


华润汕尾红海湾五海上风电项目
海域使用论证报告书
(公示稿)

广东海兰图环境技术研究有限公司
统一社会信用代码: 91440101MA59KQLF0D

二〇二六年一月

论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4415022023002341		
论证报告所属项目名称	汕尾红海湾五海上风电项目		
一、编制单位基本情况			
单位名称	广东海兰图环境技术研究有限公司		
统一社会信用代码	91440101MA59KQLF0D		
法定代表人	吕建海		
联系人	麦晓敏		
联系人手机	13682240015		
二、编制人员有关情况			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
陈冬梅	BH001289	论证项目负责人	陈冬梅
陈冬梅	BH001289	1. 概述 2. 项目用海基本情况 7. 项目用海合理性分析 9. 结论	陈冬梅
郑茜元	BH001287	3. 项目所在海域概况 5. 海域开发利用协调分析	郑茜元
古炜培	BH002816	4. 资源生态影响分析 6. 国土空间规划符合性分析 8. 生态用海对策措施	古炜培
<p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</p> <p>承诺主体(公章)</p> 			

关于项目名称变更的说明

根据广东省发展和改革委员会关于海上风电项目统一命名的规则要求，需将“汕尾红海湾五海上风电项目”变更为“华润汕尾红海湾五海上风电项目”。目前正在开展项目海域使用论证工作，现将《汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证报告书》更名为《华润汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证报告书》。

特此说明。

华润风电（汕尾）有限公司

2024年12月3日



关于《华润汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证

报告书》公示删减内容及理由的说明

根据《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》(自然资规(2021)1号)相关要求,我对《华润汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证报告书》予以公示。

在报告中,部分相关水文环境现状调查资料、海洋环境现状调查资料、所在海域水深资料、地质勘察资料等涉及第三方技术秘密及商业秘密,信息不能全文公开,制作去除上述信息的论证报告公开版,进行公示。现将删除处理内容说明如下:

1.删除处理相关基础材料的编制单位信息。

原因:影响第三方商业秘密。

2.删除处理部分水文环境现状调查资料、海洋环境现状调查资料及生物种类名录、现场踏勘记录。

原因:此部分内容涉及监测单位和委托单位的商业秘密。

3.删除项目工程地质勘察、地形地貌的部分图件及数据。

原因:此部分内容属于项目建设的涉密部分。

4.删除周边用海项目权属信息。

原因:此部分内容涉及第三方商业秘密。

5.删除资料来源说明及附件、附图内容。

原因:此部分内容涉及用海单位、利益相关者及有关管理部门的管理要求,未经同意不允许公开。

广东海兰图环境技术研究有限公司



项目基本情况表

项目名称	华润汕尾红海湾五海上风电项目			
项目地址	广东省汕尾市汕尾港南面海域			
项目性质	公益性（ ）		经营性（√）	
用海面积	429.1188 公顷		投资金额	569250 万元
用海期限	27 年		预计就业人数	200 人
占用岸线	总长度	0m	邻近土地平均价格	/
	自然岸线	0m	预计拉动区域经济 产值	/
	人工岸线	0m	填海成本	/
	其他岸线	0m		
海域使用 类型	工矿通信用海中的可再 生能源用海/ 工业用海中的电力工业 用海		新增岸线	0m
用海方式		面积/公顷	具体用途	
透水构筑物		186.7600	风机	
透水构筑物		0.3818	海上升压站	
透水构筑物		0.3856	海上无功补偿站	
海底电缆管道		76.9472	66kV 集电海缆	
海底电缆管道		164.6442	500kV 送出海缆	
注：邻近土地平均价格是指用海项目周边土地的价格平均值。				

目录

摘要.....	1
1 概述.....	5
1.1 论证工作由来.....	5
1.2 论证依据.....	6
1.2.1 法律法规.....	7
1.2.2 相关规划.....	10
1.2.3 标准规范.....	11
1.2.4 项目基础资料.....	12
1.3 论证等级和范围.....	13
1.3.1 论证等级.....	13
1.3.2 论证范围.....	14
1.4 论证重点.....	15
2 项目用海基本情况.....	17
2.1 项目建设内容.....	17
2.2 平面布置和主要结构、尺度.....	18
2.2.1 平面布置.....	18
2.2.2 主要结构、尺度.....	32
2.3 项目主要施工工艺和方法.....	39
2.3.1 施工工艺及方法.....	39
2.3.2 施工器械.....	56
2.3.3 土石方平衡.....	58
2.3.4 施工进度安排.....	58
2.3.5 风电场退役拆除方案.....	59
2.4 项目用海需求.....	63
2.4.1 项目用海需求.....	63
2.4.2 申请用海情况.....	65
2.5 项目用海必要性.....	66

2.5.2 项目用海必要性分析.....	72
3 项目所在海域概况.....	74
3.1 海洋资源概况.....	74
3.1.1 岸线资源.....	74
3.1.2 滩涂资源.....	74
3.1.3 岛礁资源.....	74
3.1.4 港口资源.....	74
3.1.5 渔业资源.....	75
3.1.6 风能资源.....	83
3.1.7 航道、锚地资源.....	84
3.1.8 矿产资源.....	85
3.1.9 旅游资源.....	85
3.2 海洋生态概况.....	86
3.2.1 区域气候与气象.....	86
3.2.2 水文动力.....	87
3.2.3 海域地形地貌与冲淤状况.....	91
3.2.4 工程地质.....	94
3.2.5 海洋自然灾害.....	101
3.2.6 海洋水质现状调查与评价.....	103
3.2.7 海洋沉积物质量现状调查与评价.....	106
3.2.8 海洋生物质量现状调查与评价.....	108
3.2.9 海洋生态现状.....	109
3.2.10 电磁环境现状调查与评价.....	123
3.2.11 噪声环境现状调查与评价.....	125
3.2.12 鸟类资源.....	126
3.2.13 自然保护区.....	144
3.2.14 典型生态系统.....	146
3.2.15 珍稀海洋生物.....	148
3.2.16 “三场一通道”分布情况.....	151

4 海底电缆管道路由勘测.....	156
5 资源生态影响分析.....	157
5.1 生态评估.....	157
5.1.1 资源生态敏感目标.....	157
5.1.2 重点和关键预测因子.....	160
5.1.3 用海方案工况设计.....	160
5.1.4 水动力影响预测对比分析.....	163
5.1.5 地形地貌与冲淤影响预测对比分析.....	196
5.1.6 水质影响预测对比分析.....	200
5.1.7 用海方案推选.....	213
5.2 资源影响分析.....	213
5.2.1 对岸线及海洋空间资源的影响.....	214
5.2.2 对海洋生物资源的影响.....	215
5.2.3 对海岛资源影响.....	218
5.2.4 对其他海洋资源的影响.....	219
5.3 生态影响分析.....	219
5.3.1 对水文动力环境影响.....	219
5.3.2 风电场建设对波浪影响.....	220
5.3.3 对地形地貌冲淤环境影响.....	222
5.3.4 对水质环境的影响.....	222
5.3.5 对沉积物的影响.....	223
5.3.6 对海洋生物的影响.....	224
5.3.7 对鸟类的影响.....	229
5.3.8 水下噪声影响.....	236
5.3.9 电磁辐射环境影响.....	243
5.3.10 对典型生态系统的影响分析.....	244
5.3.11 生态跟踪监测指标合理影响范围.....	245
6 海域开发利用协调分析.....	250
6.1 海域开发利用现状.....	250

6.1.1 社会经济概况.....	250
6.1.2 海域使用现状.....	255
6.1.3 海域使用权属.....	262
6.2 项目用海对海域开发活动的影响.....	263
6.2.1 对航道、航路及通航环境的影响分析.....	266
6.2.2 对锚地的影响分析.....	267
6.2.3 对海上风电项目的影响分析.....	268
6.2.4 对养殖项目的影响分析.....	269
6.2.5 对自然保护区的影响分析.....	269
6.2.6 对国控站位的影响分析.....	270
6.2.7 对现状红树林、珊瑚礁的影响分析.....	270
6.2.8 对华润海丰电厂“上大压小”新建工程的影响分析.....	271
6.2.9 对其他项目的影响分析.....	271
6.2.10 对渔业生产活动的影响分析.....	272
6.3 利益相关者界定.....	272
6.4 需协调部门界定.....	273
6.5 相关利益协调分析.....	274
6.5.1 与周边海上风电业主的协调分析.....	274
6.5.2 与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人的协调分析.....	274
6.5.3 与汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心的协调分析.....	275
6.5.4 与汕尾市农业农村局的协调分析.....	275
6.6 项目用海与国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析.....	276
6.6.1 与国防安全和军事活动的协调性分析.....	277
6.6.2 与国家海洋权益的协调性分析.....	277
7 国土空间规划符合性分析.....	278
8 项目用海合理性分析.....	279
8.1 用海选址合理性分析.....	279
8.1.1 项目选址区位和社会条件的合理性分析.....	279
8.1.2 项目选址与自然资源、生态环境适宜性分析.....	279

8.1.3 项目选址与周边其他用海活动的适宜性分析.....	281
8.1.4 项目用海选址是否有利于海洋产业协调发展.....	281
8.1.5 项目选址合理性分析.....	281
8.2 用海平面布置合理性分析.....	283
8.2.1 项目平面布置.....	283
8.2.2 是否体现节约集约用海的原则.....	290
8.2.3 是否有利于生态和环境保护，并已避让生态敏感目标.....	292
8.2.4 能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响.....	293
8.2.5 能否最大程度地减少对周边其他用海活动的影响.....	293
8.3 用海方式合理性分析.....	294
8.3.1 是否遵循尽最大可能不填海和少填海、不采用非透水构筑物，尽可能采用透水式、开放式的用海原则.....	294
8.3.2 能否最大程度地减少对海域自然属性的影响，是否有利于维护海域基本功能.....	294
8.3.3 能否最大程度地减少对区域海域生态系统的影响.....	294
8.3.4 能否最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响.....	295
8.4 利用岸线合理性分析.....	295
8.4.1 岸线利用必要性.....	296
8.4.2 岸线利用合理性.....	296
8.4.3 减少利用岸线的可能性.....	296
8.4.4 海岸线占补分析.....	297
8.5 用海面积合理性分析.....	297
8.5.1 用海面积合理性分析内容.....	298
8.5.2 宗海图绘制.....	305
8.5.3 项目用海面积量算.....	308
8.6 立体设权合理性分析.....	320
8.6.1 立体设权范围.....	320
8.6.2 立体设权可行性分析.....	321
8.6.3 立体设权必要性分析.....	323

8.7 用海期限合理性分析.....	323
9 生态用海对策措施.....	325
9.1 主要生态问题.....	325
9.2 生态用海对策.....	325
9.2.1 生态保护对策.....	325
9.2.2 生态跟踪监测.....	330
9.3 生态保护修复措施.....	336
10 结论.....	339
10.1 项目用海情况基本情况.....	339
10.2 项目用海必要性结论.....	339
10.3 资源生态影响分析结论.....	340
10.4 海域开发利用协调分析结论.....	341
10.5 国土空间规划符合性分析结论.....	341
10.6 项目用海合理性分析结论.....	341
10.7 项目用海可行性结论.....	342

摘要

（1）项目用海基本情况

华润汕尾红海湾五海上风电项目风电场址位于汕尾市汕尾港南面海域，登陆点位于深汕合作区小漠街道，场址面积约 62km²，风电场场址水深在 34m~40m 之间，距离陆地最近距离约 21.8km，规划装机容量为 500MW，拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站。建设单位为华润风电（汕尾）有限公司。

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目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）；根据《海域使用分类》（HY/T 123-2009），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）。项目用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式），项目申请总用海面积为 429.1188 公顷，其中透水构筑物用海面积为 187.5274 公顷，海底电缆管道用海面积为 241.5914 公顷，项目 66kV 集电海缆和 500kV 送出海缆采用立体确权。本项目申请用海范围不占用岸线，实际建设拟采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线 0.8m，不会对岸线产生影响。本项目风机的设计服务年限为 25 年，工程建设期为 14 个月，因此，项目申请用海期限定为 27 年。

（2）项目用海必要性

本项目建设对提高可再生能源在能源消费结构比例能起到积极的推动作用，有利于减少土地资源的占用。同时，本地区具有开发海上风力发电的有利条件和资源优势，且社会效益、环保效益显著，具有一定的示范作用。所以无论从海上风电优于陆上风电的特点，还是本项目所处的海域条件及建设特点，本项目用海，且占用该海域都是必要的。项目风机、海上升压站、海上无功补偿站架设在海面上方，基座为导管架基础结构，桩基插入海床，必将占用一定的海域；海底电缆埋入海床以下，必将占用一定的海床及底土。因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风机、海上升压站、海上无功补偿站及电缆铺设将占

用一定的海域，项目用海是必要的。

(3) 资源生态影响及生态保护修复措施

本工程实施后海流影响范围主要在风电场内部桩基附近海域，冲淤影响范围也局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的水动力、冲淤环境基本不受本工程的影响。本项目风机、海上升压站、海上无功补偿站桩基施工、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对施工区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。根据渔业水质标准，悬浮物浓度增量大于10mg/L，可能对鱼类生长造成影响。该水域范围内，部分鱼卵、仔鱼及游泳生物因高浓度的含沙量而发生死亡。工程施工导致的底层超第一、二类海水水质的海域面积为93.456km²，垂向平均浓度超第一、二类海水水质的海域面积为42.586km²。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，工程施工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，基本不会对所在海域的沉积物环境造成影响。项目建设造成底栖生物直接损失为5.12t，项目施工造成渔业资源直接损失量为：游泳生物0.68t、鱼卵 1.77×10^8 粒、仔鱼 3.58×10^7 尾。

项目建设可能产生的主要生态问题是海洋生物资源减少，针对项目可能产生的主要生态问题，提出增殖放流的生态修复措施，具体措施以农业部门审核后的方案为准。

(4) 利益相关者协调情况

本项目所在及周边海域开发利用活动主要为航道、航路、锚地、海上风电项目、现状红树林等。本项目在实施前，必须妥善安排施工计划，采取合理有效的防护措施，尽可能避免产生利益冲突。本项目属经营性用海，按国家有关规定缴纳海域使用金，不存在损害国家权益的问题。

(5) 规划符合性

本项目符合《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）》《海丰县国土空间总体规划（2021-2035年）》的要求，满足《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》关于汕尾西部工矿通信用海区、汕尾南部渔业用海区、

遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区、东山海-红海湾海洋预留区、红海湾交通运输用海区、红海湾渔业用海区、金狮湾工矿通信用海区等用海区空间准入条件和相关管控要求，也符合“三区三线”中的生态保护红线的管控要求。

项目符合《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》《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》《广东省海洋经济发展“十四五”规划》以及《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》等各级相关规划的相关要求。

（6）项目用海合理性

依据风电场址规划，根据风能资源分布概况，综合考虑系统接入以及其他海洋水文条件优劣，本项目选址与国土空间规划、生态环境保护、军事等不相冲突，与对外交通运输条件、地质条件等较适宜，项目用海选址是合理的。本项目风电场场址区域离岸最近约 21.8km，水深约 34m~40m，与“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”相符。风电场场址不涉及各种保护区及重要、敏感和脆弱生态区域，因此项目用海选址合理。

项目平面布置方案经过了多次优化，充分考虑周边开发现状的需求，平面布置体现了集约、节约用海的原则，最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响，有利于生态和环境保护，平面布置合理。

本项目规划装机容量 500MW，风电场场址水深在 34m~40m 之间，与陆地最近距离约 21.8km，风电场外缘边线包络海域面积 4850.4893 公顷，单位装机容量风电场面积约 9.70 公顷/兆瓦，海域利用率为 5.55%，投资强度 1326.60 万元/公顷，符合“离岸 30 千米或水深大于 30 米，单位装机容量风电场面积 \leq 15 公顷/兆瓦，投资强度 \geq 800 万元/公顷”的要求。海域利用率作为鼓励性指标，包含风电场外包络线内海上风电项目用海确权面积和复合利用的养殖网箱、海洋牧场、海上光伏、波浪能发电、制氢、储能等设施确权面积（公顷），此次仅计算海上风电的用海面积，暂不符合 \geq 6%的要求。项目后续将在风电场内配套布置海洋牧场，提高海域利用率。本项目用海面积可以满足项目用海需求，现阶段不存在减少用海面积的可能性，用海面积合理。

本项目用海方式基本维护了所在海域的基本功能，对水动力、冲淤环境影响较小，用海方式合理。

项目申请海域使用期限 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》，申请期限合理。

（7）项目用海可行性结论

综上所述，华润汕尾红海湾五海上风电项目用海是必要的，与周边开发利用活动是可协调的，与所在国土空间规划分区和生态保护红线管理要求相符合。项目选址、用海方式、用海平面布置、用海面积和用海期限是合理的。在做好海域环境的保护工作的前提下，从海域使用角度出发，本项目用海是可行的。

1 概述

1.1 论证工作由来

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梳理，并作适当调整。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。红海湾风电场位于汕尾市汕尾港南面海域，规划装机总容量 440 万千瓦，包括红海湾三、红海湾四、红海湾五、红海湾六以及远期红海湾规划场址，登陆点规划于深汕合作区小漠街道（附件 9）。本项目为华润汕尾红海湾五海上风电项目，位于红海湾风电场场址东侧偏北位置，场址面积约 62km²，风电场场址水深在 34m~40m 之间，距离陆地最近约 21.8km。

本项目于 2025 年 2 月完成《汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证报告书》（报批稿）并取得用海预审意见（见附件 5），论证建设内容及建设规模为：规划装机容量为 500MW，拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站、1 回 66kV 联络海缆（用于连接深能汕尾红海湾六海上风电项目）。由于本项目可研阶段的风机布置方案是依据邻近项目（红海湾三和红海湾六）可研阶段的风机布置得到，后续红海湾三、红海湾六项目完成风机招标，其风机型号和风机排布均发生了变化，因此本阶段红海湾五的风机布置随周边项目的风机位置变化而调整。本次论证项目建设内容及建设规模仅取消用于连接深能汕尾红海湾六海上风电项目的 1 回 66kV 联络海缆，其余不变，包括 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站，并对风机、集电海缆布置进行调整。调整后项目用海面积发生改变，根据用海预审意见，“在预审有效期内，如项目拟用海域选址、用海面积、用海方式及用途等发生实质性改变的，应当重新提出海域使用申请”，因此，项目建设单位华润风电（汕尾）有限公司委托广东海兰图环境技术研究有限公司（以下称“我公司”）承担该项目的海域使用论证工作（附件 1）。我公司在接受该海域使用论证工作的委托后，为使论证工作顺利开展，收集了大量相关信息资料，详细了解工程内容。根据该项目海域使用的性质、规模和特点，按照《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）等的要求编制了《华润汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证报告书》（送审稿）。

1.2 论证依据

1.2.1 法律法规

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

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

(3) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，2015 年 1 月 1 日起施行）；

(4) 《中华人民共和国电力法》（2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第三次修正，自公布之日起施行）；

(5) 《中华人民共和国可再生能源法》（2009 年 12 月 26 日第十一届全国人民代表大会常务委员会修订，2010 年 4 月 1 日起实施）；

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

(7) 《中华人民共和国海上交通安全法》（2021 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议修订，自 2021 年 9 月 1 日起施行）；

(8) 《中华人民共和国安全生产法》（2021 年 6 月 10 日，第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议修正）；

(9) 《中华人民共和国湿地保护法》（2021 年 12 月 24 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过，2022 年 6 月 1 日施行）；

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

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

(12) 《中华人民共和国野生动物保护法》（2022 年 12 月 30 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十八次会议第二次修订）；

(13) 《中华人民共和国自然保护区条例》（根据 2017 年 10 月 7 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订）；

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

（15）《中华人民共和国航道法》（根据2016年7月2日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改〈中华人民共和国节约能源法〉等六部法律的决定》修正）；

（16）《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（根据2018年3月19日《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》第二次修订）；

（17）《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（根据2018年3月19日《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》第三次修订）；

（18）《国务院办公厅关于沿海省、自治区、直辖市审批项目用海有关问题的通知》（国办发〔2002〕36号）；

（19）《海域使用权管理规定》（国家海洋局，2007年1月1日起实施）；

（20）《国家海洋局关于印发〈海洋生态损害评估技术指南（试行）〉的通知》（国海环字〔2013〕583号）；

（21）《关于规范海域使用论证材料编制的通知》（自然资规〔2021〕1号，2021年1月8日）；

（22）《自然资源部办公厅关于进一步做好海域使用论证报告评审工作的通知》（自然资办函〔2021〕2073号，2021年11月10日）；

（23）《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用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2207号，2022年10月14日）；

（24）《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）；

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

（26）《自然资源部关于进一步做好用地用海要素保障的通知》（自然资发〔2023〕89号，2023年6月13日）；

- (27) 《自然资源部关于印发<国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南>的通知》（自然资发〔2023〕234号，2023年11月）；
- (28) 《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》（自然资规〔2023〕8号，2023年11月13日）；
- (29) 《自然资源部办公厅关于进一步做好用地用海用岛国土空间规划符合性审查的通知》（自然资办发〔2024〕21号，2024年5月6日）；
- (30) 《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）；
- (31) 《铺设海底电缆管道管理规定》（自1989年3月1日起施行）；
- (32) 《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》（1992年8月26日国家海洋局令第3号发布施行）；
- (33) 《关于铺设海底电缆管道管理有关事项的通知》（国海规范〔2017〕8号）；
- (34) 《关于印发<广东省海域使用金征收标准（2022年修订）>的通知》（粤财规〔2022〕4号，2022年6月17日）；
- (35) 《广东省海域使用金征收使用管理办法》（广东省财政厅、广东省自然资源厅、国家税务总局广东省税务局，粤财规〔2024〕1号，2024年6月14日）；
- (36) 《广东省海域使用管理条例》（根据2021年9月29日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第三十五次会议《关于修改〈广东省城镇房屋租赁条例〉等九项地方性法规的决定》修正）；
- (37) 《广东省环境保护条例》（根据2022年11月30日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第四十七次会议《关于修改〈广东省机动车排气污染防治条例〉等六项地方性法规的决定》第三次修正）；
- (38) 《广东省人民政府办公厅关于推动我省海域和无居民海岛使用“放管服”改革工作的意见》（粤府办〔2017〕62号，广东省人民政府办公厅，2017年10月15日）；
- (39) 《广东省自然资源厅关于印发<广东省项目用海政策实施工作指引>的通知》（粤自然资函〔2020〕88号，2020年2月28日）；

(40) 《广东省自然资源厅办公室关于启用我省新修测海岸线成果的通知》
(2022 年 2 月 22 日)；

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

(42) 《广东省自然资源厅关于推进海域使用权立体分层设权的通知》
(广东省自然资源厅，2023 年 9 月 18 日)。

1.2.2 相关规划

(1) 《“十四五”现代能源体系规划》（发改能源〔2022〕210 号）；

(2) 《“十四五”可再生能源发展规划》（发改能源〔2021〕1445 号）；

(3) 《中国航路指南》A103，海军司令部航海保证部；

(4) 《全国沿海船舶航路总体规划》，2011 年 11 月 18 日印发；

(5) 《2030 年前碳达峰行动方案》（国发〔2021〕23 号）；

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

(7) 《市场准入负面清单（2025 年版）》（发改体改规〔2025〕466 号，
2025 年 4 月 16 日）；

(8) 《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，2009 年 4 月 22 日）；

(9) 《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（广东省自然资源厅，粤自然资发〔2025〕1 号，2025 年 1 月 23 日）；

(10) 《广东省海洋经济发展“十四五”规划》，2022 年 3 月；

(11) 《广东省能源发展“十四五”规划》，2018 年 7 月；

(12) 《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》（粤发改能新〔2018〕193 号）；

(13) 《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》（国函〔2023〕76 号，
2023 年 8 月 8 日）；

(14) 《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》（粤府办〔2021〕
31 号）；

(15) 《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》（粤自然资发〔2023〕2 号，2023 年 5 月 10 日）；

(16) 《广东省现代化海洋牧场发展总体规划（2024-2035 年）》（广东省农业农村厅，2024 年 11 月）；

(17) 《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，2021 年 4 月）；

(18) 《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）；

(19) 《汕尾港总体规划（2021-2035 年）》（广东省交通运输规划研究中心，2021 年 11 月）；

(20) 《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，2021 年 4 月）；

(21) 《海丰县国土空间总体规划（2021-2035 年）》（粤府函〔2023〕335 号，2023 年 12 月 18 日）。

1.2.3 标准规范

(1) 《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）；

(2) 《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）；

(3) 《海域使用分类》（HY/T 123-2009）；

(4) 《海水水质标准》（GB 3097-97）；

(5) 《渔业水质标准》（GB 11607-89）；

(6) 《中国海图图式》（GB 12319-2022）；

(7) 《海洋监测规范》（GB 17378-2007）；

(8) 《海洋生物质量》（GB 18421-2001）；

(9) 《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）；

(10) 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；

(11) 《海洋工程地形测量规范》（GB/T 17501-2017）；

(12) 《全球导航卫星系统（GNSS）测量规范》（GB/T 18314-2024）；

(13) 《风力发电场设计技术规范》（DL/T 5383-2007）；

- (14) 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025);
- (15) 《海域使用面积测量规范》(HY 070-2022);
- (16) 《宗海图编绘技术规范》(HY/T 251-2018);
- (17) 《风电场微观选址技术规范》(NB/T 10103-2018);
- (18) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007, 中华人民共和国农业部);
- (19) 《海上风电场微观选址阶段发电量计算技术规范》(T/CEEIA 561-2021);
- (20) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》(2002.04);
- (21) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》(国家海洋局, 2014.04);
- (22) 《海域立体分层设权宗海范围界定指南 (试行)》(自然资源部, 2023 年 11 月);
- (23) 《广东省海域使用权立体分层设权宗海范围界定及宗海图编绘技术规范 (试行)》(广东省自然资源厅, 2024 年 6 月)。

1.2.4 项目基础资料

- (1) 《汕尾红海湾五海上风电项目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 11 月);
- (2) 《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);
- (3) 《深能汕尾红海湾六海上风电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);
- (4) 《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);
- (5) 《2024 年汕尾红海湾海上风电场 (场址五含线缆) 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);
- (6) 《汕尾红海湾五海上风电项目电磁辐射环境专题报告》(广东宇南检测技术有限公司, 2023 年 12 月);
- (7) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目电磁辐射环境专题报告》

(广东宇南检测技术有限公司, 2023 年 12 月);

(8) 《汕尾红海湾五海上风电项目水上、水下噪声对海洋生物影响专题》
(厦门大学, 2024 年 3 月);

(9) 《汕尾红海湾五海上风电项目鸟类现状监测专题报告》(广东省科学院动物研究所, 2024 年 1 月);

(10) 《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目鸟类现状监测专题报告》
(广东省科学院动物研究所, 2024 年 6 月);

(11) 《深汕特别合作区小漠国际物流港防波堤一期工程环境影响报告书》
(广东海兰图环境技术研究有限公司, 2024 年 1 月);

(12) 《华润汕尾红海湾五海上风电项目初步设计阶段初步设计总说明
(送审版)》(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 2025 年 9 月);

(13) 《汕尾红海湾五海上风电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, 2025 年 1 月);

(14) 《华润汕尾红海湾五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 7 月);

(15) 《华润汕尾红海湾五海上风电场项目海底电缆路由调查勘测报告》
(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 2026 年 1 月);

(16) 《华润汕尾红海湾五海上风电场项目通航安全影响咨询报告(备案
稿)》(广州港海工程咨询有限公司, 2024 年 11 月);

(17) 《汕尾红海湾五海上风电项目海域使用论证报告书(报批稿)》(广
东海兰图环境技术研究有限公司, 2025 年 1 月);

(18) 《华润汕尾红海湾五海上风电场项目符合生态保护红线内允许有限
人为活动的说明报告》(广东海兰图环境技术研究有限公司, 2025 年 3 月);

(19) 建设单位提供的其他资料。

1.3 论证等级和范围

1.3.1 论证等级

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/T 123-2009），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）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。

项目申请总用海面积为 429.1188 公顷，其中透水构筑物用海面积为 187.5274 公顷，海底电缆管道用海面积为 241.5914 公顷，根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）的海域使用论证等级判定表（见表 1.3.1-1），透水构筑物用海总面积大于（含）30 公顷所有海域论证等级为一级，海底电缆管道所有规模敏感海域（本项目送出海缆穿越生态保护红线“遮浪南重要渔业资源产卵场”）论证等级为二级，根据“同一项目用海按不同用海方式、用海规模所判定的等级不一致时，采用就高不就低的原则确定论证等级”，判定本项目的海域使用论证等级为一级，应编制海域使用论证报告书。

表 1.3.1-1 海域使用论证等级判据

用海单元	一级用海方式	二级用海方式		用海规模	所在海域特征	论证等级
风机、海上升压站、海上无功补偿站	构筑物	透水构筑物		构筑物总长度大于（含）2000m 或用海总面积面积大于（含）30ha 本项目用海面积 187.5274 公顷	所有海域	一
海底电缆	其他方式	海底电缆管道	海底电（光）缆	所有规模 本项目用海面积 241.5914 公顷	敏感海域	二
					其他海域	三
本项目						一
注：敏感海域是指海洋生态保护红线区，重要河口、海湾、红树林、珊瑚礁、海草床等重要生态系统所在海域，特别保护海岛所在海域等。						

注：引自《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）的表 1。

1.3.2 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023），论证范围应依据项目用海情况、所在海域特征及周边海域开发利用现状等确定，应覆盖项目用海可能影响到的全部区域。一般情况下，论证范围以项目用海外缘线为起点进行划定，一级论证向外扩展 15km，二级论证 8km，二级论证 5km；跨海桥梁、海

底管线、航道等线性工程项目用海的论证范围划定，一级论证每侧向外扩展 5km，二级论证 3km，三级论证 1.5km。本项目结合所在海域特征，风电场论证范围以其用海外缘线为起点进行划定，向外扩展 15km；送出海缆以其用海外缘线为起点进行划定，每侧向外扩展 12km，总面积约 3032.57km²，论证范围详见图 1.3.2-1。

表 1.3.2-1 论证范围拐点坐标（不公开）

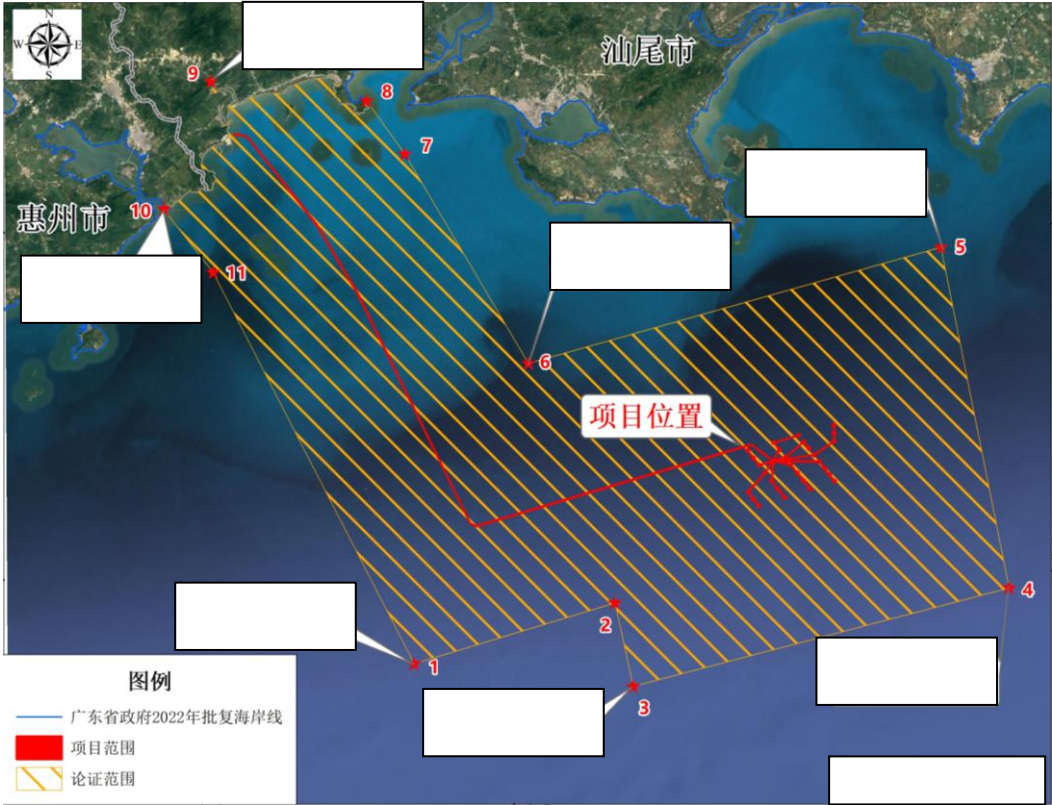


图 1.3.2-1 本项目论证范围图

1.4 论证重点

根据项目海域的自然环境条件、海洋资源分布及开发利用现状等特点，结合项目的用海性质、可能造成的环境影响，确定本论证工作的论证重点为：

- (1) 项目用海必要性；
- (2) 项目用海资源生态影响；
- (3) 海域开发利用协调；
- (4) 项目用海选址合理性分析；
- (5) 项目用海平面布置和用海面积合理性分析；

- (6) 海域立体开发利用的必要性和可行性；
- (7) 生态用海对策措施。

2 项目用海基本情况

2.1 项目建设内容

(1) 项目名称：华润汕尾红海湾五海上风电项目。

(2) 建设单位：华润风电（汕尾）有限公司。

(3) 项目性质：新建。

(4) 投资金额：569250 万元。

(5) 地理位置：项目位于汕尾市汕尾港南面海域，场址面积约 62km²，风电场场址水深在 34m~40m 之间，距离陆地最近约 21.8km。登陆点位于深汕合作区小漠街道。

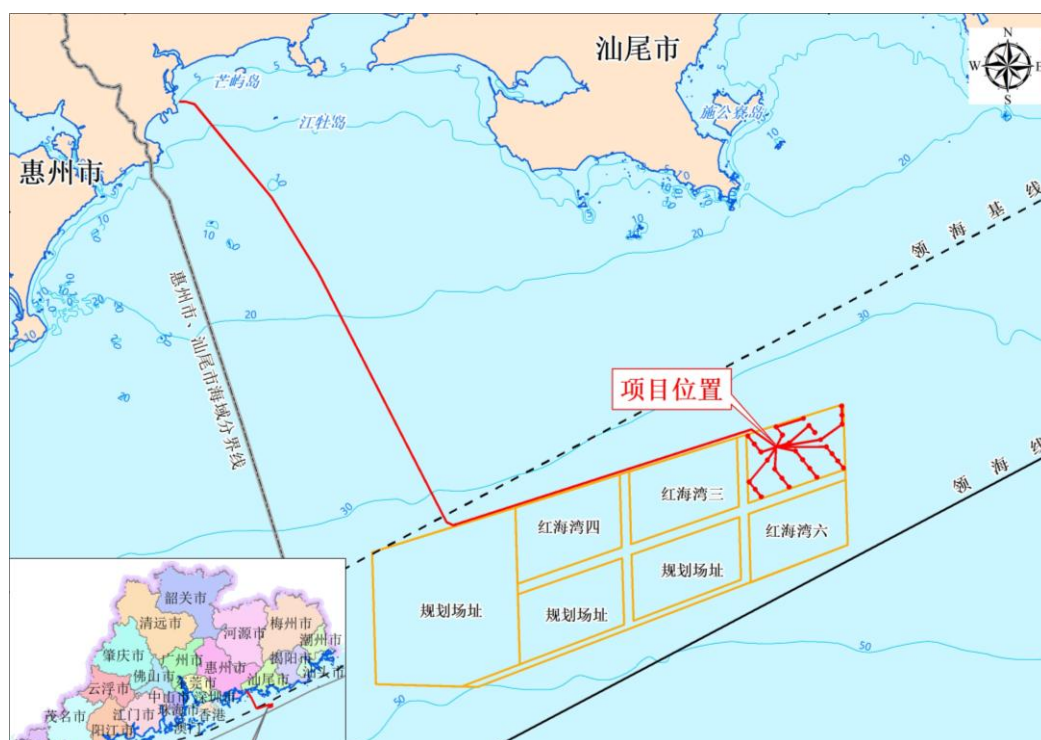


图 2.1-1 项目地理位置图

(6) 建设规模：本项目规划装机容量为 500MW，拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站。本项目将按要求配套建设海洋牧场，拟在风机与风机间设立海洋牧场网箱，单独办理用海，单独立项，不在本次论证范围内。

2.2 平面布置和主要结构、尺度

2.2.1 平面布置

本项目规划装机容量为 500MW，拟安装 28 台 18MW 风机，风电机组通过 8 回 66kV 集电海缆汇集至海上升压站，风电机组采用阵列式布置，66kV 集电海缆采用链型拓扑结构，每回路连接 3-4 台风机，不交叉不重叠。升压后通过 500kV 海缆、海上无功补偿站送至登陆点，登陆点位于深汕合作区小漠街道，送出海缆长约 83.72km。

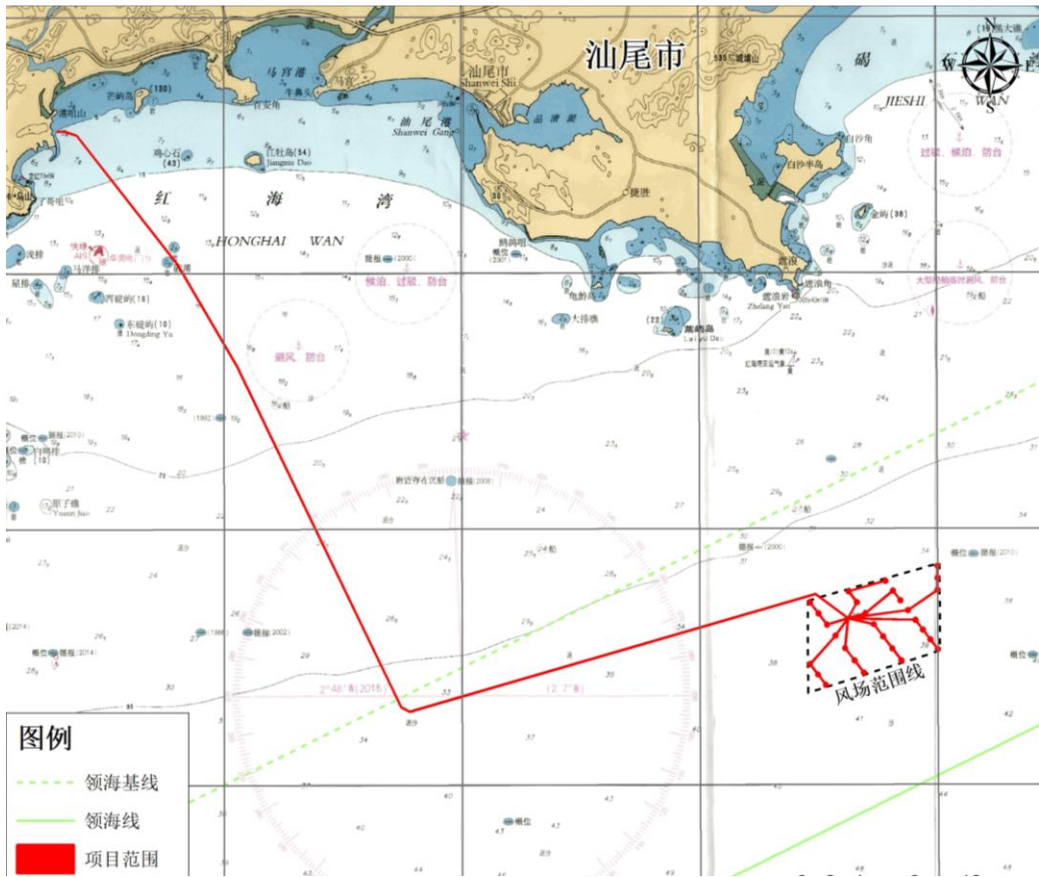


图 2.2.1-1a 项目平面布置示意图

图 2.2.1-1b 项目总平面布置图（不公开）

2.2.1.1 风电机组

本风电场轮毂高度处主导风向为 ENE，主导风风向频率为 30.3%，相应 ENE 向风能频率为 44.6%；风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 7~20 倍叶轮直径，垂直主导风向 3~4 倍叶轮直径的范围进行试算（后排风

机间距可按海域情况加大），并适当进行角度的偏转，调整个别风机点位，寻找风电场总体发电效益最优的方案。

本项目风机排布示意图详见图 2.2.1-2，以 ENE 为主导风向，各排风机基本垂直于主导风向，采用了 5 排布置的方案，行内间距在 876~1110m（3.0~3.8D），列间距在 2575~2745m（8.8~9.4D）。

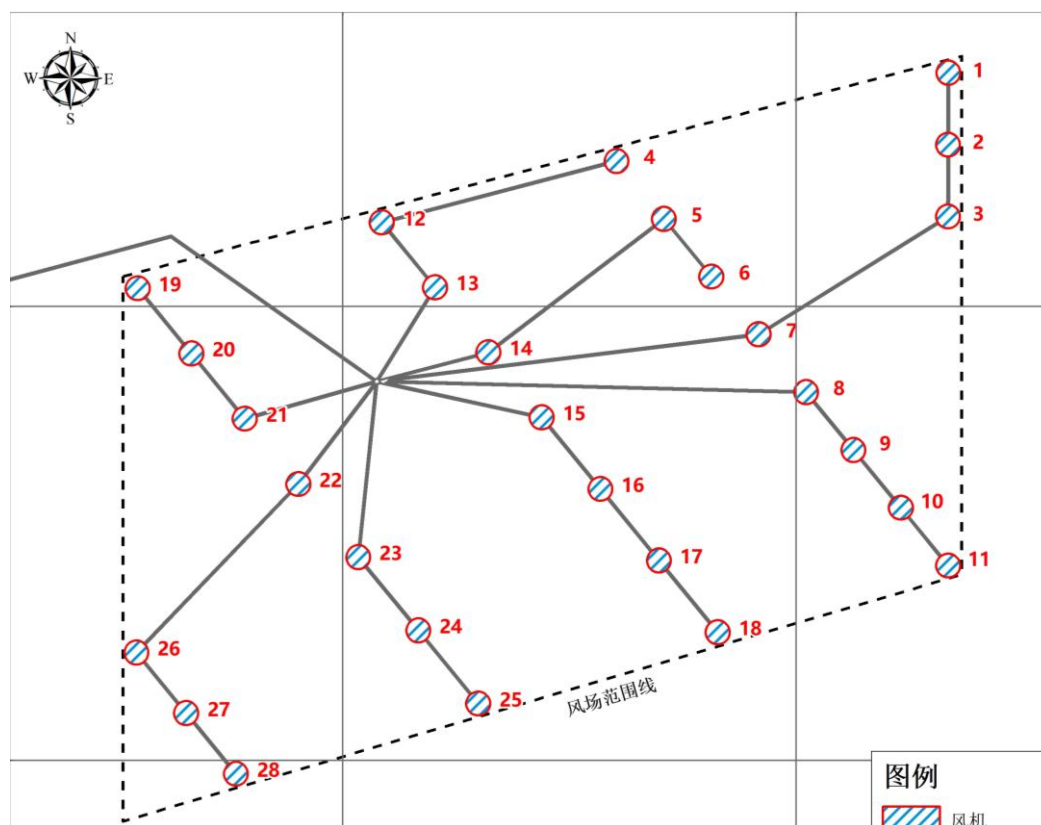


图 2.2.1-2 项目风机排布图

2.2.1.2 海上升压站和海上无功补偿站

（1）海上升压站

本项目配套建设一座 500kV 海上升压站，海上升压站位于风电场址内偏西北侧，平台北和真北逆时针夹角 22.5° 。

海上升压站采用整体式布置，包括上部组块和下部结构。上部组块平台共分四层，一层平台、二层平台、三层平台及顶层平台。下部结构采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩。海上升压站上部平台最外边缘轮廓平面尺寸为 $39.85\text{m} \times 43.80\text{m}$ 。海上升压站各层结构平面图详见图 2.2.1-3。

（2）海上无功补偿站

本项目配套建设一座 500kV 海上无功补偿站，海上无功补偿站位于送出海

缆接近红海湾场址处，平台北和真北逆时针夹角 22.5° 。

海上无功补偿站采用整体式布置，包括上部组块和下部结构。上部组块平台共分四层，一层平台、二层平台、三层平台及顶层平台。下部结构采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩。海上无功补偿站上部平台最外边缘轮廓平面尺寸为 $41.50\text{m}\times 37.15\text{m}$ 。海上无功补偿站各层结构平面图详见图 2.2.1-4。

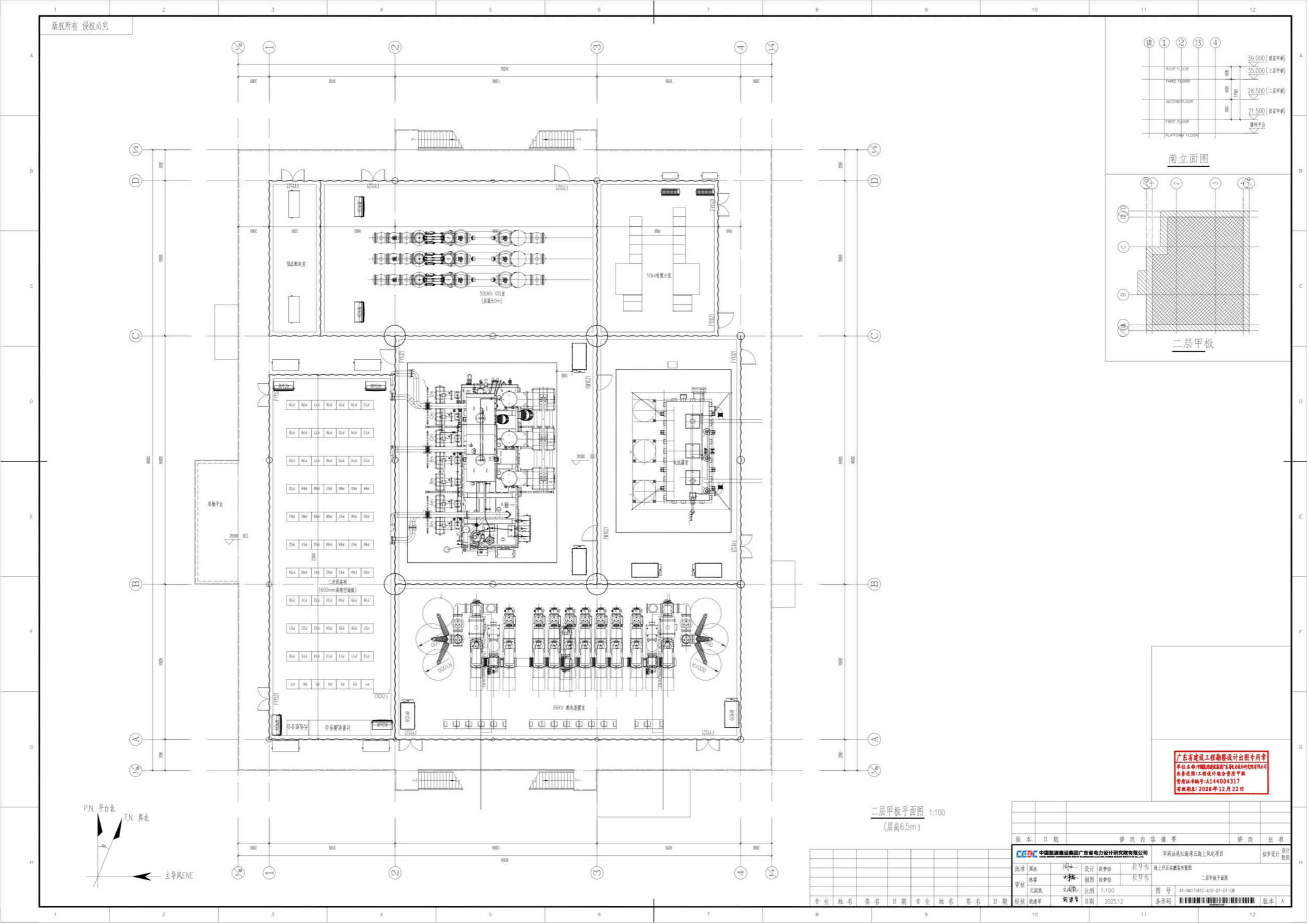


图 2.2.1-3b 海上升压站结构平面图（二层）

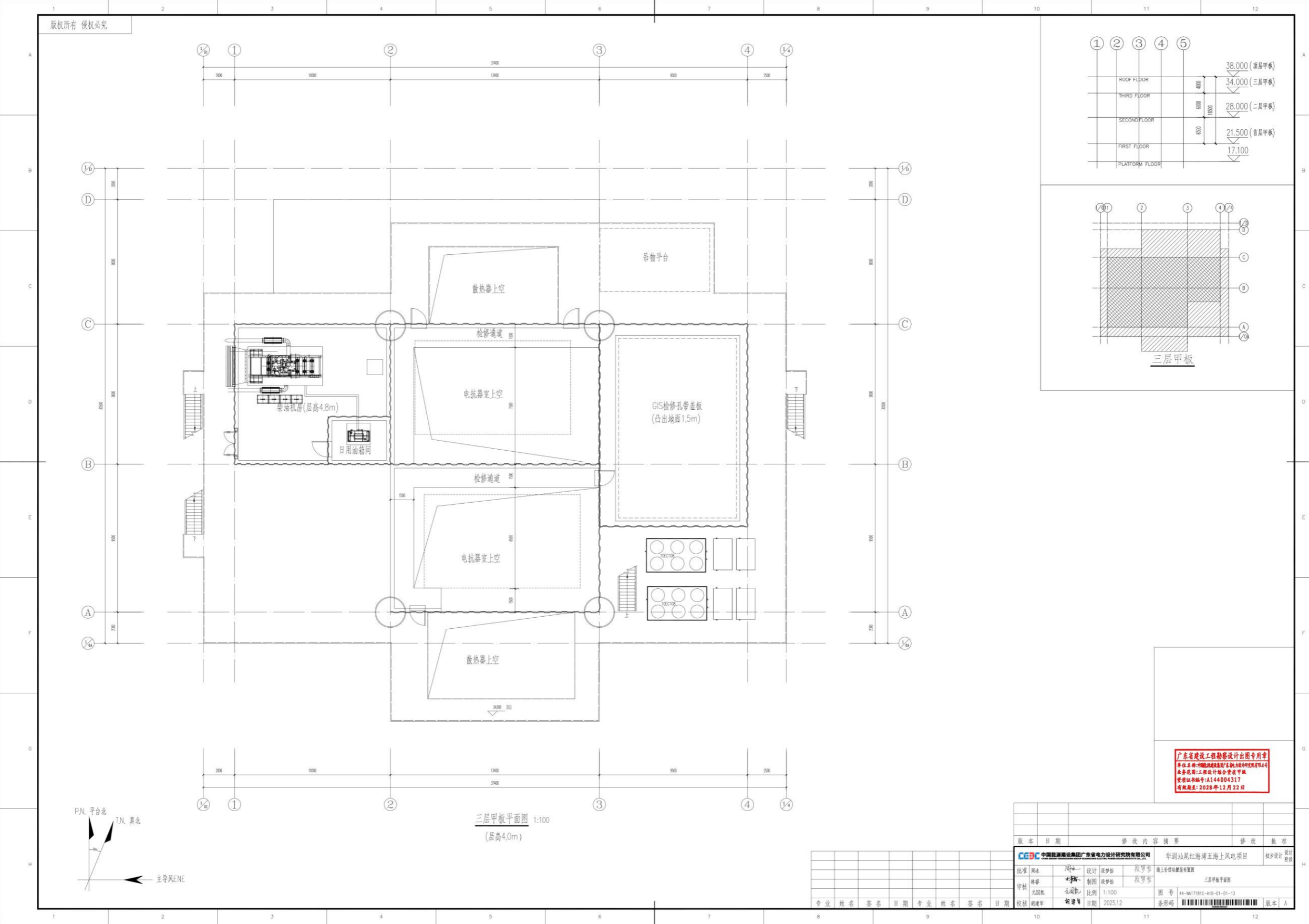


图 2.2.1-4c 海上无功补偿站结构平面图（三层）

2.2.1.3 海底电缆

(1) 66kV 集电海缆

本项目集电海缆采用 66kV 三芯电缆，集电系统接线拓扑布局采用链形拓扑结构。风机按 8 个回路布置，各个回路连接 3-4 台风机，风机连接电缆不交叉重叠。66kV 集电海缆平面布置示意图见图 2.2.1-5。

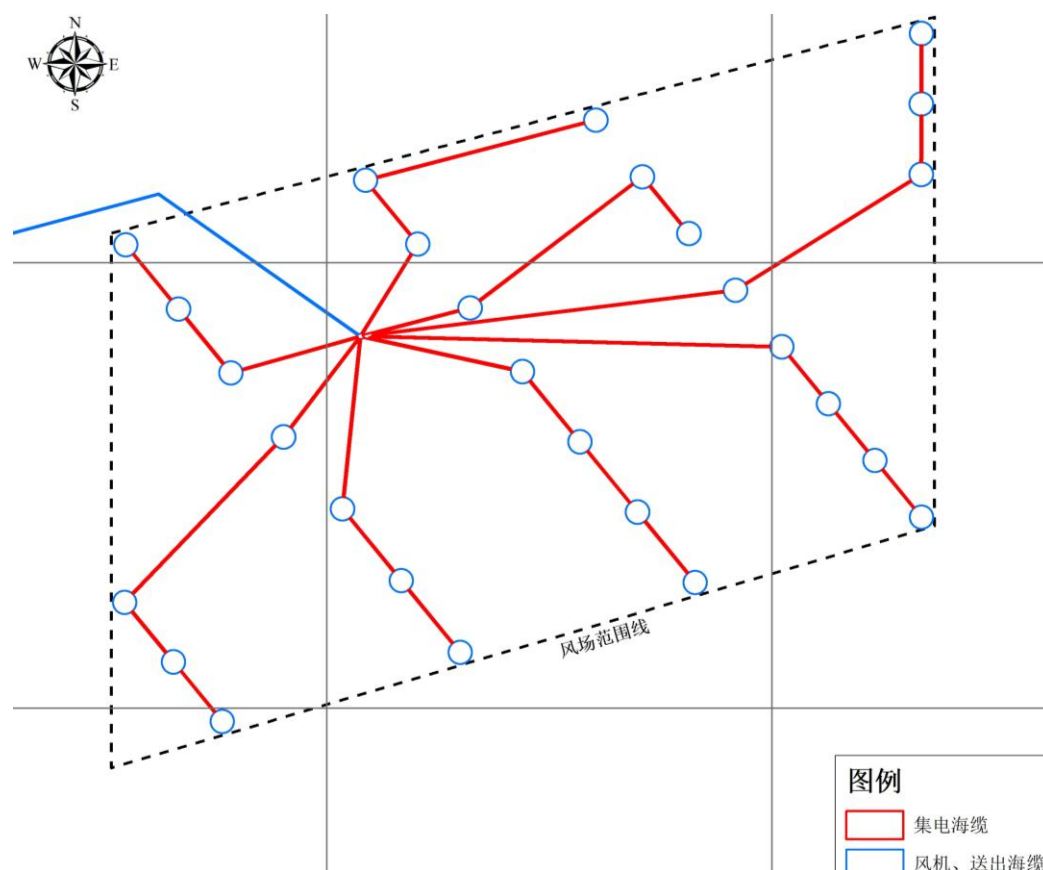


图 2.2.1-5 项目 66kV 集电海缆平面布置示意图

(2) 500kV 送出海缆

本项目 500kV 送出海缆从登陆点出发避开近岸礁石分布区向东、东南方向延伸 2.01km，随后以近似垂直等深线的方向继续向东南延伸 48.29km 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 30.49km 后到达场址五西北角，最后向东南方向延伸 2.93km 到达海上升压站。500kV 送出海底电缆布置 1 根海缆，全长约 83.72km。示意图见图 2.2.1-6。

表 2.2.1-1 500kV 送出海缆拐点坐标表

编号	经度 (E)	纬度 (N)	累积长度 (km)	备注
1			0	登陆点
2			0.19	登陆出钻点
3			1.12	保障垂直登陆岸线，便于路由登陆施工
4			2.01	增大路由拐弯半径
5			13.80	避开海图显示礁石
6			22.32	保障与两锚地之间的安全距离
7			49.60	避开生态保护红线西侧边界，统筹管廊送出路径
8			50.30	增大路由拐弯半径，统筹管廊送出路径
9			80.79	修改拐点，避开海上风机布置
10			83.72	海上升压站

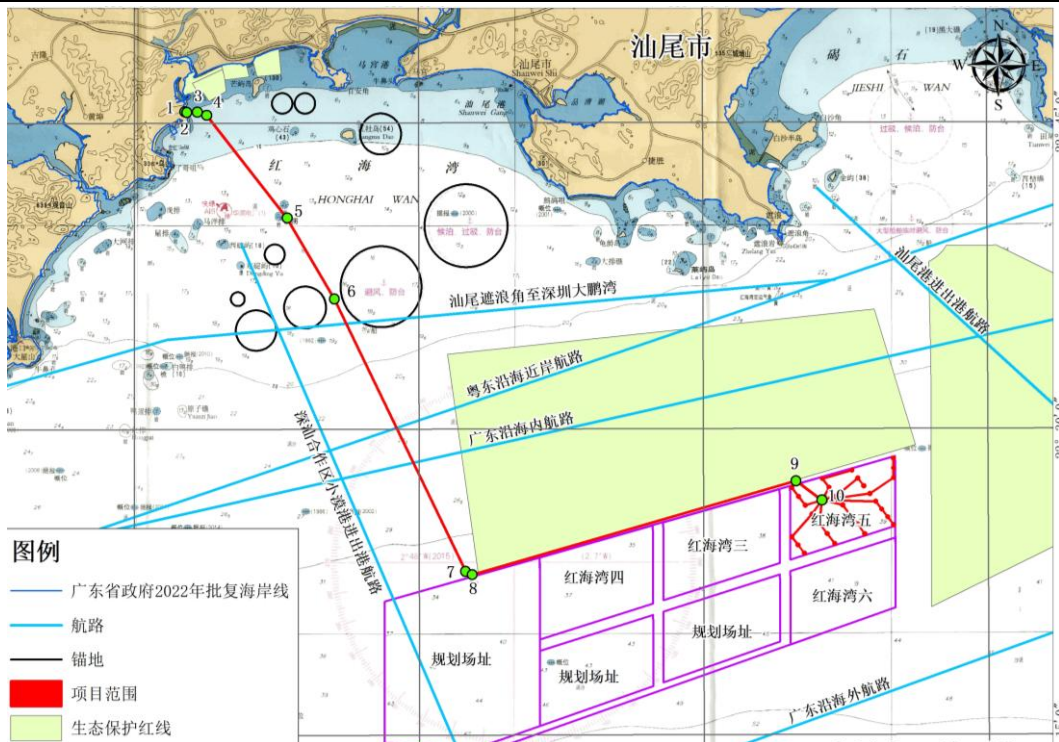


图 2.2.1-6 项目 500kV 送出海缆平面布置示意图

2.2.1.4 登陆点

本项目 500kV 送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠街道东侧海岸，向陆一侧为山体，向西侧约 80m（山体南侧）为华润海丰电厂“上大压小”新建工程园区道路；向南侧为华润海丰电厂“上大压小”新建工程排水渠。



图 2.2.1-7 项目登陆点位置示意图

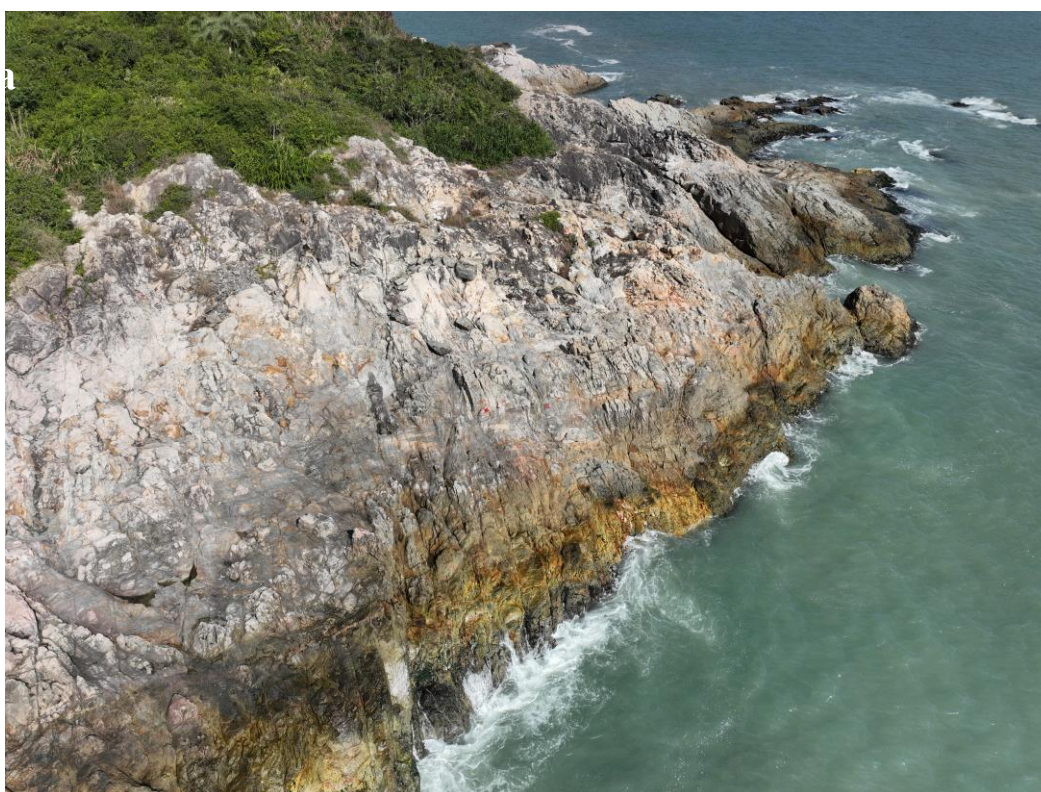


图 2.2.1-8 项目登陆点周边环境现状

2.2.2 主要结构、尺度

2.2.2.1 风电机组

(1) 风机机型

风电场机型选择应考虑适合风电场场址的风资源条件，有利于提高风电场的发电效益。本项目根据场址风资源条件和风况特征及海上的特殊水文气象条件，结合国内外海上风机的认证状况、制造水平、技术成熟程度、运行业绩、设备制造的可行性和设备采购的积极性等，进行风电场机组型式选择。

本项目已完成主机招标，中标机型为明阳 MySE18-292 型风力发电机组，单机容量 18MW，叶轮直径 291.12m，风机参数特征详见表 2.2.2-1。风机塔筒中心到轮毂中心的长度 6458mm。

表 2.2.2-1 MySE18-292 机型总体技术参数

部件	单位	数值	备注
机组数据			
额定功率	kW	18000	
设计等级		IEC S	
年平均风速		9m/s	
特征湍流强度		0.12	
风轮直径	m	291.12	
切入风速	m/s	3	
额定风速	m/s	12.7	
切出风速	m/s	25	
最大风速	m/s	57	
运行温度范围	°C	-20~+40	
生存温度范围	°C	-30~+50	
轮毂高度（推荐方案）	m	172.4	
预期寿命	Year	25	
叶片			
叶片长度	m	143	
叶片材料		玻璃纤维和碳纤维增强环氧树脂复合材料	
叶片端线速度	m/s	Appr.103.7	
齿轮箱			
齿轮级数		三级	
齿轮传动比率		1:78.4±1%	
发电机			
额定功率	kW	19050	
额定电压	V	1380	
绝缘等级		H	
防护等级		IP54	
发电机冷却方式		空-水冷	

部件	单位	数值	备注
变流器			
额定功率	kVA	19526	
输入频率变化范围/额定输出频率	Hz	46.5-52.5	
变流器放置位置		机舱	
防雷保护等级			
防雷设计标准		按照 IEC61400-24I 级设计，符合 GL 认证规范	
机组接地电阻值	Ω	≤ 4	
重量			
机舱	kg	Appr.480000	
发电机	kg	Appr.29700	
叶轮	kg	Appr.339100	
轮毂	kg	Appr.142000	
叶片	kg	Appr.65700	

(2) 风机基础

综合国内外海上风电场建设经验、不同风机基础型式的适用性及优缺点，同时结合本工程的特点以及目前国内海上施工单位的施工能力，最后分析确定本工程采用的四桩导管架基础。

根据现阶段地质资料以及结构计算成果，本项目 18MW 导管架基础采用 30m 根开，桩直径为 3.5m，平均钢管桩桩长约为 97m，平均入土深度约为 90m。导管架顶法兰高程为+26.5m，过渡段将军柱直径为 9.5m，导管架腿直径为 1.6-2.1 米，主腿壁厚 55~100mm，导管架主腿插入桩的部分外径 3.0m，由板壳过渡结构与桩顶以上直径为 2.1m 的主腿连接，并通过锥型段逐步过渡至 1.6m。过渡段壁厚最大 100mm，相邻导管腿之间通过 X 撑杆进行连接，共设置三层 X 撑，斜撑最大厚度约为 55mm，灌浆连接段长度约为 6.5 米，导管架高度约 67.5 米，导管架整体平均重量（含附属构件）约 1936.5 吨，钢管桩（4 根桩）总重约 1463 吨。项目风机基础结构见图 2.2.2-1。

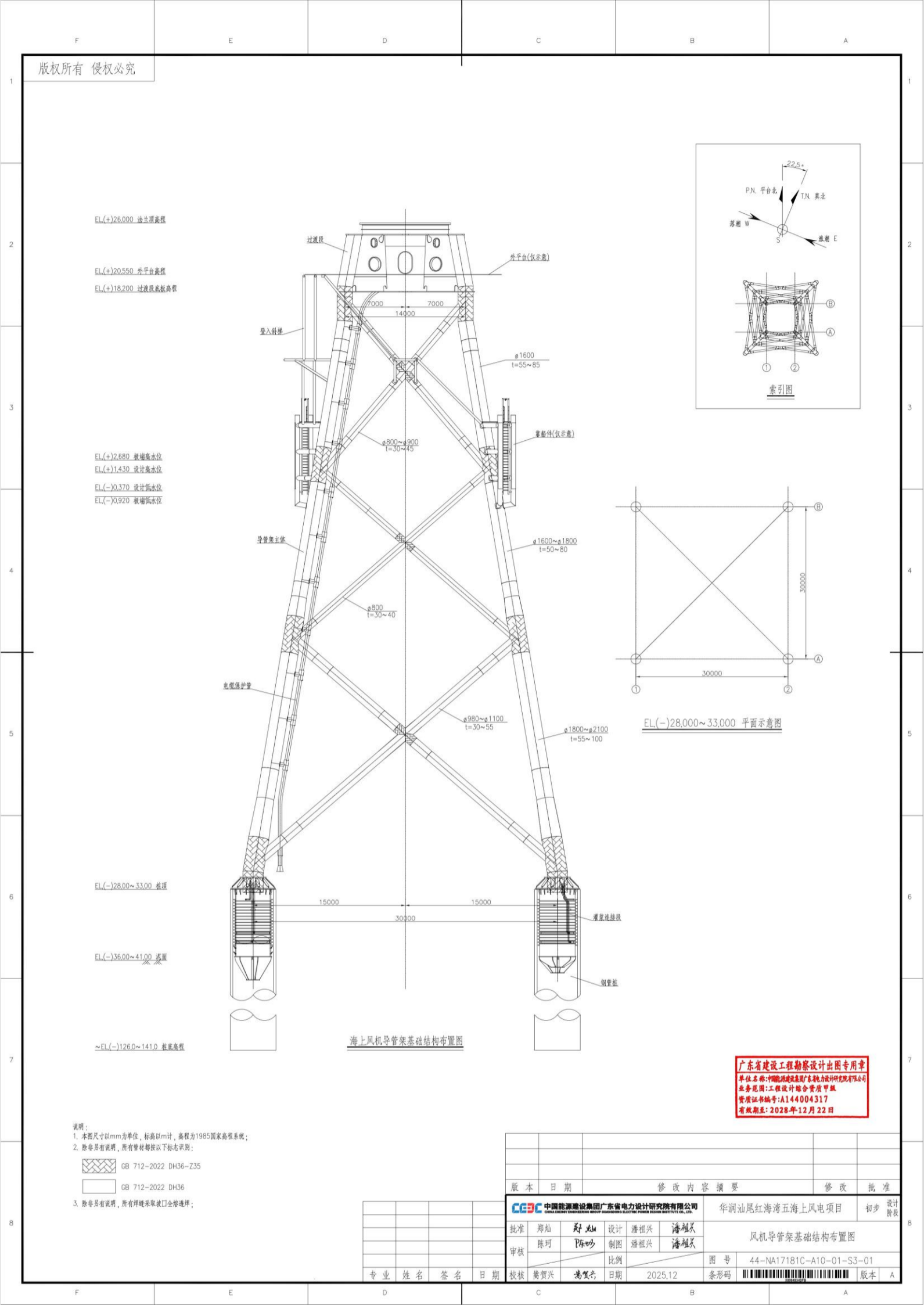


图 2.2.2-1 项目风机基础结构图

2.2.2.2 海上升压站和海上无功补偿站

海上升压站和补偿站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用四桩导管架型式。

(1) 海上升压站

海上升压站上部组块采用四层布置，上部平台最外边缘轮廓平面尺寸为 39.85m×43.80m，上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接梁 G1600、G1400、G1200、G1000 和成品梁 HN900、HN700 等，次梁采用热轧 H 型钢 HN900~HN300 等。立柱采用 $\phi 2000$ 、 $\phi 1400$ 、 $\phi 508$ 、 $\phi 406$ 等钢管，主甲板间斜撑采用 $\phi 700$ 、 $\phi 508$ 、 $\phi 406$ 和 $\phi 356$ 等钢管，各层甲板之上满铺 6mm 厚钢板，25mm 以上钢板全部采用 Z 向钢钢材 DH36 加强。

海上升压站导管架采用 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 19.5m，底标高-36.43m。上部根开 12.0m×16.0m，底部根开 26m×31.25m，桩靴中心根开 34.2m×37.2m。主导管采用 $\phi 1800$ 钢管，成矩形布置，在标高-35.28m、-12m、14.5m 处设水平圆管 $\phi 800\sim\phi 1100$ 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台等。导管架加上附属件重约 3000t，其中导管架主体结构约重 2040t。

海上升压站基础采用 $\phi 4500$ 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 110m，入泥 95m，单根桩重约 625t，总重约 2500t。

(2) 海上无功补偿站

海上无功补偿站上部组块采用四层布置，上部平台最外边缘轮廓平面尺寸为 41.50m×37.15m，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 H1400、H1200 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 $\phi 1400$ 、 $\phi 1000$ 等钢管，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 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。

本项目补偿站导管架均采用 4 腿导管架型式，导管架 4 个面的斜度约为 1:10。导管架顶标高 18.0m，底标高根据现有资料暂按-35.0m。上部根开 13.4m×

20.4m，底部根开 $23\text{m} \times 30\text{m}$ ，桩靴中心根开 $33.8\text{m} \times 38.9\text{m}$ ，主导管采用 $\phi 1800$ 钢管，成矩形布置，在标高 -33.5m，-12.0m，14.5m 处设分别设置水平圆管 $\phi 800 \sim \phi 1100$ 钢管及斜拉圆管，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等。导管架约重 2350t（包括附属构件）。

海上补偿站基础采用 $\phi 3800$ 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚范围为 40~80mm。升压站四根钢管桩长 101m，入泥 88m，单根桩重约 450t，总重约 1800t。

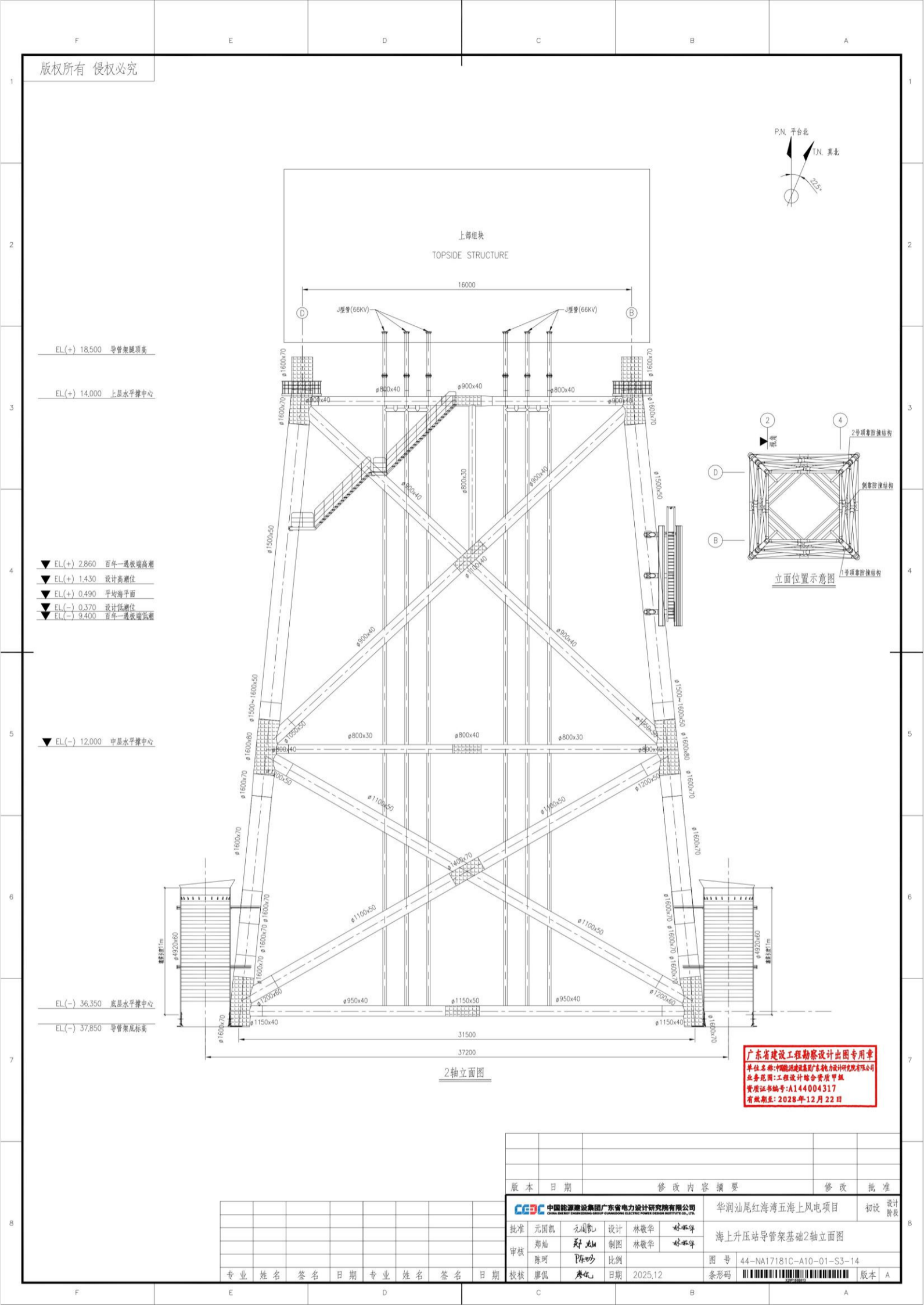


图 2.2.2-2 海上升压站立面图

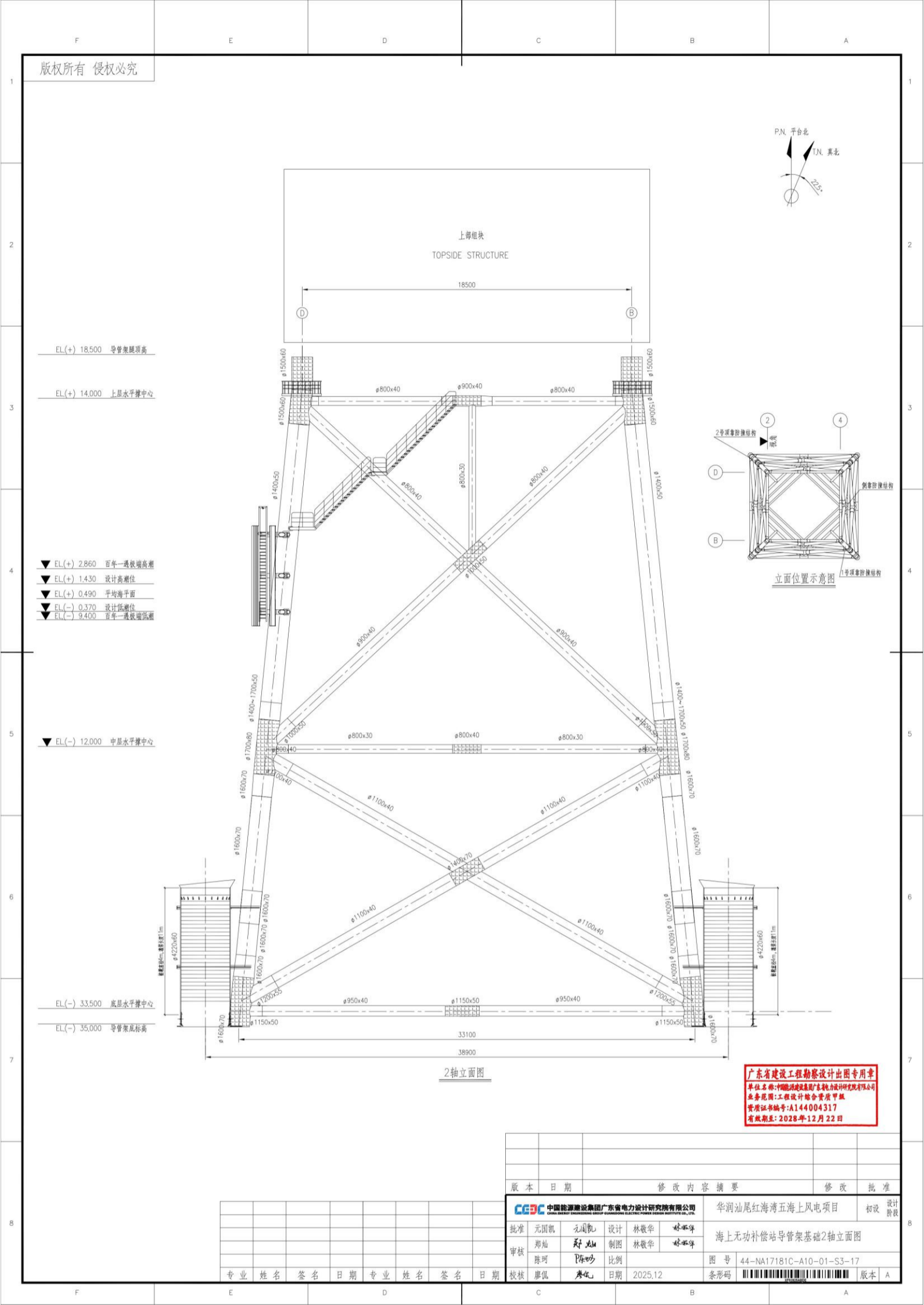


图 2.2.2-3 海上无功补偿站立面图

2.2.2.3 海底电缆

(1) 66kV 海底电缆

本项目 66kV 海底电缆初拟选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面从 $3 \times 120 \sim 630 \text{mm}^2$ 不等，最大外径为 190.1mm。66kV 海底电缆总长度 45.45km。

(2) 500kV 海底电缆

本项目 500kV 送出方案采用 1 回三芯海底电力电缆，选择型号 HYJQF41-F 290/500 $3 \times 630 \text{mm}^2$ ，外径为 298.3mm，500kV 海底电缆总长度 83.72km。500kV 三芯海底电缆的结构见图 2.2.2-4。

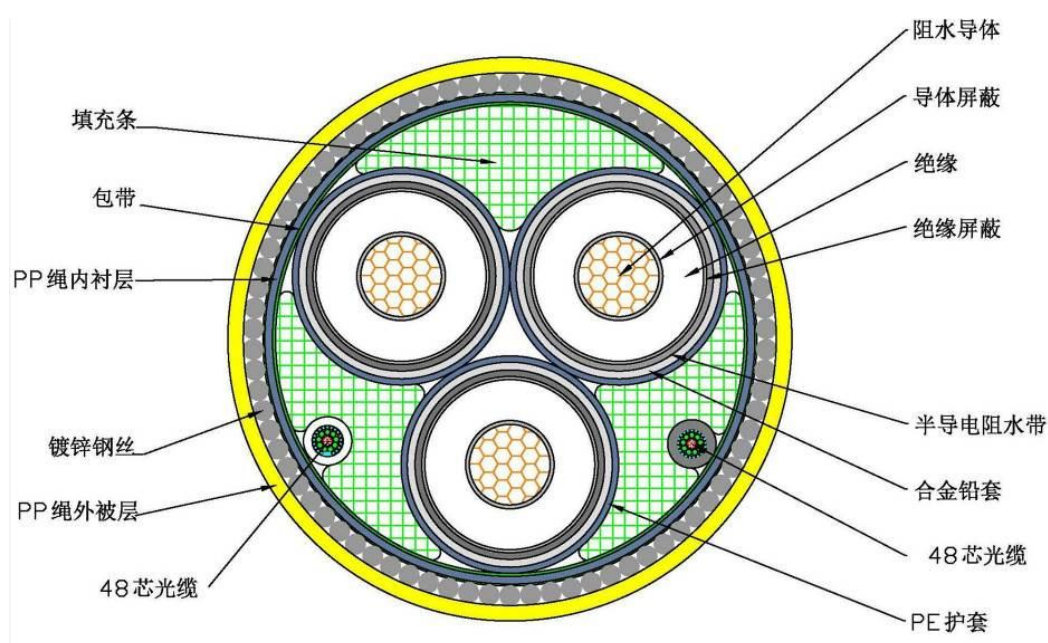


图 2.2.2-4 三芯电缆典型结构示意图

2.3 项目主要施工工艺和方法

2.3.1 施工工艺及方法

2.3.1.1 风电机组基础施工

(1) 基础钢结构制造

四桩导管架连接段结构整个加工过程，必须严格依据设计单位提供的图纸、详细设计技术规格书、国家行业的规范标准等，主要流程为：基础钢结构加工

→钢结构防腐。

(2) 钢管桩制造

钢管桩制作采用常规的直缝加工制作工艺，其加工制作工艺主要为：

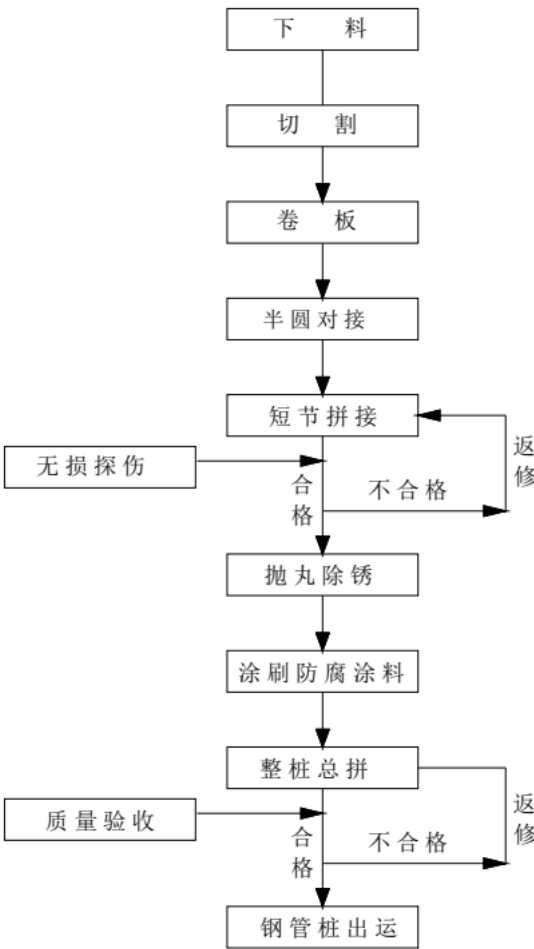


图 2.3.1-1 钢管桩加工制作工艺流程图

(3) 基础钢结构的运输

①导管架运输

完成建造的导管架连接段在场内采用轨道、台车进行运输；导管架连接段在码头前沿通过台车与滑道配合平板驳进行装船并采取可靠措施固定。

导管架连接段场外运输均需利用 15000t 级以上自航驳船进行，每次装载 2 台，将装有导管架或连接段的驳船运送至风电场安装。

②钢管桩运输

钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船。采用 10000t 级以上运输货船运输，每次运输 8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础

施工使用。

(4) 测量工程

风机基础施工项目为外海施工作业项目，施工区域远离海岸线，常规测量无法直接进行作业，采用 GPS 定位技术进行测量控制，拟在风电场内设置测量 GPS 基站，覆盖到整个施工区域。测量仪器主要采用高精度的 GPS 测量仪器，全站仪、经纬仪、水准仪及激光扫平仪器为辅助测量仪器。本工程实施初期，可采用星站差分技术。

(5) 常规桩沉桩施工

为了确保沉桩施工精度，需要首先施打工艺辅助桩搭建导向架平台，然后插桩并利用打桩锤进行施工。国内典型的常规沉桩施工工艺如下：

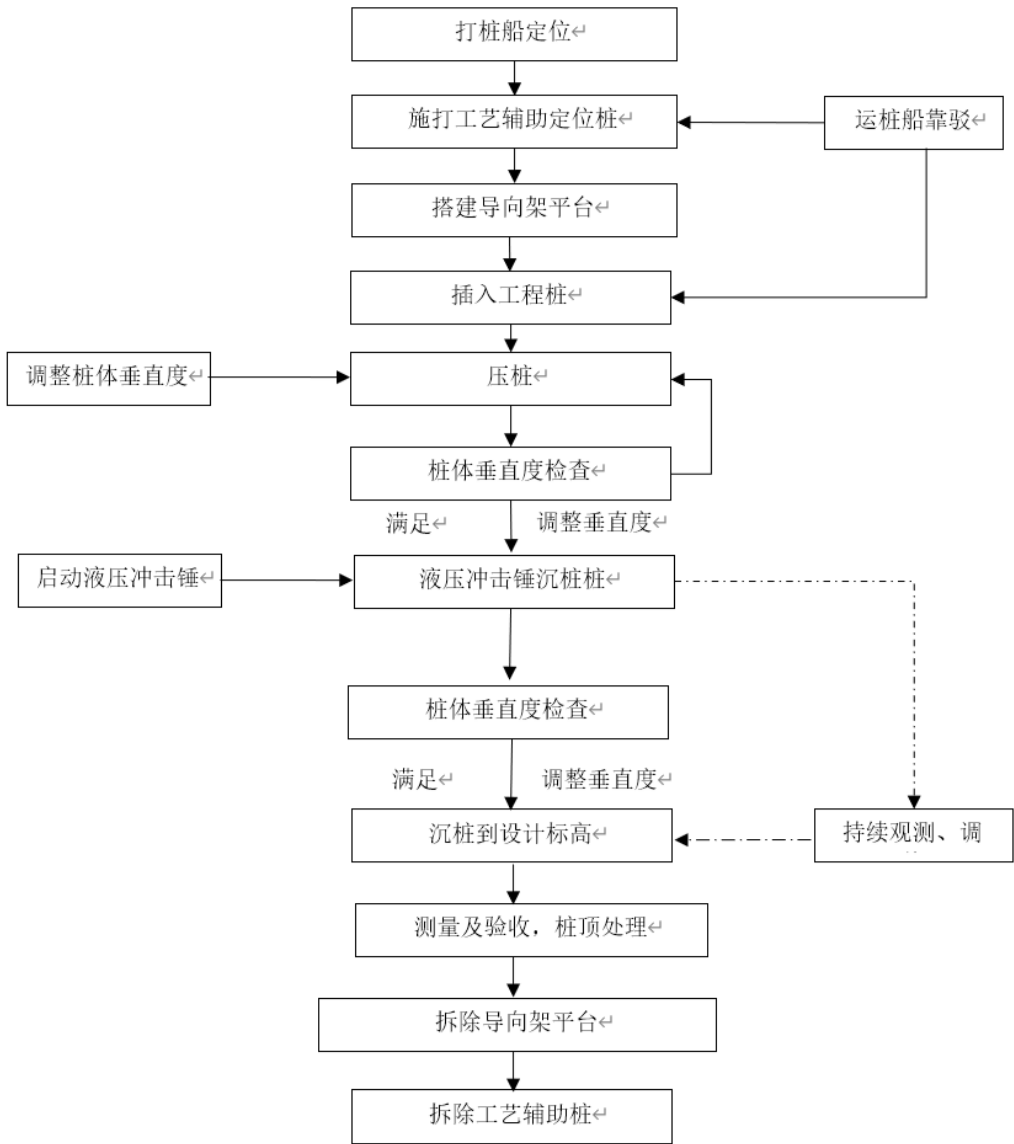


图 2.3.1-2 常规钢管桩沉桩施工工艺图

主要施工步骤:

①作业船抛锚、定位和安装导向架

本工序需要在外海施工，打桩船抛锚采用八字形式，在抛锚位置处挂浮筒。沉桩施工采用设置工艺辅助桩及导向架的方式来保证钢管桩沉桩的质量控制，通过打设工艺辅助桩保证导向架的稳定，在工艺导向架上设置三个 GPS 控制点及两台测倾仪，并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平来保证同机位的钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

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



图 2.3.1-3 工艺定位架示意图

②沉桩

钢管桩沉桩分为四个阶段:

第一阶段插入工程桩，起重船使用专用的吊桩设备起吊钢管桩，吊入至工

艺定位架的桩位固定位置，测量桩的垂直度，下桩并准确定位，完成植桩；

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

第三阶段采用起重船吊离液压锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩。

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

③钢管桩顶部预处理

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

④测量、验收

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

（6）上部基础结构安装

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

施工工艺流程：

风机基础施工时，利用工艺钢管桩定位导向钢桁架，辅助工程钢管桩沉桩，沉桩完成后对桩顶进行处理、数据测量及验收，确保基础桩施工合格后，进行导管架吊装、安装并进行灌浆施工，其主要施工工艺如下：

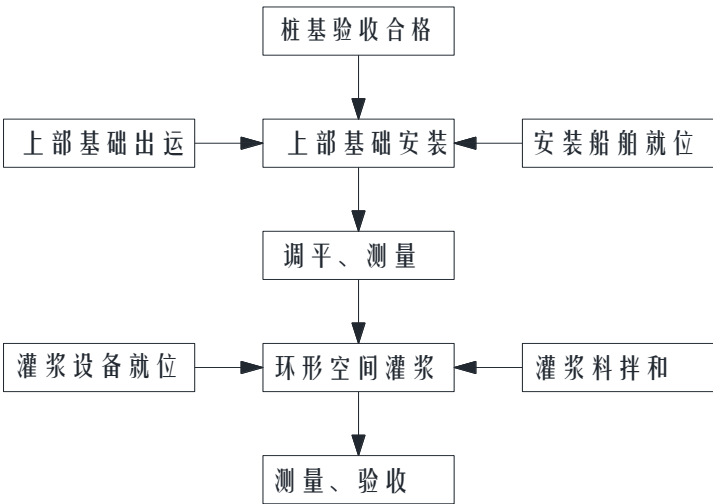


图 2.3.1-4 上部基础结构施工工艺流程图

主要施工步骤：

①上部基础海上吊装及调平施工

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

②灌浆施工

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

2.3.1.2 风电机组安装

按照海上风机安装工艺不同，海上风机机组设备安装主要可为整体吊装方式和分体吊装方式两种。结合本工程的工程建设条件及国内施工设备的信息情况等，风机分体安装方式更适应本工程所在海域涌浪大、海况恶劣的施工条件，因此现阶段拟推荐风机安装采用分体安装方式进行。

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

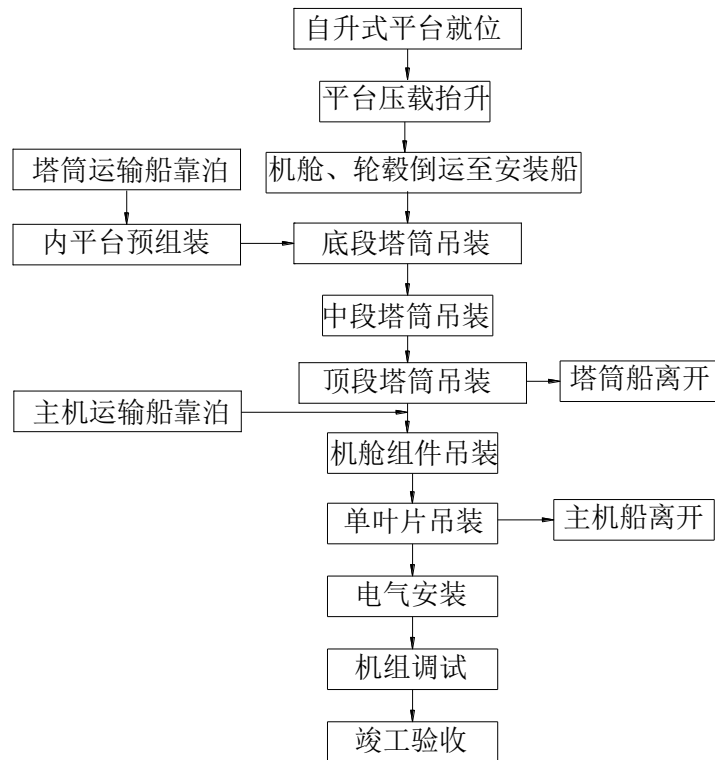


图 2.3.1-5 风机分体吊装安装施工工艺流程图

主要施工步骤：风机部件组装→风机海上运输→基础交接→塔筒内风机电器设备甲板面组装→自升平台船就位→吊装下段塔筒→吊装中段塔筒→吊装上段塔筒→机舱与轮毂组装→组合体吊装→单叶片吊装→电气系统安装。

风机部件组装及海上运输：由生产厂家在陆上完成塔筒、机舱、轮毂、风叶等主要部件的预组装，然后通过轨道移动台车运输至码头，采用履带吊等设备吊放到运输驳船上。

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

基础交接：检查基础环法兰与塔筒底法兰对接标记，基础法兰内侧面做一个明显标记，表示与塔筒底法兰的对接位置，一般这个位置对应筒门的方向。基础环水平度检查用水平仪和标尺相隔 120 度的三个方向上测量，测量点位于法兰的中环，每个方向最少测量两次，最大水平度误差平均不超过安装手册中要求的数据。检查基础环防腐层是否有损伤。用钢丝刷和砂纸清除法兰连接面的铁锈和杂物。

塔筒内风机电器设备甲板面组装：在下段塔筒吊装之前，预先将塔筒内风

机电器设备在船甲板面组装。

自升平台船就位：自升平台船航行至风机基础附近，选择合适的地点就位、顶升。

机舱与轮毂组装：通过自升式平台施工船的主吊机将机舱（包括运输底座）从运输船上起吊至平台甲板上指定位置，利用甲板上的辅助吊机安装机舱避雷支架等附属件。将轮毂利用履带吊吊机主钩与轮毂完成挂钩后，将轮毂与运输工装的连接件全部拆除。通过吊机在空中将轮毂翻身 90°。然后将轮毂与机舱法兰完成对接，形成组合体。待所有螺柱安装到位后，手动上紧螺母，然后使用拉伸器紧固螺栓。

组合体吊装：挂好机舱组合体专用吊具；拆掉下部运输支架；装上 2 根 150m 的风绳用于引导机舱组合体的方向；启动主吊，缓缓提起机舱组合体，调整机舱组合体位置；将机舱组合体提升超过上塔架的上法兰后，吊车司机按照位于上平台安装人员的指挥缓慢移动吊机，对准法兰标记位置，确保朝向正确，然后缓慢下落正确就位；在机舱组合体的偏航齿圈端面离塔架上法兰的距离有 1cm 时，吊机停止。用导向棒对准安装螺孔；用螺栓、垫片进行装配，对称装上几个螺栓，螺栓旋入 1cm 的螺纹；此时吊机下落到两端面接触，吊机还要负荷 1/2 机舱的重量；安装人员按螺栓紧固工艺要求使用电动或液压扳手拧紧螺栓，给螺栓施加到规定到力矩，卸下吊具，吊机复位；安装完毕后进行下一步的线路的对接。

单叶片吊装：起吊第一片叶片，使叶片达到轮毂位置后，对接叶片和轮毂，安装螺母、垫片，紧固叶片螺柱，单叶片吊具脱钩，盘车，使轮毂转动，然后变桨，将叶片变桨到顺桨位置，同样方法安装第二、三片叶片。

电气系统安装：依次安装箱变、高低压柜及电缆等电气设备。

2.3.1.3 海上升压站、海上无功补偿站

海上升压站、海上无功补偿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。一般来说，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→上部平台安装→电气设备联动调试。

（1）钢管桩、导管架的制作、运输

本阶段选择在工程周边区域内的大型钢结构加工企业或船厂类企业中进行整体加工制作，钢管桩运输选择 15000t 级以上的驳船，考虑运输驳船使用拖轮拖带，驳船的配套拖轮考虑为 5000HP 及以上动力。

(2) 导管架沉放施工

在导管架运输至海上升压站、海上无功补偿站位置后，首先开始进行导管架的沉放工序。根据导管架吊重、吊装尺寸的要求，并按照起重机 85%起重保证率的设备性能要求，本阶段海上升压站初步选择 3000t 级全旋转浮式起重船、海上无功补偿站初步选择 5000t 级全旋转浮式起重船进行导管架的沉放工序。桩基础导管架施工见下图：

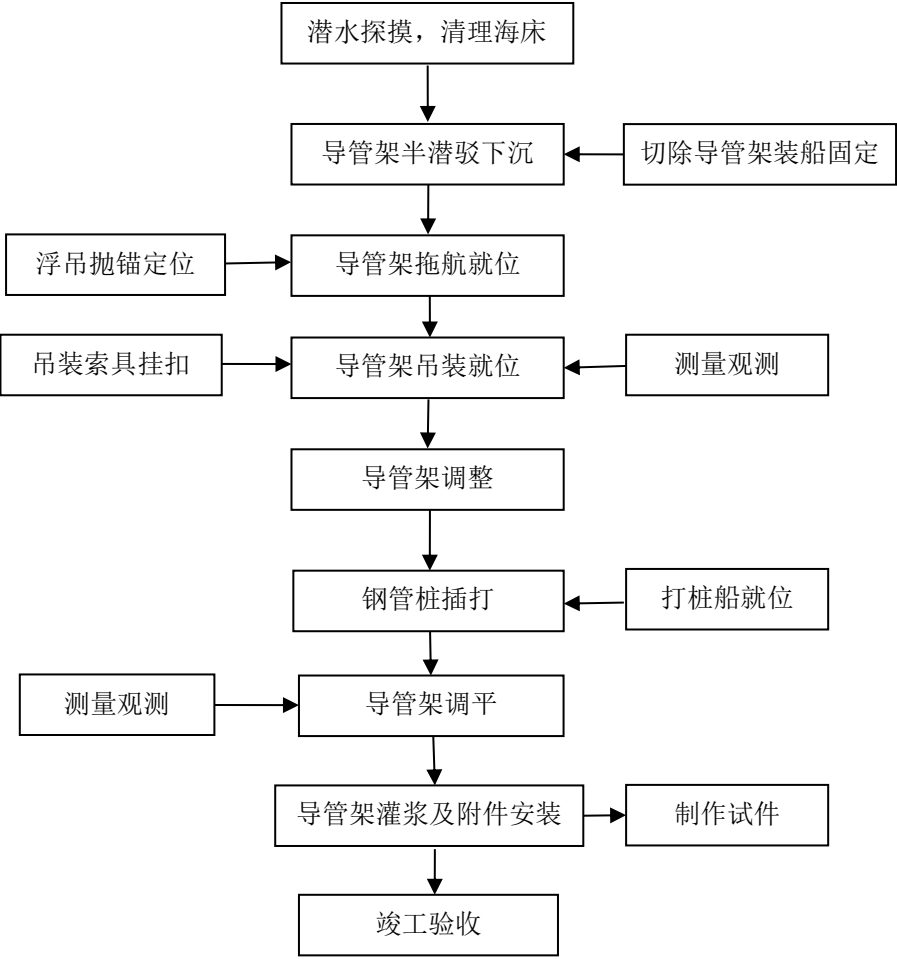


图 2.3.1-6 桩基础导管架施工流程图

(3) 钢管桩沉桩施工及连接段灌浆

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。沉桩过程中桩基为垂向入泥，桩穿过导管架上的桩靴，内部设置限位板，确保钢桩沉桩垂直度以及钢桩与导管架桩靴间的环缝的最小

间距的精度，保证沉桩施工的角度与精度控制满足要求。桩锤系统根据海上升压站、海上无功补偿站工程基础管桩的设计参数，选用 MHU-3500S 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。由甲板驳船上所载的灌浆泵高压泵送灌注专用的灌浆材料进行灌浆施工，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。采用小型压浆机将材料浆液压至导管与钢管桩的环缝内，自下而上注满。

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

（4）海上升压站、海上无功补偿站上部组块制作

海上升压站、海上无功补偿站上部组块平台共分四层，一层平台、二层平台、三层平台及顶层平台。各电气设备按照功能需求设置在不同隔层范围内，本工程海上升压站、海上无功补偿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。

海上升压站、海上无功补偿站上部平台采用陆上总装的方式，将各层结构分层预制拼装，在相应安装层完成后进行其层面上电气设备的安装工作，最终形成可整体出运的上部组块（包括电气设备）组合体。

（5）海上升压站、海上无功补偿站上部组块运输与安装

目前大尺寸、超重量的海洋工程结构组块大部分属于海洋石油类设施，此种设施体形庞大，重量多超过 5000t，采用滑道滑移装船的方式，滑移装船过程中，需要不断对驳船进行调载，使驳船顶面与滑道处于同一高度上。此种装船运输方式多与结构组装调试方案所选用的场地设施能力、组块预估生产周期、施工能力等条件相关联。根据对国内主要海工结构大件物资的装船作业经验调研分析，本工程海上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约为 3862t，海上无功补偿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约为 2677t，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海上升压站、海上无功补偿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，根据上述对运输船舶尺寸数据的要求并参考同类海工结构组块实际选用运输船舶的情况，考虑运输稳性要求，推荐选用 15000t 级自航驳船进行运输。

根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸要求，海上升压站选择 5000t 级及以上起重能力的浮式起重船、海上无功补偿站选择 5000t 级及以上起重能力的浮式起重船进行组合体的安装工作。

2.3.1.4 海缆敷设施工

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆；海上升压站与海上无功补偿站、海上无功补偿站与陆上集控中心之间的 500kV 海底电缆。

根据水深要求，本场地采用深埋方式。初步预估电缆要求的埋设深度为：陆上段电缆埋设深度为土质地层为不小于 1 米，石质地段不小于 0.5 米；水陆连接段海区（0 米等深线以上）要求开挖埋设深度为不小于 2 米，并采用关节套管保护。中间水域段，埋深范围 3 米，对于穿越航道区的海缆不小于 4 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。

常规海缆敷设主要施工工艺如下：

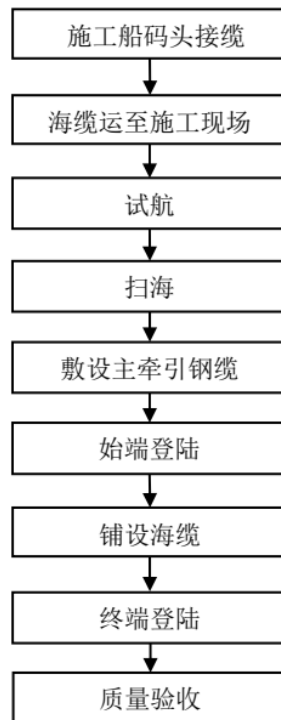


图 2.3.1-7 海缆敷设施工工艺

（1）接缆

接缆采用海缆敷设船接缆，接缆地点一般为生产厂家码头。电缆在过驳前首先对电缆进行出厂检验，对装载上船的海底电缆进行性能检测，包括逐根进行交流耐压、绝缘电阻、泄漏电流、铅包耐压等测试；待测试符合设计标准后方能进行过驳施工。装船完毕后重新对海底电缆性能检查测试，确认各项性能指标满足工程设计要求。

（2）试航

施工船舶到达施工现场之后，可首先进行试航作业，以确保施工顺利及施工质量。

（3）扫海

该工作主要解决施工路由轴线上影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物。采用锚艇尾系扫海工具，沿设计路由往返电缆路由扫海一次，发现障碍物由潜水员水下清理；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，拟订解决方案并上报。

（4）敷设主牵引钢缆

海缆敷设船一般为无动力船型，需要拖轮拖带。本项目初步考虑采用设置主牵引钢缆引导敷设船的施工方法：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，由锚艇在电缆设计路由上抛设牵引锚，牵引锚和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终端登陆点侧的地锚相连接，牵引钢缆敷设时采用 DGPS 定位系统。

（5）始端登陆

完成海缆始端登陆施工后，在 GPS 定位下，由潜水员探摸清预先在水下处理好的登陆段沟槽，然后沿登陆段海缆逐个拆除浮运海缆的轮胎，将海缆按设计路由沉放至海床上。

（6）电缆敷埋段施工

主要施工步骤：埋深施工船锚泊就位→缆盘内电缆提升→电缆放入甲板入水槽→电缆放入埋设机腹部→投放埋设机至海床面→牵引施工船敷埋电缆。

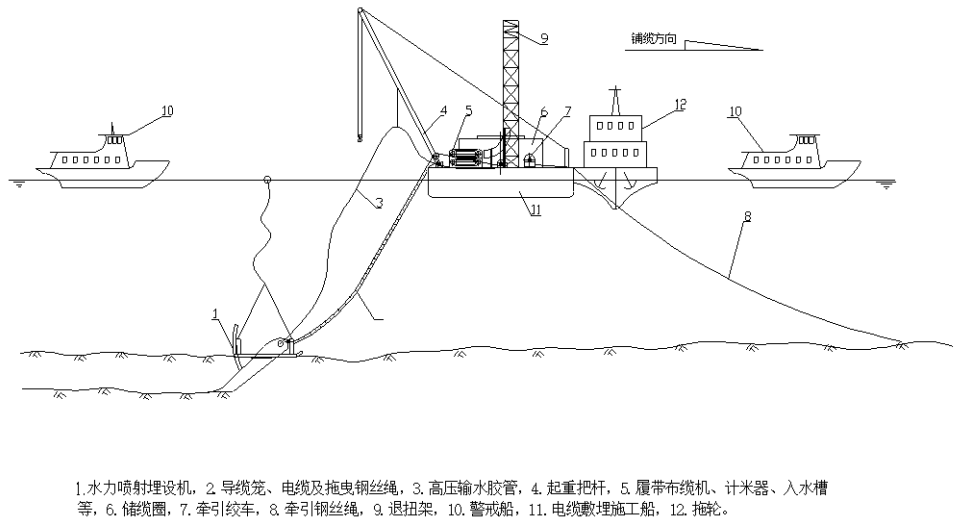


图 2.3.1-8 海底电缆敷设施工

①埋设机投放

电缆放入水槽后，船头电缆装入埋设机腹部，关上门板，采用吊机将埋设机缓缓吊入水中，搁置在海床面上。严格按照埋设机的投放操作规程，按照以下程序进行作业：

埋设机起吊，脱离停放架→电缆装入埋设机腹部，关上门板并在埋设犁电缆出口处设置吊点，保证投放埋设犁时电缆的弯曲半径→埋设机缓缓搁置海床面→潜水员水下检查电缆与埋设机相对位置，并解除吊点→启动高压海水泵→启动埋深监测系统→启动牵引卷扬机→施工船起锚，开始牵引敷埋作业。

②埋深调节与控制

埋设机的埋设速度由卷扬机的绞缆线速度来决定，并由联接于卷扬机的变频器来控制与调节；在施工过程中，电缆埋设深度可通过调节牵引速度、水泵压力、牵引力以及埋设机姿态等手段来控制。采用高压水泵，确保电缆的埋设深度也能达到设计要求。

敷埋时施工船易偏离路由轴线，拟采用拖轮及锚艇，在施工船背水侧或背风侧进行顶推，以纠正埋深施工船的航向偏差。

（7）终端登陆施工

在海缆终端登陆前，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，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。

海底电缆在风机平台（或升压站）的登陆，需穿过与桩基固定的“J”管，登平台前应将钢丝绳置换“J”管内预先设置的牵引绳索，用船上绞车将电缆由海底通过“J”管口牵引至平台塔筒内预定位置。

（8）登陆段施工

项目拟采用定向钻穿越进行海缆登陆方案。

登陆点周边为裸岩地貌，海缆采用陆对海定向钻工艺登陆，通过预埋钢管穿越裸岩后接入锚固井。定向钻入钻点位于岸线向陆一侧 55m，定向钻出钻点位于岸线向海一侧 193m，定向钻施工段全长约 248m。



图 2.3.1-9 定向钻出钻点与入钻点示意图

图 2.3.1-10 定向钻布置示意图（不公开）

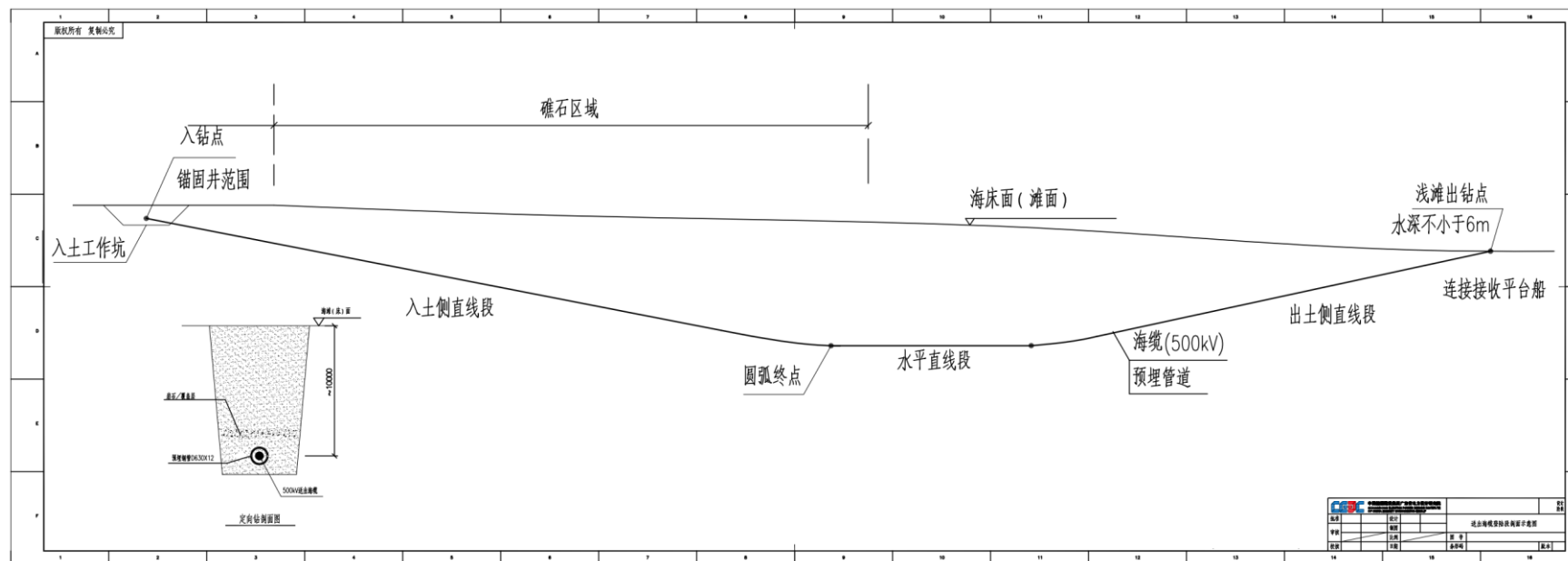


图 2.3.1-11 定向钻剖面示意图

(9) 海缆保护

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆；海上升压站与海上无功补偿站、海上无功补偿站与陆上集控中心之间的 500kV 海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式为定向钻方式，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。

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

3) 海缆敷设完成后，建议在海缆 J 型管出口处采取抛填碎石或水泥压块等措施进行海缆保护。

(10) 海缆埋深及敷设速度

海缆沟槽宽约 0.5m。海缆中间段埋深深度为 3m，穿越航线段的海缆埋深为 4m。

电缆敷埋速度由施工船上牵引卷扬机的绞缆线速度决定，可由与卷扬机连接的变频器来控制与调节，可在 0~16m/min 的速度范围内变化。施工过程中，根据不同土质情况，敷埋速度一般控制在 2~6m/min。

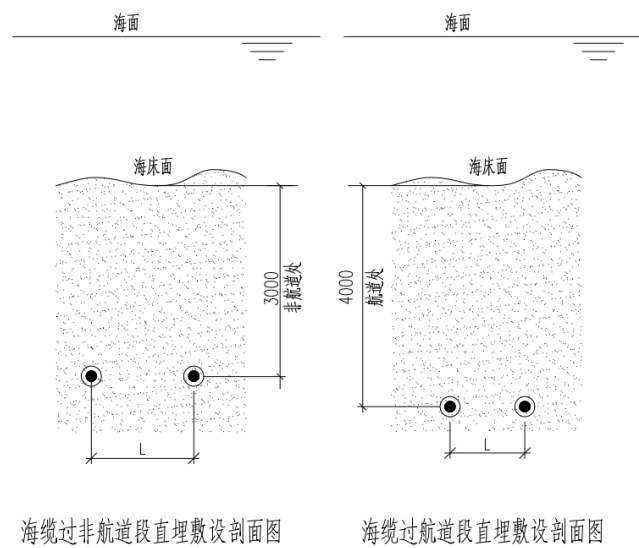


图 2.3.1-12 海缆敷设剖面示意图

2.3.2 施工器械

2.3.2.1 风电机组基础施工

若基础施工各工序均按 1 个工作面来考虑，则基础所需的船机设备见下表：

表 2.3.2-1 风机基础施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
1	主起重船	艘	1	钢管桩起吊、翻身、插打	起升高度 115 米以上，起重能力 2500t 以上，配备导向架
2	液压打桩锤	个	1	钢管桩插打	2700KJ 级以上
3	主起重船	艘	1	上部基础吊装	起重能力 3000t 级以上
4	甲板驳船	艘	2	钢管桩运输	10000t 级以上，每次运输 8 根，自航
5	甲板驳船	艘	2	上部基础运输	15000t 级以上，每次运输 2 个，自航
6	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	5000HP 及以上
7	抛锚艇	艘	4	驳船、起重船等起抛锚	
8	交通艇	艘	1	接送人员	
9	补给船	艘	1	淡水与生活物资补给	
10	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	3000t 级以上

2.3.2.2 风电机组安装

按照风机分体式吊装方案，若采用单个工作面施工需投入的主要设备如下：

表 2.3.2-2 风机安装主要船机配置表

序号	船型	单位	数量	配置设备	船舶用途	备注
1	自升平台船	艘	1	1000t 主吊、250t 辅助吊，深水区域安装腿长不小于 105m，吊机距甲板吊高不小于 165m	风机吊装	
2	自航驳	艘	3	10000t 级	风机部件运输	自航
3	供给船	艘	1		淡水、油料	自航
4	交通艇	艘	2		场内交通	自航
5	多功能驳	艘	1		材料运输	自航

2.3.2.3 海上升压站施工

海上升压站主要施工设备见下表。

表 2.3.2-3 海上升压站主要施工设备配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	浮式起重船	5000t 级及以上	艘	1	导管架基础施工与上部组块现场安装，配 3500kJ 级及以上桩锤
2	起重船	15000t 级及以上	艘	2	钢管桩、导管架的运输，甲板宽不小于 30m，自航
3	甲板驳船	15000t 级	艘	1	上部组块运输；甲板宽不小于 35m，自航
4	拖轮	5000HP	艘	2	拖运船舶

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
5	抛锚艇		艘	2	打桩船、起重船等抛锚
6	交通艇		艘	1	运输人员、物资

2.3.2.4 海上无功补偿站施工

海上无功补偿站主要施工设备见下表。

表 2.3.2-4 海上无功补偿站主要施工设备配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	浮式起重船	5000t 级及以上	艘	1	导管架基础施工与上部组块现场安装，配 3500kJ 级及以上桩锤
2	甲板驳船	15000t 级	艘	2	钢管桩、导管架的运输
3	甲板驳船	15000t 级	艘	1	上部组块运输；自航
4	拖轮	5000HP	艘	2	拖运船舶
5	抛锚艇		艘	2	打桩船、起重船等抛锚
6	交通艇		艘	1	

2.3.2.5 海缆敷设

项目海缆敷设施工主要设备如下：

表 2.3.2-5 海缆敷设主要施工设备配置表

序号	名称			说明	
主要铺缆设备和机具					
1	海缆转盘			储存电缆，载重 8500t 级，轨道转动，机械手盘放	
2	电缆退扭系统			释放电缆扭应力	
3	布缆机			将电缆从储缆圈经电缆桥拉至甲板	
4	机械计米器			计量敷设海缆长度	
5	入水槽			保证电缆入水角度和弯曲半径	
主要电缆埋深设备					
6	电缆埋设机			海底电缆埋深，埋设犁挖深最大可达 5m	
7	高压水泵			供水，扬程 300 米以上	
8	高压水管			将高压水输送至埋设机	
9	导缆笼			保证埋设机至船舷间电缆的张力和弯曲半径	
10	海缆埋深监测系统			监测电缆的张力、埋深、偏差、缆长及水深、流速等	
11	拖曳式潜水器综合监控导航系统			埋设机综合监控与水下导航定位系统	
锚泊设备					
12	牵引绞车			牵引施工船前进	
13	锚机			固定船位	
14	海军锚			大抓力锚	
15	钢丝绳			牵引、锚泊等	
主要船机					
序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
16	带埋设机的铺缆船	艘	1	500kV 海缆敷设	载缆 8500t 及以上

17	带埋设机的铺缆船	艘	2	66kV 海缆敷设	载缆 3500t 及以上
18	卷扬机	台	3	电缆牵引	
19	拖轮	台	3	铺缆船拖航及稳定性控制	
20	抛锚艇	艘	3	铺缆船抛锚	
21	交通艇	艘	3	接送人员	

2.3.3 土石方平衡

本工程共建设 28 台海上风机，1 座海上升压站，1 座海上无功补偿站，500kV 送出海缆、66kV 集电海缆。

28 台风电机组的基础为四桩导管架基础，采用先桩法施工，桩径 3.5m。根据场址区工程地质勘查资料和工程设计资料，桩基施工不涉及嵌岩桩，采用常规沉桩施工不产生钻渣。风机先桩法四桩导管架基础在导管架安装之前需对已完成沉桩的钢管桩内进行清孔，每台基础清孔产生泥沙约 4~8m³，按最大量 8m³ 计算，28 台风机基础产生泥沙约 224m³，可运至集控中心，参与集控中心的土方平衡。单台风机基础水下灌浆量约 50m³，28 台的灌浆量约为 1400m³。

海上升压站和海上无功补偿站采用后桩法施工。在灌浆前对沉桩的钢管桩内进行清孔，预计海上升压站和海上无功补偿站清孔产生泥沙约 24m³，可运至集控中心，参与集控中心的土方平衡。海上升压站和海上无功补偿站基础水下灌浆量约 200m³。

500kV 送出海缆及 66kV 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。

2.3.4 施工进度安排

本项目总施工工期为 14 个月，施工进度安排见下表。

表 2.3.4-1 项目施工进度安排表

序号	项目	工期 (月)	计划 开工 (月)	计划 结束 (月)	备注
1	施工准备	1	T+0	T+1	承包人进场
2	导管架及钢管桩制造加工	8	T+1	T+8	
3	非嵌岩四桩导管架沉桩施工	6	T+3	T+8	1 个工作面
4	导管架基础安装施工	6	T+3	T+9	1 个工作面
5	首批风机机组安装	3	T+4	T+6	首批
	剩余风机机组安装	3	T+7	T+10	3 个工作面

序号	项目	工期 (月)	计划 开工 (月)	计划 结束 (月)	备注
6	66kV 海缆敷设	6	T+5	T+10	工期跨度
7	500KV 送出海缆敷设	3	T+8	T+10	
8	海上升压站与海上无功补偿站上部结构加工制作	8	T+1	T+8	
9	海上升压站与海上无功补偿站下部基础加工制造	7	T+1	T+7	
10	海上升压站与海上无功补偿站基础施工与上部安装调试	1	T+8	T+8	下部基础施工
		1	T+9	T+9	上部组块安装
		2	T+9	T+10	调试
11	首批风机并网调试	5	T+6	T+8	
	剩余风机并网调试	3	T+7	T+10	
12	首批风机投产发电	0	T+10	T+10	里程碑
13	全部风机投产发电	0	T+14	T+14	里程碑

2.3.5 风电场退役拆除方案

参考《国家能源局关于印发〈风电场改造升级和退役管理办法〉的通知〔国能发新能规（2023）45号〕》的相关规定，编制本项目到期后处置方案：

风电场到期处置方式包括评估后升级改造再利用或者退役拆除。鼓励风电场开展改造升级，并网运行达到设计使用年限的风电场应当退役，经安全运行评估，符合安全运行条件可以继续运营。风电场退役，是指一次性解列风电机组后拆除风电场全部设施，并按要求注销发电许可证，修复生态环境。

（1）责任主体：

根据相关法律法规和规程规范要求，发电企业具体实施风电场改造升级和退役以及生态修复，实施中加强全过程安全管理，并按规定接受质量监督。

（2）资金安排：

拆除一台 14~18MW 的风电机组费用约 1000 万元左右，本项目包括 28 台风电机组，总的拆除费用约 2.8 亿元。该资金在项目可行性研究阶段已经纳入项目运营成本，按运营期每年计提费为经营成本用存入专用账户，在拆除期一年内使用。

（3）拆除原则：

- ①施工方法选择必须以安全环保为前提；
- ②设施拆除科学合理，以达到再利用的目的；

③在施工装备允许的前提下，设施要求整装拆除，尽量减少切割量；

④拆除彻底，不留隐患；

⑤恢复环境。

（4）拆除方式：

在运营期结束 6 个月前，向相关政府部门汇报并商定海上风电场处理的范围和时间等事宜，如采用拆除方案，建设单位向相关政府部门汇报并商定海上风电场拆除的范围和时间等事宜，拆除海上风电场的相关设施。采用的拆除方案暂基于现阶段施工水平，随着技术和海上施工设备的不断发展，项目实际拆除时将有更先进的技术供选用作为拆除方案。

针对本项目海上风机运营期结束后，对风电机组、附属设备及基础进行拆除。从安全、高效、环保和节约成本的角度综合考虑，结合目前国内外的海上风机安装施工现状、海上风电施工设备发展现状及发展趋势，制定了以下拆除方案。

①风机拆除方案

海上风机的拆除过程为风机吊装的逆过程，所使用的工具、吊具和工装与吊装过程相同，但它在操作上对风速、浪潮的要求更高。

本方案为分体拆除方案，该方案具有安全精细的特点。可使用自升式风电安装平台进行施工。主要流程：

a.首先拆除叶轮，拆卸叶轮系统电气接线，安装叶轮吊具，拆除叶轮与主机连接螺栓，将叶轮吊下；

b.其次拆除主机，拆卸主机与塔架连接线缆，安装主机吊具，拆除主机与塔架连接螺栓，将主机吊下；

c.然后拆除塔架，安装塔架上吊座，拆塔架螺栓，在塔架下部安装风绳，起吊塔架至地面附近时安装塔架下吊板，将塔架平放在运输船上。

②基础拆除

施工船只在机位附近定位完毕后，安装拆除机械，使用切割机械依次对导管架主腿进行切割，并采用浮式起重船及时起吊拆除的结构，待结构切割完毕，及时将拆除结构吊运至运输驳船上。

完成导管架主体拆除后，提前完成起重船吊钩与泥上桩段的连接，采用水

下切割机械依次切割泥面以上钢管桩，起重船及时吊运至运输驳船上。

具体流程展开如下：

a.切割准备工作

根据项目设计阶段的导管架重量可大致确定风场运营期满后的导管架重量，选择满足起重要求的起重船进行拆除导管架工作。由于导管架在海上已经通过灌浆段与钢管桩连接紧密，所有上部荷载直接作用在钢管桩上，因此在切割之前，先通过吊带将起重船吊钩与导管架连接，使吊钩荷载达到导管架理论重量的 85%，方可进行切割，如下图所示。



图 2.3.5-1 导管架切割之前准备工作示意图

b.切割

根据导管架灌浆段设计不同，切割部位可能涉及到切割灌浆段，钢管桩切割采用常规水下钢材切割设备，灌浆段高强灌浆料部位采用切割机机械切割，切割部位应紧贴泥面，一方面保证钢材最大限度的回收利用，另一方面最大限度减小剩余结构对于海洋环境及通航的影响，如下图所示。



图 2.3.5-2 水下切割示意图

c.起吊回收

切割后将导管架吊起，并固定在运输驳船上，根据运输驳船大小，综合考虑导管架的运输数量及固定方式，导管架运回岸上，回收钢材重复利用、导管架拆除流程见下图所示。



图 2.3.5-3 导管架运输示意图

③海缆拆除

对于重量较重的主海缆，若经检验无法重复利用，为节约工程成本，可将主海缆按照运输驳船规格先进行起吊，后进行切割，由运输驳船运到陆上进行处理。

（5）保障措施：

风电场改造升级项目按照国家有关法律和规定执行。鼓励采用节约用海技术和节约用海模式，提高海域使用效率，对升级改造的依法办理审批手续，项目到期退役后由建设单位负责做好生态修复。

风电场改造升级和退役应依法履行海洋环评、水保（陆域部分建设内容）等相关手续，按照国家生态环境相关的法律法规做好生态环境保护和生态恢复，

不得对生态环境造成永久性破坏。

2.4 项目用海需求

2.4.1 项目用海需求

2.4.1.1 风电机组用海需求

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。红海湾风电场位于汕尾市汕尾港南面海域，本项目为红海湾场址中的华润汕尾红海湾五海上风电项目，本项目按规划装机总容量为50万千瓦（500MW）开发建设，考虑尾流损失后年发电量2159.342GWh，是对广东用电需求的有益补充，有利于推进近海深水区风电开发，满足逐步增加的用电需求。

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024年12月30日）“海上风电项目风机部分用海方式界定为透水构筑物用海，用海范围包括塔架部分和塔架外扩一定距离的保护范围，具体以塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界。”本项目规划场址范围内拟布置28台18MW风电机组，18MW风轮直径为291.12m，轮毂中心和塔筒中心轴线的水平距离为6.458m。计算得18MW风机塔架中心点与风机叶片投影最外缘点连线长度为145.71m。因此1台18MW风机占用海域面积为6.6700公顷，则本项目28台18MW用海需求为186.7600公顷。

2.4.1.2 海上升压站、海上无功补偿站用海需求

本项目拟布置1座500kV海上升压站和1座500kV海上无功补偿站，均为四桩导管架基础结构。海上升压站上部平台最外边缘轮廓平面尺寸为39.85m×43.80m，下部四桩导管架基础根开为34.20m×37.20m，桩径为4.5m；海上无功补偿站上部平台最外缘尺寸为41.50m×37.15m，下部四桩导管架基础根开为33.8m×38.9m，桩径为3.8m。综合考虑上部平台及下部导管架结构尺寸，海上升压站垂直投影最外缘尺寸为39.85m×43.80m，海上无功补偿站垂直投影

最外缘尺寸为 41.50m×42.70m。因此海上升压站需占用海域面积为 0.1745 公顷，海上无功补偿站需占用海域面积为 0.1772 公顷。

本项目海上升压站、海上无功补偿站用海面积根据《海籍调查规范》“透水构筑物用海有安全防护要求的透水构筑物用海在透水构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线基础上，外扩不小于 10m 保护距离为界”进行界定，则海上升压站、海上无功补偿站申请用海面积由垂直投影外缘向外扩 10m 确定申请用海范围。本项目海上升压站用海需求为 0.3818 公顷，海上无功补偿站用海需求为 0.3856 公顷。

2.4.1.3 集电海缆用海需求

在海上风电的设计过程中集电海缆是极为重要的一环，连接风机与海上升压站的集电线路通过合理的设计可以有效降低电能损耗，提高运行的可靠性。集电海缆除了汇集、传输电能外，其内部还有光纤单元，作为风电场通信及海缆监测信号的通道，功能“二合一”的海缆一方面节约了海底电缆敷设通道资源，另一方面，这种集合式的结构使纤弱的光缆得到了更好的保护，增强了可靠性。

本项目风电机组发出电能需通过 66kV 集电海底电缆接入海上升压站。本项目风电场址内集电海缆全长约 45.45km，66kV 海底电缆三芯集电电缆最大外径为 190.1mm。

根据项目需要，66kV 集电海缆占用海域面积为 $190.1 \times 45.45 \times 10^{-4} = 0.8640$ 公顷。根据《海籍调查规范》中海底工程用海对电缆管道的规定：“以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界”，再结合海底电缆的路由布置，考虑 66kV 集电海缆与风机基础、海上升压站用海重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机基础和海上升压站用海优先，海底电缆次之，扣除风机、海上升压站用海与 66kV 集电海缆重叠面积，计算得出本项目 66kV 集电海缆用海需求为 76.9472 公顷。

2.4.1.4 500kV 送出海底电缆用海需求

根据项目需要，风电机组发出电能通过集电海底电缆接入海上升压站后需通过 500kV 送出海底电缆接入海上无功补偿站，最终送入陆上集控中心。500kV

送出海底电缆最大外径为 298.3mm，500kV 送出海底电缆长度为 83.72km，500kV 送出海底电缆占用海域面积为 $298.3 \times 83.72 \times 10^{-4} = 2.4974$ 公顷。

根据《海籍调查规范》中海底工程用海对电缆管道的规定：“以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界”，再结合海底电缆的路由布置，考虑本项目 500kV 送出海底电缆与海上升压站、海上无功补偿站用海范围重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即海上升压站、海上无功补偿站用海优先，海底电缆次之，扣除海上升压站、海上无功补偿站用海与 500kV 送出海底电缆重叠面积；本项目送出海缆用海范围与华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海重叠，本项目申请范围对重叠部分进行避让。此外，由于本项目送出海缆与深能汕尾红海湾六海上风电项目近岸段敷设距离近，不满足电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离，两个项目送出海缆埋深基本一致，且同时申请用海，为了避免出现水平方向的权属重叠，本项目与深能汕尾红海湾六海上风电项目对送出海缆近岸段之间的海域按照均分进行用海申请。计算得出本项目 500kV 送出海底电缆用海需求为 164.6442 公顷。

2.4.2 申请用海情况

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/T 123-2009），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）。项目申请用海总面积为 429.1188 公顷，其中透水构筑物用海面积为 187.5274 公顷，海底电缆管道用海面积为 241.5914 公顷。项目 500kV 送出海缆和 66kV 集电海缆采用立体确权，确权空间范围为底土，500kV 送出海缆空间确权范围为-40.9m~-5.0m（1985 国家高程基准），66kV 集电海缆空间确权范围为-43.8m~-39.0m（1985 国家高程基准）。根据广东省政府2022年批复海岸线，本项目申请用海范围不占用岸线，实际建设采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线 0.8m，对岸线原有形态和生态功能不产生影响。本项目风机的

设计服务年限为 25 年，工程建设期为 14 个月，因此，项目申请用海期限为 27 年。

表 2.4.2-1 项目申请用海面积统计表

用海单元	用海方式	用海面积（公顷）	各用海方式用海面积合计（公顷）
风机	透水构筑物	186.7600	187.5274
海上升压站		0.3818	
海上无功补偿站		0.3856	
66kV 集电海缆	海底电缆管道	76.9472	241.5914
500kV 送出海缆		164.6442	
项目用海总面积（公顷）			429.1188

2.5 项目用海必要性

2.5.1.1 项目建设必要性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本），本项目属于第一类鼓励类中的“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”，为鼓励类符合国家产业结构政策要求。根据《市场准入负面清单》（2025 年版），在获得许可的前提下，项目不属于禁止准入类，与《市场准入负面清单》要求相符。

（1）适应国家新能源政策和发展趋势

2020 年 12 月 16 日至 18 日召开的中央经济工作会议明确要求：我国二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值，力争 2060 年前实现碳中和。要抓紧制定 2030 年前碳排放达峰行动方案，支持有条件的地方率先达峰。要加快调整优化产业结构、能源结构，推动煤炭消费尽早达峰，大力发展新能源，加快建设全国用能权、碳排放权交易市场，完善能源消费双控制度。风电作为发电成本最接近常规能源的新能源之一，将是实现碳达峰、碳中和目标的重要支撑。

本风电场位于汕尾市汕尾港南面海域，离岸最近距离约 21.8km，是汕尾以及广东重要的海上风电项目，其建设能够适应国家新能源发展的政策需求，有效促进节能减排。

（2）推动可再生资源开发利用，有利于经济与环境的协调发展

广东省大陆海岸线总长达 4000km 以上，海域面积广阔，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，风能资源不仅是广东省能源供应的有效补充，地区经济发展的持续助力，而且作为绿色电能，风电的发展将有效减少二氧化硫（SO₂）、二氧化碳（CO₂）和氮氧化物（NO_x）等多种大气污染物的排放。

本项目的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，社会效益显著。

（3）有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展

目前，广东省海上风电尚处于起步阶段，本风电场位于汕尾市附近海域，具备良好的开发条件。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。

（4）开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展

本工程的建设充分利用了汕尾沿海资源，对于地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展起到带动作用，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，有利于地区经济社会的全面发展。随着海上风电场的相继开发，海上风电将为沿海地区开辟新的海洋经济增长点，对拉动地方经济的发展起到积极作用。

（5）与《“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相符

2022 年 1 月，国家发改委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》（以下简称《规划》）。主要阐明我国能源发展方针、主要目标和任务举措，是“十四五”时期加快构建现代能源体系、推动能源高质量发展的总体蓝图和行动纲领。

《规划》强调，要大力发展非化石能源加快发展风电、太阳能发电。全面推进风电和太阳能发电大规模开发和高质量发展，优先就地就近开发利用，加快负荷中心及周边地区分散式风电和分布式光伏建设，推广应用低风速风电技术。在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续整装开发条件、符合区域生态环境保护等要求的地区，有序推进风电和光伏发电集中式开发，

加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用，推广光伏发电与建筑一体化应用。开展风电、光伏发电制氢示范。鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水区岸区域布局。积极发展太阳能热发电。

根据《规划》中“专栏 3”、能源绿色低碳转型工程中的风电和光伏发电：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。

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。本项目建设符合《“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。

（6）项目建设符合《2030 年前碳达峰行动方案》的要求

2021 年 10 月 26 日，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》（以下简称《方案》）。《方案》围绕贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和的重大战略决策，按照《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》工作要求，聚焦 2030 年前碳达峰目标，对推进碳达峰工作作出总体部署。

《方案》提出能源绿色低碳转型行动，要求大力发展新能源。全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。加快智能光伏产业创新升级和特色应用，创新“光伏+”模式，推进光伏发电多元布局。坚持陆海并重，推动风电协调快速发展，完善海上风电产业链，鼓励建设海上风电基地。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。因

地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物天然气。探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用。进一步完善可再生能源电力消纳保障机制。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。

面对全球气候和环境挑战，大力发展可再生能源已成为能源发展的必然趋势。我国承诺在 2020 年碳排放强度下降 40%~45%，非化石能源占比达到 15% 的基础上，计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到 2030 年非化石能源占一次能源的比重提高到 20% 左右。在调整能源结构和应对气候变化的双重约束下，大力发展风电、太阳能等技术成熟、经济性较好的可再生能源就显得十分重要。

广东省省内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

本项目的开发建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现 2030 年前碳达峰目标有着重要的意义。本项目建设符合《2030 年前碳达峰行动方案》的要求。

（7）项目建设符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》

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。”

本项目为华润汕尾红海湾五海上风电项目，位于新增的汕尾红海湾场址内，开发容量为 500MW。因此，本项目建设符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》。

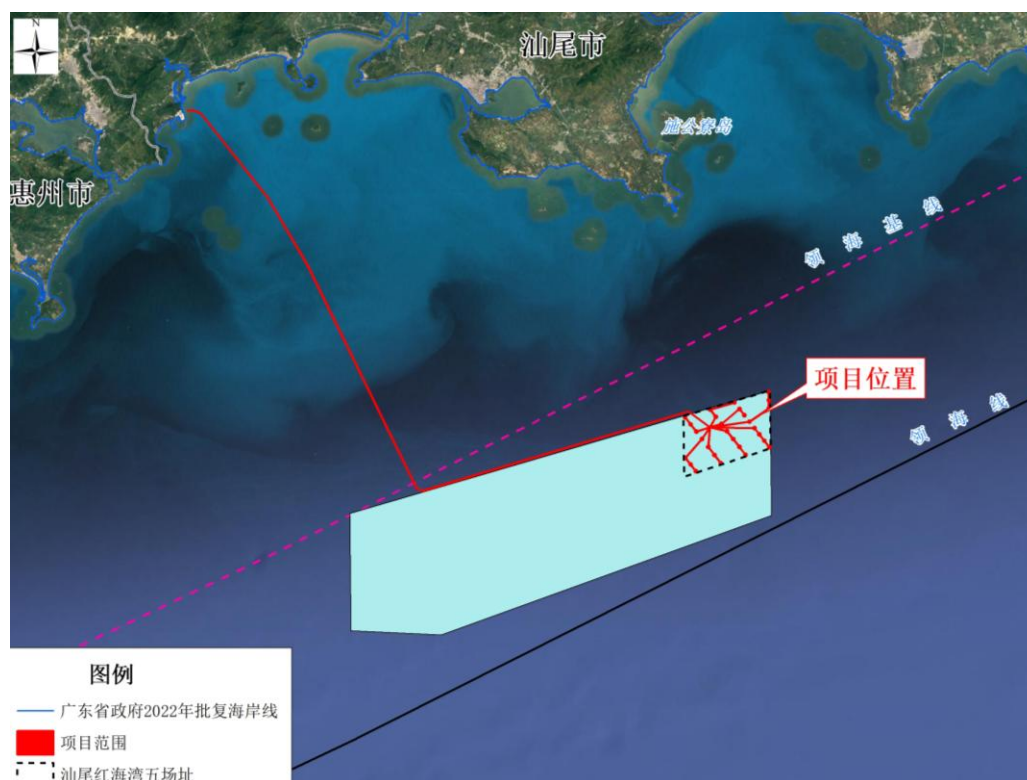


图 2.5.1-1 本项目与《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》叠图

（8）项目建设符合《广东省能源发展“十四五”规划》要求

《广东能源发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）明确，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 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。

《规划》提出，坚持生态优先、绿色发展，持续优化能源结构，大力发展非化石能源，扩大天然气利用规模，积极争取省外清洁能源，推进煤炭清洁高效利用，加快构建以新能源为主体的新型电力系统，坚持能源节约与高效利用

并举，促进重点用能领域能效提升，开创清洁低碳、高效节约的用能新局面。

《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，积极推进产城融合，着力打造风电产业生态系统，打造国际风电城，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、变流器、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。

本项目的建设符合《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。

（9）项目建设符合《广东省现代化海洋牧场发展总体规划（2024-2035 年）》要求

《广东省现代化海洋牧场发展总体规划（2024-2035 年）》提出：创新海上新能源与深远海养殖空间立体融合。加强现代化海洋牧场与海上风电、光伏发电、波浪能发电等新能源融合开发关键技术研发，创新海上新能源开发与鱼贝藻养殖融合发展模式。在确保功能相容、安全运行的前提下，鼓励在阳江、汕尾开展海上风电与深远海养殖在结构、空间、功能、运维上深度融合试点，共享共用海域空间和海上设施，构建“绿色能源+蓝色粮仓”深度融合的海洋空间立体开发模式。新建海上风电场项目应充分预留适宜现代化海洋牧场建设的海域空间，结合海上风电规划在湛江、阳江、汕尾、揭阳、汕头、江门、惠州等地海域划示风渔融合规划区。探索发展符合广东海况的渔光互补发展模式，在科学论证、合理选址的基础上，实现“板上光伏发电+板下渔业养殖”的有机结合。推动深远海养殖与波浪能一体化研究，鼓励研发新型波浪能与海洋渔业结

合的养殖技术与装备。

本项目风场将配套海洋牧场，拟在风机与风机间设立海洋牧场网箱，本项目海洋牧场将单独立项，单独办理用海。因此，本项目与《广东省现代化海洋牧场发展总体规划（2024-2035 年）》创新海上新能源与深远海养殖空间立体融合的要求相符合。

综上，本项目的建设符合国家可持续、绿色、低碳的能源发展政策，适应广东海上风电发展规划，有利于推动可再生能源的开发利用和节能减排，有利于带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，促进地方经济的持续发展。本项目建设是必要性。

2.5.2 项目用海必要性分析

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。红海湾风电场位于汕尾市汕尾港南面海域，登陆点规划于深汕合作区小漠街道。本项目为华润汕尾红海湾五海上风电项目，位于红海湾风电场场址东侧偏北位置，拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站。

本项目作为海上风电场项目，项目的海域使用是由其工程建设的特殊性质及项目建设的必要性决定的。本项目的主体工程全部位于海上，项目海上风电机组发出的电能通过 66kV 集电海缆接入海上升压站，用于收集 28 台风机生产的电力，由海上升压站、海上无功补偿站通过 500kV 海底电缆送出至陆上集控中心。为减少能量损失和成本开支，风电机组产生的电能需采用高压输电方式进行传输，因此需要建设海上升压站。在远距离海上风电交流输电系统中，由于海缆电容特性，当输送距离较长输送电压等级高，容易出现海缆容性充电功率过高和过电压的问题，考虑海缆载流量的限制，必须在海缆路由中设置海上无功补偿站以补偿海缆的充电功率。海底电缆是连接风机、海上升压站、海上无功补偿站和陆上集控中心的纽带。风机、海上升压站、海上无功补偿站架设在海面上方，基座为导管架基础结构，桩基插入海床，必将占用一定的海域。海底电缆埋入海床以下，必将占用一定的海床及底土。

因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风机、海上升压站、海上无功补偿站及电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

3 项目所在海域概况

3.1 海洋资源概况

3.1.1 岸线资源

根据广东省政府 2022 年批复海岸线统计，本项目论证范围内的海岸线共 70.07km，包括人工岸线 31.14km，自然岸线 38.46km，其他岸线 0.47km。

3.1.2 滩涂资源

根据海图《碣石湾至珠江口》（15300）水深资料，统计项目论证范围内涉及的滩涂面积约 6.5 公顷。

3.1.3 岛礁资源

根据《中国海域海岛地名志 广东省第二册》，本项目论证范围内涉及到的岛礁资源有 28 个，均为无居民海岛。无居民海岛已开发的有 3 个，分别为东碇屿、江牡岛和芒屿岛；未开发的有 25 个，分别为东虎屿、二到排、逢河岛、海刺长岛、海丰鸡心石、鸡心石二岛、鸡心石三岛、鸡心石四岛、鸡心石五岛、鸡心石一岛、江牡二岛、江牡三岛、江牡一岛、了哥咀岛、了哥咀仔岛、龙虾头岛、鸬鹚洲、芒屿南岛、排尾、雀咀尾、三到排、三到排东岛、杀猪石、杀猪石东岛和西碇屿。与本项目距离最近的为龙虾头岛，位于本项目送出海缆北侧约 1.0km。

3.1.4 港口资源

根据《汕尾港总体规划（2021-2035 年）》，汕尾港规划的港区由汕尾港区、汕尾新港区、海丰港区、陆丰港区共四个港区组成。其中距离项目较近的海丰港区主要发展煤炭、矿石等大宗散货，成品油、LNG 等液体散货以及集装箱运

输。规划的海丰港区在发展运输的同时，也将在带动工业开发、促进贸易发展、支撑腹地工业化与国际化等方面发挥重要作用。海丰港区主要规划小漠港区，发展 2~10 万吨级泊位。

3.1.5 渔业资源

3.1.5.1 调查概况

春季调查资料引用《深能汕尾红海湾六海上风电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）、《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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 4 月在项目附近海域进行的春季渔业资源现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

秋季调查资料引用《2024 年汕尾红海湾海上风电场（场址五含线缆）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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 11 月在项目附近海域进行的秋季渔业资源现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

3.1.5.2 渔业资源调查结果

1、鱼卵仔稚鱼

（1）春季

①风电场区域

1) 种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中，共出现了鱼卵 18 种，其中包括鲈形目 9 种，鲷形目 3 种，鲱形目、鳗鲡目和鮠形目各 2 种；仔稚鱼 29 种，其中包括鲈形目 17 种，鲷形目和鲱形目各 3 种，鲱形目 2 种，灯笼鱼目、鳗鲡目、鮠形目和鮠形目各 1 种。

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 96ind，仔稚鱼 65ind；鱼卵平均密度为 0.373ind/m³，仔稚鱼平均密度为 0.246ind/m³。SW34 站位鱼卵密

度最高，密度为 $1.261\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW19 站位，密度为 $0.783\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 14 个站位采获到鱼卵；SW39 站位仔稚鱼密度最高，密度为 $0.821\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW19 站位，密度为 $0.560\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 12 个站位采获到仔稚鱼。

3) 主要种类的数量分布（水平拖网）

a、鳎科（Leiognathidae）

本次水平拖网调查出现的鳎科鱼卵共有 609 粒，出现在 6 个站位，鳎科鱼卵在调查海域中 SW26 站位数量最多。

b、鱯科

本次水平拖网调查出现的鱯科鱼卵共有 544 粒，出现在 6 个站位，鱯科鱼卵在调查海域中 SW34 站位数量最多，鱯科仔稚鱼共有 2 尾，出现在 SW19 站位。

②送出海底电缆路由区域

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，鲱形目和鲹形目各 2 种，鳗鲡目和鲈形目各 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、鲹形目、鲈形目和鲱形目各 1 种。

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 $4.223\text{ind}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.630\text{ind}/\text{m}^3$ 。SW04 站位鱼卵密度最高，密度为 $19.394\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW01 站位，密度为 $12.632\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 14 个站位采获到鱼卵；SW13 站位仔稚鱼密度最高，密度为 $1.555\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW06 站位，密度为 $1.534\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 13 个站位采获到仔稚鱼。

3) 主要种类的数量分布（水平拖网）

a、鳎科（Leiognathidae）

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）

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。鯷科仔稚鱼共有 27 尾，出现在 8 个站位。

(2) 秋季

①种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中，共出现了鱼卵 15 种，其中包括鲈形目 9 种，鲱形目和鲾形目各 2 种，鳗鲡目和仙女鱼目各 1 种；仔稚鱼 9 种，其中包括鲈形目 5 种和鲱形目 4 种。

②数量分布

调查 24 个站位的鱼卵仔稚鱼垂直拖网共采到鱼卵 15ind，仔稚鱼 7ind；鱼卵平均密度为 $0.137\text{ind}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.053\text{ind}/\text{m}^3$ 。SW04 站位鱼卵密度最高，密度为 $1.796\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW06 站位，密度为 $0.305\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 10 个站位捕获到鱼卵；SW04 站位仔稚鱼密度最高，密度为 $0.599\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW13 站位，密度为 $0.441\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 5 个站位捕获到仔稚鱼。

③主要种类的数量分布（水平拖网）

1) 鲹科 (Carangidae)

本次调查出现的鲹科鱼卵共有 112 粒，出现在 16 个站位，鲹科鱼卵在调查海域中 SW06 站位数量最多。

2) 笛鲷科 (Lutjanidae)

本次水平拖网调查出现的笛鲷科鱼卵共有 77 粒，出现在 8 个站位，笛鲷科鱼卵在调查海域中 SW34 站位数量最多。

2、游泳生物

(1) 春季

①风电场区域

1) 种类组成

此次项目船号为粤汕城渔 20368，使用的网具为网上纲 22.5m、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 72 科 197 种，其中：鱼类 130 种，占总种类数的 65.99%，虾类 29 种（其中虾蛄类 7 种），占总种类数的 14.72%，

蟹类 30 种，占总种类数的 15.23%，头足类 8 种，占总种类数的 4.06%。

2) 渔获率

a、尾数渔获率

本次调查该海区 14 个站位的游泳动物尾数渔获率范围为 (283~524) ind/h, 平均尾数渔获率为 437ind/h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 196ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 45.38%；虾类平均尾数渔获率为 131ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 30.16%；蟹类平均尾数渔获率为 92ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 20.20%；头足类的平均尾数渔获率为 17ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 4.07%。

b、重量渔获率

本次调查该海区 14 个站位的游泳动物范围为 (3.742~10.005) kg/h，平均重量渔获率为 7.072kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 4.462kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 62.53%；虾类平均重量渔获率为 0.897kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 13.68%；蟹类平均重量渔获率为 0.928kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 13.70%；头足类的平均重量渔获率为 0.785kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 10.09%。

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 $(10.188\sim18.862)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间，平均值为 $15.553\times10^3\text{ind/km}^2$ ，尾数资源密度最高的站位为 SW35 站位，最低为 SW31 站位。

其中，鱼类尾数资源密度分布范围在 $(3.276\sim10.276)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间，平均值为 $6.980\times10^3\text{ind/km}^2$ ，其中 SW42 站位最高，SW34 站位最低；虾类尾数资源密度分布范围在 $(2.340\sim7.127)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间，平均值为 $4.669\times10^3\text{ind/km}^2$ ，其中 SW35 站位最高，SW31 站位最低；蟹类尾数资源密度分布范围在 $(0.684\sim8.423)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间，平均值为 $3.284\times10^3\text{ind/km}^2$ ，其中 SW26 站位最高，SW31 站位最低；头足类尾数资源密度分布范围在 $(0\sim1.656)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间，平均值为 $0.620\times10^3\text{ind/km}^2$ ，其中 SW24 站位最高，SW34 站

位最低。

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（134.701~344.708）kg/km²之间，平均值为 251.550kg/km²，SW24 站位最高，SW34 站位最低。

其中，鱼类重量资源密度变化范围在（75.558~236.724）kg/km²之间，平均值为 158.678kg/km²，其中 SW42 站位最高，SW34 站位最低；虾类重量资源密度变化范围在（16.595~60.727）kg/km²之间，平均值为 32.015kg/km²，其中 SW38 站位最高，SW27 站位最低；蟹类重量资源密度变化范围在（17.279~53.204）kg/km²之间，平均值为 33.051kg/km²，其中 SW44 站位最高，SW42 站位最低；头足类重量资源密度变化范围在（0~65.515）kg/km²之间，平均值为 27.807kg/km²，其中 SW42 站位最高，SW34 站位最低。

4) 优势种

相对重要性指数显示，本次调查游泳动物无优势种（ $IRI \geq 1000$ ），其中优势度较高的有为变态蟳（*Charybdis variegata*）、颈斑项鲂（*Nuchequula nuchalis*）、杜氏尾枪乌贼（*Uroteuthis duvauceli*）等。

5) 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 37~64 种，多样性指数变化范围在 3.352~4.997 之间，平均值为 4.603，其中 SW38 站位最高，SW26 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.643~0.884 之间，平均值为 0.814，其中 SW27 站位最高，SW26 站位最低；丰富度指数范围在 4.015~7.057 之间，平均值为 5.694，丰富度指数以 SW21 站位最高，SW26 站位最低。

②送出海底电缆路由区域

1) 种类组成

此次项目船号为粤汕城渔 20368，使用的网具为网上纲 22.5m、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%。

2) 渔获率

a、尾数渔获率

本次调查该海区 14 个站位的游泳动物尾数渔获率范围为 (216~913) ind/h, 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%。

b、重量渔获率

本次调查该海区 14 个站位的游泳动物重量渔获率范围为 (3.813~14.098) kg/h, 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%。

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 $(7.776\sim32.865)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $15.263\times10^3\text{ind/km}^2$, 尾数资源密度最高的站位为 SW16 站位, 最低为 SW01 站位。

其中, 鱼类尾数资源密度分布范围在 $(3.636\sim10.943)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $7.358\times10^3\text{ind/km}^2$, 其中 SW16 站位最高, SW13 站位最低; 虾类尾数资源密度分布范围在 $(1.008\sim7.415)\times10^3\text{ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $3.716\times10^3\text{ind/km}^2$, 其中 SW16 站位最高, SW06 站位最低; 蟹类尾数资源密度分布范围在 $(0.377\sim13.787\times10^3)\text{ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $3.760\times10^3\text{ind/km}^2$, 其中 SW16 站位最高, SW17 站位最低; 头足类尾数资源密度分布范围在 $(0\sim0.972\times10^3)\text{ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $0.428\times10^3\text{ind/km}^2$, 其中 SW12 站位最高, SW04 和 SW17 站位最低。

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（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，鱼类重量资源密度变化范围在（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；虾类重量资源密度变化范围在（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；蟹类重量资源密度变化范围在（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；头足类重量资源密度变化范围在（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) 优势种

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，为颈斑项鰩（*Nuclequula nuchalis*）。其总渔获重量为 7.233kg，占游泳动物总渔获重量的 7.24%；颈斑项鰩的总尾数渔获量为 716 个，占游泳动物总渔获尾数的 11.92%。

5) 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。

（2）秋季

①种类组成

此次项目船号为粤陆渔 53100，使用的网具为网上纲 120m、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 17 目 72 科 191 种，其中：鱼类 130 种，占总种类数的 68.06%，虾类 20 种（其中虾蛄类 7 种），占总种类数的 10.47%，蟹类 28 种，占总种类数的 14.66%，头足类 13 种，占总种类数的 6.81%。

②渔获率

1) 尾数渔获率

本次调查该海区 24 个站位的游泳动物尾数渔获率范围为 (119~968) ind/h, 平均尾数渔获率为 505ind/h。其中, 鱼类平均尾数渔获率为 250ind/h, 占游泳动物平均尾数渔获率的 49.59%; 虾类平均尾数渔获率为 250ind/h, 占游泳动物平均尾数渔获率的 18.46%; 蟹类平均尾数渔获率为 93ind/h, 占游泳动物平均尾数渔获率的 28.60%; 头足类的平均尾数渔获率为 17ind/h, 占游泳动物平均尾数渔获率的 3.35%。

2) 重量渔获率

本次调查该海区 24 个站位的游泳动物重量渔获率范围为 (1.497~18.078) kg/h, 平均重量渔获率为 7.350kg/h。其中, 鱼类平均重量渔获率为 4.201kg/h, 占游泳动物平均重量渔获率的 57.16%; 虾类平均重量渔获率为 1.071kg/h, 占游泳动物平均重量渔获率的 14.57%; 蟹类平均重量渔获率为 1.790kg/h, 占游泳动物平均重量渔获率的 24.35%; 头足类的平均重量渔获率为 0.288kg/h, 占游泳动物平均重量渔获率的 3.91%。

③渔业资源密度

1) 尾数资源密度

本次调查 24 个站位尾数资源密度范围在 $(5.355 \sim 43.557) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $22.705 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$, 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 $(2.160 \sim 25.468) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $11.258 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$, 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 $(0.045 \sim 18.314) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $4.192 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$, 其中 SW08 站位最高, SW11 和 SW24 站位最低; 蟹类尾数资源密度分布范围在 $(0.180 \sim 16.424) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $6.493 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$, 其中 SW17 站位最高, SW28 站位最低; 头足类尾数资源密度分布范围在 $(0 \sim 2.250) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间, 平均值为 $0.761 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$, 其中 SW11 站位最高, SW01 和 SW04 站位最低。

2) 重量资源密度

本次调查24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330.724kg/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(41.217~381.344) kg/km²之间, 平均值为189.043kg/km², 其中 SW35 站位最高, SW04 站位最低; 虾类重量资源密度变化范围在(0.045~264.039) kg/km²之间, 平均值为48.201kg/km², 其中 SW08 站位最高, SW24 站位最低; 蟹类重量资源密度变化范围在(5.490~306.650) kg/km²之间, 平均值为80.540kg/km², 其中 SW08 站位最高, SW28 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12.940kg/km², 其中 SW26 站位最高, SW01 和 SW04 站位最低。

④优势种

相对重要性指数显示, 本次调查游泳动物优势种($IRI \geq 1000$)共3种, 分别为微异类梭蟹(*Eodemus subtilis*)、赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)和红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*), 微异类梭蟹为第一优势种, 其总渔获重量为3.752kg, 占游泳动物总渔获重量的2.13%; 微异类梭蟹的总尾数渔获量为1462个, 占游泳动物总渔获尾数的12.07%。

⑤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3.486~4.622之间, 平均值为4.056, 其中SW31 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0.741, 其中SW01 站位最高, SW19 站位最低; 丰富度指数范围在3.324~6.745之间, 平均值为5.096, 丰富度指数以SW31 站位最高, SW04 站位最低。

3.1.6 风能资源

本节选取风电场址内的测风平台2024年1月7日至2025年1月7日测风资料进行风能参数分析。

根据周年测风成果, 经代表年订正后本场址100m 高度代表年平均风速为8.17m/s, 年平均风功率密度为515W/m²; 轮毂高度代表年平均风速为8.40m/s,

年平均风功率密度为 551W/m^2 。参考《海上风力发电场设计标准（GB/T 51308-2019）》，本场址风功率密度等级为 4 级。本项目所在海域风向分布比较集中，主导风向为 ENE，主导风能方向为 ENE。本项目 15m/s 区间参考湍流强度范围在 $0.065\sim 0.069$ 之间，湍流强度均属于 IEC C 类。本工程场址可选用 IEC C 类及以上风电机组。本工程综合风切变指数取值为 0.052 。本工程轮毂高度处湿空气密度为 1.161kg/m^3 。根据已开展的《华润汕尾红海湾五海上风电项目台风影响论证专题报告（审定稿）》，本场址轮毂高度处标准空气密度下 50 年一遇 10min 平均风速为 55.6m/s ，50 年一遇 3s 极大风速为 72.3m/s 。

3.1.7 航道、锚地资源

（1）航道（路）资源

本项目送出海底电缆穿越鲐门航道、马宫航道、汕尾西线航道、大星山甲子航道、粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）、粤东沿海近岸航路和内航路；本项目送出海缆基本与深汕合作区小漠港进出港航路平行，在近岸段部分涉及；小漠航道、青星航道分别位于本项目送出海缆西侧约 2.7km 、 7.2km ；汕尾港进出港航路位于本项目场址东北侧约 5.8km ；外航路位于本项目场址南侧约 9.1km 。

鲐门航道起止点为鲐门渔货码头至马洋排，规划等级 5000 吨级，航道长度 33.2km ，为自然航道，水深 $2.8\text{米}\sim 4.5\text{米}$ ，可航水域宽 120米 ，泥沙底；马宫航道起止点为马宫渔货码头至马洋排，规划等级 5000 吨级，航道长度 22.6km ，为自然航道，水深 $3.0\text{米}\sim 4.5\text{米}$ ，可航水域宽 120米 ，泥沙底；汕尾西线航道起止点为炮台油库码头至东碇屿，规划等级 1 万吨级，航道长度 35.4km ；大星山甲子航道设计代表船型为 1 万吨级海轮，规划航道底高程为 -10.35m 。

粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）线由汕尾遮浪角至深圳大鹏湾，全长 65.1海里 ，航宽 2海里 。粤东沿海近岸航路属于中国沿海支线航路的重要组成部分，是船舶进出广东沿海港口间的重要通道，航宽 $1\sim 2\text{海里}$ 。内航路为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，航宽 $3\sim 4\text{海里}$ 。外航路为干线航路，东接福建沿海外航路，西接琼州海峡

中水道，航路里程 438.2 海里，航宽约 6~8 海里。

小漠航道从小漠港区至外海全长 8km，现状航道等级为 10 万吨级航道，航宽 375m，航道底高程-16.2m。深汕合作区小漠港进出港航路由外海至深汕合作区小漠港方向，全长 31.2 海里，宽为 6 海里。汕尾港进出港航路航宽 8 海里。

(2) 锚地资源

根据《汕尾港总体规划（2021-2035 年）》，本项目周边现有的锚地有 7 个，分别为装运危险货物船舶锚地、检疫锚地、过驳锚地、引航锚地、1 号引航检疫锚地、2 号引航检疫锚地和大型船舶临时避风锚地。其中距离本项目海底电缆较近的为大型船舶临时避风锚地（东侧，0.6km）、1 号引航检疫锚地（西侧，1.7km）和 2 号引航检疫锚地（西侧，0.8km），其余距离本项目 5km 外。另外还分布有 2 个规划锚地，分别位于本项目西侧 6.9km、5.7km。

3.1.8 矿产资源

根据《广东省海砂开采三年行动计划（2020-2022 年）》，2020-2022 年共安排海砂开采区 25 片和海砂开采储备区 14 片，总面积约 67.23 平方千米，海砂总资源量（含泥）约 3.95 亿立方米，主要分布在湛江、珠海、江门、阳江、汕尾、揭阳、汕头和茂名等 8 市海域。本项目位于汕尾市汕尾港南面海域，论证范围内未涉及海砂开采区，距离汕尾市计划海砂区约 25.0km，距离汕尾储备海砂区约 26.5km，本项目距离海砂区较远，对海砂开采没有影响。

3.1.9 旅游资源

汕尾市海岸线上分布着众多沙滩、奇岩、岛礁、古迹等滨海迷人风光，“神、海、沙、石”兼备，具有“阳光、沙滩、海水、空气、绿色”5 个旅游资源基本要素，历史、人文内容也十分丰富，适于开发观光旅游、购物旅游、宗教旅游。金厢、遮浪、捷胜等地海滩连绵，安全系数高、沙质细软，海水水质好，开发滨海旅游条件得天独厚，是海水浴场、日光浴场、水上运动场优良场所。其中距离项目较近的主要是遮浪旅游资源。遮浪山、海、湖、角风光旖旎，

是国家重点海水浴场之一。

3.2 海洋生态概况

3.2.1 区域气候与气象

3.2.1.1 气温

根据汕尾气象站 2004-2023 年观测数据，汕尾气象站 7 月气温最高（28.82℃），1 月气温最低（15.34℃），近 20 年极端最高气温出现在 2005 年 7 月 18 日（38℃），近 20 年极端最低气温出现在 2016 年 1 月 25 日（2.2℃）。气温呈现稳步上升趋势，2021 年年平均气温最高（23.83℃），2011 年年平均气温最低（22.12℃），无明显周期。

3.2.1.2 降水量

根据汕尾气象站 2004-2023 年观测数据，汕尾气象站 06 月降水量最大（455.52mm），12 月降水量最小（25.6mm），近 20 年极端最大日降水出现在 2020 年 6 月 8 日（291.8mm）。近 20 年年降水总量无明显变化趋势，2006 年年总降水量最大（2649mm），2009 年年总降水量最小（1111.7mm），周期为 2~3 年。

3.2.1.3 相对湿度

根据汕尾气象站 2004-2023 年观测数据，汕尾气象站 6 月平均相对湿度最大（85.12%），12 月平均相对湿度最小（65.44%）。汕尾气象站近 20 年年平均相对湿度无明显变化趋势，2009 年年平均相对湿度最大（73.00%），2012 年年平均相对湿度最小（81.25%），周期为 6~7 年。

3.2.1.4 日照

根据汕尾气象站 2004-2023 年观测数据，汕尾气象站 7 月日照最长（223.41 小时），3 月日照最短（115.36 小时）。近 20 年年日照时数无明显变化趋势，2009 年日照时数最长（2385.3 小时），2016 年年日照时数最短（1637.8 小时），

无明显周期。

3.2.1.5 风况

根据汕尾气象站 2004-2023 年观测数据，汕尾气象站 6 月平均风速最大（2.67m/s），1 月平均风速最小（2.12m/s）。汕尾气象站主要风向为 ENE、E、NE、ESE，占 54.98%，其中以 ENE 为主风向，占到全年 18.23%左右。

表 3.2.1-1 汕尾气象站近 20 年的各月平均风速统计（单位：m/s）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均风速	2.12	2.17	2.14	2.24	2.45	2.67	2.65	2.4	2.32	2.29	2.21	2.17

表 3.2.1-2 汕尾气象站年风向频率统计（单位：%）

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
频率	4.39	8.08	12.33	18.23	14.41	10.01	2.79	0.76	1.72
风向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C	
频率	5	8.73	4.59	2.13	1.1	1.16	1.38	2.23	

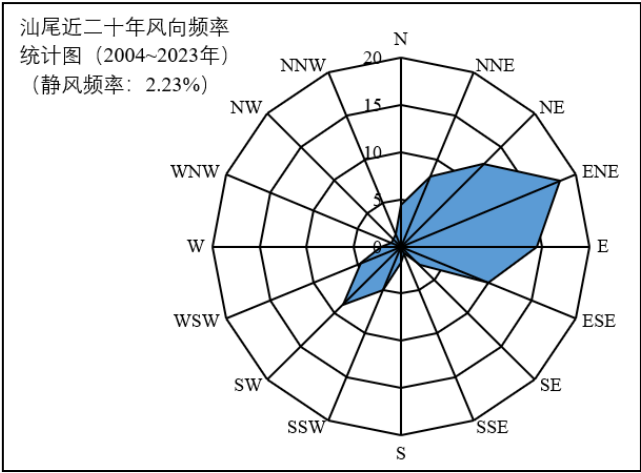


图 3.2.1-1 汕尾风向玫瑰图（静风频率 2.23%）

3.2.2 水文动力

（1）潮汐

T1、T2、T3 潮位站附近海域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。

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。

T1 站~T3 站的 F 值均在 2.02~2.97 之间，表明测区附近海域的潮汐性质为

不正规全日混合潮。

(2) 海流

①风电场区域

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 0.2H 层为主。实测测点最大流速为 87cm/s，流向 100°，出现在 F9 测点 0.2H 层。垂线平均最大流速出现在 F9 测点，为 58cm/s，流向 107°。

中潮观测期间，各测点实测最大流速主要出现在上层水体，以表层和 0.2H 层为主。实测测点最大流速为 96cm/s，流向 103°，出现在 F3 测点表层。垂线平均最大流速为 50cm/s，流向 86°，出现在 F3 测点。

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 0.2H 层为主。实测测点最大流速为 92cm/s，流向 93°，出现在 F6 测点表层。垂线平均最大流速出现在 F9 测点，为 51cm/s，流向 84°。

全潮测验期间各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。

②送出海底电缆路由区域

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 0.2H 层为主。实测测点最大流速为 87cm/s，流向 100°，出现在 A6 测点 0.2H 层。垂线平均最大流速出现在 A6 测点，为 58cm/s，流向 107°。

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。

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 0.2H 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°。

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。

(3) 潮流

①风电场区域

测验期间各测点潮流类型较为复杂，主要表现为不规则半日潮流。

垂线平均的潮流可能最大流速以 F9 测点最大，为 44cm/s，流向为 308°；F2 测点最小，为 17cm/s，流向 249°。各层的潮流的可能最大流速以 F6 测点表层最大，为 72cm/s，流向 316°；F5 测点底层最小，为 18cm/s，流向 59°。

各测点潮流呈现为以往复流结合旋转流的运动形式。

②送出海底电缆路由区域

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。

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°。

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。

（4）余流

①风电场区域

各测点大、中、小潮余流流速均较大，流向相对集中，分析为该区域受洋流影响较大。

②送出海底电缆路由区域

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，分析为该区域受洋流影响较大。

（5）水温、盐度

①风电场区域

各测点测得最高水温为 31.27°C，出现在中潮观测期间 F4 测点表层；最低为 20.27°C，出现在小潮观测期间 F6 测点底层。各站垂线平均温度在 25.01°C~26.49°C 之间。施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 -0.104°C/m~1.058°C/m 之间，大、中、小潮观测期间水温垂直变化明显。

全潮观测期间测得最大盐度为 34.72，出现在小潮观测期间 F3 站底层；最小盐度为 31.49，出现在大潮观测期间 F3 测点表层。各站全潮垂线平均值介于 33.27~34.16 之间。测区全潮期间各站垂线平均盐度值相差较小，平面分布均匀。大、中、小潮各站的分层系数为 $4.9 \times 10^{-2} \sim 7.3 \times 10^{-2}$ ，均在 $1 \sim 10^{-2}$ 之间，为缓混合，垂向有一定变化，可能导致测点出现异重流。

②送出海底电缆路由区域

各测点测得最高水温为 30.96℃，出现在小潮观测期间测点表层；最低为 21.55℃，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℃~26.04℃ 之间。施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℃/m~0.638℃/m 之间。大、中、小潮观测期间测点水温垂直变化明显。

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。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) 悬浮泥沙

①风电场区域

夏季全潮水文测验期间测点最大含沙量，大潮为 0.090kg/m³，出现在 F8 测点底层；中潮为 0.088kg/m³，出现在 F6 测点底层；小潮为 0.139kg/m³，出现在 F1 测点的底层。测点含沙量受潮流及地形共同影响，由于各测点潮流动力相差不大，地形平坦，各测点实测最大含沙量相差不大。

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 0.050kg/m³、0.061kg/m³、0.063kg/m³，分别出现在 F8 测点、F6 测点和 F1 测点，各测点差异较小。

夏季全潮水文测验期间，测点含沙量普遍较小，垂向分布无明显规律。

各测点悬沙的中值粒径介于 0.006mm-0.165mm 之间。

②送出海底电缆路由区域

夏季全潮水文测验期间，测点最大含沙量，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。

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/m^3 、 0.118kg/m^3 、 0.209kg/m^3 ，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。

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。

各测点悬沙的中值粒径介于 0.012mm - 0.120mm 之间。

(7) 波浪

传统波浪类型分风浪与涌浪，统计结果显示，项目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”影响项目区。年平均 $T_{1/10}$ 周期为 4.6s。

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%；项目海区常浪向为 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。项目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。

3.2.3 海域地形地貌与冲淤状况

3.2.3.1 地形地貌

(1) 风电场区域

风电场位于汕尾市南面海域，水深 34m~40m，所在海域宽阔，附近未见岛

屿、礁石分布，勘探区海床较为平坦，总体上海床自北往南缓缓降低，海床底质主要为淤泥底质，属海积地貌单元。

（2）送出海底电缆路由区域

①登陆点

本项目 500kV 送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠街道东侧海岸，向陆一侧为山体，向西侧约 80m（山体南侧）为华润海丰电厂“上大压小”新建工程园区；向南侧为华润海丰电厂“上大压小”新建工程排水渠。

②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 3.2.3-1 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。

③海底地貌

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

A.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。

B.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 3.2.3-1 项目水深示意图（风电场区域）（不公开）

图 3.2.3-2 项目水深示意图（送出路由区域）（不公开）

3.2.3.2 冲淤现状和冲淤变化特征

（1）风电场区域

本工程泥沙与海床稳定性专题尚未开展，本阶段采用周边工程的相关成果进行工程海域海床稳定性分析。

根据 2008 年、2015 年和 2021 年工程区域海图成果，绘制出 2008-2021 年间工程海域等深线变化图。从图上可看出，工程海域东北侧 30m 等深线向陆侧迁移，其余各等深线位置基本不变，表明 30m 深海域的海床形态存在一定冲刷，其余海域在较长时间内处于相对稳定的状态。

总体来说，本工程海域由于水深较大，离岸距离较远，海床表面的水动力条件较弱，难以引起海床泥沙起动，加之周围无大量泥沙输入，海床地形整体处于相对稳定的状态。

图 3.2.3-3 2008 年-2021 年项目附近海域等深线变化图（不公开）

（2）送出海底电缆区域

①近岸海床冲淤演变

工程海域海岸多为砂质海滩，滩面泥沙较细，容易受水动力影响而产生运动，而且工程海域是台风多发地区，海岸容易发生侵蚀后退。收集到 2016~2023 年间的卫星影像图，将两个不同年代的近岸登陆段卫星图像进行叠加得到海岸线对比图（见图 3.2.3-4），从不同时期海岸线对比图上可以看出，红海湾近岸登陆段海岸线在 2016~2023 年间既有向陆侧迁移也有向海测迁移，海缆登陆点附近海岸线主要表现为向陆地后退，最大侵蚀后退约 2m。近 10 年间汕尾海域多次遭受强台风的影响，由于工程海域海底地形平坦，风暴潮大浪容易从远处传至近岸，台风波浪容易对海岸产生较大冲击，由此也会使海岸线发生一些变化，但整体而言，近岸登陆段附近海岸线基本保持稳定。

图 3.2.3-4 登陆段海岸线对比图（不公开）

（2）路由区海床冲淤演变

为分析路由区海床的冲淤活动性，收集了路由区 2009 年和 2018 年 2 个时期

的等深线成果，如图 3.2.3-5 所示。

图 3.2.3-5 路由区冲淤变化（不公开）

通过对比研究区海域 2009 年和 2018 年的 10m、20m 及 30m 的等深线变化可以看出，本海区 10m 以深的水下暗滩坡度较为平缓，近 10 年来路由区 10m、30m 等深线基本重合在一起，海底地形变化整体较为稳定；20m 等深线在路由途径处略有向岸移动，海床表现为轻微侵蚀。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，可在附近适当加大埋深。

整体而言，路由研究海域局部有冲淤变化，但变化幅度不大，呈现出略有侵蚀冲刷的基本稳定状态。此外，由于路由区海床演变较复杂，且波浪动力作用强，考虑到海缆的安全，建议加大对路由区域海床演变的监测研究。

3.2.4 工程地质

3.2.4.1 岩土层特征

（1）风电场区域

本节引自《华润汕尾红海湾五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 7 月）。

根据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、海陆过渡相沉积层（ Q_4^m 、 Q_4^{m+al} ）和晚更新统海陆交互相沉积层（ Q_3^{m+al} ）、下伏基岩为燕山四期花岗岩（ $\gamma_53^{(1)}$ ）。各岩土层特征按由上至下的揭露顺序描述如下：

第一层：全新统海相沉积层（ Q_4^m ）

淤泥（①₁）：深灰、灰黑色，饱和，流塑，质滑腻，含有机质，略具腥臭味，局部含贝壳碎屑，海积成因。该层厚度为 2.20m~3.20m，层底面高程为-41.90m~-37.80m，层顶面高程为-39.30m~-34.90m。标贯试验过程钻杆出现自沉。

淤泥混砂（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 2.60m~9.00m，层底面高程为-44.30m~-42.50m，层顶面高程为-39.90m~-35.30m。该层标准贯入试验实测击数为 1~3。

淤泥质土 (①₂)：灰、深灰色，饱和、流塑状，切面略具光泽，略具砂感，局部夹粉土或粉砂薄层，混少量贝壳碎屑，含有机质，略具腥臭味，海相沉积。该层厚度为 2.60m~2.80m，层底面高程为-41.60m~-37.10m，层顶面高程为-39.00m~-34.30m。标贯试验过程钻杆出现自沉。

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 2.10m~11.50m，层底面高程为-54.90m~-39.60m，层顶面高程为-44.30m~-37.10m。该层标准贯入试验实测击数为 2~10。

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 2.00m~8.00m，层底面高程为-54.33m~-47.60m，层顶面高程为-46.33m~-45.10m。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 4.40m~7.90m，层底面高程为-58.83m~-51.40m，层顶面高程为-54.33m~-47.00m。该层标准贯入试验实测击数为 16~22。

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，含少量有机质，局部呈可塑状，海陆过渡相沉积。该层厚度为 2.50m~6.40m，层底面高程为-63.00m~-53.60m，层顶面高程为-56.60m~-51.10m。该层标准贯入试验实测击数为 4~6。

黏土 (②₁)：灰色，湿，可塑，黏性、韧性好，切面较光滑，部分含粉砂颗粒，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 2.40m~10.30m，层底面高程为-88.00m~-64.13m，层顶面高程为-81.30m~-56.00m。该层标准贯入试验实测击数为 6~17。

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 1.40m～8.30m，层底面高程为-98.00m～-48.20m，层顶面高程为-95.90m～-46.40m。该层标准贯入试验实测击数为 5～22。

粉质黏土（②₂₋₁）：灰黄色，稍湿，硬塑，黏性一般，韧性中等，海陆过渡相沉积。该层厚度为 2.50m，层底面高程为 82.10m，层顶面高程为-79.60m。该层标准贯入试验实测击数为 21。

粉砂混黏性土（②₃₋₁）：灰色，饱和，中密～密实，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 0.70m～7.50m，层底面高程为-95.90m～-50.00m，层顶面高程为-92.20m～-42.50m。该层标准贯入试验实测击数为 16～56。

中砂（②₅）：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，含黏性土，海陆过渡相沉积。该层厚度为 2.10m～4.00m，层底面高程为-88.50m～-74.10m，层顶面高程为-84.50m～-72.00m。该层标准贯入试验实测击数为 35～60。

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。该层分布于场地部分地段，厚度为 2.50m，层底面高程-90.50m，层顶面高程为-88.00m。该层标准贯入试验实测击数为 50。

粗砂（②₆）：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，含黏性土，海陆过渡相沉积。该层厚度为 11.40m，层底面高程为-89.30m，层顶面高程为-77.90m。该层标准贯入试验实测击数为 79～125。

砾砂（②₇）：灰色，局部灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，混黏性土，含圆砾，海陆过渡相沉积。该层分布于场地局部地段，厚度为 4.10m，层底面高程为-93.40m，层顶面高程为-89.30m。该层标准贯入试验实测击数为 115～125。

第三大层：全新统海陆交互相沉积层（Q₃^{m+al}）

黏土（层号③₁）：灰色，湿，可塑，黏性较好，韧性一般，局部夹粉细砂薄层，海陆交互相沉积。该层厚度为 1.70m～7.50m，层底面高程为-133.00m～-

108.60m，层顶面高程为-131.30m~-102.40m。该层标准贯入试验实测击数为22~27。

粉质黏土（层号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 0.6m~11.80m，层底面高程为-160.60m~-91.80m，层顶面高程为-154.60m~-89.70m。该层标准贯入试验实测击数为18~32。

黏土（层号③₂）：灰色，稍湿，硬塑，黏性较好，韧性一般，混粉细砂，海陆交互相沉积。该层厚度为 1.90m，层底面高程为-116.90m，层顶面高程为-115.00m。该层标准贯入试验实测击数为26。

粉质黏土（层号③₂₋₁）：灰色，稍湿，硬塑，黏性、韧性一般，混粉细砂，海陆交互相沉积。该层厚度为 1.50m，层底面高程-92.00m，层顶面高程为-90.50m。该层标准贯入试验实测击数为22。

粉砂（③₃）：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较差，含黏性土，海陆交互相沉积。该层厚度为 2.70m，层底面高程为-93.13m，层顶面高程为-90.43m。该层标准贯入试验实测击数为45。

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，局部呈团块状，海陆交互相沉积。该层厚度为 1.20m~11.40m，层底面高程为-155.13m~-90.43m，层顶面高程为-152.80m~-85.33m。该层标准贯入试验实测击数为32~75。

细砂混黏性土（③₄₋₁）：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 2.00m，层底面高程-108.20m，层顶面高程为-106.20m。该层标准贯入试验实测击数为42。

中砂（③₅）：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，混粗砂颗粒及少量砾石，局部夹黏性土薄层，海陆交互相沉积。该层厚度为 2.00m~9.40m，层底面高程为-122.80m~-98.80m，层顶面高程为-118.70m~-93.13m。该层标准贯入试验实测击数为48~115。

中砂混黏性土（③₅₋₁）：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配一般，含少量砾石，混多量黏性土，海陆交互相沉积。该层厚度为 2.70m~

4.40m，层底面高程为-121.30m~-102.10m，层顶面高程为-118.10m~-98.00m。
该层标准贯入试验实测击数为 52~79。

粗砂 (③₆)：灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，海陆交互相沉积。该层分布于场地局部地段，厚度为 2.00m~5.80m，层底面高程为-110.40m~-99.40m，层顶面高程为-105.90m~-97.40m。该层标准贯入试验实测击数为 51~115。

粗砂混黏性土 (③₆₋₁)：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，海陆交互相沉积。该层分布于场地局部地段，厚度为 1.50m~7.70m，层底面高程为-157.52m~-123.50m，层顶面高程为-156.00m~-115.80m。该层标准贯入试验实测击数为 50~188。

砾砂 (③₇)：灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，海陆交互相沉积。该层厚度为 6.00m~8.50m，层底面高程为-110.40m~-99.80m，层顶面高程为-101.90m~-93.80m。该层标准贯入试验实测击数为 54~75。

粉土 (层号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 3.70m~4.60m，层底面高程为-128.40m~-102.80m，层顶面高程为-123.80m~-99.00m。该层标准贯入试验实测击数为 39~42。

第四大层：燕山期花岗岩 ($\gamma_5^{3(1)}$)

强风化花岗岩 (层号④₂)：灰、灰白色，矿物除石英外已大部风化成次生矿物，原岩结构清晰，岩芯呈土状，局部块状，遇水易软化崩解。该层厚度为 3.70m~4.60m，层底面高程为-128.40m~-102.80m，层顶面高程为-123.80m~-99.00m。该层标准贯入试验实测击数为 39~42。

(2) 送出海底电缆区

本节引自《华润汕尾红海湾五海上风电场项目海底电缆路由调查勘测报告》(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2026 年 1 月)。

根据已有地质资料及本次勘测结果，海缆路由沿线底质主要为全新统海相沉积(Q_4^m)的淤泥、淤泥混砂、淤泥质土、粉砂混淤泥层，海陆过渡相沉积层(Q_4^{m+al})的粉质黏土和粉砂层，下伏基岩为燕山四期花岗岩 ($\gamma_5^{3(1)}$)。

各岩土层分布特征描述如下：

淤泥（①1）：深灰、灰黑色，饱和，流塑，含粉细砂颗粒，局部混少量贝壳碎屑，含有机质，手捏腻滑，具腥臭味，海积成因。该层厚度为 2.70m～10.45m，层底面高程为-36.65m～-9.30m，层顶面高程为-28.40m～-6.40m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 1 击～3 击。

淤泥混砂（①1-1）：深灰、灰黑色，饱和，流塑，混多量粉细砂和贝壳碎屑，含有机质，手捏腻滑，具腥臭味，海相沉积。该层厚度为 0.80m～8.70m，层底面高程为-44.20m～-11.80m，层顶面高程为-35.80m～-7.80m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 1 击～3 击。

淤泥质土（①2）：灰、深灰色，饱和、流塑状，含粉细砂颗粒，混少量贝壳碎屑，含有机质，略具腥臭味，局部夹薄层粉砂，海相沉积。该层厚度为 0.90m～6.65m，层底面高程为-40.15m～-14.60m，层顶面高程为-37.85m～-12.70m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 1 击～3 击。

粉砂混淤泥（①3）：深灰、灰黑色，饱和，松散，主要矿物为石英和长石，局部混少量淤泥和贝壳碎屑，含有机质，略具腥臭味，海相沉积。该层厚度为 1.20m～6.60m，层底面高程为-45.95m～-12.00m，层顶面高程为-44.20m～-9.30m。该层标准贯入试验实测击数为 3 击～9 击。

粉砂混淤泥（①3-1）：灰、深灰色，饱和，稍密，主要矿物为石英和长石，局部混少量淤泥和贝壳碎屑，含有机质，略具腥臭味，海相沉积。该层厚度为 1.65m～5.90m，层底面高程为-48.85m～-44.85m，层顶面高程为-44.50m～-41.20m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 11 击～15 击。

粉质黏土（②1-1）：深灰、灰黑色，很湿，软塑，局部呈可塑状，土质黏性、韧性一般，局部夹薄层粉砂，含少量有机质，海陆过渡相沉积。该层厚度为 1.30m～5.25m，层底面高程为-43.35m～-15.60m，层顶面高程为-41.70m～-12.00m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 4 击～5 击。

粉质黏土（②2-1）：褐黄色，湿，可塑，土质黏性、韧性一般，含粉砂颗粒，局部夹薄层粉砂，含少量有机质，海陆过渡相沉积。该层厚度为 1.15m～2.10m，层底面高程为-18.80m～-16.75m，层顶面高程为-16.70m～-15.60m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 6 击。

粉砂 (②3)：褐黄、砖红色，饱和，稍密～中密为主，局部呈稍密，主要矿物为石英和长石，级配差，混少量黏性土，岩芯局部呈团块状，海陆过渡相沉积。该层厚度为 1.55m～3.85m,层底面高程为-25.15m～-21.45m，层顶面高程为-23.20m～-18.80m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 12 击～19 击。

全风化花岗岩 (④1)：褐黄、灰黄色，矿物除石英外已大部风化成次生矿物，岩芯多呈土柱状，局部可见原岩结构，遇水易软化崩解，岩质极软弱。在设计钻孔深度内，仅部分钻孔揭露到该层且未揭穿该层，层顶面高程为-23.10m～-22.90m。剔除异常数据后标准贯入试验实测击数为 40 击～48 击。

3.2.4.2 地震动参数与稳定性评价

(1) 风电场区域

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)，风电场场址北面陆域的红海湾开发区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，对应的地震基本烈度均为Ⅶ度。国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)是对陆域地震动峰值加速度进行的分区，海域地震动参数目前还没有相应的划分。考虑到拟建风电场场地位于红海湾附近的海域，建议本场址Ⅱ类场地条件下 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度按 0.10g 考虑，对应的地震基本烈度均为Ⅶ度，地震动加速度反应谱特征周期按 0.35s 考虑。

结合本次勘测成果，拟建风电场地段的场地类别属Ⅳ类，按《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录 E 中地震动峰值加速度调整系数表和表 1 场地基本地震动加速度反应谱特征周期调整表，建议风电场Ⅳ类场地条件下 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度按 0.12g 考虑，对应的地震基本烈度为Ⅶ度，地震动加速度反应谱特征周期按 0.65s 考虑。最终的地震动参数及场区地震烈度应以场地的地震安全性评价报告为准。

根据《海上风力发电场勘测标准》(GB51395-2019)相关内容，场址Ⅱ类场地地震动峰值加速度属 $0.09g \leq a_{\max} < 0.19g$ 区间，地震基本烈度属Ⅶ度，场址 5km 内均无全新世无活动断裂，工程近场区的地震等级小于 6 级。综合评价，初步判定场址区域构造稳定性分级属稳定性较好，后期根据场址区地震安评报告和场区勘察资料进一步评价场址的区域稳定性。

(2) 送出海底电缆路由区

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），预选路由区地震动峰值加速度为 0.10 g，设计地震分组为第一组。地震动反应谱特征周期为 0.35s。根据《建筑抗震设计标准》（GB/T 50011-2010），工程区抗震设防烈度为 VII 度。

区域范围内的地震活动表现出东北强西南弱的分区特征，以练江平原为界，西南地区地震活动较弱，仅有零星中强地震分布，东北地区是区域内破坏性地震主要分布区，且相对集中分布于潮汕盆地中的韩江和榕江平原地区以及滨海断裂上。现代微震震中分布显示与强震活动同样特征。根据地震统计成果，路由海域范围内地震活动较弱。

综上所述，路由海域地质构造条件复杂程度简单，区域新构造运动较频繁且较为明显，工程区地震抗震设防烈度为 VII 度，区域地壳基本稳定，地震频率较低，震级小，现今地震弱活动。地震活动对本项目建设的影响较小。

3.2.5 海洋自然灾害

3.2.5.1 热带气旋

项目所在海域是西北太平洋和南海台风、热带风暴活动和登陆的主要地区之一，因此主要的气象灾害是热带气旋引起的极端大风。热带气旋是破坏性颇为严重的灾害性天气系统，位居当今危害全球的十大自然灾害之首。

根据历史热带气旋路径数据集，1949~2023 年间共有 141 个热带气旋中心经过工程海域，年平均为 1.88 个；最多的如 1999 年有 8 个热带气旋进入该区域，而无热带气旋影响的年份有 10 年。在上述热带气旋样本中，最终在工程海域登陆的个例有 88 个，占比达 62.4%。

141 个热带气旋样本的强度涵盖从热带低压（TD）到超强台风（Super TY）的等级。截至 2023 年，在进入工程海域的个例中，最低中心气压为 925hPa，来自 2309 号热带气旋“SAOLA”；最大 2min 平均风速为 60m/s，来自 7908 号热带气旋“Hope”；而在工程海域登陆的最强个例是 2311 号热带低压（TD）-“HAIKUI”，登陆时强度等级达到强台风（STY）。

1949~2023 年间进入工程海域的热带气旋个例，其强度涵盖从热带低压（TD）到超强台风（Super TY）的等级。对影响个例进行分析，以进入工程海域的最大 2min 风速进行统计，强热带风暴（STS）出现频率最高，占比达 25.5%；其次是热带低压（TD），占比为 24.1%；再次是台风（TY），占比为 23.4%。而台风及其以上强度等级样本总计占比为 32.6%，比例可观。

就影响本工程海域的热带气旋而言，年均为 1.88 个。年际、年代际变化显著，呈现出周期性变化的形态。其中，20 世纪 60 年代为热带气旋活动高发期，出现 24 个影响个例；其次为 20 世纪 80 年代，出现 20 个影响个例；而最近 10 年影响个例的频数为 19 个。在全年的 5~12 月均有出现。其中 9902 号热带风暴（TS）出现时间最早，为 5 月 2 日；2122 号热带低压（TD）出现时间最晚，为 12 月 21 日。大部分个例集中出现在 9 月、7 月和 8 月，并在 9 月达到全年最高峰，占比为 26.2%，7 月为次高峰，占比为 22.7%。

3.2.5.2 风暴潮

风暴潮灾害是由台风强烈扰动造成的潮水位急剧升降，是一种严重的海洋灾害，主要危害沿海地区。在广东地区，台风风暴潮灾害的特点是：发生次数多、强度大、连续性明显，影响范围广，突发性强，灾害损失大，且主要危害经济发达的沿海地区。影响工程水域的台风平均每年出现 2 次左右，一般多出现于 7~9 月。台风引起的增水见表 3.2.5-1。

表 3.2.5-1 台风引起的增水

名称	登陆地点	日期	台风引起的增水
天兔	汕尾海域	2013 年 9 月 22 日	遮浪站（163cm）、汕尾站（150cm）
莲花	广东陆丰市甲东镇沿海	2015 年 7 月 9 日	汕尾至饶平一带沿海（50~110cm）
妮妲	深圳市大鹏半岛	2016 年 8 月 2 日	汕尾站（101cm）
海马	汕尾市海丰县鲘门镇	2016 年 10 月 21 日	汕尾站（144cm）
苗柏	深圳市大鹏半岛	2017 年 6 月 12 日	汕尾站（44cm）、遮浪站（41cm）
天鸽	珠海市金湾区沿海	2017 年 8 月 23 日	汕尾站（118cm）
玛娃	汕尾市陆丰沿海	2017 年 9 月 3 日	汕尾站（57cm）、遮浪站（45cm）
卡努	湛江市徐闻县东部沿海	2017 年 10 月 16 日	汕尾站（92cm）
百里嘉	湛江市坡头区	2018 年 9 月 13 日	汕尾站（42cm）
山竹	广东省台山海宴镇	2018 年 9 月 16 日	汕尾站（178cm）

名称	登陆地点	日期	台风引起的增水
海高斯	广东省珠海市金湾区沿海	2020 年 8 月 19 日	粤东沿岸各海洋站（30-60cm）
圆规	海南省琼海市沿海	2021 年 10 月 13 日	汕尾站（82cm）、遮浪站（98cm）
苏拉	广东省珠海市金湾区沿海	2023 年 9 月 2 日	汕尾站（93cm）、遮浪站（84cm）

3.2.6 海洋水质现状调查与评价

春季调查资料引用《深能汕尾红海湾六海上风电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）、《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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 4 月在项目附近海域进行的春季海洋环境现状调查数据。

秋季调查资料引用《2024 年汕尾红海湾海上风电场（场址五含线缆）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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 11 月在项目附近海域进行的秋季海洋环境现状调查数据。

3.2.6.1 调查概况

（1）春季

①风电场区域

本次调查时间为 2024 年 4 月 12 日~4 月 16 日，共设水质调查站位 22 个，沉积物调查站位 11 个，海洋生物生态 14 个、生物质量和渔业资源调查站位 14 个，具体调查站位详见表 3.2.6-1 和图 3.2.6-1。

表 3.2.6-1 2024 年 4 月海洋环境现状调查站位（不公开）

②送出海底电缆路由区域

本次调查时间为 2024 年 4 月 10 日~4 月 16 日，共设水质调查站位 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 3.2.6-2 和图 3.2.6-1。

表 3.2.6-2 2024 年 4 月海洋环境现状调查站位（不公开）



图 3.2.6-1 2024 年 4 月调查站位布设示意图

(2) 秋季

本次调查时间为 2024 年 11 月 1 日~11 月 2 日和 2024 年 11 月 24 日~11 月 30 日，共设水质调查站位 39 个，海洋生物生态 24 个、生物体质量和渔业资源调查站位 24 个，潮间带调查断面 3 条，具体调查站位详见表 3.2.6-3 和图 3.2.6-2。

表 3.2.6-3 2024 年 11 月海洋环境现状调查站位（不公开）

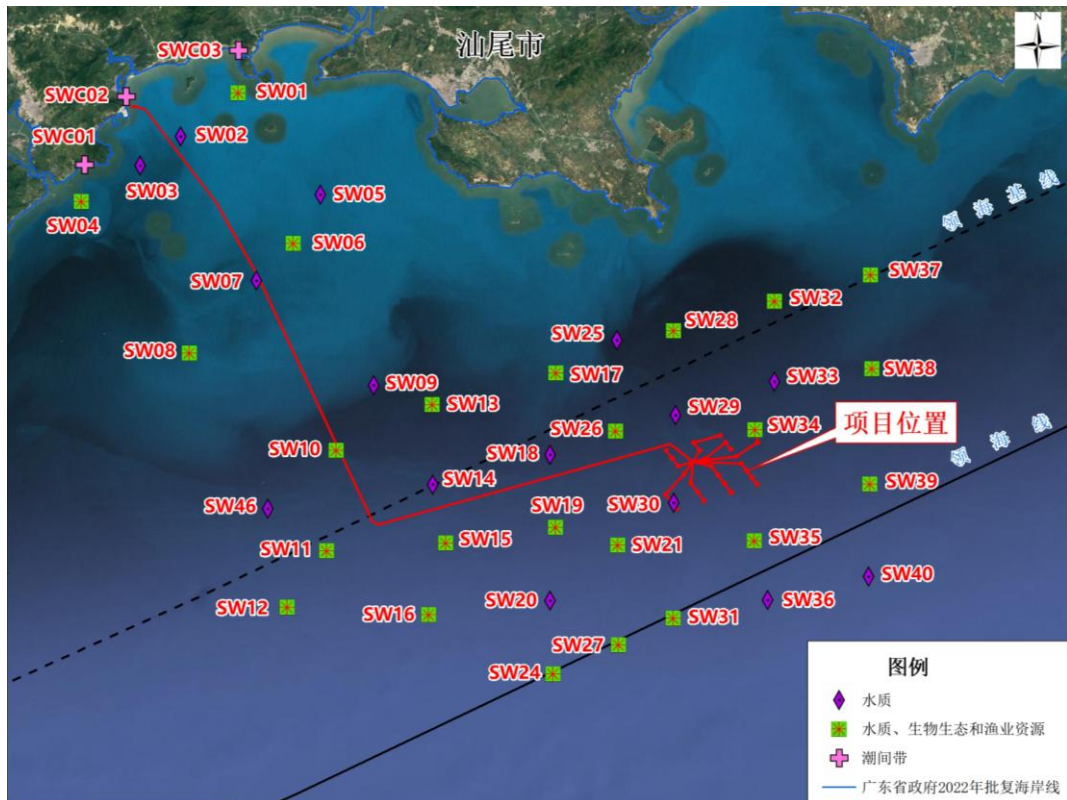


图 3.2.6-2 2024 年 11 月调查站位布设示意图

3.2.6.2 海洋水质调查结果与评价

①春季

1) 风电场区域

全部站位不位于近岸海域功能区划中，无水质目标管理要求，其水质标准从第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第四类海水水质标准的检测数据，评价至第四类海水水质标准。由监测结果及标准指数表结果可知：全部站位表层的海水溶解氧含量均处于过饱和状态，符合海水水质第二类标准。其余站位全部监测因子均符合海水水质第一类标准。

2) 送出海底电缆路由区域

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 3.2.6-12。

执行第一类海水水质标准的站位有 SW01、SW02 站位。由监测结果及标准指数表结果可知：SW01、SW02 站位的水质监测因子均符合海水水质第一类标准要求。

执行第三类海水水质标准的站位有 SW03、SW04 站位。由监测结果及标准指数表结果可知：SW03、SW04 站位的水质监测因子均符合海水水质第三类标准要求。

SW05~SW21、SW26 站位不位于近岸海域功能区划中，无水质目标管理要求，其水质标准从第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第四类海水水质标准的检测数据，评价至第四类海水水质标准。由监测结果及标准指数表结果可知：SW05 表层、SW06 表层、SW08~SW21 表层、SW26 表层的海水溶解氧含量处于过饱和状态，符合海水水质第二类标准。其他水质监测因子均符合海水水质第一类标准要求。

②秋季

执行海水水质第一类标准的站位有 SW01、SW02 站位。由监测结果及标准指数表结果可知：SW01、SW02 站位的水质监测因子均符合海水水质第一类标准要求。

执行海水水质第三类标准的站位有 SW03，由监测结果及标准指数表结果可知：SW03 站位的水质监测因子均符合海水水质第三类标准要求。

SW04~SW21、SW24~SW40、SW46 站位无水质目标管理要求，其水质标准从第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第四类海水水质标准的检测数据，评价至第四类海水水质标准。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符合海水水质第一类标准。

3.2.7 海洋沉积物质量现状调查与评价

3.2.7.1 调查概况

本节引用《深能汕尾红海湾六海上风电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）和《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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 4 月在项目附近海域进行的海洋沉积物质量现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

3.2.7.2 海洋沉积物质量调查结果与评价

(1) 调查结果

①风电场区域

该项目海域海洋沉积物砂含量在 65.14%~83.07%，平均值为 71.78%，粉砂含量在 14.49%~29.10%，平均值为 23.55%，粘土含量在 2.13%~7.16%，平均值为 4.67%。SW39、SW41、SW42 和 SW44 调查站位沉积物样品类型为：砂 S；SW19、SW21、SW24、SW27、SW34、SW35 和 SW43 调查站位沉积物样品类型为：粉砂质砂 TS。

②送出海底电缆路由区域

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。

(2) 评价结果

①风电场区域

各沉积物质量监测站位按沉积物质量类别符合性分析，即海洋沉积物质量评价从《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）的第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第三类海洋沉积物标准的检测数据，评价至第三类海洋沉积物标准。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符合海洋沉积物质量第一类标准要求。

②送出海底电缆路由区域

各沉积物质量监测站位按沉积物质量类别符合性分析，即海洋沉积物质量评价从《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）的第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第三类海洋沉积物标准的检测数据，评价至第三类海洋沉积物标准。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符合海洋沉积物质量第一类标准要求。

3.2.8 海洋生物质量现状调查与评价

3.2.8.1 调查概况

春季调查资料引用《深能汕尾红海湾六海上风电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）、《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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 4 月在项目附近海域进行的春季海洋生物质量现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

秋季调查资料引用《2024 年汕尾红海湾海上风电场（场址五含线缆）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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 11 月在项目附近海域进行的秋季海洋生物质量现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

3.2.8.2 海洋生物质量调查结果与评价

①春季

1) 风电场区域

由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标因子为砷，超标率为 42.9%。其中 SW31 站位采集到的鱼类、SW19、SW26、SW34、SW35 站位采集到的甲壳类和 SW21 站位采集到的软体类生物体内的砷含量超标，其余生物质量监测因子均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中规定的生物质量标准。

2) 送出海底电缆路由区域

由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标因子为石油烃和砷，超标率分别为 7.1%和 50.0%。SW06 站位采集到的软体类石油烃含量超标；SW04、SW11、SW19、SW26 站位采集到的甲壳类、SW06、SW10、SW21 站位采集到的软体类生物体内的砷含量超标，其余生物质量监测因子均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中规定的生物质量标准。

②秋季

由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标因子为砷，超标率为 33.3%。

其中 SW39 站位采集到的鱼类、SW10、SW13、SW17、SW19、SW26、SW38 站位采集到的甲壳类和 SW31 站位采集到的软体类生物体内的砷含量超标，其余生物质量监测因子均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中规定的生物质量标准。

3.2.9 海洋生态现状

3.2.9.1 调查概况

春季调查资料引用《深能汕尾红海湾六海上风电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）、《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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 4 月在项目附近海域进行的春季海洋生态现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

秋季调查资料引用《2024 年汕尾红海湾海上风电场（场址五含线缆）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），由广州海兰图检测技术有限公司于 2024 年 11 月在项目附近海域进行的秋季海洋生态现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

3.2.9.2 海洋生态调查结果

1、叶绿素 *a* 与初级生产力

（1）春季

①风电场区域

本次调查结果显示，各站表层叶绿素 *a* 变化范围在（0.24~0.89） mg/m^3 ，平均为 0.43 mg/m^3 ；10m 水层叶绿素 *a* 变化范围在（0.13~0.81） mg/m^3 ，平均为 0.33 mg/m^3 ；底层叶绿素 *a* 含量变化范围在（0.08~0.79） mg/m^3 ，平均为 0.28 mg/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（0.15~0.83） mg/m^3 ，平均为 0.35 mg/m^3 ，SW34 站位叶绿素 *a* 平均值最高，SW41 站位叶绿素 *a* 平均值最低。

本次调查海域的初级生产力变化范围在（72.310~331.912） $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$

之间, 平均值为 $153.635\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 其中 SW34 站位初级生产力值最高, SW41 站位初级生产力值最低。

②送出海底电缆路由区域

本次调查结果显示, 各站表层叶绿素 a 变化范围在 $(0.22\sim 2.72)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $0.64\text{mg}/\text{m}^3$; 10m 水层叶绿素 a 变化范围在 $(0.20\sim 0.42)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $0.32\text{mg}/\text{m}^3$; 底层叶绿素 a 含量变化范围在 $(0.15\sim 0.45)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $0.27\text{mg}/\text{m}^3$ 。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 $(0.19\sim 2.72)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $0.54\text{mg}/\text{m}^3$, SW01 站位叶绿素 a 平均值最高, SW12 站位叶绿素 a 平均值最低。

本次调查海域的初级生产力变化范围在 $(47.111\sim 270.065)\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间, 平均值为 $146.744\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 其中 SW15 站位初级生产力值最高, SW06 站位初级生产力值最低。

(2) 秋季

本次调查结果显示, 各站表层叶绿素 a 变化范围在 $(0.54\sim 3.10)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $1.20\text{mg}/\text{m}^3$; 10m 水层叶绿素 a 变化范围在 $(0.53\sim 1.68)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $0.98\text{mg}/\text{m}^3$; 底层叶绿素 a 含量变化范围在 $(0.26\sim 1.53)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $0.89\text{mg}/\text{m}^3$ 。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 $(0.46\sim 3.10)\text{mg}/\text{m}^3$, 平均为 $1.09\text{mg}/\text{m}^3$, SW01 站位叶绿素 a 平均值最高, SW24 站位叶绿素 a 平均值最低。

本次调查海域的初级生产力变化范围在 $(136.278\sim 732.995)\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间, 平均值为 $376.029\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 其中 SW38 站位初级生产力值最高, SW04 站位初级生产力值最低。

2、浮游植物

(1) 春季

①风电场区域

1) 种类组成

本次调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 13 目 28 科 135 种。硅藻门种类最多, 共 15 科 84 种, 占总种类数的 62.22%; 甲藻门种类次之, 出现 11 科 48 种, 占总种

类数的 35.56%；蓝藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.48%；金藻门出现 1 科 1 种，占总种类数的 0.74%。

2) 个体数量及占比

调查区域内各站位浮游植物个体数量变化范围在 (72.827~13234.442) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $1697.326 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，最高个体数量出现在 SW34 站位，最低个体数量出现在 SW42 站位。

从门类来看，14 个调查站位中均采集到硅藻门，硅藻门个体数量范围在 (41.109~13177.239) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $1665.150 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；硅藻门各站位个体数量的占比在 51.80%~99.57%之间，各站位占比平均值为 90.61%。蓝藻门个体数量范围在 (5.559~40.080) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $23.512 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0.30%~41.46%之间，占比平均值为 7.64%；其他类群（包括金藻门和甲藻门）个体数量范围在 (1.171~22.024) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $8.664 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0.13~6.74%之间，占比平均值为 1.75%。

3) 优势种

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，分别为拟旋链角毛藻 (*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、柔弱伪菱形藻 (*Pseudonitzschia delicatissima*)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp.)、北方角毛藻 (*Chaetoceros borealis*)、劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、透明辐杆藻 (*Bacteriastrum hyalinum*)、旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*) 和大西洋角毛藻 (*Chaetoceros atlanticus*)，其中拟旋链角毛藻为第一优势种，优势度为 0.239，平均个体数量为 $661.091 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，占各站位平均个体数量的 38.95%。

4) 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 44~64 种。多样性指数范围在 2.471~4.009 之间，平均值为 3.258，多样性指数以 SW19 站位最高，SW34 站位最低；均匀度指数范围在 0.431~0.734 之间，平均值为 0.570，均匀度指数以 SW19 站位最高，SW34 站位最低；丰富度指数范围在 2.048~3.084 之间，平均值为 2.466，丰富度指数以 SW41 站位最高，SW34 站位最低。

②送出海底电缆路由区域

1) 种类组成

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%。

2) 个体数量及占比

调查区域内各站位浮游植物个体数量变化范围在 (79.360~63166.404) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $5192.968 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，最高个体数量出现在 SW01 站位，最低个体数量出现在 SW19 站位。

从门类来看，14 个调查站位中均采集到硅藻门，硅藻门个体数量范围在 (41.109~62914.203) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $5097.627 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；硅藻门各站位个体数量的占比在 25.54%~99.60%之间，各站位占比平均值为 78.03%。甲藻门个体数量范围在 (5.152~252.201) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $49.730 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 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）个体数量范围在 (0~296.941) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $45.611 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0~57.25%之间，占比平均值为 15.81%。

3) 优势种

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，平均个体数量为 $3611.779 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，占各站位平均个体数量的 69.55%。

4) 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。

(2) 秋季

①种类组成

本次调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 12 目 24 科 142 种。硅藻门种类最多，共 14 科 102 种，占总种类数的 71.83%；甲藻门种类次之，出现 8 科 35 种，占总种类数的 24.65%；蓝藻门出现 1 科 4 种，占总种类数的 2.82%；金藻门出现 1 科 1 种，占总种类数的 0.70%。

②个体数量及占比

调查区域内各站位浮游植物个体数量变化范围在 (171.977~3828.201) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $824.838 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，最高个体数量出现在 SW01 站位，最低个体数量出现在 SW06 站位。

从门类来看，24 个调查站位中均采集到硅藻门，硅藻门个体数量范围在 (140.763~3735.965) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $770.486 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；硅藻门各站位个体数量的占比在 70.00%~98.58%之间，各站位占比平均值为 91.38%。蓝藻门个体数量范围在 (8.515~134.065) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $43.129 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0.88%~22.44%之间，占比平均值为 6.67%；其他类群（包括金藻门和甲藻门）个体数量范围在 (2.765~31.624) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $11.223 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0.54%~7.56%之间，占比平均值为 1.96%。

③优势种

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 9 种，分别为双环海链藻 (*Thalassiosira diporocyclus*)、并基角毛藻 (*Chaetoceros decipiens*)、劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*)、钟形中鼓藻 (*Bellerochea horologicalis*)、红海束毛藻 (*Trichodesmium erythraeum*)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp.)、角毛藻属 (*Chaetoceros* sp.) 和中华盒形藻 (*Biddulphia sinensis*)，其中双环海链藻为第一优势种，优势度为 0.299，平均个体数量为 $202.632 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，占各站位

平均个体数量的 24.57%。

④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 3.876，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 0.679，均匀度指数以 SW17 站位最高，SW01 站位最低；丰富度指数范围在 1.820~2.998 之间，平均值为 2.545，丰富度指数以 SW32 站位最高，SW08 站位最低。

3、浮游动物

(1) 春季

①风电场区域

1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 6 门 10 纲 16 目 36 科 84 种（包括浮游幼体 13 种）。分属 11 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、樱虾类和浮游幼体。其中，以桡足类最多，为 38 种，占总种类数的 45.24%；浮游幼体次之，出现 13 种，占总种类数的 15.48%；水母类出现 10 种，占总种类数的 11.90%；其他类群出现种类较少。

2) 个体数量与生物量

14 个调查站位浮游动物生物量变化范围在 (4.35~96.69) mg/m³ 之间，平均值为 44.62mg/m³，其中 SW38 站位生物量最高，SW34 站位生物量最低；浮游动物个体数量变化范围在 (11.860~482.653) ind/m³ 之间，平均值为 155.733ind/m³，其中 SW39 站位个体数量最高，SW34 站位个体数量最低。从类群个体数量分布来看，本次调查浮游幼体平均个体数量最高，为 56.962ind/m³，占比为 36.58%；其次是桡足类，平均个体数量为 51.594ind/m³，占比为 33.13%。

3) 优势种

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 13 种，分别为桡足幼体 (*Copepoda larvae*)、长尾类幼虫 (*Macrura larva*)、异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*)、异尾宽水蚤 (*Temora discaudata*)、鸟喙尖头溞 (*Penilia avirostris*)、羽长腹剑水蚤 (*Oithona plumifera*)、针刺拟哲水蚤

(*Paracalanus aculeatus*)、毛颚类幼体 (*Chaetognatha larva*)、耳状幼虫 (*Auricularia larva*)、长腕幼虫 (*Ophiopluteus larva*)、拟细浅室水母 (*Lensia subtiloides*)、微刺哲水蚤 (*Canthocalanus pauper*) 和小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)，其中桡足幼体为第一优势种，优势度为 0.123，平均个体数量为 18.667ind/m³，占各站位平均个体数量的 11.99%，出现频率 100%。

4) 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 17~38 种。浮游动物多样性指数变化范围在 2.284~4.533 之间，平均值为 3.840，其中 SW27 站位最高，SW26 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.512~0.904 之间，平均值为 0.794，其中 SW42 站位最高，SW26 站位最低；丰富度指数范围在 2.204~4.670 之间，平均值为 2.993，丰富度指数以 SW41 站位最高，SW19 站位最低。

②送出海底电缆路由区域

1) 种类组成

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。

2) 个体数量与生物量

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；浮游动物个体数量变化范围在 (111.157~5904.241) ind/m³ 之间，平均值为 1123.394ind/m³，其中 SW04 站位个体数量最高，SW21 站位个体数量最低。从类群个体数量分布来看，本次调查枝角类平均个体数量最高，为 422.505ind/m³，占比为 37.61%；其次是浮游幼体，平均个体数量为 302.813ind/m³，占比为 26.96%。

3) 优势种

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

喙尖头蚤 (*Penilia avirostris*)、桡足幼体 (*Copepoda larvae*)、异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*)、拟细浅室水母 (*Lensia subtiloides*)、长尾类幼虫 (*Macrura larva*)、长尾基齿哲水蚤 (*Clausocalanus furcatus*) 和异尾宽水蚤 (*Temora discaudata*)，其中鸟喙尖头蚤为第一优势种，优势度为 0.378，平均个体数量为 417.926 ind/m³，占各站位平均个体数量的 37.20%，出现频率 92.86%。

4) 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 20~37 种。浮游动物多样性指数变化范围在 1.120~4.139 之间，平均值为 3.025，其中 SW12 站位最高，SW06 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.255~0.835 之间，平均值为 0.637，其中 SW12 站位最高，SW06 站位最低；丰富度指数范围在 1.555~3.148 之间，平均值为 2.297，丰富度指数以 SW15 站位最高，SW06 站位最低。

(2) 秋季

① 种类组成

本次调查共记录浮游动物 5 门 8 纲 17 目 35 科 82 种（包括浮游幼体 14 种）。分属 12 个不同类群，即水母类、被囊类、有尾类、腹足类、毛颚类、介形类、桡足类、端足类、糠虾类、磷虾类、十足类和浮游幼体。其中，以桡足类最多，为 41 种，占总种类数的 50.00%；浮游幼体次之，出现 14 种，占总种类数的 17.07%；水母类出现 7 种，占总种类数的 8.54%；其他类群出现种类较少。

② 个体数量与生物量

24 个调查站位浮游动物生物量变化范围在 (7.88~270.31) mg/m³ 之间，平均值为 71.91 mg/m³，其中 SW19 站位生物量最高，SW37 站位生物量最低；浮游动物个体数量变化范围在 (7.116~305.041) ind/m³ 之间，平均值为 96.385 ind/m³，其中 SW19 站位个体数量最高，SW37 站位个体数量最低。从类群个体数量分布来看，本次调查浮游幼体平均个体数量最高，为 39.289 ind/m³，占比为 40.76%；其次是桡足类，平均个体数量为 37.061 ind/m³，占比为 38.45%。

③ 优势种

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 10 种。分别为桡足幼体 (*Copepoda larvae*)、毛颚类幼体 (*Chaetognatha larva*)、微刺哲水蚤

(*Canthocalanus pauper*)、长尾类幼虫 (*Macrura larva*)、齿形海萤 (*Cypridina dentata*)、普通波水蚤 (*Undinula vulgaris*)、真刺水蚤属 (*Euchaeta* sp.)、亚强次真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*)、针刺真浮萤 (*Euconchoecia aculeata*) 和精致真刺水蚤 (*Euchaeta concinna*)，其中桡足幼体为第一优势种，优势度为 0.182，平均个体数量为 19.746ind/m³，占各站位平均个体数量的 20.49%，出现频率 91.67%。

④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 12~34 种。浮游动物多样性指数变化范围在 2.982~4.164 之间，平均值为 3.626，其中 SW16 站位最高，SW37 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.682~0.902 之间，平均值为 0.798，其中 SW12 站位最高，SW34 和 WS35 站位最低；丰富度指数范围在 1.984~3.438 之间，平均值为 2.669，丰富度指数以 SW11 站位最高，SW19 站位最低。

4、大型底栖生物

(1) 春季

①风电场区域

1) 种类组成

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 6 门 8 纲 24 目 48 科 62 种，分属 6 个不同类群，即环节动物、棘皮动物、节肢动物、软体动物、星虫动物和半索动物。其中环节动物种类数最多，为 25 种，占种类总数的 40.32%。

2) 生物量和栖息密度

a、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 (0.130~7.550) g/m² 之间，平均生物量为 1.849g/m²，其中 SW39 站位的生物量最高，SW43 站位生物量最低；栖息密度范围在 (15.000~175.000) ind/m² 之间，平均栖息密度为 58.929ind/m²，其中 SW19 站位的栖息密度最高，SW24 和 SW27 站位栖息密度最低。

b、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 0.585g/m^2 ，占比为 31.62%；其次为节肢动物，平均生物量为 0.530g/m^2 ，占比为 28.68%，最低为星虫动物，平均生物量为 0.016g/m^2 ，占比为 0.87%。

节肢动物平均栖息密度最高，为 26.429ind/m^2 ，占比为 44.85%；其次为环节动物，平均栖息密度为 21.071ind/m^2 ，占比为 35.76%，最低为星虫动物和半索动物，平均栖息密度均为 0.714ind/m^2 ，占比均为 1.21%。

3) 优势种

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*) 和拟特须虫 (*Paralacydonia paradoxa*)，其中蛛美人虾为第一优势种，其优势度为 0.026。

4) 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 1.585~4.161 之间，平均值为 2.768，其中 SW19 站位最高，SW24 站位和 SW27 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.916~1.000 之间，平均值为 0.969，其中 SW24 和 SW27 等站位最高，SW31 站位最低；丰富度指数范围在 1.262~3.899 之间，平均值为 2.140，丰富度指数以 SW19 站位最高，SW24 和 SW27 站位最低。

②送出海底电缆路由区域

1) 种类组成

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%。

2) 生物量和栖息密度

a、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 $(0.250 \sim 24.630)\text{g/m}^2$ 之间，平均生物量为 5.606g/m^2 ，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 $(25.000 \sim 175.000)\text{ind/m}^2$ 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。

b、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%。

3) 优势种

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。

4) 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。

(2) 秋季

①种类组成

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 9 门 12 纲 24 目 54 科 87 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 45 种，占种类总数的 51.72%；节肢动物次之，出现 16 种，占种类总数的 18.39%。

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 24 个站位大型底栖生物的生物量范围在 (0~18.935) g/m² 之

间, 平均生物量为 3.300g/m^2 , 其中 SW15 站位的生物量最高, SW24 站位生物量最低; 栖息密度范围在 $(0\sim115.000)$ ind/ m^2 之间, 平均栖息密度为 59.167ind/m^2 , 其中 SW12 和 SW38 站位的栖息密度最高, SW24 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 1.238g/m^2 , 占比为 37.52%; 其次为环节动物, 平均生物量为 0.700g/m^2 , 占比为 21.21%, 最低为刺胞动物, 平均生物量为 0.018g/m^2 , 占比为 0.54%。

环节动物平均栖息密度最高, 为 33.333ind/m^2 , 占比为 56.34%; 其次为节肢动物, 平均栖息密度为 11.042ind/m^2 , 占比为 18.66%, 最低为刺胞动物、脊索动物和半索动物, 平均栖息密度为 0.625ind/m^2 , 占比为 1.06%。

③优势种

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, 分别为美人虾属 (*Callinassa* sp.) 和南海筒锥虫 (*Letioscoloplos nanhaiensis*), 其中美人虾属为第一优势种, 优势度为 0.031。

④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 0~16 种, 多样性指数变化范围在 1.549~3.725 之间, 平均值为 2.875, 其中 SW12 站位最高, SW39 站位最低; 均匀度指数变化范围在 0.775~1.000 之间, 平均值为 0.944, 其中 SW13、SW19 和 SW21 站位最高, SW39 站位最低; 丰富度指数范围在 0.946~3.316 之间, 平均值为 2.172, 丰富度指数以 SW12 站位最高, SW35 站位最低。

5、潮间带生物

(1) 春季

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%。

②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 57.926g/m^2 ，平均栖息密度为 224.666ind/m^2 。SWC01 断面的生物量最大，为 104.303g/m^2 ；SWC01 断面的栖息密度最大，为 611.333ind/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。

③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 。

④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 $\text{SWC01} > \text{SWC02} > \text{SWC03}$ ，栖息密度由高到低排序为 $\text{SWC01} > \text{SWC02} > \text{SWC03}$ 。

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 $>$ 中潮带 $>$ 高潮带，栖息密度由高到低排序为低潮带 $>$ 中潮带 $>$ 高潮带。

⑤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。

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 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。

(2) 秋季

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%。

②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 14.127g/m^2 ，平均栖息密度为 23.555ind/m^2 。SWC02 断面的生物量最大，为 22.050g/m^2 ；SWC02 断面的栖息密度最大，为 53.535ind/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。

③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 。

④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 $\text{SWC02} > \text{SWC03} > \text{SWC01}$ ，栖息密度由高到低排序为 $\text{SWC02} > \text{SWC03} > \text{SWC01}$ 。

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。

⑤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 hexastylus*）、粗糙拟滨螺（*Littoraria articulata*）、平轴螺（*Planaxis sulcatus*）、变化短齿蛤（*Brachidontes variabilis*）和韦氏毛带蟹（*Dotilla wichmanni*）。其中痕掌沙蟹为第一优势种，优势度为 0.130。

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。

3.2.10 电磁环境现状调查与评价

本节引用《汕尾红海湾五海上风电项目电磁辐射环境专题报告》（广东宇南检测技术有限公司，2023 年 12 月）和《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目电磁辐射环境专题报告》（广东宇南检测技术有限公司，2023 年 12 月），由广东宇南检测技术有限公司于 2023 年 7 月和 2023 年 11 月在项目附近海域进行的电磁辐射环境现状调查数据。

3.2.10.1 调查概况

（1）风电场区域

广东宇南检测技术有限公司于 2023 年 7 月 12 日和 2023 年 11 月 17 日在工程海域开展电磁辐射环境现状调查，各站点经纬度坐标详见表 3.2.10-1。调查站点详见图 3.2.10-1。

表 3.2.10-1 电磁辐射环境现状调查站位（不公开）

（2）送出海底电缆路由区域

广东宇南检测技术有限公司于 2023 年 7 月 12 日和 2023 年 11 月 17 日在工程海域开展电磁辐射环境现状调查，各站点经纬度坐标详见表 3.2.10-2。调查站点详见图 3.2.10-1。

表 3.2.10-2 电磁辐射环境现状调查站位（不公开）

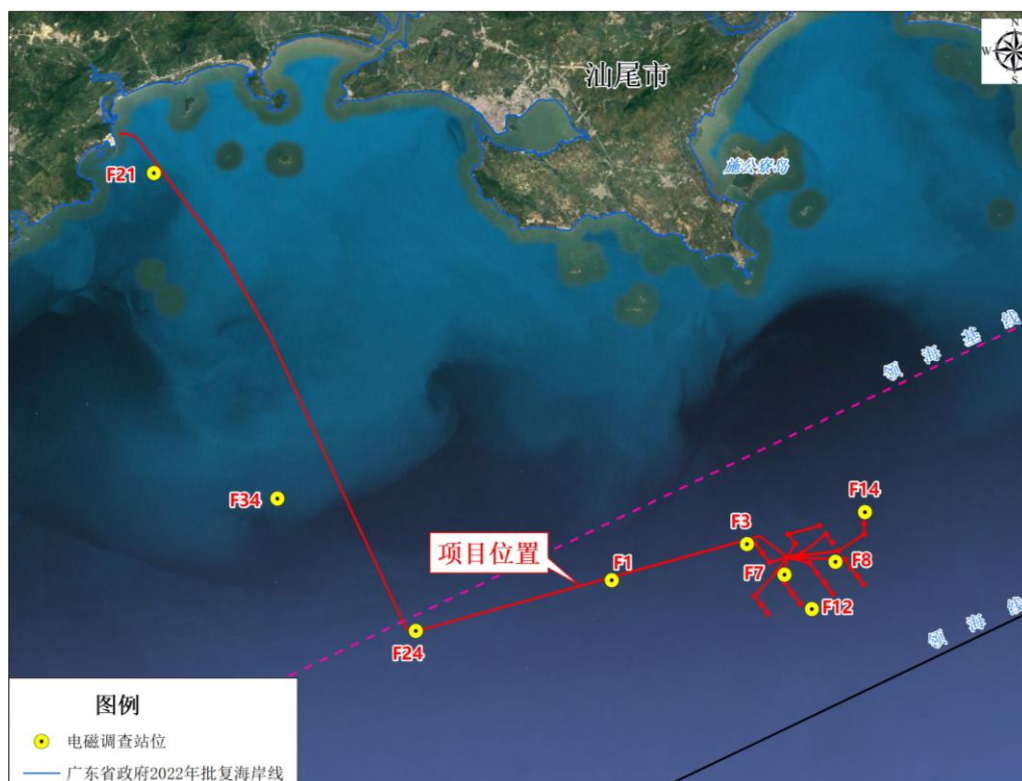


图 3.2.10-1 电磁监测站位示意图

3.2.10.2 调查结果

(1) 风电场区域

2023 年 7 月 12 日调查点位工频电场强度介于 (0.5~7.49) V/m 之间, 工频磁感应强度介于 (0.0158~0.0422) μ T 之间; 2023 年 11 月 17 日调查点位工频电场强度介于 (0.18~0.24) V/m 之间, 工频磁感应强度介于 (0.0076~0.0141) μ T 之间; 经过两季调查, 结果均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 规定的限值标准要求 (交流输变电工程对应的频率为 50Hz, 其推荐限值分别为 4000V/m 和 100 μ T)。

(2) 送出海底电缆路由区域

2023 年 7 月 12 日调查点位工频电场强度介于 (0.46~2.93) V/m 之间, 工频磁感应强度介于 (0.0119~0.0199) μ T 之间; 2023 年 11 月 17 日调查点位工频电场强度介于 (0.08~2.22) V/m 之间, 工频磁感应强度介于 (0.007~0.0199) μ T 之间; 经过两季调查, 结果均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 规定的限值标准要求 (交流输变电工程对应的频率为 50Hz, 其推荐限值分别为 4000V/m 和 100 μ T)。

3.2.11 噪声环境现状调查与评价

本节引自《汕尾红海湾五海上风电项目水上、水下噪声对海洋生物影响专题》（厦门大学，2024年3月）。

3.2.11.1 调查概况

厦门大学课题组于2023年12月5日和2024年3月21日对项目海域的水上、水下声环境质量进行了现场调查。共设置9个噪声调查站位，详见图3.2.11-1，各站位经纬度坐标见表3.2.11-1。每个水上噪声站点连续测量时间均为10min以上，根据各水下噪声站位不同的海域深度，设置3个水层深度：2m、中间层和底层（接近海底），进行同步测量，测量记录时间均为2min以上。

表 3.2.11-1 水上、水下噪声调查站位坐标表（不公开）

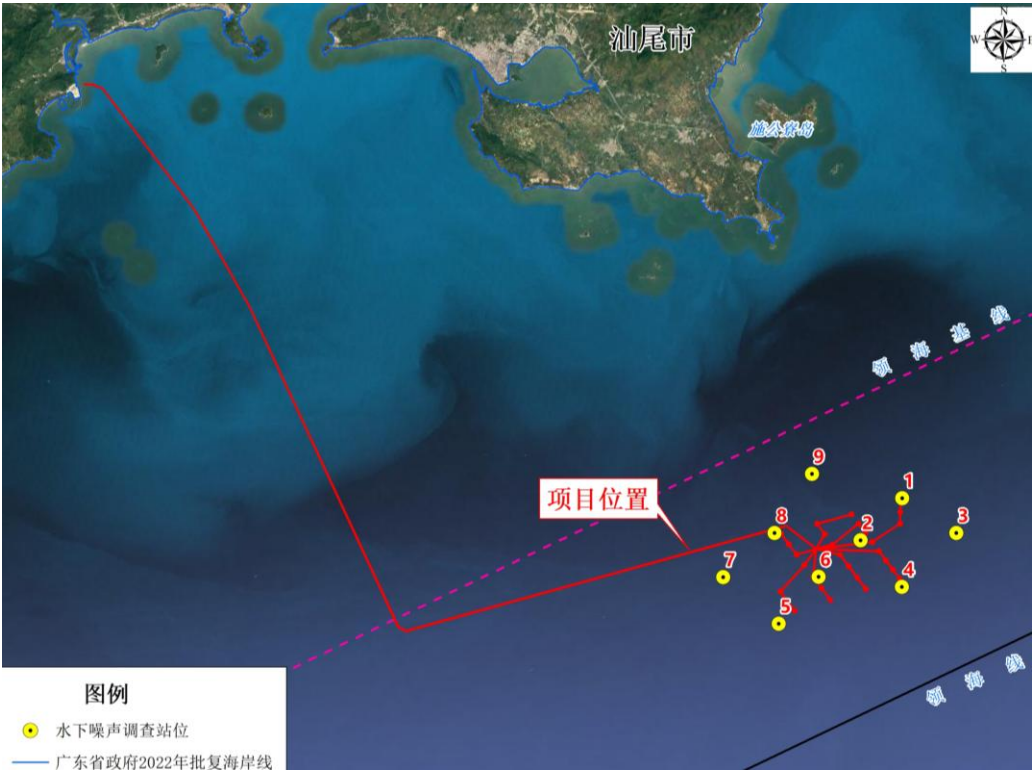


图 3.2.11-1 声环境调查站点布设示意图

3.2.11.2 调查结果

(1) 水上噪声声级

①冬季

项目海域水上环境等效噪声级（A 计权）主要分布在（49~71）dB 之间，

算术平均值为 66.5dB。最大声级（A 计权）的算术平均值为 106.9dB。在 20Hz~20kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级（A 计权）的最大动态范围为 40dB。

②春季

项目海域水上环境等效噪声级（A 计权）主要分布在 48~70dB 之间，算术平均值为 62.6dB。最大声级（A 计权）的算术平均值为 97.5dB。在 20Hz~20kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级（A 计权）的最大动态范围为 36dB。

（2）工程海域频带声压级和声压谱级

①冬季

项目海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 121.1dB，噪声谱级的总动态变化范围是 65dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 13dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 98dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 88dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 82dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 65dB 以下。

②春季

海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 123.4dB，噪声谱级的总动态变化范围是 67dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 25dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 103dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 97dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 85dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 67dB 以下。

3.2.12 鸟类资源

本节引自《汕尾红海湾五海上风电项目鸟类现状监测专题报告》（广东省科学院动物研究所，2024 年 1 月）和《汕尾红海湾三、四海上风电集中送出项目鸟类现状监测专题报告》（广东省科学院动物研究所，2024 年 6 月）。

3.2.12.1 调查方法

(1) 调查范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线向外扩展 8km 区域，并视受保护鸟类受影响程度适当增加。

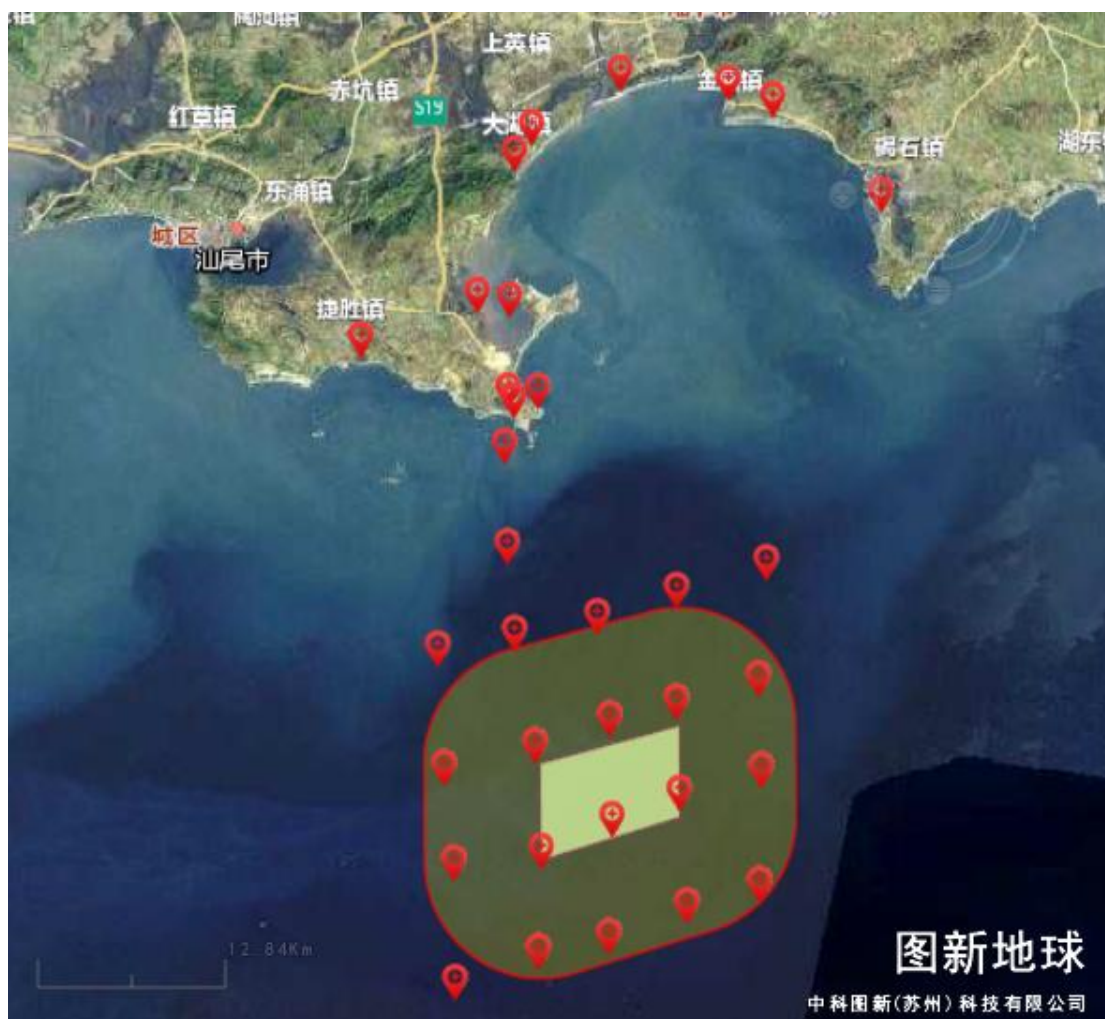


图 3.2.12-1a 鸟类调查范围和调查样线分布图（风电场区域）

及周边的鸟类。

①鸟类监测采用样带法、样点法和分区直数法：

样带法：本次调查主要使用海上样线法，即调查人员乘船沿固定线路前进，调查人员从船上调查船两侧400m以内飞行和水中海鸟，船行的速度在7-16节，完整地记录所见样线两侧的鸟种、数量、高度或距离，并采用快照的方法以确定鸟类密度。

其中，调查样线×两侧宽度=调查样带，样带面积为调查评价范围的10%。实际调查时，先乘船驶至项目实施区域，定位至调查区域坐标角点，再按事前规划好的样线分布图在调查区域内前进，至边界坐标时折返，最后以到达调查区域相对角点为结束。

样点法：采用样点法作为样线法的补充，在区域内选取固定的观察点进行观察计数，选择项目场址四角角点和项目内部随机分布点作为观测样点，周边区域根据生境异质性选择沙滩、泥滩、红树林、浅海、农田等类型设置观测点，通过乘船或步行用望远镜开展调查。

分区直数法：在水鸟聚集的区域（如滩涂或者开阔水域）则采用分区直数法，直接统计出水鸟的种类和数量，主要在沿岸湿地使用。海丰保护区内分布有多个鸟类集群休息场，在涨潮时滩涂出露时有多种水鸟在滩上觅食，涨潮时到未淹没沙滩上集群停歇，采用直接计数方法对该区域进行鸟类种类及数量统计。

直接计数法得到的某种鸟类数量总和即为该区域该种鸟类的数量。

把整个调查过程中的每种鸟类数量总和除以鸟类调查总数量，求出该种鸟类所占百分数。当百分数大于50%为极多种，用“++++”表示；百分数为10%—50%，为优势种，用“+++”表示；当百分数为1%—10%，为常见种，用“++”表示；当百分数小于1%，为稀有种，用“+”表示。

监测使用单筒望远镜、双筒望远镜、单反相机、录音笔等工具记录沿途鸟类物种、数量、生境类型等信息。鸟类的鉴定参照《中国鸟类野外手册》，鸟类分类系统见郑光美（2017）《中国鸟类分类与分布名录（第三版）》

②监测在晴朗、风力不大（一般在三级以下）的天气条件下进行。每日监

测时间主要为清晨（日出后 0.5 小时至 3 小时）或傍晚（日落前 3 小时至日落）。

（5）鸟类监测数据分析

详述调查区域内各季节鸟类分布和密度、特有种、受保护物种、受胁物种和关注物种的生态学特征，评估项目区域作为鸟类栖息、觅食、繁殖和/或换羽地的重要性。采用图表和名录详细列出评价区域历史和现场调查观测到的种类和数量，包括鸟类名称（中文名和学名）、记录数量、发现地点、时间、是否受保护物种、区域水鸟总数 1% 水鸟、区域具有代表性指标物种等。

3.2.12.2 区域鸟类概况分析

（1）鸟类种类特征

① 风电场区域

本次四季度调查，在项目区域及周边共记录鸟类 99 种，隶属 14 目 31 科。优势类群包括鸻形目（CHARADRIIFORMES）（34 种）和雀形目（PASSERIFORMES）（28 种）。由于本次调查，主要调查地为海上和沿岸湿地区域，湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地，即某一生活史阶段依赖于湿地，且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据 Howes 等（1988）对水鸟的定义，广义的水鸟包括鹬鹬科（Podicipedidae）、鹭科（Ardeidae）、鸭科（Anatidae）、秧鸡科（Rallidae）、反嘴鹬科（Recurvirostridae）、鸻科（Charadriidae）、鹬科（Scolopacidae）、燕鸻科（Glareolidae）、鸥科（Laridae）、燕鸥科（Sternidae）、翠鸟科（Alcedinidae）等鸟类，其他统称为陆生鸟类。按上述定义，本次调查的鸟类中，水鸟有 60 种，其他 39 种为陆生鸟类种，主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分，留鸟共有 39 种，迁徙鸟共 60 种，其中冬候鸟 38 种，迁徙过境鸟 8 种，夏候鸟 14 种，说明本区域是多种迁徙候鸟的越冬地和中途停歇地。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 43 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 23 种，主要为鸻形目（CICONIIFORMES）和鸻形目鸟类；属于国家重点保护陆生动物的有 17 种，其中包括一级保护的东方白鹳（*Ciconia boyciana*）和黑脸琵鹭（*Platalea minor*）2 种，以及二级保护的褐翅鸦鹃

(*Centropus sinensis*)、小鸦鹃(*Centropus bengalensis*)、紫水鸡(*Porphyrio porphyrio*)、翻石鹬(*Arenaria interpres*)、大滨鹬(*Calidris tenuirostris*)、阔嘴鹬(*Limicola falcinellus*)、大凤头燕鸥(*Thalasseus bergii*)、白琵鹭(*Platalea leucorodia*)、岩鹭(*Egretta sacra*)、鸮(*Pandion haliaetus*)、黑翅鸢(*Elanus caeruleus*)、黑鸢(*Milvus migrans*)、普通鵟(*Buteo japonicus*)、白胸翡翠(*Halcyon smyrnensis*)和红隼(*Falco tinnunculus*)等15种；列入国家保护动物红色名录近危及以上级别的有9种，包括属于濒危(EN)级别的东方白鹳和黑脸琵鹭2种、易危(VU)级别的大滨鹬和紫水鸡等2种，以及属于近危(NT)物种的大凤头燕鸥、白琵鹭、黑翅鸢和鸮等4种；列入IUCN红皮书近危以上级别的物种有6种，其中属于濒危(EN)级别的有大滨鹬、东方白鹳和黑脸琵鹭3种，其余3种为近危(NT)级别，包括黑尾塍鹬(*Limosa limosa*)、灰尾漂鹬(*Heteroscelus brevipes*)和红颈滨鹬(*Calidris ruficollis*)。列入CITES(濒危野生动植物种国际贸易公约)附录I的有东方白鹳一种，列入附录II的有白琵鹭、鸮、黑翅鸢、黑鸢、普通鵟和红隼等6种。《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录(以下简称中日候鸟保护协定)和《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录(以下简称中澳候鸟保护协定)是中国分别和日本、澳大利亚签订的有关候鸟保护的协定，目的是尽力减少对两国间候鸟所到之主要地区的伤害。本地区中，属于中日候鸟保护协定的有51种，中澳候鸟保护协定种类有31种。

以上统计中，除国家重点保护名录和CITES名录中有猛禽和鸦鹃类物种以外，其余收录于各名录中的物种均为水鸟，且以迁徙性物种占绝大部分，说明该地区位于东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线上。

②送出海底电缆路由区域

本次四季度调查，在项目区域及周边共记录鸟类48种，隶属9目19科。优势类群包括鸽形目(CHARADRIIFORMES)(21种)和雀形目(PASSERIFORMES)(13种)。由于本次调查，主要调查地为海上和沿岸湿地区域，湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地，即某一生活史阶段依赖于湿地，且在形态和行为上对湿地形成适

应特征的鸟类。根据 Howes 等（1988）对水鸟的定义，广义的水鸟包括鹼鹼科（Podicipedidae）、鹭科（Ardeidae）、鸭科（Anatidae）、秧鸡科（Rallidae）、反嘴鹼科（Recurvirostridae）、鸻科（Charadriidae）、鹼科（Scolopacidae）、燕鸻科（Glareolidae）、鸥科（Laridae）、燕鸥科（Sternidae）、翠鸟科（Alcedinidae）等鸟类，其他统称为陆生鸟类。按上述定义，本次调查的鸟类中，水鸟有 32 种，其他 16 种为陆生鸟类种，主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分，留鸟共有 17 种，迁徙鸟共 38 种，其中冬候鸟 25 种，迁徙过境鸟 16 种，夏候鸟 11 种，说明本区域是多种迁徙候鸟的越冬地和中途停歇地。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 17 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 13 种，主要为鹼形目（PELECANIFORMES）和鸻形目鸟类；属于国家重点保护陆生动物的有 4 种，其中包括二级保护的大凤头燕鸥（*Thalasseus bergii*）、岩鹭（*Egretta sacra*）、黑翅鸢（*Elanus caeruleus*）和白胸翡翠（*Halcyon smyrnensis*）和红隼（*Falco tinnunculus*）；列入国家保护动物红色名录近危（NT）级别的有 2 种，包括大凤头燕鸥和黑翅鸢；列入 IUCN 红皮书近危（NT）级别的物种有 2 种，其中包括黑尾塍鹼（*Limosa limosa*）和红颈滨鹼（*Calidris ruficollis*）。列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录 II 的有黑翅鸢 1 种。《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录（以下简称中日候鸟保护协定）和《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录（以下简称中澳候鸟保护协定）是中国分别和日本、澳大利亚签订的有关候鸟保护的协定，目的是尽力减少对两国间候鸟所到之主要地区的伤害。本地区中，属于中日候鸟保护协定的有 26 种，中澳候鸟保护协定种类有 17 种。

以上统计中，除国家重点保护名录和 CITES 名录中有猛禽类物种以外，其余收录于各名录中的物种均为水鸟，且以迁徙性物种占绝大部分，说明该地区位于东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线上。

（2）鸟类数量概况

①风电场区域

数量方面，共记录鸟类 7871 只次，其中数量超过 10%的优势种有 2 种，分别为白鹭（*Egretta garzetta*）和大白鹭（*Ardea alba*），数量分别占总数量的 18.9%和 18.8%。常见种有 17 种，包括有红嘴鸥（占调查总数量的 8.2%，下同）、反嘴鹬（*Recurvirostra avosetta*）（6.4%）、铁嘴沙鸻（*Charadrius leschenaultii*）（4.7%）、环颈鸻（*Charadrius alexandrinus*）（4.7%）、黑腹滨鹬（*Calidris alpina*）（4.1%）、灰翅浮鸥（*Chlidonias hybrida*）（2.4%）、蒙古沙鸻（*Charadrius mongolus*）（2.4%）、黑翅长脚鹬（*Himantopus himantopus*）（2.0%）、苍鹭（*Ardea cinerea*）（2.0%）、家燕（*Hirundo rustica*）（1.5%）、泽鹬（*Tringa stagnatilis*）（1.4%）、青脚鹬（*Tringa nebularia*）（1.4%）、斑嘴鸭（*Anas zonorhyncha*）（1.3%）、红颈滨鹬（1.3%）、普通鸬鹚（*Phalacrocorax carbo*）（1.2%）、白额燕鸥（*Sternula albifrons*）（1.1%）、黑脸琵鹭（1.1%）。17 种常见种数量总占总调查数量的 47.1%，和优势种合并则两者共 19 个物种占调查总数量的 84.9%，说明调查区域鸟类主要物种的优势度明显，从现场调查发现优势种栖息聚集程度较高，主要集中在沿岸沙滩和围垦养殖塘内。

《国际重要湿地公约（Ramsar）》对重要湿地的评价标准中有这样一条：“如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群 1%的个体，就应被认为具有国际重要意义”。生态专家认为，水鸟栖息具有混群性，占全球种群数量 1%以上的水鸟物种，往往可以作为同类水鸟的代表物种，反映整个水鸟的丰富程度，从而反映栖息地的生态环境质量。因此，国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量 1%数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计（Wetlands International 2016）。经对比分析，项目用地和周边区域的单次鸟类调查数量超过全球种群数量 1%以上的物种有黑脸琵鹭一种，占种群数量比例的 1.44%。

表 3.2.12-1 调查区域水鸟种群数量与全球种群 1%数量对比（不公开）

②送出海底电缆路由区域

数量方面，共记录鸟类 3521 只次，其中数量超过 10%的优势种有 4 种，分别为白鹭（*Egretta garzetta*）、大白鹭（*Ardea alba*）、反嘴鹬（*Recurvirostra*

avosetta) 和红嘴鸥 (*Chroicocephalus ridibundus*)，数量分别占总数量的 25.2%、17.1%、11.5% 和 10.9%。常见种有 11 种，包括有环颈鸻 (*Charadrius alexandrinus*) (占调查总数量的 4.5%，下同)、铁嘴沙鸻 (*Charadrius leschenaultii*) (4.5%)、泽鹁 (*Tringa stagnatilis*) (2.8%)、黑腹滨鹬 (*Calidris alpina*) (2.8%)、灰翅浮鸥 (*Chlidonias hybrida*) (2.7%)、蒙古沙鸻 (*Charadrius mongolus*) (2.3%)、苍鹭 (*Ardea cinerea*) (2.0%)、黑翅长脚鹬 (*Himantopus himantopus*) (1.6%)、青脚鹬 (*Tringa nebularia*) (1.5%)、红颈滨鹬 (1.4%) 和普通鸬鹚 (*Phalacrocorax xcarbo*) (1.4%)。11 种常见种数量总占总调查数量的 27.5%，和优势种合并则两者共 15 个物种占调查总数量的 92.2%，说明调查区域鸟类主要物种的优势度明显，从现场调查发现优势种栖息聚集程度较高，主要集中在沿岸沙滩和围垦养殖塘内。

《国际重要湿地公约 (Ramsar)》对重要湿地的评价标准中有这样一条：“如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群 1% 的个体，就应被认为具有国际重要意义”。生态专家认为，水鸟栖息具有混群性，占全球种群数量 1% 以上的水鸟物种，往往可以作为同类水鸟的代表物种，反映整个水鸟的丰富程度，从而反映栖息地的生态环境质量。因此，国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量 1% 数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计 (Wetlands International 2016)。经对比分析，项目用地和周边区域的单次鸟类调查数量暂无超过全球种群数量 1% 以上的物种。

表 3.2.12-2 调查区域水鸟种群数量与全球种群 1% 数量对比 (不公开)

3.2.12.3 季节调查概况

(1) 冬季调查 (2023 年 2 月) 总体情况

① 风电场区域

2023 年 2 月为冬季调查，本次调查共记录鸟类 64 种，隶属 13 目 27 科。优势类群为鸻形目 20 种。水鸟共有 42 种，陆鸟 22 种。数量上，共记录 3032 只次，优势种为红嘴鸥、反嘴鹬和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 13.2%、12.7% 和 10.8%。常见种有 17 种，包括有黑腹滨鹬、大白鹭、环颈鸻、苍鹭、

铁嘴沙鸨、蒙古沙鸨、泽鹱、黑翅长脚鹱、红颈滨鹱、黑脸琵鹭、红嘴巨燕鸥、青脚鹱、针尾鸭、三趾滨鹱、琵嘴鸭、普通鸬鹚、斑嘴鸭，以上常见种共占当季调查数量的 52.7%，与三种优势种合计共占调查数量的 89.4%。以上数量较多的种类均为水鸟，说明调查范围内的鸟类组成以水鸟为主。

居留型方面，冬候鸟和留鸟的种类较多，分别有 29 和 26 种，迁徙过境鸟有 5 种，夏候鸟为 4 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟和留鸟数量占优，分别占总数量的 62.6%和 23.7%，过境迁徙鸟占 9.7%，夏候鸟数量较少占 3.8%。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 25 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 17 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹱、反嘴鹱、红嘴鸥、红嘴巨燕鸥、普通燕鸥、灰翅浮鸥、夜鹭、池鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭、白鹭和斑鱼狗；国家重点保护动物有 10 种，其中一级保护有两种，分别为东方白鹳和黑脸琵鹭，二级保护有 8 种，分别为褐翅鸦鹃、紫水鸡、大滨鹱、白琵鹭、岩鹭、鸮、普通鵟、白胸翡翠；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 6 种，其中东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，紫水鸡和大滨鹱属于易危（VU）级别，白琵鹭和鸮属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的鸟类有 4 种，其中大滨鹱、东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，红颈滨鹱属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 4 种，其中东方白鹳属于附录 I，白琵鹭、鸮和普通鵟属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 33 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 18 种。

②送出海底电缆路由区域

2023 年 2 月为冬季调查，本次调查共记录鸟类 26 种，隶属 3 目 10 科。优势类群为鸻形目 15 种。水鸟共有 19 种，陆鸟 7 种。数量上，共记录 1285 只次，优势种为红嘴鸥和反嘴鹱，数量分别占该月调查总数量的 25.3%和 19.1%。常见种有 13 种，包括有白鹭、泽鹱、黑腹滨鹱、大白鹭、环颈鸻、苍鹭、黑翅长脚鹱、蒙古沙鸨、铁嘴沙鸨、红颈滨鹱、三趾滨鹱、灰翅浮鸥和青脚鹱，以上常见种共占当季调查数量的 52.3%，与两种优势种合计共占调查数量的 96.7%。以

上数量较多的种类均为水鸟，说明调查范围内的鸟类组成以水鸟为主。

居留型方面，冬候鸟和迁徙过境鸟的种类较多，分别有 17 和 10 种，留鸟有 7 种，夏候鸟为 2 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟和迁徙过境鸟数量占优，分别占总数量的 86.1%和 30.7%，留鸟占 14.9%，夏候鸟数量较少，占 5.0%。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 8 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 8 种，包括黑翅长脚鹬、反嘴鹬、红嘴鸥、灰翅浮鸥、池鹭、苍鹭、大白鹭和白鹭；属于 IUCN 红皮书近危（NT）级别的鸟类有红颈滨鹬 1 种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 18 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 11 种。

（2）春季调查（2023 年 5 月）总体情况

①风电场区域

2023 年 5 月为春季调查，本次调查共记录鸟类 52 种，隶属 11 目 23 科。优势类群包括鸻形目 16 种。水鸟共有 32 种，陆鸟 20 种。数量上，共记录 1666 只次，优势种为大白鹭和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 30.8%和 29.2%。常见种有 9 种，包括有灰翅浮鸥、白额燕鸥、黑枕燕鸥、斑嘴鸭、铁嘴沙鹬、环颈鸻、褐翅燕鸥、蒙古沙鹬、青脚鹬，以上 9 种共占当季调查数量的 29.1%，与优势种合计共占总数量的 89.1%。优势种数量占比较大。

居留型方面，留鸟的种类较多，有 25 种，夏候鸟和冬候鸟分别有 11 和 10 种，迁徙过境鸟有 6 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量占优，总数量的 65.4%，其次为夏候鸟，占总数量的 13.3%，迁徙过境鸟占总数量的 12.1%，冬候鸟数量较少，占 9.2%。符合本次调查在春末，已有较多夏季鸟类繁殖的特征。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 23 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 15 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、白额燕鸥、褐翅燕鸥、粉红燕鸥、黑枕燕鸥、灰翅浮鸥、黄斑苇鹈、夜鹭、绿鹭、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭和白鹭；国家重点保护动物有 7 种，均为二级保护，分别为褐翅鸻

鹈、紫水鸡、阔嘴鹬、岩鹭、鸮、黑翅鸢和白胸翡翠；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 3 种，其中紫水鸡属于易危（VU）级别，鸮和黑翅鸢属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的有 1 种，为灰尾漂鹬，属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 2 种，为鸮和黑翅鸢，均属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 25 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 17 种。

②送出海底电缆路由区域

2023 年 5 月为春季调查，本次调查共记录鸟类 18 种，隶属 7 目 10 科。优势类群包括鸽形目 7 种。水鸟共有 12 种，陆鸟 6 种。数量上，共记录 820 只次，优势种为大白鹭和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 45.1%和 25.7%。常见种有 8 种，包括有铁嘴沙鸻、斑嘴鸭、环颈鸻、灰翅浮鸥、黑枕燕鸥、青脚鹬、蒙古沙鸻、褐翅燕鸥，以上 8 种共占当季调查数量的 26.7%，与优势种合计共占总数量的 97.6%。优势种数量占比较大。

居留型方面，冬候鸟和迁徙过境鸟的种类较多，均为 7 种，留鸟和夏候鸟各有 6 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量占优，总数量的 82.4%，其次为留鸟，占总数量的 72.0%，迁徙过境鸟占总数量的 60.9%，夏候鸟数量较少，占 6.1%。符合本次调查在春末，已有较多夏季鸟类繁殖的特征。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 9 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 6 种，包括褐翅燕鸥、黑枕燕鸥、灰翅浮鸥、夜鹭、大白鹭和白鹭；国家重点保护动物有 3 种，均为二级保护，分别为岩鹭、黑翅鸢和白胸翡翠；列入国家保护动物红色名录近危（NT）级别的有黑翅鸢 1 种；列入 CITES 附录的物种有黑翅鸢 1 种，属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 9 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 7 种。

（3）夏季调查（2023 年 8 月）总体情况

①风电场区域

2023 年 8 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 46 种，隶属 10 目 22 科。优势类群包括鸽形目 14 种。水鸟共有 29 种，陆鸟 17 种。数量上，共记录 1128 只次，优势种为大白鹭和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 36.9%和 36.3%。常见种有 11 种，包括有灰翅浮鸥、黑翅长脚鹬、环颈鸻、白额燕鸥、铁嘴沙鸻、家燕、池鹭、大凤头燕鸥、褐翅燕鸥、白头鹎、金腰燕，以上 11 种共占当季调查数量的 17.6%，与优势种合计共占总数量的 90.7%。优势种数量占相当大。

居留型方面，留鸟的种类较多，有 25 种，夏候鸟、冬候鸟和迁徙过境鸟分别有 9 种、7 种和 5 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量占优，总数量的 82.5%，其次为夏候鸟，占总数量的 7.8%，迁徙过境鸟占总数量的 6.5%，冬候鸟数量较少，占 3.2%。总体上以两种鹭鸟为主要调查到的物种，两种在调查区域内可见到繁殖对。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 21 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 14 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、中杓鹬、白额燕鸥、褐翅燕鸥、粉红燕鸥、灰翅浮鸥、黄斑苇鹀、夜鹭、绿鹭、池鹭、牛背鹭、大白鹭和白鹭；国家重点保护动物有 6 种，均为二级保护，分别为褐翅鸦鹃、紫水鸡、大凤头燕鸥、岩鹭、黑翅鸢和白胸翡翠；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 3 种，其中紫水鸡属于易危（VU）级别，大凤头燕鸥和黑翅鸢属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的有 1 种，为灰尾漂鹬，属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 1 种，为黑翅鸢，均属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 19 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 15 种。

②送出海底电缆路由区域

2023 年 8 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 16 种，隶属 5 目 9 科。优势类群包括鸽形目 7 种，其次为鹈形目 4 种。水鸟共有 12 种，陆鸟 4 种。数量上，共记录 655 只次，优势种为大白鹭和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 55.6%和 31.8%。常见种有 4 种，包括有灰翅浮鸥、环颈鸻、铁嘴沙鸻、褐翅燕鸥，以上 4 种共占当季调查数量的 9.5%，与优势种合计共占总数量的 96.8%。优势种

数量占相当大。

居留型方面，留鸟和迁徙过境鸟的种类较多，均有 8 种，夏候鸟和冬候鸟分别有 4 种和 6 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量占优，占总数量的 90.8%，其次为留鸟，占总数量的 89.6%，迁徙过境鸟占总数量的 64.6%，夏候鸟数量较少，占 2.9%。总体上以两种鹭鸟为主要调查到的物种，两种在调查区域内可见到繁殖对。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 8 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 5 种，包括褐翅燕鸥、灰翅浮鸥、夜鹭、大白鹭和白鹭；国家重点保护动物有 3 种，均为二级保护，分别为大凤头燕鸥、岩鹭和黑翅鸛；列入国家保护动物红色名录近危（NT）级别的有 2 种，大凤头燕鸥和黑翅鸛；列入 CITES 附录的物种有 1 种，为黑翅鸛，均属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 7 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 7 种。

（4）秋季调查（2023 年 11 月）总体情况

①风电场区域

2023 年 11 月为秋季调查，本次调查共记录鸟类 67 种，隶属 12 目 28 科。优势类群包括雀形目 20 种，和鸽形目 19 种。水鸟共有 40 种，陆鸟 27 种。数量上，共记录 2045 只次，优势种为大白鹭、白鹭和红嘴鸥，数量分别占该月调查总数量的 16.0%、13.0%和 11.9%。常见种有 14 种，包括有铁嘴沙鸛、环颈鸛、反嘴鸛、蒙古沙鸛、家燕、普通鸬鹚、红脚鸬、黑翅长脚鸬、青脚鸬、苍鹭、黑尾塍鸬、泽鸬、红颈滨鸬和池鹭，以上 14 种共占当季调查数量的 44.1%，与优势种合计共占总数量的 84.9%。以上数量较多的种类中仅家燕不是水鸟，说明水鸟数量占优。

居留型方面，留鸟的种类较多，有 30 种，其次为冬候鸟，有 24 种，夏候鸟和迁徙过境鸟分别有 7 种和 6 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量最多，占总数量的 39.9%，其次为留鸟，占 36.8%，迁徙过境鸟占总数量的 17.1%，夏候鸟数量较少，占 6.3%。本季调查较多迁徙越

冬的种类，部分冬候鸟已抵达本地，数量较丰富。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 29 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 15 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、反嘴鹬、红嘴鸥、黑尾鸥、普通燕鸥、黄斑苇鹀、夜鹭、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭和白鹭；国家重点保护动物有 12 种，除黑脸琵鹭为一级保护外，其余均为二级保护，包括有褐翅鸦鹃、小鸦鹃、紫水鸡、翻石鹬、白琵鹭、岩鹭、黑翅鸢、黑鸢、普通鵟、白胸翡翠和红隼；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 4 种，其中黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，紫水鸡属于易危（VU）级别，白琵鹭和黑翅鸢属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的有 3 种，其中黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，黑尾塍鹬和红颈滨鹬属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 5 种，为白琵鹭、黑翅鸢、黑鸢、普通鵟和红隼，均属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 30 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 18 种。

②送出海底电缆路由区域

2023 年 11 月为秋季调查，本次调查共记录鸟类 30 种，隶属 5 目 14 科。优势类群包括鸽形目 14 种，和雀形目 9 种。水鸟共有 20 种，陆鸟 10 种。数量上，共记录 761 只次，优势种为红嘴鸥、白鹭和反嘴鹬，数量分别占该月调查总数量的 18.4%、11.3%和 10.5%。常见种有 14 种，包括有大白鹭、铁嘴沙鸻、环颈鸻、普通鸬鹚、蒙古沙鸻、黑尾塍鹬、灰翅浮鸥、泽鹬、红颈滨鹬、黑腹滨鹬、灰鸻、苍鹭、青脚鹬和八哥，以上 15 种共占当季调查数量的 55.2%，与优势种合计共占总数量的 95.4%。以上数量较多的种类中仅八哥不是水鸟，说明水鸟数量占优。

居留型方面，冬候鸟的种类较多，有 16 种，其次为留鸟和迁徙过境鸟，均有 11 种，夏候鸟有 3 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量最多，占总数量的 74.6%，其次为迁徙过境鸟，占 41.0%，留鸟占总数量的 24.7%，夏候鸟数量较少，占 1.4%。本季调查较多迁徙越冬的种类，部分冬候鸟已抵达本地，数量较丰富。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 9 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 9 种，包括反嘴鹬、红嘴鸥、黑尾鸥、灰翅浮鸥、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭和白鹭；属于 IUCN 红皮书近危（NT）级别的有 2 种，黑尾塍鹬和红颈滨鹬；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 16 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 13 种。

3.2.12.4 海域鸟类现状

（1）风电场区域

风电场所在区域以及周边 8km 缓冲区域内均为浅海海域，调查主要通过乘船沿样线观察，期间仅发现极少量燕鸥科鸟类飞行。将调查范围扩展至沿岸浅海海域，则在海域中共发现鸟类 4 目 4 科 15 种，共 677 只次，其中多数个体在离岸 2-5km 范围内发现。以鸻形目鸟类为主，数量最多的是红嘴鸥，占海面调查总数量的 31.9%，其次为灰翅浮鸥，占总数量的 13.7%，数量较多的还有黑枕燕鸥、红嘴巨燕鸥、褐翅燕鸥、普通鸬鹚、白鹭和普通燕鸥，均超过海面调查总数量的 5%。其中红嘴鸥和红嘴巨燕鸥多分布在离岸较近的海面，而黑枕燕鸥则多在离岸较远海面被记录到，沿海上调查样线零星分布。鸥类和燕鸥类飞行高度约在海面至 20m 高，偶尔冲下海面觅食鱼类。白鹭、大白鹭、岩鹭和普通鸬鹚等体型较大的鹭科和鸬鹚科鸟类多数在沿岸和离岸岩礁上停歇，飞行速度较慢，飞行高度范围多在 5-30m，除岩鹭喜单独活动外，其余多为集群活动。

记录到在海面活动的种类中，有岩鹭、大风头燕鸥和鸮三种国家二级保护动物，其他种类多为省级重点保护的鸥科和鹭科鸟类，以燕鸥种类最多。

（2）送出海底电缆路由区域

输电线路所在区域以及周边 8km 缓冲区域内均为浅海海域，调查主要通过乘船沿样线观察，期间仅发现极少量燕鸥科鸟类飞行。在海域中共发现鸟类 2 目 2 科 8 种，共 201 只次，其中多数个体在离岸（2-5）km 范围内发现。以鸻形目鸟类为主，数量最多的是红嘴鸥，占海面调查总数量的 42.3%，其次为灰翅浮鸥，占总数量的 23.9%，褐翅燕鸥排第三，占总数量的 12.9%，数量较多的还有黑枕燕鸥，占海面调查总数量的 10.9%。其中红嘴鸥多分布在离岸较近的海面，

而黑枕燕鸥则多在离岸较远海面被记录到，沿海上调查样线零星分布。鸥类和燕鸥类飞行高度约在海面至 20m 高，偶尔冲下海面觅食鱼类。白鹭和岩鹭等体型较大的鹭科鸟类多数在沿岸和离岸岩礁上停歇，飞行速度较慢，飞行高度范围多在（5-30）m，除岩鹭喜单独活动外，其余多为集群活动。

记录到在海面活动的种类中，有岩鹭和大凤头燕鸥两种国家二级保护动物，其他种类多为省级重点保护的鸥科和鹭科鸟类，以燕鸥种类最多。

3.2.12.5 沿岸鸟类现状

（1）风电场区域

和海上调查相比，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域。本调查共记录种类 14 目 31 科 91 种，数量 7194 只次，占本项目调查总数的 91.78%。其中又可分为滩涂和近岸陆域两类区域，滩涂记录鸟类 7 目 12 科 34 种，但记录数量却占总调查数量的 61.9%，陆域（包括养殖塘）记录鸟类 12 目 28 科 75 种，但记录数量却仅占总调查数量的 29.5%，反映出虽然陆域鸟类种类较丰富，但滩涂鸟类数量占优，也表明沿岸滩涂是本区域鸟类主要觅食地和栖息地。沿岸鸟类优势种为白鹭、大白鹭，滩涂上分布较多的还有反嘴鹬、红嘴鸥和铁嘴沙鸻等。

在保护物种方面，属于广东省重点保护陆生野生动物的有 17 种；国家重点保护动物有 15 种，其中一级保护有两种，分别为东方白鹳和黑脸琵鹭，二级保护有 13 种，分别为褐翅鸦鹃、小鸦鹃、紫水鸡、翻石鹬、大滨鹬、阔嘴鹬、白琵鹭、黑翅鸢、鸮、黑鸢、普通鵟、白胸翡翠和红隼，其中翻石鹬、大滨鹬和鸮只在滩涂有记录，仅白胸翡翠在两类沿岸生境中均有记录；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 7 种，其中东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，紫水鸡和大滨鹬属于易危（VU）级别，白琵鹭、鸮和黑翅鸢属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危以上级别的有 6 种，其中大滨鹬、东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，黑尾塍鹬、灰尾漂鹬和红颈滨鹬属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 7 种，其中东方白鹳被列入附录 I，白琵鹭、鸮、黑鸢、黑翅鸢、普通鵟和红隼被列入附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 47 种，

列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 26 种。

本项目所在近岸区域鸟类分布最集中的区域为广东海丰鸟类省级自然保护区的东关联安围片区，包括长沙湾的滩涂湿地和联安围的鱼塘湿地，其次为高螺村附近的大湖片区，保护区内分布有多种国家重点保护鸟类，其中黑脸琵鹭的数量在广东省冬季同步调查记录中占绝对优势，是广东沿海最重要的黑脸琵鹭越冬地。

（2）送出海底电缆路由区域

和海上调查相比，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于周边海域。本调查共记录种类 9 目 19 科 43 种，数量 3320 只次，占本项目调查总数量的 94.3%。其中又可分为滩涂和近岸陆域两类区域，滩涂记录鸟类 4 目 7 科 23 种，但记录数量却占总调查数量的 78.5%，陆域（包括养殖塘）记录鸟类 7 目 16 科 27 种，但记录数量却仅占总调查数量的 15.8%，反映出虽然陆域鸟类种类较丰富，但滩涂鸟类数量占优，反映出沿岸滩涂是本区域鸟类主要觅食地和栖息地。沿岸鸟类优势种为白鹭、大白鹭，滩涂上分布较多的还有反嘴鹬和红嘴鸥等。

在保护物种方面，属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种；国家重点保护动物有 2 种，白胸翡翠和黑翅鸢，均为二级保护；列入国家保护动物红色名录近危（NT）级别的有黑翅鸢 1 种；属于 IUCN 红皮书近危（NT）级别的有 2 种，黑尾塍鹬和红颈滨鹬；列入 CITES 附录的物种有黑翅鸢 1 种，属于附录 II；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 24 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 14 种。

本项目所在近岸区域鸟类分布最集中的区域为广东海丰鸟类省级自然保护区的东关联安围片区，包括长沙湾的滩涂湿地和联安围的鱼塘湿地，分布有多种国家重点保护鸟类，其中黑脸琵鹭的数量在广东省冬季同步调查记录中占绝对优势，是广东沿海最重要的黑脸琵鹭越冬地。

3.2.12.6 受影响类群及代表性物种分析

（1）风电场区域

在广东沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸕鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域区域有部分礁石，泥质滩涂较少，因此鸕鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类，是最有可能受到影响的种类。鸥类、燕鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时会跟随渔船在海面集群觅食，然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变，渔船也不会驶入场址，鸥类与风机发生碰撞的几率也随之降低。海洋性鸟类，如军舰鸟、鲣鸟等，会在海面梭巡，但一般不会集大群，且数量较少。此外，鸮和普通鳶等猛禽也发现常于海面上空盘旋。但大多数时间猛禽的飞行高度远高于风机运行高度，仅觅食时会靠近海面，当风电场建成后鱼类分布发生改变，其靠近场址的几率也会下降。

（2）送出海底电缆路由区域

在广东沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸕鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域区域有部分礁石，泥质滩涂较少，在该区域活动的鸕鹚类主要为鸕类，且数量较少。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类。鸥类、燕鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时会跟随渔船在海面集群觅食。海洋性鸟类，如军舰鸟、鲣鸟等，会在海面梭巡，但一般不会集大群，且数量较少。此外，鸮和普通鳶等猛禽也发现常于海面上空盘旋。以上在海域活动的种类在施工期可能会回避海缆所在区域，但在施工结束后影响将会消除。

3.2.13 自然保护区

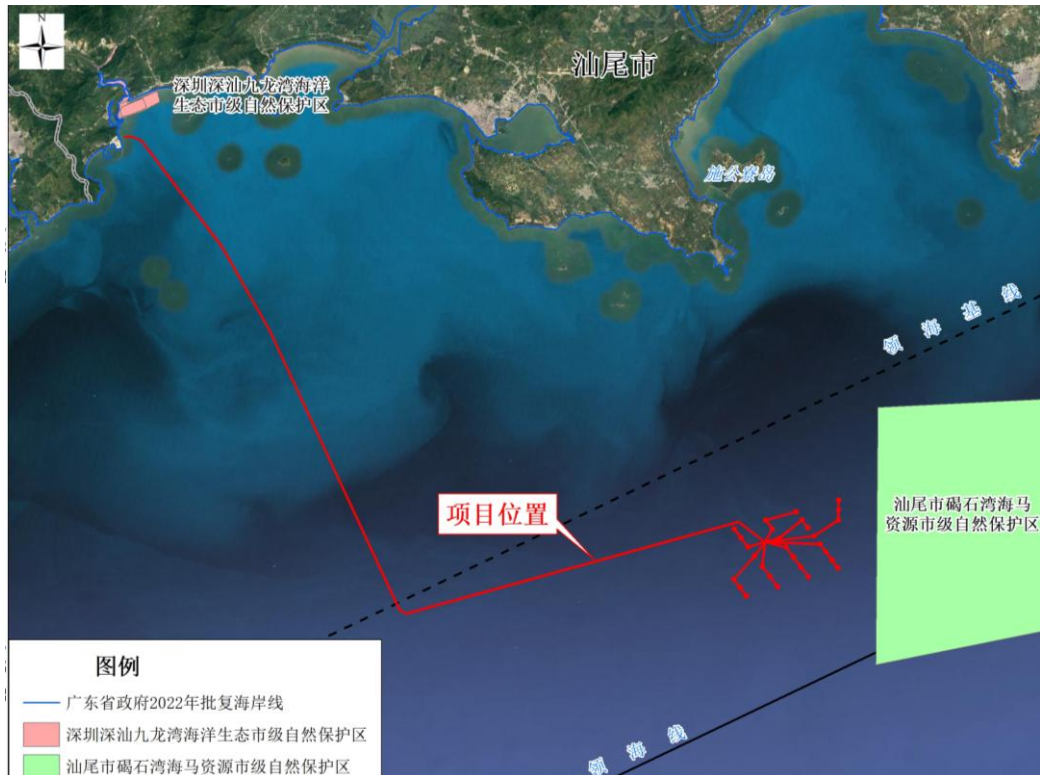
项目论证范围内自然保护区有 2 个，分别是汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区和深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区。

（1）汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区

该保护区位于本项目东侧 3.4km 处。汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区位于陆丰市碣石镇对开海域，其保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。

（2）深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区

该自然保护区是经汕尾市人民政府（汕府函（2006）24 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。2023 在整合优化摸底数据的基础上进一步根据保护区现状进行范围优化，最终确定的矢量化面积 623.8297 公顷。保护区的主要保护对象为真鲷、黑鲷、鲈鱼、鲹鱼、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。该保护区位于本项目北侧，最近距离约为 1.6km。



3.2.14 典型生态系统

3.2.14.1 红树林

本项目登陆点北侧 1.2km 处分布有现状红树林，项目海底电缆与现状红树林间有一定距离，且有陆域相隔，项目建设不涉及现状红树林，不会对现状红树林产生影响。因此本项目不进行现状调查，仅进行大范围遥感调查。

深汕特别合作区的红树林资源颇为丰富，总面积为 7.78 公顷，主要分布在小漠港、赤石河入海口以及赤石河感潮河段直至赤石镇赤石大桥区域，分布有包括珍稀濒危红树种银叶树在内的多种红树林群落，主要以白骨壤、海漆、秋茄、桐花木、黄槿及混合群落为主。截至 2023 年底，深汕特别合作区的红树林碳储量已达到 2031.27 吨。结合遥感调查，本项目论证范围内现状红树林约 3.55 公顷，详见图 3.2.14-1，红树林现状航拍照片详见图 3.2.14-2。



图 3.2.14-1 项目周边红树林分布示意图



图 3.2.14-2 项目周边红树林现场照片

3.2.14.2 珊瑚群落

本节引用《深汕特别合作区小漠国际物流港防波堤一期工程环境影响报告书》（广东海兰图环境技术研究有限公司，2024 年 1 月）的相关内容。

调查发现，深汕合作区石珊瑚分布面积共 0.3824km^2 ，主要分布在乌山沿岸、江牡岛和芒屿岛东面海域，鸡心石也有少量分布（图 3.2.14-3）。其中乌山沿岸珊瑚群落分布面积 0.2202km^2 ，江牡岛珊瑚群落分布面积 0.0699km^2 ，芒屿岛珊瑚群落分布面积为 0.0686km^2 ，鸡心石珊瑚群落分布面积 0.0237km^2 。深汕合作区珊瑚群落最远分布在离岸 0.23km 处，水深 $0\sim 8.1\text{m}$ 范围内。与本项目距离最近的珊瑚礁为西侧 4.3km 处。



图 3.2.14-3 珊瑚群落分布图

经初步鉴定，深汕合作区海域共发现了 16 种珊瑚，其中 15 种石珊瑚，1 种软珊瑚。15 种石珊瑚分别属于 7 科 13 属，包括鹿角珊瑚科、滨珊瑚科、木珊瑚科、沙珊瑚科、筛珊瑚科、裸肋珊瑚科和同星珊瑚科，其中裸肋珊瑚科种类最多，有 4 属 5 种，鹿角珊瑚科、滨珊瑚科和木珊瑚科分别有 2 个属，其他科仅 1 个属。

乌山沿岸海域珊瑚主要以滨珊瑚科、裸肋珊瑚科以及同星珊瑚科为主，少量鹿角珊瑚科、沙珊瑚科、木珊瑚科及筛珊瑚科；江牡岛珊瑚主要以滨珊瑚科和裸肋珊瑚科为主，也有一定量同星珊瑚科、山珊瑚科、鹿角珊瑚科和木珊瑚科；芒屿岛东部海域多为滨珊瑚科，少量裸肋珊瑚科和木珊瑚科珊瑚；鸡心石多为滨珊瑚科、裸肋珊瑚科及木珊瑚科珊瑚。

3.2.15 珍稀海洋生物

(1) 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。中国已于 1985 年在广东惠东县港口镇海龟湾建立了国家级海龟自然保护区。大多数的海龟生存在比较浅的沿海水域、海湾、泻湖、珊瑚礁和流入大海的河口。不同种类和同一种类内部不同群体的海龟有着各自的迁徙习惯。

通过 2001-2010 年中国大陆对 11 头绿海龟和 3 头蠵龟的洄游路线卫星追踪情况进行分析，可知本项目所在海域存在海龟活动的历史追踪数据。

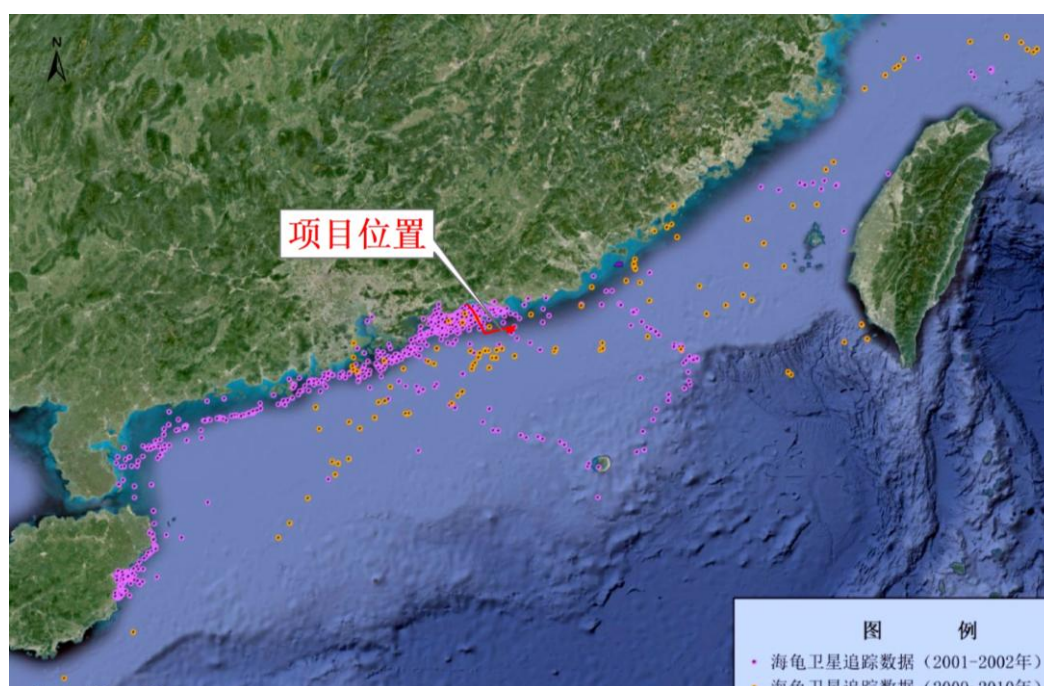


图 3.2.15-1 中国大陆海龟洄游路线卫星追踪图（2001-2010 年）

（2）海马

海马因其头部酷似马头而得名，是一种近陆浅海小型鱼类，隶属海龙目海龙科海马属头侧扁，头每侧有 2 个鼻孔，头与躯干成直角形，胸腹部凸出，由 10～12 个骨头环组成，一般体长 10cm 左右，尾部细长，具四棱，常呈卷曲状，全身完全由膜骨片包裹，有一无刺的背鳍，无腹鳍和尾鳍。雄性海马腹面有一个育儿囊，卵产于其内进行孵化，一年可繁殖 2~3 代。

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 1m~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。

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，主要有桡足类、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。淡水枝角类等也可作为食，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。

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外。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。

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。

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。

在本项目引用的 2024 年 4 月、2024 年 11 月海洋环境现状调查结果中未发

现以上珍稀海洋生物。

3.2.16 “三场一通道”分布情况

根据农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批）南海区渔业水域图（第一批），南海区渔业水域及项目所在海域“三场一通”情况如下：

（1）粤东近海区蓝圆鲹产卵场

粤东近海区蓝圆鲹产卵场水深约 40-75 米，产卵期 1-4 月，本项目不位于粤东近海区蓝圆鲹产卵场内，距离较近，见图 3.2.16-1。

（2）南海底层、近底层鱼类产卵场

本项目不位于南海底层、近底层鱼类产卵场内，见图 3.2.16-2。

（3）南海区幼鱼、幼虾保护区

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 米水深以内的海域均为南海区幼鱼、幼虾保护区，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。如图 3.2.16-4，本项目部分位于南海区幼鱼、幼虾保护区内。该保护区主要功能为渔业水域，保护内容为水质和生态。保护区性质为幼鱼幼虾保护区非水生生物自然保护区和水产种质资源保护区。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。

（4）黄花鱼幼鱼保护区

黄花鱼幼鱼保护区共有 4 处，其中一处为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。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。本项目部分位于黄花鱼幼鱼保护区内（详见图 3.2.16-4）。

（5）蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区

蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区共有 3 处，其中一处为珠江口担杆岛至海丰县遮浪横 20 米水深以内海域，保护期为每年的 4 月 15 日至 7 月 15 日。禁渔期间，禁止大小围网以及捕捞这类幼鱼为主的其他作业渔船进入上述海域内生产。本项目部分位于蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区内（详见图 3.2.16-4）。



图 3.2.16-1 粤东近海区蓝圆鲹产卵场

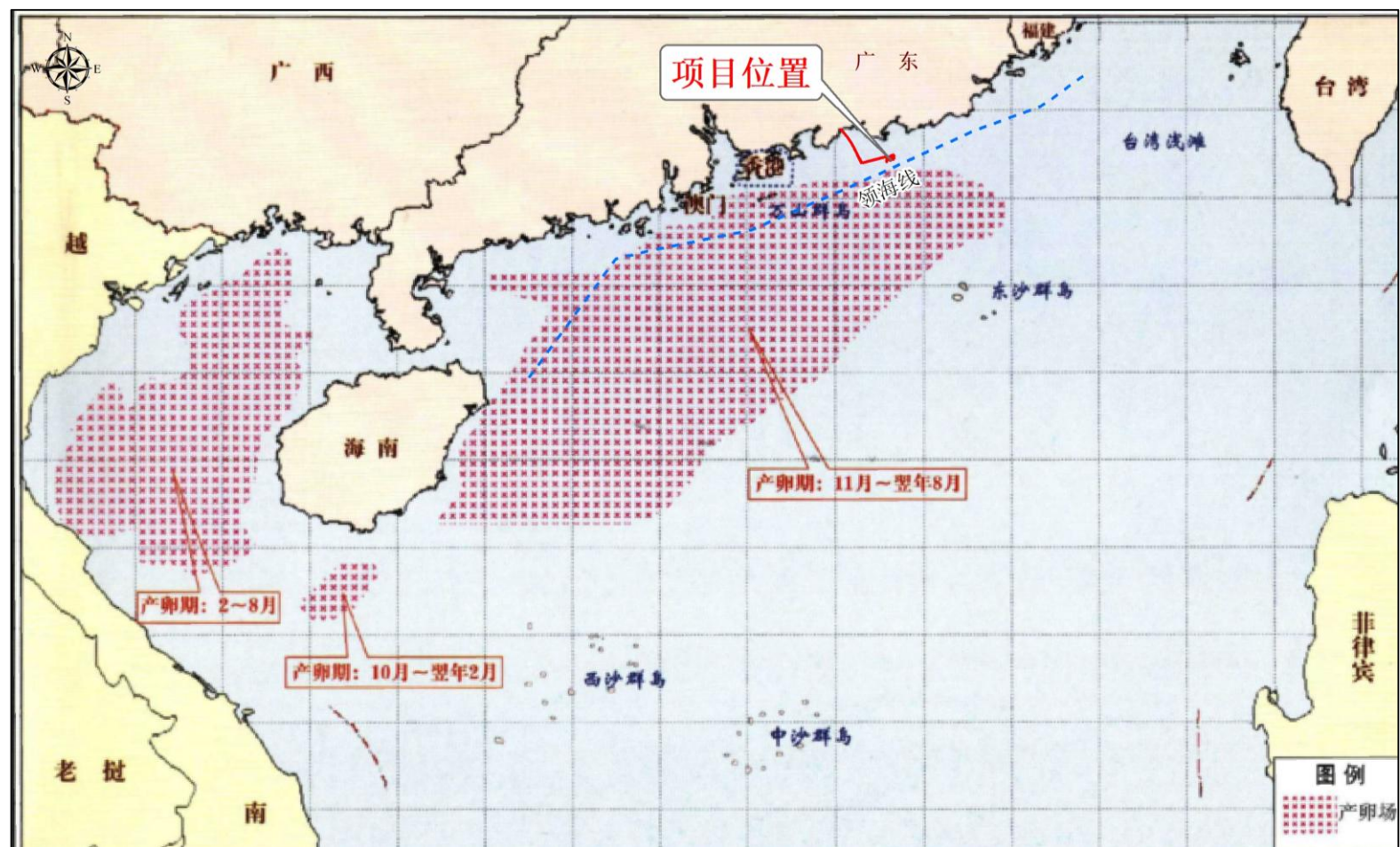
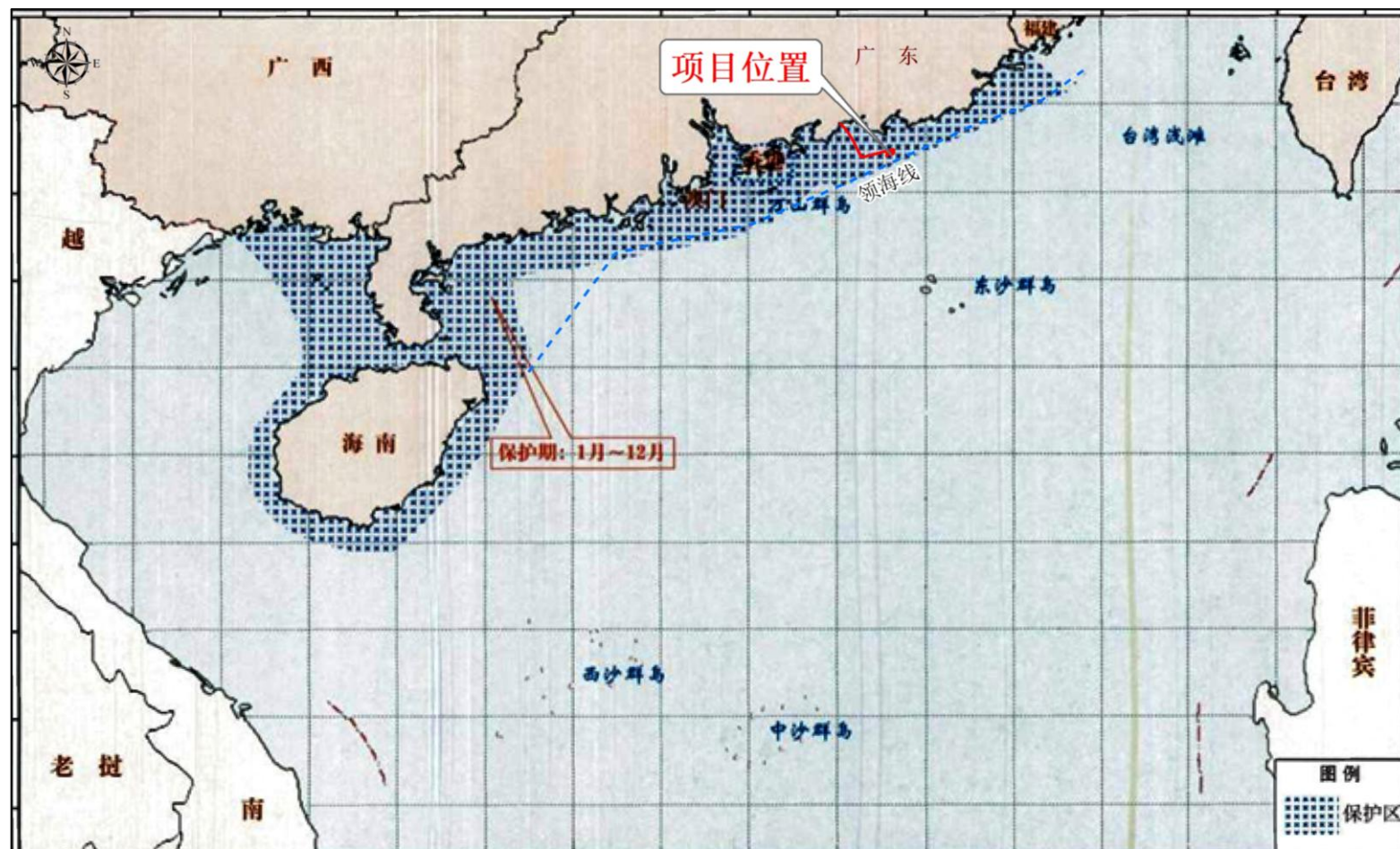


图 3.2.16-2 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图



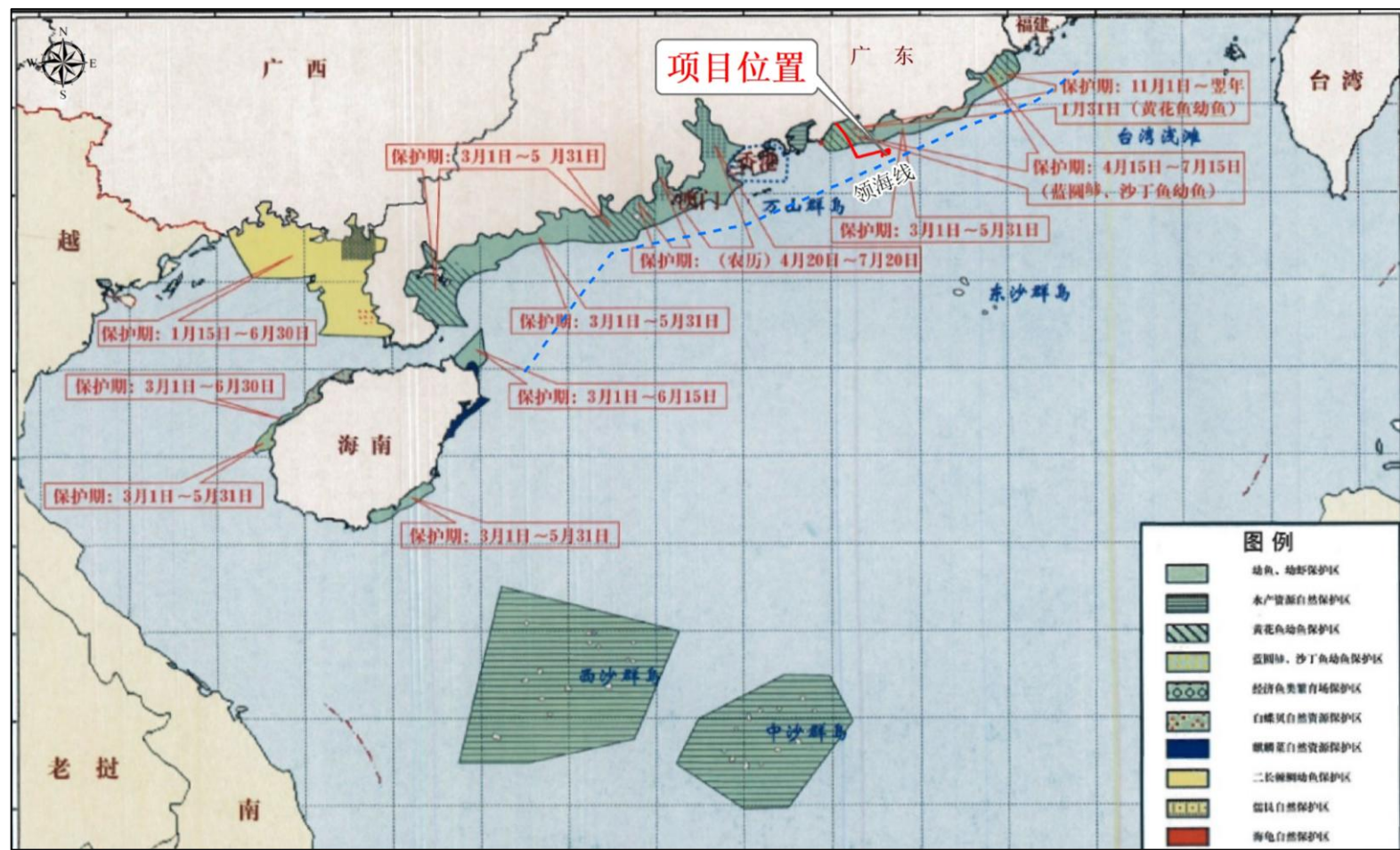


图 3.2.16-4 南海国家级及省级保护区分布示意图

4 海底电缆管道路由勘测

不公开

5 资源生态影响分析

5.1 生态评估

5.1.1 资源生态敏感目标

根据本项目用海基本情况和所在海域资源生态基本特征分析，本项目用海周边主要有生态保护红线、自然保护区和渔业水域等资源生态敏感目标，具体分布见表 5.1.1-1，生态保护红线见图 5.1.1-1，自然保护区见图 5.1.1-2，渔业水域见第 3.2.16 节。

表 5.1.1-1 项目周边生态敏感目标分布

类型	名称	与项目相对位置	敏感要素
生态保护红线	遮浪南重要渔业资源产卵场	送出海缆穿越	渔业资源、海洋水质、生态环境
	深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区	北侧，1.3km	特殊海洋生态系统
	汕尾市海丰县红树林	北侧，1.4km	红树林及其生境
	碣石湾海马珍稀濒危物种分布区	东侧，3.3km	海马及其生境
	鲐门重要滩涂及浅海水域	北侧，3.6km	滩涂及浅海水域
	深圳深汕红树林	北侧，4.9km	红树林及其生境
	乌山海岸防护物理防护极重要区	南侧，5.2km	海岸防护
	东江流域水源涵养-生物多样性维护生态保护红线	北侧，5.6km	海洋水质、生态环境
自然保护区	汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区	东侧，3.4km	海马及其生境
	深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区	北侧，1.6km	特殊海洋生态系统
渔业水域	南海区幼鱼、幼虾保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境
	黄花鱼幼鱼保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境
	蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境
无居民海岛	龙虾头岛	北侧，1.0km	海岛生态系统

5.1.1.1 生态保护红线

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，仅允许对生态功能不造成破坏的十大类有限人为活动。

本项目 500kV 送出电缆穿越遮浪南重要渔业资源产卵场，邻近的生态红线区为深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区（北侧，1.3km）和汕尾市海丰县红树林（北侧，1.4km）。

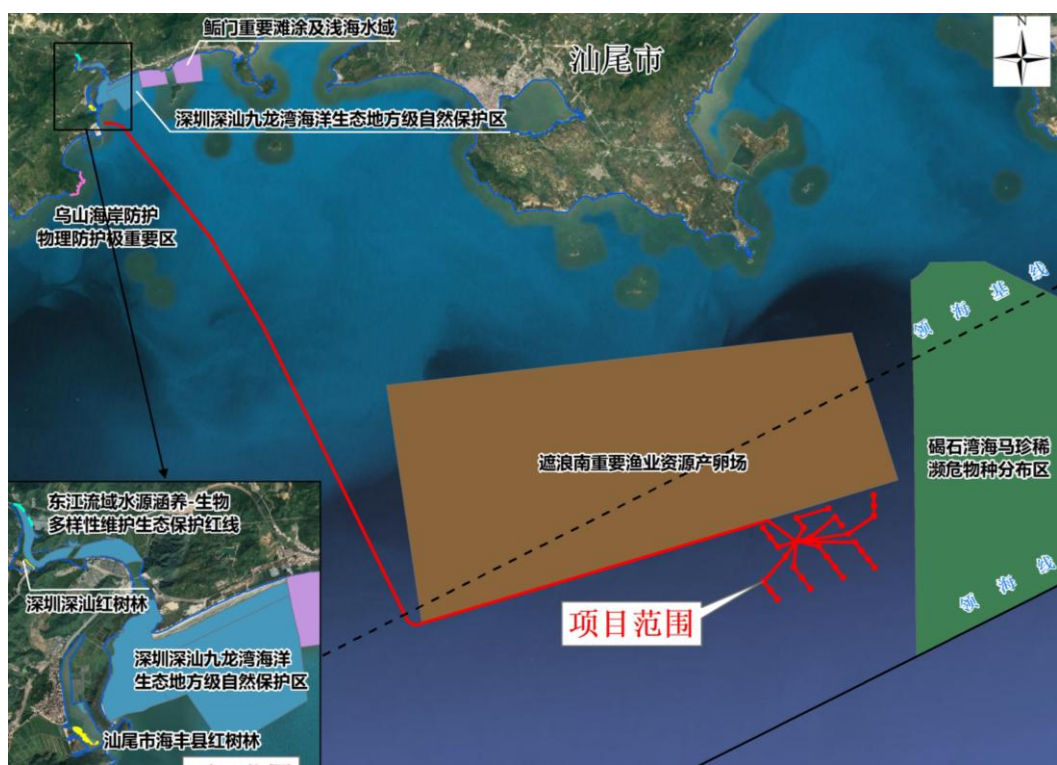


图 5.1.1-1 项目周边资源生态敏感目标分布图（生态保护红线）

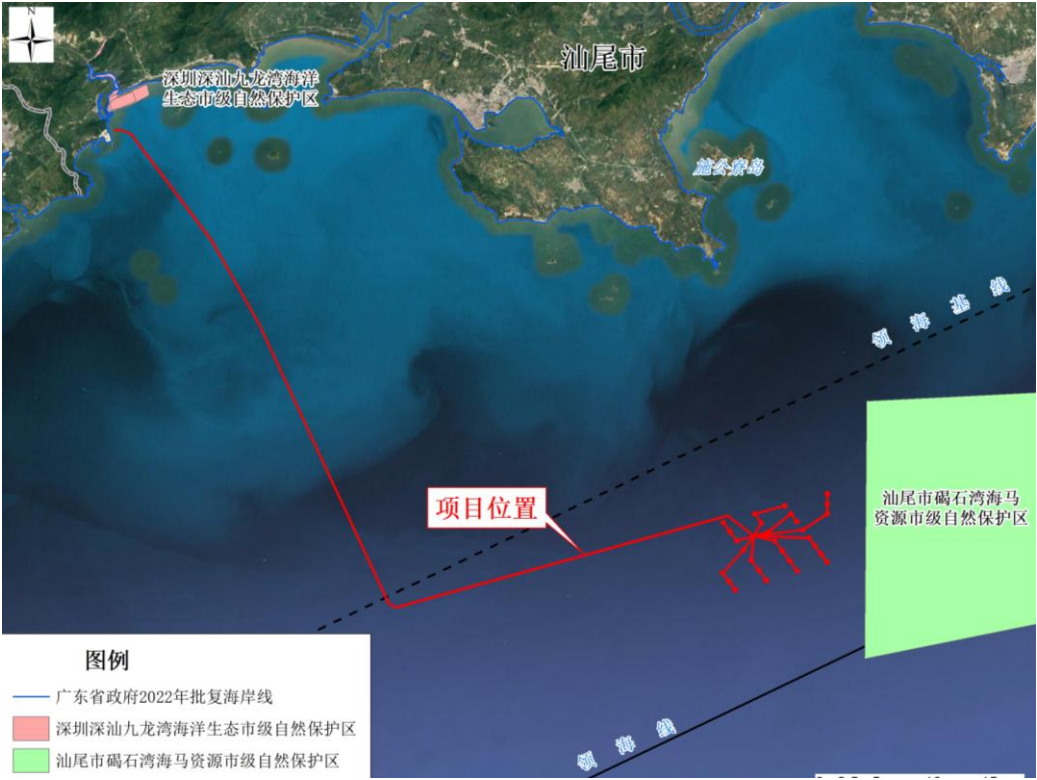
5.1.1.2 自然保护区

项目论证范围内自然保护区有 2 个，分别是汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区和深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区。

汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区位于陆丰市碣石镇对开海域，保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。2016 年 8 月 15 日由汕尾市政府（汕府函〔2016〕74 号）文件批准成立。该保护区位于本项目风电场场址东侧，最近距离约 3.4km。

深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区确定的矢量化面积 623.8297 公顷。

保护区的主要保护对象为真鲷、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。该保护区位于本项目送出海缆登陆点北侧，最近距离约为 1.6km。



5.1.1.3 渔业水域

（1）南海区幼鱼、幼虾保护区

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 米水深以内的海域均为南海区幼鱼、幼虾保护区，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。如图 3.2.16-4，本项目部分位于南海区幼鱼、幼虾保护区内。该保护区主要功能为渔业水域，保护内容为水质和生态。保护区性质为幼鱼幼虾保护区非水生生物自然保护区和水产种质资源保护区。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。

（2）黄花鱼幼鱼保护区

黄花鱼幼鱼保护区共有 4 处，其中一处为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。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。

本项目部分位于黄花鱼幼鱼保护区内（详见图 3.2.16-4）。

（3）蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区

蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区共有 3 处，其中一处为珠江口担杆岛至海丰县遮浪横 20 米水深以内海域，保护期为每年的 4 月 15 日至 7 月 15 日。禁渔期间，禁止大小围网以及捕捞这类幼鱼为主的其他作业渔船进入上述海域内生产。本项目部分位于蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区内（详见图 3.2.16-4）。

5.1.1.4 无居民海岛

本项目论证范围内涉及到的岛礁资源有 28 个，均为无居民海岛，其中龙虾头岛与本项目送出电缆距离最近，约 1.0km，其余海岛与本项目有一定距离，不会对其产生影响。

5.1.2 重点和关键预测因子

本项目为海上风电项目，根据项目用海特征以及周边敏感目标分布情况，项目建设对水动力、地形地貌与冲淤以及水质环境等方面均有一定影响，确定本项目的重点和关键预测因子如下：

- （1）水动力环境：流速、流向、水动力影响范围；
- （2）地形地貌与冲淤环境：冲淤变化；
- （3）水质环境：悬沙扩散。

5.1.3 用海方案工况设计

本项目规划装机容量为 500MW，平面布置设置两个用海方案：

（1）**平面布置方案一**：拟安装 28 台 18MW 风机，风电机组通过 8 回 66kV 集电海缆汇集至海上升压站，风电机组采用阵列式布置，66kV 集电海缆采用链型拓扑结构，每回路连接 3-4 台风机，不交叉不重叠。方案一主要以 ENE 为主导风向，各排风机基本垂直于主导风向，采用了 5 排布置的方案，行内间距在 876~1110m（3.0~3.8D），列间距在 2575~2745m（8.8~9.4D）。

500kV 送出海缆从登陆点出发避开近岸礁石分布区向东、东南方向延伸

2.01km，随后以近似垂直等深线的方向继续向东南延伸 48.29km 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 30.49km 后到达场址五西北角，最后向东南方向延伸 2.93km 到达海上升压站。500kV 送出海底电缆布置 1 根海缆，全长约 83.72km。

方案一海上升压站布置在风电场址内偏西北侧，海上无功补偿站位于送出海缆接近红海湾场址处。

方案一平面布置见图 5.1.3-1。

(2) 平面布置方案二：拟安装 28 台 18MW 风机，风电机组通过 8 回 66kV 集电海缆汇集至海上升压站，风电机组采用阵列式布置，66kV 集电海缆采用链型拓扑结构，每回路连接 3-4 台风机，不交叉不重叠。方案二是沿场址边界排布法得到的排布方案。整体阵列沿南北方向进行排布；共有 4 列机位，每列机位数目 7 个。方案二列间距大致为 10.1D~11.8D，每列内相邻机位距离约为 3.5D，如图 5.1.3-2 所示。

方案二 500kV 送出海底电缆走向除场址内接入升压站段外，其余段基本一致，全长 86.04km。

方案二海上升压站位于风电场址内中北侧，海上无功补偿站布设位置与方案一一致。

方案二平面布置见图 5.1.3-1。

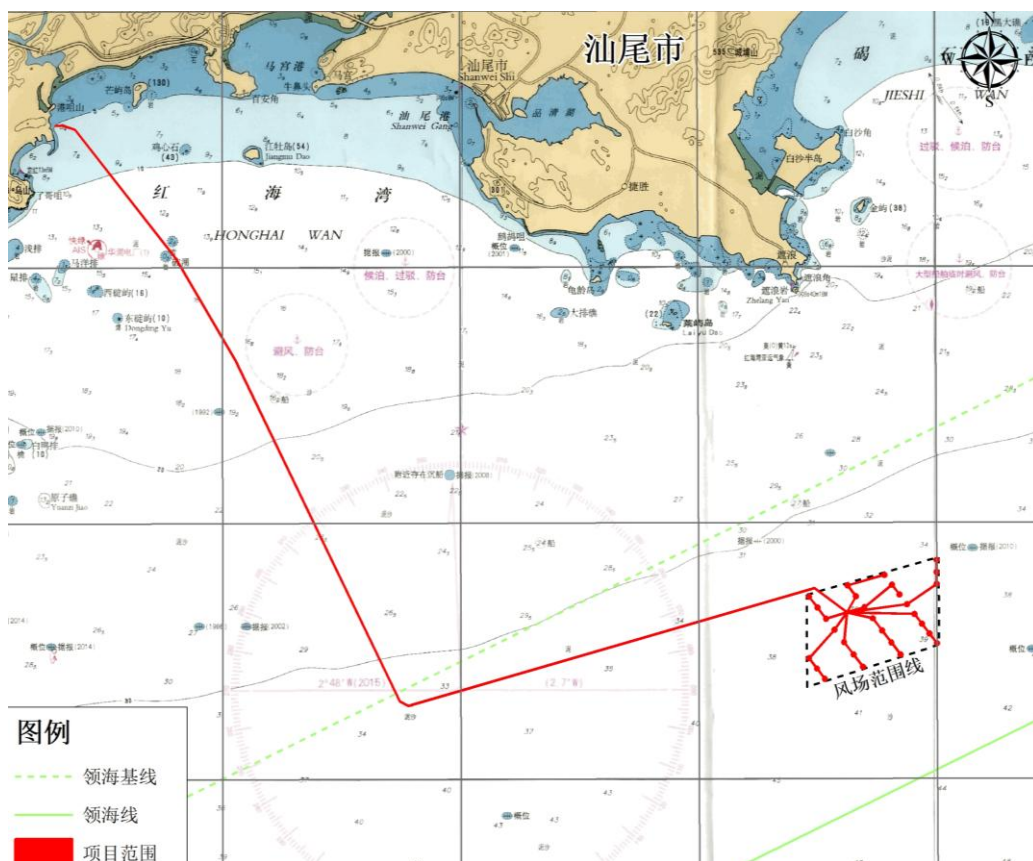


图 5.1.3-1 方案一总平面布置示意图

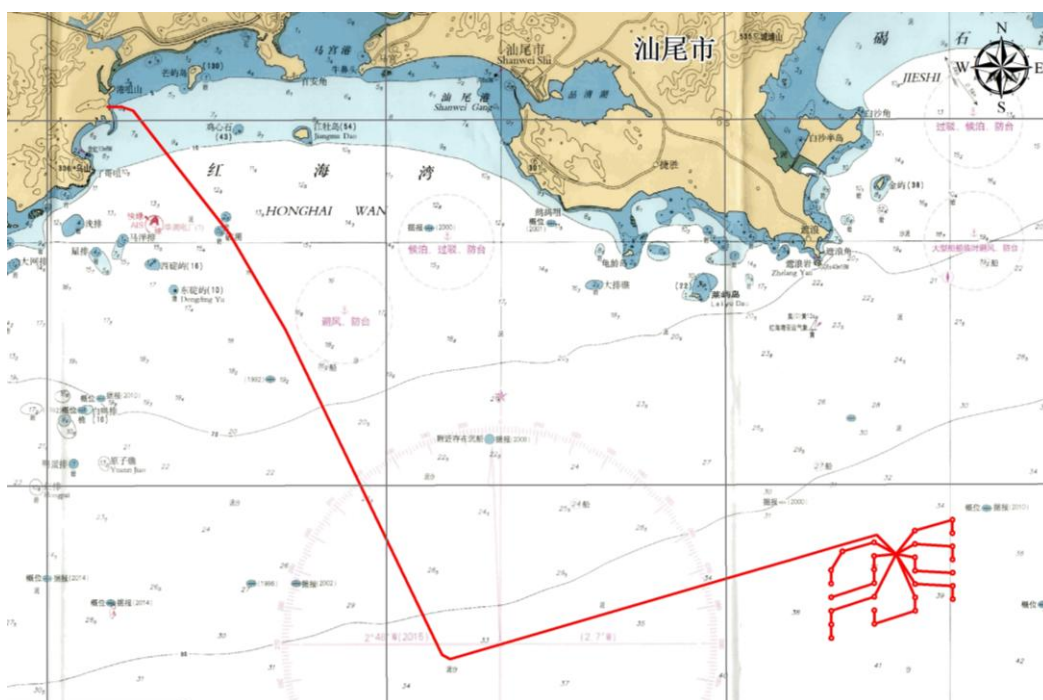


图 5.1.3-2 方案二总平面布置示意图

5.1.4 水动力影响预测对比分析

5.1.4.1 潮流模型

三维水动力数学模型是基于三维不可压缩流，雷诺平均化的 N-S 方程，服从 Boussinesq 假定和静水压力假设，它包括了紊流影响以及密度变化，同时包含了温度平衡方程：

(1) 控制方程

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad D = H + \eta \quad z = \eta, \sigma = 0; \quad z = -H, \sigma = -1$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u D}{\partial x} + \frac{\partial v D}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0$$

$$\frac{\partial u D}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial uv D}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial \sigma} - fv D + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_M}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right]$$

$$- \frac{g D^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{g D}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + F_x$$

$$\frac{\partial v D}{\partial t} + \frac{\partial uv D}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial \sigma} + fu D + g D \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_M}{D} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right]$$

$$- \frac{g D^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{g D}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + F_y$$

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[2 D A_H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D A_H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial y} \left[2 D A_H \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[D A_H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

式中：

H —平均海平面下水深 (m)

η —平均海平面起算水位 (m)

u — x 方向 (东方向) 流速 (m/s)

v — y 方向 (北方向) 流速 (m/s)

w — σ 坐标系流速 (m/s)，方向为等 σ 线的法线方向，它与三维直角坐标系下垂向流速 W 的关系为：

$$w = W - u \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - v \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) - \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \right)$$

f —科氏参数

A_H —水平湍流粘滞系数，取 $23 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

A_M —垂直湍流粘滞系数，由求解双方程湍动能封闭模型求得。

ρ_0 为参考密度，取 1025 kg/m^3 ； ρ 为海水密度，由海水状态方程计算。

(2) 初始条件:

初始速度场，水位场（开边界除外）均为 0。

(3) 边界条件:

①在自由表面上（ $\sigma = 0$ ）:

$$w(0)=0$$

$\rho_0 K_M \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{ax}, \tau_{ay})$ ， τ_{ax}, τ_{ay} 为海表风应力在 x、y 方向上的分量，表达式为:

$$\bar{\tau}_a = \rho_a C_D |\bar{W}_a| \bar{W}_a$$

其中， W_a 为风速（m/s）， ρ_a 为空气密度， C_D 为风曳力系数，采用 ECOM 公式:

$$C_D = \begin{cases} 1.2 \times 10^{-3} & |\bar{W}_a| \leq 11 \text{ (m/s)} \\ (0.49 + 0.065 |\bar{W}_a|) \times 10^{-3} & 11 < |\bar{W}_a| \leq 25 \text{ (m/s)} \\ 2.1 \times 10^{-3} & |\bar{W}_a| > 25 \text{ (m/s)} \end{cases}$$

不考虑大气与水热交换:

$$w C + K_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} = 0$$

②在海底（ $\sigma = -1$ ）:

$$w(-1)=0$$

$\rho_w A_M \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ ， τ_{bx}, τ_{by} 为海底切应力 x、y 方向上的分量，表达式为:

$$\bar{\tau}_b = \rho_w C_z |\bar{V}_b| \bar{V}_b$$

其中， $C_z = \max \left[\frac{k^2}{\ln^2(z_b/z_0)}, 0.0025 \right]$ ， k 是 Karman 常数（一般取值 0.4）， z_b 是离

海底最近的网格结点与海底的距离， z_0 为海底粗度，取 0.01m。

不考虑海底热盐交换： $-K_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} - w_b C_b = 0$

③侧边界条件：

在固边界上，流的法向分量恒为零， $\vec{V}(x, y, \sigma, t) = 0$ ，无热、盐交换。

在开边界上，外海开边界来源于全球潮汐模型，采用 8 个分潮调和常数计算潮位边界，8 个分潮分别为 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1 。

$$\eta = \eta_0 + \sum_{i=1}^8 A_i f_i \cos(w_i t + (V_0 + u_0) - \phi_i)$$

式中， η_0 为平均潮位， A 为分潮振幅， ω 为分潮角速率， f 为交点因子， t 是区时， $(V_0 + u_0)$ 是平衡潮展开分潮的区时初相角， ϕ 为区时迟角。

(4) 干湿边界

对计算区域内滩地干湿过程，采用水位判别法处理，即当某点水深小于一浅水深 \mathcal{E}_{dry} （如 0.1m）时，令该处流速为零，滩地干出，当该处水深大于 \mathcal{E}_{flood} （如 0.2m）时，参与计算，潮水上滩。

(5) 计算方法

对笛卡儿坐标系下的控制方程的归一化：

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial(F_x^I - F_x^V)}{\partial x} + \frac{\partial(F_y^I - F_y^V)}{\partial y} = S$$

其中：

$$U = \begin{bmatrix} h \\ h\bar{u} \\ h\bar{v} \end{bmatrix}$$

$$F_x^I = \begin{bmatrix} h\bar{u} \\ h\bar{u}^2 + \frac{1}{2}g(h^2 - d^2) \\ h\bar{u}\bar{v} \end{bmatrix}, F_x^V = \begin{bmatrix} 0 \\ hA(2\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}) \\ hA(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x}) \end{bmatrix}$$

$$F_y^I = \begin{bmatrix} h\bar{v} \\ h\bar{u}\bar{v} \\ h\bar{v}^2 + \frac{1}{2}g(h^2 - d^2) \end{bmatrix}, F_y^V = \begin{bmatrix} 0 \\ hA(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x}) \\ hA(2\frac{\partial \bar{v}}{\partial x}) \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ gh\frac{\partial d}{\partial x} + f\bar{v}h - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0}(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}) + hu_s \\ gh\frac{\partial d}{\partial y} - f\bar{u}h - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0}(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}) + hv_s \end{bmatrix}$$

对于归一化后的方程，在每一个单元上积分，根据高斯定理，将面积分化为线积分：

$$\int_{A_i} \frac{\partial U}{\partial t} d\Omega + \int_{\Gamma_i} (F \cdot n) ds = \int_{A_i} S(U) d\Omega$$

进一步简化后得到：

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{A_i} \sum_j^{NS} F \cdot n \Delta \Gamma_j = S_i$$

(6) 模型搭建

水动力模块包含两个模态，即内模态和外模态，在进行计算时，外模态忽略垂向结构，考虑水平对流和扩散，计算二维变量。内模态三维水动力模型考虑垂向分层使用 Sigma 坐标，模型层数分为 5 层，每层厚度为 0.2H，计算三维

变量，按稳定性要求 $\frac{\Delta t}{2} < \frac{\alpha \cdot \Delta s}{\sqrt{gH_{\max}}}$ ， $\alpha=1\sim 3$ ，水流数学模型的计算步长为动态

时间步长，取 0.1s~30s。

模型求解采用非结构网格中心网格有限体积法求解，其优点为计算速度较快，非结构网格可以拟合复杂地形。模型共布置 217809 个网格，109583 个节点，采用三角形网格离散计算区域，最大网格尺寸为 8000m，风电桩基处网格尺寸为 2.5m。模型计算范围及网格布置见图 5.1.4-1。

水深地形与风场资料：水深资料为工程附近海图水深与 ETOPI 全球地形数

据库水深资料融合，其中工程附近海区则由中国人民解放军海军司令部航海保证部最新版海图资料读取，将地形加载到网格中进行插值。

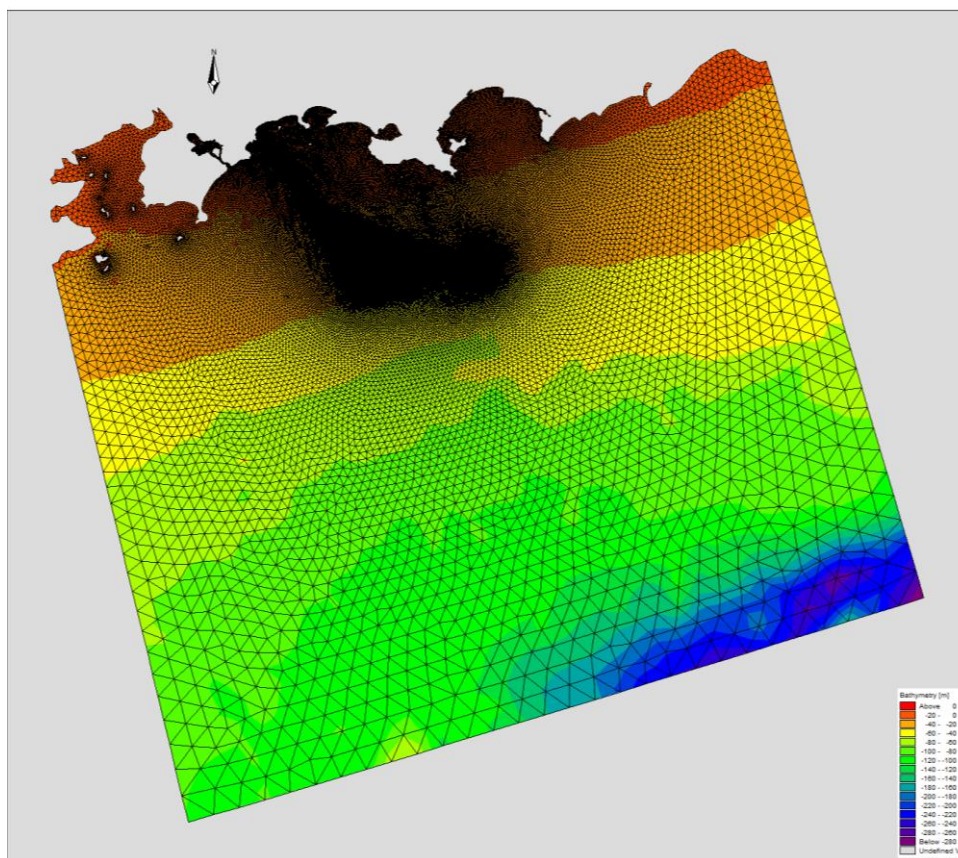


图 5.1.4-1 模型计算范围

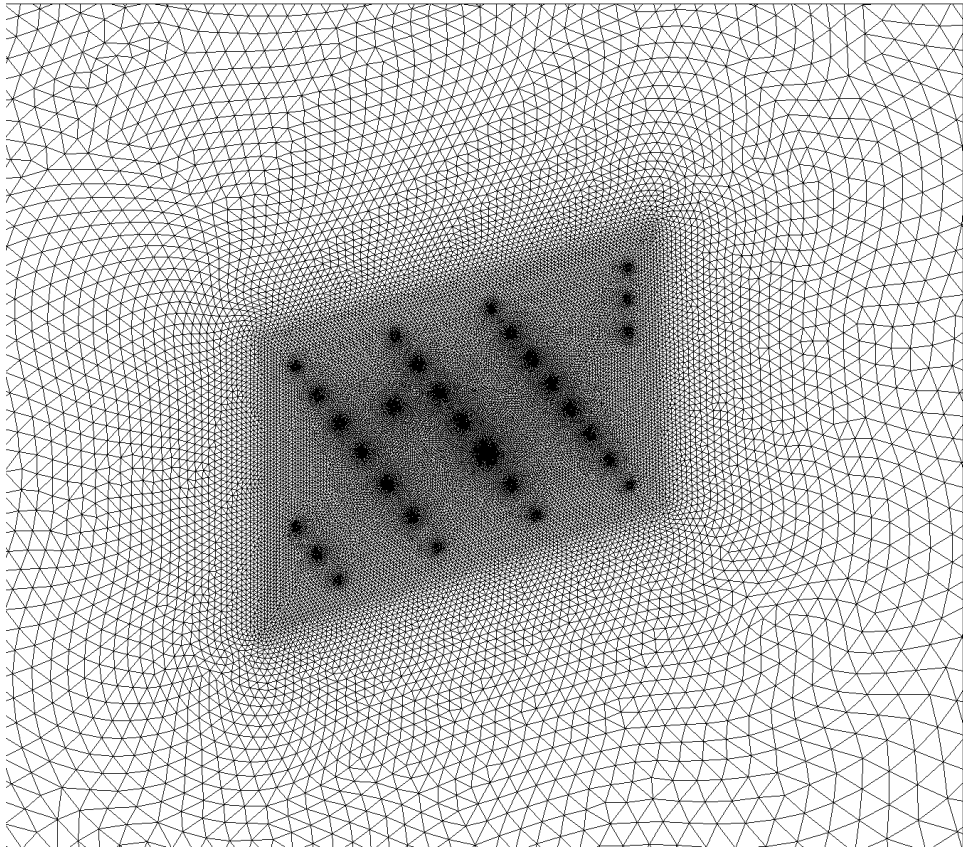


图 5.1.4-2a 方案一工程区网格剖分图

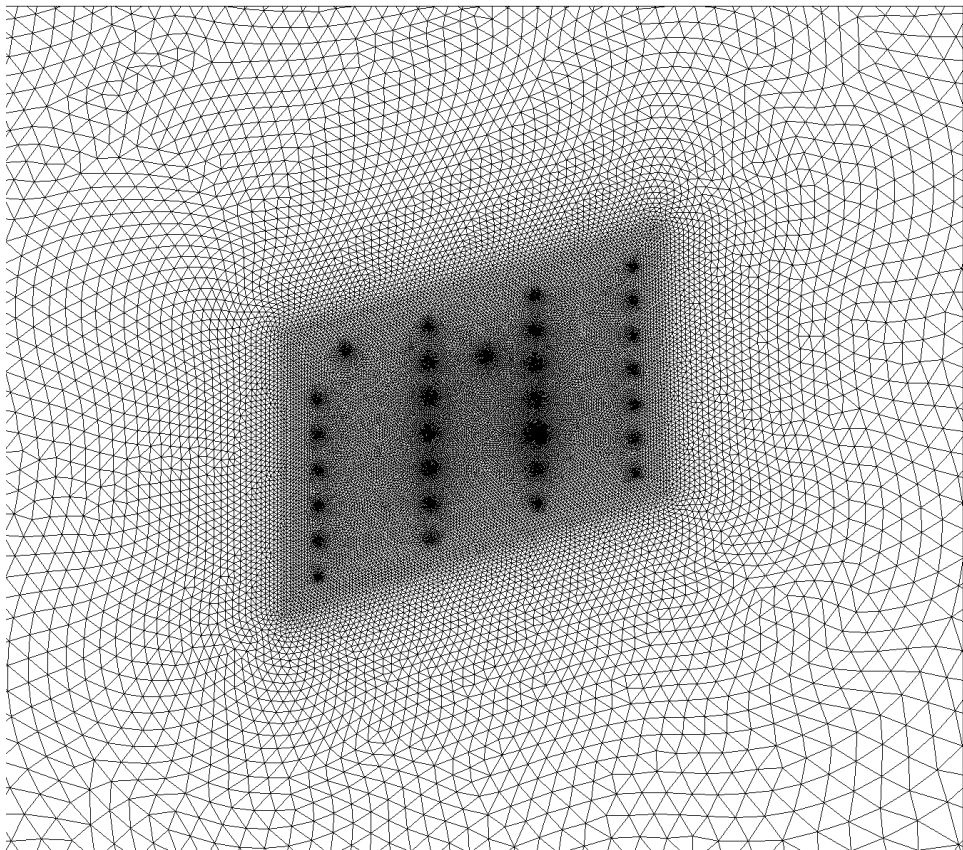


图 5.1.4-2b 方案二工程区网格剖分图

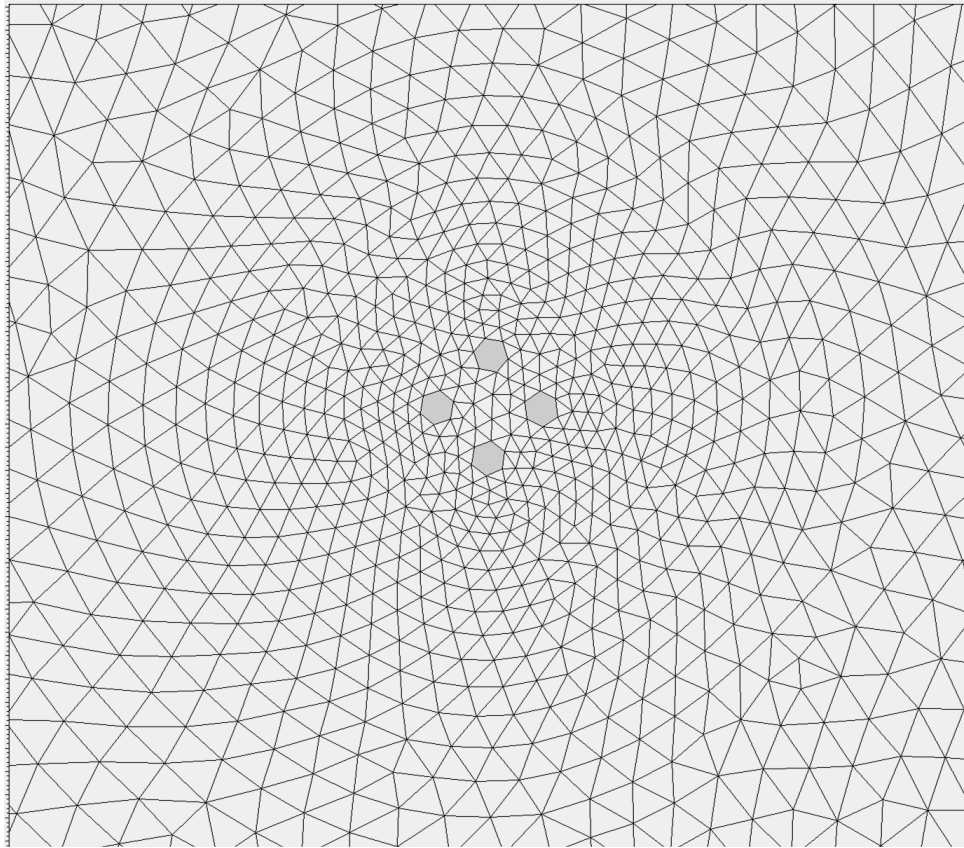


图 5.1.4-3 单个风电桩基局部网格剖分图

(7) 模型验证

模型计算时间为 2023 年 8 月 25 日 0:00~2023 年 9 月 10 日 23:00，模型采用 2023 年 8 月 28 日 14 时~2023 年 8 月 29 日 15 时工程附近海域 A1~A6、F1~F7 共 13 个测站的潮流资料以及 T1~T3 三个潮位测站观测资料进行验证，验证点位置见图 5.1.4-4。图 5.1.4-5 给出了三个实测潮位站潮位过程计算值与实测值的比较图。图 5.1.4-6~图 5.1.4-18 给出了 13 个潮流实测站位表层、0.6 层和底层流速、流向计算值与实测资料的对比图。

从潮位和潮流验证图中可以看出，潮位验证站点水位计算值与实测值吻合较好；13 个海流测点的各层计算潮流和实测潮流变化趋势大体一致，流向模拟值与实测值符合程度较好，流速的模拟值与实测值整体趋势较吻合，最大流速模拟值与实测值基本一致。总体而言，计算域内潮汐和潮流模拟验证较好，计算结果基本能够反映工程附近海域的潮流运动特征。

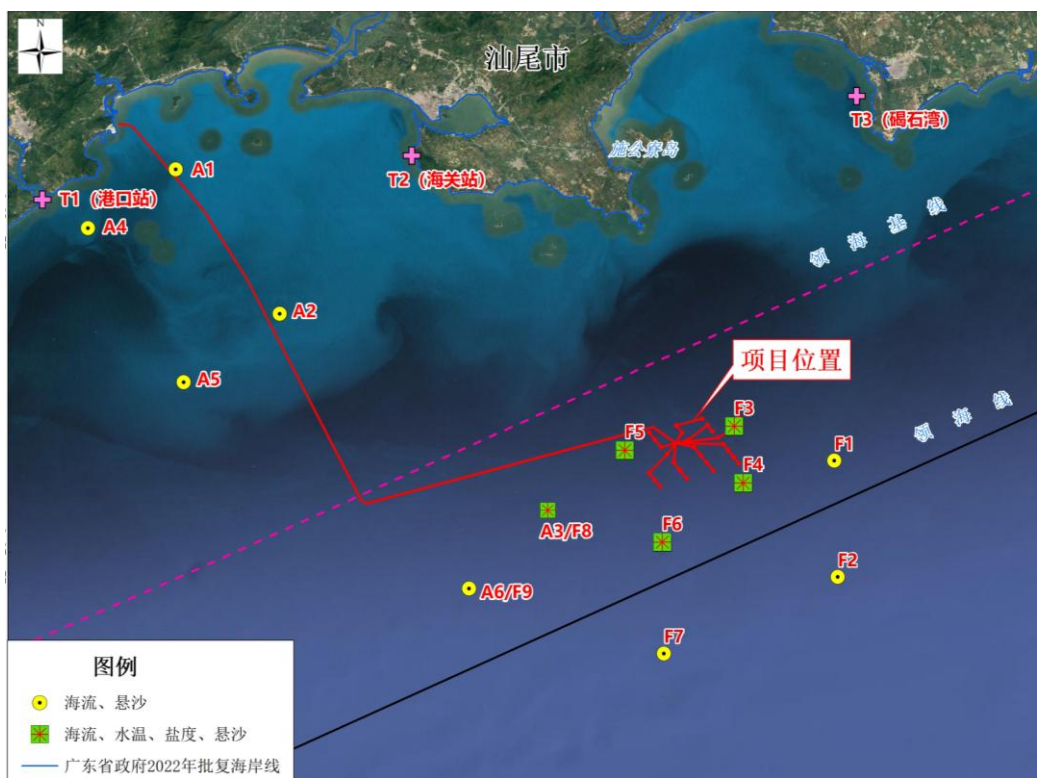


图 5.1.4-4 验证点位置图

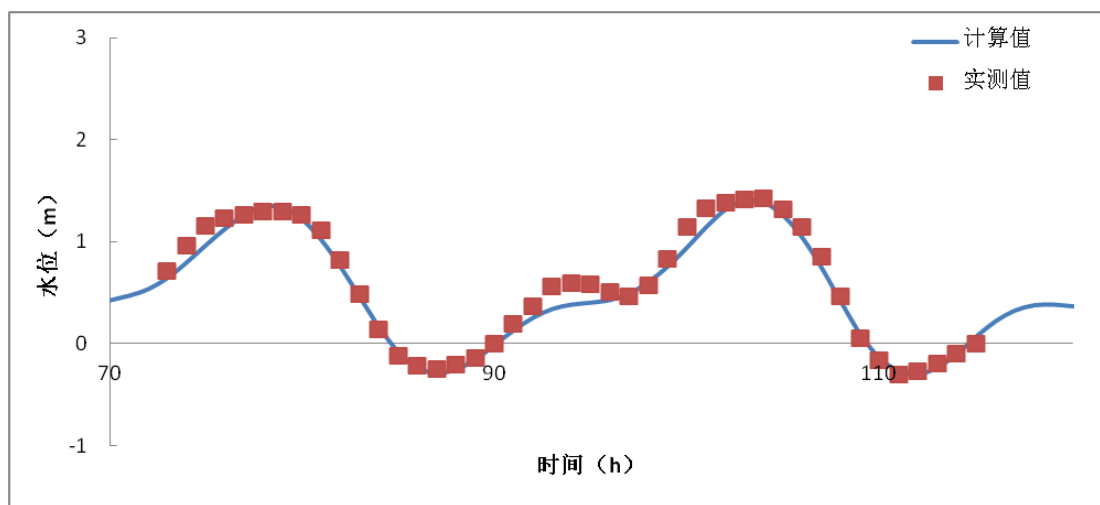


图 5.1.4-5a T1 站潮位验证

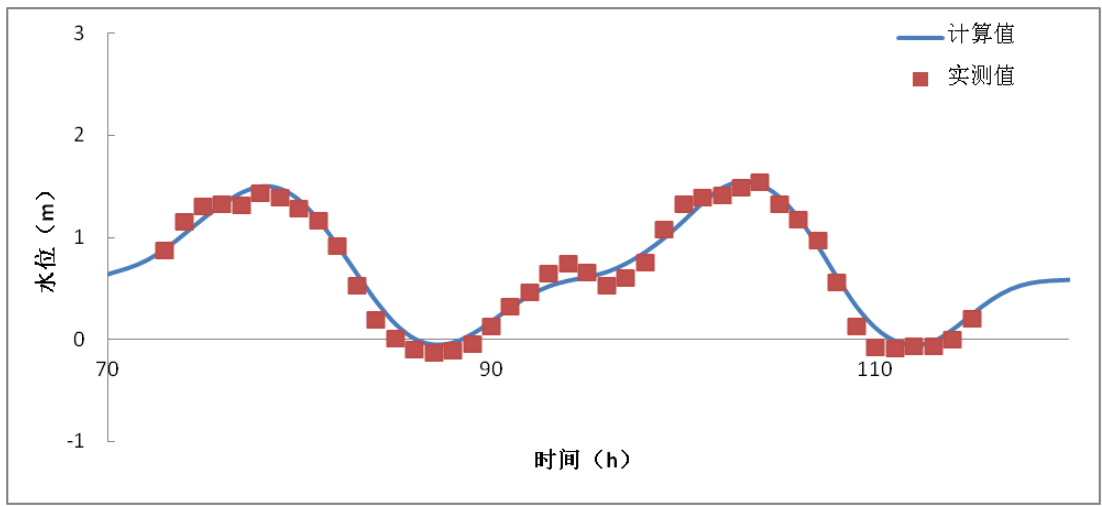


图 5.1.4-5b T2 站潮位验证

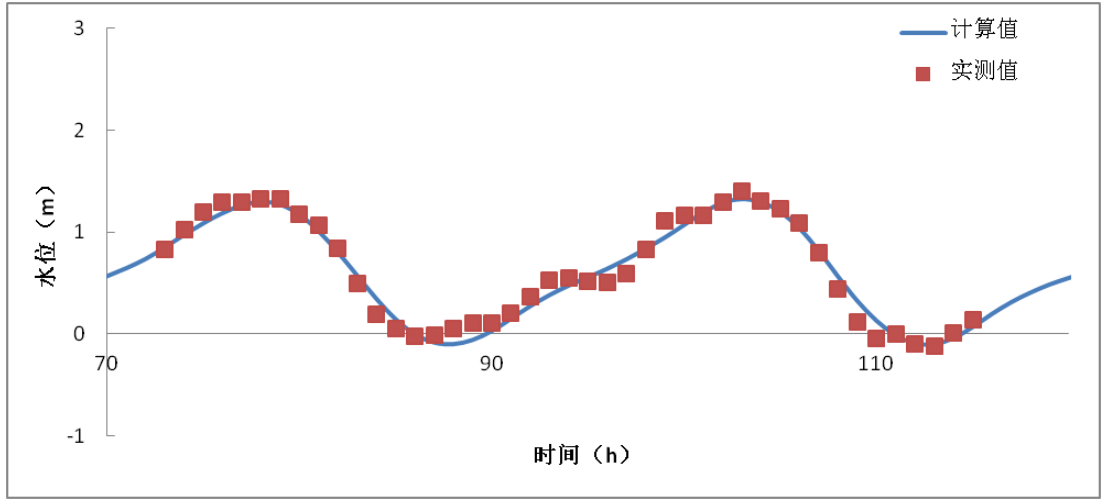


图 5.1.4-5c T3 站潮位验证

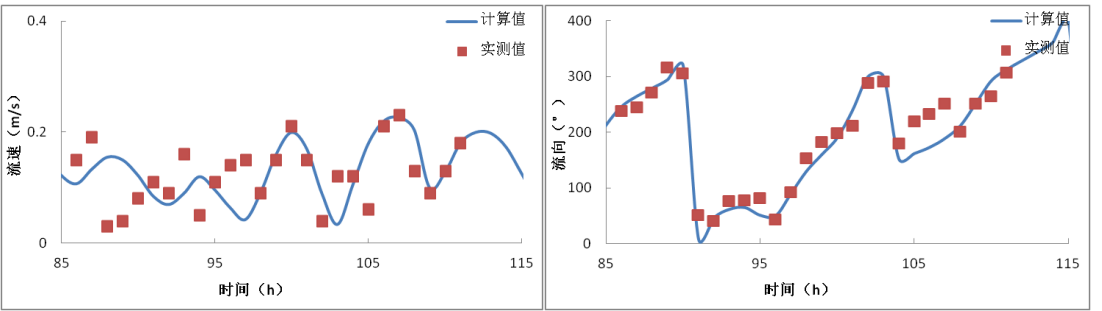


图 5.1.4-6a A1 站流速、流向验证（表层）

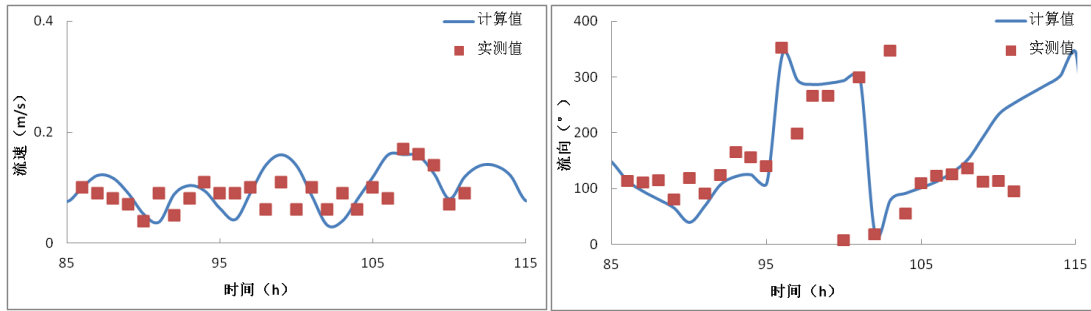


图 5.1.4-6b A1 站流速、流向验证 (0.6 层)

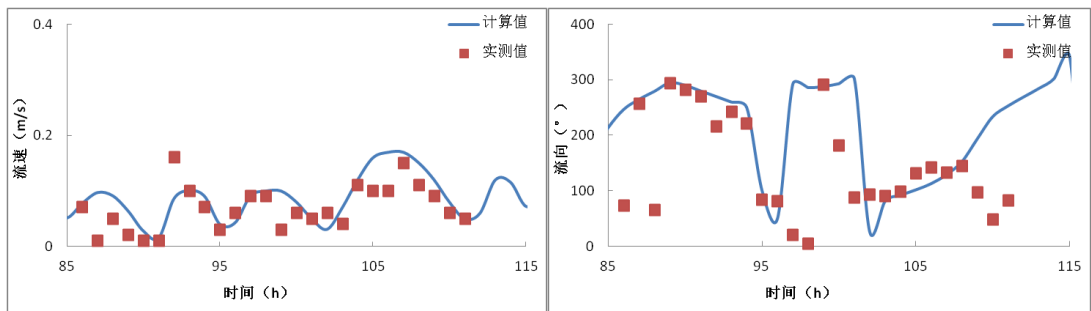


图 5.1.4-6c A1 站流速、流向验证 (底层)

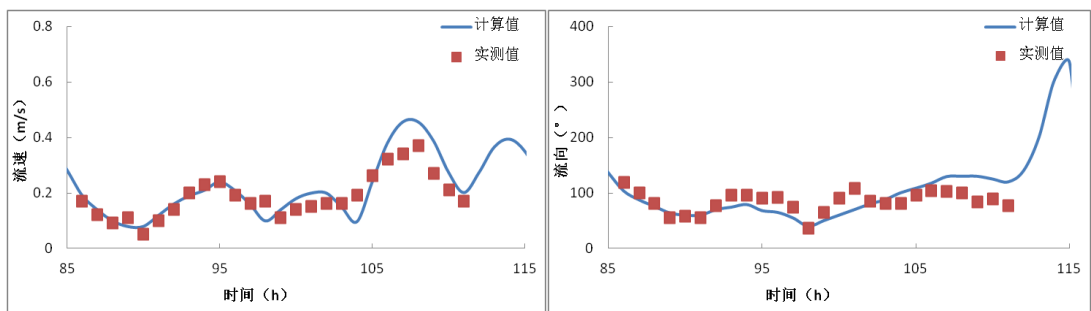


图 5.1.4-7a A2 站流速、流向验证 (表层)

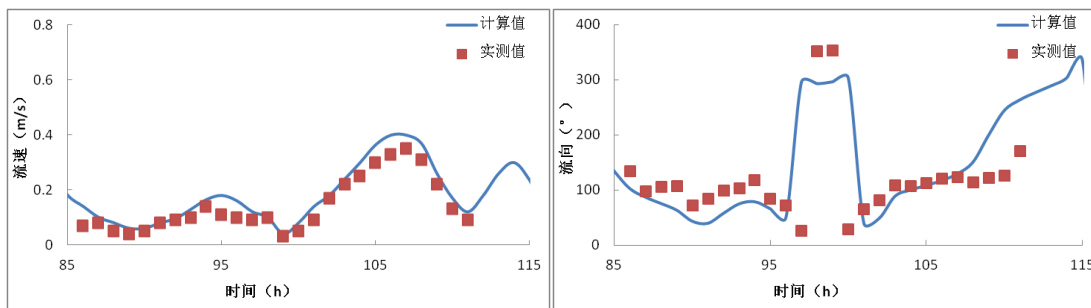


图 5.1.4-7b A2 站流速、流向验证 (0.6 层)

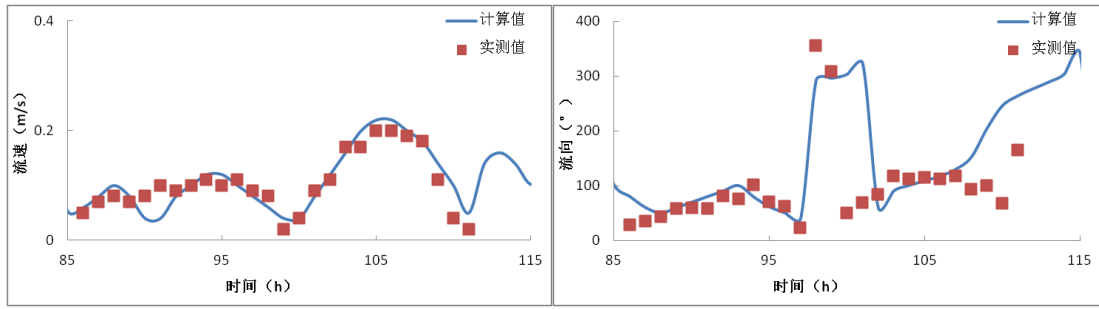


图 5.1.4-7c A2 站流速、流向验证（底层）

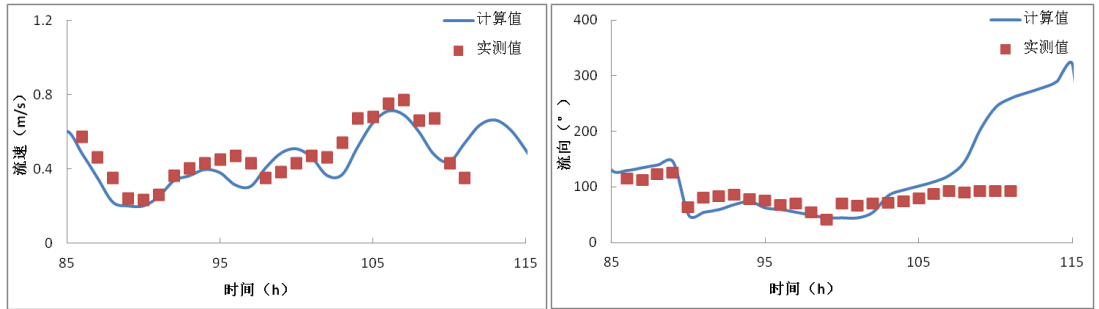


图 5.1.4-8a A3 站流速、流向验证（表层）

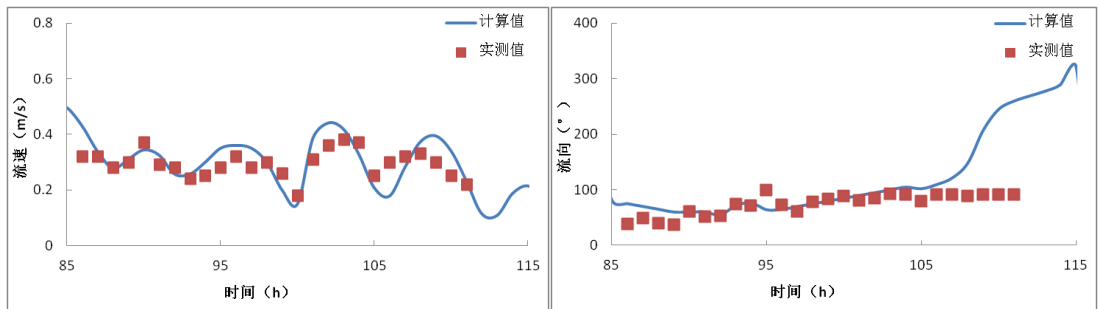


图 5.1.4-8b A3 站流速、流向验证（0.6 层）

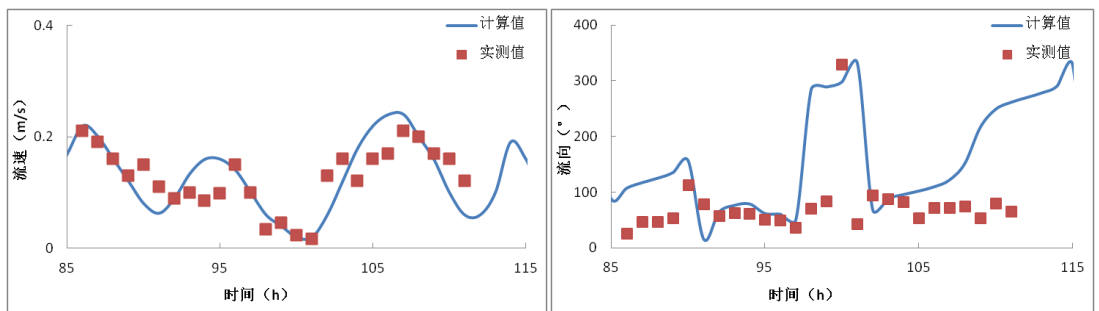


图 5.1.4-8c A3 站流速、流向验证（底层）

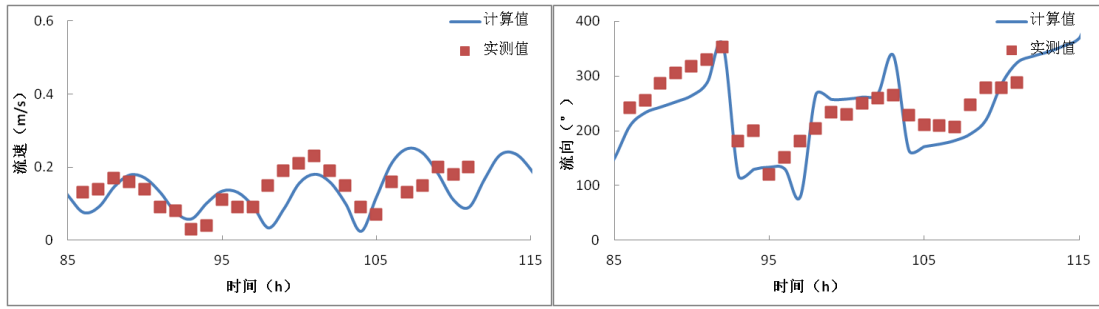


图 5.1.4-9a A4 站流速、流向验证（表层）

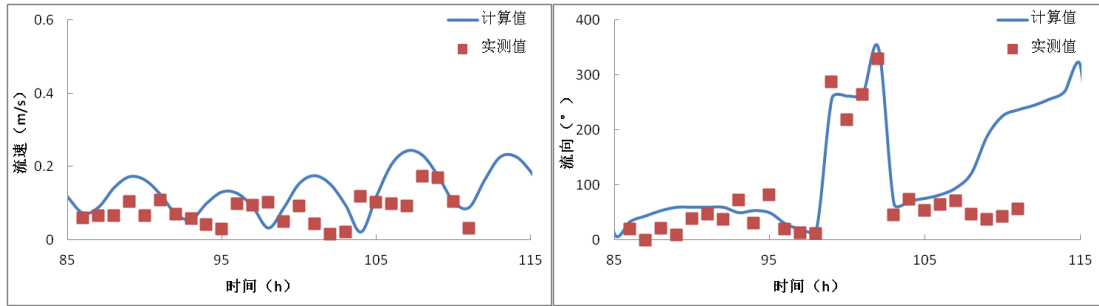


图 5.1.4-9b A4 站流速、流向验证（0.6 层）

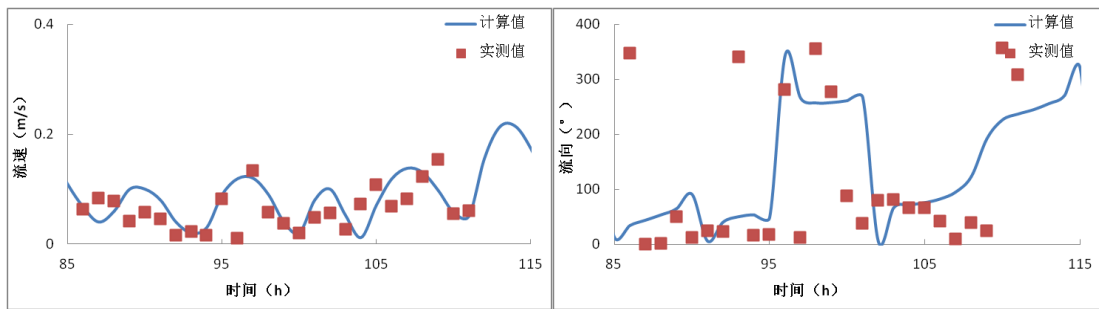


图 5.1.4-9c A4 站流速、流向验证（底层）

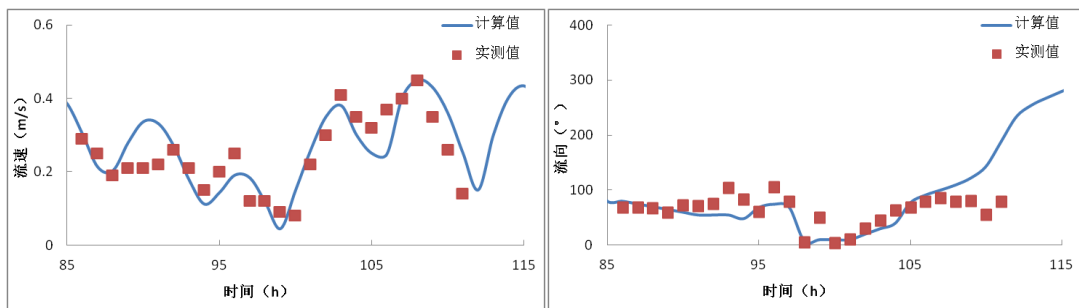


图 5.1.4-10a A5 站流速、流向验证（表层）

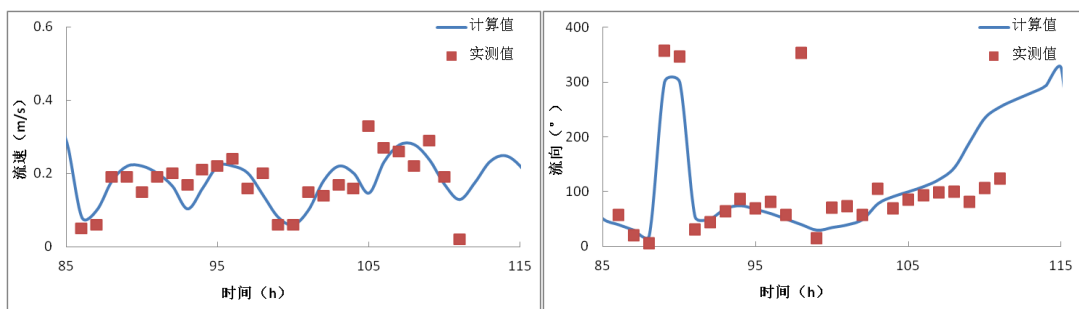


图 5.1.4-10b A5 站流速、流向验证（0.6 层）

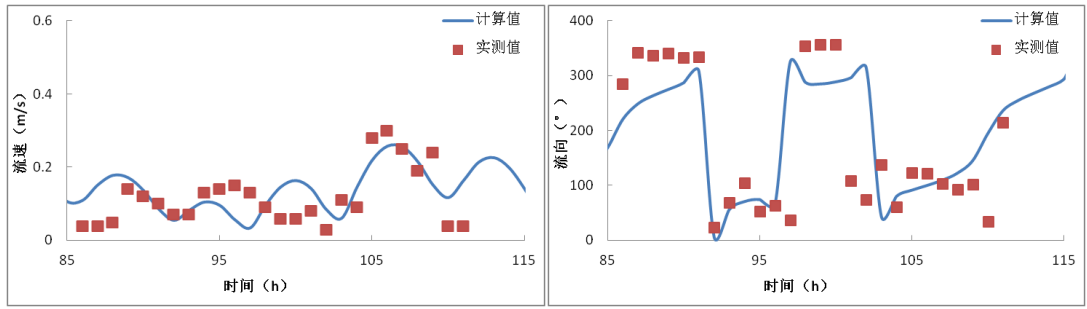


图 5.1.4-10c A5 站流速、流向验证（底层）

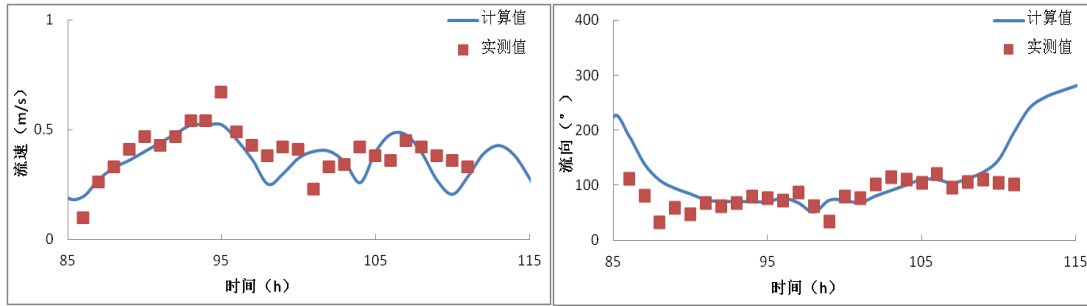


图 5.1.4-11a A6 站流速、流向验证（表层）

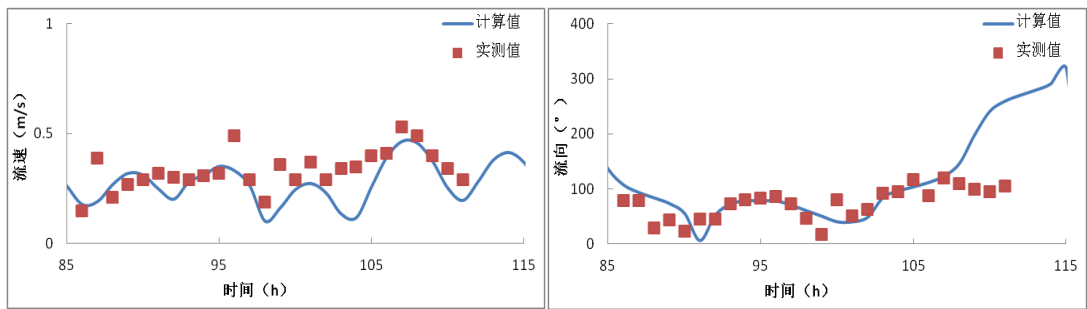


图 5.1.4-11b A6 站流速、流向验证（0.6 层）

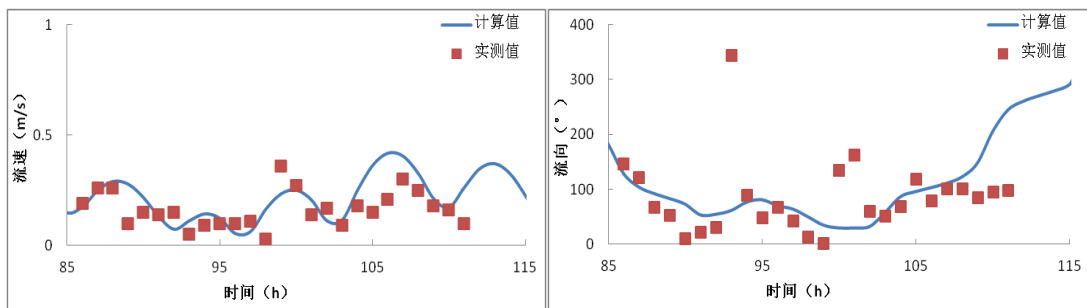


图 5.1.4-11c A6 站流速、流向验证（底层）

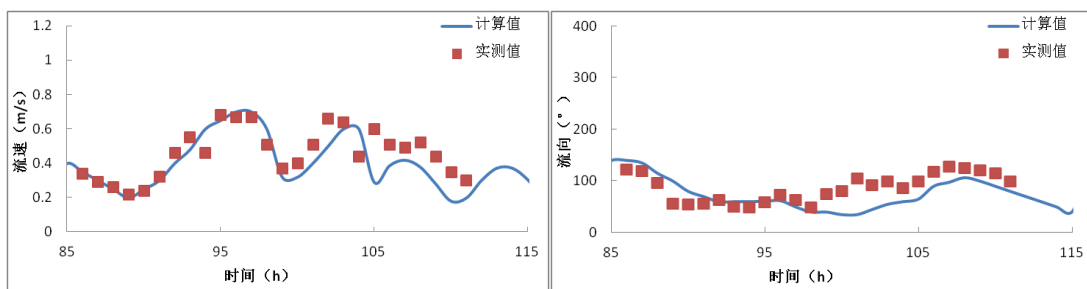


图 5.1.4-12a F1 站流速、流向验证（表层）

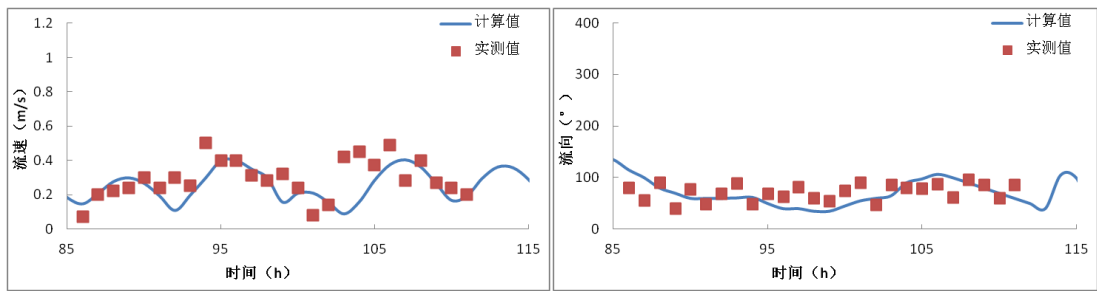


图 5.1.4-12b F1 站流速、流向验证 (0.6 层)

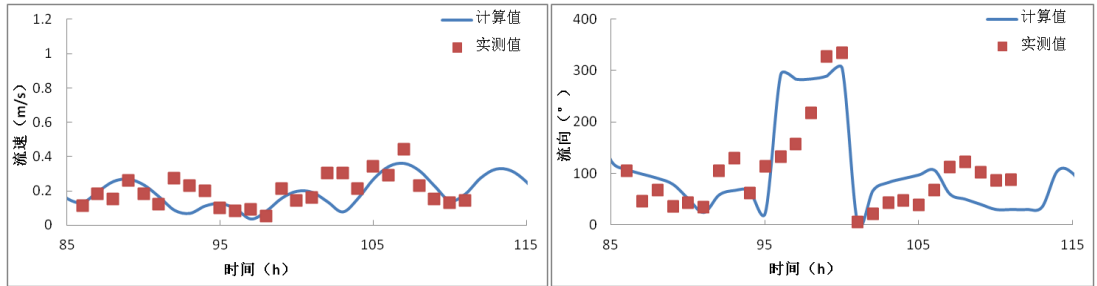


图 5.1.4-12c F1 站流速、流向验证 (底层)

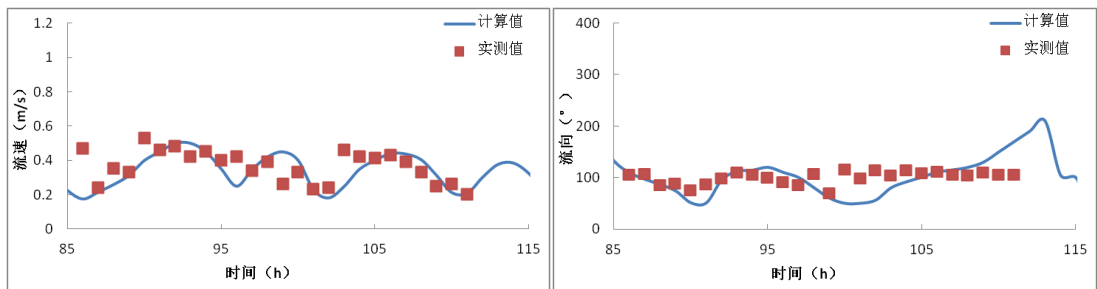


图 5.1.4-13a F2 站流速、流向验证 (表层)

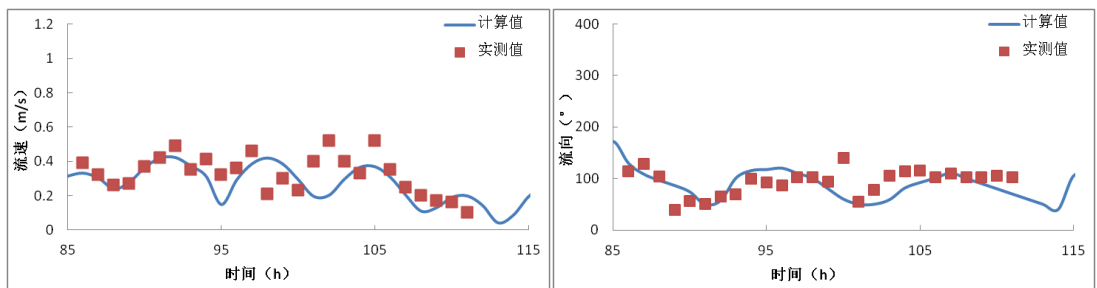


图 5.1.4-13b F2 站流速、流向验证 (0.6 层)

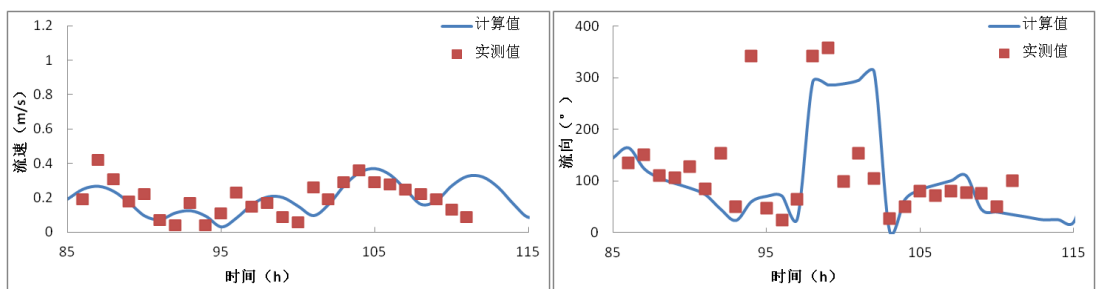


图 5.1.4-13c F2 站流速、流向验证 (底层)

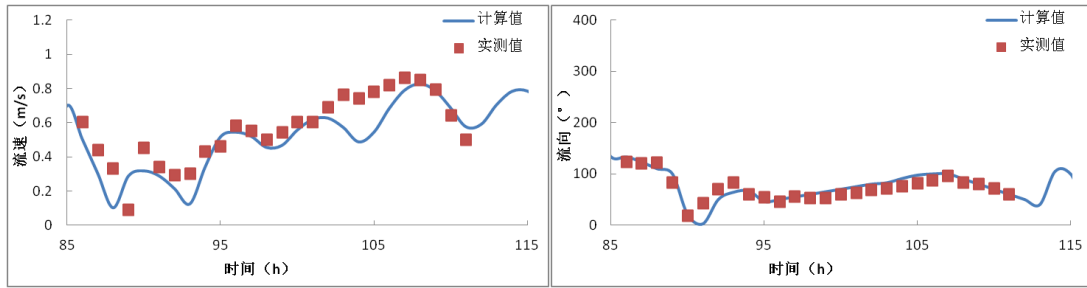


图 5.1.4-14a F3 站流速、流向验证（表层）

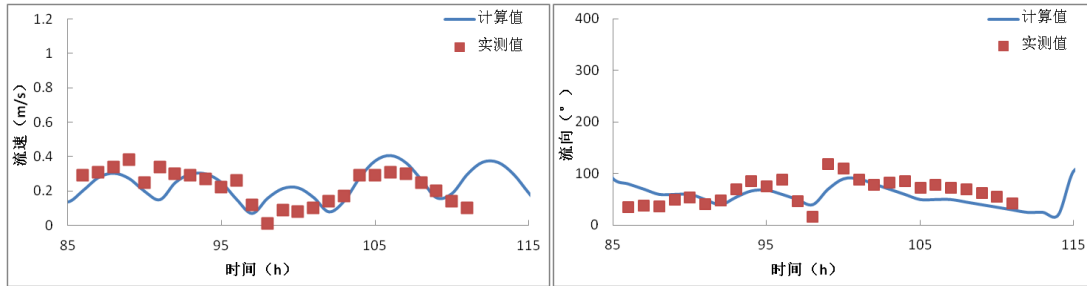


图 5.1.4-14b F3 站流速、流向验证（0.6 层）

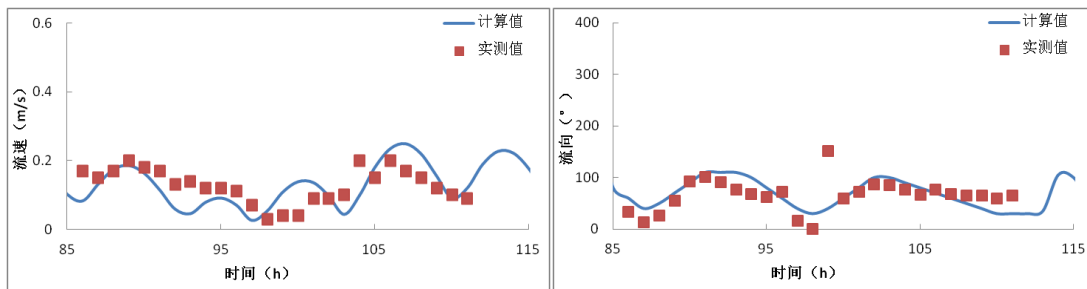


图 5.1.4-14c F3 站流速、流向验证（底层）

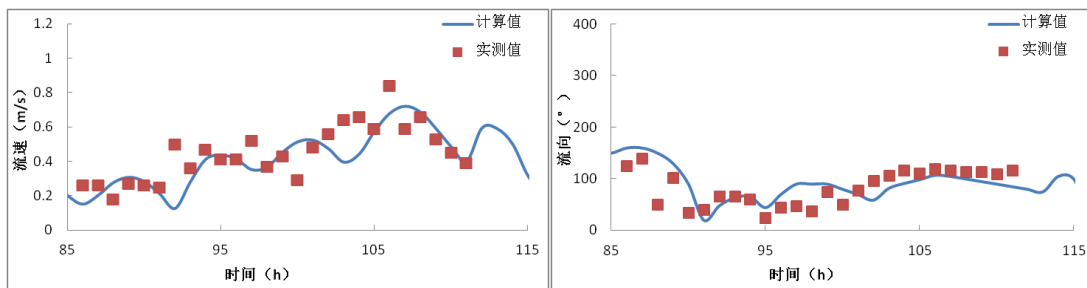


图 5.1.4-15a F4 站流速、流向验证（表层）

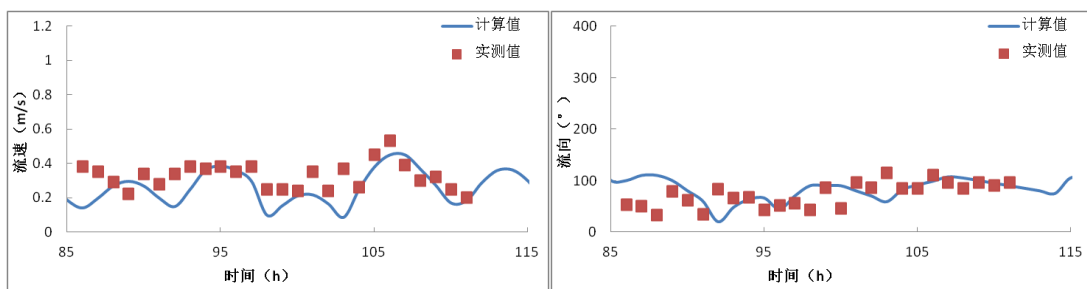


图 5.1.4-15b F4 站流速、流向验证（0.6 层）

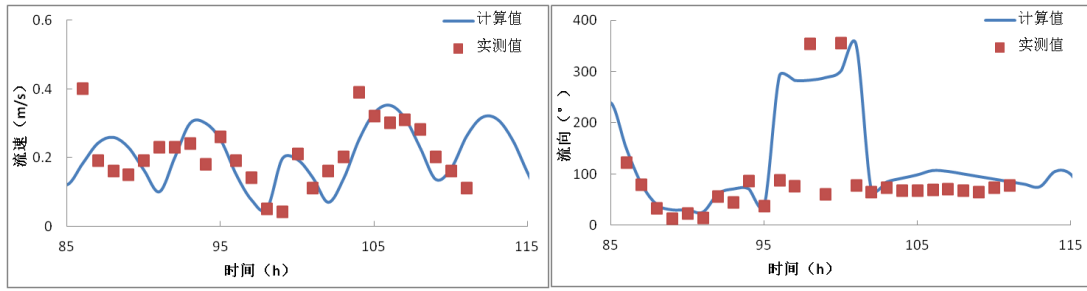


图 5.1.4-15c F4 站流速、流向验证（底层）

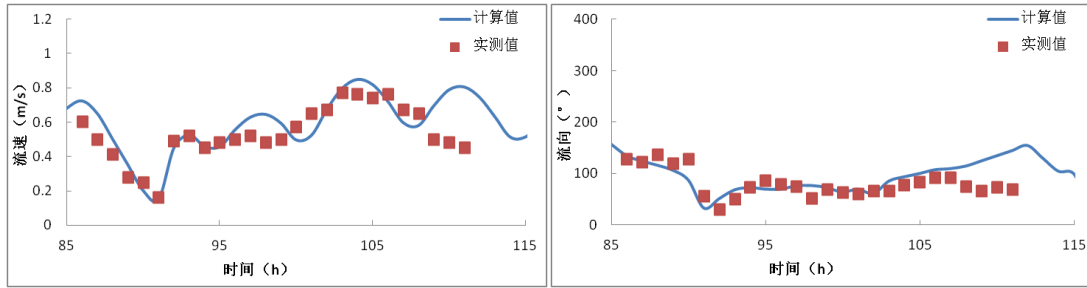


图 5.1.4-16a F5 站流速、流向验证（表层）

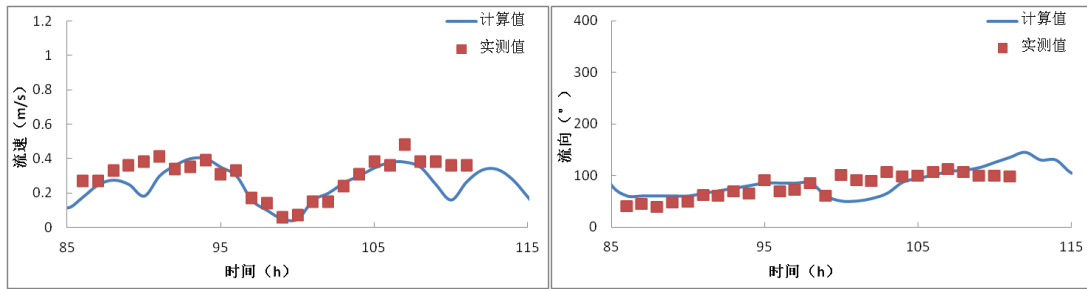


图 5.1.4-16b F5 站流速、流向验证（0.6 层）

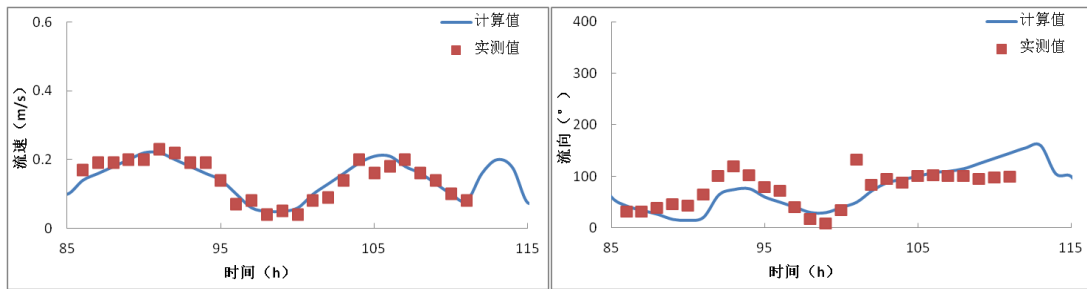


图 5.1.4-16c F5 站流速、流向验证（底层）

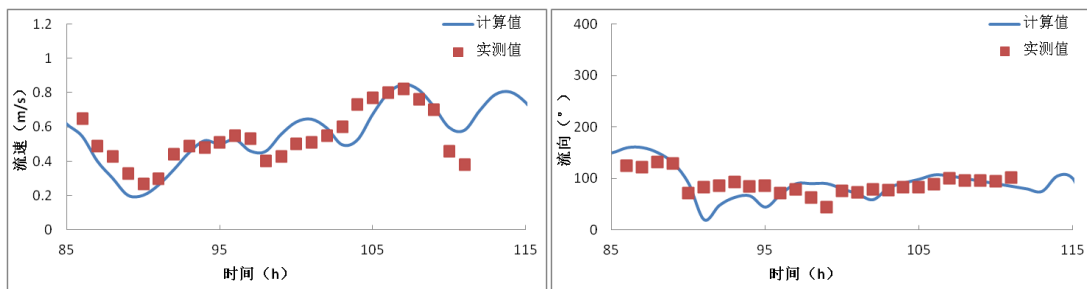


图 5.1.4-17a F6 站流速、流向验证（表层）

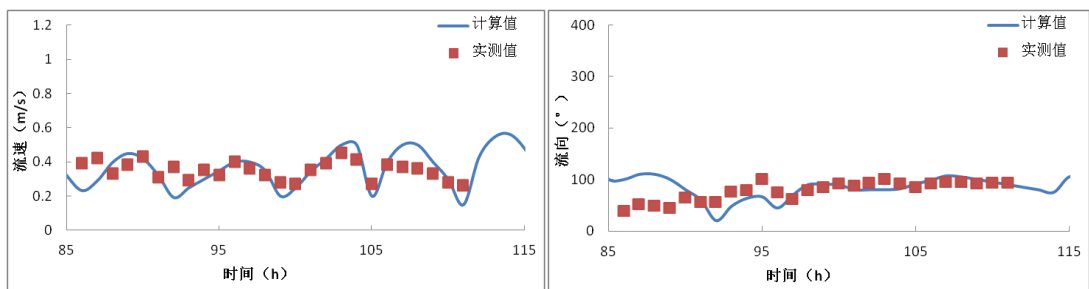


图 5.1.4-17b F6 站流速、流向验证 (0.6 层)

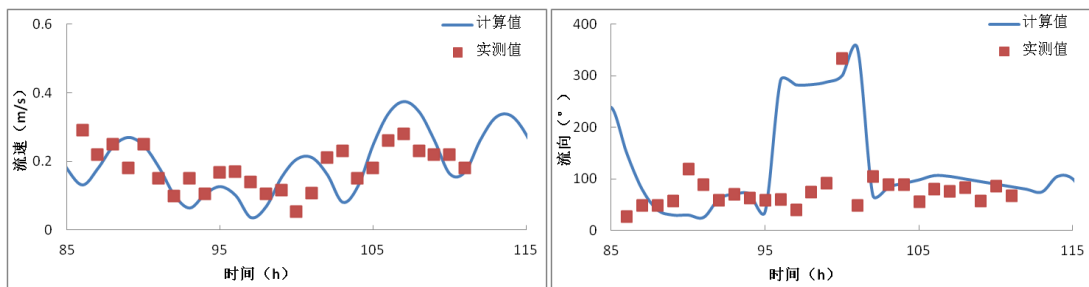


图 5.1.4-17c F6 站流速、流向验证 (底层)

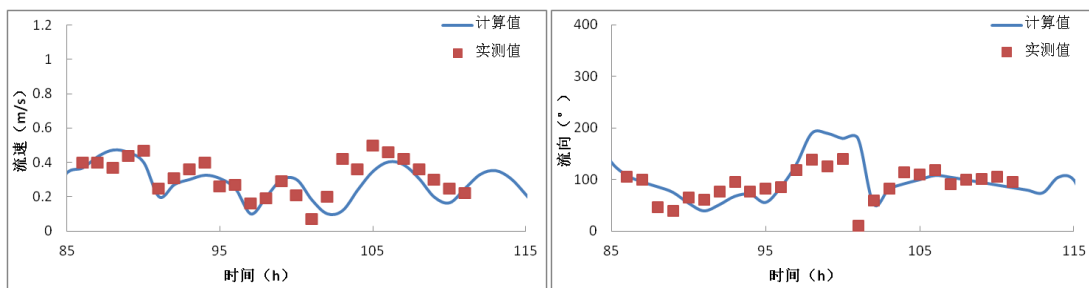


图 5.1.4-18a F7 站流速、流向验证 (表层)

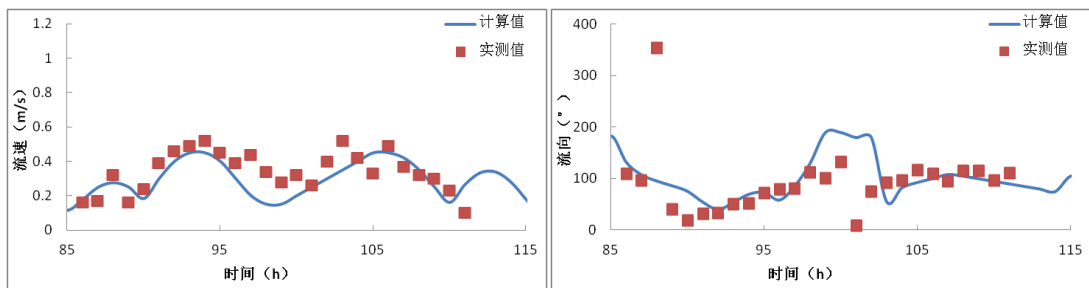


图 5.1.4-18b F7 站流速、流向验证 (0.6 层)

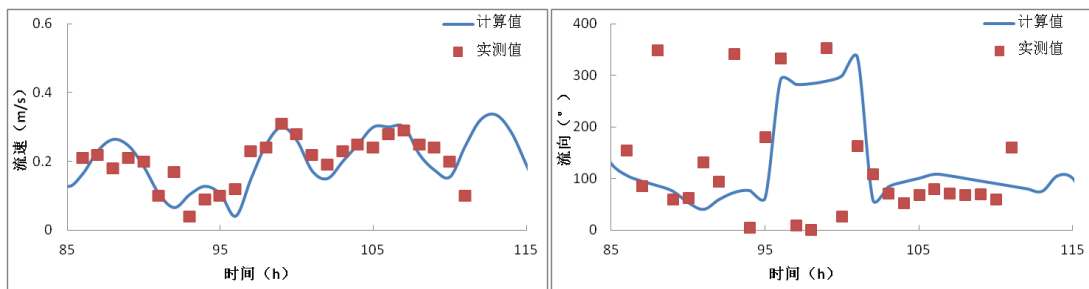


图 5.1.4-18c F7 站流速、流向验证 (底层)

5.1.4.2 工程前水动力环境

采用经过验证的潮流数学模型，计算了本工程附近水域的潮流场。图 5.1.4-19～图 5.1.4-20 是风电场附近海域表层、0.6 层、底层大潮期涨急、落急流场图，落潮流速略大于涨潮流速，落急时刻风电场表层平均流速为 0.32m/s 左右，涨急时刻为 0.27m/s 左右，流速随水深而减小。实测资料和流场的数值计算结果表明，项目所在位置周边海域海流较弱，海流方向多变化，情况复杂。场址位于外海，落急时刻海流流向基本为 ESE 走向，流速普遍不超过 0.5m/s，流速较弱。涨急时刻与落急时刻的流态有所不同，本项目所在海区涨潮流为 NE 向流，流速略小于落潮流，流速普遍不超过 0.45m/s。

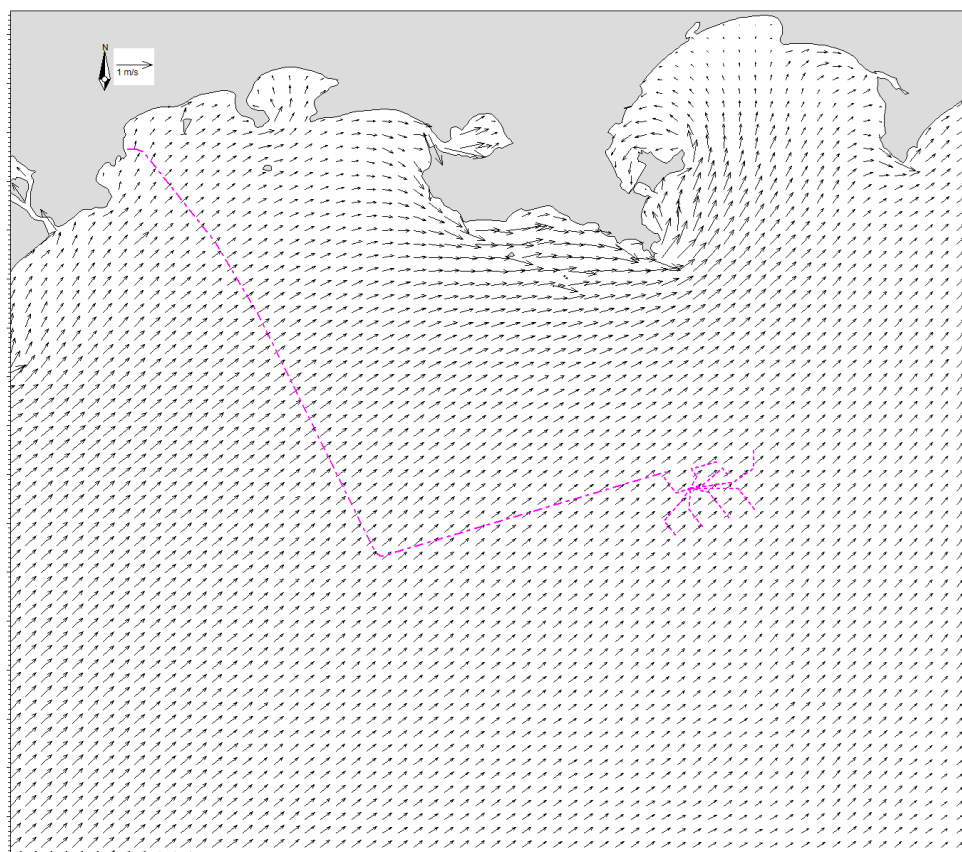


图 5.1.4-19a 现状工程海域大潮涨急流场（表层）

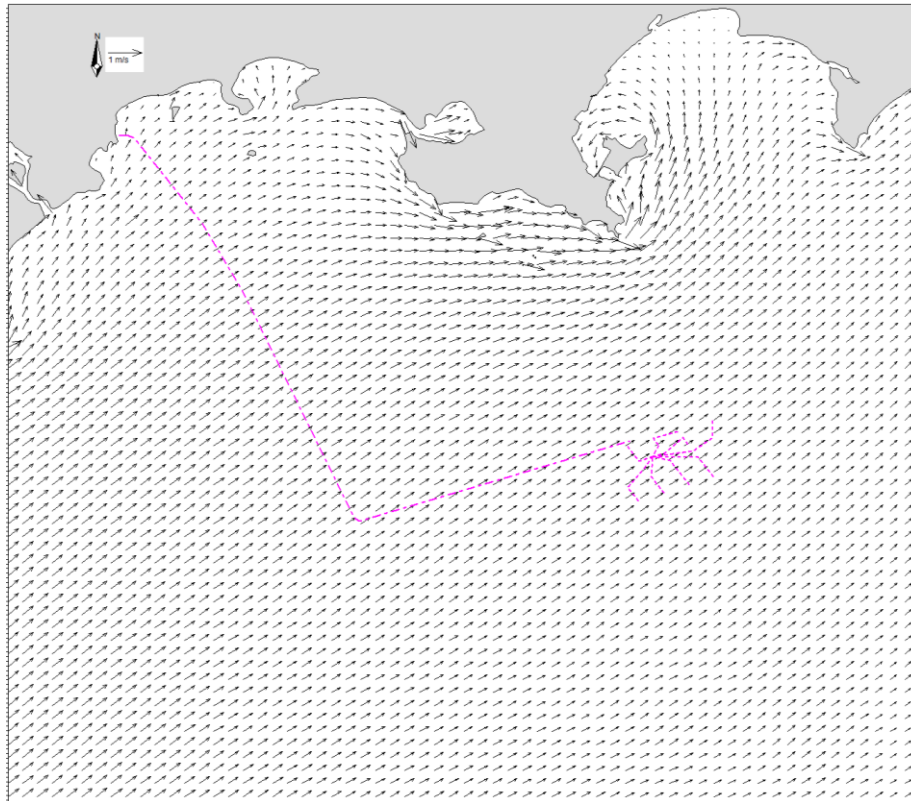


图 5.1.4-19b 现状工程海域大潮涨急流场（0.6 层）

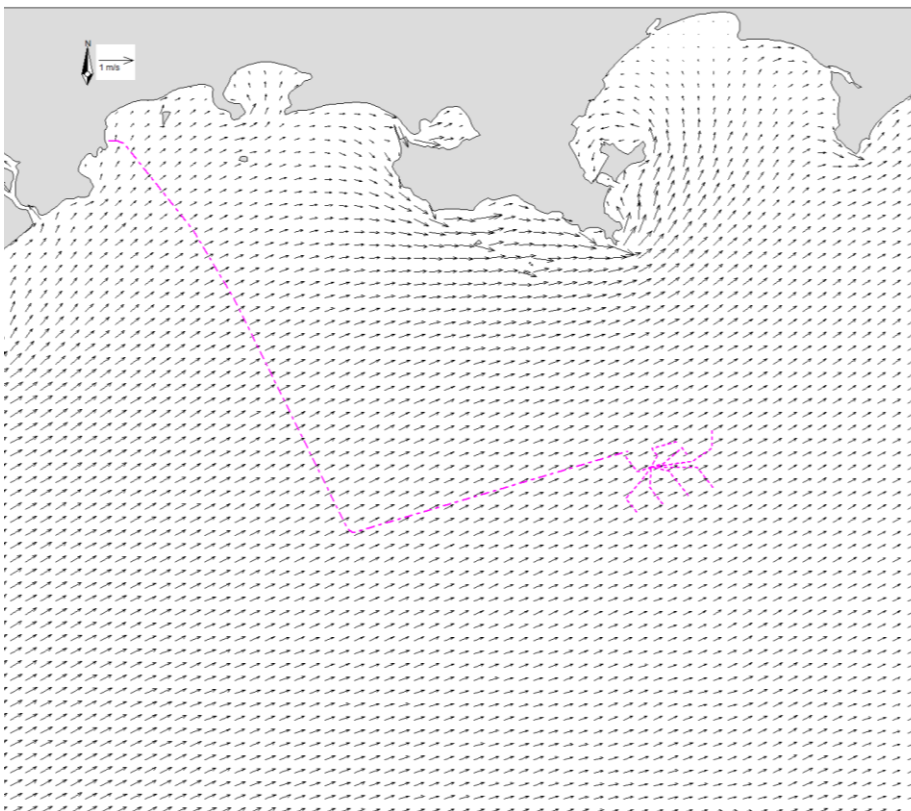


图 5.1.4-19c 现状工程海域大潮涨急流场（底层）

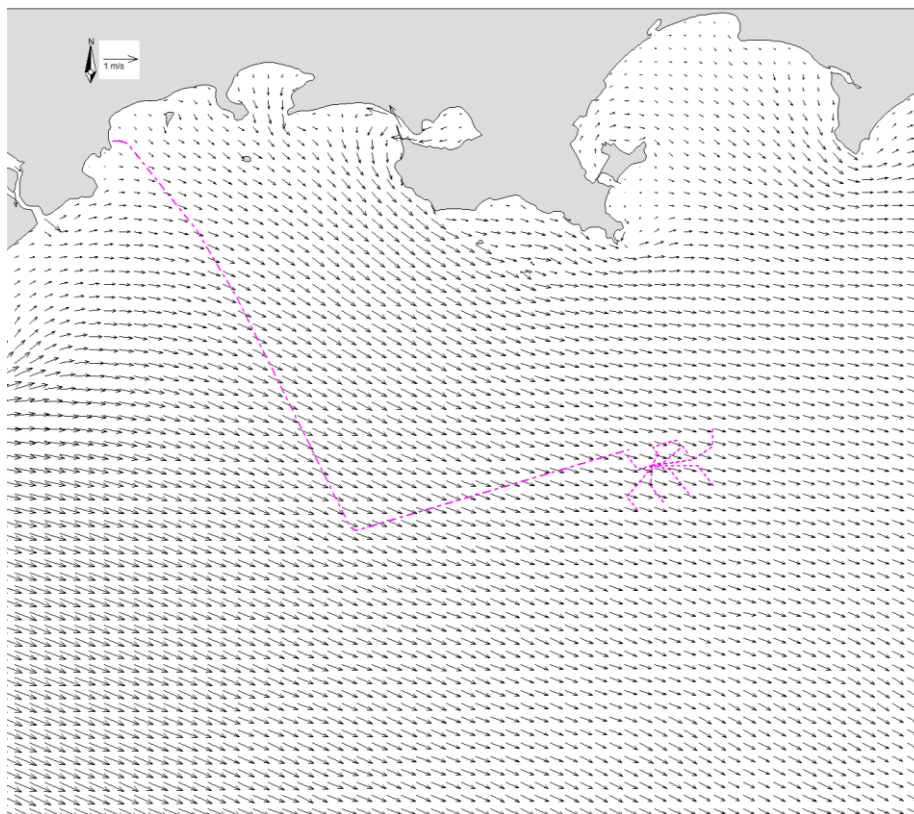


图 5.1.4-20a 现状工程海域大潮落急流场（表层）

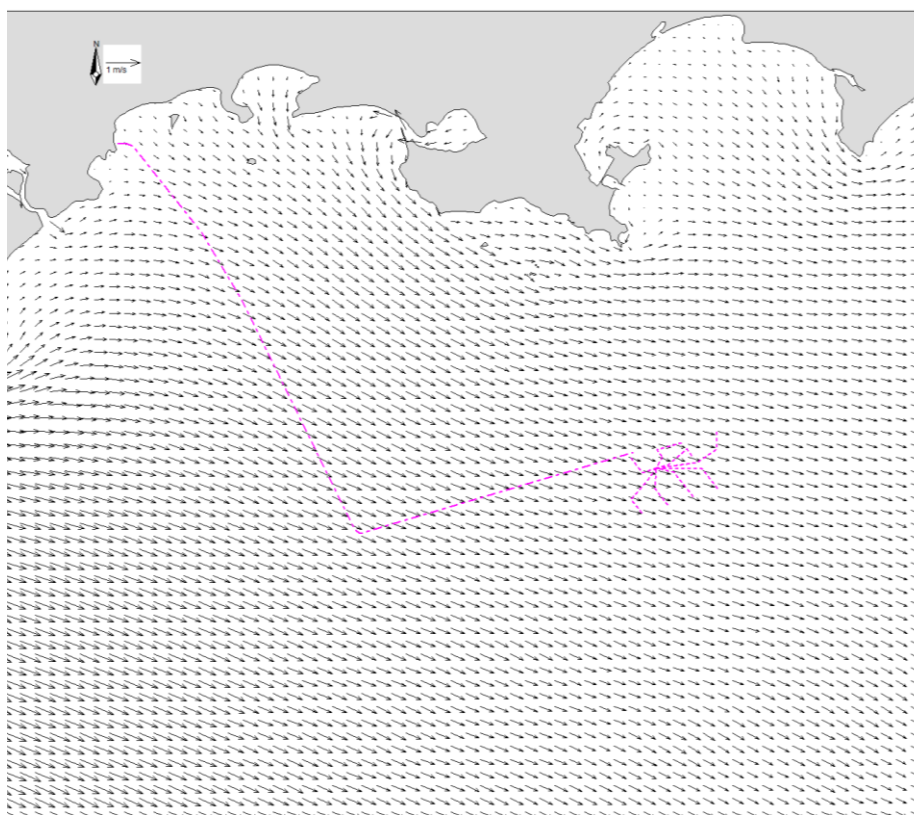


图 5.1.4-20b 现状工程海域大潮落急流场（0.6 层）

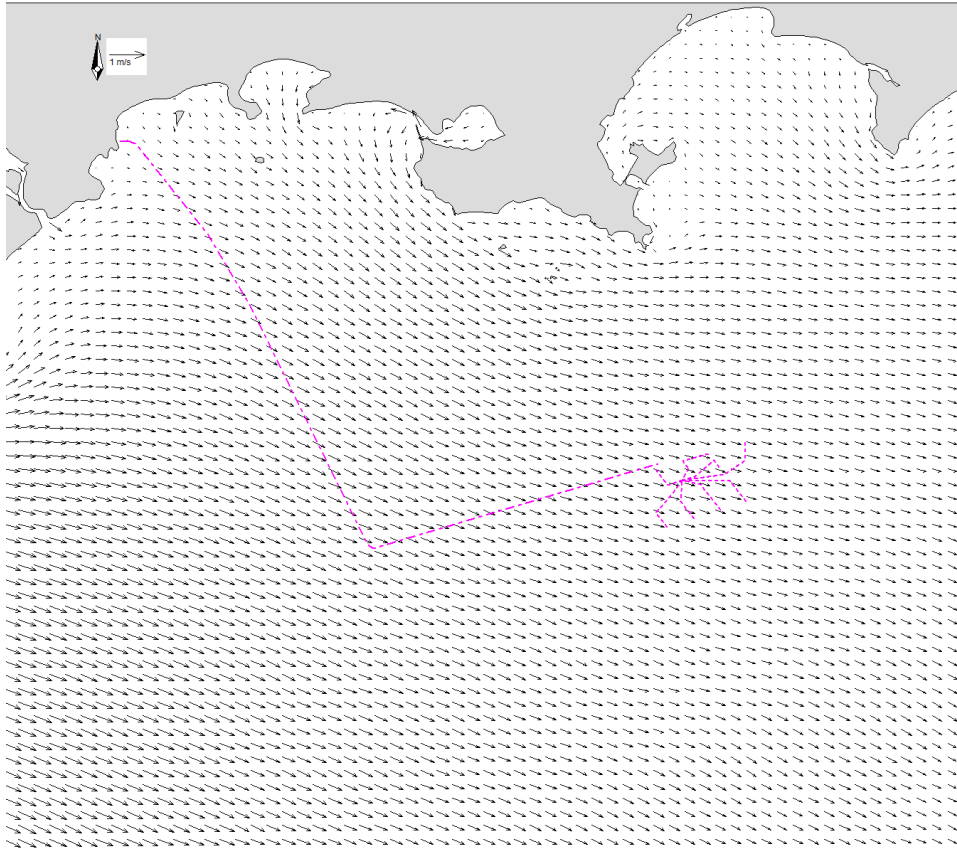


图 5.1.4-20c 现状工程海域大潮落急流场（底层）

5.1.4.3 各用海方案工程后对水动力影响

本项目涉海工程主要有风机基座与海底电缆工程，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，因此不对潮流动力产生影响，影响潮流主要是风机基座。模型在计算过程中将风机基座概化为实体，以此考虑风机基座建成后对周边海域水动力环境的影响。

在模型验证的基础上对本项目的潮流场进行了计算，图 5.1.4-22～图 5.1.4-25 为本项目实施前附近海域表层、中层和底层大潮涨落急流场图、图 5.1.4-26～图 5.1.4-27 为本项目实施前后工程附近中层大潮涨落急流场对比图。从图可见，工程方案实施后流场变化仅限于工程附近。

为了定量分析本项目实施后对附近海域水动力环境的影响，方案一和方案二分别选取了 16 个和 20 个代表点，将各代表点工程前后大潮涨落急流速流向变化情况分别列于表 5.1.4-1～表 5.1.4-2 中。

(1) 工程实施前

方案一实施前工程区域各代表点大潮涨急流速为 $0.30\text{m/s}\sim 0.31\text{m/s}$ ，涨急流向为 $22.5^\circ\sim 25.8^\circ$ ，大潮落急流速为 $0.35\text{m/s}\sim 0.37\text{m/s}$ ，落急流向为 $91.7^\circ\sim 94.9^\circ$ ；方案二实施前工程区域各代表点大潮涨急流速为 $0.30\text{m/s}\sim 0.32\text{m/s}$ ，涨急流向为 $21.5^\circ\sim 25.9^\circ$ ，大潮落急流速为 $0.35\text{m/s}\sim 0.36\text{m/s}$ ，落急流向为 $91.4^\circ\sim 95.4^\circ$ 。

(2) 工程实施后

工程实施后，风电场附近海域涨落急流速、流向会发生不同程度的变化，以下为工程实施后风电场附近海域涨落急流速流向变化情况：

方案一实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于 $-0.02\text{m/s}\sim 0.02\text{m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-2.1^\circ\sim 1.5^\circ$ 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 $-0.01\text{m/s}\sim 0.01\text{m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-0.1^\circ\sim 1.5^\circ$ 之间。

方案二实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于 $-0.02\text{m/s}\sim 0.03\text{m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-1.5^\circ\sim 1.7^\circ$ 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 $-0.01\text{m/s}\sim 0.01\text{m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-0.4^\circ\sim 1.2^\circ$ 之间。

总体上看，由于风机直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。

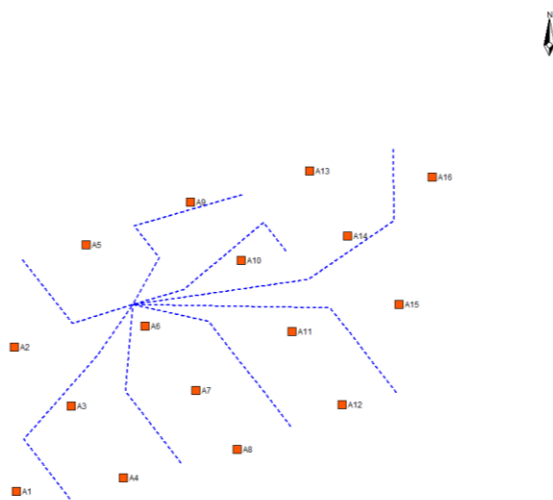


图 5.1.4-21a 方案一代表点位置图

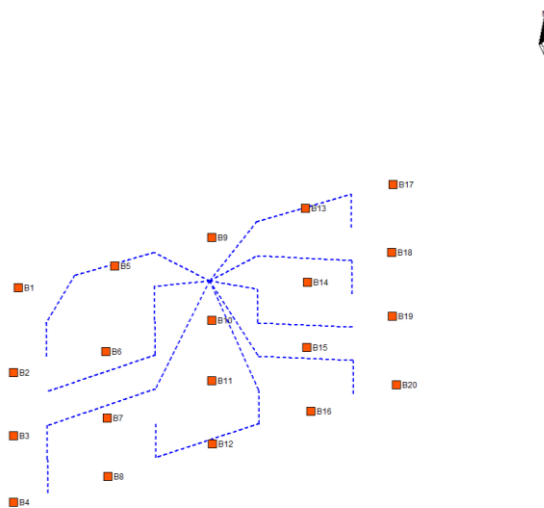


图 5.1.4-21b 方案二代表点位置图

表 5.1.4-1a 方案一实施前后大潮涨急流速流向变化（中层）

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
A1	0.31	0.30	-0.01	25.8	24.7	-1.1
A2	0.31	0.32	0.01	25.0	23.9	-1.1
A3	0.30	0.31	0.01	25.7	27.2	1.5
A4	0.30	0.29	-0.01	24.8	23.5	-1.3
A5	0.31	0.33	0.02	25.8	25.0	-0.8
A6	0.30	0.29	-0.01	24.6	24.2	-0.4
A7	0.30	0.30	0.00	24.4	22.3	-2.1
A8	0.30	0.29	-0.01	23.5	22.9	-0.6
A9	0.31	0.33	0.02	24.9	25.0	0.1
A10	0.31	0.31	0.00	23.8	24.0	0.2
A11	0.30	0.29	-0.01	23.2	23.8	0.6
A12	0.30	0.28	-0.02	22.7	21.8	-0.9
A13	0.31	0.33	0.02	24.2	24.8	0.6
A14	0.31	0.30	-0.01	23.0	22.9	-0.1
A15	0.30	0.30	0.00	22.6	21.9	-0.7
A16	0.31	0.31	0.00	22.5	23.4	0.9

表 5.1.4-1b 方案一实施前后大潮落急流速流向变化（中层）

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
A1	0.37	0.36	-0.01	94.9	95.3	0.4
A2	0.36	0.36	0.00	94.1	94.0	-0.1
A3	0.36	0.37	0.01	93.9	94.7	0.8
A4	0.36	0.36	0.00	94.2	95.1	0.9
A5	0.37	0.37	0.00	93.9	94.7	0.8
A6	0.36	0.37	0.01	93.7	94.6	0.9
A7	0.36	0.35	-0.01	93.6	94.7	1.1
A8	0.35	0.35	0.00	93.7	94.6	0.9
A9	0.36	0.37	0.01	93.4	93.9	0.5
A10	0.36	0.36	0.00	93.1	94.1	1.0
A11	0.35	0.36	0.01	92.8	94.0	1.2
A12	0.35	0.35	0.00	92.8	93.5	0.7
A13	0.36	0.37	0.01	92.2	93.2	1.0
A14	0.36	0.36	0.00	92.4	93.9	1.5
A15	0.35	0.35	0.00	92.1	93.4	1.3
A16	0.35	0.35	0.00	91.7	92.5	0.8

表 5.1.4-2a 方案二实施前后大潮涨急流速流向变化（中层）

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
A1	0.31	0.32	0.01	25.7	24.6	-1.1
A2	0.31	0.31	0.00	25.3	25.4	0.1
A3	0.31	0.31	0.00	25.9	26.2	0.3
A4	0.31	0.30	-0.01	25.4	25.1	-0.3

A5	0.31	0.34	0.03	25.5	25.5	0.0
A6	0.30	0.31	0.01	25.0	24.7	-0.3
A7	0.30	0.30	0.00	25.4	24.3	-1.1
A8	0.30	0.29	-0.01	24.9	24.1	-0.8
A9	0.31	0.33	0.02	24.3	24.8	0.5
A10	0.31	0.29	-0.02	23.8	22.3	-1.5
A11	0.30	0.31	0.01	24.1	24.8	0.7
A12	0.30	0.29	-0.01	23.9	23.5	-0.4
A13	0.31	0.32	0.01	23.8	24.7	0.9
A14	0.31	0.30	-0.01	22.9	23.2	0.3
A15	0.30	0.30	0.00	22.9	23.7	0.8
A16	0.30	0.29	-0.01	22.4	21.9	-0.5
A17	0.32	0.32	0.00	22.3	24.0	1.7
A18	0.31	0.30	-0.01	22.2	23.9	1.7
A19	0.31	0.30	-0.01	22.2	22.9	0.7
A20	0.31	0.30	-0.01	21.5	21.5	0.0

表 5.1.4-2b 方案二实施前后大潮落急流速流向变化（中层）

代表点	流速（m/s）			流向（°）		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
A1	0.36	0.37	0.01	94.3	93.9	-0.4
A2	0.36	0.36	0.00	94.1	93.8	-0.3
A3	0.36	0.36	0.00	94.5	94.5	0.0
A4	0.36	0.36	0.00	95.4	95.7	0.3
A5	0.36	0.36	0.00	93.9	93.8	-0.1
A6	0.36	0.36	0.00	93.9	94.3	0.4
A7	0.36	0.36	0.00	94.2	95.0	0.8
A8	0.36	0.36	0.00	94.5	95.1	0.6
A9	0.36	0.36	0.00	93.1	93.6	0.5
A10	0.36	0.35	-0.01	93.2	93.5	0.3
A11	0.36	0.35	-0.01	93.4	94.3	0.9
A12	0.35	0.35	0.00	93.8	94.5	0.7
A13	0.36	0.36	0.00	92.2	93.0	0.8
A14	0.36	0.35	-0.01	92.3	93.2	0.9
A15	0.35	0.35	0.00	92.5	93.4	0.9
A16	0.35	0.35	0.00	92.9	93.5	0.6
A17	0.35	0.35	0.00	91.4	92.6	1.2
A18	0.35	0.35	0.00	91.6	92.5	0.9
A19	0.35	0.35	0.00	91.8	92.4	0.6
A20	0.35	0.35	0.00	92.1	92.6	0.5

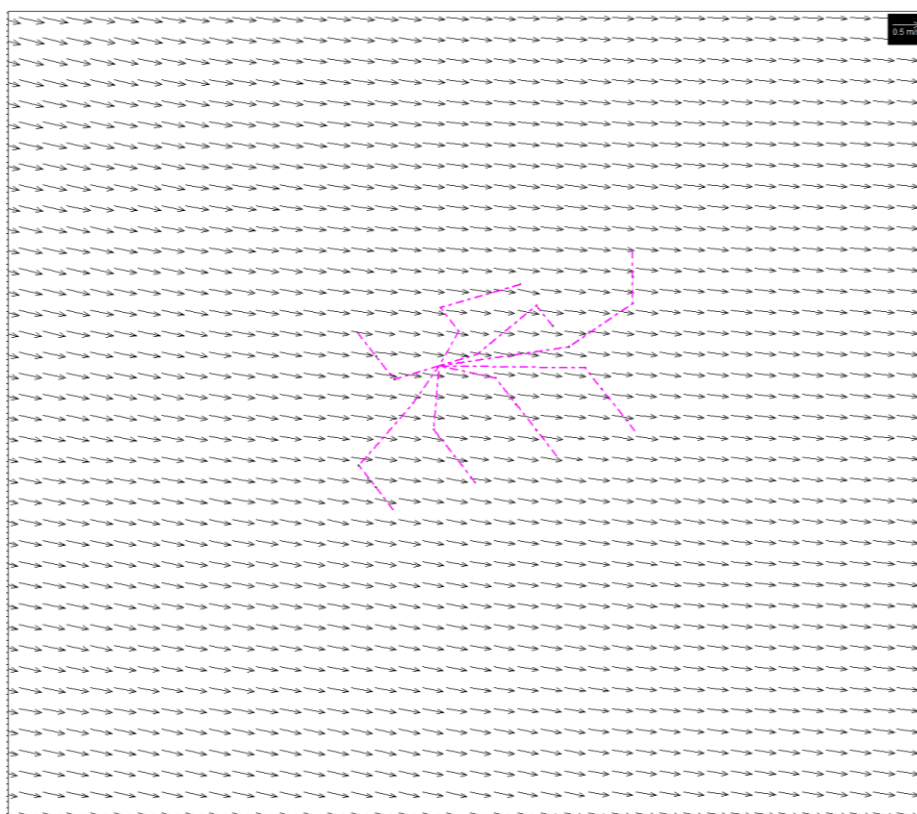


图 5.1.4-22a 方案一实施后落急流场图（表层）

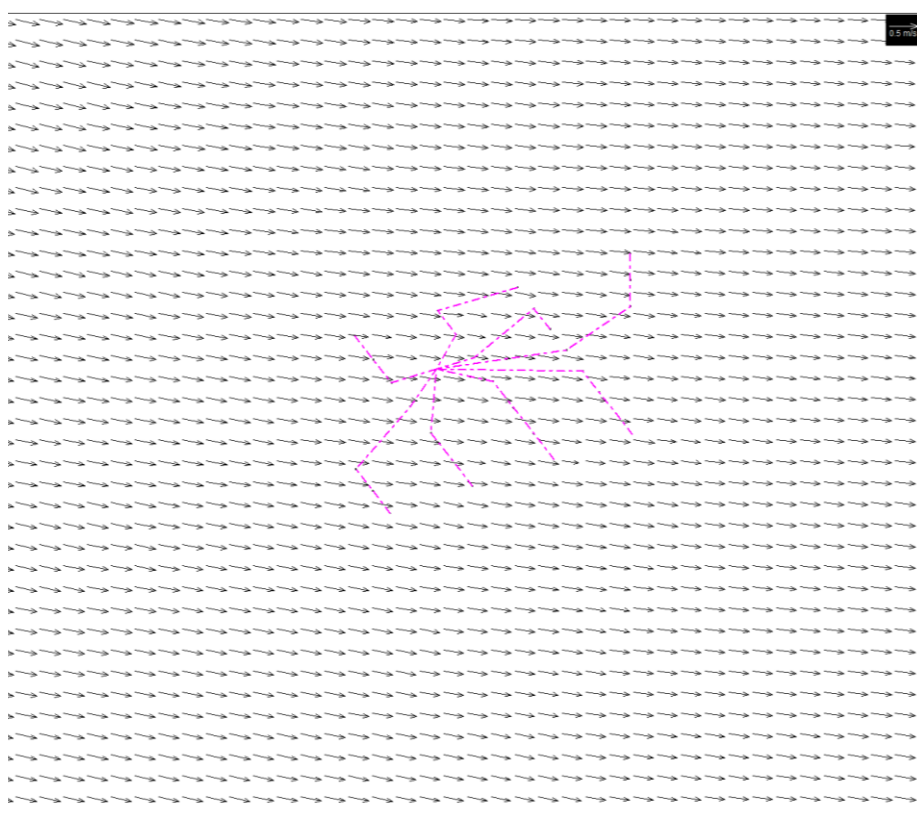


图 5.1.4-22b 方案一实施后落急流场图（0.6 层）

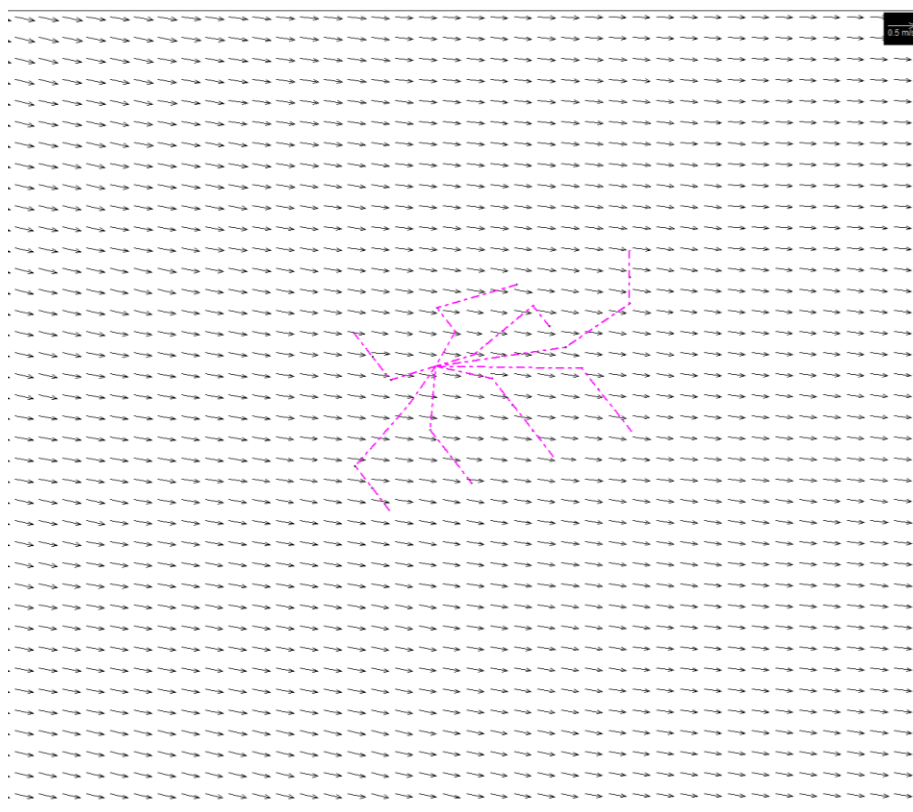


图 5.1.4-22c 方案一实施后落急流场图（底层）

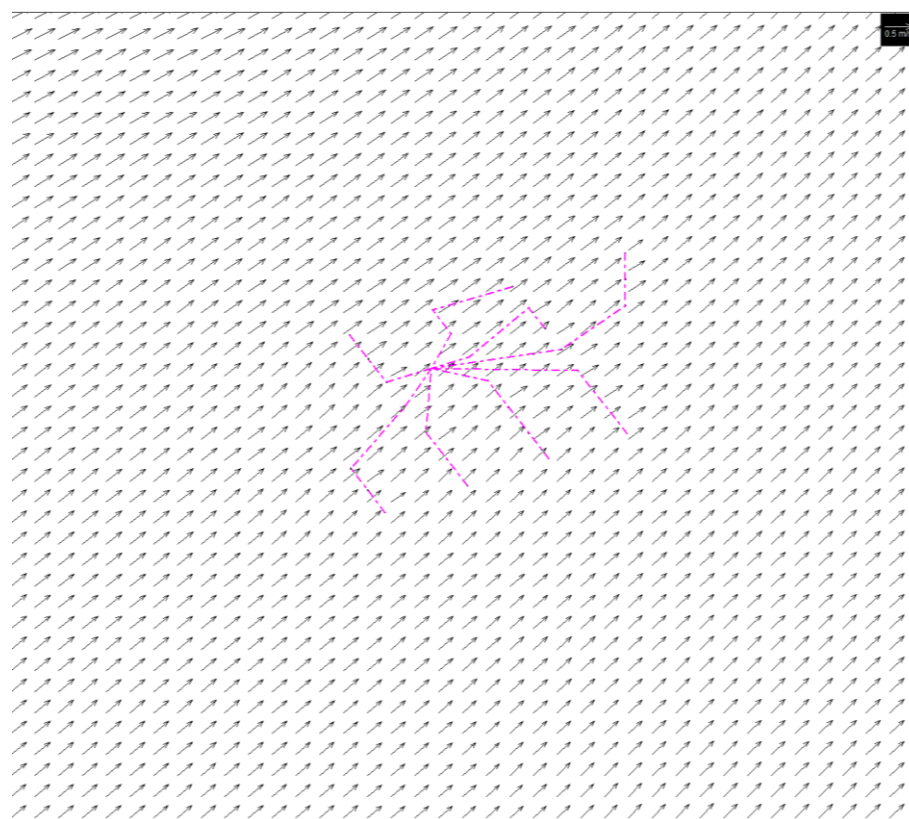


图 5.1.4-23a 方案一实施后涨急流场图（表层）

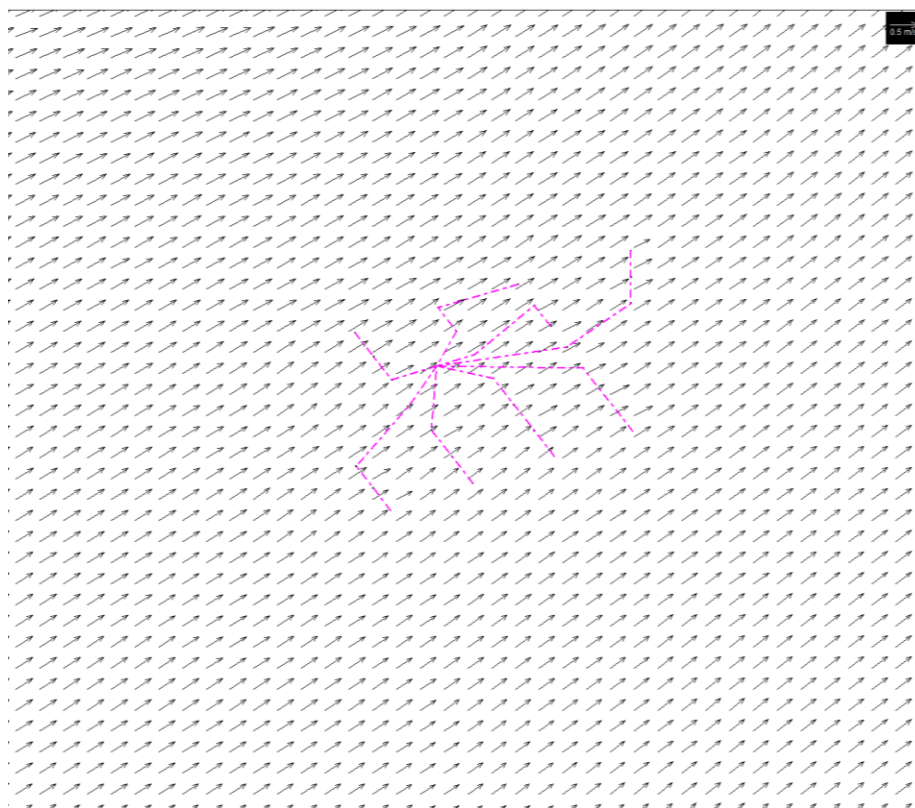


图 5.1.4-23b 方案一实施后涨急流场图（0.6 层）

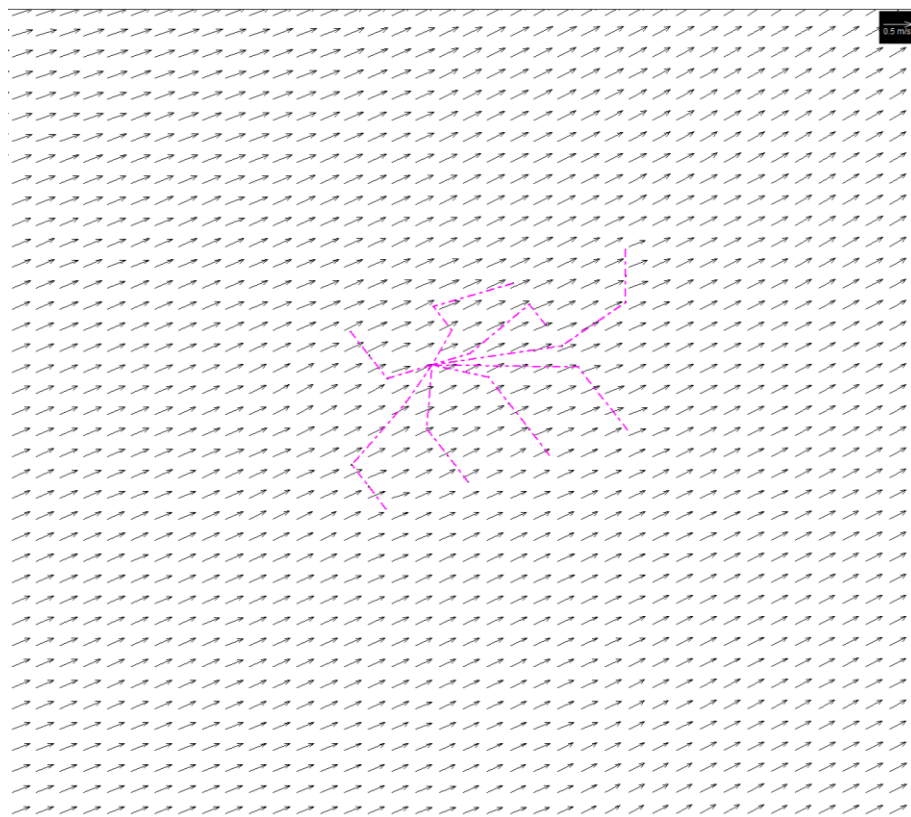


图 5.1.4-23c 方案一实施后涨急流场图（底层）

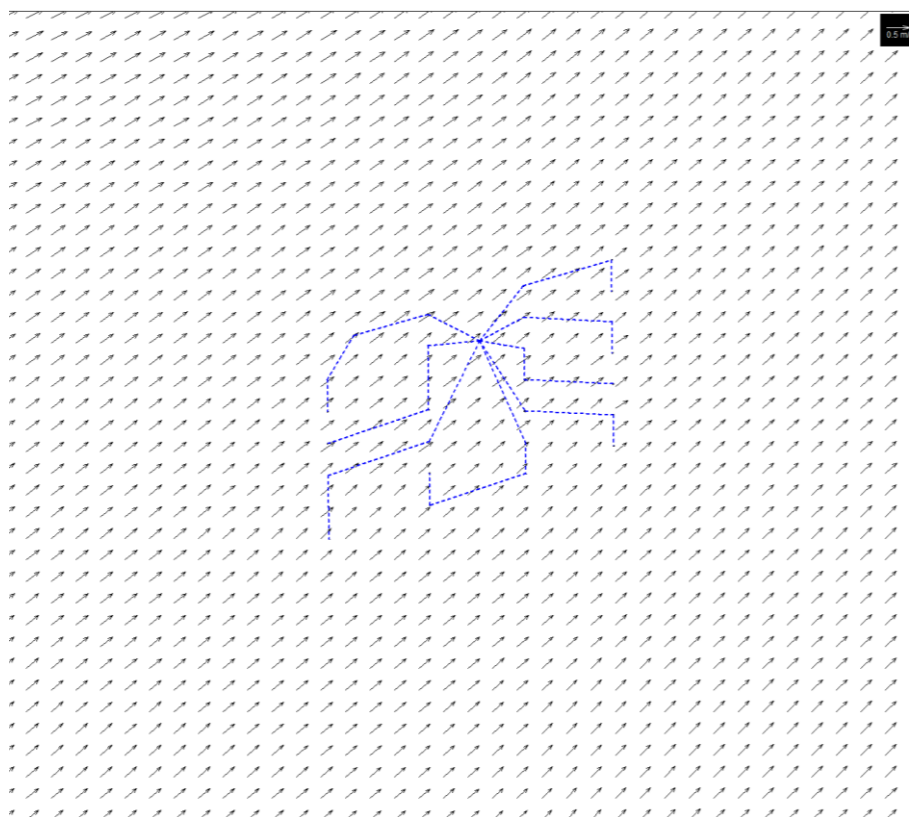


图 5.1.4-24a 方案二实施后涨急流场图（表层）

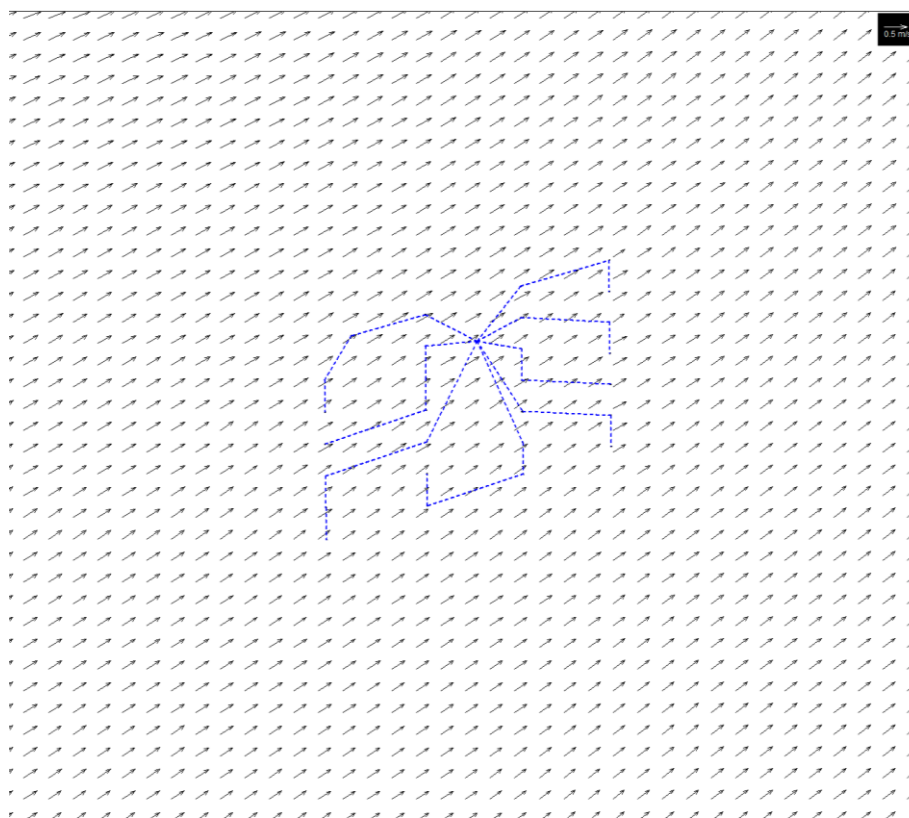


图 5.1.4-24b 方案二实施后涨急流场图（0.6 层）

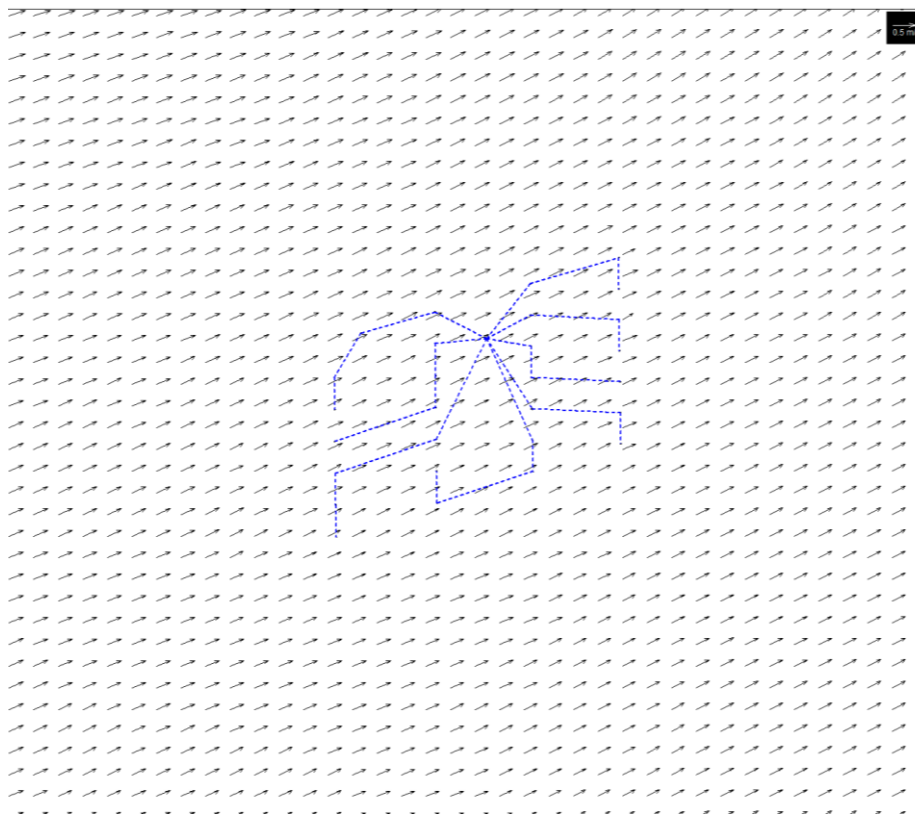


图 5.1.4-24c 方案二实施后涨急流场图（底层）

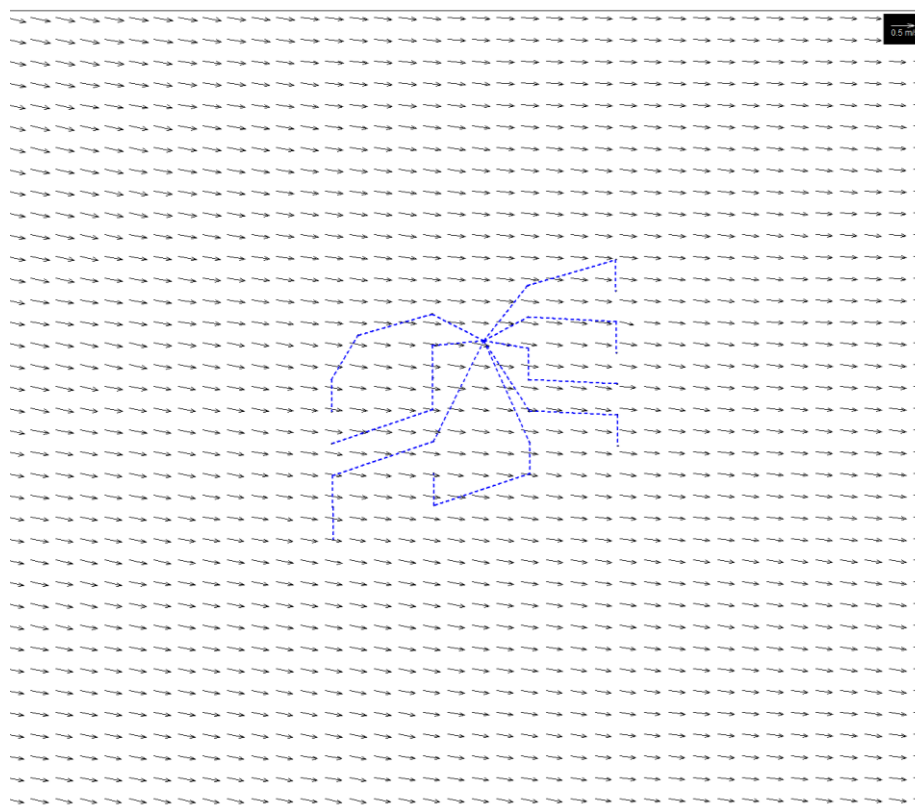


图 5.1.4-25a 方案二实施后落急流场图（表层）

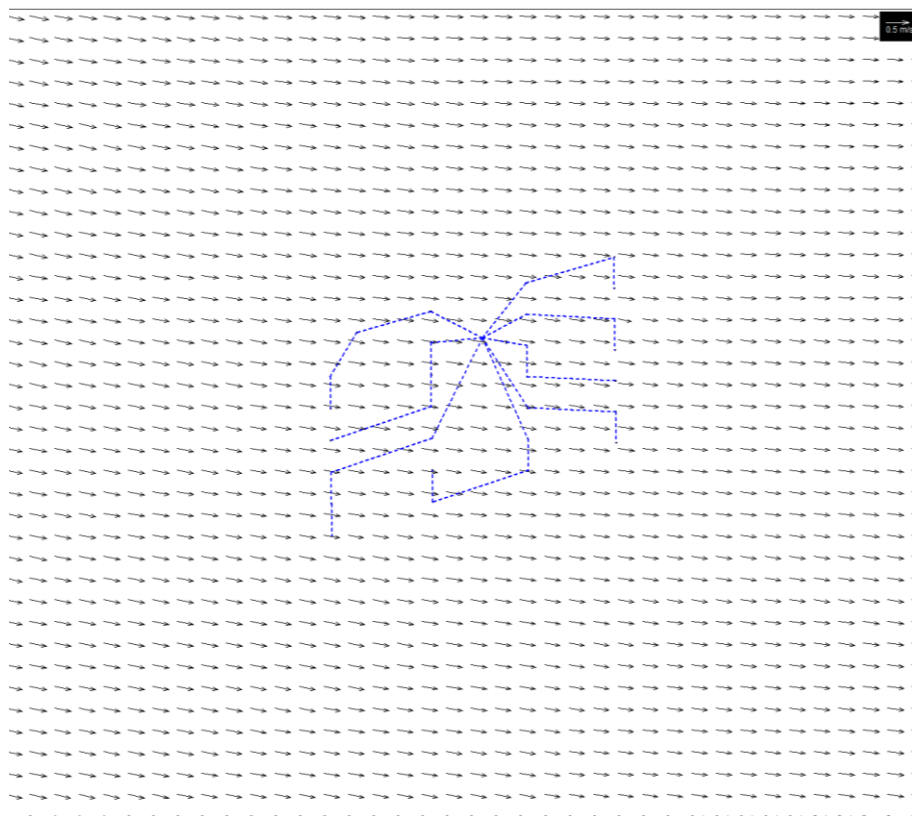


图 5.1.4-25b 方案二实施后落急流场图（0.6 层）

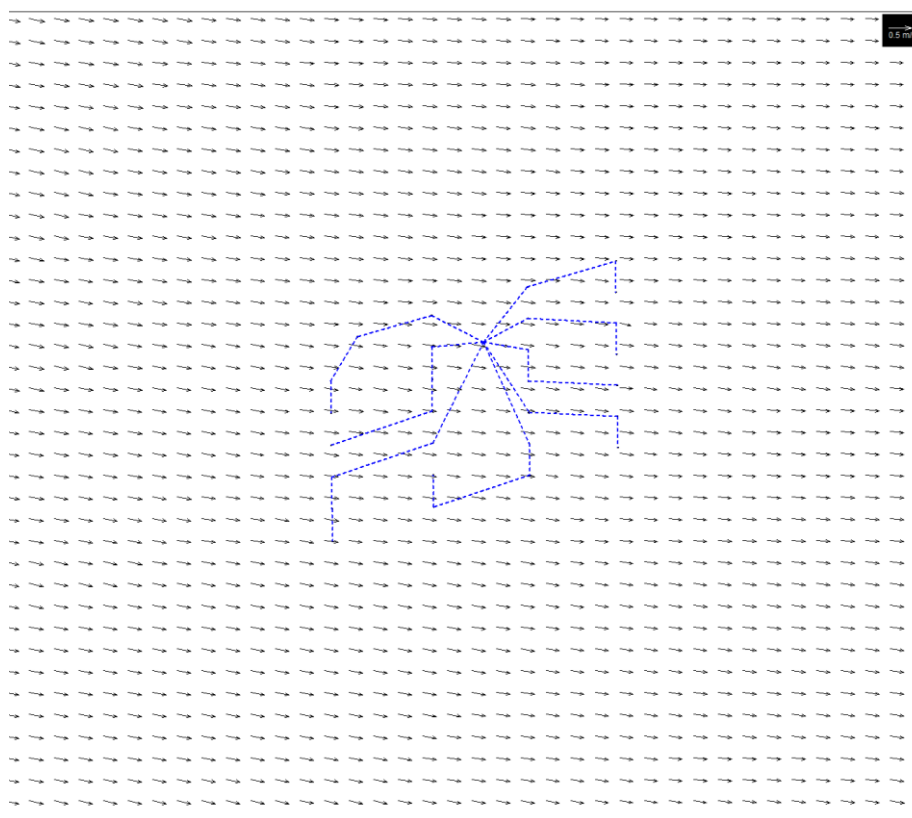


图 5.1.4-25c 方案二实施后落急流场图（底层）

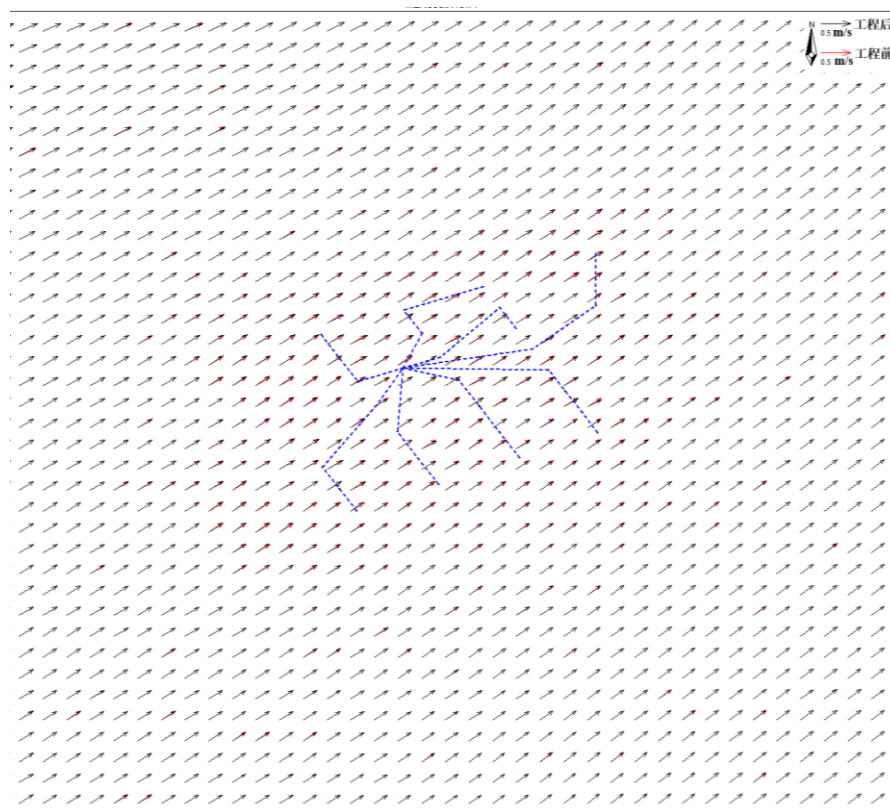


图 5.1.4-26a 方案一实施前后涨急流场对比 (0.6 层)

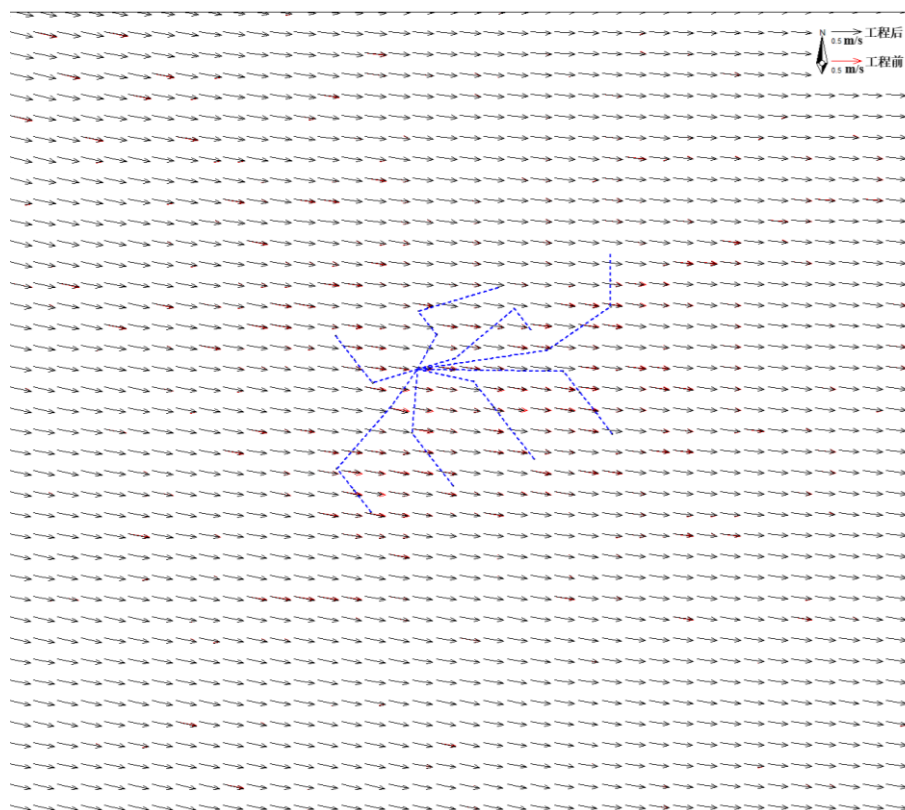


图 5.1.4-26b 方案一实施前后落急流场对比 (0.6 层)

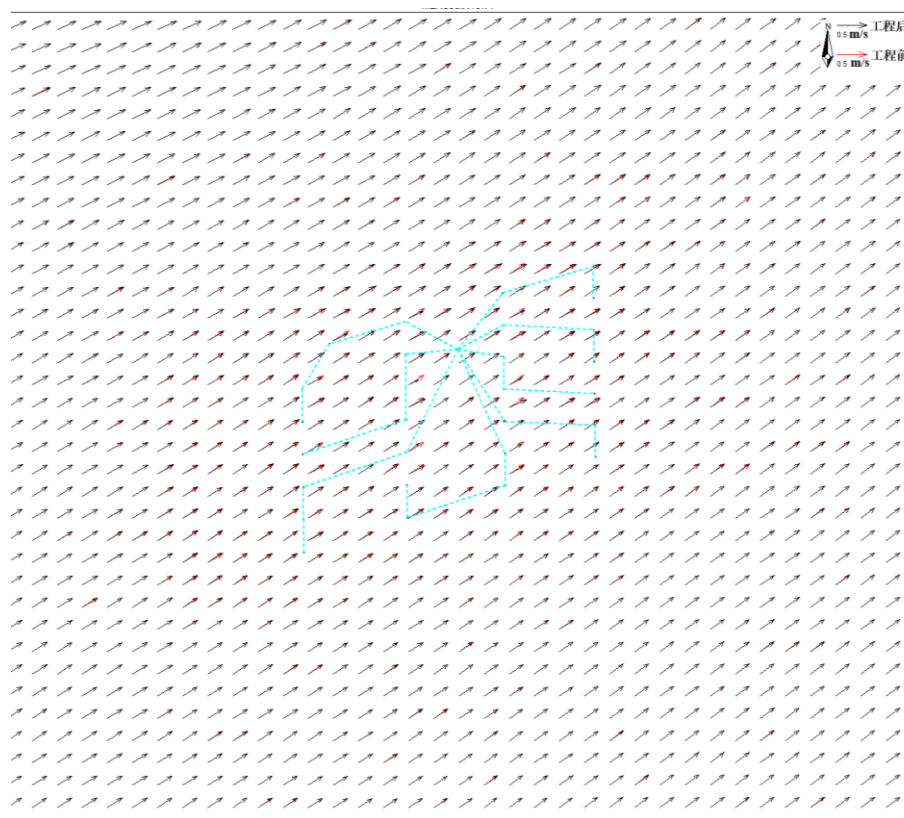


图 5.1.4-27a 方案二实施前后涨急流场对比（0.6 层）

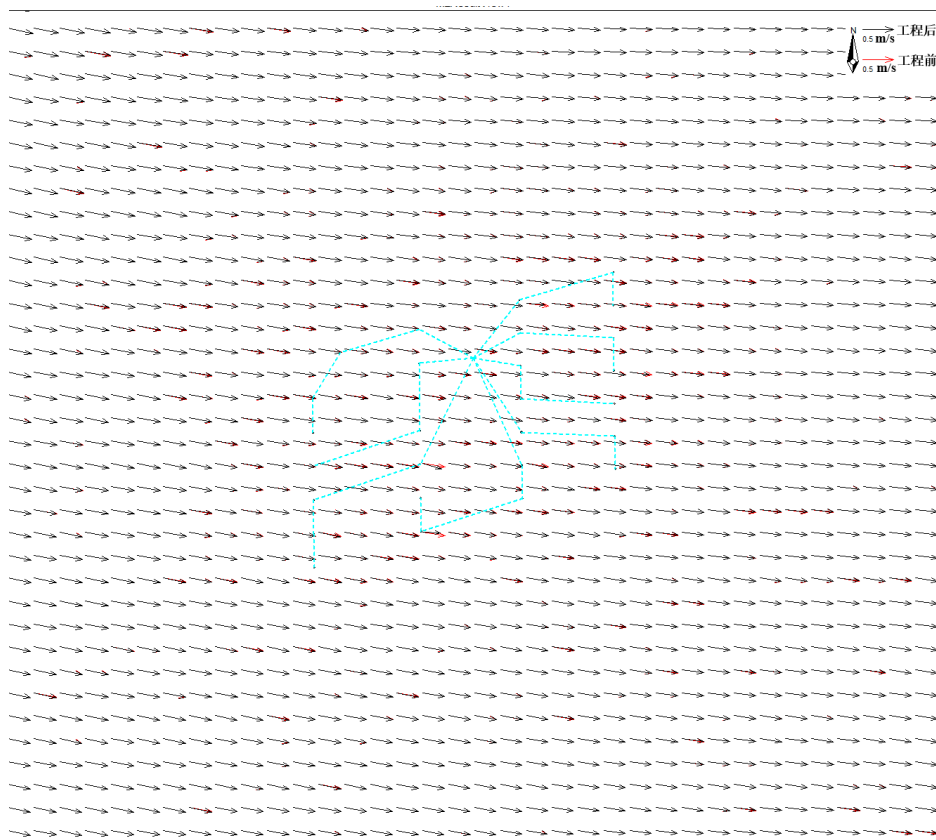


图 5.1.4-27b 方案二实施前后落急流场对比（0.6 层）

(3) 不同用海方案对水动力影响的差异

不同方案对水动力影响的差异对比见表 5.1.4-1~表 5.1.4-2。两种方案的流速流向变化情况差异不大。

根据流场对比图分析，方案一和方案二在工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速出现一定程度减缓，风电桩基侧面流速稍有增加，流向变化不明显。方案一实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.02m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-2.1°~1.5°之间；各代表点大潮落急流速变化值位于-0.01m/s~0.01m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-0.1°~1.5°之间。方案二实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.03m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-1.5°~1.7°之间；各代表点大潮落急流速变化值位于-0.01m/s~0.01m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-0.4°~1.2°之间。

总体上两种方案对水动力影响主要都出现在风电桩基附近，对其他海域影响程度较有限，两种方案的水动力影响范围差异不大。

5.1.4.4 工程对波浪动力条件的影响

根据项目波浪专题报告，由于本项目的场址水深约为 40m，场址海域 5 年一遇条件下，波浪平均周期最小为 11.8s，平均波长 182.5m，由于波长比导管桩径 3.5m 大 2 个数量级，因此风电场导管对波浪基本没有影响。

5.1.5 地形地貌与冲淤影响预测对比分析

(1) 工程海域的冲淤变化分析

本评价采用曹祖德等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：

$$P = \frac{\alpha \omega St}{\gamma_c} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \right)$$

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。

$$P = 0.5 \left[(H_1 + \beta t) - \sqrt{(H_1 - \beta t)^2 + 4\beta t H_1 K} \right]$$

经推导，可得

$$\beta = \frac{\alpha \omega S}{\gamma_c}, \quad K = \frac{V_2}{V_1}$$

式中，

γ_d 按照公式 $\gamma_d = 1750 D_{50}^{0.183}$ 计算， D_{50} 为泥沙中值粒径，取值为全潮悬沙中值粒径平均值，为 0.016mm。

S 选择《海港水文规范推荐的》刘家驹挟沙力公式：

$$S_{*1} = 0.0273 \rho_s V^2 / (gh)$$

式中， ρ_s 为泥沙颗粒密度。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 5.1.5-1。

由图可见，工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机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。

由于方案一与方案二桩基排列方式有所不同，工程实施后风电场内产生的冲淤环境变化也存在略微的差异。其中，方案一年最大淤积幅度约为 0.14m/a，最大冲刷幅度 0.12m/a，方案二年最大淤积幅度约为 0.16m/a，最大冲刷幅度约为 0.12m/a，从计算结果看，方案一和方案二冲淤幅度相差不大。

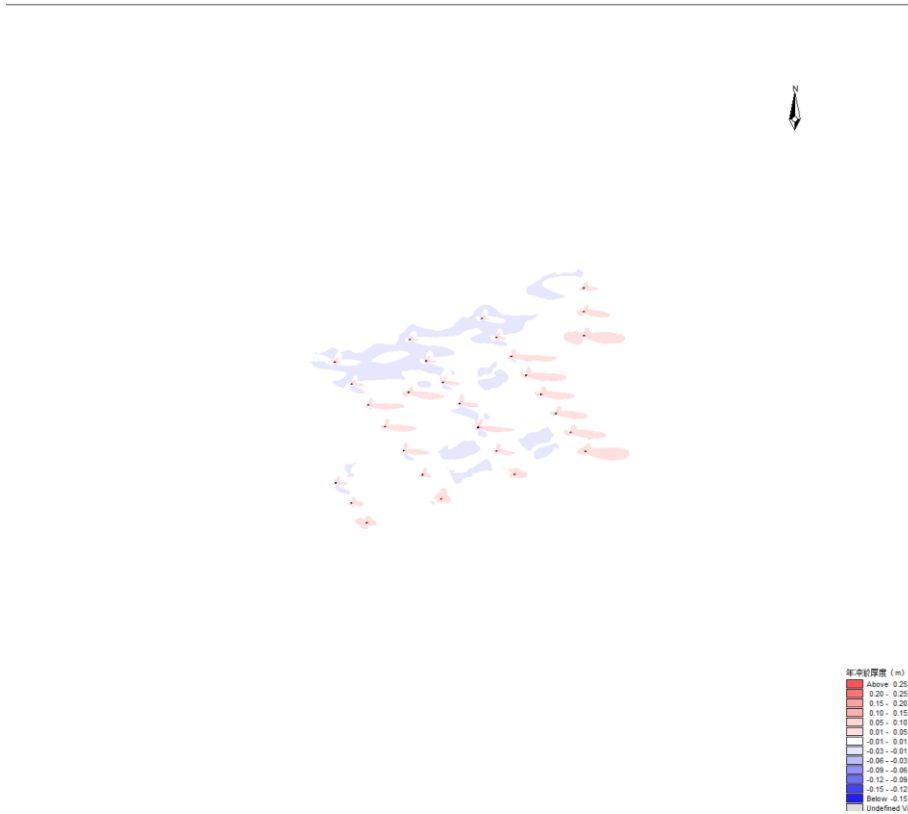


图 5.1.5-1a 方案一附近海床年冲淤变化平面分布图

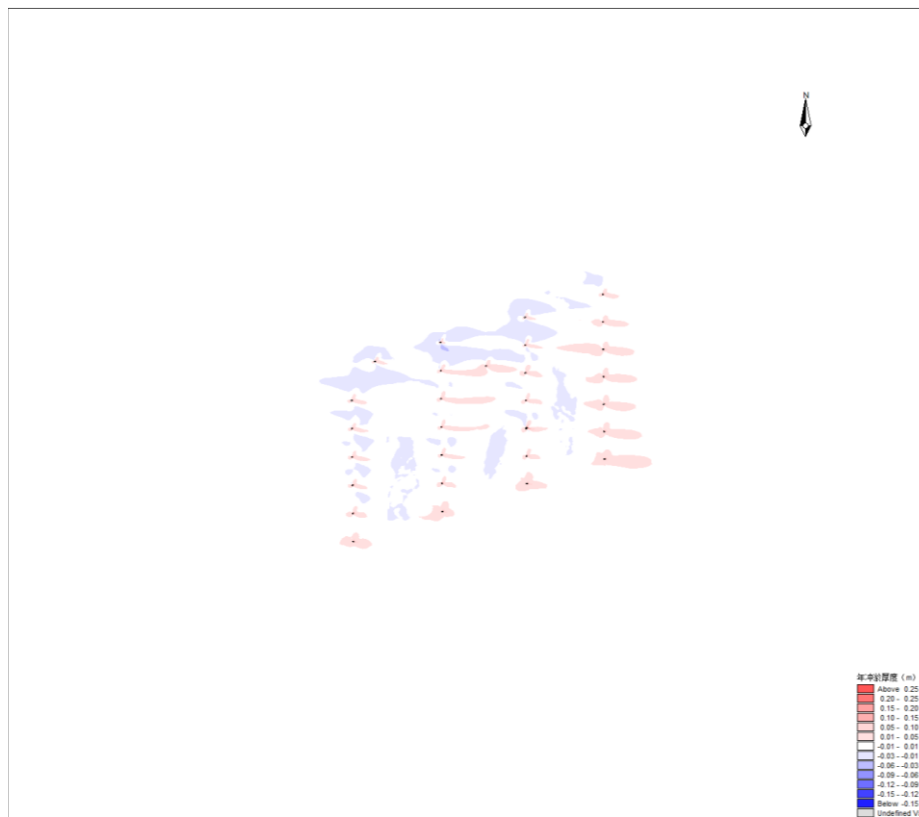


图 5.1.5-1b 方案二附近海床年冲淤变化平面分布图

(2) 风机桩基础附近局部冲刷影响分析

为进一步分析工程建设对风机桩基础附近局部地形的冲刷影响，本报告采用桩基局部冲刷经验公式进行预测分析。

对于桩墩局部冲刷计算公式，据不完全统计，目前尚未有理论推导公式，国内外学者撰写发表的计算公式均为经验性或半经验性公式，大多数采用试验资料建立局部冲刷深度的计算式，然后用野外实际观测资料修正系数和指数得到冲刷深度计算式。桩基局部冲刷的经验公式中，以韩海骞公式和王汝凯公式的计算条件较为符合本工程的实际情况，韩海骞公式在考虑了波浪水质点的流速后，可以考虑波流共同作用下小直径圆柱周围的局部冲刷。公式如下：

$$\frac{h_b}{h} = 17.4 k_1 k_2 \left(\frac{B}{h}\right)^{0.326} \left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.167} F_r^{0.628}$$

式中：

h_b -桥墩局部冲刷深度（m）；

h -最大水深（m）；

B -最大水深条件下平均阻水宽度（m）；

d_{50} -中值粒径（mm）；

K_1 -基础桩平面布置系数，条形 1.0，梅花形 0.862；

K_2 -基础桩垂直布置系数，直桩 1.0，斜桩 1.176；

F_r -Froude 参数。

计算结果见表 5.1.5-1，其中场区潮流最大流速取工程区现状水文调查实测的大潮最大流速。

表 5.1.5-1 工程桩基最大可能局部冲刷深度（五年一遇）

要素		风电桩基	海上升压站	海上无功补偿站
水深（m）设计高水位下		45	43	34
最大流速（m/s）		0.70	0.70	0.65
有效波高（m）		6.8	6.8	6.2
平均波周期（s）		11.7	11.7	11.2
波长（m）		182.6	182.6	178.5
底质中值粒径（mm）		0.104	0.104	0.107
桩径（m）		3.5	4.5	3.8
韩海骞公式	最大冲刷深度（m）	4.19	3.98	3.58
	最大冲刷直径（m）	28.5	27.7	22.9

由上表可见，风电场区风机桩基础最大冲刷深度约为 3.98m，冲刷坑最大

直径为 27.7m；升压站桩基础最大冲刷深度约为 4.19m，冲刷坑最大直径为 28.5m；海上无功补偿站桩基础最大冲刷深度约为 3.58m，冲刷坑最大直径为 22.9m。

归纳上述分析结果，风电场建设后，大范围海床冲淤不会发生大的变化，仅局部发生较明显海床冲淤，风机桩基周边海床冲刷，风机桩基约 10m~20m 外海床沉积冲刷出来的泥沙，形成 0.5m~1.0m 的沙丘。

5.1.6 水质影响预测对比分析

本工程施工对水质影响主要考虑送出海缆和集电海缆敷设施工过程中所产生的源强。当采用船舶进行电缆敷设施工时，在电缆周围会形成高浓度悬沙，其后悬沙随海流输运、扩散和沿程落淤，浓度逐渐减小，范围逐渐增大。施工带来的悬浮泥沙输运扩散对水质环境的影响可采用悬沙扩散方程进行预测。

5.1.6.1 模型介绍

(1) 基本方程

悬浮物扩散方程：

Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_M D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_M D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K_v}{D} \frac{\partial C}{\partial z} \right) + D S_c$$

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。 K_M 为水平扩散系数，采用欧拉公式：

$$K_{MX} = 5.93 \sqrt{gH} |u| / C_z \quad K_{MY} = 5.93 \sqrt{gH} |v| / C_z$$

C_z 为 chezy 系数， K_v 为垂直扩散系数。

岸界边界条件：
$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

侧开边界的边界条件：

入流时 $C|_r = p_0$ ；

Γ 为水边界, P_0 为边界上浓度, 计算冲射式挖沟施工悬沙增量时, 因本底悬沙浓度不大, 不考虑本底值, 取 $P_0=0$ 。

$$\text{出流时 } \frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial n} = U_n \text{ 为边界法向流速;}$$

$$\text{自由表面上: } w_f C + K_v \frac{\partial C}{\partial Z} = 0$$

$$\text{海底床面: } -K_v \frac{\partial C}{\partial Z} - w_{fb} C_b = \begin{cases} M \frac{V}{V_e} - & V \geq V_e \\ & V_d < V < V_e \\ w_{fb} C_b \frac{V}{V_d} - & V \leq V_d \end{cases}$$

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。

(2) 计算参数

①糙率

同水动力模型预测中糙率取值。

②模型计算时间步长

模型采用的时间步长 $\Delta t=30s$ 。

③涡动分散系数

沿水流方向 D_x 和垂直水流方向 D_y 的水流涡动分散系数分别采用以下公式拟定:

$$D_x = 5.93 \sqrt{g|u|h/c}, \quad D_y = 5.93 \sqrt{g|v|h/c}$$

④泥沙沉降速度

根据文献《淤泥质、粉沙质及沙质海岸航道回淤统一计算方法》(刘家驹, 2012), 对于粒径小于 $0.03mm$ 的淤泥质泥沙在海水条件下均以絮凝沉速 $0.0004 \sim 0.0005m/s$ 沉降, 其当量粒径取 $0.03mm$, 而对于粒径大于 $0.03mm$ 的粉砂质或砂质泥沙, 沉速则需用其单颗粒泥沙沉速。因此, ω 计算公式采用下式:

$$w_s = \frac{(\rho_s - \rho)gd^2}{18 \cdot \rho\nu}$$

式中： ρ_s 为泥沙颗粒密度，取 2650kg/m³； ρ 为海水密度，取 1000kg/m³； g 为重力加速度，取 9.8m/s²； d 为泥沙粒径（m），取悬沙中值粒径； ν 为海水粘滞系数，取 0.0001m²/s。

根据实测资料，工程海域表层沉积物中值粒径为 0.107mm，根据公式计算出沉降速度约为 0.01cm/s。

⑤泥沙沉降机率

泥沙沉降机率 α 取值根据潮汐水流中的悬沙运动及冲淤计算（窦国仁，1963）文献中推荐公式：

$$\alpha = 0.5 + \Phi\left(\frac{\omega}{\sigma}\right)$$

其中函数 $\Phi\left(\frac{\omega}{\sigma}\right)$ 根据机率积分，可查表得到； ω 为泥沙沉速， σ 为脉动流速均方根， $\sigma = 1.25 \frac{u\sqrt{g}}{C}$ ， C 为谢才系数， g 为重力加速度， u 为断面平均流速。

5.1.6.2 悬浮泥沙预测方案

（1）悬沙源强

1) 送出海缆

①近岸段

根据同类工程施工经验，设海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，敷设速度取 5m/min，近岸段总体埋深在 3m。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物起悬以施工土方量的 20%计，产生悬浮物泥沙量为 1.20m³/min。电缆埋设机冲切海床引起的悬浮物源强计算过程如下：

$$Q = L \times A \times \gamma_s \times P$$

式中： Q （kg/s）为海底悬浮泥沙强度，kg/s； L 为开挖进度，m/s； γ_s 为泥沙干容重，kg/m³； A 为海缆挖沟横截面，m²； P 为起悬浮泥沙所占挖沙量比例，以施工土方量的 20%计。近岸段取 2024 年 4 月的 SW01 站位中值粒径为 0.053mm，

泥沙干容重按照 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 公式计算，沉积物干容重为 1022.31kg/m^3 ，电缆施工的悬浮物源强为 20.45kg/s 。

②中间段

根据同类工程施工经验，设海缆沟槽底宽约 0.3m ，顶宽约 0.5m ，敷设速度取 5m/min ，中间段涉及航道，总体埋深在 $3\text{--}4\text{m}$ ，取 4m 。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物起悬以施工土方量的 20% 计，产生悬浮物泥沙量为 $1.60\text{m}^3/\text{min}$ 。电缆埋设机冲切海床引起的悬浮物源强计算过程如下：

$$Q=L \times A \times \gamma_s \times P$$

式中： Q (kg/s) 为海底悬浮泥沙强度， kg/s ； L 为开挖进度， m/s ； γ_s 为泥沙干容重， kg/m^3 ； A 为海缆挖沟横截面， m^2 ； P 为起悬浮泥沙所占挖沙量比例，以施工土方量的 20% 计。2024 年 4 月的 SW05、SW08、SW10 站位的中值粒径分别为 0.014mm 、 0.031mm 、 0.127mm ，则平均中值粒径为 0.057mm ，泥沙干容重按照 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 公式计算，沉积物干容重为 1036.01kg/m^3 ，电缆施工的悬浮物源强为 27.63kg/s 。

③靠近风电场段

根据同类工程施工经验，设海缆沟槽底宽约 0.3m ，顶宽约 0.5m ，敷设速度取 5m/min ，靠近风电场段总体埋深在 3m 。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物起悬以施工土方量的 20% 计，产生悬浮物泥沙量为 $1.20\text{m}^3/\text{min}$ 。电缆埋设机冲切海床引起的悬浮物源强计算过程如下：

$$Q=L \times A \times \gamma_s \times P$$

式中： Q (kg/s) 为海底悬浮泥沙强度， kg/s ； L 为开挖进度， m/s ； γ_s 为泥沙干容重， kg/m^3 ； A 为海缆挖沟横截面， m^2 ； P 为起悬浮泥沙所占挖沙量比例，以施工土方量的 20% 计。2024 年 4 月的 SW13、SW15、SW17、SW19、SW21 站位沉积物中值粒径分别为 0.136mm 、 0.135mm 、 0.078mm 、 0.091mm 、 0.097mm ，平均中值粒径为 0.107mm ，泥沙干容重按照 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 公式计算，沉积物干容重为 1162.56kg/m^3 ，电缆施工的悬浮物源强为 23.25kg/s 。

2) 集电海缆

根据同类工程施工经验，建设海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，敷设速度取 5m/min，风电场内总体埋深在 3m。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物起悬以施工土方量的 20%计，产生悬浮物泥沙量为 1.20m³/min。电缆埋设机冲切海床引起的悬浮物源强计算过程如下：

$$Q=L \times A \times \gamma_s \times P$$

式中：Q（kg/s）为海底悬浮泥沙强度，kg/s；L 为开挖进度，m/s； γ_s 为泥沙干容重，kg/m³；A 为海缆挖沟横截面，m²；P 为起悬浮泥沙所占挖沙量比例，以施工土方量的 20%计。2024 年 4 月的 SW21、SW34、SW35、SW39 站位沉积物中值粒径分别为 0.097mm、0.085mm、0.114mm、0.118mm，平均中值粒径为 0.104mm，泥沙干容重按照 $\gamma_d = 1750 D_{50}^{0.183}$ 公式计算，沉积物干容重为 1156.53kg/m³，电缆施工的悬浮物源强为 23.13kg/s。

考虑到风电场电缆的布设和施工方式造成的悬泥特点，将悬浮泥沙源强点均匀布置于海缆沿线，即海缆所经之处网格点均定义为悬沙源强点。根据同类型的项目经验，海缆正常铺设速度控制在 1~5m/min，铺设完成一段海缆即移至下一段，因此每个悬沙源强点不可能源源不断溢出悬沙，考虑最不利要素，模型每隔 250m 设置一个源强点，每个悬沙源强点连续溢出 1 小时悬浮泥沙，此后，源强点不再继续往外溢出泥沙，但现有溢出泥沙在潮流影响下将继续扩散，因此，本次计算继续选择完整的自然半月潮（包含一个大潮、中潮和小潮）进行悬浮泥沙扩散计算，直至悬浮泥沙扩散范围不再扩大为止。

（2）源强点布置

悬沙影响模拟预测海底电缆方案一布设 498 个代表点，方案二布设 515 个代表点，每个代表点源强间隔约 250 米，每个源强持续溢出 1 小时停止释放，风电场源强点平面位置示意图见图 5.1.6-1。根据海底电缆开挖特点，海缆施工时产生的瞬时源强主要存在于底层，模型在模拟计算过程中将源强点设置为底层排放，以此模拟海缆敷设过程中产生的悬浮泥沙扩散过程。

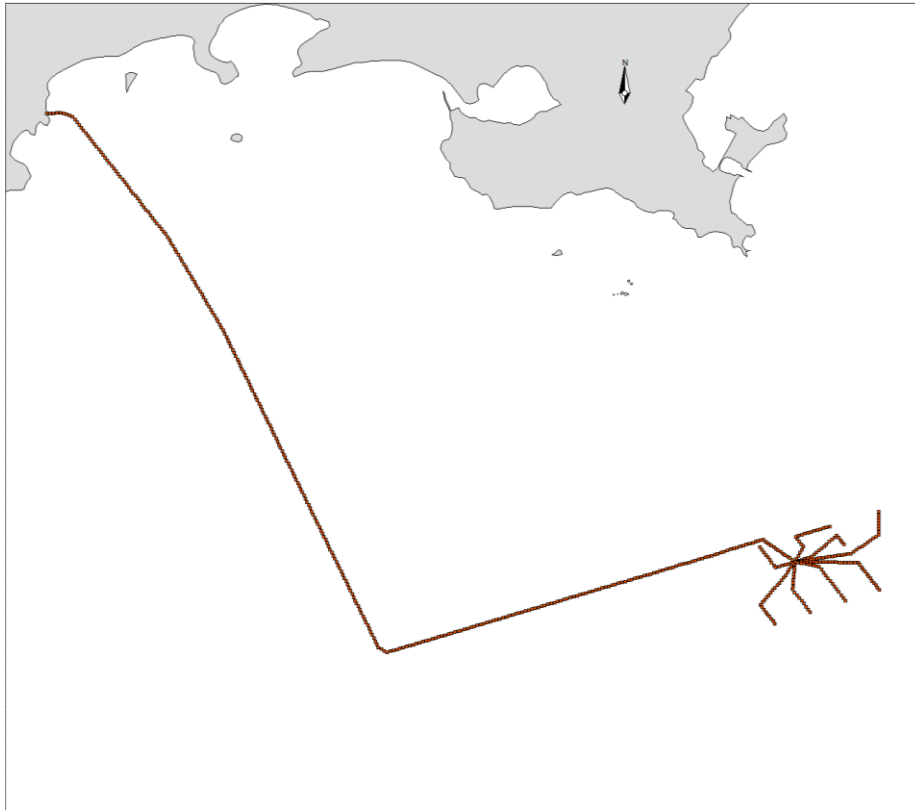


图 5.1.6-1a 方案一风电场缆线源强点分布图

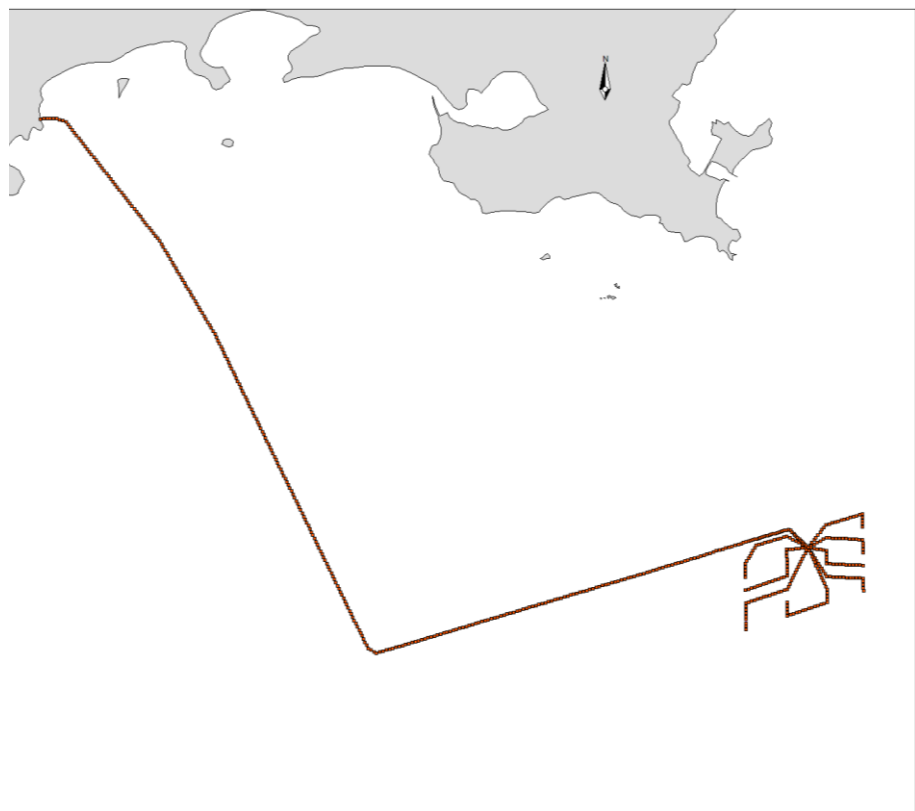


图 5.1.6-1b 方案二风电场缆线源强点分布图

5.1.6.3 悬浮泥沙预测结果

模拟施工船只设备在场址进行电缆敷设等作业，输出每半小时的浓度场，统计在工程海域悬沙增量大于 10mg/L 面积，获得瞬时最大浓度场。并叠加模拟期间内各网格点构成的最大浓度值的浓度场，构成“包络浓度场”，其统计结果见表 5.1.6-1~表 5.1.6-2。图 5.1.6-2~图 5.1.6-3 为模拟期内电缆敷设施工作业各层悬沙增量包络线浓度场。

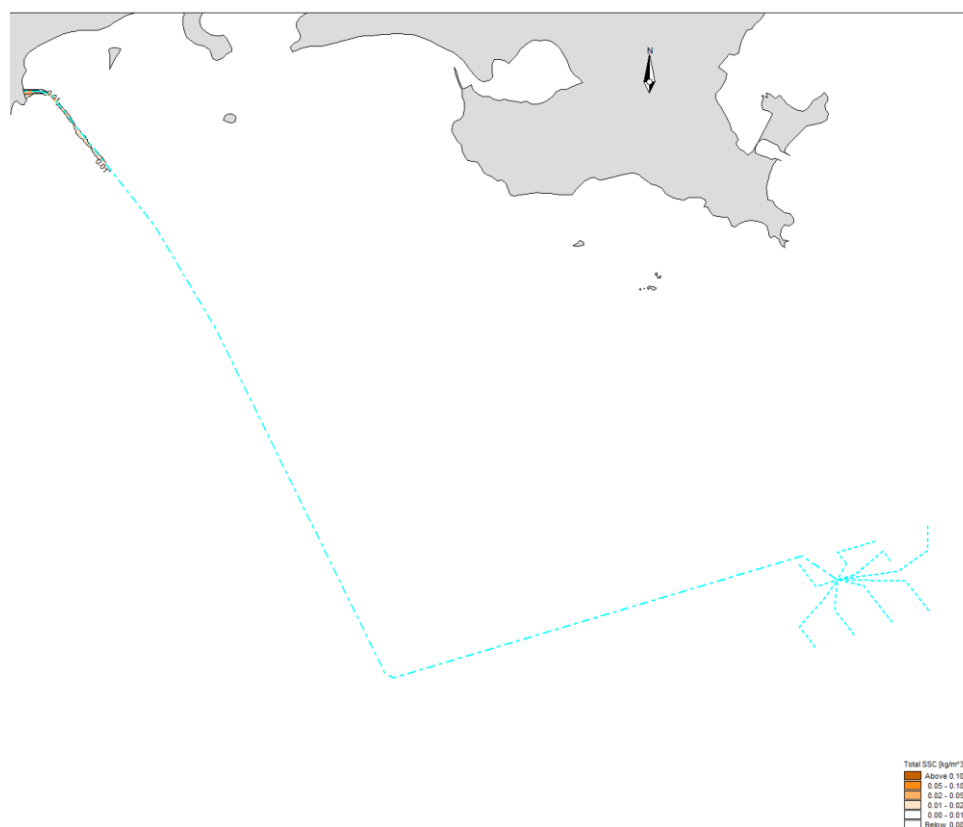


图 5.1.6-2a 方案一海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（表层）

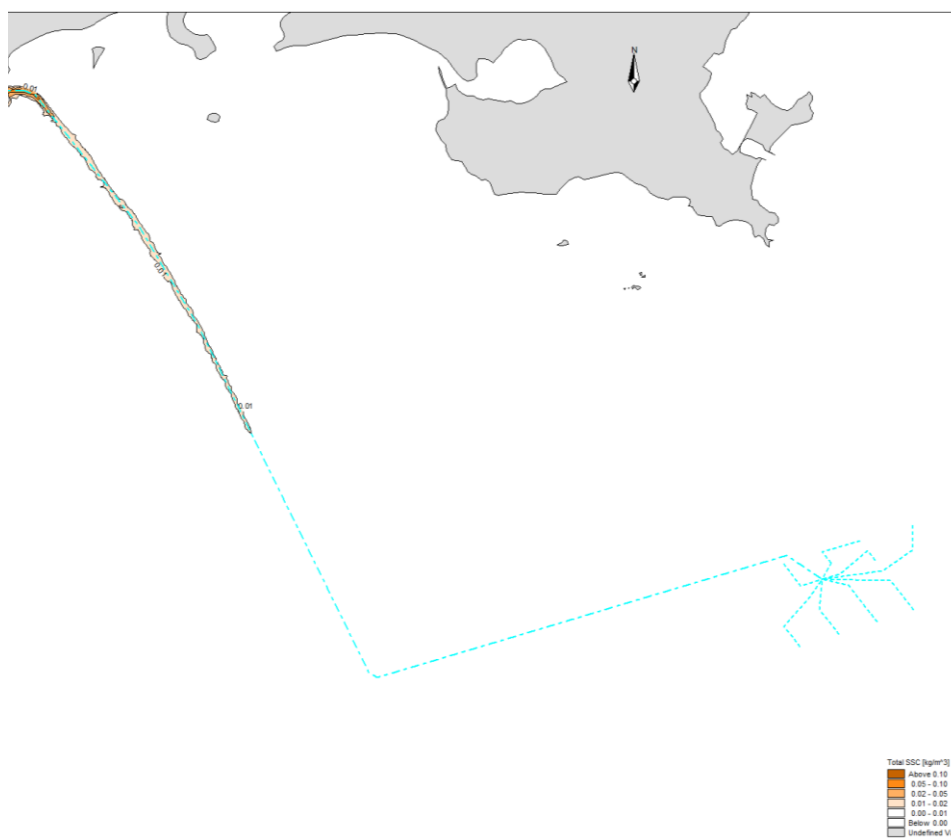


图 5.1.6-2b 方案一海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（0.4 层）

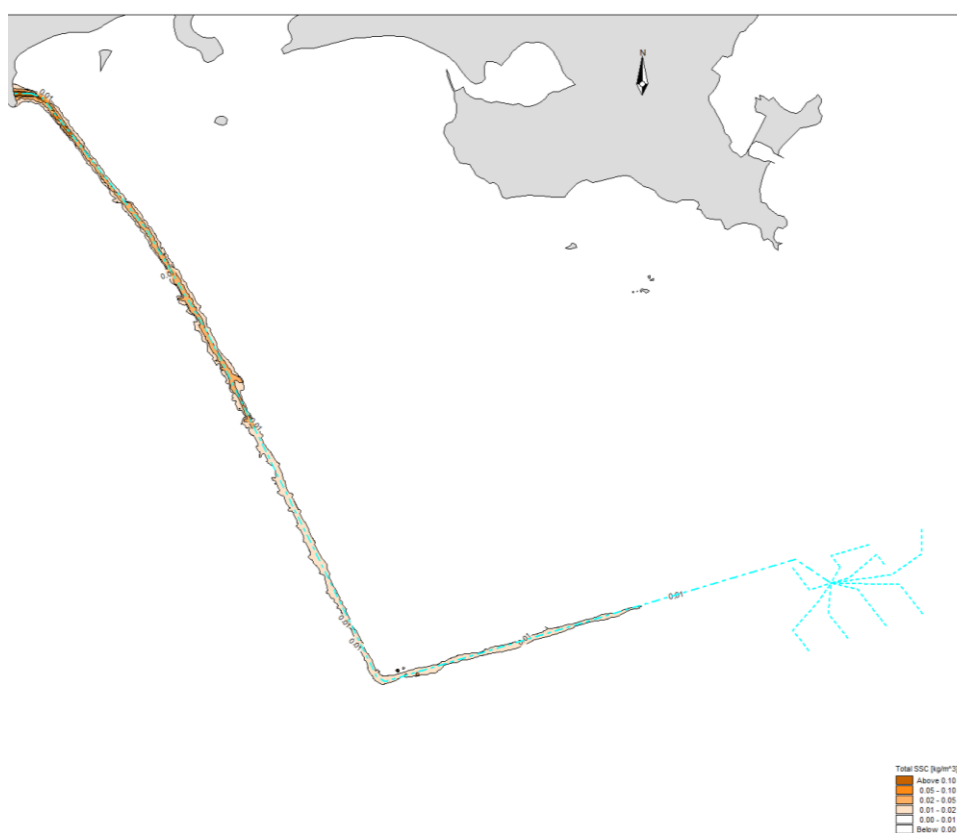


图 5.1.6-2c 方案一海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（0.6 层）

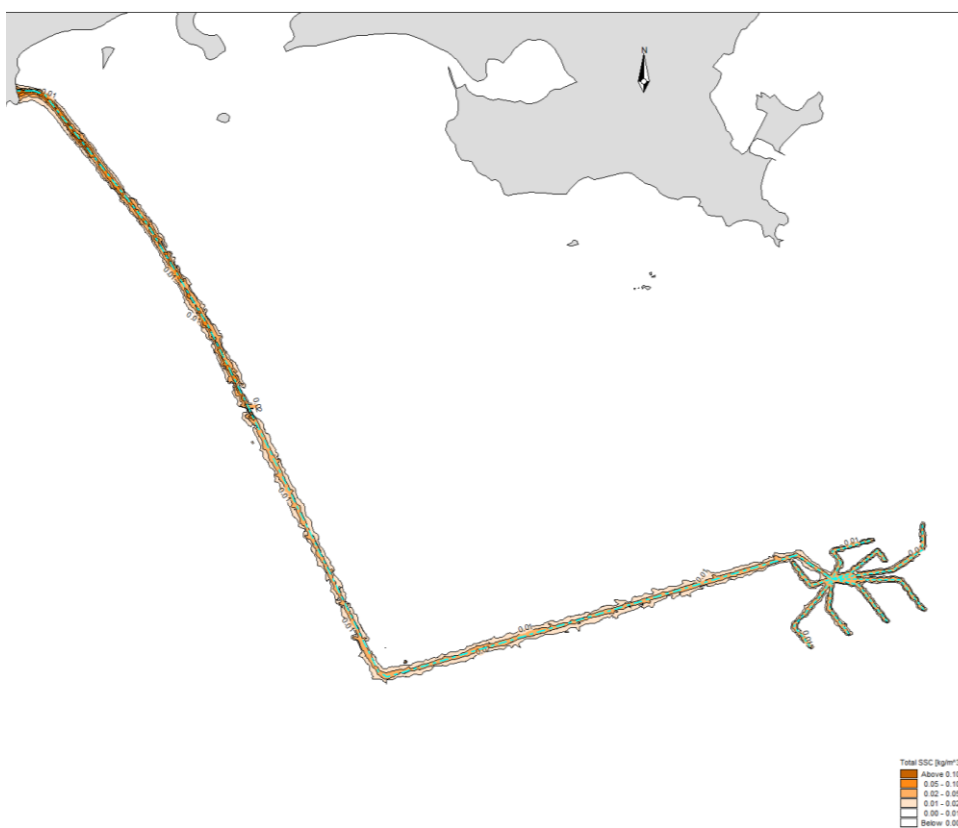


图 5.1.6-2d 方案一海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（0.8 层）

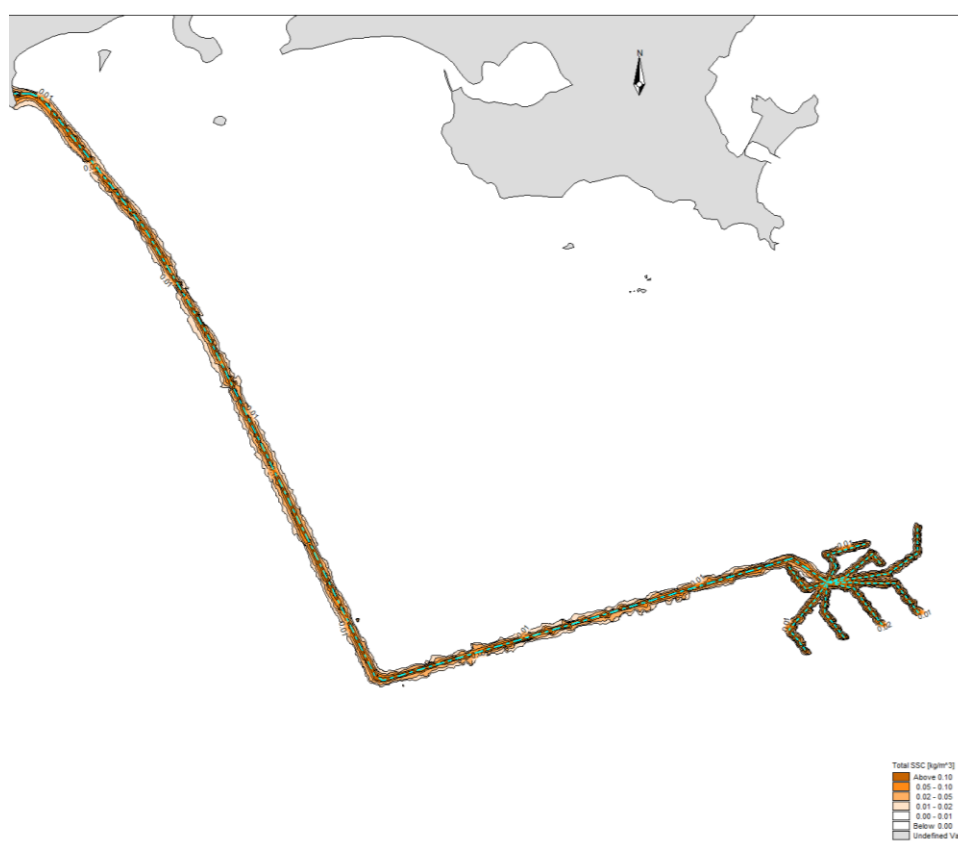


图 5.1.6-2e 方案一海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（底层）

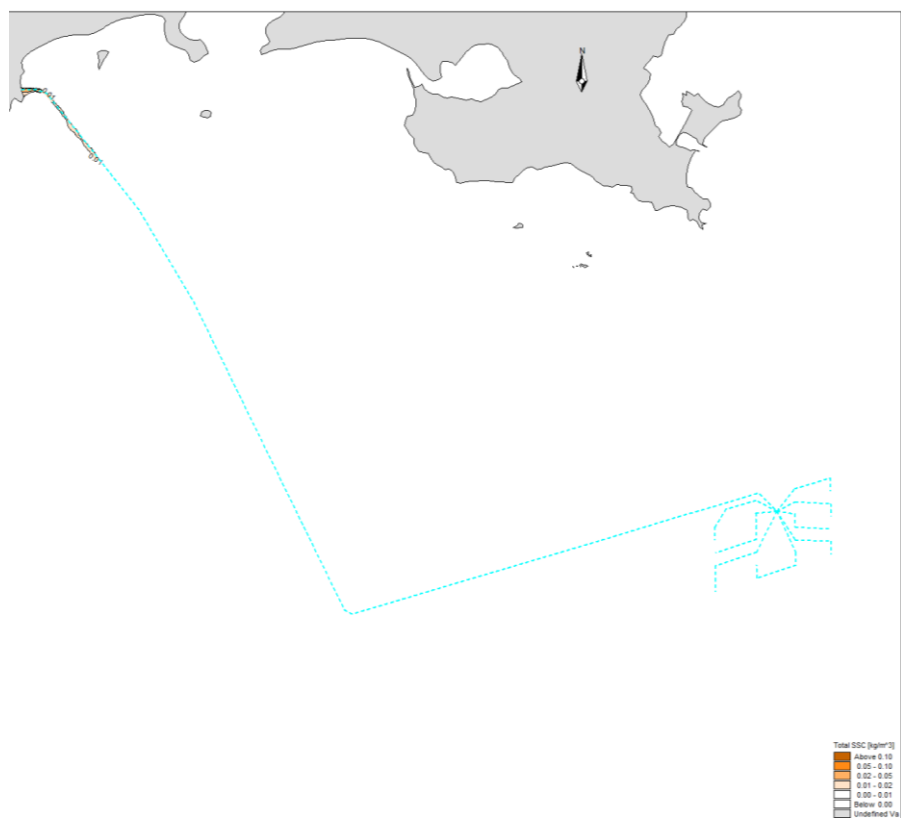


图 5.1.6-3a 方案二海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（表层）

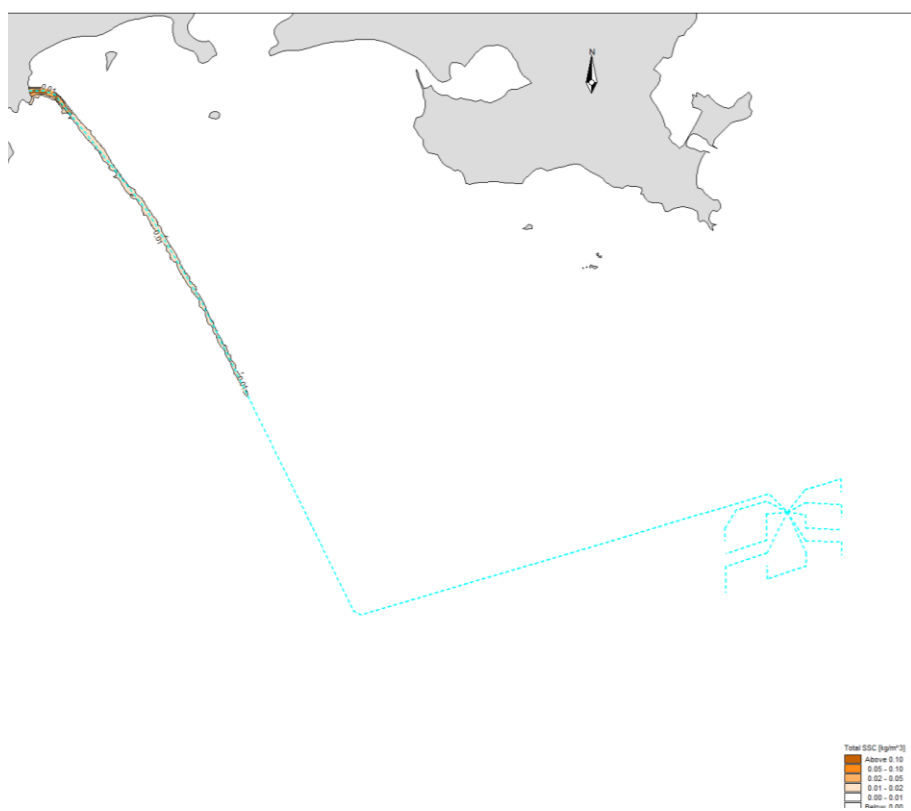


图 5.1.6-3b 方案二海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（0.4 层）

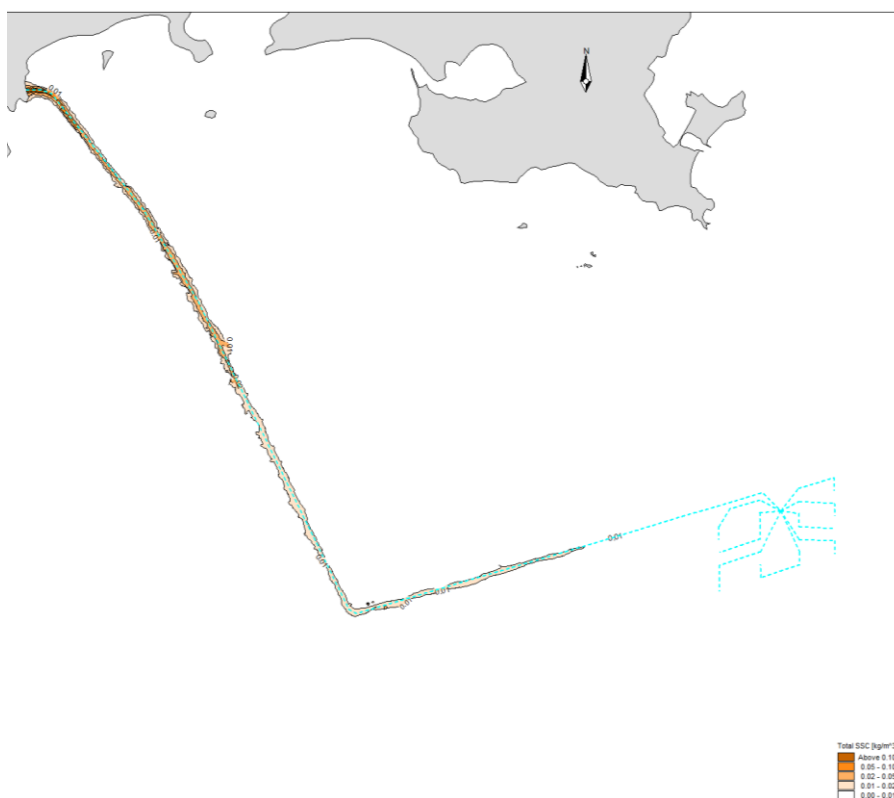


图 5.1.6-3c 方案二送海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（0.6 层）

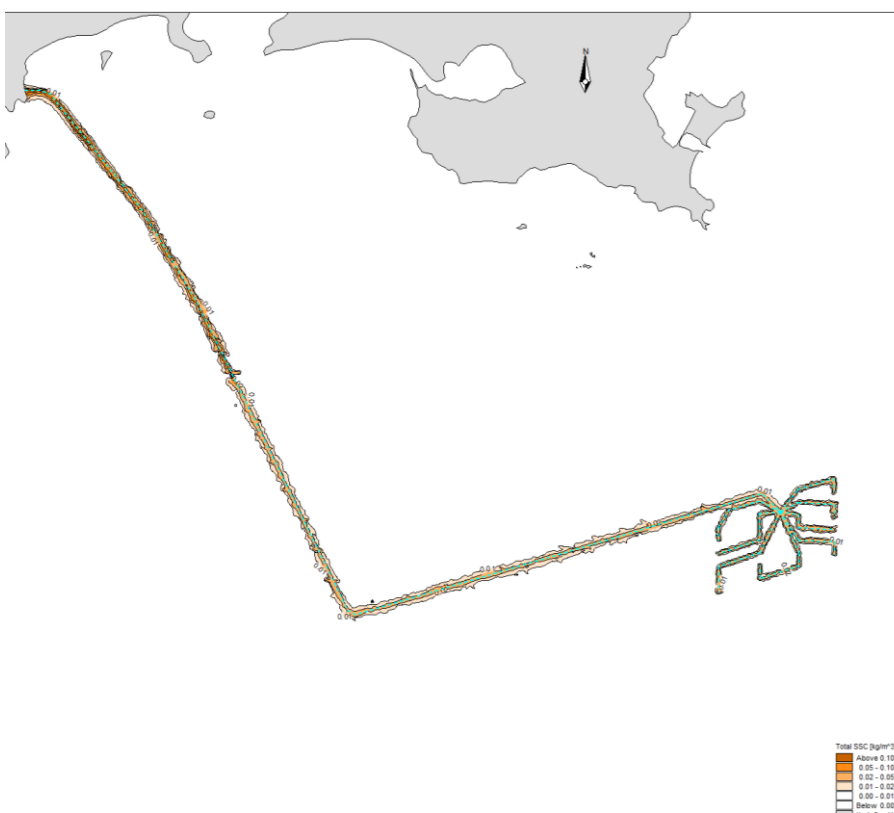


图 5.1.6-3d 方案二海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（0.8 层）

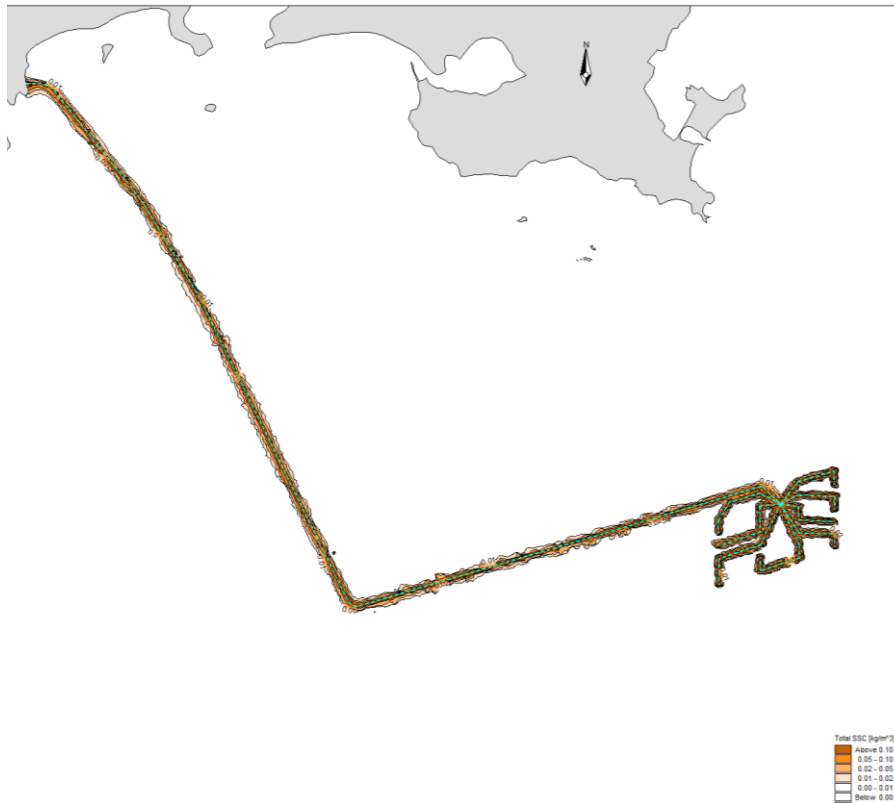


图 5.1.6-3e 方案二海缆整体敷设施工产生悬沙增量包络线图（底层）

表 5.1.6-1 方案一整体施工产生悬沙增量面积 (km²)

悬沙浓度 包络线面积	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	最大扩散距离 (km)			
					东向	南向	西向	北向
表层	11.068	2.112	0.236	0.102	1.2	1.2	1.1	1.1
0.4 层	19.325	2.709	1.166	0.228				
0.6 层	28.851	9.769	1.804	0.926				
0.8 层	60.231	29.707	9.007	3.182				
底层	93.456	57.316	34.433	21.204				
平均	42.586	20.323	9.329	5.128				

表 5.1.6-2 方案二整体施工产生悬沙增量面积 (km²)

悬沙浓度 包络线面积	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	最大扩散距离 (km)			
					东向	南向	西向	北向
表层	11.068	2.112	0.236	0.102	1.2	1.2	1.1	1.1
0.4 层	19.325	2.709	1.166	0.228				
0.6 层	28.851	9.769	1.804	0.926				
0.8 层	67.473	34.754	9.007	3.182				
底层	103.695	64.686	39.186	23.513				
平均	46.082	22.806	10.280	5.590				

电缆敷设作业过程中，由于机械的搅动作用，使得泥沙悬浮，造成水体混浊水质下降，并使得周边海区底栖生物生存环境遭到破坏，对浮游生物也产生影响，主要污染物为 SS。

计算结果显示，海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙将给周边水域带

来一定的污染。从分布趋势看，海缆施工产生的悬沙扩散主要是在风电场周围，由于风电场所处位置水深较深，施工产生的悬浮泥沙浓度增量大于 10mg/L 主要位于 0.6 层、次底层和底层。

方案一：海缆整体施工表层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 11.068km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 2.112km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.236km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.102km²；0.4 层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 19.325km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 2.709km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 1.166km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.228km²；0.6 层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 28.851km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 9.769km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 1.804km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.926km²；0.8 层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 60.231km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 29.707km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 9.007km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 3.182km²；底层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 93.456km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 57.316km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 34.433km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 21.204km²。

方案二：海缆整体施工表层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 11.068km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 2.112km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.236km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.102km²；0.4 层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 19.325km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 2.709km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 1.166km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.228km²；0.6 层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 28.851km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 9.769km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 1.804km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 0.926km²；0.8 层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 67.473km²，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 34.754km²，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 9.007km²，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 3.182km²；底层大于 10mg/L 浓度区的包络线面

积为103.695km²，大于20 mg/L浓度区的包络线面积为64.686km²，大于50 mg/L浓度区的包络线面积为39.186km²，大于100 mg/L浓度区的包络线面积为23.513km²。

5.1.7 用海方案推选

根据上述的水动力、地形地貌与冲淤、水质环境等方面的关键预测因子的预测对比分析，各用海方案对资源生态影响的比选见表5.1.7-1。

两种方案水动力和地形地貌与冲淤环境的影响差异不大；方案一的悬沙扩散范围较小，因此方案一施工造成的生物量损失相对较小。总体上方案一对资源生态影响较小，因此推荐用海方案为方案一。

表 5.1.7-1 用海方案对资源生态影响比选

关键预测因子		对资源生态影响比较	评价
水动力	流速	方案一：大潮涨急流速变化值-0.02m/s~0.02m/s，大潮落急流速变化值-0.01m/s~0.01m/s； 方案二：大潮涨急流速变化值-0.02m/s~0.03m/s；大潮落急流速变化值-0.01m/s~0.01m/s。	两方案差异不大
	流向	方案一：大潮涨急流向变化值-2.1°~1.5°，大潮落急流向变化值-0.1°~1.5°； 方案二：潮涨急流向变化值-1.5°~1.7°；大潮落急流向变化值-0.4°~1.2°。	两方案差异不大
	水动力影响范围	总体上两种方案对水动力影响主要都出现在风电桩基附近，对其他海域影响程度较有限，两种方案的水动力影响范围差异不大。	两方案差异不大
地形地貌与冲淤	冲淤变化	方案一年最大淤积幅度约为0.14m/a，最大冲刷幅度0.12m/a，方案二年最大淤积幅度约为0.16m/a，最大冲刷幅度约为0.12m/a。	两方案差异不大
水质	悬沙扩散	方案一整体施工垂向大于10mg/L浓度区的包络线面积为42.586km ² 。 方案二整体施工垂向大于10mg/L浓度区的包络线面积为46.082km ² 。	方案一较优

5.2 资源影响分析

根据生态评估结果，推荐用海方案为方案一，因此对方案一开展资源影响分析。

5.2.1 对岸线及海洋空间资源的影响

(1) 占用岸线情况

本项目 500kV 送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠街道东侧海岸，向陆一侧为山体，西侧约 80m（山体南侧）为华润海丰电厂“上大压小”新建工程园区道路；南侧为华润海丰电厂“上大压小”新建工程排水渠，现状为基岩岸线。

项目 500kV 送出海缆申请范围已避让华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属范围，申请用海范围不占用岸线，实际建设拟采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线 0.8m，海底电缆铺设于海底，采用定向钻的施工方式由地底穿过岸线，无需开槽，不影响自然岸线长度、形态及生态功能。



图 5.2.1-1 登陆点现状照片



图 5.2.1-2 项目送出海缆登陆穿越岸线示意图

(2) 占用海域情况

本项目规划装机容量为 500MW，拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站。项目申请总用海面积为 429.1188 公顷，其中透水构筑物用海面积为 187.5274 公顷，海底电缆管道用海面积为 241.5914 公顷。

本项目建设透水构筑物和海底电缆管道占用了部分海底、海面以及部分海面上方的海域空间资源，使部分海洋空间开发活动也受到了限制，占海区域对海域空间资源的其他开发活动具有一定的排他性。

5.2.2 对海洋生物资源的影响

5.2.2.1 底栖生物损失量

风机、定位架、海上升压站和海上无功补偿站等基础长期占用海底底质环境，500kV 送出海缆和 66kV 集电电缆施工阶段破坏海域底质，对底栖生物及生态系统造成了一定的影响。参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程（SC/T9110-2007）》（以下简称《规程》），底栖生物的资源损失按以下公式进行

计算：

$$Wi=Di \times Si$$

式中：

Wi 为第 i 种生物资源受损量，单位为 kg ，此处为底栖生物资源受损量；

Di 为评估区域内第 i 种生物资源密度，单位 kg/m^2 ，此处为底栖生物平均生物量；

Si 为第 i 种生物占用的水域面积，单位为 m^2 。在此为桩基、送出海底电缆基槽开挖面积。

本项目拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站。则各工程占用海域面积为：

①**风机**：28 台 18MW 风机基础均为四桩导管架，根开 30m，桩径 3.5m。即占用海域面积为 $28 \times \pi \times (3.5/2)^2 \times 4 = 1059.1\text{m}^2$ ；

②**定位架**：风机基础施工需要定位架来维持稳定，定位架防沉板会占用海域，防沉板尺寸为 $35\text{m} \times 35\text{m}$ （中心存在空心方空，中心方孔为 $8\text{m} \times 8\text{m}$ ），则 1 台风机施工定位架占用海域面积为 1161m^2 ，28 台风机施工定位架占用海域面积为 32508m^2 。

③**海上升压站、海上无功补偿站**：1 台海上升压站基础为四桩导管架，桩径为 4.5m，1 台海上升压站基础为四桩导管架，桩径为 3.8m，海上升压站和无功补偿站占用海域面积为： $\pi \times (4.5/2)^2 \times 4 + \pi \times (3.8/2)^2 \times 4 = 109.0\text{m}^2$ ；海上升压站防沉板尺寸为 $26.5\text{m} \times 31.25\text{m}$ ，海上无功补偿站防沉板尺寸为 $23\text{m} \times 30\text{m}$ ，则海上升压站和无功补偿站的防沉板占用海域面积为 1518.1m^2 。

④**海底电缆**：本项目送出海底电缆长度约 83.65km，66kV 海底电缆总长度 45.45km。海底电缆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。本项目送出海缆施工造成底栖生物损失的面积为海缆长度（83.65km） \times （底栖生物破坏宽度 10m） $= 83.65 \times 10^4\text{m}^2$ ；集电海缆施工造成底栖生物损失的面积为海缆长度 45.45 \times （底栖生物破坏宽度 10m） $= 45.45 \times 10^4\text{m}^2$ 。

表 5.2.2-1 项目占用海域面积

序号	名称	单位：m ²	占用潮下带面积
1	风机、海上升压站、海上无功补偿站（含防沉板）		2686.2
2	定位架		32508
3	送出海缆施工造成的底栖生境破坏		836500
4	集电海缆施工造成的底栖生境破坏		454500
合计			1326194.2

选择项目工程区及附近海域调查站位 SW06、SW10、SW15、SW19、SW26 和 SW34 调查结果，2024 年 4 月上述各站位底栖生物的平均生物量为 2.668g/m²，2024 年 11 月底栖生物平均生物量为 5.054g/m²，则 2024 年 4 月和 2024 年 11 月底栖生物的平均生物量为 3.861g/m²。计算项目建设造成的底栖生物损失为 1326194.2×3.861×10⁻⁶=5.12t。

因此，项目施工造成底栖生物直接损失 5.12t。

5.2.2.2 渔业资源损失量

本工程施工工期超过 15 天，按照《规程》，工程在悬浮物扩散范围内对海洋生物产生的持续性损害，按以下公式计算：

$$M_i = W_i \times T$$

$$W_i = \sum_{i=1}^n D_{ij} \times S_i \times K_{ij}$$

式中： M_i 为第 i 种生物资源累计损害量，尾、个或千克（kg）；

W_i 为第 i 种生物资源一次性平均损失量，尾、个或千克（kg）；

T 为污染物浓度增量影响的持续周期数（以年实际影响天数除以 15），个；

D_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度，尾/km²或个/km²或千克（kg）/km²；

S_i 为某一污染物第 j 类浓度增量区面积，km²；

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

n 为某一污染物浓度增量分区总数。

上述各参数的取值如下：

根据水质环境影响预测，本项目海缆整体施工悬浮泥沙引起的生物损失按

垂向平均包络线大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 42.586km²，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 20.323km²，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 9.329km²，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 5.128km²。

表 5.2.2-2 本项目海缆施工悬浮物对各类生物损失率参数（参照《规程》相关规定）

悬沙增值浓度 (mg/L)	污染物 i 的超标 倍数 (Bi)	平均扩散面积 (km ²)	各类生物损失率 (%)	
			鱼卵和仔稚鱼	成体
10~20	Bi≤1 倍	22.263	5	0.5
20~50	1<Bi≤4 倍	10.994	17.5	5
50~100	4<Bi≤9 倍	4.201	40	15
>100	Bi≥9 倍	5.128	50	20

本工程海缆敷设施工为船舶“埋设犁”敷设施工，悬浮物浓度增量影响的持续时间一般不超过 15 天，且海缆敷设施工为线型移动敷设，持续周期按 1 计算。根据工程海域测量资料，项目区水深 0m~40m，平均水深按 20m 计。

根据第 3 章春季秋季两季调查数据计算，春秋两季调查海域游泳生物、鱼卵、仔稚鱼的平均资源密度分别为 291.575kg/km²，1.218ind/m³，0.246ind/m³。

表 5.2.2-3 渔业资源数据统计表

渔业资源	游泳生物 (kg/km ²)	鱼卵 (ind/m ³)	仔稚鱼 (ind/m ³)
春季	252.425	2.298	0.438
秋季	330.724	0.137	0.053
平均	291.575	1.218	0.246

项目施工悬浮泥沙造成渔业资源损失量为：

$$\text{游泳生物} = 291.575 \times 1 \times (22.263 \times 0.5\% + 10.994 \times 5\% + 4.201 \times 15\% + 5.128 \times 20\%) \times 10^{-3} = 0.68\text{t};$$

$$\text{鱼卵} = 1.218 \times 20 \times 1 \times (22.263 \times 5\% + 10.994 \times 17.5\% + 4.201 \times 40\% + 5.128 \times 50\%) \times 10^6 = 1.77 \times 10^8 \text{ 粒}$$

$$\text{仔鱼} = 0.246 \times 20 \times 1 \times (22.263 \times 5\% + 10.994 \times 17.5\% + 4.201 \times 40\% + 5.128 \times 50\%) \times 10^6 = 3.58 \times 10^7 \text{ 尾}$$

因此，项目施工造成渔业资源直接损失量为：游泳生物 0.68t、鱼卵 1.77×10⁸ 粒、仔鱼 3.58×10⁷ 尾。

5.2.3 对海岛资源影响

本项目论证范围内涉及到的岛礁资源有 28 个，均为无居民海岛，其中龙虾

头岛与本项目送出电缆距离最近，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。

5.2.4 对其他海洋资源的影响

本项目所在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。

此外，本项目建设对所在海域滩涂、港口、矿产以及旅游等其他海洋资源基本无影响。

5.3 生态影响分析

根据生态评估结果，推荐用海方案为方案一，因此对方案一开展生态影响分析。

5.3.1 对水文动力环境影响

本项目实施前工程区域各代表点大潮涨急流速为 0.30m/s~0.31m/s，涨急流向为 22.5°~25.8°，大潮落急流速为 0.35 m/s~0.37m/s，落急流向为 91.7°~94.9°。根据推荐用海方案的各代表点工程后与工程前大潮的涨急、落急时刻流速流向统计结果，工程范围内各代表点涨急表层流速出现不同程度变化。工程实施后

风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.02m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-2.1°~1.5°之间；各代表点大潮落急流速变化值位于-0.01m/s~0.01m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-0.1°~1.5°之间。

综上，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速出现一定程度减缓，风电桩基侧面流速稍有增加，流向变化不明显，可见工程实施对水文动力影响主要出现在风电桩基附近，其他海域影响程度较有限。

5.3.2 风电场建设对波浪影响

根据相关历史文献（Boon et al., 2019），项目建设对周边波浪的影响主要分为三个方面：

（1）风电场引起的风速变化直接影响波浪成长并间接影响波浪的传播、耗散和波浪相互作用等。

（2）风桩和桩基引起波浪的衍射。

（3）风电场建设导致的海底地形或者粗糙度的变化影响波浪的传播或者能量耗散等。

以下逐项进行分析：

从前人研究结果看，第一方面的影响最大，即风的改变直接导致波高的变化，一般来讲，波高与海面 10m 风速线性到二次方成正比，例如 5%的风速变化，可导致 5%~10%的波高变化，当然这是假定全海域风速均发生 5%的变化，而实际风速的变化，主要集中在风电场区。根据相关文献记载的欧洲北海某风电场考虑实际地形数值计算结果，单个风电场（约 5×10km 大小）内 10%的风速变化，仅仅能引起 1%的波高变化，如图所示。这是因为尽管风电场的风速减小，但由于周边风速并没有改变，上游边界的波高便不发生变化，且因单个风电场尺度较小，波浪受上游传播影响，衰减的比例并非与风速相当，而是小一个量级。

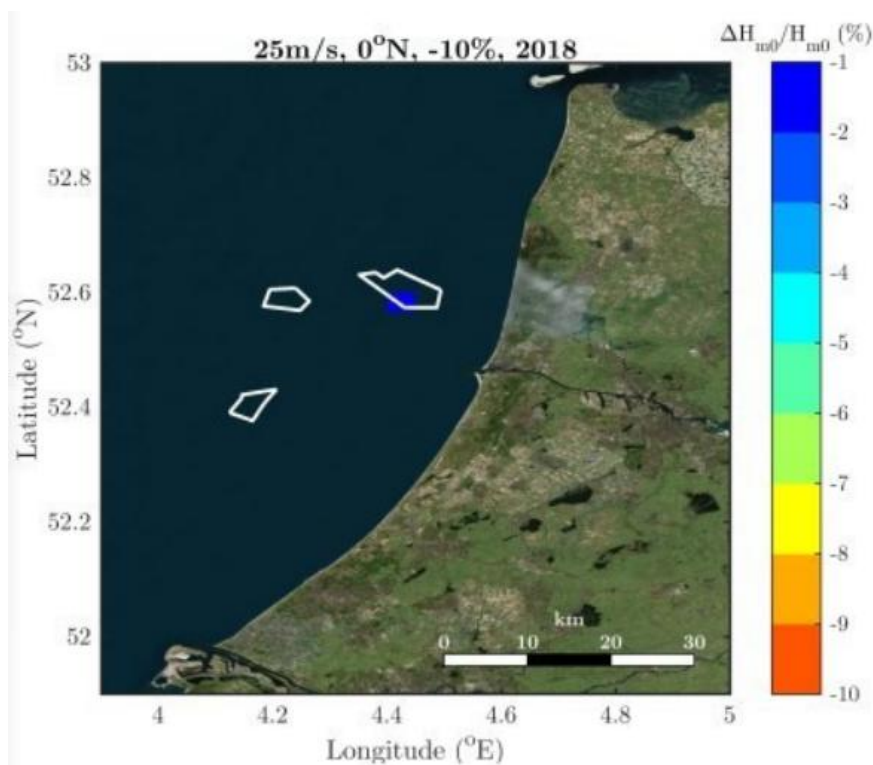


图 5.3.2-1 风电场建设引起的有效波高变化量（风速 25m/s，风向 N，风速改变量-10%）

第二方面的影响，由于风机桩基直径为 3.5m，相对于近岸几十米的波长来讲（周年观测的有效周期 5.86s 为例，计算得到波长= $g \times T^2 / (2 \times \pi) = 53\text{m}$ ，属于细长圆柱 ($D/L < 0.2$)，在海洋工程计算中，一般忽略其衍射的影响。

第三方面，由于风电场位于 34m~40m 水深处，水深大于半波长 ($53\text{m}/2$)，属于深水波，因此该海区局部水深的变化 (4%~8%) 对波浪传播和底摩擦耗散的影响基本可以忽略。

综上所述，本项目建设因风速变化导致的波高变化影响最大，按保守的风速衰减 10%来看，风电场区的波高衰减约 1%。根据汕尾气象站 2004 年~2023 年观测数据，月平均风速最大 (2.67m/s)，1 月平均风速最小 (2.12m/s)，主要风向为 ENE、E、NE、ESE，占 54.98%，其中以 ENE 为主风向，占到全年 18.23% 左右。

构筑物对波浪的影响取决于构筑物迎浪面长度与波长之比，通常构筑物迎浪面长度大于 2 倍波浪波长才能明显起阻挡作用。本项目建设对波浪的影响，主要集中在风电场区，影响约 1%。本项目风机桩基直径小于波浪波长一个量级，因此项目建成后，基本不对海域波浪场产生影响。由于风电场所处水深较深，

波浪难以影响到海底，因此波浪的这点变化基本不对海底冲淤环境造成影响。

5.3.3 对地形地貌冲淤环境影响

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响，工程实施对海域冲淤影响主要出现在风电桩基附近，工程附近海域潮流运动以向往复流为主。工程建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化。

预测结果表明，冲淤变化主要出现在工程周边水域，工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机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，年最大淤积幅度约为 0.14m/a，最大冲刷幅度 0.12m/a。

5.3.4 对水质环境的影响

5.3.4.1 施工期对水质环境影响

（1）施工悬浮物扩散影响

根据推荐用海方案的计算结果，从分布趋势看，海缆施工产生的悬沙扩散主要是在风电场周围，由于风电场所处位置水深较深，施工产生的悬浮泥沙浓度增量大于 10mg/L 主要位于 0.6 层、次底层和底层。推荐方案海缆整体施工悬浮泥沙底层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 93.456km²，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 57.316km²，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 34.433km²，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 21.204km²。推荐方案海缆整体施工悬浮泥沙垂向平均包络线大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 42.586km²，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 20.323km²，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 9.329km²，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 5.128km²。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。

（2）施工期污水影响

本工程海上施工期间会产生一定量的生活污水，生活污水中含有较高浓度

的N、P等物质，未经处理直接排放，则会在一定程度上加重海域的富营养化程度，恶化工程附近海域的水环境。本工程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。

因此，项目建设对所在海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，一旦施工结束，影响即可消除。

5.3.4.2 运营期对水质环境影响

项目运营期间对海水水质的影响主要为风机、海上升压站和海上无功补偿站等维修的废油。项目运营期间对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、废油等，检修工作人员需按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，维护结束后送交有资质单位进行妥善处置。项目运行期采用重防腐涂层+外加电流的防腐方案，基本不会对海洋水质产生影响。因此，项目运营期间基本不会对所在海域水质环境造成影响。

5.3.5 对沉积物的影响

5.3.5.1 施工期对沉积物环境影响

(1) 施工悬浮泥沙扩散对沉积环境的影响

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，风机桩基基础附近沉积物环境质量状况良好，符合评价海域目标沉积物质量要求。风机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泥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，并没有混入其它污染物，不会影响海底沉积物质量。

(2) 施工船舶污水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数量的含油废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶污水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，将直接污染区域海水水质，进而可能影响工程区域海域沉积物环境质量，造成沉积物中废弃物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。本工程施工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，基本不会对所在海域的沉积物环境造成影响。

5.3.5.2 运营期对沉积物环境影响

本工程在运行期采用重防腐涂层+外加电流的防腐方案。项目对沉积物环境的不利影响主要是涂层可能会因海水的侵蚀、物理磨损（如海浪冲击、漂浮物碰撞）等原因脱落。脱落的涂层碎片会在海洋中形成固体废弃物。项目运营期应建立定期检查制度，对风电场设施的涂层状况进行检查，对发现的涂层损坏（如划痕、剥落等）及时进行修复。在做好相应措施的情况下，工程运行对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

5.3.6 对海洋生物的影响

5.3.6.1 对底栖生物的影响

本工程建设对底栖生物的影响主要是风电机组、海上升压站和海上无功补偿站等桩基将对其用海范围内的海域产生永久性的占用，在该范围内的底栖生物将全部被掩埋、覆盖而灭亡，同时还将长期占用该海域底栖生物的生存空间，导致一定区域范围内底栖生物资源的永久损失，这种对底栖生境的破坏是不可逆的；辅助风机桩基础的定位架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。

5.3.6.2 对浮游生物的影响

(1) 对浮游植物的影响

根据对本工程建设过程的分析,在做好施工期生活污水、机修油污水、工地污水、生活垃圾和生产垃圾的收集处理工作的前提下,施工期对浮游植物最主要的影响是施工增加了水体中悬浮物质,影响了水体的透光性,进而影响了浮游植物的光合作用。已有很多国内外学者对光照强度与浮游植物的光合作用之间的关系进行了研究,大量的实验及调查研究表明,水体透明度对叶绿素 a 和浮游植物数量分布和变化是一个至关重要的制约因素。

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮,造成海缆沿线较大范围海域的含沙量暂时上升,进而降低海洋中浮游植物生产力,对海洋生态系统带来影响;同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响,进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

项目施工过程中造成悬浮物浓度增加,水体透光性减弱,从而使溶解氧降低,对水生生物产生诸多的负面影响。最直接的影响是削弱了水体的真光层厚度,对浮游植物的光合作用产生不利影响,进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长,降低单位水体中浮游植物数量,导致局部水域内初级生产力水平降低,使浮游植物生物量降低。

一般而言,悬浮物的浓度增加在 10mg/L 以下时,水体中的浮游植物不会受到影响,而当悬浮物浓度增加到 50mg/L 以上时,浮游植物会受到较大的影响,特别是中心区域,悬浮物含量极高,海水透光性极差,浮游植物基本上无法生存。当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时,浮游植物将会受到轻微的影响。

在海洋食物链中,除了初级生产者—浮游藻类以外,其他营养级上的生物既是消费者,也是上一营养级生物的饵料。因此,浮游植物生物量的减少,会使以浮游植物为饵料的浮游动物在单位水体中拥有的生物量也相应地减少,致使这些浮游生物为食的一些鱼类等由于饵料的贫乏而导致资源量下降。而且,以捕食鱼类为生的一些高级消费者,也会由于低营养级生物数量的减少而难以觅食。可见,水体中悬浮物质含量的增加,对整个海洋生态食物链的影响是多环节的。

(2) 对浮游动物的影响

在做好施工期生活污水、机修油污水、生活垃圾和生产垃圾的收集处理工作的前提下，本项目施工建设对浮游动物最主要的影响是水体中增加的悬浮物质。

悬浮物对浮游动物的影响与悬浮物的粒径、浓度等有关。由于悬浮颗粒物的浓度增加，造成以滤食性为主的浮游动物摄入粒径合适的泥沙，从而使浮游动物内部系统紊乱，因饥饿而死亡。某些桡足类动物，具有依据光线强弱变化而进行昼夜垂直迁移的习性，水体的透明度降低，会引起这些动物生活习性的混乱，破坏其生理功能。具体影响反映在浮游动物的生长率、存活率、摄食率、密度、生产量及群落结构等方面。浮游动物受影响程度和范围与浮游植物相似。

此外，根据有关资料，水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活和繁殖有明显的抑制作用。过量的悬浮物质会堵塞浮游桡足类动物的食物过滤系统和消化器官，尤其在悬浮物含量达到 300mg/L 以上时，这种危害特别明显。在悬浮物质中，又以粘性淤泥的危害最大，泥土及细砂泥次之。同时，过量的悬浮物质对鱼、虾类幼体的存活也会产生明显的抑制作用。

5.3.6.3 对游泳生物的影响

施工过程对游泳生物的影响主要包括两个方面：一是悬浮物的影响，二是因海域占用减少渔业资源空间。

①悬浮物的影响

鱼类等水生生物都比较容易适应水环境的缓慢变化，但对骤变的环境，它们反应则是敏感的。施工作业引起悬浮物质含量变化，并由此造成水体混浊度的变化，其过程呈跳跃式和脉冲式，这必然引起鱼类等其他游泳生物行动的改变，鱼类将避开这一点源混浊区，产生“驱散效应”。然而，这种效应会对渔业资源产生两方面的影响：一是由于产卵场环境发生骤变，在鱼类产卵季节，从外海洄游到该区域产卵的群体，因受到干扰而改变其正常的洄游路线；二是在该区域栖息、生长的一些种类，也会改变其分布和洄游规律。悬浮物对鱼类的影响主要表现为直接杀死鱼类个体；降低其生长率及其对疾病的抵抗力；干扰其产卵、降低孵化率和仔鱼成活率；改变其洄游习性；降低其饵料生物的密

度；降低其捕食效率等。但悬浮泥沙对渔业的影响不是永久性的，而是可逆的，会随着施工结束而逐渐恢复。悬浮物含量增高，对游泳生物的分布也有一定影响。室内生态实验表明，悬浮物含量为 300mg/L 水平，而且每天做短时间的搅拌，鱼类仅能存活 3~4 周，悬浮物含量在 200mg/L 以下水平的短期影响，鱼类不会直接致死。本项目建设不会产生悬浮物含量高浓度区（300mg/L 以上水平），不会造成成体鱼类死亡，且鱼、虾、蟹等游泳能力较强的海洋生物将主动逃避，游泳生物的回避效应使得该海域的生物量有所下降，从而影响该区域内生物群落的种类组成和数量分布。至于经济鱼类等，由于移动性较强，更不至于造成明显影响。施工结束营运一段时间后，浮游生物和游泳生物种群数量、群落结构会逐步恢复，生物量也会趋于增加，建议在项目运营期内一定时间对部分水域采取增殖和禁捕等保护性措施，尽快恢复项目建设对渔业生产的不利影响。

②海域占用减少了渔业空间资源

本项目风机、海上升压站、海上无功补偿站桩基占用了天然渔业空间，减少了天然的鱼卵、仔鱼生长发育以及索饵觅食的理想场所，风机、海上升压站、海上无功补偿站桩基的存在有可能妨碍鱼类的正常洄游路线，从而对渔业空间资源产生影响。

5.3.6.4 对“三场一通道”的影响

本项目部分位于南海区幼鱼、幼虾保护区、黄花鱼幼鱼保护区、蓝圆鲹、金色小沙丁鱼幼鱼保护区内。

1、施工期影响分析

（1）施工悬沙扩散影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆沿线较大范围海域的含沙量暂时上升，进而降低海洋中浮游植物生产力，对海洋生态系统带来影响；同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响，进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

高浓度的悬浮物对鱼类的影响主要表现为降低其生长率及其对疾病的抵抗力；干扰其产卵、降低孵化率和仔鱼成活率；改变其洄游习性；降低其饵料生

物的密度；降低其捕食效率等。但悬浮泥沙对渔业的影响不是永久性的，而是可逆的，会随着施工结束而逐渐恢复。

（2）施工噪声对渔业资源的影响

打桩施工产生的噪声会对渔业资源造成一定的影响。工程施工期应确立风机基础噪声阈值警戒区，对鱼类活动进行驱赶和迁移。在鱼类产卵季节，应在驱赶的基础上，控制施工强度，在打桩时减少每分钟的打桩次数。在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以驱赶海洋鱼类游离作业区。

2、运营期影响分析

（1）运营期对渔业资源的影响

风机运营产生的噪声经水一气界面进入水体后，能量损耗较大，且海水中悬浮物对噪声有一定的吸收作用，噪声进入水体后不会对周边声环境造成显著影响，不会引起桩基周围的水生生物环境有较大变化，加之噪声对鱼类具有驱赶效应，因此，水下噪声对鱼类机体、种群数量等影响有限。

（2）运营期电磁辐射对海洋生物的影响

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未有科学的定论。有研究认为，磁场能够影响鱼类，因为有些鱼的体内具有磁性物质，可用于识别地理磁场，从而协助它们进行空间定位。但是，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。且目前很少有现场研究对鱼类如何受到电缆及其所产生磁场的影响进行观测。一般情况下，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强烈的屏蔽作用，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。电缆产生的电磁场强度非常小，基本与当地背景值一致。因此海上风电场海底电缆建成运行后，不会对海洋生物产生不利影响。

5.3.6.5 对珍稀海洋生物的影响

（1）对海龟的影响

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其最敏感频率在 100Hz，此时阈值为 98dBre1μPa。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。

根据本项目所在海域存在海龟活动的历史追踪数据，说明风电场所在海域不是海龟洄游的主要路线，但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。

（2）对海马的影响

本项目施工期悬浮物的增加主要集中在项目工程周边海域，不会扩散至碣石湾海马珍稀濒危物种分布区，而且悬浮物是暂时的、局部的，施工结束后，影响也随即消失。施工期不向海域排放施工废水、含油污水、生活垃圾和建筑垃圾，运营期无污染物，对风电场周边海洋生态环境无明显影响。整体来说，项目建设对海马及其生境的影响较小。

5.3.7 对鸟类的影响

5.3.7.1 对鸟类的影响

（1）施工期影响

海上风电场施工期间，大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，使鸟类远离施工区域，减少鸟类活动范围，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟类产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。施工噪声对鸟类的干扰在施工结束后，其影响可以消除。

（2）运营期影响

运营期鸟类环境的影响参考《中广核汕尾甲子海上风电场鸟类现状调查及评价专题报告》的相关结论。建设项目在运行期会对鸟类造成多方面的影响，有直接的如碰撞、噪声等，也有间接的如破坏栖息地、减少食物资源等。按性质分，主要有以下几个方面：

1、对鸟类的直接影响

①风电机噪声影响

由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟

类会选择回避，减少活动范围。文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47dB（Hirvonen,2001），因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。海上升压站主变噪声影响类似，因体积较大影响范围大于单个风机噪声。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟，如黑鸢、白腹海雕等猛禽，以及红嘴鸥、多种燕鸥等鸥形目鸟类。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离超过 200m（按飞行高度 400m 算），受到噪声影响较小。

此外，从风机噪声频率角度评价，噪声对主要依靠鸣声进行通讯的鸣禽影响较为严重（Slabbekoorn and Ripmeester,2008），如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰鸟类寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力，使鸟类的捕食效率和生存力大大下降。在噪声环境中，鸟类可选用特定音节或鸣唱句型传递信息（Kennedy *et al*,2009）。当环境噪声水平提高时，声信号发出者改变频率和振幅，增大信噪比，降低噪声对声信号的干扰。近年来的研究还发现，鸟类还会调节鸣唱时间避开噪声干扰（Hardouin *et al*,2008）。有研究表明风机噪声频率以低频噪声为主，一般风电场所采用的风机噪声峰值频率出现在 1300~1600Hz。而鸟类鸣声频率主要分布在 2~9kHz，环境噪声常会影响鸟类鸣声的低频部分。鸟类应对噪声频率干扰的主要方法是提高鸣唱最低频率和主频。一般地，当风速为 8m/s 时，兆瓦级以下的风电机组声功率级在 98-104dB(A)之间，其噪声呈现明显的低频特性。随着风电机组输出功率的增大，其产生的噪声增大，并向更低频移动。以图 5.3.7-1 为例，1250Hz 以上的频率其声强低于 50dB，谱峰出现在 200-300Hz 段附近。

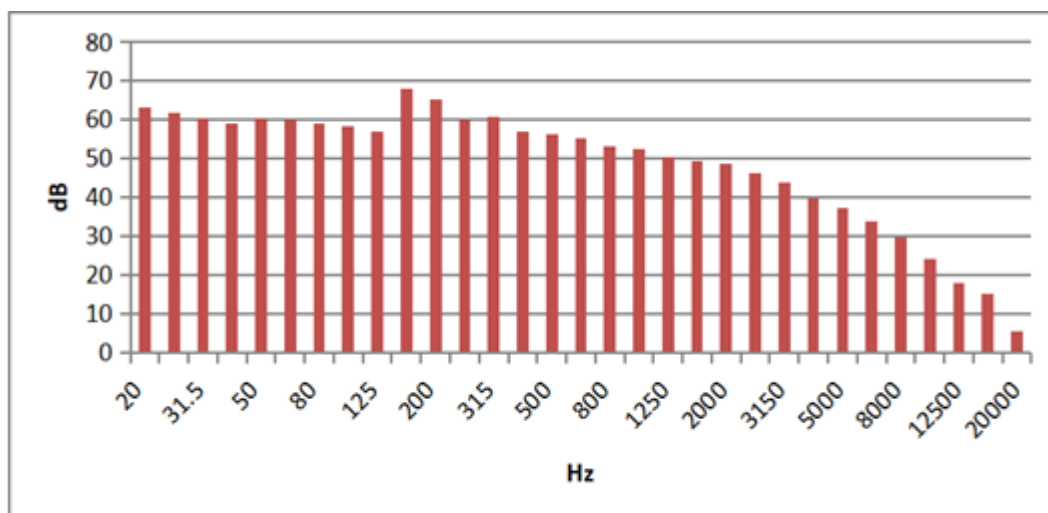


图 5.3.7-1 96m/s 时风力发电机组噪声的 1/3 倍频程频谱

以菲尔德斯半岛黑背海鸥为例，幼海鸥“吱”声是由脉冲列与正弦调制波构成的连续波。波形重复频率变化很大，从 0.12-3.3kHz，频率范围为 200Hz-4.8kHz，分别在 1.7、2.5 和 2.9kHz 处出现谱峰；成体海鸥“咯”声波形具有明显的连续调制特征。波形重复周期约为 0.5ms，谱峰在 1.1、2 和 3kHz 处，频率范围为 1-4kHz；群体黑背海鸥“哦”和“哦啊”声系由多个波叠加而成的连续波，波形的周期变化较为复杂，谱峰分别出现在 1.2、1.5、1.7 和 3kHz 处，频率范围为 1-4kHz。可以看出海鸥鸣声主要频率高于风力发电机组的主要噪声频率。其他如白头鹎等鸣禽，其鸣声各音节的主频范围在 1.6-3.6kHz，也高于发电机组的主要噪声范围。

以上数据表明，风电场产生的低频噪声基本低于鸟类的最低频率鸣声，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响。结合本项目建设区域鸟类分布特征，经过风机所在海域的鸟类主要为非鸣禽类的水鸟，受噪音频率影响的可能性较雀形目鸣禽更低。

②光影响

日间风机叶片反射阳光可能会刺伤雀鸟的眼睛，使候鸟迷途，改变迁徙方向。而晚上风电场区域的照明是影响夜间迁徙鸟类安全的一个非常重要的因素，特别在遇上大雾、降雨、强逆风或无月的夜晚，鸟容易被光源吸引，向着光源飞行，这种趋光性极易造成鸟撞上光源附近的障碍物。北美 Virginia 西部山区风电场在 2003 年 5 月底某天大雾的夜晚发生 27 只夜间迁徙鸟死亡，变电站的钠蒸

气灯是吸引鸟与风电机相撞的主要原因 (Kerlinger,2003), 该风电场的鸟死亡情况的研究结果表明, 夜间迁徙的鸟经常死于风电场内的灯下。目前有研究波长较长的光线, 如红光和黄光对候鸟影响更大。因此, 在工程区域可能受光影响的主要是夜间迁徙的鸟, 需采取防护措施尽可能减少光对其产生的干扰。

基于实验研究, 蓝光等短波光 (波长 $\leq 405\text{nm}$) 能刺激候鸟视网膜的隐花色素蛋白, 通过光磁感受体作用感受地磁场, 从而使鸟类获得地磁定向能力; 但红光等长波光会影响隐花色素蛋白的激活, 使鸟类失去磁场感受能力。本项目主要使用波长较长的红光和复合光白光, 对迁徙鸟类影响较大, 容易使候鸟偏离正常的迁徙方向, 或增加撞向风电的风险, 可尽量采用短波光照明, 或延长航空灯闪烁时间间隔等方式减轻影响。

③碰撞效应

本项目风机叶轮直径为 291.12m, 轮毂高度为 172.4m, 候鸟在迁徙中途停歇和觅食时, 以及遇到不良气象条件时飞行高度一般都低于 100m。由于此时飞行高度较低, 旋转着的巨大风电机叶轮将会阻止鸟类在风电场范围内飞行和停留; 同时, 风机叶片旋转的范围是鸟类飞行通过风机的高风险区域, 有被风机叶片撞击的危险。但国外有关研究成果表明, 候鸟迁徙路线中的风电场年撞鸟概率约为 0.0015%~0.009%。该概率同迁徙候鸟迁徙的规模、气象条件、风电场选址关系很大 (Drewitt and Langston, 2006)。大规模的候鸟迁徙也意味着候鸟与风机和输电线路相撞的概率增加; 在不良气象条件下, 如大雾、降雨或强逆风时, 大气能见度降低, 鸟类会降低飞行高度, 从而增加相撞的概率; 风电场选址是最显著影响鸟类死亡的因素, 风电场占据的空间范围越大, 迁徙鸟类撞击的概率也越大。

同时有研究发现鸟在飞近风电场区域时, 能够成功改变迁徙路线以避免塔柱和旋转的叶片, 并且白天比夜晚更能精确地改变飞行方向。雷达对丹麦 Nysted 海上风电场鸟类迁徙监测说明, 白天鸟类在 3000m 外, 夜间鸟类在 1000m 外绕开风力发电场飞行, 改变飞行方向 (Desholm and Kahlert,2005)。还有研究统计发现, 和风电机碰撞的鸟类多为大中体型的鸛形目、隼形目和鸱形目鸟类。根据本项目的鸟类现状调查, 本风电场发生碰撞效应的受影响对象主

要是鸛形目鸟类。

2、对鸟类的间接影响

风电场因占用一定场地，对鸟类栖息地造成多方面的影响，会间接影响在此区域栖息的鸟类种群数量。

①栖息地损失和破碎化

风电机直接占风电场的面积很小，大约 2%~5%，但风机可能会让候鸟不敢在附近海域降落生活，影响生活在当地和附近的海鸟繁殖、筑巢和觅食，导致这些海鸟不得不离开栖息地。丹麦的 HornsRev 风力发电场建于沿海，对迁徙鸟类的行为观察发现，鸟类对风电场有避让行为 (Noer *et al*, 2000)，因此，如果场址选择在鸟类适宜栖息地内，将可能使鸟类失去整个风电场大的栖息地，这一点在近海湿地、内地草原修建的风电场十分突出。丹麦 Nysted 风力发电场建在沿海湿地，通过雷达监测鸟类的行为，风电场修建后，白天活动的雁鸭类进入风电场内原来适宜栖息地的次数显著减少 (Drewitt and Langston, 2006)。原来的栖息地不能再利用，这些鸟类完全丧失了这块栖息地，这一过程也是鸟类栖息地破碎化的过程。

②生境质量下降

风电场建立在适宜栖息地处导致栖息地破碎化，更导致栖息地质量下降，风机的桩基和叶片的转动噪音将严重影响海洋生物的活动规律和分布，从而降低了以海洋生物为食的鸟类的栖息地质量。虽然鸟类可能对风电场习惯化，但是由于食物匮乏它们也可能永远放弃这些栖息地。风机叶片的旋转干扰，迫使鸟类避开原有之飞行路径，使得风机的排列很有可能产生栖息地切割之效应 (Drewitt and Langston, 2006)。

综上，风电场对鸟类的影响是多方面的，各方面的作用是相互的，既有协同性的（如建设用地既造成栖息地损失，也引起食物资源的减少），也会互相抵消（如干扰会导致鸟类远离栖息地，但也减轻了碰撞风机的机会）。

5.3.7.2 对鸟类迁徙通道的影响

经粤东海岸迁徙的鸟类可能会穿过项目所在场址，风电场建设会对候鸟迁徙形成一定阻隔，从而缩窄候鸟飞行通道，如 Plonczkier & Simms (2012) 通过

四年雷达监测发现雁群逐渐避开离岸风力发电机组所在海域（图 5.3.7-2）。Krijgsveld 等（2011）在对鸟类穿过风电场飞行路线研究中也发现，在风电场建成后该区域鸟类的通量较之于风电场建设之前明显下降。

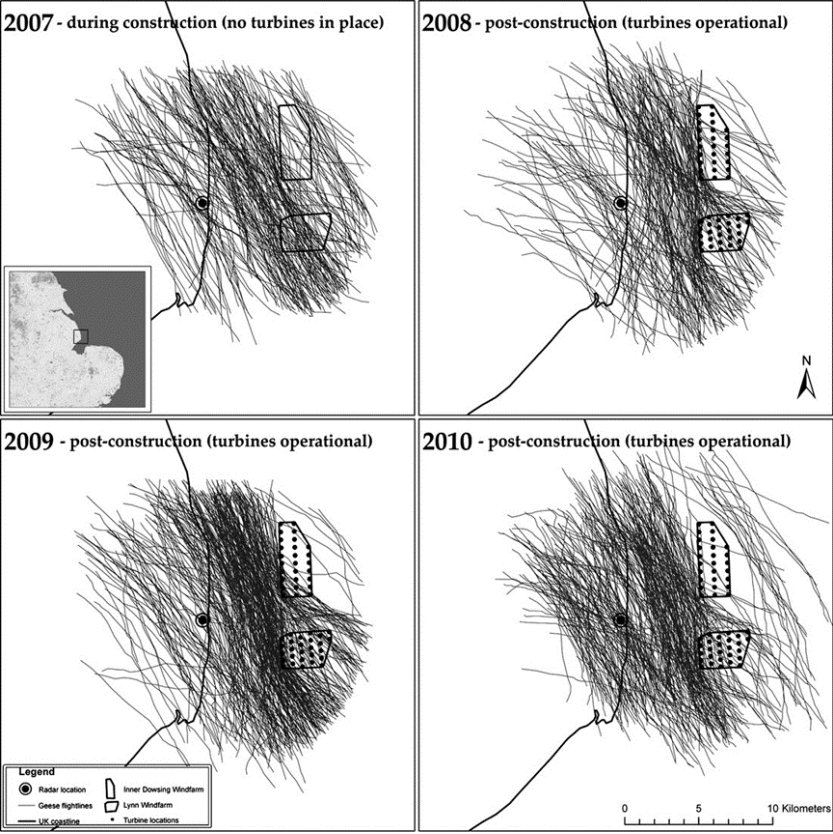


图 5.3.7-2 雷达监测雁群对风机组的回避情况（引自 Plonczkier & Simms 2012）

在广东沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸕鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，因此鸕鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类，是最有可能受到影响的种类。鸥类、燕鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时会跟随渔船在海面集群觅食，然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变，渔船也不会驶入场址，鸥类与风机发生碰撞的几率也随之降低。海洋性鸟类，如军舰鸟、鲣鸟等，会在海面梭巡，但一般不会集大群，且数量较少。此外，黑鸢和普通鵟等猛禽也发现常于海面上空盘旋。但大多数时间猛禽的飞行高度远高于风机运行高度，仅觅食时会靠近海面，当风电

场建成后鱼类分布发生改变，其靠近场址的几率也会下降。

由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围。本项目运营期噪声主要为风机运转噪声和海上升压站等海上变电设备的主变噪声。文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47 dB（Hirvonen, 2001），因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47 dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟，如黑鸢、燕隼等猛禽，以及红嘴鸥、多种燕鸥等鸥科鸟类。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机组的垂直距离超过 200m（按飞行高度 400 m 算），受到噪声影响较小。

根据鸟类调查结果和影响分析，调查海域记录到的广东省重点保护鸟类有普通燕鸥和黑枕燕鸥，均为燕鸥类，其余大部分在海面活动的鸟类在离岸 10km 范围内活动。燕鸥类在海面飞行觅食，一般高度较低，穿越风电场时容易发生碰撞，以往也有观测记录发现燕鸥会提高飞行高度通过风电场，但随着风机单机高度增加，高飞通过的几率会减少，绕行风机的可能性增加。此外，沿岸调查记录到的国家二级保护鸟类中，翻石鹬属于过境迁徙鸟，会飞越南海，但由于主要在夜间迁徙，调查时没有发现，但存在穿越风电场的可能。翻石鹬在海面迁徙时飞行高度可能在风机叶片扫荡高度范围内，存在碰撞风险。

广东沿海均属于东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区，存在少数种类和少量个体存在穿越风电场的可能性。总体上本风电场址对鸟类迁徙影响不大。

综上，风电场对鸟类的影响是多方面的，各方面的作用是相互的，既有协同性的（如建设用地既造成栖息地损失，也引起食物资源的减少），也会互相抵消（如干扰会导致鸟类远离栖息地，但也减轻了碰撞风机的机会）。

本项目所选场址距离陆地最近约 21.8km，风电场址距离鸟类重要栖息地较远。项目施工期间对鸟类产生的影响主要为噪声、光、污染等干扰，其影响在施工结束后可以消除。项目运营期的影响主要为噪声、光和碰撞效应的影响，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响，风电场日间风机叶片和晚上风电场的照明系统均会对鸟类的迁徙造成影响，项目建设的风机对

鸟类迁徙的影响较小。

5.3.8 水下噪声影响

(1) 施工期影响

①噪声源强分析

本工程施工噪声源主要为风机、海上升压站、海上无功补偿站桩基施工以及船舶施工产生的噪声。桩基施工过程中的冲击打桩噪声源强参考张然在《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 Nedwell 和 Wyatt 的经验公式估算结果。

$$SL=10.22 \times D + 214.4 \quad (\text{式 1})$$

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

其中，D 为风电场打桩施工的桩径尺寸，m。

本项目风机桩基直径为 3.5m，海上升压站四桩导管架桩径为 4.5m，海上无功补偿站四桩导管架桩径为 3.8m；桩基取最大直径 4.5m，根据式 1，项目打桩噪声源强为 260.4dB；根据式 2，项目打桩噪声源强为 253.4dB；因此，本项目桩基施工过程产生的最大源强取为 260dB。

本工程其他水下施工噪声，如施工船舶噪声源可达到 169dB（A）。

②海洋生物受水下噪声影响的声压阈值

根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（以下简称《评价指南》）表 A.1、表 A.2，可能受本项目噪声影响的海洋生物为鱼类（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关、卵和幼体）。

根据《评价指南》表 A.4，脉冲噪声对鱼类影响阈值详见表 5.3.8-1。

表 5.3.8-1 水下脉冲噪声对鱼类听觉影响

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

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

备注：峰值声压级 SPL_{pk}；人为水下噪声累积声暴露级。

③海洋生物安全距离

根据参考国外文献资料，估算打桩施工时的影响范围。采用的声衰减计算公式为：

$$TL=F \log(D/R)$$

式中：TL 为传播损失，为声源级减去目标声级值（即保护阈值）的差，单位为 dB；D 为目标声级值所在的位置与声源的距离，单位为 m；R 为计算传播损失时的参考距离，根据声源级计算点与声源本身的距离而定。F 是衰减因子，其值会随着海况（如水深、底质状况、海面宽阔程度）和打桩的工程参量（如桩的类型材质、以及桩机功率）而变化。衰减因子 F 依据施工海域水深较浅，声传播衰减较大，一般的数值在 10~30 之间，基于厦门大学对莆田平海湾一期打桩施工的监测结果，以及港珠澳大桥打桩水下噪声源传播衰减和厦门五缘湾打桩噪声传播衰减，本次扩展系数 F 取 22，该衰减因子适用于浅海声传播的较近距离的球面扩展损失。

根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南（HY/T 0341-2022）》，鱼类（石首鱼）的声压阈值超过 207 dB SPL_{pk} 为危险区域，超过 186dB SEL_{cum} 为影响区域。

本工程施工时，桩基施工时在离桩基 250m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 207dB，对有鱼鳔，鱼鳔与听力相关、卵和幼体造成永久性伤害，因此应确立 250m 范围内为危险区域。在离桩基 2200m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 186dB，对有鱼鳔，鱼鳔与听力相关、卵和幼体造成影响，因此应确立

2200m 范围内为影响范围。

表 5.3.8-2 水下脉冲噪声对鱼类听觉影响范围

听力分组	致死或潜在致死	损害		影响距离		
		物理损伤	TTS（暂时阈值漂移）	致死或潜在致死	物理损伤	TTS（暂时阈值漂移）
有鱼鳔，鱼鳔与听力相关	207 dB SPL _{pk}	207 dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	250m	250m	2200m
卵和幼体	207 dB SPL _{pk}	/	/	250m	/	/

④施工期水下噪声对海洋生物的累加影响

虽然相关测量数据及研究表明中小幅度的撞击式桩基施工不会对一定距离外的海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋生物的累积效应可能造成慢性影响。这些慢性影响包括：遮蔽效应和听力损失，行为模式改变和紧张等。

水下打桩施工噪声可能会对鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响，施工船将会对在这一带水域活动的鱼类、特别是石首科鱼类造成滋扰，受影响的鱼类将因回避而离开施工区。但当环境滋扰消失或较少时这些鱼类会恢复其原来的生活状态，如当航道施工作业完成或滋扰减少时，部分海洋生物会恢复其原来的活动范围，迁移到较远水域的个体一般还会回迁。

丹麦国家环境研究所研究了海上风电场是否对活动于该海域中的斑海豹和灰海豹的影响研究（Svend Tougaard, et al, 2006），研究跟踪了从 1999~2005 年间风电场在施工期和运营期下的水下噪声对海豹的影响。结论是：在风电场施工建设期，斑海豹的数量减少，但建设期结束，斑海豹又恢复原来数量，甚至增加；在该风电场施工打桩期，斑海豹的数量明显减少，在另一斑海豹繁殖地施工打桩期甚至没有见到斑海豹；但运营期风机的运转并没有对斑海豹产生影响。

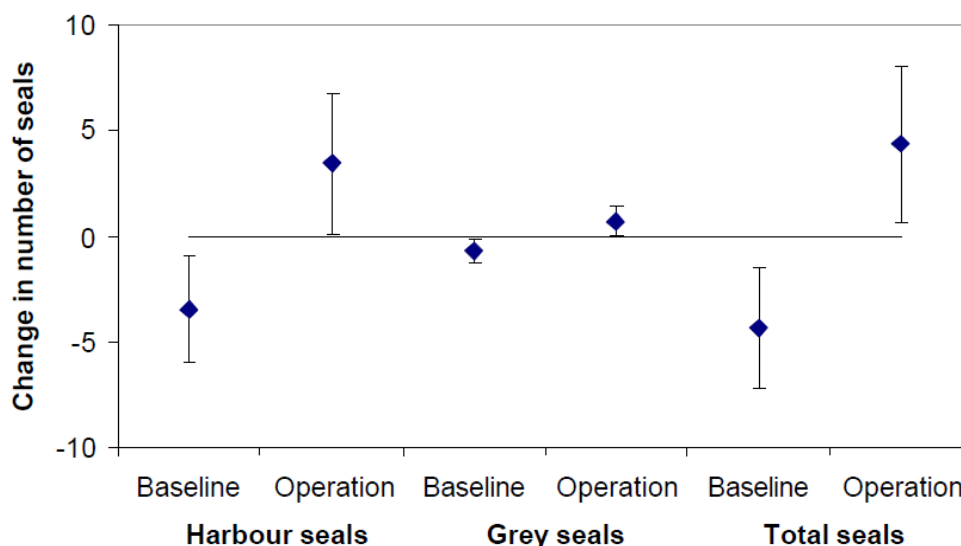


图 5.2.8-1 施工期和运营期海豹数量的变化

风机基础打桩作业对该海域中的渔业资源将产生一定的影响，在打桩作业中应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，避免造成大范围鱼类死亡。

(2) 运营期影响

风机运行中向水下辐射噪声的主要途径是风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔架传导到水中、从风机塔架到海底再辐射到水中三条声传播路径组成。

①运营期风电场水下噪声分析

根据厦门大学在上海东海大桥海上风电场类比监测结果表明：风机运行中水下噪声的频谱级基本上相似，总体强度随频率增加而明显较小，在 1~20kHz 中功率谱级分布在 140dB/1μPa 到 65dB/1μPa 之间，在 120~1.5kHz 有一较宽的裙带状谱，强度增加为 10~20dB/1μPa。在离风机 3 号风机 200m 靠近桥梁及航道上，100Hz 点上的功率谱级达到最大为 128dB/1μPa，比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/1μPa。由于水下噪声的时间-空间-频率等随时变化的特性，测量船只在远离风电场近 4km 处也测量到裙带状的低频背景噪声分布，因此总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

类比调查风机运行水下噪声升压及声功率见下图。

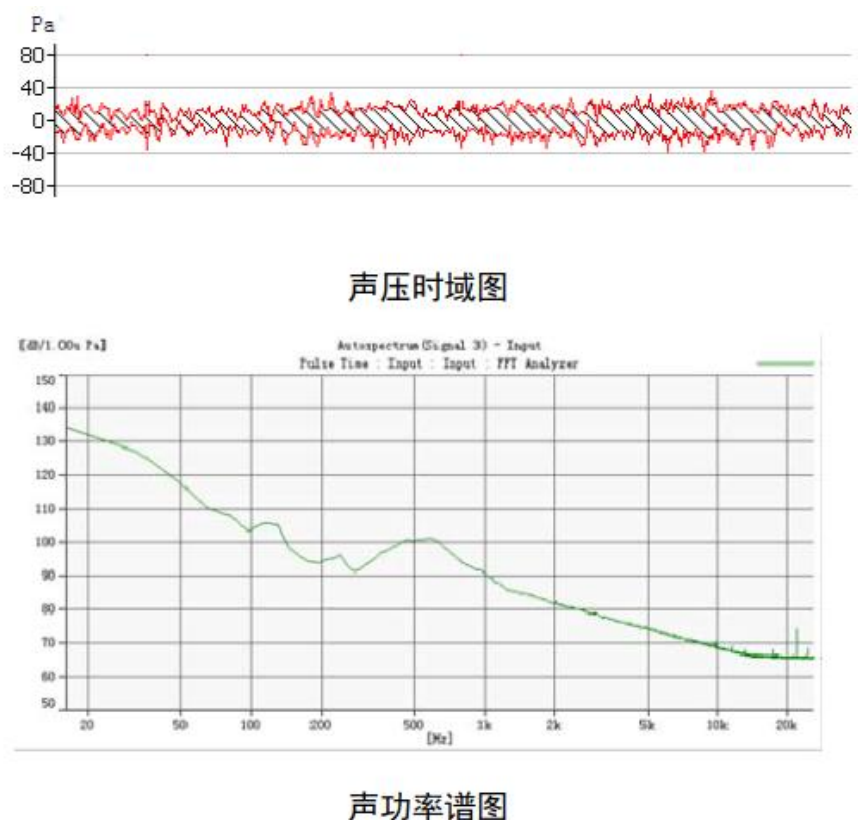


图 5.3.8-2 类比海上风电场水下噪声实测结果

②水下噪声海洋生物影响评价

厦门大学在厦大海洋与地球学院生态场中进行水下噪声对典型海洋生物影响实验，实验海上不同强度声压的水下噪声对水池中鱼类和底栖的影响。实验开始前先在养殖池中 4 个位置用水听器测量水下背景噪声，再将发射换能器置于水池中，发射水下声信号，采用丹麦 B&K 的 PULSE 多通道分析系统，记录和分析水下噪声在 4 个位置中的强度分布。

接着分别放置实验用的鱼种和底栖生物，实验用的鱼种经过适当时间的适应后，再把水声发射换能器和水听器置于水池中并静待 10min。以恢复鱼种因仪器布放过程中所受到的惊扰。

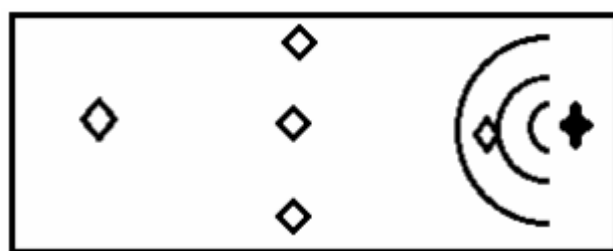


图 5.3.8-3 测量背景噪声和声场分布的实验布置图

发射噪声信号从低频到高频进行测试，以目前所研究的大多数的石首科鱼

类的最高灵敏度 500Hz 为主要频率，观测对不同频率信号的响应。同时改变发射强度，观测鱼类对声信号的响应。

实验水下噪声分两类：

a) 把之前记录的原始的海上风电场噪声数据作为噪声源，取其中典型的较大的噪声功率谱数据，使用不同强度的声压级（110dBre 1 μ Pa、120dBre 1 μ Pa、130dBre 1 μ Pa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据；

b) 用计算机产生 200Hz~900Hz 的水下低频噪声，使用不同强度的声压级（110dBre 1 μ Pa、120dBre 1 μ Pa、130dBre 1 μ Pa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据。

③水下噪声生物实验结果

a.行为学参数

运动轨迹：观察了大黄鱼种，锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎、斜带石斑鱼、真鲷、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、凡纳滨对虾等活动状况，在发射上述所提到的不同强度噪声，特别是风电场记录的较强的水下噪声时，没有出现回避噪声源的现象；

死亡率：在上述使用的噪声源下，连续 3 天持续发射噪声的时间累加超过 48 小时，实验组与对照组之间的死亡率数据基本相同，噪声辐射没有对鱼类产生直接致死现象。

b.生化指标测量

噪声对 6 种鱼类血液中去甲肾上腺素的含量影响不明显，除斜带石斑鱼的实验组与对比组之间有显著性差异外，其它各组之间均无显著性差异。碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性测定。运营期中的水下噪声强度对棒锥螺、牡蛎、文蛤、缢蛏的碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性有显著影响，对其它物种的作用不显著。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。若要进行利或害的判断，必须进行长期（几个月甚至是几个世代）、多因素（成活率，生长速度，抗逆性，繁殖力等）的综合考虑。

分析海上风电场水下噪声对海洋生物的影响，除了必须对海上风电场风机产生的水下噪声进行实测外，还必须调查区域海洋鱼类的听觉性能，测量不同

海洋鱼类的听阈值，了解海洋鱼类的声学特性。根据前期进行过大黄鱼声学特性的初步实验。

④实验结果表明

a. 幼苗对声音的敏感频率在 800Hz，声强约 140dB 时对声波即有明显反应，声强 150dB 时有少量幼苗死亡，当声强达到 172dB 时有较多幼苗直接死亡。

b. 小鱼的测试结果与幼苗明显不同。小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB 以上，小鱼仍未有致死现象，仅有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝，当声强达到 192dB 时，仅观察到声源正上方的 2 只小鱼的直接致死，由此说明小鱼最大可承受声压大于幼苗。

c. 成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，但未能直接致死。但在声源约为 140dB 时，成鱼对声波就有条件反射行为发生。

可见，不同规格和年龄的大黄鱼对水中声音的反应存在明显差异。三种不同尺寸的鱼对声音的敏感频率集中在 600-800Hz 频带上，与大黄鱼主动发声时的主要谱峰位置相吻合。但不同年龄的大黄鱼的声敏感频率有略微差别，生长年龄越小的鱼，其声敏感频率越高。但大黄鱼的发声信号特征与鱼体耳石大小、生长年龄、雄雌等之间更为定量的关系，还需深入的实验研究。

总体来说，海上风电场在运营期的总体的噪声比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1μPa，总体噪声谱级都在 120dB/1μPa 以下。风电场运营期水下噪声谱级分布强度较小，基本上与海洋环境背景噪声谱级相当，风电场营运中频率在 5kHz 以上的噪声谱级均在 95dB 以下，因此，不会对该海域中的鱼类行为活动产生影响。

噪声对鱼类等海洋生物的实验研究表明，运营期水下噪声强度就本实验中所提及的海洋生物实验条件下没有显著影响，对海域中典型鱼类等影响不明显。

风机运行产生的噪声到达海面时衰减为 45dB，声波传入水体中将进一步衰减。因此，风机运行产生的噪声不会引起桩基周围的水生生物和鱼类晕厥、死

亡等现象，且当风机噪声影响鱼类正常栖息和生存时，鱼类将游离该处，寻找适合生存的栖息地。

5.3.9 电磁辐射环境影响

类比汕头中澎二海上风电场项目中 6 回 66kV 海缆电磁影响结果，风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降至 1 μ T 以下。据本项目实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物等）等海洋生物影响在可以接受范围。

（1）电磁环境对海洋生物的影响

研究表明磁场能够影响某些鱼类在生理、繁殖、生存等方面的能力，有些鱼类的体内具有磁性物质，用于识别地理磁场，从而协助它们进行空间定位。这些鱼类对磁场特别敏感，因此放置在海底地面的电缆将破坏洄游鱼类的地磁模式，影响其定位。在所有重要的硬骨鱼体内都有少量的磁性物质；在软骨鱼类（鲨鱼、鳐科鱼类）中发现了一种与硬骨鱼类不同的磁场感应机制，软骨鱼类通过探测海流运动以及鱼类本身穿过地球磁场活动所产生的磁场获取空间信息，在它们头部、嘴周围以及身体沿线通常都有敏感的电磁感受器。

鱼类的生理方面也与磁场有关。例如，在溪红点鲑（*Salvelinus fontinalis*）的磁场暴露研究中发现，鱼体内激素水平发生了改变（Lerchl, A, et al, 1998）；另一项研究显示，磁场暴露能够延缓鲑鱼（*Salmo trutta*）和虹鳟（*O. mykiss*）的胚胎发育，并能改变虹鳟晶胚以及梭鱼（*Esox lucius*）和鲤（*Cyprinus carpio*）等的循环运动（Formicki, K. and Winnicki, A, 1998）。Krzemieniewski 等（2004）在一项实验室实验中发现，当欧洲鲇鱼（*Silurus glanis*）暴露于一个磁场强度持续为 0.4~0.6T 磁场中时，其生物量下降，死亡率升高，与之相反，幼体鳊鱼（*Plathichthys flesus*）在受到强度 3.7mT 静电磁场影响几个星期时并未受到影响（Bochert, R et al., 2004）。

在 Westerberg 和 Lagenfelt 的一项未发表的研究中，对 60 尾正在洄游的银鳕

进行超声波标记，并将之放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的 132kV 交流电缆(AC)的北部。其洄游速度通过系泊监测接收浮筒在 4 个断面每 4km 的间隔进行检测。电缆从间隔中间横穿。通过校正水流引起的水平对流，可以发现鳗鱼的游速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，但这种影响是很小的，从这些间隔通过引起了平均约 30min 的延迟，根据调查结论，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。

(2) 电磁环境影响评价结论

①风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 $1\mu\text{T}$ 以下，对海洋生物的影响在可接受范围内。

②据实验室模拟实验，风电场电磁环境对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物等受风电磁场影响在可接受范围内。

由于实验的时间、规模、经费等均有限，海洋生物对磁场的这种生理反应的持久性尚需要进一步评估。建议相关单位进一步开展此方向的研究，并在项目运营期进行海底电缆等电磁环境的跟踪监测。

5.3.10 对典型生态系统的影响分析

论证范围内典型生态系统包括红树林和珊瑚礁。

本项目登陆点北侧 1.2km 处分布有现状红树林，项目海底电缆与现状红树林间有一定距离，且有陆域相隔，项目建设不涉及现状红树林，不会对现状红树林产生影响。

珊瑚礁主要分布在乌山沿岸、江牡岛、芒屿岛东面海域和鸡心石周边海域，珊瑚礁与本项目有一定距离，位于西侧约 4.3km。

根据项目数值模拟结果，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速出现一定程度减缓，风电桩基侧面流速稍有增加，流向变化不明显，工程实施对水文动力影响主要出现在风电桩基附近，其他海域影响程度较有限。冲淤变化主要出现在工程周边水域，且冲淤幅度较小。项目施工产生的悬沙北向和西向

最大扩散距离为 1.0km，因此不会扩散到红树林和珊瑚礁所在海域。

综上，本项目的建设不会对典型生态系统造成影响。

5.3.11 生态跟踪监测指标合理影响范围

根据相关文件要求，海上风电等可能对资源生态造成影响的项目，应开展生态跟踪监测，生态跟踪监测具体要求见表 5.3.11-1。

表 5.3.11-1 海上风电用海项目生态跟踪监测具体要求一览表

	海洋生态	海水水质	沉积物质量	海洋生物质量	地形地貌与冲淤	电磁环境	水下噪声
监测站位	12 个	不少于 20 个	不少于 10 个	不少于 3 个	—	不少于 9 个	不少于 9 个
监测频次	每年 代表性一季	每年 代表性一季	每年 代表性一季	每年 代表性一季	—	每年 代表性一季	每年 代表性一季
监测内容	鸟类、叶绿素 a、浮游植物、浮游动物（含鱼卵仔鱼）、底栖生物	水深、水温、盐度、pH、悬浮物、COD、BOD ₅ 、DO、无机氮、活性磷酸盐、石油类、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、硒、镍、挥发性酚、硅酸盐	粒度、有机碳、pH、石油类、硫化物、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、锌、铬、镉、砷	总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、石油烃	以工程外扩边界 2km 的海域，测量比例按照 1:5000；2km-15km 的海域，测量图比例尺按照 1:10000	工频电场、工频磁场	噪声频带有效声压级、噪声声压谱级

（1）浮游生物及初级生产力

项目施工过程中造成悬浮物浓度增加，对浮游生物及初级生产力有一定影响，因此项目施工期间浮游生物量及初级生产力水平可能低于本底值，运营一段时间后浮游生物种群数量、群落结构会逐步恢复，浮游生物量及初级生产力水平与本底值相近。

（2）底栖生物

风电机组桩基将对其用海范围内的海域产生永久性的占用，在该范围内的底栖生物将全部被掩埋、覆盖而灭亡，同时还将长期占用该海域底栖生物的生

存空间，导致一定区域范围内底栖生物资源的永久损失，这种对底栖生境的破坏是不可逆的。海底电缆敷设会对施工范围内的底栖生物栖息环境造成直接破坏，进而引起底栖生物损失，除少量活动能力强的生物能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都将难以存活。因此，项目建设期间及建设后底栖生物量可能低于本底值。

(3) 地形地貌与冲淤

工程建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化。变化主要出现在工程周边水域，风电桩基迎水面和背水面海域流速出现一定程度减缓，上述区域淤积最大速率出现在风电桩基背水面和迎水面海域，大部分区域淤积速度为 0.20m/a；风电桩基侧面流速稍有增加，该区域出现轻微冲刷情况，最大冲刷速度出现在桩基垂直于主流向两侧区域，大部分区域冲刷速率不超过 0.04m/a。

(4) 电磁环境

项目施工期间对电磁环境基本无影响，工频电场、工频磁场与本底值相近。

项目运营期的电场强度及最大磁感应强度应满足《电磁环境控制限制》（GB8702-2014）中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

(5) 水下噪声

结合本风电场区内海底地貌形态简单，水下地形较平坦，本项目导管架基础打桩源强约为 220dB。

运营期总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

(6) 海水水质

项目施工作业过程中，由于机械的搅动作用，使得泥沙悬浮，造成水体混浊水质下降，并使得周边海区底栖生物生存环境遭到破坏，对浮游生物也产生影响，主要污染物为 SS。一旦施工结束，影响即可消除。

项目运营期间对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、废油等，检修工作人员需按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，维护结束后送交有处理能力的单位进行妥善处置。因此，项目运营期间基

本不会对所在海域水质环境造成影响。

(7) 沉积物质量

由于工程施工过程产生的悬浮物主要来自本海区，因此经扩散和沉降后，沉积物的环境质量不会产生明显变化，沉积物质量状况仍将保持现有水平。

本工程运营期对沉积物环境的不利影响主要是涂层可能会因海水的侵蚀、物理磨损（如海浪冲击、漂浮物碰撞）等原因脱落。脱落的涂层碎片会在海洋中形成固体废弃物。项目运营期应建立定期检查制度，对风电场设施的涂层状况进行检查，对发现的涂层损坏（如划痕、剥落等）及时进行修复。在做好相应措施的情况下，工程运行对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。沉积物质量应与本底值相近。

(8) 海洋生物质量

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处理装置，生活污水和船舶含油污水均收集贮存于船上，定期运回陆地交具有处理能力的单位接收后统一处理；运营期间对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、废油等，检修工作人员需按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，维护结束后送交有处理能力的单位进行妥善处置。因此，项目施工期间及运营期间基本不会对所在海域海洋生物质量造成影响。海洋生物质量应与本底值相近。

项目跟踪监测指标在施工期和运营期的合理变化范围详见下表，合理变化范围根据本报告引用的春秋季现状调查数据确定。

表 5.3.11-2 海上风电项目生态跟踪监测指标合理范围表

监测内容	监测指标		单个站位合理变化范围	
			建设期	运营期
海洋生态	叶绿素a(mg/m ³)	表层	<10.3	0.22~10.3
		底层	<2.11	0.08~2.1
		初级生产力含量 mgC/(m ² ·d)	<474.36	47.11~760.68
	浮游植物细胞 密度	×10 ⁴ ind/m ³	<6322.41	5.28~6322.41
	浮游植物种数		<76	15~76
	浮游动物个体 密度	ind/m ³	<31367.92	11.86~31367.92
	浮游动物生物 量	mg/m ³	<1743.01	4.35~1743.01

监测内容	监测指标		单个站位合理变化范围	
			建设期	运营期
	浮游动物种数		<50	14~50
	底栖生物生物量	g/m ²	<36.14	<36.14
	底栖生物栖息密度	ind/m ²	<175	<175
	地形地貌与冲淤	水深	0m~40m	0m~40m
电磁环境	工频电场	V/m	<4000	<4000
	工频磁场	μT	<100	<100
水下噪声	噪声频带有效声压级	dB	>130	86-130
	噪声声压谱级	dB (20Hz-20kHz 频率范围内)	>116	51-116
海水水质	水温	℃	20.4~29.0	20.4~29.0
	盐度		31.248~35.527	31.248~35.527
	pH		8.02~8.19	8.02~8.19
	悬浮物	mg/L	>17.7	3.4~17.7
	COD	mg/L	0.16~1.07	0.16~1.07
	BOD ₅	mg/L	0.13~0.90	0.13~0.90
	DO	mg/L	<8.08	6.01~8.08
	无机氮	mg/L	0.0403~0.221	0.0403~0.221
	活性磷酸盐	mg/L	0.0015~0.0277	0.0015~0.0277
	石油类	mg/L	0~0.0372	0~0.0372
	总汞	μg/L	0~0.047	0~0.047
	铜	μg/L	0.3~4.5	0.3~4.5
	铅	μg/L	0.03~0.91	0.03~0.91
	锌	mg/L	0.0035~0.0195	0.0035~0.0195
	铬	μg/L	0.4L~3.8	0.4L~3.8
	镉	μg/L	0.05~0.94	0.05~0.94
	砷	μg/L	0.6~6.0	0.6~6.0
	硒	mg/L	0~1.0	0~1.0
	镍	mg/L	0.5L~3.2	0.5L~3.2
	挥发性酚	μg/L	1.1L~2.4	1.1L~2.4
沉积物质量	粒度 (粒径)		2.88~5.27	2.88~5.27
	有机碳	%	0.09~0.71	0.09~0.71
	pH		7.92~8.42	7.92~8.42
	石油类	×10 ⁻⁶	3.9~16.2	3.9~16.2
	硫化物	×10 ⁻⁶	1~35.7	1~35.7
	铜	×10 ⁻⁶	4.2~13.5	4.2~13.5
	铅	×10 ⁻⁶	10.8~31.8	10.8~31.8
	锌	×10 ⁻⁶	42~79.9	42~79.9
	镉	×10 ⁻⁶	<0.09	<0.09
	铬	×10 ⁻⁶	41.9~66.2	41.9~66.2
	汞	×10 ⁻⁶	0.011~0.163	0.011~0.163
	砷	×10 ⁻⁶	2.55~9.37	2.55~9.37
海洋生物质量	铜	mg/kg	0.4L~15	0.4L~15
	铅	mg/kg	0.04L~1.3	0.04L~1.3

监测内容	监测指标		单个站位合理变化范围	
			建设期	运营期
	锌	mg/kg	2.3~32.9	2.3~32.9
	镉	mg/kg	0.005~1.27	0.005~1.27
	铬	mg/kg	0.04~3.76	0.04~3.76
	汞	mg/kg	0.005~0.139	0.005~0.139
	砷	mg/kg	0.2~18.8	0.2~18.8
	石油烃	mg/kg	2.3~29.9	2.3~29.9

6 海域开发利用协调分析

6.1 海域开发利用现状

6.1.1 社会经济概况

6.1.1.1 汕尾市社会经济概况

汕尾市位于广东省东南部沿海，莲花山南麓，珠江三角洲东岸，与台湾一水之隔，为海峡西岸经济区连接粤港澳大湾区桥头堡。汕尾市东邻揭阳市惠来县，西连惠州市惠东县，南濒南海，临红海湾和碣石湾，北接梅州市五华县和河源市紫金县，总面积 4865.05 平方公里（包括深汕合作区）。汕尾市辖 1 区、2 县，代管 1 市，另设 2 个管理区或功能区（1 个区：市城区；2 个县：海丰县、陆河县；1 个代管市：陆丰市；2 个管理区或功能区：广东汕尾红海湾经济开发区、汕尾华侨管理区）。

根据《2024 年汕尾市国民经济和社会发展统计公报》（汕尾日报网，2025 年 4 月 30 日），由广东省地区生产总值统一核算结果，全年汕尾实现地区生产总值（初步核算数）1500.89 亿元，按不变价格计算，同比增长 4.0%。其中，第一产业增加值 205.75 亿元，增长 4.4%，对经济增长的贡献率为 14.8%；第二产业增加值 433.60 亿元，增长 3.7%，对经济增长的贡献率为 26.3%；第三产业增加值 861.54 亿元，增长 4.0%，对经济增长的贡献率为 58.9%。三次产业结构为 13.7:28.9:57.4。人均地区生产总值 55667 元（按年平均汇率折算为 7817 美元），增长 3.6%。

全年居民消费价格指数与上年持平。分类别看，食品烟酒类与上年持平，衣着类上涨 0.3%，居住类下降 0.4%，生活用品及服务类下降 0.6%，交通和通信类下降 2.7%，教育文化和娱乐类上涨 1.0%，医疗保健类上涨 1.1%，其他用品和服务类上涨 3.9%。在食品烟酒类中，菜类和水产品类上涨幅度较大，分别上涨 3.9%和 2.7%。

全年农林牧渔业实现总产值 346.27 亿元，比上年增长 5.3%。其中，农业产

值 136.91 亿元，增长 5.5%；林业产值 8.67 亿元，增长 17.7%；牧业产值 34.59 亿元，下降 3.9%；渔业产值 145.13 亿元，增长 5.5%；农林牧渔服务业产值 20.97 亿元，增长 16.3%。

全年全部工业增加值比上年增长 0.6%。规模以上工业增加值增长 1.1%。分经济类型看，国有企业增加值下降 61.7%，集体企业增加值增长 24.8%，股份制企业增加值下降 2.6%，外商及港澳台投资企业增加值增长 10.1%，其他经济类型企业增加值下降 80.4%。分轻重工业看，轻工业增加值下降 39.3%，重工业增加值增长 16.2%。分企业规模看，大型企业增加值下降 9.5%，中型企业增加值下降 11.3%，小型企业增加值增长 25.2%，微型企业增加值增长 64.6%。

全年批发和零售业增加值 212.98 亿元，比上年增长 4.3%；交通运输、仓储和邮政业增加值 58.36 亿元，增长 52.7%；住宿和餐饮业增加值 33.43 亿元，下降 0.8%；金融业增加值 43.45 亿元，增长 0.4%；房地产业增加值 101.30 亿元，下降 3.7%。现代服务业增加值 404.13 亿元，增长 5.0%。

全年社会消费品零售总额 505.77 亿元，比上年增长 2.5%。按经营地分，城镇消费品零售额 365.97 亿元，增长 2.0%；农村消费品零售额 139.79 亿元，增长 4.1%。按消费类型分，商品零售 435.36 亿元，增长 2.5%；餐饮收入 70.40 亿元，增长 2.9%。

全年固定资产投资比上年下降 10.6%。分投资主体看，国有经济投资下降 51.5%，民间投资下降 8.1%；港澳台及外商投资增长 5.2%。分产业看，第一产业投资下降 18.0%，第二产业投资增长 2.8%，第三产业投资下降 16.4%。

全年货物进出口总额 186.6 亿元，比上年下降 9.5%。其中，出口 107.7 亿元，下降 18.3%；进口 78.9 亿元，增长 6.0%。进出口顺差（出口减进口）28.8 亿元，比上年减少 28.6 亿元。

全年全市地方一般公共预算收入 74.27 亿元，比上年增长 11.7%，其中，税收收入 29.53 亿元，下降 6.9%。全年一般公共预算支出 283.18 亿元，增长 6.3%；其中，教育支出 61.75 亿元，增长 3.1%；卫生健康支出 35.14 亿元，增长 1.7%；社会保障和就业支出 54.71 亿元，增长 15.3%。

6.1.1.2 海丰县社会经济概况

海丰县，隶属广东省汕尾市。地处广东省东南部、汕尾市北部。东邻陆丰市，东北与陆河县接壤，西南与汕尾市城区相连，西、北与惠东县交界，南临南海。

根据《2024 年海丰国民经济和社会发展统计公报》（海丰县统计局，2025 年 6 月 6 日），经汕尾市统计局统一核算，2024 年海丰实现地区生产总值（初步核算数）462.7 亿元，比上年增长 2.8%。其中，第一产业增加值 47.7 亿元，增长 5.8%；第二产业增加值 139.6 亿元，下降 2.4%；第三产业增加值 275.3 亿元，增长 5.1%。三次产业结构为 10.3:30.2:59.5。人均地区生产总值 62085 元，增长 2.5%。年末全县常住人口 74.66 万人比上年末增加 0.28 万人，其中城镇常住人口 53.02 万人，占常住人口比重（常住人口城镇化率）71.02%。年末全县户籍人口 77.07 万人，其中城镇人口 35.32 万人，占户籍人口的比重 45.82%。

海丰县 2024 年全年农林牧渔业实现总产值 84.5 亿元，比上年增长 6.4%。其中农业产值 43.4 亿元，增长 6.7%；林业产值 2.9 亿元，增长 22%；牧业产值 9.5 亿元，下降 3.5%；渔业产值 18.6 亿元，增长 3.3%；农林牧渔服务业产值 10.1 亿元，增长 18.2%。

海丰县 2024 年全年规模以上工业增加值比上年下降 27.3%，其中，国有企业增加值增长 81.0%；集体企业增加值增长 47.5%；股份制企业增加值下降 20.6%；外商及港澳台投资企业增加值下降 48.9%。全年全社会固定资产投资比上年下降 8.3%。在固定资产投资中，工业投资下降 3.0%，占固定资产投资的比重为 38.0%。基础设施投资下降 23.8%，占固定资产投资的比重为 27.9%。

海丰县 2024 年全年全体居民人均可支配收入 38526 元，比上年增长 6.3%。按常住地分，城镇居民人均可支配收入 43315 元，增长 5.2%；农村居民人均可支配收入 27177 元，增长 7.3%。

6.1.1.3 海洋产业发展现状

根据《向海取“电”！汕尾激活高质量发展“蓝色引擎”》（广东省人民政府地方志办公室、汕尾市人民政府地方志办公室、汕尾市发展和改革局，2024 年

12月17日)，近年来，汕尾市充分利用丰富的海洋资源禀赋、独特的区域地理位置和革命老区政策支持优势，抢抓机遇，积极谋划海上风电产业发展，培育完善海工装备制造产业链。

（1）积极谋划推动海上风电发展

汕尾梳理绘制海上风电产业链招商图谱，明确各环节重点招引的头部企业，通过链主企业带动，精准招商。为加快推进海上风电项目建设进展，积极协助项目开发企业协调解决推进中的各项问题，推行“店小二”式服务，落实“1+5+X”协调推进机制和领导领办机制，大大提高了问题协调解决效率。

2021年5月，以“发展风电装备制造产业，实现碳达峰碳中和目标”为主题的中国（汕尾）海上风电产业大会在汕尾市召开。会上，成立汕尾海上风电产业链联盟、海上风电工程建设联盟，并举行项目合作集中签约，现场签约22个项目，总投资额255亿元。

2021年11月，中国广核集团汕尾后湖50万千瓦海上风电项目91台风机并网发电，成为当时国内在运单体容量最大的海上风电项目之一。

2022年9月，中广核汕尾甲子一50万千瓦海上风电项目顺利实现全场78台风机并网发电，标志着国内首个平价海上风电项目实现全容量并网发电，也标志着粤东地区首个百万千瓦级海上风电基地（包括中广核汕尾后湖50万千瓦、甲子一50万千瓦）正式建成投产。

2022年12月，汕尾市中广核甲子900兆瓦海上风电场全容量投运，标志着全国最大平价海上风电场在汕尾市建成投运，也标志着粤东地区首个百万千瓦级海上风电基地在汕尾市率先实现。

（2）培育完善海工装备制造产业链

汕尾市围绕海上风电产业链进行“建链、补链、延链、强链”，大力开展招商引资，培育完善海工装备制造产业链，加快推进海洋工程装备基地建设。

近年来，汕尾（陆丰）临港产业园产业聚集功能不断增强，以海工装备、核电、海上风电为主的沿海先进制造业、新能源产业集群快速发展。园区内不仅集聚了多个主机、海缆、钢结构方面的海上风电关键制造头部企业，同时，正在加快先进能源科学与技术广东省实验室汕尾分中心建设，打造集技术研发、

设备制造、检测认证、运行维护于一体的风电装备全产业链生产基地。

如今，汕尾（陆丰）临港产业园基本涵盖了产业链上、中、下游，是广东省内唯一一个海上风电主产业链全链条产业园。

（3）探索融合发展新模式

作为渔业大市，汕尾利用“得天独厚”的自然资源禀赋积极探索“海上风电+海洋牧场”融合发展新模式，推动“风渔融合”立体开发。

汕尾市中广核“伏羲一号”风渔融合示范项目是汕尾与中国广核集团推动海上风电与海洋牧场融合发展的示范性项目。2024年9月4日，全球单体最大抗台型风渔融合网箱平台——中广核“伏羲一号”在汕尾正式投运。“伏羲一号”投产后预计年产值可达5400万元，不仅为汕尾海洋经济高质量发展注入强大动力，更对我国“海上风电+海洋牧场”产业融合发展具有重要示范意义。

汕尾还充分发挥海工基地码头优势，联合重大能源企业积极开展海洋氢能研究，大力推动“海上风电+海水制氢”融合发展，加快推进融科氢能、风光储氢醇、电解水制氢及储氢、输氢、用氢示范应用等一批氢能产业项目，打造海上风电海水制氢技术示范。

当前，汕尾正全力打造千万千瓦海上风电基地，全力打造产业链关联度大、辐射带动力强的海工装备制造产业集群。

6.1.1.4 海上风电行业的发展状况

汕尾市依托丰富岸线和广阔腹地，大力发展核电、海上风电，积极规划建设汕尾LNG接收站项目，重点推进陆丰核电等和陆丰后湖、甲子海上风电场等项目规划建设，实现后湖海上风电场全场并网发电，新增推进红海湾海上风电场项目规划建设，打造全省乃至全国重要的电力能源生产基地。目前，汕尾后湖、甲子一、甲子二海上风电场共140万千瓦已实现全容量并网，标志着全国最大的平价海上风电场建成投运，成为粤东地区首个超百万千瓦级海上风电基地。“十四五”期间，汕尾规划布置了共计1180万千瓦的海上风电场址，远期规划3435万千瓦的海上风电场，将打造汕尾千万千瓦海上风电基地，再造一个“海上三峡”。

6.1.2 海域使用现状

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道、航路、锚地、海上风电项目、养殖项目、现状红树林、珊瑚礁、自然保护区等。项目所在海域开发利用现状详见表 6.1.2-1 和图 6.1.2-1。

表 6.1.2-1 项目周边海域使用现状统计表

序号	名称	与本项目相对位置和最近距离
航道、航路		
1	鲘门航道	穿越
2	马宫航道	穿越
3	汕尾西线航道	穿越
4	大星山甲子航道	穿越
5	粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）	穿越
6	粤东沿海近岸航路	穿越
7	内航路	穿越
8	深汕合作区小漠港进出港航路	部分涉及
9	小漠航道	西侧，2.7km
10	青星航道	西侧，7.2km
11	汕尾港进出港航路	东北侧，5.8km
12	外航路	南侧，9.1km
锚地		
1	大型船舶临时避风锚地	东侧，0.6km
2	装运危险货物船舶锚地	东侧，5.1km
3	检疫锚地	东侧，6.8km
4	过驳锚地	东侧，9.9km
5	引航锚地	东侧，9.5km
6	1 号引航检疫锚地	西侧，1.7km
7	2 号引航检疫锚地	西侧，0.8km
8	规划 1#锚地	西侧，6.9km
9	规划 2#锚地	西侧，5.7km
海上风电项目		
1	中广核惠州港口一海上风电场项目	西侧，7.9km
2	中广核惠州港口二 PA、PB 海上风电场项目	西侧，7.9km
3	汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）	南侧，0.3km
4	汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）	南侧，0.2km
5	深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）	紧邻
6	汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）	送出海缆交越
养殖项目		
1	鲘门镇红泉村沙埔海贝类养殖基地	东北侧，3.2km
2	现状养殖	东北侧，3.9km
3	深圳市泛舟渔业发展有限公司开放式养殖用海项目	东侧，8.2km
4	农科现代化海洋牧场深汕示范区（中转区）工程	东侧，8.2km

序号	名称	与本项目相对位置 and 最近距离
5	汕尾城区江牡岛东 E 区现代化海洋牧场开放式养殖用海	东侧，9.1km
6	汕尾城区江牡岛北 C 区现代化海洋牧场开放式养殖用海	东侧，9.6km
7	汕尾城区江牡岛北 B 区现代化海洋牧场开放式养殖用海	东侧，9.7km
8	汕尾市江牡岛海域海域牧场开放式养殖用海项目	东侧，11.9km
自然保护区		
1	汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区	东侧，3.4km
2	深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区	北侧，1.6km
水质国控点		
1	国控站位 GDN14003	东侧，0.6km
2	国控站位 GDN14001	东侧，9.0km
3	国控站位 GDN14005	北侧，0.6km
4	国控站位 GDN14002	东北侧，20.7km
其他		
1	华润海丰电厂“上大压小”新建工程	紧邻
2	深汕特别合作区小漠国际物流港一期工程	西南侧，1.5km
3	深汕特别合作区小漠国际物流港防波堤一期工程	西南侧，1.6km
4	汕尾港海丰港区华城石化配套三千吨级泊位码头	西南侧，4.2km
5	小漠渔港升级改造工程	西北侧，2.1km
6	小漠国际物流港汽车滚装码头项目	西侧，3.2km
7	广东太平岭核电站二期工程	西侧，9.8km
8	惠州市太平岭码头投资建设有限公司重件码头工程	西侧，9.9km
9	中广核广东太平岭核电厂一期工程	西侧，10.1km
10	广东太平岭核电厂建设工程疏浚物临时性海洋倾倒区	西侧，11.1km
11	汕尾市农业科学院渔业科研项目	东侧，7.9km
12	国家海洋局海丰海洋观测点	东北侧，10.7km
13	现状红树林	北侧，1.2km
14	珊瑚礁	西侧，4.3km

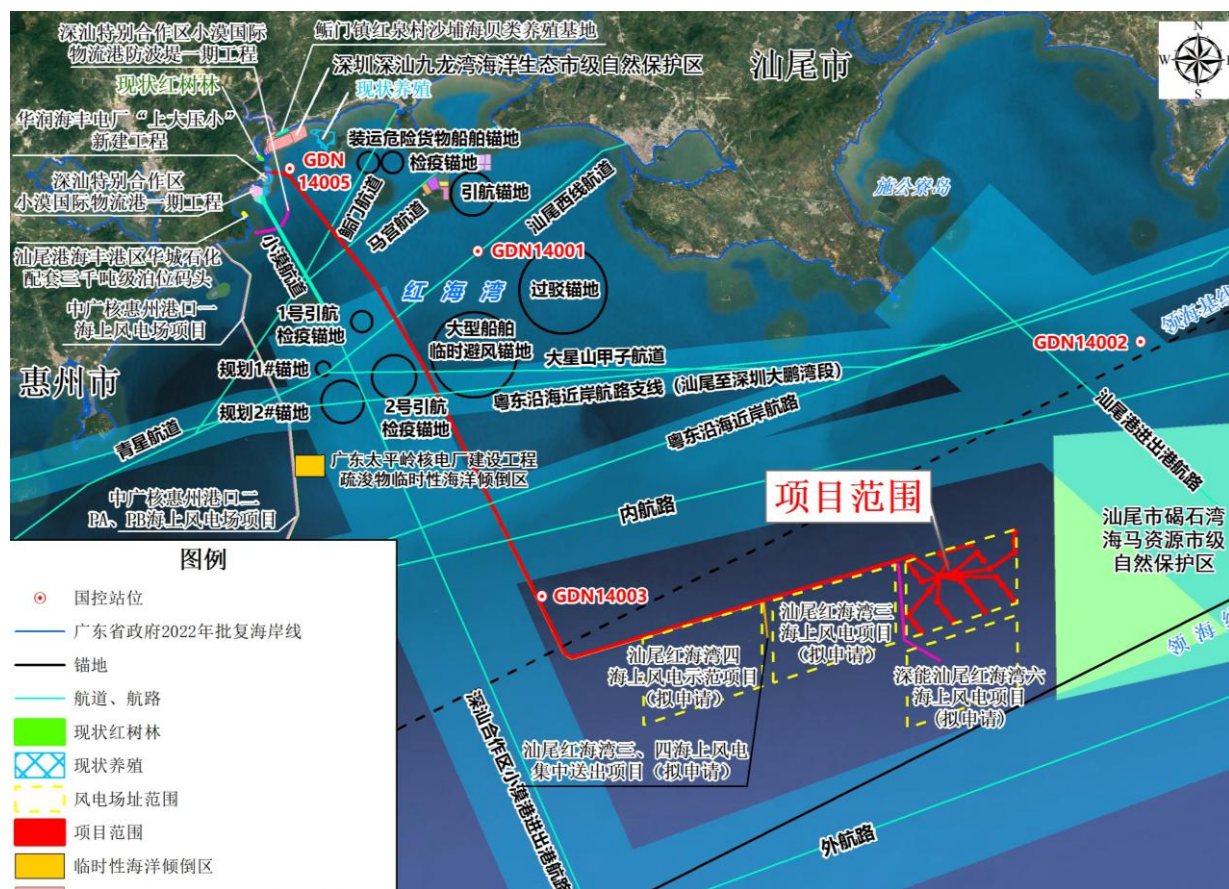


图 6.1.2-1a 项目周边海域开发利用现状图

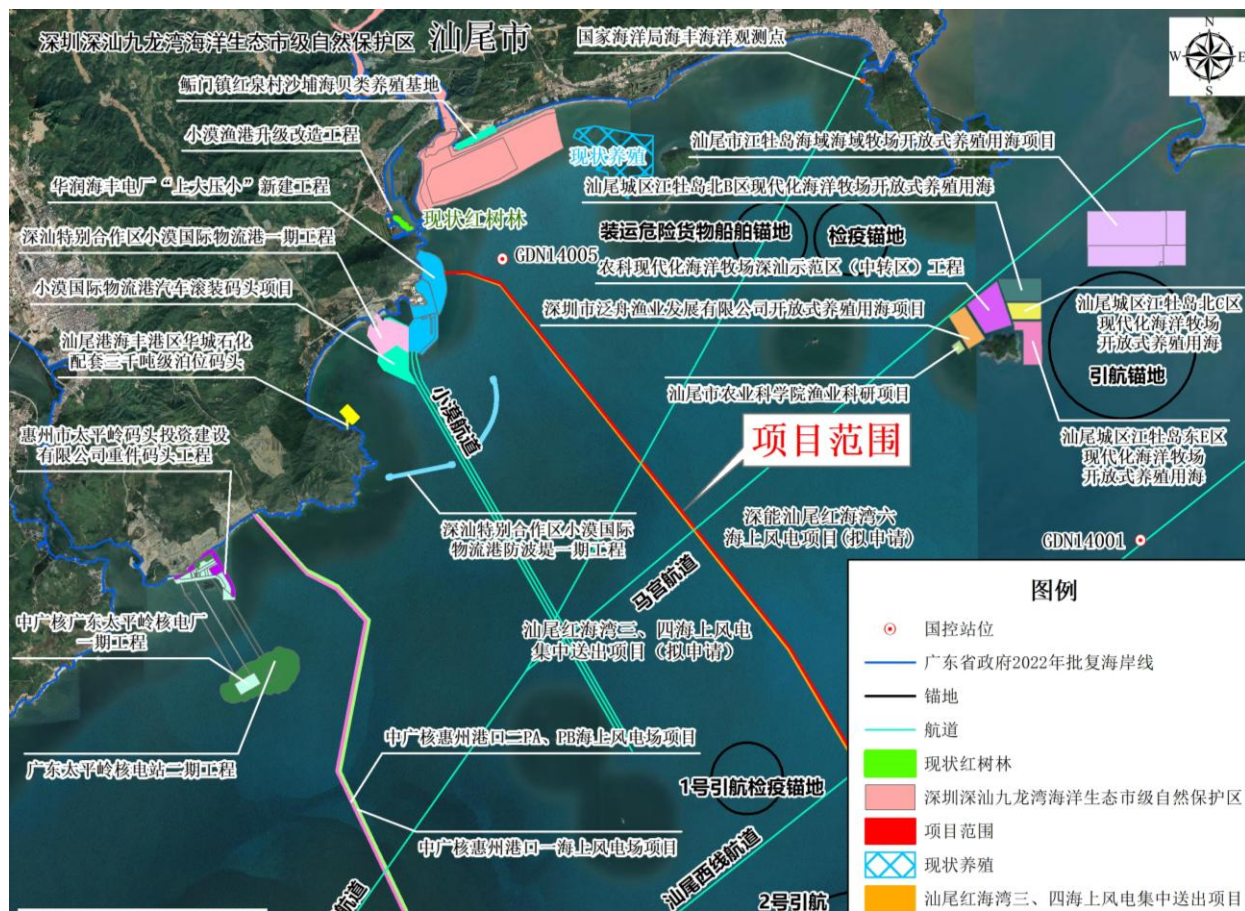




图 6.1.2-1c 项目周边海域开发利用现状图（珊瑚礁）

（1）航道、航路

本项目送出海底电缆穿越鲒门航道、马宫航道、汕尾西线航道、大星山甲子航道、粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）、粤东沿海近岸航路和内航路；本项目送出海缆基本与深汕合作区小漠港进出港航路平行，在近岸段部分涉及；小漠航道、青星航道分别位于本项目送出海缆西侧约 2.7km、7.2km；汕尾港进出港航路位于本项目场址东北侧约 5.8km；外航路位于本项目场址南侧约 9.1km。

鲒门航道起止点为鲒门渔货码头至马洋排，规划等级 5000 吨级，航道长度 33.2km，为自然航道，水深 2.8 米~4.5 米，可航水域宽 120 米，泥沙底。马宫航道起止点为马宫渔货码头至马洋排，规划等级 5000 吨级，航道长度 22.6km，为自然航道，水深 3.0 米~4.5 米，可航水域宽 120 米，泥沙底。汕尾西线航道起止点为炮台油库码头至东碇屿，规划等级 1 万吨级，航道长度 35.4km。大星山甲子航道设计代表船型为 1 万吨级海轮，规划航道底高程为-10.35m。小漠航道从小漠港区至外海全长 8km，现状航道等级为 10 万吨级航道，航宽 375m，航道底高程-16.2m。

根据广东发布沿海主要公共航路，粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）线由汕尾遮浪角至深圳大鹏湾，全长 65.1 海里，航宽 2 海里。粤东沿海近岸航路东接福建沿海内航路，西接香港蓝塘海峡口门，航路宽度为 1~2 海里，总长 177 海里。内航路为干线航路，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，航路宽度为 3~4 海里，总长 396.3 海里。外航路为干线航路，中国沿海外航路广东沿海段，东接福建沿海外航路，西接琼州海峡中水道，航路宽度为 6~8 海里，总长 438.2 海里。汕尾港进出港航路由外海至汕尾碣石湾方向，航路宽度 8 海里，总长 27.6 海里。深汕合作区小漠港进出港航路由外海至深汕合作区小漠港方向，航路宽度 6 海里，总长 31.2 海里。

（2）锚地

根据《汕尾港总体规划（2021-2035 年）》，本项目周边现有的锚地有 7 个，分别为装运危险货物船舶锚地、检疫锚地、过驳锚地、引航锚地、1 号引航检疫锚地、2 号引航检疫锚地和大型船舶临时避风锚地，详见表 6.1.2-2。其中距离本项目海底电缆较近的为大型船舶临时避风锚地（东侧，0.6km）、1 号引航检疫锚地（西侧，1.7km）和 2 号引航检疫锚地（西侧，0.8km），其余距离本项目 5km 外。另外还分布有 2 个规划锚地，分别位于本项目西侧 6.9km、5.7km。

表 6.1.2-2 项目周边现有锚地一览表

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	检疫锚地	115°09'00"E, 22°46'00"N	0.5	检疫、防台
3	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
4	过驳锚地	115°17'30"E, 22°40'00"N	2	侯泊、过驳、防台
5	引航锚地	115°13'00"E, 22°44'30"N	1	引航、侯泊、防台
6	1 号引航检疫锚地	115°07'40"E, 22°38'36"N	0.5	引航、检疫、防台
7	2 号引航检疫锚地	115°09'00"E, 22°36'00"N	1	引航、检疫、防台

（3）海上风电项目

本项目周边分布有 6 个海上风电场项目，本项目送出海缆与汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）送出海缆在登陆段产生交越，后续该项目将进行调整，调整后不交越；与深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）送出海缆紧邻；另外还有位于本项目送出海缆南侧 0.3km 的汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）、南侧 0.2km 的汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）、西侧 7.9km 的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、PB 海上风电场项目。

汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）拟建设 12 台 16.7MW 与 17 台 18MW 的固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆，目前已取得用海预审意见，后续还需进行用海调整。

汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆，目前已取得用海预审意见，后续还需进行用海调整。

深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）拟建设 34 台 15MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆，1 回 500kV 送出海缆，目前已取得用海预审意见，后续还需进行用海调整。

汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）拟建设 1 座海上升压站和 2 回 500kV 海底电缆，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，目前已取得用海预审意见，后续还需进行用海调整。

（4）养殖项目

本项目周边分布有现状养殖、鲘门镇红泉村沙埔海贝类养殖基地、深圳市泛舟渔业发展有限公司开放式养殖用海项目等较多养殖项目，均距离项目送出海缆 3km 外。

（5）自然保护区

本项目登陆点北侧 1.6km 处分布有深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区，主要保护对象为复合型水生生态系统及其重点保护和珍稀濒危生物与红树林生态系统。本项目场址东侧 3.4km 处为汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区，其保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。

（6）水质国控点

本项目周边分布有 4 个国控站位，分别为国控站位 GDN14003、国控站位 GDN14001、国控站位 GDN14005、国控站位 GDN14002，最近的距离本项目 0.6km。

（7）其他

本项目送出海缆登陆点处为华润海丰电厂“上大压小”新建工程，该工程建设 1 个 5 万吨级卸煤泊位和一个 3 千吨级重件泊位，为满足船舶泊稳要求，建设 1186 米防波堤一座，另建设 10 万吨级专用运煤航道及港池（总挖泥量 1800 万方），总投资 11.5 亿元。该项目用海类型为工业用海的电力工业用海，用海方式有建设填海造地，非透水构筑物，透水构筑物，取、排水口，专用航道、锚地及其他开放式，港池、蓄水等。本项目送出海缆将穿越该项目专用航道、锚

地及其他开放式用海权属，申请用海范围拟对其权属进行避让。

本项目送出海缆 1.5km 外还分布有深汕特别合作区小漠国际物流港一期工程、深汕特别合作区小漠国际物流港防波堤一期工程、小漠渔港升级改造工程等。

此外，本项目登陆点北侧 1.2km 处分布有现状红树林，西侧 4.3km 处分布有珊瑚礁，详见本报告 3.2.14 节。

6.1.3 海域使用权属

根据本项目周边海域使用权属状况的资料收集情况及调访结果，本项目周边已确权用海活动共 20 项，其中与本项目紧邻的已确权登记用海项目为华润海丰电厂“上大压小”新建工程。本项目送出海缆穿越华润海丰电厂“上大压小”新建工程专用航道、锚地及其他开放式用海权属（图 6.1.3-1），本项目申请用海范围拟对该重叠部分进行避让，避让后与其权属不重叠。华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属信息见表 6.1.3-1，项目周边权属现状图见 6.1.3-2。



图 6.1.3-1 本项目与华润海丰电厂“上大压小”新建工程用海权属叠置示意图

表 6.1.3-1 项目紧邻权属信息一览表（不公开）

图 6.1.3-2a 项目周边权属现状图（不公开）

图 6.1.3-2b 项目周边权属现状图（登陆段局部放大）（不公开）

6.2 项目用海对海域开发活动的影响

根据 6.1.2 节开发利用现状的分析，本项目所在及周边海域开发利用活动主要为航道、航路、锚地、海上风电项目、养殖项目、现状红树林、珊瑚礁、自然保护区等，根据本报告第 5 章分析，本项目建设对附近海域水动力、地形地貌与冲淤环境的影响主要在风电场范围内，由于风机直径不大，影响较小；项目施工产生的底层 $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络面积为 93.456km^2 ，最大扩散距离为东向、南向 1.2km ，与周边开发利用活动叠置图见图 6.2-1。结合项目建设和运营情况，项目用海对海域开发活动影响分析如下。



图 6.2-1b >10mg/L 悬沙增量包络线（底层）与周边开发利用活动叠置图（局部放大）

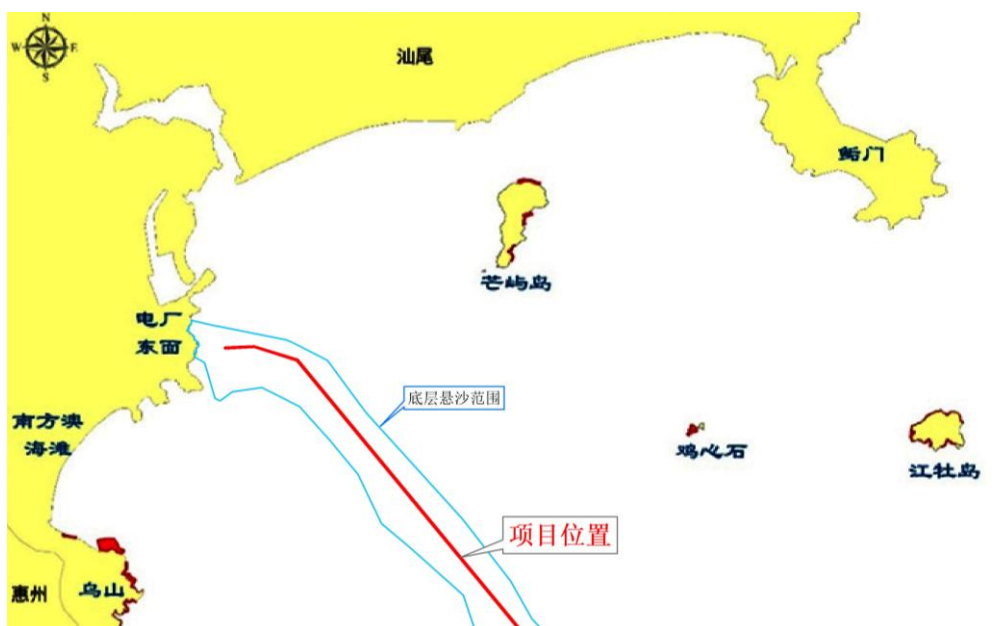


图 6.2-1c $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络线（底层）与周边珊瑚礁叠置图

6.2.1 对航道、航路及通航环境的影响分析

本项目送出海底电缆穿越鲗门航道、马宫航道、汕尾西线航道、大星山甲子航道、粤东沿海近岸航路支线（汕尾至深圳大鹏湾段）、粤东沿海近岸航路和内航路；本项目送出海缆基本与深汕合作区小漠港进出港航路平行，在近岸段部分涉及；小漠航道、青星航道分别位于本项目送出海缆西侧约 2.7km、7.2km；汕尾港进出港航路位于本项目场址东北侧约 5.8km；外航路位于本项目场址南侧约 9.1km。

项目施工期将投入一定数量的施工船舶，会增大周边海域通航密度，且项目建设风电场场址占用海域面积大，以下对项目建设对航路的通航影响进行分析：

（1）施工期间影响分析

项目施工过程中，施工船舶较多，对周边航道、航路可能产生以下影响：

- 1）工程施工期间，施工作业船舶和施工作业机具将占用一定的通航水域，对于通过该水域船舶的正常航行有一定的影响；
- 2）施工船舶频繁进出该水域客观上增加了船舶交通流量和密度，船舶在该水域中会遇局面增多并变得复杂；
- 3）施工作业期间，若发生施工船舶火灾、爆炸、沉船、主机、舵机故障、

船舶失控漂航等事故，对施工水域附近航路的船舶航行安全会有很大的影响；

4) 本项目送出海缆施工期间，由于需要横穿航道、航路，施工期间需要采用专业警戒船舶在穿越区域东西侧进行警戒，防止过往船舶进入海缆敷设作业区，将对过往船舶通航安全将产生碍航影响，对周边的通航环境产生一定影响；

5) 另外，来往船只如果抛锚不准和航线运行不准，也可能对电缆或者风机基础造成破坏。

项目所在海域原本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，渔船也多，因此，总体上看，项目施工期间对周边航道、航路过往船舶的正常航行的影响是客观存在的，但考虑到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，做好施工和运营作业的安全管理工作，可以最大限度地减少施工期对周边航路通航环境和船舶通航的影响。

(2) 运营期间影响分析

本项目风电场选址处在深水区，避开了沿岸小型船舶交通流的密集区，有足够空间供过往船舶航行，对周边航路影响较小。

本项目海缆敷设通过专业敷缆船进行敷设，采用埋设犁配合高压水枪冲埋等方式，将海缆敷设在海床底下 3m（海缆在非航道段埋深 3m、航道段埋深不少于 4m），施工过程对局部海床有一定影响，但对其所在海域潮汐动力和冲淤变化影响很小；项目海底电缆施工完成后，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，项目海底电缆的建设基本不会对周边航道、航路功能造成影响。

此外，航路来往船舶对本项目海缆的调查和铺设会带来一定的影响，但只要对海缆的深埋严格要求，真正达到设计标准，在海缆铺设后树立警示标志、发布相关海域管理通告，该影响较小，同时也不会影响到航道、航路的正常使用。

6.2.2 对锚地的影响分析

本项目周边现有的锚地有 7 个，分别为装运危险货物船舶锚地、检疫锚地、过驳锚地、引航锚地、1 号引航检疫锚地、2 号引航检疫锚地和大型船舶临时避

风锚地。其中距离本项目海底电缆较近的为大型船舶临时避风锚地（东侧，0.6km）、1 号引航检疫锚地（西侧，1.7km）和 2 号引航检疫锚地（西侧，0.8km），其余距离本项目 5km 外。另外还分布有 2 个规划锚地，规划锚地位于本项目西侧 6.9km、5.7km。

本项目海缆与最近的锚地距离为 0.6km，存在锚地附近船舶由于走锚采取应急抛锚或者拖锚等可能危害海缆的风险，为保障海缆安全，海缆埋设施工时，建议加大埋深。依据《海底电缆管道保护规定》，本项目海缆保护范围设定海缆为两侧 50m，海缆保护区不占用锚地，为保障海缆安全，海底电缆敷设完成后，按规定发布航行通告，将海缆位置等信息标示在海图中。

本项目海底电缆的布置未穿过锚地，与周边锚地均保持一定的距离，海底电缆工程埋藏在海床以下 3m（海缆在非航道段埋深 3m、航道段埋深不少于 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，不会对潮流动力产生影响，亦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。施工期间海缆敷设过程需要占用一部分水域，对进出锚地的船舶有一定碍航影响，作业期间需加强现场警戒。

6.2.3 对海上风电项目的影响分析

本项目送出海缆与汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）送出海缆在登陆段产生交越，后续该项目将进行调整，调整后不交越；与深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）送出海缆紧邻；另外还有位于本项目送出海缆南侧 0.3km 的汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）、南侧 0.2km 的汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）。

本项目对上述风电场的影响主要是施工期间的影响。由于各风电场项目场址处于同一片海域，施工周期长，难免存在同时施工、相互影响的可能。若多个风电场同时施工，施工船只频繁出入，必将会加大附近的通航密度，造成一定的通航安全风险。另外，如果本项目建设晚于上述项目，后期施工船只航行的区域可能有其他风电场已建好的海底电缆设施和构筑物，若操作不慎或意外事故有可能破坏海底电缆。但由于海缆敷设在过航道段会加大埋深，并采取一定的保护措施降低船只航行、抛锚对海底电缆的损坏；风电场建成后会在适当

位置设置相应的航标灯及警示标志，并将海底电缆具体位置、走向、埋深以及风电场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，申请发布航行通（警）告，其他船只采取相应的避让措施；加上项目建设海域宽阔，本项目施工船只通航时有较大空间进行避让。因此，本项目施工破坏其他海上风电场项目的构筑物和海缆的可能性不大。

本项目与上述风电项目由同一设计单位进行设计，机位布置时已考虑与周边风电项目机位间的相互影响，将彼此之间的尾流影响降至最低，因此本项目运营期间对周边风电项目基本无影响。

本项目与中广核惠州港口一海上风电场项目、中广核惠州港口二 PA、PB 海上风电场项目距离较远（西侧，7.9km），项目建设对上述海上风电项目基本无影响。

6.2.4 对养殖项目的影响分析

本项目周边分布有现状养殖、鲘门镇红泉村沙埔海贝类养殖基地、深圳市泛舟渔业发展有限公司开放式养殖用海项目等较多养殖项目，均距离项目送出海缆 3km 外。根据项目施工期间悬浮泥沙预测结果表明，项目施工产生的底层 $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络面积为 93.456km^2 ，最大扩散距离为东向、南向 1.2km，不会扩散到上述养殖项目所在海域（图 6.2-1），不会对该海域水质环境产生影响，不会影响上述养殖项目养殖生产活动。

6.2.5 对自然保护区的影响分析

本项目登陆点北侧 1.6km 处分布有深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区，主要保护对象为复合型水生生态系统及其重点保护和珍稀濒危生物与红树林生态系统。本项目场址东侧 3.4km 处为汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区，其保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。

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，造成少量的水生生物资源损失，但这种影响是暂时的，仅局限在施工期间、施工区域附近，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，根据本报告书第 5 章的分析，项目运行期间噪声和电

磁辐射环境影响不大，对汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区的海马及其他野生动物的生境影响较小。

根据项目施工期间悬浮泥沙预测结果表明，项目施工产生的底层 $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络面积为 93.456km^2 ，最大扩散距离为东向、南向 1.2km ，不会扩散到上述保护区所在海域（图 6.2-1），不会对其水质环境产生影响。

本项目海底电缆埋藏在海床以下 3m （海缆在非航道段埋深 3m 、航道段埋深不少于 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，不会对潮流动力产生影响，亦不会对周边地形地貌产生影响，不会对深圳深汕九龙湾海洋生态市级自然保护区、汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区所在海域底质环境产生影响。

6.2.6 对国控站位的影响分析

项目周边海域分布有 4 个国控站位，其中 GDN14003、GDN14005 距离本项目约 0.6km ，GDN14001 距离本项目约 9.0km ，GDN14002 距离本项目约 20.7km 。由图 6.2-1 可知，项目施工引起的悬浮泥沙扩散会扩散到 GDN14003 国控站位，但这种影响主要在海缆铺设过程出现，海缆铺设施工迅速，施工期较短，一旦施工完毕，工程所在区域周边水质环境可在较短时间内恢复。为减少项目施工对国控站位的影响，建议：（1）施工单位施工前需提前了解国控监测站位当季监测时间，避开国控监测站位监测期间进行施工；（2）在施工区域和国控监测站位之间设置防污帘，减少施工悬浮泥沙扩散。

6.2.7 对现状红树林、珊瑚礁的影响分析

本项目登陆点北侧 1.2km 处分布有现状红树林，西侧 4.3km 处分布有珊瑚礁。本项目海底电缆与现状红树林间有一定距离，且有陆域相隔。海底电缆工程埋藏在海床以下 3m （海缆在非航道段埋深 3m 、航道段埋深不少于 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、珊瑚礁所在海域底质环境产生影响。根据项目施工期间悬浮泥沙预测结果表明，项目施工产生的底层 $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络面积为 93.456km^2 ，最大扩散距离

为东向、南向 1.2km，不会扩散到现状红树林、珊瑚礁所在海域（图 6.2-1），不会对红树林、珊瑚礁的生长环境产生影响。

6.2.8 对华润海丰电厂“上大压小”新建工程的影响分析

本项目送出海缆登陆点处有华润海丰电厂“上大压小”新建工程，项目送出海缆与华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海重叠，本项目申请用海范围对重叠部分进行避让，实际建设海缆将于该工程权属范围内登陆。项目送出海底电缆埋设在海床以下 3m（海缆在非航道段埋深 3m、航道段埋深不少于 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，不会对潮流动力产生影响，亦不会对周边地形地貌产生影响，不会对该工程所在海域环境产生影响，但项目施工及运营期间将占用该工程一定权属范围，对该工程造成一定影响。

6.2.9 对其他项目的影响分析

项目登陆点西南侧分布有深汕特别合作区小漠国际物流港一期工程和深汕特别合作区小漠国际物流港防波堤一期工程，距离分别为 1.5km 和 1.6km；距离本项目送出海缆 2km 外还分布有小漠渔港升级改造工程、小漠国际物流港汽车滚装码头项目、汕尾港海丰港区华城石化配套三千吨级泊位码头、国家海洋局海丰海洋观测点、广东太平岭核电厂建设工程疏浚物临时性海洋倾倒区等项目。

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响；工程实施对海域冲淤影响主要出现风机、海上升压站、海上无功补偿站附近，风机、海上升压站、海上无功补偿站建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化，变化主要出现在风机、海上升压站、海上无功补偿站周边水域，不会影响到上述项目所在海域。

根据项目施工期间悬浮泥沙预测结果表明，项目施工产生的底层 $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络面积为 93.456km^2 ，最大扩散距离为东向、南向 1.2km，不会扩散到上述项目所在海域（图 6.2-1）。因此本项目建设不会对上述项目的正常运营产生影响。

6.2.10 对渔业生产活动的影响分析

根据水质影响预测结果分析，本项目施工时悬浮泥沙沿着缆线走向向外扩散，项目海缆施工导致的底层超第一、二类海水水质的海域面积为 93.456km²，对周边渔业生产活动会造成一定影响。项目所在海域渔业生产活动较少，但仍可能存在捕捞渔船，风电场建设过程中，施工船只作业会增加附近海域的通航密度，风电场建设完成后，将禁止任何船舶进入风电场场区，出海渔船必须避开风电场场区，因此风电场的建设对渔船通航、作业都会造成一定的影响。但风电场外围水域对渔船而言，可航水域开阔，满足其通航安全要求。

此外，项目所在海域可能存在捕捞渔船，项目建设过程中，施工船只作业会增加附近海域的通航密度，因此项目的建设对渔船通航、作业都会造成一定的影响。但项目外围水域对渔船而言，可航水域开阔，可满足其通航安全要求。

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。

6.3 利益相关者界定

利益相关者指受到项目用海影响而产生直接利益关系的单位和个人。界定的利益相关者应该是与用海项目存在利害关系的个人、企事业单位或其他组织或团体。

根据本报告 6.2 节项目建设对周边开发活动的影响分析，界定本项目利益相关者，详见表 6.3-1 及图 6.3-1。

表 6.3-1 利益相关者一览表

序号	用海活动	与本项目相对位置和最近距离	利益相关者	可能影响因素
1	汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）	送出海缆交越		施工影响
2	汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）	南侧，0.3km		施工影响
3	汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）	南侧，0.2km		施工影响
4	深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）	紧邻		施工影响
5	华润海丰电厂“上大压小”新建工程	紧邻		实际建设占用权属范围

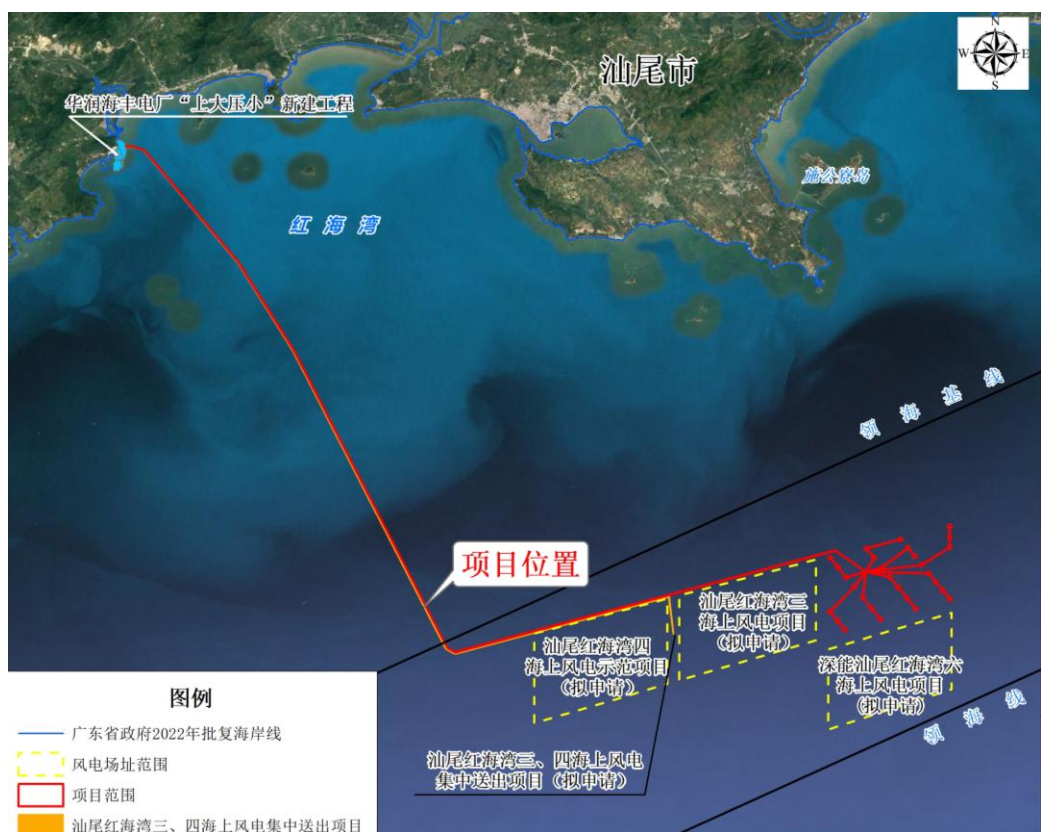


图 6.3-1 利益相关者分布图

6.4 需协调部门界定

本项目送出海底电缆穿越航道、航路，且项目建设过程中施工船只作业会增加附近海域的通航密度，对所在海域通航环境造成一定的影响。

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；项目运营期海缆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。

综上，界定本项目需协调部门为汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心、汕尾市农业农村局，详见表 6.4-1。

表 6.4-1 需协调部门一览表

序号	用海活动	需协调部门	可能影响因素	协调内容
1	通航环境	汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心	送出海缆穿越航道航路、施工船舶进出作业增大海域通航密度	协调作业船舶进出安排，确保船舶通航安全

2	渔业生产活动	汕尾市农业农村局	悬沙扩散、海缆和海上升压站桩基占用	协调建设单位进行生态保护修复
---	--------	----------	-------------------	----------------

6.5 相关利益协调分析

6.5.1 与周边海上风电业主的协调分析

本项目送出海缆与汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）送出海缆在登陆段产生交越，后续该项目将进行调整，调整后不交越；与深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）送出海缆紧邻；本项目与汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）、汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）距离近。本项目与上述可能同期施工建设，施工船只频繁出入，必将会加大附近的通航密度，造成一定的通航安全风险。因此建议本项目建设单位和相关利益相关者进行充分沟通，并在风电场场址周边设置安全警示标志；在施工期间及时协调，合理安排施工区域和时间，防止船舶过于密集，严格控制施工船舶的活动范围，以确保双方项目施工安全和顺利推进。

6.5.2 与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人的协调分析

本项目申请用海范围避让华润海丰电厂“上大压小”新建工程，但项目实际建设占用其权属范围。项目施工前应本项目建设单位与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人进行沟通，协商解决用海影响问题，取得其同意意见，未解决好与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人的协调或补偿问题，不得开工建设。如在施工过程中突发事故导致华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人利益较大受损，应立即停止施工，并在管理部门的组织下与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人协商并落实赔偿责任后方可复工，避免产生用海矛盾，确保海缆顺利施工及运营期的安全。

6.5.3 与汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心的协调分析

本项目送出海缆穿越了航道、航路，且项目建设过程中会投入一定的施工船舶，工程海域的船舶流量会有所增加，对周边航行的过往船舶影响较大；项目的建设也改变了原有的海域条件，必须采取相应的安全措施保障附近海域的船舶通航安全。

建设单位应该建立安全有效的联系机制，施工前应汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心进行充分沟通协调，做好船舶的进出安排，确保船舶的通航安全。建设单位经检查发现存在影响附近水域通航安全的情况，应及时通知汕尾海事局，申请发布相应的航行警告；发现存在安全隐患时及时处理，并向汕尾海事局报告；工程建成后应将项目位置海域范围具体位置等报请汕尾海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

根据《华润汕尾红海湾五海上风电项目通航安全影响咨询报告》（备案稿）（广州港海工程咨询有限公司，2024 年 11 月），通过工程建设方案的选址合理性、可行性分析，风电场的建设对所在海域的通航环境和通航安全有一定的影响，在采取报告提出的相关建议和落实各项安全保障和维护措施后，其不利影响和风险将会得到相当程度的缓解。从船舶通航环境和通航安全角度考虑，红海湾五海上风电场项目对附近海域通航环境和通航安全的影响是可控的。本项目已取得广东海事局关于华润汕尾红海湾五海上风电项目通航安全有关意见的复函“从通航安全角度看，选址基本合理，通过采取相应的通航安全保障措施，其通航安全影响可控”。（详见附件 7）

6.5.4 与汕尾市农业农村局的协调分析

本项目的建设将造成海洋生物资源损失，本项目建设单位应采取措施，实施生态保护修复，开展以增殖放流为主的生态保护修复措施，建设单位应与汕尾市农业农村局充分沟通协调，明确增殖放流实施地点、实施计划、投放苗种等，在汕尾市农业农村局的协调下有序开展。

表 6.5-1 利益协调情况一览表

序号	用海活动	利益相关者/协调责任部门	协调方案
1	汕尾红海湾三、四集中送出项目（拟申请）		<p>施工期间及时协调，合理安排施工区域和时间，防止船舶过于密集，严格控制施工船舶的活动范围，以确保双方项目施工安全和顺利推进。</p>
2	汕尾红海湾三海上风电项目（拟申请）		
3	汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）		
4	深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）		
5	华润海丰电厂“上大压小”新建工程		<p>施工前进行沟通，协商解决用海影响问题，未解决好与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人的协调或补偿问题，不得开工建设。如在施工过程中突发事故导致华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人利益较大受损，应立即停止施工，并在管理部门的组织下与华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属人协商并落实赔偿责任后方可复工，避免产生用海矛盾，确保海缆顺利施工及运营期的安全。</p>
6	通航环境	汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心	<p>建立安全有效的联系机制，施工前应汕尾海事局、广东省珠江东航道事务中心进行充分沟通协调，做好船舶的进出安排，确保船舶的通航安全；</p> <p>经检查发现存在影响附近水域通航安全的情况，应及时通知汕尾海事局，申请发布相应的航行警告；</p> <p>发现存在安全隐患时及时处理，并向汕尾海事局报告；</p> <p>工程建成后应将项目位置海域范围具体位置等报请汕尾海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。</p> <p>本项目已取得广东海事局关于华润汕尾红海湾五海上风电项目通航安全有关意见的复函“从通航安全角度看，选址基本合理，通过采取相应的通航安全保障措施，其通航安全影响可控”。（详见附件 7）</p>
7	渔业生产活动	汕尾市农业农村局	<p>采取措施，实施生态保护修复，开展以增殖放流为主的生态保护修复措施。</p>

6.6 项目用海与国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析

6.6.1 与国防安全和军事活动的协调性分析

项目所在海域及附近海域可能存在国防设施，工程建设、生产经营可能会对国防产生影响，建议业主取得军方的书面协调意见后方可施工建设，以保障项目建设过程不会影响军事设施安全和军事活动的进行。

6.6.2 与国家海洋权益的协调性分析

海域是国家的资源，任何方式的使用都必须尊重国家的权力和维护国家的利益，遵守维护国家权益的有关规则，防止在海域使用中有损于国家海洋资源，破坏生态环境的行为。

本项目不存在损害国家权益的问题，项目实施不会涉及领海基点，也不会涉及国家机密，对国家海洋权益没有影响。海域属国家所有，单位和个人经营性使用海域，必须按规定交纳海域使用金。本项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不损害国家权益。

7 国土空间规划符合性分析

本项目符合《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）》《海丰县国土空间总体规划（2021-2035 年）》的要求，满足《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》关于汕尾西部工矿通信用海区、汕尾南部渔业用海区、遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区、东山海-红海湾海洋预留区、红海湾交通运输用海区、红海湾渔业用海区、金狮湾工矿通信用海区等用海区空间准入条件和相关管控要求，也符合“三区三线”中的生态保护红线的管控要求。

项目符合《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》《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》《广东省海洋经济发展“十四五”规划》以及《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》等各级相关规划的相关要求。

8 项目用海合理性分析

8.1 用海选址合理性分析

8.1.1 项目选址区位和社会条件的合理性分析

项目拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站，场址位于汕尾市汕尾港南面海域，红海湾场址东侧偏北位置，未超过规划范围。

本项目位于汕尾市，交通十分便利。项目主要的建筑材料为钢材，钢材可从广东省内及省外的市场采购，钢材资源和商品混凝土采购便利；项目施工主要大型机械及常规的机械设备等可在当地租用；本区域的水电供应条件相对较好，供水、供电系统完备，陆上施工基地的水、电供应可直接从当地的管网系统接驳。因此，本项目选址的施工供应条件成熟，满足工程建设需要。

本项目的建设符合国家可持续、绿色、低碳的能源发展政策，适应广东海上风电发展规划，有利于推动可再生能源的开发利用和节能减排，有利于带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，促进地方经济的持续发展。

综上所述，本项目建设区域社会条件适宜、交通便捷、外部协作条件良好，项目建设在技术上是可行的、经济上是合理的。项目的建设选址区域的社会条件是相适应的，选址区域的社会条件满足项目用海需求，有利于项目区域的发展。

8.1.2 项目选址与自然资源、生态环境适宜性分析

（1）气象条件的适宜性

项目所在海域地处北回归线以南的低纬度地带，南海北部的广东沿海，属于典型的亚热带海洋季风气候区，常年气温较高，雨量充沛，相对湿度高，该区域的气候条件适宜于工程的建设。但该地区易受台风影响，对工程的施工有一定的影响，施工期间应做好防台措施。

（2）风能资源丰富

本风电场轮毂高度处主导风向为 ENE，主导风风向频率为 30.3%，相应 ENE 向风能频率为 44.6%；风向、风能分布相对集中，风能资源较好，具备开发建设风电场的风能资源条件。

（3）水深地形条件的适宜性

本项目场址位于汕尾红海湾海上风电场场址内，位于汕尾市东南面海域，离岸距离约 21.8km，水深约 34m~40m，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。水下地形较平缓，整体呈北高南低趋势，属冲海积地貌单元。总的来说，项目所处海域水深条件较好，海底地形较平坦。因此本项目所在位置的地形条件适宜。

（4）地质条件的适宜性

根据区域地质资料及本次勘察成果，场址所在区域无全新世活动断裂通过，风电场所在区域地壳相对稳定，场址区域构造稳定性分级属稳定性较好；红海湾风电场场址海域宽阔，场区内未见岛屿分布，海底地形总体平缓，本次勘察未见海底滑坡、崩塌、活动沙丘等不良地质作用及海底地震地质灾害问题。

场地环境工程地质条件较简单，遭受地质灾害危害的可能性较小，工程引发地质灾害发生可能性也较小。场地地形地貌及地层条件较好，可满足风机基础建设需要，综合判定，拟建场地稳定性较好，适宜作为风电场工程建筑场地。

（5）水动力条件的适宜性

本项目风电场海区夏季全潮测验期间，潮流类型主要表现为不规则半日潮流，测验海域短期潮位测量平均潮差为 0.82m，属弱潮海区。全潮测验期间各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。各测点潮流呈往复流结合旋转流的运动形式。施测海域实测流速总体较小，平面分布均匀，垂向分布无明显规律。观测海域的常浪向为 ESE 向，次常浪向为 E 向，出现频率分别为 28.31%和 27.74%。强浪向为 ESE 向，主要由热带气旋造成。

总体上，项目周边海域水文动力条件较好，但潮流流向随季节而变化，且地区易受台风影响，对工程的施工有一定的影响，项目施工期间应做好防台措施。项目风机基础型式已考虑所在场址水文条件，不会对布置海上风电机组造成不利的影响。

(6) 生态环境的适宜性

项目建设不可避免的对工程周边海域的海洋环境质量、沉积物、海洋生态环境带来一定负面影响，造成一定的渔业资源及底栖生物损失。因此在工程设计、施工和运营时，必须将环境保护措施落实到施工和运营期的每个环节，确保工程建设对海域环境和海洋资源造成的影响降低到最低程度。根据环境影响预测结果，工程施工对周边水生生态环境的影响较小；施工期的生活垃圾、生活污水及船舶含油污水均统一收集后处理，禁止直接排放入海。

综上，本项目用海选址与自然资源和生态环境相适宜。

8.1.3 项目选址与周边其他用海活动的适宜性分析

根据本报告第 6 章，本项目所在及周边海域开发利用活动主要为航道、航路、锚地、海上风电项目、现状红树林等。通过加强与各方的沟通和合作，本项目海域开发利用具有较好的可协调性，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突，是相适宜的。

8.1.4 项目用海选址是否有利于海洋产业协调发展

海上风电是汕尾发展较快的产业，目前，汕尾后湖、甲子一、甲子二海上风电场共 140 万千瓦已实现全容量并网，标志着全国最大的平价海上风电场建成投运，成为粤东地区首个超百万千瓦级海上风电基地。本项目选址位于汕尾红海湾五场址范围内，项目用海选址有利于开发汕尾海洋风能资源，推进汕尾海域海洋产业发展。本项目建设有利于汕尾打造千万千瓦海上风电基地，全面构建风电全产业链生态，拓展延伸产业协同生态，统筹产业与城市空间优化联动和产城融合，全力打造国际一流的海上风电全产业链生态体系基地。

因此，本项目用海选址有利于汕尾海域海洋产业协调发展。

8.1.5 项目选址合理性分析

(1) 登陆点选址合理性

根据《广东省发展改革委关于印发广东省 2023 年海上风电项目竞争配置工

作方案的通知》，汕尾红海湾海上风电项目“集中送出陆上登陆点位于深汕合作区小漠街道”，见下图和附件 9 所示。

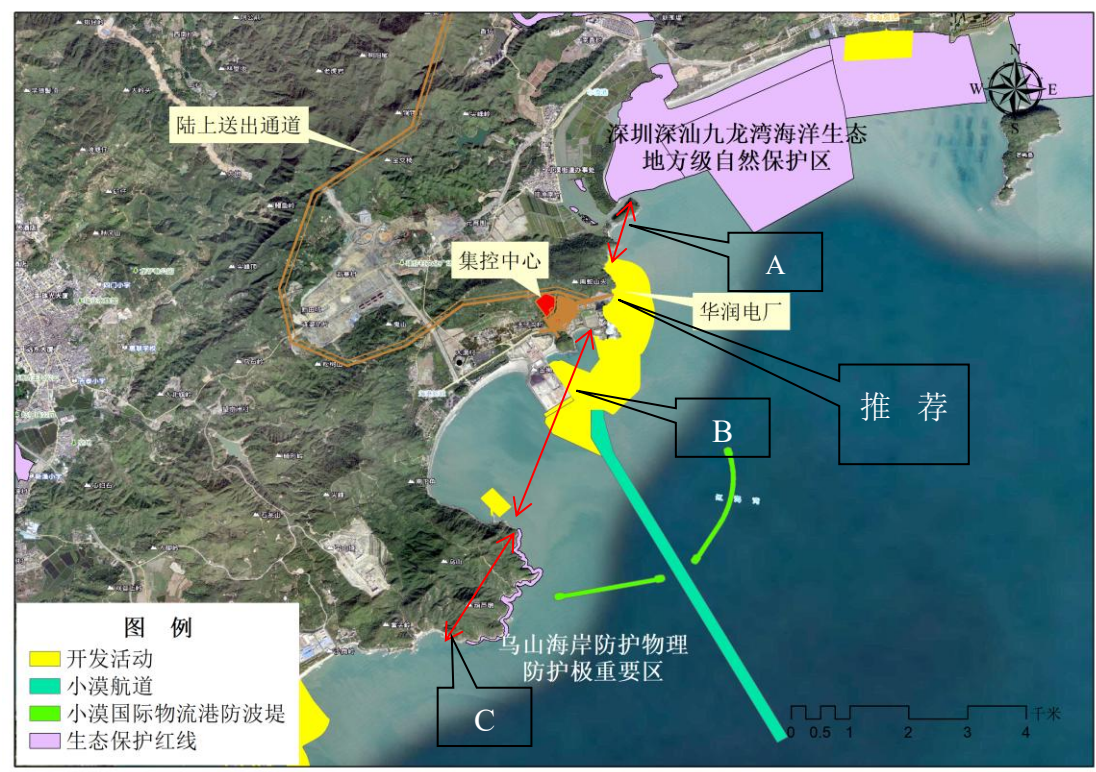


图 8.1.5-1 红海湾场址登陆点地理位置示意图

根据陆上集控中心规划位置，本项目将小漠街道岸段分为 A、B、C 三段，此外华润海丰电厂内部岸线位于 A 段 B 段之间，其各段岸线情况如下。

A 段：该段北侧分布有深圳深汕九龙湾海洋生态地方级自然保护区，该保护区南侧为汕尾市天后宫景区，根据前期协调工作，该区域登陆用地难以协调；

B 段：根据小漠港规划，该段岸线为小漠港港内岸线，规划有小漠港防波堤，仅预留小漠航道进出口，电缆从该处登陆协调难度大且海缆安全性差；

C 段：该段岸线自北向南分布有乌山海岸防护物理防护极重要区，此外该处岸线为基岩岸线，向陆一侧为山体，地势陡峭，海缆登陆难度高经济性差，登陆后无陆上送出通道；该段岸线向西为惠州市海域。

综上所述，根据陆海统筹考虑的原则以及深汕合作区与深圳市深汕特别合作区华润电力有限公司的协调意见，汕尾红海湾海上风电场集中送出管廊拟登陆 A 段、B 段之间的华润海丰电厂内部岸线是合理的（附件 10）。

（2）风电场选址合理性

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，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。本项目为华润汕尾红海湾五海上风电项目，位于红海湾风电场场址内。

本项目风电场场址水深在 34m~40m 之间，距离陆地最近约 21.8km，满足《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》提出的海上风电项目应离岸距离 30 公里或水深 30 米的开发条件限制要求。风电场场址不涉及各种保护区及重要、敏感和脆弱生态区域。此外，项目风电场选址与附近航道、锚地有一定的安全距离；风电场附近海域空旷，不存在有相关水上、水下建筑物等设施。

综上，本项目用海与气象条件、风能资源、水深地形条件、地质条件等自然环境条件相适宜；对生态环境影响较小，在采取一定补偿措施以及环保措施的前提下，可减轻对生态环境的影响；项目用海选址与周边其他用海活动适宜，有利于海洋产业协调发展。因此，项目选址是合理的。

8.2 用海平面布置合理性分析

8.2.1 项目平面布置

本项目已完成主机招标，中标机型为明阳 MySE18-292 型风力发电机组，单机容量 18MW，叶轮直径 291.12m，详细技术参数见表 2.2.2-1 所示。

8.2.1.1 布置原则

根据《风电场工程微观选址技术规范》（NB/T 10103-2018），风电机组布置的一般原则有：

- 1) 应在满足机组安全性要求的前提下相对紧凑布置，以充分利用风能资源和提高场地利用效率，减少集电线路投资，提高投资效益；
- 2) 机位排列宜垂直于主导风能方向；
- 3) 可根据风能资源条件及风电场形状采用不等间距布置方案；
- 4) 应依据平均风速、极端风速、入流角、风切变指数等参数进行综合分析，并应符合风电机组安全性要求；

5) 与相邻电场风电机组的相互影响应符合风电机组安全性和尾流影响的要求。

而在《海上风电场微观选址阶段发电量计算技术规范》(T/CEEIA 561-2021)中,海上风电机组的布置原则进一步包括:

1) 遵循集约、节约用海的原则,海上风力发电机组用海包络范围不得超出海上风电场场址角点坐标规定的范围,海上风力发电机组用海包络范围应按《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)规定计算;

2) 与其他用海相协调,避让海洋倾倒区、航道航路、锚地、海洋生态环境敏感区、军事用海区,与水下管线留出安全距离,应按照《风电场工程微观选址技术规范》(NB/T 10103-2018)的规定确定安全距离;

3) 计入地质条件、海床条件和海洋水文条件的影响;

4) 宜采用阵列形式布置,行、列间距应满足风力发电机组安全性和工程经济性的要求;

5) 应进行不同布置方案比选,经综合技术经济比较后确定推荐的布置方案。

另外,项目风机布置还需考虑项目周边其他海上风电项目影响,距离较近的主要有规划建设红海湾三海上风电项目、红海湾四海上风电项目、红海湾六海上风电项目以及远期红海湾规划场址。

2024年12月30日,自然资源部发布了进一步加强海上风电项目用海管理的通知,通知对海上风电项目风机部分用海范围提出了新的界定标准,即以塔架中心点为圆心,以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆。本项目中标机型叶轮半径146.12m,本阶段风机中心坐标布置区域以场址边界范围内缩150m考虑。

8.2.1.2 风机布置方案

(1) 布置方案

根据规划容量要求,全场共需布置28台18MW的推荐机型。分别采用场址边界排布法、基于平行四边形基本单元的最优排布筛选法、三种不同技术路线的排布方法,生成4个比选方案,记为L1~L4。

L1方案是基于最优排布筛选法得到的排布方案,共有5列机位,每列机位

数目 3~8 个。列间距大致为 8.8~9.4D，每列相邻机位距离约为 3.0~3.8D。

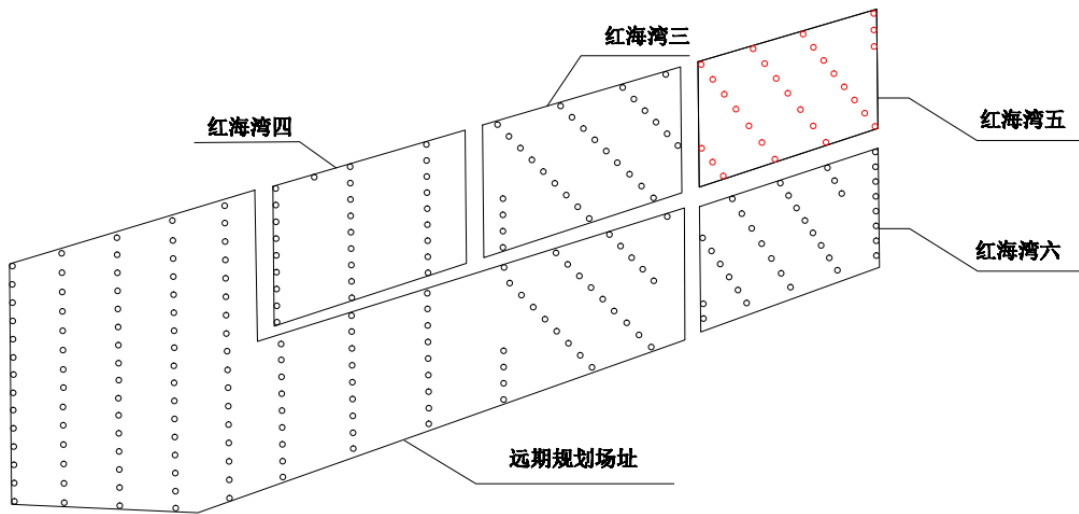


图 8.1.2-1a 方案 L1 示意图（黑色为在建和规划项目机位，红色为本项目机位）

L2 方案是在可研阶段机位布置基础上根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024 年 12 月 30 日）微调机位后，依据目前最新风资源数据评估成果和风场外部条件按最优排布筛选法得到的排布方案，整体垂直于 30° 的方位角进行机位排布，共有 5 列机位，每列机位数目 2~10 个。列间距大致为 8.9D~9.2D，每列内相邻机位距离约为 3.1D~3.5D。

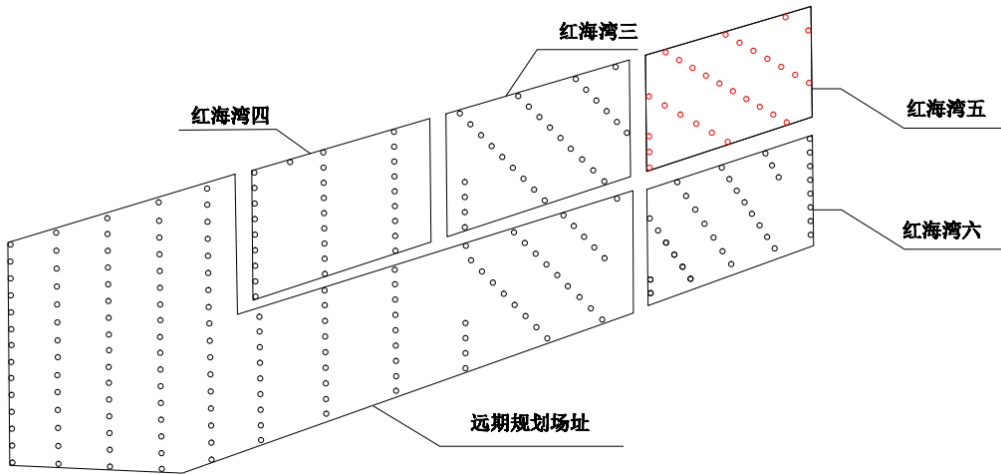


图 8.1.2-1b 方案 L2 示意图（黑色为在建和规划项目机位，红色为本项目机位）

L3 方案是沿场址边界排布法得到的排布方案。整体阵列沿南北方向进行排布；共有 4 列机位，每列机位数目 7 个。列间距大致为 10.1D~11.8D，每列内相邻机位距离约为 3.5D。

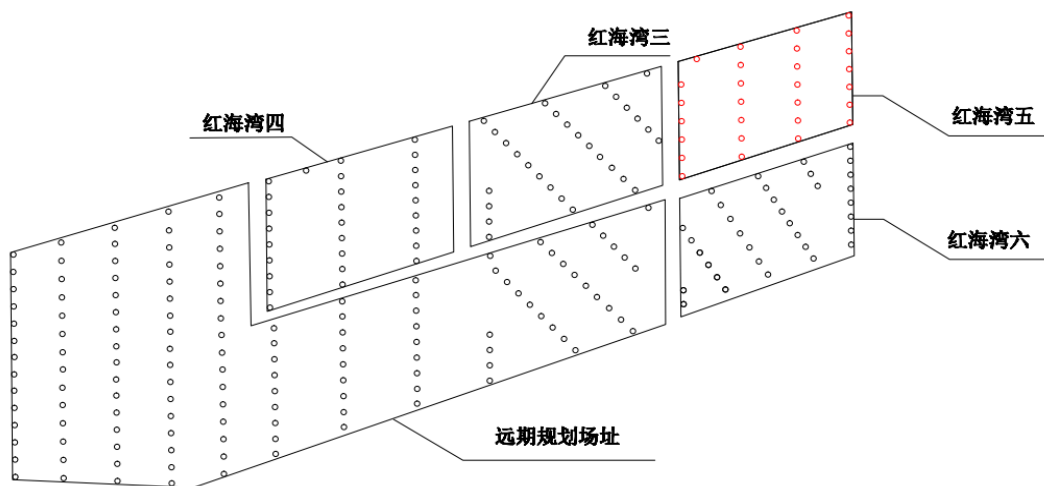


图 8.1.2-1c 方案 L3 示意图（黑色为在建和规划项目机位，红色为本项目机位）

L4 方案根据风机厂家投标文件的坐标，并依据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024 年 12 月 30 日），对机位进行调整。方案基本垂直于 ENE 扇区的中心方位角（ 56° ）进行排布，共有 5 列机位，每列机位数目 2~8 个，列间距为 9.3~9.6D，每列内相邻机位距离约为 3.0~3.1D。

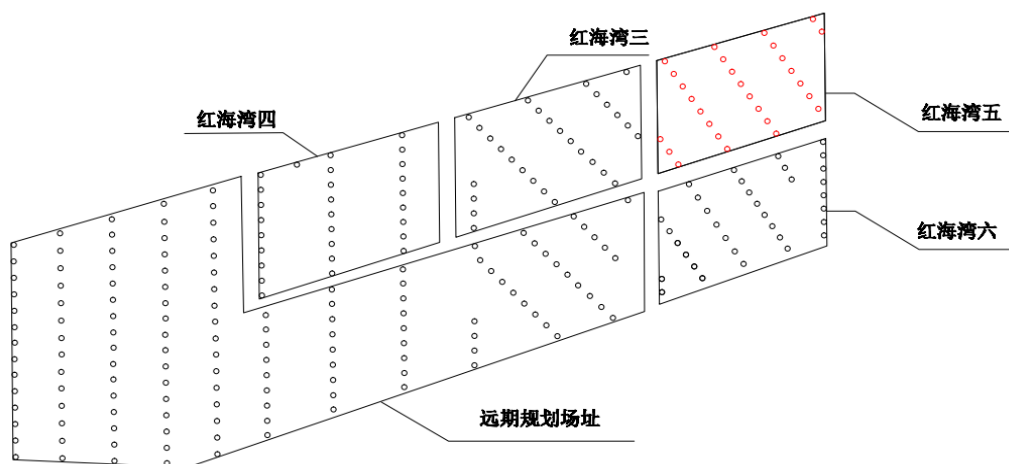


图 8.1.2-1d 方案 L4 示意图（黑色为在建和规划项目机位，红色为本项目机位）

（2）发电量对比

根据 L1~L4 布置方案，考虑周边风场的尾流影响，对整场发电量进行比较。L1 方案发电量最优，L4 方案次之。L2 和 L3 方案分别排在三、四位。

平均尾流方面，L1 方案平均尾流最小，L4 平均尾流次之。

最大尾流控制方面，L1 单机最大尾流位 15.58%，最优；L3 为 16.47%，排在二位；L4 单机最大尾流位为 16.52%，排在第三位；L2 单机最大尾流为

18.52%，为所有方案中最高。

表 8.1.2-1 风机布置比选方案发电量对比表

指标 \ 方案	L1	L2	L3	L4
风机台数（台）	28	28	28	28
总容量（MW）	500	500	500	500
年净发电量（GWh）	2159.342	2136.853	2134.020	2153.996
平均尾流损失（%）	10.58	11.51	11.62	10.80
最大单机尾流（%）	15.58	18.52	16.47	16.52
综合折减系数（%）	76	76	76	76
年上网电量（GWh）	1641.100	1624.009	1621.855	1637.037
等效满发小时数（h）	3256	3222	3218	3248
容量系数（%）	37.17	36.78	36.73	37.08
排序	1	3	4	2

综上，本风电场综合考虑了安全等级、场址区特殊环境、气候等条件要求，从机组性能、风机尾流影响等方面出发，对布置方案多次优化，同时能达到风电场最好的发电效益，充分利用场址风力资源，最终确定风机布置方案。风电机组的布置满足了项目建设、开发的需求，同时调整风机内部间距，降低风机尾流影响，充分考虑对周边海洋开发活动的影响，提高了项目的用海合理性，因此本工程风电机组用海平面布置合理。

8.2.1.3 海上升压站及 66kV 集电海缆

对海上升压站布置在西北侧及西南侧进行方案对比。

方案一，海上升压站布置在西北侧，风机按 8 个回路 66kV 海底电缆布置，各个回路连接 3-4 台风机，风机连接电缆不交叉重叠，66kV 集电海缆施工长度为 56.14km。方案布置见图 8.1.2-2a。

方案二，海上升压站布置在西南侧，风机按 8 个回路 66kV 海底电缆布置，各个回路连接 3-4 台风机，风机连接电缆不交叉重叠，66kV 集电海缆施工长度为 60.27km。方案布置见图 8.1.2-2b。

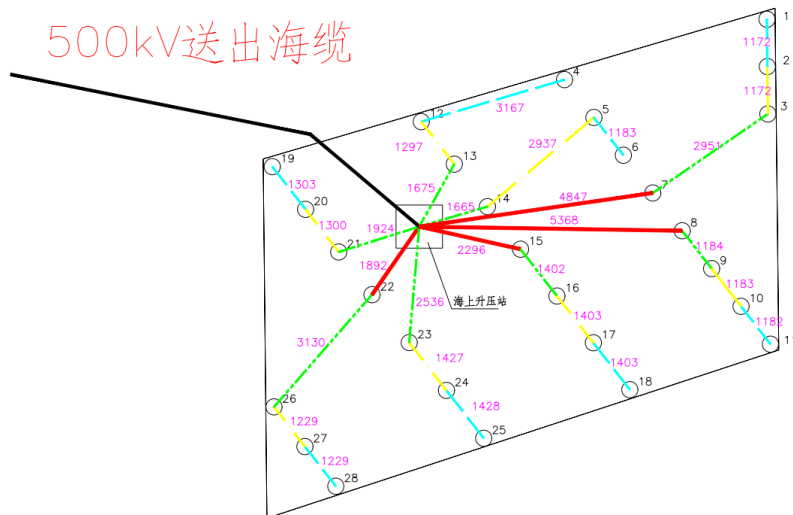


图 8.1.2-2a 海上升压站及 66kV 集电海缆布置方案一

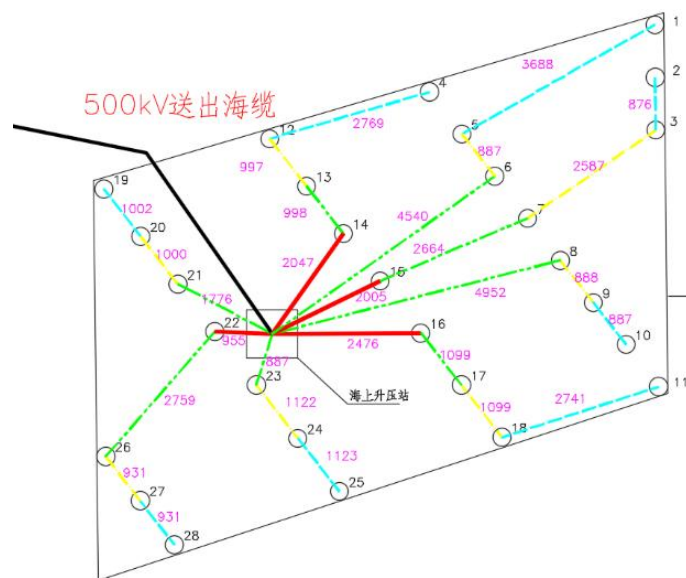


图 8.1.2-2b 海上升压站及 66kV 集电海缆布置方案二

通过对比两个方案，方案一集电海缆长度短，用海面积少，且投资更小，优于方案二，且方案一海上升压站布置在西北侧条件下，500kV 送出海缆更短。

表 8.1.2-2 海上升压站和 66kV 集电海缆方案比选

序号	66kV 海缆 截面	单价 (万/km)	安装费 (万 /km)	方案一		方案二	
				数量 (km) (施工长 度)	总价 (万)	数量 (km)	总价 (万)
1	3x120mm ²	102	55	12.45	1954.65	16.66	2615.62
2	3x150mm ²	110	55	12.36	2039.4	11.97	1975.05
3	3x300mm ²	201	55	16.78	4295.68	22.68	5806.08
4	3x630mm ²	318	55	14.55	5427.15	8.96	3342.08
合计	/	/	/	56.14	13716.88	60.27	13738.8

综合考虑经济性、用海面积，本项目海上升压站和 66kV 集电海缆布置方案推荐方案一，即海上升压站布置在场址范围内西北侧的位置，风机按 8 个回路 66kV 海底电缆布置，各个回路连接 3-4 台风机，风机连接电缆不交叉重叠，66kV 集电海缆施工长度为 56.14km。

综上，本项目海上升压站和 66kV 集电海缆布置方案体现了集约节约用海的原则，提高了项目的用海合理性。

8.2.1.4 500kV 送出海底电缆

根据广东省海上风电海底路由管廊规划、海岸带规划的相关研究成果以及《广东省发展改革委关于印发广东省 2023 年海上风电项目竞争配置工作方案的通知》，汕尾红海湾海上风电项目“集中送出陆上登陆点位于深汕合作区小漠街道”，该登陆点为深汕合作区小漠街道东侧地带，对应海底路由管廊见下图。

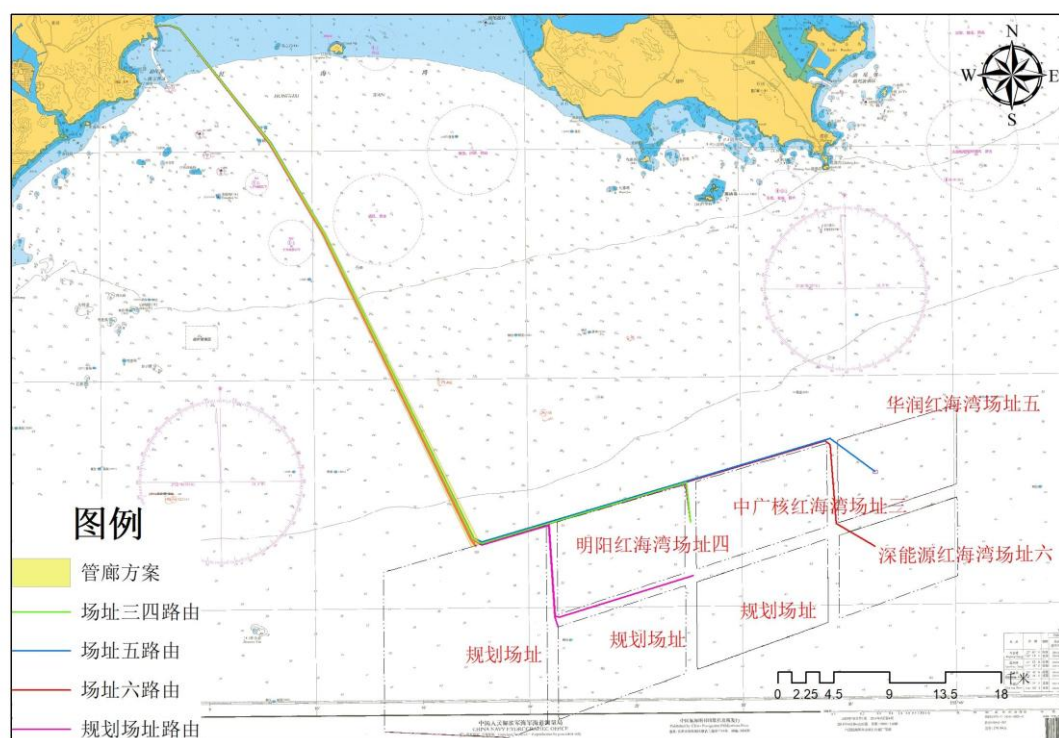


图 8.1.2-3 海底路由管廊布局示意图

鉴于本项目可以选择的路由走向有限，走路由管廊通道，可行且较为合理的方案的仅一条。

通过预选路由区的工程地质条件、自然环境条件、海洋开发活动、功能区划等的分析，并遵循“集约、节约用海”“共用海上管廊带”和“技术上可行、

经济上合理、安全可靠”的原则来推荐预选最佳的路由。

(1) 海底电缆各段预选路由方案所在海域工程环境条件均较为适宜，预选路由对所经过海域海洋功能区的主导功能影响不大；同时对周边海洋功能区产生的不利影响不大，与周边的主导海洋功能区也不产生排它性冲突。

(2) 因本次路由统筹考虑汕尾红海湾多个风电的路由走向，为保证其他后续路由有适当的安全距离通过。

(3) 方案统筹考虑了在建的风电场工程项目以及后期的风电场工程，充分体现了节约和集约用海的原则。

(4) 项目风电场场址和登陆点位置已确定，根据风电场和登陆点之间的海域环境条件分析可知，路由预选海区东侧为锚地，路由预选海区西侧为锚地、广东沿海主要港口进出港航路，根据路由选址尽量避开海上经济开发活跃区（含锚地）、保护区的原则，项目路由只能从上述锚地之间穿越。项目路由通道有限，并未有其他更多的可行方案，因此本项目路由选址具有唯一性。

综上所述，本项目路由选址具有最优性和唯一性。

目前设计登陆点不变，风电场内部风机排布和升压站位置重新排布，因此，送出海缆平面布置相较预选路由方案微调，但整体走向一致。

8.2.2 是否体现节约集约用海的原则

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024年12月30日），严格控制海上风电场实际占用海域面积，单位装机容量风电场面积等指标均要符合节约集约用海管控要求。本项目规划装机容量500MW，风电场场址水深34m~40m，距离陆地最近约21.8km，项目投资额569250万元，风电场外缘边线包络海域面积4850.4893公顷，项目申请用海面积429.1188公顷，风电场外缘边线包络范围内申请确权面积269.0647公顷。

(1) 单位装机容量风电场面积

单位装机容量风电场面积=风电场外包络线面积（公顷）/风电场装机容量（兆瓦）=4850.4893公顷/500MW=9.70公顷/兆瓦

(2) 海域利用率

海域利用率=风电场外包络线内海上风电项目用海确权面积和复合利用的养

殖网箱、海洋牧场、海上光伏、波浪能发电、制氢、储能等设施确权面积（公顷）/风电场外包络线面积（公顷） $\times 100\% = 269.0647$ 公顷/ 4850.4893 公顷 $\times 100\% = 5.55\%$

（3）投资强度

投资强度=固定资产总投资（万元）/项目用海确权面积（公顷）= 569250 万元/ 429.1188 公顷= 1326.60 万元/公顷

综上，本项目单位装机容量风电场面积 9.70 公顷/兆瓦，海域利用率 5.55% ，投资强度 1326.60 万元/公顷，符合“离岸 30 千米或水深大于 30 米，单位装机容量风电场面积 ≤ 15 公顷/兆瓦，投资强度 ≥ 800 万元/公顷”的要求。海域利用率作为鼓励性指标，包含风电场外包络线内海上风电项目用海确权面积和复合利用的养殖网箱、海洋牧场、海上光伏、波浪能发电、制氢、储能等设施确权面积（公顷），此次仅计算海上风电的用海面积，暂不符合 $\geq 6\%$ 的要求，本项目后续将在风电场内配套布置海洋牧场，提高海域利用率。而且根据《风电场工程微观选址技术规范》（NB/T 10103-2018）“6.1.6 风电场整体平均尾流损失宜小于 8% ，单台风电机组的尾流损失宜控制在 15% 以内”，本项目平均尾流损失达到 10.58% ，最大单机尾流损失为 15.58% ，若为了满足海域利用率 $\geq 6\%$ 的要求，减小风电场外包络面积，继续压缩风机布置行列间距会导致尾流影响急剧增加，影响机组安全性。因此本项目建设符合集约节约的原则，提高了该海域资源利用效率，同时实现发电效益最大。

综上，本项目用海平面布置体现了节约集约用海的原则。

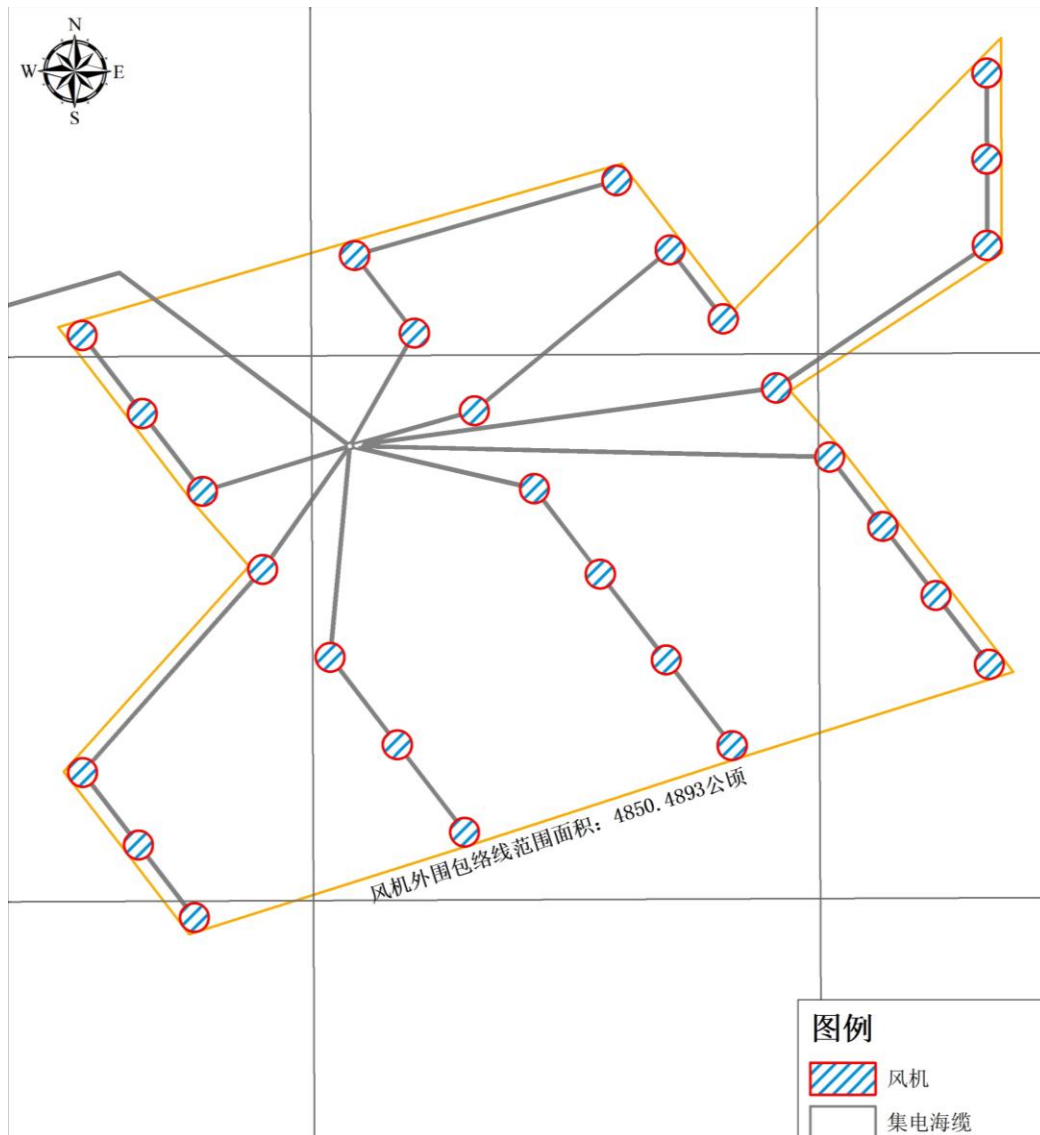


图 8.2.2-1 本项目风机外围风机包络范围示意图

表 8.2.2-1 节约集约控制指标表

序号	指标名称	指标值	本项目
		单机容量 ≥12 兆瓦	28 台 18MW
1	离岸距离和水深	离岸 30 千米，或水深大于 30 米。	离岸 21.8km、水深 34m~40m
2	单位装机容量风电场面积 (公顷/兆瓦)	≤15	9.70
3	海域利用率	≥6%	5.55%
4	投资强度 (万元/公顷)	≥800	1326.60

8.2.3 是否有利于生态和环境保护，并已避让生态敏感目标

本项目风机排布之间有一定的间距，对海洋水文、地形地貌与冲淤环境的

影响很小，基本不会对海域不可逆的生态影响。风机桩基基础采用导管架基础结构，基础采用桩基础型式，通过沉桩施工打入海床底土，桩基可发挥人工鱼礁的功能，本项目正式运营后，场区范围禁止捕捞作业，具备人工鱼礁的属性，对改善海域生态环境，营造海洋生物栖息的良好环境，为鱼类等提供繁殖、生长、索饵和庇敌的场所。因此，项目平面布置基本不会对所在海域的生态环境保护造成不良影响。

根据《海上风电开发建设管理办法》：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。本项目风电场布置在红海湾场址五，风电场场址避开了生态红线区、海洋保护区，符合相关要求。

8.2.4 能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响

本项目海底电缆埋设于海床以下，不会对水动力及冲淤环境造成影响。就数值模拟结果来看，风电场桩基建设造成的影响较为有限。在规划装机总容量500MW的前提下，现阶段方案采用的风电机组单机容量较大，风电机组所需布设的台数相对较少，桩基施工数量减少，有利于减缓项目建设对水文动力环境、冲淤环境的影响。根据现阶段平面布置方案，本项目建设对周边海域的水文动力环境、冲淤环境总体影响不大，影响范围基本局限于风电场规划场址范围及周边一定范围的海域。

8.2.5 能否最大程度地减少对周边其他用海活动的影响

根据本报告第6章，本项目所在及周边海域开发利用活动主要为航道、航路、锚地、海上风电项目、现状红树林等。通过加强与各方的沟通和合作，本项目海域开发利用具有较好的可协调性，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突，是相适宜的。

根据现阶段平面布置方案，本项目的开发建设可与周边其他用海活动相适应。

综上，项目用海平面布置是合理的。

8.3 用海方式合理性分析

本项目用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式），本节通过是否遵循尽最大可能不填海和少填海、不采用非透水构筑物，尽可能采用透水式、开放式的用海原则；能否最大程度地减少对海域自然属性的影响，是否有利于维护海域基本功能；能否最大程度地减少对区域海洋生态系统的影响；能否最大程度地减少对水文动力及冲淤环境的影响分析项目用海方式的合理性。

8.3.1 是否遵循尽最大可能不填海和少填海、不采用非透水构筑物，尽可能采用透水式、开放式的用海原则

本项目建设风机、海上升压站、海上无功补偿站和海底电缆，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道，不涉及填海和非透水构筑物用海，风机、海上升压站、海上无功补偿站采用了透水构筑物的方式，项目遵循了尽最大可能不填海和少填海、不采用非透水构筑物，尽可能采用透水式、开放式的用海原则。

8.3.2 能否最大程度地减少对海域自然属性的影响，是否有利于维护海域基本功能

本项目建设透水构筑物和海底电缆管道基本不改变海域的自然属性，能够保持水体的流通交换，对海域的使用不属于不可恢复，不涉及炸岛和围填海等，项目实施虽然会对所在海域的渔业资源造成一定的影响，但通过生态减缓和补偿措施，不影响海域主导功能的实现，能够维护海域基本功能。

8.3.3 能否最大程度地减少对区域海域生态系统的影响

本项目施工期间会对作业面的底栖生物和底栖生境造成完全破坏，栖息于

上述范围内的底栖生物将全部损失，部分游泳能力差的底栖生物如底栖鱼类、虾类也将因为躲避不及而被损伤或掩埋。另外，施工产生的悬浮泥沙也造成海洋生物一定的损失。本项目施工会产生悬浮泥沙，工程施工过程产生的悬浮物扩散和沉降后，对项目周边海域的沉积物环境质量不会产生明显变化。为弥补工程建设对海洋生态环境带来的不利影响，建设单位应做好环境保护工作和生态补偿工作，把不利影响降到最低。

项目桩基础施工及海底电缆铺设等将会引起部分底栖生物损失。同时，工程施工悬浮物会引起本海域生物种类和数量的减少，但是项目建成后，影响将逐渐消失，生物数量会慢慢恢复。项目用海方式及建设运营过程中对区域海洋生态系统的影响不大。可见，本项目建设对区域生态系统有一定影响，但可以通过增殖放流等措施进行生态补偿，本项目用海方式对区域海洋生态系统的影响是可以接受的。同时，项目风电场场址已优先避让生态保护红线区，尽量减小对生态保护重要区域和生态敏感目标的影响。

8.3.4 能否最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响

本项目透水构筑物和海底电缆管道用海能够保证水流的通畅，虽占用一定海域面积，但对整个水文动力环境、冲淤环境的影响并不大。因此，本项目用海方式能够最大程度减少对水文动力环境、冲淤环境的影响。

因此，本项目用海方式是合理的。

8.4 利用岸线合理性分析

本项目 500kV 送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠街道东侧海岸，华润海丰电厂“上大压小”新建工程厂区内，为基岩岸线。项目 500kV 送出海缆申请范围已避让华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属范围，申请用海范围不占用岸线，实际建设采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线 0.8m（见图 5.2.1-2）。

8.4.1 岸线利用必要性

本工程作为海上风电项目，项目 500kV 海底电缆的建设需占用岸线，是由其工程建设的特殊性质及项目建设的必要性决定的。

本项目海上风电场的送出方式为：海上风电机组发出的电能通过 66kV 集电海缆接入海上升压站，由海上升压站通过 500kV 海底电缆送出至陆上集控中心。海上升压站位于海中，陆上集控中心位于深汕合作区小漠街道，500kV 海底电缆是连接海上升压站和陆上集控中心的纽带，是将海上风电机组发出的电能输送至陆上集控中心必不可缺的一个环节。其路由、选型、回路等根据风电场装机容量、风电场的功能、海域周边环境、功能区种种因素确定，与汕尾市其他规划海上风电场海缆集中送出，是在充分考虑节约和集约利用海域和海岸线资源的原则确定的。

项目 500kV 送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠街道东侧海岸，华润海丰电厂“上大压小”新建工程厂区内，为基岩岸线。500kV 海底电缆登陆时采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线，由地底穿过岸线，因此，项目 500kV 海底电缆登陆段的建设穿越岸线是不可避免，也是必要的。

8.4.2 岸线利用合理性

本项目 500kV 送出海缆建设采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线，海底电缆铺设于海底，采用定向钻的施工方式由地底穿过岸线，无需开槽，不影响自然岸线长度、形态及生态功能。因此，项目 500kV 海底电缆登陆段的建设穿越岸线是合理的。

8.4.3 减少利用岸线的可能性

本项目穿越岸线长度是根据 500kV 海底电缆建设范围与广东省政府 2022 年批复海岸线的交点确定的。500kV 海底电缆是连接海上升压站和陆上集控中心的纽带，其路由、选型、回路等是根据风电场装机容量、风电场的功能、海域周边环境、功能区种种因素确定的，与汕尾市其他规划海上风电场海缆由路由管廊带集中送出，是在充分考虑节约和集约利用海域和海岸线资源的原则确定

的，目前已无减少穿越岸线长度的可能性。

8.4.4 海岸线占补分析

根据《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法的通知》（粤自然资规字〔2025〕1号），“海岸线占补是指项目建设占用海岸线（包括大陆岸线和海岛岸线，均包含自然岸线和人工岸线）导致海岸线原有形态或生态功能发生变化，要进行海岸线整治修复，形成生态恢复岸线，实现海岸线占用与修复补充相平衡。《关于推动我省海域和无居民海岛使用“放管服”改革工作的意见》（粤府办〔2017〕62号）印发后（即2017年10月15日后），在我省海域内申请用海涉及占用海岸线的项目，必须落实海岸线占补。”

本项目500kV送出海缆登陆点位于深汕合作区小漠街道东侧海岸，华润海丰电厂“上大压小”新建工程厂区内，为基岩岸线。项目500kV送出海缆申请范围已避让华润海丰电厂“上大压小”新建工程权属范围，申请用海范围不占用岸线，实际建设采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线，海底电缆铺设于海底，采用定向钻的施工方式由地底穿过岸线，无需开槽，不会导致自然岸线长度、原有形态及生态功能发生改变，不进行岸线占补。

8.5 用海面积合理性分析

本项目申请总用海面积为429.1188公顷，其中透水构筑物用海面积为187.5274公顷，海底电缆管道用海面积为241.5914公顷，项目500kV送出海缆和66kV集电海缆采用立体确权。

表 8.5-1 项目申请用海面积统计表

用海单元	用海方式	用海面积（公顷）	各用海方式用海面积合计（公顷）
风机	透水构筑物	186.7600	187.5274
海上升压站		0.3818	
海上无功补偿站		0.3856	
66kV 集电海缆	海底电缆管道	76.9472	241.5914
500kV 送出海缆		164.6442	
项目用海总面积（公顷）			429.1188

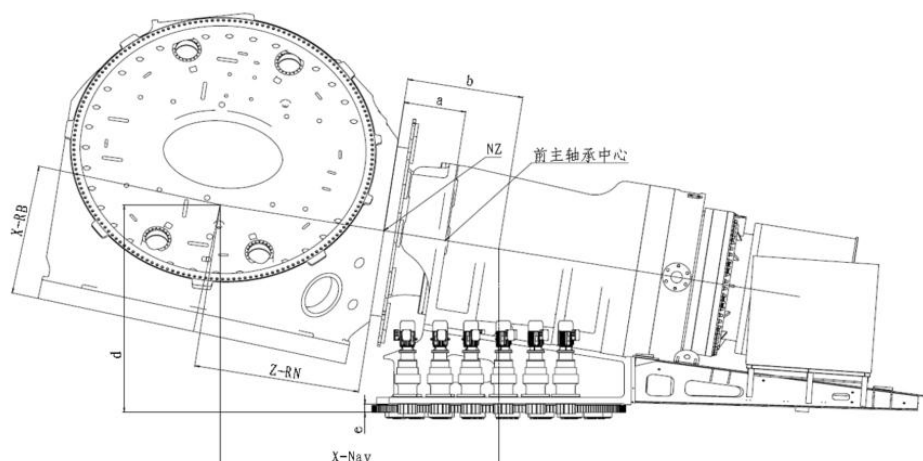
8.5.1 用海面积合理性分析内容

8.5.1.1 项目用海面积是否满足项目用海需求

(1) 风电机组用海需求

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024 年 12 月 30 日）“海上风电项目风机部分用海方式界定为透水构筑物用海，用海范围包括塔架部分和塔架外扩一定距离的保护范围，具体以塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界。”

本项目规划场址范围内拟布置 28 台 18MW 风电机组，18MW 风轮直径为 291.12m（半径 L 为 145.56m），轮毂中心和塔筒中心轴线的水平距离为 6.458m，详见图 8.5.1-1。计算得 18MW 风机塔架中心点与风机叶片投影最外缘点连线长度 r 为 145.71m，详见图 8.5.1-2。因此 1 台 18MW 风机占用海域面积为 6.6700 公顷，则本项目 28 台 18MW 用海需求为 186.7600 公顷。



机舱截面示意图

图中，轮毂中心和塔筒中心轴线的水平距离 $X-Nav$ 为 6458mm。

图 8.5.1-1 18MW 风机机舱截面示意图

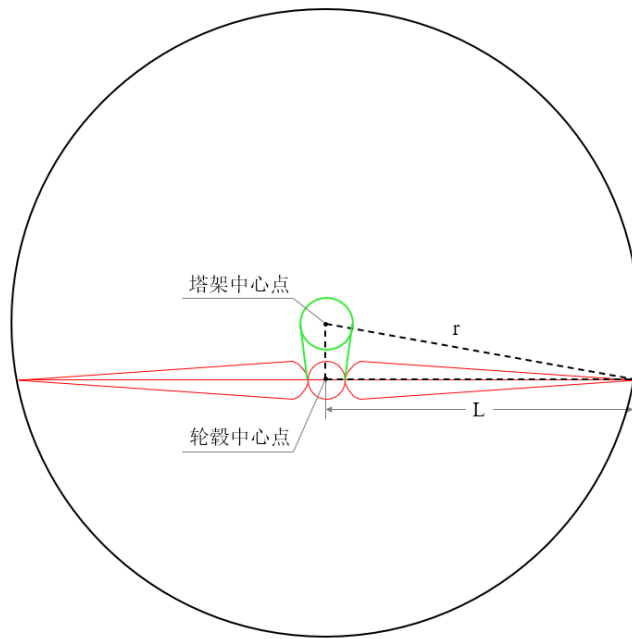


图 8.5.1-2 风机用海范围界定示意图

(2) 海上升压站、海上无功补偿站用海需求

本项目拟布置 1 座 500kV 海上升压站和 1 座 500kV 海上无功补偿站，均为四桩导管架基础结构。海上升压站上部平台最外边缘轮廓平面尺寸为 39.85m×43.80m，下部四桩导管架基础根开为 34.20m×37.20m，桩径为 4.5m；海上无功补偿站上部平台最外缘尺寸为 41.50m×37.15m，下部四桩导管架基础根开为 33.8m×38.9m，桩径为 3.8m。综合考虑上部平台及下部导管架结构尺寸，海上升压站垂直投影最外缘尺寸为 39.85m×43.80m，海上无功补偿站垂直投影最外缘尺寸为 41.50m×42.70m。

本项目海上升压站、海上无功补偿站用海面积根据《海籍调查规范》“透水构筑物用海有安全防护要求的透水构筑物用海在透水构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线基础上，外扩不小于 10m 保护距离为界”进行界定，则海上升压站、海上无功补偿站申请用海面积由垂直投影外缘向外扩 10m 确定申请用海范围。本项目海上升压站用海需求为 0.3818 公顷，海上无功补偿站用海需求为 0.3856 公顷。

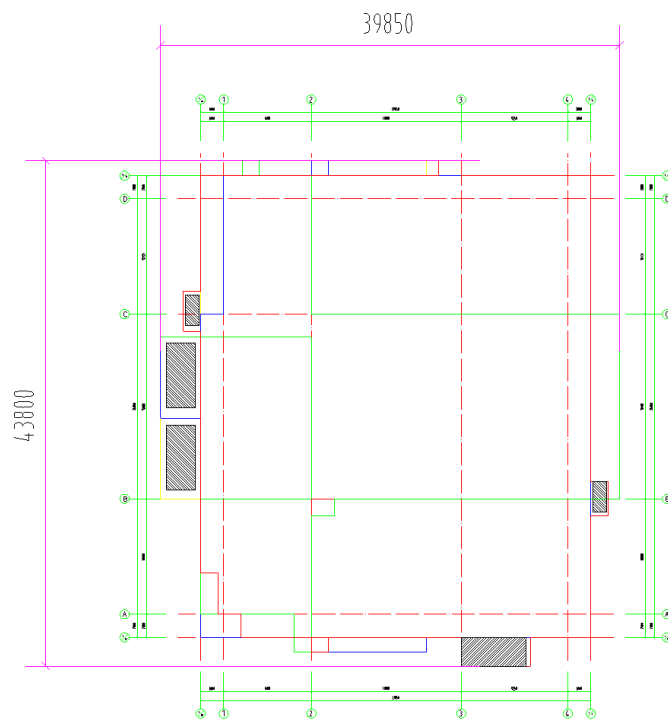


图 8.5.1-3a 海上升压站上部平台最外边缘轮廓平面尺寸 (单位: mm)

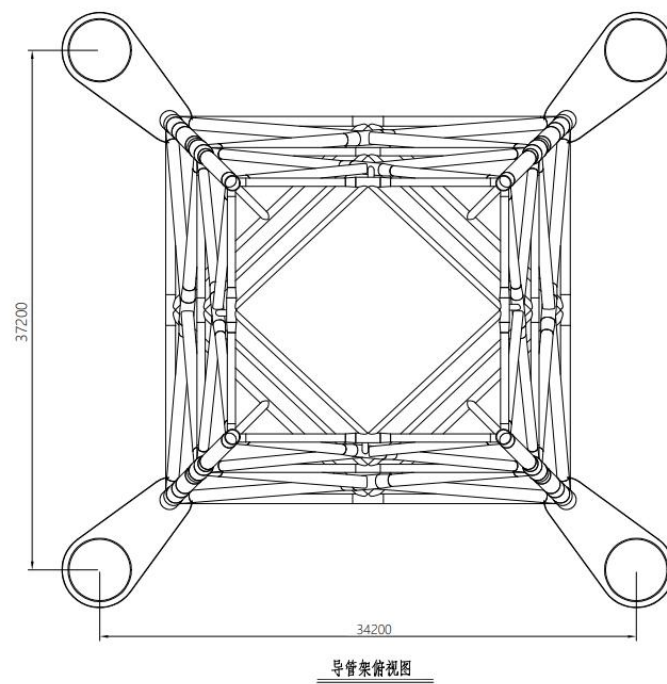


图 8.5.1-3b 海上升压站导管架俯视图 (单位: mm)

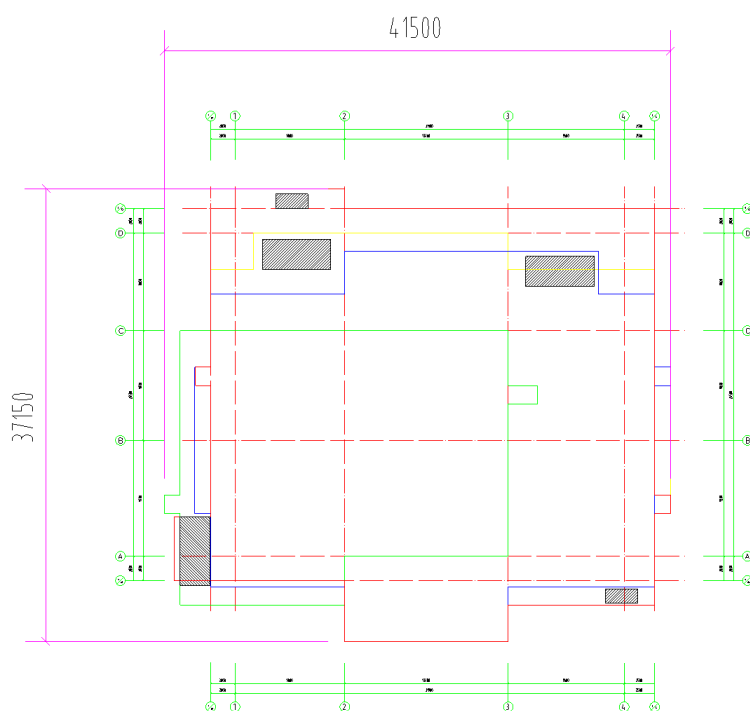


图 8.5.1-4a 海上无功补偿站上部平台最外边缘轮廓平面尺寸（单位：mm）

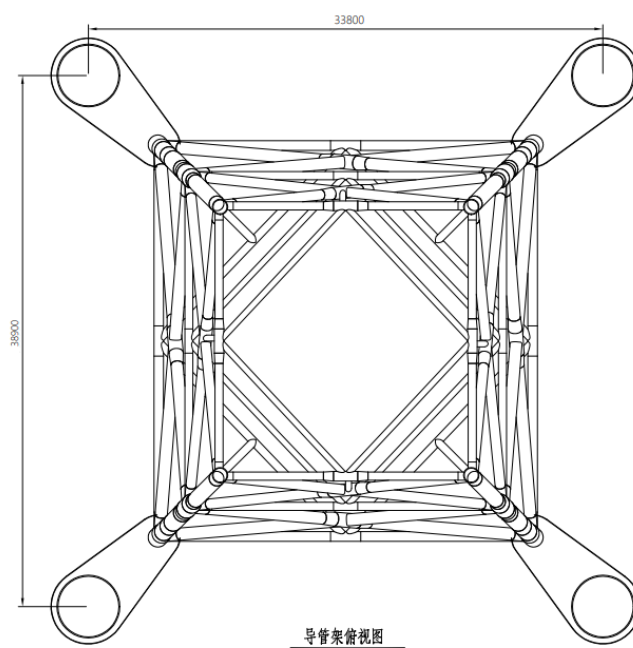


图 8.5.1-4b 海上补偿站导管架俯视图（单位：mm）

（3）集电电缆用海需求

本项目风电机组发出电能需通过 66kV 集电海底电缆接入海上升压站。本项目风电场址内集电海缆全长约 45.45km，66kV 海底电缆三芯集电电缆宽度为 190.1mm。

根据项目需要，66kV 集电海缆占用海域面积为 $190.1 \times 45.45 \times 10^{-4} = 0.8640$ 公顷。根据《海籍调查规范》中海底工程用海对电缆管道的规定：“以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界”，再结合海底电缆的路由布置，考虑 66kV 集电海缆与风机基础、海上升压站用海重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机基础和海上升压站用海优先，海底电缆次之，扣除风机、海上升压站用海与 66kV 集电海缆重叠面积，计算得出本项目 66kV 集电海缆用海需求为 76.9472 公顷。

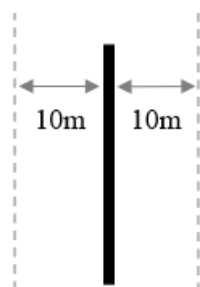


图 8.5.1-5 海底电缆用海范围界定示意图

(4) 500kV 送出海底电缆用海需求

根据项目需要，风电机组发出电能通过集电海底电缆接入海上升压站后需通过 500kV 送出海底电缆接入海上无功补偿站，最终送入陆上集控中心。500kV 送出海底电缆直径为 298.3mm，500kV 送出海底电缆长度为 83.72km，500kV 送出海底电缆占用海域面积为 2.4974 公顷。

根据《海籍调查规范》中海底工程用海对电缆管道的规定：“以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界”，再结合海底电缆的路由布置，考虑本项目 500kV 送出海底电缆与海上升压站、海上无功补偿站用海范围重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即海上升压站、海上无功补偿站用海优先，海底电缆次之，扣除海上升压站、海上无功补偿站用海与 500kV 送出海底电缆重叠面积；本项目送出海缆用海范围与华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海重叠，本项目申请范围对重叠部分进行避让。此外，由于本项目送出海缆与深能汕尾红海湾六海上风电项目近岸段敷设距离近，不满足电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离，两个项目送出海缆埋深基本一致，且同时申请用海，为了避免出现水平方向的权属重叠，本项目与深能汕尾红海湾六海上风电项目对送出海缆近岸段之间的海域按照均分进行用海申请。计算得出本项目 500kV 送出海底电缆用海需求为

164.6442 公顷。

8.5.1.2 是否符合相关行业的设计标准和规范

(1) 项目用海面积符合用海控制指标要求

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024 年 12 月 30 日），严格控制海上风电场实际占用海域面积，单位装机容量风电场面积等指标均要符合节约集约用海管控要求。本项目规划装机容量 500MW，风电场场址水深在 34m~40m 之间，与陆地最近距离约 21.8km，风电场外缘边线包络海域面积 4850.4893 公顷，单位装机容量风电场面积约 9.70 公顷/兆瓦，海域利用率为 5.55%，投资强度 1326.60 万元/公顷，符合“离岸 30 千米或水深大于 30 米，单位装机容量风电场面积 ≤ 15 公顷/兆瓦，投资强度 ≥ 800 万元/公顷”的要求。海域利用率作为鼓励性指标，包含风电场外包络线内海上风电项目用海确权面积和复合利用的养殖网箱、海洋牧场、海上光伏、波浪能发电、制氢、储能等设施确权面积（公顷），此次仅计算海上风电的用海面积，暂不符合 $\geq 6\%$ 的要求，本项目后续将在风电场内配套布置海洋牧场，提高海域利用率。而且根据《风电场工程微观选址技术规范》（NB/T 10103-2018）“6.1.6 风电场整体平均尾流损失宜小于 8%，单台风电机组的尾流损失宜控制在 15%以内”，本项目平均尾流损失达到 10.58%，最大单机尾流损失为 15.58%，若为了满足海域利用率 $\geq 6\%$ 的要求，减小风电场外包络面积，继续压缩风机布置行列间距会导致尾流影响急剧增加，影响机组安全性。

(2) 与《风力发电场设计技术规范》等风电行业规范相符合

本项目风电场的设计按照《风力发电机组设计要求》（GB/T 18451.1-2012）、《风力发电场设计技术规范》（DL/T 5383-2007）、《风电场工程等级划分及设计安全标准》（FD 002-2007）、《风电机组地基基础设计规定》（FD 003-2007）、《风力发电场设计规范》（GB 51096-2015）、《海上风电场工程施工组织设计技术规定》（NB/T 31033-2012）等专业技术规范标准进行，海底电缆的布设满足《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T 51190-2016）、《海底电缆管道路由勘察规范》（GB 17502-2009）等的要求，本项目设计符合风电等相关规范的设计要求。

(3) 与《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》《海

籍调查规范》和《海域使用面积测量规范》相符合

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/T 123-2009），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）。

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024年12月30日）“海上风电项目风机部分用海方式界定为透水构筑物用海，用海范围包括塔架部分和塔架外扩一定距离的保护范围，具体以塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界。”根据《海籍调查规范》中第5.4.2.5节电力工业用海，“海上风力发电使用的海底电缆，以电缆管道外缘线向两侧外扩10m距离为界”；“透水构筑物用海有安全防护要求的透水构筑物用海在透水构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线基础上，外扩不小于10m保护距离为界”。

本项目风机以其塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界确定界址点；海上升压站、海上无功补偿站以其垂直投影的外缘线外扩10m确定界址点；500kV送出海缆、66kV集电海缆以其外缘线向两侧外扩10m距离为界确定界址点。

同时，《海籍调查规范》中规定：当几种用海方式的用海范围发生重叠时，重叠部分应归入现行海域使用金征收标准较高的用海方式的用海范围。本项目海底电缆用海以外缘线向两侧外扩10m距离为界，500kV送出海缆、66kV集电海缆与风机、海上升压站、海上无功补偿站用海面积部分重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机和海上升压站、海上无功补偿站用海优先，海底电缆次之，重叠部分面积扣除。

另外，《海籍调查规范》中还规定：避免权属争议，宗海界址界定应保障海域使用权人的正常生产活动，避免毗连宗海之间相互重叠，避免将宗海范围界定至公共使用的海域内。本项目送出海缆用海范围与华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海重叠，该项目于2013年取得用海

批复，为避免用海重叠，本项目申请范围对重叠部分进行避让。此外，本项目送出海缆与深能汕尾红海湾六海上风电项目近岸段敷设距离近，不满足电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离，两个项目送出海缆埋深基本一致，且同时申请用海，为了避免出现水平方向的权属重叠，本项目与深能汕尾红海湾六海上风电项目对送出海缆近岸段之间的海域按照均分进行用海申请。

按照《海域使用面积测量技术规范》，本次论证项目拟申请用海面积是根据坐标解析法进行计算的，利用经外扩后的各点平面坐标计算面积，借助于软件计算功能直接求得透水构筑物及海底电缆管道用海面积。

因此，本项目拟申请用海面积的界定符合相关管理办法的要求。

8.5.1.3 减少项目用海面积的可能性

本项目风电场的设计在满足风电工程尾流控制和安全性等需求的基础上，已经按照集约节约用海的原则，并以尽可能减少风电场占用海域面积为目标，对本项目的平面布置做了优化。现阶段，综合考虑机组安全性、发电效益等因素，根据建设单位的实际用海需求，结合总平面布置进行量算，现阶段已无减少用海面积的可能性。

8.5.2 宗海图绘制

8.5.2.1 测量相关说明

（1）宗海测量相关说明

根据《海域使用分类》《海籍调查规范》，广东海兰图环境技术研究有限公司负责进行本项目海域使用测量，测绘资质证书号为：乙测资字 44518541。

（2）执行的技术标准

《海域使用面积测量规范》（HY070-2022）；

《海域使用分类》（HY/T123-2009）；

《海籍调查规范》（HY/T124-2009）；

《宗海图编绘技术规范》（HY/T251-2018）；

《海域立体分层设权宗海范围界定指南（试行）》（自然资源部，2023 年 11 月）；

《广东省海域使用权立体分层设权宗海范围界定及宗海图编绘技术规范（试行）》（广东省自然资源厅，2024年6月）。

8.5.2.2 宗海界址点的确定

本宗海有透水构筑物、海底电缆管道共两种用海方式，共 57 个用海单元构成，其中透水构筑物（风机、海上升压站、海上无功补偿站）用海单元 30 个，海底电缆管道（66kV 集电海缆、500kV 送出海缆）用海单元 27 个。

1）风机用海界址以其塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界确定，18MW 风机用海半径为 145.71m；

2）海上升压站和海上无功补偿站以其垂直投影的外缘线外扩 10m 距离为界确定；

3）海底电缆用海界址是根据海底电缆设计宽度外扩 10m 距离为界确定。

本项目海底电缆用海以外缘线向两侧外扩 10m 距离为界，500kV 送出海缆、66kV 集电海缆与风机、海上升压站、海上无功补偿站用海面积部分重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机和海上升压站、海上无功补偿站用海优先，海底电缆次之，重叠部分面积扣除。

8.5.2.3 宗海图绘制

（1）宗海图的绘制方法

宗海位置图采海军航保部 2015 年出版、图号为 15300 的海图，图式采用 1998 年版，墨卡托投影，2000 国家大地坐标系，深度以理论最低潮面为基准（单位：米），高程以 1985 年国家高程为基准（单位：米），比例尺为 1:250000。将上述图件作为宗海位置图的底图，根据海图上附载的方格网经纬度坐标，将用海位置叠加之上述图件中，并填上《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）上要求的其他海籍要素，形成宗海位置图。

（2）宗海平面布置图的绘制

利用委托方提供的项目平面布置图及数字化地形图作为宗海平面图的基础数据，在软件界面下，形成有地形图及用海布置图等为底图，以用海界线形成不同颜色区分的用海区域，绘出项目宗海平面布置图。

（3）宗海界址图绘制

利用委托方提供的项目平面布置图及数字化地形图作为宗海平面图的基础数据，利用软件矢量化地形图作为宗海界址图的底图，根据《海籍调查规范》《宗海图编绘技术规范》对宗海和宗海内部单元的界定原则，形成不同用海单元的界址范围。

（4）宗海立体空间范围示意图的绘制方法

根据《海域立体分层设权宗海范围界定指南（试行）》和《广东省海域使用权立体分层设权宗海范围界定及宗海图编绘技术规范（试行）》的绘制要求，利用相关软件绘制宗海立体空间范围示意图。

8.5.2.4 宗海界址点坐标及面积的计算方法

（1）宗海界址点坐标的计算方法

宗海界址点在软件中绘制属于高斯投影下的平面坐标，高斯投影平面坐标转化为大地坐标（经纬度）即运用了高斯反算过程所使用的高斯反算公式算出。根据数字化宗海平面图上所载的界址点 CGCS2000 大地坐标系，利用相关测量专业的坐标换算软件，输入必要的转换条件，自动将各界址点的平面坐标换算成以高斯投影、115°30'为中央子午线的 CGCS2000 大地坐标。

高斯投影反算公式：

$$l = \frac{1}{\cos B_f} \left(\frac{y}{N_f} \right) \left[1 - \frac{1}{6} (1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) \left(\frac{y}{N_f} \right)^2 + \frac{1}{120} (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 t_f^2) \left(\frac{y}{N_f} \right)^4 \right]$$

$$B = B_f - \frac{t_f}{2M_f} y \left(\frac{y}{N_f} \right) \left[1 - \frac{1}{12} (5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2) \left(\frac{y}{N_f} \right)^2 + \frac{1}{360} (61 + 90t_f^2 + 45t_f^4) \left(\frac{y}{N_f} \right)^4 \right]$$

（2）宗海面积的计算方法

本次宗海面积计算采用坐标解析法进行面积计算，即利用经外扩后的各点平面坐标计算面积。借助于软件计算功能直接求得用海面积。

（3）宗海面积的计算结果

根据《海籍调查规范》及本项目用海类型，界定本项目用海为 1 宗海，宗海面积 429.1188 公顷，有透水构筑物、海底电缆管道共两种用海方式，共 57 个

用海单元构成，其中风机（透水构筑物）用海面积 186.7600 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 0.3818 公顷，海上无功补偿站（透水构筑物）用海面积 0.3856 公顷，66kV 集电海缆（海底电缆管道）用海面积 76.9472 公顷，500kV 送出海缆（海底电缆管道）用海面积 164.6442 公顷。

8.5.3 项目用海面积量算

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/T 123-2009），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），用海方式为透水构筑物和海底电缆管道。按照《海域使用面积测量技术规范》，本次论证项目申请用海面积是根据坐标解析法进行面积计算，利用经外扩后的各点平面坐标计算面积，借助于软件的计算功能直接求得。

因此，本项目申请用海面积的界定符合《海籍调查规范》《海域使用面积测量规范》等相关规范的要求。

本项目宗海位置图见图 8.5.3-1，宗海平面布置图见图 8.5.3-2，宗海界址图见图 8.5.3-3。

华润汕尾红海湾五海上风电项目宗海位置图

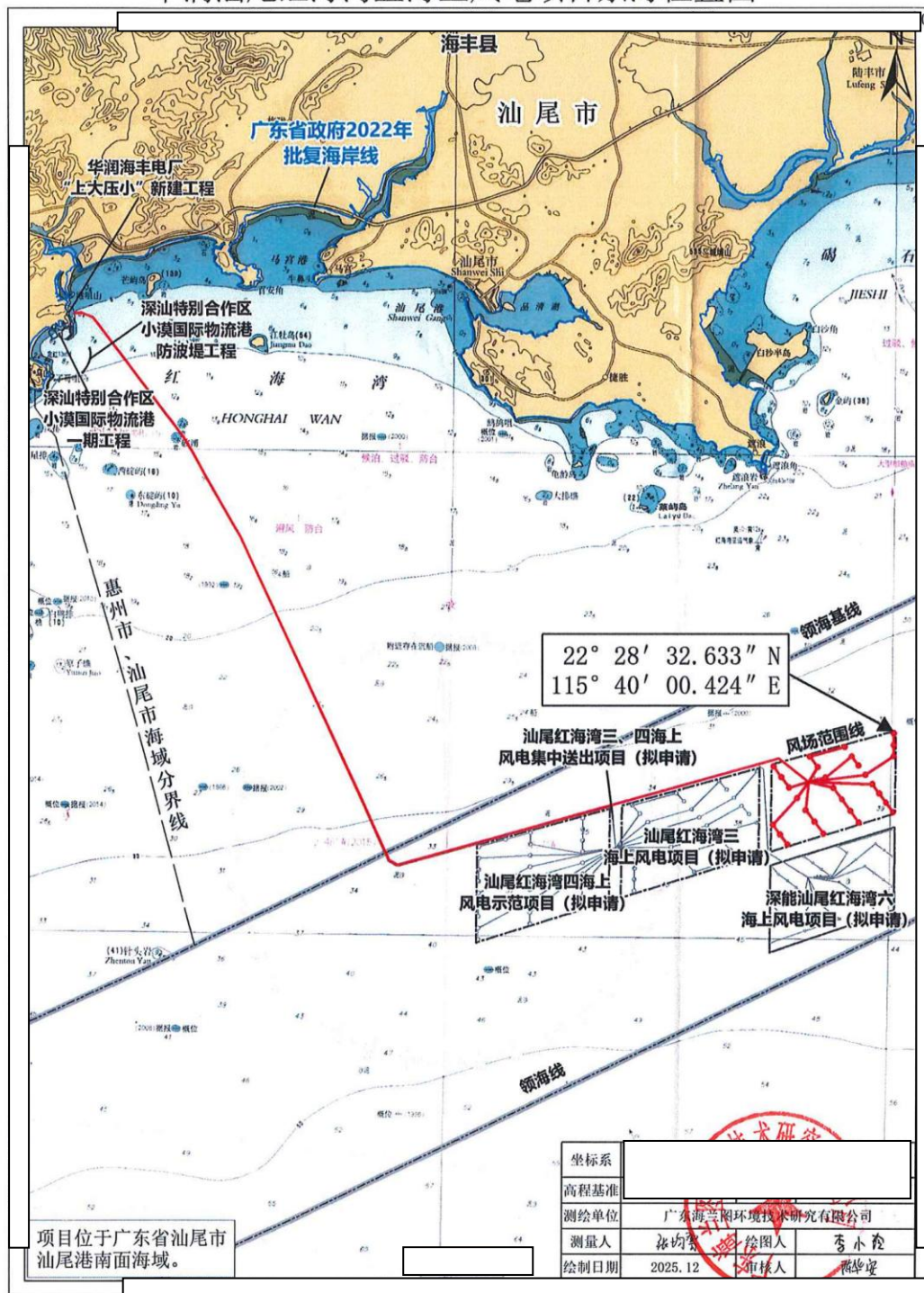


图 8.5.3-1 项目宗海位置图

华润汕尾红海湾五海上风电项目宗海平面布置图

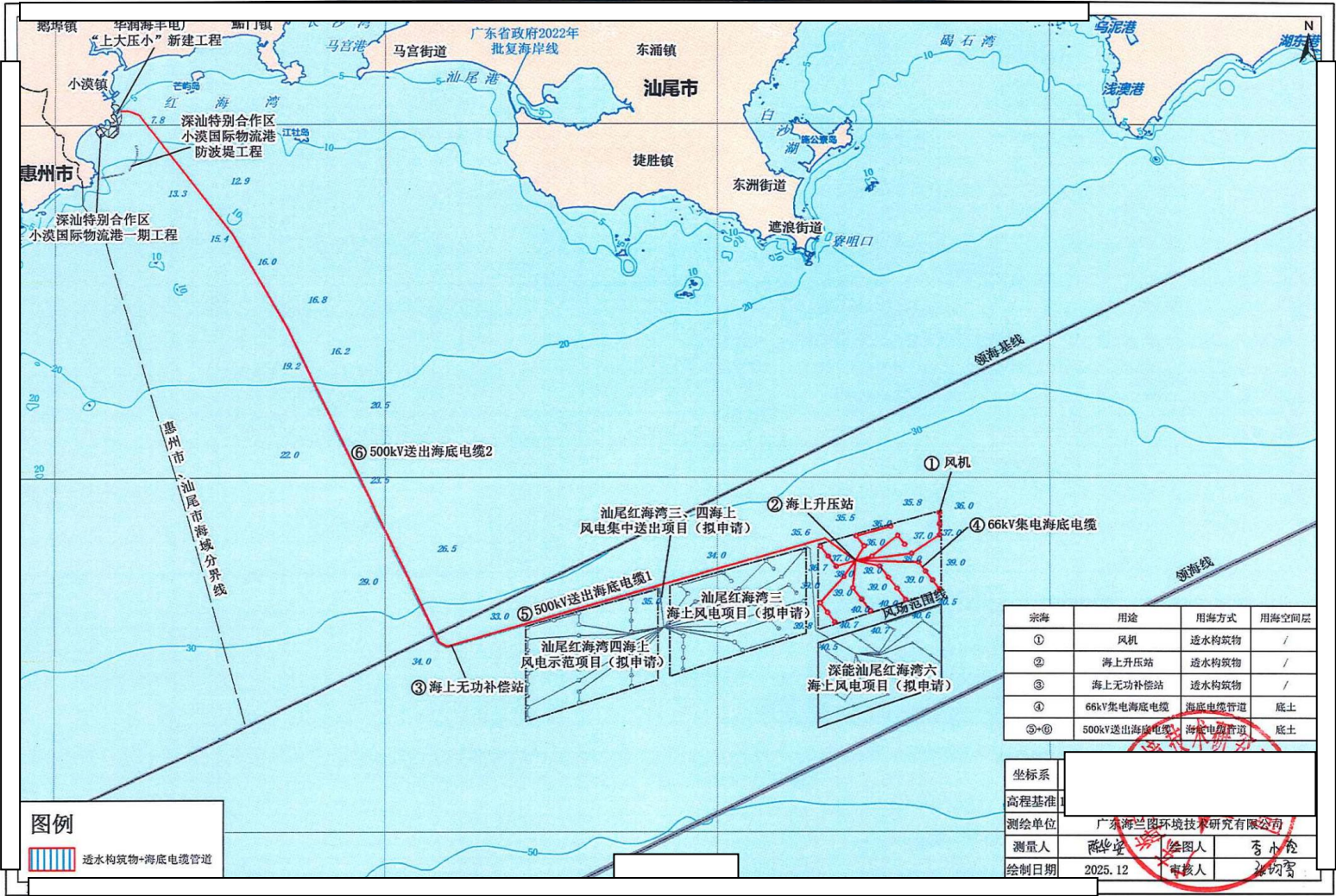


图 8.5.3-2 项目宗海平面布置图

华润汕尾红海湾五海上风电项目（风机、海上升压站及海上无功补偿站）宗海界址图

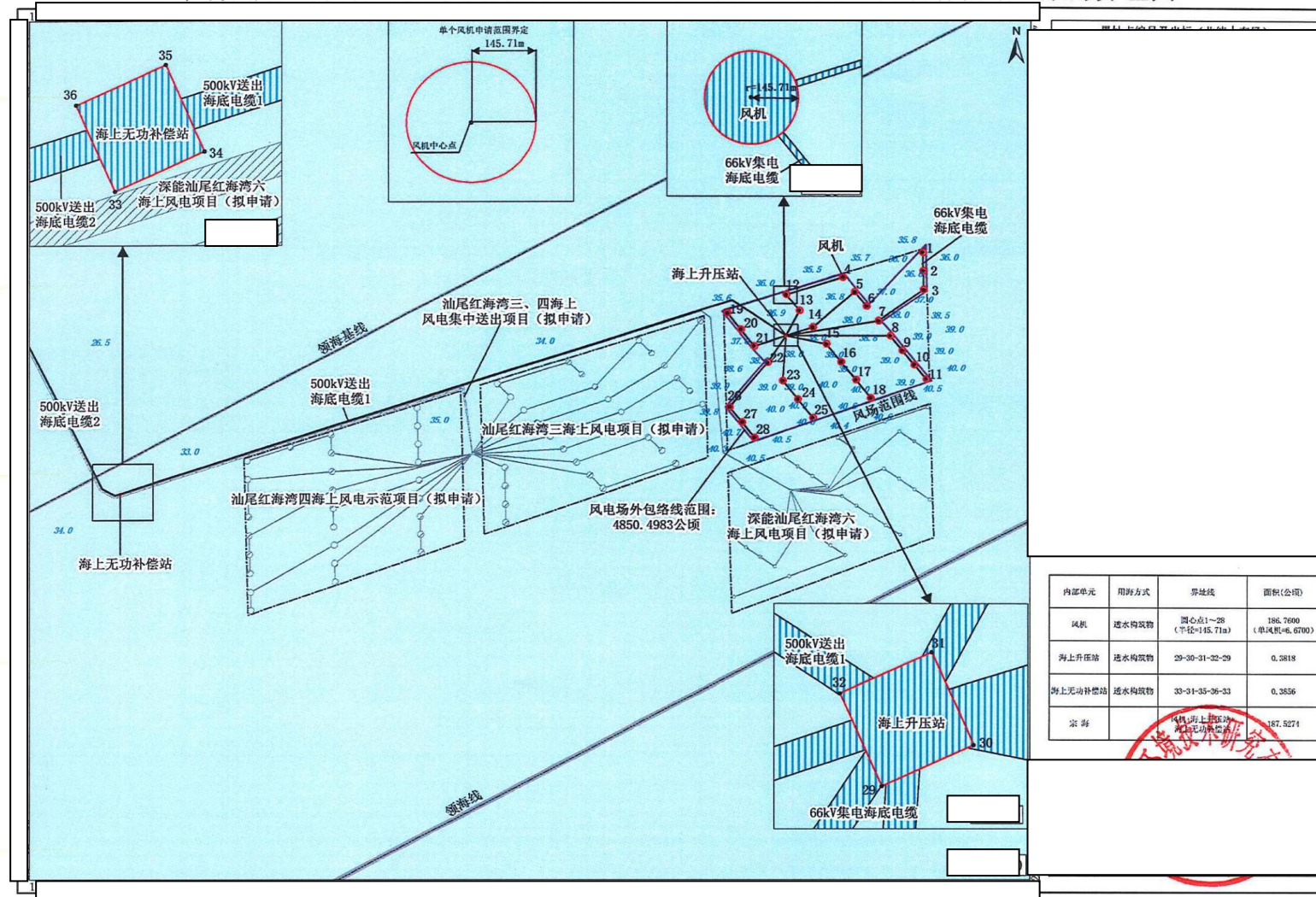


图 8.5.3-3a 项目宗海界址图（风机、海上升压站及海上无功补偿站）

华润汕尾红海湾五海上风电项目（66kV集电海底电缆）宗海界址图

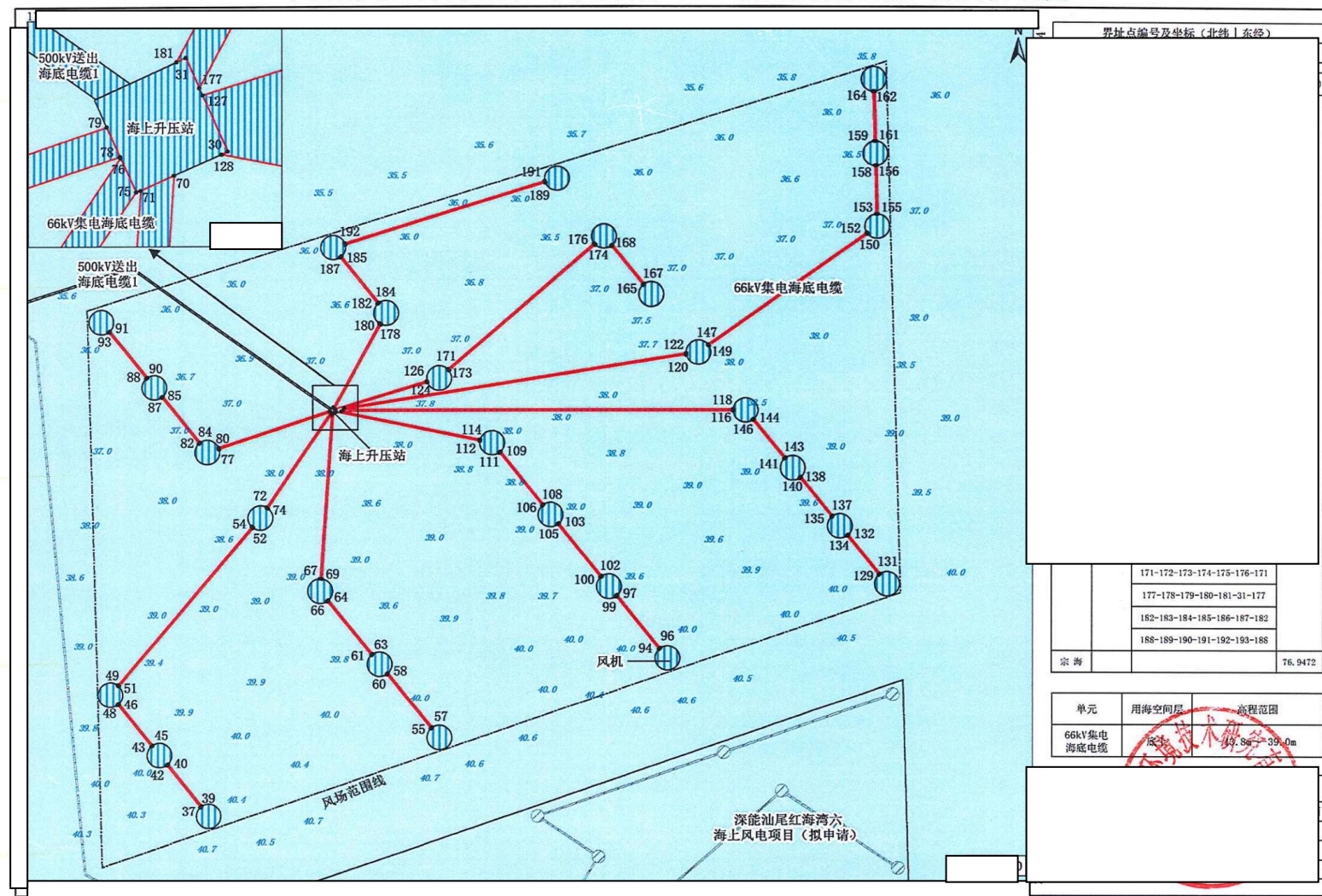
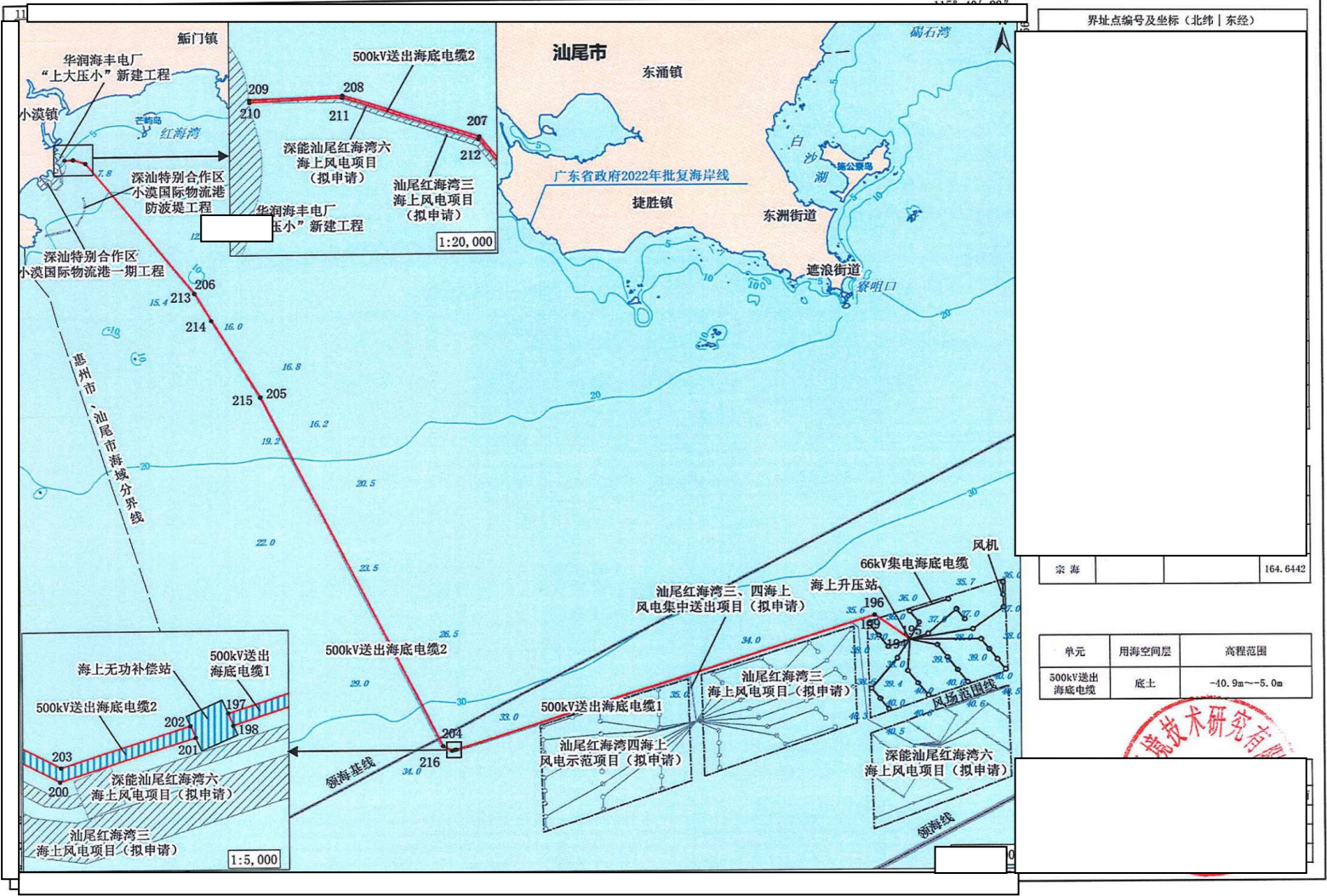


图 8.5.3-3b 项目宗海界址图（66kV 集电海底电缆）

华润汕尾红海湾五海上风电项目（500kV送出海底电缆）宗海界址图



华润汕尾红海湾五海上风电项目（66kV集电海底电缆）宗海立体空间范围示意图

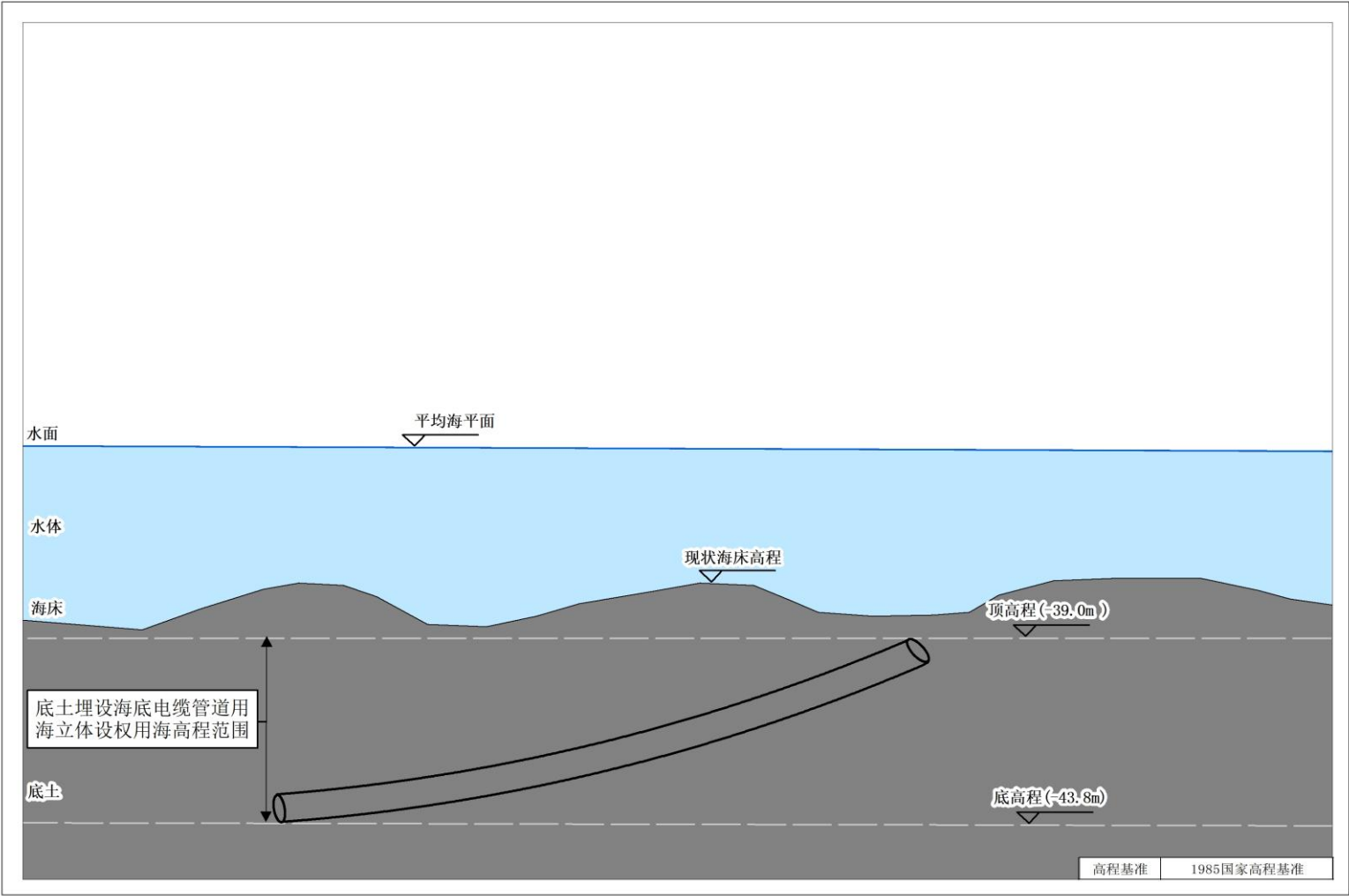


图 8.5.3-3d 项目宗海立体空间范围示意图（66kV 集电海底电缆）

华润汕尾红海湾五海上风电项目（500kV送出海底电缆）宗海立体空间范围示意图

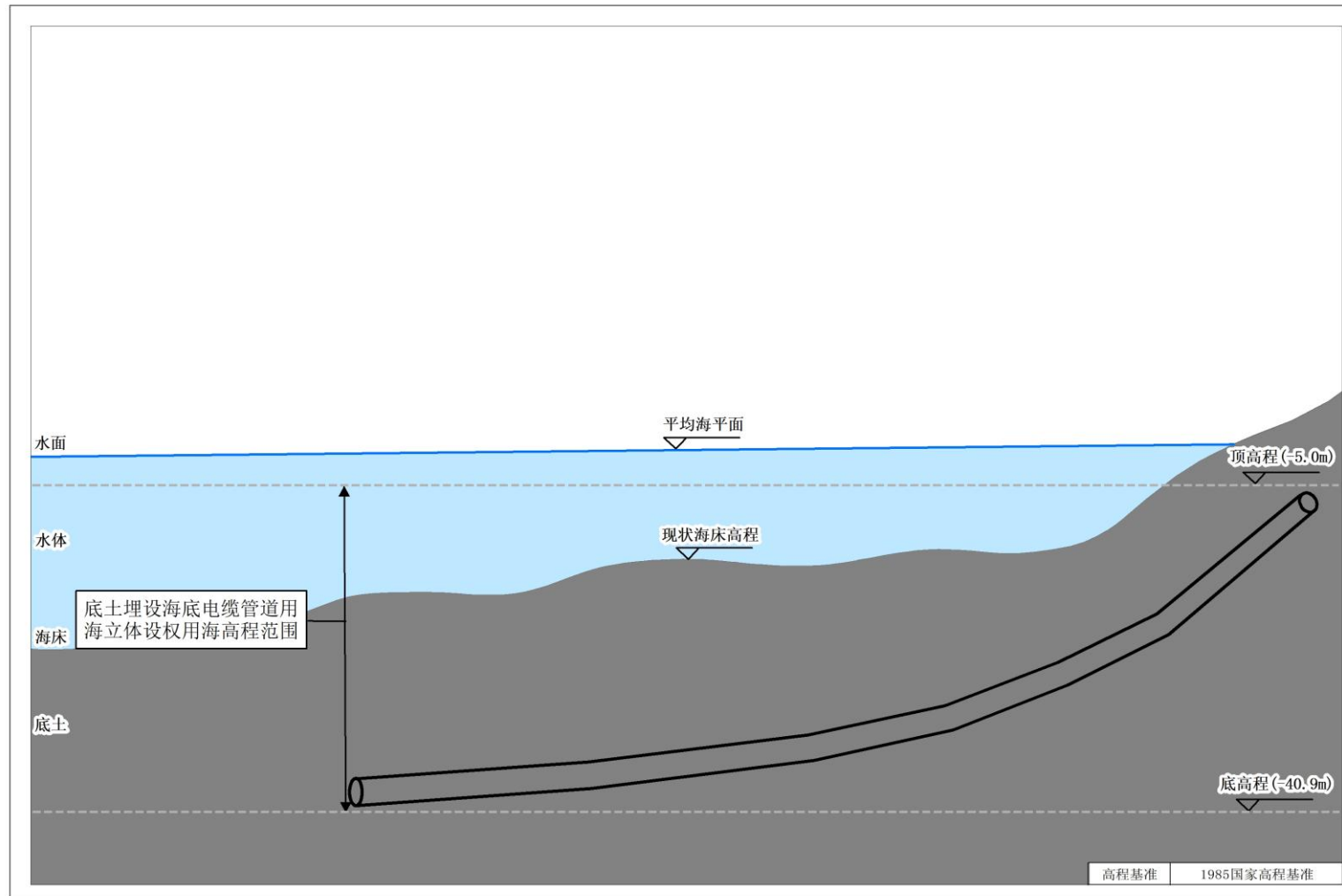


图 8.5.3-4 项目宗海立体空间范围示意图（500kV 送出海底电缆）

表 8.5.3-2a 项目宗海界址点（1）

附页1 华润汕尾红海湾五海上风电项目宗海界址点（1）

界址点编号及坐标（北纬 东经）			
1		41	
2		42	
3		43	
4		44	
5		45	
6		46	
7		47	
8		48	
9		49	
10		50	
11		51	
12		52	
13		53	
14		54	
15		55	
16		56	
17		57	
18		58	
19		59	
20		60	
21		61	
22		62	
23		63	
24		64	
25		65	
26		66	
27		67	
28		68	
29		69	
30		70	
31		71	
32		72	
33		73	
34		74	
35		75	
36		76	
37		77	
38		78	
39		79	
40		80	

测绘单位	广东海兰图环境技术研究有限公司		
测量人	陈华俊	绘图人	李小龙
绘制日期	2025.12.23	审核人	张均智

表 8.5.3-2b 项目宗海界址点（2）

附页1 华润汕尾红海湾五海上风电项目宗海界址点（2）

界址点编号及坐标（北纬 东经）			
81		121	
82		122	
83		123	
84		124	
85		125	
86		126	
87		127	
88		128	
89		129	
90		130	
91		131	
92		132	
93		133	
94		134	
95		135	
96		136	
97		137	
98		138	
99		139	
100		140	
101		141	
102		142	
103		143	
104		144	
105		145	
106		146	
107		147	
108		148	
109		149	
110		150	
111		151	
112		152	
113		153	
114		154	
115		155	
116		156	
117		157	
118		158	
119		159	
120		160	

测绘单位	广东海兰图环境技术研究有限公司		
测量人	陈华俊	绘图人	李小龙
绘制日期	2025.12.1	审核人	张均霄

表 8.5.3-2c 项目宗海界址点（3）

附页1 华润汕尾红海湾五海上风电项目宗海界址点（3）

界址点编号及坐标（北纬 东经）			
161		201	
162		202	
163		203	
164		204	
165		205	
166		206	
167		207	
168		208	
169		209	
170		210	
171		211	
172		212	
173		213	
174		214	
175		215	
176		216	
177			
178			
179			
180			
181			
182			
183			
184			
185			
186			
187			
188			
189			
190			
191			
192			
193			
194			
195			
196			
197			
198			
199			
200			

测绘单位	广东海兰图环境技术研究有限公司		
测量人	陈华填	绘图人	李小龙
绘制日期	2025. 12	审核人	张均贤

表 8.5.3-3 项目宗海界址线表

附页2 华润汕尾红海湾五海上风电项目界址线表

内部单元	用海方式	序号	界址线	面积（公顷）
66kV集电 海底电缆	海底电缆 管道	1	37-38-39-40-41-42-37	1.2922
		2	43-44-45-46-47-48-43	1.2922
		3	49-50-51-52-53-54-49	4.9829
		4	55-56-57-58-59-60-55	1.6791
		5	61-62-63-64-65-66-61	1.6779
		6	67-68-69-70-71-67	3.9835
		7	72-73-.....80-81-72	5.5421
		8	82-83-84-85-86-87-82	1.4319
		9	88-89-90-91-92-93-88	1.436
		10	94-95-96-97-98-99-94	1.6318
		11	100-101-102-103-104-105-100	1.6302
		12	106-107-108-109-110-111-106	1.629
		13	112-113-.....126-127-30-128-112	23.5836
		14	129-130-131-132-133-134-129	1.2016
		15	135-136-137-138-139-140-135	1.2028
		16	141-142-143-144-145-146-141	1.2044
		17	147-148-149-150-151-152-147	4.6364
		18	153-154-155-156-157-158-153	1.1808
		19	159-160-161-162-163-164-159	1.1808
		20	165-166-167-168-169-170-165	1.2029
		21	171-172-173-174-175-176-171	4.6099
		22	177-178-179-180-181-31-177	2.3082
		23	182-183-184-185-186-187-182	1.4246
		24	188-189-190-191-192-193-188	5.0024

测绘单位	广东海兰图环境技术研究有限公司		
测量人	陈华安	绘图人	李小龙
绘制日期	2025.12	审核人	张均霄

8.6 立体设权合理性分析

8.6.1 立体设权范围

本项目 500kV 送出海缆将风电场发出的电能从海上升压站输送至陆上集控中心，埋深为 0~4m，由底土敷设至华润海丰电厂“上大压小”新建工程厂区内基岩岸线上，登陆段采用定向钻施工方式。由于本项目送出海缆用海范围与华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海重叠，该项目于 2013 年取得用海批复，非立体设权，考虑利益相关可协调性，本项目送出海缆申请用海范围对该重叠部分进行避让。

本项目 500kV 送出海缆和 66kV 集电海缆采用立体确权，确权空间范围为底土，500kV 送出海缆空间确权范围为-40.9m~-5.0m（1985 国家高程基准），66kV 集电海缆空间确权范围为-43.8m~-39.0m（1985 国家高程基准）。

华润汕尾红海湾五海上风电项目（500kV送海底电缆）宗海立体空间范围示意图

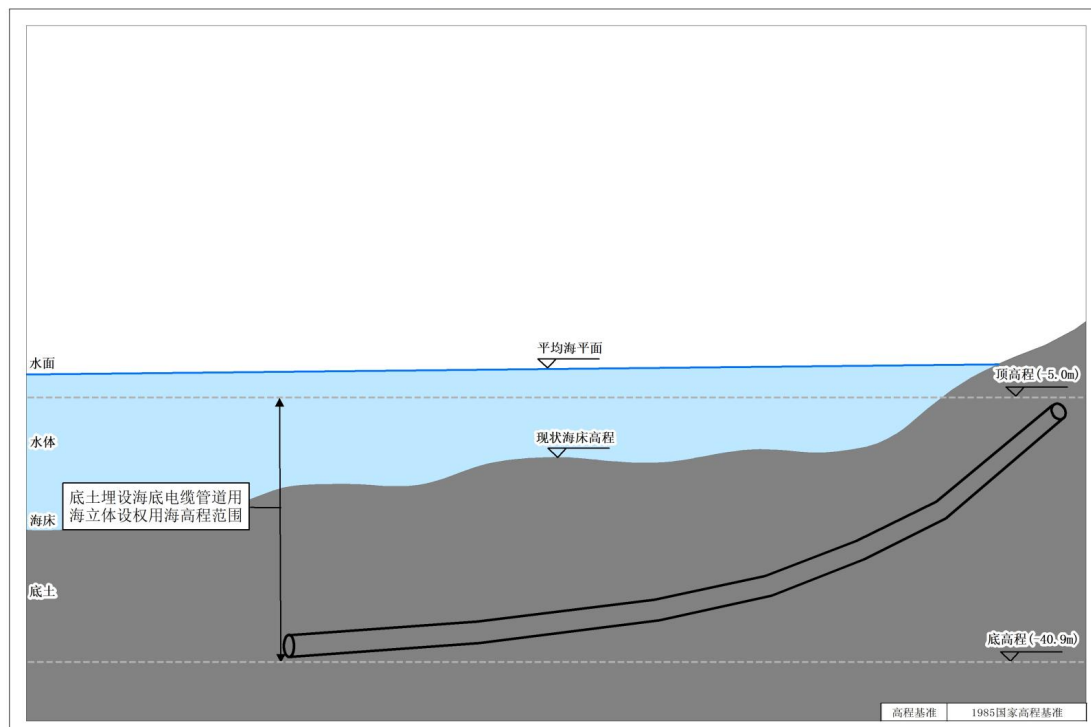


图 8.6.1-1 66kV 集电海缆宗海立体空间范围示意图

华润汕尾红海湾五海上风电项目（500kV送出海底电缆）宗海立体空间范围示意图

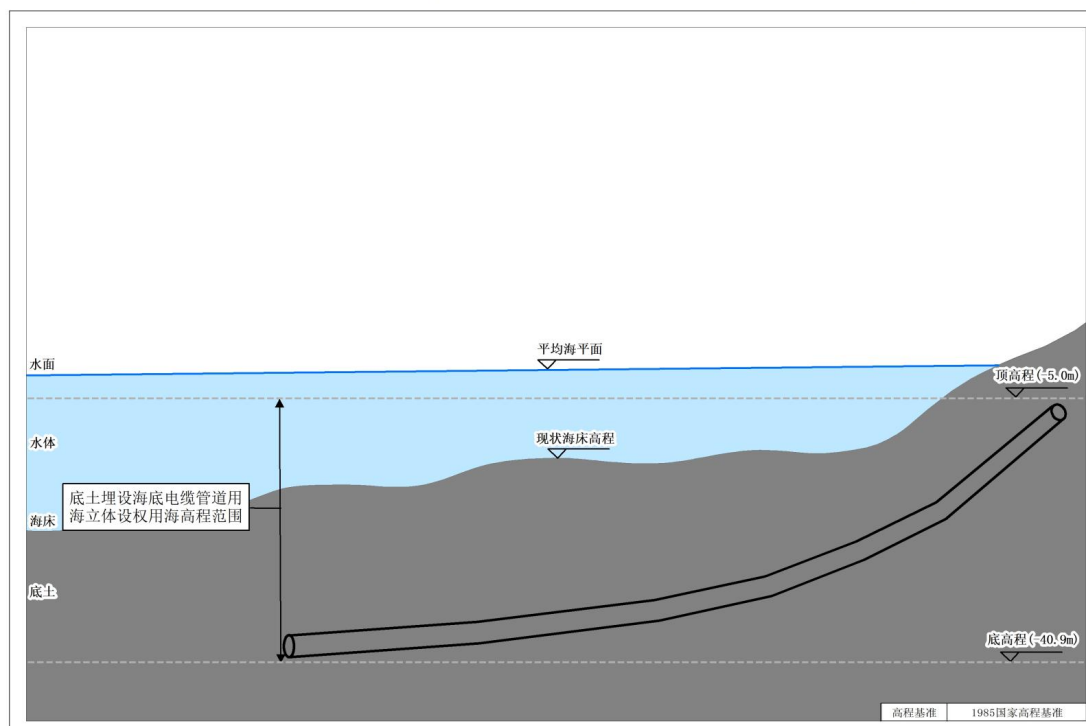


图 8.6.1-2 500kV 送出海底电缆宗海立体空间范围示意图

8.6.2 立体设权可行性分析

8.6.2.1 海域管理政策的可行性分析

《中华人民共和国海域使用管理法》所称海域，是指中华人民共和国内水、领海的水面、水体、海床和底土。根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）5.2.5宗海垂向范围界定，“遇特殊需要时，应根据项目用海占用水面、水体、海床和底土的实际情况，界定宗海的垂向使用范围”。

《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》（自然资规〔2023〕8号）提出“海域是包括水面、水体、海床和底土在内的立体空间。对排他性使用海域特定立体空间的用海活动，同一海域其他立体空间范围仍可继续排他使用的，可仅对其使用的相应海域立体空间设置海域使用权。在不影响国防安全、海上交通安全、工程安全及防灾减灾等前提下，鼓励对跨海桥梁、养殖、温（冷）排水、海底电缆管道、海底隧道等用海进行立体分层设权，生产经营活动存在冲突的除外。其他用海活动经严格论证具备立体分层设权条件的，也可进行立体分层设权。”

根据《广东省自然资源厅关于推进海域使用权立体分层设权的通知》（广东省自然资源厅，2023 年 9 月 18 日），海域使用权立体分层设权的范围包含海底电缆管道。

本项目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），本项目 66kV 集电海缆和 500kV 送出海底电缆拟用海方式为海底电缆管道，采取立体确权，500kV 送出海底电缆登陆段考虑避让华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海权属范围，不存在利益冲突，因此，本项目 66kV 集电海缆和 500kV 送出海底电缆（扣除穿越华润海丰电厂“上大压小”新建工程用海权属范围段）拟采取立体确权，符合相关海域管理要求，提高了海域有限资源的利用效率。

8.6.2.2 利益相关者可协调性

根据《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》（自然资规〔2023〕8 号），在已设定海域使用权的海域进行立体分层设权，应与原海域使用权人协商一致达成协议后按程序办理用海手续，确保新设海域使用权与原海域使用权不存在权属冲突。本项目所在海域开阔，集电海缆用海范围与周边用海活动不存在权属重叠，送出海缆用海范围与华润海丰电厂“上大压小”新建工程的专用航道、锚地及其他开放式用海重叠，该项目于 2013 年取得用海批复，非立体设权，考虑利益相关可协调性，本项目 500kV 送出海缆申请用海范围对该重叠部分进行避让。

8.6.2.3 立体空间布置的合理性

根据《中华人民共和国海域使用管理法》，海域是指“中华人民共和国内水、领海的水面、水体、海床和底土”，明确海域是立体的空间资源且包含 4 个层次。从海域空间资源上看，每个层面的海域资源都有其特定的开发利用价值，本项目海底电缆进行立体化开发利用将会大大提高海域资源的集约利用的程度，对不同层面的海域进行确权，提高了海域空间资源的产权效率。本项目采用平面界址“四至”坐标和竖向分层的海籍信息表达方式，其中，宗海竖向边界采用“水面”“水体”“海床”“底土”定性表述及 1985 高程范围定量表述结合，海底电缆宗海竖向边界范围根据设计标高确定，能够满足项目所需的

海域空间承载范围。

8.6.3 立体设权必要性分析

随着海洋经济快速发展，用海需求持续增加，海域空间资源稀缺性日益凸显。开展海域立体分层设权是完善海域资源资产产权制度、丰富海域使用权权能的重要举措，也是缓解用海矛盾、提高资源利用效率的必然选择，对于促进海域资源节约集约利用和有效保护、推动海洋经济高质量发展、加强海洋生态文明建设具有重要意义。本项目占用空间面积较大，项目选址于广东省汕尾市建设，能够充分利用该地区丰富空间资源，实现海域资源的有效利用。本项目与周边海域开发活动可利用不同层次的海域空间，具备立体设权的条件。

立体分层设权的项目用海，按照“一物一权、一证一缴”的方式征收海域使用金，同一海域立体分层设权的每一个项目，均视为独立的征收对象，依据其用海方式，分别按规定征收海域使用金，根据 8.6.2 节分析，本项目立体设权符合相关海域管理要求，提高了海域有限资源的利用效率。

综合以上分析，本项目采取立体设权方式用海，具有必要性。

8.7 用海期限合理性分析

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）。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条海域使用权最高期限，按照下列用途确定：

- （一）养殖用海十五年；
- （二）拆船用海二十年；
- （三）旅游、娱乐用海二十五年；

（四）盐业、矿业用海三十年；

（五）公益事业用海四十年；

（六）港口、修造船厂等建设工程用海五十年。

本项目风机的设计服务年限为 25 年，总工期计划为 14 个月，因此，本项目申请用海期限为 27 年，可以满足项目设计年限和用途需求，符合相关规定，是合理的。

海域使用权期限届满，海域使用权人需要继续使用海域的，应当至迟于期限届满前二个月向原批准用海的人民政府申请续期。已建海上风电项目海域使用权到期后不再续期的，要按照《海域使用管理法》等相关法律法规要求，拆除风机、桩基、海底电缆等用海设施，恢复海域原状，避免影响海上交通等其他用海活动。若海域使用权到期后不再续期，建议拆除期限纳入批复用海期限。

因此，项目用海期限是合理的。

9 生态用海对策措施

9.1 主要生态问题

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/T 123 2009），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）。本项目送出海底电缆以定向钻的方式穿越基岩岸线，不会对海缆所穿越的岸线原有形态或生态功能造成影响。根据前文资源生态影响预测分析结果，项目建设可能产生的主要生态问题为海洋生物资源损失。

9.2 生态用海对策

9.2.1 生态保护对策

9.2.1.1 设计阶段生态保护对策

本项目设计体现了生态化理念，项目风电场场址避让了生态红线保护区、航道和锚地等，尽可能减少项目对海洋自然资源的占用。

9.2.1.2 施工期生态保护对策

（1）对海域底栖生物影响的减缓措施

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

②严格限制施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③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。

（2）对渔业资源和渔业生产影响的减缓措施

①施工中的大直径单桩水下冲击式打桩将对周围海域的海洋生物的行为活动将带来一定影响。鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出预测，在时间上控制一次一桩，首桩打设采用较低功率的“软启动”方法。

②施工期水下打桩中应严格确立在距离桩基一定范围为鱼类受水下噪声影响的危险区域，在该危险距离范围内应对鱼类、进行可能的驱赶、搬移等工作。

③注意鱼类在遭到水下噪声影响时所处的生命周期，避免鱼类在繁殖期、产卵期时的施工。

④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施工期的一般施工活动中，应注意施工机械和运输机械的维护和更新，尽量采用低噪声环保机械，避免噪声过大的运输船只在海上运输作业。

⑥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。

⑦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。

（3）对重要经济鱼类资源“三场一通道”影响的减缓措施

①为保护工程海域周边的生物资源，应合理规划施工布局，海缆敷设和打桩施工时应尽量降低施工强度，尽可能减少悬浮物扩散范围，以减小悬浮扩散对产卵场的影响；如为保证海缆连续不间断铺设要求而无法完全避开，则在上述海域施工时应尽量降低施工强度，以减小悬浮扩散对产卵场、索饵场、越冬场渔业资源的损失影响，并做好相关渔业资源修复补偿工作。

②在设计、工程施工时，严格遵守有关设计和相关规定，完善环保设施，采取积极措施，尽量减少对海洋环境质量的影响，如遇突发性涉海污染事故，应及时报告保护区管理部门，并采取积极的措施，将对渔业损失的污染影响程度降低到最小。

③在邻近保护区段的海缆施工应控制施工速度，以减轻悬浮物扩散的影响。

(4) 鸟类保护措施

施工时应应对风电场施工机械及人员进行严格管理，禁止捕杀鸟类。

合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过风电场址时应适当降低施工强度，必要时停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小工程施工对鸟类的影响。

施工过程中，严格控制光源使用量，减少使用红色闪光灯和钠蒸汽灯，对光源进行遮蔽，减少漏光量，尤其是在有大雾或强逆风的夜晚，应该停止施工，减小施工对鸟类的影响。

(5) 海龟保护措施

①施工时设定安全范围，施工区域发现海龟，应立即停止作业，对海龟进行观测和驱赶，一旦发现异常，应与相关部门联系。

②施工期水下打桩中应严格确立在距离桩基一定范围为海龟受水下噪声影响的危险区域，在该保护距离范围内应对海龟进行可能的驱赶、搬移等工作。

③合理安排施工进度、位置和控制施工船速，所有施工机械均应保持良好的性能状态，以减少施工噪音的累加效应，降低对海龟的可能影响。除抢修或必须夜间连续作业外，严格禁止在夜间进行产生噪声污染的施工作业。

④在海上风机组吊装安装作业时，吊装船上的工作人员与场地施工观察员保持密切联系，保证吊装安装作业的准确度和稳定度，以免产生安装误差，多次反复安装产生过多噪声污染。

⑤施工首桩“软启动”和水下噪声监测。由于施工期相对时间较短，同时海龟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缩短总的施工时间，另一方面在打桩中每分钟的打桩次数减少。在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，驱赶海龟游离作业区到达一定距离外的安全海域。在首次打桩施工中进行水下噪声监测，以更准确掌握该海域中的水下噪声源强和传播特性。

⑥水下打桩使用隔离套筒，在打桩锤上敷设隔音及消音材料，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。或者采用更小的桩型等方法，以衰减水下打桩的噪声。

⑦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。

⑧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。

9.2.1.3 运营期生态保护对策

（1）减轻风机噪声对海洋生物资源的影响

风机噪声主要包括机械和结构噪声、空气动力噪声以及通风设备噪声。

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，这部分噪声是能够控制的，其主要途径是避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能量，以降低振动噪声。

风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并辐射产生噪声。为降低风机噪声源强，建议可以在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

（2）含油废弃物收集措施

对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此，在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴；废油应存在专设的废油箱中，含油的连通软管和其他含油废物（揩布、废滤网）应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后，应将含油废物等一并送交具有工业固体废物（含废液）、危险化学品及危险废物处理资质的环保产业开发有限公司处理。

9.2.1.4 台风风险防范措施

台风是强烈的热带气旋，是发生在热带海洋上的中心附近最大风力达到 12 级以上的暖性低压强烈天气系统。台风对风电场的可能造成的损害包括：台风夹带的细小沙砾造成破坏叶片表面，轻则影响叶片气动性能，产生噪音，严重的将破坏叶片表面强韧性由此降低叶片整体强度；台风带来的狂风暴雨对输电

线路的破坏；台风破坏测风装置，使风力发电机组不能正确偏航避风，设备不能降低受风面积，超过设计载荷极限，使设备遭到破坏；台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷，最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限，导致引起部件机械磨损，缩短风力发电机组的寿命，严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

本项目风机选型时已考虑到台风影响，为减少台风给风电场带来的损失，根据台风的破坏机理本报告提出下列防范措施：

（1）施工期防范措施

①施工期间应尽量选择避开台风季节，在台风季节施工应做好各项防台抗台预案和安全措施，以减轻灾害带来的损失。

②根据工程特点，编制相关抵御热带气旋和台风暴潮入侵的详细计划，并严格贯彻执行。

③按规定及时收听预报信息，按照防台应急预案，做好防抗台风工作。警惕热带气旋预兆及“热带低压”的突然袭击。

④施工作业船在施工前应认真查阅有关航行通电、通告及潮汐表等资料，防止搁浅、风灾等事故发生；应按时收听气象预报，遇有暴雨、台风等恶劣气候，严格遵守有关航行规定，服从海事主管部门的指挥。

⑤工程完工后，应加强对工程区域的监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的用海风险和对环境影响降低到最小程度。

（2）运营期防范措施

①推荐使用装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

②推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

③加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

④运营期应定期进行桩基监测，并根据监测结果来评估结果及时制定相应

的安全措施。

⑤建立台风预警与响应机制。与气象部门建立专线联系，实时跟踪台风路径、强度和预报；制定详细的《台风应急响应预案》，明确不同预警级别下的行动清单、责任人和撤离程序。

⑥台风来临前的预防性检查与加固。对塔筒内外壁、基础防腐层、螺栓紧固状态、逃生设施等进行全面检查；在规定时间窗口内，有序组织海上运维人员撤离。

⑦台风过境后，利用无人机、船舶雷达、SCADA 系统数据等进行远程初步评估，判断风场整体受损情况。在确保海况安全后，立即组织团队登机检查。重点检查结构裂纹、涂层损伤、设备进水、基础冲刷等。对关键部位进行无损探伤（如超声波检测）。根据损伤评估结果，制定相应修复计划。

9.2.2 生态跟踪监测

本项目论证范围内存在珊瑚礁、红树林典型生态系统，项目建设对珊瑚礁和红树林无影响，因此不针对其进行监测。

本项目建设海上风电场，用海方式包括透水构筑物 and 海底电缆管道，根据资源生态影响分析结果，结合《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）相关管理要求，提出生态跟踪监测方案，包括生态监测内容、站位、频次等主要内容。

9.2.2.1 施工期环境监测

施工期对海水水质、沉积物质量、海洋生物质量、海洋生态、水下噪声进行监测，如有问题应及时采取防治措施。建设单位应委托有资质的单位开展施工期环境监测。

本项目监测站位在本报告海洋环境现状调查站位中选取与项目距离较近的站位，包括水质调查站位 20 个，沉积物调查站位 10 个，海洋生物质量监测站位 3 个，海洋生物生态和渔业资源调查站位 12 个。此外，布设水下噪声监测站位 9 个，与水下噪声现状调查站位保持一致。监测过程中可视情况做适当的调整。

（1）海水水质

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。

监测项目：水深、水温、盐度、pH、悬浮物、COD、BOD₅、DO、无机氮、活性磷酸盐、石油类、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、硒、镍、挥发性酚、硅酸盐。

监测站位：共布设 20 个监测站位，监测点位见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（2）沉积物质量

监测项目：粒度、有机碳、pH、石油类、硫化物、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷。

监测站位：共布设 10 个监测站位，监测点位见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（3）海洋生物质量

监测项目：总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、石油烃等。

监测站位：共布设 3 个监测站位，监测点位见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（4）海洋生态

监测项目：叶绿素 a 和初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源（鱼卵仔稚鱼、游泳生物）。

监测站位：共布设 12 个监测站位，监测点位见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（5）水下噪声

监测项目：噪声频带有效声压级、噪声声压谱级。

监测位置：在风电场施工区域布设 9 个噪声监测点，与现状调查站位保持一致，监测点位见表 9.2.2-2 和图 9.2.2-2。

监测频率：施工前监测 1 次，施工期高峰期监测一次（对打桩作业进行监测）。昼间噪声监测时段为晨 6:00～晚 10:00，夜间噪声监测时段为晚 10:00～晨

6:00，分别监测 15min（避开生物产卵期）。

施工期由受委托监测站根据工程施工进度按监测计划进行监测，若有异常情况应及时通知当地自然资源行政主管部门和当地生态环境局，以便采取相应的对策措施。

表 9.2.2-1 施工期海洋环境监测站位坐标表（不公开）



图 9.2.2-1 施工期海洋环境监测站位图

表 9.2.2-2 水下噪声监测站位坐标（不公开）

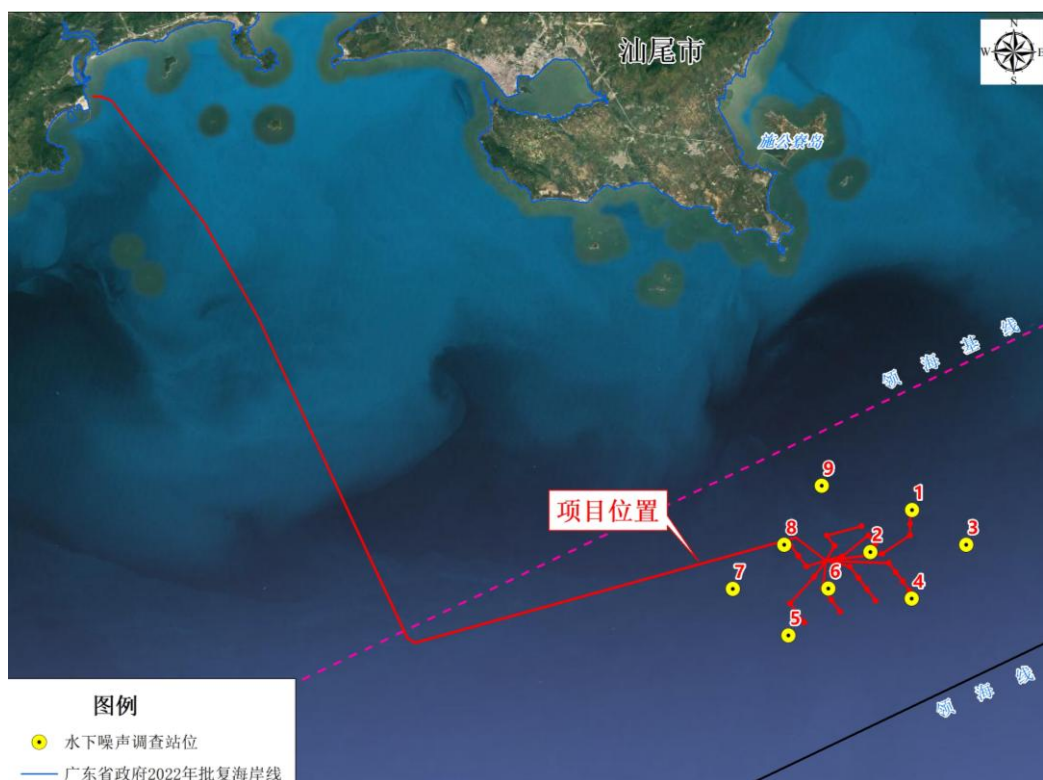


图 9.2.2-2 水下噪声监测站位图

9.2.2.2 运营期环境监测

运营期对海水水质、沉积物质量、海洋生物质量、海洋生态、地形地貌与冲淤、水下噪声、电磁环境进行监测，如有问题应及时采取防治措施。由本项目建设单位委托有资质的监测单位开展运营期生态跟踪监测。

本项目运营期监测点位与施工期一致，包括海水水质监测站位 20 个，沉积物质量监测站位 10 个，海洋生态监测站位 12 个，海洋生物质量监测站位 3 个，水下噪声监测站位 9 个。此外，布设电磁环境监测站位 9 个。监测过程中可视情况做适当的调整。

(1) 海水水质

监测项目：与施工期一致。

监测站位：共布设 20 个监测站位，监测点位与施工期一致，见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

(2) 沉积物质量

监测项目：与施工期一致。

监测站位：共布设 10 个监测站位，监测点位与施工期一致，见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（3）海洋生物质量

监测项目：与施工期一致。

监测站位：共布设 3 个监测站位，监测点位与施工期一致，见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（4）海洋生态

监测项目：与施工期一致。

监测站位：共布设 12 个监测站位，监测点位与施工期一致，见表 9.2.2-1 和图 9.2.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（5）水下噪声

监测项目：与施工期一致。

监测位置：在风电场施工区域布设 9 个噪声监测点，监测点位与施工期一致，见表 9.2.2-2 和图 9.2.2-2。

监测频率：每年 1 次，低、中和额定风速输出时。

（6）电磁环境

监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

监测位置：布设 12 个监测点，监测点位见表 9.2.2-3 和图 9.2.2-3。

监测频率：每年 1 次。

表 9.2.2-3 电磁环境监测站位坐标（不公开）

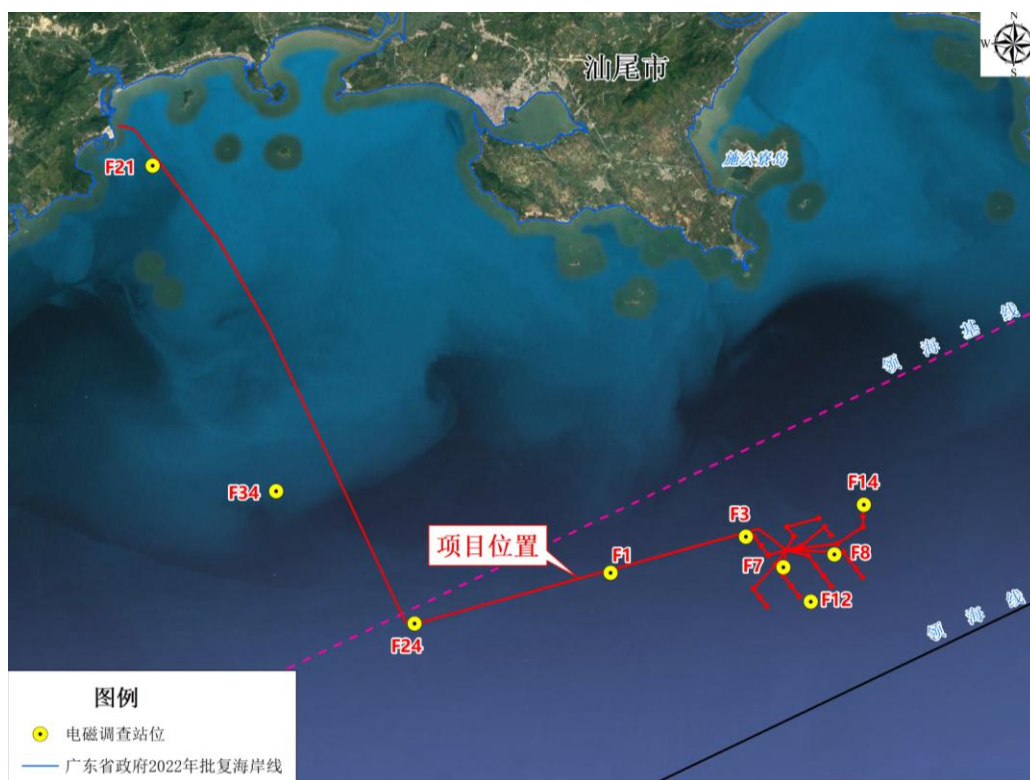


图 9.2.2-3 电磁环境监测站位图

(7) 地形地貌与冲淤

监测项目：水深地形、风机墩柱局部冲刷监测（冲刷深度、冲刷坑直径和冲刷坑形状等参数，若有必要，应对风机墩柱局部冲刷进行加测。在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲刷情况进行必要的加测）。

监测位置：以工程外扩边界 2km 的海域，测量比例按照 1：5000；2km-15km 的海域，测量图比例尺按照 1：10000。

监测时间及频次：工程运营期开展 1 次。

(8) 鸟类

监测内容：工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等。

监测时间：在项目营运初期（5年），加强对区域鸟情、鸟类与风机撞击情况的观测研究。

监测频率：调查监测频次根据季节划分，在鸟类数量较集中的春秋季节迁徙期，可进行强化监测。

9.2.2.3 生态跟踪监测评价

根据生态跟踪监测结果，进行现状评价，将各类监测数据与本论证报告采用的现状调查数据进行比较，对是否突破相应指标合理变化范围进行评价。在监测完成后，开展趋势评价，结合生态本底调查数据和长期监测数据，就各类指标的变化趋势、特别是逐步恶化趋势作出评价。在完成现状评价和趋势评价后，应进行综合评价，综合生态本底调查数据、各监测要素的现状评价和趋势评价结论，对项目周边海域的海洋生态和环境存在的问题、潜在风险进行评估。

本项目应严格执行生态跟踪检测，根据实际情况可适度调整部分站位，全面监督和检查各施工单位环境保护措施的落实和效果，根据评价结果，及时监督、处理和解决施工过程中出现的环境问题，保证项目环境保护措施得以全面落实并达到预期效果，并通过生态跟踪监测和评价，检验海洋生态修复措施的可行性和有效性。

9.3 生态保护修复措施

本项目用海方式为透水构筑物、海底电缆管道。根据前文资源生态影响预测分析结果，本项目建设可能产生的主要生态问题为海洋生物资源损失。

针对项目可能产生的主要生态问题，根据海洋生态保护修复的相关要求，本项目提出海洋生物资源恢复作为生态修复措施。以“损害什么，修复什么，损害多少，修复多少”为基本原则，修复的总体目标是着重进行海洋生物资源恢复。拟采取增殖放流方式进行，具体措施以农业部门审核后的方案为准。

（1）修复布局

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》，推荐本项目放流地点为红海湾遮浪角，且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。再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，最终实施方案以主管部门批复为准。

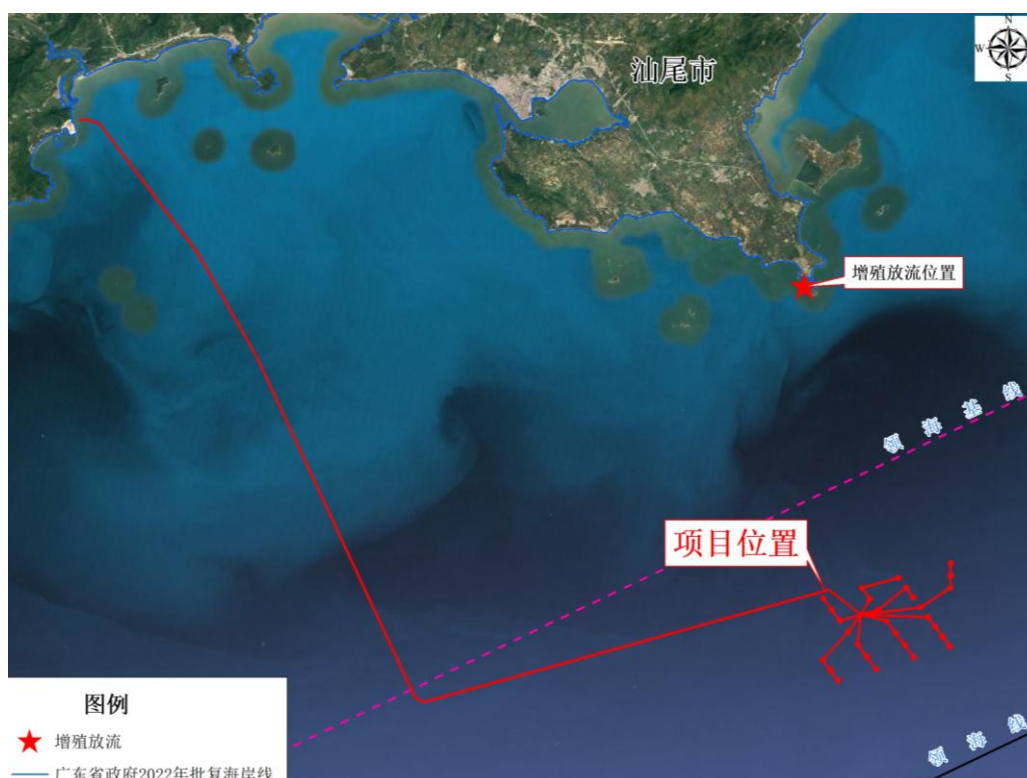


图 9.3-1 增殖放流位置图

(2) 修复方案

增殖放流的海洋经济物种以适应本地生长的鱼苗、虾苗为主，拟定每年休渔期进行增殖放流，拟于取得用海批复后 2 年内休渔期期间实施。

渔业增殖放流要求：增殖放流物种的规格以放流现场测量为准。鱼苗体长应在 4cm 以上。增殖放流的苗种应当是本地种的原种或子 1 代，人工繁育的增殖放流苗种应由具备资质的生产单位、检验机构认可的单位提供，禁止增殖放流外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合海洋生态要求的海洋生物物种。

增殖放流前，对损害增殖放流生物的作业网具进行清理。增殖放流过程中，要观测并记录投放海域的水域状况，包括水温、盐度、pH 值、溶解氧、流速和流向等水文参数，以及记录天气、风向和风力等气象参数。增殖放流后，对增殖放流水域组织巡查，防止非法捕捞增殖放流生物资源。根据 GB/T12763 和 SC/T9102 的方法，定期监测增殖放流对象的生长、洄游分布及其环境因子状况。

(3) 生态保护修复一览表

表 9.3-1 生态保护修复一览表

保护修复类型	保护修复内容	工程量	实施计划	责任人	备注
海洋生物资源恢复	增殖放流	总放流数量约 366 万尾	在取得用海批复后 2 年内	建设单位	1、放流规格、数量可根据当年市场苗种情况进行合理调整，且不少于报告所列数量； 2、体实施方案、周期在实施过程中结合环境影响评价和实际情况进行适当调整。

(4) 生态保护修复实施效果监测

参照《围填海项目生态保护修复方案编制技术指南（试行）》，结合本项目生态保护修复重点，制定针对性的跟踪监测计划。

- 1、主要监测内容：海洋生物。
- 2、主要监测项目：增殖放流生物品种。
- 3、监测频次：修复完成后首年春季各监测 1 次。

表 9.3-2 跟踪监测计划

修复类型	监测内容	主要监测项目	监测频次
海洋生物资源恢复	海洋生物	浮游植物、浮游动物、鱼卵仔鱼、游泳生物、底栖生物、潮间带生物、大型藻类以及增殖放流生物品种	修复完成后首年春季各监测 1 次

10 结论

10.1 项目用海情况基本情况

本项目风电场址位于汕尾市汕尾港南面海域，登陆点位于深汕合作区小漠街道，场址面积约 62km²，风电场场址水深在 34m~40m 之间，距离陆地最近距离约 21.8km，规划装机容量为 500MW，拟建设 28 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆、1 回 500kV 送出海底电缆、1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 海上无功补偿站。

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目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）；根据《海域使用分类》（HY/T123-2009），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）。项目用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式），项目申请总用海面积为 429.1188 公顷，其中透水构筑物用海面积为 187.5274 公顷，海底电缆管道用海面积为 241.5914 公顷，项目 66kV 集电海缆和 500kV 送出海缆采用立体确权。本项目申请用海范围不占用岸线，实际建设拟采用定向钻的施工方式穿越基岩岸线 0.8m，不会对岸线产生影响。本项目风机的设计服务年限为 25 年，工程建设期为 14 个月，因此，项目申请用海期限定为 27 年。

10.2 项目用海必要性结论

本项目建设对提高可再生能源在能源消费结构比例能起到积极的推动作用，有利于减少土地资源的占用。同时，本地区具有开发海上风力发电有利条件和资源优势，且社会效益、环保效益显著，具有一定的示范作用。所以无论从海上风电优于陆上风电的特点，还是本项目所处的海域条件及建设特点，本项目用海，且占用该海域都是必要的。项目风机、海上升压站、海上无功补偿站架设在海面上方，基座为导管架基础结构，桩基插入海床，必将占用一定的海域；

海底电缆埋入海床以下，必将占用一定的海床及底土。因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风机、海上升压站、海上无功补偿站及电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

10.3 资源生态影响分析结论

项目实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.02m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-2.1°~1.5°之间；各代表点大潮落急流速变化值位于-0.01m/s~0.01m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-0.1°~1.5°之间。总体上看，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速出现一定程度减缓，风电桩基侧面流速稍有增加，流向变化不明显，可见工程实施对水文动力影响主要出现在风电桩基附近，其他海域影响程度较有限。

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响，实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机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，年最大淤积幅度约为 0.14m/a，最大冲刷幅度 0.12m/a。

风机、海上升压站、海上无功补偿站桩基施工、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对施工区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。根据渔业水质标准，悬浮物浓度增量大于 10mg/L，可能对鱼类生长造成影响。该水域范围内，部分鱼卵、仔鱼及游泳生物因高浓度的含沙量而发生死亡。工程施工导致的底层超第一、二类海水水质的海域面积为 93.456km²，垂向平均浓度超第一、二类海水水质的海域面积 42.586km²。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，工程施工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，基本不会对所在海域的沉积物环境造成影响。项目建设造成底栖生物直接损失为 5.12t，项目施工造成渔业资源直接损失量为：游泳生物 0.68t、鱼卵 1.77×10⁸粒、仔鱼 3.58×10⁷尾。渔业资源生物量损失随着施工的结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

施工期间，由于人类活动、交通运输工具与施工机械作业产生的噪声、灯光等会对鸟类产生一定的影响，但施工期的影响是暂时、可逆的。工程运行期对过境鸟类可能产生的直接影响主要是光影响、风机（风叶）与鸟类发生撞击风险等，但鸟类有趋利避害的自然本能，因此风险有限。

10.4 海域开发利用协调分析结论

本项目所在及周边海域开发利用活动主要为航道、航路、锚地、海上风电项目、现状红树林等。本项目在实施前，必须妥善安排施工计划，采取合理有效的防护措施，尽可能避免产生利益冲突；在实施过程中，如果发生利益冲突，应该立即停工，等待利益冲突得到妥善解决后方可复工。

本项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不存在损害国家权益的问题；根据本阶段工作，项目所在海域暂时无军事设施，但可能存在军方电缆。目前本项目尚未取得军方书面意见，建议业主积极协调军方意见，取得书面意见后，用海可行。

10.5 国土空间规划符合性分析结论

本项目符合《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）》《海丰县国土空间总体规划（2021-2035 年）》的要求，满足《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》关于汕尾西部工矿通信用海区、汕尾南部渔业用海区、遮浪南重要渔业资源产卵场生态保护区、东山海-红海湾海洋预留区、红海湾交通运输用海区、红海湾渔业用海区、金狮湾工矿通信用海区等用海区空间准入条件和相关管控要求，也符合“三区三线”中的生态保护红线的管控要求。

项目符合《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》《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》《广东省海洋经济发展“十四五”规划》以及《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》等各级相关规划的相关要求。

10.6 项目用海合理性分析结论

依据风电场址规划，根据风能资源分布概况，综合考虑系统接入以及其他海洋水文条件优劣，本项目选址与国土空间规划、生态环境保护、军事等不相冲突，与对外交通运输条件、地质条件等较适宜，项目用海选址是合理的。本项目风电场场址区域离岸最近约 21.8km，水深约 34m~40m，与“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”相符。风电场场址不涉及各种保护区及重要、敏感和脆弱生态区域，因此项目用海选址合理。

项目平面布置方案经过了多次优化，充分考虑周边开发现状的需求，平面布置体现了集约、节约用海的原则，最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响，有利于生态和环境保护，平面布置合理。

本项目规划装机容量 500MW，风电场场址水深在 34m~40m 之间，与陆地最近距离约 21.8km，风电场外缘边线包络海域面积 4850.4893 公顷，单位装机容量风电场面积约 9.70 公顷/兆瓦，海域利用率为 5.55%，投资强度 1326.60 万元/公顷，符合“离岸 30 千米或水深大于 30 米，单位装机容量风电场面积 \leq 15 公顷/兆瓦，投资强度 \geq 800 万元/公顷”的要求。海域利用率作为鼓励性指标，包含风电场外包络线内海上风电项目用海确权面积和复合利用的养殖网箱、海洋牧场、海上光伏、波浪能发电、制氢、储能等设施确权面积（公顷），此次仅计算海上风电的用海面积，暂不符合 \geq 6%的要求。项目后续将在风电场内配套布置海洋牧场，提高海域利用率。本项目用海面积可以满足项目用海需求，现阶段不存在减少用海面积的可能性，用海面积合理。

本项目用海方式基本维护了所在海域的基本功能，对水动力、冲淤环境影响较小，用海方式合理。

项目申请海域使用期限 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》，申请期限合理。

10.7 项目用海可行性结论

综上所述，华润汕尾红海湾五海上风电项目用海是必要的，与周边开发利用活动是可协调的，与所在国土空间规划分区和生态保护红线管理要求相符合。项目选址、用海方式、用海平面布置、用海面积和用海期限是合理的。在严格按照本报告中提出的要求，做好海域环境的保护工作的前提下，从海域使用

角度出发，本项目用海是可行的。