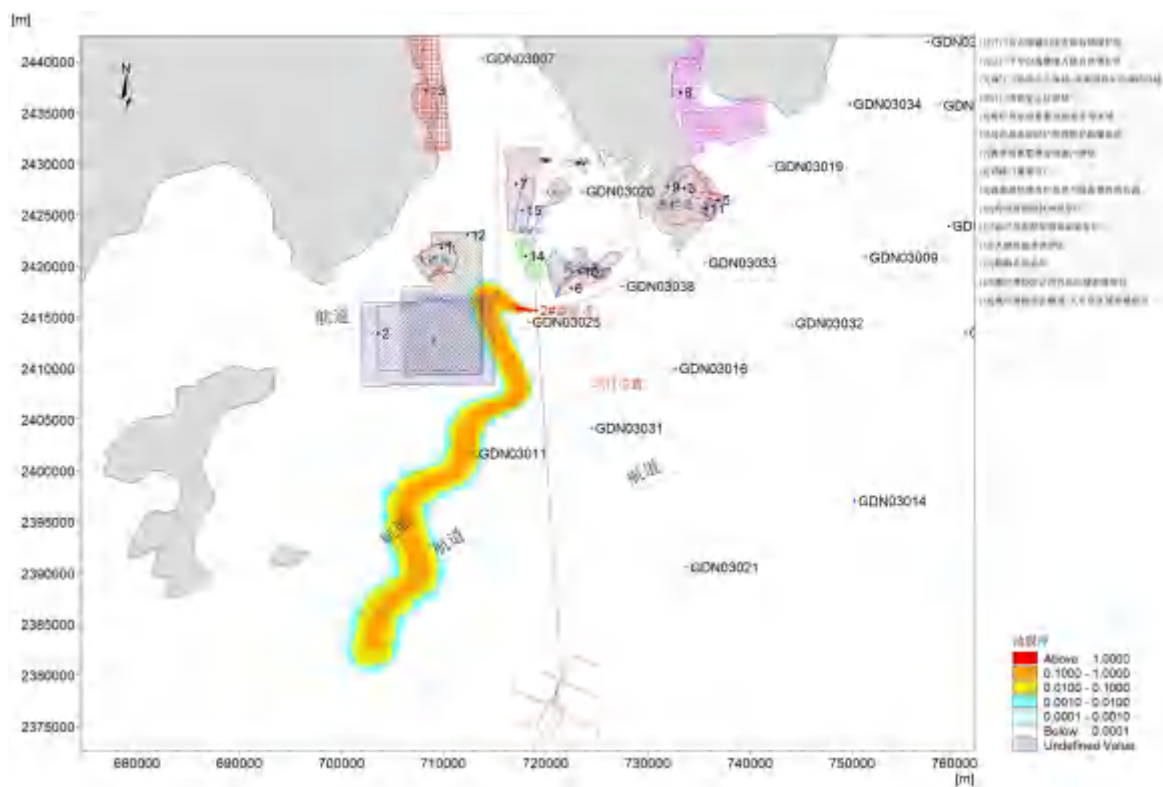


图 8.5-3c 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 NNE, 风速 6.1m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

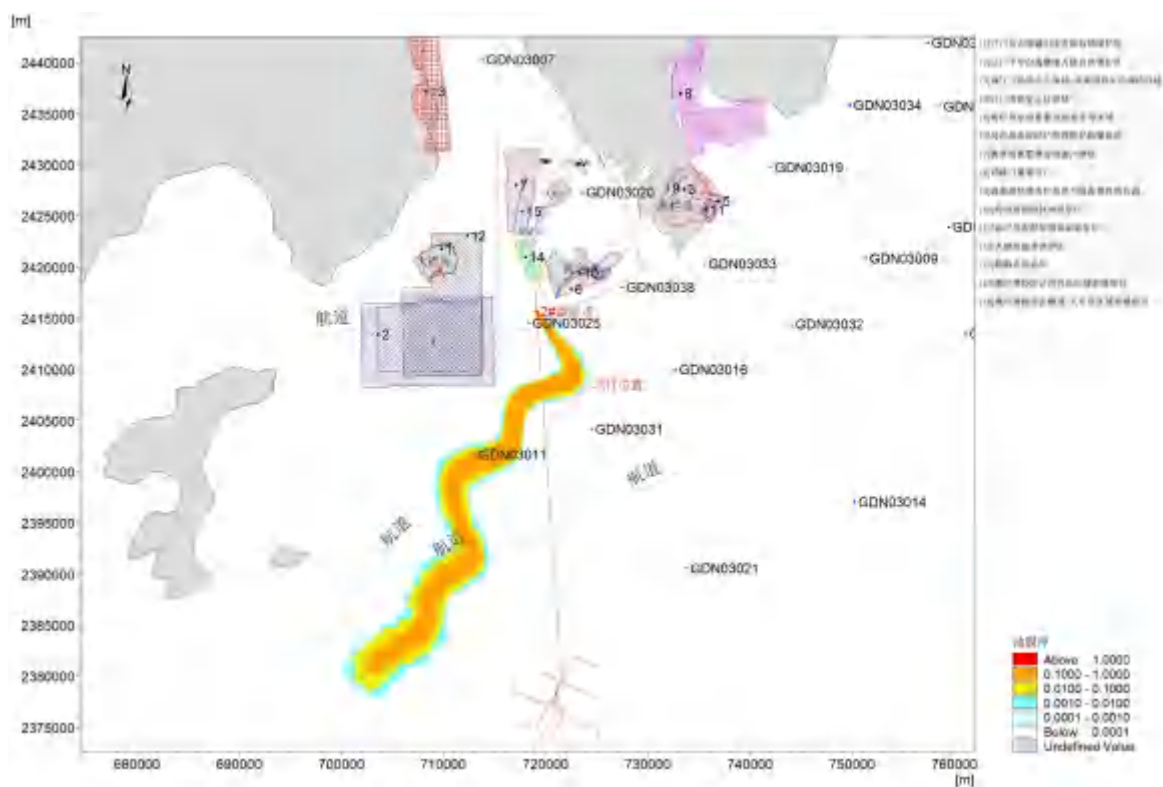


图 8.5-3d 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 NNE, 风速 6.1m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

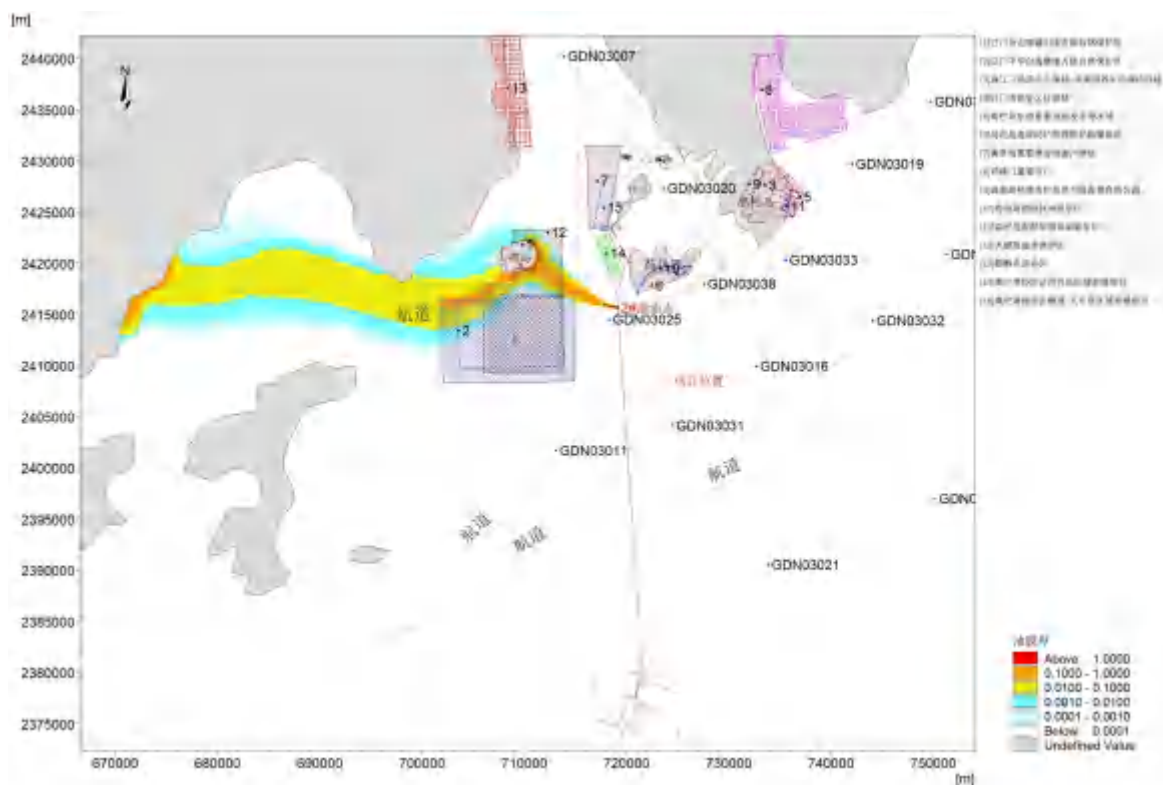


图 8.5-3e 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 E, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

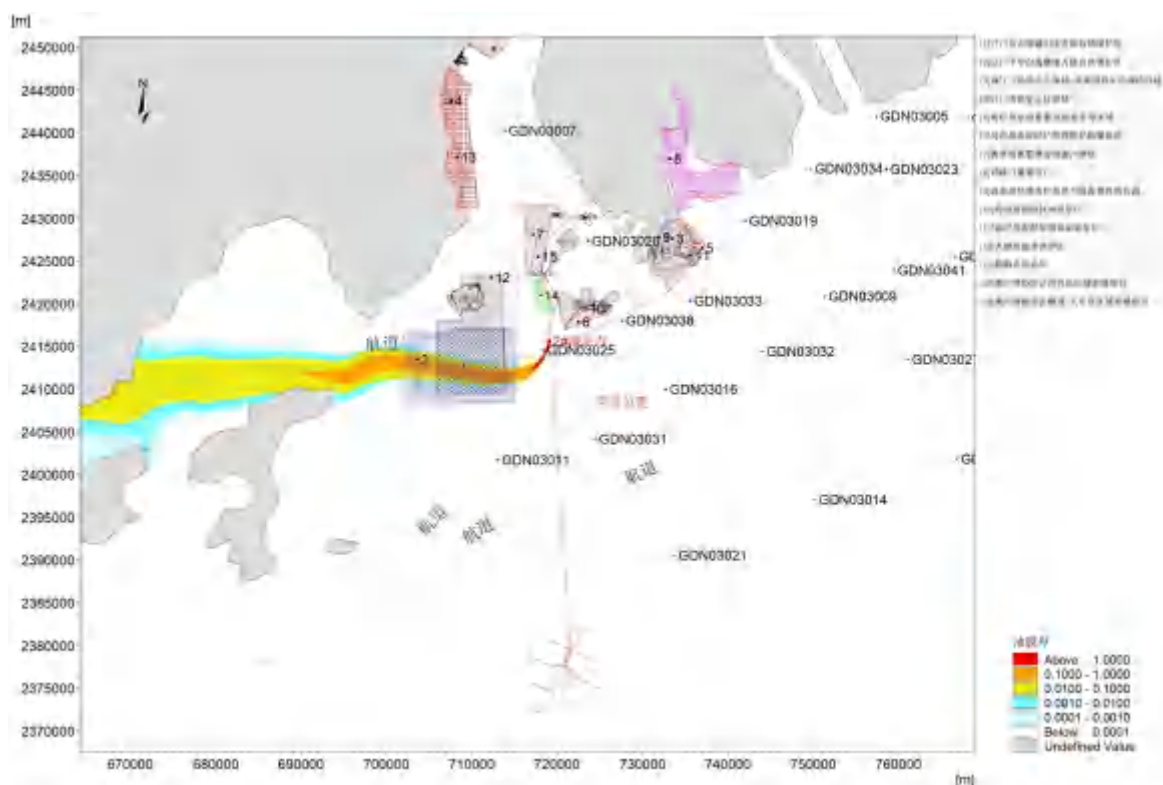


图 8.5-3f 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 E, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

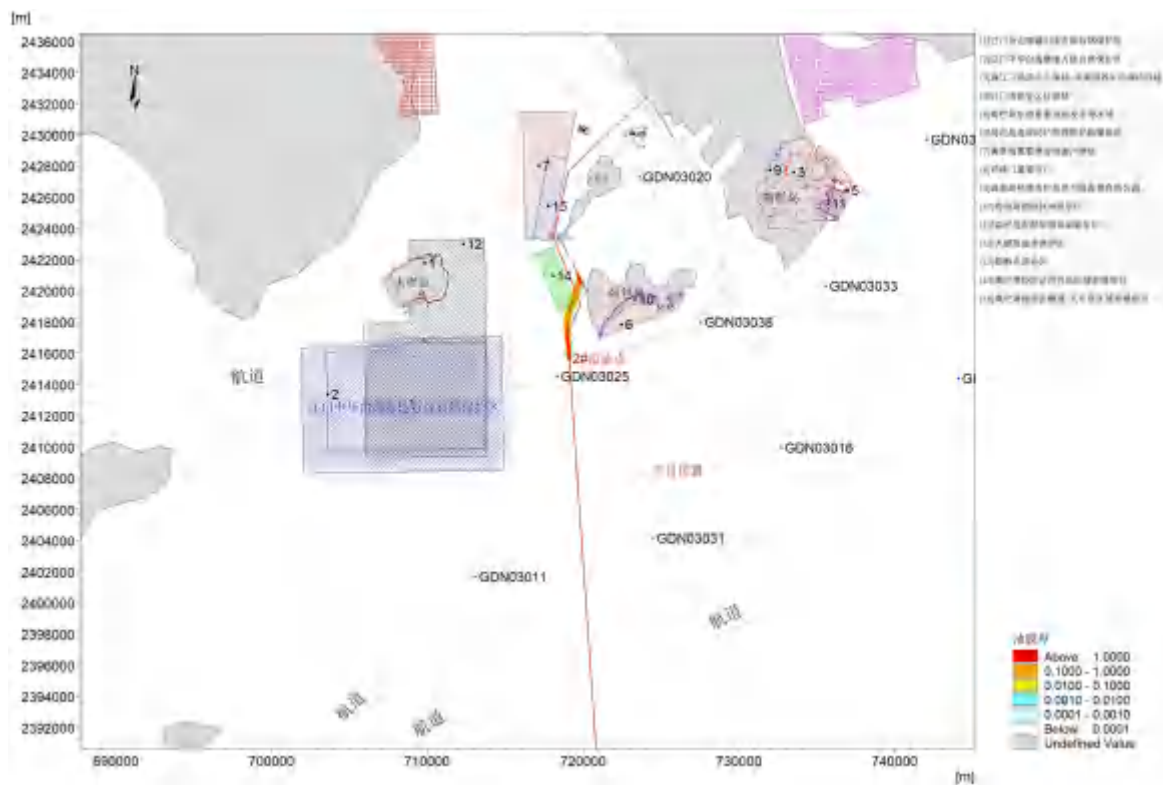


图 8.5-3g 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 SW, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

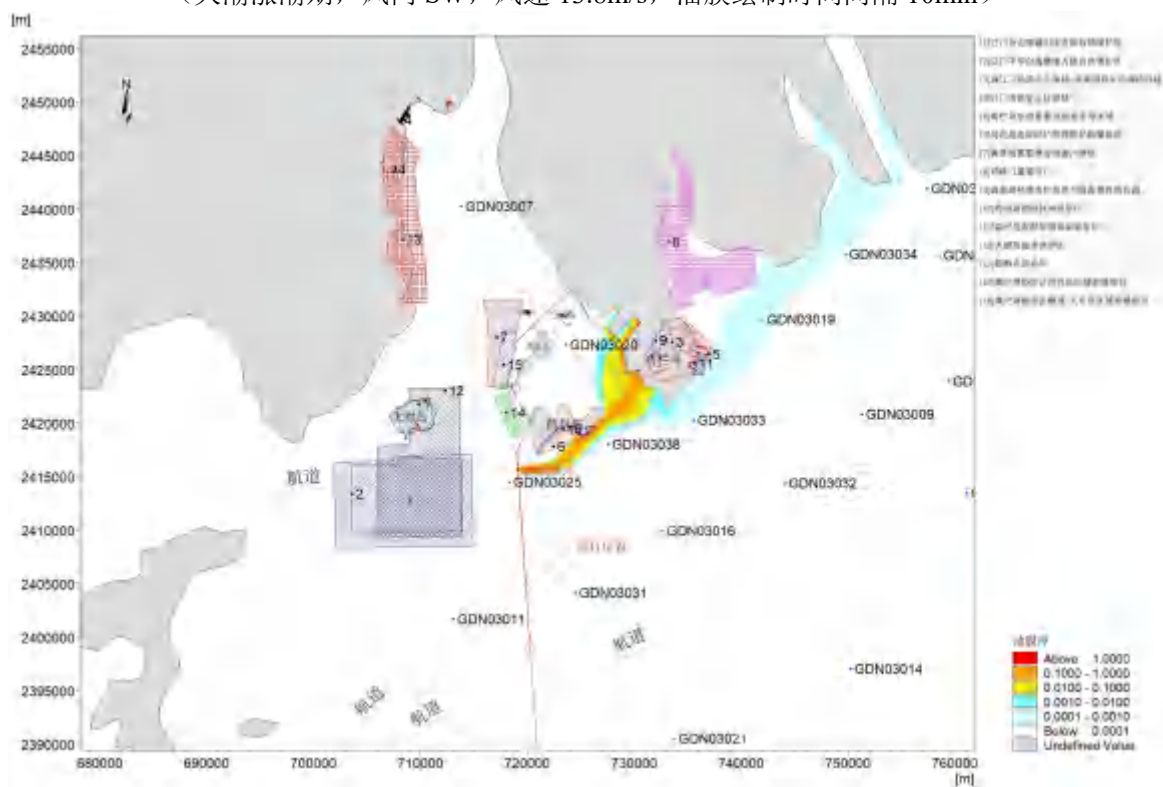


图 8.5-3h 2#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 SW, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

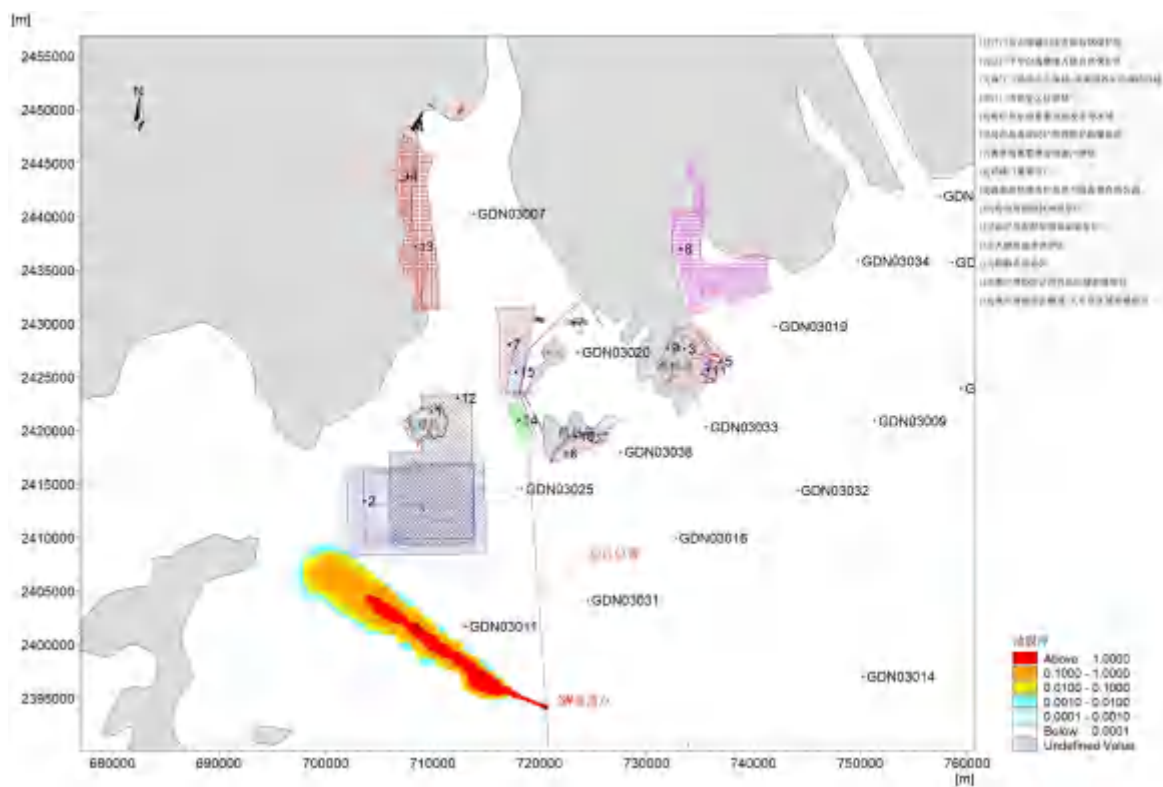


图 8.5-4a 3#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 SE, 风速 3.7m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

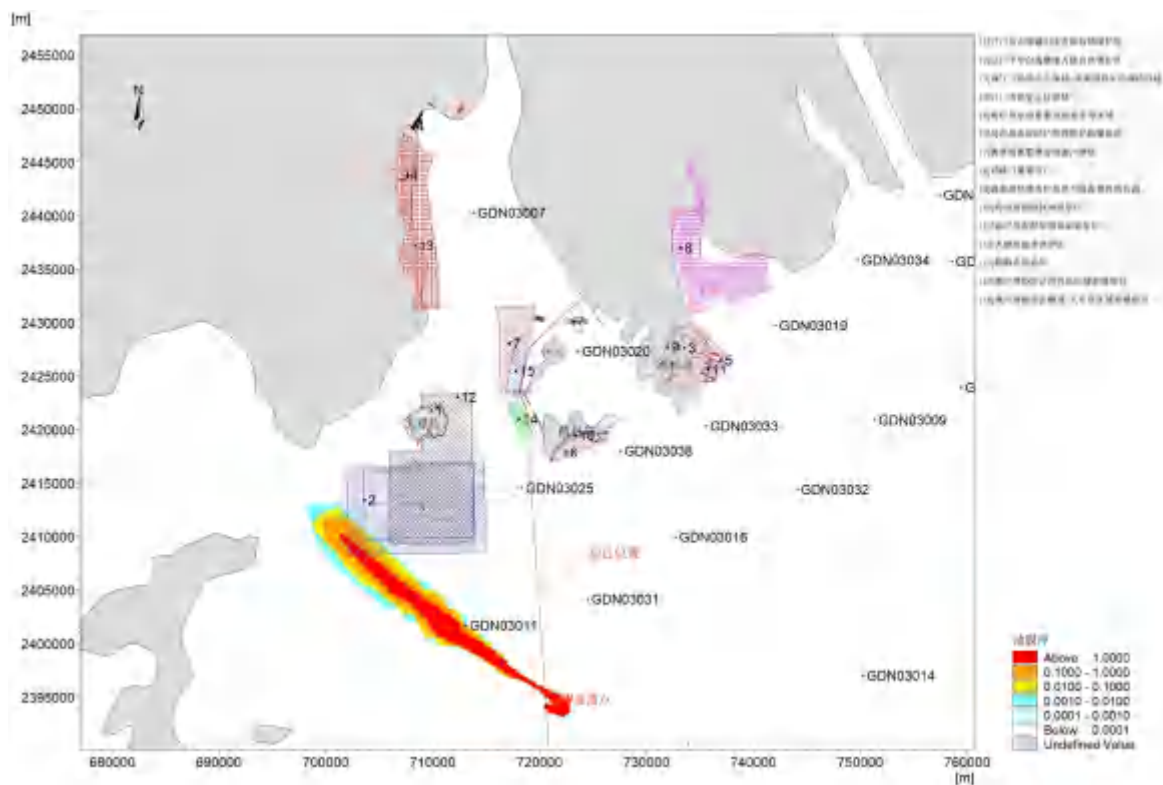


图 8.5-4b 3#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 SE, 风速 3.7m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

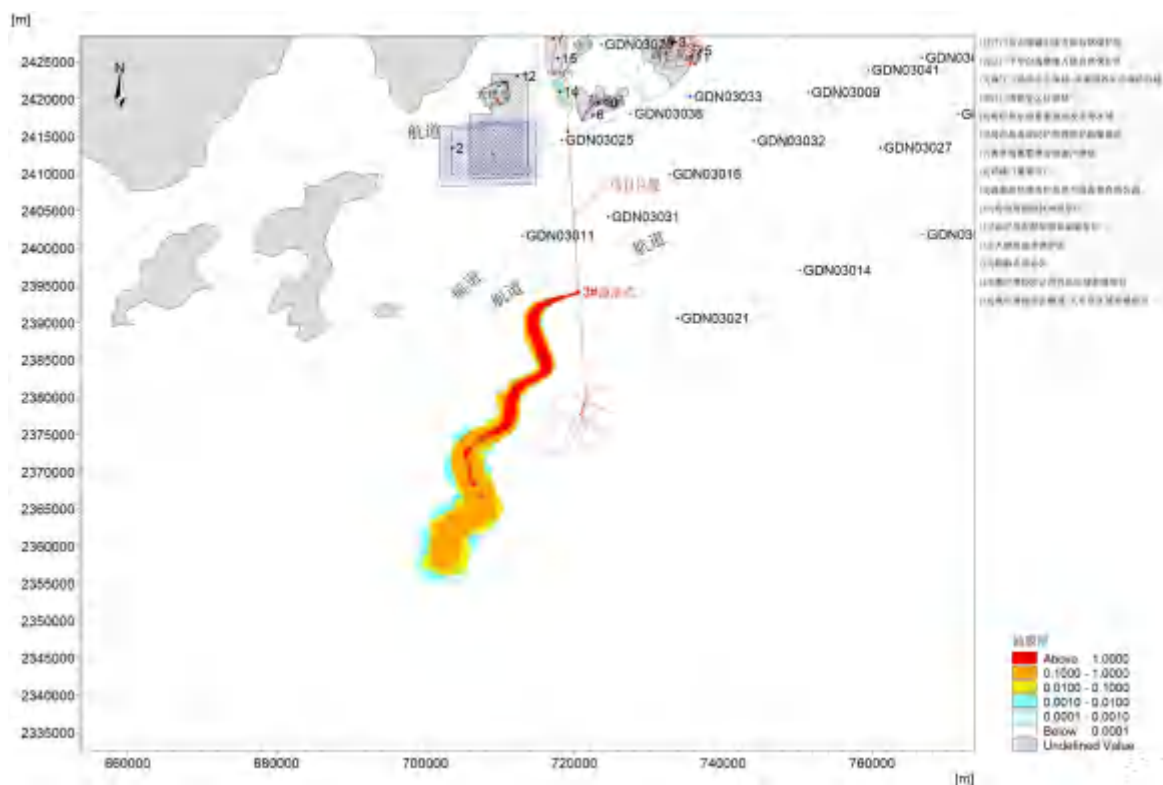


图 8.5-4c 3#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 NNE, 风速 6.1m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)

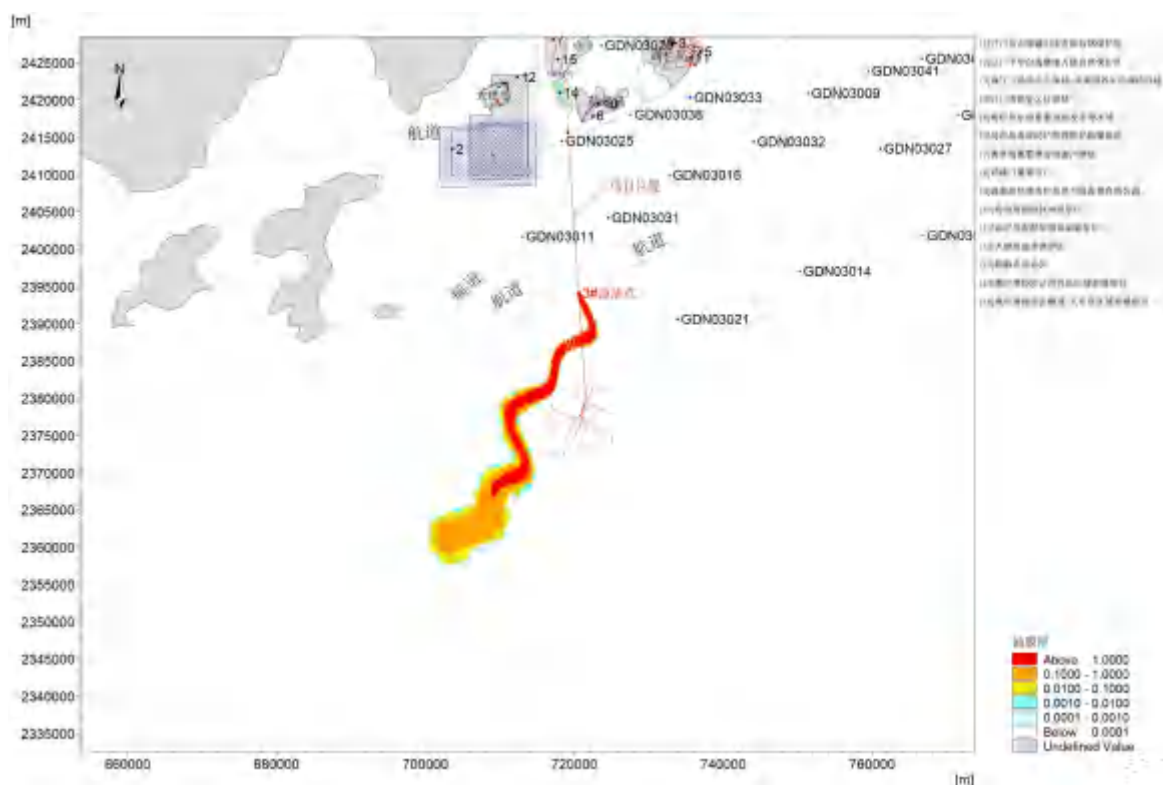


图 8.5-4d 3#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 NNE, 风速 6.1m/s, 油膜绘制时间间隔 30min)



图 8.5-4e 3#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮涨潮期, 风向 S, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

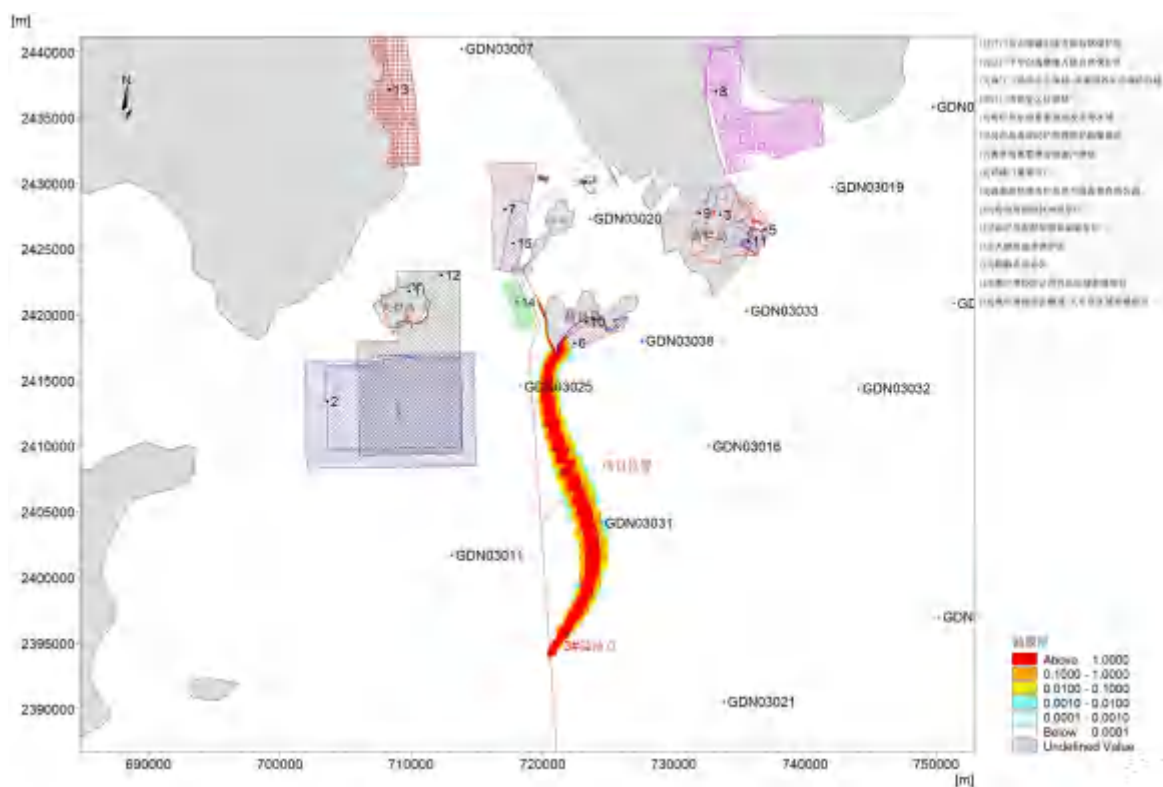


图 8.5-4f 3#点溢油事故的油膜运动轨迹图
(大潮落潮期, 风向 S, 风速 13.8m/s, 油膜绘制时间间隔 10min)

8.5.4 溢油风险对生态环境影响分析

(1) 对浮游生物的影响

溢油事件发生后，油膜会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍他们的光合作用。破坏程度取决于油类物质的类型，浓度及浮游植物的种类。根据国内外毒性实验结果，作为鱼、虾类饵料基础的浮游植物，对各种油类的耐受能力都很低。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为0.1（10mg/L，一般为1mg/L。对于更敏感的种类，油浓度低于0.1mg/L时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

浮游动物石油急性中毒致死浓度范围一般为0.1~15mg/L，mironov 等曾将黑海某些桡足类和枝角类暴露于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1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。

(2) 对游泳生物的影响

1mg/L的油浓度会引起鱼类的中毒反应，而对于幼小的鱼苗，它们的敏感程度比成熟的鱼高100倍，而且它们不能像成体那样避开被油污染的水域。

高浓度的石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡，低浓度的长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖，其毒性随石油组分的不同而有差异。根据东海水产研究所近年来对几种不同油类对鲮鱼仔鱼*mugilcapHalus*的毒性试验结果表明，阿拉伯也门麦端波原油、镇海炼油厂的混合废油、胜利原油和东海平湖原油对鲮鱼的96H—LC₅₀值分别为15.8mg/L，1.64mg/L、6.5mg/L和2.88mg/L。胜利原油对真鲷仔鱼*Pagrus major*和牙鲆仔鱼*Paralichthys olivaceus*的96H—LC₅₀值分别为1.0mg/L和1.6mg/L。20号燃料油对黑鲷*Sparus macrocephalus*的96H—LC₅₀值为2.34mg/L，而对黑鲷的20天生长试验结果，其最低影响浓度（LOEC）和无影响浓度分别为0.096mg/L和0.032mg/L。

(3) 对底栖生物的影响

底栖生物随种类的不同而产生对石油浓度适应的差异，多数底栖生物石油急性中毒致死浓度范围在2.0~15mg/L，其幼体的致死浓度范围更小些。软体动物双壳类能吸收水中含量很低的石油，如：0.01ppm的石油则可能使牡蛎呈明显的油味，严重

的油味可持续达半年之久。某些底栖甲壳类动物幼体（无节幼虫）当海水中石油浓度在0.1~0.01ppm时，对藤壶幼体和蟹幼体有明显的毒效。

（4）对其它海洋生物的影响

对于哺乳动物类、鸟类等这样大型的海洋脊椎动物，它们虽能逃离污染区，但是如果是在生殖季节，油类污染了正在栖息生殖的海滩，他们将极易受到伤害，它们的幼体有被窒息的危险，溢油还会污染它们的皮毛，甚至眼睛、鼻孔和嘴，造成不同程度的伤害，威胁其生命。此外，油类中的石油烃在某些不敏感的有机物的同化作用下，能以各种不同方式富集于它们的食物链中，尤其在鱼类、软体类动物体内的富集，使这些动物受到污染。渔业生产也会受到油污染的影响。一方面可能降低渔业产量，另一方面因造成肉质带有油味而降低其商业价值，因而造成较大的经济损失。

因此，应杜绝溢油事故发生，一旦发生溢油事故需尽快启动相应应急预案进行处理，及时采取应急抢险措施，最大限度降低溢油事故对生态环境的影响。

8.6 自然灾害风险分析

工程建成后，所在海域将竖立起 36 台风机，场区形状呈不规则多边形。本工程拟采用风机的轮毂高度为 155m，在开阔无遮拦的海面上，当遇到台风等恶劣气候条件时，风机可能遭受台风摧毁的危险。

台风是强烈的热带气旋，是发生在热带海洋上的中心附近最大风力达到 12 级以上的暖性低压强烈天气系统。台风蕴涵的巨大自然能量将给风电机组造成破坏，其破坏机理主要是对设备结构施加静载荷和动载荷叠加效应。

本工程风机和海上升压站基础按照 50 年一遇工况设计，一般风暴潮不会危及其稳定性，但是当百年一遇大风暴潮发生时，狂风夹着巨浪引起风暴潮增水，有可能造成基础的冲刷与破坏，严重时甚至可能冲垮基础，造成风机和海上升压站倒塌，进而对海域环境造成不利影响。工程所采用的风机和海上升压站中，各零部件均不含放射性或其它危险性元素，无毒性，无腐蚀性，因此，万一风机和海上升压站倒塌到海里，不会造成海域水质的污染。由于风机、海上升压站及塔架的主要组成为钢，因此，风机和海上升压站倒塌对海域环境的影响主要为引起海底泥沙的再悬浮和扩散，进而可能对当地海洋生物产生一定的影响。

此外，风暴潮带来的强劲潮流和风能共同作用也可能造成海缆及基础处的局部

冲刷，威胁基础稳定和海缆安全。在施工过程中应避免在海缆和海床之间形成空间，减小局部冲刷，同时应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，在接入风机 J 型管时采用预留长度余量，减缓潮流冲刷影响，确保海缆安全。

为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定，应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《水上水下施工作业通航安全管理规定》的有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当的位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。敷设完毕后，向主管机关报送管线路由等相关资料，并申请发布航行通（警）告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作业。项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

8.7 环境风险防范及应急措施

8.7.1 船舶溢油事故防范措施

施工期、运营期船舶在海上发生溢油事故，建设单位施工前通过招标方式确定施工单位，相关责任由施工单位承担，因此在施工期、运营期应采取相应的船舶溢油事故防范措施，降低溢油事故发生的概率。

（1）施工期船舶事故溢油防范措施

1) 制订切实有效的安全管理措施和一旦发生突发性事故的应急预案。

2) 参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查，有关人员须经过水上作业的相关安全培训和教育，并认真落实安全管理措施和发生突发情况的应急措施。

3) 根据工程施工方案，提出加强施工期间水上通航秩序安全管理的对策和措施，确保工程施工和船舶通航的安全。

4) 珠海海事局海上交管中心在工程施工期间，加强航道区的船舶秩序的管理；加强与港作船联系，及时了解施工船所处位置，必要时可请施工船避让。

5) 施工船进行打桩作业时，应于明显易见处，显示规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。

6) 施工船舶应配置有效的通讯工具并指派专人守听，应指派专人值班瞭望，密切注视周围船舶动态。

7) 严禁施工作业单位擅自扩大施工作业安全区，严禁无关船舶进入施工作业水域，并提前、定时发布航行公告。

8) 灾害性天气下暂停施工, 进行工程安全观测; 当气象预报风力超过施工船抗风等级前, 应提前撤离施工现场, 择地避风; 若发生险情应及时上报有关部门。

9) 为防止施工船舶出现故障无法移动, 建议在施工区附近安排一艘拖轮, 并配备一定数量集油设备和器材, 如围油栏、吸油材料、消油剂等, 以便随时进行应急抢救等救助工作, 同时发生少量溢油事故时, 可现场及时进行围栏清理。

10) 施工单位需向海事主管机关申请划定施工作业区, 设置航行警戒标, 配置现场警戒船。

11) 施工单位应拟定水上交通安全维护方案, 并通过宣传使有关航运单位、航行船舶及从事捕捞作业的渔民了解工程内容、施工范围和工期等。

12) 施工船舶一旦发生污染水域事故, 应尽力采取控制和消除污染的措施, 同时向海事主管机关报告, 接受调查处理。

(2) 运营期船舶事故溢油防范措施

1) 海上风机应涂有醒目的警示色、夜间需采用灯光照射的办法。在风电场场界连线外侧 300m 考虑设置一排黄色航行警示标, 以警示船舶有效避让。

2) 应设立专门机构负责警戒, 安装海上风机监视系统随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。并配置有效的通讯设备, 与海事主管机构随时保持通讯联系, 以便在发生突发事件时能及时获得海事主管机构的应急救援。

3) 向海事主管机关申请发布航行通告和航行警告, 提出协助进行水上安全维护申请。并在以后出版的有关海图上进行标记。

4) 对风机周围加装防撞保护, 避免渔船碰撞引发事故。

5) 建议船舶尽量远离风电场水域航行, 减少船载雷达阴影区, 船舶过往需要加强了望, 谨慎驾驶, 通过调整雷达增益改善显示效果。

6) 加强风机基础冲刷监控, 定期进行跟踪监控, 防止风机基础淘空倒塌, 如果发生风机倒塌事故, 将及时上报县、市、省相关主管部门及海事、海监部门, 对外发布航行预警通告, 确保不对周边海上作业构成安全影响。风电场业主将及时组织吊装、施工单位, 对倒塌风机及基础结构进行吊装、转运至陆上处理, 防止风机内部润滑油料泄漏, 一旦发生泄漏, 立即采取围油栏围挡, 采取吸油毡等对泄漏油料吸附回收。

8.7.2 风机损坏溢油防范措施

(1) 每台风机都配备事故油槽, 当风机变压器发生泄漏导致漏油时, 事故油槽

可接收变压器全部漏油，确保泄漏情况下油不会进入海域；

(2) 风电场设置有完整的现场监控系统，一旦发生风机或升压站倒塌事故可通过现场监控系统进行及时预警；

(3) 风电场运行维护期制定了严格的运行维护措施，一般在风暴潮、地震等自然灾害发生后，风电场运行维护人员将及时进入现场，并配合专业检测人员检查风机、升压站及基础结构损伤情况；

(4) 如果发生风机倒塌事故，将及时上报珠海海事局，对外发布航行预警通告，确保不对周边海上作业构成安全影响；风电场业主将及时组织吊装、施工单位，对倒塌风机及基础结构进行打捞，转运至陆上处理，现场视损伤情况确定是否进行重建工作。

(5) 如果发生少量风机机组润滑油落入海中，应立即动用工程本身配备的应急设施对落入海洋的油污进行处理。

8.7.3 海洋气象灾害防范措施

为减少台风给风电场带来的损失，根据台风破坏机理提出下列防范措施：

(1) 装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

(2) 推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

(3) 加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

8.8 海上溢油事故应急预案

风险事故发生后，能否迅速而有效地作出应急反应，对于控制污染，减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。为使本工程施工和运营期对于一旦发生的溢油事故能快速作出反应，最大限度地减少事故污染对工程海域的灾害性损失。建立应付突发性事故的抢险指挥系统，组织制定一份可操作的风险应急行动计划，定期进行演习是非常必要的。此外，建设单位应委托编制应急预案。

(1) 应急计划区

本工程应急计划区主要为风电场区和海缆路由铺设附近海域。应急事件包括船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故。

（2）应急指挥组织

项目公司成立船舶污染预防及事故应急指挥部（以下简称应急指挥部），下设运行监督办公室，负责风电场日常运行安全监管及船舶污染事故上报、应急响应、支持保障和善后处理等工作。运行监督办公室设在项目公司中控室，应急指挥部应服从珠海海事局。

应急指挥部按各自职责设立溢油应急处置小组：通信组、工艺组、溢油清理组、现场救护组、警戒组、后勤保障组、防火组、油污处理组。各小组主要职责：

通信组：负责应急指挥与事故现场的通信联络，确保应急救援指令的下达和现场各种信息的反馈及通信的畅通。

工艺组：及时关闭相关阀门，控制溢油源，防止事故进一步扩大。

溢油清理组：做好溢油堵截围控工作，回收泄漏油品，对溢油现场进行清理。

警戒组：保持交通畅通，注意现场警戒，实行隔离，注意溢油漂移动向，并及时向指挥部报告。

后勤保障组：提供应急所需的器材、材料及生活用品，保障应急电力供给，负责应急设备的维修。

防火组：防止火灾发生，一旦发生火灾立即实施灭火应急计划。

油污处理组：负责处置油污物的工作，防止二次污染。

（3）预警和报告

1) 信息收集与预警

运行监督办公室应通过监视系统及时收集掌握在风电场海域发生的船舶污染事故信息，发现或接报污染事故后立即向应急指挥中心报告，通知应急指挥部的成员到达事故现场。总指挥到达事故现场后，立即成立现场指挥部，总指挥根据现场情况预测可能造成的后果和污染危害程度、紧急程度、发展事态，判断环境污染事件危险性，将预警信息向珠海海事局水上安全指挥中心逐级上报，由水上安全指挥中心确定预警等级。

预警信息包括突发事故的类别、起始时间、可能影响范围、警示事项、应采取的措施和发布机关。预警信息的发布、调整和接触可通过广播、电视、报刊、通信、信息网络、警报器、宣传车或组织人员逐户通知等方式进行，对老幼病残孕等特殊

人群以及学校等特殊场所和警报盲区应当采取有针对性的公告方式。特别重大或者重大突发事故发生后，要立即报告，通报有关地区和部门，应急处置过程中，要及时续报有关情况。

2) 上报程序

运行监督办公室在中控室监视发现污染事故发生后立即向应急指挥部报告，由应急指挥部向珠海海事局水上安全指挥分中心报告，最多不超过 5min。报告内容应包括：发现污染事故时间、地点，船名，污染物品名，污染范围，当时海况等。同时应急指挥部通知项目周边企业单位进行应急准备，调配其应急设施。

(4) 应急响应及行动

船舶溢油污染事故发生后，应急处置中心应在第一时间获取事故的相关信息，并立即向海事局水上安全指挥中心、海上搜救中心或防汛指挥中心报告，应急决策部门根据事件信息和监测数据，开展应急评估，进行综合分析，确定应急等级。根据海上船舶污染事故专项应急预案及海塘管理相关文件确定应急响应等级。

应急决策部门在确定应急响应等级后，立即实施相应的应急计划，迅速开展具体的应急行动，包括人员组织和应急处置资源调配、现场的控制和清理、水上交通管制、应急监测、信息公开发布等。

(5) 溢油应急措施

1) 溢油源控制

在对海面溢油采取围控和清除等措施之前，首先应采取控制措施来防止或阻止溢油的进一步溢出或引发安全事故，如堵漏、驳转、冲滩坐浅、防火灭火等。

2) 敏感区资源保护

如果现有资源不足以对相关海域环境资源敏感区域提供有力的保护，则必须按照优先保护次序对资源进行优先保护；优先保护秩序由应急办公室根据有关部门和专家的建议，并考虑以下因素决定：

- ①该区域可能遭受污染损害的程度；
- ②保护敏感区域可能取得的实际效果；
- ③污染清除工作的可能性和难易程度；
- ④季节性因素的影响。

3) 水上溢油清除与污染物处置

负责溢油围控清除的单位在现场指挥部的统一协调下，使用合适的围油栏围控、

撇油器收油、经审批许可的消油剂喷洒及采用现场焚烧等溢油应急处理方法开展水上抗溢油应急反应行动。所清除的污染物临时储存后由指定单位负责接收和处置。

①围控和机械回收

燃料油溢到水面后，自身重力和风、流以及其他因素的作用下会迅速扩散和漂移。因此，溢油应急反应的首要任务是尽快采取有效措施，控制溢油，阻止其进一步扩散和漂移，以减少水域污染范围，减轻污染损害程度。这种将溢油控制在较小范围并阻止其进一步扩散和漂移所采取的措施称为溢油围控。

围油栏对溢油围控、导流和防范作用，要通过适当布放形式来实现。在开阔水域布放围油栏，主要采用两船拖带和三船拖带方式，具体要根据实际情况而定。

a.两船拖带之“J”型

如下图所示，这种形式需要用两艘船。一艘作为主拖船，用于拖带围油栏较短的一端，同时存放所需的回收设备和回收作业人员；另一艘作为辅拖船，用于拖带围油栏较长的一端。围油栏的长度需要 200~400m。从主拖船至 J 形底部之间围油栏的长度为 20~40m，撇油器放置在 J 形的底部。围油栏要尽可能紧靠在主拖船的一侧（10~20m），以便于撇油器或其它回收设备的操作。

为了获得并保持理想的围油栏底部形状，可以通过拉动连接围油栏与船舶之间的绳索，对围油栏底部的形状进行适当的调整。在进行两船拖带作业时，一般情况下，主拖船为指挥船，主拖船应根据溢油围扫情况及时、准确地向前面的拖船发出指令，拖船应注意随时与主拖船良好的通信联络，严格按照指令及时调整航向和航速，只有这样才能时刻保持良好的 J 型围扫形式，达到理想的溢油回收效果。

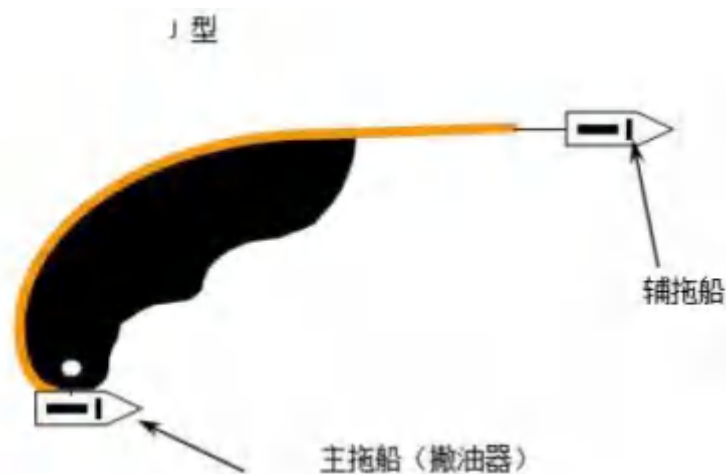


图 8.8-1 “J”型拖带

B.两船拖带之“U”型

如下图所示，U形拖带由三艘船来完成。拖带时，在前面两艘拖带船同时并进的同时，第三艘船舶则应根据两艘拖船行进的速度，始终处于U形的底部外侧，利用撇油器对U形底部聚集的油膜进行回收作业。此种形式的围扫作业，回收量较大。

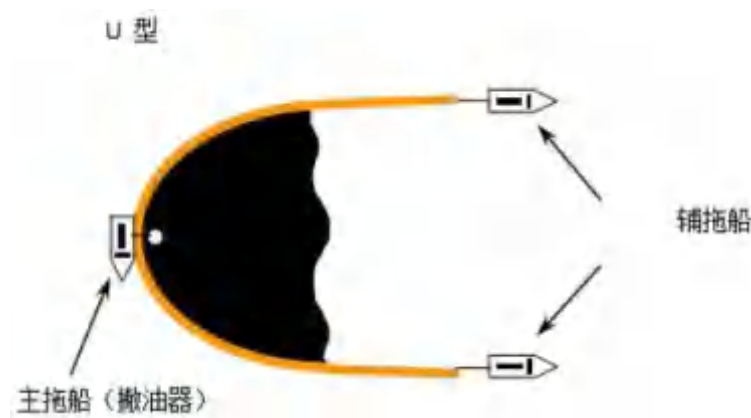


图 8.8-2 “U”型拖带

②喷洒化学消油剂

使用化学消油剂的原则：海面溢油首先使用机械回收，消油剂应严格控制使用，在发生油污染事故时，应优先采取回收措施，对少量确实无法回收的油，经海洋行政主管部门准许后，方可使用少量的化学消油剂。一次性使用化学消油剂的数量，应根据不同海域和敏感区等情况，由行政主管部门做出具体规定。作业者应按规定向主管部门报告，经准许后方可使用。

在海面浮油可能发生火灾或者严重危及人命和财产安全，又无法使用回收方法处理，而使用化学消油剂可以减轻污染和避免扩大事故后果的紧急情况下，使用消油剂的数量和报告程序可不受限制，但事后应将事故情况和使用化学消油剂情况详细报告主管部门。

4) 岸线保护与清除

负责协助岸线保护与清除的单位要按上级要求对需要实施特殊保护的岸线实施保护，并在地方人民政府或相关部门的组织指挥下，采取适当的措施对油污岸线实施清除。

5) 现场情况掌握与反馈

现场指挥部应随时掌握现场应急反应行动情况，并将掌握了解的结果（包括反应行动过程中发现的问题以及应急反应行动的实际效果）反馈到市应急指挥部。

市应急指挥部根据现场反馈情况和事态的发展，组织对反应行动进行总体评估，提出进一步的行动建议或行动调整方案。

6) 进一步的反应行动

经评估，现场仍需要采取进一步的反应行动，现场指挥部要依据市应急指挥部的决策继续组织开展应急行动，直到市应急指挥部宣布解除应急响应时为止。

(6) 应急保障资源

建设单位应与周边地区具有船舶泄漏和救援队伍的单位、地方海洋局和海监等相关部门建立联动机制，成立专业救援队伍，由应急中心统一指挥。对抢险人员作定期培训和演练，以确保关键时候发挥其作用。应急队伍应由熟悉燃料油特性、和防污染、船舶安全的管理人员组成，负责航道的日常安全和突发事故应急处理等工作。

项目风电场址与海岸线最近距离为 43km，施工期间若发生溢油事故，无法及时调用应急设备及物资。因此，在依托现有设施的基础上，施工船舶必须配备一定的应急设施，与珠海辖区资源进行联动配合，共同构建溢油风险网络体系，提高溢油风险防范能力。同时，建议施工期与应急处置公司签订应急协议，缩短应急响应时间。

8.9 小结

本项目主要危险物质为燃料油、润滑油、变压器油，在项目施工、运营过程可能会导致油品泄漏。通过采取各项风险防范措施，根据可能出现的环境风险制定相应的应急预案，加强风险管理，环境风险事故发生概率及可能造成的环境影响可大大降低，环境风险水平可以接受。

9 环境保护措施及其可行性论证

9.1 施工期污染防治对策

9.1.1 水污染防治对策

9.1.1.1 海水水污染防治对策

本项目施工期间产生的废水主要为施工船舶舱底油污水和施工人员生活污水。

(1) 施工期间作业船舶舱底油污水，遵照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》中对海上施工船舶的要求，施工船舶油污水系统按要求进行铅封，船舶舱底油污水统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由有处置能力的单位进行接收处理，严禁向海域排放。根据国家相关法律法规要求，在当地寻找符合资质要求处置的单位如珠海市浩凯船舶环保服务有限公司。

(2) 各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水统一收集，待船舶靠岸后交由有处置能力的单位进行接收处理，严禁向海域排放。根据国家相关法律法规要求，在当地寻找符合资质要求处置的单位如珠海市浩凯船舶环保服务有限公司。

(3) 船舶水上作业和航行期间，应及时清理甲板残油，定期维护船载机械设备，防止残油、机油滴漏入海，建议采用锯末或棉纱吸净残油后，统一收集含油废物，严禁向海排放任何油类物质；建议施工前与含油污水处置单位尽早签订处理协议，明确污水接卸量、接卸时间等，并向海事局报告。

9.1.1.2 悬浮泥沙防治对策

本项目施工期间产生的悬浮泥沙主要来源于海缆敷设、海上升压站和风机桩基施工。

(1) 施工前应结合项目周边及项目自身施工进度，合理安排施工整体进度计划，制定好施工主要节点流程图。项目在各个阶段施工作业时，严格按照施工方案执行，保证施工进度和控制施工强度，以免增加悬浮沙增量。

(2) 海缆敷设作业时，采用专用海缆船，通过海缆船敷埋海缆时，悬浮沙与船速、海缆沟尺度及海域底质特征有关，施工时将根据海缆路由区底质详勘报告确定各区段具体的海缆埋深和沟槽宽度，控制高压水冲泥管道压力，减小超挖量，同时控制拖轮航速，减小悬浮沙产生量。

(3) 升压站及风机桩基打桩过程中，根据场址区地质情况精确定位桩基位置，

选用高效的桩基施打设备，确保管桩平稳、快速贯入，减小对海床的扰动。

(4) 施工作业期间，在整体施工计划框架下，根据季节性海流条件，合理优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱等不利于悬沙扩散的潮期内。

9.1.2 噪声污染防治对策

施工噪声主要来自施工机械设备，由于周边附近无居民集中区等声环境敏感目标，为保障施工人员健康安全，尽量减小施工噪声的不利影响，拟采取如下防护措施。

(1) 加强施工船舶管理，合理安排施工布置和施工时间，避免施工区域船舶集中，尽量避免在同一工程区大量动力机械设备同时作业导致局部声级过高。

(2) 应加强各类施工设备的维护和保养，保持其良好运转，以便从根本上降低噪声源强。发生故障应及时维修，保持润滑，紧固各部件，减少运行震动噪声；加强施工管理、文明施工。

(3) 施工船舶采用低噪声船舶，施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放，包括：在发动机排气管安装弹簧吊架加以固定，在机舱路口上布置主、辅机消声器；合理设置消声器结构和机舱室结构，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛声。

(4) 尽可能选用低噪声设备，采用静压打桩锤，减少打桩产生的噪声和振动；海上打桩作业时，提前确定具体打桩时间、打桩次数，缩短沉桩时长，完善沉桩作业施工组织，提高作业效率，施工过程按照打桩施工安排具体执行，沉过程尽量不停锤、连续、快速作业。

(5) 在海上风机组吊装安装作业时，吊装船上的工作人员与场地施工观察员保持密切联系，保证吊装安装作业的准确度和稳定度，以免产生安装误差，多次反复安装产生过多噪声污染。

(6) 升压站钢管桩沉桩作业时，缩短沉桩时长，完善沉桩作业施工组织，提高作业效率，沉桩过程尽量不停锤，连续、快速作业。

(7) 定期维护和及时修理施工机械，杜绝施工机械在运行过程中因维护不当而产生的异常噪声。

(8) 加强施工管理、文明施工，减少施工期不必要的噪声影响，尽可能减少产生噪声的夜间施工作业。

(9) 本项目风电场及海底电缆位于蓝圆鲹产卵场、金线鱼产卵场、绯鲤类产卵场、南海北部幼鱼繁育场保护区，路由位于幼鱼幼虾保护区，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、海缆铺设应避免鱼类产卵期。同时打桩前可采取预先轻轻打几下桩，以“软启动”方法驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声对鱼类的影响。

9.1.3 大气污染防治对策

本项目施工期大气污染物主要来自施工船舶产生的废气。

(1) 施工船舶应按照《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）的相关要求，应使用含量不大于0.5%/m的船用燃油，降低船舶硫氧化物、氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物等大气污染物的排放。

(2) 加强对施工机械、船舶的维修保养。禁止不符合国家废气排放标准的机械进入施工区，禁止以柴油为燃料的施工机械超负荷工作，减少烟尘和颗粒物排放。

(3) 加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工，减少施工期的空气污染。

9.1.4 固体废物处置措施

本项目施工期产生的固体废弃物主要包括施工人员生活垃圾、施工垃圾（扫海清障物、废弃包装物、废焊接头等）、钢管桩清孔渣土、定向钻渣泥浆。

(1) 风机在安装过程中会有废弃的包装物产生，可由施工单位回收利用。

(2) 海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物（绳索、插网、渔网等小型障碍物），在施工船舶上设置专门的收集装置，待船舶靠岸后外运处理。

(3) 施工中禁止任意向海洋抛弃各类固体废弃物，同时应尽量避免各类物料散落海中。施工中产生的固体废弃物应由施工单位负责及时清理处置，船舶生活垃圾按照《珠海市港口和船舶污染物接收转运及处置设施建设方案》执行，由施工船舶统一收集，不需岸上贮存，待船舶靠岸后直接交由有能力处置的单位进行接收处理。

(4) 本项目风机桩基、海上升压站桩基施工产生清孔渣土约296m³，全部运输至陆上集控中心项目心施工区，回用于集控中心建设，无废弃土方产生。海底电缆登陆段采用定向钻的方式穿堤，定向钻渣泥浆产生量约9000m³，钻渣分离干化后运至岸上，回用于项目陆上集控中心基础回填建设；施工结束后剩余无法循环使用的

泥浆干化后也用于陆上集控中心基础回填。

(5) 施工结束时,需做好施工现场的清理和固体废弃物的处理处置工作,不得在地面有明显的固体废弃物残留。

(6) 对有利用价值的施工废弃材料由施工单位负责及时清理处置。

(7) 施工单位加强对施工人员的教育和管理,不随手乱扔垃圾。

9.2 运营期污染防治对策

9.2.1 水污染防治对策

项目运营期废水主要是维护人员生活污水、风机产生的含油污水和检修船舶含油污水等。

(1) 对于维护人员产生的少量生活污水在船舶上统一收集,待船舶靠岸后交由有处置能力的单位进行接收处理。

(2) 项目运营期间,风机产生的废油仅是少量的润滑油和绝缘油,风机内配有专门的集油装置,自动收集废弃油脂,废油在运维期间进行更换。

(3) 项目运营期间,对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此,在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴,废油应储存在专设的废油箱中,含油的连通软管和其他含油废物(揩布、废滤网)应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后,应将废油、含油废物等集中收集至油污水收集装置中,一并送交有资质的单位处理,避免污染项目海域海水水质和沉积物环境。

9.2.2 大气污染防治对策

本项目运营期主要是风力发电,工艺过程无废气产生,废气主要来自运维船舶。项目运营期运维船舶采用低含硫燃油,项目位于开阔海域,废气可自然扩散,对环境空气影响较小。

9.2.3 噪声污染防治对策

运营期间的噪声主要是风机运转、海上升压站产生的噪声。

(1) 风机噪声控制

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源,这部分噪声是能够控制的,其主要途径是:

1) 风机机组避免或减少撞击力、周期力和摩擦力,使齿轮和轴承保持良好的润滑状态;

2) 为减小机械部件的振动噪声,可在接近力源的地方切断振动传递的途径,如

以弹性连接代替刚性连接或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声；

3) 尽可能选择低噪声的设备。风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并产生噪声。为降低风机噪声源强，建议在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构噪声传递，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

(2) 海上升压站噪声控制：优先选择低噪声的发电机、变压器、冷却系统等主要设备，从根本上降低噪声的产生。同时，在升压站主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板，并将铝合金接地，进一步降低海上升压站设备运行噪声。

9.2.4 固体废物处置措施

项目运营期固废主要是维护人员生活垃圾及风机机组检修的一般固体废物、危险废物。

(1) 运营期运维人员产生的生活垃圾随船携带统一收集，不进行岸上贮存，待船舶靠岸后直接交由有处置能力的单位进行接收处理。

(2) 项目运维期间产生的一般固体废物主要为废零部件、废包装袋（箱），分类集中收集，每次运维结束后直接由运维船舶带回岸上，外售资源回收单位综合利用。

(3) 项目运维期间产生的危险废物主要包括废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等，项目危险废物分类收集至船舶配备的危险废物垃圾箱中，直接由运维船舶带回岸上，待船舶靠岸后暂存至项目陆上集控中心危废间，与集控中心危险废物一起委托有危废处置资质单位定期清运处理。

9.2.5 电磁污染防治措施

(1) 针对海上升压站及海底电缆，应减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电。

(2) 建立严格的监测和监管机制，对电缆的电磁辐射进行定期检测和评估。

(3) 定期对海底电缆设施进行维护和检查，及时更换老化或受损的电缆，以减少电磁辐射的产生。

(4) 加强电缆系统的管理，确保电缆的安全稳定运行，避免因电缆故障导致的电磁泄露。

9.3 生态环境保护措施

9.3.1 海洋生态保护措施

项目建设要坚持“预防为主、保护优先”的原则，指导设计、施工、环境管理，把生态环境保护纳入工程方案设计过程中，把项目施工对海洋生态环境带来的不利影响降至最低程度。

(1) 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。由于本项目对南海区幼鱼、幼虾保护区和黄花鱼幼鱼保护区等的影响主要发生在海缆铺设过程，因此在南海区幼鱼、幼虾保护区和黄花鱼幼鱼保护区的保护期内及产卵高峰期（3月1日至5月31日），应尽量避免进行水下海缆铺设施工，尽量安排对海洋环境影响较低的工程内容的施工。若由于施工窗口期确实无法避开前述保护期进行海缆敷设施工的，应降低在保护期内的海缆敷设施工强度（建议降低至常规施工强度的约50%），在前述保护期内的月海缆敷设时间建议不超过15天。

(2) 严格限制工程施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

(3) 对施工方案进行合理优化，选择科学合理的施工方法和顺序，减少施工对海洋环境的影响。施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。施工机械、设备和人员产生的所有污染物禁止在海域随意排放和丢弃，应收集至陆域处理，减少对周边水体环境影响。

(4) 施工期水下打桩中应严格确立在距离桩基定范围为鱼类受水下噪声影响的危险区域，本工程风机基础水下打桩施工时，应确立危险区域、警告区域，在危险距离范围内应对鱼类等进行可能的驱赶等工作。打桩作业时采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩持续时间做出控制。

(5) 对于桩基打桩和海缆敷设，优化施工工艺，针对施工对海洋环境影响较大的作业环节制定作业规程，尽量避免由于操作技术不当导致的入海悬浮沙增大，同时作业时要求施工精准定位，提高作业精准度，配备GPS全球定位系统，准确确定施工位置，从而降低悬浮泥沙对周边海域水质环境、生态环境的影响。

(6) 根据现状调查资料,工程所在海域有石首科鱼类(如皮式叫姑鱼、大头银姑鱼等),对噪声污染较敏感。水上桩基础施工采用软启动的作业方式,即开始轻打几下,让潜在的水生动物有时间逃离回避,再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点,海上施工期应对每日预计打桩数量(即最高数量)、打桩持续时间做出控制,在时间上控制一次一桩,减缓噪声能量的散播。

(7) 对施工海域设置明显警示标志,告知施工周期,明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

(8) 委托具有相应监测能力的环境监测单位对项目区及其周围海域进行海洋生态环境的跟踪监测,针对跟踪监测发现的具体环境问题,及时反馈给施工单位,施工单位应根据跟踪监测结果及时调整和优化施工作业安排和生态保护措施。

(9) 做好施工溢油的管理,一旦发生事故,立即启动风险防范措施和应急处置,将风险范围防控在一定范围内。

(10) 施工结束后,选择适合本海域生长的鱼类进行增殖放流,具体可与渔业主管部门协商相关生态补偿的办法。从根本上恢复渔业资源、改良资源结构、增加渔业生产弥补本项目施工和营运等因素对海洋渔业资源造成的损失。

(11) 加强渔业资源和生态保护宣传,在进行海洋生物增殖放流时,举行仪式,以保护海域生态环境为主题,加强社会环境保护教育。

(12) 项目运营期间,对风机及相关设备进行维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴,废油应储存在专设的废油箱中。含油的连通软管和其他含油废物(揩布、废滤网)应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后,应将废油、含油废物等一并送交由有资质单位回收处理,避免污染项目海域生态环境。

9.3.2 生态修复与补偿措施

(1) 生态补偿方案

根据工程建设方案,工程施工等破坏了底栖生物的栖息环境,且工程施工过程中产生的悬浮物影响也会减弱浮游植物光合作用能力,在一定程度上影响水域的初级生产能力,并导致海域中浮游动物数量的减少,以及造成渔业资源的损失。

为了缓解和减轻工程对所在海洋生态环境水生生物的不利影响,建设单位应作为责任单位根据农业部《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007)的有关规定,对项目附近水域的生物资源恢复作出经济补偿,具体补偿方案

由建设单位协商农业农村主管部门确定。

(2) 生态修复方案

对于建设项目施工及运营期间对海洋生物资源造成的损失，项目建设单位应与主管部门协商，就工程建设造成生物资源损失制定合理的补偿计划。补偿金专款用于海洋渔业资源与生态环境的恢复。主要生态补偿措施包括：资源增殖放流、人工鱼礁建设、底播增殖、海洋牧场建设、自然岸线整治保护、人工岸线生态修复等，具体补偿方案由建设单位与主管部门协商确定。

本项目造成的生态资源损失主要包括底栖生物和渔业资源的损失，国内外长期从事渔业资源研究的专家研究证实，在渔业资源等衰退或受损的情况下，除了降低捕捞强度和减少海洋环境污染及生境破坏之外，从根本上恢复渔业资源、改良资源结构、增加渔业生产，进行渔业资源的人工增殖放流是重要、快捷的有效措施：此外，底栖生物也可采用所在海域适宜放流的鱼苗进行补偿。通过增殖放流，可以迅速弥补建设项目施工和营运等因素对海洋生物资源造成的损失，下面主要对增殖放流方案进行简要论述，供建设单位参考，具体方案由建设单位与主管部门协商确定，

1) 增殖放流区域的选择

根据《广东省海洋生物增殖放流技术指南》《海水鱼类增殖放流技术规范》（DB44/T2280-2021）、《水生生物增殖放流技术规程》（SC/T9401-2010），增殖放流区域应远离排污口，非海洋倾废区，非港口，非盐场、电厂、养殖场等进排水区，非管制海区同时，常见海水鱼类增殖放流海域应符合相应的水深、水温、盐度、底质和水质等要求。项目可结合《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》《广东省海洋生物增殖放流技术指南》《海水鱼类增殖放流技术规范》（DB44/T2280-2021）及《水生生物增殖放流技术规程》（SC/T9401-2010）等相关要求选取增殖放流点。

2) 增殖放流品种选择原则

本地原种或子一代的苗种或亲体；能大批量人工育苗；品质优良（优质经济鱼、虾类、贝类）；适应工程附近海域生态环境且生势良好；工程附近海域自然生态状况中曾经拥有的种类，确需放流其他苗种的，应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证；鱼类品种以恋礁性鱼类、适合转产转业和发展游钓休闲渔业品种为主，或在资源结构中明显低于自然生态状况中的比例，资源衰退难以自然恢复；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。

3) 增殖放流备选品种

根据《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》中南海增殖放流分水域适宜性评价表及项目所在区域海洋生物及其栖息环境的实际情况，项目海区适宜增殖放流的备选品种包括：花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、卵形鲳鲹、军曹鱼、大黄鱼、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、平鲷、黑鲷、黄鳍鲷、断斑石鲈、花尾胡椒鲷、斑节对虾、长毛对虾、墨吉对虾等。项目可结合当地苗场及备选品种情况，选取适宜的品种进行放流。

4) 增殖放流苗种规格质量

鱼苗体长应在 5cm 以上；虾苗体长应在 1cm 左右；贝苗壳长应在 0.5cm 以上。放流苗种应当来自有处理能力的生产单位、检验机构认可。

5) 增殖放流计划

在项目施工结束后，建议于 2027 年期间进行增殖放流，根据实际情况实施海洋生物增殖放流，每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月下旬至 7 月上旬以避开高强度捕捞压力时间，提高增殖放流效果。

6) 增殖流放前后的管理

放流前清理放流区域的作业，并划出一定范围的临时保护区，放流后加强巡逻管理。

9.3.3 鸟类保护措施

9.3.3.1 施工期保护措施

(1) 应对风电场施工机械及人员进行严格管理，合理安排施工时间及合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。

(2) 在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理。通过制定相应的环保手册对施工人员、施工区域、施工方式、施工时间进行有效的指导。在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理，采用巡检监理的方式，对材料堆放、施工方式、施工机械进行环境监理，检查生态保护措施的落实及施工人员的生态保护行为。施工人员进场后，立即进行生态保护教育。同时，夜间禁止鸣笛，减少噪声对鸟类的惊扰，并尽量避免在鸟类大规模迁徙时段施工。

(3) 在施工区域设置足够数量和强度的照明设备，确保施工区域清晰可见，减少鸟类因视线不清而误撞的风险。

(4) 采用均匀分布的照明设备，确保施工区域的光照均匀，避免局部过亮或过暗对鸟类造成不适。

(5) 采用高质量、稳定的照明设备，以减少灯光闪烁和频闪，避免对鸟类造成不必要的干扰和恐慌。

9.3.3.2 运营期保护措施

(1) 根据研究，鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物，为减少鸟类碰撞风机叶片的机会，且根据日本等地的成功经验，风机的叶片应当用橙红与白色相间的警示色，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避，以减少鸟只碰撞风机的几率。最好在风机上加设闪烁灯光，以减少在夜间鸟类碰撞风机的几率。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件使用非反光涂料。

(2) 运营期应该注意监督建设单位的生态保护措施是否到位，观察生态补偿措施效果。要对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导，并和鸟类管理保护单位建立必要的工作联系，使其对鸟类的干扰降低到最低程度。

(3) 加强鸟类监测。协同专业人员，开展风电场区域鸟种类和数量监测。在鸟类迁徙季，特别是冬春期间（11月30日至3月15日、春季3月20日~5月30日、秋季8月1日~10月30日）要密切观测候鸟动向，做好观测记录。本项目不在鸟类迁徙通道范围内，风电场建成后，应进行鸟类死亡率监测研究，一旦发现有导致鸟类撞击率较高的风电机，应立即移走或拆除。

(4) 监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展不少于一年的鸟类监测，分别在近岸鸟类聚集地和在海上监测候鸟动向，并做好观测记录。

(5) 对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导，使该风电场的运行对鸟类的干扰降到最低程度。

9.3.4 中华白海豚保护措施

9.3.4.1 施工期保护措施

(1) 施工海域中华白海豚声学驱赶

声学保护技术及措施形式较多，最简单的是利用船舶噪声，相对复杂的是声学驱赶仪。尽管形式多样，但最基本的仍是通过声音威慑动物，以避免动物进入施工等危险水域，达到保护动物的目的。基于技术的不同，相应的设备组成及工艺也具有多样性，并且存在相应的优势和不足。

中华白海豚听阈范围宽（0.5 kHz 至 130 kHz），既用低频哨叫声通讯，亦用高频声呐信号定位。船舶发动机的噪声能在水下传播，当船舶加速或减速时，所产生的强度不断变化的噪声（1 Hz 至 10 kHz，或更高频率，声源级为 150 dB 至 180 d

B) 会影响甚至改变中华白海豚的行为, 有助于将中华白海豚驱离危险的施工水域, 或阻止中华白海豚进入危险的施工水域, 达到保护中华白海豚的目的。

(2) 施工噪音干扰的缓解建议及对策

对施工噪音干扰的缓解措施, 优先考虑次序为避免、抑减、补偿。由于保护中华白海豚意义重大, 缓解措施以避免不利影响为主, 抑减及补偿为辅。海洋工程施工作业的机械类型较多, 包括打桩机、钻孔机、挖泥船、交通运输船和真空压力泵等。这些机械运行时产生的突发性非稳态噪声和振动将惊扰中华白海豚和其它水生动物, 并使它们产生回避行为, 如对强噪声回避不及, 甚至有可能导致中华白海豚个体在生理器官上的损伤, 因此, 应考虑采取相应的避免或缓解措施, 减少施工噪音对中华白海豚的影响。

施工引起的水中噪音污染源大致可分为几类: 打桩、重型机器操作和海床挖掘等。由于中华白海豚需利用声音以侦察周围环境并与同伴沟通, 水中噪音可能对它们的生活造成不同程度的滋扰。

尽管挖掘作业对海豚的影响有限, 但如果在施工地点设立一定的监视范围, 也可减低对中华白海豚的影响。根据海上调查经验, 目击到的中华白海豚群体大多在 300 m 范围内, 500 m 以外的目击记录较少, 考虑到监视范围的可行性和噪音声源的复杂性, 建议监视半径为 500 m。中华白海豚群体最长潜水时间约 4.6 分钟, 施工地点半径 500 m 监视范围内连续 5 分钟没有海豚出现时施工才可以开始。若施工过程中有海豚进入该范围, 施工方应立即采取暂停施工并温和驱赶的措施, 确保海豚不受干扰。

在进行施工前, 应由专门的海豚监察员使用望远镜及肉眼搜索施工地点半径 500 m 范围内的水面, 以确定该范围内是否有海豚出没, 以减轻噪音干扰, 避免机器突然开动惊吓海豚。如监视范围内有海豚出没, 则应暂时延迟施工, 直至海豚完全游离施工监视范围。为了减少施工噪音, 应尽量减少同时作业的挖泥船数量, 并尽量避免因机械操作而产生噪音。所有施工机械均应保持良好的性能状态。

(3) 施工污染物影响的缓解建议及对策

近年来由于泛珠江口区域经济的飞速发展, 所带来的环境污染问题也日趋严重。近几年的广东省海洋环境状况公报均表明珠江口水域污染问题严重, 污染要素主要为无机氮和活性磷酸盐。这些营养盐含量的超标无疑增加了海水富营养化的风险。另外, 有研究表明每年有大量的含重金属、有机污染物及抗生素的废水排入珠江口

水域。特别是对于具有持久性、生物累积性的有害物质，经由皮肤、摄食等途径进入中华白海豚体内可能会对中华白海豚造成长期的健康威胁。因此，建议对项目及周边的中华白海豚栖息地及周边环境状况进行监测。

项目及周边水域本底情况不容忽视，在施工中应严格控制排放标准，尽可能避免施工污染。各施工环节的泄漏和水上航运等都将对海床及海水造成局部扰动，使悬浮物浓度增高。悬浮物增加及由此造成的溶解氧轻微下降对中华白海豚的直接影 响较为有限，但悬浮物和底土释出的污染物会通过食物链传递和富集间接影响海豚，特别是新生幼豚的健康，悬浮物还可以通过降低浮游植物光合作用和降低鱼类幼体的成活率影响鱼类资源生产，间接影响中华白海豚。因此，海洋工程施工应采取减少悬浮物的措施，必须在隔泥幕内进行。

本项目所采用的施工船舶，作业时应遵照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》和《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》中对海上施工船舶的管理要求，禁止直接向海域水体排放含油污水、丢弃生活垃圾。

在施工期间，各类施工船舶产生的污水，需统一收集运至岸上处理，并委托有资质的单位接收处置。与此同时，加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

（4）船舶事故防范对策措施和应急方法

项目海域现有的水上运输已经比较繁忙，项目施工及与此有关的船只来往将增加一定的压力。一旦发生船舶事故，造成溢油或危险化学品泄漏，将给水域生态带来严重危害。应进一步加强水上交通管理，避免发生碰撞、沉船、溢油和物料泄漏等航行事故。为了防患于未然，所有施工船舶均需经过严格船检，达到作业现场的抗风浪能力，并保持良好工况。应特别注意防范台风和大雾等恶劣天气对航船的不利影响。实施安全航速是避免事故的重要措施，结合防止碰撞海豚的需要，所有施工船舶均应实施限速 10 节。应预早制定紧急漏油事故应变措施，以准备第一时间尽快清理油污及防止扩散。

（5）施工组织管理和专项保护措施

1) 开展教育与培训

所有现场工作人员均应接受有关中华白海豚保护知识的宣传和培训。宣传和培训由保护区管理部门组织，专家应针对建设工程的特点制定施工现场的海豚保护行为守则，并向现场作业人员进行讲解，以便现场作业人员了解和遵守。

2) 加强监督管理

为了落实施工期海豚保护及其它环境管理措施，建议参考港珠澳大桥施工的环境管理，聘请环境监理公司对各施工内容进行监理。与海豚保护有关的监察内容主要包括：避免施工噪音干扰的措施，挖掘的悬浮物控制，污染物入海及水上交通等。环境监理公司应有专门负责海豚保护的监察人员，及时告知施工人员需要采取的保护或预防措施；向业主和保护区管理部门及时报告损害海豚的意外情况。此外，工程业主在与各工程分包商签订的施工合同中应明确分包商所应承担的海豚和环境保护责任。

9.3.4.2 运营期保护措施

(1) 附近水域的船舶限速管理

项目营运期间，水上交通运输船只的来往将会较繁忙。为减缓对中华白海豚的不利影响，应加强对水上交通运输的管理。根据在香港沙洲和龙鼓洲海岸公园实施航船限速的经验，将航船的速度限制在 10 节以下，可以有效防止航船撞击海豚。为防止航船撞击海豚和水上交通事故，建议进入项目周边的所有船只限速在 10 节以内，并加强教育驾船者遵守有关限制，航行时留意海豚的出没并加以回避。同时，应为相关船只制订相对固定的航线，影响范围尽可能缩小。

(2) 继续开展中华白海豚的调查

鉴于保护中华白海豚的重要性，并且由于中华白海豚种群受到栖息地减少，以及珠江河口区过度捕捞和环境污染影响的叠加效应较难预测，建议借鉴香港水域长期进行中华白海豚监测的方法，从施工前期开始，对项目及其周边中华白海豚的分布、数量、行为习性和健康状况进行持续的调查评估，以便及时评价人为干扰对中华白海豚产生的效应，以及各项缓解措施的效果，并为中华白海豚的长期保护和管理提供技术依据。由于项目营运期的水域环境污染主要反映在水质的变化方面，水质的调查也是营运期环境调查的主要内容。

中华白海豚调查内容包括：在项目及其周边水域采用截线法和标记重捕获法进行中华白海豚资源调查，以掌握海豚分布和数量变化趋势；中华白海豚行为研究，以了解施工对海豚行为习性的影响；收集营运期间海豚搁浅死亡情况等。整个营运期应留意海豚的搁浅信息。倘若有足够的数据显示海豚的搁浅或死亡率有显著增加，应实时分析可能对海豚造成显著影响的施工活动，并立即采取适当的缓解措施以降低负面影响，确保工程不会对海豚种群带来太大的影响。

(3) 栖息地生态环境改善和利用

项目建设及运营将因破坏底栖生物、增加悬浮物和噪音干扰等影响鱼类资源生产而使海豚的食物保障进一步下降。海豚摄食鱼类同时也是渔业的主要捕捞对象，海豚与捕捞渔业构成重要的食物竞争关系。海洋工程施工及营运期间可通过降低捕捞强度等措施提升海豚的食物保障。对中华白海豚食物保障的影响可通过加强渔业管理得到有效缓解。在渔业管理部门控制捕捞强度的同时，海洋工程业主可以通过生态补偿机制，支持休渔禁渔、人工鱼礁建设、资源增殖等渔业管理措施，弥补对水域生态和捕捞渔业造成的不利影响，以改善中华白海豚栖息地生态环境。

9.4 建设项目环境保护设施和对策措施一览表

建设项目环境保护设施和对策措施一览表见表 9.4-1。

表 9.4-1 主要环保对策措施及相应设备、工具一览表

要素	阶段	污染源	污染因子	主要环保对策措施	处置效果
水环境	施工期	船舶舱底油污水	SS、石油类	各施工船舶均配置油污水收集装置，海上船舶舱底油污水铅封上岸交由有处置能力的单位进行接收处理，禁止随意排放	全部收集，严禁排海
		船舶生活污水	COD _{Cr} 、BOD ₅ 、SS、NH ₃ N	各施工船舶均配置生活污水收集装置，船舶生活污水收集上岸后交由有处置能力的单位进行接收处理，禁止随意排放	全部收集，严禁排海
		扫海清障、海缆铺设、桩基施工、辅助定位桩沉桩、辅助定位桩拆除等施工	SS	合理安排施工进度和施工强度，避开极端天气，严格控制施工作业范围。	降低悬浮泥沙影响
	运营期	运维船舶生活污水	COD _{Cr} 、BOD ₅ 、SS、NH ₃ N	运维船舶自带生活污水收集装置，生活污水在船舶上统一收集，待船舶靠岸后交由有能力处置单位进行接收处理。	全部收集，严禁排海
		运维船舶含油污水	SS、石油类	运维船舶自带油污水收集装置，统一收集在运维船上，待船舶靠岸后交由有能力处置单位进行接收处理。	
声环境	施工期	施工机械设备、船舶噪声	等效连续 A 声级 L _{acq}	优先选用低噪声施工机械设备、船舶，加强对施工机械、船舶的维修保养；	降低影响
		打桩噪声	等效连续 A 声级 L _{acq}	缩短沉桩时长，完善沉桩作业施工组织，提高作业效率，沉桩过程尽量不停锤，连续、快速作业。以“软启动”方法施工，驱赶桩基周围的鱼。	
	运营期	风机运转、海上升压站	等效连续 A 声级 L _{acq}	优先选择低噪声的设备；海上升压站设备安装加装隔振垫；风机机舱内表	降低影响

要素	阶段	污染源	污染因子	主要环保对策措施	处置效果
				面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理, 衰减振动; 减少撞击和摩擦, 使风机齿轮和轴承保持良好的润滑状态	
电磁环境	运营期	风电机组、海上升压站、66kV 集电海缆、500kV 海缆线路	工频电场强度, 工频磁场强度	加强电缆系统的管理, 建立严格的监测和监管机制, 定期对海底电缆设施进行维护和检查, 及时更换老化或受损的电缆	降低影响
大气环境	施工期	施工机械、船舶尾气	SO ₂ 、NO _x 、CO、THC、烟尘	加强对施工机械、船舶的维修保养; 采用低硫燃油	减少大气环境影响
	运营期	运维船舶尾气	SO ₂ 、NO _x 、CO、THC、烟尘	加强运维船舶的维修保养; 采用低硫燃油	
固体废物	施工期	施工人员海上生活	生活垃圾	各施工船舶均配备生活垃圾桶若干, 生活垃圾收集在垃圾桶内随船携带, 待船舶靠岸后交由有能力的单位接收处理	全部收集处置, 无外排
		扫海清障、风机及海上升压站安装	施工垃圾 (扫海清障物、废弃包装物等)	各扫海清障船自配垃圾桶若干, 扫海清障物、废弃包装物等施工垃圾分类收集在工作船配备的垃圾桶内, 待靠岸后交由有能力的单位接收处理	
		桩基施工	渣土	回用于陆域集控中心基础回填	
		定向钻施工	钻渣泥浆	回用于陆域集控中心基础回填	
	运营期	运维人员生活	生活垃圾	运维船舶配备生活垃圾桶若干, 生活垃圾收集在垃圾桶内随船携带, 待船舶靠岸后交由有能力的船舶污染物接收单位统一处理	全部收集处置, 无外排
		风机、海上升压站检修维护	废零部件、废包装袋 (箱) 等	运维船舶配备污染物收集装置, 风机、海上升压站检修维护产生的一般固体废物分类集中收集, 由运维船收集上岸, 外卖资源回收公司综合利用	
			废润滑油、废变压器油、废油桶、废铅蓄电池、废含油抹布及手套等	运维船舶配备危险废物收集设施, 风机、海上升压站检修维护产生的危险废物分类集中收集后直接由运维船舶带回岸上, 暂存至项目陆上集控中心危废间, 委托有危废处置资质单位定期清运处理	
生态环境		风电机组、海上升压站建设及海缆敷设产生悬浮泥沙。破坏底栖生物生境, 掩埋扰动底栖生物栖息地。风电机组、海上升压站永久占用海域		严格划定施工作业范围; 优化施工方案, 加强科学管理; 施工高峰期应尽量避开海洋鱼类产卵高峰期; 施工海域设置明显警示标志, 告知施工周期; 开展生态环境及渔业资源跟踪监测调查; 采取渔业资源及生态环境修复措施对项目造成的生物资源损失进行补偿。	减少生态环境影响

要素	阶段	污染源	污染因子	主要环保对策措施	处置效果
鸟类		施工噪声、灯光等干扰；风机运行碰撞		合理安排施工时间；照明设备均匀分布，确保施工区域光照均匀；减少照明设备的灯光闪烁和频闪。 风机上适当的位置安设闪烁灯光，加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测	降低对鸟类影响

10 环境影响经济损益分析

10.1 经济效益分析

本项目总装机容量为 504MW，拟采用单机容量为 14MW 的机型，安装风机 36 台，年上网电量为 1493.939GWh，年等效满负荷小时数为 2964h。

本项目工程静态投资 533625 万元，单位千瓦静态投资 10588 元/kW；工程动态投资 544441 万元，单位千瓦动态投资 10802 元/kW。

平均运营小时数 2964h，上网电价 0.433 元/kWh 进行财务评价得出：本项目按上网电价 0.433 元/kWh，年等效小时数 2964h 进行财务评价得出：内部收益率为 7.18%（税前），项目投资财务内部收益率为 6.22%（税后），资本金财务内部收益率为 10.83%，总投资收益率为 4.2%，项目资本金净利润率为 12.73%。

10.2 环境保护投资估算

本项目环保投资约 735.5 万元，约占工程总投资 533625 万元的 0.14%。

表 11.2-1 环保投资估算一览表

项 目	具体措施	环保投资（万元）
施工期	废水	废水清运处置费
	废气	施工机械维修保养
	噪声	消声器、隔音材料
		噪声监测
	固废	垃圾桶
		固废清运处置费用
	生态	生态环境监测
运营期	鸟类保护	鸟类监测
	废水	废水清运处置费
	噪声	阻尼材料
		噪声监测
	固废	垃圾桶
		含油废物箱
		固废清运处置费用
	生态	生态环境监测
	鸟类保护	闪烁灯
		鸟类监测
	电磁	电磁辐射监测
环境管理费		41.4
不可预见费用		40
合计		735.5

10.3 环境保护的经济损益分析

10.3.1 环境直接、间接经济损失估算

(1) 工程对环境的影响

本项目建成后仅对升压站、风机基础局部水域的潮流场产生影响，其他海域的潮流场基本不受影响。本项目建设后工程区海域淤积强度的变化并不明显，但存在局部淤积现象。风机基础和海缆铺设等施工时将产生悬浮物扩散，此影响随施工结束而逐渐消失。施工人员生活污水和施工船舶污废水在正常情况下不会对海域环境造成影响。

海上施工时泥沙入海将导致浮游生物数量减少，海缆铺设作业将使施工作业区所在海域底栖生物的栖息环境遭到破坏，施工结束后，随着新的底栖生物的进入而产生新的栖息环境。

项目施工期对鸟类产生影响因素为占用海域对鸟类栖息及觅食影响、施工机械噪声及振动影响、施工干扰影响。风电场址不在传统的海洋栖息地中鸟类的觅食区域，滩涂湿地范围内海缆施工会影响鸟类栖息、觅食，但影响随着施工结束而消失。项目运营期，风机轮毂高度约为155m，风轮直径为252m，总高度为407m，鸥类飞行高度约为20m，反嘴鹬一般不高飞，在海面活动，风机对鸟类飞行影响较小，项目场址区域范围有限，迁徙鸟类有足够的主动规避空间，建成后对鸟类迁徙影响较小，风机运转及升压站产生的噪声、电磁辐射较小，对鸟类的影响可接受。

(2) 生物资源损失

本工程项目实施所造成的海洋生态环境资源损失主要包括桩基基础施工占海和海缆沟开挖时悬浮泥沙扩散对浮游生物（鱼卵、仔稚鱼、浮游植物和浮游动物等）和游泳生物资源造成影响带来的损失，以及风机基础施工和海底电缆敷设对底栖生物生境造成破坏带来的损失。本项目桩基施工造成海域底栖生物资源累计损失量按20年计，施工悬浮物扩散导致的海洋生物资源累计损失量按3年计，工程占用海域和悬浮泥沙扩散共造成浮游植物损失量 2.44×10^{14} ind，浮游动物损失量6536.14kg，底栖生物损失量16741.25kg，鱼卵损失量 8.06×10^7 ind，仔稚鱼损失量 5.05×10^7 ind，游泳动物损失量818.61kg。

10.3.2 环境直接、间接经济收益估算

10.3.2.1 节能减排收益

风电场的生产过程是将当地的风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在整个流程中，不需要消耗其他常规能源，不产生大气、液体、固体废弃物等方面的污染物，也不会产生大的噪声污染。风电的节能效益主要体现在风电场运行时不需要消耗其他常规能源，环境效益主要体现在不排放任何有害气体和不消耗水资源。

本工程总装机容量为 504MW，设计年上网电量为 1493.939GWh。根据《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》（环发〔2015〕164 号），与同等规模的火力发电相比，按火电每度电耗标准煤 300g/kWh，则每年可为国家节约标煤约 44.82 万 t/a，工业锅炉每燃烧一吨标准煤，就产生烟尘 9.6kg，二氧化碳 2620kg，二氧化硫 8.5kg，氮氧化物 7.4kg，每年可减少烟尘排放量约 4302.72t，CO₂ 排放量约 1 17.43×10⁴t，SO₂ 排放量 3809.7t，NO_x 排放量约 3316.68t 等有害物质排放量，节能减排效益显著。

可见，建设本项目可以减少化石资源的消耗，有利于缓解环境保护压力，实现经济与环境的协调发展，项目节能和环保效益显著。

10.3.2.2 社会效益

珠海高栏一海上风电项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，利用近海风能资源具有显著的社会效益。本项目的建设增加了可再生能源在广东电网中的份额，对缓解电力供需矛盾和改善电源结构有重要的意义。本工程对后续类似工程的开发具有指导意义，同时，建设本项目对贯彻落实国家的可持续发展战略和大力开发风力资源、提高风机本地化率的政策，对我国风电事业有积极地推动作用。

10.4 环境保护的经济技术合理性

风力发电是一种清洁的可再生能源，没有大气、水污染问题和固体废物的堆放问题。风力发电厂运营期主要能源消耗为集电线路、电气设备的损耗和生产、生活用电的消耗，施工期主要能源消耗为施工设备用电、用油、用水的消耗，与其他发电工程项目相比，风力发电项目能源的消耗要小得多。

本项目污染物排放主要是在工程施工阶段。施工期，严格按照施工管理要求规范作业。施工期间产生的污水全部收集后统一处理，不直接向海域内排放；通过选用低噪声、低污染的施工机械设备，减小对周边声环境和大气环境的影响；固体废弃物统一收集处理。通过选择合适的施工时间、选用先进的施工工艺等措施减小施

工对周边海洋环境的影响在技术上是可行的，在经济方面没有较大投入。

综上所述，本工程具有较好的社会、国民经济效益，但项目建成后会造区域海洋生态环境有一定影响，但随着施工的结束影响逐渐消失，环境损益有利有弊。本项目建设为当地的经济发展提供重要的用电支撑，社会、经济、环境效益综合而言，利大于弊。项目的国民经济效益和社会效益均较好，综合分析项目的建设经济损益，项目建设带来的环境资源的损失及负面影响有限，并在可接受范围内。项目建设带来的社会效应和经济效益是比较明显的。因此，该项目是可行的。

11 环境管理与监测计划

建设单位应针对自身生产特点制定严格的环境管理与环境监测计划，并以扎实的工作保证企业各项环保措施以及环境管理与环境监测计划在项目施工期和运营期得以认真落实，才能有效地控制和减轻污染，保护环境；只有通过规范和约束企业自身的环境行为，才能使企业真正实现社会、经济和环境效益的协调统一，走可持续发展的道路。

11.1 环境管理

(1) 建设单位环境管理机构设置

建设单位应建立环保安全管理部门，分管公司的安全环保手续、建设项目“三同时”实施的监督检查、与环保部门的协调工作。

环境管理计划的制定要贯穿项目各个阶段，要具有针对性和可操作性。本项目针对不同阶段、不同污染物的环境管理工作计划见表 11.1-1

表 11.1-1 各阶段环境管理工作计划表

阶段	环境管理工作计划的具体内容
企业环境管理总要求	根据国家建设项目环境保护管理规定，认真落实各项环保手续。 (1) 委托评价单位进行环境影响评价工作； (2) 履行“三同时”手续； (3) 进行环保设施竣工验收。
施工阶段	(1) 落实环评报告提出的环保措施，监理单位应做好施工现场的巡视检查、发现存在的环境问题并及时提出，对环保措施的落实情况进行监督。施工期落实的主要污染防治措施包括：施工过程中是否采取降低悬浮物的浓度和控制悬浮物扩散的措施；施工过程中使用的各类机械设备是否依据有关法规控制噪声污染；各类废水和垃圾是否进行妥善处置；施工期监测制度是否落实等。 (2) 制订和实施环境监测计划，确定监测频率和监测站位。 (3) 监理单位编制环境监理报告，报送建设单位、施工单位和环保部门，反映施工期环境保护措施的落实情况，作为工程竣工环境保护验收的重要材料。
竣工验收阶段	建设单位应提出环境监测方案，编制竣工验收监测报告，进行自主验收，验收合格后，项目投入方可进入正常运营。
运营阶段	(1) 严格执行各项生产及环境管理制度，保证项目正常运营； (2) 制订和实施环境监测计划； (3) 成立环境风险应急指挥小组，做好环境风险事故应急防范工作，制定项目应急预案，配备适当数量的应急设备，将项目的突发事件应急防范工作与地方应急防范工作相衔接； (4) 定期开展宣传、教育和培训，积极配合环保部门的检查、验收。

(2) 施工单位环境管理机构设置

施工单位应设立内部环境保护管理机构，主要由施工单位主要负责人及专业技术人员组成，专人负责环境保护工作，实行定岗定员、岗位责任制，负责各个施工

工序的环境管理工作，保证施工期环保设施的正常运行，各项环境保护措施的落实。

施工单位环境管理内容主要为：

1) 负责监督、落实有关环境保护管理规章制度，实施环境保护控制措施、管理污染治理设施，并进行详细的记录，以备检查。

2) 及时向环境保护主管机构或向单位负责人汇报与本项目施工有关的污染因素、存在问题、采取的污染控制对策、实施情况等，提出改进建议。

3) 按本报告提出的各项环境保护措施，编制详细施工期环境保护措施落实计划，明确各施工工序的施工场地位置、环境影响、环境保护措施、落实责任机构（人）等，并将该环境计划以书面形式发放给相关人员，以便于各项措施的有效落实。

11.2 环境监测

本项目风电场区建设规模大，涉及区域面积广，根据《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》，在施工及运营期内制定具体的环境监测计划，监测单位应提交有效的计量检测认证的成果。

11.2.1 海水水质

(1) 监测站位：监测范围内均匀布设 12 个监测站位。

(2) 监测项目：pH、SS、石油类、化学需氧量、溶解氧。

(3) 监测频次

施工期：选择春季、秋季的施工高峰期各开展一次调查。选择在大潮期涨、落潮，对每个站位表、中、底各采样一次，监测频率保持在至少一年二次。

运营期：施工结束后监测一次。

(4) 监测采样和分析方法：按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海水水质标准》（GB3097-1997）的有关规定方法进行。

11.2.2 海洋生态

(1) 监测站位：监测范围内均匀布设 8 个生物生态、生物体质量、渔业资源站位，2 个潮间带站位。分别布设于风电场区及周边、海缆路线以及登陆点附近。

(2) 监测项目：叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、生物体质量、潮间带生物、渔业资源等。

(3) 监测频次

施工期：选择春季、秋季的施工高峰期各开展一次调查。选择在大潮期涨、落

潮，对每个站位表、中、底各采样一次，监测频率保持在至少一年二次。

运营期：施工结束后监测一次。

(4) 监测采样和分析方法：按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）规定的有关方法进行。

11.2.3 沉积物

(1) 监测站位：监测范围内均匀布设 6 个监测站位，其中送出海缆路由沿线 3 个、风电场 3 个。

(2) 监测项目：粒度、有机碳、石油类。

(3) 监测频次

施工期：每年春季或秋季的施工高峰期监测 1 次，监测频率保持在一年 1 次。

运营期：施工结束后监测一次。

(4) 监测采样和分析方法：按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）的有关规定方法进行。

表 11.2-2 监测站位坐标表（水质、沉积物、海洋生态）

编号	东经	北纬	调查项目
1	113°09'51.59"	21°56'16.62"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源
2	113°12'11.25"	21°51'01.25"	水质
3	113°14'53.63"	21°32'26.89"	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
4	113°11'39.79"	21°25'57.37"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源
5	113°08'14.29"	21°26'22.84"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源
6	113°06'27.21"	21°29'10.09"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源
7	113°04'11.70"	21°43'55.47"	水质
8	113°04'14.17"	21°48'35.54"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源
9	113°04'19.11"	21°52'08.93"	水质、沉积物、生物生态、生物质量、渔业资源
10	113°06'22.71"	21°58'22.72"	水质、生物生态、生物质量、渔业资源
11	113°08'58.44"	22°00'12.74"	潮间带生物
12	113°10'06.78"	21°58'22.62"	潮间带生物

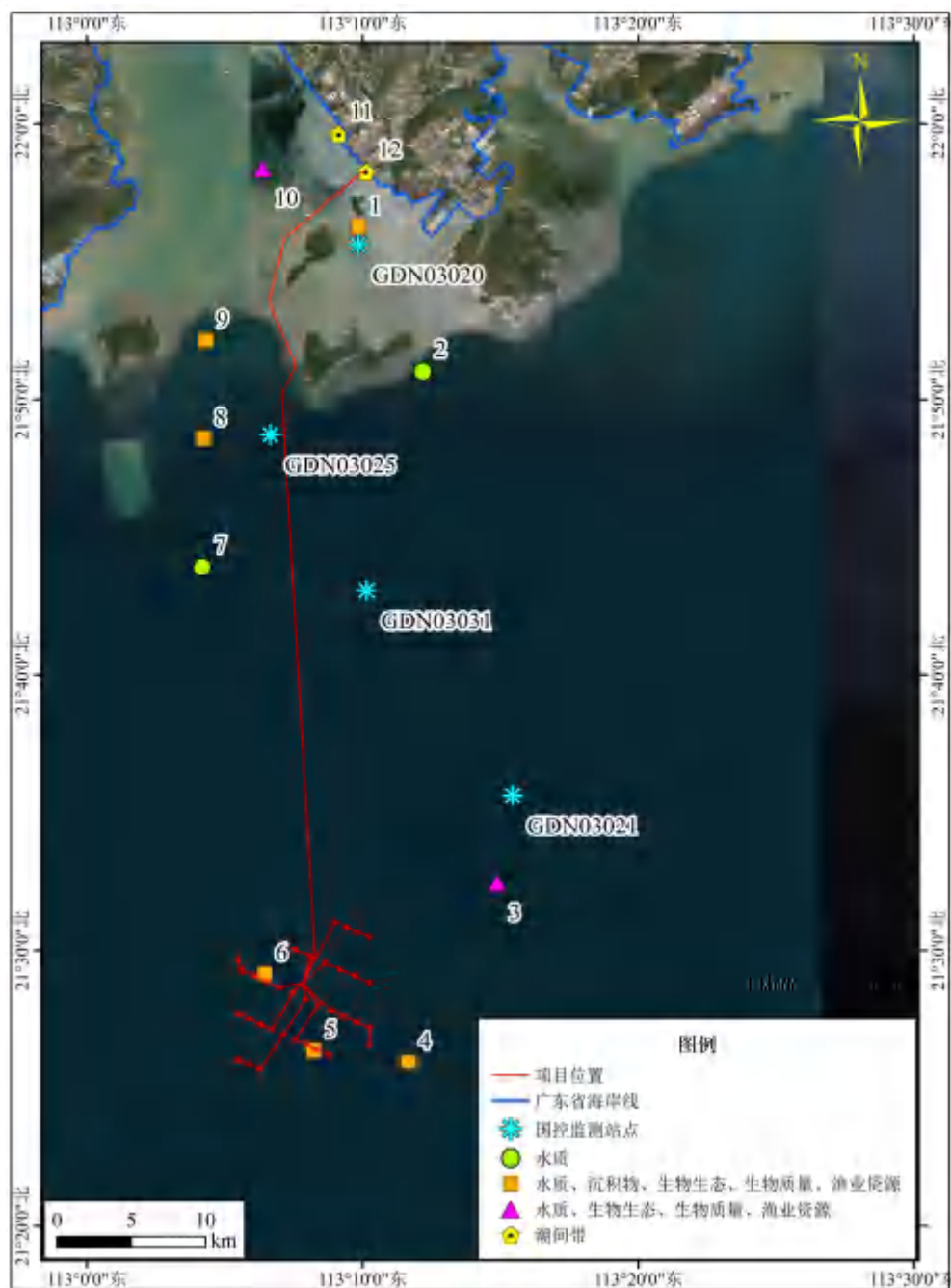


图 11.2-1 监测站位图（水质、沉积物、生物生态）

11.2.4 噪声

（1）施工期水下噪声监测

在风机、海上升压站基础施工期间（特别是在施工期的第 1 个月），至少对风机机组基础、海上升压站基础分别进行一次完整的锤击打桩水下噪声跟踪测量。最近测点在距离桩基基础结构不得少于 3 倍水深、且在总水深（H） $0.7H \sim 0.85H$ 处进行峰值声压的测量，同时在 100m~500m 距离上、在海上风机工程区水层深度的中间处测定 2 个以上测点的施工期海洋噪声级测量。

监测内容包括：打桩施工所产生的最大声压级 L_{peak} (dB re $1\mu Pa$)、噪声频带有效声压级 (dB re $1\mu Pa$)；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性。

(2) 运营期水下噪声监测

海上风电场运营期应在不同风速风机的三个输出级别：低、中和额定风速输出时进行水下噪声测量。在距离风电场单个涡轮机约 100m 处监测水下辐射噪声。

同时应在距离风电场外部界限 3~4km 处进行水下背景噪声和风电噪声综合测量。

监测内容包括：噪声频带有效声压级 (dB re $1\mu Pa$)、噪声频带有效声压级 (dB re $1\mu Pa$)、噪声声压谱（密度）级、分析水下噪声时-频特性，可考虑同时测量风机营运在空气中的辐射噪声。

11.2.5 电磁辐射

(1) 500kV 海底电缆

根据同类型项目噪声专题报告，建议技术水平达到相关要求时，开展海缆工频电磁场测量，测量时以海底电缆的边缘线为测试原点，沿垂直于线路方向为测量路径，按测点间距 10m 顺序布点，确认某测点工频电场测值已为环境背景值时，可不再向远处测点继续测量。可按每年 1 次的频率开展监测，连续监测 3 年。

(2) 500kV 海上升压站

在海上升压站四周边界外 5m 处布设 4 个监测点位，测量距二层平台面（主变所在平台）1.5m 高处的工频电场强度和工频磁感应强度。可按每年 1 次的频率开展监测，连续监测 3 年。

11.2.6 鸟类

(1) 监测范围

监测范围以工程区域及周边 8km 海域为主。监测样点及样线详见图 13.2-2。

(2) 监测内容

鸟类群落特征，包括工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等。

(3) 监测频率

施工期：监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类监测，监测 1 年。

运营期：监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类监测，连续监测 3 年。

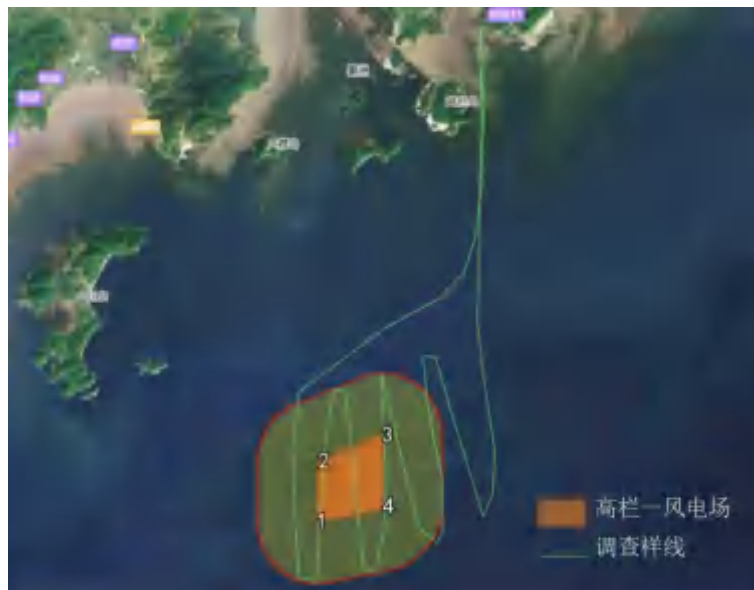


图 11.2-2 鸟类监测样点、样线图

11.3 总量控制

结合本项目特点和工程分析，新项目运维船舶、机械产生的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物为无组织排放，无需申请大气总量控制指标。

项目运维船舶生活污水利用船载生活污水收集装置收集，船舶油污水集中收集后密封储存，运维船舶靠岸后送至岸上并分别排入接收设施，交由有处置能力的船舶污染物接收单位接收处理，不直接外排，无需申请水污染物总量控制指标。

因此，本项目无需申请排放总量。

11.4 环境影响评价制度与排污许可制度的衔接

环境影响评价制度是建设项目的环境准入门槛，排污许可制是企事业单位生产运营期排污的法律依据，必须做好充分衔接，实现从污染预防到污染治理和排放控制的全过程监管。根据《“十四五”环境影响评价与排污许可工作实施方案》（环环评〔2022〕26号）、《关于印发<排污许可证管理暂行规定>的通知》（环水体〔2016〕186号，2016年12月23日）、《国务院办公厅关于印发控制污染物排放许可制实施方案的通知》（国办发〔2016〕81号）及环保部《关于做好环境影响评价制度与排污许可制衔接相关工作的通知》（环办环评〔2017〕84号）中的相关要求，按行业分步实现对固定污染源的排污许可全覆盖。项目应在获得环评审批文件后，按照国家环境保护相关法律法规以及排污许可证申请与核发技术规范要求提出排污

许可申请。

本项目不在《固定污染源排污许可分类管理名录（2019 年版）》（生态环境部令第 11 号）规定的类别范围内，无需申请排污许可证。若国家颁布新的排污许可管理文件，按照新文件执行。

11.5 “三同时”验收一览表

项目“三同时”验收一览表见表 11.5-1。

表 11.5-1 “三同时”验收一览表

项目	污染源	验收内容（主要环保设施/措施）	验收标准
水污染物	施工悬浮泥沙	合理安排施工进度和施工强度，避开极端天气，严格控制施工作业范围。	悬浮泥沙影响降至最低
	施工船舶生活污水	各施工船舶均配置生活污水收集装置，船舶生活污水收集上岸后交由有处置能力的单位进行接收处理，禁止随意排放	满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）、《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发〔2007〕165号）相关要求，船舶生活污水、舱底含油污水全部有效处理，不直接排海。
	施工船舶舱底油污水	各施工船舶均配置油污水收集装置，海上船舶舱底油污水铅封上岸交由有处置能力的单位进行接收处理，禁止随意排放	
	运维人员生活污水	运维船舶自带生活污水收集装置，生活污水在船舶上统一收集，待船舶靠岸后交由有能力处置单位进行接收处理。	
	运维船舶含油污水	运维船舶自带油污水收集装置，统一收集在运维船上，待船舶靠岸后交由有能力处置单位进行接收处理。	
噪声	船舶航行、海缆敷设、桩基施工噪声	优先选用低噪声施工机械设备、船舶，加强对施工机械、船舶的维修保养；缩短沉桩时长，完善沉桩作业施工组织，提高作业效率，沉桩过程尽量不停锤，连续、快速作业。以“软启动”方法施工，驱赶桩基周围的鱼。	声环境影响降至最低
	风机运转、海上升压站	优先选择低噪声的设备；海上升压站设备安装加装隔振垫；风机机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动；减少撞击和摩擦，使风机齿轮和轴承保持良好的润滑状态。	
电磁环境	风电机组、海上升压站、66kV 集电海缆、500kV 海缆线路	加强电缆系统的管理，建立严格的监测和监管机制，定期对海底电缆设施进行维护和检查，及时更换老化或受损的电缆	降低电磁环境影响，项目区工频电场强度、工频电磁强度满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）要求。
大气污染物	施工船舶、施工机械设备、运维船舶废气	加强对施工机械、施工船舶、运维船舶的维修保养，采用低硫燃油。	大气环境影响降至最低，满足《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）、《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168号）相关要求
固体废物	施工人员海上生活	各施工船舶均配备生活垃圾桶若干，生活垃圾收集在垃圾桶内随船携带，待船舶靠岸后交由有能力的单位接收处理	全部安全处置，不直接排海，满足《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年修订）中相关要求。
	扫海清障、风机及海	各扫海清障船自配垃圾桶若干，扫海清障物、废弃包装物等施工垃圾	

项目	污染源	验收内容（主要环保设施/措施）	验收标准
	上升压站安装	分类收集在工作船配备的垃圾桶内，待靠岸后交由有能力的单位接收处理	
	桩基施工	回用于陆域集控中心基础回填	
	定向钻施工	回用于陆域集控中心基础回填	
	运维人员生活	运维船舶配备生活垃圾桶若干，生活垃圾收集在垃圾桶内随船携带，待船舶靠岸后交由有能力的船舶污染物接收单位统一处理	全部安全处置，不直接排海，满足《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年修订）《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）中相关要求。
	风机、海上升压站检修维护	运维船舶配备污染物收集装置、危险废物收集设施，风机、海上升压站检修维护产生的一般固体废物分类集中收集，由运维船收集上岸，外卖资源回收公司综合利用；危险废物分类集中收集后直接由运维船舶带回岸上，暂存至项目陆上集控中心危废间，委托有危废处置资质单位定期清运处理	全部安全处置，不直接排海，符合《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）、《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发〔2007〕165号）相关要求。
生态环境	风电机组、海上升压站建设及海缆敷设产生悬浮泥沙。破坏底栖生物生境，掩埋扰动底栖生物栖息地。风电机组、海上升压站永久占用海域	严格划定施工作业范围；优化施工方案，加强科学管理；施工高峰期应尽量避免海洋鱼类产卵高峰期；施工海域设置明显警示标志，告知施工周期；开展生态环境及渔业资源跟踪监测调查；采取渔业资源及生态环境修复措施对项目造成的生物资源损失进行补偿。	严格执行环保措施，落实生态修复补偿方案。
鸟类	施工噪声、灯光等干扰；风机运行碰撞	合理安排施工时间；照明设备均匀分布，确保施工区域光照均匀；减少照明设备的灯光闪烁和频闪。 风机上适当的位置安设闪烁灯光，加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测	对鸟类影响降至最低
环境风险管控措施	制订切实有效的安全管理措施和应急预案；对有关人员进行水上作业的相关安全培训和教育；加强航道区的船舶秩序的管理；施工船进行打桩作业时显示规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）；拟定水上交通安全维护方案；海上升压站设置事故油罐等。		/

项目	污染源	验收内容（主要环保设施/措施）	验收标准
其他环境 管理要求	通航安全	做好与相关业主的协调工作，保证船舶航行和风机的安全运行；平台和风机设置导航警示装置。	/
	环境管理	施工期采用巡视方式进行环境监理；	/
	环境监测	实施制定的环境监测计划，监测内容包括水质、海洋生物生态、沉积物、噪声、电磁辐射、鸟类等	/

12 产业政策、规划符合性及选址合理性分析

12.1 产业政策符合性分析

本项目为海上风电建设项目，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于第一类“鼓励类”中“五、新能源”的“1.风力发电技术与应用：海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，因此，本项目建设符合国家产业政策要求。

根据《市场准入负面清单(2025 年版)》，本项目不属于禁止准入的负面清单项目，符合市场准入要求。

根据《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录（2024 年本）》，项目属于“一、鼓励类”第八项“其他”中的“4.海洋可再生能源、海水淡化与综合利用、海洋药物和生物制品、海洋工程装备制造、深远海养殖、海洋牧场项目”。因此，本项目建设符合自然资源要素支撑产业高质量发展要求。

12.2 与国土空间规划符合性分析

12.2.1 与《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

（1）与海洋空间管控要求符合性分析

《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》提出“强化底线约束和空间管控：按照耕地和永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界的优先序统筹划定落实三条控制线，把三条控制线作为调整经济结构、规划产业发展、推进城镇化不可逾越的红线。”“打造开放活力的海洋空间：优近用远完善用海布局。统筹各类用海布局，优先保障国防安全、航运交通、能源矿产等资源开发利用的用海需求和安全，严格执行建设项目用海控制标准。推动海上风电项目、海洋养殖向深水区布局，促进海上风电与海洋油气开发、深水养殖综合开发利用，海上风电项目应满足离岸距离 30 公里以上或水深 30 米以上的开发条件限制。统筹海底油气管道、电缆等线性设施敷设的海底廊道，重点加强海上风电电缆集中布局规划和管理，统筹设置集中登陆点。划定管廊保护范围，加强海底管廊保护，在确保安全的前提下推进管廊复合利用、管线集中铺设。”

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，为广东省规划的珠海高栏风电场址，不占用海洋生态保护红线（见图 12.2-1）。项目风电场区与海岸线最近距离为 4.3km，水深介于 32m~37.5m 之间，属于深水海上风电开发项目，符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》中对海上风电项目的开发条件。项目建设对于减少石化

资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平有着重要的意义。综上，本项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035年）》中优近用远完善用海布局的要求。

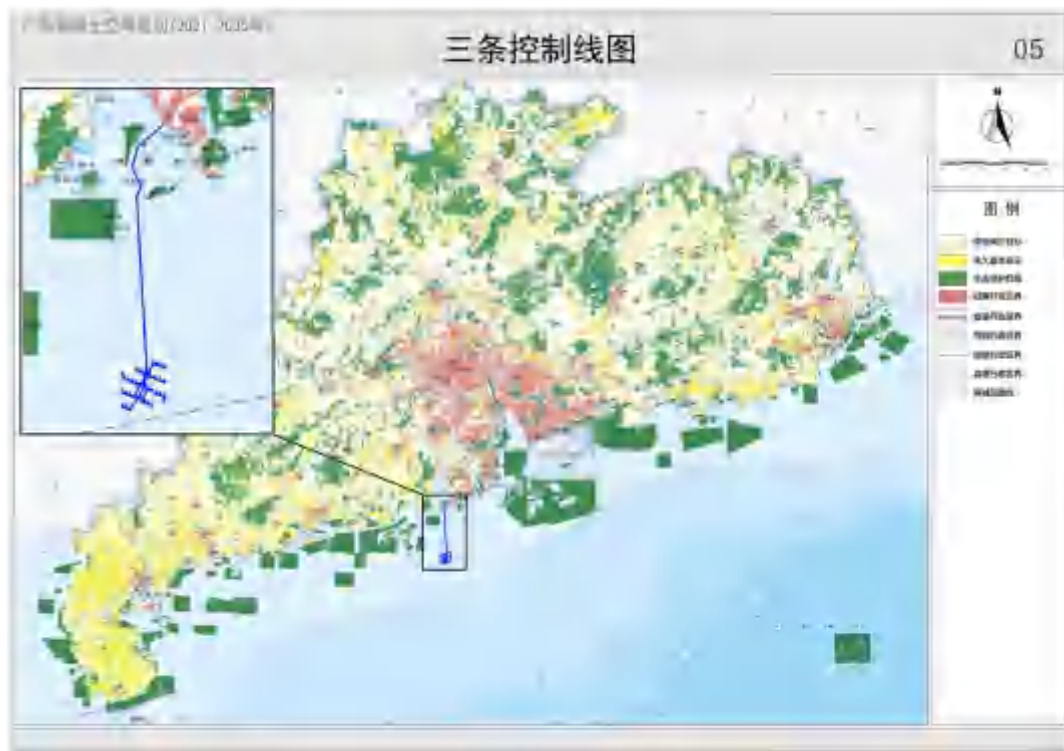


图 12.2-1a 项目与广东省三条控制线相对位置示意图

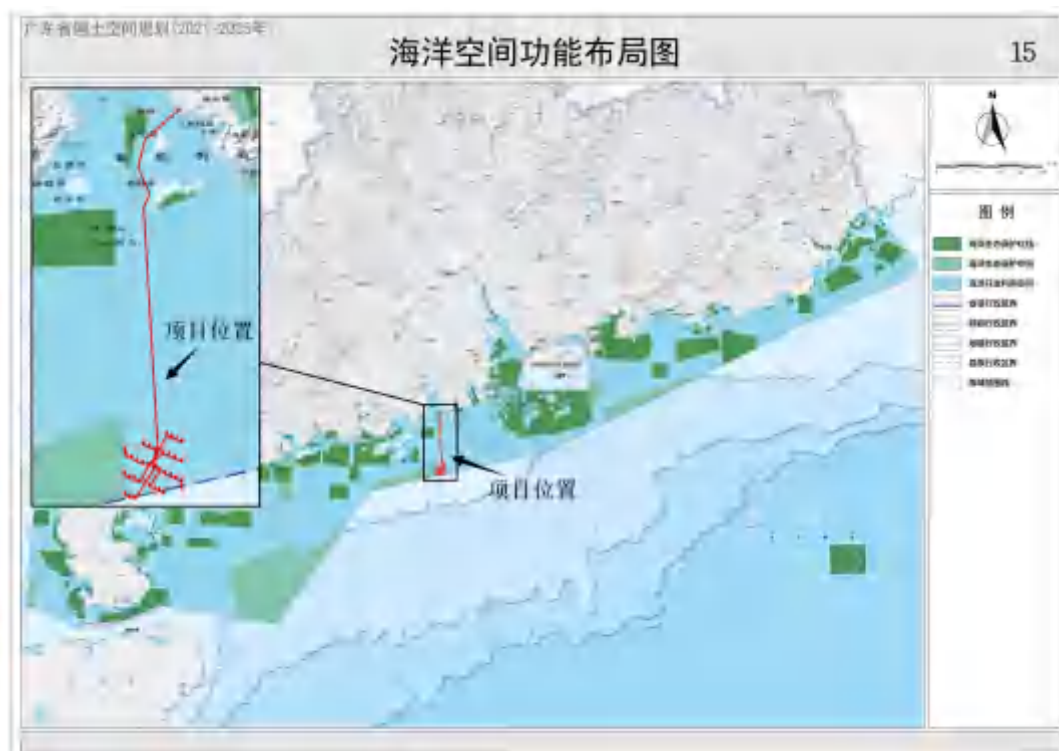


图 12.2-1b 项目与广东省海洋空间功能布局相对位置关系示意图

(2) 与海域分区管理符合性分析

根据《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于工矿通信用海区，500kV 送出海缆穿越渔业用海区和交通运输用海区（见图 12.2-2）。

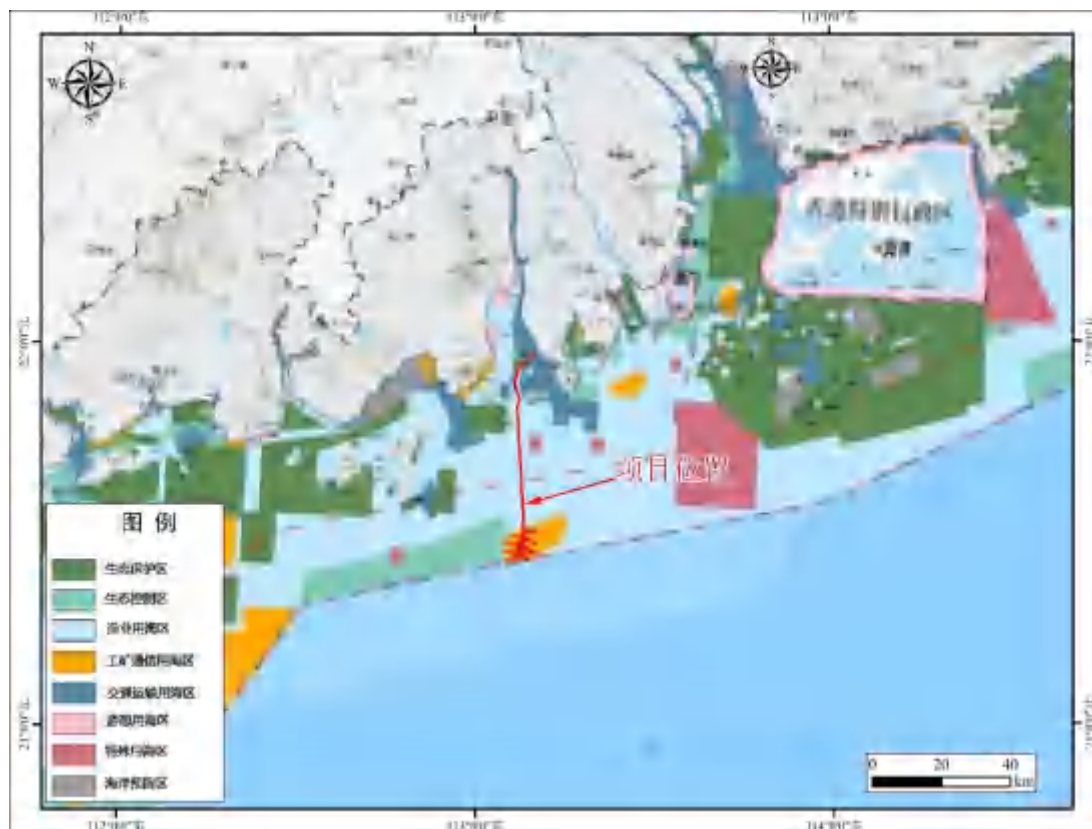


图 12.2-2 项目与广东省海洋功能分区布局相对位置关系示意图

根据《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》，**工矿通信用海重点布局引导要求：**合理安排国家重大项目、重大战略和海洋矿产能源开发利用等工矿用海布局，主要包括：国家重大建设项目，广东自贸区、广东海洋经济综合试验区及粤港澳大湾区等国家重大战略规划用海，洋东、勒门、海门、靖海、神泉、后湖、甲子、桂山、港口、南鹏岛、沙扒、外罗、新寮、徐闻等近海浅水区海上风电建设及深水区的海上风电建设用海，海上石油、天然气、天然气水合物等油气资源勘探开发用海，波浪能、潮流能、海上光伏等海洋可再生能源开发用海等。**渔业用海区重点布局引导要求：**合理安排珠江口渔场、汕头渔场、抱虎渔场、万山底渔场、放鸡-海陵渔场、湛江硇洲渔场等 18 个传统渔场及稔平半岛、镇海湾等 9 个近岸海水增养殖基地等渔业用海布局，拓展深远海养殖空间，满足渔港及渔业设施建设用海需求。**交通运输用海重点布局引导要求：**合理安排广州港南沙、新沙、黄埔港区，深圳港盐田、南山、大铲湾港区，珠海港高栏、万山港区，汕头港广澳、海门港区，湛江港霞山、

宝满、东海岛、徐闻、雷州港区，东莞港沙田港区，惠州港荃湾港区，江门港广海湾港区，茂名港博贺新港区、吉达港区，阳江港海陵湾港区，汕尾港小漠港区、汕尾新港区，潮州港金狮湾港区，揭阳港惠来沿海港区等重要港区交通运输用海布局，落实沿海重要港区港口、航道、锚地和疏港铁路、滨海公路项目及重要跨江跨海通道建设用海需求，合理安排国家重大项目实施围填海。

本项目进行海上风电场建设，是对海洋可再生能源的开发利用，属于深水区的海上风电建设用海项目，用海类型为“工矿通信用海”，项目风电场区、海上升压站及 500kV 送出海缆位于工矿通信用海区，与该功能区的功能定位一致，符合工矿通信用海重点布局引导要求。项目 500kV 送出海缆穿越渔业用海区、交通运输用海区，项目海缆敷设方式为直埋方式，埋于海床之下，不占用海底和水体空间，项目 500kV 送出海缆不会对传统渔场和近岸海水增养殖基地等渔业用海布局和养殖空间造成影响，也不会对渔业基础设施建设的用海需求造成影响，项目建设不影响渔业用海区基本功能的发挥；同时不会对交通运输用海布局和用海需求造成影响，不影响交通运输用海区基本功能的发挥。因此，项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》海域分区管理要求。

12.2.2 与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

（1）与规划总体格局符合性分析

《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》提出：“优近拓远、湾区发展。统筹海岸线、近海、深远海开发利用，适度控制海岸线、近海海域开发强度，重点保障重大平台和民生项目用海需求，大力推进深远海海域开发利用，合理布局海洋牧场、海上风电等产业，推动节约集约用海，引导海洋产业集聚发展。以“六湾区一半岛”为基本单元，科学确定湾区的功能定位、资源利用、生态保护、产业发展和人居环境建设要求，推进跨行政区海岸带资源整合，推动海岸带差异发展，构建各具特色、功能互补、优势集聚、人海和谐的海岸带开发保护新格局。”

本项目进行海上风电场建设，位于广东省珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，为广东省规划的珠海高栏风电场址项目，项目风电场址与海岸线最近距离为 43km，水深介于 32m~37.5m 之间，为深水远岸海上风电项目。项目建设是对广东省海上风电规划的落地实施，符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》提出的

“大力推进深远海海域开发利用，合理布局海洋牧场、海上风电等产业”海岸带开发保护总体格局要求。

（2）与规划海洋产业布局符合性分析

《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》提出：“**拓展深水区岸用海用岛空间，推动海上风电、海水养殖向深远海布局。**科学规划 10 米以深至领海线的养殖空间，支持在 15 米以深海域发展深水养殖，以现代渔业装备为主要特色，打造生态化、高效化养殖的装备型海洋牧场，支持海洋产业园（海洋牧场类）建设；依托可开发利用海岛，重点保障海洋牧场基础设施建设。**新增海上风电项目在离岸 30 千米以外或水深大于 30 米的海域布局，推动海上风电项目规模化开发。**积极推进海上风电、海水养殖在粤东、粤西、北部湾等区域布局，探索在专属经济区和大陆架开展海上风电、海水养殖等活动。推进海上风电项目开发与海洋牧场、海水制氢、观光旅游、海洋综合试验场等相结合，探索海洋资源立体化多元融合开发利用模式。”

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，属于为广东省规划的珠海高栏风电场址，项目风电场址与海岸线最近距离为 43km，水深介于 32m~37.5m 之间，满足《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》对新增风电项目场址选址要求。

（3）与所在海洋功能区符合性分析

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，项目所在海域位于环珠江口湾区，项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于高栏海上风电工矿通信用海区（代码 630-029），500kV 送出海缆自南向北依次穿越江门-珠海南部渔业用海区（代码 610-050）、黄茅海渔业用海区（代码 610-058）、高栏港交通运输用海区（代码 610-041）。

项目与环珠江口湾区相对位置见图 12.2-3，项目与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》海洋功能区叠置图见图 12.2-4。

项目所在海洋功能区登记表见表 12.2-1，项目与所在海洋功能区管控要求符合性分析见表 12.2-2。

广东省海岸带分区发展及管控规划图-环珠江口湾区



图 12.2-3 项目在环珠江口湾区规划中的位置图

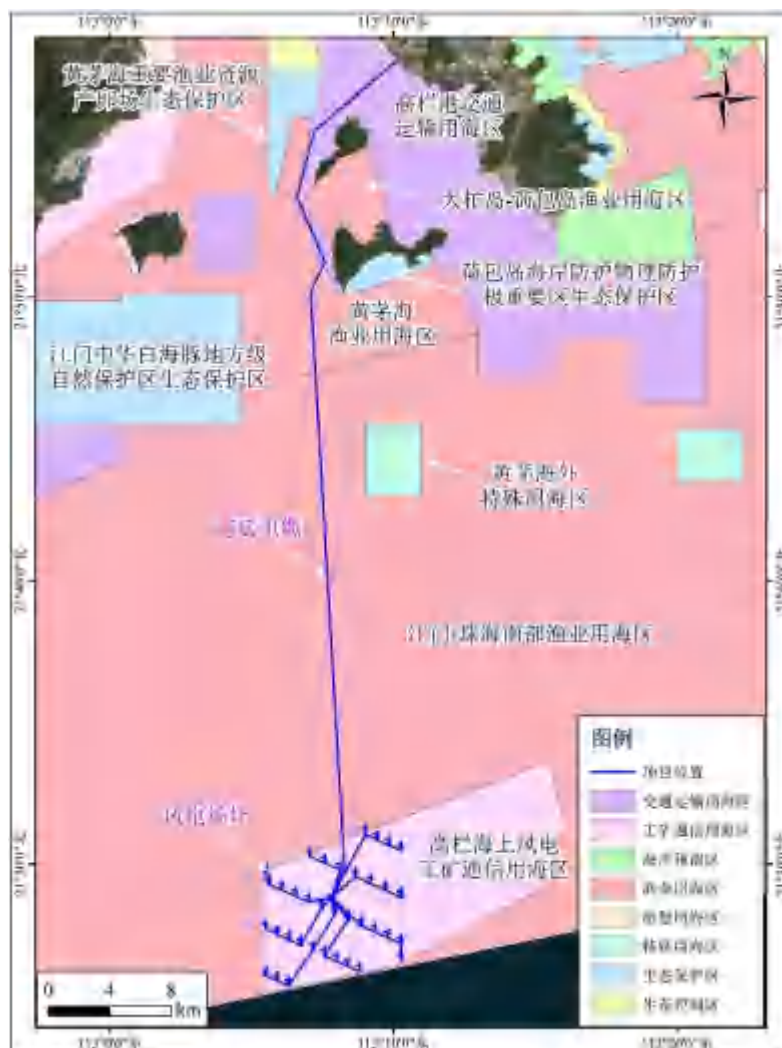


图 12.2-4 项目与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》海洋功能区叠置图

图 12.2-1a 项目所在海岸带及海洋功能区登记表（摘自《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》）

序号：[371]

名称		高栏海上风电工矿通信用海区		代码		630-029		
分区类型		工矿通信用海区		位置		经度: 113° 10' 38.454° E 纬度: 21° 29' 26.762° N		
地理范围		高栏岛南侧 35 千米海域						
空间资源现状	岸线长度 (千米)	0						
	潮间带面积 (公顷)	0						
	海域面积 (公顷)	15513.4062						
	海岛数量 (个)	有居民海岛	0		无居民海岛	0		
开发利用现状		海域总体未开发。						
岸线类型	严格保护岸段	位置 (岸段序号)	—		长度 (千米)	0		
	限制开发岸段		—			0		
	优化利用岸段		—			0		
有居民海岛主体功能		—						
无居民海岛 (名称)	生态保护区内	—						
	生态控制区内	—						
	海洋发展区内	—						
管控要求	空间准入	1. 允许可再生能源、海底电缆管道用海等; 2. 可兼容人工鱼礁、开放式养殖等增殖用海; 3. 探索推进海域立体分层设权, 海上风电、增殖养殖、海底电缆管道等用海空间可立体利用。						
	利用方式	1. 严格限制改变海域自然属性; 2. 不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全。						
	保护要求	能源开发利用过程中应加强对海底地形和潮流水动力等海洋生态环境特征的监测。						
	其他要求	1. 加强防范海浪灾害风险, 加强渔业捕捞、海上交通、海洋工程、海上风电等海上作业防范; 2. 加强海啸灾害防范。						

功能区空间范围图		

图 12.2-1b 项目所在海岸带及海洋功能区登记表（摘自《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》）

序号: [483]

名称		黄茅海渔业用海区		代码	610-058		功能区位置图
分区类型		渔业用海区		位置	经度:113° 4′ 43.139″ E 纬度:21° 57′ 58.287″ N		
地理范围		黄茅海出海口					
空间资源现状	岸线长度 (千米)	13.2783					
	潮间带面积 (公顷)	1899.6742					
	海域面积 (公顷)	31549.3719					
	海岛数量 (个)	有居民海岛	1	无居民海岛	8		
开发利用现状		1. 存在现状养殖; 2. 建有黄茅海通道; 3. 存在海底电缆管道穿越。					
岸线类型	严格保护岸段	位置 (岸段序号)	——		长度 (千米)	0	
	限制开发岸段		44070150, 44070149, 44070148, 44070147, 44070146, 44070139, 44070138, 44070137, 44070136			12.1592	
	优化利用岸段		44070123, 44070122			1.1191	
有居民海岛主体功能							
无居民海岛 (名称)	生态保护区内	台山火轮, 台山火轮礁, 燕尾岛, 燕牙排, 雕犀石					
	生态控制区内	——					
	海洋发展区内	二蓬岛 (游憩用岛)、仙娥岛 (游憩用岛)、赤夷岛 (特殊用岛)					
管控要求	空间准入	1. 允许渔业基础设施、增殖养殖用海等; 2. 可兼容海底电缆管道、航运、跨桥隧道、科研教育用海等; 3. 探索推进海域立体分层设权, 增殖养殖、海底电缆管道、航运、路桥隧道等用海空间可立体利用。					
	利用方式	1. 允许适度改变海域自然属性; 2. 优化渔港平面布局, 鼓励构筑物采用透水方式建设, 降低对周边海域水动力的影响; 3. 禁止养殖活动侵占渔港进出港航道及影响渔港正常运行; 4. 增殖养殖活动应避开航道, 不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全; 5. 严格控制河口区域的围海养殖, 维护河口防浪纳潮功能。					
	保护要求	1. 积极防治海水污染, 禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动; 鼓励推广发展生态养殖模式, 合理规划养殖规模、密度和结构, 保障渔业资源可持续发展; 2. 保护和合理利用无居民海岛资源; 3. 保障潮间带自然属性不改变, 面积不减少, 生态功能不降低; 4. 保护红树林、盐沼、淤泥质岸滩及其生境。					
	其他要求	1. 加强海啸灾害防范; 2. 防范极端海平面事件引发的风暴和滨海城市洪涝等复合型灾害风险; 3. 保障临海工业 (核电) 的温排水需求。					

图 12.2-1c 项目所在海岸带及海洋功能区登记表（摘自《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》）

序号：【390】

名称		江门-珠海南部渔业用海区		代码		610-050		功能区位置图
分区类型		渔业用海区		位置		经度: 113° 19' 45.897" E 纬度: 21° 34' 45.289" N		
地理范围		江门、珠海近岸海域						
空间资源现状	岸线长度(千米)	0						
	潮间带面积(公顷)	1.1807						
	海域面积(公顷)	513374.8128						
	海岛数量(个)	有居民海岛	0		无居民海岛	0		
开发利用现状		1.存在海底电缆管道穿越; 2.分布有近岸多条航路航道。						
岸线类型	严格保护岸段	位置 (岸段序号)	——		长度 (千米)	0		
	限制开发岸段		——			0		
	优化利用岸段		——			0		
有居民海岛主体功能		——						
无居民海岛 (名称)	生态保护区内	——						
	生态控制区内	——						
	海洋发展区内	——						
管控要求	空间准入	1.允许增殖养殖、捕捞用海等; 2.可兼容固体矿产用海、可再生能源、海底电缆管道、航运、风景旅游、文体休闲娱乐、科研教育、海洋保护修复及海岸防护工程、水下文物保护单位用海等; 3.探索推进海域立体分层设权,增殖养殖、捕捞、海底电缆管道、航运等用海空间可立体利用; 4.保障考古调查发掘、文物保护活动的用海需求。						
	利用方式	1.严格限制改变海域自然属性; 2.增殖养殖活动应避开航道,不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全。						
	保护要求	1.积极防治海水污染,禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动;鼓励推广发展生态养殖模式,合理规划养殖规模、密度和结构,保障渔业资源可持续发展; 2.保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低; 3.“南海1号”水下文物保护单位监控水域依法实施建设项目准入限制,保护文物的安全,环境和历史风貌。						
	其他要求	1.加强防范海浪灾害风险,加强渔业捕捞、海上交通、海洋工程、海上风电等海上作业防范; 2.加强海啸灾害防范。						

功能区位置图	
	

功能及空间范围图	
	

图 12.2-1d 项目所在海岸带及海洋功能区登记表（摘自《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》）

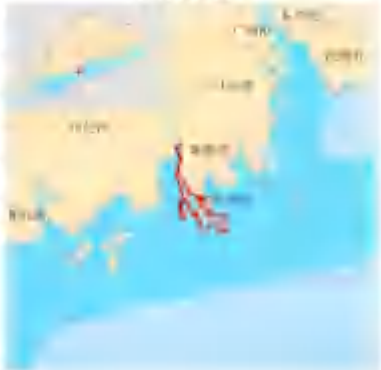
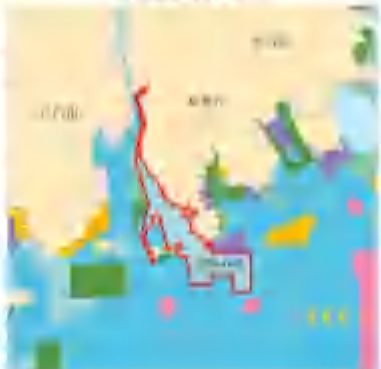
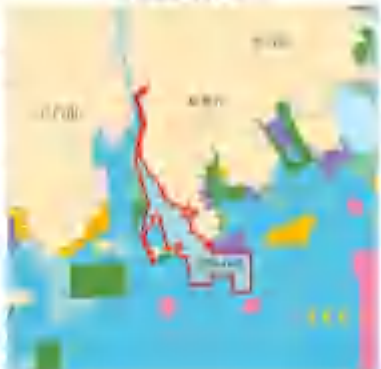
序号: [372]		名称		高栏港交通运输用海区		代码	620-041		功能区位置图			
分区类型		交通运输用海区		位置		经度: 113° 13' 46.099" E 纬度: 21° 56' 44.068" N						
地理范围		黄茅海东部海域										
空间资源现状	岸线长度(千米)	47.2550										
	潮间带面积(公顷)	536.4522										
	海域面积(公顷)	25074.1507										
	海岛数量(个)	无居民海岛	3		无居民海岛	12						
开发利用现状		1. 高栏港区建有沿岸码头; 2. 建有黄茅海通道, 具有星门出海航道, 高栏航道等多条航道, 存在埋设锚地; 3. 建有大批岛礁设施; 4. 存在海底电缆管道穿越。										
岸线类型	严格保护岸线	——		位置 (岸线序号)	——		长度 (千米)	0				
	限制开发岸线	44040233, 44040232, 44040231, 44040230			7.3922							
	优化利用岸线	44040203, 44040204, 44040205, 44040206, 44040241, 44040242, 44040243, 44040244, 44040226, 44040227, 44040224, 44040225, 44040214, 44040219, 44040234, 44040235, 44040236, 44040238, 44040237, 44040239, 44040249, 44040210, 44040228, 44040205, 44040207, 44040208, 44040209, 44040213, 440			39.8629							
无居民海岛主体功能												
无居民海岛 (名称)	生态保护区内	长近排岛, 麒麟岛, 圆洲, 南三角山岛, 东三角山岛, 北三角山岛, 毛鸡头礁, 毛鸡头北岛, 荷包岛										
	生态控制区内	——										
	海洋发展区内	舵杆岛(交通运输用岛), 麒麟(农林牧渔业用岛), 三角山岛(交通运输用岛)										
管理要求	空间准入	1. 允许港口、路桥、航运用海等; 2. 可兼容工业、海洋工程建设、海洋保护修复及海岸防护工程用海等; 3. 拟新建或布设立体设施设标, 交通运输与海底电缆管道等用海空间可立体利用。										
	利用方式	1. 允许适度改变海域自然属性; 2. 优化港区平面布置, 节约集约利用海域资源; 3. 保障进出港航道畅通。										
	保护要求	1. 加强港口综合治理, 减少对周边功能区环境影响, 维护和改善港口用海区和航运用海区原有的水动力和泥沙冲淤环境; 2. 保障潮间带自然属性不改变, 面积不减少, 生态功能不降低; 3. 保护和合理利用无居民海岛资源; 4. 保护红树林、盐沼、泥质软滩及其生物。										
	其他要求	1. 加强防范海浪风暴风险, 加强渔业捕捞、海上交通、海洋工程、海上风电等海上作业防范; 2. 加强海堤灾害防范; 3. 防范极端海平面事件引发的咸潮和滨海城市洪涝等复合型灾害风险。										

表 12.2-2 项目与所在海洋功能区管控要求符合性分析

功能区	管控要求		项目情况	符合性
高栏海上风电 工矿通信用海区	空间准入	1.允许可再生能源、海底电缆管道用海等； 2.可兼容人工鱼礁、开放式养殖等增养殖用海； 3.探索推进海域立体分层设权，海上风电、增养殖、海底电缆管道等用海空间可立体利用。	1.本项目为海上风电场工程，建设海上风电场、海底电缆管道，属于可再生能源、海底电缆管道用海。2.项目不涉及增养殖用海。 3.项目风电机组、海底电缆进行立体分层设权。	符合
	利用方式	1.严格限制改变海域自然属性； 2.不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全。	1.项目风电机组、海上升压站用海方式均为透水构筑物用海，66kV 海缆用海方式为海底电缆管道用海，不会改变海域自然属性。 2.项目建设不会妨碍海上交通及海底电缆管道的安全。	符合
	保护要求	能源开发利用过程中应加强对海底地形和潮流水动力等海洋生态环境特征的监测。	项目运营期将根据要求开展海底地形等跟踪监测。	符合
	其他要求	1.加强防范海浪灾害风险，加强渔业捕捞、海上交通、海洋工程、海上风电等海上作业防范； 2.加强海啸灾害防范。	项目施工期间将尽量选择避开台风季节，工程完工后，应加强对工程区域的监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的用海风险和对环境影响降低到最小程度。	符合
江门-珠海南部 渔业用海区	空间准入	1.允许增养殖、捕捞用海等； 2.可兼容固体矿产用海、可再生能源、海底电缆管道、航运、风景旅游、文体休闲娱乐、科研教育、海洋保护修复及海岸防护工程、水下文物保护用海等； 3.探索推进海域立体分层设权，增养殖、捕捞、海底电缆管道、航运等用海空间可立体利用； 4.保障考古调查发掘、文物保护活动的用海需求。	1.项目位于该功能区的建设内容为送出海底电缆管道，属于该功能区兼容的用海类型。 2.项目采用立体设权方式申请送出海底电缆管道用海，符合空间准入要求。	符合
	利用方式	1.严格限制改变海域自然属性； 2.增养殖活动应避开航道，不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全。	项目送出海缆用海方式为海底电缆管道用海，不会改变海域自然属性。	符合
	保护要求	1.积极防治海水污染，禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动；鼓励推广发展生态养殖模式，合理规划养殖规模、密度和结构，保障渔业资源可持续发展； 2.保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低； 3.“南海 I 号”水下文物保护区监控水域依法实施建设项目准入限制，保护文物的安全、环境和历史风貌。	1.本项目在该功能区敷设送出海底电缆，施工期主要影响因子为悬浮泥沙，项目严格控制施工作业范围，合理安排施工强度，避开极端天气，海缆铺设和桩基施工时限较短，施工完后周边水质环境可在较短时间内恢复；运营期无污染物产生，不会污染海域环境。 2.项目海缆敷设不会对潮间带区域造成影响；	符合

功能区	管控要求		项目情况	符合性
			3.项目所在海域不在“南海I号”水下文物保护区监控水域范围内。	
	其他要求	1.加强防范海浪灾害风险，加强渔业捕捞、海上交通、海洋工程、海上风电等海上作业防范； 2.加强海啸灾害防范。	项目施工期间将尽量选择避开台风季节，工程完工后，应加强对工程区域的监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的用海风险和对环境影响降低到最小程度。	符合
黄茅海渔业用海区	空间准入	1.允许渔业基础设施、增养殖用海等； 2.可兼容海底电缆管道、航运、路桥隧道、科研教育用海等； 3.探索推进海域立体分层设权，增养殖、海底电缆管道、航运、路桥隧道等用海空间可立体利用。	1.项目位于该功能区的建设内容为送出海底电缆管道，属于该功能区兼容的用海类型。 2.项目采用立体设权方式申请送出海底电缆管道用海，符合空间准入要求。	符合
	利用方式	1.允许适度改变海域自然属性； 2.优化渔港平面布局，鼓励构筑物采用透水方式建设，降低对周边海域水动力的影响； 3.禁止养殖活动侵占渔港进出港航道及影响渔港正常运营； 4.增养殖活动应避开航道，不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全； 5.严格控制河口海域的围海养殖，维护河口防洪纳潮功能。	项目送出海缆用海方式为海底电缆管道用海，不会改变海域自然属性。	符合
	保护要求	1.积极防治海水污染，禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动；鼓励推广发展生态养殖模式，合理规划养殖规模、密度和结构，保障渔业资源可持续发展； 2.保护和合理利用无居民海岛资源； 3.保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低； 4.保护红树林、盐沼、淤泥质岸滩及其生境。	1.本项目在该功能区敷设送出海底电缆，施工期主要影响因子为悬浮泥沙，海缆铺设施工时限较短，施工完后周边水质环境可在较短时间内恢复；运营期无污染物产生，不会污染海域环境。 2.项目海缆敷设不会对沿线海岛资源、潮间带区域造成影响； 3.项目送出海缆路由沿线不涉及红树林、盐沼、淤泥质岸滩及其生境等。	符合
	其他要求	1.加强海啸灾害防范； 2.防范极端海平面事件引发的咸潮和滨海城市洪涝等复合型灾害风险； 3.保障临海工业（核电）的温排水需求。	项目施工期间将尽量选择避开台风季节，工程完工后，应加强对工程区域的监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的用海风险和对环境影响降低到最小程度。	符合
高栏港交通运输用海	空间准入	1.允许港口、路桥、航运用海等； 2.可兼容工业、海底电缆管道、海洋保护修复及海岸防护工程用海等；	1.项目位于该功能区的建设内容为送出海底电缆管道，属于该功能区兼容的用海类型。 2.项目采用立体设权方式申请送出海底电缆管道用海，符合空	符合

功能区	管控要求		项目情况	符合性
区		3.探索推进海域立体分层设权，交通运输与海底电缆管道等用海空间可立体利用。	间准入的要求；	
	利用方式	1.允许适度改变海域自然属性； 2.优化港区平面布置，节约集约利用海域资源； 3.保障进出港航道畅通。	1.项目送出海缆用海方式为海底电缆管道用海，不会改变海域自然属性。 2 项目送出海底电缆管道拟采用定向钻的登陆施工方式，海缆定向钻穿越黄茅海航道段挖深为海床以下 9m（设计顶标高-26.9m），穿越海堤埋深 9m，不会对功能区内进出港航道畅通造成影响。	符合
	保护要求	1.加强港口综合治理，减少对周边功能区环境影响；维护和改善港口用海区 and 航运用海区原有的水动力和泥沙冲淤环境； 2.保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低； 3.保护和合理利用无居民海岛资源； 4.保护红树林、盐沼、淤泥质岸滩及其生境。	1.项目在该功能区敷设送出海底电缆，施工期主要影响因子为悬浮泥沙，海缆铺设施工时限较短，施工完后周边水质环境可在较短时间内恢复；运营期无污染物产生，不会污染海域环境。项目送出海缆用海方式为海底电缆管道用海，不会对功能区内水动力和泥沙冲淤环境造成影响。 2.项目海缆敷设不会对沿线海岛资源、潮间带区域造成影响； 3.项目送出海缆路由沿线不涉及红树林、盐沼、淤泥质岸滩及其生境等。	符合
	其他要求	1.加强防范海浪灾害风险，加强渔业捕捞、海上交通、海洋工程、海上风电等海上作业防范； 2.加强海啸灾害防范； 3.防范极端海平面事件引发的咸潮和滨海城市洪涝等复合型灾害风险。	项目施工期间将尽量选择避开台风季节，工程完工后，应加强对工程区域的监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的用海风险和对环境影响降低到最小程度。	符合

（4）与海岸线管控要求符合性分析

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，海岸线分为严格保护岸线、限制开发岸线和优化利用岸线三类，实行分类分段精细化管理。本项目 500kV 送出海缆登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上，穿越海岸线为优化利用岸线。

《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》提出：优化利用岸线为沿海地区产业优化升级提供空间，应统筹规划、集中布局确需占用海岸线的建设项目，减少对海岸线资源的占用，提高海岸线利用效率。提高海岸线利用的生态门槛和产业准入门槛，禁止新增产能严重过剩以及高污染、高耗能、高排放项目用海。优先支持海洋战略性新兴产业、绿色环保产业、现代海洋渔业、循环经济产业发展和重大产业平台、海洋产业园建设。

本项目 500kV 外送海底电缆登陆点位于珠海十字沥至电厂段海堤上，登陆段与黄茅海航道交越，项目送出海底电缆管道拟采用定向钻的登陆施工方式，其中入土点距离海岸线约 16m，出土点距离海岸线约 997m，定向钻施工段长度约 1013m。项目海缆定向钻穿越黄茅海航道段挖深为海床以下 9m（设计顶标高-26.9m），穿越海堤埋深 9m，海缆在登陆点下穿海岸带，不会对海岸线资源造成实际占用；不穿越海堤堤身结构，不会影响岸线的自然属性、地形地貌、生态功能和现有构筑物结构稳定，对岸线的使用没有严格排他性，符合提高海岸线利用效率的要求。

因此，本项目建设符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》对优化利用岸线的管控要求。

（5）小结

综上分析，本项目建设符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》提出的海岸带开发保护总体格局要求；符合其对新增风电项目场址选址要求；符合所在海洋功能区管控要求；符合对优化利用岸线的管控要求。因此，项目建设符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》。

12.2.3 与《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》符合性分析

《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》。该规划是国土空间规划的重要专项规划，是一定时期省域国土空间生态修复任务的总纲和空间指引，是实施国土空间生态保护修复的重要依据。该规划规划范围包括陆地和海洋国土，陆域土

地面积 17.98 万平方公里（含岛屿面积），管辖海域面积 6.47 万平方公里。

（1）项目对《规划》中生态安全格局的影响分析

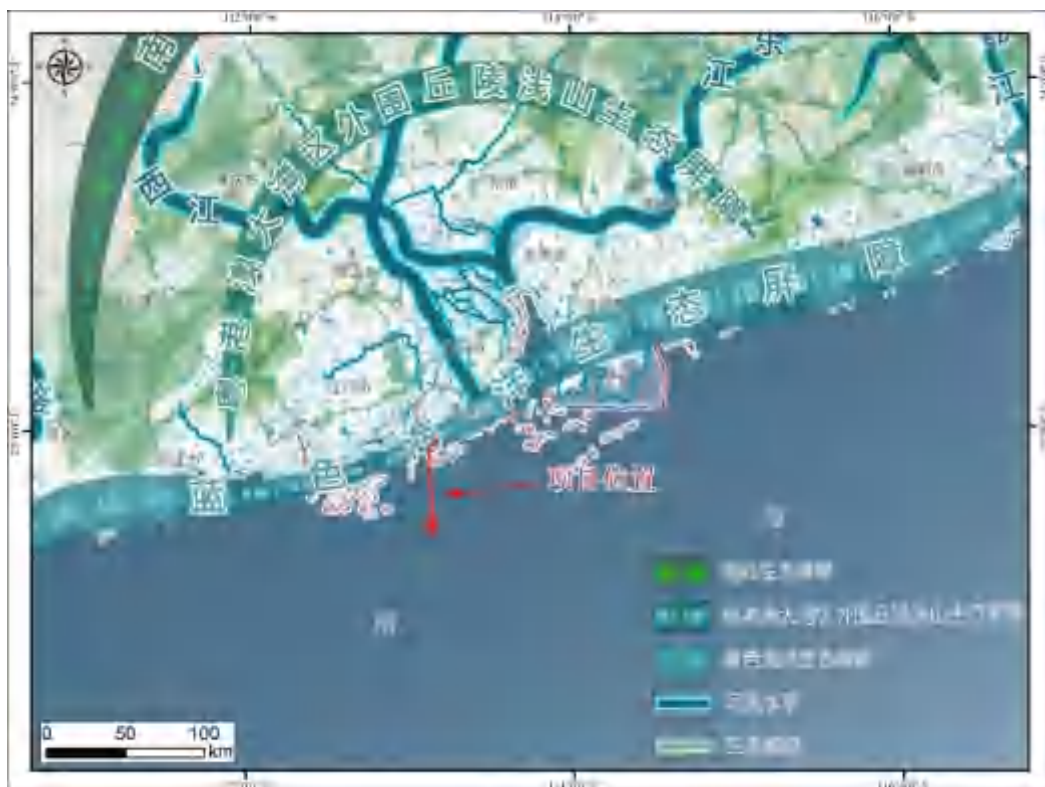


图 12.2-5 项目与生态安全格局的位置关系图

项目与生态安全格局的位置关系见图 12.5-3。本项目送出海缆北端位于“三屏五江多廊道”生态安全格局中的蓝色海洋生态屏障，**蓝色海洋生态屏障**的系统性保护修复以沿海防护林、河口、海湾、滨海湿地、海岛等要素为主体。送出海缆的用海方式为海底电缆管道，海缆敷设方式为直埋方式，埋于海床之下，登陆端的敷设方式为定向钻方式，项目用海方式与用海活动相适宜，项目施工对海域的占用和施工产生的悬浮泥沙会对海洋环境造成一定影响，建设单位将通过生态修复措施来弥补对海洋生态造成的影响，项目用海方式与自然生态环境相适宜，项目建设对海湾、滨海湿地等修复要素影响较小。因此，项目建设对“三屏五江多廊道”生态安全格局的影响较小。

（2）项目对《规划》中重要生态系统保护修复的影响分析

本项目与重要生态系统保护修复的位置关系见图 12.2-6。本项目送出海缆位于蓝色海洋生态屏障中的**镇海湾—广海湾—川山群岛—银湖湾综合整治修复单元**，要求为：加强镇海湾生态系统修复，建设镇海湾万亩级红树林+生态养殖+生态旅游示范区，提高红树林生态系统服务能力及防灾减灾能力。推进广海湾红树林保护修复、

滨海湿地修复、自然岸线保护、魅力海滩建设，构建生态景观廊道，改善海岸带生态环境。加强有害生物治理，清除互花米草等外来物种。推进银湖湾海堤生态化建设。以川山群岛海草床生态系统为重点，加强海岛环境综合整治和重要物种多样性保护及其关键栖息地修复。重点保护广东江门中华白海豚省级自然保护区、上川岛猕猴省级自然保护区以及下川岛天然植被。

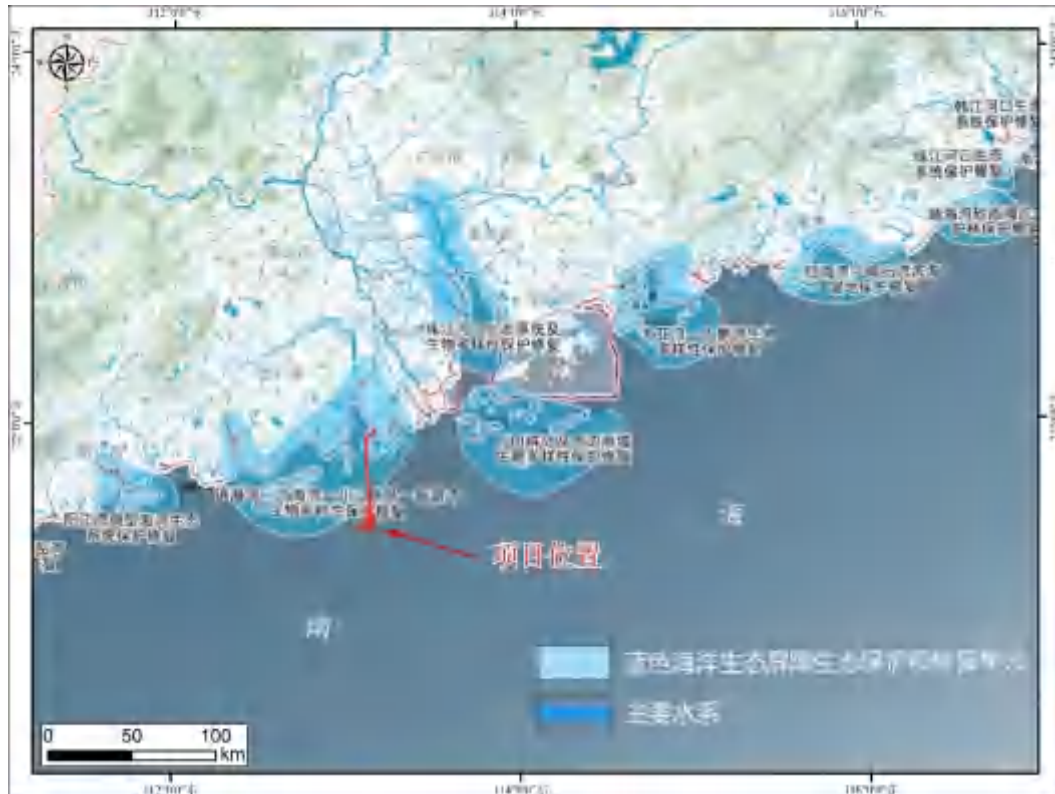


图 12.2-6 项目与重要生态系统保护修复的位置关系图

本项目送出海缆的用海方式为海底电缆管道，海缆敷设方式为直埋方式，埋于海床之下，登陆端的敷设方式为定向钻方式，海缆敷设呈线形布置，对海底海床的影响较小，项目用海方式与用海活动相适宜，与自然生态环境相适宜，项目施工和施工产生的悬浮泥沙可能会对海洋环境造成影响，建设单位将通过生态修复措施来弥补对海洋生态造成的影响，不影响海洋生态系统功能的发挥。项目建设期间与生态修复主管部门加强沟通，不会影响生态保护修复项目的实施。因此，项目建设对重要生态系统保护修复的影响较小。

(3) 项目对《规划》中生态保护修复重大工程的影响分析

本项目与生态保护修复重大工程的位置关系见图 12.2-7。本项目送出海缆位于蓝色海洋生态屏障保护和修复重大工程，要求：以“蓝色海湾”综合整治、海岸带保护和修复重大工程、红树林保护修复专项行动计划为抓手，统筹推进海岸带生态

保护修复。加强海岸线保护与利用管理，推进海岸线生态修复，实现海岸线占补平衡。对严格保护岸线重点加强自然岸线生态修复，对限制开发岸线重点加强人工岸线的改造，对优化利用岸线重点开展生态化建设。推动红树林、珊瑚礁、海草床等重要海洋生态系统修复，创建万亩级红树林示范区，巩固提升海洋生态系统碳汇能力。保护修复珍稀濒危物种关键栖息地，开展水鸟廊道、鱼类洄游通道等生态廊道建设，保护本土生物物种，防治入侵物种灾害，加强有害生物防控。推进海堤生态化，构筑海岸生态防线，完善沿海防护林体系，提升海岸带防灾减灾能力。

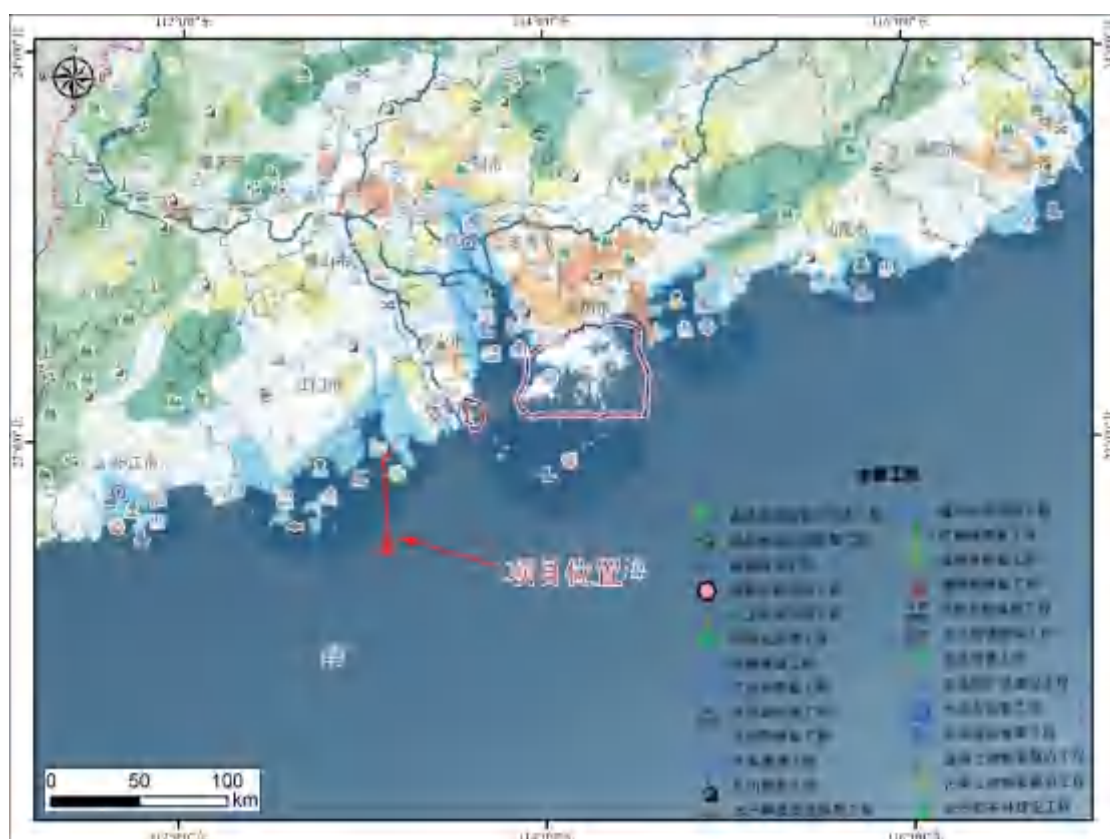


图 12.2-7 项目与生态保护修复重大工程的位置关系图

本项目送出海缆登陆端通过定向钻的方式穿越人工岸线，不会影响人工岸线基本功能的发挥。项目施工和施工产生的悬浮泥沙可能会对海洋生物造成影响，建设单位将通过生态修复措施来弥补对海洋生态造成的影响，对海洋生态系统影响较小。送出海缆不占用红树林、珊瑚礁、海草床，项目建设不会对其造成影响。项目施工尽量避免鱼类的产卵期和洄游期，施工前采取“软启动”方式，驱使鱼类离开施工水域，减少渔业资源的损失，项目建设对生态廊道的影响较小。送出海缆埋于海床，不会对海岸带的防灾减灾能力造成影响。项目建设期间与生态修复主管部门加强沟通，不会影响生态保护修复重大工程的实施。因此，项目建设对生态保护修复重大

工程影响较小。

综上所述，项目建设对生态安全格局、重要生态系统保护修复和生态保护修复重大工程的影响较小，项目建设符合《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》的相关要求。

12.2.4 与《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》符合性分析

2023年10月8日，广东省人民政府正式批复了《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》。根据《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目风电场区和海上升压站所在功能区为工矿通信用海区，送出海缆所在功能区为渔业用海区和交通运输用海区，项目周边功能区有生态保护区和生态控制区。本项目在规划中的位置见图12.2-8，项目用海与周边海洋功能区的位置关系见表12.2-1。

表12.2-1 项目用海与周边海洋功能区的位置关系

功能区类型	方位	最近距离（km）
工矿通信用海区	位于该功能区内（风电场区、海上升压站）	/
渔业用海区	位于该功能区内（送出海缆）	/
交通运输用海区	位于该功能区内（送出海缆）	/
生态保护区	W、E	0.54km（W）；1.74km（E）
生态控制区	W、E	1.65km（W）；0.37km（E）

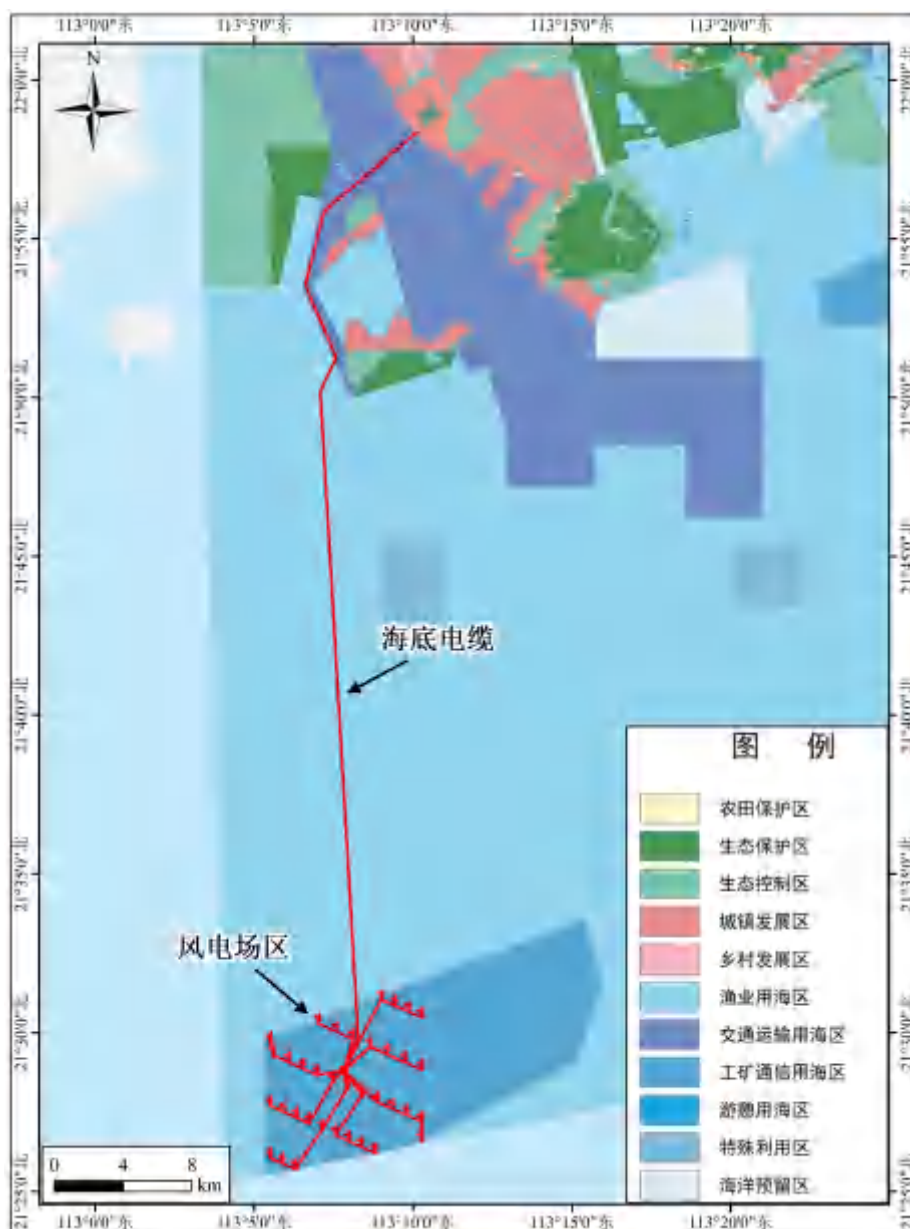


图12.2-8 项目与《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》的位置关系图

（1）项目与所在功能区的符合性分析

1）项目与工矿通信用海区的符合性分析

工矿通信用海区的管控指引要求为：应按照海陆统筹、突出重点、集中集约、有序开发的原则，优先安排国家区域发展战略确定的重大工业项目用海，保障重大涉海项目的用海需求。

本项目为风电建设，用海类型为“工矿通信用海”，与该功能区的功能定位一致。项目位于《广东省发展改革委关于调整全省海上风电场址的通知》（粤发改能源函〔2023〕48号）中的珠海高栏风电场址，本项目的风电场区和送出海缆位于海域，集控中心位于陆域，项目整体陆海统筹，建成后可为周边经济的发展提供清洁

的电力保障，项目与紧邻的广东能源珠海高栏二海上风电项目集中建设，逐步有序开发。因此，本项目符合工矿通信用海区的管控指引要求。

2) 项目与渔业用海区的符合性分析

渔业用海区的管控指引要求为：应按提升近海、开发深海、拓展远洋的原则，严格控制近海捕捞强度，优化配置渔业用海空间，重点支持深海养殖、海洋牧场等用海需求，加强水生生物产卵场、索饵场、越冬场及洄游通道保护，保持海洋生态系统结构与功能的稳定，严格执行农渔业区海水水质标准。

本项目的送出海缆位于渔业用海区。送出海缆的用海方式为电缆管道，海缆敷设方式为直埋方式，埋于海床之下，项目运营期不占用渔业和养殖用海空间。施工期送出海缆施工持续时间短，施工船舶对渔业活动影响有限，施工过程中设立警示标志，对渔业活动影响较小，施工注意避让鱼类产卵期，对“三场一通道”的影响较小。施工过程中会产生短暂的悬浮泥沙，水质在短时间内可恢复本底水平，对海水水质影响较小，施工和运营期间的污染物禁止向海域排放，不会对海水水质造成影响。因此，项目建设对渔业用海区的影响较小，不影响渔业用海区基本功能的发挥。

3) 项目与交通运输用海区的符合性分析

交通运输用海区的管控指引要求为：应按照深水深用、布局合理、结构优化、层次分明的原则，深化港口岸线资源整合，完善港口布局，推进沿海港口规模化、专业化协调发展，切实保障沿海主要港口和地区重要港口的用海需求。维护沿海主要港口、航路和锚地海域功能，保障航运安全。加强港口应急设施建设和海域水质监管，减少对临近用海区域主导功能的影响。

本项目的送出海缆位于交通运输用海区。送出海缆的用海方式为海底电缆管道，海缆敷设方式为直埋方式，埋于海床之下，登陆端的敷设方式为定向钻方式，海缆通过定向钻登陆后，通过电缆沟接入陆上集控中心，项目建设不会对港口岸线和港口布局造成影响。本项目施工过程中的施工船舶可能对交通运输活动造成影响，但海缆的施工持续时间短，且按照《珠海高栏一海上风电项目通航安全影响咨询报告》中的要求落实相关安全保障和维护措施，消除其不利影响和风险，施工前与航道管理部门珠海海事局、江门市航道事务中心、珠海市交通运输局做好协调，项目建设不会对交通运输活动和航运安全产生明显影响。因此，项目建设对交通运输用海区的影响较小，不影响交通运输用海区基本功能的发挥。

(2) 项目对周边功能区的影响分析

1) 项目对生态保护区的影响分析

生态保护区是具有特殊重要生态功能或生态敏感脆弱、必须强制性严格保护的陆地和海洋自然区域。空间范围与生态保护红线一致，按照国家关于生态保护红线的相关规定进行管理，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。符合规定的生态保护红线管控范围内有限人为活动，涉及新增建设用地、用海用岛审批的，在报批农用地转用、土地征收、海域使用权、无居民海岛开发利用时，需附省级人民政府出具符合生态保护红线内允许有限人为活动的认定意见。规范国家重大项目占用审批。有限人为活动之外，仅允许国家重大项目占用生态保护红线。涉及生态保护红线的国家重大项目须报国务院批准，且需附省级人民政府出具的不可避让论证意见。

本项目不占用生态保护区，距离最近的生态保护区约 0.54km。项目施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散到生态保护区，不会对生态保护区的生态功能造成破坏。因此，项目建设不会对周边的生态保护区造成影响。

2) 项目对生态控制区的影响分析

生态控制区是生态保护红线外需要予以保留原貌、强化生态保育和生态建设、限制开发建设的陆地和海洋自然区域。生态控制区原则上限制各类新增开发建设行为，区内兼容生态保护红线准入活动，经评价在对生态环境不产生破坏的前提下，可适当准入如下建设：（1）基础设施用地，包括能源、交通（含城市道路）、水利、通信、邮政等基础设施；（2）特殊用地，包括军事及安全保密、宗教、文物古迹、监教场所、殡葬、自然保护地管理与服务设施用地等；（3）公益设施用地，包括科技、教育、文化、卫生、体育、生态环境和资源保护、防灾减灾、文物保护、社会福利、市政公用、优抚安置、英烈保护等；（4）绿地与开敞空间用地，包括公园绿地、防护绿地，适度的广场用地；（5）郊野公园、风景游览等场所的配套服务设施；（6）其他必要的服务设施和城镇民生保障项目等用地；（7）其他战略储备、民爆仓库和油库、特殊医疗用地等具有邻避要求必须远离建成区布局的设施用地；（8）必要的海洋科学研究、海洋自然教育、渔业等活动；（9）必要的采矿用地。

本项目不位于生态控制区内，距离最近的生态控制区约 0.37km。项目施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散到生态控制区，不会对生态控制区的生态环境造成破坏，

且本项目是能源基础设施建设，与该功能区的准入条件一致。因此，项目建设不会对周边的生态控制区产生造成。

（3）小结

综上所述，本项目符合其所在功能区工矿通信用海区的管控指引要求，不影响渔业用海区和交通运输用海区基本功能的发挥，不会对周边的生态保护区和生态控制区造成影响，因此，项目建设符合《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》的要求。

12.2.5 与《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》符合性分析

（1）项目建设与壮大发展海洋产业的符合性分析

《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》要求壮大发展海洋产业——发展以海洋工程装备制造、海洋交通运输、海洋油气化工、海上风电及现代海洋渔业为重点的现代海洋产业体系。依托金湾海上风电及高栏海上风电，推动海洋可再生能源规模化应用，构建绿色低碳的能源供应体系，构建安全、可靠、绿色、高效、智能的现代化智能电网，保障高栏海上风电项目建设，逐步形成沿海风电规模化发展格局。

本项目属于海上项目，充分利用海上风力资源，对于调整能源结构、减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用具有重要意义。本项目位于《广东省发展改革委关于调整全省海上风电场址的通知》（粤发改能源函〔2023〕48 号）规划的珠海高栏场址范围内，是《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》保障的建设项目，因此，本项目建设符合壮大发展海洋产业的要求。

（2）项目与所在功能区的符合性分析

根据国土空间规划分区（图 12.2-9），本项目位于海洋发展区内，其中风电场区和海上升压站位于工矿通信用海区，送出海缆所在功能区为渔业用海区和交通运输用海区。

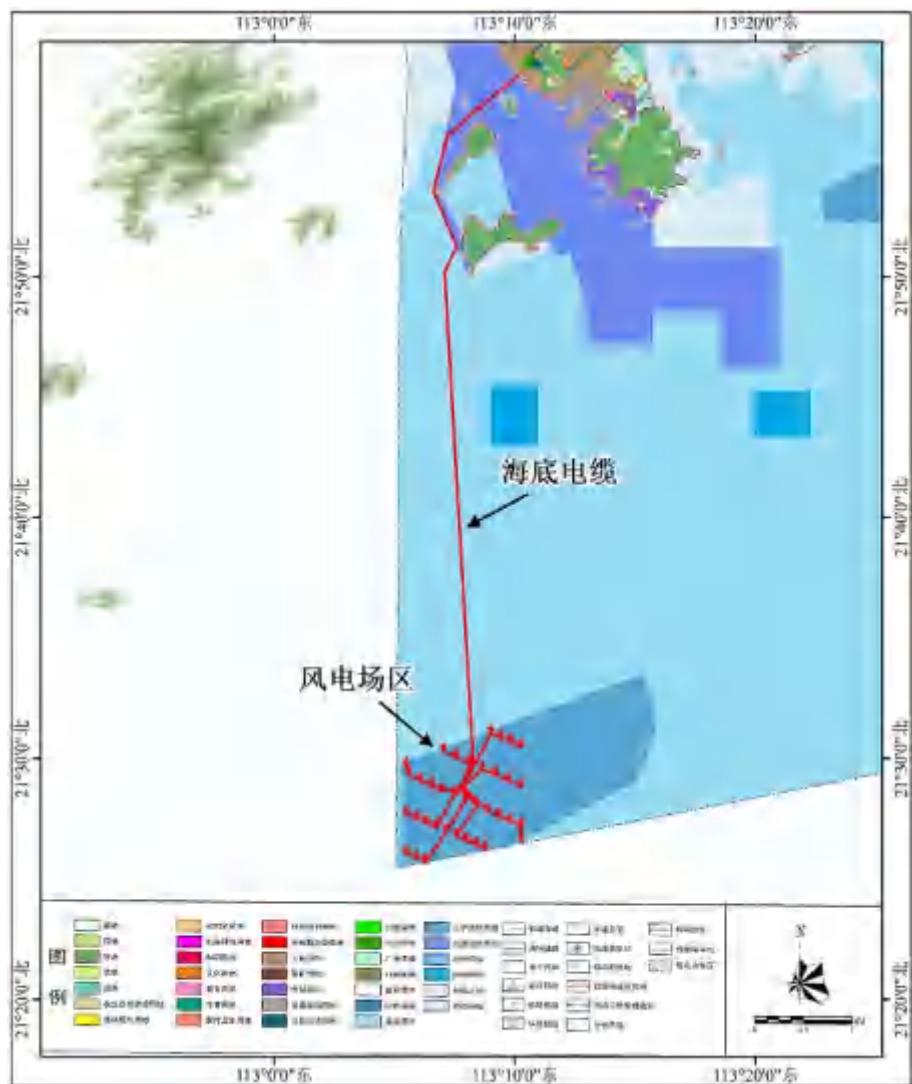


图 12.2-9 项目与《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》的位置关系图

1) 项目与工矿通信用海区的符合性分析

工矿通信用海区的管控要求为：应按照海陆统筹、突出重点、集中集约、有序开发的原则，优先安排国家区域发展战略确定的重大工业项目用海，保障金湾海上风电、高栏海上风电等重大涉海项目的用海需求。

本项目为风电建设，用海类型为“工矿通信用海”，与该功能区的功能定位一致。本项目的风电场区和送出海缆位于海域，集控中心位于陆域，项目整体陆海统筹，建成后可为周边经济的发展提供清洁的电力保障，项目与紧邻的广东能源珠海高栏二海上风电项目集中建设，逐步有序开发。项目位于《广东省发展改革委关于调整全省海上风电场址的通知》（粤发改能源函〔2023〕48 号）中的珠海高栏风电场址，属于该功能区优先保障的涉海项目。因此，本项目符合工矿通信用海区的管控指引要求。

2) 项目与渔业用海区的符合性分析

渔业用海区的管控要求为：以渔业基础设施建设、养殖和捕捞生产等渔业利用为主要功能导向的海域和无居民海岛；应按提升近海、开发深海、拓展远洋的原则，严格控制近海捕捞强度，优化配置渔业用海空间，重点支持深海养殖、海洋牧场等用海需求，支持海洋渔业产业园建设，加强水生生物产卵场、索饵场、越冬场及洄游通道保护，保持海洋生态系统结构与功能的稳定，严格执行农渔业区海水水质标准。

本项目的送出海缆位于渔业用海区。送出海缆的用海方式为电缆管道，海缆敷设方式为直埋方式，埋于海床之下，项目运营期不占用渔业和养殖用海空间。施工期送出海缆施工持续时间短，施工船舶对渔业活动影响有限，施工过程中设立警示标志，对渔业活动影响较小，施工注意避让鱼类产卵期，对“三场一通道”的影响较小。施工过程中会产生短暂的悬浮泥沙，水质在短时间内可恢复本底水平，对海水水质影响较小，施工和运营期间的污染物禁止向海域排放，不会对海水水质造成影响。因此，项目建设对渔业用海区的影响较小，不影响渔业用海区基本功能的发挥。

3) 项目与交通运输用海区的符合性分析

交通运输用海区的管控指引要求为：以港口建设、路桥建设、航运等为主要功能导向的海域和无居民海岛。应按照深水深用、布局合理、结构优化、层次分明的原则，深化港口岸线资源整合，完善港口布局，推进沿海港口规模化、专业化协调发展，切实保障沿海主要港口和地区重要港口的用海需求。维护沿海主要港口、航路和锚地海域功能，保障航运安全。重点保障高栏港港口提升的用海需求，为高栏港建设第四代港口提供用海保障。加强港口应急设施建设和海域水质监管，减少对临近用海区域主导功能的影响。

本项目的送出海缆位于交通运输用海区。送出海缆的用海方式为海底电缆管道，海缆深埋于海床之下，不占用与交通运输用海的利用空间，层次分明，项目建设不会对港口建设和港口布局等造成影响。海缆设计顶高程低于航道的设计底高程，不会对港口航道造成影响，海缆不占用锚地，不会对港口锚地造成影响。本项目施工过程中的施工船舶可能对交通运输活动造成影响，但海缆的施工持续时间短，且按照《珠海高栏一海上风电项目通航安全影响咨询报告》中的要求落实相关安全保障和维护措施，消除其不利影响和风险，施工前与航道管理部门珠海海事局、江门市

航道事务中心、珠海市交通运输局做好协调，项目建设不会对交通运输活动和航运安全产生明显影响。因此，项目建设对交通运输用海区的影响较小，不影响交通运输用海区基本功能的发挥。

(3) 小结

综上所述，本项目符合《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》对壮大发展海洋产业的要求，符合其所在功能区工矿通信用海区的管控指引要求，不影响渔业用海区和交通运输用海区基本功能的发挥，因此，项目建设符合《珠海市金湾区国土空间分区规划（2021-2035 年）》的要求。

12.3 与“三区三线”、“三线一单”符合性分析

12.3.1 与“三区三线”符合性分析

《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》提出强化底线约束和空间管控：按照耕地和永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界的优先序统筹划定落实三条控制线，把三条控制线作为调整经济结构、规划产业发展、推进城镇化不可逾越的红线。根据《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》，本项目与国土空间规划中生态保护红线的位置见图 12.3-1，位置关系表见表 12.3-1。

表12.3-1 项目与“三区三线”中生态保护红线区位置关系表

序号	红线名称	类型	与项目方位关系
1	黄茅海重要渔业资源产卵场	重要渔业资源产卵场	送出海缆西侧 0.54km
2	江门中华白海豚地方级自然保护区	珍稀濒危物种分布区	送出海缆西侧 4.20km
3	荷包岛海岸防护物理防护极重要区	海岸防护物理防护极重要区	送出海缆东侧 1.74km



图12.3-1 项目及10mg/L悬浮泥沙扩散包络线与生态保护红线的位置关系图

根据图 12.3-1，本项目不占用广东省“三区三线”中的生态保护红线，距离最近的保护红线为送出海缆西侧约 0.54km 的黄茅海重要渔业资源产卵场。本项目施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散到该红线范围内，施工期和运营期的污水和垃圾均妥善处理，不向海域排放，项目施工尽量避开产卵期施工，施工前采取“软启动”方式，驱使鱼类离开施工水域，减小渔业资源的损失，因此，项目建设不会对黄茅海重要渔业资源产卵场造成影响；本项目距离江门中华白海豚地方级自然保护区的距离有 4.20km，距离较远，本项目场址所在为深水区，风电场区与海岸线最近距离为 43km，不属于中华白海豚栖息区域，项目建设不会对中华白海豚造成。本项目距

离荷包岛海岸防护物理防护极重要区有 1.74km，本项目不在海岸防护物理防护极重要区内施工，根据数模结果，项目建设仅对工程区附近水域有一定的冲淤变化，不会对该区域的地形地貌造成影响，项目建设不会对荷包岛海岸防护物理防护极重要区造成影响。因此，项目建设符合广东省“三区三线”的要求。

12.3.2 与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》符合性分析

2020 年 12 月 29 日，广东省人民政府印发了《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号）。该方案适用于广东省行政区域，作为各地、各部门规划资源开发、产业布局和结构调整、城镇建设以及重大项目选址的重要依据，并在政策制定、规划编制、执法监管过程中实施应用。

（1）与生态保护红线的符合性分析

本项目与生态保护红线的位置关系见图 12.3-1。项目距离最近的保护红线为送出海缆西侧约 0.54km 的黄茅海重要渔业资源产卵场生态红线区，其次为送出海缆东侧约 1.74km 的荷包岛海岸防护物理防护极重要区生态红线区和送出海缆西侧约 4.2 km 的江门中华白海豚地方级自然保护区生态红线区。根据数模结果，本项目施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散到周边生态保护红线范围内，施工引起的冲淤变化也仅局限在项目周边，不会对周边生态保护红线内的地形地貌造成影响。施工期和运营期的污水和垃圾均妥善处理，不向海域排放，因此，项目建设不会对生态保护红线造成影响。

（2）与环境质量底线的符合性分析

环境质量底线要求为：全省水环境质量持续改善，国考、省考断面优良水质比例稳步提升，全面消除劣 V 类水体。大气环境质量继续领跑先行，PM_{2.5} 年均浓度率先达到世界卫生组织过渡期二阶段目标值（25 微克/立方米），臭氧污染得到有效遏制。土壤环境质量稳中向好，土壤环境风险得到管控。近岸海域水体质量稳步提升。

本项目施工过程中不可避免的产生悬浮泥沙，根据数模结果悬浮泥沙扩散范围较小且施工结束后很快沉降，对近岸海域水质的影响较小。施工船舶会产生尾气，为无组织排放，本项目使用达到排放标准要求的船舶，使用清洁燃油，对大气环境质量影响较小，且本项目在开阔海域施工，利于尾气扩散。因此，项目建设符合环境质量底线的要求。

（3）与资源利用上线的符合性分析

资源利用上线要求为：强化节约集约利用，持续提升资源能源利用效率，水资源、土地资源、岸线资源、能源消耗等达到或优于国家下达的总量和强度控制目标。

本项目使用检验合格的船舶和机械进行施工，且设计了合理施工工艺，缩短船舶机械的工作时间，减少化石燃料的使用。本项目出海缆登陆端通过定向钻的方式穿越人工岸线，不会影响人工岸线的形态和其基本功能的发挥。本项目是海上风电建设，将海洋风能转化为清洁绿色能源，有助于推动实现碳达峰目标。因此项目建设符合资源利用上线的要求。

（4）与生态环境分区管控要求的符合性分析

根据《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目风电场和南段送出海缆位于“一般管控单元”，北段送出海缆位于“重点管控单元”，见图 12.3-2。项目与全省总体管控要求的符合性分析见表 12.3-2，本项目符合全省总体管控要求。

（5）小结

本项目符合生态保护红线、环境质量底线和资源利用上线的要求，符合生态环境分区管控要求，因此，项目建设符合《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》。

表 12.3-2 项目与全省总体管控要求（与本项目相关）的相符性分析

管控内容	与本项目相关要求	项目建设情况	符合性
区域布局管控	1.优先保护生态空间，保育生态功能。持续深入推进产业、能源、交通运输结构调整。 2.加快培育半导体与集成电路、高端装备制造、新能源、数字创意等十大战略性新兴产业集群规模化、集约化发展，全面提升产业集群绿色发展水平。	1.本项目不位于生态空间，根据数模结果，施工产生的悬浮泥沙不会进入生态空间，不会对生态空间造成影响。本项目是风电建设，利用海洋风能进行发电，可调整能源结构。 2.本项目是新能源产业，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用具有重要意义，项目与高栏二风电项目在规划的风电场址集群建设。	符合
能源资源利用	1.积极发展先进核电、海上风电、天然气发电等清洁能源，逐步提高可再生能源与低碳清洁能源比例，建立现代化能源体系。 2.科学推进能源消费总量和强度“双控”，严格控制并逐步减少煤炭使用量，力争在全国范围内提前实现碳排放达峰。 3.依法依规强化油品生产、流通、使用、贸易等全流程监管，减少直至杜绝非法劣质油品在全省流通和使用。	1.本项目是海上风电建设。 2.本项目是风电建设，可生产清洁能源，可减小对煤炭的依赖。 3.本项目施工船舶使用符合标准的清洁燃油。 4.本项目不占用自然岸线；不涉及围填海。	符合

管控内容	与本项目相关要求	项目建设情况	符合性
	4.强化自然岸线保护,优化岸线开发利用格局,建立岸线分类管控和长效管护机制,规范岸线开发秩序;除国家重大项目外,全面禁止围填海。		
污染物排放管控	严格落实船舶大气污染物排放控制区要求。	本项目使用排放达标的施工船舶。	符合
环境风险防控	强化流域上游生态保护与水源涵养功能,建立完善突发环境事件应急管理体系,保障饮用水安全。	本项目制定了突发事件应急管理体系。	符合

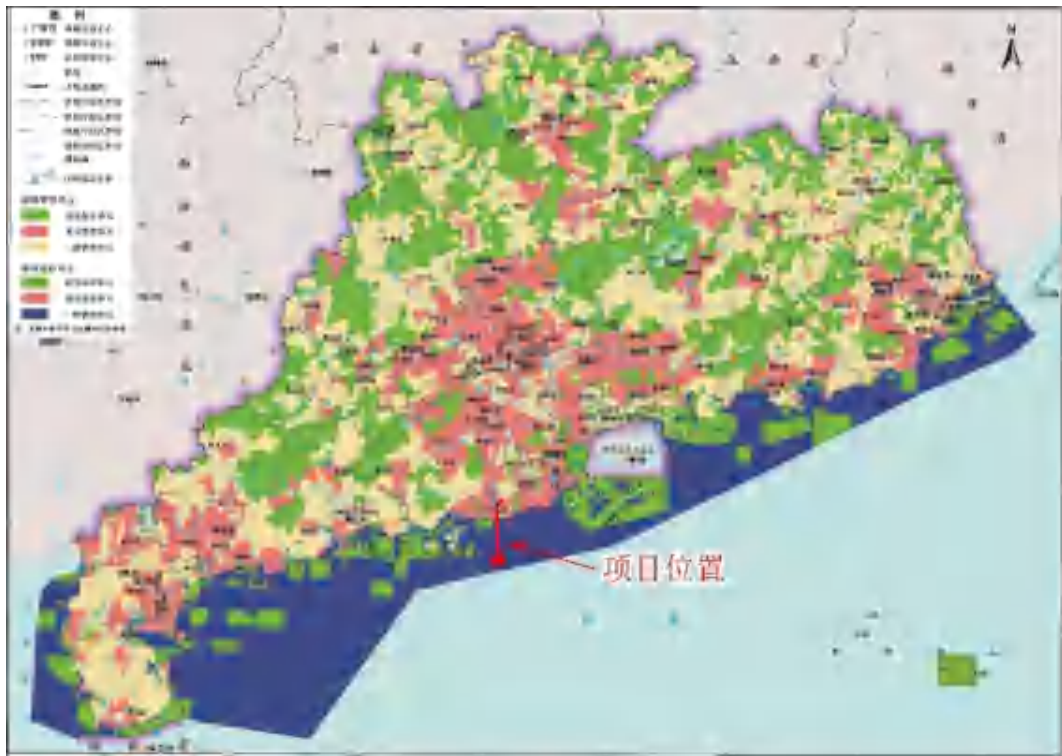


图 12.3-2 与广东省“三线一单”生态环境分区管控单元位置关系图

12.3.3 与《珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案》符合性分析

(1) 与生态保护红线的符合性分析

本项目与生态保护红线的位置关系见图 12.3-1。项目距离最近的保护红线为送出海缆西侧约 0.54km 的黄茅海重要渔业资源产卵场生态红线区,其次为送出海缆东侧约 1.74km 的荷包岛海岸防护物理防护极重要区生态红线区和送出海缆西侧约 4.2 km 的江门中华白海豚地方级自然保护区生态红线区。根据数模结果,本项目施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散到周边生态保护红线范围内,施工引起的冲淤变化也仅局限在项目周边,不会对周边生态保护红线内的地形地貌造成影响。施工期和运营期的污水和垃圾均妥善处理,不向海域排放,因此,项目建设不会对生态保护红线造成影响。

（2）与环境质量底线的符合性分析

环境质量底线要求为：全市环境质量持续改善，地表水国考、省考断面水质达到国家和省下达的水质目标要求；集中式饮用水水源地水质达到或优于Ⅲ类水体比例为 100%；城市建成区黑臭水体全面消除。近岸海域水环境质量逐步改善。大气环境质量持续改善，各项考核指标达到省下达的目标要求。土壤环境风险得到管控，受污染耕地安全利用率和污染地块安全利用率达到省下达指标。

本项目施工过程中不可避免的产生悬浮泥沙，根据数模结果悬浮泥沙扩散范围较小且施工结束后很快沉降，对水质的影响较小，项目建设符合环境质量底线的要求。

（3）与资源利用上线的符合性分析

资源利用上线要求为：强化节约集约利用，持续提升资源能源利用效率，水资源、土地资源、岸线资源、能源消耗等达到或优于省下达的总量和强度控制目标。按照国家和省的决策部署，加快推动实现碳达峰目标。

本项目使用检验合格的船舶和机械进行施工，且设计了合理施工工艺，缩短船舶机械的工作时间，减少化石燃料的使用。本项目出海缆登陆端通过定向钻的方式穿越人工岸线，不会影响人工岸线的形态和其基本功能的发挥。本项目在广东省规划的珠海高栏场址范围内进行风电建设，符合国家能源发展战略和规划，促进广东能源绿色低碳转型、可持续发展的需要，有助于推动实现碳达峰目标。因此项目建设符合资源利用上线的要求。

（4）与环境管控单元和生态环境准入清单的符合性分析

根据广东省“三线一单”数据管理及应用平台和《珠海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目风电场区、海上升压站、8 回 66kV 集电海底电缆位于湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003），500kV 送出海缆穿越湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003）、湛江-珠海近海农渔业区-劣四类海域（HY44040020030）、高栏港口航运区-劣四类海域（HY44040020018）。

本项目与珠海市海域环境管控单元位置关系见图 12.3-3。

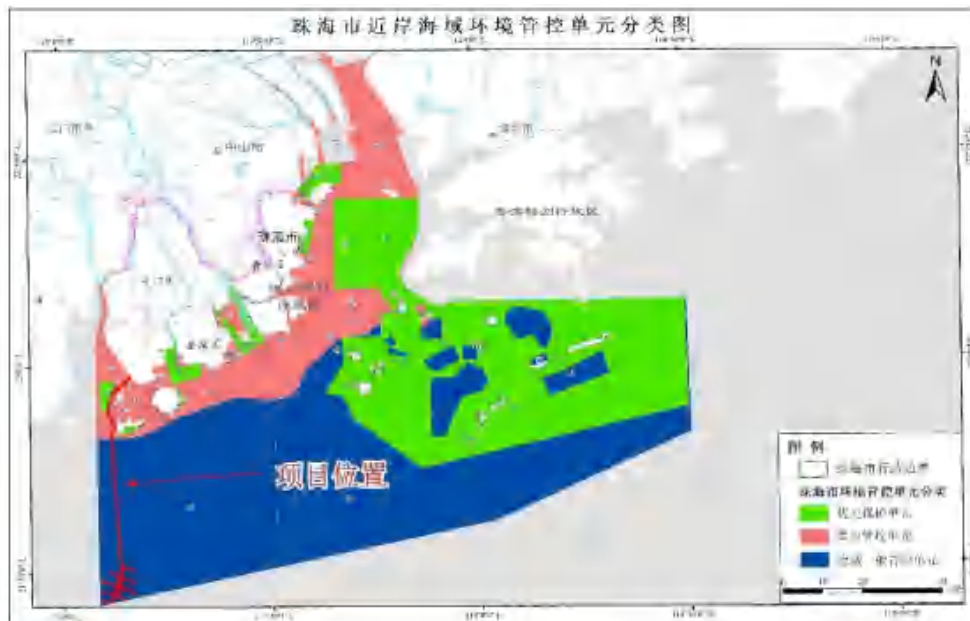


图 12.3-3a 与珠海市海域环境管控单元位置关系图

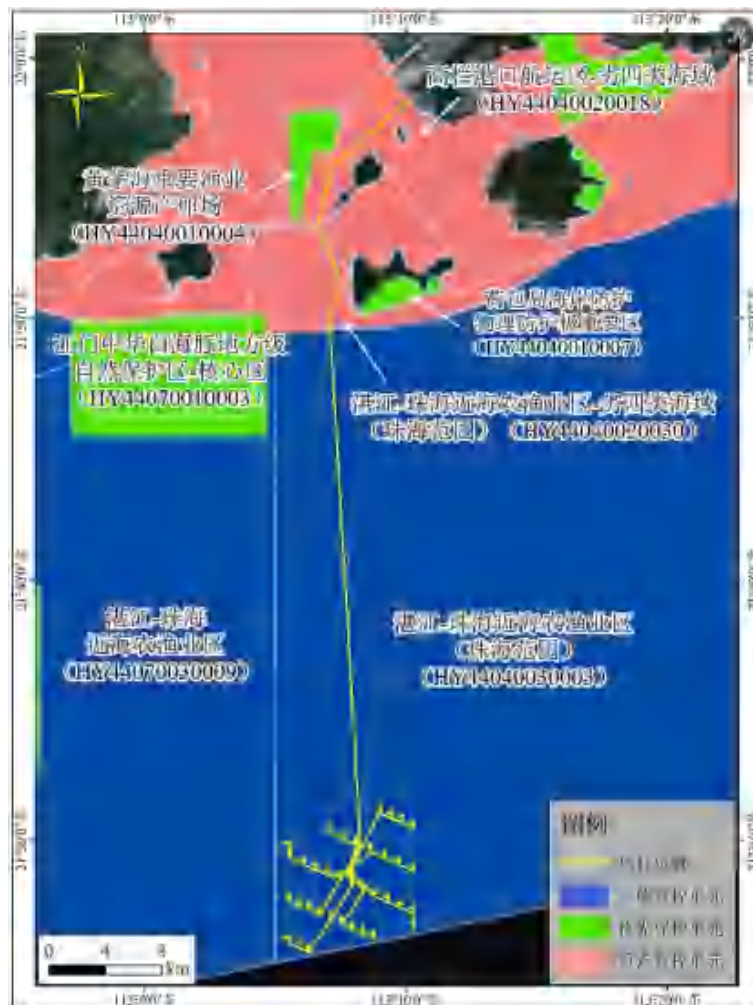


图 12.3-3b 项目与珠海市“三线一单”生态环境分区管控单元位置关系图（图源：广东省“三线一单”数据及应用平台）

1) 与湛江-珠海近海农渔业区准入清单的符合性分析

湛江-珠海近海农渔业区（HY44040030003）为近岸海域一般管控单元，本项目与该管控单元的符合性分析见表 12.3-3。本项目符合近岸海域一般管控单元的准入清单。

表 12.3-3 项目与近岸海域一般管控单元准入清单的相符性分析

管控内容		相关要求	项目建设情况	符合性
近岸海域一般管控单元	区域布局管控	1-1.严格限制开展显著改变海域自然属性的用海活动，确需开发利用的应通过科学规划和严格论证，开发利用活动不得影响毗邻海域用海功能和防洪纳潮功能。 1-2.适当保障庙湾渔港、增养殖、人工鱼礁等渔业用海及旅游娱乐用海需求；保障国防安全用海需求。 1-3.禁止炸岛等破坏性活动，禁止破坏人工鱼礁。 1-4.保护珊瑚礁生态系统。	1-1.本项目为海上风电建设，施工期会对水质产生短期影响，但影响随着施工期的结束而结束，不会显著改变海域自然属性。本项目在规划的风电场址进行建设，不会影响毗邻海域用海功能和防洪纳潮功能。 1-2.本项目不会对所述的渔业用海、旅游娱乐用海和国防安全用海造成影响。 1-3.本项目不涉及破坏性活动。 1-4.项目周边无珊瑚礁生态系统分布，不会对其造成影响。	符合
	能源资源利用	2-1.严格控制近海捕捞强度，实行近海捕捞产量负增长政策，严格执行伏季休渔制度和捕捞业准入制度。	2-1.本项目不进行近海捕捞。	符合
	污染物排放管控	3-1.污水和生活垃圾必须科学处置、达标排放，禁止直接排入海域。 3-2.海水养殖应当科学确定养殖密度，并应当合理投饵、施肥，正确使用药物，防止造成海洋环境的污染。	3-1.项目施工过程中产生的污水、固体废物合理收集，不排放。 3-2.本项目不涉及海水养殖。	符合
	环境风险防控	4-1.引进海洋动植物物种，应当进行科学论证，避免对海洋生态系统造成危害。	本项目建设不引进海洋动植物物种。	符合

2) 与高栏港口航运区-劣四类海域和湛江-珠海近海农渔业区-劣四类海域准入清单的符合性分析

高栏港口航运区-劣四类海域（HY44040020018）和湛江-珠海近海农渔业区-劣四类海域（HY44040020030）为近岸海域重点管控单元，本项目与该管控单元的符合性分析见表 12.2-4。本项目符合近岸海域重点管控单元的准入清单。

表 12.2-4 项目与近岸海域重点管控单元准入清单的相符性分析

管控内容		相关要求	项目建设情况	符合性
近岸海域重	区域布局管控	1.从严控制“两高一资”产业在沿海地区布局。 2.立足海洋特色资源和海洋开发需求，积极培育发展海洋新兴产业和先进制造业。 3.依法淘汰沿海地区污染物排放不达标或超过总量控制要求的产能。	1.本项目不属于“两高一资”产业。 2.本项目充分利用海洋风能资源，风电为海洋新兴产业。	符合

管控内容		相关要求	项目建设情况	符合性
点 管 控 单 元		4.除国家重大项目外，全面禁止围填海。 5.船舶不符合污染危害性货物适载要求的，不得载运污染危害性货物，码头、装卸站不得为其进行装载作业。	3.本项目产生的废水废物等均妥善处理不外排。 4.本项目不涉及围填海。 5.本项目使用符合相关要求的船舶。	
	能源资源利用	1.节约集约用海，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。 2.引导船舶靠港使用岸电，推进船舶清洁能源改造，鼓励提前淘汰老旧渔业作业船舶和内河货运船舶。 3.维持岸线自然属性，保持自然岸线形态，砂质岸线向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	1.本项目在规划的风电场址进行建设，不超出规划范围。 2.本项目施工船舶靠港使用岸电。 3.本项目不占用自然岸线。	符合
	污染物排放管控	1.向海域排放陆源污染物，必须严格执行国家或者地方规定的标准和有关规定。 2.禁止向海域排放油类、酸液、碱液、剧毒废液和高、中水平放射性废水；严格限制向海域排放低水平放射性废水，确需排放的，应当符合国家放射性污染防治标准。 3.严格落实排污许可管理要求，加强排污许可证实施监管，督促企业采取有效措施控制污染物排放，达到排污许可证规定的许可排放量要求。 4.以近岸海域劣四类水质分布区为重点，建立健全“近岸水体-入海排污口-排污管线-污染源”全链条治理体系，系统开展入海排污口综合整治，建立入海排污口整治销号制度。 5.从事海水养殖的养殖者，应当采取科学的养殖方式，减少养殖饵料对海洋环境的污染。 6.清理沙滩垃圾，改善旅游环境。	1.项目施工过程中产生的污水、固体废物合理收集，不向海域排放。 2.本项目不向海域排放废水。 3.施工期禁止向海域排放污染物，本项目为风电项目，运营期本身无污染物产生。 4.本项目不涉及入海排污口。 5.本项目不涉及海水养殖。 6.本项目不会对沙滩造成影响。	符合
	环境风险防控	1.进行海上堤坝、跨海桥梁、海上娱乐及运动、景观开发工程建设的，应当采取有效措施防止对海岸的侵蚀或者淤积。 2.制定和完善陆域环境风险源、海上溢油及危险化学品泄漏、海洋环境灾害等对近岸海域影响的应急预案，健全应急响应机制。 3.船舶、港口、码头、装卸站以及其他有关作业单位应当制定防治船舶及其有关作业活动污染海洋环境的应急预案，定期组织演练，并做好相应记录。	1.本项目不涉及所述工程建设。 2.本项目施工船舶制定了海上溢油应急预案。 3.本项目施工船舶制定了相关的污染海洋环境的预案。	符合

(5) 小结

本项目符合生态保护红线、环境质量底线和资源利用上线的要求，符合环境管控单元和生态环境准入清单的要求，因此，项目建设符合《珠海市“三线一单”生

态环境分区管控方案》。

12.4 与相关行业规划、环保规划符合性分析

12.4.1 与《“十四五”可再生能源发展规划》符合性分析

2021 年 10 月 21 日，国家发展改革委、国家能源局、财政部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、农业农村部、中国气象局、国家林业和草原局印发了《“十四五”可再生能源发展规划》。规划远景目标为：“展望 2035 年，我国将基本实现社会主义现代化，碳排放达峰后稳中有降，在 2030 年非化石能源消费占比达到 25%左右和风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上的基础上，上述指标均进一步提高。可再生能源加速替代化石能源，新型电力系统取得实质性成效，可再生能源产业竞争力进一步巩固提升，基本建成清洁低碳、安全高效的能源体系。”规划同时提出：“有序推进海上风电基地建设。开展省级海上风电规划制修订，同步开展规划环评，优化近海海上风电布局，鼓励地方政府出台支持政策，积极推动近海海上风电规模化发展。开展深远海海上风电规划，完善深远海海上风电开发建设管理，推动深远海海上风电技术创新和示范应用，探索集中送出和集中运维模式，积极推进深远海海上风电降本增效，开展深远海海上风电平价示范。探索推进具有海上能源资源供给转换枢纽特征的海上能源岛建设示范，建设海洋能、储能、制氢、海水淡化等多种能源资源转换利用一体化设施。加快推动海上风电集群化开发，重点建设山东半岛、长三角、闽南、粤东和北部湾五大海上风电基地。”

本项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，进行海上风电场建设，为广东省规划的珠海高栏风电场址项目。本项目建设对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用具有重要意义，可加快“碳达峰、碳中和”进程，缓解环境保护压力。同时，项目建设是对广东省海上风电规划的落地实施，项目充分利用所在区域风能资源，有利于《“十四五”可再生能源发展规划》规划目标的实现。因此，项目建设符合《“十四五”可再生能源发展规划》中的相关要求。

12.4.2 与《“十四五”现代能源体系规划》符合性分析

2022 年 1 月，国家发改委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》。规划发展目标为：“展望 2035 年，能源高质量发展取得决定性进展，基本建成现代能源体系。非化石能源消费比重在 2030 年达到 25%的基础上进一步大幅提高，可再生能源发电成为主体电源，新型电力系统建设取得实质性成效，碳排放总量达峰后

稳中有降。”规划要求：“大力发展非化石能源。**加快发展风电、太阳能发电。**全面推进风电和太阳能发电大规模开发和高质量发展，优先就地就近开发利用，加快负荷中心及周边地区分散式风电和分布式光伏建设，推广应用低风速风电技术。在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续整装开发条件、符合区域生态环境保护等要求的地区，有序推进风电和光伏发电集中式开发，加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用，推广光伏发电与建筑一体化应用。开展风电、光伏发电制氢示范。鼓励建设海上风电基地，**推进海上风电向深水区岸区域布局。**积极发展太阳能热发电。”规划同时明确：“**重点建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。**”

广东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。因此，积极发展海上风电，逐步推进海上风电规模化发展，是“十四五”期间全省能源发展建设，提升全省能源生产供应能力，能源消费结构进一步优化的重要措施。

本项目进行海上风电场建设，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用具有重要意义，可加快“碳达峰、碳中和”进程，缓解环境保护压力，符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。项目位于广东省珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，为广东省规划的珠海高栏风电场址项目，项目风电场址与海岸线最近距离为43km，水深介于32m~37.5m之间，为深水区海上风电项目。项目建设是对广东省海上风电规划的落地实施，项目充分利用所在区域风能资源，有利于《“十四五”现代能源体系规划》规划目标的实现。因此，本项目建设符合《“十四五”现代能源体系规划》中相关规划要求。

12.4.3 与《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》符合性分析

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》，“（一）**严格用海选址要求：**海上风电项目用海必须符合国土空间总体规划和海岸带专项规划，海上风电场应在可再生能源用海区或兼容风电用海的功能区选址，不得在其他功能区选址；在兼容海上风电的功能区选址时，应当严格科学论证与相关国土空间规划的符合性，不得影响国防安全和海上交通安全，不得损害所在功能区的主要功能；严格限制在渤海中部等开发强度高、船舶交通流密集的海域规划建设，不得在

生态保护红线、自然保护区、重要航路、锚地、重要渔业水域以及海湾、重要河口、重要滨海湿地、重要鸟类迁徙通道和栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域布局；避免对海底通信光缆相关设施造成干扰。鼓励海上风电集中集约布局、集群式开发，避免大面积零散分布，保障海上风电基地建设。” “（二）**推进深远远岸布局：**属于新增海上风电项目的，应在离岸 30km 以外或水深大于 30 米的海域布局；近岸区域水深超过 30 米的，风电场离岸距离还需不少于 10km；滩涂宽度超过 30km 的，风电场内水深还需不少于 10 米。离岸距离按照海上风电场外包络线与大陆（含海南岛本岛和县级及以上人民政府驻地的海岛）海岸线最近距离计算，水深以最新海图所示风电场内的最浅水深为准。”

本项目为海上风电场工程，属于海上风电项目用海。项目位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，属于为广东省规划的珠海高栏风电场址。项目风电场区位于海洋发展区中的工矿通信用海区，已避开周边生态红线区、自然保护区等。用海选址及工程施工建设方案均符合国土空间总体规划和海岸带专项规划，对国防安全和海上交通安全没有影响，与所在功能区的主要功能相适宜。海缆有加强铠装保护，铺设于海底后有较好的屏蔽作用，对区域内生态功能和生态系统没有损害，不会对海底通信光缆相关设施造成干扰。项目建设满足《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》中海上风电项目用海选址要求。另外，项目风电场址与海岸线最近距离为 43km，水深介于 32m~37.5m 之间，满足《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》中对风电项目离岸距离及水深的布局要求。

综上所述，工程建设符合《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》要求。

12.4.4 与《广东省能源发展“十四五”规划》符合性分析

2022 年 3 月，广东省人民政府办公厅印发了《广东省能源发展“十四五”规划》。《广东省能源发展“十四五”规划》要求，大力发展海上风电，规模化开发海上风电，推动项目集中连片开发利用，打造粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，“十四五”时期新增海上风电装机容量约 1700 万千瓦。

本项目位于规划的珠海高栏场址范围内，布置 36 台 14MW 风电机组，总装机容量为 504MW。本项目所在区域风资源丰富，利用风能因地制宜的建设海上风电场，年上网电量可达 1493.939GWh，是规模化开发海上风电。因此，项目建设符合《广东省能源发展“十四五”规划》的相关要求。

12.4.5 与《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》符合性分析

2022 年 12 月，国家能源局综合司《关于广东省海上风电规划调整的复函》（国能综函新能〔2022〕103 号）批复同意广东省海上风电规划调整。2023 年 1 月 12 日，广东省发展和改革委员会下发了《关于调整全省海上风电场址的通知》（粤发改能源函〔2023〕48 号），对《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》进一步调整，在省管海域新增珠海高栏场址，位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，场址最近端距离高栏岛陆岸约 35 公里，最远端距离陆岸约 53 公里。场址面积约 155 平方公里，水深在 30-36 米之间，规划装机容量 100 万千瓦。

本项目为珠海高栏一海上风电项目，总装机容量为 504MW，拟建设 36 台单机装机容量为 14MW 的海上风机，1 座 500kV 海上升压站，敷设长度为 58.98km 的 6kV 场内集电海缆。项目风机、海上升压站和场内集电海缆均位于规划的珠海高栏场址范围内（见图 12.4-1），符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》中风电场址规划。



图 12.4-1 项目与广东省海上风电规划场址调整示意图相对位置图

12.4.6 与《2030 年前碳达峰行动方案》符合性分析

2021 年 10 月 24 日，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》（以下简称《方

案》)。《方案》围绕贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和的重大战略决策,按照《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》工作要求,聚焦 2030 年前碳达峰目标,对推进碳达峰工作作出总体部署。

《方案》提出**能源绿色低碳转型行动,要求大力发展新能源。全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展**,坚持集中式与分布式并举,加快建设风电和光伏发电基地。加快智能光伏产业创新升级和特色应用,创新“光伏+”模式,推进光伏发电多元布局。坚持陆海并重,推动风电协调快速发展,完善海上风电产业链,鼓励建设海上风电基地。积极发展太阳能光热发电,推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。因地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物天然气。探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用。进一步完善可再生能源电力消纳保障机制。到 2030 年,风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。

面对全球气候和环境挑战,大力发展可再生能源已成为能源发展的必然趋势。我国承诺在 2020 年碳排放强度下降 40%~45%,非化石能源占比达到 15%的基础上,计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰,并计划到 2030 年非化石能源占一次能源的比重提高到 20%左右。在调整能源结构和应对气候变化的双重约束下,大力发展风电、太阳能等技术成熟、经济性较好的可再生能源就显得十分重要。

广东省省内电源装机以火电机组为主,节能减排压力巨大,大力发展核电、风电等新能源产业,是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省沿海风能资源丰富,具备海上风电规模开发的场地和效益,潜力巨大。开发利用广东省近海风能资源,不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护,且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展,实现经济社会的可持续发展,为广东打造风电产业基地创造良好条件。本项目的开发建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针,对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用,缓解环境保护压力,实现 2030 年前碳达峰目标有着重要的意义。因此,本项目建设符合《2030 年前碳达峰行动方案》相关要求。

12.4.7 与《广东省生态环境保护“十四五”规划》符合性分析

2021 年 11 月,广东省生态环境厅印发《广东省生态环境保护“十四五”规划》。规划提出:“**持续优化能源结构。推进能源革命,安全高效发展核电,规模化开发**

海上风电，因地制宜发展陆上风电，提高天然气利用水平，大力推进太阳能发电和集热，加快培育氢能、储能、智慧能源等，加快建立清洁低碳、安全高效、智能创新的现代化能源体系。科学推进能源消费总量和强度“双控”，推动工业、交通、建筑、公共机构、数字基础设施等重点用能领域能效提升。严格控制煤炭消费总量，保障煤电等重点领域用煤需求，其他领域新建耗煤项目必须严格实行煤炭减量替代；珠三角禁止新建、扩建燃煤燃油火电机组和企业燃煤燃油自备电站，推进沙角电厂等列入淘汰计划的老旧燃煤机组和企业自备电站有序退出，原则上不再新建燃煤锅炉，逐步淘汰生物质锅炉、集中供热管网覆盖区域内的分散供热锅炉；粤东西北地区县级及以上城市建成区禁止新建 35 蒸吨/小时及以下燃煤锅炉。加快推进天然气产供储销体系建设，全面实施工业园区集中供热，实现天然气县县通、省级园区通、重点企业通。到 2025 年，全省煤炭消费占一次能源消费比重控制在 31% 以下，珠三角实现煤炭消费总量负增长；全省非化石能源占一次能源消费比重达到 29% 以上；天然气占一次能源消费比重达到 14%。”

本项目为海上风电场建设项目，是清洁能源开发利用项目，相较于火力发电等发电项目，在提供同等电力能源的情况下，可起到减污降碳协同增效的效果。属于《广东省生态环境保护“十四五”规划》中提出的要规模化开发的项目类型。本项目的建设可优化区域能源结构，提高全市非化石能源消费比重，符合《广东省生态环境保护“十四五”规划》的要求。

12.4.8 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》符合性分析

根据《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》，2025 年广东省海洋生态环境保护的主要目标是：“（1）海洋生态环境质量持续改善。近岸海域水质优良（一、二类水质）面积比例达到 86% 以上；陆源主要污染物入海量持续降低，国控河流入海断面稳定消除劣 V 类水质。（2）海洋生态保护修复取得实效。重要海洋生态系统和生物多样性得到保护，海洋生态系统质量和稳定性显著提升，大陆自然岸线保有率和大陆岸线生态修复长度达到国家要求，营造修复红树林 8000 公顷。（3）美丽海湾建设稳步推进。重点推进 15 个美丽海湾建设，亲海环境质量明显改善，公众临海亲海获得感和幸福感显著增强。（4）海洋生态环境治理能力不断提升。海洋生态环境监测监管能力大幅增强，海洋环境污染事故应急响应能力显著提升，陆海统筹的海洋生态环境治理体系不断健全。”2023 年广东省海洋生态环境保护远景目标是：“广东沿海经济带绿色生产生活方式广泛形成，海洋生态环境根本好转，美丽

海湾建设目标基本实现。海洋环境质量短板全面补齐；海洋生态系统稳定性显著增强，生态系统功能全面提升，海洋生物多样性得到有效保护：80%以上重点海湾基本建成“水清滩净、鱼鸥翔集、人海和谐”的美丽海湾，人民对优美海洋生态环境的需求基本满足；海洋生态环境治理体系和治理能力基本实现现代化。”

本项目为海上风电场建设项目，风电机组运行过程中将当地的风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程，在整个流程中，不需要消耗其他常规能源，不产生大气、废水、固体废弃物等污染物，也不会产生大的噪声污染，是清洁能源开发利用项目，相较于火力发电等发电项目，在提供同等电力能源的情况下，可起到减污降碳协同增效的效果。同时，本项目施工期和运营期间产生的各类废水和固体废物均收集上岸委托处理，不排放入海；且本项目施工完成后，将及时对本项目造成的生态损失及时进行补偿修复。因此，本项目的实施对所在海域的海洋环境质量可能产生的环境影响较小，不会影响广东省海洋生态环境保护目标的实现。

综上，本项目建设符合《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》要求。

10.4.9 与《珠海市生态环境保护暨生态文明建设“十四五”规划》符合性分析

《珠海市生态环境保护暨生态文明建设“十四五”规划》提出：“大力发展新能源。加快推进桂山二期、高栏海上风电项目，大力发展太阳能等新能源产业，布局发展智能电网配电成套设备、智能电网用户端设备以及电力信息通信设备等智能电网产业，提升新能源汽车整车企业的竞争力，打造特色新能源产业高地。”“高质量发展蓝色海洋产业。依托万山群岛、环横琴岛和环高栏岛等区域，打造环珠澳蓝色海洋产业带。优化海洋开发格局，统筹岸线近海深远海开发利用。伶仃洋西部海域聚焦高新区等近海向陆区域，发展商务旅游、休闲健康运动、现代渔业等产业；万山群岛海域发展海岛旅游、海洋交通运输、生态渔业等产业，大力发展远洋渔业，建设智能型海洋牧场，加快建设洪湾渔港经济区；磨刀门—黄茅海海域围绕珠海经济技术开发区、富山工业园等产业园区，发展先进制造业、海洋油气、保税仓储、集装箱运输等产业。加快建设海上风电、科创和服务总部基地，打造海上风电科技创新中心。加强与环珠江口区域城市合作，发挥珠海海域广大、海岛众多和岸线资源丰富的优势，加强海岛开发、海洋科教、海洋产业和海洋环保等领域深度合作，高效合理配置珠江口海洋资源。”

本项目为珠海高栏一海上风电项目建设，为广东省规划的珠海高栏风电场址内项目，项目建设是对广东省海上风电规划的落地实施，符合《珠海市生态环境保护暨生态文明建设“十四五”规划》提出的“加快推进桂山二期、高栏海上风电项目”“加快建设海上风电、科创和服务总部基地”要求。因此，本项目建设符合《珠海市生态环境保护暨生态文明建设“十四五”规划》的相关要求。

12.4.10 与《珠海市海洋生态环境保护“十四五”规划》符合性分析

根据《珠海市海洋生态环境保护“十四五”规划》，2025年珠海市海洋生态环境保护的主要目标是：“（1）海洋环境质量持续改善。近岸海域优良（一、二类）水质面积达到78.4%以上；国控河流入海断面消除劣Ⅴ类；城镇污水处理能力达到134.18万吨/天；城镇污水厂达到一级A或以上出水标准比例不低于96%。（2）海洋生态保护修复取得实效。大陆自然岸线保有率不低于12.8%；岸线生态修复长度1.3千米；滨海湿地恢复修复面积50公顷，建设滨海碧道137.8公里。（3）公众亲海获得感显著提升。亲海空间整体品质得到改善，配套服务设施不断完善；整治修复亲海岛海岸长度不低于5.4千米，重点推进5个美丽海湾建设。（4）海洋生态环境治理效能提升。海洋生态环境监测监管能力大幅提升，海洋环境污染事故应急响应能力显著提升，陆海统筹的海洋生态环境治理体系不断健全。”规划提出：“聚焦海洋产业绿色转型。突破发展海洋新兴产业，加快海洋新能源开发利用，适度建设风能等滨海能源利用项目，加大海上太阳能、潮流能、波浪能技术研发，加快海水淡化及综合利用示范应用。打造海洋科技创新高地，支持南方海洋科学与工程广东实验室(珠海)加快发展，加快引进海洋科研院所，推动涉海高水平大学、研究机构在珠海设立分支机构，培育具有核心竞争力的创新型海洋产业领军企业。”

本项目为海上风电场建设项目，风电机组运行过程中将当地风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程，在整个流程中，不需要消耗其他常规能源，不产生大气、废水、固体废弃物等污染物，也不会产生大的噪声污染，是清洁能源开发利用项目，相较于火力发电等发电项目，在提供同等电力能源的情况下，可起到减污降碳协同增效的效果。同时，本项目施工期和运营期间产生的各类废水和固体废物均收集上岸委托处理，不排放入海；且本项目实施的同时建设单位将及时对本项目造成的生态损失及时进行补偿修复。因此，本项目的实施对所在海域的海洋环境质量影响较小，不会影响珠海市海洋生态环境保护目标的实现。并且，本项目充分利用所在区域风能资源发电，可优化区域能源结构，推动可再生资源开发利用，提高

全市非化石能源消费比重，是加快海洋新能源开发利用具体实施，有利于推动珠海市海洋产业绿色转型。

综上，本项目建设符合《珠海市海洋生态环境保护“十四五”规划》要求。

13 环境影响综合评价结论与对策建议

13.1 评价结论

13.1.1 建设概况

珠海高栏场址位于珠海市高栏岛、荷包岛以南海域，从西向东分别为珠海高栏一海上风电项目、珠海高栏二海上风电项目。本项目为珠海高栏一海上风电项目，位于高栏场址西区，风电场址与海岸线最近距离为 43km，场区面积约 74km²，水深 32m~37.5m 之间。项目拟布置 36 台 14MW 风电机组，配套建设 1 座 500kV 海上升压站。风电机组发出的电能通过 8 回 66kV 集电海底电缆接入 500kV 海上升压站，海上升压站布置 1 台容量为 550MVA 的主变压器，500kV 侧采用线变组接线，66kV 侧采用单母分段接线，升压后通过 1 回 500kV 送出海底电缆输送至陆上集控中心。

项目陆上集控中心、海缆陆上部分线路已单独开展环评，并且已于 2024 年 12 月 31 日取得《珠海市生态环境局关于珠海高栏一海上风电项目陆上集控中心环境影响报告书的批复》（珠环辐建〔2024〕8 号）。因此，本报告仅对项目海上风电场、海上升压站、风电场至登陆点的海底电缆工程进行评价。

本项目年上网电量 1493.939GWh，年等效满发小时数为 2964h，容量系数 33.8%。工程总工期 16 个月，总投资 533625 万元，其中环保投资 735.5 万元，约占工程总投资的 0.14%。

13.1.2 环境现状调查

（1）海洋水动力环境

通过 2023 年冬季实测资料和统计分析结果，海域潮流属于不规则半日潮型，各观测垂线表现出了旋转流的特性，同时 a9 垂线具有一定的往复流特性。在垂线方向上，各垂线流速呈现出从浅层次到深层次逐渐减小的趋势；在时间上，各垂线的最大流速呈现出从大潮到小潮逐渐减小的趋势。

（2）海洋环境质量

1) 海水水质环境

2023 年秋季调查海域海水水质评价结果表明，部分站位无机氮、铅、磷酸盐存在超标现象，其余指标均满足功能区海水水质要求；2024 年春季调查海域海水水质评价结果表明，部分站位石油类、无机氮存在超标现象，其余指标均满足功能区海水水质要求。

2) 海洋沉积物环境

2023 年秋季调查海域海洋沉积物评价结果表明, 4 号站位的铜、砷、铬和 30 号站位的铬存在超标情况, 其余站位各检测参数均满足功能区沉积物标准。

3) 海洋生态环境

2023 年秋季: 叶绿素 a 平均含量为 $0.72\text{mg}/\text{m}^3$; 初级生产力平均值为 $164.69\text{mg C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; 浮游植物 80 种; 浮游动物 76 种; 大型底栖动物 59 种; 潮间带生物 14 种。

2024 年春季: 叶绿素 a 平均含量为 $2.17\text{mg}/\text{m}^3$; 初级生产力平均值为 $445.77\text{mg C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; 浮游植物 86 种; 浮游动物种类 93 种; 大型底栖动物 55 种; 潮间带生物 8 种。

4) 海洋生物质量

2023 年秋季和 2024 年春季调查结果显示, 该调查海域除 2023 年秋季 16 和 31 号站软体类生物体中的石油烃指标测值含量超标, 其余站位未出现超标现象。调查站位生物体质量较好。

5) 渔业资源

2023 年秋季获得鱼卵与仔稚鱼 15 种, 游泳生物 99 种; 2024 年春季获得鱼卵与仔稚鱼 21 种, 游泳生物 73 种。

(3) 声环境现状

1) 水上噪声

2023 年 11 月海上声环境现状调查: 海面上环境等效噪声级 (a 计权) 主要分布在 $36\sim 58\text{dB}$ 之间, 平均值为 51.0dB 。最大声级 (a 计权) 的平均值为 63.3dB 。在 $31.5\text{Hz}\sim 8\text{kHz}$ 的频率分布范围内, 各频带噪声级 (a 计权) 的最大动态范围为 35.4dB 。

2024 年 3 月海上声环境现状调查: 海面上环境等效噪声级 (a 计权) 主要分布在 $32\sim 66\text{dB}$ 之间, 平均值为 54.0dB 。最大声级 (a 计权) 的平均值为 67dB 。在 $31.5\text{Hz}\sim 8\text{kHz}$ 的频率分布范围内, 各频带噪声级 (a 计权) 的最大动态范围为 64.8dB 。

2) 水下噪声

2023 年 11 月海下声环境现状调查: 海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降, 在 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 频率范围内, 全频带累积声压级为 80dB , 噪声谱级的总动态变化范围是 89dB , 而在特定频率 (如 100Hz) 的噪声功率谱级的动态变化范围为 43dB 。总体上, 在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 208dB 以下; 500Hz 以上频率的噪声谱级均在 200dB 以下; 1kHz 以上频率的噪声谱级在 192dB 以下; 而在 5

kHz 以上频率，噪声谱级在 172dB 以下。

2024 年 3 月海下声环境现状调查：在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 71dB，噪声谱级的总动态变化范围是 86dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 75dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 181dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 160dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 152dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 144dB 以下。

（4）电磁辐射现状

2023 年 11 月项目周边区域工频电场 RmS 值强度在 0.573V/m~2.430V/m，2024 年 3 月项目周边区域工频电场 RmS 值强度在 0.679V/m~2.82V/m；2023 年 11 月项目周边区域工频磁场 RmS 值强度在 0.0286μT~0.0772μT，2024 年 3 月项目周边区域工频磁场 RmS 值强度在 0.0249μT~0.0651μT。均满足《电磁环境控制限值》GB 8702-2014 表 1 公众曝露控制限值。

（5）鸟类现状调查

在项目区域及周边共记录鸟类 90 种，隶属 13 目 31 科。

1) 海域鸟类现状

在海域中共发现鸟类 5 目 6 科 15 种，共 1910 只次，其中多数个体在离岸 2-5km 范围内发现。数量最多的是红嘴鸥，占海面调查总数量的 44.7%，其次为反嘴鹬，占总数量的 27.7%，数量较多的还有黑尾鸥，占海面调查总数量的 8.1%。其余种类的调查数量均少于总调查数量的 5%，不足 100 只。记录到在海面活动的种类中，一种国家二级保护动物黑鸢，其他种类多为省级重点保护的鸥科和鹭科鸟类。

2) 沿岸鸟类现状

调查共记录种类 13 目 31 科 85 种，数量 18984 只次，占本项目调查总数量的 90.8%，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域。沿岸鸟类优势种为黑腹滨鹬、白鹭和凤头潜鸭，近岸滩涂上分布较多的还有反嘴鹬、苍鹭、环颈鸪、大白鹭等，均超过记录总数量的 5%。在保护物种方面，国家重点保护动物有 12 种；广东省重点保护陆生野生动物的有 19 种；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 8 种；77 种列入“三有”保护名录；列入 IUCN 红皮书近危以上级别的物种有 7 种；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种共有 5 种。

（6）大气环境质量

2023 年珠海市环境空气质量中二氧化硫、二氧化氮、PM₁₀、PM_{2.5}、臭氧、一氧化碳评价浓度达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单浓度限值二级标准，项目所在区属于达标区。

13.1.3 污染物排放情况

（1）施工期污染物排放情况

1）水环境

项目扫海清障作业悬浮物影响很小，基本可以忽略；海缆敷设悬浮泥沙产生速率为 18.96~25.28kg/s，风机桩基施工悬浮泥沙产生速率为 0.60kg/s，海上升压站桩基施工悬浮泥沙产生速率为 0.18kg/s，辅助定位架沉桩悬浮泥沙产生速率为 0.16kg/s，辅助定位架拆除悬浮泥沙产生速率为 0.24kg/s；施工船舶产生的含油污水量为 68.6t/d，船舶生活污水产生量为 15.3t/d。船舶油污水和生活污水分类收集在船载油污水和生活污水收集装置中，待船舶靠岸后，交由有能力的单位接收处理。

2）噪声环境

船舶航行可达 147dB（re 1μPa），海缆敷设产生的水下噪声约为 154dB~179dB re 1V/μPa，海上升压站打桩噪声级取 227dB re 1μPa；风电机组打桩噪声级取 245dB re 1μPa。

3）大气环境

项目施工期废气污染物主要来自施工船舶、机械燃烧柴油排放尾气，主要污染物为 CO、NO_x、SO₂、THC、烟尘等，尾气排放量少，均为无组织排放。

4）固体废物

船舶生活垃圾产生量为 0.34t/d，由施工船舶收集上岸，交由有能力单位接收处理。海缆铺设清障作业产生废弃物约 1.165t，随船携带，待船舶靠岸后外运处理。风机在安装过程中也会有废弃的包装物产生，可由施工单位回收利用。桩基基础产生清孔渣土约 296m³，定向钻登陆施工产生约 9000m³ 的泥浆钻渣，全部运输至陆上集控中项目心施工区，回用于集控中心建设，无废弃土方产生。

（2）运营期污染物排放情况

1）水环境

船舶生活污水产生量为 2.7t/a，在船舶上统一收集，上岸交由有能力单位接收处理；检修船含油污水产生量为 1.68t/a，统一收集至运维船上，待船舶靠岸后交由有能力单位接收处理。

2) 大气环境

本项目为海上风电场建设项目，海上风电场运营期发电过程无废气产生。运营期备用柴油发电机、运维船舶燃油废气产生量都非常小，为间断性排放、无组织排放。

3) 噪声

参考国内华东院等相关风电设计单位源强数据，项目所用风机为3个叶片、14MW，在风机轮毂处最大声功率级取110dB(A)。

海上升压站选用低噪声变压器，且变压器布置在室内，主变在海上升压站边界外1m处的噪声值应小于50dB(a)。

4) 固体废物

项目运维人员生活垃圾年产生量约60kg/a，由运维船收集后运至陆域，交由有能力的船舶污染物接收单位接收处理；风机检修维护过程中产生废零部件、废包装袋(箱)等一般固体废物约0.55t/a，分类集中收集后直接由运维船舶带回岸上，外售资源回收单位综合利用；产生的含油废物等危废年产生量约1.671t/a，分类集中收集至船舶配备的危险废物垃圾箱中，待船舶靠岸后暂存至项目陆上集控中心危废间，与集控中心危险废物一起委托有危废处置资质单位定期清运处理。

5) 电磁辐射

项目500kV海底电缆、500kV升压站厂界外5m处工频电场强度、工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中公众曝露控制限值电场强度4kV/m和磁感应强度100μT的评价标准。

13.1.4 环境影响预测评价

(1) 水动力环境影响

由于风电桩基尺度较小，桩基之间距离较大，风电场建设对工程海域大范围的潮流流态影响很小，工程海域工程前后的潮流场基本一致。风电场建设对工程海域潮流场的影响仅体现在桩基附近局部小范围区域内的流速、流向略有变化，平面上主要表现为涨落潮方向(风机迎水侧和背水侧)流速有所减小。其中，涨、落急时刻风机桩基基础附近的最大流速变幅为0.07m/s和0.05m/s。从垂向分布上看，工程海域流速表现为表层>中层>底层，但总体差距相对不大。同时，工程前后各层流速变化情况保持一致，变化幅度表现为表层>中层>底层。工程前后流速变化大于0.01m/s的影响范围不超过风电场桩基周边1.6km。总体而言，风电

场建设对工程海域的潮流影响很小。

（2）地形地貌冲淤环境影响

由受风机桩基阻水影响，工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）主要呈淤积态势，年淤积厚度最大约 0.23m，年淤积厚度大于 0.01m/a 的影响区域西北方向最远距风电场 2000m，东南方向最远距风电场 1400m；风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）主要呈冲刷态势，年冲刷深度最大约 0.05m，年冲刷深度大于 0.01m/a 的影响区域东北方向最远距风电场 550m，西南方向最远距风电场 1200m。对附近海域粤西江门上川至琼州海峡北水道航路、航道的冲淤影响小于 0.01m/a。

（3）水质环境影响

施工产生的悬沙扩散影响主要位于底层，对中层和表层的影响甚小。底层浓度增量大于 10mg/L 的最大影响面积为 75.59km²，增量浓度大于 10mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 1.6km 海域，增量浓度大于 20mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 1km 海域，增量浓度大于 50mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.5km 海域，增量浓度大于 100mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.15km 海域，增量浓度大于 150mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.05km 海域。悬沙影响主要出现在施工点附近海域，这种影响主要在海缆铺设过程出现，海缆铺设施工迅速，一旦施工完毕，工程所在区域周边水质环境可在较短时间内恢复。本工程施工船舶设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不向海域内排放。因此，项目施工对所在海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，一旦施工结束，影响即可消除。

运营期间风机维护和检修时产生的船舶生活污水、船舱底油污水在运维船上分类收集，待船舶靠岸后，生活污水、含油污水交由有能力单位接收处理，基本不会对所在海域水质环境造成影响。

（4）沉积物环境影响

项目风机机组、海上升压站建设没有大量土石方，不会影响海底沉积物质量。工程施工期与运营期间严禁向海域内丢弃垃圾和建筑废料，污水统一收集后处理，不向海域内排放，不会对周边海域的沉积环境产生明显影响。

（5）大气环境影响

施工机械、船舶产生的废气，由于海面较开阔，废气很快会消散，对大气环境影响很小，且海上施工区周围无环境敏感点，废气对大气环境敏感点不会产生影响。

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。运维船产生的废气在开阔海域很快会消散，对大气环境影响很小。

（6）声环境影响

项目海上风电场施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间有限，无多声源叠加等特点，在打桩作业中采取“软启动”使噪声源强缓慢增强等措施后，能驱使鱼类离开施工水域，可进一步减小水下噪声导致渔业资源的损失，建议工程打桩施工避开鱼类的产卵期。本工程所采用的一般水下施工等活动基本上不会对海洋生物带来影响。海上风电场在运营期总体的噪声强度比较低，不会对海洋生物产生较大影响。

（7）电磁环境影响

通过类比分析，本项目 500kV 海底电缆、500kV 海上升压站运行产生的工频电场、工频磁场均小于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的工频电场 4kV/m、工频磁感应强度 100 μ T 的公众曝露控制限值要求，对周围环境影响较小。

（8）生态环境影响

项目建设共造成浮游植物损失量 2.44×10^{14} ind，浮游动物损失量 6536.14kg，底栖生物损失量 16741.25kg，鱼卵损失量 8.06×10^7 ind，仔稚鱼损失量 5.05×10^7 ind，游泳动物损失量 818.61kg。

（9）固体废物环境影响

施工期船舶生活垃圾收集后运至陆域，上岸交由有能力的单位接收处理；海缆铺设扫海清障作业时产生的障碍物，待船舶靠岸后外运处理；施工过程的废弃包装物由施工单位回收利用；定向钻施工产生的钻渣泥浆，运至陆域参与陆上集控中心土石方平衡；施工期固废都可以妥善处置，对周围环境影响很小。

运营期运维船生活垃圾随船携带，靠岸后交由有能力的单位接收处理，风机检修产生的含油废物集中收集含油废物箱中，由船舶运送上岸后一并交由有资质单位处理，对周围环境影响较小。

（10）鸟类影响

本项目施工期对鸟类产生影响因素为占用海域对鸟类栖息及觅食影响、施工机械噪声及振动影响、施工干扰影响。风电场址不在传统的海洋栖息地中鸟类的觅食区域，滩涂湿地范围内海缆施工会影响鸟类栖息、觅食，但影响随着施工结束而消失。

本项目所在近岸区域鸟类分布最集中的区域为黄茅海两岸，包括珠海平沙湿地和江门新会银湖湾，距离本项目风电场址接近 70km。与本项目风电场距离最近的荷包岛陆岸有 35km，距离高栏岛超过 40km，和大陆岸线之间的空间可满足鸟类飞行需要，对鸟类迁徙通道的阻隔作用较小。在项目场址范围内观测到的鸟类较少，多数个体在离岸 2~5km 范围内发现，数量最多的是红嘴鸥，其次为反嘴鹬，数量较多的还有黑尾鸥。本项目场址区域范围有限，迁徙鸟类有足够的主动规避空间，建成后对鸟类迁徙影响较小。

本项目风电场不属于传统的海洋栖息地，不是鸟类的主要觅食区且鸟类本身能主动规避这些区域，因此对鸟类栖息、觅食的影响非常小。风机轮毂高度约为 155m，风轮直径为 252m，总高度为 407m，鸥类飞行高度约为 20m，反嘴鹬一般不高飞，在海面活动，风机对鸟类飞行影响较小。风电场运营期间产生的噪声、电磁辐射较小，对鸟类的影响可接受。

(11) 环境敏感目标影响

本项目评价范围内涉及的环境敏感区主要为中华白海豚自然保护区、养殖区、渔业资源“三场一通道”、生态保护红线、海岛等，本项目不占用中华白海豚自然保护区、养殖区、生态保护红线、海岛、国控水质监测站点海域。根据数模预测结果，施工作业期间，悬浮泥沙扩散范围会影响到养殖区，但施工时间较短，随着施工作业结束，悬浮泥沙将在数小时内恢复海域本底水平。

本项目风电场、海底电缆占用南海底层、近底层鱼类产卵场（金线鱼产卵场、绯鲤类产卵场）、南海中上层鱼类产卵场（蓝圆鲹产卵场）、南海北部幼鱼繁育场保护区、南海国家级及省级渔业品种保护区。项目施工产生的悬浮泥沙会影响海水水质，对产卵场、保护区的幼鱼及其饵料生物产生一定的影响，但施工时间较短，随着施工作业结束，悬浮泥沙将在数小时内恢复海域本底水平。建议合理安排风机、海上升压站桩基施工和海缆敷设施工时间，避开对金线鱼、绯鲤类、蓝圆鲹等产卵期，幼鱼保护期等影响。

13.1.5 环境风险预测评价

本项目施工期和运行期存在潜在的主要环境事故风险有施工船舶之间、施工船舶与风机、其他船舶与风机碰撞溢油风险；风机桩基失稳内部油料泄漏风险；升压站倒塌内部油料泄漏风险等。

船舶溢油事故会对海洋生物的生长、发育以及群落结构直接产生影响，还会破

坏食物链，使海洋生态系统失调，直接与潜在影响较大。但由于施工所用船舶载油量小，一般管理操作失误不会引起较大的溢油事故，在合理安排施工计划并及时上报有关航运指挥部门的前提下，本报告提出了相应的事故防范措施，将事故的发生概率和事故发生后对环境的影响控制到最低。

13.1.6 环境保护对策措施

工程建设对环境产生一定的影响，如局部水域水质混浊（短时间），对区域水质及海洋生物的影响等。在工程设计和施工方案中采取必要的措施，使其对环境的不利影响控制在国家允许的限值以内，不影响周围环境使用功能要求。

工程施工和运营过程中废水、噪声、电磁辐射、固体废物等均有合理的处置和防治措施，环境保护对策措施合理、可行。

13.1.7 环境影响经济损益分析

本项目工程静态投资 533625 万元，环保投资 735.5 万元，约占工程总投资的 0.14%。项目建设可在区域内带来较大的经济效益和社会效益。

13.1.8 环境管理和监测计划

企业成立安全环保部门，作为环境保护工作的常设管理机构，负责环境保护工作，并制定了详细的海洋监测计划，对项目达标排放情况定期进行监测。

13.1.9 环境影响可行性结论

本项目为风力发电项目，属于可再生能源和清洁能源利用项目，属于国家产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的鼓励类项目，符合国家产业政策的要求。项目建设符合《“十四五”现代能源体系规划》《广东省能源发展“十四五”规划》《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（2023 年修编）》，对于降低煤炭消耗、减轻环境污染，缓解环境保护压力、改善区域能源结构等具有非常积极的意义，是发展低碳经济、建设节约型社会的具体体现，是广东省能源发展战略的重要组成部分。

本项目各类废气、噪声排放均满足国家标准要求，污水和固体废物得到妥善处置，对周围敏感目标影响较小，各污染防治措施具有经济技术可行性。项目的环保投入，可使项目实现清洁生产、达标排放，最大限度地减轻对环境的不利影响，从而使项目的建设达到经济效益、环境效益和社会效益的统一、协调发展。

项目建设对附近海域水文动力和冲淤环境的影响较小，对周边生态环境的影响

较小。正常工况下，本项目排放的污染物能满足相应环境质量标准要求。本项目风险水平为低风险，在落实了相关应急措施、设施，加强风险管理后，可以避免大的环境风险，项目所带来的环境风险是可以接受的，可控的。在认真落实本报告提出的各项环保对策和建议，并加强环保管理的前提下，从环境保护的角度，项目建设是可行的。

13.2 建议

(1) 建议采取措施降低打桩噪声。目前已经采用的方法有气泡帷幕、围堰隔离桩、隔离套筒，或者采用更小的桩型。气泡帷幕可以衰减 5dB 至 20dB 噪声，但是其效果受设计和使用因素的影响。围堰通常采用焊接板桩或者充气式水囊将桩与水体完全隔离，抽干围堰内水后实施打桩施工，具有气泡帷幕同等的衰减性能。隔离套筒利用比打桩桩柱的直径稍大一些的中空套筒，将套筒内水抽干后实施打桩施工。因为隔离套筒所造就的隔离空间比围堰更小，所以其衰减程度不如围堰，但通常认为隔离套筒的衰减性能也至少能达到气泡帷幕的衰减能力。

(2) 建设单位应认真落实本报告书提出的各项环保措施和污染防治措施，认真执行环保措施“三同时”制度，力争将项目建设对环境造成的不利影响降至最低。

(3) 认真执行施工期的环境监理制度，确保各项环境保护措施和污染防治措施有效运行。

(4) 本项目风电场区涉及金线鱼产卵场、绯鲤类产卵场、蓝圆鲹产卵场、幼鱼幼虾保护区、南海北部幼鱼繁育场保护区，建议施工单位合理安排工期，基础施工、海缆敷设尽量避开以上鱼类产卵期（12 月至翌年 8 月），降低对鱼类产卵的影响，无法避开的，应在增殖放流过程考虑补偿受施工影响的鱼苗；海缆敷设应避开幼鱼幼虾保护期（3 月 1 日至 5 月 31 日）；施工过程在南海北部幼鱼繁育场保护区内禁止进行底拖网作业。

(5) 建议施工期在依托高栏港区溢油应急处置的基础上，与应急处置公司签订应急协议，配合联合行动，缩短应急响应时间，提高溢油风险防范能力。

(6) 认真执行建设项目环境影响跟踪监测制度，发现问题，及时采取补救措施，并上报有关管理部门，必要时应停止施工和运营。

附表

附表 1 秋季海水水质调查结果表

站号	采样深度	水深	现场水温	盐度	pH	DO	COD _{mn}	油类	铵盐	亚硝酸盐	硝酸盐
	(m)	(m)	(°C)			(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
24	0.5	42	26.9	33.99	8.08	6.62	0.12	20.4	7.02	0.68	26.73
24	25.2	42	26.9	34.00	8.09	6.64	0.11		3.46	0.70	51.99
24	40.0	42	26.9	34.00	8.09	6.67	0.15		ND	0.67	53.76
22	0.5	41	26.8	34.00	8.08	6.77	0.12	14.9	ND	0.83	26.33
22	24.6	41	26.8	33.99	8.08	6.66	0.26		ND	0.98	67.51
22	39.0	41	26.8	33.98	8.08	6.56	0.11		3.75	1.09	32.99
23	0.5	40	26.7	33.99	8.09	6.71	0.20	9.6	3.15	0.70	36.56
23	24.0	40	26.8	33.97	8.08	6.58	0.15		5.35	0.86	82.57
23	38.0	40	26.8	33.99	8.08	6.62	0.27		2.74	0.70	33.67
21	0.5	40	26.5	33.91	8.08	6.74	0.26	32.7	8.41	0.81	30.13
21	24.0	40	26.5	33.85	8.08	6.67	0.30		ND	0.95	43.40
21	38.0	40	26.5	33.81	8.08	6.61	0.46		ND	1.02	30.25
16	0.5	38	26.6	33.78	8.12	6.66	0.24	31.5	ND	1.64	92.63
16	22.8	38	26.6	33.70	8.12	6.58	0.26		2.62	1.59	41.39
16	36.0	38	26.6	33.75	8.13	6.55	0.26		3.35	1.80	24.80
18	0.5	36	27.0	33.74	8.21	6.67	0.31	11.9	ND	5.33	238.42
18	21.6	36	26.8	33.72	8.20	6.61	0.25		2.93	1.34	252.76
18	34.0	36	26.8	33.71	8.21	6.55	0.14		ND	1.49	122.56
34	0.5	35	26.9	33.47	8.09	6.86	0.11	5.7	ND	1.75	118.84
34	21.0	35	26.6	33.46	8.09	6.77	0.12		ND	1.29	60.97
34	33.0	35	26.6	33.57	8.09	6.66	0.13		ND	1.65	89.12
33	0.5	35	26.9	33.73	8.20	6.72	0.19	12.2	ND	1.08	131.20
33	21.0	35	26.7	33.75	8.20	6.71	0.11		ND	1.15	75.57
33	33.0	35	26.7	33.74	8.21	6.60	0.12		ND	1.34	134.90
19	0.5	35	26.8	33.68	8.21	6.71	0.16	58.1	ND	1.39	113.33
19	21.0	35	26.7	33.67	8.21	6.71	0.34		ND	1.20	139.68
19	33.0	35	26.6	33.72	8.21	6.56	0.27		ND	1.30	201.66

站号	采样深度	水深	现场水温	盐度	pH	DO	COD _{mn}	油类	铵盐	亚硝酸盐	硝酸盐
	(m)	(m)	(°C)			(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
11	0.5	33	26.7	33.43	8.08	6.59	0.31	40.5	ND	5.76	8.37
11	19.8	33	26.6	33.49	8.08	6.54	0.24		ND	3.54	26.98
11	31.0	33	26.6	33.42	8.09	6.55	0.32		4.97	3.35	58.14
17	0.5	33	27.1	33.75	8.23	6.79	0.15	45.6	ND	1.05	97.42
17	19.8	33	26.8	33.73	8.22	6.87	0.21		ND	0.90	136.96
17	31.0	33	26.8	33.69	8.22	6.68	0.16		ND	1.13	73.49
32	0.5	33	27.0	33.64	8.22	6.83	0.15	8.5	ND	1.15	213.93
32	19.8	33	26.7	33.69	8.21	6.71	0.31		ND	1.33	200.28
32	31.0	33	26.7	33.60	8.21	6.63	0.22		ND	1.27	75.12
14	0.5	33	26.7	33.62	8.22	6.76	0.31	14.7	ND	1.64	90.27
14	19.8	33	26.6	33.57	8.21	6.63	0.20		ND	2.01	62.96
14	31.0	33	26.5	33.63	8.21	6.54	0.21		ND	2.12	33.10
12	0.5	32	26.8	33.36	8.08	6.76	0.34	23.4	2.14	2.99	97.26
12	19.2	32	26.6	33.33	8.08	6.53	0.46		4.13	3.54	169.38
12	30.0	32	26.5	33.42	8.08	6.37	0.21		ND	3.98	250.41
31	0.5	32	23.7	33.68	8.19	6.92	0.30	10.1	ND	4.89	56.72
31	19.2	32	24.2	33.78	8.19	6.78	0.27		6.40	3.41	79.00
31	30.0	32	24.1	33.85	8.20	6.64	0.25		ND	2.70	45.84
13	0.5	32	23.8	33.72	8.19	6.97	0.30	15.1	ND	3.22	46.62
13	19.2	32	24.0	33.85	8.19	7.16	0.31		2.63	1.72	67.92
13	30.0	32	24.3	33.92	8.19	6.75	0.22		ND	1.66	41.41
9	0.5	29	23.8	33.51	8.09	6.79	0.34	ND	16.23	16.14	72.03
9	17.4	29	23.9	33.51	8.10	6.66	0.29		6.39	13.33	58.25
9	23.8	29	23.8	33.71	8.12	6.56	0.25		ND	11.81	56.39
8	0.5	29	24.0	33.82	8.18	6.90	0.31	ND	ND	15.65	27.02
8	17.4	29	23.8	33.62	8.18	6.71	0.23		ND	11.56	59.31
8	27.0	29	24.0	33.71	8.18	6.60	0.28		ND	9.36	42.14
7	0.5	27	26.8	33.30	8.08	6.77	0.32	5.8	ND	0.0056	0.3234
7	16.2	27	26.6	33.34	8.08	6.60	0.41		ND	5.91	59.33
7	25.0	27	25.0	33.37	8.10	6.37	0.09		ND	7.97	407.09

站号	采样深度	水深	现场水温	盐度	pH	DO	COD _{mn}	油类	铵盐	亚硝酸盐	硝酸盐
	(m)	(m)	(°C)			(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
5	0.5	27	23.3	31.26	8.16	6.99	0.46	ND	ND	36.69	116.34
5	16.2	27	23.8	33.30	8.18	6.89	0.31		3.38	11.87	61.47
5	25.0	27	24.0	33.51	8.19	6.94	0.20		ND	11.46	48.86
6	0.5	23	26.4	33.18	8.07	6.56	0.27	9.0	3.40	6.52	46.11
6	21.0	23	26.4	33.28	8.07	6.43	0.24	ND	ND	5.38	77.16
30	0.5	21	22.9	29.76	8.15	7.43	0.25	5.7	ND	30.78	234.83
30	19.0	21	23.6	32.41	8.16	7.22	0.34		ND	29.17	99.32
4	0.5	19	22.8	29.34	8.15	7.47	0.28	10.1	ND	32.10	195.04
4	19.0	19	23.8	32.71	8.16	6.59	0.16		5.81	20.60	92.80
29	0.5	11	23.4	28.09	8.18	8.24	0.66	9.0	3.49	35.51	457.33
29	9.0	11	23.2	28.85	8.13	7.44	0.67		ND	37.21	473.06
2	0.5	8	23.4	27.24	8.12	7.69	0.91	27.0	7.23	40.40	710.85
1	0.5	8	23.6	25.11	8.10	7.75	1.16	ND	ND	37.96	693.47
3	0.5	7	22.3	25.70	8.14	7.86	0.69	ND	6.55	42.31	868.84
28	0.5	7	23.2	27.43	8.12	7.39	0.84	ND	7.92	45.38	706.59
27	0.5	7	23.2	27.06	8.13	7.33	0.86	41.0	9.46	44.79	684.25
26	0.5	6	23.6	21.82	8.11	8.11	1.09	21.5	10.15	51.04	1025.75
最大值	/	/	27.1	34.00	8.23	8.24	1.16	58.1	16.23	51.04	1025.75
最小值	/	/	22.3	21.82	8.07	6.37	0.09	ND	ND	0.0056	0.3234
平均值	/	/	25.6	32.71	8.14	6.83	0.31	16.0	2.34	9.45	157.56

注：“ND”表示未检出

续表：

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	(μg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
24	42	3.35	5.4	ND	0.8	0.32	11.2	ND	1.2	ND
24	42	3.76	4.3	0.008	0.4	0.34	29.9	ND	1.2	ND
24	42	4.07	11.5	0.009	0.2	0.33	10.9	ND	1.2	ND
22	41	3.07	3.0	ND	0.9	0.32	11.0	ND	1.1	ND

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	($\mu\text{g/L}$)	(mg/L)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)
22	41	5.64	2.7	ND	ND	0.25	9.8	ND	1.2	ND
22	41	3.60	2.1	ND	ND	0.25	10.3	ND	1.1	ND
23	40	3.35	1.3	0.011	1.4	0.62	12.9	ND	1.1	ND
23	40	3.12	4.4	0.012	0.8	0.19	11.3	ND	1.2	ND
23	40	2.93	3.0	ND	0.5	0.34	14.4	ND	1.1	ND
21	40	2.95	1.0	ND	0.6	0.22	11.6	ND	1.2	ND
21	40	3.86	5.3	ND	0.5	0.37	9.8	ND	1.0	ND
21	40	4.68	1.9	ND	0.3	0.28	10.8	ND	1.0	ND
16	38	4.42	4.6	ND	0.6	0.31	12.2	ND	1.0	ND
16	38	3.66	11.9	ND	0.2	0.31	11.0	ND	1.0	ND
16	38	2.87	3.3	ND	0.4	0.16	13.2	ND	1.0	ND
18	36	3.83	1.0	ND	ND	0.16	7.7	ND	1.0	ND
18	36	4.26	4.3	ND	ND	0.16	10.3	ND	1.0	ND
18	36	3.69	2.6	ND	ND	0.33	9.3	ND	1.2	ND
34	35	3.07	2.3	ND	2.3	1.02	9.1	ND	1.0	ND
34	35	2.42	1.5	ND	0.2	0.48	8.0	ND	1.0	ND
34	35	2.73	2.9	ND	ND	0.17	9.3	ND	1.0	ND
33	35	3.24	0.1	ND	ND	0.36	6.7	ND	1.0	ND
33	35	3.66	1.2	ND	ND	0.16	5.6	ND	1.0	ND
33	35	3.62	1.3	ND	ND	0.04	7.0	ND	1.0	ND
19	35	4.45	0.2	ND	ND	0.18	7.1	ND	1.1	ND
19	35	4.96	1.1	ND	ND	ND	7.6	ND	1.1	ND
19	35	5.19	0.5	ND	ND	0.26	5.1	ND	1.0	ND
11	33	4.85	2.5	ND	0.6	0.37	12.2	ND	1.1	ND
11	33	2.98	2.3	ND	0.2	0.16	8.9	ND	1.1	ND
11	33	3.89	0.8	ND	ND	0.17	5.9	ND	1.1	ND
17	33	2.90	4.5	ND	0.4	0.35	6.7	ND	0.9	ND
17	33	2.87	0.6	ND	ND	0.13	7.6	ND	0.9	ND
17	33	3.29	1.2	ND	0.4	0.23	7.7	ND	0.9	ND

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	($\mu\text{g/L}$)	(mg/L)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)
32	33	3.01	2.1	ND	0.3	0.23	8.1	ND	1.0	ND
32	33	3.15	1.4	ND	ND	0.80	8.4	ND	1.0	ND
32	33	3.86	1.7	0.008	ND	0.14	5.8	ND	1.0	ND
14	33	3.75	0.9	ND	0.1	0.23	5.1	ND	1.0	ND
14	33	3.10	1.5	ND	ND	0.29	7.6	ND	1.1	ND
14	33	4.20	5.2	ND	ND	0.29	14.7	ND	1.0	ND
12	32	2.84	1.0	ND	0.8	0.37	9.6	ND	1.1	ND
12	32	5.13	4.2	ND	0.3	0.29	9.6	ND	1.1	ND
12	32	3.66	5.1	ND	ND	0.21	7.6	ND	1.1	ND
31	32	6.12	1.3	0.008	0.6	0.45	ND	ND	1.2	ND
31	32	6.43	0.8	ND	0.5	0.56	ND	ND	1.2	ND
31	32	6.46	1.8	ND	1.1	0.57	ND	ND	1.2	ND
13	32	6.18	7.0	ND	1.1	0.99	7.6	ND	1.2	ND
13	32	6.04	1.2	ND	0.7	0.39	ND	ND	1.2	ND
13	32	6.04	3.8	ND	0.5	0.65	ND	ND	1.1	ND
9	29	7.11	3.6	0.008	1.2	0.76	6.2	ND	1.2	0.4
9	29	7.25	12.3	0.010	0.7	0.44	ND	ND	1.3	ND
9	29	12.74	7.6	0.017	0.9	0.53	3.9	ND	1.2	ND
8	29	7.87	1.3	ND	1.1	0.49	3.2	ND	1.2	ND
8	29	8.04	4.5	0.011	0.5	0.29	7.2	ND	1.2	ND
8	29	8.07	13.4	0.015	0.6	0.16	6.2	ND	1.2	ND
7	27	3.30	2.2	ND	0.4	0.14	9.5	ND	1.2	ND
7	27	3.07	0.1	ND	0.4	0.14	10.2	ND	1.2	ND
7	27	3.83	0.9	ND	0.3	0.20	8.9	ND	1.1	ND
5	27	14.91	9.0	ND	1.1	0.56	6.5	ND	1.2	ND
5	27	10.76	1.7	ND	0.6	0.36	8.0	ND	1.3	ND
5	27	11.10	2.5	0.007	0.5	0.40	5.9	ND	1.2	ND
6	23	3.80	4.4	ND	0.5	0.18	9.4	ND	1.2	ND
6	23	3.65	5.5	ND	0.4	0.19	9.6	ND	1.1	ND

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	($\mu\text{g/L}$)	(mg/L)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)
30	21	17.01	3.3	0.012	1.5	0.29	8.7	ND	1.3	ND
30	21	12.26	4.7	0.013	0.6	0.15	7.9	ND	1.3	ND
4	19	16.89	3.4	0.014	1.1	0.30	8.8	0.03	1.3	ND
4	19	12.54	5.0	0.004	0.6	0.15	6.3	ND	1.2	ND
29	11	13.19	3.9	ND	1.1	0.55	3.6	ND	1.4	ND
29	11	16.61	5.6	ND	1.2	0.13	3.2	ND	1.4	ND
2	8	17.91	12.8	0.010	1.2	0.12	5.6	ND	1.4	ND
1	8	20.99	7.9	0.011	1.1	0.26	4.7	0.02	1.4	ND
3	7	25.06	4.4	0.012	1.3	0.24	6.9	0.04	1.5	ND
28	7	21.05	10.3	ND	1.0	0.11	4.4	0.01	1.4	ND
27	7	21.25	9.3	0.009	1.2	0.23	5.5	0.02	1.4	ND
26	6	19.55	6.6	0.015	1.1	0.17	5.0	0.02	1.3	ND
最大值	/	25.06	13.4	0.017	2.3	1.02	29.9	0.04	1.5	0.4
最小值	/	2.42	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	1.1	ND
平均值	/	6.91	3.8	0.004	0.6	0.32	8.0	0.00	1.1	0.1

注：“ND”表示未检出

附表2 秋季海水水质评价结果

站号	采样深度	pH	DO		油类		COD _{mn}	无机氮				磷酸盐	
		一二类	一类	二类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类	一类	二三类
24	0.50	0.72	0.91	0.76	0.41	0.07	0.06	0.17	0.11	0.09	0.07	0.22	0.11
24	25.2	0.73	0.01	0.00			0.06	0.28	0.19	0.14	0.11	0.25	0.13
24	40	0.73	0.05	0.02			0.06	0.28	0.19	0.14	0.11	0.27	0.14
23	0.5	0.73	0.08	0.03	0.19	0.03	0.10	0.20	0.13	0.10	0.08	0.22	0.11
23	24	0.72	0.91	0.76			0.07	0.44	0.30	0.22	0.18	0.21	0.10
23	38	0.72	0.91	0.76			0.14	0.19	0.12	0.09	0.07	0.20	0.10
22	0.5	0.72	0.19	0.07	0.30	0.05	0.06	0.14	0.09	0.07	0.06	0.20	0.10
22	24.6	0.72	0.01	0.01			0.13	0.35	0.23	0.17	0.14	0.38	0.19
22	39	0.72	0.91	0.76			0.06	0.19	0.13	0.09	0.08	0.24	0.12

站号	采样深度	pH	DO		油类		COD _{mn}	无机氮					磷酸盐	
		一二类	一类	二类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类	一类	二三类	
21	0.5	0.72	0.08	0.03	0.65	0.11	0.13	0.20	0.13	0.10	0.08	0.20	0.10	
21	24	0.72	0.90	0.75			0.15	0.22	0.15	0.11	0.09	0.26	0.13	
21	38	0.72	0.91	0.76			0.23	0.16	0.11	0.08	0.06	0.31	0.16	
16	0.5	0.75	0.90	0.75	0.63	0.10	0.12	0.47	0.32	0.24	0.19	0.29	0.15	
16	22.8	0.75	0.91	0.76			0.13	0.23	0.15	0.11	0.09	0.24	0.12	
16	36	0.75	0.92	0.76			0.13	0.15	0.10	0.07	0.06	0.19	0.10	
11	0.5	0.72	0.91	0.76	0.81	0.13	0.16	0.07	0.05	0.04	0.03	0.32	0.16	
11	19.8	0.72	0.92	0.76			0.12	0.16	0.10	0.08	0.06	0.20	0.10	
11	31	0.73	0.92	0.76			0.16	0.33	0.22	0.17	0.13	0.26	0.13	
6	0.5	0.71	0.91	0.76	0.18	0.03	0.14	0.28	0.19	0.14	0.11	0.25	0.13	
6	16.2	0.71	0.93	0.78			0.12	0.28	0.19	0.14	0.11	0.25	0.13	
7	0.5	0.72	0.13	0.05	0.12	0.02	0.16	1.65	1.10	0.82	0.66	0.22	0.11	
7	16.2	0.72	0.91	0.76			0.20	0.33	0.22	0.16	0.13	0.20	0.10	
7	25	0.73	0.94	0.78			0.05	2.08	1.39	1.04	0.83	0.26	0.13	
12	0.5	0.72	0.12	0.05	0.47	0.08	0.17	0.51	0.34	0.26	0.20	0.19	0.09	
12	19.2	0.72	0.92	0.77			0.23	0.89	0.59	0.44	0.35	0.34	0.17	
12	30	0.72	0.94	0.78			0.10	1.28	0.85	0.64	0.51	0.24	0.12	
34	0.5	0.73	0.31	0.12	0.11	0.02	0.06	0.61	0.40	0.30	0.24	0.20	0.10	
34	21	0.73	0.11	0.05			0.06	0.31	0.21	0.16	0.13	0.16	0.08	
34	33	0.73	0.90	0.75			0.07	0.46	0.30	0.23	0.18	0.18	0.09	
17	0.5	0.82	0.26	0.10	0.91	0.15	0.07	0.50	0.33	0.25	0.20	0.19	0.10	
17	19.8	0.81	0.32	0.13			0.10	0.69	0.46	0.35	0.28	0.19	0.10	
17	31	0.81	0.02	0.01			0.08	0.38	0.25	0.19	0.15	0.22	0.11	
32	0.5	0.81	0.29	0.11	0.17	0.03	0.07	1.08	0.72	0.54	0.43	0.20	0.10	
32	19.8	0.81	0.05	0.02			0.16	1.01	0.67	0.51	0.40	0.21	0.11	
32	31	0.81	0.91	0.75			0.11	0.39	0.26	0.19	0.15	0.26	0.13	
18	0.5	0.81	0.05	0.02	0.24	0.04	0.16	1.22	0.81	0.61	0.49	0.26	0.13	
18	21.6	0.80	0.91	0.76			0.12	1.29	0.86	0.64	0.51	0.28	0.14	
18	34	0.81	0.92	0.76			0.07	0.62	0.42	0.31	0.25	0.25	0.12	
33	0.5	0.80	0.11	0.04	0.24	0.04	0.10	0.66	0.44	0.33	0.27	0.22	0.11	

站号	采样深度	pH	DO		油类		COD _{mn}	无机氮					磷酸盐	
		一二类	一类	二类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类	一类	二三类	
33	21	0.80	0.06	0.02			0.05	0.39	0.26	0.19	0.15	0.24	0.12	
33	33	0.81	0.91	0.76			0.06	0.68	0.46	0.34	0.27	0.24	0.12	
19	0.5	0.81	0.07	0.03	1.16	0.19	0.08	0.58	0.38	0.29	0.23	0.30	0.15	
19	21	0.81	0.06	0.02			0.17	0.71	0.47	0.35	0.28	0.33	0.17	
19	33	0.81	0.92	0.76			0.14	1.02	0.68	0.51	0.41	0.35	0.17	
14	0.5	0.81	0.12	0.05	0.29	0.05	0.16	0.46	0.31	0.23	0.19	0.25	0.12	
14	19.8	0.81	0.90	0.75			0.10	0.33	0.22	0.16	0.13	0.21	0.10	
14	31	0.81	0.92	0.76			0.10	0.18	0.12	0.09	0.07	0.28	0.14	
9	0.5	0.73	0.88	0.74	0.04	0.01	0.17	0.52	0.35	0.26	0.21	0.47	0.24	
9	17.4	0.73	0.90	0.75			0.14	0.39	0.26	0.19	0.16	0.48	0.24	
9	23.8	0.75	0.91	0.76			0.12	0.34	0.23	0.17	0.14	0.85	0.42	
31	0.5	0.79	0.87	0.72	0.20	0.03	0.15	0.31	0.21	0.16	0.12	0.41	0.20	
31	19.2	0.79	0.88	0.74			0.14	0.44	0.30	0.22	0.18	0.43	0.21	
31	30	0.80	0.90	0.75			0.12	0.25	0.16	0.12	0.10	0.43	0.22	
13	0.5	0.79	0.86	0.72	0.30	0.05	0.15	0.25	0.17	0.13	0.10	0.41	0.21	
13	19.2	0.79	0.18	0.09			0.16	0.36	0.24	0.18	0.14	0.40	0.20	
13	30	0.79	0.89	0.74			0.11	0.22	0.15	0.11	0.09	0.40	0.20	
8	0.5	0.79	0.87	0.72	0.01	0.00	0.16	0.22	0.14	0.11	0.09	0.52	0.26	
8	17.4	0.79	0.89	0.75			0.12	0.36	0.24	0.18	0.14	0.54	0.27	
8	27	0.79	0.91	0.76			0.14	0.26	0.17	0.13	0.10	0.54	0.27	
5	0.5	0.77	0.86	0.72	0.04	0.01	0.23	0.77	0.51	0.38	0.31	0.99	0.50	
5	16.2	0.79	0.87	0.73			0.16	0.38	0.26	0.19	0.15	0.72	0.36	
5	25	0.79	0.86	0.72			0.10	0.30	0.20	0.15	0.12	0.74	0.37	
30	0.5	0.77	0.09	0.05	0.11	0.02	0.12	1.33	0.89	0.67	0.53	1.13	0.57	
30	19	0.77	0.11	0.06			0.17	0.65	0.43	0.32	0.26	0.82	0.41	
4	0.5	0.77	0.10	0.05	0.20	0.03	0.14	1.14	0.76	0.57	0.46	1.13	0.56	
4	19	0.77	0.91	0.76			0.08	0.60	0.40	0.30	0.24	0.84	0.42	
3	0.5	0.76	0.30	0.18	0.18	0.03	0.00	4.59	3.06	2.29	1.84	1.67	0.84	
29	0.5	0.79	0.70	0.40	0.18	0.03	0.33	2.48	1.65	1.24	0.99	0.88	0.44	
29	9	0.75	0.10	0.05			0.34	2.55	1.70	1.28	1.02	1.11	0.55	

站号	采样深度	pH	DO		油类		COD _{mn}	无机氮					磷酸盐	
		一二类	一类	二类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类	一类	二三类	
28	0.5	0.75	0.01	0.01	0.06	0.01	0.42	3.80	2.53	1.90	1.52	1.40	0.70	
27	0.5	0.75	0.82	0.68	0.82	0.14	0.43	3.69	2.46	1.85	1.48	1.42	0.71	
2	0.5	0.75	0.24	0.14	0.54	0.09	0.46	3.79	2.53	1.90	1.52	1.19	0.60	
1	0.5	0.73	0.22	0.13	0.04	0.01	0.58	3.66	2.44	1.83	1.46	1.40	0.70	
26	0.5	0.74	0.33	0.20	0.43	0.07	0.55	5.43	3.62	2.72	2.17	1.30	0.65	
最大值		0.82	0.94	0.78	1.16	0.19	0.58	5.43	3.62	2.72	2.17	1.67	0.84	
最小值		0.71	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.05	0.04	0.03	0.16	0.08	
平均值		0.76	0.58	0.46	0.33	0.06	0.15	0.87	0.58	0.43	0.35	0.46	0.23	
超标率%		0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	24.3	13.5	12.2	9.46	12.2	0.00	

续表:

站号	采样深度	铜	铅		锌		镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	二类	一类	二类	一类	一类	一类	一类
24	0.50	0.15	0.32	0.06	0.56	0.22	0.00	0.06	0.00	0.04
24	25.2	0.08	0.33	0.07	1.50	0.60	0.00	0.06	0.00	0.10
24	40	0.03	0.33	0.07	0.54	0.22	0.00	0.06	0.00	0.11
23	0.5	0.29	0.62	0.12	0.64	0.26	0.00	0.06	0.00	0.22
23	24	0.16	0.19	0.04	0.56	0.23	0.00	0.06	0.00	0.24
23	38	0.10	0.34	0.07	0.72	0.29	0.00	0.06	0.00	0.04
22	0.5	0.17	0.32	0.06	0.55	0.22	0.00	0.06	0.00	0.04
22	24.6	0.02	0.25	0.05	0.49	0.20	0.00	0.06	0.00	0.04
22	39	0.02	0.25	0.05	0.51	0.21	0.00	0.06	0.00	0.04
21	0.5	0.12	0.22	0.04	0.58	0.23	0.00	0.06	0.00	0.04
21	24	0.11	0.37	0.07	0.49	0.20	0.00	0.05	0.00	0.04
21	38	0.05	0.28	0.06	0.54	0.22	0.00	0.05	0.00	0.04
16	0.5	0.12	0.31	0.06	0.61	0.24	0.00	0.05	0.00	0.04
16	22.8	0.05	0.31	0.06	0.55	0.22	0.00	0.05	0.00	0.04
16	36	0.07	0.16	0.03	0.66	0.26	0.00	0.05	0.00	0.04
11	0.5	0.12	0.37	0.07	0.61	0.24	0.00	0.06	0.00	0.04
11	19.8	0.05	0.16	0.03	0.45	0.18	0.00	0.06	0.00	0.04
11	31	0.02	0.17	0.03	0.30	0.12	0.00	0.05	0.00	0.04

站号	采样深度	铜	铅		锌		镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	二类	一类	二类	一类	一类	一类	一类
6	0.5	0.08	0.18	0.04	0.47	0.19	0.00	0.06	0.00	0.04
6	16.2	0.09	0.23	0.05	0.42	0.17	0.00	0.06	0.00	0.04
7	0.5	0.08	0.14	0.03	0.47	0.19	0.00	0.06	0.00	0.04
7	16.2	0.07	0.14	0.03	0.51	0.20	0.00	0.06	0.00	0.04
7	25	0.05	0.20	0.04	0.45	0.18	0.00	0.06	0.00	0.04
12	0.5	0.15	0.37	0.07	0.48	0.19	0.00	0.06	0.00	0.04
12	19.2	0.06	0.29	0.06	0.48	0.19	0.00	0.06	0.00	0.04
12	30	0.02	0.21	0.04	0.38	0.15	0.00	0.06	0.00	0.04
34	0.5	0.45	1.02	0.20	0.46	0.18	0.00	0.05	0.00	0.04
34	21	0.04	0.48	0.10	0.40	0.16	0.00	0.05	0.00	0.04
34	33	0.02	0.17	0.03	0.46	0.19	0.00	0.05	0.00	0.04
17	0.5	0.08	0.35	0.07	0.34	0.13	0.00	0.05	0.00	0.04
17	19.8	0.02	0.13	0.03	0.38	0.15	0.00	0.05	0.00	0.04
17	31	0.07	0.23	0.05	0.39	0.15	0.00	0.05	0.00	0.04
32	0.5	0.06	0.23	0.05	0.40	0.16	0.00	0.05	0.00	0.04
32	19.8	0.02	0.80	0.16	0.42	0.17	0.00	0.05	0.00	0.04
32	31	0.02	0.14	0.03	0.29	0.12	0.00	0.05	0.00	0.16
18	0.5	0.02	0.16	0.03	0.38	0.15	0.00	0.05	0.00	0.04
18	21.6	0.02	0.16	0.03	0.51	0.21	0.00	0.05	0.00	0.04
18	34	0.02	0.33	0.07	0.46	0.19	0.00	0.06	0.00	0.04
33	0.5	0.02	0.36	0.07	0.33	0.13	0.00	0.05	0.00	0.04
33	21	0.02	0.16	0.03	0.28	0.11	0.00	0.05	0.00	0.04
33	33	0.02	0.04	0.01	0.35	0.14	0.00	0.05	0.00	0.04
19	0.5	0.02	0.18	0.04	0.36	0.14	0.00	0.05	0.00	0.04
19	21	0.02	0.02	0.00	0.38	0.15	0.00	0.05	0.00	0.04
19	33	0.02	0.26	0.05	0.26	0.10	0.00	0.05	0.00	0.04
14	0.5	0.02	0.23	0.05	0.26	0.10	0.00	0.05	0.00	0.04
14	19.8	0.02	0.29	0.06	0.38	0.15	0.00	0.05	0.00	0.04
14	31	0.02	0.29	0.06	0.74	0.29	0.00	0.05	0.00	0.04
9	0.5	0.25	0.76	0.15	0.31	0.12	0.00	0.06	0.01	0.16

站号	采样深度	铜	铅		锌		镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	二类	一类	二类	一类	一类	一类	一类
9	17.4	0.13	0.44	0.09	0.08	0.03	0.00	0.06	0.00	0.20
9	23.8	0.18	0.53	0.11	0.20	0.08	0.00	0.06	0.00	0.34
31	0.5	0.12	0.45	0.09	0.08	0.03	0.00	0.06	0.00	0.16
31	19.2	0.09	0.56	0.11	0.08	0.03	0.00	0.06	0.00	0.04
31	30	0.23	0.57	0.11	0.08	0.03	0.00	0.06	0.00	0.04
13	0.5	0.21	0.99	0.20	0.38	0.15	0.00	0.06	0.00	0.04
13	19.2	0.14	0.39	0.08	0.08	0.03	0.00	0.06	0.00	0.04
13	30	0.09	0.65	0.13	0.08	0.03	0.00	0.06	0.00	0.04
8	0.5	0.21	0.49	0.10	0.16	0.06	0.00	0.06	0.00	0.04
8	17.4	0.10	0.29	0.06	0.36	0.14	0.00	0.06	0.00	0.22
8	27	0.12	0.16	0.03	0.31	0.12	0.00	0.06	0.00	0.30
5	0.5	0.22	0.56	0.11	0.33	0.13	0.00	0.06	0.00	0.04
5	16.2	0.12	0.36	0.07	0.40	0.16	0.00	0.06	0.00	0.04
5	25	0.10	0.40	0.08	0.30	0.12	0.00	0.06	0.00	0.14
30	0.5	0.29	0.29	0.06	0.43	0.17	0.00	0.07	0.00	0.24
30	19	0.13	0.15	0.03	0.40	0.16	0.00	0.06	0.00	0.26
4	0.5	0.21	0.30	0.06	0.44	0.18	0.03	0.07	0.00	0.28
4	19	0.12	0.15	0.03	0.32	0.13	0.00	0.06	0.00	0.04
3	0.5	0.25	0.24	0.05	0.35	0.14	0.00	0.07	0.00	0.14
29	0.5	0.21	0.55	0.11	0.18	0.07	0.00	0.07	0.00	0.04
29	9	0.24	0.13	0.03	0.16	0.06	0.01	0.07	0.00	0.04
28	0.5	0.21	0.11	0.02	0.22	0.09	0.02	0.07	0.00	0.04
27	0.5	0.24	0.23	0.05	0.27	0.11	0.00	0.07	0.00	0.18
2	0.5	0.24	0.12	0.02	0.28	0.11	0.00	0.07	0.00	0.20
1	0.5	0.22	0.26	0.05	0.24	0.09	0.02	0.07	0.00	0.21
26	0.5	0.21	0.17	0.03	0.25	0.10	0.02	0.06	0.00	0.30
最大值		0.45	1.02	0.20	1.50	0.6	0.03	0.07	0.01	0.34
最小值		0.02	0.02	0.00	0.08	0.03	0.00	0.05	0.00	0.04
平均值		0.11	0.32	0.06	0.40	0.16	0.00	0.06	0.00	0.09
超标率%		0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

附表3 春季海水水质调查结果表

站号	水深	采样深度	现场水温	盐度	pH	DO	COD _{mn}	油类	铵盐	亚硝酸盐	硝酸盐
	(m)	(m)	(°C)			(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
24	48	0.5	21.9	34.44	8.23	7.15	0.33	7.6	6.84	3.73	20.49
24	48	28.8	21.6	34.47	8.23	7.16	0.47		ND	4.34	20.73
24	48	46	21.0	34.48	8.24	7.12	0.50		11.45	4.07	24.84
21	41	0.5	22.2	34.39	8.22	7.15	0.25	24.4	2.610	1.95	75.23
21	41	24.6	21.8	34.39	8.23	7.27	0.17		ND	2.47	96.57
21	41	39	21.6	34.34	8.23	7.15	0.15		ND	2.58	108.63
22	40	0.5	22.4	34.43	8.22	7.17	0.25	6.0	ND	4.24	117.27
22	40	24	22.0	34.42	8.23	7.32	0.23		ND	1.99	99.44
22	40	38	21.7	34.42	8.23	7.17	0.25		ND	2.99	82.89
16	40	0.5	21.8	34.41	8.23	7.30	0.21	31.6	ND	2.59	76.43
16	40	24	21.5	34.42	8.23	7.24	0.14		5.37	2.48	138.12
16	40	38	21.0	34.43	8.22	7.14	0.23		ND	3.41	73.61
23	39	0.5	22.0	34.44	8.22	7.17	0.28	8.3	ND	2.99	205.9
23	39	23.4	22.0	34.45	8.23	7.35	0.23		ND	2.20	83.77
23	39	37	21.3	34.48	8.23	7.25	0.24		ND	3.11	109.21
19	38	0.5	21.7	34.41	8.23	7.15	0.52	10.0	5.40	1.82	23.22
19	38	22.8	21.3	34.43	8.24	7.27	0.50		ND	1.93	17.47
19	38	36	21.1	34.43	8.24	7.13	0.62		5.66	1.95	19.39
33	37	0.5	21.3	34.40	8.23	7.18	0.23	ND	ND	1.91	36.22
33	37	22.2	21.0	34.41	8.24	7.15	0.33		ND	2.98	23.98
33	37	35	20.8	34.38	8.23	7.21	0.22		ND	2.75	20.43
18	37	0.5	21.4	34.42	8.24	7.17	0.28	7.7	3.83	2.46	25.58
18	37	22.2	21.0	34.43	8.24	7.21	0.34		ND	1.61	57.06
18	37	35	20.9	34.39	8.23	7.20	0.20		ND	1.79	30.90
32	36	0.5	21.9	34.43	8.23	7.18	0.37	10.4	ND	2.15	17.16
32	36	21.6	21.5	34.37	8.23	7.30	0.22		ND	2.64	20.58
32	36	34	21.0	34.41	8.23	7.17	0.17		4.44	2.78	17.36
17	35	0.5	21.8	34.43	8.23	7.20	0.15	13.6	ND	2.10	11.84

站号	水深	采样深度	现场水温	盐度	pH	DO	COD _{mn}	油类	铵盐	亚硝酸盐	硝酸盐
	(m)	(m)	(°C)			(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
17	35	21	21.4	34.44	8.23	7.21	0.19		ND	2.08	18.77
17	35	33	21.0	34.39	8.23	7.23	0.24		ND	2.44	97.05
12	35	0.5	21.9	34.43	8.23	7.18	0.18	58.1	4.51	2.59	104.20
12	35	21	21.2	34.42	8.23	7.27	0.28		3.82	2.07	101.06
12	35	33	21.0	34.45	8.23	7.22	0.02		ND	2.86	105.68
34	35	0.5	21.9	34.41	8.22	7.23	0.38	9.2	7.81	2.12	106.05
34	35	21	21.3	34.32	8.23	7.30	0.33		ND	3.45	85.10
34	35	33	20.6	34.43	8.23	7.16	0.23		5.32	3.02	102.60
14	34	0.5	21.0	34.41	8.24	7.34	0.58	7.8	6.02	1.37	18.95
14	34	20.4	20.8	34.46	8.24	7.41	0.34		10.08	2.29	32.64
14	34	32	20.4	34.41	8.23	7.21	0.78		6.76	2.30	31.57
13	33	0.5	21.1	34.40	8.23	7.25	0.21	8.1	ND	3.60	20.52
13	33	19.8	20.8	34.34	8.23	7.32	0.33		ND	3.17	39.02
13	33	31	20.6	34.37	8.23	7.26	0.15		ND	2.03	43.79
31	33	0.5	21.2	34.41	8.23	7.38	0.33	13.8	ND	1.26	21.92
31	33	19.8	20.9	34.42	8.23	7.31	0.33		ND	2.04	28.76
31	33	31	20.6	34.45	8.23	7.26	0.29		ND	2.07	19.85
11	33	0.5	21.7	34.41	8.23	7.20	0.33	11.3	2.68	2.24	94.87
11	33	19.8	21.2	34.33	8.23	7.41	0.30		ND	2.43	71.80
11	33	31	21.0	34.40	8.23	7.21	0.24		ND	2.33	93.44
8	31	0.5	20.2	34.05	8.23	7.44	0.53	7.8	ND	1.16	35.33
8	31	18.6	20.1	34.35	8.24	7.34	0.22		ND	1.81	21.34
8	31	29	19.8	34.36	8.23	7.52	0.25		ND	2.26	40.45
9	30	0.5	20.9	34.43	8.23	7.39	0.86	13.0	12.31	1.53	24.32
9	30	20.7	20.7	34.42	8.25	7.48	0.28		ND	1.45	15.10
9	30	20.3	20.3	34.41	8.23	7.36	0.48		ND	1.45	20.69
5	27	0.5	19.5	28.89	8.21	8.62	0.72	19.8	ND	12.66	268.41
5	27	16.2	19.3	31.66	8.22	7.91	0.38		ND	8.28	222.53
5	27	25	19.0	34.07	8.22	7.20	0.31		3.70	1.76	112.12

站号	水深	采样深度	现场水温	盐度	pH	DO	COD _{mn}	油类	铵盐	亚硝酸盐	硝酸盐
	(m)	(m)	(°C)			(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
7	26	0.5	19.3	33.48	8.23	7.85	0.30	8.5	ND	6.57	69.66
7	26	15.6	19.0	34.00	8.24	7.43	0.23		ND	3.59	106.89
7	26	24	18.7	33.78	8.23	7.36	0.30		ND	5.16	76.21
6	23	0.5	18.9	30.16	8.17	7.99	0.41	13.6	ND	10.6	256.67
6	23	21	18.5	33.85	8.23	7.17	0.23		ND	3.85	114.43
30	22	0.5	19.0	29.33	8.20	8.52	0.70	22.3	ND	13.13	322.75
30	22	20	18.9	33.41	8.22	7.49	0.22		ND	3.23	125.81
4	19	0.5	19.5	33.55	8.19	8.53	0.39	19.4	5.76	17.55	380.24
4	19	17	19.2	28.44	8.20	6.99	0.58		5.69	6.51	109.19
29	11	0.5	18.9	27.80	8.18	8.54	0.55	24.7	ND	17.64	340.40
29	11	9	18.7	28.65	8.18	8.30	0.49		ND	17.11	268.98
28	8	0.5	18.6	28.10	8.17	8.33	0.56	72.0	ND	13.39	376.52
2	8	0.5	18.9	29.59	8.20	8.37	0.50	39.5	2.84	12.47	291.70
1	8	0.5	18.7	29.59	8.21	8.34	0.53	52.7	2.99	12.93	330.41
27	7	0.5	18.5	27.67	8.16	7.80	0.53	52.0	4.02	16.89	311.76
3	7	0.5	18.7	29.97	8.21	8.74	0.59	75.5	ND	10.03	267.63
26	6	0.5	18.7	27.59	8.16	7.69	0.50	41.0	ND	11.82	324.80
最大值	/	/	22.4	34.48	8.25	8.74	0.86	75.5	12.31	17.64	380.24
最小值	/	/	18.5	27.59	8.16	6.99	0.02	ND	ND	1.16	11.84
平均值	/	/	20.6	33.40	8.22	7.44	0.35	23.0	2.19	4.55	104.41

注：“ND”表示未检出

续表：

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	(μg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
24	48	7.12	3.6	0.008	1.5	0.27	ND	ND	1.3	ND
24	48	8.32	3.1	0.010	4.4	0.46	3.1	ND	1.4	ND
24	48	9.07	2.0	0.010	2.5	0.40	3.9	ND	1.5	ND
21	41	6.38	0.9	ND	0.4	0.38	4.5	ND	1.4	ND

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	($\mu\text{g/L}$)	(mg/L)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)
21	41	6.95	1.0	ND	0.4	0.35	4.7	ND	1.4	ND
21	41	8.32	0.9	0.007	0.3	0.35	3.1	ND	1.2	ND
22	40	5.13	2.3	0.014	2.2	0.49	7.5	ND	1.4	ND
22	40	6.32	1.5	0.017	0.9	0.19	5.9	ND	1.4	ND
22	40	5.90	1.0	0.015	0.8	0.47	6.3	ND	1.4	ND
16	40	8.64	1.0	0.007	1.2	0.52	3.7	ND	1.4	ND
16	40	9.32	0.4	0.008	0.6	0.30	ND	ND	1.4	ND
16	40	9.07	0	0.009	0.4	0.34	3.1	ND	1.3	ND
23	39	7.90	0.9	0.014	1.3	0.57	ND	ND	1.5	ND
23	39	6.01	4.9	0.013	0.5	0.44	5.4	ND	1.4	ND
23	39	5.87	7.8	0.016	1.2	0.53	ND	ND	1.3	ND
19	38	8.32	3.0	0.011	1.8	0.65	8.0	ND	1.4	ND
19	38	6.52	2.4	0.010	2.7	0.51	ND	ND	1.4	ND
19	38	6.98	3.9	ND	1.0	0.27	4.9	ND	1.4	ND
33	37	7.01	0.5	ND	1.1	0.56	ND	ND	1.3	ND
33	37	4.75	2.2	ND	0.3	0.22	3.2	ND	1.3	1.4
33	37	8.92	2.7	ND	0.3	0.30	ND	ND	1.3	ND
18	37	7.90	0.9	ND	0.7	0.30	4.6	ND	1.3	ND
18	37	5.21	1.1	ND	0.3	0.25	5.4	ND	1.3	ND
18	37	6.44	1.8	ND	0.5	0.32	5.0	ND	1.3	ND
32	36	8.52	0.9	ND	0.4	0.18	ND	ND	1.3	ND
32	36	6.98	0.3	ND	0.4	0.24	ND	ND	1.3	ND
32	36	6.78	2.4	0.009	0.8	0.36	ND	ND	1.3	ND
17	35	8.18	0.1	0.013	0.5	0.35	ND	ND	1.4	ND
17	35	9.15	1.0	0.014	ND	0.25	ND	ND	1.3	ND
17	35	7.84	0.4	0.012	0.3	0.27	ND	ND	1.4	ND
12	35	7.84	2.4	ND	0.6	0.29	7.1	ND	1.4	ND
12	35	7.72	1.5	ND	0.5	0.33	ND	ND	1.4	ND
12	35	8.58	5.7	ND	0.3	0.12	ND	ND	1.4	ND

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	($\mu\text{g/L}$)	(mg/L)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)
34	35	8.04	1.4	ND	0.2	0.40	ND	ND	1.3	ND
34	35	8.01	2.1	0.008	0.6	0.44	3.7	ND	1.4	ND
34	35	8.67	1.9	0.010	0.5	0.44	8.8	ND	1.4	ND
14	34	7.64	2.1	ND	0.7	0.40	ND	ND	1.3	ND
14	34	7.30	1.8	ND	1.1	0.28	3.5	ND	1.3	ND
14	34	7.72	3.5	0.035	0.7	0.45	ND	ND	1.3	ND
13	33	5.24	3.0	ND	1.6	0.40	9.6	ND	1.2	ND
13	33	8.18	1.5	ND	0.5	0.24	ND	ND	1.3	ND
13	33	9.81	3.4	ND	1.4	0.69	ND	ND	1.2	ND
31	33	6.01	3.6	ND	1.2	0.48	ND	ND	1.3	ND
31	33	7.92	2.6	ND	1.9	0.55	3.6	ND	1.3	ND
31	33	8.12	3.5	ND	1.6	0.45	5.1	ND	1.3	ND
11	33	8.54	1.8	0.013	1.1	0.41	5.0	ND	1.4	ND
11	33	8.67	1.9	0.012	0.7	0.43	7.3	ND	1.4	ND
11	33	7.80	2.5	0.014	0.5	0.41	4.3	ND	1.4	ND
8	31	5.10	0.6	ND	0.8	0.32	ND	ND	1.2	ND
8	31	4.87	1.3	ND	0.5	0.29	ND	ND	1.3	ND
8	31	9.35	1.8	ND	0.7	0.39	7.2	ND	1.3	ND
9	30	6.21	1.6	0.009	1.6	0.56	6.1	ND	1.4	ND
9	30	13.06	1.6	0.011	1.0	0.26	5.0	ND	1.3	ND
9	30	6.61	2.4	ND	0.5	0.24	4.2	ND	1.3	ND
5	27	9.01	3.5	ND	1.2	0.24	ND	ND	1.3	0.5
5	27	7.87	3.3	ND	0.7	0.33	ND	ND	1.3	ND
5	27	8.32	2.6	ND	0.4	0.08	ND	ND	1.3	ND
7	26	8.52	7.5	ND	0.8	0.27	3.9	ND	1.3	ND
7	26	7.60	0.7	ND	1.1	0.27	ND	ND	1.4	ND
7	26	9.55	0.8	ND	0.7	0.21	10.1	ND	1.3	ND
6	23	8.58	1.3	0.016	0.8	0.31	ND	ND	1.2	ND
6	23	6.44	0.2	ND	0.6	0.17	ND	ND	1.3	ND

站号	水深	磷酸盐	悬浮体浓度	汞	铜	铅	锌	镉	砷	总铬
	(m)	(µg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
30	22	8.35	1.8	0.008	1.2	0.19	ND	ND	1.4	ND
30	22	7.50	6.6	0.007	0.6	0.31	ND	ND	1.2	ND
4	19	8.70	3.7	0.008	0.9	0.17	3.2	ND	1.4	ND
4	19	8.67	4.1	0.008	0.5	0.23	4.6	ND	1.2	ND
29	11	9.98	4.5	0.008	1.0	0.33	4.6	ND	1.2	ND
29	11	14.23	0	0.01	1.0	0.18	ND	ND	1.2	ND
28	8	9.69	8.1	ND	1.1	0.28	3.3	ND	1.2	ND
2	8	9.69	3.7	0.012	0.9	0.30	ND	ND	1.2	ND
1	8	11.58	5.6	0.017	1.2	0.30	3.2	ND	1.3	ND
27	7	11.21	8.1	ND	1.0	0.21	14.0	ND	1.1	ND
3	7	8.92	2.0	0.009	2.1	0.23	ND	ND	1.2	ND
26	6	8.84	5.1	0.012	0.9	0.21	ND	ND	1.2	ND
最大值	/	14.23	8.1	0.035	4.4	0.69	14	ND	1.5	1.4
最小值	/	4.75	0	ND	ND	0.08	ND	ND	1.1	ND
平均值	/	7.97	2.5	0.008	0.9	0.34	3.59	ND	1.3	0.12

注：“ND”表示未检出

附表4 春季海水水质评价结果

站号	采样深度	pH	DO	油类		COD _{mn}	无机氮			
		一二类	一类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类
24	0.5	0.82	0.84	0.15	0.03	0.17	0.16	0.10	0.08	0.06
24	28.8	0.82	0.84			0.23	0.13	0.09	0.06	0.05
24	46	0.83	0.84			0.25	0.20	0.13	0.10	0.08
19	0.5	0.82	0.84	0.20	0.03	0.26	0.15	0.10	0.08	0.06
19	22.8	0.83	0.83			0.25	0.10	0.07	0.05	0.04
19	36	0.83	0.84			0.31	0.13	0.09	0.07	0.05
14	0.5	0.83	0.01	0.16	0.03	0.29	0.13	0.09	0.07	0.05
14	20.4	0.83	0.04			0.17	0.23	0.15	0.11	0.09
14	32	0.82	0.83			0.39	0.20	0.14	0.10	0.08

站号	采样深度	pH	DO	油类		COD _{mn}	无机氮				
		一二类	一类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类	
9	0.5	0.82	0.03	0.26	0.04	0.43	0.19	0.13	0.10	0.08	
9	20.7	0.83	0.08			0.14	0.09	0.06	0.04	0.03	
9	20.3	0.82	0.82			0.24	0.11	0.08	0.06	0.05	
8	0.5	0.82	0.81	0.16	0.03	0.26	0.19	0.12	0.09	0.07	
8	18.6	0.83	0.82			0.11	0.12	0.08	0.06	0.05	
8	29	0.82	0.01			0.13	0.22	0.14	0.11	0.09	
13	0.5	0.82	0.83	0.16	0.03	0.10	0.12	0.08	0.06	0.05	
13	19.8	0.82	0.82			0.17	0.21	0.14	0.11	0.09	
13	31	0.82	0.83			0.08	0.23	0.15	0.12	0.09	
31	0.5	0.82	0.05	0.28	0.05	0.17	0.12	0.08	0.06	0.05	
31	19.8	0.82	0.82			0.17	0.16	0.10	0.08	0.06	
31	31	0.82	0.83			0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	
33	0.5	0.82	0.84	0.07	0.01	0.11	0.19	0.13	0.10	0.08	
33	22.2	0.83	0.84			0.16	0.14	0.09	0.07	0.06	
33	35	0.82	0.83			0.11	0.12	0.08	0.06	0.05	
18	0.5	0.83	0.84	0.15	0.03	0.14	0.16	0.11	0.08	0.06	
18	22.2	0.83	0.83			0.17	0.30	0.20	0.15	0.12	
18	35	0.82	0.83			0.10	0.17	0.11	0.08	0.07	
32	0.5	0.82	0.84	0.21	0.03	0.18	0.10	0.07	0.05	0.04	
32	21.6	0.82	0.03			0.11	0.12	0.08	0.06	0.05	
32	34	0.82	0.84			0.08	0.12	0.08	0.06	0.05	
17	0.5	0.82	0.83	0.27	0.05	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	
17	21	0.82	0.83			0.10	0.11	0.07	0.05	0.04	
17	33	0.82	0.83			0.12	0.50	0.33	0.25	0.20	
23	0.5	0.81	0.84	0.17	0.03	0.14	1.05	0.70	0.52	0.42	
23	23.4	0.82	0.13			0.11	0.43	0.29	0.22	0.17	
23	37	0.82	0.83			0.12	0.56	0.38	0.28	0.23	
22	0.5	0.81	0.01	0.12	0.02	0.13	0.61	0.41	0.31	0.24	
22	24	0.82	0.10			0.12	0.51	0.34	0.26	0.20	
22	38	0.82	0.84			0.13	0.43	0.29	0.22	0.17	

站号	采样深度	pH	DO	油类		COD _{mn}	无机氮				
		一二类	一类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类	
21	0.5	0.81	0.84	0.49	0.08	0.13	0.40	0.27	0.20	0.16	
21	24.6	0.82	0.03			0.08	0.50	0.33	0.25	0.20	
21	39	0.82	0.84			0.08	0.56	0.37	0.28	0.22	
16	0.5	0.82	0.06	0.63	0.11	0.10	0.40	0.27	0.20	0.16	
16	24	0.82	0.83			0.07	0.73	0.49	0.36	0.29	
16	38	0.81	0.84			0.11	0.39	0.26	0.19	0.16	
12	0.5	0.82	0.84	1.16	0.19	0.09	0.56	0.37	0.28	0.22	
12	21	0.82	0.83			0.14	0.53	0.36	0.27	0.21	
12	33	0.82	0.83			0.01	0.55	0.36	0.27	0.22	
34	0.5	0.81	0.01	0.18	0.03	0.19	0.58	0.39	0.29	0.23	
34	21	0.82	0.82			0.16	0.45	0.30	0.22	0.18	
34	33	0.82	0.84			0.11	0.55	0.37	0.28	0.22	
11	0.5	0.82	0.83	0.23	0.04	0.16	0.50	0.33	0.25	0.20	
11	19.8	0.82	0.07			0.15	0.37	0.25	0.19	0.15	
11	31	0.82	0.83			0.12	0.48	0.32	0.24	0.19	
6	0.5	0.78	0.08	0.27	0.05	0.20	1.34	0.89	0.67	0.54	
6	21	0.82	0.84			0.11	0.59	0.40	0.30	0.24	
7	0.5	0.82	0.14	0.17	0.03	0.15	0.38	0.26	0.19	0.15	
7	15.6	0.83	0.81			0.12	0.56	0.37	0.28	0.22	
7	24	0.82	0.82			0.15	0.41	0.27	0.20	0.16	
30	0.5	0.80	0.35	0.45	0.07	0.35	1.68	1.12	0.84	0.67	
30	20	0.81	0.80			0.11	0.65	0.43	0.32	0.26	
5	0.5	0.81	0.44	0.40	0.07	0.36	1.41	0.94	0.70	0.56	
5	16.2	0.81	0.12			0.19	1.16	0.77	0.58	0.46	
5	25	0.81	0.83			0.15	0.59	0.39	0.29	0.24	
4	0.5	0.79	0.60	0.39	0.06	0.20	2.02	1.35	1.01	0.81	
4	17	0.80	0.86			0.29	0.61	0.40	0.30	0.24	
29	0.5	0.79	0.30	0.49	0.08	0.28	1.79	1.20	0.90	0.72	
29	9	0.79	0.18			0.25	1.43	0.96	0.72	0.57	
28	0.5	0.78	0.17	1.44	0.24	0.28	1.95	1.30	0.98	0.78	

站号	采样深度	pH	DO	油类		COD _{mn}	无机氮			
		一二类	一类	一二类	三类	一类	一类	二类	三类	四类
27	0.5	0.77	0.77	1.04	0.17	0.26	1.66	1.11	0.83	0.67
26	0.5	0.77	0.78	0.82	0.14	0.25	1.69	1.12	0.84	0.67
3	0.5	0.81	0.45	1.51	0.25	0.30	1.39	0.93	0.70	0.56
2	0.5	0.80	0.26	0.79	0.13	0.25	1.54	1.02	0.77	0.61
1	0.5	0.81	0.23	1.05	0.18	0.27	1.73	1.15	0.87	0.69
最大值		0.83	0.86	1.51	0.25	0.43	2.02	1.35	1.01	0.81
最小值		0.77	0.01	0.07	0.01	0.01	0.07	0.05	0.04	0.03
平均值		0.82	0.59	0.46	0.08	0.17	0.56	0.37	0.28	0.22
超标率%		0.00	0.00	16.7	0.00	0.00	18.9	10.7	1.35	0.00

续表:

站号	采样深度	磷酸盐	铜	铅	锌	镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类
24	0.5	0.47	0.30	0.27	0.08	0.00	0.07	0.00	0.16
24	28.8	0.55	0.87	0.46	0.16	0.00	0.07	0.00	0.20
24	46	0.60	0.50	0.40	0.20	0.00	0.08	0.00	0.20
19	0.5	0.55	0.36	0.65	0.40	0.00	0.07	0.00	0.22
19	22.8	0.43	0.53	0.51	0.08	0.00	0.07	0.00	0.20
19	36	0.47	0.19	0.27	0.25	0.00	0.07	0.00	0.07
14	0.5	0.51	0.14	0.40	0.08	0.00	0.07	0.00	0.07
14	20.4	0.49	0.21	0.28	0.18	0.00	0.07	0.00	0.07
14	32	0.51	0.13	0.45	0.08	0.00	0.07	0.00	0.70
9	0.5	0.41	0.33	0.56	0.31	0.00	0.07	0.00	0.18
9	20.7	0.87	0.20	0.26	0.25	0.00	0.06	0.00	0.22
9	20.3	0.44	0.10	0.24	0.21	0.00	0.06	0.00	0.07
8	0.5	0.34	0.17	0.32	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
8	18.6	0.32	0.11	0.29	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
8	29	0.62	0.14	0.39	0.36	0.00	0.07	0.00	0.07
13	0.5	0.35	0.32	0.40	0.48	0.00	0.06	0.00	0.07

站号	采样深度	磷酸盐	铜	铅	锌	镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类
13	19.8	0.55	0.09	0.24	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
13	31	0.65	0.28	0.69	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
31	0.5	0.40	0.23	0.48	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
31	19.8	0.53	0.39	0.55	0.18	0.00	0.06	0.00	0.07
31	31	0.54	0.32	0.45	0.26	0.00	0.06	0.00	0.07
33	0.5	0.47	0.21	0.56	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
33	22.2	0.32	0.07	0.22	0.16	0.00	0.07	0.03	0.07
33	35	0.59	0.07	0.30	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
18	0.5	0.53	0.13	0.30	0.23	0.00	0.07	0.00	0.07
18	22.2	0.35	0.07	0.25	0.27	0.00	0.06	0.00	0.07
18	35	0.43	0.11	0.32	0.25	0.00	0.07	0.00	0.07
32	0.5	0.57	0.08	0.18	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
32	21.6	0.47	0.08	0.24	0.08	0.00	0.07	0.00	0.07
32	34	0.45	0.17	0.36	0.08	0.00	0.07	0.00	0.18
17	0.5	0.55	0.09	0.35	0.08	0.00	0.07	0.00	0.26
17	21	0.61	0.02	0.25	0.08	0.00	0.06	0.00	0.28
17	33	0.52	0.05	0.27	0.08	0.00	0.07	0.00	0.24
23	0.5	0.53	0.27	0.57	0.08	0.00	0.07	0.00	0.28
23	23.4	0.40	0.11	0.44	0.27	0.00	0.07	0.00	0.26
23	37	0.39	0.25	0.53	0.08	0.00	0.07	0.00	0.32
22	0.5	0.34	0.44	0.49	0.38	0.00	0.07	0.00	0.28
22	24	0.42	0.19	0.19	0.29	0.00	0.07	0.00	0.34
22	38	0.39	0.16	0.47	0.31	0.00	0.07	0.00	0.30
21	0.5	0.43	0.08	0.38	0.22	0.00	0.07	0.00	0.07
21	24.6	0.46	0.08	0.35	0.24	0.00	0.07	0.00	0.07
21	39	0.55	0.06	0.35	0.16	0.00	0.06	0.00	0.14
16	0.5	0.58	0.23	0.52	0.18	0.00	0.07	0.00	0.14
16	24	0.62	0.11	0.30	0.08	0.00	0.07	0.00	0.16
16	38	0.60	0.08	0.34	0.16	0.00	0.07	0.00	0.18
12	0.5	0.52	0.12	0.29	0.35	0.00	0.07	0.00	0.07

站号	采样深度	磷酸盐	铜	铅	锌	镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类
12	21	0.51	0.10	0.33	0.08	0.00	0.07	0.00	0.07
12	33	0.57	0.06	0.12	0.08	0.00	0.07	0.00	0.07
34	0.5	0.54	0.05	0.40	0.08	0.00	0.07	0.00	0.07
34	21	0.53	0.11	0.44	0.19	0.00	0.07	0.00	0.16
34	33	0.58	0.10	0.44	0.44	0.00	0.07	0.00	0.20
11	0.5	0.57	0.22	0.41	0.25	0.00	0.07	0.00	0.25
11	19.8	0.58	0.14	0.43	0.36	0.00	0.07	0.00	0.24
11	31	0.52	0.10	0.41	0.21	0.00	0.07	0.00	0.27
6	0.5	0.57	0.17	0.31	0.08	0.00	0.06	0.00	0.32
6	21	0.43	0.11	0.17	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
7	0.5	0.57	0.16	0.27	0.19	0.00	0.07	0.00	0.07
7	15.6	0.51	0.22	0.27	0.08	0.00	0.07	0.00	0.07
7	24	0.64	0.13	0.21	0.50	0.00	0.06	0.00	0.07
30	0.5	0.56	0.23	0.19	0.08	0.00	0.07	0.00	0.16
30	20	0.50	0.13	0.31	0.08	0.00	0.06	0.00	0.14
5	0.5	0.60	0.23	0.24	0.08	0.00	0.07	0.01	0.07
5	16.2	0.52	0.15	0.33	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
5	25	0.55	0.09	0.08	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
4	0.5	0.58	0.18	0.17	0.16	0.00	0.07	0.00	0.16
4	17	0.58	0.10	0.23	0.23	0.00	0.06	0.00	0.16
29	0.5	0.67	0.19	0.33	0.23	0.00	0.06	0.00	0.16
29	9	0.95	0.19	0.18	0.08	0.00	0.06	0.00	0.20
28	0.5	0.65	0.23	0.28	0.17	0.00	0.06	0.00	0.07
27	0.5	0.75	0.19	0.21	0.70	0.00	0.05	0.00	0.07
26	0.5	0.59	0.17	0.21	0.08	0.00	0.06	0.00	0.24
3	0.5	0.59	0.41	0.23	0.08	0.00	0.06	0.00	0.18
2	0.5	0.65	0.18	0.30	0.08	0.00	0.06	0.00	0.24
1	0.5	0.77	0.24	0.30	0.16	0.00	0.06	0.00	0.34
最大值		0.95	0.87	0.69	0.70	0.00	0.08	0.03	0.70
最小值		0.32	0.02	0.08	0.08	0.00	0.05	0.00	0.0

站号	采样深度	磷酸盐	铜	铅	锌	镉	砷	总铬	总汞
		一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类
平均值		0.53	0.19	0.34	0.18	0.00	0.07	0.00	0.15
超标率%		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

附表 5 秋季沉积物调查结果表

站号	含水率	铜	铅	锌	镉	砷	铬	汞	硫化物	油类	有机碳
	(%)	(×10 ⁻⁶)									(%)
23	24.2	ND	3.58	10.8	0.06	7.02	39.8	ND	ND	ND	ND
21	24.9	3.10	12.1	41.0	0.09	3.92	58.0	0.005	0.69	ND	0.14
16	37.4	4.47	10.3	36.8	0.06	6.01	52.0	0.014	2.13	6.94	0.73
6	43.3	21.2	26.2	90.3	0.15	13.3	70.5	0.049	29.2	77.4	0.84
12	37.7	8.30	17.9	61.6	0.07	6.83	63.9	0.016	6.54	14.6	0.64
32	21.8	ND	7.10	13.9	0.09	5.49	40.4	ND	ND	ND	ND
33	29.4	4.94	12.2	45.3	0.09	4.24	43.5	0.009	1.44	7.39	0.47
19	24.1	ND	5.29	8.87	0.08	7.66	40.3	ND	ND	ND	ND
31	27.2	4.82	7.38	46.4	0.11	4.66	60.5	0.007	6.80	13.8	0.38
8	36.5	10.7	9.84	59.8	0.12	9.24	61.4	0.025	15.6	58.9	0.63
30	46.5	33.4	34.4	127	0.14	16.9	98.0	0.062	19.1	152	0.97
4	49.6	37.6	36.6	128	0.11	20.8	101	0.075	118	307	1.14
28	34.2	22.3	20.4	83.0	0.09	12.1	69.1	0.038	7.58	64.5	0.35
2	47.2	23.5	22.2	80.1	0.06	16.8	70.6	0.094	10.3	60.3	0.66
26	41.4	48.1	26.3	101	0.10	20.2	97.7	0.065	20.4	14.7	0.96

站号	含水率	铜	铅	锌	镉	砷	铬	汞	硫化物	油类	有机碳
	(%)	(×10 ⁻⁶)									(%)
最大值	49.6	48.1	36.6	128	0.15	20.8	101	0.094	118	307	1.14
最小值	21.8	ND	3.58	8.87	0.06	3.92	39.8	ND	ND	ND	ND
平均值	35.0	15.0	16.8	62.3	0.09	10.34	64.4	0.031	15.9	52.2	0.54

注：“ND”表示未检出

附表 6 秋季沉积物评价结果

站号	铜		铅	锌	镉	砷		总铬		汞	硫化物	石油类	有机碳
	一类	二类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	二类	一类	一类	一类	一类
23	0.03	0.01	0.06	0.07	0.12	0.35	0.11	0.50	0.27	0.01	0.00	0.00	0.03
21	0.09	0.03	0.20	0.27	0.18	0.20	0.06	0.73	0.39	0.03	0.00	0.00	0.07
16	0.13	0.04	0.17	0.25	0.12	0.30	0.09	0.65	0.35	0.07	0.01	0.01	0.37
6	0.61	0.21	0.44	0.60	0.30	0.67	0.20	0.88	0.47	0.25	0.10	0.15	0.42
12	0.24	0.08	0.30	0.41	0.14	0.34	0.11	0.80	0.43	0.08	0.02	0.03	0.32
32	0.03	0.01	0.12	0.09	0.18	0.27	0.08	0.51	0.27	0.01	0.00	0.00	0.03
33	0.14	0.05	0.20	0.30	0.18	0.21	0.07	0.54	0.29	0.05	0.00	0.01	0.24
19	0.03	0.01	0.09	0.06	0.16	0.38	0.12	0.50	0.27	0.01	0.00	0.00	0.03
31	0.14	0.05	0.12	0.31	0.22	0.23	0.07	0.76	0.40	0.04	0.02	0.03	0.19
8	0.31	0.11	0.16	0.40	0.24	0.46	0.14	0.77	0.41	0.13	0.05	0.12	0.32
30	0.95	0.33	0.57	0.85	0.28	0.85	0.26	1.23	0.65	0.31	0.06	0.30	0.49
4	1.07	0.38	0.61	0.85	0.22	1.04	0.32	1.26	0.67	0.38	0.39	0.61	0.57

站号	铜		铅	锌	镉	砷		总铬		汞	硫化物	石油类	有机碳
	一类	二类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	二类	一类	一类	一类	一类
28	0.64	0.22	0.34	0.55	0.18	0.61	0.19	0.86	0.46	0.19	0.03	0.13	0.18
2	0.67	0.24	0.37	0.53	0.12	0.84	0.26	0.88	0.47	0.47	0.03	0.12	0.33
26	1.37	0.48	0.44	0.67	0.20	1.01	0.31	1.22	0.65	0.33	0.07	0.03	0.48
最大值	1.37	0.48	0.61	0.85	0.30	1.04	0.32	1.26	0.67	0.47	0.39	0.61	0.57
最小值	0.03	0.01	0.06	0.06	0.12	0.20	0.06	0.50	0.27	0.01	0.00	0.00	0.03
平均值	0.43	0.15	0.28	0.41	0.19	0.52	0.16	0.81	0.43	0.16	0.05	0.10	0.27
超标率%	13.3%	0	0	0	0	13.3%	0	20.0%	0	0	0	0	0

附表 7 2025 年秋季调查分析结果表

断面号	采样区	砷	总铬	镉	铜	铅	锌	汞	硫化物	油类	有机碳
		mg/kg									%
C4	高潮区	7.74	224	0.10	8.2	22.1	29.0	ND	0.5	34.7	0.16
C4	中潮区	15.5	171	0.06	11.8	19.9	32.2	ND	ND	25.8	0.09
C5	高潮区	28.2	190	0.06	48.0	30.6	42.8	0.008	ND	67.7	0.20
C3	高潮区	18.5	97.9	0.27	15.1	19.6	81.1	0.021	66.4	100	0.38
最小值	/	7.74	97.9	0.06	8.2	19.6	29.0	ND	ND	25.8	0.09
最大值	/	28.2	224	0.27	48.0	30.6	81.1	0.021	66.4	100	0.38
平均值	/	17.5	171	0.12	20.8	23.1	46.3	0.008	16.8	57.1	0.21

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，未检出部分可分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算。

2、“ND”表示未检出。

附表 8 2025 年秋季调查沉积物粒度分析结果表

站位	采样区	粒组百分含量				粒度参数					谢帕德三角分类法
		砾石	砂	粉砂	粘土	MZ(ϕ)	$\sigma I(\phi)$	Ski	Kg	Md(ϕ)	
C4	高潮区	59.23	40.77	0.00	0.00	-1.00	1.06	0.30	0.76	-1.22	--
C4	中潮区	27.57	72.43	0.00	0.00	0.16	1.53	-0.14	0.87	0.43	--
C5	高潮区	81.08	13.92	4.42	0.58	-1.56	1.47	0.81	2.87	-2.05	--
C3	高潮区	1.08	64.84	28.04	6.04	3.55	2.74	0.21	0.79	3.14	粉砂质砂

注：“--”表示该沉积物砾石比重太大，无法定义。

附表 9 2025 年秋季沉积物质量单项指数表

站号	铜		铅	锌	镉	砷		总铬			汞	硫化物	石油类	有机碳
	一类	二类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	二类	三类	一类	一类	一类	一类
C4	0.29	0.10	0.35	0.20	0.16	0.58	0.18	2.47	1.32	0.73	0.01	0.00	0.06	0.06
C5	1.37	0.48	0.51	0.29	0.12	1.41	0.43	2.38	1.27	0.70	0.04	0.00	0.14	0.10
C3	0.43	0.15	0.33	0.54	0.54	0.93	0.28	1.22	0.65	0.36	0.11	0.22	0.20	0.19
最小值	0.29	0.10	0.33	0.20	0.12	0.58	0.18	1.22	0.65	0.36	0.01	0.00	0.06	0.06
最大值	1.37	0.48	0.51	0.54	0.54	1.41	0.43	2.47	1.32	0.73	0.11	0.22	0.20	0.19
平均值	0.70	0.24	0.40	0.34	0.27	0.97	0.30	2.02	1.08	0.60	0.05	0.07	0.13	0.12
超标率%	33.3	0.00	0.00	0.00	0.00	33.3	0.00	100	66.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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，未检出部分可分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计运算。

附表 10 2023 年秋季叶绿素 a 和初级生产力分布情况

站位	叶绿素 a (mg/m ³)				初级生产力	透明度
	表层	中层	底层	平均值	mg·C/m ² ·d	(m)
23	0.34	0.34	0.46	0.38	170.19	8.0
21	0.90	0.46	0.46	0.61	/	/
16	0.46	0.46	0.58	0.50	223.43	8.0
6	1.03	/	0.46	0.74	125.03	3.00
7	0.90	0.80	0.58	0.76	170.25	4.0
12	0.58	0.78	1.03	0.80	179.06	4.0
17	0.22	0.34	0.46	0.34	114.33	6.0
32	0.66	0.56	0.46	0.56	283.10	9.0
33	0.22	0.68	0.56	0.49	191.25	7.0
31	0.46	1.00	0.56	0.67	189.11	5.0
8	0.78	0.66	0.34	0.59	133.54	4.0
30	0.68	/	0.34	0.51	57.21	2.0
4	0.68	/	0.44	0.56	62.96	2.0
28	1.70	/	/	1.70	190.73	2.0
2	1.92	/	/	1.92	215.53	2.0
最小值	0.22	0.34	0.34	0.34	57.21	2.0
最大值	1.92	1.00	1.03	1.92	283.10	9.0
平均值	0.77	0.61	0.52	0.74	164.69	4.7

注: "/"表示无该检测项。

附表 11 2023 年秋季调查海域浮游植物种名名录

序号	种名	拉丁文名
蓝藻门		
1	铁氏束毛藻	<i>TricHodesmium tHieBautii</i>
2	红海束毛藻	<i>TricHodesmium erytHraeum</i>
甲藻门		
3	二齿双管藻	<i>ampHisolenia Bidentata</i>
4	叉状角藻	<i>Ceratium furca</i> var. <i>furca</i>
5	短角藻	<i>Ceratium Breve</i> var. <i>Breve</i>
6	短角藻平行变种	<i>Ceratium Breve</i> var. <i>paralleum</i>
7	大角角藻	<i>Ceratium macroceros</i> var. <i>macroceros</i>
8	波状角藻	<i>Ceratium tricHoceros</i>
9	梭角藻	<i>Ceratium furca</i>
10	斯氏扁甲藻	<i>PyropHacus steinii</i>
11	歧分原多甲藻	<i>Protoperidinium divergens</i>
12	海洋原多甲藻	<i>Protoperidinium oceanicum</i>
13	五角原多甲藻	<i>Protoperidinium pentagonum</i>
14	勇士鳍藻	<i>DinopHysis miles</i>
15	梭梨甲藻梭形变型	<i>Pyrocystis fusiformis</i> f. <i>fusiformis</i>
金藻门		
16	球形棕囊藻	<i>PHaeocystis gloBosa</i>
17	小等刺硅鞭藻	<i>DictyocHa fiBula</i>
硅藻门		
18	具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i>
19	念珠直链藻	<i>melosira moniliformis</i>
20	颗粒直链藻	<i>melosira granulata</i>
21	哈氏半盘藻	<i>Hemidiscus Hardmannianus</i>

序号	种名	拉丁文名
22	小环藻	<i>Cyclotella</i> spp.
23	格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i>
24	虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>
25	星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>
26	威利圆筛藻	<i>Coscinodiscus wailesii</i>
27	细弱海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i>
28	离心列海链藻	<i>Thalassiosira excentrica</i>
29	环纹娄氏藻	<i>Lauderia annulata</i>
30	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>
31	掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
32	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>
33	薄壁几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i>
34	豪猪棘冠藻	<i>Corethron hystrix</i>
35	笔尖形根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
36	笔尖形根管藻粗径变种	<i>Rhizosolenia styliformis</i> var. <i>latissima</i>
37	螺端假管藻	<i>Rhizosolenia cochlea</i>
38	翼根管藻印度变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>indica</i>
39	翼根管藻纤细变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>
40	透明根管藻	<i>Rhizosolenia hyalina</i>
41	斯托根管藻	<i>Rhizosolenia stouterfortii</i>
42	中华根管藻	<i>Rhizosolenia sinensis</i>
43	粗根管藻	<i>Rhizosolenia robusta</i>
44	距端假管藻	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
45	叉状辐杆藻	<i>Bacteriastrum furcatum</i>
46	透明辐杆藻	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> var. <i>hyalinum</i>
47	并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i> f. <i>decipiens</i>
48	劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>
49	旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i>
50	拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>
51	柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i>
52	扁面角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i>
53	秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros pelagicus</i>
54	紧挤角毛藻	<i>Chaetoceros coarctatus</i>
55	齿角毛藻	<i>Chaetoceros denticulatus</i> f. <i>denticulatus</i>
56	大西洋角毛藻	<i>Chaetoceros atlanticus</i> var. <i>atlanticus</i>
57	密连角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i>
58	中华半管藻	<i>Hemiaulus sinensis</i>
59	膜质半管藻	<i>Hemiaulus membranaceus</i>
60	中华齿状藻	<i>Odontella sinensis</i>
61	活动齿状藻	<i>Odontella mobilensis</i>
62	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>
63	钟形中鼓藻	<i>Bellerophon horologicalis</i>
64	泰晤士扭鞘藻	<i>Streptotheca tamesis</i>
65	短角弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i>
66	宽梯形藻	<i>ClimacopHenia moniligera</i>
67	佛氏海线藻	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>
68	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschoides</i>
69	长海毛藻	<i>Thalassiothrix longissima</i>

序号	种名	拉丁文名
70	针杆藻	<i>Synedra</i> spp.
71	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.
72	曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> sp.
73	舟形藻	<i>Navicula</i> spp.
74	膜状缪氏藻	<i>meuniera memBranacea</i>
75	尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>
76	菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.
77	派格棍形藻	<i>Bacillaria paxillifera</i>
78	洛氏菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i>
79	新月菱形藻	<i>Nitzschia closterium</i>
	裸藻门	
80	带形裸藻	<i>Euglena eHrenBergii</i>

附表 12 2023 年秋季调查各站位浮游植物的多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (d)
2	20	2.59	0.60	0.95
4	23	0.93	0.21	1.06
6	34	2.09	0.41	1.58
7	42	1.74	0.32	1.79
8	19	0.68	0.16	0.88
12	31	1.24	0.25	1.32
14	33	1.98	0.39	1.49
16	52	3.21	0.56	2.33
17	29	1.26	0.26	1.26
19	27	1.94	0.41	1.22
21	43	2.89	0.53	2.12
23	33	1.54	0.30	1.49
26	17	2.29	0.56	0.85
28	16	2.85	0.71	0.82
30	18	2.39	0.57	0.91
31	22	1.33	0.30	1.06
32	33	2.65	0.53	1.52
33	31	2.24	0.45	1.44
最小值	16	0.68	0.16	0.82
最大值	52	3.21	0.71	2.33
平均值	--	1.99	0.42	1.34

附表 13 2023 年秋季调查海域浮游动物种名名录

序号	种名	拉丁名
	介形类	
1	尖突海萤	<i>Cypridina acuminata</i>
2	针刺真浮萤	<i>Euconchoecia aculeata</i>
	桡足类	
3	太平洋纺锤水蚤	<i>acartia pacifica</i>
4	微刺哲水蚤	<i>CantHocalanus pauper</i>
5	粗新哲水蚤	<i>Neocalanus roBustior</i>

序号	种名	拉丁名
6	普通波水蚤	<i>Undinula vulgaris</i>
7	羽丽哲水蚤	<i>Calocalanus plumulosus</i>
8	锥形宽水蚤	<i>Temora turBinata</i>
9	异尾宽水蚤	<i>Temora discaudata</i>
10	叉胸刺水蚤	<i>Centropages furcatus</i>
11	奥氏胸刺水蚤	<i>Centropages orsinii</i>
12	椭圆形长足水蚤	<i>Calanopia elliptica</i>
13	奥氏长足水蚤	<i>Calanopia aurivillii</i>
14	真刺唇角水蚤	<i>LaBidocera eucHaeta</i>
15	尖刺唇角水蚤	<i>LaBidocera acuta</i>
16	科氏唇角水蚤	<i>LaBidocera kroyeri</i>
17	小唇角水蚤	<i>LaBidocera minuta</i>
18	羽小角水蚤	<i>Pontellina plumata</i>
19	莫氏小角水蚤	<i>Pontellina morii</i>
20	克氏筒角水蚤	<i>Pontellopsis kraeri</i>
21	瘦尾筒角水蚤	<i>Pontellopsis strenua</i>
22	精致真刺水蚤	<i>EucHaeta concinna</i>
23	伯氏平头水蚤	<i>Candacia Bradyi</i>
24	幼平头水蚤	<i>Candacia catula</i>
25	亚强次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus suBcrassus</i>
26	帽形次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus pileatus</i>
27	狭额次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus suBtenuis</i>
28	近缘大眼水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>
29	亮大眼水蚤	<i>Corycaeus andrewsi</i>
30	红大眼水蚤	<i>Corycaeus erythraeus</i>
31	美丽大眼水蚤	<i>Corycaeus speciosus</i>
32	细大眼水蚤	<i>Corycaeus subtilis</i>
33	小长腹剑水蚤	<i>Oithona nana</i>
34	坚长腹剑水蚤	<i>Oithona rigida</i>
35	钳形歪水蚤	<i>Tortanus forcipatus</i>
36	瘦歪水蚤	<i>Tortanus gtacilis</i>
37	齿隆水蚤	<i>Oncaea dentipes</i>
38	小毛猛水蚤	<i>microsetella norvegica</i>
39	红小毛猛水蚤	<i>microsetella rosea</i>
40	尖额谐猛水蚤	<i>Euterpina acutifrons</i>
翼足类		
41	尖笔帽螺	<i>Creseis acicula</i>
42	棒笔帽螺	<i>Creseis clava</i>
43	长轴螺	<i>Peraclis reticulata</i>
44	马蹄蛭螺	<i>Limacina trochiformis</i>
45	歪轴明螺	<i>atlanta inclinata</i>
毛颚类		
46	肥胖箭虫	<i>Sagitta enflata</i>
47	柔佛箭虫	<i>Sagitta Johorensis</i>
48	百陶箭虫	<i>Sagitta Bedoti</i>
49	凶形箭虫	<i>Ferosagitta ferox</i>
水母类		
50	四叶小舌水母	<i>Liriope tetraphylla</i>

序号	种名	拉丁名
51	双生水母	<i>DipHyes cHamissonis</i>
52	拟细浅室水母	<i>Lensia suBtiloides</i>
53	两手筐水母	<i>Solmundella Bitentaculata</i>
54	介螳水母	<i>Hydractinia</i> sp.
55	六辐和平水母	<i>Eirene Hexanemalis</i>
56	半口壮丽水母	<i>aglaura Hemistoma</i>
57	多刺胞真囊水母	<i>EupHysora knides</i>
被囊类		
58	软拟海樽	<i>Dolioletta gegenBauri</i>
59	双尾纽鳃樽	<i>THalia democratica</i>
60	殖孢囊虫	<i>Stegosoma magnum</i>
61	异体住囊虫	<i>Olkopleura dioica</i>
十足类		
62	中型莹虾	<i>Lucifer intermedius</i>
涟虫类		
63	涟虫的一种	<i>Cumacea</i> sp.
端足类		
64	蚤狼（虫戎）	<i>Lycaea pulex</i>
65	孟加蛮（虫戎）	<i>Lestrigonus Bengalensis</i>
66	西巴似泉（虫戎）	<i>Hyperioidea siBaginis</i>
幼体类		
67	鱼卵	FisH egg
68	仔鱼	FisH larva
69	短尾类溞状幼体	BracHyura Zoca larva
70	长尾类幼体	macrura larva
71	蔓足类幼体	Cirripedia larva
72	多毛类幼体	PolycHaeta larva
73	磁蟹类幼体	Porcellanan Zoca larva
74	大眼类幼虫	BracHyura megalopa larva
75	蛇尾纲长腕幼虫	OpHiopluteus larva
76	虾蛄阿利玛幼虫	Squilla alima larva

附表 14 2023 年秋季调查站位浮游动物密度和生物量

调查站位	密度 (ind./m ³)	生物量 (mg/m ³)
2	187.48	86.667
4	153.50	49.118
6	336.20	91.905
7	271.20	70.400
8	138.04	26.481
12	98.34	27.200
14	96.96	28.710
16	78.54	22.278
17	130.24	103.484
19	108.48	112.727
21	46.00	30.158
23	2.85	1.684
26	72.50	61.250
28	258.00	138.000
30	240.81	74.737
31	78.05	14.200

调查站位	密度 (ind./m ³)	生物量 (mg/m ³)
32	104.00	85.355
33	69.62	96.848
最大值	336.20	138.000
最小值	2.85	1.684
平均值	137.27	62.289

附表 15 2023 年秋季调查海域浮游动物多样性水平

调查站号	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (d)
2	19	3.33	0.78	2.30
4	31	3.36	0.68	3.32
6	40	4.13	0.78	3.73
7	40	3.89	0.73	3.75
8	31	3.71	0.75	3.14
12	37	3.72	0.71	3.42
14	40	3.92	0.74	3.70
16	35	3.53	0.69	3.25
17	41	3.79	0.71	3.64
19	33	3.54	0.70	2.96
21	34	3.06	0.60	3.38
23	13	2.54	0.69	2.09
26	10	2.64	0.79	1.54
28	20	1.92	0.44	2.37
30	32	3.85	0.77	3.15
31	28	3.50	0.73	2.65
32	44	3.94	0.72	4.04
33	39	3.39	0.64	3.74
最小值	10	1.92	0.44	1.54
最大值	44	4.13	0.79	4.04
平均值	—	3.43	0.70	3.12

附表 16 2023 年秋季海域大型底栖生物种名名录

序号	种名	拉丁文名
	刺胞动物	
1	侧花海葵	<i>antHopleura</i> sp.
2	爱氏海葵	<i>Edwardsia</i> sp.
3	强壮仙人掌海葵	<i>Cavernularia oBesia</i>
	纽形动物	
4	细首纽虫	<i>CepHalotHrix</i> sp.
5	血色缘纽虫	<i>RampHogordius sanguineus</i>
	环节动物	
6	内刺盘管虫	<i>Hydroides ezoensis</i>
7	绒毛肾扇虫	<i>Brada villosa</i>
8	孟加拉海扇虫	<i>PHerusa Bengalensis</i>
9	刚鳃虫	<i>CHaetozone setosa</i>
10	须鳃虫	<i>Cirriformia tentaculata</i>
11	副栉虫	<i>ParampHicteis angustifolia</i>
12	细丝鳃虫	<i>Cirriformia filiformis</i>
13	丛生树蛭虫	<i>Pista fasciata</i>
14	梳鳃虫	<i>TereBellides stroemii</i>
15	后稚虫	<i>Laonice cirrata</i>

序号	种名	拉丁文名
16	昆士兰稚齿虫	<i>Prionospio queenslandica</i>
17	奇异稚齿虫	<i>Paraprionospio pinnata</i>
18	太平洋长手沙蚕	<i>magelona pacifica</i>
19	锥唇吻沙蚕	<i>Glycera onomicHiensis</i>
20	真鳞虫	<i>EulepetHus Hamifera</i>
21	黄埃刺梳鳞虫	<i>EHlersileanira incisa</i>
22	火岛脆鳞虫	<i>LepidastHenia oHsHimai</i>
23	寡鳃齿吻沙蚕	<i>NepHys oligoBranchia</i>
24	含糊拟刺虫	<i>LinopHerus amBigua</i>
25	栗色仙须虫	<i>NereipHylla castanea</i>
26	狭细蛇潜虫	<i>OpHiodromus angutifrons</i>
27	双唇索沙蚕	<i>LumBrineris cruzensis</i>
28	掌鳃索沙蚕	<i>Ninoe palmata</i>
29	毡毛岩虫	<i>marpHysa stragulum</i>
30	智利巢沙蚕	<i>Diopatra cHiliensis</i>
31	欧努菲虫	<i>OnupHis eremita</i>
32	拟节虫	<i>Praxillella praetermissa</i>
33	小头虫	<i>Capitella capitata</i>
34	角海蛭	<i>OpHelina acuminate</i>
35	尖锥虫	<i>Scoloplos armiger</i>
36	仙居虫	<i>Naineris laevigata</i>
37	矛毛虫	<i>PHylo felix</i>
38	足刺拟单指虫	<i>Cossurella aciculata</i>
	蠕虫动物	
39	短吻铲荚蠕	<i>ListrioloBus Brevirostris</i>
	星虫动物	
40	毛头梨体星虫	<i>apionsoma tricHocepHala</i>
	软体动物	
41	肋变角贝	<i>Dentalium octangulatum</i>
42	瑞氏光蛤蜊	<i>mactrinula reevesii</i>
43	截形白樱蛤	<i>Psammacoma guBernaculum</i>
44	虹光亮樱蛤	<i>Nitidotellina iridella</i>
45	日本卵蛤	<i>Pitar Japonicum</i>
46	波纹巴非蛤	<i>PaHia undulata</i>
	节肢动物	
47	短角双眼钩虾	<i>ampelisca Brevicornis</i>
48	锯齿铲钩虾	<i>Listriella serra</i>
49	哈氏和美虾	<i>NiHonotrurpaea Harmandi</i>
50	日本鼓虾	<i>alpHeus Japonicus</i>
51	绒毛细足蟹	<i>RapHidopus ciliatus</i>
52	兰氏三强蟹	<i>Tritodynamia ratHBunae</i>
53	弯肢六足蟹	<i>Hexapus anfractus</i>
54	裸盲蟹	<i>TypHlocarcinus nudus</i>
55	豆形短眼蟹	<i>XenopHtHalmus pinnotHeroides</i>
	棘皮动物	
56	日本倍棘蛇尾	<i>ampHioplus Japonicus</i>
57	近辐蛇尾	<i>OpHiactis affinis</i>
	脊索动物	

序号	种名	拉丁文名
58	线鳍毛背鱼	<i>Trichonotus filamentosus</i>
59	白氏文昌鱼	<i>Branchiostoma belcheri</i>

附表 17 2023 年秋季调查海域底栖生物各类群的生物量和栖息密度

站位	项目	合计	刺胞动物	纽形动物	环节动物	蠕虫动物	星虫动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物
2	栖息密度 (ind./m ²)	40.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	0.82	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	栖息密度 (ind./m ²)	330.00	0.00	20.00	175.00	50.00	0.00	40.00	40.00	5.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	171.91	0.00	1.20	4.32	134.14	0.00	27.53	4.68	0.05	0.00
6	栖息密度 (ind./m ²)	385.00	5.00	10.00	70.00	140.00	0.00	15.00	30.00	115.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	288.82	0.21	0.31	0.78	253.60	0.00	23.69	2.70	7.54	0.00
7	栖息密度 (ind./m ²)	70.00	0.00	5.00	20.00	0.00	0.00	5.00	20.00	20.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	11.62	0.00	0.04	2.09	0.00	0.00	8.19	0.61	0.71	0.00
8	栖息密度 (ind./m ²)	50.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	10.00	5.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	4.14	0.00	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	1.54	0.31	0.00
12	栖息密度 (ind./m ²)	80.00	0.00	10.00	35.00	0.00	0.00	0.00	20.00	15.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	3.93	0.00	0.13	1.99	0.00	0.00	0.00	1.53	0.29	0.00
14	栖息密度 (ind./m ²)	45.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	1.43	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00
16	栖息密度 (ind./m ²)	65.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	5.00	20.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	1.90	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.24	0.84	0.00
17	栖息密度 (ind./m ²)	65.00	0.00	5.00	40.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	0.78	0.00	0.03	0.53	0.00	0.00	0.00	0.11	0.12	0.00
19	栖息密度 (ind./m ²)	25.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	0.26	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
21	栖息密度 (ind./m ²)	50.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	10.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	1.44	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.44	0.81	0.00
23	栖息密度 (ind./m ²)	10.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
	生物量 (g/m ²)	1.74	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67
26	栖息密度 (ind./m ²)	75.00	10.00	10.00	20.00	0.00	0.00	0.00	25.00	10.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	1.23	0.35	0.38	0.08	0.00	0.00	0.00	0.10	0.33	0.00
28	栖息密度 (ind./m ²)	205.00	35.00	5.00	125.00	20.00	5.00	10.00	0.00	5.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	59.52	34.99	0.09	5.98	11.87	0.04	5.85	0.00	0.71	0.00

站位	项目	合计	刺胞动物	纽形动物	环节动物	蠕虫动物	星虫动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物
30	栖息密度 (ind./m ²)	205.00	0.00	10.00	65.00	55.00	0.00	20.00	15.00	40.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	134.65	0.00	0.06	3.99	91.48	0.00	33.94	2.75	2.44	0.00
31	栖息密度 (ind./m ²)	120.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00	20.00	5.00	5.00
	生物量 (g/m ²)	3.71	0.00	0.00	2.18	0.00	0.00	0.00	1.22	0.01	0.32
32	栖息密度 (ind./m ²)	35.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	0.43	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
33	栖息密度 (ind./m ²)	105.00	0.00	10.00	30.00	5.00	0.00	0.00	50.00	10.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	9.82	0.00	0.58	2.85	3.42	0.00	0.00	2.28	0.70	0.00
平均	栖息密度 (ind./m ²)	108.89	2.78	4.72	50.00	15.00	0.28	5.28	15.28	15.00	0.56
	生物量 (g/m ²)	38.78	1.98	0.16	1.69	27.47	0.00	5.52	1.04	0.82	0.11

附表 18 2023 年秋季调查海域底栖生物出现种数与群落指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度指数 (d)
2	4	1.91	0.96	0.56
4	18	3.58	0.86	2.03
6	15	2.77	0.71	1.63
7	10	3.09	0.93	1.47
8	8	2.92	0.97	1.24
12	12	3.45	0.96	1.74
14	3	0.99	0.62	0.36
16	8	2.72	0.91	1.16
17	8	2.65	0.88	1.16
19	3	1.37	0.86	0.43
21	8	2.85	0.95	1.24
23	2	1.00	1.00	0.30
26	6	2.44	0.94	0.80
28	17	3.43	0.84	2.08
30	15	3.38	0.87	1.82
31	15	3.65	0.93	2.03
32	7	2.81	1.00	1.17
33	10	2.62	0.79	1.34
平均	--	2.65	0.89	1.25
范围	2~18	0.99~3.65	0.62~1.00	0.30~2.08

附表 19 2023 年秋季调查海域潮间带生物种名名录

序号	种名	拉丁文名
软体动物		
1	单齿螺	<i>monodonta laBio</i>
2	粗糙滨螺	<i>Littorina scaBra</i>
3	波纹蜒螺	<i>Nerita undata</i>
4	渔舟蜒螺	<i>Nerita alBicilla</i>
5	疣荔枝螺	<i>THais clavigera</i>
6	黑荞麦蛤	<i>Vignadula atrata</i>
7	近江牡蛎	<i>Crassostrea ariakensis</i>
8	棘刺牡蛎	<i>Saccostrea ecHintaa</i>
节肢动物		
9	白脊藤壶	<i>Balanus alBicostatas</i>
10	斑点拟相手蟹	<i>Parasesarma pictum</i>
11	平背蜞	<i>Gaetice depressus</i>
12	四齿大额蟹	<i>metopograpsus quadridentatus</i>
13	下齿细螯寄居蟹	<i>CliBanarius infraspinatus</i>
14	光辉圆扇蟹	<i>SpHaerozius nitidus</i>

附表 20 2024 年春季调查叶绿素 a 和初级生产力分布情况

站位	叶绿素 a (mg/m ³)				初级生产力 mg·C/m ² ·d	透明度 (m)
	表层	中层	底层	平均值		
19	0.54	0.76	0.77	0.69	310.62	8.0
8	1.22	0.99	1.12	1.11	498.67	8.0
31	0.66	0.77	1.00	0.81	364.10	8.0
33	0.54	0.77	1.00	0.77	432.64	10.0
32	0.44	0.44	1.12	0.67	375.04	10.0
17	0.54	0.44	0.78	0.59	363.90	11.0

站 位	叶绿素 a (mg/m ³)				初级生产力	透明度
	表层	中层	底层	平均值	mg·C/m ² ·d	(m)
23	0.54	0.44	1.10	0.70	352.17	9.0
21	0.56	0.56	1.00	0.71	357.50	9.0
16	0.65	1.00	1.00	0.88	397.16	8.0
12	0.65	1.00	1.00	0.88	347.31	7.0
6	4.60	/	1.44	3.02	509.30	3.0
7	2.14	1.44	1.68	1.75	394.18	4.0
30	3.47	/	1.78	2.62	442.15	3.0
4	4.82	/	2.11	3.46	389.18	2.0
28	5.98	/	/	5.98	671.68	2.0
26	5.81	/	/	5.81	652.62	2.0
2	6.41	/	/	6.41	719.86	2.0
最大值	6.41	1.44	2.11	6.41	719.86	11.0
最小值	0.44	0.44	0.77	0.59	310.62	2.0
平均值	2.33	0.78	1.21	2.17	445.77	6.2

注：“/”表示无该检测项。

附表 21 2024 年春季调查海域浮游植物种名录

序号	种 名	拉丁文名
	蓝藻门	
1	铁氏束毛藻	<i>TricHodesmium tHieBautii</i>
2	红海束毛藻	<i>TricHodesmium erytHraeum</i>
	甲藻门	
3	二齿双管藻	<i>amPHisolenia Bidentata</i>
4	瘦长足甲藻	<i>Podolampas elegans</i>
5	新月角藻	<i>Ceratium lunula</i>
6	瘤壁角藻异角变种	<i>Ceratium giBBERum var. dispar</i>
7	蛙趾角藻掌状变种	<i>Ceratium ranips var. palmatum</i>
8	叉状角藻	<i>Ceratium furca var. furca</i>
9	短角藻平行变种	<i>Ceratium Breve var. parallelum</i>
10	大角角藻	<i>Ceratium macroceros var. macroceros</i>
11	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>
12	波状角藻	<i>Ceratium tricHoceros</i>
13	梭角藻	<i>Ceratium furca</i>
14	斯氏扁甲藻	<i>PyropHacus steinii</i>
15	灵巧原多甲藻	<i>Protoperidinium venustum</i>
16	歧分原多甲藻	<i>Protoperidinium divergens</i>
17	海洋原多甲藻	<i>Protoperidinium oceanicum</i>
18	五角原多甲藻	<i>Protoperidinium pentagonum</i>
19	优美原多甲藻	<i>Protoperidinium elegans</i>
20	具尾鳍藻	<i>DinopHysis caudata</i>
21	勇士鳍藻	<i>DinopHysis miles</i>
22	美丽鸟尾藻	<i>OrnitHocercus splendidus</i>
23	梭梨甲藻梭形变型	<i>Pyrocystis fusiformis f. fusiformis</i>
24	优美梨甲藻	<i>Pyrocystis elegans</i>
25	钩梨甲藻异肢变种	<i>Pyrocystis Hamulus</i>
	金藻门	
26	球形棕囊藻	<i>PHaeocystis gloBosa</i>
27	小等刺硅鞭藻	<i>DictyocHa fiBula</i>

序号	种名	拉丁文名
	硅藻门	
28	哈氏半盘藻	<i>Hemidiscus Hardmannianus</i>
29	楔形半盘藻	<i>Hemidiscus cuneiformis</i> var. <i>cuneiformis</i>
30	格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i>
31	细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i>
32	虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>
33	星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>
34	威利圆筛藻	<i>Coscinodiscus wailesii</i>
35	细弱海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i>
36	细长列海链藻	<i>Thalassiosira leptopus</i>
37	环纹娄氏藻	<i>Lauderia annulata</i>
38	塔形冠盖藻	<i>Stephanopyxis turris</i>
39	掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
40	地中海细柱藻	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>
41	薄壁几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i>
42	豪猪棘冠藻	<i>Corethron hystrix</i>
43	笔尖形根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
44	笔尖形根管藻粗径变种	<i>Rhizosolenia styliformis</i> var. <i>latissima</i>
45	螺端假管藻	<i>Rhizosolenia cochlea</i>
46	翼根管藻印度变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>indica</i>
47	翼根管藻纤细变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>
48	翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>genuina</i>
49	伯氏根管藻	<i>Rhizosolenia Bergonii</i>
50	卡氏根管藻	<i>Rhizosolenia castracanei</i>
51	透明根管藻	<i>Rhizosolenia hyalina</i>
52	斯托根管藻	<i>Rhizosolenia stolterfortii</i>
53	粗根管藻	<i>Rhizosolenia robusta</i>
54	距端假管藻	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
55	叉状辐杆藻	<i>Bacteriastrum furcatum</i>
56	透明辐杆藻	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> var. <i>hyalinum</i>
57	并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i> f. <i>decipiens</i>
58	劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>
59	旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i>
60	窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i> var. <i>affinis</i>
61	双孢角毛藻	<i>Chaetoceros didymus</i>
62	秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros pelagicus</i>
63	紧挤角毛藻	<i>Chaetoceros coarctatus</i>
64	短叉角毛藻	<i>Chaetoceros messanensis</i>
65	齿角毛藻	<i>Chaetoceros denticulatus</i> f. <i>denticulatus</i>
66	大西洋角毛藻	<i>Chaetoceros atlanticus</i> var. <i>atlanticus</i>
67	圆柱角毛藻	<i>Chaetoceros teres</i>
68	密连角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i>
69	霍氏半管藻	<i>Hemiaulus hauckii</i>
70	膜质半管藻	<i>Hemiaulus membranaceus</i>
71	中华齿状藻	<i>Odontella sinensis</i>
72	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>
73	短角弯角藻	<i>Eucampia zodiacu</i>
74	宽梯形藻	<i>Climacospheia moniligera</i>

序号	种名	拉丁文名
75	佛氏海线藻	<i>THalassionema frauenfeldii</i>
76	菱形海线藻	<i>THalassionema nitzschoides</i>
77	长海毛藻	<i>THalassiothrix longissima</i>
78	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.
79	曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> sp.
80	海洋曲舟藻	<i>Pleurosigma pelagicum</i>
81	舟形藻	<i>Navicula</i> spp.
82	尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>
83	派格棍形藻	<i>Bacillaria paxillifera</i>
84	洛氏菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i>
	裸藻门	
85	带形裸藻	<i>Euglena ehrenbergii</i>
	绿藻门	
86	丝藻	<i>Ulothrix</i> sp.

附表 22 2024 年春季调查各站位浮游植物的多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数（H'）	均匀度指数（J）	丰富度指数（d）
2	21	2.38	0.54	0.96
4	23	1.59	0.35	1.16
6	27	2.44	0.51	1.33
7	32	3.28	0.66	1.65
8	31	3.91	0.79	1.72
12	48	2.92	0.52	2.24
14	47	2.28	0.41	2.26
16	40	3.95	0.74	2.13
17	32	2.35	0.47	1.71
19	51	3.71	0.65	2.56
21	25	3.83	0.83	1.48
23	42	4.13	0.77	2.15
26	25	2.24	0.48	1.17
28	18	2.02	0.48	0.86
30	23	2.76	0.61	1.16
31	52	4.14	0.73	2.62
32	41	3.81	0.71	2.11
33	47	3.89	0.70	2.40
最小值	18	1.59	0.35	0.86
最大值	52	4.14	0.83	2.62
平均值	--	3.09	0.61	1.76

附表 23 2024 年春季调查海域浮游动物种名名录

序号	种名	拉丁名
	介形类	
1	针刺真浮萤	<i>Euconchoecia aculeata</i>
2	尖突海萤	<i>Cypridina acuminata</i>

序号	种名	拉丁名
	桡足类	
3	太平洋纺锤水蚤	<i>acartia pacifica</i>
4	小纺锤水蚤	<i>acartia negligens</i>
5	达氏字哲水蚤	<i>Cosmocalanus darwinii</i>
6	微刺哲水蚤	<i>CantHocalanus pauper</i>
7	瘦新哲水蚤	<i>Neocalanus gracilis</i>
8	普通波水蚤	<i>Undinula vulgaris</i>
9	锥形宽水蚤	<i>Temora turBinata</i>
10	异尾宽水蚤	<i>Temora discaudata</i>
11	叉胸刺水蚤	<i>Centropages furcatus</i>
12	瘦长胸刺水蚤	<i>Centropages elongatus</i>
13	瘦尾胸刺水蚤	<i>Centropages tenuiremis</i>
14	长角胸刺水蚤	<i>Centropages longicornis</i>
15	瘦拟哲水蚤	<i>Paracalanus gracilis</i>
16	椭圆形长足水蚤	<i>Calanopia elliptica</i>
17	小长足水蚤	<i>Calanopia minor</i>
18	真刺唇角水蚤	<i>LaBidocera eucHaeta</i>
19	尖刺唇角水蚤	<i>LaBidocera acuta</i>
20	科氏唇角水蚤	<i>LaBidocera kroyeri</i>
21	小唇角水蚤	<i>LaBidocera minuta</i>
22	叉刺角水蚤	<i>Pontella cHiercHiae</i>
23	莫氏小角水蚤	<i>Pontellina morii</i>
24	瘦尾筒角水蚤	<i>Pontellopsis strenua</i>
25	精致真刺水蚤	<i>EucHaeta concinna</i>
26	双刺拟平头水蚤	<i>Paracandacia Bispinosa</i>
27	幼平头水蚤	<i>Candacia catula</i>
28	微驼隆哲水蚤	<i>acrocalanus gracilis</i>
29	丹氏厚壳水蚤	<i>ScolecitHrix danae</i>
30	伪细拟真哲水蚤	<i>Pareucalanus pseudattenuatus</i>
31	强次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus crassus</i>
32	角锚哲水蚤	<i>RHincalanus cornutus</i>
33	亚强次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus suBcrassus</i>
34	帽形次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus pileatus</i>
35	狭额次真哲水蚤	<i>SuBeucalanus suBtenuis</i>
36	近缘大眼水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>
37	亮大眼水蚤	<i>Corycaeus andrewsi</i>
38	红大眼水蚤	<i>Corycaeus erytHraeus</i>
39	太平洋大眼水蚤	<i>Corycaeus pacificus</i>
40	美丽大眼水蚤	<i>Corycaeus speciosus</i>
41	微胖大眼水蚤	<i>Corycaeus crassiusculus</i>
42	伪长腹剑水蚤	<i>OitHona fallax</i>
43	羽长腹剑水蚤	<i>OitHona plumifera</i>
44	竖长腹剑水蚤	<i>OitHona rigida</i>
45	瘦歪水蚤	<i>Tortanus gtacilis</i>
46	中隆水蚤	<i>Oncaea media</i>
47	小毛猛水蚤	<i>microsetella norvegica</i>
48	尖额谐猛水蚤	<i>Euterpina acutifrons</i>
49	奇浆水蚤	<i>Copilia miraBilis</i>

序号	种名	拉丁名
	翼足类	
50	尖笔帽螺	<i>Creseis acicula</i>
51	马蹄蛭螺	<i>Limacina trochiformis</i>
52	歪轴明螺	<i>atlanta inclinata</i>
	毛颚类	
53	肥胖箭虫	<i>Sagitta enflata</i>
54	百陶箭虫	<i>Sagitta Bedoti</i>
55	中华箭虫	<i>Sagitta sinica</i>
56	布氏箭虫	<i>Sagitta Bruuni</i>
57	柔佛箭虫	<i>Sagitta JoHorensis</i>
58	正型箭虫	<i>Sagitta regularis</i>
59	凶形箭虫	<i>Ferosagitta ferox</i>
	水母类	
60	四叶小舌水母	<i>Liriope tetraHYlla</i>
61	异双生水母	<i>DipHyes dispar</i>
62	双生水母	<i>DipHyes cHamissonis</i>
63	拟细浅室水母	<i>Lensia suBtiloides</i>
64	两手筐水母	<i>Solmundella Bitentaculata</i>
65	多管水母	<i>aequorea sp.</i>
66	细小多管水母	<i>aequorea parva</i>
67	小拟多面水母	<i>aByloopsis escHscHoltzi</i>
68	方拟多面水母	<i>aByloopsis tetragona</i>
69	六辐和平水母	<i>Eirene Hexanemalis</i>
70	半口壮丽水母	<i>aglaura Hemistoma</i>
71	真囊水母	<i>EupHysora sp.</i>
72	巴斯水母	<i>Bassia Bassensis</i>
73	瓜水母	<i>Beroe cucumis</i>
74	球形侧腕水母	<i>PleuroBracHia gloBosa</i>
	被囊类	
75	软拟海樽	<i>Dolioletta gegenBauri</i>
76	殖孢囊虫	<i>Stegosoma magnum</i>
	十足类	
77	中型莹虾	<i>Lucifer intermedius</i>
	等足类	
78	道氏纺锤水虱	<i>agea dofleini</i>
	端足类	
79	钩虾的一种	<i>Gammarus sp.</i>
80	蚤狼（虫戎）	<i>Lycaea pulex</i>
81	孟加蛮（虫戎）	<i>Lestrigonus Bengalensis</i>
82	细尖小涂氏（虫戎）	<i>TullBergella cuspidata</i>
83	太平洋慎（虫戎）	<i>PHronima pacifica</i>
84	刺拟慎（虫戎）	<i>PHronimopsis spinifera</i>
	幼体类	
85	鱼卵	FisH egg
86	仔鱼	FisH larva
87	短尾类溞状幼体	BracHyura Zoea larva
88	长尾类幼体	macrura larva
89	多毛类幼体	PolycHaeta larva

序号	种名	拉丁名
90	磁蟹类幼体	Porcellanan Zoea larva
91	大眼类幼虫	BracHyura megalopa larva
92	蛇尾纲长腕幼虫	OpHiopluteus larva
93	虾蛄阿利玛幼虫	Squilla alima larva

附表 24 2024 年春季调查站位浮游动物密度和生物量

调查站位	密度 (ind./m ³)	生物量 (mg/m ³)
2	66.66	15.000
4	43.18	6.176
6	38.35	8.095
7	54.03	10.000
8	13.53	200.552
12	28.09	2.788
14	81.47	44.125
16	34.84	29.105
17	18.14	2.848
19	72.42	49.056
21	50.96	60.256
23	51.92	21.514
26	87.50	13.750
28	31.63	5.833
30	41.50	8.000
31	26.75	6.323
32	35.84	7.353
33	24.30	4.743
最大值	87.50	200.552
最小值	13.53	2.788
平均值	44.51	27.529

附表 25 2024 年春季调查海域浮游动物多样性水平

调查站号	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (d)
2	19	2.68	0.63	2.85
4	24	3.19	0.70	3.19
6	20	3.26	0.75	2.59
7	35	3.79	0.74	4.24
8	29	4.22	0.87	3.68
12	37	3.39	0.65	4.06
14	55	4.42	0.76	5.22
16	45	4.25	0.77	4.70
17	32	3.88	0.78	3.77
19	47	4.09	0.74	4.45
21	56	4.08	0.70	5.52
23	56	4.05	0.70	5.55
26	14	2.42	0.64	2.12
28	13	2.95	0.80	2.29
30	27	3.90	0.82	3.53
31	38	4.22	0.80	4.25
32	45	4.36	0.79	4.76
33	37	3.84	0.74	4.12
最小值	13	2.42	0.63	2.12
最大值	56	4.42	0.87	5.55
平均值	—	3.72	0.74	3.94

附表 26 2024 年春季调查海域大型底栖生物种名名录

序号	种名	拉丁文名
	刺胞动物	
1	侧花海葵	<i>antHopleura</i> sp.
2	强壮仙人掌海葵	<i>Cavernularia oBesia</i>
	纽形动物	
3	细首纽虫	<i>CepHalotHrix</i> sp.
4	血色缘纽虫	<i>RampHogordius sanguineus</i>
	环节动物	
5	刚鳃虫	<i>CHaetozone setosa</i>
6	须鳃虫	<i>Cirriformia tentaculata</i>
7	细丝鳃虫	<i>Cirriformia filiformis</i>
8	双毛鳃虫	<i>TricHoBranchus BiBranchiatus</i>
9	长突树蛭虫	<i>Pista elongata</i>
10	昆士兰稚齿虫	<i>Prionospio queenslandica</i>
11	奇异稚齿虫	<i>Paraprionospio pinnata</i>
12	锥唇吻沙蚕	<i>Glycera onomicHiensis</i>
13	长吻沙蚕	<i>Glycera cHirori</i>
14	日本强鳞虫	<i>StHenolepis Japonica</i>
15	黄埃刺梳鳞虫	<i>EHlersileanira incisa</i>
16	寡鳃齿吻沙蚕	<i>NepHtys oligoBranchia</i>
17	双唇索沙蚕	<i>LumBrineris cruzensis</i>
18	岩虫	<i>marpHysa sanguinea</i>
19	丝线沙蚕	<i>Drilonereis filum</i>
20	背蚓虫	<i>Notomastus latericeus</i>
21	日本角吻沙蚕	<i>Goniada Japonica</i>
22	羽须鳃沙蚕	<i>Dendronereis pinnaticirris</i>
23	背褶沙蚕	<i>TamBalagamia fauveli</i>
24	智利巢沙蚕	<i>Diopatra cHiliensis</i>
25	拟节虫	<i>Praxillella praetermissa</i>
26	小头虫	<i>Capitella capitata</i>
27	仙居虫	<i>Naineris laevigata</i>
28	矛毛虫	<i>PHylo felix</i>
29	不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>
30	足刺拟单指虫	<i>Cossurella aciculata</i>
	螭虫动物	
31	短吻铲荚螭	<i>ListrioloBus Brevirostris</i>
	软体动物	
32	棒锥螺	<i>Turritella tereBra Bacillum</i>
33	施氏獭蛤	<i>Lutraria sieBoldii</i>
34	彩虹明樱蛤	<i>moerella iridescent</i>
35	截形白樱蛤	<i>Psammacoma guBernaculum</i>
36	细长白樱蛤	<i>macoma praetexta</i>
37	美女白樱蛤	<i>macoma candida</i>
38	斯氏小樱蛤	<i>Tellinella spengleri</i>
39	缘角樱蛤	<i>angulus emarginatus</i>
	节肢动物	
40	轮双眼钩虾	<i>ampelisca cyclops</i>

序号	种名	拉丁文名
41	日本游泳水虱	<i>Natatolana Japonensis</i>
42	细螯虾	<i>LeptocHela gracilis</i>
43	东方长眼虾	<i>Ogyrides orientalis</i>
44	琉球管须蟹	<i>alBunea okinawaensis</i>
45	哈氏和美虾	<i>NiHonotrupaea Harmandi</i>
46	日本鼓虾	<i>alpHeus Japonicus</i>
47	霍氏三强蟹	<i>Tritodynamia HorvatHi</i>
48	兰氏三强蟹	<i>Tritodynamia ratHBunae</i>
49	特异大权蟹	<i>macromedaeus distinguendus</i>
50	沟纹拟盲蟹	<i>TypHlocarcinops canaliculata</i>
51	裸盲蟹	<i>TypHlocarcinus nudus</i>
棘皮动物		
52	棘刺锚参	<i>Protankyra Bidentata</i>
53	日本倍棘蛇尾	<i>ampHioplus Japonicus</i>
脊索动物		
54	杂食豆齿鳗	<i>PisodonopHis Boro</i>
55	小头栉孔鰕虎鱼	<i>CtenotrypauchHen microcepHalus</i>

附表 27 2024 年春季调查海域底栖生物各类群的生物量和栖息密度

站位	项目	合计	刺胞动物	纽形动物	环节动物	蛭虫动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物
2	栖息密度 (ind./m ²)	50.00	0.00	0.00	25.00	0.00	5.00	5.00	15.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	20.420	0.000	0.000	6.060	0.000	1.785	3.305	9.270	0.000
4	栖息密度 (ind./m ²)	140.00	0.00	0.00	55.00	85.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	336.825	0.000	0.000	1.105	335.720	0.000	0.000	0.000	0.000
6	栖息密度 (ind./m ²)	35.00	0.00	5.00	5.00	0.00	0.00	10.00	15.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	44.220	0.000	0.305	2.590	0.000	0.000	35.090	6.235	0.000
7	栖息密度 (ind./m ²)	40.00	0.00	5.00	0.00	0.00	10.00	10.00	15.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	34.065	0.000	0.575	0.000	0.000	31.180	0.920	1.390	0.000
8	栖息密度 (ind./m ²)	15.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	17.370	0.000	0.000	2.355	0.000	0.000	15.015	0.000	0.000
12	栖息密度 (ind./m ²)	50.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	10.00	10.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	3.305	0.000	0.000	3.015	0.000	0.000	0.170	0.120	0.000
14	栖息密度 (ind./m ²)	50.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00
	生物量 (g/m ²)	24.630	0.000	0.000	2.575	0.000	0.000	0.470	0.000	21.585
16	栖息密度 (ind./m ²)	50.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00
	生物量 (g/m ²)	1.485	0.000	0.000	0.715	0.000	0.000	0.000	0.015	0.755
17	栖息密度 (ind./m ²)	20.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	16.965	0.000	0.000	1.685	0.000	0.000	15.280	0.000	0.000
19	栖息密度 (ind./m ²)	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00	5.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	16.970	0.000	0.000	0.000	0.000	7.180	0.205	9.585	0.000
21	栖息密度 (ind./m ²)	25.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	2.440	0.000	0.000	0.410	0.000	0.000	2.030	0.000	0.000
23	栖息密度 (ind./m ²)	30.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	3.615	0.000	0.000	3.615	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	栖息密度 (ind./m ²)	110.00	35.00	0.00	40.00	0.00	15.00	0.00	20.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	53.630	39.800	0.000	2.520	0.000	3.365	0.000	7.945	0.000
28	栖息密度 (ind./m ²)	135.00	0.00	0.00	80.00	0.00	5.00	0.00	50.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	27.155	0.000	0.000	6.315	0.000	13.485	0.000	7.355	0.000

站位	项目	合计	刺胞动物	纽形动物	环节动物	蠕虫动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物
30	栖息密度 (ind./m ²)	115.00	0.00	0.00	5.00	75.00	0.00	25.00	10.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	318.540	0.000	0.000	3.855	301.085	0.000	12.730	0.870	0.000
31	栖息密度 (ind./m ²)	40.00	0.00	0.00	5.00	5.00	5.00	25.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	17.465	0.000	0.000	0.050	4.555	0.330	12.530	0.000	0.000
32	栖息密度 (ind./m ²)	70.00	0.00	0.00	30.00	0.00	5.00	35.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	12.550	0.000	0.000	1.985	0.000	9.325	1.240	0.000	0.000
33	栖息密度 (ind./m ²)	30.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	1.075	0.000	0.000	0.750	0.000	0.000	0.325	0.000	0.000
平均	栖息密度 (ind./m ²)	56.67	1.94	0.56	23.89	9.17	2.78	9.72	8.06	0.56
	生物量 (g/m ²)	52.930	2.211	0.049	2.200	35.631	3.703	5.517	2.377	1.241

附表 28 2024 年春季调查海域底栖生物出现种数与群落指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度指数 (d)
2	6	2.45	0.95	0.89
4	4	1.55	0.78	0.42
6	5	2.13	0.92	0.78
7	6	2.41	0.93	0.94
8	3	1.58	1.00	0.51
12	9	3.12	0.98	1.42
14	7	2.52	0.90	1.06
16	7	2.52	0.90	1.06
17	3	1.50	0.95	0.46
19	3	1.58	1.00	0.51
21	5	2.32	1.00	0.86
23	6	2.58	1.00	1.02
26	10	2.92	0.88	1.33
28	8	2.32	0.77	0.99
30	4	1.38	0.69	0.44
31	6	2.41	0.93	0.94
32	6	2.12	0.82	0.82
33	4	1.79	0.90	0.61
平均	--	2.18	0.91	0.84
范围	3~10	1.38~3.12	0.69~1.00	0.42~1.42

附表 29 2024 年春季调查海域潮间带生物种名名录

序号	种名	拉丁文名
	软体动物	
1	单齿螺	<i>monodonta laBio</i>
2	粗糙滨螺	<i>Littorina scaBra</i>
3	波纹蜃螺	<i>Nerita undata</i>
4	近江牡蛎	<i>Crassostrea ariakensis</i>
	节肢动物	
5	白脊藤壶	<i>Balanus alBicostatas</i>
6	斑点拟相手蟹	<i>Parasesarma pictum</i>
7	肉球近方蟹	<i>Hemigrapsus sanguineus</i>
8	四齿大额蟹	<i>metopograpsus quadridentatus</i>

附表 30 2023 年秋季调查海域鱼类浮游生物种名名录

序号	物种	拉丁名	形态	
			鱼卵	仔稚鱼
1	小公鱼属	<i>StolepHorus sp.</i>	+	+
2	鲱属	<i>Engraulis sp.</i>	+	-
3	蛇鲻属	<i>Saurida sp.</i>	+	-
4	鲻科	<i>mugilidae</i>	+	-
5	带鱼科	<i>TricHiuridae</i>	+	+
6	鱧科	<i>Sillaginidae</i>	+	+
7	鲷科	<i>LeiognatHidae</i>	+	-
8	鲷科	<i>Sparidae</i>	+	+
9	天竺鲷科	<i>apogonidae</i>	+	-
10	石首鱼科	<i>Sciaenidae</i>	+	+
11	鲆科	<i>BotHidae</i>	+	+
12	鲷科	<i>Soleidae</i>	+	+

13	舌鰻科	Cynoglossidae	+	+
14	红娘鱼属	Lepidotrigla	-	+
15	鲹科	Carangidae	-	+

注：“+”表示有出现，“-”表示未出现。

附表 31 2023 年秋季调查海域游泳动物种名名录

序号	种名	拉丁文名
	鱼类	
1	棘茄鱼	<i>Halieutaea stellata</i>
2	网纹裸胸鳝	<i>GymnotHorax reticularis</i>
3	尖尾鳎	<i>Uroconger lepturus</i>
4	黑口鳎	<i>IlisHa melastoma</i>
5	凤鲙	<i>Coilia mystus</i>
6	康氏侧带小公鱼	<i>StolepHorus commersonnii</i>
7	长颌棱鳀	<i>THrissa setirostris</i>
8	黄吻棱鳀	<i>THryssa vitrirostris</i>
9	斑鲹	<i>konosirus punctatus</i>
10	白腹小沙丁鱼	<i>Sardrinella alBella</i>
11	线纹鳎	<i>Plotosus lineatus</i>
12	内而褶囊海鲶	<i>Plicofollis nella</i>
13	龙头鱼	<i>Harpadon neHereus</i>
14	大头狗母鱼	<i>TracHinocephHalus myops</i>
15	麦氏犀鲨	<i>Bregmaceros macclellandii</i>
16	长蛇鲻	<i>Saurida elongata</i>
17	舒氏海龙	<i>SyngnatHus scHlegeli</i>
18	披肩鲷	<i>IcHtHyscopus leBeck</i>
19	棱须蓑鲉	<i>apistus carinatus</i>
20	翱翔蓑鲉	<i>Pterios volitans</i>
21	带点石斑鱼	<i>EpinepHelus fasciatomaculosus</i>
22	四线天竺鲷	<i>apogon quadrifasciatus</i>
23	横带天竺鲷	<i>apogon striatus</i>
24	多鳞鲳	<i>Sillago siHama</i>
25	红背圆鲹	<i>Decapterus maruadsi</i>
26	及达副叶鲹	<i>alepes dJedaBa</i>
27	马拉巴若鲹	<i>Carangoides malaBaricus</i>
28	眼镜鱼	<i>menemaculata</i>
29	日本金线鱼	<i>Nemipterus Japonicus</i>
30	乳香鱼	<i>Lactarius lactarius</i>
31	大头银姑鱼	<i>PennaHia macrocephHalus</i>
32	截尾银姑鱼	<i>PennaHia anea</i>
33	皮氏叫姑鱼	<i>JoHnius Belangerii</i>
34	六丝多指马鲛	<i>Polynemus sextarius</i>
35	鹿斑仰口鲷	<i>Secutor ruconius</i>
36	静仰口鲷	<i>Secutor insidiator</i>
37	细纹鲷	<i>LeiognatHus BerBis</i>
38	长棘银鲈	<i>Gerres filamentosus</i>
39	红尾银鲈	<i>Gerres erytHrourus</i>
40	黑棘鲷	<i>acantHopagrus scHlegelii</i>
41	二长棘鲷	<i>Paerargyrops edita</i>

序号	种名	拉丁文名
42	乔氏蜥雀鲷	<i>TeixeiricHtHys Jordani</i>
43	四带牙鲷	<i>Pelates quadrilineatus</i>
44	细鳞鲷	<i>THerapon JarBua</i>
45	日本鲱鲤	<i>Upeneus Japonicus</i>
46	南海石斑鱼	<i>EpinepHelus stictus</i>
47	矛尾鰕虎鱼	<i>CHAemricHtHys stigmatias</i>
48	拟矛尾鰕虎鱼	<i>ParacHaeturicHtHys polynema</i>
49	拉氏狼牙鰕虎鱼	<i>OdontamBlyopus lacepedii</i>
50	孔鰕虎鱼	<i>TrypaucHen vagina</i>
51	褐篮子鱼	<i>Siganus fuscescens</i>
52	康氏马鲛	<i>ScomBeromorus commersoni</i>
53	斑条鲈	<i>SpHyraena Jello</i>
54	带鱼	<i>TricHiurus lepturus</i>
55	刺鲳	<i>Psenopsis anomala</i>
56	银鲳	<i>Pampus argenteus</i>
57	长鳍羊舌鲆	<i>arnoglossus tapeinosoma</i>
58	南海斑鲆	<i>PseudorHomBus neglectus</i>
59	卵鲷	<i>Solea ovata</i>
60	褐斑栉鳞鲷	<i>aseraggodes koBensis</i>
61	大鳞舌鲷	<i>Cynoglossus macrolepidotus</i>
62	马面鲀	<i>THamnaconus septentrionalis</i>
63	棕斑兔头鲀	<i>LagocepHalus spadiceus</i>
甲壳类		
64	黑斑口虾蛄	<i>Oratosquilla kempii</i>
65	猛虾蛄	<i>Harpiosquilla Harpax</i>
66	口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>
67	短角蝉虾	<i>Scyllarus Brevicornis</i>
68	双斑蝉虾	<i>Scyllarus BertHoldi</i>
69	墨吉明对虾	<i>Fenneropenaeus merguensis</i>
70	门司赤虾	<i>metapenaeopsis consoBrina</i>
71	近缘新对虾	<i>metapenaeus affinis</i>
72	周氏新对虾	<i>metapenaeus Joyneri</i>
73	哈氏仿对虾	<i>Parapenaeopsis Hardwickii</i>
74	细巧仿对虾	<i>Parapenaeopsis tenella</i>
75	假长缝拟对虾	<i>Parapenaeus fissuroides</i>
76	鹰爪虾	<i>TracHypenaeus curvirostris</i>
77	中华管鞭虾	<i>Solenocera crassicornis</i>
78	鲜明鼓虾	<i>alpHeus distinguendus</i>
79	真绵蟹	<i>Dromia dormia</i>
80	干练平壳蟹	<i>ConcHoecetes artificiosus</i>
81	环状隐足蟹	<i>Cryptopodia fornicata</i>
82	逍遥馒头蟹	<i>Calappa pHilargius</i>
83	日本拟平家蟹	<i>Dorippe Japonica</i>
84	双刺静蟹	<i>Galene Bispinosa</i>
85	特异大权蟹	<i>macromedaeus distinguendus</i>
86	拥剑梭子蟹	<i>Portunus gladiator</i>
87	矛形梭子蟹	<i>Portunus Hastatoides</i>
88	红星梭子蟹	<i>Portunus sanguinolentus</i>

序号	种名	拉丁文名
89	银光梭子蟹	<i>Portunus argentatus</i>
90	锈斑蟊	<i>CHaryBdis feriata</i>
91	变态蟊	<i>CHaryBdis variegata</i>
92	直额蟊	<i>CHaryBdis truncata</i>
93	善泳蟊	<i>CHaryBdis natator</i>
94	看守长眼蟹	<i>PodopHtHalmus vigil</i>
头足类		
95	中国枪乌贼	<i>Uroteuthis chinensis</i>
96	火枪乌贼	<i>Loligo Beka</i>
97	金乌贼	<i>Sepia esculenta</i>
98	四盘耳乌贼	<i>Euprymna morsei</i>
99	短蛸	<i>Octopus fangsiao</i>

附表 32 2023 年秋季游泳生物多样性

站位	种类数	多样性指数 (H')	丰富度指数 (d)	均匀度 (J)
2	35	3.37	2.69	0.66
4	31	4.38	3.00	0.88
6	27	3.85	2.81	0.81
7	26	4.15	2.54	0.88
8	42	4.50	3.97	0.83
12	30	4.04	2.86	0.82
14	20	3.32	2.03	0.77
16	34	4.32	3.38	0.85
17	25	4.21	2.50	0.91
19	28	4.23	2.75	0.88
21	24	4.19	2.33	0.92
23	29	4.15	2.90	0.85
26	33	3.34	2.56	0.66
28	33	3.57	2.59	0.71
30	22	3.67	2.31	0.82
31	34	4.33	3.30	0.85
32	27	4.19	2.65	0.88
33	31	4.46	3.05	0.90
平均	--	4.01	2.79	0.83
范围	20~42	3.32~4.50	2.03~3.97	0.66~0.92

附表 33 2023 年秋季拖网各站位幼体比例

站位	成体尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	总尾数 (ind.)	幼体比%
2	4125	2220	6345	34.99
4	740	295	1035	28.50
6	435	175	610	28.69
7	655	275	930	29.57
8	925	365	1290	28.29
12	825	295	1120	26.34
14	480	170	650	26.15
16	630	245	875	28.00
17	570	210	780	26.92
19	650	245	895	27.37
21	695	255	950	26.84
23	590	220	810	27.16
26	3705	2030	5735	35.40

站位	成体尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	总尾数 (ind.)	幼体比%
28	3485	1805	5290	34.12
30	400	140	540	25.93
31	755	280	1035	27.05
32	650	260	910	28.57
33	655	255	910	28.02
平均值	1165.00	541.11	1706.11	31.72

附表 34 2023 年秋季游泳生物拖网分类群成体尾数、幼体尾数和幼体比例 (%)

类群	成体尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	总尾数 (ind.)	幼体比%
鱼类	12625	5465	18090	30.21
虾蛄类	1650	870	2520	34.52
虾类	3700	2480	6180	40.13
蟹类	2900	860	3760	22.87
头足类	95	65	160	40.63

附表 35 2023 年秋季游泳生物各种类尾数和幼体比例

序号	种类	总渔获尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	幼体比 (%)
1	棘茄鱼	5	5	100.00
2	网纹裸胸鳔	10	0	0.00
3	尖尾鳎	300	100	33.33
4	黑口鳎	405	190	46.91
5	凤鲚	180	40	22.22
6	康氏侧带小公鱼	505	235	46.53
7	长颌棱鳀	15	0	0.00
8	黄吻棱鳀	580	185	31.90
9	斑鲹	5	0	0.00
10	白腹小沙丁鱼	2970	950	31.99
11	线纹鳎	10	0	0.00
12	内而褶囊海鲶	5	0	0.00
13	龙头鱼	160	45	28.13
14	大头狗母鱼	650	190	29.23
15	麦氏犀鳐	4180	1780	42.58
16	长蛇鲻	130	20	15.38
17	舒氏海龙	5	0	0.00
18	披肩鲷	10	0	0.00
19	棱须蓑鲉	50	10	20.00
20	翱翔蓑鲉	10	10	100.00
21	带点石斑鱼	5	0	0.00
22	四线天竺鲷	520	230	44.23
23	横带天竺鲷	160	45	28.13
24	多鳞鱧	45	10	22.22
25	红背圆鲹	1775	170	9.58
26	及达副叶鲹	5	0	0.00
27	马拉巴若鲹	5	0	0.00
28	眼镜鱼	15	0	0.00
29	日本金线鱼	590	155	26.27
30	乳香鱼	10	0	0.00
31	大头银姑鱼	25	25	100.00

序号	种类	总渔获尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	幼体比 (%)
32	截尾银姑鱼	105	15	14.29
33	皮氏叫姑鱼	620	85	13.71
34	六丝多指马鲛	295	20	6.78
35	鹿斑仰口鲷	55	40	72.73
36	静仰口鲷	20	0	0.00
37	细纹鲷	650	160	24.62
38	长棘银鲈	155	15	9.68
39	红尾银鲈	15	0	0.00
40	黑棘鲷	5	0	0.00
41	二长棘鲷	5	0	0.00
42	乔氏蜥雀鲷	60	15	25.00
43	四带牙鲷	330	75	22.73
44	细鳞鲷	195	45	23.08
45	日本鲱鲤	25	0	0.00
46	南海石斑鱼	5	0	0.00
47	矛尾鰕虎鱼	15	5	33.33
48	拟矛尾鰕虎鱼	490	225	45.92
49	拉氏狼牙鰕虎鱼	10	5	50.00
50	孔鰕虎鱼	20	0	0.00
51	褐篮子鱼	760	185	24.34
52	康氏马鲛	190	45	23.68
53	斑条鲈	5	0	0.00
54	带鱼	95	25	26.32
55	刺鲳	15	0	0.00
56	银鲳	5	0	0.00
57	长鳍羊舌鲆	10	10	100.00
58	南海斑鲆	10	0	0.00
59	卵鲳	45	15	33.33
60	褐斑栉鳞鲳	15	0	0.00
61	大鳞舌鲳	25	0	0.00
62	马面鲀	10	0	0.00
63	棕斑兔头鲀	490	85	17.35
64	黑斑口虾蛄	2285	775	33.92
65	猛虾蛄	40	10	25.00
66	口虾蛄	195	85	43.59
67	短角蝉虾	50	50	100.00
68	双斑蝉虾	5	5	100.00
69	墨吉明对虾	30	0	0.00
70	门司赤虾	465	185	39.78
71	近缘新对虾	55	15	27.27
72	周氏新对虾	770	330	42.86
73	哈氏仿对虾	15	10	66.67
74	细巧仿对虾	5	5	100.00
75	假长缝拟对虾	2885	1255	43.50
76	鹰爪虾	665	170	25.56
77	中华管鞭虾	1215	455	37.45
78	鲜明鼓虾	20	0	0.00
79	真绵蟹	15	0	0.00

序号	种类	总渔获尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	幼体比 (%)
80	干练平壳蟹	5	5	100.00
81	环状隐足蟹	5	0	0.00
82	逍遥馒头蟹	495	100	20.20
83	日本拟平家蟹	20	15	75.00
84	双刺静蟹	5	0	0.00
85	特异大权蟹	5	5	100.00
86	拥剑梭子蟹	1420	300	21.13
87	矛形梭子蟹	560	165	29.46
88	红星梭子蟹	110	5	4.55
89	银光梭子蟹	125	30	24.00
90	锈斑蟳	10	0	0.00
91	变态蟳	425	100	23.53
92	直额蟳	550	130	23.64
93	善泳蟳	5	0	0.00
94	看守长眼蟹	5	5	100.00
95	中国枪乌贼	75	25	33.33
96	火枪乌贼	5	5	100.00
97	金乌贼	20	20	100.00
98	四盘耳乌贼	40	15	37.50
99	短蛸	20	0	0.00

附表 36 2023 年秋季鱼类的 IRI 指数

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
1	红背圆鲹	83.33	153.34	34.12	1775	9.81	3660.87
2	棕斑兔头鲈	100.00	57.52	12.80	490	2.71	1550.74
3	麦氏犀鲨	50.00	10.73	2.39	4180	23.11	1274.71
4	褐篮子鱼	83.33	33.26	7.40	760	4.20	966.81
5	日本金线鱼	88.89	24.48	5.45	590	3.26	774.03
6	皮氏叫姑鱼	72.22	25.77	5.73	620	3.43	661.67
7	大头狗母鱼	77.78	18.32	4.08	650	3.59	596.49
8	白腹小沙丁鱼	22.22	31.04	6.91	2970	16.42	518.30
9	黄吻棱鲉	66.67	5.72	1.27	580	3.21	298.66
10	四带牙鲷	66.67	10.24	2.28	330	1.82	273.45
11	六丝多指马鲛	61.11	10.50	2.34	295	1.63	242.42
12	康氏侧带小公鱼	72.22	1.16	0.26	505	2.79	220.24
13	细纹鳐	50.00	2.29	0.51	650	3.59	205.12
14	黑口魮	50.00	6.01	1.34	405	2.24	178.75
15	尖尾鳎	66.67	3.57	0.79	300	1.66	163.50
16	四线天竺鲷	50.00	1.29	0.29	520	2.87	158.09
17	长蛇鲻	44.44	10.40	2.31	130	0.72	134.79
18	细鳞鲷	44.44	7.48	1.66	195	1.08	121.83
19	长棘银鲈	61.11	4.22	0.94	155	0.86	109.71
20	截尾银姑鱼	50.00	5.95	1.32	105	0.58	95.22
21	拟矛尾鰕虎鱼	16.67	1.92	0.43	490	2.71	52.26
22	横带天竺鲷	44.44	0.61	0.14	160	0.88	45.39
23	带鱼	38.89	2.30	0.51	95	0.53	40.31
24	凤鲚	16.67	2.99	0.66	180	1.00	27.66
25	棱须蓑鲉	38.89	1.73	0.38	50	0.28	25.68
26	龙头鱼	16.67	2.82	0.63	160	0.88	25.21
27	康氏马鲛	16.67	1.16	0.26	190	1.05	21.81

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
28	乔氏蜥雀鲷	33.33	1.20	0.27	60	0.33	19.94
29	多鳞鱖	33.33	1.18	0.26	45	0.25	17.07
30	鹿斑仰口鲷	27.78	0.17	0.04	55	0.30	9.47
31	大鳞舌鲷	22.22	0.93	0.21	25	0.14	7.69
32	日本鲱鲤	22.22	0.73	0.16	25	0.14	6.67
33	卵鲷	16.67	0.32	0.07	45	0.25	5.34
34	网纹裸胸鳔	11.11	1.03	0.23	10	0.06	3.17
35	刺鲳	11.11	0.65	0.14	15	0.08	2.52
36	静仰口鲷	16.67	0.16	0.04	20	0.11	2.45
37	红尾银鲈	11.11	0.38	0.08	15	0.08	1.85
38	大头银姑鱼	11.11	0.12	0.03	25	0.14	1.83
39	孔鰕虎鱼	11.11	0.24	0.05	20	0.11	1.82
40	南海斑鲆	11.11	0.36	0.08	10	0.06	1.49
41	马面鲀	11.11	0.32	0.07	10	0.06	1.41
42	斑条鲈	5.56	0.92	0.20	5	0.03	1.29
43	乳香鱼	11.11	0.25	0.05	10	0.06	1.22
44	披肩鲷	11.11	0.23	0.05	10	0.06	1.18
45	眼镜鱼	11.11	0.09	0.02	15	0.08	1.13
46	矛尾鰕虎鱼	11.11	0.09	0.02	15	0.08	1.13
47	长颌棱鲳	5.56	0.24	0.05	15	0.08	0.76
48	拉氏狼牙鰕虎鱼	11.11	0.06	0.01	10	0.06	0.76
49	内而褶囊海鲶	5.56	0.43	0.10	5	0.03	0.69
50	银鲳	5.56	0.44	0.10	5	0.03	0.69
51	长鳍羊舌鲆	11.11	0.02	0.01	10	0.06	0.67
52	褐斑栉鳞鲷	5.56	0.15	0.03	15	0.08	0.65
53	线纹鳗鲶	5.56	0.27	0.06	10	0.06	0.64
54	南海石斑鱼	5.56	0.37	0.08	5	0.03	0.61
55	黑棘鲷	5.56	0.35	0.08	5	0.03	0.59
56	二长棘鲷	5.56	0.34	0.08	5	0.03	0.57
57	马拉巴若鲹	5.56	0.21	0.05	5	0.03	0.41
58	翱翔蓑鲉	5.56	0.03	0.01	10	0.06	0.34
59	带点石斑鱼	5.56	0.14	0.03	5	0.03	0.33
60	及达副叶鲹	5.56	0.10	0.02	5	0.03	0.28
61	斑鲷	5.56	0.06	0.01	5	0.03	0.23
62	舒氏海龙	5.56	0.05	0.01	5	0.03	0.21
63	棘茄鱼	5.56	0.03	0.01	5	0.03	0.19

附表 37 2023 年秋季甲壳类的 IRI 指数

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
1	逍遥馒头蟹	77.78	36.06	29.50	495	3.97	2603.14
2	拥剑梭子蟹	83.33	23.36	19.11	1420	11.40	2542.16
3	假长缝拟对虾	33.33	4.83	3.95	2885	23.15	903.46
4	直额蟳	100.00	3.70	3.03	550	4.41	744.21
5	黑斑口虾蛄	16.67	26.41	21.61	2285	18.34	665.76
6	鹰爪虾	77.78	3.83	3.13	665	5.34	658.55
7	变态蟳	83.33	2.53	2.07	425	3.41	456.82
8	矛形梭子蟹	83.33	1.13	0.93	560	4.49	451.77
9	门司赤虾	77.78	1.26	1.03	465	3.73	370.45
10	中华管鞭虾	27.78	3.06	2.51	1215	9.75	340.47
11	红星梭子蟹	38.89	5.11	4.18	110	0.88	196.83
12	周氏新对虾	16.67	2.38	1.94	770	6.18	135.40

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
13	口虾蛄	27.78	1.89	1.55	195	1.57	86.50
14	近缘新对虾	33.33	0.72	0.59	55	0.44	34.47
15	真绵蟹	11.11	2.70	2.21	15	0.12	25.88
16	银光梭子蟹	16.67	0.46	0.37	125	1.00	22.95
17	短角蝉虾	38.89	0.21	0.17	50	0.40	22.27
18	猛虾蛄	27.78	0.24	0.19	40	0.32	14.30
19	墨吉明对虾	11.11	1.21	0.99	30	0.24	13.64
20	日本拟平家蟹	22.22	0.09	0.08	20	0.16	5.29
21	锈斑蟊	11.11	0.18	0.15	10	0.08	2.52
22	善泳蟊	5.56	0.42	0.34	5	0.04	2.11
23	鲜明鼓虾	11.11	0.03	0.03	20	0.16	2.07
24	干练平壳蟹	5.56	0.22	0.18	5	0.04	1.24
25	哈氏仿对虾	5.56	0.03	0.03	15	0.12	0.82
26	双刺静蟹	5.56	0.11	0.09	5	0.04	0.73
27	看守长眼蟹	5.56	0.03	0.03	5	0.04	0.37
28	环状隐足蟹	5.56	0.01	0.01	5	0.04	0.29
29	双斑蝉虾	5.56	0.01	0.01	5	0.04	0.27
30	特异大权蟹	5.56	0.01	0.01	5	0.04	0.26
31	细巧仿对虾	5.56	0.00	0.00	5	0.04	0.24

附表 38 2023 年秋季头足类的 IRI 指数

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
1	中国枪乌贼	44.44	2.62	52.31	75	46.88	4408.24
2	金乌贼	22.22	1.47	29.22	20	12.50	927.13
3	四盘耳乌贼	27.78	0.22	4.46	40	25.00	818.40
4	短蛸	16.67	0.68	13.58	20	12.50	434.68
5	火枪乌贼	5.56	0.02	0.43	5	3.13	19.73

附表 39 2024 年春季调查海域鱼类浮游生物种名名录

序号	物种	拉丁名	形态	
			鱼卵	仔稚鱼
1	鲱科	Clupeidae	+	+
2	小公鱼属	StolepHorus sp.	-	+
3	鳀属	Engraulis sp.	+	+
4	鳀科	Engraulidae	-	+
5	梭鳀属	THryssa sp.	+	-
6	蛇鲭属	Saurida sp.	+	-
7	鲱科	mugilidae	+	-
8	红娘鱼属	Lepidotrigla	-	+
9	带鱼科	TricHiuridae	+	+
10	鱻科	Sillaginidae	+	-
11	鲷科	LeiognatHidae	+	+
12	鲷科	Sparidae	+	+
13	天竺鲷科	apogonidae	+	-
14	石首鱼科	Sciaenidae	+	+
15	鲷属	Callionymus sp.	+	-
16	鲹科	Carangidae	-	+
17	鲆科	BotHidae	+	+

18	牙鲆科	ParalicHtHyidae	+	-
19	鳎科	Soleidae	+	-
20	舌鳎科	Cynoglossidae	+	+
21	鲽科	Pleuronectidae	-	+

注：“+”表示有出现，“-”表示未出现。

附表 40 2024 年春季调查海域游泳动物种名名录

序号	种名	拉丁文名
	鱼类	
1	网纹裸胸鳔	<i>GymnotHorax reticularis</i>
2	似原鹤海鳗	<i>Congresox talaBonoides</i>
3	黄带圆腹鲱	<i>Dussumieria elopsoides</i>
4	大头狗母鱼	<i>TracHinocepHalus myops</i>
5	长蛇鲻	<i>Saurida elongata</i>
6	管海马	<i>Hippocampus kuda</i>
7	土佐鰺	<i>Uranoscopus tosae</i>
8	棱须蓑鲉	<i>apistus carinatus</i>
9	鲷	<i>PlatycepHalus indicus</i>
10	日本红娘鱼	<i>Lepidotrigla Japonice</i>
11	六带石斑鱼	<i>EpinepHelus sexfasciatus</i>
12	四线天竺鲷	<i>apogon quadrifasciatus</i>
13	横带天竺鲷	<i>apogon striatus</i>
14	中线天竺鲷	<i>apogon kallopterus</i>
15	短尾大眼鲷	<i>PriacantHus macracantHus</i>
16	多鳞鱚	<i>Sillago siHama</i>
17	银头方鱼	<i>Branchiostegus argentatus</i>
18	红背圆鲹	<i>Decapterus maruadsi</i>
19	高体若鲹	<i>Carangoides equula</i>
20	乌鲹	<i>Parastromateus niger</i>
21	日本金线鱼	<i>Nemipterus Japonicus</i>
22	金线鱼	<i>Nemipterus virgatus</i>
23	皮氏叫姑鱼	<i>JoHnius Belangerii</i>
24	六丝多指马鲛	<i>Polynemus sextarius</i>
25	细纹鲷	<i>LeiognatHus BerBis</i>
26	长棘银鲈	<i>Gerres filamentosus</i>
27	二长棘鲷	<i>Paerargyrops edita</i>
28	四带牙鲷	<i>Pelates quadrilineatus</i>
29	细鳞鲷	<i>THerapon JarBua</i>
30	日本鲱鲤	<i>Upeneus Japonicus</i>
31	短鰐齿鱼	<i>CHampsodon snyderi</i>
32	毛背鱼	<i>TricHonotus setiger</i>
33	褐篮子鱼	<i>Siganus fuscescens</i>
34	斑条鲷	<i>SpHyraena Jello</i>
35	钝鲷	<i>SpHyraena oBtusata</i>
36	带鱼	<i>TricHiurus lepturus</i>
37	印度无齿鲷	<i>ariomma indica</i>
38	新西兰短鰐	<i>BracHypleura novaezeelandiae</i>
39	伟鳞短额鲆	<i>Engyprosopon grandisquama</i>
40	条鲷	<i>ZeBrias zeBra</i>

序号	种名	拉丁文名
41	马面鲀	<i>THamnaconus septentrionalis</i>
42	棕斑兔头鲀	<i>Lagocephalus spadiceus</i>
甲壳类		
43	黑斑口虾蛄	<i>Oratosquilla kemp</i>
44	日本猛虾蛄	<i>Harpisquilla Japonica</i>
45	猛虾蛄	<i>Harpisquilla Harpax</i>
46	口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>
47	日本齿指虾蛄	<i>Odontodactylus Japonicus</i>
48	双斑蝉虾	<i>Scyllarus BertHoldi</i>
49	门司赤虾	<i>metapenaeopsis consoBrina</i>
50	近缘新对虾	<i>metapenaeus affinis</i>
51	哈氏仿对虾	<i>Parapenaeopsis Hardwickii</i>
52	细巧仿对虾	<i>Parapenaeopsis tenella</i>
53	鹰爪虾	<i>Trachypenaeus curvirostris</i>
54	真绵蟹	<i>Dromia dormia</i>
55	颗粒板蟹	<i>Petalomera granulata</i>
56	干练平壳蟹	<i>Conchoecetes artificiosus</i>
57	环状隐足蟹	<i>Cryptopodia fornicata</i>
58	逍遥馒头蟹	<i>Calappa philargius</i>
59	日本拟平家蟹	<i>Dorippe Japonica</i>
60	鳞斑蟹	<i>Demania scaberrima</i>
61	七刺栗壳蟹	<i>arcania Heptacantha</i>
62	拥剑梭子蟹	<i>Portunus gladiator</i>
63	矛形梭子蟹	<i>Portunus Hastatoides</i>
64	红星梭子蟹	<i>Portunus sanguinolentus</i>
65	银光梭子蟹	<i>Portunus argentatus</i>
66	锈斑蟳	<i>Charybdis feriata</i>
67	变态蟳	<i>Charybdis variegata</i>
68	斑点短桨蟹	<i>Thalamita picta</i>
头足类		
69	中国枪乌贼	<i>Uroteuthis chinensis</i>
70	火枪乌贼	<i>Loligo Beka</i>
71	金乌贼	<i>Sepia esculenta</i>
72	四盘耳乌贼	<i>Euprymna morsei</i>
73	短蛸	<i>Octopus fangsiao</i>

附表 41 2024 年春季游泳生物多样性

站位	种类数	多样性指数 (H')	丰富度指数 (d)	均匀度 (J)
2	30	2.76	2.79	0.56
4	24	3.08	2.27	0.67
6	24	2.70	2.22	0.59
7	21	3.11	2.15	0.71
8	15	2.21	1.44	0.57
12	20	3.02	1.77	0.70
14	16	2.76	1.55	0.69
16	22	3.12	1.91	0.70
17	25	3.15	2.13	0.68
19	23	3.37	2.20	0.75
21	23	2.96	2.01	0.65

站位	种类数	多样性指数 (H')	丰富度指数 (d)	均匀度 (J)
23	23	2.68	1.97	0.59
26	21	2.96	2.13	0.67
28	22	3.03	2.11	0.68
30	18	2.81	1.66	0.67
31	18	2.64	1.66	0.63
32	26	2.83	2.19	0.60
33	18	2.83	1.62	0.68
平均	--	2.89	1.99	0.66
范围	15~30	2.21~3.37	1.44~2.79	0.56~0.75

附表 42 2024 年春季拖网各站位幼体比例

站位	成体尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	总尾数 (ind.)	幼体比%
2	955	401	1356	29.57
4	755	361	1116	32.35
6	896	408	1304	31.29
7	443	189	632	29.91
8	569	275	844	32.58
12	1226	508	1734	29.30
14	558	276	834	33.09
16	1430	635	2065	30.75
17	1808	684	2492	27.45
19	703	319	1022	31.21
21	1401	566	1967	28.77
23	1597	706	2303	30.66
26	462	210	672	31.25
28	712	280	992	28.23
30	828	388	1216	31.91
31	835	383	1218	31.44
32	1905	860	2765	31.10
33	991	455	1446	31.47
平均值	1004.11	439.11	1443.22	30.43

附表 43 2024 年春季游泳生物拖网分类群成体尾数、幼体尾数和幼体比例 (%)

类群	成体尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	总尾数 (ind.)	幼体比%
鱼类	11510	4983	16493	30.21
虾蛄类	216	103	319	32.29
虾类	138	123	261	47.13
蟹类	771	234	1005	23.28
头足类	5439	2461	7900	31.15

附表 44 2024 年春季游泳生物各种类尾数和幼体比例

序号	种类	总渔获尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	幼体比 (%)
1	网纹裸胸鳐	35	19	54.29
2	似原鹤海鳗	7	0	0.00
3	黄带圆腹鲱	18	0	0.00
4	大头狗母鱼	4549	1202	26.42
5	长蛇鲻	7071	1879	26.57
6	管海马	4	4	100.00
7	土佐鰺	14	0	0.00
8	棱须蓑鲉	12	6	50.00
9	鲷	71	12	16.90
10	日本红娘鱼	32	10	31.25
11	六带石斑鱼	14	4	28.57

序号	种类	总渔获尾数 (ind.)	幼体尾数 (ind.)	幼体比 (%)
12	四线天竺鲷	44	10	22.73
13	横带天竺鲷	129	48	37.21
14	中线天竺鲷	85	18	21.18
15	短尾大眼鲷	23	8	34.78
16	多鳞鱮	39	10	25.64
17	银头方鱼	4	0	0.00
18	红背圆鲹	677	206	30.43
19	高体若鲹	168	168	100.00
20	乌鲹	8	0	0.00
21	日本金线鱼	231	48	20.78
22	金线鱼	42	18	42.86
23	皮氏叫姑鱼	257	72	28.02
24	六丝多指马鲛	19	0	0.00
25	细纹鳐	928	704	75.86
26	长棘银鲈	161	40	24.84
27	二长棘鲷	34	0	0.00
28	四带牙鲷	42	0	0.00
29	细鳞鲷	365	66	18.08
30	日本鲱鲤	197	68	34.52
31	短鰭齿鱼	201	94	46.77
32	毛背鱼	4	4	100.00
33	褐篮子鱼	260	68	26.15
34	斑条鲈	77	4	5.19
35	钝鲈	25	0	0.00
36	带鱼	6	0	0.00
37	印度无齿鲷	21	0	0.00
38	新西兰短鲷	135	40	29.63
39	伟鳞短额鲷	295	106	35.93
40	条鲷	7	0	0.00
41	马面鲷	109	26	23.85
42	棕斑兔头鲷	73	21	28.77
43	黑斑口虾蛄	124	47	37.90
44	日本猛虾蛄	46	16	34.78
45	猛虾蛄	47	19	40.43
46	口虾蛄	91	21	23.08
47	日本齿指虾蛄	11	0	0.00
48	双斑蟬虾	12	12	100.00
49	门司赤虾	39	16	41.03
50	近缘新对虾	48	24	50.00
51	哈氏仿对虾	21	16	76.19
52	细巧仿对虾	12	12	100.00
53	鹰爪虾	129	43	33.33
54	真绵蟹	6	0	0.00
55	颗粒板蟹	7	0	0.00
56	干练平壳蟹	4	0	0.00
57	环状隐足蟹	7	7	100.00
58	逍遥馒头蟹	190	28	14.74
59	日本拟平家蟹	25	10	40.00
60	鳞斑蟹	8	8	100.00
61	七刺栗壳蟹	4	4	100.00
62	拥剑梭子蟹	667	131	19.64
63	矛形梭子蟹	22	12	54.55
64	红星梭子蟹	7	0	0.00

序号	种类	总渔获尾数（ind.）	幼体尾数（ind.）	幼体比（%）
65	银光梭子蟹	12	12	100.00
66	锈斑蟊	14	0	0.00
67	变态蟊	28	18	64.29
68	斑点短桨蟹	4	4	100.00
69	中国枪乌贼	7755	2406	31.03
70	火枪乌贼	116	48	41.38
71	金乌贼	18	0	0.00
72	四盘耳乌贼	7	7	100.00
73	短蛸	4	0	0.00

附表 45 2024 年春季游泳生物拖网分类群成体尾数、幼体尾数和幼体比例（%）

类群	鱼类	虾蛄类	虾类	蟹类	头足类
幼体尾数（ind.）	4983	103	123	234	2461
成体尾数（ind.）	11510	216	138	771	5439
总尾数（ind.）	16493	319	261	1005	7900
幼体比%	30.21	32.29	47.13	23.28	31.15
幼体平均体重（g/ind.）	8.15	4.72	1.61	9.85	7.26
幼体平均重量渔获量（kg/h）	2.26	0.03	0.01	0.13	0.99
幼体平均个体渔获量（ind./h）	276.83	5.72	6.83	13.00	136.72
幼体平均个体密度（×10 ³ ind./km ² ）	4.98	0.10	0.12	0.23	2.46
幼体平均重量密度（kg/km ² ）	40.62	0.49	0.20	2.30	17.87
成体平均体重（g/ind.）	44.83	25.48	6.31	62.56	31.30
成体平均重量渔获量（kg/h）	24.57	0.26	0.04	2.30	8.11
成体平均个体渔获量（ind./h）	662.05	13.29	7.81	43.00	326.10
成体平均个体密度（×10 ³ ind./km ² ）	11.92	0.24	0.14	0.77	5.87
成体平均重量密度（kg/km ² ）	442.26	4.72	0.75	41.34	145.92
总平均重量渔获量（kg/h）	26.83	0.29	0.05	2.42	9.10
总平均个体渔获量（ind./h）	916.28	17.72	14.50	55.83	438.89
总平均个体密度（×10 ³ ind./km ² ）	16.49	0.32	0.26	1.00	7.90
总平均重量密度（kg/km ² ）	482.88	5.20	0.94	43.65	163.80

附表 46 2024 年春季鱼类的 IRI 指数

序号	种名	出现频率 F（%）	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
1	长蛇鲻	100.00	185.85	38.48	7071	42.87	8135.74
2	大头狗母鱼	100.00	120.20	24.89	4549	27.58	5247.11
3	红背圆鲹	94.44	60.87	12.61	677	4.10	1578.16
4	细纹鳊	88.89	3.56	0.74	928	5.63	565.61
5	褐篮子鱼	77.78	11.32	2.34	260	1.58	304.94
6	细鳞鲷	61.11	12.24	2.53	365	2.21	290.16
7	日本金线鱼	72.22	11.30	2.34	231	1.40	270.20
8	皮氏叫姑鱼	55.56	8.70	1.80	257	1.56	186.60
9	伟鳞短额鲆	66.67	3.90	0.81	295	1.79	173.11
10	日本鲱鲤	66.67	4.99	1.03	197	1.19	148.49
11	长棘银鲈	66.67	5.70	1.18	161	0.98	143.74
12	斑条鲈	27.78	11.98	2.48	77	0.47	81.85
13	短鳄齿鱼	61.11	0.52	0.11	201	1.22	81.09
14	高体若鲹	55.56	1.02	0.21	168	1.02	68.36
15	马面鲀	55.56	1.87	0.39	109	0.66	58.18
16	新西兰短鲷	50.00	1.27	0.26	135	0.82	54.07
17	横带天竺鲷	55.56	0.69	0.14	129	0.78	51.41
18	棕斑兔头鲀	27.78	6.26	1.30	73	0.44	48.28
19	土佐鲷	16.67	7.28	1.51	14	0.08	26.53

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
20	鲮	38.89	0.79	0.16	71	0.43	23.11
21	中线天竺鲷	33.33	0.45	0.09	85	0.52	20.32
22	二长棘鲷	22.22	2.95	0.61	34	0.21	18.14
23	钝鲉	16.67	3.39	0.70	25	0.15	14.24
24	多鳞鱧	27.78	1.13	0.23	39	0.24	13.07
25	金线鱼	16.67	2.20	0.46	42	0.25	11.83
26	四带牙鲷	16.67	1.67	0.35	42	0.25	10.02
27	网纹裸胸鳔	16.67	1.73	0.36	35	0.21	9.49
28	四线天竺鲷	22.22	0.37	0.08	44	0.27	7.63
29	黄带圆腹鲱	11.11	2.34	0.48	18	0.11	6.59
30	印度无齿鲷	16.67	1.21	0.25	21	0.13	6.31
31	日本红娘鱼	16.67	0.62	0.13	32	0.19	5.39
32	短尾大眼鲷	22.22	0.34	0.07	23	0.14	4.65
33	六带石斑鱼	16.67	0.74	0.15	14	0.08	3.99
34	六丝多指马鲛	11.11	0.98	0.20	19	0.12	3.54
35	棱须蓑鲉	11.11	0.55	0.11	12	0.07	2.08
36	似原鹤海鳗	5.56	0.51	0.11	7	0.04	0.82
37	乌鲂	5.56	0.48	0.10	8	0.05	0.82
38	条鲷	5.56	0.39	0.08	7	0.04	0.68
39	带鱼	5.56	0.39	0.08	6	0.04	0.66
40	银头方鱼	5.56	0.15	0.03	4	0.02	0.31
41	管海马	5.56	0.01	0.00	4	0.02	0.15
42	毛背鱼	5.56	0.00	0.00	4	0.02	0.14

附表 47 2024 年春季甲壳类的 IRI 指数

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
1	拥剑梭子蟹	83.33	14.45	29.03	667	42.08	5925.60
2	逍遥馒头蟹	77.78	26.08	52.37	190	11.99	5005.88
3	黑斑口虾蛄	38.89	1.38	2.76	124	7.82	411.74
4	鹰爪虾	33.33	0.50	1.01	129	8.14	304.80
5	口虾蛄	33.33	0.84	1.68	91	5.74	247.27
6	日本猛虾蛄	16.67	1.49	3.00	46	2.90	98.38
7	猛虾蛄	16.67	0.61	1.23	47	2.97	69.85
8	门司赤虾	22.22	0.11	0.22	39	2.46	59.47
9	近缘新对虾	16.67	0.20	0.41	48	3.03	57.32
10	日本齿指虾蛄	11.11	0.89	1.78	11	0.69	27.51
11	日本拟平家蟹	11.11	0.33	0.66	25	1.58	24.89
12	变态蟳	11.11	0.17	0.35	28	1.77	23.49
13	真绵蟹	5.56	1.58	3.17	6	0.38	19.71
14	矛形梭子蟹	11.11	0.06	0.13	22	1.39	16.85
15	哈氏仿对虾	5.56	0.07	0.15	21	1.32	8.17
16	红星梭子蟹	5.56	0.44	0.88	7	0.44	7.34
17	锈斑蟳	5.56	0.19	0.39	14	0.88	7.06
18	鳞斑蟹	11.11	0.03	0.06	8	0.50	6.31
19	双斑蟬虾	5.56	0.05	0.09	12	0.76	4.72
20	银光梭子蟹	5.56	0.03	0.06	12	0.76	4.52
21	细巧仿对虾	5.56	0.01	0.03	12	0.76	4.35
22	干练平壳蟹	5.56	0.20	0.39	4	0.25	3.59
23	颗粒板蟹	5.56	0.06	0.11	7	0.44	3.08
24	环状隐足蟹	5.56	0.02	0.03	7	0.44	2.64
25	斑点短桨蟹	5.56	0.01	0.01	4	0.25	1.47

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
26	七刺栗壳蟹	5.56	0.00	0.01	4	0.25	1.44

附表 48 2024 年春季头足类的 IRI 指数

序号	种名	出现频率 F (%)	重量渔获量		个体渔获量		IRI
			kg/h	W	ind./h	N	
1	中国枪乌贼	100.00	161.02	98.36	7755	98.25	19661.39
2	火枪乌贼	22.22	0.79	0.48	116	1.47	43.36
3	金乌贼	11.11	1.37	0.84	18	0.23	11.85
4	短蛸	5.56	0.52	0.32	4	0.05	2.04
5	四盘耳乌贼	5.56	0.11	0.07	7	0.09	0.86

附表 49 2023 年秋季生物体质量检测结果（干重：mg/kg）

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	PB	Cd	Zn	Cr	石油烃
2	白腹小沙丁鱼	鱼类	0.204	0.033	8.05	3.70	0.31	0.044	42.6	1.16	21.4
	周氏新对虾	甲壳类	0.188	0.022	13.3	13.9	0.47	0.030	58.9	0.86	56.9
	黑斑口虾蛄	甲壳类	0.187	0.050	16.9	42.4	0.31	1.598	105	2.11	98.8
4	六丝多指马鲛	鱼类	0.251	0.079	11.0	1.16	0.31	<0.005	10.8	0.87	15.7
	四带牙鲷	鱼类	0.190	0.666	8.79	1.16	0.49	0.014	21.4	0.73	39.5
	墨吉明对虾	甲壳类	0.236	0.212	29.6	30.1	0.46	0.261	42.0	1.33	50.7
6	日本金线鱼	鱼类	0.204	0.343	8.13	0.92	0.66	<0.005	13.7	1.03	5.72
	细鳞鲷	鱼类	0.243	0.683	7.41	0.87	0.40	0.009	21.0	1.09	5.35
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.449	66.6	23.4	0.66	1.953	71.3	1.70	34.0
7	红背圆鲹	鱼类	0.212	0.215	15.5	1.97	0.43	0.029	14.7	0.63	25.2
	日本金线鱼	鱼类	0.202	0.348	8.06	0.88	0.67	<0.005	10.6	1.07	5.29
	鹰爪虾	甲壳类	0.195	0.120	64.4	19.3	0.47	0.168	51.5	1.23	56.5
8	长蛇鲻	鱼类	0.226	0.324	7.52	0.69	0.49	0.070	10.9	0.51	28.0
	四带牙鲷	鱼类	0.195	0.654	8.92	1.11	0.47	0.014	21.0	0.58	36.0
	墨吉明对虾	甲壳类	0.238	0.208	29.2	30.9	0.47	0.260	41.8	1.59	53.4
12	大头狗母鱼	鱼类	0.180	0.241	9.53	0.56	0.56	0.021	19.1	1.77	4.23
	褐篮子鱼	鱼类	0.205	0.058	14.3	1.40	0.45	0.023	21.1	0.56	6.98
	鹰爪虾	甲壳类	0.195	0.119	65.0	16.9	0.48	0.170	62.0	1.37	61.3
14	长蛇鲻	鱼类	0.227	0.316	7.27	0.55	0.48	0.069	13.9	0.46	27.9
	褐篮子鱼	鱼类	0.206	0.058	14.1	1.07	0.44	0.021	21.1	0.47	6.97
	鹰爪虾	甲壳类	0.190	0.123	64.4	16.4	0.48	0.166	64.3	1.29	58.8
16	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.210	0.215	4.78	1.59	0.48	0.006	16.4	0.71	14.8
	红星梭子蟹	甲壳类	0.195	0.572	70.3	34.0	0.27	0.826	93.3	1.27	25.1
	中国枪乌贼	软体类	0.157	0.135	11.2	7.72	0.37	0.069	49.5	0.64	173
17	褐篮子鱼	鱼类	0.209	0.058	14.5	1.22	0.49	0.021	21.5	0.63	7.66
	红背圆鲹	鱼类	0.213	0.192	15.2	1.85	0.42	0.028	18.4	0.57	29.0
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.194	0.467	67.4	23.3	0.61	1.922	83.2	1.72	28.3
19	日本金线鱼	鱼类	0.201	0.335	8.14	1.01	0.67	<0.005	13.8	1.11	5.65
	褐篮子鱼	鱼类	0.208	0.055	14.4	1.33	0.48	0.023	21.7	0.52	8.05
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.198	0.453	62.9	23.2	0.63	1.884	84.3	1.59	33.3
21	六丝多指马鲛	鱼类	0.251	0.076	11.0	1.14	0.25	<0.005	13.6	0.75	12.5
	长蛇鲻	鱼类	0.229	0.289	7.35	0.48	0.46	0.068	14.0	0.36	27.1
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.198	0.458	63.4	22.9	0.61	1.967	81.7	1.67	26.7
23	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.214	0.208	4.74	1.75	0.45	0.005	16.2	0.62	16.2
	大头狗母鱼	鱼类	0.175	0.234	9.76	0.52	0.57	0.021	19.4	1.80	4.91
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.447	63.8	22.6	0.60	1.614	82.0	1.94	29.0

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	PB	Cd	Zn	Cr	石油烃
26	白腹小沙丁鱼	鱼类	0.204	0.033	7.84	3.66	0.27	0.045	41.9	1.25	20.5
	龙头鱼	鱼类	0.123	0.111	7.94	4.17	0.39	0.108	38.3	0.83	36.7
	周氏新对虾	甲壳类	0.190	0.021	12.9	14.8	0.50	0.031	58.9	0.86	56.6
28	龙头鱼	鱼类	0.127	0.104	7.81	4.14	0.38	0.112	38.4	0.81	40.4
	周氏新对虾	甲壳类	0.187	0.023	13.6	13.9	0.48	0.033	58.5	0.75	62.3
	黑斑口虾蛄	甲壳类	0.184	0.052	17.7	32.5	0.29	1.605	103	2.24	99.1
30	四带牙鲷	鱼类	0.195	0.681	8.63	1.14	0.48	0.014	21.0	0.59	34.4
	大头狗母鱼	鱼类	0.180	0.231	9.77	0.51	0.59	0.020	15.3	1.86	3.65
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.443	67.4	24.3	0.67	1.921	66.4	1.69	34.9
31	日本金线鱼	鱼类	0.201	0.345	8.22	0.92	0.66	<0.005	13.8	1.03	5.12
	红星梭子蟹	甲壳类	0.192	0.598	70.8	31.7	0.27	0.848	152	1.40	26.7
	中国枪乌贼	软体类	0.154	0.143	11.6	7.46	0.36	0.070	49.6	0.79	171
32	红背圆鲂	鱼类	0.213	0.199	15.3	1.96	0.45	0.028	18.6	0.52	27.3
	四带牙鲷	鱼类	0.192	0.629	8.95	1.03	0.44	0.014	26.6	0.58	45.2
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.458	67.6	22.5	0.64	1.954	83.1	1.42	30.3
33	红背圆鲂	鱼类	0.213	0.205	15.0	1.73	0.43	0.029	18.6	0.45	24.4
	大头狗母鱼	鱼类	0.179	0.232	9.80	0.58	0.59	0.021	19.7	1.70	4.26
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.195	0.462	66.3	23.5	0.61	1.907	82.8	1.55	33.6
最小值			0.123	0.021	4.74	0.48	0.25	<0.005	10.6	0.36	3.65
最大值			0.255	0.683	70.8	42.4	0.67	1.967	152	2.24	173
平均值			0.201	0.268	24.7	10.1	0.48	0.410	42.1	1.09	35.1

附表 50 2023 年秋季生物体质量检测结果（湿重：mg/kg）

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	PB	Cd	Zn	Cr	石油烃
2	白腹小沙丁鱼	鱼类	0.204	0.007	1.65	0.8	0.06	0.009	8.7	0.24	4.4
	周氏新对虾	甲壳类	0.188	0.004	2.50	2.6	0.09	0.006	11.1	0.16	10.7
	黑斑口虾蛄	甲壳类	0.187	0.009	3.15	7.9	0.06	0.298	19.6	0.39	18.4
4	六丝多指马鲛	鱼类	0.251	0.020	2.75	0.3	0.08	<0.001	2.7	0.22	3.9
	四带牙鲷	鱼类	0.190	0.126	1.67	0.2	0.09	0.003	4.1	0.14	7.5
	墨吉明对虾	甲壳类	0.236	0.050	6.98	7.1	0.11	0.061	9.9	0.31	11.9
6	日本金线鱼	鱼类	0.204	0.070	1.66	0.2	0.13	<0.001	2.8	0.21	1.2
	细鳞鲷	鱼类	0.243	0.166	1.80	0.2	0.10	0.002	5.1	0.27	1.3
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.089	13.15	4.6	0.13	0.385	14.1	0.34	6.7
7	红背圆鲂	鱼类	0.212	0.046	3.28	0.4	0.09	0.006	3.1	0.13	5.4
	日本金线鱼	鱼类	0.202	0.070	1.63	0.2	0.14	<0.001	2.1	0.22	1.1
	鹰爪虾	甲壳类	0.195	0.023	12.56	3.8	0.09	0.033	10.0	0.24	11.0
8	长蛇鲻	鱼类	0.226	0.073	1.70	0.2	0.11	0.016	2.5	0.12	6.3
	四带牙鲷	鱼类	0.195	0.128	1.74	0.2	0.09	0.003	4.1	0.11	7.0
	墨吉明对虾	甲壳类	0.238	0.050	6.96	7.4	0.11	0.062	10.0	0.38	12.7
12	大头狗母鱼	鱼类	0.180	0.043	1.71	0.1	0.10	0.004	3.4	0.32	0.8
	褐篮子鱼	鱼类	0.205	0.012	2.94	0.3	0.09	0.005	4.3	0.12	1.4
	鹰爪虾	甲壳类	0.195	0.023	12.65	3.3	0.09	0.033	12.1	0.27	11.9
14	长蛇鲻	鱼类	0.227	0.072	1.65	0.1	0.11	0.016	3.2	0.10	6.3
	褐篮子鱼	鱼类	0.206	0.012	2.91	0.2	0.09	0.004	4.3	0.10	1.4
	鹰爪虾	甲壳类	0.190	0.023	12.22	3.1	0.09	0.032	12.2	0.24	11.2
16	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.210	0.045	1.00	0.3	0.10	0.001	3.5	0.15	3.1
	红星梭子蟹	甲壳类	0.195	0.112	13.73	6.6	0.05	0.161	18.2	0.25	4.9
	中国枪乌贼	软体类	0.157	0.021	1.75	1.2	0.06	0.011	7.7	0.10	27.1
17	褐篮子鱼	鱼类	0.209	0.012	3.03	0.3	0.10	0.004	4.5	0.13	1.6
	红背圆鲂	鱼类	0.213	0.041	3.22	0.4	0.09	0.006	3.9	0.12	6.2

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	PB	Cd	Zn	Cr	石油烃
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.194	0.091	13.09	4.5	0.12	0.373	16.2	0.33	5.5
19	日本金线鱼	鱼类	0.201	0.067	1.63	0.2	0.13	<0.001	2.8	0.22	1.1
	褐篮子鱼	鱼类	0.208	0.011	3.00	0.3	0.10	0.005	4.5	0.11	1.7
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.198	0.089	12.43	4.6	0.12	0.372	16.7	0.31	6.6
21	六丝多指马鲛	鱼类	0.251	0.019	2.75	0.3	0.06	<0.001	3.4	0.19	3.1
	长蛇鲻	鱼类	0.229	0.066	1.68	0.1	0.11	0.016	3.2	0.08	6.2
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.198	0.091	12.54	4.5	0.12	0.389	16.2	0.33	5.3
23	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.214	0.045	1.02	0.4	0.10	0.001	3.5	0.13	3.5
	大头狗母鱼	鱼类	0.175	0.041	1.70	0.1	0.10	0.004	3.4	0.31	0.9
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.088	12.58	4.5	0.12	0.318	16.2	0.38	5.7
26	白腹小沙丁鱼	鱼类	0.204	0.007	1.60	0.7	0.06	0.009	8.6	0.26	4.2
	龙头鱼	鱼类	0.123	0.014	0.98	0.5	0.05	0.013	4.7	0.10	4.5
	周氏新对虾	甲壳类	0.190	0.004	2.44	2.8	0.09	0.006	11.2	0.16	10.7
28	龙头鱼	鱼类	0.127	0.013	0.99	0.5	0.05	0.014	4.9	0.10	5.1
	周氏新对虾	甲壳类	0.187	0.004	2.55	2.6	0.09	0.006	10.9	0.14	11.7
	黑斑口虾蛄	甲壳类	0.184	0.010	3.26	6.0	0.05	0.295	18.9	0.41	18.2
30	四带牙鲷	鱼类	0.195	0.133	1.68	0.2	0.09	0.003	4.1	0.12	6.7
	大头狗母鱼	鱼类	0.180	0.042	1.76	0.1	0.11	0.004	2.8	0.34	0.7
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.087	13.31	4.8	0.13	0.379	13.1	0.33	6.9
31	日本金线鱼	鱼类	0.201	0.069	1.65	0.2	0.13	<0.001	2.8	0.21	1.0
	红星梭子蟹	甲壳类	0.192	0.115	13.60	6.1	0.05	0.163	29.2	0.27	5.1
	中国枪乌贼	软体类	0.154	0.022	1.78	1.1	0.06	0.011	7.6	0.12	26.3
32	红背圆鲹	鱼类	0.213	0.042	3.25	0.4	0.10	0.006	4.0	0.11	5.8
	四带牙鲷	鱼类	0.192	0.121	1.72	0.2	0.08	0.003	5.1	0.11	8.7
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.197	0.090	13.34	4.4	0.13	0.385	16.4	0.28	6.0
33	红背圆鲹	鱼类	0.213	0.044	3.20	0.4	0.09	0.006	4.0	0.10	5.2
	大头狗母鱼	鱼类	0.179	0.042	1.76	0.1	0.11	0.004	3.5	0.30	0.8
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.195	0.090	12.94	4.6	0.12	0.372	16.1	0.30	6.5
最小值			0.123	0.004	0.98	0.1	0.05	<0.005	2.1	0.08	0.7
最大值			0.255	0.166	13.73	7.9	0.14	0.389	29.2	0.41	27.1
平均值			0.201	0.050	4.89	2.0	0.09	0.080	8.2	0.21	6.7

附表 51 2023 年秋季生物体质量指数

站位	样品名称	类别	Hg	Cu	Pb	Cd	Zn	石油烃
2	白腹小沙丁鱼	鱼类	0.023	0.040	0.030	0.015	0.218	0.220
	周氏新对虾	甲壳类	0.020	0.026	0.005	0.003	0.074	/
	黑斑口虾蛄	甲壳类	0.045	0.079	0.003	0.149	0.131	/
4	六丝多指马鲛	鱼类	0.067	0.015	0.040	0.004	0.068	0.195
	四带牙鲷	鱼类	0.420	0.010	0.045	0.005	0.103	0.375
	墨吉明对虾	甲壳类	0.250	0.071	0.006	0.031	0.066	/
6	日本金线鱼	鱼类	0.233	0.010	0.065	0.010	0.070	0.060
	细鳞鲷	鱼类	0.553	0.010	0.050	0.004	0.128	0.065
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.445	0.046	0.007	0.017	0.094	/
7	红背圆鲹	鱼类	0.153	0.020	0.045	0.027	0.078	0.270
	日本金线鱼	鱼类	0.233	0.010	0.070	0.005	0.053	0.055
	鹰爪虾	甲壳类	0.115	0.038	0.005	0.031	0.067	/
8	长蛇鲻	鱼类	0.243	0.010	0.055	0.004	0.063	0.315
	四带牙鲷	鱼类	0.427	0.010	0.045	0.002	0.103	0.350
	墨吉明对虾	甲壳类	0.250	0.074	0.006	0.167	0.067	/

站位	样品名称	类别	Hg	Cu	Pb	Cd	Zn	石油烃
12	大头狗母鱼	鱼类	0.143	0.005	0.050	0.007	0.085	0.040
	褐篮子鱼	鱼类	0.040	0.015	0.045	0.008	0.108	0.070
	鹰爪虾	甲壳类	0.115	0.033	0.005	0.017	0.081	/
14	长蛇鲻	鱼类	0.240	0.005	0.055	0.027	0.080	0.315
	褐篮子鱼	鱼类	0.040	0.010	0.045	0.007	0.108	0.070
	鹰爪虾	甲壳类	0.115	0.031	0.005	0.016	0.081	/
16	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.150	0.015	0.050	0.010	0.088	0.155
	红星梭子蟹	甲壳类	0.560	0.066	0.003	0.005	0.121	/
	中国枪乌贼	软体类	0.070	0.012	0.006	0.187	0.031	1.355
17	褐篮子鱼	鱼类	0.040	0.015	0.050	0.007	0.113	0.080
	红背圆鲹	鱼类	0.137	0.020	0.045	0.010	0.098	0.310
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.455	0.045	0.006	0.187	0.108	/
19	日本金线鱼	鱼类	0.223	0.010	0.065	0.004	0.070	0.055
	褐篮子鱼	鱼类	0.037	0.015	0.050	0.008	0.113	0.085
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.445	0.046	0.006	0.186	0.111	/
21	六丝多指马鲛	鱼类	0.063	0.015	0.030	0.002	0.085	0.155
	长蛇鲻	鱼类	0.220	0.005	0.055	0.007	0.080	0.310
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.455	0.045	0.006	0.159	0.108	/
23	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.150	0.020	0.050	0.004	0.088	0.175
	大头狗母鱼	鱼类	0.137	0.005	0.050	0.003	0.085	0.045
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.440	0.045	0.006	0.079	0.108	/
26	白腹小沙丁鱼	鱼类	0.023	0.035	0.030	0.015	0.215	0.210
	龙头鱼	鱼类	0.047	0.025	0.025	0.022	0.118	0.225
	周氏新对虾	甲壳类	0.020	0.028	0.005	0.003	0.075	/
28	龙头鱼	鱼类	0.043	0.025	0.025	0.023	0.123	0.255
	周氏新对虾	甲壳类	0.020	0.026	0.005	0.003	0.073	/
	黑斑口虾蛄	甲壳类	0.050	0.060	0.003	0.148	0.126	/
30	四带牙鲷	鱼类	0.443	0.010	0.045	0.005	0.103	0.335
	大头狗母鱼	鱼类	0.140	0.005	0.055	0.007	0.070	0.035
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.435	0.048	0.007	0.190	0.087	/
31	日本金线鱼	鱼类	0.230	0.010	0.065	0.004	0.070	0.050
	红星梭子蟹	甲壳类	0.575	0.061	0.003	0.082	0.195	/
	中国枪乌贼	软体类	0.073	0.011	0.006	0.002	0.030	1.315
32	红背圆鲹	鱼类	0.140	0.020	0.050	0.010	0.100	0.290
	四带牙鲷	鱼类	0.403	0.010	0.040	0.005	0.128	0.435
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.450	0.044	0.007	0.193	0.109	/
33	红背圆鲹	鱼类	0.147	0.020	0.045	0.010	0.100	0.260
	大头狗母鱼	鱼类	0.140	0.005	0.055	0.007	0.088	0.040
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.450	0.046	0.006	0.186	0.107	/
超标率	--	--	0	0	0	0	0	5.00

注：“/”表示无评价标准；低于检出限的项目，计算评价指数时按检出限的 1/2 进行计算。

附表 52 2024 年春季生物体质量检测结果（干重：mg/kg）

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	石油烃
2	长棘银鲈	鱼类	0.210	0.138	11.6	1.63	0.67	0.065	23.5	2.08	1.07
	斑条鲆	鱼类	0.180	0.220	10.5	1.17	0.67	0.060	17.8	1.07	<0.20
	中国枪乌贼	甲壳类	0.139	0.134	22.2	33.9	0.66	5.385	44.0	0.14	110

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	石油烃
4	日本金线鱼	鱼类	0.200	0.186	10.2	1.51	0.73	0.149	16.1	2.47	17.2
	长蛇鲻	鱼类	0.217	0.258	9.84	1.63	0.80	0.028	15.9	0.75	15.6
	中国枪乌贼	软体类	0.144	0.131	21.0	34.4	0.69	5.633	45.3	0.78	116
6	土佐鰺	鱼类	0.190	1.260	1.47	0.54	0.80	<0.005	17.1	2.13	7.07
	长蛇鲻	鱼类	0.227	0.251	8.86	1.54	0.71	0.027	15.9	1.33	12.9
	中国枪乌贼	软体类	0.137	0.141	24.5	34.2	0.73	6.443	45.3	0.60	111
7	二长棘鲷	鱼类	0.198	0.195	8.84	1.35	0.81	0.044	16.0	2.09	6.53
	细鳞鲷	鱼类	0.197	0.653	16.0	1.67	0.56	0.117	27.5	0.51	<0.20
	日本齿指虾姑	甲壳类	0.152	0.160	64.2	47.1	0.84	3.824	100	1.54	9.57
8	土佐鰺	鱼类	0.190	1.167	1.61	0.54	0.82	<0.005	17.1	2.07	4.84
	日本金线鱼	鱼类	0.192	0.215	11.0	1.33	0.80	0.141	15.2	1.80	17.5
	中国枪乌贼	软体类	0.139	0.127	20.5	26.7	0.72	6.691	45.2	1.23	123
12	长蛇鲻	鱼类	0.219	0.199	9.32	1.54	0.74	0.026	16.4	1.26	12.4
	红背圆鲹	鱼类	0.237	0.187	10.2	2.35	0.81	0.038	14.6	0.95	1.49
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.160	0.448	77.6	33.0	0.89	1.000	79.1	2.42	3.37
14	土佐鰺	鱼类	0.201	1.269	1.47	0.53	0.81	<0.005	16.9	1.43	5.31
	红背圆鲹	鱼类	0.232	0.247	10.1	2.00	0.80	0.036	14.4	0.73	2.39
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.159	0.508	81.6	35.1	0.91	0.933	78.1	1.72	10.4
16	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.191	0.174	9.76	0.78	0.70	0.034	14.4	0.11	11.8
	褐篮子鱼	鱼类	0.207	0.038	5.39	2.00	0.71	0.063	24.2	1.58	2.58
	中国枪乌贼	软体类	0.131	0.111	21.1	27.0	0.75	5.613	45.7	0.28	125
17	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.190	0.199	10.1	1.09	0.72	0.039	14.7	1.32	8.91
	长蛇鲻	鱼类	0.221	0.261	9.11	0.91	0.77	0.026	16.1	1.12	12.5
	中国枪乌贼	软体类	0.132	0.123	20.6	29.7	0.71	5.490	45.4	0.95	114
19	细鳞鲷	鱼类	0.200	0.699	14.0	2.00	0.59	0.116	27.8	1.34	2.16
	斑条鲷	鱼类	0.183	0.221	9.24	1.09	0.68	0.060	16.8	0.81	<0.20
	中国枪乌贼	软体类	0.134	0.103	20.3	31.0	0.69	5.360	44.9	0.37	112
21	红背圆鲹	鱼类	0.232	0.242	9.49	2.57	0.81	0.039	14.7	0.16	3.49
	大头狗母鱼	鱼类	0.206	0.413	21.1	1.24	0.73	0.301	20.2	0.46	12.4
	中国枪乌贼	软体类	0.130	0.148	22.2	33.4	0.69	5.357	44.3	0.94	123
23	日本金线鱼	鱼类	0.199	0.229	10.1	1.50	0.76	0.152	15.7	1.87	20.0
	细鳞鲷	鱼类	0.192	0.727	14.7	1.68	0.57	0.111	26.9	0.53	1.02
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.157	0.492	78.7	31.0	0.94	0.904	79.1	1.34	3.38
26	红背圆鲹	鱼类	0.238	0.219	10.7	2.28	0.79	0.037	20.8	1.06	2.00
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.165	0.482	79.0	34.2	0.95	0.935	80.3	2.47	7.38
	中国枪乌贼	软体类	0.131	0.138	24.6	34.4	0.75	6.525	46.4	0.61	128
28	褐篮子鱼	鱼类	0.202	0.034	5.66	2.11	0.72	0.064	25.0	0.79	2.39
	大头狗母鱼	鱼类	0.209	0.362	21.2	1.13	0.74	0.323	23.0	1.95	9.98
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.163	0.476	78.1	31.5	0.94	0.933	78.4	2.09	6.69
30	大头狗母鱼	鱼类	0.201	0.381	23.8	1.19	0.78	0.303	20.7	1.35	13.4
	褐篮子鱼	鱼类	0.205	0.029	5.98	2.04	0.68	0.063	24.8	0.52	2.43
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.160	0.501	82.8	31.9	0.96	0.996	79.2	2.19	6.87
31	长蛇鲻	鱼类	0.219	0.218	9.66	0.83	0.71	0.030	16.4	1.72	14.6
	红背圆鲹	鱼类	0.236	0.216	10.7	1.92	0.77	0.037	15.0	0.81	2.47
	中国枪乌贼	软体类	0.135	0.122	24.9	33.4	0.69	6.320	44.8	0.36	114
32	二长棘鲷	鱼类	0.203	0.210	8.17	1.41	0.86	0.044	16.0	1.40	9.12
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.192	0.217	9.82	1.28	0.74	0.043	13.9	1.78	12.4

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	石油烃
	中国枪乌贼	软体类	0.133	0.123	20.6	30.9	0.73	5.561	46.0	<0.04	127
33	日本金线鱼	鱼类	0.194	0.164	11.4	1.45	0.81	0.145	15.5	1.88	19.9
	褐篮子鱼	鱼类	0.191	0.028	6.24	1.94	0.73	0.067	24.7	0.80	0.61
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.158	0.513	84.1	31.0	0.91	1.007	76.6	2.24	1.33
	最小值		0.130	0.028	1.47	0.53	0.56	<0.005	13.9	<0.04	<0.20
	最大值		0.238	1.269	84.1	47.1	0.96	6.691	100	2.47	128
	平均值		0.184	0.309	22.7	12.5	0.76	1.440	33.3	1.23	30.0

注：“<”表示小于检测限值。

附表 53 2024 年春季生物体质量检测结果（湿重：mg/kg）

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	石油烃
2	长棘银鲈	鱼类	0.210	0.029	2.43	0.34	0.14	0.014	4.94	0.44	0.22
	斑条鲆	鱼类	0.180	0.040	1.89	0.21	0.12	0.011	3.21	0.19	<0.20
	中国枪乌贼	甲壳类	0.139	0.019	3.09	4.72	0.09	0.749	6.12	0.02	15.3
4	日本金线鱼	鱼类	0.200	0.037	2.05	0.30	0.15	0.030	3.23	0.49	3.45
	长蛇鲻	鱼类	0.217	0.056	2.14	0.35	0.17	0.006	3.46	0.16	3.39
	中国枪乌贼	软体类	0.144	0.019	3.01	4.94	0.10	0.808	6.50	0.11	16.7
6	土佐鲷	鱼类	0.190	0.239	0.28	0.10	0.15	<0.005	3.25	0.40	1.34
	长蛇鲻	鱼类	0.227	0.057	2.01	0.35	0.16	0.006	3.61	0.30	2.93
	中国枪乌贼	软体类	0.137	0.019	3.35	4.67	0.10	0.880	6.19	0.08	15.2
7	二长棘鲷	鱼类	0.198	0.039	1.76	0.27	0.16	0.009	3.17	0.41	1.30
	细鳞鲷	鱼类	0.197	0.128	3.15	0.33	0.11	0.023	5.41	0.10	<0.20
	日本齿指虾姑	甲壳类	0.152	0.024	9.78	7.17	0.13	0.582	15.2	0.23	1.46
8	土佐鲷	鱼类	0.190	0.221	0.30	0.10	0.16	<0.005	3.24	0.39	0.92
	日本金线鱼	鱼类	0.192	0.041	2.12	0.26	0.15	0.027	2.92	0.35	3.36
	中国枪乌贼	软体类	0.139	0.018	2.84	3.71	0.10	0.929	6.27	0.17	17.1
12	长蛇鲻	鱼类	0.219	0.044	2.04	0.34	0.16	0.006	3.59	0.28	2.72
	红背圆鲂	鱼类	0.237	0.044	2.41	0.56	0.19	0.009	3.46	0.22	0.35
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.160	0.072	12.4	5.27	0.14	0.160	12.6	0.39	0.54
14	土佐鲷	鱼类	0.201	0.255	0.30	0.11	0.16	<0.005	3.40	0.29	1.07
	红背圆鲂	鱼类	0.232	0.057	2.34	0.46	0.19	0.008	3.35	0.17	0.56
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.159	0.081	13.0	5.58	0.14	0.148	12.4	0.27	1.65
16	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.191	0.033	1.87	0.15	0.13	0.007	2.75	0.02	2.26
	褐篮子鱼	鱼类	0.207	0.008	1.12	0.41	0.15	0.013	5.01	0.33	0.53
	中国枪乌贼	软体类	0.131	0.015	2.77	3.54	0.10	0.735	5.99	0.04	16.4
17	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.190	0.038	1.93	0.21	0.14	0.007	2.80	0.25	1.69
	长蛇鲻	鱼类	0.221	0.058	2.01	0.20	0.17	0.006	3.56	0.25	2.76
	中国枪乌贼	软体类	0.132	0.016	2.71	3.92	0.09	0.725	5.99	0.13	15.1
19	细鳞鲷	鱼类	0.200	0.140	2.79	0.40	0.12	0.023	5.56	0.27	0.43
	斑条鲆	鱼类	0.183	0.041	1.70	0.20	0.12	0.011	3.08	0.15	<0.20
	中国枪乌贼	软体类	0.134	0.014	2.73	4.16	0.09	0.720	6.03	0.05	15.0
21	红背圆鲂	鱼类	0.232	0.056	2.20	0.60	0.19	0.009	3.41	0.04	0.81
	大头狗母鱼	鱼类	0.206	0.085	4.35	0.26	0.15	0.062	4.16	0.09	2.55
	中国枪乌贼	软体类	0.130	0.019	2.89	4.34	0.09	0.696	5.75	0.12	16.0

站位	样品名称	类别	干湿比	Hg	as	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	石油烃
23	日本金线鱼	鱼类	0.199	0.046	2.02	0.30	0.15	0.030	3.13	0.37	3.98
	细鳞鲷	鱼类	0.192	0.140	2.83	0.32	0.11	0.021	5.17	0.10	0.20
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.157	0.077	12.4	4.88	0.15	0.142	12.4	0.21	0.53
26	红背圆鲂	鱼类	0.238	0.052	2.54	0.54	0.19	0.009	4.95	0.25	0.48
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.165	0.080	13.0	5.64	0.16	0.154	13.2	0.41	1.22
	中国枪乌贼	软体类	0.131	0.018	3.22	4.50	0.10	0.854	6.07	0.08	16.8
28	褐篮子鱼	鱼类	0.202	0.007	1.15	0.43	0.15	0.013	5.06	0.16	0.48
	大头狗母鱼	鱼类	0.209	0.076	4.44	0.24	0.15	0.068	4.81	0.41	2.09
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.163	0.078	12.7	5.13	0.15	0.152	12.8	0.34	1.09
30	大头狗母鱼	鱼类	0.201	0.076	4.76	0.24	0.16	0.061	4.15	0.27	2.69
	褐篮子鱼	鱼类	0.205	0.006	1.23	0.42	0.14	0.013	5.08	0.11	0.50
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.160	0.080	13.3	5.12	0.15	0.160	12.7	0.35	1.10
31	长蛇鲻	鱼类	0.219	0.048	2.12	0.18	0.16	0.007	3.59	0.38	3.20
	红背圆鲂	鱼类	0.236	0.051	2.52	0.45	0.18	0.009	3.53	0.19	0.58
	中国枪乌贼	软体类	0.135	0.016	3.36	4.50	0.09	0.852	6.04	0.05	15.4
32	二长棘鲷	鱼类	0.203	0.043	1.66	0.29	0.17	0.009	3.24	0.28	1.85
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.192	0.042	1.89	0.25	0.14	0.008	2.68	0.34	2.39
	中国枪乌贼	软体类	0.133	0.016	2.74	4.12	0.10	0.741	6.13	<0.04	16.9
33	日本金线鱼	鱼类	0.194	0.032	2.21	0.28	0.16	0.028	3.01	0.37	3.87
	褐篮子鱼	鱼类	0.191	0.005	1.19	0.37	0.14	0.013	4.72	0.15	0.12
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.158	0.081	13.3	4.90	0.14	0.159	12.1	0.35	0.21
最小值			0.130	0.005	0.28	0.10	0.09	<0.005	2.68	<0.04	<0.20
最大值			0.238	0.255	13.3	7.17	0.19	0.929	15.2	0.49	17.1
平均值			0.184	0.058	3.82	1.88	0.14	0.202	5.64	0.23	4.42

注：“<”表示小于检测限值。

附表 54 2024 年春季生物体质量指数

站位	样品名称	类别	Hg	Cu	Pb	Cd	Zn	石油烃
2	长棘银鲈	鱼类	0.097	0.017	0.070	0.023	0.124	0.011
	斑条鲷	鱼类	0.133	0.011	0.060	0.018	0.080	0.005
	中国枪乌贼	甲壳类	0.093	0.047	0.005	0.375	0.041	/
4	日本金线鱼	鱼类	0.124	0.015	0.075	0.050	0.081	0.173
	长蛇鲻	鱼类	0.187	0.018	0.085	0.010	0.087	0.170
	中国枪乌贼	软体类	0.063	0.049	0.010	0.147	0.026	0.833
6	土佐鰺	鱼类	0.798	0.005	0.075	0.004	0.081	0.067
	长蛇鲻	鱼类	0.190	0.018	0.080	0.010	0.090	0.147
	中国枪乌贼	软体类	0.064	0.047	0.010	0.160	0.025	0.758
7	二长棘鲷	鱼类	0.129	0.014	0.080	0.015	0.079	0.065
	细鳞鲷	鱼类	0.428	0.017	0.055	0.038	0.135	0.005
	日本齿指虾姑	甲壳类	0.122	0.072	0.007	0.291	0.102	/
8	土佐鰺	鱼类	0.737	0.005	0.080	0.004	0.081	0.046
	日本金线鱼	鱼类	0.138	0.013	0.075	0.045	0.073	0.168
	中国枪乌贼	软体类	0.059	0.037	0.010	0.169	0.025	0.854

站位	样品名称	类别	Hg	Cu	Pb	Cd	Zn	石油烃
12	长蛇鲻	鱼类	0.145	0.017	0.080	0.010	0.090	0.136
	红背圆鲹	鱼类	0.148	0.028	0.095	0.015	0.087	0.018
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.358	0.053	0.007	0.080	0.084	/
14	土佐鰺	鱼类	0.851	0.006	0.080	0.004	0.085	0.054
	红背圆鲹	鱼类	0.191	0.023	0.095	0.013	0.084	0.028
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.405	0.056	0.007	0.074	0.083	/
16	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.111	0.008	0.065	0.012	0.069	0.113
	褐篮子鱼	鱼类	0.027	0.021	0.075	0.022	0.125	0.027
	中国枪乌贼	软体类	0.049	0.035	0.010	0.134	0.024	0.819
17	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.126	0.011	0.070	0.012	0.070	0.085
	长蛇鲻	鱼类	0.192	0.010	0.085	0.010	0.089	0.138
	中国枪乌贼	软体类	0.054	0.039	0.009	0.132	0.024	0.753
19	细鳞鲷	鱼类	0.466	0.020	0.060	0.038	0.139	0.022
	斑条鲆	鱼类	0.135	0.010	0.060	0.018	0.077	0.005
	中国枪乌贼	软体类	0.046	0.042	0.009	0.131	0.024	0.752
21	红背圆鲹	鱼类	0.187	0.030	0.095	0.015	0.085	0.041
	大头狗母鱼	鱼类	0.283	0.013	0.075	0.103	0.104	0.128
	中国枪乌贼	软体类	0.064	0.043	0.009	0.127	0.023	0.799
23	日本金线鱼	鱼类	0.152	0.015	0.075	0.050	0.078	0.199
	细鳞鲷	鱼类	0.465	0.016	0.055	0.035	0.129	0.010
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.387	0.049	0.008	0.071	0.083	/
26	红背圆鲹	鱼类	0.174	0.027	0.095	0.015	0.124	0.024
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.398	0.056	0.008	0.077	0.088	/
	中国枪乌贼	软体类	0.060	0.045	0.010	0.155	0.024	0.838
28	褐篮子鱼	鱼类	0.023	0.022	0.075	0.022	0.127	0.024
	大头狗母鱼	鱼类	0.253	0.012	0.075	0.113	0.120	0.105
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.388	0.051	0.008	0.076	0.085	/
30	大头狗母鱼	鱼类	0.254	0.012	0.080	0.102	0.104	0.135
	褐篮子鱼	鱼类	0.020	0.021	0.070	0.022	0.127	0.025
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.402	0.051	0.008	0.080	0.085	/
31	长蛇鲻	鱼类	0.159	0.009	0.080	0.012	0.090	0.160
	红背圆鲹	鱼类	0.170	0.023	0.090	0.015	0.088	0.029
	中国枪乌贼	软体类	0.055	0.045	0.009	0.155	0.024	0.769
32	二长棘鲷	鱼类	0.142	0.015	0.085	0.015	0.081	0.093
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.139	0.013	0.070	0.013	0.067	0.120
	中国枪乌贼	软体类	0.055	0.041	0.010	0.135	0.025	0.847
33	日本金线鱼	鱼类	0.106	0.014	0.080	0.047	0.075	0.194
	褐篮子鱼	鱼类	0.018	0.019	0.070	0.022	0.118	0.006
	拥剑梭子蟹	甲壳类	0.406	0.049	0.007	0.080	0.081	/
超标率 (%)	--	--	0	0	0	0	0	0

注：“/”表示无评价标准；低于检出限的项目，计算评价指数时按检出限的 1/2 进行计算。

附表 55 高栏一海上风电场项目及周边地区鸟类名录及保护状况（四季）

序号	中文名	拉丁名	居留型	省重	国重	红色	IUCN	CITES	秋季	冬季	春季	夏季	近岸	海上
I	雁形目	aNSERIFORMES												
一	鸭科	anatidae												
1	翘鼻麻鸭	<i>Tadorna tadorna</i>	W							3			3	
2	赤颈鸭	<i>mareca penelope</i>	W							300			300	
3	斑嘴鸭	<i>anas zonorhynchos</i>	W						6	2	5		13	
4	针尾鸭	<i>anas acuta</i>	W							100			100	
5	绿翅鸭	<i>anas crecca</i>	W						114	290			404	
6	琵嘴鸭	<i>Spatula clypeata</i>	W						68	230			298	
7	凤头潜鸭	<i>aythya fuligula</i>	W							2085			2000	85
II	鸱鹳目	PODICIPEDIFORMES												
二	鸱鹳科	Podicipedidae												
8	小鸱鹳	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	R						15	88	21	16	140	
9	凤头鸱鹳	<i>Podiceps cristatus</i>	W	S					12	151			163	
III	鸽形目	COLUMBIFORMES												
三	鸠鸽科	Columbidae												
10	珠颈斑鸠	<i>Streptopelia chinensis</i>	R						6	1	1	8	16	
IV	夜鹰目	CAPRIMULGIFORMES												
四	雨燕科	apodidae												
11	小白腰雨燕	<i>apus nipalensis</i>	S						25	10	40	20	95	
V	鹃形目	CUCULIFORMES												
五	杜鹃科	Cuculidae												
12	褐翅鸦鹃	<i>Centropus sinensis</i>	R		II				2		4	1	7	
13	小鸦鹃	<i>Centropus bengalensis</i>	R		II				2				2	
14	四声杜鹃	<i>Cuculus micropterus</i>	S								1		1	
VI	鹤形目	GRUIFORMES												

序号	中文名	拉丁名	居留型	省重	国重	红色	IUCN	CITES	秋季	冬季	春季	夏季	近岸	海上
六	秧鸡科	Rallidae												
15	灰胸秧鸡	<i>Lewinia striata</i>	R						1				1	
16	白胸苦恶鸟	<i>amaurornis pHoenicurus</i>	R						1		2	2	5	
17	黑水鸡	<i>Gallinula cHloropus</i>	R	S					2	2	9	3	16	
VII	鸻形目	CHaRaDRIIFORmES												
七	反嘴鹬科	Recurvirostridae												
18	黑翅长脚鹬	<i>Himantopus Himantopus</i>	S, W, P	S					1		17	5	23	
19	反嘴鹬	<i>Recurvirostra avosetta</i>	W	S					482	1530	85		1567	530
八	鸻科	CHaradriidae												
20	金鸻	<i>Pluvialis fulva</i>	W						1				1	
21	灰鸻	<i>Pluvialis squatarola</i>	W, P						31	40	24		95	
22	金眶鸻	<i>CHaradrius duBius</i>	W						20	16	4	6	46	
23	环颈鸻	<i>CHaradrius alexandrinus</i>	W, P						775	504	70	26	1375	
24	蒙古沙鸻	<i>CHaradrius mongolus</i>	W, P						3	41	50	2	96	
25	铁嘴沙鸻	<i>CHaradrius lescHenaultii</i>	W, P						102	110	60	13	285	
九	鹬科	Scolopacidae												
26	半蹼鹬	<i>Limnodromus semipalmatus</i>	P		II	NT	NT					1	1	
27	黑尾塍鹬	<i>Limosa limosa</i>	P				NT			58	10		68	
28	白腰杓鹬	<i>Numenius arquata</i>	W		II	NT	NT			29	8	2	39	
29	鹤鹬	<i>Tringa erytHropus</i>	W							19			19	
30	红脚鹬	<i>Tringa totanus</i>	W						41			12	53	
31	泽鹬	<i>Tringa stagnatilis</i>	P						57	130	4		191	
32	青脚鹬	<i>Tringa neBularia</i>	W						104	78	28	30	240	
33	林鹬	<i>Tringa glareola</i>	W						11	35		18	64	
34	矶鹬	<i>actitis Hypoleucos</i>	W, P							1	3	4	8	

序号	中文名	拉丁名	居留型	省重	国重	红色	IUCN	CITES	秋季	冬季	春季	夏季	近岸	海上
35	红颈滨鹬	<i>Calidris ruficollis</i>	W				NT		224	150	30		404	
36	黑腹滨鹬	<i>Calidris alpina</i>	W						1216	2000			3216	
十	鸥科	Laridae												
37	红嘴鸥	<i>CHroicocepHalus ridiBundus</i>	W	S					259	980	1		386	854
38	黑嘴鸥	<i>CHroicocepHalus saundersi</i>	W		I	VU	VU		2	1			3	
39	黑尾鸥	<i>Larus crassirostris</i>	S, W, P	S					90	64				154
40	西伯利亚银鸥	<i>Larus smithHsonianus</i>	W, P	S					6					6
41	鸥嘴噪鸥	<i>GelocHelidon nilotica</i>	R	S					20		59		59	20
42	红嘴巨燕鸥	<i>Hydroprogne caspia</i>	R	S						6	6		6	6
43	白额燕鸥	<i>Sternula alBifrons</i>	S	S								6		6
44	黑枕燕鸥	<i>Sterna sumatrana</i>	S	S								14		14
45	普通燕鸥	<i>Sterna Hirundo</i>	W, P	S					14		7	17		38
46	灰翅浮鸥	<i>CHlidonias HyBrida</i>	P	S							70	35	15	90
VIII	鸛形目	CICONIIFORMES												
十一	鸛科	Ciconiidae												
47	东方白鸛	<i>Ciconia Boyciana</i>	W		I	EN	EN	I		4			4	
IX	鰹鸟目	SULIFORMES												
十二	鸬鹚科	PHalacrocoracidae												
48	普通鸬鹚	<i>PHalacrocorax carBo</i>	W						49	7			51	5
X	鹈形目	PELECANIFORMES												
十三	鹭科	THreskiornithidae												
49	白琵鹭	<i>Platalea leucorodia</i>	W		II	NT		II	5	13	5		23	
50	黑脸琵鹭	<i>Platalea minor</i>	W		I	EN	EN		34	60	12		106	
十四	鹭科	ardeidae												

序号	中文名	拉丁名	居留型	省重	国重	红色	IUCN	CITES	秋季	冬季	春季	夏季	近岸	海上
51	黄斑苇鵐	<i>Ixobrychus sinensis</i>	S, R	S							5	2	7	
52	栗苇鵐	<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>	R, P	S								1	1	
53	夜鹭	<i>Nycticorax nycticorax</i>	S, R	S						5	2	1	8	
54	绿鹭	<i>Butorides striata</i>	R, W	S							4	3	7	
55	池鹭	<i>ardeola BaccHus</i>	R, W	S					229	58	100	55	442	
56	牛背鹭	<i>BuBulcus iBis</i>	R, W	S						240		17	257	
57	苍鹭	<i>ardea cinerea</i>	W	S					510	790	12	4	1316	
58	大白鹭	<i>ardea alBa</i>	R, P, W	S					755	534	279	27	1558	37
59	中白鹭	<i>ardea intermedia</i>	W	S					1	8			9	
60	白鹭	<i>Egretta garzetta</i>	R, W	S					793	612	553	455	2349	64
XI	鹰形目	aCCIPITRIFORMES												
十五	鸮科	Pandionidae												
61	鸮	<i>Pandion Haliaetus</i>	R		II	NT		II	1				1	
十六	鹰科	accipitridae												
62	黑翅鸢	<i>Elanus caeruleus</i>	S, P		II	NT		II	1	2	3	1	7	
63	黑鸢	<i>milvus migrans</i>	W		II			II	2		1		2	1
XII	佛法僧目	CORaCIFORMES												
十七	翠鸟科	alcedinidae												
64	白胸翡翠	<i>Halcyon smyrnensis</i>	R		II				1	1			2	
65	蓝翡翠	<i>Halcyon pileata</i>	R	S					1				1	
66	普通翠鸟	<i>alcedo attHis</i>	R						4	4	4	5	17	
XIII	雀形目	PaSSERIFORMES												
十八	卷尾科	Dicruridae												
67	黑卷尾	<i>Dicrurus macrocercus</i>	S								4	1	5	
十九	伯劳科	Laniidae												
68	棕背伯劳	<i>Lanius scHacH</i>	R						3	5	7	6	21	

序号	中文名	拉丁名	居留型	省重	国重	红色	IUCN	CITES	秋季	冬季	春季	夏季	近岸	海上
二十	山雀科	Paridae												
69	大山雀	<i>Parus cinereus</i>	R						7	2	2		11	
二十一	扇尾莺科	Cisticolidae												
70	黄腹山鹪莺	<i>Prinia flaviventris</i>	R						4	1	7		12	
71	纯色山鹪莺	<i>Prinia inornata</i>	R							4	2	2	8	
72	长尾缝叶莺	<i>Orthotomus sutorius</i>	R						3		2		5	
二十二	燕科	Hirundinidae												
73	家燕	<i>Hirundo rustica</i>	S, P						47	65	81	47	240	
74	金腰燕	<i>Cecropis daurica</i>	S, P, R						20				20	
二十三	鹎科	Pycnonotidae												
75	白头鹎	<i>Pycnonotus sinensis</i>	R, W, P						6	12	12	6	36	
76	白喉红臀鹎	<i>Pycnonotus aurigaster</i>	R						2	3	2	6	13	
二十四	柳莺科	Phylloscopidae												
77	褐柳莺	<i>Phylloscopus fuscatus</i>	W						2	1			3	
78	黄眉柳莺	<i>Phylloscopus inornatus</i>	W						1				1	
二十五	绣眼鸟科	Zosteropidae												
79	暗绿绣眼鸟	<i>Zosterops Japonicus</i>	R, S, W, P							12	5		17	
二十六	椋鸟科	Dicruridae												
80	八哥	<i>Acridotheres cristatellus</i>	R						152	13	19	53	237	
81	丝光椋鸟	<i>Spodiopsar sericeus</i>	R						60				60	
82	黑领椋鸟	<i>Gracupica nigricollis</i>	R								7		7	
二十七	鹎科	muscapidae												
83	鹊鹎	<i>Copsychus saularis</i>	R						5	2	2	2	11	
84	北红尾鹎	<i>Phoenicurus aureus</i>	W						1	1			2	
二十八	花蜜鸟科	Nectarinidae												
85	叉尾太阳鸟	<i>Aethopyga christinae</i>	R						4				4	

序号	中文名	拉丁名	居留型	省重	国重	红色	IUCN	CITES	秋季	冬季	春季	夏季	近岸	海上
二十九	梅花雀科	Estrildidae												
86	白腰文鸟	<i>LoncHura striata</i>	R						5				5	
三十	雀科	Passeridae												
87	麻雀	<i>Passer montanus</i>	R						140	4	20	23	187	
三十一	鹑科	motacillidae												
88	黄鹌鹑	<i>motacilla tscHutscHensis</i>	W						4				4	
89	白鹌鹑	<i>motacilla alBa</i>	R						65	5	2	10	82	
90	田鸫	<i>antHus ricHardi</i>	W						1				1	

注：居留型中，R 为留鸟，W 为冬候鸟，P 为过境迁徙鸟，S 为夏候鸟。同时有多个符号表示该物种在该地有多个不同居留型的种群。

保护级别中，“省级”表示《广东省重点保护陆生野生动物名录》收录物种，以 S 表示；“国重”表示《国家重点保护野生动物名录》收录物种，分 I 级和 II 级；“红色”指《中国物种多样性红皮书》收录物种，其中 NT 为近危级别，VU 为易危级别，EN 为濒危级别；“IUCN”表示 IUCN red list 收录物种，其中 NT 为近危级别，VU 为易危级别，EN 为濒危级别；“CITES”表示 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录物种，分 I 级、II 级和 III 级；“秋季”、“冬季”、“春季”、“夏季”“近岸”和“海上”表示在不同时间和区域记录到的鸟类数量，单位为只次。

附录

附录 1 建设项目海洋生态环境影响评价自查表

附录 1 建设项目海洋生态环境影响评价自查表

工作内容		自查项目		
影响识别	影响类型	直接向海洋排放废水□； 短期内产生大量悬浮物☑； 改变入海河口（湾口）宽度束窄比例□； 直接占用海域面积☑； 线性水工构筑物□； 投放固体物□		
	生态敏感区	生态敏感区（江门中华白海豚省级自然保护区），相对位置（海缆西侧约 4.19km） 生态敏感区（南海北部幼鱼繁育场保护区），相对位置（风电场占用、海缆路由穿越）		
		生态敏感区（南海国家级及省级渔业品种保护区），相对位置（海缆路由穿越） 生态敏感区（南海底层、近底层鱼类产卵场），相对位置（风电场占用、海缆路由穿越） 生态敏感区（南海中上层鱼类产卵场），相对位置（风电场占用、海缆路由穿越） 生态敏感区（荷包岛海岸防护物理防护极重要区），相对位置（海缆东侧约 1.74km） 生态敏感区（黄茅海重要渔业资源产卵场），相对位置（海缆西侧约 0.54km）		
		海水水质☑； 海洋沉积物☑； 海洋生态☑； 环境风险☑		
评价等级		一级☑； 二级□； 三级□		
评价范围		主流向（ 15 ） km ， 垂直主流向（ 15 ） km； 管缆类（ 5 ） km		
评价时期		春季☑； 夏季□； 秋季☑； 冬季□		
现状调查及评价				
海水水质	区域污染源	调查项目	数据来源	
		已建□； 在建□； 拟建□； 其他□	环评□； 环保验收□； 既有实测□； 现场监测□； 入海排污口数据□； 其他□	
	调查时期		调查因子	调查断面或点位
	春季☑； 夏季□； 秋季☑； 冬季□		（水深、 pH、盐度、温度、悬浮物、溶解氧（DO）、化学需氧量（CODmn）、无机氮（硝酸盐 NO ₃ -N、亚硝酸盐 NO ₂ -N、铵盐 NH ₄ -N）、活性磷酸盐、石油类以及重金属（铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷））	春季：（ 30 ） 个 秋季：（ 30 ） 个
	评价因子	（水深、pH、盐度、温度、悬浮物、溶解氧（DO）、化学需氧量（CODmn）、无机氮（硝酸盐 NO ₃ -N、亚硝酸盐 NO ₂ -N、铵盐 NH ₄ -N）、活性磷酸盐、石油类以及重金属（铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷））		
	评价标准	第一类☑； 第二类□； 第三类□； 第四类☑		
	评价结论	秋季： 高栏港口航运区海洋环境功能区水质达标状况：达标□； 不达标☑，超标因子（无机氮） 湛江-珠海近海农渔业区海洋环境功能区水质达标状况：达标□； 不达标☑，超标因子（无机氮、磷酸盐、和铅） 春季： 高栏港口航运区海洋环境功能区水质达标状况：达标☑； 不达标□，超标因子（/） 湛江-珠海近海农渔业区海洋环境功能区水质达标状况：达标□； 不达标☑，超标因子（无机氮和石油类） 功能区外海域环境质量现状：符合第（ ）类		
海洋沉积物	调查站位	春季：（ / ） 个； 秋季：（ 15 ） 个		
	调查因子	（pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷）		
	评价标准	第一类☑； 第二类□； 第三类☑		
	评价结论	登陆点等近岸海域符合第（三）类，超标因子（ / ） 风电场、海上升压站及海底电缆海域执行第（一）类，超标因子（铜、砷、铬）		
海洋生态	调查断面或点位	春季：（ 12 ） 个； 秋季：（ 18 ） 个		

工作内容		自查项目			
	调查因子	(叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、游泳动物、鱼类浮游生物 (鱼卵、仔稚鱼) 和潮间带生物)			
	评价标准	第一类□；第二类□；第三类□； 附录 C□			
	评价结论	符合第 () 类，超标因子 ()			
影响预测及评价					
预测时期		春季 ☒ ； 夏季□； 秋季 ☒ ； 冬季□			
预测情景		建设期 ☒ ； 生产运行期 ☒ ； 服务期满后□			
海水水质影响预测与评价	预测方法	数值模拟 ☒ ； 类比分析□； 近似估算□； 物理模型□； 其他□			
	影响评价	污染控制措施及入海排污口排放浓度限值应满足国家和地方排放标准□； 达标区的建设项目，选择废水处理措施或方案应满足行业污染防治可行技术指南的要求，环境影响可接受☒； 不达标区的建设项目，选择废水处理措施或方案时，应满足海域环境质量达标规划和污染物削减替代要求、海域环境改善目标要求及行业污染防治可行技术指南中污染防治先进技术要求，确保废水污染物达到最低排放强度和浓度，且环境影响可接受□； 新设或调整入海排污口的建设项目，入海排污口位置、排放方式、排放规模具有环境合理性□； 对海水水质产生重大不利影响□。			
工作内容		自查项目			
海洋沉积物影响评价	评价方法	定量预测□； 半定量分析□； 定性分析 ☒ ； 其他□			
	影响评价	海洋沉积物质量的影响范围、影响程度可接受☒； 海洋沉积物对海洋生态环境敏感区和海洋生态环境保护目标的影响可接受☒。			
海洋生态影响预测与评价	预测方法	类比分析法 ☒ ； 图形叠置法□； 生态机理分析法□； 海洋生物资源影响评价法□； 其他□			
	影响评价	造成的生物资源损失量可接受☒； 对评价海域生物多样性的影响可接受☒； 对重要水生生物“三场一通道”、水产种质资源保护区的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☒； 对珍稀濒危海洋生物种群和数量的影响，以及对其生境的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☒； 对重要湿地、特殊生境（红树林、珊瑚礁、海草床、海藻场）等的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☒； 对自然保护地、生态保护红线的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☒； 造成的冲淤变化对岸滩长度、宽度、生态功能和景观等影响可接受☒； 产生重大的海洋生态和生物资源损害，造成或加剧区域的重大生态环境问题，存在不可承受的损害或潜在损害□。			
环境风险					
危险物质	名称	燃料油	风机和海上升压站储油		
	存在总量	2100t	252.8t		
物质及工艺系统危险性 1	Q 值	Q<1□； 1≤Q<10□； 10≤Q<100 ☒ ； Q≥100□			
	M 值	M1□； M2□； M3□； M4 ☒			
	P 值	P1□； P2□； P3□； P4 ☒			
环境敏感程度		E1 ☒ ； E2□； E3□			
环境风险潜势		IV ⁺ □； IV□； III ☒ ； II □； I □			
评价等级		一级□； 二级 ☒ ； 三级□； 简单分析□			
风险识别	物质危险性	有毒有害□； 易燃易爆 ☒			
	环境风险类型	泄漏 ☒ ； 火灾爆炸引起的伴生/次生污染物排放□			
事故情形分析	源强设定方法	计算法□； 类比估算法 ☒ ； 其他□			
	预测模型	溢油粒子模型 ☒ ； 污染物扩散的数值模拟□			
风险预测与评价		最近敏感目标 (0.06) km ， 抵达时间 (1.5) h			
重点风险防范措施		(1) 加强海洋石油设施的安全管理，包括设备检查、维护和更新，以减少设备故障引发的溢油事故；			

工作内容		自查项目		
重点风险防范措施		(2) 提高员工的安全意识和技能，进行培训，确保员工熟悉应急预案和操作规程； (3) 建立健全海洋溢油应急管理制度，包括责任分工、应急预案、演练等； (4) 项目用海期间设置警示标志，防止船舶碰撞； (5) 将用海范围与期限通知港航部门，发布航行通告，提醒周边船舶航行时注意避让； (6) 加强溢油事故的监测和报告制度，及时发现和报告溢油事故，以便采取应急措施； (7) 设置当值人员，利用一切有效的手段保持正规的瞭望，按规定鸣放声号，以引起他船的注意并显示自己的方位，使来船能够采取避让行动； (8) 建立应急响应机制，明确责任分工和指挥体系，确保应急处置的及时性和有效性； (9) 准备应急物资和设备，包括吸油设备、围油栏、溢油清除剂等，以快速响应溢油事故； (10) 建立应急演练制度，定期组织演练，提高应急响应能力和协作配合水平。		
评价结论		建设单位在采取安全防范措施，对现有应急预案进行修编完善、落实各项安全环保措施，确保风险防范和应急措施切实有效的前提下，满足国家相关环境保护和安全法规、标准的要求，本项目的风险整体可防、可控。		
主要污染物排放总量核算		污染物名称	排放量	排放浓度
		/	/	/
污染物削减替代		污染物名称	削减量	来源
		/	/	/
污染防治和生态修复措施		污水处理设施□；生态修复措施☑；区域削减□； 依托其他工程措施□；其他☑		
工作内容		自查项目		
监测计划	内容	环境质量		污染源
	监测方式	手动☑；自动□；无监测□		手动□；自动□；无监测☑
	监测点位	布设了 12 个水质监测站位、6 个沉积物监测站位 8 个海洋生态监测站位、工程区域及周边 8km 范围海域鸟类监测、施工区、风机基础外缘等进行噪声监测、沿海缆路径以及海上升压站四周监测。		/
	监测因子	a.水质：pH、溶解氧、化学需氧量、悬浮物、石油类； b.沉积物：粒度、有机碳、石油类； c.海洋生态：叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、生物体质量、潮间带生物、渔业资源； d.鸟类：鸟类群落特征，包括工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等； e.噪声：水上：Leq 昼/夜；水下：噪声频带有效声压级、噪声声压谱级； f.电磁辐射：工频电磁场、工频电场强度和工频磁感应强度。		/
	监测频次	a.水质：施工期选择春季或秋季的施工高峰期各开展一次调查；运营期：施工结束后监测一次； b.沉积物：施工期每年春季或秋季的施工高峰期监测 1 次；运营期：施工结束后监测一次； c.海洋生态：施工期选择春季、秋季的施工高峰期各开展一次调查；运营期：施工结束后监测一次； d.鸟类：施工期开展春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类监测，监测 1 年；运营期开展春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类监测，连续监测 3 年。 e.噪声：施工期每年代表性 1 季监测；运营期每年代表性 1 季监测，连续监测 3 年； f.电磁辐射：可按每年 1 次的频率开展监测，连续监测 3 年。		/
总体评价结论		可接受☑；不可接受□		
注 1：M、P 的确定参照 HJ169。				

附录 2 建设项目声环境影响评价自查表

附表 10-2 声环境影响评价自查表

工作内容		自查项目					
评价等级与范围	评价等级	一级 ☐		二级 ☐		三级 ☐	
	评价范围	200m ☒		大于 200m ☐		小于 200m ☐	
评价因子	评价因子	等效连续 A 声级 ☒		最大 A 声级 ☐		计权等效连续感觉噪声级 ☐	
评价标准	评价标准	国家标准 ☒		地方标准 ☒		国外标准 ☒	
现状评价	环境功能区	0 类区 ☐	1 类区 ☐	2 类区 ☐	3 类区 ☒	4a 类区 ☐	4b 类区 ☐
	评价年度	初期 ☒		近期 ☐		中期 ☐	
	现状调查方法	现场实测法 ☒		现场实测加模型计算法 ☐		收集资料 ☐	
	现状评价	达标百分比	100%				
噪声源调查	噪声源调查方法	现场实测 ☐		已有资料 ☐		研究成果 ☐	
声环境影响预测与评价	预测模型	导则推荐模型 ☒		其他 ☐ _____			
	预测范围	200m ☐		大于 200m ☒		小于 200m ☐	
	预测因子	等效连续 A 声级 ☒		最大 A 声级 ☐		计权等效连续感觉噪声级 ☐	
	厂界噪声贡献值	达标 ☐		不达标 ☐			
	声环境保护目标处噪声值	达标 ☐		不达标 ☐			
环境监测计划	排放监测	厂界监测 ☐		固定位置监测 ☐		自动监测 ☐	
	声环境保护目标处噪声监测	监测因子: (/)		监测点位数 (/)		无监测 ☐	
评价结论	环境影响	可行 ☒ 不可行 ☐					

注: “☐” 为勾选项, 可√; “()” 为内容填写项

附录 3 建设项目环境风险评价自查表

附表 10-3 建设项目环境风险评价自查表

工作内容		完成情况				
风险调查	危险物质	名称	燃料油 (施工期)		风机和海上升压站储油 (运营期)	
		存在总量 t	1129.8		252.8	
	环境敏感性	大气	500m 范围内人口数 0 人		5km 范围内人口数 0 人	
			每公里管段周边 200m 范围内人口数 (最大)		_____人	
		地表水	地表水功能敏感性	F1 ☐	F2 ☐	F3 ☐
			环境敏感目标分级	S1 ☐	S2 ☐	S3 ☐
		地下水	地表水功能敏感性	G1 ☐	G2 ☐	G3 ☐
			包气带防污性能	D1 ☐	D2 ☐	D3 ☐
	物质及工艺系统危险性	Q 值	Q<1 ☐	1≤Q<10 ☐	10≤Q<100 ☒	Q>100 ☐
M 值		M1 ☐	M2 ☐	M3 ☐	M4 ☒	
P 值		P1 ☐	P2 ☐	P3 ☐	P4 ☒	
环境敏感程度	大气	E1 ☐	E2 ☐		E3 ☐	
	地表水	E1 ☐	E2 ☐		E3 ☐	
	地下水	E1 ☐	E2 ☐		E3 ☐	

		海洋环境	E1 ☒	E2 ☐	E3 ☐	
环境风险潜势		IV ⁺ ☐	IV ☐	III ☒	I ☐	
评价等级		一级 ☐		二级 ☒	三级 ☐ 简单分析 ☐	
风险识别	物质危险性	有毒有害 ☒		易燃易爆 ☐		
	环境风险类型	泄露 ☒		火灾、爆炸引发伴生/次生污染物排放 ☐		
	影响途径	大气 ☐		地表水 ☐	地下水 ☐	
事故情形分析		源强设定方法	计算法 ☐	经验估算法 ☐	其他估算法 ☐	
风险预测与评价	大气	预测模型	SLaB ☐	aFTOX ☐	其他 ☐	
		预测结果	大气毒性终点浓度-1, 最大影响范围__/_m			
			大气毒性终点浓度-2, 最大影响范围__/_m			
	地表水	最近的环境敏感目标高栏港经济区獭洲-大杧岛养殖区域项目, 到达时间_1.5h				
	地下水	下游厂区边界到达时间__/_d				
		最近的环境敏感目标__/___, 到达时间__/_H				
重点风险防范措施		船舶操作人员应经过专业技术培训, 并制定详细的操作规程; 操作工人上岗前进行必要的专业技术培训, 并制定详细的操作规程				
评价结论与建议		在采取相关防范措施和应急措施的前提下, 项目运营存在的环境风险在可控的范围内。				

