

汕尾红海湾三海上风电项目
海域使用论证报告书
(公示稿)

广东海兰图环境技术有限公司
统一社会信用代码: 91440101MA59KQLF0D
二〇二五年四月

关于《汕尾红海湾三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,我司对《汕尾红海湾三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、电磁调查资料、噪声调查资料、鸟类调查资料、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、电磁调查资料、噪声调查资料、鸟类调查资料及现场踏勘记录。

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

2025年4月17日



论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4415022023002340		
论证报告所属项目名称	汕尾红海湾三海上风电项目		
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
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。 承诺主体(公章):  2025 年 3 月 18 日			

项目基本情况表

项目名称	汕尾红海湾三海上风电项目			
项目地址	广东省汕尾市海丰县南面海域			
项目性质	公益性（ ）		经营性（√）	
用海面积	318.0466 公顷		投资金额	582492 万元
用海期限	27 年		预计就业人数	4200 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	70 亿元
	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		176.8687 公顷	风机	
海底电缆管道		141.1779 公顷	66kV 集电海缆	
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.....	4
1.1 论证工作来由.....	4
1.2 论证依据.....	5
1.2.1 法律法规.....	5
1.2.2 相关规划和区划.....	9
1.2.3 标准规范.....	10
1.2.4 项目技术资料.....	11
1.3 论证等级和范围.....	11
1.3.1 论证等级.....	12
1.3.2 论证范围.....	13
1.4 论证重点.....	13
2 项目用海基本情况.....	14
2.1 用海项目建设内容.....	14
2.2 平面布置和主要结构、尺度.....	14
2.2.1 平面布置.....	15
2.2.2 主要水工构筑物结构、尺度.....	16
2.3 项目主要施工工艺和方法.....	17
2.3.1 施工工艺及方法.....	17
2.3.2 施工机械设备.....	27
2.3.3 施工进度计划.....	28
2.3.4 土石方平衡.....	29
2.4 项目用海需求.....	29
2.4.1 项目用海需求.....	29
2.4.2 申请用海情况.....	30
2.5 项目用海必要性.....	35
2.5.1 建设必要性.....	35
2.5.2 用海必要性.....	39

3	项目所在海域概况.....	40
3.1	海洋资源概况.....	40
3.1.1	岸线资源.....	40
3.1.2	滩涂资源.....	40
3.1.3	岛礁资源.....	40
3.1.4	港口资源.....	40
3.1.5	渔业资源.....	41
3.1.6	风能资源.....	48
3.1.7	矿产资源.....	49
3.1.8	旅游资源.....	49
3.2	海洋生态概况.....	49
3.2.1	区域气候与气象.....	49
3.2.2	水文动力.....	51
3.2.3	海域地形地貌与冲淤状况.....	55
3.2.4	工程地质.....	56
3.2.5	海洋自然灾害.....	60
3.2.6	海洋水质现状调查与评价.....	61
3.2.7	海洋沉积物质量现状调查与评价.....	65
3.2.8	海洋生物质量现状调查与评价.....	65
3.2.9	海洋生态现状.....	66
3.2.10	电磁环境现状调查与评价.....	73
3.2.11	噪声环境现状调查与评价.....	74
3.2.12	鸟类现状.....	77
3.2.13	自然保护区.....	86
3.2.14	珍稀海洋生物.....	86
3.2.15	“三场一通道”分布情况.....	88
4	资源生态影响分析.....	90
4.1	生态评估.....	90
4.1.1	资源生态敏感目标.....	90

4.1.2	重点和关键预测因子.....	91
4.1.3	用海方案工况设计.....	91
4.1.4	水动力影响预测对比分析.....	93
4.1.5	地形地貌与冲淤影响预测对比分析.....	102
4.1.6	水质影响预测对比分析.....	105
4.1.7	用海方案推选.....	109
4.2	资源影响分析.....	109
4.2.1	对岸线及海洋空间资源的影响.....	110
4.2.2	对海洋生物资源的影响.....	110
4.2.3	对其他海洋资源的影响.....	113
4.3	生态影响分析.....	113
4.3.1	对水文动力环境影响.....	113
4.3.2	对地形地貌冲淤环境影响.....	114
4.3.3	对水质环境的影响.....	114
4.3.4	对沉积物的影响.....	115
4.3.5	对海洋生物的影响.....	116
4.3.6	对鸟类的影响.....	127
4.3.7	生态跟踪监测指标合理影响范围.....	133
5	海域开发利用协调分析.....	138
5.1	海域开发利用现状.....	138
5.1.1	社会经济概况.....	138
5.1.2	海域使用现状.....	141
5.1.3	海域使用权属现状.....	142
5.2	项目用海对海域开发活动的影响.....	142
5.2.1	对航路的影响分析.....	143
5.2.2	对海上风电项目的影响分析.....	144
5.2.3	对海底光缆的影响分析.....	145
5.2.4	对自然保护区的影响分析.....	145
5.2.5	对国控站位的影响分析.....	146

5.2.6	对渔业生产活动的影响分析.....	146
5.3	利益相关者界定.....	146
5.4	需协调部门界定.....	147
5.5	相关利益协调分析.....	147
5.5.1	与周边风电业主的协调分析.....	147
5.5.2	与汕尾海事局的协调分析.....	147
5.5.3	与汕尾市农业农村局的协调分析.....	148
5.6	项目用海与国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析.....	148
5.6.1	对国防安全和军事活动的协调性分析.....	148
5.6.2	对国家海洋权益的协调性分析.....	148
6	国土空间规划符合性分析.....	150
6.1	与国土空间规划符合性分析.....	150
6.2	项目用海与“三区三线”的生态保护红线符合性分析.....	150
6.3	项目用海与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的符合性分析.....	151
6.4	项目用海与相关规划的符合性分析.....	151
6.4.1	与《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》的符合性分析.....	151
6.4.2	与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析	152
6.4.3	与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析....	152
6.4.4	与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析	152
6.4.5	与《汕尾市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析.....	153
	结论.....	153
7	项目用海合理性分析.....	154
7.1	用海选址合理性分析.....	154
7.1.1	项目选址区位和社会条件的合理性分析.....	154

7.1.2	项目选址与自然资源、生态环境适宜性分析.....	154
7.1.3	项目选址与周边其他用海活动的适宜性分析.....	156
7.1.4	项目用海选址是否有利于海洋产业协调发展.....	156
7.1.5	项目选址合理性分析.....	156
7.2	用海平面布置合理性分析.....	157
7.2.1	平面布置比选分析.....	157
7.2.2	是否体现节约集约用海的原则.....	159
7.2.3	是否有利于生态保护，并已避让生态敏感目标.....	161
7.2.4	能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响.....	161
7.2.5	能否最大程度地减少对周边其他用海活动的影响.....	162
7.3	用海方式合理性分析.....	162
7.3.1	用海方式说明.....	162
7.3.2	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.....	163
7.3.3	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.....	163
7.3.4	是否有利于保护和保全区域海洋生态系统.....	164
7.3.5	能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响.....	164
7.4	占用岸线合理性分析.....	164
7.5	用海面积合理性分析.....	164
7.5.1	申请用海面积.....	165
7.5.2	项目用海面积合理性.....	165
7.5.3	宗海图绘制.....	168
7.5.4	项目用海面积量算.....	173
7.6	用海期限合理性分析.....	175
8	生态用海对策措施.....	177
8.1	生态用海对策.....	177
8.1.1	生态保护对策.....	177
8.1.2	生态跟踪监测.....	179

8.2	生态保护修复措施.....	182
8.2.1	生态修复目标.....	183
8.2.2	生态修复内容（增殖放流）.....	183
8.2.3	生态保护修复实施效果监测.....	185
9	结论.....	186
9.1	项目用海基本情况.....	186
9.2	项目用海必要性结论.....	186
9.3	项目用海资源生态影响分析结论.....	187
9.4	海域开发利用协调分析结论.....	187
9.5	国土空间规划符合性分析结论.....	188
9.6	项目用海合理性分析结论.....	188
9.7	项目用海可行性分析结论.....	189

摘要

汕尾红海湾三海上风电项目位于广东省汕尾市海丰县南面海域，场址面积约73km²，风电场场址水深在34m~41m之间，距离陆地最近约22.7km。规划装机容量为500MW，项目用海主体为中广核新能源投资（汕尾）有限公司。项目拟建设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。风电机组发出的电能通过集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过送出海底电缆输送到陆上集控中心。本项目与明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目共建共用海上升压站、送出海底电缆、海缆登陆点，海上升压站与送出海底电缆作为单独项目进行核准立项建设，不在本次论证范围内。

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），本项目用海的海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；按《海域使用分类》（HY/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）。项目拟申请用海面积为318.0466公顷，其中透水构筑物（风机）面积为176.8687公顷，海底电缆管道（66kV集电海缆）用海面积为141.1779公顷。本项目风机和66kV集电海缆距离最近的陆地约22.7km，不占用岸线。本项目申请用海期限为27年。

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。项目风机为四桩导管架基础结构，属于透水构筑物用海，桩基插入海床，风机架设在海面上方，必将占用一定的海域；66kV集电海缆埋入海床以下，29台风机生产的电能通过66kV集电海缆接入海上升压站，海底电缆属于海底电缆管道用海，必将占用一定的海床及底土。因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风机及电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

根据数值模拟结果，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-0.026~0.002m/s之间；大潮涨急流向变化值位于-0.2~2.8°之间；各代表

点大潮落急流速变化值位于-0.002~0.001m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-0.1~0.6° 之间。总体上看，由于风机直径不大，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。

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，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现淤积，最大淤积厚度为 0.22m/a；风机桩基侧面流速稍有增加，导致风电桩基垂直于主流向两侧存在冲刷，最大冲刷深度为 0.09m/a。

风机桩基施工、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 33.818km²、，垂向平均浓度超第一、二类海水水质的海域面积 8.053km²。项目建设造成底栖生物直接损失为 2.71t，项目施工造成渔业资源直接损失量为：游泳生物 0.15t、鱼卵 3.38×10⁷ 粒、仔鱼 9.82×10⁶ 尾。悬浮物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。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，具体措施以主管部门认定的为准。

本项目风电场所在及周边海域开发利用活动主要为海底光缆、拟建的海上风电项目、航路、自然保护区、国控站位。经界定本项目利益相关者为*****，需协调部门为汕尾海事局、汕尾市农业农村局。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。

本项目建设符合《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）》、生态保护红线、《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》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》《广东省海洋生态环境保护“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。

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，本项目选址与所在国土空间规划分区、省海岸带及海洋空间规划功能区的管理要求不冲突，与对外交通运输条件、地质条件等较适宜，有利于该区域海洋经济的协调发展，对周边海域的资源生态影响较小，与周边其它用海活动是适宜的；本项目风电场场址区域离岸最近约 22.7km，水深约 34m~41m，满足风电场离岸距离 30 公里或水深 30 米的开发条件限制；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。本项目风电场场址水深 34m~41m，风电场外包络面积 6326.3084 公顷，单位装机容量风电场面积 12.49 公顷/兆瓦，海域利用率 4.66%，投资强度 1831.47 万元/公顷，符合《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》（自然资源部，2024 年 12 月 30 日）“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，本项目平均尾流损失达到 15.86%，已经超过了规范的单台风电机组最大尾流损失 15%要求。若现阶段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。项目建设符合集约节约的原则，符合自然资源部规定的用海控制要求，现阶段不存在减少用海面积的可能性，用海面积合理。本项目主要建设风机、66kV 集电海缆，用海方式分别为透水构筑物 and 海底电缆管道，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。

综上所述，汕尾红海湾三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、省海岸带及海洋空间规划功能区的管理要求均相符，与生态红线管理要求相符合。项目选址、用海方式、用海面积和用海期限是合理的。从海域使用角度出发，本项目用海是可行的。

1 概述

1.1 论证工作来由

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。近两年，我国加快了海上风电平价上网的步伐。2018 年 5 月，国家发改委能源局颁布《关于 2018 年度风电建设管理有关要求的通知》（国能发新能〔2018〕47 号），要求 2019 年以后新增核准的海上风电采用竞价上网的方式。2019 年 1 月，国家发改委能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》（发改能源〔2019〕19 号），2019 年 5 月配套出台《关于公布 2019 年第一批风电、光伏发电平价上网项目的通知》（发改办能源〔2019〕594 号），2 个通知要求积极推进海上风电平价上网。2023 年 1 月，广东省发展改革委印发《关于调整全省海上风电场址的通知》。根据通知，广东省新增省管海域（领海线以内）海上风电场址 7 个，装机容量 1830 万千瓦；规划国管海域（领海线以外专属经济区）粤东海上风电基地场址 7 个，装机容量 3570 万千瓦。2023 年 6 月，广东省发展改革委印发《广东省 2023 年海上风电竞争配置工作方案》，其中省管海域项目共 15 个，装机容量 700 万千瓦。红海湾风电场位于广东省汕尾

市海丰县南面海域，本项目为汕尾红海湾三海上风电项目，位于红海湾风电场场址中间偏北位置，场址面积约为 73km²，风场场址水深在 34m~41m 之间，距离陆地最近约 22.7km，规划装机容量为 500MW，拟建设 12 台 16.7MW 与 17 台 18MW 的风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆。根据《汕尾发展和改革局关于加快开展红海湾三、四海上风电集中送出项目前期工作的函》，汕尾红海湾三和红海湾四海上风电项目需按照集中送出模式建设，共建共用海上风电海上变电站、海上输电通道、海缆登陆点，最大限度减少用海及岸线资源，有效降低海上风电输电工程建设成本。为此，红海湾三和红海湾四海上风电项目集中送出工程由红海湾三、四海上风电项目开发业主共建共用，作为单独项目进行核准立项建设（见附件 5），因此升压站及送出海底电缆不在本次论证范围内。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》等法律法规的规定，本项目建设占用海域空间资源，应进行海域使用论证，办理用海手续。项目建设单位为中广核新能源投资（汕尾）有限公司，受其所托，广东海兰图环境技术研究有限公司承担该项目的海域使用论证工作（见附件 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《汕尾红海湾三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》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第六十一号，2002 年 1 月 1 日施行）；

(2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》（全国人民代表大会常务委员会，全国人民代表大会常务委员会令第九号，2000 年 4 月 1 日起施行，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）；

(3) 《中华人民共和国环境保护法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起施行）；

(4) 《中华人民共和国电力法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第六十号，1996 年 4 月 1 日起施行，2018 年 12 月 29 日第三次修正）；

(5) 《中华人民共和国可再生能源法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第三十三号，2006 年 1 月 1 日起施行，2009 年 12 月 26 日修订）；

(6) 《中华人民共和国港口法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第五号，2004 年 1 月 1 日起施行，2018 年 12 月 29 日第三次修正）；

(7) 《中华人民共和国海上交通安全法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第七十九号，1984 年 1 月 1 日起施行，2021 年 4 月 29 日修订）；

(8) 《中华人民共和国安全生产法（修正草案）》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第七十九号，2021 年 9 月 1 日起施行）；

(9) 《中华人民共和国湿地保护法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第一〇二号，2022 年 6 月 1 日施行）；

(10) 《中华人民共和国渔业法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第三十四号，1986 年 7 月 1 日起施行，2013 年 12 月 28 日第四次修正）；

(11) 《中华人民共和国野生动物保护法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第 16 号，1989 年 3 月 1 日起施行，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）；

(12) 《中华人民共和国航道法》（全国人民代表大会常务委员会，中华人民共和国主席令第 17 号，2015 年 3 月 1 日起施行，2016 年 7 月 2 日修正）；

(13) 《中华人民共和国自然保护区条例》（国务院，中华人民共和国国务院令 167 号，1994 年 12 月 1 日起施行，2017 年 10 月 7 日第二次修订）；

(14) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（国务院，中华人民共和国国务院令 475 号，2006 年 11 月 1 日起施行，2018 年 3 月 19 日第二次修订）；

(15) 《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》（国务院办公厅，国办发〔2002〕36号，2002年7月6日）；

(16) 《铺设海底电缆管道管理规定》（国务院，国务院令第27号，1989年3月1日起施行）；

(17) 《海域使用权管理规定》（国家海洋局，国海发〔2006〕27号，2007年1月1日起实施）；

(18) 《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》（国家海洋局，国海环字〔2013〕583号，2013年9月6日）；

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

(20) 《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》（自然资源部，粤自然资函〔2021〕2073号，2021年11月10日）；

(21) 《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》（自然资源部，自然资办函〔2022〕2207号，2022年10月14日）；

(22) 《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）》（自然资源部，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日）；

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

(24) 《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》（自然资源部，自然资办函〔2022〕640号，2022年4月15日）；

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

(26) 《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》（自然资源部办公厅，自然资办发〔2024〕21号，2024年5月6日）；

(27) 《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日起施行）；

(28) 《市场准入负面清单（2022 年版）》（国家发展改革委商务部，发改体改规〔2022〕397 号，2022 年 3 月 12 日）；

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

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

(31) 《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》（国家海洋局，国家海洋局令 第 3 号，1992 年 8 月 26 日起施行）；

(32) 《海底电缆管道保护规定》（国土资源部令第 24 号，2003 年 12 月 30 日国土资源部第 12 次部务会议通过，2004 年 3 月 1 日起施行）；

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

(34) 《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）；

(35) 《广东省湿地保护条例》（广东省人民代表大会常务委员会，广东省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 124 号，2006 年 9 月 1 日起施行，2022 年 11 月 30 日第三次修正）；

(36) 《广东省海域使用管理条例》（广东省人民代表大会常务委员会，广东省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 92 号，2007 年 3 月 1 日起施行，2021 年 9 月 29 日修正）；

(37) 《关于印发<广东省海域使用金征收标准（2022 年修订）>的通知》（广东省财政厅 广东省自然资源厅，粤财规〔2022〕4 号，2022 年 6 月 17 日）；

(38) 《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法（试行）的通知》（广东省自然资源厅，粤自然资规字〔2021〕4 号）；

(39) 《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》（广东省自然资源厅办公室，2022 年 2 月 22 日）；

(40) 《广东省自然资源厅关于进一步做好海岸线占补台账管理的通知》（广东省自然资源厅，粤自然资海域〔2023〕149 号，2023 年 2 月 6 日）；

(41) 《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》（广东省人民政府办公厅，粤府办〔2017〕62号，2017年10月15日）；

(42) 《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》（广东省自然资源厅，粤自然资函〔2020〕88号，2020年2月28日）；

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

(44) 《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）。

1.2.2 相关规划和区划

(1) 《全国国土规划纲要（2016-2030年）》（国务院，国发〔2017〕号，2017年1月3日）；

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

(3) 《“十四五”可再生能源发展规划》（国家发展改革委、国家能源局发改能源〔2021〕1445号，2022年6月1日）；

(4) 《中国航路指南》A103，海军司令部航海保证部；

(5) 《全国沿海船舶航路总体规划》（中华人民共和国交通运输部，2011年11月18日）；

(6) 《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（广东省人民政府，粤府函〔2016〕328号，2016年10月11日修订）；

(7) 《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》（广东省人民政府，粤府〔2021〕28号，2021年4月6日）；

(8) 《广东省海洋经济发展“十四五”规划》（广东省人民政府办公厅，粤府办〔2021〕33号，2021年12月）；

(9) 《广东省能源发展“十四五”规划》（广东省人民政府办公厅，粤府办〔2022〕8号，2022年3月）；

(10) 《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》（广东省发展改革委，粤发改能新〔2018〕193号，2018年4月11日）；

- (11) 《广东沿海港口航行指南》（广东海事局，2012 年）；
- (12) 《广东省国土空间规划(2021-2035 年)》(广东省人民政府，国函〔2023〕76 号，2023 年 8 月 8 日)；
- (13) 《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》（广东省自然资源厅，粤自然资发〔2023〕2 号，2023 年 5 月 10 日）；
- (14) 《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）；
- (15) 《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）；
- (16) 《汕尾市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》（汕尾市人民政府，汕府〔2021〕23 号，2021 年 4 月 20 日）。

1.2.3 标准规范

- (1) 《海籍调查规范》（HY/T124-2009）；
- (2) 《海域使用分类》（HY/T123-2009）；
- (3) 《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》(2023 年 11 月)；
- (4) 《海域使用论证技术导则》（GBT42361-2023）；
- (5) 《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）；
- (6) 《海洋监测规范》（GB17378-2007）；
- (7) 《海水水质标准》（GB3097-97）；
- (8) 《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；
- (9) 《海洋生物质量》（GB18421-2001）；
- (10) 《渔业水质标准》（GB11607-89）；
- (11) 《海域使用面积测量规范》（HY070-2022）；
- (12) 《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T18314-2009）；
- (13) 《中国海图图式》（GB12319-2022）；
- (14) 《海洋工程地形测量规范》（GB/T17501-2017）；
- (15) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（2002.04）；
- (16) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007，中华人民共和国农业部）；

- (17) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014.04）；
- (18) 《宗海图编绘技术规范》（HY/T 251-2018）；
- (19) 《产业用海面积控制指标》（2021 年 2 月）；
- (20) 《风电场工程微观选址技术规范（NB/T 10103-2018）》。

1.2.4 项目技术资料

- (1) 《中广核汕尾红海湾三海上风电项目可行性研究报告》（2024 年 12 月）；
- (2) 《中广核汕尾红海湾三海上风电项目可行性研究阶段 施工组织设计专题》（2024 年 12 月）；
- (3) 《中广核汕尾红海湾三海上风电项目可行性研究阶段 岩土工程勘测报告》（2024 年 6 月）；
- (4) 《中广核汕尾红海湾三海上风电项目通航安全影响研究报告》（2024 年 12 月）；
- (5) 《汕尾红海湾五海上风电项目夏季全潮水文观测成果报告》（2023 年 11 月）；
- (6) 《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》（2024 年 6 月）；
- (7) 《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》（2025 年 1 月）；
- (8) 《汕尾红海湾三海上风电项目水上水下噪声对海洋生物影响专题报告》（2024 年 3 月）；
- (9) 《汕尾红海湾（三）海上电磁辐射环境监测》（2023 年 7 月）；
- (10) 《汕尾红海湾（三）海上电磁辐射环境监测》（2023 年 12 月）；
- (11) 《红海湾三海上风电场项目鸟类现状监测专题报告》（2024 年 1 月）；
- (12) 建设单位提供的其他相关资料。

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），本项目用海的海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；按《海域使用分类》（HY/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 318.0466 公顷，其中透水构筑物用海面积为 176.8687 公顷，海底电缆管道用海面积为 141.1779 公顷。项目申请用海范围不占用岸线。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 ≥ 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（本项目距离生态保护红线区遮浪南重要渔业资源产卵场 0.4km）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”，项目的论证等级为一级。

表 1.3.1-1 海洋使用论证等级判定

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	构筑物	透水构筑物	构筑物总长度大于（含）2000m 或用海总面积大于（含）30ha （本项目透水构筑物申请用海面积176.8687ha）		所有海域	一
			构筑物总长度（400~2000）m 或用海总面积（10~30）ha		敏感海域	一
					其他海域	二
			构筑物总长度小于（含）400m 或用海总面积小于（含）10 公顷		所有海域	三
海底电缆	其他方式	海底电缆管道	海底电（光）缆	所有规模 （本项目海底电缆管道申请面积 141.1779ha）	敏感海域	二
					所有海域	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。						

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。本项目论证范围以项目用海外缘线为起点向外扩展 15km 确定，论证范围面积约 1558.44km²。

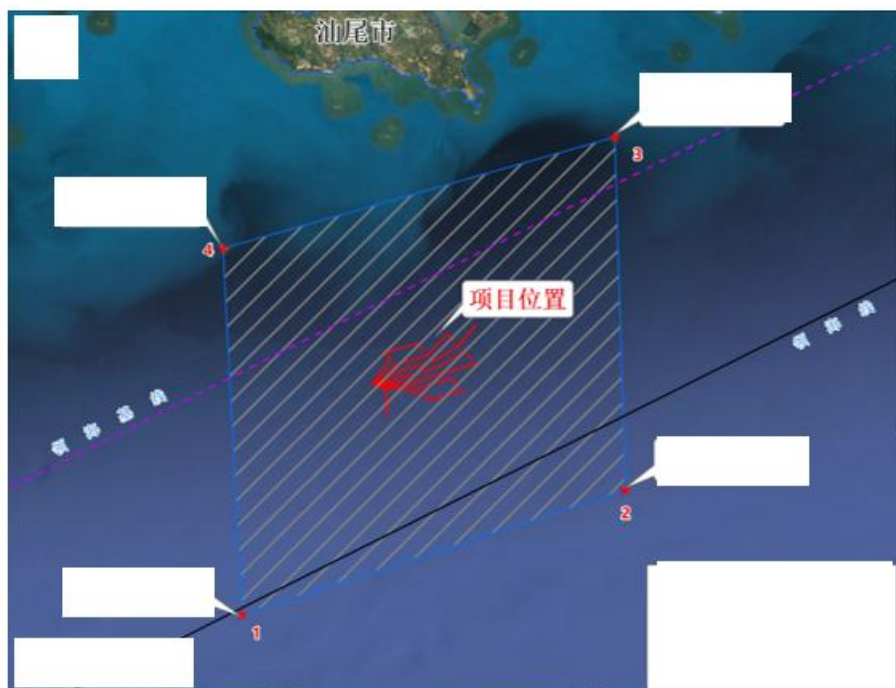


图 1.3.2-1 论证范围图

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）项用海必要性；
- （2）项目用海资源生态影响分析；
- （3）海域开发利用协调分析；
- （4）用海选址、平面布置和用海面积合理性分析；
- （5）生态用海对策措施。

2 项目用海基本情况

2.1 用海项目建设内容

- (1) 项目名称：汕尾红海湾三海上风电项目
- (2) 投资主体：中广核新能源投资（汕尾）有限公司
- (3) 项目性质：新建
- (4) 工程投资额：582492 万元

(5) 项目用海位置：本项目位于广东省汕尾市海丰县南面海域，详见图 2.1.1-1，场址面积约 73km²，风电场场址水深在 34m~41m 之间，距离陆地最近约 22.7km。



图 2.1-1 项目地理位置图

(6) 建设内容与建设规模：本项目规划装机容量为 500MW，拟建设 12 台 16.7MW 与 17 台 18MW 固定式风电机组、8 回 66kV 集电海底电缆。

2.2 平面布置和主要结构、尺度

2.2.1 平面布置

项目规划装机容量为 500MW，拟布设 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，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。平面布置图见图 2.2.1-1。

图 2.2.1-1 项目总平面布置图（不公开）

2.2.1.1 风电机组布置

1、风机机型

本项目风力发电机组招标的定标机型为海装 16.7MW 及明阳 18.0MW 的风力发电机组，各机型技术特性见下表。

表 2.2.1-1 风机主要设备特性表

项目	单位	海装 16.7MW 风机	明阳 18MW 风机
机型		16.7MW	18MW
台数	台	12	17
额定功率	kW	16700	18000
叶片数	片	3	3
风轮直径	m	260	291.12
切入风速	m/s	3.5	3.0
额定风速	m/s	12	12.3
切出风速	m/s	28	25
设计极大风速	m/s	79.8	79.8
轮毂高度	m	154.71	172.81
发电机额定功率	kW	18000	19050
发电机功率因素		0.91	0.93
额定电压	V	1380	1380

2、风机平面布置

根据《风电场微观选址技术规范（NB/T 10103-2018）》中第六章风电机组布置第四节海上风电机组布置：“风电机组行间距不宜小于 3 倍风轮直径，列间距不宜小于 7 倍风轮直径。对于主风能方向不集中的风电场，可调整行间距、列间距。”本项目 29 台风机布置在规划场址范围之内，18MW 风机布置在场址西侧，16.7MW 风机布置在场址东侧。采用了 5 列布置的方案，列间距为 2520~3150m（8.6~11.4D），行间距为 850~893m（约 3.0~3.3D）。风电机组之间最小距离为 850m（约 3.3D）。

图 2.2.1-2 风机、集电海缆平面布置图（不公开）

2.2.1.2 66kV 集电海缆

集电电缆采用 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，各个回路考虑功率分布平衡，连接 3-4 台风机，风机连接电缆不交叉重叠。集电海缆长度约 77.45km。

66kV 集电海缆平面布置示意图见图 2.2.1-2。

2.2.2 主要水工构筑物结构、尺度

2.2.2.1 风电机组

风机基础采用四桩导管架基础，16.7MW 和 18MW 机型四桩导管架基础需布置 4 根钢管桩，钢管桩桩径分别为 3.5m、3.8m，导管架主腿中心根开为 30m×30m。钢管桩长度约为 97~101m，最大高度约为 65-68m，四桩导管架风机基础钢管桩壁厚一般都在 40mm 以上。设计使用年限为 25 年，防腐蚀年限按照 27 年考虑。

图 2.2.2-1 风电机组四桩导管架基础结构图（不公开）

2.2.2.2 66kV 集电海缆

66kV海底电缆初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 $3 \times (95 \sim 630) \text{mm}^2$ 不等，对应电缆外径为133~173mm不等。

表 2.2.2-1 项目海缆结构参数表

序号	电压等级 (kV)	导体截面 (mm^2)	海缆外径
1	66	48/66kV 3×95+2×36 芯光缆 光电复合	133mm
2	66	48/66kV 3×150+2×36 芯光缆 光电复合	138mm
3	66	48/66kV 3×300+2×36 芯光缆 光电复合	150mm
4	66	48/66kV 3×400+2×36 芯光缆 光电复合	157mm
5	66	48/66kV 3×630+2×36 芯光缆 光电复合	173mm

2.2.2.3 海上升压站

海上升压站虽然不在本次论证范围内，但本次申请 66kV 集电海缆用海需要避让其拟申请用海范围。因此本节简单介绍拟接入的海上升压站的基础结构。

海上升压站布置在本项目与明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目的中间通

道位置。海上升压站上部组块采用四层布置，平台最外缘尺寸为 65.0m×50.9m。

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 19.7m，底标高-40.0m。上部根开 32.0m×26.8m，底部根开 43.2m×38.0m。主导管采用 $\phi 1800$ 钢管，成矩形布置，在标高-39m、-12.75m、17.0m 处设水平圆管 $\phi 800\sim\phi 1000$ 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 加强。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等附属构件。导管架约重 3041t（不包括附属构件），导管架加上附属件重约 3864t。

海上升压站基础采用 $\phi 4.3\text{m}$ 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚范围为 50~80mm。升压站四根钢管桩长 101m，入泥 91m，单根桩重 673t，总重 2690t。在海上升压站两侧沿导管架分别布置 $\phi 325\text{mm}$ 的 66KV 海缆保护 J 型套管和 $\phi 508\text{mm}$ 的 500kV 海缆保护 J 型套管。66KV 海缆和 500kV 海缆沿 J 型套管登入、登出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。

2.3 项目主要施工工艺和方法

本项目工程施工主要项目有大型钢结构制作、风机基础施工、风机机组安装、66kV 场内海缆敷设等。现结合工程条件及特点，针对海上风电场的主要施工项目的施工方案进行介绍说明。

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：

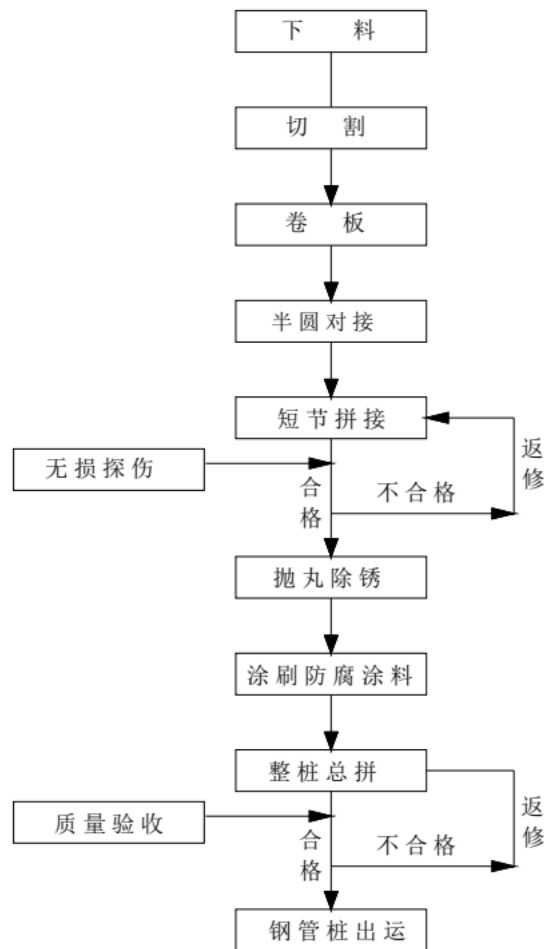


图 2.3.1-1 钢管桩加工制作工艺流程图

(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龙门吊或台车进行运输；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 10000t 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 8000t 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，可利用本工程场址前期建造的测风塔平台设置 GPS 测量基站平台，并在平台上设置供电系统。

（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：

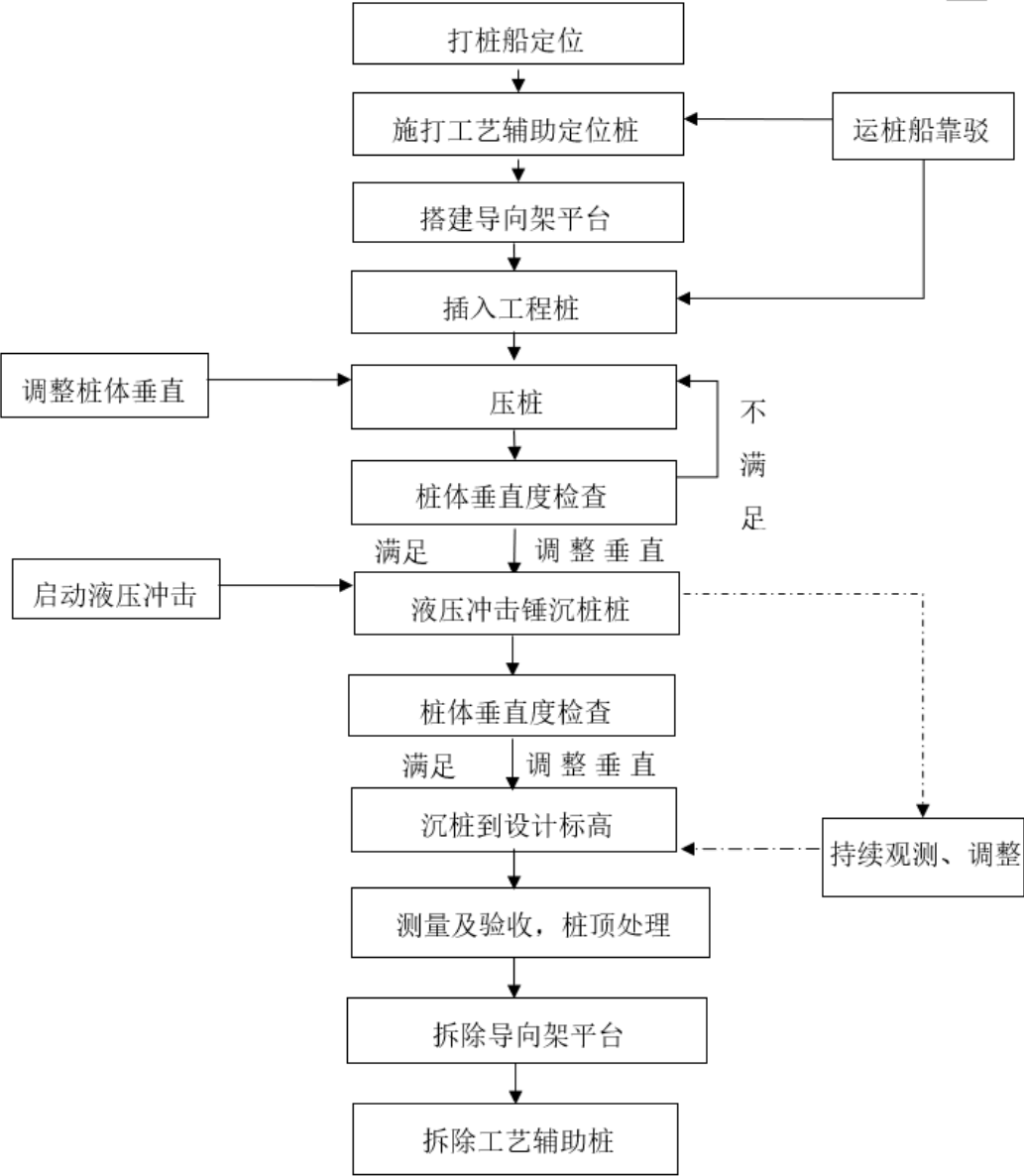


图 2.3.1-2 常规钢管桩沉桩施工工艺图

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。

四桩导管架基础沉桩施工时设置 4 根工艺辅助桩，辅助桩桩长 90m，直径为 2.2~2.4m，钢管桩壁厚约 30-40mm，周转使用。工艺辅助桩顶部设置整体式工艺定位架，工艺定位架边长为 35m，中心方孔边长为 10m，高度 50m，采用型钢与四个定位桩套筒制作，桩套筒内径比设计钢管桩直径大 10cm，同时在定位架的上、下层设置液压定位系统，定位架的每边中心底部位置设置双向和高程（X、Y、Z 向）均可调节的三维调平装置，该装置与定位架连成整体一并吊装，通过液压系统的调节可纠正钢管桩在沉桩过程中的平面位置和垂直度偏差，工艺定位导向架布置如下图所示。



图 2.3.1-3 工艺定位架示意图

2) 沉桩

钢管桩沉桩分为三个阶段：

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

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

第三阶段采用起重船吊离液压锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩。

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

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：

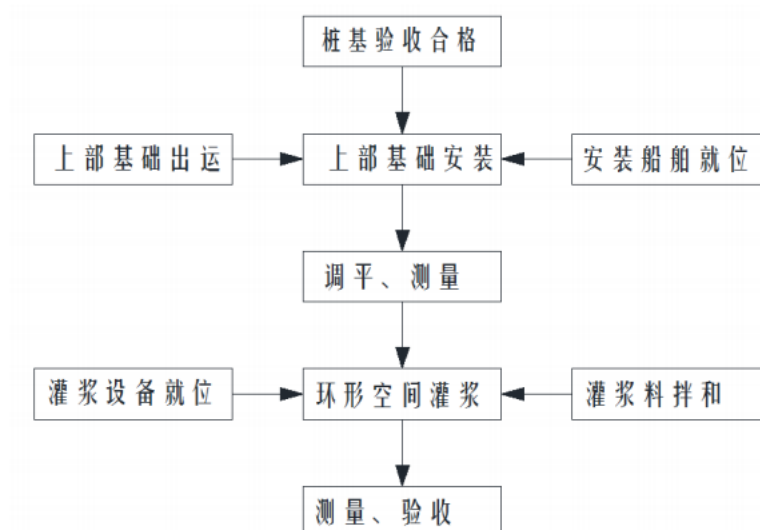


图 2.3.1-4 上部基础结构施工工艺流程图

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，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：

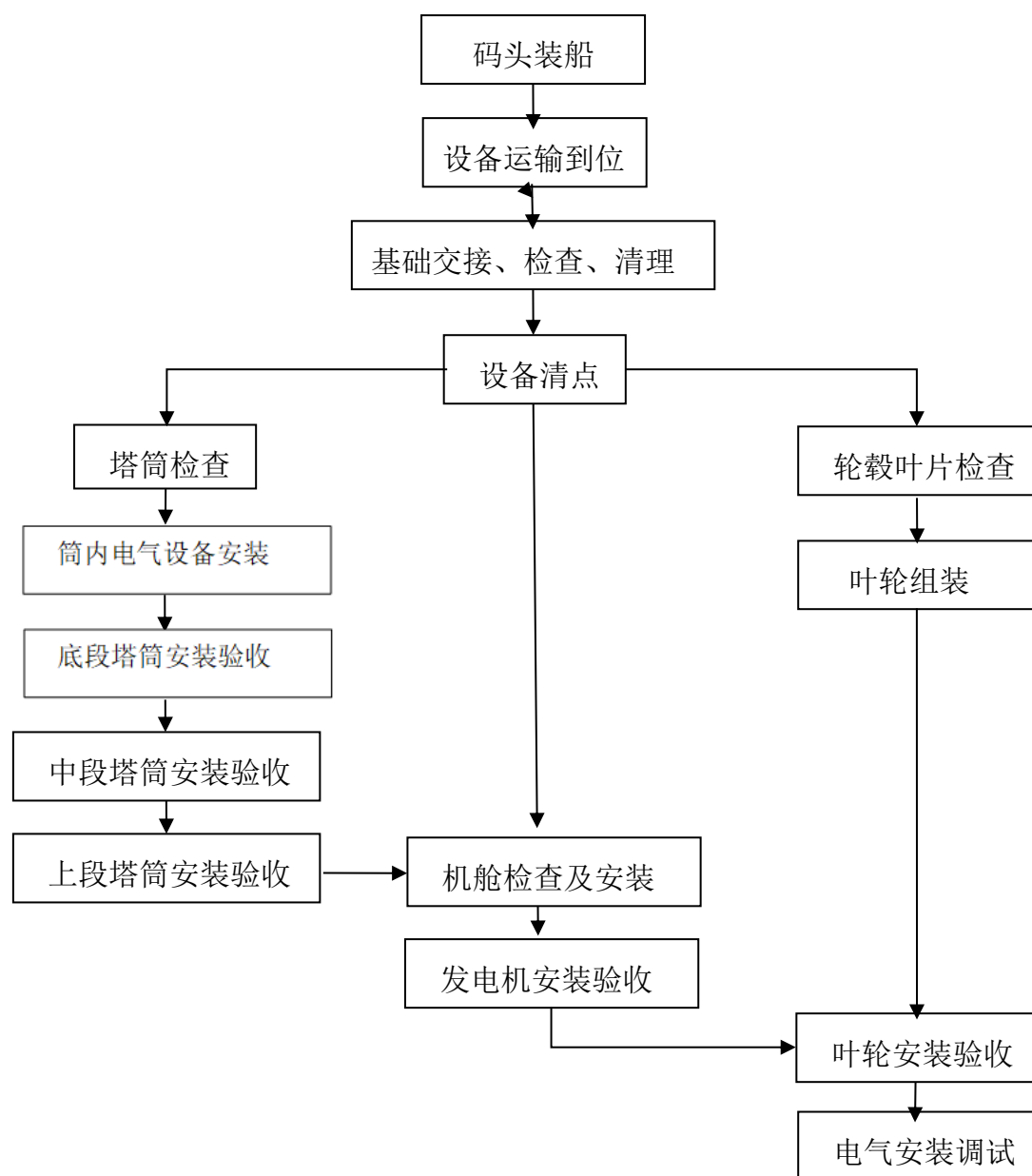


图 2.3.1-5 风机分体吊装安装施工工艺流程图

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→吊装塔筒→吊装机舱→组装叶轮→吊装叶轮→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。风机部件安放完成后使用拖轮将运输驳拖航至风场指定位置。

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。将基础平台吊装于甲板面，测量距离调整进行固定。基础平台吊装后，随即将相关电气设备吊放至支架平台上固定定位。

吊装下段塔筒：首先进行塔筒检查，检查完毕后，在塔筒开始起吊安装前，将下塔筒与基础环连接用螺栓、套筒、液压扳手、电动扳手、硅胶枪及硅胶、二硫化钼、梅花扳手、撬杠等专用安装工具准备齐全预先存放在基础环内。使用 1000t 主吊抬吊立起塔筒组件。在塔筒上法兰的 9 点钟和 3 点钟通过工装和 1000t 主吊机吊钩连接，准备起吊塔筒。用电动冲击扳手加对应套筒头拆卸第一节塔筒底部工装螺栓，将塔筒吊起。待塔筒离开地面一定距离后，在塔筒的下法兰面对称系上 2 根 50m 的揽风绳，以便在起吊及就位时控制住塔筒的动向。旋转主吊将塔筒至于组装好的电器设备正上方，并缓慢下降至吊装船的甲板面，将组装好的电器设备整体套入塔筒内，并用螺栓将其与下段塔筒进行紧固。当组装好的电器设备整体与塔筒紧固完成并经检查无误后，主吊提起下段塔筒至一定高度，缓慢移动到基础环的正上方，安装引导棒，缓缓落下到距基础环 1~5cm 时停止。吊装前预先作好标记，用引导棒对塔筒与基础环相对位置进行调整。塔筒位置确定后，对称装上几根螺栓，放下塔筒，装上所有螺栓，并用电动扳手预紧螺栓，吊车脱钩并拆除吊具。安装完成符合要求后按照上述方法重复进行中塔筒、上塔筒的安装。

吊装机舱：启动主吊，缓缓提起机舱，调整机舱位置；将机舱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，安装完毕后进行下一步的线路的对接。

组装叶轮：在叶片指定起吊处装好叶片专用吊具，将叶片缓缓的送进轮毂，用相同的方式把其余叶片对接好；最后通过手动变浆装置使叶片转动，紧固叶片螺栓；连接接地线。

吊装叶轮：主吊将叶轮起吊至轮毂高后，将叶轮与主轴对齐后安装螺母和垫圈；将主轴电缆穿入轮毂内；紧固螺栓，拆卸吊具。

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，海底电缆 3m。

常规海缆敷设主要施工工艺如下：

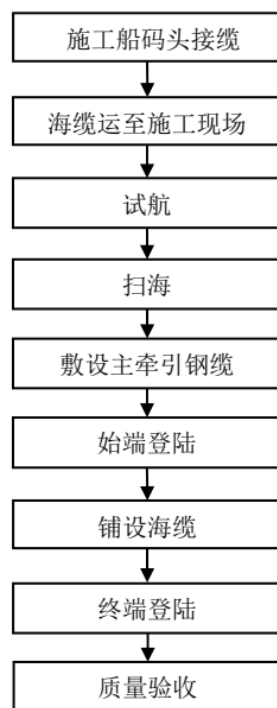


图 2.3.1-6 海缆敷设施工工艺

(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。当施工至终端附近时，将主牵引钢缆与预先设置在终端的地锚相连接，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，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。

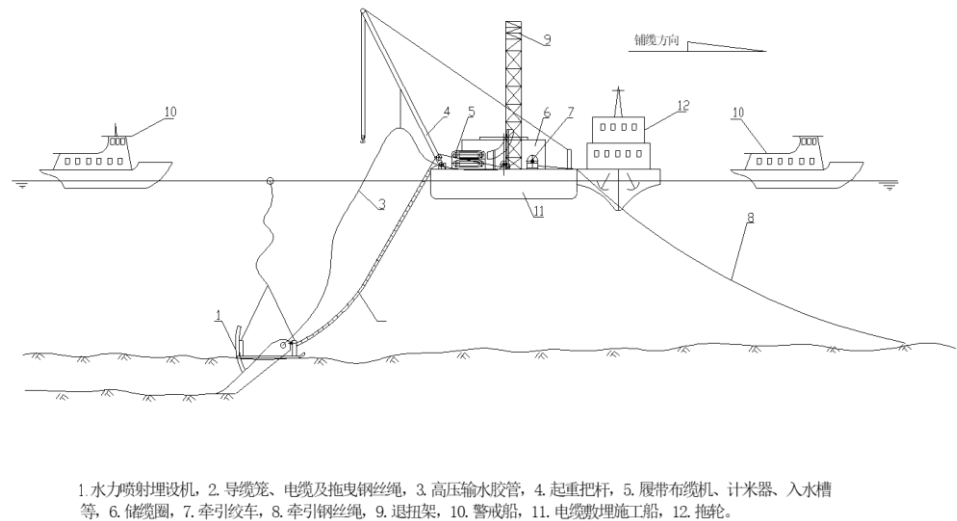


图 2.3.1-7 海底电缆敷设施工

1) 埋设机投放

电缆放入入水槽后，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。

2.3.2 施工机械设备

2.3.2.1 风电机组施工

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 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	钢管桩打桩	起升高度 100 米以上，起重能力 2500t 以上，配备开口导向架。
2	液压打桩锤	个	1	钢管桩插打	2000KJ 级以上
3	主起重船	艘	1	上部基础吊装	起重能力 3500t 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
5	甲板驳船	艘	2	上部基础运输	15000t 级以上，每次运输 2 个
6	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	5000HP 及以上
7	抛锚艇	艘	3	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	

2.3.2.2 风电机组安装

按照风机分体式吊装方案，若考虑一个工作面进行风机分体安装，则施工需投入的主要设备如下：

表 2.3.2-2 风机吊装主要船机配置表

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、300t 辅助吊，吊高 150m（距甲板）、插腿长 120m 以上	风机吊装	资源相对稀缺
2	平板驳	艘	4	10000t	风机运输	自航
3	拖轮	艘	1	5000HP	起锚艇(拖轮)	自航
4	供给船	艘	1		淡水、油料	自航
5	交通艇	艘	2		场内交通	自航
6	多功能驳	艘	1	5000HP	材料运输	自航

2.3.2.3 海缆敷设

项目海缆敷设施工主要铺缆设备和机具、电缆埋深设备、锚泊设备如下：

表 2.3.2-3 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，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
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

2.3.3 施工进度计划

本工程项目总工期计划为 16 个月，其中工程主体施工总工期为 12 个月。本工程于 T+0 月开工后，T+3 月施工准备完成，T+4 月主体工程开始施工，T+12 个月后首批并网投产，第 T+16 个月之后全部 29 台风机投产发电。施工进度计

划安排见下表。

表 2.3.3-1 施工进度计划表

序号	项目	工期 (月)	计划开工 (月)	计划结束 (月)	备注
1	施工准备	3	T+1	T+3	主基地改造、 配置临建设施
2	导管架及钢管桩制造加工	6	T+3	T+9	
3	非嵌岩四桩导管架沉桩施工	6	T+6	T+11	2 个工作面
4	导管架基础安装施工	6	T+9	T+14	2 个工作面
5	首批风机机组安装	2	T+11	T+12	
	剩余风机机组安装	6	T+10	T+15	2 个工作面
6	66kV 海缆敷设	5	T+112	T+16	工期跨度
7	首批风机并网调试	2	T+11	T+12	
	剩余风机并网调试	4	T+13	T+16	
8	首批风机投产发电			T+12	里程碑
9	全部风机投产发电			T+16	里程碑

2.3.4 土石方平衡

本次共建设 29 台海上风机和 66kV 海底电缆。

29 台风电机组采用先桩法四桩导管架基础。桩基施工不涉及嵌岩桩，采用常规沉桩施工不产生钻渣。风机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，29 台风机基础产生泥沙约 232m³，可通过施工船舶运至集控中心，参与集控中心的土方平衡。

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。

2.4 项目用海需求

项目规划装机容量 500MW，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。

2.4.1 项目用海需求

1、风机用海需求

本项目规划场址范围内拟布置 12 台 16.7MW 与 17 台 18MW 的固定式风电

机组，16.7MW 与 18M 风轮直径分别为 260m、291.12m。

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。”16.7MW 风机、18M 风机塔架中心点与风机叶片投影最外缘点连线长度分别为 130m、145.56m，因此 1 台 16.7MW 风机占用海域面积为 5.3093 公顷，1 台 18MW 风机占用海域面积为 6.6563 公顷。则本项目 29 台风机用海需求为 176.8687 公顷。

2、66kV 集电海缆用海需求

根据项目需要，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。66kV 海底电缆三芯集电电缆宽度为 133~173mm，本项目取 173mm，66kV 集电海底电缆长度为 77.45km，66kV 集电海缆占用海域面积为 1.3399 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，考虑到本项目 66kV 海缆与风机、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：即风机和升压站用海优先，海底电缆次之，扣除风机、升压站用海与 66kV 集电海缆重叠面积，计算得出 66kV 集电海缆项目用海需求为 141.1779 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），本项目用海的海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；按《海域使用分类》（HY/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）。项目拟申请用海面积为 318.0466 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 176.8687 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 141.1779 公顷。本项目风机和 66kV 集电海缆距离最近的陆地约 22.7km，不占用岸线。本

项目申请用海期限为 27 年。

项目宗海位置图见图 2.4.2-1，宗海平面布置图见图 2.4.2-2，宗海界址图见图 2.4.2-3，界址点续表见 7.5.3 节和附图 3。

汕尾红海湾三海上风电项目宗海位置图

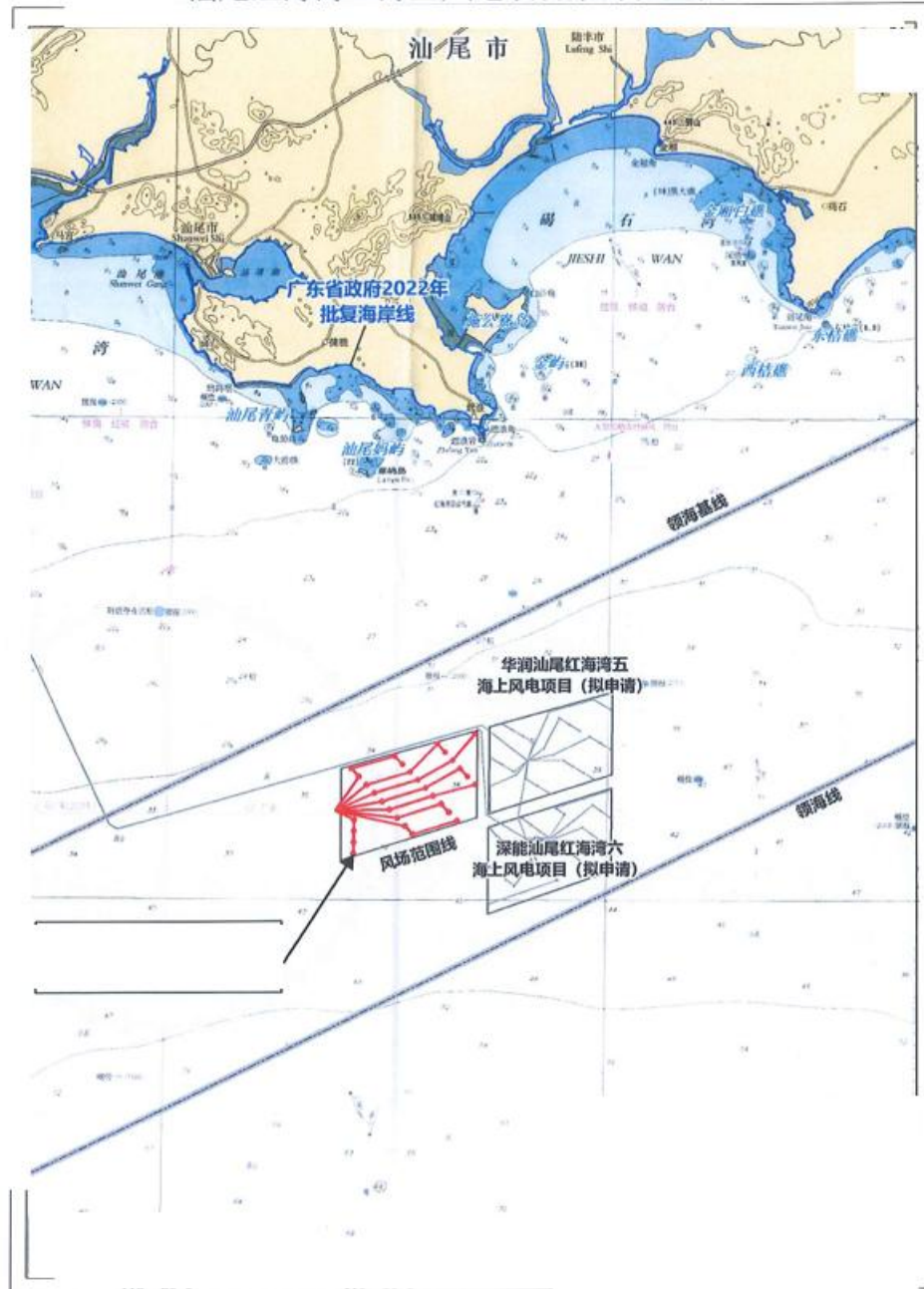


图 2.4.2-1 宗海位置图

汕尾红海湾三海上风电项目宗海平面布置图

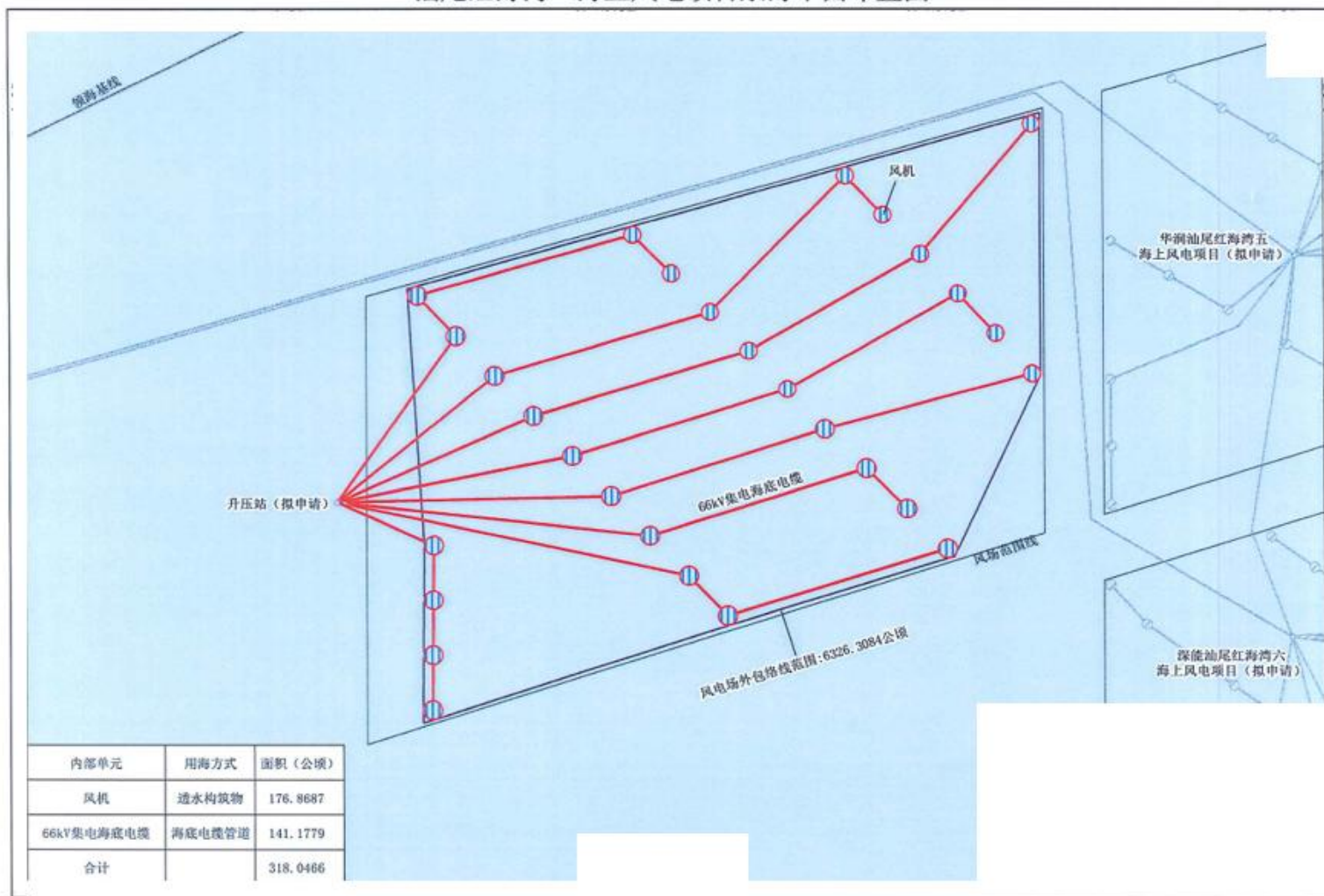


图 2.4.2-2 宗海平面布置图

汕尾红海湾三海上风电项目（风机、66kV集电海底电缆）宗海界址图

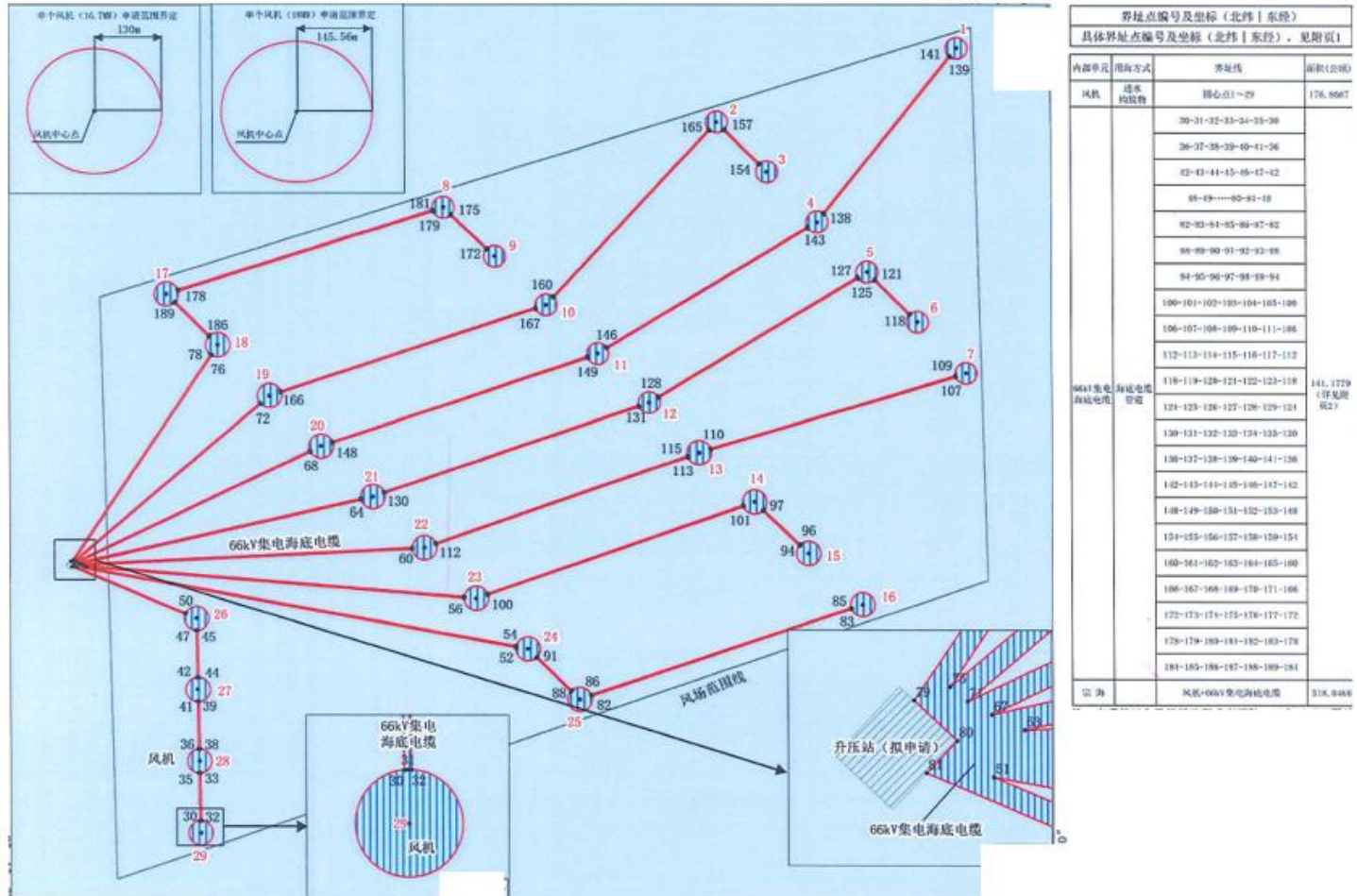


图 2.4.2-3 宗海界址图

2.5 项目用海必要性

2.5.1 建设必要性

2.5.1.1 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。

本风电场位于广东省汕尾市海丰县南面海域，离岸最近距离约 22.7km，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。

2.5.1.2 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。

2.5.1.3 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。

2.5.1.4 开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展

项目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。

2.5.1.5 《产业结构调整指导目录》（2024 年本）

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”，符合国家产业结构政策要求。

2.5.1.6 《市场准入负面清单》（2022 版）

根据《市场准入负面清单》（2022 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。

2.5.1.7 《“十四五”现代能源体系规划》

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》）。《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建设，积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用，推广光伏发电与建筑一体化应用。开展风电、光伏发电制氢示范。鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局。积极发展太阳能热发电。

广东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。因此，

积极发展海上风电，逐步推进海上风电规模化发展，是“十四五”期间全省能源发展建设，提升全省能源生产供应能力，能源消费结构进一步优化的重要措施。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。

2.5.1.8 《2030 年前碳达峰行动方案》

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》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。

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。

2.5.1.9 《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》

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。”

本项目为汕尾红海湾三海上风电项目，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）》。

2.5.1.10 《广东省能源发展“十四五”规划》

《广东能源发展“十四五”规划》（以下简称《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。

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。

综上，项目建设符合国家产业政策，符合《“十四五”现代能源体系规划》《2030 年前碳达峰行动方案》《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》《广东省能源发展“十四五”规划》，符合国家新能源政策和发展趋势，推动了广东海上风电发展，有利于缓解汕尾市的电力负荷需求，项目建设是必要的。

2.5.2 用海必要性

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。本项目的建设包括海上风机、66kV 集电海缆，其中海上风机位于海中，风机基础采用桩基础形式，桩基插入海床，风机架设在海面上方，必将占用一定的海域；项目建设 66kV 集电海缆，海底电缆埋入海床，必将占用一定的海床及底土，用海是必要的。

从项目的建设特点来看，其建设内容和性质决定了其用海的必要性，因此，本项目海上风机、66kV 集电海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

本项目此次申请的风机和 66kV 集电海缆距离最近的陆地约 22.7km，不占用岸线，论证范围也不涉及岸线资源，不对岸线资源进行介绍。

3.1.2 滩涂资源

本项目此次申请的风机和 66kV 集电海缆距离最近的陆地约 22.7km，不占用滩涂资源，论证范围也不涉及滩涂资源，不对滩涂资源进行介绍。

3.1.3 岛礁资源

本项目此次申请的风机和 66kV 集电海缆距离最近的竹竿屿 22.0km，不占用岛礁资源，论证范围也不涉及岛礁资源，不对岛礁资源进行介绍。

3.1.4 港口资源

根据《汕尾港总体规划》（报批稿）（2013 年 5 月），汕尾港地处惠州市与揭阳市之间沿海，毗邻港澳，是华南地区便捷的海上门户，区位优势明显，自然条件优越，水陆交通方便。1962 年，汕尾港成为我国率先对外开放的 16 个港口之一，经过 40 几年的发展，汕尾港现有汕尾、汕尾新（红海湾）、海丰和陆丰 4 个港区。汕尾新港区已于 2009 年 11 月 20 日由国务院批准作为对外开放的口岸。进入二十一世纪后，招商引资力度逐渐加大，大型企业开始纷纷落户汕尾，港口发展得到进一步的加强，特别是大型深水泊位开始出现，汕尾新港区建成了汕尾电厂 70000DWT 散货泊位。

汕尾新港区（红海湾）现共有泊位 7 个，包括 1 个 70000DWT 泊位、2 个 3000DWT 泊位、2 个 2000DWT 泊位和 2 个 1000DWT 泊位，设计年综合通过能力 638.8 万 t。

3.1.5 渔业资源

(1) 鱼卵仔稚鱼

①春季

1) 种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中,共出现了鱼卵 17 种,其中包括鲈形目 10 种,鲱形目、鳗鲡目和鲽形目各 2 种,鲉形目 1 种;仔稚鱼 24 种,其中包括鲈形目 15 种,鲱形目 3 种,鲱形目 2 种,灯笼鱼目、鲽形目、鳗鲡目和鲉形目各 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 166ind,仔稚鱼 66ind;鱼卵平均密度为 $1.688\text{ind}/\text{m}^3$,仔稚鱼平均密度为 $0.470\text{ind}/\text{m}^3$ 。SW17 站位鱼卵密度最高,密度为 $6.709\text{ind}/\text{m}^3$,其次是 SW32 站位,密度为 $5.732\text{ind}/\text{m}^3$,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 SW32 站位,密度为 $1.384\text{ind}/\text{m}^3$,共 12 个站位采获到仔稚鱼。

表 3.1.5-1 春季鱼卵仔稚鱼密度及其分布(垂直拖网)(不公开)

3) 主要种类的数量分布(水平拖网)

a、鲷科(Leiognathidae)

本次水平拖网调查出现的鲷科鱼卵共有 2039 粒,出现在 7 个站位,鲷科鱼卵在调查海域中 SW17 站位数量最多。

b、鳀科(Engraulidae)

本次水平拖网调查出现的鳀科鱼卵共有 5917 粒,出现在 11 个站位,鳀科鱼卵在调查海域中 SW32 站位数量最多。鳀科仔稚鱼共有 10 尾,出现在 6 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 14 种,其中包括鲈形目 8 种,鲱形目和鲽形目各 2 种,鳗鲡目和仙女鱼目各 1 种;仔稚鱼 4 种,都归属于鲈形目。

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 7ind,仔稚鱼 3ind;鱼卵平均密度为 $0.048\text{ind}/\text{m}^3$,仔稚鱼平均密度为 $0.035\text{ind}/\text{m}^3$ 。SW13 站位鱼卵密度最高,密度为 $0.220\text{ind}/\text{m}^3$,其次是 SW17 站位,密度为 $0.202\text{ind}/\text{m}^3$,共 5 个站位

捕获到鱼卵；SW13 站位仔稚鱼密度最高，密度为 $0.441\text{ind}/\text{m}^3$ ，其次是 SW31 站位，密度为 $0.046\text{ind}/\text{m}^3$ ，共 2 个站位捕获到仔稚鱼。

表 3.1.5-2 秋季鱼卵仔稚鱼密度及其分布（垂直拖网）（不公开）

3) 主要种类的数量分布（水平拖网）

a、鲹科（Carangidae）

本次调查出现的鲹科鱼卵共有 55 粒，出现在 8 个站位，鲹科鱼卵在调查海域中 SW13 站位数量最多。

b、笛鲷科（Lutjanidae）

本次水平拖网调查出现的笛鲷科鱼卵共有 69 粒，出现在 5 个站位，笛鲷科鱼卵在调查海域中 SW26 站位数量最多。

（2）游泳生物

①春季

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 15 m、网衣长 38 m、网口目 80 mm、网囊目 28 mm 的底拖网，平均拖网船速为 2.0 kn。

本次游泳动物调查共捕获 3 门 3 纲 15 目 69 科 189 种，其中：鱼类 127 种，占总种类数的 67.20%，虾类 29 种（其中虾蛄类 6 种），占总种类数的 15.34%，蟹类 26 种，占总种类数的 13.76%，头足类 7 种，占总种类数的 3.70%。

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（261~913）ind/h，平均尾数渔获率为 446ind/h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 181ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 42.92%；虾类平均尾数渔获率为 135ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 31.51%；蟹类平均尾数渔获率为 117ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 22.67%；头足类的平均尾数渔获率为 13ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 2.90%。

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（3.742~14.098）kg/h，平均重量渔获率为 6.615kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 4.154kg/h，

占游泳动物平均重量渔获率的 63.91%；虾类平均重量渔获率为 0.885kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 13.99%；蟹类平均重量渔获率为 1.128kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 16.17%；头足类的平均重量渔获率为 0.448kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 5.94%。

c、幼体比例

本次调查区域游泳动物幼体渔获总体占比为 33.09%，其中虾类幼体比例最高，为 50.05%，其次是鱼类，幼体比例为 31.33%，蟹类幼体比例为 19.78%，头足类幼体比例为 0。

3) 渔业资源密度

a、尾数资源密度

本次调查 14 个站位尾数资源密度范围在 $(8.947\sim32.865)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $15.880\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，尾数资源密度最高的站位为 SW16 站位，最低为 SW17 站位。

其中，鱼类尾数资源密度分布范围在 $(3.276\sim10.943)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $6.432\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 SW16 站位最高，SW34 站位最低；虾类尾数资源密度分布范围在 $(2.331\sim7.415)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $4.800\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 SW16 站位最高，SW31 站位最低；蟹类尾数资源密度分布范围在 $(0.377\sim13.787)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $4.201\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，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 $(0\sim1.656)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $0.447\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 SW24 站位最高，SW17 和 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 $(134.701\sim507.487)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $236.273\text{kg}/\text{km}^2$ ，SW16 站位最高，SW34 站位最低。

其中，鱼类重量资源密度变化范围在 $(66.055\sim256.084)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $148.265\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 SW16 站位最高，SW13 站位最低；虾类重量资源密度变化范围在 $(9.325\sim66.379)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $31.657\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 SW16 站位最高，SW28 站位最低；蟹类重量资源密度变化范围在 $(7.577\sim158.639)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $40.354\text{kg}/\text{km}^2$ ，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 (0~57.307) kg/km² 之间, 平均值为 15.996kg/km², 其中 SW24 站位最高, SW17 和 SW34 站位最低。

表 3.1.5-3 春季各站位重量资源密度 (不公开)

4) 各类群优势种

a、鱼类优势种

相对重要性指数 IRI 显示, 本次调查的鱼类优势种 (IRI≥1000) 共有 1 种, 为颈斑项鲂 (*Nuchequula nuchalis*), 其总生物渔获重量为 3.512 kg, 占鱼类总渔获重量的 6.04%; 赤鼻棱鲢总个体渔获量为 330ind, 占鱼类总渔获个体数的 13.02%。

b、虾类优势种

相对重要性指数 IRI 显示, 本次调查海域的虾类优势种 (IRI≥1000) 共有 3 种, 分别为口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*)、鹰爪虾 (*Trachysalambria curvirostris*)、须赤虾 (*Metapenaeopsis barbata*), 其中口虾蛄为第一优势种, 其总生物渔获重量为 2.612 kg, 占虾类总渔获重量的 21.12%; 葛氏似口虾蛄总个体渔获量为 167 ind, 占虾类总渔获个体数的 8.85%。

c、蟹类优势种

相对重要性指数 IRI 显示, 本次调查海域的蟹类优势种 (IRI≥1000) 共有 3 种, 分别为变态蟳 (*Charybdis variegata*)、隆线强蟹 (*Eucrate crenata*) 和日本拟平家蟹 (*Heikeopsis japonicus*), 其中变态蟳为第一优势种, 其总生物渔获重量为 5.287kg, 占蟹类总渔获重量的 33.42%; 变态蟳总个体渔获量为 1010ind, 占蟹类总渔获个体数的 61.51%。

d、头足类优势种

相对重要性指数 IRI 显示, 本次调查海域的头足类优势种 (IRI≥1000) 共 1 种, 为杜氏尾枪乌贼 (*Uroteuthis duvauceli*), 其总生物渔获重量为 4.790kg, 占头足类总渔获重量的 76.44%; 杜氏尾枪乌贼总个体渔获量为 130ind, 占头足类总渔获个体数的 73.86%。

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 36~69 种, 多样性指数变化范围在 3.352~4.986 之间, 平均值为 4.381, 其中 SW21 站位最高, SW13 和 SW26 站位

最低；均匀度指数变化范围在 0.597~0.884 之间，平均值为 0.792，其中 SW27 站位最高，SW13 站位最低；丰富度指数范围在 4.015~7.057 之间，平均值为 5.259，丰富度指数以 SW21 站位最高，SW26 站位最低。

6) 主要经济种类

主要经济鱼类：颈斑项鰭；

主要经济虾类：鹰爪虾、口虾蛄；

主要经济头足类：杜氏尾枪乌贼。

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 12.0m、网口宽 8.0 m、网衣长 30 m、网口目 40 mm、网囊目 20 mm 的底拖网，平均拖网船速为 3.0 kn。

本次游泳动物调查共捕获 3 门 4 纲 16 目 69 科 173 种，其中：鱼类 116 种，占总种类数的 67.05%，虾类 18 种（其中虾蛄类 7 种），占总种类数的 10.40%，蟹类 27 种，占总种类数的 15.61%，头足类 12 种，占总种类数的 6.94%。

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（232~939）ind/h，平均尾数渔获率为 530ind/h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 257ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 48.47%；虾类平均尾数渔获率为 100ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 18.78%；蟹类平均尾数渔获率为 156ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 29.35%；头足类的平均尾数渔获率为 18ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 3.39%。

b、重量渔获率

本次调查该海区 14 个站位的重量渔获率范围为（4.346~12.378）kg/h，平均重量渔获率为 7.589kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 4.423kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 58.29%；虾类平均重量渔获率为 1.172kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 15.44%；蟹类平均重量渔获率为 1.669kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 21.99%；头足类的平均重量渔获率为 0.325kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 4.28%。

c、幼体比例

本次调查区域游泳动物幼体渔获总体占比为 36.25%，其中虾类幼体比例最高，为 51.87%，其次是鱼类，幼体比例为 41.36%，蟹类幼体比例为 22.03%，头足类幼体比例为 0。

3) 渔业资源密度

a、尾数资源密度

本次调查 14 个站位尾数资源密度范围在 $(10.440\sim42.252)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $23.858\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，尾数资源密度最高的站位为 SW17 站位，最低为 SW31 站位。

其中，鱼类尾数资源密度分布范围在 $(2.250\sim23.533)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $11.564\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 SW26 站位最高，SW19 站位最低；虾类尾数资源密度分布范围在 $(0.045\sim13.679)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $4.480\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 SW13 站位最高，SW24 站位最低；蟹类尾数资源密度分布范围在 $(0.180\sim16.424)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $7.003\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，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 $(0.135\sim2.070)\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $0.810\times10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 SW27 站位最高，SW04 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 $(195.555\sim556.965)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $341.478\text{kg}/\text{km}^2$ ，SW17 站位最高，SW27 站位最低。

其中，鱼类重量资源密度变化范围在 $(44.051\sim381.344)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $199.038\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 SW35 站位最高，SW19 站位最低；虾类重量资源密度变化范围在 $(0.045\sim161.627)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $52.736\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 SW19 站位最高，SW24 站位最低；蟹类重量资源密度变化范围在 $(5.490\sim220.977)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $75.102\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 SW17 站位最高，SW28 站位最低；头足类重量资源密度变化范围在 $(2.475\sim36.402)\text{kg}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $14.601\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 SW26 站位最高，SW19 站位最低。

表 3.1.5-4 秋季各站位重量资源密度（不公开）

4) 各类群优势种

a、鱼类优势种

相对重要性指数 *IRI* 显示，本次调查的鱼类优势种 ($IRI \geq 1000$) 共有 2 种，为赤鼻棱鳀 (*Thryssa kammalensis*) 和大头白姑鱼 (*Pennahia macrocephalus*)，其中赤鼻棱鳀为第一优势种，其总生物渔获重量为 4.782kg，占鱼类总渔获重量的 7.72%；赤鼻棱鳀总个体渔获量为 600 个，占鱼类总渔获个体数的 16.68%。

b、虾类优势种

相对重要性指数 *IRI* 显示，本次调查海域的虾类优势种 ($IRI \geq 1000$) 共有 3 种，分别为葛氏似口虾蛄 (*Oratosquilla gravieri*)、口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 和须赤虾 (*Metapenaeopsis barbata*)，其中葛氏似口虾蛄为第一优势种，其总生物渔获重量为 3.874 kg，占虾类总渔获重量的 24.38%；葛氏似口虾蛄总个体渔获量为 568 个，占虾类总渔获个体数的 40.75%。

c、蟹类优势种

相对重要性指数 *IRI* 显示，本次调查海域的蟹类优势种 ($IRI \geq 1000$) 共有 3 种，分别为红星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*)、微异类梭蟹 (*Eodemus subtilis*) 和直额蟳 (*Charybdis truncata*)，其中红星梭子蟹为第一优势种，其总生物渔获重量为 10.938 kg，占蟹类总渔获重量的 46.81 %；总个体渔获量为 276 个，占蟹类总渔获个体数的 12.67%。

d、头足类优势种

相对重要性指数 *IRI* 显示，本次调查海域的头足类优势种 ($IRI \geq 1000$) 共 1 种，为杜氏尾枪乌贼 (*Uroteuthis duvauceli*)，其总生物渔获重量为 3.181kg，占头足类总渔获重量的 70.04%；杜氏尾枪乌贼总个体渔获量为 217 个，占头足类总渔获个体数的 86.11%。

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 35~59 种，多样性指数变化范围在 3.486~4.622 之间，平均值为 4.089，其中 SW31 站位最高，SW19 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.655~0.803 之间，平均值为 0.730，其中 SW31 站位最高，SW19 站位最低；丰富度指数范围在 4.137~6.745 之间，平均值为 5.394，丰富度指数以 SW31 站位最高，SW13 站位最低。

6) 主要经济种类规格和分布

主要经济鱼类：大头白姑鱼、赤鼻棱鲷；

主要经济虾类：口虾蛄；

主要经济蟹类：红星梭子蟹；

主要经济头足类：杜氏尾枪乌贼。

3.1.6 风能资源

本节风能资源选取工程场址中心西侧 13km 处海上漂浮式激光雷达测风塔，编号 YDPF-1，从 2022 年 4 月 29 日~2023 年 05 月 31 日的观测数据进行风能参数分析。

（1）风能资源丰富

本工程 100m 高度代表年平均风速为 7.95m/s，年平均风功率密度为 501W/m²，预装轮毂高度（154.71m）代表年平均风速为 8.09m/s，年平均风功率密度为 523W/m²；预装轮毂高度（172.81m）代表年平均风速为 8.13m/s，年平均风功率密度为 528W/m²；参考《海上风力发电场设计标准（GB/T51308-2019）》，本场址风功率密度等级为 4 级。

（2）风速和风能分布较为集中

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。轮毂高度风速主要集中在 3~13m/s 的区间中，频率约占 84%，而风能主要集中在 7~17m/s 的风速区间中，频率约占 87%。风速和风能分布均比较集中。在机组选择时在充分考虑机组安全性的同时应选择风能利用效率较高的风力发电机组，实现风能资源的充分利用。

（3）风功率密度年内变化相对较大，而日变化幅度较小

年内各月平均风速变化较大，在年内 10 月至翌年 1 月风速相对较大，其中 10 月平均风速最大；3~9 月风速相对较小，其中 8 月风速最小。风速日内变化不大，一日中 10~19 时风速与风功率密度相对较小，20~次日 9 时风速和风功率相对较高。

（4）湍流强度和风切变指数均较小

根据《风力发电机组设计要求》（GB/T18451.1）的相关要求，特征风速为 15m/s（14.5~15.5m/s）时的湍流强度均位于 IEC 的 C 类湍流强度以下。本工程

场址的湍流强度处于偏弱级别。

从切变指数来看，测风塔各层按幂函数拟合风速比值与高度比值的关系，可知整体切变指数约为 0.042。

（5）重现期风速

计算场址 150m 高度处标准空气密度下 50 年一遇 10min 平均风速为 52.09m/s，50 年一遇 3s 极大风速为 67.72m/s；本场址 160m 高度处标准空气密度下 50 年一遇 10min 平均风速为 52.50m/s，50 年一遇 3s 极大风速为 68.24m/s；170m 高度处标准空气密度下 50 年一遇 10min 平均风速为 52.88m/s，50 年一遇 3s 极大风速为 68.74m/s。

3.1.7 矿产资源

本项目论证范围内未涉及海砂开采区，本项目位于汕尾市海丰县南面海域，距离汕尾市计划海砂区约 28.6km，距离汕尾储备海砂区约 36.2km，本项目距离海砂区较远，对海砂开采没有影响。

3.1.8 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,占全年18.23%。

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	

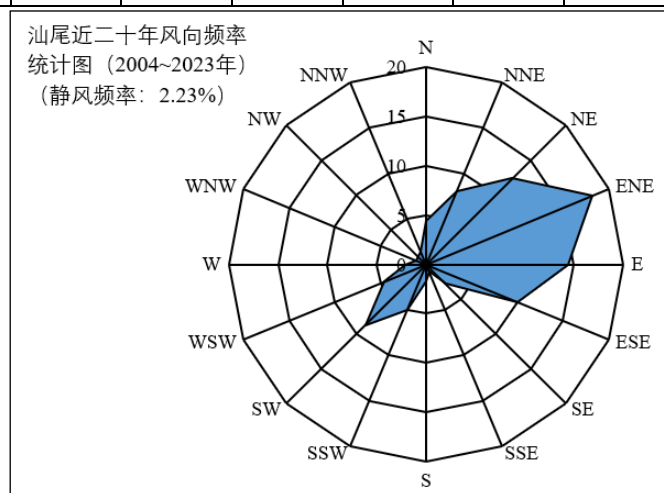


图 3.2.1-1 汕尾风向玫瑰图 (静风频率 2.23%)

3.2.2 水文动力

3.2.2.1 潮位

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

(1) 潮汐特征值统计

各潮位站实测平均高潮位，各站相差不大。T2 站最高，为 1.13m；T1 站次之，为 1.06m，T3 站最低，为 1.01m；实测平均低潮位，T1 站最低，为 0.16m；T2 站为 0.27m；T3 站为 0.30m。T1~T3 站平均潮差分别为 0.90m、0.86m、0.71m；最大潮差为 1.80m，出现在 T1 站；T1 站和 T2 站分别为 1.79m、1.58m。各潮位站实测平均涨、落潮历时，平均涨潮历时均大于平均落潮历时，T1~T3 站涨、落潮历时差分别为 2h37min、2h16min、1h58min。T1~T3 站平均海平面分别为 0.66m、0.71m、0.76m。

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

(2) 短期潮汐调和分析

T1 站~T3 站的 F 值为均在 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。

3.2.2.2 潮流

(1) 流速流向统计分析

① 实测潮流特征值

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 90cm/s,流向 112°,出现在 E5 测点表层。垂线平均最大流速出现在 E6 测点,为 59cm/s,流向 82°。

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 97cm/s,流向 113°,出现在 E6 测点表层。垂线平均最大流速为 50cm/s,流向 86°,出现在 E3 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 E9 测点表层。垂线平均最大流速出现在 E4 测点,为 44cm/s,流向 75°。

② 实测流向分布

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) 潮流准调和分析

① 潮流椭圆要素

本次对 E1~E9 共 9 个水文测点大、中、小三个潮次的潮流数据,采用准调和和分析方法分别计算出 O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 、 M_4 、 MS_4 ,6 个主要分潮流调和常数,各测点主要分潮流的潮流椭圆要素。

各主要分潮流以 M_2 半日分潮流和 O_1 、 K_1 全日分潮流为主, S_2 半日分潮流、 MS_4 复合分潮流和 M_4 四分之一日分潮流相对较小。各主要分潮流最大流速(长半轴)的最大值为 20.46cm/s,出现在 E3 测点 K_1 全日分潮流的表层。

② 潮流类型

各测点分层潮流示性系数介于 0.5~4.0 之间,垂线平均潮流的潮流示性系数均大于 0.5 且小于 2.0。总体来看,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。

③潮流可能最大流速

垂线平均的潮流可能最大流速以 E6 测点最大，为 32cm/s，流向为 273°；E2 测点最小，为 17cm/s，流向 249°。

各层的潮流的可能最大流速以 E9 测点表层最大，为 70cm/s，流向 310°；E8 测点底层最小，为 20cm/s，流向 104°。

④潮流运动形式

本次观测各测层 M_2 分潮流各测层 $|K|$ 值在 0~0.90 之间，各测层潮流运动形式较复杂，兼具典型往复流、旋转流等多种潮流运动形式。从 M_2 分潮流垂线平均 $|K|$ 值来看，各测点潮流呈现为以往复流为主结合旋转流的运动形式。

本海区的分潮旋转方向规律性较强，以 M_2 分潮为例，各站各测层基本为右旋，即 $K < 0$ 。

3.2.2.3 余流

垂线平均余流在 22cm/s~33cm/s 之间，各测点垂线平均余流最大值出现在大潮期间 E6、E9 测点，方向分别为 79°、77°；最小值出现在中潮期间 E8 测点，方向为 77°。

各层余流在 2cm/s~54cm/s 之间，各测点余流最大值出现在中潮期间 E3 测点表层，方向为 84°；最小值出现在中潮期间 E8 测点底层，方向为 87°。

总体来看，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。

3.2.2.4 温度

各测点测得最高水温为 31.27°C，出现在小潮观测期间 E4 测点表层；最低为 21.19°C，出现在小潮观测期间 E4 测点底层。各站垂线平均温度在 24.20°C~26.85°C 之间。

大潮期各测点垂线平均温度变化范围为 25.31°C~26.85°C，最大值与最小值相差 1.54°C，分别出现在 E3 和 E9 测点。

中潮期各测点垂线平均温度变化范围为 24.55°C~26.79°C，最大值与最小值相差 2.24°C，分别出现在 E6 和 E4 测点。最大和最小值比大潮观测时分别下降

0.06°C和 0.76°C。

小潮期各测点垂线平均温度变化范围为 24.20°C~26.79°C，最大值与最小值相差 2.59°C，分别出现在 E6 和 E3 测点。最大和最小值比大潮观测时分别下降 0.06°C和 1.11°C。

综上所述，项目海域各测点水温极值和变化量，潮次间差别较小。

3.2.2.5 盐度

大潮期各测点垂线平均盐度变化范围为 33.49~34.11，最大值与最小值相差 0.62。最大值和最小值均出现在 E6 测点。

中潮期各测点垂线平均盐度变化范围为 33.59~34.16，最大值与最小值相差 0.57。最大值和最小值分别出现在 E3 测点和 E6 测点。

小潮期各测点垂线平均盐度变化范围为 33.37~34.07，最大值与最小值相差 0.70。最大值和最小值分别出现在 E3 测点和 E6 测点。

综上所述，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。

3.2.2.6 悬浮泥沙

（1）测点最大含沙量

全潮水文测验期间测点最大含沙量，大潮为 0.128kg/m³，出现在 E5 测点 0.6H 层；中潮为 0.102kg/m³，出现在 E5 测点底层；小潮为 0.229kg/m³，出现在 E5 测点的底层。

测点含沙量受潮流及地形共同影响，由于测区潮流动力较小，地形平坦，各测点实测最大含沙量相差不大。

（2）垂线平均最大含沙量

全潮水文测验期间，实测海域垂线平均最大含沙量，大、中、小潮分别为 0.108kg/m³、0.072kg/m³、0.113kg/m³，均出现在 E5 测点；垂线最大含沙量平面分布与潮段平均含沙量的平面分布一致，各测点差异较小。

（3）含沙量垂向分布

全潮水文测验期间，测点含沙量普遍较小，垂线分布无明显规律。

（4）中值粒径

各测点悬沙的中值粒径介于 0.006-0.175mm 之间。

3.2.2.7 波浪

本工程波浪周年观测工作尚未开展，本阶段参考场址附近波浪周年测站的实测波浪资料，观测时间为 2018 年 4 月~2019 年 4 月。

本海区主要受西南季风、热带气旋、东北季风三种天气系统所影响。其中，受热带气旋影响的秋季波高最大，夏季与冬季次之，春季最小。全年最大波高与有效波高的极值分别为 17.02m 与 9.74m，发生在 2018 年 9 月 16 日台风山竹过境期间；年平均有效波高与平均波高分别为 1.21m 与 0.76m。

海区的波浪比较大，工程海区的波浪类型以风浪为主，有效波陡大于 0.025 的出现频率高达 81.70%。

就整个观测期间而言， $H_{\max}$ - $T_{\max}$ 、 $H_{1/10}$ - $T_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ - $T_{1/3}$ 、 H_m - T_m 和 H_s - T_p 主要分布在波高 50~350cm、0~300cm、0~250cm、0~150cm 和 0~250cm，周期为 3~9s、3~9s、3~9s、2~7s 和 3~10s 的范围内，出现频率分别为 92.05%和 95.14%，97.21%和 97.41%，98.09%和 98.70%，97.32%和 99.04%，97.08%和 95.45%。

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%；波向主要分布在 ENE~SSW 之间；在其它方向出现频率较少，一般不超过 2.00%。强浪向为 ESE 向，主要由热带气旋造成。

3.2.3 海域地形地貌与冲淤状况

3.2.3.1 地形地貌

风电场位于汕尾市南面海域，水深 34m~41m，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。项目水深地形图可见图 3.2.3-1。

图 3.2.3-1 项目海域水深图（不公开）

3.2.3.2 冲淤现状和冲淤变化特征

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 3.2.3-2 2008 年-2021 年间项目附近海域等深线变化图（不公开）

3.2.4 工程地质

（1）岩土层特征

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} ），场区覆盖层厚度大，一般大于 100m。各岩土层特征按由上至下的揭露顺序描述如下。

第一大层：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 3.20m，层底面高程为-42.20m，层顶面高程为-39.00m。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 2.10m~3.80m，层底面高程为-46.00m~-41.70m，层顶面高程为-43.90m~-38.20m。该层标准贯入试验实测击数为 1。

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 1.60m~8.00m，层底面高程为-61.80m~-38.40m，层顶面高程为-58.10m~-35.60m。该层标准贯入试验实测击数为 3。

粉砂混淤泥（①₃）：灰色，饱和，松散，主要矿物为石英、长石，级配一般，含较多淤泥、粉粒，局部呈夹层产出，海相沉积。该层厚度为 2.20m~11.90m，层底面高程为-57.50m~-39.90m，层顶面高程为-46.00m~-35.50m。该层标准贯入试验实测击数为 1~10。

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

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

粉砂 (①₄)：灰色，饱和，中密，主要矿物为石英、长石，级配一般，含黏性土及贝壳碎屑，海相沉积。该层厚度为 10.70m，层底面高程为-50.60m，层顶面高程为-39.90m。该层标准贯入试验实测击数为 19~23。

第二大层：全新统海陆过渡相沉积层 (Q₄^{m+al})

黏土 (②)：灰色，很湿，软塑，黏性、韧性较好，切面较光滑，局部夹粉砂或粉土薄层，海陆过渡相沉积。该层厚度为 0.80m，层底面高程为-62.60m，层顶面高程为-61.80m。

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

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 0.50m~7.40m，层底面高程为-93.50m~-62.10m，层顶面高程为-91.20m~-59.40m。该层标准贯入试验实测击数为 6~20。

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

粉砂 (②₃)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配差，混黏性土，海陆过渡相沉积。该层厚度为 3.20m~3.90m，层底面高程为-80.80m~-75.80m，

层顶面高程为-76.90m~-72.60m。该层标准贯入试验实测击数为 38~79。

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

中砂 (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~10.00m，层底面高程为-97.60m~-75.70m，层顶面高程为-88.40m~-73.60m。该层标准贯入试验实测击数为 35~125。

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

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 10.00m，层底面高程为-72.60m，层顶面高程为-62.60m。该层标准贯入试验实测击数为 60~100。

第三大层：晚更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 1.90m~8.50m，层底面高程为-140.95m~-98.90m，层顶面高程为-135.50m~-96.80m。该层标准贯入试验实测击数为 19~28。

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 1.10m~11.30m，层底面高程为-141.75m~-92.00m，层顶面高程为-140.30m~-88.90m。该层标准贯入试验实测击数为 17~39。

粉质黏土 (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~1.70m，层底面高程-137.70m~-93.60m，层顶面高程为-136.00m~-92.10m。该层标准贯入试验实测击数为 22~27。

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 1.90m~3.30m，层底面高程为-114.50m~-94.20m，层顶面高程为-111.20m~-91.50m。该层标准贯入试验实测击数为 45~54。

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

细砂（③₄）：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 2.10m，层底面高程为-110.30m，层顶面高程为-108.20m。该层标准贯入试验实测击数为 58。

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 3.80m，层底面高程-104.00m，层顶面高程为-100.20m。该层标准贯入试验实测击数为 79。

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 1.80m~9.40m，层底面高程为-119.00m~-94.40m，层顶面高程为-109.60m~-90.20m。该层标准贯入试验实测击数为 48~229。

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 2.10m~2.80m，层底面高程为-127.00m~-116.60m，层顶面高程为-124.50m~-114.50m。该层标准贯入试验实测击数为 72~79。

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 1.80m~4.50m，层底面高程为-120.40m~-107.50m，层顶面高程为-118.60m~-103.00m。该层标准贯入试验实测击数为 52~72。

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 3.80m，层底面高程为-124.20m，层顶面高程为-120.40m。该层标准贯入试验实测击数为 200。

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

（2）场地稳定性及适宜性

场址近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，风电场地震基本烈度为Ⅶ度，根据《海上风力发电厂勘测标准》（GB51395-2019）的有关标准，风电场区域构造稳定性较好。根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）4.1.7 条，抗震设防烈度小于 8 度时，可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响。拟建场地属对建筑抗震不利地段，根据行业标准《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ57-2012）8.2.1 条，对建筑抗震的不利地段划分为稳定性差场地。根据行业标准《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ57-2012）8.3.2 条及附录 C，稳定性差场地适宜性定性分级为适宜性差。风机基础位于近海海域，易受海浪冲刷，但采用桩基础及防潮水冲刷措施后可进行工程建设。

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。

从 1949~2023 年，共 75 年，项目 300km 范围内出现热带气旋 305 个，平均每年 4.1 个。其中热带气旋影响最多的年份是 1999 年，为 9 个，热带气旋影响最少的年份为 1969、2007、2015、2019 年，为 1 个。项目方圆 300 公里范围内每年从 4 月到 12 月长达 9 个月内都可能出现热带气旋，主要集中在盛夏和初秋季节，即 6 至 9 月，这 4 个月热带气旋占总数的 83.0%。按月份来说，8 月份最多，占总数的 28.2%，月平均为 1.1 个，其次为 9 月份，占总数的 20.3%，月平均为 0.8 个。可见盛夏初秋台风灾害的发生的频度高。

根据汕尾国家气象站、红海湾遮浪气象站和汕尾浮标站数据统计，结合台风路径综合分析，以中心进入项目方圆 200km 以内、阵风超过 12 级的台风，得到近 12 年对工程区域影响最大的 5 个台风，分别为 1319 号台风“天兔”（超强台

风级）、1604 号台风“妮妲”、1622 号台风“海马”（超强台风级）、1822 号台风“山竹”（超强台风级）和 2309 号台风“苏拉”（超强台风级）。

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 3.2.5-2。

表 3.2.5-2 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）
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

本节引用《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》和《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》分别于 2024 年 4 月和 2024 年 11 月在项目附近海域进行的海洋环境现状调查数据。

3.2.6.1 调查概况

(1) 春季

本次调查共设水质调查站位 23 个，沉积物调查站位 12 个，海洋生物生态 14 个、生物体质量和渔业资源调查站位 14 个，具体调查站位详见表 3.2.6-1 和图 3.2.6-1。

表 3.2.6-1 春季海洋环境现状调查站位

站位	经度 E	纬度 N	调查项目
SW13			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW14			水质
SW15			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW16			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW17			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW18			水质
SW19			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW20			水质
SW21			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW23			水质
SW24			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW25			水质
SW26			水质、生物生态和渔业资源
SW27			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW28			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW29			水质
SW30			水质
SW31			水质、生物生态和渔业资源
SW32			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW33			水质
SW34			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW35			水质、沉积物、生物生态和渔业资源
SW36			水质



图 3.2.6-1 春季海洋环境现状调查站位布设示意图

(2) 秋季

本次调查共设水质调查站位 23 个，海洋生物生态 14 个、生物体质量和渔业资源调查站位 14 个，具体调查站位详见表 3.2.6-2 和图 3.2.6-2。

表 3.2.6-2 秋季海洋环境现状调查站位

站位	经度 E	纬度 N	调查项目
SW13			水质、生物生态和渔业资源
SW14			水质
SW15			水质、生物生态和渔业资源
SW16			水质、生物生态和渔业资源
SW17			水质、生物生态和渔业资源
SW18			水质
SW19			水质、生物生态和渔业资源
SW20			水质
SW21			水质、生物生态和渔业资源
SW23			水质
SW24			水质、生物生态和渔业资源
SW25			水质
SW26			水质、生物生态和渔业资源
SW27			水质、生物生态和渔业资源
SW28			水质、生物生态和渔业资源
SW29			水质

站位	经度 E	纬度 N	调查项目
SW30			水质
SW31			水质、生物生态和渔业资源
SW32			水质、生物生态和渔业资源
SW33			水质
SW34			水质、生物生态和渔业资源
SW35			水质、生物生态和渔业资源
SW36			水质



图 3.2.6-2 秋季海洋环境现状调查站位布设示意图

3.2.6.2 海洋水质评价

①春季

全部站位均执行海水水质第一类标准，由监测结果及标准指数表结果可知：部分站位的溶解氧含量处于过饱和状态，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

全部站位均执行海水水质第一类标准，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要求。

3.2.7 海洋沉积物质量现状调查与评价

本节引用《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》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。

沉积物样品的分析统计结果及粒级组成见表 3.2.7-4。该项目海域海洋沉积物砂含量在 44.63%~92.86%，平均值为 70.70%，粉砂含量在 6.72%~40.59%，平均值为 23.82%，粘土含量在 0.42%~14.78%，平均值为 5.47%。调查站位沉积物样品类型为砂 S 的站位：SW13、SW15、SW16；调查站位沉积物样品类型为粉砂质砂 TS 的站位：SW17、SW19、SW21、SW24、SW27、SW28、SW32、SW34、SW35。

执行海洋沉积物质量第一类标准要求的站位有 SW13、SW15、SW16、SW17、SW19、SW21、SW24、SW27、SW28、SW32、SW34、SW35。由监测结果及标准指数表结果可知：所有海洋沉积物质量调查站位的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

本节引用《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》和《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》分别于 2024 年 4 月和 2024 年 11 月在项目附近海域进行的海洋生物质量现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

①春季

采集到的鱼类、甲壳类和软体类的污染物含量均达到《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》及《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中的标准限值要求。

②秋季

采集到的鱼类、甲壳类和软体类的污染物含量均达到《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》及《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中的标准限值要求。

3.2.9 海洋生态现状

3.2.9.1 调查概况

本节引用《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》和《汕尾红海湾三海上风电项目海洋环境现状调查监测报告》分别于 2024 年 4 月和 2024 年 11 月在项目附近海域进行的海洋生态现状调查数据。具体站位详见 3.2.6.1 节。

(1) 叶绿素 *a* 与初级生产力

①春季

本次调查结果显示，各站表层叶绿素 *a* 变化范围在 $(0.25\sim1.13)$ mg/m^3 ，平均为 $0.62\text{mg}/\text{m}^3$ ；10m 水层叶绿素 *a* 变化范围在 $(0.21\sim0.94)$ mg/m^3 ，平均为 $0.45\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素 *a* 含量变化范围在 $(0.19\sim0.79)\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为 $0.38\text{mg}/\text{m}^3$ 。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 $(0.22\sim0.92)$ mg/m^3 ，平均为 $0.48\text{mg}/\text{m}^3$ ，SW32 站位叶绿素 *a* 平均值最高，SW21 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 $(102.439\sim372.942)$ $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间，平均值为 $206.090\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，其中 SW32 站位初级生产力值最高，SW21 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 $(0.59\sim2.48)$ mg/m^3 ，平均为 $1.08\text{mg}/\text{m}^3$ ；10m 水层叶绿素 *a* 变化范围在 $(0.53\sim1.58)$ mg/m^3 ，平均为 $0.96\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素 *a* 含量变化范围在 $(0.26\sim1.53)\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为 $0.85\text{mg}/\text{m}^3$ 。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 $(0.46\sim1.81)$ mg/m^3 ，平均为 $0.96\text{mg}/\text{m}^3$ ，SW28 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 $(198.223\sim731.217)$ $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间，平均值为 $399.671\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，其中 SW28 站位初级生产力值最高，SW24 站位初级生产力值最低。

(2) 浮游植物

①春季

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 88 种, 占总种类数的 65.19%; 甲藻门种类次之, 出现 11 科 43 种, 占总种类数的 31.85%; 蓝藻门出现 1 科 2 种, 占总种类数的 1.48%; 金藻门出现 1 科 2 种, 占总种类数的 1.48%。

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 (79.360~13234.442) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $1757.443 \times 10^3 \text{ind/m}^3$, 最高个体数量出现在 SW34 站位, 最低个体数量出现在 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 (41.109~13177.239) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $1691.151 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 硅藻门各站位个体数量的占比在 25.54%~99.57%之间, 各站位占比平均值为 82.93%。蓝藻门个体数量范围在 (2.486~296.836) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $48.846 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 各站位个体数量百分比在 0.19%~57.23%之间, 占比平均值为 13.49%; 其他类群 (包括金藻门和甲藻门) 个体数量范围在 (4.070~89.376) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $17.447 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 各站位个体数量百分比在 0.13~17.23%之间, 占比平均值为 3.57%。

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 7 种, 分别为拟旋链角毛藻 (*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、柔弱伪菱形藻 (*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、北方角毛藻 (*Chaetoceros borealis*)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp.)、透明辐杆藻 (*Bacteriastrum hyalinum*) 和笔尖形根管藻 (*Rhizosolenia styliformis*), 其中拟旋链角毛藻为第一优势种, 优势度为 0.202, 平均个体数量为 $618.959 \times 10^3 \text{ind/m}^3$, 占各站位平均个体数量的 35.22%。

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 42~59 种。多样性指数范围在 2.471~4.040 之间, 平均值为 3.422, 多样性指数以 SW13 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 0.604, 均匀度指数以 SW19 站位最高, SW34 站位最低; 丰富度指数范围在 2.048~2.814 之间, 平均值为 2.385, 丰富度指数以 SW13 站位最高, SW34 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 22 科 137 种。硅藻门种类最多, 共 13 科 99 种, 占总种类数的 72.26%; 甲藻门种类次之, 出现 7 科 33 种, 占总种类数的 24.09%; 蓝藻门出现 1 科 4 种, 占总种类数的 2.92%; 金藻门出现 1 科 1 种, 占总种类数的 0.73%。

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 (214.359~1939.897) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $854.683 \times 10^3 \text{ind/m}^3$, 最高个体数量出现在 SW21 站位, 最低个体数量出现在 SW17 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 (191.373~1912.275) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $795.491 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 硅藻门各站位个体数量的占比在 87.92%~98.58%之间, 各站位占比平均值为 92.41%。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 $49.939 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 各站位个体数量百分比在 0.88%~10.15%之间, 占比平均值为 6.16%; 其他类群 (包括金藻门和甲藻门) 个体数量范围在 (3.192~18.950) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $9.253 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 各站位个体数量百分比在 0.54%~4.40%之间, 占比平均值为 1.42%。

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 diporocylus*)、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*)、角毛藻属 (*Chaetoceros* sp.)、海链藻属 (*Thalassiosira* 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 0.342, 平均个体数量为 $277.803 \times 10^3 \text{ind/m}^3$, 占各站位平均个体数量的 32.50%。

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 39~66 种。多样性指数范围在 2.720~4.855 之间, 平均值为 3.889, 多样性指数以 SW17 站位最高, SW19 站位最低; 均匀度指数范围在 0.460~0.874 之间, 平均值为 0.671, 均匀度指数以 SW17 站位最高, SW19 站位最低; 丰富度指数范围在 1.964~2.998 之间, 平均值为 2.644, 丰富度指数以 SW32 站位最高, SW13 站位最低。

(3) 浮游动物

①春季

1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 6 门 10 纲 18 目 39 科 86 种 (包括浮游幼体 12 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 41 种, 占总种类数的 47.67%; 浮游幼体次之, 出现 12 种, 占总种类数的 13.95%; 水母类出现 11 种, 占总种类数的 12.79%; 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 (4.35~93.58) mg/m^3 之间, 平均值为 52.34 mg/m^3 , 其中 SW19 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 (11.860~1493.908) ind/m^3 之间, 平均值为 320.755 ind/m^3 , 其中 SW17 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, 本次调查枝角类平均个体数量最高, 为 123.559 ind/m^3 , 占比为 38.52%; 其次是桡足类, 平均个体数量为 80.138 ind/m^3 , 占比为 24.98%。

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 9 种。分别为鸟喙尖头蚤 (*Penilia avirostris*)、长尾类幼虫 (*Macrura larva*)、桡足幼体 (*Copepoda larvae*)、异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*)、异尾宽水蚤 (*Temora discaudata*)、拟细浅室水母 (*Lensia subtiloides*)、耳状幼虫 (*Auricularia larva*)、长尾基齿哲水蚤 (*Clausocalanus furcatus*) 和毛颚类幼体 (*Chaetognatha larva*), 其中鸟喙尖头蚤为第一优势种, 优势度为 0.262, 平均个体数量为 120.942 ind/m^3 , 占各站位平均个体数量的 37.71%, 出现频率 78.57%。

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 2.075~4.533 之间,平均值为 3.514,其中 SW27 站位最高,SW17 站位最低;均匀度指数变化范围在 0.436~0.864 之间,平均值为 0.727,其中 SW27 站位最高,SW17 站位最低;丰富度指数范围在 1.712~4.265 之间,平均值为 2.749,丰富度指数以 SW24 站位最高,SW13 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 34 科 73 种(包括浮游幼体 13 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 36 种,占总种类数的 49.32%;浮游幼体次之,出现 13 种,占总种类数的 17.81%;水母类出现 7 种,占总种类数的 9.59%;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 (30.59~270.31) mg/m³ 之间,平均值为 92.79mg/m³,其中 SW19 站位生物量最高,SW32 站位生物量最低;浮游动物个体数量变化范围在(21.567~305.041) ind/m³ 之间,平均值为 106.592ind/m³,其中 SW19 站位个体数量最高,SW32 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 46.335ind/m³,占比为 43.47%;其次是桡足类,平均个体数量为 37.360ind/m³,占比为 35.05%。

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*)、长尾类幼虫(*Macrura larva*)、普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)、亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、齿形海萤(*Cypridina dentata*)、精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*)、针刺真浮萤(*Euconchoecia aculeata*)、真刺水蚤属(*Euchaeta sp.*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*),其中桡足幼体为第一优势种,优势度为 0.187,平均个体数量为 24.218ind/m³,占各站位平均个体数量的 22.72%,出现频率 88.89%。

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 21~34 种。浮游动物多样性指数变化范围在 3.127~4.164 之间,平均值为 3.713,其中 SW16 站位最高,SW35 站位最低;均匀度指数变化范围在 0.682~0.897 之间,平均值为 0.792,其中 SW16 站位最高,SW34 和 SW35 站位最低;丰富度指数范围在 1.984~3.194 之间,平均值为 2.737,丰富度指数以 SW13 站位最高,SW19 站位最低。

(4) 大型底栖生物

①春季

1) 种类组成

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 8 门 9 纲 22 目 43 科 64 种,分属 8 个不同类群,即环节动物、棘皮动物、脊索动物、节肢动物、软体动物、纽形动物、星虫动物和半索动物。其中环节动物种类数最多,为 23 种,占种类总数的 35.94%。

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 (0.405~17.325) g/m² 之间,平均生物量为 3.258g/m²,其中 SW17 站位的生物量最高,SW27 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 74.643ind/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 1.299g/m²,占比为 39.86%;其次为节肢动物,平均生物量为 1.299g/m²,占比为 23.24%,最低为脊索动物,平均生物量为 0.011g/m²,占比为 0.33%。

节肢动物平均栖息密度最高,为 36.786ind/m²,占比为 49.28%;其次为环节动物,平均栖息密度为 21.071ind/m²,占比为 28.23%,最低为脊索动物和纽形动物,平均栖息密度为 0.357ind/m²,占比为 0.48%。

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 3 种,分别为轮双眼钩虾 (*Ampelisca cyclops*)、蛛美人虾 (*Callinassa jocularis*) 和倍棘蛇尾属

(*Amphioplus* sp.)，其中轮双眼钩虾为第一优势种，优势度为 0.035。

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 2.738，其中 SW19 站位最高，SW28 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.724~1.000 之间，平均值为 0.937，其中 SW24 和 SW27 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 2.097，丰富度指数以 SW19 站位最高，SW28 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 10 纲 18 目 38 科 54 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 50.00%；节肢动物次之，出现 10 种，占种类总数的 18.52%。

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 (0~18.935) g/m² 之间，平均生物量为 4.196g/m²，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 (0~90.000) ind/m² 之间，平均栖息密度为 49.286ind/m²，其中 SW34 站位的栖息密度最高，SW24 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脊索动物平均生物量最高，平均生物量为 2.123g/m²，占比为 50.58%；其次为环节动物，平均生物量为 0.579g/m²，占比为 13.80%，最低为刺胞动物，平均生物量为 0.006g/m²，占比为 0.14%。

环节动物平均栖息密度最高，为 26.786ind/m²，占比为 54.35%；其次为节肢动物，平均栖息密度为 11.071ind/m²，占比为 22.46%，最低为刺胞动物和半索动物，平均栖息密度为 0.357ind/m²，占比为 0.72%。

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 3 种，分别为美人虾属 (*Callinassa* sp.)、南海筒锥虫 (*Letioscoloplos nanhaiensis*) 和多毛拟刺虫

(*Linopherus hirsuta*)，其中美人虾属为第一优势种，优势度为 0.079。

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 0~14 种，多样性指数变化范围在 1.753~3.614 之间，平均值为 2.844，其中 SW34 站位最高，SW35 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.877~1.000 之间，平均值为 0.963，其中 SW13、SW19 和 SW21 站位最高，SW35 站位最低；丰富度指数范围在 1.537~3.447 之间，平均值为 2.747，丰富度指数以 SW17 站位最高，SW35 站位最低。

3.2.10 电磁环境现状调查与评价

本节引用《汕尾红海湾三海上风电项目电磁辐射环境专题报告》和《汕尾红海湾三海上风电项目电磁辐射环境专题报告》分别于 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。

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

监测点名称	经度 (E)	纬度 (N)	监测内容
F1			电磁辐射
F2			电磁辐射
F3			电磁辐射
F5			电磁辐射
F6			电磁辐射
F7			电磁辐射
F9			电磁辐射
F10			电磁辐射
F11			电磁辐射
F20 (对照点)			电磁辐射
F29			电磁辐射



图 3.2.10-1 电磁监测站位示意图

(1) 2023 年 7 月

统计结果显示，本工程工频电场强度介于（0.3~7.18）V/m 之间，磁感应强度介于（0.0119~1.28） μ T 之间，满足《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）的要求（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) 2023 年 11 月

统计结果显示，本工程工频电场强度介于（0.18~0.31）V/m 之间，磁感应强度介于（0.0071~0.0141） μ T 之间，满足《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）的要求（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《汕尾红海湾三海上风电项目水上水下噪声对海洋生物影响专题报告》。

2023 年 7 月 14 日（夏季）和 12 月 6 日（冬季）、2024 年 3 月 29 日（春季，补测水上噪声，站位设置与夏季航次相同）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 和图 3.2.11-2，

各站位经纬度坐标见表 3.2.11-1 和表 3.2.11-2。

表 3.2.11-1 风电场水上噪声（夏季）、水下噪声（春季）调查站位

站位			调查项目
1			水上噪声、水下噪声
2			水上噪声、水下噪声
3			水上噪声、水下噪声
4			水上噪声、水下噪声
5			水上噪声、水下噪声
6			水上噪声、水下噪声
7			水上噪声、水下噪声
8			水上噪声、水下噪声
9			水上噪声、水下噪声

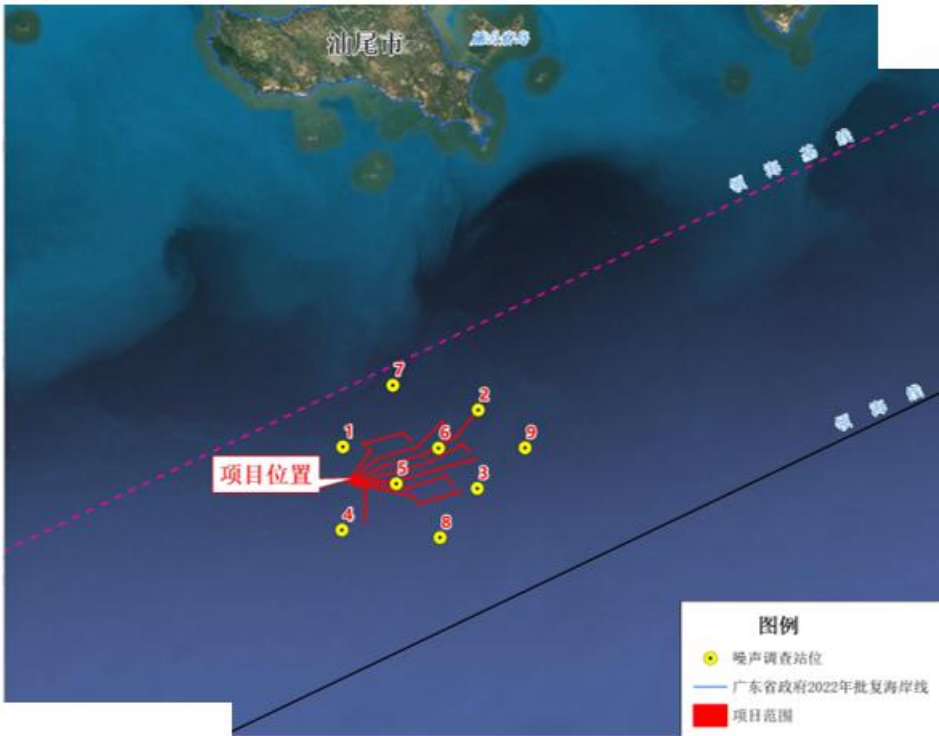


图 3.2.11-1 风电场水上噪声（夏季）、水下噪声（春季）调查站位示意图

表 3.2.11-2 风电场水上噪声（冬季）、水下噪声（冬季）调查站位

站位	纬度（N）	经度（E）	调查项目
1			水上噪声、水下噪声
2			水上噪声、水下噪声
3			水上噪声、水下噪声
4			水上噪声、水下噪声
5			水上噪声、水下噪声
6			水上噪声、水下噪声
7			水上噪声、水下噪声

8			水上噪声、水下噪声
9			水上噪声、水下噪声

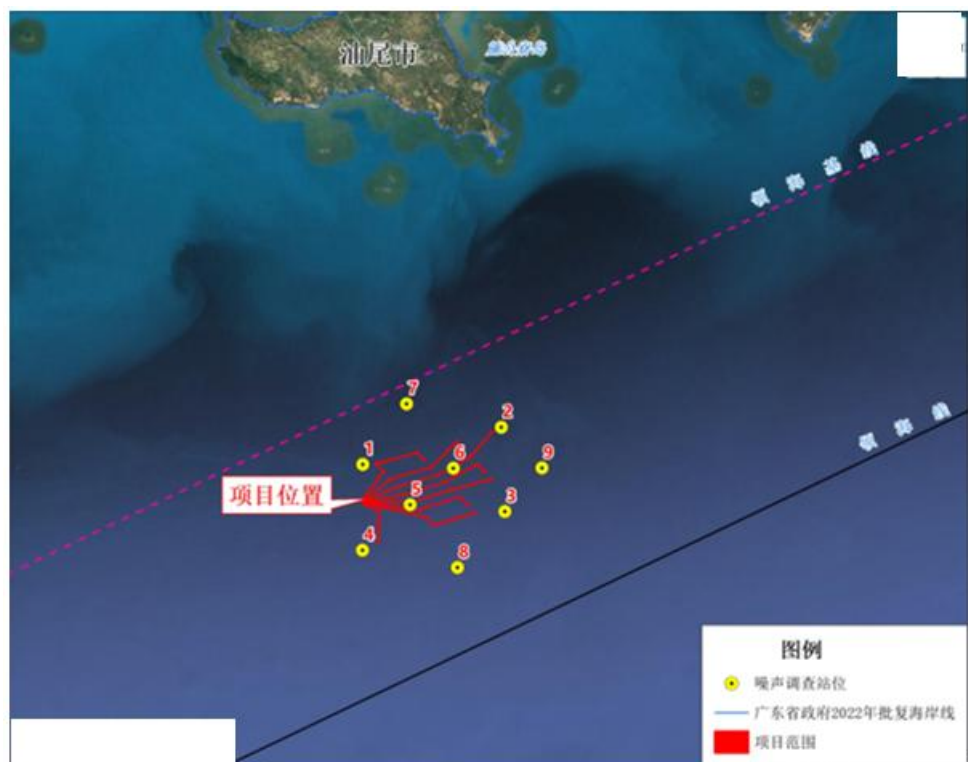


图 3.2.11-2 风电场水上噪声（冬季）、水下噪声（冬季）调查站位示意图

(1) 水上噪声声级

①春季

春季海域水上环境等效噪声级（A 计权）主要分布在 42~50dB 之间，算术平均值为 46.3dB。最大声级（A 计权）的算术平均值为 91.0dB。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 30dB。

②冬季

冬季海域水上环境等效噪声级（A 计权）主要分布在 49~70dB 之间，算术平均值为 65.6dB。最大声级（A 计权）的算术平均值为 103.0dB。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) 工程海域频带声压级和声压谱级

①夏季

夏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 134.3dB，噪声谱级的总动态变化范围是 76dB，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 105dB 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 89dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 67dB 以下。

②冬季

冬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 119.7dB，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 10dB。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 87dB 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 66dB 以下。

3.2.12 鸟类现状

本节引自《汕尾红海湾三海上风电项目鸟类现状监测专题报告》。

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 3.2.12-1 鸟类生态环境调查范围示意图

(2) 调查内容

主要包括调查区域环境概况、鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国家级重点保护鸟类受保护鸟类的种类与数量；监测海上风机对鸟类的影响，包括鸟撞情况和鸟类迁徙路线变化等。

(3) 调查时间

冬季调查时间为 2023 年 2 月 26 日-2 月 28 日，春季调查时间为 2023 年 5 月 23 日-5 月 26 日，夏季调查时间为 2023 年 8 月 15 日-8 月 18 日，秋季调查时间为 2023 年 11 月 22 日-11 月 25 日。

3.2.12.2 区域概况分析

(1) 鸟类种类特征

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*）、大风头燕鸥（*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 8 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、鸕、黑翅鸕、黑鸕、普通鸕和红隼等 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 名录中有猛禽和鸕鹚类物种以外, 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

数量方面, 共记录鸟类 7773 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 19.1% 和 19.1%。常见种有 16 种, 包括有红嘴鸥 (占调查总数量的 8.0%, 下同)、反嘴鹬 (*Recurvirostra avosetta*) (6.4%)、铁嘴沙鸕 (*Charadrius leschenaultii*) (4.8%)、环颈鸕 (*Charadrius alexandrinus*) (4.8%)、黑腹滨鹬 (*Calidris alpina*) (4.1%)、灰翅浮鸥 (*Chlidonias hybrida*) (2.4%)、蒙古沙鸕 (*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%)、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 46.1%, 和优势种合并则两者共 18 个物种占调查总数量的 84.3%, 说明调查区域鸟类主要物种的优势度明显, 从现场调查发现优势种栖息聚集程度较高, 主要集中在沿岸沙滩和围垦养殖塘内。

《国际重要湿地公约 (Ramsar)》对重要湿地的评价标准中有这样一条: “如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群 1% 的个体, 就应被认为具有国际重要意义”。生态专家认为, 水鸟栖息具有混群性, 占全球种群数量 1% 以上的水鸟物种, 往往可以作为同类水鸟的代表物种, 反映整个水鸟的丰富程度,

从而反映栖息地的生态环境质量。因此，国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量 1% 数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计 (Wetlands International 2016)。

经对比分析，项目用地和周边区域的单次鸟类调查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%。

3.2.12.3 各季节调查结果详述

(1) 冬季调查（2023 年 2 月）总体情况

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 2982 只次，优势种为红嘴鸥、反嘴鹬、白鹭和黑腹滨鹬，数量分别占该月调查总数量的 13.1%、12.9%、10.7% 和 10.1%。常见种有 16 种，包括有大白鹭、环颈鸻、苍鹭、铁嘴沙鸻、蒙古沙鸻、泽鹬、黑翅长脚鹬、红颈滨鹬、黑脸琵鹭、红嘴巨燕鸥、青脚鹬、针尾鸭、三趾滨鹬、琵嘴鸭、普通鸬鹚、斑嘴鸭，以上常见种共占当季调查数量的 42.9%，与三种优势种合计共占调查数量的 89.8%。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 62.7% 和 23.5%，过境迁徙鸟占 9.9%，夏候鸟数量较少占 3.9%。

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、黑翅长脚鹬、反嘴鹬、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、大滨鹬、白琵鹭、岩鹭、鸮、普通鵞、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，紫水鸡和大滨鹬属于易危 (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，其中大滨鹬、东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危 (EN) 级别，红颈滨鹬属于

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、鸮和普通鳊属于附录 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）春季调查（2023 年 5 月）总体情况

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。优势类群包括鸽形目 16 种。水鸟共有 32 种，陆鸟 20 种。数量上，共记录 1646 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 31.2%和 29.5%。常见种有 9 种，包括有灰翅浮鸥、白额燕鸥、黑枕燕鸥、斑嘴鸭、铁嘴沙鸨、环颈鸨、褐翅燕鸥、蒙古沙鸨、青脚鸨，以上 9 种共占当季调查数量的 28.3%，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 66.2%，迁徙过境鸟和夏候鸟分别占总数量的 12.2%和 12.3%，冬候鸟数量较少，占 9.3%。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、黑翅长脚鸨、白额燕鸥、褐翅燕鸥、粉红燕鸥、黑枕燕鸥、灰翅浮鸥、黄斑苇鸨、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，分别为褐翅鸨、紫水鸡、阔嘴鸨、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，为灰尾漂鸨，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。

（3）夏季调查（2023 年 8 月）总体情况

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 1127 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 36.6%。常见种有 10 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、褐翅燕鸥、白头鹎、金腰燕，以上 10 种共占当季调查数量的 16.4%，与优势种合计共占总数量的 89.9%。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，占总数量的 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。

（4）秋季调查（2023 年 11 月）总体情况

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 2018 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 16.2%、13.3%和 11.3%。常见种有 14 种，包括有铁嘴沙鸻、环颈鸻、反嘴鹬、蒙古沙鸻、家燕、普通鸬鹚、红脚鹬、黑翅长脚鹬、青脚鹬、苍鹭、黑尾塍鹬、泽鹬、红颈滨鹬和池鹭，以上 14 种共占当季调查数量的 44.7%，与优势种合计共占总数量的 85.5%。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 38.8%，其次为留鸟，占 37.5%，迁徙过境鸟占总数量的 17.3%，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。

3.2.12.4 海域鸟类现状

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 579 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 33.2%，其次为灰翅浮鸥，占总数量的 15.5%，数量较多的还有褐翅燕鸥、黑枕燕鸥、白鹭和红嘴巨燕鸥，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。

3.2.12.5 沿岸鸟类现状

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 92.5%。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 62.6%，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 29.9%，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 17 种；国家重点保护动物有 11 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、大滨鹬、阔嘴鹬、白琵鹭、黑翅鸢、鸮、普通鵟、白胸翡翠，其中大滨鹬只在滩涂有记录；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 5 种，其中大滨鹬、东方白鹳和黑脸琵鹭属于濒危（EN）级别，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 5 种，其中东方白鹳被列入附录 I，白琵鹭、鸮、黑翅鸢和普通鵟被列入附录 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 43 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 24 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

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，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，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。

3.2.13 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南侧海域，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。该保护区位于本项目风电场场址东侧，最近距离约 13.7km。

3.2.14 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。

(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、萤虾、糠虾和钩虾等。在人工饲养条件下,以摄食糠虾和樱虾效果最好,其次为足类和端足类。淡水枝角类等也可为食,但要注意避免因在海水中迅速死亡以污染水质。

海马的摄食量与水温、水质密切相关。在适温范围内,水温高,则摄食量大,

消化快。水质不良时，摄食量减少，甚至停食。在正常条件下，海马的日摄食量约占体重的 10%。海马一次摄食量很大，同时耐饥性也很强，从初生苗到成鱼耐饥时间可达 4~132 天。

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。

3.2.15 “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）南海鱼类产卵场

本项目部分位于南海中上层鱼类产卵场内，不位于南海底层、近底层鱼类产卵场内。

（2）南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线水域，保护期为 1-12 月，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内。

（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。本项目不位于南海区幼鱼、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 资源生态影响分析

4.1 生态评估

4.1.1 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、重要渔业水域等资源生态敏感目标。

表 4.1.1-1 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	北侧，0.4km	渔业资源、海洋水质、生态环境
	碣石湾海马珍稀濒危物种分布区	东侧，13.7km	海马及其生境
自然保护区	汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区	东侧，13.7km	海马及其生境
重要渔业水域	南海中上层鱼类产卵场	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境
	南海北部幼鱼繁育场保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境

4.1.1.1 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区核心保护区外，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。

本项目不涉及生态保护红线，与生态保护红线中的“遮浪南重要渔业资源产卵场”的距离为 0.4km，与生态保护红线中的“碣石湾海马珍稀濒危物种分布区”的距离为 13.7km。

4.1.1.2 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南侧海域，范围包

括 A: 东经 115°42'00"、北纬 22°33'00"; B: 东经 116°00'50"、北纬 22°34'00"; C: 东经 116°02'35"、北纬 22°24'40"; D: 东经 115°42'00"、北纬 22°20'40"等四点连线内海域, 面积约为 500 公顷, 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。2006 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 13.7km。

4.1.1.3 重要渔业水域

(1) 南海中上层鱼类产卵场

本项目部分位于南海中上层鱼类产卵场内。

(2) 南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线水域, 保护期为 1-12 月, 管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内。

4.1.2 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。

4.1.3 用海方案工况设计

本项目拟建设 29 台风电机组, 风电机组发出的电能通过 66kV 集电海底电缆接入海上升压站。本项目对于风电机组的平面布置设置两个用海方案。方案一与方案二总平面布置示意图见下图。

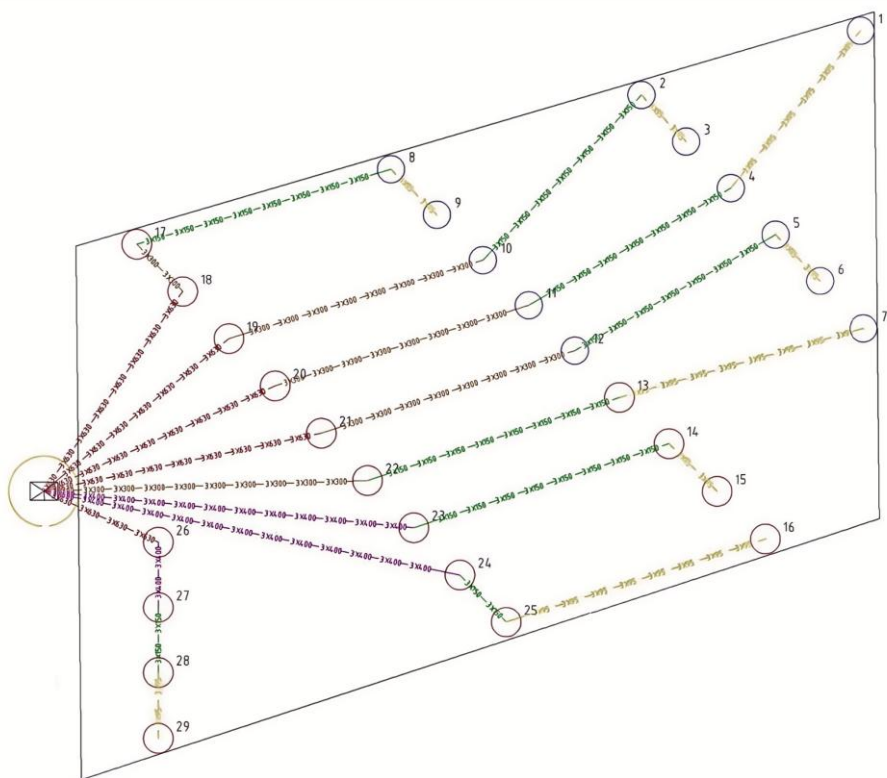


图 4.1.3-1 方案一总平面布置示意图

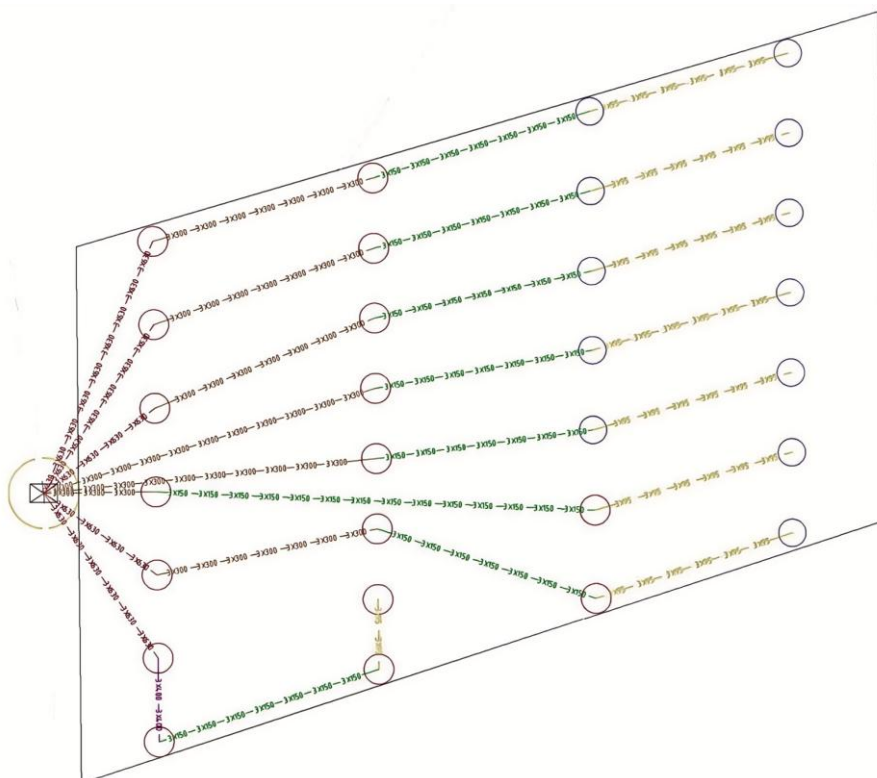


图 4.1.3-2 方案二总平面布置示意图

4.1.4 水动力影响预测对比分析

4.1.4.1 三维水动力模式

1、基本方程

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

①连续方程

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0$$

②动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial uwD}{\partial \sigma} - f_v D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_M}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right] \\ - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + F_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial uvD}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial vwD}{\partial \sigma} + f_u D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_M}{D} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right] \\ - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + F_y \end{aligned}$$

$$DF_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[2DA_H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[DA_H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$DF_y = \frac{\partial}{\partial y} \left[2DA_H \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[DA_H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}$$

$$z = \eta, \sigma = 0$$

$$z = -H, \sigma = -1$$

其中：

x、y、z—坐标系三个分量；

D—总水深(m)， $D = H + \eta$ ，H 为平均海平面下水深(m)， η 为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；

g —重力加速度；

A_H —水平湍流粘滞系数，采用 Smagorinsky 公式计算；

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 1025kg/m³；

ρ 为海水密度，由海水状态方程计算。

(2) 温盐输运扩散方程为：

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

其中， C 分别代表温度或盐度。 K_M 为水平扩散系数，取 $0.05 A_H$ ， K_v 为垂直扩散系数，由双方程湍动能封闭模型求得。

(3) 初始条件

初始速度场、水位场（开边界除外）均为 0。初始温盐场采用 HYCOM 温盐预报数据，分别插值到对应网格与层次。

(4) 边界条件

①在自由表面上（ $\sigma = 0$ ）：

$$w(0)=0$$

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

②在海底（ $\sigma = -1$ ）：

$$w(-1)=0$$

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

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。

外海开边界潮位主要考虑十个分潮，包括四个半日分潮（ M_2 、 S_2 、 N_2 和 K_2 ）、四个全日分潮（ K_1 、 O_1 、 P_1 和 Q_1 ）和两个浅水分潮（ M_4 、 MS_4 ），由 TPXO 全球潮汐模型计算获得开边界中每个网格点的调和常数，并用实测资料对其进行了修正后得到开边界中每个网格点的潮位序列。

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

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。

温、盐边界条件采用 HYCOM 温盐预报数据，分别插值到对应网格与层次。

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，即当某点水深小于浅水深 ε_{dry} （如 0.1m）时，令该处流速为零，滩地干出，当该处水深大于 ε_{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：

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

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

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

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

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：

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

2、模型搭建及地形处理

(1) 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，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。

计算海域的糙率是个综合影响因素，是数值计算中十分重要的参数，与水深、床面形态、植被条件等因素有关，经调试，糙率 n 取值为 0.001。涡粘系数采用 Smagorinsky 公式确定。

$$A = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中： u, v 分别为 x, y 方向的流速分量(m/s)； Δx 为 x 方向网格尺寸， Δy 为 y 方向网格尺寸； C 为常数，计算时通过输入 C 的值来计算涡粘系数， C 可以取 0.25 到 1.0 之间的数，本报告取模型默认参数为 0.28。

项目拟布置共 29 台风电机组，均为四桩导管架基础，最大桩径 3.8m。

项目对潮流的影响表现为群桩对水流的影响。风机对水流的影响通过拖曳力模拟，拖曳力 F 可表示为：

$$F = \frac{1}{2} \rho_w C_D A_e V^2$$

其中 ρ_w 是水的密度， C_D 是拖曳系数， A_e 为受潮流影响的桩基基础面积， V 是潮流流速。其中，每台风机分别考虑四桩导管架基础的阻水作用。

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。从外海至近岸海域区网格尺寸逐渐减小，其中近岸海域网格尺寸为 50~100m，外海网格尺度约 1km。工程海域附近网格进行局部加密，最小网格尺寸约 30m。模型网格图见图 4.1.4-1。模型计算时间为 2023 年 8 月 25 日 00:00~2023 年 9 月 11 日 00:00。

图 4.1.4-1 模型计算范围（不公开）

图 4.1.4-2 项目附近海域网格加密（不公开）

（2）水深地形与风场资料

数学模型计算时，依据工程附近海图水深融合 ETOP1 全球地形数据库水深资料以及项目区域实测水下地形确定水深，并将水深统一换算至 1985 国家高程基准。采用三角插值的方法将高程散点插值到各网格节点。模型风场数据采用 ERA5 再分析逐时资料。

（3）边界处理

外海开边界潮位主要考虑十个分潮，包括四个半日分潮（ M_2 、 S_2 、 N_2 和 K_2 ）、四个全日分潮（ K_1 、 O_1 、 P_1 和 Q_1 ）和两个浅水分潮（ M_4 、 MS_4 ），由 TPXO 全球潮汐模型计算获得开边界中每个网格点的调和常数，并用实测资料对其进行了修正后融合 HYCOM 的余水位数据，得到开边界中每个网格点的潮位序列。

3、模型验证

（1）验证资料

根据《汕尾红海湾五海上风电项目夏季全潮水文观测成果报告》（2023 年 11 月）中大潮期间的潮位、流速流向等实测资料，采用 9 个水文站位（E1~E9）和 3 个潮位观测站位（T1~T3）进行模型验证，站位位置见图 4.1.4-3。

图 4.1.4-3 项目附近海域水文调查站位图（不公开）

（2）验证结果

各潮位站潮位以及流速过程验证结果见下图。验证结果表明：潮位站和流速点的计算潮位、流速、流向和实测值基本吻合，个别站点计算流速与实测流速的误差稍大（可能由于地形资料和边界条件的偏差引起），所建立的工程范围海域潮流数学模型合理可信，基本反映了项目所在海域整体的海流运动规律；工程海域潮流点的计算流速、流向和实测值吻合较好，相位差基本控制在 0.5h 以内，流速值的相对误差基本在 20% 以内，表明所建模型能够反映项目所在海域潮流的变化特征，可用来模拟研究工程实施造成的水动力变化情况。

① 潮位验证

潮位验证结果见图 4.1.4-4～图 4.1.4-6。

表 4.1.4-1 各个站点潮位验证总体偏差表（单位：m）

站位	T1	T2	T3
绝对平均误差	0.0777	0.0707	0.0646

图 4.1.4-4 T1 站潮位验证曲线（不公开）

图 4.1.4-5 T2 站潮位验证曲线（不公开）

图 4.1.4-6 T3 站潮位验证曲线（不公开）

② 流速流向结果验证

模型计算站位流向与实测流向基本吻合，仅个别站点在转流时刻附近出现一定偏差，站点的模型计算流速与实测流速量值基本吻合。

总体而言，模型验证的潮位、流速-流向与实测值基本吻合，可认为模型基本反映了工程海域的潮流场运动特征，可作为本项目水动力环境、悬沙扩散、冲淤环境等方面预测计算的基础。

图 4.1.4-7 E1 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-8 E2 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-9 E3 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-10 E4 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-11 E5 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-12 E6 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-13 E7 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-14 E8 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

图 4.1.4-15 E9 站流速、流向验证（2023 年 8 月 28 日 14:00～29 日 15:00）（不公开）

4.1.4.2 工程前潮流场分析

采用经过验证的潮流数学模型，对工程前 2023 年 8 月大潮期间的潮流场进行分析。图 4.1.4-16、图 4.1.4-17 为工程前涨急流场图和落急流场图。

由于红海湾海域受夏季季风驱动的沿岸流影响，流向基本集中于 NE~ESE 区间。工程所在水域涨潮流整体上为 NE 向，涨急流速为 0.2~0.4m/s；落潮流自整体上为 E~ESE 向，落急流速为 0.2~0.6m/s。表底层流向基本一致，表层流速略大于底层流速。

图 4.1.4-16a 工程前工程海域大潮涨急流场（表层）（不公开）

图 4.1.4-16b 工程前工程海域大潮涨急流场（中层）（不公开）

4.1.4-16c 工程前工程海域大潮涨急流场（底层）（不公开）

图 4.1.4-17a 工程前工程海域大潮落急流场（表层）（不公开）

图 4.1.4-17b 工程前工程海域大潮落急流场（中层）（不公开）

图 4.1.4-17c 工程前工程海域大潮落急流场（底层）（不公开）

4.1.4.3 工程后对潮流场影响分析

为了分析各用海方案实施后对附近水域潮流动力环境的影响，分别选取了 31 个代表点进行定量分析。各代表点具体位置分布见图 4.1.4-18。

图 4.1.4-18 项目附近代表点分布示意图（不公开）

各代表点工程前后大潮的涨急、落急时刻中层流速流向变化结果见表 4.1.4-2 和表 4.1.4-3。

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 -0.026~0.002m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于 -0.2~2.8° 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 -0.002~0.001m/s 之间，大潮落急流向变化值位于 -0.1~0.6° 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 -0.024~0.001m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于 -0.2~2.4° 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 -0.003~0.001m/s 之间，大潮落急流向变化值位于 -0.1~0.5° 之间。

工程实施前后涨落急流场对比图见图 4.1.4-19~图 4.1.4-24。对比平面布置方案一和平面布置方案二，两个方案实施后对工程附近水动力环境影响有限，两个

方案施工后产生的水动力环境影响幅度相差不大。总体上看,由于风机直径不大,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。

表 4.1.4-2 工程前后中层大潮涨急流速流向变化

代 表 点	流速 (m/s)					流向 (°)				
	工程 前	方案 一	方案 二	方案 一变化 值	方案 二变化 值	工程 前	方案 一	方案 二	方案 一变化 值	方案 二变化 值
T1	0.237	0.239	0.224	0.002	-0.013	45.3	45.9	46.2	0.6	0.9
T2	0.246	0.228	0.242	-0.018	-0.004	46.7	48.9	47.2	2.2	0.5
T3	0.250	0.249	0.231	-0.001	-0.019	47.6	47.6	49.4	0.0	1.8
T4	0.255	0.233	0.253	-0.022	-0.002	48.2	49.5	48.6	1.3	0.4
T5	0.244	0.224	0.242	-0.020	-0.002	46.0	47.0	46.0	1.0	0.0
T6	0.251	0.249	0.230	-0.002	-0.021	46.7	46.8	48.9	0.0	2.2
T7	0.254	0.230	0.253	-0.024	-0.001	47.2	50.0	47.2	2.8	-0.0
T8	0.259	0.256	0.235	-0.003	-0.024	48.1	48.8	50.4	0.7	2.3
T9	0.243	0.244	0.219	0.001	-0.024	45.0	44.9	46.8	-0.1	1.9
T10	0.252	0.236	0.251	-0.016	-0.001	46.0	46.6	45.9	0.6	-0.0
T11	0.258	0.256	0.234	-0.002	-0.024	47.1	47.0	48.4	-0.0	1.4
T12	0.263	0.237	0.260	-0.026	-0.003	48.1	50.5	48.5	2.4	0.4
T13	0.245	0.219	0.243	-0.026	-0.002	43.7	45.7	43.7	2.0	-0.0
T14	0.253	0.251	0.230	-0.002	-0.023	45.2	45.1	46.0	-0.1	0.8
T15	0.262	0.248	0.259	-0.014	-0.003	46.9	48.7	47.0	1.7	0.1
T16	0.265	0.264	0.246	-0.001	-0.019	46.8	47.3	49.2	0.5	2.4
T17	0.233	0.234	0.234	0.001	0.001	46.3	46.4	46.4	0.1	0.1
T18	0.241	0.242	0.241	0.001	0.000	47.2	47.4	47.4	0.2	0.2
T19	0.244	0.244	0.243	0.000	-0.001	48.0	48.2	48.3	0.2	0.3
T20	0.247	0.245	0.245	-0.002	-0.002	48.0	48.3	48.4	0.3	0.4
T21	0.259	0.256	0.256	-0.003	-0.003	47.9	48.2	48.2	0.3	0.3
T22	0.262	0.259	0.259	-0.003	-0.003	48.4	48.8	48.7	0.4	0.3
T23	0.266	0.264	0.264	-0.002	-0.002	48.0	48.3	48.3	0.3	0.3
T24	0.265	0.264	0.264	-0.001	-0.001	46.5	46.8	46.8	0.3	0.3
T25	0.258	0.257	0.257	-0.001	-0.001	45.5	45.6	45.7	0.2	0.2
T26	0.251	0.249	0.249	-0.002	-0.002	44.2	44.3	44.4	0.0	0.1
T27	0.241	0.240	0.240	-0.001	-0.001	42.4	42.4	42.4	-0.1	-0.1
T28	0.239	0.238	0.238	-0.001	-0.001	42.7	42.5	42.5	-0.2	-0.2

T29	0.239	0.239	0.239	0.000	0.000	43.6	43.4	43.4	-0.2	-0.2
T30	0.234	0.235	0.235	0.001	0.001	45.0	44.8	44.8	-0.2	-0.2
T31	0.231	0.231	0.232	0.000	0.001	45.0	44.8	44.8	-0.2	-0.1

表 4.1.4-3 工程前后中层大潮落急流速流向变化

代 表 点	流速 (m/s)					流向 (°)				
	工程 前	方案 一	方案 二	方案 一变化值	方案 二变化值	工程 前	方案 一	方案 二	方案 一变化值	方案 二变化值
T1	0.486	0.486	0.486	0.000	0.000	88.7	88.6	88.7	-0.0	-0.0
T2	0.490	0.490	0.491	0.000	0.001	87.8	87.9	87.8	0.1	-0.0
T3	0.494	0.495	0.495	0.001	0.001	87.6	87.6	87.7	-0.0	0.2
T4	0.497	0.498	0.498	0.001	0.001	86.6	87.0	86.8	0.3	0.2
T5	0.477	0.477	0.477	0.000	0.000	88.2	88.2	88.1	0.0	-0.1
T6	0.485	0.485	0.485	0.000	0.000	87.6	87.6	87.7	-0.0	0.1
T7	0.491	0.491	0.491	0.000	0.000	87.1	87.4	87.1	0.3	0.0
T8	0.498	0.498	0.498	0.000	0.000	86.4	86.6	86.9	0.2	0.4
T9	0.477	0.477	0.477	0.000	0.000	88.1	88.1	88.2	-0.1	0.1
T10	0.485	0.484	0.484	-0.001	-0.001	87.2	87.3	87.2	0.0	-0.0
T11	0.491	0.490	0.490	-0.001	-0.001	86.6	86.6	86.8	0.1	0.2
T12	0.499	0.497	0.498	-0.002	-0.001	85.8	86.4	86.1	0.6	0.3
T13	0.470	0.470	0.469	0.000	-0.001	87.6	87.8	87.6	0.2	-0.0
T14	0.480	0.479	0.479	-0.001	-0.001	86.9	86.9	87.1	0.0	0.1
T15	0.494	0.492	0.492	-0.002	-0.002	86.0	86.3	86.2	0.3	0.2
T16	0.494	0.491	0.491	-0.003	-0.003	85.6	85.9	86.2	0.3	0.5
T17	0.484	0.484	0.484	0.000	0.000	89.1	89.0	89.0	-0.1	-0.1
T18	0.488	0.488	0.488	0.000	0.000	88.1	88.0	88.0	-0.0	-0.0
T19	0.495	0.496	0.496	0.001	0.001	87.4	87.4	87.4	0.0	0.0
T20	0.494	0.495	0.495	0.001	0.001	86.9	87.0	87.0	0.1	0.1
T21	0.497	0.497	0.497	0.000	0.000	86.0	86.3	86.3	0.3	0.3
T22	0.500	0.499	0.499	-0.001	-0.001	85.6	85.9	85.9	0.3	0.3
T23	0.499	0.497	0.497	-0.002	-0.002	85.5	85.8	85.8	0.3	0.3
T24	0.491	0.490	0.489	-0.001	-0.002	85.4	85.7	85.7	0.2	0.2
T25	0.485	0.483	0.483	-0.002	-0.002	86.3	86.5	86.5	0.1	0.2
T26	0.476	0.474	0.474	-0.002	-0.002	86.7	86.7	86.7	0.1	0.1
T27	0.466	0.465	0.465	-0.001	-0.001	87.4	87.4	87.4	-0.0	-0.0

T28	0.466	0.465	0.465	-0.001	-0.001	87.8	87.8	87.8	-0.0	-0.0
T29	0.469	0.469	0.469	0.000	0.000	88.3	88.2	88.2	-0.0	-0.0
T30	0.475	0.475	0.475	0.000	0.000	89.2	89.1	89.1	-0.1	-0.1
T31	0.479	0.479	0.479	0.000	0.000	88.6	88.6	88.6	-0.1	-0.1

图 4.1.4-19 工程前后中层大潮涨急流场对比图（方案一）（不公开）

图 4.1.4-20 工程前后中层大潮涨急流场对比图（方案二）（不公开）

图 4.1.4-21 工程前后中层大潮落急流场对比图（方案一）（不公开）

图 4.1.4-22 工程前后中层大潮落急流场对比图（方案二）（不公开）

图 4.1.4-23 工程前后中层大潮涨急流场对比图（方案一-局部放大）（不公开）

图 4.1.4-24 工程前后中层大潮涨急流场对比图（方案二-局部放大）（不公开）

图 4.1.4-25 工程前后中层大潮落急流场对比图（方案一-局部放大）（不公开）

图 4.1.4-26 工程前后中层大潮落急流场对比图（方案二-局部放大）（不公开）

图 4.1.4-27 工程后-工程前中层涨急流速变化等值线图（方案一）（不公开）

图 4.1.4-28 工程后-工程前中层涨急流速变化等值线图（方案二）（不公开）

图 4.1.2-29 工程后-工程前中层落急流速变化等值线图（方案一）（不公开）

图 4.1.2-30 工程后-工程前中层落急流速变化等值线图（方案二）（不公开）

4.1.5 地形地貌与冲淤影响预测对比分析

（1）风电场大范围海床冲淤分析

从模型计算结果分析可知，工程建设对流态的影响主要在工程附近海域，对远处海域流态影响较小。因此可初步认为工程区附近水域有一定的冲淤变化，而工程远区冲淤影响较小。为进一步确定工程实施对周围海域冲淤变化的影响，采用由动力场变化引起的半经验半理论公式进行冲淤估算。

本工程完成后会造成附近海域水动力条件的改变，进而造成不同部位的冲刷和淤积。根据工程区的波浪条件、水深情况和工程的平面布置特点，工程实施后导致项目附近的淤积应主要是悬沙落淤造成。

由于泥沙问题的复杂性，本工程实施后淤积预报是主管和设计部门非常关注的问题。预报的准确程度将主要取决于两点，一是研究单位对工程海区水文泥沙资料的占有量和对同类型项目泥沙淤积掌握的广度和经验；二是淤积量预报公式的正确选取及其计算参数的正确确定。

本报告采用选取泥沙研究工作经常采用的公式对工程方案实施后附近水域

底床的淤积情况进行计算：

$$p = \frac{\alpha \omega S_* T}{\gamma_d} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{2m} \right]$$

式中： p ——年平均淤积强度（m）；

α ——沉降几率，取 0.67；

ω ——泥沙沉降速度（cm/s）；

S_* ——为水体平均悬沙含量，取工程附近悬沙调查结果为 0.027kg/m^3 ；

T ——泥沙沉降时间，按一年的总秒数计；

γ_d ——淤积物的干容重，根据测区表层沉积物中值粒径均值约为 0.099mm 。

根据经验公式 $\gamma_c = 1750 D_{50}^{0.183}$ ，取 γ_c 为 1146kg/m^3 ；

v_1, v_2 ——分别为数值计算工程前、工程后全潮平均流速，单位为 m/s，

m ——根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

基于水动力结果计算了工程实施前后附近水域年冲淤变化，工程实施后附近海域年冲淤变化图见图 4.1.5-1。（+表示淤积，-表示冲刷）

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电桩基附近。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海域。预测结果表明，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，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现淤积，最大淤积厚度为 0.22m/a ；风机桩基侧面流速稍有增加，导致风电桩基垂直于主流向两侧存在冲刷，最大冲刷深度为 0.09m/a 。总体上，两种方案的冲淤情况差异不大。

图 4.1.5-1 工程实施后附近海域年冲淤变化图（方案一）（不公开）

图 4.1.5-2 工程实施后附近海域年冲淤变化图（方案二）（不公开）

（2）风机桩基础附近局部冲刷影响分析

风电场建设后，风电场大范围的潮流动力几乎没有变化，风电场大范围地形地貌及冲淤环境也不会发生明显变化。但具体到风机桩基础，可能发生局部冲淤。

影响桩基最大可能局部冲刷的因素主要有以下几方面：波浪在传递过程中引起的水质点的运动，是造成桩基冲刷的主要动力；潮流流速大小直接影响水流对

泥沙的搬运能力；桩径的大小和桩基与海面垂直方向上的夹角大小，对最大冲刷深度也有一定的影响；此外，最大可能冲刷深度与水深增加不完全呈单调增大趋势，与泥沙粒径减小也不完全呈增大趋势。总而言之，风电机组桩基改变了海底局部水沙环境，造成比自然状态更为复杂的冲刷趋势。判别局部冲刷深度的方法有数值分析法、物理模型实验法和经验公式法等。在众多方法中，经验公式法主要依据广泛的实测资料根据数理分析方法建立的计算公式，具有一定的可靠性，同时因其公式比较简单直观，在工程设计前期应用较广。自 20 世纪 60 年代以来从桩基的冲刷机理可看出，桩基局部最大冲刷深度涉及水动力、底质、桩径等多种因素，各国学者通过现场观察和室内试验先后对冲刷深度进行研究，提出许多根据试验数据提炼出的经验公式，如 Shen,H.W.等提出的经验模式、贝斯金模式、全苏水科院模式、天津大学模式、韩海骞公式、王汝凯公式等。本报告采用韩海骞公式计算本项目桩径（3.8m）的最大可能冲刷深度值，韩海骞通过物理模型试验，得到实测数据，并通过量纲分析得到在潮流作用下桩墩局部冲刷深度计算公式：

$$\frac{h_b}{h} = 17.4k_1k_2\left(\frac{B}{h}\right)^{0.326}\left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.167}F_r^{0.628}$$

式中： h_b 为潮流作用下桩墩最大局部冲刷深度(m)； h 为全潮最大水深(m)； B 为最大水深条件下平均阻水宽度 (m)； d_{50} 为海床泥沙的中值粒径 (m)； F_r 为 Froud 参数， u 为最大流速(m/s)； k_1 为基础桩平面布置系数，条形取 1.0，梅花形取 0.862； k_2 为基础桩垂直布置系数，直桩取 1.0，斜桩取 1.176。

考虑波浪对于局部冲刷的作用，提出用以下公式计算波浪水质点的平均流速：

$$V_2 = 0.2 \frac{H}{d} C$$

式中： V_2 为波浪水质点的平均流速(m/s)； H 为波高(m)； C 为波速， $C=(gT/2\pi)\tanh(kd)$ ， k 为波数， $k=2\pi/L$ ， L 为波长(m)， T 为波周期(s)。则考虑波浪作用下最大流速为 $u=V_1+V_2$ ， V_1 为最大潮流流速。

冲刷坑范围可用冲刷半径表示，可由下式进行计算：

$$r = \frac{a}{2} + \frac{h_s}{\tan\phi}$$

式中：r 表示最大冲刷范围半径，α 为桩径，h_s 为最大冲刷深度，角度φ指的是泥沙休止角。根据张洪武的研究，天然沙的水下休止角公式为 $\varphi=35.3d^{0.04}$ 。

相关结果见表 4.1.5-1，上述经验公式计算结果仅供设计参考，建议开展桩基局部冲刷专题研究，为桩基基础设计提供合理数据。另外，建议工程建成后对风机基础局部冲刷情况加强监测，及时采取防护措施。

表 4.1.5-1 工程桩基最大可能局部冲刷深度

水深（m）		40
5 年一遇	有效波高（m）	6.8
	平均波周期（s）	11.7
	波长(m)	182.6
考虑波浪作用下最大流速(m/s)		0.97
泥沙中值粒径（mm）		0.099
桩径（m）		3.8
最大可能局部冲刷深度（m）		5.64
最大可能局部冲刷直径（m）		21.71

4.1.6 水质影响预测对比分析

4.1.6.1 基本方程

项目施工期带来的悬浮物输运扩散对水质环境的影响采用悬浮物扩散方程进行预测。Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w_f \frac{\partial C}{\partial \sigma} = K_M \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_M \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_v}{D} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) + DS_c$$

其中：C 为水体悬沙含量，S_c 为输入源强，w_f 为泥沙有效沉速，w_f=w-w_s，w_s 为泥沙静水中沉速。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，由求解双方程湍动能封闭模型求得。

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

侧开边界的边界条件：

入流时 $C|_{\Gamma} = p_0$ ；

Γ 为水边界，p₀ 为边界上浓度，因本底悬沙浓度不大，不考虑本底值，取 p₀

=0。

出流时 $\frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0$ U_n 为边界法向流速；

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

$$\text{海底床面: } -K_v \frac{\partial C}{\partial z} - w_{fb} C_b = \begin{cases} M \left(\frac{v^2}{v_e^2} - 1 \right) & v \geq v_e \\ 0 & v_d < v < v_e \\ w_{fb} C_b \left(\frac{v^2}{v_d^2} - 1 \right) & v \leq v_d \end{cases}$$

式中： M 为冲刷系数，取曹祖德实验参数， $M=6.4 \times 10^{-3}$ ； w_{fb} 为近底层泥沙

有效沉速， $w_{fb} = w_s - w$ ， w_s 为泥水静水沉速， $w_{fb} \times C_b$ 为悬沙垂直沉降通量， $K_v \frac{\partial C}{\partial z}$

为近底层泥沙在湍流运动作用下的上扬通量； V 为底层流速， V_d 为泥沙从悬浮状态落淤的临界流速， V_e 为床面泥沙悬扬临界流速。

(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泥沙沉降速度

泥沙沉速 w_s 采用张瑞瑾通用泥沙沉速公式计算，

$$w = \sqrt{\left(13.95 \frac{v}{D}\right)^2 + 1.09 \alpha g D} - 13.95 \frac{v}{D}$$

其中， v 为水运动粘滞系数，取值 $0.01146 \text{cm}^2/\text{s}$ ； D 为泥沙粒径，根据实测资料中风电场址附近的表层沉积物中值粒径均值约为 0.099mm ； α 为重率系数，取 1.7 。

④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。

4.1.6.2 源强设置

本工程悬沙源强主要为海缆铺设施工悬沙源强，海底输电电缆敷设时，开沟犁开槽会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。

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，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。平均中值粒径取 0.099mm，泥沙干容重按照 $\gamma_d=1750D_{50}^{0.183}$ ，公式计算，沉积物干容重为 1146kg/m³，电缆施工的悬浮物源强为 22.92kg/s。

采用近似于实际铺缆开沟的方式模拟施工过程悬沙扩散，即沿电缆线逐时逐段释放悬沙源强。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。海底电缆施工源强点沿海缆走向设置，设置间隔为 150m，方案一铺缆施工悬沙设置 512 个源强点、每个源强点持续时间 0.5 小时，源强分布见图 4.1.6-1。方案二铺缆施工悬沙设置 582 个源强点、每个源强点持续时间 0.5 小时，源强分布见图 4.1.6-2。

图 4.1.6-1 项目施工期源强点分布图（方案一）（不公开）

图 4.1.6-2 项目施工期源强点分布图（方案二）（不公开）

4.1.6.3 模拟结果

模拟完整的全潮周期（15 天）施工所产生的悬沙输运和扩散，输出每半小时

的浓度场，分别统计施工悬沙增量大于 10mg/L、20mg/L、50mg/L、100mg/L 的包络线面积（即在 15 天模拟期间内各网格点构成的最高浓度值），项目施工悬沙最大浓度影响统计可见表 4.1.6-1 和表 4.1.6-2。

方案一：施工期从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.254km²、6.194km² 和 33.818km²，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 8.053km²。施工期从表层到底层超第三类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.000km²、0.004km² 和 2.139km²，垂向平均超第三类海水水质包络面积为 0.429km²。

方案二：施工期从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.386km²、8.930km² 和 39.488km²，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 9.761km²。施工期从表层到底层超第三类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.000km²、0.003km² 和 2.678km²，垂向平均超第三类海水水质包络面积为 0.536km²。

整体而言，悬沙扩散的影响范围基本局限于底层，对中层和表层的影响较小。电缆敷设实际影响是暂时的，随着工程结束，悬浮物对水环境的影响也将消失。对比两种用海方案工程实施后引起的悬沙扩散范围，方案一施工引起的高浓度悬沙扩散范围较小。总体上，方案一施工引起的悬沙扩散范围较小。

表 4.1.6-1 海缆施工产生悬沙增量面积（km²）（方案一）

层次	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.254	0.013	0.000	0.000
4	6.194	1.216	0.047	0.004
5	33.818	20.082	8.686	2.139
垂向平均	8.053	4.262	1.747	0.429

表 4.1.6-2 海缆施工产生悬沙增量面积（km²）（方案二）

层次	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.386	0.016	0.000	0.000
4	8.930	1.666	0.074	0.003
5	39.488	23.809	10.557	2.678
垂向平均	9.761	5.098	2.126	0.536

图 4.1.6-3a 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（中层）（方案一）

图 4.1.6-3b 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（中层）（方案二）（不公开）

图 4.1.6-4a 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（次底层）（方案一）（不公开）

图 4.1.6-4b 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（次底层）（方案二）（不公开）

图 4.1.6-5a 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（底层）（方案一）（不公开）

图 4.1.6-5b 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（底层）（方案二）（不公开）

图 4.1.6-6a 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（垂向平均）（方案一）（不公开）

图 4.1.6-6b 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（垂向平均）（方案二）（不公开）

4.1.7 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 4.1.7-1。

两种方案水动力和地形地貌与冲淤环境的影响差异不大；方案一施工引起底层的悬沙扩散范围总体较小，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 4.1.7-1 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	两种方案的流速变化情况差异不大。	两方案差异不大
	流向	两种方案的流向变化情况差异不大。	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机桩基附近，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	两种方案的大部分区域淤积速度均不超过 0.22m/a；冲刷速率均不超过 0.09m/a。总体上，两种方案的冲淤程度差异不大。	两方案差异不大
水质	悬沙扩散	方案一施工引起的悬沙扩散范围总体较小，方案一引起的的悬沙不会扩散至生态保护红线，方案二引起的的悬沙会扩散至遮浪南重要渔业资源产卵场海洋生态保护红线。	方案一较优

4.2 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。

4.2.1 对岸线及海洋空间资源的影响

本项目为汕尾红海湾三海上风电项目，拟建设 29 台风电机组，风电机组发出的电能通过 66kV 集电海底电缆接入海上升压站。

本项目申请用海面积为 318.0459 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 176.868 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）面积为 141.1779 公顷。本项目建设风机、海底电缆用海占用了部分海底、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。本次论证的内容为风机和 66kV 集电海底电缆，距离最近的陆地约 22.7km，不占用海岸线资源。

4.2.2 对海洋生物资源的影响

4.2.2.1 底栖生物损失量

风机基础长期、定位架短期占压海域底质，海缆敷设破坏底质环境，对底栖生物及生态系统造成了长久或短期影响。参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程（SC/T 9110-2007）》（以下简称《规程》），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 。在此为风机桩基、海底电缆基槽开挖面积。

本项目拟建设 12 台 16.7MW 与 17 台 18MW 风电机组，均采用四桩导管架基础，风机桩径分别为 3.5m、3.8m。则风机桩基占用海域面积为 $1233.01m^2$ 。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 $30m \times 30m$ （中心存在空心方孔，中心方孔为 $10m \times 10m$ ），则 1 台风机施工定位架占用海域面积为 $800m^2$ ，29 台风机施工定位架占用海域面积为 $23200m^2$ 。

本项目 66kV 集电海底电缆总长约 77.45km。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。

本项目海缆施工造成底栖生物损失的面积为海缆长度（77.45km）*（底栖生物破坏宽度 10m）=77.45hm²。

则海缆施工造成的底栖生境破坏的面积约为 77.45hm²。

表 4.2.2-1 项目占用海域面积

名称	占用潮下带面积
风机桩基	1233.01m ²
定位架	23200 m ²
海缆施工造成的底栖生境破坏	77.45hm ²

本报告选取 2024 年春季和 2024 年秋季 SW19、SW21 站位底栖生物的生物量进行损失计算。2024 年春季 SW19、SW21 站位底栖生物的生物量为 4.785g/m²、0.555g/m²，2024 年秋季 SW19、SW21 站位底栖生物的生物量为 0.495g/m²、7.765g/m²，则 2024 年春季和 2024 年秋季 SW19、SW21 站位底栖生物的平均生物量为 3.40g/m²。则本项目直接造成生物损失量为：

桩基础造成底栖生物损失量：1233.01×3.40×10⁻³=4.19kg

定位架造成底栖生物损失量：23200 ×3.40×10⁻⁶=0.08t

海缆施工造成底栖生物损失量：77.45×10⁴×3.40×10⁻⁶=2.63t

因此，项目桩基础建设造成底栖生物直接损失 4.19kg，定位架施工造成底栖生物损失 0.08t，海缆施工造成底栖生物直接损失 2.63t。

4.2.2.2 渔业资源损失量

本工程海缆铺设和风机桩基施工工期超过 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：

$$M_i = W_i \times T$$

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

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,海缆施工期悬沙扩散的影响主要集中在中层和底层。本工程悬浮泥沙引起的生物损失按平均包络线进行计算, >10mg/L 悬浮泥沙扩散包络线面积为 8.053km², >20mg/L 悬浮泥沙扩散包络线面积为 4.262km², >50mg/L 悬浮泥沙扩散包络线面积为 1.747km², >100mg/L 悬浮泥沙扩散包络线面积为 0.429km²。

表 4.2.2-2 本工程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	浮游动物	浮游植物
10~20	Bi≤1 倍	3.791	5	1	5	5
20~50	1<Bi≤4 倍	2.515	10	5	10	10
50~100	4<Bi≤9 倍	1.318	30	15	30	30
>100	Bi≥9 倍	0.429	50	40	50	50

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,项目所在平均水深按 37m 计。

以两季调查平均值作为评估依据进行评估,项目所在海域海洋渔业资源密度见表 4.2.2-3。

表 4.2.2-3 海洋生物调查结果统计表

序号	海洋生物资源种类	海洋生物资源密度 (两季平均值)
1	游泳生物 (kg/km ²)	288.88
2	鱼卵 (ind/m ³)	0.868
3	仔鱼 (ind/m ³)	0.253

则项目施工悬浮泥沙造成渔业资源损失量为:

$$\begin{aligned} \text{游泳生物} &= 288.88 \times 1 \times (3.791 \times 1\% + 2.515 \times 5\% + 1.318 \times 15\% + 0.429 \times 40\%) \times 10^{-3} \\ &= 0.15\text{t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{鱼卵} &= 0.868 \times 37 \times 1 \times (3.791 \times 5\% + 2.515 \times 10\% + 1.318 \times 30\% + 0.429 \times 50\%) \times 10^6 \\ &= 3.38 \times 10^7 \text{ 粒}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{仔鱼} &= 0.253 \times 37 \times 1 \times (3.791 \times 5\% + 2.515 \times 10\% + 1.318 \times 30\% + 0.429 \times 50\%) \times 10^6 \\ &= 9.82 \times 10^6 \text{ 尾}\end{aligned}$$

因此，项目施工造成渔业资源直接损失量为：游泳生物 0.15t，鱼卵 3.38×10^7 粒，仔鱼 9.82×10^6 尾。

4.2.3 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。

本项目位于广东省汕尾市海丰县南面海域，项目与周边的滩涂、岛礁、港口等其他海洋资源有一定距离。总体上，项目对滩涂、岛礁、港口、矿产以及旅游等其他海洋资源基本无影响。

4.3 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。

4.3.1 对水文动力环境影响

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 $-0.026 \sim 0.002 \text{ m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-0.2 \sim 2.8^\circ$ 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 $-0.002 \sim 0.001 \text{ m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-0.1 \sim 0.6^\circ$ 之间。

总体上看，由于风机直径不大，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。

4.3.2 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风机桩基附近。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。预测结果表明，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，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现淤积，最大淤积厚度为 0.22m/a；风机桩基侧面流速稍有增加，导致风电桩基垂直于主流向两侧存在冲刷，最大冲刷深度为 0.09m/a。

4.3.3 对水质环境的影响

4.3.3.1 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，施工期从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.254km²、6.194km² 和 33.818km²，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 8.053km²。施工期从表层到底层超第三类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.000km²、0.004km² 和 2.139km²，垂向平均超第三类海水水质包络面积为 0.429km²。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）施工期污废水影响

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。

4.3.3.2 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。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。

4.3.4 对沉积物的影响

4.3.4.1 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，基本不会所在海域的沉积物环境造成影响。

4.3.4.2 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，对于发现的涂层损坏（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。

4.3.5 对海洋生物的影响

4.3.5.1 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。

4.3.5.2 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的相似。

此外，据有关资料，水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活

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

4.3.5.3 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，建议在项目营运期内一定时

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，风电场桩基础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。

4.3.5.4 对“三场一通道”的影响分析

本项目部分位于南海中上层鱼类产卵场和南海北部幼鱼繁育场保护区内。

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，不会对桩基周围的水生生物环境造成较大变化，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。

4.3.5.5 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 98dB re1 μ Pa。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风电场范围内，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。施工期和运营期不向海域排放施工废水、含油污水、生活垃圾和建筑垃圾，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。

4.3.5.6 水下噪声影响

(一) 施工期影响

1、海洋生物受水下噪声影响的声压阈值

由于水下打桩噪声的强声源特点及对海洋中各类生物所产生的危害，自上世纪 90 年代，美国和欧洲等海洋国家就开始了针对水下打桩噪声的监测和研究。美国对海洋哺乳动物和鱼类的水下噪声（过渡性）门限值见下表。

表 4.3.5-1 美国对海洋哺乳动物和鱼类的水下噪声（过渡性）门限值

海洋哺乳动物类		
门限等级	门限定义	门限值
A 级（>180dB 危险级）	基于暂时性听力阈值提升（TTS）和保守估计的永久性听力阈值提升（PTS）伤害门限	鳍足类：190 dB RMS 鲸豚类：180 dB RMS
B 级（120~180dB，警告级）	脉冲式噪声（如冲击打桩）可对动物产生行为妨害的门限	160 dB RMS
B 级（<120dB，安全级）	非脉冲式噪声（如钻孔）可对动物产生行为妨害的门限	120 dB RMS
鱼类		
伤害门限值	声压峰值（适用于所有鱼）：20 6dB	累积暴露级（Cumulative SEL）： 对质量大于等于 2 克的鱼体：187dB 对质量小于 2 克的鱼体：183dB

目前我国尚未颁布海洋噪声对海洋哺乳动物或鱼类可承受的噪声声压级标准。由于美国没有大黄鱼等对声音较为敏感的石首科鱼类，噪声对鱼类伤害的门限值定的比较松。

不同鱼类对声压的忍受力不同，其中石首科鱼类对声压最为敏感。本报告以对声音最为敏感的石首科鱼类——大黄鱼为研究对象，以实验方法研究了不同大小的大黄鱼的发声信号特点和噪声对其影响。厦门大学在福建闽威水产实业有限公司进行的大黄鱼声学实验表明：大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz，声压级约 140dB/re 1μPa 时幼苗对声波即有明显反应，当声压级达到 172dB/re 1μPa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB/re 1μPa 以上小鱼有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB/re 1μPa，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝进而死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB/re 1μPa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90% 的死亡。

2、施工水下噪声对渔业资源影响

根据厦门大学在威水产实业有限公司进行的大黄鱼声学实验，大黄鱼幼苗的

敏感频率在 800Hz，当声压级达到 172dB/ μ Pa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声源达到 192dB/ μ Pa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90% 的死亡。因此风机基础打桩作业对渔业资源将产生一定的影响，主要体现于对游动鱼类的驱赶作用。如果这一水域有石首鱼科种类产卵，打桩作业对石首鱼科种类产卵的影响不可避免。因此在鱼类产卵期应该暂停打桩作业。施工期对产卵场、索饵场和洄游通道的影响是负面的，主要是打桩和电缆铺设产生的增量悬沙、风机打桩形成的噪声。但是产卵场、索饵场和洄游通道功能的作用有一定的季节性。只要工程中作业顺序安排得当，电缆铺设和风机打桩尽可能的避开渔业敏感季节，施工对产卵场、索饵场和洄游通道的影响程度可以得到减缓和消除。

（二）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都相似，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/1 μ Pa 到 65dB/1 μ Pa 之间，在 120 到 1.5kHz 有一较宽的裙带状谱，强度增加为 10~20dB/1 μ Pa。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/1 μ Pa，比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/1 μ Pa。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。

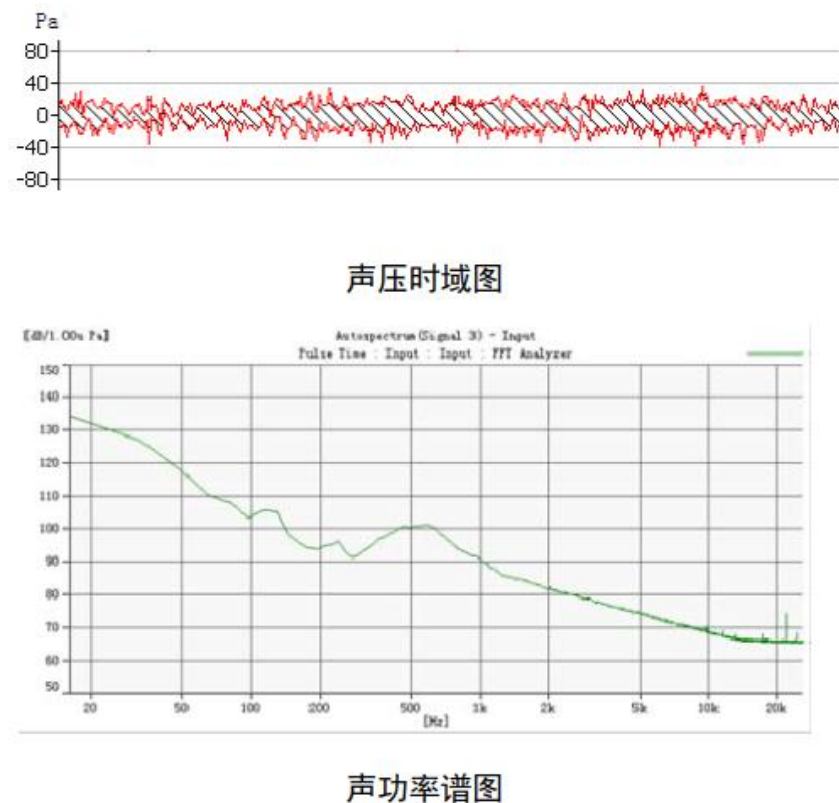


图 4.3.5-2 类比海上风电场水下噪声实测结果

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的惊扰。

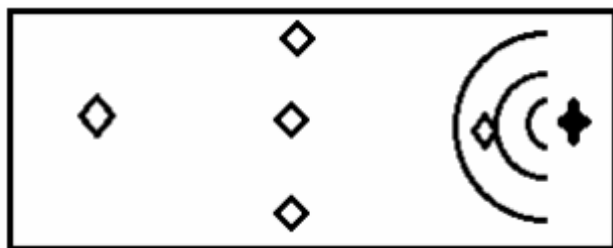


图 4.3.5-3 测量背景噪声和声场分布的实验布置图

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(110dB re 1 μ Pa、120dB re 1 μ Pa、130 dB re 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(110dB re 1 μ Pa、120dB re 1 μ Pa、130dB re 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

(1) 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。

(2) 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,其它各组之间的均无显著性差异。碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性测定。营运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利还是有害。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

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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，海上风电场在营运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。风电场营运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，营运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。

4.3.5.7 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，磁感应强度已降在 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，当欧洲鲢鱼（*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 尾正在洄游的银鳊进行超声波标记，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 μ 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，并在项目营运期进行海底电缆等电磁环境的跟踪监测。

4.3.6 对鸟类的影响

4.3.6.1 对鸟类的影响

（一）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。

（二）运营期影响

营运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4.3.6-1为例，1250Hz以上的频率其声强低于50dB，谱峰出现在200-300Hz段附近。

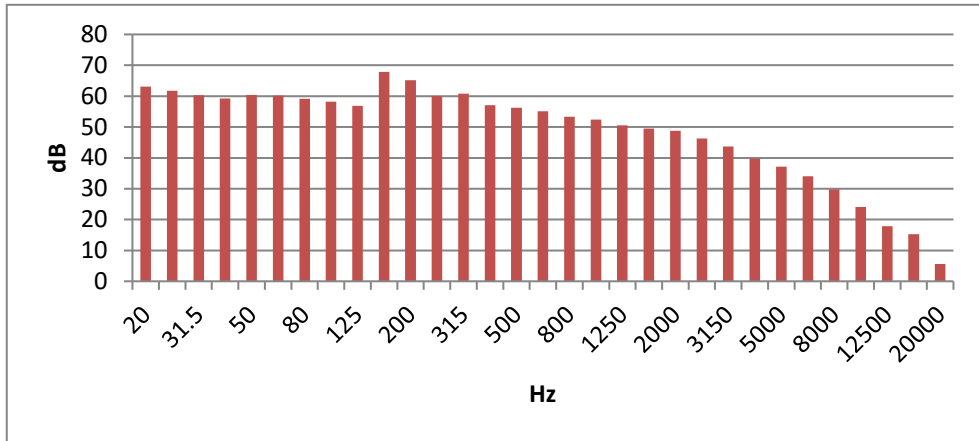


图 4.3.6-1 96m/s 时风力发电机组噪声的 1/3 倍频程频谱

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

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、隼形目和鸮形目鸟类。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夜行性的隼形目鸟类。

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 Horns Rev 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）。

4.3.6.2 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 4.3.6-2）。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。

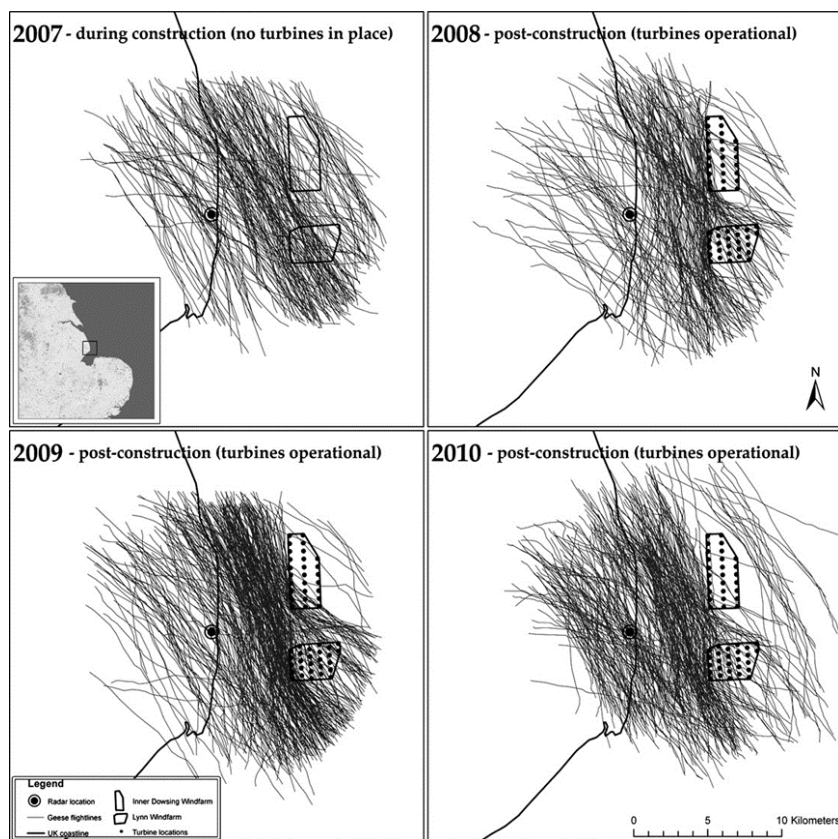


图 4.3.6-2 雷达监测雁群对风机组的回避情况（引自 Plonczkier & Simms 2012）

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）。

本项目距离陆地最近约 22.7km，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。

4.3.7 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 4.3.7-1。

表 4.3.7-1 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，风机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机桩基背水面和迎水面海域，大部分区域淤积速度为 0.22m/a；风机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 0.09m/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理。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，对于发现的涂层损坏（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；营运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，项目施工期间及营运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营运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 4.3.7-2 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	营运期
海洋生态	叶绿素a(mg/m ³)	表层	<2.48	0.25~2.48
		底层	<1.53	0.19~1.53
		初级生产力含量 mgC/(m ² ·d)	<731.217	102.439~731.217
	浮游植物细胞 密度	×10 ⁴ ind/m ³	<1323.4442	7.9360~1323.4442
	浮游植物种数		<66	39~66
	浮游动物个体 密度	ind/m ³	<1493.908	11.860~1493.908
	浮游动物生物 量	mg/m ³	<270.31	4.35~270.31
	浮游动物种数		<38	17~38
	底栖生物生物 量	g/m ²	<18.935	<18.935
	底栖生物栖息 密度	ind/m ²	<175	<175
地形地貌与冲淤		水深	34m~41m	淤积<0.22m/a 冲刷<0.09m/a
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	<220	87-132
	噪声声压谱级	dB（20Hz-20kHz 频率范围内）	>50	50-126

海水水质	水温	°C	22.1~25.8	22.1~25.8
	盐度		32.882~34.92	32.882~34.92
	pH		8.14~8.2	8.14~8.2
	悬浮物	mg/L	>27.7	8.3~27.7
	COD	mg/L	0.16~1.26	0.16~1.26
	BOD ₅	mg/L	0.14~0.59	0.14~0.59
	DO	mg/L	<7.89	6.21~7.89
	无机氮	mg/L	0.0472~0.104	0.0472~0.104
	活性磷酸盐	mg/L	0.0014~0.0088	0.0014~0.0088
	石油类	mg/L	0.0037~0.0189	0.0037~0.0189
	总汞	μg/L	0.008~0.023	0.008~0.023
	铜	μg/L	0.5~3.4	0.5~3.4
	铅	μg/L	0.05~0.91	0.05~0.91
	锌	mg/L	0.0034~0.019	0.0034~0.019
	铬	μg/L	0.4L~2.3	0.4L~2.3
	镉	μg/L	0.11~0.9	0.11~0.9
	砷	μg/L	0.8~2.1	0.8~2.1
	挥发性酚	μg/L	0.5~1.9	0.5~1.9
	活性硅酸盐	mg/L	0.114~0.836	0.114~0.836
	镍	μg/L	0.8~1.9	0.8~1.9
	硒	μg/L	0.3~0.5	0.3~0.5
沉积物质量	粒度（中值粒径μm）		54.94~135.9	54.94~135.9
	有机碳	%	0.10~0.60	0.10~0.60
	pH		7.92~8.35	7.92~8.35
	石油类	×10 ⁻⁶	4.3~19.4	4.3~19.4
	硫化物	×10 ⁻⁶	1.3~24.7	1.3~24.7
	铜	×10 ⁻⁶	4.5~13.8	4.5~13.8
	铅	×10 ⁻⁶	10.8~29.3	10.8~29.3
	锌	×10 ⁻⁶	43.6~84.1	43.6~84.1
	镉	×10 ⁻⁶	<0.09	<0.09
	铬	×10 ⁻⁶	41.9~67.2	41.9~67.2
	汞	×10 ⁻⁶	0.015~0.039	0.015~0.039
	砷	×10 ⁻⁶	2.55~7.43	2.55~7.43
海洋生物质量	铜	mg/kg	2.7~18.2	2.7~18.2
	铅	mg/kg	0.09~0.86	0.09~0.86
	锌	mg/kg	3.4~30.1	3.4~30.1
	镉	mg/kg	0.117~1.36	0.117~1.36
	铬	mg/kg	0.14~1.19	0.14~1.19
	汞	mg/kg	0.005~0.081	0.005~0.081
	砷	mg/kg	1.1~4.1	1.1~4.1
	石油烃	mg/kg	4.6~19.6	4.6~19.6

5 海域开发利用协调分析

5.1 海域开发利用现状

5.1.1 社会经济概况

5.1.1.1 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）。大陆架内（即 200 米水深以内）海域面积（包括深汕合作区）2.39 万平方公里，相当于陆地面积的 4.5 倍。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）；辖区设有 40 个镇、14 个街道办事处，共有 150 个社区居委会、723 个村委会。

由《2024 年汕尾经济运行简况》（汕尾市人民政府门户网站，2025 年 1 月 26 日），根据广东省地区生产总值统一核算结果，2024 年，汕尾地区生产总值 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，同比增长 4.4%；第二产业增加值 433.60 亿元，增长 3.7%；第三产业增加值 861.54 亿元，同比增长 4.0%。

2024 年，汕尾农林牧渔业总产值 346.27 亿元，同比增长 5.3%。分行业看，农业产值增长 5.5%；林业产值增长 17.7%；牧业产值下降 3.9%；渔业产值增长 5.5%；农林牧渔专业及辅助性活动产值增长 16.3%。从农产品产量看，粮食产量 45.18 万吨，增长 3.8%；蔬菜及食用菌产量 163.64 万吨，增长 4.9%；园林水果产量 42.31 万吨，增长 8.1%；水产品产量 65.05 万吨，增长 5.3%；肉类总产量 11.05 万吨，下降 4.1%；生猪出栏量 93.05 万头，下降 6.2%；禽蛋产量 1.17 万吨，增长 2.4%。

规模以上工业增加值同比增长 1.1%。从主要行业看，采矿业增加值增长

140.2%；计算机、通信和其他电子设备制造业增加值增长 33.0%；电力、热力生产和供应业增加值下降 3.1%。新动能快速发展，先进制造业增加值增长 10.9%，占规上工业增加值比重 47.2%，比上年提高 4.7 个百分点，其中，装备制造业增加值增长 23.6%；高技术制造业增长 13.6%，占规上工业增加值比重 44.4%，比上年提高 10.1 个百分点。

服务业增加值同比增长 4.0%。交通运输市场较为活跃。公路客运量 1017 万人，增长 7.3%，公路货运量 3439 万吨，增长 4.0%。营利性服务业增长较快。1-11 月，汕尾规模以上服务业企业实现营业收入 124.74 亿元，增长 10.6%。其中，营利性服务业企业实现营业收入 47.27 亿元，增长 12.7%。分行业看，房地产业（不含房地产开发）营业收入增长 12.7%，租赁和商务服务业营业收入增长 18.7%，居民服务、修理和其他服务业营业收入增长 17.8%，教育业营业收入增长 13.9%，卫生和社会工作业营业收入增长 12.7%。

固定资产投资同比下降 10.6%。分领域看，房地产开发投资呈现逆势强劲增长态势，增长 25.3%；基础设施投资下降 8.5%；工业投资下降 2.8%；工业技改投资下降 24.7%。投资结构持续优化，工业投资占固定资产投资比重为 46.8%，比上年提高 3.8 个百分点。

社会消费品零售总额 505.77 亿元，同比增长 2.5%。从按消费形态分，餐饮收入 70.40 亿元，增长 2.9%；商品零售 435.36 亿元，增长 2.5%。按经营单位所在地分，城镇消费品零售额 365.97 亿元，增长 2.0%；乡村消费品零售额 139.79 亿元，增长 4.1%。汕尾消费品以旧换新政策效应显现，消费升级类商品销售保持较快增长，限额以上单位家用电器和音像器材类、通讯器材类分别增长 107.9%、34.3%。

进出口总额 186.6 亿元，同比下降 9.5%。其中出口额 107.7 亿元，下降 18.3%；进口额 78.9 亿元，增长 6.0%。实际利用外商直接投资 2.19 亿元，下降 32.9%。

一般公共预算收入 74.27 亿元，同比增长 11.7%。其中，税收收入下降 6.9%，非税收入增长 28.6%。一般公共预算支出 283.18 亿元，增长 6.3%。其中，教育、社会保障和就业、卫生健康、住房保障支出分别增长 3.1%、15.3%、1.7%、21.4%。

居民人均可支配收入 32670 元，同比增长 6.2%。按城乡分，城镇居民人均可支配收入 38423 元，增长 5.0%；农村居民人均可支配收入 24287 元，增长 6.8%。

汕尾居民消费价格指数与上年持平。其中，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%。

5.1.1.2 海洋产业发展现状

根据《汕尾市海洋经济发展“十四五”规划》，汕尾市海洋经济保持良好发展势头。传统优势海洋产业实力得到增强，海洋新兴产业有所起步。现代海洋渔业稳定发展，建成省级水产良种场 2 个、养殖示范场 5 个、海洋牧场 3 个、渔港码头 2 个，以垂钓、旅游、餐饮、观光为主的休闲渔业成为新的渔业经济增长点。2020 年全市海水产品产量 53.75 万吨，海水产品产值 98.93 亿元，占全省的比重分别为 11.9%和 12.5%。临海工业持续推进，年发电能力 100 亿千瓦时的陆丰甲湖湾电厂新建工程建成投产，明阳智能汕尾海上高端装备制造基地正式投产，后湖海上风电场接入系统工程顺利投运，产能规模按年均 76 万千瓦配套设备能力规划设计，汕尾海洋工程基地（陆丰）项目开工建设，甲子、后湖海上风电场项目均完成核准批复。海洋船舶工业不断发展，拥有船舶修造生产基地 12 家，建成包括船舶制造、维修、服务的上下游产业链，渔船升级改造及减船转产项目持续推进。海洋生物产业创新发展，建成年生产加工量 500 吨的鱼胶原蛋白肽粉产业链基地。海洋旅游业蓬勃发展，建设完善市区城市游憩旅游区、红海湾海洋运动旅游区等多个沿海旅游景点。2019 年接待过夜人数和旅游总收入较 2015 年分别增长 32.8%和 62.5%。海洋交通运输业稳步发展，2020 年汕尾港货物吞吐量达 1273.7 万吨，2016-2020 年均增长率约为 9.2%。

汕尾市海洋经济空间布局持续优化。红海湾主要布局滨海旅游、海洋牧场、海产品加工产业，建有保利金町湾旅游度假区、红海湾旅游度假区、晨洲村生蚝养殖加工基地等。碣石湾主要布局临海工业、海洋文化旅游等产业，拥有汕尾海洋工程基地（陆丰）、宝丽华集团能源基地、中广核核电项目基地、金厢滩红色旅游区等，初步形成了西部以海洋生物、海洋休闲旅游、现代渔业为主，东部以海工装备、电力能源为主的滨海优势产业发展带。

5.1.1.3 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”。

5.1.2 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，本项目风电场所在及周边海域开发利用活动较少，主要为海底光缆、拟建的海上风电项目、航路、自然保护区、国控站位。项目所在海域开发利用现状详见表 5.1.2-1 和图 5.1.2-1。

表 5.1.2-1 项目所在海域开发利用现状表

序号	名称	与本项目相对位置和最近距离
1	明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目（拟申请）	西侧，共用海上升压站
2	华润汕尾红海湾五海上风电项目（拟申请）	北侧，0.4km
3	深能汕尾红海湾六海上风电项目（拟申请）	北侧，0.3km
4	广东沿海内航路	北侧，6.0km
5	广东沿海外航路	南侧，9.6km
6	C2C 海底光缆 S2A 段	西南侧，17.5km
7	汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区	东侧，13.7km
8	GDN14007	西南侧，13.6km
9	GDN14010	东北侧，17.0km

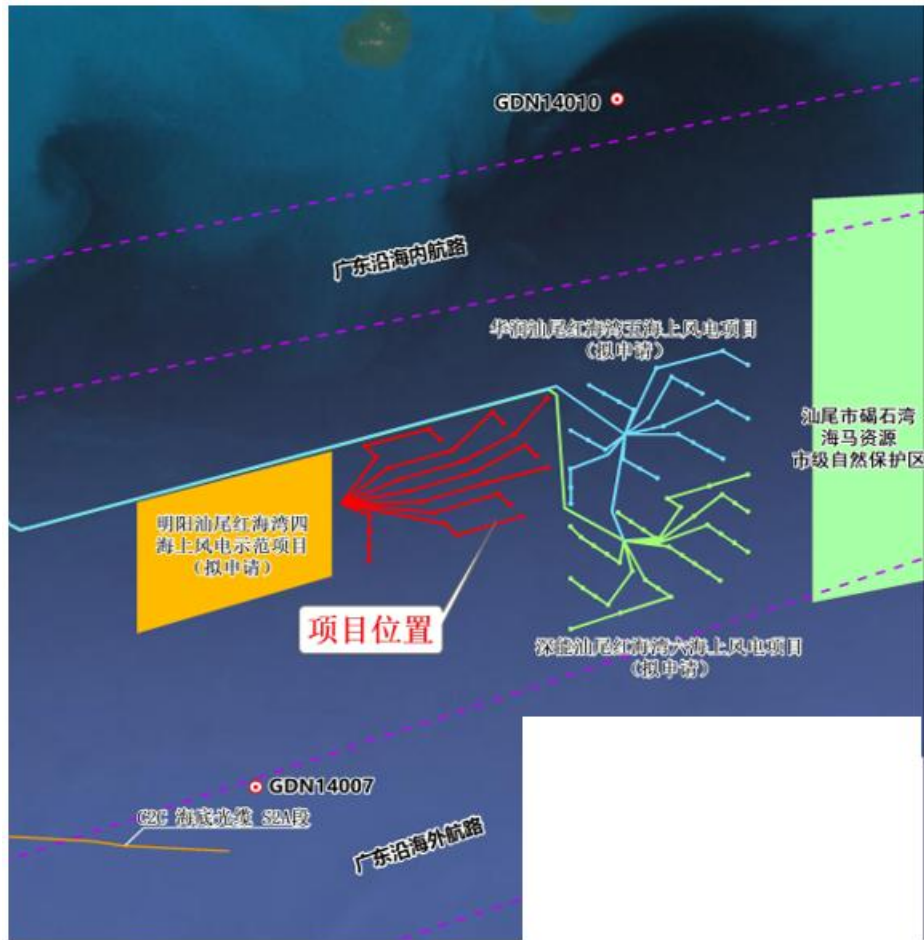


图 5.1.2-1 项目周边开发利用现状图

5.1.3 海域使用权属现状

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，本项目周边海域已确权用海活动为 C2C 海底光缆系统 S2A 段工程。项目申请用海范围与周边用海项目不存在权属重叠。项目所在海域权属现状见表 5.1.3-1。

表 5.1.3-1 项目周边海域使用权属信息一览表（不公开）

5.2 项目用海对海域开发活动的影响

根据 5.1.2 节开发利用现状的分析，本项目风电场所在及周边海域开发利用活动较少，主要为海底光缆、拟建的海上风电项目、航路、自然保护区、国控站位，项目 $>10\text{mg/L}$ 悬沙增量包络线（底层）与周边开发利用活动叠置图见图 5.2-1。

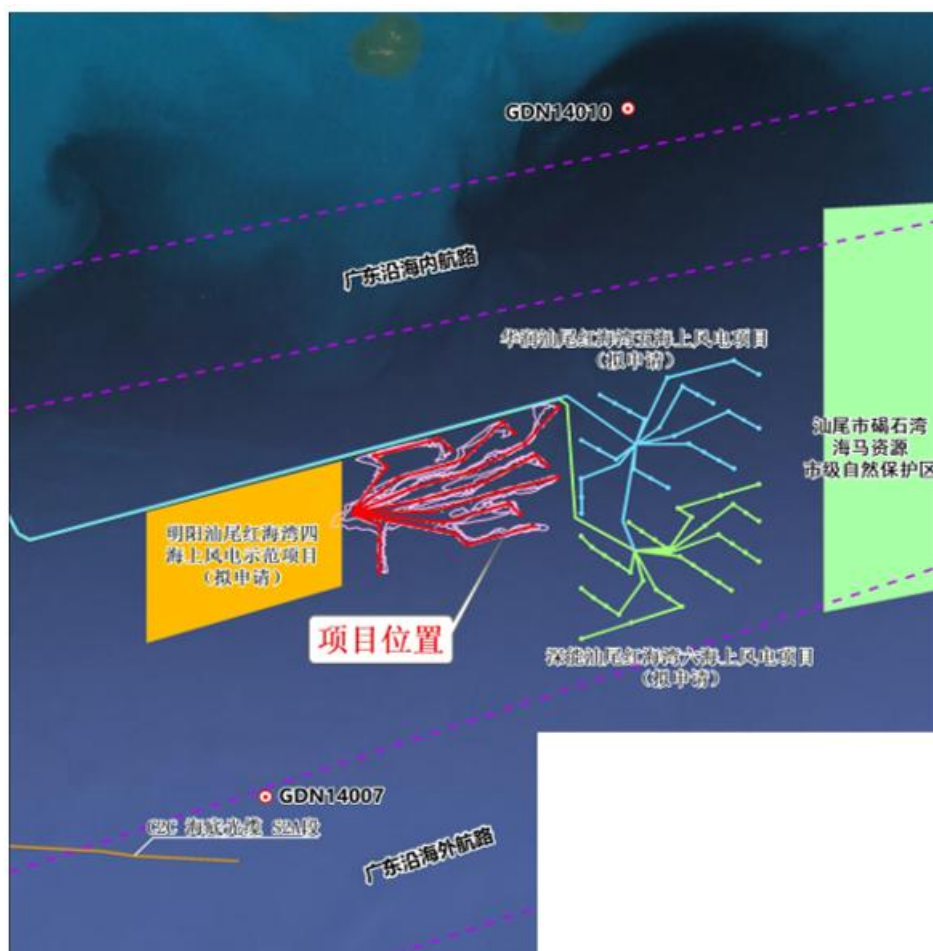


图 5.2-1 >10mg/L 悬沙增量包络线（底层）与周边开发利用活动叠置图

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：

5.2.1 对航路的影响分析

本项目风电场距离广东沿海内航路、广东沿海外航路较远（6km 以上），根据项目建设对所在海域地形地貌与冲淤环境影响预测分析，项目建设对海域冲淤影响主要出现在风机桩基附近，对一定距离外的航路所在海域冲淤环境基本无影响。

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，对于通过该水域航路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) 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, 施工船运用良好船艺, 谨慎驾驶的驾驶员, 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。

5.2.2 对海上风电项目的影响分析

本项目与明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目共用海上升压站, 华润汕尾红海湾五海上风电项目位于本项目北侧 0.4km 处; 深能汕尾红海湾六海上风电项目位于本项目北侧 0.3km 处。

本项目对周边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，其他船只只会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。

本项目与明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目、华润汕尾红海湾五海上风电项目、深能汕尾红海湾六海上风电项目场址间均有一定距离（约 1km），且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。

5.2.3 对海底光缆的影响分析

本项目风电场西南侧约 17.5km 为 C2C 海底光缆系统 S2A 段工程，本项目对海底电（光）缆产生的影响主要为施工船舶航运作业的影响、风机基础打桩施工的影响以及海缆敷设施工影响，但本项目距离上述电（光）缆项目较远，风机基础打桩施工、海缆敷设施工作业也不在海底电（光）缆的保护范围内，因此项目风机基础打桩施工对其基本不产生影响。

本项目施工期间只要严格控制用海范围，并注意采取安全防护措施，同时要求施工船舶的航行与抛锚应与该电（光）缆保证一定距离，项目施工船舶航运作业对该电（光）缆的影响较小。

施工单位施工前明确作业范围和方式并严格执行，禁止桩基施工、船只航行或抛锚等行为损坏电（光）缆。

5.2.4 对自然保护区的影响分析

汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区位于本项目风电场场址东侧，最近距离约 13.7km。项目建设对该自然保护区可能的影响主要是施工期间产生的悬浮物扩散会影响周边海域水质环境，进而影响所在海域的水生生物生存和生长。根据项目建设水质环境影响预测分析，项目施工引起的悬浮泥沙扩散不会扩散到该自然保护区（详见图 5.2-1），不会对该自然保护区范围内的水质产生不利影响。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4章节的分析，项目运行期间噪声和电磁辐射环境影响不大，对海马及其他野生动物的生境影响较小。

5.2.5 对国控站位的影响分析

项目周边海域分布有2个国控站位，其中GDN14007距离本项目约13.6km，GDN14010距离本项目约17.0km，与本项目距离较远，由图5.2-1可知，项目施工引起的悬浮泥沙扩散不会扩散到上述国控站位，不会对上述国控站位所在海域水质产生不利影响。

5.2.6 对渔业生产活动的影响分析

根据水质影响预测结果分析，本项目施工过程悬沙扩散范围主要集中在风电场附近海域，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。

项目施工期产生的悬浮泥沙、桩基和海缆占用生境等，会对渔业资源造成一定的损失，项目施工尽可能的避开渔业敏感季节（如产卵期）；项目运营期风电场场址和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。

5.3 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5.2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为*****，详见表5.3-1及图5.3-1。

表 5.3-1 利益相关者一览表（不公开）

图 5.3-1 利益相关者分布图（不公开）

5.4 需协调部门界定

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、汕尾市农业农村局，详见表 5.4-1。

表 5.4-1 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	汕尾海事局	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、占用生境、捕捞空间	协调建设单位进行生态保护修复

5.5 相关利益协调分析

5.5.1 与周边风电业主的协调分析

本项目与*****距离较近，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*****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。

5.5.2 与汕尾海事局的协调分析

项目建设过程中将会有较多的施工船舶参与，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》。

5.5.3 与汕尾市农业农村局的协调分析

为提醒渔船注意，避免渔船进入项目施工区域，建设单位应在施工区域外围设置航标灯，引导过往船舶航行，避免渔船误入施工区域，在近海面塔桶上采用红色灯警示色，避免渔船碰撞引发事故。此外，风电场的海缆工程应重视埋深和保护工作。

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。针对项目用海压缩捕捞空间，建议建设单位与汕尾市农业农村局积极沟通，开展公共服务，为当地渔民提供就业机会。例如可采用海上风电结合深水养殖等方式为渔民转岗转业提供新的岗位。

5.6 项目用海与国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析

5.6.1 对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。

5.6.2 对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。

本工程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。

6 国土空间规划符合性分析

6.1 与国土空间规划符合性分析

本项目风电场场址水深在 34m~41m 之间，距离陆地最近约 22.7km，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。

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

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

6.2 项目用海与“三区三线”的生态保护红线符合性分析

本项目没有位于生态保护红线区，本项目建设不会产生悬浮物含量高浓度区（300mg/L 以上水平），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，建议项目施工应尽量避免开产卵期，并合理安排作业时间，尽可能缩短作业时间和影响持续时间，项目营运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。

因此，项目建设符合“三区三线”中的生态保护红线的管理要求。

6.3 项目用海与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的符合性分析

本项目位于汕尾西部工矿通信用海区。根据“三区三线”中的生态保护红线成果，本项目的风机场址没有位于生态红线区。项目作为海洋可再生能源开发项目，无围填海工程和水下爆破，海缆敷设不会截断洄游通道，项目对功能区的影响主要存在于施工期间，悬沙扩散对功能区的水质产生影响。但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响功能区的功能发挥，运营期也不会造成影响，不会对所在海域的自然环境造成不可逆转的改变。本项目建设符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的要求。

6.4 项目用海与相关规划的符合性分析

6.4.1 与《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》的符合性分析

本项目对于改善广东省的电源结构，推动我国的海上风电事业的发展，促进我国深远海海上风电技术进步，开发可再生能源有着重要的意义，符合广东省可再生能源发展战略和可持续发展方向，符合国家和地方风电规划的相关要求。

因此，项目建设符合《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》关于推动绿色低碳发展的规划目标。

6.4.2 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析

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。本项目所在的汕尾海域具有开发风力发电的有利条件。海上风电场的建设将有利于改善广东省的电源结构，推动我国海上风电产业的发展，并对开发可再生能源也有着重要的意义。根据前述分析，本项目没有大规模、高强度的工业和城镇建设，虽然工程施工期间对周边海域海水水质会产生一定影响，但对其造成的悬浮物影响是暂时的，可逆的，随着施工结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减至背景浓度值，在施工结束后不会影响周边保护区、渔业区和红线区的功能。

项目建设成后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展。因此，本项目建设与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的要求相符合。

6.4.3 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析

本项目能有力地开发粤东地区的海上风电资源，有效提高风能资源的利用，有利于提高海上风电技术水平，有利于促进海上风电设备国产化、海上风机基础选型与施工技术的创新。同时，本项目对于促进区域经济社会发展有着积极意义。工程建成后，可带动地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而带动和促进地区国民经济的全面发展和社会进步。随着风电场的相继开发，风电将为地方开辟新的经济增长点，对拉动地方经济的发展起到积极作用。

因此，项目建设与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》关于打造海上风电产业集群，推动海上风电项目规模化开发的要求相符合。

6.4.4 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析

本项目风电场没有位于生态保护红线内，项目没有围填海工程和水下爆破，海缆敷设不会截断洄游通道，因电缆敷设产生的影响是暂时的、可逆的，在施工

结束后不会影响生态保护红线的功能，运营期也不造成影响。施工产生的悬浮物来自本海区，且随着施工期的结束功能区内的悬浮物水平会恢复到原有水平，不会对海水水质、沉积物和生物质量产生较大的影响。本工程设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理。施工完毕后，海域可迅速恢复至原有水质和生物。

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

因此，本项目建设符合《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的要求。

6.4.5 与《汕尾市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析

本项目海上风电场的建设是满足汕尾市电力需求增长的需要，也是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，是符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。因此，项目建设符合《汕尾市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》。

结论

综上，本项目建设符合《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）》、生态保护红线、《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》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》《广东省海洋生态环境保护“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。

7 项目用海合理性分析

7.1 用海选址合理性分析

7.1.1 项目选址区位和社会条件的合理性分析

项目拟建设 29 台风电机，场址位于广东省汕尾市海丰县南面海域，红海湾场址中间偏北位置，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。

7.1.2 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，主导风能方向为 ENE。轮毂高度风速主要集中在 3~13m/s 的区间中，频率约占 84%，而风能主要集中在 7~17m/s 的风速区间中，频率约占 87%。风速和风能分布均比较集中，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

本项目位于汕尾红海湾海上风电场场址内，位于汕尾市海丰县南面海域，离岸距离约 22.7km，水深约 34m~41m，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。地水下地形较平缓，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，场址近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，风电场地震基本烈度为Ⅶ度，根据《海上风力发电厂勘测标准》（GB51395-2019）的有关标准，风电场区域构造稳定性较好。

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。项目采用桩基础及防冲刷措施后可进行工程建设。

(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。

7.1.3 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 5 章，本项目风电场所在及周边海域开发利用活动主要为海底光缆、拟建的海上风电项目、航路、自然保护区、国控站位。经界定本项目利益相关者为*****，需协调部门为汕尾海事局、汕尾市农业农村局。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。

7.1.4 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三场址范围内，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。

7.1.5 项目选址合理性分析

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条件下，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。

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。本项目风电场场址水

深 34m~41m, 风电场外包络面积 6326.3084 公顷, 单位装机容量风电场面积 12.49 公顷/兆瓦, 海域利用率 4.66%, 投资强度 1831.47 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, 本项目平均尾流损失达到 15.86%, 已经超过了《风电场工程微观选址技术规范》(NB/T 10103-2018)的单台风电机组最大尾流损失 15%要求, 若现阶段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。

综上, 本项目选址是合理的。

7.2 用海平面布置合理性分析

7.2.1 平面布置比选分析

对本项目机型进行风机混排布置方案比选, 按如下思路进行优化布置: 一是规则化的风机排布方案按照风机优化布置方法的技术路线, 以 ENE 为主导风向, 风机阵列基本垂直于主导风向布置, 并适当旋转调整角度, 形成优化比选布置方案一、方案二。

方案一各列风机基本垂直于主导风向(ENE), 采用了 5 列布置的方案, 列间距为 2520~3150m (8.6~11.4D), 行间距为 850~893m (约 3.0~3.3D)。风电机组之间最小距离为 850m (约 3.3D)。

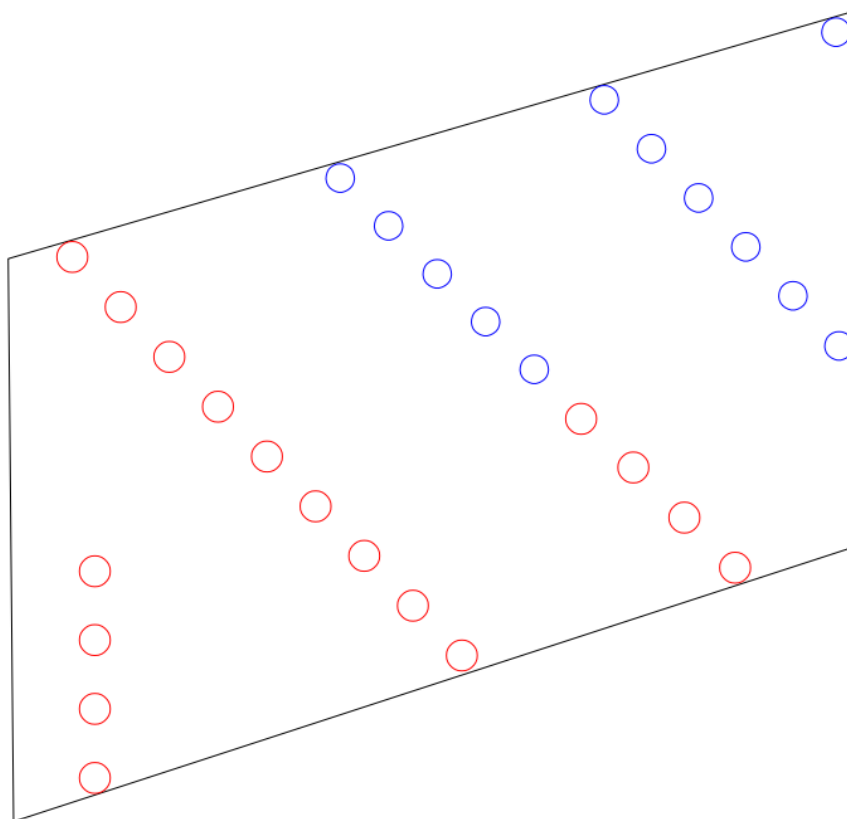


图 7.2.1-1 方案一风机排布空间示意图（红色为 18MW 风机，蓝色为 16.7MW 风机）

方案二各列风机平行于东西边界方向成列布置，采用了 4 列布置的方案，列间距为 2700~3080m（10.4~10.6D），行间距为 920~1156m（3.2~4.0D）。风电机组之间最小距离为 920m（约 3.2D）。

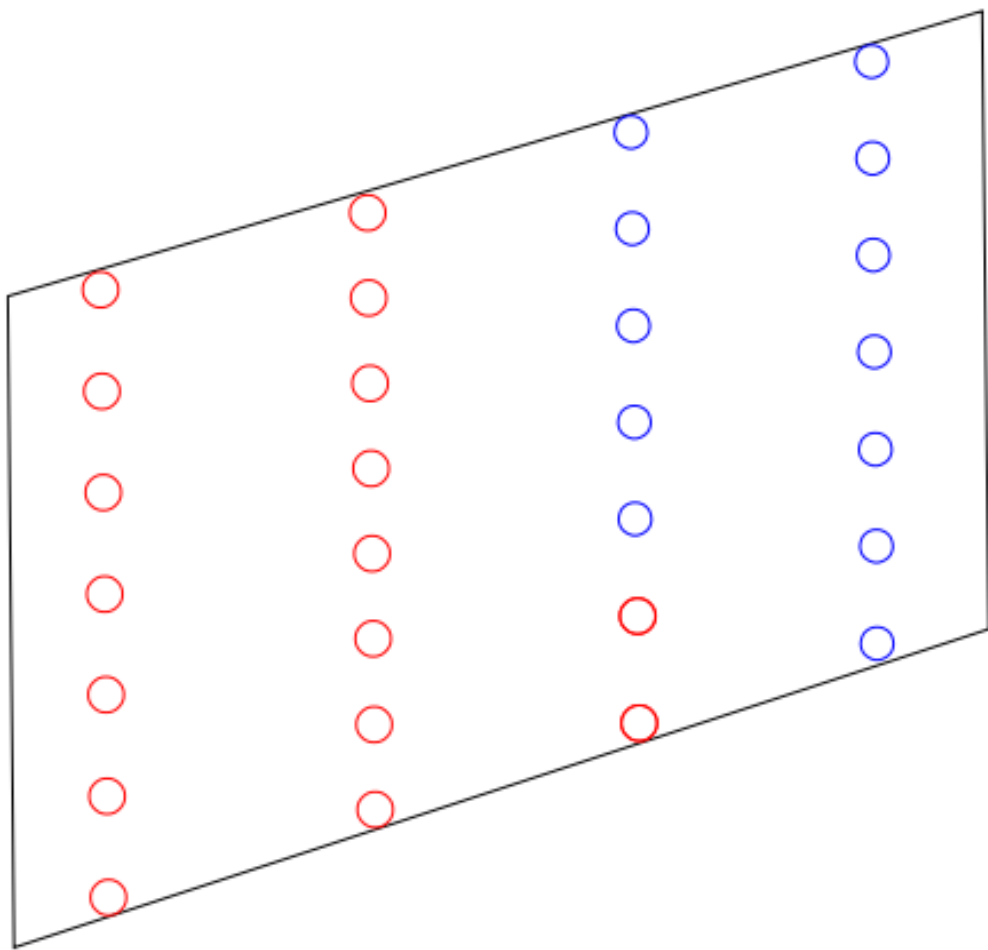


图 7.2.1-2 方案二风机排布空间示意图（红色为 18MW 风机，蓝色为 16.7MW 风机）

表 7.2.1-1 方案一、二优化布置方案比较表

方案	方案一	方案二
理论年发电量（GWh）	2287.537	2287.537
净发电量（GWh）	1924.784	1901.686
平均尾流损失率（%）	15.86	16.87
单机最大尾流（%）	19.32	20.90
其他折减率（%）	79	79
年上网电量（GWh）	1520.579	1502.332
满发小时数（h）	3003	2967

方案一在发电量、平均尾流损失、最大单机尾流损失和满发小时数方面相比较方案二优，因此本阶段采用方案一为推荐布置方案。

7.2.2 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。本项目风电场场址水

深 34m~41m,风电场外包络面积 6326.3084 公顷,单位装机容量风电场面积 12.49 公顷/兆瓦,海域利用率 4.66%,投资强度 1831.47 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,本项目平均尾流损失达到 15.86%,已经超过了《风电场工程微观选址技术规范》(NB/T 10103-2018)的单台风电机组最大尾流损失 15%要求,若现阶段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,节约集约控制指标详见表 7.2.2-1。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,并且外围风机包络范围均在场址规划范围内,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。

表 7.2.2-1 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	12 台 16.7MW 与 17 台 18MW
1	离岸距离和水深	离岸 30 千米,或水深大于 30 米。	离岸 22.7km、水深 34m~41m
2	单位装机容量风电场面积(公顷/兆瓦)	≤ 15	12.49
3	海域利用率	$\geq 6\%$	4.66%
4	投资强度(万元/公顷)	≥ 800	1831.47
1.近岸区域水深超过 30 米的,风电场离岸距离还需不少于 10 千米;滩涂宽度超过 30 千米的,风电场内水深还需不少于 10 米。离岸距离按照海上风电场外包络线与大陆(含海南岛本岛和县级及以上人民政府驻地的海岛)岸线最近距离计算,水深以最新海图所示的风电场内最浅水深为准。 2.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)。其中,风电场外包络线面积指风电场最外侧风机扇叶投影切线连接形成的区域面积。 3.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)$\times 100\%$。 4.投资强度=固定资产总投资(万元)/项目用海确权面积(公顷)。 其中,固定资产总投资包括风电项目及复合利用项目的建筑安装工程、设备工器具购置以及固定资产建造和购置过程中发生的其他费用;项目用海确权面积包括海上风电项			

目和复合利用设施的用海确权面积。

5.海上风电项目含多种单机容量机型混合布置的按照平均单机容量计算。

其中，平均单机容量=风电场总装机容量（兆瓦）/风机总台数。

6.离岸距离和水深、单位装机容量风电场面积为约束性指标，不能满足的，需调整项目用海方案；海域利用率、投资强度为鼓励性指标，不能满足的，需在海域使用论证报告中阐明不能满足的原因。

7.2.3 是否有利于生态保护，并已避让生态敏感目标

本项目建设风电机组和 66kV 集电海底电缆，外围风机包络海域面积为 6326.3084 公顷，场址内风机排布采用了 5 列布置的方案，采用了 5 列布置的方案，列间距为 2520~3150m（8.6~11.4D），行间距为 850~893m（约 3.0~3.3D）。风电机组之间最小距离为 850m（约 3.3D），风机之间有一定的间距，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三内，风电场场址避开了生态红线区、海洋保护区，符合相关要求。

7.2.4 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 66kV 集电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减少，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。

7.2.5 能否最大程度地减少对周边其他用海活动的影响

本项目风电场内布置 29 台风电机组，不影响场址周边其他风电项目用海。

根据本报告第 5 章，本项目风电场所在及周边海域开发利用活动较少，主要为海底光缆、拟建的海上风电项目、习惯航路、自然保护区。根据本报告海域开发利用协调分析结论，本项目利益相关者为*****，需协调部门为汕尾海事局、汕尾市农业农村局。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。

综上，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。

7.3 用海方式合理性分析

7.3.1 用海方式说明

(1) 风机

海上风机基础不仅需承受上部高耸的风机带来的荷载，而且需抵抗波浪荷载、风荷载、水流荷载、船舶撞击荷载等多个荷载的共同作用，其所受水平力和倾覆力矩较大，且风机正常运行对基础不均匀沉降和法兰面倾角都有比较高的控制要求。海上风机基础选型应综合考虑水深、海床地质条件、离岸距离、海洋环境条件和施工水平等方面的影响，对基础的适用性进行分析。

重力式基础和高桩承台基础适用的水深范围较浅，本场址水深相对较深，上述两种基础型式很难在该水深条件下进行设计。因此，本场址不推荐上述两种基础型式。

水上和水下三桩基础，由于其结构本身的局限性，受力节点非常复杂，导致应力集中现象明显，结构的抗疲劳性能较差。大容量风机对应的极限荷载和疲劳荷载均较大，上述基础型式设计很难开展，且工程量并无优势。因此，本场址不推荐水上和水下三桩基础型式。

单桩基础、导管架基础和吸力桶基础型式在设计流程、建造工艺、运输工艺、

施工工艺等方面均较为成熟，且均有在本项目同等水深下进行设计的先例，具备初步的设计可行性。

经过初步比选，本场址优先推荐采用导管架基础型式。导管架基础具有很好的刚度和承载能力，对水深、地质条件及大容量风电机组的适应性较强，适用于0~60m水深的近远海风电场。根据可研报告的分析，现阶段初步推荐本场址采用四桩导管架基础。

风机基础的结构形式决定了风机的用海方式是透水构筑物。因此，不再进行用海方式比选

(2) 集电海缆

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站站之间的集电线路海底电缆。工程海域海床表层土为沉积淤泥土，推荐的海缆敷设方式为直埋方式，相比架空电缆的方式，电缆埋设于海床以下对海洋资源环境及开发现状的影响更小。

从工程建设特征和用途考虑，推荐海底电缆的用海方式为海底电缆管道用海。

7.3.2 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

项目建设风机和海底电缆，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。

7.3.3 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

本项目建设风机和 66kV 集电海缆，距离最近的陆地约 22.7km，不占用岸线。项目用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道。虽然项目建设需占用一定的海域，但透水构筑物和海底电缆管道用海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。

7.3.4 是否有利于保护和保全区域海洋生态系统

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。

项目风机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。

7.3.5 能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响

本项目透水构筑物 and 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。

综上，本项目用海方式是合理的。

7.4 占用岸线合理性分析

本项目风机和 66kV 集电海缆距离最近的陆地约 22.7km，不占用岸线，对岸线资源没有影响。

7.5 用海面积合理性分析

7.5.1 申请用海面积

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），本项目用海的海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；按《海域使用分类》（HY/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）。

项目拟申请用海面积为 318.0466 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 176.8687 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 141.1779 公顷。

表 7.5.1-1 项目申请用海情况

用海设施	用海类型	用海方式	申请用海面积（公顷）
风机	可再生能源用海/电力工业用海	透水构筑物	176.8687
66kV 集电海缆		海底电缆管道	141.1779
申请用海总面积（公顷）			318.0466

7.5.2 项目用海面积合理性

7.5.2.1 项目用海面积是否满足项目用海需求

1、风机用海需求

本项目规划场址范围内拟布置 12 台 16.7MW 与 17 台 18MW 的固定式风电机组，16.7MW 与 18M 风轮直径分别为 260m、291.12m。

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。”16.7MW 风机、18M 风机塔架中心点与风机叶片投影最外缘点连线长度分别为 130m、145.56m，因此 1 台 16.7MW 风机占用海域面积为 5.3093 公顷，1 台 18MW 风机占用海域面积为 6.6563 公顷。则本项目 29 台风机用海需求为 176.8687 公顷。

因此，本项目 29 台风机拟申请用海面 176.8687 公顷可以满足项目用海需求。

2、66kV 集电海缆用海需求

根据项目需要，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。66kV 海底电缆三芯集电电缆宽度为 133~173mm，本项目取 173mm，66kV 集电海底电缆长度为 77.45km，66kV 集电海缆占用海域面积为 1.3399 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，考虑到本项目 66kV 海缆与风机、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：即风机和升压站用海优先，海底电缆次之，扣除风机、升压站用海与 66kV 集电海缆重叠面积，计算得出 66kV 集电海缆项目拟申请用海面积 141.1779 公顷可满足项目用海需求。

综上，项目拟申请用海面积 318.0466 公顷能够满足项目用海需求。

7.5.2.2 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。本项目风电场场址水深 34m~41m，风电场外包络面积 6326.3084 公顷，单位装机容量风电场面积 12.49 公顷/兆瓦，海域利用率 4.66%，投资强度 1831.47 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，本项目平均尾流损失达到 15.86%，已经超过了《风电场工程微观选址技术规范》（NB/T 10103-2018）的单台风电机组最大尾流损失 15%要求，若现阶段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。项目建设符合集约节约的原则，符合自然资源部规定的用海控制要求。

（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/T18451.1-2012）、《风力发电场设计技术规范》（DL/T5383-2007）、《风电场工程等级划分及设

计安全标准》（FD002-2007）、《风电机组地基基础设计规定》（FD003-2007）、《风力发电场设计规范》（GB51096-2015）、《海上风电场工程施工组织设计技术规定》（NB/T31033-2012）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/T51190-2016）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

海岸线确定原则和方法依据以《全国海岸线修测技术规程》（自然资办函〔2019〕1187号）及《海岸线调查统计技术规范》（DB33/T2106-2018）规定的方法确定，本项目海岸线为广东省政府 2022 年批复海岸线。

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”。

本项目风机以其塔架中心点与风机叶片投影最外缘点连线为界确定界址点；66kV 海底电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，66kV 海底电缆与风机、海上升压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用海优先，海底电缆次之，重叠部分面积扣除。

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。

7.5.2.3 减少项目用海面积的可能性

项目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，并已尽可能在风电场规划范围内充分利用海域的空间资源和风能资源，对本项目的平面布置做了多次优化；同时，考虑到本工程周边海域航道、锚地等开发利用现状的用海需求，设计单位对本项目的风机机组进行了优化。现阶段，综合考虑机组安全性、发电效益等因素，不存在减少用海面积的可能性。

7.5.3 宗海图绘制

7.5.3.1 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》（HY 070-2022）；

《海域使用分类》（HY/T 123-2009）；

《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）；

《宗海图编绘技术规范》（HY/T 251-2018）。

（1）宗海位置图的绘制方法

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...米...理论最低潮面，高程...米...1985年国家高程基准，比例尺为1:250 000（22°16′）。

将上述图件作为宗海位置图的底图，经过相应地图整饰，绘出宗海位置图，具体见图7.5.3-1。

（2）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。

7.5.3.2 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、**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》及本项用海的实际用海类型,界定本项目用海为 1 宗海,宗海面积 318.0466 公顷,有透水构筑物、海底电缆管道共两种用海方式,共 51 个用海单元构成,其中风机(透水构筑物)用海面积 176.8687 公顷,66kV 海底电缆用海面积 141.1779 公顷。

汕尾红海湾三海上风电项目宗海位置图

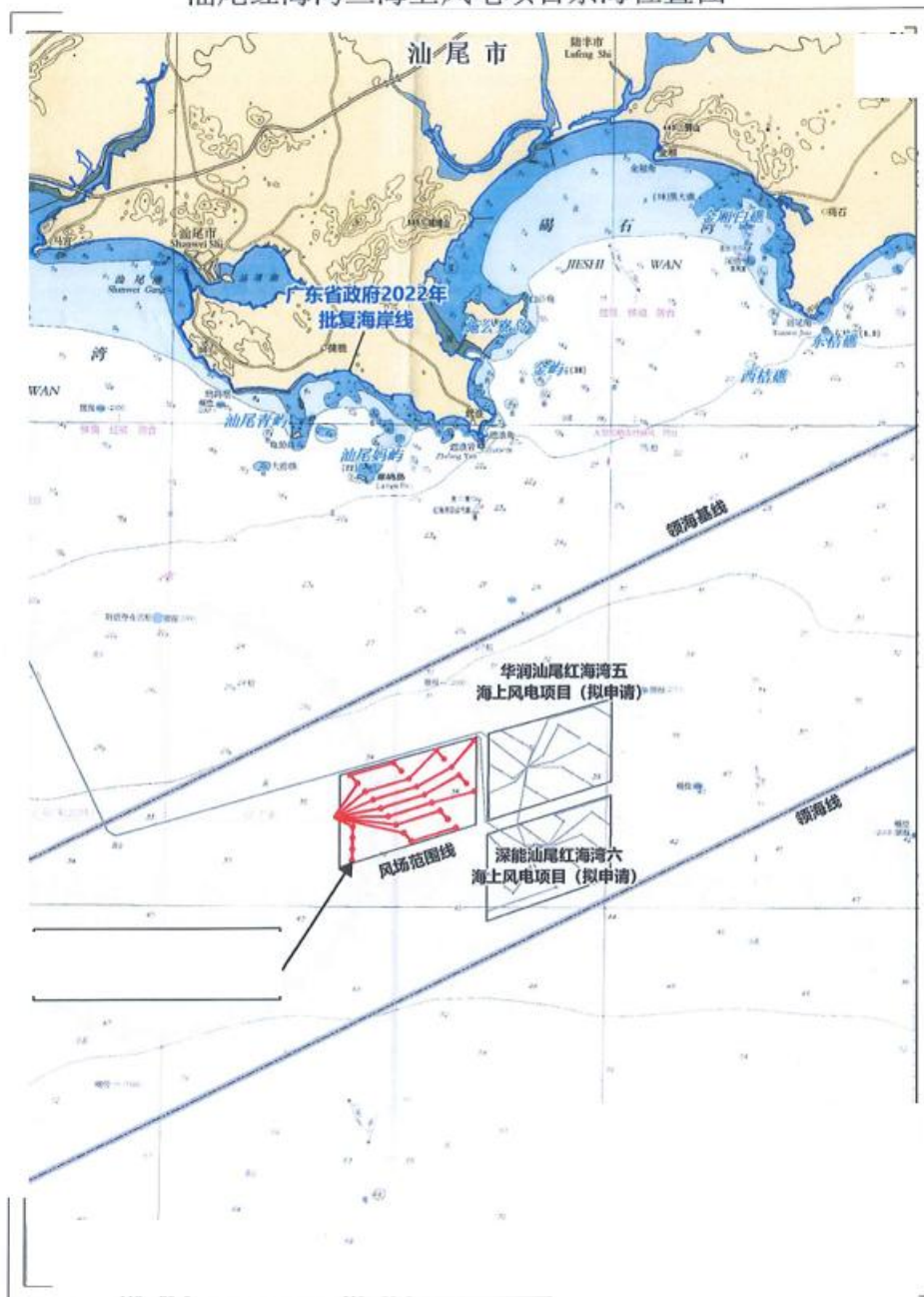


图 7.5.3-1 宗海位置图

汕尾红海湾三海上风电项目宗海平面布置图

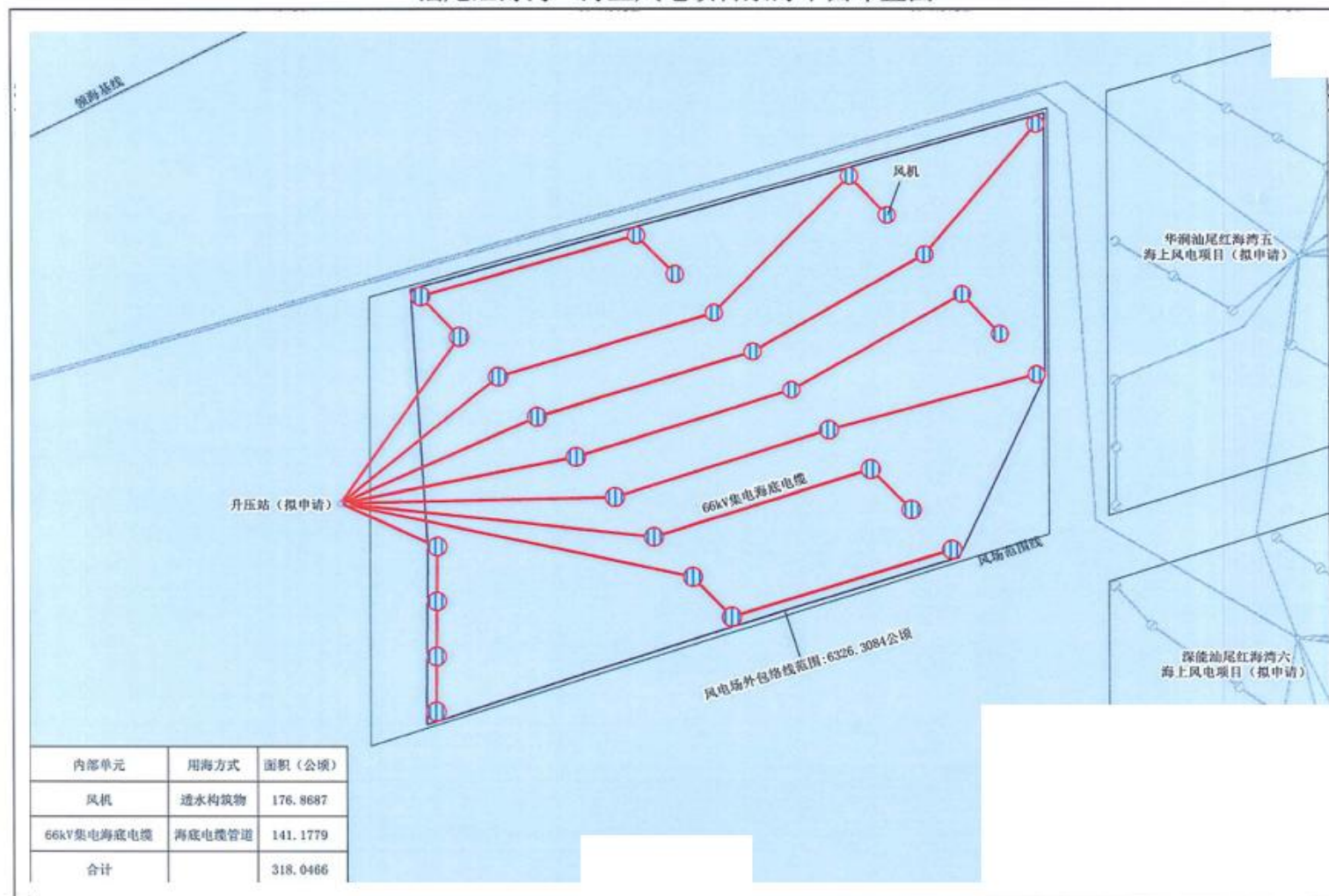


图 7.5.3-2 宗海平面布置图

汕尾红海湾三海上风电项目（风机、66kV集电海底电缆）宗海界址图

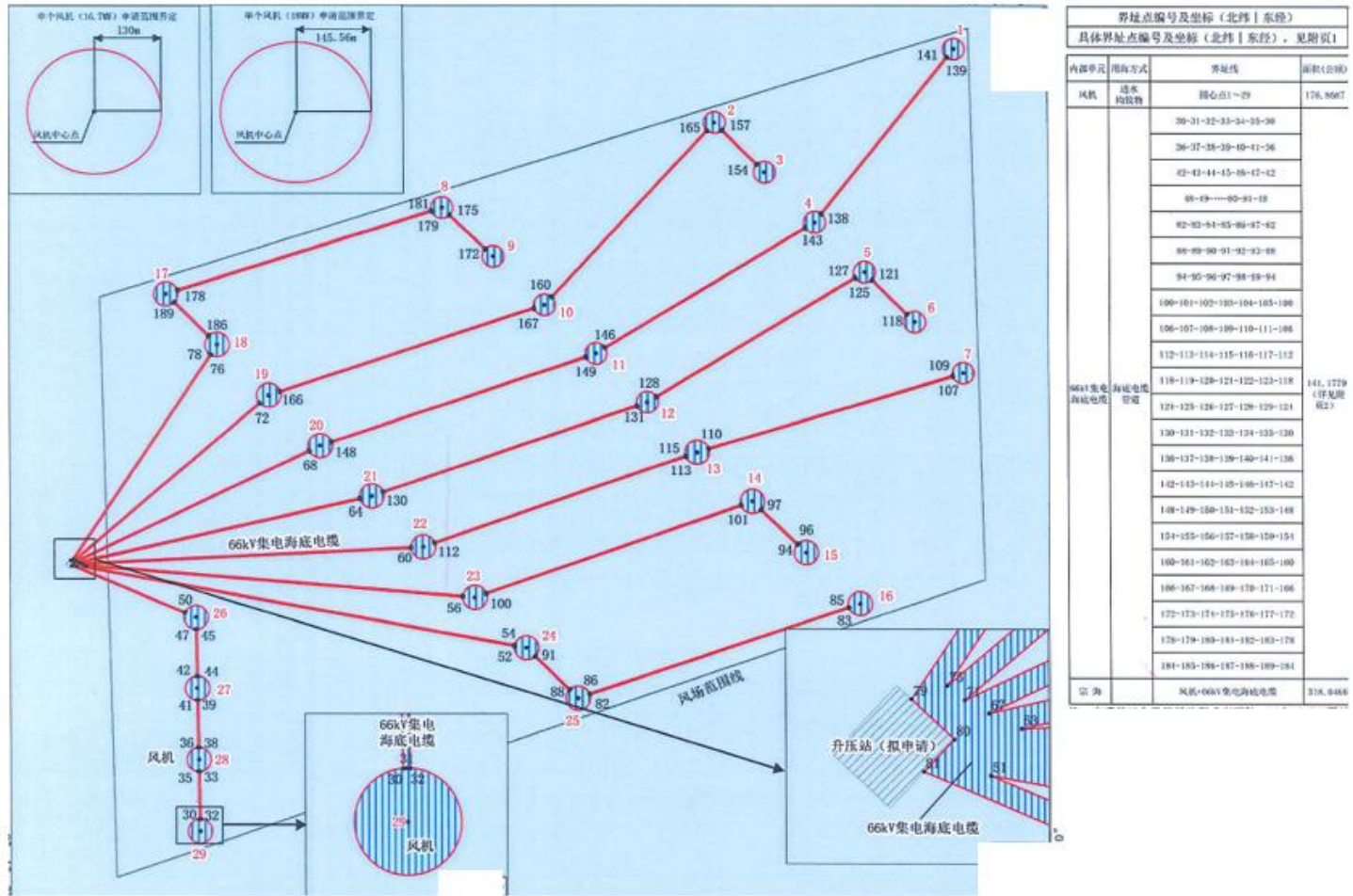


图 7.5.3-3 宗海界址图

表 7.5.3-1 宗海界址点表 1（不公开）

表 7.5.3-2 宗海界址点表 2（不公开）

表 7.5.3-3 宗海界址点表 3（不公开）

表 7.5.3-4 宗海界址线表 1（不公开）

7.5.4 项目用海面积量算

1、风机

本项目风机用海方式为透水构筑物。

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。”

16.7MW 风机、18M 风机塔架中心点与风机叶片投影最外缘点连线长度分别为 130m、145.56m，则本项目 16.7MW 风机、18M 风机分别以 130m、145.56m 为半径的圆确定用海边界。

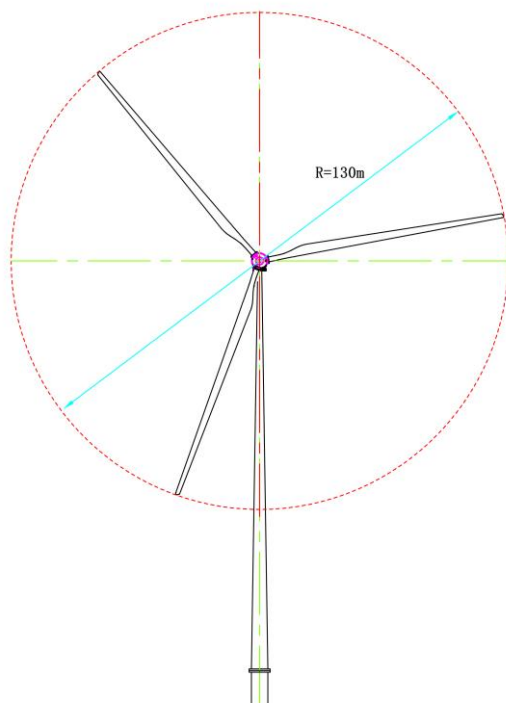


图 7.5.4-1a 16.7MW 风机海范围界定示意图

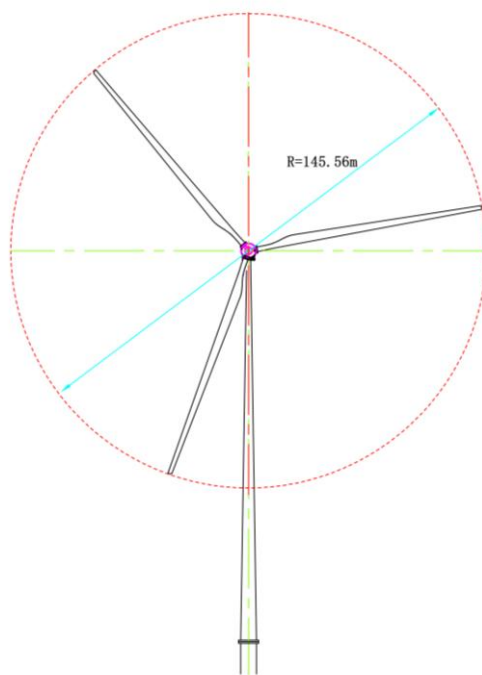


图 7.5.4-1b 18MW 风机海范围界定示意图

2、66kV 集电海缆

本项目集电海缆用海方式为海底电缆管道。

根据《海籍调查规范》5.4.5.1 电缆管道用海，电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界，因此，本项目集电海缆以海缆外缘线向两侧外扩 10m 确定集电海缆的用海外界址线。本项目海底电缆直径取 173mm，则集电海缆用海通道宽度为 20.18m。

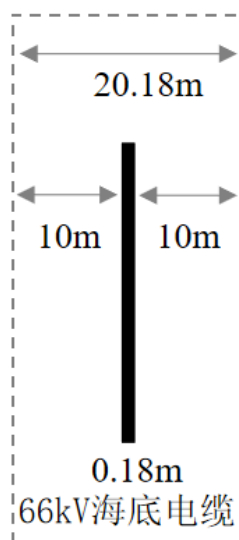


图 7.5.4-2 电缆管道用海范围界定示意图

根据《海籍调查规范》5.3.6.3 用海方式重叠范围的处理，“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。”本项目集电海缆连接了风机、海上升压站，风机、海上升压站用海方式均为透水构筑物，66kV 集电海缆用海方式为海底电缆管道，根据现行海域使用金征收标准，透水构筑物用海海域使用金征收标准较高，拟申请的海上升压站（平台尺寸为 65.0m×50.9m）用海范围按照《海籍调查规范》“第 5.3.2.2 节透水构筑物用海有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”外扩 10m 确定。集电海缆与风机、升压站用海范围发生重叠时，重叠部分归入透水构筑物申请用海范围，本项目集电海缆不再申请重叠部分用海确权。

综上，本项目拟申请用海面积 318.0466 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 176.8687 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 141.1779 公顷。

7.6 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/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《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。

本项目风机基础结构的设计服务年限为 25 年，设计防腐年限为 27 年，总工期计划为 16 个月，因此，本项目申请用海期限为 27 年。结合国家对项目用海年

限的规定,本项目拟申请使用海域 27 年符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定。期满后,如有需要可按照有关规定再行申请续期。

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。

因此,项目用海期限是合理的。

8 生态用海对策措施

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），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）。

本项目风电场场址距离陆地最近约 22.7km，项目不占用岸线。根据前文资源生态影响预测分析结果，项目的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，提出生态用海对策，并参照《围填海工程生态建设技术指南（试行）》和海洋生态保护修复的相关要求提出海洋生物资源恢复的生态修复措施。计划在取得用海批复后由建设单位组织开展本项目生态修复计划，确保海洋生物资源能够得到恢复。

8.1 生态用海对策

8.1.1 生态保护对策

1、设计阶段生态保护对策

本项目设计体现了生态化理念，避让了生态敏感目标。项目选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。

2、施工阶段生态保护对策

本项目用海方式为透水构筑物、海底电缆管道。风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物生物量的损失，且项目施工期产生悬浮泥沙会影响浮游动植物、鱼卵仔鱼、渔业资源和渔业生产。为降低项目施工期对资源生态的影响，项目施工做好如下措施：

（1）工程建设要坚持“预防为主、保护优先”的原则，指导设计、施工、环境管理，把生态环境保护纳入工程方案设计过程中，把不利影响控制到最低程度。

（2）施工过程中应加强施工管理，科学安排作业时间和程序。施工期安排

尽量避开主要经济鱼类产卵季节和保护期，严格按照操作规程，尽量避免事故发生，减少对海洋环境、海洋生态的影响。

(3) 严格限制施工区域，桩基沉桩及海缆敷设施工时，控制作业面（带）宽度，根据桩基尺寸及电缆沟设计沟槽宽度选择合理埋设犁等设备的尺寸，减少超挖量及工作面，从而降低对生态环境的影响范围。

(4) 桩基基础施工控制每日和每次打桩数量，首桩打设采用较低功率的“软启动”方法。

(5) 施工船舶含油污水和生活污水禁止在工程海域排放，含油污水收集后交由有处置能力单位处理，海上生活污水收集上岸处理。施工单位还应对施工船只进行机械管理，定期进行检修，强化保养，严禁带“病”作业，防止机油泄漏事故。

(6) 海上施工应选择海况良好，潮流较缓的情况进行施工作业，同时注意沉桩、海缆铺设的施工速率和强度，在保证施工质量的前提下尽可能缩短作业时间。

(7) 施工前应汕尾市农业农村局做好沟通，并严格按照国家及地方的有关规定执行，做好相关的经济补偿工作。

(8) 施工期对项目附近的生态环境进行跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势，以便及时采取调控措施。

3、运营阶段生态保护对策

(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，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；废油储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单位处理。

8.1.2 生态跟踪监测

8.1.2.1 施工期环境监测

通过海洋环境监测可以及时掌握工程施工期污染物排放情况及对施工现场周围区域环境质量的影响程度，并反映和掌握营运期防治污染措施的有效程度和治理污染设施的运行治理效果，为环境管理工作提供科学依据。因此，必须做好该工程的环境监测计划。

本项目监测站位在本报告春季海洋环境现状调查站位中选取与项目距离较近的站位，包括海水水质监测站位 20 个，沉积物质量监测站位 10 个，海洋生物质量监测站位 12 个，海洋生态监测站位(含鱼卵仔稚鱼、游泳生物) 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、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷。

监测站位：共布设 10 个监测站位。

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：铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油烃等。

监测站位：共布设 12 个监测站位。

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、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，9 个监测站位与现状调查站位保持一致。

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。

8.1.2.2 营运期环境监测

营运期的环境监测项目由本工程的业主委托当地有资质的环保监测单位开展，如有可能应与当地环保监测部门的年度监测相结合，以充分利用现有资源并便于整个地区的环境质量变化情况相对照。

（1）海水水质监测

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。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（2）沉积物监测

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。

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 12 个监测站位，监测点位与施工期一致。

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

监测项目：与施工期一致。

监测站位：共布设 12 个监测站位。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（5）地形及风机墩柱局部冲刷监测

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：工程营运期前 5 年内，每年监测 1 次，遇灾害性天气加密监测，5 年之后根据前期监测分析结果，可 2~3 年监测 1 次。

（6）噪声监测

监测布点：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。

监测项目：噪声频带有效声压级（dB re 1 μ Pa）；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性；同时测量风机营运在空气中的辐射噪声。

监测频率：监测频率：每年 1 次，低、中和额定风速输出时。

(7) 电磁环境监测

监测布点：布设 11 个监测点，监测点位与现状调查站位一致。

监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

监测频率：每年代表性一季。

(7) 鸟类观测

监测内容：鸟类群落特征，包括工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等。

栖息地生境特征：包括植被、饵料动物的种类、数量以及分布情况的变化；滩涂淤涨情况；鸟类适宜生境面积的变化等。

监测时间：在运行初期（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迁徙期，可进行强化监测。

8.1.2.3 生态跟踪监测评价

本项目应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监测，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。

8.2 生态保护修复措施

项目桩基础建设造成底栖生物直接损失 4.19kg，定位架施工造成底栖生物损失 0.08t，海缆施工造成底栖生物直接损失 2.63t。因此，项目施工造成渔业资源

直接损失量为：游泳生物 0.15t、鱼卵 3.38×10^7 粒、仔鱼 9.82×10^6 尾。

通过对海洋生物资源进行赔偿将对海洋生物受损的影响降到最低。为了缓解和减轻工程对所在海洋生态环境的不利影响，建设单位对项目附近海域的生物资源恢复作出经济补偿。

8.2.1 生态修复目标

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。

考虑到本项目造成的生物损失较小，不利于开展其他生态修复工程，因此本项目采取增殖放流的方式。

取得用海批复后休渔期按照计划完成增殖放流数量 90 万尾（项目具体海洋生物资源损失金额以项目环境影响评价报告为准，增殖放流实施方案以主管部门认定的为准）。

8.2.2 生态修复内容（增殖放流）

1、修复内容及规模

增殖放流的海洋经济物种以适应本地生长的鱼苗为主，总放流数量共约 90 万尾。拟定取得用海批复后休渔期进行增殖放流。

2、增殖放流品种选择

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》南海增殖放流分水域适宜性评价表，汕尾红海湾适宜品种为：花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、布氏鲷、大黄鱼、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、平鲷、黑鲷、黄鳍鲷、断斑石鲈、花尾胡椒鲷、斑节对虾、长毛对虾、墨吉对虾、刀额新对虾等，本次增殖放流建议在选取本地品种黑鲷、黄鳍鲷鱼苗等进行增殖放流。

3、修复方案

（1）修复布局

项目海底电缆及风机基础建设造成海洋生物资源损失，结合前文分析，参照《围填海项目生态保护修复方案编制技术指南（试行）》，本方案推荐采取增殖放流措施，提高项目所在海域的海洋生物资源总量和生物多样性。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。

（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为主，拟定每年休渔期进行增殖放流，拟于取得用海批复后的休渔期期间实施。

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/T 12763 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 8.2.2-2 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 90 万尾	取得用海批复后休渔期放流数量约 90 万尾	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、具体实施方案、周期在实施过程中结合环境影响评价报告和实际情况进行适当调整。

8.2.3 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：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等。

3、监测频次：修复完成后首年春季各监测 1 次。

表 8.2.3-1 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等	修复完成后首年春季各监测 1 次

9 结论

9.1 项目用海基本情况

汕尾红海湾三海上风电项目位于广东省汕尾市海丰县南面海域，场址面积约 73km²，风电场场址水深在 34m~41m 之间，距离陆地最近约 22.7km。规划装机容量为 500MW，项目用海主体为中广核新能源投资（汕尾）有限公司。项目拟建设 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。风电机组发出的电能通过集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过送出海底电缆输送到陆上集控中心。本项目与明阳汕尾红海湾四海上风电示范项目共建共用海上升压站、送出海底电缆、海缆登陆点，海上升压站与送出海底电缆作为单独项目进行核准立项建设，不在本次论证范围内。

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目用海的海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；按《海域使用分类》（HY/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）。项目拟申请用海面积为 318.0466 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 176.8687 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 141.1779 公顷。本项目风机和 66kV 集电海缆距离最近的陆地约 22.7km，不占用岸线。本项目申请用海期限为 27 年。

9.2 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。项目风机为四桩导管架基础结构，属于透水构筑物用海，桩基插入海床，风机架设在海面上方，必将占用一定的海域；66kV 集电海缆埋入海床以下，29 台风机生产的电能通过 66kV 集电海缆接入海上升压站，海底电缆属于海底电缆管道用海，必将占用一定的海床及底土。因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风机及电缆铺设将

占用一定的海域，项目用海是必要的。

9.3 项目用海资源生态影响分析结论

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-0.026~0.002m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-0.2~2.8° 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于-0.002~0.001m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-0.1~0.6° 之间。总体上看，由于风机直径不大，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。

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，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现淤积，最大淤积厚度为 0.22m/a；风机桩基侧面流速稍有增加，导致风电桩基垂直于主流向两侧存在冲刷，最大冲刷深度为 0.09m/a。

风机桩基施工、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 33.818km²，垂向平均浓度超第一、二类海水水质的海域面积 8.053km²。项目建设造成底栖生物直接损失为 2.71t，项目施工造成渔业资源直接损失量为：游泳生物 0.15t、鱼卵 3.38×10⁷ 粒、仔鱼 9.82×10⁶ 尾。悬浮物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。

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。

9.4 海域开发利用协调分析结论

本项目风电场所在及周边海域开发利用活动主要为海底光缆、拟建的海上风电项目、航路、自然保护区、国控站位。经界定本项目利益相关者为*****，需协调部门为汕尾海事局、汕尾市农业农村局。

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；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。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。

9.5 国土空间规划符合性分析结论

本项目建设符合《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）》、生态保护红线、《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》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》《广东省海洋生态环境保护“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。

9.6 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，本项目选址与所在国土空间规划分区、省海岸带及海洋空间规划功能区的管理要求不冲突，与对外交通运输条件、地质条件等较适宜，有利于该区域海洋经济的协调发展，对周边海域的资源生态影响较小，与周边其它用海活动是适宜的；本项目风电场场址区域离岸最近约 22.7km，水深约 34m~41m，满足风电场离岸距离 30 公里或水深 30 米的开发条件限制；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。

本项目主要建设风机、66kV 集电海缆，用海方式分别为透水构筑物 and 海底

电缆管道，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。

项目拟申请用海面积为 318.0466 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 176.8687 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 141.1779 公顷。项目设计符合相关行业标准 and 规范，能满足项目的用海需求，宗海图绘制符合规定，量算准确，现阶段，不存在减少用海面积的可能性，从集约节约用海角度考虑，用海面积合理。

本项目风机的设计服务年限为 25 年，工程建设期为 16 个月，拟申请使用海域 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，用海期限合理。

9.7 项目用海可行性分析结论

综上所述，汕尾红海湾三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、省海岸带及海洋空间规划功能区的管理要求均相符，与生态红线管理要求相符合。项目选址、用海方式、用海面积和用海期限是合理的。从海域使用角度出发，本项目用海是可行的。