

汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目 环境影响报告书

建设单位：中广核新能源投资（汕尾）有限公司

编制单位：中海云天（广东）海洋技术有限公司

2025年8月



目 录

1	概述	1
1.1	项目建设背景.....	1
1.2	项目建设内容及特点.....	2
1.3	项目工作由来及环境影响评价工作过程.....	3
1.4	环评文件类别判定.....	3
1.5	关注的主要环境问题及环境影响.....	3
1.6	环境影响评价的主要结论.....	4
2	总则	5
2.1	编制依据.....	5
2.2	评价内容及评价重点.....	11
2.3	功能区划及执行标准.....	13
2.4	评价工作等级及评价范围.....	10
2.5	环境保护目标和环境敏感目标.....	19
3	建设项目工程分析	25
3.1	项目概况.....	25
3.2	影响因素分析.....	59
3.3	环境影响识别和评价因子筛选.....	65
3.4	污染源源强核算.....	67
3.5	与相关规划和政策的符合性分析.....	80
4	环境现状调查与评价	109
4.1	自然环境现状调查与评价.....	109
4.2	海域自然资源概况.....	112
4.3	环境敏感目标概况.....	117
4.4	环境质量现状调查与评价.....	135
4.5	海域污染源调查.....	248
5	环境影响预测与评价	249
5.1	海洋水动力环境影响预测与评价.....	249
5.2	地形地貌与冲淤环境影响分析.....	273
5.3	海洋水质环境影响预测与评价.....	275
5.4	海洋沉积物环境影响分析.....	286
5.5	生态环境影响分析与评价.....	287
5.6	环境风险分析与评价.....	298
5.7	声环境影响预测与评价.....	357
5.8	电磁环境影响分析与评价.....	369
5.9	环境空气影响预测与评价.....	380
5.10	固体废物环境影响分析与评价.....	381
5.11	对周边海域开发利用现状影响分析.....	382
5.12	对周边敏感目标及环境关注点的影响分析.....	383
5.13	退役期环境影响.....	388
6	环境保护措施及其可行性论证	389
6.1	大气污染防治措施.....	389
6.2	水污染防治措施及其可行性分析.....	389

6.3	噪声防治措施及其可行性分析.....	390
6.4	固体废物防治措施及其可行性分析.....	391
6.5	生态保护措施及其可行性分析.....	391
7	环境影响经济损益分析.....	398
7.1	环境保护投资.....	398
7.2	环境影响损益分析.....	398
7.3	经济与社会效益分析.....	401
7.4	环境经济损益综合分析与评价.....	403
8	环境管理与监测计划.....	404
8.1	环境保护管理.....	404
8.2	总量控制.....	409
8.3	环境监测计划.....	409
8.4	环境保护“三同时”验收内容.....	412
9	环境影响评价结论.....	414
9.1	工程分析.....	414
9.2	环境质量现状.....	415
9.3	主要环境影响评价结论.....	420
9.4	环境保护对策措施结论.....	422
9.5	公众参与情况.....	423
9.6	综合结论.....	423
9.7	其他意见和建议.....	423
附件	429
	附件 1 委托书.....	429

1 概述

1.1 项目建设背景

随着国家提出碳达峰、碳中和的中远期目标，大力发展光伏、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省大陆海岸线总长达 4000km 以上，海域面积广阔，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。

2009 年 4 月，根据国家能源局下发的《关于印发海上风电场工程规划工作大纲的通知》（国新能〔2009〕130 号）的要求，广东省启动海上风电场址规划及海上风电输电规划工作。2011 年 6 月，《广东省海上风电场工程规划》报告正式报送国家能源局；2011 年 7 月，《广东省海上风电场工程规划》通过水利水电规划总院审查；2012 年 8 月国家能源局对《广东省海上风电场工程规划》进行了批复，2016 年 9 月广东省能源局委托广东院进行《广东省海上风电发展规划》修编，对《广东省海上风电场工程规划》中原有场址进一步进行理，并作适当调整。近两年，我国加快了海上风电平价上网的步伐。2018 年 5 月，国家发改委能源局颁布《关于 2018 年度风电建设管理有关要求的通知》（国能发新能〔2018〕47 号），要求 2019 年以后新增核准的海上风电采用竞价上网的方式。2019 年 1 月，国家发改委能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》（发改能源〔2019〕19 号），2019 年 5 月配套出台《关于公布 2019 年第一批风电、光伏发电平价上网项目的通知》（发改办能源〔2019〕594 号），2 个通知要求积极推进海上风电平价上网。2023 年 1 月，广东省发展改革委印发《关于调整全省海上风电场址的通知》。根据通知，广东省新增省管海域（领海线以内）海上风电场址 7 个，装机容量 1830 万千瓦；规划国管海域（领海线以外专属经济区）粤东海上风电基地场址 7 个，装机容量 3570 万千瓦。2023 年 6 月，广东省发展改革委印发《广东省 2023 年海上风电竞争配置工作方案》，其中省管海域项目共 15 个，装机容量 700 万千瓦。

红海湾风电场位于广东省汕尾市红海湾南侧海域，汕尾红海湾三海上风电项目和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目位于红海湾风电场内，场址面积分别为74km²、73km²，风电场场址水深在34m~42m之间，规划装机容量均为500MW。根据《广东省能源局关于征求广东省海上风电配套输电工程布局方案（2024-2028年）》（征求意见稿）“坚持集约建设，节约资源。统筹海陆输电方案，通过共建共用海上风电海上变电站、海上输电通道、海缆登陆点、陆上集控站、运营维护基地以及陆上配套送出线路等方式，最大限度减少用地、用海及岸线资源，有效降低海上风电输电工程建设成本”，汕尾红海湾三海上风电项目与明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目共建共用海上升压站、送出海底电缆、海缆登陆点：红海湾三、四两风电场的风电机组发出的电能通过集电海底电缆接入共建的海上升压站，升压后通过送出海底电缆输送到陆上集控中心。本项目为汕尾红海湾三海上风电项目和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目的集中送出项目，建设500kV海上升压站和500kV送出海底电缆。

1.2 项目建设内容及特点

汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目（以下简称“本项目”）位于广东省汕尾市红海湾南侧海域，拟建设1座500kV海上升压站（平台尺寸62.0m×47.6m）和2回500kV送出海缆（单回长约70.7km），500kV海上升压站位于汕尾红海湾三、四海上风电场址中间预留的通道，500kV送出海缆由海上升压站出发，往西延伸后再往北至小漠镇东侧滨海区域登陆点。项目用海总面积359.2917hm²。项目总投资约145462万元。

本项目评价内容包括500kV海上升压站、500kV送出海缆，与本项目建设相关的工程如汕尾红海湾三海上风电项目、明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目以及红海湾海上风电集控中心项目均作为单独项目进行核准立项建设，不属于本项目评价内容。

本项目500kV海上升压站安装和500kV送出海缆敷设等施工计划总工期为14个月，项目施工建设和投产运营可能会对项目海域海洋水质、沉积物环境、生物生态环境及声环境、电磁辐射环境造成一定影响。

1.3 项目工作由来及环境影响评价工作过程

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》《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》和《建设项目环境保护管理条例》等的规定，凡新建、改建、扩建对环境有影响的工程项目必须进行环境影响评价，以阐明项目所在地环境质量现状及工程项目施工期和运行期的环境影响。2024年7月12日，建设单位中广核新能源投资（汕尾）有限公司委托中海云天（广东）海洋技术有限公司承担本项目的环境影响评价工作。评价单位接受委托后，立即组织项目组评价技术人员对项目周边区域进行了现场踏勘，并收集了项目工程设计资料，以及地质勘察、海洋环境现状、电磁环境、水上水下噪声等调查及影响评价成果、环境功能区划及与本项目相关的规划文件。

在上述工作的基础上，评价单位依据项目工程可行性研究报告及相关专题报告，针对工程特点和区域海洋水质、生态环境现状，对项目建设的主要海洋环境影响进行了预测、分析和评价，给出有针对性的污染防治措施和生态影响减缓措施，提出了环境管理与监测计划要求，明确了建设项目可行与否的结论，编制完成了《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目环境影响报告书》。

1.4 环评文件类别判定

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，本项目属于“五十四海洋工程”中的“152 海底电缆工程”中挖沟埋设单条管道长度 20 公里及以上的海上和海底电缆工程，应编制环境影响报告书。

1.5 关注的主要环境问题及环境影响

关注的主要环境问题及环境影响包括：施工期海上升压站桩基础建设、海缆施工对海域水质、沉积物、海洋生态及渔业资源的影响，施工船舶可能产生的溢油事故环境风险；项目建设对周边环境敏感目标的影响；运行期海上升压站桩基础对周边海域水文动力、地形冲淤环境的影响。

1.6 环境影响评价的主要结论

汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目建设符合国家产业政策和相关规划、区划，项目建设有利于改善地区能源供应结构，社会效益、经济效益和环境效益明显。项目建设和运行存在的主要环境问题是海洋水质生态、渔业资源等的不良影响，在落实本报告提出的各项生态保护措施、污染防治措施和环境风险防范措施的前提下，本项目建设从环境保护角度考虑是可行的。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 国家法律法规及部门规章

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月修订；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2023 年 10 月修订；
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月修改；
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017 年 6 月修正；
- (5) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月修订；
- (6) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2022 年 6 月 5 日施行；
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 4 月修订；
- (8) 《中华人民共和国渔业法》，2013 年 12 月修正；
- (9) 《中华人民共和国野生动物保护法》，2022 年 12 月 30 日修订；
- (10) 《中华人民共和国海域使用管理法》，2002 年 1 月；
- (11) 《中华人民共和国海上交通安全法》，2021 年 4 月修订；
- (12) 《中华人民共和国可再生能源法》，2010 年 4 月；
- (13) 《中华人民共和国清洁生产促进法》，2012 年 7 月修改；
- (14) 《中华人民共和国湿地保护法》，2021 年 12 月；
- (15) 《中华人民共和国航道法》，2016 年 7 月 2 日修正；
- (16) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 7 月修订；
- (17) 《中华人民共和国自然保护区条例》，国务院令第 687 号，2017 年 10 月修改)；
- (18) 《海洋自然保护区管理办法》，国家海洋局，1995 年 5 月；
- (19) 《中华人民共和国水生动植物自然保护区管理办法》，农业部令 2013 年第 5 号修订；
- (20) 《国务院关于印发中国水生生物资源养护行动纲要的通知》，国务院，2006 年 2 月 14 日；
- (21) 《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，2013 年 12 月第二

次修正；

(22) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院令 475 号，2018 年 3 月第二次修订；

(23) 《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院令 507 号，2018 年 3 月第三次修订；

(24) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2018 年 3 月修订；

(25) 《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》，2021 年 9 月 1 日修改；

(26) 《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》交通运输部令 2016 年第 84 号，2016 年 12 月修改；

(27) 《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》交通运输部令 2017 年 15 号，2017 年 5 月修改；

(28) 《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），交通运输部海事局，2018 年 11 月 30 日；

(29) 《国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定（试行）》，2008 年 11 月；

(30) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日实施；

(31) 《中共中央办公厅 国务院办公厅关于加强生态环境分区管控的意见》，2024 年 3 月 6 日；

(32) 《关于印发〈生态环境分区管控管理暂行规定〉的通知》（环环评〔2024〕41 号），生态环境部，2024 年 7 月 6 日；

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

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

(35) 《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》（农渔发〔2022〕1 号）；

(36) 《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》，2024 年 7 月 31 日；

(37) 《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令 第 4 号），2019 年 1

月 1 日起施行；

(38) 《关于进一步深化环境影响评价改革的通知》，(环环评〔2024〕65号)，2024 年 9 月 13 日；

(39) 国家能源局国家海洋局关于印发《海上风电开发建设管理办法》的通知(国能新能〔2016〕394 号)；

(40) 国家海洋局关于印发《海洋工程环境影响评价管理规定》的通知(国海环字〔2017〕7 号)；

(41) 《海底电缆管道保护规定》，国家海洋局，2004 年 3 月；

(42) 《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》，国家海洋局，1992 年 8 月；

(43) 《关于北京等省(区、市)启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》(自然资办函〔2022〕2207 号)，自然资源部办公厅，2022 年 10 月 14 日；

(44) 《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；

(45) 《关于印发<生态保护红线生态环境监督办法(试行)>的通知》，生态环境部，国环规生态〔2022〕2 号，2022 年 12 月 27 日；

(46) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》，2020 年 11 月 30 日生态环境部令第 16 号公布，自 2021 年 1 月 1 日起施行；

(47) 《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》，自然资源部，2024 年 12 月 30 日。

2.1.2 地方法规及规范性文件

(1) 《广东省环境保护条例》，2022 年 11 月 30 日修正；

(2) 《广东省海域使用管理条例》，2021 年 9 月 29 日修正；

(3) 《广东省水污染防治条例》，2021 年 1 月 1 日施行；

(4) 《广东省大气污染防治条例》，2022 年 11 月 30 日修正；

(5) 《广东省固体废物污染环境防治条例》，2022 年 11 月 30 日修正；

(6) 《广东省渔业管理条例》，2019 年 9 月 25 日修正；

(7) 《广东省野生动物保护管理条例》，2020 年 5 月 1 日施行；

- (8) 《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日修正；
- (9) 《广东省实施〈中华人民共和国环境噪声污染防治法〉办法》，2018年11月29日修正；
- (10) 《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；
- (11) 《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；
- (12) 《广东省近岸海域污染防治实施方案》（粤环函〔2018〕1158号）；
- (13) 《关于船舶污染物接收处理作业有关事宜的通知》，粤海海事危〔2004〕8号；
- (14) 《广东省环境保护厅转发环境保护部办公厅关于进一步加强近岸海域环境保护的指导意的通知》，粤环函〔2012〕1138号；
- (15) 《广东省涉渔工程渔业资源损失生物价格核算技术指南》（粤农农函〔2024〕1318号），广东省农业农村厅，2024年10月27日。

2.1.3 功能区划和相关规划

- (1) 《“十四五”现代能源体系规划》（国家发展改革委、国家能源局，发改能源〔2022〕210号，2022年1月29日）；
- (2) 《“十四五”可再生能源发展规划》（国家发展改革委、国家能源局发改能源〔2021〕1445号，2022年6月1日）；
- (3) 《2030年前碳达峰行动方案》（国务院，2021年10月24日）；
- (4) 《广东省人民政府关于培育发展战略性支柱产业集群和战略性新兴产业集群的意见》（粤府函〔2020〕82号）；
- (5) 《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021-2025年）》，2020年9月25日；
- (6) 《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）；
- (7) 《广东省环境保护“十四五”规划》（粤环〔2021〕10号）；
- (8) 《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》（粤环〔2022〕7号）；

- (9) 《广东省海上风电发展规划（2017~2030年）（修编）》（粤发改能新〔2018〕193号）；
- (10) 《广东省能源发展“十四五”规划》（粤府办〔2022〕8号）；
- (11) 《广东省海洋经济发展“十四五”规划》（广东省人民政府办公厅，粤府办〔2021〕33号，2021年12月）；
- (12) 《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）；
- (13) 《广东省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》（广东省人民政府，粤府〔2021〕28号，2021年4月6日）；
- (14) 《广东省国土空间规划（2021-2035年）》（广东省人民政府，国函〔2023〕76号，2023年8月8日）；
- (15) 《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》（广东省自然资源厅，粤自然资发〔2023〕2号，2023年5月10日）；
- (16) 《广东省自然资源厅关于印发〈广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）〉的通知》（广东省自然资源厅，粤自然资发〔2025〕1号，2025年1月23日）；
- (17) 《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035年）》（汕尾市人民政府，2023年7月）；
- (18) 《汕尾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》（汕尾市人民政府，汕府〔2021〕23号，2021年4月20日）；
- (19) 《汕尾市生态环境局关于印发〈汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订版）〉的通知》（汕尾市生态环境局，汕环〔2024〕154号，2024年12月12日）；
- (20) 《深圳市生态环境局关于印发深圳市“三线一单”生态环境分区管控方案2023年度动态更新成果的通知》（深圳市生态环境局，深环〔2024〕154号，2024年7月9日）。

2.1.4 技术规范和标准

- (1) 《海洋生态资本评估技术导则》（GB/T 28058-2011）；

- (2) 《海洋监测规范》(GB 17378.1-7-2007);
- (3) 《海洋调查规范》(GBT 12763-2007);
- (4) 《海水水质标准》(GB 3097-1997);
- (5) 《渔业水质标准》(GB 11607-89);
- (6) 《海洋沉积物质量标准》(GB 18668-2002);
- (7) 《海洋生物质量标准》(GB 18421-2001);
- (8) 《声环境质量标准》(GB 3096-2008);
- (9) 《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018);
- (10) 《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)
- (11) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011);
- (12) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008);
- (13) 《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);
- (14) 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025);
- (15) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》, (HJ 2.1-2016);
- (16) 《环境影响评价技术导则 大气环境》, (HJ 2.2-2018);
- (17) 《环境影响评价技术导则 声环境》, (HJ 2.4-2021);
- (18) 《环境影响评价技术导则 生态影响》, (HJ 19-2022);
- (19) 《建设项目环境风险评价技术导则》, (HJ 169-2018);
- (20) 《环境影响评价技术导则输变电工程》(HJ 24-2014);
- (21) 《船舶污染海洋环境风险评价技术规范(试行)》, (中华人民共和国海事局, 2011年9月);
- (22) 《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T 1143-2017);
- (23) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007);
- (24) 《水污染排放限值》(DB 44/26-2001);
- (25) 《自然保护区建设项目生物多样性影响评价技术规范》(LY/T 2242-2014);
- (26) 《海水鱼类增殖放流技术规范》(DB 44/T 2280-2021);
- (27) 《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022);
- (28) 《近岸海域环境监测技术规范 第十部分 评价及报告》(HJ 442.10-

2020);

(29) 《近岸海洋生态健康评价指南》(GB/T 42631-2023)。

2.1.5 工程技术文件

(1) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目可行性研究报告(送审稿)》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024年12月；

(2) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出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有限公司，2024年3月；

(3) 《汕尾红海湾海上风电场项目集中送出工程夏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，2023年12月；

(4) 《汕尾红海湾海上风电场项目集中送出工程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1月；

(5) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目海洋环境现状调查监测报告》，广州海兰图检测技术有限公司，2024年6月；

(6) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目海洋环境现状调查监测报告》，广州海兰图检测技术有限公司，2025年1月；

(7) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目声环境及电磁辐射环境现状调查报告》(广东宇南检测技术有限公司，2023年7月)。

2.2 评价内容及评价重点

2.2.1 环境影响评价对象及内容

本报告环境影响评价对象包括一座500kV海上升压站和2回500kV海底电缆；海缆登陆后陆上电缆管线及陆上集控中心等工程另行开展环评，不在本次评价范围内。环境影响评价时段包括项目施工期及运行期，项目退役期环境影响在拆除施工前另行评价。

本项目涉及“海底电缆工程”和“升压变电站”(升压变电站位于海上)，根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，必选环境影响评价内容包括海洋水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、电磁环境和环境风险。详见表2.2.1-1所示。

表 2.2.1-1 海上风电项目各环境要素环境影响评价内容

海上风电项目 工程类型	海洋环境影响评价内容									
	海洋 水质 环境	海洋 沉积 物环 境	海洋生态			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
			海洋生 物生态	鸟类 生态	景观					
海底电缆工程	★	★	★			☆	☆		☆	★
升压变电站	★	★	★	☆	☆	★	★	☆	★	★

注：★为必选环境影响评价内容，☆为依据建设项目具体情况可选环境影响评价内容。
当升压变电站工程位于海域时，应将海水水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境列为必选评价内容。

注：引自《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014）

2.2.2 评价目的

本次海洋环境影响评价工作的目的是从保护海洋环境、维护海洋生态平衡、推进生态文明建设及严格控制新污染的角度出发，评价目的重点包括：

（1）对评价区域环境现状进行系统调查，了解工程海域的环境特点，包括环境质量现状、目前存在的主要环境问题、项目周边海域的环境敏感点等；

（2）通过工程分析确定本项目主要环境影响因子及其污染源强，进而对可能产生的主要环境问题进行科学的分析和预测；

（3）针对工程带来的主要环境问题，提出切实可行的污染防治方案和环境保护措施，确保污染物达标排放，将工程建设引起的环境影响减小到最低程度；

（4）提出本项目环境管理和环境监测的要求和建议，为建设单位实施环境保护和环保主管部门的监督管理提供依据。

2.2.3 评价重点

根据本项目特点和周围环境状况，确定其环境评价重点为：

（1）项目与海洋功能分区、生态保护红线相符性分析及项目方案环境合理性分析；

（2）项目施工期悬浮泥沙对海洋水质、生态环境、渔业资源影响评价；

（3）项目运行期对海域水文动力、地形冲淤、生态环境与渔业资源的影响评价；

（4）项目施工期船舶溢油事故环境风险评价；

（5）项目环境保护措施及生态用海建设方案。

2.3 功能区划及执行标准

2.3.1 功能区划

2.3.1.1 海岸带及海洋空间规划

根据《广东省自然资源厅印发〈广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035年)〉的通知》(粤自然资发〔2025〕1号),本项目用海所处海洋功能分区有:金狮湾工矿通信用海区、红海湾渔业用海区、东山海-红海湾海洋预留区、红海湾交通运输用海区、汕尾南部渔业用海区和汕尾西部工矿通信用海区,各功能分区的分布详见表 2.3.1-1 和图 2.3.1-1,各海洋功能分区保护要求见表 2.3.1-2。

《广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035年)》中,未明确各海洋功能分区的海水水质、海洋沉积物、海洋生物质量等执行标准。

表 2.3.1-1 项目所在海洋功能分区分布状况

序号	海洋功能分区名称	与本项目位置关系	分区类型
1	金狮湾工矿通信用海区	项目所在(海缆穿越)	工矿通信用海区
2	红海湾渔业用海区	项目所在(海缆穿越)	渔业用海区
3	东山海-红海湾海洋预留区	项目所在(海缆穿越)	海洋预留区
4	红海湾交通运输用海区	项目所在(海缆穿越)	交通运输用海区
5	汕尾南部渔业用海区	项目所在(海缆穿越)	渔业用海区
6	汕尾西部工矿通信用海区	项目所在(海缆穿越)	工矿通信用海区
7	遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区	项目紧邻	生态保护区

表 2.3.1-2 项目所在海洋功能分区管控要求(保护要求)一览表

序号	功能区名称	管控要求-保护要求
1	金狮湾工矿通信用海区	1.工业用海必须配套建设污水和生活垃圾处理设施,实现达标排放和科学处置;海上矿产、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;2.切实保护严格保护岸线;3.严格保护岸线所在的潮间带区域,以保护修复目标为主,保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低。
2	红海湾渔业用海区	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.切实保护严格保护岸线;3.严格保护岸线所在的潮间带区域,以保护修复目标为主,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.保护和合理利用无居民海岛资源;5.保护红树林、基岩岸滩、砂质海岸、淤泥质岸滩及其生境。
3	东山海-红海湾海洋预留区	1.河口海域项目建设应维护防洪纳潮功能,保障行洪安全;坚持集约节约用海用岸;区域内的无居民海岛,执行海岛分类管控要求;2.切实保护严格保护岸线;3.严格保护岸线所在的潮间带区域,以保护修复目标为主,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.保护基岩岸滩、砂质海岸及其生境。

序号	功能区名称	管控要求-保护要求
4	红海湾交通运输用海区	维护和改善航运用海区原有的水动力和泥沙冲淤环境。
5	汕尾南部渔业用海区	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。
6	汕尾西部工矿通信用海区	海上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。
7	遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区	重点保护重要渔业资源产卵场。

注：以上保护要求来源于《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》功能区登记表

图 2.3.1-1 项目所在海域及周边海域海洋功能分区示意图

2.3.1.2 1 近岸海域环境功能区划

2025年1月14日，深圳市生态环境局印发《深圳市近岸海域环境功能区划》，该规划范围不含深圳合作区海域。

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）及《广东省人民政府关于同意调整汕尾市部分近岸海域环境功能区划的批复》（粤府函〔2013〕127号），本项目500kV送出海缆登陆点位于三类区，海缆从北至南分别穿越三类、一类区；海上升压站所在海域不在近岸海域环境功能区划范围内，见图2.3.1-2所示。

图 2.3.1-2 项目所在近岸海域环境功能区划位置示意图

2.3.1.3 生态环境功能区划

根据《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》（图2.3.1-3）、《汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订版）》（图2.3.1-4）和《深圳市“三线一单”生态环境分区管控方案2023年度动态更新成果》（图2.3.1-5）可知，本项目所处位置为小漠港航运与一般工业用海区、红海湾农渔业区（深圳范围）、珠海-潮州近海农渔业区（深圳范围）和珠海-潮州近海农渔业区（汕尾范围），且项目紧邻遮浪南重要渔业资源产卵场（深圳范围）和遮浪南重要渔业资源产卵场（汕尾范围），各单元管控措施要求见表2.3.1-3所示。

表 2.3.1-3 本项目所在及周边生态环境分区管控单元一览表

环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控单元分类	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
HY44150020101	小漠港航运与一般工业用海区	重点管控单元	1-1.禁止在沿海陆域内新建不具备有效治理措施的化学制浆造纸、化工、印染、制革、电镀、酿造、炼油、岸边冲滩拆船以及其他严重污染海洋环境的工业生产项目；1-2.严格控制围填海等改变海域自然属性或者生态环境的用海项目；1-3.从严控制“两高一资”产业在沿海地区布局；1-4.做好与土地利用总体规划、城乡规划等的衔接，优化空间布局，加强自然岸线和海岸景观的保护。	4-1.港口基础设施及临港配套设施建设应集约高效利用岸线资源和海域空间-④；4-2.禁止非法采挖砂石，非法占用、破坏海岸线和沙滩资源-②。	2-1.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-①；2-2.持续对近岸海漂垃圾进行清理-⑤。	3-1.提升船舶与港口码头污染事故应急处置能力，加强沿海地区突发环境事件风险防控-③；3-2.加强环境应急能力标准化建设，发展应急机动观测，提升海洋应急观测能力
HY44150030103	红海湾农渔业区（深圳范围）	一般管控单元	1-1.在依法划定的海洋自然保护区、海滨风景名胜景区、重要渔业水域及其他需要特别保护的区域，不得从事污染环境、破坏景观的海岸工程项目建设或者其他活动。	4-1.设立禁渔区、禁渔期和增殖放流等措施，保护海洋渔业资源。	2-1.科学控制海湾养殖规模和密度，防治养殖自身污染和水体富营养化。	3-1.加强环境应急能力标准化建设，发展应急机动观测，提升海洋应急观测能力；3-2.加强对海浪、海啸等海洋灾害的监测，提高海洋灾害预警预测能力，保障航海安全。
HY44150030104	珠海-潮州近海农渔业区（深圳范围）	一般管控单元	1-1.在依法划定的海洋自然保护区、海滨风景名胜景区、重要渔业水域及其他需要特别保护的区域，不得从事污染环境、破坏景观的海岸工程项目建设或者其他活动。	4-1.设立禁渔区、禁渔期和增殖放流等措施，保护海洋渔业资源。	2-1.科学控制海湾养殖规模和密度，防治养殖自身污染和水体富营养化。	3-1.加强环境应急能力标准化建设，发展应急机动观测，提升海洋应急观测能力；3-2.加强对海浪、海啸等海洋灾害的监测，提高海洋灾害预警预测能力，保障航海安全。

环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控单元分类	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
HY44150030007	珠海-潮州近海农渔业区（汕尾范围）	一般管控单元	1-1.以保护海洋生态为前提，合理保障渔业用海，交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求。1-2.保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。	4-1.严格控制近海捕捞强度，严格执行伏季休渔制度和捕捞业准入制度。	2-1.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。不得将海上养殖生产、生活废弃物弃置海域。	/
HY44150010107	遮浪南重要渔业资源产卵场（深圳范围）	优先保护单元	严格执行海洋生态红线管控要求，维护海洋生态系统健康和安 全。	/	/	/
HY44150010030	遮浪南重要渔业资源产卵场（汕尾范围）	优先保护单元	严格执行海洋生态红线管控要求，维护海洋生态系统健康和安 全。	/	/	/

注：以上管控相关内容来源于广东省生态环境分区管控信息平台。

图 2.3.1-3 项目所在广东省“三线一单”生态环境分区位置示意图

图 2.3.1-4 项目所在汕尾市“三线一单”生态环境分区位置示意图

图 2.3.1-5 深汕特别合作区环境管控单元图

2.3.1.4 环境空气质量功能区划

根据《汕尾市环境保护规划纲要（2008-2020年）》（汕府〔2010〕62号），汕尾市环境空气质量功能区划分为Ⅰ类和Ⅱ类。其中，Ⅰ类功能区包括海拔高度大于400m的大部分山体和汕尾市主要自然保护区所辖地带，其余部分划分为Ⅱ类功能区。各类功能区的环境空气质量要求分别执行《环境空气质量标准》（GB 3095-1996）及其修改单的通知规定的各项污染物规定的标准，Ⅰ类功能区执行环境空气质量一级标准，Ⅱ类功能区执行环境空气质量二级标准。

本项目所处位置为红海湾海域，该区域未划分环境空气质量功能区划。根据《环境空气质量标准》（GB 3095-2012），大气环境参照二类功能区执行。

2.3.1.5 声环境功能区划

根据《汕尾市声环境功能区划方案》《汕尾市生态环境局关于〈汕尾市声环境功能区划方案〉的补充说明》，本项目所在区域未划分声环境功能区划，见图2.3.1-6所示。

根据2023年3月6日深圳市深汕特别合作区党政办公室印发的《深圳市深汕特别合作区声环境功能区划分》，本项目送出海缆登陆位置为2类声环境功能区，见图2.3.1-7所示。

图 2.3.1-6 项目所在汕尾市声环境功能区划位置示意图

图 2.3.1-7 项目所在深圳市深汕特别合作区声环境功能区划分示意图

2.3.2 评价标准

2.3.2.1 海洋环境质量标准

1、海水水质

《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）提出“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”要求。

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）及《广东省人民政府关于同意调整汕尾市部分近岸海域环境功能区划的批复》（粤府函〔2013〕127号），本项目500kV送出海缆登陆点位于三类区，部分海缆穿越三类、一类区，其他位置未划分近岸海域环境功能区，而《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》且未明确各海洋功能分区的环境保护执行标准。

本报告的监测站位，位于《广东省近岸海域环境功能区划》范围内的，根据所在近岸海域环境功能区确定其水质执行标准，除外，其他的站位根据《海水水质标准》（GB 3097-1997）中水质类别适用情形，判断《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》中各功能分区的水质执行标准。

海水水质评价采用《海水水质标准》（GB 3097-1997），具体标准值见表2.3.2-1所示。

表 2.3.2-1 海水水质标准（GB 3097-1997）（单位：pH 无量纲，其余单位为 mg/L）

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
无机磷≤(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

注：

第一类 适用于海洋渔业海域，海上自然保护区和珍稀濒危海洋生物保护区。

第二类 适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区。

第三类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区。

第四类 适用于海洋港口海域，海洋开发作业区。

2、海洋沉积物

本项目根据《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）中沉积物质量类别适用情形，判断《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》中各功能分区的沉积物质量执行标准。

海洋沉积物质量评价采用《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002），具体标准值见表 2.3.2-2 所示。

表 2.3.2-2 海洋沉积物质量（GB 18668-2002）

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

注：

第一类 适用于海洋渔业海域，海洋自然保护区，珍稀与濒危生物自然保护区，海水养殖区，海水浴场，人体直接接触沉积物的海上运动或娱乐区，与人类食用直接有关的工业用水区。

第二类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区。

第三类 适用于海洋港口海域，特殊用途的海洋开发作业区。

3、海洋生物质量

本项目根据《海洋生物质量》（GB 18421-2001）中海洋生物质量类别适用情形，判断《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》中各功能分区的海洋生物质量执行标准。

双壳贝类海洋生物质量评价采用《海洋生物质量》（GB 18421-2001），其他软体动物、甲壳动物和定居性鱼类等的重金属、石油烃的评价标准参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C。

表 2.3.2-3 海洋生物（双壳贝类）质量标准（GB 18421-2001）（鲜重，mg/kg）

序号	项目	第一类	第二类	第三类
1	总汞≤	0.05	0.10	0.30
2	镉≤	0.2	2.0	5.0
3	铅≤	0.1	2.0	6.0
4	铬≤	0.5	2.0	6.0
5	砷≤	1.0	5.0	8.0
6	铜≤	10	25	50（牡蛎 100）
7	锌≤	20	50	100（牡蛎 500）
8	石油烃≤	15	50	80

注：

第一类 适用于海洋渔业海域、海水养殖区、海洋自然保护区，与人类食用直接有关的工业用水区。

第二类：适用于一般工业用水区、滨海风景旅游区。

第三类：适用于港口海域和海洋开发作业区。

表 2.3.2-4 其他海洋生物质量参考值（鲜重）单位：mg/kg

生物类别 评价因子	软体动物（非双壳贝类）	甲壳类	鱼类
总汞	0.3	0.2	0.3
镉	5.5	2.0	0.6
锌	250	150	40
铅	10	2	2
铜	100	100	20
砷	1	1	1
石油烃	20	20	20

2.3.2.2 环境空气质量标准

本项目所在海域未划分环境空气功能区划，参照执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及修改单中的二级标准，具体标准值见表 2.3.2-5 所示。

表 2.3.2-5 环境空气质量标准

污染物名称	取值时间	二级标准浓度限值	浓度单位
SO ₂	年平均	60	μg/m ³
	24 小时平均	150	
	1 小时平均	500	
NO ₂	年平均	40	
	24 小时平均	80	
	1 小时平均	200	
CO	24 小时平均	4.00	mg/m ³
	1 小时平均	10.00	

污染物名称	取值时间	二级标准浓度限值	浓度单位
O ₃	日最大 8 小时平均	160	μg/m ³
	1 小时平均	200	
PM ₁₀	年平均	70	μg/m ³
	24 小时平均	150	
PM _{2.5}	年平均	35	
	24 小时平均	75	

2.3.2.3 声环境质量标准

根据《深圳市深汕特别合作区声环境功能区划分》《声环境质量标准》（GB 3096-2008）《声环境功能区划分技术规范》（GB/T 15190-2014）等相关规定，本项目送出海缆登陆点位于 1 类声环境功能区，执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）2 类标准，即昼间 60dB、夜间 50dB。

表 2.3.2-6 环境噪声限值 单位：dB（A）

声环境功能区类别	时段	
	昼间	夜间
2 类	60	50

2.3.2.4 污染物排放标准

1、水污染物排放标准

本项目施工期船舶污染物排放执行交通部《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。同时，本项目施工船舶产生的含油污水、生活污水、船舶垃圾还应满足《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 2.3.2-7。

表 2.3.2-7 船舶污染物排放控制标准

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求	
船舶含油废水	沿海	400 总吨及以上船舶	油污水处理装置出水口石油类限值为 15mg/L（排放应在船舶航行中进行）或收集并排入接收设施。	
		400 总吨以下非渔业船舶		
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内海域	400 总吨及以上的船舶，以及 400 总吨以下且经核	不得直接排入	利用船载收集装置收集，排入接收设施；
				利用船载生活污水处理装置处理：2012 年 1 月 1 日以前安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，执行 BOD ₅ ≤50mg/L，

		定许可载运 15 人及以上以上的船舶	环境水体	SS≤150mg/L, 耐热大肠菌群数≤2500 个/L; 2012 年 1 月 1 日及以后安装 (含更换) 生活污水处理装置的船舶, 执行 BOD ₅ ≤25mg/L, SS≤35mg/L, 耐热大肠菌群数≤1000 个/L, COD _{Cr} ≤125mg/L, pH6~8, 总氯 (总余氯) <0.5mg/L
	3 海里<与最近陆地间距离≤12 海里的海域			同时满足: (1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放; (2) 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
	与最近陆地间距离>12 海里的海域			船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
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、废弃渔具和电子垃圾收集并排入接收设施			
	对于食品废弃物, 在距最近陆地 3 海里以内 (含) 的海域, 应收集并排入接收设施; 在距最近陆地 3 海里至 12 海里 (含) 的海域, 粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放; 在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。			
	对于货物残留物, 在距最近陆地 12 海里以内 (含) 的海域, 应收集并排入接收设施; 在距最近陆地 12 海里以外的海域, 不含危害海洋环境物质的货物残留物方可排放。			
	对于动物尸体, 在距最近陆地 12 海里以内 (含) 的海域, 应收集并排入接收设施; 在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。			
	在任何海域, 对于货舱、甲板和外表面清洗水, 其含有的清洁剂或添加剂不属于危害海洋环境物质的方可排放; 其他操作废弃物应收集并排入接收设施。			

2、大气污染物排放标准

(1) 根据《船舶大气污染物排放控制区实施方案》(交海发〔2018〕168 号), 本项目涉及的海域位于划定的“排放控制区”内 (见图 2.3.2-1), 本项目船舶尾气二氧化硫、颗粒物、氮氧化物应满足《船舶大气污染物排放控制区实施方案》硫氧化物和颗粒物排放控制要求与氮氧化物排放控制要求。

①硫氧化物和颗粒物排放控制要求: 2022 年 1 月 1 日起, 海船进入沿海控制区海南水域, 应使用硫含量不大于 0.1%*m/m* 的船用燃油。适时评估船舶使用硫含量不大于 0.1%*m/m* 的船用燃油的可行性, 确定是否要求自 2025 年 1 月 1 日起, 海船进入沿海控制区使用硫含量不大于 0.1%*m/m* 的船用燃油。

②氮氧化物排放控制要求: 2022 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的、进入沿海控制区海南水域和内河控制区的中国籍国内航行船舶, 所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油发动机应满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。适时评估船舶执行《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求的可行性, 确定是否要求 2025 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶,

所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油发动机满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。

(2) 施工机械的燃油废气、施工扬尘执行广东省地方标准《大气污染物排放限制》(DB 44/27-2001)第二时段无组织排放监控浓度限值,见表 2.3.2-8 所示。

表 2.3.2-8 废气污染物排放执行标准 单位: mg/m³

污染物	最高允许排放浓度	无组织排放检测浓度限值	
		监测点	浓度
NO _x	120	周界外浓度最高点	0.12
SO ₂	500	周界外浓度最高点	0.40
TSP	120	周界外浓度最高点	1.0



图 2.3.2-1 本项目与《船舶大气污染物排放控制区实施方案》排放控制区位置叠加图

3、噪声排放标准

项目施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011),

见表 2.3.2-9 所示。营运期厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 中的 2 类标准, 见表 2.3.2-10 所示。

表 2.3.2-9 噪声污染控制标准值表

控制标准	噪声限值	
	昼间 dB (A)	夜间 dB (A)
《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)	70	55

表 2.3.2-10 工业企业厂界环境噪声排放标准单位 单位: dB (A)

标准	类别	昼间	夜间
《工业企业厂界环境噪声排放标准》	2 类	60	50

施工期及营运期水下噪声排放标准参照《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022) 中人为噪声对海洋哺乳动物、鱼类的影响阈值, 见表 2.3.2-11 和表 2.3.2-12 所示。

表 2.3.2-11 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值

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

^a SEL_w 宜按公式 (B.6) 计算。
^b SPL_{pk} 宜按公式 (B.3) 计算。

注: 《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022) 附录 A.3

表 2.3.2-12 人为水下噪声对鱼类影响阈值

听力分组	致死或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS	声掩蔽	
无鱼鳔	219 dB SEL _{cum} ^a 或 213 dB SPL _{pk}	216 dB SEL _{cum} 或 213 dB SPL _{pk}	186 dB 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	201 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	203 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	186 dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
	207 dB SEL _{cum}	203 dB SEL _{cum}	186 dB SEL _{cum}	(近) 高	(近) 高

听力分组	致死或潜在致死 或 207 dB SPL _{pk}	损害			行为响应
		物理损伤 或 207 dB SPL _{pk}	TTS	声掩蔽	
有鱼鳔，鱼鳔 与听力相关				(中) 高	(中) 高
				(远) 中等	(远) 中等
卵和幼体	210 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	(近) 中等	(近) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

^a SEL_{cum} 宜按公式 (B.5) 计算。

注：《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022) 附录 A.4

4、固体废弃物

本项目的船舶生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018) 的船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由船舶污染物接收单位接收处理，不得倾倒入海；一般固废暂存、处置过程执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)；危险废物转运执行《危险废物收集、贮存、运输技术规范》(HJ 2025-2012) 中相关要求。

2.3.2.5 电磁辐射评价标准

根据《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)，频率为 50Hz 的公众曝露控制限值电场强度为 4000V/m，磁感应强度为 100μT。

2.4 评价工作等级及评价范围

2.4.1 评价工作等级

2.4.1.1 海洋生态环境影响评价等级

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025)，根据建设项目海洋生态环境影响类型和影响程度，评价等级划分为 1、2、3 级。

本项目建设 1 座 500kV 海上升压站和 2 回 500kV 送出海缆，海缆挖沟埋设总长度 141.4km，L≥100m，评价等级为 1 级；本项目总用海面积 359.2917hm²，S≥200hm²，评价等级为 1 级。则综合判定本项目海洋生态环境影响评价等级为 1 级。

表 2.4.1-1 建设项目海洋生态环境影响评价等级判定表

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 (hm²)	其他用海°	S≥200	100≤S<200	S<100

°: 挖沟埋设管缆总长度以挖沟累积长度计。
 °: 其他用海主要指海上风电、海上太阳能发电、海水养殖、锚地等开放式用海建设项目；不投加饵料的海水养殖项目，评价等级为 3 级。

注：该表摘自《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025) 的表 1。

2.4.1.2 海洋生态环境风险评价等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018) 有关要求，判定环境风险评价等级前首先进行风险潜势判断。

根据导则要求分析建设项目生产、使用、储存过程中涉及的有毒有害、易燃易爆物质，确定危险物质的临界量。定量分析危险物质数星与临界星的比值(Q)和所属行业及生产工艺特点(M)，然后对危险物质及工艺系统危险性(P)等级进行判断。本项目不属于《建设项目环境风险评价技术导则》附录 C 表 C.1 规定的行业及生产工艺，因此，仅进行危险物质数量与临界量的比值分析。

1、危险物质的数量与临界量的比值 Q

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：

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

式中：q₁, q₂, ..., q_n—每种危险物质的最大存在量，t；

Q₁, Q₂, ..., Q_n—每种危险物质的临界量，t。

将 Q 值划分为：(1) Q<1；(2) 1≤Q<10；(3) 10≤Q<100；(4) Q≥100。

本项目存在的风险物质为油类物质，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025) 要求，油类物质(矿物油类，如石油、汽油、柴油等；生物柴油等)的临界量为 100t。

施工期按海上升压站、海缆敷设同时施工，工程范围内船舶最大数量级最大载油量统计见下表 2.4.1-2 所示，投入施工的船舶最大载油量合计 7819.2m³，柴油密度按 0.9t/m³ 算，则 Q_{施工期}=7819.2×0.9/100=70.37。

运行期配备 1 艘 500t 运维船，运维船满载油量约 50t；海上升压站的柴油最

大储油量为25t。运维期间，整个风电场的油量不超过75t。则 $Q_{\text{运行期}}=75\text{t}/100\text{t}=0.75$ 。

$Q_{\text{施工期}} > Q_{\text{运行期}}$ ，则本项目施工期风险潜势大于运行期，以下主要针对施工期开展风险评价等级判定。

表 2.4.1-2 最大载油量估算一览表

施工环节	名称及规格	数量 (艘)	单艘船舶总吨数 GT	单艘燃油总舱容 (m ³) 内插法计算	单艘最大载油量 (m ³)
海上升压 站施工	起重船	1	19800	1734	1387.2
	起重船	1	14800	1682	1345.6
	运输驳船	1	19800	1734	1387.2
	运输驳船	1	14800	1682	1345.6
	拖轮	2	2598	312	249.6
	锚艇	2	496	60	48
	交通艇	2	298	36	28.8
	补给船	1	298	36	28.8
海缆敷设	带埋设机的 铺缆船	1	14800	1682	1345.6
	拖轮	1	2598	312	249.6
	抛锚艇	1	496	60	48
	交通艇	1	298	36	28.8
所有船舶最大载油量合计 7819.2m ³					

注：①表中船舶参数为参考其他风电项目施工单位使用的施工船舶，实际施工所用船型以招拍挂中标单位选择为准；②单艘最大载油量按单艘总舱容 80%计。

2、行业及生产工艺 (M)

分析项目所属行业及生产工艺特点，按照下表评估生产工艺情况。具有多套工艺单元的项目，对每套生产工艺分别评分并求和。将 M 划分为 (1) $M > 20$ ；(2) $10 < M \leq 20$ ；(3) $5 < M \leq 10$ ；(4) $M = 5$ ，分别以 M1、M2、M3 和 M4 表示。

本项目施工船舶使用燃油物质，根据下表 2.4.1-3，属于其他行业中的涉及危险物质使用项目，行业及生产工艺 $M=5$ ，行业及生产工艺 M 划分为 M4。

表 2.4.1-3 行业及生产工艺 (M)

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 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，高压指压力容器的设计压力（P） $\geq 10.0\text{Mpa}$ ； b 长输管道运输项目应按站场、管线分段进行评价。		

3、危险物质及工艺系统危险性 (P) 分级的确定

根据危险物质数量与临界量比值 (Q) 和行业及生产工艺 (M)，按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018) 中表 C.2 确定危险物质及工艺系统危险性等级 (P)。

本项目 $Q_{\text{施工期}}=70.37$ ($10 \leq Q < 100$)，行业及生产工艺 M 划分为 M4，故本项目危险物质及工艺系统危险性为 P4。

表 2.4.1-4 危险物质及工艺系统危险性等级判断 (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、环境敏感程度 (E) 的分级判定

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。

本项目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，属于环境高度敏感区，为 E1。

表 2.4.1-5 危险物质及工艺系统危险性等级判断 (P)

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

5、环境风险潜势划分及评价工作等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018),本项目的风险评价等级根据本项目涉及的物质及工艺系统危险性和项目区域的环境敏感性确定环境风险潜势。建设项目环境风险潜势划分见表 2.4.1-6,环境风险评价等级划分见表 2.4.1-7。

表 2.4.1-6 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。

表 2.4.1-7 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 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

本项目危险物质及工艺系统危险性 (P) 值为 P4,环境敏感程度分级为 E1,其对应的环境风险潜势等级为 III,应按要求开展二级评价。

2.4.1.3 声环境评价等级

本项目海上升压站离岸最近距离约 31km,送出海缆连接升压站至登陆点,整体上,项目周边无居民生活集中区,根据《深圳市深汕特别合作区声环境功能区划分》《声环境质量标准》(GB 3096-2008)《声环境功能区划分技术规范》(GB/T 15190-2014)等相关规定,本项目送出海缆登陆点位于 2 类声环境功能区,执行《声环境质量标准》(GB 3096-2008) 2 类标准。

按照《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ 2.4-2021)“建设项目所处的声环境功能区为 GB 3096 规定的 1 类、2 类地区,或建设项目建设前后评价范围内声环境保护目标噪声级增量达 3dB (A)~5dB (A),或受噪声影响人口数量增加

较多时，按二级评价”要求，确定本项目声环境评价等级为二级。

2.4.1.4 电磁环境评价等级

本项目拟建一座 500kV 海上升压站和 2 回 500kV 送出海缆，其中海上升压站为户内式，海底电缆为交流输电，最高电压等级为 500kV。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014）《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），本项目电磁环境影响评价等级均为二级，见表 2.4.1-8 和表 2.4.1-9 所示。

表 2.4.1-8 海上风电项目电磁环境影响评价等级判据

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	500kV 及以上	输电线路	海底电缆	二级
		升压变电站	户内式、地下式	二级

依据：《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014）

表 2.4.1-9 输变电建设项目电磁环境影响评价工作等级

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	500kV 及以上	变电站	户内式、地下式	二级
		输电线路	1.地下电缆 2.边导线地面投影外两侧各 20m 范围内无电磁环境敏感目标的架空线	二级

依据：《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）

2.4.1.5 评价等级小结

综合上述分析，本项目各项评价等级见表 2.4.1-10 所示。

表 2.4.1-10 项目单项评价等级表

序号	评价项目	评价等级
1	海洋生态环境影响评价	1 级
2	海洋生态环境风险评价	二级
3	声环境评价	二级
4	电磁环境评价	二级

2.4.2 评价范围

2.4.2.1 海洋生态环境影响评价范围

《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）明确了海洋生态环境影响评价范围应覆盖建设项目整体实施后可能对海洋生态环境造成影响的范围。根据评价等级、工程特点、生态敏感区分布情况，确定评价范围，具体要求包括：①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。②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 为参考评价范围。穿越一般敏感区时，以线路穿越段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，以线路穿越段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。③建设项目涉及多个不相连的组成部分时，分别确定评价范围；各组成部分的环境影响范围可能存在明显叠加时，应整体考虑其评价范围。

本项目海洋生态环境影响评价等级为一级，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），海上升压站以其平面布置外缘线在潮流主流向的扩展 15km 划定评价范围；考虑到本项目送出海缆紧邻北侧生态保护区和优先保护单元（遮浪南重要渔业资源产卵场），以穿越重要敏感保守考虑，送出海缆应该至少以线路中心线向两侧和两端外延 3km 为参考评价范围。

《海上风电工程环境影响评价技术规范》明确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；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。

综合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）《海上风电工程环境影响评价技术规范》，同时考虑本项目海洋环境现状调查范围，确定了本项目海洋生态环境影响评价范围为海上升压站外扩 15km、送出海缆外扩 6km 海域，面积为 1344 平方千米。

表 2.4.2-1 海洋生态环境影响评价范围四至点坐标一览表

点号	北纬 (N)	东经 (E)	点号	北纬 (N)	东经 (E)
1	22° 42' 48.359"	115° 01' 44.317"	2	22° 38' 27.100"	115° 05' 23.802"
3	22° 34' 47.021"	115° 07' 41.988"	4	22° 20' 42.637"	115° 14' 55.691"
5	22° 19' 20.514"	115° 17' 22.981"	6	22° 19' 55.369"	115° 19' 29.863"
7	22° 15' 36.040"	115° 19' 29.863"	8	22° 15' 36.040"	115° 35' 41.129"
9	22° 31' 47.305"	115° 35' 41.129"	10	22° 31' 47.305"	115° 19' 29.863"

11	22° 26' 39.095''	115° 19' 29.863''	12	22° 38' 03.034''	115° 13' 26.123''
13	22° 42' 16.765''	115° 10' 39.108''	14	22° 47' 55.565''	115° 05' 54.920''

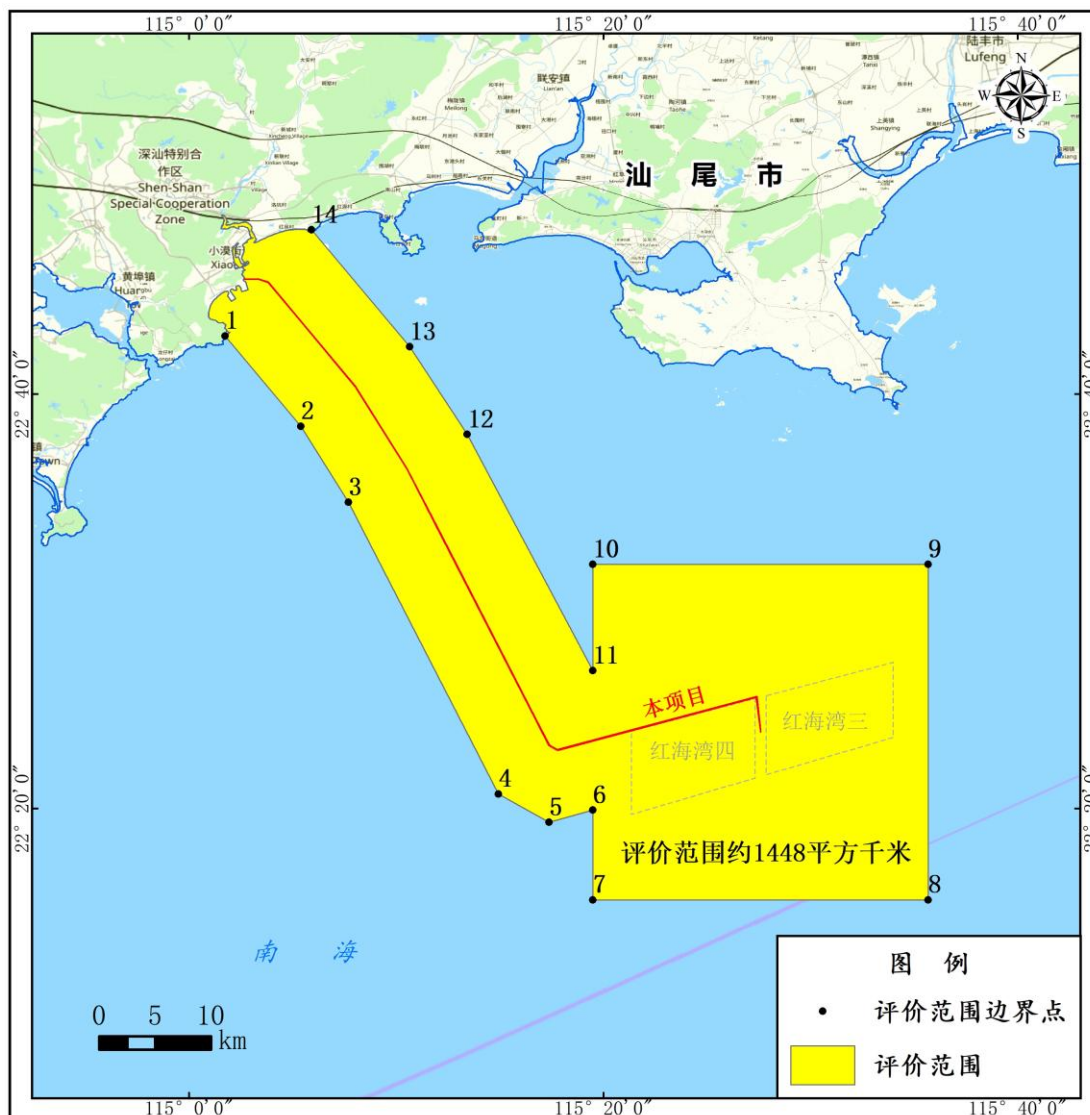


图 2.4.2-1 海洋生态环境影响评价范围示意图

2.4.2.2 海洋生态环境风险评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025), 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, 二级评价项目的评价范围根据危险物质 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。

本项目环境风险工作等级为二级, 本项目涉及的环境风险物质仅包括燃料油, 其发生泄漏事故时, 仅对海洋环境产生影响, 根据溢油漂移数值预测结果及生态敏感区, 确定溢油 48h 油膜扩散范围确定为海洋生态环境风险评价范围。

2.4.2.3 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》要求，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，因此，本项目水下声环境影响评价范围为项目海上升压站外扩 15km、送出海缆外扩 6km 海域范围。

2.4.2.4 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》《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），本项目电磁环境影响评价等级为二级，其电磁环境影响评价范围为海上升压站的站界外 50m 和送出海缆两侧边缘各外延 50m（水平）的范围，评价范围面积 10.78 平方千米。

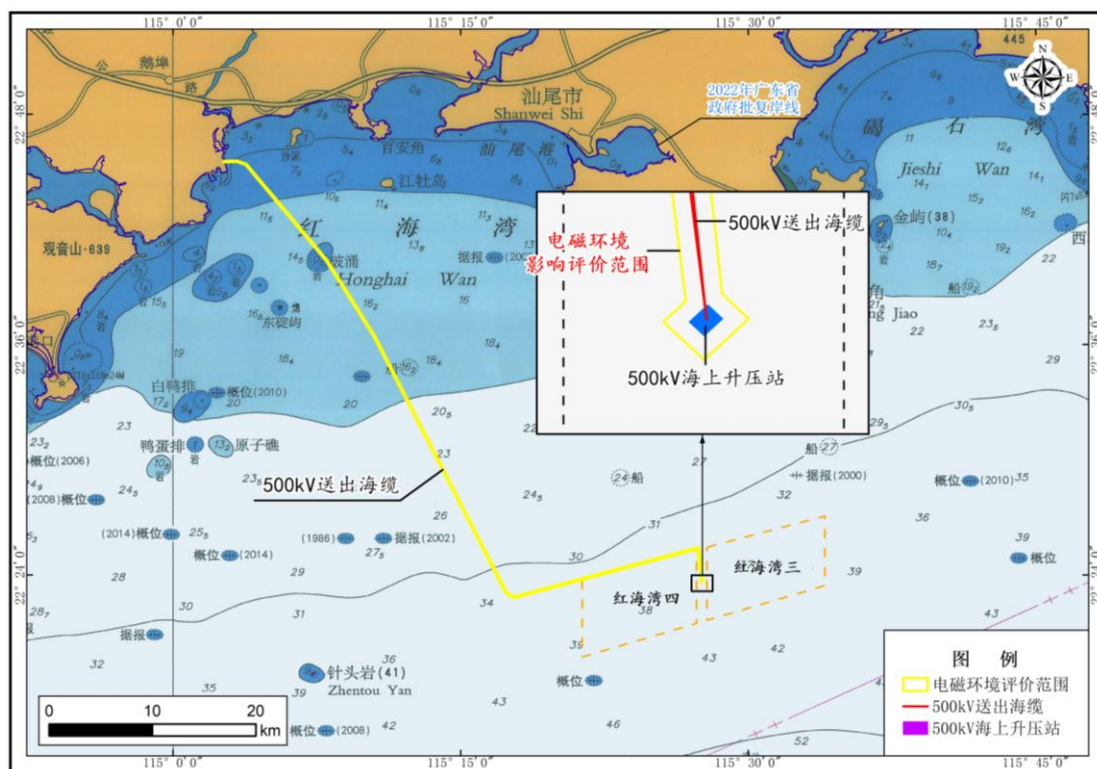


图 2.4.2-2 电磁环境影响评价范围示意图

2.4.2.5 评价范围小结

综上，本项目海洋生态环境影响、声环境影响等评价范围均为项目海上升压站外扩 15km、送出海缆外扩 6km 海域；海洋生态环境风险评价范围以溢油 48h 油膜扩散范围确定；电磁环境影响评价范围为海上升压站的站界外 50m 和送出海缆两侧边缘各外延 50m（水平）确定。

表 2.4.2-2 项目评价范围汇总表

序号	评价项目	评价等级	评价范围
1	海洋生态环境影响评价	1 级	项目海上升压站外扩 15km、送出海缆外扩 6km 海域，面积 1448 平方千米。
2	声环境影响评价	二级	
3	海洋生态环境风险评价	二级	溢油 48h 油膜扩散范围
4	电磁环境评价	二级	海上升压站的站界外 50m 和送出海缆两侧边缘各外延 50m（水平），面积 10.78 平方千米。

2.5 环境保护目标和环境敏感目标

2.5.1 环境保护目标

海洋环境保护对象包括海水水质、沉积物、海洋生态（包括渔业资源），具体保护目标如下：

（1）控制工程实施对工程及周边海域海洋生态环境的影响，确保海域生态环境质量不因本工程建设而变劣，确保工程区域海洋生物生境条件等不因本工程建设而发生明显变化。

（2）控制工程实施对工程及周边海域渔业资源的影响，保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。

（3）控制海缆铺设对区域航道通航安全的影响。

（4）控制海缆登陆工程对岸线和近岸海域生态环境的影响。

（5）确保项目实施后工程海域水质保持现有类别，不因工程建设而变劣。

（6）确保项目实施后工程海域沉积物质量保持现有类别，不因工程建设而变劣。

2.5.2 生态敏感区及环境保护目标

《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中对海洋生态敏感区的定义：“海洋生态功能与价值较高，且遭受损害后较难恢复其功能的海域，分为重要敏感区和一般敏感区。重要敏感区主要包括依法依规划定的国家公园、自然保护区、自然公园等自然保护地、世界自然遗产、生态保护红线等区域。一般敏感区主要包括河口、海湾、海岛，重要水生生物天然集中分布区、栖息地及产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道（以下简称“三场一通道”），特殊生境（红

树林、珊瑚礁、海草床和海藻场等)，水产种质资源保护区，海洋自然人文历史遗迹和自然景观等”。

通过资料收集、现场踏勘和查阅《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》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》《中国海洋渔业水域图》（第一批）《中国海域海岛地名志第二册：广东卷》等确定环境敏感目标情况如表 2.5.2-1 所示。

表 2.5.2-1 本项目环境敏感目标一览表

序号	敏感目标		与本项目相对位置	保护对象
	类型	名称		
1	自然保护区	深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区	项目北侧，最近约 1.3km	特殊海洋生态系统
2	生态保护红线	乌山海岸防护物理防护极重要区	项目西侧，最近约 4.5km	海岸防护
3		深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区	项目北侧，最近约 1.3km	特殊海洋生态系统
4		汕尾市海丰县红树林	项目西北侧，最近约 1.4km	红树林及其生境
5		深圳深汕红树林	项目西北侧，最近约 5.1km	红树林及其生境
6		鲘门重要滩涂及浅海水域	项目东北侧，最近约 3.6km	滩涂及浅海水域
7		遮浪南重要渔业资源产卵场	项目北侧，紧临	渔业资源、海洋水质、生态环境
8		三场一通道	幼鱼、幼虾保护区	项目所在
9	黄花鱼幼鱼保护区		项目所在	
10	南海北部幼鱼繁育场保护区		项目所在	
11	南海中上层鱼类产卵场		项目所在	
12	南海底层、近底层鱼类产卵场		项目南侧，约 13.8km	
13	南海北部金线鱼产卵场		项目南侧，约 13.8km	
14	粤东近海区蓝圆鲹产卵场		项目所在	
15	海岛	逢河岛	项目北侧，约 4.7km	海岛生态系统
16		海刺长岛	项目西侧，约 1.2km	
17		龙虾头岛	项目北侧，约 1.0km	
18		芒屿岛	项目东侧，约 4.3km	
19		芒屿南岛	项目东侧，约 4.3km	
20		排尾	项目东侧，约 4.0km	
21		海丰鸡心石	项目东侧，约 5.3km	
22		鸡心石一岛	项目东侧，约 5.2km	
23		鸡心石二岛	项目东侧，约 5.2km	
24		鸡心石三岛	项目东侧，约 5.1km	
25		鸡心石四岛	项目东侧，约 5.2km	
26		鸡心石五岛	项目东侧，约 5.1km	
27		了哥咀仔岛	项目西侧，约 5.2km	
28	岸线	基岩岸线	海缆穿越	岸线
29	珍稀海洋生物	海龟	/	海龟

图 2.5.2-1 环境敏感目标分布图（自然保护区）

图 2.5.2-2 环境敏感目标分布图（生态保护红线）

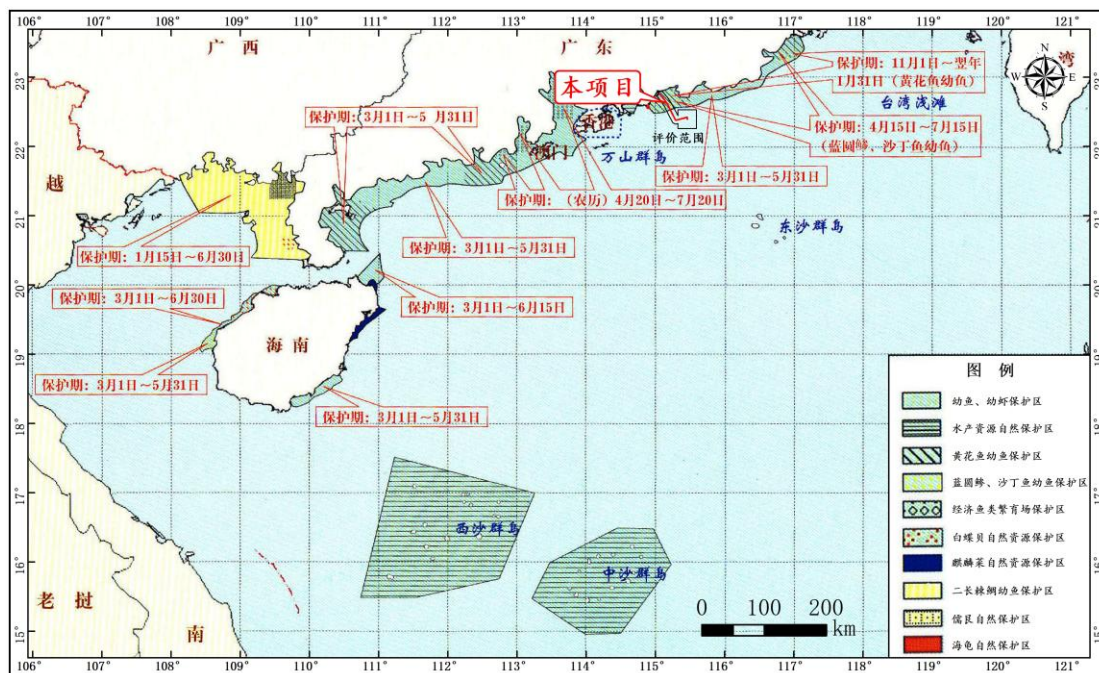


图 2.5.2-3 环境敏感目标分布图（南海国家级及省级渔业品种保护区分布图）

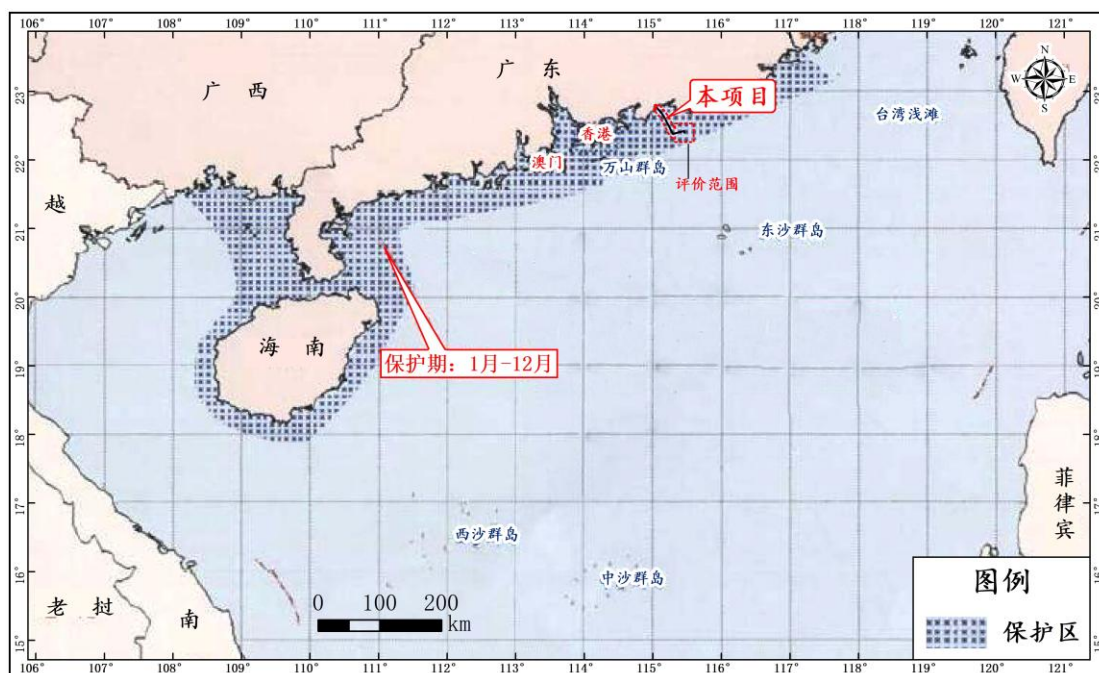


图 2.5.2-4 环境敏感目标分布图（南海北部幼鱼繁育场保护区）

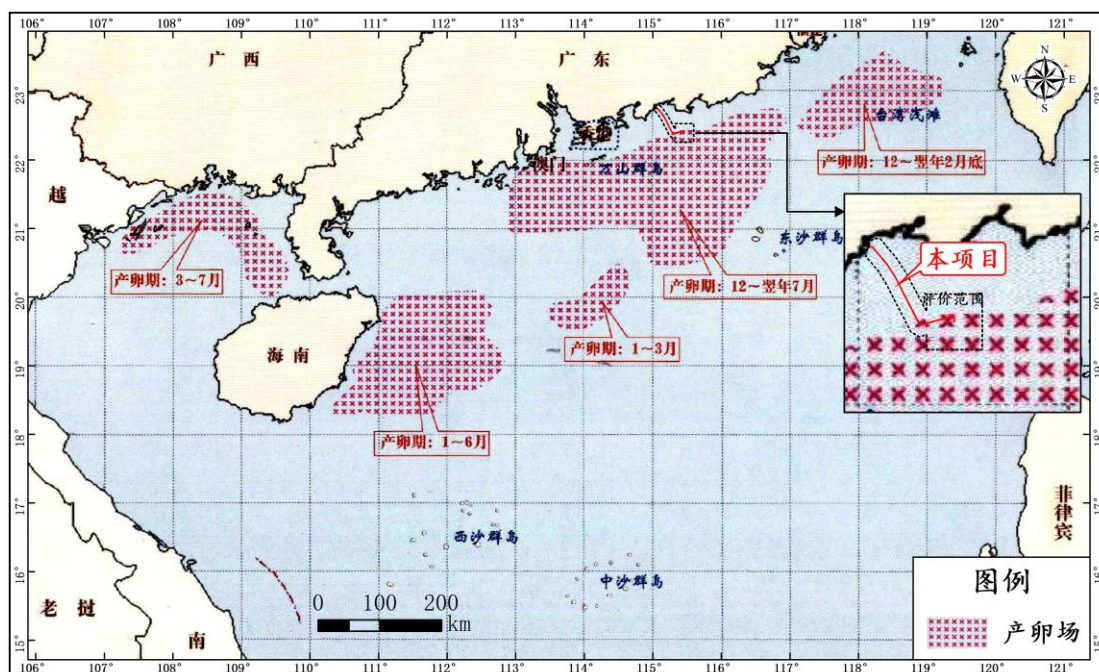


图 2.5.2-5 环境敏感目标分布图（南海中上层鱼类产卵场）

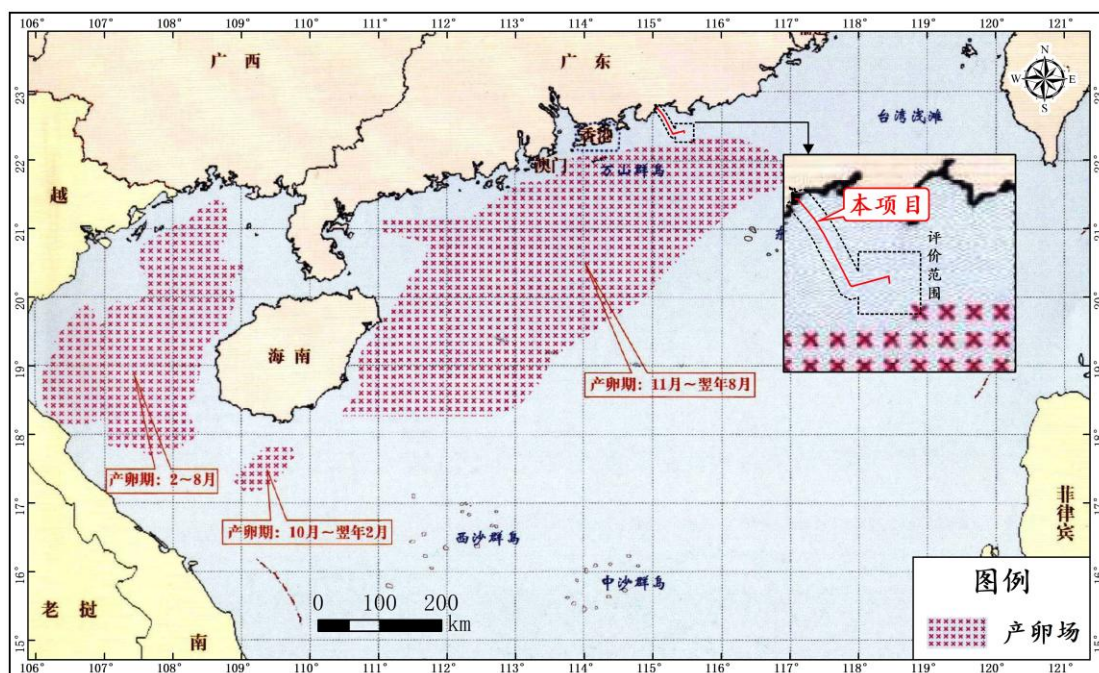


图 2.5.2-6 环境敏感目标分布图（南海底层、近底层鱼类产卵场）

图 2.5.2-7 环境敏感目标分布图（海岛及大陆自然岸线）

2.5.3 环境关注点

根据《广东省 2024 年近岸海域水质监测信息》《广东海事局关于发布广东沿海主要公共航路的公告》(2023 年)《汕尾市综合立体交通网规划(2021-2035 年)》《汕尾市现代化海洋牧场建设规划(2024-2035 年)》等,确定本项目评价范围内环境关注点包括:国控站、规划海洋牧场、锚地和航道航路。

表 2.5.3-1 本项目环境敏感目标一览表

序号	敏感目标		与本项目相对位置	关注对象
	类型	名称		
1	国控站	GDN14003	项目东侧,约 488m	海水水质
2		GDN14005	项目东侧,约 560m	海水水质
3	规划海洋牧场	江牡岛南海域启动区	项目东侧,最近约 2.9km	海洋水质、生态环境
4		红海湾中远海海域中期发展区二区	海缆穿越	
5		红海湾中远海海域中期发展区五区	海缆穿越	
6		红海湾中远海海域发展预留区二区	海缆穿越	
7		红海湾中远海风渔结合发展预留区	海缆穿越,升压站所在	
8	锚地	大型船舶临时避风锚地	项目东侧,最近约 0.8km	通航环境
9		1 号引航检疫锚地	项目西侧,最近约 1.7km	
10		2 号引航检疫锚地	项目西侧,最近约 0.9km	
11		装运危险货物船舶锚地	项目东侧,最近约 5.2km	
12	航道航路	小漠航道	海缆穿越	通航环境、水深、地形冲淤
13		鲘门航道	海缆穿越	
14		马宫航道	海缆穿越	
15		汕尾西线航道	海缆穿越	
16		大星山甲子航道	海缆穿越	
17		汕尾遮浪角至深圳大鹏湾	海缆穿越	
18		粤东沿海近岸航路	海缆穿越	
19		广东沿海内航路	海缆穿越	
20		深汕合作区小漠港进出港航路	项目西侧,最近约 4.7km	

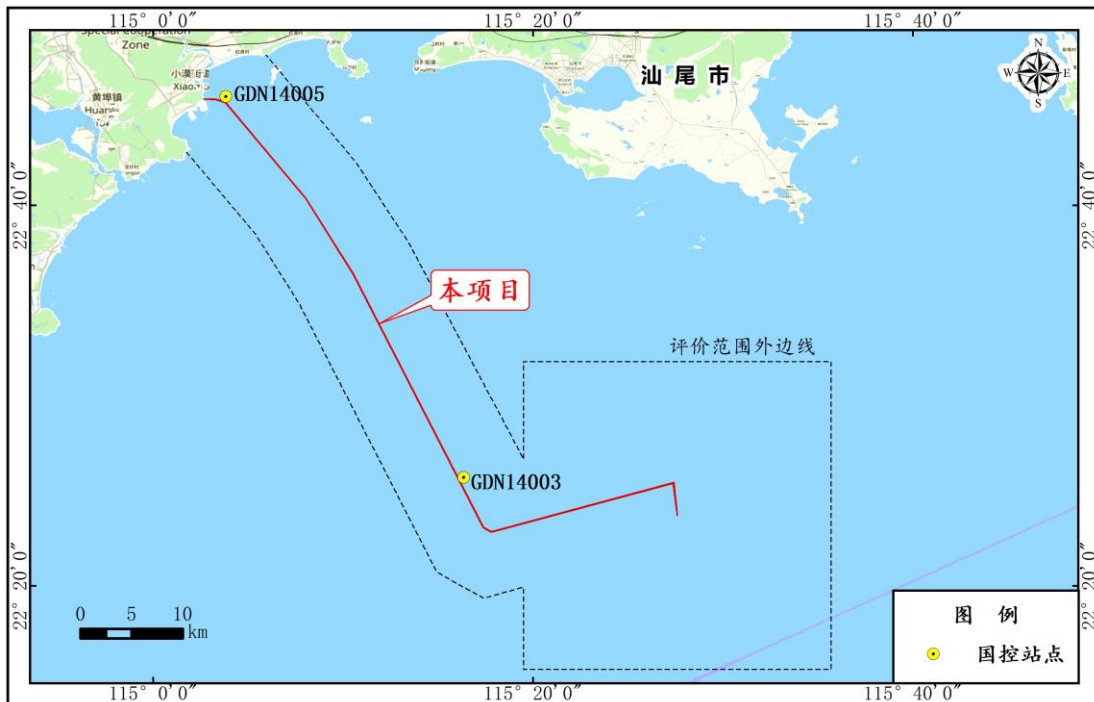


图 2.5.3-1 国控站点

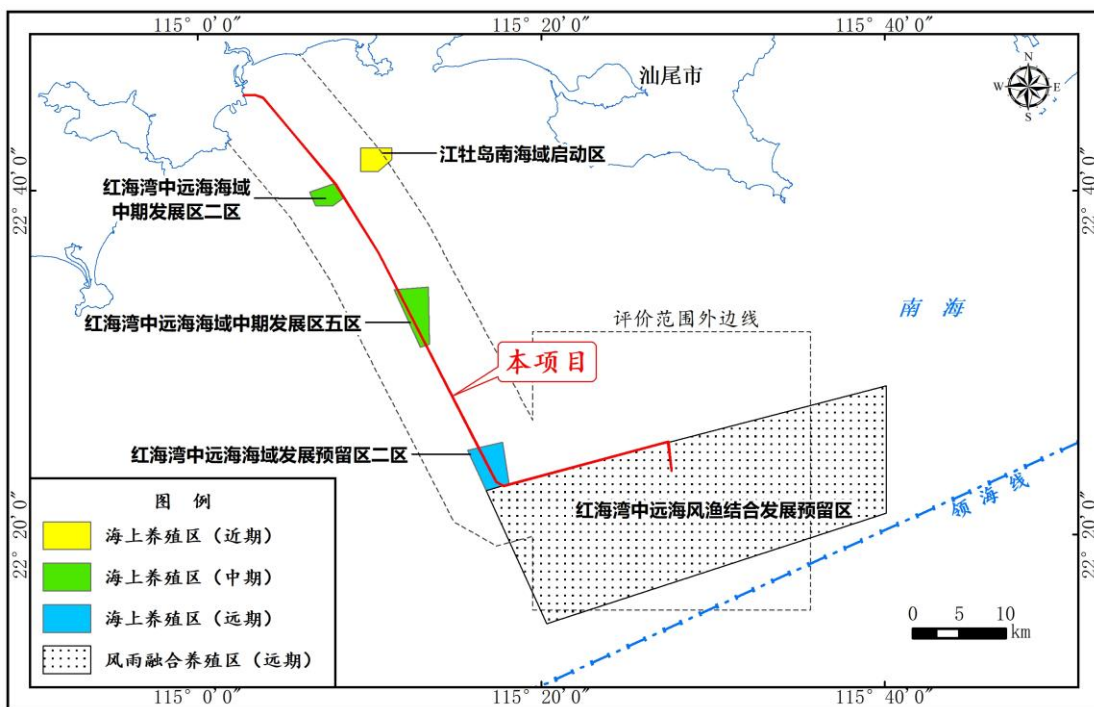


图 2.5.3-2 规划海洋牧场（数据来源于《汕尾市现代化海洋牧场建设规划（2024~2035年）》）

图 2.5.3-3 锚地、航道航路

3 建设项目工程分析

3.1 项目概况

3.1.1 项目基本情况

(1) 项目名称：汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目

(2) 建设单位：中广核新能源投资（汕尾）有限公司

(3) 项目性质：新建

(4) 项目投资额：本项目总投资 145462 万元

(5) 施工工期：本项目总工期计划为 14 个月

(6) 主要建设内容及规模：本项目拟建设 1 座 500kV 海上升压站（平台尺寸 62.0m×47.6m）和 2 回 500kV 送出海缆（单回长约 70.7km），服务于汕尾红海湾三海上风电项目和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目两项目的电能集中送出，合计送出规模 1000MW。2 回 500kV 送出海缆从海上升压站送出至陆上登陆点后接入陆上集控中心，经陆上集控中心就近送至变电网系统。

表 3.1.1-1 本项目评价内容一览表

类别	数量	位置
500kV 海上升压站	1 座	平台尺寸 62.0m×47.6m
500kV 送出海缆	2 回	500kV 海上升压站至登陆点，共 2 回，单回长度 70.7km
注：风机、集电线路、陆上集控中心不在本项目范围内。		

(7) 本项目与相关项目的基本关系

与本项目相关项目有汕尾红海湾三海上风电项目、明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目及红海湾海上风电集控中心项目。本项目现阶段由中广核新能源投资（汕尾）有限公司牵头建设，项目建成后，汕尾红海湾三海上风电项目和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目两建设单位各自独立运营。

各项目基本情况如下所示：

表 3.1.1-2 相关项目情况一览表

序号	项目	基本情况	建设/牵头单位
1	汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目	1 座 500kV 海上升压站和 2 回 500kV 送出海缆，送出规模 1000MW	中广核新能源投资（汕尾）有限公司

序号	项目	基本情况	建设/牵头单位
2	汕尾红海湾三海上风电项目	拟建总装机容量为 500MW，建设 12 台 16.7MW 风机、17 台 18MW 风机及 8 回 66kV 集电海底电缆	中广核新能源投资（汕尾）有限公司
3	明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目	规划装机容量 500MW，拟布置 26 台 18.8MW 固定式风机和 1 台 16.6MW 漂浮式风机	汕尾明阳瑞善风力发电有限公司
4	红海湾海上风电集控中心项目	陆上集控中心，由汕尾红海湾三海上风电项目、明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目、华润汕尾红海湾五海上风电项目和深能源汕尾红海湾六海上风电场项目共同配套建设	深能海洋能源（汕尾）有限公司

3.1.2 项目地理位置

本项目位于广东省汕尾市红海湾南侧海域，拟建的海上升压站位于汕尾红海湾三、四海上风电场址中间预留的通道，500kV 送出海缆由海上升压站出发，往西延伸后再往北至深汕特别合作区小漠镇。本项目所处行政区划见图 3.1.2-1 所示，送出海缆登陆位置见图 3.1.2-2 所示。



图 3.1.2-1 本项目所在行政区划图

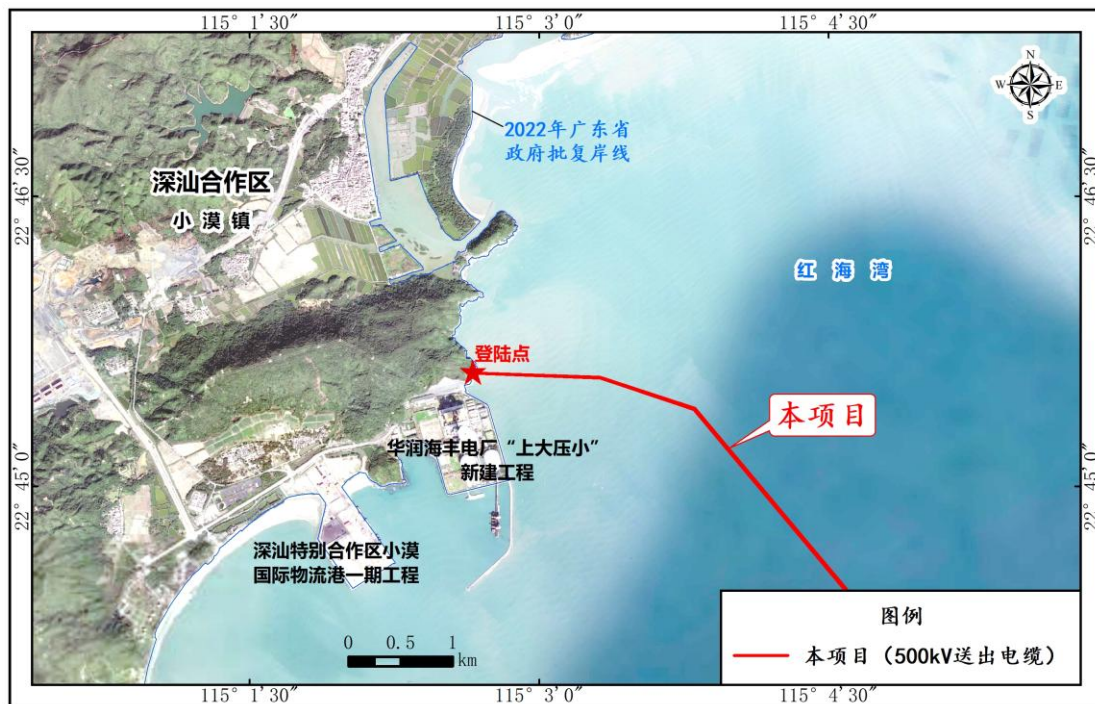


图 3.1.2-2 本项目送出海缆登陆点地理位置图

3.1.3 工程总体布局

本送出工程总送出容量为 1000MW，包括汕尾红海湾三海上风电项目 500MW 和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目 500MW。建设一座 500kV 海上升压站，布置在红海湾三、四风电场址之间，两风电场风电机组发出的电能，拟共采用电压等级为 66kV 的 16 回集电海缆线路（每个项目各 8 回），采用链形拓扑结构接至海上升压站。升压站拟布置两台 500/66kV 容量为 520MVA 的主变压器，500kV 侧采用 2 个线变组接线，66kV 侧采用两组单母分段接线。本项目海上升压站采用 2 回 500kV（三芯 $3 \times 800\text{mm}^2$ ）XLPE 绝缘海底电缆送至陆上登陆点，再转接陆缆接至陆上集控中心；陆上集控中心位于深汕合作区小漠镇，集控中心双解口华润小漠电厂至 500kV 深圳站线路接入电网。

工程总体布置见图 3.1.3-1 所示。

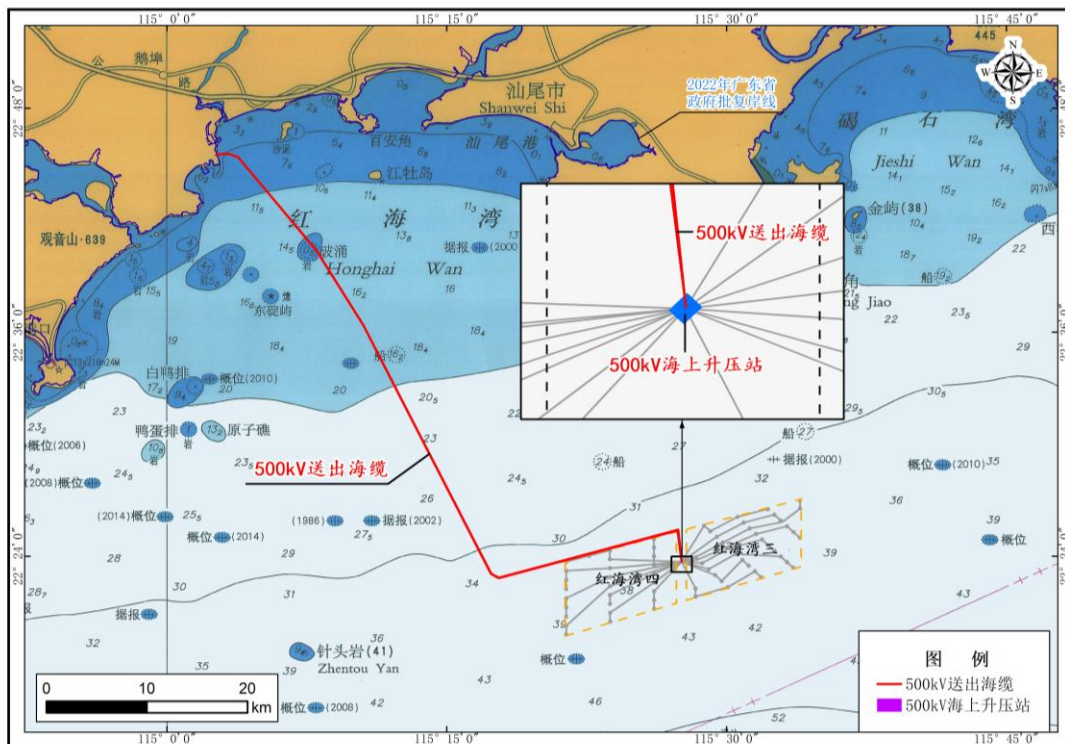


图 3.1.3-1 本项目总平面布置图

3.1.4 工程建设方案及内容

3.1.4.1 500kV 海上升压站

1、平面布置

本项目配套建设一座 500kV 海上升压站，海上升压站位于汕尾红海湾三、四海上风电场址中间预留的通道。海上升压站采用整体式布置，由上部组块和下部基础（包括桩基础、导管架）组成。上部组块由立柱、甲板、梁格和斜撑组成，其中甲板平台尺寸约 62.0m×47.6m，共四层；下部基础采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩。

2、结构型式

(1) 上部组块布置

海上升压站上部组块采用四层布置，平面尺寸约为 62.0m×47.6m，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 H 型钢 H1500、H1200、H1000 及热轧 H 型钢 H900、H700、HM600、HM500、HN400，次梁采用热轧 H 型钢 HN300 等。立柱采用 $\phi 1600$ 、 $\phi 1000$ 钢管，两层主甲板间斜撑采用 $\phi 610$ 、 $\phi 508$ 、 $\phi 406$ 和 $\phi 356$ 等钢管，底层甲板之上满铺 8/6mm 厚钢板，在立柱、撑

杆与主梁交点处管节点用 Z 向钢钢材 DH36 加强。

本项目海上升压站共四层布置，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、集装箱柴油机、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、左侧布置 66kV 配电装置，另一侧布置 500kV GIS、蓄电池室以及暖通机房。

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、低压配电室及暖通机房。

顶层：设有吊车、设备检修孔、水箱、通讯、助航设备（航空障碍灯、雾笛）等设备。

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。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。

海上升压站布置图详见图 3.1.4-1~图 3.1.4-4 所示。

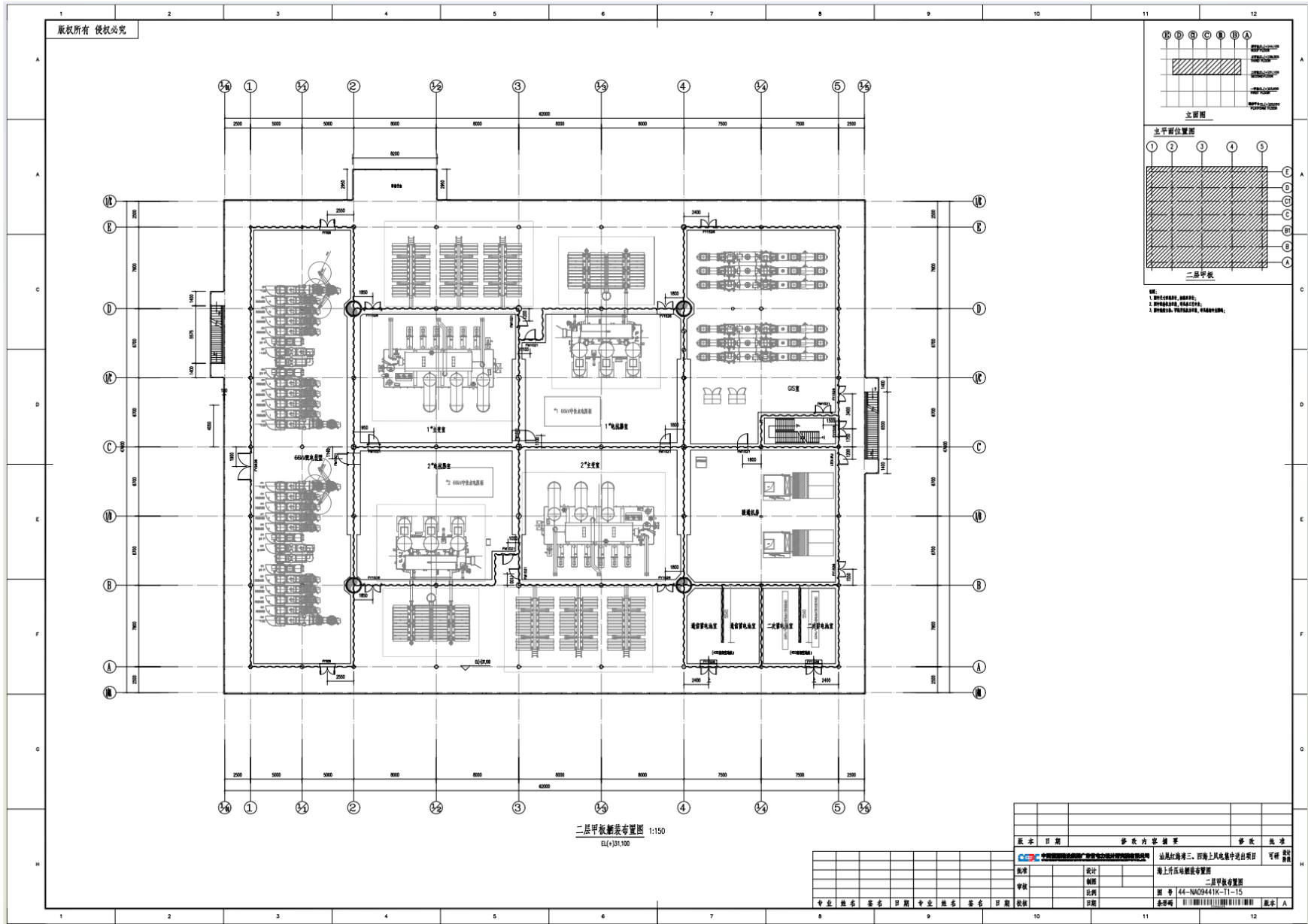


图 3.1.4-2 海上升压站二层甲板布置图

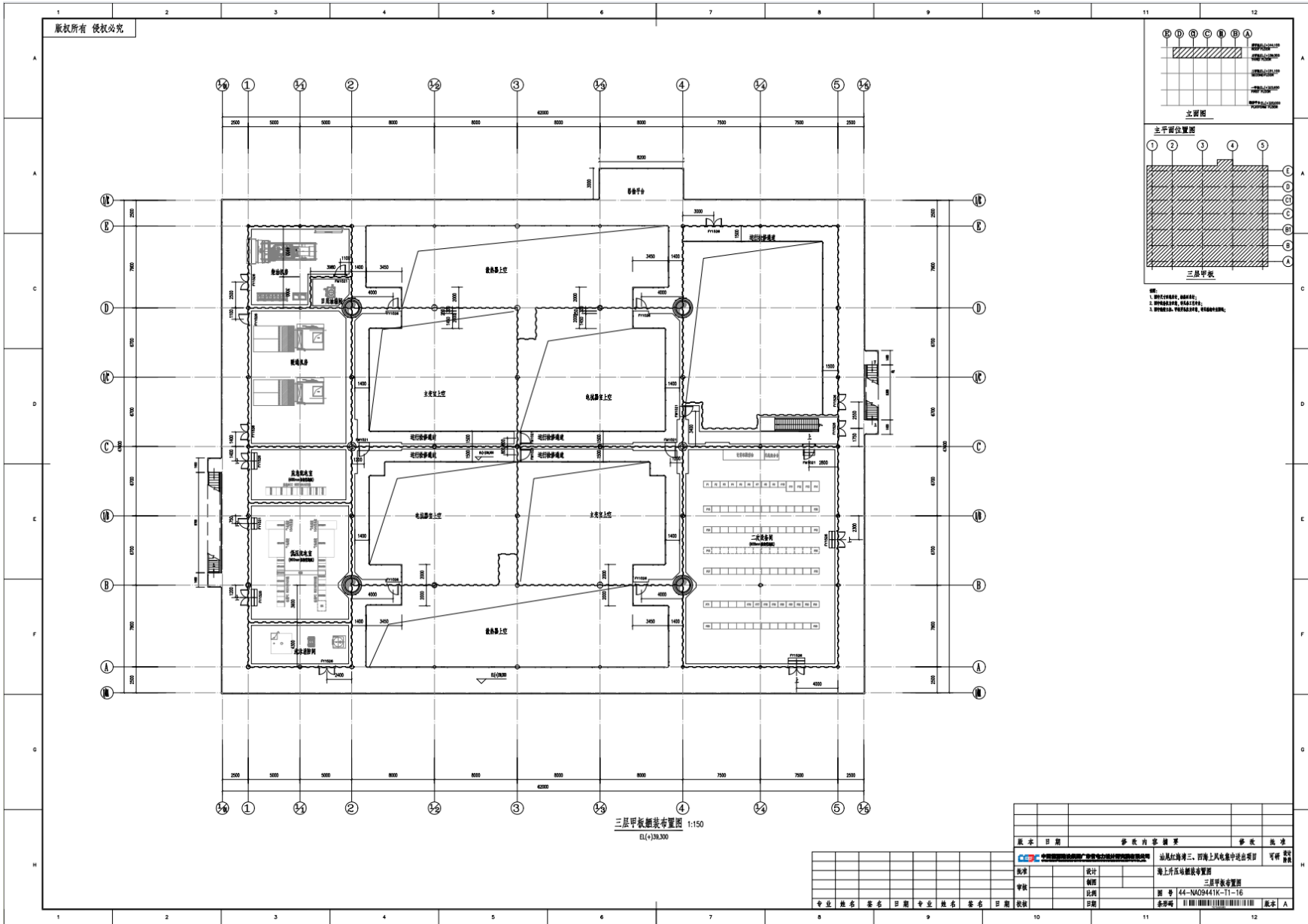


图 3.1.4-3 海上升压站三层甲板布置图

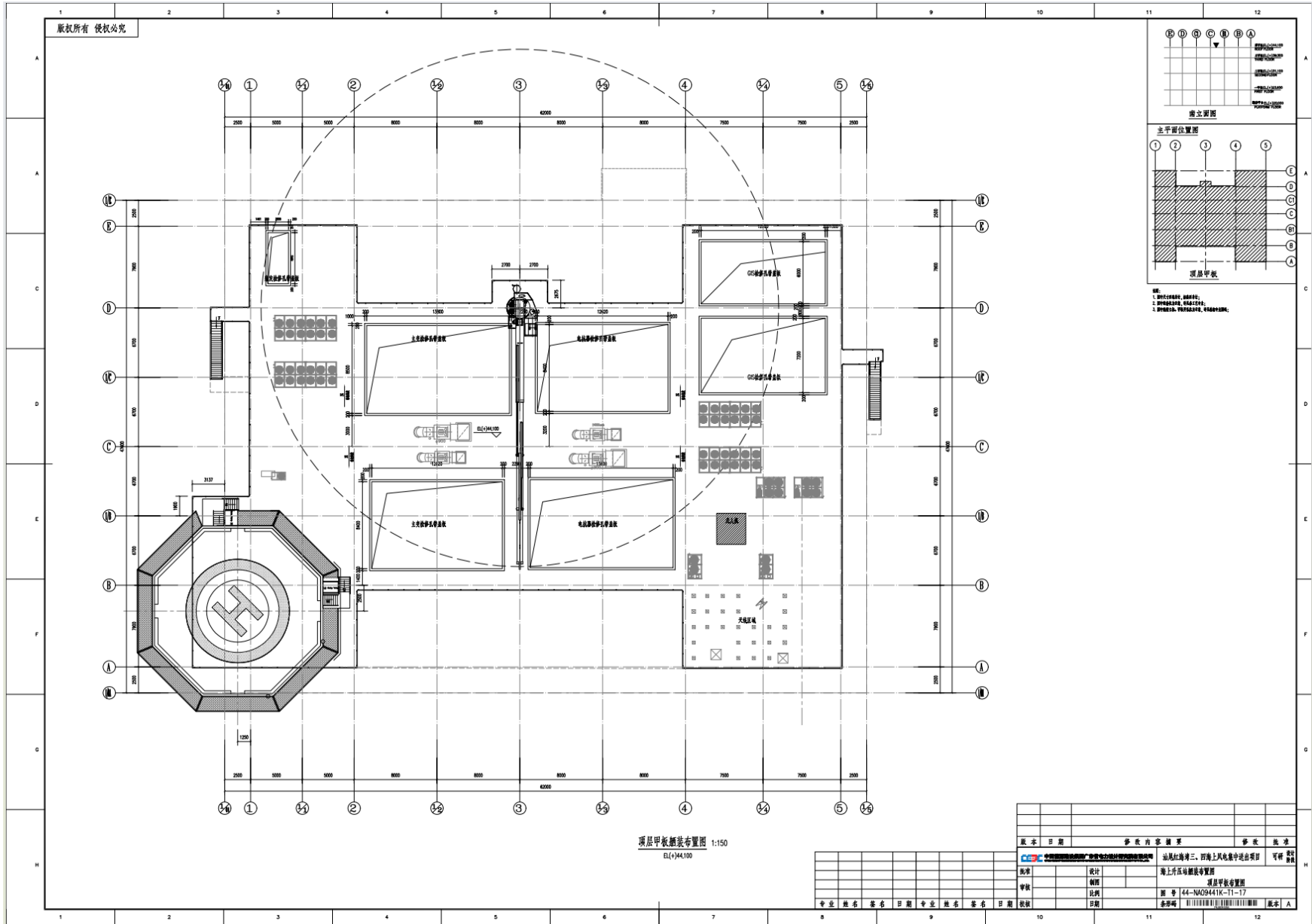


图 3.1.4-4 海上升压站四层甲板布置图

(2) 下部导管架基础

导管架采用 4 腿导管架型式，导管架 4 个面的斜度均为斜面，斜度 1:10。导管架顶标高 18.2m，底标高-40.0m。上部根开 32.0m×26.8m，底部根开 43.2m×38.0m。主导管采用 $\phi 2000$ 钢管，成矩形布置，在标高-39m、-10、15.2m 处设水平圆管 $\phi 800\sim\phi 1000$ 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 加强。导管架上设置靠船构件、登船平台等附属构件。导管架约重 2995t（不包括附属构件），导管架加上附属件重约 3818t。

海上升压站基础采用 $\phi 4200$ 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚范围为 50~80mm。升压站四根钢管桩长 101m，入泥 91m，单根桩重 660t，总重 2640t。

在海上升压站两侧沿导管架分别布置 $\phi 325\text{mm}$ 的 66kV 海缆保护 J 型套管和 $\phi 508\text{mm}$ 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。

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。

理是水泥浆与钢管桩表面之间的粘合和密闭摩擦的综合作用，以及水泥浆对于诸如剪切键一类机械装置的承压作用。

4、防腐设计

本次防腐蚀设计使用年限按 27 年考虑。若 27 年后海上升压站若还需运行，则需要对重防腐涂层加强维护或补涂新的防腐涂层。

本工程电化学防腐推荐采用外加电流阴极保护方法。外加电流系统主要由恒电位仪、辅助阳极、参比电极、电缆和监测系统组成。恒电位仪为系统提供稳定的直流电源，使结构物电位总处在最佳保护范围内，布置在导管架过渡段内平台上；辅助阳极用以输出保护电流到钢结构，抑制或减弱钢结构的腐蚀，通过法兰连接在导管架外壁上，或通过张紧式装置悬挂在导管架上，部件电缆通过电缆管连接到恒电位仪；参比电极采集风电基础钢结构的实际电位，通过法兰连接在导管架上，通过参比电极电缆连接到参比电极数据采集装置；电缆包含辅助阳极电缆、参比电极电缆、汇流电缆等，专用海水屏蔽电缆可靠连接各个部件；监检测系统基于有线信号传输数据通信方式实现远程数据采集，通过测试记录恒电位输出参数对阴极保护状态评定和报警，所有数据均传输至控制终端，整合在地图信息系统上，实现基于地图信息的阴极保护可视化管理。

升压站基础电化学防腐采用外加电流的保护方法，可将升压站基础结构（保护范围：水下、泥面以下）的保护电位维持在有效的范围内，并稳定在最佳值上。

表 3.1.4-1 升压站基础外加电流系统主要设备配置表

序号	设备名称	数量	备注
1	恒电位仪	1 台	
2	辅助阳极	8~12 套	圆盘状 MMO
3	参比电极	4 套	圆盘状高纯锌
4	电缆		辅助阳极电缆、参比电极电缆、汇流电缆等
5	监检测系统	1 套	含软件系统（与风机基础共用）

5、防冲刷设计

由于工程所在海域海流流速较小，水深较深，且海床表层主要为淤泥及粘土，在波浪难以影响海床底条件下，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，采用的预留冲刷深度暂定为 1.5D（D 为桩基直径，4.2m），即 6.3m。

3.1.4.2 500kV 送出海缆

1、平面布置

从登陆点出发避开近岸礁石分布区、华润海丰电厂，向东、东南方向延伸 2.0km，随后以近似垂直等深线的方向继续向东南延伸到达红海湾海上风电场场址北边缘，期间避开了海图显示礁石、锚地和生态保护红线，随后顺着场址北边缘向东延伸到达红海湾海上风电场场址三、四之间，最后向南方向延伸到达海上升压站。500kV 送出海缆布置 2 回，单回长度约 70.7km。

表 3.1.4-2 500kV 海底电缆线路拐点

编号	经度 (E)	纬度 (N)	累积长度 (km)	备注
1			0	登陆点
2			1.12	保障垂直登陆岸线，便于路由登陆施工
3			2.00	增大路由拐弯半径
4			13.78	避开海图显示礁石
5			22.27	保障与两锚地之间的安全距离
6			49.54	避开生态红线区
7			50.31	避开生态红线区
8			50.42	避开生态红线区
9			67.50	统筹管廊送出路径，避开海上风机布置
10			70.7	海上升压站

500kV 送出海缆拐点分布位置示意图 3.1.4-6。

图 3.1.4-6 500kV 送出海缆拐点分布位置示意图

2、海缆截面

本项目 500kV 海底电缆采用 2 回三芯海底电力电缆，型号 HYJQF41-F290/5003×800mm²，根据额定载流量计算结果，海缆各敷设段载流量均满足全容量送出要求。500kV 三芯海缆的结构如图 3.1.4-7 所示。

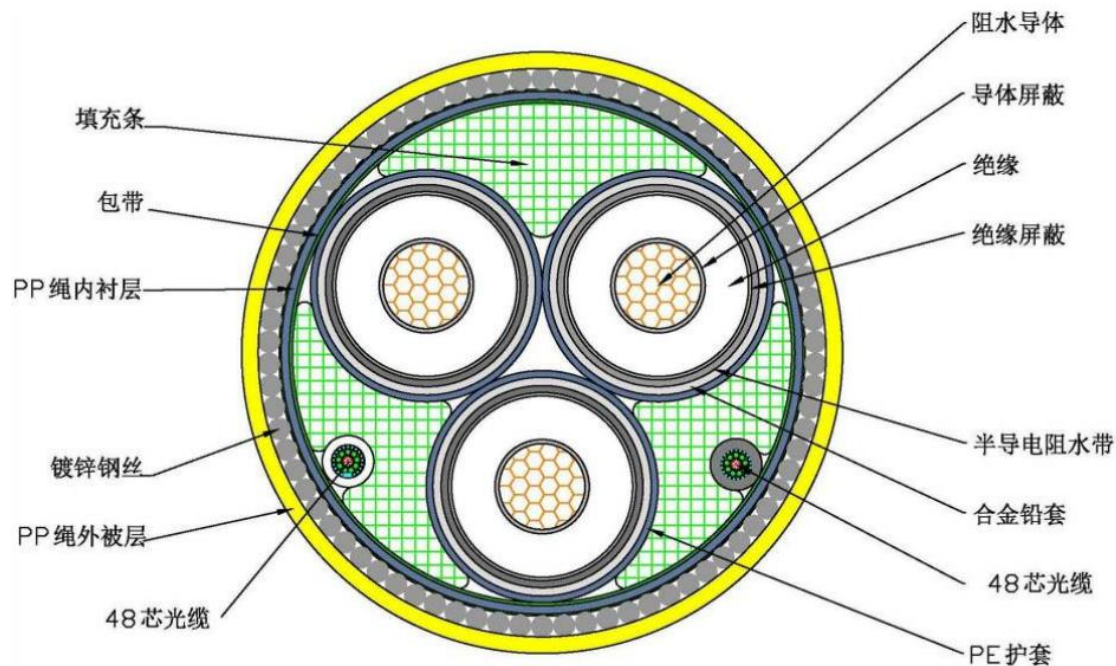
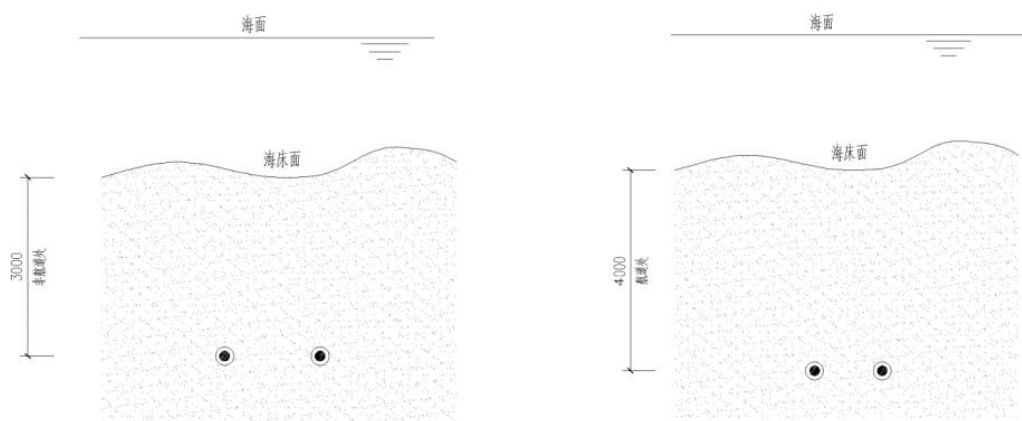


图 3.1.4-7 500kV 三芯电缆典型结构示意图

3、海缆埋深要求

本项目 500kV 送出海缆敷设采用深埋方式，其中穿越航道段海底电缆敷设深度 4m，非航道段海底电缆敷设深度为 3m。



非航道段 航道段
图 3.1.4-8 非航道段和穿越航道段海底电缆敷设断面图

4、海缆防护设计

(1) 海缆防护

连接海上升压站与登陆点的 500kV 海底电缆，拟按照路由勘查后确定的路径和登陆点进行布置及根据海底地形确定的敷设分区方式，分别采用海上专用电缆敷设船、两栖挖掘机进行电缆敷设。建议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。根据中华人民共和国国土资源部令第 24 号《海底电缆管道保护规定》, 本工程海底电缆敷设竣工后 90 日内, 建设单位应及时将海底电缆的路线图、位置表等注册登记资料报送当地县级以上人民政府海洋行政主管部门备案, 并同时抄报海事管理机构。省级以上人民政府海洋行政主管部门每年会向社会发布海底电缆管道公告, 划定海底电缆管道保护区, 禁止在海底电缆保护区内从事挖沙、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆安全的海上作业。

2) 根据国家能源局印发的《海上风电场交流海底电缆选型敷设技术导则》(NB/T 31117-2017), 本工程潮间带海缆埋深要求不小于 1.5 米; 近海海域海缆埋深要求不小于 2m。对于跨越航道、锚地等与航运关联的海域的海缆要求埋深不小于 3 米。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。国家鼓励海底电缆所有者对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识。划定海底电缆防护区: 海港区为海底电缆两侧各 50 米。电缆防护区周围还应设置禁锚标志, 以提醒过往船舶不得在防护区内锚泊。考虑到大型船只紧急抛锚的概率极低, 海底电缆可采取全程埋设并采用套管保护、加盖保护件(碎石、混凝土件、沙包等)的保护方式。设置标识时, 应向县级以上人民政府海洋行政主管部门备案。同时, 可以对海底电缆管道采取定期复查、监视等其他保护措施。对于本工程, 在此建议进行航道安全论证专题工作, 明确现有航道和远期规划航道对电缆埋深、警示标志, 警示灯等装置的要求。

3) 海缆敷设完成后, 建议在海缆 J 型管出口处采取抛填碎石或水泥压块等措施进行海缆保护。根据最新研究进展, 对于在该区域, 建议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, 目前国内所应用的弯曲限制器大多从国外购买, 交货周期长, 费用高, 国内弯曲限制器的设计与制造刚刚起步。



图 3.1.4-9 水泥压块保护示意



图 3.1.4-10 弯曲限制器示意

4) 登陆段海缆是局部无法完成敷设的路径段，登陆段海缆由于环境及人为

活动的影响，出现故障的可能性较高。为了提高登陆段海缆的安全性，海缆敷设后应按要求进行保护作业。比如终端至低潮水位线段的海缆保护，海缆沟槽采用两栖挖掘机及人工开挖结合的方式进行预先开挖，缆沟开挖深度大于 2 米，按照实际情况放坡，沟底填砂操平后将海缆敷设，并及时进行回填施工。无法开挖的区域，可以采用预先爆破开槽、或是覆盖石笼或抛石保护等方式。海缆登陆段可采用球墨铸铁套管保护，陆上段，海缆敷设在预制混凝土槽内，再回填细沙，盖上盖板，埋设深度取 1.0m。



图 3.1.4-11 海缆保护套管

5) 在工程运行过程中，若因海床整体演变等原因造成海底电缆外露，需根据外露区域的工程地质条件选择合适的后续保护工程，如抛填级配块石，设置预制水泥盖板，布设钢丝铅笼网兜等设施。

(2) 海缆保护装置

海缆保护装置，应用于海上升压站 J 形管下端口时，其内外径尺寸依据海缆直径和 J 形管内外径设定，采用高强度、耐海水腐蚀材料。主要用于 J 形管海底

出口将海缆、海管固定在 J 形管中心位置，防止海缆与管壁的因海浪冲击摩擦碰撞、以及海缆敷设处被海浪冲刷而形成海缆悬空受力，充分保护海缆。

目前海上风电场项目广泛采用哈夫式弯曲限制器，主要利用机械限位方法，实现防止海缆过度弯曲功能。

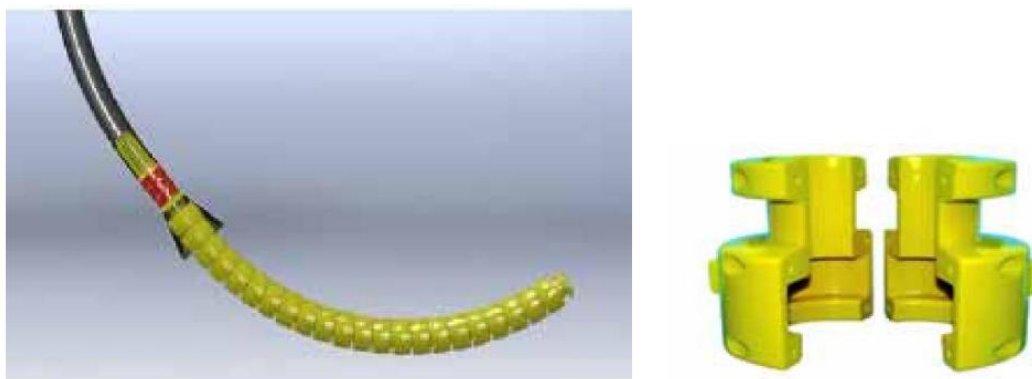


图 3.1.4-12 哈夫弯曲限制器

柔性海缆保护方案的主要呈流线性管型结构，单节保护管间采用端部镶嵌的子母法兰通过顶丝进行连接。



图 3.1.4-13 柔性海缆保护管

新型海缆保护方案具有以下特点：

①单节长度因项目需要及运输方案确定，目前单节一般为 12~16 米，有效减少零配件数量，增加方案可靠性；各节间采用镶嵌的子母法兰通过顶丝锁死，安

全可靠；

②内置加强层结构，增加方案的防弯曲，防冲击及抗磨损性能，有效保证海缆使用寿命；

③方案外径小，受波浪影响小，安装简便。

柔性保护装置主要应用于高桩承台和单桩基础等型式的海上风电项目，考虑到目前全场推荐采用导管架基础，因此本阶段推荐采用弯曲限制器作为海缆保护装置。建议下一阶段综合考虑海缆保护装置的适用条件、安装便利性、使用寿命、造价经济性等多方面因素，选用推荐的海缆保护装置。

3.1.5 主要设备清单

本项目的设备清单如下表 3.1.5-1 和表 3.1.5-2 所示。

表 3.1.5-1 主要设备清单（500kV 海上升压站）

序号	名称	型号和规格	单位	红海湾三	红海湾四	公用	备注
一	500kV 变压器						
1	主变压器	二级能效，SSZ-520000/525，520/520/2MVA 有载调压 525±8×1.25%/66/10.5kV YN,YN,d11	套	1	1		厂供
2	主变低压中性点电阻柜	33.2Ω	套	1	1		
3	高压侧电缆护层保护接地箱	3 进 1 出，316L 不锈钢防腐 CX，带避雷器	套	1	1		
4	低压侧电缆护层保护接地箱	9 进 1 出，316L 不锈钢防腐 CX，带避雷器	套	2	2		
5	在线监测设备	含油中气体光声光谱或红外光谱、变压器局部放电监测、直流偏磁监测	套	1	1		
二	高压电抗器						
1	500kV 高压电抗器	525kV250MVar（三相一体）	套	1	1		
2	高压侧电缆护层保护接地箱	3 进 1 出，316L 不锈钢防腐 CX，带避雷器	套	1	1		
3	在线监测设备	含油中气体光声光谱或红外光谱、局部放电监测、直流偏磁监测	套	1	1		
三	500kV 配电装置						
1	500kV GIS 设备	525kV，4000A，63kA 线路变压器组接线，1 个断路器 间隔	套	1	1		
2	在线监测设备	含微水监测、局部放电监测、气体泄露及环境监测	套	1	1		

四	中压配电装置						
1	66kV GIS	66kV 31.5kA 1250A	套	8	8		
2	66kV GIS	66kV 31.5kA 3150A	套	2	2		
3	66kV GIS	66kV 31.5kA 3150A	套	2	2		母联间隔
4	66kV GIS	66kV 31.5kA 3150A	套			2	联络间隔
5	66kV GIS	66/√3:0.1/√3:0.1/√3:0.1/3:0.1/3kV; 0.2/0.5(3P)/3P/6P	套	2	2		母线设备
6	在线监测设备	含微水监测、局部放电监测、气体泄露及环境监测	套	1	1		
五	500kV 电缆						
1	500kV 电缆（主变 500kV 出线、500kV 并联电抗器出线）	1×800mm ² , 290/500kV, XLPE 绝缘	米	500	500		（主变/电抗器 500kV 出线）
2	500kV 电缆终端头	户内插拔式	套	12	12		单相
3	500kV 电缆直接	3 进 1 出, 316L 不锈钢防腐 CX	套	2	2		
4	接地箱						
5	接地线	ZAJD-YJY-8.7/15kV 1×300mm ² 接地电缆	米	240	240		
六	10kV 配电装置						
1	10kV 开关柜	12kV 断路器柜 1250A, 31.5kA	面	1	1		
七	10/66kV 电缆						
1	66kV 电缆（主变 66kV 进线）	ZA-YJLW03-38/66-1×800	km	1	1		
2	66kV 电缆（主变中性点引出）	ZA-YJLW03-38/66-1×240	km	0.2	0.2		
3	电缆直接接地箱	9 进 1 出, 316L 不锈钢防腐 CX	套	3	3		
4	电缆护层保护接地箱	9 进 1 出, 316L 不锈钢防腐 CX, 带避雷器	套	1	1		
5	10kV 电缆	YJV22-3×120, 6/10kV	km	0.2	0.2		
6	66kV 电缆终端头	户内插拔式	套	56	56		单相
7	接地线	ZAJD-YJY-8.7/15kV 1×240mm ² 接地电缆	米	600	600		
8	10kV 电缆终端头	户内冷缩式	套	6	6		
八	海上升压站站用电系统						
1	站用变	SCB18-1250/10, 1250kVA 10.5±2×2.5%/0.4kV, D _{yn} 11	套			2	
2	低压配电柜		面			25	
3	检修箱		个			15	
4	配电箱	IP54, 多种规格, 船用型	个			10	
九	应急电源						

1	应急柴油发电机	600kW, 400V	套			1	配套主油箱满足168小时额定油量
2	调试/检修柴油发电机	100kW, 400V	套			1	
十	照明及通风系统						
1	灯具、开关、插座、导线、保护管等		项			1	
2	开关、插座、导线、保护管等		项			1	
3	配电箱	防护等级 IP65, 防腐等级 WF1, 0.4kV	个			20	
十一	电缆敷设						
1	船用低压电缆	CJPJR85/SC-0.6/1kV (阻燃) 柔性, 多种规格+ CJPJR85/NS-0.6/1kV (耐火) 柔性, 多种规格	km			12+5	
2	电缆桥架	梯级式带封盖、托盘式带封盖、槽盒, 316L 不锈钢 (规格按需, 含弯通、三通、四通、垂直三通、调角片、附件)	吨			80	
3	支吊架系统	热浸锌槽钢、角钢, 配梁夹、射钉、锁扣、螺栓等连接附件	t			80	
4	保护管		项			1	
十二	接地						
1	接地铜排	-40x5	km			6	
十三	防火封堵	按进口产品计费	项			1	
十四	雾笛障碍灯		套			1	共用
十五	金具		项			1	
十六	安装材料		项			1	
十七	行车						
1	电动双梁行车	5t	套			2	66kV GIS
2	吊机	1t	套			2	底层吊机
3	吊机	5t, 20m	套			1	顶层吊机

表 3.1.5-2 主要设备清单 (500kV 送出海缆)

序号	名称	型号和规格	单位	红海湾三	红海湾四	公用	备注
1	500kV 海底电缆	290/500kV, XLPE 绝缘, 光电复合, 钢丝铠装 3×800mm ² +SM2x48C	km	75.5	75.5		
2	海缆固定卡具	与 500kV 海缆对应规格配套	项	1	1		
3	500kV 电缆终端头	GIS 终端, 与 500kV 海底电缆配套单相	个	3	3		与陆上连接用
4	500kV 电缆终端头	GIS 终端, 与 500kV 海底电缆配套单相	个	3	3		与海上升压站 GIS 连接用

5	500KV 海缆锚固装置	与海缆配套	套	2	2		
6	海缆弯曲限制器+中心夹具	500kV 海缆配套长度不小于 20m	套	1	1		
7	500KV 海缆阻火材料	防火包带、防火阻泥, 进口	项	1	1		
8	接地电缆	ZA-JD-YJV-8.7/15kV-1×240mm ²	m	500	500		500kV 海缆用
9	直接接地箱	316L 不锈钢, 3 进 1 出	套	2	2		500kV 海缆用
10	电缆沟组合式支架	[10 镀锌槽钢	项	1	1		
11	电缆沟支架接地	Φ 12 镀锌圆钢	km	1.12	1.12		
12	光纤接续盒	二进二出	套	1	1		

3.1.6 项目施工方案

3.1.6.1 施工工艺及方法

1、海上升压站施工

海上升压站上部组块在加工现场整体制作完毕后, 现场进行一次性吊装。

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、导管架的制作及运输

本阶段选择在陆域(工程周边区域内的大型钢结构加工企业或船厂类企业)进行钢管桩及导管架加工制作, 后采用 15000t 级以上的驳船及 6000HP 及以上动力配套拖轮进行运输, 并在海上进行安装施工。

(2) 导管架沉放施工

本项目所在海域平均水深 40m, 不存在厚淤泥层, 地质条件稳定, 采用四桩导管架基础可满足支撑要求, 无需使用辅助桩。

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、沙石料等, 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装吊重约 3818t, 按照起重机 85%起重保证率的设备性能要求, 本阶段初步选择 5000t 级以上全旋转浮式起重船进行导管架的沉放工序。导管架安装到位后, 应及早跟进沉桩施工, 以免导管架在风浪作用下滑移, 超出偏差要求。

为适应区域表层淤泥较厚，地质承载力较小的情况，本工程导管架设计时已采取在导管架与地基表层接触区域设置防沉构件等措施来保证导管架的初步沉放精度达到控制要求。基础导管架的调平则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。

升压站基础导管架施工见图 3.1.6-1 所示。

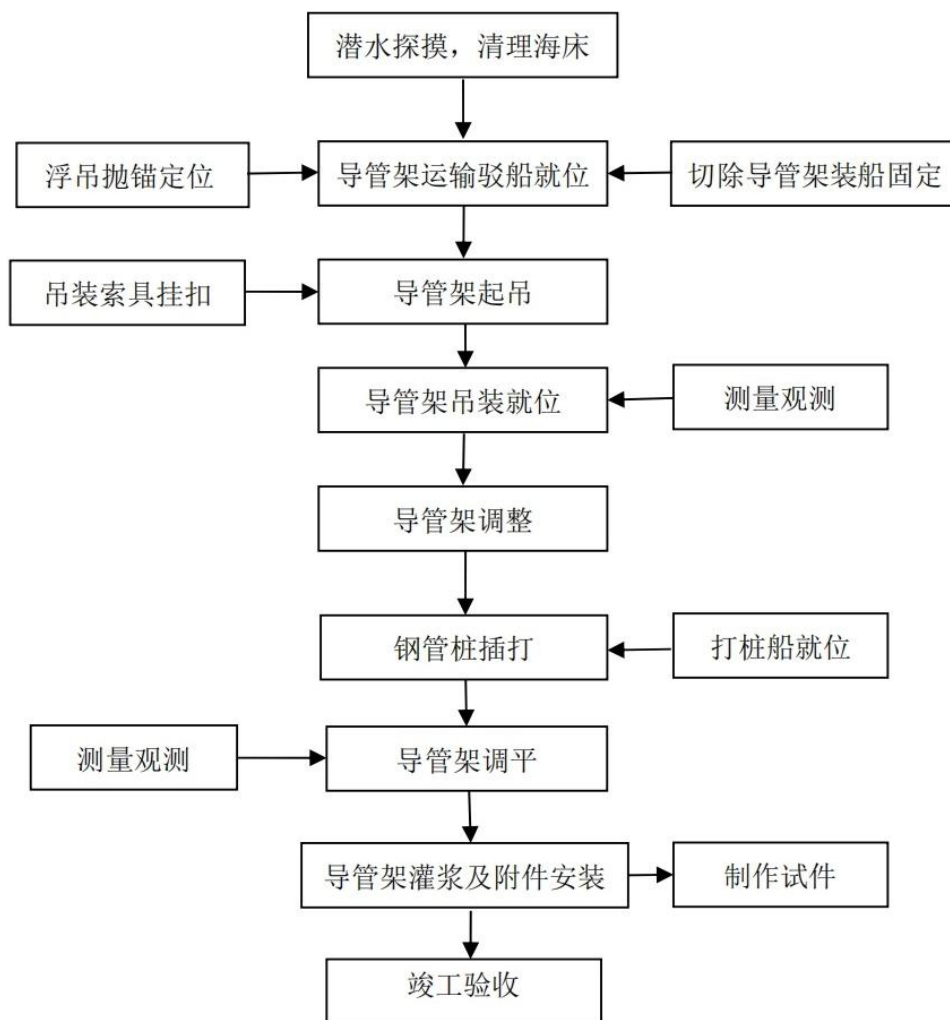


图 3.1.6-1 升压站桩基础导管架施工流程图

(3) 钢管桩沉桩施工及连接段灌浆

本项目海上升压站基础区域平均水深约为 40m（平均海平面为基准），满足大部分工程类船舶的正常航行与施工对水深条件的要求。为保证管桩的加工与施工质量，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。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 型液压打桩锤作为首选桩锤。

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，用灌浆泵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，用软管伸入导管架桩靴内部，利用灌浆的自重挤出空气达到密实，待浆液从顶部溢出后即可停止灌浆并迅速拔出软管。灌浆时需注意以下事项：

①导管架腿柱的底部应采取防止漏浆和隔绝外部海水与泥土进入的措施或使用密封装置；

②灌浆设备应具有连续工作能力；

③在灌浆时保持灌浆的压力；

④用比重计测量导管架上部与桩之间的环缝出浆的密度，确保密度达到设计要求；

⑤灌浆应连续进行，当必须间歇时，间歇期宜短，并应在前层凝结之前。

（4） 升压站上部组块制作

各电气设备按照功能需求设置在不同隔层范围内，本工程升压站上部组块结构类同于海上石油类钻井平台上部组块结构，因此本阶段上部组块结构参考成熟的钻井平台上部组块结构的施工方案进行考虑，一般都在加工现场整体制作完毕后，现场进行一次性吊装。

根据类似工程实际的操作模式，为尽量减小现场的安装次数，避免现场焊接所可能造成的质量缺陷，同时减少海上设备安装调试时间，海上升压站上部平台采用陆上总装的方式，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。

海上升压站的主体设备是电气设备，因此在钢结构制作过程中需要结合电气设备的到货时间来进行电气设备安装。

（5） 升压站上部组块运输与安装

本项目升压站钢结构平台与内部电气设备组合形成整体的上部组块总重量

较高，国内较少起重船施工能力满足其起吊安装要求，故建议组块整体通过滑道或模块车，配合可调载自航驳船，依次进行装船作业。

运输用船舶应尽量保证升压站上部组块的整体边界在船舶型宽范围内，尤其应保证底部四根主柱位置在船舶型宽有效范围内。考虑运输稳性要求，推荐选用20000t级自航驳船进行运输，并对运输船舶增加临时辅助固定装置，降低运输过程中的风险，增加运输过程中的可靠性。

滑移装船作业流程如下：

①船舶到达锚地后，按滚装压载水调节方案对各舱水量进行预调节，船舶吃水位置调整到预定状态；

②船舶在码头采用“丁”字形的靠泊方法，船舶艏部靠泊码头前沿；

③调整船舶位置，将船舶的中心线与码头预定的装货中心线对准；

④按照“靠泊系缆图”将船舶系泊；

⑤滑移作业前，运输驳船船尾与码头滑移点对齐，调整好船舶高度和方向后，用缆绳进行固定可靠后在码头滑移点与船甲板交界处铺设滑移钢轨。

⑥一切工作准备就绪后，等待潮位到预定的高度时，船舶艏部与码头平齐；

⑦船舶艏部与码头平齐后开始货物的滑移作业；

⑧在货物滑移当中，按“货物滚装压载水调节方案”对相关舱位持续调节舱水，使船舶艏部与码头保持平齐状态。



图 3.1.6-2 海上升压站运输示意图

施工单位应对上部组块内所有设备、线缆、管道和附属构件进行临时的加固和固定，以保证上部组块在运输和安装过程中，任何设备、线缆、管道和附属构件不发生过大的变形和结构损坏，保证这些设备、线缆、管道和附属构件在安装后能够正常工作。上部组块内所有能够移动的设施，均应采取临时固定措施，并且主变、GIS 等重要设备应设置临时支撑措施。海上升压站上部组块滑移上船后必须及时进行海绑件绑扎作业，海上升压站上部组块绑扎主要采用刚性绑扎与柔性绑扎相结合的绑扎形式。

根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸要求，选择 10000t 级及以上起重能力的浮式起重船进行组合体的安装工作。目前国内的振华 30 号（12000t）可满足本升压站上部组块的起吊工作，但船机可选裕度较小，且考虑近年来行业抢装潮对大型船机资源的档期影响，建议项目建设方在项目前期阶段尽早锁定目标船机档期。目前国内已经成功吊装的多个海上升压站均无障碍一次性吊装成功，积累了比较丰富的经验。

2、海缆敷设施工

本项目海缆敷设为海上升压站与登陆点的 500kV 送出缆。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，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 4m，场内海缆敷设深度为 3m，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 5m/min。

常规海缆敷设主要施工工艺如下图 3.1.6-3 所示。

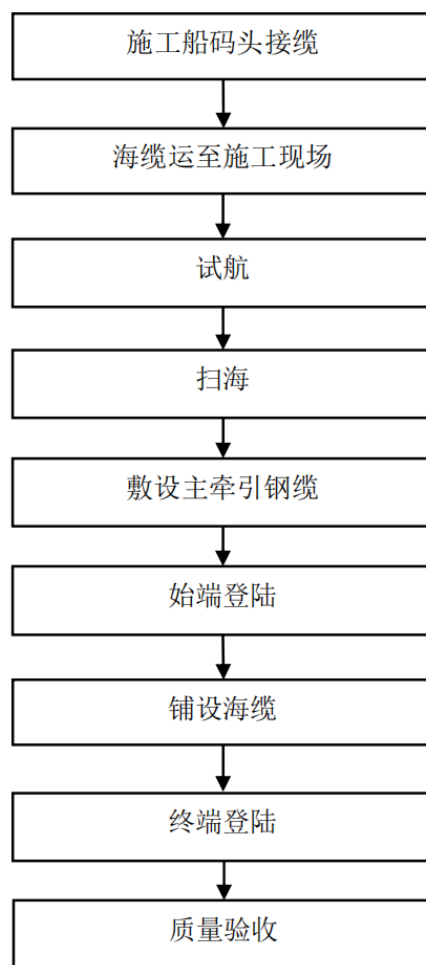


图 3.1.6-3 海缆敷设施工工艺流程图

(1) 施工准备

工程前期，需办理海缆施工专项许可证书以及施工许可证等文件，确保海缆工程合法，有效；办理期间还需要得到相关部门的配合，在此期间可以先进行以下准备工作：

1) 现场调查

现场确认登陆位置和登陆段电缆路由，复查施工区域的水文气象情况，特别是根据流向流速、潮高、潮时等来计算确定施工船施工时就位的最佳位置和最佳时间。同时安排专人收集权威的当地海域气象预报，做好安全应对工作，安装土建监控装置等系统建设。在施工船抵达施工现场前，利用 GPS 测量系统对路由两端登陆点以及工程的各主要控制点进行测量复核。

在施工过程中的测量，利用海缆埋设监测系统对海缆的具体位置及埋设装置进行监控。施工有关数据的采集主要通过埋设犁倾角传感器、电子罗经、姿态传

感器、水深传感器、计米器、水泵压力传感器、电缆张力传感器、GPS 导航定位等组成。其中倾角传感器、姿态传感器、水深传感器在施工过程中能显示当前埋设犁在海底的姿态、当前的水深以及海缆埋深情况，电子罗经、GPS 定位系统则在施工的过程中直观的反映当前的船位和埋设轨迹及埋设当前数据。这些数据都将为施工提供依据，并根据实际情况来调整施工方法，确保海缆的安全以及施工的质量。

2) 海缆过驳

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，海底电缆的过缆索作业方式可分为整体吊装和散装过缆。

整体吊装是利用运输船上的起吊机或浮吊，将整盘海缆连同缆盘由运输船吊至施工船甲板上，再将电缆盘与甲板联结固定，并在施工船甲板上搭设其他退扭设施。整体吊装要求缆盘强度高、还要配备专用大型吊机，但其操作较为简单，适用于短距离重量轻的海缆，而长距离、大截面的海缆，其整体吊装成本高，不适宜采用这种方式。

散装过缆地点为海缆生产厂家码头或施工现场。海缆在过驳前首先厂家须对海缆进行出厂检验，对装载上船的海缆进行性能检测，包括逐根进行直流耐压、绝缘电阻、电容等测试；待测试符合设计标准后方能进行过驳施工。



图 3.1.6-4 海缆散装过缆示意一

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 3.1.6-5 海缆散装过缆示意二

3) 路由扫海

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。

4) 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。

5) 敷设主牵引钢缆

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。

(2) 海缆敷设

由于船舶有吃水深度，一般不能直接到达陆地登陆点，海缆敷设过程可分为始端登陆、中间段敷埋、终端登陆三个主要阶段。

1) 始端登陆

海底电缆在升压站登陆，需穿过与基础固定的“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。

2) 中间段敷埋

本工程推荐采用边敷边埋方式进行海缆敷设，推荐采用具备一定自航定位能力的敷设方式。

敷设施工时，施工船根据 DGPS 定位预先设置设计路由，控制船舶移动。施工船前进的同时拖曳埋设机向前，将海缆边敷设边埋深。埋设机与船舶之间的牵引钢丝绳上设有导缆笼，海缆敷埋入水角度控制在 $45\sim 60$ 度左右，海缆全程从导缆笼内通过，降低了海缆施工中所受的张力，也防止施工中海缆打扭。

海缆敷埋期间，施工船指挥组通过电缆敷埋导航定位系统及埋深监测系统监控海缆埋设实时坐标、埋设机水下姿态和海缆埋深情况。

3) 终端登陆

工程施工应根据现场实际情况选择，登陆前在两登陆点的路由轴线上挖设绞磨机地垅、在登陆的滩涂上按设计轴线敷设海缆登陆的牵引钢丝，并在海缆登陆路由沿途设置专用滑车及转角滑车，以减少海缆登陆时的摩擦力。准确测量登陆长度后，在施工船上截下余缆，并对截断海缆两端进行铅包封堵工作，防止海缆截断后外界环境对电缆造成电气性能及绝缘影响，确保海缆埋设及后续工作质量。海缆截断封堵结束后，进行海缆的终端登陆。

电缆始端登陆前，在高潮位时将施工船锚泊就位在登陆点附近，以减小登陆距离，并利用 DGPS 测量系统定位于路由轴线上，抛“八”字开锚锚泊固定。施工时，需根据现场情况设定锚位，确保原有海底缆线的安全。在终端登陆点处设置绞磨机。在电缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。准确测量登陆长度后，在施工船上截下余缆。

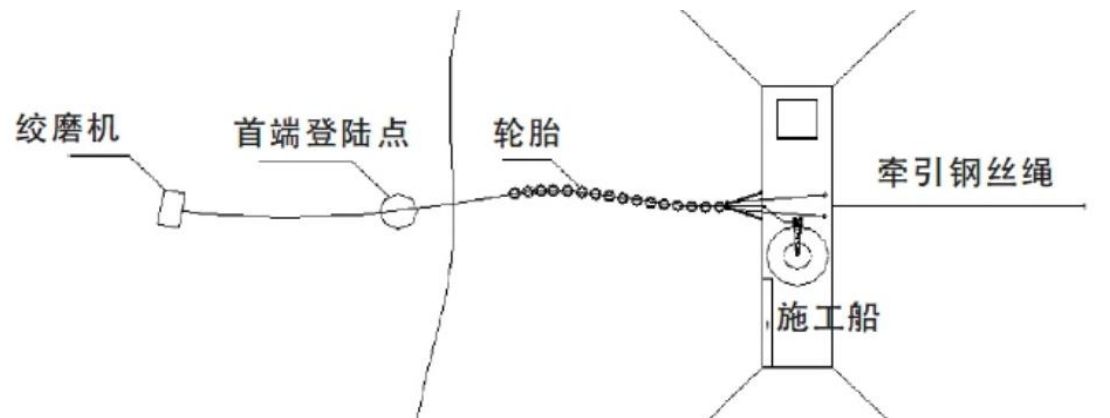


图 3.1.6-6 海缆浅滩登陆

(3) 定向钻登陆施工

根据规划路由，送出海缆通过定向钻方案由海缆路由海中点穿过浅滩登陆，之后进入由锚固井进入电缆沟，电缆沟需跨越山坡后进入陆上集控中心。主要程序如下：

使用定向钻拖拉法穿越岸滩形成孔道，牵引并预埋管道，回填工作坑。

定向钻穿孔埋管主要工艺：施工准备→导向孔施工→反拉扩孔、成孔→牵引管道→回填→清场。

根据施工要求，在靠近登陆点需开挖一个工作坑。在工作坑前方还需要停放施工机械以及导管拆装施工操作面，需占用 15m×8m 的地方做工作坑的施工操作空间。浅滩段出钻点需设置船舶锚泊作为接收平台。

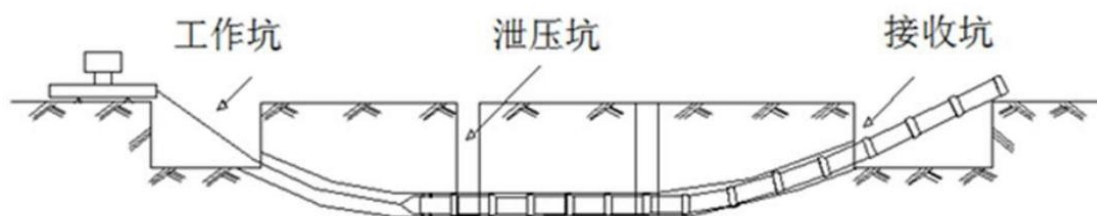


图 3.1.6-7 定向穿越埋管示意图

施工船乘大潮驶入离登陆点 200m~400m 处就位，并利用 DGPS 测量系统定位于路由轴线上，抛设八字锚稳定船位。

在终端登陆点处设置绞磨机。在电缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。

将海缆头从电缆盘拉出，在电缆头上设置活络转头。并与设置在终端登陆点处绞磨机的牵引钢丝联结，牵引钢丝穿过预埋管道。

启动绞磨机缓慢回绞钢丝，牵引海缆穿越管道，完成海缆穿越登陆。

3.1.6.2 施工机械设备

本项目工程施工主要项目有海上升压站施工及送出海缆敷设等，涉及的主要施工机械设备见表 3.1.6-1 所示。

表 3.1.6-1 本项目施工主要船机配置表

建设内容	名称及规格	单位	数量	用途	单艘船舶总吨数 GT
	起重船	艘	1	升压站上部组块吊装	19800
	起重船	艘	1	升压站基础施工	14800

建设内容	名称及规格	单位	数量	用途	单艘船舶总吨数 GT
海上升压站施工	液压打桩锤	个	1	钢管桩插打	/
	运输驳船	艘	1	升压站上部组块运输	19800
	运输驳船	艘	1	钢管桩及导管架基础运输	14800
	拖轮	艘	2	拖运、移位船只	2598
	锚艇	艘	2	驳船、起重船起抛锚	496
	交通艇	艘	2	接送人员	298
	补给船	艘	1	淡水与生活物资补给	298
海缆敷设	带埋设机的铺缆船	艘	1	500kv 铺缆	14800
	两栖式挖掘机	辆	1	电缆沟开挖和土方回填	/
	卷扬机	台	1	电缆牵引	/
	拖轮	台	1	铺缆船拖航及稳定性控制	2598
	抛锚艇	艘	1	铺缆船抛锚	496
	交通艇	艘	1	接送人员	298
	硬接头（暂定）	个	4	连接海缆	/

注：本设备表不包含基础钢结构加工所需的加工设备。

3.1.6.3 施工进度计划

本项目总工期计划为 14 个月，其中工程主体施工总工期为 11 个月。第 T+0 月初开始施工准备，第 T+3 月正式开始施工，第 T+11 个月后升压站的上部组块建造完成，第 T+12 个月底陆上集控中心土建施工完成，第 T+13 月底 500kV 送出海缆铺设完成，第 T+14 月项目竣工验收。施工进度计划见表 3.1.6-2。

表 3.1.6-2 本项目施工进度计划表

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	基地改造、配置临建设施
2	500kV 送出海缆敷设	3	T+11	T+13	
3	海上升压站上部结构加工制作	8	T+4	T+11	
4	海上升压站下部基础加工制造	4	T+6	T+10	
5	海上升压站基础施工与上部安装调试	1	T+11	T+11	下部基础施工
		1	T+12	T+13	上部组块安装
		1	T+12	T+13	调试

3.1.6.4 施工人数

本项目实施期间宜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。本人力资源配置计划主要包括现场管理人员、海上风场施工区、主送出海缆施工区、陆上集控中心施工区等施工现场的作业人员，不包含钢结构

加工制作区的人员（主体钢结构加工委托专业钢结构加工厂家制作）。根据编制的施工总进度计划及施工项目根据工程施工进度，主要劳动力计划情况见表 3.1.6-3 所示，可见，项目建设期间，人员配置最多为 395 人。

表 3.1.6-3 人力资源配置计划表

年度	季度	管理人员	施工人员	合计
第一年	第一季度（1-3 月）	20	200	220
	第二季度（4-6 月）	35	260	295
	第三季度（7-9 月）	45	350	395
	第四季度（10-12 月）	20	200	220
第二年	第一季度（1-2 月）	20	300	320

3.1.7 土石方平衡

（1）海上升压站

海上升压站基础采用后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。

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，灌浆前需对已完成沉桩的钢管桩内进行清孔，预计升压站清孔产生的泥沙约为 12m³，收集上岸后运至废弃物处理中心集中处理。海上升压站基础水下灌浆量约为 100m³，灌浆料可从高强度灌浆料生产厂家购买，灌浆结束时桩顶会有少量浆液溢出，产生溢浆可由施工单位统一回收，运至陆上建材废气处理站处理。

（2）送出海缆

敷设海底电缆采用埋设犁冲沟敷设、自动回淤保护的方式，没有多余土石方产生。

项目送出海缆的定向钻孔径约为 1m，截面积为 0.785m²，预计定向钻长度（涉海段）为 288m，土方的松散系数取 1.2，则海缆定向钻产生的土方量为 271.3m³。则 500kV 送出海底电缆定向钻产生的土石方量约为 271.3m³，统一回收至陆域后，交由接收单位处理。

3.1.8 工程用海情况

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕

234号), 本项目用海的海域使用类型为工矿通信用海(一级类)中的可再生能源用海(二级类); 按《海域使用分类》(HY/T1232009), 本项目海域使用类型为工业用海(一级类)中的电力工业用海(二级类), 用海方式为构筑物(一级方式)中的透水构筑物(二级方式)和其他方式(一级方式)中的海底电缆管道(二级方式)。

本项目拟申请用海面积为 359.2917 公顷, 其中海上升压站透水构筑物用海面积为 0.6135 公顷, 500kV 海底电缆管道用海面积为 358.6782 公顷。

本项目具体用海面积以海域使用论证批复为准。

表 3.1.8-1 本项目用海面积统计表

用海单元	数量	用海面积(公顷)	用海界定
升压站	1座	0.6135	由平台外缘向外扩 10m 确定申请用海范围
500kV 送出海缆	141.4km	358.6782	以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界
合计		359.2917	

3.2 影响因素分析

3.2.1 污染影响因素分析

本项目生产工艺较简单, 施工期主要内容为海上升压站施工及送出海缆敷设, 运行期为电能升压和输送。工程各阶段产物环境及污染物产生情况如下。

3.2.1.1 施工期污染影响因素分析

1、施工期的主要污染源和污染物分析

本项目施工期间海上施工涉及的施工作业内容主要有海上升压站施工及送出海缆敷设, 在施工过程中可能对周围海域产生一定的环境影响:

(1) 施工期海上升压站桩基施工及海缆敷设等环节产生的悬浮对海洋水质环境造成影响; 施工作业产生的生活废水, 施工船舶产生含油废水, 对附近海域生态环境和短期水质环境产生的影响;

(2) 海上施工船舶产生的废气等对大气环境的影响;

(3) 施工船舶航行、海底电缆敷设、定向钻施工、升压站桩基打桩作业等产生的噪声对工程附近声环境的影响以及打桩噪声对鱼类等海洋生物的影响;

(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。

2、施工期各环节产污情况分析

(1) 海上升压站施工

海上升压站施工主要污染环节为：打桩时产生的噪声和悬浮物；施工船舶和机械产生的废水、废气以及固体废弃物等，其中废水主要为生活污水和船舶含油污水，废气主要为施工船舶和机械燃油废气，固体废弃物主要为施工人员生活垃圾以及生产垃圾等。

海上升压站施工工序和产污环节如图 3.2.1-1 所示。

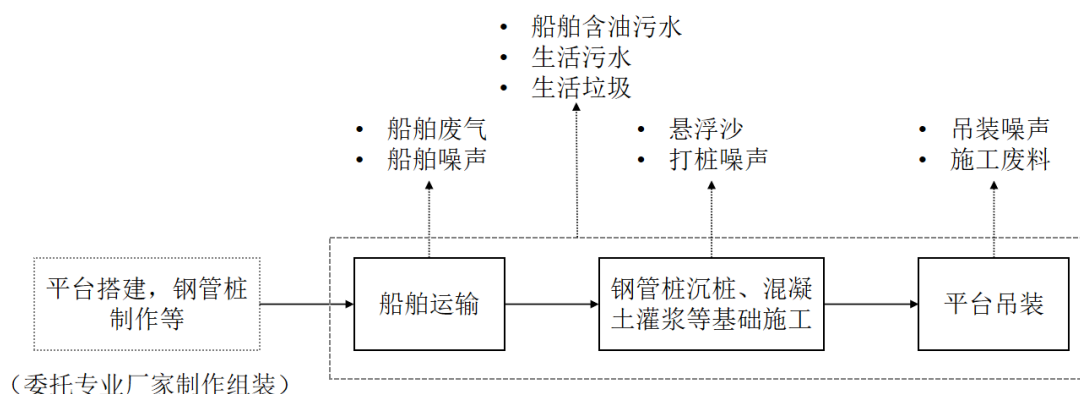


图 3.2.1-1 海上升压站主要施工工序和产污环节

(2) 海底电缆敷设施工

海底电缆施工主要产污环节为：扫海清障产生的悬浮物及固废，海缆开沟以及埋设电缆过程中产生的悬浮物；此外，由于施工多在海上进行，因此还包括施工船舶、运输船舶及其他施工机器设备的燃油废气、噪声、含油废水等；同时还有施工人员的生活污水和生活垃圾排放。

海缆敷设施工工序和产污环节如图 3.2.1-2 所示。

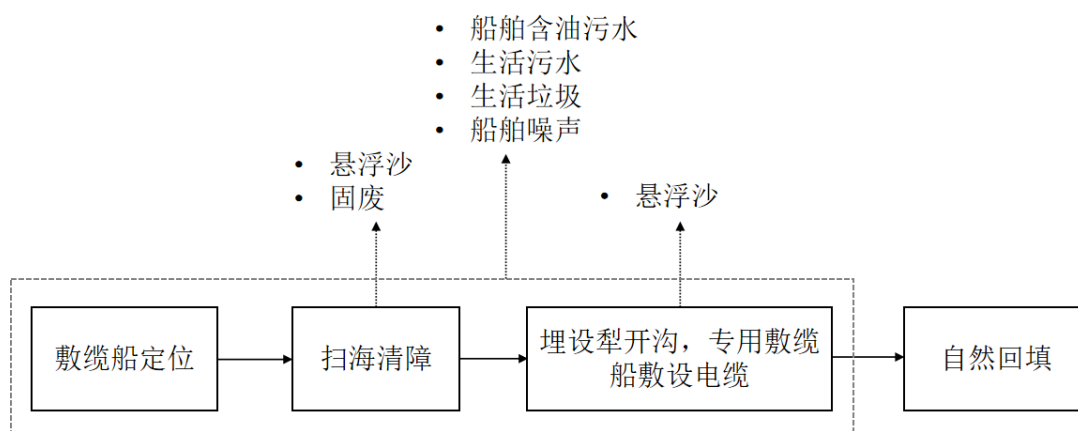


图 3.2.1-2 海底电缆施工工序和产污节点图

定向钻施工主要产污环节为：工作井开挖、钻孔施工及牵引管道过程产生的泥浆、施工机械燃油废气、噪声等，同时还有施工人员的生活污水和生活垃圾。

定向钻施工工序与产污环节如图 3.2.1-3。

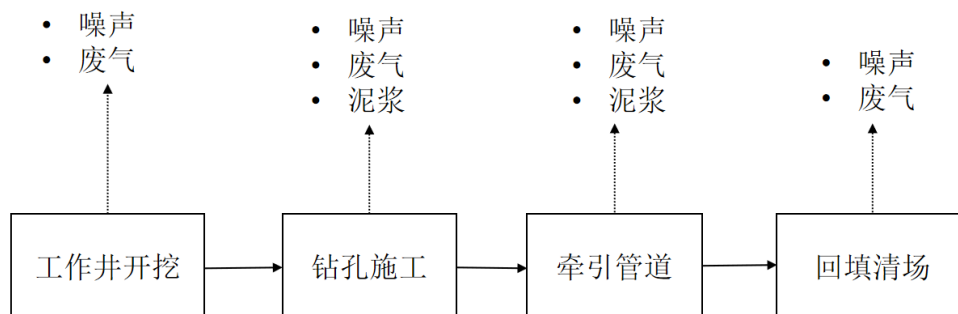


图 3.2.1-3 定向钻施工工序和产污节点图

3.2.1.2 运行期污染影响因素分析

1、运行期的主要污染源和污染物分析

营运生产过程是电能的升压及输送，该过程本身不产生污染物。营运过程中，对周边海域环境主要考虑以下污染影响：

- (1) 海上升压站维护及检查期间产生的含油污水以及维护工作人员产生的生活污水对水环境的影响；
- (2) 海上升压站维护及检查期间产生的船舶废气对大气环境的影响；
- (3) 海上升压站维护及检查工作人员产生的生活垃圾以及检修过程中产生的含油废物对环境的影响；
- (4) 海上升压站产生的噪声和电磁辐射对海洋生态环境的影响；
- (5) 输电线路产生的电磁辐射对海洋生态环境的影响。

2、运行期各环节产污情况分析

营运期主要工艺为：红海湾三、四两风电场发电后采用 66kV 集电海缆接入海上升压站，通过 2 回 500kV 送出海底电缆将电能输送至陆上集控中心。

主要产污环节为：电缆输送产生的电磁辐射；海上升压站产生的噪声和电磁辐射；海上升压站检修和维护过程中产生的检修废物、船舶废气、废水和固废等。

营运期间的运行工序及产污流程详见图 3.2.1-4 所示。

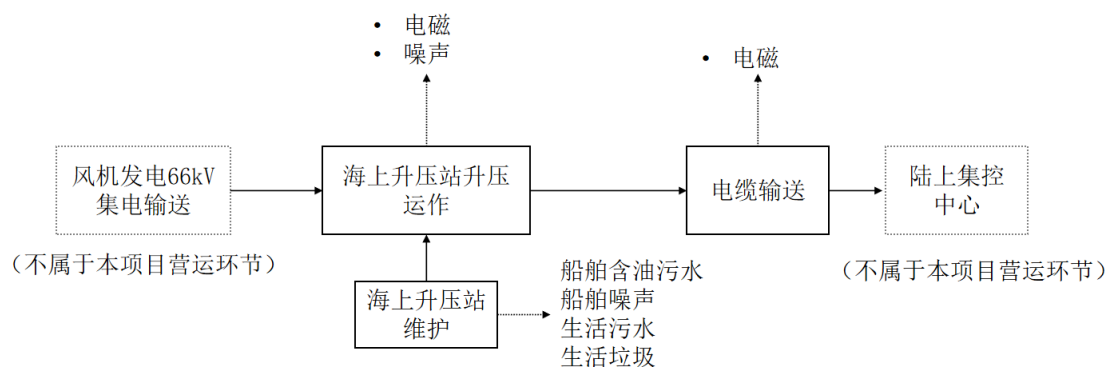


图 3.2.1-4 营运期间运行工序及产污节点图

3.2.2 生态影响因素分析

3.2.2.1 施工期生态影响因素分析

1、对海洋生态的影响因素分析

(1) 对底栖生物及潮间带生境的影响

工程海缆施工时，近岸登陆段采用定向钻穿越方式，其余段采用专用海缆敷设船拖带水力埋设犁冲切海床，埋设冲切海床作业将对潮间带生物和底栖生物群落的栖息环境产生不可逆转的破坏作用，造成直接致死损害。另外，冲切海床泥沙堆积在电缆路由两侧，电缆铺设完成后自然回淤，海底泥沙堆积范围内的底栖生物在短时间内也将因掩埋受到损害。

(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：一是施工扰动海床搅起的悬浮沙影响；二是打桩、吊装等作业噪声、灯光污染影响。

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，海上升压站桩基施工会增加作业海域水上、水下噪声，尤其是冲击打桩阶段的高强噪声，会对鱼类生存活动产生影响。目前普遍认为，石首科鱼类因特殊的耳石结构，对声音的敏感性较其他科的鱼种较高，容易受到水下强噪声的影响，项目海域石首科鱼种丰富，主要经济种类中亦有石首科鱼种，因此，海上作业期间会导致游泳生物迁移或受损。

(3) 对“三场一通道”及渔业资源的影响

本项目评价范围内涉及繁育场、产卵场、幼鱼、幼虾保护区等，项目施工建设期间，将对繁育场、产卵场、幼鱼、幼虾保护区内部分鱼类造成损失，并对鱼类的产卵、繁育活动造成影响，主要体现在：高浓度的含沙量可能造成部分鱼类幼体死亡，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。

(4) 对海龟的影响

项目所在海域不属于海龟迁徙期间的关键觅食地。本项目海上升压站距离海龟洄游路线较远，送出海缆位于海龟夏季洄游路线上。由于本项目海缆施工的时间不长，且施工位置不断变化，加上海龟洄游的活动范围较大，理论上项目海缆施工对海龟洄游不会产生不良影响，因此，本项目海缆施工对海龟洄游产生的影响较小。

2、对渔民权益及渔业生产的影响

为保障工程施工安全，在项目施工期间，该海域禁止底拖网等渔业捕捞活动，一定程度上减少了渔民海上捕捞活动空间，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。

3、对通航环境的影响

施工期间工程海域将集结大量工程船舶，作业船舶一方面是在施工辅助码头和海上作业区之间往返通航，一方面是在作业区驻船或行船作业。

本项目海缆敷设穿越航道，作业船舶往返通航时会造成船舶密度增大，存在一定的船舶碰撞风险。

4、对周边海洋开发活动的影响

本项目海缆周边分布有规划锚地和现存锚地，距离周边锚地最近直线距离为0.8km，在路由管廊方案设计、比选、修改时已充分考虑其安全距离，尽量避开。海缆铺设过程中需要注意与锚地的安全距离，防止出入锚地的船舶与施工船舶的碰撞事故以及对海缆造成损害。

3.2.2.2 运营期生态影响因素分析

1、对海洋水动力环境的影响

本项目建成后，海上升压站桩基基础在一定程度改变局部海底地形，对周边海域潮流场产生一定影响，尤其是在桩基基础周围的流速和流向均会发生变化。

2、对海底地形地貌和冲淤环境的影响

受基础钢结构阻水影响，潮流经过海上升压站桩基基础时将发生绕流现象，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。

3、对海洋生态的影响

（1）对底栖生物的影响

海上升压站采用四桩导管架的基础型式，将对桩基占用海域的底栖生物造成永久性影响；送出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。

海上升压站基础防冲刷设计采取预留冲刷深度的方法，不存在因砂被、砂袋铺设等防冲刷保护措施对底栖生物造成永久性影响。

（2）对“三场一通道”及渔业资源的影响

本项目运营期对“三场一通道”的影响主要为水下桩基占用一定产卵场、繁育场、幼鱼幼虾保护区及黄花鱼幼鱼保护区水域，但占用面积较小；项目运行期海缆输送和升压站运作产生的电磁对所在区域内的渔业资源造成一定影响。项目运行阶段海上升压站基础建设虽直接侵占该范围内鱼类生存活动空间，但构筑物建成后，钢结构表面可能逐渐附着小型藻类，形成鱼类新的觅食场所，整体上对“三场一通道”及渔业资源的影响较小。

4、对通航环境的影响

项目海底电缆在航道所在海域泥下 4m 处穿越，升压站远离航道，因此对航道通航环境基本无影响；运行期间检修维护作业船穿越航道时存在一定的船舶碰撞风险。

总体来看，正常海况条件下，项目建设不会对附近航道、公共航路通航环境造成较大影响。

5、对周边海洋开发活动的影响

本项目作为红海湾三、四集中送出项目，与红海湾三、四场址及周边其他规划风电项目在建设前已完成沟通协调，基本不存在利益冲突，项目建设运营对周边规划建设海洋开发工程影响不大。

3.3 环境影响识别和评价因子筛选

根据本项目生产工艺过程及产污环节，进行环境影响识别分析，根据影响情况筛选主要评价因子。

3.3.1 环境影响因素识别

根据工程特点，进行环境影响要素识别分析，根据影响情况筛选主要评价因子。施工期及运营期影响评价因子详见表 3.3.1-1 和表 3.3.1-2。

表 3.3.1-1 施工期环境影响评价因子一览表

环境要素		影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	影响程度与评价程度
自然环境	海洋水质	施工悬浮物、施工污水等排放，混凝土砂浆外泄漏影响工程海域环境	暂时、可逆，中等	桩基及海底电缆沿线周边海域	悬浮物、COD、石油类	-2
	沉积物环境	施工污水排放及废弃物丢弃	可逆，较小		废弃物及其他、大肠菌群、病原体和石油类	-1
	海洋生态	悬浮物浓度增加，破坏浮游动植物、及底栖生物生境	部分不可逆，较大		浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源	-3
	空气环境	施工船舶产生的废气	可逆，较小	海上工程施工区域	NO _x 、CO、SO ₂	-1
	声环境	施工船舶机械运行时将产生噪声	可逆，较小	海上工程施工区域	Leq (A)	-1
	海洋水质、海洋生态	船舶碰撞溢油风险	较大	海域	油类	-3
社会环境	航运	海上施工影响航运交通	可逆，较小	海上施工海域及设备运输航线	通行船只数量，航行安全	-1
	渔业生产	渔业资源受施工影响损失、渔业生产面积减小	部分不可逆，中等	升压站及海底电缆沿线周边海域	渔业生产面积、捕捞生产	-2
	环境卫生	施工人员生活垃圾	可逆，较小	海上工程施工区域	-	-1
	人群健康	施工人员进驻	可逆，较小		-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析；

2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行一般的影响预测分析；

3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点影响预测与评价。

表 3.3.1-2 运营期环境影响评价因子一览表

环境要素	影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度	
自然环境	海洋水文动力	对区域海洋水文动力环境造成一定影响	桩基局部不可逆，较小	桩基附近海域	潮汐、潮流	-1
	海洋地形地貌与冲淤环境	改变区域海域的地形地貌和冲淤情况	桩基局部不可逆，较小	桩基附近海域	冲淤深度	-1
	海洋生态	海上升压站桩基压占底栖生物生境	部分不可逆，较小	桩基所在海域	底栖生物量	-1
	声环境	主变、电抗器等装置运转产生噪声	较小	升压站区域	Leq (A)	-1
	电磁环境	海底电缆、海上升压站运行将产生工频电磁场	较小	海上升压站及输电线路沿线	工频电场、工频磁场	-1
	海洋水质、海洋生态	船舶碰撞溢油风险	较大	海域	油类	-3
社会环境	社会经济	促进地区社会经济发展	较小	汕尾市	可持续能源利用	+1
	航运	升压站对航运交通影响	较小	航道	通航安全	-1
	渔业生产	海底电缆管道保护区禁止底拖捕捞	中等	海底电缆管道保护区范围	渔业捕捞	-2
	环境卫生	管理人员生活垃圾和生活污水	较小	升压站	-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析；

2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行一般的影响预测分析；

3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点影响预测与评价。

3.3.2 评价因子筛选

根据建设项目环境影响的主要特征，结合海洋环境功能要求、海洋生态环境保护目标、评价标准和环境制约因素，筛选环境影响评价因子，包括污染影响评价因子和生态影响评价因子。本项目评价因子筛选结果见表 3.3.2-1 所示。

表 3.3.2-1 评价因子筛选结果一览表

类别	环境要素	评价因子
环境质量现状评价因子	海洋水质	pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、挥发酚、硫化物、石油类、总铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷、生化需氧量、活性硅酸盐、硒、镍

	沉积物环境	有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、汞、铬、砷
	生物质量	石油烃、铜、铅、镉、总汞、砷、锌、铬
	环境空气	PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、SO ₂ 、NO ₂ 、O ₃ 、CO
	噪声	水上、水下噪声
	电磁	工频电场强度、工频磁场强度
环境影响 评价 因子	废气污染源	CO、NO _x 、SO ₂
	废水污染源	COD、氨氮、总氮、总磷、石油类等
	海洋环境影响分析	SS、潮流、沉积物、冲淤
	生态影响分析	施工悬沙、打桩噪声、船舶航行噪声、电磁等对海洋生物的影响
	噪声污染源	噪声
	固废污染源	生活垃圾、生产垃圾、含油废物
总量控制因子	废水、废气污染物	/

3.4 污染源源强核算

3.4.1 施工期污染源源强核算

本次评价内容仅为海上升压站及送出海缆，施工期污染源均位于海上，不涉及陆域，具体施工期污染源源强核算情况如下：

3.4.1.1 水环境污染物排放情况

1、悬浮物排放情况

(1) 泥沙干容重取值

泥沙干容重按照以下公式计算：

$$\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$$

式中，D₅₀为泥沙中值粒径。

本项目所在海域平均中值粒径数值来源于《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目海洋环境现状调查监测报告》（广州海兰图检测技术有限公司，2024年6月）沉积物粒度监测结果。

500kV 送出海缆所在区域 20m 以浅海域沉积物粒度平均中值粒径为 33.405μm（选取站位 SW01 和 SW06 进行计算），泥沙干容重为 939.50kg/m³；20m 以深海域沉积物粒度平均中值粒径为 117.74μm（选取站位 SW10、SW15 和 SW19 进行计算），泥沙干容重为 1183.09kg/m³。海上升压站所在区域沉积物粒度

平均中值粒径为 94.11 μm （选取站位 SW19 和 SW21 进行计算），泥沙干容重为 1135.33 kg/m^3 。具体情况见表 3.4.1-1 所示。

表 3.4.1-1 各段位置泥沙密度取值情况表

位置		站位	中值粒径 Md (μm)	沉积物名称	平均中值粒径 Md (μm)	泥沙干容重 (kg/m^3)
送出海缆	20m 以浅	SW01	52.67	砂质粉砂	33.405	939.50
		SW06	14.14	粘土质粉砂		
	20m 以深	SW10	127.2	砂	117.74	1183.09
		SW15	134.6	砂		
		SW19	91.42	粉砂质砂		
海上升压站	SW19	91.42	粉砂质砂	94.11	1135.33	
	SW21	96.8	粉砂质砂			

(2) 送出海缆敷设施工悬沙源强

送出海缆登陆段采用定向钻穿越施工，基本无悬浮泥沙产生。

其他段海底电缆敷设时，埋设机工作时会引起海底泥沙悬浮导致水体浑浊，影响局部海水水质。电缆敷设悬沙源强计算方法：

$$Q=L \times H \times W \times \gamma_s \times P$$

式中：Q (kg/s) 为海底悬浮泥沙强度，kg/s；

L 为开挖进度，m/s；

H 为开挖深度，m；

W 为开挖横截面宽度，m；

γ_s 为泥沙干容重， kg/m^3 ；

P 为悬浮泥沙所占挖沙量比例，无量纲。该占比一般是结合同类工程经验或现场监测数据进行推算，我国学者徐明德研究认为疏浚物产生的悬浮泥沙发生量约为抓泥量的 1%~5%；范志杰得出单船抛泥源强为抛泥量的 5%~10%，管道敷设中悬浮泥沙所占挖沙量的比例一般取 10%~30%。本项目海底电缆敷设悬浮泥沙所占挖沙量比例选取时，综合考虑挖沟铺设区的底泥沉积物类型和粒径情况进行分配：对于 20m 以浅海域，表层沉积物主要为砂质粉砂和粘土质粉砂，平均中值粒径为 33.405 μm ，悬浮泥沙所占挖沙量比例取 30%；对于 20m 以深海域，表层沉积物主要为砂和粉砂质砂，平均中值粒径相对较高，为 117.74 μm ，悬浮泥沙所占挖沙量比例取 20%。

本项目 500kV 送出海缆在航道段和非航道段的埋深分别为 4m 和 3m，正常

条件下，海缆敷设速度为 5m/min，相关工程施工参数如下表 3.4.1-2 所示，由此计算得到风电场区集电海缆悬浮物源强 Q，悬沙源强计算结果详见下表 3.4.1-3。可见，水深 20m 以浅区域，500kV 送出海缆在非航道段悬沙源强为 18.79kg/s，在航道段悬沙源强为 25.05kg/s；水深 20m 以深区域，500kV 送出海缆在非航道段悬沙源强为 23.66kg/s，在航道段悬沙源强为 31.55kg/s。

表 3.4.1-2 海缆铺设悬沙源强施工参数

位置	埋深	沟槽顶宽 m	沟槽底宽 m	敷设速度 m/min
航道段	4m	0.5	0.3	5
非航道段	3m	0.5	0.3	5

表 3.4.1-3 海缆铺设悬沙源强计算详情表

位置	L (m/min)	H (m)	W (m ²)	γ _s (kg/m ³)	P	Q (kg/s)
20m 以浅 (非航道段)	5	3	0.4	939.5	0.3	28.19
20m 以浅 (航道段)	5	4	0.4	939.5	0.3	37.58
20m 以深 (非航道段)	5	3	0.4	1183.09	0.2	23.66
20m 以深 (航道段)	5	4	0.4	1183.09	0.2	31.55

(3) 海上升压站桩基施工悬沙源强

本工程海上升压站根据国标要求，不考虑常驻人员，按照无人值班、无人值守方式运行。海上升压站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用四桩导管架型式。钢管桩打入时产生的悬沙量采取如下公式进行计算：

$$M = \pi \times [0.25 \times D^2 - (0.5 \times D - d)^2] \times h \times \rho \times n$$

$$Q = M/T$$

式中：M 为桩基施工时产生的泥沙量；

D 为钢管桩直径，m；

d 为钢管桩厚度，m；

h 为桩基深度，m；

ρ 为覆盖层泥沙密度；

n 为泄漏量，按 5%估算；

Q 为工程施工产生的悬浮物源强，kg/s；

T 为施工时间，s。

海上升压站基础采用 φ4200 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚范围为 50~80mm（计算时取 80mm）。升压站四根钢管桩长 101m，入泥 91m，单根桩基

施工时间 12h，由此计算海上升压站钢管桩打桩施工产生悬浮物源强 $Q=3.14 \times [0.25 \times 4.2^2 - (0.5 \times 4.2 - 0.08)^2] \times 91 \times 1135.33 \times 0.05 \div 12 \div 3600 = 0.124 \text{kg/s}$ 为 0.124kg/s。

表 3.4.1-4 海上升压站桩基施工悬沙计算参数和结果情况表

施工内容	D (m)	D (mm)	H (m)	T (h)	ρ (kg/m ³)	n	Q (kg/s)
钢管桩沉桩	4.2	50~80 (取 80)	91	12	1135.33	0.05	0.124

(4) 扫海清障作业悬浮物

扫海作业范围在送出海缆两侧 50m，采用声呐仪器扫海，采用锚艇或拖轮，尾端系留专用扫海锚，宽度为 1.5m，在海缆施工路由上反复拖带，以清除海底障碍物。因此悬浮泥沙污染仅在打捞点发生。打捞的障碍物主要是缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，悬浮泥沙源强小于 1kg/s（抓斗船小型作业强度悬浮泥沙源强），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沙源强，扫海源强基本可以忽略。

2、船舶含油污水

本项目施工期间的船舶含油污水主要来自施工船舶产生的机舱油污水，根据工程可研报告，本项目施工期间投入的各种船舶数量较大，按保守考虑，施工时所有船舶同时作业。根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS 149-2018)，船舶舱底油污水产生量依据船型而不同，舱底油污水水量可按表 3.4.1-5 确定，不同船型的污水发生量采用内插法计算。经计算，施工期船舶含油污水产生量 26.58t/d，具体见表 3.4.1-6 所示。船舶油污水的含油浓度 2000mg/L~3000mg/L 不等，按平均值 2500mg/L 计算，则石油类污染物产生量约 0.07t/d。

施工期产生的舱底油污水按照《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，船舶油污水统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由有资质的单位进行接收处理。

表 3.4.1-5 船舶舱底油污水水量

船舶吨级 DWT (t)	舱底油污水产量 (t/d·艘)	船舶吨级 DWT (t)	舱底油污水产量 (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

船舶吨级 DWT (t)	舱底油污水产量 (t/d·艘)	船舶吨级 DWT (t)	舱底油污水产量 (t/d·艘)
3000~7000	0.81~1.96	150000~200000	12.00~15.00
7000~15000	1.96~4.20	200000~300000	15.00~20.00
15000~25000	4.20~7.00	—	

表 3.4.1-6 施工期船舶含油污水产生量统计表

施工环节	名称及规格	单位	数量	用途	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	油污水产生总量 (t/d)
海上 升压站 施工	起重船	艘	1	升压站上部组块吊装	5.54	5.54
	起重船	艘	1	升压站基础施工	4.14	4.14
	运输驳船	艘	1	升压站上部组块运输	5.54	5.54
	运输驳船	艘	1	钢管桩及导管架基础运输	4.14	4.14
	拖轮	艘	2	拖运、移位船只	0.70	1.40
	锚艇	艘	2	驳船、起重船起抛锚	0.14	0.28
	交通艇	艘	2	接送人员	0.14	0.28
	补给船	艘	1	淡水与生活物资补给	0.14	0.14
海缆 敷设	带埋设机的铺缆船	艘	1	500kV 铺缆	4.14	4.14
	拖轮	台	1	铺缆船拖航及稳定性控制	0.70	0.70
	抛锚艇	艘	1	铺缆船抛锚	0.14	0.14
	交通艇	艘	1	接送人员	0.14	0.14
合计						26.58

3、机修油污水

本项目施工期大型设备包括：起重机、装载机等，施工高峰时同时投入使用量约 5 台，类比同类工程（河北唐山乐亭菩提岛海上风电场示范项目 300MW 工程），若每天设备检修率按照 1% 计算，机修用水量按 $1\text{m}^3/\text{台}\cdot\text{次}$ 计，年施工作业天数按每年可作业天数 120 天计，则每天机修用水量为 0.05m^3 ，年用水量为 6m^3 ，污水产生系数 0.8 计，则污水产生量为 $4.8\text{m}^3/\text{a}$ ，石油类浓度约为 500mg/L ，则石油类污染物产生量为 2.4kg/a 。含油污水禁止排放，统一收集后交由有资质的单位接收处理。

4、船舶生活污水

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，高峰时海上作业施工人员数量可达 395 人。参照《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018），船舶工作人员生活用水量按 $100\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ ，污水发生量按 85% 计，则船舶工作人员生活污水产生量约为 33.6t/d 。

根据《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（附3生活源-附表生活源产排污系数手册），广东位于“生活源产排污系数手册”中的“五区”，其水污染物产生浓度COD、氨氮、总氮、总磷分别为285mg/L、28.3mg/L、39.4mg/L、4.10mg/L，则施工期间COD、氨氮、总氮、总磷排放量分别约为9.58kg/d、0.95kg/d、1.32kg/d、0.14kg/d。海上生活污水收集在船载生活污水收集装置中，船舶靠岸后运至岸上，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。

表 3.4.1-7 施工期生活污水主要污染物产生情况表

污染因子	产生浓度（mg/L）	产生量（kg/d）
生活污水	/	33600
COD	285	9.58
氨氮	28.3	0.95
总氮	39.4	1.32
总磷	4.10	0.14

5、钢管桩吸泥排放及灌浆溢流

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，灌浆前需对已完成沉桩的钢管桩内进行清孔，预计升压站清孔产生的泥沙约为12m³，收集上岸后处理。

海上升压站基础水下灌浆量约为100m³，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。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产生少量泄漏，总体不会对水质造成明显影响。施工单位通过加强现场管理，确保不产生泄漏。

3.4.1.2 废气污染物排放情况

项目施工期大气污染物主要来自施工船舶产生的废气，主要污染物为SO₂、NO_x、CO等。施工船舶平均功率约为5000马力，按1马力功需要耗油150g，则单艘施工船舶每小时耗油量为750kg/h。燃烧的油料以轻柴油计算，SO₂、NO_x和CO的源强如下：

1、船舶SO₂源强

$$Gs=2 \cdot B_0 \cdot S_0 \cdot (1-\eta)$$

式中： G_s 为 SO_2 排放量，kg； B_0 为燃料量，kg； S_0 为油中硫含量，%； η 为脱硫效率，%。

施工船舶使用含硫量小于 0.5% 的优质柴油，本报告以 0.5% 进行计算；船舶无脱硫装置，脱硫效率取 0，则单艘船舶每小时 SO_2 的排放量为 $2 \times 750 \times 0.5\% \times (1-0) = 7.5\text{kg/h}$ 。

2、船舶 NO_x 源强

燃烧 1t 柴油约产生 12.3kg NO_x ，施工船舶每小时耗油量为 750kg/h，则 NO_x 排量约为 9.23kg/h。

3、船舶 CO 源强

$$G_c = 2.33 \cdot B_0 \cdot q \cdot C$$

式中： G_s 为 CO 排放量，kg； B_0 为燃料量，kg； q 为燃料的燃烧不完全值，取 2%； C 为燃料含碳量，85%~90%。

单艘船舶每小时 CO 的排放量为 $2.33 \times 750 \times 2\% \times 90\% = 31.46\text{kg/h}$ 。

工程高峰期施工船舶约 15 艘，则施工高峰期船舶 SO_2 、 NO_x 、CO 每小时排放量分别为 112.5kg/h、138.45kg/h、471.9kg/h。本工程产生的废气以无组织形式排放，施工区位于海域，有利于废气污染物扩散，因此其影响较小。

3.4.1.3 噪声排放情况

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。根据厦门大学在厦门五缘海海域、珠海海域对海洋环境噪声与船舶噪声进行的记录，一般运输船舶噪声的均方根声压级平均值约 125.5dB/re 1 μ Pa，部分航速较快、吨位较大、航行中仍在施工的船舶期峰值声压级可以达到 150dB/re 1 μ Pa 以上。

本项目船舶航行源强以 19800t 级运输驳船航行产生 169dB 计算。

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，由海域进行电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。根据海域水下环境背景噪声调查结果，在 20Hz~20kHz 频率范围内，平均总声级在 113dB 到 123dB 之间，则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 117~128dB。

3、打桩噪声

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。海上升压站桩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份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。

张然在《海上风电场水下打桩噪声研究》（厦门大学，2019）研究得出较适合我国浅海海上风电场水下打桩噪声声源级估计的经验公式；桩径在 0~5m 内，拟合结果与实测数据基本吻合，误差小于 Nedwvell 和 Wyatt 的经验公式估算结果。

$$SL=10.22 \times D+214.4 \quad (1)$$

$$SL=228.8 \times D^{0.06802} \quad (2)$$

其中，D 为风电场打桩施工的桩径尺寸，m。

本项目桩基桩径为 4.2m，根据式（1）， $SL=10.22 \times 4.2+214.4=257.32\text{dB}$ ；根据式（2）， $SL=228.8 \times 4.2^{0.06802}=252.26\text{dB}$ ；两者平均为 254.79dB。综上，本项目打桩噪声源强取值为 254.8dB。

3.4.1.4 固体废物排放情况

工程施工期间固体废物主要为施工人员生活垃圾、生产垃圾及定向钻施工固废。

1、施工人员生活垃圾

施工人员在船舶上产生生活垃圾,按施工人员生活垃圾产生量为 1kg/人·d 计,海上施工人员 395 人,经计算,船舶生活垃圾产生量为 395kg/d。本项目年可作业天数按照 120 天计算,本项目施工期船舶生活垃圾产生量为 47.4t/a。船舶生活垃圾由施工船舶收集上岸后,交由船舶污染物接收单位接收处理。

2、生产垃圾

本工程海缆敷设作业垃圾主要为扫海清障作业时产生的各类生产垃圾,包括废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物,按每公里 10kg 计算,本项目 500kV 送出海缆总长度 141.4km,经估算其清障作业共产生废弃物约 1.4t,随船携带,待船舶靠岸后外运处理。此外,升压站安装过程中也会有废弃的包装、焊接头等生产垃圾产生,均可由施工单位回收利用。

3、定向钻施工固废

海缆登陆作业产生的固体废物主要是定向钻钻孔钻屑。项目送出海缆的定向钻孔径约为 1m,截面积为 0.785m²,预计定向钻长度(涉海段)为 288m,钻屑的松散系数取 1.2,则海缆定向钻产生的土方量为 271.3m³。钻屑量统一回收至岸上,交接收单位进行处理。浅滩出钻点导入钢导管,连接至船上,少量泥浆通过钻机上的泵送压力,实现自流至船上的收集箱,后续将收集箱运至岸上,运送至接收单位进行处理,严禁向海洋排放。

3.4.1.5 施工期污染源强汇总

结合以上分析,施工期污染源强总体情况见表 3.4.1-8。

表 3.4.1-8 施工期污染源强情况表

环境要素	污染源	污染物	产生量	排放方式	
水环境	悬浮泥沙	海缆铺设	SS	23.66~37.58kg/s	自然排放
		升压站桩基础施工	SS	0.124kg/s	
		扫海清障	SS	<1kg/s	
	船舶含油污水	石油类	26.58t/d	收集上岸交由有资质单位接收处理	
	机修油污水	石油类	2.4kg/a		
	船舶生活污水	COD、氨氮、总氮、总磷	33.6t/d	收集后上岸交由船舶污染物接收单位统一处理	
	钢管桩清孔	泥沙	12m ³	收集上岸后运至废弃物处理中心集中处理	
大气环境	船舶废气	SO ₂	112.5kg/h	自然排放	

环境要素	污染源	污染物	产生量	排放方式
		NO _x	138.45kg/h	
		CO	471.9kg/h	
声环境	船舶航行	噪声	169dB	自然传播
	海缆敷设	噪声	117~128dB	
	桩基施打	噪声	254.8dB	
固体废弃物	船舶生活垃圾	食品残渣、包装袋	47.4t/a	由施工船舶收集上岸，交由船舶污染物接收单位接收处理。
	扫海清障生产垃圾	废弃船、渔具等扫海清障垃圾	1.4t	随船携带，待船舶靠岸后外运处理
	定向钻钻孔钻屑	钻屑	350m ³	统一回收至岸上，交接收单位进行处理

3.4.2 运营期污染源源强核算

风力发电是利用当地自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程，不排放任何有害气体，属于清洁能源。根据本项目的实际情况，运营期可能对周围环境影响的因子主要有生活污水、生活垃圾、环境噪声、废油、船舶含油污水、生产固废、电磁等。

3.4.2.1 废水污染物排放情况

项目运行期污废水主要是维护人员生活污水以及海上升压站检修时产生的含油污水和检修船舶含油污水等。

1、生活污水

由于海上风电场无常驻人员，生活污水主要来自日常检修工作人员。检修频率大概一个月一次，每次检修时间按照一天计算（即全年检修时间 12 天），检修人员约 2~5 人，保守考虑每次检修人员按照 5 人计算。参照《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018），船舶工作人员生活用水量按 100L/人·d，污水发生量按 85% 计，则船舶工作人员生活污水产生量约为 0.425m³/d，即 5.1t/a（全年检修时间 12 天）。

根据《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（附 3 生活源-附表生活源产排污系数手册），广东位于“生活源产排污系数手册”中的“五区”，其水污染物产生浓度 COD、氨氮、总氮、总磷分别为 285mg/L、28.3mg/L、39.4mg/L、4.10mg/L，则施工期间 COD、氨氮、总氮、总磷排放量分别约为 0.121kg/d、0.012kg/d、0.017kg/d、0.002kg/d。海上生活污水收集在车载生活污水收集装置中，

船舶靠岸后运至岸上，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。

表 3.4.2-1 施工期生活污水主要污染物产生情况表

污染因子	产生浓度 (mg/L)	产生量 (kg/d)
生活污水	/	425
COD	285	0.121
氨氮	28.3	0.012
总氮	39.4	0.017
总磷	4.10	0.002

2、船舶含油污水

本项目设备运行期间需定期进行维修和维护，运营期间的含油污水主要来自检修船舶产生的机舱油污水。本项目设备运营期 25 年，按照每月一次检修计算，年检修 12 次，运行期配备 1 艘 500t 检修运维船，舱底油污水产生量 0.14t/d·艘，则计算出本项目运营期检修船舶油污水产生量 1.68t/a。船舶油污水的含油浓度 2000mg/L~3000mg/L 不等，按平均值 2500mg/L 计算，则油类污染物产生量为 4.2kg/a。含油污水统一收集在运维船上，待船舶靠岸后交由有资质的单位接收处理。

3、检修含油污水

海上升压站政策运行时不产生生产废水，当电气设备发生突发事故或检修时可能会有少量的漏油和油污水，油污水产生量少，约 10kg/a，收集后由船舶运送上岸后一并送交由有资质单位处理。

3.4.2.2 废气污染物排放情况

海上风电场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。运营期配备一艘运维船，大气污染物主要来自运维船产生的废气，主要污染物为 SO₂、NO_x、CO 等。运维船功率约为 1000 马力，按 1 马力功需要耗油 150g，则单艘施工船舶每小时耗油量为 150kg/h。燃烧的油料以轻柴油计算，SO₂、NO_x 和 CO 的源强如下：

1、船舶 SO₂ 源强

$$Gs=2 \cdot B_0 \cdot S_0 \cdot (1-\eta)$$

式中：Gs 为 SO₂ 排放量，kg；B₀ 为燃料量，kg；S₀ 为油中硫含量，%；η 为脱硫效率，%。

施工船舶使用含硫量小于 0.5% 的优质柴油，本报告以 0.5% 进行计算；船舶无脱硫装置，脱硫效率取 0，则单艘运维船每小时 SO₂ 的排放量为 1.5kg/h。

2、船舶 NO_x 源强

燃烧 1t 柴油约产生 12.3kgNO_x，运维船每小时耗油量为 150kg/h，则 NO_x 排放量约为 1.85kg/h。

3、船舶 CO 源强

$$G_c = 2.33 \cdot B_0 \cdot q \cdot C$$

式中：G_s 为 CO 排放量，kg；B₀ 为燃料量，kg；q 为燃料的燃烧不完全值，取 2%；C 为燃料含碳量，85%~90%，取 90%。

计算出单艘运维船每小时 CO 的排放量为 6.29kg/h。

风电场每月巡检一次（每次一天），每年工作天数为 12 天，每天工作时长按 8h 计，则运维船 SO₂、NO_x、CO 年排放量分别为 144kg/a、177.6kg/a、603.84kg/a。本工程产生的废气以无组织形式排放，运维巡检区位于海域，有利于废气污染物扩散，因此其影响较小。

3.4.2.3 噪声排放情况

1、海上升压站噪声

本项目海上升压站运营期的噪声主要来自于变压器等设备，变压器布置在室内，类比类似 500kV 变电站噪声监测值类比分析，海上升压站噪声源强 60~75dB(A)。

2、运维船舶噪声

运营期配置 1 艘 500t 运维船对海上升压站相关设备进行检修，运维船舶噪声源强约为 110dB(A)。

3.4.2.4 固体废物排放情况

1、生活垃圾

固体废物主要来自检修工作人员。由于风电场按无人值守设计，因此进行维护和检修工作人员的生活垃圾很少。检修频次一月一次，每次检修时间按一天计算，检修人员按 5 人计算，检修工作人员生活垃圾产生量按照 1kg/人·d 计，每次检修工作人员生活垃圾产生量为 5kg，年产生量为 60kg/a。检修人员生活垃圾随

船收集带走，收集后上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。

2、生产固废

定期检修海上升压站内置变压器等设备，会产生五金杂件、废产品包装等一般固体废物，并且会产生废变压器油等危险废物。

(1) 一般固体废物

维修产生的五金杂件（如废旧螺母、螺丝）、废产品包装（如废塑料、废纸箱）等一般工业固废约 3t/a，检修后产生的一般工业固废直接由运维船带回岸上由资源回收公司回收处理。

(2) 危险废物

变压器维护、更换和拆解等过程将产生废变压器油。根据《国家危险废物名录（2021 年版）》，废变压器油的废物类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废物代码为 900-220-08。单台变压器单次维护产生的废变压器油约 0.01t，项目的海上升压站内设 2 台变压器，变压器维修频率约 2 次/年，则废变压器油产生量为 0.04t/a。每次维修后，废变压器油收集在运维船上，待船舶靠岸后交由有资质的单位接收处理。

3.4.2.5 工频电磁场影响

本项目海上升压站的电气设备布设在室内，经过建筑物屏蔽，电气设备室外工频场强值基本与周围环境本底值接近，故海上升压站对电磁环境的影响很小。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》（GB 8702-2014）中公众曝露控制限值电场强度 4kV/m 和磁感应强度 0.1mT 的评价标准。

3.4.2.6 运营期污染源强汇总

结合以上分析，运营期污染源强总体情况见表 3.4.2-2。

表 3.4.2-2 运行期污染源源强汇总表

环境要素	污染源	污染物	产生量	拟采取措施
水环境	运行维护生活污水	COD、氨氮、总氮、总磷	5.1t/a	船舶靠岸后运至岸上，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。
	船舶含油污水	石油类	1.68t/a	含油污水统一收集在运维船上，待船舶靠岸后交由有资质的单位接收处理。
	检修含油污水	石油类	10kg/a	

大气环境	运维船舶 废气	SO ₂	144kg/a	采用低含硫燃油，废气自然扩散
		NO _x	177.6kg/a	
		CO	603.84kg/a	
声环境	海上升压 站噪声	噪声	60~75dB(A)	自然传播
	运维船舶 噪声	噪声	110dB (A)	
固体废物	生活垃圾	食品残渣、包装袋	60kg/a	随船收集，上岸交由船舶污染物接收单位接收处理。
	生产固废	一般固体废物（如五金杂件、废产品包装）	3t/a	检修后产生的一般工业固废直接由运维船带回岸上由资源回收公司回收处理。
		危险废物（如废变压器油）	0.04t/a	废变压器油收集在运维船上，待船舶靠岸后交由有资质的单位接收处理。
电磁环境	海上升压 站、电缆 线路	工频电磁场	工频电场远小于4kV/m，电磁感应强度远小于0.1mT	自然排放

3.5 与相关规划和政策的符合性分析

3.5.1 与国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目为海上风电的集中送出项目，海上风电属于“第一类鼓励类”“五、新能源 1. 风力发电技术与应用：15MW 等级及以上海上风电机组技术开发与设备制造，漂浮式海上风电技术，高原、山区风电场建设与设备生产制造，海上风电场建设与设备及海底电缆制造，稀土永磁材料在风力发电机中应用”，属于鼓励类项目，符合国家产业政策要求。

3.5.2 与国土空间规划的符合性

3.5.2.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

1、《广东省国土空间规划（2021-2035年）》

《广东省国土空间规划（2021-2035年）》（以下简称《省国土规划》）提出构建“一核两极多支点、一链两屏多廊道”的国土空间开发保护总体格局。其中“多支点”即增强汕尾、阳江的战略支点功能，增强北部生态发展区中心城市的综合

服务功能，建设若干重要发展支点，形成融湾发展、适度集聚、协调联动的空间发展格局。

《省国土规划》以“三区三线”为基础构建国土空间开发保护总体格局。立足资源环境承载能力，发挥各地区比较优势，统筹划定落实“三区三线”，深入实施主体功能区战略，优化资源要素配置与生产力空间布局，加快形成开发与保护相协调的国土空间开发保护新格局，有力支撑“一核一带一区”区域发展格局。

围绕落实国家农产品主产区战略、“三区四带”生态安全格局和“两横三纵”的城镇化战略格局，以“三区三线”为基础，规划形成“一核两极多支点、一链两屏多廊道”的网络对流型国土空间开发保护总体格局，促进形成“一核一带一区”区域发展格局。构建“一核两极多支点”的国土空间开发利用格局。“多支点”即**增强汕尾、阳江的战略支点功能**，增强北部生态发展区中心城市的综合服务功能，建设若干重要发展支点，形成融湾发展、适度集聚、协调联动的空间发展格局。

打造开放活力的海洋空间，充分发挥海洋作为高质量发展的战略要地作用，陆海统筹推进海洋空间保护与利用，加强海岸带综合管理，维护绿色安全海洋生态，打造现代化沿海经济带，全面建设海洋强省。支持培育现代化海洋产业集群。推进海洋优势产业集中集约布局，拓展新兴产业后备发展空间，强化潜力产业基础空间保障，重点支持打造海洋油气化工、海洋旅游、海洋清洁能源、船舶与海洋工程装备、海洋生物等五个千亿级以上海洋产业集群，统筹推进现代海洋产业集聚区、沿海产业园区建设。加强产学研基地、海洋科技创新平台、跨区域海洋创新创业等涉海自主研发平台建设，大力推进科技兴海产业示范基地、国家海洋高技术产业基地、海洋经济发展试点示范建设，鼓励珠三角海洋科技创新企业在粤东和粤西地区建设海洋高技术成果高效转化基地和产业基地，打造海洋产业高质量发展典范。

《省国土规划》提出，科学有序推进近海风电场开发建设，积极探索深远海风电开发，支持珠三角海上风电研发服务基地、粤东千万千瓦级海上风电基地、粤西千万千瓦级海上风电基地等基地建设，优化海上风电选址，打造世界级风电产业基地。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、海洋养殖向深水远岸布局，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 公里或水深 30 米的开发条件限制。统筹海底油气管道、通信光缆、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。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。

项目位于沿海经济带，该区域根据重要产业集群布局规划为**新能源重要产业集群**。通过将本项目与海洋空间功能布局图叠加分析，本项目拟建设的升压站位于海洋开发利用空间，送出电缆穿越海洋开发利用空间，不涉及海洋生态保护红线和海洋生态保护空间。

图 3.5.2-1 广东省海洋空间功能布局图（《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》）

2、《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》

《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》中提出：2025 年，着重抓好广东省重点生态功能区、生态保护红线内、重点国家级自然保护地等区域生态保护和修复，解决一批重点区域的核心生态问题，使全省生态安全屏障更加牢固，生态环境质量持续改善，生态系统安全性稳定性显著增强；2035 年，全面构建安全、健康、美丽、和谐的高品质国土，人与自然和谐共生格局基本形成，碳排放率先达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽广东基本建成。

基于“三屏五江多廊道”生态安全格局，围绕生态、农业、城镇三大空间，聚焦重点单元，总体布局国土空间生态修复任务，形成安全健康、美丽的高品质国土空间。其中，生态空间-系统保护修复“三屏”“五江”等重点生态功能区，

重点推进森林保育、水源涵养、水土保持、生物多样性保护、沿海地区海岸带保护等。“三屏”即加强对以南岭山地为核心的南岭生态屏障、以丘陵山地、森林为主体的粤港澳大湾区外围丘陵浅山生态屏障和以沿海防护林、滨海湿地、海湾、海岛等要素为主体的蓝色海洋生态屏障的系统性保护修复。

保障“一核一带一区”区域发展格局。一核-生态融核，打造人与自然和谐共生的国际一流湾区。一带-陆海统筹，构建生态经济协调发展的黄金海岸带。一区-生态活区，打造生态引领的粤北生态发展区。

推进重要生态系统保护修复。护卫蓝色海洋生态屏障，以 15 个生态保护和修复单元为重点，统筹推进河口、海湾、海岛海岸带整治修复，提高海洋带防护功能，加强海洋生物多样性保护。蓝色海洋生态屏障保护和修复重大工程——重要海湾生态系统保护修复：大亚湾-大鹏湾生物多样性保护修复拓林湾及周边海域典型海湾保护修复、靖海湾砂质海岸-防护林保护修复、**红海湾-碣石湾滨海湿地保护修复**、阳江湾典型海湾生态系统保护修复、水东湾-博贺湾海洋综合整治修复、雷州半岛东部滨海湿地生态系统保护和修复、雷州半岛西部滨海湿地和热带季雨林保护修复。

本项目不在生态保护和修复单元内，距离周边的生态保护和修复单元较远，对所规划的各项保护修复工作开展无碍。

图 3.5.2-2 广东省重要生态系统生态保护和修复布局图

3、《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035 年）》

2023 年 9 月 28 日，《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（以下简称《市国土规划》）获省政府正式批复。《市国土规划》提出了：汕尾市城市性质为革命老区高质量发展示范区、广东省沿海经济带战略支点城市。汕尾市要立足国家战略、区域功能定位和本地实际，积极融入粤港澳大湾区，联动汕潮揭发展，完善基础设施互联互通，提升城市规划建设管理治理能力，携手共建充满活力的沿海经济带。

《市国土规划》以建立陆海空间功能协调发展为目标，重点统筹陆域功能于

海域功能。陆域为临港产业发展区，对应海域统筹安排工矿通信用海、交通运输用海等功能，陆域为生态保护区，对应海域以生态保护为主，以逐步修复海洋的生态岸线，提高自然岸线保有率为导向，构筑一体化的陆海生态屏障。

《市国土规划》充分发挥汕尾海洋资源优势，**发展壮大以海工装备制造为核心、海上风电为特色的千亿级电力能源产业集群**。合理开发利用岸线、海域、海岛等资源，培育海洋优势产业，**促进海上风电、海洋电子信息、海洋工程装备、海洋生物医药、海洋可再生能源、海水综合利用等产业规模化发展**，构建具有较强竞争力的现代海洋产业体系。

本项目属于海上风电项目的配套工程，与《市国土规划》对汕尾市的海洋产业发展战略定位和发展目标高度一致。本项目的海上风电工程作为汕尾市海洋产业的重要组成部分，其布局和建设符合《市国土规划》中对海洋产业发展的总体要求，有助于推动汕尾市海洋经济的转型升级和高质量发展。

《市国土规划》要求，划定生态保护红线共 3155.49 平方公里，其中陆域生态保护红线 602.97 平方公里（不含深汕特别合作区）、海域生态保护红线 2552.52 平方公里，生态保护红线主导生态功能为水土流失控制、水源涵养、水土保持、海岸防护、重要滩涂及浅海水域保护等。生态保护红线内实施强制性严格保护。生态保护红线内自然保护地核心区原则上禁止人为活动；自然保护地核心区外，严格禁止开发性、生产性建设活动，严格执行国家和省生态保护红线管控政策要求。

根据《市国土规划》，在海洋发展区内，进一步细化功能分区，统筹安排工矿通信用海、交通运输用海、游憩用海、渔业用海、特殊用海等用海区和海洋预留区。海洋发展区是以海域和海洋活动为主的地区，面积 4388.19 平方公里，应对海洋资源和生态环境进行严格管控。除国家重大项目外，严禁围填海。

通过将本项目与《市国土规划》的附图叠加分析，本项目升压站和送出电缆不涉及生态保护区。

图 3.5.2-3 海洋功能分区图（《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035 年）》）

4、《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》

《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》（以下简称《合作区国土规划》）中指出“推进深汕合作区海洋产业快速发展，积极培育发展深地深海未来相关产业，建设全球海洋中心城市海洋产业多元拓展区。”

《合作区国土规划》贯彻新发展理念，一手抓“碳减排”，一手抓“碳增汇”，推进低碳深汕建设试点示范，促进形成绿色发展方式和生活方式。改善能源利用结构。推动源头减排，完善能源消费总量和强度“双控”制度。优化能源结构，推广清洁低碳能源，布局海上风电示范工程。

本项目作为海上风电项目的配套工程，与《合作区国土规划》对深汕特别合作区的海洋产业发展战略定位和发展目标高度一致。本项目海上风电工程作为深汕特别合作区海洋产业的重要组成部分，其布局和建设符合《合作区国土规划》中对海洋产业发展的总体要求，有助于推动深汕特别合作区海洋经济的转型升级和高质量发展。

深汕合作区海洋生态保护红线包括红树林、海岸防护、重要滩涂及浅海水域、重要渔业资源产卵场及特别保护海岛五种类型红线。通过将本项目与《合作区国土规划》的附图叠加分析，本项目升压站和送出电缆不涉及生态保护区。

图 3.5.2-4 国土空间规划功能分区图（《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》）

3.5.2.2 对海域国土空间规划分区的影响分析

1、对《广东省国土空间规划（2021-2035年）》的影响分析

根据海洋空间功能布局，项目升压站和送出电缆位于海洋开发利用空间。经分析，本项目 500kV 送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠镇东侧海岸，小漠镇东南临海基岩岸线处。本项目海底电缆铺设于海底，送出海缆登陆段的海岸为基岩，登陆段施工采用定向钻的施工方式，该施工方式地底穿过基岩岸线，无需开挖，对基岩基本无影响，不影响自然岸线形态及原有生态功能。

本工程海上施工期间会产生一定量的生活污水，项目施工船舶设置有生活污水和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。因此，项目建设期间施工船舶将污水收集统一处理后基本不会对水质环境造

成影响。本工程营运期运维会产生少量生活污水，由运维船舶收集后运至陆域集中处理，不会对所在国土空间内海域水质环境造成影响。

本项目为海上风电项目的必要配套工程，项目建成后能够充分地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，有利于调整省内能源结构，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，符合新能源重要产业集群的规划分区要求。

2、对《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》规划分区的影响分析

经分析，本项目不在生态保护和修复单元内，距离周边的生态保护和修复单元较远。本项目建设主要为施工产生的悬浮物扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的开始。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，不会对规划中明确的生态系统保护修复单元产生影响。因此，本项目建设内容与规划内容不冲突。

3、对《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035年）》规划分区的影响分析

根据《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目升压站和送出电缆位于海洋开发区，不涉及生态保护区，送出电缆登陆点的岸线为严格保护岸线。本项目海底电缆铺设于海底，送出海缆登陆段的海岸为基岩，登陆段施工采用定向钻的施工方式，该施工方式地底穿过基岩岸线，无需开挖，对基岩基本无影响，不影响严格保护岸线的自然岸线形态及原有生态功能。

经分析，本工程施工船舶均设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，船舶生活污水收集在船载生活污水收集装置中，船舶靠岸后运至岸上，上岸后由建设单位委托有处置能力的船舶污染物接收单位统一处理；船舶机舱含油污水收集后上岸送至有资质单位进行统一处理，不排海。正常情况下，施工船舶污水不会对海域环境造成影响。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，基本不会影响水质质量。本工程营运期运维会产生少量生活污水、生活垃圾等，由运维船舶收集后运至陆域集中处理，不会对所在国土空间海域水质环境造成影响。

汕尾南部海域风能资源较丰富，适宜开发海上风电项目。本项目用海是对该

海域风能资源的有效利用，且风能资源属于清洁的可再生能源，一般情况下本项目建设不会对其产生不利影响，项目建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于满足当地电力负荷需求、促进地方经济快速发展将起到积极作用。因此，本项目建设对风能资源没有不良影响，相反有效利用了海域的风能资源，有助于形成示范效应，推动海上风能资源的高效利用。本项目与周边的滩涂、岛礁、港口等其他海洋资源有一定距离，总体上，项目对汕尾市的滩涂、岛礁、港口、矿产以及旅游等其他海洋资源基本无影响。

4、对《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》的影响分析

根据《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目不涉及生态保护区。经分析，本项目施工产生的悬浮物扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响随着施工的开始随之消失；施工期及运营期生活污水、含油污水及固体废弃物均统一收集处理，不排海。符合《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》的管控要求。

3.5.2.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析

本项目是海上风电项目的配套工程，主要建设海上升压站和送出电缆，海上风电项目的建设可推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现绿色发展，可以利用良好的风能资源，向电网提供清洁的可再生能源，有利于提高海上风电技术水平，有利于促进海上风电设备国产化、海上风机基础选型与施工技术的创新。工程的建设可以大力推动汕尾市沿海经济带高质量发展，全面提升汕尾港的软硬件实力。随着风电场的相继开发，风电将为地方开辟新的经济增长点，对拉动地方经济的发展起到积极作用，项目的开发将以点带面带动全省海上风电开发，为下一步广东省海上风电规模化开发，为后续海上风电建设提供宝贵经验和示范。

根据对所在海域国土空间规划分区的影响分析，本项目用海方式不改变海域自然属性，符合所在海域国土空间规划分区的用途管制要求，因此，本项目建设与《广东省国土空间规划（2021-2035年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》《汕尾市国土空间总体规划（2021-2035年）》和《深圳市深汕特别合作区国土空间总体规划（2021-2035年）》相符合。

3.5.3 项目与“三区三线”的生态保护红线符合性分析

3.5.3.1 与生态保护红线的位置关系

根据 2022 年 10 月 14 日印发的《自然资源部办公厅关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2207 号），广东已完成“三区三线”划定工作，划定成果符合质检要求，从即日起正式启用，作为建设项目用地用海组卷报批的依据。

根据《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），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，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，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线内自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。本项目建设用海与“三区三线”位置关系详见图 3.5.3-1 和表 3.5.3-1。

表 3.5.3-1 本项目所在及周边海域的生态保护红线区

序号	红线名称	红线类型	与项目相对位置及最近距离
1	乌山海岸防护物理防护极重要区	海岸防护物理防护极重要区	项目西侧，最近约 4.5km
2	深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区	重要滩涂及浅海水域	项目北侧，最近约 1.3km
3	汕尾市海丰县红树林	红树林	项目西北侧，最近约 1.4km
4	深圳深汕红树林	红树林	项目西北侧，最近约 5.1km
5	鲘门重要滩涂及浅海水域	重要滩涂及浅海水域	项目东北侧，最近约 3.6km
6	遮浪南重要渔业资源产卵场	重要渔业资源产卵场	项目北侧，紧临

图 3.5.3-1 本项目与“三区三线”中“生态保护红线”位置叠图

3.5.3.2 与生态保护红线的影响及符合性分析

项目建设对遮浪南重要渔业资源产卵场造成的影响主要是施工期间产生的悬浮物扩散会影响周边海域水质环境，进而影响所在海域的水生生物生存和生长。项目施工引起的悬浮泥沙扩散会扩散到上述生态红线区，且项目施工引起的水体扰动和噪声可能影响水生生物栖息和繁育，造成水生生物资源损失，但这种影响

是暂时的，仅局限在施工期间，随着施工结束，工程区及其附近海域的水生生物资源将逐渐得到恢复；运营期间海缆深埋于海底，项目运行期间噪声和电磁辐射环境影响不大，对该红线区水生生物及其生境影响较小。

同时，项目运营期拟通过开展增殖放流等补偿措施以恢复工程海域海洋生物资源，减缓项目建设用海对海洋环境的影响。因此，本项目建设用海对周边生态保护红线的影响在可控范围内，对生态保护红线的生态功能不会造成破坏。

综上，本项目建设符合海洋生态保护红线管理要求。

3.5.4 “三线一单”符合性分析

3.5.4.1 与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性

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），确定各管控单元管控要求（以下简称“省三线一单”）。

环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全省共划定海域环境管控单元481个，其中优先保护单元268个，重点管控单元159个，一般管控单元54个。优先保护单元，以维护生态系统功能为主，禁止或限制大规模、高强度的工业和城镇建设，严守生态环境底线，确保生态功能不降低；重点管控单元，以推动产业转型升级、强化污染减排、提升资源利用效率为重点，加快解决资源环境负荷大、局部区域生态环境质量差、生态环境风险高等问题；一般管控单元，执行区域生态环境保护的基本要求，根据资源环境承载能力，引导产业科学布局，合理控制开发强度，维护生态环境功能稳定。

1、与生态保护红线及一般生态空间符合性分析

根据“省三线一单”的要求，环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类，其中优先保护单元为海洋生态保护红线；重点管控单元主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本项目位于“珠海-潮州近海农渔业区（深圳范围）”，属于一般管控单元；项目评价范围内还涉及“遮浪南重要渔业资源产卵场（深圳范围）”（优先保护单元）、“遮浪南重要渔业资源产卵场（汕尾范围）”（优先保护单元）、“针头岩海洋

保护区”（优先保护单元）、“烟墩角工业与城镇用海区”（重点管控单元）、“乌山海岸防护物理防护极重要区”（优先保护单元）、“小漠港航运与一般工业用海区”（重点管控单元）、“深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区”（优先保护单元）、“鲘门重要滩涂及浅海水域”（优先保护单元）“红海湾农渔业区（深圳范围）”（一般管控单元）、“百安半岛海岸防护物理防护极重要区”（优先保护单元）、和“珠海-潮州近海农渔业区（深圳、惠州范围）”（一般管控单元）。

本项目建设不涉及占用生态保护红线，本项目施工期产生的悬浮物扩散会对周边海域水质环境产生一定影响，但这种影响是暂时的、可逆的，随着施工结束，工程海域海洋环境质量将逐渐恢复原状，施工结束后不会对周边管控单元的海洋环境造成影响。本项目用海对周边海域的影响整体处于可控范围。在水动力环境、地形地貌与冲淤环境方面，经科学评估，项目产生的影响较为轻微；在生态环境方面，也仅带来较小扰动，不会对所在海域造成严重影响。同时，经过全面的风险评估，本项目不存在潜在的重大安全隐患与环境风险，能够有效保障海域生态系统的稳定运行，确保生态功能不降低。无论是生态保护红线区域，还是一般生态空间，本项目用海均符合相关要求。

2、与环境质量底线符合性分析

本项目属于海上风电项目的配套工程，本项目用海方式为透水构筑物、海底电缆管道，项目建设不会对所在海域水文动力环境、地形地貌与冲淤环境产生明显影响。施工期产生的悬浮泥沙是暂时的，施工结束后不会对周围环境造成影响。营运期风电场运维船只产生的船舶含油废水，统一收集上岸交由有能力的单位处理。

3、资源利用上线

本项目送出主缆和登陆点选址均按照《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》的要求布局，通过2根500kV海底电缆集中送出至陆上集控中心。本项目海底电缆的布置并未穿过锚地，与周边锚地保持一定的距离，且远大于保护距离范围。本项目海底电缆工程埋藏在海床以下，海底电缆为埋设形式，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状；因此工程施工基本不会对周围地形地貌产生影响，项目的建设基本不会对周边航路功能造成影响。本项目登陆段为基岩岸线，登陆段施工采用定向钻的施工方式，该施工方式地底穿过

岸线，无需开挖，对基岩基本无影响，不影响自然岸线形态及原有生态功能，不会减少自然岸线保有率，对岸线资源的影响很小。项目前期已对该区域的所有风电场的送出海缆进行了统一规划，确保能集约利用资源且不会互相造成影响。

本项目在满足海缆安全间距的前提下，将本项目送出海缆集中布设，体现了集约、节约用海。本项目电缆深埋海底，不会改变海域自然属性。本项目除登陆点外，其他设施均位于海域，不会占用基本农田和耕地，土地资源消耗符合要求。

4、环境准入负面清单

根据《市场准入负面清单（2025年版）》，本项目为海上风电项目的配套工程，不属于该清单中所列的项目，对市场准入负面清单以外的行业、领域、业务等，各类市场主体皆可依法平等进入。

综上，本项目建设符合《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》相关要求。

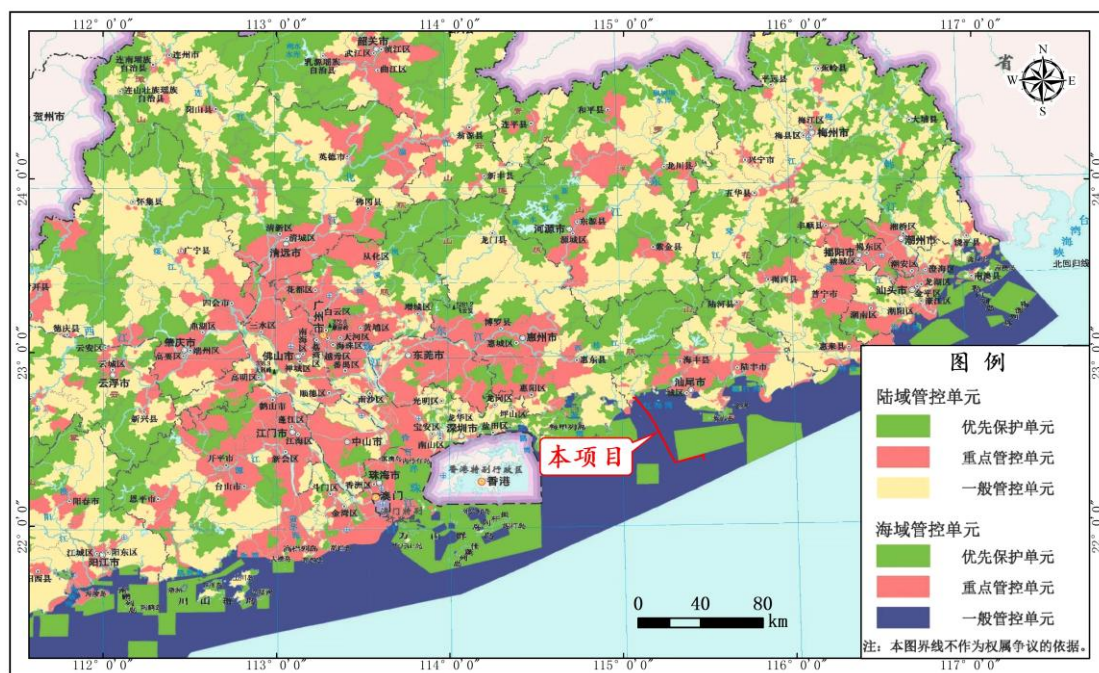


图 3.5.4-1 项目位置与广东省“三线一单”叠图

3.5.4.2 与《汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订版）》的符合性

根据《汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订版）》，本项目位于“珠海-潮州近海农渔业区（汕尾范围）”，属于一般管控单元，见图 3.5.4-2 所示。

本项目用海与该管控单元各管控要求符合性分析详见表 3.5.4-1，经分析，本项目建设与《汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订版）》相关要求

相符。

表 3.5.4-1 本项目用海与“汕尾市三线一单”符合性分析

管控单元名称	近岸海域环境管控分区编码	管控单元分类	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	符合性分析	是否符合
珠海-潮州近海农渔业区（汕尾范围）	HY44150030007	一般管控单元	1.以保护海洋生态为前提，合理保障渔业用海，交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求。2.保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。	1.严格控制近海捕捞强度，严格执行伏季休渔制度和捕捞业准入制度。	1.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。不得将海上养殖生产、生活废弃物弃置海域。		<p>本项目施工期严格遵守相关环境保护管理措施，项目建设用海与该管控单元渔业用海和交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求不冲突。</p> <p>本项目用海不涉及捕捞作业，不影响当地伏季休渔制度和捕捞业准入制度的执行。</p> <p>本项目不涉及海水养殖，施工期废水、固体废弃物等污染物均收集上岸处理，不排海。</p>	符合

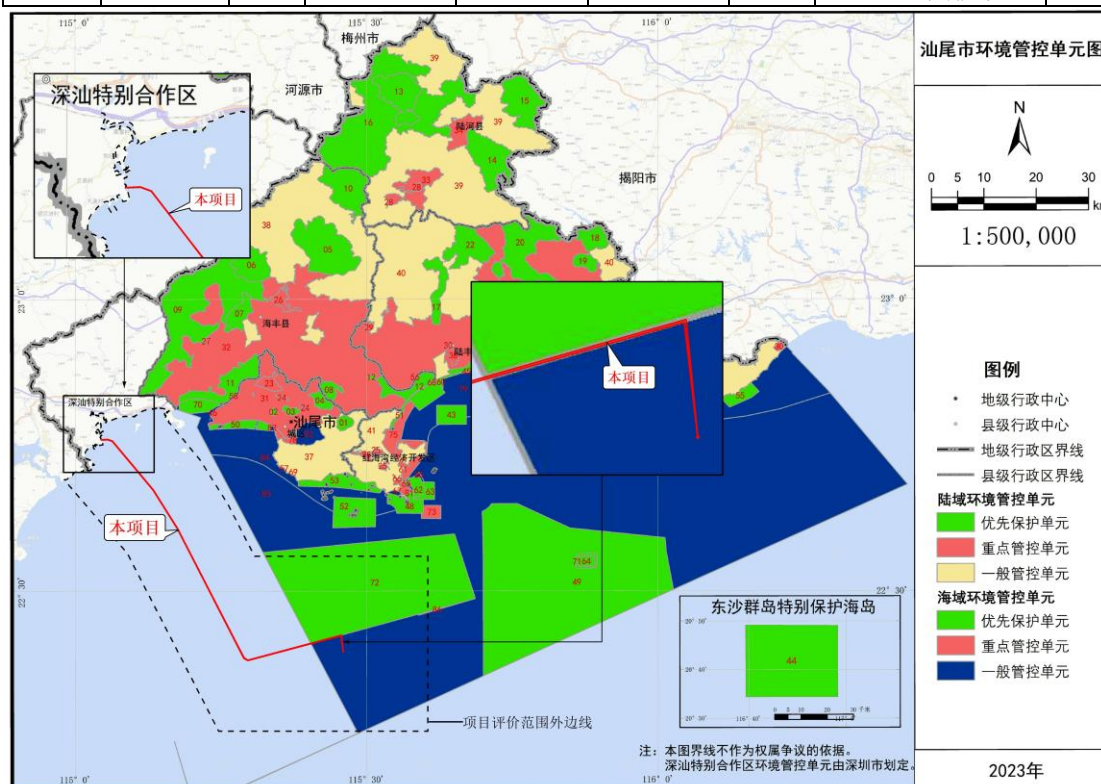


图 3.5.4-2 项目位置与汕尾市“三线一单”叠图

3.5.4.3 与《深圳市“三线一单”生态环境分区管控方案 2023 年度动态更新成果》的符合性

根据《深圳市“三线一单”生态环境分区管控方案 2023 年度动态更新成果》，全市海域共划定 35 个管控单元，其中，优先保护单元 18 个。本项目用海位于“珠海-潮州近海农渔业区（深圳范围）”（一般管控单元）、“红海湾农渔业区（深圳范围）”（一般管控单元）、“珠海-潮州近海农渔业区（汕尾范围）”（一般管控单元）和“小漠港航运与一般工业用海区”（重点管控单元）。项目与项目“深圳市三线一单”管控单元各管控要求符合性分析详见表 3.5.4-2。本项目与“深圳市三线一单”位置关系图详见图 3.5.4-3。经分析，本项目建设与《深圳市“三线一单”生态环境分区管控方案》相关要求相符。

表 3.5.4-2 本项目用海与“深圳市三线一单”符合性分析

管控单元名称	近岸海域环境管控分区编码	管控单元分类	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	符合性分析	是否符合
珠海-潮州近海农渔业区（深圳范围）	HY44150030104	一般管控单元	1.在依法划定的海洋自然保护区、海滨风景名胜区、重要渔业水域及其他需要特别保护的区域，不得从事污染环境、破坏景观的海岸工程项目建设或者其他活动。	1.设立禁渔区、禁渔期和增殖放流等措施，保护海洋渔业资源。	1.科学控制海湾养殖规模和密度，防治养殖自身污染和水体富营养化。	1.加强环境应急能力标准化建设，发展应急机动观测，提升海洋应急观测能力；2.加强对海浪、海啸等海洋灾害的监测，提高海洋灾害预警预测能力，保障航海安全。	本项目施工引起的悬浮泥沙是暂时的，不会对该海域产生较大影响。本项目不涉及养殖，施工及运营期间严格落实本报告提出的环境监测措施。	符合
红海湾农渔业区（深圳范围）	HY44150030103	一般管控单元	在依法划定的海洋自然保护区、海滨风景名胜区、重要渔业水域及其他需要特别保护的区域，不得从事污染环境、破坏景观的海岸工程项目建设或者其他活动。	设立禁渔区、禁渔期和增殖放流等措施，保护海洋渔业资源。	科学控制海湾养殖规模和密度，防治养殖自身污染和水体富营养化。	1.加强环境应急能力标准化建设，发展应急机动观测，提升海洋应急观测能力；2.加强对海浪、海啸等海洋灾害的监测，提高海洋灾害预警预测能力，保障航海安全。	本项目施工引起的悬浮泥沙是暂时的，不会对该海域产生较大影响。本项目不涉及养殖，施工及运营期间严格落实本报告提出的环境监测措施。	符合
小漠港航运与一般工业用海区	HY44150020101	重点管控单元	1.禁止在沿海陆域内新建不具备有效治理措施的化学制浆造纸、化工、印染、制革、电镀、酿造、炼油、岸边冲滩拆船以及其他严重污染海洋	1.港口基础设施及临港配套设施建设应集约高效利用岸线资源	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	1.提升船舶与港口码头污染事故应急处置能力，加强沿海地区突发环境事件风险防控-③；2.加强环境应急能力标准化建设，发展应急机动观	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。本项目施工期废水、固体废弃物等污染物均收集上岸处理，不排海。	符合

管控单元名称	近岸海域环境管控分区编码	管控单元分类	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	符合性分析	是否符合
			环境的工业生产项目；2.严格控制围填海等改变海域自然属性或者生态环境的用海项目；3.从严控制“两高一资”产业在沿海地区布局；4.做好与土地利用总体规划、城乡规划等的衔接，优化空间布局，加强自然岸线和海岸景观的保护。	和海域空间-④；2.禁止非法采挖砂石，非法占用、破坏海岸线和沙滩资源-②。	标准和有关规定-①；2.持续对近岸海漂垃圾进行清理-⑤。	测，提升海洋应急观测能力。	项目施工及运营期间严格落实本报告提出的环境监测措施。	

图 3.5.4-3 项目位置与深圳市“三线一单”叠图

3.5.5 与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》符合性

3.5.5.1 《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》部分内容

2025 年 1 月 23 日，《广东省自然资源厅关于印发广东省海岸带及海洋空间规划（2021—2035 年）》（粤自然资发〔2025〕1 号）（以下简称《规划》）“总体要求”中提出：完整、准确、全面贯彻新发展理念，立足高质量发展新阶段，聚焦陆海统筹，强化海岸带及海洋空间保护与利用协调发展，为“全面推进海洋强省建设，在打造海上新广东上取得新突破”等战略任务落地实施提供空间保障。

《规划》中指出：“保障海上风电等绿色能源规模化开发，积极谋划布局海洋可再生能源、天然气水合物、核电等产业发展空间，有序推进海砂开发，打造海上矿山。规划海上风电、核电为主的工矿通信用海区约 0.67 万平方千米，涉及大陆海岸线约 252.0 千米。合理保障湛江徐闻东、阳江三山岛、江门川岛、珠海高栏、汕尾红海湾等 7 个新增省管海域海上风电项目，统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点，支持珠三角海上风电研发服务基地、粤东粤西两个千万千瓦级海上风电基地建设，积极探索专属经济区海域风电开发与管理。”

《规划》中将全省大陆海岸线划分为严格保护岸线、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。应确保严格保护岸线生态功能不降低、

长度不减少、性质不改变。控制限制开发岸线的开发强度，限制开发岸线针对自然形态保持基本完整、生态功能与资源价值较好、开发利用程度较低的海岸线划定。提高优化利用岸线的生态门槛和产业准入门槛。优化利用岸线针对人工化程度较高、海岸防护与开发利用条件较好的海岸线划定。

3.5.5.2 与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》符合性分析

《广东省海岸带及海洋产业空间布局图》及本项目在图中的位置示意图见图 3.5.5-1，从图中可见，本项目已纳入《规划》的广东省海岸带及海洋产业空间布局范围。《广东省海洋功能分区图》及本项目在图中的位置示意图见图 3.5.5-1。

根据《省海岸带规划》的功能区登记表，本项目位于金狮湾工矿通信用海区、红海湾渔业用海区、东山海-红海湾海洋预留区、红海湾交通运输用海区、汕尾南部渔业用海区、汕尾西部工矿通信用海区。本项目与各功能的符合性见表 3.5.5-1。

本项目为红海湾三、四海上风电项目的集中送出工程，满足所在区域的空间准入要求，用海方式为透水构筑物和海底电缆管道，其建设不会破坏海域自然属性，且不涉及生态保护红线。本项目登陆段位于《规划》中的严格保护岸线，登陆段采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线，不影响自然岸线长度、形态及生态功能。

本工程为海上风电的必要配套工程，能够稳步推进汕尾海上风电场的建设，是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、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。本项目符合国家能源产业发展方向，能有效提高风能资源的利用。本项目不仅是广东省能源供应的有效补充，而且作为绿色能源，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进广东省海岸带生态环境的可持续发展。

综上，本项目与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》的海洋产业空间布局以及所在的海洋功能分区的管理要求相符合。

图 3.5.5-1 《广东省海岸带及海洋产业空间布局图》及本项目在图中的位置示意图

表 3.5.5-1 各功能分区管控要求符合性一览表

序号	名称	管控要求（广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年））		符合性分析	是否符合
1	金狮湾工矿通信用海区	空间准入	1.允许工业用海；2.可兼容路桥隧道、航运、科研教育、海洋保护修复及海岸防护工程用海；3.在未开发利用之前可兼容开放式养殖等增养殖用海；4.探索推进海域立体分层设权，光伏发电、增养殖、海底电缆管道等用海空间可立体利用；5.保障大南海拓展区的用海需求。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，属于可兼容得用海活动，项目用海采用立体分层确权，对所在海域空间已充分利用。	符合
		利用方式	1.允许适度改变海域自然属性；2.优化用海平面布局，节约集约利用海域资源。	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。本项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，已进行优化布局，符合节约集约利用海域资源。	符合
		保护要求	1.工业用海必须配套建设污水和生活垃圾处理设施，实现达标排放和科学处置；海上矿产、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；2.切实保护严格保护岸线；3.严格保护岸线所在的潮间带区域，以保护修复目标为主，保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低。	本项目施工期废水、固体废弃物等污染物均收集上岸处理，不排海。项目施工及运营期间严格落实本报告提出的环境监测措施。项目建设不会破坏自然岸线。	符合
		其他要求	1.重点防范风暴潮和海平面上升灾害风险；2.保障临海工业（核电）的温排水需求。	项目已制定防台安全措施。项目施工及运营期间严格落实本报告提出的保护措施。	符合
2	红海湾渔业用海区	空间准入	1.允许渔业基础设施、增养殖、捕捞等用海；2.可兼容固体矿产用海、可再生能源、海底电缆管道、航运、路桥隧道、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用海；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、路桥隧道等用海空间可立体利用；4.优先保障军事用海及军事设施安全，保障小漠渔港、马宫渔港用海需求。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，属于可兼容得用海活动。项目用海采用立体分层确权，对所在海域空间已充分利用。	符合
		利用方式	1.允许适度改变海域自然属性；2.增养殖活动应避免航道，不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全；3.严格控制河口海域的围海养殖，维护河口防洪纳潮功能；4.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；5.禁止养殖活动侵占渔港进出港航道及影响渔港正常运营。	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。	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	本项目施工期废水、固体废弃物等污染物均收集上岸处理，不排海。项目	符合

序号	名称	管控要求（广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年））		符合性分析	是否符合
			养殖规模、密度和结构，保障渔业资源可持续发展；2.切实保护严格保护岸线；3.严格保护岸线所在的潮间带区域，以保护修复目标为主，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.保护和合理利用无居民海岛资源；5.保护红树林、基岩岸滩、砂质海岸、淤泥质岸滩及其生境。	施工及运营期间严格落实本报告提出的环境监测措施。项目采用定向钻底穿岸线，其施工不影响自然岸线长度、形态及生态功能。	
		其他要求	1.重点防范风暴潮和海平面上升灾害风险；2.保障临海工业（核电）的温排水需求。	项目已制定防台安全措施。项目施工及运营期间严格落实本报告提出的保护措施。	符合
3	东山海-红海湾海洋预留区	空间准入	严禁随意开发；已存在的开发利用活动可保留现状，新增用海活动经科学论证后可准入，保障海洋牧场用海需求，可兼容海底电缆管道用海。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，属于可兼容得用海活动。	符合
		利用方式	允许适度改变海域自然属性。集约节约用海，严格论证用海方式合理性，降低对生态系统服务功能、海岸地形、水动力环境等的影响。	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。本项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，用海方式。	符合
		保护要求	1.河口海域项目建设应维护防洪纳潮功能，保障行洪安全；坚持集约节约用海用岸；区域内的无居民海岛，执行海岛分类管控要求；2.切实保护严格保护岸线；3.严格保护岸线所在的潮间带区域，以保护修复目标为主，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.保护基岩岸滩、砂质海岸及其生境。	项目用海采用立体分层确权，对所在海域空间已充分利用。项目采用定向钻底穿岸线，其施工不影响自然岸线长度、形态及生态功能。	符合
		其他要求	1.重点防范风暴潮灾害风险；2.保障临海工业（核电）的温排水需求。	项目已制定防台安全措施。项目施工及运营期间严格落实本报告提出的保护措施。	符合
4	红海湾交通运输用海区	空间准入	1.允许航运用海；2.可兼容海底电缆管道等用海；3.在未开发利用之前可兼容开放式养殖等增殖用海；4.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。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，属于可兼容得用海活动，项目用海采用立体分层确权，对所在海域空间已充分利用。	符合
		利用方式	1.严格限制改变海域自然属性；2.严禁在航道、锚地内进行增殖养殖、捕捞，以及建设构筑物等。	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。	符合
		保护要求	维护和改善航运用海区原有的水动力和泥沙冲淤环境。	本项目施工引起的悬浮泥沙是暂时的，不会对该海域产生较大影响。	符合

序号	名称	管控要求（广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年））		符合性分析	是否符合
		其他要求	1.加强海啸灾害防范；2.保障临海工业（核电）的温排水需求。	项目已制定防台安全措施。项目施工及运营期间严格落实本报告提出的保护措施。	符合
5	汕尾南部渔业用海区	空间准入	1.允许增养殖、捕捞等用海；2.可兼容固体矿产用海、可再生能源、海底电缆管道、航运、路桥隧道、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等用海；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、路桥隧道等用海空间可立体利用。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，属于可兼容得用海活动，项目用海采用立体分层确权，对所在海域空间已充分利用。	符合
		利用方式	1.严格限制改变海域自然属性；2.增养殖活动应避免航道，不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全；3.严格控制河口海域的围海养殖，维护河口防洪纳潮功能；4.捕捞海域严格限制改变海域自然属性。	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，可兼容得用海活动。	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。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，可以兼容增养殖用海活动，保障渔业资源可持续发展。	符合
		其他要求	\	\	\
6	汕尾西部工矿通信海区	空间准入	1.允许可再生能源、海底电缆管道用海；2.可兼容人工鱼礁、开放式养殖等增养殖用海，航运、科研教育等用海；3.在未开发利用之前可兼容开放式养殖等增养殖用海；4.探索推进海域立体分层设权，海上风电、光伏发电、增养殖、海底电缆管道等用海空间可立体利用；5.保障海上风电、海洋牧场等重点项目的用海需求。	项目送出电缆用海方式为海底电缆管道，属于可兼容得用海活动，项目用海采用立体分层确权，对所在海域空间已充分利用。	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。	本项目不涉及围填海，不会改变海域的自然属性。	符合
		保护要求	海上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。	本项目施工及运营期间严格落实本报告提出的环境监测措施，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。	符合
		其他要求	加强海啸灾害防范。	项目已制定海啸灾害防范措施。	符合

3.5.6 与《广东省近岸海域环境功能区划》的符合性

为了保护和改善广东省海洋生态环境，防止海洋环境污染，保证沿海地区经济发展战略的实施和社会、经济、环境协调发展及海洋资源的永续利用，广东省1999年制订了《广东省近岸海域环境功能区划》，该功能区划主要适用于广东省管辖的近岸海域。由下图3.5.6-1可知，本项目穿越《广东省近岸海域环境功能区划》规划范围内的“一类”和“三类”，根据海洋环境现状调查可知，海域水质现状符合相关功能区标准。本项目对环境功能区的影响主要是施工期海缆开沟敷设对底土扰动，造成悬沙扩散进而引起水质环境变化，但该影响是暂时的，随着施工结束，悬沙物沉降，区域悬沙浓度逐渐恢复至原水平，不会对各环境功能区的海洋环境造成不可逆的影响。因此，本项目建设符合《广东省近岸海域环境功能区划》中的相关规定。

图 3.5.6-1 本项目与《广东省近岸海域环境功能区划》叠图

3.5.7 与其他相关规划的符合性分析

3.5.7.1 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性

《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》（以下简称《省海洋生态“十四五”规划》），提出了2025年广东省海洋生态环境保护的主要目标是：海洋生态环境质量持续改善；海洋生态保护修复取得实效；美丽海湾建设稳步推进；海洋生态环境治理能力不断提升。

践行新发展理念，助推海洋生态环境保护与海洋经济发展共赢。坚持以“双区”建设为抓手，大力推进美丽湾区建设，积极支持深圳建设人与自然和谐共生美丽中国典范，推动构建与“一核一带一区”相适应的生态环境保护格局。持续推动海洋产业结构优化调整，海洋三次产业结构比由2016年的1.7:40.7:57.6变为2020年的2.8:26.0:71.2。海洋传统产业结构调整效果显现，深海网箱养殖与远洋渔业成为海洋渔业新的增长点；**海洋新兴产业加速培育壮大，海洋工程装备制造、海上风电等千亿级海洋产业集群初具雏形，海洋经济绿色发展水平明显提升。**

建设人海和谐的沿海经济带。沿海经济带突出陆海统筹，港产联动，加强海洋生态保护，**加快构建绿色沿海产业带**。严把高耗能、高排放建设项目生态环境准入关，新建“两高”项目必须根据沿海地区环境质量改善目标要求，落实主要污染物区域削减措施，腾出足够的环境容量。**加快推进钢铁、石化等重点行业绿色低碳转型升级**，统筹考虑技术工艺升级、节能改造、污染排放治理、循环利用，**推动减污降碳协同增效**。

加强海洋生态空间保护。海洋空间坚持保护为主、适度开发，实施海洋“两空间内部一红线”。加强底线约束和空间管控，严格落实生态保护红线管控。生态保护红线内的自然保护地核心区原则上禁止人为活动；其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

送出海底电缆登陆段采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线，不影响自然岸线长度、形态及生态功能。项目不占用但邻近海洋生态保护红线，施工所产生的影响是暂时的、可逆的，在施工结束后不会影响生态保护红线的功能，运营期也不造成影响。施工产生的悬浮物来自本海区，且随着施工期的结束功能区内的悬浮物水平会恢复到原有水平，不会对海水水质、沉积物和生物质量产生较大的影响。本工程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。施工完毕后，海域可迅速恢复至原有水质和生物。

综上分析，本项目没有大规模、高强度的工业和城镇建设，建设成后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展。项目用海对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响很小，不会对所在海域产生严重影响，能确保生态功能不降低。海上风电项目为清洁可再生能源，是对广东省能源消耗的有益补充，将会大幅度减少有害气体的排放量，降低污染。

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》中的相关要求。

3.5.7.2 与《汕尾市海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性

《汕尾市海洋生态环境保护“十四五”规划》（以下简称《市海洋生态“十四五”规划》）中提出了总体目标：展望 2035 年，全市海洋生态环境保持优良，

美丽海湾建设目标基本实现，海洋生物多样性得到有效保护，生态系统功能全面提升，基本达到“水清滩净、岸绿湾美、鱼鸥翔集、人海和谐”要求，**不断强化沿海经济带重要战略支点功能**，沿海经济带靓丽明珠基本建成。

《市海洋生态“十四五”规划》明确了“坚持绿色引领，推进海洋经济绿色低碳发展”的战略方向。其中包括“优化沿海地区产业结构”。结合“一带一路”建设、融入粤港澳大湾区、沿海经济带综合发展、建设海洋强省等国家和省重大决策部署，实施科技引领，加快推动我市沿海地区实现创新驱动发展和绿色发展转型。加快构建沿海现代农业产业体系，优化海水养殖业空间布局。推进循环经济和**企业清洁生产**，加强资源综合利用和循环利用，实施工业园区废水集中处理。**加快推动我市海上风电、核电、抽水蓄能等清洁能源项目建设，规划我市千万千瓦海上风电基地**，推动陆丰海洋工程装备制造基地的进一步发展，建设定位为**国家新材料新能源创新基地和广东省绿色智慧化工园区的大南海石化工业园（汕尾基地）**，**将我市打造成粤港澳大湾区重要的清洁能源基地**。

本项目位于汕尾市红海湾海域，海上风电作为海洋清洁能源的重要组成部分，其发展符合汕尾市产业政策导向和产业布局要求。同时，汕尾市还积极打造海上风电产业链和产业集群，通过引进和培育一批具有核心竞争力的企业，推动海上风电产业的快速发展和壮大。海上风电作为一种清洁、可再生的能源，其大规模的开发和利用能够显著降低化石燃料的消耗和二氧化碳等温室气体的排放，对于实现绿色低碳发展具有重要意义，符合汕尾市优化沿海地区产业结构的发展方向。本报告已根据项目建设影响程度进行预测，依据预测结果对海洋生物资源进行损失评估，项目建成后建设单位应及时开展海洋生态修复工程，如增殖放流等，以恢复海域生物资源，提高海洋生态系统的稳定性和生物多样性。

因此，本项目建设与《汕尾市海洋生态环境保护“十四五”规划》相符。

3.5.7.3 与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析

为进一步完善海上风电管理体系，规范海上风电开发建设秩序，促进海上风电产业持续健康发展，国家能源局、原国家海洋局制定了《海上风电开发建设管理办法》。管理办法规定海上风电场应当按照生态文明建设要求，统筹考虑开发强度和资源环境承载能力，原则上应在离岸距离不少于 10km、滩涂宽度超过 10km 时海域水深不得少于 10m 的海域布局。在各种海洋自然保护区、海洋特别

保护区、自然历史遗迹保护区、重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地、鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域，以及划定的生态红线区内不得规划布局海上风电场。海底电缆按照《铺设海底电缆管道管理规定》及实施办法的规定，办理路由调查勘测及铺设施工许可手续。

本工程位于广东省汕尾市南侧海域，广东东部沿岸陆架上，海域宽阔，地形较为平坦。本项目场区内未见岛屿与礁石分布，海底电缆严格按照《铺设海底电缆管道管理规定》及实施办法的规定进行。

经分析，项目位置不占用生态保护红线，本项目位置符合《海上风电开发建立管理办法》中选址要求。

因此，项目建设符合《海上风电开发建立管理办法》的管理要求。

3.5.7.4 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性

《“十四五”现代能源体系规划》提出了“加快推动能源绿色低碳转型”的发展方向。坚持生态优先、绿色发展，壮大清洁能源产业，实施可再生能源替代行动，推动构建新型电力系统，促进新能源占比逐渐提高，推动煤炭和新能源优化组合。坚持全国一盘棋，科学有序推进实现碳达峰、碳中和目标，不断提升绿色发展能力。

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远岸区域布局。**积极发展太阳能热发电。

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。

深圳、汕尾作为广东省的重要沿海城市，本项目汕尾红海湾三海上风电项目

与《“十四五”现代能源体系规划》的目标高度一致。本项目的建设是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、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。

因此，本项目建设与《“十四五”现代能源体系规划》相符。

表 3.5.7-1 《“十四五”现代能源体系规划》专栏 3（节选）

专栏 3 能源绿色低碳转型工程
风电和光伏发电。积极推进东部和中部等地区分散式风电和分布式光伏建设，优化推进新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏、陕北、晋北、冀北、辽宁、吉林、黑龙江等地区陆上风电和光伏发电基地化开发，重点建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。

3.5.7.5 与《“十四五”可再生能源发展规划》的符合性

《“十四五”可再生能源发展规划》提出的发展目标是：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。

该规划还提出了：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。

表 3.5.7-2 “十四五”海上风电开发建设重点

专栏 3 “十四五”海上风电开发建设重点
<p>01 海上风电基地集群</p> <p>推动山东半岛、长三角、闽南、粤东、北部湾等千万千瓦级海上风电基地开发建设，推进一批百万千瓦级的重点项目集中连片开发，结合基地开发建设推进深远海海上风电平价示范和海上能源岛示范工程。</p>

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。本项目的建设是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、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。

因此，本项目为红海湾三、四海上风电项目的集中送出工程，符合《“十四五”现代能源体系规划》关于建设海上风电基地的规划目标。

3.5.7.6 与《2030年前碳达峰行动方案》的符合性分析》

《2030年前碳达峰行动方案》(以下简称《方案》)提出了非化石能源消费比重、能源利用效率提升、二氧化碳排放强度降低等主要目标。

《方案》要求，将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，重点实施能源绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、工业领域碳达峰行动、城乡建设碳达峰行动、交通运输绿色低碳行动、循环经济助力降碳行动、绿色低碳科技创新行动、碳汇能力巩固提升行动、绿色低碳全民行动、各地区梯次有序碳达峰行动等“碳达峰十大行动”，并就开展国际合作和加强政策保障作出相应部署。

《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。

红海湾三、四海上风电项目的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。本项目为红海湾三、四海上风电项目的集中送出工程，符合《2030 年前碳达峰行动方案》全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展的要求。

3.5.7.7 与《广东省能源发展“十四五”规划》的符合性

《广东省能源发展“十四五”规划》提出的发展目标是：展望 2035 年，能源高质量发展取得决定性进展。能源消费总量控制在 4.8 亿吨标准煤以内，非化石能源消费比重争取提升至 40%左右。能源安全保障能力大幅提升，能源利用效率基本达到世界先进水平，能源科技创新取得较大突破，形成新兴能源产业体系，助力加快碳中和进程，高水平建成国内领先的清洁低碳、安全高效、智能创新的现代能源体系。

该规划中提及 2025 年主要目标包括：能源产业发展更加集聚。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**，加快培育氢能、储能、智慧能源等新兴产业，建设差异化布局的新能源产业集聚区。到 2025 年，全省新能源产业营业收入达 7300 亿元，形成国内领先的新能源产业集群。

该规划要求，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。

推动海上风电产业集聚发展。充分利用海上风能资源丰富的优势，加快海上风电规模化开发。以省内风机骨干企业为引领，利用超大市场优势，做大做强海上风电装备制造业，加快形成集整机制造和前沿新材料、叶片、齿轮箱、轴承、电机、变频器、控制系统等关键零部件制造，以及基础结构、**海底电缆**等设计建

设为一体的高端制造产业链集群，推进海上风电机组向大容量、智能化、抗台风方向发展。加快培育海上风电运维产业，统筹布局海上风电运维基地，配套相关基础设施，组织开展运维技术设备研发制造和专业队伍建设。

本项目为汕尾红海湾三、四海上风电项目的集中送出工程，其建设符合《规划》要求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，推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平，促进当地旅游业、带动地方经济快速发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

3.5.7.8 与《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》的符合性分析

根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》，综合考虑建设条件、产业基地配套和项目经济性等因素，全省规划海上风电场址 23 个，总装机容量 6685 万千瓦。包括：近海浅水区（35 米水深以内）海上风电场址 15 个，装机容量 985 万千瓦；近海深水区（35-50 米水深）规划海上风电场址 8 个，装机容量 5700 万千瓦。

根据《广东发展和改革委员会关于调整全省海上风电场场址的通知（粤发改能源函〔2023〕48号）》将《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》场址调整情况通知如下：“一、新增省管海域（领海线以内）海上风电场址 7 个、装机容量 1830 万千瓦，其中粤东海域新增红海湾场址 1 个，位于汕尾市南面海域，场址最近端距离陆岸约 25 公里，最远端距离陆岸约 57 公里。场址面积约 685 平方公里，水深在 33-49 米之间，规划装机容量 440 万千瓦。

红海湾三、四海上风电项目位于新增的汕尾红海湾场址内，开发容量均为 500MW。风电机组发出的电能通过集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过海底电缆输送到陆上升压站。本项目为红海湾三、四海上风电项目的集中送出工程，符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》的要求。

3.5.7.9 与《汕尾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》的符合性分析

《汕尾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》提出围绕建设海洋强市目标，依托汕尾海洋岸线资源禀赋，着力优化海洋经济布局，提升海洋产业竞争力，推进海洋治理体系和治理能力现代化，将海洋经济打

造成为重要增长极和主引擎。坚持陆海统筹、综合开发,优化海洋空间功能布局,提升海洋资源开发利用水平,积极拓展蓝色经济发展空间。

《汕尾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》要求,大力发展清洁能源。依托丰富岸线和广阔腹地,大力发展核电、海上风电、光伏发电,合理发展气电,加快推进陆丰核电前期工作,争取尽快开工建设。推进陆丰燃气发电、汕尾天然气保障电源项目和粤东天然气主干管网项目建设,稳步推进陆丰后湖、甲子、碣石海上风电等项目规划建设,积极规划建设粤东(汕尾)千万千瓦海上风电基地。加快推进汕尾陆河抽水蓄能电站工程。加快 500 千伏甲子海上风电场建设,进一步优化能源供应结构。适度发展高效煤电,加快广东陆丰甲湖湾电厂扩建工程,推动煤电行业加快推进设备更新和技术升级改造。到 2025 年,电源总装机规模达到 1200 万千瓦时。(目前更新为推进陆丰核电、汕尾电厂 5、6 号机等项目建设,稳步推荐陆丰后湖、甲子、国管海域粤东场址等海上风电项目建设…到 2025 年,电源总装机规模达到 1800 万千瓦时。)

汕尾红海湾海上风电场的建设是满足汕尾市电力需求增长的需要,也是促进广东经济低碳、可持续发展的需要,是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。本项目为汕尾红海湾三、四海上风电项目的集中送出工程,因此项目建设符合《汕尾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》。

4 环境现状调查与评价

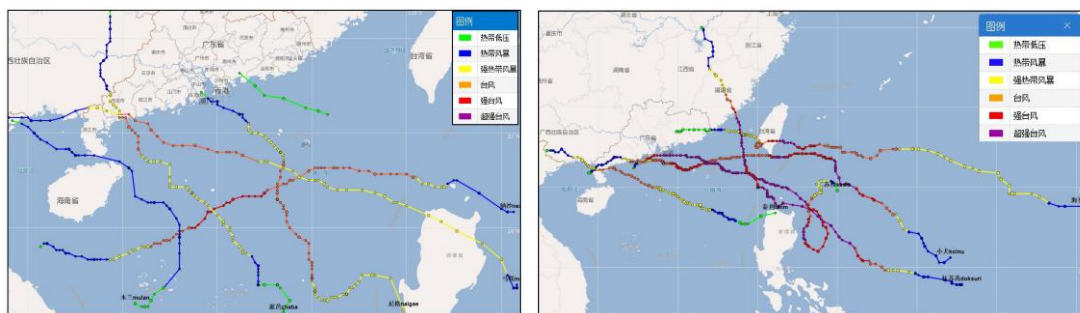
4.1 自然环境现状调查与评价

4.1.1 自然灾害

4.1.1.1 热带气旋

2022 年共有 6 个热带气旋影响汕尾市，分别是 3 号“暹芭”、无名热带低压（8 月 3-4 日）、7 号“木兰”、9 号“马鞍”、20 号“纳沙”、22 号“尼格”。全年无台风正面袭击汕尾市，2022 年热带气旋对汕尾市总体影响较轻，以降雨影响为主，大风影响轻。

2023 年共有 5 个热带气旋影响汕尾市，分别是 4 号“泰利”、5 号“杜苏芮”、9 号“苏拉”、11 号“海葵”、14 号“小犬”。其中，“杜苏芮”、“苏拉”、“海葵”给汕尾市造成严重影响。超强台风“苏拉”正面袭击并严重影响汕尾市，台风“海葵”的残涡则给汕尾市带来特大暴雨降水，2023 年热带气旋总体对汕尾市有较大的风雨影响。



2022 年影响汕尾的热带气旋路径图

2023 年影响汕尾的热带气旋路径图

图 4.1.1-1 2022 年和 2023 年影响汕尾的热带气旋路径图

4.1.1.2 风暴潮

2020 年至 2023 年期间，对汕尾市影响较大的风暴潮主要是 2021 年“圆规”台风风暴潮和 2023 年“苏拉”台风风暴潮。

2021 年 10 月 13 日台风“圆规”在海南省琼海市沿海登陆，登陆时中心附近最大风力 12 级（33 米/秒），中心最低气压为 975 百帕，遮浪站和汕尾站出现了达到当地橙色警戒潮位的高潮位，分别是 98cm 和 82cm，

2023 年 9 月 2 日，“苏拉”以强台风级强度登陆广东省珠海市金湾区沿海，登陆时中心附近最大风力 14 级（45 米/秒），中心最低气压 950 百帕，遮浪站和

汕尾站出现了达到当地黄色警戒潮位的高潮位，分别是 84cm 和 93cm，导致汕尾红海湾海域 MF14167 浮标受损。

4.1.1.3 赤潮

2019 年至 2023 年期间，汕尾市共发生 4 起赤潮灾害事件。具体见表 4.1.1-1。

表 4.1.1-1 2019 年至 2023 年汕尾市赤潮灾害统计表

发生地点	起止时间	赤潮生物种	最大成灾面积 (km ²)
广东汕尾陆丰碣石镇附近海域	2019.6.4 至 2019.6.6	丹麦细柱藻	10
汕尾品清湖近岸水域	2020.12.2 至 2020.12.8	球形棕囊藻	50
汕尾市后门港区及马宫港区周边海域	2020.8.30 至 2020.9.4	锥状斯克里普藻	37.8
汕尾市附近海域	2021.1.26 至 2021.1.31	红色赤潮藻	80

4.1.1.4 地震

本工程场区近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，场地 5km 内未见全新世活动断裂，近区域地震活动水平较弱，场区区域构造稳定性较好，可建设风电场。

根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)，红海湾场址及临近的沿海陆域II类场地条件下 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度为 0.10g，对应地震基本烈度为VII度，基本地震动加速度反应谱特征周期为 0.35s。

根据本次勘测成果，风电场区建筑的场地类别为III~IV类。按《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)表 1 基本地震动加速度反应谱特征周期调整表和附录 E 中地震动峰值加速度调整系数表，建议本工程III类场地 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度暂按 0.125g 考虑，对应地震基本烈度为VII度，基本地震动加速度反应谱特征周期暂按 0.45s 考虑；IV类场地 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度暂按 0.12g 考虑，对应的地震基本烈度为VII度，基本地震动加速度反应谱特征周期暂按 0.65s 考虑。

4.1.2 海洋水文

4.1.2.1 基面关系

根据遮浪海洋站 (115°34'E, 22°39') 2018 年 1 月~2021 年 12 月连续的逐时潮位观测资料可知，各基面关系见如图 4.1.2-1 所示。

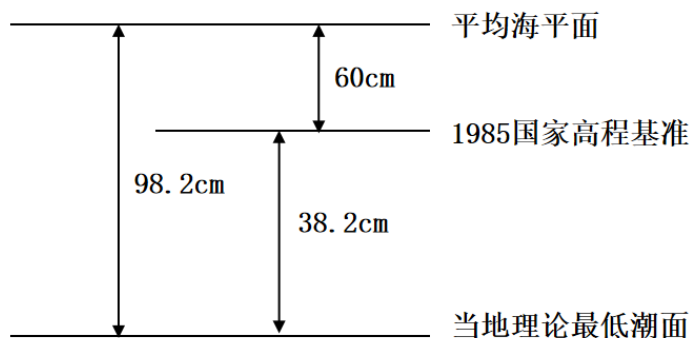


图 4.1.2-1 各基面关系图

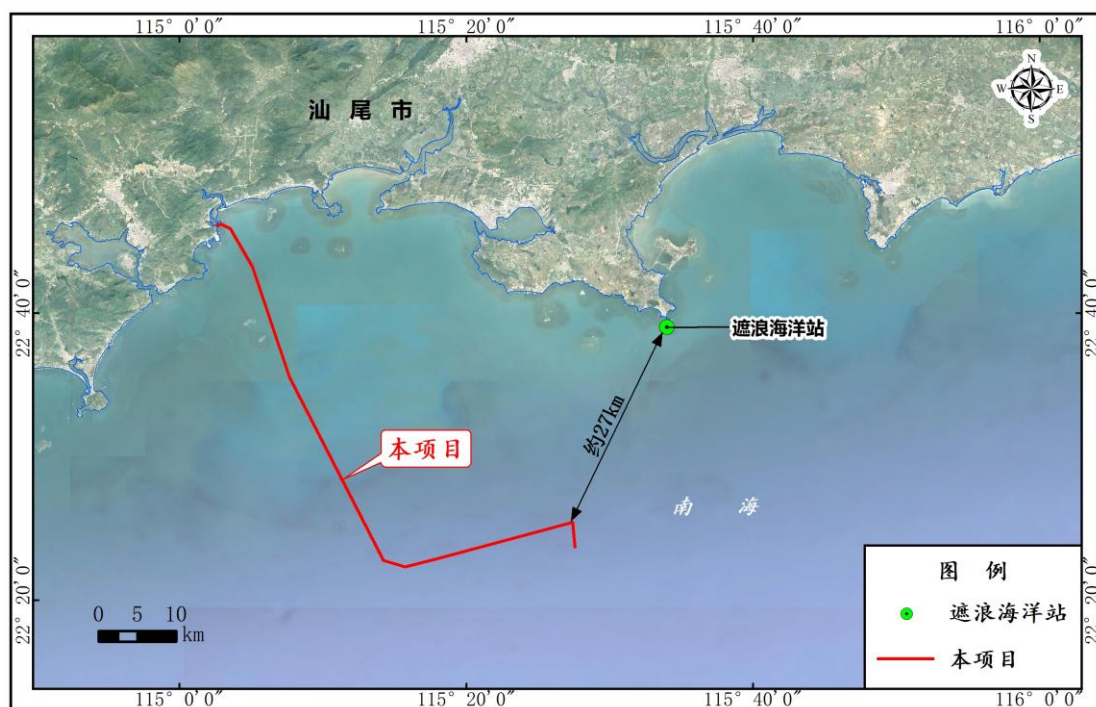


图 4.1.2-2 本项目与遮浪海洋站的位置关系图

4.1.2.2 潮汐

根据遮浪海洋站 2018 年 1 月~2021 年 12 月连续的逐时潮位观测资料对项目海区的潮汐特征进行统计分析，潮汐特征值结果见表 4.1.2-1 所示。

本海湾潮汐系数为 2.8，属于不正规全日潮。本海域平均潮位为 60cm，10 月月平均潮位最高，为 82cm，5 月和 6 月月平均潮位最低，为 51cm；年平均高潮位为 96cm，10 月月平均高潮位最高，为 120cm；年平均低潮位为 18cm，5 月月平均低潮位最低，为 8cm；多年最高潮位为 231cm，多年最低潮位为-40cm；多年平均潮差为 78cm，历年最大潮差为 210cm。

表 4.1.2-1 遮浪海洋站潮汐统计特征 (单位: cm)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均潮位	61	56	53	54	51	51	53	56	68	82	72	69	60
最高潮位	184	175	143	133	155	171	184	167	224	231	173	194	231
最低潮位	-35	-31	-35	-24	-40	-39	-35	-25	-28	-10	-30	-25	-40
平均高潮位	99	90	87	89	87	85	86	89	104	120	111	110	96
平均低潮位	20	14	9	9	8	12	15	14	26	37	27	24	18
平均潮差	78	76	77	81	79	72	71	74	79	83	83	85	78
最大潮差	197	187	148	147	170	188	183	172	136	187	181	210	210

4.2 海域自然资源概况

4.2.1 自然资源概况

4.2.1.1 岸线资源

汕尾市海岸线全长约 455.2km, 沿海有红海湾、碣石湾两大海湾, 辖下海域有 93 个海岛, 岛岸线长 45km。港口岸线主要集中于红海湾和碣石湾, 分布于西部的小漠、鲒门、马宫、城区、小澳, 白沙湖西侧及白沙湖半岛北部, 以及东部的乌坎、碣石、田尾山、湖东、甲子等地区。

4.2.1.2 港口资源

根据《汕尾港总体规划 (2021-2035 年)》, 汕尾港地处惠州市与揭阳市之间沿海, 毗邻港澳, 是华南地区便捷的海上门户, 区位优势明显, 自然条件优越, 水陆交通方便。当前汕尾港划分为汕尾港区、汕尾新港区、海丰港区 (含小漠港区)、陆丰港区, 各港区规划情况如下:

汕尾港区主要规划汕尾作业区, 以发展客运功能为主, 大力发展邮轮及小船客运服务, 主要布置 1 个 1000~2000GT 和 2 个 1-5 万 GT 的客运泊位, 同时预留若干游艇泊位。

汕尾新港区主要规划白沙湖作业区, 以服务临港产业和散杂货公共运输需求为主, 承担汕尾市集装箱喂给运输和近洋支线运输等功能, 主要布置 5~15 万吨级泊位。

海丰港区主要规划小漠港区, 发展煤炭、矿石等大宗散货, 成品油、LNG 等液体散货以及集装箱运输, 主要发展 2~10 万吨级泊位。

陆丰港区主要规划有田尾山作业区、湖东甲西作业区、甲子屿作业区、东海

岸作业区、碣石作业区及乌坎作业区，共规划约 74 个 5 百~15 万吨级泊位，可形成码头岸线 21.1km。其中，田尾山作业区以海上风电设施运输及临港工业服务为主，兼顾腹地散杂货的运输；湖东甲西作业区以服务新能源产业为特色，兼顾现代物流产业需求，承担电厂的原材料运输、汕尾港公共散杂货的运输及液化天然气接卸功能；甲子屿作业区以承担散杂货运输为主，主要服务于三甲地区工业园；东海岸作业区主要承接揭阳港石化运输的中下游产业，以运输成品油、液化烃、化学品等液体货物为主，兼顾固体化学品等散杂货运输；碣石作业区规划维持现状，主要承担成品油运输功能；乌坎作业区增加客运功能，主要对接汕尾城区的水上观光、旅游休闲等运输需求。

4.2.1.3 滩涂资源

根据《汕尾市养殖水域滩涂规划（2018-2030 年）》，汕尾市大陆架内（即 200 米水深以内）海域面积 2.39 万 km²，相当陆地面积的 4.5 倍。其中，80m~200m 水深的中外渔场 1.38 万 km²，40~80 米水深的近海渔场 4800km²，40 米以内浅海的沿岸渔场 5300km²，10m 等深线内浅海、滩涂 6.96 万公顷，其中浅海 6.66 万公顷，滩涂 3000 公顷，目前已开发利用的有 2.45 万公顷。另外沿海岸还有 1600 公顷的沙荒地，可用于建设高标准池塘养殖鱼虾贝类。

4.2.1.4 岛礁资源

汕尾市濒临南海，海域辽阔，海岸线长，近海岛屿众多。据《中国海岛志·广东卷第一册》记载，汕尾市近海海域有岛（礁）311 个，其中有居民岛 2 个，无居民岛（礁）309 个。海岛总面积 79.6 平方公里，岛岸线长 12.82 公里，面积大于或等于 500 平方米的岛（礁）93 个。

4.2.1.5 渔业资源

汕尾海洋资源丰富，渔业历史悠久，海鲜等美食远近闻名，发展渔业、滨海旅游业等海洋产业拥有得天独厚的优势。

根据《汕尾（马宫）渔港经济区建设规划（2022-2030 年）》，2016-2020 年汕尾海洋捕捞产值稳中有升，2020 年海洋捕捞产值 38.6 亿元，位居全省第三；产量 18.4 万吨，位居全省第三，现无远洋捕捞。汕尾主要的海洋经济水产品种有 14 类、107 科、860 多种，鱼、虾、蟹、贝、藻类齐全，渔业生产已有数百年历

史。其中具有捕捞价值的鱼类达 200 多种。汕尾大量捕捞的品种有带鱼、海鳗等，其中鱼类的捕捞产量最高，约 13.5 万吨。

根据《汕尾市统计年鉴 2023 年》，2022 年汕尾市水产品总产量 63.36 万吨，同比增长 7.3%，其中：海洋捕捞 18.04 万吨，下降 1.0%；海水养殖 39.92 万吨，增长 12.1%；淡水养殖 5.23 万吨，增长 3.7%。从结构上看，全市水产养殖 45.15 万吨，占水产品总量 71.3%，比上年同期下降 0.3 个百分点，水产养殖比重与去年基本持平。

4.2.1.6 矿产资源

汕尾市目前已发现主要矿产 28 种，累计发现矿产地 69 处。非金属矿产开采价值较大的主要有建筑用花岗岩、高岭土、陶瓷土、海砂等。建筑用花岗岩分布广、资源丰富，矿产地 28 处，累计查明资源储量 7.19 亿立方米。在海丰、陆丰、陆河等地发现有结构完整的建筑用花岗岩，经济价值较高。其中，陆丰市矿产资源丰富，其中最为重要的资源就是石英砂，石英砂总蕴藏量在 1 亿立方米以上，主要分布在星都、上英、东海、金厢、碣石、湖东等地，其中星都经济试验区的白沙埔，面积 400 多公顷，地面至地下 2.5 米深处纯属石英砂，蕴藏量达 1000 多万立方米，石英砂品位很高，具有开采利用价值。

4.2.2 海域开发利用现状

经过管理部门调访、海域使用动态监管系统查询，本项目所在及周边海域开发利用活动主要为航路、锚地、海上风电项目等。项目所在海域开发利用现状详见表 4.2.2-1 和图 4.2.2-1。

表 4.2.2-1 项目所在海域开发利用现状表

类型	序号	名称	与本项目相对位置和最近距离
航道、航路	1	小漠航道	海缆穿越
	2	鲘门航道	海缆穿越
	3	马宫航道	海缆穿越
	4	汕尾西线航道	海缆穿越
	5	大星山甲子航道	海缆穿越
	6	汕尾遮浪角至深圳大鹏湾	海缆穿越
	7	粤东沿海近岸航路	海缆穿越
	8	广东沿海内航路	海缆穿越

类型	序号	名称	与本项目相对位置和最近距离
	9	深汕合作区小漠港进出港航路	项目西侧，最近约 4.7km
锚地	10	装运危险货物船舶锚地	项目东侧，5.2km
	11	1号引航检疫锚地	项目西侧，1.7km
	12	2号引航检疫锚地	项目西侧，0.9km
	13	大型船舶临时避风锚地	项目东侧，0.8km
	14	汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）	紧邻
	15	明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）	紧邻
其他项目	16	华润海丰电厂“上大压小”新建工程	海缆穿越
	17	深汕特别合作区小漠国际物流港一期工程	项目西侧，1.4km
	18	汕尾港海丰港区华城石化配套三千吨级泊位码头	项目西侧，3.8km

图 4.2.2-1 项目周边开发利用现状图

4.3 环境敏感目标概况

4.3.1 自然保护区

深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区是经汕尾市人民政府（汕府函〔2006〕74号）批准设立的市级自然保护区，2019年将保护区管护工作移交深圳市深汕特别合作区城市管理和综合执法局。保护区位于深汕特别合作区南部，包括赤石河自深汕大桥下游至入海口及南海海域，海域地段位于赤石河河口南侧。

深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区主要保护对象包括：真鲷、黑鲷、鲈鱼、鲷鱼、鳗鲡、锯缘青蟹，以及虾、贝类等重要经济种类及其产卵场和繁育场等特殊海洋生态系统。

深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区距离项目北侧约1.2km。

4.3.2 生态保护红线

本项目评价范围内海洋生态红线分布情况详见图4.3.2-1。目前，三区三线中生态保护红线相关生态管控要求未公开，根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》，海洋生态保护红线均全部纳入生态保护区，因此，各生态保护红线管控要求按照对应的生态保护区执行，即：

1、百安半岛海岸防护物理防护极重要区

位于百安半岛西侧、南侧及东南侧沿岸海域，距离项目东北侧约10.0km。

管控要求：

①空间准入：禁止开发性、生产性建设活动，可在有效实施用途管制、不影响生态系统功能的前提下，开展管护巡护、调查监测、防灾减灾救灾活动、生态修复等有限人为活动。

②利用方式：禁止改变海域自然属性。

③保护要求：防止海岸侵蚀；切实保护严格保护岸线；保护潮间带；保护和合理利用无居民海岛资源。

④其他要求：加强生态保护红线内人为活动对生态环境影响的监督。

2、乌山海岸防护物理防护极重要区

位于乌坎港上海村近岸海域，距离项目西侧约 4.2km。

管控要求：

①空间准入：生态保护红线内的区域禁止开发性、生产性建设活动，可在有效实施用途管制、不影响生态系统功能的前提下，开展管护巡护、调查监测、防灾减灾救灾活动、生态修复等有限人为活动；生态保护红线外的区域强化生态保育和生态建设，可开展生态保护红线允许的用海活动以及开发利用后生态功能可自然恢复的必要用海活动。

②利用方式：禁止改变海域自然属性。

③保护要求：防止海岸侵蚀；切实保护严格保护岸线；保护潮间带；保护和合理利用无居民海岛资源。

④其他要求：加强生态保护红线内人为活动对生态环境影响的监督；保障临海工业（核电）的温排水需求。

3、深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区

位于赤石河流域及河口附近海域，距离项目北侧约 1.2km。

管控要求：

①空间准入：自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；生态保护红线内自然保护地核心保护区外的区域禁止开发性、生产性建设活动，可在有效实施用途管制、不影响红树林生态系统功能的前提下，开展适度的林下科普体验、生态旅游以及生态养殖，合法权益主体捕捞、养殖活动，经依法批准进行的科学研究观测、标本采集，生态修复等有限人为活动；生态保护红线外的区域强化生态保育和生态建设，可开展生态保护红线允许的用海活动以及开发利用后生态功能可自然恢复的必要用海活动；在符合生态保护红线管控的前提下，可兼容海底电缆管道用海。

②利用方式：自然保护地核心保护区禁止改变海域自然属性，其他区域严格限制改变海域自然属性。

③保护要求：保护红树林及其生境，维护红树林湿地生物多样性；保护重要滩涂及浅海水域，维护湿地生态系统生物多样性；防止海岸侵蚀；切实保护严格保护岸线；保护潮间带；保护和合理利用无居民海岛资源。

④其他要求：加强生态保护红线内人为活动对生态环境影响的监督；保障临海工业（核电）的温排水需求。

4、汕尾市海丰县红树林

“汕尾市海丰县红树林”海洋生态红线位于小漠渔港海域，目前该区域的红树林主要分布在港湾中部的淤泥高地、海湾高潮位的沿岸区域，呈分散的斑块状和条带状分布。在港湾中部的斑块区域，以白骨壤为优势，散生少数的秋茄树和蜡烛果；在沿岸的高潮位区域，以白骨壤、黄槿、许树为优势，次优势种有海漆、秋茄树和桐棉，散生有鱼藤、水黄皮、木榄、阔苞菊、蜡烛果等。

保护对象为红树林及其生境，距离项目北侧约 1.2km，本项目建设不占用该红树林。

5、深圳深汕红树林

“深圳深汕红树林”位于赤石河近入海口河段，同时位于深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区中的实验区。红树物种主要为秋茄（真红树）、桐花树（真红树）、白骨壤（真红树）、木榄（真红树）、海漆（真红树）、老鼠簕（真红树）和黄槿（半红树）。保护对象为红树林及其生境，距离项目西北侧约 4.9km。

6、鲒门重要滩涂及浅海水域

位于鲒门镇西南侧海域，距离项目东北侧约 3.6km。

管控要求：

①空间准入：禁止开发性、生产性建设活动，可在有效实施用途管制、不影响生态系统功能的前提下，开展适度的生态旅游、科普宣教，合法权益主体捕捞、养殖活动，生态修复等有限人为活动。

②利用方式：严格限制改变海域自然属性。

③保护要求：保护重要滩涂及浅海水域，维护湿地生态系统生物多样性；切实保护严格保护岸线；保护潮间带。

④其他要求：加强生态保护红线内人为活动对生态环境影响的监督；保障临海工业（核电）的温排水需求。

7、遮浪南重要渔业资源产卵场

位于汕尾西部远洋海域，与本项目相邻。

管控要求：

①空间准入：禁止开发性、生产性建设活动，可在有效实施用途管制、不影响生态系统功能的前提下，开展军事国防，适度的生态旅游、科普宣教，经依法批准的标本采集，生态修复等有限人为活动。

②利用方式：严格限制改变海域自然属性。

③保护要求：重点保护重要渔业资源产卵场。

④其他要求：加强生态保护红线内人为活动对生态环境影响的监督。

8、针头岩特别保护海岛

位于惠州市针头岩及其周边海域，距离项目西南侧约 10.0km。

管控要求：

①空间准入：允许开展保护执法、科学研究、调查监测、军事国防等活动及相关的必要设施修筑。

②利用方式：严格按照领海基点保护相关法律法规规定，禁止在领海基点保护范围内进行工程建设以及其他可能改变该区域地形、地貌的活动。

③保护要求：严格落实领海基点管理要求，实施全岛保护，防止海岛灭失。

④其他要求：加强生态保护红线内人为活动对生态环境影响的监督。

图 4.3.2-1 本项目评价范围内海洋生态红线分布示意图

4.3.3 三场一通道

1、幼鱼、幼虾保护区

南海区幼鱼、幼虾保护区共有 4 处，其中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。保护规定：在禁渔期间，禁止底拖网渔船、拖虾渔船进入上述海域内生产。本项目位于幼鱼、幼虾保护区内，见图 4.3.3-1 所示。

2、黄花鱼幼鱼保护区

黄花鱼幼鱼保护区共有 4 处，其中海丰县遮浪横至惠东县平海角 20 米水深以内海域，保护期为每年的 11 月 1 日至翌年 1 月 31 日。保护规定：禁渔期间，

禁止底拖网渔船和拖虾渔船以及捕捞这类幼鱼的其它作业渔船进入上述海域内生产。本项目位于黄花鱼幼鱼保护区内，见图 4.3.3-1 所示。

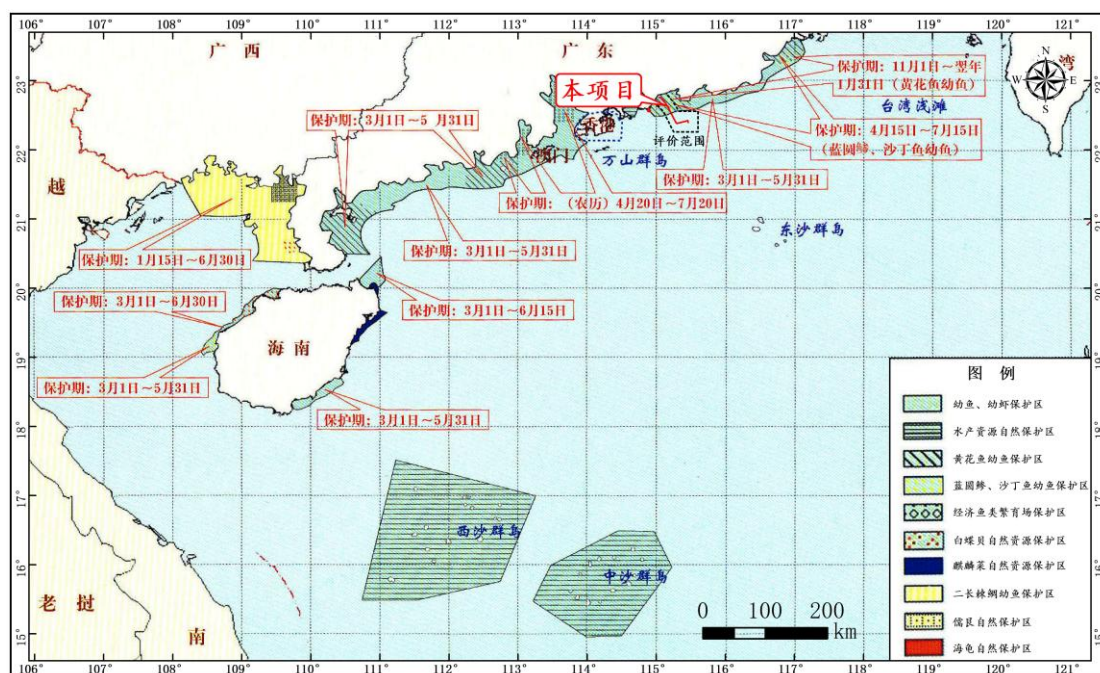


图 4.3.3-1 南海国家级及省级保护区分布示意图

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 40 米等深线、17 个基点连线以内水域，保护期为 1-12 月。保护规定：在禁渔期间，禁止底拖网渔船、拖虾渔船进入上述海域内生产。本项目位于该繁育场保护区内，见图 4.3.3-2 所示。

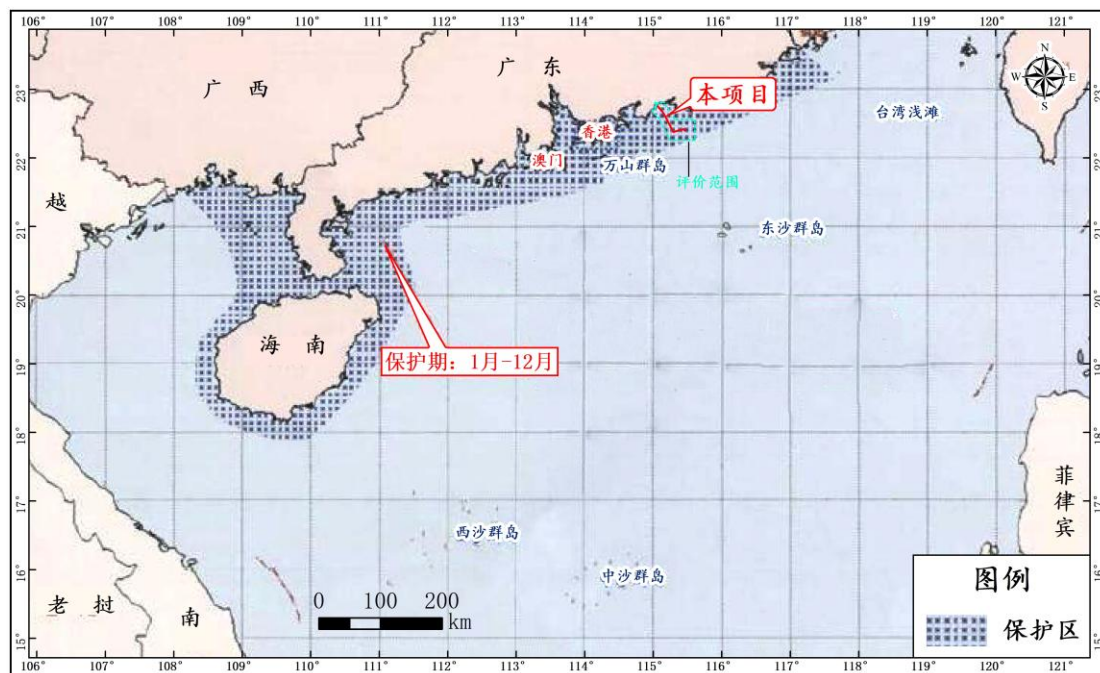


图 4.3.3-2 南海北部幼鱼繁育场保护区

4、鱼类产卵场

(1) 南海中上层鱼类产卵场（粤东近海区蓝圆鲹产卵场）

南海中上层鱼类产卵场主要包括蓝圆鲹、鲐鱼和竹筴鱼产卵场。本项目位于南海中上层鱼类产卵场内，见图 4.3.3-3 所示，所处位置为粤东近海区蓝圆鲹产卵场。

粤东近海区蓝圆鲹产卵场范围约为东经 115°20'-117°，北纬 21°55'-22°15'，水深约为 40-75 米，产卵期 1-4 月。

(2) 南海底层、近底层鱼类产卵场（南海北部金线鱼产卵场）

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。本项目不占用南海底层、近底层鱼类产卵场，评价范围内涉及南海北部金线鱼产卵场，该产卵场位于本项目南侧约 13.8km，见图 4.3.3-4 所示。

南海北部金线鱼产卵场，分布范围较广，由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近（为东经 111°45'-115°45'），水深为 25-107 米，主要是 40-80 米，产卵期 3-8 月。

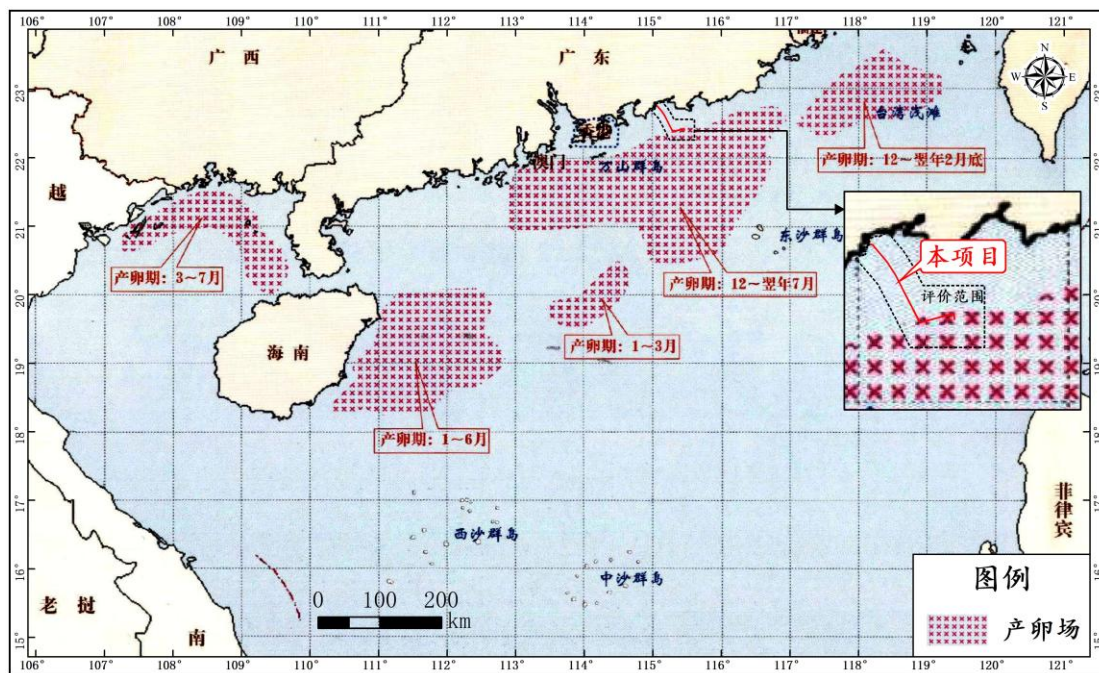


图 4.3.3-3 南海中上层鱼类产卵场示意图

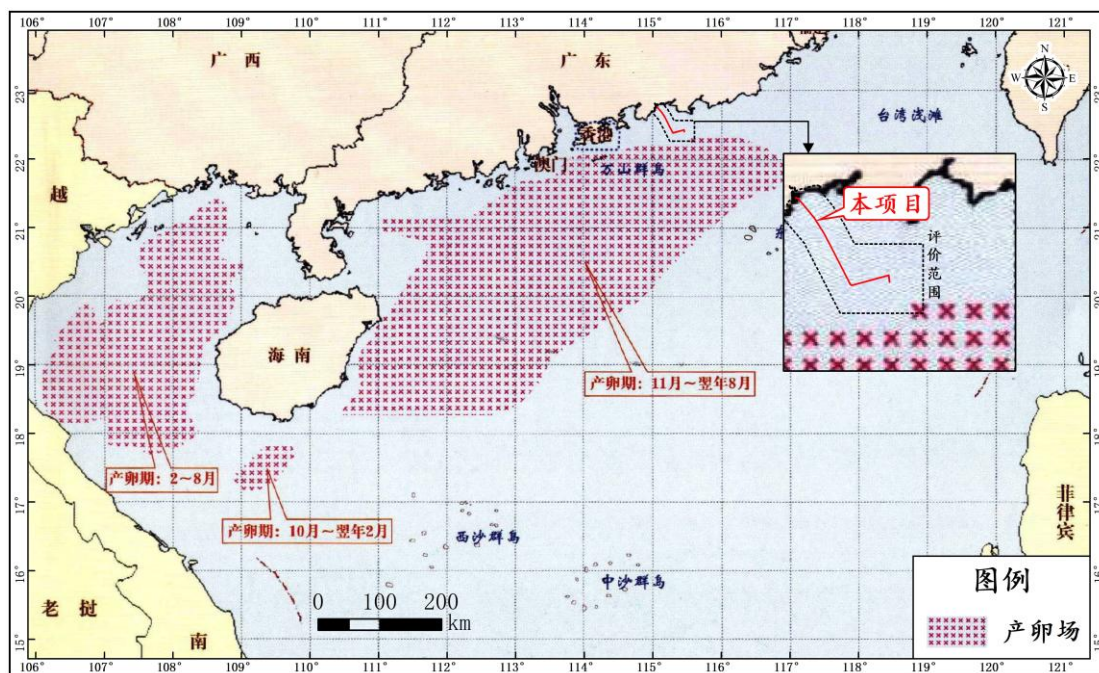


图 4.3.3-4 南海底层、近底层鱼类产卵场

4.3.4 无居民海岛

重点保护领海基点所在及保护范围内海岛，海龟等珍稀濒危物种及其生境，海岛自然形态与风貌，岛礁资源，海岛生态环境，海岛名称标志碑等。

1、逢河岛

北纬 22°48.1'，东经 115°02.7'。位于汕尾市海丰县小漠镇北面逢河中，汕尾市九龙湾海洋生态自然保护区内，距大陆最近点 220 米。位于逢河入海口。岸线长 73 米，面积 357 平方米。沙泥岛。岛上有草丛和灌木。位于本项目北侧，约 4.7km。

2、海刺长岛

北纬 22°45.0'，东经 115°02.2'。位于汕尾市海丰县小漠镇南面海域，红海湾西北，距大陆最近点 10 米。在海刺长村处，第二次全国海域地名普查时更为今名。岸线长 107 米，面积 776 平方米。基岩岛。位于本项目西侧，约 1.2km。

3、龙虾头岛

北纬 22°46.1'，东经 115°02.6'。位于汕尾市海丰县小漠镇小漠港出港口南侧，距大陆最近点 30 米。因在龙虾头旁，第二次全国海域地名普查时更为今名。岸线长 47 米，面积 156 平方米。基岩岛。位于本项目北侧，约 1.0km。

4、芒屿岛

位于北纬 22°47.0'、东经 115°06.4'，在海丰县鲘门港西南方 5 千米处，红海湾西北部，为红海湾最大的岛屿，北距大陆 1.5 千米。面积 0.74 平方千米，岸线 5.04 千米，海拔 130.3 千米。由砂页岩构成，南北走向，北高南低，长有乔木、灌木，底层草丛茂盛，覆盖率约 85%。岛岸陡峭，多为岩石，西南端有明礁，东侧有暗礁。附近水深 2~7 米。位于本项目东侧，约 4.3km。

5、芒屿南岛

北纬 22° 46.4'，东经 115° 06.2'。位于汕尾市海丰县红海湾西北，鲘门镇南面海域，距芒屿岛 20 米，距大陆最近点 2.82 千米。在芒屿岛南面，第二次全国海域地名普查时命今名。面积约 42 平方米。基岩岛。位于本项目东侧，约 4.3km。

6、排尾

北纬 22°46.3'、东经 115°0.60'，位于汕尾市海丰县红海湾西北，鲘门镇南面海域，芒屿岛西南 300 米处，距大陆最近点 2.81 千米。因接近芒屿岛西南端当地群众称为排尾，又名排尾岛。基岩岛。岸线长 186 米，面积 1188 平方米。位于本项目东侧，约 4.0km。

7、海丰鸡心石

北纬 $22^{\circ} 44'36.6''$ ，东经 $115^{\circ} 8'27.8''$ 。位于汕尾市海丰县，岸线长 440.4 米，距大陆最近点 5.01 千米，面积约 0.013 平方千米。基岩岛。位于本项目东侧，约 5.3km。位于本项目东侧，约 5.3km。

8、鸡心石一岛

北纬 $22^{\circ}44.6'$ ，东经 $115^{\circ}08.4'$ 。位于汕尾市海丰县鲘门镇南面，红海湾北部海域，距大陆最近点 5.2 千米。周围 5 个海岛由北向南逆时针顺序该岛排第一，第二次全国海域地名普查时命为今名。面积约 93 平方米。基岩岛。位于本项目东侧，约 5.2km。

9、鸡心石二岛

北纬 $22^{\circ}44.6'$ ，东经 $115^{\circ}08.4'$ 。位于汕尾市海丰县鲘门镇南面，红海湾北部海域，距大陆最近点 5.21 千米。周围 5 个海岛由北向南逆时针顺序该岛排第二，第二次全国海域地名普查时命今名。面积约 31 平方米。基岩岛。位于本项目东侧，约 5.2km。

10、鸡心石三岛

北纬 $22^{\circ}44.6'$ ，东经 $115^{\circ}08.3'$ 。位于汕尾市海丰县鲘门镇南面，红海湾北部海域，距大陆最近点 5.29 千米。周围 5 个海岛由北向南逆时针顺序该岛排第三，第二次全国海域地名普查时更为今名。面积约 67 平方米。基岩岛。位于本项目东侧，约 5.1km。

11、鸡心石四岛

北纬 $22^{\circ}44.6'$ ，东经 $115^{\circ}08.4'$ 。位于汕尾市海丰县鲘门镇南面，红海湾北部海域，距大陆最近点 5.2 千米。周围 5 个海岛由北向南逆时针顺序该岛排第四，第二次全国海域地名普查时命今名。面积约 37 平方米。基岩岛。位于本项目东侧，约 5.2km。

12、鸡心石五岛

北纬 $22^{\circ}44.5'$ ，东经 $115^{\circ}08.3'$ 。位于汕尾市海丰县鲘门镇南面，红海湾北部海域，距大陆最近点 5.36 千米。周围 5 个海岛由北向南逆时针顺序该岛排第五，第二次全国海域地名普查时更为今名。面积约 61 平方米。基岩岛。位于本项目

东侧，约 5.1km。

13、 了哥咀仔岛

北纬 22°42.9′，东经 115°01.8′。位于汕尾市海丰县小漠镇乌山东南面海域，距大陆最近点 40 米。因在了哥咀岛附近，第二次全国海域地名普查时更为今名。岸线长 55 米，面积 217 平方米。基岩岛。位于本项目西侧，约 5.2km。

图 4.3.4-1 本项目评价范围内岛礁分布示意图

4.3.5 大陆自然岸线

本项目海缆登陆段采用定向钻方式穿越基岩岸线。

4.3.6 珍稀海洋生物

4.3.6.1 中华白海豚

中华白海豚 (*Sousa chinensis*)，又名印度太平洋驼背豚，属哺乳纲、鲸目、海豚科、驼背豚属、中华白海豚种。在 1988 年颁布的《中华人民共和国野生动物保护法》中，中华白海豚被列为国家一级保护动物。在 1991 年颁布的《濒危野生动植物国际贸易公约》附录I中，中华白海豚被列为严格禁止贸易活动的物种。在 2006 年的国际自然保护联盟濒危物种红色名录（或称 IUCN 红色名录）中，中华白海豚被列为濒危物种。

王新星等人（2018 年）研究表明，中华白海豚主要分布于西太平洋和印度洋的沿岸水域，在中国水域主要分布于东南沿海的河口区。据公开的报道，中国沿海有中华白海豚分布的水域为：珠江口、厦门、湛江东部海域、北部湾北部沿岸、台湾西南部沿岸、潮州一汕头，以及李松海等人在海南三亚西南部也发现了中华白海豚的分布。陈涛等人（2010 年）研究表明珠江口中华白海豚种群的分布范围包括了珠江东部入海口（即伶仃洋）和西部入海口（西部河口区）冲淡水影响的区域，从伶仃洋东部的深圳、香港水域向西延伸至江门市的上、下川岛水域，分布范围超过 3000km²，种群规模超过 2500 头。

据历史调查研究，本项目所在的红海湾海域少有中华白海豚出现，项目所在

海域不是中华白海豚重要栖息地。

4.3.6.2 海龟

海龟隶属龟鳖目、海龟科、海龟属。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3~4小时。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。

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。

由南海水产研究所调查资料（通过2001-2010年中国大陆对11头绿海龟和3头蠔龟的洄游路线卫星追踪情况）进行分析（见图4.3.6-1），可知本项目所在海域存在海龟活动的历史追踪数据，本项目所在海域海龟洄游相对频繁。

根据《中国海域绿海龟活动热点区域与西沙群岛产卵群体遗传学和产卵场温度特征研究》（宋稼豪），通过2016年至2022年在中国海域不同地点放归的20只安装卫星定位仪的绿海龟运动轨迹点的提取和叠加，经整合海龟的运动轨迹进而得出了绿海龟活动热点区域（图4.3.6-2）。从整体分布可以看出，热点区域主要集中在我国南部近海且与海草床的分布区域高度重合具体包括如下主要区域：北部湾白龙尾岛及姑苏群岛附近海域、雷州半岛东西沿海及琼州海峡海域、西沙群岛永兴岛附近海域、广东惠东附近海域、东沙岛附近海域、台湾海峡西边福建莆田附近海域、台湾海峡东边澎湖列岛以及台湾岛北部海域、菲律宾卡巴莱特岛附近海域以及山东烟台北部附近海域等。而本项目所在海域为海龟洄游活动重点海域。

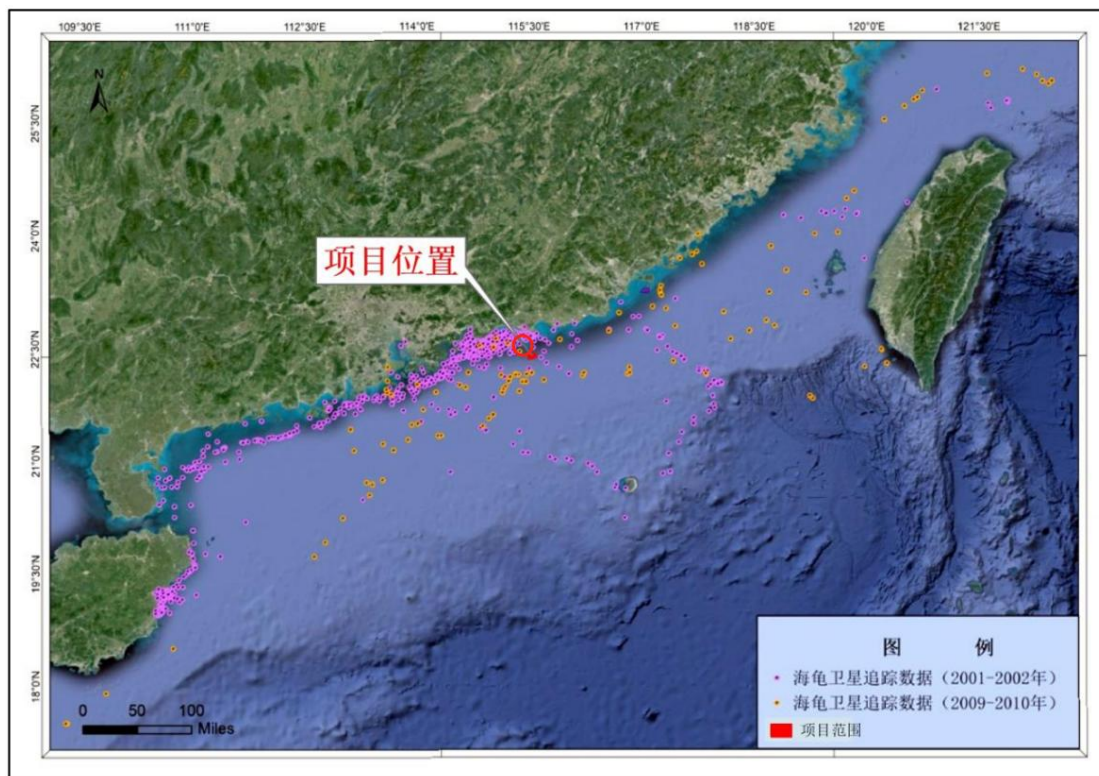


图 4.3.6-1 中国大陆海龟洄游路线卫星追踪图（2001-2010 年）

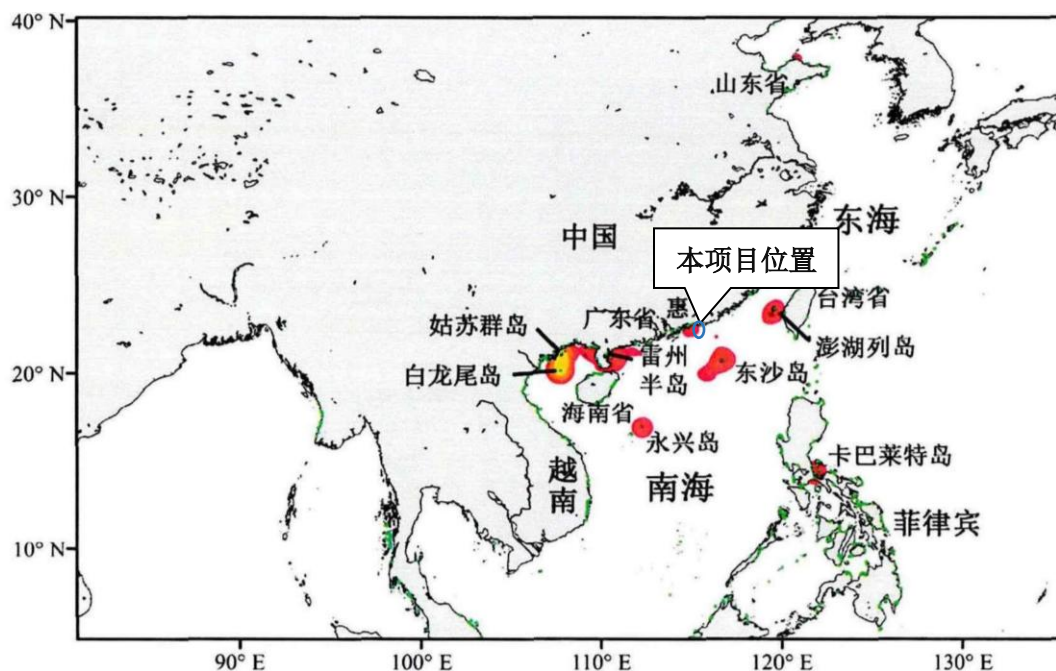


图 4.3.6-2 20 只绿海龟整合的活动热点区域（密度按紫色-红色-黄色的顺序依次升高；绿色代表海草床位置）

4.3.6.3 海马

海马是硬骨鱼纲（Osteichthyes）海龙目（Syngnathiformes）海龙科（Syngnathidae）海马属（*Hippocampus*）所有物种的统称（Nelson et al., 2016）。

海马的外形独特，吻成管状，头部具头冠骨，外形酷似马头；与头部相连的几块脊椎弯，使头部和躯干略成直角状；胸鳍和背鳍是主要的运动器官，无腹鳍和尾鳍，臀鳍小或无；具可卷曲的尾部，使其可以缠绕海草等海底物体，是其营底层定居生活的重要器官。海马是海洋鱼类中唯一一类雄性育儿囊呈现完全封闭袋状结构的类群（Lourie et al, 2016）。海马具有拟态行为，体色变化多样，各物种间的外部形态特征差异可大可小，导致依据形态的物种分类较为困难。

1、生活习性

海马因其拟态适应特性，习性也较特殊，喜栖于藻丛或海韭菜繁生的潮下带海区。性甚懒惰，常以卷曲的尾部缠附于海藻的茎枝之上，有时也倒挂于漂浮着的海藻或其他物体上，随波逐流。即使为了摄食或其他原因暂时离开缠附物，游泳一段距离之后，又找到其他物体附着之上。海马的游泳姿势十分优美，鱼体直立水中，完全赖以背鳍和胸鳍高频率地作波状摆动（每秒钟 10 次）而作缓慢的游动（每分钟仅达 1~3m）。海马的活动一般多在白天（上午和下午），晚上则呈静止状态。海马在水质变劣、氧气不足或受敌害侵袭时，往往因咽肌收缩而发出咯咯的响声，这给养殖者发出“求救”的信号，但在摄食水面上的饵料时也会发声，应加以区别。

2、食性

海马是靠鳃盖和吻的伸张活动吞食食物，饵料的大小以不超过吻径为度。对饵料的种类和鲜度有一定选择性。海马的觅食视距仅为 1m 左右，所以饵料要投在经常群集处。自然海区海马主要摄食小型甲壳动物，主要有挠足类、蔓足类的藤壶幼体、虾类的幼体及成体、莹虾、糠虾和钩虾等。在人工饲养条件下，以摄食糠虾和樱虾效果最好，其次为足类和端足类。淡水枝角类等也可为食，但要注意避免因在海水中迅速死亡以污染水质。

海马的摄食量与水温、水质密切相关。在适温范围内，水温高，则摄食量大，消化快。水质不良时，摄食量减少，甚至停食。在正常条件下，海马的日摄食量约占体重的 10%海马一次摄食量很大，同时耐饥性也很强，从初生苗到成鱼耐饥时间可达 4~132 天。

3、运动方式

海马尾部的构造和功能与其他鱼类迥异。栖止时的海马，利用尾部具有卷曲的能力，使尾端得以缠附在海藻的茎枝上。故海马多栖息在深海藻类繁茂之处。游泳的姿态也很特别，头部向上，体稍斜直立于水中，完全依靠背鳍和胸鳍来进行运动，扇形的背鳍起着波动推进的作用。

4、生活环境

在自然海域中，海马通常喜欢生活在珊瑚礁的缓流中，因为它们不善于游水，故而经常用它那适宜抓握的尾部紧紧勾勒住珊瑚的枝节、海藻的叶片上，将身体固定，以使不被激流冲走。

5、生育

海马的雌雄鉴别很简单，就是雄鱼有腹囊（俗称：育儿袋），而雌鱼没有腹囊。海马并不是雌雄同体，海马只是雄性孵化。每年的5月~8月是海马的繁殖期，8~9月为盛产期，渔民常于此时用张网捕捉。

6、分布

根据《中国海域海马的物种多样性、生态特征及保护建议》（刘彩莲，张雄等人）可知，我国由北至南四大海区均有海马分布，物种多样性较高的区域集中于东海和南海（见图4.3.6-3）。

经叠加可知，本项目风电场周边海域主要活动的海马种类为三斑海马（*Hippocampus timaculatus*）和莫氏海马（日本海马 *Hippocampus mohnikei*）库达海马（*Hippocampus kuda*）。以上海马主要活动于汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区内，该保护区与本项目相距约24.7km，可见海马活动范围距离本项目较远。

本项目春秋两季海洋环境现状调查中，未采集到海马。

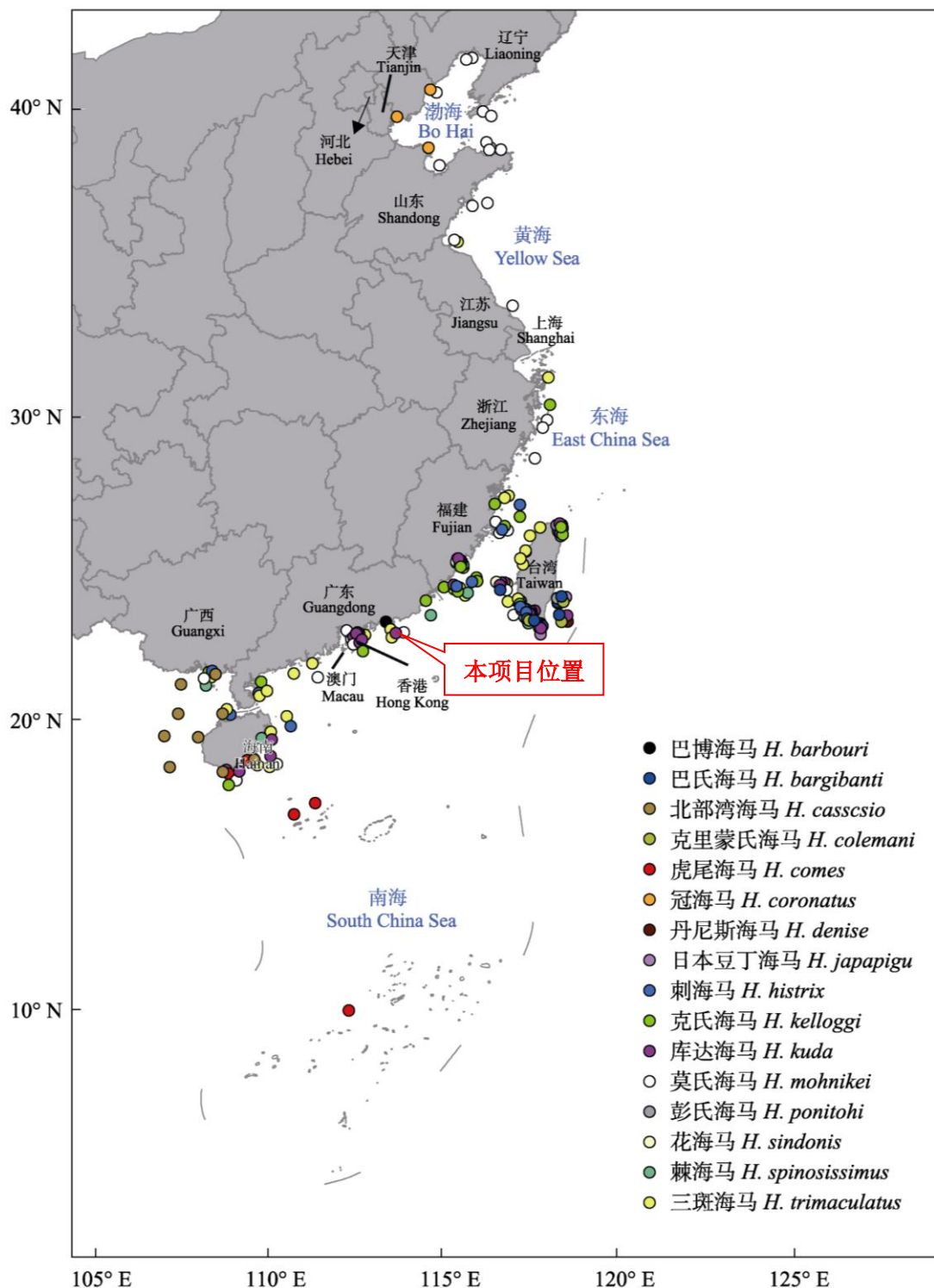


图 4.3.6-3 中国海域有记录的海马采集点或观测点（重复点仅算 1 次）分布图

4.3.6.4 小结

综上所述，本项目所在海域不是中华白海豚重要栖息地，远离海马主要活动范围，是海龟洄游活动重点区域。因此，将海龟确定为本项目敏感目标。

本项目所使用春秋两季海洋环境现状调查，调查期间所在调查海区未发现中

华白海豚、海龟的活动迹象，也未采集到海马。

4.3.7 环境关注点

4.3.7.1 国控点

本项目评级范围内国控点共有两个，分别为 GDN14003（项目东侧 488m）和 GDN14005（项目东侧 560m）。

根据《广东省 2024 年近岸海域水质监测信息》，GDN14005 在 2024 年监测结果中均符合第一类海水水质标准；GDN14003 在 2024 年监测结果中，第一期和第三期满足第一类海水水质标准，第二期满足第二类海水水质标准。国控站点分布情况详见图 4.3.7-1。监测结果详见表 4.3.7-1。

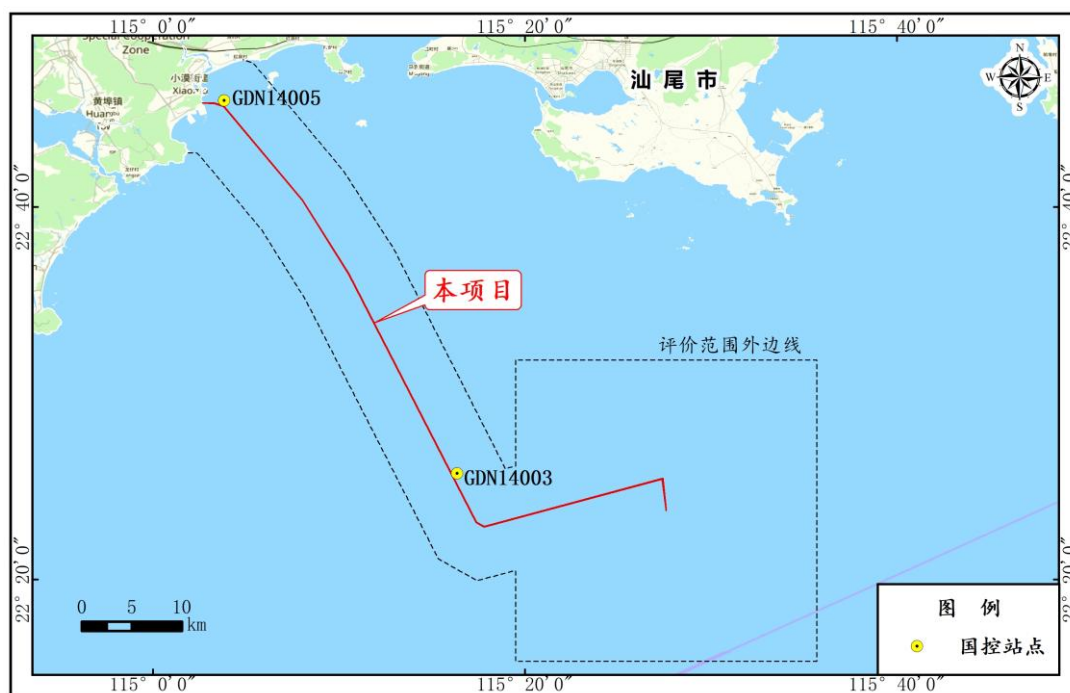


图 4.3.7-1 评价范围内国控站位置分布示意图

表 4.3.7-1 2024 年评价范围内两个国控站点监测结果

站位编码	监测时间	监测项目 (mg/L)										水质类别
		pH	无机氮	活性磷酸盐	石油类	溶解氧	化学需氧量	铜	汞	镉	铅	
GDN14005	2024/4/19	8.15	0.008	0.001	0.001	6.56	0.17	/	/	/	/	第一类
	2024/7/19	8.27	0.11	0.002	0.004	6.59	0.71	0.00070	0.000004	0.000004	0.00047	第一类
	2024/10/20	8.10	0.015	0.002	0.002	6.38	0.48	/	/	/	/	第一类
GDN14003	2024/4/18	8.01	0.012	0.001	0.001	6.20	0.28	/	/	/	/	第一类

站位编 码	监测时 间	监测项目 (mg/L)									水质类 别	
		pH	无机 氮	活性磷酸 盐	石油 类	溶解 氧	化学需 氧量	铜	汞	镉		铅
	2024/7/3 0	8.0 0	0.063	0.007	0.001	5.92	0.29	0.00048	0.0000 04	0.0000 2	0.0001 6	第二类
	2024/10/ 28	8.0 4	0.017	0.004	0.002	6.17	0.08	/	/	/	/	第一类

注：/表示未检测。

4.3.7.2 海洋牧场

《汕尾市现代化海洋牧场建设规划（2024-2035年）》对汕尾市海域养殖区进行了近期、中期和远期规划，经叠图可知，本项目评价范围内涉及的规划海洋牧场有五个，分别为：江牡岛南海域启动区、红海湾中远海海域中期发展区二区、红海湾中远海海域中期发展区五区、红海湾中远海海域发展预留区二区和红海湾中远海风渔结合发展预留区，规划面积和平均水深分别为：6.99km² (-13.09)、5.34km² (-14.56)、13.83km² (-20.35)、13.81km² (-31.67)、552.21km² (-39.21)。

其中本项目海缆工程穿越红海湾中远海海域中期发展区二区、红海湾中远海海域中期发展区五区、红海湾中远海海域发展预留区二区和红海湾中远海风渔结合发展预留区，共四个规划海洋牧场。江牡岛南海域启动区位于本项目东侧，约2.9km。

根据《汕尾市现代化海洋牧场建设规划（2024-2035年）》可知，江牡岛南海域启动区、红海湾中远海海域中期发展区二区和红海湾中远海海域中期发展区五区属于江牡岛周边浅海海域，位于城区南部、陆丰东部等水深在10~20米的海域。以布置重力式深水网箱为主，积极推动创新型网箱，降低养殖成本，加快海上规模化养殖顺利起步，对风浪条件较为严苛的海域可适当探索配置半潜式桁架类平台。

红海湾中远海海域发展预留区二区和红海湾中远海风渔结合发展预留区属于城区西南部、陆丰南部等水深在20米以上的海域。布局以半潜式、坐底式桁架类网箱及养殖平台等大型养殖装备为主，重力式网箱为辅的“1+N”装备组合布局形式。结合海上风电场址，推行风渔融合技术的应用，在风电场内部未利用海域布置平台，远期结合风电桩机一体化推广风渔融合养殖装备。

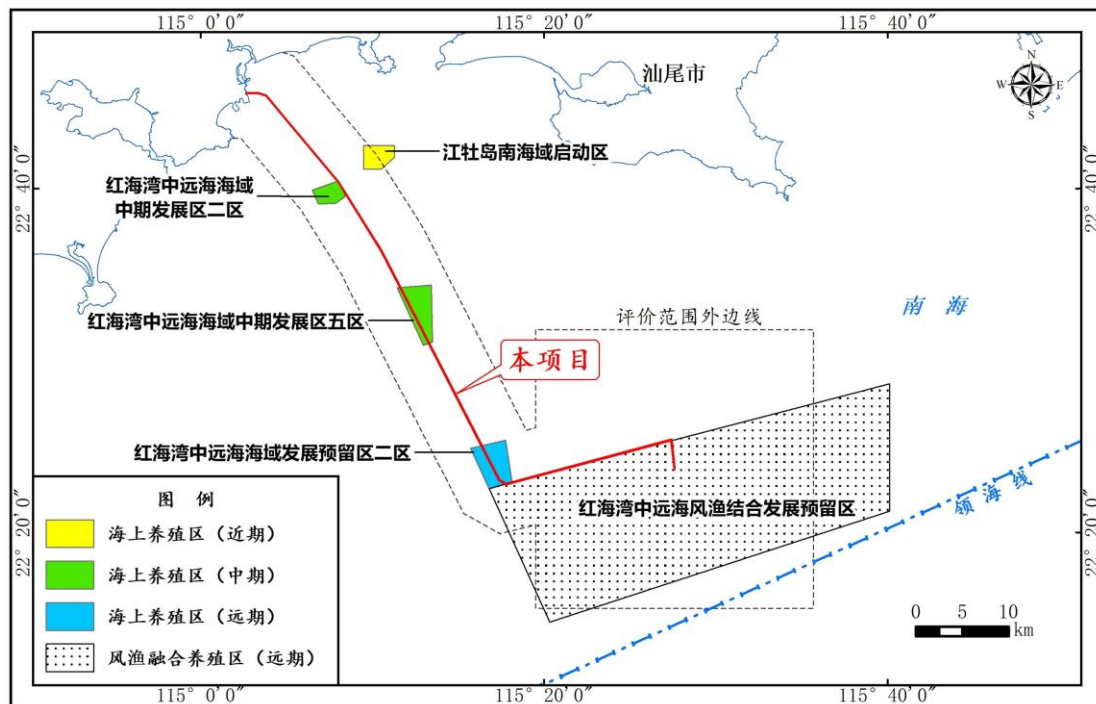


图 4.3.7-2 本项目评价范围内规划海洋牧场分布示意图

4.3.7.3 锚地

根据《汕尾港总体规划（2021-2035年）》，汕尾港现状锚地共18个，其中本项目评价范围内共涉及4个锚地，包括：大型船舶临时避风锚地（项目东侧0.8km）、1号引航检疫锚地（项目西侧1.7km）、2号引航检疫锚地（项目西侧0.9km）和装运危险货物船舶锚地（项目东侧5.2km）。锚地具体位置见表4.3.7-2和图4.3.7-3。

表 4.3.7-2 汕尾港现状锚地一览表

序号	名称	中心地点	半径（海里）	用途
1	大型船舶临时避风锚地	115°13'00"E, 22°37'00"N	2	避风、防台
2	装运危险货物船舶锚地	115°07'48"E, 22°46'00"N	0.5	装运危险货物船舶侯泊
3	1号引航检疫锚地	115°07'24"E, 22°38'36"N	0.5	引航、检疫、防台
4	2号引航检疫锚地	115°09'00"E, 22°36'00"N	1.0	引航、检疫、防台

4.3.7.4 航道航路

根据《汕尾市综合立体交通网规划（2021-2035年）》和《广东海事局关于发布广东沿海主要公共航路的公告》（2023年），本项目评价范围内涉及以下航道航路：小漠航道、鲛门航道、马宫航道、汕尾西线航道、大星山甲子航道、汕尾遮浪角至深圳大鹏湾、粤东沿海近岸航路、广东沿海内航路和深汕合作区小漠港进出港航路，共9条。

部分航道航路信息情况如下：

表 4.3.7-3 本项目评价范围内主要航道布局（沿海主要航道）

序号	航道名称	起止点	规划航道长度 (km)	现状等级	规划等级
1	小漠航道	小漠作业区至外海	10.55	10 万吨级	15 万吨级
2	鲚门航道	鲚门渔货码头至马洋排	33.2	1000 吨级	5000 吨级
3	汕尾西线航道	炮台油库码头至东碇屿	35.4	2000-5000 吨级	1 万吨级
4	马宫航道	马宫渔货码头至马洋排	22.6	1000 吨级	5000 吨级
5	大星山甲子航道	/	/	/	1 万吨级

表 4.3.7-4 本项目评价范围内沿海航路布局

序号	航路名称	航路宽度 (海里)	备注
1	汕尾遮浪角至深圳大鹏湾	2	粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）
2	粤东沿海近岸航路	1~2	东接福建沿海内航路，西接香港蓝塘海峡口门
3	广东沿海内航路	3~4	干线航路，中国沿海内航路广东沿海段，东接福建沿海中航路，西接湛江港进港航道。
4	深汕合作区小漠港进出港航路	6	外海至深汕合作区小漠港方向

图 4.3.7-3 本项目评价范围内锚地、航道航路分布示意图

4.4 环境质量现状调查与评价

4.4.1 水文动力环境

本节引自《汕尾红海湾海上风电场项目集中送出工程夏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，2023 年 12 月）和《汕尾红海湾海上风电场项目集中送出工程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 1 月）。

4.4.1.1 调查概况

夏季和冬季：分别布设了 6 个水文测验站（A1~A6），3 个临时潮位站（T1~T3 站），观测时间和各站点位置见表 4.4.1-1 和图 4.4.1-1 所示。

表 4.4.1-1 水文观测站位坐标表

测点	观测站位		监测内容	观测时间	
	经度	纬度		夏季	冬季
A1			海流、含沙量	小潮同步测验时间： 2023 年 8 月 24 日 16:00~25 日 17:00; 中潮同步测验时间： 2023 年 8 月 26 日 12:00~27 日 13:00; 大潮同步测验时间： 2021 年 8 月 28 日 14:00~29 日 15:00。	小潮同步测验时间： 2023 年 12 月 8 日 1:00~9 日 2:00; 中潮同步测验时间： 2023 年 12 月 10 日 11:00~11 日 12:00; 大潮同步测验时间： 2023 年 12 月 14 日 21:00~15 日 22:00。
A2			海流、含沙量		
A3			海流、含沙量、 盐度、水温、		
A4			海流、含沙量		
A5			海流、含沙量		
A6			海流、含沙量		
T1 (港口站)			潮位	潮位测验时间：2023 年 8 月 20 日 0:00~9 月 20 日 0:00。	潮位测验时间：2023 年 12 月 7 日 0:00~ 2024 年 1 月 8 日 0:00。
T2 (海关站)			潮位		
T3 (碣石湾)			潮位		

图 4.4.1-1 本项目水文动力环境监测站位分布示意图

4.4.1.2 基面关系

根据遮浪海洋站 (115°34'E, 22°39'N) 2018 年 1 月~2021 年 12 月连续的逐时潮位观测资料(基面为 1985 国家高程系)对路由区的潮汐特征进行统计分析,各基面之间关系见前文图 4.1.2-1。

4.4.1.3 夏季调查结果

1、潮位

本次夏季测验期间,施测海域的潮汐:T1、T2、T3 潮位站附近海域属为不正规全日混合潮。一昼夜大多为 2 个潮,相邻高潮或低潮的潮位不等、涨潮历时与落潮历时亦不相等。潮位测量平均潮差为 0.82m,属弱潮海区。

(1) 潮汐特征值统计

根据各潮位站历时 30 天的潮位资料统计,潮汐特征值见表 4.4.1-2,图 4.4.1-2 为各潮位站整点潮位过程线。实测结果表明:

①各潮位站实测平均高潮位,各站相差不大。T2 站最高,为 1.13m;T1 站次之,为 1.06m,T3 站最低,为 1.01m;实测平均低潮位,T1 站最低,为 0.16m;T2 站为 0.27m;T3 站为 0.30m。

②各潮位站平均潮差,T1~T3 站分别为 0.90m、0.86m、0.71m;最大潮差为

1.80m，出现在 T1 站；T2 站和 T3 站分别为 1.79m、1.58m。

③各潮位站实测平均潮差和最大潮差均以 T1 站最大，T3 站最小；各站平均涨、落潮历时差异较小，最大站点为 T1 站，其次为 T2 站和 T3 站。

表 4.4.1-2 夏季各潮位站潮位特征值（单位：m）

潮位特征值 \ 潮位站	T1	T2	T3
最高潮位	2.10	2.26	2.07
最低潮位	-0.32	-0.14	-0.18
平均高潮位	1.06	1.13	1.01
平均低潮位	0.16	0.27	0.30
最大潮差	1.80	1.79	1.58
最小潮差	0.06	0.05	0.05
平均潮差	0.90	0.86	0.71
30 日平均海平面	0.66	0.71	0.76
平均涨潮历时（h:min）	7:51	7:26	7:45
平均落潮历时（h:min）	5:14	5:10	5:47

图 4.4.1-2 夏季 T1~T3 站整点潮位过程线图

(2) 短期潮汐调和分析

采用最小二乘法，对 T1~T3 站 2023 年 8 月 19 日 0:00~9 月 20 日 0:00 的潮位数据进行潮汐调和分析，求出 11 个分潮的调和常数。各站调和常数如表 4.4.1-3。

表 4.4.1-3 夏季各潮位站调和常数表

分潮		T1		T2		T3	
		H(cm)	g(°)	H(cm)	g(°)	H(cm)	g(°)
1	O1	28.42	299	26.66	276	26.05	274
2	K1	35.84	279	27.68	291	27.33	297
3	M2	27.97	306	26.9	279	18	277
4	S2	12.21	225	9.95	276	7.59	270
5	K2	11.63	288	3	251	1.28	251
6	Q1	6.88	312	6.2	266	6.53	253
7	P1	19.48	275	8.31	259	6.88	283
8	N2	8.78	309	8.08	279	6.65	280
9	MS4	6.61	26	6.86	352	5.04	310

分潮		T1		T2		T3	
		H(cm)	g(°)	H(cm)	g(°)	H(cm)	g(°)
10	M4	9.44	7	9.81	304	7.58	278
11	M6	1.59	205	3.58	24	4.49	344

利用分潮的调和常数，按下式计算标准判别潮汐性质：

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

当 $F \leq 0.5$ 为正规半日潮

$0.5 < F \leq 2.0$ 为不正规半日潮

$2.0 < F \leq 4.0$ 为不正规全日潮

$F > 4.0$ 为正规全日潮

式中 F 称为潮汐形态数，是日分潮与半日分潮的潮高（振幅）之比， H_{K1} 和 H_{O1} 为日分潮， H_{M2} 为最主要的半日分潮。

各站 F 值如表 4.4.1-4 所示，T1 站~T3 站的 F 值为均在 2.0~4.0 之间，表明测区附近海域的潮汐性质为不正规全日混合潮。

表 4.4.1-4 夏季监测各潮位站潮汐示性系数 F 特征值表

潮汐示性系数	站点		
	T1	T2	T3
F	2.30	2.02	2.97

2、海流

(1) 流速流向统计分析

1) 实测海流特征值

在本次夏季水文全潮测验期间，各测点最大流速特征值见表 4.4.1-5 至表 4.4.1-7，结果表明：

①大潮观测期间，各测点实测最大流速主要出现在上层水体，以表层和 0.2d 层为主。实测测点最大流速为 87cm/s，流向 100°，出现在 A2 测点 0.2d 层。垂线平均最大流速出现在 A6 测点，为 58cm/s，流向 107°。

②中潮观测期间，各测点实测最大流速均出现在表层。实测测点最大流速为 92cm/s，流向 105°，出现在 A3 测点表层。垂线平均最大流速为 41cm/s，流向 79°，出现在 A6 测点。

③小潮观测期间，各测点实测最大流速主要出现在上层水体，以表层和 0.2d

层为主。实测测点最大流速为 89cm/s，流向 92°，出现在 A3 测点表层。垂线平均最大流速出现在 A6 测点，为 51cm/s，流向 84°。

表 4.4.1-5 大潮最大流速特征值统计表（单位：流速（cm/s），流向（°））

测点	项目	实测最大			垂线平均最大	
		流速	流向	测点	流速	流向
A1		23	251	表层	13	159
A2		38	121	0.4d	32	120
A3		80	84	0.2d	48	85
A4		23	249	表层	9	27
A5		45	79	表层	33	91
A6		87	100	0.2d	58	107
最大		87	100	0.2d	58	107

表 4.4.1-6 中潮最大流速特征值统计表（单位：流速（cm/s），流向（°））

测点	项目	实测最大			垂线平均最大	
		流速	流向	测点	流速	流向
A1		33	326	表层	14	246
A2		41	50	表层	30	246
A3		92	105	表层	38	69
A4		35	231	表层	8	344
A5		55	87	表层	33	93
A6		82	95	表层	41	79
最大		92	105	表层	41	79

表 4.4.1-7 小潮最大流速特征值统计表（单位：流速（cm/s），流向（°））

测点	项目	实测最大			垂线平均最大	
		流速	流向	测点	流速	流向
A1		26	80	表层	14	100
A2		60	121	表层	27	100
A3		89	92	表层	39	89
A4		30	180	0.2d	14	139
A5		53	150	表层	25	91
A6		69	110	表层	51	84
最大		89	92	表层	51	84

2) 实测流向分布

根据各测点垂线平均流向计算结果，绘制各测点垂线平均流速矢量平面分布图，见。A2、A3、A5、A6 测点流向总体分布相似，流向基本集中于 NE~ESE 区间，即东北~东南偏东方向区间。A1、A4 测点流向分布较散，分析原因可能受

湾内地形影响。

图 4.4.1-3 夏季大潮垂线平均流速矢量图

图 4.4.1-4 夏季中潮垂线平均流速矢量图

图 4.4.1-5 小潮垂线平均流速矢量图

(2) 潮流准调和析

1) 潮流椭圆要素

各主要分潮流以 M2 半日分潮流和 O1、K1 全日分潮流为主，其次为 S2 半日分潮流、MS4 复合分潮流和 M4 四分之一日分潮流。各主要分潮流最大流速（长半轴）的最大值为 23.61cm/s，出现在 A6 测点 K1 全日分潮流的表层。

2) 潮流类型

潮流按其性质可分为规则的半日潮流和不规则的半日潮流、规则的全日潮流和不规则的全日潮流，潮流性质以主要的全日分潮流与主要半日分潮流的椭圆长半轴比值 F 来判断：

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

式中的 W_{O_1} 、 W_{K_1} 、 W_{M_2} 分别为主太阴日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴半日分潮流的椭圆长半轴长度（cm/s）。

当	$F \leq 0.5$	为正规半日潮
	$0.5 < F \leq 2.0$	为不正规半日潮
	$2.0 < F \leq 4.0$	为不正规全日潮
	$F > 4.0$	为正规全日潮

各测点分层潮流示性系数介于 1.2~6.8 之间，除 A4 测站，其余测站垂线平均潮流的潮流示性系数均大于 0.5 且小于等于 2.0。总体来看，测验期间各测点

潮流类型较为复杂,从垂线平均潮流示性系数来看,主要表现为不规则半日潮流。

表 4.4.1-8 夏季各测点潮流示性系数表

站号	潮流示性系数 (F)						
	表层	0.2d	0.4d	0.6d	0.8d	底层	垂线平均
A1	3.4	6.8	2.6	2.8	3	2.4	1.6
A2	3.6	3.8	3	2.5	1.9	1.6	2.0
A3	2.4	1.6	1.3	5.5	2.5	2	1.0
A4	2.5	2.4	3.4	3.7	3.6	2.1	2.4
A5	2.2	2.1	1.2	1.5	1.9	1.6	1.5
A6	3.9	2.1	1.8	2.1	2	2.4	1.4

3) 潮流可能最大流速

垂线平均的潮流可能最大流速以 A6 测点最大,为 44cm/s,流向为 308°; A1 测点最小,为 13cm/s,流向 25°。

各层的潮流的可能最大流速以 A3 测点表层最大,为 70cm/s,流向 310°; A4 测点底层最小,为 12cm/s,流向 6°。

表 4.4.1-9 各测点潮流可能最大流速表 (单位:流速 (cm/s), 流向 (°))

站号	表层		0.2d		0.4d		0.6d		0.8d		底层		垂线平均	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
A1	41	64	33	52	20	246	24	299	23	130	15	135	13	25
A2	46	126	51	138	50	112	48	106	36	111	28	295	40	119
A3	70	310	62	309	42	310	40	294	40	31	23	54	27	284
A4	34	106	24	113	28	79	23	93	13	103	12	6	17	100
A5	52	341	56	314	42	250	43	289	43	118	38	119	39	114
A6	69	359	62	341	66	318	53	134	55	139	46	175	44	308

4) 潮流运动形式

潮流的运动形式一般分为往复流和旋转流两种。潮流的运动形式通常以分潮流椭圆旋转率 K 值的大小来判断。|K| 值介于 0~1 之间,|K| 值越大,旋转流的形式越显著,|K| 值越小,往复流的形式越显著。潮流的旋转方向,与地球的自转、地区所在的位置和地形密切相关,北半球一般为顺时针(右旋)方向旋转,旋转率 $K < 0$ 。此次观测主要为不规则半日潮流类型, M_2 分潮流在潮流中起着主要的控制作用,故主要以 M_2 分潮流的椭圆旋转率(K)的变化情况来阐述本测区潮流运动形式。

本次观测各测层 M_2 分潮流各测层 |K| 值在 0.02~0.83 之间,各测层潮流

运动形式较复杂，兼具典型往复流、旋转流等多种潮流运动形式。从 M_2 分潮流垂线平均 $|K|$ 值来看，各测点潮流呈现为以往复流结合旋转流的运动形式。分潮旋转方向无明显规律性，分析原因为受红海湾地形影响。

表 4.4.1-10 M_2 分潮椭圆旋转率表

站号	表层	0.2d	0.4d	0.6d	0.8d	底层	垂线平均
A1	-0.41	-0.58	0.35	-0.04	-0.14	0.25	0.04
A2	0.29	0.19	-0.38	-0.28	-0.19	-0.15	-0.15
A3	-0.03	-0.39	-0.7	-0.17	-0.42	-0.23	-0.37
A4	-0.65	0.17	0.13	0.77	0.45	-0.36	0.31
A5	-0.28	-0.32	-0.47	-0.34	0.14	0.26	-0.25
A6	0.39	0.29	0.37	-0.2	-0.83	-0.76	-0.02

3、余流

①垂线平均余流在 $1\text{cm/s} \sim 33\text{cm/s}$ 之间，各测点垂线平均余流最大值出现在大潮期间 A3 测点，方向为 77° ；最小值出现在大潮期间 A4 测点，方向为 2° 。

②各层余流在 $1\text{cm/s} \sim 53\text{cm/s}$ 之间，各测点余流最大值出现在小潮期间 A3 测点表层，方向为 92° ；最小值出现在中潮期间 A4 测点 0.4d 层，方向为 79° 。

③总体来看，湾内测点余流较小，无明显规律；离红海湾越远的测点余流越大，且流向相对集中。

图 4.4.1-6 夏季测点垂线平均余流矢量图

4、含沙量

(1) 测点最大含沙量

夏季全潮水文测验期间，测点最大含沙量结果见表 4.4.1-11：大潮为 0.232kg/m^3 ，出现在 A4 测点底层；中潮为 0.203kg/m^3 ，出现在 A2 测点底层；小潮为 0.589kg/m^3 ，出现在 A4 测点底层。总体来看，各测点含沙量普遍较小。

表 4.4.1-11 夏季测点最大含沙量统计表（单位： kg/m^3 ）

项目 站点	大潮		中潮		小潮	
	实测最大	测层	实测最大	测层	实测最大	测层
A1	0.038	底层	0.094	底层	0.081	底层
A2	0.108	底层	0.203	底层	0.061	表层
A3	0.090	底层	0.062	底层	0.064	表层

项目 站点	大潮		中潮		小潮	
	实测最大	测层	实测最大	测层	实测最大	测层
A4	0.232	底层	0.116	底层	0.589	底层
A5	0.021	底层	0.058	底层	0.022	底层
A6	0.042	表层	0.049	底层	0.042	表层
最大	0.232	底层	0.203	底层	0.589	底层

(2) 垂线平均最大含沙量

夏季全潮水文测验期间，施测海域垂线平均最大含沙量，大、中、小潮分别为 0.099kg/m³、0.118kg/m³、0.209kg/m³，其中大潮和小潮垂线平均最大含沙量均出现在 A4 测点，中潮出现在 A2 测点，各测点垂线平均含沙量普遍较小，测点间差异不大。

表 4.4.1-12 夏季各测点垂线平均最大含沙量统计表（单位：kg/m³）

站名	大潮	中潮	小潮	最大值
A1	0.028	0.053	0.067	0.067
A2	0.099	0.118	0.045	0.118
A3	0.050	0.053	0.043	0.053
A4	0.090	0.053	0.209	0.209
A5	0.014	0.023	0.012	0.023
A6	0.034	0.040	0.032	0.040
最大值	0.099	0.118	0.209	0.209

(3) 含沙量垂向分布

夏季全潮水文测验期间，测点各层含沙量普遍较小，无明显差别。

(4) 悬沙中值粒径

各测点悬沙的中值粒径介于 0.012mm-0.120mm 之间。

5、盐度

(1) 盐度特征值统计

大潮最大盐度为 34.52，出现在底层；最小盐度为 31.81，出现在表层。中潮最大盐度为 34.46，出现在底层；最小盐度为 31.88，出现在表层。小潮最大盐度为 34.45，出现在底层；最小盐度为 32.15，出现在表层。测站垂线平均盐度介于 33.45~34.02 之间。

(2) 盐度垂向分布特征

A3 测站大、中、小潮的分层系数分别为 5.8×10^{-2} 、 5.3×10^{-2} 和 5.4×10^{-2} ，均在 $1 \sim 10^{-2}$ 之间，为缓混合，盐度沿垂向变化明显，可能导致测点出现异重流。

6、水温

最高水温为 30.96°C ，出现在小潮观测期间测点表层；最低为 21.55°C ，出现在大潮观测期间测点底层。全潮期间垂线平均温度在 $24.73^{\circ}\text{C} \sim 26.04^{\circ}\text{C}$ 之间。实测海域各测点水温极值和变化量，潮次间差别较小。

测区水温垂向梯度在 $0.004^{\circ}\text{C}/\text{m} \sim 0.638^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 之间。大、中、小潮观测期间测点水温垂直变化明显。

4.4.1.4 冬季调查结果

1、潮位

(1) 潮汐特征值

根据各潮位站历时 32 天的潮位资料统计，潮汐特征值见表 4.4.1-13，图 4.4.1-7 为各潮位站整点潮位过程线。实测结果表明：

①各潮位站实测平均高潮位，各站相差不大。T2 站最高，为 0.99m ；T1 站次之，为 0.93m ，T3 站最低，为 0.92m ；实测平均低潮位，T1 站最低，为 0.16m ；T2 站为 0.24m ；T3 站为 0.27m 。

②各潮位站平均潮差，T1~T3 站分别为 0.77m 、 0.75m 、 0.64m ；最大潮差为 2.24m ，出现在 T1 站；T2 站和 T3 站分别为 1.90m 、 1.82m 。

③各潮位站实测平均涨、落潮历时，平均涨潮历时均大于平均落潮水历时，T1~T3 站涨、落潮历时差分别为 $1\text{h}38\text{min}$ 、 $1\text{h}33\text{min}$ 、 20min 。

④各潮位站平均海平面，T1~T3 站分别为 0.57m 、 0.64m 、 0.62m 。总体来看，各潮位站实测平均潮差和最大潮差均以 T1 站最大，T3 站最小；T1、T2 站平均涨、落潮历时差值较接近，T3 站平均涨、落潮历时相差较小。

表 4.4.1-13 冬季各潮位站潮位特征值（单位：m）

潮位特征值	潮位站		
	T1	T2	T3
最高潮位	1.88	1.88	1.77
最低潮位	-0.49	-0.32	-0.40
平均高潮位	0.93	0.99	0.92
平均低潮位	0.16	0.24	0.27

最大潮差	2.24	1.90	1.82
最小潮差	0.04	0.07	0.04
平均潮差	0.77	0.75	0.65
30日平均海平面	0.57	0.64	0.62
平均涨潮历时 (h:min)	7:06	6:40	6:18
平均落潮历时 (h:min)	5:28	5:07	5:58

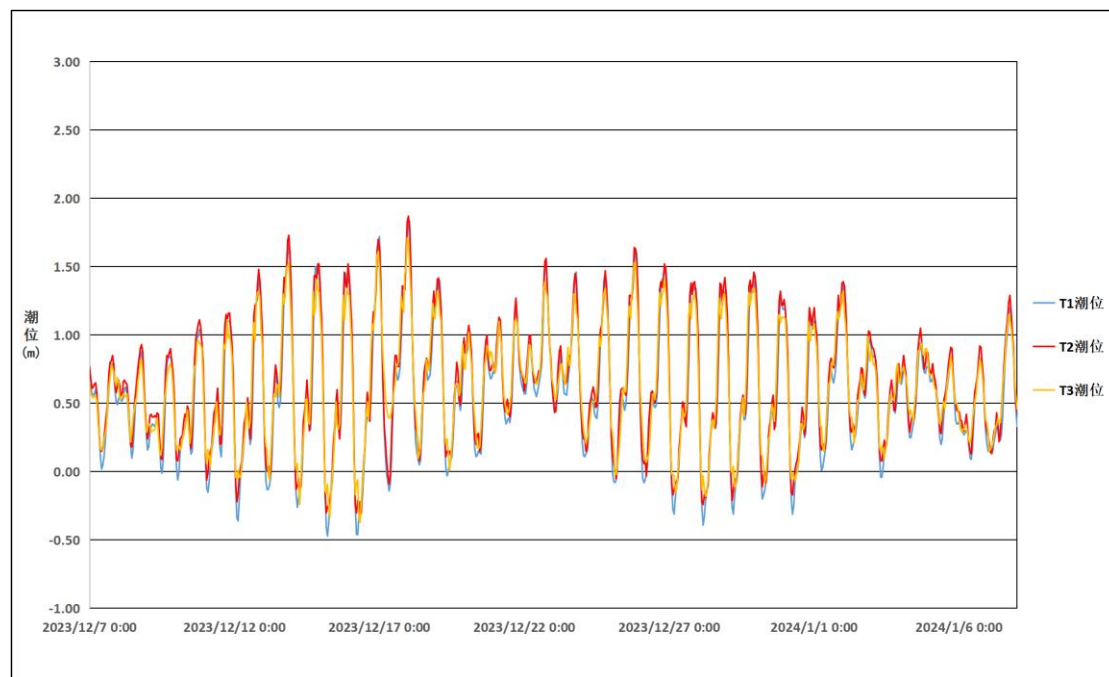


图 4.4.1-7 冬季 T1~T3 站整点潮位过程线图

(2) 短期潮汐调和与分析

采用最小二乘法，对 T1~T3 站 2023 年 12 月 7 日 0:00~2024 年 1 月 8 日 0:00 的潮位数据进行潮汐调和与分析，求出 11 个分潮的调和常数，调和常数表见表 4.4.1-14。

表 4.4.1-14 冬季各潮位站调和常数表

分潮		T1		T2		T3	
		H(cm)	g(°)	H(cm)	g(°)	H(cm)	g(°)
1	O1	26.45	251	26.17	250	24.27	250
2	K1	31.11	295	30.67	294	28.26	294
3	M2	28.68	259	25.49	256	16.75	258
4	S2	14.7	276	11.85	270	8.84	262
5	K2	5.14	278	4.1	271	3.47	271
6	Q1	4.72	233	4.64	227	4.34	234
7	P1	13.27	297	13.01	289	12.8	285
8	N2	6.01	255	5.7	255	4.39	252

9	MS4	4.52	318	4.85	305	3.69	263
10	M4	7.19	252	8.04	233	5.84	205
11	M6	1.25	74	2.8	315	3.48	265

各站 F 值如表 4.4.1-15 所示，T1 站~T3 站的 F 值为均在 2.0~4.0 之间，表明测区附近海域的潮汐性质为不正规全日混合潮。

表 4.4.1-15 冬季各潮位站潮汐示性系数 F 特征值表

潮汐示性系数	站点		
	T1	T2	T3
F	2.01	2.23	3.14

2、海流

(1) 流速流向统计分析

1) 实测海流特征值

在本次冬季水文全潮测验期间，各测点最大流速特征值如表 5-1~表 5-3 所示。

①大潮观测期间，实测测点最大流速为 26cm/s，流向 18°，出现在 A6 测点表层。垂线平均最大流速出现在 A3 测点和 A6 测点，为 17cm/s，流向分别为 24°和 160°。

②中潮观测期间，实测测点最大流速为 39cm/s，流向 100°，出现在 A6 测点 0.2d 层。垂线平均最大流速为 32cm/s，流向 105°，出现在 A6 测点。

③小潮观测期间，实测测点最大流速为 39cm/s，流向 114°，出现在 A6 测点 0.8d 层。垂线平均最大流速出现在 A6 测点，为 22cm/s，流向 96°。

表 4.4.1-16 冬季大潮最大流速特征值统计表（单位：流速（cm/s），流向（°））

测点 \ 项目	实测最大			垂线平均最大	
	流速	流向	测点	流速	流向
A1	20	56	0.6d	15	41
A2	18	153	表层	14	141
A3	24	32	表层	17	24
A4	22	49	0.6d	15	46
A5	19	132	0.2d	15	130
A6	26	18	表层	17	10
最大	26	18	表层	17	24

表 4.4.1-17 冬季中潮最大流速特征值统计表 (单位: 流速 (cm/s), 流向 (°))

测点 \ 项目	实测最大		垂线平均最大		
	流速	流向	测点	流速	流向
A1	18	56	0.2d	12	69
A2	20	132	表层	18	119
A3	38	97	0.2d	31	101
A4	22	54	0.2d	16	63
A5	27	125	0.6d	23	119
A6	39	100	0.2d	32	105
最大	39	100	0.2d	32	105

表 4.4.1-18 冬季小潮最大流速特征值统计表 (单位: 流速 (cm/s), 流向 (°))

测点 \ 项目	实测最大		垂线平均最大		
	流速	流向	测点	流速	流向
A1	11	115	表层	11	54
A2	14	251	表层	13	121
A3	29	73	0.2d	19	76
A4	19	49	0.2d	14	85
A5	16	168	表层	13	120
A6	39	114	0.8d	22	96
最大	39	114	0.8d	22	96

(2) 实测流向分布

根据各测点垂线平均流向计算结果, 绘制各测点垂线平均流速矢量平面分布图, 见图 4.4.1-8 至图 4.4.1-10。

对各测点垂线平均流向在 16 个方向上出现频次、频率按不同潮别进行统计, 统计结果见

①A1 和 A4 测点流向分布总体相似, 大、中、小潮期间基本均集中于 N~E 区间;

②A2 和 A5 测点流向分布总体相似, 大潮期间流向较分散, 中潮期间流向主要集中在 ENE~SE 区间, 小潮期间流向主要集中在 ESE~SW 区间;

③A3 和 A6 测点总体分布相似, 大潮和小潮期间流向较分散, 中潮期间流向主要集中在 N~ESE 区间。

图 4.4.1-8 冬季大潮垂线平均流速矢量图

图 4.4.1-9 冬季中潮垂线平均流速矢量图

图 4.4.1-10 冬季小潮垂线平均流速矢量图

3、余流

(1) 垂线平均余流在 2cm/s~16cm/s 之间，各测点垂线平均余流最大值出现在大潮期间 A3 测点，方向为 78°；最小值出现在大潮期间 A6 测点大潮和中潮期间，方向为 5° 和 143°。

(2) 各层余流在 1cm/s~19cm/s 之间，各测点余流最大值出现在中潮期间 A6 测点 0.4d 层，方向 85°；最小值出现在大潮期间 A5 和 A6 测点底层，方向为 93° 和 302°。

(3) 总体来看，大潮期间余流较小，中潮余流相对较大。

图 4.4.1-11 冬季大潮垂线平均余流矢量图

图 4.4.1-12 冬季中潮垂线平均余流矢量图

图 4.4.1-13 小潮垂线平均余流矢量图

4、含沙量

(1) 测点最大含沙量

冬季全潮水文测验期间，测点最大含沙量结果见表 4.4.1-19：大潮为 0.107kg/m³，出现在 A4 测点 0.8d 层；中潮为 0.020kg/m³，出现在各测点 0.8d 层；小潮为 0.065kg/m³，出现在 A4、A5 测点 0.8d 层。总体来看，各测点含沙量普遍较小。

表 4.4.1-19 测点最大含沙量统计表（单位：kg/m³）

项目 站点	大潮		中潮		小潮	
	实测最大	测层	实测最大	测层	实测最大	测层
A1	0.056	0.8d	0.020	0.8d	0.020	0.8d
A2	0.029	0.6d	0.020	0.8d	0.034	0.6d
A3	0.053	0.2d	0.020	0.8d	0.037	0.8d
A4	0.107	0.8d	0.020	0.8d	0.065	0.8d
A5	0.020	0.8d	0.019	0.8d	0.065	0.8d
A6	0.035	0.6d	0.020	0.8d	0.029	0.8d
最大	0.107	0.8d	0.020	0.8d	0.065	0.8d

(2) 垂线平均最大含沙量

由表 4.4.1-20 可知, 冬季全潮水文测验期间, 施测海域垂线平均最大含沙量, 大、中、小潮分别为 0.044kg/m^3 、 0.015kg/m^3 、 0.037kg/m^3 , 其中大潮和小潮垂线平均最大含沙量均出现在 A1 测点, 中潮出现在 A6 测点, 小潮出现在 A4 测点, 各测点垂线平均含沙量普遍较小, 测点间差异不大。

表 4.4.1-20 冬季各测点垂线平均最大含沙量统计表 (单位: kg/m^3)

站名	大潮	中潮	小潮	最大值
A1	0.044	0.014	0.014	0.044
A2	0.019	0.014	0.021	0.019
A3	0.034	0.014	0.017	0.034
A4	0.043	0.014	0.037	0.043
A5	0.014	0.014	0.031	0.031
A6	0.025	0.015	0.023	0.025
最大值	0.044	0.015	0.037	0.044

(3) 含沙量垂向分布

冬季全潮水文测验期间, 测点各层含沙量普遍较小, 无明显差别。

(4) 悬沙中值粒径

中值粒径系指在粒径分布累积百分含量曲线上, 50%处的粒径值, 能大致代表悬沙粒径粗细。各测点悬沙的中值粒径介于 0.007mm - 0.181mm 之间。

5、盐度

(1) 盐度特征值统计

大潮最大盐度为 34.11, 出现在底层; 最小盐度为 34.01, 出现在中上层水体。

中潮最大盐度为 34.03, 出现在 0.4d 层; 最小盐度为 33.64, 出现在表层、0.4d 和 0.6d。

小潮最大盐度为 34.05, 出现在底层; 最小盐度为 33.97, 出现在表层、0.2d、0.6d。

测点垂线平均盐度介于 33.67~34.05 之间, 变化较小。

(2) 盐度垂向分布特征

A3 测站大、中、小潮的分层系数均为 1.7×10^{-3} , $n < 10^{-2}$, 为强混合, 垂向总体表现为下层水体盐度较上层上体略大。

6、水温

(1) 水温特征值统计

测验期间测得最高水温为 24.37℃，出现在小潮观测期间测点 0.6d 层；最低为 22.79℃，出现在中潮观测期间测点 0.6d 层。全潮期间垂线平均温度在 22.83℃~23.97℃之间。

(2) 水温的垂向分布

同步观测期间，测点水温垂向梯度在 0.001℃/m~0.140℃/m 之间。从表中可看出，大、中、小潮观测期间测点水温垂直变化不明显。水温垂向分布，总体趋势为水温随深度的增加而降低。

4.4.1.5 波浪

根据《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出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有限公司，2024 年 3 月)，波浪采用遮浪海洋站 2018 年 1 月~2020 年 12 月实测资料进行分析。

传统波浪类型分风浪与涌浪，统计结果显示，路由区附近海域主要受外海传入的涌浪影响，涌浪频率达 17.4%，风浪频率为 82.6%，混合浪频率仅为 0%。

本海区年平均 $H_{1/10}$ 为 1.0m，基本上秋冬季波高大于春夏季波高，10 月、11 月和 2 月月平均 $H_{1/10}$ 最大，为 1.2m，5 月平均 $H_{1/10}$ 最小，为 0.8m。历年最大波高为 7.0m，波向为 90°，发生在 2018 年 9 月 16 日，此时台风“尤特”影响路由区。年平均 $T_{1/10}$ 周期为 4.6s。

表 4.4.1-21 遮浪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}	3.0	3.0	2.9	2.5	2.9	3.5	4.0	3.2	7.0	3.2	2.8	2.7	7.0
平均 H_{max}	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	1.4	1.3
最大 $H_{1/10}$	2.4	2.4	2.5	2.0	2.3	2.8	3.3	2.6	6.2	2.7	2.3	2.2	6.2
平均 $H_{1/10}$	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	1.2	1.2	1.1	1.0
平均 $T_{1/10}$	4.8	4.8	4.5	4.3	4.1	4.4	4.8	5.0	4.9	4.6	4.9	4.6	4.6

波浪观测站全年波向主要集中在 E 和 ENE 方向，分布频率分别为 25.7%和 13.8%；路由海区常浪向为 E 向，次常浪向为 ENE 向，N、WNW、NW、NNW 向波浪比较少；强浪向为 E 向，NW 向波浪最弱。路由海区波向受季风影响明显。1 月到 5 月波向主要为受东北季风影响的 E 向浪较多；6 月 E 向波浪逐渐减

少，SW 向波浪增多；6 月到 8 月波向主要为 SW、WSW；9 月 E 向波浪逐渐增多，10 月至 12 月长浪向又变为受东北季风影响的 E 向浪。

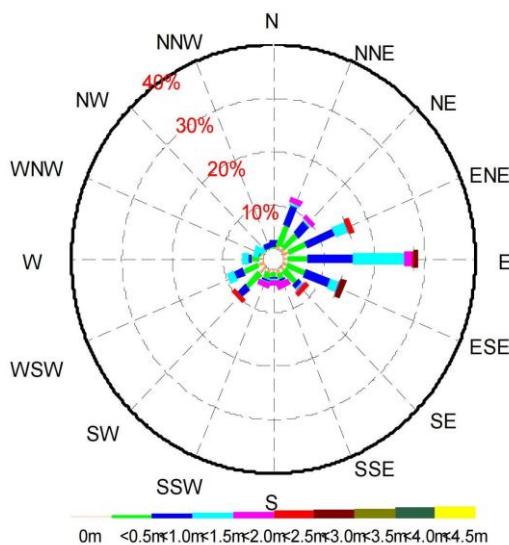


图 4.4.1-14 遮浪站波浪玫瑰图

4.4.2 海域地形地貌与冲淤状况

本节引自《红海湾三、四海上风电集中送出项目路由选择依据说明材料（报批稿）》（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）。

4.4.2.1 地形地貌

1、海底地形

红海湾口大、纵深小，口外潮流、风浪、涌浪对整个海域的影响较大，特别是近岸段，受外海潮波和涌浪的直接作用和影响，其 5m 等深线直逼岸边，具有水深坡陡的水下地形特点。由于外海风、波、海流等诸种因素的影响，使红海湾内较小的潮流受海域余流的影响非常显著。一般情况下，工程区附近水域涨、落潮流呈东北～东南向，但部分站位有时亦呈相反方向变化，潮流呈顺时针旋转。

路由研究区域位于南海北部陆架，红海湾南侧海域，红海湾近似呈弧形，岸滩坡度较为平缓，约为 1/700。路由研究区域的水下地形如图所示，10m、20m、30m 等深线基本与岸线近似平行，接近东北-西南走向。可见，路由研究区域水深条件良好。

图 4.4.2-1 路由海域水深图

2、海底地貌

路由区位于南海北部近岸海域，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。

路由海域地貌类型从登陆点开始依次为侵蚀陡坎、沙滩、近岸水下浅滩和水下岸坡、海底堆积-侵蚀平原。

(1) 侵蚀陡坎

侵蚀陡坎连接林地与沙滩，高程约 1~2m。

(2) 沙滩

路由登陆点位于深汕合作区小漠华润电厂东北角的小海湾，海岸类型为沉积型砂质海岸，岸线为南北走向，岸线比较稳定。沙堤向陆内侧为防护林带。靠近登陆点的近岸段基本没有礁石，海床平坦宽阔。

(3) 近岸水下浅滩及水下岸坡

路由近岸段约 1.5km 内为水下浅滩，水下岸坡是近岸海底水流与波浪共同作用下所形成，坡度较大，为沉积物覆盖。水下岸坡广泛分布于南海北部沿岸海域，0~25m，等深线顺沿海岸形状排列。

(4) 海底堆积-侵蚀平原

海底泥沙受波浪冲刷与堆积，形成相对平坦的地貌单元，发育于水下岸坡外围，水深 30~60m，呈条带状环绕，坡度在 0.02°~0.06°之间。

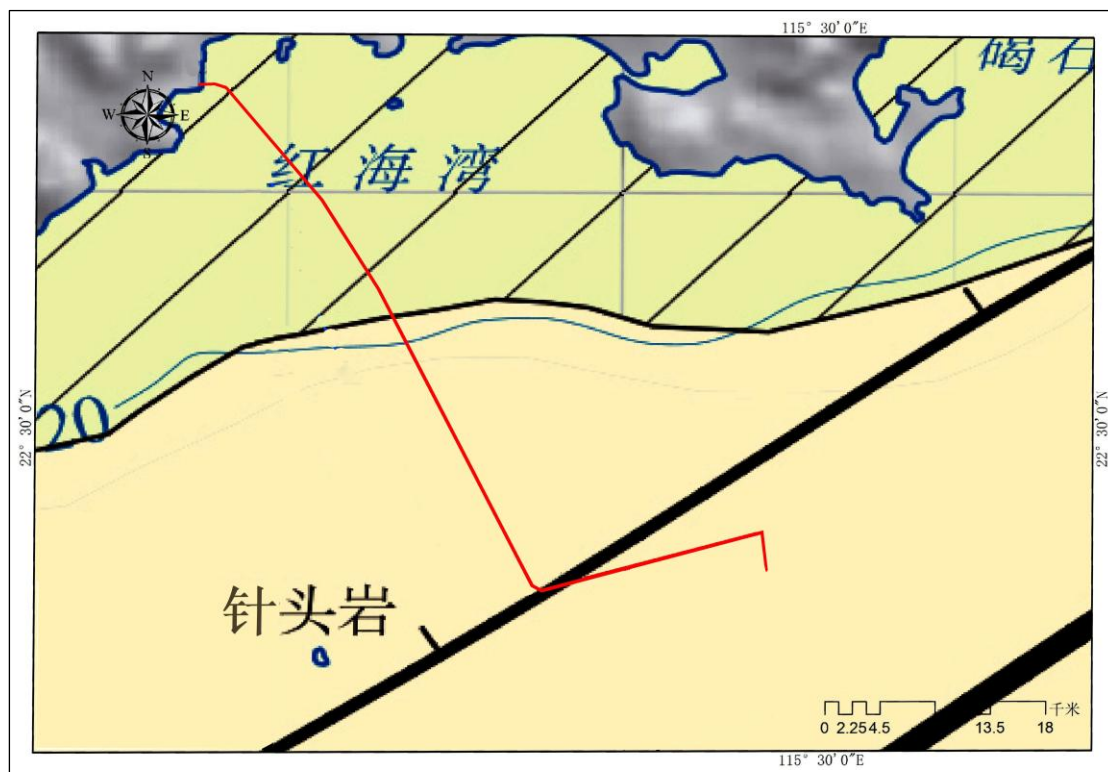


图 4.4.2-2 路由海域地貌图

3、海底底质

路由研究区的海底沉积物类型主要为陆源碎屑沉积，海缆路由方案穿越的海底底质类型依次为粉砂质黏土（TY）、黏土质粉砂（YT）、砂-粉砂-黏土（STY）和细砂（FS），如图 4.4.2-3 所示。路由研究区域陆源碎屑沉积主要来源于韩江、榕江、练江河水泥沙及沉积物。

细砂、粗砂等砂质沉积物分布广而连续性较好，NE-SW 向展布，与内陆架的细粒沉积物呈逐渐过渡关系，为古滨海陆源碎屑堆积。

细砂组成以 $2\phi\sim4\phi$ 的细砂为主，89.60%~99.64%，粉砂较少，0.36%~19.53%，砾石极少量，0.00%~5.50%，黏土含量 0.00%~5.99%。平均粒径（ Mz ） $2.10\phi\sim3.38\phi$ ，分选极好-很差，偏度为负偏-正偏，峰态（ Kg ）宽-极窄。粒度频率直方图呈明显的单峰，优势粒级集中在 $2\phi\sim3\phi$ ；粒度概率累积曲线，呈滚动-跳跃-悬浮三段式，以跳跃组分占优势。陆源碎屑成分以轻矿物石英、长石为主，重矿物含量低。粗砂组成以 $-1\phi\sim1\phi$ 的粗砂为主，砂含量 94.01%~100%，粉砂较少，占 0.00%~4.87%，无黏土组分。平均粒径（ Mz ） $0.45\phi\sim1.80\phi$ ，分选较好-差，偏度近对称-正偏，峰态（ Kg ）宽-窄。粒度频率直方图呈明显的单峰，优势粒级集中在 $0\phi\sim1\phi$ ；以跳跃组分为主，悬浮组分极少量。陆源碎屑成分以轻矿物石英、长

石为主，重矿物较少，偶见有磁铁矿、角闪石、绿帘石、褐帘石、黑云母、重晶石等，自生矿物海绿石较为普遍。

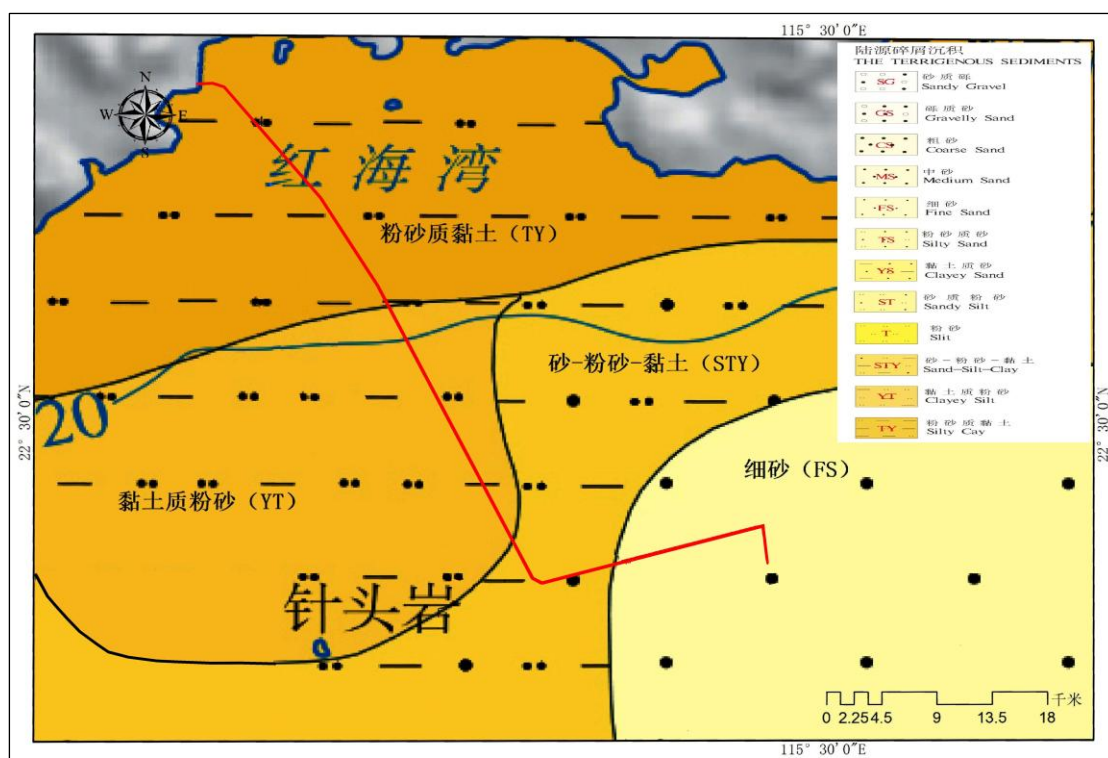


图 4.4.2-3 路由海域沉积物分布示意图

4.4.2.2 冲淤现状和冲淤变化特征

通过对比研究区海域 2009 年与 2018 年的 10m、20m 及 30m 的等深线变化可以看出，本海区 10m 以深的水下岸滩坡度较为平缓；近 10 年来研究区 10m、30m 等深线附近海域变化并不明显，海底地形变化整体较为稳定。碣石湾南侧海域和红海湾对开海域 10m、20m 和 30m 等深线向岸方向均有不同程度的移动，表明附近海域稍有侵蚀，可在附近加大埋深。

整体而言，路由研究海域局部有冲淤变化，但变化幅度不大，呈现略有侵蚀冲刷的基本稳定状态，但路由勘察时仍需详加注意。

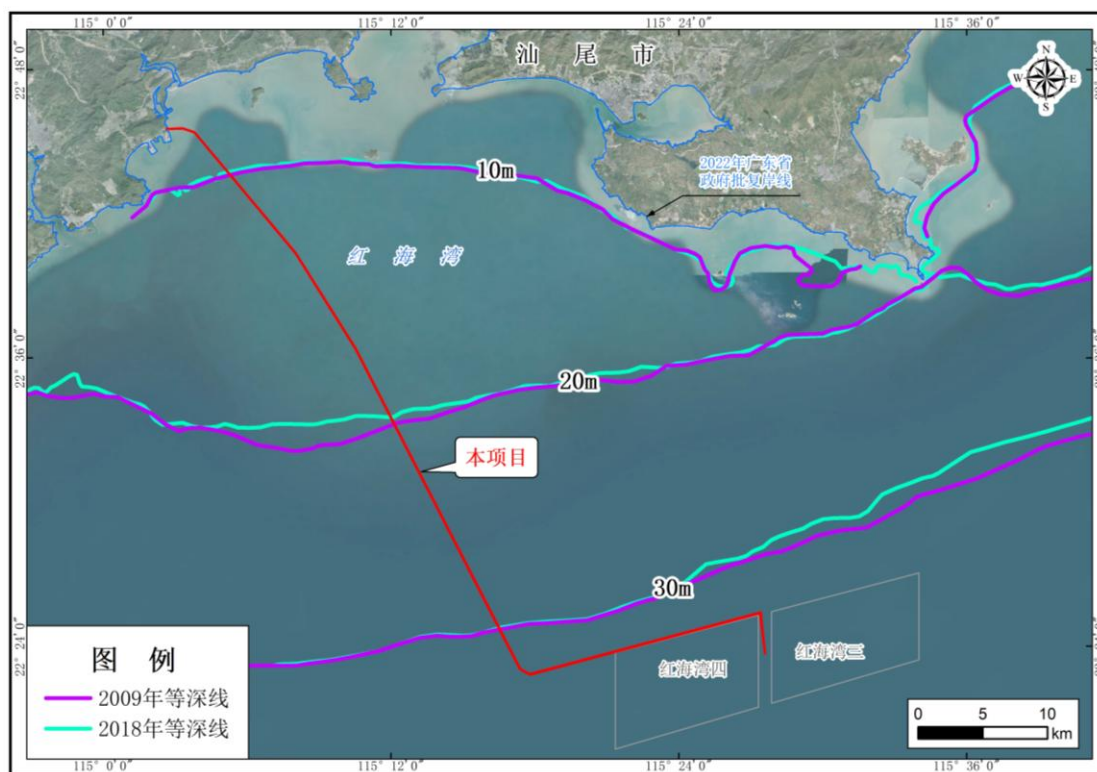


图 4.4.2-4 路由区冲淤变化

4.4.2.3 工程地质

本项目升压站所在海域工程地质引自《中广核汕尾红海湾三海上风电场项目可行性研究阶段岩土工程勘测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024年6月）。本项目升压站与钻孔 HHS04 距离最近，故升压站工程地质采用钻孔 HHS04 资料。

1、岩土体工程地质分层

根据红海湾三海上风电场项目区域地质及钻孔资料，风电场地层覆盖层主要包含三个大层，即全新统海相（ Q_4^m ）、海陆过渡相沉积层（ Q_4^{m+al} ）和晚更新统海陆交互相沉积层（ Q_3^{m+al} ），场区覆盖层厚度大，一般大于 100m。风电场岩土体分层情况见表 4.4.2-1。

表 4.4.2-1 工程岩土体分层表

序号	岩土名称		地层编号	地层时代	状态或风化等级	成因
1	黏性土	淤泥	① ₁	全新统海相（ Q_4^m ）	流塑	海积
2		淤泥混砂	① ₁₋₁		流塑	
3		淤泥质土	① ₂		流塑	
4	砂土	粉砂混淤泥	① ₃		松散	
5		粉砂混淤泥	① ₃₋₁		稍密	

序号	岩土名称	地层编号	地层时代	状态或风化等级	成因
6	粉砂混淤泥	① ₃₋₂		中密	
7	粉砂	① ₄		中密	
8	黏土	②	全新统海陆过渡相沉积层(Q4m+al)	软塑	冲海积
9	粉质黏土	② ₀₋₁		软塑	
10	黏土	② ₁		可塑	
11	粉质黏土	② ₁₋₁		可塑	
12	粉砂	② ₃		密实	
13	粉砂混黏性土	② ₃₋₁		中密~密实	
14	中砂	② ₅		密实	
15	中砂混黏性土	② ₅₋₁		密实	
16	粗砂	② ₆		密实	
17	黏土	③ ₁		晚更新统海陆交互相沉积层(Q3m+al)	
18	粉质黏土	③ ₁₋₁	可塑		
19	粉质黏土	③ ₂₋₁	密实		
20	粉砂	③ ₃	密实		
21	粉砂混黏性土	③ ₃₋₁	密实		
22	细砂	③ ₄	密实		
23	细砂混黏性土	③ ₄₋₁	密实		
24	中砂	③ ₅	密实		
25	中砂混黏性土	③ ₅₋₁	密实		
26	粗砂	③ ₆	密实		
27	粗砂混黏性土	③ ₆₋₁	密实		
28	黏性土	粉土	③ ₈	密实	

2、岩土层特征

HHS04 钻孔所在场址勘察结果各岩土层特征按由上至下的揭露顺序描述如下：

第一层：全新统海相（Q4^m）

淤泥①₁₋₁：深灰色，饱和，流塑，土质滑腻，含多量粉细砂，含有机质，略具腥臭味，局部含贝壳碎屑，海相沉积。该层分布于场地局部地段，该层厚度为3.5m，层底面高程为-46.00m~-41.70m，层顶面高程为-43.90m~-38.20m。该层标准贯入试验实测击数为1。

粉砂混淤泥①₃：灰色，饱和，松散，主要矿物为石英、长石，级配一般，含较多淤泥、粉粒，局部呈夹层产出，海相沉积。该层厚度为2.20m~11.90m，层底面高程为-57.50m~-39.90m，层顶面高程为-46.00m~-35.50m。该层标准贯入

试验实测击数为 1~10。

粉砂混淤泥①₃₋₁: 灰色, 饱和, 稍密, 主要矿物为石英、长石, 级配一般, 含较多淤泥、粉粒, 局部呈夹层产出, 海相沉积。该层厚度为 1.50m~8.00m, 层底面高程为-59.50m~-46.70m, 层顶面高程为-57.50m~-44.70m。该层标准贯入试验实测击数为 11~14。

粉砂混淤泥①₃₋₂: 灰色, 饱和, 中密, 主要矿物为石英、长石, 级配一般, 含较多淤泥、粉粒, 局部呈夹层产出, 海相沉积。该层厚度为 3.20m~13.50m, 层底面高程为-65.40m~-53.80m, 层顶面高程为-59.50m~-46.70m。该层标准贯入试验实测击数为 16~23。

第二大层: 全新统海陆过渡相沉积层(Q₄^{m+al})

粉质黏土②₀₋₁: 灰色, 很湿, 软塑, 黏性、韧性一般, 切面较光滑, 局部夹粉砂或粉土薄层, 局部呈可塑状, 海陆过渡相沉积。该层厚度为 3.40m~6.30m, 层底面高程为-72.40m~-64.00m, 层顶面高程为-69.00m~-57.70m。该层标准贯入试验实测击数为 16~20。

粉质黏土②₁₋₁: 灰色, 湿, 可塑, 黏性、韧性一般, 含粉砂颗粒, 局部夹粉砂或粉土薄层, 含少量有机质, 海陆过渡相沉积。该层厚度为 0.50m~8.70m, 层底面高程为-91.20m~-52.70m, 层顶面高程为-87.60m~-50.30m。该层标准贯入试验实测击数为 6~28。

粉砂混黏性土②₃₋₁: 灰色, 饱和, 中密~密实, 局部稍密, 主要矿物为石英、长石, 级配差, 混多量黏性土, 海陆过渡相沉积。该层厚度为 1.70m~9.90m, 层底面高程为-93.70m~-54.90m, 层顶面高程为-90.60m~-52.70m。该层标准贯入试验实测击数为 11~83。

中砂混黏性土②₅₋₁: 灰色, 饱和, 密实, 主要矿物为石英、长石, 级配较好, 混多量黏性土, 局部夹薄层黏性土, 海陆过渡相沉积。该层厚度为 1.40m~3.50m, 层底面高程为-96.80m~-78.90m, 层顶面高程为-93.30m~-77.50m。该层标准贯入试验实测击数为 50~113。

第三大层: 晚更新统海陆交互相沉积层(Q₃^{m+al})

粉质黏土③₁₋₁: 灰色, 湿, 可塑, 黏性、韧性一般, 局部夹粉细砂薄层, 海陆交互相沉积。该层厚度为 1.10m~11.30m, 层底面高程为-141.75m~-92.00m,

层顶面高程为-140.30m~-88.90m。该层标准贯入试验实测击数为 17~39。

粉砂混黏性土③₃₋₁: 灰色, 饱和, 密实, 主要矿物为石英、长石, 级配较差, 混多量黏性土, 海陆交互相沉积。该层厚度为 1.30m~6.20m, 层底面高程为-138.25m~-91.50m, 层顶面高程为-135.90m~-86.40m。该层标准贯入试验实测击数为 36~85。

粉土③₈: 灰色, 湿, 密实, 黏性、韧性较差, 混多量粉细砂, 海陆交互相沉积。该层厚度为 4.10m, 层底面高程为-97.80m, 层顶面高程为-93.70m。该层标准贯入试验实测击数为 27~28。

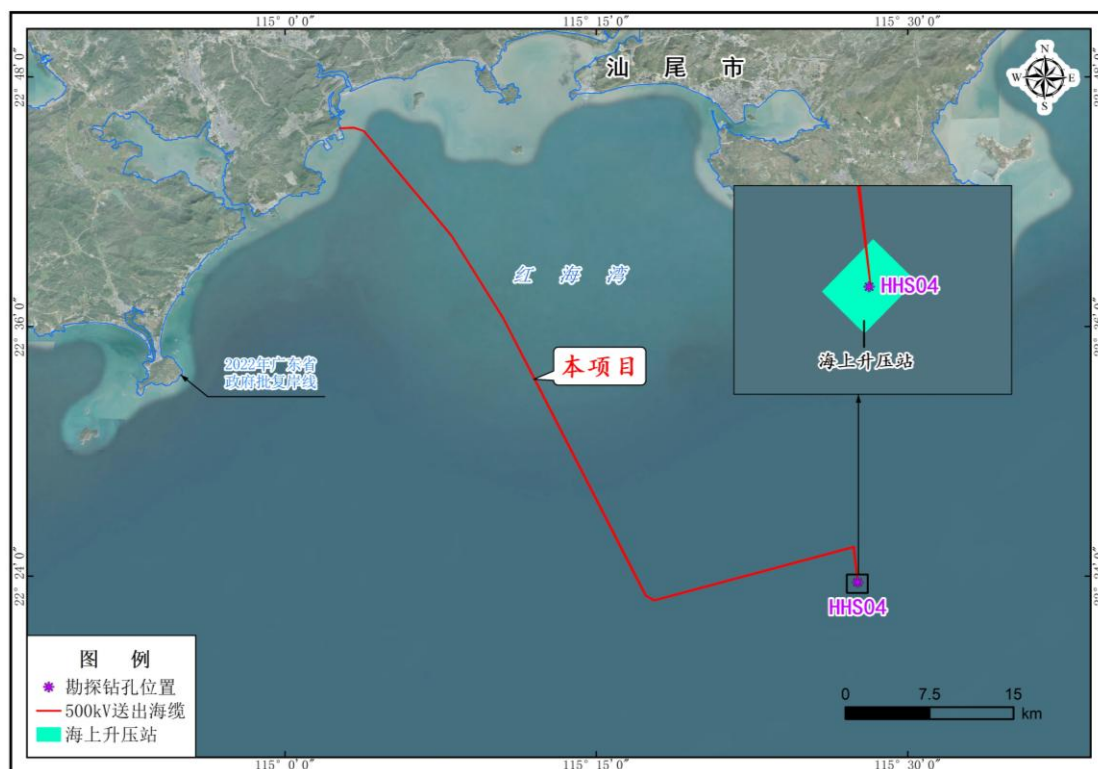
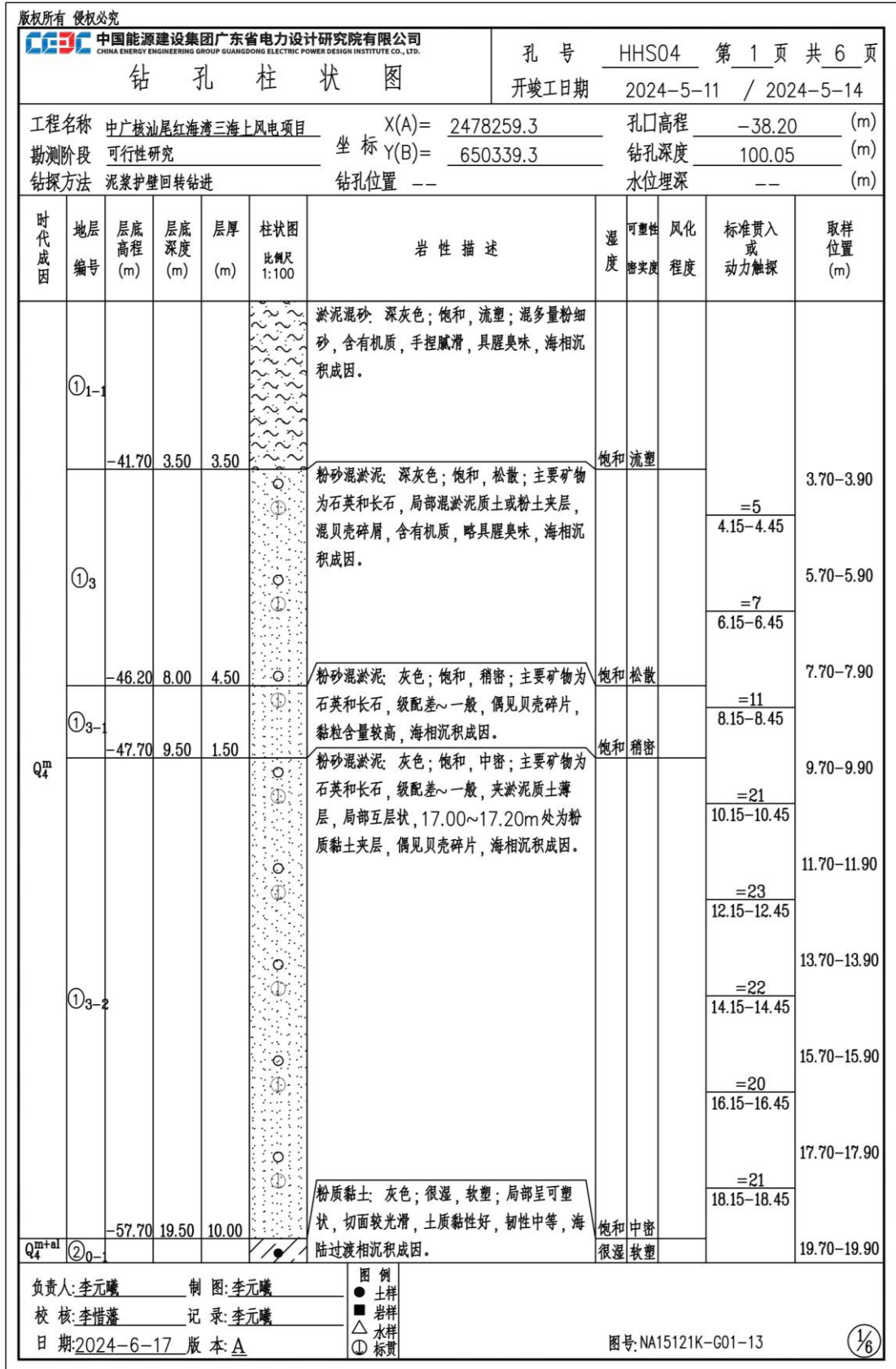






图 4.4.2-5 本项目升压站与钻孔 HHS04 位置关系图



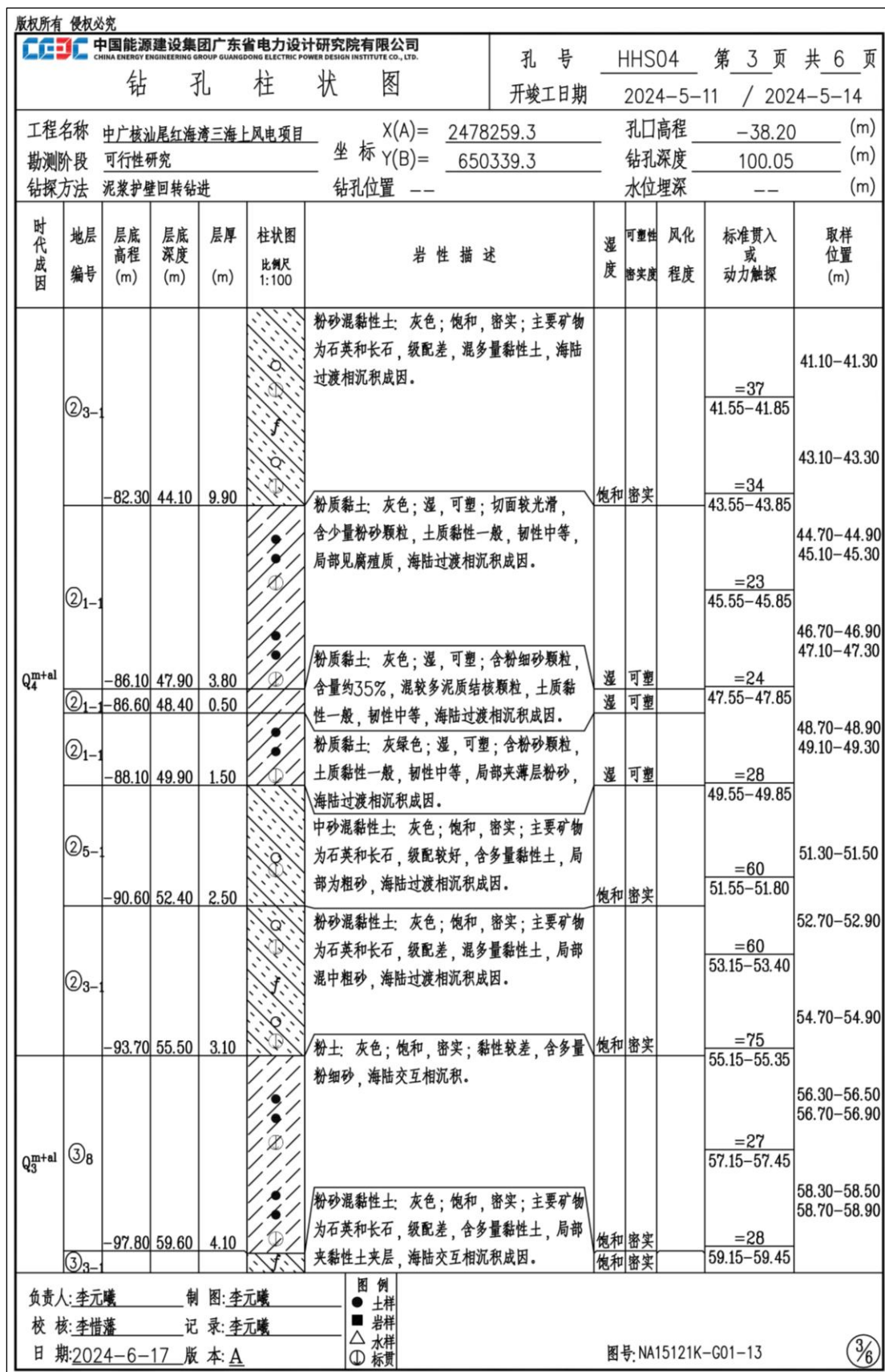
版权所有 侵权必究																
 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 CHINA ENERGY ENGINEERING GROUP GUANGDONG ELECTRIC POWER DESIGN INSTITUTE CO., LTD.					孔号 <u>HHS04</u> 第 <u>2</u> 页 共 <u>6</u> 页 开竣工日期 2024-5-11 / 2024-5-14											
钻 孔 柱 状 图																
工程名称		中广核汕尾红海湾三海上风电项目			X(A)=	2478259.3		孔口高程	-38.20 (m)							
勘测阶段		可行性研究			坐标 Y(B)=	650339.3		钻孔深度	100.05 (m)							
钻探方法		泥浆护壁回转钻进			钻孔位置	--		水位埋深	-- (m)							
时代成因	地层编号	层底高程 (m)	层底深度 (m)	层厚 (m)	柱状图 比例尺 1:100	岩性描述			湿度	可塑性 或 密实度	风化 程度	标准贯入 或 动力触探	取样 位置 (m)			
Q ^{m+al}	② ₀₋₁	-64.00	25.80	6.30		粉质黏土：灰色；很湿，软塑；局部呈可塑状，切面较光滑，土质黏性好，韧性中等，海陆过渡相沉积成因。			很湿	软塑		=19 20.95-21.25	20.10-20.30 20.50-20.70			
														=17 23.55-23.85	22.30-22.50 22.70-22.90 23.10-23.30	
															=18 26.05-26.35	24.80-25.00 25.20-25.40 25.60-25.80
															=16 28.55-28.85	27.30-27.50 27.70-27.90 28.10-28.30
	② ₀₋₁	-69.00	30.80	5.00		粉质黏土：灰色；很湿，软塑；局部呈可塑状，切面较光滑，土质黏性好，韧性中等，海陆过渡相沉积成因。			很湿	软塑		=20 31.05-31.35	29.80-30.00 30.20-30.40 30.60-30.80			
														=19 33.55-33.85	32.30-32.50 32.70-32.90 33.10-33.30	
	② ₃₋₁	-72.40	34.20	3.40		粉质黏土：灰色；很湿，软塑；局部呈可塑状，切面较光滑，土质黏性好，韧性中等，局部表现为黏土，海陆过渡相沉积成因。			很湿	软塑		=35 35.55-35.85	35.10-35.30			
														=38 37.55-37.85	37.10-37.30	
														=40 39.55-39.85	39.10-39.30	
									饱和	密实						

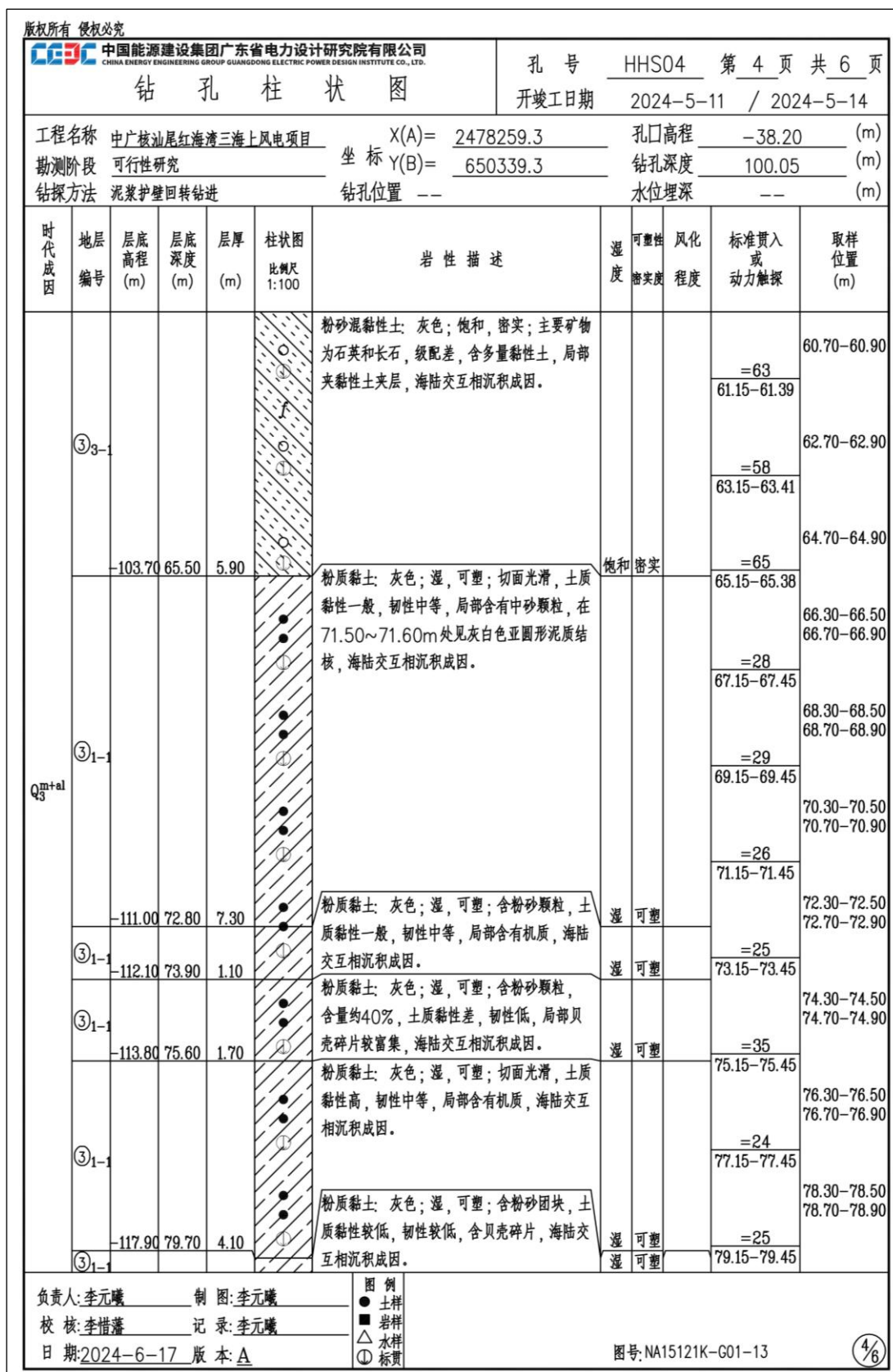
负责人:李元曦 制图:李元曦
 校核:李惜藩 记录:李元曦
 日期:2024-6-17 版本:A

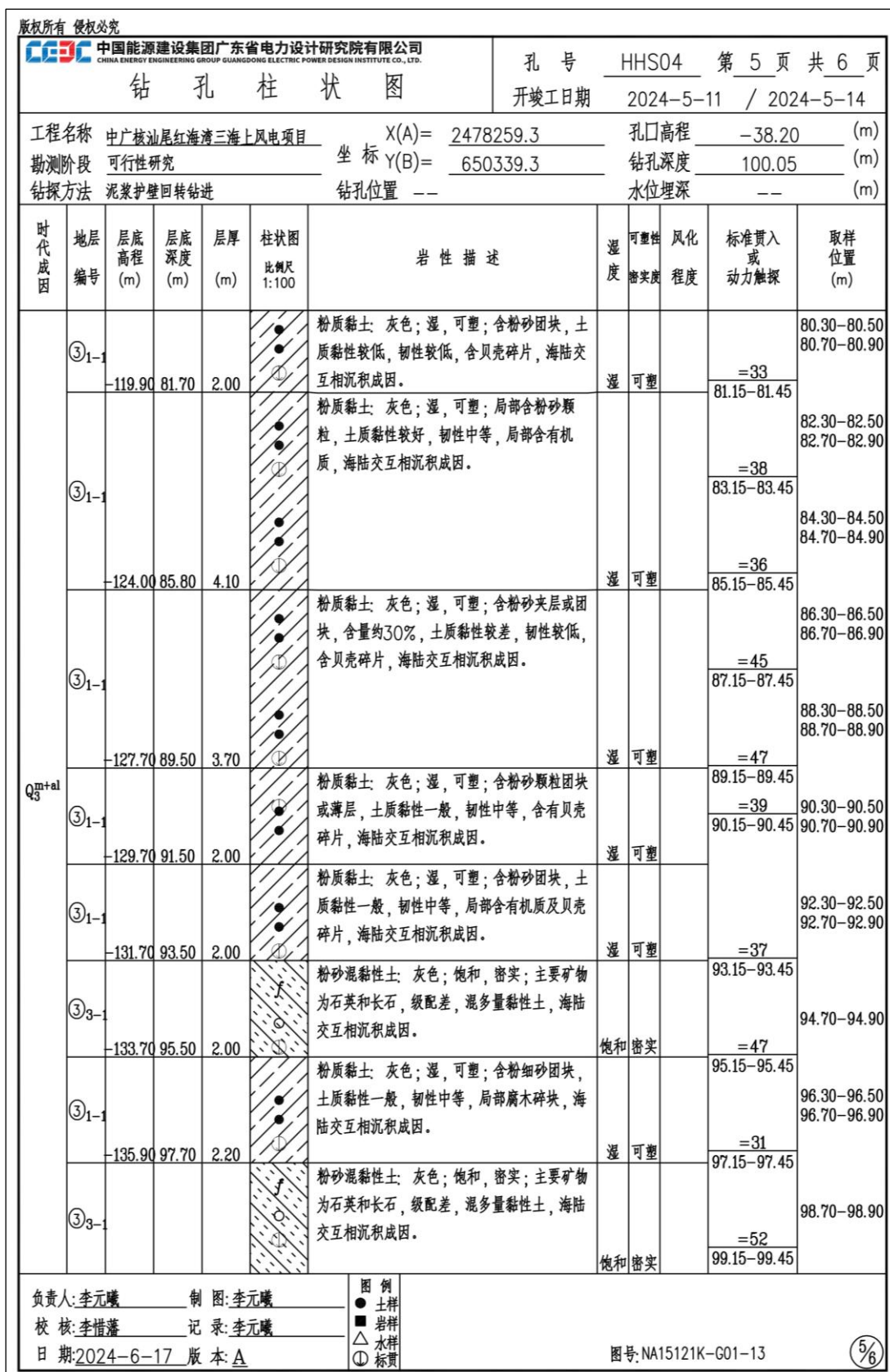
图例
 ● 土样
 ■ 岩样
 △ 水样
 ⊕ 标贯

图号:NA15121K-G01-13

2/6







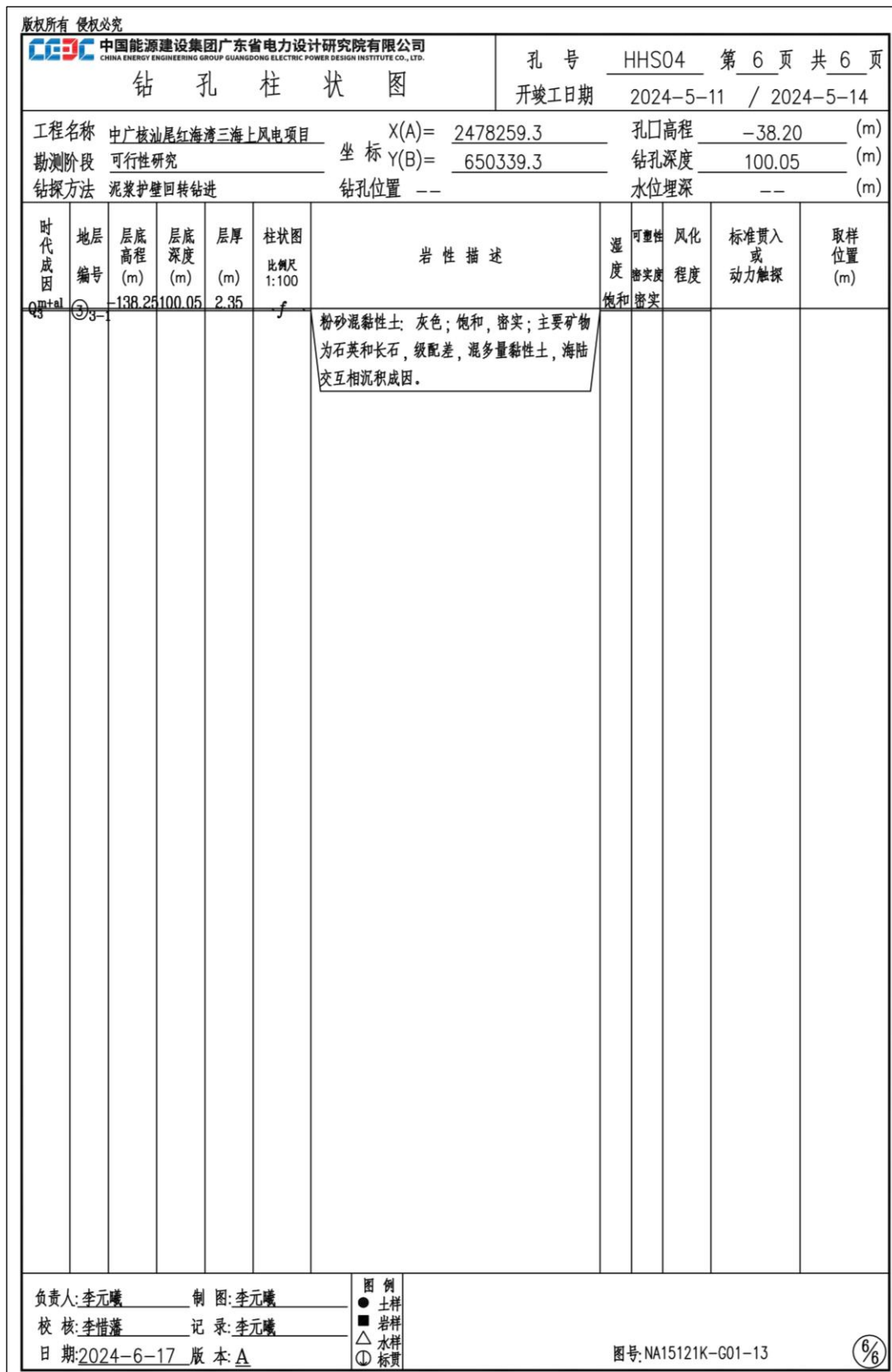


图 4.4.2-6 升压站附近 (HHS04) 钻孔柱状图

4.4.3 海水水质环境质量现状调查与评价

4.4.3.1 区域海水水质状况

收集了近几年汕尾市生态环境状况公报如下：

根据《2021年汕尾市生态环境状况公报》，2021年，全市15个海水质量国控监测点位、15个省控监测点位，于春季、夏季、秋季实施监测，所有监测结果均达到国家海水一类、二类水质标准，水质继续保持优良。

根据《2022年汕尾市生态环境状况公报》，2022年，全市19个省控监测点位（含15个海水质量国控监测点位），于春季、夏季、秋季实施监测，所有监测结果均达到国家海水一类、二类水质标准，近岸海域优良水质面积比例继续保持100%。

根据《2023年汕尾市生态环境状况公报》，2023年，全市21个省控监测点位（含15个海水质量国控监测点位），于春季、夏季、秋季实施监测，除1个省控点位（GD014陆丰烟港）因溶解氧年平均值4.95毫克/升，达不到二类标准 ≥ 5 毫克/升，为三类水质，其它监测点位所有监测项目年平均值达到国家海水一类、二类水质标准。

4.4.3.2 海水水质现状调查与评价

1、调查概况

（1）调查时间

受建设单位委托，广州海兰图检测技术有限公司于2024年04月10日~04月16日对汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目海域开展春季海洋环境现状调查，于2024年11月1日~11月2日和2024年11月24日~11月30日对汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目海域开展秋季海洋环境现状调查。

（2）调查站位

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），沿岸海域是指近岸海域之内靠近大陆海岸的海域，一般指距海岸线10公里以内的海域。本项目评价范围涉及沿岸海域和近岸海域。

表 4.4.3-1 海水水质现状调查站位数量

评价等级	现状调查站位数量（个）		
	河口、海湾和沿岸海域	除沿岸海域的近岸海域	其他海域
1	≥16	≥12	≥8
2	≥10	≥8	≥4
3	≥2		
注：跨越不同海域类型的建设项目，调查站位按数量最多的海域要求进行设置。			

1) 春季

本项目采用的春季海洋环境调查，共布设水质调查站位 22 个，沉积物调查站位 11 个，海洋生物生态 14 个、生物体质量和渔业资源调查站位 14 个，潮间带调查断面 3 条，具体调查站位详见表 4.4.3-2 和图 4.4.3-1。

本项目评价范围内共有 16 个海水水质调查站位，满足《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）的要求。

表 4.4.3-2 本项目春季海洋环境现状调查站位

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
1	SW01			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
2	SW02			水质
3	SW03			水质
4	SW04			水质、生物生态和渔业资源
5	SW05			水质
6	SW06			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
7	SW07			水质
8	SW08			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
9	SW09			水质
10	SW10			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
11	SW11			水质、生物生态和渔业资源
12	SW12			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
13	SW13			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
14	SW14			水质
15	SW15			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
16	SW16			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
17	SW17			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
18	SW18			水质
19	SW19			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
20	SW20			水质
21	SW21			水质、沉积物、生物生态和渔业资源

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
22	SW26			水质、生物生态和渔业资源
23	SWC01			潮间带
24	SWC02			潮间带
25	SWC03			潮间带

图 4.4.3-1 本项目春季调查站位分布示意图

2) 秋季

本次调查共设水质调查站位 22 个，海洋生物生态 14 个、生物体质量和渔业资源调查站位 14 个，潮间带调查断面 3 条，具体调查站位详见表 4.4.3-3 和图 4.4.3-2。

本项目评价范围内共有 17 个海水水质调查站位，满足《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）的要求。

表 4.4.3-3 本项目秋季海洋环境现状调查站位

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
1	SW01			水质、生物生态和渔业资源
2	SW02			水质
3	SW03			水质
4	SW04			水质、生物生态和渔业资源
5	SW06			水质、生物生态和渔业资源
6	SW07			水质
7	SW08			水质、生物生态和渔业资源
8	SW09			水质
9	SW10			水质、生物生态和渔业资源
10	SW11			水质、生物生态和渔业资源
11	SW12			水质、生物生态和渔业资源
12	SW13			水质、生物生态和渔业资源
13	SW14			水质
14	SW15			水质、生物生态和渔业资源
15	SW16			水质、生物生态和渔业资源
16	SW17			水质、生物生态和渔业资源
17	SW18			水质
18	SW19			水质、生物生态和渔业资源
19	SW20			水质
20	SW21			水质、生物生态和渔业资源

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
21	SW26			水质、生物生态和渔业资源
22	SW46			水质
23	SWC01			潮间带
24	SWC02			潮间带
25	SWC03			潮间带

图 4.4.3-2 本项目秋季调查站位分布示意图

(3) 监测内容

本项目春、秋两季海洋环境现状监测内容包括海水水质、海洋沉积物、海洋生物体、海洋生态和渔业资源，具体详见表 4.4.3-4。

表 4.4.3-4 监测项目

类别	监测项目	项数
海水水质	pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、无机氮、无机磷、挥发酚、硫化物、油类、铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷、生化需氧量、活性硅酸盐、硒、镍	25
海洋沉积物	pH、含水率、粒度、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷	13
海洋生物体	铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油烃	8
海洋生态	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、优势种、生物量、栖息密度和分布、多样性和均匀度）； 5.潮间带生物（种类及组成、优势种、生物量、栖息密度和分布、多样性和均匀度）。	5
渔业资源	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）。	2

2、海水采样方法

(1) 水样采集通用方法

1) 按照《海洋监测规范（系列）》（GB 17378-2007）和《海洋调查规范（系列）》（GB/T 12763-2007）执行。

2) 使用 GPS 定位导航调查船只进入预定站位后开始测量水深。根据实测水深，进行透明度、水色等现场观测，当站位水深浅于 10m 时（以现场水深为准，下同），仅采表层水样一个；当站位水深在 10m~25m 时，分别采集表层和底层

水样各一个；其中表层为距表面 0.1m~1m，底层为离底 2m，具体如表 4.4.3-5。

表 4.4.3-5 采样层次表

水深范围/m	标准层次	底层与相邻标准层最小距离/m
小于 10	表层	/
10~25	表层、底层	/
25~50	表层、10m、底层	/
50~100	表层、10m、50m、底层	5
100 以上	表层、10m、50m、以下水层的酌情加层、底层	10

注 1：表层系指海面以下 0.1m~1m；
注 2：底层，对河口及港湾海域最好取离海底 2m 的水层，深海或大风浪时可酌情增大离底层的距离。

3) 采用向风逆流采样，严格控制来自船体自身的污染，采样时严禁船舶排污，采样位置远离船舶排污口，并严格按照相关规定程序和操作要求进行样品的分装、预处理、编号记录、贮存和运输；

4) 对无法现场分析的样品，按《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 加固定剂后带回实验室分析；

5) 水文气象观测执行《海洋调查规范 第 3 部分：海洋气象观测》(GB/T 12763.3-2020)、《海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测》(GB/T 12763.2-2007) 和《海洋观测规范 第 2 部分：海滨观测》(GB/T 14914.2-2019)。

(2) 特殊指标水样采集方法

1) 溶解氧样品的采集：将乳胶管的一端接上玻璃管，另一端套在采水器的出水口，放出少量水样，洗水样瓶两次。将玻璃管插到水样瓶底部慢慢注入水样，待水样装满并溢出约为瓶子体积的 50%时，将玻璃管慢慢抽出盖上瓶盖，再取下瓶盖，立即用自动加液器(管尖靠近液面)依次注入 1.00mL 氯化锰溶液和 1.00mL 碱性碘化钾溶液。塞紧瓶塞并用手抓住瓶塞和瓶底，将瓶缓慢地上下颠倒 20 次，使样品与固定液充分混匀。待样品瓶内沉积物降至瓶体 60%以下时方可进行分析。如样品瓶浸泡在水中，允许存放 24h，避免阳光直射和温度剧烈变化，如温差较大，应在 12h 内测定。

2) pH 样品的采集：样品瓶洗净后，用海水浸泡 1d。采样时需用采样点的海水洗涤两次，再装入水样瓶固定，盖好瓶盖混合均匀，待测，允许保存 48h。

3) 重金属样品的采集：水样采集后，要有防止现场大气降尘带来的污染措施，并尽快从采样器中放出样品；防止采样器内样品中所含污染物随悬浮物的下

沉而降低含量，灌装样品时必须边摇动采水器边灌装，立即用 0.45 μ m 滤膜过滤处理，过滤水样用 HNO₃ 酸化至 pH 值小于 2，塞上塞子，存放在洁净环境中。

4) 油类样品的采集：测定水中油含量应用单层采水器固定样品瓶在水体中直接灌装，采样后立即提出水面，在现场用石油醚（或正己烷）萃取或者在现场采集油类样品后，加 0.1mol/L 硫酸溶液固定，带回实验室萃取；测定油类样品的容器禁止预先用海水冲洗。

3、海水水质指标分析方法

海水水质样品的分析按照《海洋调查规范（系列）》（GB/T 12763-2007）和《海洋监测规范（系列）》（GB 17378-2007）进行，各项目的分析方法如表 4.4.3-6。

表 4.4.3-6 海水调查项目及分析方法

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/T 12763.2-2007/5.2.1	CTD 法	/
2	pH	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/26	pH 计法	/
3	盐度	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/29.1	盐度计法	2‰
4	溶解氧	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/31	碘量法	0.11mg/L
5	悬浮物	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/27	重量法	/
6	化学需氧量	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/32	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》GB 17378.4-2007/38.1	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》GB 17378.4-2007/37	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》GB 17378.4-2007/36.1	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》GB 17378.4-2007/39.1	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》GB 17378.4-2007/19	4-氨基安替比林分光光度法	1.1 μ g/L
12	硫化物	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/18.1	亚甲基蓝分光光度法	0.2 μ g/L
13	油类	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/13.2	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》GB 17378.4-2007/5.1	原子荧光法	0.007 μ g/L
15	砷	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/11.1	原子荧光法	0.5 μ g/L
16	铜	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/6.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.2 μ g/L

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
17	铅	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/7.1	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》GB 17378.4-2007/8.1	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》GB 17378.4-2007/9.1	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》GB 17378.4-2007/10.1	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》GB 17378.4-2007/33.1	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》GB 17378.4-2007 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》GB 17378.4-2007/12.1	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
25	无机氮	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/35	/	/

4、海水水质评价标准和方法

(1) 评价标准

海域水质现状评价依据标准《海水水质标准》(GB 3097-1997)，见前文表 2.3.2-1 所示。

(2) 执行标准

《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025) 提出“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”要求。

经叠加可知（见图 4.4.3-3 和图 4.4.3-4），本项目海洋环境现状调查站位中，各季仅 4 个站位位于《广东省近岸海域环境功能区划》规划范围内，水质执行类别为二类和三类。除外，春季的其他站位分别位于《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》中的红海湾交通运输用海区、东山海-红海湾海洋预留区、东山海海龟珍稀濒危物种分布区生态保护区、遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区、针头岩生态控制区和汕尾西部工矿通信用海区，秋季的其他站位分别位于《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》中的红海湾交通运输用海区、东山海-红海湾海洋预留区、遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区、针头岩生态控制区和汕尾西部工矿通信用海区，见图 4.4.3-5 和图 4.4.3-6 所示。

根据《海水水质标准》(GB 3097-1997),按照海域的不同使用功能和保护目标,海水水质分为四类:第一类适用于海洋渔业水域,海上自然保护区和珍稀濒危海洋生物保护区;第二类适用于水产养殖区,海水浴场,人体直接接触海水的海上运动或娱乐区,以及与人类食用直接有关的工业用水区;第三类适用于一般工业用水区,滨海风景旅游区;第四类适用于海洋港口水域,海洋开发作业区。

综合考虑,为更好判断所在海域环境质量现状,评价时,采用逐级评价的方式,即从第一类海水水质开始评价,直至确定各监测要素达到的海水水质类别,同时基于逐级评价的结果判断超标因子及原因等。

经判断,本项目春秋两季各站位所在海域水质执行标准见表 4.4.3-7 和表 4.4.3-8 所示。

表 4.4.3-7 各站位水质标准要求情况一览表(春季站位)

站位	所在区域		水质类别判断
SW01	近岸海域环境功能区		第二类
SW02、SW03、SW04	近岸海域环境功能区		第三类
SW05、SW06	《广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035年)》	红海湾交通运输用海区	第四类
SW07、SW10		东山海-红海湾海洋预留区	维持现状
SW09、SW13、SW14、SW17、SW18、SW26		遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区	第一类
SW12		针头岩生态控制区	第一类
SW11、SW15、SW16、SW19、SW20、SW21		汕尾西部工矿通信用海区	第四类
SW08		东山海海龟珍稀濒危物种分布区生态保护区	第一类

表 4.4.3-8 各站位水质标准要求情况一览表(秋季站位)

站位	所在区域		水质类别判断
SW01	近岸海域环境功能区		第二类
SW02、SW03、SW04	近岸海域环境功能区		第三类
SW06、SW07	《广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035年)》	红海湾交通运输用海区	第四类
SW08、SW10、SW46		东山海-红海湾海洋预留区	维持现状
SW09、SW13、SW14、SW17、SW18、SW26		遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区	第一类
SW12		针头岩生态控制区	第一类
SW11、SW15、SW16、SW19、SW20、SW21		汕尾西部工矿通信用海区	第四类

图 4.4.3-3 本项目春季调查站位与《广东省近岸海域环境功能区划》叠图

图 4.4.3-4 本项目秋季调查站位与《广东省近岸海域环境功能区划》叠图

图 4.4.3-5 本项目春季调查站位与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》叠图

图 4.4.3-6 本项目秋季调查站位与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》叠图

(3) 评价方法

海水水质现状评价采用单一站位的单因子标准指数法，分层采样的点位采用多层数据的平均值进行评价。

单因子标准指数法计算公式如下：

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

式中：

$S_{i,j}$ ——评价因子 i 的标准指数；

$C_{i,j}$ ——单项水质在 j 站位的实测浓度；

C_{si} ——该项水质的标准值。

其中，溶解氧的标准指数为：

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

$$S_{DO,j} = |DO_f - DO_j| / (DO_f - DO_s) \quad DO_j \geq DO_f$$

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 ——j 站点溶氧值，mg/L；

DO_s ——溶解氧水质标准，mg/L；

DO_f ——饱和溶解氧浓度，mg/L；对于河流， $DO_f = 468 / (31.6 + T)$ ；

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，量纲为 1；

T——水温，℃。

pH 的标准指数为:

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

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

式中: pH_j —— j 点 pH 值;

pH_{sd} ——水质标准规定的 pH 下限值;

pH_{su} ——水质标准规定的 pH 上限值。

水质评价因子的标准指数 > 1 , 则表明该项水质已超过了规定的水质标准。

4.4.3.3 监测结果

1、春季监测结果

调查海域中 22 个站位的水质监测结果分别见表 4.4.3-9。

海水的盐度值变化范围为 32.638‰~34.467‰, 平均为 34.139‰, 其中 SW20 站位底层海水的盐度值最高, SW01 站位表层海水的盐度值最低。

海水的 pH 变化范围为 8.12~8.19, 平均为 8.16, 其中 SW15 站位表层和 SW16 站位表层等海水的 pH 值最高, SW01 站位表层海水的 pH 值最低。

海水的悬浮物含量变化范围为 8.0mg/L~17.7mg/L, 平均为 11.3mg/L, 其中 SW01 站位表层海水的悬浮物含量值最高, SW02 站位表层海水的悬浮物含量值最低。

海水的溶解氧含量变化范围为 6.22mg/L~7.89mg/L, 平均为 7.07mg/L, 其中 SW21 站位表层海水的溶解氧含量值最高, SW26 站位底层海水的溶解氧含量值最低。

海水的化学需氧量含量变化范围为 0.16mg/L~1.20mg/L, 平均为 0.60mg/L, 其中 SW04 站位表层海水的化学需氧量含量值最高, SW13 站位表层和 SW06 站位表层海水的化学需氧量含量值最低。

海水的生化需氧量含量变化范围为 0.13mg/L~0.52mg/L, 平均为 0.33mg/L, 其中 SW17 站位底层海水的生化需氧量含量值最高, SW06 站位表层海水的生化需氧量含量值最低。

海水的无机氮含量变化范围为 0.0592mg/L~0.189mg/L, 平均为 0.0818mg/L, 其中 SW03 站位表层海水的无机氮含量值最高, SW16 站位 10m 层和 SW20 站位底层海水的无机氮含量值最低。

海水的无机磷含量变化范围为 0.0026mg/L~0.0121mg/L, 平均为 0.0049mg/L, 其中 SW04 站位表层海水的无机磷含量值最高, SW16 站位底层海水的无机磷含量值最低。

海水的活性硅酸盐含量变化范围为 0.129mg/L~0.553mg/L, 平均为 0.224mg/L, 其中 SW01 站位表层海水的活性硅酸盐含量值最高, SW16 站位 10m 层海水的活性硅酸盐含量值最低。

海水的油类含量变化范围为 0.0047mg/L~0.0194mg/L, 平均为 0.0110mg/L, 其中 SW11 站位表层海水的油类含量值最高, SW18 站位表层海水的油类含量值最低。

海水的锌含量变化范围为 0.0046mg/L~0.0182mg/L, 平均为 0.0101mg/L, 其中 SW03 站位表层海水的锌含量值最高, SW02 站位表层海水的锌含量值最低。

海水的挥发酚含量变化范围为 1.1 μ g/L~1.8 μ g/L, 平均为 0.7 μ g/L, 其中 SW02 站位表层和 SW06 站位表层等海水的挥发酚含量值最高。

海水的硫化物含量变化范围为 0.2 μ g/L~0.8 μ g/L, 平均为 0.2 μ g/L, 其中 SW04 站位表层海水的硫化物含量值最高。

海水的铜含量变化范围为 0.8 μ g/L~2.6 μ g/L, 平均为 1.6 μ g/L, 其中 SW01 站位表层海水的铜含量值最高, SW20 站位表层海水的铜含量值最低。

海水的铅含量变化范围为 0.11 μ g/L~0.90 μ g/L, 平均为 0.43 μ g/L, 其中 SW17 站位表层海水的铅含量值最高, SW20 站位表层和 SW07 站位表层海水的铅含量值最低。

海水的镉含量变化范围为 0.18 μ g/L~0.94 μ g/L, 平均为 0.54 μ g/L, 其中 SW12 站位底层海水的镉含量值最高, SW04 站位表层海水的镉含量值最低。

海水的铬含量变化范围为 0.4 μ g/L~1.6 μ g/L, 平均为 0.8 μ g/L, 其中 SW15 站位表层海水的铬含量值最高, SW06 站位底层和 SW17 站位底层海水的铬含量值最低。

海水的汞含量变化范围为 0.007 μ g/L~0.023 μ g/L, 平均为 0.008 μ g/L, 其中 SW17 站位 10m 层海水的汞含量值最高。

海水的砷含量变化范围为 0.7 μ g/L~1.8 μ g/L, 平均为 0.9 μ g/L, 其中 SW12 站位底层海水的砷含量值最高, SW10 站位表层海水的砷含量值最低。

海水的镍含量变化范围为 0.5 $\mu\text{g/L}$ ~1.7 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.8 $\mu\text{g/L}$ ，其中 SW11 站位 10m 层海水的镍含量值最高。

海水的硒含量变化范围为 0.2 $\mu\text{g/L}$ ~1.0 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.4 $\mu\text{g/L}$ ，其中 SW02 站位表层海水的硒含量值最高。

2、秋季监测结果

调查海域中 22 个站位的水质监测结果见表 4.4.3-10。

海水的盐度值变化范围为 31.785‰~33.614‰，平均为 33.169‰，其中 SW21 站位底层海水的盐度值最高，SW01 站位表层海水的盐度值最低。

海水的 pH 变化范围为 8.12~8.20，平均为 8.16，其中 SW14 站位表层海水的 pH 值最高，SW01 站位表层、SW03 站位表层和 SW06 站位底层海水的 pH 值最低。

海水的悬浮物含量变化范围为 9.0 mg/L ~23.1 mg/L ，平均为 14.7 mg/L ，其中 SW13 站位底层海水的悬浮物含量值最高，SW15 站位 10m 层和 SW46 站位表层海水的悬浮物含量值最低。

海水的溶解氧含量变化范围为 6.48 mg/L ~7.25 mg/L ，平均为 6.95 mg/L ，其中 SW21 站位表层海水的溶解氧含量值最高，SW16 站位底层海水的溶解氧含量值最低。

海水的化学需氧量含量变化范围为 0.16 mg/L ~1.30 mg/L ，平均为 0.74 mg/L ，其中 SW07 站位底层海水的化学需氧量含量值最高，SW19 站位底层和 SW21 站位表层海水的化学需氧量含量值最低。

海水的生化需氧量含量变化范围为 0.15 mg/L ~0.53 mg/L ，平均为 0.29 mg/L ，其中 SW01 站位表层海水的生化需氧量含量值最高，SW19 站位底层和 SW21 站位表层海水的生化需氧量含量值最低。

海水的无机氮含量变化范围为 0.0563 mg/L ~0.145 mg/L ，平均为 0.0735 mg/L ，其中 SW01 站位表层海水的无机氮含量值最高，SW11 站位底层海水的无机氮含量值最低。

海水的活性磷酸盐含量变化范围为 0.0042 mg/L ~0.0103 mg/L ，平均为 0.0060 mg/L ，其中 SW01 站位表层海水的活性磷酸盐含量值最高，SW12 站位底层海水的活性磷酸盐含量值最低。

海水的活性硅酸盐含量变化范围为 0.239mg/L~0.822mg/L, 平均为 0.508mg/L, 其中 SW01 站位表层海水的活性硅酸盐含量值最高, SW16 站位底层海水的活性硅酸盐含量值最低。

海水的油类含量变化范围为 0.0037mg/L~0.0128mg/L, 平均为 0.0087mg/L, 其中 SW18 站位表层海水的油类含量值最高, SW20 站位表层海水的油类含量值最低。

海水的锌含量变化范围为 0.0034mg/L~0.0190mg/L, 平均为 0.0093mg/L, 其中 SW46 站位底层海水的锌含量值最高, SW14 站位 10m 层和 SW14 站位底层海水的锌含量值最低。

海水的挥发酚含量变化范围为 1.1L μ g/L~2.2 μ g/L, 平均为 0.8 μ g/L, 其中 SW02 站位表层和 SW07 站位表层海水的挥发酚含量值最高。

海水的硫化物含量值均为 0.2L μ g/L~1.2 μ g/L, 平均为 0.4 μ g/L, 其中 SW01 站位表层和 SW03 站位表层海水的硫化物含量值最高。

海水的铜含量变化范围为 1.0 μ g/L~3.7 μ g/L, 平均为 2.2 μ g/L, 其中 SW09 站位底层海水的铜含量值最高, SW04 站位表层海水的铜含量值最低。

海水的铅含量变化范围为 0.27 μ g/L~0.91 μ g/L, 平均为 0.55 μ g/L, 其中 SW16 站位 10m 层海水的铅含量值最高, SW04 站位表层海水的铅含量值最低。

海水的镉含量变化范围为 0.23 μ g/L~0.66 μ g/L, 平均为 0.39 μ g/L, 其中 SW16 站位底层海水的镉含量值最高, SW11 站位底层海水的镉含量值最低。

海水的总铬含量变化范围为 0.4 μ g/L~2.3 μ g/L, 平均为 1.1 μ g/L, 其中 SW15 站位表层海水的总铬含量值最高, SW20 站位表层和 SW46 站位 10m 层海水的总铬含量值最低。

海水的汞含量变化范围为 0.007L μ g/L~0.023 μ g/L, 平均为 0.006 μ g/L, 其中 SW11 站位底层海水的汞含量值最高。

海水的砷含量变化范围为 1.0 μ g/L~2.1 μ g/L, 平均为 1.4 μ g/L, 其中 SW26 站位 10m 层海水的砷含量值最高, SW19 站位表层和 SW19 站位 10m 层等海水的砷含量值最低。

海水的镍含量变化范围为 0.5L μ g/L~1.9 μ g/L, 平均为 0.8 μ g/L, 其中 SW03 站位表层海水的镍含量值最高。

海水的硒含量变化范围为 0.2L μ g/L~0.7 μ g/L, 平均为 0.3 μ g/L, 其中 SW01 站位表层和 SW02 站位表层等海水的硒含量值最高。

4.4.3.4 评价结果

1、春季评价结果

综合《广东省近岸海域环境功能区划》《广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035 年)》《海水水质标准》(GB 3097-1997)判断, 春季站位 SW08、SW09、SW12、SW13、SW14、SW17、SW18、SW26 执行第一类海水水质标准要求, 站位 SW01 执行第二类海水水质标准要求, 站位 SW02、SW03、SW04 执行第三类海水水质标准要求, 站位 SW05、SW06、SW11、SW15、SW16、SW19、SW20、SW21 执行第四类海水水质标准要求, 站位 SW07、SW10 维持海水水质现状。

本项目春季海水水质评价采用上述单项指数法, 对现状监测结果进行标准指数计算, 各监测点水质评价因子的标准指数见表 4.4.3-11。

由监测结果及标准指数表结果可知: 春季所有调查站位的水质监测因子均达到第一类海水水质标准要求。

2、秋季评价结果

综合《广东省近岸海域环境功能区划》《广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035 年)》《海水水质标准》(GB 3097-1997)判断, 春季站位 SW09、SW12、SW13、SW14、SW17、SW18、SW26 执行第一类海水水质标准要求, 站位 SW01 执行第二类海水水质标准要求, 站位 SW02、SW03、SW04 执行第三类海水水质标准要求, 站位 SW06、SW07、SW11、SW15、SW16、SW19、SW20、SW21 执行第四类海水水质标准要求, 站位 SW08、SW10、SW46 维持海水水质现状。

本项目秋季海水水质评价采用上述单项指数法, 对现状监测结果进行标准指数计算, 各监测点水质评价因子的标准指数见注: 挥发酚未检出率大于 1/2, 计算取值为检出限的 1/4; 硫化物未检率少于 1/2, 计算取值为检出限的 1/2; 汞未检出率少于 1/2, 计算取值为检出限的 1/2; 镍未检出率少于 1/2, 计算取值为检出限的 1/2; 硒未检出率少于 1/2, 计算取值为检出限的 1/2。

表 4.4.3-12。

由监测结果及标准指数表结果可知: 所有调查站位的水质监测因子均达到海水水质第一类标准要求。

3、总结

经评价可见，本项目所在海域海水水质均达到第一类标准要求，海水水质条件良好。

表 4.4.3-9 春季海水水质监测结果

站位	层次	水深 m	水温 ℃	盐度 ‰	pH /	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	无机氮	无机磷	活性硅酸盐	油类	锌	挥发酚	硫化物	铜	铅	镉	铬	汞	砷	镍	硒
SW01	表层																										0.9
SW02	表层																										1.0
SW03	表层																										0.8
SW04	表层																										0.8
SW05	表层																										0.7
	底层																										0.7
SW06	表层																										0.6
	底层																										0.7
SW07	表层																										0.5
	底层																										0.6
SW08	表层																										0.7
	底层																										0.8
SW09	表层																										0.3
	底层																										0.3
SW10	表层																										0.3
	10m																										0.3
	底层																										0.4
SW11	表层																										0.3
	10m																										0.5
SW11	底层																										0.4
	表层																										0.3
SW12	10m																										0.2
	底层																										0.4
SW13	表层																										0.4
	底层																										0.4
SW14	表层																										0.2L
	10m																										0.2
SW14	底层																										0.2L
	表层																										0.4
SW15	10m																										0.5
	底层																										0.5
SW16	表层																										0.3
	10m																										0.2
	底层																										0.3
SW17	表层																										0.3
	10m																										0.4
	底层																										0.5
SW18	表层																										0.2L
	10m																										0.3
SW18	底层																										0.2L
	表层																										0.3
SW19	10m																										0.3
	底层																										0.4
SW20	表层																										0.5
	10m																										0.4
SW20	底层																										0.4

站位	层次	水深	水温	盐度	pH	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	无机氮	无机磷	活性硅酸盐	油类	锌	挥发酚	硫化物	铜	铅	镉	铬	汞	砷	镍	硒	
		m	°C	‰	/	mg/L														μg/L								
SW21	表层																											0.2L
	10m																											0.2
	底层																											0.4
SW26	表层																											0.3
	10m																											0.4
	底层																											0.3
最小值																												0.2L
最大值																												1.0
平均值																												0.4

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

②无机氮为氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的总和。

③油类指标只采集表层样品，水深指标只测量站位即时深度，“/”不参与计算。

表 4.4.3-10 秋季海水水质监测结果

站位	层次	水深	水温	盐度	pH	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	无机氮	无机磷	活性硅酸盐	油类	锌	挥发酚	硫化物	铜	铅	镉	铬	汞	砷	镍	硒		
		m	°C	‰	/	mg/L														μg/L									
SW01	表层																												
SW02	表层																												
SW03	表层																												
SW04	表层																												
SW06	表层																												
	底层																												
SW07	表层																												
	底层																												
SW08	表层																												
	底层																												
SW09	表层																												
	底层																												
SW10	表层																												
	10m																												
SW11	表层																												
	10m																												
SW12	表层																												
	10m																												
SW13	表层																												
	底层																												
SW14	表层																												
	10m																												
SW15	表层																												
	10m																												
SW16	表层																												

站位	层次	水深	水温	盐度	pH	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	无机氮	无机磷	活性硅酸盐	油类	锌	挥发酚	硫化物	铜	铅	镉	铬	汞	砷	镍	硒		
		m	°C	‰	/	mg/L													µg/L										
SW17	10m																												
	底层																												
SW18	10m																												
	底层																												
SW19	10m																												
	底层																												
SW20	10m																												
	底层																												
SW21	10m																												
	底层																												
SW26	10m																												
	底层																												
SW46	10m																												
	底层																												
最小值																													
最大值																													
平均值																													

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

②无机氮为氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的总和。

③油类指标只采集表层样品，水深指标只测量站位即时深度，“/”不参与计算。

表 4.4.3-11 春季海水水质监测站位各要素的标准指数

站位	pH	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	无机氮	无机磷	油类	锌	挥发酚	硫化物	铜	铅	镉	铬	汞	砷	镍	硒	站位水质标准	逐级评价结果
SW01																				
SW02																				
SW03																				
SW04																				
SW05																				
SW06																				
SW07																				
SW08																				
SW09																				
SW10																				
SW11																				
SW12																				
SW13																				
SW14																				
SW15																				
SW16																				
SW17																				
SW18																				
SW19																				
SW20																				
SW21																				
SW26																				
超标率																				

注：挥发酚未检出率大于 1/2，计算取值为检出限的 1/4；硫化物未检率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2；汞未检出率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2；镍未检出率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2；硒未检出率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2。

表 4.4.3-12 秋季海水水质监测站位各要素的标准指数

站位	pH	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	无机氮	无机磷	油类	锌	挥发酚	硫化物	铜	铅	镉	铬	汞	砷	镍	硒	站位水质标准	逐级评价结果		
SW01																						
SW02																						
SW03																						
SW04																						
SW06																						
SW07																						
SW08																						
SW09																						
SW10																						
SW11																						
SW12																						
SW13																						
SW14																						
SW15																						
SW16																						
SW17																						
SW18																						
SW19																						
SW20																						
SW21																						
SW26																						
SW46																						
超标率																						

注：挥发酚未检出率大于 1/2，计算取值为检出限的 1/4；硫化物未检出率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2；汞未检出率大于 1/2，计算取值为检出限的 1/4；镍未检出率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2；硒未检出率少于 1/2，计算取值为检出限的 1/2。

4.4.4 海洋沉积物质量现状

4.4.4.1 调查概况

本项目海洋沉积物调查与春季海水水质环境调查同步开展，具体调查时间、调查站位分布情况及监测内容详见 4.4.3.2 小节。

4.4.4.2 海洋沉积物样品采集

根据《海洋监测规范》(GB 17378-2007)中的要求，进行沉积物样品的采集、保存与运输。

(1) 到达指定站位后，将绞车的钢丝绳与 0.05m² 抓斗式采泥器连接，同时测量站位水深，开动绞车将采泥器下放至离海底 3m~5m 时，全速开动绞车使其降至海底。然后将采泥器提至接样板上，打开采泥器上部耳盖，轻轻倾斜使上部积水缓慢流出后，用塑料刀或勺从采泥器耳盖中仔细取上部 0cm~1cm 的沉积物。如遇砂砾层，可在 0cm~3cm 层内混合取样；

(2) 样品从海底至船甲板，应立即进行现场样品状态描述（颜色、气味、厚度）；

(3) 取样和处理样品时，注意层次，结构和代表性，同一采样点采集 3~6 次，将样品混合均匀分装。现场记录底质类型，并分装与处理、保存；

(4) 稠度和粘性描述：流动、半流动、软泥、致密和固结，强粘性、弱粘性和无粘性的描述；

(5) 分装顺序：常规指标用聚乙烯袋分装大约 600g；取大约 100g 湿样，盛入已洗净的 250mL 棕色玻璃瓶内，再加入约 5mL 醋酸锌，使样品隔离空气，供硫化物分析所用；再取 200~300g 湿样，盛入已洗净的 250mL 棕色玻璃瓶内，供有机碳等指标分析所用。

(6) 分装要求：样品瓶（袋）要贴标签，并将样品瓶号及样品箱号记入现场描述记录表内，在柱状样品的取样位置上放入标签，其编号与瓶（袋）号一致。认真作好采样详细记录。

(7) 采样完毕，打开采泥器，弃去残留沉积物，用海水冲洗。

4.4.4.3 海洋沉积物指标分析方法

样品的分析按照《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》(GB 17378.5-2007)

和《海洋调查规范 第 8 部分 海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8-2007) 进行, 各项目的分析方法见表 4.4.4-1。

表 4.4.4-1 沉积物项目及分析方法

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》 GB 17378.5-2007/19	重量法	/
2	有机碳	《海洋监测规范第 5 部分: 沉积物分析》 GB 17378.5-2007/18.1	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》 GB 17378.5-2007/13.1	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》 GB 17378.5-2007/17.1	亚甲基蓝分光光度法	0.3mg/kg
5	铜	《海洋监测规范第 5 部分: 沉积物分析》 GB 17378.5-2007/6.2	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》 GB 17378.5-2007/7.2	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》 GB 17378.5-2007/8.1	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》 GB 17378.5-2007/9.1	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》 GB 17378.5-2007/5.1	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》 GB 17378.5-2007/10.1	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》 GB 17378.5-2007/11.1	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/T 12763.8-2007/6.7.2	pH 计法	/
13	粒度	《海洋调查规范 第 8 部分 海洋地质地球物理调查》GB/T 12763.8-2007/6.3	激光粒度分布仪法	/

4.4.4.4 海洋沉积物质量评价

1、评价标准

采用现状评价依据标准《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002) 进行评价, 见前文表 2.3.2-2 所示。

2、执行标准

根据《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002), 按照海域的不同使用功能和环境保护的目标, 海洋沉积物质量分为三类: 第一类适用于海洋渔业水域, 海洋自然保护区, 珍稀与濒危生物自然保护区, 海水养殖区, 海水浴场, 人体直接接触沉积物的海上运动或娱乐区, 与人类食用直接有关的工业用水区; 第二类适用于一般工业用水区、滨海风景旅游区; 第三类适用于海洋港口水域, 特殊用途的海洋开发作业区。

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》，本项目海洋沉积物调查站位分布于红海湾交通运输用海区、东山海海龟珍稀濒危物种分布区生态保护区、东山海-红海湾海洋预留区、遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区、汕尾西部工矿通信用海区和针头岩生态控制区，位置情况见前文图 4.4.3-5 所示，目前上述海洋功能分区未明确沉积物质量执行标准，本报告根据《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）海洋沉积物质量类别适用情形，判断《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》中各功能分区的沉积物执行标准，具体见表 4.4.4-2 所示。

表 4.4.4-2 各站位执行的沉积物质量标准要求一览表

调查站位	功能区名称	海洋沉积物质量类别判断依据《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）	
春季	SW01、SW06	红海湾交通运输用海区	第三类
	SW08	东山海海龟珍稀濒危物种分布区生态保护区	第一类
	SW10	东山海-红海湾海洋预留区	维持现状
	SW13、SW17	遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区	第一类
	SW15、SW16、SW19、SW21	汕尾西部工矿通信用海区	第三类
	SW12	针头岩生态控制区	第一类

3、评价方法

海洋沉积物现状评价采用单一站位、单一层次的单因子标准指数法。计算公式如下：

$$P_i = C_i / C_{si}$$

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。

为更好判断所在海域环境质量现状，评价时，采用逐级评价的方式，即从第一类沉积物质量开始评价，直至确定各监测要素达到的沉积物质量类别，同时基于逐级评价的结果判断超标因子及原因等。

4.4.4.5 监测结果

本项目 11 个站位的海洋沉积物监测结果见表 4.4.4-3 所示

表 4.4.4-3 海洋沉积物质量监测结果

站位	pH	风干 样含 水率	湿样 含水 率	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
	/	×10 ⁻²			×10 ⁻⁶								
SW01													
SW06													
SW08													
SW10													
SW12													
SW13													
SW15													
SW16													
SW17													
SW19													
SW21													
最小值													
最大值													
平均值													

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

4.4.4.6 评价结果

综合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）判断，春季站位 SW08、SW12、SW13、SW17 执行第一类沉积物质量标准要求，站位 SW01、SW06、SW15、SW16、SW19、SW21 执行第三类沉积物质量标准要求，站位 SW10 位置沉积物质量现状。

采用上述单因子指数法和逐级评价方式，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点沉积物评价因子的标准指数见表 4.4.4-4。

由监测结果及标准指数表结果可知：所有调查站位的沉积物监测因子均达到第一类海洋沉积物质量标准要求，可见，项目所在区域沉积物条件良好。

表 4.4.4-4 海洋沉积物监测站位各要素标准指数

站位	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷	站位沉积物 标准要求	逐级评 价结果
SW01												
SW06												
SW08												
SW10												
SW12												
SW13												
SW15												
SW16												
SW17												
SW19												
SW21												
超标率%												

4.4.4.7 海洋沉积物粒度监测结果

按《海洋调查规范 第 8 部分：海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8-2007) 粒级间隔为 1φ，粒级组成为 1φ>11φ。沉积物样品的分析统计结果及粒级组成见表 4.4.4-5。

该项目海域海洋沉积物砂含量在 15.12%~92.86%，平均值为 62.49%，粉砂含量在 6.72%~67.65%，平均值为 30.51%，粘土含量在 0.42%~20.14%，平均值为 7.00%。

调查站位沉积物样品类型为砂 S 的站位：SW10、SW13、SW15、SW16；调查站位沉积物样品类型为砂质粉砂 ST 的站位：SW01、SW08；调查站位沉积物样品类型为粘土质粉砂 YT 的站位：SW06；调查站位沉积物样品类型为粉砂质砂 TS 的站位：SW12、SW17、SW19、SW21。

表 4.4.4-5 海洋沉积物粒度参数以及砂、粉砂、粘土含量

站位	砂含量 (%)	粉砂含量 (%)	粘土含量 (%)	平均粒径 Mz(Φ)	分选系数 σi(Φ)	偏态 Ski	峰态 Kg	中值粒径 Md(μm)	沉积物名称及代号
SW01									
SW06									
SW08									
SW10									
SW12									
SW13									
SW15									
SW16									

站位	砂含量 (%)	粉砂含量 (%)	粘土含量 (%)	平均粒径 Mz(Φ)	分选系数 $\sigma_i(\Phi)$	偏态 Ski	峰态 Kg	中值粒径 Md(μm)	沉积物名称及代号
SW17									
SW19									
SW21									

4.4.5 海洋生物质量现状

4.4.5.1 调查概况

本项目海洋生物质量调查与海水水质环境调查同步开展，具体调查时间、调查站位分布情况及监测内容详见 4.4.3.2 小节。

4.4.5.2 海洋生物体样品采集

根据《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 和《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007) 中的要求，在项目海域指定站点使用拖网等方式采集生物体后，选取具有代表性的样品进行分析检测。

1、贝类

用清洁刮刀从其附着物上采集贝类样品，选取足够数量的完好贝类存于高密度塑料袋中，压出袋内空气，将袋口打结或热封，将此袋和样品标签一起放入聚乙烯袋中并封口，存于冷冻箱中。

2、虾与中小型鱼类

按要求选取足够数量的完好生物样，放入干净的聚乙烯袋中，应防止袋子被刺破。挤出袋内空气，将袋口打结或热封，将此袋和样品标签一起放入另一聚乙烯袋中，封口，于低温冰箱中贮存。若保存时间不太长（热天不超过 48h），可用冰箱或冷冻箱贮放样品。

4.4.5.3 海洋生物体质量分析方法

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》(GB 17378.6-2007) 进行，各项的分析方法见表 4.4.5-1。

表 4.4.5-1 海洋生物质量调查项目及分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
1	石油烃	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/13	荧光分光光度法	0.2mg/kg

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
2	铜	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/6.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.4mg/kg
3	铅	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/7.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg
4	镉	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/8.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.005mg/kg
5	总汞	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/5.1	原子荧光法	0.002mg/kg
6	砷	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/11.1	原子荧光法	0.2mg/kg
7	锌	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/9.1	火焰原子吸收分光光度法	0.4mg/kg
8	铬	《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/10.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg

4.4.5.4 海洋生物体质量评价

1、评价标准

本项目海洋生物体质量评价标准见前文表 2.3.2-3 和表 2.3.2-4。

2、执行标准

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025)，本项目双壳贝类采用《海洋生物质量》(GB 18421-2001)的标准值进行评价。其他软体动物、甲壳动物和定居性鱼类等的重金属、石油烃的评价标准参考 HJ1409-2025 附录 C。

3、评价方法

评价方法采用单一样品的单因子标准指数法。计算公式如下：

$$P_i = C_i / C_{si}$$

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。

海洋生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海洋生物质量标准。

4.4.5.5 监测结果

1、春季监测结果

本项目春季海洋生物体样品来源于游泳动物底拖网统一采集，14个调查站位的海洋生物体监测结果见表 4.4.5-2。

表 4.4.5-2 春季海洋生物质量监测结果（湿重，单位：mg/kg）

站位	种类	品种	石油烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
SW01	鱼类	颈斑项蝠								
SW04	甲壳类	口虾蛄								
SW06	软体类	西格织纹螺								
SW08	鱼类	大吻叫姑鱼								
SW10	软体类	习见赤蛙螺								
SW11	甲壳类	红星梭子蟹								
SW12	鱼类	金线鱼								
SW13	鱼类	长棘银鲈								
SW15	鱼类	花斑蛇鲻								
SW16	软体类	杜氏尾枪乌贼								
SW17	鱼类	列牙鲷								
SW19	甲壳类	逍遥馒头蟹								
SW21	软体类	带鹑螺								
SW26	甲壳类	鹰爪虾								
最小值										
最大值										
平均值										

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

2、秋季监测结果

本项目秋季海洋生物体样品来源于游泳动物底拖网统一采集，14 个调查站位的海洋生物体监测结果见表 4.4.5-3。

表 4.4.5-3 秋季海洋生物质量监测结果（湿重，单位：mg/kg）

站位	类群	种名	石油烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
SW01	鱼类	褐蓝子鱼								
SW04	鱼类	赤鼻棱鯧								
SW06	鱼类	黑口鲷								
SW08	鱼类	鲷								
SW10	甲壳类	香港蛄								
SW11	鱼类	日本副单角鲀								
SW12	鱼类	大头白姑鱼								
SW13	甲壳类	须赤虾								
SW15	鱼类	侧带鹦天竺鲷								
SW16	鱼类	金带小沙丁鱼								
SW17	甲壳类	红星梭子蟹								

SW19	甲壳类	葛氏似口虾蛄								
SW21	鱼类	翼红娘鱼								
SW26	甲壳类	口虾蛄								
最小值										
最大值										
平均值										

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

4.4.5.6 评价结果

1、春季评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点生物体评价因子的标准指数见表 4.4.5-4。

本项目春季海洋生物质量调查，未采集到贝类，采集到的生物体鱼类、甲壳类和软体类评价标准参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中的附录 C。由监测结果及标准指数表结果可知：本项目春季海洋生物质量监测，除石油烃、砷超标率为 7.1%和 50%外，其余监测指标超标率为 0，海洋生物质量整体良好。

表 4.4.5-4 春季海洋生物监测站位各要素标准指数

站位	种类	品种	石油烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
SW01	鱼类	颈斑项鲳								
SW04	甲壳类	口虾蛄								
SW06	软体类	西格织纹螺								
SW08	鱼类	大吻叫姑鱼								
SW10	软体类	习见赤蛙螺								
SW11	甲壳类	红星梭子蟹								
SW12	鱼类	金线鱼								
SW13	鱼类	长棘银鲈								
SW15	鱼类	花斑蛇鲻								
SW16	软体类	杜氏尾枪乌贼								
SW17	鱼类	列牙鲷								
SW19	甲壳类	逍遥馒头蟹								
SW21	软体类	带鹑螺								
SW26	甲壳类	鹰爪虾								
超标率%										

注：①“/”表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数。

2、秋季评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点生物体评价因子的标准指数见表 4.4.5-5。

本项目秋季海洋生物质量调查，未采集到贝类，采集到的生物体鱼类、甲壳类和软体类评价标准参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中的附录 C。由监测结果及标准指数表结果可知：本项目春季海洋生物质量监测，除砷超标率为 35.7%外，其余监测指标超标率为 0，海洋生物质量整体良好。

表 4.4.5-5 秋季海洋生物监测站位各要素标准指数

站位	类群	种名	石油烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
SW01	鱼类	褐蓝子鱼								
SW04	鱼类	赤鼻棱鯧								
SW06	鱼类	黑口鱒								
SW08	鱼类	鮳								
SW10	甲壳类	香港蟳								
SW11	鱼类	日本副单角鲀								
SW12	鱼类	大头白姑鱼								
SW13	甲壳类	须赤虾								
SW15	鱼类	侧带鹦天竺鲷								
SW16	鱼类	金带小沙丁鱼								
SW17	甲壳类	红星梭子蟹								
SW19	甲壳类	葛氏似口虾蛄								
SW21	鱼类	翼红娘鱼								
SW26	甲壳类	口虾蛄								
超标率%										

注：① “/” 表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数。

4.4.6 海洋生态与渔业资源环境现状

4.4.6.1 调查概况

本项目海洋生态与渔业资源调查与海水水质环境调查同步开展，具体调查时间、调查站位分布情况及监测内容详见 4.4.3.2 小节。

4.4.6.2 海洋生态类样品采集

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，采集 2L~5L 海水样品

后，加入 3mL 碳酸镁悬浮液，混匀，并现场抽滤至 0.45 μ m 孔径的纤维素酯微孔滤膜，过滤负压不超过 50kPa，冷藏保存，上岸后立即运回室内检测，采用分光光度法测定叶绿素 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。

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 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本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 0.05m² 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%~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、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：水深小于 30m 的站位使用浅水 I 型浮游生物网采样，水深在 30~200m 的站位使用大型浮游生物网采样，由海底至海面垂直拖网。定性采样：采用水平拖网法，网具采用浅水 I 型浮游生物网或大型浮游生物网，于表层水平拖曳 10min 取得，

拖速 1~2kn。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。

5、潮间带生物

(1) 在调查海区内选择不同生境（如泥滩、沙滩和岩滩）的潮间带断面，断面位置有陆上标志，走向与等深线垂直，选择在滩面底质类型相对均匀、潮带较完整、无人为破坏或人为扰动较小且相对较稳定的地点或调查断面，在每个剖面的高滩、中滩和低滩采集样品；

(2) 泥、沙等软相底质的生物取样，用滩涂定量采样框。其结构包括框架和挡板两部分，均用 1.5~2.0mm 厚的不锈钢板弯制而成。规格：25cm×25cm×30cm；配套工具是平头铁锹。岩石岸生物取样采用岩石定量采样框，一般用 25cm×25cm 的定量框。若生物栖息密度很高，且分布较均匀，可采用 10cm×10cm 的定量框。滩涂和岩滩定量取样用对应的定量框，通常高潮区布设 2 站、中潮带 3 站，低潮带 2 站（生物量较大时 1 个站），每站取 4~8 个样方（依据现场生物量大小而定）；为防止人为因素干扰，样方位置用标志绳索（每隔 5m 或 10m 有一标志）于站位两侧水平拉直，各样方位置严格取在标志绳索所标位置，无论该位置上生物多寡，均不能移位；在滩涂取样时，先将取样器挡板插入框架凹槽，用臂力或脚力将其插入滩涂内；继而观察记录框内表面可见的生物及数量；后用铁锹清除挡板外侧的泥沙再拔去挡板，以便铲取框内样品；铲取样品时，若发现底层仍有生物存在，将取样器再往下压，直至采不到生物为止；若需分层取样，视底质分层情况确定；岩滩确定样方位置应在宏观观察基础上选取能代表该水平高度上生物分布特点的位置。取样时，应先将框内的易碎生物（如：牡蛎、藤壶等）加以计数，并观察记录优势种的覆盖面积。然后再用小铁铲、凿子或刮刀将框内所有生物刮取干净；

(3) 用筛网孔目为 1.0mm 和 0.5mm 的过筛器进行生物样品筛选；

(4) 为全面反映各断面的种类组成和分布，在每站定量取样的同时，应尽可能将该站附近出现的动植物种类收集齐全，以作分析时参考，定性样品务必与定量样品分装，切勿混淆；

(5) 取样时，测量各潮区优势种的垂直分布高度和滩面宽度，描述生物分布带的特征；样品存放于 500mL~1000mL 样品瓶中，加入适量淡水于 4℃环境

中存放 6~8h, 可使海洋底栖环节动物产生应激反应, 表现出形态特征, 再用体积分数为 5%~7%的中性甲醛溶液暂时性保存, 便于室内鉴定。

6、游泳动物

游泳生物调查按照《海洋调查规范(系列)》(GB/T 12763-2007)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~3nmile 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, 放网时间以停止曳网投放, 曳网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网时间为准。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)。

4.4.6.3 海洋生态类指标分析方法

样品的分析采用《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) 进行, 各项目的分析方法表 4.4.6-1。

表 4.4.6-1 海洋生态调查项目及分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法
1	浮游植物	《海洋监测规范 第 7 部分: 近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/5	浓缩计数法

序号	检测指标	检测依据	分析方法
2	浮游动物	《海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/5	镜检法
3	大型底栖生物	《海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/6	镜检法
4	潮间带生物	《海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/7	镜检法
5	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
6	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
7	叶绿素 a	《海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/8.2	分光光度法

4.4.6.4 海洋生态与渔业资源评价方法

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（mg·C/m²·d）；

C_a—表层叶绿素 a 含量（mg/m³）；

Q—同化系数（mg·C/（mgChl-a·h），根据南海水产研究所以往调查结果取值，详见表 4.4.6-2；

L—真光层的深度（m）；

t—白昼时间（h），根据南海水产研究所以往调查结果取值，详见表 4.4.6-2。

表 4.4.6-2 南海北部海域初级生产力估算系数

月份	季度	光照时间（h）t	转化系数（同化系数）Q
3-5	春	11	3.32
6-8	夏	13	3.12
9-11	秋	10.5	3.42
12-2	冬	9.5	3.52

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、鱼卵仔稚鱼密度:

密度以水平或垂直拖网捕获的总个体数除以滤水量计算:

$$N = \frac{n}{v}$$

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;

7、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 (扫海宽度取浮纲长度的 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)。

8、游泳生物优势种

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—某一种类的出现的断面数占调查总断面数的百分比。

4.4.6.5 春季调查结果

1、叶绿素 a 和初级生产力

(1) 叶绿素 a

本次调查结果显示，各站表层叶绿素 a 变化范围在 (0.22~2.72) mg/m³，平均为 0.64mg/m³；10m 水层叶绿素 a 变化范围在 (0.20~0.42) mg/m³，平均为 0.32mg/m³；底层叶绿素 a 含量变化范围在(0.15~0.45)mg/m³，平均为 0.27mg/m³。以各站各层水样的平均值作为该站叶绿素 a 的浓度，各站叶绿素 a 浓度的变化范围为 (0.19~2.72) mg/m³，平均为 0.54mg/m³，SW01 站位叶绿素 a 平均值最高，SW12 站位叶绿素 a 平均值最低。详见表 4.4.6-3。

(2) 初级生产力

本次调查海域的初级生产力变化范围在 (47.111~270.065) mg·C/(m²·d)之间，平均值为 146.744mg·C/(m²·d)，其中 SW15 站位初级生产力值最高，SW06 站位初级生产力值最低。详见表 4.4.6-3。

表 4.4.6-3 春季叶绿素 a 和初级生产力测定结果

站位	透明度 (m)	叶绿素 a (mg/m ³)			站位叶绿素 a 均值 (mg/m ³)	初级生产力 mg·C/(m ² ·d)
		表	10m	底		
SW01						
SW04						
SW06						
SW08						
SW10						
SW11						
SW12						
SW13						

站位	透明度 (m)	叶绿素 <i>a</i> (mg/m ³)			站位叶绿素 <i>a</i> 均值 (mg/m ³)	初级生产力 mg·C/(m ² ·d)
		表	10m	底		
SW15						
SW16						
SW17						
SW19						
SW21						
SW26						
均值						

注：“/”表示该层未采样。

2、浮游植物

(1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 13 目 26 科 129 种。硅藻门种类最多，共 14 科 85 种，占总种类数的 65.89%；甲藻门种类次之，出现 10 科 40 种，占总种类数的 31.01%；蓝藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.55%；金藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.55%。

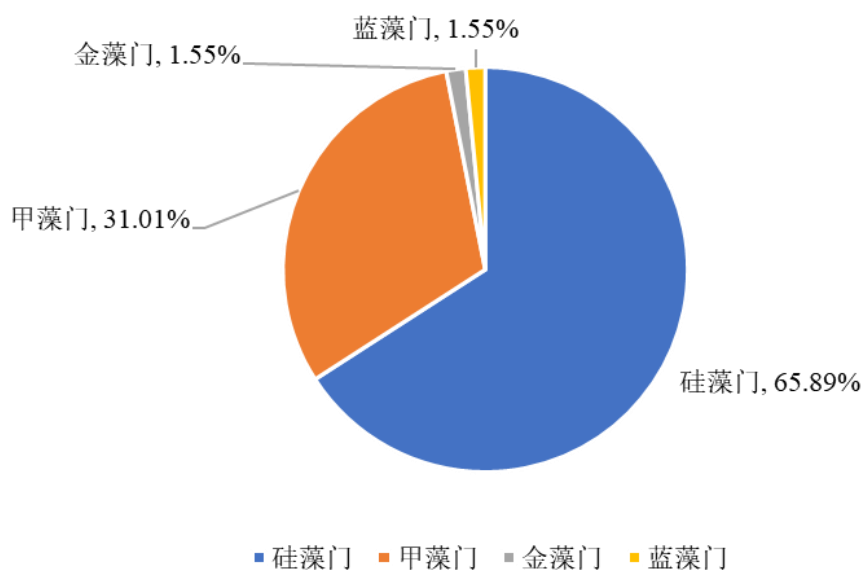


图 4.4.6-1 春季浮游植物种类组成占比

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查浮游植物优势种共出现 4 种，分别为旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*)、劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、柔弱伪菱形藻 (*Pseudo-nitzschia delicatissima*) 和汉氏束毛藻 (*Trichodesmium hildebrandtii*)，其中旋链角毛藻为第一优势种，优势度为 0.161，平均密度为 $3611.779 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ，占各站位平均密度的 69.55%。

(2) 类群密度及占比

调查区域内各站位浮游植物密度变化范围在 (79.360~63166.404) × 10³cells/m³ 之间, 平均值为 5192.968 × 10³cells/m³, 最高密度出现在 SW01 站位, 最低密度出现在 SW19 站位。

从门类来看, 14 个调查站位中均采集到硅藻门, 硅藻门密度范围在 (41.109~62914.203) × 10³cells/m³ 之间, 平均值为 5097.627 × 10³cells/m³; 硅藻门各站位密度的占比在 25.54%~99.60%之间, 各站位占比平均值为 78.03%。甲藻门密度范围在 (5.152~252.201) × 10³cells/m³ 之间, 平均值为 49.730 × 10³cells/m³; 各站位密度百分比在 0.28%~17.21%之间, 占比平均值为 6.16%; 其他类群 (包括金藻门和蓝藻门) 密度范围在 (0~296.941) × 10³cells/m³ 之间, 平均值为 45.611 × 10³cells/m³; 各站位密度百分比在 0~57.25%之间, 占比平均值为 15.81%。

表 4.4.6-4 春季浮游植物各类群密度

站位	总密度	硅藻门		甲藻门		其他类群	
		密度	百分比	密度	百分比	密度	百分比
SW01							
SW04							
SW06							
SW08							
SW10							
SW11							
SW12							
SW13							
SW15							
SW16							
SW17							
SW19							
SW21							
SW26							
平均值							

注: 密度单位为 × 10³cells/m³, 百分比单位为 %。

(3) 浮游植物多样性、均匀度指数及丰富度指数

各调查区站位浮游植物种数范围为 40~59 种。多样性指数范围在 1.100~4.438 之间, 平均值为 3.551, 多样性指数以 SW10 站位最高, SW01 站位最低; 均匀度

指数范围在 0.207~0.759 之间，平均值为 0.628，均匀度指数以 SW11 站位最高，SW01 站位最低；丰富度指数范围在 1.569~3.073 之间，平均值为 2.476，丰富度指数以 SW10 站位最高，SW01 站位最低。

表 4.4.6-5 春季浮游植物多样性、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	富度指数 (D)	多样性阈值 (Dv)
SW01					
SW04					
SW06					
SW08					
SW10					
SW11					
SW12					
SW13					
SW15					
SW16					
SW17					
SW19					
SW21					
SW26					
平均值					

3、浮游动物

(1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游动物 6 门 9 纲 18 目 39 科 85 种(包括浮游幼体 14 种)。分属 10 个不同类群，即栉水母、水母类、被囊类、有尾类、腹足类、毛颚类、介形类、枝角类、桡足类和浮游幼体。其中，以桡足类最多，为 38 种，占总种类数的 44.71%；浮游幼体次之，出现 14 种，占总种类数的 16.47%；水母类出现 12 种，占总种类数的 14.12%；其他类群出现种类较少。

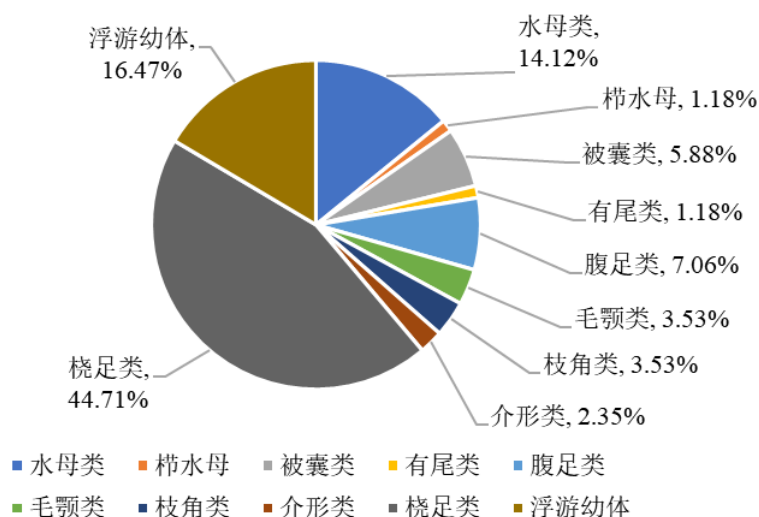


图 4.4.6-2 浮游动物种类组成占比

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查浮游动物优势种共 7 种。分别为鸟喙尖头溇 (*Penilia avirostris*)、桡足幼体 (*Copepoda larvae*)、异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*)、拟细浅室水母 (*Lensia subtiloides*) 等，其中鸟喙尖头溇为第一优势种，优势度为 0.378，平均密度为 417.926ind./m³，占各站位平均密度的 37.20%，出现频率 92.86%

(2) 密度与生物量

14 个调查站位浮游动物生物量变化范围在 (29.80~165.84) mg/m³ 之间，平均值为 73.89mg/m³，其中 SW12 站位生物量最高，SW11 站位生物量最低；浮游动物密度变化范围在 (111.157~5904.241) ind./m³ 之间，平均值为 1123.394ind./m³，其中 SW04 站位密度最高，SW21 站位密度最低。从类群密度分布来看，本次调查枝角类平均密度最高，为 422.505ind./m³，占比为 37.61%；其次是浮游幼体，平均密度为 302.813ind./m³，占比为 26.96%。

表 4.4.6-6 浮游动物生物量统计

站位	全网数量 (ind.)	密度 (ind./m ³)	生物量 (mg/m ³)
SW01			
SW04			
SW06			
SW08			
SW10			
SW11			
SW12			
SW13			

站位	全网数量 (ind.)	密度 (ind./m ³)	生物量 (mg/m ³)
SW15			
SW16			
SW17			
SW19			
SW21			
SW26			
平均值			

表 4.4.6-7 浮游动物各类群分布

站位	平均密度 (ind./m ³)	占比 (%)
水母类		
栉水母		
被囊类		
有尾类		
腹足类		
毛颚类		
枝角类		
介形类		
桡足类		
浮游幼体		

4、大型底栖生物

(1) 种类组成和优势种

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 9 门 10 纲 26 目 49 科 72 种，分属 9 个不同类群，即环节动物、棘皮动物、脊索动物、节肢动物、软体动物、纽形动物、星虫动物、刺胞动物和半索动物。其中环节动物种类数最多，为 27 种，占种类总数的 37.50%。

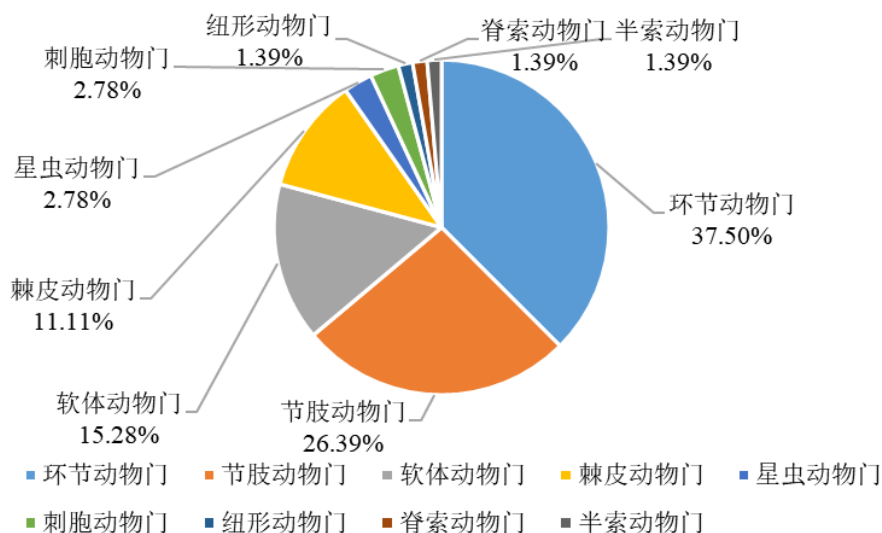


图 4.4.6-3 大型底栖生物种类组成占比

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查的优势种共 2 种，分别为蛛美人虾 (*Callinassa jocularis*) 和轮双眼钩虾 (*Ampelisca cyclops*)，其中蛛美人虾为第一优势种，优势度为 0.045。

表 4.4.6-8 大型底栖生物优势种组成

种名	拉丁文	优势度 (Y)
蛛美人虾	<i>Callinassa jocularis</i>	0.045
轮双眼钩虾	<i>Ampelisca cyclops</i>	0.040

(2) 生物量和栖息密度

1) 生物量及栖息密度的站位分布

本次调查海域 14 个站位大型底栖生物的生物量范围在 (0.250~24.630) g/m² 之间，平均生物量为 5.606g/m²，其中 SW01 站位的生物量最高，SW06 站位生物量最低；栖息密度范围在 (25.000~175.000) ind./m² 之间，平均栖息密度为 101.429ind./m²，其中 SW19 站位的栖息密度最高，SW06 站位栖息密度最低。

2) 类群生物量和栖息密度分布

从类群分布来看，本次大型底栖生物调查中软体动物平均生物量最高，平均生物量为 2.339g/m²，占比为 41.73%；其次为节肢动物，平均生物量为 1.179g/m²，占比为 21.03%，最低为刺胞动物，平均生物量为 0.007g/m²，占比为 0.12%。

节肢动物平均栖息密度最高，为 45.000ind/m²，占比为 44.37%；其次为环节动物，平均栖息密度为 31.071ind/m²，占比为 30.63%，最低为脊索动物，平均栖息密度为 0.357ind/m²，占比为 0.35%。

表 4.4.6-9 大型底栖生物生物量分布 (单位: g/m²)

站位	环节	节肢	软体	棘皮	星虫	刺胞	纽形	脊索	半索	合计
SW01										
SW04										
SW06										
SW08										
SW10										
SW11										
SW12										
SW13										
SW15										
SW16										
SW17										
SW19										
SW21										
SW26										
合计										
平均值										
最大值										
最小值										
平均值占比										

表 4.4.6-10 大型底栖生物栖息密度分布 (单位: ind./m²)

站位	环节	节肢	软体	棘皮	星虫	刺胞	纽形	脊索	半索	合计
SW01										
SW04										
SW06										
SW08										
SW10										
SW11										
SW12										
SW13										
SW15										
SW16										
SW17										
SW19										
SW21										
SW26										
合计										
平均值										

站位	环节	节肢	软体	棘皮	星虫	刺胞	纽形	脊索	半索	合计
最大值										
最小值										
平均值占比										

(3) 大型底栖生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查海域的大型底栖生物种类数范围在 3~21 种，多样性指数变化范围在 1.522~4.161 之间，平均值为 2.992，其中 SW19 站位最高，SW06 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.724~0.980 之间，平均值为 0.907，其中 SW13 站位最高，SW17 站位最低；丰富度指数范围在 0.861~3.899 之间，平均值为 2.280，丰富度指数以 SW19 站位最高，SW06 站位最低。详见表 4.4.6-11。

表 4.4.6-11 大型底栖生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数(种)	多样性指数(H')	均匀度指数(J)	丰富度指数(D)	多样性阈值(Dv)
SW01					
SW04					
SW06					
SW08					
SW10					
SW11					
SW12					
SW13					
SW15					
SW16					
SW17					
SW19					
SW21					
SW26					
平均值					

5、潮间带生物

(1) 潮间带岸相和生物种类组成

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况：SWC01 和 SWC02 为沙滩-岩石断面，SWC03 断面为沙滩断面。本次潮间带生物定性定量调查，共记录潮间带生物 4 门 5 纲 14 目 28 科 35 种，其中包括节肢动物 17 种、软体动物 15 种、环节动物 2 种和刺胞动物 1 种，分别占种类总数的 48.57%、42.86%、5.71%及 2.86%。

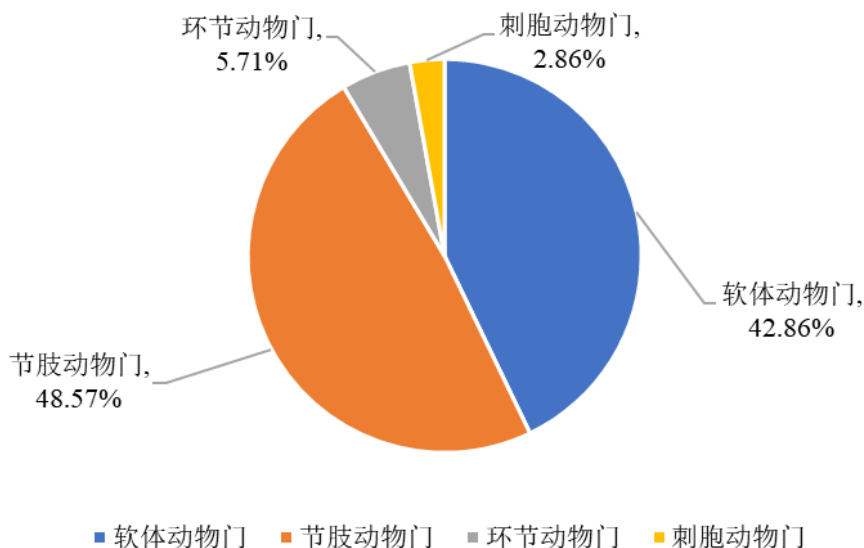


图 4.4.6-4 潮间带生物种类组成占比

(2) 潮间带各断面优势种

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查区域潮间带生物优势种共有 3 种，分别为变化短齿蛤 (*Brachidontes variabilis*)、六柱扁藤壶 (*Platylepas hexastylus*) 和狄氏斧蛤 (*Donax dysoni*)。其中变化短齿蛤为第一优势种，优势度为 0.184。

表 4.4.6-12 潮间带生物优势种

种名	拉丁文	优势度 (Y)
变化短齿蛤	<i>Brachidontes variabilis</i>	0.184
六柱扁藤壶	<i>Platylepas hexastylus</i>	0.071
狄氏斧蛤	<i>Donax dysoni</i>	0.021

(3) 潮间带各断面的生物量及栖息密度分布

3 个断面定量调查的平均生物量为 $57.926\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $224.666\text{ind.}/\text{m}^2$ 。SWC01 断面的生物量最大，为 $104.303\text{g}/\text{m}^2$ ；SWC01 断面的栖息密度最大，为 $611.333\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

从类群分布来看，3 个断面中软体动物的平均生物量和平均栖息密度最高，其次是节肢动物。

表 4.4.6-13 潮间带各断面生物量和栖息密度分布

断面	项目	软体	节肢	刺胞	合计
SWC01	栖息密度				
	生物量				
SWC02	栖息密度				
	生物量				

断面	项目	软体	节肢	刺胞	合计
SWC03	栖息密度				
	生物量				
平均值	栖息密度				
	生物量				

注：生物量单位为 g/m^2 ，栖息密度单位为 $ind./m^2$ 。

(4) 潮间带各站位生物量及栖息密度分布

3 个调查断面中，SWC01 断面的低潮带生物量最高，为 $287.116g/m^2$ ；其次是 SWC02 断面的低潮带，生物量为 $145.928g/m^2$ ；SWC01 断面的高潮带生物量为最低，为 $1.592g/m^2$ 。SWC01 断面低潮带的栖息密度最高，为 $1800.000ind./m^2$ ；其次是 SWC02 断面的低潮带，栖息密度为 $88.000ind./m^2$ ；SWC03 断面的高潮带的栖息密度最低，为 $4.000ind./m^2$ 。

表 4.4.6-14 春季潮间带各站位生物量和栖息密度分布

采样点	项目	软体动物	节肢动物	刺胞动物	总计
SWC01 高潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC01 中潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC01 低潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC02 高潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC02 中潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC02 低潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC03 高潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC03 中潮带	栖息密度				
	生物量				
SWC03 低潮带	栖息密度				
	生物量				

注：生物量单位为 g/m^2 ，栖息密度单位为 $ind./m^2$ 。

(5) 潮间带生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查海区潮间带生物多样性指数的变化范围在 1.908~3.085 之间，平均值为 2.576；均匀度指数的变化范围在 0.428~0.892 之间，平均值为 0.727；丰富

度指数范围在 1.702~2.363 之间，平均值为 2.005。

表 4.4.6-15 潮间带生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

采样站号	样方内种类数	样方内个体数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)	多样性阈值 (Dv)
SWC01						
SWC02						
SWC03						
平均值						

6、渔业资源

(1) 鱼卵仔稚鱼

1) 种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中，共出现了鱼卵 16 种，其中包括鲈形目 10 种，鲱形目和鲾形目各 2 种，鳗鲡目和鲉形目各 1 种；仔稚鱼 20 种，其中包括鲈形目 13 种，鲱形目 2 种，灯笼鱼目、鲾形目、鲉形目和鲑形目各 1 种。

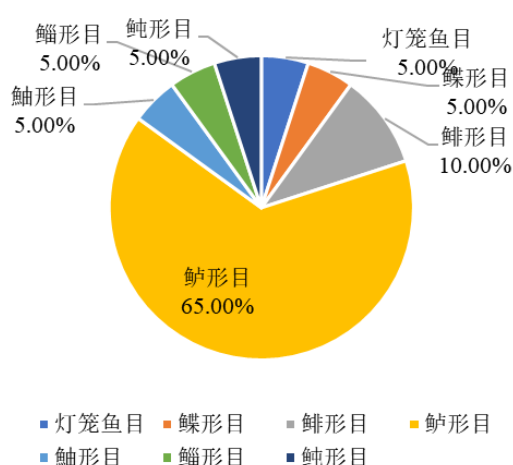
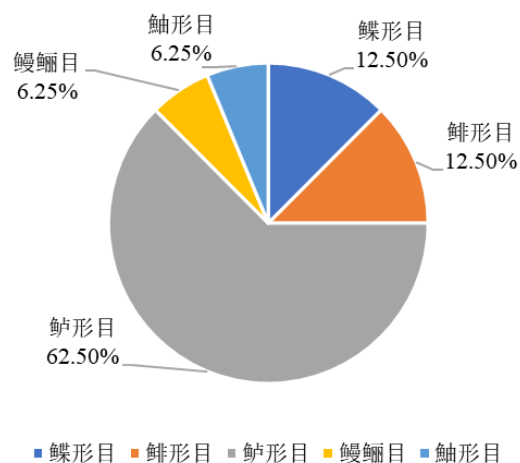


图 4.4.6-5 调查海区鱼卵种类组成占比

图 4.4.6-6 调查海区仔稚鱼种类组成占比

表 4.4.6-16 春季鱼卵仔稚鱼种类组成

序号	纲目类群	物种	拉丁名	鱼卵	仔稚鱼	鱼卵		仔稚鱼	
						水平拖网	垂直拖网	水平拖网	垂直拖网
1	灯笼鱼目	壮灯鱼属	<i>Hygophum sp.</i>						
2	鲾形目	鲾科	Bothidae						
3	鲾形目	短额鲾属	<i>Engyprosoyon sp.</i>						
4	鲾形目	鲾科	Soleidae						
5	鲱形目	鲱科	Clupeidae						
6	鲱形目	鯷科	Engraulidae						
7	鲱形目	小公鱼属	<i>Stolephorus sp.</i>						

序号	纲目类群	物种	拉丁名	鱼卵	仔稚鱼	鱼卵	仔稚鱼	鱼卵	仔稚鱼
						水平拖网		垂直拖网	
8	鲈形目	鲷科	Leiognathidae						
9	鲈形目	带鱼科	Trichiuridae						
10	鲈形目	笛鲷科	Lutjanidae						
11	鲈形目	鲷科	Sparidae						
12	鲈形目	金线鱼科	Nemipteridae						
13	鲈形目	鲷科	Coryphaena						
14	鲈形目	金枪鱼属	<i>Thunnus sp.</i>						
15	鲈形目	雀鲷科	Pomacentridae						
16	鲈形目	鲹科	Carangidae						
17	鲈形目	副叶鲹属	<i>Alepes sp.</i>						
18	鲈形目	石首鱼科	Sciaenidae						
19	鲈形目	天竺鲷科	Apogonidae						
20	鲈形目	肩鳃鲷属	<i>Omobranchus sp.</i>						
21	鲈形目	鱈科	Sillaginidae						
22	鲈形目	银鲈科	Gerreidae						
23	鲈形目	鲟科	Sphyraenidae						
24	鳗鲡目	鳗鲡科	Anguillidae						
25	鲉形目	东方鲀属	<i>Takifugu sp.</i>						
26	鲉形目	躄鱼科	Antennariidae						
27	鲉形目	鲉科	Scorpaenidae						
28	鲛形目	龟鲛属	<i>Chelon sp.</i>						
合计									

注：“+”表示该发育阶段物种出现情况，鱼卵单位 ind.，仔稚鱼单位为 ind.。

2) 数量分布

调查 14 个站位的鱼卵仔稚鱼垂直拖网共采到鱼卵 198ind.，仔稚鱼 81ind.；鱼卵平均密度为 4.223ind./m³，仔稚鱼平均密度为 0.630ind./m³。SW04 站位鱼卵密度最高，密度为 19.394ind./m³，其次是 SW01 站位，密度为 12.632ind./m³，共 14 个站位捕获到鱼卵；SW13 站位仔稚鱼密度最高，密度为 1.555ind./m³，其次是 SW06 站位，密度为 1.534ind./m³，共 13 个站位捕获到仔稚鱼。

表 4.4.6-17 春季鱼卵仔稚鱼密度及其分布（垂直拖网）

站位	鱼卵仔稚鱼发育期	
	鱼卵 (ind./m ³)	仔稚鱼 (ind./m ³)
SW01		
SW04		
SW08		

站位	鱼卵仔稚鱼发育期	
	鱼卵 (ind./m ³)	仔稚鱼 (ind./m ³)
SW06		
SW13		
SW10		
SW11		
SW12		
SW16		
SW15		
SW19		
SW17		
SW21		
SW26		
均值		
范围		

3) 主要种类的数量分布 (水平拖网)

a. 鳎科 (Leiognathidae)

鳎鱼分布于红海、印度洋、南洋群岛、澳大利亚北部、中国台湾岛以及中国南海等海域，主要栖息于热带海洋的近岸或稍碱的水域。主要栖息于沿岸砂泥底质水域，大多栖息于浅水域，水深约在 1~40 公尺之间，有时会进入深水域，有时会进入河口区。一般在底层活动觅食，肉食性，以底栖生物为食。以流刺网或岸边滩钓均有可能捕获。鳎科中体型较大的鱼种，味美且肉较多，红烧、煮汤皆宜。本次水平拖网调查出现的鳎科鱼卵共有 4346 粒，出现在 13 个站位，鳎科鱼卵在调查海域中 SW17 站位数量最多。

b. 鲷科 (Engraulidae)

鲷科鱼类广泛分布于全球各大海域，是海洋中掠食者所捕食的饵料生物。其中鲷鱼是一种高蛋白、富含不饱和脂肪酸和鲜味组分的营养健康的美味食品，可用来加工为海产休闲食品，具有经济及商业价值。本次水平拖网调查出现的鲷科鱼卵共有 2512 粒，出现在 14 个站位，鲷科鱼卵在调查海域中 SW17 站位数量最多。鲷科仔稚鱼共有 27 尾，出现在 8 个站位。

(2) 游泳动物

1) 种类组成和优势种

此次项目船号为粤汕城渔 20368，使用的网具为网口宽 15m、网衣长 38m、网口目 80mm、网囊目 28mm 的底拖网，平均拖网船速为 2.0kn。

本次游泳动物调查共捕获 3 门 3 纲 15 目 66 科 194 种，其中：鱼类 127 种，占总种类数的 65.46%，虾类 30 种（其中虾蛄类 8 种），占总种类数的 15.46%，蟹类 26 种，占总种类数的 13.40%，头足类 11 种，占总种类数的 5.67%。

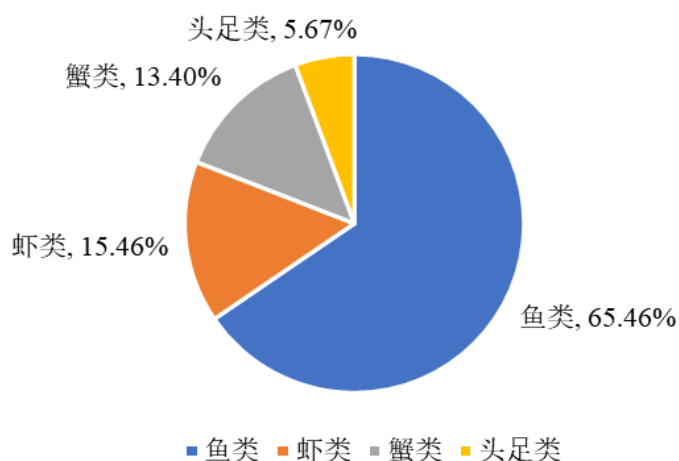


图 4.4.6-7 调查海区游泳动物种类组成占比

相对重要性指数显示，本次调查游泳动物优势种（ $IRI \geq 1000$ ）共 1 种，为颈斑项鳎（*Nuchequula nuchalis*）。其总渔获重量为 7.233kg，占游泳动物总渔获重量的 7.24%；颈斑项鳎的总尾数渔获量为 716 个，占游泳动物总渔获尾数数的 11.92%。

表 4.4.6-18 春季游泳动物 IRI 指数

种类	出现频率 (%)	尾数渔获数		渔获重量		IRI
		(ind)	(%)	(kg)	(%)	
颈斑项鳎						
变态螳						
口虾蛄						
花斑蛇鲻						
杜氏尾枪乌贼						
鹰爪虾						
大吻叫姑鱼						
隆线强蟹						
佩氏骨鲻						
四线鹦天竺鲷						
白姑鱼						
斑鳍白姑鱼						

种类	出现频率 (%)	尾数渔获数		渔获重量		IRI
		(ind)	(%)	(kg)	(%)	
伪装仿关公蟹						
红星梭子蟹						
拟矛尾虾虎鱼						
伍氏平虾蛄						
日本金线鱼						
前刺似口虾蛄						
日本拟平家蟹						
须赤虾						
克氏副叶鲽						
哈氏仿对虾						

2) 渔获率

a. 尾数渔获率

本次调查该海区 14 个站位的游泳动物平均尾数渔获率为 429ind./h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 207ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 52.33%；虾类平均尾数渔获率为 105ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 24.51%；蟹类平均尾数渔获率为 105ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 20.43%；头足类的平均尾数渔获率为 12ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 2.73%。

表 4.4.6-19 各站位尾数渔获率及类群所占比例

站位	尾数渔获率	尾数渔获率 (ind./h)				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01									
SW04									
SW06									
SW08									
SW10									
SW11									
SW12									
SW13									
SW15									
SW16									
SW17									
SW19									
SW21									
SW26									
均值									

b.重量渔获率

本次调查该海区 14 个站位的平均重量渔获率为 7.137kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 4.542kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 63.87%；虾类平均重量渔获率为 0.986kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 15.00%；蟹类平均重量渔获率为 1.083kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 14.80%；头足类的平均重量渔获率为 0.526kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 6.34%。

表 4.4.6-20 春季各站位重量渔获率及类群所占比例

站位	重量渔获率	重量渔获率 (kg/h)				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01									
SW04									
SW06									
SW08									
SW10									
SW11									
SW12									
SW13									
SW15									
SW16									
SW17									
SW19									
SW21									
SW26									
均值									

3) 渔业资源密度

a.尾数渔获密度

本次调查 14 个站位尾数渔获密度范围在 $(7.776\sim32.865) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $15.263 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，尾数渔获密度最高的站位为 SW16 站位，最低为 SW01 站位。

其中，鱼类尾数渔获密度分布范围在 $(3.636\sim10.943) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $7.358 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW16 站位最高，SW13 站位最低；虾类尾数渔获密度分布范围在 $1.008\sim7.415 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $3.716 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW16 站位最高，SW06 站位最低；蟹类尾数渔获密度分布范围在 $(0.377\sim13.787) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $3.760 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW16

站位最高，SW17 站位最低；头足类尾数渔获密度分布范围在（0~0.972）×10³ind./km² 之间，平均值为 0.428×10³ind./km²，其中 SW12 站位最高，SW04 和 SW17 站位最低。

表 4.4.6-21 各站位尾数渔获密度（单位：×10³ind./km²）

站位	尾数渔获密度	尾数渔获密度			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01					
SW04					
SW06					
SW08					
SW10					
SW11					
SW12					
SW13					
SW15					
SW16					
SW17					
SW19					
SW21					
SW26					
平均值					

b.重量渔获密度

本次调查 14 个站位渔业资源重量渔获密度范围在（137.257~507.487）kg/km² 之间，平均值为 253.299kg/km²，SW16 站位最高，SW01 站位最低。

其中，鱼类重量渔获密度变化范围在（66.055~281.569）kg/km² 之间，平均值为 161.192kg/km²，其中 SW06 站位最高，SW13 站位最低；虾类重量渔获密度变化范围在（22.966~66.475）kg/km² 之间，平均值为 34.951kg/km²，其中 SW11 站位最高，SW13 站位最低；蟹类重量渔获密度变化范围在（7.577~158.639）kg/km² 之间，平均值为 38.593kg/km²，其中 SW16 站位最高，SW17 站位最低；头足类重量渔获密度变化范围在（0~65.947）kg/km² 之间，平均值为 18.563kg/km²，其中 SW12 站位最高，SW04 和 SW17 站位最低。

4) 游泳动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查区域游泳动物生物种类数范围在 23~69 种，多样性指数变化范围在 3.015~5.023 之间，平均值为 4.111，其中 SW11 站位最高，SW04 站位最低；均

均匀度指数变化范围在 0.597~0.869 之间,平均值为 0.749,其中 SW19 站位最高, SW13 站位最低;丰富度指数范围在 2.818~7.057 之间,平均值为 5.135,丰富度指数以 SW21 站位最高, SW04 站位最低。

表 4.4.6-22 游泳动物生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数(种)	多样性指数(H')	均匀度指数(J)	丰富度指数(D)	多样性阈值(Dv)
SW01					
SW04					
SW06					
SW08					
SW10					
SW11					
SW12					
SW13					
SW15					
SW16					
SW17					
SW19					
SW21					
SW26					
平均值					

5) 主要经济种类规格和分布

A.主要经济鱼类

a.颈斑项鳎

地理分布:分布于西北太平洋区,包括日本、台湾及中国等海域。台湾北部、东北部有产。

生活习性:主要栖息于砂泥底质的沿海地区,亦可生活于河口区,甚至河川下游。群游性,一般皆在底层活动,活动深度较浅。肉食性,以小型甲壳类、多毛类及小鱼为食。

本次调查的颈斑项鳎体长范围为 60mm~97mm,体重范围为 4.03g~22.80g,平均体重为 10.10g。

b.花斑蛇鲻

地理分布:花斑蛇鲻分布于印度洋至西太平洋区,西起非洲东部,东至菲律宾,北至日本、中国台湾地区,南至澳大利亚等。在中国主要分布于东海、台湾海域和南海;在台湾分布于南部、东北部、北部、西部及澎湖海域。

生活习性：花斑蛇鲻喜栖息于沿岸水域的沙或泥底海域。大多集成小群栖息于近底层，主要摄食鱼类、头足类、长尾类、短尾类和口足类等。

本次调查的花斑蛇鲻体长范围为 139mm~191mm，体重范围为 26.15g~83.84g，平均体重为 42.83g。

B.主要经济虾类

a.口虾蛄

地理分布：口虾蛄分布范围极广，从俄罗斯的大彼得海湾到日本及中国沿海、菲律宾、马来半岛、夏威夷群岛均有分布。

生活习性：口虾蛄多穴居，常在浅海沙底或泥沙底掘穴。性情凶猛，视力十分锐利。由于善于游泳，因此其猎物大部分为底栖性不善于游泳的生物，包括各种贝类、螃蟹、海胆等。

本次调查的口虾蛄体长范围为 15mm~33mm，体重范围为 6.22g~40.13g，平均体重为 17.59g。

C.主要经济头足类

a.杜氏尾枪乌贼

地理分布：分布在印度洋沿岸海域，南海至中国台湾北部附近海域，以及菲律宾群岛海域。

生活习性：浅海性种类。有明显的趋光性，主食甲壳类（糠虾、磷虾和介形类）、小鱼和头足类，同类残食现象普遍。

本次调查的杜氏尾枪乌贼体长范围为 37~145mm，体重范围为 5.02g~101.04g，平均体重为 37.42g。

7、小结

叶绿素 a 柱状含量平均值为 $0.54\text{mg}/\text{m}^3$ 。表层平均值为 $0.64\text{mg}/\text{m}^3$ ，10m 层平均值为 $0.32\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层平均值为 $0.27\text{mg}/\text{m}^3$ 。

初级生产力平均值为 $146.744\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，变化范围在 $(47.111\sim 270.065)\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间。

浮游植物在本次调查中共记录 4 门 5 纲 13 目 26 科 129 种。硅藻门种类最多，共 14 科 85 种，占总种类数的 65.89%；甲藻门种类次之，出现 10 科 40 种，占总种类数的 31.01%；蓝藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.55%；金藻门出

现 1 科 2 种，占总种类数的 1.55%。浮游植物优势种共出现 4 种，分别为旋链角毛藻、劳氏角毛藻、柔弱伪菱形藻和汉氏束毛藻，其中旋链角毛藻为第一优势种。浮游植物密度平均值为 $5192.968 \times 10^3 \text{cells/m}^3$ ，浮游植物的多样性指数平均值为 3.551，均匀度指数平均值为 0.628，丰富度指数平均值为 2.476。

浮游动物在本次调查中共记录 6 门 9 纲 18 目 39 科 85 种（包括浮游幼体 14 种）。分属栉水母、水母类、被囊类、有尾类、腹足类、毛颚类、介形类、枝角类、桡足类和浮游幼体 10 个类群。浮游动物优势种 7 种。分别为鸟喙尖头溞、桡足幼体、异体住囊虫、拟细浅室水母等，其中鸟喙尖头溞为第一优势种。浮游动物生物量平均值为 73.89mg/m^3 ，密度平均值为 1123.394ind./m^3 。浮游动物多样性指数平均值为 3.025，均匀度指数平均值为 0.637，丰富度指数平均值为 2.297。

大型底栖生物在本次调查中共记录 9 门 10 纲 26 目 49 科 72 种。其中环节动物为主要生物群，为 27 种，占种类总数的 37.50%。大型底栖生物优势种共有 2 种，分别为蛛美人虾和轮双眼钩虾。大型底栖生物的平均生物量为 5.606g/m^2 ，平均栖息密度为 101.429ind./m^2 。节肢动物平均栖息密度最高，为 45.000ind./m^2 ，占比为 44.37%。软体动物平均生物量最高，平均生物量为 2.339g/m^2 ，占比为 41.73%。大型底栖生物多样性指数平均值为 2.992，均匀度指数平均值为 0.907，丰富度指数平均值为 2.280。

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况：SWC01 和 SWC02 为沙滩-岩石断面，SWC03 断面为沙滩断面。潮间带生物共记录 4 门 5 纲 14 目 28 科 35 种，其中包括节肢动物 17 种、软体动物 15 种、环节动物 2 种和刺胞动物 1 种。潮间带生物定量调查 3 个断面的平均生物量为 57.926g/m^2 ，平均栖息密度为 224.666ind./m^2 ，软体动物的平均生物量和平均栖息密度最高。从水平分布来看 SWC01 断面生物量和栖息密度最高；从垂直分布来看低潮带的生物量和栖息密度最高。潮间带 3 个断面的多样性指数平均值为 2.576，均匀度指数平均值为 0.727，丰富度指数平均值为 2.005。

鱼卵仔稚鱼在本次调查中共记录鱼卵 16 种，其中包括鲈形目 10 种，鲱形目和鲾形目各 2 种，鳗鲡目和鮡形目各 1 种；仔稚鱼 20 种，其中包括鲈形目 13 种，鲱形目 2 种，灯笼鱼目、鲾形目、鮡形目、鲻形目和鲀形目各 1 种。调查区域垂直拖网的鱼卵平均密度为 4.223ind./m^3 ；仔稚鱼平均密度为 0.630ind./m^3 。常见鱼

卵石稚鱼为鲷科、鳀科等。

游泳动物共记录 3 门 3 纲 15 目 66 科 194 种，其中：鱼类 127 种，虾类 30 种（其中虾蛄类 8 种），蟹类 26 种，头足类 11 种。游泳动物优势种共 1 种，为颈斑项鳎。平均总尾数渔获率为 429ind./h，平均总重量渔获率为 7.137kg/h。平均尾数渔获密度为 $15.263 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ；平均重量渔获密度为 253.299kg/km^2 。游泳动物的多样性指数平均值为 4.111，均匀度指数平均值为 0.749，丰富度指数平均值为 5.135。主要经济种类为颈斑项鳎、花斑蛇鲻、口虾蛄和杜氏尾枪乌贼等。

4.4.6.6 秋季调查结果

1、叶绿素 a 和初级生产力

(1) 叶绿素 a

本次调查结果显示，各站表层叶绿素 a 变化范围在 $(0.54 \sim 3.10) \text{mg/m}^3$ ，平均为 1.13mg/m^3 ；10m 水层叶绿素 a 变化范围在 $(0.53 \sim 1.40) \text{mg/m}^3$ ，平均为 0.85mg/m^3 ；底层叶绿素 a 含量变化范围在 $(0.43 \sim 1.39) \text{mg/m}^3$ ，平均为 0.81mg/m^3 。以各站各层水样的平均值作为该站叶绿素 a 的浓度，各站叶绿素 a 浓度的变化范围为 $(0.50 \sim 3.10) \text{mg/m}^3$ ，平均为 1.06mg/m^3 ，SW01 站位叶绿素 a 平均值最高，SW12 站位叶绿素 a 平均值最低。详见表 4.4.6-23。

(2) 初级生产力

本次调查海域的初级生产力变化范围在 $(136.278 \sim 569.622) \text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间，平均值为 $314.879 \text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，其中 SW26 站位初级生产力值最高，SW04 站位初级生产力值最低。详见表 4.4.6-23。

表 4.4.6-23 秋季叶绿素 a 和初级生产力测定结果

站位	透明度 (m)	叶绿素 a (mg/m^3)			站位叶绿素 a 均值 (mg/m^3)	初级生产力 $\text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
		表	10m	底		
SW01						
SW04						
SW06						
SW08						
SW10						
SW11						
SW12						
SW13						

站位	透明度 (m)	叶绿素 <i>a</i> (mg/m ³)			站位叶绿素 <i>a</i> 均值 (mg/m ³)	初级生产力 mg·C/(m ² ·d)
		表	10m	底		
SW15						
SW16						
SW17						
SW19						
SW21						
SW26						
均值						

注：“/”表示该层未采样。

2、浮游植物

(1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 12 目 23 科 117 种。硅藻门种类最多，共 13 科 82 种，占总种类数的 70.09%；甲藻门种类次之，出现 8 科 31 种，占总种类数的 26.50%；蓝藻门出现 1 科 3 种，占总种类数的 2.56%；金藻门出现 1 科 1 种，占总种类数的 0.85%。

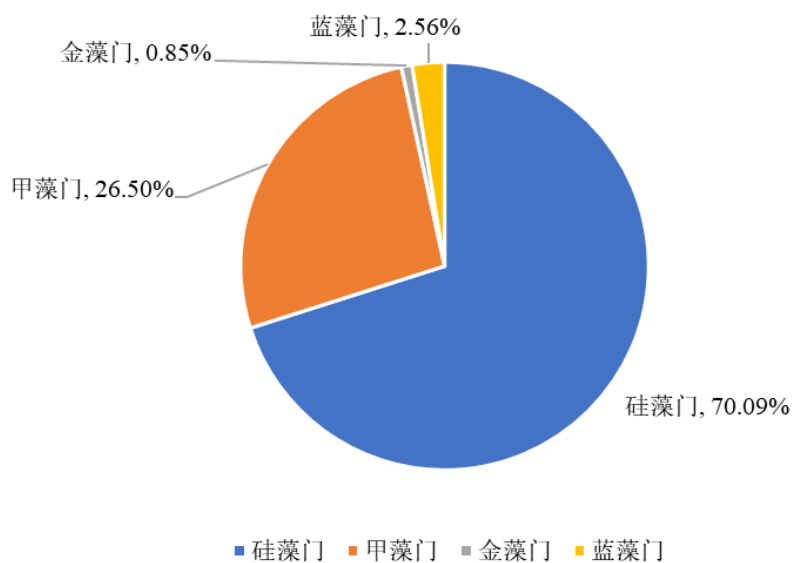


图 4.4.6-8 浮游植物种类组成占比

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查浮游植物优势种共出现 8 种，分别为双环海链藻 (*Thalassiosira diporocylus*)、并基角毛藻 (*Chaetoceros decipiens*)、劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*) 等，其中双环海链藻为第一优势种，优势度为 0.281，平均密度为 $181.072 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ，占各站位平均密度的 20.74%。

表 4.4.6-24 浮游植物优势度及其密度

种名	拉丁文	类群	优势度	平均密度	密度占比 (%)
双环海链藻	<i>Thalassiosira diporocyclus</i>	硅藻			
并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i>	硅藻			
劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	硅藻			
菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	硅藻			
钟形中鼓藻	<i>Bellerochea horologicalis</i>	硅藻			
红海束毛藻	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	蓝藻			
海链藻属	<i>Thalassiosira</i> sp.	硅藻			
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	硅藻			

注：密度单位为 $\times 10^3 \text{cells/m}^3$ 。

(2) 类群密度及占比

调查区域内各站位浮游植物密度变化范围在 $(171.977\sim 3828.201) \times 10^3 \text{cells/m}^3$ 之间，平均值为 $873.243 \times 10^3 \text{cells/m}^3$ ，最高密度出现在 SW01 站位，最低密度出现在 SW06 站位。

从门类来看，14 个调查站位中均采集到硅藻门，硅藻门密度范围在 $(140.763\sim 3735.965) \times 10^3 \text{cells/m}^3$ 之间，平均值为 $822.890 \times 10^3 \text{cells/m}^3$ ；硅藻门各站位密度的占比在 70.00%~98.58%之间，各站位占比平均值为 90.86%。蓝藻门密度范围在 $(8.515\sim 134.065) \times 10^3 \text{cells/m}^3$ 之间，平均值为 $39.394 \times 10^3 \text{cells/m}^3$ ；各站位密度百分比在 0.88%~22.44%之间，占比平均值为 6.98%；其他类群（包括金藻门和甲藻门）密度范围在 $(2.765\sim 31.624) \times 10^3 \text{cells/m}^3$ 之间，平均值为 $10.959 \times 10^3 \text{cells/m}^3$ ；各站位密度百分比在 0.54%~7.56%之间，占比平均值为 2.16%。

表 4.4.6-25 浮游植物各类群密度

站位	总密度	硅藻门		蓝藻门		其他类群	
		密度	百分比	密度	百分比	密度	百分比
SW01							
SW04							
SW06							
SW08							
SW10							
SW11							
SW12							
SW13							
SW15							

站位	总密度	硅藻门		蓝藻门		其他类群	
		密度	百分比	密度	百分比	密度	百分比
SW16							
SW17							
SW19							
SW21							
SW26							
平均值							

注：密度单位为 $\times 10^3 \text{cells/m}^3$ ，百分比单位为%。

(3) 浮游植物多样性、均匀度指数及丰富度指数

各调查区站位浮游植物种数范围为 35~66 种。多样性指数范围在 0.921~4.855 之间，平均值为 3.857，多样性指数以 SW17 站位最高，SW01 站位最低；均匀度指数范围在 0.173~0.874 之间，平均值为 0.692，均匀度指数以 SW17 站位最高，SW01 站位最低；丰富度指数范围在 1.820~2.983 之间，平均值为 2.369，丰富度指数以 SW12 站位最高，SW08 站位最低。

表 4.4.6-26 秋季浮游植物多样性、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
SW01				
SW04				
SW06				
SW08				
SW10				
SW11				
SW12				
SW13				
SW15				
SW16				
SW17				
SW19				
SW21				
SW26				
平均值				

3、浮游动物

(1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游动物 4 门 7 纲 15 目 31 科 65 种(包括浮游幼体 12 种)。

分属 11 个不同类群，即水母类、被囊类、有尾类、毛颚类、介形类、桡足类、端足、磷虾类、十足类和浮游幼体。其中，以桡足类最多，为 33 种，占总种类数的 50.77%；浮游幼体次之，出现 12 种，占总种类数的 18.46%；其他类群出现种类较少。

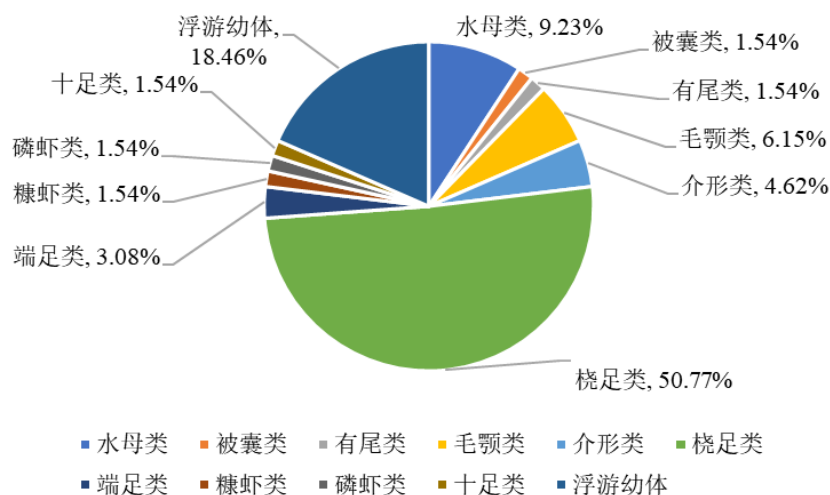


图 4.4.6-9 秋季浮游动物种类组成占比

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查浮游动物优势种共 11 种。分别为桡足幼体 (Copepoda larvae)、微刺哲水蚤 (*Canthocalanus pauper*)、毛颚类幼体 (Chaetognatha larva)、长尾类幼虫 (Macrura larva) 等，其中桡足幼体为第一优势种，优势度为 0.158，平均密度为 21.243 ind./m³，占各站位平均密度的 19.27%，出现频率 85.71%。

表 4.4.6-27 秋季浮游动物优势种组成

优势种	拉丁名	优势度 (Y)	平均密度(ind./m ³)	密度占比 (%)
桡足幼体	Copepoda larvae			
微刺哲水蚤	<i>Canthocalanus pauper</i>			
毛颚类幼体	Chaetognatha larva			
长尾类幼虫	Macrura larva			
亚强次真哲水蚤	<i>Subeucalanus subcrassus</i>			
异体住囊虫	<i>Oikopleura dioica</i>			
普通波水蚤	<i>Undinula vulgaris</i>			
齿形海萤	<i>Cypridina dentata</i>			
真刺水蚤属	<i>Euchaeta</i> sp.			
精致真刺水蚤	<i>Euchaeta concinna</i>			
肥胖箭虫	<i>Sagitta enflata</i>			

(2) 密度与生物量

14 个调查站位浮游动物生物量变化范围在 (11.04~270.31) mg/m^3 之间, 平均值为 $85.27\text{mg}/\text{m}^3$, 其中 SW19 站位生物量最高, SW10 站位生物量最低; 浮游动物密度变化范围在 (14.791~305.041) $\text{ind.}/\text{m}^3$ 之间, 平均值为 $110.227\text{ind.}/\text{m}^3$, 其中 SW19 站位密度最高, SW10 站位密度最低。从类群密度分布来看, 本次调查枝角类平均密度最高, 为 $45.771\text{ind.}/\text{m}^3$, 占比为 41.52%; 其次是浮游幼体, 平均密度为 $43.998\text{ind.}/\text{m}^3$, 占比为 39.92%。

表 4.4.6-28 秋季浮游动物生物量统计

站位	全网数量	密度 ($\text{ind.}/\text{m}^3$)	生物量 (mg/m^3)
SW01			
SW04			
SW06			
SW08			
SW10			
SW11			
SW12			
SW13			
SW15			
SW16			
SW17			
SW19			
SW21			
SW26			
平均值			

表 4.4.6-29 浮游动物各类群分布

站位	平均密度 ($\text{ind.}/\text{m}^3$)	占比 (%)
水母类		
被囊类		
有尾类		
毛颚类		
介形类		
桡足类		
端足类		
糠虾类		
磷虾类		
十足类		

站位	平均密度 (ind./m ³)	占比 (%)
浮游幼体		

(3) 浮游动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查,各调查区站位浮游动物种数范围为 16~28 种。浮游动物多样性指数变化范围在 3.002~4.164 之间,平均值为 3.613,其中 SW16 站位最高,SW04 站位最低;均匀度指数变化范围在 0.695~0.902 之间,平均值为 0.797,其中 SW12 站位最高,SW04 站位最低;丰富度指数范围在 1.984~3.438 之间,平均值为 2.660,丰富度指数以 SW11 站位最高,SW19 站位最低。

表 4.4.6-30 秋季浮游动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
SW01	24			
SW04	20			
SW06	17			
SW08	20			
SW10	16			
SW11	27			
SW12	23			
SW13	27			
SW15	27			
SW16	25			
SW17	25			
SW19	23			
SW21	26			
SW26	28			
平均值	/			

4、大型底栖生物

(1) 种类组成和优势种

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 8 门 10 纲 20 目 45 科 68 种,分属 8 个不同类群,即环节动物、棘皮动物、脊索动物、节肢动物、软体动物、纽形动物、星虫动物和刺胞动物。其中环节动物种类数最多,为 38 种,占种类总数的 55.88%。

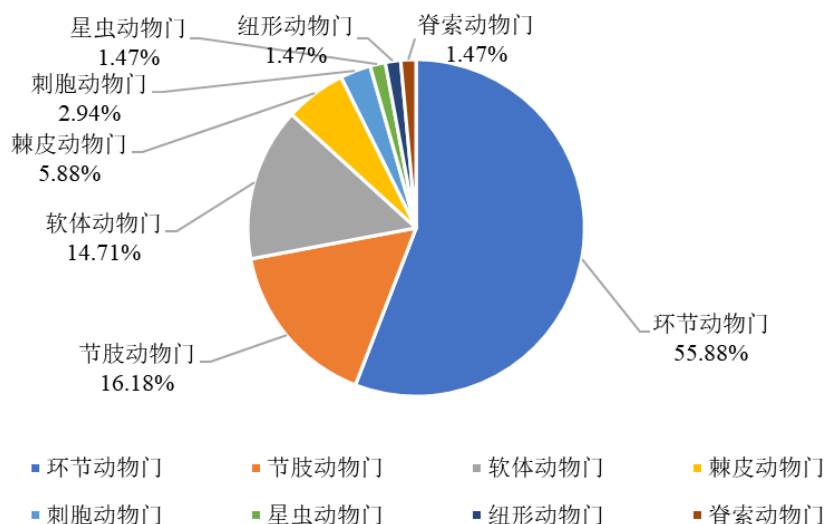


图 4.4.6-10 大型底栖生物种类组成占比

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查的优势种共 2 种，分别为倍棘蛇尾属 (*Amphioplus sp.*) 和红刺尖锥虫 (*Leodamas rubra*)，其中倍棘蛇尾属为第一优势种，优势度为 0.044。

(2) 生物量和栖息密度

1) 生物量及栖息密度的站位分布

本次调查海域 14 个站位大型底栖生物的生物量范围在 (0.495~18.935) g/m^2 之间，平均生物量为 4.211 g/m^2 ，其中 SW15 站位的生物量最高，SW19 站位生物量最低；栖息密度范围在 (25.000~115.000) $ind./m^2$ 之间，平均栖息密度为 62.857 $ind./m^2$ ，其中 SW12 站位的栖息密度最高，SW19 和 SW21 站位栖息密度最低。

2) 类群生物量和栖息密度分布

从类群分布来看，本次大型底栖生物调查中脊索动物平均生物量最高，平均生物量为 2.123 g/m^2 ，占比为 50.41%；其次为环节动物，平均生物量为 0.847 g/m^2 ，占比为 20.12%，最低为星虫动物，平均生物量为 0.004 g/m^2 ，占比为 0.10%。

环节动物平均栖息密度最高，为 34.286 $ind./m^2$ ，占比为 54.55%；其次为节肢动物，平均栖息密度为 9.643 $ind./m^2$ ，占比为 15.34%，最低为纽形动物，平均栖息密度为 0.714 $ind./m^2$ ，占比为 1.14%。

表 4.4.6-31 大型底栖生物生物量分布 (单位: g/m²)

站位	环节动物	节肢动物	软体动物	棘皮动物	刺胞动物	星虫动物	纽形动物	脊索动物	合计
SW01									
SW04									
SW06									
SW08									
SW10									
SW11									
SW12									
SW13									
SW15									
SW16									
SW17									
SW19									
SW21									
SW26									
平均值									
平均值占比									

表 4.4.6-32 秋季大型底栖生物栖息密度分布 (单位: ind./m²)

站位	环节动物	节肢动物	软体动物	棘皮动物	刺胞动物	星虫动物	纽形动物	脊索动物	合计
SW01									
SW04									
SW06									
SW08									
SW10									
SW11									
SW12									
SW13									
SW15									
SW16									
SW17									
SW19									
SW21									
SW26									
平均值									
平均值占比									

(3) 大型底栖生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查海域的大型底栖生物种类数范围在 5~16 种，多样性指数变化范围在 2.32~3.725 之间，平均值为 3.023，其中 SW12 站位最高，SW21 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.833~1.000 之间，平均值为 0.958，其中 SW19 和 SW21 站位最高，SW06 站位最低；丰富度指数范围在 1.723~3.316 之间，平均值为 2.340，丰富度指数以 SW12 站位最高，SW19 和 SW21 站位最低。

表 4.4.6-33 大型底栖生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数(种)	多样性指数(H')	均匀度指数(J)	丰富度指数(D)
SW01				
SW04				
SW06				
SW08				
SW10				
SW11				
SW12				
SW13				
SW15				
SW16				
SW17				
SW19				
SW21				
SW26				
平均值				

5、潮间带生物

(1) 潮间带岸相和生物种类组成

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况：SWC01 和 SWC03 断面为沙滩断面，SWC02 断面为沙滩-岩石断面。本次潮间带生物定性定量调查，共记录潮间带生物 4 门 6 纲 15 目 22 科 30 种，其中包括软体动物 16 种、节肢动物 11 种、环节动物 2 种和纽形动物 1 种，分别占种类总数的 53.33%、36.67%、6.67%及 3.33%。

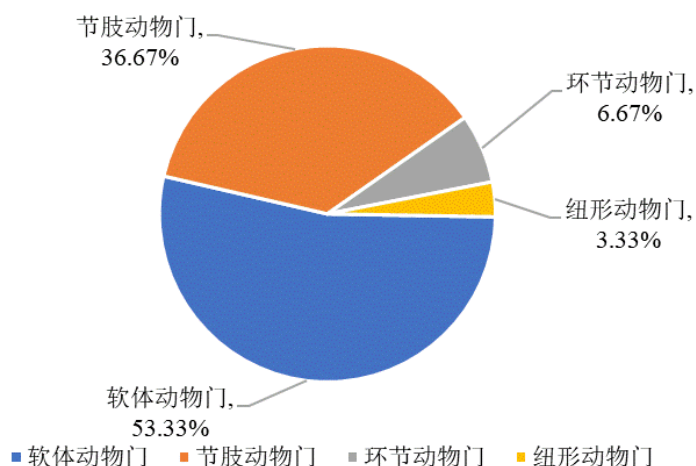


图 4.4.6-11 潮间带生物种类组成占比

(2) 潮间带各断面优势种

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查区域潮间带生物优势种共有 6 种，分别为痕掌沙蟹 (*Ocypode stimpsoni*)、六柱扁藤壶 (*Platylepas hexastylos*)、粗糙拟滨螺 (*Littoraria articulata*) 和平轴螺 (*Planaxis sulcatus*) 等。其中痕掌沙蟹为第一优势种，优势度为 0.130。

表 4.4.6-34 潮间带生物优势种

种名	拉丁文	优势度 (Y)
痕掌沙蟹	<i>Ocypode stimpsoni</i>	
六柱扁藤壶	<i>Platylepas hexastylos</i>	
粗糙拟滨螺	<i>Littoraria articulata</i>	
平轴螺	<i>Planaxis sulcatus</i>	
变化短齿蛤	<i>Brachidontes variabilis</i>	
韦氏毛带蟹	<i>Dotilla wichmanni</i>	

(3) 潮间带各断面的生物量及栖息密度分布

3 个断面定量调查的平均生物量为 $14.127\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $23.555\text{ind.}/\text{m}^2$ 。SWC02 断面的生物量最大，为 $22.050\text{g}/\text{m}^2$ ；SWC02 断面的栖息密度最大，为 $53.535\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

从类群分布来看，3 个断面中软体动物的平均生物量和平均栖息密度最高，其次是节肢动物。

表 4.4.6-35 潮间带各断面生物量和栖息密度分布

断面	项目	软体动物	节肢动物	环节动物	纽形动物	合计
SWC01	栖息密度					

	生物量					
SWC02	栖息密度					
	生物量					
SWC03	栖息密度					
	生物量					
平均值	栖息密度					
	生物量					

注：生物量单位为 g/m^2 ，栖息密度单位为 $ind./m^2$ 。

(4) 潮间带各站位生物量及栖息密度分布

3 个调查断面中，SWC02 断面的低潮带生物量最高，为 $40.752g/m^2$ ；其次是 SWC03 断面的低潮带，生物量为 $25.728g/m^2$ ；SWC01 断面的低潮带生物量为最低，为 $0.036g/m^2$ 。SWC02 断面低潮带的栖息密度最高，为 $80.000ind./m^2$ ；其次是 SWC02 断面的中潮带，栖息密度为 $74.666ind./m^2$ ；SWC01 断面的中潮带的栖息密度最低，为 $2.667ind./m^2$ 。

表 4.4.6-36 潮间带各站位生物量和栖息密度分布

采样点	项目	软体动物	节肢动物	环节动物	纽形动物	总计
SWC01 高潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC01 中潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC01 低潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC02 高潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC02 中潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC02 低潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC03 高潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC03 中潮带	栖息密度					
	生物量					
SWC03 低潮带	栖息密度					
	生物量					

注：生物量单位为 g/m^2 ，栖息密度单位为 $ind./m^2$ 。

(5) 潮间带断面水平分布和垂直分布

本次潮间带生物调查从水平分布上看, 生物量由高到低排序为 SWC02 > SWC03 > SWC01, 栖息密度由高到低排序为 SWC02 > SWC03 > SWC01。

表 4.4.6-37 潮间带生物水平分布

项目	SWC01	SWC02	SWC03
栖息密度 (ind./m ²)			
生物量 (g/m ²)			

本次潮间带生物调查从垂直分布上看, 生物量由高到低排序为低潮带 > 高潮带 > 中潮带, 栖息密度由高到低排序为低潮带 > 中潮带 > 高潮带。

表 4.4.6-38 潮间带生物垂直分布

项目	高潮带	中潮带	低潮带
栖息密度 (ind./m ²)			
生物量 (g/m ²)			

(6) 潮间带生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查海区潮间带生物多样性指数的变化范围在 0.722~3.288 之间, 平均值为 2.204; 均匀度指数的变化范围在 0.722~0.927 之间, 平均值为 0.824; 丰富度指数范围在 0.431~2.380 之间, 平均值为 1.437。

表 4.4.6-39 秋季潮间带生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

采样站号	样方内种类数	样方内个体数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
SWC01					
SWC02					
SWC03					
平均值					

注: 种类数单位为种, 个体数单位为 ind.。

6、渔业资源

(1) 鱼卵仔稚鱼

1) 种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中, 共出现了鱼卵 9 种, 其中包括鲈形目 6 种, 鲱形目、鲽形目和仙女鱼目各 1 种; 仔稚鱼 6 种, 其中包括鲈形目 3 种和鲱形目 3 种。

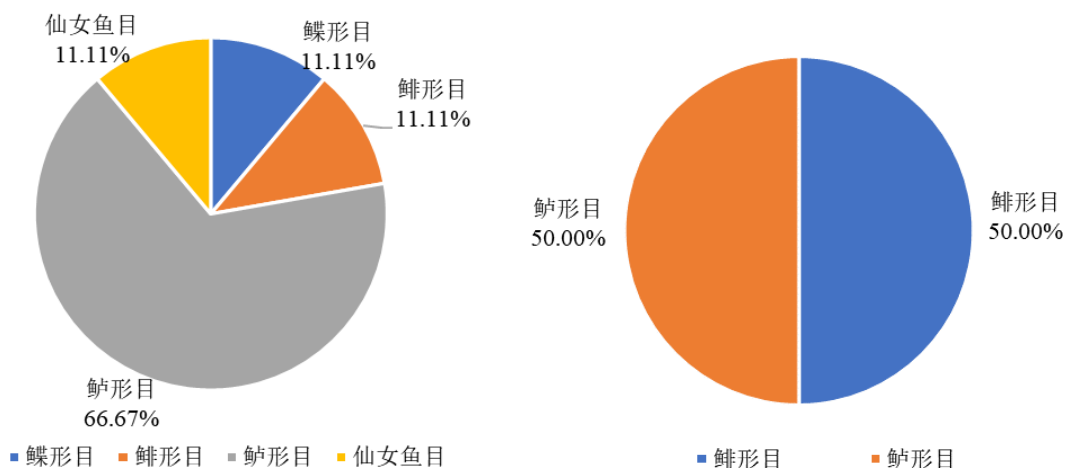


图 4.4.6-12 调查海区鱼卵种类组成占比 图 4.4.6-13 调查海区仔稚鱼种类组成占比

表 4.4.6-40 鱼卵仔稚鱼种类组成

序号	纲目类群	物种	拉丁名	鱼卵	仔稚鱼	鱼卵		仔稚鱼	
						水平拖网	垂直拖网	水平拖网	垂直拖网
1	鲽形目	鳎科	Soleidae						
2	鲱形目	鲱科	Clupeidae						
3	鲱形目	拟沙丁鱼属	<i>Sardinops</i> sp.						
4	鲱形目	鳀科	Engraulidae						
5	鲱形目	小公鱼属	<i>Stolephorus</i> sp.						
6	鲈形目	鲷科	Leiognathidae						
7	鲈形目	带鱼科	Trichiuridae						
8	鲈形目	笛鲷科	Lutjanidae						
9	鲈形目	鲹科	Carangidae						
10	鲈形目	石首鱼科	Sciaenidae						
11	鲈形目	肩鳃鳎属	<i>Omobranchus</i> sp.						
12	鲈形目	鱧科	Sillaginidae						
13	鲈形目	鱚科	Callionymidae						
14	仙女鱼目	狗母鱼科	Synodontidae						
合计									

注：“+”表示该发育阶段物种出现情况，鱼卵单位 ind.，仔稚鱼单位为 ind.。

2) 数量分布

调查 14 个站位的鱼卵仔稚鱼垂直拖网共采到鱼卵 10ind.，仔稚鱼 3ind.；鱼卵平均密度为 0.207ind./m³，仔稚鱼平均密度为 0.074ind./m³。SW04 站位鱼卵密度最高，密度为 1.796ind./m³，其次是 SW06 站位，密度为 0.305ind./m³，共 7 个站位捕获到鱼卵；SW04 站位仔稚鱼密度最高，密度为 0.599ind./m³，其次是 SW13 站位，密度为 0.441ind./m³，共 2 个站位捕获到仔稚鱼。

表 4.4.6-41 秋季鱼卵仔稚鱼密度及其分布（垂直拖网）

站位	鱼卵仔稚鱼发育期	
	鱼卵 (ind./m ³)	仔稚鱼 (ind./m ³)
SW01		
SW04		
SW08		
SW06		
SW13		
SW10		
SW11		
SW12		
SW16		
SW15		
SW19		
SW17		
SW21		
SW26		
均值		

3) 主要种类的数量分布（水平拖网）

a. 鳎科 (Leiognathidae)

鳎鱼分布于红海、印度洋、南洋群岛、澳大利亚北部、中国台湾岛以及中国南海等海域，主要栖息于热带海洋的近岸或稍碱的水域。主要栖息于沿岸砂泥底质水域，大多栖息于浅水域，水深约在 1-40 公尺之间，有时会进入深水域，有时会进入河口区。一般在底层活动觅食，肉食性，以底栖生物为食。以流刺网或岸边滩钓均有可能捕获。鳎科中体型较大的鱼种，味美且肉较多，红烧、煮汤皆宜。本次水平拖网调查出现的鳎科鱼卵共有 25 粒，出现在 4 个站位，鳎科鱼卵在调查海域中 SW01 站位数量最多。

b. 鲹科 (Carangidae)

鲹科鱼类分布于印度洋、太平洋、大西洋热带和亚热带水域，在世界海洋渔业中占有重要地位，是世界重要暖水性和暖温性海洋经济鱼类，在渔业生产上有重要经济价值。本次调查出现的鲹科鱼卵共有 80 粒，出现在 11 个站位，鲹科鱼卵在调查海域中 SW06 站位数量最多。

(2) 游泳动物

1) 种类组成和优势种

此次项目船号为粤陆渔 53100，使用的网具为网口宽 8.0m、网衣长 30m、网口目 40mm、网囊目 20mm 的底拖网，平均拖网船速为 3.0kn。

本次游泳动物调查共捕获 3 门 4 纲 14 目 63 科 156 种，其中：鱼类 102 种，占总种类数的 65.38%，虾类 19 种（其中虾蛄类 7 种），占总种类数的 12.18%，蟹类 24 种，占总种类数的 15.38%，头足类 11 种，占总种类数的 7.05%。

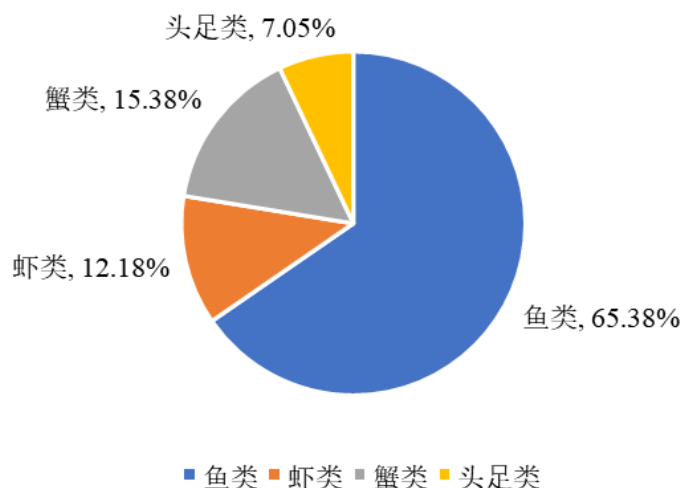


图 4.4.6-14 调查海区游泳动物种类组成占比

相对重要性指数显示，本次调查游泳动物优势种（ $IRI \geq 1000$ ）共 4 种，分别为红星梭子蟹（*Portunus sanguinolentus*）、微异类梭蟹（*Eodemus subtilis*）、赤鼻棱鳀（*Thryssa kammalensis*）和口虾蛄（*Oratosquilla oratoria*），红星梭子蟹为第一优势种，其总渔获重量为 17.362kg，占游泳动物总渔获重量的 1605%；红星梭子蟹的总尾数渔获量为 382 个，占游泳动物总渔获尾数数的 5.23%。

表 4.4.6-42 游泳动物 IRI 指数

种类	出现频率 (%)	尾数渔获数		渔获重量		IRI
		(ind)	(%)	(kg)	(%)	
红星梭子蟹						
微异类梭蟹						
赤鼻棱鳀						
口虾蛄						
葛氏似口虾蛄						
直额螳						
大头白姑鱼						
杜氏尾枪乌贼						
鹿斑仰口鲷						
屈氏叫姑鱼						

种类	出现频率 (%)	尾数渔获数		渔获重量		IRI
		(ind)	(%)	(kg)	(%)	
黄鲫						
侧带鹦天竺鲷						
黑口鳓						
龙头鱼						
日本猛虾蛄						
纤手梭子蟹						
须赤虾						
卷折馒头蟹						
斑鳍白姑鱼						
列牙鳓						
日本带鱼						
逍遥馒头蟹						
阿氏强蟹						
白姑鱼						
香港螳						
褐蓝子鱼						
长叉三宅虾蛄						

2) 渔获率

a. 尾数渔获率

本次调查该海区 14 个站位的游泳动物平均尾数渔获率为 522ind./h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 219ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 41.86%；虾类平均尾数渔获率为 125ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 23.98%；蟹类平均尾数渔获率为 164ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 31.33%；头足类的平均尾数渔获率为 15ind./h，占游泳动物平均尾数渔获率的 2.83%。

表 4.4.6-43 秋季各站位尾数渔获率及类群所占比例

站位	尾数渔获率	尾数渔获率				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01									
SW04									
SW06									
SW08									
SW10									
SW11									
SW12									
SW13									

站位	尾数渔获率	尾数渔获率				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW15									
SW16									
SW17									
SW19									
SW21									
SW26									
平均值									

注：尾数渔获率单位为 ind./h。

b.重量渔获率

本次调查该海区 14 个站位的平均重量渔获率为 7.729kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 3.568kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 46.16%；虾类平均重量渔获率为 1.551kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 20.07%；蟹类平均重量渔获率为 2.392kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 30.95%；头足类的平均重量渔获率为 0.218kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 2.82%。

表 4.4.6-44 各站位重量渔获率及类群所占比例

站位	重量渔获率	重量渔获率 (kg/h)				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01									
SW04									
SW06									
SW08									
SW10									
SW11									
SW12									
SW13									
SW15									
SW16									
SW17									
SW19									
SW21									
SW26									
平均值									

c.幼体比例

本次调查区域游泳动物幼体渔获总体占比为 35.81%，其中虾类幼体比例最

高，为 48.69%，其次是鱼类，幼体比例为 42.79%，蟹类幼体比例为 19.88%，头足类幼体比例为 0。

3) 渔业资源密度

a. 尾数资源密度

本次调查 14 个站位尾数资源密度范围在 $(5.355\sim43.557) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $23.483 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，尾数资源密度最高的站位为 SW11 站位，最低为 SW01 站位。

其中，鱼类尾数资源密度分布范围在 $(2.160\sim25.468) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $9.832 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW11 站位最高，SW01 站位最低；虾类尾数资源密度分布范围在 $(0.045\sim18.314) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $5.631 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW08 站位最高，SW11 站位最低；蟹类尾数资源密度分布范围在 $(1.350\sim16.424) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $7.357 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW17 站位最高，SW01 站位最低；头足类尾数资源密度分布范围在 $(0\sim2.250) \times 10^3 \text{ind./km}^2$ 之间，平均值为 $0.665 \times 10^3 \text{ind./km}^2$ ，其中 SW11 站位最高，SW01 和 SW04 站位最低。

表 4.4.6-45 秋季各站位尾数资源密度 (单位: $\times 10^3 \text{ind./km}^2$)

站位	尾数资源密度	尾数资源密度			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01					
SW04					
SW06					
SW08					
SW10					
SW11					
SW12					
SW13					
SW15					
SW16					
SW17					
SW19					
SW21					
SW26					
平均值					

b. 重量资源密度

本次调查 14 个站位渔业资源重量资源密度范围在 (67.359~813.445) kg/km² 之间, 平均值为 347.784kg/km², SW08 站位最高, SW01 站位最低。

其中, 鱼类重量资源密度变化范围在 (41.217~328.564) kg/km² 之间, 平均值为 160.538kg/km², 其中 SW26 站位最高, SW04 站位最低; 虾类重量资源密度变化范围在 (0.225~264.039) kg/km² 之间, 平均值为 69.799kg/km², 其中 SW08 站位最高, SW11 站位最低; 蟹类重量资源密度变化范围在 (6.254~306.650) kg/km² 之间, 平均值为 107.628kg/km², 其中 SW08 站位最高, SW01 站位最低; 头足类重量资源密度变化范围在 (0~36.402) kg/km² 之间, 平均值为 9.819kg/km², 其中 SW26 站位最高, SW01 和 SW04 站位最低。

表 4.4.6-46 秋季各站位重量资源密度 (单位: kg/km²)

站位	重量资源密度	重量资源密度			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类
SW01					
SW04					
SW06					
SW08					
SW10					
SW11					
SW12					
SW13					
SW15					
SW16					
SW17					
SW19					
SW21					
SW26					
平均值					

4) 游泳动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查区域游泳动物生物种类数范围在 24~59 种, 多样性指数变化范围在 3.486~4.405 之间, 平均值为 3.981, 其中 SW10 站位最高, SW19 站位最低; 均匀度指数变化范围在 0.655~0.879 之间, 平均值为 0.743, 其中 SW01 站位最高, SW19 站位最低; 丰富度指数范围在 3.324~6.162 之间, 平均值为 4.762, 丰富度指数以 SW21 站位最高, SW04 站位最低。

表 4.4.6-47 秋季游泳动物生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数(种)	多样性指数(H')	均匀度指数(J)	丰富度指数(D)
SW01				
SW04				
SW06				
SW08				
SW10				
SW11				
SW12				
SW13				
SW15				
SW16				
SW17				
SW19				
SW21				
SW26				
平均值				

5) 主要经济种类规格和分布

A.主要经济鱼类

a.大头白姑鱼

地理分布：大头白姑鱼分布于印度洋和太平洋西部，在中国分布于渤海、黄海、东海、南海。

生活习性：暖温性近底层鱼类。一般栖息于水深 40-100 米泥沙底海区。有明显季节洄游习性，春季因生殖集群游向近岸产卵场；食性较杂，主要摄食底栖动物及小型鱼类，如长尾类、短尾类、脊尾白虾、日本鼓虾、鲜明鼓虾、小蟹、矛尾虾虎鱼、纹缟虾虎鱼等。

本次调查的大头白姑鱼体长范围为（34~150）mm，体重范围为（1.10~78.1）7g，平均体重为 13.10g。

b.赤鼻棱鯧

地理分布：赤鼻棱鯧分布于印度-西太平洋区，西起马来西亚、印度尼西亚至中国等海域。

生活习性：赤鼻棱鯧主要栖息于浅海中上层以及或河口附近。栖息水深 1~20m。食物以浮游动物为主，辅以多毛类、端脚类。

本次调查的赤鼻棱鯧体长范围为（65~110）mm，体重范围为（3.09~15.52）

g, 平均体重为 8.36g。

B.主要经济虾类

a.口虾蛄

地理分布:口虾蛄分布范围极广,从俄罗斯的大彼得海湾到日本及中国沿海、菲律宾、马来半岛、夏威夷群岛均有分布。

生活习性:口虾蛄多穴居,常在浅海沙底或泥沙底掘穴。性情凶猛,视力十分锐利。由于善于游泳,因此其猎物大部分为底栖性不善于游泳的生物,包括各种贝类、螃蟹、海胆等。

本次调查的口虾蛄体长范围为(10~29)mm,体重范围为(5.07~46.23)g,平均体重为 19.46g。

C.主要经济蟹类

a.红星梭子蟹

地理分布:红星梭子蟹分布于日本、夏威夷、菲律宾、澳大利亚、新西兰、马来群岛、印度洋直至南非沿海的整个印度太平洋暖水区、台湾岛以及中国大陆的广西、广东、福建等地。

生活习性:红星梭子蟹生活环境为海水,栖息于 10-30m 深的泥沙质海底,常见于拖网渔获中。

本次调查的红星梭子蟹体长范围为(35~125)mm,体重范围为(1.46~101.24)g,平均体重为 45.45g。

D.主要经济头足类

a.杜氏尾枪乌贼

地理分布:分布在印度洋沿岸海域,南海至中国台湾北部附近海域,以及菲律宾群岛海域。

生活习性:浅海性种类。有明显的趋光性,主食甲壳类(糠虾、磷虾和介形类)、小鱼和头足类,同类残食现象普遍。

本次调查的杜氏尾枪乌贼体长范围为(20~119)mm,体重范围为(1.56~110.29)g,平均体重为 14.14g。

7、小结

本次秋季海洋生态与渔业资源调查 14 个站位调查结果表明:

叶绿素 *a* 柱状含量平均值为 $1.06\text{mg}/\text{m}^3$ 。表层平均值为 $1.13\text{mg}/\text{m}^3$ ，10m 层平均值为 $0.85\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层平均值为 $0.81\text{mg}/\text{m}^3$ 。

初级生产力平均值为 $314.879\text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，变化范围在 $(136.278\sim 569.622)\text{ mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间。

浮游植物在本次调查中共记录 4 门 5 纲 12 目 23 科 117 种。硅藻门种类最多，共 13 科 82 种，占总种类数的 70.09%；甲藻门种类次之，出现 8 科 31 种，占总种类数的 26.50%；蓝藻门出现 1 科 3 种，占总种类数的 2.56%；金藻门出现 1 科 1 种，占总种类数的 0.85%。浮游植物优势种共出现 8 种，分别为双环海链藻、并基角毛藻、劳氏角毛藻等，其中双环海链藻为第一优势种。浮游植物密度平均值为 $873.243 \times 10^3 \text{ cells}/\text{m}^3$ ，浮游植物的多样性指数平均值为 3.857，均匀度指数平均值为 0.692，丰富度指数平均值为 2.369。

浮游动物在本次调查中共记录 4 门 7 纲 15 目 31 科 65 种（包括浮游幼体 12 种）。分属水母类、被囊类、有尾类、毛颚类、介形类、桡足类、端足、磷虾类、十足类和浮游幼体 11 个类群。浮游动物优势种 11 种。分别为桡足幼体、微刺哲水蚤、毛颚类幼体、长尾类幼虫等，其中桡足幼体为第一优势种。浮游动物生物量平均值为 $85.27\text{mg}/\text{m}^3$ ，密度平均值为 $110.227\text{ind.}/\text{m}^3$ 。浮游动物多样性指数平均值为 3.613，均匀度指数平均值为 0.797，丰富度指数平均值为 2.660。

大型底栖生物在本次调查中共记录 8 门 10 纲 20 目 45 科 68 种。其中环节动物为主要生物群，为 38 种，占种类总数的 55.88%。大型底栖生物优势种共有 2 种，分别为倍棘蛇尾属和红刺尖锥虫，其中倍棘蛇尾属为第一优势种。大型底栖生物的平均生物量为 $4.211\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $62.857\text{ind.}/\text{m}^2$ 。环节动物平均栖息密度最高，为 $34.286\text{ind.}/\text{m}^2$ ，占比为 54.55%。脊索动物平均生物量最高，平均生物量为 $2.123\text{g}/\text{m}^2$ ，占比为 50.41%。大型底栖生物多样性指数平均值为 3.023，均匀度指数平均值为 0.958，丰富度指数平均值为 2.340。

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况：SWC01 和 SWC03 断面为沙滩断面，SWC02 断面为沙滩-岩石断面。潮间带生物共记录 4 门 6 纲 15 目 22 科 30 种，其中包括软体动物 16 种、节肢动物 11 种、环节动物 2 种和纽形动物 1 种。潮间带生物优势种共有 6 种，分别为痕掌沙蟹、六柱扁藤壶、粗糙拟滨螺、平轴螺等。其中痕掌沙蟹为第一优势种。潮间带生物定量调查 3 个断面的平均生物量为

14.127g/m²，平均栖息密度为 23.555ind./m²，软体动物的平均生物量和平均栖息密度最高。从水平分布来看 SWC02 断面生物量和栖息密度最高；从垂直分布来看低潮带的生物量和栖息密度最高。潮间带 3 个断面的多样性指数平均值为 2.204，均匀度指数平均值为 0.824，丰富度指数平均值为 1.437。

鱼卵仔稚鱼在本次调查中共记录鱼卵 9 种，其中包括鲈形目 6 种，鲱形目、鲾形目和仙女鱼目各 1 种；仔稚鱼 6 种，其中包括鲈形目 3 种和鲱形目 3 种。调查区域垂直拖网的鱼卵平均密度为 0.207ind./m³；仔稚鱼平均密度为 0.074ind./m³。常见鱼卵仔稚鱼为鲷科、鲹科等。

游泳动物共记录 3 门 4 纲 14 目 63 科 156 种，其中：鱼类 102 种，虾类 19 种（其中虾蛄类 7 种），蟹类 24 种，头足类 11 种。游泳动物优势种共 4 种，分别为红星梭子蟹、微异类梭蟹、赤鼻棱鳀和口虾蛄，红星梭子蟹为第一优势种。平均总尾数渔获率为 522ind./h，平均总重量渔获率为 3.568kg/h。平均尾数资源密度为 23.483×10³ind./km²；平均重量资源密度为 347.784kg/km²。游泳动物的多样性指数平均值为 3.981，均匀度指数平均值为 0.743，丰富度指数平均值为 4.762。主要经济种类为大头白姑鱼、赤鼻棱鳀、口虾蛄、红星梭子蟹和杜氏尾枪乌贼等。

4.4.7 噪声环境现状调查与评价

4.4.7.1 调查概况

本节引自《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目声环境及电磁辐射环境现状调查报告》（广东宇南检测技术有限公司，2023 年 7 月）。

2023 年 07 月 12 日，广东宇南检测技术有限公司对汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目开展声环境和电磁环境现状调查。调查站位坐标及分布示意图详见表 4.4.7-1 和图 4.4.7-1。

表 4.4.7-1 本项目电磁、噪声监测站位坐标表

监测站位	经度	纬度	监测内容
F1			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F21			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F22			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F23			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F24			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F28			电磁辐射、水下噪声、水上噪声

监测站位	经度	纬度	监测内容
F34			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F35			电磁辐射、水下噪声、水上噪声
F36			电磁辐射、水下噪声、水上噪声

图 4.4.7-1 本项目电磁、噪声监测站位分布示意图

4.4.7.2 调查内容

测量的参数包括：水上声环境、水上水下噪声频带声压级（ L_{ps} ）和水下噪声声压谱密度级，频率测量覆盖范围为 20Hz-20kHz；水下噪声峰值声压。

4.4.7.3 监测结果

1、水上噪声

本项目水上声环境监测结果详见表 4.4.7-2。

本次监测结果等效连续声级 $Leq(dB)$ 介于 49(dB)~61(dB)，平均值为 55.89dB。声级的标准差为 3.82，表明各监测点之间的噪声水平存在一定差异。

累积百分声级 $L50(dB)$ ：介于 48dB~58dB 之间，平均值为 52.22dB。

累积百分声级 $L90(dB)$ ：介于 48dB~57dB 之间，平均值为 51.33dB。

总体来看，海上声环境的噪声水平在不同监测点之间存在一定的波动，但大多数监测点的噪声水平相对接近，尤其是 $L50$ 和 $L90$ 的值较为集中。

表 4.4.7-2 工程海域水上声环境监测结果

监测点	噪声源	等效连续声级 $Leq(dB)$	累积百分声级 $L10(dB)$	累积百分声级 $L50(dB)$	累积百分声级 $L90(dB)$
F1	海上声环境				
F21	海上声环境				
F22	海上声环境				
F23	海上声环境				
F24	海上声环境				
F28	海上声环境				
F34	海上声环境				
F35	海上声环境				
F36	海上声环境				

图 4.4.7-2 各测点水上环境噪声

2、水下噪声

本项目水下声环境监测结果详见表 4.4.7-3。

各个站位的平均总声级和峰值声压差异不大，大部分站位的平均总声级在 115dB 到 120dB 之间，峰值声压在 155dB 到 164dB 之间。

表 4.4.7-3 工程海域水下噪声峰值声压

站位	水深 (m)	测点深度 (m)	总声级 (20Hz-20kHz) (dB)	峰值声压 L _{peak} (dB)
F1				
F21				
F22				
F23				
F24				
F28				
F34				
F35				
F36				

4.4.8 电磁环境现状调查与评价

4.4.8.1 调查概况

本节引自《汕尾红海湾（海缆）海上电磁环境监测》（广东宇南检测技术有

限公司，2023年7月）和《汕尾红海湾（四）海上电磁环境监测》（广东宇南检测技术有限公司，2023年7月）。

4.4.8.2 调查方法

《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ 681-2013）。

4.4.8.3 监测结果

本项目电磁辐射监测结果详见表 4.4.8-1。

根据监测结果，本工程海域工频电场强度介于（0.46~2.93）V/m 之间，平均值为 1.30V/m；工频磁场强度介于（0.0119~0.0199） μ T 之间，平均值为 0.0158 μ T。

表 4.4.8-1 本项目辐射检测结果

序号	监测点名称	检测结果	
		工频电场强度（V/m）	工频磁场强度（ μ T）
1	F1		
2	F21		
3	F22		
4	F23		
5	F24		
6	F28		
7	F34		
8	F35		
9	F36		
备注		无	

4.4.9 大气环境现状调查与评价

根据《2023年汕尾市生态环境状况公报》，2023年，汕尾市区空气二氧化硫（SO₂）年均浓度为8微克/立方米，同比上升1微克/立方米（+14.3%），达到国家一级标准。

二氧化氮（NO₂）年均浓度为9微克/立方米，同比上升1微克/立方米（+12.5%），达到国家一级标准。

可吸入颗粒物（PM₁₀）年均浓度为30微克/立方米，同比上升3微克/立方米（+11.1%），达到国家一级标准。

细颗粒物（PM_{2.5}）年均浓度为17微克/立方米，同比上升2微克/立方米（+13.3%），均达到国家二级标准。

臭氧日最大 8 小时均值 (O_3^{-8h}) 第 90 百分位数平均值为 134 微克/立方米, 与去年持平, 达到国家二级标准。

一氧化碳 (CO) 第 95 百分位数平均值为 0.7 毫克/立方米, 同比下降 0.1 毫克/立方米 (-12.5%), 达到国家一级标准。

4.5 海域污染源调查

根据 4.2.2 小节可知, 本项目周边存在较多海洋开发利用活动。

本项目海缆工程穿越小漠航道、鲒门航道、汕尾西线航道、马宫航道、汕尾遮浪角至深圳大鹏湾、粤东沿海近岸航路、广东沿海内航路。评价范围内周边邻近海上风电场项目拟建中, 项目建设期间, 工程海域施工船舶数量短时间内有所增加, 主要的污染源为船舶的船舶含油污水、船舶生活污水、船舶废气及船舶垃圾。船舶污染物排放均应执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018) 和《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) 中的相关规定, 达标排放。项目所在海域沿岸建设有电厂项目, 电厂温排水对周边海域水质环境也会造成一定的影响。

5 环境影响预测与评价

5.1 海洋水动力环境影响预测与评价

5.1.1 水动力模型建立

5.1.1.1 潮流数学模型

根据《环境影响评价技术导则-海洋生态环境》(HJ1409-2025)的要求。建立工程海域三维潮流模型。用有限体积元方法对三维潮流运动基本方程组(如下)进行离散,得到离散方程组,从而得出流速、流向、潮位。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出,采用活动边界技术,以保证计算的精度和连续性。

1、控制方程

Z坐标系下的连续方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

X、Y、Z方向的动量方程分别为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (N_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (N_y \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (N_z \frac{\partial u}{\partial z})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (N_x \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (N_y \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (N_z \frac{\partial v}{\partial z})$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (N_x \frac{\partial w}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (N_y \frac{\partial w}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (N_z \frac{\partial w}{\partial z}) - g$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$$

本模式垂向采用 σ 坐标系,与Z坐标系的变换关系如下:

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \zeta}{H + \zeta} = \frac{z - \zeta}{D}, t^* = t$$

式中 x, y, z 分别是笛卡尔坐标系的空间变量, t 是时间变量; x^*, y^* 分别是 σ 坐标系的空间自变量, t^* 是 σ 坐标系的时间自变量; H 是水深, ζ 是海平面波高。这样,海底 $\sigma=-1$,表面为 $\sigma=0$ 。

模型控制方程组由动量方程、连续方程、温度方程、盐度方程和密度方程组成，在 σ 坐标系下分别为：

2、连续方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Du}{\partial x} + \frac{\partial Dv}{\partial y} + \frac{\partial Dw}{\partial \sigma} = 0$$

3、动量方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial \sigma} - fvD \\ & = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gD}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} (D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma') + \sigma \rho \frac{\partial D}{\partial x} \right] + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_m \frac{\partial u}{\partial \sigma}) + DF_x \\ & \frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial uvD}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial \sigma} + fuD \\ & = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gD}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial y} (D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma') + \sigma \rho \frac{\partial D}{\partial y} \right] + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_m \frac{\partial v}{\partial \sigma}) + DF_y \end{aligned}$$

4、温度、盐度和密度方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TuD}{\partial x} + \frac{\partial TvD}{\partial y} + \frac{\partial Tw}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_h \frac{\partial T}{\partial \sigma}) + D \hat{H} + DF_T \\ & \frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SuD}{\partial x} + \frac{\partial SvD}{\partial y} + \frac{\partial Sw}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_h \frac{\partial S}{\partial \sigma}) + DF_S \\ & \rho = \rho(T, S) \end{aligned}$$

5、湍流闭合方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial q^2 uD}{\partial x} + \frac{\partial q^2 vD}{\partial y} + \frac{\partial q^2 w}{\partial \sigma} = 2D(P_s + P_b - \varepsilon) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_q \frac{\partial q^2}{\partial \sigma}) + DE_q \\ & \frac{\partial q^2 lD}{\partial t} + \frac{\partial q^2 luD}{\partial x} + \frac{\partial q^2 lvD}{\partial y} + \frac{w}{\sigma} \frac{\partial q^2 lw}{\partial \sigma} \\ & = lE_l D(P_s + P_b - \frac{\tilde{W}}{E_l} \varepsilon) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_q \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma}) + DF_l \end{aligned}$$

在 σ 坐标系中，水平扩散项定义为：

$$DF_x \approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$DF_y \approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \frac{\partial v}{\partial y} \right]$$

$$D(F_T, F_S, F_{q^2}, F_{q^2 l}) \approx \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_h H \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h H \frac{\partial}{\partial y}) \right] (T, S, q^2, q^2 l)$$

其中， u ， v 和 w 是 x ， y 和 z 三个方向上的速度分量； T 是位温； S 为盐度； ρ 为密度； P 为压力； f 为科氏参数； g 是重力加速度；

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{D}, \quad D = H + \zeta;$$

A_m 、 K_m 分别是水平与垂向黏性系数；水平方向扩散系数取值为 $1.15 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{s}$ ，垂向方向扩散系数取值为 $0.65 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{s}$ 。

A_h 、 K_h 是水平与垂向热力涡动摩擦系数；

q^2 和 l 分别是湍动能和湍动的长度尺度。

K_m 、 K_h 、 K_q 分别由下列公式确定： $K_m = lqS_m$ ， $K_h = lqS_h$ ， $K_q = 0.2lq$

S_m 、 S_h 为稳定函数。根据 mellor 和 yamada， S_m 、 S_h 由下列方程组确定：

$$S_m = \frac{0.4275 - 3.354G_h}{(1 - 34.676G_h)(1 - 6.127G_h)}$$

$$S_h = \frac{0.494}{1 - 34.676G_h}$$

$$G_h = \frac{l^2 g}{q^2 \rho_0} \rho_z$$

5.1.1.2 边界条件和初始条件

1、海面边界条件 $\sigma=0$ ：

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{D}{\rho_0 K_m} (\tau_{sx}, \tau_{sy}), \quad w = \frac{\hat{E} - \hat{P}}{\rho}, \quad \frac{\partial T}{\partial \sigma} = \frac{D}{\rho c_p K_h} [Q_n(x, y, t) - SW(x, y, 0, t)]$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma} = -\frac{S(\hat{P}-\hat{E})D}{K_h \rho}$$

2、海底边界条件 $\sigma=-1$:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma}\right) = \frac{D}{\rho_o K_m} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

$$w = \frac{Q_b}{\Omega}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \sigma} = \frac{A_H D \tan \alpha}{K_h - A_H \tan^2 \alpha} \frac{\partial T}{\partial n}$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma} = \frac{A_H D \tan \alpha}{K_h - A_H \tan^2 \alpha} \frac{\partial S}{\partial n}$$

式中， \hat{P} 、 \hat{E} 分别是降雨量和蒸发量；

(τ_{sx}, τ_{sy}) 为表面风应力在 x, y 向的分量；

$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = C_d \sqrt{u^2 + v^2} (u, v)$ 为底部剪切力在 x, y 向的分量；

Q_b 为底部水体通量；

C_d 为底应力拖曳系数，由近海底 z_{ab} 处的流速呈对数分布计算：

$$C_d = \max \left(\frac{\kappa^2}{\ln \left(\frac{z_{ab}}{z_0} \right)^2}, 0.0025 \right), \text{ 其中 } \kappa \text{ 为卡门常数, } \kappa = 0.4; z_0 \text{ 为海底粗糙度,}$$

一般取为 0.001~0.002m。

3、固体侧边界条件:

$$v_n = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial n} = 0$$

4、开边界条件:

模型可以采用两种方法指定开边界条件:

(1) 在开边界指定有实测得到的水位或者嵌套的大区域网格计算所得到的水位。

(2) 利用开边界上各分潮的调和常数计算得到强迫水位。公式如下：

$$\zeta_o = \bar{\zeta}_o + \sum_{i=1}^{N_o} \hat{\zeta}_i \cos(\omega_i t - \theta_i)$$

其中： $\bar{\zeta}_o$ 是相对于静止水平面的平均水位；

$\hat{\zeta}_i$ ， ω_i ， θ_i 分别是第 i 分潮的振幅、频率和位相；

N_o 是分潮总数。

所谓开边界条件即水域边界条件，可以给定水位、流量或调和常数。对于本次数值模拟方案，计算域外海大网格开边界条件给定潮汐调和常数。潮汐现象可视作为许多不同周期振动的叠加，分潮振幅(H)和专有迟角(g)只与地点有关，称潮汐调和常数。本次计算域外海开边界选取 8 个主要分潮(M₂、S₂、N₂、K₂、K₁、O₁、P₁、Q₁) 叠加，分潮调和常数来源于 TMD 潮汐预报软件，并根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整，并且在模型计算和调试过程中根据部分水文观测站的实测潮位结果进行实时调整，以尽可能拟合潮位过程线。

5.1.1.3 潮流模型范围

模型计算范围覆盖整个广东沿海，模型共布置 281082 个网格，147090 个节点，采用三角形网格离散计算区域，网格外海最大网格尺寸为 5km，近岸 100m~500m，线缆附近网格尺寸统一设置为 50m；升压站水下结构（含桩基及导管架等）相关桩、管的桩径 0.8~4.2m 不等，升压站附近水域按水下各桩、管的平均值确定网格尺寸，为 2.1m。

模型计算范围及网格布置见图 5.1.1-1，工程区局部网格剖分见图 5.1.1-2。

模型水深由以下海图给出：中国人民解放军海军司令部航海保证部 2019 年 1:1000000 福州至广州（图号 10015），2019 年 1:100000 田尾角至大星山（图号 15310）；2020 年 1:50000 红海湾（图号 15335）。并采用项目区域实测地形进行局部调整，所有水深都经过海图水深和平均海平面的转化。

模型分 5 层进行模拟计算，自海表面至海底床面每一层分别代表 1/5H 层（H 为水深）。

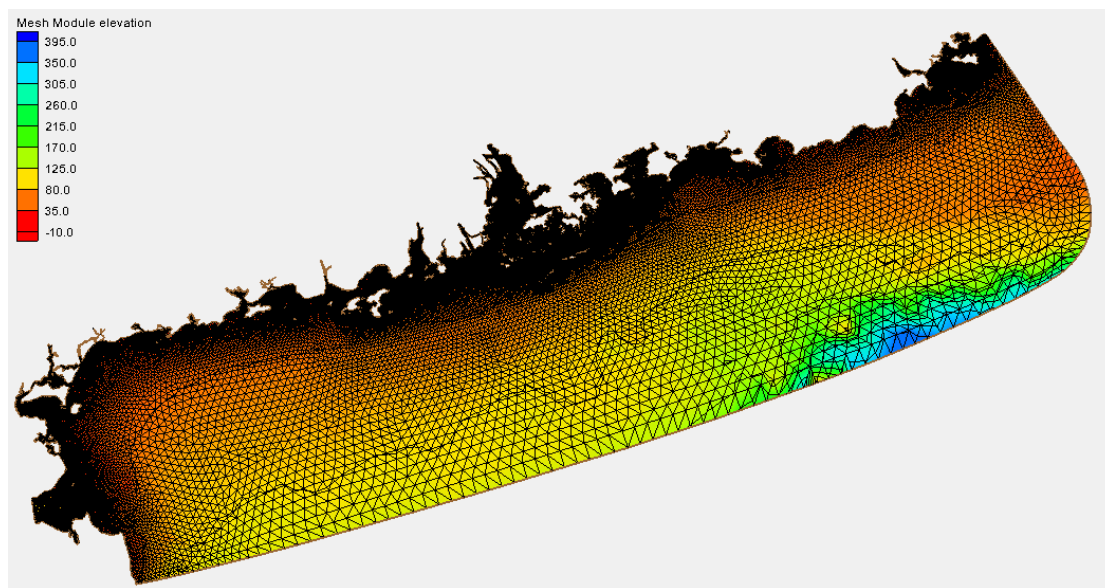


图 5.1.1-1 模型计算网格

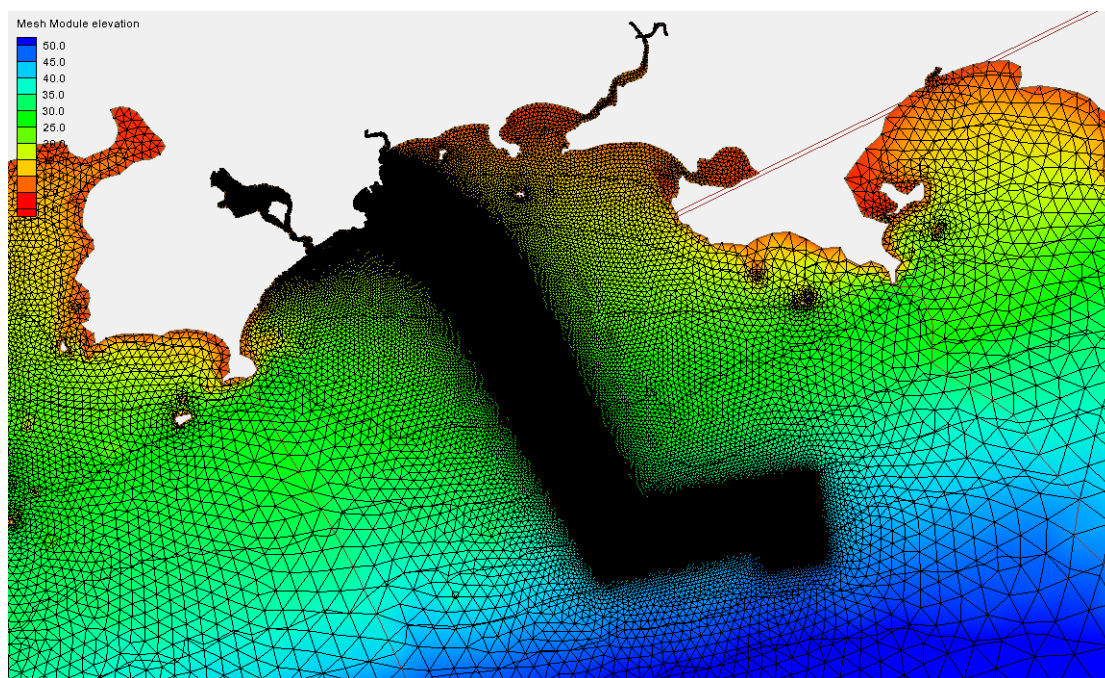


图 5.1.1-2 工程附近模型计算网格

5.1.2 水动力模型验证及结果分析

5.1.2.1 模型的验证

采用 2023 年 8 月 28~29 日、2023 年 12 月 14 日~15 日的项目区域附近 6 个站点（站位编号为 A1~A6）的潮流资料和 3 个站（T1 站、T2 站和 T3 站）的潮位资料开展了验证工作，观测站位见图 5.1.2-1，潮位验真曲线见，流速、流向

验证曲线如。实测流速为六层（表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层），模型验证时采用表层、0.6H 和底层实测流速、流向资料对应模拟结果的表层、中层、底层。

由潮位和潮流的计算数据和实测数据的对比情况分析，潮位验证的平均绝对误差为 6.1cm，流速和流向的验证也基本上与实测资料一致。从潮位过程（图 5.1.2-2、图 5.1.2-3）和流速、流向验证曲线图（图 5.1.2-4 到图 5.1.2-15）对照可以看出，模拟结果与实测数据基本吻合，表 5.1.2-1 给出了误差分析一览表。各站位为不规则半日潮流，实测海流受潮流与风应力共同作用，采用欧洲中心再分析风场作为模型的输入条件。根据潮位和潮流流速、流向的验证效果可知本模型可以用于本项目工程的水质和溢油计算。

表 5.1.2-1 模型率定验证误差分析一览表

率定验证项	误差
高低潮时间相位差 (h)	0.3
高低潮潮位偏差 (m)	0.08
流速时间相位差 (h)	0.1
平均流速偏差 (%)	9
平均流向偏差 (度)	10

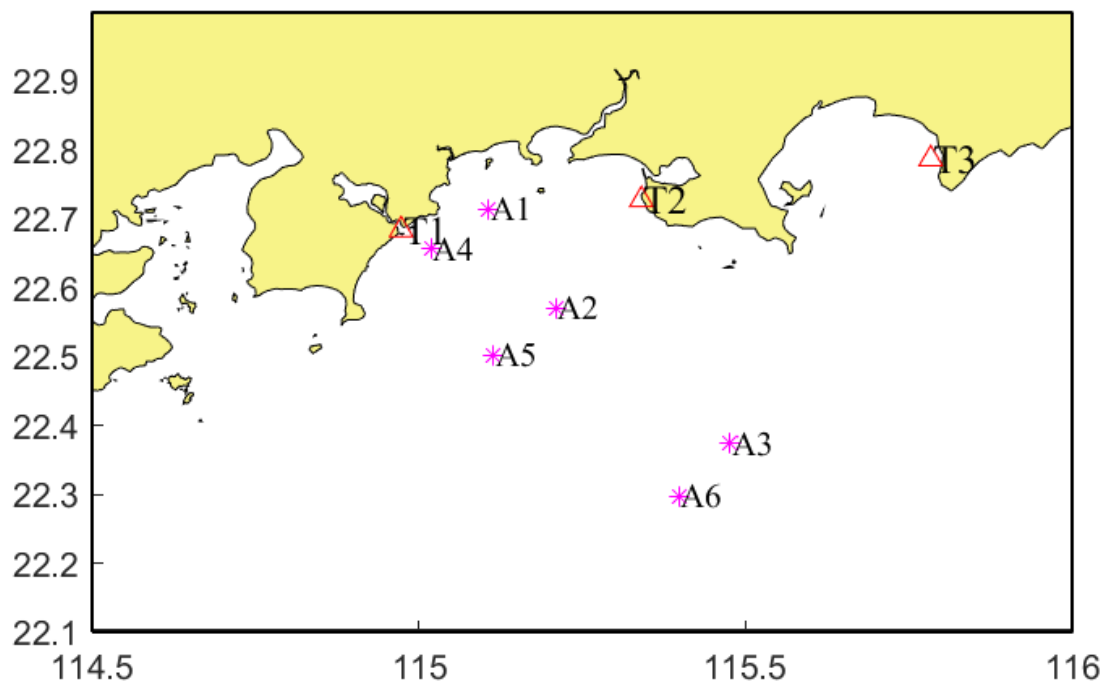


图 5.1.2-1 验潮站和测流站点示意图

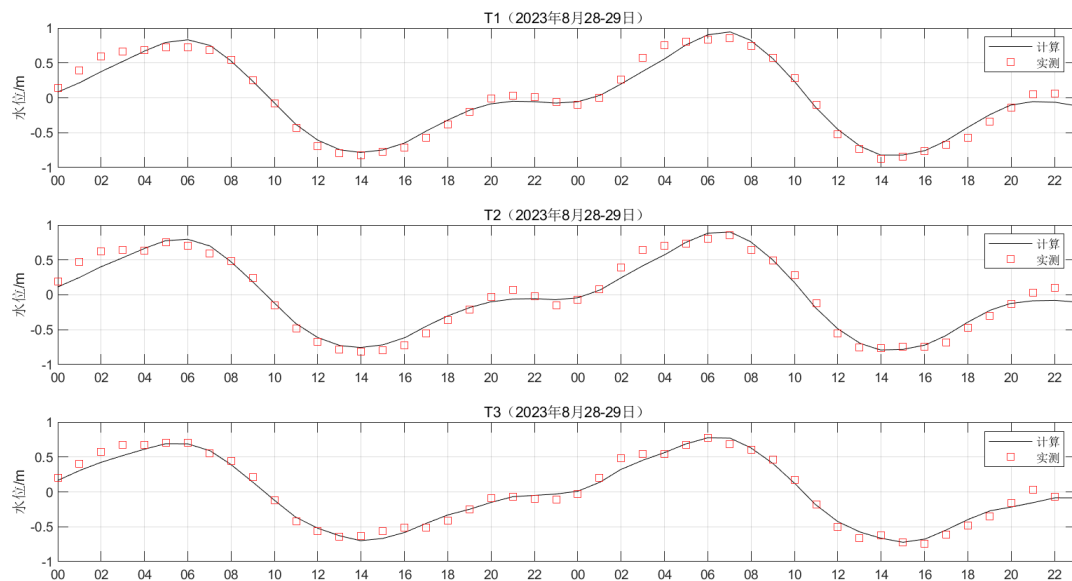


图 5.1.2-2 夏季三个站潮位站过程验证

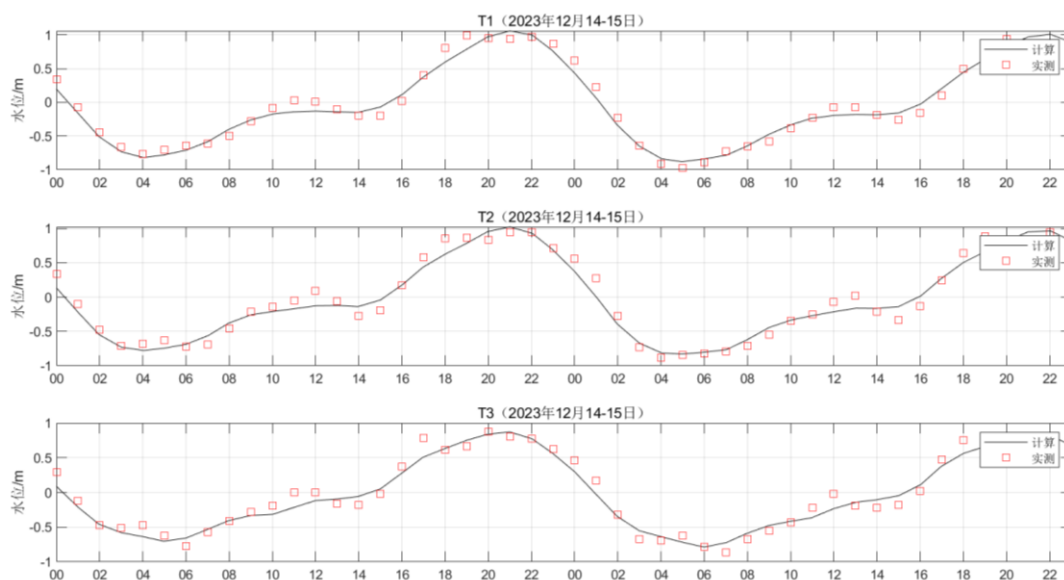


图 5.1.2-3 冬季三个站潮位站过程验证

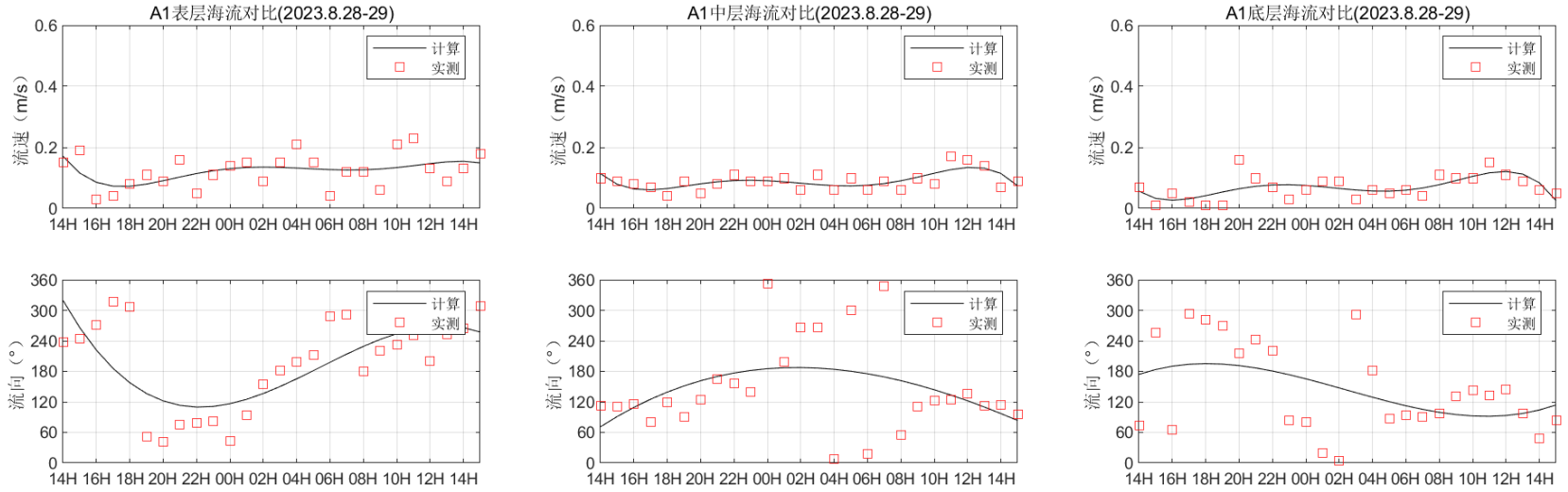


图 5.1.2-4 A1 站各层实测流速与计算结果比较(2023 年 8 月 28~29 日)

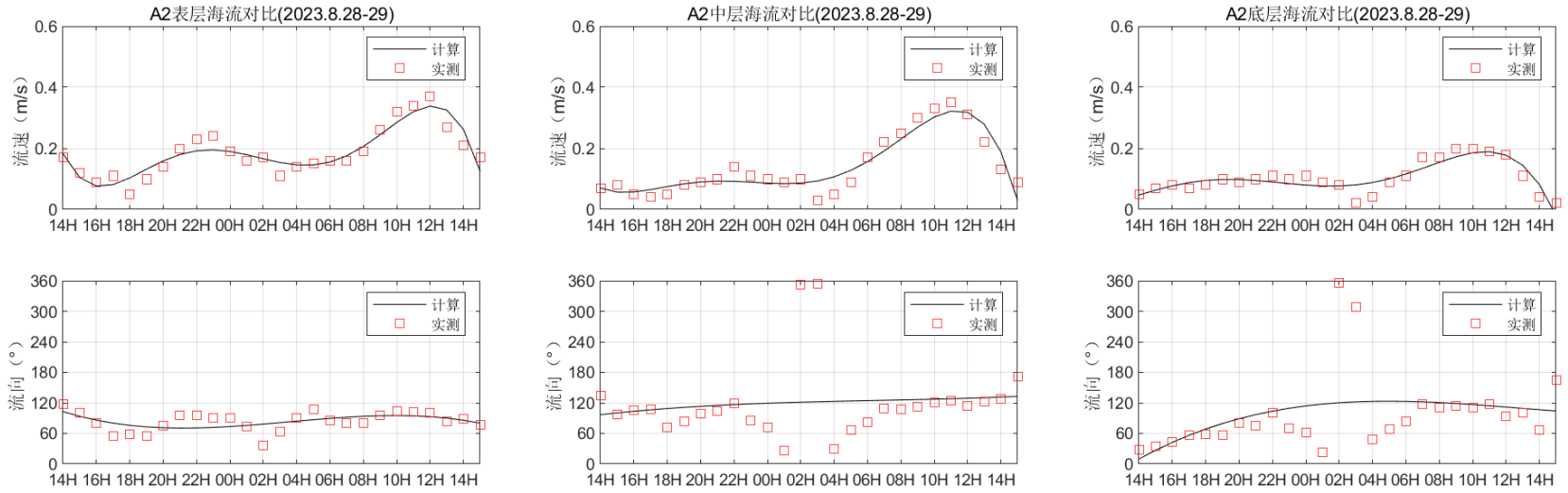


图 5.1.2-5 A2 站各层实测流向与计算结果比较(2023 年 8 月 28~29 日)

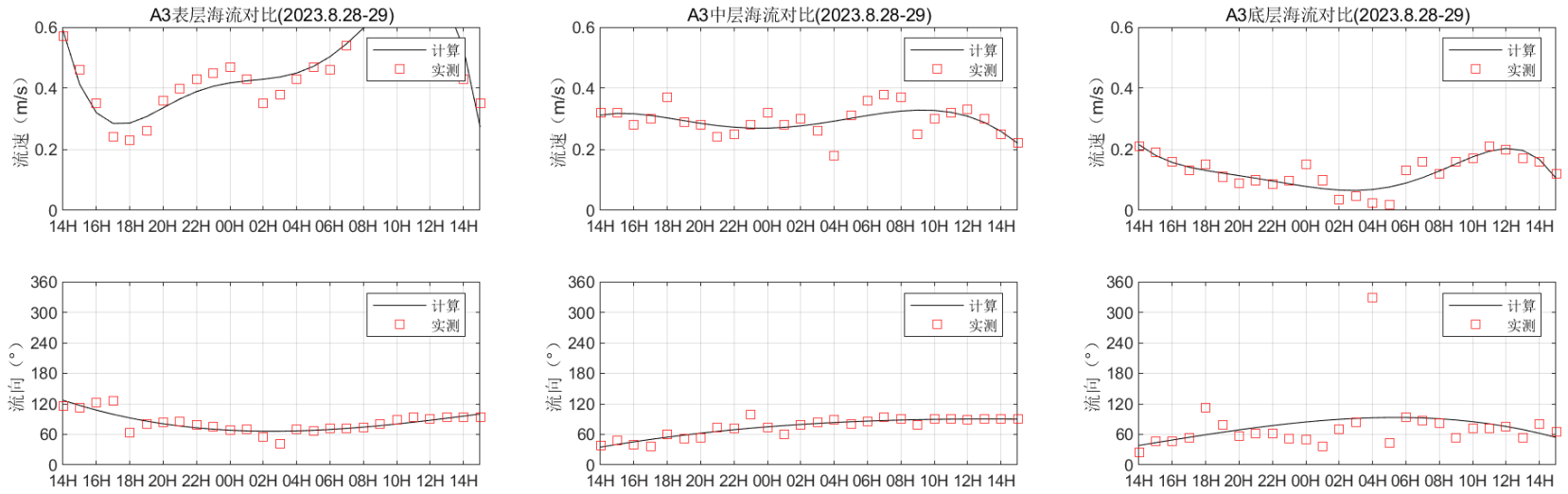


图 5.1.2-6 A3 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 8 月 28~29 日)

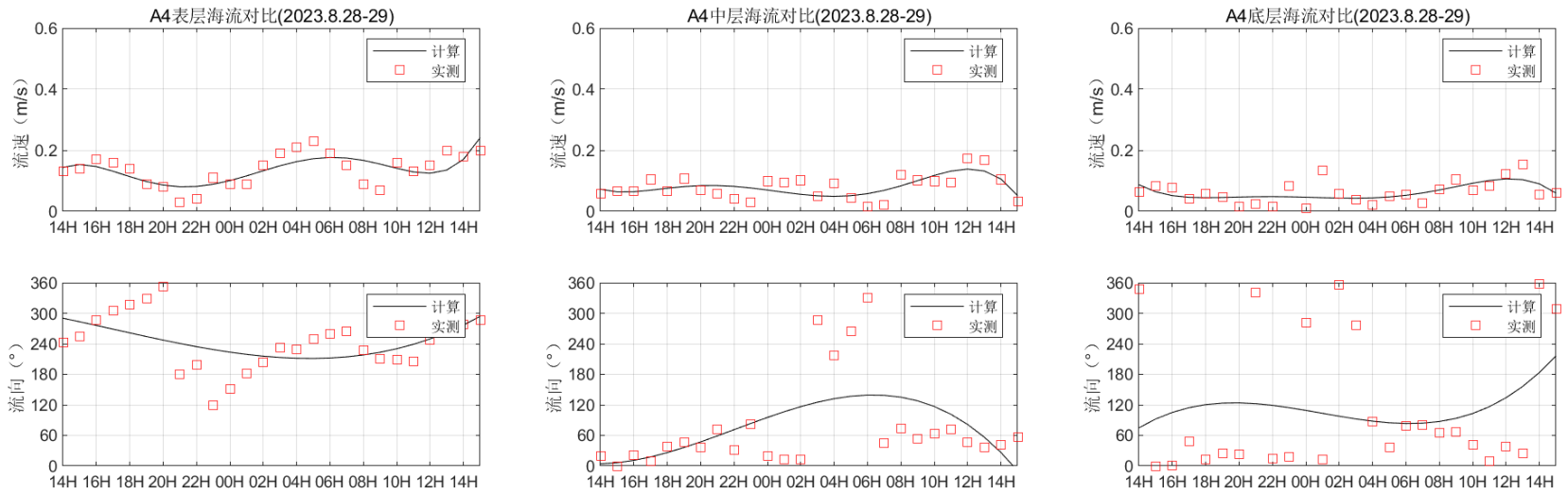


图 5.1.2-7 A4 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 8 月 28~29 日)

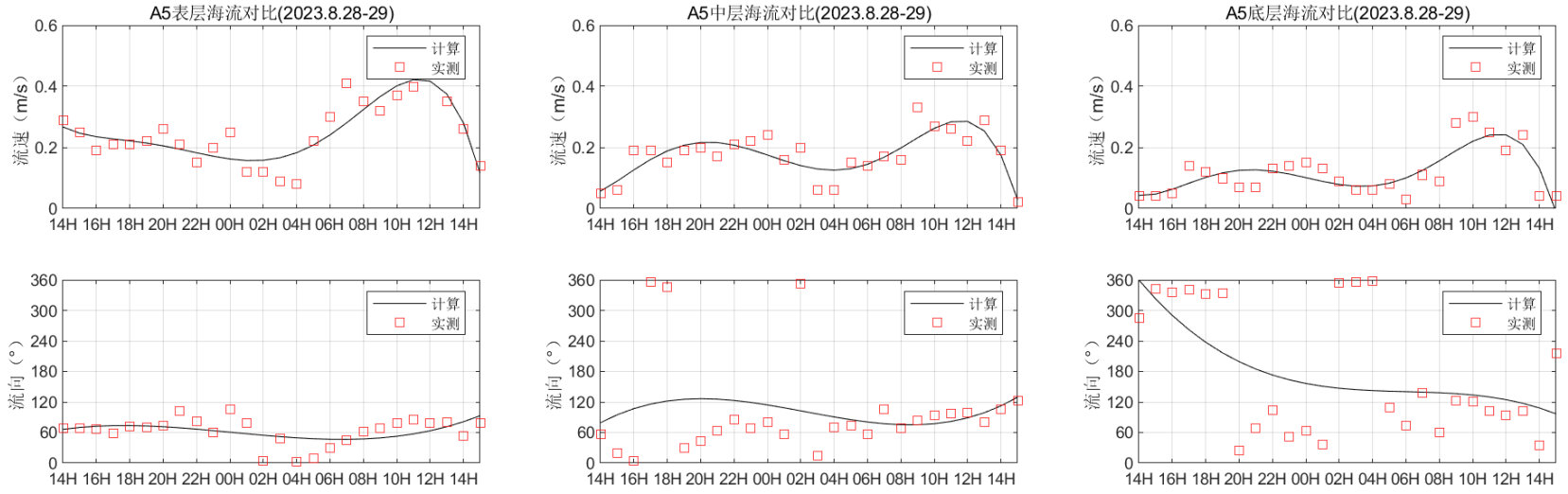


图 5.1.2-8 A5 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 8 月 28~29 日)

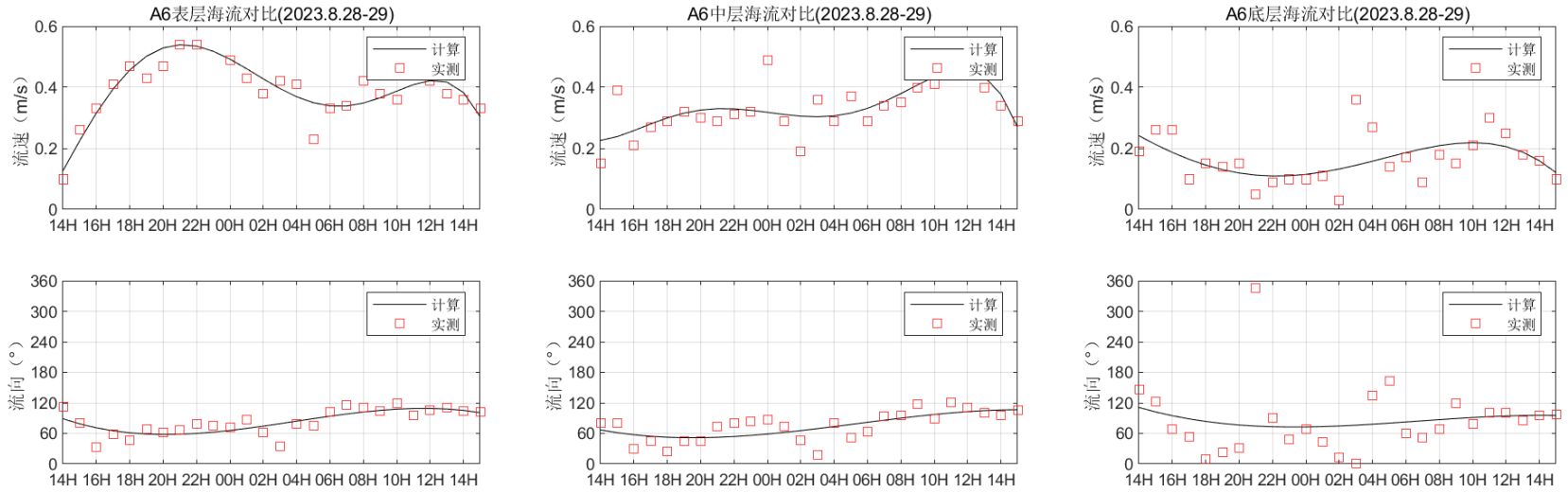


图 5.1.2-9 A6 站各实测流速流向与计算结果比较(2023 年 8 月 28~29 日)

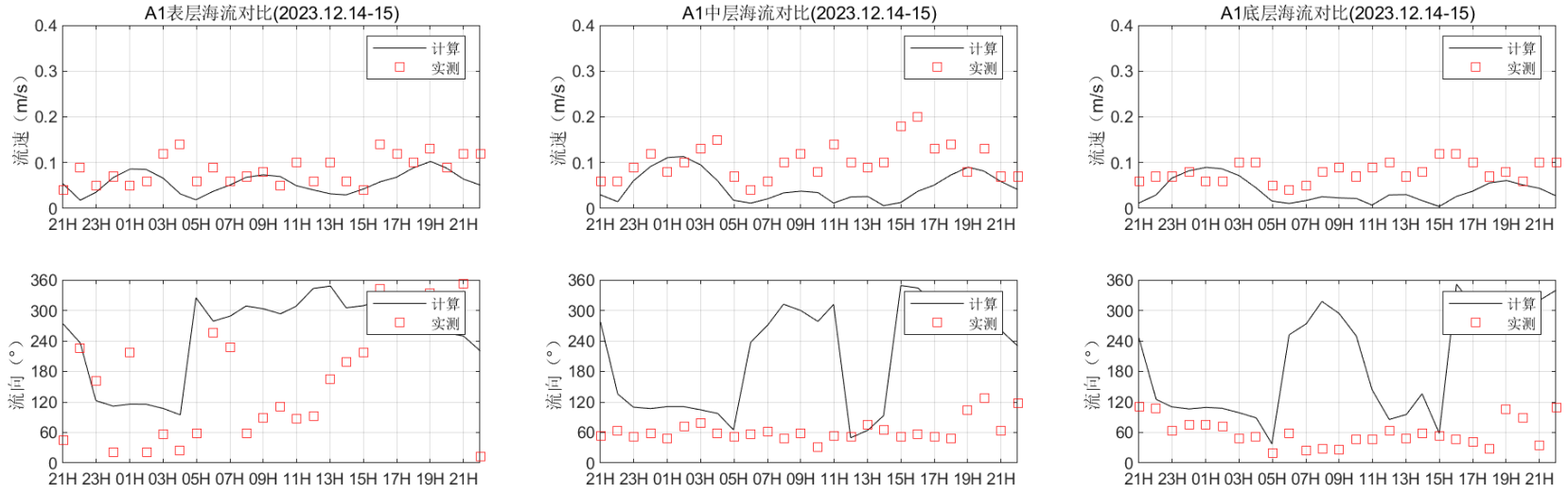


图 5.1.2-10 A1 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 12 月 14~15 日)

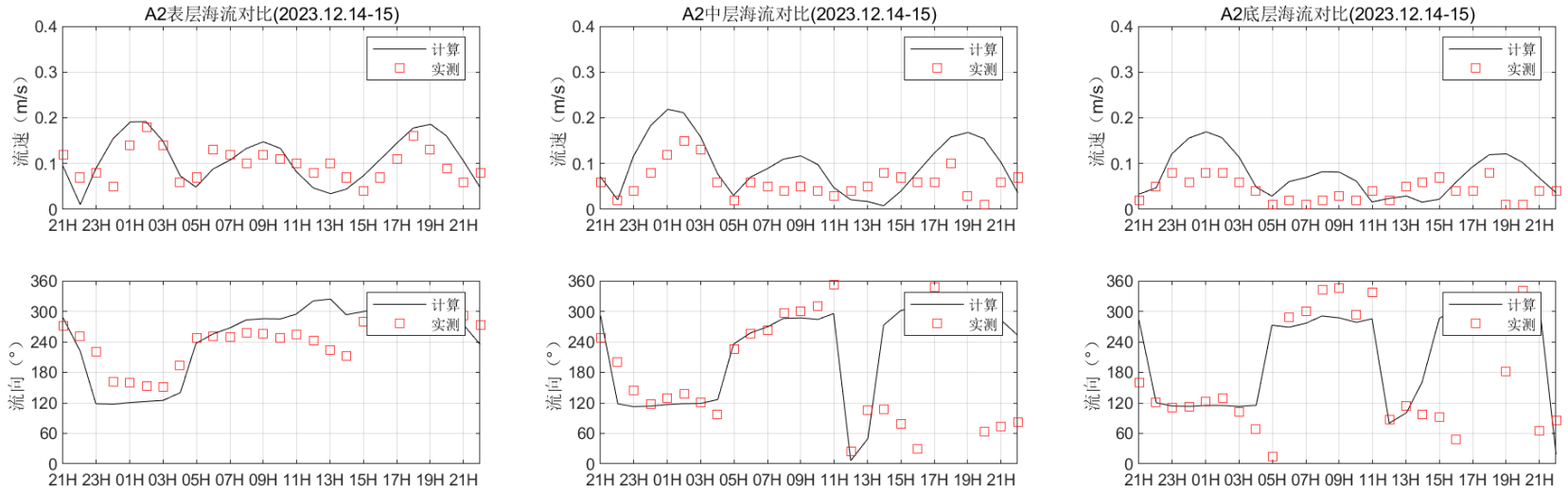


图 5.1.2-11 A2 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 12 月 14~15 日)

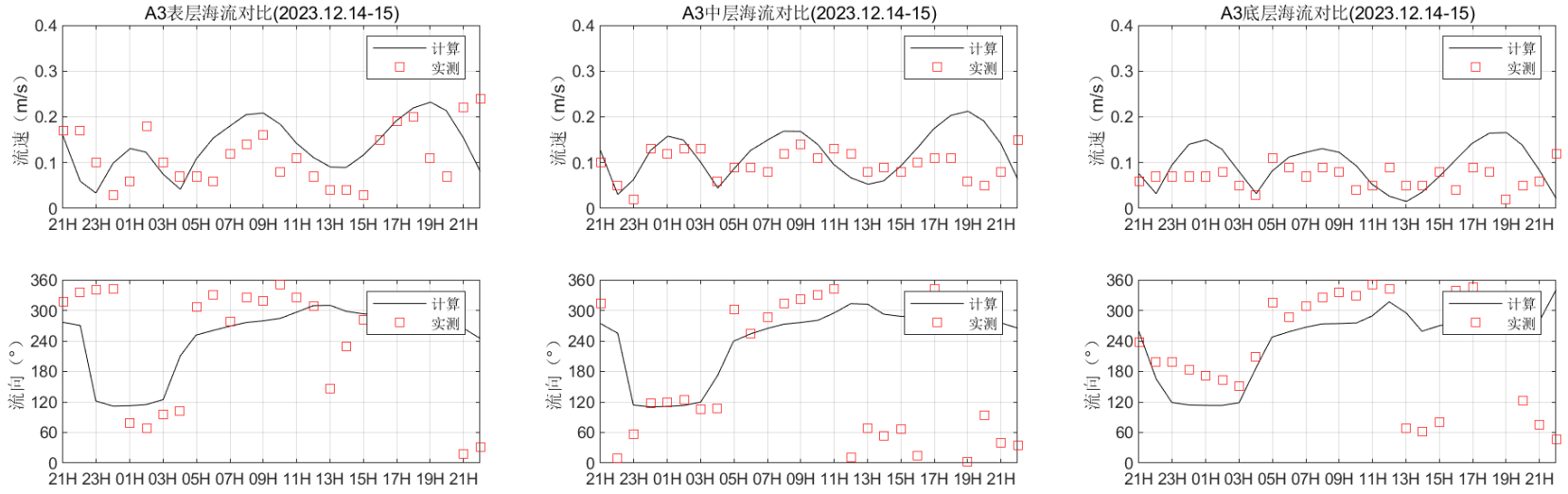


图 5.1.2-12 A3 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 12 月 14~15 日)

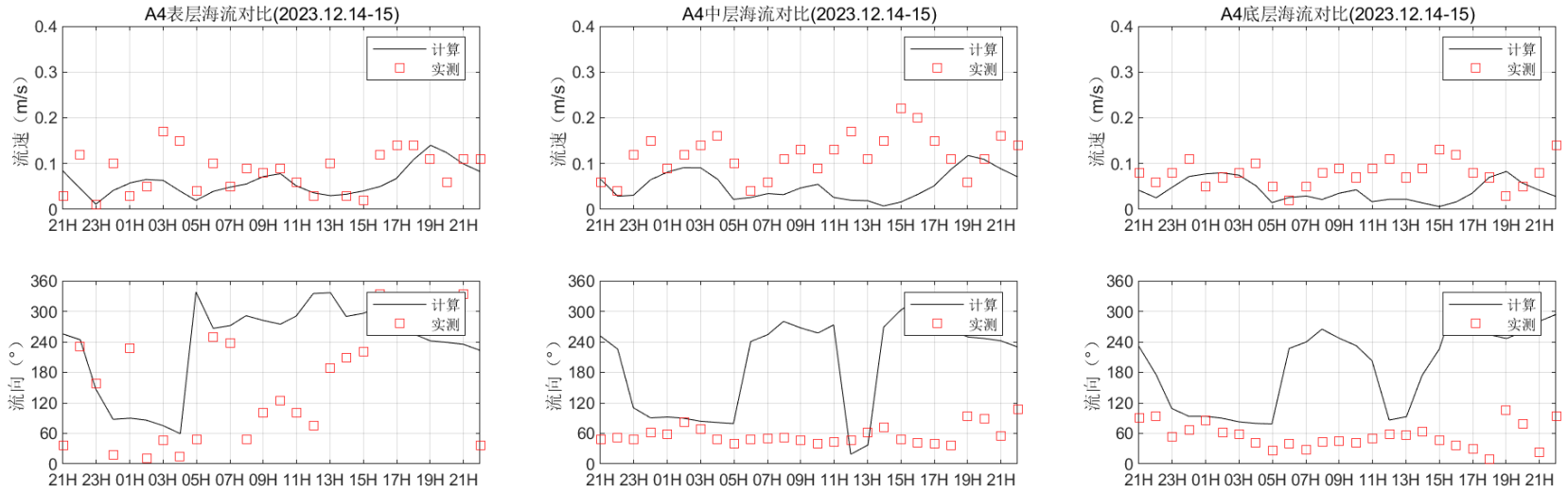


图 5.1.2-13 A4 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 12 月 14~15 日)

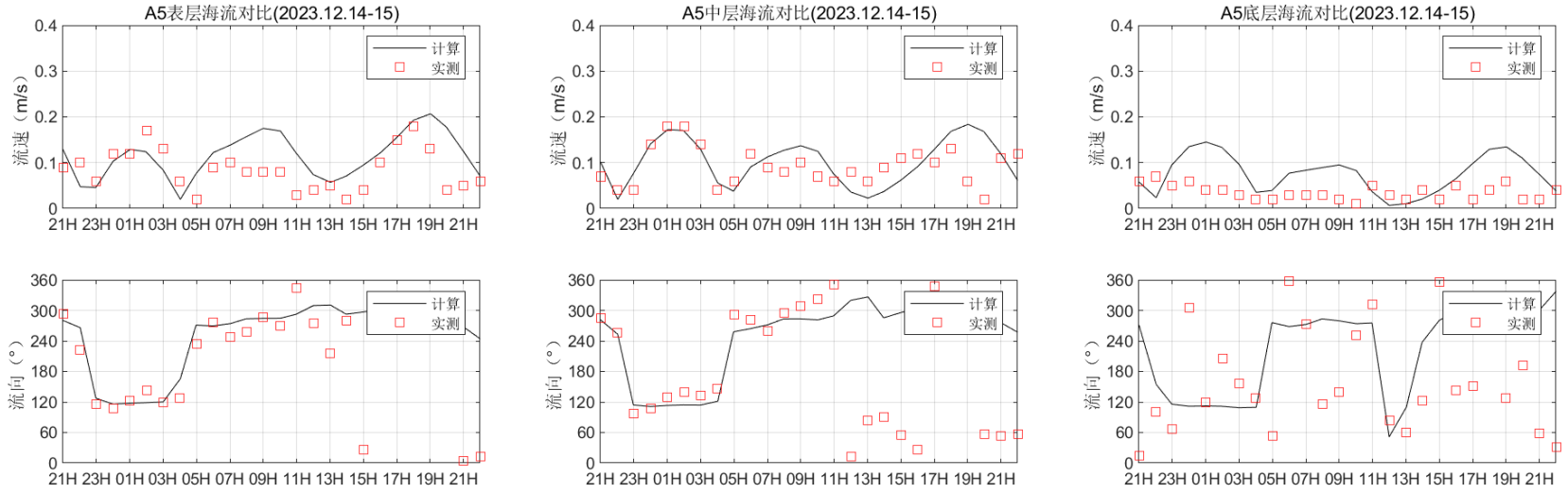


图 5.1.2-14 A5 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 12 月 14~15 日)

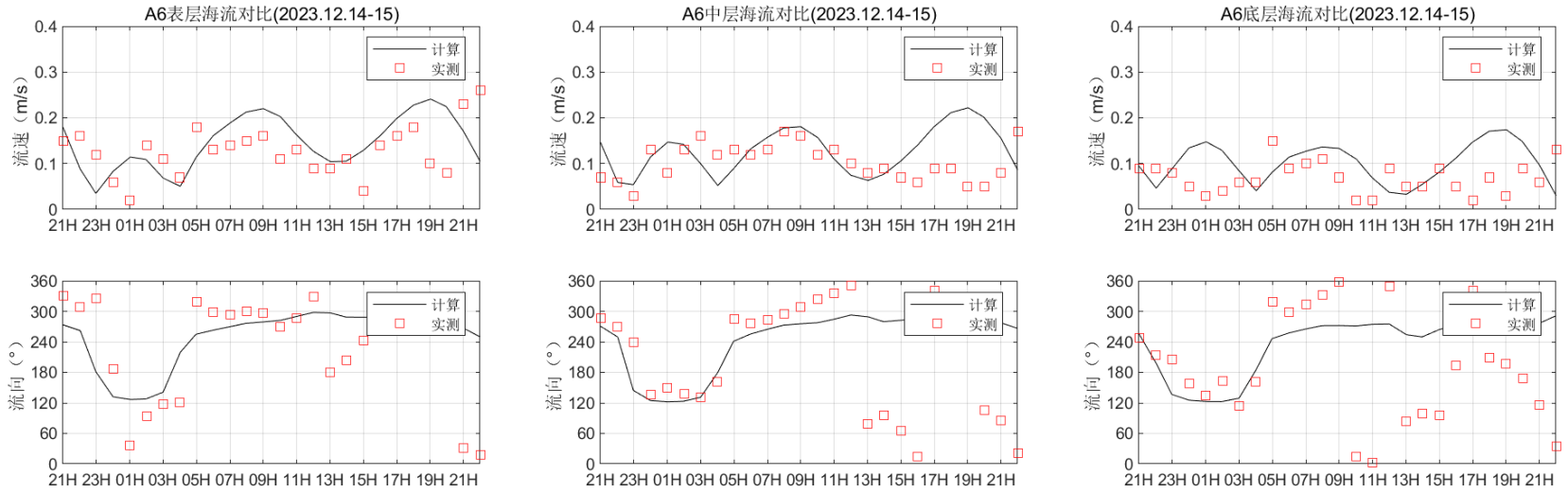


图 5.1.2-15 A6 站各层实测流速流向与计算结果比较(2023 年 12 月 14~15 日)

5.1.2.2 大区潮流流场模拟结果

为了分析项目所在区域工程实施前后的动力场变化情况，现绘出项目附近海区表层落急、涨急典型时刻的流场见图 5.1.2-16 至图 5.1.2-27。模拟结果显示：

(1) 项目附近海域的天文潮流较弱，涨急表层流速最大在 25cm/s 左右，落急时刻流速比涨急时刻略大，最大表层流速可达到 50cm/s，主要出现在近岸红海湾岬角附近区域，而海缆工程处的流速一般不超过 25cm/s，极大值出现在落潮流。

(2) 涨潮流向以东南-西北向为主，落潮流由北北西往东南东方向。

(3) 涨平、落平时刻，流速微弱，流速小于 5cm/s。

(4) 海缆工程后对大范围海区不产生影响，升压站对近区海流有一定影响，但由于桩基尺度较小（单桩 4.2m），影响也较微弱，工程后大区流场图与工程前几乎一致。

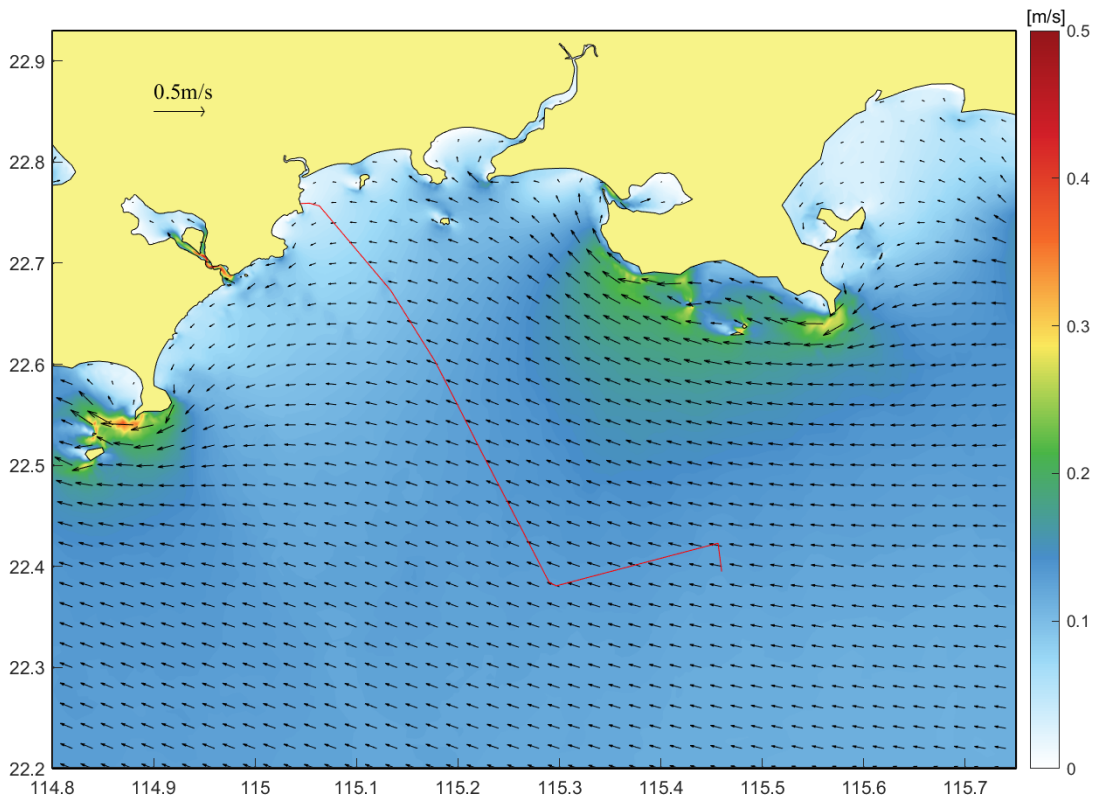


图 5.1.2-16 工程前涨急时刻潮流场（表层）

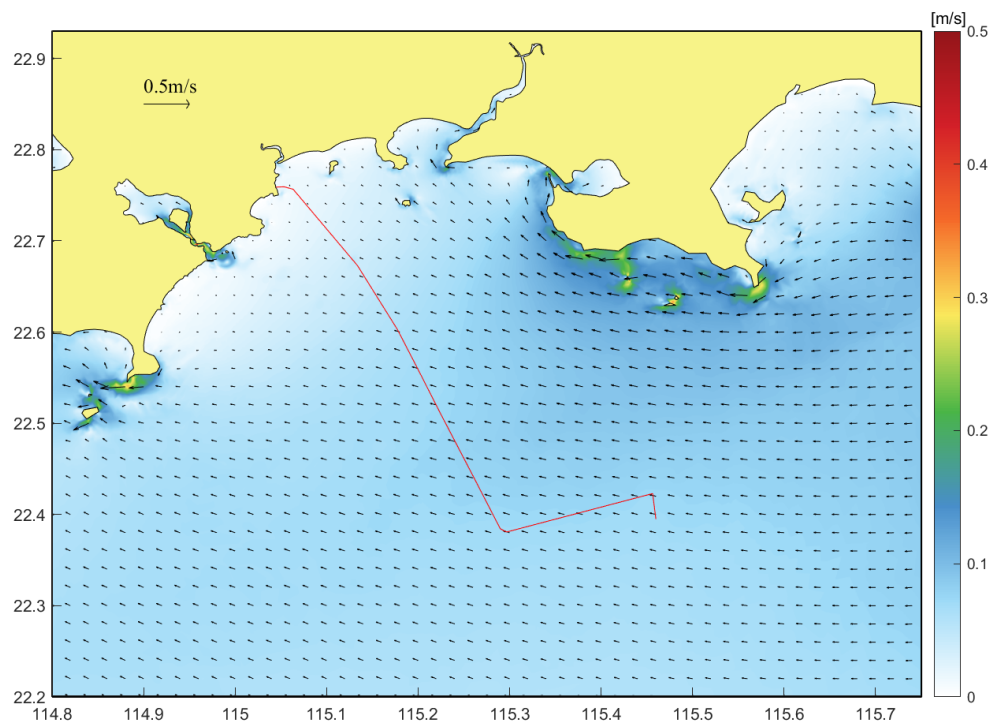


图 5.1.2-17 工程前涨急时刻潮流场（中层）

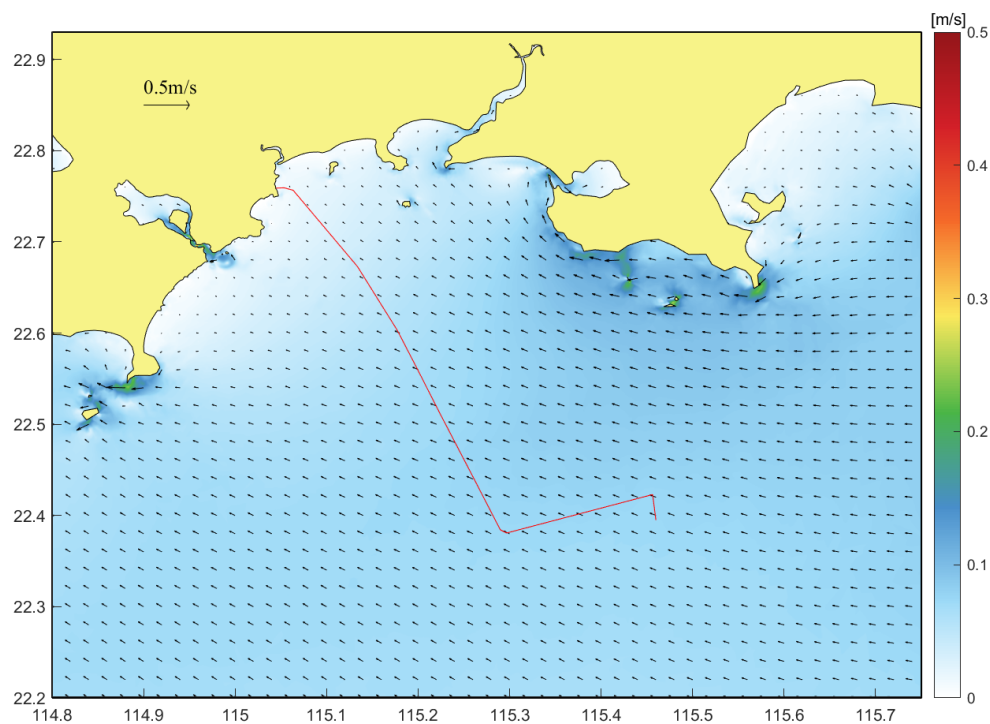


图 5.1.2-18 工程前涨急时刻潮流场（底层）

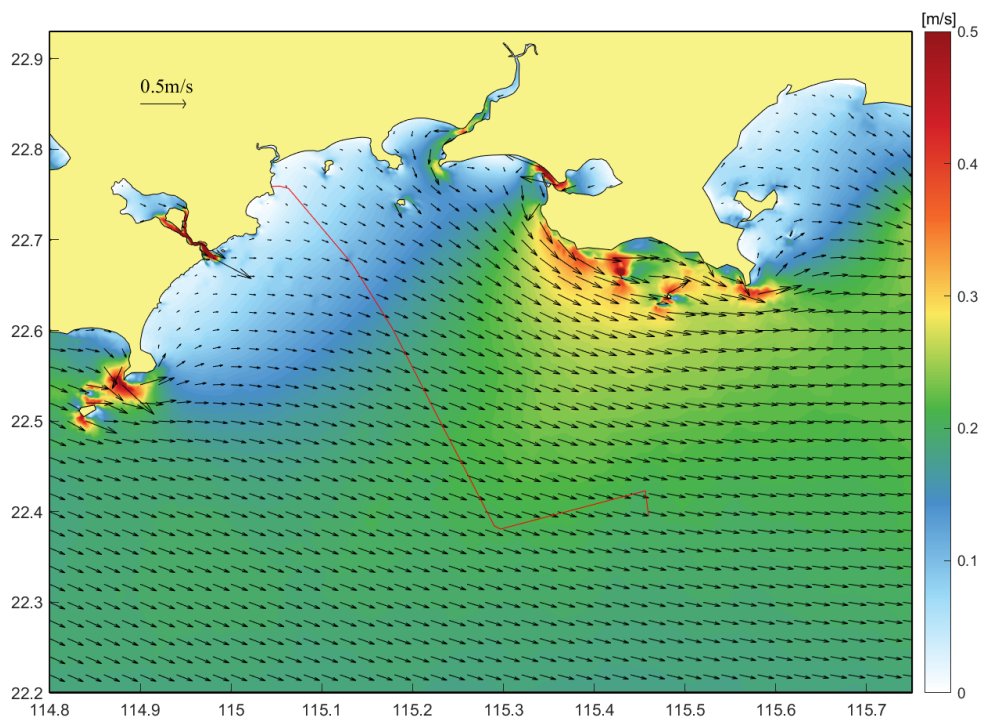


图 5.1.2-19 工程前落急时刻潮流场（表层）

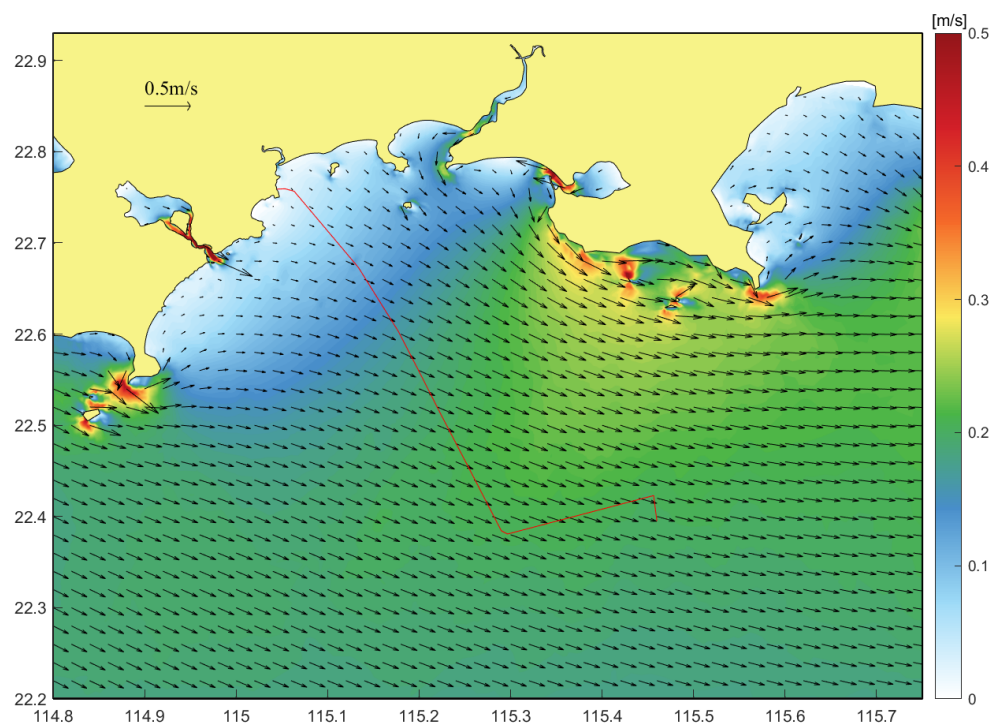


图 5.1.2-20 工程前落急时刻潮流场（中层）

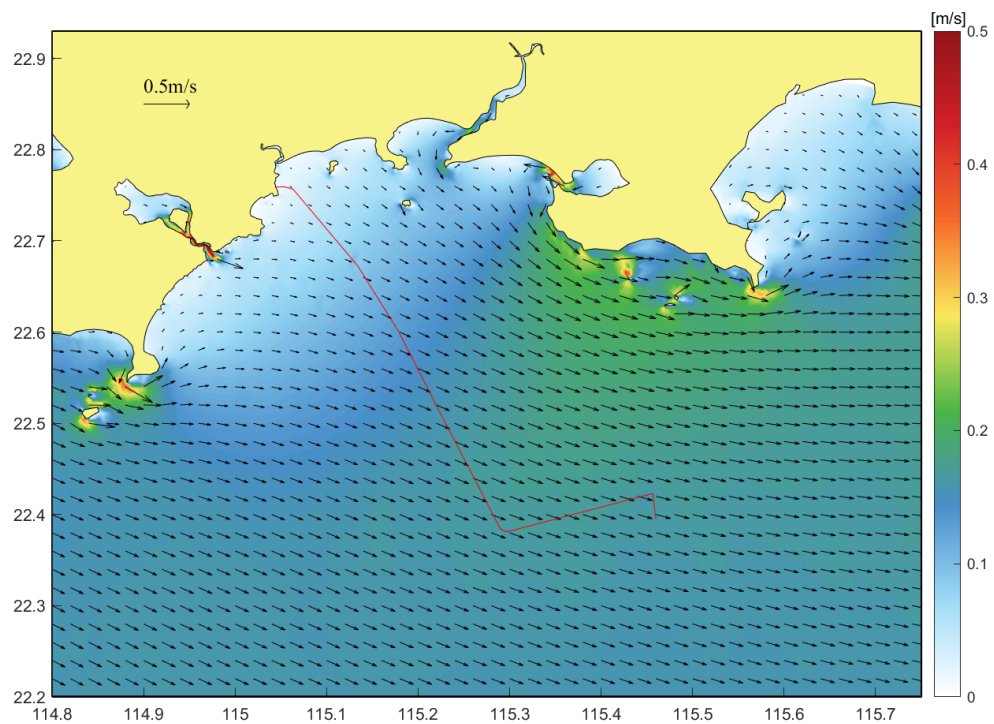


图 5.1.2-21 工程前落急时刻潮流场（底层）

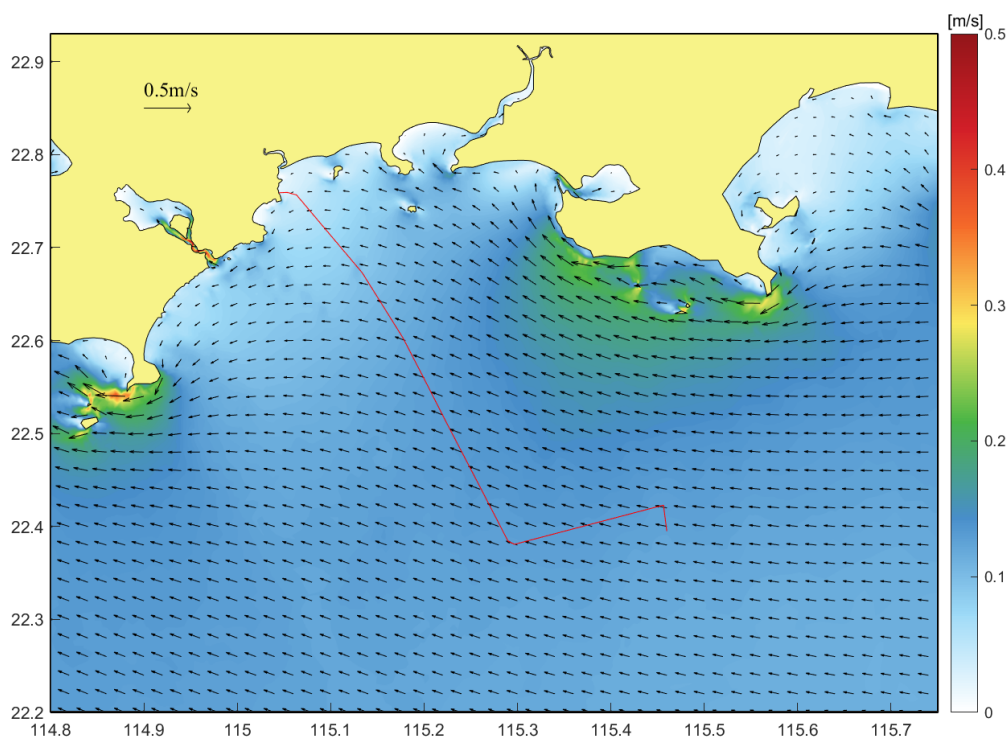


图 5.1.2-22 工程后涨急时刻潮流场（表层）

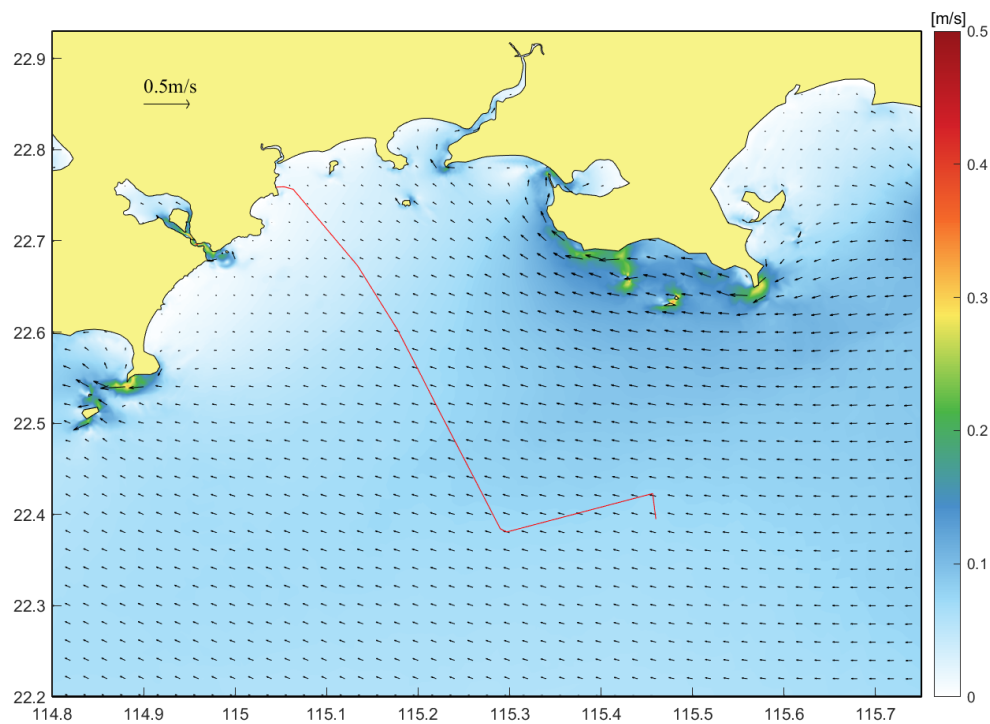


图 5.1.2-23 工程后涨急时刻潮流场（中层）

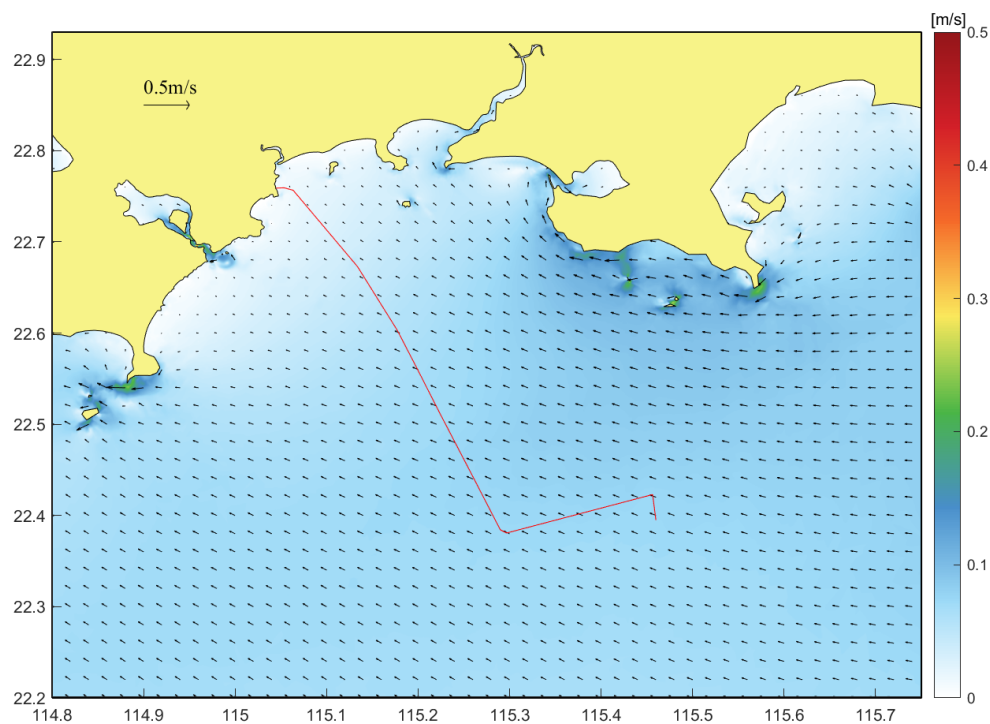


图 5.1.2-24 工程后涨急时刻潮流场（底层）

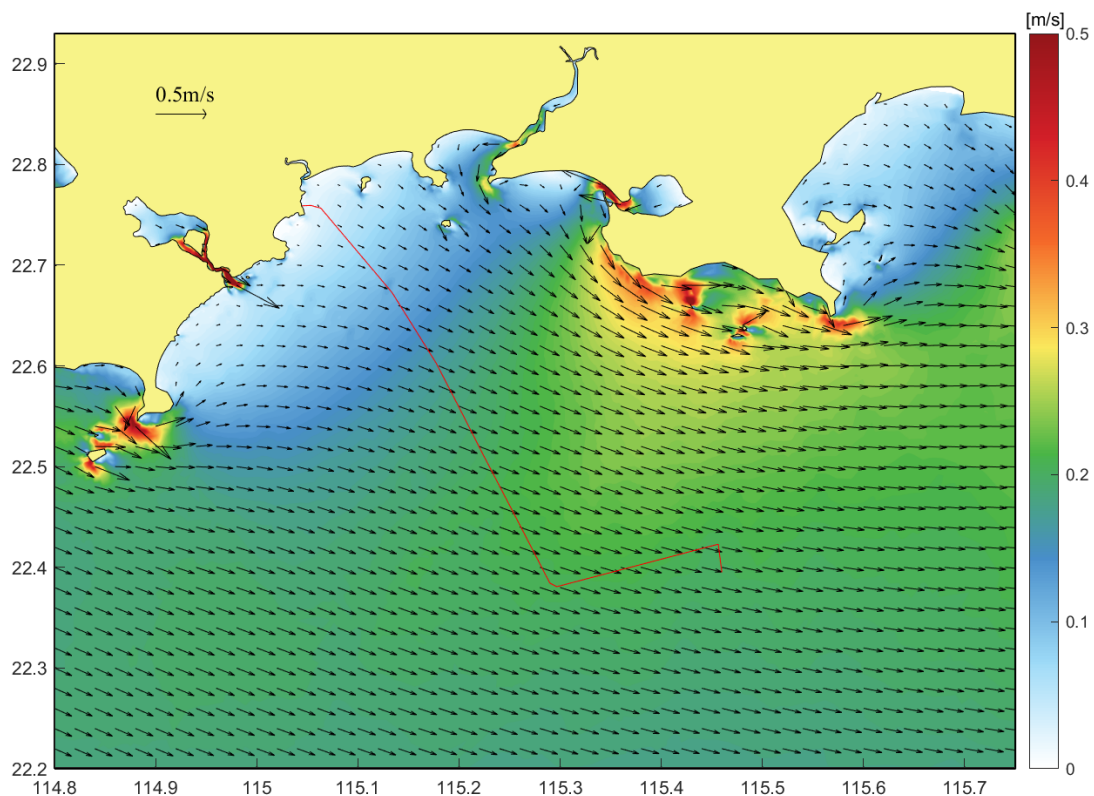


图 5.1.2-25 工程后落急时刻潮流场（表层）

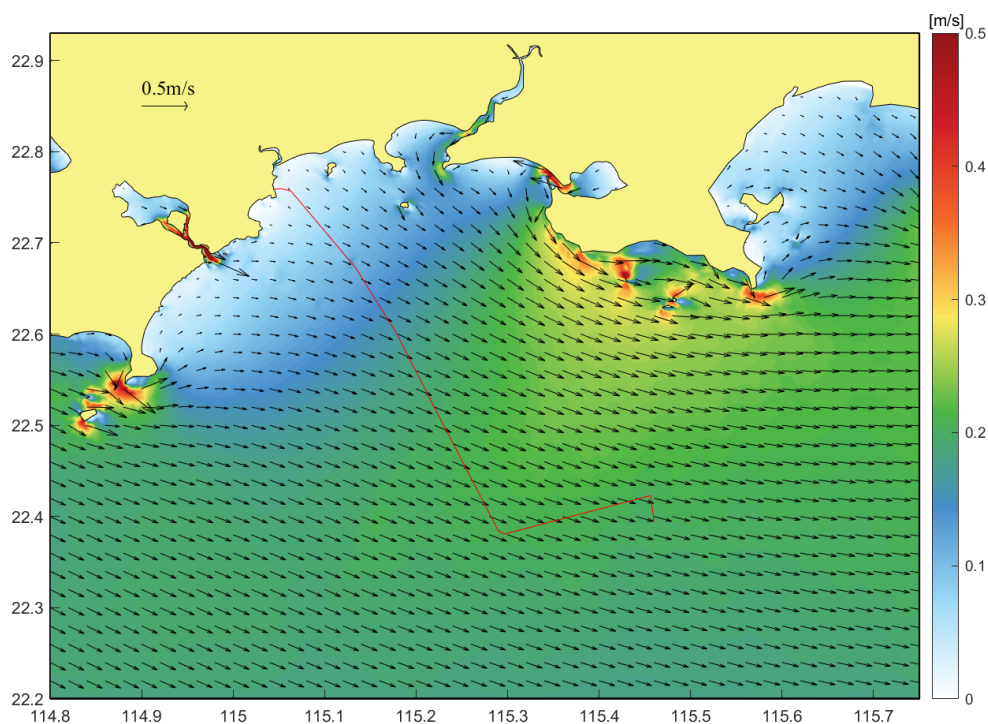


图 5.1.2-26 工程后落急时刻潮流场（中层）

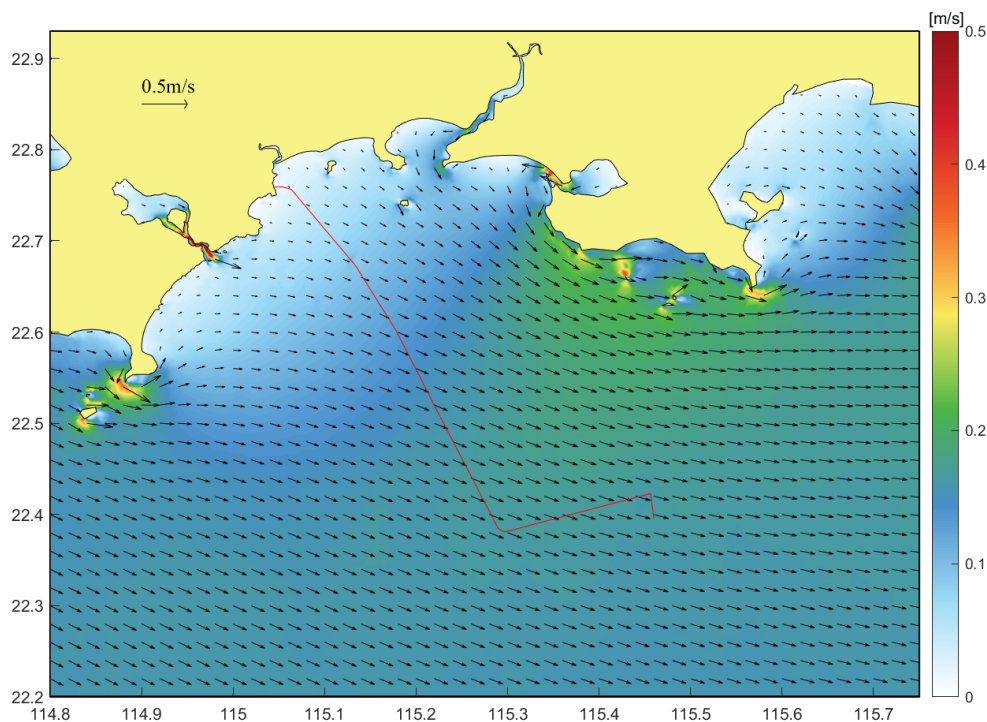


图 5.1.2-27 工程后落急时刻潮流场（底层）

5.1.2.3 升压站附近潮流流场模拟结果

如上节所述，升压站工程对于大范围的流场基本没有影响，大范围的流场图也不能清晰地反映风电桩基局部区域的流场，需要将风电桩基附近的小范围流场放大进行比较，根据工可，升压站水下结构（含桩基及导管架等）相关桩、管的桩径 0.8~4.2m 不等，升压站附近水域按水下各桩、管的平均值确定网格尺寸，为 2.1m。

由图 5.1.2-28~图 5.1.2-33 可以看出，在风电桩基的顺流方向，由于桩基的阻挡，形成了缓流区，流速最大减小幅度为 11cm/s 左右，涨急时刻流速减小幅度大于 2cm/s 的范围向顺流方向西延伸的最远距离为 150m 左右，落急时刻流速减小幅度大于 2cm/s 的范围延伸的最远距离为 220m 左右，流速减小的范围呈长条形，为顺流方向。而在桩基的顺流方向两侧，涨急时刻流速增大，最大增幅为 4cm/s。

通过以上的分析可知，桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 10cm/s 左右，流速改变幅度大于 2cm/s 的范围向东南方向延伸 220m 左右，向西延伸 150m 左右。

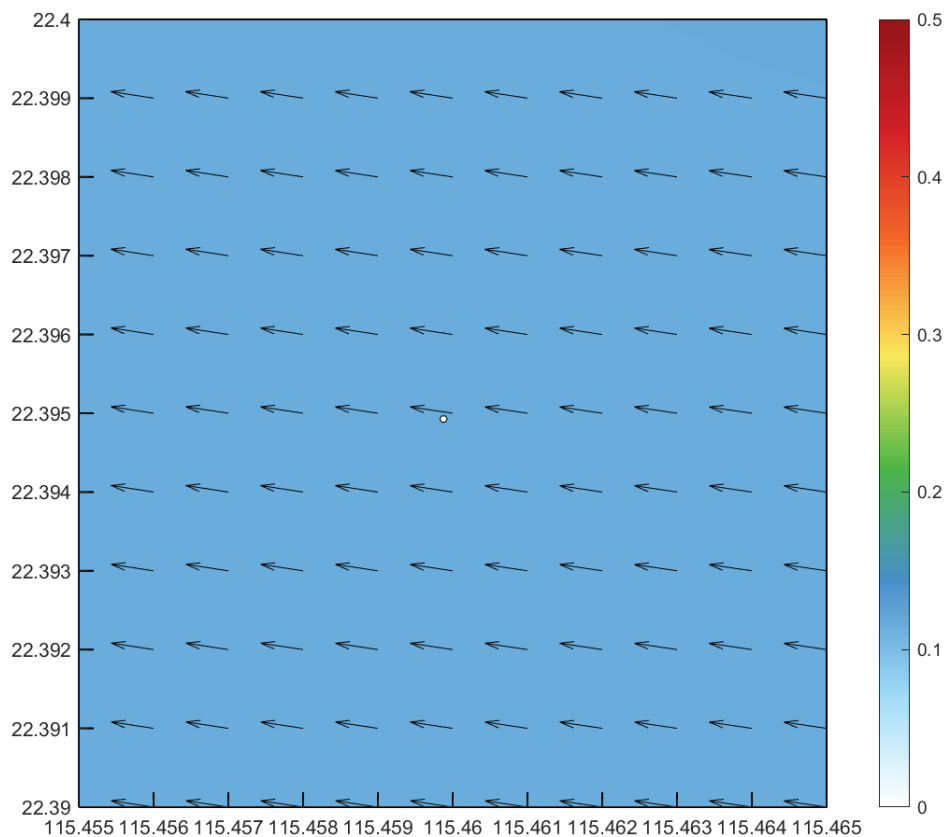


图 5.1.2-28 工程前升压站附近涨急图（表层）

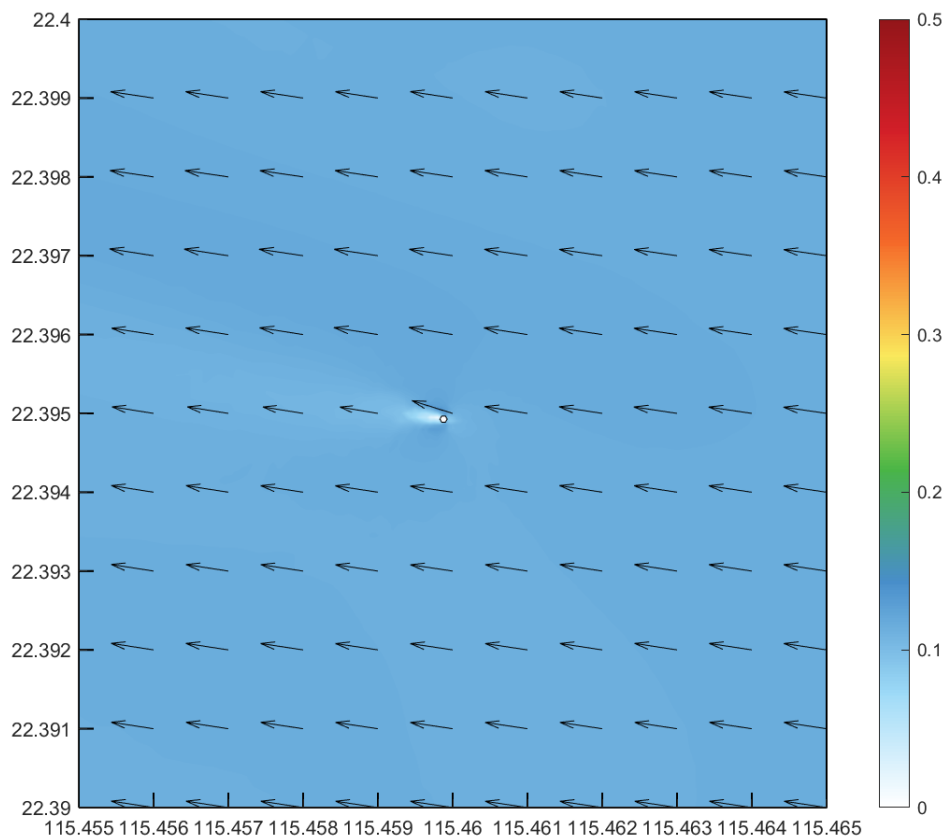


图 5.1.2-29 工程后升压站附近涨急图（表层）

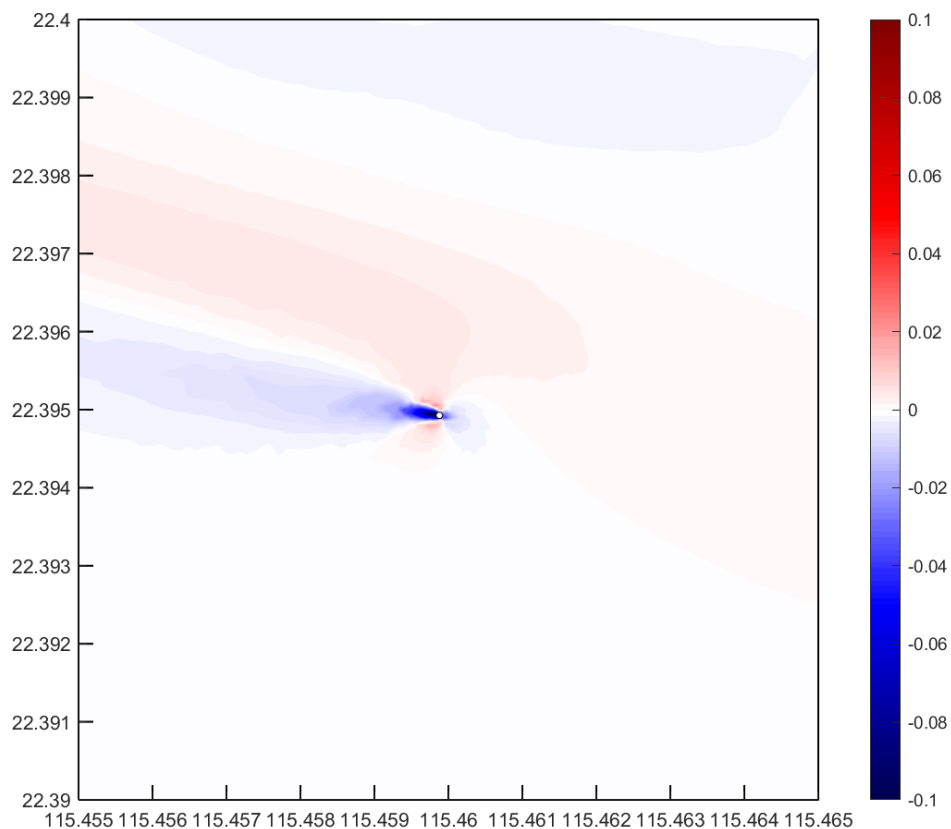


图 5.1.2-30 升压站附近涨急流速改变图（表层）

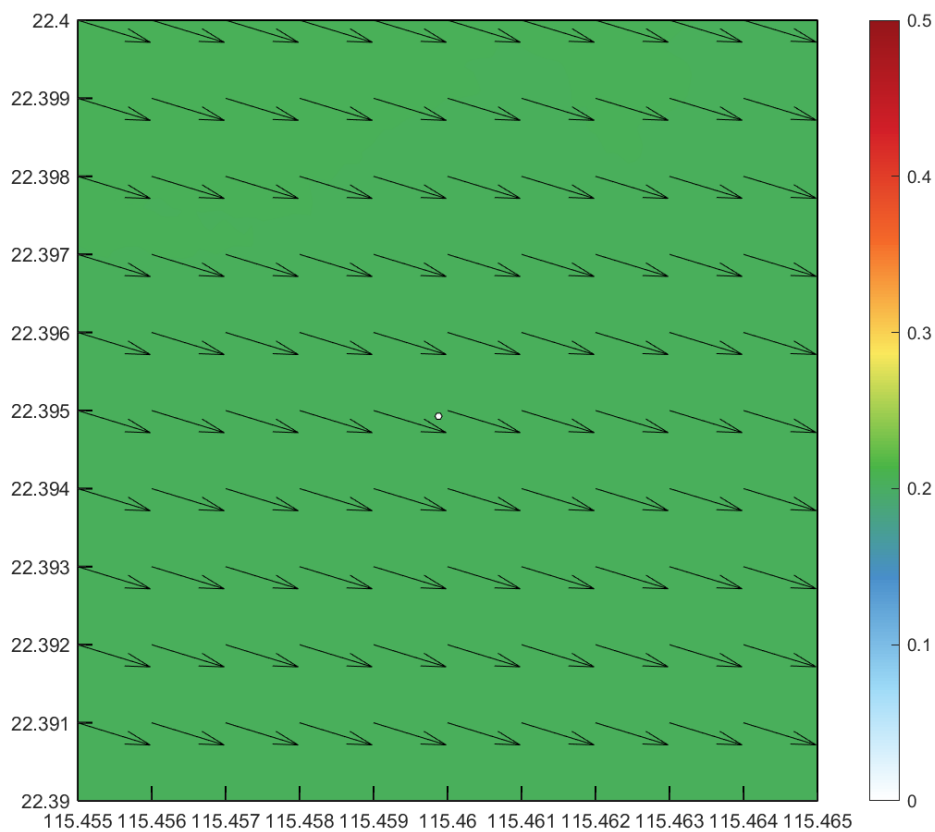


图 5.1.2-31 工程前升压站附近落急图（表层）

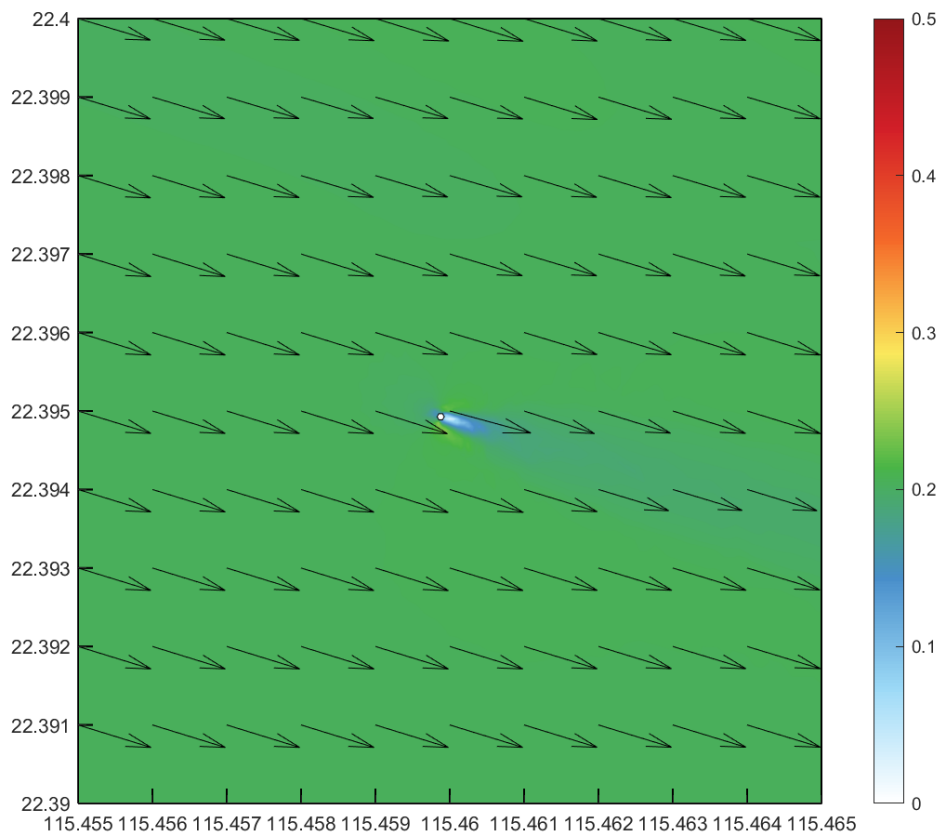


图 5.1.2-32 工程后升压站附近落急图（表层）

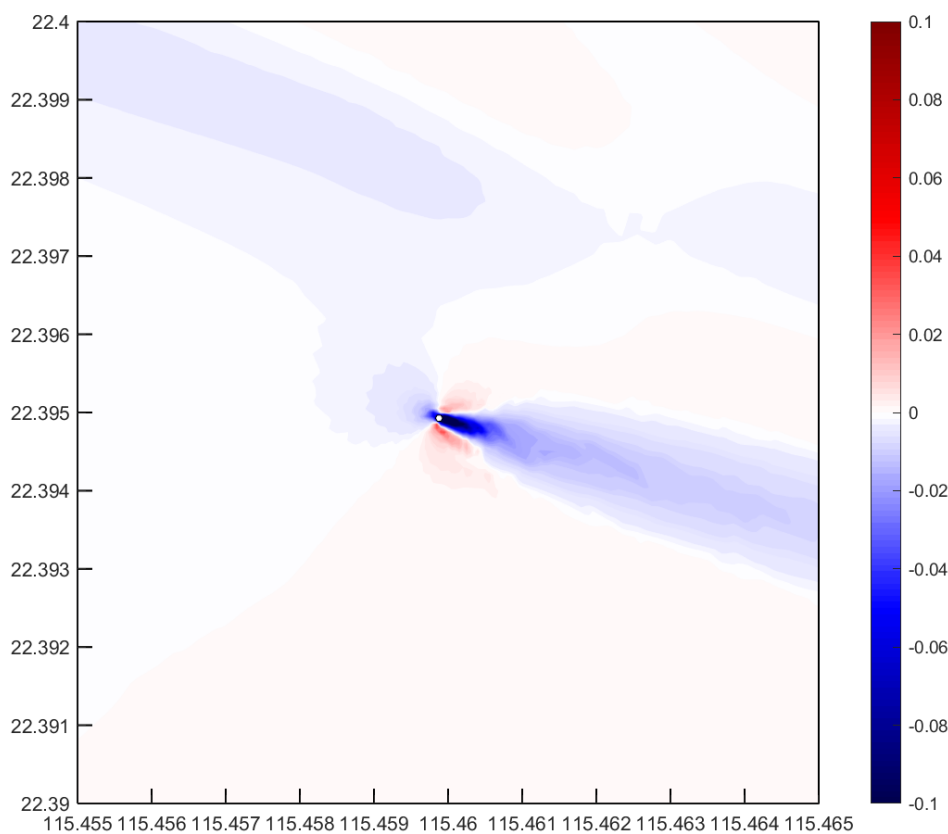


图 5.1.2-33 桩基附近落急流速改变图（表层）

5.2 地形地貌与冲淤环境影响分析

本项目海底电缆敷设后不影响路由海域潮流动力，因此，海底电缆实施不会对路由范围海域地形地貌及冲淤环境造成影响。但本项目海上升压站桩基础在一定程度上改变局部海底地形，可能在桩基础附近产生冲刷和淤积影响。

采用曹祖德等人研究的淤泥质海岸淤积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，再应用淤泥质海岸淤积预报模型公式，计算得到各计算区域的淤积强度，曾在阳江港 5#-7#泊位工程等多处工程应用，效果较好。

模型公式如下：

$$P = \frac{\alpha \omega S t}{\gamma_c} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \right)$$

式中， ω 为泥沙沉速， S 为水体平均含沙量， t 为淤积历时， γ_d 为泥沙干容重， V_1 、 V_2 分别为工程实施前后计算流速。

经推导，可得

$$P = 0.5 \left[(H_1 + \beta t) - \sqrt{(H_1 - \beta t)^2 + 4\beta t H_1 K} \right]$$

式中，

$$\beta = \frac{\alpha \omega S}{\gamma_c}, \quad K = \frac{V_2}{V_1}$$

γ_d 按照公式 $\gamma_d = 1750 D_{50}^{0.183}$ 计算， D_{50} 为海水中泥沙中值粒径。根据《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目海洋环境现状调查监测报告》观测结果，本项目所在海域海水中的悬沙平均中值粒径为 0.094mm。

S 取值为全潮平均含沙量，根据本项目所在海域 2023 年 8 月全潮观测的 A6 站的水文观测结果，取全潮平均值 0.02kg/m³。

采用水动力模型计算出的工程前后潮平均流速的变化对淤积进行估算。潮平均流速的计算采用算术平均法，即分别对大潮时段内的涨潮过程流速和落潮过程流速进行算术平均，得出涨潮平均流速和落潮平均流速，再取平均值得出潮平均流速。忽略工程前后含沙量的变化。

根据冲淤计算公式，采用全潮平均流速的变化对工程实施后的冲淤变化进行

估算。计算得出工程区附近海域海床年冲淤变化平面分布情况，见图 5.2-1。

由图可见，工程实施后升压站潮流涨、落急方向为主要的淤积区域，两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，升压站附近冲淤分布形态与往复流流态有关，同时风电场区域两侧发生冲刷，最大淤积幅度在 0.51m/a，最大冲刷幅度约为 0.42m/a。

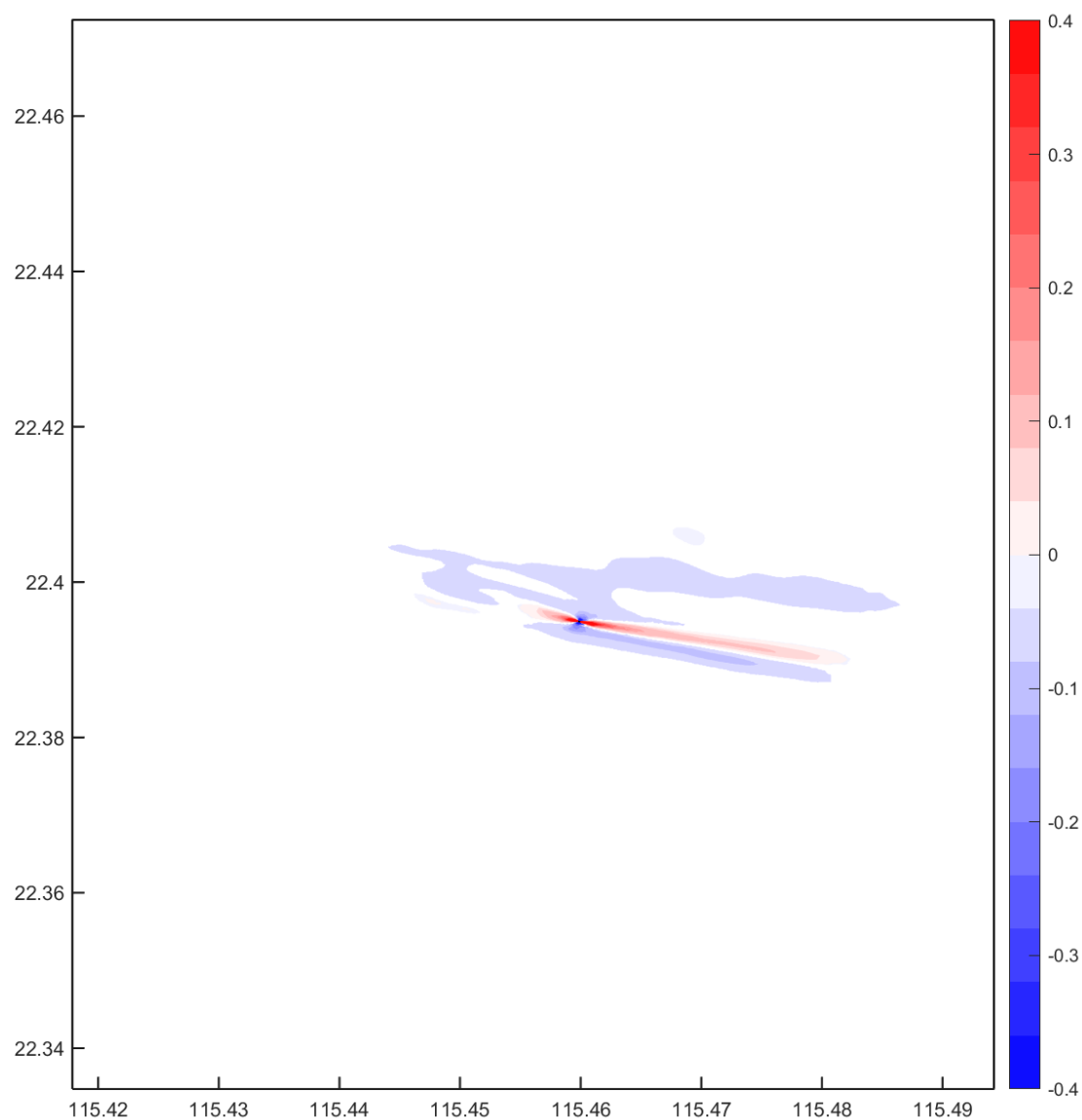


图 5.2-1 升压站附近海床平衡后冲淤分布图

5.3 海洋水质环境影响预测与评价

5.3.1 项目施工期对水质环境影响预测与评价

5.3.1.1 施工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升压站基础施工、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。

5.3.1.2 三维潮流泥沙输运扩散方程

采用数值模拟对铺缆工程施工造成的悬沙影响进行计算。

Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w_f \frac{\partial C}{\partial \sigma} = K_M \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_M \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_v}{D} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) + DS_c$$

其中：C 为水体悬沙含量，S_c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，根据静水单颗粒圆球公式进行计算得到；泥沙沉速 w 由沙玉清平流公式计算 $w = \frac{1}{24} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{gD^2}{\nu}$ ，其中 γ_s 为泥沙密度，取 $2.4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ， γ 为水体密度，取 $1.025 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，D 为泥沙直径，根据实测的海底表层沉积物中值粒径， ν 为运动粘滞系数，根据海水温度取 22 摄氏度海水的粘滞系数 $0.958 \text{m}^2/\text{s}$ 。K_M 为水平扩散系数，采用欧拉公式

$$K_{MX} = 5.93 \sqrt{gH} |u| / C_z \qquad K_{MY} = 5.93 \sqrt{gH} |v| / C_z$$

C_z 为 chezy 系数，K_v 为垂直扩散系数，根据广东沿海的研究文献取 0.023。

$$\text{岸界边界条件: } \frac{\partial C}{\partial \bar{n}} = 0$$

侧开边界的边界条件：

$$\text{入流时: } C|_{\Gamma} = p_0;$$

Γ 为水边界，P₀ 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 P₀=0。

出流时: $\frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial \bar{n}} = 0$, U_n 为边界法向流速;

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:

$$w = \sqrt{(13.95 \frac{v}{D})^2 + 1.09 \alpha g D} - 13.95 \frac{v}{D}$$

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), 取实测表层沉积物的中值粒径平均值 0.015mm ; α 为重率系数, 取 1.7 。

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, $k=0.41$, $g=981 \text{cm}/\text{s}^2$, 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 $r_s = 2.4 \text{g}/\text{cm}^3$, 海水容重 $r_s = 1.025 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

初始条件:

模拟施工期本底值均置为 0, 仅考虑悬沙增量。

5.3.1.3 悬浮泥沙源强度及源点布置

本工程悬沙源强主要为海缆铺设施工悬沙源强和桩基施工悬沙。根据第3章工程分析结果，水深20m以浅区域，500kV送出海缆在非航道段悬沙源强为28.19kg/s，在航道段悬沙源强为37.58kg/s；水深20m以深区域，500kV送出海缆在非航道段悬沙源强为23.66kg/s，在航道段悬沙源强为31.55kg/s。；海上升压站桩基沉桩施工源强为0.124kg/s。

计算点源：定向钻出海端距离岸线288m，以此作为源强点并沿海缆路由依次排列设置源强点，每个源点释放时间为30分钟，按照电缆铺设速度5m/min即大约150m设置一个源点，下一个源点的释放时间依次往后推迟30分钟，源强点布置如图5.3.1-1所示。

三维分层采用sigma坐标，分成5层，取1、3、5层代表表中底进行统计分析。悬沙计算同时考虑涨憩、落憩时刻开始铺设两种工况计算。

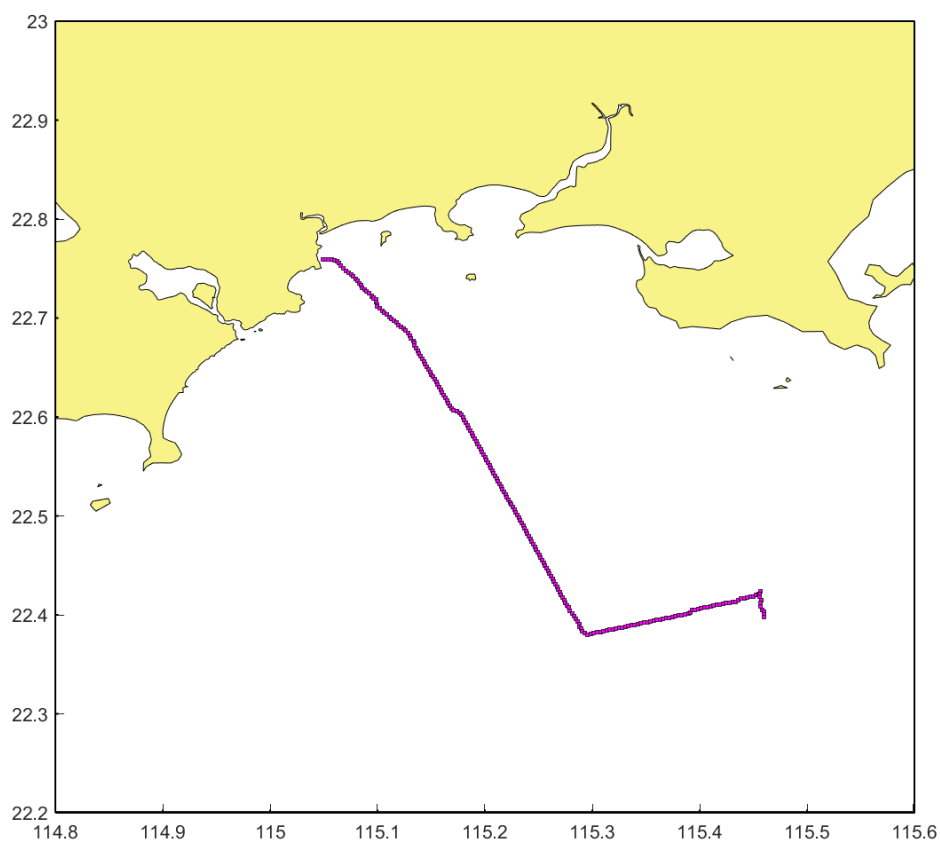


图 5.3.1-1 模拟铺设源点位置示意图

5.3.1.4 悬浮物分布的计算结果及分析

自电缆铺设施工作业的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。模拟时间段内（约 4.6 天）每隔 5 分钟输出一次浓度值，统计每个网格在整个时间段内的最大值，形成最大值浓度场，以此绘制浓度填充和等值线图并统计各个关键浓度等值线的包络面积。

图 5.3.1-2 到图 5.3.1-7 为电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围；升压站打桩源强相对较小，本次模拟结果为 0.004km^2 。

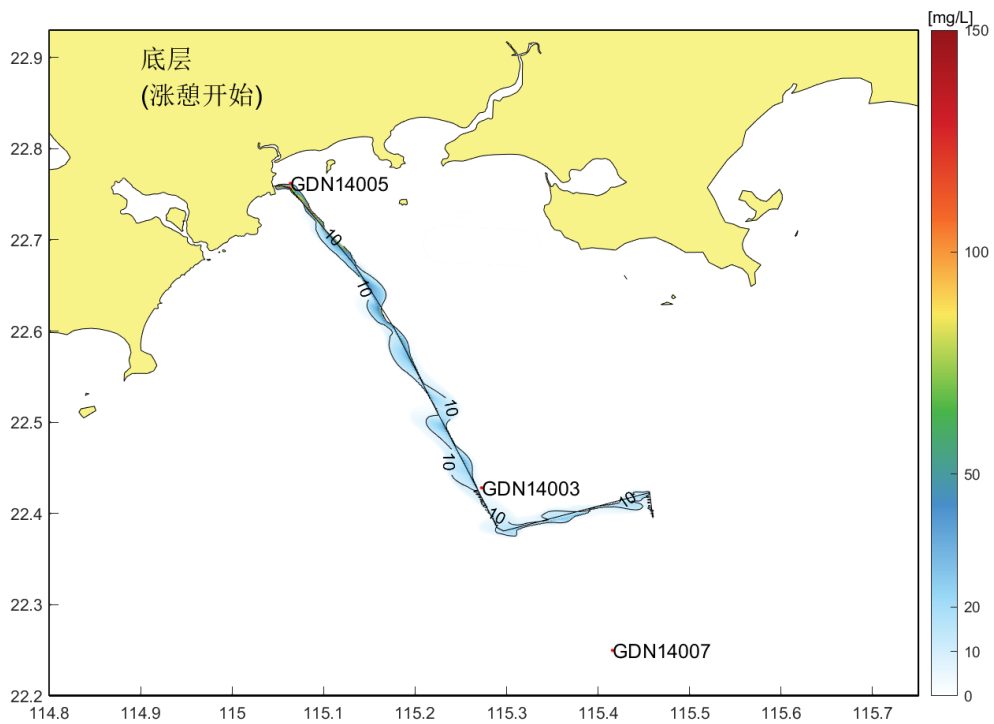


图 5.3.1-2 涨憩开始施工的底层悬浮泥沙浓度包络范围（送出海缆施工）

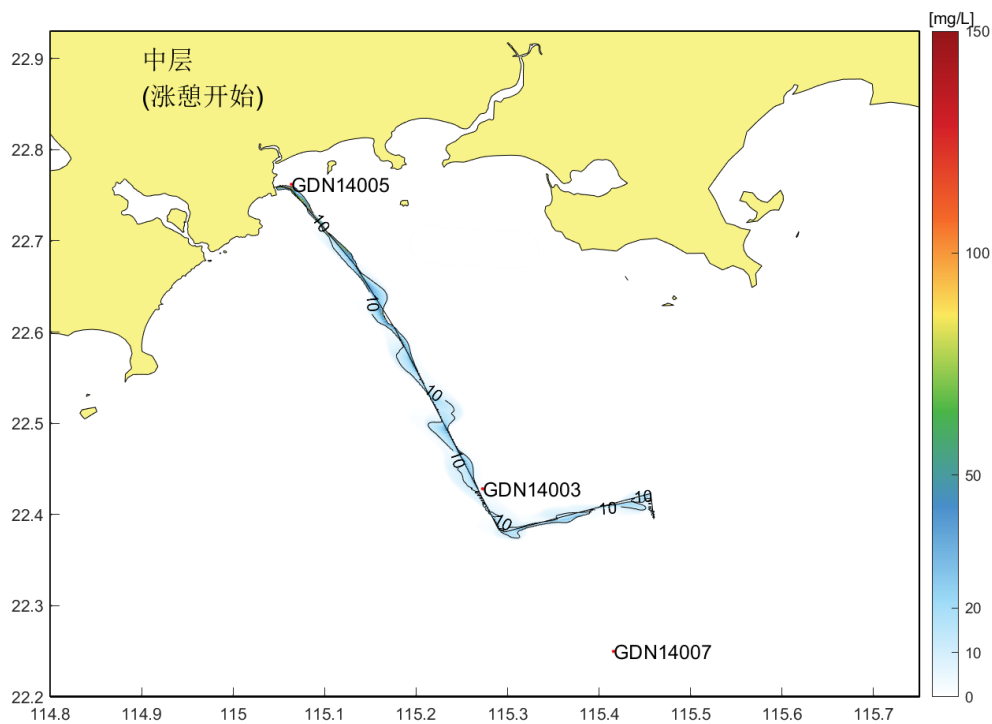


图 5.3.1-3 涨憩开始施工的中层悬浮泥沙浓度包络范围（送出海缆施工）

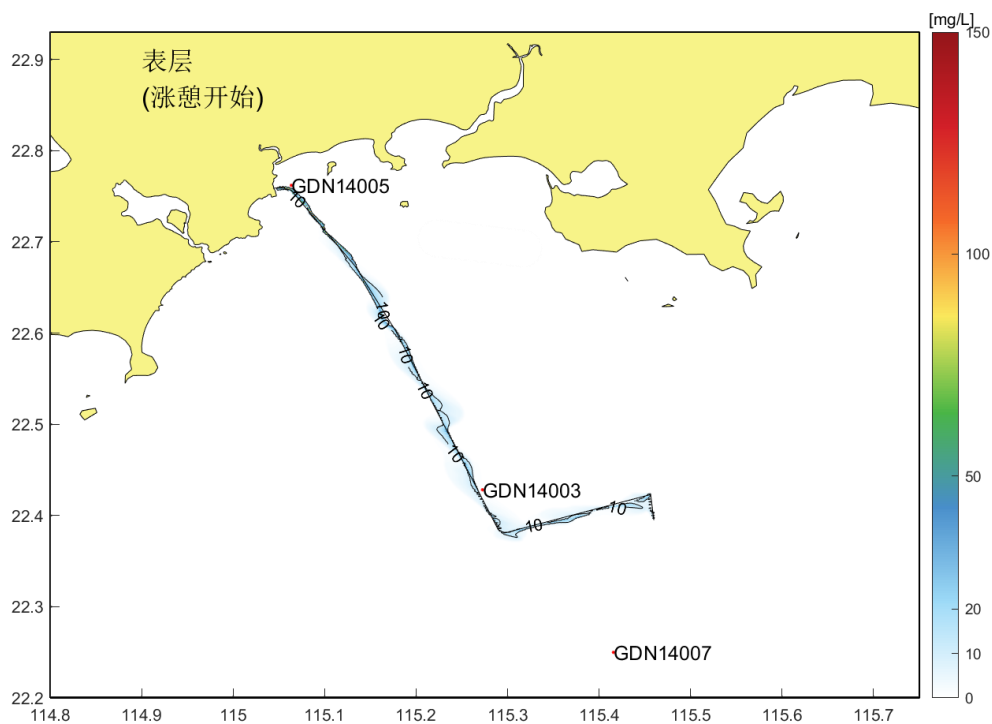


图 5.3.1-4 涨憩开始施工的表层悬浮泥沙浓度包络范围（送出海缆施工）

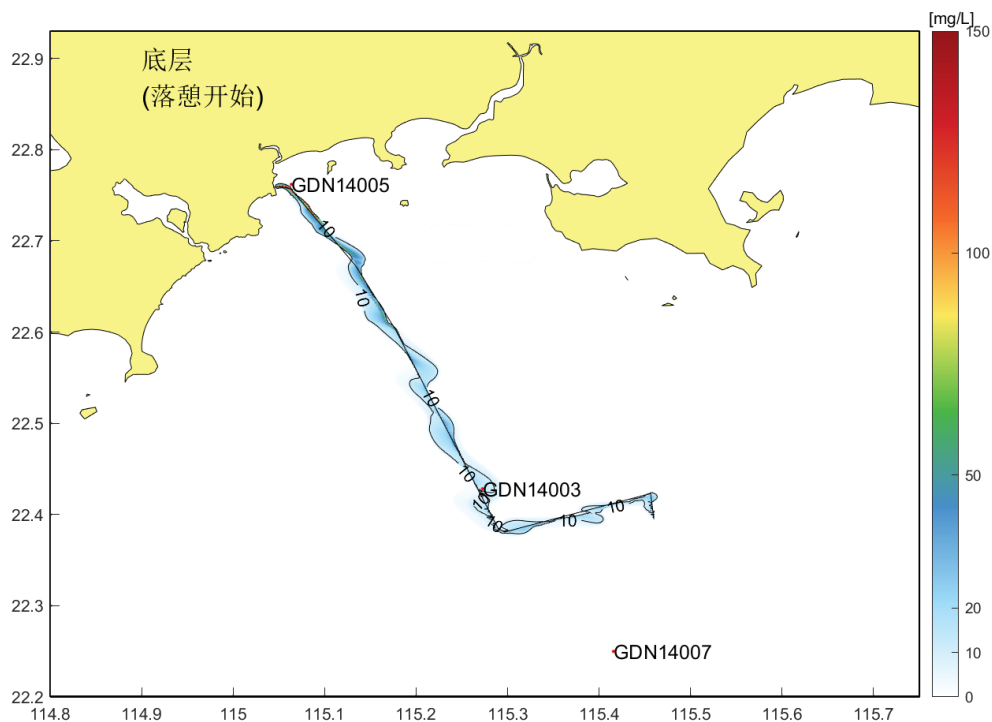


图 5.3.1-5 落憩开始施工的底层悬浮泥沙浓度包络范围（送出海缆施工）

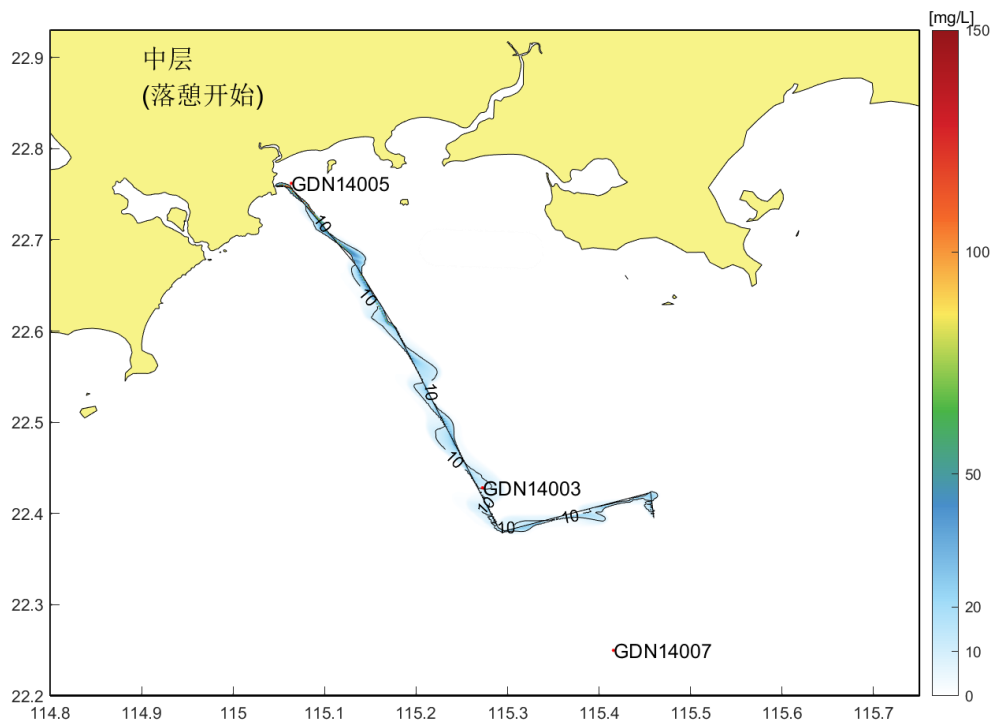


图 5.3.1-6 落憩开始施工的中层悬浮泥沙浓度包络范围（送出海缆施工）

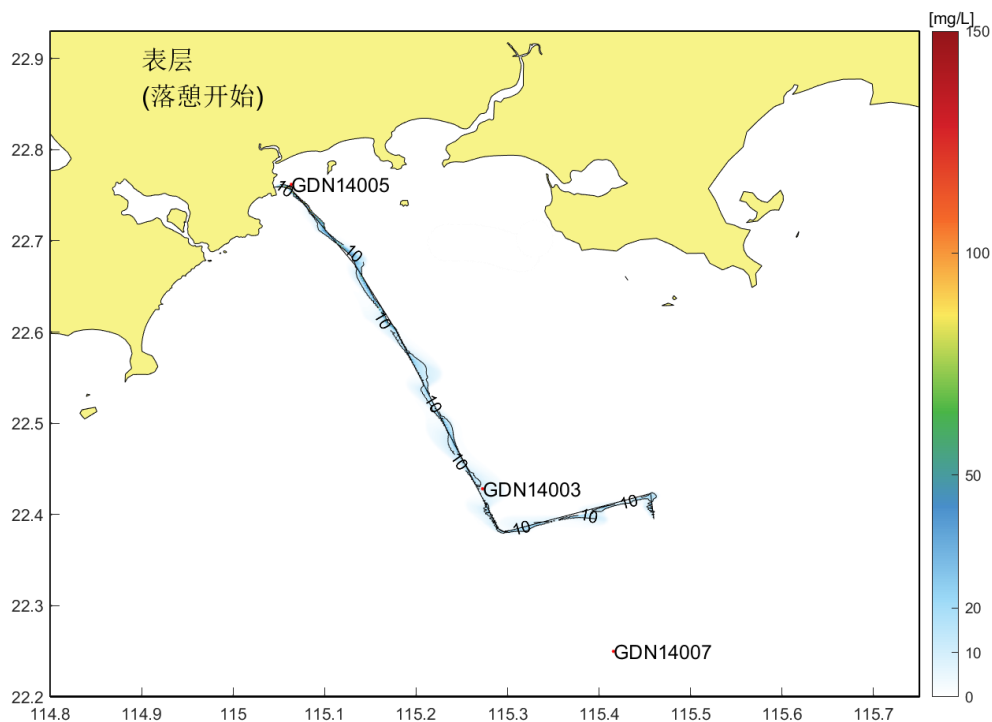


图 5.3.1-7 落憩开始施工的表层悬浮泥沙浓度包络范围（送出海缆施工）

5.3.1.5 悬浮物的影响范围

在此对海底电缆铺设和风电桩基施工引起的悬沙影响进行估计。为了估计悬浮泥沙的影响大小，根据模型的计算结果，分别计算了不同浓度的覆盖面积和最远扩散距离，见表 5.3.1-1 和表 5.3.1-2 所示。

表 5.3.1-1 送出缆铺缆过程悬沙增量面积(km²)

涨憩开始施工					
层次	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L
表层	26.875	8.160	1.583	0.509	0.327
中层	50.651	15.658	2.505	0.756	0.440
底层	71.841	25.852	3.800	0.986	0.501
垂向平均	57.955	17.832	2.824	0.775	0.448
落憩开始施工					
层次	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L
表层	26.617	8.271	1.480	0.475	0.272
中层	51.111	15.073	2.477	0.693	0.340
底层	72.775	25.170	3.552	0.884	0.392
垂向平均	58.594	17.429	2.703	0.702	0.346

表 5.3.1-2 底层 10mg/L 悬浮泥沙的最大扩散距离 (km)

扩散方向	距离
北向	2.9 km
西向	3.3 km
南向	3.3 km
东向	3.6 km

由表 5.3.1-1 和上节的图可知，由于施工起始时间不同，到达各个施工点时碰到的涨落潮情况不同，因此扩散的形态两种工况是不同的，但总的包络面积相差很小，而选择的两个工况恰恰是一个潮周期内相反的情况，说明只要是不间断的连续施工，包络面积的统计对施工起始时间是不敏感的，因此这两种工况的值可以代表一般情况。具体影响表述如下：

涨憩开始施工的工况底层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 71.841km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 25.852km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 3.800km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.986km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.501km²。

涨憩开始施工的工况中层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 50.651km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 15.658km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 2.505km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.756km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.440km²。

涨憩开始施工的工况表层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 26.875km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 8.160km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 1.583km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.509km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.327km²。

落憩开始施工的工况底层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 72.775km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 25.170km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 3.552km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.884km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.392km²。

落憩开始施工的工况中层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 51.111km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 15.073km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 2.477km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.693km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面

积为 0.340km²。

落憩开始施工的工况表层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 26.617km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 8.271km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 1.480km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.475km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.272km²。

升压站打桩施工超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 0.004km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 0.00km²。

本次悬浮物扩散影响区域主要集中在电缆附近海域。在悬浮物扩散源强附近取 1 个点，输出这个点的一个潮周期内悬浮物增量过程线，如图 5.3.1-8 所示，可以看到，施工结束后悬浮物扩散增量迅速减小，即便是在浓度最高时刻停止施工，4 小时内即可下降至 10mg/L 以下，7 小时后几乎变为 0。因此，施工引起的悬浮物扩散主要限于施工时，施工结束后数小时内（与源强、施工结束的时刻有关），人为增加的悬浮物浓度迅速衰减至 10mg/L 以下。

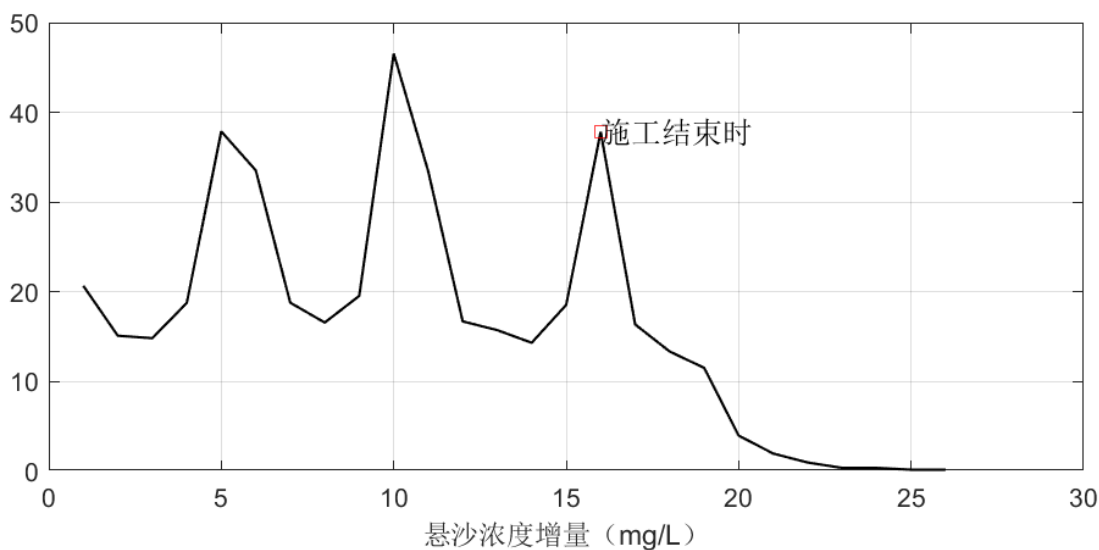


图 5.3.1-8 施工停止后悬浮物浓度增量变化曲线

5.3.1.6 施工期施工废水对水质影响分析

本工程海上施工期间产生的废水主要为施工人员生活污水、船舶含油污水，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，生活污水收集上岸交由船舶污染物接收单位统一处理，含油污水统一收集后交由有资质的单位接收处理，均不排海，不会对海域水质产生影响。

5.3.1.7 施工悬沙对国控点影响分析

送出海缆附近共有 2 个国控点，分别为 GDN14003 和 GDN14005，考察泥沙悬沙影响与国控点的关系，将国控点与底层最大悬沙扩散范围图进行叠加，并统计其影响的最大浓度，持续时间等列于表 5.3.1-5。整体来看，施工过程引起的悬沙浓度对国控点影响较小。GDN14005 位于海缆东侧，涨憩施工（开始落潮），落潮流朝东，给该点带来影响，最大影响浓度 2.4mg/L，持续时间 3.1 小时，落憩施工（开始涨潮），海流流向西，该点位于海流的上游，影响小于 1mg/L，GDN14003 落憩施工最大影响浓度 11.8mg/L，持续时间 3.3 小时，涨憩施工，最大影响浓度小于 4.1mg/L，持续时间 3.1 小时。

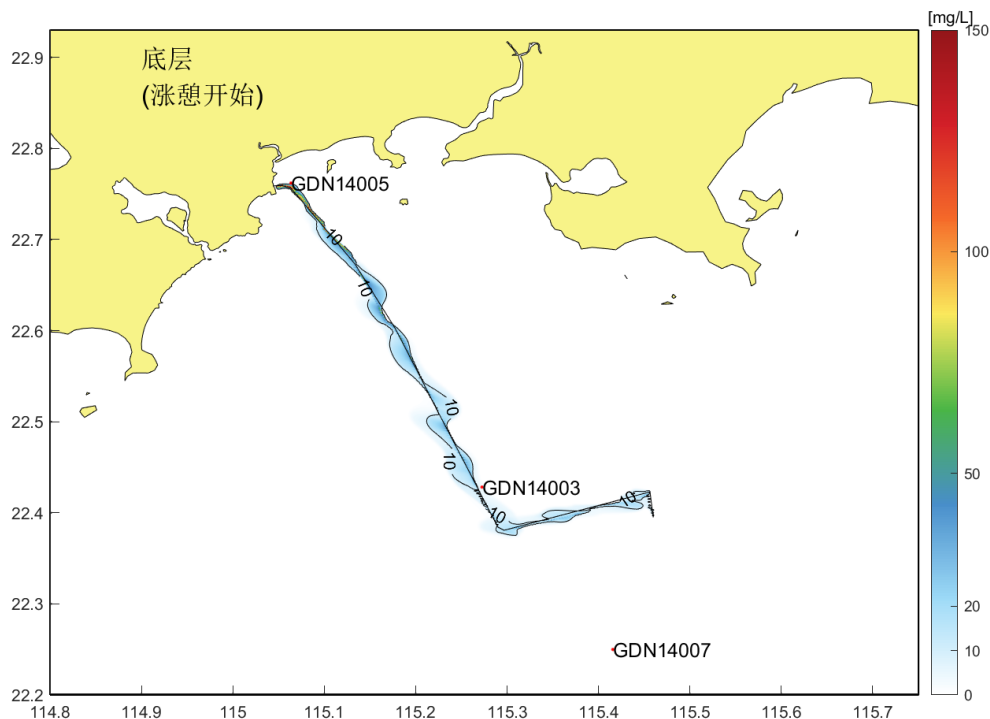


图 5.3.1-9 涨憩开始施工的工况底层悬浮物浓度最大包络范围

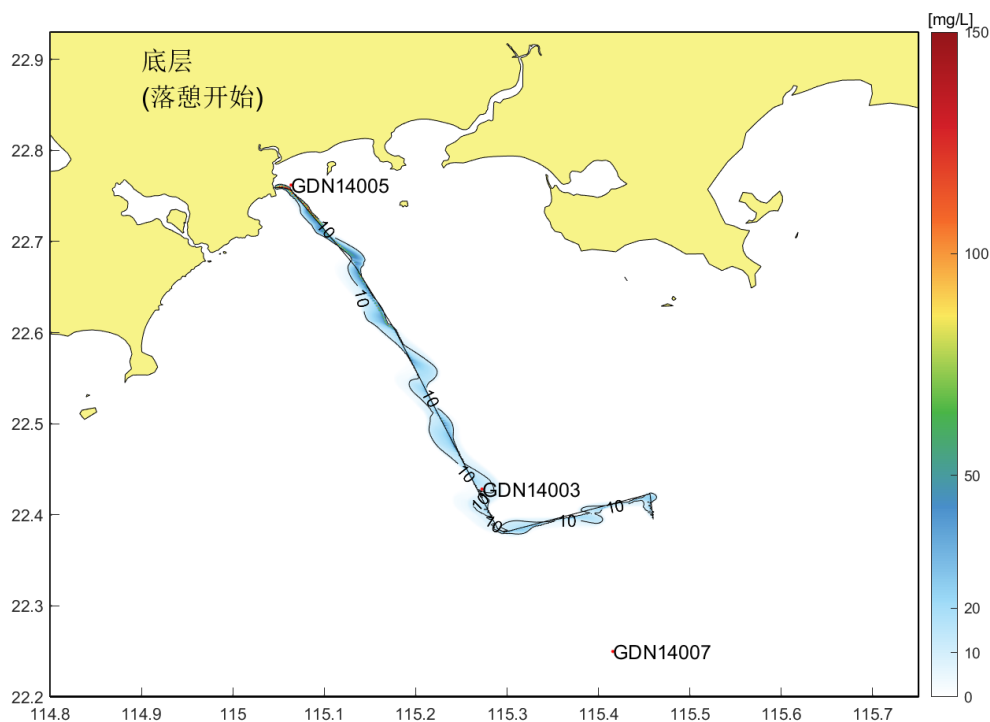


图 5.3.1-10 落憩开始施工的工况底层悬浮物浓度最大包络范围

表 5.3.1-5 国控点悬沙影响表

涨憩施工		
编号	最大浓度 (mg/L)	持续时间 (小时)
GDN14005	2.4	3.1
GDN14003	4.1	3.1
落憩施工		
编号	最大浓度 (mg/L)	持续时间 (小时)
GDN14005	<1	<1
GDN14003	11.8	3.3

5.3.2 项目运营期对水质环境影响预测与评价

本项目在运营期间对水质的影响主要来自于运营维护产生的废水。

本项目海缆维护过程中废水主要来自运维船日常检修维护工作及工作人员生活废水。海上升压站按照无人值班、无人值守方式运行。海上升压站运营期间产生的废水主要为维护人员生活污水和检修船舶含油污水等。检修工作人员按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，由运维船舶收集后运至陆域，生活污水交由船舶污染物接收单位统一处理，含油污水交由有资质的单位进行接收处理。不会对水质环境造成影响。

5.4 海洋沉积物环境影响分析

5.4.1 施工期对海洋沉积物环境影响分析

5.4.1.1 施工悬浮泥沙扩散对沉积物环境的影响

本项目施工过程中桩基施工和海缆敷设产生的悬浮泥沙可能对沉积物环境造成一定影响。根据本次沉积物环境现状调查的结果，海上升压站桩基基础附近沉积物环境质量状况良好。桩基基础施工建设有少量施工悬沙扩散属于清洁沉积物，不会对附近海域沉积物环境质量造成不利影响。

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。海底电缆的施工对底质的直接影响就是冲起和覆盖，不会对沉积物性质产生明显影响。

海底电缆铺设时产生的悬浮沙将沉降覆盖在海底电缆两侧，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其他污染物，不会影响海底沉积物质量。

5.4.1.2 施工船舶污染物对沉积物环境的影响

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，造成沉积物中大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。

本项目施工应设置有船舶生活垃圾收集装置，生活垃圾随船携带，待船舶靠岸后，交由船舶污染物接收单位统一处理，基本不会所在海域的沉积物环境造成影响。

5.4.2 运营期海洋沉积物环境影响分析

本项目运营期运维会产生少量生活污水、生活垃圾等，由运维船舶收集后运至陆域集中处理，不会对海域沉积物环境造成影响。

本项目采用涂层和外加电流阴极保护等多种防腐措施，以保证建构物基础

的防腐性能,不易发生腐蚀,不会产生反应产物,营运过程中不释放重金属离子,对沉积物的直接影响有限。

5.5 生态环境影响分析与评价

5.5.1 施工期海洋生态环境影响分析

根据工程施工组织设计,在本项目建设过程中,海缆敷设、海上升压站桩基施工是影响海洋生态的主要施工环节,生态影响途径可以包括直接影响和间接影响两方面。海上升压站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。海上升压站桩基施工及海底电缆铺设作业将使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植入而产生新的栖息环境。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影响等。项目施工活动直接、间接生态影响判定表 5.5.1-1 所示。

表 5.5.1-1 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	海上升压站桩基础	桩基占用	不可恢复	减少海域,海洋生物全部消失
	海底电缆区	施工影响	可以恢复	原有底栖生物受破坏,施工完工后随着时间推移逐渐恢复
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
	施工水下噪声影响区	噪声影响	可以恢复	海洋哺乳动物及鱼类部分受损
	油污废水污染区	水质影响	可以恢复	浮游生物部分受损
	施工照明光污染区	光污染影响	可以恢复	影响海洋生物夜间生物行为

5.5.1.1 桩基占用、海缆敷设对海洋生物的直接影响分析

海上升压站桩基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生物造成直接破坏,进而引起底栖生物的损失,具体情况如下:

钢管桩的直径为 4.2 米,单根钢管桩的占地面积可以通过圆的面积公式估算 4 根 $\phi 4200$ 钢管桩占用的海底基床面积约为 55.42 平方米。2 回海底电缆间距 25m,总长度 141.4km,施工开挖回埋宽度约 0.5m,考虑实际敷设定位偏差及其他因素,计算对底栖生物破坏宽度按照电缆两侧各 5m 计算,则海缆施工造成底栖生物损失的面积为 141.4 万平方米。海上升压站桩基础和海底电缆作业施工,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，绝大部门种类诸如贝类、多毛磊、线虫类等都难以存活。施工结束后，拔除的定位架位置及海缆区周边随着新的底栖生物的植入而产生新的栖息环境。

5.5.1.2 悬浮泥沙对海洋生物的间接影响分析

海缆施工前扫海清障（一般无需清障，必要时清障）及海缆埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的悬浮泥沙含量上升。

海上升压站钢管桩打桩及海缆敷设等施工环节产生悬浮泥沙对海洋生物将产生一定的影响，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沙影响而死亡。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大于 1000mg/L 以上，鱼类鱼卵能够存活的时间将很短。

从水环境影响预测结果来看，本工程悬沙垂向平均增量大于 10mg/L（超一、二类海水水质标准）的最大影响在夏季的面积为 31.366km²，在冬季的面积

为 25.457 km²，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。

5.5.1.3 水下噪声对生态环境的间接影响分析

主要来源于施工设备、船舶活动、海底光缆及海上升压站运行。水下噪声会对海洋生物的听觉、生理、行为和生态系统产生不同程度的影响。

1、水下噪声对海洋哺乳动物的影响分析

(1) 听力及生物行为影响

如果暴露于高强度噪声，可能导致海洋哺乳动物暂时性听觉阈值升高(TTS)或永久性听觉损伤(PTS)。导致海洋哺乳动物觅食减少、交流受干扰，影响其生存和繁殖。

(2) 栖息地选择影响

海洋哺乳动物可能会因为噪声影响导致逃避行为，可能改变其迁移路径或减少局部栖息密度。长期噪声可能导致局部生境选择变化，部分种群可能减少在该区域的活动。本项目升压站施工周期较短，影响范围较小；海缆铺设为线性工程，施工船舶沿设计路由按序施工，不存在大量位同时施工情况，海缆铺设的影响范围较小，持续时间较短。

综上所述，本项目对海洋哺乳动物行为和栖息地的影响程度在可接受范围。

2、水下噪声对鱼类的影响分析

(1) 听力及行为影响

鱼类的听觉系统对水下噪声敏感，不同种类的鱼类对噪声的响应不同，其中石首鱼科听力系统对水下噪声更为敏感。石斑鱼在产卵期间会发出求偶声音，并且这种声音与其视觉上的求偶行为有密切关联，噪声可能干扰其繁殖交流，降低繁殖成功率。

(2) 渔业资源分布影响

在高噪声环境中，许多鱼类会远离施工区，影响局部种群分布。在短期内会影响鱼类种群的时空分布，导致项目附近海域的鱼类密度下降，而其他海域鱼类密度上升。在施工期内，会对项目邻近海域的渔业资源分布造成一定影响。

5.5.1.4 油污废水对生态环境的间接影响分析

本项目施工期主要涉及海底电缆敷设和海上升压站建设,施工过程中可能会产生油污废水,其主要来源包括施工船舶含油污水、设备维护产生的废机油、管道泄漏和意外溢油事故等。油污废水中主要含有石油类、悬浮物、重金属和其他有机污染物,对海洋生态环境可能造成不同程度的影响。

本项目施工废水统一收集,运至岸上集中处理,不直接排海。因此,在正常施工情况下,对周边海域几乎没有不利影响。

5.5.1.5 对渔业资源和渔业生产的影响

在施工期,由于工程施工阶段所涉及的区域较大,对在这一带渔业生产活动产生一定的影响,主要体现在工程施工造成的悬浮泥沙扩散会对项目周边区域的渔业资源造成损失,影响渔业捕捞产量,使渔业产值下降。

此外,施工期间将禁止渔船进入施工海域捕捞生产,由此导致作业渔场范围减少;施工的扰动影响,使渔获率降低,最终影响捕捞产量。但作业船有限,且集中在风机施工点附近,施工作业对渔业资源捕捞活动的影响是有限的。如果施工活动安排在秋冬季节等非捕捞旺季的时段,施工作业对渔业生产的影响可以得到明显的减缓。

5.5.2 运营期海洋生态环境影响分析

5.5.2.1 运营期对海洋生物的影响分析

运营期影响主要是海上升压站基础占用底栖生物生境的影响。在海上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。此外,本项目运营期产生的污染物主要有海上升压站等检修产生的少量油污水和固体废物,本工程运营中的油污水如果直接排海,对该海域的海洋水质造成严重污染,危害海洋生态环境。

油类污染是目前海洋环境污染中的几大问题之一,它对海洋水生生物的影响是多方面的:①石油类对浮游植物的致死浓度范围为0.1~10mg/L,对浮游动物的急性中毒致死浓度范围为0.1~15mg/L,致死的主要原因为浮游植物会因细胞溶化、藻体分解而死亡,浮游动物也会在石油的毒性和缺氧条件下大量死亡;②石

油块（粒）覆盖生物体表后会影响动物的呼吸和进水系统；③石油随悬浮物沉降在潮间带和浅水区后，会使底栖生物的幼虫与孢子失去合适的固着基质，甚至发生严重的化学毒性效应。

在一定的海域范围内过量的排放含油污水或直接排放未经处理的高浓度含油污水，将会给海洋生态环境造成极大的危害。尤其是石油组分中的芳香烃类会对海洋生物构成威胁和危害，其特点是不论高、低沸点的组份对一切生物均有毒性。实验证明石油烃会破坏浮游植物细胞，油膜会阻碍海—气交换，影响光合作用。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般约为 1.0mg/L。对于更加敏感的种类，石油浓度低于 0.1mg/L 时，同样会影响细胞的分裂与生长速率。即使是达标排海的含油污水，在大量集中排放时仍然会对排放口周边水体中的浮游生物构成影响。

浮游动物的石油急性中毒致死浓度一般在 0.1~15mg/L 之间，当水体中的油含量为 0.05mg/L，小型拟哲水蚤 *Paracalanus* sp. 的半致死时间为 4d。一般情况下，浮游动物的幼体对油污染的敏感程度要大于成体。

底栖生物的种类和体积不同对石油浓度的适应程度有差异，多数底栖生物的石油烃急性中毒致死浓度范围约在 2.0~15mg/L 之间（幼体的致死浓度范围更接近其下限）。例如：0.01mg/L 的石油可以使牡蛎产生明显的油味，甚至可以使耐油污性很差的海胆、海盘车等底栖生物死亡。当海水中石油浓度在 0.01~0.1mg/L 时，对藤壶幼体和蟹幼体就有明显的毒效。

长期处于低浓度含油废水中可影响鱼类的摄食和繁殖，使渔获物产生油臭味而影响其食用价值。据相关报导，20 号燃料油对黑鲷的 20 天生长试验结果，其最低影响浓度和无影响浓度分别为 0.096mg/L 和 0.032mg/L。例如 20 号燃料油的浓度为 0.004mg/L 时，5d 就能使对虾产生油味，14d 使文蛤产生异味。

海上升压站日常检修中少量的油污水和固废通过收集带回陆上处理，严禁排海，对海洋环境影响很小。

5.5.2.2 运行期对渔民权益及渔业生产的影响分析

项目建设所在海域禁止底拖网、抛锚，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。但本项目升压站选址海域属于

《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》中的红海湾场址，送出海缆根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》中“海底管廊布局”的规划线缆管道进行布设。规划风电场不涉及《广东省国土空间规划（2021-2035年）》中划定的渔业用海功能分区，规划线缆管道也尽量减少占用，可见，本项目所属上位规划选址时已充分考虑渔民捕捞海域，项目周边海域已保留充足的海域空间予以海洋捕捞，且由于本项目及周边相关风电项目的升压站、风机桩基的存在，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。也有利于渔业资源的集中，渔民在风电周边进行捕捞作业时也可从中获利。

综上，本项目建设虽在一定程度上减少了渔业生产捕捞海域的面积，但项目建设具有更为良好的社会效益，项目施工建设过程中虽会造成一定量的渔业资源损失，但建设单位将开展增殖放流活动以补偿所造成的渔业资源损失，且项目建成后桩基可作为鱼类休憩场所，有助于渔业资源养护，可维持渔民可捕捞渔业资源产量，因此项目建设对渔民权益无碍。

5.5.3 海洋生物资源损失估算

参照农业部颁布并于2008年3月1日起施行的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）（以下简称《规程》）对本工程生态损失进行估算。

5.5.3.1 桩基施工及海缆敷设施工对底栖生物资源损失量估算

1、计算公式

本工程海上升压站桩基础长期占压海域底质，对底栖生物及生态系统造成了长久的影响。海底电缆的敷设施工造成底栖生物一次性破坏。桩基周围由于水动力改变导致产生的淤积和冲刷，会对底栖生物生境产生一定的影响。参照《规程》，底栖生物资源损失按以下公式进行计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中： W_i 为第 i 种生物资源受损量，此处为底栖生物资源受损量； D_i 为评估区域内第 i 种生物资源密度，此处为底栖生物平均生物量； S_i 为第 i 种生物占用的水域面积，此处为破坏面积，此处为海上升压站桩基、海底电缆管沟开挖面积。

2、底栖生物资源损失量计算过程及结果

钢管桩占用的海底基床面积约为 55.42m^2 ，海缆施工造成底栖生物损失的面积为 1414000m^2 。春季底栖生物平均生物量为 $5.606\text{g}/\text{m}^2$ ，秋季底栖生物平均生物量为 $4.211\text{g}/\text{m}^2$ 。两季底栖生物平均生物量为 $4.909\text{g}/\text{m}^2$ 。

桩基础占压造成底栖生物损失量： $55.42 \times 4.909 \times 10^{-3} = 0.272\text{kg}$

海底电缆敷设作业造成底栖生物损失量： $1414000 \times 4.909 \times 10^{-3} = 6941.326\text{kg}$

合计底栖生物总损失量为 6941.598kg 。

5.5.3.2 施工悬浮泥沙扩散造成的生物损失量估算

1、计算公式

本工程的施工污染物为产生的悬浮泥沙，由于海底电缆施工属于移动源，其悬沙最大包络线浓度增量区域存在时间少于 15d ，故界定为一次性损害，根据《规程》，生物资源损害量按以下公式计算：

$$M_i = W_i \times T$$

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

式中： M_i 为第 i 种类生物资源累计损害量，单位为尾、个或千克 (kg)； W_i 为第 i 种类生物资源一次性平均损失量，单位为尾或个或千克(kg)； T 为污染物浓度增量影响的持续周期数（以实际影响天数除以 15），单位为个； D_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度，单位为尾平方千米、个平方千米或千克平方千米 (kg/km^2)； S_j 为某一污染物第 j 类浓度增量区面积，单位为平方千米 (km^2)； K_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率，单位为百分之 (%)； n 为某一污染物浓度增量分区总数。

2、取值依据

(1) 污染物浓度增区量面积 (S_i) 和分区总数 (n)

本工程悬沙来源主要为海缆铺设施工悬沙和桩基施工悬沙。

根据前文水质环境影响预测与评价可知,本项目海底电缆施工悬沙扩散夏季范围大于冬季,根据夏季悬沙扩散影响,结合《规程》对污染物超标倍数的分类,不同超标倍数的 SS 增量整体包络线面积汇总见表 5.5.3-1 所示,SS 增量各浓度平均最大包络面积取涨憩开始施工和落憩开始施工数模结果的平均值。

根据施工进度安排及施工内容情况,本项目海缆敷设与桩基均在施工期的第 11 个月开工,且考虑到桩基施工悬沙扩散范围仅有 0.004km^2 ,远小于海缆敷设的影响范围,因此不对桩基施工造成的生物资源损失进行定量计算。

表 5.5.3-1 不同超标倍数的 SS 增量整体包络线面积汇总表

污染物 i 的超标倍数 B_i	对应的 SS 范围浓度 (mg/L)	SS 增量各浓度平均最大包络面积 (km^2)
$B_i < 1$ 倍	$10 < \text{SS} \leq 20$	40.644
$1 < B_i \leq 4$ 倍	$20 < \text{SS} \leq 50$	14.867
$4 < B_i \leq 9$ 倍	$50 < \text{SS} \leq 100$	2.025
$B_i > 9$ 倍	$\text{SS} > 100$	0.7385

(2) 生物资源损失率 (K_{ij})

基于《规程》中关于污染物对各类生物损失率(见表 5.5.3-2)的描述,本报告中不同扩散浓度范围内生物损失率取值见表 5.5.3-3 所示。

表 5.5.3-2 《规程》中对污染物对各类生物损失率的规定

污染物 i 的超标倍数 (B_i)	各类生物损失率			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$B_i < 1$ 倍	5	< 1	5	5
$1 < B_i \leq 4$ 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
$4 < B_i \leq 9$ 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
$B_i > 9$ 倍	≥ 50	≥ 20	≥ 50	≥ 50

注: 1.本表列出污染物 i 的超标倍数 (B_i) 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。

表 5.5.3-3 本项目海洋生物损失率取值

污染物 i 的超标倍数 (Bi)	各类生物损失率 (%)				
	鱼卵	仔稚鱼	成体	浮游植物	浮游动物
Bi < 1 倍	5	5	1	5	5
1 < Bi ≤ 4 倍	10	10	5	10	10
4 < Bi ≤ 9 倍	30	30	10	30	30
Bi > 9 倍	50	50	20	50	50

(3) 持续周期数 (T)、计算区超标范围的水层平均厚度

海底电缆施工属于移动源，悬沙最大包络浓度增量区域存在时间均少于 15 天，根据《规程》界定对海洋生物资源的损害属于一次性损害，持续周期按 1 计算。本项目送出海缆单回长度 70.7km，根据海图判断 0~10m、10~20m、20~30m、30~38m 各层水深下海缆长度分别为 6.4km、22.7km、17.7km 和 23.9km，按比例计算得出海底电缆所在海域平均水深为 23m。

(4) 生物资源密度 (D_{ij})

本项目损失计算时，各生物资源密度选取春季和秋季所有站位的平均值，

表 5.5.3-4 春、秋两季调查海洋生物资源统计表

种类	单位	春季	秋季	平均值
鱼卵	粒/m ³	4.223	0.207	2.215
仔稚鱼	尾/m ³	0.630	0.074	0.352
游泳生物	kg/km ²	253.299	347.784	300.542

3、海洋生物资源损失量计算过程及结果

据此计算项目施工作业悬浮泥沙造成的渔业资源损失量如下表所示：

表 5.5.3-5 渔业资源损失量

悬沙增值浓度	扩散面积 (km ²)	生物种类	渔业资源密度	水深 (m)	损失率 (%)	直接损失量
10~20 (mg/L)	40.644	游泳动物 (kg/km ²)	300.542	/	1	122.15
	40.644	鱼卵 (ind/ m ³)	2.215	23	5	1.04×10 ⁸ 粒
	40.644	仔稚鱼 (尾/m ³)	0.352	23	5	1.65×10 ⁷ 尾
20~50 (mg/L)	14.867	游泳动物 (kg/km ²)	300.542	/	5	223.41kg
	14.867	鱼卵 (ind/ m ³)	2.215	23	10	7.57×10 ⁷ 粒
	14.867	仔稚鱼 (尾/m ³)	0.352	23	10	1.20×10 ⁷ 尾
50~100 (mg/L)	2.025	游泳动物 (kg/km ²)	300.542	/	10	60.86kg
	2.025	鱼卵 (ind/ m ³)	2.215	23	30	3.09×10 ⁷ 粒
	2.025	仔稚鱼 (尾/m ³)	0.352	23	30	4.96×10 ⁶ 尾

>100 (mg/L)	0.7385	游泳动物 (kg/km ²)	300.542	/	20	44.39kg
	0.7385	鱼卵 (ind/ m ³)	2.215	23	50	1.88×10 ⁷ 粒
	0.7385	仔稚鱼 (尾/m ³)	0.352	23	50	2.99×10 ⁶ 尾

表 5.5.3-6 项目施工悬浮泥沙扩散对生物资源造成直接损失量汇总表

工程	海洋生物种类	直接损失量
施工悬沙扩散	鱼卵	2.29×10 ⁸ 粒
	仔稚鱼	3.64×10 ⁷ 尾
	游泳生物	450.81kg

4、小结

海上升压站桩基础占压造成底栖生物损失量 0.272kg；海底电缆敷设作业造成底栖生物损失量 6941.326kg；合计为 6941.598kg。

由悬沙扩散引起的生物资源受损量的估算结果显示，本项目建设期间鱼卵受损量为 2.29×10⁸ 粒，仔稚鱼受损量为 3.64×10⁷ 尾，游泳生物受损量为 450.81kg。

5.5.4 海洋生物资源补偿经济价值评估

5.5.4.1 计算方法

1、鱼卵、仔稚鱼经济价值的计算

鱼卵、仔稚鱼的经济价值应折算成鱼苗进行计算。鱼卵、仔稚鱼经济价值按公式计算：

$$M=P \times W \times E$$

式中：M—鱼卵和仔稚鱼经济损失金额；

W—鱼卵和仔稚鱼损失量；

P—鱼卵和仔稚鱼折算为鱼苗的换算比例，鱼卵生长到商品鱼苗按 1%成活率计算，仔稚鱼生长到商品鱼苗按 5%成活率计算；

E—鱼苗的商品价格，根据《广东省涉渔工程渔业资源损失生物价格核算技术指南》并综合近汕尾市近几年主要鱼类苗种平均价格，商品鱼苗的平均价格按 1 元/尾计。

2、成体生物资源经济价值计算

$$M=W \times E$$

式中：M—第 i 种类生物成体生物资源的经济损失额；

W—第 i 种类生物成体生物资源损失的资源量；

E—《广东省涉渔工程渔业资源损失生物价格核算技术指南》并综合汕尾市近几年市场情况，底栖生物的商品价格按 15 元/kg，游泳动物的商品价格按 20 元/kg 计算。

5.5.4.2 损害补偿年限的确定

根据《规程》，占用年限低于 3 年的，按 3 年补偿；占用年限 3~20 年的，按照实际占用年限补偿；占用 20 年以上的，按不低于 20 年计算。一次性生物资源损害补偿为一次性损害额的 3 倍。

本工程升压站桩基建设对水域生态系统造成不可逆影响，补偿年限按 27 年计。海缆施工、悬浮泥沙扩散造成的生物资源损害是短期的，其生物资源损害的补偿按 3 倍计算。

5.5.4.3 经济损失及赔偿额计算

经计算，本项目海洋生物资源直接经济损失共约 422.31 万元，本项目海洋生物资源补偿额合计约 1266.95 万元，详见下表所示。

表 5.5.4-1 海洋生物资源补偿额估算表

工程	海洋生物种类	直接损失量	成活率	单价 (元)	直接经济损失额 (元)	补偿年限 (年)	补偿额 (元)
海上升压站桩基础占压	底栖生物 (kg)	0.272	\	15	4.28	27	115.43
海底电缆敷设作业	底栖生物 (kg)	6941.326	\	15	104119.89	3	312359.67
悬浮物扩散	鱼卵 (粒)	2.29×10 ⁸	1%	1	4110000.00	3	12330000.00
	仔稚鱼 (尾)	3.64×10 ⁷	5%				
	游泳生物 (kg)	450.81	\	20	9016.20	3	27048.60
合计					4223140.37 (约 422.31 万)	—	12669523.70 (约 1266.95 万)

5.6 环境风险分析与评价

5.6.1 环境风险评价原则与工作程序

5.6.1.1 评价原则

按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)的要求,环境风险评价应以突发性事故导致的危险物质环境急性损害防控为目标,对建设项目的环境风险进行分析、预测和评估,提出环境风险预防、控制、减缓措施,明确环境风险监控及应急要求,为建设项目环境风险防控提供科学依据。

5.6.1.2 评价工作程序

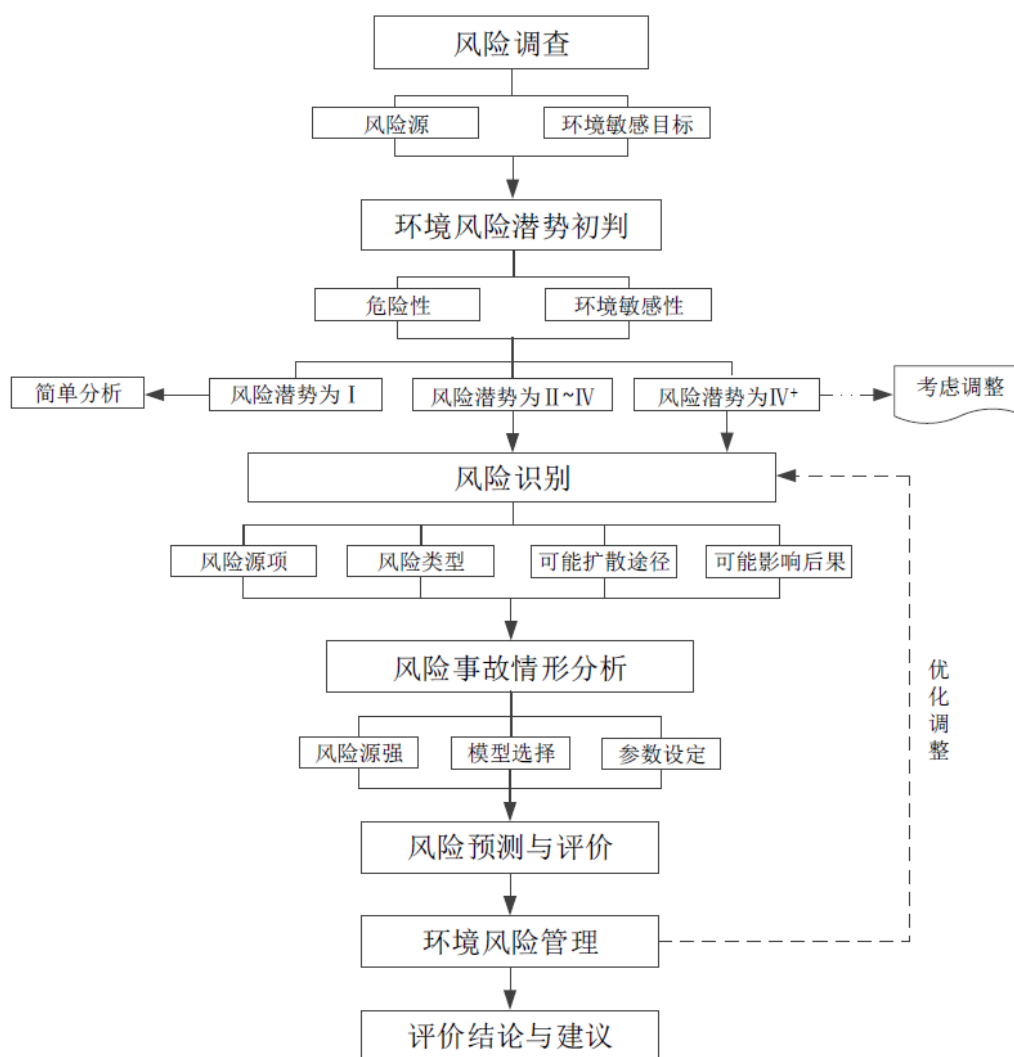


图 5.6.1-1 评价工作程序

5.6.1.3 评价内容

本次评价内容为进行风险识别，对识别的风险进行概率计算和源强分析，预测项目建设过程中的环境风险影响，提出减轻污染危害后果的对策及应急方案。具体内容见表 5.6.1-1。

表 5.6.1-1 海洋环境风险评估内容一览表

序号	程序	主要内容
1	风险识别	气象灾害风险分析、溢油事故风险分析
2	源项分析	事故发生概率、源强分析
3	风险影响预测	污染事故危害程度
4	风险评价	综合评价风险可接受水平
5	降低风险对策	减少事故概率和危害后果对策
6	提出应急预案	提出应急能力建设方案

5.6.2 环境风险评价等级评价范围

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)，本项目的风险评价等级根据本项目涉及的物质及工艺系统危险性和项目区域的环境敏感性确定环境风险潜势。根据前文 2.4.1.2 节可知，本项目危险物质及工艺系统危险性 (P) 值为 P4，环境敏感程度分级为 E1，其对应的环境风险潜势等级为 III，应按要求开展二级评价。

表 5.6.2-1 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。

表 5.6.2-2 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 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

5.6.2.1 环境风险评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025)，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，二级评价项目的评价范围根据危险物质 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。

本项目环境风险工作等级为二级，本项目涉及的环境风险物质仅包括燃料油，其发生泄漏事故时，仅对海洋环境产生影响，根据溢油漂移数值预测结果及生态敏感区，确定溢油 48h 油膜扩散范围确定为海洋生态环境风险评价范围。

5.6.3 环境风险敏感目标

本项目送出海缆和海上升压站均不涉及生态保护红线，与遮浪南重要渔业资源产卵场紧邻，与深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区相距 1.2km，与汕尾市海丰县红树林相距 1.2km，与鲘门重要滩涂及浅海水域相距 3.6km，与乌山海岸防护物理防护极重要区相距 4.9km，与百安半岛海岸防护物理防护极重要区相距约 10.0km，与针头岩特别保护海岛相距约 10.0km。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区，部分位于黄花鱼幼鱼保护区和南海中上层鱼类产卵场。

5.6.4 风险识别

本项目包括集中送出海缆和海上升压站。海缆铺设长度单回 70.7km，海缆总长度 141.4km。

项目在施工期和运行期均存在突发环境事故的可能，主要包括项目海域内的通航环境风险、船舶碰撞溢油风险、热带气旋、风暴潮、台风等气象自然灾害风险长时期冲刷造成电缆和海床之间形成淘空的风险和海底线缆突发事件风险。本项目风险识别包括对风险类型、物质危险性、物质转移途径及可能受影响的环境保护目标进行识别，具体情况如下：

5.6.4.1 风险类型识别

1、通航事故风险

本项目海缆与多条航道交越。在项目建设期对通航船舶可能会造成的一定影响，需要在施工期做好组织协调工作，在施工范围做好预警提示工作；在项目运营期，海缆存在不会影响各航路船舶通行，但是海缆一定范围内将禁止船舶抛锚、

拖锚等可能破坏海底光缆安全的海上作业，建议对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识，降低通航事故风险。

2、船舶溢油事故风险

船舶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40米的-OMSPollux II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10吨船用汽油泄漏到爱尔兰海中，大约10米宽，0.7海里长的海面遭到溢油污染。所幸泄露的是轻油，能够自动蒸发或者自然降解。

(2) 船舶碰撞溢油风险

项目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。本项目的施工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。

3、海上升压站损坏溢油风险

海上升压站在运行过程中存在一定的漏油风险，主要来源于变压器设备、液压系统、柴油发电机等含油设施，漏油物质主要为变压器油、液压油和柴油，具有易扩散、难降解和潜在生态毒性等特征。在运营期，海上升压站主要面临设备渗漏、密封老化、极端天气及人为操作失误等引发的漏油风险，油品可能泄漏入海，对周边海洋生态系统、渔业资源及环境敏感区造成不利影响。

表 5.6.4-1 海上升压站损坏溢油风险识别表

风险源	风险来源
电力变压器及开关设备	升压站内设有变压器，含有大量变压器油等油类物质
液压系统	如电缆接头的压力补偿油箱、液压驱动装置等可能含有液压油
紧急发电设备	柴油发电机及储油设备
油品运输及补给过程	运输过程中存在油品泄漏风险
设备老化或操作失误	密封失效、操作失误或系统故障造成泄漏

4、其他风险分析

(1) 升压站倒塌环境风险影响分析

海上升压站作为海上风电场的核心电力集散平台，其结构安全性直接关系到整个系统的运行稳定与环境安全。若因**极端天气、基础失稳、结构疲劳或撞击事故**造成升压站发生整体或局部倒塌，可能引发**设备坠落入海、燃油或绝缘油泄漏、电缆断裂、火灾爆炸**等严重次生事件，对周边海域生态系统、水质及渔业资源造成影响。此外，倒塌事故可能妨碍正常航运秩序与海上作业安全。一旦发生升压站倒塌，应立即启动海上突发环境事件应急预案，疏散人员并设立事故警戒区，同时组织环境监测与泄漏封堵作业，调集应急打捞、围油栏、吸油毡等设备，控制污染扩散；后续开展生态恢复和事后事故调查评估。

(2) 电气设备风险分析

海上升压站设有变压器、高压开关、电缆终端等重要电气设备。这些设备长时间处于高湿、高盐雾、高压等海洋环境中，可能存在设备绝缘性能下降、过热失效、火灾、电气短路等风险，进而诱发供电中断或油品泄漏等次生环境事件。若发生电气设备故障，应立即切断电源，启动电气火灾或泄漏应急响应程序，由专业电力运维团队关闭故障回路、开展灭火作业，同时进行事故设备油品封堵、回收和污染水处理，避免二次污染。

海缆如果布线不合理，机械强度不够，埋深不够，施工质量差，海缆敷设线路未设置标志，未向海洋管理部门申报，有可能造成海缆损坏。

(3) 海缆泥沙冲刷掏空风险分析

海底电缆埋设完成后，仍可能受到潮流、波浪和海底地形变化等海洋动力影响，导致电缆埋设层冲刷、局部冲沟形成，进而出现电缆悬空现象。电缆悬空将显著增加其受力疲劳，易造成结构磨损、折断或信号传输异常。

为避免海缆掏空风险，在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，并在运行期必要时采取基础抛石回填等措施。

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《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。

在适当的区域如电缆登陆处、过航道段两侧预留一定长度电缆作为冗余，以备电缆发生损坏能及时牵拉使用。电缆敷设完毕后，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、采砂等作用。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。

(4) 钢管桩灌浆泄漏风险分析

在升压站钢管桩基础施工过程中，若发生灌浆材料配比不当、压力控制异常、

接口密封不严等问题，可能造成灌浆材料泄漏至海域，产生悬浮物浓度升高、水体混浊、短期生态影响等风险。此时，应立即停止灌浆作业，封堵泄漏点，设置围栏隔离污染水体。

本工程灌注的水泥砂浆，主要由胶凝材料（水泥）、拌和水和细骨料（细砂石）组成。一旦水泥砂浆泄漏入海，与经海水稀释扩散会逐渐水化形成凝胶体，并不断把周围散粒的或块状的材料胶结成一个整体最终由原先的液态或半固定状态硬化为砣。一般水泥吸水饱和 45min 后，水泥浆逐渐失去塑性，出现凝结现象，而凝结后的砣颗粒较大，且水泥浆密度较高一般在 $1800\sim 2000\text{kg/m}^3$ ，因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下，砂浆及其固化形成的砣会快速沉入海底，其对海洋水质的影响将集中在泄漏口位置，而其对海洋水质的污染则主要表现为局部水体透明度下降，悬浮物浓度升高，但随着砂浆硬化沉降，对水质的影响会迅速减小。砂浆沉入海底后可能进一步与沉降位置沉积物扩展凝结形成高强度的砣，水泥砂浆中不含重金属、营养盐等物质，砂浆沉降对沉积物的影响也仅限于沉降的局部位置。

但只要及时检查钢套箱的状态，这种风险是可以避免的，一旦发现砂浆泄漏时应及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，使水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境影响降到最低。

（5）自然灾害风险分析

项目区海域可能遭受台风、风暴潮、强海浪、海啸及地震等自然灾害影响。极端气象条件可能造成海上升压站结构破坏、设备进水、电气系统瘫痪，同时对海底电缆形成冲刷或物理性拉应力，诱发电缆断裂或埋深改变。灾害过后组织海上设施安全检查、水下电缆完整性检测与环境损害评估，并对受损构筑物或设备进行加固修复，防止次生环境风险。

5.6.4.2 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、变压器油，其危险物质的理化性质见下表 5.6.4-2 和表 5.6.4-3 所示。

表 5.6.4-2 燃料油理化性质及危险特性表

类别	柴油、燃料油	
理化性质	外观与性状	黄色或棕色液体
	闪点/沸点 (°C)	≥60°C/282~338°C
	相对密度	对水 0.856~0.941
	溶解性	不溶于水
燃烧爆炸危险性	危险性类别	第 3 类易燃液体
	闪点 (°C)	52~55
	爆炸极限 (v%)	3.1~11.6
	火灾危险性分类	乙类
	禁忌物	硝酸、浓硫酸、高锰酸钾等强氧化剂
	急救方法	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。意识清醒者可用清水漱口，然后尽量多饮水。寻求医生或医疗机构的帮助。
毒理性质	毒性	低毒
	健康危害	急性中毒主要表现为乏力、头痛、酩酊感、神志恍惚等；严重者出现定向力障碍、意识模糊等。吸入液体可引起肺炎，严重时可发生肺水肿。慢性影响以神经衰弱综合症为主要表现，还有呼吸道刺激症状，接触性皮炎等。

表 5.6.4-3 变压器油理化性质及危险特性表

类别	变压器油	
理化性质	外观与性状	浅色液体
	闪点/沸点 (°C)	≥135°C
	相对密度	882kg/m ³
	溶解性	不溶于水，溶于有机溶剂
燃烧爆炸危险性	危险性类别	可燃物
	爆炸极限 (v%)	7.4~10.2
	火灾危险性分类	丙类

	禁忌物	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
	急救方法	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。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。
毒理性 质	毒性	低毒
	健康危害	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。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。

5.6.4.3 有毒有害物质转移途径识别

本项目涉及的危险物质为柴油（燃料油）和变压器油，向环境转移的途径主要通过水体污染（海水污染），具体情况见下表 5.6.4-4 所示。

表 5.6.4-4 危险物质向环境转移的途径识别

危险物质	危险物质特性	环境风险类型	危险物质影响环境的途径和影响方式
柴油	易燃易爆、有毒有害	物质泄漏	水体（海水）
变压器油	有毒有害	物质泄漏	水体（海水）

5.6.5 船舶溢油事故环境风险影响预测与评价

通过分析，本项目最终以船舶碰撞溢油事故为评价重点，进行模拟预测分析。

5.6.5.1 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。

5.6.5.2 事故概率计算

据统计，1974-2018 年我国近海 50t 以上海洋溢油事故共计 117 次，其中 50t

及以上溢油事故 92 次、500t 及以上溢油事故 24 次、3.4 万 t 及以上溢油事故 1 次；共造成油品损失 186105t。其中广东省 50t 以上海洋溢油事故 25 次，总溢油量 17205t。本节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，10~50 吨、100~500 吨、500~1000 吨、1000~10000 吨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（5 年一遇）次/年。事故主要涉及湛江港、广州港、珠海港、惠州港、汕头港，则平均每个港区事故发生概率为 1.76 次/年（1 年 2 次），10 吨以下、10~50 吨、100~500 吨、500~1000 吨、1000~10000 吨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）。具体如下表 5.6.5-1 所示。

表 5.6.5-1 溢油事故发生概率估算表（次/年）

海域	总事故发生概率	<10t	10~50t	100~500t	500~1000t	1000~10000t	>10000t
广东省海域（总）	8.8	7.2	0.6	0.6	0.2	0.2	0
平均每个港区	1.76	1.44	0.12	0.12	0.04	0.04	0

工程高峰期施工船舶约 15 艘，与单个港区船舶活动数量相比，本项目动用船舶较少，所以项目所在事故发生概率远小于 0.04 次/年。

根据南开大学熊善高《海域船舶溢油风险评估及应急管理体系的研究》，不同船舶类型碰撞事故发生溢油频率不一（见表 5.6.5-2 所示），其中，集装箱船发生碰撞溢油事故的频率最高，为 5.5×10^{-4} 次/船·年，而渔船发生碰撞事故后，溢油频率最低，为 4.95×10^{-5} 次/船·年。本项目施工使用船舶类型较多，有起重船、铺缆船、驳船、补给船、灌浆船、自升平台船、拖轮、抛锚艇、交通艇等，对比表 5.6.5-2 不同船舶碰撞事故溢油情况，本项目船舶碰撞发生溢油频率应低于 5.5×10^{-4} 次/船·年。

表 5.6.5-2 不同船舶碰撞事故溢油频率（次/船·年）

船舶类型	油轮	化学品运输船	散货船	杂货船	集装箱船	渔船	其他船舶
碰撞事故下溢油频率	2.6×10^{-4}	3.0×10^{-4}	3.7×10^{-4}	4.8×10^{-4}	5.5×10^{-4}	4.9×10^{-5}	1.2×10^{-4}

5.6.5.3 溢油源强及溢油位置分析

1、溢油点

本项目可能发生溢油事故的方式是施工现场附近施工船舶相互碰撞或施工船舶往返码头和施工现场途中与附近航道船舶之间碰撞导致的溢油事故。

模拟溢油点选取升压站和输送缆中间位置某点，也能够代表湾内和湾外两种情况，溢油源点位置见图 5.6.5-1 所示。

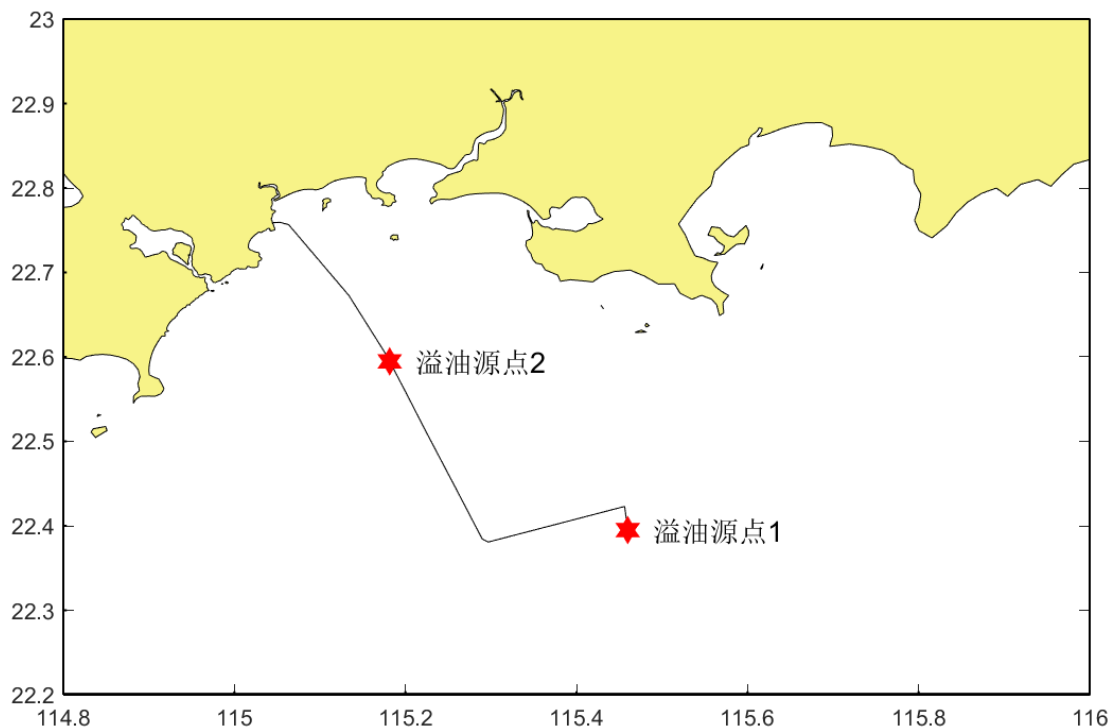


图 5.6.5-1 源点位置示意图

2、溢油量

(1) 海上升压站

参考《水上溢油环境风险评估技术导则》表 C.6，海上升压站施工按照最大施工船计算，即以 19800 吨起重船进行插值计算燃油舱单舱燃油量，油密度以 0.9t/m^3 计算：

线性插值的公式为：

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

经计算，海上升压站位置（源点 1）溢油源强约为 318m^3 ， 286.2t 。

(2) 海缆铺设

海缆铺设施工按照最大施工船计算，即以 14800 吨起重船进行插值计算燃油舱单舱燃油量，油密度以 0.9t/m^3 计算：

线性插值的公式为：

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

经计算，海缆中间位置（源点 2）溢油源强约为 218m^3 ，196.2t。

5.6.5.4 预测方法

溢油在水体中的运动主要表现为两种过程：在平流作用下的整体位移和在剪流与湍流作用下的扩散。溢油自身的表面扩展过程持续时间很短，而持续时间较长的运动形式主要表现为平流输运和湍流扩散。平流和湍流两种运动模式同时存在，通常称为“平流—扩散”问题。以往的多数的研究方法都是基于各种类型的平流扩散方程的数值求解，这类数值方法的困难在于数值扩散问题，即数值离散引进的一种与物理扩散无关的伪扩散效应，可能存在数值扩散完全掩盖物理扩散的现象，使所得到的数值结果完全失真，不能描述真实的物理过程。

本次模拟采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的形成，即把溢油分成许多离散的小油滴（或小斑块）来模拟溢油在水体中的输运扩散过程。采用“粒子—扩散”概念的方法可以真实地重现许多实际观测到的溢油扩散特征。例如潮流和风将油膜拉长，波浪导致油膜的破裂等特征。根据溢油量假设，模拟的粒子个数为 1000 个。

“粒子扩散”的概念，是把浓度场模拟为由大量的粒子组成的“云团”，其每一个粒子携带一定数据的示踪物质，采用拉格朗日法模拟油粒子在特定的流场条件下发生平移和位移的过程。再迭加油粒子在湍流场中的随机运动，即采用同时考虑到平流和湍流的扩散模式。

1、油粒子的运动模式

(1) 漂移

粒子模型方法将运动过程分成两个主要部分，即平流过程和扩散过程，采用确定性方法模拟溢油（粒子团）的输移过程。溢油在每一瞬时的三维空间位置和

分布状态是各种运动过程综合作用的结果。

根据拉格朗日观点，单个粒子在 Δt 时间内的空间位移可以表达为：

$$\Delta \gamma_i = U_i \Delta t + W_i \Delta t + \gamma_i'$$

其中 γ_i 代表第 i 个粒子的位置，向量 U_i 代表在该时间步长的开始时质点位置处的平流速度，此平流速度由初始潮流场给出。向量 W_i 代表垂直沉降速度。随机变量 γ_i' 称为随机走动距离。

输移介质的平流是潮流、风海流、地转流和密度的合成流。平流所引起的每个粒子的位移容易求得：

$$\begin{aligned} D_y &= u \cdot D_t \\ D_x &= v \cdot D_t \end{aligned}$$

上式中， u 为 x 方向的水平速度； v 为 y 方向的水平速度； D_t 为时间步长。

风导输移是引起平流输移的另一个重要因素。风对海面上油层的作用主要表现为两个方面，一是风生漂流的作用，另一方向是风应力直接作用在油膜上。风对油膜输移的直接作用为：

$$U_x = f \cdot W$$

上式中， W 为风速向量； f 为风因子矩阵。

(2) 水平扩散过程

油膜的扩散过程可分为重力—惯性力、重力—粘性力和表面张力—粘性力相平衡的 3 个阶段。油粒子的随机运动导致模型粒子团随时间增大，到一定程度后再慢慢变小。湍流扩散理论研究表明，粒子团的随机走动的“方差”等于粒子团方差的时间变化，即有：

$$\langle \gamma'^2 \rangle = \sigma^2(t + \Delta t) - \sigma^2(t)$$

亦即：
$$\langle \gamma'^2 \rangle \approx \frac{d\sigma^2}{dt} \Delta t$$

上式中， $\langle \rangle$ 表示对所有粒子求平均； $\sigma(t)$ 为 t 时刻粒子团的标准差。将粒子团的方差的时间变化率定义为扩散系数 K ，则有：

$$K = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt}$$

则在一维情况下，随机走动的方差与扩散系数的关系为：

$$\langle x'^2 \rangle \approx 2K\Delta t$$

这一关系式描述了随机运动过程与湍流扩散系数之间的关系。根据上式，可以得出随机运动的距离为：

$$x' = \eta\sqrt{2k\Delta t}$$

上式中， η 为一个随机变量，服从正态分布。如果以均匀分布随机变量来表示上式，则是：

$$x' = \zeta\sqrt{6k\Delta t}$$

上式中， ζ 为[-1, 1]之间的均匀分布随机数。

2、参数选取

蒸发系数 K_e 根据经验取 0.002；水平粘滞系数 A_H 取： $10^7 \text{cm}^2/\text{s}$ ；底摩擦系数取 0.0025；扩散系数取 0.035；吸收系统即乳化系数取 5×10^{-7} ；风漂移系数取 0.025。

5.6.5.5 模拟工况组合

计算工况考虑夏、冬两季和不利风况下涨潮期、落潮期的溢油，其中风速为平均风速和最大作业风速。根据测风塔的风速资料统计，冬季的常风向为东北东向风（ENE 向），平均风速 8.4m/s；夏季常风向为南南西向风（SSW 向），平均风速 6.5m/s；不利风向为对遮浪南重要渔业资源产卵场的不利风向南风（S 向），对溢油点西北方向的不利风向东南风（SE 风）和对溢油点东北方向的不利风向西南风（SW 风），风速取最大可作业风速 13.8m/s。模拟工况组合情况如表 5.6.5-3 和表 5.6.5-4 所示。

表 5.6.5-3 溢油扩散模拟工况（溢油源点 1）

工况	溢油量(t)	潮期	风向		风速 (m/s)	备注
1-1	286.2t	涨潮初期	夏季主导风向	SSW	6.5	平均风速
1-2		落潮初期				
1-3		涨潮初期	冬季主导风向	ENE		

工况	溢油量(t)	潮期	风向		风速 (m/s)	备注
1-4		落潮初期				
1-5		涨潮初期	不利风向	S	13.8	最大作业风速
1-6		落潮初期				
1-7		涨潮初期		SE	13.8	最大作业风速
1-8		落潮初期				
1-9		涨潮初期	SW	13.8	最大作业风速	
1-10		落潮初期				

表 5.6.5-4 溢油扩散模拟工况（溢油源点 2）

工况	溢油量(t)	潮期	风向		风速 (m/s)	备注
2-1	196.2t	涨潮初期	夏季主导风向	SSW	6.5	平均风速
2-2		落潮初期				
2-3		涨潮初期	冬季主导风向	ENE	8.4	平均风速
2-4		落潮初期				
2-5		涨潮初期	不利风向	S	13.8	最大作业风速
2-6		落潮初期				
2-7		涨潮初期		SE	13.8	最大作业风速
2-8		落潮初期				
2-9		涨潮初期	SW	13.8	最大作业风速	
2-10		落潮初期				

5.6.5.6 预测结果与评价

溢油模拟扩散结果见如下图 5.6.5-2~图 5.6.5-21 所示。

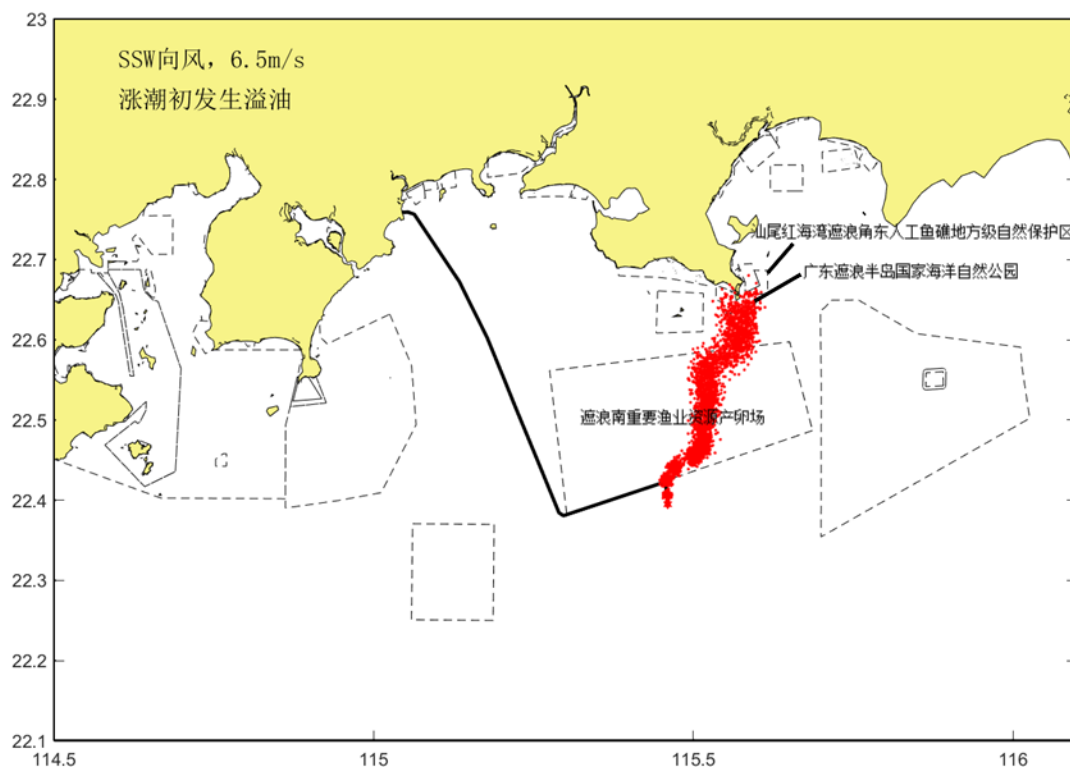


图 5.6.5-2 大潮期夏季 SSW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 1-1）

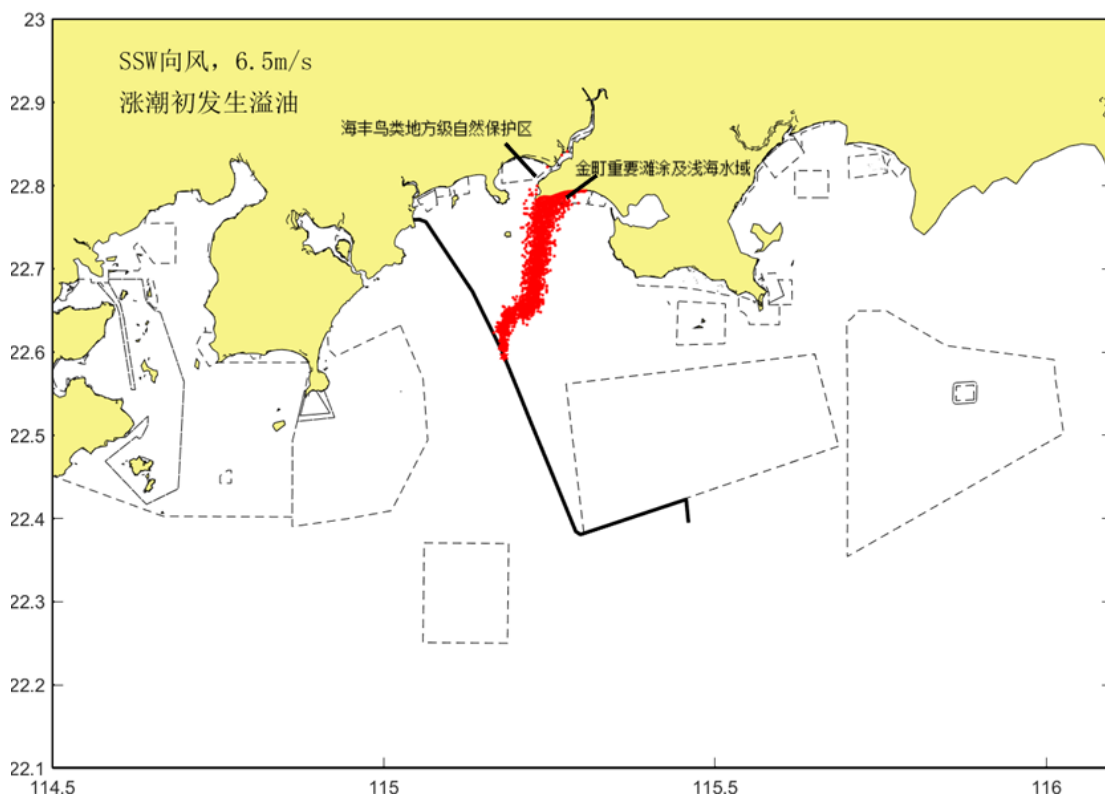


图 5.6.5-3 大潮期夏季 SSW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 2-1）

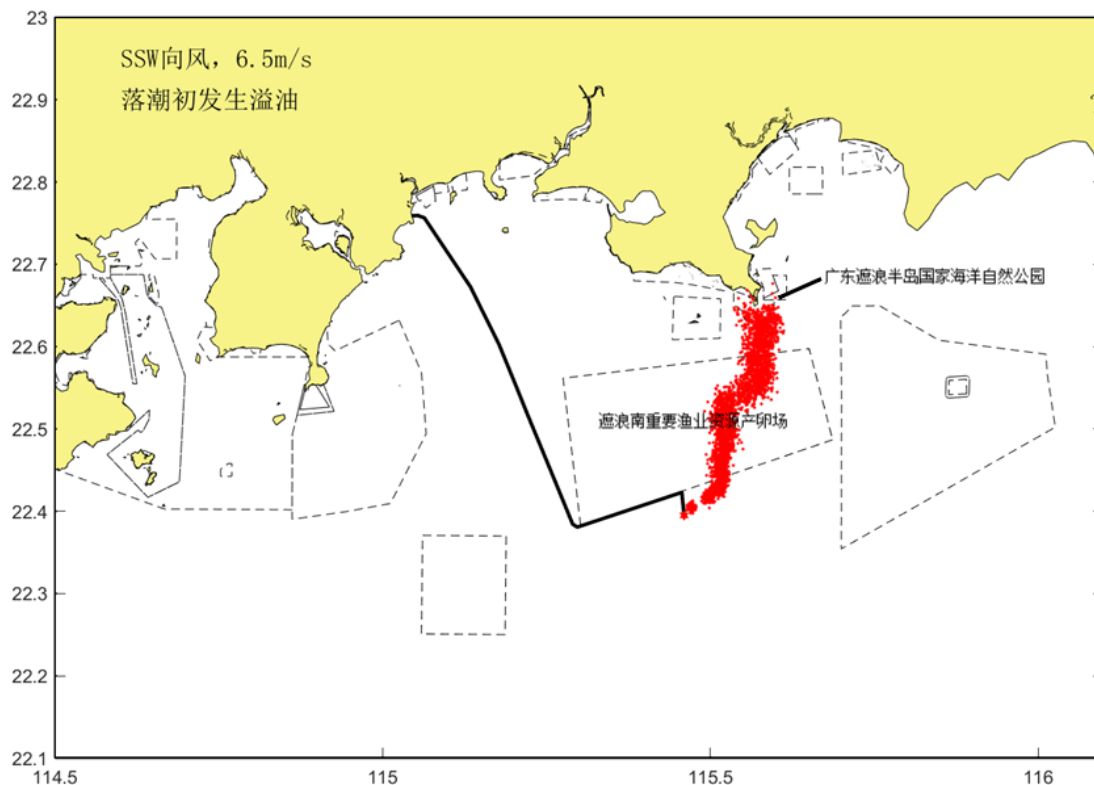


图 5.6.5-4 大潮期夏季 SSW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 1-2）

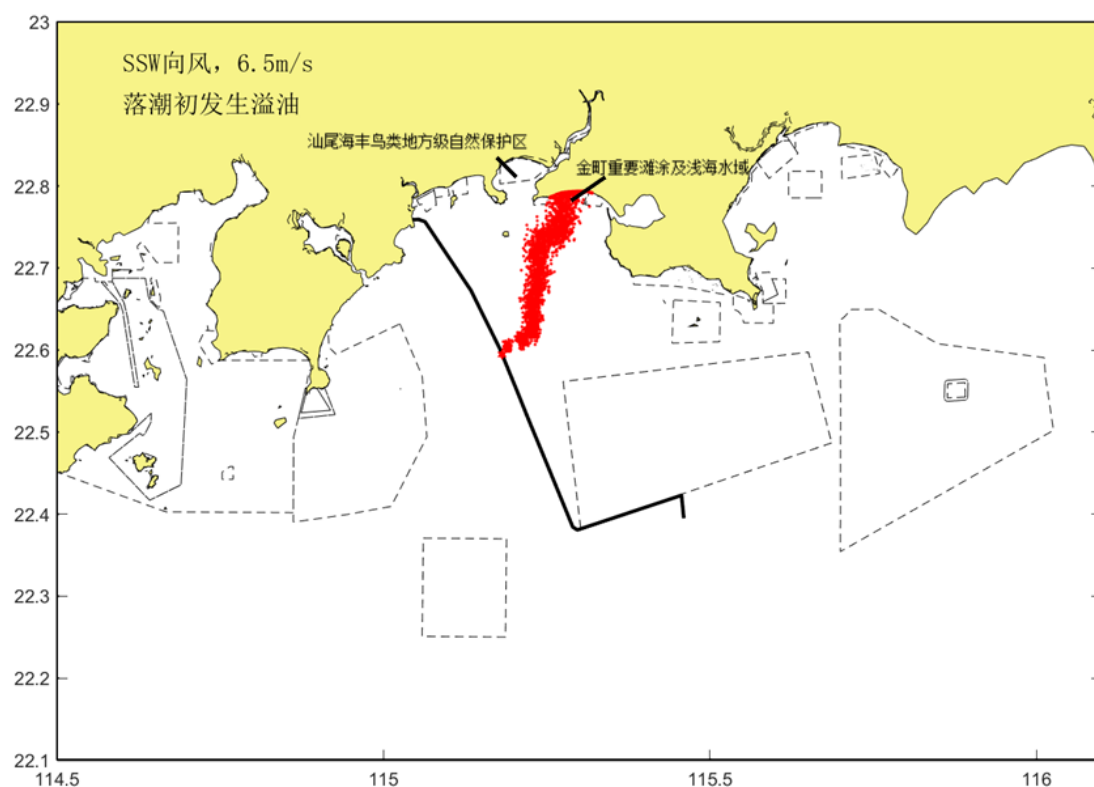


图 5.6.5-5 大潮期夏季 SSW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 2-2）

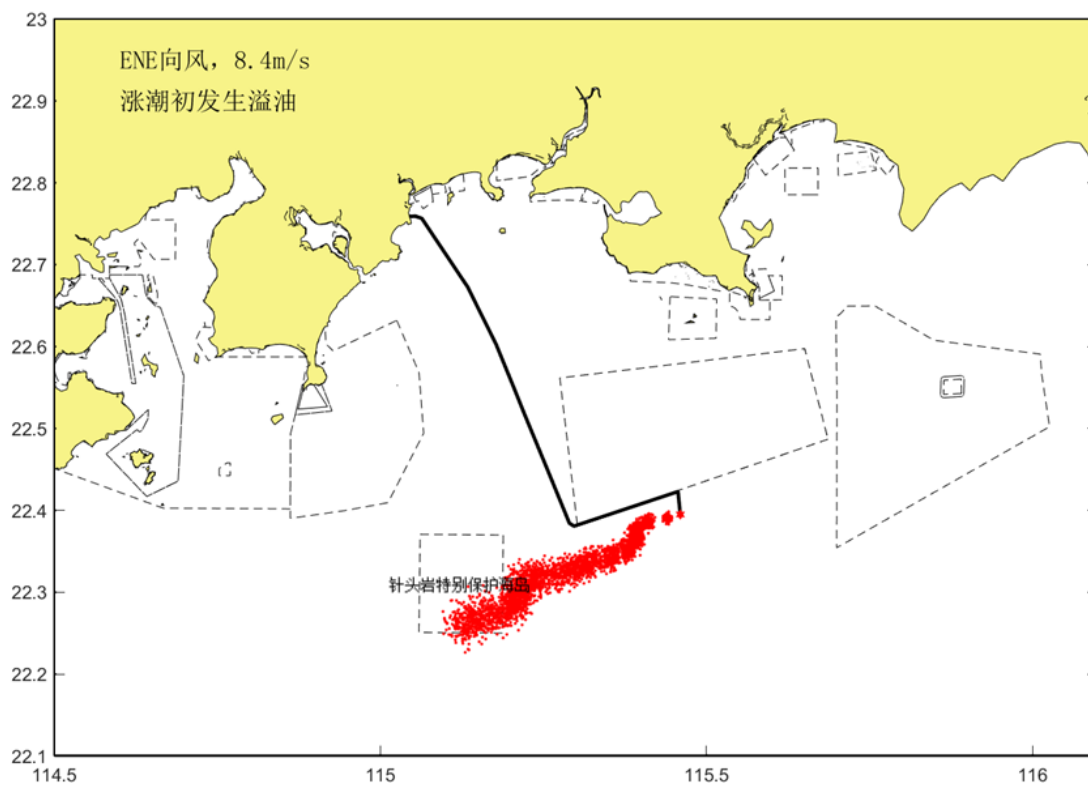


图 5.6.5-6 大潮期冬季 ENE 向风, 溢油发生在涨潮初期的油膜范围 (工况 1-3)

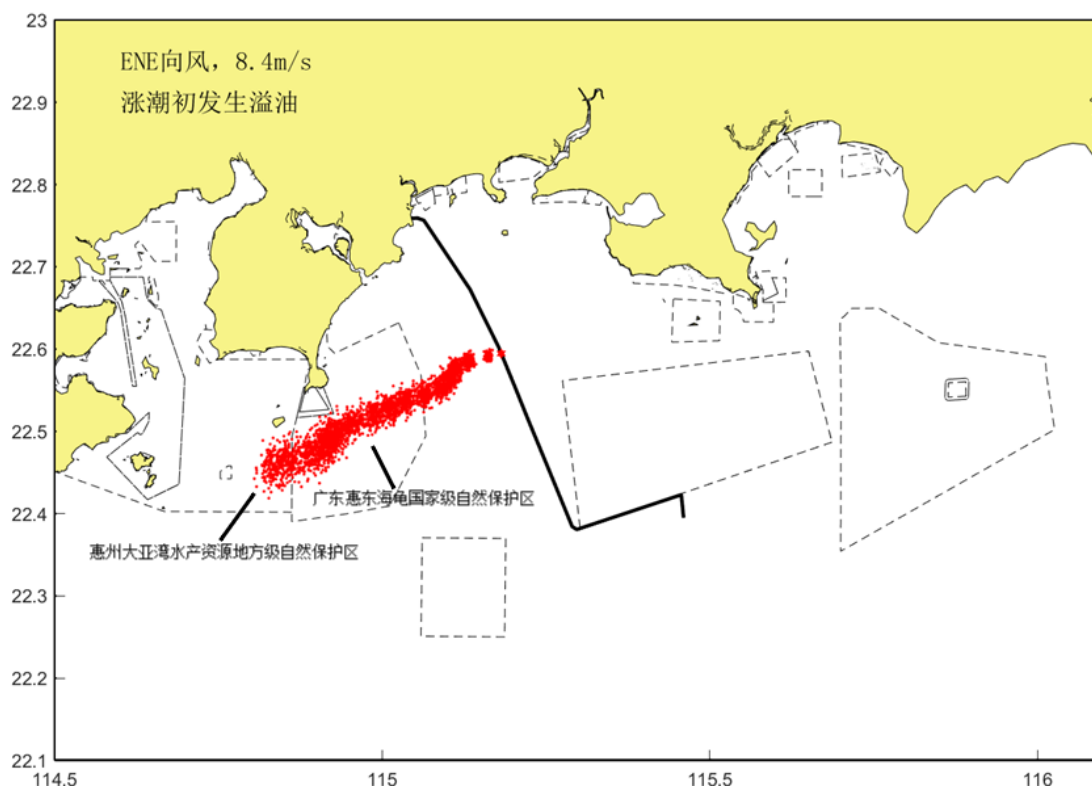


图 5.6.5-7 大潮期冬季 ENE 向风, 溢油发生在涨潮初期的油膜范围 (工况 2-3)

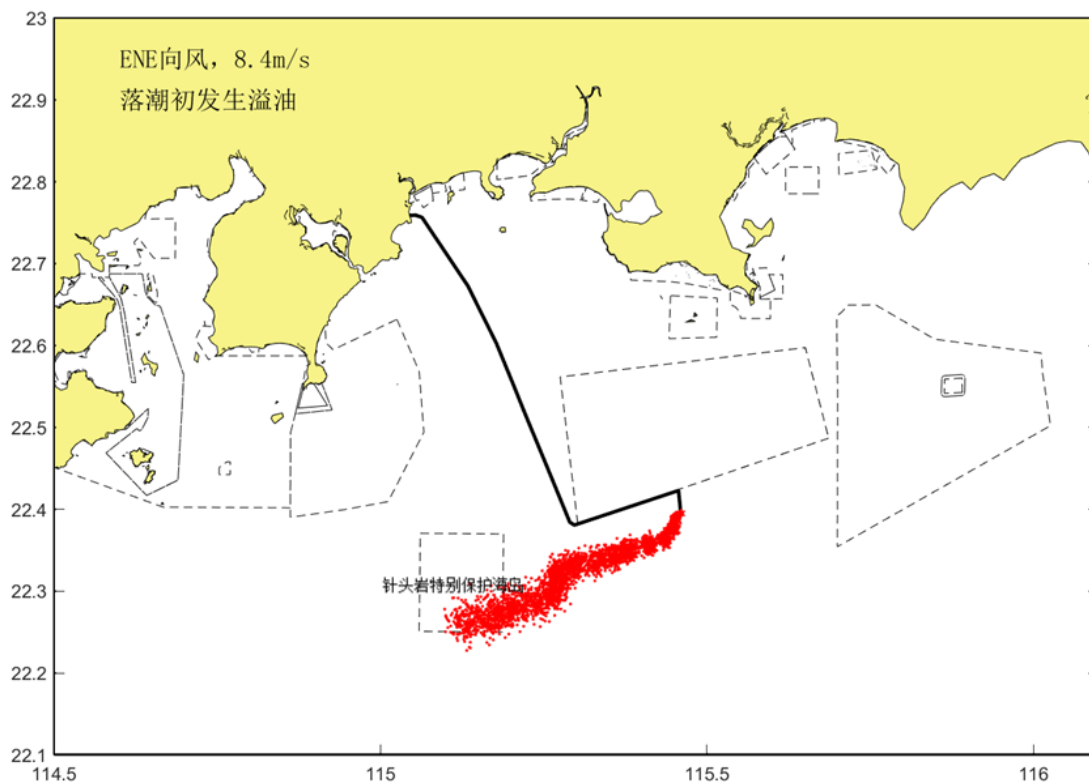


图 5.6.5-8 大潮期冬季 ENE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 1-4）

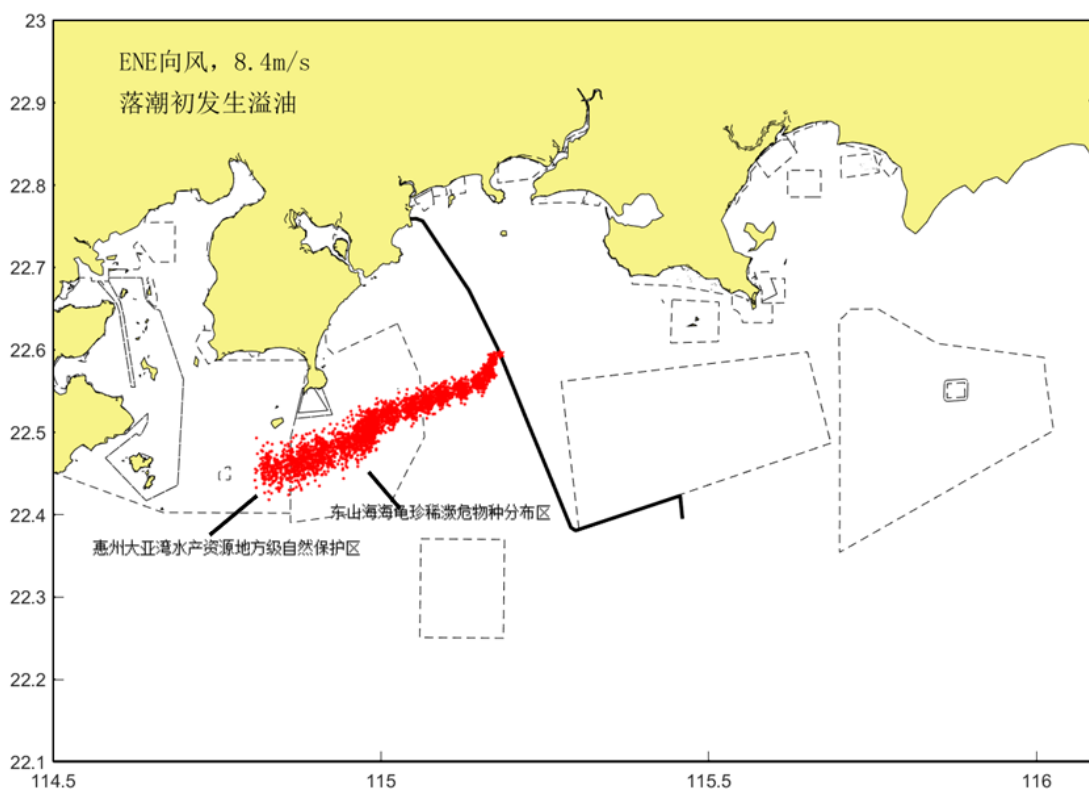


图 5.6.5-9 大潮期冬季 ENE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 2-4）

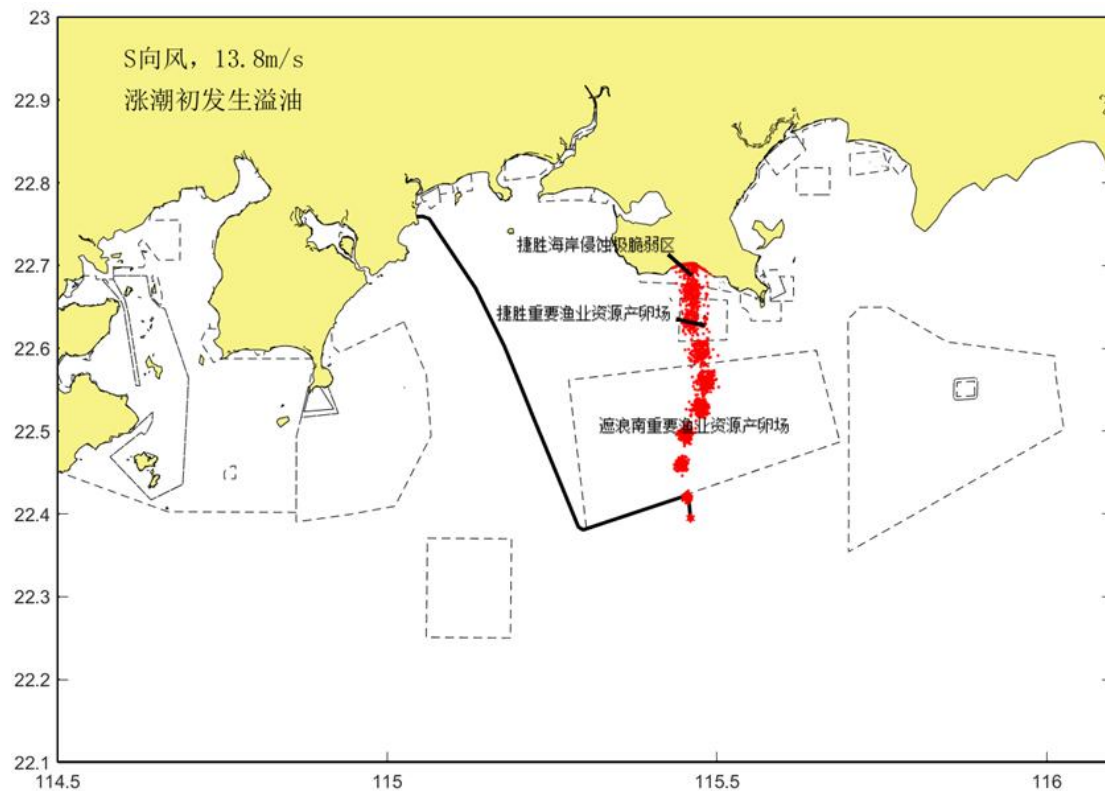


图 5.6.5-10 大潮期不利风向 S 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 1-5）

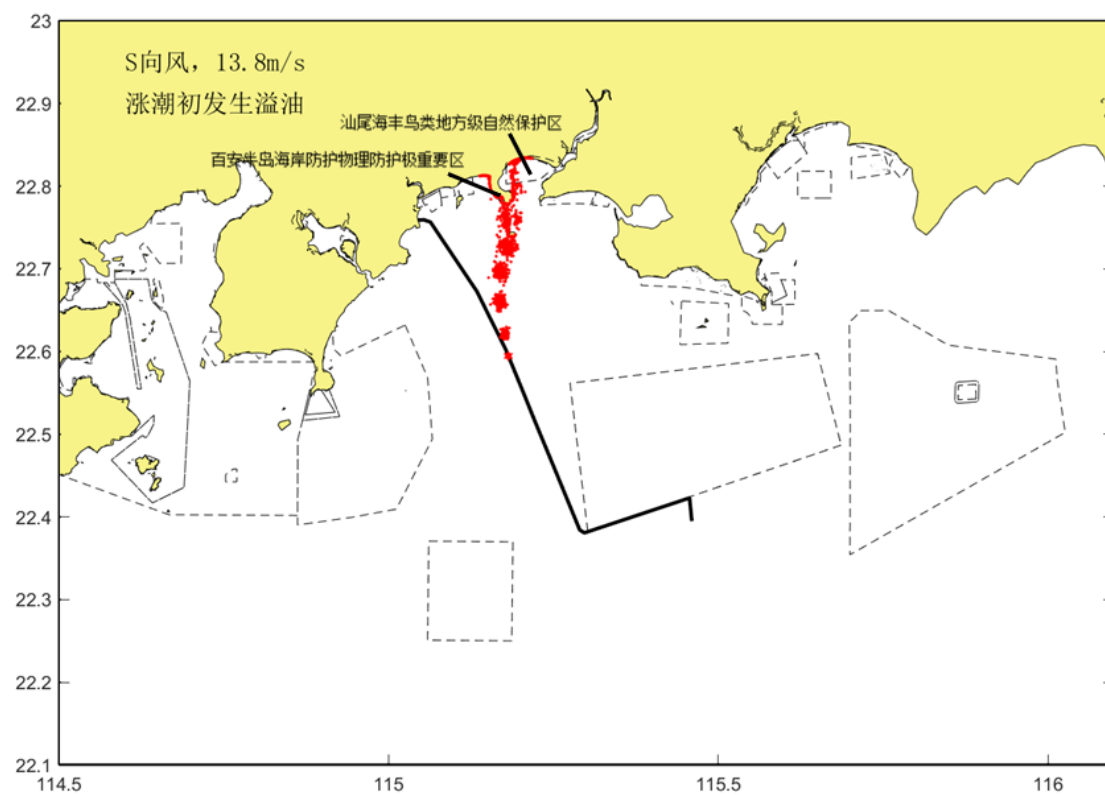


图 5.6.5-11 大潮期不利风向 S 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 2-5）

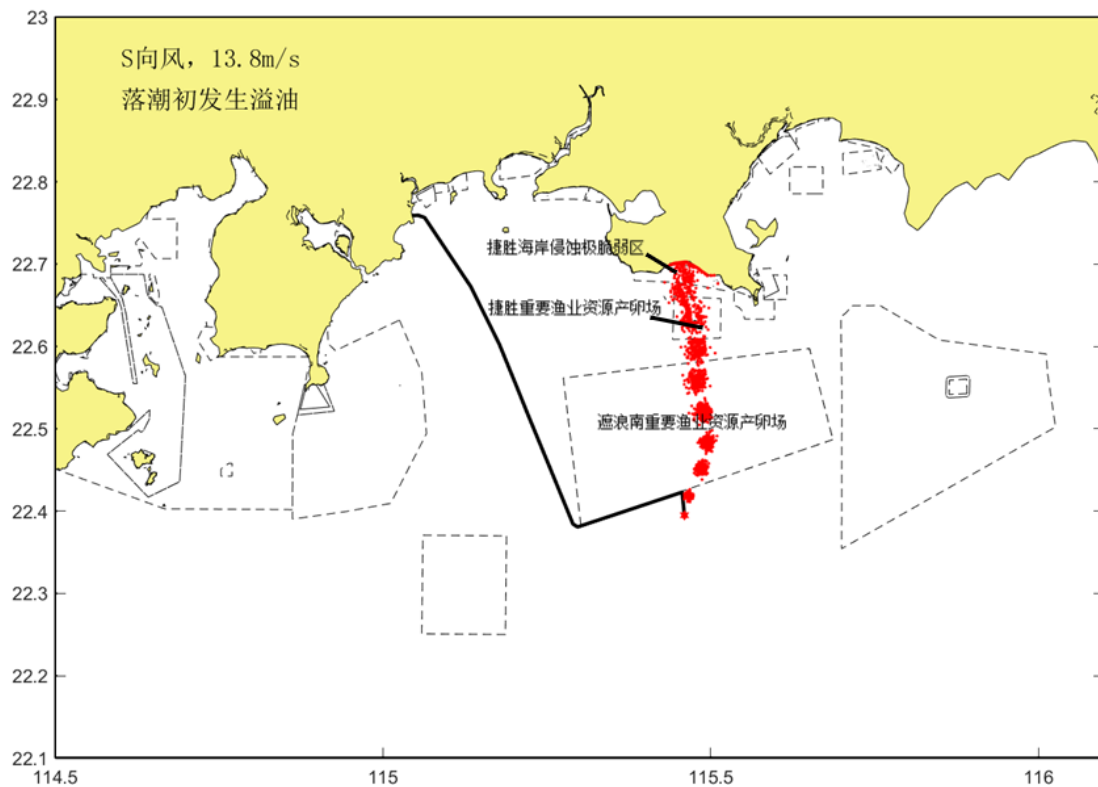


图 5.6.5-12 大潮期不利风向 S 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 1-6）

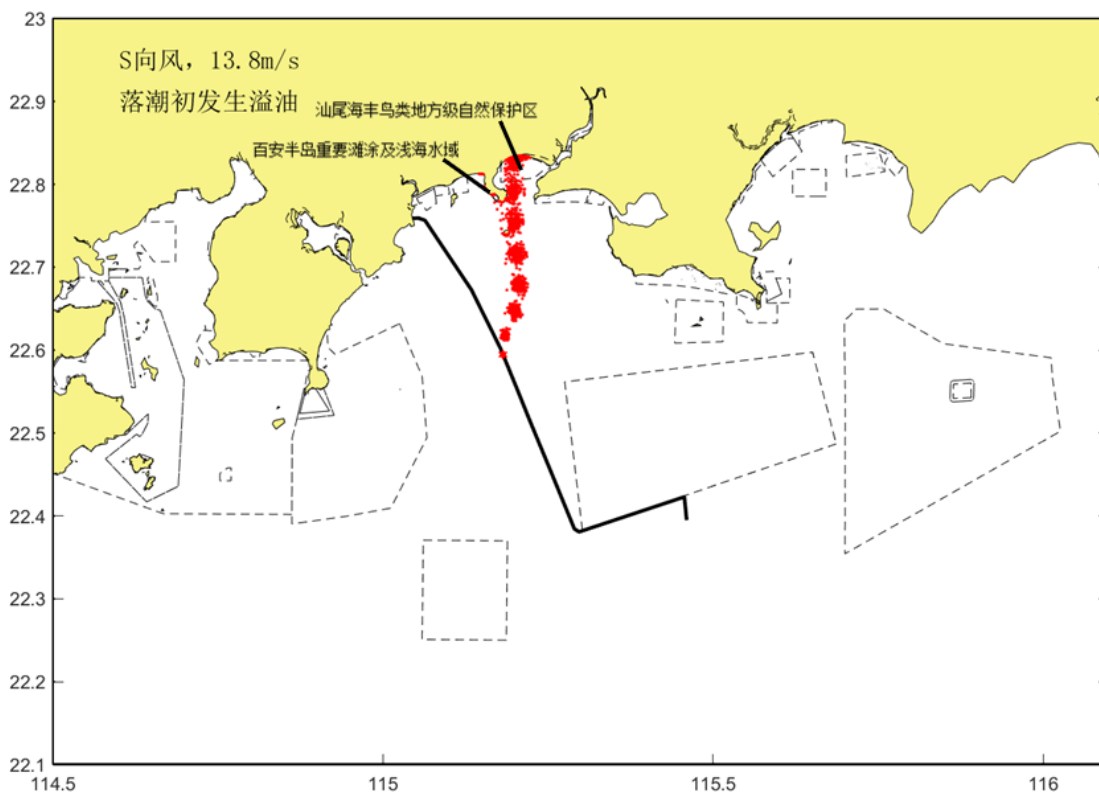


图 5.6.5-13 大潮期不利风向 S 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 2-6）

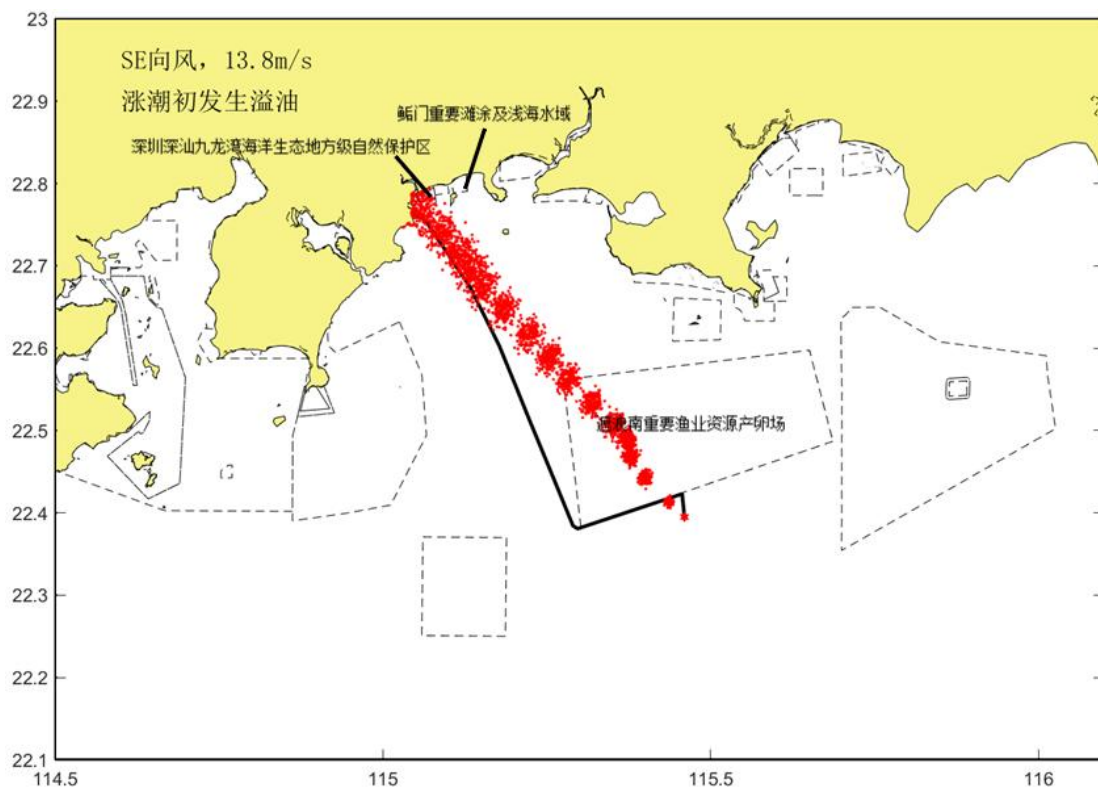


图 5.6.5-14 大潮期不利风向 SE 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 1-7）

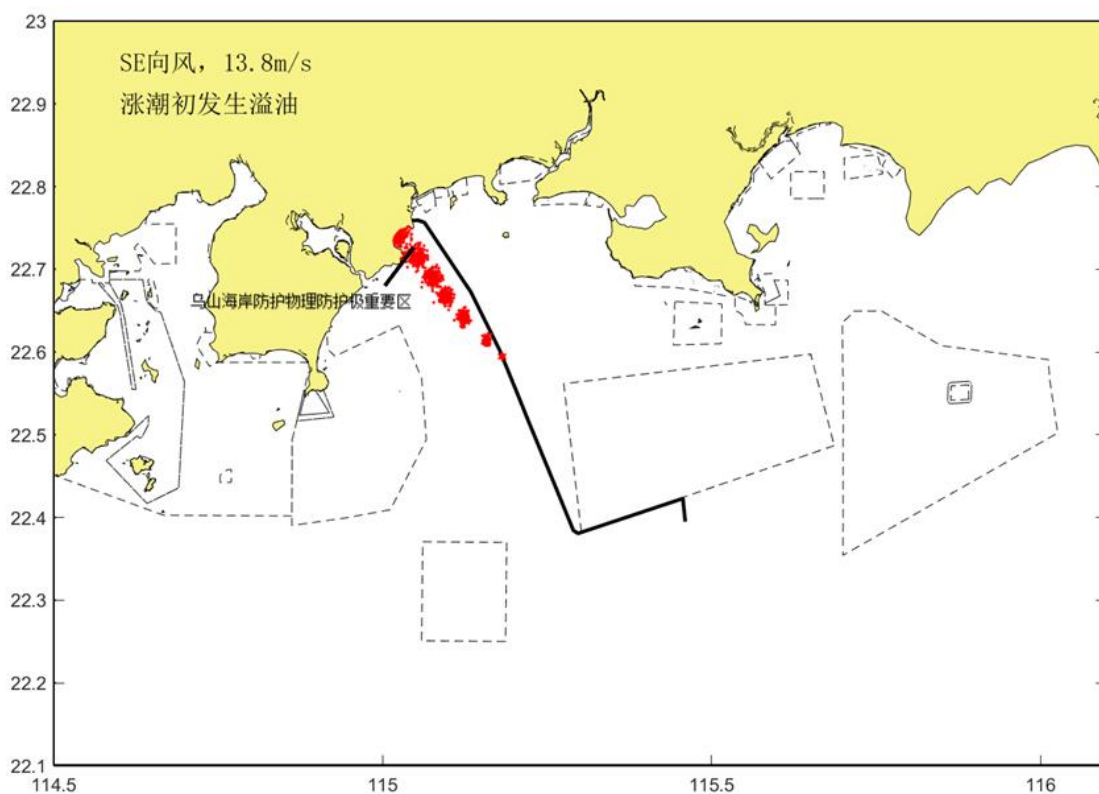


图 5.6.5-15 大潮期不利风向 SE 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 2-7）

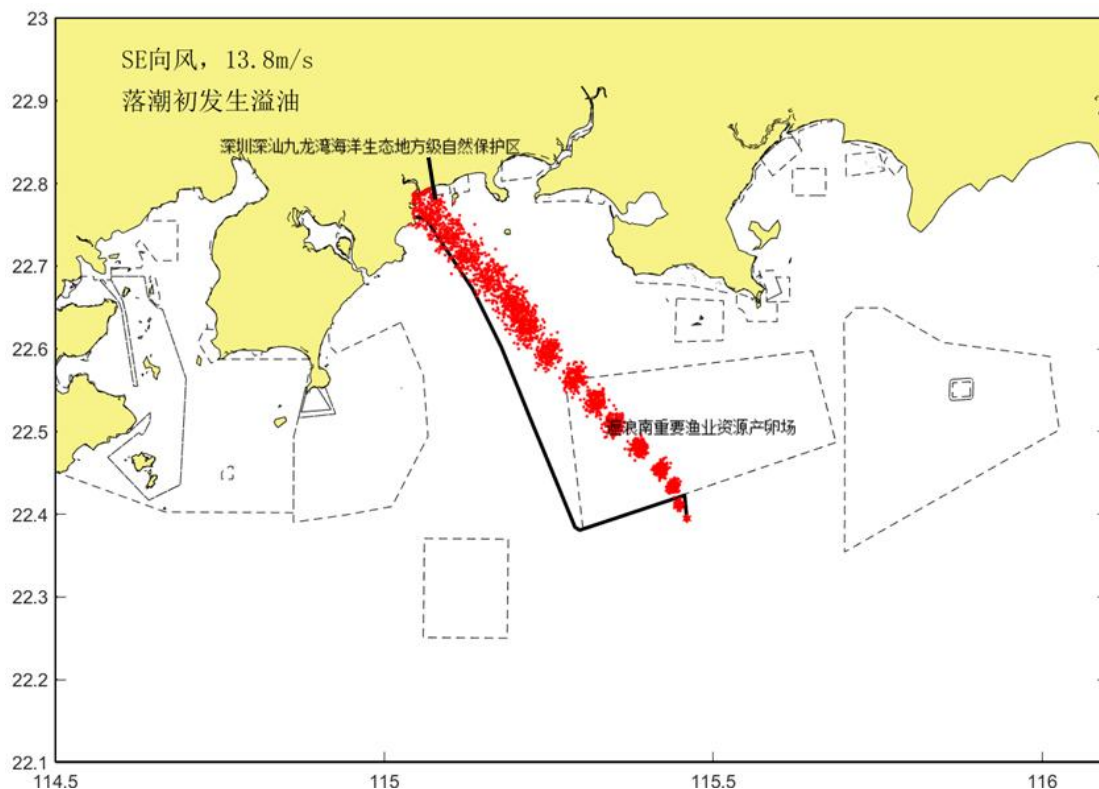


图 5.6.5-16 大潮期不利风向 SE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 1-8）

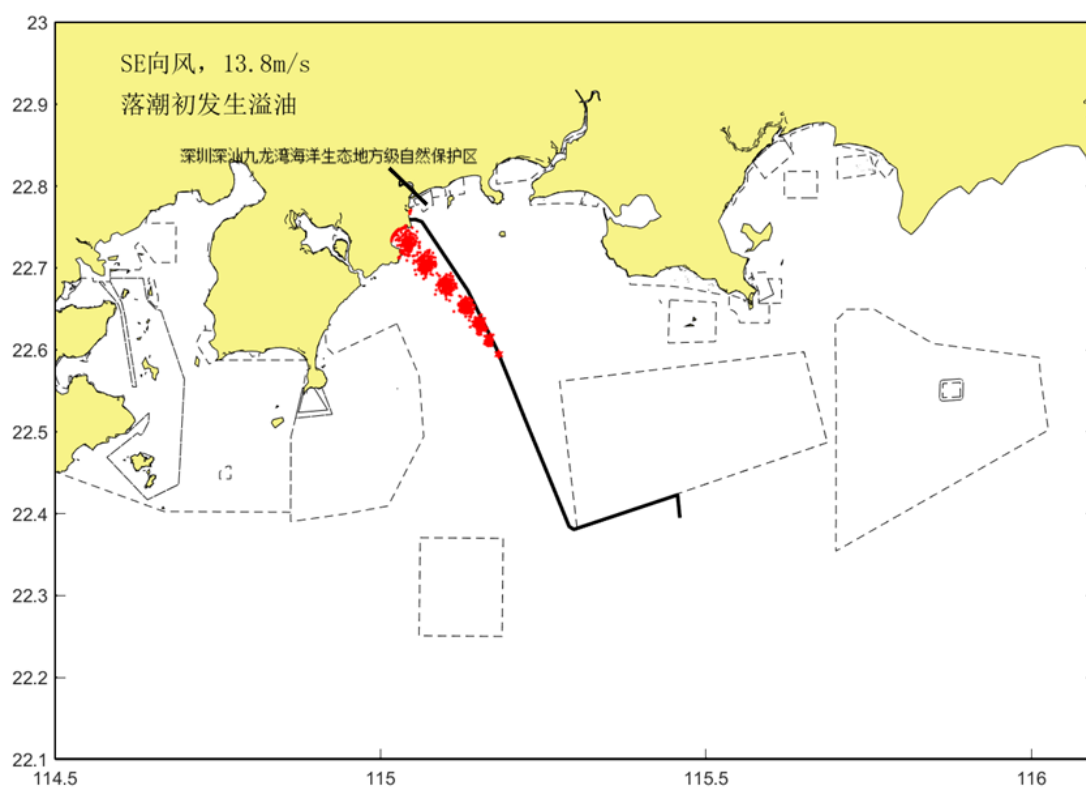


图 5.6.5-17 大潮期不利风向 SE 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 2-8）

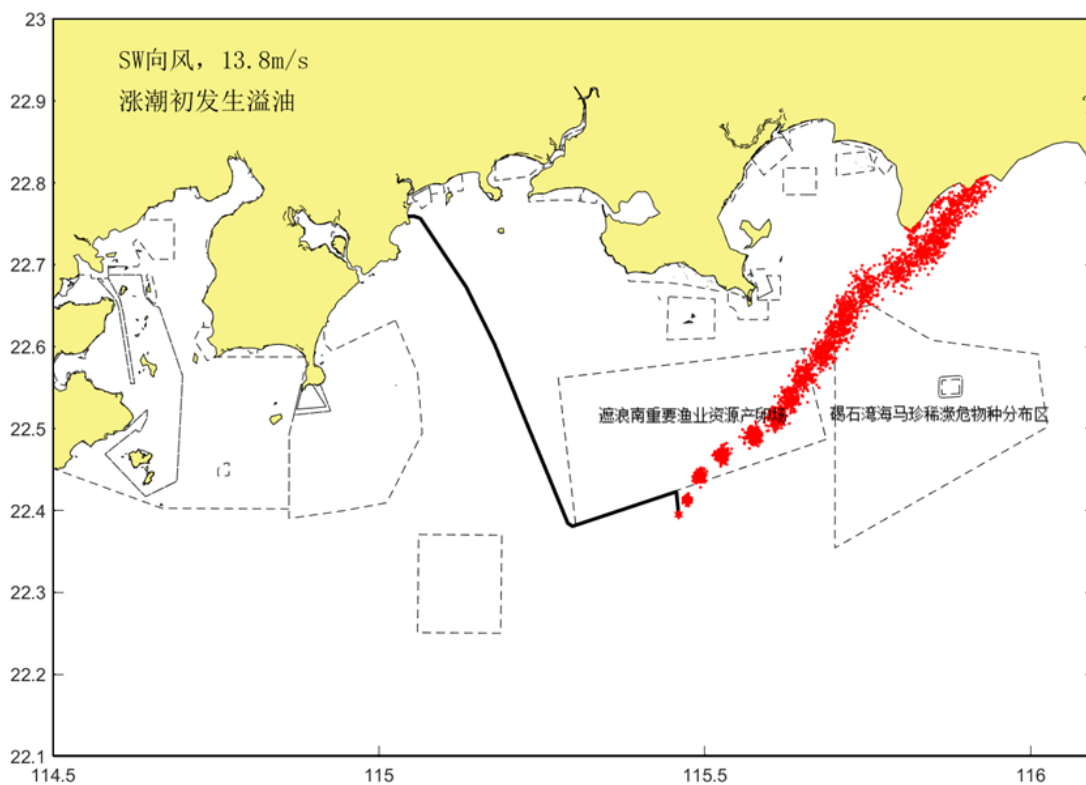


图 5.6.5-18 大潮期不利风向 SW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 1-9）

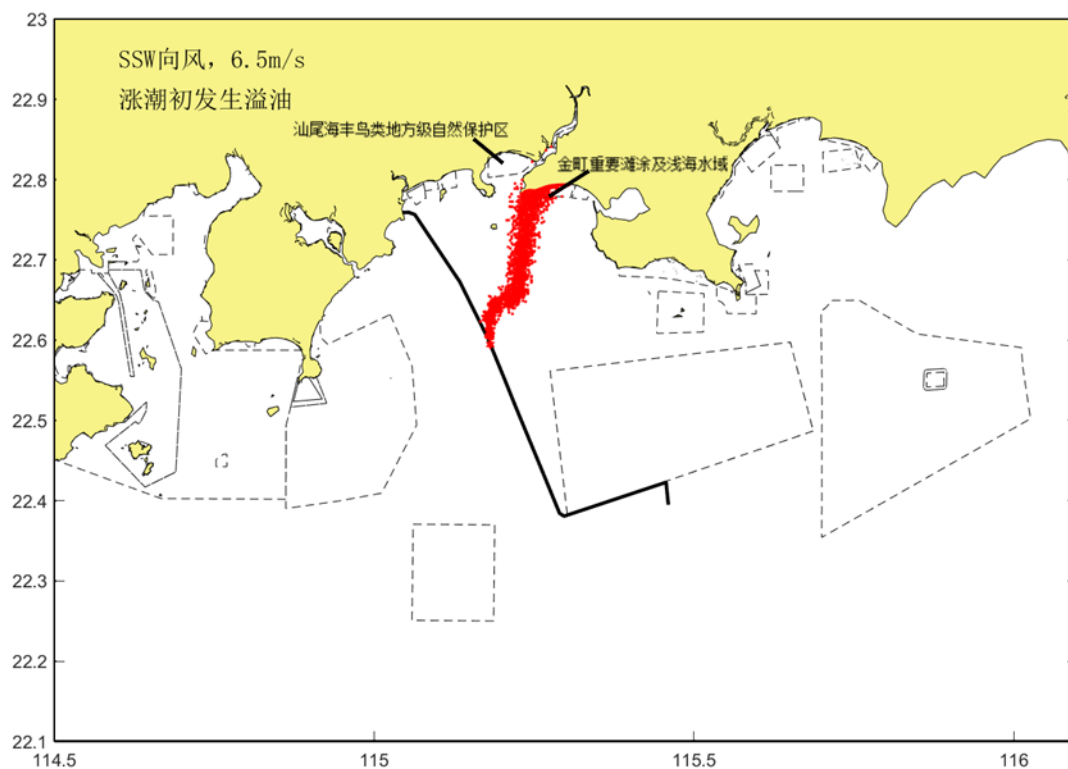


图 5.6.5-19 大潮期不利风向 SSW 向风，溢油发生在涨潮初期的油膜范围（工况 2-9）

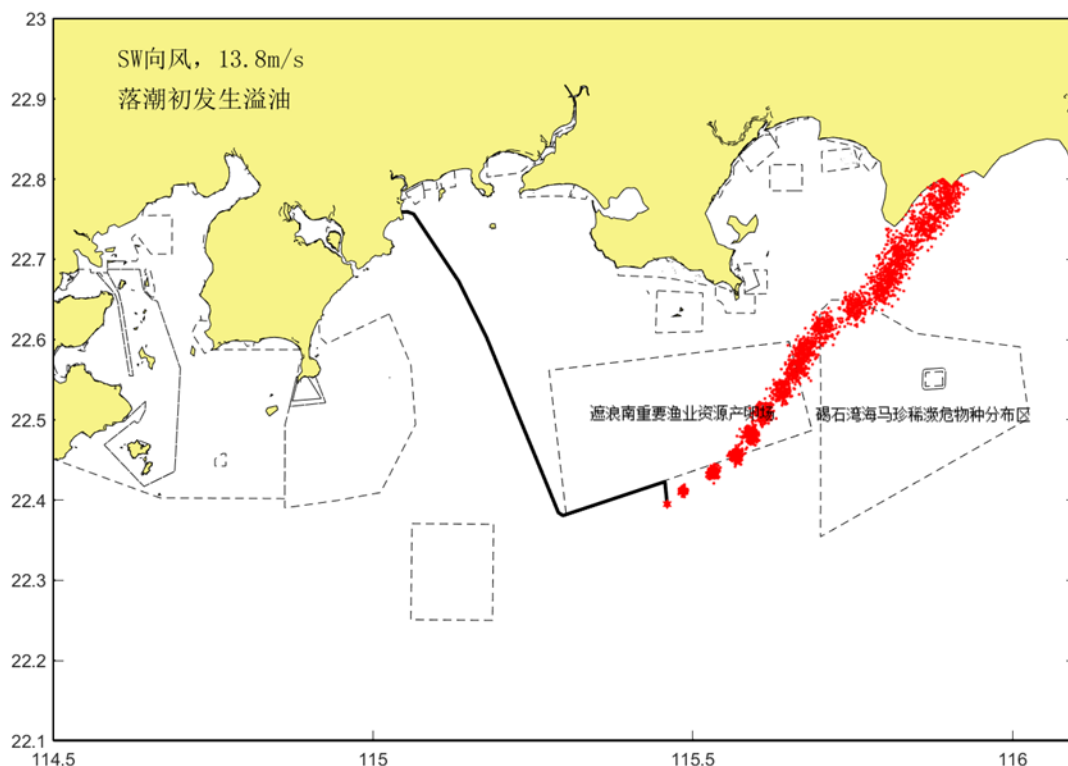


图 5.6.5-20 大潮期不利风向 SW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 1-10）

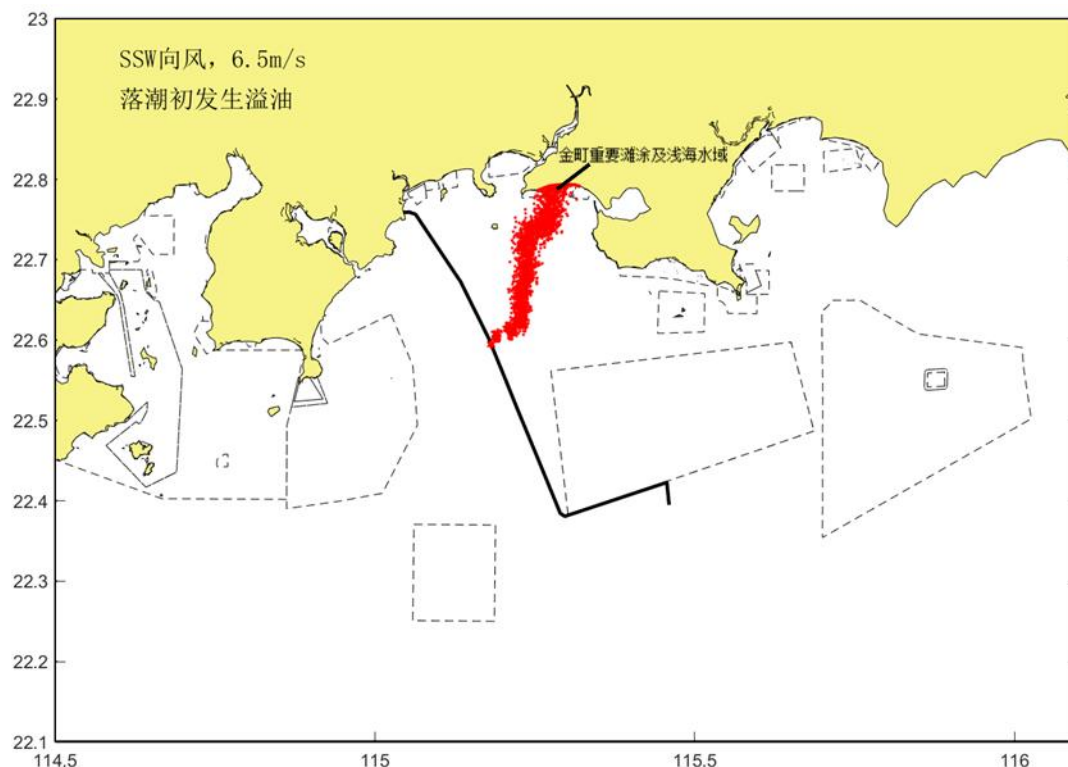


图 5.6.5-21 大潮期不利风向 SW 向风，溢油发生在落潮初期的油膜范围（工况 2-10）

由图 5.6.5-2~图 5.6.5-21 可知，风电场所处海区的溢油扩散受风应力和潮流的共同影响，项目所处海区的表层潮流动力中等，平常风条件下风应力作用相对

较小，以潮流作用为主。冬季 ENE 风时，油粒子主要表现为向溢油点的西南方向扩散；夏季 SSW 风作用时，油粒子主要向溢油点北侧海域扩散。

各种工况油膜扩散的统计指标见表 5.6.5-5 和表 5.6.5-6 所示。

表 5.6.5-5 溢油点源 1 各工况油膜到达敏感区的时间

工况	风向	风速 (m/s)	初始溢油时刻	到达敏感区时间(h)	抵岸时间	污染岸线长度 (km)
1-1	夏季常风向 SSW	6.5	涨潮	遮浪南重要渔业资源产卵场 (4h)、广东遮浪半岛国家海洋自然公园(58h)	遮浪角 (58h)	12.5
1-2			落潮	遮浪南重要渔业资源产卵场 (10h)、广东遮浪半岛国家海洋自然公园(45h)	遮浪角 (43h)	10.3
1-3	冬季常风向 ENE	8.4	涨潮	针头岩特别保护海岛 (37h)	无	无
1-4			落潮	针头岩特别保护海岛 (38h)	无	无
1-5	不利风向 S	13.8	涨潮	遮浪南重要渔业资源产卵场(2h)、捷胜海岸侵蚀极脆弱区(24h)	捷胜 (19h)	10.6
1-6			落潮	遮浪南重要渔业资源产卵场(3h), 捷胜海岸侵蚀极脆弱区(24h)	捷胜 (24h)	13.6
1-7	不利风向 SE	13.8	涨潮	遮浪南重要渔业资源产卵场(2h), 深圳深汕九龙湾海洋生态地方级海洋保护区(39h)	鲗门 (39h)	17.3
1-8			落潮	遮浪南重要渔业资源产卵场(3h), 深圳深汕九龙湾海洋生态地方级海洋保护区(39h)	鲗门 (39h)	17.1
1-9	不利风向 SW	13.8	涨潮	遮浪南重要渔业资源产卵场(3h)	田尾角西(37h)	37.9
1-10			落潮	遮浪南重要渔业资源产卵场(7h)、甲子港泻湖(47h)	甲子 (49h)	39.7

表 5.6.5-6 溢油点源 2 各工况油膜到达敏感区的时间

工况	风向	风速 (m/s)	初始溢油时刻	到达敏感区时间(h)	抵岸时间	污染岸线长度 (km)
2-1	夏季常风向 SSW	6.5	涨潮	金町重要滩涂及浅海水域 (33h)、汕尾海丰鸟类地方级自然保护区 (35h)	金町湾 (32h)	19.5
2-2			落潮	金町重要滩涂及浅海水域 (33h)、汕尾海丰鸟类地方级自然保护区 (35h)	金町湾 (32h)	17.5
2-3	冬季常风向 ENE	8.4	涨潮	广东惠东海龟国家级自然保护区 (18h)	无	无
2-4			落潮	广东惠东海龟国家级自然保护区 (19h)	无	无
2-5	不利风向 S	13.8	涨潮	汕尾海丰鸟类地方级自然保护区 (18h)	鲗门 (19h)	31.6
2-6			落潮	汕尾海丰鸟类地方级自然保护区 (18h)	鲗门 (19h)	31.3

工况	风向	风速 (m/s)	初始溢油时刻	抵达敏感区时间(h)	抵岸时间	污染岸线长度 (km)
2-7	不利风向 SE		涨潮	深圳深汕九龙湾海洋生态地方级海洋保护区(17h)	小漠镇(19h)	11.3
2-8			落潮	深圳深汕九龙湾海洋生态地方级海洋保护区(21h)	小漠镇(23h)	11.4
2-9	不利风向 SW		涨潮	捷胜海岸极脆弱区(16h)	捷胜(16h)	20.9
2-10			落潮	捷胜海岸极脆弱区(16h)	捷胜(16h)	29.9

表 5.6.5-7 溢油源点 1 主导风向下各工况油膜漂移扩散影响

泄漏时间	夏季主导风向 SSW, 6.5 m/s (平均风速)								冬季主导风向 ENE, 8.4 m/s (平均风速)							
	大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油				大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油			
	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)
2	0.8	0.8	264.8	0.8	0.8	0.7	264.3	0.7	0.8	0.7	264.2	0.6	0.9	0.7	264.0	1.0
6	10.4	4.1	227.0	4.6	7.6	4.0	225.8	3.4	6.0	4.1	225.5	2.3	11.4	4.1	225.1	5.3
10	19.8	6.6	194.6	7.2	19.1	6.7	192.8	6.1	15.4	6.7	192.5	4.9	19.7	6.7	191.9	7.3
18	55.7	14.4	143.0	11.4	53.0	14.3	140.7	11.1	53.2	14.6	140.3	12.0	49.6	14.2	139.4	12.5
24	90.2	18.4	113.5	14.6	83.2	18.4	111.1	14.9	93.2	18.5	110.6	18.0	83.4	18.2	109.7	17.9
48	252.0	39.8	45.0	29.0	246.5	37.7	43.1	29.8	278.1	36.5	42.8	37.0	260.8	36.6	42.1	37.2

表 5.6.5-8 溢油源点 2 主导风向下各工况油膜漂移扩散影响

泄漏时间	夏季主导风向 SSW, 6.5 m/s (平均风速)								冬季主导风向 ENE, 8.4 m/s (平均风速)							
	大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油				大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油			
	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)
2	0.9	0.9	181.5	0.7	0.9	0.9	181.1	0.7	0.9	0.9	181.1	0.7	1.1	0.9	180.7	1.0
6	9.3	4.6	155.6	3.8	8.4	4.5	154.6	3.6	8.3	4.6	154.6	2.9	11.9	4.5	153.6	5.2
10	19.8	6.7	133.4	6.1	20.3	6.7	131.9	5.9	20.1	6.7	132.0	5.8	23.2	6.7	130.6	7.8
18	49.8	14.8	98.0	10.5	52.0	15.1	96.1	10.4	61.9	14.8	96.3	13.0	58.8	15.3	94.4	13.3
24	83.0	18.3	77.8	14.5	80.6	19.0	75.8	14.3	100.4	18.2	76.0	19.0	92.8	18.9	74.0	18.9
48	153.0	22.4	30.9	24.8	177.3	25.5	29.3	23.9	300.2	36.8	29.4	38.9	262.8	36.4	27.9	38.7

表 5.6.5-9 溢油源点 1 不利风向下各工况油膜漂移扩散影响

泄漏时间	不利风向 S, 13.8 m/s (最大作业风速)								不利风向 SE, 13.8 m/s (最大作业风速)								不利风向 SW, 13.8 m/s (最大作业风速)							
	大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油				大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油				大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油			
	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)
2	1.1	0.7	263.1	1.4	1.2	0.7	263.1	1.4	1.1	0.7	262.4	1.2	1.2	0.7	263.1	1.6	1.2	0.7	262.9	1.5	1.0	0.7	262.8	1.3
6	12.6	4.1	222.5	6.8	14.2	4.1	222.6	7.3	10.0	4.0	220.8	4.8	16.6	4.1	222.8	8.1	16.8	4.1	222.0	8.6	11.4	4.1	221.9	6.1
10	32.6	6.6	188.3	11.7	37.7	6.6	188.3	12.4	26.7	6.4	185.9	9.0	34.0	6.7	188.6	12.5	35.1	6.6	187.6	14.3	32.3	6.6	187.4	12.4
18	106.6	14.4	134.7	22.4	106.7	14.4	134.8	22.3	87.6	14.3	131.7	21.2	83.4	14.2	135.1	21.2	98.6	14.4	133.9	24.2	93.0	14.3	133.6	23.6
24	180.9	24.5	104.8	29.7	165.2	24.6	104.9	29.5	152.6	18.0	101.7	31.1	144.8	17.8	105.2	30.2	154.7	18.3	103.9	30.8	143.8	18.3	103.6	31.5
48	211.7	3.3	38.4	34.0	184.6	0.2	38.5	34.0	357.2	19.1	36.1	60.1	360.4	6.1	38.7	60.1	407.2	21.2	37.8	62.6	405.4	37.0	37.6	62.6

表 5.6.5-10 溢油源点 2 不利风向下各工况油膜漂移扩散影响

泄漏时间	不利风向 S, 13.8 m/s (最大作业风速)								不利风向 SE, 13.8 m/s (最大作业风速)								不利风向 SW, 13.8 m/s (最大作业风速)							
	大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油				大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油				大潮落潮初发生溢油				大潮涨潮初发生溢油			
	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)	残余量 (t)	扩散面积 (km ²)
2	1.2	0.9	180.4	1.4	1.3	0.9	179.9	1.5	1.3	0.9	180.5	1.3	1.5	0.9	179.9	1.6	1.3	0.9	180.3	1.4	1.2	0.9	180.0	1.3
6	12.7	4.6	152.8	6.1	14.9	4.5	151.7	7.5	10.6	4.7	153.1	5.0	16.9	4.5	151.6	8.0	15.9	4.6	152.6	7.8	12.4	4.5	151.8	6.4
10	29.6	6.7	129.5	10.9	35.4	6.7	127.8	12.5	25.9	6.7	129.9	9.6	35.3	6.7	127.7	13.0	38.5	6.6	129.1	13.1	36.5	6.7	128.0	11.9
18	92.6	21.7	92.9	21.4	88.9	21.7	90.8	20.2	75.9	12.9	93.5	20.8	74.6	7.2	90.6	22.6	99.7	9.5	92.5	22.3	101.3	10.5	91.0	22.5
24	115.5	29.5	72.4	25.7	111.7	34.8	70.3	22.3	88.5	5.9	73.0	23.1	74.6	4.2	70.1	23.1	120.2	9.7	72.0	24.6	117.0	4.5	70.4	25.0
48	141.8	39.0	26.8	25.9	130.3	41.0	25.2	23.4	90.0	5.9	27.2	23.1	74.7	2.0	25.1	23.1	220.4	44.0	26.5	28.9	176.0	14.3	25.3	30.5

5.6.5.7 溢油环境风险影响分析

1、溢油事故对海洋生态和渔业影响分析

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大的影响。

(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。

(2) 对浮游动物的影响

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 *Paracalanussp.* 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。另外，Mironov 对不同浓度对桡足类幼体的影响实验表明，永久性（终生性）浮游动物幼体的敏感性大于阶段性（临时性）的底栖生物幼体，而它们各自的幼体的敏感性又大于成体。

(3) 对底栖生物的影响

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。受石油污染的牡蛎会引起因纤毛鳃上皮细胞麻痹而破坏其摄食机制并进而死亡。象海胆、寄居蟹、海盘车等底栖生物的耐油污性很差，即使海水中石油含量只有 0.01ppm，也可使其死亡。而千分之一浓度的乳化油即可使海胆在 1h 内死亡。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毒效。据吴彰宽报导，胜利原油对对虾 *Penaeusorientalis* 各发育阶段影响的最低浓度分别是受精卵

56mg/L, 无节幼体 3.2mg/L、蚤状幼体 0.1mg/L, 糠虾幼体 1.8mg/L, 仔虾 5.6mg/L, 其中蚤状幼体为最敏感的阶段。胜利原油对对虾的幼体的 96h-LC50 为 11.1mg/L。

(4) 对鱼类的影响

国内外许多研究均表明高浓度石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡, 低浓度长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖, 具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。陈民山等报导, 胜利原油对真鲷仔鱼 *Pagrassoniusmajor* 和牙鲆仔鱼 *Paralichthyolovaceus* 的 96h-LC50 值分别为 1.0mg/L 和 1.6mg/L。20 号燃料油对黑鲷 *Sparesmacrocephaius* 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。

(5) 对水产动、植物的油臭影响

海洋中一旦发生油污染, 扩散的油分子会迅速随风及水的流动而扩散, 水产动、植物一旦与其接触, 即会在短时间内发生油臭, 从而影响食用价值。以 20 号燃料油为例, 当油浓度为 0.004mg/L 时, 5 天就能对对虾产生油味, 14 天和 21 天分别使文蛤和葛氏长臂虾产生异味。

2、溢油对岸线的影响分析

溢油发生后, 一旦水面上的浮油在风浪和潮汐等因素作用下, 浮上岸边, 便会堆积在高潮线附近, 粘附在岸边岩土表面, 渗入上层的砂子里, 这将对岸线生态环境造成严重影响。

3、溢油对环境敏感区的影响分析

本项目送出海缆和海上升压站均不涉及生态保护红线, 与遮浪南重要渔业资源产卵场紧临, 与深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区相距 1.2km, 与汕尾市海丰县红树林相距 1.2km, 与鲒门重要滩涂及浅海水域相距 3.6km, 与乌山海岸防护物理防护极重要区相距 4.9km, 与百安半岛海岸防护物理防护极重要区相距约 10.0km, 与针头岩特别保护海岛相距约 10.0km。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区, 部分位于黄花鱼幼鱼保护区和南海中上层鱼类产卵场。

由于本项目溢油泄漏点在南海北部幼鱼繁育场保护区、黄花鱼幼鱼保护区和南海中上层鱼类产卵场，一旦发生溢油事故便会对其产生影响，根据前文溢油结果分析，项目溢油后 48 小时内，可能影响到的生态保护红线有遮浪南重要渔业资源产卵场、广东遮浪半岛国家海洋自然公园、针头岩特别保护海岛、捷胜海岸侵蚀极脆弱区、深圳深汕九龙湾海洋生态地方级海洋保护区、金町重要滩涂及浅海水域、汕尾海丰鸟类地方级自然保护区和广东惠东海龟国家级自然保护区。

周边溢油应急资源到位后，应在距生态红区、沿岸养殖区及附近岸线等环境保护目标 1km 区域布放充气式围油栏或固体浮子式围油栏进行导流和围控，围油栏数量依据《船舶溢油应急能力评估导则》确定。最后使用吸附材料对围控的溢油进行吸附回收。尽量减轻对周边环境保护目标和环境敏感区的影响。

4、溢油对珍稀海洋生物的影响分析

溢油事故发生后油膜短时间内扩散，可能对周边珍稀海洋生物造成影响，主要体现在：油污染可由生物呼吸、代谢、体表渗透和生物链传输，逐渐富集于珍稀海洋生物（如中华白海豚、海龟等）体内，存在一定毒性影响，且油块能堵塞珍稀海洋生物的呼吸器官，而导致其死亡。

本项目所在海域不是中华白海豚重要栖息地，在冬季 ENE 风向下可能影响至广东惠东海龟国家级自然保护区，进而影响所在海域海龟生境，因此，一旦发生溢油事故，应立即进行相应处理，最大程度控制溢油风险影响。

综上所述，溢油事故一旦发生将对海洋生态系统造成极大的影响。回顾溢油事故实际案例，1999 年珠江口水域发生的“3.24 特大溢油事故”，事故溢油量超过 500t，事故发生当年事故海域的海洋生态系统变化显著，直到事故第二年生态系统才开始逐步恢复，次年的鱼类资源和捕捞量损失约 40%，此后的 3、4 年渔业资源和捕捞量仍明显劣于事故前，直到事故后 7 年渔业资源方恢复到原有水平。可见溢油事故对海洋生态系统、渔业资源的影响是显著的、长期的。鉴于海上溢油事故无论是溢油量、风条件以及溢油时间均有较大的随机性，因此，一旦发生溢油事故需尽快启动相应应急预案进行处理。溢油事故对生态环境影响巨大，需对溢油事故严加防范、杜绝发生，避免造成经济损失和环境污染。

5.6.6 环境风险防控方案

5.6.6.1 风险防范应急措施

1、通航风险防范对策措施

(1) 施工期通航风险事故防范措施

本项目施工具有一定的通航环境风险，从而存在一定油料泄漏的风险，为保证工程施工安全，防止油污事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

1) 工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施和发生空发性事故的应急预案。

2) 要加强对施工作业船舶的安全管理。参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查，有关人员必须经过水上作业的相关安全培训和教育，并认真落实施工作业的安全措施和发生突发情况的应急措施。

3) 要加强工程施工期间施工区附近水域的通航环境的安全管理。需根据工程施工方案，分析工程施工对船舶通航环境的影响，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) 施工作业开工前按规定向海事局有关部门申办妥水上水下施工作业手续，申请发布有关施工作业航行通告和航行警告。

5) 施工船进行打桩作业时，应于明易显见处显示港口规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。

6) 施工作业期间作业船舶应配置有效的通讯工具，指派专人守听，密切注视周围船舶动态。

7) 施工作业船应派专人值班了望，当发现来船动向不明或危及施工船舶安全时，应立即通过扩音喇叭向来船发出警告。必要时停止施工，立即松缆避免事故的发生。

8) 为避免工程施工船所抛所开锚对过往船舶造成危害影响，应白天在艏悬挂经旗，夜间用探照灯向开锚锚位处水面照射。但灯光不能外射，以免影响过往船舶驾驶人员的正常了望。

9) 当风力达到施工船舶的抗风等级前，施工船应停止施工作业，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。

10) 施工作业附近, 应安排一艘拖轮停泊待命, 以便随时出动进行应急抢救等救助工作。

11) 由于工程施工时占用一定可通航水域, 因此在施工作业期产施工建设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。

12) 为确保项目顺利进行和航经附近水域船舶的通航安全, 施工建设单位应拟定施工期间水上交通安全维护方案, 通过印制、发放宣传资料和利用报刊、广播、电视等媒体开展广泛的宣传教育, 使有关航运单位、航行船舶及从事捕捞作业的渔民, 都了解工程内容、施工范围和工期等, 取得社会各方面的理解、支持和配合。

13) 认真落实施工船舶防污染措施, 做好船舶垃圾、残油、含油污水等污染物、废弃物的接收和处置工作。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。

14) 在海底电缆铺设过程中, 海底电缆南北方向各 300m 以内水域范围内禁止船舶航行。在电缆铺设的过程中, 应设置阶段性施工警戒区, 随时根据电缆铺设进度及时设置施工警戒区, 防止周围船舶误闯施工区域。施工船要正确显示号灯号型, 加强与周围船舶的联系与沟通, 避免周围船舶靠近电缆铺设区域。海底电缆铺设完成后, 应按《海底电缆管道保护规定》规定划定海底电缆管道保护区, 禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业; 而且, 业主方应当在海底电缆管道铺设竣工后 90 日内, 将海底电缆管道的路线图、位置表等注册登记资料报送县级以上人民政府海洋行政主管部门备案, 并同时抄报海事管理机构。

(2) 运营期通航风险事故防范措施

为防范运行期船舶碰撞及溢油事故风险, 必须采取相应的安全措施。

1) 项目助航设施、防撞设施和海上交通安全监控设施等应与工程建设“三同时”进行, 综合考虑海上风电场运营对海上交通安全的影响, 并将相关费用纳入项目概算。

2) 根据规定申请设置海底电缆保护区, 向社会发布海底电缆公告, 禁止在海底电缆保护区内从事挖砂、钻探、打桩、底托捕捞、张网、养殖或者其他可能

破坏海底管道安全的海上作业。

3) 工程建成后应将海底电缆、具体位置、走向、埋深以及升压站位置海域范围等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

4) 工程营运方应制定相应的日常检查养护制度和防风、防台等的应急预案。特别是在恶劣天气以后应及时检查风电场风机基础、设备的安全状况及导助航设施等的工作状况，减少影响通航安全的因素发生。出海检查时，应选择良好的气象、水文和海浪条件，保证执行检查工作船舶的航行和作业安全。

5) 建设单位经检查发现存在影响附近海域通航安全的情况和安全隐患时应及时处理，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告。

综上所述，本拟建风电场对过往船舶的航行安全存在一定的风险，但若业主单位管理、协调得当，并制定相关安全保障措施，则拟建风电场所在海域发生水上事故的风险将会得到缓解或消除。

2、溢油事故风险防范措施

(1) 施工期溢油事故风险防范措施

本工程各项施工活动基本都需要依赖船舶，如运输船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故，将可能对海域生态环境带来严重的影响。因此，对海上溢油事故应进行防范及应急处理，实行“预防为主、平灾结合、常备不懈”的方针，最大程度减轻事故的危害与损失。建议采取如下措施：

1) 系统地采取预防措施

采用“人、机、环境、控制（管理）”四大要素，对每个要素采取切实有效的安全措施。为了预防事故，就必须从根本上控制公司岸上、船上工作人员的职业素质和操作；控制船体、机电设备的技术状态，严格维护保养，保障其运转正常；正确估量航行环境中蕴含的自然力量和船舶的抵御能力，及时正常地预报天气和海况及时规避灾害天气，避免不可抗力的袭击；加强公司岸上和船上的安全管理，完善机构、规章及其运作。

2) 船舶驾驶员的业务技术应符合要求

按《防治船舶污染海洋环境管理条例》，落实本条例规定的防治污染有关措施人的不安全行为是事故因果链中引发事故的直接原因，规范船员操作行为能直接阻止事故的发生。

3) 健全维护保养制度，确保机电设备正常运转

主机、供电系统、舵机是船舶在大风浪中的自下而上保障，任何故障和失灵，都会使船舶面临事故危险。健全维护保养制度并予切实执行和有效监督，意味着远离危险和减少事故。在横倾初期，可迅速调整压载水和移驳燃油、淡水来控制，压载泵、消防泵、驳油泵、淡水泵就必须随时可用。在进水初期，污水泵等排水系统必须有效工作。

4) 加强航道内船舶交通秩序的管理

本项目应积极配合航道交通管理部门对船舶交通秩序的管理，及时掌握进出航道船舶的动态，在本项目船舶通过时，尽量对其它船舶采取避让措施等。

5) 掌握天气动态，规避灾害天气

船舶遵守货物系固规定，能以不变应万变地抵御通常的航海风险。船长必须正确、周密地分析和估计航程中的天气动态及其对本船的影响，及早采取针对性的防范措施。对于灾害性天气，应及时规避，尽可能避免遭遇和对峙，但应作好应急对抗准备。

6) 健全应急演习制度

应急反应计划使人员职责和关系明确，程序清楚。应急演习能使船员综合运用有关知识和技能，熟悉群体配合。应急计划，应包含货物移动和船舶横倾、机电失灵、船舶破损和船舶进水、灭火时积水处理、溢油处理等单项。为了保证演习效果可在演习前数天作有针对性的讲授和演示。演习时应如同实战。演习后应作讲评和总结，必要时应作补充培训。

7) 健全公司安全管理

船舶公司有责任使船机维护、人员职责和操作管理规章完备，严格执行监督和纠正环节。公司应对船长规避灾害天气赋予决策权并给予必要的指导，向船长提供足够的维护、操作和系固资源，按规定检查和督促防倾覆反应计划及溢油等其他应急计划的演习。

8) 安全施工

工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施，严防污染事故的发生；施工期间应选择符合环保要求和施工安全要求的施工船舶，同时制定严格的施工制度加强对施工船舶和施工行为的管理，从制度上严防溢油等污染事故的发生。

(2) 运营期溢油事故风险防范措施

1) 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。

2) 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。

3) 对升压站周围加装防撞保护, 避免渔船碰撞引发事故。

4) 建议船舶尽量远离升压站水域航行, 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。

5) 加强基础冲刷监控, 定期进行跟踪监控, 防止升压站桩基础淘空倒塌, 如果发生倒塌事故, 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。项目建设单位将及时组织吊装、施工单位, 对倒塌升压站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。

3、升压站倒塌应急措施

发生升压站倒塌事故时, 将及时上报海事局, 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, 对倒塌升压站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。如果发生少量风机机组润滑油落入海中, 立即上报海事局, 调配港口的溢油处置设备对落入海洋的油污进行处理。

4、电气设备应急措施

应加强风电场值班、运行等相关人员的安全教育, 各种操作需按照规章执行。风机维修时产生的润滑油的跑冒滴漏应及时采用棉纱吸净, 并对废油和废弃物进行妥善收集和保管, 避免因人为因素引起海洋环境污染。

海缆铺设线路应设置标志, 并向相应职能管理部门申报, 避免造成海缆损坏。若工程海域有其他海洋工程建设, 应与有关部门协调做好海底电缆的保护工作。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、采砂等作用。

5、海缆泥沙冲刷掏空风险防范

本项目海缆铺设位于泥面约 3.0m 深处，海缆有加强铠装保护，电缆铺设后发生泥沙冲刷导致电缆外漏受损的风险较小。

在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，并在运行期必要时采取基础抛石回填等措施。

6、台风和风暴潮应急措施

当台风和风暴潮形成并可能对当地产生较大影响时，各部门的防风风暴潮工作应立即进入戒备状态，主要领导要迅速进入防风风暴潮工作岗位，相关设备必须处在备战状态。要严格 24 小时值班制度和大风天气领导带班制度，认真收听天气预报，掌握台风变化动态，及时传递风情信息，确保通讯联络畅通。风暴潮过后，应立即组织力量修复设施和设备，及时恢复生产。同时，立即组织有关人员进行事故调查和善后处理工作，并尽快将损失情况和事故调查处理情况及时上报。

7、针对敏感区的风险防范措施

表 5.6.6-1 环境敏感目标溢油防范措施一览表

类别	防护措施
岸滩	<p>1、防护</p> <p>(1) 提前在距岸滩 1km 和 2km 区域各布放 1 道充气式围油栏或固体浮子式围油栏；</p> <p>(2) 当水温高于 15°C，并在征得主管部门同意的情况下，提前喷洒消油剂，阻止溢油抵岸。</p> <p>2、导流</p> <p>若溢油漂移到距岸滩小于 1km，需在逆向溢油漂流的方向布放 1~2 道导流围油栏，改变溢油漂移方向，使其向相对不敏感水域方向漂移，集中并进行回收作业。</p> <p>3、处置</p> <p>(1) 利用撇油器对海面溢油进行回收，回收的溢油存放于临时储存设施；</p> <p>(2) 海面上剩余的少量浮油使用吸油毡或吸油拖栏吸附回收；</p> <p>(3) 溢油距岸滩大于 1km 且水温高于 15°C，在征得主管部门同意的情况下，使用化学消油剂消除海面浮油；</p> <p>(4) 溢油距岸滩小于 1km 或已抵岸，禁止使用消油剂消除。</p> <p>(5) 如果溢油已抵岸，首先应使用绳式拖把撇浮装置和真空泵回收在海岸线附近漂浮的油类以及岸上成滩的大片原油；然后使用机械法清除搁浅的原油以及受油类污染的海岸线物质。</p>
生态红线区	<p>1、防控</p> <p>(1) 需提前在距敏感区 1km 区域布放 1 道充气式围油栏或固体浮子式围油栏，在 2km 区域布放 1 道防火围油栏；</p> <p>(2) 当水温高于 15°C，并在征得主管部门同意的情况下，提前喷洒消油剂，阻止溢油进入敏感区。</p> <p>2、导流</p>

类别	防护措施
	<p>如果溢油漂移到距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，需在逆向溢油漂流的方向布放 1~2 道导流围油栏，改变溢油漂移方向，使其向相对不敏感水域方向漂移，集中并进行回收作业。</p> <p>3、处置</p> <p>(1) 如果溢油距敏感区大于 2km 围控的油层较厚，使用机械撇油器对残渣进行回收；</p> <p>(2) 如果溢油距敏感区小于 2km 或已进入敏感区，同样利用撇油器对海面溢油进行回收，回收的溢油存放于临时储存设施。海面上剩余的少量浮油使用吸油毡或吸油拖栏吸附回收；</p> <p>(3) 溢油距敏感区大于 1km 且水温高于 15°C，在征得主管部门同意的情况下，使用化学消油剂消除海面浮油；</p> <p>(4) 溢油距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，禁止使用消油剂消除海面浮油。</p>
自然保护区	<p>1、防控</p> <p>(1) 需提前在距敏感区 1km 区域布放 1 道充气式围油栏或固体浮子式围油栏，在 2km 区域布放 1 道防火围油栏；</p> <p>(2) 当水温高于 15°C，并在征得主管部门同意的情况下，提前喷洒消油剂，阻止溢油进入敏感区。</p> <p>2、导流</p> <p>如果溢油漂移到距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，需在逆向溢油漂流的方向布放 1~2 道导流围油栏，改变溢油漂移方向，使其向相对不敏感水域方向漂移，集中并进行回收作业。</p> <p>3、处置</p> <p>(1) 如果溢油距敏感区大于 2km 围控的油层较厚，使用机械撇油器对残渣进行回收；</p> <p>(2) 如果溢油距敏感区小于 2km 或已进入敏感区，同样利用撇油器对海面溢油进行回收，回收的溢油存放于临时储存设施。海面上剩余的少量浮油使用吸油毡或吸油拖栏吸附回收；</p> <p>(3) 溢油距敏感区大于 1km 且水温高于 15°C，在征得主管部门同意的情况下，使用化学消油剂消除海面浮油；</p> <p>(4) 溢油距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，禁止使用消油剂消除海面浮油。</p>
其他敏感区	<p>1、防控</p> <p>(1) 需提前在距敏感区 1km 区域布放 1 道充气式围油栏或固体浮子式围油栏，在 2km 区域布放 1 道防火围油栏；</p> <p>(2) 当水温高于 15°C，并在征得主管部门同意的情况下，提前喷洒消油剂，阻止溢油进入敏感区。</p> <p>2、导流</p> <p>如果溢油漂移到距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，需在逆向溢油漂流的方向布放 1~2 道导流围油栏，改变溢油漂移方向，使其向相对不敏感水域方向漂移，集中并进行回收作业。</p> <p>3、处置</p> <p>(1) 如果溢油距敏感区大于 2km 围控的油层较厚，使用机械撇油器对残渣进行回收；</p> <p>(2) 如果溢油距敏感区小于 2km 或已进入敏感区，同样利用撇油器对海面溢油进行回收，回收的溢油存放于临时储存设施。海面上剩余的少量浮油使用吸油毡或吸油拖栏吸附回收；</p> <p>(3) 溢油距敏感区大于 1km 且水温高于 15°C，在征得主管部门同意的情况下，使用化学消油剂消除海面浮油；</p> <p>(4) 溢油距敏感区小于 1km 或已进入敏感区，禁止使用消油剂消除海面浮油。</p>

5.6.6.2 溢油事故应急预案

依据《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

华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》和《国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定（试行）》，通过对污染事故的风险评价，制定防止重大环境污染事故发生的工作计划，消除事故隐患的措施及突发性事故应急处理办法等，一旦出现重大事故，能有效的组织救援，及时控制污染、减少污染损失。

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，建设单位应委托有资质的单位编制应急预案。本项目施工期事故责任主体为施工单位（目前尚未确定施工单位），运营期为建设单位中广核新能源投资（汕尾）有限公司。

1、海上溢油事故防范处置

（1）人员资质与操作规范

按《防治船舶污染海洋环境管理条例》，落实本条例规定的防治污染有关措施。人的不安全行为是事故因果链中引发事故的直接原因，规范船员操作行为能直接阻止事故的发生。ISM 规则要求对影响安全的关键操作和特殊操作进行控制。

控制船体、机电设备的技术状态，严格维护保养，保障其运转正常；正确估量航行环境中蕴含的自然力量和船舶的抵御能力，及时正常地预报天气和海况，及时规避灾害天气，避免不可抗力的袭击；加强公司岸上和船上的安全管理，完善机构、规章及其运作。

（2）设备与技术防控

主机、供电系统、舵机是船舶在大风浪中的自下而上保障，任何故障和失灵，都会使船舶面临事故危险。健全维护保养制度并予切实执行和有效监督，意味着远离危险和减少事故。在横倾初期，可迅速调整压载水和移驳燃油、淡水来控制，压载泵、消防泵、驳油泵、淡水泵就必须随时可用。在进水初期，污水泵等排水系统必须有效工作。

船舶配备 AIS（自动识别系统）和防碰撞预警系统，避免与商船、渔船发

生碰撞事故。施工船舶需配备围油栏、吸油毡和收油机等溢油应急设备。

2、区域环境风险防控

对敏感区隔离保护，禁止船舶在生态红线区内锚泊或加油。

在项目周边布置水质监测设备（如浮漂水质监测仪等），实现多种水质参数的同时测量，包括溶解氧、氨氮、透明度和油类等。

3、管理与制度

（1）及时掌握天气动态，规避灾害天气。

船舶遵守货物系固规定，能以不变应万变地抵御通常的航海风险。船长必须正确、周密地分析和估计航程中的天气动态及其对本船的影响，及早采取针对性的防范措施。对于灾害性天气，应及时规避，尽可能避免遭遇和对峙，但应作好应急对抗准备。

（2）健全应急演习制度

应急反应计划使人员职责和关系明确，程序清楚。应急演习能使船员综合运用有关知识和技能，熟悉群体配合。应急计划，应包含货物移动和船舶横倾、机电失灵、船舶破损和船舶进水、灭火时积水处理、溢油处理等单项。为了保证演习效果，可在演习前数天作有针对性的讲授和演示。演习时应如同实战。演习后应作讲评和总结，必要时应作补充培训。

（3）健全公司安全管理

船舶公司有责任使船机维护、人员职责和操作管理规章完备，严格执行监督和纠正环节。公司应对船长规避灾害天气赋予决策权并给予必要的指导，向船长提供足够的维护、操作和系固资源，按规定检查和督促防倾覆反应计划及溢油等其他应急计划的演习。

5.6.6.3 海上突发环境事件应急预案

1、应急计划区

本项目应急计划区主要为海底电缆路由区、施工船舶进场航道附近。应急事件包括船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故。

2、应急分级与响应

根据事故的可能影响范围、可能造成的危害和需要调动的应急资源，明确应急响应级别，分为 I 级响应（社会级）的响应和 II 级响应（企业级）。

（1）I 级响应（社会级）

溢油量 $\geq 100\text{L}$ 或进入生态保护红线：立即上报海事、生态环境部门，启动区域级应急预案。I 级应急响应立即通报当地人民政府和相关部门，由政府主导应急响应，企业积极协助配合。

（2）II 级响应（企业级）：

溢油量 $< 100\text{L}$ ，未扩散至生态保护红线：由企业自主处置，启动围油栏拦截和吸油材料回收。处置完成后，及时通报当地人民政府和相关部门。

3、信息上报

《国家突发环境事件应急预案》第 4.3.1 款规定：“突发环境事件责任单位和责任人以及负有监管责任的单位发现突发环境事件后，对于发生人员死亡的事故应半小时内向政府有关部门汇报，其他事故在 1 小时内向政府有关部门进行汇报。同时向上一级相关专业主管部门报告，并立即组织进行现场调查。紧急情况下，可以越级上报”。

4、溢油事故应急处置

（1）切断和控制污染源

无论在预警阶段还是直接应急处置阶段，企业应第一时间采取切断和控制污染源措施，避免事态进一步扩大。应按照本单位相关安全生产应急预案的要求立即采取关闭、封堵、围挡、喷淋等措施，切断和控制泄漏点。做好有毒有害物质和消防废水、废液等收集、清理和安全处置工作。

同时在人员、程序、设备、物资等方面与安全生产应急预案的现场处置进行衔接及协调，避免流程独立而不符合企业实际情况导致操作无法有效实行。

（2）现场处置

发生溢油事故时，宜采取如下应急处置措施：

1) 发出溢油报警信号；查明泄漏原因，进行清除溢油和甲板上积油的工作；如果溢油量较大，仅有本船船员难以获得理想效果，应联系当地的海事部门予以

协助。

2) 如果船舶发生搁浅而致溢油, 应采取以下措施: 测量所有燃油舱, 淡水舱及与船壳邻近的其他舱室中的液位变化情况; 如发现船底破损进水, 应查清破口部位和破损程度, 并考虑到船体应力和稳性的影响, 决定是否采取排水堵漏, 减载过驳或将破损油舱中的油驳入其他油舱等措施, 以避免进一步溢油; 如果船舶尝试自行脱浅, 应评估由此所造成的额外损坏情况是否大于停留在原地直至获得救援。

3) 船上发生火灾或爆炸而致溢油, 应按本船规定的人员职责, 组织船员动用各种消防灭火器材施救, 力争控制住火势; 应迅速查明溢油源, 采取转驳措施, 设法将破损舱燃油驳入其他完好舱室, 并迅速采取控制排放的措施。

4) 船舶发生碰撞而致溢油, 应采取以下措施: 测定碰撞位置附近的燃油舱、淡水舱、压载水舱、双层底及污水井中的油位和水深变化情况, 确定船体破损情况; 如发现本船有油外溢, 应迅速查明溢油源, 采取转驳措施, 设法将破损燃油舱中的燃油驳入其它完好舱室, 并迅速采取控制排放的措施。

5) 船舶遭受严重的船壳损坏而致溢油, 应迅速查明船壳的破损情况, 测定破损位置附近的燃油舱、淡水舱、压载水舱、双层底及污水井中的油位和水深变化情况, 观察船舶周围海面是否有油花产生; 查清船壳的破口位置和破损程度, 计算大量进水所产生的自由液面对稳性的影响; 如条件许可, 应迅速采取排水、堵漏、补焊等抢救措施, 尽最大努力保持船舶的浮力; 评估船舶的破舱稳性和受损的纵向强度, 根据船舶的稳性情况, 通过适当调整船舶的压载, 保持船舶的正浮和静水平衡; 应迅速查明溢油源, 采取转驳措施, 设法将破损燃油舱中的燃油驳入其它完好舱室, 并迅速采取控制排放的措施。

6) 船舶意外地发生严重横倾而致溢油, 应迅速查明溢油源, 采取有关控制排放措施。

5、火灾、爆炸应急处置

(1) 现场应急处置措施

1) 现场发生火情, 发现人判断火势可控时, 应立即用现场消防器材扑救初起火灾, 并用电话报警、报告当班值班长或中控室。当火势猛烈时, 应紧急避险至安全区域, 立即报警。

2) 切断火源，关闭附近电器设备，关闭附近所有电源，防止产生新火源，然后启用各种消防设备、器材。

3) 对周围设施采取保护措施。为防止火灾危及相邻建筑，应由应急处置组迅速疏散受火势威胁的物资。

4) 火灾扑救。扑救火灾不可盲目行动，应针对火灾原因，使用正确的灭火剂和灭火方法来安全地控制火灾。

5) 发生火灾后，应及时切断泄漏物质对外环境排放，以避免事故废水通过流入周围水体，引起水域的污染。

(2) 现场人员撤离与疏散

1) 现场人员保护

a) 应急处理人员应该配戴正压式呼吸器，须穿防静电工作服，戴橡胶防护手套，配备可靠的通讯工具。一般至少为 2 人一组。

b) 对发生人员中毒或伤亡，应急救援小组视伤情及时进行止血、包扎、固定等措施，将中毒人员安置在空气流通处，如发生停止呼吸应及时进行人工呼吸等现场抢救措施。待救护队伍到来后，立刻送往医院治疗。

c) 在隔离区域必须进行人员进出管制，进入隔离区域或疏散区域的抢险人员可采取人体喷湿的掩护措施，防止人体带静电而引起火灾。

2) 撤离与疏散

发生重大火灾时，除必要的操作人员坚守岗位外，其余人员应进行疏散、撤离。紧急集合点作为人员疏散隔离带。

(3) 救援队伍进场

待事故现场人员疏散撤离后，外部救援力量从相关基地携带相应救援物资进场开展救援行动。

6、受伤人员现场救护、救治和医院救治

(1) 伤员分类

根据受伤情况，伤员可分为以下类型：

- 1) 没有或有很小的物理伤害的伤员；
- 2) 受到严重物理伤害的伤员。

(2) 现场救护

若有人员受伤应立即报告至应急指挥中心，应急救护组成员立即赶到现场实施急救。

1) 若受伤程度较小，由应急救护组成员利用就近急救箱救治伤员；

2) 若需要专业的医疗救治，应急指挥中心应向总指挥报告，拨打 120 请求支援，在医护人员到达现场后尽可能介绍详情；

3) 若伤势严重或存在致命危险，应急救护组成员在救护车到达之前，须采取合理的初步救治；

4) 伤员转运至急救中心过程中，当值急救组成员应陪同前往。

(3) 急救措施

1) 皮肤接触：立即脱去被污染的衣物，马上用大量水冲洗 15 分钟以上；若眼睛接触，用大量水冲洗眼睛 15 分钟以上。

2) 吸入：迅速脱离现场至空气新鲜处。保持呼吸道通畅。如呼吸困难，给输氧。如呼吸停止，立即进行人工呼吸。就医。

3) 食入：饮足量温水，催吐。就医。

5.6.6.4 区域溢油应急设备资源

根据汕尾市人民政府办公室 2021 年 4 月印发《汕尾市处置船舶污染事故应急预案》（汕府办函〔2021〕90 号）和《汕尾市海上险情应急预案》（汕府〔2021〕21 号），汕尾市处置船舶污染水域事故应急指挥部，设在汕尾市海上搜救分中心，在市政府的领导和广东省海上搜救中心的指导下，负责统一组织、指挥、协调船舶污染事故应急处置工作。

本项目一旦发生溢油事故，应立即向汕尾海事局汇报，启动汕尾市水上溢油应急预案，必须立即采取必要措施，降低溢油事故带来的影响。根据《汕尾市处置船舶污染事故应急预案》，项目所在区域已建立健全的船舶溢油事故应急体系，为保障项目施工运营船舶航行安全，防止船舶污染事故发生，以及突发事故的应急救援奠定了坚实的基础。根据《广东海事局关于辖区船舶污染清除单位应急清污能力监督检查情况的公告》（2024 年 12 月），汕尾港及其附近海域的符合能力要求的船舶污染清除单位有汕尾市晓光环保服务有限公司和汕尾市博汇海洋环境服务有限公司 2 家，其能力等级均为二级。

根据《船舶污染清除单位应急清污能力要求》，二级能力具体要求如下：

表 5.6.6-2 二级船舶污染清除单位应急清污能力要求一览表

项目	功能要求	二级要求
围油栏	开阔水域 (m)	≥1000
	非开阔水域 (m)	≥1000
	岸线防护 (m)	≥2000
	防火 (m)	≥200
收油机	回收能力 (m ³ /h)	高粘度
	回收能力 (m ³ /h)	中、低粘度
喷洒装置	船上固定式 (台)	≥2
	便捷式 (台)	≥4
清洁装置	热水 (台)	≥2
	冷水 (台)	≥1
吸油材料	吸油拖栏 (m)	≥1000
	吸油毡 (t)	≥6
溢油分散剂	常规型 (t)	≥10
卸载装置	总卸载能力 (t/h)	≥200
临时储存装置	临时储存能力 (m ³)	≥1000
污染物处置	液态污染物处置能力 (t/d)	≥50
	固态污染物处置能力 (t/d)	≥5
船舶	溢油应急处置船 (艘)	≥1
	辅助船舶 (艘)	≥6
作业人员	高级指挥 (人)	≥3
	现场指挥 (人)	≥6
	应急操作 (人)	≥30
综合保障	应急响应时间 (h)	≤4
	通讯保障	具备多种通信手段，配备足够数量的通信设备，以确保通信畅通。
	后勤保障	提供应急设备储存地、运输方式、应急设备器材备件、安全防护用品、应急人员食宿、医疗救护等保障，确保应急行动的顺利实施
除油类外其它污染危害性货物清除作业	1.为载运类油散装液体污染危害性货物的船舶提供清污协议服务的一、二级污染清除作业单位，应当根据本表上述要求配备溢油应急设施、设备和器材。2.为载运非类油的散装液体污染危害性货物的船舶提供清污协议服务的一、二级污染清除作业单位，还应当根据货物的特性和风险程度，配备相应的应急设施、设备和器材，其中，在专业化工码头服务的船舶污染清除单位应当至少配备 3 吨化学吸收剂。	

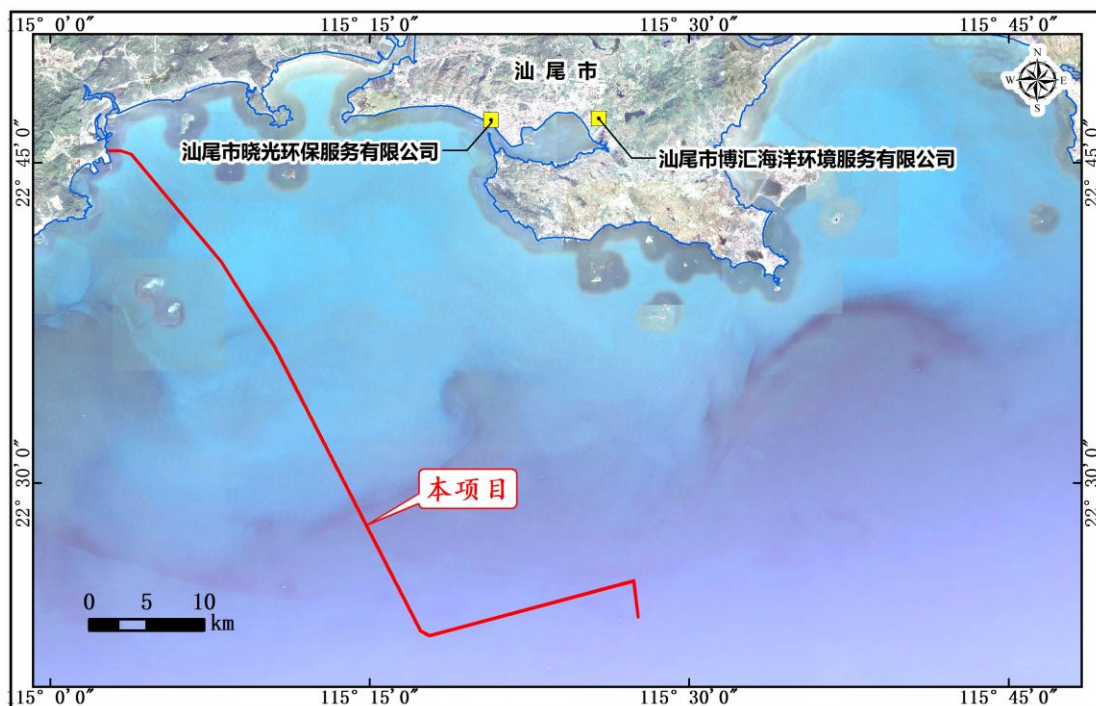


图 5.6.6-1 项目周边可用应急物资储备点

本项目离岸最远点位于海上升压站，按照最远位置计算应急单位主要设备、救援人员从公司、应急基地或设备库出发后达到事故地点所需时间：

从航行线路估算，本项目海上升压站与汕尾辖区企业溢油应急防备物资储备点（如汕尾市晓光环保服务有限公司和汕尾市博汇海洋环境服务有限公司）平均距离不超过 50km。考虑到不同的海域航道情况，船舶行驶平均速度取 30km/h，动员时间为 0.5h，各溢油应急防备物资储备点到达项目时间计算为：

到达时间=动员时间+水上交通时间（距离/速度）=0.5+50/30≈2.2h。

可见，项目发生溢油事故后，汕尾港周边的应急储备力量可保证在 2.2 小时内抵达项目事故现场进行救援。

5.6.6.5 应急设备应对能力分析

根据现有应急设备配备和《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》的计算公式，并根据《国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定》确定相关参数，对现状溢油应急设备应对能力进行分析。

1、机械回收能力

(1) 计算方法

机械回收能力计算公式：

$$E = \frac{T \times P1}{\rho \times \alpha \times Y \times 6 \times (1 - \eta)}$$

式中：E——收油机回收能力，m³/h；

T——溢油量，溢油应急目标 286.2t；

P1——机械回收占溢油的比例；根据《船舶溢油应急能力评估导则》中规定机械回收量占总溢油量的比例为 40~60%，本项目机械回收效率保守取低值，故取 40%。

ρ——回收油水混合物密度，单位为吨每立方米（t/m³），本评价取燃料油密度 0.9t/m³；

α——收油机回收效率，本评价取 5%；本项目主要涉及燃料油，根据《船舶溢油应急能力评估导则》表 1 中规定对重质原油、燃料油的收油速率为标定值的 5%。

Y——收油作业天数，本评价取 3 天；

6——每天收油作业时间，单位 h，本评价取 8h；

η——富裕量，根据经验，本评价取 20%。

(2) 计算结果

根据公式的计算方法，本工程需配收油机的总能力至少为 132.5m³/h。目前共具备收油机四台，收油能力 50m³/h，未满足本项目需求，本次要求建设单位增加四台收油机。两台 ZS10 硬刷转盘式收油机和两台转盘式 ZS15 收油机。

2、溢油围控能力

(1) 计算方法

依据《船舶溢油应急能力评估导则》（JT/T 877-2013）提供的技术方法，围油栏配备总数量 L 总见下式：

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

式中：

L——围油栏的总数量，单位为米；

L₁——溢油源围控的围油栏数量，L₁=3×(B+W)×N₁，式中 B：最大船型船舶的船长，W：最大船型船舶的船宽，N₁：布设围控的围油栏层数；

L₂——收油作业配套的围油栏数量，L₂=D×100，D 为“收油系统”数量；

L_3 ——导流配套的围油栏数量, $L_3=U \times N_2$, 式中 U : 一组围油栏的长度, N_2 : 所需导流的围油栏的组数;

L_4 ——防护配套的围油栏数量, $L_4=(L_1+L_2+L_3) \times \phi$, 式中 ϕ : 加权系数, 取值区间为 0.2~0.5, 环境敏感度越高, 取值越大。

(2) 计算结果

本项目最大船型为 19800 吨起重船, 以龙源振华的“振华 30 号”起重船为例, 船长 298 米, 宽 58 米, N_1 取 2, 经计算 $L_1=2136$;

收油作业配套的围油栏数量 L_2 : 本评价 D 取 9, 因此 $L_2=9 \times 100=900m$ 。

导流配套的围油栏数量 L_3 : 按照通常海上溢油带的短边长度为 100-500m, 本项目按照 U 为 200m 计算, N_2 取 4, 由此计算 $L_3=200 \times 4=800m$;

防护配套的围油栏数量 L_4 : 由于本项目敏感性较高, ϕ 取高值即为 0.5, 则 $L_4=(L_1+L_2+L_3) \times 0.5=(1008+900+800) \times 0.5=1918m$;

由此, 需要配置围油栏的总数量: $L=5754m$ 。现有围油栏总量 5920m。符合本项目要求。

3、油污吸附能力

(1) 计算方法

常规的吸附材料为吸油毡, 也是目前处理日常作业小型船舶污染事故的常用材料之一, 它主要将水面溢油直接渗透到材料内部或吸附于表面, 以便于回收溢油, 通常有聚氨酯、聚乙烯、聚丙烯、尼龙纤维和尿素甲醛泡沫等材料。

1) 计算方法

我国<船用吸油毡>行业标准规定, 其吸油性应达到本身重量 10 倍以上, 吸水性为本身重量 10%以下, 持油性保持率 80%以上。所需数量计算如下:

$$I = T \times P_3 \div (J \times K \times \phi_1)$$

式中:

I ——吸收吸附材料数量, t(单位:吨);

T ——总溢油量, t(单位:吨);

P_3 ——吸附回收量占总溢油量的比例, 本评价取 20%;

J ——吸收吸附倍数, 本评价取 10;

K ——油保持率，本评价取 80%；

φ_1 ——吸收吸附加权系数，取 0.3。

(2) 计算结果

经计算，按照溢油量 286.2t 为目标，本项目需要配备 23.85 吨吸油毡，目前本项目已有油污吸附能力 4.95 吨，未满足本项目需求，本次要求建设单位增加 19 吨吸油毡。

目前汕尾市辖区已配备了相当的溢油应急设备，但由于本项目的实施将在一定程度上增加海域船舶溢油事故发生的可能，因此需进一步提高海域溢油防范的能力。建议建设单位可联合汕尾海事局等单位共同构建溢油风险方法网络体系，在依托现有设施的基础上，进一步在本工程施工船舶配备吸油毡、收油机等防污器材，提高溢油风险防范能力。

表 5.6.6-3 本项目船舶溢油防范应急设备推荐增加配备一览表

序号	设备名称	型号	单位	数量
1	吸油毡	PP-2	吨	19
2	硬刷转盘式收油机	ZS10	台	2
3	收油机	转盘式 ZS15	台	2

5.6.6.6 溢油应急处理方法

溢油处理方法很多。针对海上的溢油应急情况可选择一些溢油控制方案，但必须考虑到所需设备、环境因素的影响，因此要注意优先权的选择。通常可选择的措施有围控和机械回收、喷洒化学消油剂等。

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。

围油栏对溢油的围控、导流和防范作用，要通过适当的布放形式来实现。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，具体还要根据实际情况而定。

(1) 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。

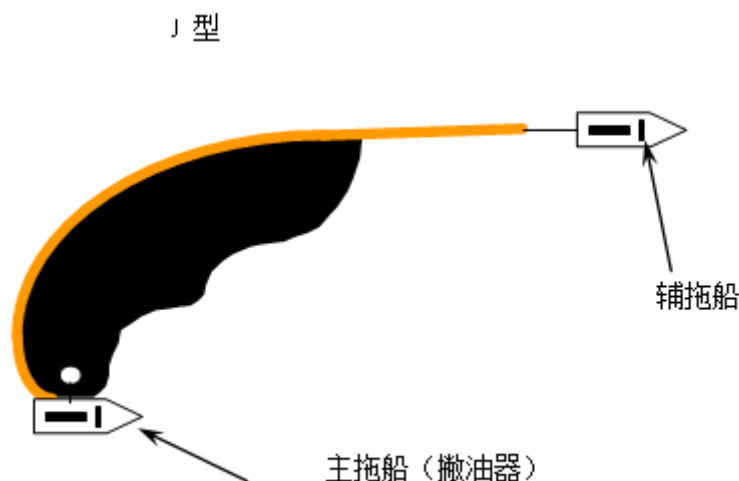


图 5.6.6-2 “J”型拖带

(2) 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。

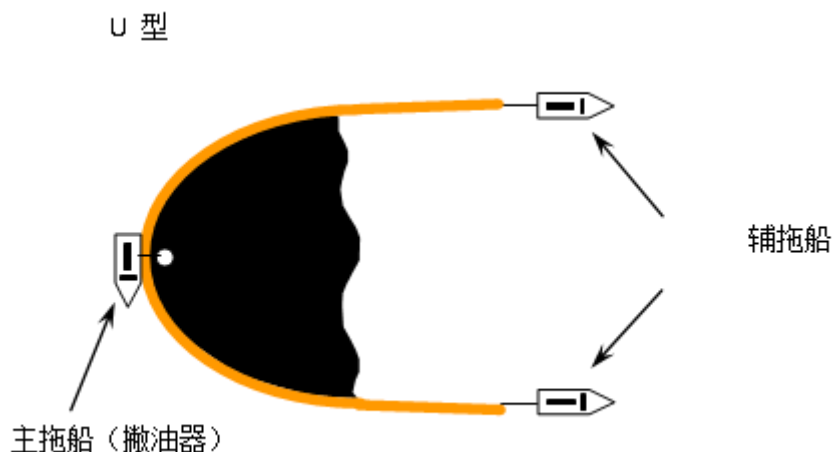


图 5.6.6-3 “U”型拖带

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，由海洋行政主管部门做出具体规定。作业者应按规定向海洋行政主管部门报告，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海洋行政主管部门。

5.6.6.7 海上溢油事故专项应急预案

一旦发生海上溢事故时，业主、船方和管理部门应共同协作，及时启动溢油应急计划，把油污染减少到最低程度。为了能及时作出反应，对溢油事故作出最快速、最有效的处理，本评价提出的溢油应急预案，是针对本章内容提出的溢油风险防范，不能代替业主单位的应急预案报告的编制内容。本小节的应急预案主要包括应急响应通知程序、应急机构建立和应急措施程序。

1、预防与预警

(1) 危险源监控的主要内容

- 1) 施工船舶在航道、临时航道上的运行状况。
- 2) 施工船舶进入施工区后的安全状况。

3) 船舶航行标志和警戒船的有效性。

4) 海上施工平台含油设施的安全性。

(2) 采取的预防措施

1) 建立健全储油场所、船舶施工作业安全管理制度。

2) 严格在《水上水下施工作业许可证》允许的海域施工。

3) 在施工海域上下游设置警戒船执行警戒任务，防止社会船舶进入施工区域。

4) 按照国家有关规定，设置海上施工平台的储油设施，并加强管理。

5) 施工船舶进入施工区域、临时航道、航行条件受到限制的区域，应保持安全航速、安全距离。

6) 对施工船舶健康状况进行监控。

7) 加强储油场所管理人员、操作人员、施工船舶驾驶人员安全培训教育，提高安全操作技能和应急处置能力。

8) 加强储油场所、施工船舶安全监督监察，发现问题及时整改。

2、预警行动

(1) 预警条件

1) 政府主管部门发布预警信息时。

2) 监督检查中发现安全隐患时。

3) 发生油污事故的参建单位因救援力量不足，向应急指挥中心发出求援时。

(2) 预警方式

通知、电视、电话、新闻媒体等。事故单位通过电话向应急指挥中心发出预警信息的，应急抢险行动结束后，应补充书面材料。

(3) 预警内容

预警信息包括：存在可能转化为海上油污的条件、产生的时间、可能的后果、现场处置情况。

事故应急监视预警信息包括：事故时间、事故地点、事故类别、事故损失、事故发展趋势、事故应急响应级别及应急响应情况。

3、应急响应通知程序

为了确保有关人员能在发生事故时能及时得到警报并针对发生的紧急情况作出相应的反应，采取应对措施而设定应急响应通知程序，一旦通知在应急小组指挥范围内，应急措施程序就立即生效。

本项目的应急响应通知程序主要包括：当船舶发生碰撞导致油泄漏事故时，应及时向应急值班报告，同时向海事主管部门汇报。并立即将事故简要报告上级主管领导、生产指挥系统，通知当地公安、消防部门、环保部门和港监部门。

4、应急措施程序

一旦船舶发生碰撞发生油泄漏时，要及时在四周布设围油栏，用最快的办法将船舱内的油品用泵输送、转移到另一艘完成的油船中去；当溢油发生后，应根据溢出量的大小、油的扩散方向、气象以及海况条件，迅速估算出围油方向和面积，缩小围圈，用吸油船最大限度地回收流失的油，然后加消油剂进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻其对海域的污染。本项目海上溢油事故的应急处理方法和程序如图 5.6.6-4。

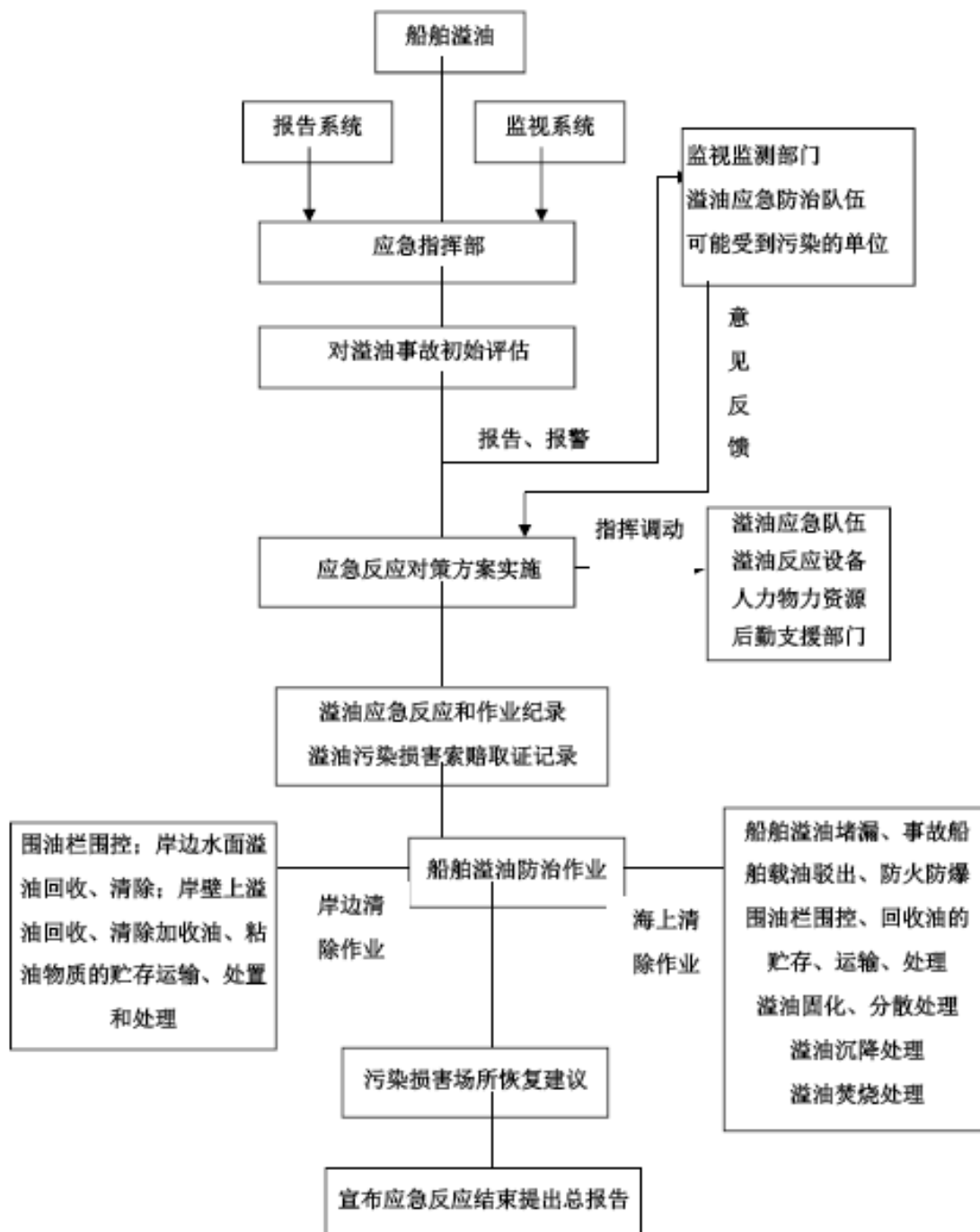


图 5.6.6-4 小型溢油事故应急响应程序图

组织抢险队和救护队迅速奔赴现场。抢救伤员，同时采取防止事故蔓延或扩大的措施；

在现场领导小组的统一组织指挥下，按照制定的抢修方案和安全技术措施，周密组织，分工负责，在确保安全的前提下进行抢修。

5、处置措施

(1) 船舶碰撞漏油处置措施

- 1) 立即报告海事部门、海洋部门，请求专业救援。
- 2) 迅速通知事故区其他船舶撤离。
- 3) 积极配合政府主管部门进行的应急处置。

(2) 储油场所漏油处置措施

- 1) 查找并控制泄漏源。
- 2) 设置警戒线，防止火灾事故发生。
- 3) 准备好消防设备设施。
- 4) 检查防火堤、托油盘、排水阀现状，防止泄漏的油品进入排水阀。
- 5) 泄漏的油品，用细沙埋住拌和吸收。
- 6) 立即启动消防设备设施，同时报告陆上或海上消防力量。
- 7) 溢油可能泄漏至周边海域时，应同时报告海事部门，请求专业救援。

(3) 海上升压站油泄漏处置措施

- 1) 一旦发现变压器油泄漏，应立即隔离泄漏区域，防止人员进入，并防止油液进一步扩散。
- 2) 尽可能切断变压器的电源，以防止电气火灾或爆炸。在泄漏区域严禁烟火，防止油液被点燃。
- 3) 泄漏可能导致火灾或爆炸，应立即组织人员撤离到安全区域。立即向应急指挥中心办公室报告泄漏情况。
- 4) 使用吸油材料、细沙等应急设备控制泄漏油的扩散。
- 5) 使用气体检测设备监测泄漏区域的空气质量，确保没有有害气体积聚。
- 6) 在确保安全的情况下，检查泄漏源，确定泄漏原因。根据泄漏情况，采取适当的措施进行堵漏，如紧固螺栓、更换密封件或使用快速堵漏材料。
- 7) 泄漏得到控制后，清理泄漏区域，包括使用吸附材料清理油液，并按照环保要求处理废弃物。
- 8) 对变压器进行详细检查，必要时进行维护或更换损坏部件。

6、应急器材设备

参考交通部 2009 年发布的“港口码头溢油应急设备配备要求”JT/T 451-2009 的规定，通用码头也应配置溢油应急设备，港口或同一港区、作业区的码头，可根据自身情况建立联防机构。通常的溢油应急设备有：围油栏、消油剂、消油剂喷洒装置、收油机、吸油毡、吸油拖缆、溢油回收船等。当发生事故风险时，应请求海事和环保部门统一调配周边相关应急力量，共同完成事故风险控制工作。

7、应急通讯系统

本工程项目所具备的现代化通讯设备，能够满足溢油应急通讯的需要，无须另行设置新的专门的通讯系统。

5.6.6.8 应急监测

环境应急监测遵循“及时采样、及时检测、及时分析、及时汇报”的原则，同时要根据检测结果、现场应急救援实施情况来综合分析和预测污染事故的发展情况，以作为应急指挥中心及时决策和调整应急措施的主要参考依据，确保对环境的污染能够得到及时有效地控制。

1、应急监测方案

发生突发环境事件以后，由专业监测队伍（一般为本地环境监测站或地方有资质的监测单位）负责对事故现场进行环境应急监测，查明污染物的浓度和扩散情况，根据监测结果确定民众撤离范围、附近可能受到影响的敏感受体是否采取应急措施及溢油、污染处置的范围和处置方式，并将监测情况及时向应急指挥中心报告。有关信息必须提供给应急处置人员，以确定选择合适应急装备和个人防护设施。

施工单位人员、风电场运维人员应当协助专业监测队伍完成应急监测。应急指挥中心根据发生事故的类型和现场监测的数据，采取相应的对策措施。应急监测所需的物资由现场应急指挥中心统一调配。密切配合海事部门进行抢救，严禁冒险蛮干。努力争取在事故发生的初期阶段控制住险情，如事故可能扩大，应立即上报政府部门，请求增援。

本应急监测方案参考《突发环境事件应急监测技术规范》（HJ589-2021）制定，进入现场后监测人员可根据实际情况对监测方案作适当调整。

突发环境事件的环境应急监测工作拟委托地方有资质的监测单位进行，以确保监测数据的准确、可靠。应急监测推荐方案和事故后监测推荐方案见表 5.6.6-4 和表 5.6.6-5。

表 5.6.6-4 应急监测推荐方案表

污染事故监测目标	监测因子	监测时间和频次	监测点位
海水水质	COD、石油类、pH	按照突发环境事件持续时间决定监测时间，根据事故严重性决定监测频次，一般情况下每小时取样一次，直至水体达标为止，随事故控制减弱，适当减少监测频次	发生溢油事故的情况下，以事故点为中心，根据地理特点、潮流流向及其他自然条件，在事故影响区域按一定间隔布设 2~4 个采样点，另布设对照断面
大气监测	二氧化硫、氮氧化物	按照突发环境事件持续时间决定监测时间，根据事故严重性决定监测频次，实行连续 1 小时的采样，或者实行在 1 小时内以等时间间隔采集 4 个样品计平均值。	发生爆炸燃烧事故的情况下，以事故点为中心设置在其下风向，距事故点 2~50m 范围内的浓度最高点

表 5.6.6-5 事故后监测推荐方案表

污染事故监测目标	监测因子	监测时间和频次	监测点位
海水水质	pH、COD、石油类、无机氮、活性磷酸盐	溢油事故发生后采样监测一次	在事故影响区域按一定间隔布设 2~4 个点采样，另布设对照断面
海洋生态	叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、生物质量	溢油事故发生后采样监测一次	在事故影响区域按一定间隔布设 2~4 个点采样，另布设对照断面
海洋沉积物	COD、石油类、硫化物、铅等污染物	事故发生后采样监测一次	在事故影响区域按一定间隔布设 2~4 个点采样，另布设对照断面

2、 应急监测人员防护措施

突发事件环境应急监测人员进入事故区域前应事先了解事故区域的现场情况和危害，在征得应急指挥负责人的同意后，按要求穿戴好必要的个人防护用品（呼吸器、防化靴、隔绝防护服、防护手套、防护眼镜、安全帽等）和应急装备（应急照明和通信设施等），方可在应急救援人员的陪同下进入事故核心区域开展监测工作。

5.6.6.9 小结

本项目主要危险物质为燃料油、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。

5.7 声环境影响预测与评价

5.7.1 噪声来源

项目施工噪声源主要为海上升压站钢管桩基础打桩噪声，铺缆船、运输船等施工船舶噪声，以及海底电缆登陆定向钻施工场地噪声，其中影响较大的为升压站钢管桩基础打桩噪声。

运行期噪声源主要为海上升压站变压器噪声和运维船舶航行噪声等。

5.7.2 噪声影响预测与评价

5.7.2.1 施工期噪声影响分析

1、类比分析

由于模拟参数、求解方法等多种方法具有某些不确定性和难以避免的误差，因此，数学理论模型和实验室模拟模型与真实环境和工程系统毕竟有一定的差别。项海洋工程对某一地区而言常常是第一次兴建，在工程开始之前无法实测出其环境影响，但是，同样或者相似的海洋工程很可能在其他地区已经兴建，如果环境条件比较相近，则与待预测问题相似的环境影响可以通过实测获知。由此得出的影响评价结果往往具有较强的真实性和说明性，并且可以用于大致地检验模型预测的准确程度以及模型必要的修正与完善。但是每项工程都有其具体的工程组成和环境条件因此，类比工程的环境影响一般用于对拟建工程环境影响预测评价的补充分析说明，或用于不便采用模型技术预测的情况。此外，类比分析的影响因子也具有可选性，根据工程和环境的相似程度，可以类比源强、直接或间接环境影响、长期或短期环境影响、特定环境要素的环境影响以及预测模型需要引用的参数等。

本工程水下噪声主要集中在施工期，根据国内已建工程，水下打桩噪声选取的类比对象为中广核惠州港口二 PA 海上风电场项目施工期打桩噪声监测情况，船舶噪声类比对象为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结果。

(1) 打桩噪声类比分析

广核惠州港口二 PA 海上风电场项目所在海域水深 30~36m，海上升压站为

四桩导管架结构，钢管桩桩径 4.4m，壁厚 50~80mm，导管架基础钢管桩平均桩长 86m，施工时采用 S-1900 液压打桩锤进行基础钢管桩施打作业。工程结构、打桩方式与本项目类似，具有类比性，类比分析结果如下：

调查海区为中广核惠州港口二 PA 海上风电场项目桩基打桩作业的工程海域，以正在进行打桩作业的桩基为起点，距离其 150m、300m、500m、700m、1000m 和 3000m 处各设 1 个站点，每个站点设置三个监测深度（2m、19m 和 28m），对不同距离的水下噪声进行比较，监测期间桩基打桩各站点深度测得峰值声压级见表 5.7.2-1 所示。

表 5.7.2-1 各站点的峰值声压级和声暴露级

站点编号	测点深度 (m)	昼间峰值声压级 Peak(SPL)	昼间峰值声压级 Peak(SPL)
1 (距桩基 150m)	2	187.569213	186.28284
	19	188.306372	185.58381
	28	189.846451	186.590637
2 (距桩基 300m)	2	185.583406	187.422962
	19	184.336545	185.236525
	28	186.177288	183.030118
3 (距桩基 500m)	2	182.127965	184.472931
	19	181.832012	181.49183
	28	181.196802	181.13662
4 (距桩基 700m)	2	175.736509	180.227994
	19	176.047319	175.477761
	28	176.146894	177.86506
5 (距桩基 1000m)	2	181.92273	175.517081
	19	178.47609	177.489561
	28	174.258312	174.680622
6 (距桩基 3000m)	2	171.954497	170.06071
	19	171.702831	169.632229
	28	174.356421	170.701302

由监测结果可知，昼间桩基 150m 处测得各水深峰值声压级范围为 187.57dB~189.85dB，夜间桩基 150m 处测得各水深峰值声压级范围为 185.58dB~186.59dB；昼间桩基 3000m 处测得各水深峰值声压级范围为 171.70~174.36dB，夜间桩基 3000m 处测得各水深峰值声压级范围为 169.63~170.70dB。桩基打桩时峰值声压级最大值为 189.85dB，高于惠州 PA 风电项目环评时现状监测数据（峰值声压级最大值为 169dB），相差 20.85dB。

依据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)中附录A.3和A.4,查得风机桩基施工所产生得噪声未达到海洋鱼类物理损伤值,故不会对附近海洋鱼类造成损害,风机桩基施工所产生得噪声未达到“低频鲸目”、“高频鲸目”、“海豹类食肉目”、“海牛目”和“其他海洋肉食动物”的暂时阈值漂移值,夜间150m距离2m深度峰值声压级为197.69dB,超过“超高频鲸目”脉冲噪声的暂时阈值漂移196dB。打桩采用软起动方式,正常情况下,基础施工作业时海洋生物不会过分靠近施工位置,故不会对附近海洋哺乳动物造成损害。

根据本项目水下噪声监测结果,升压站所处位置峰值声压最大值为159dB,类比计算出夜间150m距离2m深度峰值声压级为179.85dB(159+20.85=179.85dB),低于“超高频鲸目”脉冲噪声的暂时阈值漂移196dB。

(2) 船舶航行噪声类比分析

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。船舶航行声压谱级的变化,见表5.7.2-2。

表 5.7.2-2 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
船舶经过前噪声级 (dB)	95	93	94	88	80
船舶经过时噪声级 (dB)	108	110	112	100	98
增加声压级数 (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129.5dB、121.3dB、112.9dB、96.1dB、94.9dB)	142.5	138.3	130.9	108.1	112.9

2、预测分析

(1) 水下打桩噪声预测分析

1) 预测方法

根据现场调查和类似项目的总结分析,项目施工期间最有可能对海洋生物造成危害的是脉冲噪声,其瞬时峰值高的特点对海洋生物影响最大,主要有打桩噪声。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取决于桩柱管径、重锤敲击能量、海域水深、海底地质等参量。

根据前文噪声源强分析，本项目水下噪声源强最大为 254.8 dB。依据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)附录中公式(B.8)计算。

$$\begin{cases} TL = 20\log_{10}(r) + \alpha r + 60 - k_L & r < R \\ TL = 15\log_{10}(r) + \alpha r + a_T(\frac{r}{H} - 1) + 5\log_{10}(H) + 60 - k_L & R \leq r \leq 8R \\ TL = 10\log_{10}(r) + \alpha r + a_T(\frac{r}{H} - 1) + 10\log_{10}(H) + 64.5 - k_L & 8R < r \end{cases} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

TL ——传播损失，单位为分贝（dB）；

r ——距声源的距离，单位为千米（km）；

α ——海水吸收系数，单位为分贝每千米（dB/km），由公式（B.9）给出；

k_L ——近场传播异常修正值，单位为分贝（dB）；

R ——距离参数，单位为千米（km），由公式（B.10）给出；

a_T ——浅海界面衰减系数，单位为分贝每千米（dB/km）；

H ——水深，单位为米（m）。

$$\alpha = \frac{0.102f^2}{1+f^2} + \frac{40.7f^2}{4100+f^2} + 3.06 \times 10^{-4} f^2 \dots\dots\dots (B.9)$$

$$R = [\frac{1}{3}(H+L)]^{1/2} \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

f ——频率，单位为千赫兹（kHz）；

L ——浅海混合层深度，单位为米（m）。

施工中所产生的冲击波噪声等在这方面将对海洋生物产生影响，这些影响包括改变动物行为，对动物造成物理性损伤或死亡率提高。影响的严重程度受到多种因素影响，如水下噪声的声强和声频特性、动物所遭受到噪声时与噪声源的相对距离和位置、噪声的作用时间，对鱼类来说，噪声的影响与鱼群的密度和鱼类的体积大小，以及鱼本身的解剖构造有关。因此，施工期应注意噪声对海洋生物的影响。

本项目海上升压站打桩源强以 254.8dB 来计算,估算其打桩施工时的影响范围。

2) 预测结果

根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》,水下噪声对海洋生物的影响阈值及影响距离如下表 5.7.2-3 和表 5.7.2-4。

表 5.7.2-3 人为水下噪声对海洋哺乳动物的影响阈值及影响距离

听力分组		影响程度 TTS		影响程度 PTS	
		阈值	影响距离 (m)	阈值	影响距离 (m)
海洋哺乳动物	低频鲸目	213 dB	208.6	219 dB	104.6
	高频鲸目	224 dB	58.9	230 dB	29.5
	超高频鲸目	196 dB	1463.9	202 dB	737.5
	海牛目	220 dB	93.3	226 dB	46.8
	海豹类食肉目	212 dB	234.0	218 dB	117.4
	其他海洋食肉动物	226 dB	46.8	232 dB	23.4

表 5.7.2-4 人为水下噪声对鱼类的影响阈值和影响距离

听力分组		影响程度	阈值	影响距离 (m)
鱼类	无鱼鳔	致死或潜在致死/物理损伤	213 dB	208.6
	有鱼鳔, 鱼鳔与听力无关	致死或潜在致死/物理损伤	207 dB	415.6
	有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关	致死或潜在致死/物理损伤	207 dB	415.6
	卵和幼体	致死或潜在致死	207 dB	415.6

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。钢管桩打桩施工确立在距离桩基 1463.9m 以上范围内为警告区域(对海洋哺乳动物行为产生干扰)。当海域中有石首鱼科时,根据实际海域环境鱼类可以游开远离噪声干扰区,以 207dB 将对石首鱼产生伤害影响为阈值,可算出打桩下时,与施工桩基的相应最大距离为 415.6m。

(2) 船舶航行噪声预测分析

1) 预测方法

根据前文噪声污染源强分析结果,本项目船舶航行源强以 19800t 级运输驳船航行产生 169dB 计算。

预测计算采用 HJ2.4-2021《环境噪声评价技术导则—声环境》推荐的点声源衰减模式进行预测,公式如下所示。噪声预测主要考虑施工船舶的交通噪声对沿岸村庄居民的影响。

$$L_p(r) = L_w - 20l_g(r) - 11$$

式中： $L_p(r)$ ——预测点处声压级，dB；

L_w ——参考位置 r_0 处的声压级，dB；

r ——预测点距声源的距离；

距离本项目最近聚集村庄为沃仔沟村，距离本项目海缆登岸点约 1300 米。海缆铺设速度为 5m/s，海缆船每日工作时间以 10 小时计算，则每天铺设距离为 3000 米。根据卫星影像和海缆路由矢量测量出，施工 1 天、2 天和 3 天后海缆铺设船舶距离沃仔沟村直线距离分别约为 3800 米、6400 米和 9000 米。

2) 预测结果

预测施工船舶噪声的距离衰减情况见下表。

表 5.7.2-5 施工期噪声影响预测结果

噪声源	$L_p(r)$	预测结果						
		100m	500m	1000m	1300m	3800m	6400m	9000m
施工船舶	169	118 dB	104 dB	98 dB	96 dB	86dB	82 dB	79 dB

根据计算结果，在海缆铺设开始时噪声传播到村庄的大小为 96dB。随着施工进行，施工 1 天、2 天和 3 天后噪声传播到村庄的大小分别为 86 dB、82 dB 和 79 dB。如按照依据《建筑施工场界环境噪声排放标准 GB 12523-2011》中昼间建筑施工场界环境噪声排放限值为 70dB，需距离本项目 25 公里。预计约在施工 8 天后海缆铺设噪声传播到村庄可降低至 70dB。

3、噪声对海洋生物影响分析

(1) 影响概述

1) 噪声对工程海域海洋哺乳动物的影响

①屏蔽声音

因为噪声增加而使声音难以被听到时就会出现声音屏蔽。在这种情况下，动物的行为可能会受到影响，因为它无法检测、解释和应对相关的生物学声音。屏蔽可能的影响有：(a) 不能听到远处发声的潜在配偶；(b) 不能有效沟通，母子间的沟通和区分会受到影响；(c) 动物无法侦察到猎物或动物合作狩猎时不能有效沟通，觅食就会受到影响；(d) 如果不能侦测到天敌或其它威胁，就会影响到生存。一般来说只有接收到的声音比能引起明显反应的声音小时才会出现屏蔽。自然界中的声音，如雨水，海浪和其它海洋哺乳动物的发声可能会屏蔽一些重要

信号。海洋哺乳动物有成熟的方法去克服声音屏蔽，如通过增强信号强度、改变时间模式、变换发生频率等，这些方法也可用于克服人为和其它噪声引起的屏蔽。至少一些海洋哺乳动物具有良好的水下定向听力，这也有助于从不是同一方向的噪声源中区分出他们感兴趣的信号。

②生理作用

海洋哺乳动物暴露在声能下可能会引起一系列的生理反应。听觉系统被认为对声音是最为敏感的，但是暴露在声源之下也可能导致诸如压力增大和组织损伤等非听觉生理影响。即使是相对较低的水平，随处可听到的噪声也会增加海洋哺乳动物的压力感，激烈的声音会增加白鲸血液的压力水平，然而温和的声音却不会引起同样的现象。

暴露在高强度的声音之下可能导致海洋哺乳动物出现暂时性听觉缺失或暂时性的听觉灵敏度减弱。听觉灵敏度的减弱是哺乳动物暴露在强烈的或长期的一定限度内的声音刺激时的一种通常反应，是可逆的。然而，由于声音在海洋哺乳动物的日常生活中的重要性，即使是暂时性的缺失有可能增加动物的捕食难度，减少其觅食的效率，或阻碍彼此间的沟通。

③身体损伤

当哺乳动物暴露在以下情况中：短暂地非常激烈的声音、长时间的中等程度的声音、或间歇性重复的但足以造成听力暂时性缺失的声音，可以导致动物听力永久性缺失，或听力的灵敏度的永久减弱，永久缺失导致感觉细胞和神经纤维的损失。有报道座头鲸因暴露在爆炸引起的压力波下而使听觉受到损伤。科学家还假设了其他的一些身体损伤，如耳组织受损、耳鸣、幻听或者听力放大等。

④生态影响

相关的生态物种由于受到人为声音的影响，从而改变其与海洋哺乳动物的关系或改变生态结构，这就发生了间接生态影响。研究表明，在某些情况下，地震活动可能会导致调查地区鱼类的数量减少。间接生态影响产生时，可能会降低海洋哺乳动物的觅食效率，有可能影响他们的成长条件、繁殖和生存。

⑤累计效应

在某个个体身上不是非常明显的影响过一段时间或者与其它声源的影响结合起来时可能会变成非常重要的影响。比如须鲸使用低频率的声音沟通，因此可

能会受地震气枪和航运噪音的影响。同样，声音影响可能会相互作用或与其它影响因素相互作用。例如白鲸，如果气候变化改变了他们食物的分布情况以及取得的难易程度可能会影响他们的生存和繁殖；持久的有机污染物使他们免疫功能变化，使它们容易感染疾病和寄生虫；石油和天然气作业，破冰船，或商业船只的噪音使它们放弃重要的栖息地。

长时间暴露于水下噪声对鲸豚类动物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。

2) 噪声对工程海域鱼类的影响

① 噪声对鱼类行为的影响

目前，噪声对鱼类行为的影响已经从游泳速度、空间位置、摄食、产卵等方面开展了相关研究。

噪声刺激会使鱼类的游泳速度显著性增加，鱼群会短暂向各个方向扩散，其结构和运动方向发生改变。大西洋鲱（*Clupea harengus*）在虎鲸（*Orcinus orca*）进食声音刺激下会加快游泳速度（Doksæter et al,2009）；纯黑朴丽鱼（*Haplochromis piceatus*）在 95dB（100~1000Hz）的人工噪声下会向下移动，并在鱼缸底部停留更长时间（Sabet et al,2016）；此外，与环境声音播放不同，经历打桩噪声播放的实验鱼，其凝聚力降低、方向感变差，个体之间相互协调运动的能力显著降低（Herbert-Read et al,2017）。

鱼类在噪声刺激下，觅食总量也会发生改变。McLaughlin & Kunc（2015）发现噪声使黑斑盘雀鲷（*Dischistodus melanotus*）的躲藏时间增加，导致觅食个体数量减少，从而降低采食量；Magnhagen 等（2017）发现在噪声刺激下，鲈（*Lateolabrax japonicus*）和斜齿鳊（*Rutilus rutilus*）觅食努力尝试次数减少。

噪声还会降低鱼类产卵的成功率。Blom 等（2019）研究表明，持续的噪声会导致鱼类产卵延迟，从而降低其产卵的可能性；De Jong 等（2018）测试了连续噪声对黄体尻虾虎鱼（*Gobiusculus flavescens*）和大眼长臀鰕虎鱼（*Pomatoschistus pictus*）的求偶情况，发现二者的求偶行为均有所减少，且大眼长臀鰕虎鱼的产卵成功率显著降低。

② 噪声对鱼类生理的影响

噪声会导致鱼类听力受损，阻碍鱼类之间信息交流，对寻求配偶产生不利影

响，干扰鱼类回声定位；促使鱼体内生理激素指标升高，生理应激指标发生不适变化，强烈的噪声刺激还会损伤鱼体器官。

A.对鱼类听力阈值的恢复和损伤

长期暴露在噪音下，鱼的内耳毛细胞出现疲劳，会发生暂时性听阈偏移（TTS）或永久性听阈偏移（PTS）。Crovo 等（2015）发现暴露在交通道路噪声下的迷人真小鲤（*Cyprinella venusta*）对不同声频的听觉阈值都显著增加；McCauley 等（2003）发现在气枪噪声（205~210dB）刺激下，白斑狗鱼（*Esox lucius*）听觉阈值偏移 20dB，铅鱼（*Couesius plumbeus*）最大听力阈值偏移为 35dB。

暂时性听阈偏移（TTS）会降低鱼类交流或评估环境的能力，但 TTS 是可恢复的。鱼类内耳毛细胞的修复或替换，使得其听觉阈值偏移得以恢复，恢复时间则取决于暴露噪声的持续时间。Scholik & Yan(2001)发现在噪声暴露 2h(142dB)后，黑头呆鱼（*Pimephales promelas*）听觉阈值在 6d 内完全恢复，而在噪声暴露 24h 后，听觉阈值在 14d 仍未完全恢复，该研究说明听觉阈值的恢复与暴露于噪声的持续时间具有密切关联；Popper 等（2005）分析了气枪噪声（205~210dB）对鱼类听觉阈移后恢复情况，发现听觉灵敏度较高的铅鱼，其阈值损失恢复时间在 18h 以内，而灵敏度较差的白斑狗鱼恢复时间则需 24h。可见不同鱼类在相同噪声刺激后的恢复时间具有显著差异。

永久性听阈偏移（PTS）是耳朵中感觉毛细胞死亡、支配听觉神经纤维受损或听觉通路中其他组织（鳔）受损的结果，PTS 是不可逆的。研究表明，粉红鲷（*Pagrus auratus*）在长期暴露于气枪噪声（峰值 222.6dB）后，其听力结构严重受损，无恢复迹象（McCauley et al,2003）；黑头呆鱼在暴露于 142dB(300~2000Hz)噪声 14d 后没有恢复听力阈值（Scholik et al,2001）。这些研究结果充分表明，鱼类长时间暴露在嘈杂的噪声环境中将会永久地改变听力阈值。

B.对鱼类信号识别的掩蔽作用

在相同的临界波段宽度下，人为活动会产生接近或高于鱼类发声水平的大型近场背景噪声，这种噪声有可能“掩盖”生物上重要的信号，阻止鱼类听到并识别这种声信号（Neenan et al,2016）。人为噪声的掩蔽可能会干扰发声鱼类对于其同类的信息判断。这是由于引入的噪声提高了环境声音水平并降低了信噪比，从而缩短了鱼类信号检测距离，导致其对声信号检测变得更加困难（Andersson，

2011)。这种掩蔽效应可能阻碍鱼类之间信息交流，对鱼类寻求配偶产生不利影响并干扰其回声定位。

噪声会阻碍鱼类之间的信息交流，影响鱼类对声信号的接收。Codarin 等（2009）研究发现，环境噪声和船舶噪声（115~125dB）会干扰短身光鳃雀鲷（*Chromis chromis*）、弓背石首鱼（*Sciaena umbra*）和红嘴虾虎鱼（*Gobius cruentatus*）的声波通讯及对同种声音的探测。

噪声会对鱼类寻求配偶产生不利影响（Woller-man & Wiley,2002）。Vasconcelos 等（2007）发现船舶噪声使腋孔蟾鱼的听力阈值显著增加，造成其接收同种声音的能力减弱，这可能会影响其寻找配偶；Bent 等（2021）观察到与对照组相比，彩绘虾虎鱼（*Pomatoschistus pictus*）暴露在交通噪声和白噪声环境下，鱼类会对异性求爱信号的识别产生延迟，因此可能会降低鱼类交配的成功率。

噪声会干扰鱼类回声定位。部分鱼类幼体能利用周围的环境噪声来确定理想栖息地的方位，而人为噪声污染可能会干扰幼体的定居过程，鱼类可能会因为无法找到合适的定居地点而缺乏食物，或被捕食甚至死亡（Radford et al,2010; Holles et al,2013）。

C.引起鱼类的其他生理反应

噪声刺激还会导致鱼类发生其他生理变化，这种变化在一定程度上反映出了鱼类的健康状况，主要表现为糖皮质激素、皮质醇、血糖、乳酸、血浆等生理指标的上升以及呼吸（通气）率、耗氧量等生理应激指标发生剧烈变化；此外，强烈的噪声刺激还会损害鱼体的生理器官。

血浆、皮质醇和血糖等生理指标已被广泛接受为评估环境或生物压力因素对鱼类影响的指标（Reiner,2011）。Debusschere 等（2016）进行了打桩声暴露实验，发现海鲈（*Dicentrarchus labrax*）的皮质醇、耗氧率和全身乳酸浓度显著降低；Celi 等（2016）把金头鲷（*Sparus aurata*）暴露在船舶噪声下，发现其 ACTH、皮质醇、葡萄糖、乳酸、红细胞压积、Hsp70、胆固醇、甘油三酯和渗透压值均显著增加。

呼吸（通气）率、耗氧量是生理压力的重要指标，在一定程度上同样能反应鱼体健康情况。Kusku 等（2020）研究表明，尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）长期暴露在水下施工所产生的噪声下，其鳃盖搏动和胸翼运动会显著增加；

Radford 等（2016）观察到，与对照组相比，暴露在打桩声中的欧洲鲈（*Dicentrarchus labrax*），其鳃盖搏动率会显著升高。

强烈的噪声刺激会造成鱼体的器官损伤。Halvorsen 等（2012）把湖鲟（*Acipenser fulvescens*）和尼罗罗非鱼暴露在打桩声环境下，发现 2 种鱼的鱼鳃均有损伤；Casper 等（2013）让杂交条纹鲈（*Morone saxatilis*）和罗非鱼（*Oreochromis mossambicus*）暴露于打桩声下，二者都表现出气压创伤，生理活性大大降低。

（2）施工期噪声对海洋生物的影响分析

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，由工程分析可知，水下打桩噪声源强为 254.8dB。根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）推荐的声能传播损失计算公式计算冲击式打桩施工对海洋生物的影响范围。

1）对海洋哺乳动物的影响分析

对于冲击式的非连续性水下脉冲噪声，《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）中附录 A.3 中各海洋哺乳动物听觉影响阈值不一，其中，暂时性听力损失影响阈值为 196~226dB，永久性影响阈值为 202~232dB。

经前文影响预测可知，本工程施工时，打桩所产生的水下噪声降到 230dB 时在离桩基 29.5m 处，该范围内对中华白海豚造成永久性伤害，因此应确立桩基周边 29.5m 范围内为危险区域；打桩所产生的水下噪声降到 224dB 时在离桩基 58.9m 处，该范围内对中华白海豚造成影响，因此应确立桩基周边 58.9m 范围内为影响范围。

本项目所在海域不是中华白海豚重要栖息地，且距离中华白海豚栖息地较远，中华白海豚等鲸豚类进入风电场区海域的可能性虽小，但施工期间仍需加强对瞭望和驱赶。

2）对鱼类影响分析

对于冲击式的非连续性水下脉冲噪声，根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）中附录 A.4 中无鱼鳃的声压阈值超过 213dB SPL_{pk} 为危险区域，有鱼鳃（鱼鳃与听力相关）、卵和幼体的声压阈值超过 207dB SPL_{pk} 为危险区域；无鱼鳃、有鱼鳃（鱼鳃与听力相关）、卵和幼体的声压阈值超过 186dB SEL_{cum} 为影响范围。

经计算，本项目施工时，打桩所产生的水下噪声降到 213dB 和 207dB 时分别在离桩基 208.6m 和 415.6m 处，可见，桩基周边 208.6m 范围内对无鱼鳔造成永久性伤害，桩基周边 415.6m 范围内对有鱼鳔（鱼鳔与听力相关）、卵和幼体造成永久性伤害；整体上，确立桩基周边 415.6m 范围内为鱼类危险区域。

整体上，本项目升压站采用的四桩导管架基础钢管桩撞击施工所产生的水下冲击波噪声将对周围海域的海洋渔业资源带来一定影响。

①单个桩基打桩施工时，应注意施工区域噪声可能对中频和高频鲸豚产生直接的伤害效果，因此施工前应在项目周边区域进行可能的海洋动物驱赶、警示等工作。

②有鱼鳔石首鱼科鱼类(如叫姑鱼、白姑鱼等)是对噪声最为敏感的一类鱼，且在工程海域有分布，以 207dB 水下噪声级作为对石首鱼如白姑鱼、叫姑鱼等产生物理损伤影响的阈值，其影响区域半径为 415.6m；

③水下噪声的累加效应影响：虽然相关测量数据及研究表明撞击式桩基施工不会对一定距离外的鱼类等海洋生物造成直接的影响，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋生物特别是石首科鱼类可能造成慢性影响；长时间暴露于水下噪声对海洋哺乳动物、海洋鱼类等海洋生物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。水下打等的重复冲击波，可使鱼类等海洋生物的损伤呈现累积效应，其表现在：损伤的发生率升高，阈值降低和程度加重，导致不可逆转性损伤。且随着暴露次数增加，不仅损伤的发生率升高，而且损伤的阈值降低，程度加重，机体的潜在性病变等对致伤更为敏感。

由于施工期相对时间较短，同时某些鱼类可以采用游离避开噪声源等方法远离施工区，在施工结束后再返回该区域。建议施工单位一方面应该尽量缩短总的施工时间，另一方面在打桩中每分钟的打桩次数尽量减少。在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以达驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

5.7.2.2 运营期噪声对海洋生物的影响分析

海上升压站的噪声以中低频为主，正常情况下，主变压器噪声值为 70dB 左右。其散热器噪声一般为 65dB 左右，当断路器在动作时，瞬时噪声值最高可达

100dB，但除设备调试安装时有数次动作发生，正常运行时一般极少发生。电抗器声级值一般为 70dB 左右。本项目海上升压站位于海域，周边无声环境敏感目标，噪声对周围环境影响较小，对鱼类等海洋生物的影响在可接受范围内。

5.8 电磁环境影响分析与评价

5.8.1 电磁环境评价等级

本项目拟建一座 500kV 海上升压站和 2 回 500kV 送出海缆，其中海上升压站为户内式，海底电缆为交流输电，最高电压等级为 500kV。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014）《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），本项目电磁环境影响评价等级均为二级。

表 5.8.1-1 海上风电项目电磁环境影响评价等级判据

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	500kV 及以上	输电线路	海底电缆	二级
		升压变电站	户内式、地下式	二级

依据：《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014）

表 5.8.1-2 输变电建设项目电磁环境影响评价工作等级

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	500kV 及以上	变电站	户内式、地下式	二级
		输电线路	1.地下电缆 2.边导线地面投影外两侧各 20m 范围内无电磁环境敏感目标的架空线	二级

依据：《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）

5.8.2 评价范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），本项目电磁环境影响评价等级为二级，其电磁环境影响评价范围为海上升压站的站界外 50m 和送出海缆两侧边缘各外延 50m（水平）的范围，评价范围面积 10.78 平方千米。

5.8.3 海底电缆电磁环境影响分析

5.8.3.1 类比分析

1、类比对象

目前陆上地下电缆运用较多，电缆电磁场传播介质为空气，海底电缆电磁场传播介质为海水，但海底电缆与陆上地下电缆均埋设于泥面以下，土壤和海底沉积物对电磁场均有一定的屏蔽作用，因此类比陆上电缆线路仍有一定的可比性。本报告采用类比预测的方法分析 2 回 500kV 海底电缆的电磁场影响。

本项目选取 500kV 上博甲乙线同塔双回线路作为类比对象，该类比对象电压等级与本项目一致，且均为双回路，均为交流电，具有一定的可类比性，本项目与类比对象基本情况见表 5.8.3-1 所示。

表 5.8.3-1 与类比对象的对比性一览表

类别	本项目 2 回海底电缆	500kV 上博甲乙线同塔双回线路
电压等级	500kV	500kV
载流量	701A	1182A
交直流	交流	交流
地理位置	广东汕尾	广东惠州
地形	海底泥面以下	平地
回路	埋设海底，2 回	架空线路，同塔双回

2、类比监测

(1) 监测点位

本次类比监测主要监测 500kV 上博同塔双回甲乙线 156#~157#铁塔之间断面的离地面 1.5m 高度处的工频电场和工频磁场，监测以弧垂最低位置处档距对应两杆塔中央连线对地投影为起点，沿垂直于线路方向，间距 5m 顺序测至边导线投影外 50m 处。

(2) 监测单位、时间及环境条件

监测单位：广州穗证环境检测有限公司

监测时间：2021 年 10 月 9 日

天气情况：阴，温度 24-29℃，湿度 75-80%，风速 0.5-1.0m/s。

(3) 监测方法

类比监测方法按照《交流输变电工程电磁环境监测方法(试行)》(HJ681-2013)中的规定进行。

(4) 运行工况

监测期间 500kV 上博甲乙线的运行工况见表 5.8.3-2 所示。

表 5.8.3-2 类比对象 500kV 上博甲乙线监测期间类比线路运行工况

类比线路工程名称	U (kV)	I (A)	P (MW)	Q (MVar)
500kV 上博甲线	533.20~534.08	140.62~145.31	0	-131.52
500kV 上博乙线	535.84~536.43	375.00~412.50	336.12	-131.52

(5) 监测结果

500kV 上博甲乙线电磁环境类比监测结果具体见表 5.8.3-3。

表 5.8.3-3 类比对象 500kV 上博甲乙线工频电磁场监测结果表

点位编号	测量位置	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μ T)
500kV 上博甲乙线 156#~157#铁塔之间断面监测值			
DM11	中心线投影处外 10m (边导线内)	3.27×10^3	4.64
DM12	中心线投影处外 11m (边导线投影处)	3.19×10^3	4.48
DM13	边导线投影处外 1m	3.02×10^3	4.57
DM14	边导线投影处外 2m	2.88×10^3	4.53
DM15	边导线投影处外 3m	2.73×10^3	4.52
DM16	边导线投影处外 4m	2.47×10^3	4.4
DM17	边导线投影处外 5m	2.21×10^3	4.29
DM18	边导线投影处外 6m	2.14×10^3	4.24
DM19	边导线投影处外 7m	1.66×10^3	4.11
DM20	边导线投影处外 8m	1.47×10^3	3.96
DM21	边导线投影处外 9m	1.33×10^3	3.74
DM22	边导线投影处外 10m	1.21×10^3	3.42
DM23	边导线投影处外 15m	591	2.77
DM24	边导线投影处外 20m	313	2.33
DM25	边导线投影处外 25m	115	1.85
DM26	边导线投影处外 30m	99	1.51
DM27	边导线投影处外 35m	87.9	1.19
DM28	边导线投影处外 40m	65.8	0.964
DM29	边导线投影处外 45m	58.1	0.825
DM30	边导线投影处外 50m	47.6	0.707

根据监测结果, 500kV 上博甲乙线 156#~157#铁塔之间监测断面的工频电场

强度为 $47.6\text{V/m}\sim 3.27\times 10^3\text{V/m}$ ，工频磁感应强度为 $0.707\mu\text{T}\sim 4.65\mu\text{T}$ ，工频电场强度最大值位于边导线内（中心线投影处外 10m ），工频磁感应强度最大值位于边导线内（中心线投影处外 8m 和 9m ）。以上监测结果表明：在线路边导线内，随着与中心线距离的增加，线路工频电场强度和工频磁感应强度总体呈逐渐增加趋势；在线路边导线外，随着与边导线投影外距离的增加，线路工频电场强度和工频磁感应强度总体呈逐渐衰减趋势；所有监测点位工频电场强度和工频磁感应强度均不超过《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中频率为 0.05kHz 的公众曝露控制限值，即工频电场强度 4000V/m 、工频磁感应强度 $100\mu\text{T}$ 。

（6）类比分析

本项目送出海缆电压等级为 500kV ，但其载流量相对 500kV 上博甲乙线的小，理论上，工频电场强度和工频磁感应强度均会小于 500kV 上博甲乙线的监测值，由此判断，本项目 500kV 送出海缆产生的工频电场强度和工频磁感应强度均不超过《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中频率为 0.05kHz 的公众曝露控制限值，即工频电场强度 4000V/m 、工频磁感应强度 $100\mu\text{T}$ 。

5.8.3.2 计算机仿真分析

为了通过计算机仿真量化分析海上风电场的电磁辐射强度和影响的几何范围，需要进行几何建模。假设三相系统的海底电缆介质沿电缆长度方向均匀分布，则可采用二维模型分析整根导线的电磁辐射情况。

1) 仿真软件

采用 Ansoft 公司开发的 Maxwell 2D 软件进行电磁场分析计算，在电磁体满足轴向均匀的条件下，该软件采用有限元方法求解麦克斯韦方程组。将整个结构分割为许多细小的区域，描述为由多个三角形构成的有限元网络，通过输入结构模型、材料特性参数和描述场的边界条件、电流或电压源激励等参数进行分析计算。软件中有多种场求解器，本项目中主要采用其中两个场求解器

A 交流传导场求解:用来分析导体中时变电场和有损电介质引起的传导电流，可以分析电流分布、电场分布、电势差、导纳等。此外，其它电磁场量都可以从这些基本场量中导出并加以分析。通过求解电势差，可求得 E 场和场。

B 涡流场求解:用麦克斯韦方程组来求解由变化磁场产生感应的涡流场。可以仿真平行导体结构中时变电流的影响,并对涡流、趋肤效应和磁通量进行建模,

其它磁场量也可由这些基本磁场量导出。相对于电场势而言,该求解器主要用于求解电流密度。采用 Maxwell 第二方程,求解得到的媒质中的电流密度和电磁强度结果与场预测分析方法的结果类似。

文献(Andrew B Gil,2003)研究了三芯海底电缆的电磁辐射情况,其具体布置场景如下图 5.8.3-1 所示,设平均水深为 20 m,海砂层厚 11m,电缆埋在海床以下 1m 处。海底电缆的相间电压为 135 kV 有效交流电压,每一相的交流电流为 700 A。

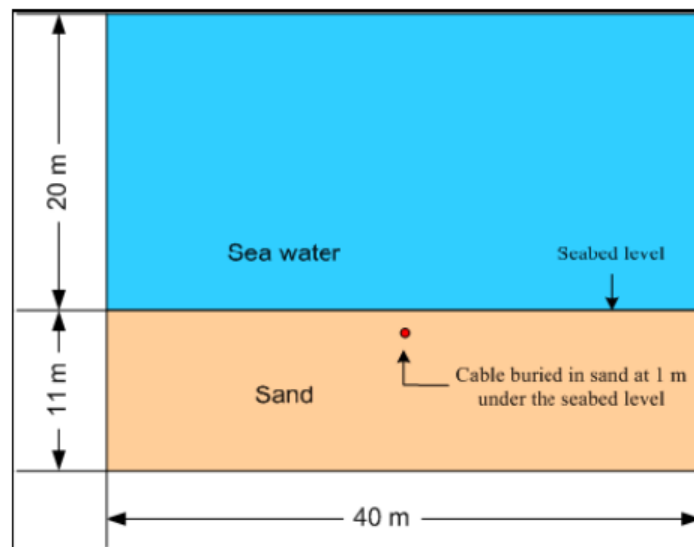


图 5.8.3-1 三芯海底电缆的布置示意图

A 交流传导场求解仿真分析

随时间变化的电压分配给每一相导线,由于有 120° 的相位差,各相的电场分布交替达到最大值。将金属护套接地,这样电场可被严格限制在每个核内部,且在绝缘 DLPE 内部呈对称径向分布。假设理想条件下电缆的金属护套完全接地,则海底电缆外部没有任何电场。此外,从麦克斯韦方程组可知,交变电场将产生磁场,并且通过交流电流存在于每一相导线。正是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。下面用涡流场求解器仿真感生的 E 场。

B 涡流场求解仿真分析

营运中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在 120° 的相位差,使得周围导体产生变化的磁场。图 5.8.3-2 给出了不同相位条件下,电缆内部的磁场强度。注意到,磁场沿电缆轴向存在旋转现象。

尽管电缆的护套提供了良好的电场屏蔽,但是无法屏蔽磁场,因此可以预想

到电缆外部存在磁场。图 5.8.3-3 给出了电缆外部的磁感应强度仿真结果，可见在越靠近电缆磁场强度越大，强度在电缆横截面上随着半径距离增加而减少，且磁场强度在相同距离上是一致的，这是由于海水和海砂的非磁属性。

图 5.8.3-3 给出了海水和海砂中的电流密度仿真结果。由于海水和海砂有着不同的电导率,仿真得到的电流密度在海水和海砂之间的界面处呈现不连续状态同样距离的观测半径时，海水中的电流密度约为海砂中的 5 倍。仿真结果与文献 (Centre for Marine & Coastal Studies, 2003)中的分析预测算法结果一致。

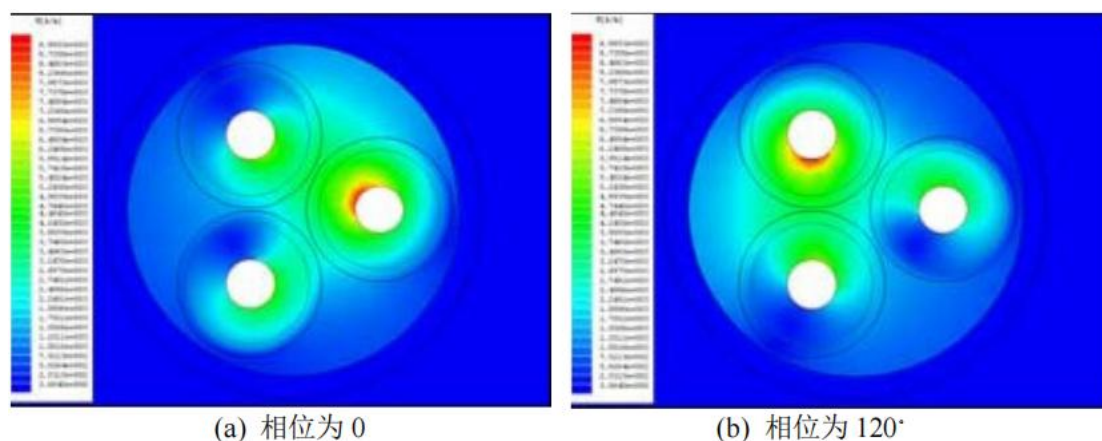


图 5.8.3-2 海底电缆内部不同相位磁场强度 H ，不同颜色表示范围为 1 到 10^3 A/m

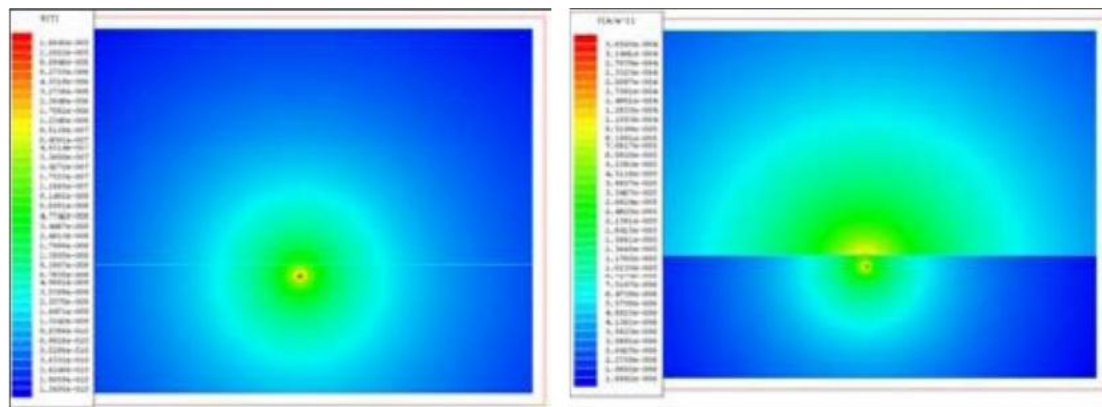


图 5.8.3-3 海底电缆外部磁感应强度，不同颜色表示的范围为 10^{-10} 到 10^{-5} T

5.8.4 海上升压站电磁环境影响分析

海上升压站是本项目运营期电磁环境污染源之一。海上升压站电气设备，因电压、电流而产生工频电场及工频磁场；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。本项目根据《环境影响评价技术导则 输变电》(HJ 24-2020)，升压站的电磁环境影响采用类比评价的方法。

1、类比对象

对于海上升压站产生的工频电场，类比工程在电压等级相同，主变容量相似或者较大、场内布置等类似的情况下，可认为具有可比性。在实际工作中，工频电场的类比条件相对容易实现，因为类比工程主设备和母线电压基本稳定，不会随时间和负荷的变化而产生大的变化，而产生的工频磁场的电流却随负荷变化而有较大的变化，工频电磁场也有相应的变化。

本项目选取 500kV 花都变电站作为类比对象，该类对象电压等级与本项目一致，具有一定的可类比性，本项目与类比对象基本情况见表 5.8.4-1 所示。

表 5.8.4-1 与类比对象的对比性一览表

类别	本项目 500kV 海上升压站	500kV 花都变电站
电压等级	500kV	500kV
主变压器	2×520MVA	4×1000MVA
500kV 出线	2 回	11 回
地理位置	广东汕尾	广东广州
环境条件	海域	丘陵地貌

2、类比监测

(1) 监测布点

500kV 花都变电站四周厂界（围墙外 5m）布置 12 个监测点位，远离进出线（距离边导线地面投影不少于 20m）；垂直于变电站南侧围墙设置 1 个监测断面，测点间距 5m，顺序测至距离围墙 50m 处为止。

(2) 监测单位、时间及环境条件

监测单位：广州穗证环境检测有限公司

监测时间：2022 年 1 月 21 日

天气情况：多云，温度 14~20℃，湿度 64~72%，风速 1.9~2.5m/s。

(3) 监测方法、仪器监测方法

《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ 681-2013）。监测仪器：工频电场、磁感应强度采用全频段电磁辐射分析仪进行监测。

(4) 监测结果

500kV 花都变电站四周厂界监测点位的工频电场强度监测值为

53.9V/m~2151V/m，最大值 2151V/m 出现在变电站西侧围墙外 5m（受高压电抗器、500kV 出线影响）；工频磁感应强度监测值为 0.192 μ T~3.71 μ T，最大值 3.71 μ T 出现在变电站东侧围墙外 5m（受高压电抗器、500kV 出线影响）

（5）类比分析

500kV 花都变电站与本项目电压等级一致，站主变容量、500kV 出线规模均大于本项目海上升压站，因此选用 500kV 花都变电站作为类比对象，可保守反映本项目投产后的电磁环境，具有可类比性。

500kV 花都变电站四周厂界的工频电场监测值满足 4000V/m 标准限值，工频磁场监测值满足 100 μ T 限值。

通过类比预测，本工程 500kV 海上升压站建成投产后，升压站产生的工频电磁环境可以满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的工频电场强度 4000V/m、工频磁感应强度 100 μ T 标准限值要求。

5.8.5 电磁环境的影响分析

5.8.5.1 电磁环境对海洋生物的影响分析

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可能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磁感受器

根据厦门大学课题组在厦门大学生态场水池研究的工频电磁环境大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾虎鱼、口虾姑、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛭等 7 种海洋生物在强度分别为 0.3mT，0.6mT，1.2mT 交流电磁场的持续作用下 48 小时的影响，评价指标包括生物肌肉、肝脏、血液的碱性磷酸酶（AKP），酸性磷酸酶（ACP），超氧化物歧化酶（SOD）的活性，通过单因素方差分析有一下结论：

（1）工频电磁场能够不同程度的提高大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾虎鱼、口虾姑、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛭等的酸性磷酸酶（ACP）的活性水平，对甲壳

动物（口虾姑，日本对虾）肌肉的影响明显强于对鱼类肌肉的影响，对鱼类肝脏的影响明显大于对鱼类肌肉的影响；

(2) 无论是工频电磁场还是噪声对于 7 种海洋生物的碱性磷酸酶（AKP）的活性的影响都不及酸性磷酸酶的影响显著。甲壳类的碱性磷酸酶水平均无显著性变化，鱼类肌肉中该酶的活性亦有部分显著升高；

(3) 无论是工频电磁场还是噪声对于 7 种海洋生物的超氧化物歧化酶(SOD)的活性的影响可以认为绝大部分都不显著。

因此可以发现海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著但是磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。

目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物产生的影响还没有科学的定论。行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的，但是目前所知这种影响是较小的。Formicki 等(2004 年)人对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼 (*Perca fluviatilis*)、白斑狗鱼 (*Esox lucius*)、拟鲤 (*Rutilus rutilus*)、红眼鱼 (*Scardinius rhythrophthalmus*)、鲷科鱼东方欧鳊 (*Abramis brama*) 和鲈科鱼梅花鲈 (*Gymnocephalus cernuus*) 等都趋于选择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi、Kawamura 和 Matsumoto (2004) 的研究中发现，无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 均会对 12663nT~192473nT 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

Westerberg 和 Begout-Anras (2000) 对欧洲银鳗在穿越南波罗的海海底电缆时的洄游形式进行了遥测研究。研究表明，鳗鲡随着持续的磁性罗盘航向迁移，并没有受到电缆产生的电磁异常影响。此外，Westerberg (1994) 从研究的角度测试了南波罗的海近岸风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式，在风力发电机 500m 范围内，鳗鲡的洄游形式没有发生任何改变。

在 Westerberg 和 Lagenfelt 的一项未发表的研究中，将 60 尾正在洄游的银鳗放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的 132kV 交流电缆 (AC) 北部。其洄游速度在有

电缆的间隔中明显降低。虽然能够证实磁场对洄游具有影响，但电缆不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

本项目海上升压站占地面积小，电磁影响范围有限，海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有一定的屏蔽作用，且鱼类活动空间较大，在海底区域活动的鱼类种类及数量相对较少根据类比陆上电缆线路磁场分布可知，本项目海底电缆上方 1m（中心处）工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）公众暴露控制限值 0.1mT，基本可以判断本项目产生的电磁对工程附近的海洋生物影响较小。

5.8.5.2 对鲸豚类等保护动物的影响分析

本项目海域虽不是中华白海豚的主要分布和活动范围，但仍可能会有少量个体存在。目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物的影响还未有科学的定论，电磁环境对海洋生物的影响还在研究中。

地磁场要素（地磁偏角、倾角和强度）能为许多动物在迁徙、觅食过程提供定位导航信息。目前已发现许多动物如软体动物、节肢动物及脊椎动物都能感知地磁场并利用它进行导航(Wiltschko et al.2012)。

文献研究表明(U.S Department of the Interior,2011)，鲸豚等海洋哺乳动物对大地磁场在 30~60nT 变化比较敏感(地球的大地磁场大概在 50 μ T 左右)，文献报道（Cameron Fisher,Ecology and Environment,Inc,2010）小于 0.05 μ T 的磁场变化就会导致鲸豚搁浅的风险。但目前仍缺乏野外调查和定量的数据研究。鲸豚类是否通过地磁场定位也尚无准确结论，海底电缆产生的电磁干扰对鲸豚影响的内在机制仍待深入研究。

分析本项目海底电缆发出的电磁场的可能强度，对于 500kV 海底电缆，在距离电缆线 20m 外，磁感应强度已降在 50 μ T 以下。

参考美国内政部海洋能源管理管制和执法局《关于海上风电场海底电缆电磁场对软骨鱼和其它海洋物种影响》（包括海龟）相关研究（2011）。他们在美国等海域确定的 24 个海底电缆系统中，仿真分析了交流和直流海底电缆设计系统中的电磁环境，这些系统主要是为了在陆地传输系统和海上风电场所用的电缆系统提供电力连接，系统分别在 33kV、69kV、138kV、230kV、345kV、500kV 等高压电压下运行（U.S.Department ofthe Interior ,2011）。直流电磁场和交流磁场在距

离海底电缆 20m 外,其变化的磁场均已很小;根据文献(Nommandeau Assosicakts Inc.et al,2011)报道,在模拟和实测的各种现有海底电缆的磁场水平中,埋深为 1m 的交流电(电压范围 33~230kV)电缆在电缆上方 25m、水平距离 24m 外的磁场强度将小于 $0.05\mu\text{T}$,而对于直流系统需要在电缆上方 50m 以上、水平距离 68m 以外的磁场强度才能小于 $0.05\mu\text{T}$ 。

因此,与持久、静止的地磁场相比,对变化磁场敏感的鲸豚等海洋哺乳动物对微小、时变的交流磁场可能会有不同的感知。由于本项目海底埋深超 3m,因此,在距离埋设电缆 68m 以外,对鲸豚等保护动物的影响将有所减弱。

5.8.5.3 对海龟等保护动物的影响分析

海龟可以感知磁场,并利用地球磁场及其他引导方式进行远距离导航、迁徙和定向。研究表明,红海龟对磁场强度的敏感区和行为反应在 $0.0047\sim 4000\mu\text{T}$ 之间,绿海龟在 $29.3\sim 200\text{Ut}$,尽管还有些海龟物种未研究过,但解剖学、生活史和行为相似性表明,因此,它们可能在相似的阈值水平上做出反应。

5.8.5.4 电磁环境对鸟类的影响分析

本项目电磁环境对鸟类可能产生影响的主要来源是海上升压站电磁场。

国内外关于极低频电磁场对鸟类迁徙活动影响的研究较少,根据已有的研究表明,没有足够的生物学或生理学的证据表明低频电磁场会对鸟类群落产生影响。许多鸟类在迁徙过程中借助地球磁场定位及导航(Wiltschko and Wiltschko 1988)。研究发现,极弱的电磁场或许会干扰信鸽方向辨别神经系统,造成信鸽的方向迷失(Wiltschko and Wiltschko, 1988)。研究同时发现,虽然开始时较弱的电磁场会对鸟类个体产生一定的方向迷惑,但整个鸟群可以很快的适应电磁场的异常改变,并再次成功的定位。

对于变电站产生的电磁场可能对鸟类带来的影响,美国国家环境卫生科学研究所(NIEHS)在其“电磁场研究与公众资料传播(EMF RAPID)”大型研究计划完成后,发布的结论表明:环绕变电站外部的最强的电磁场是由进站和出站的电力线路所产生的,变电站内部设备(例如:变压器、电抗器和电容器组)产生的电磁场强度,随距离的增加而快速下降。本项目类比工程亦证实了此结论:升压站围墙外 5m 处至围墙外 60m 处的工频磁感应强度为 $146.25\sim 287.09\text{nT}$,均小于 0.1mT 的限值。据陆忠民等(2014)根据多年鸟类观测统计结果表明绝大部分

鸟类的飞行高度在 150m 以上。这一高度远大于海上升压站电磁影响范围内，可以预测鸟类正常飞行状态下穿越海上升压站上空将不受电磁影响。此外，相关研究表明，强磁场可能会影响候鸟的迁徙导航路径，但远小于 $50\mu\text{T}$ 地磁场的工频磁场，不具有很大的生物学显著性，依据分析结果表明本项目风电场工频磁场远低于 $50\mu\text{T}$ 级别，而海底电缆由于埋设海底下，其工频磁场更低。因此，就本工程电磁场其对鸟类的行为影响很小。

5.9 环境空气影响预测与评价

5.9.1 施工期环境空气影响评价

5.9.1.1 船舶与机械设备燃油燃烧排放

本工程在施工过程中对大气环境的影响主要为施工机械、船舶产生的废气，主要包含以下成分：一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（ NO_x ）、二氧化硫（ SO_2 ）、碳烟颗粒等。此外，在升压站安装过程中的焊接、喷涂及防腐作业的挥发性有机物（VOCs）和颗粒物。

柴油含硫量决定 SO_2 排放量，若使用低硫柴油， SO_2 排放量相对较低。燃油燃烧过程中，高温条件下氮氧化物生成量较大，影响海洋区域空气质量。柴油燃烧不完全可能会产生颗粒物排放（ $\text{PM}_{2.5}$ 等），对周围空气环境有一定影响。施工过程中 CO_2 排放是不可避免的温室气体排放来源。

施工期空气污染物主要集中在施工船只周围，由于海面开阔，风速较大，污染物能够快速扩散，不会造成局部高浓度污染。影响范围受风速、风向和气象条件影响，一般不超过几百米范围。施工期空气污染物排放具有临时性，随施工结束而消失，不会对区域空气质量造成长期影响。

5.9.1.2 海上升压站建设及海缆敷设过程中的扬尘和颗粒物

海上升压站建设过程中，起重、焊接、打桩、切割、喷涂等作业可能会产生一定量的粉尘和颗粒物。海缆敷设过程中运输、起重等作业可能产生粉尘。

扬尘和颗粒物等排放源主要集中在施工区域及船舶周围，影响范围有限。本项目施工区位于海域，海上环境湿度较高，扬尘沉降较快，整体影响持续时间较短。

5.9.2 运营期环境空气影响评价

海缆铺设施工完成后，在运营期基本无废气产生。海上升压站柴油发电机组的间歇性使用及运维船产生废气排放物，其主要包括 NO_x 、 SO_2 、 CO 、 CO_2 及颗粒物等，废气产生量较少，在开阔海域很快会消散，不会对空气质量造成显著影响。

5.10 固体废物环境影响分析与评价

5.10.1 施工期海域固体废物影响分析与评价

海上升压站焊接施工过程中产生的废弃焊头和拆卸下来的废弃材料设备包装物不随意丢弃，在各铺缆船等作业单位设置废料回收桶，废弃物统一收集在容器中，施工结束后统一送往陆上进行回收再利用或处置。海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废物（废弃缆线、插网、渔网等），在施工船舶上设置专门的收集装置，海底废弃物打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理。

项目施工期最多配备 395 人（含管理人员和施工人员），施工期间 1.0 kg/人/天估算，施工高峰期生活垃圾产生量约 395kg/d，对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾，由施工船舶收集后运至陆域，与施工基地生活垃圾一并送至附近生活垃圾处理厂处理，对周围环境影响很小。

5.10.2 运营期海域固体废物影响分析与评价

海底电缆在运营期不会产生固体废物。海上升压站在运营期日常维护中将产生少量的固废，包括可回收利用的金属类废弃物和不可回收利用的有害固体废弃物。其中金属类包括废弃设备零部件、报废工具、废旧电线等，这部分属于可回收利用废弃物，收集后交给专业再利用企业回收利用。有害固体废弃物包括沾染油脂的手套废布包装、废照明灯管、废熔断器等，有害废弃物集中收集存放，交由资质的单位安全处置，对周围环境影响较小。

5.11对周边海域开发利用现状影响分析

5.11.1 对航道、航路开发利用的影响分析

项目施工过程中，施工船舶较多，施工作业船舶和施工作业机具将占用一定的通航水域，对于通过该水域航道、航路船舶的正常航行有一定的影响。施工船舶进出该水域客观上增加了船舶交通流量和密度，船舶在该水域中的会遇局面增多并变得复杂。来往港口和航线上的船只如果抛锚不准或航线运行不准，也可能对电缆造成破坏。项目所在海域是航行条件优良的可通航海域，附近海域有一定的商船交通流量。

本项目海底电缆施工具有流动性，在单一地点的施工时间较短，项目所在海域有足够的空间供过往船舶操纵避让。通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度，把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作，选用船艺良好、谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对周边航道、航路通航环境和船舶通航安全的影响。

本项目对于跨越航道、锚地等与航运关联的海域的海缆要求埋深不小于3米。施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，基本不会对潮流动力产生影响，不会对周边地形地貌产生影响。在对海底电缆的埋深严格要求，确保达到设计标准，在电缆敷设后通过树立警示标志、发布相关海域管理通告等措施，在降低对海底电缆影响的同时，也能保证航路的正常使用。因此，本项目海底电缆运行期不会对周边航道、航路功能造成影响。

5.11.2 对锚地开发利用的影响分析

本项目海上升压站未占用锚地，海底电缆路由未穿过锚地，与周边锚地均保持一定的距离。本项目较近的锚地有大型船舶临时避风锚地（项目东侧，0.8km）、2号引航检疫锚地（项目西侧，0.9km）和1号引航检疫锚地（项目西侧，1.7km）。装运危险货物船舶锚地（项目东侧，5.2km）距离本项目较远。

本项目对于跨越航道、锚地等与航运关联的海域的海缆要求埋深不小于3米。海底电缆采取全程埋设并采用套管保护、加盖保护件（碎石、混凝土件、沙包等）的保护方式。施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，基本

不会对潮流动力产生影响，不会对周边地形地貌产生影响。因此，项目建设对周边锚地影响不大。

5.11.3 对海上风电项目影响分析

距离本项目紧邻的海上风电项目为拟申请的汕尾红海湾三海上风电项目和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目。本项目为其集中送出海缆和海上升压站项目，因此，对上述汕尾红海湾三海上风电项目和明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目没有不利影响。

本项目评价范围内还包括中广核惠州港口一海上风电场项目（项目西侧，6.6km）和中广核惠州港口二 PA 海上风电场项目（项目西侧，6.7km）。本项目与其距离较远，且海缆路由没有交越，因此，本项目对中广核惠州港口一海上风电场项目和中广核惠州港口二 PA 海上风电场项目没有不利影响。

5.11.4 对周边其他项目的影响

本项目海底电缆穿越华润海丰电厂“上大压小”新建工程温排水区域，不涉及其排水口，且项目是底土穿越施工，整体上对电厂温排作业无明显不利影响，除外，本项目与周边其他项目相距较远，项目建设对周边项目基本无影响。

5.12 对周边敏感目标及环境关注点的影响分析

本项目周边分布的敏感目标有自然保护区、生态保护红线、重要渔业水域、红树林、无居民海岛以及国控点等，与本项目及施工期间悬浮泥沙的位置关系如下图所示。

图 5.12-1 本项目悬浮泥沙扩散范围及敏感目标位置图

5.12.1.1 对自然保护区的影响分析

深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区距离项目北侧约 1.2km。深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区主要保护对象包括：真鲷、黑鲷、鲈鱼、鲻鱼、鳗鲡、锯缘青蟹，以及虾、贝类等重要经济种类及其产卵场和孵育场等特殊海洋生态系统。

项目建设对该自然保护区可能的影响主要是施工期间产生的悬浮物扩散会影响周边海域水质环境，进而影响所在海域的水生生物生存和生长。根据海洋水质数值模拟结果，结合悬浮泥沙扩散包络线矢量和深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区矢量叠加分析，悬浮泥沙大于 10mg/L 的最大扩散范围距离该自然保护区约 878m。因此，本项目对深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区的影响很小。

5.12.1.2 对生态保护红线的影响分析

本项目送出海缆和海上升压站均不涉及生态保护红线，与遮浪南重要渔业资源产卵场紧临，与汕尾市海丰县红树林相距 1.2km，与鲗门重要滩涂及浅海水域相距 3.6km，与乌山海岸防护物理防护极重要区相距 4.9km，与百安半岛海岸防护物理防护极重要区相距约 10.0km，与针头岩特别保护海岛相距约 10.0km。

根据海洋水质数值模拟结果，底层悬浮泥沙扩散距离远于中、表层，底层 10mg/L 悬浮泥沙的最大扩散距离为 3.3km。结合悬浮泥沙扩散包络线矢量和生态保护红线矢量叠加分析，本项目施工悬浮泥沙能够影响到的生态保护红线仅为遮浪南重要渔业资源产卵场，导致其悬浮泥沙增加浓度 10mg/L 以上影响面积为 9.11km²。但悬沙影响是暂时的，可逆的，根据海水水质数值模拟结果，随着施工结束，施工引起的悬浮物浓度增加啦会在约 4 小时内迅速衰减至 10mg/L 以下，7 小时后可大致降低为 0mg/L。在施工结束后不会长久影响遮浪南重要渔业资源产卵场，运营期也不会造成影响。项目通过施工船舶航行风险防范措施，能确保不破坏渔业生态环境。项目要严格按照相关的法律法规开展，不排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物和废弃物，船舶含油污水交由有资质的单位统一回收处理。制定船舶溢油风险防范措施，确保将对生态红线区生态环境的影响降至最低。

在落实生态修复补偿措施后，本项目对生态保护红线的影响较小。

5.12.1.3 对重要渔业水域的影响

本项目位于幼鱼、幼虾保护区、黄花鱼幼鱼保护区、粤东近海区蓝圆鲹产卵场，评价范围内涉及南海北部金线鱼产卵场，重要渔业水域信息详见表 5.11.4-1。

表 5.11.4-1 重要渔业水域信息表

名称	位置关系	保护期或产卵期
幼鱼、幼虾保护区	项目所在	3月1日至5月31日
黄花鱼幼鱼保护区	项目所在	11月1日至翌年1月31日
粤东近海区蓝圆鲹产卵场	项目所在	1-4月
南海北部金线鱼产卵场	项目南侧约13.8km	3-8月

根据水质影响预测结果分析,本项目施工过程中悬沙扩散范围主要集中在海缆铺设路由及海上升压站附近海域,根据海洋水质数值模拟结果,底层悬浮泥沙扩散距离远于中、表层,底层 10mg/L 悬浮泥沙的最大扩散距离为 3.3km。夏季底层超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 77.920km²; 增量浓度 >20mg/L 的面积为 28.703km²; 增量浓度 >50mg/L 的面积为 2.204km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.377km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.137km²。冬季底层超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 38.972km²; 增量浓度 >20mg/L 的面积为 25.090km²; 增量浓度 >50mg/L 的面积为 14.875km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 8.095km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 3.626km²。对周边渔业生产活动会造成一定影响。捕捞所获的渔业资源将会在短期内减少,影响渔业资源产量。

项目施工期产生的悬浮泥沙、桩基和海缆占用生境等,会对渔业资源造成一定的损失,项目施工尽可能的避开渔业敏感季节(如产卵期 1 月-4 月);项目运营期海缆路由及其保护范围内禁止渔业底拖捕捞、张网、养殖作业等,也会造成在该海域从事渔业捕捞生产的渔民的捕捞空间减少,导致捕捞渔民的收入降低。但海底电缆铺设属于线性工程,海底电缆占用及其保护范围和可供给捕捞的海域相比较比例很小,对渔船捕捞作业区域的影响较小。

5.12.1.4 对红树林影响分析

现状红树林位于海缆登陆点北侧,距离本项目直线距离约 1.0km。红树林位于海湾内,与本项目登陆点位置有岬角相隔。

海底电缆工程埋藏在海床以下 3~4m,为埋设形式,施工完成后,海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状,不会对潮流动力环境产生影响,亦不会对周边地形地貌产生影响,不会对现状红树林所在海域底质环境产生影响。

结合悬浮泥沙扩散包络线矢量和现状红树林矢量叠加分析,本项目登陆点附近施工导致悬浮泥沙增加浓度 10mg/L 以上的范围较小,距离现状红树林直线距

离约 0.9km，且红树林位于海湾内，悬浮泥沙扩散范围与其有陆域相隔，施工导致的悬浮泥沙，基本不会影响到现状红树林的生长。

5.12.1.5 对无居民海岛影响分析

本项目送出电缆距离最近的无居民海岛为龙虾头岛，距离约 1.0km，其余海岛与本项目有一定距离，不会对其产生影响。龙虾头岛为基岩岛，岛上无植被。本项目送出海底电缆的悬沙会扩散到龙虾头岛附近，但龙虾头岛为基岩岛，悬沙对其不会产生影响。海缆埋藏在海床以下，为埋设形式，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，不会对潮流动力产生影响，亦不会对周边地形地貌产生影响。因此，本项目不会对周边海岛资源产生影响。

5.12.1.6 对海洋牧场及现状养殖的影响分析

本项目远离《汕尾市现代化海洋牧场建设规划（2024-2035 年）》规划的近期的海上养殖区（江牡岛海域现代化海洋牧场和江牡岛南海域启动区）和现状养殖（汕尾市顺安科研养殖有限公司开放式养殖用海），施工悬沙不会对规划和现状的养殖区造成影响。

5.12.1.7 对珍稀保护动物的影响分析

本项目施工噪声可能会对海龟的影响有一定影响，由对海龟的行为听阈研究表明对海龟听力影响的阈值为 204dB，对应影响距离为 586.4m。因此，工程打桩施工将对该海域中的海龟行为产生一定程度的影响，会出现激动的行为、突然的身体动作等惊吓反应，或者改变自身的游泳模式和方向，出现下潜等躲避行为。本项目远离海龟自然保护区，海上作业对海龟生存活动影响不大，根据本项目所在海域存在海龟活动的历史追踪数据，项目区为海龟洄游的主要路线，周边海域可能有海龟出没，因此施工期应密切注意周围是否有海龟活动。施工期间若发现海龟应停止施工，驱逐并上报有关部门，加强对施工人员的教育，禁止捕杀海龟等珍稀生物。

营运期升压站运行产生的水下噪声、电缆产生的电磁场对海龟的影响也非常小且海龟在海域内活动区域大，项目也不会对海龟的活动和洄游构成明显的不利影响。此外升压站海上永久构筑物建设将产生人工鱼礁效应，且电场防护范围内不再出现渔业捕捞作业，将提高生物聚集能力，逐渐形成新的生物场，可能会提

高项目区海龟及其食物来源量，为海龟提供新的庇护和捕食场所，一定程度上起到了保护海龟的目的。但工程建设对海龟具体的长期累积生态影响，现阶段无法进行准确预测，需要开展长期监测和深入研究。

5.12.1.8 对国控点影响分析

送出海缆附近共有 2 个国控点，分别为 GDN14003 和 GDN14005，考察泥沙悬沙影响与国控点的关系，将国控点与底层最大悬沙扩散范围图进行叠加，并统计其影响的最大浓度，持续时间等列于表 5.11.4-5。整体来看，施工过程引起的悬沙浓度对国控点影响较小。GDN14005 位于海缆东侧，涨憩施工（开始落潮），落潮流朝东，给该点带来影响，最大影响浓度 2.4mg/L，持续时间 3.1 小时，落憩施工（开始涨潮），海流流向西，该点位于海流的上游，影响小于 1mg/L，GDN14003 落憩施工最大影响浓度 11.8mg/L，持续时间 3.3 小时，涨憩施工，最大影响浓度小于 4.1mg/L，持续时间 3.1 小时。

由于这几个国控点位于海缆东侧，选择涨潮时段（西向流）施工对国控点的影响最小。

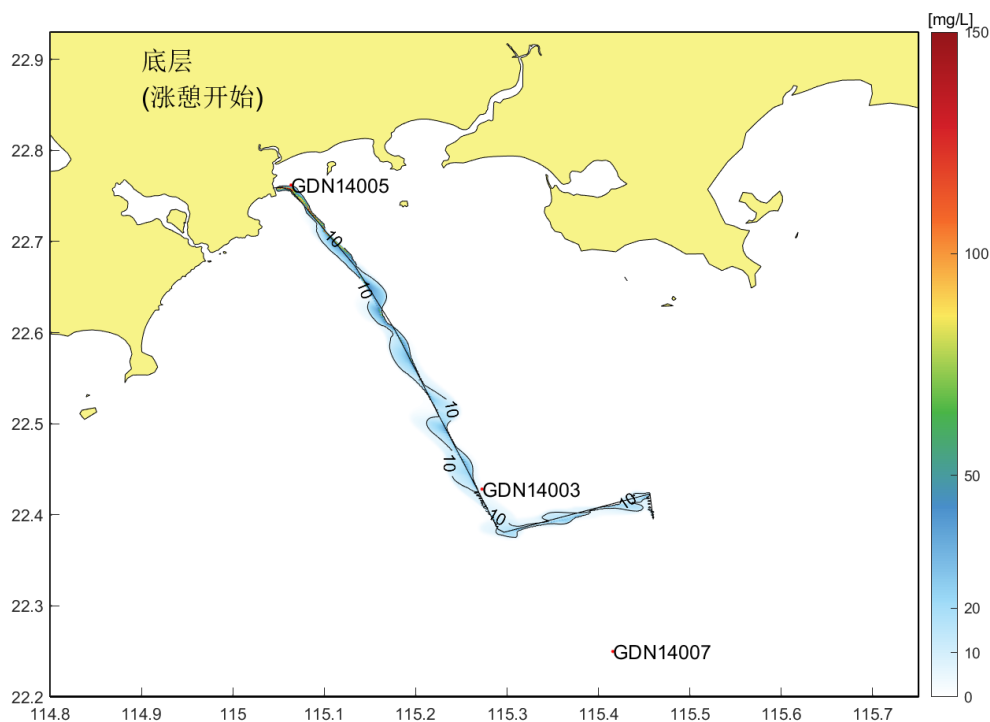


图 5.11.4-1 涨憩开始施工的工况底层悬浮物浓度最大包络范围

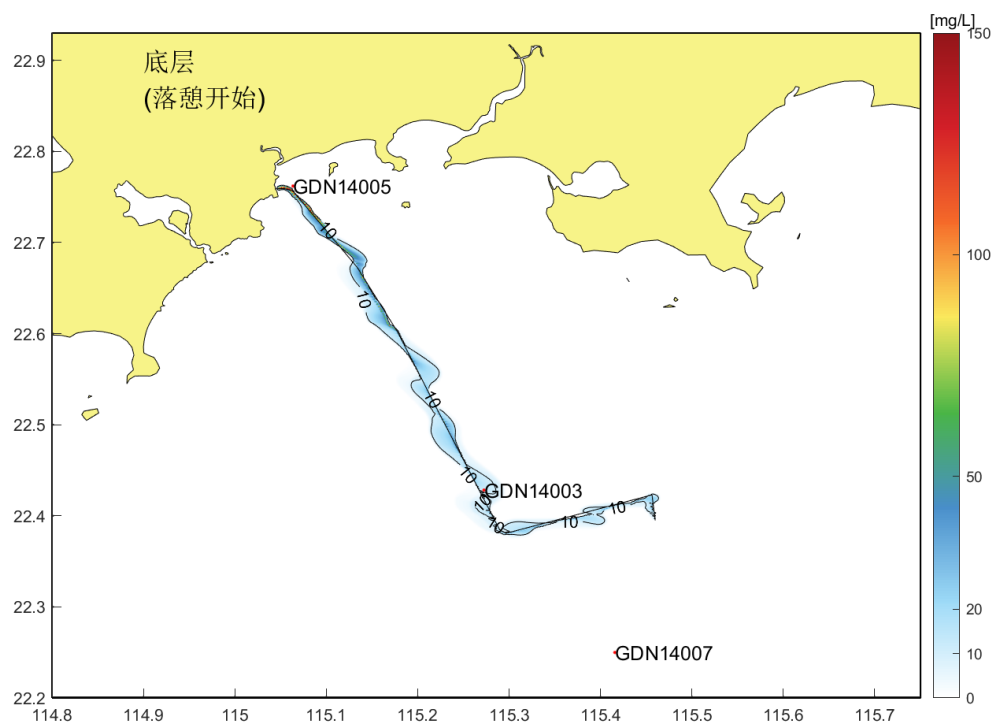


图 5.11.4-2 落憩开始施工的工况底层悬浮物浓度最大包络范围

5.13 退役期环境影响

本工程海上升压站结构设计使用年限为50年，将对升压站进行拆除工作，基础钢结构在泥面以下进行切割，上部吊装上岸拆解，整个过程将会使沉积物有局部扰动，短时间内造成局部海水悬浮物浓度升高，总体来说扰动范围小、扰动程度低，对周边海洋生态环境影响很小。

在弃置阶段，海底光缆对海洋环境可能的影响有以下两个方面：一是海底光缆弃置在原地，长期暴露在海底或浅层海底土中，超出了光缆的设计抗腐蚀年限，钢铠装层和镀锌钢丝长期暴露将导致重金属溶出，对海底土质和水质环境的影响；二是原地弃置的海底光缆占用海洋空间对该区域周围船舶航行、海洋渔业、海洋工程等海洋开发利用活动的影响。一旦发生安全事故，对海洋环境间接产生一定的影响。

如果对海底光缆打捞回收，会引起泥沙悬浮和运移，局部改变海水混浊度，这对海底光缆路由区的海洋环境和渔业资源以及其他现有海洋开发活动造成一定影响，其影响因素类似施工期。

本退役期环境影响应在拆除施工方案明确后另行编制环境影响报告，报主管部门审批。

6 环境保护措施及其可行性论证

6.1 大气污染防治措施

6.1.1 施工船舶排放控制

(1) 通过合理布置施工方案, 加强施工船只管理, 提高施工船舶的使用率。

(2) 根据《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)和《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), 本项目位于沿海控制区范围, 施工船舶应使用硫含量不大于 0.5% m/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。

(3) 建议施工船舶安装船舶尾气处理装置(如脱硫塔或 SCR 系统), 进一步降低污染物排放。

6.1.2 施工设备优化

(1) 采用高效、低排放的施工设备, 减少柴油发动机的废气排放。

(2) 定期维护设备, 确保其处于最佳运行状态, 避免因设备老化导致的额外排放。

6.2 水污染防治措施及其可行性分析

6.2.1 悬浮泥沙污染防治措施

(1) 合理安排施工工期、优化施工方案: 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, 将重点悬浮泥沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、合理安排施工进度计划, 将悬浮泥沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱的潮期内。优化施工方案, 加强科学管理, 严格限制施工区域, 尽量缩小作业时间和用海范围。

(2) 控制海缆施工影响: 海缆敷设作业时, 采用专用海缆船; 海缆船埋设犁冲沟敷设电缆时, 悬浮沙与船速、电缆沟尺度及海域底质特征有关, 因此, 施

工时需根据海缆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，减小悬浮泥沙产生量；且敷设作业时，应精确定位，尽量减少施工时间。

(3) 控制桩基施工影响：升压站桩基打桩过程中，工程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；合理控制工艺桩拔除强度，防止拔桩时桩体倾斜刮擦海床或拔除力过大造成局部掀沙。

6.2.2 污废水污染防治措施

(1) 海域施工期间，现场施工人员每天产生一定量的生活污水，经船舶统一收集，运至岸上委托船舶污染物接收单位处置，并建立委托处置台账，记录接收时间、数量等相关数据，备查。

(2) 严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放，施工船舶配备相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；含油废水经收集后运至岸上，交由有资质单位处理。

(3) 甲板上偶尔出现的少量油（通常是润滑油）用棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱、废油等应收集后运回陆地交由有资质单位统一处理。注意施工船舶等的清洁，定期维护和及时修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向就近的海事部门报告。

(4) 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。

(5) 施工活动应尽量在风浪较小的时段施工，既能保障施工安全，利于施工进行，也能减小悬浮物的影响范围和影响程度。招标时应优先选择先进的施工工艺，进一步控制和减缓施工对水质的影响。

6.3 噪声防治措施及其可行性分析

(1) 加强施工船只管理，避免施工区域船舶集中，避免在同一工程区大量

动力机械设备同时运作导致局部声级过高。

(2) 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。

(3) 升压站桩基础海上打桩作业时，在打桩锤上加装隔音及消音材料，降低结构辐射噪声，同时隔离桩体内部的噪声向外传播。

(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；加强施工设备的维护保养，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。

(5) 缩短升压站桩基沉桩时长，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。

(6) 施工期间建议建设单位尽量采用水声阻尼器或气泡帷幕的方法降低声源级。

6.4 固体废物防治措施及其可行性分析

(1) 对于施工期产生的生活垃圾，主要在各施工船舶上，返回时收集上岸，送环卫部门处理。

(2) 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。施工中产生的固废应由施工单位负责及时清理处置。施工结束时，需做好施工现场的清理和固体废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。对有利用价值的施工废弃材料也应由施工单位负责及时清理处置。

(3) 对于海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物，应在施工船舶上设置专门的收集装置，打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理，禁止在海上随意弃置从而造成海洋环境的二次污染。

6.5 生态保护措施及其可行性分析

6.5.1 施工期

6.5.1.1 渔业资源和渔业生产保护对策措施

(1) 合理安排施工进度计划，施工应尽量避免避开 1-4 月鱼类繁殖高峰期，若

无法避开在施工进度允许的情况下 1-4 月期间降低施工强度（如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等）。

（2）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。

（3）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。

（4）施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

（5）施工期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成捕捞生产净收入减少。建议建设单位与当地渔业主管部门协商，减缓本工程实施对渔民的影响。

（6）从减缓对渔业资源影响的角度出发，工程施工高峰期应尽量避免春、夏季海洋鱼类产卵高峰期。

（7）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。

（8）施工单位应合理安排施工工序，建议海缆铺设期避开附近海洋常规监测点的采样调查时段，尽可能保障监测数据的精准可靠，为海洋研究与管理提供坚实依据，同时也能让海缆铺设工程顺利推进，减少不必要的干扰与冲突。

6.5.1.2 对珍稀海洋生物的保护措施

（1）设立专门的观察员，在施工前和施工中使用望远镜观察施工点半径 1km 范围内的水面 10min，确认没有珍稀海洋生物出现方可开工。施工过程中如果有珍稀海洋生物进入 1km 监视范围内则暂停作业，等待大型保护动物离开监视范围方可继续施工。

（2）施工期间若发现海豚、海龟等珍稀海洋生物应停止施工并且进行驱逐，待珍稀海洋生物游离后方可作业，避免被机器或船只螺旋桨撞伤，并上报有关部门。

（3）控制作业船数量，严格限制工程的施工区域和用海范围。

（4）施工过程中避免同时开动施工设备，采用先后开动船舶其他设备，产

生对珍稀海洋生物示警的噪声。打桩机作业采用“软启动”方式，振动速度逐渐加大，以给可能在附近活动的珍稀海洋生物游离施工区域的时间。

(5) 施工期间，加强对水上交通运输的管理，施工船舶的速度限制在 10kn 以下，并教育船舶驾驶员遵守有关限制，航行时留意大型保护动物的出没并回避。同时，对施工船、配合施工的交通运输船舶制订固定的航线，缩小对珍稀海洋生物的影响范围。

(6) 大力宣传保护珍稀海洋生物的相关规定和奖惩机制，进行海豚、海龟等保护动物的保护及救助方面的宣传和培训，提高工作人员对珍稀海洋生物的关注度、责任感和法律意识。

6.5.1.3 对海域底栖生物影响的减缓措施

(1) 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。

(2) 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。

(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。

(4) 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。

(5) 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。

6.5.2 营运期

6.5.2.1 送出电缆保护措施

根据《海底电缆管道保护规定》(中华人民共和国国土资源部令第 24 号) 第七条规定：国家实行海底电缆管道保护区制度。省级以上人民政府海洋行政主管部门应当根据备案的注册登记资料，商同级有关部门划定海底电缆管道保护区并向社会公告。海底电缆管道保护区的范围，按照下列规定确定：沿海宽阔海域为海底电缆管道两侧各 500 米。海底电缆管道保护区划定后，应当报送国务院海洋行政主管部门备案。

第八条规定：禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打、锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业。海底电缆管道两侧各 500m 海域范围内，严禁从事挖砂、钻探、打、抛锚拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业。

6.5.2.2 生态补偿措施

本项目升压站建设桩基础将永久占用一定面积的底栖生境，项目建设过程中，海缆敷设等施工环节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和造成渔业资源的损失，造成的生态损失总赔偿额约为 1266.95 万元，纳入本项目的环保投资。

根据《农业农村部办公厅关于进一步明确涉渔工程水生生物资源保护和补偿有关事项的通知》（农办渔〔2018〕50 号），建设单位是水生生物资源保护和补偿的主体应根据环境影响评价报告中所列的水生生物资源保护和补偿内容，制定具体的实施方案。渔业部门要对实施方案编制进行组织协调和指导把关，确保方案合理可行。建设单位应根据实施方案，组织落实水生生物资源保护和补偿措施。无能力落实保护和补偿措施的，可以委托具备相应能力的社会第三方机构实施。

本项目生态修复和补偿方案建议结合项目周边海域实际情况和生态保护要求，推荐多样化的生态补偿修复和补偿建议，比如增殖放流等方式。根据地方规定及相应要求，具体的海洋生物资源和渔业资源补偿实施方案与渔业等主管部门协商制定，报主管部门审查后实施。

1、增殖放流选址

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》《广东省海洋生物增殖放流技术指南》，增殖放流地点应选择：1）产卵场、索饵场、洄游通道或人工鱼礁放牧场；2）非倾废区，非盐场、电厂、养殖场等进、排水区的海洋公共水域，并应选择靠近港口码头利于增殖放流工作开展，且捕捞影响较小的区域。

本项目风电场周边海域可作为放流地点，结合汕尾市往年增殖放流区域，拟选择红海湾遮浪角西侧码头外侧海域进行增殖放流。（具体位置根据汕尾市农业农村局等行政主管部门计划框架确定）

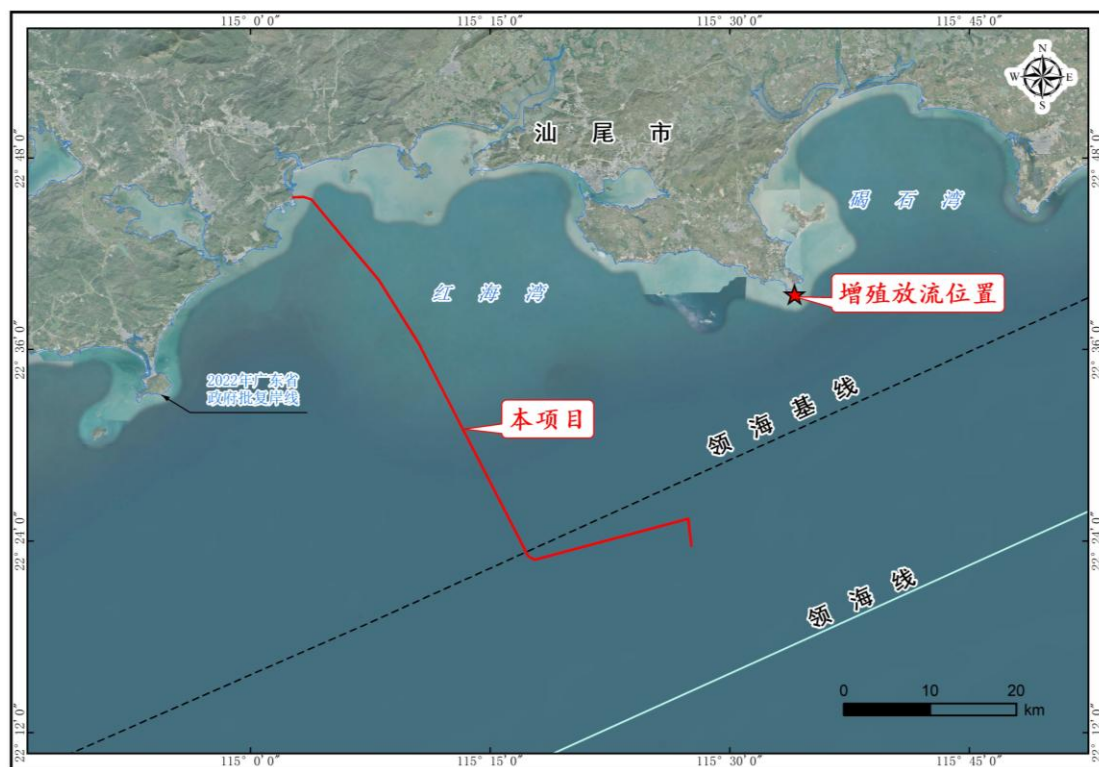


图 6.5.2-1 拟选择增殖放流位置图

2、增殖放流品种选择

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（属优质经济鱼、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。

本工程增殖放流的备选品种可依据《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》（农渔发〔2022〕1号）和汕尾市农业农村局近年来增殖放流的品种进行选择，具体详见表 6.5.2-1。

表 6.5.2-1 红海湾适宜增殖放流物种

序号	所属海区	重要放流海域	行政区域	面积 (km ²)	适宜放流物种
1	广东东部海区	柘林湾	广东潮州	533	花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、布氏鲷、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、刀额新对虾、中国鲎*、绿海龟*、日本海马*
2		南澳岛海域	广东汕头	650	
3		赤沙澳海湾	广东揭阳	500	
4		红海湾	广东汕尾	925	
5		大亚湾	广东惠州、深圳	488	花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、布氏鲷、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、刀额新对虾、绿海龟*、鞍带石斑鱼、褐篮子鱼、中国鲎*

备注：珍贵濒危物种是指已列入《国家重点保护野生动物名录》的水生物种和《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录水生物种核准为国家重点保护野生动物名录的水生物种，在分区域增殖放流适宜性评价表中以“*”标注。

3、增殖放流前后的管理

放流前后需进行现场管理，一是时间的选择，放流工作将安排在定置张网禁渔和伏季休渔期间。二是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，保护区内禁止的作业除了国家规定禁止的作业类型及伏季休渔禁止的拖网、帆张网等作业之外，禁止在 10 米等深线以外的定置作业，同时禁止在沿岸、滩涂、潮间带等 10 米等深线以内的定置作业、迷魂阵、插网、流网、笼捕作业等小型作业；三是在渔区广为宣传，便于放流品种的回捕、保护、管理等工作的顺利开展。放流后的现场管理由渔政渔港监督管理部门组织有关渔政力量加强放流区域的管理，并落实监督、检查措施。

4、增殖放流苗种规格质量

根据《海水鱼类增殖放流技术规范》(DB44/T 2280-2021) 增殖放流苗种的规格必须符合鱼类苗种规范要求，具体如下：

- ①苗种全长≥4cm；
- ②标志增殖放流苗种全长≥5cm。

增殖放流的鱼苗，需先经过水生动物防疫检疫站的严格检疫，检验合格后才能提前放进试验基地的海水网箱中，适应过渡相关海区的水环境再放流入海。为放流鱼苗搭建步入海洋的自然步道，可提高放流鱼苗的成活率。

放流苗种应当来自有资质的生产单位，经过检验机构的认可。增殖放流的鱼、

虾苗种，原则上应是本地种的原种或者是子一代苗种；放流前，苗种由中标的苗种供应单位送往当地检验检疫部门，检疫合格，健康不带病害、病毒，无禁用药物残留。苗种质量根据《海水鱼类增殖放流技术规范》（DB44/T 2280-2021），增殖放流应符合表 6.5.2-2。

表 6.5.2-2 增殖放流苗种质量要求

项目	指标
感官质量	规格整齐，游动活泼、对外界刺激反应灵敏，摄食良好，体色正常、形态自然
可量化指标	规格合格率 $\geq 95\%$ ，死亡率、伤残率、畸形率之和 $< 10\%$
疫病	农业部公告第 1125 号规定的水生动物疫病不得检出
药物残留	国家、行业颁布的禁止使用的药物不得检出，其他药物残留应符合 NY5070 要求

5、增殖放流计划

施工结束后，项目营运期根据实际情况开展实施海洋生物增殖放流，增殖放流的期限为 2 年，每年 1 次。每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月至 8 月，以避免高强度捕捞压力时间，提高增殖放流效果。

6、效果评价

增殖放流后根据《海水鱼类增殖放流效果评估技术规范》（SC/T 9446-2023）开展效果评估。

在相关部门指导和监督指导下，增殖放流效果调查与评价工作由具有增殖放流技术优势及实践经验的单位具体承担实施，采取标志放流、跟踪监测和社会调查等措施对增殖放流效果进行评价。增殖放流实施单位应委托第三方单位对增殖放流进行跟踪调查和效果评估。

每一个增殖放流周期结束时，进行增殖放流效果评估，编写评估报告，评价内容应包括经济效益、社会效益和生态效益，

从汕尾市已开展的渔业资源的人工增殖放流的成功经验来看，在本项目海域附近有选择地实施人工增殖的生态恢复措施在技术上和资金投入上均是可行的。

7 环境影响经济损益分析

7.1 环境保护投资

本工程环保投资主要包括水环境保护、固废处理、渔业资源修复、环境监测费用等，环保投资共 2486.95 万元，具体详见表 7.1-1 所示。

表 7.1-1 环保投资估算表

序号	项目和费用名称	投资（万元）	备注
工程施工期	施工生产、生活污水收集和处理	50	含船舶油污水、船舶生活污水、船舶生活垃圾，按每天接收一次，接收费单价按 500 元/次估算
	噪声影响减免措施	25	以管理为主
	固体废弃物处理	50	固废收集装置及清运处理费
	水质、沉积物、生态环境监测	120	第一年春、秋两季各一次，第二年春季或秋季一次，施工结束后一次，共四次。
	噪声环境监测	50	每年一次，施工期两年，共 2 次
	电磁环境监测	25	每年一次，施工期两年，共 2 次
	桩基中刷坑测量	50	桩基周边 80m 范围内进行冲刷坑测里
	环境监理	100	参考类似工程
	小计	470	/
工程运营期	海洋生物资源修复补偿	1266.95	增殖放流渔业补偿
	水质、沉积物、生态环境跟踪监测	200	每年春季或秋季一次，持续 2 年；2 年后根据监测情况可调整为 2 年监测 1 次。
	地形地貌与冲淤监测	400	桩基冲刷坑测量 2 次，工程外扩 2km 海域测里 2 次，工程外扩 2km~15km 测里 1 次。
	噪声环境监测	50	每年一次，监测两年，共 2 次
	电磁环境监测	50	每年一次，监测两年，共 2 次
	环境监理	50	参考类似工程
	小计	2016.95	/
合计	2486.95		

7.2 环境影响损益分析

7.2.1 环境经济损失分析

环境经济损失是指采取相应环保措施后，工程项目仍然可能造成的环境损失。本工程的环境经济损失主要包括生态破坏经济损失、水污染经济损失和沉积物污染经济损失等。

(1) 生态破坏经济损失

在工程建设中，由于桩基建设、送出海缆敷设等施工作业改变了生物的原有

栖息环境，尤其对底栖生物的影响是最大的，少量活动能力强的底栖种类逃往别处，大部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少数能够存活外，绝大多数将死亡。另外，施工产生的悬浮泥沙也造成海洋生物一定的损失。工程施工属于短期行为，其影响也属于短期、可恢复性质。悬浮物浓度增加引起的水质超标也属于短期、可恢复性质，不会产生长期的、不可恢复的不良影响。

以上生态环境损失，可以通过适当的环保措施来减缓直至消除。有些是阶段性的，如施工水域附近局部海域水体悬浮物增加导致浮游生物受到的损害，施工期的扰动影响将随施工结速而逐渐消失。根据第 5 章估算工程总生物损失量为：海上升压站桩基础占压造成底栖生物损失量 0.272kg；海底电缆敷设作业造成底栖生物损失量 6941.326kg；合计为 6941.598kg。由悬沙扩散引起的生物资源受损量的估算结果显示，本项目建设期间鱼卵受损量为 2.29×10^8 粒，仔稚鱼受损量为 3.64×10^7 尾，游泳生物受损量为 450.81kg。本项目桩基基础结构用海破坏底质对生物造成了不可逆影响，按其使用年限（含施工期）共 27 年进行赔偿；送出海缆管沟开挖所导致的底栖生物资源损害以及施工悬沙造成的生物资源损害皆为一次性损害，应按损害额的 3 倍进行补偿。由此计算，本项目造成的生态损失总赔偿额为 1266.95 万元。

（2）水污染经济损失

水体污染通常指受人为因素引起的，即由于废污水的排放，使得起初为清洁的天然水体水质超标，导致水体功能减弱或丧失而遭受的经济损失。

根据工程分析，本项目对水质环境的影响主要来源于桩基施打及海缆敷设，施工期产生的水污染物主要为施工悬沙、施工船舶污水等，施工悬沙污染造成的经济损失已计入生态损失中。

（3）沉积物环境损失

项目建设过程中，对海洋沉积物的影响主要是海上升压站桩基基础、送出海缆敷设等施工作业对沉积物的影响，以及通过影响水质而对沉积物造成的间接影响。根据沉积物质量调查，评价区沉积物质量现状良好，施工对沉积物造成的间接影响不明显。因此，周边海域沉积物环境质量不会因本项目的建设影响而产生明显变化，即沉积物质量现状仍将基本保持现有水平。考虑沉积物环境影响较小，其经济损失忽略不计。

7.2.2 环境经济收益估算

海上风电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。

本项目为汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目，项目建成后可将汕尾红海湾三、四海上风电项目所产生的电力输送至陆上，节能效益和污染物减排效益主要体现在风电场运行过程中：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。

汕尾红海湾三海上风电项目与汕尾红海湾四海上风电示范项目风电场工程每年可为电网提供清洁电能分别为 1657.112GWh 和 1612.265GWh，合计 3269.377GWh。参考国家能源局发布的 2022 年全国电力工业统计数据，按替代标准煤耗 301.5g/kWh 计算，与同等规模的火力发电相比，两风电场运行期可节约原煤约为 98.57 万 t/a。近年随着国家经济发展，工业化进程的推进，煤炭资源日益趋紧，价格一路走高，发电用煤价超过 800 元/t，两风电场运行期节能可产生效益约为 78856 万元/a。

风力发电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含烟尘、CO₂、SO₂、NO_x 等大气污染物。汕尾红海湾三海上风电项目与汕尾红海湾四海上风电示范项目风电场工程两风电场运行期可节约原煤约为 98.57 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，则计算两风电场运行期每年可减少烟尘、CO₂、SO₂、NO₂ 排放量分别为 0.95 万 t、258.25 万 t、0.84 万 t 和 0.73 万 t，并进一步计算两风电场运行后，烟尘、CO₂、SO₂、NO₂ 的减排效益分别为 522.94 万元/a、24797.17 万元/a、1061.05 万元/a 和 922.11 万元/a，合计大气污染物总减排效益为 27303.27 万元/a。

表 7.2.2-1 红海湾三、四两风电场运行的大气污染物减排情况

序号	项目	减排量 (万 t/a)	单价	环境效益 (万元/a)
1	烟尘	0.95	1.2 元/2.18kg	522.94
2	SO ₂	0.84	1.2 元/0.95kg	1061.05
3	NO _x	0.73	1.2 元/0.95kg	922.11
4	CO ₂	258.25	96.02 元/t	24797.17
合计				27303.27

注：对于减排 SO₂ 等带来的经济价值，暂按其在中国的排污费用折算。根据《中华人民共和国环境保护税法》（2018 年 1 月 1 日实施），每一大气污染物污染当量取值为 1.2 元，SO₂ 的污染当量值为 0.95kg，NO_x 的污染当量值为 0.95kg，烟尘污染当量值为 2.18kg。针对减排 CO₂ 所能带来的经济价值，参考《2024 中国碳市场年报》，2024 年，市场碳排放配额成交均价为 96.02 元/吨。

海上风电建设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。本项目为汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目，是红海湾三、四两分海上风电运作的重要环节之一，对风电节能效益和污染物减排效益的实现起着推动作用。

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，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。

7.3 经济与社会效益分析

本项目的建设可作为主网的补充电源，直接向当地电网供电，减轻主网的潮流输送并相应减少线损，从而有助于满足区域负荷发展的需要。实现电力一次能源多样化，对促进区域经济和社会可持续发展将产生积极的作用。

7.3.1 经济效益

风能资源是国家规定的可再生能源，风力发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。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。

本项目为汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目，红海湾三、四两风电总发电收入=上网量×上网电价=3269.377GWh×0.463 元/kW·h（单价依据：粤能电力函（2023）704 号）=151372.16 万元/年。本项目建设可保障红海湾三、四两风电顺利正常运作，以促进区域经济的发展。

7.3.2 社会效益

7.3.2.1 增强能源供应稳定性与安全性

本项目为汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目，海上风电作为清洁能源的重要组成部分，有助于广东省实现能源结构的多样化。在煤炭、石油等传统能源供应可能受到国际市场波动影响的情况下，海上风电的稳定供应能够增强广东省能源安全的保障能力。

广东省作为能源消费大省，长期以来对外部能源的依赖程度较高。发展海上风电可以减少对外部能源的依赖，提高能源供应的自给率，从而增强能源供应的稳定性。

7.3.2.2 促进能源结构优化与绿色发展

广东省作为能源消费大省，发展海上风电等新能源是能源结构优化转型的迫切需求。广东省拥有辽阔海域，沿海处于亚热带和南亚热带海洋性季风气候区，风力资源丰富，海上风电作为绿色清洁的可再生能源，能够显著减少对传统化石能源的依赖，推动能源结构向低碳、环保方向转变。

本项目为汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目，海上风电项目在运营过程中，能够大量减少二氧化硫（SO₂）、二氧化碳（CO₂）和氮氧化物（NO_x）等多种大气污染物的排放。据估算，与传统发电方式相比，利用风能进行发电可以等效节省大量标准煤，并显著减少二氧化碳等温室气体的排放，对于缓解环境保护压力、实现绿色发展具有重要意义。本项目建设有助于开发广东海上风能资源，提高地区能源供应能力，缓解电力工业的环保压力，助力地区经济的低碳持续发展。

7.3.2.3 有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展

项目的开发建设，有利于加快海上风电技术水平的发展，有利于促进海上风电设备国产化，有利于促进海上风机基础选型与施工技术的创新。本项目的开发将以点带面带动全省海上风电开发，为后续近海深水区海上风电建设和广东省海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

7.4 环境经济损益综合分析与评价

本项目作为红海湾三、四两风电场的集中送出项目，其建设可保障电能的正常输送，保障风电工程环境效益和经济效益的实现，同时，项目建设具有一定的社会效益，可缓解电力供需矛盾和改善电源结构，有效调整资源结构，推动电力技术进步，实现海上风电快速发展。但本项目在建设和运行过程中会不可避免的造成生态渔业资源和海洋生态等方面的环境损失，可通过跟踪监测、补偿措施进行恢复。

8 环境管理与监测计划

8.1 环境保护管理

8.1.1 环境管理的目的和任务

环境管理是控制污染、保护环境的重要措施，应根据《建设项目环境保护管理条例》等法规的要求，确定环保管理机构，制定环境保护管理计划。本项目环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。

建设单位具体负责和落实从工程施工开始至结束的一系列环境保护管理工作。对施工期工区内的环境保护工作进行检查、落实，协调各有关部门之间的环保工作，并配合地方环保部门共同作好工区的环境保护监督和检查工作。

环境监理单位承担环境保护监理工作，按照国家对建设项目环境保护管理要求，依据环境影响报告书、环境保护设计文件和合同、标书中的有关内容对施工过程中的环境保护工作进行监理，制定具体监理方案，确保落实各项保护措施、实施进度和质量。工程环境保护监理贯穿于项目施工全过程。集电海缆、风机在施工期产生一定量的悬浮物、生活污水和含油污水废水及其他施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响，施工单位应严格按照环境保护有关条例规定开展施工活动。

环境管理主要内容包括：根据项目设计文件中有关环保内容，落实项目的环保措施和各项经费，合理安排施工时间、方式，确保将项目建设对渔业资源、鸟类和海龟的影响减到最小；确保施工期间施工废水和生活污水处理处置去向明确；合理安排施工方式、时间，确保施工基地场界噪声达标；保持陆上场地整洁，保证施工生产垃圾、生活垃圾符合国家有关规定；做好施工人员卫生防疫工作；委托有资质单位按照有关监测技术规范进行环境监测，定期提供监测数据和分析报告。

环境管理的目的在于保护和改善环境质量，确保经济社会活动与环境保护相协调，以实现可持续发展。具体来说，环境管理的目的可以归纳为以下几个方面：

一、保护生态环境

维护生态平衡：环境管理通过限制和控制人类活动对环境的负面影响，保护

生态系统的稳定性和多样性，维护生态平衡。

预防污染：通过制定和执行环境标准和法规，防止污染物的排放和扩散，保护水体、大气、土壤等环境要素不受污染。

二、促进经济社会发展与环境保护相协调

协调经济发展与环境保护：环境管理在促进经济发展的同时，注重环境保护，确保经济发展不以牺牲环境为代价。通过优化产业结构、推广清洁生产等方式，实现经济发展与环境保护的双赢。

提升资源利用效率：通过环境管理，推动资源的高效利用和循环利用，减少资源浪费和环境污染，提高资源利用效率。

三、保障人类健康与安全

保护人类健康：环境管理致力于减少环境污染物对人类健康的影响，通过改善环境质量，降低人类患病的风险。

确保环境安全：通过环境风险评估和管理，预防和控制环境事故的发生，确保人类生存和发展的环境安全。

四、推动可持续发展

实现代际公平：环境管理强调在满足当代人需求的同时，不损害后代人满足其需求的能力，实现代际公平。

促进全球合作：环境问题是全球性问题，需要各国共同应对。环境管理推动国际间的合作与交流，共同应对全球环境挑战。

综上所述，环境管理的目的在于通过一系列管理和控制措施，保护生态环境、促进经济社会发展与环境保护相协调、保障人类健康与安全以及推动可持续发展。这些目的的实现需要政府、企业和公众的共同参与和努力。

8.1.2 环境管理机构

外部管理是指生态环境主管部门，依据国家相关法律、法规和政策，按照工程需达到的环境标准与要求，依法对各工程建设阶段进行不定期监督、检查及环境保护竣工验收等活动。

内部管理是指建设单位执行国家和地方有关环境保护的法律、法规、政策，贯彻环境保护标准，落实环境保护措施，并对工程的过程和活动按环保要求进行

管理。内部管理分施工期和运行期两个阶段。

施工期内部管理由建设单位负责，对工程施工期环境保护措施进行优化、组织和实施，保证达到建设项目环境保护要求。施工期内部环境管理体系由建设单位、施工单位、设计单位和监理单位共同组成，通过各自成立的相应机构对工程建设的环保负责。

运行期由工程运行管理单位负责，对环境保护措施进行优化、组织和实施。

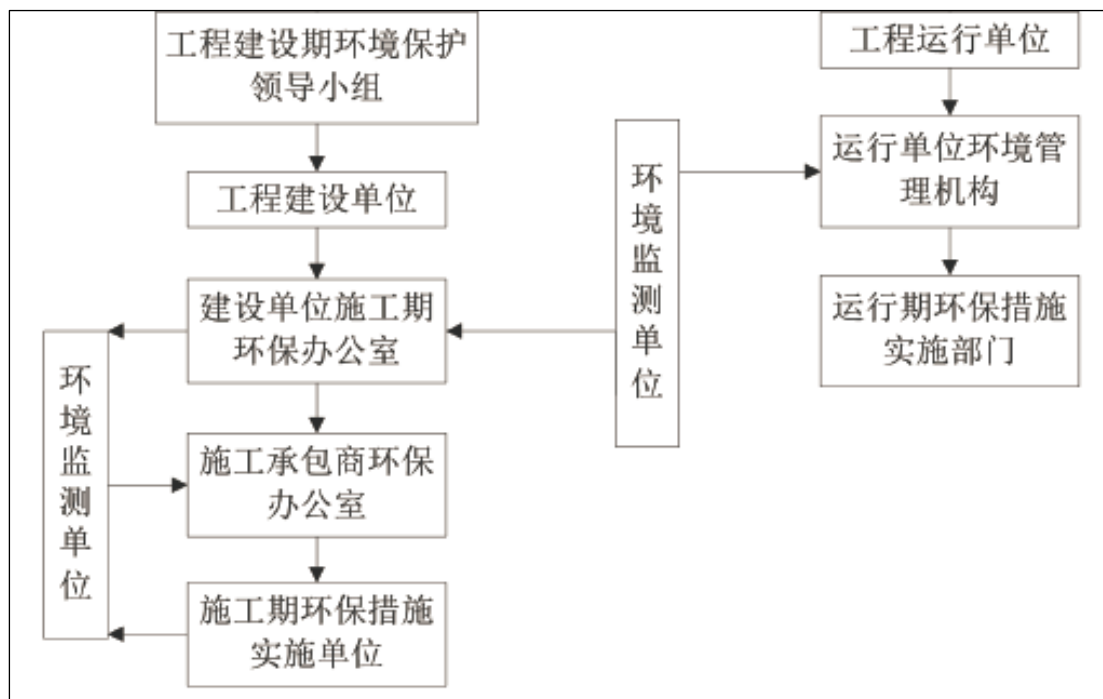


图 8.1.2-1 内部管理体系框架图

8.1.3 不同阶段环境管理要求

8.1.3.1 建设阶段

1、施工期管理

在项目建设过程中，严格控制工程海域施工船舶的作业范围和作业时间，避免对周边海洋生态敏感区域造成不必要的影响。对于开挖等作业，尽量采取有效环保措施减少悬浮物扩散，如采用环保、先进的敷缆设备，弱潮期施工等。

2、环境影响应对

密切关注施工对海洋水质、底质以及海洋生物的影响。定期监测施工区域及周边的水质指标，包括悬浮物浓度、化学需氧量等；对底质的扰动情况进行评估，及时采取生态修复措施，如增殖放流品种选取考虑人工投放贝类等底栖生物，促

进底质生态系统的恢复。

3、环境风险防控

制定详细的施工期环境风险应急预案，针对可能出现的船舶溢油、电缆破损等事故，配备相应的应急物资和设备，如溢油回收船、吸油毡等，并定期组织演练，确保在突发情况下能够迅速响应，降低环境风险损失。

8.1.3.2 生产运行阶段

1、运行工况监管

建立海底电缆运行监测系统，实时监控电缆的运行状态，包括温度、电流等参数，确保电缆安全稳定运行，避免因电缆故障引发的环境风险。同时，定期对电缆进行巡检，检查电缆的防护层是否完好，防止电缆漏电对海洋生态环境造成危害。

2、环境影响跟踪

营运期，依据跟踪监测计划定期开展项目周边海洋生态环境，评估项目建设对海洋生态环境、渔业资源等方面的影响。根据监测结果，及时调整环境保护措施，保障海洋生态系统的健康稳定。

3、环境风险预警

完善环境风险预警机制，结合海洋环境监测数据和送出海缆、升压站运行状况，提前预判可能出现的环境风险。一旦发现异常情况，立即启动预警程序，采取相应的防范措施，如限制船舶航行、加强电缆维护等，防止风险事故的发生。

4、生态恢复措施

根据本报告对项目建设造成的海洋生态环境影响进行全面评估，根据评估结果制定针对性的海洋生态恢复方案（如增殖放流实施方案等）。通过开展增殖放流等方式，在一定程度上恢复海洋渔业资源，促进海洋生态系统的自然恢复，尽可能减缓项目建设对海洋环境产生的不利影响。

8.1.4 日常环境管理制度、组织机构和环境管理台账要求

8.1.4.1 日常环境管理制度

建立健全项目部日常环境管理制度，明确各部门和人员在环境保护工作中的

职责和权限。制定环境监测计划、设备维护保养制度、环境事故应急预案等一系列规章制度，确保环境保护工作有章可循。同时，加强对员工的环保培训，提高员工的环保意识和操作技能，确保各项环保措施得到有效落实。

1、组织机构

成立专门的环境保护管理机构，由项目负责人担任组长，各相关部门负责人为成员。该机构负责统筹协调海底电缆工程的环境保护工作，制定环保工作计划，监督环保措施的执行情况，协调解决环保工作中出现的问题。同时，配备专业的环保技术人员，负责环境监测、数据分析、环保设施维护等具体工作。

2、环境管理台账

建立详细的环境管理台账，记录海底电缆工程建设期、运行期各个阶段的环境管理信息。台账内容应包括环境监测数据、环保设施运行记录、环境事故处理情况、生态修复措施实施情况等。环境管理台账要做到数据真实、准确、完整，便于查询和追溯，为环境保护工作提供有力的数据支持。

8.1.4.2 环境保护设施和措施费用保障计划

1、费用预算

在项目规划阶段，对各项环境保护设施和措施的建设、运行及维护费用进行详细预算。费用预算应涵盖施工期的污染防治设备购置、生态修复费用，运行期的环境监测费用、电缆维护费用，以及营运期生态恢复费用等。

2、资金来源

明确环境保护设施和措施费用的资金来源，确保资金有稳定可靠的保障。资金来源可包括项目建设单位的自有资金、政府环保专项资金、银行贷款等。在项目融资过程中，要将环保费用纳入融资计划，确保资金及时到位。

3、费用管理

建立严格的费用管理制度，对环境保护设施和措施费用进行专项管理。设立专门账户，专款专用，确保资金不被挪用。同时，加强对费用使用情况的监督和审计，定期对费用支出进行核算和评估，提高资金使用效率，确保每一笔资金都能发挥最大的环保效益。

8.2 总量控制

本项目海底电缆工程及升压站工程建设，不涉及工业废水、工艺废气或工业固废的规模化排放，因此不纳入污染物总量控制管理范畴。

本项目施工期、营运期产生的污染物主要来源于船舶含油污水、检修人员船舶生活污水、检修过程中产生的固体废弃物，以及船舶与施工机械燃油尾气。其中，船舶含油污水将通过专用油水分离器处理后委托有资质单位接收处置；船舶生活污水将依托码头或海上移动式收集装置转运至岸上污水处理厂集中处理；固体废弃物将分类收集，上岸后交由环卫部门进行无害化处置；燃油尾气排放则通过选用清洁型燃油、低排放设备、优化作业流程等措施控制污染物浓度，确保符合国家船舶及非道路移动机械排放标准。上述污染物均通过末端治理或资源化利用实现有效管控，不涉及区域污染物排放总量指标的分配与削减要求。

8.3 环境监测计划

8.3.1 海洋环境现状跟踪监测

8.3.1.1 施工期跟踪监测

为了解项目施工期悬浮物的污染状况，桩基施工及电缆沟开挖对海洋水质环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，评价施工期水质是否满足海水水质标准，为施工期环境管理提供依据，对项目施工期水环境质量进行跟踪监测。

本项目施工期跟踪监测站位参考本项目春季海洋环境现状调查站位中部分选取，共选取水质调查站位 8 个，沉积物调查站位 4 个，海洋生态和渔业资源调查站位 5 个，潮间带站位 1 个，站位分布及坐标见表 8.3.1-1 和图 8.3.1-1。

1、监测项目

水质监测项目：pH、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、无机氮、无机磷、硫化物、石油类、生化需氧量。

沉积物监测项目：石油类、硫化物、铜、铅、镉、总汞、砷、锌。

海洋生态与渔业资源监测项目：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物、游泳动物、鱼卵仔鱼等种类与数量。

2、监测频率

施工期第一年春、秋季各监测一次，施工期结束后至验收阶段监测一次，共三次。

8.3.1.2 营运期跟踪监测

本项目营运期海洋环境现状跟踪监测站位布置与施工期海洋环境现状跟踪监测站位一致，监测内容与施工期跟踪监测一致，监测频率为营运期每年春季或秋季监测一次，持续2年，运行2年后可根据前期监测结果，监测频次可调整为2年监测一次，每次监测月份应尽可能保持一致。

表 8.3.1-1 海洋环境跟踪监测站位坐标表

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
1	SW02	115°05'55.38"	22°43'58.17"	水质
2	SW06	115°10'28.36"	22°36'09.14"	水质、沉积物、生物生态和渔业资源
3	SW10	115°15'19.04"	22°26'54.35"	水质、沉积物、生物生态和渔业资源
4	SW14	115°20'58.71"	22°25'07.43"	水质
5	SW15	115°21'46.42"	22°21'56.37"	水质、沉积物、生物生态和渔业资源
6	SW18	115°27'52.11"	22°26'48.36"	水质
7	SW19	115°28'13.25"	22°22'50.37"	水质、沉积物、生物生态和渔业资源
8	SW26	115°31'38.62"	22°28'07.56"	水质、生物生态和渔业资源
9	SWC02	115°02'35.97"	22°46'06.42"	潮间带



图 8.3.1-1 本项目海洋环境跟踪监测站位布设示意图

8.3.2 地形地貌与冲淤监测

1、监测范围

升压站桩基处，以导管架桩基础中心点向外扩半径为 80m 的圆形范围内。

2、监测项目

水深地形测量，冲淤监测。

3、监测时间

施工期、营运期。

4、监测频率

施工期：升压站桩基础施工完成后 6-12 月内，完成一次冲刷坑测量；

营运期：第 1 年和第 3 年进行桩基周边 80m 范围内进行冲刷坑测量一次。

8.3.3 水下噪声监测

监测站位：水下噪声监测范围及站点布设和本项目夏季声环境调查范围及站点布置一致，共 9 个站位。

监测频次：施工期，基础打桩施工期间监测 1 次；验收期，全容量并网发电后监测 1 次；营运期，每年监测 1 次，持续 2 年。

监测内容：噪声频带有效声压级、噪声声压谱级。

8.3.4 电磁环境监测

1、监测站位

电磁环境监测范围及站点布设和本项目电磁环境调查范围及站点布置一致，共 9 个站位。

2、监测频次

验收期：开展 1 次监测；营运期：开展 2 年的监测，每年 1 次，共 2 次。

3、监测内容

工频电场强度、工频磁感应强度。

8.4 环境保护“三同时”验收内容

本项目环境保护“三同时”验收一览表详见表 8.5-1。

表 8.5-1 环境保护“三同时”验收一览表

实施时段	项目	污染源	主要环保设施/措施	处理效果	验收内容	
施工期	水污染物	悬浮泥沙	合理安排工期，避开极端天气。	/	/	
		生活污水	船舶生活污水收集上岸后交由有船舶污染物接收单位统一处理，禁止随意排放。	/	严格执行环保措施，无污水外排	
		船舶舱底油污水	上船舶舱底油污水铅封上岸交由有船舶污染物接收单位统一处理，禁止随意排放。	/		
	大气污染物	船舶废气	采用低硫燃油。	加强对施工机械、船舶的维修保养。	废气排放满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表 2 中无组织排放监控浓度限值要求，二氧化硫=0.4mg/m ³ ，氮氧化物=0.12mg/m ³ 。	严格执行环保措施，满足《大气污染物综合排放标准》
	噪声	船舶航行、海缆敷设、桩基施工噪声	安装消声器及加装隔音/消音材料、定期维护和及时修理施工机械；打桩时采用水声阻尼器或气泡帷幕方法降低声源级。	满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）。	严格执行环保措施	
	固体废物	生活垃圾	在船舶上设置垃圾桶随船携带，待船舶靠岸后交由船舶污染物接收单位接收处理。			严格执行环保措施，无固体废物外排
		扫海清障固废	施工船舶上设置垃圾桶，统一收集在工作船配备的垃圾桶，统一回收交由当地镇环境卫生管理所接收处理。	/		
	生态环境	/	严格划定施工作业范围；施工高峰期应尽量避开春、夏季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；开展生态环境跟踪监测调查。	/	严格执行环保措施	
	通航环境	/	加强施工作业安全管理。	/	/	
	风险	船舶事故溢油	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。	/	/	
	运营期	水污染物	生活污水	船舶上统一收集，待船舶靠岸后交由有资质的单位进行接收处理。	/	严格执行环保措施，无污水外排

实施时段	项目	污染源	主要环保设施/措施	处理效果	验收内容
	固体废物	生活垃圾	运维船舶上设置垃圾桶随船携带，待船舶靠岸后交由船舶污染物接收单位接收处理。	/	严格执行环保措施，无固废外排
		含油废物	运维船舶设置含油废油箱，收集含油污水，待船舶靠岸后交由有船舶污染物接收单位统一处理。	/	
	生态环境	增殖放流	生态补偿金共计 1266.95 万元，开展增殖放流等进行渔业资源补偿。	/	严格执行增殖放流措施
	风险	电气设备	海缆铺设线路设置标志，并向相应职能部门申报。	/	
自然灾害		船舶在雾天施工前应严格执行安全管理体系文件中的相关规定。	/		
环境管理	环境监理	环境监理	采用巡视方式进行环境监理。	/	
	环境监测	环境监测	水质、海洋生物生态、沉积物、噪声、电磁、地形地貌与冲淤环境。	/	

9 环境影响评价结论

9.1 工程分析

9.1.1 工程概况

汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目位于广东省汕尾市红海湾南侧海域，拟建设 1 座 500kV 海上升压站（平台尺寸 62.0m×47.6m）和 2 回 500kV 送出海缆（单回长约 70.7km），500kV 海上升压站位于汕尾红海湾三、四海上风电场址中间预留的通道，500kV 送出海缆由海上升压站出发，往西延伸后再往北至小漠镇东侧滨海区域登陆点。项目用海总面积 359.2917hm²。项目总投资约 145462 万元。

本项目评价内容包括 500kV 海上升压站、500kV 送出海缆，与本项目建设相关的工程如汕尾红海湾三海上风电项目、明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目以及红海湾海上风电集控中心项目均作为单独项目进行核准立项建设，不属于本项目评价内容。

本项目 500kV 海上升压站安装和 500kV 送出海缆敷设等施工计划总工期为 14 个月，项目施工建设和投产运营可能会对项目海域海洋水质、沉积物环境、生物生态环境及声环境、电磁辐射环境造成一定影响。

9.1.2 工程方案合理性分析

本项目海底电缆敷设综合考虑了经济效益和红海湾三、四风电项目的登陆电缆的用海需求，避免电缆交越，避开了锚地、人工鱼礁、保护区、养殖电厂取、排水口等用海。海底电缆布置充分考虑了避让生态红线区和海洋保护区并能够与周边海上风电场输电电缆一起通过集中管廊带送出，符合集约节约利用海域资源，减少排他性用海海域面积。总体上，本项目工程平面布置较为合理。

9.2 环境质量现状

9.2.1 水动力环境现状

夏季观测结论：

(1) 观测海域各站的潮汐性质，说明本海区的潮汐类型为不规则全日潮。观测期间的平均海平面在 0.66m~0.76m 之间(85 基面)，平均潮差在 0.71m~0.90m 之间，最大潮差为 1.80m。从平均涨、落潮历时来看，平均涨潮历时均大于平均落潮历时。

(2) 观测海域潮流类型以不正规半日潮流为主，潮流运动形式主要为以往复流结合旋转流的运动形式，分潮旋转方向无明显规律性。实测最大流速为 92cm/s。观测海域各层余流在 1cm/s~53cm/s 之间，各测点余流最大值出现在小潮期间测点表层，最小值出现在中潮期间测点 0.4d 层，总体来看，湾内测点余流较小，无明显规律；离红海湾越远的测点余流越大，且流向相对集中。

冬季观测结论：

(1) 观测海域各站的潮汐性质，说明本海区的潮汐类型为不规则全日潮。观测期间的平均海平面在 0.57m~0.64m 之间(85 基面)，平均潮差在 0.65m~0.77m 之间，最大潮差为 2.24m。从平均涨、落潮历时来看，平均涨潮历时均大于平均落潮历时。

(2) 观测海域潮流类型主要为不正规半日潮流，潮流运动形式主要为以往复流结合旋转流的运动形式，分潮旋转方向无明显规律性。实测最大流速为 39cm/s。各层余流在 1cm/s~19cm/s 之间，各测点余流最大值出现在中潮期间测点 0.4d 层，最小值出现在大潮期间测点底层。总体来看，大潮期间余流较小，中潮余流相对较大。

9.2.2 地形地貌与冲淤环境现状

本项目位于汕尾市南面海域，海域宽阔，升压站所在区域内未见岛屿、礁石分布，水下地形较为平坦，属海积地貌单元。红海湾口大、纵深小，口外潮流、风浪、涌浪对整个海域的影响较大，特别是近岸段，受外海潮波和涌浪的直接作用和影响，具有水深坡陡的水下地形特点。路由研究区域水深条件良好。

路由海域地貌类型从登陆点开始依次为近岸水下浅滩和 underwater 岸坡、海底堆积-侵蚀平原。

9.2.3 海水水质现状

由监测结果及标准指数表结果可知，春秋两季调查中，所有调查站位的水质监测因子均达到海水水质第一类标准要求。

9.2.4 海洋沉积物质量现状

由监测结果及标准指数表结果可知，春秋两季调查中，所有调查站位的沉积物监测因子均达到沉积物质量第一类标准要求。

9.2.5 海洋生态环境及渔业资源

(1) 春季调查

叶绿素 a 柱状含量平均值为 $0.54\text{mg}/\text{m}^3$ 。表层平均值为 $0.64\text{mg}/\text{m}^3$ ，10m 层平均值为 $0.32\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层平均值为 $0.27\text{mg}/\text{m}^3$ 。

初级生产力平均值为 $146.744\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，变化范围在 $(47.111\sim 270.065)\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间。

浮游植物在本次调查中共记录 4 门 5 纲 13 目 26 科 129 种。硅藻门种类最多，共 14 科 85 种，占总种类数的 65.89%；甲藻门种类次之，出现 10 科 40 种，占总种类数的 31.01%；蓝藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.55%；金藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.55%。浮游植物优势种共出现 4 种，分别为旋链角毛藻、劳氏角毛藻、柔弱伪菱形藻和汉氏束毛藻，其中旋链角毛藻为第一优势种。浮游植物密度平均值为 $5192.968\times 10^3\text{cells}/\text{m}^3$ ，浮游植物的多样性指数平均值为 3.551，均匀度指数平均值为 0.628，丰富度指数平均值为 2.476。

浮游动物在本次调查中共记录 6 门 9 纲 18 目 39 科 85 种（包括浮游幼体 14 种）。分属栉水母、水母类、被囊类、有尾类、腹足类、毛颚类、介形类、枝角类、桡足类和浮游幼体 10 个类群。浮游动物优势种 7 种。分别为鸟喙尖头溞、桡足幼体、异体住囊虫、拟细浅室水母等，其中鸟喙尖头溞为第一优势种。浮游动物生物量平均值为 $73.89\text{mg}/\text{m}^3$ ，密度平均值为 $1123.394\text{ind.}/\text{m}^3$ 。浮游动物多样

性指数平均值为 3.025, 均匀度指数平均值为 0.637, 丰富度指数平均值为 2.297。

大型底栖生物在本次调查中共记录 9 门 10 纲 26 目 49 科 72 种。其中环节动物为主要生物群, 为 27 种, 占种类总数的 37.50%。大型底栖生物优势种共有 2 种, 分别为蛛美人虾和轮双眼钩虾。大型底栖生物的平均生物量为 $5.606\text{g}/\text{m}^2$, 平均栖息密度为 $101.429\text{ind.}/\text{m}^2$ 。节肢动物平均栖息密度最高, 为 $45.000\text{ind.}/\text{m}^2$, 占比为 44.37%。软体动物平均生物量最高, 平均生物量为 $2.339\text{g}/\text{m}^2$, 占比为 41.73%。大型底栖生物多样性指数平均值为 2.992, 均匀度指数平均值为 0.907, 丰富度指数平均值为 2.280。

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况: SWC01 和 SWC02 为沙滩-岩石断面, SWC03 断面为沙滩断面。潮间带生物共记录 4 门 5 纲 14 目 28 科 35 种, 其中包括节肢动物 17 种、软体动物 15 种、环节动物 2 种和刺胞动物 1 种。潮间带生物定量调查 3 个断面的平均生物量为 $57.926\text{g}/\text{m}^2$, 平均栖息密度为 $224.666\text{ind.}/\text{m}^2$, 软体动物的平均生物量和平均栖息密度最高。从水平分布来看 SWC01 断面生物量和栖息密度最高; 从垂直分布来看低潮带的生物量和栖息密度最高。潮间带 3 个断面的多样性指数平均值为 2.576, 均匀度指数平均值为 0.727, 丰富度指数平均值为 2.005。

鱼卵仔稚鱼在本次调查中共记录鱼卵 16 种, 其中包括鲈形目 10 种, 鲱形目和鲾形目各 2 种, 鳗鲡目和鮠形目各 1 种; 仔稚鱼 20 种, 其中包括鲈形目 13 种, 鲱形目 2 种, 灯笼鱼目、鲾形目、鮠形目、鲻形目和鲀形目各 1 种。调查区域垂直拖网的鱼卵平均密度为 $4.223\text{ind.}/\text{m}^3$; 仔稚鱼平均密度为 $0.630\text{ind.}/\text{m}^3$ 。常见鱼卵仔稚鱼为鲻科、鳀科等。

游泳动物共记录 3 门 3 纲 15 目 66 科 194 种, 其中: 鱼类 127 种, 虾类 30 种 (其中虾蛄类 8 种), 蟹类 26 种, 头足类 11 种。游泳动物优势种共 1 种, 为颈斑项鳃。平均总尾数渔获率为 $429\text{ind.}/\text{h}$, 平均总重量渔获率为 $7.137\text{kg}/\text{h}$ 。平均尾数渔获密度为 $15.263 \times 10^3\text{ind.}/\text{km}^2$; 平均重量渔获密度为 $253.299\text{kg}/\text{km}^2$ 。游泳动物的多样性指数平均值为 4.111, 均匀度指数平均值为 0.749, 丰富度指数平均值为 5.135。主要经济种类为颈斑项鳃、花斑蛇鲻、口虾蛄和杜氏尾枪乌贼等。

(2) 秋季调查

叶绿素 a 柱状含量平均值为 $1.06\text{mg}/\text{m}^3$ 。表层平均值为 $1.13\text{mg}/\text{m}^3$, 10m 层

平均值为 $0.85\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层平均值为 $0.81\text{mg}/\text{m}^3$ 。

初级生产力平均值为 $314.879\text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，变化范围在 $(136.278\sim 569.622)\text{ mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间。

浮游植物在本次调查中共记录 4 门 5 纲 12 目 23 科 117 种。硅藻门种类最多，共 13 科 82 种，占总种类数的 70.09%；甲藻门种类次之，出现 8 科 31 种，占总种类数的 26.50%；蓝藻门出现 1 科 3 种，占总种类数的 2.56%；金藻门出现 1 科 1 种，占总种类数的 0.85%。浮游植物优势种共出现 8 种，分别为双环海链藻、并基角毛藻、劳氏角毛藻等，其中双环海链藻为第一优势种。浮游植物密度平均值为 $873.243 \times 10^3 \text{ cells}/\text{m}^3$ ，浮游植物的多样性指数平均值为 3.857，均匀度指数平均值为 0.692，丰富度指数平均值为 2.369。

浮游动物在本次调查中共记录 4 门 7 纲 15 目 31 科 65 种（包括浮游幼体 12 种）。分属水母类、被囊类、有尾类、毛颚类、介形类、桡足类、端足、磷虾类、十足类和浮游幼体 11 个类群。浮游动物优势种 11 种。分别为桡足幼体、微刺哲水蚤、毛颚类幼体、长尾类幼虫等，其中桡足幼体为第一优势种。浮游动物生物量平均值为 $85.27\text{mg}/\text{m}^3$ ，密度平均值为 $110.227\text{ind.}/\text{m}^3$ 。浮游动物多样性指数平均值为 3.613，均匀度指数平均值为 0.797，丰富度指数平均值为 2.660。

大型底栖生物在本次调查中共记录 8 门 10 纲 20 目 45 科 68 种。其中环节动物为主要生物群，为 38 种，占种类总数的 55.88%。大型底栖生物优势种共有 2 种，分别为倍棘蛇尾属和红刺尖锥虫，其中倍棘蛇尾属为第一优势种。大型底栖生物的平均生物量为 $4.211\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $62.857\text{ind.}/\text{m}^2$ 。环节动物平均栖息密度最高，为 $34.286\text{ind.}/\text{m}^2$ ，占比为 54.55%。脊索动物平均生物量最高，平均生物量为 $2.123\text{g}/\text{m}^2$ ，占比为 50.41%。大型底栖生物多样性指数平均值为 3.023，均匀度指数平均值为 0.958，丰富度指数平均值为 2.340。

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况：SWC01 和 SWC03 断面为沙滩断面，SWC02 断面为沙滩-岩石断面。潮间带生物共记录 4 门 6 纲 15 目 22 科 30 种，其中包括软体动物 16 种、节肢动物 11 种、环节动物 2 种和纽形动物 1 种。潮间带生物优势种共有 6 种，分别为痕掌沙蟹、六柱扁藤壶、粗糙拟滨螺、平轴螺等。其中痕掌沙蟹为第一优势种。潮间带生物定量调查 3 个断面的平均生物量为 $14.127\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $23.555\text{ind.}/\text{m}^2$ ，软体动物的平均生物量和平均栖息

密度最高。从水平分布来看 SWC02 断面生物量和栖息密度最高；从垂直分布来看低潮带的生物量和栖息密度最高。潮间带 3 个断面的多样性指数平均值为 2.204，均匀度指数平均值为 0.824，丰富度指数平均值为 1.437。

鱼卵仔稚鱼在本次调查中共记录鱼卵 9 种，其中包括鲈形目 6 种，鲱形目、鲾形目和仙女鱼目各 1 种；仔稚鱼 6 种，其中包括鲈形目 3 种和鲱形目 3 种。调查区域垂直拖网的鱼卵平均密度为 0.207ind./m^3 ；仔稚鱼平均密度为 0.074ind./m^3 。常见鱼卵仔稚鱼为鲷科、鲹科等。

游泳动物共记录 3 门 4 纲 14 目 63 科 156 种，其中：鱼类 102 种，虾类 19 种（其中虾蛄类 7 种），蟹类 24 种，头足类 11 种。游泳动物优势种共 4 种，分别为红星梭子蟹、微异类梭蟹、赤鼻棱鳀和口虾蛄，红星梭子蟹为第一优势种。平均总尾数渔获率为 522ind./h ，平均总重量渔获率为 3.568kg/h 。平均尾数资源密度为 $23.483 \times 10^3\text{ind./km}^2$ ；平均重量资源密度为 347.784kg/km^2 。游泳动物的多样性指数平均值为 3.981，均匀度指数平均值为 0.743，丰富度指数平均值为 4.762。主要经济种类为大头白姑鱼、赤鼻棱鳀、口虾蛄、红星梭子蟹和杜氏尾枪乌贼等。

9.2.6 声环境现状

（1）水上噪声

各站位水上声环境监测结果等效连续声级 $Leq(\text{dB})$ 介于 $49(\text{dB}) \sim 61(\text{dB})$ ，平均值为 55.89dB ，声级的标准差为 3.82，表明各监测点之间的噪声水平存在一定差异，海上声环境的噪声水平在不同监测点之间存在一定的波动，但大多数监测点的噪声水平相对接近。

（2）水下噪声

各站位水下声环境平均总声级和峰值声压差异不大，大部分站位的平均总声级在 115dB 到 120dB 之间，峰值声压在 155dB 到 164dB 之间。

9.2.7 电磁环境现状

根据监测结果，本工程海域工频电场强度介于 $(0.46 \sim 2.93)\text{V/m}$ 之间，平均值为 1.30V/m ；工频磁场强度介于 $(0.0119 \sim 0.0199)\mu\text{T}$ 之间，平均值为 $0.0158\mu\text{T}$ 。

9.2.8 大气环境质量

根据《2023年汕尾市生态环境状况公报》，2023年，汕尾市区空气二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、一氧化碳（CO）均达到国家一级标准，细颗粒物（PM_{2.5}）、臭氧均达到国家二级标准，整体上，本项目所在区域大气环境质量较好。

9.3 主要环境影响评价结论

9.3.1 海洋水动力和冲淤环境影响

本项目建设对海洋水文动力的影响主要是桩基施工，透水构筑物影响水域流场，从而对周边的水动力环境和冲淤环境带来影响。

本项目海缆施工后对大范围海区不产生影响，升压站对近区海流有一定影响，但由于桩基尺度较小影响也较微弱，工程后大区流场图与工程前几乎一致。工程实施后升压站潮流涨、落急方向为主要的淤积区域，最大淤积幅度在 0.51m/a，最大冲刷幅度约为 0.42m/a。

9.3.2 海水水质的影响

施工期悬浮泥沙扩散计算结果表明，施工悬沙影响范围集中分布在施工点附近，涨憩开始施工的工况最大扩散面积（底层）超 I、II 类海水水质（>10mg/L）的面积为 71.841km²，垂向平均为 57.955km²；落憩开始施工的工况最大扩散面积（底层）超 I、II 类海水水质（>10mg/L）的面积为 72.775km²，垂向平均为 58.594km²。施工期各层均有超三、四类水质，对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响随着施工的完毕而逐渐消失。

9.3.3 海洋沉积物的影响

海缆施工过程仅是对局部沉积物冲起和覆盖，沉积物发生分选、位移、重组和松动，并没有混入其它污染物，不会对沉积物性质产生明显影响。桩基施工悬浮沙影响范围小，基础灌浆时严格控制浆料泄漏入海，不会对工程海域沉积物环境质量造成明显的不利影响。海上作业船舶污水、固体废物上岸处理，不排海，

对海洋沉积物无影响。

工程运行期间，无污染物排放入海，由于风电场区地处开阔海域，溶解出的锌会随着海水的运动较快扩散，沉积于底层沉积物的量很少，对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

9.3.4 海洋生态和渔业资源环境影响

9.3.4.1 施工期影响

(1) 对底栖生物的影响

海上升压站桩基础占压造成底栖生物损失量 0.272kg；海底电缆敷设作业造成底栖生物损失量 6941.326kg；合计为 6941.598kg。

(2) 施工悬沙对渔业资源的影响

由悬沙扩散引起的生物资源受损量的估算结果显示，本项目建设期间鱼卵受损量为 2.29×10^8 粒，仔稚鱼受损量为 3.64×10^7 尾，游泳生物受损量为 450.81kg。

经过计算，本项目生态补偿额 1266.95 万元。

(3) 对渔业生产的影响

施工期间，禁止渔船进入施工海域捕捞生产，由此导致作业渔场范围减少；施工的扰动影响，使渔获率降低，最终影响捕捞产量。

9.3.4.2 运行期影响

运行期海底电缆所在海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业，对渔民的生活产生一定影响。

9.3.5 噪声环境影响

海上风电工程水下噪声对海洋生物的影响主要在施工期间，尤其是施工打桩作业产生的水下噪声将对临近的海洋生物资源造成明显的影响。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。钢管桩打桩施工确立在距离桩基 1463.9m 以上范围内为警告区域（对海洋哺乳动物行为产生干扰）。当海域中有石首鱼科时，根据实际海域环境鱼类可以游开远离噪声干扰区，以 207dB 将对石首鱼产生伤害影响为阈值，可算出打桩下时，与施工桩基的相应最大距离为 415.6m。

施工船舶噪声和水下钻孔等噪声可能对工程海域海洋生物行为产生干扰。由于施工期相对较短，同时海洋生物可以采用游离避开噪声源等方法远离施工区，在施工结束后再返回该区域。因此，认为本项目施工期噪声影响是暂时的可以接受的。

9.3.6 电磁环境影响

类比、预测分析结果表明，本项目营运期海缆和升压站产生的工频电场强度和工频磁感应强度均不超过《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中频率为0.05kHz的公众曝露控制限值，即工频电场强度4000V/m、工频磁感应强度100 μ T。

9.3.7 敏感区与保护目标影响分析结论

工程对周边环境保护目标的影响主要存在于施工期，为施工期悬浮泥沙对周边海洋保护目标的影响，这种影响对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响随着施工的完毕而逐渐消失。不会对周边海洋环境保护目标造成较大影响。

9.3.8 环境事故风险分析与评价结论

本项目施工期和运行期潜在的主要环境事故风险有施工船舶之间、施工船舶与升压站、其他船舶与升压站碰撞溢油风险；升压站桩基失稳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。但由于多数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。本报告提出了相应的事故防范措施，在合理安排施工计划并及时上报有关航运指挥部门前提下，事故发生概率和环境风险影响总体可控。

9.4 环境保护对策措施结论

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污水、噪声、电磁、生态、环境空气、固体废弃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。

9.5 公众参与情况

建设单位于 2024 年 7 月 16 日通过网络公开方式，在环评爱好者官网上进行了本项目环境影响评价第一次网上公示，告知公众本建设项目的名称和工程概况、建设单位和评价单位的名称和联系方式、公众意见表的网络链接、提交公众意见表的方式和期限。第一次环评信息公示期间，未收到公众与本项目环境影响和环境保护措施有关的建议和意见。

在形成项目环境影响报告书征求意见稿后，通过网络公开、公告张贴方式开展了本报告书征求意见稿公示。于 2025 年 2 月 28 日在汕尾新闻网（官网链接 <http://www.swenew.cn/>）进行了本工程环境影响报告书第二次公示，公示期限为 10 个工作日（2025 年 2 月 28 日至 3 月 13 日）。第二次环境影响评价网络公示期间，建设单位分别于 2025 年 3 月 3 日和 2025 年 3 月 10 日在公众易于接触的《南方都市报》进行了两次报纸公示。通过网络公开、公告张贴方式开展了本报告书征求意见稿公示。

9.6 综合结论

本项目为风电场配套的电能送出工程，其建设符合我国 21 世纪可持续发展能源战略规划，项目建设能在一定程度上改善了能源结构。项目建设和运行存在的主要环境问题是海洋水质、生态和渔业资源等的不良影响，在落实本报告提出的各项生态环保措施、污染防治措施和环境风险防范措施的前提下，从环境保护角度来看，不存在制约本项目建设的环境因素，项目建设总体可行。

9.7 其他意见和建议

(1) 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。

(2) 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。

(3) 认真执行建设项目环境影响跟踪监测制度和后评估制度，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。

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 <input type="checkbox"/> ；短期内产生大量悬浮物 <input checked="" type="checkbox"/> ；改变入海河口（湾口）宽度束窄比例 <input type="checkbox"/> ；直接占用海域面积 <input checked="" type="checkbox"/> ；线性水工构筑物 <input type="checkbox"/> ；投放固体物 <input type="checkbox"/>		
	生态敏感区	生态敏感区，相对位置（深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区，项目北侧，最近约 1.3km；乌山海岸防护物理防护极重要区，项目西侧，最近约 4.5km；深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区，项目北侧，最近约 1.3km；汕尾市海丰县红树林，项目西北侧，最近约 1.4km；深圳深汕红树林，项目西北侧，最近约 5.1km；鲕门重要滩涂及浅海水域，项目东北侧，最近约 3.6km；遮浪南重要渔业资源产卵场，项目北侧，紧临；幼鱼、幼虾保护区，项目所在；黄花鱼幼鱼保护区，项目所在；南海北部幼鱼繁育场保护区，项目所在；南海中上层鱼类产卵场，项目所在；南海底层、近底层鱼类产卵场，项目南侧，约 13.8km；南海北部金线鱼产卵场，项目南侧，约 13.8km；粤东近海区蓝圆鳀产卵场，项目所在；逢河岛，项目北侧，约 4.7km；海刺长岛，项目西侧，约 1.2km；龙虾头岛，项目北侧，约 1.0km；芒屿岛，项目东侧，约 4.3km；芒屿南岛，项目东侧，约 4.3km；排尾，项目东侧，约 4.0km；海丰鸡心石，项目东侧，约 5.3km；鸡心石一岛，项目东侧，约 5.2km；鸡心石二岛，项目东侧，约 5.2km；鸡心石三岛，项目东侧，约 5.1km；鸡心石四岛，项目东侧，约 5.2km；鸡心石五岛，项目东侧，约 5.1km；了哥咀仔岛，项目西侧，约 5.2km；基岩岸线，海缆穿越；海龟，周边海域；）		
	影响因子	海水水质 <input checked="" type="checkbox"/> ；沉积物 <input checked="" type="checkbox"/> ；海洋生态 <input checked="" type="checkbox"/> ；环境风险 <input checked="" type="checkbox"/>		
评价等级	一级 <input checked="" type="checkbox"/> ；二级 <input type="checkbox"/> ；三级 <input type="checkbox"/>			
评价范围	主流向（15）km，垂直主流向（15）km；管缆类（6）km			
评价时期	春季 <input checked="" type="checkbox"/> ；夏季 <input type="checkbox"/> ；秋季 <input checked="" type="checkbox"/> ；冬季 <input type="checkbox"/>			
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 <input checked="" type="checkbox"/> ；在建 <input checked="" type="checkbox"/> ；拟建 <input checked="" type="checkbox"/> ；其他 <input checked="" type="checkbox"/>	环评 <input checked="" type="checkbox"/> ；环保验收 <input type="checkbox"/> ；既有实测 <input type="checkbox"/> ；现场监测 <input type="checkbox"/> ；入海排污口数据 <input type="checkbox"/> ；其他 <input checked="" type="checkbox"/>	
	调查时期		调查因子	调查断面或点位
	春季 <input checked="" type="checkbox"/> ；夏季 <input type="checkbox"/> ；秋季 <input checked="" type="checkbox"/> ；冬季 <input type="checkbox"/>		（pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、无机氮、无机磷、挥发酚、硫化物、油类、铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷、生化需氧量、活性硅酸盐、硒、镍）	（22）个
	评价因子	（pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮、无机磷、挥发酚、硫化物、油类、铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷、生化需氧量、硒、镍）		
	评价标准	第一类 <input checked="" type="checkbox"/> ；第二类 <input checked="" type="checkbox"/> ；第三类 <input checked="" type="checkbox"/> ；第四类 <input checked="" type="checkbox"/>		
	评价结论	海洋环境功能区水质达标状况：达标 <input checked="" type="checkbox"/> ；不达标 <input type="checkbox"/> 超标因子（） 功能区外海域环境质量现状：符合第（一）类		
沉积物	调查站位	（11）个		

	调查因子	(pH、含水率、粒度、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷)
	评价标准	第一类 <input checked="" type="checkbox"/> ; 第二类 <input type="checkbox"/> ; 第三类 <input checked="" type="checkbox"/>
	评价结论	符合第(一)类, 超标因子()
海洋生态	调查断面或点位	(14)个
	调查因子	海洋生物体(铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油烃)、叶绿素a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔稚鱼、游泳生物
	评价标准	海洋生物质量 GB 18421 <input type="checkbox"/> 附录C <input checked="" type="checkbox"/>
	评价结论	符合第()类, 超标因子(石油烃、砷)
影响预测及评价		
	预测时期	春季 <input type="checkbox"/> ; 夏季 <input type="checkbox"/> ; 秋季 <input type="checkbox"/> ; 冬季 <input type="checkbox"/>
	预测情景	建设期 <input checked="" type="checkbox"/> ; 生产运行期 <input type="checkbox"/> ; 服务期满后 <input type="checkbox"/>
	工作内容	自查项目
海水水质影响预测与评价	预测方法	数值模拟 <input checked="" type="checkbox"/> ; 类比分析 <input type="checkbox"/> ; 近似估算 <input type="checkbox"/> ; 物理模型 <input type="checkbox"/> ; 其他 <input type="checkbox"/>
	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 <input type="checkbox"/> ; 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性技术指南的要求, 环境影响可接受 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input type="checkbox"/> ; 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 <input type="checkbox"/> ; 对海水水质产生重大不利影响 <input type="checkbox"/> 。
海洋沉积物影响评价	评价方法	定量预测 <input type="checkbox"/> ; 半定量分析 <input type="checkbox"/> ; 定性分析 <input checked="" type="checkbox"/> ; 其他 <input type="checkbox"/>
	影响评价	沉积物质量的影响范围、影响程度可接受 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input checked="" type="checkbox"/> 。
海洋生态影响预测与评价	预测方法	类比分析法 <input type="checkbox"/> ; 图形叠置法 <input type="checkbox"/> ; 生态机理分析法 <input type="checkbox"/> ; 海洋生物资源影响评价法 <input checked="" type="checkbox"/> ; 其他 <input type="checkbox"/>
	影响评价	造成的生物资源损失量可接受 <input checked="" type="checkbox"/> ; 对评价海域生物多样性的影响可接受 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input checked="" type="checkbox"/> ; 对重要湿地、特殊生境(珊瑚礁、红树林、海草床、海藻场)等的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input checked="" type="checkbox"/> ; 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 <input type="checkbox"/> 。

环境风险				
危险物质	名称	柴油		
	存在总量	7037t		
物质及工艺系统危险性	Q 值	Q<1 <input type="checkbox"/> ; 1≤Q<10 <input type="checkbox"/> ; 10≤Q<100 <input checked="" type="checkbox"/> ; Q≥100 <input type="checkbox"/>		
	M 值	M1 <input type="checkbox"/> ; M2 <input type="checkbox"/> ; M3 <input type="checkbox"/> ; M4 <input checked="" type="checkbox"/>		
	P 值	P1 <input type="checkbox"/> ; P2 <input type="checkbox"/> ; P3 <input type="checkbox"/> ; P4 <input checked="" type="checkbox"/>		
环境敏感程度		E1 <input checked="" type="checkbox"/> ; E2 <input type="checkbox"/> ; E3 <input type="checkbox"/>		
环境风险潜势		IV+ <input type="checkbox"/> ; IV <input type="checkbox"/> ; III <input checked="" type="checkbox"/> ; II <input type="checkbox"/> ; I <input type="checkbox"/>		
评价等级		一级 <input type="checkbox"/> ; 二级 <input checked="" type="checkbox"/> ; 三级 <input type="checkbox"/> ; 简单分析 <input type="checkbox"/>		
风险识别	物质危险性	有毒有害 <input checked="" type="checkbox"/> ; 易燃易爆 <input checked="" type="checkbox"/>		
	环境风险类型	泄漏 <input checked="" type="checkbox"/> ; 火灾爆炸引起的伴生/次生污染物排放 <input type="checkbox"/>		
事故情形分析	源强设定方法	计算法 <input checked="" type="checkbox"/> ; 类比估算法 <input type="checkbox"/> ; 其他 <input type="checkbox"/>		
	预测模型	溢油粒子模型 <input checked="" type="checkbox"/> ; 污染物扩散的数值模拟 <input type="checkbox"/>		
风险预测与评价		最近敏感目标（紧邻）km，抵达时间（2）h		
重点风险防范措施		严格加强船舶的安全管理，杜绝事故的发生。同时要加强突发事件的风险防范和应急处置能力建设，一旦发生溢油事故，应尽快采取阻拦措施，并组织人员进行油品的回收工作，尽量减小污染。		
评价结论		建设单位应做好各项风险的预防和应急措施，可将其影响范围和程度控制在较小程度之内。当发生风险事故时采取相应的措施和应急预案，可以把事故的危害程度降低到最低程度，环境风险水平可以接受。		
主要污染物排放总量核算	污染物名称		排放量	排放浓度
	COD		9.58 kg/d	285 mg/L
	氨氮		0.95 kg/d	28.3 mg/L
	总氮		1.32 kg/d	39.4 mg/L
	总磷		0.14 kg/d	4.10 mg/L
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 <input type="checkbox"/> ; 生态修复措施 <input checked="" type="checkbox"/> ; 区域削减 <input type="checkbox"/> ; 依托其他工程措施 <input type="checkbox"/> ; 其他 <input type="checkbox"/>		
监测计划	内容	环境质量		污染源
	监测方式	手动 <input checked="" type="checkbox"/> ; 自动 <input type="checkbox"/> ; 无监测 <input type="checkbox"/>		手动 <input type="checkbox"/> ; 自动 <input type="checkbox"/> ; 无监测 <input checked="" type="checkbox"/>
	监测点位	水质调查站位 8 个，沉积物调查站位 4 个，海洋生态和渔业资源调查站位 5 个，潮间带站位 1 个		
	监测因子	水质监测项目：pH、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、无机氮、无机磷、硫化物、石油类、生化需氧量。 沉积物监测项目：石油类、硫化物、铜、铅、镉、总汞、砷、锌。 海洋生态与渔业资源监测项目：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物、游泳动物、鱼卵仔鱼等种类与数量。		

	监测频次	<p>施工期第一年春、秋季各监测一次，施工期结束后至验收阶段监测一次，共三次；营运期每年春季或秋季监测一次，持续 2 年，运行 2 年后可根据前期监测结果，监测频次可调整为 2 年监测一次，每次监测月份应尽可能保持一致。</p>	
总体评价结论		可接受 <input checked="" type="checkbox"/> ； 不可接受 <input type="checkbox"/>	

附件

附件 1 委托书

委托书

中海云天（广东）海洋技术有限公司：

我公司拟在汕尾市红海湾海域建设汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目，建设内容包括1座500kV海上升压站和2回500kV送出海缆。

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》以及《建设项目环境保护管理条例》的规定，现委托贵公司开展汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目环境影响评价工作。

请贵司在接到本委托书后，尽快启动相关工作，确保报告书的编制进度和质量。

特此委托。

中广核新能源投资（汕尾）有限公司

2024年7月11日

