

珠海桂山海上风电场示范项目二期工程
海域使用补充论证报告书
(公示稿)

编制单位：广东海兰图环境技术研究有限公司

统一社会信用代码：91440101MA59KQLF0D

二〇二四年十一月

论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4404022024000802		
论证报告所属项目名称	珠海桂山海上风电场示范项目二期工程		
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
李舒敏	BH000294	论证项目负责人	李舒敏
李舒敏	BH000294	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	李舒敏
黄素绿	BH001286	3. 项目所在海域概况 6. 国土空间规划符合性分析	黄素绿
赖小女	BH000141	4. 资源生态影响分析 5. 海域开发利用协调分析 8. 生态用海对策措施	赖小女
<p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</p> <p style="text-align: right;">承诺主体(公章): </p> <p style="text-align: right;">2024年5月24日</p>			

关于《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用补充论证报告书》公示删减内容及理由的说明

根据《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》(自然资规(2021)1号)相关要求,我对《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用补充论证报告书》予以公示。

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

1.删除处理相关基础材料的编制单位信息。

原因:影响第三方商业秘密。

2.删除处理部分水文环境现状调查资料、海洋环境现状调查资料及现场踏勘记录。

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

2024年5月24日



项目基本情况表

项目名称	珠海桂山海上风电场示范项目二期工程			
项目地址	广东省珠海市香洲区			
项目性质	公益性 ()	经营性 (√)		
用海面积	64.7965 公顷	投资金额	138017 万元	
用海期限	26 年 (2020 年 1 月 22 日至 2046 年 1 月 21 日)	预计就业人数	/人	
占用岸线	总长度	21.96m (三角岛岸线)	邻近土地平均价格	/万元/ha
	自然岸线	/m	预计拉动区域经 济产值	/万元
	人工岸线	21.96m (三角岛岸线)	填海成本	/万元/ha
	其他岸线	/m		
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		具体用途	
透水构筑物	12.4871 公顷		风机	
海底电缆管道	52.3094 公顷		35kV 集电海缆	

目 录

摘 要.....	1
1 概述.....	5
1.1 论证工作由来.....	5
1.2 论证依据.....	6
1.2.1 法律法规.....	6
1.2.2 相关规划和区划.....	9
1.2.3 标准规范.....	11
1.2.4 项目技术资料.....	11
1.3 论证等级和范围.....	12
1.3.1 论证等级.....	12
1.3.2 论证范围.....	13
1.4 论证重点.....	14
2 项目用海基本情况.....	15
2.1 用海项目建设内容.....	15
2.1.1 本项目调整后建设内容.....	15
2.1.2 本项目一期工程批复过程及建设概况.....	16
2.2 平面布置和主要结构、尺度.....	21
2.2.1 平面布置.....	21
2.2.2 结构及设计尺度.....	26
2.3 项目主要施工工艺与方法.....	33
2.3.1 风电机组主要施工工艺和方法.....	33
2.3.2 海底电缆敷设主要施工工艺和方法.....	46
2.3.3 施工进度计划.....	51
2.3.4 土石方平衡.....	51
2.4 项目用海需求.....	51
2.4.1 项目用海需求.....	52
2.4.2 项目申请用海情况.....	53
2.5 项目调整用海必要性.....	59

2.5.1	风电机组调整的必要性分析.....	59
2.5.2	35kV 集电海缆调整的必要性分析.....	59
3	项目所在海域概况.....	60
3.1	海洋资源概况.....	60
3.1.1	岸线资源.....	60
3.1.2	滩涂资源.....	60
3.1.3	岛礁资源.....	60
3.1.4	港口资源.....	61
3.1.5	航道资源.....	61
3.1.6	锚地资源.....	62
3.1.7	渔业生产资源.....	62
3.1.8	风能资源.....	63
3.1.9	矿产资源.....	64
3.1.10	旅游资源.....	65
3.2	海洋生态概况.....	65
3.2.1	区域气候与气象.....	65
3.2.2	水文动力.....	67
3.2.3	地形地貌与冲淤状况.....	81
3.2.4	工程地质.....	85
3.2.5	海洋自然灾害.....	91
3.2.6	海洋水质环境质量现状调查与分析.....	94
3.2.7	海洋沉积物质量现状调查与分析.....	109
3.2.8	海洋生物质量环境现状调查与分析.....	113
3.2.9	海洋生态概况.....	119
3.2.10	电磁环境现状调查与评价.....	142
3.2.11	噪声环境现状调查与评价.....	145
3.2.12	鸟类资源.....	149
3.2.13	自然保护区.....	164
3.2.14	珍稀海洋生物.....	166

3.2.15	“三场一通道”分布情况.....	169
4	资源生态影响分析.....	175
4.1	生态评估.....	175
4.1.1	资源生态敏感目标.....	175
4.1.2	重点和关键预测因子.....	178
4.1.3	用海方案工况设计.....	178
4.1.4	水动力环境影响分析.....	178
4.1.5	地形地貌与冲淤环境影响分析.....	194
4.1.6	水质环境影响分析.....	197
4.2	资源影响分析.....	202
4.2.1	对海洋空间资源和岸线资源的影响.....	202
4.2.2	对海洋生物资源的影响.....	203
4.2.3	对其他资源的影响.....	206
4.3	生态影响分析.....	206
4.3.1	对水动力环境的影响分析.....	206
4.3.2	对地形地貌与冲淤环境的影响分析.....	207
4.3.3	对水质环境的影响分析.....	207
4.3.4	对沉积物环境的影响.....	209
4.3.5	对海洋生物的影响.....	209
4.3.6	对中华白海豚保护区及其保护目标的影响分析..	212
4.3.7	对鸟类的影响.....	215
4.3.8	水下噪声影响分析.....	219
4.3.9	电磁辐射环境影响.....	226
4.3.10	项目用海生态影响回顾性分析.....	227
4.3.11	生态跟踪监测指标合理影响范围.....	248
5	海域开发利用协调分析.....	251
5.1	海域开发利用现状.....	251
5.1.1	社会经济概况.....	251
5.1.2	海域使用现状.....	251

5.1.3	海域使用权属现状.....	254
5.2	项目用海对海域开发活动的影响.....	256
5.2.1	对航道、航线、锚地的影响.....	258
5.2.2	对海上风电项目的影响.....	259
5.2.3	对海岛及其开发活动的影响.....	259
5.2.4	对码头项目的影响.....	259
5.2.5	对保护区的影响.....	260
5.2.6	对其他项目的影响.....	260
5.2.7	对渔业生产活动的影响分析.....	260
5.3	利益相关者界定.....	261
5.4	需协调部门界定.....	261
5.5	相关利益协调分析.....	261
5.5.1	与利益相关者的协调分析.....	261
5.5.2	与需协调部门的协调分析.....	262
5.6	项目用海与国防安全和国家海洋权益的协调性分析.....	262
5.6.1	与国防安全和军事活动的协调性分析.....	262
5.6.2	与国家海洋权益的协调性分析.....	262
6	国土空间规划符合性分析.....	264
6.1	项目用海与国土空间规划的符合性分析.....	264
6.1.1	所在海域国土空间规划分区基本情况.....	264
6.1.2	对所在海域国土空间规划分区的影响分析.....	268
6.1.3	项目用海与国土空间规划的符合性分析.....	270
6.2	项目用海与海洋功能区划的符合性分析.....	271
6.3	项目用海与生态保护红线的符合性分析.....	273
6.4	项目用海与产业结构的符合性分析.....	275
6.4.1	与《产业结构调整指导目录》的符合性分析.....	275
6.4.2	与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析.....	275
6.4.3	与《“十四五”可再生能源发展规划》的符合性分析.....	276
6.4.4	与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析.....	277

6.4.5	与《广东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析.....	278
6.4.6	与《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》的符合性分析	278
6.4.7	与《2030年前碳达峰行动方案》的符合性分析.....	280
6.5	项目用海与其他相关规划的符合性分析.....	281
6.5.1	与《广东省海洋主体功能区规划》的符合性分析.....	281
6.5.2	与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析	282
6.5.3	与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析	284
6.5.4	与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析	286
6.5.5	与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析	287
6.5.6	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.....	288
6.5.7	与《珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》的符合性分析.....	289
7	项目用海合理性分析.....	292
7.1	用海选址合理性分析.....	292
7.1.1	宏观选址.....	292
7.1.2	微观选址.....	292
7.1.3	小结.....	293
7.2	用海平面布置合理性分析.....	294
7.2.1	项目用海平面布置是否体现节约集约用海的原则.....	294
7.2.2	项目用海平面布置是否有利于生态保护.....	295
7.2.3	项目用海平面布置能否最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响.....	295
7.2.4	项目用海平面布置能否最大程度地减少对周边其他用海活动	

的影响	296
7.2.5 平面布置合理性分析	296
7.2.6 小结	298
7.3 用海方式合理性分析	298
7.4 占用岸线合理性分析	298
7.4.1 岸线占用必要性	299
7.4.2 岸线占用合理性	299
7.5 用海面积合理性分析	300
7.5.1 申请用海面积	300
7.5.2 项目用海面积合理性	300
7.5.3 宗海图绘制	303
7.5.4 项目用海面积量算	308
7.6 立体设权合理性分析	310
7.6.1 立体设权范围	310
7.6.2 立体设权可行性分析	311
7.6.3 立体设权必要性分析	313
7.7 用海期限合理性分析	313
8 生态用海对策措施	314
8.1 生态用海对策	314
8.1.1 生态保护对策	314
8.1.2 生态跟踪监测	316
8.2 生态保护修复措施	322
8.2.1 占补平衡分析	322
8.2.2 生态保护修复	323
9 结论	324
9.1 结论	324
9.1.1 项目用海基本情况	324
9.1.2 项目调整用海的必要性结论	324
9.1.3 项目调整用海资源生态影响分析结论	325

9.1.4	海域开发利用协调分析结论.....	326
9.1.5	国土空间规划符合性分析结论.....	326
9.1.6	项目调整用海合理性分析结论.....	327
9.2	项目用海可行性分析结论.....	328

摘 要

根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》，珠海桂山海上风电场总装机容量为20万千瓦，其中一期工程（珠海桂山海上风电场示范项目）装机容量12万千瓦，二期工程（珠海桂山海上风电场示范项目二期工程）装机容量8万千瓦。

珠海桂山海上风电场示范项目二期工程（以下简称本项目）位于珠海市香洲区三角岛东南侧海域，规划珠海桂山海上风电场场址南侧，场址最近端距离珠海市陆岸13km，最远端距离陆岸22km。规划场址面积32km²，水深6-11米之间。本项目用海单位为南方海上风电联合开发有限公司，于2020年4月取得不动产权证书，批复用海方案共布置15台单机容量为5.5MW风电机组，通过4回35kV集电海缆接入110kV三角岛上升压站，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期工程建设时均已建设完成，本项目建设不再考虑，本项目涉及到的用海内容为风机和风电场35kV集电海缆用海。批准用海面积90.5122公顷，其中透水构筑物用海面积15.5405公顷，海底电缆管道用海面积74.9717公顷，用海期限为2020年1月22日至2046年1月21日。

为优化利用场址风能资源，减少用海面积，体现节约集约用海，本项目调整风力发电机组单机容量、台数，共布置12台风电机组，分别为3台6.45MW、8台7MW和1台8.3MW风电机组，装机容量为83.65MW，其中11台风机共分3回35kV集电线路接入110kV三角岛上升压站，1台风机通过1根35kV集电海缆接入一期风机。本项目根据调整方案施工，于2020年11月开工建设，其中11台风机于2021年12月并网投产，1台风机于2024年5月建设完成，本次进行调整用海补充论证。调整后项目申请用海总面积为64.7965公顷，其中透水构筑物用海面积为12.4871公顷，海底电缆管道用海面积为52.3094公顷，海底电缆管道拟进行立体设权，申请用海范围涉及三角岛现状人工岸线21.96m。项目申请用海期限不变，为26年（2020年1月22日至2046年1月21日）。

调整后本项目建设对风电场附近海域涨落急流速、流向会发生不同程度的变化，风电场附近海域大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.02m/s之间；大潮涨急流向变化值位于-1°~2°之间；大潮落急流速变化值位于-0.01m/s~0.01m/s之间，大潮落急流向变化值位于-1°~1°之间。总体上看，本项目实施后流场变化仅限

于工程附近。由于风机直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。本项目海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响。根据调整后方案的计算结果，本项目实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关，同时风电场区域两侧发生冲刷，冲淤幅度为 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。本项目风机基础施工时打桩和电缆敷设沿线将形成小范围的悬浮物高浓度区，项目施工对周边海域的水质会产生短期的影响及对海洋生物的仔幼体可能造成伤害，项目集电海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 33.073km^2 。施工产生的悬浮泥沙影响是暂时的、可逆的，随着施工的结束，慢慢可以得到恢复。施工悬沙对周边水质环境影响较小，将随着施工的结束而消失。在严格施工管理条件下，施工船舶产生的生产废水、生活污水和垃圾经收集处理后运至陆上处置，海上工程施工不会对海洋沉积物质量产生明显影响；本工程采用铝基牺牲阳极保护引起的锌溶解对沉积物环境的累积影响有限，工程运营对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

调整后，本项目施工造成海洋生物资源损失量为：底栖生物 8.76t ，潮间带生物 0.24t ，鱼卵 3.39×10^7 粒，仔鱼 9.78×10^5 粒，游泳生物 2.52t 。

本项目所在附近海域开发活动主要有海上风电场、航道、航线、锚地、码头工程等。项目目前已施工完成，施工前期已针对利益相关者及协调责任部门征求相关意见，施工期间未发生利益冲突，运营期间对周边用海活动基本无影响。本项目用海属经营性用海，按国家有关规定缴纳海域使用金，不存在损害国家权益的问题；本项目目前已取得军方协调意见，并取得相关回函。

项目风电场位于《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》的万山群岛保留区，本项目的建设基本不会对所在海域及附近海域海洋功能区主导功能的发挥产生影响，项目建成后将促进绿色能源产业的发展，有利于环境保护，并带动周边地区的经济发展，与《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》相符。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）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》等各级国土空间规划文件的要求。项目符合国家产业政策，符合《广东省海洋主体功能区规划》《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》以及生态保护红线等的管控要求。项目

与《“十四五”现代能源体系规划》《“十四五”可再生能源发展规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东能源发展“十四五”规划》《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》等能源行业规划的要求相符。项目符合《2030年前碳达峰行动方案》《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》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》《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《珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》等各级相关规划的相关要求。

本项目依据风电场址规划，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，选址与海洋功能区划、生态环境保护、军事等不相冲突，与对外交通运输条件、地质条件等较适宜，风电场场址水深在6m~11m之间，场址最近端距离珠海市陆岸13km，满足《国家能源局国家海洋局关于印发〈海上风电开发建设管理办法〉的通知》（国能新能〔2016〕394号）的要求；风电场场址不涉及各种保护区及重要、敏感和脆弱生态区域，因此项目选址是合理的。项目平面布置方案经过优化，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。用海面积可以满足项目用海需求；项目装机容量为83.65MW，风机外缘边线包络海域面积约7.95km²，每10万千瓦包络海域面积为9.72km²，小于16平方公里，符合相关行业的设计标准和规范，符合原国家海洋局关于海上风电用海控制指标要求，不存在减少用海面积的可能性，用海面积合理。本项目用海方式基本维护了所在海域的基本功能，对水动力、冲淤环境影响较小，用海方式合理。本项目已于2020年取得不动产权证书，现已根据调整方案建设完成，本次调整申请用海期限与原批复用海期限保持一致，为26年（2020年1月22日至2046年1月21日），符合《中华人民共和国海域使用管理法》，申请期限合理。

项目建设可能产生的主要生态问题是造成海洋生物资源损失、占用三角岛岸线，针对项目产生的主要生态问题，建设单位已缴纳生物资源损失补偿金，并提出岸线修复措施。

综上所述，珠海桂山海上风电场示范项目二期工程用海调整是必要的，与周

边开发利用活动是可协调的，与所在国土空间规划、海洋功能区划的海域使用管理和环境保护要求均相符，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。在严格按照本报告书中提出的要求，做好海域环境的保护工作的前提下，从海域使用角度出发，本项目调整用海是可行的。

1 概述

1.1 论证工作由来

随着国家提出碳达峰、碳中和的中远期目标，大力发展光伏、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省大陆海岸线总长达四千里以上，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。

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，共规划广东沿海26处海上风电场址，其中珠海桂山海上风电场规划容量20万千瓦，2016年6月一期工程（12万千瓦）核准，由南方海上风电联合开发有限公司负责开发建设，于2016年9月正式开工建设。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》编制，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。根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》，珠海桂山海上风电场总装机容量仍为20万千瓦，其中一期工程（珠海桂山海上风电场示范项目）装机容量12万千瓦，二期工程（珠海桂山海上风电场示范项目二期工程）装机容量8万千瓦。

本项目为珠海桂山海上风电场示范项目二期工程，位于广东省珠海市香洲区，一期工程西南面海域，开发容量为8万千瓦，原论证方案共布置15台单机容量为5.5MW风电机组，通过4回35kV集电海缆接入110kV三角岛上升压站，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期工程建设时均已建设完成，本期建设不再考虑，本期工程涉及到的用海内容有风机及桩基础用海和风电场35kV集电线路用海。2018年9月珠海市海洋农业和水务局组织召开了《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用论证报告书》专家评审会，2020年4月本项目取得不动产权证书（见附件1），用海单位为南方海上风电联合开发有限公司，宗海面积90.5122公顷，其中透水构筑物用海面积15.5405公顷，海底电缆管道用海面积74.9717公顷，用海期限为2020年1月22日至2046年1月21日。

为优化利用场址风能资源，减少用海面积，从统筹考虑、体现节约集约用海

为目标，本项目调整风力发电机组单机容量、台数，共布置 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，装机容量为 83.65MW，其中 11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机。调整优化后本项目于 2020 年 11 月开工建设，其中 11 台风机于 2021 年 12 月并网投产，1 台风机（38#风机）于 2024 年 5 月建设完成。因此，本项目实际建设用海范围与批复用海范围不一致，珠海市海洋综合执法支队已于 2024 年 1 月 9 日对项目批建不一致进行处罚。根据《中华人民共和国海域使用管理法》等法律法规的规定，本项目应进行海域使用补充论证，受南方海上风电联合开发有限公司所托，广东海兰图环境技术研究有限公司承担本项目的海域使用补充论证工作。我司在接受该工作的委托后，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，编制了本海域使用补充论证报告书。

1.2 论证依据

1.2.1 法律法规

本项目海域使用补充论证报告书的编制依据主要有下列相关的国家和部门的法律法规，以及其它涉海部门和地方的海域使用和海洋环境保护等管理规定。

（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》（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，2024 年 1 月 1 日起施行）；

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

（4） 《中华人民共和国电力法》（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》(根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国电力法〉等四部法律的决定》第三次修正,自公布之日起施行);

(7) 《中华人民共和国海上交通安全法》(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);

(9) 《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);

(10) 《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);

(11) 《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);

(12) 《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第 167 号,1994 年 12 月 1 日起施行,2017 年 10 月 7 日第二次修订);

(13) 《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第 475 号,2006 年 11 月 1 日起施行,2018 年 3 月 19 日第二次修订);

(14) 《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);

(15) 《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);

(16) 《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);

(17) 《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);

(18) 《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);

(19) 《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);

(20) 《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);

(21) 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);

(22) 《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);

(23) 《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);

(24) 《自然资源部办公厅关于进一步加强现有自然岸线监管工作的函》(自然资源部办公厅, 自然资办函〔2022〕977号, 2022年6月2日);

(25) 《自然资源部办公厅关于做好海上风电用海有关问题处置工作的通知》(自然资源部办公厅, 自然资办函〔2021〕1713号, 2021年9月18日);

(26) 《自然资源部关于印发<国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南>的通知》(自然资发〔2023〕234号, 2023年11月);

(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) 《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);

(30) 《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);

(31) 《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》(原国家海洋局, 国海规范〔2016〕6号, 2016年10月31日);

(32) 《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);

(33) 《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);

(34) 《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);

(35) 《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);

(36) 《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);

(37) 《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);

(38) 《广东省人民政府办公厅关于推动我省海域和无居民海岛使用“放管服”改革工作的意见》(广东省人民政府办公厅, 粤府办〔2017〕62号, 2017年10月15日);

(39) 《广东省自然资源厅关于印发<广东省项目用海政策实施工作指引>的通知》(广东省自然资源厅, 粤自然资函〔2020〕88号, 2020年2月28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)。

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〕3号, 2017年1月3日);

(2) 《全国海洋功能区划(2011-2020年)》(国家海洋局, 2012年4月1日);

- (3) 《“十四五”海洋生态环境保护规划》（生态环境部、国家发展和改革委员会、自然资源部、交通运输部、农业农村部、中国海警局，环海洋〔2022〕4号，2022年1月11日）；
- (4) 《“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）；
- (5) 《“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）；
- (6) 《中国航路指南（A103）》（海军司令部航海保证部）；
- (7) 《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）；
- (8) 《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（广东省人民政府、国家海洋局，粤府〔2017〕120号，2017年10月）；
- (9) 《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）；
- (10) 《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》（广东省生态环境厅，粤环〔2022〕7号，2022年5月6日）；
- (11) 《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》（广东省人民政府办公厅，粤府办〔2021〕31号，2021年9月29日）；
- (12) 《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）；
- (13) 《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）；
- (14) 《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）；
- (15) 《广东沿海港口航行指南》（广东海事局，2012年）；
- (16) 《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）；
- (17) 《国务院关于〈广东省国土空间规划（2021-2035年）〉的批复》（国函〔2023〕76号，2023年8月）；

(18) 《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);

(19) 《珠海市人民政府关于印发珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要的通知》(珠海市人民政府,珠府〔2021〕21号,2021年4月21日);

(20) 《珠海市国土空间总体规划(2021-2035年)》(公示稿)。

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) 《海域使用论证技术导则》(GB/T42361-2023);
- (4) 《海洋调查规范》(GB/T12763-2007);
- (5) 《海洋监测规范》(GB17378-2007);
- (6) 《海水水质标准》(GB3097-97);
- (7) 《海洋沉积物质量》(GB18668-2002);
- (8) 《海洋生物质量》(GB18421-2001);
- (9) 《渔业水质标准》(GB11607-89);
- (10) 《海域使用面积测量规范》(HY070-2022);
- (11) 《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T18314-2009);
- (12) 《中国海图图式》(GB12319-2022);
- (13) 《海洋工程地形测量规范》(GB/T17501-2017);
- (14) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》(2002.04);
- (15) 《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);
- (16) 《宗海图编绘技术规范》(HY/T 251-2018)。

1.2.4 项目技术资料

(1) 《珠海市海洋综合执法支队委托测量机构对珠海桂山海上风电场示范项目(含二期)占用海域鉴定服务项目测量报告》;

(2) 《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程EPC总承包项

目施工组织设计》；

(3) 《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 35kV 海缆登陆段施工方案》；

(4) 《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程施工图设计阶段岩土工程勘测报告》；

(5) 《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用论证报告书（报批稿）》；

(6) 《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海洋环境影响报告书（报批稿）》；

(7) 《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程水下噪声及电磁环境对海洋生物的影响专题研究报告》；

(8) 《珠海桂山海上风电场示范项目海洋环境影响跟踪监测运营期 2021 年度电磁监测报告》；

(9) 《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测季度报告》；

(10) 《珠海桂山海上风电场示范项目二期通航安全影响研究报告》；

(11) 《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程（方案调整）通航安全咨询报告（备案稿）》；

(12) 《上海电气珠海桂山样机工程海洋环境现状调查监测报告（秋季）》；

(13) 《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告（2023 年春季）》；

(14) 《珠海桂山海上风电海域冬季水文监测技术报告》；

(15) 《珠海桂山海上风电海域夏季水文监测技术报告》；

(16) 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

原海域使用论证报告书中，项目海域使用论证等级为一级。

调整后项目用海类型及用海方式不变。按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），本项目海域使用类型为工矿通

信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类），按《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目海域使用类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。

项目调整后申请用海总面积为 64.7965 公顷，其中透水构筑物用海面积为 12.4871 公顷，海底电缆管道用海面积为 52.3094 公顷，本项目位于敏感海域，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 10~30 公顷敏感海域论证等级为一级，海底电缆管道所有规模敏感海域论证等级为二级，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”，调整后项目的论证等级为一级。调整前后论证等级不变。

表 1.3.1-1 海域使用论证等级判定标准

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		所有海域	一
			构筑物总长度（400~2000）m 或用海总面积（10~30）ha （本项目透水构筑物申请用海面积 12.4871ha）		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 52.3094ha）	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。项目调整后的论证范围与调整前不一致，调整后以项目用海外缘线为起点进行划定，向外扩展 15km，总面积约 1087km²，详见图

1.3.2-1。



图 1.3.2-1 论证范围图

表 1.3.2-1 项目论证范围坐标表

序号	经度 (E)	纬度 (N)
1	113°34'36.886"	22°16'23.580"
2	113°51'09.795"	22°16'25.324"
3	113°32'48.133"	21°57'11.487"
4	113°54'11.513"	21°57'13.635"

1.4 论证重点

调整后本项目宏观选址未变，微观选址发生变化，根据工程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及一级论证的要求，确定本补充论证工作的论证重点为：

- (1) 项目用海调整的必要性；
- (2) 项目用海资源生态影响分析；
- (3) 项目用海平面布置和用海面积调整合理性分析；
- (4) 项目生态用海对策措施。

2 项目用海基本情况

2.1 用海项目建设内容

2.1.1 本项目调整后建设内容

调整前后项目名称、性质、投资主体、地理位置均不发生改变。

- (1) 项目名称：珠海桂山海上风电场示范项目二期工程
- (2) 用海主体：南方海上风电联合开发有限公司
- (3) 用海性质：经营性
- (4) 项目性质：已建项目
- (5) 工程投资额：138017 万元

(6) 地理位置：本项目位于珠海市香洲区三角岛东南侧海域，规划珠海桂山海上风电场场址南侧，场址最近端距离珠海市陆岸 13km，最远端距离陆岸 22km。场址用海面积 32km²，水深 6-11 米之间。地理位置见图 2.1-1。



图 2.1-1 项目地理位置图

(7) 项目建设内容：本项目共建设 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，装机容量为 83.65MW，其中 11 台风机共分

3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期工程建设时均已建设完成，本项目建设不再考虑。

2.1.2 本项目一期工程批复过程及建设概况

珠海桂山海上风电场示范项目一期工程规划装机容量为 120MW，建设 37 台风电机组。为实现电缆接入，在三角岛上建设 110kV 升压站一座，37 台风力发电机组共分 5 组 35kV 进线进入三角岛 110kV 升压站（线路总长 38.4km），并通过 2 回 110kV 海底电缆连接至 220kV 吉大站。

海岛联网工程为自三角岛升压站建设 35kV 单回三芯海缆（ $3\times 240\text{mm}^2$ ）至桂山岛，长度约 12km；建设 35kV 单回三芯海缆（ $3\times 300\text{mm}^2$ ）至东澳岛，长度约 13km；建设 2 回单芯 110kV 海缆（ $1\times 500\text{mm}^2$ ）至珠海市吉大，长度约 17.62km。自东澳岛建设 35kV 单回三芯海缆（ $3\times 70\text{mm}^2$ ）至大万山岛，长度约 10km。

根据原论证报告，本项目一期工程批复过程及建设概况为：

（1）一期工程批复过程

珠海桂山海上风电场示范项目属于广东省的第一个海上风电项目，2014 年 3 月 13 日，广东省海洋与渔业局在广州市主持召开了《珠海桂山海上风电场示范项目海域使用论证报告书》（以下简称“论证报告书”）专家评审会，会议通过此“论证报告书”；此后，2014 年 4 月 17 日，广东省海洋与渔业局在广州组织有关专家对《珠海桂山海上风电场建设对广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区影响专题评价报告》（以下简称“专题评价报告”）进行评审；2014 年 6 月 13 日，农业部渔业渔政管理局组织有关专家在北京对“专题评价报告”进行审查，审查意见建议对部分风机机位和风机间集电线路进行调整，论证单位针对修改要求，编写《“论证报告书”调整说明》，并送交原评审专家进行再次审查，专家一致通过调整说明。2014 年 8 月 12 日，专家组长对“论证报告书”进行复核，同意“论证报告书”的内容和结论。

2015 年 8 月 25 日，广东省海洋与渔业局在广州市主持召开了珠海桂山海上风电项目海洋环境保护咨询会（以下简称“咨询会”），“咨询会”纪要显示“鉴于我省大型海上风电建设处于起步阶段，有关环境保护方面的经验不足，拟建桂

山海上风电项目选址于珠江口海域，环境敏感且海洋开发利用活动活跃，目前项目对海洋生态长期性影响的有关研究成果较少，研究、分析资料存在局限性，与会专家、代表认为，该项目可作为我省大型海上风电建设试点工程，按 12 万千瓦规模建设。”

为落实控制规模、试点建设的建议，也为落实各项生态保护措施，经多方深入讨论，从保护珠江口海洋生态环境尤其是白海豚生境；实现珠江口海上风电资源可持续开发，保障周边海岛居民用电需求等多方面考虑，决定作为广东省首个海上风电的示范项目以试点形式进行建设，试点建设规模确定为 12 万千瓦，其中 10.2 万千瓦装机采用目前较为成熟的单机容量 3MW 风机 34 台，1.8 万千瓦装机采用大容量 6MW 风机 3 台，从而在保证发电规模的前提下实现海域资源的节约集约利用的目的。

论证单位针对用海情况改变进行海域使用补充论证，2015 年 11 月 19 日广东省海洋发展规划研究中心在广州主持召开了《珠海桂山海上风电场示范项目海域使用补充论证报告书》（以下简称“补充论证报告书”）专家评审会，专家一致通过“补充论证报告书”。

2016 年 5 月 23 日珠海桂山海上风电场示范项目取得用海预审意见，2016 年 6 月 27 日取得广东省发展改革委关于项目核准的批复，2016 年 12 月 19 日取得海域使用权证，总用海面积 305.1849 公顷，其中 37 台海上风机用海面积 44.6812 公顷（单个风机用海面积 1.2076 公顷），2 回 110kV 海底电缆用海面积 128.1455 公顷，5 回风机间集电线路用海 68.0795 公顷，1 回三角岛-桂山岛海底电缆用海面积 20.2454 公顷，1 回三角岛-东澳岛海底电缆用海面积 26.1874 公顷，1 回东澳岛-大万山岛海底电缆用海面积 17.8459 公顷。

2015 年国务院第 665 号国务院令，公布《中华人民共和国澳门特别行政区图》，自 2015 年 12 月 20 日起施行。根据相关图件，110kV 送出海缆路由经过的部分水域划归澳门特别行政区管辖。2017 年 7 月项目在进行 110kV 海缆施工时，因涉及澳门管辖水域暂停。根据与澳门特别行政区协调的意见，珠海桂山海上风电场示范项目 110kV 送出海缆经过澳门特别行政区水域部分需进行路由调整。

2017 年 10 月，建设单位委托有关单位对项目海底电缆管道用海调整进行海

域使用补充论证和补充海洋环境影响评价，并通过专家评审；2018年7月30日，广东省海洋与渔业厅以《广东省海洋与渔业厅关于珠海桂山海上风电场示范项目环境影响补充报告书意见的函》（粤海渔函〔2018〕596号）同意环境影响补充报告书的补充评价；2018年8月21日，广东省人民政府以《关于珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆管道用海变更调整用海的批复》（粤府海审〔2018〕（1）31号）批复同意项目海底电缆管道变更调整。调整方案主要是已施工的穿越澳门水域的1回110kV海底电缆保持原用海范围不变，暂未施工的1回110kV海底电缆避开澳门管辖海域；为支持三角岛公益及旅游开发建设，1回集电线路登陆点由原三角岛北侧调整至三角岛东南侧，集电线路相应调整。

（2）本项目一期工程建设概况及现状

珠海桂山海上风电场示范项目一期工程于2016年9月开工建设，建设完成34台3MW风机基础施工和风机安装、4回风机间集电线路、1回三角岛-桂山岛海底电缆、1回三角岛-东澳岛海底电缆、1回东澳岛-大万山岛海底电缆、三角岛海岛升压站、三角岛登陆点至海岛升压站电缆沟及电缆、110kV海底电缆、珠海大陆集控中心，并于2018年12月并网投产；剩余3台风机与本项目一并统筹施工，于2020年11月开工建设，2021年12月并网投产。本项目一期工程建设现状如图2.1.2-1、图2.1.2-2所示。建设过程中对风机单机容量及位置进行了调整，风机单机容量由6MW调整为6.45MW，一期工程调整前后平面布置图见图2.1.2-3，一期、二期工程调整后平面布置图见图2.1.2-4。





图 2.1.2-1 一期工程建设现状图



图 2.1.2-2 一期工程及本项目三角岛南侧海缆登陆段建设现状图（2024 年）



图 2.1.2-3 一期工程调整前后平面布置叠加图



图 2.1.2-4 一期工程及本项目调整后平面布置图

2.2 平面布置和主要结构、尺度

2.2.1 平面布置

原论证方案，项目装机容量为 82.5MW，共布置 15 台单机容量为 5.5MW 风电机组，通过 4 回 35kV 集电海缆接入 110kV 三角岛上升压站，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期工程建设时均已建设完成，本期建设不再考虑。原方案的平面布置图详见图 2.2.1-1。

调整后，项目装机容量为 83.65MW，共布置 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，其中 11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期建设时均已建设完成，本项目建设不再考虑。调整方案的平面布置图详见图 2.2.1-2 所示。

相较于原方案，风机单机容量由 5.5MW 调整为 6.45MW、7MW 和 8.3MW，风机数量减少 3 台，风机排布发生变化，35kV 集电海缆布置随风机排布调整也相应调整，由 4 回减少为 3 回，另外 1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机。

项目调整前后用海情况变化一览表详见表 2.2.1-1，调整前后平面布置对比示意图详见图 2.2.1-3。

表 2.2.1-1 调整前后总平面布置变化表

项目	调整前	调整后
风电机组	15 台单机容量为 5.5MW 风电机组，列间距在 570m~830m 之间，15 台风机总体布置在规划范围的外边界上。	12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，风机阵列长边方位角为 50°，风机阵列共分为 4 排，两排间的间距为 1049-1163m，每排内部的风机间距为 560-656m。
35kV 海底电缆	通过 4 回 35kV 集电海缆接入 110kV 三角岛上升压站，长约 39.24km。	11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，长约 28.02km。

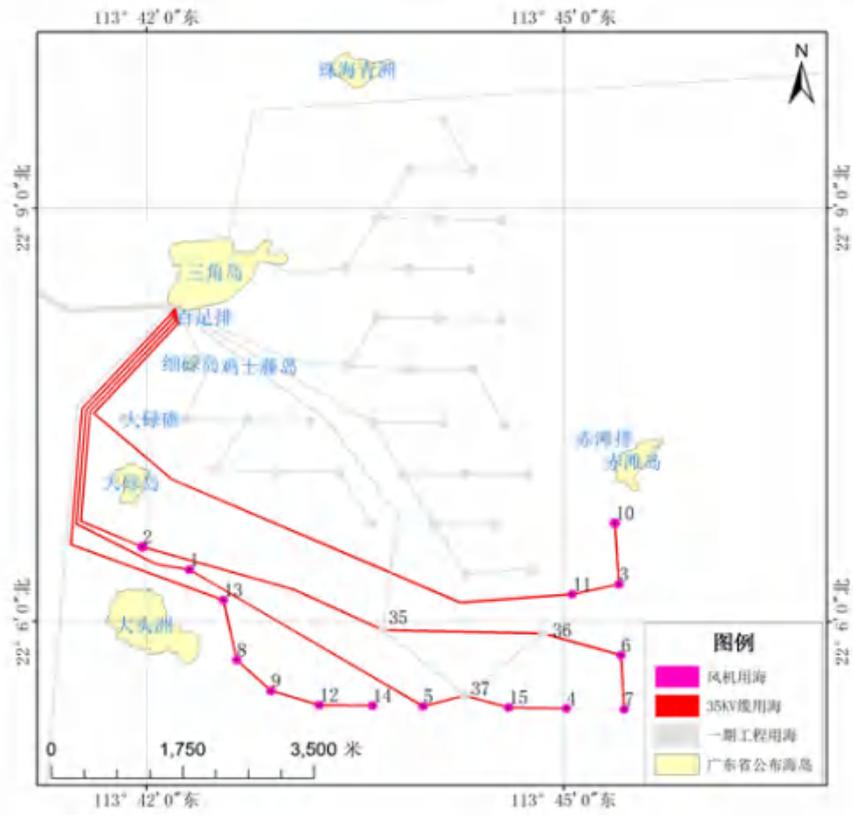


图 2.2.1-1 调整前总平面布置示意图

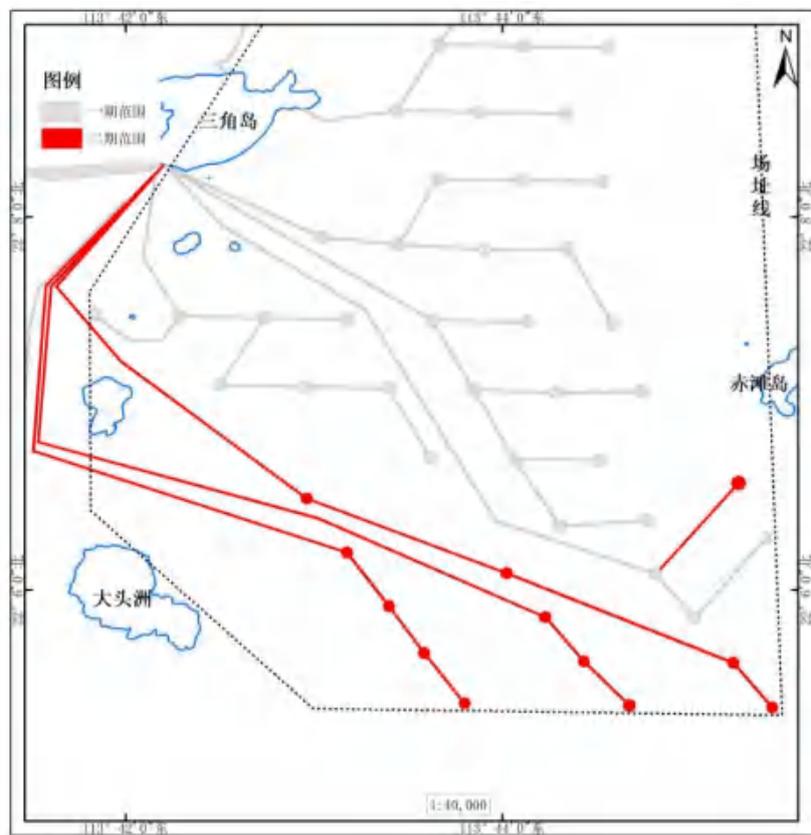


图 2.2.1-2 调整后总平面布置示意图

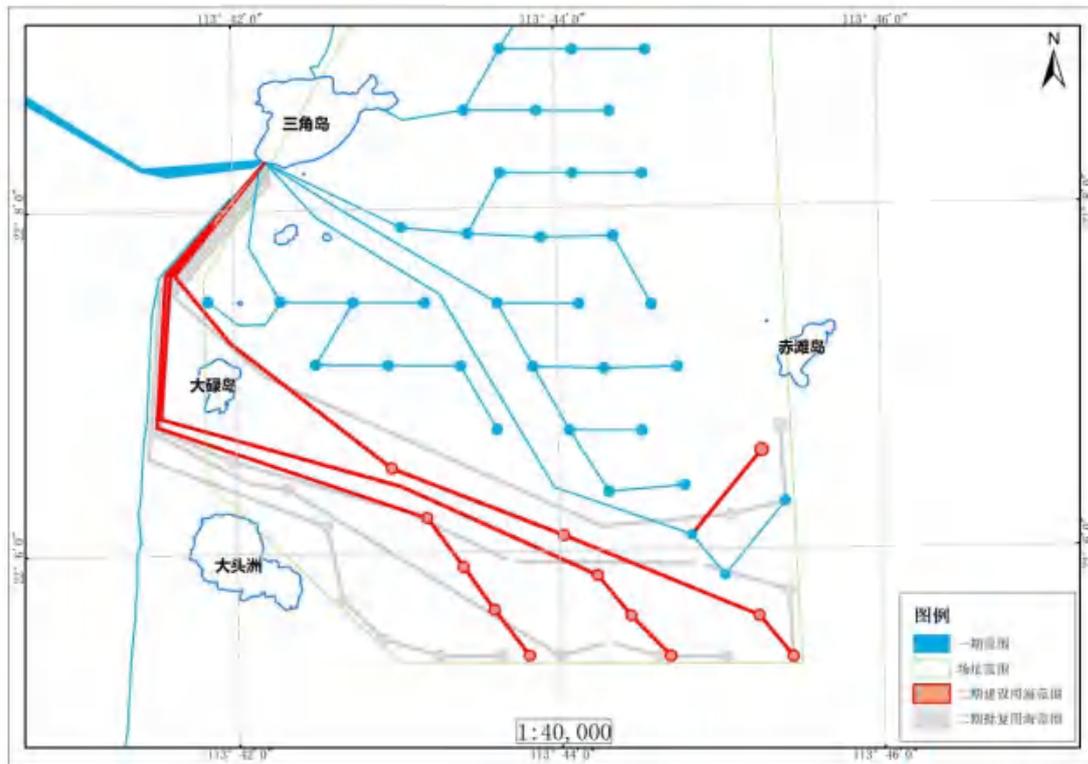


图 2.2.1-3 调整前后总平面布置对比图

2.2.1.1 风电机组布置

(1) 风机选型

调整前后风机机型及台数有所变化，调整前拟建设 5.5MW 风电机组 15 台，调整后拟建设 12 台风机，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组。

原论证报告中，采用 MySE5.5-155 型海上风力发电机组作为本工程的推荐机型。拟安装风电机组 15 台。推荐机型单机容量为 5.5MW，转轮直径 158m，轮毂高度 100m。原推荐机型的风机具体设备性能见表 2.2.1-2。

表 2.2.1-2 原推选机型设计参数

项目	单位	WTG5
风机型号	/	MySE5.5-155
制造厂商	/	明阳风电
机组认证	/	设计认证
额定功率	kw	5500
功率调节方式	/	变速变桨
轮毂高度	m	100
安全风速(3s)	m/s	70
设计等级	/	IEC I B
叶片数	个	3

项目	单位	WTG5
叶片长度	m	76.6
风轮直径	m	158
扫风面积	m ²	18870
转速范围	rpm	4.3-13.44
切入风速	m/s	3
切出风速	m/s	25
理论静态额定风速	m/s	10.1
发电机类型	/	中速永磁同步
额定电压	V	690
发电机功率因数	/	/
发电机防护	/	IP54
塔架型式	/	钢制锥筒
机舱重量	T	242
发电机重量	T	45
叶片重量	T	36*3
轮毂重量	T	93
塔架重量	T	376

项目调整后，风力发电机组拟采用 3 台明阳 6.45MW、8 台东方电气 7MW 和 1 台明阳 8.3MW 机型，风机具体设备性能见表 2.2.1-2。推荐机型单机容量分别为 6.45MW、7MW 和 8.3MW，明阳 6.45MW 风机转轮直径 178m，轮毂高度 110m；东方电气 7MW 风机转轮直径 186m，轮毂高度 110m；明阳 8.3MW 风机转轮直径 178m，轮毂高度 110m。

表 2.2.1-3 调整后机型主要技术参数

项目	单位	明阳	东方电气	明阳
额定容量	kW	6450	7000	8300
设计寿命	年	25	25	25
机组认证	-	设计认证	设计认证	设计认证
预装轮毂高度	m	110	110	110
生存极限风速	m/s	79.8	77	79.8
叶片数	个	3	3	3
叶片材料	-	GFRP	GFRP	GFRP
叶片长度	m	89	91	89
叶轮直径	m	178	186	178
入流角	°	8	8	8
切入风速	m/s	3	3	3
切出风速	m/s	25	25	25
额定风速	m/s	11.1	11.5	13.1
发电机类型	-	中速永磁同步	永磁同步	中速永磁同步
额定电压	V	690	690	1140
发电机防护	-	IP54	IP54	IP54
运行温度	°C	-10°C~+40°C	-10°C~+40°C	-10°C~+40°C
生存温度	°C	-20°C~+50°C	-20°C~+50°C	-20°C~+50°C

项目	单位	明阳	东方电气	明阳
齿轮箱		两级行星	/	两级行星
功率调节方式		变速变桨	变速变桨	变速变桨
机舱防腐保护		C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4
轮毂防腐保护		C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4
塔筒防腐保护	-	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4
防雷击保护	-	IECI级防雷 保护依据 IEC 61400-24	IECI级防雷 保护依据 IEC 61400-24	IEC I 级防雷
塔架型式	-	圆柱+圆锥钢塔	钢制锥筒	保护依据

(2) 风机平面布置

本项目调整前后，风机布置原则的主要内容不变，由于风机机型及台数的调整，风机排布也发生相应调整，调整前后风机平面布置叠加图见图 2.2.1-3。

原论证报告风机布置方案见图 2.2.1-1。原论证报告评审会后，考虑到本项目一期工程尾流和常风向等的影响，同时保证所有风机都在《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）（修编）的规划范围内，设计单位根据专家意见对风机的平面布置方案进行优化：集电线路布置方案考虑到本项目一期工程三角岛-东澳岛海底电缆的影响，布置时留出施工安全间距；4 回集电线路布置时考虑到施工相互影响，在留出施工安全间距的同时，保证总体上管廊布置；海底电缆布置避开大头洲，未对大头洲形成围蔽；考虑到大碌岛东北侧和大碌礁之间有较多礁石分布，适合海底电缆安全穿越的空间有限，现阶段只适宜布置 1 回海底电缆，其余 3 回海底电缆在大碌岛西南侧布置，为尽量减少对大碌岛的围蔽影响，这 3 回海底电缆在满足安全建设的前提下，尽量增大与大碌岛的距离，优化后列间距在 570m~830m 之间，15 台风机总体布置在规划范围的外边界上，年上网电量为 188.41GWh，满发小时数为 2284h。

本项目调整后，风机单机容量由 5.5MW 调整为 6.45MW、7MW 和 8.3MW，风机数量减少 3 台，风机排布发生变化，风机阵列长边方位角为 50°，风机阵列共分为 4 排，两排间的间距为 1049-1163m，每排内部的风机间距为 560-656m，年上网电量为 191.13GWh，满发小时数为 2372h。调整后风机布置方案见图 2.2.1-2。

2.2.1.2 海底电缆布置

本项目调整后，由于风机单机容量由 5.5MW 调整为 6.45MW、7MW 和 8.3MW，风机数量减少 3 台，风机排布发生变化，35kV 集电海缆布置随风机排

布调整也相应调整，由 4 回减少为 3 回，另外 1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机。海底电缆总长度由 39.24km 减少为 28.02km。调整前后对比图见图 2.2.1-3。

2.2.2 结构及设计尺度

2.2.2.1 风机基础

根据工程地质调查资料，项目调整前 15 台风机基础设计包括非嵌岩桩设计和嵌岩桩设计，其中 13 台风机非嵌岩桩采用单桩基础方案，2 台风机（2#风机和 10#风机）为嵌岩机位，基础结构采用四桩导管架基础。项目调整后 12 台风机基础结构型式，10 台为非嵌岩单桩基础，1 台（38#风机）为多边形筒型基础，1 台（43#风机）为圆形筒型基础。

原论证报告分析：

1、非嵌岩单桩基础

非嵌岩桩设计采用无灌浆连接段单桩基础结构型式，钢管桩与风机塔筒连接处外径 7.00m，水中部分通过锥形段过渡到 7.50m，泥面以下为单根直径 7.50m。钢管桩平均桩长约为 69m，平均入土深度约为 48.0m，桩底平均高程约为-57.60m，桩顶高程约为 11.50m。

2、嵌岩四桩导管架基础

嵌岩桩设计采用四桩导管架基础，桩顶标高统一按-7.0m，平台底高程 11.0m，导管架顶法兰标高均为 16.0m，灌浆连接段长度统一为 6m。4 根钢管桩定位于海底，呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。四桩导管架桩径 2.0m，桩中心距为 18.0m，入土深度约 36m~65m，总桩长约 38m~67m。导管架四根主腿杆直径 1400mm~1600mm，斜撑杆直径为 650mm。

项目调整后：

1、非嵌岩单桩基础

本项目非嵌岩单桩基础共 10 台，非嵌岩单桩材质为 DH36 和 DH36-Z35，单桩基础桩重约 1000t，桩顶直径为 7m 和 7.5m 两种型式，桩基直径根据《珠海市海洋综合执法支队委托测量机构对珠海桂山海上风电场示范项目（含二期）占用

海域鉴定服务项目测量报告》实测结果为 11.87m~12.82m，详见表 2.2.2-1，单桩基础结构见图 2.2.2-1。

表 2.2.2-1 各机型单桩基础参数

桩位序号	桩径 (m)
39#	12.82
40#	11.87
41#	12.26
42#	12.31
44#	12.80
45#	12.33
46#	12.36
47#	12.47
48#	12.19
49#	12.63

2、多边形筒型基础

本项目多边形筒型基础共 1 台，为 38#风机，多边形筒型基础为边长 18.475m 的正六边形，总高度 38.81m，其中单柱上部直径为 7.545m，高度 23.29m，基础筒体舱顶板为钢板封底的梁板结构型式，纵梁、环梁梁高 1.0m、0.75m；钢筒体底板为 20mm 钢板，基础总重约 2800t，多边形筒型基础结构见图 2.2.2-2。

3、圆形筒型基础

本项目圆形筒型基础共 1 台，为 43#风机，圆形筒型主要由筒体、单柱和附件组成，桩基直径根据《珠海市海洋综合执法支队委托测量机构对珠海桂山海上风电场示范项目(含二期)占用海域鉴定服务项目测量报告》实测结果为 17.77m。单柱壁厚为 65mm~80mm，高度 14m。筒体顶板为钢板封底的梁板结构型式，纵梁、环梁均为上翻梁，梁高 1m，连接件共计 6 块，沿单柱周围均匀布置。下筒体分为六个隔舱，外仓壁厚 25mm，内仓壁及分仓壁均为 16mm 厚钢板，内舱板对边尺寸 14.722m，钢筒体顶板为 20mm 钢板，单柱总重约 320t，筒体重约 650t，基础总重约 1600t，圆形筒型基础结构见图 2.2.2-3。

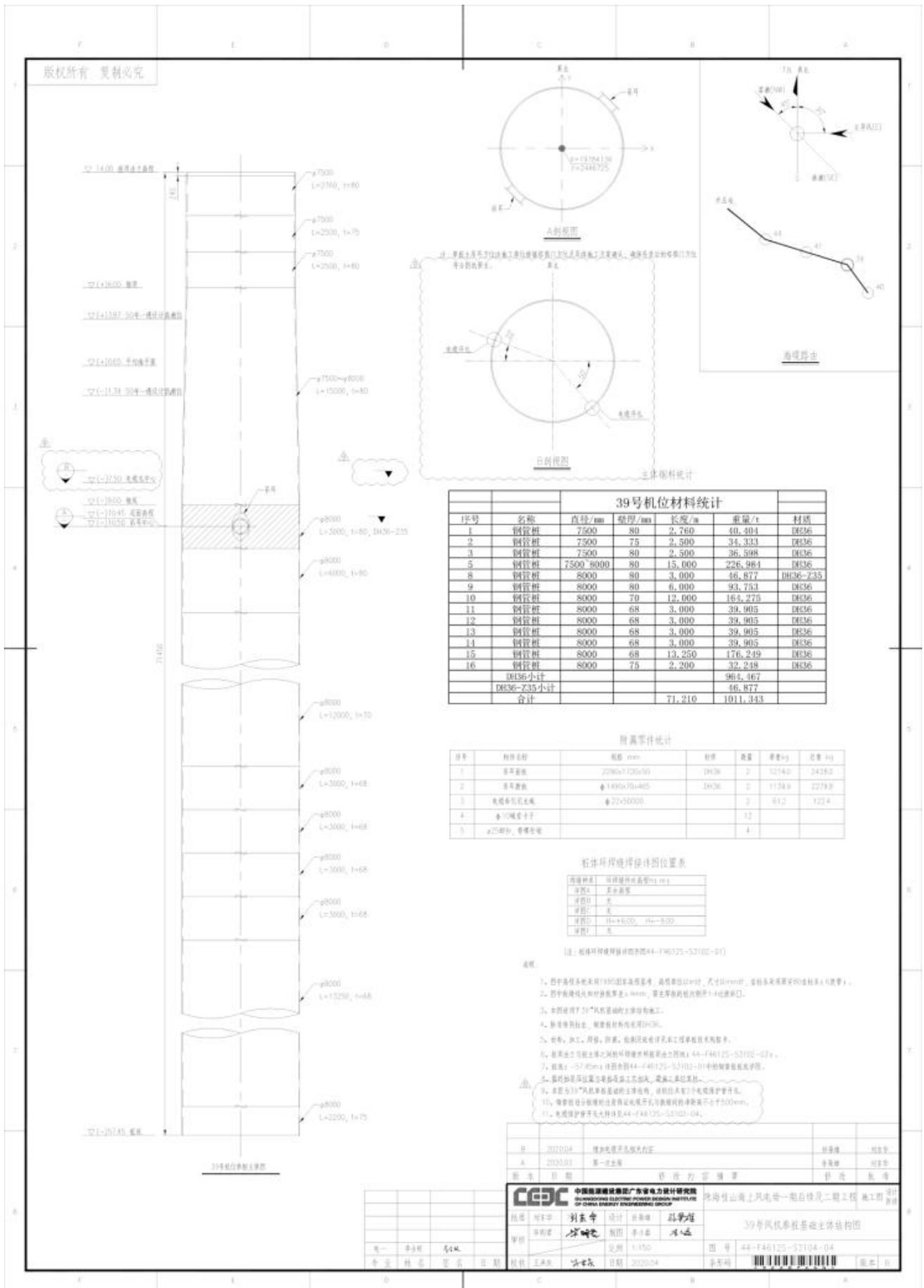


图 2.2.2-1 单桩基础结构图

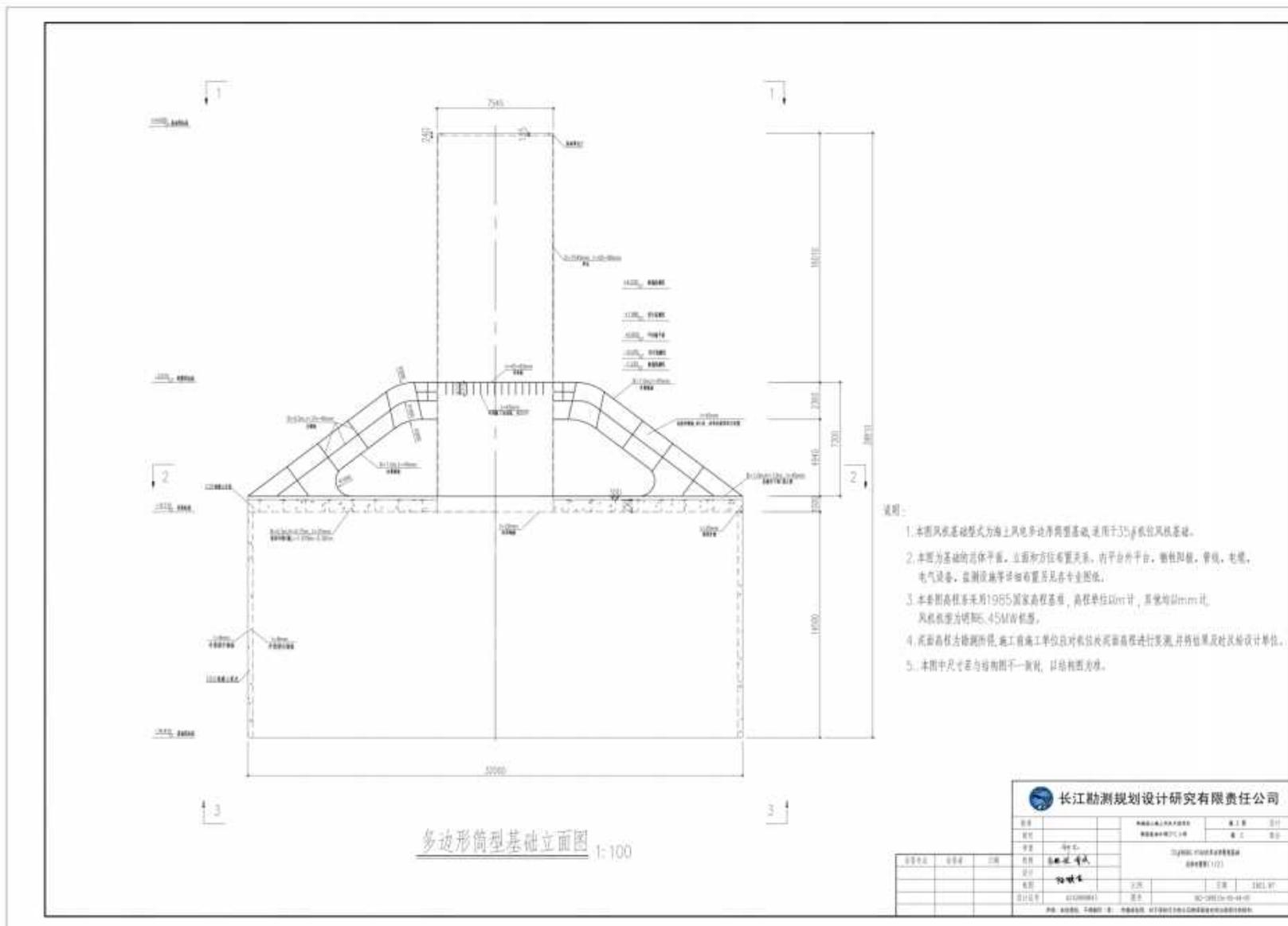


图 2.2.2-2a 多边形筒型基础结构

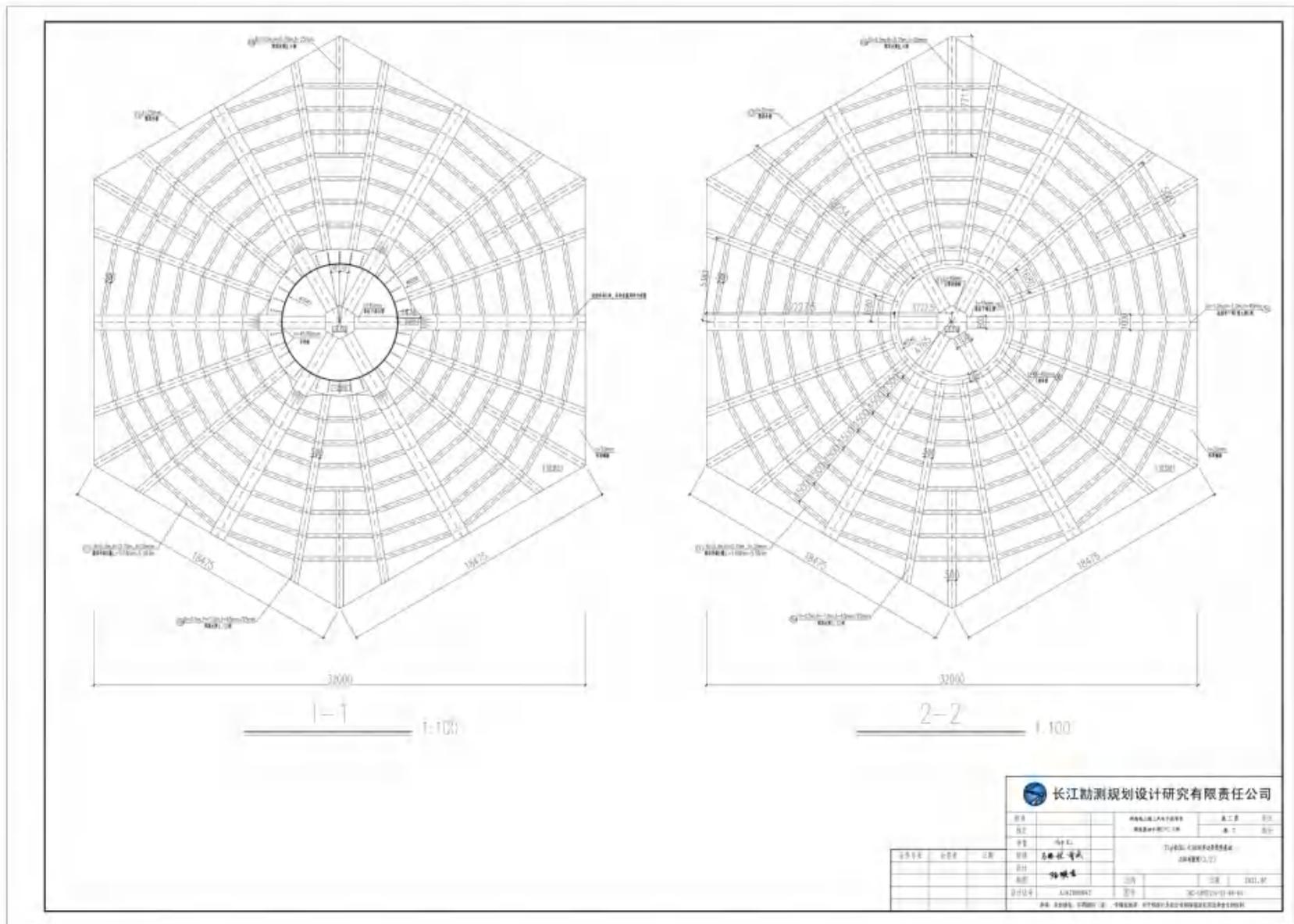


图 2.2.2-2b 多边形筒型基础结构

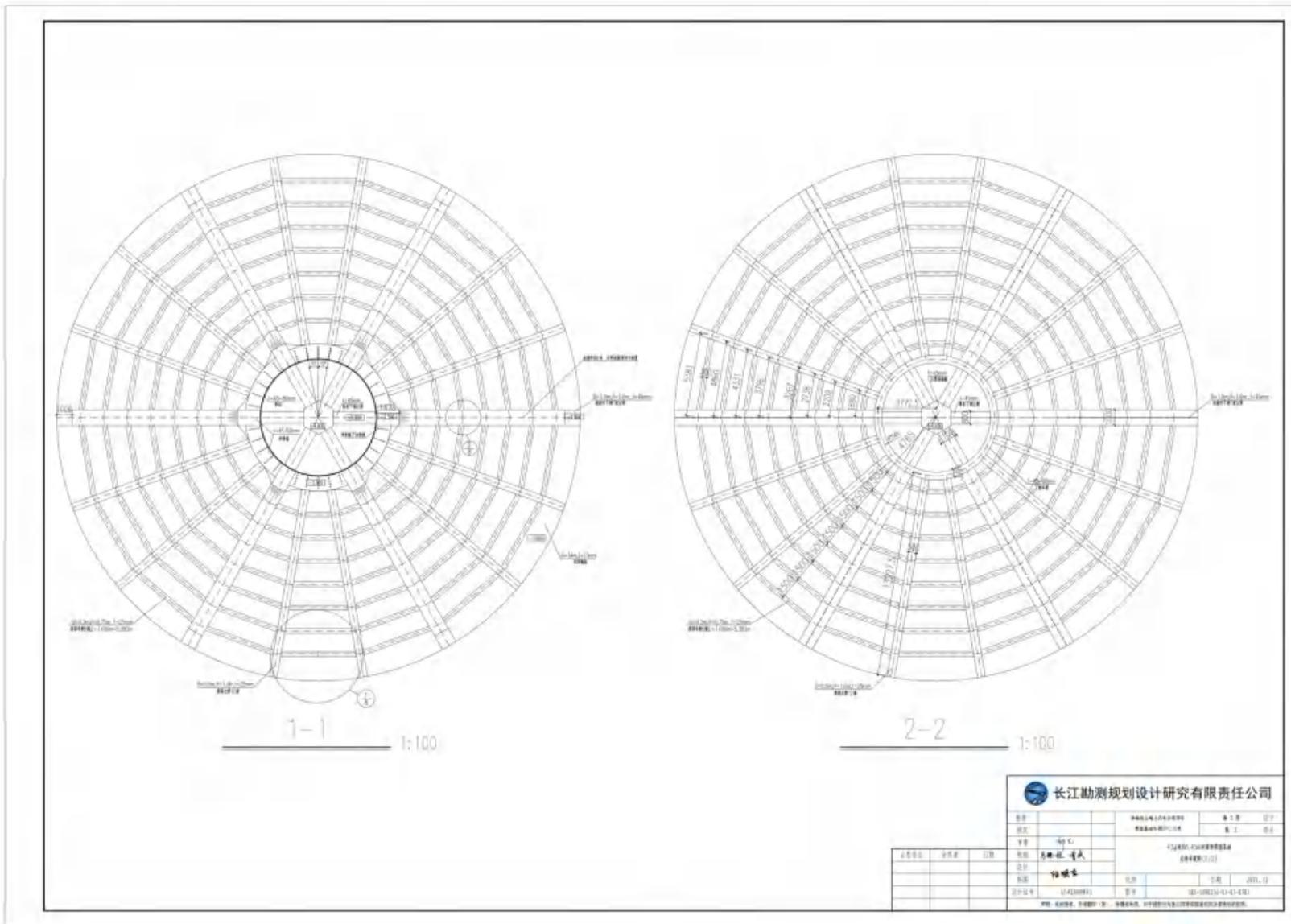


图 2.2.2-3 圆形筒型基础结构

2.2.2.2 海底电缆

项目调整前后选用的 35kV 海底电缆型号、结构一致，仅电缆截面大小有所不同。

原论证报告分析：

本工程 35kV 海底电缆的绝缘型式推荐采用交联聚乙烯绝缘海底电缆。

35kV 海底电缆初拟选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面从 3×(70~300) mm² 不等。同时考虑便于采购，电缆截面不宜过多。本期工程集电线路一回路主要连接风机数为 3~5 台，该海缆结构的型式见图 2.2.5-1。

三芯26/35kV海底 光电复合 电缆主要技术参数									
Main Technical Data of Submarine Power Cable Composite with OLF Three-core 26/35kV									
规格 Spec.	3×70	3×95	3×120	3×150	3×185	3×240	3×300	3×400	3×500
载流量(A) Current Capacity	海床/埋设/陆地 Submarine/Underground								
阻值 Resistance (Ω/km)	0.268	0.193	0.153	0.124	0.099	0.0754	0.0601	0.047	0.0366
电容量 Capacitance (μF/km)	0.242	0.247	0.196	0.159	0.128	0.098	0.079	0.063	0.05
电容 (μF/km)	0.124	0.134	0.146	0.156	0.167	0.181	0.197	0.217	0.30
设计功率(不考虑功率因数)(MVA) Design Power (without power factor)(MVA)	12.7	15.1	17.0	18.9	21.1	24.0	26.6	29.6	32.6
最小弯曲半径 (mm) Min. Bending Radius (mm)	1703	1761	1826	1884	1943	2022	2117	2232	2354
铠装外径 (mm) Cable Dia.	113.6	117.4	121.7	125.6	129.5	134.6	141.3	148.8	155.8
电缆重量 (kg/km) Weight (kg/km)	27970	30173	32415	34816	37213	40938	45215	51068	56050

注1: 最高设计载流量: 1. 海床埋设25℃, 热阻0.7; 2. 埋地土埋设25℃, 热阻1.0; 3. 埋地土埋设40℃, 热阻1.2
注2: 以上数据仅供参考, 实际电缆设计需结合工程的环境和敷设条件定制
Note 1: Capacity of maximum capacity: 1. sub-sea burial 25°C, thermal resistance 0.7; 2. underground burial 25°C, thermal resistance 1.0; 3. underground burial 40°C, thermal resistance 1.2
Note 2: Above data is for reference only. The actual design should be customized according to the actual environment and laying conditions of the project.

图 2.2.2-4 三芯 35kV 海底电缆主要技术参数

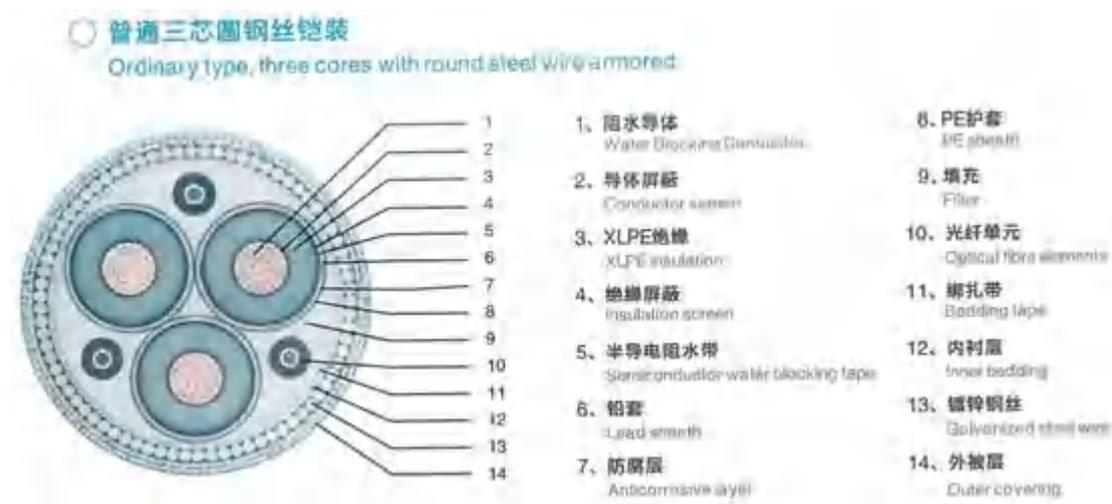


图 2.2.2-5 三芯 35kV 海底电缆结构剖面图

项目调整后：

调整后本项目 35kV 海底电缆见表 2.2.2-2。选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯铜导体海底电缆，与调整前一致，电缆截面分别 3×70mm²、3×95mm²、3×240mm²、3×400mm²。

表 2.2.2-2 调整后 35kV 海缆规格表

序号	规格	外径
1	HYJQF41-F 26/35kV 3×70mm ² +2×36C	114.7±6.0mm
2	HYJQF41-F 26/35kV 3×95mm ² +2×36C	117.2±6.0mm
3	HYJQF41-F 26/35kV 3×240mm ² +2×36C	133.7±6.0mm
4	HYJQF41-F 26/35kV 3×400mm ² +2×36C	145.7±6.0mm

2.3 项目主要施工工艺与方法

本工程的主要项目有风机基础施工、风机机组安装、35kV 海缆敷设。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 风电机组主要施工工艺和方法

本项目调整前 15 台风机基础结构型式中，13 台风机采用非嵌岩单桩基础，2 台风机采用嵌岩四桩导管架基础。项目调整后 12 台风机基础结构型式中，10 台为非嵌岩单桩基础，1 台（38#风机）为多边形筒型基础，1 台（43#风机）为圆形筒型基础，施工工艺有所调整。调整后施工工艺如下：

2.3.1.1 非嵌岩单桩基础施工工艺

（1）沉桩施工工艺流程概述

单桩基础的沉桩采用“顺一 1600 大型全回转起重船+IHCS3000 液压锤”的方式进行，沉桩施工工艺流程图如下。

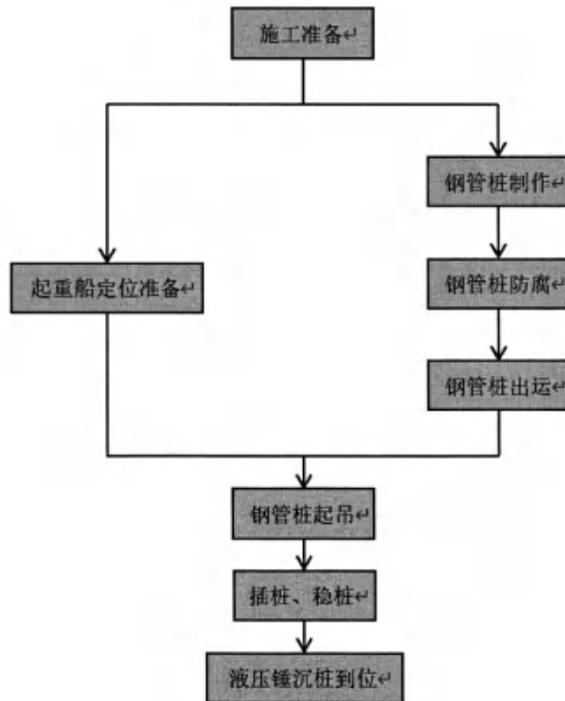


图 2.3.1-1 单桩施工流程图

(2) 施工测量

本工程海上沉桩施工平面和高程控制以采用实时厘米级精度的 GPSRTK 定位技术为主，测量工作流程如下。

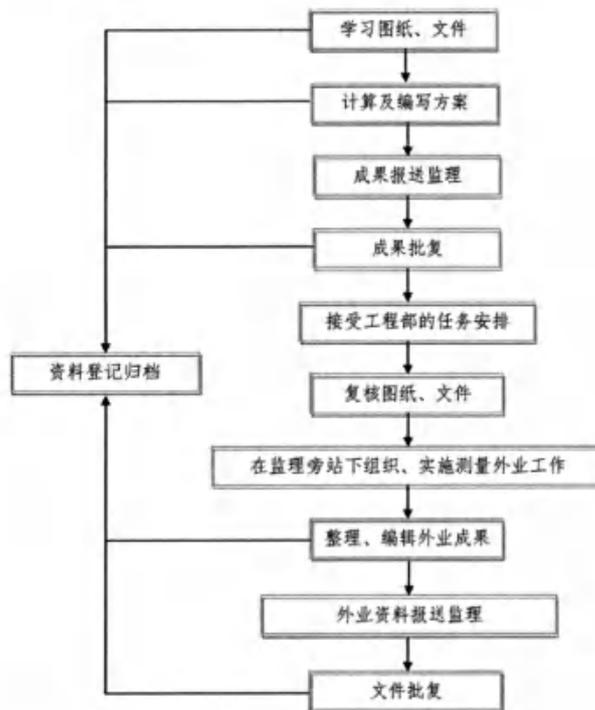


图 2.3.1-2 测量工作流程图

(3) 施工方法

1) 钢管桩落驳及海上运输

①单桩落驳

单桩基础达到交货状态后，利用横移工装和模块小车将单桩整管横移至运输过驳对应位置的运输过驳工装上，接着开走小车并移除横移工装，然后模块小车在对应的运输过驳工装下就位。

运输需使用 4 组 8 台模块小车（单台小车最大承重 250t，4 组最大可承重 2000t）配合运输过驳装船，其中前后相邻模块小车接线共用一个动力装置。在模块小车就位和接线完毕、过驳钢垫板铺设完毕后，起升模块小车至运输过驳工装支撑腿离地面 200mm，然后将单桩整体移运到驳船甲板面，最后开走模块小车，将运输工装支撑腿焊接于驳船甲板上，完成单桩运输过驳和装船作业。每次可装运 1 根单管桩。

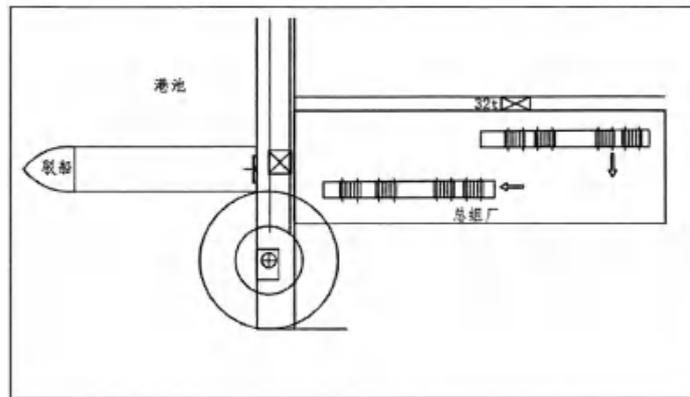


图 2.3.1-3 单桩装船场地布置示意图

②落驳工装

计划每次运输 1 根单桩，单桩在驳船上的布置如下图所示。

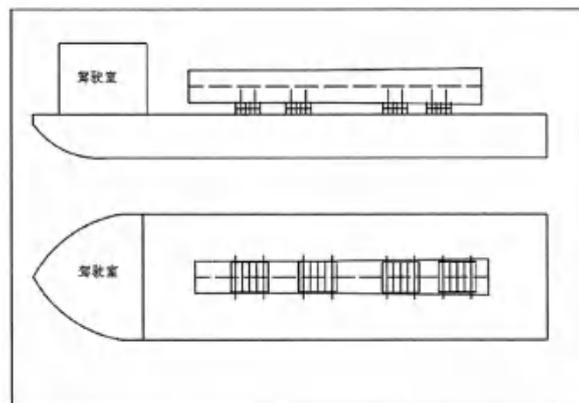


图 2.3.1-4 单桩甲板布置示意图

③运输驳船选型

单桩及工装重量约为 1250t，具体摆放尽量根据驳船长度方向的重心进行对称布置，驳船选型应满足以上承重及布置要求。

④单桩海上运输

从广州市南沙区龙穴岛广船国际有限公司码头运至本项目各机位，距离约 42 海里，海上航行约 7 个小时。在单桩运输作业前，进行各个工序的安全技术交底，并制定详细的关键过程控制措施、船舶使用保障措施及水运安全保障措施，确保按计划要求完成运输任务。

2) 船舶定位

“顺一 1600”船拖航至施工海域后，通过专用船上设置的 GPS 打桩定位系统实时坐标显示器引导指挥，利用自带的 8 只大抓力锚（16t），由抛锚艇辅助抛八字锚和交叉锚初步定位，通过绞锚移船精确定位打桩位置。

3) 起吊前准备

单桩翻桩作业动作：顺一主吊吊住 2000t 吊梁，吊梁下设置三角转换梁，三角转换梁一端吊主吊一字梁，一端设置定滑轮，副钩挂钢丝通过动滑轮与定滑轮相邻，动滑轮异端连接溜尾钢丝绳和溜尾钳。

顺一起吊钢管桩后，主吊收紧钢丝绳，副钩放松钢丝绳，通过动、定滑轮的距离伸长，达到钢管桩翻身的目的。起吊钢管桩时，桩上设置缆风钢丝绳和船上的卷扬机连接。

4) 抬吊、竖桩

根据顺一 1600 吊重参数可知，顺一 1600 号主钩配合 2000 吨吊梁进行吊装翻桩。

钢丝绳 6 倍安全系数，满足吊装要求。

船机平面布设原则，采用顺一 1600 号和运桩驳左右停靠，顺一 1600 号先定位，再进行运桩驳驻位，主钩两钩中心投影与桩整体中心呈竖直对应。

①十字吊梁及挂钢丝绳，主钩左、右钩与十字吊梁采用主钢丝绳连接，十字吊梁下部分左右钢丝绳，由平衡吊梁一侧的挂主吊耳处，另一处挂溜尾钳处。

②挂钩完毕后，将顺一 1600 上的 15 吨工作绞车钢丝绳带于溜尾卸扣上，为平衡起吊后主副钩不在一平面上的偏心作用（约 10 吨），然后缓慢增加吊机吨位

(每次加 50t)，继续缓慢起钩，待桩脱离桩架悬空后，将运桩驳船退出，进行翻桩工作，翻桩过程中控制桩底高度及位置不变，保证工作锚机钢丝绳角度，使其受力稳定。

③翻桩完成后将桩提升至超过甲板高度，缓慢向左回转大臂，中控室不断进行调载，保证船体平衡；大臂回转至右前甲板时，需停止回转，待调载完成后再进行回转，从龙口上方进入龙口。

5) 单桩入龙口

桩处于抱桩器平台龙口中间区域时开始下放单桩，在下方过程中，溜尾钳脱落后，开始测量桩身姿态，调整各千斤顶完成预抱紧操作。

6) 桩自重入土

入龙口完成后，测量利用 GPS 控制钢管桩的平面位置，采用 2 台全站仪进行钢管桩垂直度控制。调整抱桩器平台上的 8 个千斤顶，将钢管桩抱死，并调整钢管桩的垂直度偏差不超过 1.0‰。

当钢管桩与泥面接触时，用 2 台全站仪进行垂直度观测，接着单桩在自重作用下，开始下沉，每下沉 5m 做一次垂直度观测，当下沉至泥面下一定深度后停止下沉，单桩确认稳定后，起重船继续下放钢丝绳，使钢丝绳处于不受力且不脱钩状态。观察 15 分钟时间桩身无变化后，再进行下一道工序施工。

7) 液压锤击沉桩

在保证单桩垂直度的情况下，开动液压锤，先以最小能量 382kJ 液压锤沉桩点动施工，如此 3~4 次，并安排测量观测桩身数据，调整桩身姿态；完成桩身调整无变化后继续沉桩，沉桩单桩垂直度按 1.0‰以内控制，每隔 1~2m 观测、调整一次，当桩继续入土 10m 时，改为每隔 3~4m 观测、调整一次，当桩继续入±10m 时，此时桩下沉深度约 30m，改为连续液压锤击沉桩，锤击能量根据贯入度情况逐级增加。

沉桩至设计标高，然后安排桩身垂直度（桩顶法兰面水平度）测量以及法兰焊缝探伤检测。

2.3.1.2 筒型基础施工工艺

(1) 施工总体安排

基础整体拖至机位处后，进行船机定位，气象、海况条件满足后进行基础沉

放施工，基础分为自重下沉、负压下沉两个阶段，沉放到位后船筒分离进入下道工序。主要施工顺序如下图所示。



图 2.3.1-5 基础沉放施工顺序图

(2) 基础整机定位

1) 平板驳定位（方向确认）

平板驳先到机位处下锚定位，通过船载 GPS 粗定位，利用四口锚机绞锚进行精确定位，并在平板驳上确定浮运平台依靠位置及角度。

2) 浮运船靠泊定位

根据筒型基础安装角度预先设定船舶停放位置，浮运船距离指定安装位置约 1km 处停止航行观测潮位，等待到高潮位前 1~2 小时安装船驶向指定安装位置并调整船舶角度。浮运平台到达安装现场，依靠在已完成定位驳船一侧；利用拖轮或锚艇在平台前方 100-150 米左右抛锚。利用 GPS 进行基础的位置定位，调整系泊锚索长度，通过驳船绞缆进行初步定位；在浮运平台稳定后，进行二次精准定位；定位完成后将浮运平台艏部定位桩放下，而后下放浮运平台尾部左舷定位桩，确认基础位置准确后，下方尾部右舷定位桩。

3) 定位桩定位

确定基础位于以定位锚为中心的圆弧线上，初步定位过程中找准时机将浮运平台艏部定位桩放下，校核艏部定位桩位置是否准确，保证基础正确定位。若艏

部定位桩位置超差，须将艏部定位桩提起，重新进行沉桩操作。艏部定位桩下放后放松一侧系泊锚索。以艏部定位桩为中心缓慢旋转浮运平台，在基础到达确定位置下放浮运平台尾部左舷定位桩，确认基础位置准确后，下放尾部右舷定位桩，确认基础位置准确后，下方尾部右舷定位桩。若确认基础位置超差，则将尾部左舷定位桩提起，重新进行绕艏部定位桩旋转定位，到达正确位置瞬间下放尾部右舷定位桩，确认基础位置准确后，下放尾部左舷定位桩。



图 2.3.1-6 浮运平台基础示意图

(3) 沉放准备

整机到达机位处后，基础内外液面差 2.5m，卡环承担 200t 竖向荷载，吊环承担 200t 竖向荷载，当基础准备下沉之前，需要解开卡环封固。

卡环切割前需对筒体进行打气起浮，使卡环底部脱离浮运平台，待基础稳定之后再对卡环进行整体切割。

(4) 自重下沉

1) 水中沉放

卡环切割后，吊钩承担竖向荷载 200t，基础内外液面差约为 2.73m。再次检查各个操作人员位置状态及相关仪器设备；根据潮位及实际流速确认此时是否位于沉放的合理时间点；再次确定船体位移情况、天气预报情况；船筒脱离至筒底入泥阶段需要进行下述操作：

① 绞车放缆与放气下沉

对基础内部各舱均匀放气，保持各舱水封高度同步下降；基础吃水增加。当基础顶部 10 个吊钩拉力由 20t 上升至 40t 时停止放气；放松缆绳待基础下沉约 0.23m 时停止放缆，绞车下放吊钩缆绳与基础放气交替进行；重复操作直至基础下沉至底边距泥面高度约 0.5 米距离。

②水中沉放监控

如筒型基础仍未触泥，此时打开 7#仓电动阀，使气压下降至 0.037MPa 附近；打开 1#、3#、5#电动阀，使气压下降至 0.017MPa 附近；打开 2#、4#、6#电动阀，使气压下降至 0.017MPa 附近。

判断筒型基础入泥有两种方法：a、筒内气压保持 0.017MPa，吊钩缆绳受力为 0，筒型基础不再下沉；b、根据实时潮位水深、船体吃水、筒型基础吃水、扶正装置刻度线等计算。

此过程应实时调整 4 台防转绞车，并由专人观测筒型基础转动情况，指挥 4 台锚绞机放松或收紧钢丝绳，保证筒型基础下沉过程不发生转动。

2) 入土沉放

①吊索解扣与自重沉放

筒型基础入泥后，此阶段主要为自重作用下排气下沉，打开 7 个仓电动阀排气下沉，此时密切关注底部扶正装置受力状态，如一侧受力较大，则关闭相应一侧的各仓电动阀，当各油缸受力均匀后再打开全部 7 个仓电动阀排气下沉。

②筒型基础舱内灌水（顶盖未没水）

在基础自重下沉阶段后，如基础顶盖未没水，舱内会存有正常范围量的气体，调平下沉过程中设计条件为舱内充满水。则中间补水排气期间需要将管路系统以及各舱室内的气体排出并使之充满水。

③沉放监控

沉放过程中通过调节各舱室内的压力值调节吸力基础使得其可以平稳下沉，通过监测传感器的数值，确保基础下沉稳定。

(5) 负压沉放与调平

随着筒型基础入土深度增加，侧摩阻力逐渐增大，当筒型基础及风机机组自重与端阻力摩阻力相等时，筒型基础借助抽水系统实现内外压力差下沉。

(6) 船筒分离

1) 抱箍解封

拖航开始前，在抱箍销轴上方挂点上栓挂 5t 手动倒链，与销轴顶端的眼板连接，将倒链带紧，进行系固；在活动抱箍上栓挂垂向斜拉索、打开牵引索和回拉牵引索，并临时系固。

解封销轴处倒链系固，拉动倒链使销轴上移，将销轴上移至不影响抱箍打开。

解封抱箍打开牵引索和回拉牵引索，拉动打开牵引索，随动释放回拉牵引索，将抱箍平稳打开至最大开启加排毒。随时收紧活动抱箍上的垂直斜拉索。

2) UK 模块分离

解脱 U/K 连接，牵动 K 模块脱离 U 模块独立漂浮或 K 尾封板临时顶水贴靠 U 的舷侧，操作过程中用拖轮进行辅助。

3) 船-筒分离

浮运至安装现场，完成风机下沉安装，打开抱箍；解脱 U/K 连接，牵拉 K 模块脱离 U 模块独立漂浮定位桩拔桩，浮运平台处于无定位桩漂浮状态，利用抛锚/拖轮保持浮运平台位置稳定，避免固定抱箍与风机塔筒碰撞；移动 U 模块脱离风机安装位置收回抱箍，插入抱箍插销或将活动抱箍临时固定；将 K 模块插入 U 模块进行连接固定。

4) UK 模块组合

利用拖轮将 K 移动至 U 开口位置，栓挂 K 牵引钢丝绳；使用 K 牵引绞车将 K 模块插入 U 模块，并进行连接固定；调整浮运平台吃水；拉动抱箍回拉牵引索，随动释放打开牵引索，将抱箍平稳向回收拢。随时收紧活动抱箍上的垂直斜拉索。将活动抱箍回收至初始位置附近处贴紧固定抱箍，进行系固。

2.3.1.3 风机机组安装施工工艺

本项目调整前后风机安装均采用分体吊装方式，即塔筒、主机、轮毂、叶片依次通过运输船运到机位后，安装船依次起吊（叶片与轮毂需先在安装船上组装）安装，电气安装由风机厂家实施。

(1) 工艺流程

风机整个吊装工艺流程如下图所示。

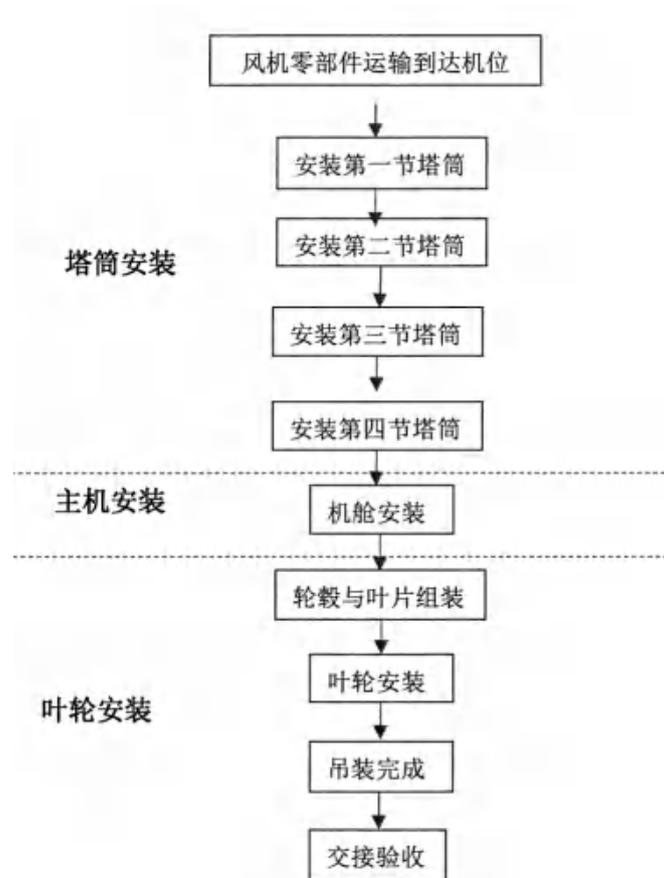


图 2.3.1-7 风机吊装工艺流程图

(2) 施工方法

本工程选用底塔筒陆上预组装并立装到现场——塔筒、机舱发电机、叶轮海上坐底船吊装工艺施工。

1) 塔筒吊装

清理基础及底端塔筒：清理基础环法兰表面和法兰孔，如有油污需使用清洗剂清理；检查基础上与塔筒门对应的标记线；检查基础法兰面是否有凸点，若有应打磨平整；在基础法兰面上螺孔内外圈涂抹密封胶；清理干净塔筒底段，根据需要补漆；使用清洗剂清理干净塔筒底段下法兰面。

2) 底部塔筒安装（底塔筒竖直运输）

基础环法兰内侧面有一个明显标记，表示与塔筒底法兰的对接位置，一般这个位置对应塔筒门的方向。

① 吊装准备

将塔筒与基础连接的紧固件清点数量，摆放在基础内外。准备安装使用工具，

并放置在基础内外。

在塔筒下法兰沿水平方向系 2 根缆风绳，用以起吊时控制塔筒方向。

在安装之前，须将电源引到底部的平台处，并将第一节塔筒与第二节塔筒连接的紧固件和第二节塔筒安装时使用的工具和辅料放置在第一节塔筒的顶部平台上并固定好。

②塔筒起吊

第一段塔筒立运到达吊装位，拆除防雨罩安装塔筒吊具，然后将其吊装至塔筒基础进行对接。

拆除塔筒顶段的防雨盖，安装塔筒吊具起吊第一段塔筒，使用牵引绳控制塔筒底段的位置，使主吊车吊装塔筒底段慢慢接近基础，将二者轴向对正。缓慢下降塔筒底段直至安装人员能方便地旋转塔筒，初步找正塔筒底段和基础的周向位置，拆除牵引绳。

继续缓慢下降塔筒底段，待塔筒法兰底面与基础环上表面之间距离为 150mm 时，调整塔筒，使塔筒底段的门标记线与塔筒基础的门位置标记线对齐，穿入螺栓固定塔筒轴向位置。

继续缓慢下降塔筒底段，直至两法兰面接触良好。然后利用电动扳手初步预紧所有螺母，然后用液压工具按额定力矩的 50%、75%、100%分三级对称预紧螺栓，所有螺栓预紧完后用记号笔做防松标识。

第一节吊装完成后，若因为现场气候等因素，第二、三、四节塔筒吊装与第一节塔筒吊装时间相隔很长，需要在已吊装的塔筒法兰面上盖上防雨帽，防雨帽通过螺栓与法兰螺栓孔连接固定。

③第二节塔筒吊装

将包装好的第二节塔筒与第三节塔筒连接螺栓、螺栓润滑剂和密封胶放入第一节塔筒上部平台处，并固定好。

在塔筒下法兰安装两个通用吊座、2 根吊带、2 根钢丝绳、2 个单轮滑车、2 个卸扣、2 根吊带。用同规格的螺栓将吊座组件安装在塔筒法兰面上，并用电动扳手紧固，吊座安装的位置在塔筒法兰面与竖直线夹角 45°。

根据船位布置，“顺一 1600”主、副钩同时水平起吊塔筒上下端。待塔筒与甲板面脱离后，主钩继续提升，副钩辅助调整，塔筒竖直后，撤去塔筒下段吊具，

塔筒完成翻身。主钩继续提升，并且吊机转臂移动。

移动下塔筒至导管架顶面上方 150mm 处。调整塔筒安装方位，确保塔架门的朝向正确，然后缓慢下落就位。利用引导销使法兰螺孔对位，安装预先放置好的螺栓、垫片和螺母，按厂家要求紧固高强度螺栓。

第一、二节塔筒吊装完成后，若因为现场气候等因素，第三、四节塔筒吊装与第一、二节塔筒吊装时间相隔很长，需要在已吊装的塔筒法兰面上盖上防雨帽，防雨布通过螺栓与法兰螺栓孔连接固定。

第三、四节塔筒吊装与第二节塔筒相似。

3) 机舱安装

风机上塔筒吊装完成后进行机舱吊装。

由两到三名工作人员站在第四节塔筒上平台，清理上法兰面，清除锈迹毛刺，且主机与塔筒对接前 30min 内在塔筒法兰面内外侧涂抹两圈道康宁 7097 硅酮耐候密封胶；将未安装到齿轮箱上的 1 颗双头螺柱 M48 及圆螺母 M48 放在顶部平台随主机一起起吊；将主机起吊至 1.5 米高度左右，用干净无纺抹布和专用清洗剂清理底部法兰面的杂质和锈迹。再将主机与塔筒连接定位销穿入偏航制动盘的一个孔位，定位销露出偏航制动盘长度 190mm 左右，用于主机与塔筒对接时定位。然后将主机与塔筒连接双头螺柱 M45 拧入到剩下的 119 个孔位中，拧紧后保证螺栓露出偏航制动盘法兰距离 183mm 左右；接着将主机提升到超过顶节塔筒上法兰后，按照塔筒平台工作人员的指挥缓慢移动吊机，待机舱在塔筒的正上方时，将露出长度螺栓对准塔筒的安装孔位后，缓慢下降主机，并缓慢移动吊机，直到所有螺栓穿入塔筒螺栓孔；将主机完全落下，吊机负荷 1/2 的机舱重量（约 120t），通过人字梯进入机舱搬运工具和物料，然后安装 M45 圆螺母，再用 M45 拉伸器将所有双头螺柱交叉、对称先按终紧力的一半紧固，此时可以松钩，再按终紧力先后两次紧固。

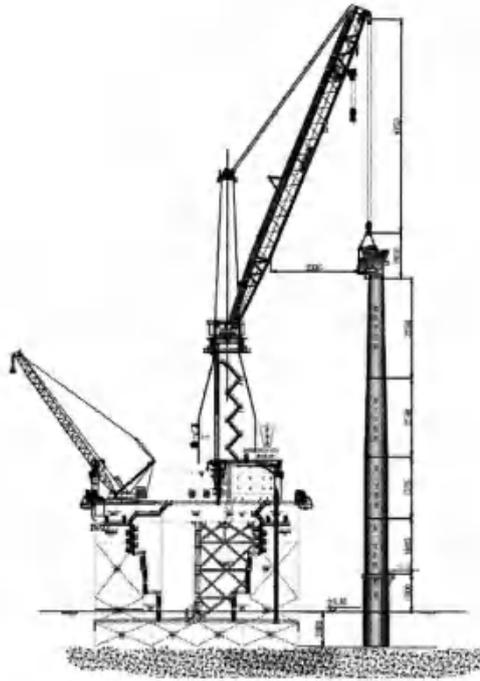


图 2.3.1-8 主机安装过程示意图

4) 叶轮组装

叶轮组装场地为“顺一 1600”甲板，起重设备采用 1800t 主吊和放置于甲板面上的 300t 履带吊辅助。

提前在“顺一 1600”甲板上焊好轮毂工装；将轮毂吊至叶轮组装位置就位；给变桨系统提供 380V 的交流电源，接好手动变桨控制盒，具备变桨条件；按要求在叶片指定位置布置吊索具，将第一片叶片慢慢吊于轮毂叶根轴承法兰接口处进行组装。通过安装调试电源盒对轮毂轴承进行变桨微调，使叶片根部 0 度刻度线零点与叶根轴承转盘上的 0 标记线对正。调整叶片位置，使所有螺栓顺利穿入变桨轴承孔内，带上螺母，按要求紧固螺栓。以同样方式安装其他两叶片，然后连接接地线。

5) 叶轮吊装

叶轮吊装采用 1800t 主吊吊叶尖朝上的两根叶片的叶根位置，布置吊带到叶根处的位置，300t 履带吊作为溜尾用，吊叶尖朝下的第三片叶片。每个叶片的叶尖侧布置缆风绳，防止吊装过程出现巨大摆动及旋转。吊带与缆风系统准备就绪后，拆除轮毂上的工装螺栓，缓慢抬吊叶轮。在抬吊到一定高度后，主吊继续抬升，辅吊跟进向里移动，进行叶轮翻身。叶轮达到竖直状态后，拆除辅助吊带及

叶片护板。带紧缆风，进行轮毂与机身对接。对接成功按要求进行螺栓紧固，并进行叶轮机械和液压锁锁定。拆卸轮毂吊座，叶轮完成安装。

表 2.3.1-1 主要船机设备一览表

序号	主要船机名称	单位	数量	用途	备注
1	顺一 1600	艘	1	风机安装	坐底式
2	拖航船 10000HP	艘	1	拖航、现场值班	
3	自航驳 3000t	艘	2	风机零部件运输	风机厂家运输
4	抛锚船 4000HP	艘	1	抛起锚	
5	抛锚船 2400HP	艘	1	抛起锚	
6	交通船	艘	2	海上交通等	
7	300t 履带吊	台	1	辅助风机安装	置于风机安装船上
8	发电机组 120kW	台	1	辅助发电	

2.3.2 海底电缆敷设主要施工工艺和方法

由于本项目调整前后场址及 110kV 三角岛上升压站位置不变，项目调整前后海缆敷设施工工艺及施工方案一致。

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与三角岛登陆点之间的 35kV 海底电缆的施工。根据水深要求，本场地采用深埋方式。场内 35KV 集电海缆优先选用带动态 DP 定位的施工船舶。

施工工序总体安排：海缆装船、运输，材料采购→现场准备工作→扫海→35kV 场间海缆施工（根据打桩顺序进行）→调试及试运行→完工验收。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

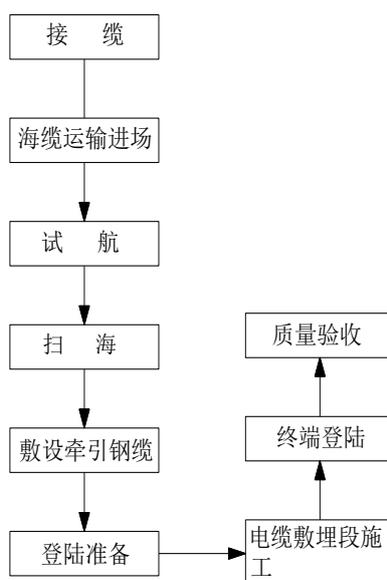


图 2.3.2-1 海缆敷设施工工艺

2.3.2.1 海底电缆敷设施工过程

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可进行过驳施工。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。

扫海作业时在海底只在路由中心线左右 0.5m 范围内进行扫海，摸清、扫除路由上有碍埋设作业的所有障碍物。扫海使用 50kg 五齿锚，用锚链连接钢丝绳，由施工船尾拖扫海锚具，沿设计埋设路由按一定的速度（不大于每小时 2km），清除路由要求埋设段上的海床表层的障碍物，以保证埋设作业的顺利进行。

在扫海操作开始以前，施工单位应完成路由上正在生产的渔网和渔具的清除工作，并维持施工期间路由的清洁。若所选路由与其他管线发生交越，施工船将在其他管线两侧各 500m 范围外回收和重新施放扫海锚具以保证其他管线的安全。在扫海过程中回收上来的垃圾将储存在施工船上，等施工船施工完毕，靠岸后再拉到岸上进行处理。

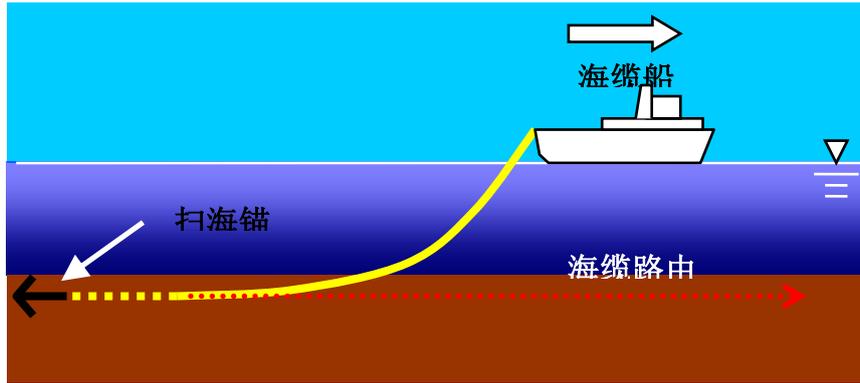


图 2.3.2-2 扫海清障示意图



图 2.3.2-3 扫海清障锚链示意图

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。本工程采用设置主牵引钢缆引导敷设船的施工方法：首先施工船根据 DGPS 定位就位于始端登陆点附近路由轴线上，由锚艇在电缆设计路由上抛设牵引锚，牵引锚和主牵引钢缆连接后开始敷设主牵引钢缆，直至将主牵引钢缆和施工船上卷扬机连接。施工时，由锚艇敷设主牵引锚。当施工至终端登陆点附近时，将主牵引钢缆与预先设置在终端登陆点侧的地锚相连接，牵引钢缆敷设时采用 DGPS 定位系统。

5) 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。

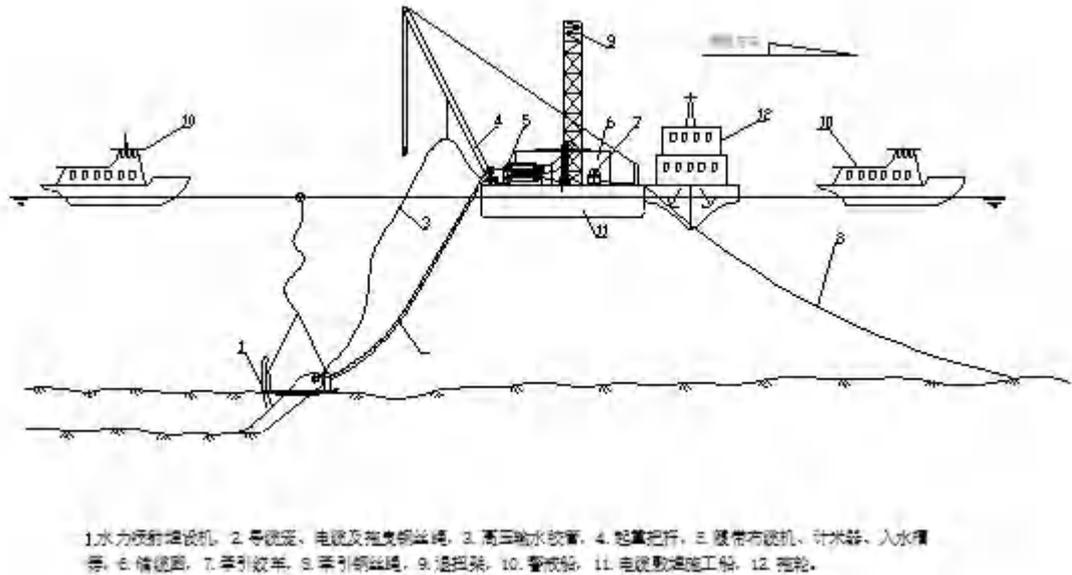


图 2.3.2-4 海底电缆敷设施工

①埋设机投放

电缆放入水槽后，船头电缆装入埋设机腹部，关上门板，采用吊机将埋设机缓缓吊入水中，搁置在海床面上。严格按照埋设机的投放操作规程，按照以下程序进行作业：埋设机起吊，脱离停放架；电缆装入埋设机腹部，关上门板并在埋设犁电缆出口处设置吊点，保证投放埋设犁时电缆的弯曲半径；埋设机缓缓搁置海床面；潜水员水下检查电缆与埋设机相对位置，并解除吊点；启动高压海水泵；启动埋深监测系统；启动牵引卷扬机；施工船起锚，开始牵引敷埋作业。

②埋深调节与控制

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

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

表 2.3.2-1 海缆施工主要设备一览表

序号	主要船机名称	数量	用途	备注
1	海缆埋设设备	1	挖沟作业	8.5×4.5×6.5m
2	发电机	1	登陆牵拉	2.5×2.5×6m
3	绞磨机	2	登陆牵拉	/



图 2.3.2-6 海缆登陆点现状照片

2.3.3 施工进度计划

本项目于 2020 年 11 月开工建设，其中 11 台风机于 2021 年 12 月并网投产，1 台风机（38#风机）于 2024 年 5 月建设完成。

2.3.4 土石方平衡

本工程共建设 12 台海上风机，根据场址区工程地质勘查资料和工程设计资料，10 台风机为单桩常规桩施工，2 台风机（38#、43#风机）为负压筒型基础施工。单桩基础及负压筒型基础施工过程中无清淤需要，均不产生弃渣。

海底电缆敷设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

调整后，本项目共建设 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，装机容量为 83.65MW，其中 11 台风机共分 3 回 35kV 集

电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期建设时均已建设完成，本项目建设不再考虑。

2.4.1 项目用海需求

广东省是能源消费大省，电力需求旺盛，能源供应对外依存度较高，省内一次能源资源匮乏，缺煤、少油、乏气，水能资源基本开发完毕。广东省能源结构仍以煤、油等化石能源为主，省内电源装机以火电机组为主，随着能源系统规模不断扩大，结构日趋复杂，运行安全风险凸显，迫切要坚持安全保供的底线思维，通过大力发展非化石能源提高能源自给能力，补齐产供储销体系短板，全面提升能源系统的安全性。在共同应对气候变化的背景下，全球能源正加速向低碳化、无碳化方向演变，我国明确提出二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和，“十四五”时期是实现碳达峰的关键期、窗口期，作为全国首批低碳试点省份，广东省能源绿色低碳发展面临更高要求，节能减排压力巨大，迫切需要加快能源结构优化调整步伐，发挥资源禀赋优势。

电力是目前海岛终端能源利用的主要形式。珠海周边有居民海岛电力基础设施薄弱，现主要依赖柴油机组供电，污染大、排放高、发电成本高达 3-4 元/kWh，政府补贴压力很大；海岛电网结构薄弱，输配电设备老化，网损很高，个别岛屿高达 20%。结合桂山海上风电项目开发，开展万山海岛电网联网工程、构建试验示范智能微电网、考虑海岛能源资源综合利用，统筹解决各主要海岛的电力供应问题，保障民生。

1、风机用海需求

本次调整后 12 台风机基础结构型式中，10 台为非嵌岩单桩基础，1 台（38# 风机）为多边形筒型基础，1 台（43# 风机）为圆形筒型基础。

根据本项目风机基础施工图，确定本项目每种类型的风机基础最大半径如下表 2.4.1-1。参照《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）“单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩 50m 为半径的圆为界”。确定本项目每种类型的风机用海半径如下表 2.4.1-1。根据计算，风机用海面积 12.4871 公顷。

表 2.4.1-1 风机用海半径统计表

风机编号	风机基础类型	中心点至最外	用海半	用海面积
------	--------	--------	-----	------

		缘距离 (m)	径 (m)	(公顷)
38#	多边形筒型基础 (边长 18.475m)	18.48	68.48	1.4733
39#	单桩基础 (直径 12.82m)	12.82	56.41	0.9997
40#	单桩基础 (直径 11.87m)	11.87	55.94	0.9831
41#	单桩基础 (直径 12.26m)	12.26	56.13	0.9898
42#	单桩基础 (直径 12.31m)	12.31	56.16	0.9908
43#	圆形筒型基础 (直径 17.77m)	17.77	58.89	1.0895
44#	单桩基础 (直径 12.80m)	12.80	56.40	0.9993
45#	单桩基础 (直径 12.33m)	12.33	56.17	0.9912
46#	单桩基础 (直径 12.36m)	12.36	56.18	0.9915
47#	单桩基础 (直径 12.47m)	12.47	56.24	0.9937
48#	单桩基础 (直径 12.19m)	12.19	56.10	0.9887
49#	单桩基础 (直径 12.63m)	12.63	56.32	0.9965

2、海底电缆用海需求

根据项目需要，11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，35kV 海底电缆总长为 28.02km。

根据海籍调查规范，海上风力发电使用的海底电缆用海面积按照电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 计算，因集电线路用海面积与风机用海面积有部分重叠，风机为透水构筑物用海，海域使用收费标准高，所以集电线路用海面积中应扣除和风机重叠部分。35kV 集成电路海底电缆自身宽度约 15cm，因此 35kV 海缆用海范围为实测海缆中线向两侧外扩 10.075m。根据计算，项目 35kV 集电海底电缆用海面积为 52.3094 公顷。

2.4.2 项目申请用海情况

调整前，按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资源发〔2023〕234 号），本项目海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类），按《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目海域使用类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。项目申请用海总面积 90.5122 公顷，其中透水构筑物用海面积 15.5405 公顷，海底电缆管道用海面积 74.9717 公顷，申请用海期限为 26 年。

调整后，本项目用海类型及用海方式不变，项目申请用海总面积为 64.7965 公顷，其中透水构筑物用海面积为 12.4871 公顷，海底电缆管道用海面积为 52.3094 公顷，海底电缆管道拟进行立体设权，申请用海范围涉及三角岛现状人

工岸线 21.96m。项目申请用海期限不变，为 26 年（2020 年 1 月 22 日至 2046 年 1 月 21 日）。

项目调整前后申请用海面积变化见表 2.4.2-1。项目调整后宗海位置图见图 2.4.2-1，宗海界址图见图 2.4.2-2。

表 2.4.2-1 用海情况变化表

项目		单位	批复方案	建设方案	变化	变化原因
用海面积	风机	公顷	15.5405	12.4871	-3.0534	风机数量减少 3 台，基础结构发生调整
	35kV 海底电缆		74.9717	52.3094	-22.6623	线路平面布置调整，长度由 39.24km 减小为 28.02km
	总计		90.5122	64.7965	-25.7157	项目平面布置发生改变，风机数量、基础结构发生变化，海缆布置发生变化

珠海桂山海上风电场示范项目二期宗海位置图

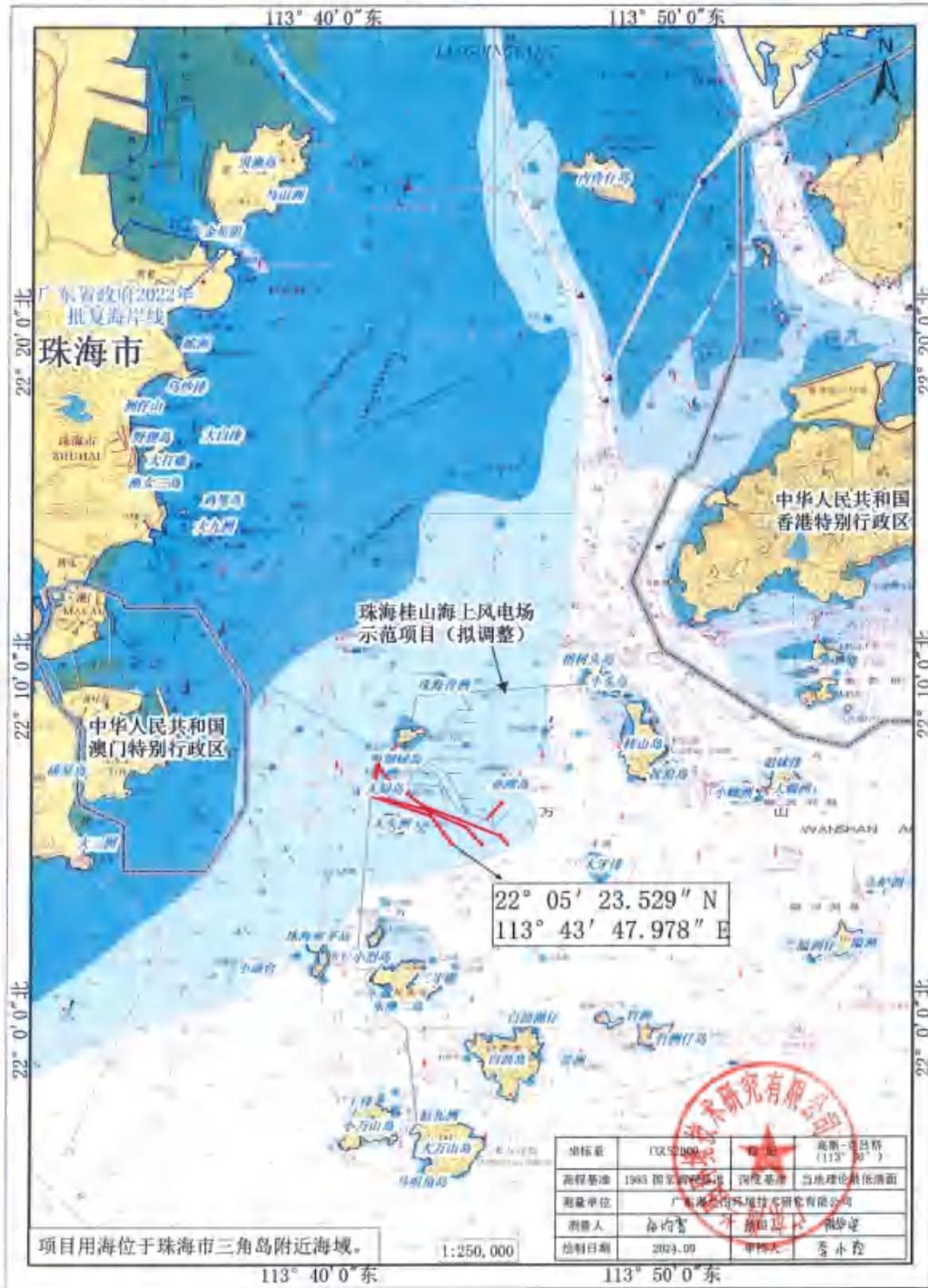


图 2.4.2-1 宗海位置图

珠海桂山海上风电场示范项目二期工程宗海界址图

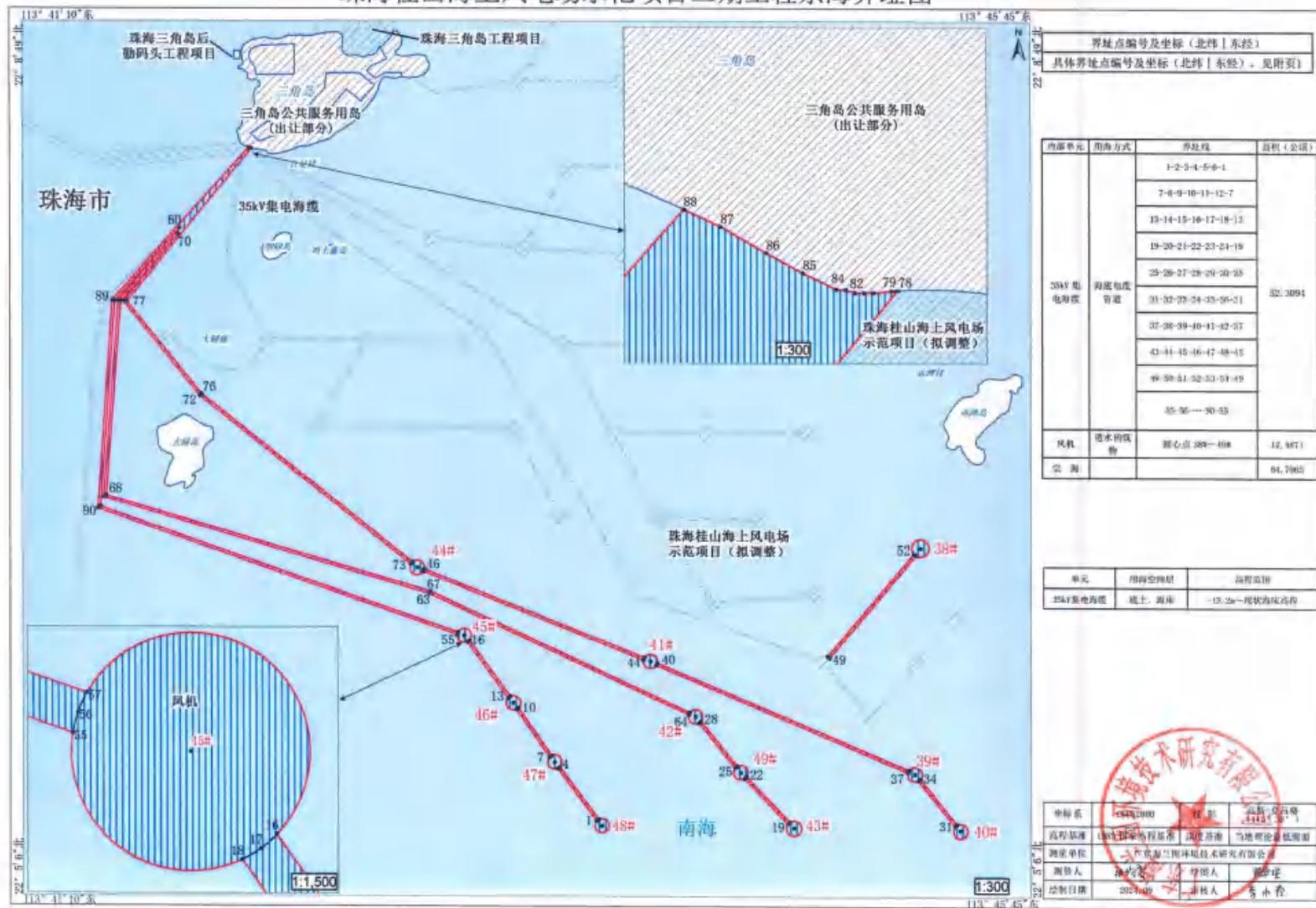


图 2.4.2-2 宗海界址图

表 2.4.2-2a 宗海界址续表 1

附表 1: 珠海桂山海上风电场示范项目二期工程宗海界址点续表 1

界址点的编号及坐标(北纬东经)					
38#	22°06'34.447"	113°45'15.267"	22	22°05'35.972"	113°44'27.536"
39#	22°05'36.610"	113°45'13.596"	23	22°05'35.728"	113°44'27.307"
40#	22°05'22.231"	113°45'26.027"	24	22°05'35.519"	113°44'27.027"
41#	22°06'05.421"	113°44'01.349"	25	22°05'38.245"	113°44'24.460"
42#	22°05'51.293"	113°44'13.630"	26	22°05'38.472"	113°44'24.712"
43#	22°05'22.868"	113°44'40.484"	27	22°05'38.656"	113°44'25.007"
44#	22°06'29.505"	113°42'57.614"	28	22°05'50.100"	113°44'15.113"
45#	22°06'12.095"	113°43'10.465"	29	22°05'49.880"	113°44'14.870"
46#	22°05'54.826"	113°43'23.836"	30	22°05'49.689"	113°44'14.566"
47#	22°05'39.712"	113°43'35.092"	31	22°05'23.419"	113°45'24.549"
48#	22°05'23.529"	113°43'47.978"	32	22°05'23.650"	113°45'24.806"
49#	22°05'37.048"	113°44'25.946"	33	22°05'23.830"	113°45'25.096"
1	22°05'24.775"	113°43'46.549"	34	22°05'35.410"	113°45'15.084"
2	22°05'24.995"	113°43'46.814"	35	22°05'35.186"	113°45'14.836"
3	22°05'25.165"	113°43'47.113"	36	22°05'34.999"	113°45'14.537"
4	22°05'38.463"	113°43'36.525"	37	22°05'37.019"	113°45'11.678"
5	22°05'38.246"	113°43'36.264"	38	22°05'37.332"	113°45'11.787"
6	22°05'38.072"	113°43'35.960"	39	22°05'37.621"	113°45'11.954"
7	22°05'41.003"	113°43'33.703"	40	22°06'05.016"	113°44'03.258"
8	22°05'41.214"	113°43'33.973"	41	22°06'04.711"	113°44'03.153"
9	22°05'41.377"	113°43'34.280"	42	22°06'04.414"	113°44'02.982"
10	22°05'53.537"	113°43'25.224"	43	22°06'05.792"	113°43'59.432"
11	22°05'53.326"	113°43'24.954"	44	22°06'06.115"	113°43'59.538"
12	22°05'53.163"	113°43'24.647"	45	22°06'06.399"	113°43'59.696"
13	22°05'56.092"	113°43'22.423"	46	22°06'29.131"	113°42'59.540"
14	22°05'56.301"	113°43'22.679"	47	22°06'28.816"	113°42'59.438"
15	22°05'56.475"	113°43'22.993"	48	22°06'28.524"	113°42'59.276"
16	22°06'10.830"	113°43'11.878"	49	22°06'06.334"	113°44'50.364"
17	22°06'10.615"	113°43'11.614"	50	22°06'32.551"	113°45'14.015"
18	22°06'10.446"	113°43'11.308"	51	22°06'32.750"	113°45'13.720"
19	22°05'24.006"	113°44'38.832"	52	22°06'32.972"	113°45'13.477"
20	22°05'24.251"	113°44'39.064"	53	22°06'06.756"	113°44'49.826"
21	22°05'24.458"	113°44'39.340"	54	22°06'06.575"	113°44'50.106"

测绘单位	广东海兰国际环境技术有限公司		
测量人	蔡永玲	绘图人	陈华理
绘制日期	2024.09	审核人	张均霄

表 2.4.2-2b 宗海界址续表 2

附页 1：珠海桂山海上风电场示范项目二期工程宗海界址点续表 2

界址点的编号及坐标(北纬东经)					
55	22°06'12.382"	113°43'08.530"	88	22°08'16.932"	113°42'11.739"
56	22°06'12.698"	113°43'08.615"	89	22°07'37.996"	113°41'34.197"
57	22°06'13.000"	113°43'08.763"	90	22°06'44.599"	113°41'30.192"
58	22°06'45.051"	113°41'30.931"			
59	22°07'37.725"	113°41'34.881"			
60	22°07'56.257"	113°41'52.748"			
61	22°07'37.874"	113°41'35.860"			
62	22°06'47.430"	113°41'31.743"			
63	22°06'22.867"	113°43'00.955"			
64	22°05'51.763"	113°44'11.737"			
65	22°05'52.074"	113°44'11.859"			
66	22°05'52.355"	113°44'12.037"			
67	22°06'23.481"	113°43'01.206"			
68	22°06'47.908"	113°41'32.487"			
69	22°07'37.610"	113°41'36.544"			
70	22°07'54.710"	113°41'52.252"			
71	22°07'37.706"	113°41'37.337"			
72	22°07'13.443"	113°41'58.154"			
73	22°06'30.377"	113°42'55.883"			
74	22°06'30.647"	113°42'56.075"			
75	22°06'30.888"	113°42'56.322"			
76	22°07'13.909"	113°41'58.655"			
77	22°07'37.702"	113°41'38.241"			
78	22°08'16.686"	113°42'12.440"			
79	22°08'16.685"	113°42'12.422"			
80	22°08'16.679"	113°42'12.360"			
81	22°08'16.679"	113°42'12.330"			
82	22°08'16.679"	113°42'12.300"			
83	22°08'16.689"	113°42'12.270"			
84	22°08'16.689"	113°42'12.240"			
85	22°08'16.739"	113°42'12.129"			
86	22°08'16.799"	113°42'12.010"			
87	22°08'16.879"	113°42'11.860"			

测绘单位	广东海兰图环境技术研究有限公司		
测量人	李心霞	绘图人	薛华军
绘制日期	2024.09	审核人	张均豪

2.5 项目调整用海必要性

项目建设必要性与用海必要性原论证报告书结论相同,本补充论证报告不再重复分析。本节主要对项目调整用海必要性进行分析。

2.5.1 风电机组调整的必要性分析

原论证报告书评审后,为优化利用场址风能资源及风机的布置,减少用海面积,从统筹考虑、体现节约集约用海为目标,本项目调整后采用 12 台风机,其中 3 台单机容量为 6.45MW, 8 台单机容量为 7MW, 1 台单机容量为 8.3MW,与原论证方案采用的 15 台单机容量为 5.5MW 的明阳智能风机相比,调整后所选机型单机容量和叶轮直径与原论证方案的所选机型存在差异,导致风机整列的总台数有所不同,因此为了获得更好的发电效益,降低风机间的尾流影响,调整后方案与原论证方案在阵列方位角上存在一定角度的整体偏差。

调整后本项目的风机单机容量变大,风机台数有所减少,提高了发电效率,项目用海总面积减小,从而体现最大化利用海域资源。因此,项目风电机组单机容量、台数、排布的调整是必要的。

2.5.2 35kV 集电海缆调整的必要性分析

项目风机位置有所调整,35kV 集电线路接入的三角岛上升压站位置亦有调整,35kV 集电线路承担集电任务,需要根据施工和设计调整情况重新排布,其调整是必要的。

综上,本项目建设用海调整是必要的。

3 项目所在海域概况

3.1 海洋资源概况

3.1.1 岸线资源

根据广东省政府 2022 年批复海岸线，统计项目论证范围内海岸线总长度 13.44km，岸线类型包括人工岸线、自然岸线、其他岸线，其中人工岸线长度为 10.93km，基岩岸线长度为 0.09km，其他岸线长度为 2.42km。

3.1.2 滩涂资源

珠海市滩涂面积 30.46 万亩，占全市土地面积 12.69%，其中超高滩 5260 亩，高滩 5040.4 亩，中滩 24112.1 亩，低滩 18894.2 亩，浅滩 251306.4 亩。按滩涂底质分为泥滩（占 88.15%）和砂石滩（11.85%）。在 268519.8 亩泥滩中生有咸水草的（草滩）3082 亩，有红树林的（林滩）5689 亩，增养牡蛎的 10917 亩，光滩 248832 亩。

全市滩涂可分 4 个区：1）磨刀门口门滩涂区，包括鹤洲北、鹤洲南、三灶湾、洪湾西、洪湾北、洪湾南等 6 片，占滩涂总面积 37.61%。该区淡水来源充足，可发展鱼、稻、蔗、果的综合性生产。2）东部沿海滩涂区，包括金鼎、唐家、香洲等片，占滩涂总面积 14.77%。3）西部沿海滩涂区，包括蠕蛛和平沙两片，占滩涂总面积 20.83%。4）近岸岛屿滩涂区，包括淇澳、横琴、三灶、南水、高栏诸岛，占滩涂总面积 26.78%，滩涂形成于岛屿湾内，小片分散，类型多种多样，以浅泥滩和中泥滩居多。

3.1.3 岛礁资源

本项目论证范围内的海岛共 84 个，其中无居民海岛 81 个，有居民海岛 4 个。有居民海岛有横琴岛、桂山岛、大万山岛、东澳岛。根据《中国海域海岛地名志·广东卷》，无居民海岛中已开发的有 30 个，尚未开发的有 51 个，已开发的有赤滩岛、大九洲、大碌岛、大头洲、大牙排、大蚬洲、东澳排、东澳七岛、横山岛、九洲头、牛头岛、榕树头岛、三角岛、小万山岛、小蚬洲、枕箱岛、珠海黄茅岛、珠海青洲等，未开发的有白沥大排、白沥小排、白沥洲仔、百足排、茶

壶盖、赤滩排、大九洲西岛、大烈东岛、大碌礁、大三洲、大牙排北岛、大蚬洲东岛、东澳二岛、东澳六岛、东澳三岛、东澳四岛、东澳五岛、东澳一岛等。

3.1.4 港口资源

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

各主要港区现状情况如下：

(1) 高栏港区是珠海港的主体港区，目前已开发南迳湾和南水两个作业区。南迳湾作业区已成为珠江三角洲地区油气品转运基地，南水作业区已依托电厂、钢厂等建成企业专用码头及公用码头。

(2) 桂山港区位于珠江出海口的万山群岛，是珠海港承担珠江三角洲地区油品水水转运的作业区和香港矿建材料供应的出口区。现已建成 1 个 5 万吨级多点系泊成品油泊位及 2 个 500 吨级成品油泊位，9 个以陆岛运输为主的万吨级以下生产性泊位。

(3) 九洲港区是以城市生产生活物资运输、客运及对香港集装箱喂给为主的港区，地处珠海市区相对繁华地带，港区发展受城市制约，需要逐步调整货运功能。目前建有多个多用途、客运、滚装泊位。

(4) 香洲、唐家港区位于珠江口西岸，斗门、井岸、洪湾港区位于内河水道，主要为珠海城市建设、生活物资运输和少量喂给香港的集装箱运输及陆岛交通服务。其中，香洲港区承担陆岛交通及少量的集装箱运输，未来港区功能需按城市规划调整；斗门港区主要开展对香港的集装箱运输；洪湾港区、唐家港区以件杂、油气品运输为主；井岸老港区需与城市环境相协调调整功能，新港区以散杂货运输为主。

3.1.5 航道资源

珠海港的航道分为西部、东部和市区三部分。西部高栏港区主航道可乘潮通航 5 万吨级船舶；东部桂山港区为天然深水航道；市区九洲港区原按乘潮通航万吨级船舶的标准设计，目前按乘潮通航 3000 吨级船舶的标准维护，香洲和唐家港区为天然水深航道。

青洲水道位于项目西侧，项目论证范围内航道包括快速船分隔航道、九洲港-曼谷航线、九洲航道、九洲港-马尼拉航线、九洲港-上海航线、榕树头航道。

表 3.1.5-1 项目论证范围航道一览表

序号	项目名称	方向距离
1	快速船分隔航道	北侧，约 4.45km
2	九洲港-曼谷航线	西侧，约 2.58km
3	九洲航道	西南侧，约 2.40km
4	九洲港-马尼拉航线	西侧，约 1.74km
5	九洲港-上海航线	西南侧，约 1.70km
6	青洲水道	西侧
7	榕树头航道	东北侧，约 4.83km

3.1.6 锚地资源

珠海港水域布置有 30 个锚地。九洲港、唐家港区利用头洲引航锚地、九洲港小型船舶引航锚地、头洲候潮和装卸锚地及桂山引航、检疫和装卸锚地等多处锚地；万山港区主要利用桂山国际锚地。桂山港区利用桂山国际锚地，高栏港区锚地位于高栏岛南侧。

项目论证范围内锚地包括珠海头洲引航锚地、珠海头洲候潮、过驳锚地、桂山引航锚地。

表 3.1.6-1 项目论证范围锚地一览表

序号	项目名称	方向距离
1	珠海头洲引航锚地	西侧，约 1.21km
2	珠海头洲候潮、过驳锚地	东南侧，约 500m
3	桂山引航锚地	东北侧，约 1.67km

3.1.7 渔业生产资源

根据《2023 年珠海经济运行简况》，2023 年，全市完成农林牧渔业总产值 126.44 亿元，同比增长 5.2%。其中，渔业产值 97.46 亿元，增长 7.3%；渔业生产对农林牧渔业稳定增长起到支撑性作用，海洋、内陆捕捞生产稳定，水产养殖稳产增收，水产品总产量增长 8.2%。现代海洋牧场加快建设，新增牡蛎养殖面积 2.7 万亩，新增 30 口深水网箱，新增 12 万立方水体养殖面积。

根据《2023 珠海统计年鉴》，2022 年，珠海市海水养殖面积 192924 亩，海洋捕捞 8644 吨，海水养殖 110836 吨。其中香洲区海洋捕捞 7484 吨，海水养殖 14500 吨。

3.1.8 风能资源

桂山海上风电场场址内有海上测风塔，现已拆除。场址周边有大头洲、赤滩岛及小蒲台岛屿测风塔，各测风塔分布图见图 3.1.8-1 所示。赤滩岛和小蒲台测风塔于 2010 年 5 月 13 日零时作为正式测风记录起始时间；大头洲测风塔于 2010 年 9 月 1 日零时作为正式测风记录起始时间，并于 2012 年 5 月 8 日重新更换设备持续测风；海上测风塔于 2012 年 7 月 8 日零时正式测风，配置两套相对独立的设备，分别以 1013#（SE）和 1014#（NW）标识，测风时间持续至 2016 年 6 月。



图 3.1.8-1 桂山海上风电场测风塔分布示意图

根据测风数据：

(1) 风电场风能资源较丰富

本风电场轮毂高度长年代的年平均风速为 7.19m/s，年平均风功率密度 376.53W/m²，风能资源较丰富。

(2) 风电场有效风速利用小时高

轮毂高度风速的有效小时数（ $3\text{m/s} < \text{小时平均风速} < 25\text{m/s}$ ）为 7910h，占全年时间的 90.3%，测风塔轮毂高度处的可利用有效风速小时数较高。

（3）风向较为稳定

风电场主导风向和主导风能方向基本一致，风向以 ESE、SE、NE 和 NNE 向最多，频率分别为 13.42%、12.98%、9.74% 和 9.09%；风能方向以 NNE、ESE、NE 和 SE 向最多，频率分别为 14.98%、13.82%、12.67% 和 12.43%。风向、风能分布相对集中。

（4）风速和风能分布集中

轮毂高度风速分布主要集中在 $2.0\text{m/s} \sim 11.0\text{m/s}$ 段，所占比例约为 86.85%；风能主要集中在 $6.0\text{m/s} \sim 15.0\text{m/s}$ 风速段，所占比例约为 83.64%，风速、风能频率分布均比较集中。

（5）风速和风功率密度年内变化幅度较大，而日变化幅度较小

轮毂高度风速和风功率密度年内变化幅度较大，在年内 11 月至翌年 2 月风速风功率密度相对较大，其中 12 月平均风速最大为 9.21m/s ，12 月平均风功率密度最高为 733.79W/m^2 ；6~8 月风速风功率密度相对较小，其中 8 月平均风速最小为 6.30m/s ，6 月份平均风功率密度最低为 246.22W/m^2 。

平均风速日内变化不大，变化范围为 $7.06 \sim 7.38\text{m/s}$ 之间；一日中 02 时~07 时、16 时~19 时风速相对较大，08 时~16 时、21 时~23 时风速相对较小。平均风功率密度日内变化也不大，变化范围为 $345.20 \sim 421.94\text{W/m}^2$ 。03 时~08 时风功率密度相对较高，12 时~23 时风功率密度相对较低。

（6）湍流强度和风切变指数均较小

各测风高度风速 $V=15.0\text{m/s}$ 时湍流强度在 $0.063 \sim 0.085$ 之间。湍流强度随高度的增加而减小，随着风速增大而呈现减少的趋势，测风塔综合切变指数为 0.060。

（7）重现期风速

本风电场轮毂高度处 50 年一遇 10min 平均风速为 51.0m/s ，50 年一遇 3s 极大风速为 68.9m/s 。

3.1.9 矿产资源

根据《珠海市矿产资源总体规划（2021-2025 年）》，已发现矿种 25 种，矿产

地 158 处，已查明资源储量 4 种，矿产地 15 处，主要矿产有建筑用花岗岩、建筑用砂岩、海砂、矿泉水和地热等。珠海市矿产资源种类不多，除建筑用花岗岩、建筑用砂岩、海砂、地热、矿泉水外，其他矿种矿产地多为矿点、矿化点或因压覆无法开采利用。

已发现能源矿产（地热）2 处，分布在金湾 1 处、斗门 1 处；非金属矿产（建筑用花岗岩、建筑用砂岩、海砂）8 处，分布在斗门区 2 处、金湾区 3 处、万山海域 3 处；水气矿产（矿泉水）5 处，分布在香洲 3 处、斗门 1 处，金湾 1 处。

3.1.10 旅游资源

珠海市旅游资源非常丰富，主要包括东澳岛的环岛游、东澳岛南沙湾泳场和游艇垂钓区、外伶仃岛和大万山岛游艇区和垂钓区、三灶岛金海滩泳场、高栏岛飞沙滩旅游度假区、荷包岛大南湾泳场、淇澳岛红树林保护区、九州东沙滩泳场，广州至万山群岛环海游等。

珠海渔女与情侣路是珠海市一道亮丽的风景线，香炉湾畔的珠海渔女雕像高 8.7m，重 10t，由 70 件巨型花岗岩石组合而成，渔女高举明珠向人们献宝已成为珠海市的象征。野狸岛以海燕桥与闹市区相连。远近闻名的情侣路，自南、东、西三个方向侧岛通过，位置优越，交通便利。全岛面积 42 万平方米，岛有四峰，最高处海拔不到 70 米，岛的大小和山体、高度很适合辟为旅游观光的风景区。

3.2 海洋生态概况

3.2.1 区域气候与气象

珠海地处祖国大陆南部，属南亚热带季风气候区，海洋性气候明显，光、热、水资源丰富。其主要气候特点是：气候温暖，雨量充沛，雨热同季，光照充足；冬不寒冷，夏不酷热，夏长冬短，春早秋迟；秋冬春旱，常有发生，夏涝风灾，危害较重。本节主要引用珠海气象站（59488）2004 年至 2023 年近 20 年的气象资料进行统计分析。

3.2.1.1 气温

本区域全年气温较高，近 20 年多年年平均气温为 23.3℃。最热的月份出现在 6~9 月份，多年月平均气温为 28.0℃以上；5 月和 10 月次之，多年月平均气

温为 25.6℃~26.3℃；最冷的月份出现在 1 月份，多年月平均气温为 15.4℃；12 月次之，多年月平均气温为 17.1℃。平均最高气温出现在 7 月份，为 29.1℃；平均最低气温出现在 1 月份为 15.4℃。历年最高气温为 38.7℃，出现在 2005 年 07 月 17 日；历年最低气温为 2.0℃，出现在 2016 年 01 月 24 日。

表 3.2.1-1 珠海市 2004 年至 2023 年近 20 年平均气温的月变化 (°C)

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
温度	15.4	16.6	19.3	22.7	26.3	28.3	29.1	28.7	28.2	25.6	21.9	17.1	23.3

3.2.1.2 降水

根据珠海气象站统计资料，项目所在区域近 20 年平均全年降水量约为 2042.26mm。每年最多降水量主要集中在夏半年(4~9月)，约占全年降水量 84%，最少降水量出现在冬半年(10~3月)，约占全年降水量的 16%。多年平均最大日降水量 189.68mm。

表 3.2.1-2 珠海市 2004 年至 2023 年近 20 年平均降水的月变化

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	全年
降雨量/mm	32.79	46.38	76.7	135.61	350.05	427.08	2042.26
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
降雨量/mm	258.16	325.44	217.35	103.31	46.32	23.07	

3.2.1.3 湿度

项目所在区域相对湿度较高，近 20 年多年平均值为 78.00%，3~8 月份平均相对湿度较大，多年月平均均在 80%以上，其余月份的平均相对湿度较小，多年月平均相对湿度在 80% 及以下，12 月份平均相对湿度最小，多年月平均相对湿度为 66.33%。

表 3.2.1-3 珠海市 2004 年至 2023 年近 20 年平均湿度的月变化

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	全年
湿度/%	71.53	78.68	82.71	84.10	84.06	83.51	78.00
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
湿度/%	80.85	82.48	77.77	71.42	72.53	66.33	

3.2.1.4 风况

本节收集大万山海洋站 2006 年 1 月~2019 年 12 月实测资料分析结果。大万山海洋站地处季风区，累年平均风速 5.0m/s，年主导风向为东南和东南东向，出

现频率分别为 20.1%和 18.5%，风向和风速随季节变化明显。秋、冬季盛行偏北风，春季仍以偏东风居多，夏季盛行东南季风，东南风频率最大，次多风向为东南东。秋、冬季风速较大，其中 1 月份风速较大，多年平均值为 6.4m/s。春、夏季风速较小，其中 6、8 月份风速最小，多年平均值为 3.6m/s。历年最大风速为 34.5m/s，风向东南，出现在 2018 年 9 月 16 日。

3.2.2 水文动力

本节夏季水文引用《珠海桂山海上风电海域夏季水文监测技术报告》2021 年 8 月在项目附近海域进行的大潮水文观测资料；冬季水文引用《珠海桂山海上风电海域冬季水文监测技术报告》2021 年 12 月在项目附近海域进行的大潮水文观测资料。

3.2.2.1 调查概况

(1) 夏季

夏季水文监测于 2021 年 8 月（夏季）进行，布设周日同步连续水文监测站 6 个，站位号为 GS1、GS3、GS4、GS7、GS10、GS12，监测内容包括温度、盐度、深度、海流（流速、流向）、气象参数（风速、风向、气温、气压、湿度）等。同时收集不少于 15 天的全潮水位监测资料站 2 个（C1-大九洲水文站、C2-红旗村水文站）。

表 3.2.2-1 水文监测站位坐标表（夏季）

监测项目	监测站名	监测时间	经度 (E)	纬度 (N)	现场平均水深 (m)
水位	C1 (大九洲)	15 天全潮	113°36'37.85"	22°14'39.41"	-
	C2 (红旗村)	15 天全潮	113°32'49.99"	22°06'42.37"	-
水文、气象	GS1	大潮	113°39'00.72"	22°13'08.34"	5.8
水文	GS3	大潮	113°47'32.52"	22°13'06.96"	13.1
水文	GS4	大潮	113°39'11.40"	22°07'42.12"	7.4
水文	GS7	大潮	113°48'16.80"	22°07'47.10"	16.9
水文	GS10	大潮	113°36'40.62"	22°03'16.86"	7.6
水文、气象	GS12	大潮	113°49'45.36"	22°03'15.78"	16.4



图 3.2.2-1 夏季水文观测站位图

(2) 冬季

冬季水文监测于 2021 年 12 月（冬季）进行，布设周日同步连续水文监测站 6 个，站位号为 GS1、GS3、GS4、GS7、GS10、GS12，监测内容包括温度、盐度、深度、海流（流速、流向）、气象参数（风速、风向、气温、气压、湿度）等。同时收集不少于 15 天的全潮水位监测资料站 2 个（C1-大九洲水文站、C2-红旗村水文站）。

表 3.2.2-2 水文监测站位坐标表（冬季）

监测项目	监测站名	监测时间	经度 (E)	纬度 (N)	现场平均水深 (m)
水位	C1 (大九洲)	15 天全潮	113°36'37.85"	22°14'39.41"	-
	C2 (红旗村)	15 天全潮	113°32'49.99"	22°06'42.37"	-
水文、气象	GS1	大潮	113°38'30.00"	22°13'24.96"	6.1
水文	GS3	大潮	113°47'28.26"	22°13'07.38"	12.6
水文	GS4	大潮	113°39'11.58"	22°07'42.54"	8.0
水文	GS7	大潮	113°47'16.56"	22°07'40.44"	13.3
水文	GS10	大潮	113°36'39.54"	22°03'16.62"	8.1
水文、气象	GS12	大潮	113°49'52.50"	22°03'14.52"	17.6



图 3.2.2-2 冬季水文观测站位图

3.2.2.2 潮汐

(1) 基面关系

珠海海洋站位于广东省珠海市，地理坐标：东经 $113^{\circ}35'00''$ ，北纬 $22^{\circ}15'00''$ ，各基面关系如下图 3.2.2-3。

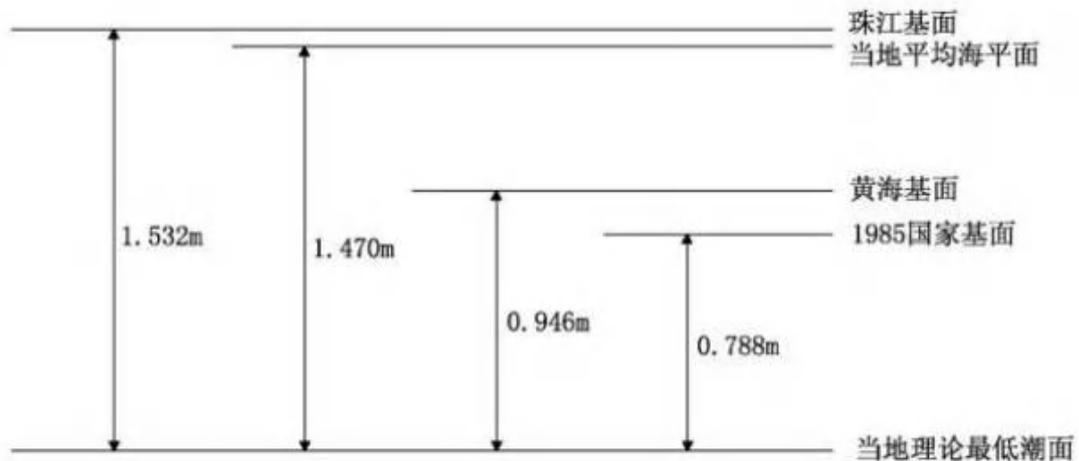


图 3.2.2-3 基面关系示意图

(2) 夏季

1) 实测水位统计分析

根据 C1（大九洲）、C2（红旗村）水位监测站的实测水位资料绘制水位过程曲线（1985 国家高程基准），资料时间为 2021 年 08 月 15 日 0 时至 8 月 30 日 0 时（15 天），如图 3.2.2-4、图 3.2.2-5 所示。

由图表可知，调查海区的潮汐在大潮期间一天多出现两个高潮和两个低潮，且相邻两个高（低）潮潮高不等，潮汐不等现象显著，调查海区的潮汐表现为不规则半日潮的特征。

图 3.2.2-4 C1 站（大九洲）水位过程曲线（不公开）

图 3.2.2-5 C2 站（红旗村）水位过程曲线（不公开）

2) 潮汐调和与分析

本报告根据收集的 C1、C2 站连续 15 天水位监测资料，采用最小二乘法原理计算得到各站各分潮的调和常数。

表 3.2.2-3 C1、C2 水位站潮汐调和常数统计分析（不公开）

表 3.2.2-3 列出了各站六个主要分潮的振幅和迟角。C1、C2 水位站的主要分潮调和常数相近，数值差别不大；分潮中以 M_2 分潮振幅最大，C1 站振幅为 0.48m，迟角为 54.88° ，C2 站振幅为 0.44m，迟角为 45.34° 。

3) 潮汐性质和潮汐特征值

采用主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 $F = (H_{O_1} + H_{K_1}) / H_{M_2}$ 作为划分潮汐性质的判据：

$F < 0.5$	正规半日潮
$0.5 \leq F < 2.0$	不正规半日潮
$2.0 \leq F < 4.0$	不正规全日潮
$4.0 \leq F$	正规全日潮

对 C1、C2 水位站实测水位资料进行统计和潮汐调和与分析，结果如表 3.2.2-3 和表 3.2.2-4 所示，C1 和 C2 站的潮汐性质系数 F 值分别为 1.39 和 1.49，说明调查海区的潮汐类型为不正规半日潮，各分潮中半日分潮占主导地位。由表 3.2.2-4 可知，监测期间调查海区最高水位为 1.66m，最低水位为 -0.75m，最大涨潮潮差为 1.52m，最大落潮潮差为 2.37m；平均落潮历时大于平均涨潮历时。

表 3.2.2-4 C1、C2 水位站潮汐特征值统计（不公开）

(3) 冬季

1) 实测水位统计分析

根据 C1 (大九洲)、C2 (红旗村) 水位监测站的实测水位资料绘制水位过程曲线 (1985 国家高程基准), 资料时间为 2021 年 11 月 25 日 0 时至 12 月 10 日 0 时 (15 天), 如图 3.2.2-6、图 3.2.2-7 所示。

由图表可知, 调查海区的潮汐在大潮期间一天多出现两个高潮和两个低潮, 且相邻两个高 (低) 潮潮高不等, 潮汐不等现象显著, 调查海区的潮汐表现为不规则半日潮的特征。

图 3.2.2-6 C1 站 (大九洲) 水位过程曲线 (不公开)

图 3.2.2-7 C2 站 (红旗村) 水位过程曲线 (不公开)

2) 潮汐调和分析

本报告根据收集的 C1、C2 站连续 15 天水位监测资料, 采用引入差比数方法计算得到各站各分潮的调和常数, 表 3.2.2-5 列出了各站六个主要分潮的振幅和迟角。

表 3.2.2-5 C1、C2 水位站潮汐调和常数统计分析 (不公开)

由表可知, C1、C2 水位站的主要分潮调和常数相近, 数值差别不大; 分潮中以 M_2 分潮振幅最大, C1 站振幅为 0.47m, 迟角为 58.08° , C2 站振幅为 0.43m, 迟角为 49.40° 。

3) 潮汐性质和潮汐特征值

采用主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 $F = (H_{O_1} + H_{K_1}) / H_{M_2}$ 作为划分潮汐性质的判据:

$F < 0.5$	正规半日潮
$0.5 \leq F < 2.0$	不正规半日潮
$2.0 \leq F < 4.0$	不正规全日潮
$4.0 \leq F$	正规全日潮

对 C1、C2 水位站实测水位资料进行统计和潮汐调和分析, 结果如表 3.2.2-5 和表 3.2.2-6 所示, C1 和 C2 站的潮汐性质系数 F 值分别为 1.05 和 1.09, 说明调查海区的潮汐类型为不正规半日潮, 各分潮中半日分潮占主导地位。由表 3.2.2-6 可知, 监测期间调查海区最高水位为 2.11m, 最低水位为 -0.74m, 最大涨潮潮差为 1.73m, 最大落潮潮差为 2.67m; 平均落潮历时小于平均涨潮历时。

表 3.2.2-6 C1、C2 水位站潮汐特征值统计（不公开）

3.2.2.3 海流

(1) 夏季

1) 实测海流

本次大潮期水文监测各监测站不同层次海流平面分布矢量图如图 3.2.2-8~图 3.2.2-11 所示,图 3.2.2-15~图 3.2.2-17 为各海流监测站不同层次海流过程矢量图。表 3.2.2-7 为涨、落潮流统计表。

从海流的流态来看,大潮期内除 GS10 站位存在一定的旋转流特性外,各站海流的往复流特征较为明显,各站中层和底层海流形态较为相似,表层流态受风的影响,与中底层海流流态存在一定差异,海流方向多数与等深线平行。

从各站海流过程矢量图可以看出,大潮监测期间,各站实测海流呈现不正规半日潮流特征。GS1 站和 GS4 站表层、中层、底层涨潮流主轴主要偏向 N,落潮流偏向 S;GS3 站、GS7 站和 GS12 站表层、中层和底层涨潮流主轴主要偏向 NW,落潮流偏向 SE;GS10 站各层海流方向不固定。

从流速来看,除 GS4 站和 GS10 呈现涨潮流速大于落潮流速的趋势,其余各站基本呈现落潮流速大于涨潮流速的趋势。监测期间最大涨潮流速为 100.70cm/s,流向为 329°,出现 GS3 站中层;最大落潮流速为 131.20cm/s,流向为 146°,出现在 GS3 站表层。空间分布上,靠近航道的 GS3 和 GS7 站流速相对较大,其次是 GS1 站和 GS4 站,而 GS10 和 GS12 站流速较小;在垂直方向上,最大流速及涨落潮平均流速呈现随水深增加而减小的趋势,在数值上,海区垂向平均流速、平均流向与海区中层平均流速、平均流向相近。

图 3.2.2-8 大潮期表层海流平面分布矢量图（不公开）

图 3.2.2-9 大潮期中层海流平面分布矢量图（不公开）

图 3.2.2-10 大潮期底层海流平面分布矢量图（不公开）

图 3.2.2-11 大潮期垂向平均海流平面分布矢量图（不公开）

图 3.2.2-12 GS1 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-13 GS3 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-14 GS4 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-15 GS5 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-16 GS10 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-17 GS12 站大潮海流矢量过程图（不公开）

表 3.2.2-7 大潮期涨、落潮流对比统计表（不公开）

2) 潮流

a、潮流性质

潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F = (W_{O_1} + W_{K_1}) / W_{M_2}$ 作为判别标准：

$F \leq 0.5$	正规半日潮流
$0.5 < F \leq 2.0$	不正规半日潮流
$2.0 < F \leq 4.0$	不正规全日潮流
$4.0 < F$	正规全日潮流

其中 W_{O_1} 为主要太阴日分潮流 O_1 的最大流速， W_{K_1} 为主要太阴太阳合成日分潮流 K_1 的最大流速， W_{M_2} 为主要太阴半日分潮流 M_2 的最大流速。

各站各层潮流性质系数 F 值见表 3.2.2-8。根据潮流调和和分析结果，GS7 站表层和底层、G12 站底层 F 值分别为 0.42、0.44 和 0.38，表现为正规半日潮，其余各站各层 F 值均大于 0.5 且小于 2.0，潮流类型为不正规半日潮流，由此可见，调查海区潮流类型主要为不正规半日潮流。

表 3.2.2-8 潮流性质系数表（不公开）

b、潮流的运动形式及潮流椭圆要素

调查海区各站各层 M_2 、 K_1 和 O_1 的潮流椭圆图如图 3.2.2-18~图 3.2.2-20 所示，椭圆要素如表 3.2.2-9 所示（采用引入差比数方法计算 O_1 、 S_2 、 M_{S4} 分潮的潮流椭圆要素，差比关系引自大万山海洋站长期水位观测数据，

$$h_1 = Amp_{K_1} / Amp_{O_1} = 1.23, \quad g_1 = Pha_{K_1} - Pha_{O_1} = 50^\circ, \quad h_2 = Amp_{S_2} / Amp_{M_2} = 0.38, \\ g_2 = Pha_{S_2} - Pha_{M_2} = 30^\circ, \quad h_4 = Amp_{M_{S4}} / Amp_{M_4} = 0.34, \quad g_4 = Pha_{M_{S4}} - Pha_{M_4} = 62^\circ)。$$

潮流运动可粗略分为往复流和旋转流，它可由潮流的椭圆旋转率 k 值来描述， k 值为潮流椭圆的短半轴与长半轴之比，其值介于 -1~1 之间。 k 的绝对值越小越接近往复流，越大越接近于旋转流。 k 值的正、负号表示潮流旋转的方向，正号表示逆时针方向旋转，负号表示顺时针方向旋转。从结果可知：

各站各层潮流 M_2 分潮占优。最大 M_2 分潮流出现在 GS3 站中层，流速为 59.60cm/s。

GS3 站表层和 GS10 站表层、中层、底层 M_2 分潮流的 k 值绝对值以大于 0.25 为主，表明以上站点层次表现为旋转流，其余各站各层次 M_2 分潮流 k 值绝对值以小于 0.25 表现为往复流，总体而言各站各层次以往复流为主。

本海区的主要分潮最大流速方向主要受附近地形的影响，方向多数与岸线或等深线平行，且中底层差异较小。

图 3.2.2-18 各站各层 M_2 分潮长轴分布图（不公开）

图 3.2.2-19 各站各层 K_1 分潮长轴分布图（不公开）

图 3.2.2-20 各站各层 O_1 分潮长轴分布图（不公开）

表 3.2.2-9 各潮站各层潮流椭圆要素（不公开）

c、理论最大可能潮流

根据《港口与航道水文规范》(JTS145-2-2015) 的规定，对于不正规半日潮流和不正规全日潮的海区，最大可能潮流 V_{\max} 取下列公式计算中的大值：

$$\vec{V}_{\max} = 1.295\vec{W}_{M_2} + 1.245\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{O_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{MS_4}$$

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1}$$

上式中 \vec{W}_{M_2} 、 \vec{W}_{S_2} 、 \vec{W}_{K_1} 、 \vec{W}_{O_1} 、 \vec{W}_{M_4} 和 \vec{W}_{MS_4} 分别为 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 、 M_4 和 MS_4 这 6 个主要分潮潮流椭圆长半轴矢量，计算结果列于表 3.2.2-10 中。

由表可知，理论最大可能潮流流速的最大值出现在 GS3 站的表层，最大可达 130.95cm/s，流向为偏西北向。各站的理论最大可能潮流流速表现为表层最大，最大可能潮流流向主要为 NW 向，少数为偏 SE 或偏 NE 向。

表 3.2.2-10 各站潮流可能最大流速及流向（不公开）

3) 余流

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动（天文潮）之后，剩余的部分流动。其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。大潮期水文监测各站各层余流对比见表 3.2.2-11，大潮期余流的分布图见图 3.2.2-21。

由图表可知，调查海区大潮期间余流主要介于 2.85cm/s~26.71cm/s。最大余流为潮流 GS12 站（表层，26.71cm/s，149°），最小余流为潮流 GS1 站（中层，2.85cm/s，225°），各站表层余流流速大于中层余流和底层余流，这是由于底摩擦耗能的结果，近海海底余流要小于表层；调查海区表层余流方向 GS3、GS7 和 GS12 以偏南向为主，其余站偏北向为主，中底层余流方向各站不固定，这与该

海区径流、风场和沿岸流相互作用相关。

图 3.2.2-21 大潮期各站余流图（不公开）

表 3.2.2-11 大潮期各站各层余流对比表（不公开）

（2）冬季

1) 实测海流

本次大潮期水文监测各监测站不同层次海流平面分布矢量图如图 3.2.2-22~图 3.2.2-25 所示，图 3.2.2-26~图 3.2.2-31 为各海流监测站不同层次海流过程矢量图。表 3.2.2-12 为涨、落潮流统计表。

从海流的流态来看，大潮期内除 GS10 站和 GS12 站存在一定的旋转流特性外，其余各站海流的往复流特征较为明显，各站中层和底层海流形态较为相似，表层流态受风的影响，与中底层海流流态存在一定差异，海流方向多数与等深线平行。

从各站海流过程矢量图可以看出，大潮监测期间，各站实测海流呈现不正规半日潮流特征。GS1 站、GS3 站、GS4 站、GS7 站和 GS12 站表层、中层和底层涨潮流主轴主要偏向 NNW 或 N 向，落潮流偏向 SSE 向或 S 向；GS10 站各层海流方向不固定。

从流速来看，除 GS12 表层和中层呈现涨潮流速大于落潮流速的趋势，其余各站各层流速基本呈现落潮流速大于涨潮流速的趋势。监测期间最大涨潮流速为 92.40cm/s，流向为 339°，出现在 GS3 站表层；最大落潮流速为 130.80cm/s，流向为 176°，出现在 GS1 站表层。空间分布上，靠近航道的 GS3 和 GS7 站流速相对较大，其次是 GS1 站和 GS4 站，而 GS10 和 GS12 站流速较小；在垂直方向上，最大流速及涨落潮平均流速呈现随水深增加而减小的趋势，在数值上，海区垂向平均流速、平均流向与海区中层平均流速、平均流向相近。

图 3.2.2-22 大潮期表层海流平面分布矢量（不公开）

图 3.2.2-23 大潮期中层海流平面分布矢量（不公开）

图 3.2.2-24 大潮期底层海流平面分布矢量（不公开）

图 3.2.2-25 大潮期垂向平均海流平面分布矢量（不公开）

图 3.2.2-26 GS1 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-27 GS3 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-28 GS4 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-29 GS7 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-30 GS10 站大潮海流矢量过程图（不公开）

图 3.2.2-31 GS12 站大潮海流矢量过程图（不公开）

表 3.2.2-12 大潮期涨、落潮流对比统计表（不公开）

2) 潮流

a、潮流性质

潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F = (W_{O_1} + W_{K_1}) / W_{M_2}$ 作为判别标准：

$F \leq 0.5$	正规半日潮流
$0.5 < F \leq 2.0$	不正规半日潮流
$2.0 < F \leq 4.0$	不正规全日潮流
$4.0 < F$	正规全日潮流

其中 W_{O_1} 为主要太阴日分潮流 O_1 的最大流速， W_{K_1} 为主要太阴太阳合成日分潮流 K_1 的最大流速， W_{M_2} 为主要太阴半日分潮流 M_2 的最大流速。

各站各层潮流性质系数 F 值见表 3.2.2-13。根据潮流调和分析结果，各站各层 F 值均大于 0.5 且小于 2.0，潮流类型为不正规半日潮流，由此可见，调查海区潮流类型主要为不正规半日潮流。

表 3.2.2-13 潮流性质系数表（不公开）

b、潮流的运动形式及潮流椭圆要素

调查海区各站各层 M_2 、 K_1 和 O_1 的潮流椭圆图如图 3.2.2-32~图 3.2.2-34 所示，椭圆要素如表 3.2.2-14 所示（采用引入差比数方法计算 O_1 、 S_2 、 M_{S_4} 分潮的潮流椭圆要素，差比关系引自大万山海洋站长期水位观测数据， $h_1 = Amp_{K_1} / Amp_{O_1} = 1.23$ ， $g_1 = Pha_{K_1} - Pha_{O_1} = 50^\circ$ ， $h_2 = Amp_{S_2} / Amp_{M_2} = 0.38$ ， $g_2 = Pha_{S_2} - Pha_{M_2} = 30^\circ$ ， $h_4 = Amp_{M_{S_4}} / Amp_{M_4} = 0.34$ ， $g_4 = Pha_{M_{S_4}} - Pha_{M_4} = 62^\circ$ ）。潮流运动可粗略分为往复流和旋转流，它可由潮流的椭圆旋转率 k 值来描述， k 值为潮流椭圆的短半轴与长半轴之比，其值介于 -1~1 之间。 k 的绝对值越小越接近往复流，越大越接近于旋转流。 k 值的正、负号表示潮流旋转的方向，正号表示逆时针方向旋转，负号表示顺时针方向旋转。从结果可知：

各站各层潮流 M_2 分潮占优。最大 M_2 分潮流出现在 GS3 站表层，流速为

40.20cm/s。

GS12 站中层和 GS10 站表层、中层、底层 M_2 分潮流的 k 值绝对值以大于 0.25 为主，表明以上站点层次表现为旋转流，其余各站各层次 M_2 分潮流 k 值绝对值以小于 0.25 表现为往复流，总体而言各站各层次以往复流为主。

本海区的主要分潮最大流速方向主要受附近地形的影响，方向多数与岸线或等深线平行，且中底层差异较小。

图 3.2.2-32 各站各层 M_2 分潮长轴分布图（不公开）

图 3.2.2-33 各站各层 K_1 分潮长轴分布图（不公开）

图 3.2.2-34 各站各层 O_1 分潮长轴分布图（不公开）

表 3.2.2-14 各潮站各层潮流椭圆要素（不公开）

c、理论最大可能潮流

根据《港口与航道水文规范》（JTS145-2-2015）的规定，对于不正规半日潮流和不正规全日潮的海区，最大可能潮流 V_{\max} 取下列公式计算中的大值：

$$\vec{V}_{\max} = 1.295\vec{W}_{M_2} + 1.245\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{O_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{MS_4}$$

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1}$$

上式中 \vec{W}_{M_2} 、 \vec{W}_{S_2} 、 \vec{W}_{K_1} 、 \vec{W}_{O_1} 、 \vec{W}_{M_4} 和 \vec{W}_{MS_4} 分别为 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 、 M_4 和 MS_4 这 6 个主要分潮潮流椭圆长半轴矢量，计算结果列于表 3.2.2-15 中。

由表可知，理论最大可能潮流流速的最大值出现在 GS7 站的表层，最大可达 100.53cm/s，流向为偏西北向。各站的理论最大可能潮流流速表现为表层最大，最大可能潮流流向主要为 NNW 向，少数为偏 N 或偏 NW 向。

表 3.2.2-15 各站潮流可能最大流速及流向（不公开）

3) 余流

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动（天文潮）之后，剩余的部分流动。其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。大潮期水文监测各站各层余流对比见表 3.2.2-16，大潮期余流的分布图见图 3.2.2-35。

由图表可知，调查海区大潮期间余流主要介于 0.69cm/s~20.24cm/s。最大余流为潮流 GS4 站（表层，20.24cm/s，181°），最小余流为潮流 GS7 站（底层，0.69cm/s，50°），各站表层余流流速大于中层余流和底层余流，这是由于底摩擦耗能的结果，近海海底余流要小于表层；调查海区各站余流以偏西南向为主，这

与该海区径流、风场和沿岸流相互作用相关。

图 3.2.2-35 大潮期各站余流图（不公开）

表 3.2.2-16 大潮期各站各层余流对比表（不公开）

3.2.2.4 海水温度和盐度

(1) 夏季

本次水文监测期间，温度、盐度统计如表 3.2.2-17 所示。

温度结果：GS1、GS3、GS4、GS7、GS10 和 GS12 站垂线平均温度分别为 29.0℃、27.8℃、28.3℃、27.5℃、27.8℃和 25.6℃，靠近岸边的 GS1、GS4 和 GS10 站温度相对较高，远离岸边的 GS3、GS7 和 GS12 站温度相对较低，平均温度随离岸距离增加呈现减小的趋势；在垂向上，温度基本呈现表层>中层>底层的趋势，垂向上温度存在一定差异，说明温度垂向混合较弱；本次大潮监测期间水温日变化主要受太阳辐射的影响，中午太阳辐射最强，在其影响下，最高水温出现在每天中午以后，正午附近时刻表层水温与中、底层相比温差较大，分层现象较为明显。

盐度结果：GS1、GS3、GS4、GS7、GS10 和 GS12 站垂线平均盐度分别为 21.9、25.0、25.6、27.7、28.0 和 30.5，靠近岸边 GS1 站盐度最低，远离岸边的外海 GS12 站盐度最高，平均盐度随离岸距离增加呈现增加的趋势；在垂向上，各站监测期间呈现底层>中层>表层的盐度变化趋势，靠近岸边的 GS1 站点盐度垂向差异较小，说明垂向混合较充分，外海站点盐度垂向差异较大，说明外海盐度垂向混合较弱。

表 3.2.2-17 大潮期各站温度、盐度统计（不公开）

(2) 冬季

本次水文监测期间，温度、盐度统计如表 3.2.2-18 所示。

温度结果：GS1、GS3、GS4、GS7、GS10 和 GS12 站垂线平均温度分别为 19.5℃、20.9℃、20.4℃、21.7℃、20.4℃和 22.1℃，靠近岸边的 GS1、GS4 和 GS10 站温度相对较低，远离岸边的 GS3、GS7 和 GS12 站温度相对较高，平均温度随离岸距离增加呈现增大的趋势；在垂向上，温度基本呈现底层>中层>表层的趋势，GS7 和 GS12 站垂向上温度差异很小，说明温度垂向混合较强。

盐度结果：GS1、GS3、GS4、GS7、GS10 和 GS12 站垂线平均盐度分别为

27.8、31.7、32.0、34.7、32.8 和 34.8，靠近岸边 GS1 站盐度最低，远离岸边的外海 GS12 站盐度最高，平均盐度随离岸距离增加呈现增加的趋势；在垂向上，各站监测期间呈现底层>中层>表层的盐度变化趋势，靠近外海的 GS7 和 GS12 站点盐度垂向差异较小，说明垂向混合较充分，近岸站点盐度垂向存在一定差异，说明近岸盐度垂向混合较弱。

表 3.2.2-18 大潮期各站温度、盐度统计（不公开）

3.2.2.5 波浪

根据大万山海洋站 1995 年 7 月-2019 年 12 月的波浪资料进行统计分析。本站近岸海域由于水深和地形的影响，从季节上看，波高的季节变化，冬半年月平均波高大于夏半年，月平均波高以 1~3、6~7 和 11~12 月份为最大达 1.4m；其余各月平均波高出现于热带气旋影响期间。各月最大波高以 5 月和 7~9 月份较大，均在 6.1m 以上，其中 9 月份最大达 9.5m；其余各月在 3.1~5.3m 之间。历年最大波高均在 2.3m 以上。历年最大波高多出现在 1、4~5、7~10 月间。其中以 8 月份出现机会最多。2011 年期间，本站最大波高极值为 9.5m，出现在 2011 年 9 月 29 日。

波高：各向年平均波高，以东南东、东北东、东、东南和西南西向最大均为 1.4m；西向最小为 1.0m。其余各向平均波高在 1.1~1.3m 之间。各向年最大波高，以东南东最大，达 9.5m；东南次之为 7.9m；其余各向最大波高均在 2.4~6.5m 之间。见表 3.2.2.6-1。冬季，平均波高均在 1.0~1.5m 之间；最大波高以偏北向的波高为最大达 3.1m；其余波向的最大波高均在 2.9m 以下。春季，平均波高均在 0.0~1.4m 之间；最大波高以偏东向的波高稍大，达 4.7m。其余波向的最大波高均在 0.0~3.5m 之间。夏季，各向平均波高以西南西和偏西向的波高为最大，达 1.6m 外，其余波向的平均波高差别不大，多在 1.0~1.5m 之间。各向最大波高，以南南东为最大达 6.5m，其次是东南向为 5.8m。其余波向的最大波高在 1.3~5.6m 之间。秋季，各向平均波高均在 0.0~1.5m 之间。各向最大波高以东和东南向为最大，达 4.5~4.8m；其余波向的最大波高均在 0.0~4.2m 之间。

表 3.2.2-19 全年及四季（代表月）波高（1995 年 7 月--2019 年 12 月） 单位：m

波向	冬平波	冬大波	春平波	春大波	夏平波	夏大波	秋平波	秋大波	年平均波	年大波
N	1.5	3.1	1.2	3.1	1.2	4.7	1.2	4.2	1.3	6.1
NNE	1.3	2.8	1.0	2	1.0	1.5	1.3	4.2	1.2	4.2
NE	1.4	2.8	1.3	2.5	1.3	2.8	1.2	2.6	1.3	5.5
ENE	1.5	2.8	1.4	3	1.4	3.3	1.3	2.9	1.4	5.3
E	1.5	3	1.3	4.7	1.4	4.5	1.3	4.5	1.4	4.7
ESE	1.5	2.9	1.4	3.5	1.5	5.6	1.4	3	1.4	9.5
SE	1.4	2.7	1.1	3.3	1.5	5.8	1.5	4.8	1.4	7.9
SSE	1.3	2.9	1.1	1.9	1.4	6.5	1.3	2	1.3	6.5
S	1.0	1.7	0.7	1.7	1.2	1.8	0.1	0.4	1.1	3
SSW	1.3	1.4	0.9	1.2	1.1	1.3	0.0	0	1.2	2.7
SW	1.3	2.1	0.5	1.5	1.4	2.5	0.6	1	1.2	2.7
WSW	1.4	1.7	0.0	0	1.6	2.6	0.4	1.1	1.4	4.4
W	1.0	1.2	0.8	1	1.6	1.8	0.3	1	1.0	2.7
WNW	1.1	1.7	1.1	1.6	1.4	2.4	0.0	0	1.2	2.4
NW	1.4	2	0.9	1.7	1.3	2.8	1.4	2.8	1.2	5.2
NNW	1.3	2.5	1.1	2	1.2	2.6	1.3	3.3	1.2	4.6

注：以1月份代表冬季，以4月份代表春季，以7月份代表夏季，以10月份代表秋季；年平均波表示累年的平均波高，年大波表示累年的最大波高；依此类推。

周期：从季节上分析，平均周期的年变化与平均波高的变化趋势相同，即冬半年的平均周期大于夏半年，最大周期和最大波高的产生均由热带气旋影响所致。据统计，多年平均周期为5.3s。历年最大周期均在6.8s以上。历年最大周期多出现在1、4、6~11月间。其中以8月份出现机会最多。2019年期间，本站最大周期极值为22.5s，出现在2019年5月21日。本站近岸波浪各向年平均周期，除东北东、东、东南东向的周期为5.4s外，其余各向年平均周期均在5.0~5.3s之间，各向平均周期的季节变化，其特点主要表现为冬春季普遍较小，而夏秋季逐渐增大。

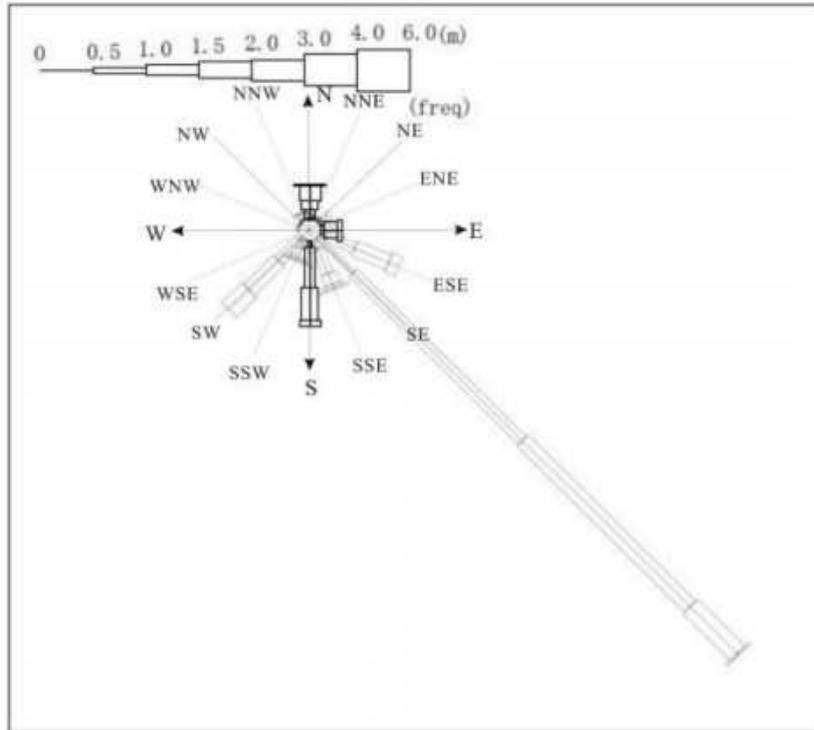


图 3.2.2-36 大万山海洋站全年波浪玫瑰图

3.2.3 地形地貌与冲淤状况

3.2.3.1 区域地质概况

珠海桂山海上风电场所处区域跨越华南褶皱系和南海构造带两个大地构造单元。近场区断裂构造发育，分别属于区域北东-北北东向断裂、沿海北西向断裂。近场区北西向断裂主要分布于东西两侧，由西向东分别有西江断裂带南段、白坭-沙湾断裂南段、淇澳-桂山岛东断裂、狮子洋断裂南段。近场区的北东-北东东向断裂主要分布于中部主要包括吉大-南屏断裂、尖沙咀-横琴断裂、沙头角-深开断裂和唐家-山塘等断裂近场区共有 8 条断裂，见图 3.2.3-1 及表 3.2.3-1，其中北西向断裂活动性较强，如珠江口内的狮子洋断裂南段、白坭-沙湾断裂南段晚更新世至全新世早期有活动，这是本地区断裂活动的一个明显特点。北东向断裂现代构造活动较弱，最新活动时代为中更新世，无晚更新世以来活动断裂。



图 3.2.3-1 近场区地震构造图

表 3.2.3-1 珠海桂山风电场场区附近断裂活动性

编号	名称	区内长度 (km)	产状 走向/倾向/倾角	性质	最新活动时代	距场区的最小 直线距离 (km)
f1	西江断裂带	30	NWW//	正走滑	Q ₃	23
f2	白坭-沙湾断裂南段	30	NNW/SW	正断	Q ₃	17
f3	淇澳-桂山岛东断裂	40	NNW//	正断	Q ₂	8
f4	狮子洋断裂	150	320/SW/50-85	正断	Q ₃	24
f5	吉大-南屏断裂	20	NEE//	正断	Q ₂	19
f6	尖沙咀-横琴断裂	55	50/NW/45-65	逆断	Q ₂	10
f7	沙头角-深井断裂	15	40/NW/60-70	逆断	Q ₂	17
f8	唐家-山塘断裂	20	50/NW/65-70	正断	Q ₂	29

3.2.3.2 风电场地形地貌

珠海桂山海上风电场属于近海风电场，场址区位于伶仃洋水域，伶仃洋是珠江喇叭口形的河口湾，湾顶在虎门一带，宽约 3km，中部宽约 27km，在澳门—香港之间宽 58km。伶仃洋水下地形复杂，可分为两槽三滩。内伶仃岛以北发育中部浅滩（矾石浅滩），中部浅滩以东称东槽，又称矾石水道，水深大于 10m，向南接暗士顿水道，水深达 20m~49m。中部浅滩以西为西槽，又称伶仃水道，水深较浅，内伶仃岛以南达 10m 以上。西槽以西为西滩，水深一般为 2m~4m，

东槽以东为东滩，水深一般为 3m~4m。

桂山风电场二期工程近场区分布有大大小小 8 个岛屿，以低丘为主，场区距离面积最大的桂山岛最近距离约 7.5km。场区海底地貌形态简单，水深介于 6m~11m 之间，地形方向总体上呈近 SN~NNE 方向伸展，在岛屿附近地形坡降变化明显，最大坡角约 13.2°。

场址区水深示意图见图 3.2.3-2。

图 3.2.3-2 风电场场址区水深示意图（不公开）

3.2.3.3 风电场冲淤状况

本节引用《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海洋环境影响报告书（报批稿）》相关内容，历史资料与工程勘测表明，桂山海上风电场工程海域自然环境良好，工程区附近泥沙来源有限，多次现场实测资料、泥沙来源及水深变化对比分析表明，年平均含沙量仅在 $0.08\text{kg}/\text{m}^3\sim 0.10\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。工程海域水深相对较深，底质泥沙以粘土质粉沙为主，处于万山群岛与大陆环绕之间，周边无明显的滩槽交换过程。

由图 3.2.3-3 可知，1976 年至 1986 年期间，变化比较明显的是澳门附近海域，呈淤积状态，由于有人工和自然两方面的原因，淤积较明显。大、小横琴岛之间的中心沟在 1976 年有 1m 以上的水深，到 1986 年已全部被堵死变成中心湖，原先的 2 个小岛合并成了 1 个大岛，即横琴岛。凼仔岛与路环岛之间的凼仔水道 1976 年水深在 1m 以上，到 1986 年全部淤积成小于 1m 的浅滩，凼仔岛与路环岛被浅滩连接起来，但大潮时高潮时仍有水相隔开，尚未成陆。澳门水道亦淤积变浅，1976 年小横琴北面有一条 2m 的深槽一直连接到凼仔水道，但到 1986 年全部消失变成 1m 以浅。环澳门半岛，1976 年有一条 2m 的深槽从澳门内港一直通向外海，但到 1986 年，澳门内港至外海 2m 的深槽基本消失，2m 深槽仅距澳凼大桥 1000m 左右的外海出现，2m 的深槽向外海前进了 4000m 左右。北面澳门半岛的浅滩也向海淤进了 200m~600m。

1986 年至 2005 年期间，变化较明显的是研究区的西北部 10m 以浅的海域，海床总体呈现向外海淤积前进为主，局部海床出现冲刷。横琴岛北面马骝洲水道变化最明显，1986 年两侧海岸最窄处都超过 2250m，由于水道南北两侧海岸均向海推进，原来的大、小马骝洲岛跟北面陆地连接起来，岛屿消失，浅滩和岛屿

全部变成陆地，马骝洲水道整体变窄，最宽处也不超过 500m。马骝洲水道北面海岸线向海推进最大达 1500m，南侧海岸向海推进亦达 900m 以上。澳门水道继续淤浅，1986 年在澳凼大桥和友谊大桥之间的 2m 深槽，继续向外海退缩，后退幅度超过 1500m。澳门半岛海岸线亦向海推进，推进幅度最大超过 700m。凼仔岛与路环岛之间浅滩到 2005 年已填筑成陆，两岛合并成一个大岛，即凼路岛。凼路岛东侧，1986 年 2m 等深线紧贴岸边，但由于澳门机场的建设，直接填海成陆，2m 等深线消失。5m 等深线，北面约 3700m 长的等深线成冲刷状态，等深线向陆方向前进了 800m 左右；南面等深线成淤积状态，等深线向海后退最大达 2700m，位于澳门机场以东。10m 等深线主要向海退缩，海退呈现淤积状态，其中大头洲东南侧等深线变化最大，向东南侧后退超过 2500m。1986 年至 2005 年期间，桂山岛附近岸线和等深线亦变化较明显，由于人工填筑，原来的桂山岛、中心洲、牛头岛连接在一起，合并大桂山岛，岸线和周边等深线变化剧烈。研究区东南面的万山群岛及 20m 等深线变化不明显，处于相对稳定的状态。

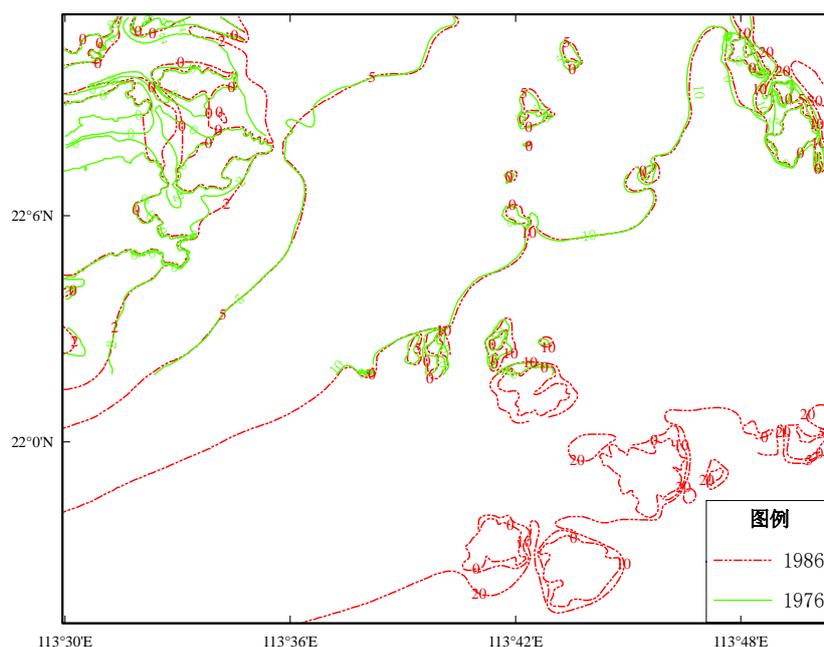


图 3.2.3-3 1976 年至 1986 年岸线及等深线变化分布图

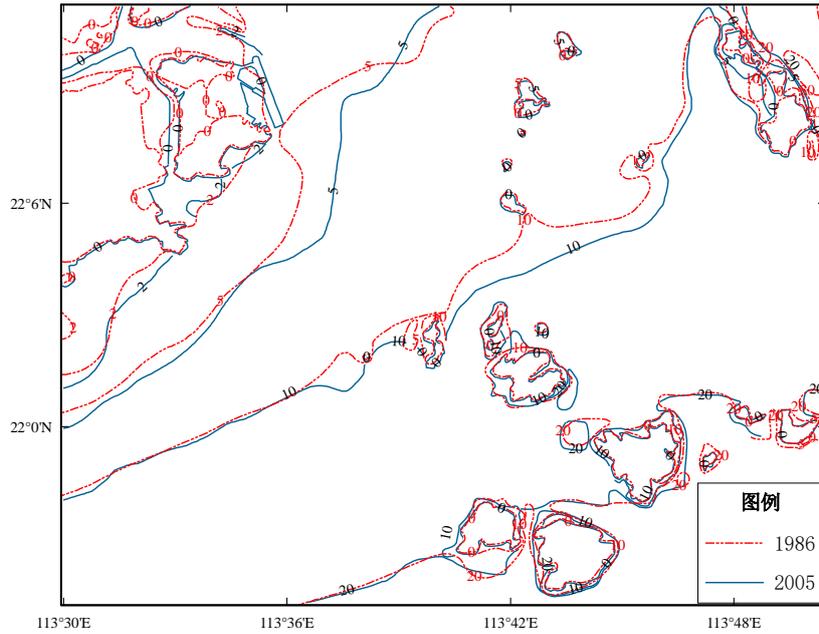


图 3.2.3-4 1986 年至 2005 年岸线及等深线变化分布图

3.2.4 工程地质

本节内容引自《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程施工图设计阶段岩土工程勘测报告》，分别于 2019 年 5 月、11 月，2020 年 1 月、2 月开展了工程地质钻探、取样、原位测试等外业工作。

(1) 岩土体工程地质分层

场区范围内本次勘测揭露的岩土体按岩土性质和成因可分为 29 层，详细情况见表 3.2.4-1。

表 3.2.4-1 岩土分层表

序号	岩土名称		状态	岩土层编号	地层时代	成因	
1	软土	淤泥	流塑	① ₁	全新世 Q_4^m	海相沉积	
2		淤泥、淤泥质土	流塑	① ₂			
3		淤泥质土	流塑	① ₃			
4		粉砂混淤泥	松散	① ₄			
5	黏性土	粉质黏土	软塑，局部可塑	① ₅	晚更新世晚期	陆相沉积	
6	黏性土	粉质黏土	可塑	② ₁			
7	砂土	粉砂	稍密~中密	② ₂			Q_3^{al+pl}
8		中砂	稍密~中密	② ₄			
9	黏性土	粉质黏土	软塑	③	晚更新世中期	海陆过渡相沉积	
10		粉质黏土	可塑，局部硬塑	③ ₁			
11	砂土	粉砂	中密~密实	③ ₂			Q_3^{m+al}
12		粉砂混黏性土	中密	③ ₂₋₁			

13		细砂	中密	③ ₃		
14		中砂	中密~密实	③ ₄		
15		中砂混黏性土	中密	③ ₄₋₁		
16		粗砂	密实	③ ₅		
17	砂土	粉砂	密实, 局部中密	④	晚更新世早期 Q_3^{al}	河流冲积相沉积
18		中砂	密实, 局部中密	④ ₂		
19		中砂混黏性土	密实, 局部中密	④ ₂₋₁		
20		粗砂	密实	④ ₃		
21		粗砂混黏性土	密实	④ ₃₋₁		
22		砾砂	密实	④ ₄		
23	黏性土	粉质黏土	硬塑, 局部可塑	④ ₅		
24		粉质黏土	可塑	④ ₆		
25	黏性土	砂质黏性土	硬塑	⑤	-	残积
26	花岗岩		全风化	⑥ ₁	燕山第三期	--
27			强风化	⑥ ₂		--
28			中等风化	⑥ ₃		--
29			微风化	⑥ ₄		--

(2) 岩土层特征

对各岩土层工程特征分述如下:

淤泥 (层号①₁): 灰色, 质纯、滑腻, 局部含少量粉细砂颗粒, 偶见贝壳碎屑, 含有机质, 略具腥臭味。饱和, 流塑, 海相沉积。场区分布广泛, 厚度为 1.00m~7.00m, 层底面高程为-25.40m~-9.80m, 层顶面高程为-20.84m~-8.30m。标准贯入实测击数<1 击。

淤泥、淤泥质土 (层号①₂): 灰色, 含少量粉细砂颗粒, 局部夹薄层粉砂, 偶见贝壳碎屑, 含有机质, 略具腥臭味。饱和, 流塑, 海相沉积。场区分布广泛, 厚度为 2.00m~8.00m, 层底面高程为-37.52m~-15.10m, 层顶面高程为-34.12m~-9.10m。标准贯入实测击数<1 击。

淤泥质土 (层号①₃): 灰、深灰色, 含少量粉砂颗粒, 局部夹粉砂薄层, 含少量贝壳碎屑, 含有机质, 略具腥臭味。饱和, 流塑, 海相沉积。场区分布广泛, 厚度为 1.30m~9.00m, 层底面高程为-40.70m~-14.30m, 层顶面高程为-35.80m~-9.80m。标准贯入实测击数一般 1~4 击。

粉砂混淤泥 (层号①₄): 灰色, 主要矿物成分为石英、长石, 混多量淤泥质土, 局部夹薄层淤泥质土, 级配较差。饱和, 松散, 海相沉积。场区局部地段有分布, 厚度为 0.90m~6.20m, 层底面高程为-34.80m~-26.30m, 层顶面高程为

-28.60m~-24.80m。标准贯入实测击数一般 5~10 击。

粉质黏土（层号①₅）：灰、灰黄色，含多量粉细砂颗粒，局部夹粉砂薄层，混少量贝壳碎屑，土质黏性一般，韧性中等。很湿，软塑，局部可塑，海相沉积。场区局部地段有分布，厚度为 1.40m~3.80m，层底面高程为-32.00m~-26.00m，层顶面高程为-28.20m~-24.60m。标准贯入实测击数一般 4~5 击。

粉质黏土（层号②₁）：红褐、褐黄、灰白色，含少量粉细砂颗粒，局部夹细砂薄层，土质黏性一般，韧性中等，局部地段表现为黏土。湿，可塑，局部硬塑，陆相沉积。场地大部分地段有分布，厚度为 0.80m~4.20m，层底面高程为-34.30m~-24.30m，层顶面高程为-33.50m~-21.30m。标准贯入实测击数一般 5~13 击。

粉砂（层号②₂）：灰黄色，颗粒成分主要为石英，含云母碎片，颗粒大小较均匀，级配不良，含多量黏粒，局部夹黏性土薄层。饱和，中密，陆相沉积。仅 GSK18 号钻孔有揭露，厚度为 1.60m，层底面高程为-30.84m，层顶面高程为-29.24m。标准贯入实测击数 19 击。

中砂（层号②₄）：灰色，颗粒成分主要为石英、长石，级配不良，含多量黏粒，局部地段表现为中砂混黏性土。饱和，稍密~中密，陆相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 0.50m~3.40m，层底面高程为-41.90m~-27.90m，层顶面高程为-40.70m~-25.84m。标准贯入实测击数一般 12~24 击。

粉质黏土（层号③）：灰、灰黄色，含少量粉细砂颗粒，含少量有机质，局部见腐殖物，土质黏性一般，韧性中等，局部表现为黏土。很湿，软塑，海陆过渡相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 1.00m~11.00m，层底面高程为-38.60m~-28.70m，层顶面高程为-33.20m~-24.90m。标准贯入试验实测击数为 3~7 击。

粉质黏土（层号③₁）：灰、灰黑色，含少量粉细砂颗粒，局部夹薄层粉细砂，局部地段偶见腐木，土质黏性较一般，韧性中等。湿，可塑，海陆过渡相沉积。场区分布广泛，厚度为 0.60m~11.20m，层底面高程为-52.80m~-29.30m，层顶面高程为-48.90m~-24.30m。标准贯入实测击数 5~14 击。

粉砂（层号③₂）：灰色，颗粒成分主要为石英，含云母碎片，颗粒大小较均匀，级配不良，含多量黏粒，局部夹黏性土薄层。饱和，中密~密实，海陆过渡

相沉积。场地内部分地段有分布，厚度为 0.90m~6.00m，层底面高程为-56.00m~-33.51m，层顶面高程为-54.50m~-31.68m。标准贯入实测击数 18~33 击。

粉砂混黏性土（层号③₂₋₁）：灰色，颗粒成分主要为石英，含云母碎片，颗粒大小较均匀，级配不良，含多量黏粒，夹多量黏性土薄层。饱和，中密，海陆过渡相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 1.20m~1.50m，层底面高程为-44.38m~-33.90m，层顶面高程为-43.18m~-32.40m。标准贯入实测击数 20~21 击。

细砂（层号③₃）：灰色，颗粒成分主要为石英，级配不良，含多量黏粒。饱和，中密，海陆过渡相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 0.60m~4.00m，层底面高程为-49.30m~-32.10m，层顶面高程为-47.10m~-28.10m。标准贯入实测击数 17~23 击。

中砂（层号③₄）：灰色，颗粒成分主要为石英、长石，级配差，混少量黏粒。饱和，中密~密实，海陆过渡相沉积。场地内大部分地段有分布，厚度为 0.90m~11.70m，层底面高程为-54.50m~-31.81m，层顶面高程为-47.70m~-28.80m。标准贯入试验实测击数为 16~48。

中砂混黏性土（层号③₄₋₁）：灰色，颗粒成分主要为石英、长石，级配一般，混多量黏粒，局部夹多层薄层黏性土。饱和，稍密~中密，海陆过渡相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 1.10m~2.80m，层底面高程为-41.60m~-33.30m，层顶面高程为-40.50m~-30.50m。标准贯入试验实测击数为 12~16。

粗砂（层号③₅）：灰、灰黄色，颗粒成分主要为石英、长石，级配较好，混多量黏粒，局部夹薄层黏性土。饱和，密实，局部中密，海陆过渡相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 1.20m~7.80m，层底面高程为-47.10m~-32.50m，层顶面高程为-43.20m~-31.20m。标准贯入试验实测击数为 32~48。

粉砂（层号④）：灰黄色，颗粒成分主要为石英，含云母碎片，颗粒大小较均匀，级配不良，含少量黏粒，局部地段表现为粉土。饱和，密实，河流冲积相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 0.50m~10.30m，层底面高程为-88.50m~-45.95m，层顶面高程为-86.50m~-41.95m。标准贯入实测击数 35~45 击。

中砂（层号④₂）：灰、黄褐色，颗粒成分主要为石英，含较多细砂颗粒及黏粒，局部夹粉质黏土薄层，颗粒大小较不均匀，级配一般。饱和，密实，局部中

密，河流冲积相沉积。场地内大部分地段有分布，厚度为 1.10m~8.20m，层底面高程为-71.70m~-36.50m，层顶面高程为-66.20m~-33.40m。标准贯入实测击数一般 20~62 击。

中砂混黏性土（层号④_{2.1}）：灰色，颗粒成分主要为石英，含较多细砂颗粒及黏粒，夹多层薄层黏性土，颗粒大小较不均匀，级配一般。饱和，密实，河流冲积相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 1.20m~1.80m，层底面高程为-47.40m~-44.60m，层顶面高程为-46.20m~-42.80m。标准贯入实测击数 42 击。

粗砂（层号④₃）：灰黄、黄色，砂的主要成分为石英，级配良好，含少量黏粒，局部含石英砾石，砾石含量约占 5~15%，次棱角状，偶见卵石。饱和，密实，河流冲积相沉积。场地内大部分地段有分布，厚度为 0.80m~7.90m，层底面高程为-86.50m~-44.10m，层顶面高程为-84.50m~-39.60m。标准贯入实测击数一般 32~75 击。

粗砂混黏性土（层号④_{3.1}）：灰色，颗粒成分主要为石英，混多量砾砂，夹多层薄层黏性土，颗粒大小较不均匀，级配较好。饱和，密实，河流冲积相沉积。场地内局部地段有分布，厚度为 0.80m~2.80m，层底面高程为-75.50m~-50.92m，层顶面高程为-72.70m~-50.12m。标准贯入实测击数 31~37 击。

砾砂（层号④₄）：黄褐色，颗粒成分主要为石英，含较多量黏粒及粗砂颗粒，颗粒大小较不均匀，级配一般，局部混少量卵石。饱和，密实，河流冲积相沉积。场地内部分地段有分布，厚度为 0.50m~6.50m，层底面高程为-73.15m~-43.60m，层顶面高程为-68.95m~-41.32m。标准贯入实测击数一般 33~75 击。

粉质黏土（层号④₅）：灰、灰黄、灰白色，局部地段混多量粗砂，土质黏性一般，韧性中等，局部地段表现为黏土。稍湿，硬塑，局部可塑，河流冲积相沉积。场地内部分地段有分布，厚度为 0.50m~6.00m，层底面高程为-84.50m~-48.10m，层顶面高程为-80.70m~-45.90m。标准贯入实测击数一般 12~39 击。

粉质黏土（层号④₆）：灰色，含较多粉细砂颗粒，局部夹粉细砂薄层，土质黏性一般，韧性中等，局部地段表现为黏土。湿，可塑，河流冲积相沉积。场地内部分地段有分布，厚度为 0.60m~5.30m，层底面高程为-69.12m~-41.40m，层顶面高程为-67.62m~-36.50m。标准贯入试验实测击数为 10~19。

砂质黏性土（层号⑤）：为下伏基岩的风化残积产物，浅灰、灰白色，含多

量石英砂颗粒，可见原岩结构，遇水易软化崩解。稍湿，硬塑，残积成因。场地内大部分地段有分布，厚度为 0.60m~8.60m，层底面高程为-82.12m~-52.80m，层顶面高程为-77.65m~-52.20m。标准贯入实测击数一般 14~39 击。

花岗岩（层号⑥）：本次勘测钻孔深度内，所揭露的花岗岩按差异风化程度可划分为 4 个风化等级，即全风化、强风化、中等风化及微风化。

全风化花岗岩（层号⑥₁）：棕红间灰白色，风化剧烈，岩质极软，原岩结构已基本破坏但尚可辨认，矿物成分除石英外已风化成黏土矿物，岩芯呈坚硬土柱状，手捏易散，遇水易软化。场地内大部分地段有分布，厚度为 1.00m~20.00m，层底面高程为-90.30m~-64.31m，层顶面高程为-82.12m~-58.11m。标准贯入实测击数为 41~68 击。

强风化花岗岩（层号⑥₂）：褐黄、棕红间灰白色，风化强烈，组织结构大部分破坏，矿物成分除石英外大部分已风化成次生矿物，岩芯多呈坚硬土柱状，局部半岩半土状，岩质软弱，手捏易碎，遇水易崩解。该层广泛分布于整个场区，厚度为 0.60m~23.45m，层底面高程为-91.00m~-52.40m，层顶面高程为-88.50m~-49.90m。标准贯入实测击数大于 70 击。由于岩体风化的不均匀性，该层中常夹有中等风化或微风化状的球状风化体。

中等风化花岗岩（层号⑥₃）：灰白、黄褐色，主要矿物成分为石英、长石、黑云母，中粗粒结构，块状构造，岩芯多呈块状，块径 2~7cm，局部呈短柱状，柱长 6~12cm，节理裂隙发育，倾角多为 10°、40°、90°，节理面呈闭合状，见铁锰质浸染、绿泥石化，岩质较硬，锤击声稍脆。该层在场内部分地段有揭露，部分钻孔未揭穿，钻孔揭露厚度为 1.70m~9.90m，层底面高程为-87.84m~-54.90m，层顶面高程为-79.90m~-52.80m。

微风化花岗岩（层号⑥₄）：灰白、肉红色，主要矿物成分为石英、长石、黑云母，中粗粒结构，块状构造，岩芯多呈短柱状，柱长一般 10~13cm，局部呈块状，块径一般 2~9cm，节理裂隙较发育，倾角多为 40°、90°，节理面见铁锰质浸染，岩质坚硬，锤击声脆。该层在场地内分布广泛。场地内部钻孔有揭露，未揭穿，钻孔揭露厚度为 0.40m~11.20m，层顶面高程为-89.00m~-52.40m。

孤石：主要在强风化花岗岩中发育，岩性为灰白、黄褐色中等~微风化状花岗岩，GSK10、GSK10-2、GSK13、GSK36、GSK46 钻孔有揭露，厚度为 1.00~3.10m。

钻孔布置图见图 3.2.4-1，钻孔柱状图见 3.2.4-2。

(3) 不良地质作用

前期多项研究成果表明，风电场区海底地形平坦，覆盖有较厚的松散土层，没有海底滑坡、海底崩塌等不良地质作用发育迹象及海底地震地质灾害问题。场区不良地质作用主要为软土震陷、饱和砂土液化、浅层气、海底流动（碎屑流、液化流及颗粒流），此外，尚有起伏较大的岩面及不均匀风化形成的风化深槽。

场区位于南海北部内陆架海域，海底地形较平坦，不存在发生滑坡、泥石流的地形地质条件，也不存在岩溶、采空区等不良地质作用。但区域内断裂构造及其影响带附近岩石裂隙极发育，岩体破碎，强度软硬不均，差异风化程度显著，沿构造破碎带、节理密集带易形成宽厚的风化深槽。

图 3.2.4-1 钻孔平面布置图示意（不公开）

图 3.2.4-2 钻孔柱状图示意图（GSK10-2）（不公开）

3.2.5 海洋自然灾害

珠海平均每年受热带气旋影响 4 次，热带气旋在深圳宝安至阳江电白间沿海登陆，则珠海市境内会出现 8 级以上强风，伴随大暴雨，遇大潮则形成风暴潮，1980 年以来，严重影响珠海的台风有 5 次，均发生重大灾情，尤其 8908 号、9316 号、0814 号和 1208 号台风灾害最重。

2008 年第 14 号台风“黑格比”于 9 月 24 日 6:45 在广东省电白县陈村镇沿海登陆，登陆时中心最大风力有 15 级（48m/s），这是今年登陆我国影响最大的台风，也是广东省多年来未遇到的强台风。强台风“黑格比”由于具有强度大、移速快、影响范围广等特点，给沿海地区造成了巨大的风暴潮增水，同时由于最大增水出现的时间基本与天文潮高潮时间同步，导致沿海地区部分风暴潮站不同程度地出现了超历史的最高水位。横门站 2008 年 9 月 24 日（2008 年第 14 号台风黑格比期间）出现历年最高潮位为 3.31m。“黑格比”期间，珠海市 4 个区（县）23 个乡镇，4.553 万人口受灾，倒塌房屋 50 间，死亡人口 1 人，直接经济损失 4.98 亿元。其中，农作物受灾面积 1.304 万公顷，农林牧渔业直接经济损失 2.18 亿元；水利设施方面，损坏 45 处约长 46km 堤防、3 座水闸、2 座机电泵站，直接经济损失 0.838 亿元。

2012 年第 8 号台风“韦森特”于 7 月 24 日 04 时 15 分在台山市赤溪镇登陆，

登陆时中心附近最大风力 13 级，达到 40m/秒。“韦森特”强度强，影响范围广，风雨影响重。据珠海市气象台监测到，珠海市沿岸及海岛上阵风已达到 14-17 级，最大风速出现在珠海港区，最高达 60m/s，均破珠海气象史上纪录。据珠海市三防指挥部初步统计，珠海全市因灾死亡 2 人，失踪 3 人，9404 人受灾，转移人员 19390 人。全市约 21343 棵树木被吹毁，吹倒广告牌约 4420 平方米，房屋、工棚受损 692 间，农作物受淹约 66240 亩，水产养殖过水约 66186 亩，渔船、鱼排损毁 23 条，海堤受损约 237m，供电线路损坏 77 条，电线杆（塔）吹倒 25 根（座），压坏车辆 147 辆，经济损失约 1.4356 亿元。2017 年第 13 号台风“天鸽”（强台风级）的中心已于 8 月 23 日 12 时 50 分前后在广东珠海南部沿海登陆，登陆时中心附近最大风力有 14 级（45m/s），中心最低气压 950 百帕监测显示，珠海 12 点 10-15 分之间观测到 51.9m/s（16 级）的瞬时大风，打破当地风速纪录（原纪录为 1993 年 9 月 17 日 44.6m/s）。天鸽给珠海市带来狂风骤雨，陆地风力 12 级阵风 13-14 级，沿岸及海面风力 13-14 级阵风 16-17 级，台风天鸽造成珠海 2 人死亡，房屋倒塌 275 间，全市农作物受灾面积 3 万亩，大部分地区出现停水停电，部分道路因为树木倒伏通行受阻，直接经济总损失 55 亿元。

根据《2019 年广东省海洋灾害公报》，2019 年，广东省海域共发生台风风暴潮过程 5 次，分别为“木恩”“韦帕”“白鹿”“杨柳”“剑鱼”，其中仅“韦帕”在广东沿岸登陆根据统计数据，风暴潮造成的直接经济损失较低，本公报以零损失计算。2019 年，广东省海洋预报台对 5 次台风风暴潮过程及时开展预报，发布台风风暴潮预（警）报 27 份次。其中台风风暴潮消息 5 次，台风风暴潮 I 级预报（蓝色）13 次、台风风暴潮 III 级警报（黄色）4 次、台风风暴潮 II 级警报（橙色）0 次、台风风暴潮 II 级警报（红色）0 次、解除警报 5 次根据《2020 年广东省海洋灾害公报》，2020 年，广东省沿海共发生风暴潮过程 5 次，其中 2 次风暴潮过程致灾，预警级别为黄色，分别为 2007 号“海高斯”台风风暴潮和 2017 号“沙德尔”台风风暴潮：1 次过程达到蓝色预警级别，为 2016 号“浪卡”台风风暴潮。其余风暴潮过程均为蓝色预警级别以下。

2020 年 8 月 19 日 6 时前后，台风“海高斯”在广东省珠海市金湾区沿海登陆，登陆时中心附近最大风力 12 级（35m/s），中心最低气压为 970 百帕。粤东沿岸各海洋站观测到 30-60 厘米的最大风暴增水，各站最高潮位均在当地蓝色警

戒潮位以下；珠江口沿岸各海洋站观测到 50-150 厘米的最大风暴增水，其中赤湾站和珠海站最高潮位达到当地黄色警戒潮位；粤西沿岸各海洋站观测到 30-45 厘米的最大风暴增水，各站最高潮位均在当地蓝色警戒潮位以下。受“海高斯”台风风暴潮影响，广东省直接经济损失 0.49 亿元。

根据《2021 年广东省海洋灾害公报》，2021 年，广东省沿海共发生风暴潮过程 6 次，2 次造成灾害，分别为 2107 号“查帕卡”台风风暴潮和 2118 号“圆规”台风风暴潮，共造成直接经济损失 0.28 亿元，未造成人员死亡失踪。2107 号“查帕卡”台风风暴潮造成直接经济损失最为严重，为 0.18 亿元，占风暴潮灾害全年直接经济损失总额的 64%。2021 年 10 月 13 日 15 时 40 分前后，台风“圆规”在海南省琼海市沿海登陆，登陆时中心附近最大风力 12 级（33m/s），中心最低气压为 975 百帕，珠江口沿岸各海洋站观测到 105-155 厘米的最大风暴增水，其中珠海站达到当地黄色警戒潮位，受“圆规”台风风暴潮和近岸浪的共同影响，揭阳市、阳江市、惠州市、珠海市等地直接经济损失合计 0.10 亿元。

根据《2022 年广东省海洋灾害公报》，2022 年，广东省沿海共发生风暴潮过程 5 次，其中 2 次造成灾害，分别为“暹芭”台风风暴潮和“马鞍”台风风暴潮，共造成直接经济损失 7.65 亿元，未造成人员死亡失踪。“暹芭”台风风暴潮造成直接经济损失最严重，为 7.43 亿元，占全年风暴潮灾害直接经济损失的 97%。据统计，2022 年风暴潮灾害造成全省 58032 人受灾，紧急转移安置 18098 人，水产养殖受灾面积 7489.57 公顷，损失水产养殖数量 18552.85 吨，养殖设备、设施损失 352 个，毁坏及损坏船只（含渔船）121 艘，损坏及损毁海岸防护工程（含防波堤、海堤、护岸）长度 4.70 千米，淹没农田面积 937.28 公顷，部分滨海旅游设施受损。

2022 年 7 月 2 日 15 时前后，台风“暹芭”在茂名市电白区沿海登陆，登陆时中心附近最大风力 12 级（35m/s），中心最低气压为 965 百帕。珠江口到雷州半岛东部沿岸潮（水）位站观测到 60-160 厘米的最大风暴增水，其中闸坡站和北津站出现了达到当地橙色警戒潮位的高潮位，珠海站、横门站和黄埔站出现了达到当地黄色警戒潮位的高潮位，赤湾站、广州站、台山站和水东站出现了达到当地蓝色警戒潮位的高潮位。珠海市情侣北路沿岸道路受淹，越浪造成了海堤护栏损坏。受“暹芭”台风风暴潮和近岸浪的共同影响，深圳市、珠海市、阳江市、

茂名市直接经济损失合计 7.43 亿元。

3.2.6 海洋水质环境质量现状调查与分析

本节春季调查资料引用《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告（2023 年春季）》，于 2023 年 4 月在珠海桂山附近海域开展的渔业资源状况调查和 2023 年 5 月对珠海桂山附近海域开展海洋水质、沉积物和海洋生态调现状查数据；秋季调查资料引用《上海电气珠海桂山样机工程海洋环境现状调查监测报告（秋季）》，于 2021 年 11 月在项目附近海域进行的秋季海洋环境现状调查数据。

3.2.6.1 调查概况

1、春季

(1) 调查时间

本次调查于 2023 年 04 月 27 日~04 月 29 日对珠海桂山附近海域开展了渔业资源状况调查，于 2023 年 05 月 12 日~05 月 21 日对珠海桂山附近海域开展海洋水质、沉积物和海洋生态调现状查。

(2) 调查站位

本次调查共设水质调查站位 27 个，沉积物调查站位 14 个，海洋生物生态 18 个，海洋生物体质量、渔业资源调查站位 18 个，潮间带生物调查断面 3 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

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
1	ZH01	113°36'21.53"	22°15'38.59"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
2	ZH02	113°40'08.77"	22°15'41.60"	水质
3	ZH03	113°44'57.49"	22°15'41.82"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
4	ZH04	113°49'57.04"	22°15'18.50"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
5	ZH05	113°35'51.49"	22°12'25.03"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
6	ZH06	113°39'37.01"	22°12'13.10"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
7	ZH07	113°44'32.73"	22°12'23.48"	水质
8	ZH08	113°49'05.01"	22°12'16.60"	水质、生物生态、渔业资源
9	ZH09	113°50'04.65"	22°09'03.88"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
10	ZH10	113°53'32.80"	22°08'22.72"	水质
11	ZH11	113°53'41.32"	22°04'51.68"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
12	ZH12	113°53'11.59"	22°01'40.48"	水质

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
13	ZH13	113°48'54.02"	21°57'51.85"	水质、生物生态、渔业资源
14	ZH14	113°48'54.43"	22°01'24.26"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
15	ZH15	113°48'58.25"	22°04'43.90"	水质
16	ZH16	113°44'01.36"	22°08'42.60"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
17	ZH17	113°43'48.48"	22°05'46.90"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
18	ZH18	113°44'29.32"	22°01'20.17"	水质、生物生态、渔业资源
19	ZH19	113°43'45.36"	21°58'01.78"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
20	ZH20	113°44'10.41"	21°55'01.65"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
21	ZH21	113°40'44.47"	21°54'50.40"	水质、生物生态、渔业资源
22	ZH22	113°40'17.06"	21°58'20.59"	水质
23	ZH23	113°40'03.18"	22°00'58.42"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
24	ZH24	113°39'43.50"	22°04'41.83"	水质
25	ZH25	113°39'17.59"	22°08'49.73"	水质
26	ZH26	113°36'00.99"	22°04'55.62"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
27	ZH27	113°36'07.37"	22°01'07.98"	水质
28	C1	113°42'47.74"	22°08'32.41"	潮间带
29	C2	113°42'13.29"	22°08'30.46"	潮间带
30	C3	113°41'52.26"	22°01'44.83"	潮间带

注：潮间带垂直于岸线，布设高、中、低潮区采样断面



图 3.2.6-1 春季海洋环境现状调查站位图

2、秋季

(1) 调查时间

本次调查于 2021 年 11 月 25~12 月 20 日对项目附近海域开展海洋环境现状调查。

(2) 调查站位

本次调查共设水质调查站位 20 个，沉积物调查站位 10 个，海洋生物质量、生态与渔业资源调查站位 12 个，潮间带生物调查断面 3 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

序号	站位	经度 E (°)	纬度 N (°)	调查项目
1	ZH01	113.594044	22.266375	水质、沉积物、生态
2	ZH02	113.630217	22.186131	水质
3	ZH03	113.607558	22.044911	水质、沉积物、生态
4	ZH04	113.581467	21.964697	水质
5	ZH05	113.711567	22.269703	水质、沉积物、生态
6	ZH06	113.689956	22.148456	水质、生态
7	ZH07	113.687144	22.041764	水质、沉积物、生态
8	ZH08	113.681983	21.952347	水质、沉积物、生态
9	ZH09	113.729431	22.208728	水质
10	ZH10	113.738353	22.120381	水质、沉积物、生态
11	ZH11	113.717056	22.088564	水质、沉积物、生态
12	ZH12	113.765800	22.013528	水质
13	ZH13	113.816297	22.271939	水质、沉积物、生态
14	ZH14	113.799806	22.163594	水质、沉积物、生态
15	ZH15	113.782264	22.093028	水质
16	ZH16	113.784994	21.949869	水质
17	ZH17	113.855558	22.155853	水质
18	ZH18	113.850761	22.072564	水质、沉积物、生态
19	ZH19	113.858286	21.945292	水质、生态
20	ZH20	113.865825	22.008922	水质
21	C1	113.708939	22.135408	潮间带
22	C2	113.708853	22.138389	潮间带
23	C3	113.712847	22.135572	潮间带

注：潮间带垂直于岸线，布设高、中、低潮区采样断面



图 3.2.6-2 秋季海洋环境现状调查站位图

3.2.6.2 调查项目

1、春季

pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、挥发酚、石油类、总铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷、生化需氧量、活性硅酸盐、硒、镍、粪大肠菌群。

2、秋季

水温、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、硫化物、石油类、六价铬、铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷和镍。

3.2.6.3 采样和分析方法

1、采样方法

(1) 水样采集通用方法

① 按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)中的要求执行；

②使用 GPS 定位导航调查船只进入预定站位后开始测量水深。根据实测水深，进行透明度、水色等现场观测，当站位水深浅于 10m 时（以现场水深为准，下同），仅采表层水样一个；当站位水深在 10m~25m 时，分别采集表层和底层水样各一个；其中表层为距表面 0.1m~1m，底层为离底 2m，具体如表 3.2.6-3。

表 3.2.6-3 采样层次表

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

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

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

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

⑤水文气象观测执行《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）和《海洋观测规范 第 2 部分：海滨观测》（GB/T 14914.2-2019）。

（2）特殊指标水样采集方法

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

②pH 样品的采集：样品瓶洗净后，用海水浸泡 1d。采样时需用采样点的海

水洗涤两次，再装入水样瓶固定，盖好瓶盖混合均匀，待测，允许保存 48h。

③重金属样品的采集：水样采集后，要有防止现场大气降尘带来的污染措施，并尽快从采样器中放出样品；防止采样器内样品中所含污染物随悬浮物的下沉而降低含量，灌装样品时必须边摇动采水器边灌装，立即用 0.45 μm 滤膜过滤处理，过滤水样用 HNO_3 酸化至 pH 值小于 2，塞上塞子，存放在洁净环境中。

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

2、分析方法

水质样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）和《海洋监测规范》（GB 17378-2007）进行，各项目的分析方法如表 3.2.6-4。

表 3.2.6-4 海水调查项目及分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
1	水温	《海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测》GB/T 12763.2-2007/5.2.1	CTD 法	/
2	pH	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/26	pH 计法	/
3	盐度	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/29.1	盐度计法	2‰
4	溶解氧	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/31	碘量法	0.11mg/L
5	悬浮物	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/27	重量法	/
6	化学需氧量	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/32	碱性高锰酸钾法	0.15mg/L
7	硝酸盐氮	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/38.1	镉柱还原法	0.0010mg/L
8	亚硝酸盐氮	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/37	萘乙二胺分光光度法	0.0002mg/L
9	氨氮	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/36.1	靛酚蓝分光光度法	0.0004mg/L
10	活性磷酸盐	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/39.1	磷钼蓝分光光度法	0.0006mg/L
11	挥发酚	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/19	4-氨基安替比林分光光度法	1.1 $\mu\text{g/L}$
12	石油类	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/19	紫外分光光度法	0.0035mg/L

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
		析》GB 17378.4-2007/13.2	法	
13	汞	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/5.1	原子荧光法	0.007μg/L
14	砷	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/11.1	原子荧光法	0.5μg/L
15	铜	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/6.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L
16	铅	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/7.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L
17	镉	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/8.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L
18	锌	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/9.1	火焰原子吸收分光光度法	0.0031mg/L
19	总铬	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/10.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L
20	生化需氧量	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/33.1	五日培养法	/
21	活性硅酸盐	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 17.1	硅钼黄法	0.0126mg/L
22	硒	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007/12.1	荧光分光光度法	0.2μg/L
23	镍	《海洋监测规范 第4部分 海水分析》GB 17378.4-2007/42	无火焰原子吸收分光光度法	0.5μg/L
24	粪大肠菌群	《海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/9.1	发酵法	20MPN/L

3.2.6.4 评价方法与评价标准

1、评价方法

采用单项参数标准指数法计算质量指数 (S_j)，水质评价因子 i 在第 j 站位的标准指数计算公式为：

$$S_{ij} = C_{ij} / C_{si}$$

式中： S_{ij} ——评价因子 i 的标准指数；

C_{ij} ——评价因子 i 在 j 站位的实测统计代表值；

C_{si} ——评价因子 i 的水质评价标准限值。

溶解氧 (DO) 的标准指数计算公式为：

$$S_{DO, j} = DO_s / DO_j$$

$$DO_j \leq DO_f$$

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

式中： $S_{DO, j}$ ——溶解氧的标准指数；

DO_j ——溶解氧在 j 站位的实测统计代表值，mg/L；

DO_s ——溶解氧的水质评价标准限值，mg/L。

DO_f ——饱和溶解氧浓度，mg/L；对于河流， $DO_f = 468 / (31.6 + T)$ ；
对于盐度比较高的湖泊、水库及入海河口、近岸海域， $DO_f = (491 - 2.65S) / (33.5 + T)$ ；

S ——实用盐度符号，量纲为 1；

T ——水温， $^{\circ}C$ 。

pH 的标准指数计算公式为：

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

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

式中： $S_{pH, j}$ ——pH 值的标准指数；

pH_j ——pH 值在 j 站位的实测统计代表值；

pH_{sd} ——水质评价标准规定的 pH 下限值；

pH_{su} ——水质评价标准规定的 pH 上限值。

水质评价因子的标准指数 > 1 ，则表明该项水质已超过了规定的水质标准。

2、评价标准

(1) 春季

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，各监测站位执行的水质标准见表 3.2.6-5。

表 3.2.6-5 各站位执行的水质标准要求一览表

功能区	功能区名称	调查站位	标准要求
海洋保护区	珠江口海洋保护区	ZH02、ZH03、ZH04、ZH07、 ZH08	执行海水水质 第一类标准
休闲娱乐区	九洲旅游休闲娱乐区	ZH01	执行海水水质 第二类标准
	万山群岛旅游休闲娱乐区	ZH18	
港口航运区	桂山岛港口航运区	ZH09	执行海水水质 第三类标准
	大万山岛港口航运区	ZH19	
海洋保留区	香洲保留区	ZH05、ZH06	执行海水水质

功能区	功能区名称	调查站位	标准要求
	万山群岛保留区	ZH10、ZH11、ZH12、ZH13、 ZH14、ZH15、ZH16、ZH17、 ZH20、ZH21、ZH22、ZH23、 ZH24、ZH25、ZH26、ZH27	维持现状

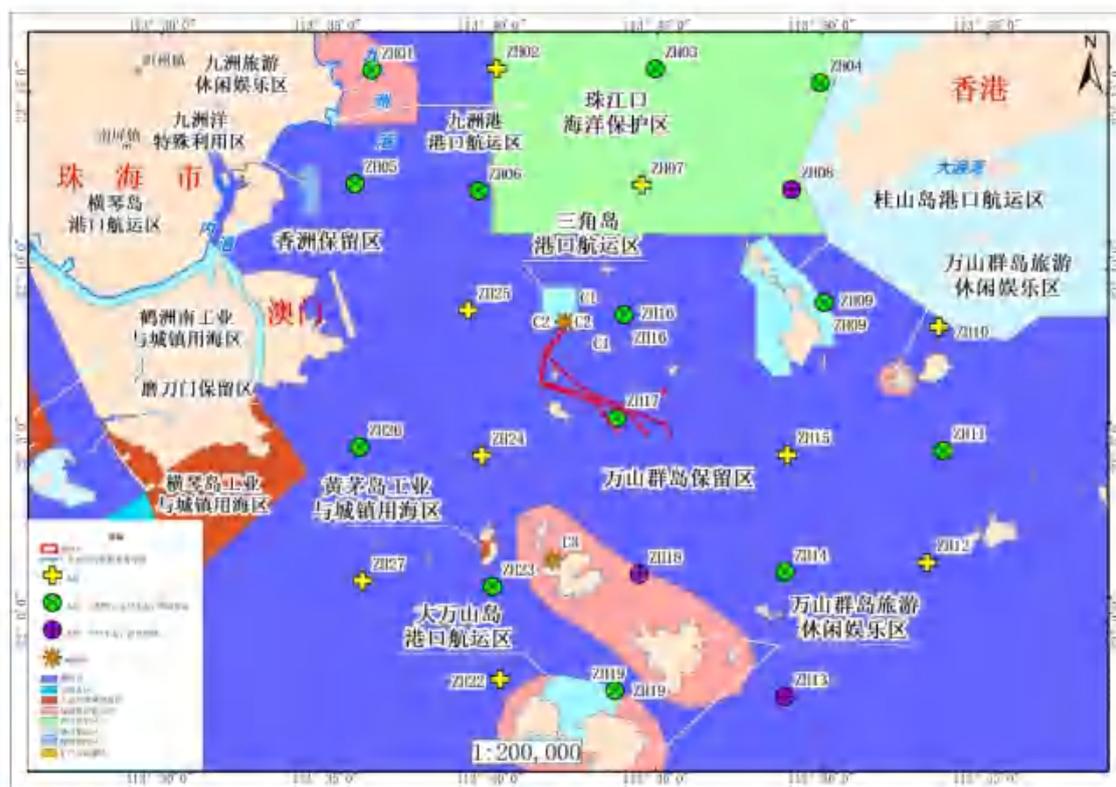


图 3.2.6-3 春季海洋环境现状调查站位叠加海洋功能区划图

(2) 秋季

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，各监测站位执行的水质标准见表 3.2.6-6。

表 3.2.6-6 各站位执行的水质标准要求一览表

功能区	功能区名称	调查站位	标准要求
海洋保护区	珠江口海洋保护区	ZH05、ZH09、ZH13	执行海水水质第一类标准
休闲娱乐区	九州旅游休闲娱乐区	ZH01	执行海水水质第二类标准
	万山群岛旅游休闲娱乐区	ZH07、ZH08、ZH12	
港口航运区	桂山岛港口航运区	ZH14	执行海水水质第三类标准
海洋保留区	香洲保留区	ZH02	执行海水水质

功能区	功能区名称	调查站位	标准要求
	万山群岛保留区	ZH03、ZH04、ZH06、 ZH10、ZH11、ZH15、 ZH16、ZH17、ZH18、 ZH19、ZH20	维持现状

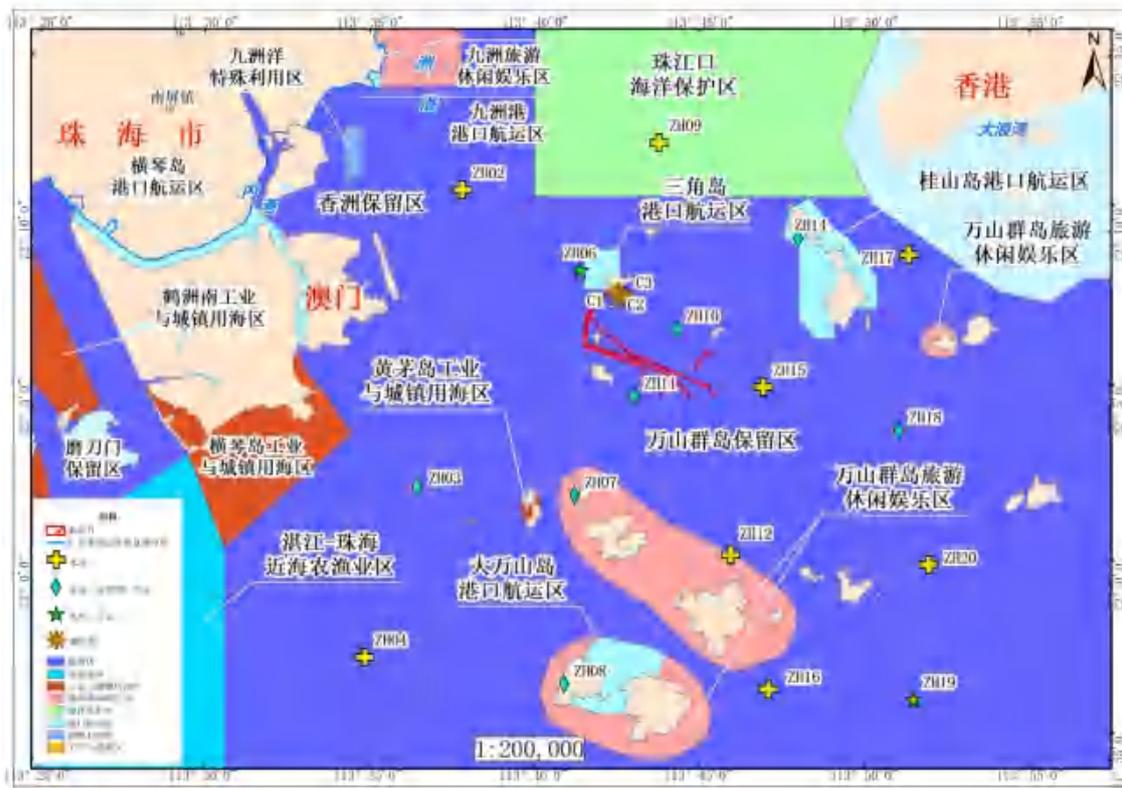


图 3.2.6-4 秋季海洋环境现状调查站位叠加海洋功能区划图

海域水质现状评价依据标准《海水水质标准》(GB 3097-1997), 见表 3.2.6-7。

表 3.2.6-7 海水水质标准 单位: mg/L (pH 除外)

水质指标	第一类	第二类	第三类	第四类
悬浮物	人为增加的量 ≤10	人为增加的量 ≤10	人为增加的量 ≤100	人为增加的量 ≤150
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	
化学需氧量≤ (COD)	2	3	4	5
溶解氧>	6	5	4	3
生化需氧量≤ (BOD ₅)	1	3	4	5
活性磷酸盐≤ (以 P 计)	0.015	0.030	0.030	0.045
无机氮≤ (以 N 计)	0.200	0.300	0.400	0.500
石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50

铜 (Cu) ≤	0.005	0.010	0.050	0.050
铅 (Pb) ≤	0.001	0.005	0.010	0.050
锌 (Zn) ≤	0.020	0.050	0.100	0.500
镉 (Cd) ≤	0.001	0.005	0.010	0.010
汞 (Hg) ≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
砷 (As) ≤	0.020	0.030	0.050	0.050
镍 (Ni) ≤	0.005	0.010	0.020	0.050
六价铬 (Cr) ≤	0.005	0.010	0.020	0.050
铬 (Cr) ≤	0.050	0.100	0.200	0.500
硫化物 ≤ (以硫计)	0.020	0.050	0.100	0.250

3.2.6.5 海洋水质调查结果与评价

1、春季

(1) 调查结果

调查海域中 27 个站位的水质监测结果见表 3.2.6-8。

(2) 评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点水质评价因子的标准指数见表 3.2.6-10。

调查海域执行海水水质第一类标准要求的海区有：珠江口海洋保护区。珠江口海洋保护区有 5 个调查站位：ZH02、ZH03、ZH04、ZH07 和 ZH08。由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标监测因子为化学需氧量、生化需氧量、无机氮和活性磷酸盐，最大超标倍数分别为 0.63、0.63、3.47 和 1.82，超标率分别为 25.0%、12.5%、100% 和 100%。ZH02 站位表层和 ZH07 站位表层的化学需氧量含量不符合海水水质第一类标准要求，其中 ZH02 站位表层符合海水水质第三类标准要求，ZH07 站位表层符合海水水质第二类标准要求；ZH07 站位表层的生化需氧量含量不符合海水水质第一类标准要求，但符合海水水质第二类标准要求；所有调查站位的无机氮含量均不符合海水水质第一类标准要求，且均劣于海水水质第四类标准要求；所有调查站位的活性磷酸盐含量均不符合海水水质第一类标准要求，但均符合海水水质第四类标准要求；其余水质监测因子均符合海水水质第一类标准要求。

调查海域执行海水水质第二类标准要求的海区有：九洲旅游休闲娱乐区和万山群岛旅游休闲娱乐区。九洲旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH01；万山群

岛旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH18。由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标监测因子为无机氮、活性磷酸盐和粪大肠菌群，最大超标倍数分别为 3.37、0.59 和 45.00，超标率均为 33.3%。ZH01 站位表层的无机氮、活性磷酸盐和粪大肠菌群含量不符合海水水质第二类标准要求，其中无机氮和活性磷酸盐含量劣于海水水质第四类标准要求，粪大肠菌群含量符合海水水质第四类标准要求；其余水质监测因子均符合海水水质第二类标准要求。

调查海域执行海水水质第三类标准要求的海区有：桂山岛港口航运区和大万山岛港口航运区。桂山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH09；大万山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH19。由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标监测因子为无机氮，最大超标倍数为 0.15，超标率为 66.7%。ZH09 站位表层和 ZH09 站位底层的无机氮含量不符合海水水质第三类标准要求，但均符合海水水质第四类标准要求；其余水质监测因子均符合海水水质第三类标准要求。

调查海域执行海水水质维持现状标准要求的海区有：香洲保留区和万山群岛保留区。香洲保留区有 2 个调查站位：ZH05 和 ZH06。万山群岛保留区有 16 个调查站位：ZH10、ZH11、ZH12、ZH13、ZH14、ZH15、ZH16、ZH17、ZH20、ZH21、ZH22、ZH23、ZH24、ZH25、ZH26 和 ZH27。海洋保留区调查区域内所有调查站位的检测水质评价统一从《海水水质标准》（GB 3097-1997）的第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第四类海水水质标准的检测数据，评价至第四类海水水质标准。香洲保留区中所有调查站位的水质 pH、溶解氧、油类、锌、挥发酚、铜、铅、镉、总铬、汞、砷、镍和硒含量符合海水水质第一类标准要求；化学需氧量和生化需氧量含量符合海水水质第二类标准要求；粪大肠菌群含量符合海水水质第四类标准要求；所有调查站位的无机氮含量均劣于海水水质第四类标准要求，最大超标倍数为 1.16，超标率为 100%；ZH06 站位表层的活性磷酸盐含量符合海水水质第四类标准要求，ZH05 站位表层的活性磷酸盐含量劣于海水水质第四类标准要求，最大超标倍数为 0.04，超标率为 50.0%。万山群岛保留区中所有调查站位的水质 pH、溶解氧、油类、锌、挥发酚、铜、铅、镉、总铬、汞、砷、镍和硒符合海水水质第一类标准要求，但 ZH11 站位表层、ZH13 站位表层、ZH13 站位底层、ZH22 站位表层、ZH22 站位底层、ZH23 站位表层、ZH27 站位表层和 ZH17 站位表层的溶解氧含

量处于过饱和状态；化学需氧量和生化需氧量含量符合海水水质第二类标准要求；粪大肠菌群含量符合海水水质第四类标准要求；ZH16 站位表层、ZH25 站位表层和 ZH26 站位表层的无机氮含量劣于海水水质第四类标准要求，最大超标倍数为 0.80，超标率为 11.1%，其它调查站位的无机氮含量均符合海水水质第四类标准要求；ZH26 站位表层的活性磷酸盐含量劣于海水水质第四类标准要求，最大超标倍数为 0.14，超标率为 3.7%，其它调查站位的活性磷酸盐含量均符合海水水质第四类标准要求。

2、秋季

(1) 调查结果

调查海域中 20 个站位的水质监测结果见表 3.2.6-9。

(2) 评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点水质评价因子的标准指数见表 3.2.6-11。

调查海域执行海水水质第一类标准要求的海区有珠江口海洋保护区。珠江口海洋保护区有 3 个调查站位：ZH05、ZH09 和 ZH13。由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标监测因子为溶解氧、无机氮和活性磷酸盐，超标率分别为 33.3%、66.7%和 33.3%。ZH13 调查站位的溶解氧含量不符合海水水质第一类标准要求，但符合海水水质第二类标准要求；ZH05 和 ZH13 调查站位的无机氮含量不符合海水水质第一类标准要求，但 ZH13 符合海水水质第二类标准要求，ZH05 符合海水水质第四类标准要求；ZH05 调查站位的活性磷酸盐含量不符合海水水质第一类标准要求，但符合海水水质第二类标准要求；其余监测因子均符合海水水质第一类标准要求。

调查海域执行海水水质第二类标准要求的海区有九州旅游休闲娱乐区和万山群岛旅游休闲娱乐区。九州旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH01；万山群岛旅游休闲娱乐区有 3 个调查站位：ZH07、ZH08 和 ZH12。由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标监测因子为无机氮和活性磷酸盐，超标率均为 14.3%。ZH01 调查站位的无机氮和活性磷酸盐含量不符合海水水质第二类标准要求，但 ZH01 调查站位的活性磷酸盐含量符合海水水质第四类标准要求，ZH01 调查站位的无机氮含量劣于海水水质第四类标准要求；其余监测因子均符合海水水质第

二类标准要求。

调查海域执行海水水质第三类标准要求的海区有桂山岛港口航运区。桂山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH14。由监测结果及标准指数表结果可知：该调查站位的所有监测因子均符合海水水质第三类标准要求。

调查海域执行海水水质维持现状标准要求的海区有香洲保留区和万山群岛保留区。香洲保留区有 1 个调查站位：ZH02；万山群岛保留区有 11 个调查站位：ZH03、ZH04、ZH06、ZH10、ZH11、ZH15、ZH16、ZH17、ZH18、ZH19 和 ZH20。海洋保留区调查区域内所有调查站位的检测水质评价统一从《海水水质标准》（GB 3097-1997）的第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第四类海水水质标准的检测数据，评价至第四类海水水质标准。香洲保留区中所有调查站位的水质 pH、溶解氧、化学需氧量、油类、锌、六价铬、硫化物、铜、铅、镉、铬、汞、砷、镍含量符合海水水质第一类标准要求，生化需氧量含量符合海水水质第二类标准要求，活性磷酸盐含量符合海水水质第四类标准要求，无机氮含量劣于海水水质第四类标准要求，超标率为 100.0%。万山群岛保留区中所有调查站位的水质 pH、化学需氧量、生化需氧量、油类、锌、六价铬、硫化物、铜、铅、镉、铬、汞、砷、镍含量符合海水水质第一类标准要求，溶解氧含量符合海水水质第二类标准要求，活性磷酸盐含量和除 ZH03 调查站位的无机氮含量符合海水水质第四类标准要求，ZH03 调查站位的无机氮含量劣于海水水质第四类标准要求，超标率为 4.3%。

表 3.2.6-8 春季海水水质监测结果（不公开）

注：①包含“L”的检测结果表示其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值。②无机氮为氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的总和。③石油类指标只采集表层样品，水深指标只测量站位即时深度，“/”不参与计算。

表 3.2.6-9 秋季海水水质监测结果（不公开）

注：①包含“L”的检测结果表示其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值。②无机氮为氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的总和。③石油类指标只采集表层样品，水深指标只测量站位即时深度，“/”不参与计算。

表 3.2.6-10a 春季海水水质监测站位（执行第一类海水水质标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-10b 春季海水水质监测站位（执行第二类海水水质标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-10c 春季海水水质监测站位（执行第三类海水水质标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-10d 春季（香洲保留区）海水水质监测站位（执行海水水质维持现状标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；“—”表示溶解氧为过饱和状态的标准指数；“——”表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-10e 春季（万山群岛保留区）海水水质监测站位（执行海水水质维持现状标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；“—”表示溶解氧为过饱和状态的标准指数；“——”表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-11a 秋季水质监测站位（执行第一类海水水质标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-11b 秋季水质监测站位（执行第二类海水水质标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-11c 秋季水质监测站位（执行第三类海水水质标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-11d 秋季（香洲保留区）水质监测站位（执行海水水质维持现状标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.6-11e 秋季（万山群岛保留区）水质监测站位（执行海水水质维持现状标准）各要素的标准指数（不公开）

注：“/”表示未检指标的标准指数；参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

3.2.7 海洋沉积物质量现状调查与分析

海洋沉积物现状调查引用《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告（2023 年春季）》，于 2023 年 5 月在项目附近海域进行的春季海洋环境现状调查数据，调查概况详见 3.2.6.1 节。

3.2.7.1 调查项目

本次调查项目包括 pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷和粒度。

3.2.7.2 采样与分析方法

1、采样方法

根据《海洋监测规范》（GB 17378-2007）中的要求，进行沉积物样品的采集、保存与运输。

（1）到达指定站位后，将绞车的钢丝绳与 0.05m² 抓斗式采泥器连接，同时测量站位水深，开动绞车将采泥器下放至离海底 3m~5m 时，全速开动绞车使其降至海底。然后将采泥器提至接样板上，打开采泥器上部耳盖，轻轻倾斜使上部积水缓慢流出后，用塑料刀或勺从采泥器耳盖中仔细取上部 0cm~1cm 的沉积物。如遇砂砾层，可在 0cm~3cm 层内混合取样；

（2）样品从海底至船甲板，应立即进行现场样品状态描述（颜色、气味、厚度）；

（3）取样和处理样品时，注意层次，结构和代表性，同一采样点采集 3~6 次，将样品混合均匀分装。现场记录底质类型，并分装与处理、保存；

（4）稠度和粘性描述：流动、半流动、软泥、致密和固结，强粘性、弱粘性和无粘性的描述；

（5）分装顺序：常规指标用聚乙烯袋分装大约 600g；取大约 100g 湿样，盛入已洗净的 250mL 棕色玻璃瓶内，再加入约 5mL 醋酸锌，使样品隔离空气，供硫化物分析所用；再取 200~300g 湿样，盛入已洗净的 250mL 棕色玻璃瓶内，供有机碳等指标分析所用。

(6) 分装要求：样品瓶（袋）要贴标签，并将样品瓶号及样品箱号记入现场描述记录表内，在柱状样品的取样位置上放入标签，其编号与瓶（袋）号一致。认真作好采样详细记录。

(7) 采样完毕，打开采泥器，弃去残留沉积物，用海水冲洗。

2、分析方法

样品的分析按照《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》（GB 17378.5-2007）进行，各项的分析方法如表 3.2.7-1。

表 3.2.7-1 沉积物项目及分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
1	含水率	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/19	重量法	/
2	有机碳	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/18.1	重铬酸钾氧化-还原容量法	0.02%
3	石油类	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/13.1	荧光分光光度法	1.0mg/kg
4	硫化物	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/17.1	亚甲基蓝分光光度法	0.3mg/kg
5	铜	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/6.2	火焰原子吸收分光光度法	2.0mg/kg
6	铅	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/7.2	火焰原子吸收分光光度法	3.0mg/kg
7	镉	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/8.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg
8	锌	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/9.1	火焰原子吸收分光光度法	6.0mg/kg
9	总汞	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/5.1	原子荧光法	0.002mg/kg
10	铬	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/10.1	无火焰原子吸收分光光度法	2.0mg/kg
11	砷	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/11.1	原子荧光法	0.06mg/kg
12	pH	《海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球物理调查》GB/T 12763.8-2007/6.7.2	pH 计法	/

3.2.7.3 评价方法与评价标准

1、评价方法

采用单项参数标准指数法计算沉积物的质量指数，即应用公式 $P_i=C_i/C_{si}$ 。

式中： P_i 为第 i 种评价因子的质量指数；

C_i 为第 i 种评价因子的实测值；

C_{si} 为第 i 种评价因子的标准值。

沉积物评价因子的标准指数 >1 ，则表明该项指标已超过了规定的沉积物质量标准。

2、评价标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，各监测站位执行的沉积物质量标准见表 3.2.7-2。

表 3.2.7-2 各站位执行的沉积物质量标准要求一览表

功能区	功能区名称	调查站位	标准要求
海洋保护区	珠江口海洋保护区	ZH03、ZH04	执行海洋沉积物质量第一类标准
休闲娱乐区	九洲旅游休闲娱乐区	ZH01	
港口航运区	桂山岛港口航运区	ZH09	执行海洋沉积物质量第二类标准
	大万山岛港口航运区	ZH19	
海洋保留区	香洲保留区	ZH05、ZH06	执行海洋沉积物质量维持现状
	万山群岛保留区	ZH11、ZH14、ZH16、ZH17、ZH20、ZH23、ZH26	

表 3.2.7-3 海洋沉积物质量标准

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

3.2.7.4 海洋沉积物质量调查结果与评价

1、调查结果

本次调查沉积物粒度分析结果详见表 3.2.7-4，海洋沉积物质量监测结果见表 3.2.7-5。

2、评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点沉积物

评价因子的标准指数见表 3.2.7-6。

调查海域执行海洋沉积物质量第一类标准的海区有：珠江口海洋保护区和九洲旅游休闲娱乐区。珠江口海洋保护区有 2 个调查站位：ZH03 和 ZH04；九洲旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH01。由监测结果及标准指数表结果可知：主要超标因子为镉，最大超标倍数为 0.78，超标率为 66.7%，ZH01 和 ZH03 调查站位的镉含量不符合海洋沉积物质量第一类标准要求，但符合海洋沉积物质量第二类标准要求，其余沉积物监测因子均符合海洋沉积物质量第一类标准要求。

调查海域执行海洋沉积物质量第二类标准的海区有：桂山岛港口航运区和大万山岛港口航运区。桂山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH09；大万山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH19。由监测结果及标准指数表结果可知：这两个调查站位的沉积物监测因子均符合海洋沉积物质量第二类标准要求。

调查海域执行海洋沉积物质量维持现状标准要求的海区有：香洲保留区和万山群岛保留区。香洲保留区有 2 个调查站位：ZH05 和 ZH06；万山群岛保留区有 7 个调查站位：ZH11、ZH14、ZH16、ZH17、ZH20、ZH23 和 ZH26。海洋保留区调查区域内所有调查站位的海洋沉积物评价统一从《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）的第一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过第三类海洋沉积物标准的检测数据，评价至第三类海洋沉积物标准。香洲保留区中所有调查站位的沉积物有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、镉、锌、铬、总汞和砷含量符合海洋沉积物第一类标准要求。万山群岛保留区中所有调查站位的沉积物有机碳、硫化物、石油类、铅、镉、锌、铬、总汞和砷含量符合海洋沉积物第一类标准要求，铜含量符合海洋沉积物第二类标准要求。

表 3.2.7-4 沉积物粒度分析一览表（不公开）

表 3.2.7-5 海洋沉积物质量监测结果 单位： $\times 10^{-6}$ ，其中有机碳和含水率为 $\times 10^{-2}$ ，pH 无量纲（不公开）

注：①包含“L”的检测结果表示其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

表 3.2.7-6a 海洋沉积物监测站位（执行第一类海洋沉积物质量）各要素标准指数（不公开）

表 3.2.7-6b 海洋沉积物监测站位（执行第二类海洋沉积物质量）各要素标准指数（不公开）

表 3.2.7-6c (香洲保留区) 海洋沉积物监测站位 (执行海洋沉积物质量维持现状) 各要素标准指数 (不公开)

表 3.2.7-6d (万山群岛保留区) 海洋沉积物监测站位 (执行海洋沉积物质量维持现状) 各要素标准指数 (不公开)

3.2.8 海洋生物质量环境现状调查与分析

海洋生物质量现状调查引用《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告 (2023 年春季)》, 于 2023 年 4 月在项目附近海域进行的春季海洋环境现状调查数据; 以及《上海电气珠海桂山样机工程海洋环境现状调查监测报告 (秋季)》, 于 2021 年 11 月在项目附近海域进行的秋季海洋环境现状调查数据。调查概况详见 3.2.6.1 节。

3.2.8.1 调查项目

本次调查项目包括铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油烃。

3.2.8.2 采样与分析方法

1、采样方法

根据《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 和《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007) 中的要求, 在项目海域指定站点使用拖网等方式采集生物体后, 选取具有代表性的样品进行分析检测。

(1) 贝类

用清洁刮刀从其附着物上采集贝类样品, 选取足够数量的完好贝类存于高密度塑料袋中, 压出袋内空气, 将袋口打结或热封, 将此袋和样品标签一起放入聚乙烯袋中并封口, 存于冷冻箱中。

(2) 虾与中小型鱼类

按要求选取足够数量的完好生物样, 放入干净的聚乙烯袋中, 应防止袋子被刺破。挤出袋内空气, 将袋口打结或热封, 将此袋和样品标签一起放入另一聚乙烯袋中, 封口, 于低温冰箱中贮存。若保存时间不太长 (热天不超过 48h), 可用冰箱或冷冻箱贮放样品。

(3) 大型鱼类

测量并记下鱼样的体长、体重。用清洁的刀切下至少 100g 肌肉组织, 厚度

至少 5cm，样品处理时，切除玷污或内脏部分。存于清洁的聚乙烯袋中，挤出空气并封口，将此袋和样品标签一起放入另一聚乙烯袋中，封口，于低温冰箱中贮存。若保存时间不太长（热天不超过 48h），可用冰箱或冷冻箱贮存样品。

2、分析方法

生物体样品的预处理和分析方法遵照《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》（GB 17378.6-2007）进行，各项目的分析方法如表 3.2.8-1。

表 3.2.8-1 海洋生物质量调查项目及分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
1	石油烃	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/13	荧光分光光度法	0.2mg/kg
2	铜	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/6.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.4mg/kg
3	铅	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/7.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg
4	镉	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/8.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.005mg/kg
5	总汞	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/5.1	原子荧光法	0.002mg/kg
6	砷	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/11.1	原子荧光法	0.2mg/kg
7	锌	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/9.1	火焰原子吸收分光光度法	0.4mg/kg
8	铬	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007/10.1	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg

3.2.8.3 评价方法与评价标准

1、评价方法

采用单项参数标准指数法计算生物的质量指数，即应用公式 $P_i=C_i/C_{si}$ 。

式中： P_i 为第 i 种评价因子的质量指数；

C_i 为第 i 种评价因子的实测值；

C_{si} 为第 i 种评价因子的标准值。

生物评价因子的标准指数 > 1 ，则表明该项指标已超过了规定的生物质量标准。

2、评价标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，各监测站位执行的生物质量

标准见表 3.2.8-2。

表 3.2.8-2 各站位执行的生物质量标准要求一览表

功能区	功能区名称	调查站位	标准要求
海洋保护区	珠江口海洋保护区	ZH03、ZH04、ZH08	*海洋生物中的贝类执行海洋生物质量第一类标准，其他类别按表 3.2.8-3 中限量要求执行。
休闲娱乐区	九洲旅游休闲娱乐区	ZH01	
	万山群岛旅游休闲娱乐区	ZH18	
港口航运区	桂山岛港口航运区	ZH09	*海洋生物中的贝类执行海洋生物质量第二类标准，其他类别按表 3.2.8-8 中限量要求执行。
	大万山岛港口航运区	ZH19	
海洋保留区	香洲保留区	ZH05、ZH06	*海洋生物中的贝类执行海洋生物质量维持现状，其他类别按表 3.2.8-3 中限量要求执行。
	万山群岛保留区	ZH11、ZH13、ZH14、ZH16、ZH17、ZH20、ZH21、ZH23、ZH26	

采用《海洋生物质量》(GB 18421-2001)、《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》(第二分册)和《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》进行评价，见表 3.2.8-3。

表 3.2.8-3 海洋生物质量标准 (湿重, 单位: mg/kg)

生物类别		Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	石油烃
贝类	一类	10	0.1	20	0.2	0.05	1.0	0.5	15
	二类	25	2.0	50	2.0	0.10	5.0	2.0	50
	三类	50 (100)	6.0	100 (500)	5.0	0.30	8.0	6.0	80
甲壳类		100	2.0	150	2.0	0.2	/	/	/
鱼类		20	2.0	40	0.6	0.3	/	/	20
软体类		100	10.0	250	5.5	0.3	/	/	20

注：“()”为牡蛎执行标准。

3.2.8.4 海洋生物质量调查结果与评价

1、春季

(1) 调查结果

海洋生物体样品来源于游泳动物底拖网统一采集，18 个调查站位的海洋生物体监测结果见表 3.2.8-4。

表 3.2.8-4 海洋生物质量监测结果 (湿重, 单位: mg/kg)

站位	种类	品种	石油烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
ZH01	甲壳	近亲蛄	11.8	23.3	0.08	0.117	37.5	0.39	0.034	0.2

站位	种类	品种	石油 烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
	类									
ZH03	鱼类	佩氏骨 鲻	11.7	0.7	0.07	0.013	7.9	0.33	0.011	0.2L
ZH04	鱼类	刺鲳	9.1	0.4	0.05	0.007	6.5	0.24	0.010	0.2L
ZH05	鱼类	中华海 鲂	9.4	0.6	0.06	0.005L	7.3	0.35	0.158	0.2L
ZH06	鱼类	杜氏双 边鱼	9.2	0.7	0.04	0.016	24.0	0.39	0.039	0.2L
ZH08	鱼类	花莲小 沙丁鱼	6.6	0.9	0.10	0.010	12.6	0.36	0.079	0.2L
ZH09	鱼类	黑口鱒	8.3	0.7	0.07	0.013	9.0	0.30	0.055	0.2L
ZH11	鱼类	颈斑项 鳎	9.1	0.7	0.06	0.012	16.2	0.39	0.107	0.2L
ZH13	甲壳 类	周氏新 对虾	7.5	12.5	0.05	0.069	18.9	0.37	0.020	0.2
ZH14	甲壳 类	刀额新 对虾	6.3	8.4	0.07	0.012	18.0	0.42	0.026	0.2
ZH16	鱼类	斑鱯	17.4	0.7	0.06	0.006	6.9	0.22	0.020	0.2L
ZH17	鱼类	黑口鱒	9.6	0.4	0.04L	0.010	8.5	0.25	0.057	0.2L
ZH18	鱼类	刺鲳	8.4	0.6	0.06	0.006	6.3	0.40	0.011	0.2L
ZH19	鱼类	颈斑项 鳎	11.3	0.6	0.04	0.010	16.8	0.38	0.098	0.2L
ZH20	鱼类	细纹鳎	6.6	0.4L	0.04	0.008	11.5	0.29	0.049	0.2L
ZH21	鱼类	银姑鱼	9.0	0.4L	0.06	0.005L	4.6	0.32	0.101	0.2L
ZH23	鱼类	高体棱 鯧	8.1	0.4	0.05	0.007	8.6	0.37	0.125	0.2L
ZH26	鱼类	银鲳	8.2	0.4L	0.10	0.005	8.7	0.37	0.050	0.2L
最小值			6.3	0.4L	0.04L	0.005L	4.6	0.22	0.010	0.2L
最大值			17.4	23.3	0.10	0.117	37.5	0.42	0.158	0.2
平均值			9.3	2.9	0.06	0.018	12.8	0.34	0.058	0.1

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时，若未检出率少于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算，若未检出率大于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算。

(2) 评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点生物体评价因子的标准指数见表 3.2.8-5。

调查海域海洋保护区有：珠江口海洋保护区。珠江口海洋保护区有 3 个调查

站位：ZH03、ZH04 和 ZH08。其调查站位内采集到的鱼类的生物体内污染物质（石油烃除外）含量的评价标准参考《全国海岸和滩涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：海洋保护区包含 3 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

调查海域休闲娱乐区有：九洲旅游休闲娱乐区和万山群岛旅游休闲娱乐区。九洲旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH01；万山群岛旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH18。其调查站位内采集到的甲壳类和鱼类的生物体内污染物质（石油烃除外）含量的评价标准参考《全国海岸和滩涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：休闲娱乐区包含 2 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

调查海域港口航运区有：桂山岛港口航运区和大万山岛港口航运区。桂山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH09；大万山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH19。其调查站位内采集到的鱼类的生物体内污染物质（石油烃除外）含量的评价标准参考《全国海岸和滩涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：港口航运区包含 2 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

调查海域海洋保留区有：香洲保留区和万山群岛保留区。香洲保留区有 2 个调查站位：ZH05 和 ZH06；万山群岛保留区有 9 个调查站位：ZH11、ZH13、ZH14、ZH16、ZH17、ZH20、ZH21、ZH23 和 ZH26。其调查站位内采集到的鱼类和甲壳类的生物体内污染物质（石油烃除外）含量的评价标准参考《全国海岸和滩涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：海洋保留区包含 11 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

表 3.2.8-5 海洋生物监测站位各要素标准指数（不公开）

注：① “/”表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数。

2、秋季

（1）调查结果

2021 年度 11 月份，12 个调查站位的生物体监测结果见表 3.2.8-6。

表 3.2.8-6 2021 年 11 月份生物质量监测结果 单位：mg/kg（不公开）

注：①包含“L”的检测结果表示其检测结果低于方法检出限，其中数值为方法检出限值，参与计算平均值和标准指数时按其检出限值的一半进行运算。

（2）评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点生物体评价因子的标准指数见表 3.2.8-7。

调查海域海洋保护区有珠江口海洋保护区。珠江口海洋保护区有 2 个调查站位：ZH05 和 ZH13。调查站位内采集到的生物体无贝类，采集到的甲壳类和鱼类重金属含量执行《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的“海洋生物质量评价标准”，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的相应标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：海洋保护区包含 2 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

调查海域休闲娱乐区有九州旅游休闲娱乐区和万山群岛旅游休闲娱乐区。九州旅游休闲娱乐区有 1 个调查站位：ZH01；万山群岛旅游休闲娱乐区有 2 个调查站位：ZH07 和 ZH08。调查站位内采集到的生物体无贝类，采集到的鱼类重金属含量执行《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的“海洋生物质量评价标准”，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的相应标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：休闲娱乐区包含 3 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

调查海域港口航运区有桂山岛港口航运区。桂山岛港口航运区有 1 个调查站位：ZH14。调查站位内采集到的生物体无贝类，采集到的鱼类重金属含量执行

《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的“海洋生物质量评价标准”，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的相应标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：港口航运区包含 1 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象。

调查海域海洋保留区有万山群岛保留区。万山群岛保留区有 6 个调查站位：ZH03、ZH06、ZH10、ZH11、ZH18 和 ZH19。ZH10 调查站位采集到的贝类要求执行海洋生物质量维持现状，生物体评价统一从《海洋生物质量》（GB 18421-2001）的海洋生物质量一类标准开始评价，超过评价标准的检测结果，按下一级标准评价，超过海洋生物质量三类标准的检测数据，评价至海洋生物质量三类标准。其他调查站位采集到的软体类、甲壳类和鱼类重金属含量执行《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的“海洋生物质量评价标准”，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的相应标准。

由监测结果及标准指数表结果可知：海洋保留区包含 6 个调查站位，海洋生物质量整体超标率为 0，没有出现超标现象；ZH10 调查站位的贝类的石油烃、铜、铅、镉、锌、铬、汞和砷含量符合海洋生物质量一类标准。

表 3.2.8-7a 2021 年 11 月份生物监测站位各要素标准指数（不公开）

注：① “/” 表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数。

表 3.2.8-7b 2021 年 11 月份（万山群岛保留区）生物监测站位各要素标准指数（不公开）

注：① “/” 表示指标的质量标准未作限值要求的标准指数。

3.2.9 海洋生态概况

3.2.9.1 调查概况

海洋生态现状调查引用《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告（2023 年春季）》，于 2023 年 4 月在项目附近海域进行的春季海洋生态现状调查数据；以及《上海电气珠海桂山样机工程海洋环境现状调查监测报告（秋季）》，于 2021 年 11 月在项目附近海域进行的秋季海洋生态现状调查数据。调查概况详见 3.2.6.1 节。

3.2.9.2 采集和分析方法

1、采集方法

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

采样层次与水质采样层次相同，用采水器采集水样，经 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤（过滤时抽气负压小于 50kPa）后，将滤膜对折，用铝箔包好，存放于低温冷藏壶中，带回实验室分析，采用分光法测定叶绿素 a 的含量。初级生产力采用叶绿素 a 法，按照 Cadee 和 Hegeman（1974）提出的简化公式估算。每 500mL 加入 2.00mL 碳酸镁溶液，使用抽滤泵抽滤。

(2) 浮游生物

①浮游植物：浮游植物定量分析样品用浅水 III 型浮游生物网（加重锤）自底至表层作垂直拖网进行采集。垂直拖网时，落网速度不超过 1m/s，起网为 0.5m/s。样品用鲁哥氏碘液固定，加入量为每升水加入 6.00mL~8.00mL。样品带回实验室经浓缩后镜检、观察、鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析。

②浮游动物：浮游动物样品用浅水 II 型浮游生物网或浅水 I 型浮游生物网（加重锤）从底层至表层垂直拖曳采集。采得的样品在现场用 5% 的中性甲醛溶液固定。在室内挑去杂物后以湿重法称取浮游动物的生物量，然后在体视显微镜下对标本进行鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

(3) 大型底栖生物

定量样品采用 0.05m² 采泥器，在每站位连续采集平行样品 4 次，经孔径为 0.50mm 的筛网筛洗干净后，放入 500mL 样品瓶中，加入适量淡水于 4℃ 环境中存放 6~8h，可使海洋底栖环节动物产生应激反应，表现出形态特征，再用体积分数为 5%~7% 的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。样品在实验室内进行计数、称重及种类鉴定，分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

(4) 鱼卵仔稚鱼

调查选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）的相关规定进行样品的采集、保存和运输。定量采样：

网具使用浅水I型浮游生物网（水深 $<30\text{m}$ ）或大型浮游生物网（ $30\text{m}<\text{水深}<200\text{m}$ ）垂直采样，由海底至海面垂直拖网，水深较浅时采用水平拖网的方式采集样品。定性采样：采用水平拖网法，网具采用浅水I型浮游生物网或大型浮游生物网，于表层水平拖曳 10min 取得，拖速保持在 2 节左右。海上采得的浮游生物样品按体积 5% 的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

（5）潮间带生物

①在调查海区内选择不同生境（如泥滩、沙滩和岩滩）的潮间带断面，断面位置有陆上标志，走向与等深线垂直，选择在滩面底质类型相对均匀、潮带较完整、无人为破坏或人为扰动较小且相对较稳定的地点或调查断面，在每个剖面的高滩、中滩和低滩采集样品；

②泥、沙等软相底质的生物取样，用滩涂定量采样框。其结构包括框架和挡板两部分，均用 1.5~2.0mm 厚的不锈钢板弯制而成。规格：25cm \times 25cm \times 30cm。配套工具是平头铁锹。滩涂定量取样用定量框，通常高潮区布设 2 站、中潮带 3 站，低潮带 2 站（生物量较大时 1 个站），每站取 4~8 个样方（依据现场生物量大小而定）；为防止人为因素干扰，样方位置用标志绳索（每隔 5m 或 10m 有一标志）于站位两侧水平拉直，各样方位置严格取在标志绳索所标位置，无论该位置上生物多寡，均不能移位；取样时，先将取样器挡板插入框架凹槽，用臂力或脚力将其插入滩涂内；继而观察记录框内表面可见的生物及数量；后用铁锹清除挡板外侧的泥沙再拔去挡板，以便铲取框内样品；铲取样品时，若发现底层仍有生物存在，将取样器再往下压，直至采不到生物为止；若需分层取样，视底质分层情况确定；

③用筛网孔目为 1.0mm 和 0.5mm 的过筛器进行生物样品筛选；

④为全面反映各断面的种类组成和分布，在每站定量取样的同时，应尽可能将该站附近出现的动植物种类收集齐全，以作分析时参考，定性样品务必与定量样品分装，切勿混淆；

⑤滩涂定量调查，未能及时处理的余渣，拣出肉眼可见的标本后把余渣另行装瓶（袋），并用四氯四碘荧光素染色剂固定液，便于回实验室在双筒解剖镜下仔细挑拣；对一些受刺激易引起收缩或自切的种类（如腔肠动物、纽形动物），

先用水合氯醛或乌来糖少许进行麻醉后再行固定；某些多毛类（如沙蚕科、吻沙蚕科），可先用淡水麻醉，最好能带回一些完整的新鲜藻体，制作蜡叶标本，以保持原色和长久保存。

⑥取样时，测量各潮区优势种的垂直分布高度和滩面宽度，描述生物分布带的特征；样品存放于 500mL~1000mL 样品瓶中，加入适量淡水于 4°C 环境中存放 6~8h，可使海洋底栖环节动物产生应激反应，表现出形态特征，再用体积分数为 5%~7% 的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。

（6）游泳动物

游泳生物调查按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）的相关规定进行样品的采集、保存和运输。

①调查船舶要求：游泳生物调查船应由专业调查船承担，或选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，调查船舶应具备能在调查海区中定位的卫星定位仪、能在调查海区与陆地基地联络的通讯设备，性能良好的探鱼仪和雷达，能随时观察曳网情况的网位仪，与调查水深和调查网具相匹配的起网机和起吊设备，具备渔获物样品冷藏库或冷冻库。

②调查工作流程：采用单船有翼单囊拖网进行作业。调查时间选择在白天进行，综合拖速、拖向、流向、流速、风向和风速等多种因素，在距离站位位置 2n mile~3n mile 处放网，拖速控制在 2kn~3kn 左右，经 0.5~1h 后正好到达站位位置或附近。临放网前准确测定船位，放网时间以停止曳网投放，曳网着底开始受力时为准。拖网中尽量保持拖网方向朝向拖网站位，注意周围船只动态和调查船的拖网是否正常等，若出现不正常拖网时，视其情况改变拖向或立即起网。临起网前准确记录船位，起网时间以起网机开始卷收曳网时间为准。如遇严重破网等导致渔获量大量减少时，应重新拖网。

③样品处理：将囊网里全部渔获物收集，记录估计的网次总质量（kg）。渔获物总质量在 40kg 以下时，全部取样分析；渔获物大于 40kg 时，从中挑出大型的和稀有的标本后，从渔获物中随机取出渔获物分析样品 20kg 左右，然后把余下的渔获物按品种和不同规格装箱，记录该站位准确渔获物总质量（kg）。

2、分析方程

样品的分析采用《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》

(GB 17378.7-2007) 和《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007) 进行，各项目的分析方法如表 3.2.9-1。

表 3.2.9-1 海洋生态调查项目及分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法
1	浮游植物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/5	浓缩计数法
2	浮游动物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/5	镜检法
3	大型底栖生物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/6	镜检法
4	游泳动物	《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》GB/T 12763.6-2007/14	目测法
5	潮间带生物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/7	镜检法
6	鱼类浮游生物 (鱼卵仔稚鱼)	《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》GB/T 12763.6-2007/9	镜检法
7	叶绿素 <i>a</i>	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007/8.2	分光光度法

3.2.9.3 计算方法

(1) 初级生产力

采用叶绿素 *a* 法，按照 Cadee 和 Hegeman (1974) 提出的简化公式估算：

$$P = C_a Q L t / 2$$

式中： P —初级生产力 ($\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\cdot\text{d}$)；

C_a —叶绿素 *a* 含量 (mg/m^3)；

Q —同化系数 ($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{mgChl-}a\cdot\text{h})$)，根据以往调查结果，取 3.7；

L —真光层的深度 (m)；

t —白昼时间 (h)，根据以往调查结果，春季取 12，秋季取 11。

(2) 优势度(Y):

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

(3) Shannon-Weaver 多样性指数(H'):

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

(4) Pielou均匀度指数(J):

$$J=H'/\log_2 S$$

(5) Margalef丰富度指数(D):

$$D= (S-1) / \log_2 N$$

上述 (2) ~ (5) 式中:

n_i —第 i 种的个体数量 (ind) ;

N —某站总生物数量 (ind) ;

f_i —某种生物的出现频率 (%) ;

P_i —第 i 种的个体数与总个体数的比值;

S —出现生物总种数。

(6) 鱼卵仔稚鱼密度:

水平拖网密度计算:

$$N = \frac{n}{S \cdot t \cdot V}$$

式中: N —鱼卵仔稚鱼密度 (ind/m³) ;

n —每网鱼卵仔稚鱼数量, 单位为 (ind) ;

S —网口面积 (m²) , $S_{\text{大型浮游生物网}}=0.5 \text{ m}^2$;

t —拖网时间 (h) ;

V —拖速 (m/h) 。

垂直拖网密度计算:

$$N = \frac{n}{S \cdot L}$$

式中: N —鱼卵仔稚鱼密度 (ind/m³) ;

n —每网鱼卵仔稚鱼数量, 单位为 (ind) ;

S —网口面积 (m²) , $S_{\text{浅水 I 型网}}=0.2 \text{ m}^2$;

L —采样绳长 (m) , 垂直拖网 L =水深-2m。

(7) 渔业资源:

资源数量的评估根据底拖网扫海面积法 (密度指数法) , 来估算评价区的资

源重量密度和生物个体密度。

$$S=(y)/a(1-E)$$

式中： S —重量密度（ kg/km^2 ）或个体密度（ ind/km^2 ）；

a —底拖网每小时的扫海面积（扫海宽度取浮纲长度的 $2/3$ ）；

y —平均重量渔获率（ kg/h ）或平均个体渔获率（ ind/h ）；

E —逃逸率（取 0.5 ）。

（8）游泳生物优势种

根据渔获物中个体大小悬殊的特点，选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI ，来分析渔获物在群体数量组成中其生态的地位，依此确定优势种。

$$IRI = (N+W) F$$

式中： N —某一种类的 ind 数占渔获总 ind 数的百分比；

W —某一种类的重量占渔获总重量的百分比；

F —某一种类的出现的断面数占调查总断面数的百分比。

3.2.9.4 海洋生态调查结果

（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（ $1.88\sim 22.5$ ） mg/m^3 ，平均为 $6.23\text{mg}/\text{m}^3$ ； 10m 水层叶绿素 a 变化范围在（ $1.01\sim 3.64$ ） mg/m^3 ，平均为 $2.33\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素 a 含量变化范围在（ $0.55\sim 2.87$ ） mg/m^3 ，平均为 $1.53\text{mg}/\text{m}^3$ 。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（ $1.29\sim 22.50$ ） mg/m^3 ，平均为 $5.84\text{mg}/\text{m}^3$ ，ZH06 站位叶绿素 a 平均值最高，ZH21 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（ $286.380\sim 1874.1242$ ） $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均值为 $853.801\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，其中 ZH16 站位初级生产力值最高，ZH26 站位初级生产力值最低。

2、秋季

本次调查共采集 12 个站位的叶绿素 a 样品。总体上，调查海域表层叶绿素含量大于中底层。各站表层叶绿素 a 含量变化范围为（ $0.892\sim 8.12$ ） mg/m^3 ，平均为 $3.969\text{mg}/\text{m}^3$ ；中层叶绿素 a 均值为 $0.84\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素 a 含量变化范围

为 (0.71~3.12) mg/m³, 平均为 1.90mg/m³。以各站各层水样的平均值作为该站叶绿素 *a* 的浓度, 各站叶绿素 *a* 浓度的变化范围为 (0.815~8.12) mg/m³, 平均为 3.665mg/m³。

调查海域各站位水柱初级生产力的变化范围为 (72.802~994.871) mg·C/(m²·d), 平均值为 339.039mg·C/(m²·d), 其中 ZH03 号站初级生产力水平最高, ZH06 号站最低。

(2) 浮游植物

1、春季

1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 13 目 27 科 134 种。硅藻门种类最多, 共 14 科 95 种, 占总种类数的 70.90%; 甲藻门种类次之, 出现 11 科 35 种, 占总种类数的 26.12%; 金藻门出现 1 科 2 种, 占总种类数的 1.49%; 蓝藻门出现 1 科 2 种, 占总种类数的 1.49%。

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 5 种, 分别为中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*)、劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、星杆藻属 (*Asterionella* sp.) 和短角弯角藻 (*Eucampia zodiacus*)。其中中肋骨条藻为第一优势种, 优势度为 0.189, 平均密度为 8482.885×10^3 ind/m³, 占各站位平均密度的 69.29%。

2) 类群密度及占比

调查区域内各站位浮游植物密度分布差异较大, 变化范围在 (639.857~87232.552) $\times 10^3$ ind/m³ 之间, 平均值为 12242.484×10^3 ind/m³, 最高密度出现在 ZH16 站位, 最低密度出现在 ZH23 站位。

从门类来看, 18 个调查站位中均采集到硅藻门, 硅藻门密度范围在 (589.771~87098.483) $\times 10^3$ ind/m³ 之间, 平均值为 12151.256×10^3 ind/m³; 硅藻门各站位密度的占比在 91.59%~99.95% 之间, 各站位占比平均值为 96.57%。甲藻门密度范围在 (14.700~224.002) $\times 10^3$ ind/m³ 之间, 平均值为 65.579×10^3 ind/m³; 各站位密度百分比在 0.05%~7.48% 之间, 占比平均值为 2.51%; 其他类群 (包括金藻门和蓝藻门) 密度范围在 (1.330~104.518) $\times 10^3$ ind/m³ 之间, 平均值为 25.650×10^3 ind/m³; 各站位密度百分比在 0~2.90% 之间, 占比平均值为 0.92%。

3) 多样性水平

各调查区站位浮游植物种数范围为 31~69 种。多样性指数范围在 1.004~4.267 之间, 平均值为 3.282, 多样性指数以 ZH23 站位最高, ZH16 站位最低; 均匀度指数范围在 0.172~0.722 之间, 平均值为 0.563, 均匀度指数以 ZH23 站位最高, ZH16 站位最低; 丰富度指数范围在 1.423~3.158 之间, 平均值为 2.461, 均匀度指数以 ZH09 站位最高, ZH05 站位最低。

2、秋季

1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 3 门 134 种 (含变型与变形各 2 种、变种 1 种), 分别为硅藻门、甲藻门、硅藻门。其中硅藻门 98 种, 占总种类数的 73.13%, 甲藻门 33 种, 占总种类数的 24.63%, 蓝藻门 3 种, 占总种类数的 2.24%。

本次调查总体来看浮游植物在各站位空间分布差异较大, 各站位浮游植物种类数介于 32~64 之间, 整体来看各站位硅藻门占比最高, ZH13 站位浮游植物种类数最多, 达到 64 种。

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准, 本次调查的浮游植物优势种出现 7 种, 优势度最大的为塔形冠盖藻 (*Stephanopyxis turris*), 优势度为 0.157。

2) 密度组成

本次调查结果表明, 调查海区浮游植物密度变化范围为 (1020.32~73494.16) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$, 平均密度为 $15754.00 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ 。不同站位的密度差异较大, 最高密度出现在 ZH01 号站, 密度为 $73494.16 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; ZH19 号站密度最低, 为 $1020.32 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ 。

浮游植物密度组成以硅藻占优势, 硅藻在所有测站中均出现, 其密度占各站总密度的 98.23%, 平均密度为 $15475.69 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 蓝藻次之, 其密度占各站总密度的 1.38%, 平均密度为 $218.01 \times 10^3 \text{ind/m}^3$; 甲藻的密度占各站总密度的 0.38%, 平均密度为 $60.30 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ 。

3) 多样性水平

本次调查, 各站位浮游植物种数变化范围 32~64 种, 平均 50 种。*Shannon-wiener* 多样性指数范围为 2.708~3.958, 平均为 3.418, 多样性指数以 ZH13 号站位最高, ZH07 号站最低, 各站多样性水平差异较大, 平均多样性指

数属于较好的水平；*Pielou* 均匀度指数范围为 0.509~0.693，平均为 0.608，其中 ZH06 号站均匀度指数最高，ZH07 号站最低。

(3) 浮游动物

1、春季

1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游动物 5 门 10 纲 17 目 33 科 77 种(包括浮游幼体 14 种)。分属 11 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、磷虾类、樱虾类、枝角类和浮游幼体。其中，以桡足类最多，为 37 种，占总种类数的 48.05%；浮游幼体次之，出现 14 种，占总种类数的 18.18%；水母类出现 10 种，占总种类数的 12.99%；其他类群出现种类较少。

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 5 种。分别为桡足幼体(*Copepoda larvae*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、鸟喙尖头溞(*Penilia avirostris*)、蔓足类幼体 (*Cirripedia nauplius*) 和尖额谐猛水蚤 (*Euterpina acutifrons*)。其中桡足幼体为第一优势种，优势度为 0.263，平均密度为 1520.120ind/m³，占各站位平均密度的 26.54%，出现频率 100%。

2) 密度与生物量

18 个调查站位浮游动物生物量变化范围在 (76.67~3601.85) mg/m³ 之间，平均值为 495.47mg/m³，其中 ZH05 站位生物量最高，ZH13 站位生物量最低；浮游动物密度变化范围在 (2066.667~10802.422) ind/m³ 之间，平均值为 5727.312ind/m³，其中 ZH03 站位密度最高，ZH13 站位密度最低。从类群密度分布来看，本次调查浮游幼体密度最高，为 48531.435ind/m³，占总密度的 47.08%；其次是桡足类，密度为 35697.320ind/m³，占总密度的 34.63%。

3) 多样性水平

本次调查，各调查区站位浮游动物种数范围为 10~37 种。浮游动物多样性指数变化范围在 2.016~3.730 之间，平均值为 2.923，其中 ZH11 站位最高，ZH01 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.581~0.721 之间，平均值为 0.638，其中 ZH11 站位最高，ZH18 站位最低；丰富度指数变化范围在 0.885~2.963 之间，平均值为 2.006，其中 ZH11 站位最高，ZH01 站位最低。

2、秋季

1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 14 个生物类群 62 种，其中桡足类 31 种；浮游幼体 9 种；水母类 4 种；毛颚动物 3 种；十足类、端足类、尾索动物、多毛类和介形类各 2 种；磷虾类、涟虫类、半索动物、卤虫类和腹足类各 1 种。

2) 生物量、密度及其分布

本次调查结果显示，各采样站浮游动物生物量变化幅度为 (160.000~2831.765) mg/m^3 ，平均生物量为 $844.751\text{mg}/\text{m}^3$ 。在整个调查区中，生物量最高出现在 ZH06 号站位，最低出现在 ZH01 号站位。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为 (2637.61 ~ 12459.68) ind/m^3 ，平均密度 $5796.56\text{ind}/\text{m}^3$ 。浮游动物最高密度出现在 ZH13 号站位，最低密度则出现在 ZH14 号站位。

3) 主要类群分布

①桡足类

桡足类在所有站位中均出现，其密度变化范围为 (1708.33~11169.35) ind/m^3 ，平均密度为 $4421.67\text{ind}/\text{m}^3$ ，占浮游动物总密度的 76.28%。其中最高密度出现在 ZH13 号站位，ZH05 号站位密度最低。

②浮游幼体

浮游幼体在全部调查站位中均有出现，其密度变化范围为 (40.32~150.00) ind/m^3 ，平均密度为 $381.73\text{ind}/\text{m}^3$ ，占浮游动物总密度的 6.59%，其中最高密度出现于 ZH01 号站。

③毛颚动物

毛颚动物在 10 个调查站位中出现，其密度变化范围为 (0~833.33) ind/m^3 ，平均密度为 $229.01\text{ind}/\text{m}^3$ ，占浮游动物总密度的 3.95%，其中最高密度出现于 ZH05 号站。

④其他动物

其他动物包括水母类、十足类、磷虾类、尾索动物、端足类、介形类、多毛类、涟虫类、半索动物、卤虫类和腹足类，大部分属于我国沿岸和近岸区系的广分布种，在此次调查海域占浮游动物总密度的 13.18%。

4) 优势种及其分布

以优势度 ≥ 0.02 为判断标准,本调查海域在调查期间浮游动物的优势种有 11 种,优势度最高的物种是亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*),为 0.135。

5) 生物多样性指数及均匀度

本次调查海域各调查站位的浮游动物平均出现种类为 23 (8~32 种); 种类多样性指数范围为 2.606~4.248 之间,平均为 3.702,多样性指数最高出现在 ZH08 号站位,最低则出现在 ZH01 号站位,多样性水平属于较高水平; 种类均匀度指数变化范围在 0.773~0.869 之间,平均为 0.840,最高出现在 ZH01 号站位,最低出现在 ZH06 号站位,各调查站位物种均匀度指数较高。

(4) 底栖生物

1、春季

1) 种类组成和优势种

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 7 门 8 纲 16 目 26 科 31 种,分属 7 个不同类群,即环节动物、棘皮动物、刺胞动物、节肢动物、软体动物、纽形动物和星虫动物。其中环节动物种类数最多,为 19 种,占种类总数的 61.29%。

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准,本次调查的优势种共 1 种,为佛州帚毛虫(*Sabellaria floridensis*),其优势度为 0.025。

2) 生物量和栖息密度

①生物量及栖息密度的站位分布

本次调查海域 18 个站位大型底栖生物的生物量范围在 (0~52.570) g/m^2 之间,平均生物量为 3.704 g/m^2 ,其中 ZH05 站位的生物量最高; 栖息密度范围在 (0~260.000) ind/m^2 之间,平均栖息密度为 26.944 ind/m^2 ,其中 ZH05 站位的栖息密度最高。

②类群生物量和栖息密度分布

从类群分布来看,本次大型底栖生物调查中软体动物生物量最高,生物量为 38.805 g/m^2 ,占总生物量的 58.20%; 其次为环节动物,生物量为 18.925 g/m^2 ,占总生物量的 28.39%,最低为星虫动物,生物量为 0.005 g/m^2 ,占总生物量的 0.01%。

环节动物栖息密度最高,为 360.000 ind/m^2 ,占总栖息密度的 74.23%; 其次为棘皮动物,栖息密度为 35.000 ind/m^2 ,占总栖息密度 7.22%,最低为星虫动物,栖息密度为 5.000 ind/m^2 ,占总栖息密度的 1.03%。

3) 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 0~7 种,多样性指数变化范围在 0~2.750 之间,平均值为 1.309,其中 ZH08 站位最高;均匀度指数变化范围在 0.395~1.000 之间,平均值为 0.856,其中 ZH04 站位最高;丰富度指数变化范围在 0.631~2.000 之间,平均值为 1.099,其中 ZH08 站位最高。

2、秋季

1) 种类组成

本次调查共记录大型底栖动物22种,其中环节动9种,节肢动物8种,软体动物2种,棘皮动物1种,蠕虫动物1种,脊索动物1种。环节动物占总种数的40.90%,节肢动物和软体动物分别占总种数的36.36%和9.09%,棘皮动物占总种数的4.55%,蠕虫动物和脊索动物(下文统称为其它动物)共占总种数的9.09%,环节动物是本次调查的主要类群。

2) 底栖生物栖息密度和生物量

大型底栖生物定量采泥样品分析结果表明,调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 45.42ind/m²,以棘皮动物的平均栖息密度最高,为 15.42ind/m²,占总密度的 33.94%;环节动物次之,平均栖息密度为 15.00ind/m²,占总平均密度的 33.03%;节肢动物的平均栖息密度为 9.58ind/m²,占总平均密度的 21.10%;软体动物的平均栖息密度之和为 4.58ind/m²,占总平均栖息密度的 10.09%;其它动物的平均栖息密度之和为 0.83ind/m²,占总平均栖息密度的 1.83%。

底栖生物的平均生物量为10.857g/m²,以节肢动物居首位,该种类的平均生物量为6.428g/m²,占总平均生物量的59.20%;其次为棘皮动物,平均生物量为1.940g/m²,占总平均生物量的17.87%;软体动物的平均生物量为1.149g/m²,占平均生物量的13.07%;环节动物的平均生物量为0.777g/m²,占平均生物量的7.16%;其它动物的平均生物量为0.294g/m²,占平均生物量的2.71%。

本次调查结果表明,各采样站位的底栖生物栖息密度分布程度不均匀,变化范围为(5.00~75.00) ind/m²,其中最高值在ZH11站位,最低的站位为ZH08站位。

本次调查海域的底栖生物的生物量平面分布极不均匀,变化范围为(0.625~27.903) g/m²,其中最高值在ZH10站位,最低值在ZH08站位。

环节动物在调查海区的平均密度 $15.00\text{ind}/\text{m}^2$ ，在调查海区12个站位中9个站出现，出现频率为75.00%。密度分布范围为 $(0\sim 40.00)\text{ind}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $0.777\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $(0\sim 3.270)\text{g}/\text{m}^2$ 。

棘皮动物在调查海区的平均密度为 $15.42\text{ind}/\text{m}^2$ ，在12个站位中9个站有出现，出现频率为75.00%。密度分布范围为 $(0\sim 35.00)\text{ind}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $1.940\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $(0\sim 4.540)\text{g}/\text{m}^2$ 。

节肢动物在调查海区的平均密度为 $9.58\text{ind}/\text{m}^2$ ，在12个站位中8个站有出现，出现频率为66.67%。密度分布范围为 $(0\sim 35.00)\text{ind}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $6.428\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $(0\sim 20.290)\text{g}/\text{m}^2$ 。

软体动物在调查海区的平均密度为 $4.58\text{ind}/\text{m}^2$ ，在12个站位中4个站有出现，出现频率为33.33%。密度分布范围为 $(0\sim 25.00)\text{ind}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $1.419\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $(0\sim 9.038)\text{g}/\text{m}^2$ 。

其它动物在调查海区的平均密度为 $0.83\text{ind}/\text{m}^2$ ，在12个站位中2个站有出现，出现频率为16.67%。密度分布范围为 $(0\sim 5.00)\text{ind}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $0.294\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $(0\sim 2.820)\text{g}/\text{m}^2$ 。

3) 种类优势种和经济种类

大型底栖动物种类若按其优势度 $Y \geq 0.02$ 时即被认定为优势种，那么本次调查海区的底栖生物有 3 个优势种，分别为环节动物的寡节甘吻沙蚕 (*Glycinde gurjanovae*)；棘皮动物的日本倍棘蛇尾 (*Amphioplus japonicas*) 优势度分别为 0.050、0.257。日本倍棘蛇尾在 12 个站位中的 9 个站位出现，为该调查海区的第一优势种；寡节甘吻沙蚕在 12 个站位中的 5 个站位出现，为该调查海区的第二优势种。

4) 多样性指数

调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 1~7 种/站，平均 4 种/站。多样性指数 (H') 变化范围在 0~2.732 之间，平均值为 1.422。多样性指数最高出现在 ZH03 站位；最低则为 ZH01、ZH05、ZH08 号站位，调查海域底栖生物各站的多样性指数差别较大。平均多样性指数属于中下等水平，均匀度指数范围在 0~0.981 之间，平均值为 0.679，最高出现在 ZH13 号站位，最低出现 ZH01、ZH05、ZH08 号站位。

(5) 潮间带生物

1、春季

1) 潮间带岸相和生物种类组成

潮间带 3 个调查断面岸相分布情况: C1、C2 和 C3 断面均为沙滩-岩石断面。本次潮间带生物定性定量调查, 共记录潮间带生物 5 门 6 纲 14 目 22 科 27 种, 其中包括软体动物 13 种、节肢动物 11 种、脊索动物、环节动物和扁形动物各 1 种, 分别占种类总数的 48.15%、40.74%、3.70%、3.70% 及 3.70%。

2) 潮间带各断面优势种

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准, 本次调查区域潮间带生物优势种共有 9 种, 分别为单齿螺 (*Monodonta labio*)、疣荔枝螺 (*Thais clavigera*), 豆斧蛤 (*Donax faba*)、嫁蛾 (*Cellana toreuma*) 等。其中单齿螺为第一优势种, 优势度为 0.175。

3) 潮间带各断面的生物量及栖息密度分布

3 个断面定量调查的平均生物量为 163.471g/m^2 , 平均栖息密度为 118.000ind/m^2 。C2 断面的生物量最大, 为 239.768g/m^2 ; C2 断面的栖息密度最大, 为 171.333ind/m^2 。

从类群分布来看, 3 个断面中软体动物的平均生物量和平均栖息密度最高, 其次是节肢动物。

(4) 潮间带各站位生物量及栖息密度分布

3 个断面 9 个站位定量采样总生物量为 490.412g/m^2 , 总栖息密度为 353.999ind/m^2 。C2 断面的低潮带生物量最高, 为 200.172g/m^2 ; 其次是 C3 断面的低潮带, 生物量为 144.492g/m^2 ; C3 断面的中潮带生物量为最低, 为 3.032g/m^2 。C2 断面低潮带的栖息密度最高, 为 148.000ind/m^2 ; 其次是 C3 断面的低潮带, 栖息密度为 108.000ind/m^2 ; C3 断面的中潮带的栖息密度最低, 为 1.333ind/m^2 。

5) 潮间带断面水平分布和垂直分布

本次潮间带生物调查从水平分布上看, 生物量由高到低排序为 $C2 > C3 > C1$, 栖息密度由高到低排序为 $C2 > C3 > C1$ 。

本次潮间带生物调查从垂直分布上看, 生物量由高到低排序为低潮带 $>$ 中潮带 $>$ 高潮带, 栖息密度由高到低排序为低潮带 $>$ 中潮带 $>$ 高潮带。

6) 潮间带生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查海区潮间带生物多样性指数的变化范围在 1.927~3.657 之间,平均值为 2.587; 均匀度指数的变化范围在 0.642~0.895 之间,平均值为 0.793; 丰富度指数的变化范围在 1.009~2.780 之间,平均值为 1.743。

2、秋季

1) 种类组成

本次调查记录潮间带生物共8种, 其中软体动物6种、节肢动物2种。软体动物和节肢动物分别占总种数的75.00%和25.00%, 软体动物是本次调查的主要类群。

本次调查 3 个断面按沉积物的类型, C1、C2、C3 调查断面岸相均为沙滩相。

2) 生物量及栖息密度

①生物量及栖息密度的组成

调查断面潮间带平均生物量 $156.220\text{g}/\text{m}^2$, 各潮间带平均栖息密度为 $26.44\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

在潮间带平均生物量的组成中, 以软体动物居首位, 平均生物量为 $108.821\text{g}/\text{m}^2$, 占总平均生物量的 69.66%; 其次为节肢动物, 其平均生物量为 $47.399\text{g}/\text{m}^2$, 占总生物量的 30.34%。

在平均栖息密度方面, 总平均栖息密度为 $26.44\text{ind}/\text{m}^2$ 。其中软体动物占首位, 为 $20.89\text{ind}/\text{m}^2$, 其次为节肢动物, 其平均密度为 $5.56\text{ind}/\text{m}^2$ 。

②生物量及栖息密度的水平分布

调查断面的潮间带生物断面生物量和栖息密度的水平分布方面, 断面栖息密度表现为 C3 断面>C1 断面>C2 断面; 断面生物量表现为 C1 断面>C3 断面>C2 断面。

③生物量及栖息密度的垂直分布

在垂直分布上, 潮间带生物的潮区生物量表现为低潮区最高, 中潮区居中, 高潮带最低; 平均栖息密度的垂直分布表现为低潮区>中潮区>高潮区。

3) 潮间带生物多样性指数

结果显示, 3 条调查断面出现的种类数平均 4 种, 多样性指数 (H') 变化范围在 1.615~2.122 之间, 平均值为 1.949, 多样性指数最高出现在 C2 调查断面。种类均匀度变化范围在 0.808~0.914 之间, 平均为 0.877, 最高出现在 C2 调查

断面。

3.2.9.5 渔业资源调查结果

(1) 鱼卵仔稚鱼

1、春季

1) 种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中，水平拖网和垂直拖网共出现了鱼卵 18 种，其中包括鲈形目 11 种，鲾形目 3 种，鲱形目和鲉形目各 2 种；仔稚鱼 28 种，其中包括鲈形目 17 种，鲱形目 3 种，鲾形目 2 种，灯笼鱼目 2 种，鲉形目、银汉鱼目、鲉形目和鲱形目各 1 种。

表 3.2.9-1 鱼卵仔稚鱼种类组成（不公开）

注：“+”表示该发育阶段物种出现情况，鱼卵单位 ind，仔稚鱼单位为 ind。

2) 数量分布

调查 18 个站位的鱼卵仔稚鱼垂直拖网共采到鱼卵 585ind，仔稚鱼 118ind；鱼卵平均密度为 14.564ind/m³，仔稚鱼平均密度为 3.347ind/m³。ZH16 站位鱼卵密度最高，密度为 42.608ind/m³，其次是 ZH18 站位，密度为 35.548ind/m³，共 18 个站位捕获到鱼卵；ZH16 站位仔稚鱼密度最高，密度为 14.783ind/m³，其次是 ZH06 站位，密度为 9.891ind/m³，共 16 个站位捕获到仔稚鱼。

表 3.2.9-2 鱼卵仔稚鱼密度及其分布（垂直拖网）（不公开）

注：鱼卵密度单位 ind/m³，仔稚鱼密度单位为 ind/m³。

3) 主要种类的数量分布（水平拖网）

鲷科 (Sparidae): 鲷科鱼类广泛分布于大西洋、印度洋和太平洋的热带海域，仅少数种类可游入咸淡水和淡水，广东省沿海分布甚为普遍，是我国沿海重要经济鱼类，属于高级的食用鱼类，具高经济及商业价值，部分种类更是为驯化为养殖鱼类。本次水平拖网调查出现的鲷科鱼卵共有 31237 粒，出现在 17 个站位，鲷科鱼卵在调查海域中 ZH20 站位数量最多；鲷科仔稚鱼共有 1 尾，出现在 ZH21 站位。

鳀科 (Engraulidae): 鳀科鱼类广泛分布于全球各大海域，是海洋中掠食者所捕食的饵料生物。其中鳀鱼是一种高蛋白、富含不饱和脂肪酸和鲜味组分的营养健康的美味食品，可用来加工为海产休闲食品，具有经济及商业价值。本次水

平拖网调查出现的鳀科鱼卵共有 28953 粒，出现在 18 个站位，鳀科鱼卵在调查海域中 ZH03 站位数量最多。

鰺属 (*Lepidotrigla* sp.): 鰺鱼分布于红海、印度洋、南洋群岛、澳大利亚北部、中国台湾岛以及中国南海等海域, 主要栖息于热带海洋的近岸或稍碱的水域。主要栖息于沿岸砂泥底质水域, 大多栖息于浅水域, 水深约在 1-40 公尺之间, 有时会进入深水域, 有时会进入河口区。一般在底层活动觅食, 肉食性, 以底栖生物为食。以流刺网或岸边滩钓均有可能捕获, 为鰺科中体型较大的鱼种。本次水平拖网调查出现的鰺属鱼卵共有 38838 粒, 出现在 14 个站位, 鰺属鱼卵在调查海域中 ZH18 站位数量最多。

2、秋季

1) 种类组成

在本次鱼卵仔、稚鱼的调查, 采用水平拖网和垂直拖网两种采样方式。24 个站位共出现鱼卵 4 种, 仔稚鱼 7 种, 鱼卵包括鲱形目、鲈形目, 仔稚鱼包括鳎目、鲇形目、鲈形目、银汉鱼目。

表 3.2.9-3 调查海区鱼卵仔稚鱼种类组成 (不公开)

2) 数量分布

①水平拖网 (定性)

本次水平拖网调查共采到鱼卵 688 粒, 仔稚鱼 45 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 $0.459\text{ind}/\text{m}^3$, 捕获鱼卵数量密度最高为 ZH07 号站位, 为 $2.360\text{ind}/\text{m}^3$, 调查期间 7 个调查站中采到鱼卵, 鱼卵出现率为 58.33%, 鱼卵密度变化范围在 $0\sim 2.360\text{ind}/\text{m}^3$ 。

仔稚鱼在 6 个调查站中有采集到, 出现率为 50%, 仔稚鱼的平均密度为 $0.030\text{ind}/\text{m}^3$ 。

表 3.2.9-4 鱼类浮游生物密度及其分布 (水平拖网) (不公开)

②垂直拖网 (定量)

本次垂直拖网调查共采到鱼卵 9 粒, 仔稚鱼 2 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 $0.28\text{ind}/\text{m}^3$, 捕获鱼卵数量密度最高为 ZH06 号站位, 为 $1.41\text{ind}/\text{m}^3$, 调查期间鱼卵在 4 个调查站中有出现, 出现率为 33.33%。

仔稚鱼在 2 个调查站中有出现, 出现率为 16.67%, 仔稚鱼的平均密度为

0.11ind/m³。

表 3.2.9-5 鱼类浮游生物密度及其分布（垂直拖网）（不公开）

3) 主要种类及数量分布

①水平拖网（定性）

本次调查水平拖网中鲱科是主要种类，密度在（0~1.104）ind/m³之间，12个调查站中出现在6个站位，频率为50%，其中鱼卵密度最高出现在ZH18号站位，占本次调查鱼卵总数的41.13%。

本次调查水平拖网中仔稚鱼主要种类为康氏小公鱼，调查海域密度为0.240ind/m³，占总密度的76.92%。

②垂直拖网（定量）

本次调查垂直拖网中鲱科是主要种类，鲱科鱼卵密度在（0~0.65）ind/m³之间，12个调查站中的出现在3个站位，出现频率为25%。其中鱼卵密度最高出现在ZH18号站，为0.98ind/m³。

在本次调查垂直拖网中仔稚鱼出现较少，仅2个站位采集到仔稚鱼，出现频率为16.67%。其中仔稚鱼密度最高出现在ZH05站位，为1.11ind/m³。

（2）游泳动物

1、春季

1) 种类组成和优势种

此次项目船号为粤珠渔31008，使用的网具为网口宽3.0m、网衣长30m、网口目40mm、网囊目20mm的底拖网，平均拖网船速控制为2.7kn。

本次游泳动物调查共捕获3门4纲16目55科123种，其中：鱼类78种，占总种类数的63.41%，虾类21种（其中虾蛄类4种），占总种类数的17.07%，蟹类19种，占总种类数的15.45%，头足类5种，占总种类数的4.07%。

相对重要性指数显示，本次调查游泳动物优势种（ $IRI \geq 1000$ ）共2种，分别为黑口鳓（*Ilisha melastoma*）和颈斑项鳐（*Nuclaequula nuchalis*）。黑口鳓为第一优势种，其总渔获重量为88.192kg，占游泳动物总渔获重量的34.70%；黑口鳓的总尾数渔获量为4671个，占游泳动物总渔获尾数数的33.32%。

2) 渔获率

①尾数渔获率

本次调查该海区 18 个站位的游泳动物平均尾数渔获率为 779ind/h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 638ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 81.90%；虾类平均尾数渔获率为 96ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 12.26%；蟹类平均尾数渔获率为 28ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 3.62%；头足类的平均尾数渔获率为 17ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 2.22%。

表 3.2.9-6 各站位尾数渔获率及类群所占比例（不公开）

注：尾数渔获率单位为 ind/h。

②重量渔获率

本次调查该海区 18 个站位的平均重量渔获率为 14.119kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 12.396kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 87.80%；虾类平均重量渔获率为 0.904kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 6.40%；蟹类平均重量渔获率为 0.444kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 3.15%；头足类的平均重量渔获率为 0.375 kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 2.66%。

表 3.2.9-7 各站位重量渔获率及类群所占比例（不公开）

注：重量渔获率单位为 kg/h。

3) 渔业资源密度

①尾数渔获密度

本次调查 18 个站位尾数渔获密度范围在 $(34.889\sim 248.647)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $103.287\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，尾数渔获密度最高的站位为 ZH20 站位，最低为 ZH26 站位。

其中，鱼类尾数渔获密度分布范围在 $(22.755\sim 184.252)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $84.666\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 ZH19 站位最高，ZH18 站位最低；虾类尾数渔获密度分布范围在 $(0.138\sim 54.262)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $12.580\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 ZH20 站位最高，ZH05 站位最低；蟹类尾数渔获密度分布范围在 $(0.400\sim 8.133)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $3.745\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 ZH01 站位最高，ZH06 站位最低；头足类尾数渔获密度分布范围在 $(0.133\sim 6.933\times 10^3)\text{ind}/\text{km}^2$ 之间，平均值为 $2.297\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中 ZH20 站位最高，ZH16 站位最低。

表 3.2.9-8 各站位尾数渔获密度（不公开）

注：尾数渔获密度单位为 $\times 10^3 \text{ind}/\text{km}^2$ 。

②重量渔获密度

本次调查 18 个站位渔业资源重量渔获密度范围在（626.350~4212.195） kg/km^2 之间，平均值为 $1873.630 \text{kg}/\text{km}^2$ ，ZH20 站位最高，ZH05 站位最低。

其中，鱼类重量渔获密度变化范围在（415.833~3611.844） kg/km^2 之间，平均值为 $1645.548 \text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 ZH20 站位最高，ZH14 站位最低；虾类重量渔获密度变化范围在（4.000~433.032） kg/km^2 之间，平均值为 $119.255 \text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 ZH19 站位最高，ZH11 站位最低；蟹类重量渔获密度变化范围在（6.399~180.652） kg/km^2 之间，平均值为 $58.939 \text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 ZH01 站位最高，ZH06 站位最低；头足类重量渔获密度变化范围在（6.666~152.521） kg/km^2 之间，平均值为 $49.888 \text{kg}/\text{km}^2$ ，其中 ZH20 站位最高，ZH16 站位最低。

表 3.2.9-9 各站位重量渔获密度（不公开）

注：重量渔获密度单位为 kg/km^2 。

4) 多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查区域游泳动物生物种类数范围在 24~64 种，多样性指数变化范围在 2.018~3.990 之间，平均值为 3.147，其中 ZH26 站位最高，ZH11 站位最低；均匀度指数变化范围在 0.400~0.830 之间，平均值为 0.610，其中 ZH26 站位最高，ZH11 站位最低；丰富度指数变化范围在 2.536~5.798 之间，平均值为 3.788，其中 ZH20 站位最高，ZH16 站位最低。

2、秋季

1) 种类组成和优势种

此次项目调查船号为粤中渔 18160，在距离站位位置 2n mile~3n mile 处放网，使用的网具为网纲 2.0m、网衣 5.0m、网囊目 15mm 的底拖网，拖速控制在 3kn 左右。

本次调查，共捕获游泳生物 68 种，其中：鱼类 38 种，虾类 13 种（其中虾蛄类 5 种），蟹类 16 种，头足类 1 种。

本次调查，各断面出现的物种数量有较大变化，ZH11 站位出现的种类数最多，有 45 种，ZH01 站的出现的物种数最少，为 7 种。

本次调查站位游泳动物 *Shannon-wiener* 多样性指数变化范围为 2.616~

3.917, 平均为 3.408, 多样性指数较好。

2) 渔获率

①总个体渔获率

本次调查该海区的渔业资源平均总个体渔获率为 312ind/h。其中, 鱼类平均个体渔获率为 84ind/h, 占平均总个体渔获率的 26.84%; 虾类平均个体渔获率为 167ind/h, 占平均总个体渔获率的 53.35%; 蟹类平均个体渔获率为 61ind/h, 占平均总个体渔获率的 19.49%; 头足类的平均个体渔获率为 1ind/h, 占平均总个体渔获率的 0.32%。

②总重量渔获率

本次调查该海区的渔业资源平均总重量渔获率为 5.825kg/h。其中, 鱼类平均重量渔获率为 2.250kg/h, 占平均总重量渔获率的 38.63%; 虾类平均重量渔获率为 2.458kg/h, 占平均总重量渔获率的 42.21%; 蟹类平均重量渔获率为 1.074kg/h, 占平均总重量渔获率的 18.44%; 头足类的平均重量渔获率为 0.042kg/h, 占平均总重量渔获率的 0.72%。

③幼体渔获率

本次调查各站位幼体个体计算时, 虾蛄归入虾类。调查站位的平均总幼体渔获率为 207ind/h, 总幼体渔获量占站位总渔获量比例的平均值为 62.70%。各站位不同类群幼体个体渔获量平均值显示, 调查海区幼体渔获量中鱼类幼体个体渔获量最高, 各站位不同类群幼体渔获占比平均值显示, 本次调查渔获中鱼类幼体所占比例最高, 虾类次之, 蟹类最少。

3) 资源密度

本次调查渔业资源平均重量密度为 391.416kg/km², ZH11 号站最高, ZH01 号站最低, 变化范围为 (45.265 ~ 602.920) kg/km²; 平均个体密度为 20.996×10³ind/km², 范围为 (2.285 ~ 35.416) ×10³ind/km², 个体密度最高的站位为 ZH11 号站, 最低为 ZH01 号站位。

表 3.2.9-10 各站位渔业资源资源密度 (不公开)

4) 鱼类资源状况

①种类组成

本次调查捕获的鱼类共 38 种。生物类群中大多数种类为我国沿海渔业的兼

捕对象。大多属于印度洋、太平洋区系，并以栖息于底层、近底层的暖水性的种类占优势。

②资源密度估算

本次调查捕获的鱼类平均重量密度和平均个体密度分别为 $151.205\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $5.651\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 。在本次调查的 12 个站位中，鱼类重量密度最大值出现在 ZH19 号站位，生物重量资源密度为 $261.095\text{kg}/\text{km}^2$ ，个体密度资源最大值出现在 ZH14 号站位，个体数量密度为 $9.140\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 。

表 3.2.9-11 鱼类资源密度（不公开）

5) 虾类资源状况

①种类组成

本次调查，捕获的虾类，经鉴定共 13 种，其中：虾类 8 种，虾蛄类 5 种。

②资源密度估算

虾类平均重量密度和平均个体数量密度分别为 $165.210\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $11.206\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 。其中，重量密度变化范围为 $0\sim 339.612\text{kg}/\text{km}^2$ ，虾类个体数量密度分布范围为 $(0\sim 21.640)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，本次调查中虾类重量密度资源和个体数量资源密度估算最大值均出现在 ZH10 号站位。

6) 蟹类资源状况

①种类组成

本次调查，捕获的蟹类，经鉴定共 16 种。

②资源密度估算

蟹类平均重量密度和平均个体数量密度分别为 $72.191\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $4.083\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 。其中，重量密度变化范围为 $(13.875\sim 139.058)\text{kg}/\text{km}^2$ ，蟹类个体数量密度分布范围为 $(0.538\sim 7.460)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，本次调查中蟹类重量资源密度最大估算值出现在 ZH19 号站位；个体数量资源密度最大估算值出现在 ZH11 号站位。

7) 头足类资源状况

①种类组成

本次调查捕获的头足类，经鉴定共 1 种。

②资源密度估算

本次调查，头足类平均重量密度和平均个体密度分别为 $2.811\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $0.056\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 。其中，重量密度范围为 $(0\sim 23.706)\text{kg}/\text{km}^2$ ；个体密度分布范围为 $(0\sim 0.470)\times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，本次调查头足类重量密度和个体数量密度最大估算捕获资源量均位于 ZH11 号站位。

3.2.10 电磁环境现状调查与评价

3.2.10.1 调查概况

本节引用《珠海桂山海上风电场示范项目海洋环境影响跟踪监测运营期 2021 年度电磁监测报告》。

2021 年 3 月 30 日，对正在运营的珠海桂山海上风电场示范项目三角岛上升压站及电缆线路枯水期的电磁环境分别进行了现场测量，现场测点示意图如图 3.2.10-1 所示。

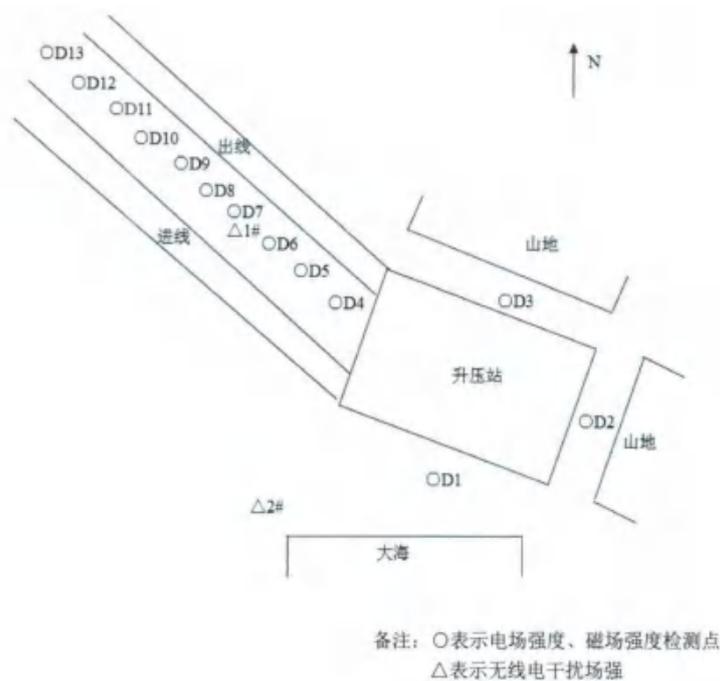


图 3.2.10-1 2021 年 3 月 30 日现场测点示意图

2021 年 10 月 16 日，对正在运营的珠海桂山海上风电场示范项目三角岛上升压站及电缆线路丰水期的电磁环境进行了现场测量，现场测点示意图如图 3.2.10-2 所示。在海上升压站厂界四周 $5\text{m}\sim 50\text{m}$ 范围内每隔 5m 设置 1 个工频电场和磁场的监测站位，共 13 个站位；距边相导线投影 20m 距离和距三角岛升压站围墙外 20m 处设置无线电干扰监测站位，共 2 个站位。监测中记录了天气、

温度和湿度等。

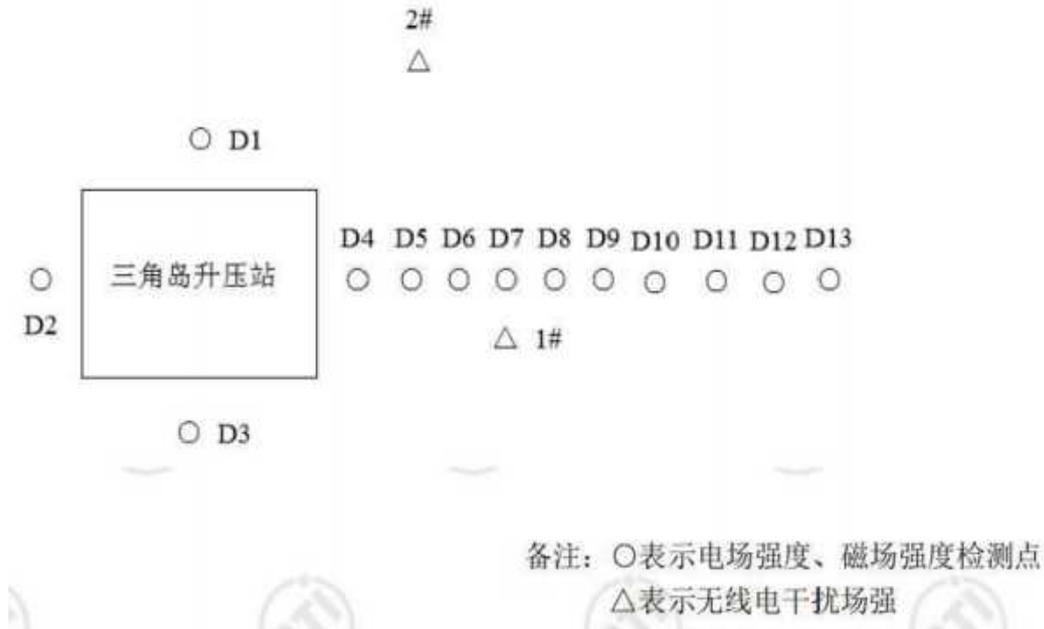


图 3.2.10-2 2021 年 10 月 16 日现场测点示意图

3.2.10.2 监测内容

监测内容包括工频电场、工频磁场和无线电干扰。

3.2.10.3 监测方法

工频电场和工频磁场环境现状参照《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ681-2013）的相关要求进行监测。在每个监测站位，测量设备高度距水面 1.5m 处，利用高低频电磁辐射分析仪进行监测，获取工频电场强度和工频磁场磁感应强度。每个站点连续测 5 次，每次测量的时间不小于 15 秒，并读取稳定状态的最大值。若测量读数起伏较大时，应适当延长测量时间。

无线电干扰参照《高压交流架空输电线路无线电干扰限值》（GB/T7349-2002）的相关要求开展监测。在每个监测站位，利用频谱分析仪对距边相导线投影 20m 距离和距三角岛升压站围墙外 20m 处分别进行监测，获取相应测试频率的无线电干扰值。每个站位的无线电干扰值测量次数不得少于 15 次，最好 20 次以上。

3.2.10.4 评价方法

工频电场和工频磁场参照《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价

技术规范》(HJ/T 24-1998)的推荐值,以 4kV/m 作为工频电场强度的评价标准;以 100 μ T 作为工频磁场磁感应强度的评价标准。

3.2.10.5 监测结果

枯水期(2021年3月30日)监测的工频电场强度为 0.057V/m~0.154V/m,工频磁场强度为 0.016 μ T~0.11 μ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰为 41.5dB (μ V/m)~42.8dB (μ V/m),各监测站位具体监测值如表 3.2.10-1 和表 3.2.10-2 所示。

表 3.2.10-1 2021 年 3 月 30 日工频电场和工频磁场监测结果(不公开)

表 3.2.10-2 2021 年 3 月 30 日测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰值监测结果(不公开)

丰水期(2021年10月16日)监测的工频电场强度为 0.062~0.105V/m,工频磁感应强度为 0.042~0.086 μ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰为 41.7~43.4dB (μ V/m),各监测站位具体监测值如表 3.2.10-3 和表 3.2.10-4 所示。

表 3.2.10-3 2021 年 10 月 16 日工频电场和工频磁场监测结果(不公开)

表 3.2.10-4 2021 年 10 月 16 日测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰值监测结果(不公开)

3.2.10.6 监测结论

枯水期(2021年3月30日)监测的工频电场强度瞬时最大值为 0.154V/m,瞬时最小值为 0.057V/m,均值最大值为 0.117V/m,工频磁场强度瞬时最大值为 0.11 μ T,瞬时最小值为 0.016 μ T,均值最大值为 0.109 μ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰瞬时最大值为 42.8dB (μ V/m),瞬时最小值为 μ V/m),均值最大值为 42.7dB (μ V/m);丰水期(2021年10月16日)监测的工频电场强度瞬时最大值为 0.105V/m,均值最大值为 0.097V/m,工频磁感应强度最大值为 0.086 μ T,均值最大值为 0.079 μ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰瞬时最大值为 43.4dB (μ V/m),均值最大值为 43.2dB (μ V/m),均未超过环境影响报告书的预测值。

监测结果表明,检测值均低于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中频率为 50Hz 时公众暴露控制限值(电场强度 4000V/m,磁感应强度 100 μ T)监测均符合国家电磁环境管理要求,岛上升压站运行对周围电磁环境无明显影响。

3.2.11 噪声环境现状调查与评价

3.2.11.1 调查概况

1、水上噪声

本节水上噪声引自《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》。

噪声调查时间为2018年11月12-13日。水上噪声调查站位坐标见表3.2.11-1，水上噪声调查站位图见图3.2.11-1。

表 3.2.11-1 水上噪声调查站位一览表

序号	北纬	东经
1	22°06'27.60"	113°45'22.20"
2	22°05'24.42"	113°46'49.92"
3	22°04'29.70"	113°45'25.62"
4	22°03'04.38"	113°44'03.30"
5	22°04'28.81"	113°42'17.66"
6	22°05'03.82"	113°43'56.19"
7	22°05'57.48"	113°42'44.88"
8	22°06'31.80"	113°41'39.78"
9	22°06'26.31"	113°43'21.34"



图 3.2.11-1 水上噪声调查站位图

2、水下噪声

本节引用《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2020 年秋季）季度报告》；《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2021 年春季）季度报告》。

春季调查时间为 2021 年 3 月 6 日，秋季调查时间为 2020 年 11 月 29 日。春季和秋季调查站位相同，调查站位坐标见表 3.2.11-2，调查站位图见图 3.2.11-2。

表 3.2.11-2 水下噪声监测站位

站点编号	站点方位	经度 (E)	纬度 (N)
36 桩	/	113°45'24.045"	22°06'16.220"
(1)	500m 东向	113°45'40.173"	22°06'16.220"
(2)	500m 南向	113°45'24.045"	22°06'00.093"
(3)	500m 西向	113°45'07.916"	22°06'16.220"
(4)	500m 北向	113°45'24.045"	22°06'32.349"
(5)	1000m 东向	113°45'56.303"	22°06'16.220"
(6)	1000m 南向	113°45'24.045"	22°05'43.962"
(7)	1000m 西向	113°44'51.787"	22°06'16.220"
(8)	1000m 北向	113°45'24.045"	22°06'48.478"



图 3.2.11-2 水下噪声调查站位图

3.2.11.2 调查内容

1、水上噪声

在珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域进行了 9 个站点的调查, 每个站点连续测量时间均为 10min 以上。测量计算结果为: 等效连续声级 L_{eq} ; 最大声级 L_{max} ; 给出在 10Hz~20kHz 频率范围内的 1/3 倍频程的频带声压级分布。

2、水下噪声

打桩施工所产生的峰值声压级 L_{peak} (dBre1 μ Pa)、全频带累积声压级 L_p (dBre1 μ Pa)、噪声频带有效声压级 (dBre1 μ Pa)、噪声声压谱 (密度) 级 (dBre1 μ Pa/ \sqrt{Hz})。

3.2.11.3 调查结论

1、水上噪声

由海上声环境现场调查结果可知, 该工程海域海面上环境噪声无计权等效噪声级主要分布在 (75~92) dB 之间, 平均值为 86.6dB; 最大声级的平均值为 109.0dB; 在 20Hz~20kHz 的频率分布范围内, 各频带噪声级的最大动态范围为 44.0dB。

2、水下噪声

(1) 春季

1) 峰值声压级和全频带累积声压级

①在 20Hz~20kHz 频率范围内, 距离桩基 500m 工程海域内各站点的峰值声压级于 (159~162) dB 间跳动, 而相对距离 1000m 的峰值声压级于 (157~162) dB 间跳动; 由于是在风机运行期间进行的调查采样, 工程海域内各点的峰值声压与该点风机运行产生的噪声和海面风浪、生物活动有关, 测量期间各点的水文条件基本相同, 没有明显的生物活动干扰, 但从上表可以看出各点的峰值声压相差不大, 可知风机运行产生的噪声对该海域的水下噪声环境峰值声压级的影响并不大; 表层的峰值声压级普遍要比底层的大, 主要与海面风浪有关。

②工程海域内相对距离 500m 的全频带累积声压级于 (140~143) dB 间跳动, 平均值约为 142dB, 而相对距离 1000m 的全频带累积声压级于 (136~140) dB 间跳动, 平均值约为 138dB, 离风机更近的站点其全频带累积声压级会相对较大;

同样其在不同方位的差异较不明显，在不同深度上，表层的全频带累积声压级比底层的大。

2) 频带声压级和声压谱级

通过该 1/3 倍频程谱可分析得出同距不同方位上的声级未有明显差异，受海面风浪和风机运行的影响，表层处声压级要比底层处声压级大，但两者的频谱演变特征基本相似：

①工程海域内相对距离桩基 500m 站点的整体频带声压级幅值平均从 (91~143) dB 区间内变化，最大波动幅度为 52dB；

②工程海域内相对距离桩基 1000m 站点的整体频带声压级幅值平均从 (91~141) dB 区间内变化，最大波动幅度为 50dB；

该工程海域背景噪声的声谱级能量主要集中于 20Hz~1000Hz，噪声能量按频率由低到高总体呈下降趋势，每倍频程按 (1~10) dB 衰减，呈现低频衰减快、高频衰减慢的规律，其峰值频率多出现在 20Hz~200Hz 等低频带，在 200Hz~2000Hz 间噪声能量分布较均匀：

①相对距离桩基 500m 站点的噪声谱级动态变化范围为 80dB，最大谱级主要为 (128~135) dB；

②相对距离桩基 1000m 站点的噪声谱级动态变化范围为 77dB，最大谱级主要为 (121~133) dB；

③各站位的谱级频率特性在风机运行期间差异不大，同一站位不同深度上的噪声谱级变化趋势较为一致。

(2) 秋季

1) 峰值声压级和全频带累积声压级

①在 20Hz~20kHz 频率范围内，距离桩基 500m 工程海域内各站点的峰值声压级于 156~161dB 间跳动，而相对距离 1000m 的峰值声压级于 (156~159) dB 间跳动；由于是在无打桩作业期间进行的调查采样，工程海域内各点的峰值声压只与该点的海面风浪、生物活动有关，与桩基的相距距离无关，又因测量期间各点的水文条件基本相同，又没有明显的生物活动干扰，因此各点的峰值声压相差不大。

②工程海域内相对距离 500m 的全频带累积声压级于 (131~136) dB 间跳动，

平均值约为 134dB，而相对距离 1000m 的全频带累积声压级于（131~134）dB 间跳动，平均值约为 133dB，同向不同距站点之间的全频带累积声压级基本相同；同样地其在不同方位、深度上的差异较不明显。

2) 频带声压级和声压谱级

通过该 1/3 倍频程谱可分析得出同距不同方位上的声级未有明显差异，又因水深较浅，底层处声压级与表层处声压基本相同，且两者的频谱演变特征基本相似：

①工程海域内相对距离桩基 500m 站点的整体频带声压级幅值平均从（90~135）dB 区间内变化，最大波动幅度为42dB；

②工程海域内相对距离桩基 1000m 站点的整体频带声压级幅值平均从（91~132）dB 区间内变化，最大波动幅度为40dB；

该工程海域背景噪声的声谱级能量主要集中于 20Hz~1000Hz，噪声能量按频率由低到高总体呈下降趋势，每倍频程按（1~10）dB 衰减，呈现低频衰减快、高频衰减慢的规律，其峰值频率多出现在 20Hz~200Hz 等低频带，在 200Hz~2000Hz 间噪声能量分布较均匀：

①相对距离桩基 500m 站点的噪声谱级动态变化范围为 69dB，最大谱级主要为（119~128）dB；

②相对距离桩基 1000m 站点的噪声谱级动态变化范围为 70dB，最大谱级主要为（116~126）dB；

③各站位的谱级频率特性在风机施工休憩时差异不大，同一站位不同深度上的噪声谱级变化趋势较为一致。

3.2.12 鸟类资源

3.2.12.1 调查概况

1、调查概况

秋季鸟类资源引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2020 年秋季）季度报告》。

冬季鸟类资源引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2020 年冬季）季度报告》。

春季鸟类资源引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2021 年春季）季度报告》。

夏季鸟类资源引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2021 年夏季）季度报告》。

2、调查时间

- (1) 秋季调查时间：2020 年 11 月 29 日~12 月 3 日
- (2) 冬季调查时间：2021 年 2 月 24 日~2 月 27 日
- (3) 春季调查时间：2021 年 4 月 19 日~4 月 22 日
- (4) 夏季调查时间：2021 年 8 月 25 日~8 月 28 日

3.2.12.2 调查技术和分析方法

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。结合本项目实际情况，调查范围包括桂山海上风电场一期及二期项目风电场址、场址内无人海岛、周边面积较大的桂山岛、东澳岛和万山岛以及近岸香洲区登陆点附近陆域。

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、调查时间与频次

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，鸟类现状调查周期一般为一年，调查频次每季至少为 1 次以上。最佳调查时间根据本地的物候特点确定，其原则是：调查时间应选择调查区域内的水鸟种类和数量均保持相对稳定的时期；调查应在较短时间内完成，一般同一天内数据可以认为没有重复计算，面积较大区域可以采用分组方法在同一时间范围内开展调查，以减少重复记录。计划在一年春、夏、秋、冬四季进行观测，迁徙季节适当增加 1 次，共进行 5 次监测，监测期限为 1 年。

4、鸟类调查及统计方法

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》制定的方法调查海上风电场及周边的鸟类。

(1) 鸟类监测采用样带法、样点法和分区直数法：

样带法：海上监测需开船沿着 8km 范围绕行一圈，记录所有看到的鸟类种类和数量，栖息觅食情况等。对于面积较大的岛屿（如东澳岛、桂山岛、大碌岛等）可以登陆上去，在岛上选择 1-2 条样线，样线长度 1-3km，记录样线上看到的鸟类种类和数量，栖息觅食情况等。

样点法：对于一些面积较小或行走困难的岛屿则改用样点法调查，样点半径为 100m。分区直数法：在水鸟聚集的区域（如滩涂或者开阔水域）则采用分区直数法，直接统计出水鸟的种类和数量。监测使用单筒望远镜、双筒望远镜、单反相机、录音笔等工具记录沿途鸟类物种、数量、生境类型等信息。鸟类的鉴定参照《中国鸟类野外手册》，鸟类分类系统见《中国鸟类分类与分布名录（第三版）》

(2) 监测在晴朗、风力不大（一般在三级以下）的天气条件下进行。每日监测时间主要为清晨（日出后 0.5 小时至 3 小时）或傍晚（日落前 3 小时至日落）。

5、鸟类监测数据分析

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

3.2.12.3 监测结果

1、秋季

(1) 鸟类种类特征

本次调查共记录鸟类 46 种，隶属 8 目 22 科，优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 28 种。由于本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,广义的水鸟包括鹈鹕科(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9种,陆生鸟类有37种。按主要居留型划分,留鸟共有21种,复合居留型(既有留鸟种群也有候鸟种群的类型)有12种,迁徙候鸟共13种,可见本区域留鸟较多,迁徙类型中以冬候鸟较多。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有37种,其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有6种;国家重点保护陆生动物中的二级保护动物的有8种,包括褐翅鸦鹃(*Centropus sinensis*)、岩鹭(*Egretta sacra*)、蛇雕(*Spilornis cheela*)、黑鸢(*Milvus migrans*)、白腹海雕(*Haliaeetus leucogaster*)、普通鵟(*Buteo japonicus*)、红隼(*Falco tinnunculus*)和游隼(*Falco peregrinus*);列入国家保护的有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录(下简称“三有”动物)29种;列入国家保护动物红色名录的有3种,其中蛇雕和游隼属于近危(NT)级别,白腹海雕属于易危(VU)级别;没有列入IUCN红皮书的物种。《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7种,中澳候鸟保护协定种类有8种。

以上保护物种中国家级以上的种类以猛禽为主,属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种的主要有岩鹭、白腹海雕,其次黑鸢在沿海岛屿近岸也较为常见。但总体上水鸟种类不多,也没有保护级别很高的类型。

(2) 鸟类数量概况

本次调查共记录鸟类911只次,其中留鸟数量占优,有86.0%。从全区域来看,优势种为白头鹎(*Pycnonotus sinensis*)、八哥(*Acridotheres cristatellus*)、白鹭(*Egretta garzetta*)、暗绿绣眼鸟(*Zosterops japonicus*)、大嘴乌鸦(*Corvus macrorhynchos*)、苍鹭(*Ardea cinerea*)、黑鸢等。其中大嘴乌鸦、八哥等主要分布在岛屿山顶,尤其喜聚集于海岛垃圾弃置场所;白鹭和苍鹭分布在岛屿沿岸和

陆域近岸湿地，尤其集中在近岸养殖鱼排和鱼塘；白头鹎、暗绿绣眼鸟在岛屿林地和民居周围均有分布。此外，较为常见的种类还有红耳鹎(*Pycnonotus jocosus*)、黄眉柳莺(*Phylloscopus inornatus*)、家燕(*Hirundo rustica*)、北红尾鹟(*Phoenicurus auroreus*)、白鹡鸰(*Motacilla alba*)等等。此外，有岩鹭、蓝矶鸫(*Monticola solitarius*)、紫啸鸫(*Myophonus caeruleus*)等喜好岩礁海岸的种类，数量虽然较少，但出现地点较为固定，即局地出现频率较高。

《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没有超过占全球种群数量 1% 以上的物种(表 3.2.12-1)，说明该区域没有数量集中的鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布。

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

(3) 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，本次调查期间，仅在距离三角岛较近一侧区域发现有岩鹭飞行，高度在 5-40m。而在风电场外的近岸浅海海域，还记录到白鹭、苍鹭等水鸟在近岸海面 and 海上鱼排飞行和停歇，以及黑鸢、白腹海雕、大嘴乌鸦等陆生鸟类在离岸 0-2km 范围活动。观察时发现大部分鸟类在海面飞行是为了捕鱼觅食，因此飞行个体距离海面较低，约在 0-20m 内，黑鸢和白腹海雕等猛禽的飞行高度会稍高，但一般不会超过海面 50m。

海域中岩鹭、黑鸢和白腹海雕是主要的保护物种，属于国家二级保护动物。其中岩鹭在岛屿岩礁上有繁殖种群，根据密度估算共约 20-30 只；黑鸢在岛屿山地树林有繁殖种群，根据密度估算共约 30-40 只；白腹海雕在周边岛屿有繁殖种群，估计数量不超过 10 只。

(4) 沿岸和岛屿鸟类现状

和海上调查相比,沿岸和岛屿鸟类在物种和数量上均远高于海域上观测到的鸟类。总体上大部分为陆生鸟类,分布在岛屿林地和近岸湿地。岛屿林地的优势种为白头鹎、大嘴乌鸦、八哥、暗绿绣眼鸟等,近岸湿地则主要有白鹭、苍鹭、家燕等。其中大嘴乌鸦、白鹭和苍鹭会飞出海面捕食鱼类,其余大部分种类主要在陆地活动,或仅于迁徙时有可能穿过海面。

本项目位于珠江口海区,根据调查历史和资料收集,周边主要的鸟类分布热点地区为淇澳岛、内伶仃岛、担杆岛、南沙湿地、深圳福田红树林、澳门路氹湿地、香港米埔湿地等。通过资料分析对比以上区域的鸟类物种数量和项目区域的距离,可以发现本区域由于以海域和海岛为主,适宜迁徙水鸟集群栖息和觅食的滩涂湿地面积很少,不是迁徙水鸟的主要聚集地。

2、冬季

(1) 鸟类种类特征

本次调查共记录鸟类 41 种,隶属 6 目 21 科,优势类群为雀形目 PASSERIFORMES,共有 28 种。由于本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,广义的水鸟包括鹈鹕科(Podicipedidae)、鹭科(Ardeidae)、鸭科(Anatidae)、秧鸡科(Rallidae)、反嘴鹬科(Recurvirostridae)、鸻科(Charadriidae)、鹬科(Scolopacidae)、燕鸥科(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 7 种,陆生鸟类有 34 种。按主要居留型划分,留鸟共有 20 种,复合居留型(既有留鸟种群也有候鸟种群的类型)有 9 种,迁徙候鸟共 12 种,可见本区域留鸟较多,迁徙类型中以冬候鸟较多。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 33 种,其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 5 种;国家重点保护陆生动物中的二级保护动物的有 6 种,包括褐翅鸦鹃(*Centropus sinensis*)、岩鹭(*Egretta sacra*)、凤头鹰(*Accipiter trivirgatus*)、黑鸢(*Milvus migrans*)、白腹海雕(*Haliaeetus leucogaster*)、普通鵟(*Buteo japonicus*);列入国家保护的有重要生态、科学、社会价值的陆生野生

动物名录（下简称“三有”动物）27种；列入国家保护动物红色名录的有3种，其中凤头鹰属于近危（NT）级别，白腹海雕属于易危（VU）级别；没有列入IUCN红皮书的物种，列入CITES附录II的有4种，分别为凤头鹰、黑鸢、白腹海雕和普通鳶。《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9种，中澳候鸟保护协定种类有6种。

以上保护物种中国家级以上的种类以猛禽为主，属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种的主要有岩鹭、白腹海雕，其次黑鸢和普通鳶在沿海岛屿近岸也较为常见。而水鸟中保护种类不多，也没有保护级别很高的类型。

（2）鸟类数量概况

本次调查共记录鸟类1295只次，其中冬候鸟数量占优，占35.1%，其次为留鸟，数量占28.6%。从全区域来看，红嘴鸥（*Chroicocephalus ridibundus*）占绝对优势，占比达到总数量的33.2%，其次为白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）占13.7%。其次数量较多的还有大嘴乌鸦（*Corvus macrorhynchos*）、八哥（*Acridotheres cristatellus*）、红耳鹎（*Pycnonotus jocosus*）、白鹭（*Egretta garzetta*）、暗绿绣眼鸟（*Zosterops japonicus*）、黑鸢等。其中红嘴鸥聚集在海上，跟随渔船集群飞行觅食；白头鹎、红耳鹎、暗绿绣眼鸟在岛屿林地和民居周围均有分布；大嘴乌鸦、八哥等主要分布在岛屿山顶，尤其喜聚集于海岛垃圾弃置场所；白鹭和苍鹭分布在岛屿沿岸和陆域近岸湿地，尤其集中在近岸养殖鱼排和鱼塘；此外，较为常见的种类还有家燕（*Hirundo rustica*）、苍鹭（*Ardea cinerea*）、珠颈斑鸠（*Spilopelia chinensis*）等，数量比例均超过调查总数量的1%。此外有岩鹭、蓝矶鹎（*Monticola solitarius*）、紫啸鹌（*Myophonus caeruleus*）等喜好岩礁海岸的种类，数量虽然较少，但出现地点较为固定，即局地出现频率较高。

《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没有超过占全球种群数量 1% 以上的物种（表 3.2.12-2），说明该区域没有数量集中的鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布。

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

（3）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，本次调查期间，在三角岛和赤滩岛沿岸海域发现有岩鹭飞行，高度在 5-10m；在三角岛以西海域发现大群红嘴鸥集群觅食，数量超过 400 只。而在桂山岛、东澳岛和大万山岛外的近岸浅海海域，还记录到白鹭、苍鹭等水鸟在近岸海面 and 海上鱼排飞行和停歇，以及黑鸢、白腹海雕、大嘴乌鸦等陆生鸟类在离岸 0-2km 范围活动。观察时发现大部分鸟类在海面飞行是为了捕鱼觅食，因此飞行个体距离海面较低，约在 0-20m 内，黑鸢和白腹海雕等猛禽的飞行高度会稍高，其中白腹海雕被观察到飞行高度超过 200m，黑鸢则多在 100m 以下。总体上目前观察结果反映风机组所处海域对鸟类活动存在阻碍效应，在海域飞行的鸟类甚少进入到风机组所在海域内活动。

海域中岩鹭、黑鸢和白腹海雕是主要的保护物种，属于国家二级保护动物。其中岩鹭在岛屿岩礁上有繁殖种群，根据密度估算共约 20-30 只；黑鸢在岛屿山地树林有繁殖种群，根据密度估算共约 30-40 只；白腹海雕在周边岛屿有繁殖种群，估计数量不超过 10 只。

（4）沿岸和岛屿鸟类现状

和海上调查相比，沿岸和岛屿鸟类在物种和数量上均远高于海域上观测到的鸟类。总体上大部分为陆生鸟类，分布在岛屿林地和近岸湿地。岛屿林地的优势种为白头鹎、大嘴乌鸦、八哥、红耳鹎、暗绿绣眼鸟等，近岸湿地则主要有白鹭、苍鹭、家燕等，香洲港近岸陆地则更多系园林生境的鸟类，和岛屿种类差异较大。会飞出海面的种类包括黑鸢、大嘴乌鸦、白鹭和苍鹭等，其余大部分种类主要在

陆地活动，或仅于迁徙时有可能穿过海面。

本项目位于珠江口海区，根据调查历史和资料收集，周边主要的鸟类分布热点地区为淇澳岛、内伶仃岛、担杆岛、南沙湿地、深圳福田红树林、澳门路氹湿地、香港米埔湿地等。通过资料分析对比以上区域的鸟类物种数量和项目区域的距离，可以发现本区域由于以海域和海岛为主，适宜迁徙水鸟集群栖息和觅食的滩涂湿地面积很少，不是迁徙水鸟的主要聚集地。

3、春季

(1) 鸟类种类特征

本次调查共记录鸟类 62 种，隶属 7 目 25 科，优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 34 种。由于本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，广义的水鸟包括鸕鹚科(Podicipedidae)、鹭科(Ardeidae)、鸭科(Anatidae)、秧鸡科(Rallidae)、反嘴鹬科(Recurvirostridae)、鹤科(Charadriidae)、鹬科(Scolopacidae)、燕鸥科(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 17 种，陆生鸟类有 45 种。按主要居留型划分，留鸟共有 21 种，复合居留型（既有留鸟种群也有候鸟种群的类型）有 13 种，迁徙候鸟共 28 种，可见到迁徙季节候鸟种类增加，迁徙类型中以冬候鸟种类较多。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 51 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种；列入国家重点保护陆生动物中的保护动物的有 7 种，其中国家一级保护物种白腹海雕 (*Haliaeetus leucogaster*)、国家二级保护物种 6 种，包括褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*)、翻石鹬 (*Arenaria interpres*)、岩鹭 (*Egretta sacra*)、蛇雕 (*Spilornis cheela*)、黑鸢 (*Milvus migrans*)、白胸翡翠 (*Halcyon smyrnensis*)；列入国家保护的有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录（下简称“三有”动物）46 种；列入国家保护动物红色名录的有 2 种，其中蛇雕属于近危 (NT) 级别，白腹海雕属于易危 (VU) 级别；列入 IUCN 红皮书的有一种，为灰尾漂鹬 (*Tringa brevipes*)，属于近危 (NT) 级别，列入 CITES 附

录 II 的有 3 种，分别为蛇雕、黑鸢和白腹海雕。《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 21 种，中澳候鸟保护协定种类有 14 种。

以上保护物种中国家级以上的种类以猛禽为主，属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种的主要有岩鹭、白腹海雕，其次黑鸢在沿海岛屿近岸也较为常见。而水鸟中保护种类不多，其中白胸翡翠是 2021 年国家新修订的国家重点保护野生动物名录中新增为重点保护的物种，主要在海岛近岸活动。

（2）鸟类数量概况

本次调查共记录鸟类 62 种，隶属 7 目 25 科，优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 34 种。由于本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，广义的水鸟包括鸊鷉科(Podicipedidae)、鹭科(Ardeidae)、鸭科(Anatidae)、秧鸡科(Rallidae)、反嘴鹬科(Recurvirostridae)、鹤科(Charadriidae)、鹬科(Scolopacidae)、燕鹬科(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 17 种，陆生鸟类有 45 种。按主要居留型划分，留鸟共有 21 种，复合居留型（既有留鸟种群也有候鸟种群的类型）有 1 种，迁徙候鸟共 28 种，可见到迁徙季节候鸟种类增加，迁徙类型中以冬候鸟种类较多。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 51 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种；列入国家重点保护陆生动物中的保护动物的有 7 种，其中国家一级保护物种白腹海雕 (*Haliaeetus leucogaster*)、国家二级保护物种 6 种，包括褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*)、翻石鹬 (*Arenaria interpres*)、岩鹭 (*Egretta sacra*)、蛇雕 (*Spilornis cheela*)、黑鸢 (*Milvus migrans*)、白胸翡翠 (*Halcyon smyrnensis*)；列入国家保护的有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录

（下简称“三有”动物）46种；列入国家保护动物红色名录的有2种，其中蛇雕属于近危（NT）级别，白腹海雕属于易危（VU）级别；列入IUCN红皮书的有一种，为灰尾漂鹬（*Tringa brevipes*），属于近危（NT）级别，列入CITES附录II的有3种，分别为蛇雕、黑鸢和白腹海雕。《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21种，中澳候鸟保护协定种类有14种。

以上保护物种中国家级以上的种类以猛禽为主，属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种的主要有岩鹭、白腹海雕，其次黑鸢在沿海岛屿近岸也较为常见。而水鸟中保护种类不多，其中白胸翡翠是2021年国家新修订的国家重点保护野生动物名录中新增为重点保护的物种，主要在海岛近岸活动。

本次调查共记录鸟类669只次，其中含有迁徙过境鸟种群的数量有408只次，占61.0%，其次为留鸟，个体数量占30.0%。从全区域来看，家燕（*Hirundo rustica*）的数量较多，占总调查数量的27.4%，其次为白头鹎（*Pycnonotus sinensis*），占13.8%。数量较多的还有大嘴乌鸦（*Corvus macrorhynchos*）、白鹭（*Egretta garzetta*）、黑鸢、红耳鹎（*Pycnonotus jocosus*）、八哥（*Acridotheres cristatellus*）等。其中家燕常成群在岛屿民居和沿岸飞行和栖息；白头鹎、红耳鹎在岛屿林地和民居周围均有分布；大嘴乌鸦、八哥等主要分布在岛屿山顶，尤其喜聚集于海岛垃圾弃置场所；白鹭分布在岛屿沿岸和陆域近岸湿地，尤其集中在近岸养殖鱼排和鱼塘。此外，较为常见的种类还有白鹡鸰（*Motacilla alba*）、暗绿绣眼鸟（*Zosterops japonicus*）、鹊鸂（*Copsychus saularis*）、珠颈斑鸠（*Spilopelia chinensis*）、长尾缝叶莺（*Orthotomus sutorius*）、褐翅鸦鹃等，数量比例均超过调查总数量的1%。此外有岩鹭、蓝矶鸫（*Monticola solitarius*）、紫啸鸫（*Myophonus caeruleus*）等喜好岩礁海岸的种类，数量虽然较少，但出现地点较为固定，即局地出现频率较高。

《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没有超过占全球种群数量 1% 以上的物种（表 3.2.12-3），说明该区域没有数量集中的鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布。

表 3.2.12-3 调查区域水鸟种群数量与全球种群 1% 数量对比（不公开）

（3）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，本次调查期间，在三角岛和赤滩岛沿岸海域发现有白鹭和岩鹭飞行，高度在 5-10m，有黑鸢在三角岛上空盘旋飞行，高度 80-120m。而在桂山岛、东澳岛和大万山岛外的近岸浅海海域，还记录到白鹭、大白鹭、池鹭、苍鹭、牛背鹭等水鸟在近岸海面 and 海上鱼排飞行和停歇，以及黑鸢、白腹海雕、大嘴乌鸦等陆生鸟类在离岸 0-2km 范围活动。观察时发现大部分鸟类在海面飞行是为了捕鱼觅食，因此飞行个体距离海面较低，约在 0-20m 内，黑鸢和白腹海雕等猛禽的飞行高度会稍高，其中白腹海雕被观察到飞行高度超过 200m，黑鸢则多在 100m 以下。总体上目前观察结果反映风机组所处海域对鸟类活动存在阻碍效应，在海域飞行的鸟类甚少进入到风机组所在海域内活动。

海域中岩鹭、黑鸢和白腹海雕是主要的保护物种。其中岩鹭在岛屿岩礁上有繁殖种群，根据密度估算共约 20-30 只；黑鸢在岛屿山地树林有繁殖种群，根据密度估算共约 30-40 只；白腹海雕在周边岛屿有繁殖种群，估计数量不超过 10 只。

（4）沿岸和岛屿鸟类现状

和海上调查相比，沿岸和岛屿鸟类在物种和数量上均远高于海域上观测到的鸟类。总体上大部分为陆生鸟类，分布在岛屿林地和近岸湿地。岛屿林地的优势种为家燕、白头鹎、大嘴乌鸦、八哥、红耳鹎等，近岸湿地则主要有家燕、岩鹭、白鹭、大嘴乌鸦等；香洲港近岸陆地记录到部分迁徙过境的滩涂湿地水鸟，以及

适应园林生境的鸟类，和岛屿种类差异较大。本次调查为春季迁徙季，也有部分鸟类开展进入繁殖期，记录了多种杜鹃科鸟类，如四声杜鹃、噪鹃、大鹰鹃、八声杜鹃等，均善鸣叫且鸣声独特，繁殖期常在日夜鸣叫。此外，记录到迁徙性的灰山椒鸟和小灰山椒鸟，说明岛屿林地生境良好，为多种迁徙候鸟提供中途停歇地。但由于岛屿沿岸缺乏滩涂生境，而滩涂是迁徙性水鸟主要用于觅食的生境，故岛屿沿岸的迁徙水鸟较少，主要迁徙水鸟调查记录集中在香洲沿岸。会飞出海面的种类包括黑鸢、大嘴乌鸦、白鹭和岩鹭等，其余大部分种类主要在陆地活动，或仅于迁徙时有可能穿过海面。本项目位于珠江口海区，根据调查历史和资料收集，周边主要的鸟类分布热点地区为淇澳岛、内伶仃岛、担杆岛、南沙湿地、深圳福田红树林、澳门路函湿地、香港米埔湿地等。通过资料分析对比以上区域的鸟类物种数量和项目区域的距离，可以发现本区域由于以海域和海岛为主，适宜迁徙水鸟集群栖息和觅食的滩涂湿地面积很少，不是迁徙水鸟的主要聚集地。

4、夏季

(1) 鸟类种类特征

本次调查共记录鸟类 32 种，隶属 8 目 20 科，优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 20 种。由于本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，广义的水鸟包括鹈鹕科(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 8 种，陆生鸟类有 24 种。按主要居留型划分，留鸟共有 13 种，复合居留型(既有留鸟种群也有候鸟种群的类型)有 11 种，迁徙候鸟共 8 种，总体上留鸟占优，与夏季鸟类组成特征相符。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 27 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 5 种；列入国家重点保护陆生动物中的保护动物的有 3 种，包括国家二级保护物种岩鹭(*Egretta sacra*)、黑鸢(*Milvus migrans*)、红隼(*Falco tinnunculus*)；列入国家保护的有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名

录（下简称“三有”动物）24种；没有列入国家保护动物红色名录的物种；没有列入IUCN红皮书的物种；列入CITES附录的有2种，分别为红隼和黑鸢。《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9种，中澳候鸟保护协定种类有7种。

以上保护物种中国家级以上的种类以猛禽为主，属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种的是岩鹭，其次黑鸢在沿海岛屿近岸也较为常见。而水鸟中保护种类不多，主要为鹭科和鸥科等省级重点保护动物。

（2）鸟类数量概况

本次调查共记录鸟类916只次，其中含有留鸟类型的种类有24种829只次，数量占比最高，含有夏候鸟类型的种类有10种276只次。从全区域来看，白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）记录到的数量最多，占记录个体总数的18.6%，其次为大嘴乌鸦（*Corvus macrorhynchos*），占13.9%。数量较多的还有家燕（*Hirundo rustica*）、暗绿绣眼鸟（*Zosterops japonicus*）、八哥（*Acridotheres cristatellus*）、白鹭（*Egretta garzetta*）等，占比均超过总记录数量的5%。其中白头鹎、家燕和暗绿绣眼鸟在岛屿林地和民居周围均有分布；大嘴乌鸦、八哥等主要分布在岛屿山顶，尤其喜聚集于海岛垃圾弃置场所，也在海岸的码头、鱼排等区域活动；白鹭分布在岛屿沿岸和陆域近岸湿地，尤其集中在近岸养殖鱼排和鱼塘。此外，较常见的种类还有黑枕燕鸥（*Sterna sumatrana*）、黑鸢（*Milvus migrans*）、红耳鹎（*Pycnonotus jocosus*）、小白腰雨燕（*Apus nipalensis*）、珠颈斑鸠（*Spilopelia chinensis*）、长尾缝叶莺（*Orthotomus sutorius*）、麻雀（*Passer montanus*）、棕背伯劳（*Lanius schach*）、金腰燕（*Cecropis daurica*）、矶鹬（*Actitis hypoleucos*）和大山雀（*Parus cinereus*），数量比例均超过调查总数的1%。其中黑枕燕鸥主要在海面飞行，海上调查时记录到一群正跟随渔船觅食，个体数超过30只。

《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没有超过占全球种群数量1%以上的物种(表 3.2.12-4),说明该区域没有数量集中的鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布。

表 3.2.12-4 调查区域水鸟种群数量与全球种群 1%数量对比(不公开)

(3) 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,本次调查期间,在三角岛和赤滩岛沿岸海域发现有白鹭和岩鹭飞行,高度在 0-15m,距离岛屿沿岸不超过 100m,而在海面上发现有零星黑枕燕鸥和褐翅燕鸥飞行,其中褐翅燕鸥还在离岸岩石上停歇。记录到一次黑枕燕鸥集群活动记录,主要行为是跟随渔船觅食,数量超过 30 只。而在桂山岛、东澳岛和大万山岛外的近岸浅海海域,还记录到白鹭、大白鹭、夜鹭等水鸟在近岸海面和海上鱼排飞行和停歇,以及黑鸢、大嘴乌鸦、八哥等陆生鸟类在离岸 0-2km 范围活动。观察时发现大部分鸟类在海面飞行是为了捕鱼觅食,因此飞行个体距离海面较低,约在 0-20m 内,黑鸢等猛禽的飞行高度会稍高,但多在 100m 以下。总体上目前观察结果反映风机组所处海域对鸟类活动存在阻碍效应,在海域飞行的鸟类甚少进入到风机组所在海域内活动。

海域中岩鹭和黑鸢是主要的保护物种。其中岩鹭在岛屿岩礁上有繁殖种群,根据密度估算共约 20-30 只;黑鸢在岛屿山地树林有繁殖种群,根据密度估算共约 30-40 只。

(4) 沿岸和岛屿鸟类现状

和海上调查相比,沿岸和岛屿鸟类在物种和数量上均远高于海域上观测到的鸟类。总体上大部分为陆生鸟类,分布在岛屿林地和近岸湿地。岛屿林地的优势种为白头鹎、大嘴乌鸦、家燕、暗绿绣眼鸟、红耳鹎、黑鸢、八哥等,近岸湿地则主要有八哥、白鹭、家燕、暗绿绣眼鸟、金腰燕、矶鹬等。总体上由于本次调查处于夏季,记录到的鸟类种类较少,但部分种类的数量较多,主要为白头鹎、

大嘴乌鸦等留鸟，也有家燕、金腰燕等夏候鸟，迁徙鸟和冬候鸟较少，特别是水鸟记录少。

会飞出海面的种类包括黑鸢、大嘴乌鸦、白鹭和岩鹭等，且大部分只在离岸2km范围内飞行，其余大部分种类在陆地活动，或仅于迁徙时有可能穿过海面。本项目位于珠江口海区，根据调查历史和资料收集，周边主要的鸟类分布热点地区为淇澳岛、内伶仃岛、担杆岛、南沙湿地、深圳福田红树林、澳门路凼湿地、香港米埔湿地等。通过资料分析对比以上区域的鸟类物种数量和项目区域的距离，可以发现本区域由于以海域和海岛为主，适宜迁徙水鸟集群栖息和觅食的滩涂湿地面积很少，不是迁徙水鸟的主要聚集地。

3.2.13 自然保护区

本项目论证范围内分布有珠海市万山群岛市级自然保护区和珠江口中华白海豚国家级自然保护区。

(1) 珠海市万山群岛市级自然保护区

珠海万山群岛市级自然保护区（下文简称“保护区”）于2000年经市政府批准建立的市级自然保护区，位于珠江入海口的珠海万山海洋开发试验区，包括东澳岛、白沥岛、大万山岛、小万山岛4个岛屿，面积为2207hm²。保护区属海洋海岸类型自然保护区，主要保护对象为海岛生态系统和生物多样性。

根据原珠海市环境保护局的《珠海环境保护局关于珠海万山群岛市市级自然保护区范围和功能区调整的公示》，将存在建制镇、人为活动相对频繁、存在军事设施或是主要规划岛屿的东澳岛和大万山岛大部分区域、小万山岛部分区域调出保护区，面积共计634.10hm²，同时将无人活动干扰、相对更具保护价值的无居民海岛连同周边部分水域调入保护区，面积共计为635.50hm²，调整后保护区总面积为2208.4hm²，增加1.4hm²。

调整后，保护区总面积由2207.0hm²变为2208.4hm²。范围上，由原来的东澳、大万山、小万山、白沥4个岛屿，扩大到三门列岛海域，四至范围为东经113°39'31"~113°58'53"，北纬21°55'45"~22°3'53"。其中，核心区、缓冲区和实验区面积分别为770.45hm²、712.74hm²和725.21hm²，分别占保护区总面积的34.89%、32.27%和32.84%。项目距离珠海市万山群岛市级自然保护区5.7km，

详见图 3.2.13-1。

(2) 珠江口中华白海豚国家级自然保护区

珠江口中华白海豚国家级自然保护区位于珠江口水域内伶仃岛至牛头岛之间，面积约 460hm²。1999 年 10 月由广东省政府批准建立珠江口中华白海豚自然保护区，2003 年 6 月由国务院正式批准晋升为国家级自然保护区。2007 年 11 月保护区加入中国生物圈保护区网络，成为中国人与生物圈大家族中的一员。该保护区的建立不但最大限度的减少了人为干扰，在挽救濒危的中华白海豚种群同时，也保护了珠江口水域自然环境的生物多样性，修复了海洋生态系统，增殖了渔业资源，为经济可持续发展提供了保障。

保护区总面积 460hm²，核心区面积 140hm²，缓冲区面积 128hm²，实验区面积 192hm²。

核心区：面积 140hm²，是原生自然景观最好的地方，是遗传基因库的精华所在，需采取绝对的保护措施，免受人为的干扰破坏。核心区作为深入研究生态系统自然演化的场所，可为人们提供各种标准的“本底”资料。因此，禁止任何船只进入该区域内从事可能对资源造成直接危害或不良影响的活动；若确因科学研究需要进入该区域的，须向保护区管理局提出申请。

缓冲区：面积 128hm²，位于核心区的周围，其作用是保护核心区免受外界的影响和破坏，起到一定的缓冲作用。经广东省海洋与渔业局批准，在保护区管理局统一规划和引导下，可有计划的组织经济开发活动。

实验区：面积 192hm²，位于保护区的边缘，以发展本地区特色的生产经营为主，如发展自然保护区野生动物饲养与驯化等，建立资源多层次综合利用的生态良性循环体系。经保护区管理局批准，可在划定范围内适当组织生态旅游、科学考察、教学实习等活动，但不得危害资源和污染环境。项目位于珠江口中华白海豚国家级自然保护区北侧约 5.0km，详见图 3.2.13-1。

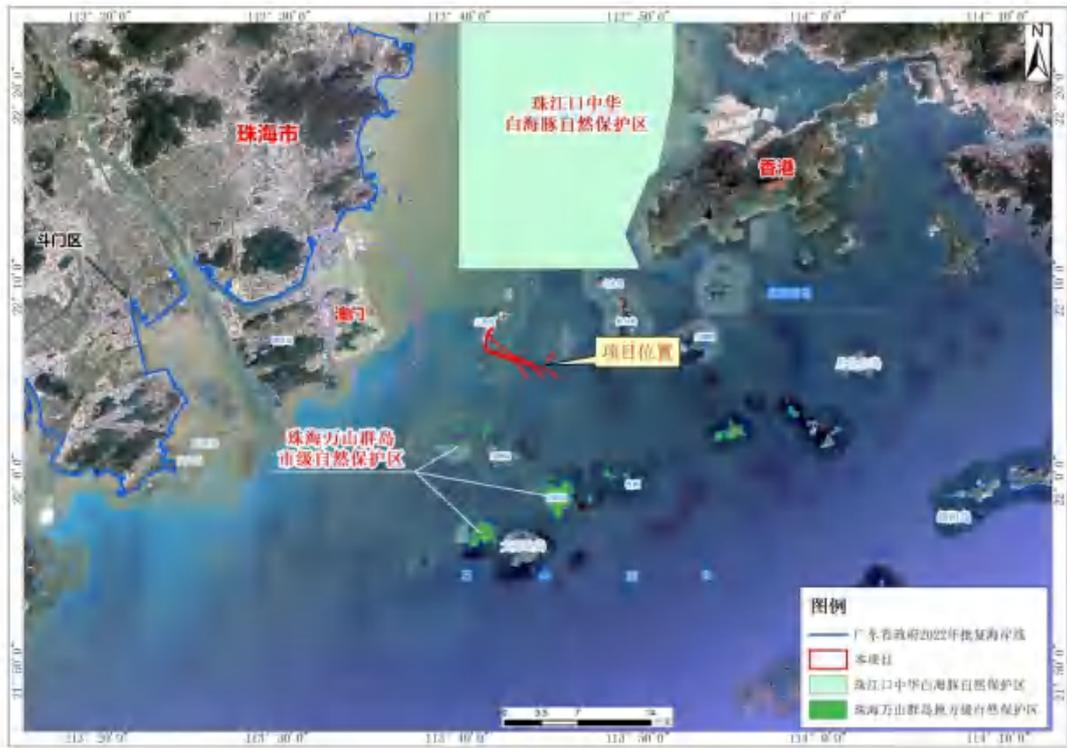


图 3.2.13-2 项目与周边自然保护区位置关系图

3.2.14 珍稀海洋生物

中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 属哺乳纲鲸目齿鲸亚目海豚科白海豚属，珠江口一带称白忌、白牛，福建一带称为镇海鱼、妈祖鱼等，是一种沿岸定居性的小型齿鲸类，为国家一级保护水生野生动物。

中华白海豚广泛分布于西太平洋和印度洋的沿岸水域，属暖水性种类。在澳大利亚北部、印度尼西亚、加里曼丹、马来西亚、马六甲海峡、泰国湾、斯里兰卡及南海沿岸国家均有分布。在中国水域，主要分布东南沿海的河口内湾，北至长江口附近，南至北部湾的越南水域边界。在中国东南沿海 12 条主要河流入海口中可能至少分布有 8 个中华白海豚种群，主要分布在长江、瓯江、闽江、九龙江、韩江、珠江、鉴江和南流江等河口水域。其中，以珠江河口水域的栖息数量最多，因此，珠江河口水域的中华白海豚种群在中国沿海有着极为重要的地位。

3.2.14.1 调查概况

1、调查概况

秋季中华白海豚调查结果引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二

期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2020 年秋季）季度报告》。

冬季中华白海豚调查结果引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2020 年冬季）季度报告》。

春季中华白海豚调查结果引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2021 年春季）季度报告》。

夏季中华白海豚调查结果引自《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程 EPC 总承包项目跟踪监测（2021 年夏季）季度报告》。

2、调查时间

- (1) 秋季调查时间：2020 年 11 月 29 日
- (2) 冬季调查时间：2021 年 2 月 1 日~2 月 2 日
- (3) 春季调查时间：2021 年 3 月 16 日~3 月 17 日
- (4) 夏季调查时间：2021 年 8 月 19 日

3.2.14.2 调查方法

中华白海豚监测采用“截线抽样调查法”，截线抽样调查方法参照美国国家海洋与大气管理局（NOAA）的海洋鲸豚类考察数据记录方法。调查队员有 2 名主要观察者、1 名记录者和 1 名轮换队员。2 名观察者分别为左侧观察者和右侧观察者，使用双筒望远镜结合肉眼进行观测，左右观察者负责的观测范围为各自一侧 100° 的范围，即以航线方向为 0°，从各自一侧 90° 到越过中线 10° 的海域。记录者负责数据记录，同时兼任独立观察者，负责观察前方 180° 的视野范围，即左侧 90° 到右侧 90° 的海域，每名队员将逐次担当左侧观察者、记录者（独立观察者）和右侧观察者，每个位置工作 30min。

船只按照预先拟定好的截线航行，引擎的马力不低于 150hp，调查队员按照上述方式搜索海面，搜寻中华白海豚，若观察到海豚，就关闭船只引擎，做好位置、数量、种群和行为信息等相关记录，并保存好拍摄照片，尽量做个体的鉴别。结合中华白海豚国家级自然保护区及本项目位置，综合考虑布设本次中华白海豚监测航线如图 3.2.14-1 所示。

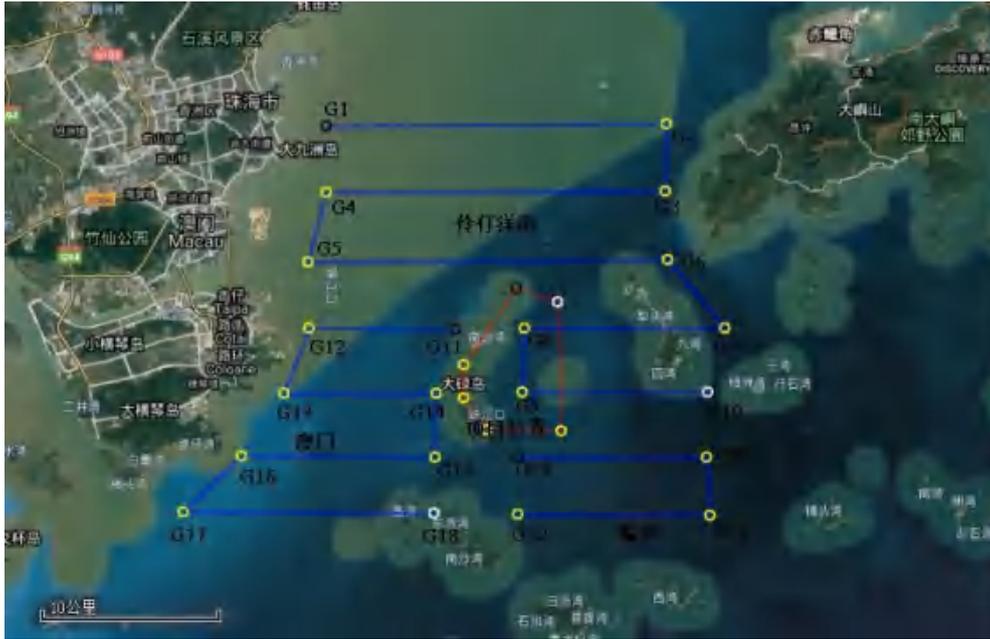


图 3.2.14-1 中华白海豚监测航线示意图

3.2.14.3 监测结果及评价

1、秋季

本次中华白海豚监测严格按照监测方案实施，监测过程如图 3.2.14-2 所示，监测时间为 2020 年 11 月 29 日，监测时段天气晴，能见度约 12km，北风 4 级。本次中华白海豚监测航线总长约 131km，观察员严格按照既定方案对中华白海豚进行截线调查，整个监测过程中，观察员没有目击到中华白海豚出没。

2、冬季

根据检测方案，本项目 2021 年 2 月 1 日-2 日，监测时段天气晴，能见度约 20km，东南风 3-4 级。执行期间在伶仃洋南的澳门、隘洲和澳门西南之间水域开展一次样线调查。调查期间，在港珠澳大桥至港澳航道之间海域目击中华白海豚（表 3.2.12.3-1，图 3.2.12.3-1）。该群体由至少 9 头。中华白海豚组成，该群体离散分布于 200 米的海域，在整体跟踪观察过程中主要以捕食行为为主。

表 3.2.14-1 冬季中华白海豚监测执行情况（不公开）

图 3.2.14-2 调查样线设置以及中华白海豚的目击位置（不公开）

图 3.2.14-3 该个体的家域范围和核心栖息地范围（不公开）

将此行拍摄的中华白海豚资料与该区域的中华白海豚个体辨识数据库进行比对，成功辨识其中一头个体（编号 0304-DSMG）。此次目击位置在该个体的家

域范围，但出于其核心栖息地范围的边界位置。0304-DSMG 属于伶仃洋中华白海豚四个主要社群的南部社群成员。该社群常年活动于港澳航道以南、桂山岛和澳门之间海域，也是伶仃洋种群与风电场项目位置重叠程度最高的社群。

3、春季

根据监测方案，本项目 2021 年 3 月 16 日至 3 月 17 日执行期间在伶仃洋南的澳门、隘洲和澳门西南之间水域开展一次样线调查。调查期间，澳门机场以西海域及项目所在区目击中华白海豚。其中，项目所在区白海豚群体包括 2 头无斑点成年个体，在整体跟踪观察过程中主要以捕食行为为主，澳门机场西侧海域白海豚群体由至少 12 头中华白海豚组成，该群体至少包括 6 头成年个体、4 头亚成年个体和 5 头青年个体组成，并有明显的母子对。该社群常年活动于港澳航道以南、桂山岛和澳门之间海域，也是伶仃洋种群与风电场项目位置重叠程度最高的社群。相关信息见表 3.2.14-2。

表 3.2.14-2 春季中华白海豚监测执行情况（不公开）

图 3.2.14-4 本次中华白海豚目击位置示意图（不公开）

4、夏季

根据监测方案，本项目 2021 年 8 月 19 日执行期间在伶仃洋南的澳门、隘洲和澳门西南之间水域开展一次样线调查。本次调查未发现中华白海豚。

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

南海鱼类产卵场分布见图 3.2.15-1 和图 3.2.15-2。

本项目不位于南海中上层鱼类产卵场与南海底层、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(图 3.2.15-3)，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）幼鱼幼虾保护区

根据《南海区水产资源保护示意图》（1985 年 8 月）确定、2002 年农业部发

布 189 号文公布的幼鱼幼虾保护区范围,幼鱼幼虾保护区位于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(图 3.2.15-4),保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日,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。。

本项目位于幼鱼幼虾保护区。

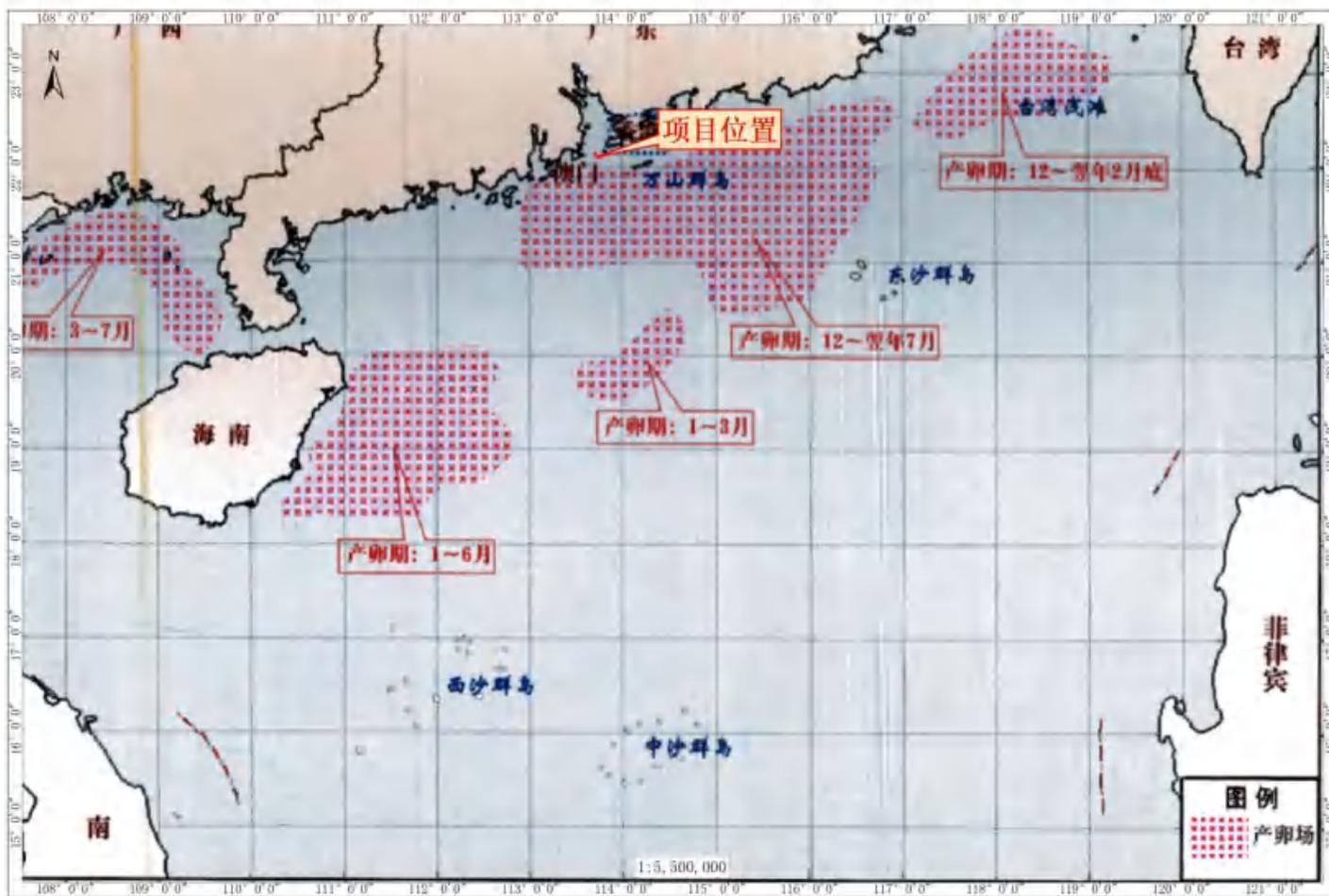


图 3.2.15-1 南海中上层鱼类产卵场示意图

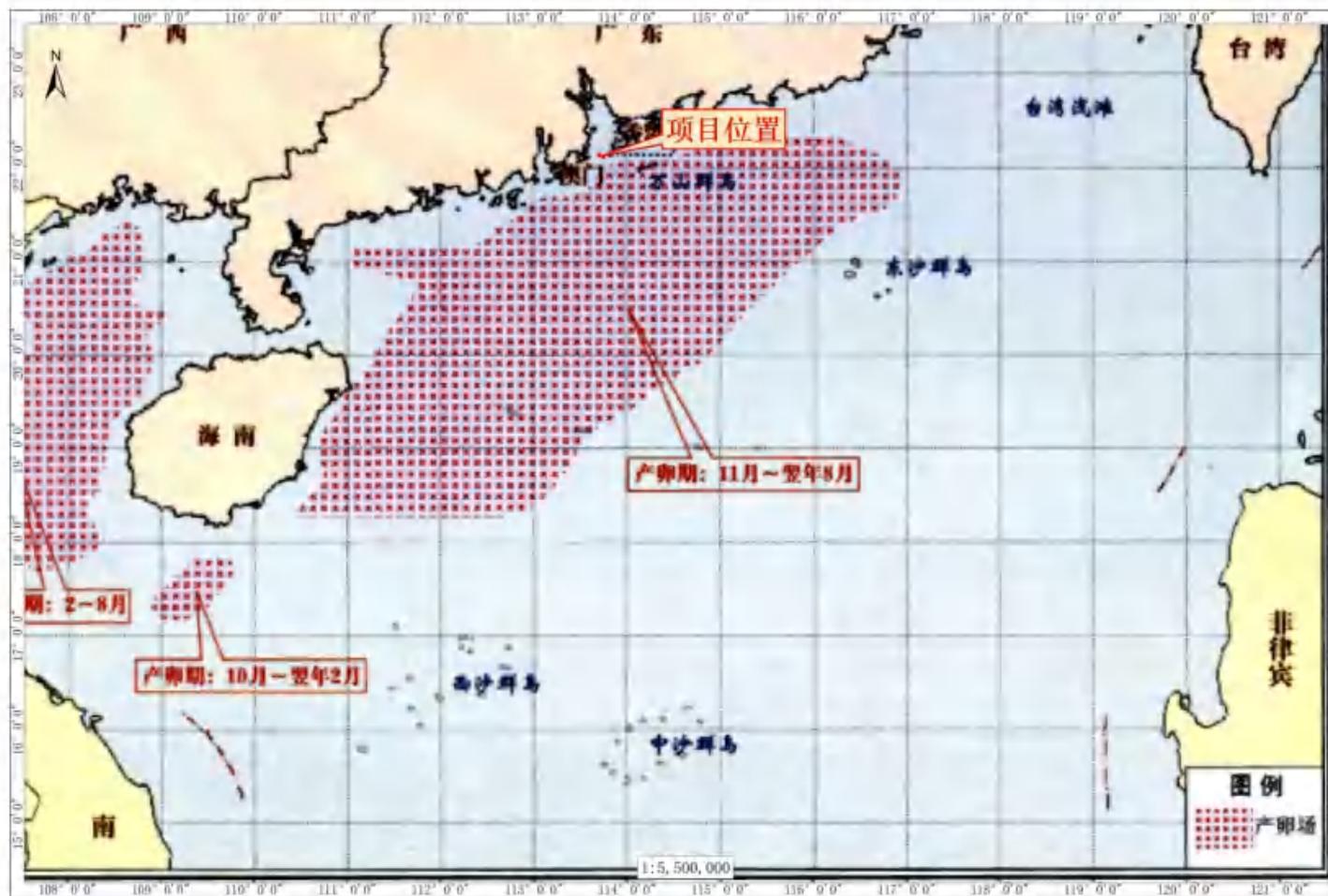


图 3.2.15-2 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

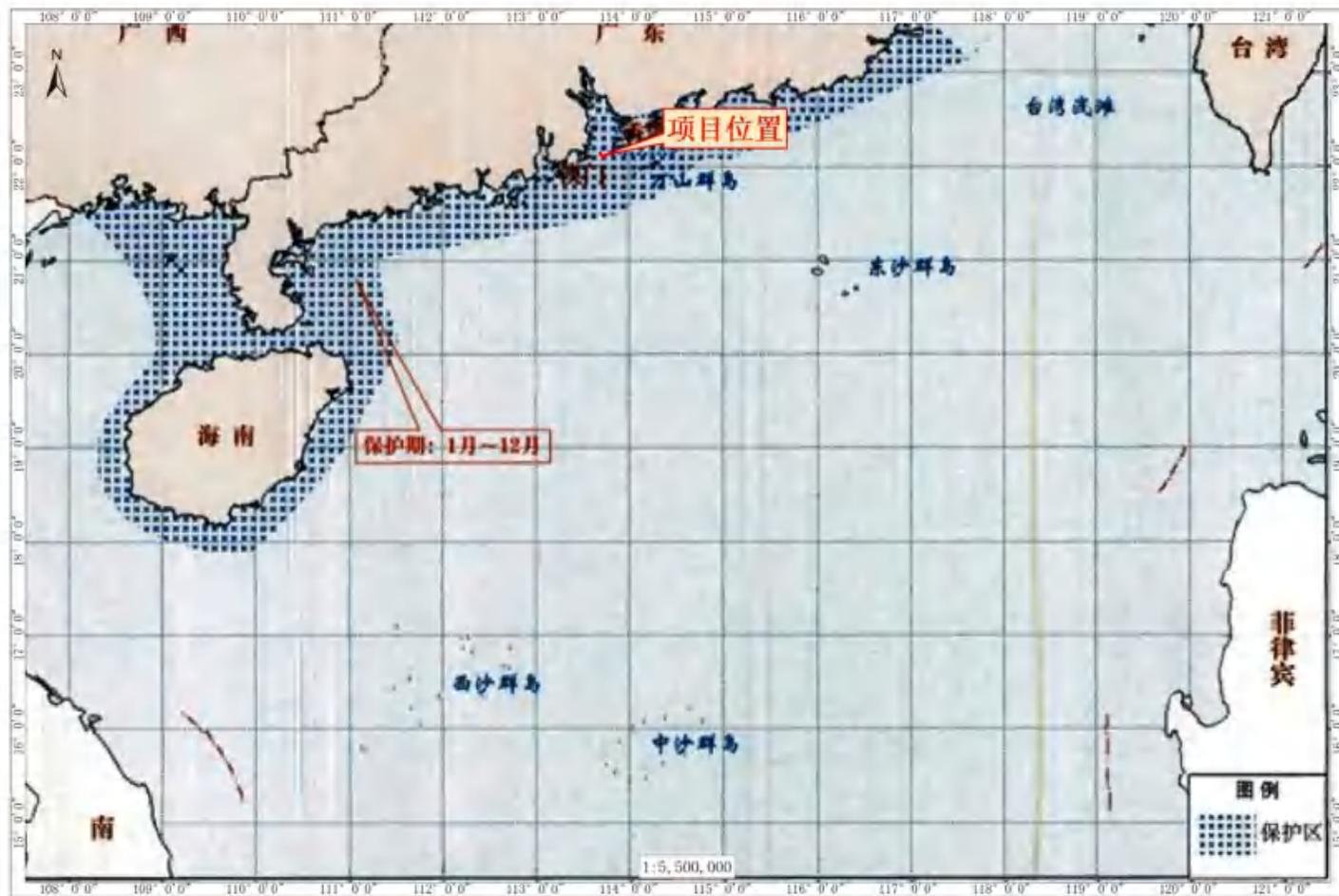


图 3.2.15-3 南海北部幼鱼繁育场保护区范围示意图

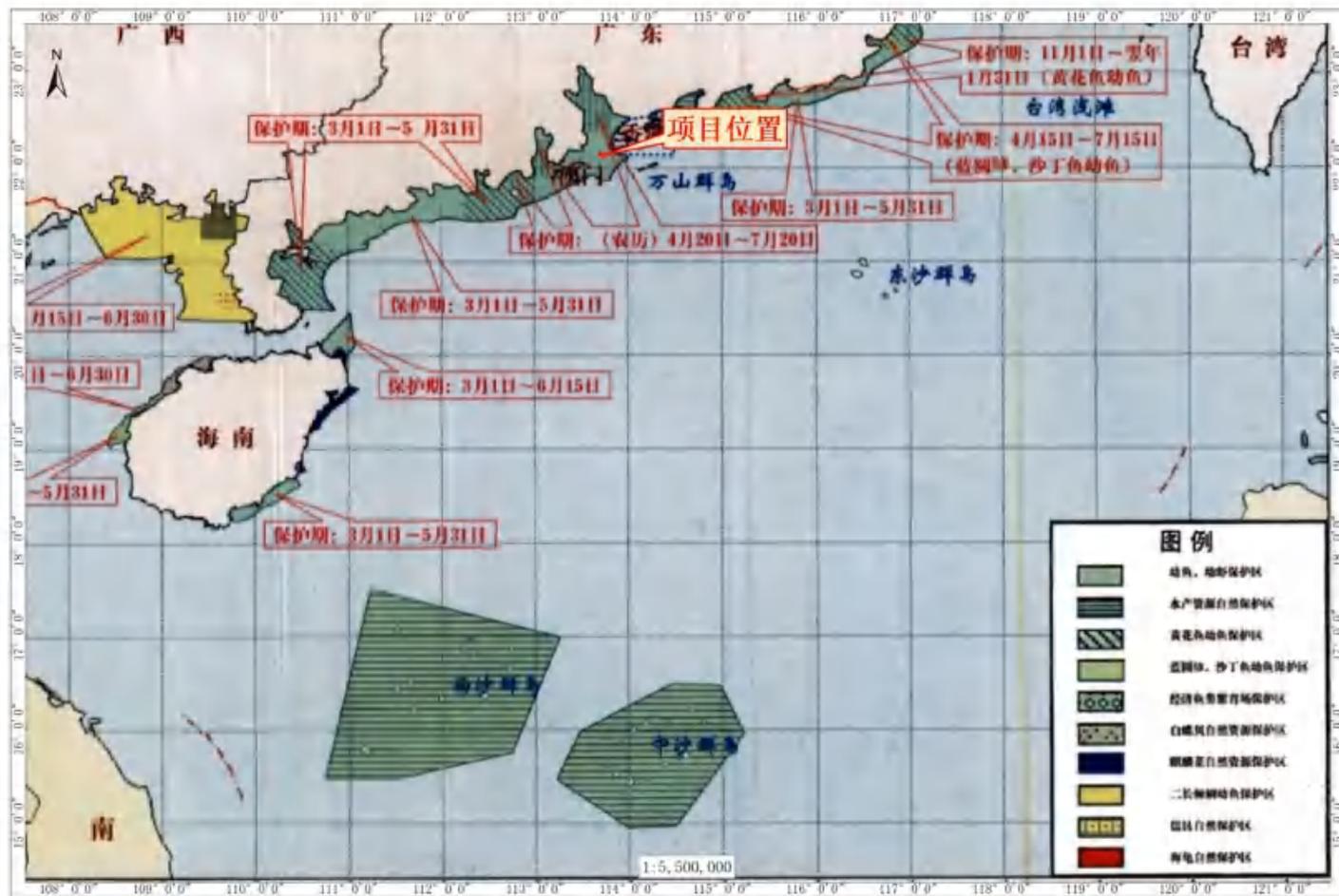


图 3.2.15-4 南海国家级及省级保护区示意图

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、海洋渔业水域等资源生态敏感目标，具体分布见表 4.1.1-1。生态保护红线见图 4.1.1-1，自然保护区见图 3.2.13-1、图 3.2.13-2，海洋渔业水域见图 3.2.15-3 和图 3.2.15-4。

表 4.1.4-1 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	万山群岛重要渔业资源产卵场	东侧，约 1.5km	渔业资源、海洋水质、生态环境
	珠海万山群岛地方级自然保护区	西南侧，约 5.7km	海洋生物多样性及其生态系统
	广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区	北侧，约 5.0km	中华白海豚及其生境
	珠江三角洲水土保持-水源涵养生态保护红线	西侧，约 22.5km	水土保持
	磨刀门重要河口	西南侧，约 21.4km	河口生态系统
自然保护区	珠海市万山群岛市级自然保护区	西南侧，约 5.7km	海洋生物多样性及其生态系统
	广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区	北侧，约 5.0km	中华白海豚及其生境
海洋渔业水域	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
	幼鱼幼虾保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境



图 4.1.1-1 项目周边资源生态敏感目标分布图（生态保护红线）

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地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的十大类有限人为活动。

本项目用海不涉及生态保护红线，与生态保护红线距离最近的为“万山群岛重要渔业资源产卵场”，约 1.5km。

4.1.1.2 自然保护区

根据《中华人民共和国自然保护区条例》中第十八条，自然保护区可以分为核心区、缓冲区和实验区。自然保护区内保存完好的天然状态的生态系统以及珍稀、濒危动植物的集中分布地，应当划为核心区，禁止任何单位和个人进入；除依照本条例第二十七条的规定经批准外，也不允许进入从事科学研究活动。核心区外围可以划定一定面积的缓冲区，只准进入从事科学研究观测活动。缓冲区外围划为实验区，可以进入从事科学试验、教学实习、参观考察、旅游以及驯化、

繁殖珍稀、濒危野生动植物等活动。原批准建立自然保护区的人民政府认为必要时，可以在自然保护区的外围划定一定面积的外围保护地带。

第二十六条，禁止在自然保护区内进行砍伐、放牧、狩猎、捕捞、采药、开垦、烧荒、开矿、采石、挖沙等活动；但是，法律、行政法规另有规定的除外。

第三十二条，在自然保护区的核心区和缓冲区内，不得建设任何生产设施。在自然保护区的实验区内，不得建设污染环境、破坏资源或者景观的生产设施；建设其他项目，其污染物排放不得超过国家和地方规定的污染物排放标准。在自然保护区的实验区内已经建成的设施，其污染物排放超过国家和地方规定的排放标准的，应当限期治理；造成损害的，必须采取补救措施。在自然保护区的外围保护地带建设的项目，不得损害自然保护区内的环境质量；已造成损害的，应当限期治理。限期治理决定由法律、法规规定的机关做出，被限期治理的企业事业单位必须按期完成治理任务。

本项目不涉及自然保护区，距离最近的为北侧的“广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区”，约 5.0km。

4.1.1.3 海洋渔业水域

(1) 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。

(2) 幼鱼幼虾保护区

根据《南海区水产资源保护示意图》（1985 年 8 月）确定、2002 年农业部发布 189 号文公布的幼鱼幼虾保护区范围，幼鱼幼虾保护区位于广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20 米水深以内的海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日，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。本项目位于幼鱼幼虾保护区内。

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

由于本项目已建设完成并网运行，因此本报告仅分析实际建设方案对资源生态的影响。项目实际建设方案的用海总平面布置详见报告 2.2.1 节。

根据平面布置方案，项目装机容量为 83.65MW，共布置 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，其中 11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期建设时均已建设完成，本项目建设不再考虑。平面布置图详见图 2.2.1-2 所示。

4.1.4 水动力环境影响分析

4.1.4.1 潮流模型

1、控制方程

(1) 提出假设

①Bousinesq 涡粘假定：

将紊动应力和时均流速梯度建立起关系：

$$\mathcal{G} = \nu_t \frac{\partial u}{\partial z} = \overline{u'v'}$$

②静水压假设：

垂向加速度远小于重力加速度，因此在垂向动量方程中忽略垂向加速度而近似采用静水压假定。

(2) 笛卡尔坐标系下的二维浅水方程

连续方程：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS$$

动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} &= f\bar{v}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ &\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial x}\right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + hu_s S \\ \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} &= -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ &\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial x}\right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned}$$

方程中 t 为时间; x 、 y 、 z 为右手 Cartesian 坐标系; η 为水面相对于未扰动水面的高度即通常所说的水位; h 为静止水深; u 、 v 、 w 分别为流速在 x 、 y 、 z 方向上的分量; p_a 为当地大气压; ρ 为水密度, ρ_0 为参考水密度; $f = 2\Omega\sin\varphi$ 为 Coriolis 参量 (其中 $\Omega = 0.729 \times 10^{-4} s^{-1}$ 为地球自转角速率, φ 为地理纬度); $f\bar{v}$ 和 $f\bar{u}$ 为地球自转引起的加速度; s_{xx} 、 s_{xy} 、 s_{yx} 、 s_{yy} 为辐射应力分量; T_{xx} 、 T_{xy} 、 T_{yx} 、 T_{yy} 为水平粘滞应力项, S 为源汇项, (u_s, v_s) 源汇项水流流速。

2、定解条件

(1) 边界条件

①开边界:

$$\eta_r = \eta_r(t) \text{ 或 } \bar{u}_r = \bar{u}_r(t) \text{ 或 } \bar{v}_r = \bar{v}_r(t)$$

η_r 、 \bar{u}_r 、 \bar{v}_r 为开边界 r 上已知水位、流速过程。

②闭边界:

$$\bar{u} = 0 \text{ 或 } \bar{v} = 0$$

(2) 初始条件

$$\eta(x, y, t)|_{t=t_0} = \eta_0(x, y)$$

$$\bar{u}(x, y, t)|_{t=t_0} = 0$$

$$\bar{v}(x, y, t)|_{t=t_0} = 0$$

η_0 为计算初始时刻水位空间分布函数。

3、计算方法

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。

对计算区域内滩地干湿过程，采用水位判别法处理，即当某点水深小于一浅水深 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。

对笛卡儿坐标系下的二维浅水方程的归一化：

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

其中：

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

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

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

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

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：

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

4、模型设置

(1) 地形条件

模型外海地形来源于海图，项目附近采用工程区实测地形图进行校正。

(2) 边界条件

模型大范围外海开边界由全球潮汐预报系统提供，小范围模型开边界由大模型提供。风场资料：风场采用大万山海洋站夏季平均风速 3.6m/s，风向取东南季风。

(3) 时间步长

根据模型网格大小、水深条件动态调整模型计算时间步长，使 CFL 数小于 0.8，满足模型稳定的要求，本文时间步长设置为 30s。

5、计算范围及网格划分

为拟合工程区附近复杂岸线及岛屿、码头等建筑物边界，计算模式采用非结构三角形网格。模型开边界由大范围模型提供，大范围模型开边界来自于全球潮汐系统，图 4.1.4-1 为大范围模型计算范围，图 4.1.4-2 为小模型计算范围。模型共布置 119118 个网格，61736 个节点，采用三角形网格离散计算区域，最大网格尺寸为 3000m，桩基处最小网格尺寸为 5m。大模型坐标系为 WGS84 大地坐标系，小模型为 CGCS2000 坐标系，基面为理论深度基准面。

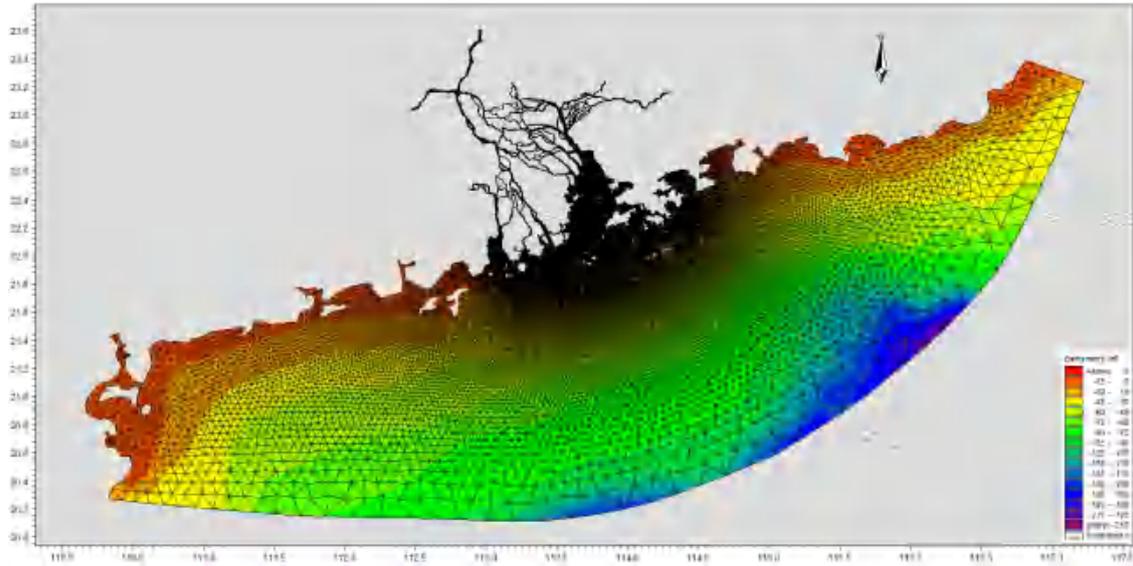


图 4.1.4-1 大范围模型计算范围

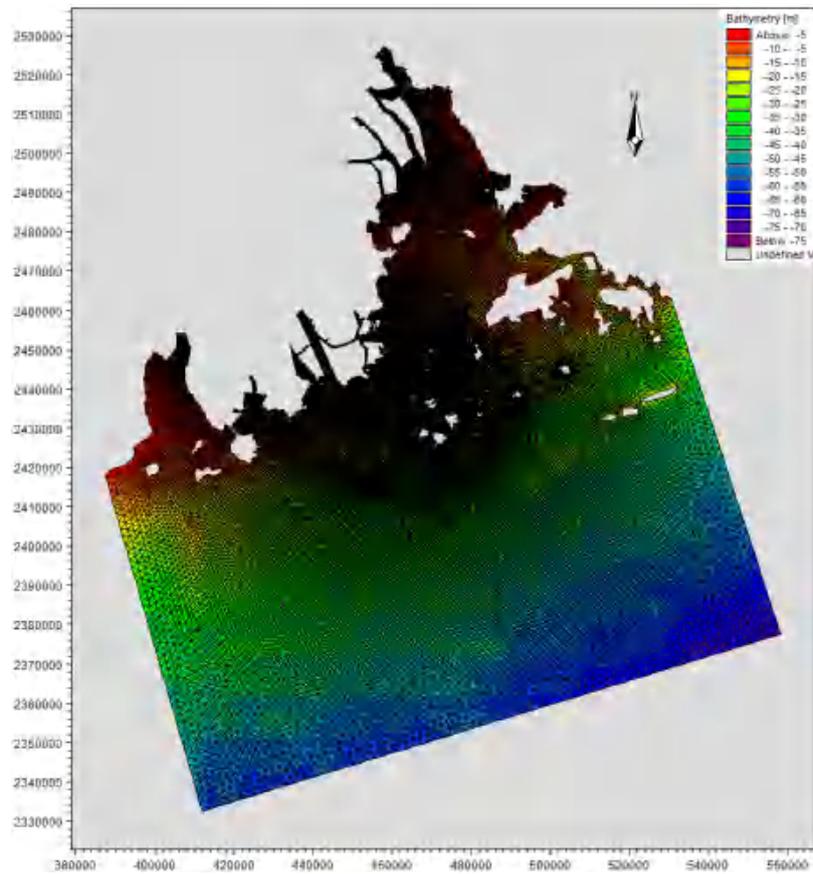


图 4.1.4-2 小范围模型计算范围

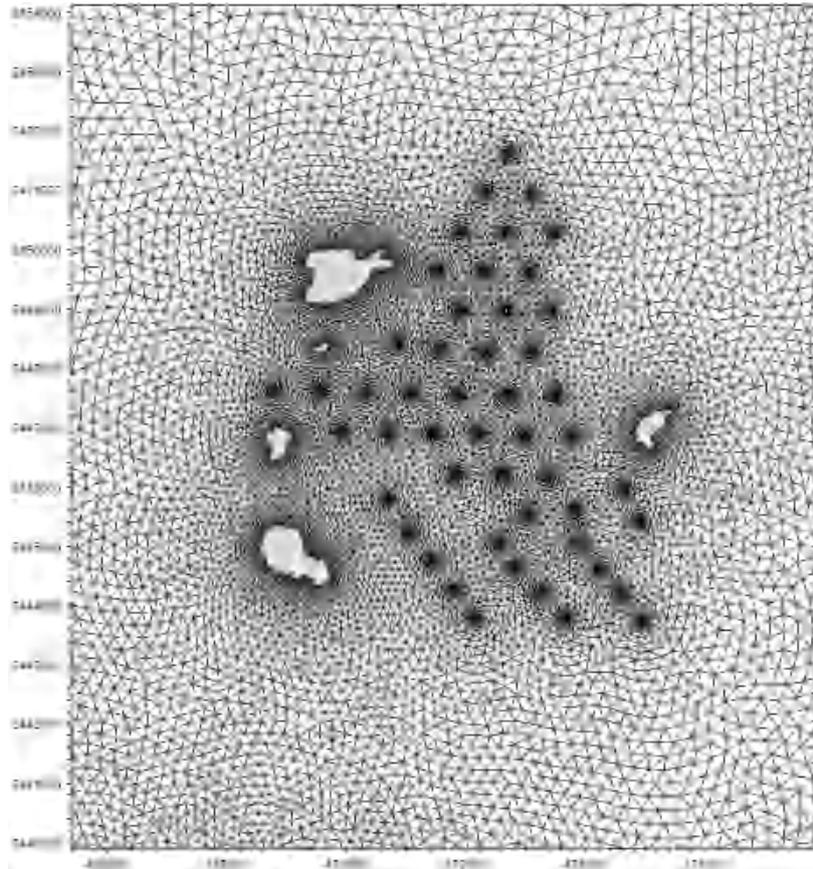


图 4.1.4-3 现状工况下桩基局部网格剖分图

6、模型验证

模型采用 2021 年 8 月 22 日 12 时至 8 月 23 日 13 时工程附近海域 GS1~GS12 测站的潮流资料以及 C1、C2 站的潮位资料对模型进行验证，验证点位置见图 4.1.4-4。图 4.1.4-5~图 4.1.4-6 给出了两个临时潮位站水位过程计算值与实测值的比较图。图 4.1.4-7~图 4.1.4-12 给出了 6 个潮流实测站位的流速、流向计算值与实测资料的对比图。

率定和验证结果表明：工程附近的潮位站和流速点的计算潮位、流速、流向和实测值基本吻合，实测潮位与模拟潮位平均绝对误差为 0.12m。从图和误差分析表可以看出，模拟潮位与实测潮位基本吻合，误差主要出现在高高、低低潮时刻。

部分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，所建立的工程区潮流数学模型能基本反映了工程海域整体的潮流运动规律；工程海域 6 个潮流点的计算流速、流向和实测值也吻合较好，相位差基本控制在 0.5h 以内，流速值的相对误差大部分在 12% 以内，表明所建模型能够反

映工程附近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。总体而言, 计算区域内潮汐和潮流模拟验证较好, 计算结果基本能够反映工程附近海域的潮流运动特征。

表 4.1.4-1 模型率定验证误差分析一览表

率定验证项	2021 年 8 月
高低潮时间相位差 (h)	0.3
高低潮潮位偏差 (cm)	9
流速时间相位差 (h)	0.5
平均流速偏差 (%)	12
平均流向偏差 (%)	11



图 4.1.4-4 验证点位置图

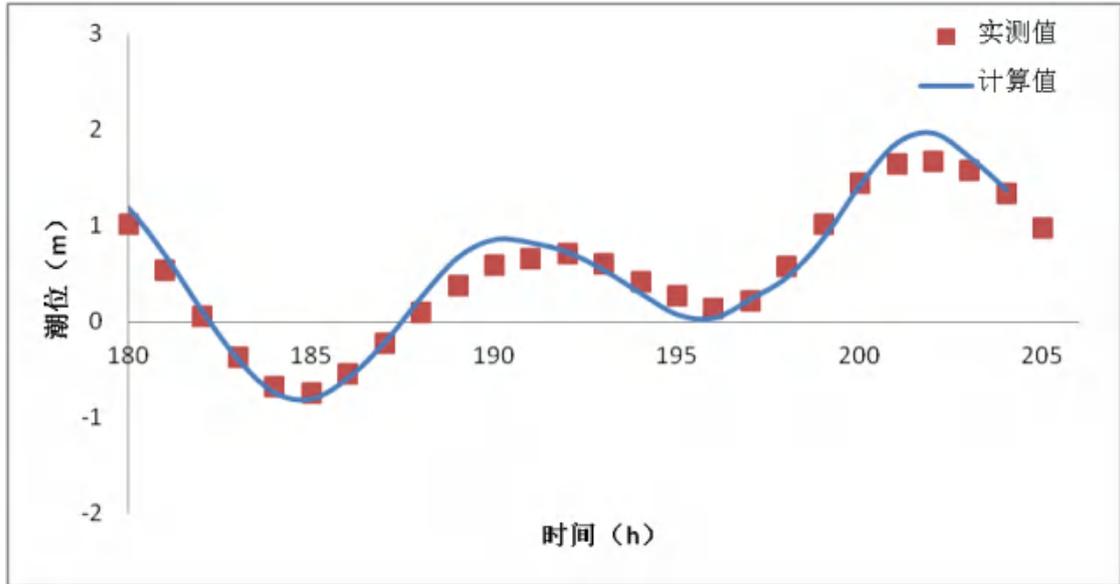


图 4.1.4-5 C1 站潮位验证

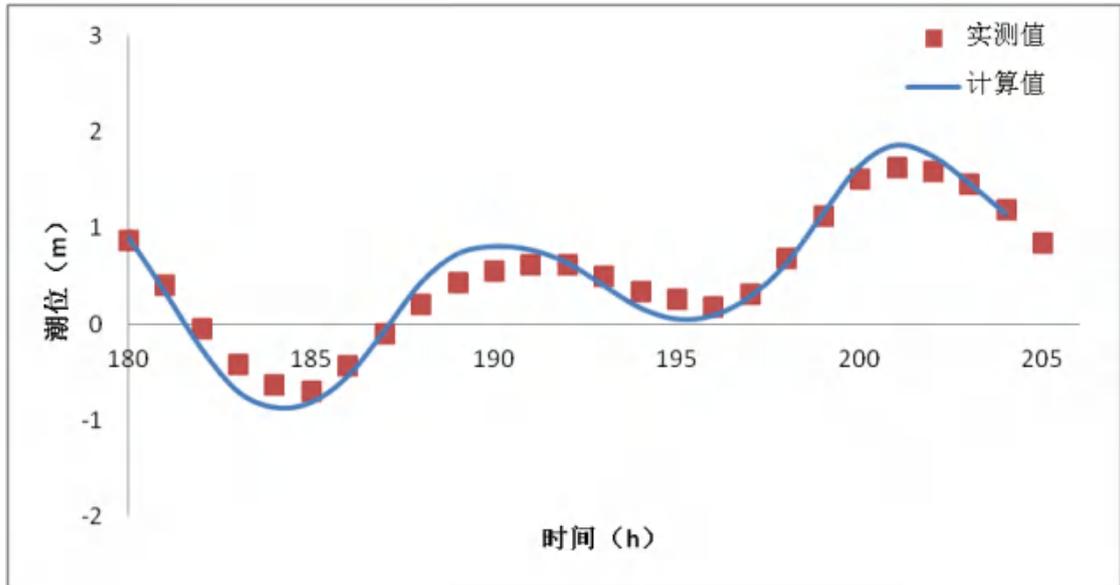


图 4.1.4-6 C2 站潮位验证

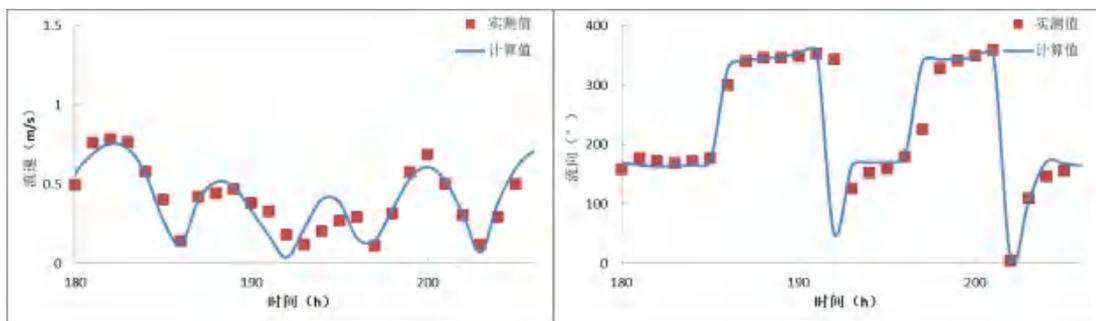


图 4.1.4-7 GS1 站流速、流向验证

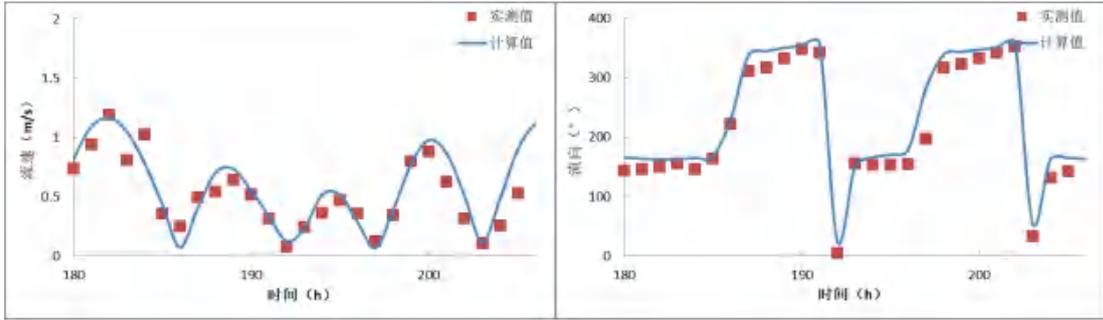


图 4.1.4-8 GD3 站流速、流向验证

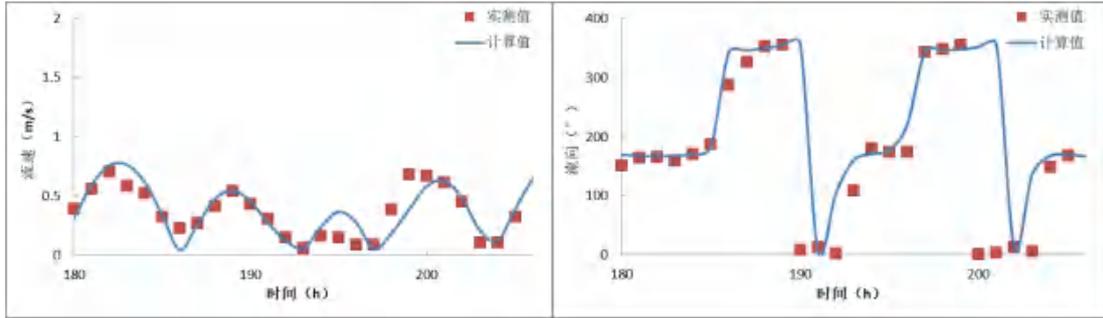


图 4.1.4-9 GS4 站流速、流向验证

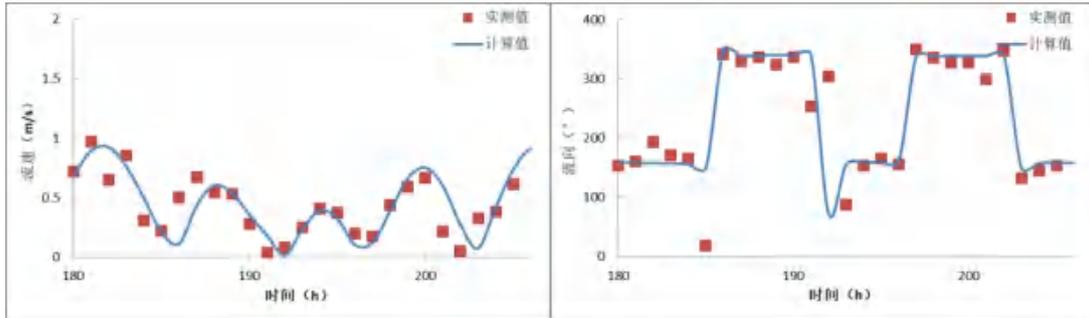


图 4.1.4-10 GS7 站流速、流向验证

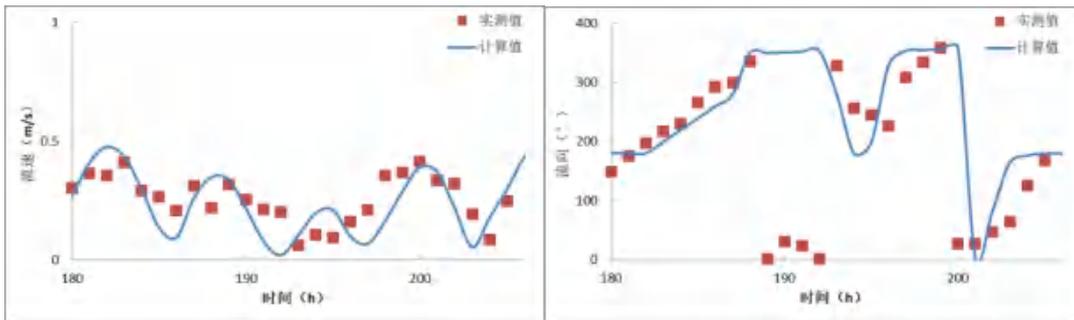


图 4.1.4-11 GS10 站流速、流向验证

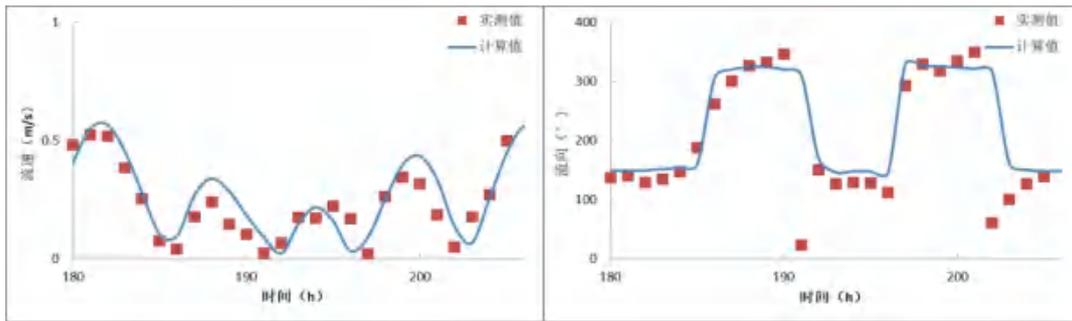


图 4.1.4-12 GS12 站流速、流向验证

4.1.4.2 现状水动力环境分析

采用经过验证的潮流数学模型，计算了本工程附近水域的潮流场。图 4.1.4-13、图 4.1.4-14 为计算域涨急和落急流场图。由工程区涨落急流场图可以看出，风电场工程所在的桂山海域位于大万山岛正北，珠江口以南，海流受到横琴岛、大万山岛以及大屿山形成的两端不同类型潮波的影响。涨潮时，潮流沿伶仃洋的河床自南向北溯；落潮时潮流主要沿伶仃洋东西槽下泄。工程海域潮流基本表现为略带旋转的往复流特征，涨潮流向基本在 $330^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 之间，落潮流向基本在 $150^{\circ}\sim 170^{\circ}$ 之间。工程海域潮流流速总体不大，涨潮平均流速在 0.3m/s 左右，落潮平均流速在 0.4m/s 左右。

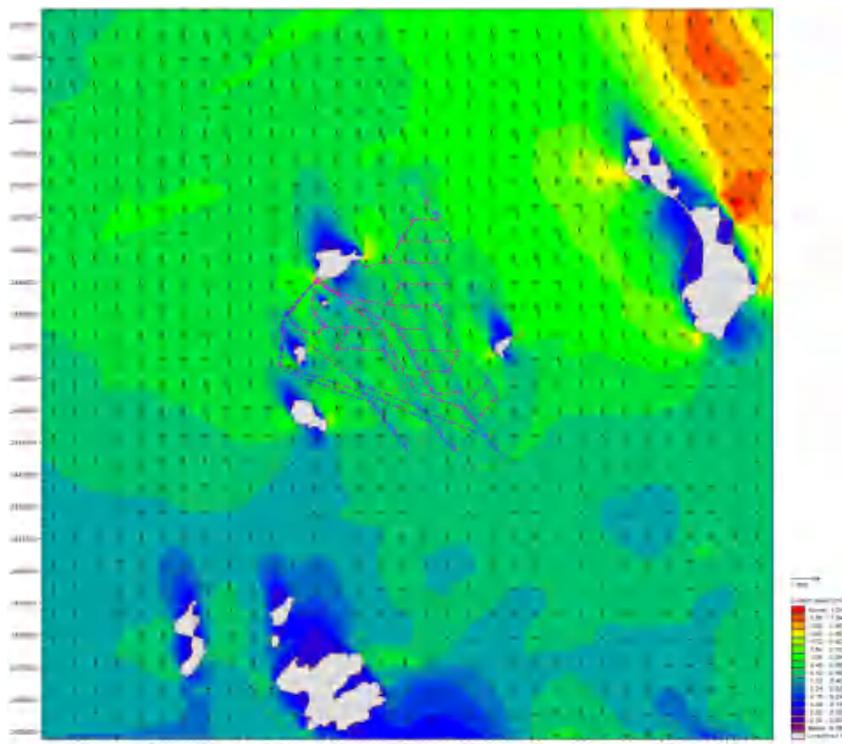


图 4.1.4-13 现状工程海域涨急流场

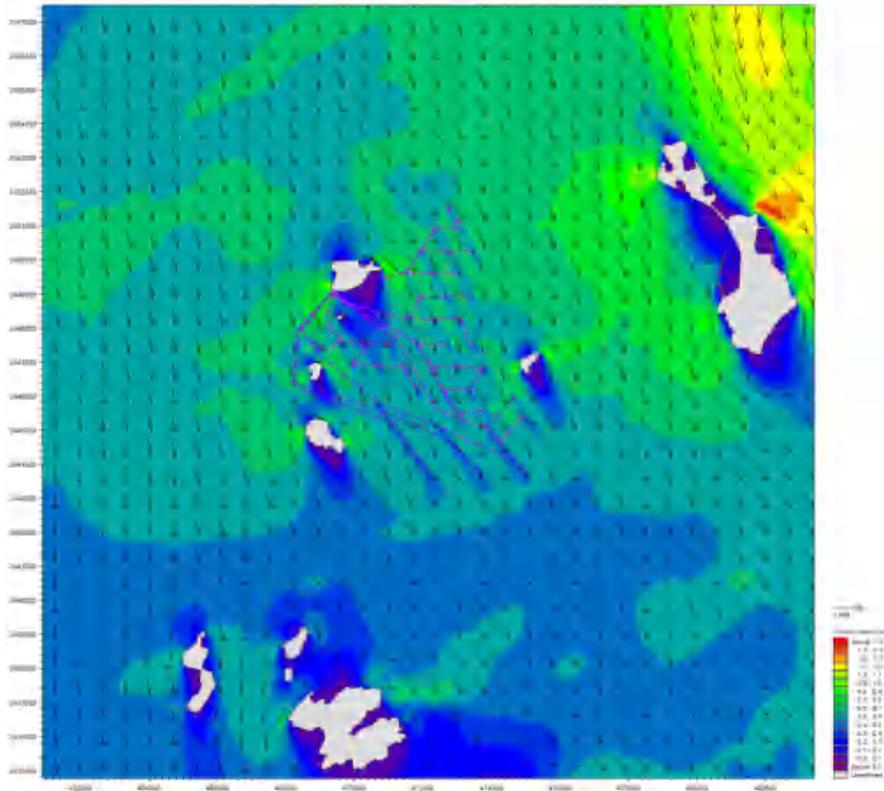


图 4.1.4-14 现状工程海域落急流场

4.1.4.3 工程后水动力环境分析

本项目涉海工程主要有风机基座与海底电缆工程，海底电缆工程埋藏在海床以下，海底电缆为埋设形式，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，因此不对潮流动力产生影响，影响潮流主要是风机基座。模型在计算过程中将风机基座概化为实体，以此考虑风机基座建成后对周边海域水动力环境的影响。

在模型验证的基础上对本项目的潮流场进行了计算，图 4.1.4-16~图 4.1.4-17 为本项目实施前附近海域大潮涨落急流场图；图 4.1.4-18~图 4.1.4-19 为本项目实施前后附近大潮涨落急流场对比图；图 4.1.4-20~图 4.1.4-21 为本项目实施前后附近海域大潮涨落急流速变化等值线图。

为了定量分析本项目实施后对附近海域水动力环境的影响，选取了 30 个代表点，将各代表点工程前后大潮涨落急流速流向变化情况分别列于表 4.1.4-2~表 4.1.4-3 中。

①本项目实施前工程区域各代表点大潮涨急流速为 0.39m/s~0.57m/s，涨急

流向为 $325^{\circ} \sim 355^{\circ}$ ，大潮落急流速为 $0.35 \text{ m/s} \sim 0.66 \text{ m/s}$ ，落急流向为 $146^{\circ} \sim 179^{\circ}$ ；

②本项目实施后，风电场附近海域涨落急流速、流向会发生不同程度的变化，以下为工程实施后风电场附近海域涨落急流速流向变化情况：

方案实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于 $-0.02 \text{ m/s} \sim 0.02 \text{ m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 $-0.01 \text{ m/s} \sim 0.01 \text{ m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-1^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 之间。

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

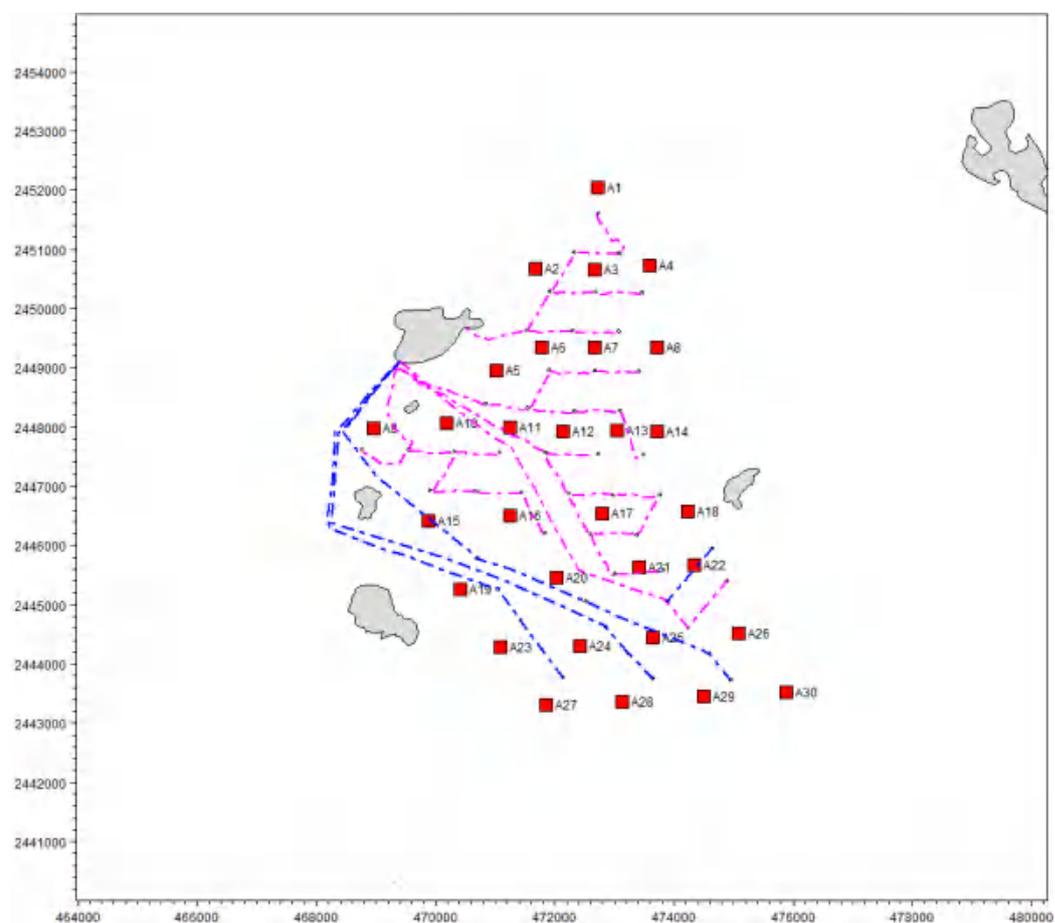


图 4.1.4-15 代表点位置图

表 4.1.4-2 工程前后大潮涨急流速流向变化

代表点	流速 (m/s)			流向 ($^{\circ}$)		
	工程前	现状	变化值	工程前	现状	变化值
A1	0.51	0.50	-0.01	334	334	0

A2	0.53	0.53	0.00	337	337	0
A3	0.50	0.50	0.00	336	336	0
A4	0.57	0.56	-0.01	336	336	0
A5	0.45	0.45	0.00	355	354	-1
A6	0.46	0.46	0.00	345	345	0
A7	0.47	0.47	0.00	339	338	-1
A8	0.51	0.51	0.00	339	338	-1
A9	0.56	0.55	-0.01	325	325	0
A10	0.39	0.39	0.00	334	334	0
A11	0.47	0.47	0.00	342	341	-1
A12	0.51	0.51	0.00	340	340	0
A13	0.52	0.51	-0.01	341	341	0
A14	0.54	0.53	-0.01	345	344	-1
A15	0.49	0.48	-0.01	330	331	1
A16	0.50	0.50	0.00	336	336	0
A17	0.51	0.51	0.00	336	336	0
A18	0.55	0.53	-0.02	333	332	-1
A19	0.52	0.53	0.01	333	333	0
A20	0.48	0.48	0.00	333	335	2
A21	0.47	0.48	0.01	335	335	0
A22	0.51	0.51	0.00	331	330	-1
A23	0.46	0.47	0.01	333	333	0
A24	0.46	0.48	0.02	330	331	1
A25	0.47	0.48	0.01	329	330	1
A26	0.47	0.48	0.01	329	330	1
A27	0.45	0.45	0.00	328	327	-1
A28	0.45	0.45	0.00	327	326	-1
A29	0.47	0.47	0.00	327	326	-1
A30	0.47	0.46	-0.01	328	329	1

表 4.1.4-3 工程前后大潮落急流速流向变化

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	现状	变化值	工程前	现状	变化值
A1	0.56	0.56	0.00	153	153	0
A2	0.62	0.62	0.00	151	151	0
A3	0.59	0.59	0.00	154	154	0
A4	0.65	0.65	0.00	154	154	0
A5	0.58	0.57	-0.01	179	179	0
A6	0.64	0.64	0.00	162	161	-1
A7	0.61	0.61	0.00	157	157	0
A8	0.61	0.61	0.00	154	154	0
A9	0.66	0.66	0.00	146	146	0
A10	0.35	0.35	0.00	148	148	0

A11	0.55	0.55	0.00	167	167	0
A12	0.60	0.60	0.00	160	160	0
A13	0.57	0.57	0.00	157	157	0
A14	0.58	0.58	0.00	159	159	0
A15	0.62	0.61	-0.01	153	153	0
A16	0.55	0.55	0.00	159	158	-1
A17	0.59	0.59	0.00	157	157	0
A18	0.63	0.62	-0.01	163	162	-1
A19	0.59	0.60	0.01	152	153	1
A20	0.53	0.53	0.00	156	156	0
A21	0.54	0.55	0.01	157	156	-1
A22	0.60	0.61	0.01	154	154	0
A23	0.55	0.55	0.00	156	156	0
A24	0.54	0.55	0.01	154	154	0
A25	0.55	0.55	0.00	155	154	-1
A26	0.54	0.55	0.01	151	150	-1
A27	0.53	0.53	0.00	152	152	0
A28	0.52	0.53	0.01	151	152	1
A29	0.52	0.53	0.01	150	151	1
A30	0.53	0.53	0.00	153	153	0

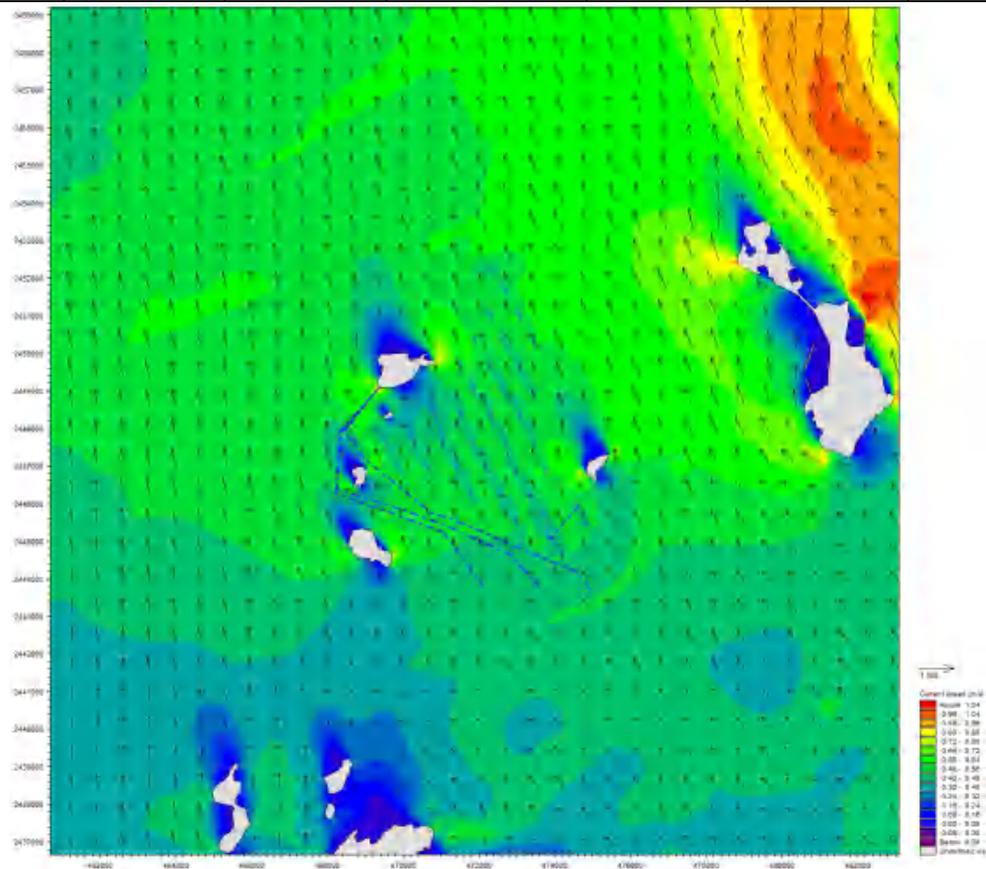


图 4.1.4-16 工程实施前涨急流场图

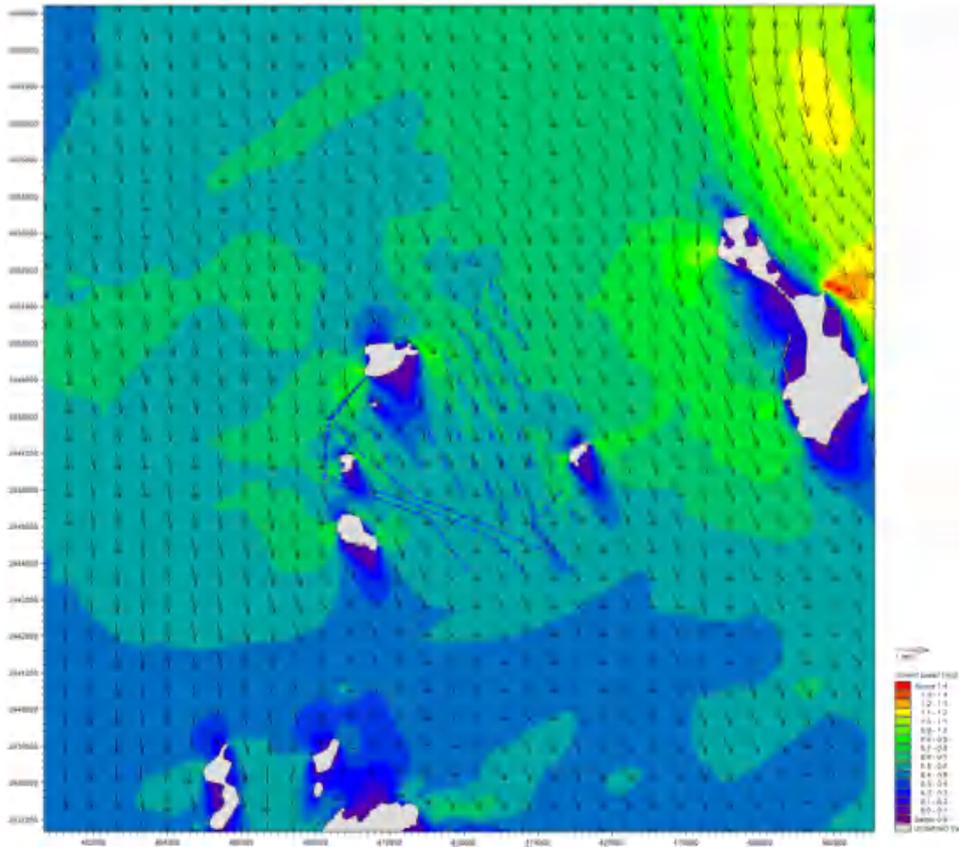


图 4.1.4-17 工程实施前落急流场图

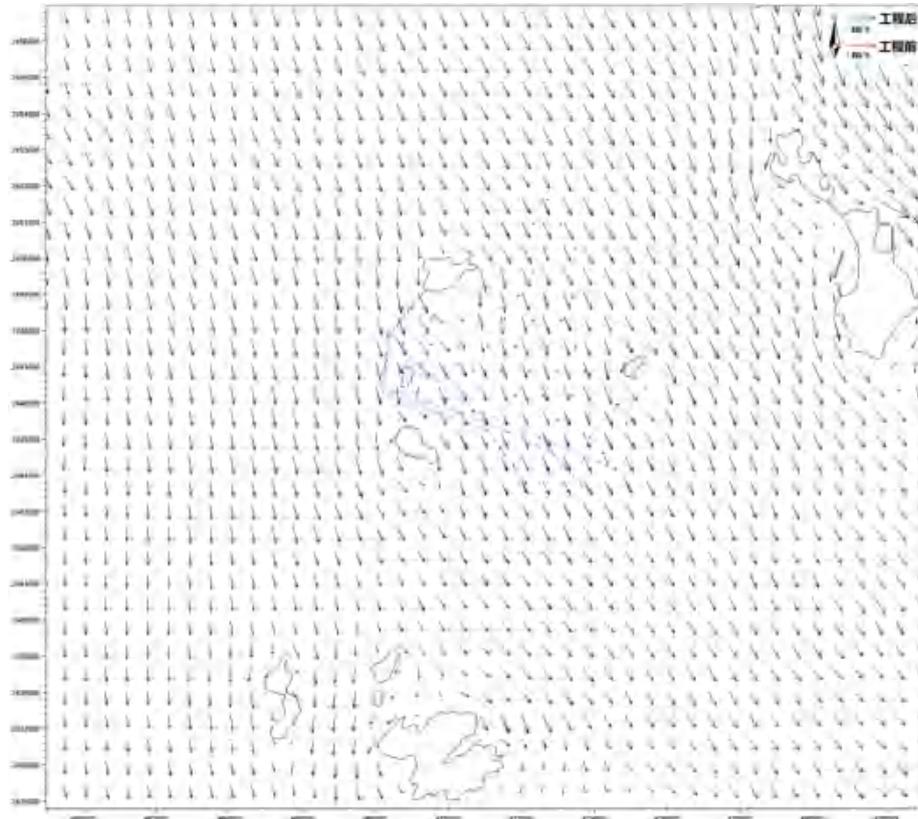


图 4.1.4-18 工程前后落急流场叠加图

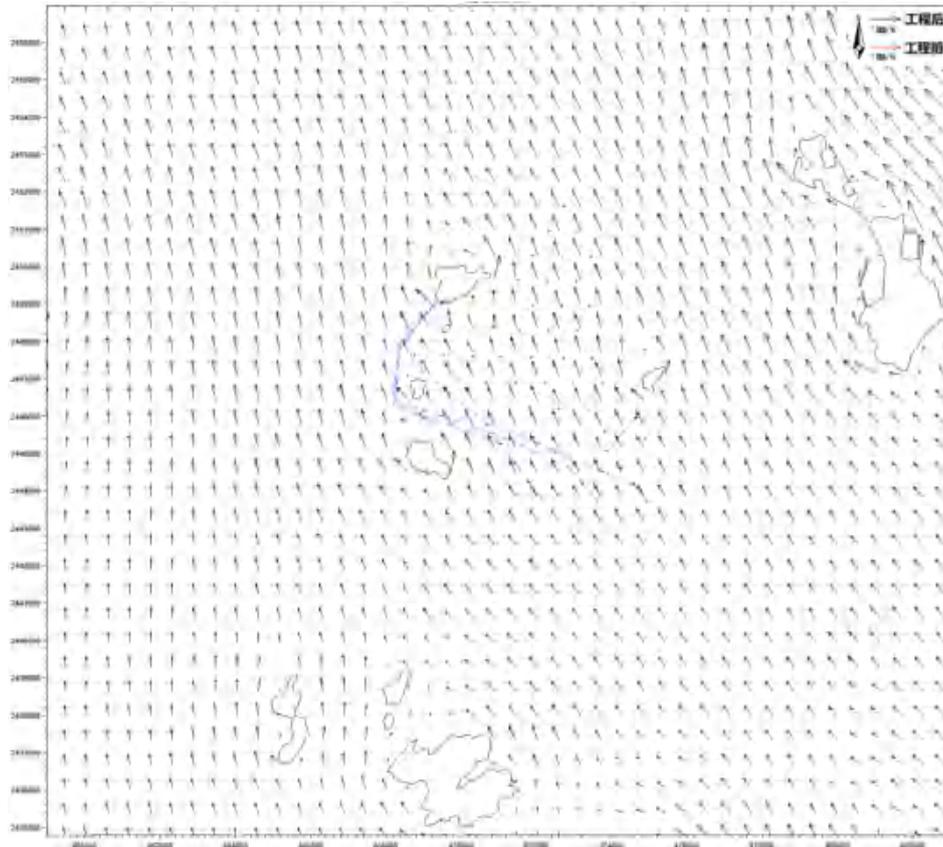


图 4.1.4-19 工程前后涨急流场叠加图

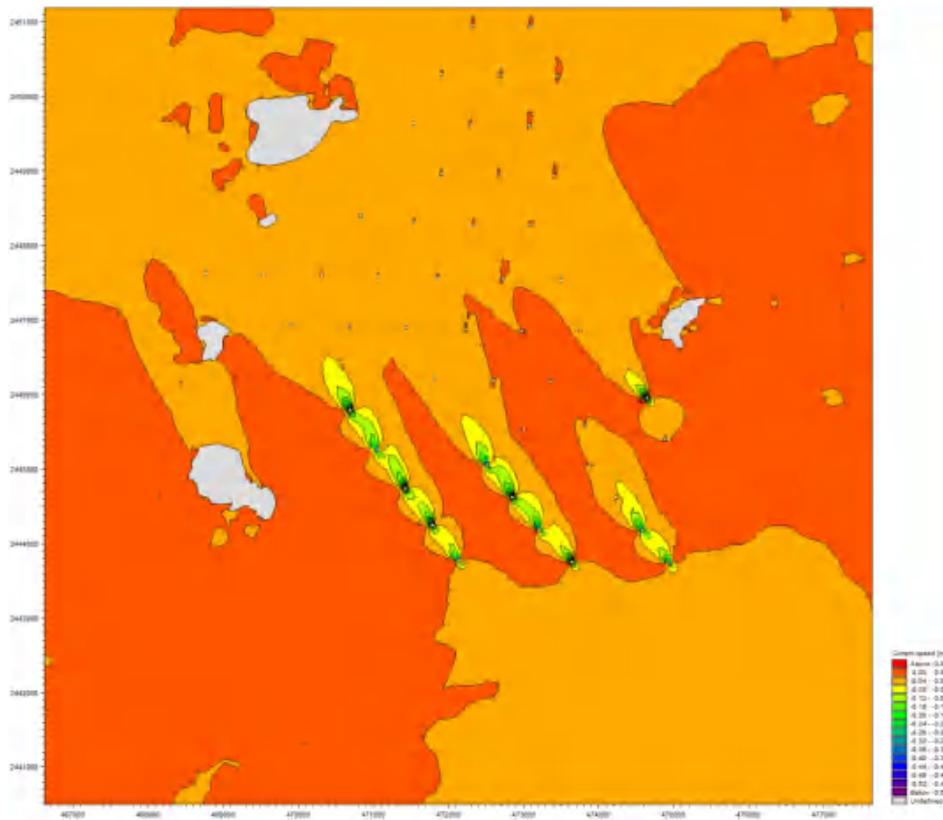


图 4.1.4-20 工程实施前后涨急流速变化等值线图

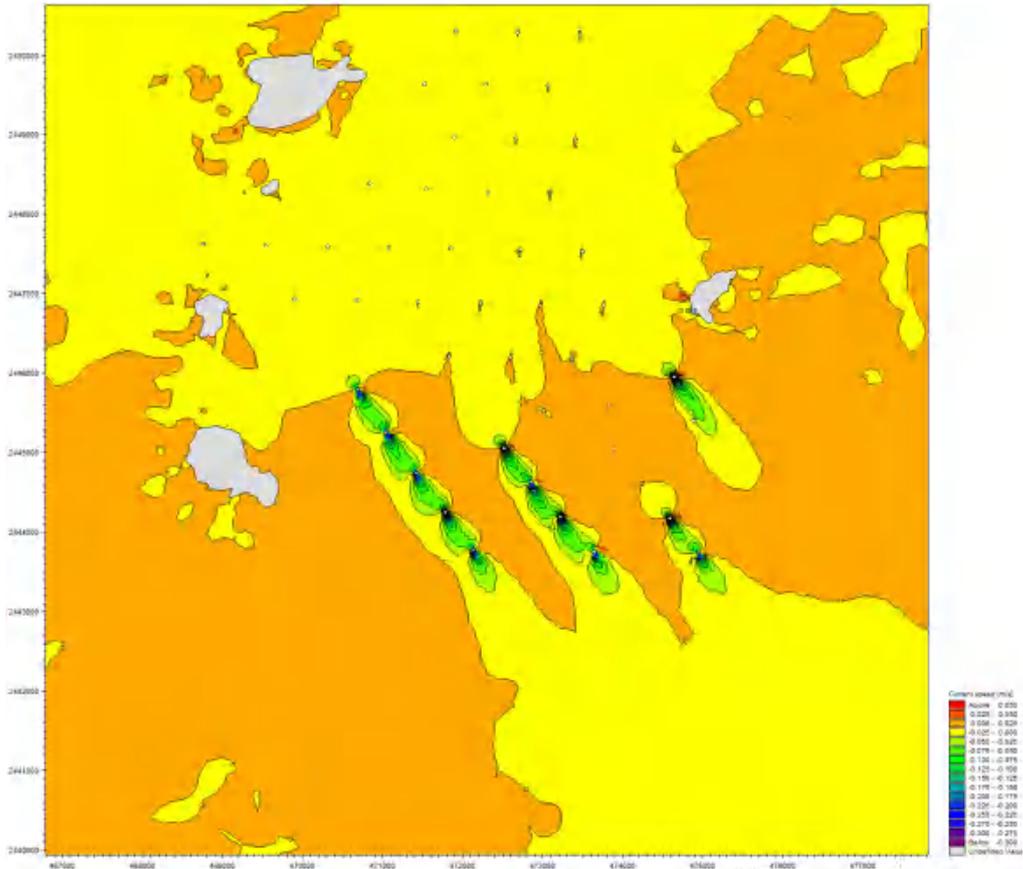


图 4.1.4-21 工程实施前后落急流速变化等值线图

4.1.5 地形地貌与冲淤环境影响分析

4.1.5.1 冲淤分析

采用曹祖德等人研究的淤泥质海岸淤积计算模式进行冲淤估算。该模式利用二维潮流数值计算模型得到工程前后流场分布变化，再应用淤泥质海岸淤积预报模型公式，计算得到各计算区域的淤积强度，曾在阳江港 5#-7#泊位工程等多处工程应用，效果较好。

模型公式如下：

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

式中， ω 为泥沙沉速， S 为水体平均含沙量， t 为淤积历时， γ_d 为泥沙干容重， V_1 、 V_2 分别为工程实施前后计算流速。

经推导，可得

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

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

γ_d 按照公式 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 计算, D_{50} 为悬沙中值粒径。

S 选择《海港水文规范推荐的》刘家驹挟沙力公式:

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

式中, ρ_s 为泥沙颗粒密度。采用水动力模型计算出的工程前后潮平均流速的变化对淤积进行估算。潮平均流速的计算采用算术平均法, 即分别对大潮时段内的涨潮过程流速和落潮过程流速进行算术平均, 得出涨潮平均流速和落潮平均流速, 再取平均值得出潮平均流速。忽略工程前后含沙量的变化。

根据冲淤计算公式, 采用全潮平均流速的变化对工程实施后的冲淤变化进行估算。计算得出工程区附近海域海床年冲淤变化平面分布情况, 见图 4.1.5-1。

由图可见, 工程实施后风机前后(涨、落急潮流方向)为主要的淤积区域, 风机两侧(垂直于涨、落急潮流方向)为主要的冲刷区域, 风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关, 同时风电场区域两侧发生冲刷, 冲淤幅度为 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。

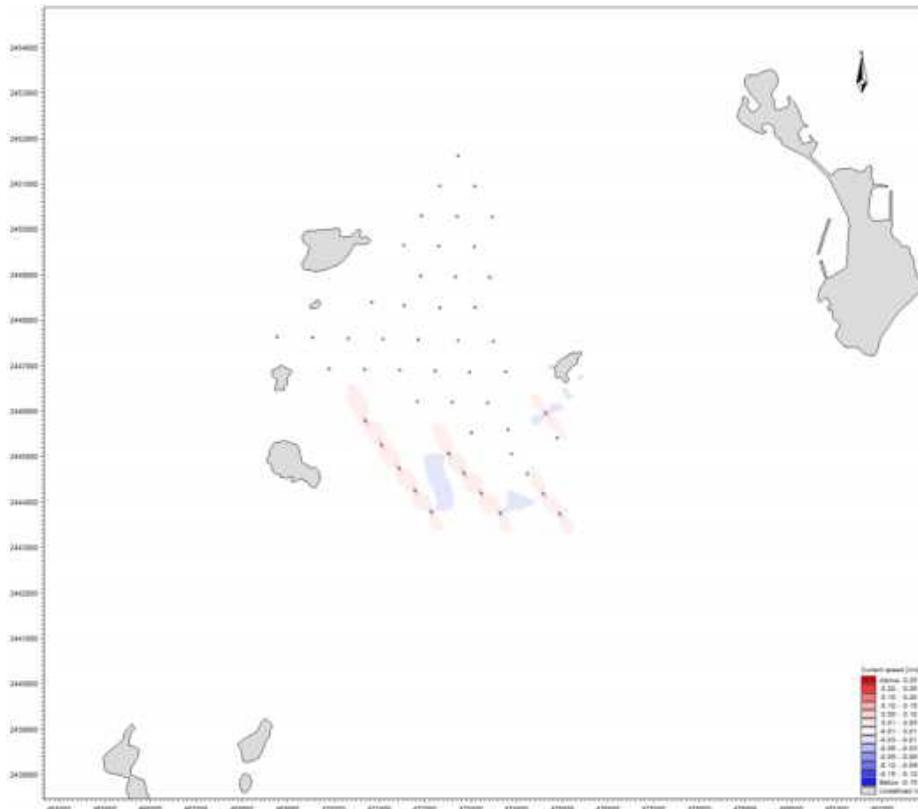


图 4.1.5-1 工程区附近海床年冲淤变化平面分布图

4.1.5.2 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变化。但具体到风机桩基础，可能发生局部冲淤。

根据风电场专题研究报告，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。报告采用韩海骞公式计算本项目桩径（36.96m）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：

$$\frac{h_b}{h} = 17.4k_1k_2\left(\frac{B}{h}\right)^{0.125}\left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.157}F_r^{0.625}$$

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 为全潮最大流速（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。

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，建议下阶段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)	10
最大流速 (m/s)	0.7
泥沙中值粒径 (mm)	0.028
桩径 (m)	36.96
最大可能局部冲刷深度 (m)	6.0
最大可能局部冲刷直径 (m)	42

4.1.6 水质环境影响分析

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

4.1.6.1 模型介绍

1、基本方程

悬浮物扩散方程：

$$\frac{\partial(\bar{h}C)}{\partial t} + \frac{\partial(uhC)}{\partial x} + \frac{\partial(vhC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + hF_s - kC$$

其中：

x 、 y —空间水平坐标轴；

u 、 v — x 、 y 轴向流速；

t —时间变量；

h —水深；

D_x 、 D_y —沿 x 、 y 轴向的涡动分散系数；

c —沿水深平均的人为升高物质浓度；

F_s —污染物源项， $F_s = \sigma / (A \cdot h)$ ， σ 为悬浮物源强 (g/s)， A 为源强所在计算节点的控制面积；

$k = \alpha \omega$ ， α —泥沙沉降机率。

ω —为沉速。

2、浓度场定解条件

(1) 边界条件

数学模型通常使用开边界（水边）和闭边界（岸边）两种边界条件。对于开边界，流入计算域时：

$$h\left(\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} + v\frac{\partial c}{\partial y}\right) = 0$$

考虑到模型的范围足够大，取流入计算域浓度为0。

(2) 初始条件

$$C(x, y, 0) = C_0$$

式中 C_0 为计算初始时刻水域中各点的浓度值，计算中取为0。

3、计算参数

(1) 糙率

同水动力模型预测中糙率取值。

(2) 模型计算时间步长

模型采用的时间步长 $\Delta t = 30s$ 。

(3) 涡动分散系数

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

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

(4) 泥沙沉降机率

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

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

其中函数 $\Phi\left(\frac{\omega}{\sigma}\right)$ 根据机率积分，可查表得到； ω 为泥沙沉速， σ 为脉动流速

均方根， $\sigma = 1.25\frac{u\sqrt{g}}{C}$ ， C 为谢才系数， g 为重力加速度， u 为断面平均流速。

(5) 泥沙沉降速度

根据文献（刘家驹，淤泥质、粉沙质及沙质海岸航道回淤统一计算方法，2012

年），对于粒径小于 0.03mm 的淤泥质泥沙在海水条件下均以絮凝沉速 0.0004~0.0005m/s 沉降，其当量粒径取 0.03mm，而对于粒径大于 0.03mm 的粉砂质或砂质泥沙，沉速则需用其单颗粒泥沙沉速。因此， ω 计算公式采用下式：

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

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

根据实测底质中值粒径分析，工程区表层沉积物中值粒径取 0.028mm，相应粒径的泥沙沉速为 0.05cm/s。

4.1.6.2 源强

1、源强分析

本工程海底电缆敷设在泥面下约 3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度约 5m/min，单条海底电缆铺设正常施工土方量=(0.3m+0.5m)×3m×0.5×5m/min=6m³/min=0.1m³/s。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计算=0.1m³/s×20%=0.02m³/s。

沉速计算中值粒径取 0.028mm（沉积物中值粒径）。

沉积物干容重按照以下公式计算：

$$\rho_s = 1750D_{50}^{0.10}$$

式中， D_{50} 为泥沙中值粒径。

由上式计算，干容重分别为 909.64kg/m³，由此计算得到悬浮物源强为 18.19kg/s。

考虑到风电场电缆的布设和施工方式造成的悬泥特点，将悬浮泥沙源强点均匀布置于海缆路由沿线，即海缆所经之处网格点均定义为悬沙源强点。海缆正常铺设速度控制在 5m/min，铺设完成一段海缆即移至下一段，因此每个悬沙源强点不可能源源不断溢出悬沙，考虑最不利要素，模型每隔 300m 设置一个源强点，每个悬沙源强点连续溢出 1 小时悬浮泥沙，此后，源强点不再继续往外溢出泥沙，但现有溢出泥沙在潮流影响下将继续扩散，因此，本次计算继续选择完整的自然

半月潮（包含一个大潮、中潮和小潮）进行悬浮泥沙扩散计算，直至悬浮泥沙扩散范围不再扩大为止。

2、源强点布置

悬沙影响模拟预测在集电海缆取 91 个代表点，每个源强持续溢出 1 小时停止释放，源强点平面位置示意图见图 4.1.6-1。

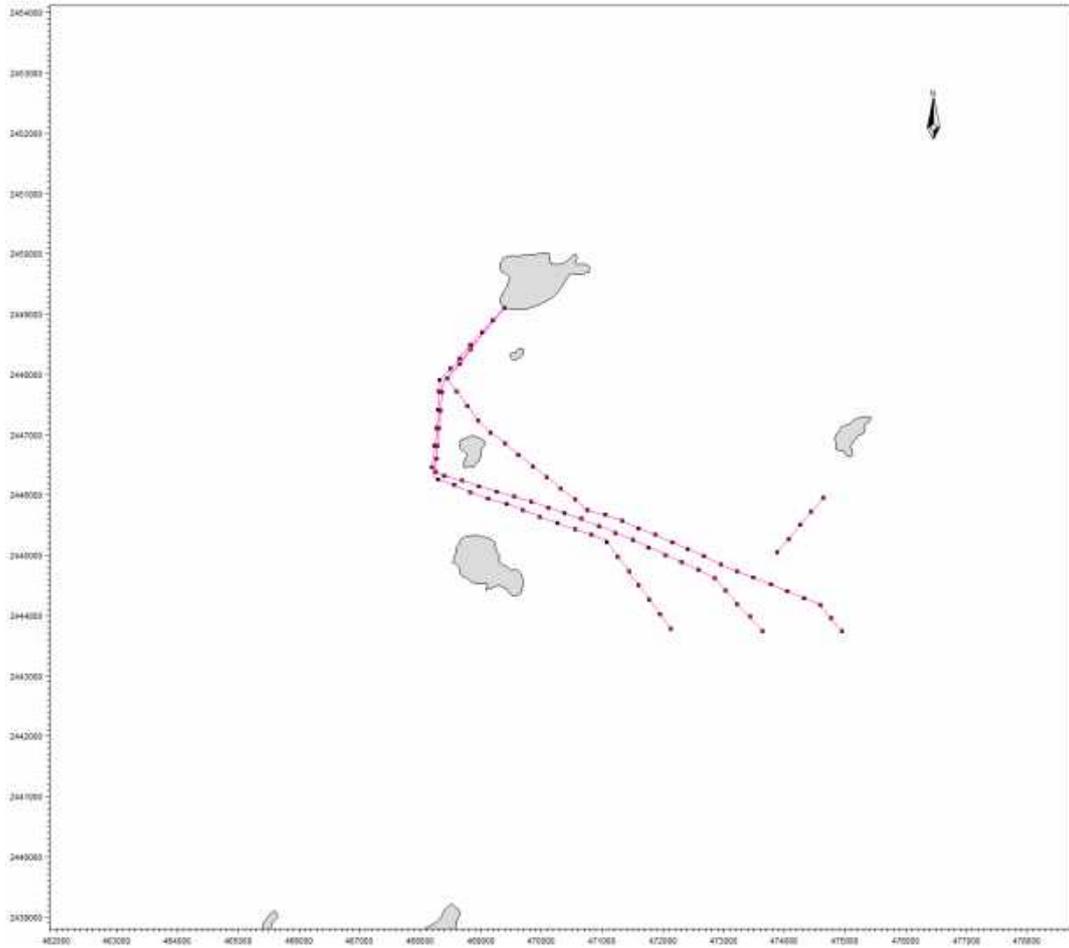


图 4.1.6-1 风电场海缆源强点分布图

4.1.6.3 模拟结果

由于冬季海域波浪较大，难以满足铺缆作业的海况作业条件，铺缆作业尽可能安排在 3~10 月，此期间为南海季风转换和西南季风控制期间，根据实测潮流监测结果，选取西南季风控制期间作为预测的背景流场。

模拟施工船只设备在场址进行电缆敷设等作业，输出每半小时的浓度场，统计在工程海域悬沙增量大于 10mg/L 面积，获得瞬时最大浓度场。并叠加模拟期间内各网格点构成的最大浓度值的浓度场，构成“包络浓度场”，其统计结果见

表 4.1.6-1。图 4.1.6-2 模拟期内电缆敷设施工作业悬沙增量包络线浓度场。

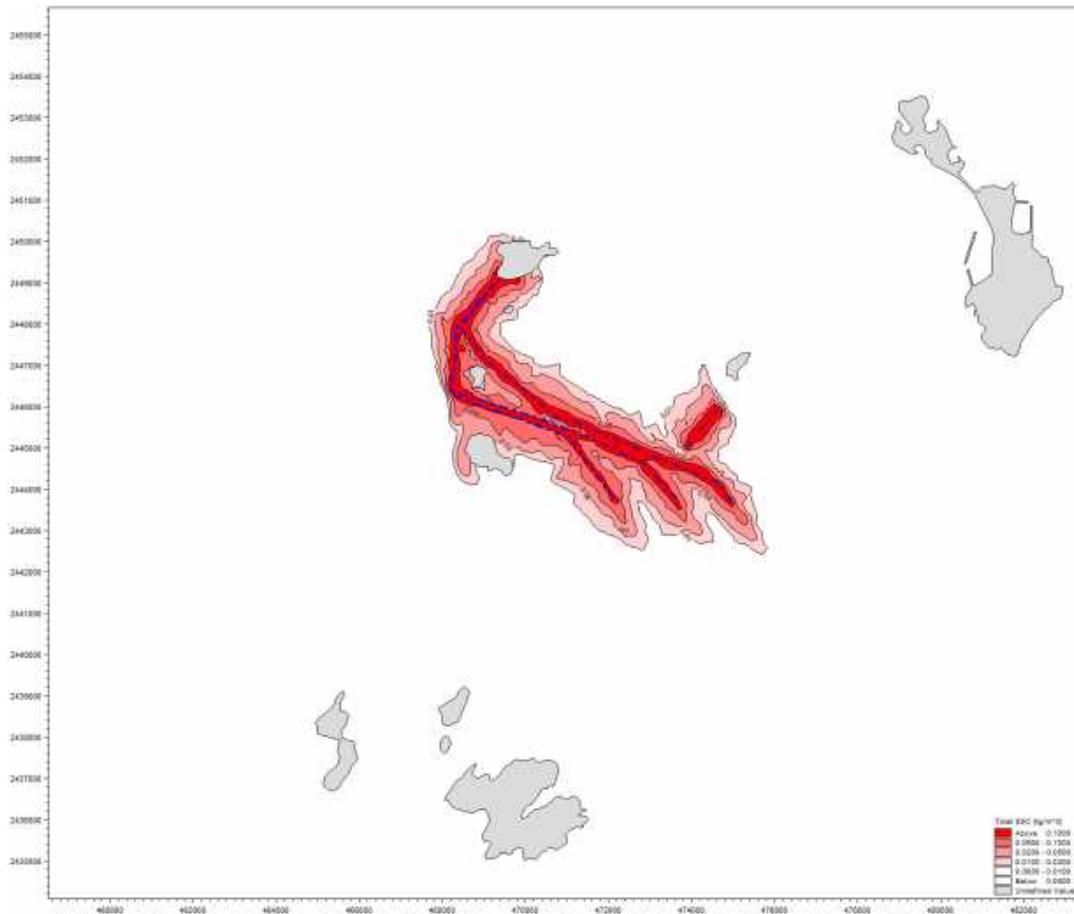


图 4.1.6-2 集电海缆施工产生悬沙增量包络线图

表 4.1.6-1 施工产生悬沙增量面积(km²)

悬沙浓度 包络线面积	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	最大扩散距离 (km)			
					东向	南向	西向	北向
集电海缆	33.073	21.123	12.541	7.409	1.6	1.8	1.5	1.6

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

计算结果显示，海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙将给周边水域带来一定的污染。从分布趋势看，海缆施工产生的悬沙扩散主要是在风电场附近，本项目集电海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 33.073km²，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 21.123km²，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 12.541km²，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 7.409km²。

4.2 资源影响分析

4.2.1 对海洋空间资源和岸线资源的影响

本项目用海方式包括透水构筑物和海底电缆管道，申请用海总面积为64.7965公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积12.4871公顷，35kV集电海底电缆52.3094公顷。本项目建设的风机、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，使周围海域空间资源更加紧张。本项目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完全排他性。

本项目35kV海底电缆申请用海范围占用三角岛岸线约21.96m，实际建设海缆保护混凝土块占用三角岛岸线约14.5m，项目占用岸线现状为人工岸线，详见图4.2.1-1、图4.2.1-2。本项目一期工程建设时已预留本项目海缆登陆位置，三角岛近岸段海域附近有大片礁石分布，海缆无法绕开礁石区域并且无法开挖施工，因此采用铸铁套管保护海缆，直接敷设在礁石上进行保护，陆上段海缆敷设在预制混凝土槽内，盖上盖板，进行保护。三角岛已进行整岛出让，且已进行开发建设，项目建设海底电缆所占岸线现状为人工岸线，占用长度较短，通过实施海岸线生态修复工程，本项目建设对岸线占用的影响较小。



图 4.2.1-1 项目申请用海范围涉及岸线示意图



图 4.2.1-2 项目实际建设海缆占用岸线示意图

4.2.2 对海洋生物资源的影响

4.2.2.1 潮间带生物和底栖生物损失量

风机基础长期占压海域底质，对底栖生物及生态系统造成了长久的影响。海底电缆的铺设会对作业范围内的底栖生境及潮间带生境造成直接破坏，进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程（SC/T9110-2007）》（以下简称《规程》），潮间带和底栖生物的资源损失按以下公式进行计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：

W_i 为第 i 种生物资源受损量；

D_i 为评估区域内第 i 种生物资源密度；

S_i 为第 i 种生物占用的渔业资源水面积。

本项目共 12 台风机，其中 38# 风机为正六边形筒型基础（边长 18.475m），43# 风机为圆形筒型基础（桩径 17.77m），其他 10 台风机均为单桩基础，桩径为

111.87m~12.82m。因此桩基基础占用海域面积约 2529m²。

本项目建设海底电缆总长约 28.02km，其中潮间带电缆长度约 40m，则潮下带海底电缆长度约 27.98km。考虑单根电缆开挖过程中的悬浮物再沉降的边际效应，单根电缆开挖埋设的生境破坏范围约为 20m，则海缆施工造成的底栖生境破坏面积约 559600m²，造成的潮间带生境破坏面积约 800m²。本报告计算潮间带和底栖生物损失参照原论证报告中施工前的底栖生物平均生物量 15.59g/m² 和潮间带平均生物量 297.94g/m²。计算结果见表 4.2.2-1。本项目建设造成底栖生物损失 8.76t，潮间带生物损失 0.24t。

表 4.2.2-1 潮间带和底栖生物直接损失量估算表

工程	破坏性质	破坏面积 (m ²)	平均生物量 (g/m ²)	直接损失量 (t)
桩基基础压占	长久占用底栖生物生境	2529	15.59	0.04
海底电缆铺设	一次性破坏底栖生物生境	559600	15.59	8.72
海底电缆铺设	一次性破坏潮间带生境	800	297.94	0.24

4.2.2.2 渔业资源损失量

海底电缆铺设造成海域悬浮泥沙超标，考虑海底电缆为线性工程，因此，海底电缆铺设施工对游泳生物产生影响可认为是一次性损害。参照《规程》，施工作业在悬浮泥沙扩散范围内对海洋生物产生的一次性损害，按以下公式计算：

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

式中：

M_i 为第 i 种生物资源累计损害量；

W_i 为第 i 种生物资源一次性平均损失量；

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；

S_j 为某一污染物第 j 类浓度增量区面积；

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：

- (1) 污染物浓度增量区面积 (S) 和分区总数 (n)

根据水质影响预测结果，采用悬浮泥沙增量面积进行生物资源损失估算，表 4.2.2-2 列出了各分区的面积。

表 4.2.2-2 悬浮泥沙浓度增量区面积 (km²)

浓度 (mg/L)	>10	>20	>50	>100
面积 (km ²)	33.073	21.123	12.541	7.409

(2) 生物资源损失率 (K_{ij})

由于悬沙浓度增量小于 10mg/L 对生物影响较小，造成的损失率很小，因此近似认为悬浮泥沙对海洋生物不产生影响。参照《规程》中的“污染物对各类生物损失率”，本报告中各悬浮泥沙浓度增量区对各类生物损失率取值见表 4.2.2-3。

表 4.2.2-3 悬浮泥沙对各类生物损失率

分区数	悬沙增值浓度 (mg/L)	污染物 i 的超标倍数 (B_i)	悬浮泥沙扩散面积 (km ²)	各类生物损失率 (%)			
				鱼卵和仔稚鱼	游泳生物	浮游动物	浮游植物
I 区	10~20	$B_i < 1$ 倍	11.95	5	0.5	5	5
II 区	20~50	$1 < B_i < 4$ 倍	8.582	10	1	10	10
III 区	50~100	$4 < B_i < 9$ 倍	5.132	30	10	30	30
W 区	>100	$B_i > 9$ 倍	7.409	50	20	50	50

(3) 计算区水深

根据工程海域测量资料，项目所在平均水深按 10m 计。

(4) 生物资源密度

本报告计算生物资源损失参照原论证报告采用施工前的生物资源平均分布数值，即鱼卵密度为 0.50593 粒/m³，仔鱼密度为 0.0146 尾/m³，游泳生物密度为 1175.756kg/km²。

本项目施工悬沙造成的生物资源损失结果见表 4.2.2-5。本项目建设造成鱼卵损失 3.39×10^7 粒，仔鱼损失 9.78×10^5 粒，游泳生物损失 2.52t。

表 4.2.2-4 悬浮泥沙对生物直接损失量估算表

悬浮泥沙扩散浓度/mg/L	影响面积/km ²	平均水深/m	海洋生物资源种类	海洋生物资源密度	损失率/%	直接损失量
10~20	11.95	10	鱼卵 (粒/m ³)	0.50593	5	3.02×10^6 粒
		10	仔鱼 (尾/m ³)	0.0146	5	8.72×10^4 尾
		10	游泳生物 (kg/km ²)	1175.756	0.5	0.07t
20~50	8.582	10	鱼卵 (粒/m ³)	0.50593	10	4.34×10^6 粒
		10	仔鱼 (尾/m ³)	0.0146	10	1.25×10^5 尾
		10	游泳生物 (kg/km ²)	1175.756	1	0.10t
50~100	5.132	10	鱼卵 (粒/m ³)	0.50593	30	7.79×10^6 粒

		10	仔鱼 (尾/m ³)	0.0146	30	2.25×10 ⁵ 尾
		10	游泳生物 (kg/km ²)	1175.756	10	0.60t
>100	7.409	10	鱼卵 (粒/m ³)	0.50593	50	1.87×10 ⁷ 粒
		10	仔鱼 (尾/m ³)	0.0146	50	5.41×10 ⁵ 尾
		10	游泳生物 (kg/km ²)	1175.756	20	1.74t

表 4.2.2-5 悬浮泥沙对生物资源直接损失量汇总表

工程	海洋生物种类	直接损失量
施工悬沙扩散	鱼卵 (粒)	3.39×10 ⁷ 粒
	仔鱼 (尾)	9.78×10 ⁵ 尾
	游泳生物 (t)	2.52t

4.2.3 对其他资源的影响

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，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、促进地区旅游业和带动地方经济快速发展将起到积极作用。此外，项目对滩涂、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

4.3.1 对水动力环境的影响分析

本项目为海上风电项目，海底电缆工程埋藏在海床以下，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，因此，项目建设主要是风机桩基础结构对水动力环境造成影响，海底电缆基本没有影响。

《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用论证报告书（报批稿）》（国家海洋局南海调查技术中心，2018年10月）中对原方案进行水文动力环境影响分析结果如下：本项目风电场工程的建设对风电场周边海域潮流特性影响甚小，周边海域流速变幅基本在1%以内，流向变化不超过1°；工程前后风电场内部的流速有所变化，并以流速减小为主，平均流速变幅在0.01m/s左右，平均流速变率为2.3%，潮流流向变化幅度在5°以下。

通过与原论证报告预测结果对比可知，风电场平面布置的改变对周边海域潮流特征影响较小。调整后本项目建设对风电场附近海域涨落急流速、流向会发生不同程度的变化，风电场附近海域大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.02m/s之

间；大潮涨急流向变化值位于 -1° ~ 2° 之间；大潮落急流速变化值位于 -0.01m/s ~ 0.01m/s 之间，大潮落急流向变化值位于 -1° ~ 1° 之间。总体上看，本项目实施后流场变化仅限于工程附近。由于风机直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。

4.3.2 对地形地貌与冲淤环境的影响分析

本项目海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响。根据调整后方案的计算结果，本项目实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关，同时风电场区域两侧发生冲刷，冲淤幅度为 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。

《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用论证报告书（报批稿）》（国家海洋局南海调查技术中心，2018年10月）中对原方案进行地形地貌与冲淤环境影响分析结果如下：工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风电场区域以淤积为主，同时风电场区域两侧发生冲刷。最大淤积幅度为 0.6m/a ，最大冲刷幅度为 -0.7m/a ，平均淤积幅度约 0.03m/a ，平均冲刷幅度约为 -0.01m/a 。

通过与原论证报告预测结果对比可知，风电场平面布置变化后对桩基附近冲淤影响范围变化不大，主要分布在工程区附近，最大淤积幅度和最大冲刷幅度有减小，对工程区以外的海域基本无影响。

4.3.3 对水质环境的影响分析

4.3.3.1 施工期悬浮泥沙影响分析

根据调整方案的计算结果，海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙将给周边水域带来一定的污染。从分布趋势看，本项目海缆施工产生的悬沙扩散主要是在风电场周围。项目集电海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 33.073km^2 ，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 21.123km^2 ，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 12.541km^2 ，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 7.409km^2 。

悬沙影响主要出现在工程附近海域，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。

根据《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用论证报告书（报批稿）》（国家海洋局南海调查技术中心，2018年10月）中对原方案进行悬沙预测分析结果，原方案项目集电海缆施工产生大于10mg/L浓度区的包络线面积为98.32km²，大于20mg/L浓度区的包络线面积为53.43km²，大于50mg/L浓度区的包络线面积为28.06km²，大于100mg/L浓度区的包络线面积为17.10km²。施工悬沙对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响随着施工的完毕而在数天内逐渐消失。

调整前后项目施工悬沙扩散的各浓度分区面积变化情况如表4.3.3-1所示。从模拟结果对比来看，各悬沙扩散浓度分区面积均有一定幅度减少，说明项目调整后对环境的影响有一定幅度减少。

表 4.3.3-1 施工悬沙扩散各浓度分区面积变化情况表

悬浮泥沙扩散浓度	调整前方案影响面积/km ²	调整后方案影响面积/km ²	变化情况/km ²
>10mg/L	98.32	33.073	-65.247
>20mg/L	53.43	21.123	-32.307
>50mg/L	28.06	12.541	-15.519
>100mg/L	17.10	7.409	-9.691

4.3.3.2 施工污水排放影响分析

本项目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，定期运回陆地交由具有处理资质的单位接收后统一处理，正常施工对项目海域水质带来的影响是很小的，一旦施工结束，影响即可消除。

4.3.3.3 运营期对水质影响分析

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。风机设备维护的工作人员将产生少量的生活污水，主要污染因子为COD和SS等。少量生活污水储存于小型厕所，经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。

4.3.4 对沉积物环境的影响

4.3.4.1 施工期沉积物环境影响分析

(1) 风机基础沉桩

本工程风机桩基采用“定位平台稳桩，起重船吊打沉桩”的打桩工艺，沉桩施工振动会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，并可能影响局部沉积物环境。根据类似工程实际施工经验，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加（ $>10\text{mg/L}$ ）范围一般在半径在 100m 内。

(2) 海底电缆敷设

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，敷设结束后，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，基本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。

4.3.4.2 运营期对沉积物环境影响

运营期，本工程对沉积物环境的不利影响主要来自风机基础防腐措施中用到的牺牲阳极装置中的重金属污染物释放。本工程采用高效铝合金牺牲阳极，其主要成分为 Al、Zn、In，溶解后将随海水扩散进入大范围的海水中，部分沉积于桩基附近沉积物中据设计单位提供资料，牺牲阳极释放的锌有 13% 进入沉积物中计，单台风机每年沉积的锌约 2.58kg。由于风电场区地处开阔海域，溶解出的锌会随着海水的运动较快扩散，沉积于底层沉积物的量很少。因此工程实际运行中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

根据工程施工组织设计，在风电场建设过程中，海缆沟开挖、风机桩基基础施工是影响海洋生态的主要施工环节，桩基占海将直接对底栖生物造成损害，占用的底栖生物的生境遭到永久的破坏，不可恢复。海底电缆敷设施工会对作业范

围内的底栖及潮间带生境造成直接破坏,进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失,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,施工结束后,随着新的底栖生物的植入会产生新的栖息环境。

4.3.5.2 对浮游生物的影响

(1) 对浮游植物的影响

施工期对浮游植物最主要的影响是施工增加了水体中悬浮物质,影响了水体的透光性,进而影响了浮游植物的光合作用。已有很多国内外学者对光照强度与浮游植物的光合作用之间的关系进行了研究,大量的实验及调查研究表明,水体透明度对叶绿素 a 和浮游植物数量分布和变化是一个至关重要的制约因素。

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

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

(2) 对浮游动物的影响

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。

本项目已施工建设完成，施工期间因悬沙泥沙扩散对浮游生物的影响已基本消除。

4.3.5.3 对渔业资源的影响

施工过程对渔业资源的影响主要包括两个方面：一是悬浮物对渔业生存空间的影响，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。工程不会产生的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，从而影响使该区域内的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，因此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

本项目风电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。

4.3.6 对中华白海豚保护区及其保护目标的影响分析

4.3.6.1 施工期影响

目前本项目已建设完成，施工期间影响已结束。项目建设单位在一期工程建设期已委托中国水产科学研究院南海水产研究所针对工程建设对中华白海豚的影响进行跟踪评估。以下分析内容引用自《珠海桂山海上风电场示范项目中华白海豚监测与评估 2018 年度报告》（中国水产科学研究院南海水产研究所，2018 年 5 月）。

风电场建设前后的中华白海豚栖息地使用率分布见下图。

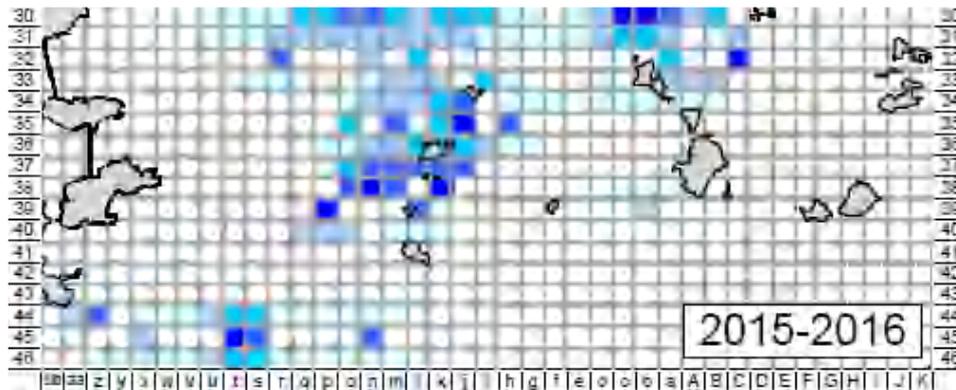


图 4.3.6-1 2015-2016 年监测期中华白海豚栖息地使用率分布（一期工程建设前）

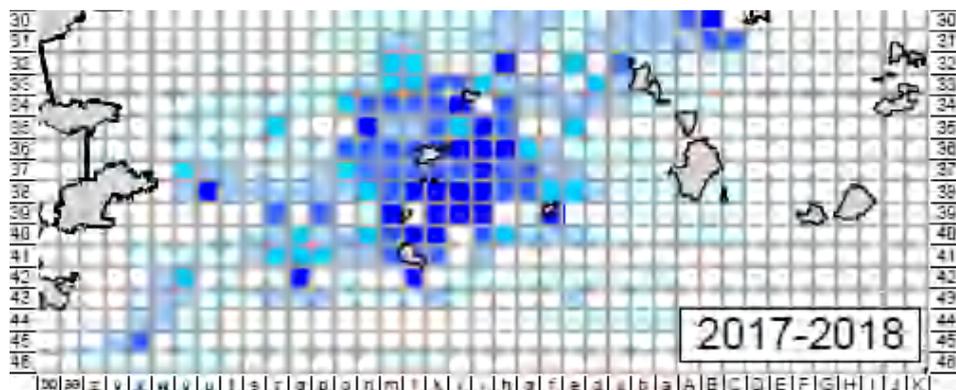


图 4.3.6-2 2017-2018 年监测期中华白海豚栖息地使用率分布（一期工程施工期）

图中小格水域（ 1km^2 ）的颜色代表每 100 个单位观测努力量所目击的海豚个体数（DPSE）。伶仃洋南部各小格水域的 DPSE 值变化幅度较大，小格颜色越浅表示中华白海豚对该水域的使用率越低，颜色越深表示对该水域的使用率越

高。使用较高的水域可认为是较为重要的栖息地。

由图可知，2015-2016 年一期工程海上风电场建设前，沿着青洲、三角岛和细碌岛等附近水域中华白海豚的使用率较高。2017-2018 年一期工程海上风电场施工期间，青洲、三角岛和细碌岛等附近水域依然具有较高的使用率，而且高使用率水域范围进一步扩大至赤滩岛和大碌岛附近。因此，可以认为一期工程海上风电场建设对中华白海豚的栖息地使用基本没有影响。另外，可能由于风机基桩的人工鱼礁效应，风电场水域的鱼类资源比较丰富，中华白海豚对风电场水域的使用率有所增加，而且高使用率水域范围有所扩大。例如，三角岛、大碌岛和赤滩岛之间水域 2015-2016 年海豚较少使用，但 2017-2018 年的使用率明显增加。

4.3.6.2 运营期影响

本项目运营期对中华白海豚的影响分析内容摘自中国水产科学研究院南海水产研究所编制的《珠海桂山海上风电场建设对广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区影响专题评价报告》、厦门大学编制的《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》。

(1) 水下噪声对中华白海豚的影响

本项目运行期对中华白海豚的影响主要来自风机运行的水下噪声。

风机在水下产生的噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）的风机在水下辐射的噪声强度不同，高风速（13m/s）时在低频段（63Hz 以下）风机噪声与海洋环境背景噪声相当（淹没在背景噪声中），高风速（13m/s）时在 125Hz 频点上比低风速（6m/s）的风机辐射水下噪声谱级高 10dB/1 μ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

根据厦门大学的监测并结合英国 4 个海上风电场在运营期的监测结果表明：风机在运营期中所产生的水下噪声级总体比较低，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/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 以下。基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。在这些特定频段上（120Hz~1.5kHz）的噪声级提高并没有比因自然状况变化所带来的噪声级提高更多，如下雨、动物自身的游动、船运等噪声。

珠江口伶仃洋为珠江三角洲的主要出海通道，航运比较繁忙，渔船和水翼客

轮也较多。中华白海豚长期栖息于珠江口水域，对船舶噪声比较适应，也有追逐拖网渔船觅食的习性。据此推测，海上风电场运营水下噪声对中华白海豚的影响有限。但是，风机运行噪声对中华白海豚来说是一种新的噪声源，对新噪声源的适应性还存有一些疑虑，但在一期工程跟踪监测过程中，目击到中华白海豚在已运行的风机周边出没。但风机营运噪声对中华白海豚的影响仍需进一步监测研究。

(2) 电磁环境对中华白海豚的影响

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 35kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 $1\mu\text{T}$ 以下。根据厦门大学实验室模拟实验，风电场电磁环境对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（大黄鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎；虾类和贝类有对虾，口虾蛄；菲律宾蛤仔等）受风电场影响在可接受范围内。

袁健美等在 2016 年选取江苏近海常见 12 种海洋生物（袁健美、张虎、刘培廷等，海上风电场对 12 种海洋生物存活率与行为的影响。生态学杂志，2016，35(11)：3051-3056），包括黑雕、半滑舌鳎、脊尾白虾、文蛤、纵肋织纹螺、细螯寄居蟹、黑褐新糠虾、口虾蛄、三疣梭子蟹、天津厚蟹、斑尾刺虾虎鱼、中华仙影海葵，通过实验方法研究了不同磁场强度（试验 I：1.0mT；试验 II：0.01mT、 $(0.045\pm 0.01)\text{mT}$ 、 $(0.2\pm 0.01)\text{mT}$ 、 $(0.9\pm 0.01)\text{mT}$ 、 $(4.05\pm 0.01)\text{mT}$ ），风电场对鱼、虾、蟹和贝类的存活、行为等方面的影响。研究结果表明鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类的磁场影响范围主要为 0.2mT~4.05mT，而在 0~0.2mT 之内电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类行为无明显差异，影响较小，因此电磁场控制在《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）公众暴露控制限值 0.1mT 之内，电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类影响较小。

本工程由于距离保护区约 5km，且 35kV 海缆均在泥面下 2m~3m，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 $1\mu\text{T}$ 以下，远低于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）公众暴露控制限值 0.1mT，因此对中华白海豚保护区的影响较小。

(3) 风机维护检修船舶航行对中华白海豚的影响

本工程运行期需通过船舶进行风机监测检修，需动用一定数量的各类施工船

船舶和机械，一定程度上会增加该海域的通航密度，从而增加该海域船舶噪声及碰撞事故产生的几率，但运行期检修船舶数量一般较少，且本项目所在海域航运比较繁忙，渔船也较多，中华白海豚长期栖息于此海域，对船舶噪声比较适应。同时中华白海豚智力较高，对船舶的碰撞事故有较为明显的逃避行为，因此风机维护检修船舶航行对中华白海豚的影响较小。

4.3.7 对鸟类的影响

4.3.7.1 施工期影响

本项目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。本项目已施工完成，施工期间对鸟类的影响已经消除。

4.3.7.2 运营期影响

本项目在运营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。本项目运营期噪声主要为风机运转噪声。风机机组声功率级最高为 105dB，经预测计算，距声源 250m 处，噪声值已衰减至 46dB。而鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47dB，因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围将小于半径为 250m 的圆形范围，叠加风机的噪声影响范围共计小于 236hm²（不计风机本身占地）。而且受影响种类主要为留鸟和中途停歇觅食的候鸟，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已超过 250m（按飞行高度 400m 算），基本不会受到噪声影响。

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 1300Hz~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，风电机组声功率级一般在 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。结合本期工程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。本期工程主要使用波长较长的红光和复合光白光, 对迁徙鸟类影响较大, 容易使候鸟偏离正常的迁徙方向, 或增加撞向风电的风险, 可尽量采用短波光照明, 或延长航空灯闪烁时间间隔等方式减轻影响。

③碰撞效应

本项目调整后采用的广东明阳 6.45MW、8.3MW 风机轮毂高度为 110m, 叶轮直径为 178m, 东方电气 7MW 风机轮毂安装高度为 110m, 叶轮直径 186m。一般情况下风电场对鸟类迁徙没有影响。但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鸮形目、隼形目和鹞形目鸟类。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

本项目所在海域的海岛是部分鸟类的栖息地，风电场所在海域为其捕食场所之一。风机直接占风电场的面积很小，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，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。原来的栖息地不能再利用，这些鸟类完全丧失了这块栖息地，这一过程也是鸟类栖息地破碎化的过程。

② 生境质量下降

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

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）。

(3) 栖息地损失对鸟类的影响预测

通过上述分析的建设区域对鸟类栖息地造成的几方面影响，结合建设区域面积预测栖息地损失对鸟类造成的影响。

风机直接占风电场的面积很小，但风机可能会让候鸟不敢在附近海域降落生活，尤其是喜欢在海面活动的鸥形目鸟类、部分猛禽以及海洋性鸟类等。因此，

本项目的建设会在一定程度上减少这些类群的活动范围。但和珠江口多处沿岸滩涂相比，建设项目场址并非候鸟聚集地，不是候鸟迁徙的主要通道，大部分经过珠江口的迁徙鸟类会选择在周边生境质量更佳的栖息地停歇或越冬。

(4) 受影响鸟类类群分析

大部分候鸟，尤其是种类最多的鸕鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目建设区域仅包含岩质海岸，没有滩涂生境，因此鸕鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址。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。雁鸭类、鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中雁鸭类主要在近岸浅海区域或内陆鱼塘生境栖息，较少利用远离大陆的海面；鸥类也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，而且数量较少，本次调查没有记录，历史资料在本区域也鲜有发现。此外，黑耳鸬、白腹海雕、普通鸬等猛禽也发现常于海面上空盘旋，尤其黑耳鸬在本区域数量较多，而普通鸬是迁徙越冬类型。但大多数时间其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。

在以上提及的受影响种类中，本次调查记录到的岩鹭、黑耳鸬、白腹海雕和普通鸬属于国家二级保护动物，也是最有可能受影响的物种，应在营运期作为重点关注对象。此外，没有涉及其他珍稀濒危物种。

4.3.8 水下噪声影响分析

4.3.8.1 施工期影响

(1) 水下施工噪声对海洋生物的影响分析

水下声环境是声音与水动力活动的综合体，水下噪声影响程度主要取决于噪声频率、声音压力、声音间隔、声音扩散场及消音效应和与声源距离等。

水下声环境敏感目标主要为水中的鱼类和海洋哺乳动物。鱼类及海洋哺乳动物经过长时期的演变，形成了一套水动态-声音感知系统，使得其感知不可识别

的扰动和 underwater 声音的格局以进行捕食、躲避掠食动物或躲开障碍物。鱼类水下感声器官为侧线、鳔及内耳，研究表明声音压力的高低变化会使鳔发生收缩或膨胀变化，超过一定压力便可使鳔胀破，此外肝、肾等器官也可能受水下噪声影响而发生损伤。长期暴露于噪声等应激状态下会导致生物体处于一种异平衡负荷，生物体适应异平衡付出的代价是造成能量的消耗，进而造成机体各项机能的下降。

(2) 水下施工噪声的安全距离估计

根据厦门大学对类似海上桩基础施工实测资料，对打桩类型为冲击打桩，长度约为 25m 直径为 700mm 的钢管桩施工时，水下噪声源级为 197.6dB re 1 μ Pa-m。再根据国外风机工程中的打桩监测结果，直径 4m 以上的钢管桩（一般是单桩）峰值声压级可达 226~251dB。

采用的声衰减计算公式为：

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

式中： TL 为传播损失，为声源级减去目标声级值（即保护阈值）的差，单位为 dB；

D 为目标声级值所在的位置与声源的距离，单位为 m；

R 为计算传播损失时的参考距离，根据声源级计算点与声源本身的距离而定，按照通用标准惯例通常取 1m；

F 是衰减因子，其值会随着海况（如水深、底质状况、海面宽阔程度）和打桩的工程参量（如桩的类型材质、以及桩机功率）而变化。

由公式可算出在保护阈值为 190dB、180dB 和 160dB 时（对海洋生物保护阈值的要求依据美国 NOAA 噪声工程“声阈值导则”中的标准），对单个风机桩基所对应的的影响距离分别为 31.62m、100m、1000m。由于项目施工中的时间有限，施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间有限，无多声源叠加等特点，但打桩施工噪声将对临近的海洋生物资源造成明显的影响。因此，施工中应确立在距离桩基 1km 范围内为危险区域，对鱼类活动需要进行可能的驱赶、搬移等工作。

(3) 水下施工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，每年 5-7 月是主要季节。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。

(4) 水下施工噪声对海洋哺乳动物影响

虽然相关测量数据及研究表明撞击式桩基施工不会对一定距离外（200m 左右）的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋鱼类的累积效应可能造成慢性影响。研究表明：长时间水下噪声对鲸豚类动物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。

施工期噪声可能会对海洋哺乳动物和鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响，如可造成成年海豹与幼崽的隔离（David Kastak et al. 1999）。

图 4.3.8-1 为丹麦国家环境研究所在研究海上风电场是否对活动于该海域中的斑海豹和灰海豹的影响研究（Svend Tougaard, et al, 2006）。研究跟踪了从 1999~2005 年间风电场在施工期和营运期水下噪声对海豹的影响。结论是：在风电场施工建设期，斑海豹的数量减少，但建设期结束，斑海豹恢复原来数量，甚至增加；在该风电场施工打桩期，斑海豹的数量明显减少，在另一斑海豹繁殖地施工打桩期没有见到斑海豹；风车的运转没有对斑海豹产生影响。风电场中的风车的运转噪声在空气中一般为 50-70dB（林丽华，2008），与观测到的现象一致，对斑海豹没有影响。类比分析认为，本工程施工期可能造成海洋哺乳动物在工程海域数量分布减少，但施工结束后相应生物资源量会逐渐恢复。

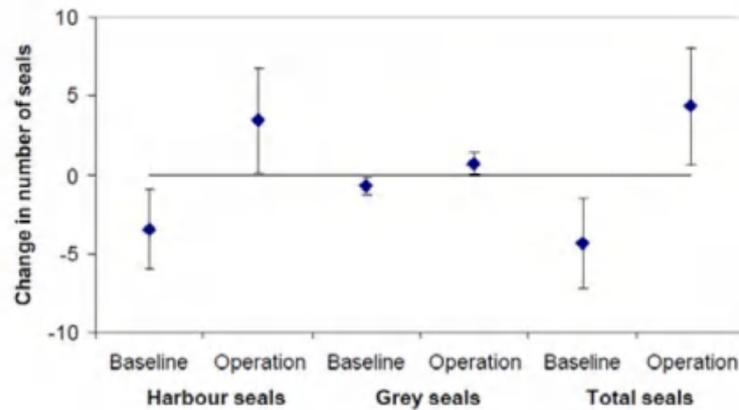


图 4.3.8-1 丹麦风电场施工期和运营期海豹数量的变化

总体上施工中水下噪声对鱼类、海洋哺乳动物的影响主要表现为噪声干扰导致鱼类或海洋哺乳动物暂时游离施工水域，在打桩作业中应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类或海洋哺乳动物离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，不会造成大范围鱼类死亡。

本项目已建设完成，施工期已结束，施工噪声影响已消失。

4.3.8.2 运营期影响

(1) 运行期水下噪声对海洋生物影响

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。

(2) 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 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。同

时该结果与参照类比的英国 4 个海上风电场的水下噪声实测分析结论相近。

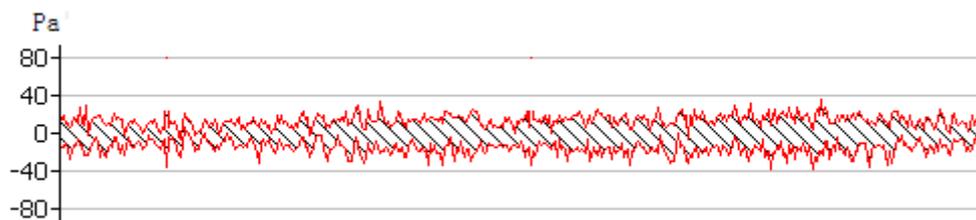
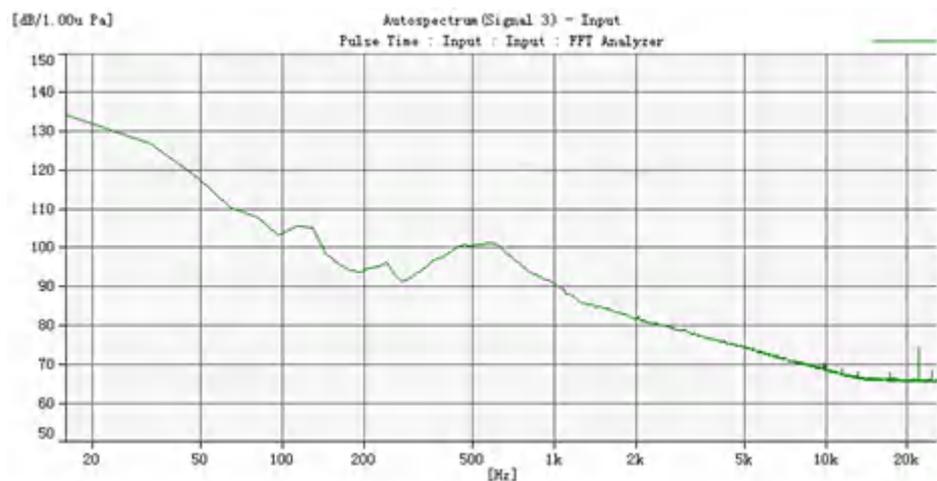


图 4.3.8-2 声压时域图



声功率谱图

图 4.3.8-3 类比海上风电场水下噪声实测结果

(3) 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，见图 4.3.8-4。

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。

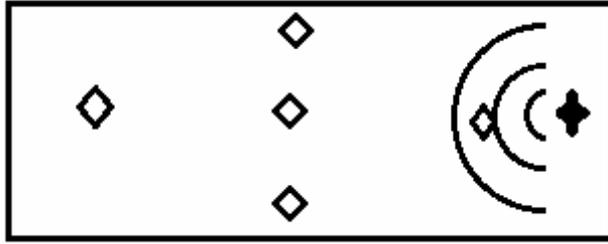


图 4.3.8-4 测量背景噪声和声场分布的实验布置图

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：

1) 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；

2) 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、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。

水下噪声生物实验结果显示：

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、缢蛭的碱性磷酸酶活性、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。

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/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 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，不会对该海域中海洋哺乳动物的行为活动产生影响。

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(大黄鱼(成鱼)、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)等影响不明显。

4.3.9 电磁辐射环境影响

(1) 水下电磁环境影响分析

运营中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在 120° 的相位差, 使得周围导体产生变化的磁场, 尽管电缆的护套提供了良好的电场屏蔽, 但是无法屏蔽磁场。根据专题预测, 35kV 电线空间磁感应强度在电缆线中心距离上的磁感应强度为 $22\mu\text{T}$, 综合量最大值出现在距电缆中心线投影 5m 处, 其值为 $24.91\mu\text{T}$, 之后随与此点距离的增加, 其值逐步降低。并行排列的 6 根电缆磁感应强度的叠加效应将使衰落呈椭圆分布, 但总体强度随着距离的增加而减少, 而且衰减越来越严重, 在离电缆中心点 1m 外的区域中磁感应强度已经降到 10^{-6}T 以下。

(2) 电磁场对海洋生物影响评价

目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物产生的影响还没有科学的定论。

行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的, 但是目前所知这种影响是较小的。Formicki 等(2004 年)人对很多种鱼进行研究发现, 如鲈鱼(*Perca fluviatilis*)、白斑狗鱼(*Esox lucius*)、拟鲤(*Rutilus rutilus*)、红眼鱼(*Scardinius erythrophthalmus*)、鲷科鱼东方欧鳊(*Abramis brama*)和鲈科鱼梅花鲈(*Gymnocephalus cernuus*)等都趋于选择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象, 因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi、Kawamura 和 Matsumoto (2004) 的研究中发现, 无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)均会对 $12663\text{nT}\sim 192473\text{nT}$ 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论, 仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

Westerberg 和 Begout-Anras (2000) 对欧洲银鳗在穿越南波罗的海海底电缆时的洄游形式进行了遥测研究。研究表明, 鳗鲡随着持续的磁性罗盘航向迁移, 并没有受到电缆产生的电磁异常影响。此外, Westerberg (1994) 从研究的角度

测试了南波罗的海近岸风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式，在风力发电机 500m 范围内，鳗鲡的洄游形式没有发生任何改变。

在 Westerberg 和 Lagenfelt 的一项未发表的研究中，将 60 尾正在洄游的银鳗放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的 132kV 交流电缆（AC）北部。其洄游速度在有电缆的间隔中明显降低。虽然能够证实磁场对洄游具有影响，但电缆不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

同时厦门大学开展的工频电磁环境对海洋生物短期影响实验研究显示，海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，这种生理反应的持久性未进行进一步评估。强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。

从现有资料分析，35kV 海底电缆在埋设海底下 2~3m 深时，其在海底面上的磁感应强度为 10^{-10} ~ 10^{-5} T 数量级。综合类比实验分析：对该海域中主要的海洋生物资源的影响不明显。

4.3.10 项目用海生态影响回顾性分析

4.3.10.1 调查概况

本项目于 2020 年 11 月开工，2021 年 12 月并网投产。本报告收集了项目施工前（2018 年春季、秋季）和施工后（2021 年秋季、2023 年春季）的海洋环境现状调查结果进行对比分析，对项目建设对海水水质、沉积物环境影响进行回顾性评估。

（1）施工前

施工前春、秋季调查结果引用《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海域使用论证报告书（报批稿）》，于 2018 年 4 月 13 日~18 日（春季）和 2018 年 9 月 5 日~10 日（秋季）在附近海域进行海水水质、海洋沉积物、海洋生物生态、渔业资源、海洋生物质量等的监测。

本次调查共布设水质调查站位 20 个，沉积物站位 10 个，海洋生物生态和渔业资源调查站位各 12 个，具体调查站位见图 4.3.10-1。



图 4.3.10-1 施工前春季、秋季调查站位示意图

(2) 施工后

施工后秋季调查结果引用《上海电气珠海桂山样机工程海洋环境现状调查监测报告（秋季）》，于 2021 年 11 月 25~12 月 20 日对项目附近海域开展海洋环境现状调查。本次调查共设水质调查站位 20 个，沉积物调查站位 10 个，海洋生物质量、生态与渔业资源调查站位 12 个，潮间带生物调查断面 3 个，具体调查站位见图 4.3.10-2。

施工后春季调查结果引用《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告（2023 年春季）》，于 2023 年 04 月 27 日~29 日对项目附近海域开展的渔业资源状况调查和 2023 年 05 月 12 日~21 日对项目附近海域开展的海洋水质、沉积物和海洋生态调现状查结果。本次调查共设水质调查站位 27 个，沉积物调查站位 14 个，海洋生物生态 18 个，海洋生物体质量、渔业资源调查站位 18 个，潮间带生物调查断面 3 个，具体站位见图 4.3.10-3。



图 4.3.10-2 施工后秋季调查站位示意图



图 4.3.10-3 施工后春季调查站位示意图

4.3.10.2 海水水质环境回顾性评价

1、海水水质调查结果评价

（1）施工前

①春季（2018年4月）

春季调查中，各站位水质的 pH 值、COD_{Mn}、石油类、DO、活性磷酸盐、铜、铅、锌、镉、铬、砷、总汞和挥发酚均符合其所处的海洋功能区的环境保护要求，较多站位水样的无机氮质量浓度超出其所处的海洋功能区的环境保护要求，超标率为 60%。有 70%的水样无机氮的质量浓度超出第一类海水水质标准；有 40%的水样无机氮的质量浓度超出第二类海水水质标准；有 23.3%的水样无机氮的质量浓度超出第三类海水水质标准；有 13.3%的水样无机氮的质量浓度超出第四类海水水质标准。

②秋季（2018年9月）

秋季调查中，各站位水质的 COD_{Mn}、铜、铅、锌、镉、铬、砷和挥发酚的质量浓度均符合其所处的海洋功能区的环境保护要求，较多站位水样的无机氮质量浓度超出其所处的海洋功能区的环境保护要求，超标率为 94.12%。有 94.12%的水样无机氮的质量浓度超出第一类海水水质标准；有 91.18%的水样无机氮的质量浓度超出第二类海水水质标准；有 79.41%的水样无机氮的质量浓度超出第三类海水水质标准；有 58.82%的水样无机氮的质量浓度超出第四类海水水质标准。

（2）施工后

①秋季（2021年11月）

秋季调查中，所有站位的 pH、化学需氧量、生化需氧量、石油类、锌、六价铬、硫化物、铜、铅、镉、铬、汞、砷、镍含量符合海水水质第一类标准，部分站位溶解氧、无机氮、活性磷酸盐的含量超第一类海水水质标准。

②春季（2023年5月）

春季调查中，所有站位的 pH、溶解氧、石油类、锌、挥发酚、铜、铅、镉、总铬、汞、砷、镍和硒符合海水水质第一类标准要求，部分站位化学需氧量、生化需氧量、无机氮和活性磷酸盐的含量超第一类海水水质标准。

2、施工前后海水水质变化情况分析

根据施工前（即 2018 年 4 月、2018 年 9 月）和施工后（即 2021 年 11 月、2023 年 4 月）项目附近水质调查结果，选取相同水质监测因子进行对比分析，

变化趋势如图 4.3.10-4 和表 4.3.10-1 所示。

根据施工前后变化趋势图，溶解氧含量在施工前后变化不大，最大值和平均值在施工前后均符合第一类水质标准要求；化学需氧量在施工前后总体变化不大，仅最大值在施工后增大，超过水质第二类标准要求；石油类在施工后逐渐降低，施工前最大值超水质第一类标准，施工后均符合水质第一类标准；无机氮、活性磷酸盐在施工前后变化不大，且在海水中的含量较高，均检测到超第四类标准的现象；挥发性酚、铜、铅、锌、镉、总铬、砷在施工前后变化不大，且海水中的含量较低，施工前后均符合水质第一类标准；汞含量在施工前后逐渐降低，施工前超水质第一类标准，施工后符合水质第一类标准。



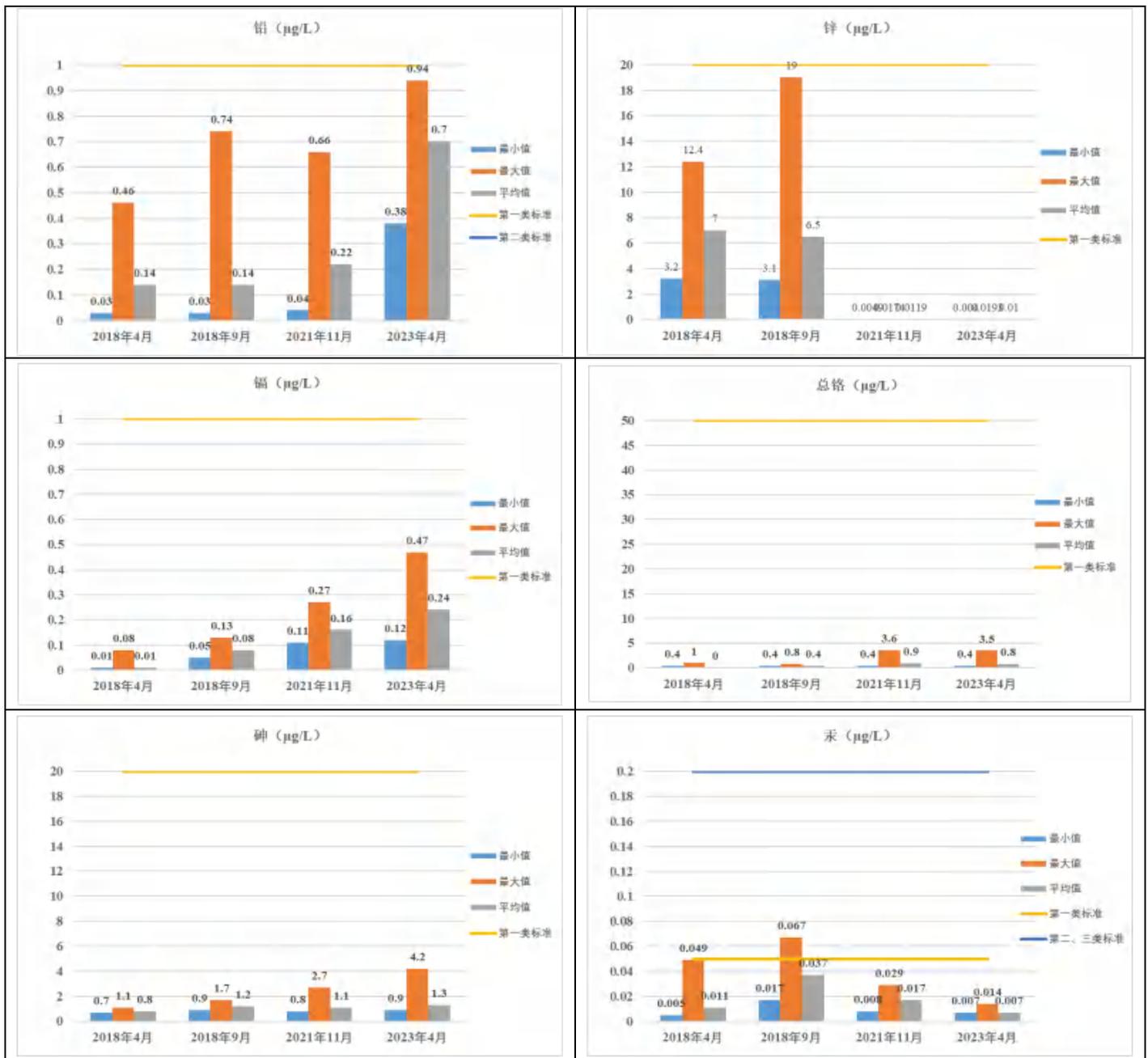


图 4.3.10-4 施工前后海水水质变化趋势图

表 4.3.10-1 施工前后海水水质变化情况表

类别	日期	pH	溶解氧	化学需氧量	石油类	无机氮	活性磷酸盐	铜	铅	锌	镉	总铬	砷	汞	硫化物	挥发性酚
			(mg/L)							(μg/L)						
最小值	2018年4月	8	6.7	0.1	0.01	0.081	0.001	0.2	0.03	3.2	0.01	0.4	0.7	0.005	/	2
最大值		8.39	9.28	1.89	0.038	0.896	0.012	2.1	0.46	12.4	0.08	1	1.1	0.049	/	2.9
平均值		8.23	7.5	0.64	0.019	0.316	0.003	0.6	0.14	7	0.01	0	0.8	0.011	/	2.3
最小值	2018年9月	7.74	4.22	0.02	0.002	0.169	0.001	0.2	0.03	3.1	0.05	0.4	0.9	0.017	/	1.1
最大值		8.93	7.73	2.07	0.131	1.778	0.034	2.8	0.74	19	0.13	0.8	1.7	0.067	/	1.1
平均值		8.04	6.19	0.61	0.025	0.678	0.011	0.8	0.14	6.5	0.08	0.4	1.2	0.037	/	1.1
最小值	2021年11月	7.78	5.24	0.16	0.004	0.0629	0.0043	0.3	0.04	0.0049	0.11	0.4	0.8	0.008	0.2	1.1
最大值		8.3	7.37	1.89	0.0124	0.929	0.0423	4.6	0.66	0.0174	0.27	3.6	2.7	0.029	1.1	1.9
平均值		8.15	6.23	0.61	0.0067	0.22	0.015	1.4	0.22	0.0119	0.16	0.9	1.1	0.017	0.3	0.5
最小值	2023年4月	7.96	6.27	0.16	0.0035	0.14	0.0058	1.8	0.38	0.004	0.12	0.4	0.9	0.007	/	1.1
最大值		8.16	8.58	3.26	0.0142	1.31	0.0512	4.6	0.94	0.0193	0.47	3.5	4.2	0.014	/	1.7
平均值		8.04	7.5	0.92	0.0083	0.428	0.0222	2.9	0.7	0.01	0.24	0.8	1.3	0.007	/	0.4

4.3.10.3 海洋沉积物环境回顾性评价

1、海洋沉积物调查结果评价

(1) 施工前

春季（2018年4月）

本次调查沉积物的有机碳、硫化物、石油类、锌、铬的质量分数均符合其所在功能区的管理要求；B5号沉积物的铜、铅、镉、总汞、砷的质量分数超出其所在功能区的管理要求（第一类海洋沉积物质量标准），但符合第二类海洋沉积物质量标准，B5号站位于珠江口白海豚自然保护区，建议密切关注B5号站的沉积物污染要素变化情况；其余站位的沉积物的调查要素的质量分数均符合其所在功能区的管理要求。

(2) 施工后

①秋季（2021年11月）

本次调查，沉积物中所有站位监测因子除铜外，均符合第一类海洋沉积物质量标准；但铜符合第二类海洋沉积物质量标准。

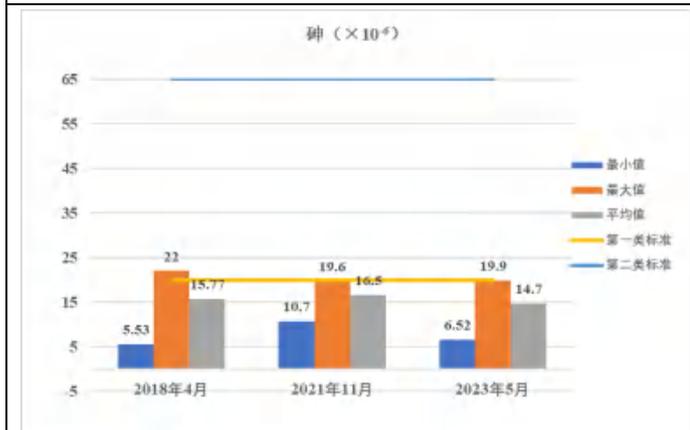
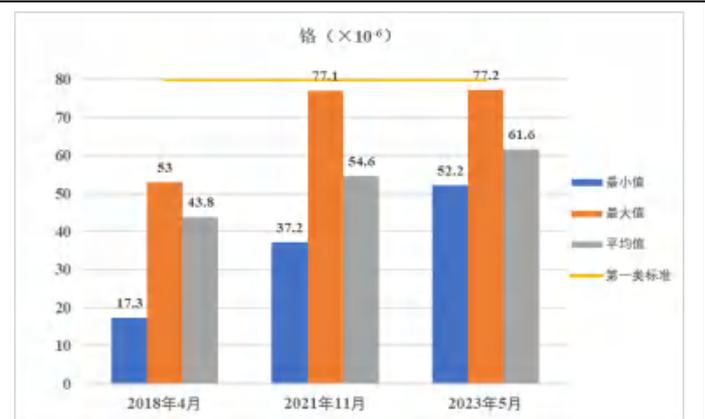
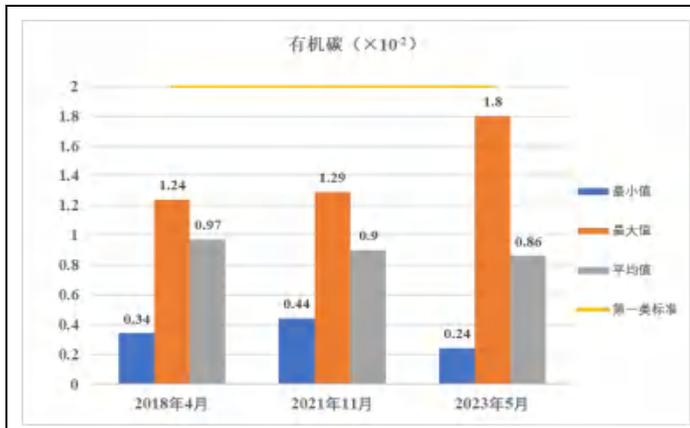
②春季（2023年5月）

本次调查，沉积物中除镉部分站位超标外，其余监测因子均符合第一类海洋沉积物质量标准。

2、施工前后海洋沉积物变化情况分析

经过收集施工前后项目附近沉积物调查结果，沉积物各指标含量变化趋势如图4.3.10-5和表4.3.10-2所示。

根据施工前后变化趋势图，施工前后有机碳、锌、铬、石油类、硫化物含量变化不大，均符合沉积物第一类标准；沉积物中铅、铬、砷、总汞、最大值逐渐降低，施工前超沉积物第一类标准，施工后符合沉积物第一类标准；沉积物中铜、镉最大值施工前后超沉积物第一类标准，但符合沉积物第二类标准。



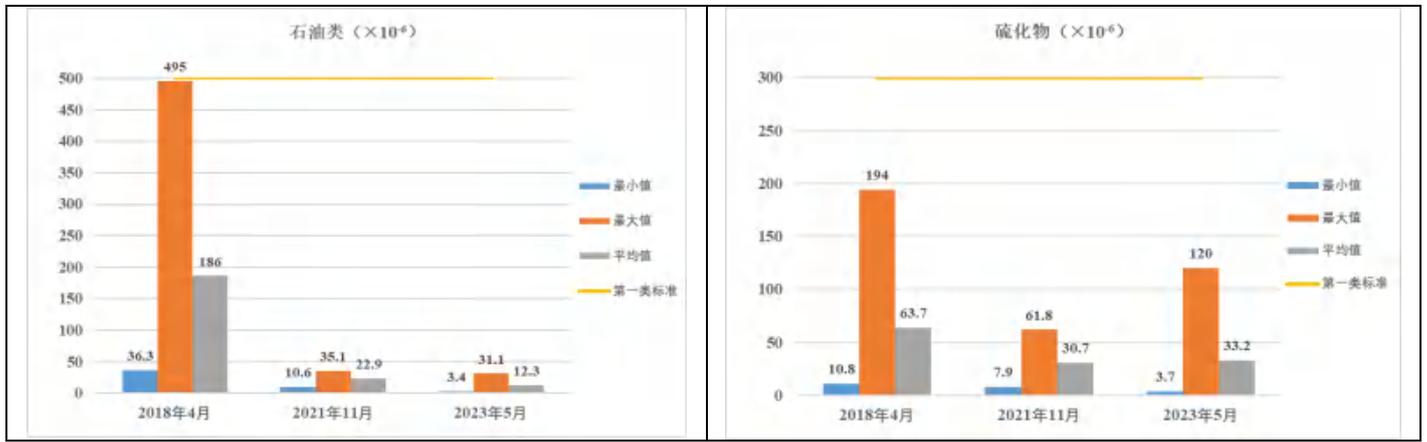


图 4.3.10-5 施工前后海洋沉积物变化趋势图

表 4.3.10-2 施工前后海洋沉积物变化情况表

类别	日期	有机碳	铜	铅	锌	镉	铬	砷	总汞	石油类	硫化物
		($\times 10^{-2}$)	($\times 10^{-6}$)								
最小值	2018 年 4 月	0.34	5.3	28.6	52	0.05	17.3	5.53	0.029	36.3	10.8
最大值		1.24	39.9	67.7	138.9	0.68	53	22	0.22	495	194
平均值		0.97	25.9	47.8	101	0.25	43.8	15.77	0.113	186	63.7
最小值	2021 年 11 月	0.44	18.9	36.2	78.9	0.08	37.2	10.7	0.052	10.6	7.9
最大值		1.29	60.1	47.9	118	0.43	77.1	19.6	0.179	35.1	61.8
平均值		0.9	36.6	42.3	102	0.19	54.6	16.5	0.107	22.9	30.7
最小值	2023 年 5 月	0.24	14.6	23.9	74.2	0.07	52.2	6.52	0.032	3.4	3.7
最大值		1.8	70.4	55.8	143	0.89	77.2	19.9	0.193	31.1	120
平均值		0.86	28.3	40.6	114	0.31	61.6	14.7	0.109	12.3	33.2

4.3.10.4 海洋生物生态回顾性评价

1、调查概况

本节收集了项目施工前（2018年4月、2018年9月）和施工后（2021年11月、2023年4月）海洋环境现状调查结果进行对比分析，对项目建设对海洋生物生态环境影响进行评估。

2、施工前后生物生态变化分析

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

1) 施工前

2018年4月，调查海域各站叶绿素 a 浓度的变化范围为(1.62~17.67)mg/m³，平均为 5.01mg/m³；表层叶绿素含量大于底层，表层叶绿素质量浓度变化范围为(1.62~17.67) mg/m³，平均为 4.84mg/m³。调查海域初级生产力水平变化范围为(83.27~1316.37) mg·C/ (m²·d)，平均为 675.34mg·C/ (m²·d)。

2018年9月，调查海域叶绿素 a 浓度的变化范围为(0.46~14.82) mg/m³，平均为 4.10mg/m³；表层叶绿素含量大于底层，表层叶绿素含量变化范围为(0.46~20.88) mg/m³，平均为 5.12mg/m³。调查海域初级生产力水平变化范围为(2.97~599.86) mg·C/ (m²·d)，平均为 242.80mg·C/ (m²·d)。

2) 施工后

2021年11月，调查海域叶绿素 a 含量表层大于中底层，表层变化范围为(0.892~8.12) mg/m³，平均为 3.969mg/m³，底层变化范围为(0.71~3.12) mg/m³，平均为 1.90mg/m³。调查海域初级生产力的变化范围为 72.802~994.871mg·C/ (m²·d)，平均值为 339.039mg·C/ (m²·d)。

2023年4月，调查海域叶绿素 a 浓度的变化范围为 1.29~22.50mg/m³，平均为 5.84mg/m³；表层叶绿素 a 变化范围在 1.88~22.5mg/m³，平均为 6.23mg/m³。调查海域初级生产力变化范围在 286.380~1874.1242mg·C/ (m²·d)，平均值为 853.801mg·C/ (m²·d)。

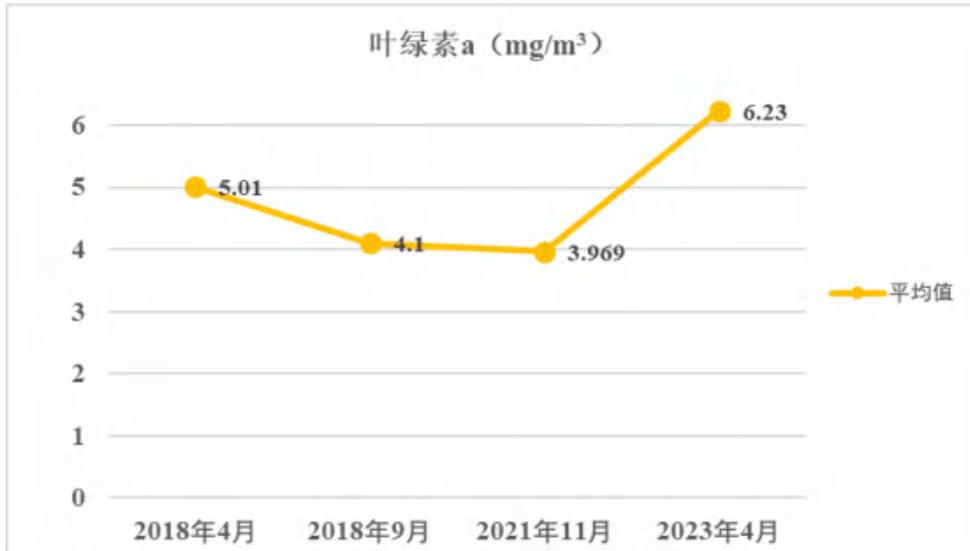


图 4.3.10-6 施工前后叶绿素 a 变化趋势



图 4.3.10-7 施工前后初级生产力变化趋势

(2) 浮游植物

1) 施工前

2018年4月，调查海域浮游植物共出现了有硅藻、甲藻、蓝藻和金藻共4大门类16科76种，其中以硅藻门的种类最多，其次是甲藻门。浮游植物密度分布范围在 $313.60 \times 10^4 \text{ ind/m}^3 \sim 646.40 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 之间，平均为 $484.24 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 。多样性指数分布范围在2.62~3.37之间，平均为3.04，均匀度的分布范围在0.58~0.71之间，平均为0.66。

2018年9月，调查海域浮游植物共出现了有硅藻、甲藻、蓝藻和黄藻共4大门类14科69种，其中以硅藻门的种类最多，其次是甲藻门。浮游植物密度分

布范围在 $177.33 \times 10^4 \text{ ind/m}^3 \sim 298.00 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 之间，平均为 $229.09 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 。多样性指数分布范围在 2.74~3.65 之间，平均为 3.19，均匀度的分布范围在 0.62~0.74 之间，平均为 0.69。

2) 施工后

2021 年 11 月，调查海域共记录浮游植物 3 门 134 种（含变型与变形各 2 种、变种 1 种），分别为硅藻门、甲藻门、硅藻门。其中硅藻门 98 种，甲藻门 33 种，蓝藻门 3 种。浮游植物密度变化范围为 $(1020.32 \sim 73494.16) \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ，平均密度为 $15754.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。多样性指数范围为 2.708~3.958，平均为 3.418；均匀度指数范围为 0.509~0.693，平均为 0.608。

2023 年 4 月，调查海域共记录浮游植物 4 门 5 纲 13 目 27 科 134 种。硅藻门种类最多，共 14 科 95 种，甲藻门种类次之，出现 11 科 35 种。浮游植物密度分布差异较大，变化范围在 $(639.857 \sim 87232.552) \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 之间，平均值为 $12242.484 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。多样性指数范围在 1.004~4.267 之间，平均值为 3.282；均匀度指数范围在 0.172~0.722 之间，平均值为 0.563。



图 4.3.10-8 施工前后浮游植物变化趋势

(3) 浮游动物

1) 施工前

2018 年 4 月，调查海域浮游动物经初步鉴定有 6 个生物类群，共 38 种。其中以桡足类的种类最多，其次是浮游幼虫类。调查海域生物量分布不均匀，变化

幅度为 $671.67\text{g/m}^3 \sim 3839.67\text{g/m}^3$ ，平均生物量为 1825.96mg/m^3 。在密度分布方面，变化幅度为 $265.50\text{ind/m}^3 \sim 12474.00\text{ind/m}^3$ ，平均密度为 4070.72ind/m^3 。多样性指数 H' 范围为 $3.20 \sim 3.91$ 之间，平均为 3.46 ；均匀度 J 范围为 $0.70 \sim 0.86$ 之间，平均为 0.77 。

2018年9月，调查海域浮游动物经初步鉴定有8个生物类群，共28种。其中以桡足类的种类最多，其次是浮游幼虫类。浮游动物生物量分布不均匀，变化幅度为 $39.50\text{mg/m}^3 \sim 105.20\text{mg/m}^3$ ，平均生物量为 75.46mg/m^3 。在密度分布方面，变化幅度为 $25.71\text{ind/m}^3 \sim 218.33\text{ind/m}^3$ ，平均密度为 91.49ind/m^3 。多样性指数 H' 范围为 $2.06 \sim 3.75$ 之间，平均为 3.69 ；均匀度 J 范围为 $0.53 \sim 0.90$ 之间，平均为 0.87 。

2) 施工后

2021年11月，调查海域共记录浮游动物14个生物类群62种，其中桡足类31种；浮游幼体9种；水母类4种；毛颚动物3种；十足类、端足类、尾索动物、多毛类和介形类各2种；磷虾类、涟虫类、半索动物、卤虫类和腹足类各1种。浮游动物生物量变化幅度为 $(160.000 \sim 2831.765)\text{mg/m}^3$ ，平均生物量为 844.751mg/m^3 ；浮游动物密度变化幅度为 $(2637.61 \sim 12459.68)\text{ind/m}^3$ ，平均密度 5796.56ind/m^3 。多样性指数范围为 $2.606 \sim 4.248$ 之间，平均为 3.702 ；种类均匀度指数变化范围在 $0.773 \sim 0.869$ 之间，平均为 0.840 。

2023年4月，调查海域共记录浮游动物5门10纲17目33科77种。其中，以桡足类最多，浮游幼体次之。浮游动物生物量变化范围在 $76.67 \sim 3601.85\text{mg/m}^3$ 之间，平均值为 495.47mg/m^3 ；浮游动物密度变化范围在 $2066.667 \sim 10802.422\text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 5727.312ind/m^3 。浮游动物多样性指数变化范围在 $2.016 \sim 3.730$ 之间，平均值为 2.923 ；均匀度指数变化范围在 $0.581 \sim 0.721$ 之间，平均值为 0.638 。



图 4.3.10-9 施工前后浮游动物变化趋势

(4) 底栖生物

1) 施工前

2018年4月，调查海域共出现包括纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物、棘皮动物和脊索动物共6门22科30种。其中环节动物种类数相对较多，为12科17种，其次为软体动物4科7种。优势度在0.02以上的优势种有3种，分别为光滑倍棘蛇尾、后指虫、波纹巴非蛤。底栖生物的总平均生物量为18.15g/m²，最高生物量为46.50g/m²，最低生物量为4.00g/m²；平均栖息密度为75.00ind/m²，最高栖息密度为210.00ind/m²，最低栖息密度为30.00ind/m²。底栖生物多样性指数变化范围在1.5850~2.5033之间，平均为2.0993；均匀度分布范围在0.8322~1.0000之间，整个海区均匀度指数的平均值为0.9483。

2018年9月，调查海域共出现包括纽形动物、环节动物、蠕虫动物、软体动物、节肢动物、棘皮动物、半索动物共7门27科34种。其中环节动物种类数相对较多，为16科22种，其次为节肢动物3科4种。优势度在0.02以上的优势种有3种，分别为背蚓虫、戴氏脑纽虫和带扁蛰虫。底栖生物的总平均生物量为13.03g/m²，最高生物量为35.50g/m²，最低生物量为3.70g/m²；平均栖息密度为98.33ind/m²，最高栖息密度为170.00ind/m²，最低栖息密度为50.00ind/m²。底栖生物多样性指数变化范围在1.7925~3.3278之间，平均为2.4370；均匀度分布范围在0.8962~0.9796之间，整个海区均匀度指数的平均值为0.9475。

2) 施工后

2021年11月,调查海域共记录大型底栖动物22种,其中环节动9种,节肢动物8种,软体动物2种,棘皮动物1种,蠕虫动物1种,脊索动物1种。优势度在0.02以上的共有2种,分别为寡节甘吻沙蚕和日本倍棘蛇尾。底栖生物的平均生物量为 $10.857\text{g}/\text{m}^2$,变化范围为 $0.625\sim 27.903\text{g}/\text{m}^2$;底栖生物平均栖息密度为 $45.42\text{ind.}/\text{m}^2$,变化范围为 $5.00\sim 75.00\text{ind.}/\text{m}^2$ 。底栖生物多样性指数(H')变化范围在 $0\sim 2.732$ 之间,平均值为1.422;均匀度指数范围在 $0\sim 0.981$ 之间,平均值为0.679。

2023年4月,调查海域共记录大型底栖生物7门8纲16目26科31种,分属7个不同类群,即环节动物、棘皮动物、刺胞动物、节肢动物、软体动物、纽形动物和星虫动物。优势度在0.02以上的只有佛州帚毛虫。底栖生物的生物量范围在 $0\sim 52.570\text{g}/\text{m}^2$ 之间,平均生物量为 $3.704\text{g}/\text{m}^2$;栖息密度范围在 $0\sim 260.000\text{ind}/\text{m}^2$ 之间,平均栖息密度为 $26.944\text{ind}/\text{m}^2$ 。底栖生物多样性指数变化范围在 $0\sim 2.750$ 之间,平均值为1.309;均匀度指数变化范围在 $0.395\sim 1.000$ 之间,平均值为0.856。



图 4.3.10-10 施工前后底栖生物变化趋势

(5) 潮间带生物

1) 施工前

2018年4月,调查海域共出现潮间带生物3门7科8种。其中最多为软体

动物 5 科 5 种，其次为环节动物 1 科 2 种。优势度在 0.02 以上的有 3 种，分别为紫贻贝、粒结节滨螺和疣荔枝螺。潮间带生物平均生物量为 $500.25\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $2471.43\text{ind}/\text{m}^2$ 。潮间带生物多样性指数和均匀度均较低，多样性指数变动范围为 $0.3942\sim 1.5305$ ，平均值为 0.7691 ；均匀度指数分布范围为 $0.2487\sim 0.9656$ ，平均值为 0.5129 。

2018 年 9 月，调查海域共出现潮间带生物 2 门 4 科 4 种。其中最多为节软体动物 3 科 3 种，占其次为节肢动物 1 科 1 种。优势度在 0.02 以上的有 1 种，为粒结节滨螺。潮间带生物平均生物量为 $95.63\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $1145.83\text{ind}/\text{m}^2$ 。潮间带生物多样性指数较小，在 $0.4754\sim 0.5665$ ，平均值为 0.5210 ，均匀度的变化范围为 $0.4754\sim 0.5665$ ，平均值为 0.5210 。

2) 施工后

2021 年 11 月，调查海域记录潮间带生物共 8 种，其中软体动物 6 种、节肢动物 2 种。软体动物是本次调查的主要类群。调查断面潮间带平均生物量 $156.220\text{g}/\text{m}^2$ ，各潮间带平均栖息密度为 $26.44\text{ind}/\text{m}^2$ 。潮间带生物多样性指数 (H') 变化范围在 $1.615\sim 2.122$ 之间，平均值为 1.949 ；种类均匀度变化范围在 $0.808\sim 0.914$ 之间，平均为 0.877 。

2023 年 4 月，调查海域共记录潮间带生物 5 门 6 纲 14 目 22 科 27 种，其中包括软体动物 13 种、节肢动物 11 种、脊索动物、环节动物和扁形动物各 1 种。优势度在 0.020 以上的有 9 种，分别为单齿螺、疣荔枝螺，豆斧蛤、嫁蛾等。断面定量调查的平均生物量为 $163.471\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $118.000\text{ind}/\text{m}^2$ 。潮间带生物多样性指数的变化范围在 $1.927\sim 3.657$ 之间，平均值为 2.587 ；均匀度指数的变化范围在 $0.642\sim 0.895$ 之间，平均值为 0.793 。

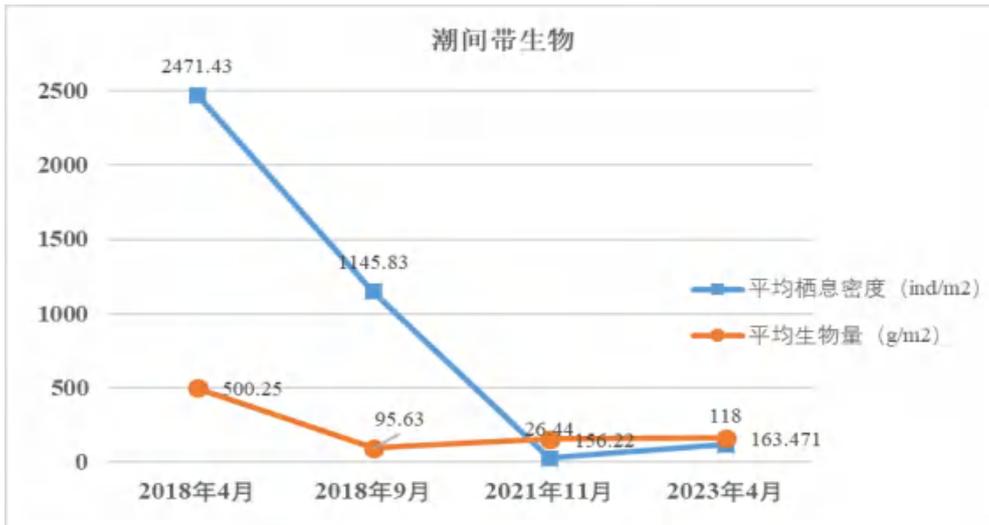


图 4.3.10-11 施工前后潮间带生物变化趋势

(6) 鱼卵仔稚鱼

1) 施工前

2018年4月，调查海域共捕获鱼卵 844ind、仔稚鱼 28ind；经鉴定隶属于 1 门 22 科 35 种。调查海区鱼卵密度分布范围为 $0.08\text{ind}/\text{m}^3 \sim 1.69\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均为 $0.57\text{ind}/\text{m}^3$ ；仔稚鱼密度分布范围为 $0 \sim 0.065\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均为 $0.019\text{ind}/\text{m}^3$ 。

2018年9月，调查海域共捕获鱼卵 1019ind、仔稚鱼 22ind；经鉴定隶属于 1 门 20 科 30 种。调查海区鱼卵密度变化范围为 $48.0 \times 10^{-3}\text{ind}/\text{m}^3 \sim 2080.52 \times 10^{-3}\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均为 $441.86 \times 10^{-3}\text{ind}/\text{m}^3$ 。仔稚鱼密度范围为 $0.00 \times 10^{-3}\text{ind}/\text{m}^3 \sim 36.0 \times 10^{-3}\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均为 $10.20 \times 10^{-3}\text{ind}/\text{m}^3$ 。

2) 施工后

2021年11月，调查海域出现捕获鱼卵 4 种，仔稚鱼 7 种，鱼卵包括鲱形目、鲈形目，仔稚鱼包括鳗鲡目、鲀形目、鲀形目、银汉鱼目。垂直拖网调查共采到鱼卵 9 粒，仔稚鱼 2 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 $0.28\text{ind}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼的平均密度为 $0.11\text{ind}/\text{m}^3$ 。

2023年4月，调查海域共出现了鱼卵 18 种，其中包括鲈形目 11 种，鲱形目 3 种，鲱形目和鲉形目各 2 种；仔稚鱼 28 种，其中包括鲈形目 17 种，鲱形目 3 种，鲉形目 2 种，灯笼鱼目 2 种，鲀形目、银汉鱼目、鲉形目和鲻形目各 1 种。垂直拖网共采到鱼卵 585ind，仔稚鱼 118ind；鱼卵平均密度为 $14.564\text{ind}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $3.347\text{ind}/\text{m}^3$ 。



图 4.3.10-12 施工前后鱼卵仔稚鱼变化趋势

(7) 游泳生物

1) 施工前

2018年4月，调查海域共捕获渔业资源游泳生物种类12目39科57属76种，其中鱼类的种类最多，达36种、占总种数的47.37%，优势种为二长棘鲷、日本红娘鱼、短吻鲷、大鳞舌鲷、前鳞骨鲷等。游泳生物各断面总渔获率为10.680kg/h，各断面平均渔获率为1.78kg/h，断面渔获率变化范围为1.062kg/h~3.378kg/h。游泳生物调查总平均资源密度为720.842kg/km²，总平均资源尾数密度为100162.0ind/km²。游泳生物的多样性指数分布范围在2.548~3.772之间，平均为3.384；均匀度分布范围在0.549~0.846之间，平均为0.730。

2018年9月，调查海域共捕获渔业资源游泳生物种类14目41科57属77种，其中鱼类的种类最多，达47种、占总种数的61.04%，优势种为皮氏叫姑鱼、孔鳃虎鱼、赤鼻棱鳀、眶棘双边鱼等。游泳生物各断面总渔获率为24.16kg/h，各断面平均渔获率为4.027kg/h，断面渔获率变化范围为1.103kg/h~11.726kg/h。游泳生物调查总平均资源密度为1630.670kg/km²，总平均资源尾数密度为152909.017ind/km²。游泳生物的多样性指数分布范围在2.101~3.901之间，平均为2.750；均匀度分布范围在0.447~0.851之间，平均为0.660。

2) 施工后

2021年11月，调查海域共捕获游泳生物68种，其中：鱼类38种，虾类13

种（其中虾蛄类 5 种），蟹类 16 种，头足类 1 种。游泳生物平均总重量渔获率为 5.825kg/h，站次渔获率变化范围为 0.673kg/h~8.972kg/h；游泳生物平均重量密度为 391.416kg/km²，变化范围为 45.265kg/km²~602.920kg/km²。游泳生物多样性指数变化范围为 2.616~3.917，平均为 3.408，多样性指数较好。

2023 年 4 月，调查海域共捕获游泳生物 3 门 4 纲 16 目 55 科 123 种，其中：鱼类 78 种，虾类 21 种（其中虾蛄类 4 种），蟹类 19 种，头足类 5 种。游泳生物平均总重量渔获率为 14.119kg/h。游泳生物重量渔获密度范围在 626.350~4212.195kg/km² 之间，平均值为 1873.630kg/km²。游泳生物多样性指数变化范围在 2.018~3.990 之间，平均值为 3.147；均匀度指数变化范围在 0.400~0.830 之间，平均值为 0.610。



图 4.3.10-13 施工前后游泳生物变化趋势

通过对比项目实施前后春季、秋季海洋生物生态的调查数据发现，叶绿素 a 含量、初级生产力总体呈上升趋势；浮游生物、底栖生物、潮间带生物及渔业资源种类数、生物量、多样性指数及均匀度等均有一定程度的波动，可能受周围环境变化影响，也可能受项目建设影响，影响生物量变化因子较多。

4.3.11 生态跟踪监测指标合理影响范围

根据相关文件要求，海上风电等可能对资源生态造成影响的项目，应开展生态跟踪监测，生态跟踪监测具体要求见表 4.3.11-1。

表 4.3.11-1 海上风电用海项目生态跟踪监测具体要求一览表

	海洋生态	海水水质	沉积物质量	海洋生物质量	地形地貌与冲淤	电磁环境	水下噪声
监测站位	12 个	不少于 20 个	不少于 10 个	不少于 3 个	—	不少于 9 个	不少于 9 个
监测频次	每年代表性一季	每年代表性一季	每年代表性一季	每年代表性一季	—	每年代表性一季	每年代表性一季
监测内容	鸟类、叶绿素 a、浮游植物、浮游动物(含鱼卵仔鱼)、底栖生物	水深、水温、盐度、pH、悬浮物、COD、BOD ₅ 、DO、无机氮、活性磷酸盐、石油类、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、硒、镍、挥发性酚、硅酸盐	粒度、有机碳、pH、石油类、硫化物、总汞、铜、铅、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

本项目已建设完成，施工期已经结束，本节针对营运期制定跟踪监测合理指标变化范围。

表 4.3.11-2 海上风电项目生态跟踪监测指标合理范围表

监测内容	监测指标		单个站位合理变化范围 (运营期)
海洋生态	叶绿素 a(mg/m ³)	表层	1.88~2.25
		底层	0.71~3.12
		初级生产力含量 mg·C/(m ² ·d)	72.802~1874.1242
	浮游植物细胞密度	×10 ⁴ ind/m ³	63.9857~8723.2522
	浮游植物生物量	mg/m ³	/
	浮游植物种数		62~77
	浮游动物个体密度	ind/m ³	2066.667~12459.68
	浮游动物生物量	mg/m ³	76.67~3601.85
	浮游动物种数		49~56
	底栖生物生物量	g/m ²	0.625~52.57
底栖生物栖息密度	ind/m ²	5~260.0	
地形地貌与冲淤		水深	冲淤<0.12m/a
电磁环境	工频电场	V/m	<4000
	工频磁场	mT	<0.1
水下噪声	噪声频带有效声压级	dB	140~143
	噪声声压谱级	dB (20Hz-20kHz 频率范围)	136~162

		内)	
海水水质	水温	°C	20.5~26.3
	盐度		13.561~34.852
	pH		7.78~8.3
	悬浮物	mg/L	4.6~48.9
	COD	mg/L	0.16~3.26
	BOD ₅	mg/L	/
	DO	mg/L	5.24~8.58
	无机氮	mg/L	0.0629~1.31
	活性磷酸盐	mg/L	0.0043~0.0512
	石油类	mg/L	0.0035~0.0142
	总汞	μg/L	0.007~0.029
	铜	μg/L	0.2~3.8
	铅	μg/L	0.3~4.6
	锌	mg/L	0.004~0.0193
	铬	μg/L	0.4L~3.6
	镉	μg/L	0.11~0.47
	砷	μg/L	0.8~4.2
	硒	mg/L	0.2L~0.3
	镍	mg/L	0.5L~4.5
	挥发性酚	μg/L	1.1L~1.9
硅酸盐	mg/L	/	
沉积物质量	粒度		/
	有机碳	%	0.24~1.8
	pH		/
	石油类	×10 ⁻⁶	3.4~35.1
	硫化物	×10 ⁻⁶	3.7~120
	铜	×10 ⁻⁶	14.6~70.4
	铅	×10 ⁻⁶	23.9~55.8
	锌	×10 ⁻⁶	74.2~143
	镉	×10 ⁻⁶	0.07~0.89
	铬	×10 ⁻⁶	37.2~77.2
	汞	×10 ⁻⁶	0.032~0.193
砷	×10 ⁻⁶	6.52~19.9	
海洋生物质量	铜	mg/kg	0.4L~23.3
	铅	mg/kg	0.04L~0.11
	锌	mg/kg	1.8~37.5
	镉	mg/kg	0.005L~0.117
	铬	mg/kg	0.04L~0.7
	汞	mg/kg	0.01~0.158
	砷	mg/kg	0.2L~1.8
石油烃	mg/kg	2.1~17.4	

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

珠海市位于珠江口西岸，东隔珠江口与香港、深圳相望，南濒南海与澳门陆地相连，西与新会、台山为邻，北与中山接壤，是联系内地与香港、澳门的重要进出口岸。珠海市海洋资源丰富，海域辽阔，海岛众多，是珠三角城市中海洋面积最大的城市。

珠海辖香洲区、金湾区、斗门区、横琴新区 4 个行政区，并设立珠海高新技术产业开发区、珠海保税区、高栏港经济区、万山海洋开发试验区 4 个经济功能区。根据珠海市统计局 2024 年 4 月公布的《2023 年珠海市国民经济和社会发展统计公报》（珠海市统计局 国家统计局珠海调查队，2024 年 4 月 28 日），据核算，经广东省统计局统一核算，2023 年珠海实现地区生产总值（初步核算数）4233.22 亿元，比上年增长 3.8%。其中，第一产业增加值 69.71 亿元，比上年增长 5.1%，对地区生产总值增长的贡献率为 2.04%；第二产业增加值 1872.11 亿元，增长 4.7%，对地区生产总值增长的贡献率为 54.4%；第三产业增加值 2291.39 亿元，增长 3.0%，对地区生产总值增长的贡献率为 43.56%。三次产业的比例为 1.7:44.2: 54.1。人均地区生产总值 17.03 万元，比上年增长 3.2%。全年完成农林牧渔业总产值 126.44 亿元，比上年增长 5.2%。规模以上工业综合能源消费量 779.51 万吨标准煤，比上年增长 12.3%。单位工业增加值能耗增长 6.1%。全年全社会用电量 251.23 亿千瓦时，增长 11.8%。其中，工业用电量 138.31 亿千瓦时，增长 11.7%。

5.1.2 海域使用现状

本项目场址位于珠海市三角岛东南侧海域，项目相关人员对选址及周边进行了现场踏勘，结合搜集到的资料和遥感影像，项目所在海域的主要开发利用现状包括海上风电场、航道、航线、锚地、码头工程等。项目所在海域海洋开发利用活动见表 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	项目名称	与本项目相对位置和最近距离	备注
航道、航线、锚地			
1	九洲航道	西南侧, 约 2.4km	航道
2	榕树头航道	东北侧, 约 4.8km	
3	快速船分隔航道	北侧, 约 4.5km	
4	九洲港-曼谷航线	西侧, 约 2.6km	航线
5	九洲港-马尼拉航线	西侧, 约 1.7km	
6	九洲港-上海航线	西南侧, 约 1.7km	
7	珠海头洲引航锚地	西侧, 约 1.2km	锚地
8	珠海头洲候潮、过驳锚地	东南侧, 约 0.5km	
9	桂山引航锚地	东北侧, 约 1.7km	
海上风电场			
10	珠海桂山海上风电场示范项目	紧邻	建设完成, 正在进行用海调整申请
码头工程			
11	珠海三角岛后勤码头工程项目	西北侧, 约 0.7km	/
12	珠海三角岛码头工程项目	东北侧, 约 1.1km	/
13	桂山岛国际游艇会度假中心项目(一期工程)游艇码头工程	东北侧, 约 8.3km	/
14	珠海港万山港区桂山岛陆岛补给码头工程	东北侧, 约 7.8km	/
15	珠海市桂山岛对外开放游艇码头工程	东北侧, 约 6.8km	/
16	珠海港万山港区桂山岛客运码头工程	东北侧, 约 7.0km	/
17	珠海中燃桂山油库疏港泊位扩建工程	东北侧, 约 6.4km	/
18	珠海中燃桂山油库多点系泊码头和疏港泊位港区用海	东北侧, 约 5.7km	/
自然保护区			
19	珠江口中华白海豚自然保护区	北侧, 约 5.0km	自然保护区
20	珠海市万山群岛市级自然保护区	南侧, 约 5.7km	
水道			
21	青洲水道	西侧	水道
其他			
22	国家海洋局桂山海洋环境监测站验潮站项目	东北侧, 约 8.4km	/
23	珠海港万山港区桂山岛十三湾陆岛交通客货运码头防波堤工程	东北侧, 约 8.6km	/
24	珠海市桂山岛海豚湾沙滩修复工程	东北侧, 约 8.1km	/
25	三角岛开发活动	登陆点位于	整体出让



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

经过现场调研、管理部门调访、海域使用动态监管系统查询，与用海批复时对比，崖城 13-1 天然气田海底管线用海权限已过期，在 2016 年 9 月一期工程开工建设时已对养殖区进行补偿和清退。本论证范围内的已确权用海项目主要有珠海桂山海上风电场示范项目、珠海三角岛码头工程项目、珠海三角岛后勤码头工程项目、国家海洋局桂山海洋环境监测站验潮站项目等项目，本项目与一期工程紧邻，该项目正在申请调整用海，本项目申请用海范围与一期工程在登陆段已确权用海范围存在重叠，调整后重叠部分由本项目进行申请，一期工程不再申请该区域，因此，本项目申请用海方范围与周边项目权属无冲突。

各确权项目的权属信息见表 5.1.3-1，项目周边海域权属现状图见图 5.1.3-1。

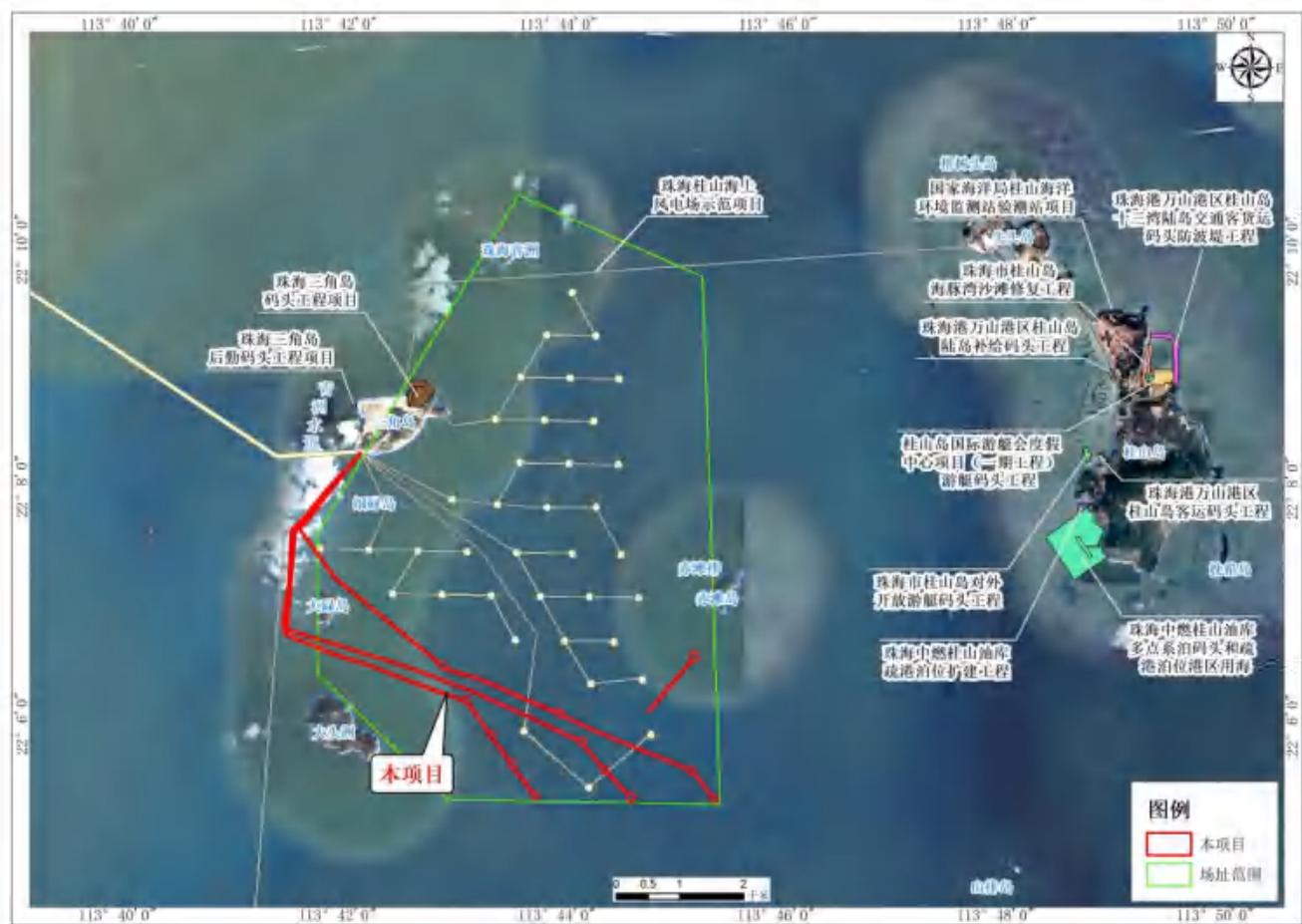


图 5.1.3-1 项目所在海域权属现状图

表 5.1.2-1 周边海域确权项目权属信息表（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，本项目所在附近海域及近岸的主要开发活动有海上风电场、航道、航线、锚地、码头工程等，项目现已建成运营，建设期间对周边用海活动的影响已消除（项目施工悬沙扩散范围与周边开发活动叠加图见图 5.2-1），均未产生利益冲突，本节主要分析项目运营期间对周边用海活动的影响。



图 5.2-1 项目悬沙扩散范围与周边用海活动叠置图

5.2.1 对航道、航线、锚地的影响

本项目附近海域分布有较多航道、航线及锚地，主要为九洲航道、榕树头航道、快速船分隔航道、九洲港-曼谷航线、九洲港-马尼拉航线、九洲港-上海航线、珠海头洲引航锚地、珠海头洲候潮过驳锚地及桂山引航锚地。本项目距离最近航道、航线为九洲港-马尼拉航线、九洲港-上海航线（约 1.7km），距离最近锚地为珠海头洲候潮、过驳锚地（约 0.5km）。

项目已建成，施工期间对通航环境的影响已消除。运营期间项目海底电缆工程埋藏在海床以下，海底电缆为埋设形式，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，不会对潮流动力产生影响，亦不会对周边地形地貌产生影响，项目海底电缆的建设基本不会对周边航道、航线功能造成影响。

项目通航安全影响分析引用《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程（方案调整）通航安全咨询报告》（备案稿）。

桂山海上风电场建成后对周边习惯航路的影响是为长期的，永久性影响。风机完成后，为永久性海上构筑物，客观上存在一定的碍航性，但船舶进入头洲岛南部船舶习惯航路的船舶航行时注意到风电场场区外围灯桩和风机后，将提前转向，从风电场场区南侧航行，而风电场南侧海域开阔，桂山风电场场区南侧虽然占用了部分可航水域，但仍至少保留了 2~3km 的可航宽度，船舶在此处航行转向角度不大，航行风险不大，船舶习惯航迹宽度可能南移并收窄，但总体而言，对通航的影响可控。

珠海头洲候潮、过驳锚地日常锚泊船舶数量较少，日船舶锚泊量约 2~3 艘次，风电场建成后，头洲岛南部船舶习惯航路南移，可能会有更多的船舶穿越珠海头洲候潮、过驳锚地，锚泊船舶主要在珠海头洲候潮、过驳锚地南部水域内进行候潮待泊，工程虽然对该锚地北部水域的使用造成一定的影响，但与该锚地的使用现状情况相差不大，总体而言，工程建成后对该水域的正常通航和锚泊安全影响是可控的。

此外，习惯航路来往船舶对本项目海底电缆的调查和海缆的铺设会带来一定的影响，但只要对海缆的埋深严格要求，真正达到设计标准，在电缆铺设后树立警示标志、发布相关海域管理通告，该影响较小，同时也不会影响到航路的正常使用。

5.2.2 对海上风电项目的影响

本工程和一期工程均已建设完成，现不存在施工期之间的影响。本项目对一期工程主要为运营期间风机产生的尾流影响，项目在设计阶段已考虑两期工程的风机排列布置方案，已最大程度减小项目之间的尾流损失。

本项目集电海缆调整申请用海范围与一期工程 35kV 联岛海缆已确权用海范围在三角岛南登陆段存在重叠，由于登陆段两期工程海底电缆高程基本一致，不进行立体确权，因此本次调整用海重叠部分由本项目进行申请，一期工程调整用海不再重复申请，由于两期工程建设单位均为南方海上风电联合开发有限公司，运营期间相互之间的影响已考虑，具有较好的协调性。

5.2.3 对海岛及其开发活动的影响

本项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期建设时均已建设完成，项目建设不再考虑。项目建设 3 回集电海缆接入三角岛升压站，登陆点位于三角岛南侧，三角岛近岸段海域附近有大片礁石分布，海缆无法绕开礁石区域并且无法开挖施工，因此采用铸铁套管保护海缆，直接敷设在礁石上进行保护，陆上段海缆敷设在预制混凝土槽内，盖上盖板，进行保护。本项目一期工程建设时已预留本项目海缆登陆位置，项目建设基本不会影响三角岛及周边其他海岛的地形地貌和水动力环境，对海岛岛体稳定性不会造成影响，项目建设基本不会改变海岛形态，对三角岛基本无影响。

5.2.4 对码头项目的影响

项目周边有 8 个码头工程，其中珠海三角岛后勤码头工程项目、珠海三角岛码头工程项目距离本项目约 0.7km 和 1.1km，其余码头项目均在本项目 5.7km 以外。

项目现已建成运营，建设期间对周边用海活动的影响已消除，项目实施不会对附近海域水动力环境、地形地貌及冲淤环境产生明显影响，运营期间作为风电场项目，本身不会产生污染物，污水均收集上岸处理，不随意排放，基本不会对周边海域环境产生明显不利影响，因此，项目建设对周边码头工程基本无影响。

5.2.5 对保护区的影响

本项目附近海域的保护区有珠江口中华白海豚国家级自然保护区（北侧约 5.0km）和珠海市万山群岛市级自然保护区（南侧约 5.7km）。本工程施工时，悬浮泥沙主要沿着缆线走向向外扩散，由图 5.2-1 可知，项目施工产生的悬浮沙不会扩散至周边自然保护区。本项目现已建成运营，施工期间悬沙影响已结束，不会对周边自然保护区产生影响。

项目运营期间污水均收集上岸处理，不随意排放；建成后对周边海域水文动力环境、冲淤环境影响较小；对中华白海豚的影响主要来自电磁环境和风机运行的水下噪声。根据第 4.3.6 节分析，项目运营期对中华白海豚及其保护区的影响较小。因此，项目建设基本不会对周边自然保护区产生明显不利影响。

5.2.6 对其他项目的影响

本项目周边其他项目主要有国家海洋局桂山海洋环境监测站验潮站项目、珠海港万山港区桂山岛十三湾陆岛交通客货运码头防波堤工程、珠海市桂山岛海豚湾沙滩修复工程等，均位于本项目 8.0km 以外。

项目现已建成运营，建设期间对周边用海活动的影响已消除，且项目海底电缆工程埋藏在海床以下，海底电缆为埋设形式，项目实施不会对附近海域水动力环境、地形地貌及冲淤环境产生明显影响，运营期间作为风电场项目，本身不会产生污染物，污水均收集上岸处理，不随意排放，基本不会对周边海域环境产生明显不利影响，因此，项目建设对周边其他项目基本无影响。

5.2.7 对渔业生产活动的影响分析

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，项目现已建成，施工期间对渔业生产活动的影响已消除。项目运营期风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，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。

根据《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海洋环境影响报告书（报批稿）》，由已批复的《珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书》，项目一期工程按照 200MW 装机容量对施工期及运行期对海域生物资源影响的经济价值进行汇总，合计 1327.81 万元。建设单位以此金额作为参考进行了生态补偿（见附

件6)。根据《关于珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书核准意见的函》（粤海渔函〔2016〕181号），一期工程作为广东省首座海上风电的示范项目以试点形式进行建设，建设单位实际建设规模仅为120MW，本项目续建示范工程环境影响报告书中设计的剩余80MW装机容量。因此，本项目计算的358.02万元海域生物资源影响的经济价值已包含在一期工程的计算金额内。

5.3 利益相关者界定

利益相关者指与项目用海有直接或间接连带关系或者受到项目用海影响的开发利用者，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。

通过对本项目周围用海现状的调查，分析项目用海对周边开发活动的影响情况，按照利益相关者的界定原则，对本工程用海的利益相关者进行了界定。根据原论证报告，项目利益相关者为（不公开）。本项目已完成建设，不存在施工期对周边活动的影响。

项目调整后利益相关者不变。

表 5.3-1 利益相关者一览表（不公开）

5.4 需协调部门界定

本项目建设对周边海域开发利用活动的影响主要体现在施工期间，根据原论证报告书，协调责任部门为航道、海事主管部门。

项目现已建成，不存在施工期影响，施工期间未发生利益冲突。

本项目风机建成后客观上存在一定的碍航性，风电场建成后，头洲岛南部船舶习惯航路南移，可能会有更多的船舶穿越珠海头洲候潮、过驳锚地，且本项目位于珠江口水域，航道条件及通航环境复杂，因此界定项目调整后协调部门为珠海海事局、广州市港务局和广东省珠海航道局。

5.5 相关利益协调分析

5.5.1 与利益相关者的协调分析

（不公开）。

5.5.2 与需协调部门的协调分析

项目施工期未发生影响通航安全的情况，已征求广东海事局、广州市港务局相关意见并取得回函（附件 4、附件 5），建设项目单位应按规定申请办理航道通航条件影响评价审批手续。

本项目调整后宏观选址不变，原“通航报告”（《珠海桂山海上风电场示范项目二期通航安全影响研究报告》）已通过专家评审，主要结论如下：“通过工程建设方案的合理性、可行性分析，珠海桂山海上风电场二期工程选址基本合理。该风电场的建设对所在海域的通航环境和通航安全有一定的影响，在采取相关安全保障和维护措施后，其不利影响和风险将会得到相当程度的缓解或消除。从船舶通航环境和通航安全角度考虑，珠海桂山海上风电场二期项目对附近通航环境和通航安全的影响是可控的，工程建设是可行。”

根据《珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程（方案调整）通航安全咨询报告（备案稿）》：“本次风机调整后，全部风机位于 2018 年召开的《珠海桂山海上风电场示范项目二期通航安全影响研究报告》中建议调整的风机界址北侧水域，风电场对通航安全的影响未进一步恶化。……在建设单位落实相应的导助航设施及安全保障措施的前提下，珠海桂山海上风电场示范项目一期后续及二期工程总平面布置的调整是可行的。”

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 与国防安全和军事活动的协调性分析

项目所在海域及附近海域可能存在国防设施，工程建设、生产经营可能会对国防产生影响，本项目建设前已就规划 200MW 风电场征求有关军事部门的意见，其回函显示“同意珠海桂山海上风电场及相关海电缆建设”。

5.6.2 与国家海洋权益的协调性分析

海域是国家的资源，任何方式的使用都必须尊重国家的权力和维护国家的利益，遵守维护国家权益的有关规则，防止在海域使用中有损于国家海洋资源，破坏生态环境的行为。

本工程不存在损害国家权益的问题，项目实施不涉及国家机密，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，按国家有关规定缴纳海域使用金，不损害国家权益。

6 国土空间规划符合性分析

6.1 项目用海与国土空间规划的符合性分析

6.1.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

6.1.1.1 《广东省国土空间规划（2021-2035年）》

《广东省国土空间规划（2021-2035年）》（以下简称《省国土规划》）明确国土空间开发保护目标：积极推进国土空间保护、开发、利用和修复，到2035年，全面建成安全、繁荣、和谐、美丽的高品质国土。更可持续、更具韧性的安全国土——国土生态安全格局全面夯实，耕地质量提升和布局优化，综合防灾减灾和应急体系全面建成，粮食安全、**能源安全**、水安全、军事安全保障更加有力，应对气候变化和抵御自然灾害的能力显著增强，形成全天候、系统性、现代化的国土安全保障体系。更加集约、高效、开放的繁荣国土——自然资源利用效率和水平显著提升，集约、紧凑、高效的城镇化空间格局全面形成，高质量的现代化产业空间得到充分保障，**海洋资源开发能力持续增强**，**陆海统筹、内外联动的开放型国土开发格局更加优化**，国际竞争力显著增强，高质量发展成为全国典范。

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

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

粤东和粤西地区建设海洋高技术成果高效转化基地和产业基地，打造海洋产业高质量发展典范。

《省国土规划》提出，科学有序推进近海风电场开发建设，积极探索深远海风电开发，支持珠三角海上风电研发服务基地、粤东千万千瓦级海上风电基地、粤西千万千瓦级海上风电基地等基地建设，优化海上风电选址，打造世界级风电产业基地。优近用远完善用海布局。统筹各类用海布局，优先保障国防安全、航运交通、能源矿产等资源开发利用的用海需求和安全，严格执行建设项目用海控制标准。推动海上风电项目、海洋养殖向深水远岸布局，促进海上风电与海洋油气开发、深水养殖综合开发利用，海上风电项目应满足离岸距离 30 公里或水深 30 米的开发条件限制。统筹海底油气管道、通信光缆、电缆等线性设施敷设的海底廊道，重点加强海上风电电缆集中布局规划和管理，统筹设置集中登陆点。划定管廊保护范围，加强海底管廊保护，在确保安全的前提下推进管廊复合利用、管线集中铺设。合理安排国家重大项目、重大战略和海洋矿产能源开发利用等工矿用海布局，主要包括：国家重大建设项目，广东自贸区、广东海洋经济综合试验区及粤港澳大湾区等国家重大战略规划用海，洋东、勒门、海门、靖海、神泉、后湖、甲子、桂山、港口、南鹏岛、沙扒、外罗、新寮、徐闻等近海浅水区海上风电建设及深水区的海上风电建设用海，海上石油、天然气、天然气水合物等油气资源勘探开发用海，波浪能、潮流能、海上光伏等海洋可再生能源开发用海等。

根据海洋空间功能布局，项目选址位于海洋开发利用空间，不涉及海洋生态保护红线及海洋生态保护空间（图 6.1.1-1）。

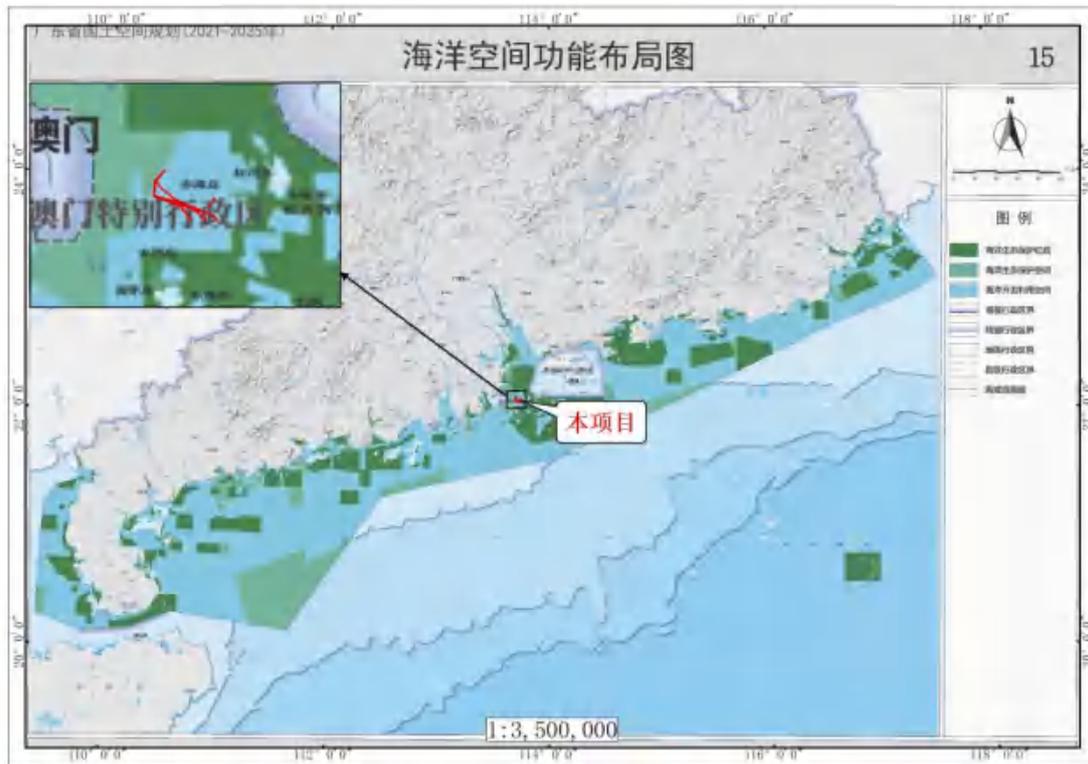


图 6.1.1-1 广东省海洋空间功能布局图 (《广东省国土空间规划 (2021-2035 年)》)

6.1.1.2 《广东省国土空间生态修复规划 (2021-2035 年)》

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

基于“三屏五江多廊道”生态安全格局，围绕生态、农业、城镇三大空间，聚焦重点单元，总体布局国土空间生态修复任务，形成安全健康、美丽的高品质国土空间。其中，**生态空间**——系统保护修复“三屏”“五江”等重点生态功能区，重点推进森林保育、水源涵养、水土保持生物多样性保护、**沿海地区海岸带保护**等。“三屏”：即加强对以南岭山地为核心的南岭生态屏障、以丘陵山地、森林为主体的粤港澳大湾区外围丘陵浅山生态屏障和以沿海防护林、滨海湿地、海湾、海岛等要素为主体的蓝色海洋生态屏障的系统性保护修复。

保障“一核一带一区”区域发展格局。一核——生态融核，打造人与自然和

谐共生的国际一流湾区。一带——陆海统筹，构建生态经济协调发展的黄金海岸带。一区——生态活区，打造生态引领的粤北生态发展区。

推进重要生态系统保护修复。护卫蓝色海洋生态屏障，以 15 个生态保护和修复单元为重点，统筹推进河口、海湾、海岛海岸带整治修复，提高海洋带防护功能，加强海洋生物多样性保护。根据叠图分析，本项目位于《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》中的万山群岛及周边海域生物多样性保护与恢复单元（图 6.1.1-2），生态修复目标是：加大海岛及周边海域的保护力度，强化对海岛自然资源、自然景观及历史和人文遗迹的保护。恢复海岛生物物种与生境多样性，开展大蚬洲岛生态保护保育工程。重点修复三角岛、三门岛、二洲岛、牛头岛等因采石破坏的岛体天然植被，保护荷包岛、大杧岛现存天然植被，保护修复海岛周边海域珊瑚礁等典型海洋生态系统，修复受损砂质岸线生态系统。加强岛屿珍稀濒危动植物保护，提升海岛及其周边海域珍稀濒危物种关键栖息地质量。



图 6.1.1-2 广东省重要生态系统生态保护和修复布局图

6.1.1.3 《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》

《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（以下简称《市国土规划》）提

出“建设新时代中国特色社会主义现代化国际化经济特区、珠江口西岸核心城市、连接港澳的枢纽城市、区域性海洋中心城市、国际滨海旅游城市”的城市定位，承担全国性综合交通枢纽、高端制造业中心、湾区新兴科技创新中心、国际商贸物流中心、国际消费中心、跨境金融中心、时尚文化艺术中心的城市职能，建设一座伟大城市，为中国式现代化高质量发展提供珠海经验。

《市国土规划》要求，陆海统筹，打造区域性海洋中心城市。“一带双核，岛群联动”，统筹布局陆海空间。壮大发展海洋产业，开展海洋经济合作示范。建设具有区域核心竞争力的“442”海洋产业集群，其中包括四大海洋新兴产业，海洋高端装备、海洋生物、海洋新能源、海水综合利用业。

《市国土规划》提出，万山海洋开发试验区充分发挥深水资源优势，加快建设国家海洋综合试验场（珠海），支持配合服务好横琴粤澳深度合作区，建设海洋高质量发展示范基地。

落实省域生态保护系统的要求，结合珠海自然地理空间特征，划定生态保护红线，严格保护海域海岛、海岸带、口门湿地、山体林地等生态空间范围内重要生态功能区域，实施强制性的生态保护政策。

6.1.2 对所在海域国土空间规划分区的影响分析

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）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。

6.1.2.1 《广东省国土空间规划（2021-2035年）》

根据海洋空间功能布局，项目位于海洋开发利用空间，不涉及海洋生态保护红线及海洋生态保护空间。

项目风电场建设期间风机基础打桩和电缆沿线敷设将形成小范围的悬浮物高浓度区。但施工过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就不会继续扩大。风电场施工及电缆敷设时悬浮物扩散对所在海区的水质产生短期的影响，悬浮泥沙扩散造成鱼卵仔稚鱼、游泳生物死亡。目

前项目已完成施工，施工产生的悬沙影响已消失，对海洋开发利用空间的水质、沉积物环境的影响已基本消除，且项目建设单位已缴纳根据环境影响报告书中提出海洋与渔业资源环境损失赔偿款，补偿生态的损失。项目运营期间含油污水送交有资质单位进行妥善处置，少量生活污水经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。

综上所述，本项目的建设主要是悬浮物浓度升高短期影响所在功能区的水质环境，随着施工结束影响即消失。

6.1.2.2 《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》

本项目位于《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》中的万山群岛及周边海域生物多样性保护与恢复单元，生态修复目标主要是加大海岛及周边海域的保护力度，强化对海岛自然资源、自然景观及历史和人文遗迹的保护。

项目施工对工程海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，影响很小，一旦施工结束，影响即可消除。本项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在二期建设时均已建设完成，项目建设不再考虑。项目建设3回集电海缆接入三角岛升压站，登陆点位于三角岛南侧，三角岛近岸段海域附近有大片礁石分布，海缆无法绕开礁石区域并且无法开挖施工，因此采用铸铁套管保护海缆，直接敷设在礁石上进行保护，陆上段海缆敷设在预制混凝土槽内，盖上盖板，进行保护。本项目一期工程建设时已预留本项目海缆登陆位置，项目建设基本不会影响三角岛及周边其他海岛的地形地貌和水动力环境，对海岛岛体稳定性不会造成影响，项目建设基本不会改变海岛形态，对三角岛基本无影响。项目运营期间含油污水送交有资质单位进行妥善处置，少量生活污水经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。

因此，本项目建设对三角岛及周边海岛的影响较小且可控，不会对万山群岛及周边海域生物多样性保护与恢复单元的生态修复目标产生影响。

6.1.2.3 《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》

本项目风电场建设期间风机基础打桩和电缆沿线敷设将形成小范围的悬浮物高浓度区。但施工过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就不会继续扩大。目前项目已完成施工，施工产生的悬沙影响已消失，对所在海区海洋环境的影响已基本消除。项目运营期间含油污水送

交由资质单位进行妥善处置，少量生活污水经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。

综上，项目建设和运营对所造成的海洋环境影响较小，对项目所在海区的影响可接受。

6.1.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析

6.1.3.1 《广东省国土空间规划（2021-2035年）》

《广东省国土空间规划（2021-2035年）》（以下简称《省国土规划》）提出：“按照耕地和永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界的优先序统筹划定落实三条控制线，把三条控制线作为调整经济结构、规划产业发展、推进城镇化不可逾越的红线。以三条控制线分别围合的空间为重点管控区域，统筹发展和安全，统筹资源保护利用，优化农业、生态、城镇等各类空间布局”，“以生态保护红线围合的空间为核心，整体保护和合理利用森林、湿地、河流、湖泊、滩涂、岸线、海洋、荒地等自然生态空间，全面改善自然生态系统质量，全力增强生态产品供给功能”。

《省国土规划》提出，统筹各类用海布局，优先保障国防安全、航运交通、能源矿产等资源开发利用的用海需求和安全，严格执行建设项目用海控制标准。推动海上风电项目、海洋养殖向深水远岸布局，促进海上风电与海洋油气开发、深水养殖综合开发利用。

根据本报告分析，项目不涉及生态保护红线，符合《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）的要求。

本项目属于海上风电建设项目，项目建设和营运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。

因此，本项目的建设与《广东省国土空间规划（2021-2035年）》中“促进海上风电与海洋油气开发”的规划目标相符合。

6.1.3.2 《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》

《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》提出，以河口海湾为重点，保护修复海洋生态系统。坚持陆海统筹，以海岸线为轴，串联重要河口、海湾和海岛，以美丽海湾建设为重要抓手，以万亩级红树林示范区建设为重点，加强典型生态系统保护修复、海洋生物多样性保护、生态海堤与沿海防护林体系建设，打造具有海岸生态多样性保护和防灾减灾功能的蓝色海岸带生态屏障。

本项目位于《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》中的万山群岛及周边海域生物多样性保护与恢复单元，项目建成运营后，通过落实有效环境保护措施，正常运营过程中不会对项目及其附近海域环境产生明显影响，对三角岛及周边海岛的影响较小且可控，不会对万山群岛及周边海域生物多样性保护与恢复单元的生态修复目标产生影响，符合《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》的要求。

6.1.3.3 《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》

本项目为海上风电场设施建设项目，本项目一期工程为广东省海上风电发展起到了良好的示范作用，本项目的开发建设是对一期工程的延续和经验利用，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。积极推进本项目的建设，是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。因此，本项目建设符合《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》的要求。

6.2 项目用海与海洋功能区划的符合性分析

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，本项目调整前后所在的海洋功能区均为万山群岛保留区（图 6.2-1），管理要求是：1.加强管理，严禁随意开发；2.严禁显著改变海域自然属性；3.通过严格论证，合理安排相关开发活动；4.维护海上交通安全，优先保障军事用海需求。海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量等维持现状。

本项目风电场建设期间风机基础打桩和电缆沿线敷设将形成小范围的悬浮物高浓度区。但施工过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完

毕，在较短的时间内也就不会继续扩大。风电场施工及电缆敷设时悬浮物扩散对万山群岛保留区的水质产生短期的影响，悬浮泥沙扩散造成鱼卵仔稚鱼、游泳生物死亡。目前项目已完成施工，施工产生的悬沙影响已消失，且项目建设单位已缴纳根据环境影响报告书中提出海洋与渔业资源环境损失赔偿款，补偿生态的损失。

项目建成后，风电场规划面积内分布风机桩基础，风机群的存在限制了大型捕捞渔船作业的范围和灵活性，也影响渔船的瞭望，增加了渔船作业的碰撞危险，同时也会对周边习惯航路存在一定的碍航性，根据《通航安全咨询报告》，工程建成后对该水域的正常通航和锚泊安全影响总体可控。

综上所述，本项目的建设主要是悬浮物浓度升高短期影响所在功能区的水质环境，随着施工结束影响即消失。项目建设及运营按照《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》的海域使用管理要求和海洋环境保护要求，加强管理，维护海洋功能区的正常运行，可避免或减少对毗邻海洋功能区的影响。符合性具体分析见表 6.2-1。

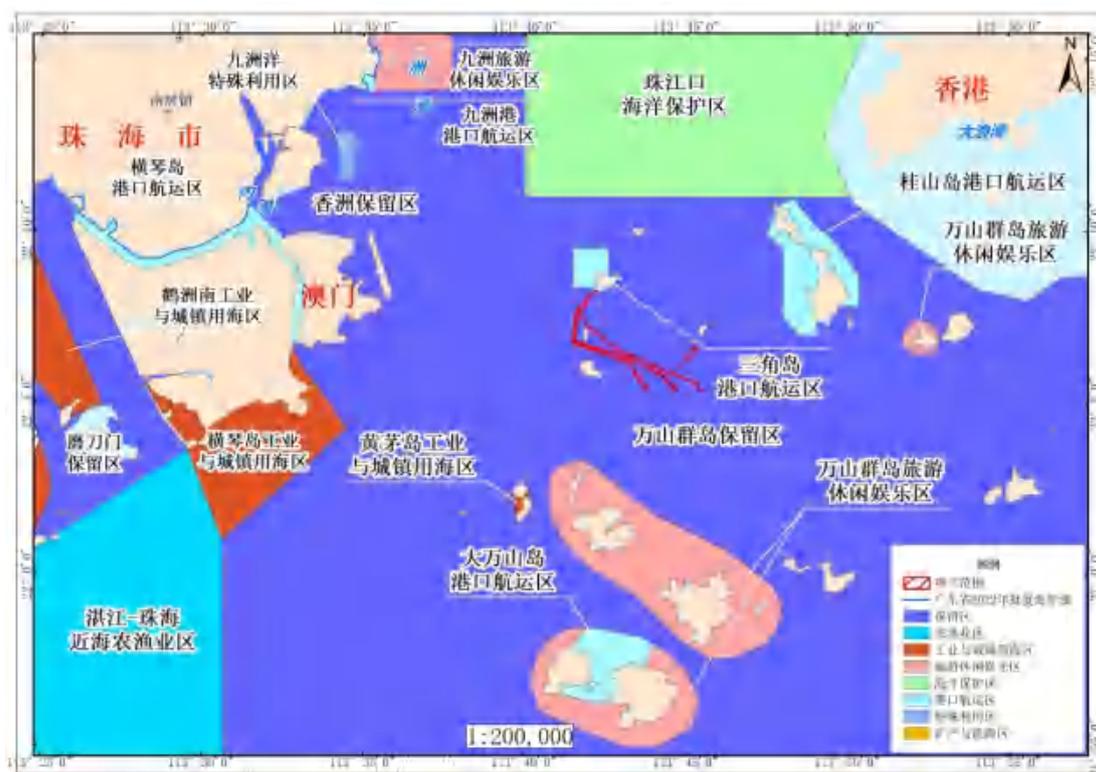


图 6.2-1 项目所在广东省海洋功能区划图

表 6.2-1 项目与广东省海洋功能区划的符合性分析

名称	功能区划管理要求	影响分析	是否符合
----	----------	------	------

万山群岛保留区	海域使用管理要求	1.加强管理，严禁随意开发；	本项目属于海上风电场建设工程，项目建设符合国家产业政策，符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》，与万山群岛及周边海域的功能定位相适应。	符合
		2.严禁显著改变海域自然属性；	本项目不会改变海域自然属性。	符合
		3.通过严格论证，合理安排相关开发活动；	本项目的平面布置及用海范围经过多次严格论证，现阶段已最大程度节约集约用海。	符合
		4.维护海上交通安全，优先保障军事用海需求；	本项目通航安全论证报告已通过专家评审，采取一定的合理有效措施，可以避免项目建设对海上交通安全的影响；本项目用海范围内无军事设施，一期工程时已就本项目征求有关军事部门意见。	符合
	海洋环境保护要求	1.保护万山群岛海域生态环境； 2.加强对海岛污染物及船舶排污、海洋工程和海洋倾废的监控； 3.海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量等维持现状。	1.风电场运营不占用、不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。项目施工期间避开鱼类繁殖期，可避免或减轻施工对重要渔业品种繁殖的影响。 2.施工期间悬浮泥沙扩散区水质可能短暂超标。但这种影响是短暂的，而且主要集中在工程所在海域附近，工程结束后，悬浮泥沙重新沉淀堆积，水质恢复至原态。另外，施工船舶废水、污水、垃圾等妥善处置，不带来其他污染，不影响区域水质。因此，项目的施工和运营不会影响原有功能区的海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量。	符合

6.3 项目用海与生态保护红线的符合性分析

自然资源部办公厅在 2022 年 10 月 14 日发布的《关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》中明确，“广东省完成了‘三区三线’划定工作，划定成果符合质检要求，从即日起正式启用，作为建设项目用地用海组卷报批的依据。”

根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许 10 类对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

通过将项目与“三区三线”成果叠加分析，本项目风电场及集电海缆没有位于生态保护红线区，具体位置见图 6.3-1。

项目风电场建设期间风机基础打桩和电缆沿线敷设将形成小范围的悬浮物高浓度区。但施工过程对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内也就不会继续扩大。风电场施工及电缆敷设时悬浮物扩散对所在海区的水质产生短期的影响，悬浮泥沙扩散造成鱼卵仔稚鱼、游泳生物死亡。目前项目已完成施工，施工产生的悬沙影响已消失，对海洋开发利用空间的水质、沉积物环境的影响已基本消除，且项目建设单位已缴纳根据环境影响报告书中提出海洋与渔业资源环境损失赔偿款，补偿生态的损失。项目运营期间含油污水送交有资质单位进行妥善处置，少量生活污水经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。

因此，项目用海的对资源环境影响有限，是可预防、可避免的，项目建设符合生态红线的管理要求。



图 6.3-1 项目所在海域生态保护红线分布图

6.4 项目用海与产业结构的符合性分析

6.4.1 与《产业结构调整指导目录》的符合性分析

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

6.4.2 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析

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

《规划》提出，展望 2035 年，能源高质量发展取得决定性进展，基本建成现代能源体系。非化石能源消费比重在 2030 年达到 25% 的基础上进一步大幅提高，可再生能源发电成为主体电源，新型电力系统建设取得实质性成效，碳排放总量达峰后稳中有降。

《规划》强调，要大力发展非化石能源加快发展风电、太阳能发电。全面推进风电和太阳能发电大规模开发和高质量发展，优先就地就近开发利用，加快负荷中心及周边地区分散式风电和分布式光伏建设，推广应用低风速风电技术。在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续整装开发条件、符合区域生态环境保护等要求的地区，有序推进风电和光伏发电集中式开发，加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用，推广光伏发电与建筑一体化应用。开展风电、光伏发电制氢示范。鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局。积极发展太阳能热发电。

根据《规划》中“专栏 3”、能源绿色低碳转型工程中的风电和光伏发电：积极推进东部和中部等地区分散式风电和分布式光伏建设，优化推进新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏、陕北、晋北、冀北、辽宁、吉林、黑龙江等地区陆上风电

和光伏发电基地化开发，重点建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。

广东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。因此，积极发展海上风电，逐步推进海上风电规模化发展，是“十四五”期间全省能源发展建设，提升全省能源生产供应能力，能源消费结构进一步优化的重要措施。本项目的建设，是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。

因此，本项目建设符合《“十四五”现代能源体系规划》关于建设海上风电基地的规划目标。

6.4.3 与《“十四五”可再生能源发展规划》的符合性分析

2022年6月1日，国家发展改革委、国家能源局等9部门联合印发《“十四五”可再生能源发展规划》（以下简称《规划》）。《规划》提出，2035年，我国将基本实现社会主义现代化，碳排放达峰后稳中有降，在2030年非化石能源消费占比达到25%左右和风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上的基础上，上述指标均进一步提高。可再生能源加速替代化石能源，新型电力系统取得实质性成效，可再生能源产业竞争力进一步巩固提升，基本建成清洁低碳、安全高效的能源体系。2025年，可再生能源年发电量达到3.3万亿千瓦时左右。“十四五”期间，可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过50%，风电和太阳能发电量实现翻倍。

《规划》要求，大力推进风电和光伏发电基地化开发。有序推进海上风电基地建设。开展省级海上风电规划修订，同步开展规划环评，优化近海海上风电布局，鼓励地方政府出台支持政策，积极推动近海海上风电规模化发展。开展深远海海上风电规划，完善深远海海上风电开发建设管理，推动深远海海上风电技术创新和示范应用，探索集中送出和集中运维模式，积极推进深远海海上风电降本增效，开展深远海海上风电平价示范。探索推进具有海上能源资源供给转换枢纽特征的海上能源岛建设示范，建设海洋能、储能、制氢、海水淡化等多种能源资源转换利用一体化设施。加快推动海上风电集群化开发，重点建设山东半岛、长三角、闽南、粤东和北部湾五大海上风电基地。

广东省是能源消费大省，电力需求旺盛，但目前广东省能源结构仍以煤、油等化石能源为主，迫切需要通过大力发展非化石能源提高能源自给能力，补齐产供储销体系短板，全面提升能源系统的安全性。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。大力发展新能源产业是实现电力能源结构优化的必由之路，从广东的能源结构和电力需求来看，发展海上风电是广东省能源结构优化调整的主要方向和应对气候变化的迫切需求与重要措施，也是充分发挥海洋优势、培育新经济增长点的重要抓手之一。

本项目的建设，能充分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，更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。

因此，本项目建设符合《“十四五”可再生能源发展规划》大力推进风电开发的要求。

6.4.4 与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析

为进一步完善海上风电管理体系，规范海上风电开发建设秩序，促进海上风电产业持续健康发展，国家能源局、原国家海洋局制定了《海上风电开发建设管理办法》。管理办法规定海上风电场应当按照生态文明建设要求，统筹考虑开发强度和资源环境承载能力，原则上应在离岸距离不少于 10km、滩涂宽度超过 10km 时海域水深不得少于 10m 的海域布局。在各种海洋自然保护区、海洋特别保护区、自然历史遗迹保护区、重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地、鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域，以及划定的生态红线区内不得规划布局海上风电场。

珠海桂山海上风电场位于珠海市三角岛东南侧海域，场址最近端距离珠海市陆岸 13km，最远端距离陆岸 22km。场址用海面积 32km²，水深 6-11 米之间，规划装机容量 20 万千瓦。本项目为珠海桂山海上风电场示范项目二期工程，位于规划中的珠海桂山海上风电场场址内，装机容量 8 万千瓦，符合“离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米”的海域布局要求。本项目风电场址不涉及海洋自然保护区、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等。

因此，项目建设符合《海上风电开发建设管理办法》的管理要求。

6.4.5 与《广东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析

2022年3月，广东省人民政府发布《广东能源发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）。《规划》明确，展望2035年，能源高质量发展取得决定性进展，能源消费总量控制在4亿吨标准煤以内，非化石能源消费比重争取提升至40%左右，能源安全保障能力大幅提升，能源利用效率基本达到世界先进水平，能源科技创新取得较大突破，形成新兴能源产业体系，助力加快碳中和进程，高水平建成国内领先的清洁低碳、安全高效、智能创新的现代能源体系。

《规划》提出，坚持生态优先、绿色发展，持续优化能源结构，大力发展非化石能源，扩大天然气利用规模，积极争取省外清洁能源，推进煤炭清洁高效利用，加快构建以新能源为主体的新型电力系统，坚持能源节约与高效利用并举，促进重点用能领域能效提升，开创清洁低碳、高效节约的用能新局面。

《规划》要求，大力发展海上风电，规模化开发海上风电，推动项目集中连片开发利用，打造粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，“十四五”时期新增海上风电装机容量约1700万千瓦。

根据《规划》，“南网珠海桂山二期”项目列入了专栏3-电源重点工程列表。开发本项目符合《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，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。

表 6.4.5-1 电源重点工程列表（摘自《广东能源发展“十四五”规划》）

专栏3 电源重点工程列表
1. 海上风电：新增投产三晚新能源阳江沙扒二期、沙扒三期、沙扒四期、沙扒五期，中广核汕尾后湖，惠州港口一期，省能源集团阳江沙扒、湛江外罗二期、湛江新寮，国家电投揭阳神泉一，湛江徐闻，中广核阳江南鹏岛，南网珠海桂山二期，大唐南澳勒门1，明阳阳江沙扒示范，华电阳江青洲三等项目；开工建设三峡汕头洋东，汕头海门（场址一），中广核惠州港口二PA，港口二PB，汕尾甲子一、汕尾甲子二，华能汕头勒门（二），汕头海门（场址二、场址三），国家电投揭阳神泉二，揭阳靖海，以及阳江近海深水区青洲、观音和其他新建常规场址项目；建设粤东和粤西千万千瓦级海上风电基地。

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

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，

共规划广东沿海 26 处海上风电场址，其中珠海桂山海上风电场规划容量 20 万千瓦，2016 年 6 月一期工程（12 万千瓦）核准，由南方海上风电联合开发有限公司负责开发建设，于 2016 年 9 月正式开工建设。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》编制，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。根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》，珠海桂山海上风电示范项目总装机容量仍为 20 万千瓦，其中一期工程 12 万千瓦、二期工程 8 万千瓦，均已核准开工。

本项目为珠海桂山海上风电场示范项目二期工程，位于广东省珠海市香洲区，一期工程西南面海域，项目调整后共建设 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，位于规划的珠海桂山海上风电场场址内，本项目的建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，对于推动可再生资源开发利用，有利于缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足珠海及周边地区社会经济发展需要。

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）》的要求。

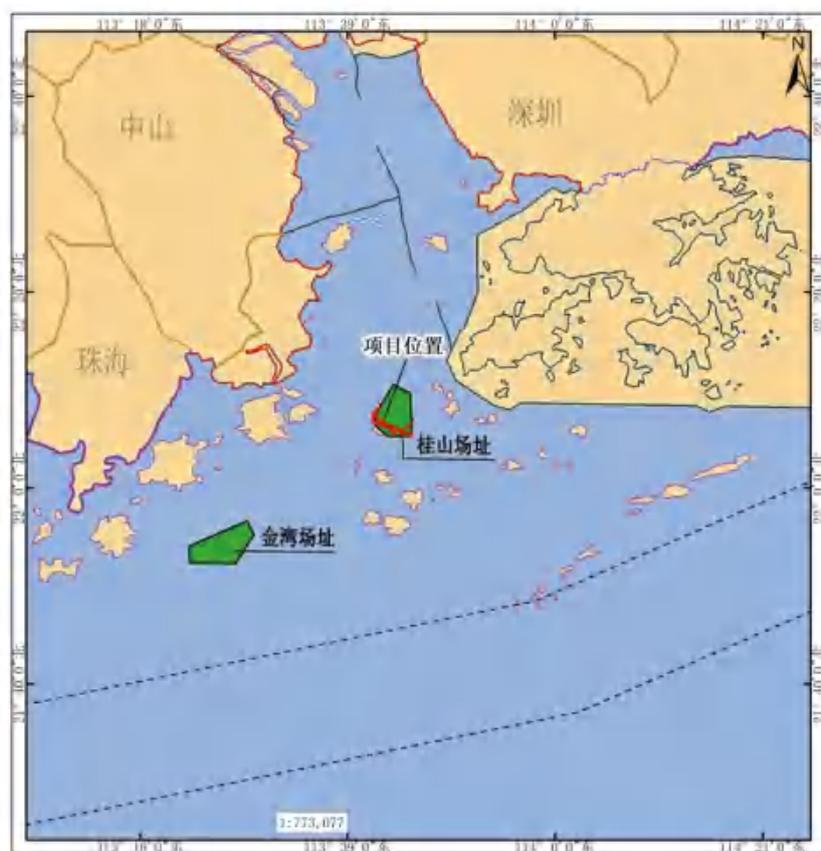


图 6.4.6-1 广东省海上风电规划场址分布图（2017-2030 年）

6.4.7 与《2030年前碳达峰行动方案》的符合性分析

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

《方案》以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神，深入贯彻习近平生态文明思想，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，坚持系统观念，处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系，统筹稳增长和调结构，把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局，有力有序有效做好碳达峰工作，加快实现生产生活方式绿色变革，推动经济社会发展建立在资源高效利用和绿色低碳发展的基础之上，确保如期实现2030年前碳达峰目标。

《方案》强调，要坚持“总体部署、分类施策，系统推进、重点突破，双轮驱动、两手发力，稳妥有序、安全降碳”的工作原则，强化顶层设计和各方统筹，加强政策的系统性、协同性，更好发挥政府作用，充分发挥市场机制作用，坚持先立后破，以保障国家能源安全和经济发展为底线，推动能源低碳转型平稳过渡，稳妥有序、循序渐进推进碳达峰行动，确保安全降碳。《方案》提出了非化石能源消费比重、能源利用效率提升、二氧化碳排放强度降低等主要目标。

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

《方案》提出能源绿色低碳转型行动，要求大力发展新能源。全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。加快智能光伏产业创新升级和特色应用，创新“光伏+”模式，推进光伏发电多元布局。坚持陆海并重，推动风电协调快速发展，完善海上风电

产业链，鼓励建设海上风电基地。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。因地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物天然气。探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用。进一步完善可再生能源电力消纳保障机制。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。

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

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

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

因此，本项目建设符合《2030 年前碳达峰行动方案》的要求。

6.5 项目用海与其他相关规划的符合性分析

6.5.1 与《广东省海洋主体功能区规划》的符合性分析

根据《广东省海洋主体功能区规划》，广东省海洋空间划分为四类区域，本项目位于优化开发区域内。优化开发区域是指现有开发利用强度较高，资源环境约束较强，产业结构亟需调整和优化的海域。

该区域的发展方向和布局包括：“加快发展海洋风电产业。在风能资源和地质条件较好地区，坚持‘三个 10’原则，强化与海洋生态红线协调，科学布局

海上风电场址，推进海上风电规模化、集约化开发。有序推进珠三角海域的金湾、桂山，粤东海域的海门（一）、勒门（二）等近海浅水区海上风电建设，到 2020 年规划建设装机容量 145 万千瓦，优先保障 232 平方公里海域使用需求。以海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，推动风电全产业链发展，推动中山海上风电机组研发中心建设”。

根据《广东省海洋主体功能区规划》“附表 1：广东海上风电布局及发展时序”，本项目为珠海市桂山海上风电场（二期），属于重点推进的风电项目。本项目建设经过严格的论证，建设完成后有利于带动珠三角地区风电的发展，对当地经济起到推动作用，符合《广东省海洋主体功能区规划》的规划要求。

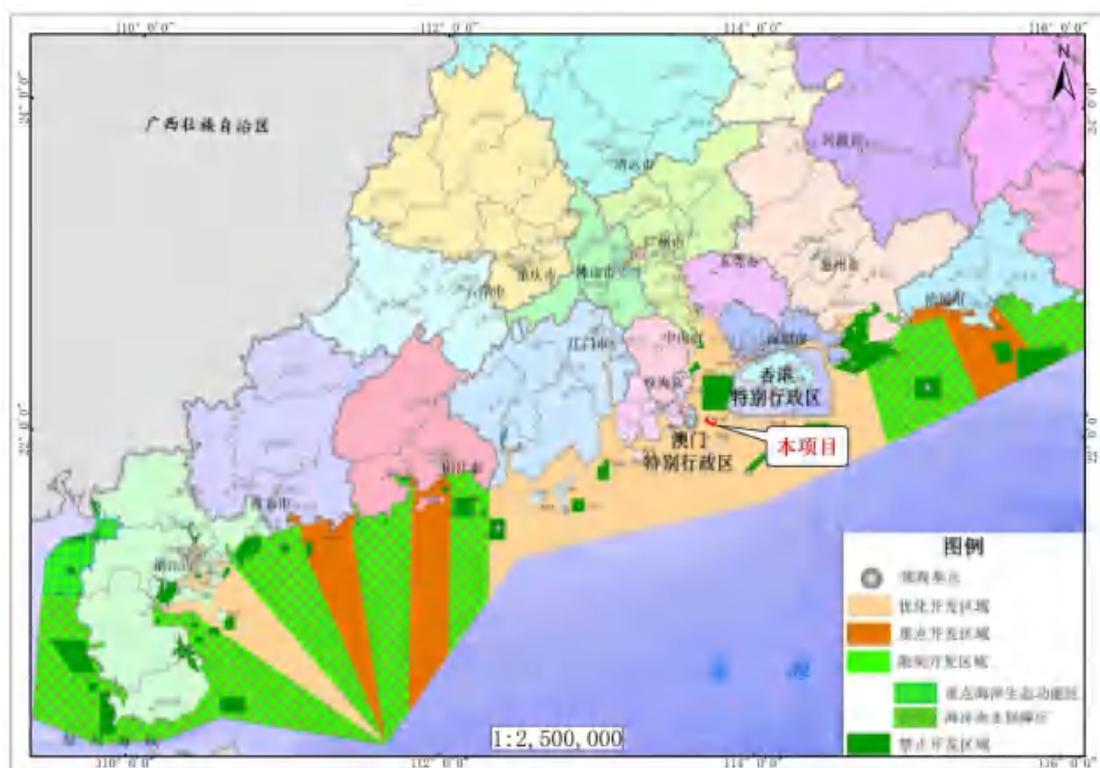


图 6.5.1-1 本项目所在《广东省海洋主体功能区规划》分区示意图

6.5.2 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析

海岸带是社会经济发展的重点区域，也是生态类型多样、生态功能重要、生态系统脆弱的区域。广东省人民政府、国家海洋局于 2017 年 10 月发布《关于印发〈广东省海岸带综合保护与利用总体规划〉的通知》（粤府〔2017〕120 号）（以下简称《规划》），强调坚持陆海统筹，突出保护优先、节约优先、绿色发

展、改革创新，实施基于生态系统的海岸带综合管理，优化海岸带综合保护与利用空间格局，强化海岸线分类分段管控，严守生态红线，筑牢生态安全屏障，努力把广东省海岸带打造成为宜居、宜业、宜游的黄金海岸带和美丽宜人的家园，发挥海岸带对区域经济社会的引领和支撑作用。

《规划》基于广东省海岸带自然资源禀赋和承载能力、产业基础和发展潜力，以海岸线为轴，构建“一线管控、两域对接，三生协调、生态优先，多规融合、湾区发展”的海岸带保护与利用总体格局，逐步实现陆海统筹。依据资源环境承载能力和空间开发适宜性，规划确定海岸带“三区三线”基础空间格局，推动形成海陆协调的生态、生活、生产空间总体架构。

根据规划中提出的“三区三线”基础空间格局，本项目风电场位于粤港澳大湾区中的生产空间。根据“三区三线”划定成果，本项目的风机场址没有位于生态保护红线区。经分析，风电场工程的建设对风电场周边海域潮流特性影响甚小。风机桩基施工、电缆沟开挖对海洋生物的仔幼体可能造成伤害，但渔业资源生物量损失随着施工的结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。施工期间，由于人类活动、交通运输工具与施工机械作业产生的噪声、灯光等会对鸟类产生一定的影响，但施工期的影响是暂时、可逆的。工程运行期对过境鸟类可能产生的直接影响主要是光影响、风机（风叶）与鸟类发生撞击风险等，但鸟类有趋利避害的自然本能，因此风险有限。

项目登陆点位于三角岛，三角岛为生态岛礁。《规划》要求分类建设生态岛礁，以生态岛礁建设彰显海岛生态服务功能，维系海岛生态系统健康水平。筛选一批海岛分类实施保护工程，以点带面，形成各具特色的生态岛礁建设模式和标准，示范引领广东省的生态岛礁建设，以有居民海岛的生态岛礁建设丰富生活空间内涵，以无居民海岛的生态岛礁建设强化生态空间功能。在三角岛、龟龄岛开展科技支撑类工程，建成海岛生态实验基地、“一站多能”生态监测点和清洁生产示范岛。本项目一期工程建设时已预留本项目海缆登陆位置，三角岛近岸段海域附近有大片礁石分布，海缆无法绕开礁石区域并且无法开挖施工，因此采用铸铁套管保护海缆，直接敷设在礁石上进行保护，陆上段海缆敷设在预制混凝土槽内，盖上盖板，进行保护。三角岛已进行整岛出让，且已进行开发建设，项目建

设海底电缆所占岸线现状为人工岸线，占用长度较短，通过实施海岸线生态修复工程，本项目建设对岸线占用的影响较小。

本项目建设有利于开发地区的海上风电资源，符合国家能源产业发展方向，能有效提高风能资源的利用。本工程不仅是广东省能源供应的有效补充，而且作为绿色能源，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进广东省海岸带生态环境的可持续发展。

因此，项目建设符合《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》关于发展海洋可再生能源的规划要求。

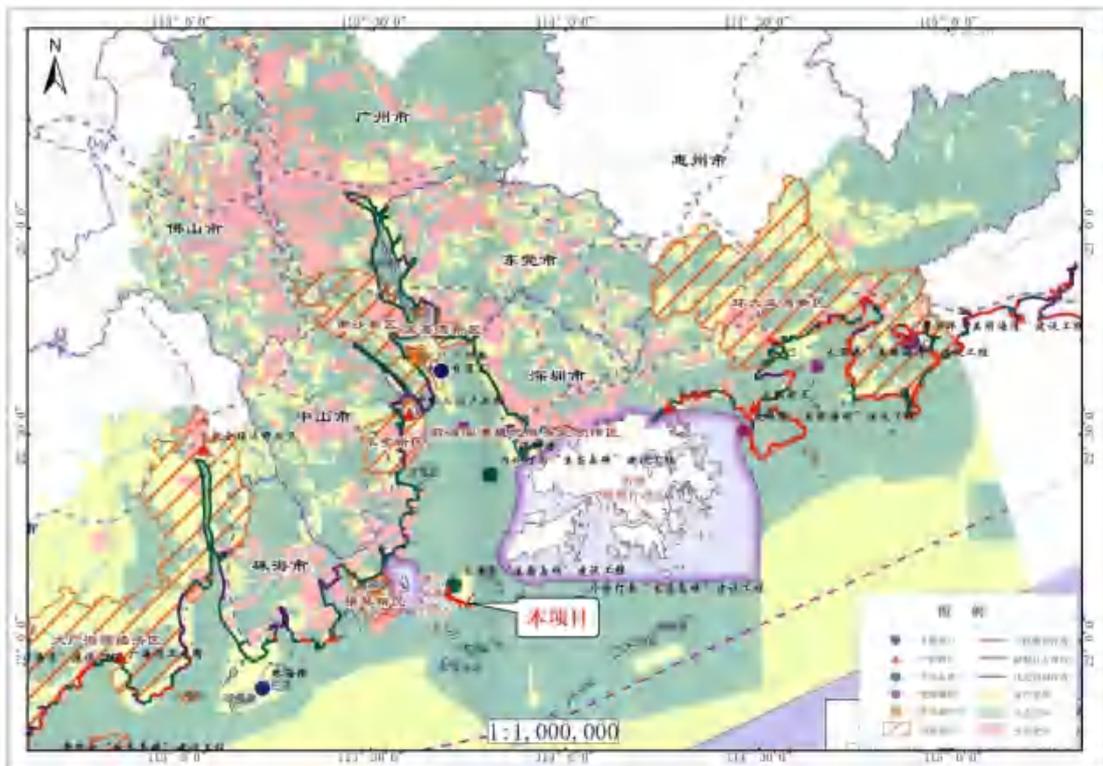


图 6.5.2-1 广东省海岸带综合保护与利用总体规划图

6.5.3 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析

2021年11月3日，《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》由广东省人民政府正式印发（以下简称《规划》）。该规划是指导“十四五”时期全省土地、海洋、森林、矿产、湿地等自然资源保护与开发工作的指导性、纲领性文件。规划提出了9项重大工程，系统推进自然资源高水平保护高效率利用，全力支持全省高质量发展。

《规划》要求，科学划定生态保护红线。按照依据科学、实事求是、应划尽划、不预设比例的原则划定生态保护红线，形成陆海生态保护红线“一张图”，确保陆域和海域生态保护红线面积不低于 5 万平方千米。优化海域资源配置方式，严格用海控制指标，推进海域混合分层利用，盘活闲置低效用海，不断提高海域资源节约集约利用水平。

《规划》提出，拓展蓝色海洋发展空间全面建设海洋强省。培育壮大海洋新兴产业。培育战略性、先导性产业，不断突破关键技术，增强产业链供应链自主可控能力，引导产业集中布局、集聚发展，抢占未来产业发展先机。加快海上风电规模化开发，完善产业链，建设珠三角海上风电研发服务基地和粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，打造海上风电产业集群。

《规划》列举的“十四五”重大工程共 9 项，其中第 6 项：海洋产业集群建设工程。工程内容是聚焦打造海上风电、海洋油气化工、海洋工程装备制造、海洋船舶工业、海洋旅游以及海洋渔业等 6 大海洋产业集群，依托特有区位优势和现有海洋产业发展基础，逐步完善上下游产业链，着重在深海关键技术与装备、深水 油气资源开发、海水养殖和海洋生物技术、海洋可再生能源、海洋电子信息等领域突破一批产业关键技术，推动核心设备国产化，逐步形成规模化的产业集聚，进一步提升广东海洋产业综合竞争力，推动海洋高质量发展。

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。本项目所在海域具有规模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。本项目是广东省风电发展重点项目，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水水质产生了不利影响，但工程施工符合周边海洋功能区和生态保护红线的管控要求，其造成的悬浮物影响是暂时的，可逆的。项目已施工完成，施工产生的悬浮泥沙影响已经消除，不会影响保护区、渔业区和红线区的功能。

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。

6.5.4 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析

根据《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》，2025年广东省海洋生态环境保护的主要目标是：

——海洋生态环境质量持续改善。近岸海域水质优良（一、二类水质）面积比例达到86%以上；陆源主要污染物入海量持续降低，国控河流入海断面稳定消除劣Ⅴ类水质。

——海洋生态保护修复取得实效。重要海洋生态系统和生物多样性得到保护，海洋生态系统质量和稳定性显著提升，大陆自然岸线保有率和大陆岸线生态修复长度达到国家要求，营造修复红树林8000公顷。

——美丽海湾建设稳步推进。重点推进15个美丽海湾建设，亲海环境质量明显改善，公众临海亲海获得感和幸福感显著增强。

——海洋生态环境治理能力不断提升。海洋生态环境监测监管能力大幅增强，海洋环境污染事故应急响应能力显著提升，陆海统筹的海洋生态环境治理体系不断健全。

《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》要求，加强海洋生态空间保护。海洋空间坚持保护为主、适度开发，实施海洋“两空间内部一红线”。按照国家的统一部署，探索建立海岸建筑退缩线制度，清理整治非法占用自然岸线、滩涂湿地等行为。推进建设以国家海洋公园为主体、海洋自然保护区为基础、各类海洋自然公园为补充的自然保护地体系，科学划定海洋自然保护地，整合优化以中华白海豚、中国鲨、黄唇鱼等珍稀物种，珊瑚群落、红树林、海草床等典型海洋生态系统为保护对象的自然保护区。加强底线约束和空间管控，严格落实生态保护红线管控。生态保护红线内的自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。定期开展海洋自然保护地和海洋生态保护红线的保护成效评估。

根据生态保护红线成果，本项目的风机场址没有位于生态保护红线范围。项目施工产生的悬浮物属于海区本底水质沉积物内含物，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水平，可满足海水质量标准。

综上所述，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，不存在潜在的、重大的安全和环境风险，能确保生态功能不降低。海上风电项目为清洁可再生能源，是对广东省能源消耗的有益补充，将会大幅度减少有害气体的排放量，降低污染。

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。

6.5.5 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析

2021年9月，广东省人民政府印发《广东省海洋经济发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）。该规划是指导“十四五”时期广东海洋经济发展的专项规划，规划范围包括广东省全部海域和广州、深圳、珠海、汕头、佛山、惠州、汕尾、东莞、中山、江门、阳江、湛江、茂名、潮州、揭阳15个市所属陆域，海域41.9万平方千米，陆域8.8万平方千米，规划期为2021至2025年，展望到2035年。

《规划》要求，打造海上风电产业集群，推动海上风电项目规模化开发，基本建成已规划近海浅水区项目，推动省管海域近海深水区项目开工建设，争取粤东千万千瓦级海上风电基地纳入国家相关规划，并推动基地项目开工建设。强化省统筹工作力度，重点统筹做好项目前期工作、场址资源划分及配置、发展与安全，以及海上集中送出、登陆点和陆上送出通道、送出模式等。支持海洋资源综合开发利用，推动海上风电项目开发与海洋牧场、海上制氢、观光旅游、海洋综合试验场等相结合，力争到2025年底累计建成投产装机容量达到1800万千瓦。推动海上风电产业集群发展，加快建设阳江、粤东海上风电产业基地力争到2025年全省风电整机制造年产能达到900台（套）。推动技术进步和成本下降，以龙头企业为引领，重点开展低风速、大容量、抗台风、防盐雾风电机组研发制造。加快漂浮式风机基础、柔性直流送出等关键技术转化运用，进一步完善海上风电

产业链。重点引进或鼓励收购新型材料、主轴承、齿轮箱、海上升压站、施工船机运维设备等产业链企业，补齐产业链供应链短板，提前谋划海上风电运维产业发展，重点在阳江、揭阳、汕尾等地布局建设海上运维基地，同时鼓励支持风电研发设计、装备制造、风电施工及运维企业加强合作，通过组建专业运维机构或委托开展社会第三方专业运维，推行运维服务专业化。

本项目能有力地开发广东省珠三角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。本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。

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。

6.5.6 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

为深入贯彻习近平总书记对广东系列重要讲话和重要指示批示精神，2021年1月26日广东省十三届人大四次会议审议批准《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》（以下简称《省“十四五”规划》），重点明确“十四五”时期（2021-2025年）广东经济社会发展的指导思想、基本原则、发展目标、发展要求，谋划重大战略，部署重大任务，并对2035年远景目标进行展望，是战略性、宏观性、政策性规划，是政府履行经济调节、市场监管、社会管理、公共服务和生态环境保护职能的重要依据，是未来五年广东省经济社会发展的宏伟蓝图和全省人民共同的行动纲领。

《省“十四五”规划》提出，围绕建设海洋强省目标，着力优化海洋经济布局，提升海洋产业国际竞争力，推进海洋治理体系与治理能力现代化，努力拓展

蓝色发展空间，打造海洋高质量发展战略要地。坚持陆海统筹、综合开发，优化海洋+空间功能布局，提升海洋资源开发利用水平，积极拓展蓝色经济发展空间。

《省“十四五”规划》要求，推动绿色低碳发展。统筹布局和优化提升生产、生活、生态空间，建立和完善生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单“三线一单”生态环境空间分区管控体系。培育壮大环保产业，推动绿色低碳技术创新和清洁生产，推进绿色化改造，发展绿色建筑。推进能源革命，积极发展风电、核电、氢能等清洁能源，建设清洁低碳、安全高效、智能创新的现代化能源体系。倡导简约适度、绿色低碳的生活方式，开展绿色生活创建活动。制定实施碳排放达峰行动方案，推动碳排放率先达峰。

在广东省因地制宜地开发建设一定规模的清洁能源，是对广东省能源消耗的有益补充，符合我国能源可持续发展战略的要求。发展风电已成为许多国家推进能源转型的核心内容和应对气候变化的重要途径，也是我国深入推进能源生产和消费革命、促进大气污染防治的重要手段。

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。

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

《珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》（以下简称《市“十四五”规划》）提出，培育壮大战略性新兴产业。大力发展海上风电、太阳能、氢能等新能源产业，布局发展智能电网配电成套设备、智能电网用户端设备、电力信息通信设备等智能电网产业，提升新能源汽车整车企业竞争力，打造特色新能源产业高地。

《市“十四五”规划》要求，提升海洋产业竞争力，加快建设海上风电、科创和服务总部基地，打造海上风电科技创新中心。研究建设海洋可再生能源、海

洋仪器设备测试和评估、海洋环境观测、海洋建模仿真等领域的综合性海上试验平台。

大力发展清洁能源，谋划推动海上风电、太阳能发电建设，加快天然气和可再生能源利用，实施智慧能源示范工程，推进能源清洁低碳化转型。

根据《市“十四五”规划》的专栏5，本项目列入“十四五”珠海市能源保障重点工程。项目建设有利于当地风能资源转化为经济效益，有利于补充电网清洁能源，有利于地方经济的发展，对提高全省绿色新能源装机容量比例，优化全省能源供应结构，具有积极的推动作用。

因此，本项目符合《珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》关于大力发展海上风电产业的规划要求。

专栏5 “十四五”时期珠海市能源保障重点工程
1. 风电项目。建成桂山海上风电场示范项目二期、金湾海上风电场，规划建设大湾区海上风电、高栏海上风电等项目。
2. LNG接收站。规划建设高栏调峰储气库、万山港区LNG接收站、金湾LNG接收站（二期）等项目。
3. 电源项目。规划建设高栏天然气热电联产二期工程，洪湾热电联产，临港天然气热电联产，横琴岛多联供燃气能源站二期工程，市环保生物质热电工程三期工程等项目，推进西部地区GW级光伏发电基地建设。
4. 电网项目。建设500千伏金鼎、浪白输变电及其配套220千伏线路工程和海上风电场接入系统工程及220千伏叠泉、永丰、新环等一批220-500千伏输变电工程，建设分布式能源项目接入系统工程、海岛供变电工程及110千伏莲溪、航空（机场西）、金官、厚昌等35-110千伏高压配电网。
5. 对澳门能源保障项目。规划建设220千伏烟墩至北安双回电缆工程。

图 6.5.7-1 专栏5“十四五”时期珠海市能源保障重点工程

综上，本项目符合《广东省国土空间规划（2021-2035年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》等各级国土空间规划文件的要求。

项目符合国家产业政策，符合《广东省海洋主体功能区规划》《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》以及生态保护红线等的管控要求。

项目与《“十四五”现代能源体系规划》《“十四五”可再生能源发展规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东能源发展“十四五”规划》《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》等能源行业规划的要求相符。

项目符合《2030年前碳达峰行动方案》《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》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》《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《珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》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

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。根据《广东省海上风电发展规划(2017-2030年)(修编)》,珠海桂山海上风电场位于珠海市三角岛东南侧海域,场址最近端距离珠海市陆岸13km,最远端距离陆岸22km。场址用海面积32km²,水深6-11米之间,规划装机容量20万千瓦。本项目为珠海桂山海上风电场示范项目二期工程,位于规划中的珠海桂山海上风电场场址内,装机容量8万千瓦。

风电场选址对于风电场的建设是至关重要的。风电场选址包括宏观选址和微观选址。宏观选址工作在风电场前期规划阶段进行,根据当地气象站的资料进行风资源评估,同时考虑电网、交通、地质等条件。微观选址工作主要在设计阶段进行,根据风电场风资源分布图,同时结合各项限制条件,确认每台风机的机位,以满足业主和相关部门的各项要求,使整个风电场具有较好的经济效益。本报告就宏观选址和微观选址两个方面进行合理性分析。

7.1.1 宏观选址

项目调整后宏观选址与原方案保持一致,宏观选址是合理的,本补充论证报告不再具体分析。

7.1.2 微观选址

微观选址是在宏观选址选定的小区域中确定工程位置,主要为风电场区域微观选址。原论证方案,项目装机容量为82.5MW,共布置15台单机容量为5.5MW风电机组,通过4回35kV集电海缆接入110kV三角岛上升压站。

调整后,项目装机容量为83.65MW,共布置12台风电机组,分别为3台6.45MW、8台7MW和1台8.3MW风电机组,其中11台风机共分3回35kV集电线路接入110kV三角岛上升压站,1台风机通过1根35kV集电海缆接入一期风机。

相较于原方案,风机单机容量由5.5MW调整为6.45MW、7MW和8.3MW,风机单机装机容量增大;风电机组数量由15台减少为12台,风机数量减少3

台。项目调整后风电机组均位于风电场规划范围内，风机占用海域面积减少，与周边海洋保护区的距离基本未变化，更大容量的风机其叶轮直径增大，为保障风机安全运行，平面布置相应改变，因此调整前后各个风电机组的选址总体上略有改变是合理的。

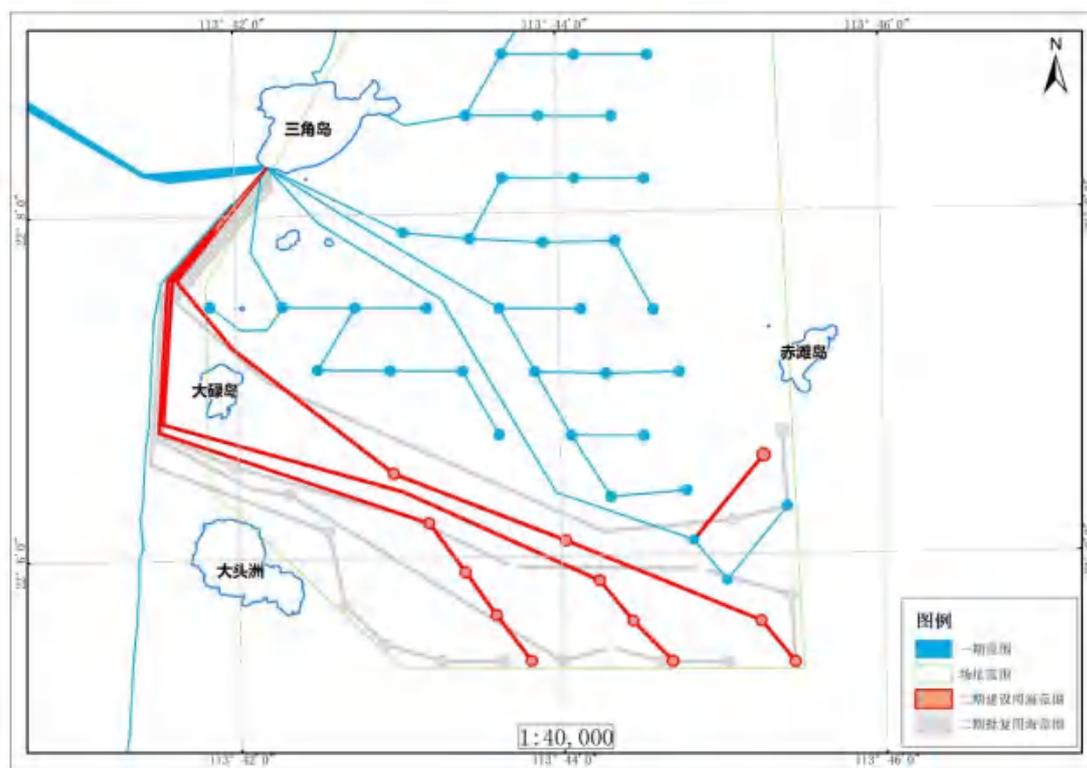


图 7.1.2-1 调整前后风电场区域微观选址对比图

7.1.3 小结

根据以上分析，本次调整方案项目的宏观选址方案与原方案一致，微观选址发生细微变化，但仍然在原场址范围之内。因此，本次调整方案项目选址所在区域的区位和社会条件能满足项目建设的要求；与自然资源和生态环境相适宜，风资源较丰富；场地稳定性和工程地质条件较好，在采取必要的桩基础结构和合理的施工方案等工程措施的前提下，项目选址能满足相应场地要求；项目选址符合海洋功能区划；项目建设有利于该区域海洋经济的协调发展，对周边海域的资源环境影响较小。

因此，项目用海选址调整是合理的。

7.2 用海平面布置合理性分析

本项目已经建设完成，目前按照实际建设方案进行用海变更申请，因此不再进行平面布置比选。

7.2.1 项目用海平面布置是否体现节约集约用海的原则

根据《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，海上风电的规划、开发和建设，应坚持集约节约的原则，提高海域资源利用效率。充分考虑地区差异，科学论证，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方公里左右。本项目装机容量 83.65MW，风机外缘边线包络海域面积约 7.95km²，本项目每 10 万千瓦包络海域面积为 9.72km²，符合国家海洋局规定的用海控制要求，符合集约节约的原则，提高了该海域资源利用效率，并且通过平面布置的优化实现发电效益最大。

综上，本项目用海平面布置体现了节约集约用海的原则。

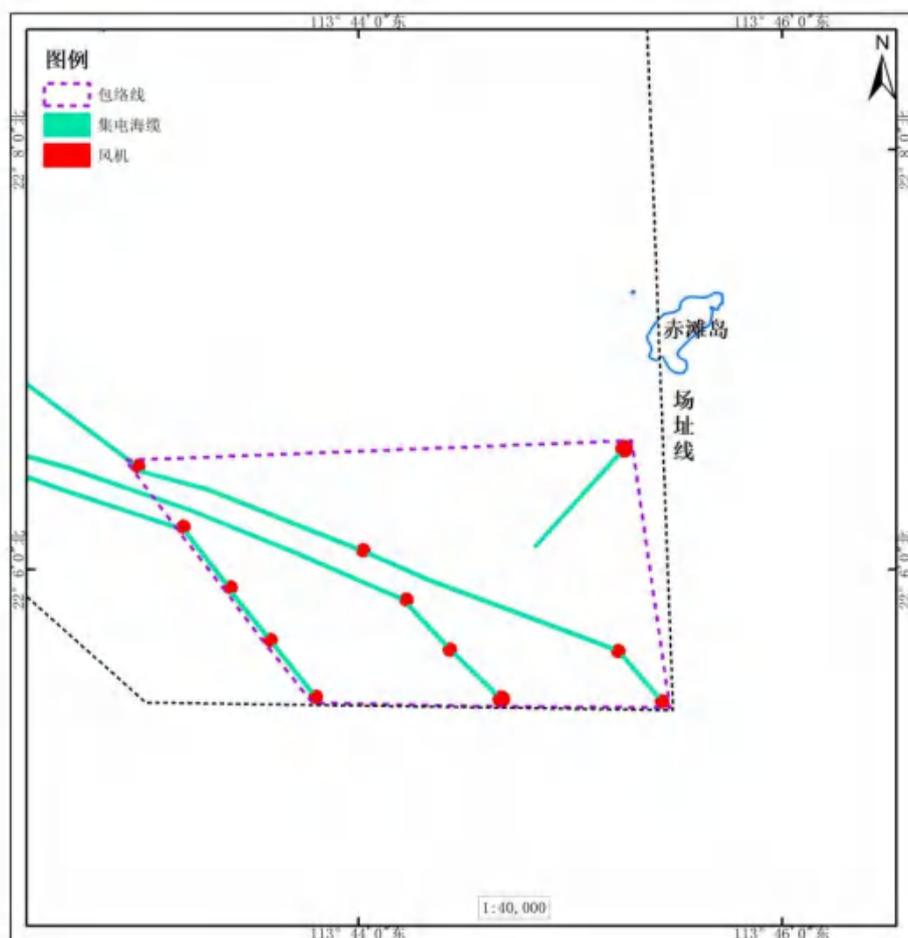


图 7.2.1-1 项目风机外缘边线包络线示意图

7.2.2 项目用海平面布置是否有利于生态保护

本项目建设风电机组和 35kV 集电海底电缆，风机采用阵列式布置，风机阵列长边方位角为 50° ，风机阵列共分为 4 排，两排间的间距为 1049-1163m，每排内部的风机间距为 560-656m。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，基本不会对海域产生不可逆的生态影响。风机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三角岛东南侧海域珠海桂山海上风电场场址内，风电场场址避开了生态红线区、海洋保护区，符合相关要求。

7.2.3 项目用海平面布置能否最大程度地减少对水文动力环境和冲淤环境的影响

本项目 35kV 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，本项目实施后风电场附近海域大潮涨急流速变化值位于 $-0.02\text{m/s} \sim 0.02\text{m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 之间；大潮落急流速变化值位于 $-0.01\text{m/s} \sim 0.01\text{m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-1^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 之间；总体上看，本项目实施后流场变化仅限于工程附近。由于风机直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关，同时风电场区域两侧发生冲刷，冲淤幅度为 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。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。

7.2.4 项目用海平面布置能否最大程度地减少对周边其他用海活动的影响

根据本报告第 5 章，本项目所在附近海域及近岸开发活动主要有海上风电场、航道、航线、锚地、码头工程等。根据本报告海域开发利用协调分析结论，项目目前已施工完成，运营期间对周边用海活动基本无影响，项目运营期间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。

7.2.5 平面布置合理性分析

7.2.5.1 风机机组平面布置合理性

原论证方案，项目装机容量为 82.5MW，共布置 15 台单机容量为 5.5MW 风电机组；调整后，项目装机容量为 83.65MW，共布置 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组。相较于原方案，风机单机容量由 5.5MW 调整为 6.45MW、7MW 和 8.3MW，风机数量减少 3 台，风机排布发生变化。

本项目的建设受到风电场规划范围、一期已建风电场和周边海域开发利用活动的制约较大，风电场风机采用阵列式布置，各个机位考虑风资源情况、风机间的相互影响和尾流损失，根据模拟计算结果，适当进行角度的偏转，调整个别风机点位，寻找风电场总体发电效益最优的方案。

本项目调整前后，风机布置原则的主要内容不变，由于风机机型及台数的调整，风机排布也发生相应调整，原论证方案列间距在 570m~830m 之间，15 台风机总体布置在规划范围的外边界上。项目调整后，风机阵列长边方位角为 50°，风机阵列也共分为 4 排，两排间的间距为 1049-1163m，每排内部的风机间距为 560-656m。由于调整前后所选机型单机容量和叶轮直径存在差异，导致风机阵列的总台数有所不同，因此为了获得更好的发电效益，降低风机间的尾流影响，调整前后在阵列方位角上存在一定角度的整体偏差。

在相同的计算条件下，调整后风电机组平面布置方案在年上网电量、年等效满发小时数等指标上均实现了对调整前方案的优化。因此，本项目风电机组用海平面布置合理。

7.2.5.2 集电海缆平面布置合理性

在风力发电机组及升压站位置确定的情况下，集电系统平面布置方案主要考虑拓扑布局形式。本项目调整方案集电线路布局方式与原方案一致，仍然采用链形布局，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，共布置 3 回，另外 1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机。

由于风机机组数量及平面布置发生变化，35kV 集电海缆布置随风机排布调整也相应调整，海底电缆总长度由 39.24km 减少为 28.02km，用海面积由 74.9717 公顷减小为 52.3094 公顷，减少了超过 20 公顷海域资源的占用。因此，本项目集电海缆平面布置的调整不仅能节约工程建设成本，而且能有效减少海缆敷设施工的时间和环境生态影响范围和程度，从集约节约用海角度考虑，本项目调整方案集电海缆平面布置合理。

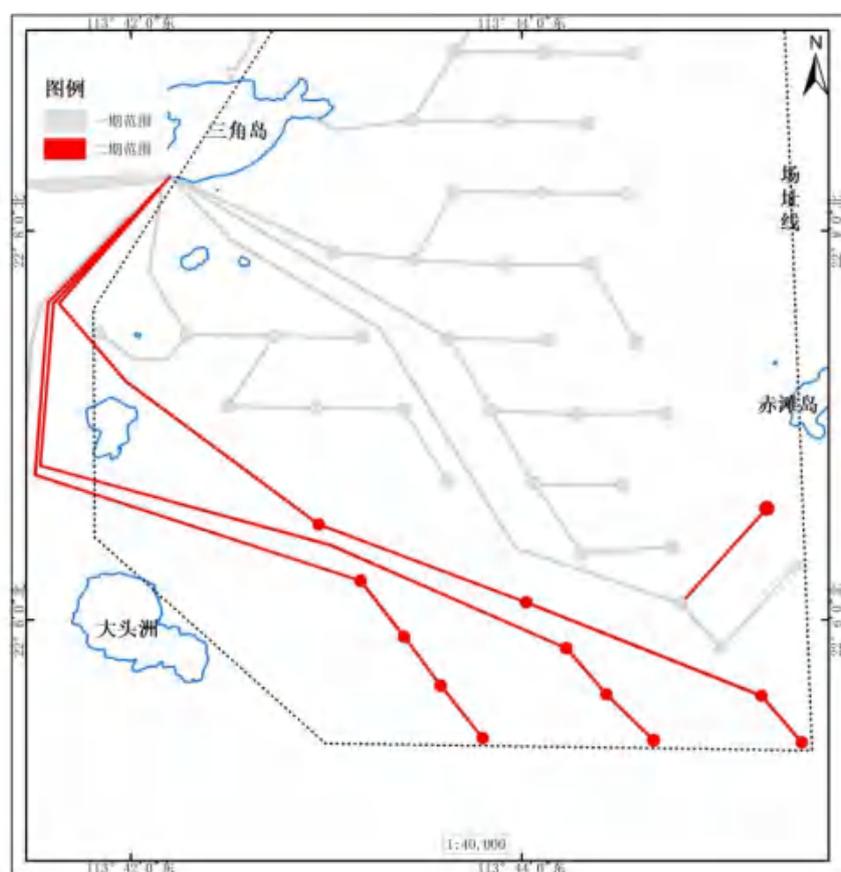


图 7.2.5-1 调整方案集电线路布置示意图

7.2.6 小结

综上所述，项目调整方案风机机组、集电海缆经过了充分设计和多次优化，能充分利用海域的空间资源和风能资源，产生最大的发电效益，在规划的风电场范围内集约节约用海；海底电缆经过优化后，总长度更短，敷设施工对资源环境的影响相对更小，提高了项目的用海合理性。因此，项目调整方案工程用海平面布置方案合理。

7.3 用海方式合理性分析

本项目建设风机和海底电缆，风机用海方式为透水构筑物，海底电缆的用海方式为海底电缆管道。

项目调整后用海方式与原方案一致，本补充论证报告书不作分析。

7.4 占用岸线合理性分析

本项目 35kV 海底电缆申请用海范围占用三角岛岸线约 21.96m，实际建设海缆保护混凝土块占用三角岛岸线约 14.5m，项目占用岸线现状为人工岸线，详见图 7.4-1、图 7.4-2。



图 7.4-1 项目申请用海范围涉及岸线示意图



图 7.4-2 项目实际建设海缆占用岸线示意图

7.4.1 岸线占用必要性

本工程作为海上风电项目，项目 35kV 海底电缆的建设需占用岸线，是由其工程建设的特殊性质及项目建设的必要性决定的。

本项目海上风电机组发出的电能通过 35kV 集电海缆接入升压站，升压站位于三角岛上，海底电缆是将海上风电机组发出的电能输送至升压站必不可缺的一个环节。其走向、选型、回路等根据风电场装机容量、风电场的功能、海域周边环境、功能区种种因素确定。本项目一期工程建设时已预留本项目海缆登陆位置，三角岛近岸段海域附近有大片礁石分布，海缆无法绕开礁石区域并且无法开挖施工，因此采用铸铁套管保护海缆，直接敷设在礁石上进行保护，陆上段海缆敷设在预制混凝土槽内，盖上盖板，进行保护。因此，本项目建设海底电缆登陆建设占用三角岛岸线是不可避免，也是必要的。

7.4.2 岸线占用合理性

三角岛已进行整岛出让，且已进行开发建设，本项目现已建成运营，项目建设海底电缆所占岸线现状为人工岸线，占用长度较短，目前已无减少占用岸线长度的可能性。通过实施海岸线生态修复工程，项目建设对岸线占用的影响较小，

项目占用岸线是合理的。

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），本项目海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类），按《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目海域使用类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。

本项目调整后风机减少3台，原布置15台5.5MW风机，调整后布置12台风机（3台6.45MW、8台7MW、1台8.3MW），用海面积由15.5405减少为12.4871公顷。

由于风机数量及排布发生调整，35kV海底电缆布置相应调整，海缆总长度由39.24km减小为28.02km，用海面积由74.9717公顷减少为52.3094公顷。

调整后项目用海总面积由90.5122公顷减少为64.7965公顷。

表 7.5.1-1 用海情况变化表

项目	单位	批复方案	建设方案	变化	变化原因
用海面积	风机	15.5405	12.4871	-3.0534	风机数量减少3台，基础结构发生调整
	35kV海底电缆	74.9717	52.3094	-22.6623	线路平面布置调整，长度由39.24km减小为28.02km
	总计	90.5122	64.7965	-25.7157	项目平面布置发生改变，风机数量、基础结构发生变化，海缆布置发生变化

7.5.2 项目用海面积合理性

7.5.2.1 是否满足项目用海需求

1、风机用海需求

本次调整后12台风机基础结构型式中，10台为非嵌岩单桩基础，1台（38#风机）为多边形筒型基础，1台（43#风机）为圆形筒型基础。

根据本项目风机基础施工图，确定本项目每种类型的风机基础最大半径如下表7.5.2-1。参照《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）“单个风机塔架以塔架中心

点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩 50m 为半径的圆为界”。确定本项目每种类型的风机用海半径，根据计算，风机用海面积 12.4871 公顷。

表 7.5.2-1 风机用海面积统计表

风机编号	风机基础类型	中心点至最外缘距离 (m)	用海半径 (m)	用海面积 (公顷)
38#	多边形筒型基础 (边长 18.475m)	18.48	68.48	1.4733
39#	单桩基础 (直径 12.82m)	12.82	56.41	0.9997
40#	单桩基础 (直径 11.87m)	11.87	55.94	0.9831
41#	单桩基础 (直径 12.26m)	12.26	56.13	0.9898
42#	单桩基础 (直径 12.31m)	12.31	56.16	0.9908
43#	圆形筒型基础 (直径 17.77m)	17.77	58.89	1.0895
44#	单桩基础 (直径 12.80m)	12.80	56.40	0.9993
45#	单桩基础 (直径 12.33m)	12.33	56.17	0.9912
46#	单桩基础 (直径 12.36m)	12.36	56.18	0.9915
47#	单桩基础 (直径 12.47m)	12.47	56.24	0.9937
48#	单桩基础 (直径 12.19m)	12.19	56.10	0.9887
49#	单桩基础 (直径 12.63m)	12.63	56.32	0.9965
合计				12.4871

2、海底电缆用海需求

根据项目需要，11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，35kV 海底电缆总长为 28.02km。

根据海籍调查规范，海上风力发电使用的海底电缆用海面积按照电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 计算，因集电线路用海面积与风机用海面积有部分重叠，风机为透水构筑物用海，海域使用收费标准高，所以集电线路用海面积中应扣除和风机重叠部分。35kV 集成电路海底电缆自身宽度约 15cm，因此 35kV 海缆用海范围为实测海缆中线向两侧外扩 10.075m。根据计算，项目 35kV 集电海底电缆用海面积为 52.3094 公顷。

综上，调整方案申请用海面积 64.7965 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、《产业用海面积控制指标》(HY/T 0306-2021)

本项目不涉及围填海建设，因此，不再进一步分析与《产业用海面积控制指标》(HY/T 0306-2021) 相关控制指标的符合性。

2、《关于进一步规范海上风电用海管理的意见》(国海规范〔2016〕6号)

2016 年 10 月，国家海洋局以国海规范〔2016〕6 号印发《关于进一步规范

海上风电用海管理的意见》，提出“单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方公里左右”。本项目场址位于珠海市三角岛东南侧海域，风电场位于珠海桂山海上风电场场址范围内，场址最近端距离珠海市陆岸 13km，水深 6-11 米之间，风电场址在规划时已避开了生态红线区、海洋保护区等敏感目标。

项目装机容量为 83.65MW，风机外缘边线包络海域面积约 7.95km²，每 10 万千瓦包络海域面积为 9.72km²，符合《关于进一步规范海上风电用海管理的意见》（国海规范〔2016〕6 号），提高了海域资源利用效率，体现了集约节约用海、严格控制用海面积。

3、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）、《海底电缆管道路由勘察规范》（GB17502-2009）等的要求，本项目设计符合风电等相关规范的设计要求。

4、与《海籍调查规范》及《海上风电项目开发建设管理办法》相符合

根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009），“海上风力发电项目用海，单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩 50m 为半径的圆为界”，“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”；根据《海上风电项目开发建设管理办法》（国能新能〔2016〕394 号），“海上电机组用海面积为所有风电机组塔架占用海域面积之和，单个风电机组塔架用海面积一般按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算”等原则来界定本工程各用海面积。本项目单个风机用海面积按风机基础结构中心点至基础外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算用海面积；海底电缆用海面积是根据海底电缆设计宽度外扩 10 米确定用海面积。因此，符合《海籍调查规范》和《海上风电项目开发建设管理办法》的要求。

同时,《海籍调查规范》(HY/T 124-2009)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,35kV 海底电缆与风机用海面积部分重叠,按照海域使用金征收标准的不同,采取就高不就低的原则:即风机基础用海优先,海底电缆次之,重叠部分面积扣除,符合《海籍调查规范》的要求。

7.5.2.3 减少项目用海面积的可能性

调整后项目的设计在满足风电工程尾流控制 and 安全性等需求的基础上,已经按照集约节约用海的原则,并以尽可能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,用海面积已经减少了 25.7157 公顷。因此现阶段,不存在减少用海面积的可行性。

7.5.3 宗海图绘制

本项目以风电场施工图为基础,依据《海籍调查规范》和《宗海图编绘技术规范》,完成了宗海图的绘制。本项目宗海位置图见图 7.5.3-1,宗海界址图见图 7.5.3-2。

1、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。

2、宗海位置图绘制方法

本项目宗海位置图底图采用中华人民共和国海事局 2006 年 12 月第 1 版,2008 年 12 月第 2 版,2008 年 12 月第 1 次印刷,图号为 80822 的海图。图式采用 GB 12319-1998,2000 国家大地坐标系,深度以理论最低潮面为基准(单位为米),高程以 1985 年国家高程为基准(单位为米),比例尺为 1:150000(22° 31′)。将上述图件作为宗海位置图的底图,根据海图上附载的方格网经纬度坐标,将用海位置叠加之上述图件中,并填上《海籍调查规范》和《宗海图编绘技术规范》(HY/T 251-2018)上要求的其他海籍要素,形成宗海位置图。

珠海桂山海上风电场示范项目二期宗海位置图

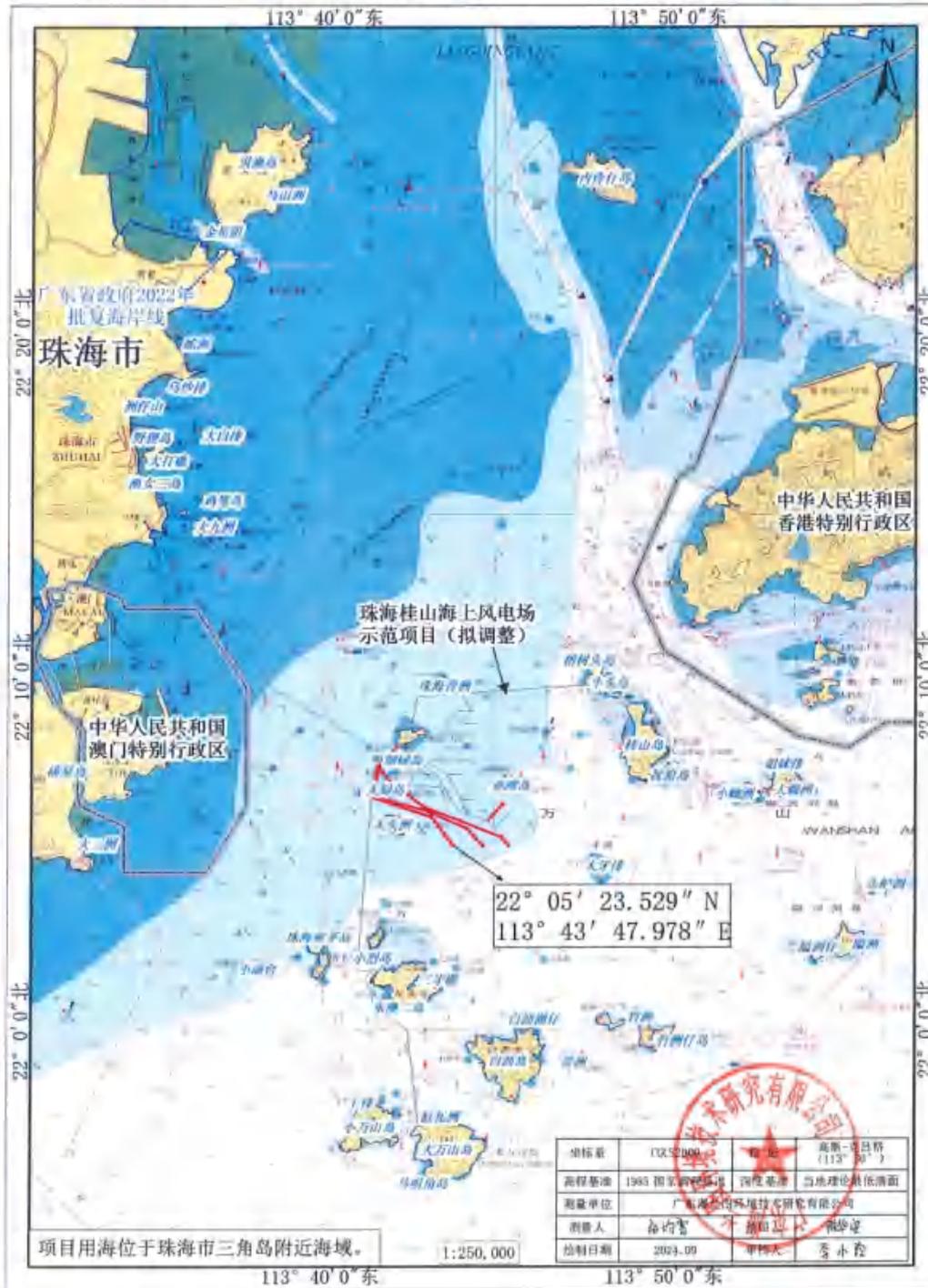


图 7.5.3-1 宗海位置图

珠海桂山海上风电场示范项目二期工程宗海界址图

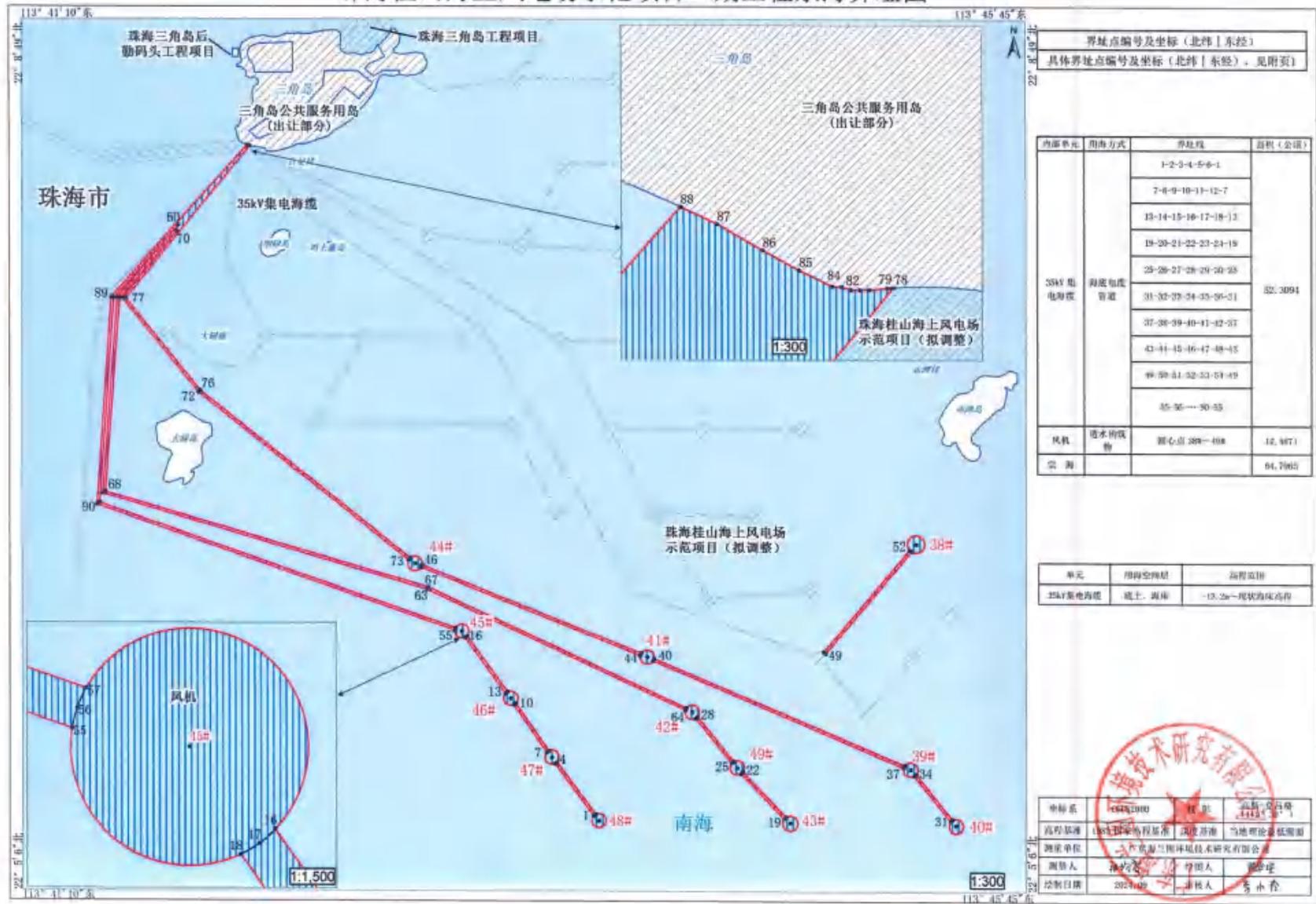


图 7.5.3-2 宗海界址图

表 7.5.3-2a 宗海界址续表 1

附表 1: 珠海桂山海上风电场示范项目二期工程宗海界址点续表 1

界址点的编号及坐标(北-东)					
38#	22°06'34.447"	113°45'15.267"	22	22°05'35.972"	113°44'27.536"
39#	22°05'36.610"	113°45'13.596"	23	22°05'35.728"	113°44'27.307"
40#	22°05'22.231"	113°45'26.027"	24	22°05'35.519"	113°44'27.027"
41#	22°06'05.421"	113°44'01.349"	25	22°05'38.245"	113°44'24.460"
42#	22°05'51.293"	113°44'13.630"	26	22°05'38.472"	113°44'24.712"
43#	22°05'22.868"	113°44'40.484"	27	22°05'38.656"	113°44'25.007"
44#	22°06'29.505"	113°42'57.614"	28	22°05'50.100"	113°44'15.113"
45#	22°06'12.095"	113°43'10.465"	29	22°05'49.880"	113°44'14.870"
46#	22°05'54.826"	113°43'23.836"	30	22°05'49.689"	113°44'14.566"
47#	22°05'39.712"	113°43'35.092"	31	22°05'23.419"	113°45'24.549"
48#	22°05'23.529"	113°43'47.978"	32	22°05'23.650"	113°45'24.806"
49#	22°05'37.048"	113°44'25.946"	33	22°05'23.830"	113°45'25.096"
1	22°05'24.775"	113°43'46.549"	34	22°05'35.410"	113°45'15.084"
2	22°05'24.995"	113°43'46.814"	35	22°05'35.186"	113°45'14.836"
3	22°05'25.165"	113°43'47.113"	36	22°05'34.999"	113°45'14.537"
4	22°05'38.463"	113°43'36.525"	37	22°05'37.019"	113°45'11.678"
5	22°05'38.246"	113°43'36.264"	38	22°05'37.332"	113°45'11.787"
6	22°05'38.072"	113°43'35.960"	39	22°05'37.621"	113°45'11.954"
7	22°05'41.003"	113°43'33.703"	40	22°06'05.016"	113°44'03.258"
8	22°05'41.214"	113°43'33.973"	41	22°06'04.711"	113°44'03.153"
9	22°05'41.377"	113°43'34.280"	42	22°06'04.414"	113°44'02.982"
10	22°05'53.537"	113°43'25.224"	43	22°06'05.792"	113°43'59.432"
11	22°05'53.326"	113°43'24.954"	44	22°06'06.115"	113°43'59.538"
12	22°05'53.163"	113°43'24.647"	45	22°06'06.399"	113°43'59.696"
13	22°05'56.092"	113°43'22.423"	46	22°06'29.131"	113°42'59.540"
14	22°05'56.301"	113°43'22.679"	47	22°06'28.816"	113°42'59.438"
15	22°05'56.475"	113°43'22.993"	48	22°06'28.524"	113°42'59.276"
16	22°06'10.830"	113°43'11.878"	49	22°06'06.334"	113°44'50.364"
17	22°06'10.615"	113°43'11.614"	50	22°06'32.551"	113°45'14.015"
18	22°06'10.446"	113°43'11.308"	51	22°06'32.750"	113°45'13.720"
19	22°05'24.006"	113°44'38.832"	52	22°06'32.972"	113°45'13.477"
20	22°05'24.251"	113°44'39.064"	53	22°06'06.756"	113°44'49.826"
21	22°05'24.458"	113°44'39.340"	54	22°06'06.575"	113°44'50.106"

测绘单位	广东海兰国际环境技术有限公司		
测量人	蔡永珍	绘图人	陈华理
绘制日期	2024.09	审核人	张均霄

表 7.5.3-2b 宗海界址续表 2

附页 1：珠海桂山海上风电场示范项目二期工程宗海界址点续表 2

界址点的编号及坐标(北纬东经)					
55	22°06'12.382"	113°43'08.530"	88	22°08'16.932"	113°42'11.739"
56	22°06'12.698"	113°43'08.615"	89	22°07'37.996"	113°41'34.197"
57	22°06'13.000"	113°43'08.763"	90	22°06'44.599"	113°41'30.192"
58	22°06'45.051"	113°41'30.931"			
59	22°07'37.725"	113°41'34.881"			
60	22°07'56.257"	113°41'52.748"			
61	22°07'37.874"	113°41'35.860"			
62	22°06'47.430"	113°41'31.743"			
63	22°06'22.867"	113°43'00.955"			
64	22°05'51.763"	113°44'11.737"			
65	22°05'52.074"	113°44'11.859"			
66	22°05'52.355"	113°44'12.037"			
67	22°06'23.481"	113°43'01.206"			
68	22°06'47.908"	113°41'32.487"			
69	22°07'37.610"	113°41'36.544"			
70	22°07'54.710"	113°41'52.252"			
71	22°07'37.706"	113°41'37.337"			
72	22°07'13.443"	113°41'58.154"			
73	22°06'30.377"	113°42'55.883"			
74	22°06'30.647"	113°42'56.075"			
75	22°06'30.888"	113°42'56.322"			
76	22°07'13.909"	113°41'58.655"			
77	22°07'37.702"	113°41'38.241"			
78	22°08'16.686"	113°42'12.440"			
79	22°08'16.685"	113°42'12.422"			
80	22°08'16.679"	113°42'12.360"			
81	22°08'16.679"	113°42'12.330"			
82	22°08'16.679"	113°42'12.300"			
83	22°08'16.689"	113°42'12.270"			
84	22°08'16.689"	113°42'12.240"			
85	22°08'16.739"	113°42'12.129"			
86	22°08'16.799"	113°42'12.010"			
87	22°08'16.879"	113°42'11.860"			

测绘单位	广东海兰图环境技术研究有限公司		
测量人	李心霞	绘图人	薛华军
绘制日期	2024.09	审核人	张均豪

7.5.4 项目用海面积量算

7.5.4.1 宗海界址点的确定

本项目位于珠海市三角岛东南侧海域，共建设 3 台 6.45MW 风电机组、8 台 7MW 风电机组及 1 台 8.3MW 风电机组，装机容量 83.65MW。

根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）5.4.2.5 电力工业用海——f) 海上风力发电项目用海，单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩 50m 为半径的圆为界；g) 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。

(1) 风机基础

根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）计算单个风机基础的用海面积，风电机组用海面积为所有风电机组塔架占用海域面积之和。

本项目已建设完成，根据风机施工坐标及基础结构图，确定本项目每种类型的风机基础最大半径如下表 7.5.4-1，参照《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩 50m 为半径的圆为界，确定本项目每种类型的风机用海半径。

根据计算，风机基础用海面积 12.4871 公顷。

表 7.5.4-1 风机用海半径统计表

序号	风机基础类型	中心点至最外缘距离 (m)	用海半径 (m)
1	多边形筒型基础	18.48	68.48
2	圆形筒型基础	12.82	56.41
3	单桩基础	11.87	55.94
4	单桩基础	12.26	56.13
5	单桩基础	12.31	56.16
6	单桩基础	17.77	58.89
7	单桩基础	12.80	56.40
8	单桩基础	12.33	56.17
9	单桩基础	12.36	56.18
10	单桩基础	12.47	56.24
11	单桩基础	12.19	56.10
12	单桩基础	12.63	56.32

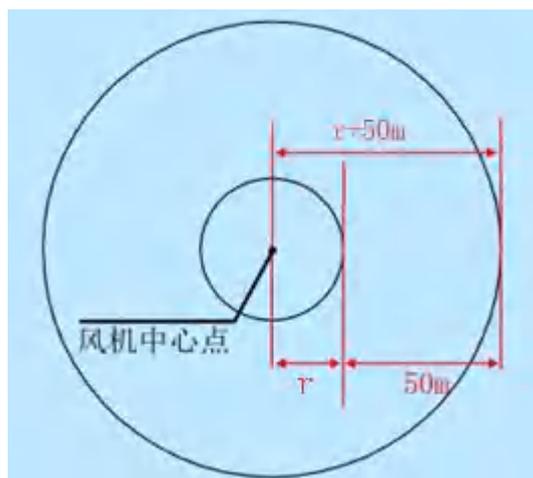


图 7.5.4-1 风机用海范围界定示意图

(2) 集电线路

建设方案集电线路设计型式未变。根据海籍调查规范，海上风力发电使用的海底电缆用海面积按照电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 计算，因集电线路用海面积与风机用海面积有部分重叠，风机为透水构筑物用海，海域使用收费标准高，所以集电线路用海面积中应扣除和风机重叠部分。

本项目 35kV 集成电路海底电缆海缆自身宽度约 15cm，因此 35kV 海缆用海范围为实测海缆中线向两侧外扩 10.075m。根据计算，项目 35kV 集电海底电缆用海面积为 52.3094 公顷。

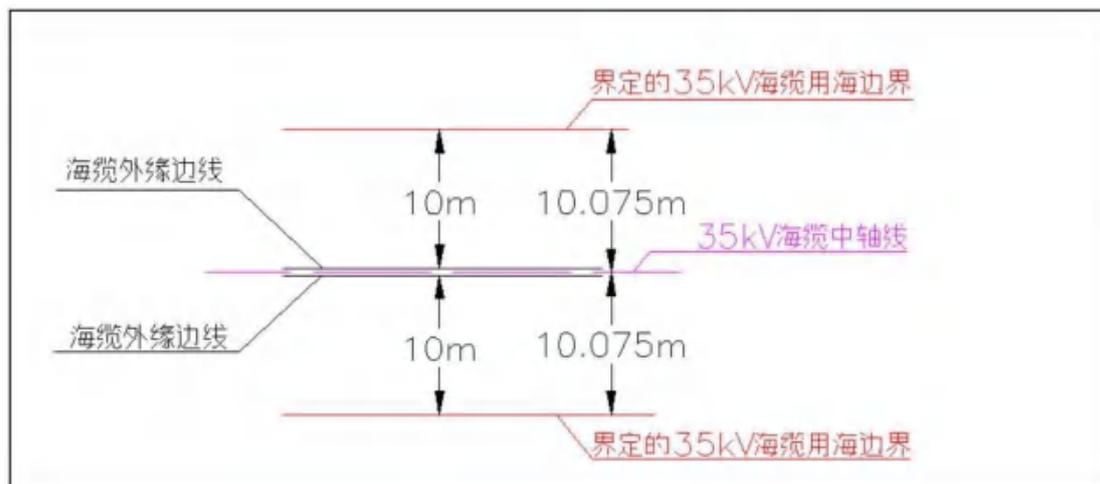


图 7.5.4-4 35kV 集成电路海缆用海范围界定示意图

项目调整后总用海面积为 64.7965 公顷，其中风机基础用海面积 12.4871 公顷，35kV 集电线路用海面积为 52.3094 公顷。

7.5.4.2 宗海面积计算

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、113° 30' 为中央子午线的 CGCS2000 大地坐标，宗海界址点坐标见本章节宗海界址点（续）表。

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、用海面积的计算

本次论证项目申请的用海面积，是按照《海籍调查规范》（HY/T 124-2009），用坐标解析法计算的。

根据《海籍调查规范》及本项目的实际用海类型，项目宗海面积 64.7965 公顷，其中透水构筑物用海面积 12.4871 公顷，海底电缆管道用海面积 52.3094 公顷。

7.6 立体设权合理性分析

7.6.1 立体设权范围

本项目 12 台风电机组通过 3 回 35kV 集电海缆接入三角岛上升压站，集电海缆敷设埋深和标高见表 7.6.1-1。

表 7.6.1-1 集电海底电缆敷设埋深和标高

海缆埋设深度	0-2.5m
--------	--------

海底面最高标高（1985 高程）	现状海床高程
海底面最低标高（1985 高程）	-10.7m
海缆敷设最高标高（1985 高程）	现状海床高程
海缆敷设最低标高（1985 高程）	-13.2m

本项目集电海缆进行立体分层设权，集电海缆由底土敷设至近岸礁石上，上岸后与本项目一期工程海缆并行接入陆上预制混凝土槽内，确权空间范围为底土、海床，根据海缆埋深、设计高程，本项目集电海缆空间确权范围见表 7.6.1-2。

表 7.6.1-2 本项目海缆立体分层设权范围

海缆	用海空间层	高程范围（1985 高程）
集电海缆	底土、海床	-13.2m~现状海床高程

珠海桂山海上风电场示范项目二期工程（35kV集电海缆）宗海立体空间范围示意图

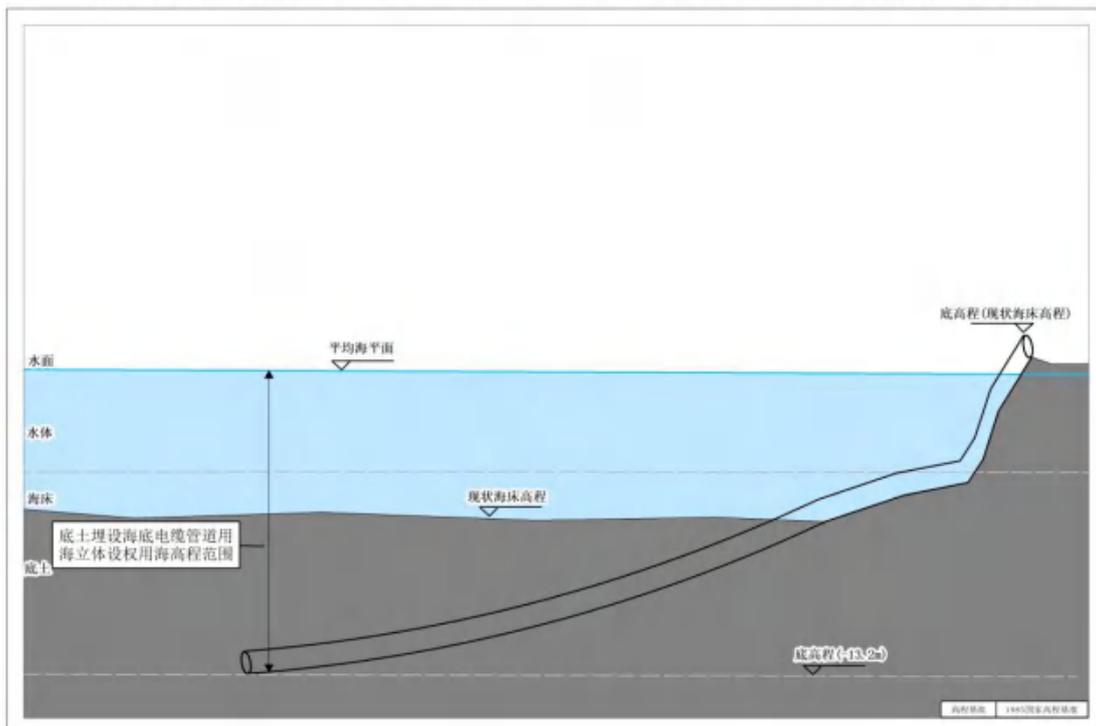


图 7.6.1-1 集电海缆海域底土空间分层利用示意图（1985 国家高程基准）

7.6.2 立体设权可行性分析

7.6.2.1 海域管理政策的可行性分析

《中华人民共和国海域使用管理法》所称海域，是指中华人民共和国内水、领海的水面、水体、海床和底土。根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）5.2.5 宗海垂向范围界定，“遇特殊需要时，应根据项目用海占用水面、水体、海床和底土的实际情况，界定宗海的垂向使用范围”。

《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》（自然资规

(2023) 8 号) 提出“海域是包括水面、水体、海床和底土在内的立体空间。对排他性使用海域特定立体空间的用海活动, 同一海域其他立体空间范围仍可继续排他使用的, 可仅对其使用的相应海域立体空间设置海域使用权。在不影响国防安全、海上交通安全、工程安全及防灾减灾等前提下, 鼓励对跨海桥梁、养殖、温(冷)排水、海底电缆管道、海底隧道等用海进行立体分层设权, 生产经营活动存在冲突的除外。其他用海活动经严格论证具备立体分层设权条件的, 也可进行立体分层设权。”

根据《广东省自然资源厅关于推进海域使用权立体分层设权的通知》(广东省自然资源厅, 2023 年 9 月 18 日), 海域使用权立体分层设权的范围包含海底电缆管道。

本项目海域使用类型为工矿通信用海(一级类)中的可再生能源用海(二级类), 本项目集电海缆用海方式为海底电缆管道, 采取立体分层设权, 登陆段与本项目一期工程海缆并行接入三角岛上升压站, 不存在利益协调问题, 因此, 本项目集电海缆拟采取立体确权, 符合相关海域管理要求, 提高了海域有限资源的利用效率。

7.6.2.2 利益相关者可协调性

根据《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》(自然资规(2023) 8 号), 在已设定海域使用权的海域进行立体分层设权, 应与原海域使用权人协商一致达成协议后按程序办理用海手续, 确保新设海域使用权与原海域使用权不存在权属冲突。本项目集电海缆申请用海范围与本项目一期工程已确权海缆范围存在重叠, 本项目一期工程目前正同步进行用海调整, 调整后不存在重叠, 且本项目与一期工程为同一建设单位, 不存在利益协调问题。

7.6.2.3 立体空间布置的合理性

根据《中华人民共和国海域使用管理法》, 海域是指“中华人民共和国内水、领海的水面、水体、海床和底土”, 明确海域是立体的空间资源且包含 4 个层次。从海域空间资源上看, 每个层面的海域资源都有其特定的开发利用价值, 本项目海底电缆进行立体化开发利用将会大大提高海域资源的集约利用的程度, 对不同层面的海域进行确权, 提高了海域空间资源的产权效率。本项目采用平面界址“四至”坐标和竖向分层的海籍信息表达方式, 其中, 宗海竖向边界采用“水面”、

“水体”、“海床”“底土”定性表述及 1985 高程范围定量表述结合，海底电缆宗海竖向边界范围根据设计标高确定，能够满足项目所需的海域空间承载范围。

7.6.3 立体设权必要性分析

随着海洋经济快速发展，用海需求持续增加，海域空间资源稀缺性日益凸显。开展海域立体分层设权是完善海域资源资产产权制度、丰富海域使用权权能的重要举措，也是缓解用海矛盾、提高资源利用效率的必然选择，对于促进海域资源节约集约利用和有效保护、推动海洋经济高质量发展、加强海洋生态文明建设具有重要意义。本项目占用空间面积较大，项目选址于广东省珠海市建设，能够充分利用该地区丰富空间资源，实现海域资源的有效利用。本项目与周边海域开发活动可利用不同层次的海域空间，具备立体设权的条件。

立体分层设权的项目用海，按照“一物一权、一证一缴”的方式征收海域使用金，同一海域立体分层设权的每一个项目，均视为独立的征收对象，依据其用海方式，分别按规定征收海域使用金，根据 7.6.2 节分析，本项目立体设权符合相关海域管理要求，提高了海域有限资源的利用效率。

综合以上分析，本项目采取立体设权方式用海，具有必要性。

7.7 用海期限合理性分析

本项目用海属于《中华人民共和国海域使用管理法》中的建设工程用海，风机的设计服务年限为 25 年。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条规定，建设工程用海的海域使用权最高期限按照用途确定，其中港口、修造船厂等建设工程用海五十年。

结合国家对项目用海年限的规定，因项目 2020 年已确权，现已建成，项目用海期限由 2020 年起算，申请使用海域 26 年（2020 年 1 月 22 日至 2046 年 1 月 21 日），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。

因此，项目用海期限是合理的。

8 生态用海对策措施

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），本项目海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类），按《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目海域使用类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。

根据报告第4章节资源生态影响分析结果，项目建设产生的主要生态问题为海洋生物资源损失。项目建设造成的生物资源损失量分别为：底栖生物 8.76t，潮间带 0.24t，鱼卵 3.39×10^7 粒，仔鱼 9.78×10^5 粒，游泳生物 2.52t。

针对项目产生的主要生态问题，参照《围填海工程生态建设技术指南（试行）》《围填海项目生态保护修复方案编制技术指南》和海洋生态保护修复的相关要求，提出了生态用海对策。

8.1 生态用海对策

8.1.1 生态保护对策

8.1.1.1 施工期生态用海对策

本项目现已建成，施工期间提出的生态用海对策主要有：

（1）为进一步减轻施工对珍稀海洋生物的影响，采取以下措施：

①开工前对桩基 1km 保护范围内的海洋哺乳动物尽可能地驱赶。在进行风机桩基打桩前派遣巡逻船只巡查，确认施工保护范围无海洋哺乳动物活动。

②水上桩基础施工避免采用撞击式的打桩作业方式，采用环保型液压式打桩机，并采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出控制，在时间上控制一次一桩。

（2）为减轻工程施工建设对海域底栖生物的影响，采取以下措施：

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制工程方的施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免随意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③施工避开恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

(3) 为减轻工程施工建设对渔业资源和渔业生产的影响，采取以下措施：

①春、夏季（5~7月）是鱼类产卵高峰期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设降低施工强度。同时打桩前采取预先轻轻打几下桩，以驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声和悬浮物对鱼类的影响。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

③施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

(4) 白海豚保护

施工对中华白海豚的潜在影响主要表现为：可能挤占海豚适宜生存的环境区域、可能影响底栖生物及渔业资源进而波及海豚的食物链、施工噪音及夜间施工的光污染可能影响海豚的正常生活、船舶油污及意外碰撞可能伤害海豚、钻孔桩弃渣及泥浆处理不当可能污染海豚生活的水体，以及上述影响的叠加。采取以下措施后，可以达到保护白海豚的目的。

①成立白海豚保护领导小组，统一负责工程项目实施期间的保护工作；

②关键作业点及船舶均配备白海豚观察员，并经保护区管理局培训、考核，持证上岗；

③严格执行环境保护控制措施；

④制定白海豚保护专项方案及应急预案，提交保护区管理局；

⑤建立健全白海豚保护管理制度，检查、监督和责任追究制度，确保措施落实到位；

⑥严格执行生态保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用制度；

⑦优化施工部署、工艺方案和施工流程，采取新技术、新工艺，在保证安全、

质量的前提下，抓紧施工进度，尽量缩短水上作业时间。白海豚繁殖期不安排对其影响明显的作业或高密度作业；

⑧配合海事部门加强水上交通管理，避免发生碰撞、沉船、溢油和物料泄漏等事故；制定漏油专项应急措施；

⑨加强环境保护、中华白海豚及其他海洋生物保护宣传教育工作，加大对《中华人民共和国野生动物保护法》《中华人民共和国渔业法》等法律法规的宣传力度。

8.1.1.2 营运期生态用海对策

（1）风机减震降噪措施

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，在接近力源的地方切断振动传递的途径，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，在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

（2）含油废弃物收集措施

对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此，在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴；废油应储存在专设的废油箱中，含油的连通软管和其他含油废物（揩布、废滤网）应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后，应将含油废物等一并送交具有工业固体废物（含废液）、危险化学品及危险废物处理资质的环保产业开发有限公司处理。

8.1.2 生态跟踪监测

由于本项目已施工完成，因此只对项目运营期进行生态跟踪监测。此外，本项目与珠海桂山海上风电场示范项目紧邻且属于同一业主单位，生态跟踪监测统

筹考虑两个项目，具体内容如下：

8.1.2.1 运营期生态跟踪监测

项目运营期应对海水水质、沉积物质量、海洋生物质量、海洋生态、地形地貌与冲淤、水下噪声、电磁环境进行监测，如有问题应及时采取防治措施。建议建设单位委托有资质的技术单位开展运营期生态跟踪监测。

本项目运营期跟踪监测站位与珠海桂山海上风电场示范项目统筹考虑，选取海水水质监测站位 27 个，沉积物质量监测站位 14 个，海洋生物质量、海洋生态监测站位 18 个，潮间带生物调查的调查断面布设 3 条，水下噪声监测站位 17 个、电磁环境监测站位 17 个。监测过程中可视情况做适当的调整。

表 8.1.2-1 运营期生态跟踪监测站位坐标表

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
1	ZH01	113°36'21.53"	22°15'38.59"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
2	ZH02	113°40'08.77"	22°15'41.60"	水质
3	ZH03	113°44'57.49"	22°15'41.82"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
4	ZH04	113°49'57.04"	22°15'18.50"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
5	ZH05	113°35'51.49"	22°12'25.03"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
6	ZH06	113°39'37.01"	22°12'13.10"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
7	ZH07	113°44'32.73"	22°12'23.48"	水质
8	ZH08	113°49'05.01"	22°12'16.60"	水质、生物生态、渔业资源
9	ZH09	113°50'04.65"	22°09'03.88"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
10	ZH10	113°53'32.80"	22°08'22.72"	水质
11	ZH11	113°53'41.32"	22°04'51.68"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
12	ZH12	113°53'11.59"	22°01'40.48"	水质
13	ZH13	113°48'54.02"	21°57'51.85"	水质、生物生态、渔业资源
14	ZH14	113°48'54.43"	22°01'24.26"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
15	ZH15	113°48'58.25"	22°04'43.90"	水质
16	ZH16	113°44'01.36"	22°08'42.60"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
17	ZH17	113°43'48.48"	22°05'46.90"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
18	ZH18	113°44'29.32"	22°01'20.17"	水质、生物生态、渔业资源
19	ZH19	113°43'45.36"	21°58'01.78"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
20	ZH20	113°44'10.41"	21°55'01.65"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
21	ZH21	113°40'44.47"	21°54'50.40"	水质、生物生态、渔业资源
22	ZH22	113°40'17.06"	21°58'20.59"	水质
23	ZH23	113°40'03.18"	22°00'58.42"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
24	ZH24	113°39'43.50"	22°04'41.83"	水质
25	ZH25	113°39'17.59"	22°08'49.73"	水质
26	ZH26	113°36'00.99"	22°04'55.62"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
27	ZH27	113°36'07.37"	22°01'07.98"	水质
28	C1	113°42'47.74"	22°08'32.41"	潮间带
29	C2	113°42'13.29"	22°08'30.46"	潮间带
30	C3	113°41'52.26"	22°01'44.83"	潮间带



图 8.1.2-1 运营期跟踪监测站位示意图

(1) 海水水质

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 27 个监测站位，监测点位与现状调查站点一致，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

(2) 沉积物质量

监测项目：粒度、有机碳、pH、石油类、硫化物、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷。

监测站位：共布设 14 个监测站位，监测点位与现状调查站点一致，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

(3) 海洋生物质量

监测项目：总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、石油烃等。

监测站位：共布设 18 个监测站位，监测点位与现状调查站点一致，见表

8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（4）海洋生态

监测项目：叶绿素 a 和初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源（鱼卵仔稚鱼、游泳生物）、潮间带生物。

监测站位：共布设 18 个监测站位，潮间带生物调查的调查断面布设 3 条，监测点位与现状调查站点一致，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（5）水下噪声

监测项目：噪声频带有效声压级、噪声声压谱级。

监测位置：在风电场区域布设 17 个噪声监测点，监测点位与施工前监测站点一致，见表 8.1.2-2 和图 8.1.2-2。

监测频率：每年 1 次，低、中和额定风速输出时。

表 8.1.2-2 水下噪声监测站位坐标表

站号	东经	北纬
S1	113°41'03.397"	22°16'00.027"
S3	113°35'58.854"	22°13'37.741"
S4	113°38'13.652"	22°11'51.650"
S6	113°53'27.889"	22°09'05.234"
S7	113°40'15.788"	22°09'58.484"
S8	113°44'11.517"	22°07'33.732"
S9	113°42'58.294"	22°06'44.917"
S10	113°38'45.341"	22°06'04.997"
S11	113°43'24.921"	22°05'29.475"
S12	113°45'18.084"	22°05'25.037"
S14	113°42'16.135"	22°04'47.316"
S15	113°43'24.283"	22°03'50.169"
S16	113°45'20.303"	22°03'49.625"
S20	113°42'49.418"	22°00'18.830"
S22	113°28'19.125"	21°58'30.666"
S26	113°29'49.757"	21°51'44.788"
S28	113°51'27.806"	21°50'14.923"



图 8.1.2-2 水下噪声监测站位示意图

(6) 电磁环境

监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

监测位置：布设 17 个监测点，监测点位与水下噪声一直，见表 8.1.2-2 和图 8.1.2-2。

监测频率：每年 1 次。

(7) 地形地貌与冲淤

监测项目：水深地形、风机墩柱局部冲刷监测（冲刷深度、冲刷坑直径和冲刷坑形状等参数，若有必要，应对风机墩柱局部冲刷进行加测。在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲刷情况进行必要的加测）。

监测位置：以工程外扩边界 2km 的海域，测量比例按照 1: 5000；2km-15km 的海域，测量图比例尺按照 1: 10000。

监测时间及频次：工程运营期前 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。

(8) 鸟类

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

监测范围：本项目鸟类跟踪监测的范围、站位布点与鸟类生态环境现状调查范围一致。调查范围包括本项目一期工程及本项目风电场址、场址内无人海岛、周边面积较大的桂山岛、东澳岛和万山岛以及近岸香洲区登陆点附近陆域。

监测时间：在项目运营初期（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。

（9）中华白海豚

监测项目：中华白海豚的数量和分布的变化趋势、个体迁移，风电场区域及周边水域栖息地的使用变化等。

监测范围：内伶仃岛至东澳岛以北水域，监测区域包括了伶仃洋中、伶仃洋南、横琴东、横琴东南和桂山南等5个区域，中华白海豚监测航线如图8.1.2-3所示。

监测时间：在项目运营初期（5年），加强对区域中华白海豚、风电场区域及周边水域栖息地的观测研究。

监测频率：调查监测频次根据季节划分，在中华白海豚数量较集中的迁徙期，可进行强化监测。

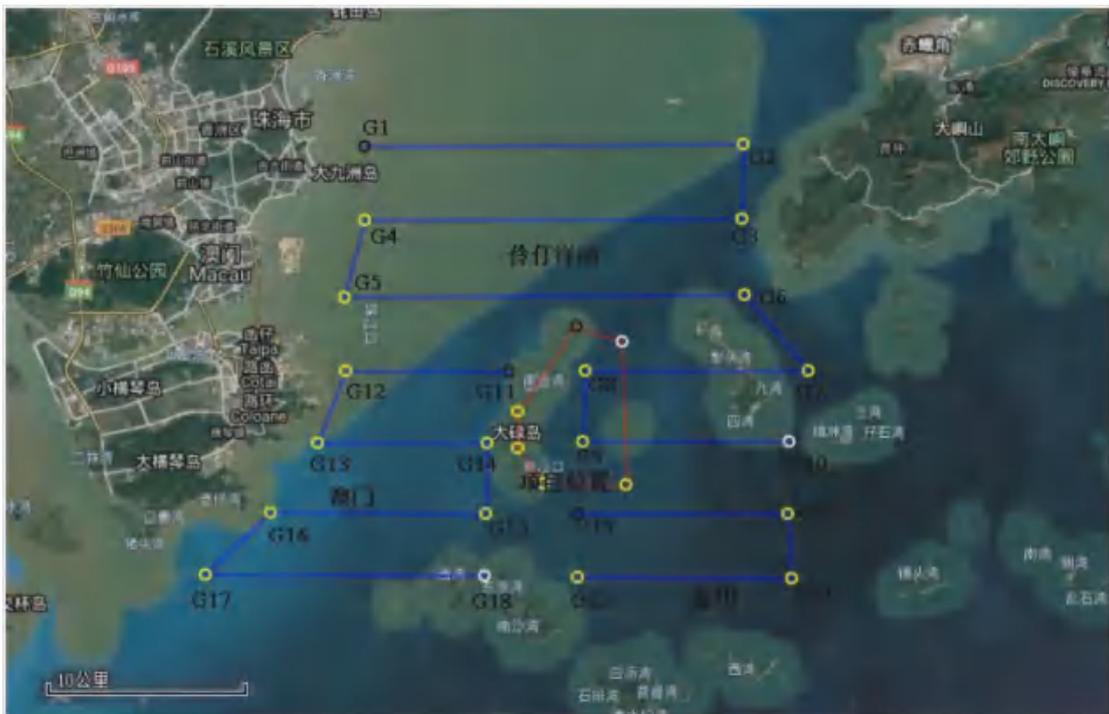


图 8.1.2-3 中华白海豚监测航线示意图

8.1.2.2 生态跟踪监测评价

根据生态跟踪监测结果，进行现状评价，将各类监测数据与原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做出评价。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

8.2.1 占补平衡分析

根据《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法（试行）的通知》（粤自然资规字〔2021〕4号），“海岸线占补是指项目建设占用海岸线导致岸线原有形态或生态功能发生变化，要进行岸线整治修复，形成生态恢复岸线，实现岸线占用与修复补偿相平衡。2017年10月15日粤府办〔2017〕62号文印发后，在我省海域内申请用海涉及占用海岸线的项目，必须落实海岸线占补。”“建设占用海岛岸线的，按照1:1的比例整治修复海岸线，并优先修复海岛岸线。”本项目35kV海底电缆申请用海范围占用三角岛岸线约21.96m，需按照1:1的比例整治修复海岸线，并优先修复海岛岸线。本项目与珠海桂山海上风电场示范项目紧邻，同属于一个业主单位，建议本项目岸线占补与珠海桂山海上风电场示范项目统筹考虑，具体实施方案及地点建议由当地市人民政府统筹组织区域内海岸线占补工作确定。

8.2.2 生态保护修复

项目已完成建设并网运行，根据报告第4章资源生态影响分析结果，项目建设产生的主要生态问题为海洋生物资源损失。项目建设造成的生物资源损失量分别为：底栖生物 8.76t，潮间带 0.24t，鱼卵 3.39×10^7 粒，仔鱼 9.78×10^5 粒，游泳生物 2.52t。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，建设单位应根据农业部《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）的有关规定，对项目附近海域的生物资源恢复做出经济补偿。

根据《珠海桂山海上风电场示范项目二期工程海洋环境影响报告书（报批稿）》，由已批复的《珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书》，项目一期工程按照 200MW 装机容量对施工期及运行期对海域生物资源影响的经济价值进行汇总，合计 1327.81 万元。建设单位以此金额作为参考进行了生态补偿（见附件 6）。根据《关于珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书核准意见的函》（粤海渔函〔2016〕181 号），一期工程作为广东省首座海上风电的示范项目以试点形式进行建设，建设单位实际建设规模仅为 120MW，本项目续建示范工程环境影响报告书中设计的剩余 80MW 装机容量。因此，本项目计算的 358.02 万元海域生物资源影响的经济价值已包含在一期工程的计算金额内。

9 结论

9.1 结论

9.1.1 项目用海基本情况

本项目位于规划珠海桂山海上风电场场址南侧，珠海桂山海上风电场场址位于珠海市香洲区三角岛东南侧海域，场址最近端距离珠海市陆岸 13km，最远端距离陆岸 22km。场址用海面积 32km²，水深 6-11 米之间。

根据原论证报告，项目装机容量为 82.5MW，共布置 15 台单机容量为 5.5MW 风电机组，通过 4 回 35kV 集电海缆接入 110kV 三角岛上升压站，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期工程建设时均已建设完成，本期建设不再考虑。

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类），按《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目海域使用类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。项目申请用海总面积 90.5122 公顷，其中透水构筑物用海面积 15.5405 公顷，海底电缆管道用海面积 74.9717 公顷，申请用海期限为 26 年。

调整后，项目装机容量为 83.65MW，共布置 12 台风电机组，分别为 3 台 6.45MW、8 台 7MW 和 1 台 8.3MW 风电机组，其中 11 台风机共分 3 回 35kV 集电线路接入 110kV 三角岛上升压站，1 台风机通过 1 根 35kV 集电海缆接入一期风机，项目配套的升压站、送出海缆和集控中心在一期建设时均已建设完成，本项目建设不再考虑。

项目申请用海总面积为 64.7965 公顷，其中透水构筑物用海面积为 12.4871 公顷，海底电缆管道用海面积为 52.3094 公顷，申请用海范围涉及三角岛现状人工岸线 21.96m，实际建设海底电缆用三角岛现状人工岸线 14.5m。项目申请用海期限不变，为 26 年（2020 年 1 月 22 日至 2046 年 1 月 21 日）。

9.1.2 项目调整用海的必要性结论

原论证报告书评审后，为优化利用场址风能资源及风机的布置，减少用海面

积，从统筹考虑、体现节约集约用海为目标，经调整，本项目的风机单机容量变大，风机台数有所减少，提高了发电效率，项目用海总面积减小，从而体现最大化利用海域资源。

因此，本项目建设用海调整是必要的。

9.1.3 项目调整用海资源生态影响分析结论

9.1.3.1 项目用海对水文动力环境的影响

调整后本项目建设对风电场附近海域涨落急流速、流向会发生不同程度的变化，风电场附近海域大潮涨急流速变化值位于-0.02m/s~0.02m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-1° ~2° 之间；大潮落急流速变化值位于-0.01m/s~0.01m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-1° ~1° 之间。总体上看，本项目实施后流场变化仅限于工程附近。由于风机直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。

9.1.3.2 项目用海对地形地貌与冲淤环境的影响

本项目海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响。根据调整后方案的计算结果，本项目实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关，同时风电场区域两侧发生冲刷，冲淤幅度为 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。

9.1.3.3 项目用海对水质环境的影响

本项目风机基础施工时打桩和电缆敷设沿线将形成小范围的悬浮物高浓度区，项目施工对周边海域的水质会产生短期的影响及对海洋生物的仔幼体可能造成伤害，项目集电海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 33.073km²，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 21.123km²，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 12.541km²，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 7.409km²。施工产生的悬浮泥沙影响是暂时的、可逆的，随着施工的开始，慢慢可以得到恢复。施工悬沙对周边水质环境影响较小，将随着施工的开始而消失。

9.1.3.4 项目用海对沉积物环境的影响

在严格施工管理条件下，施工船舶产生的生产废水、生活污水和垃圾经收集

处理后运至陆上处置，海上工程施工不会对海洋沉积物质量产生明显影响；本工程采用铝基牺牲阳极保护引起的锌溶解对沉积物环境的累积影响有限，工程运营对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

9.1.3.5 项目用海对生态环境的影响

调整后，项目施工造成的底栖生物损失 8.76t，潮间带生物损失 0.24t，鱼卵损失 3.39×10^7 粒，仔鱼损失 9.78×10^5 粒，游泳生物损失 2.52t。渔业资源生物量损失随着施工的结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

施工期间，由于人类活动、交通运输工具与施工机械作业产生的噪声、灯光等会对鸟类产生一定的影响，但施工期的影响是暂时、可逆的。工程运行期对过境鸟类可能产生的直接影响主要是光影响、风机（风叶）与鸟类发生撞击风险等，但鸟类有趋利避害的自然本能，因此风险有限。

9.1.4 海域开发利用协调分析结论

本项目所在附近海域开发活动主要有海上风电场、航道、航线、锚地、码头工程等。项目目前已施工完成，施工前期已针对利益相关者及协调责任部门征求相关意见，施工期间未发生利益冲突，运营期间对周边用海活动基本无影响。

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，本项目目前已取得军方协调意见，并取得相关回函。

9.1.5 国土空间规划符合性分析结论

项目风电场位于《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》的万山群岛保留区，本项目的建设基本不会对所在海域及附近海域海洋功能区主导功能的发挥产生影响，项目建成后将促进绿色能源产业的发展，有利于环境保护，并带动周边地区的经济发展，与《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》相符。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）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》等各级国土空间规划文件的要求。项目符合国家产业政策，符合《广东省海洋主体功能区规划》《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》以及生态保护红线等的管控要求。

项目与《“十四五”现代能源体系规划》《“十四五”可再生能源发展规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东能源发展“十四五”规划》《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》等能源行业规划的要求相符。

项目符合《2030年前碳达峰行动方案》《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》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》《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《珠海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》等各级相关规划的相关要求。

9.1.6 项目调整用海合理性分析结论

本工程风电场场址区位于珠海市三角岛东南侧海域，建设场地已在《广东省海上风电发展规划（2017-2030）（修编）》考虑。所在区域的区位和社会条件能满足项目建设的要求；与自然资源和生态环境相适宜，风资源较丰富；场地稳定性和工程地质条件较好，项目选址能满足相应场地要求；项目选址符合海洋功能区划；项目建设有利于该区域海洋经济的协调发展，对周边海域的资源环境影响较小；项目在协调好与周边利益相关者的关系前提条件下，选址与周边其它用海活动是适宜的。通过对宏观选址和微观选址的分析，项目用海选址是合理的。

本工程的风机机组、集电线路经过了充分设计和多次优化，能充分利用海域的空间资源和风能资源，产生最大的发电效益，在规划的风电场范围内集约节约用海；海底电缆经过优化后，用海面积和铺设施工对资源环境的影响相对更小，提高了项目的用海合理性。项目用海平面布置方案合理。本项目用海方式为透水构筑物 and 海底电缆管道，用海方式能满足本项目的使用功能，符合有关规范的规定，符合海洋功能区划的管理要求，用海方式合理。

调整后项目设计符合相关行业标准 and 规范，能满足项目的建设需求，宗海图绘制符合规定，现阶段不存在减少用海面积的可行性，从集约节约用海角度考虑，用海面积合理。

本项目申请使用海域26年（2020年1月22日至2046年1月21日），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。

9.2 项目用海可行性分析结论

综上所述，珠海桂山海上风电场示范项目二期工程用海调整是必要的，与周边开发利用活动是可协调的，与所在国土空间规划、海洋功能区划的海域使用管理和环境保护要求均相符，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。在严格按照本报告书中提出的要求，做好海域环境的保护工作的前提下，从海域使用角度出发，本项目调整用海是可行的。