

# 珠海桂山海上风电场示范项目整体调整 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	4404022024000811		
论证报告所属项目名称	珠海桂山海上风电场示范项目		
<b>一、编制单位基本情况</b>			
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		
<b>二、编制人员有关情况</b>			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
詹凤娉	BH000297	论证项目负责人	詹凤娉
詹凤娉	BH000297	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	詹凤娉
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: center;">承诺主体(公章): </p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>			

## 关于《珠海桂山海上风电场示范项目整体调整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整体调整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			
项目地址	广东省珠海市万山海洋开发试验区海域			
项目性质	公益性 ( )	经营性 (√)		
用海面积	285.2758 公顷	投资金额	26.9 亿元	
用海期限	27 年 (2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日)	预计就业人数	/人	
占用岸线	总长度	242.8m	邻近土地平均价格	-万元/ha
	自然岸线	海岛自然岸线 28.2m	预计拉动区域经 济产值	-/万元
	人工岸线	大陆人工岸线约 19.9m 海岛人工岸线为 194.7m	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	43.6418 公顷		风机	
海底电缆管道	173.1812 公顷		送出电缆	
海底电缆管道	68.4528 公顷		35kV 集电海缆	
注：邻近土地平均价格是指用海项目周边土地的价格平均值。				

# 摘要

珠海桂山海上风电场位于珠海市香洲区三角岛东侧海域，场址最近端距离珠海市陆岸约 13km，最远端距离陆岸约 22km。珠海桂山海上风电场场址面积为 32km<sup>2</sup>，水深 6m-11m 之间，规划装机容量 200MW。珠海桂山海上风电场分为珠海桂山海上风电场示范项目（本项目）和珠海桂山海上风电场示范项目二期工程，建设单位均为南方海上风电联合开发有限公司。

本项目已于 2019 年 1 月取得不动产权证，批复用海总面积为 305.1849 公顷，其中透水构筑物用海面积 44.6812 公顷，海底电缆管道用海面积 260.5037 公顷。根据项目批复方案，本项目装机容量为 120MW，项目共建设 37 台风机（分别为 34 台 3MW、3 台 6MW 风电机组）、2 回 110kV 送出海底电缆；3 条单回 35kV 联岛海缆；为实现电力接入，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。项目批准用海期限为 27 年，申请 2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日。

项目于 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，剩余 3 台风机于 2020 年 11 月动工，2021 年 12 月并网投产。实际建设与批复方案对比，3 台风机单机容量由 6MW 调整为 6.45MW，3 台风机位置、平面布置相应改变；海底电缆根据实际施工走向进行调整。由于实际建设方案与不动产权证批复用海范围不一致，珠海市海洋综合执法支队于 2023 年 12 月对南方海上风电联合开发有限公司作出行政处罚听证告知书（珠海综海听告〔2023〕905 号）。项目需根据实际建设情况申请用海调整，项目海底电缆管道申请立体确权，调整后项目申请用海总面积为 285.2758 公顷，其中透水构筑物（风机）申请用海面积为 43.6418 公顷，海底电缆管道（35kV 集电海缆和送出电缆）申请用海面积为 241.6340 公顷，用海期限为 27 年（2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日）。

项目建设完成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：大潮涨急流速变化值位于-0.07m/s~0.01m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-3°~2° 之间；大潮落急流速变化值位于-0.05m/s~0.02m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-2°~2° 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。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 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。本项目在电缆敷设作业过程中，由于机械的搅动作用，造成施工悬浮泥沙扩散，根据计算预测结果，整体上看，集电海缆施工产生大于  $10\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $36.663\text{km}^2$ ，大于  $20\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $25.676\text{km}^2$ ，大于  $50\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $16.694\text{km}^2$ ，大于  $100\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $10.409\text{km}^2$ ；送出海缆施工产生大于  $10\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $70.991\text{km}^2$ ，大于  $20\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $41.090\text{km}^2$ ，大于  $50\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $24.360\text{km}^2$ ，大于  $100\text{mg/L}$  浓度区的包络线面积为  $14.557\text{km}^2$ 。项目建设造成的生物资源直接损失量分别为：底栖生物  $120.2\text{t}$ ，潮间带  $3.72\text{t}$ ，鱼卵  $1.91 \times 10^8$  粒，仔鱼  $9.16 \times 10^7$  尾，游泳生物  $4.44\text{t}$ 。施工产生的悬浮泥沙影响是暂时的、可逆的，随着施工结束，慢慢可以得到恢复。

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、港珠澳大桥、码头工程等。本项目建设单位施工期已与利益相关者签订协议或协商一致，并征求了相关协调管理部门的意见，本项目于 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，剩余 3 台风机与珠海桂山海上风电场示范项目二期工程于 2020 年 11 月动工，2021 年 12 月并网投产，本项目未出现利益纠纷。项目营运期利益相关者为（此内容不公开），协调责任部门为（此内容不公开）。

本项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》《珠海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》等国土空间规划文件要求，符合《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》所在功能区的管控要求。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约 13km，已超过 10km，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）的双十要求；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，项目选址是合理的。项目平面布置方案经过了多次优化，充分考虑周边开发现状的需求，平面布置体现了集约、节约用海的原则，最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响，有利于生态和环境保护，平面布置合理。本项目总容量 12 万千瓦，风机外缘边线包络海域面积约 15.8km<sup>2</sup>，每 10 万千瓦包络海域面积为 13.2km<sup>2</sup>，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。项目风机的设计服务年限为 25 年，因项目 2019 年已确权，现已建成，项目用海期限与不动产权证保持一致，项目申请用海期限为 27 年（2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日），符合《中华人民共和国海域使用管理法》，申请期限合理。

本项目申请用海范围共占用岸线约 242.8m，其中占用大陆人工岸线约 19.9m，占用海岛岸线约 222.9m（占用海岛自然岸线 28.2m，海岛人工岸线为 194.7m）。营运期间电缆埋设有一定深度，不会影响其自然岸线形态及原有生态功能。项目的建设可能产生的主要生态问题是占用岸线和海洋生物资源降低，目前建设单位已缴纳生物资源损失补偿额 1380 万元。

工程选址充分考虑了项目所在地的区位条件及基础设施条件、自然环境和生态环境的适宜性，与周围开发活动具有可协调性；本项目所处区位各项外部条件均能满足本项目的需要，社会经济条件可以满足项目运营的要求。本项目用海方式充分考虑了工程的特点和工程建设的特殊要求、工程区域内的自然资源与环境

条件、地质、地形条件、建设目标，是与区域自然条件及项目建设要求相适应的。在此自然环境条件和社会经济条件下，结合项目所在海域的开发利用现状和发展规划，确定了本项目的用海方式，本项目采用的用海方式是合理的。项目申请用海面积满足项目用海需求，符合有关行业的设计规范，宗海界址点的界定和宗海面积的量算符合《海籍调查规范》等相关规范要求。项目申请用海期限界定符合中华人民共和国海域使用管理法规要求。综合考虑项目所在地的海域自然、环境、资源情况，区域社会、经济等各种因素，本项目选址合理，申请用海面积和用海期限合理。

综上所述，从项目用海多方面出发考虑，本论证报告认为珠海桂山海上风电场示范项目用海可行。

# 目 录

摘要 .....	1
1 概述 .....	1
1.1 论证工作来由 .....	1
1.2 论证依据 .....	2
1.2.1 法律法规 .....	2
1.2.2 相关规划和区划 .....	5
1.2.3 标准规范 .....	7
1.2.4 项目技术资料 .....	7
1.3 论证等级和范围 .....	9
1.3.1 论证等级 .....	9
1.3.2 论证范围 .....	1
1.4 论证重点 .....	2
2 项目用海基本情况 .....	3
2.1 用海项目建设内容 .....	3
2.1.1 用海基本情况 .....	3
2.1.2 项目批复过程及建设概况 .....	4
2.1.3 现状情况 .....	11
2.2 平面布置和主要结构尺度 .....	11
2.2.1 项目平面布置图 .....	12
2.2.2 主要结构尺度 .....	21
2.3 项目主要施工工艺和方法 .....	26
2.3.1 风电机组主要施工工艺和方法 .....	27
2.3.2 风电机组安装 .....	32
2.3.3 海底电缆敷设主要施工工艺和方法 .....	35
2.3.4 施工进度 .....	41
2.3.5 土石方平衡 .....	41
2.4 项目用海需求 .....	42
2.4.1 项目用海需求 .....	42

2.4.2	申请用海调整情况 .....	44
2.5	项目调整用海必要性 .....	51
2.5.1	风电机组调整的必要性分析 .....	51
2.5.2	海底海缆调整的必要性分析 .....	51
3	项目所在海域概况 .....	52
3.1	海洋资源概况 .....	52
3.1.1	岸线资源 .....	52
3.1.2	滩涂资源 .....	52
3.1.3	岛礁资源 .....	52
3.1.4	港口资源 .....	53
3.1.5	航道资源 .....	53
3.1.6	锚地资源 .....	54
3.1.7	渔业生产资源 .....	54
3.1.8	风能资源 .....	54
3.1.9	矿产资源 .....	56
3.1.10	旅游资源 .....	57
3.2	海洋生态概况 .....	57
3.2.1	区域气候与气象 .....	57
3.2.2	水文动力 .....	59
3.2.3	海域地形地貌与冲淤状况 .....	87
3.2.4	工程地质 .....	93
3.2.5	海洋自然灾害 .....	117
3.2.6	环境质量现状调查与评价 .....	119
3.2.7	海洋沉积物现状调查 .....	133
3.2.8	海洋生物质量现状调查 .....	137
3.2.9	海洋生态现状调查 .....	142
3.2.10	电磁环境现状调查与评价 .....	164
3.2.11	噪声环境现状调查与评价 .....	167
3.2.12	鸟类资源调查 .....	171

3.2.13	自然保护区 .....	189
3.2.14	珍稀濒危海洋生物 .....	190
3.2.15	“三场一通道”分布情况 .....	197
4	资源生态影响分析 .....	203
4.1	生态评估 .....	203
4.1.1	资源生态敏感目标 .....	203
4.1.2	重点和关键预测因子 .....	205
4.1.3	用海方案工况设计 .....	206
4.1.4	水动力影响分析 .....	206
4.1.5	地形地貌与冲淤影响分析 .....	222
4.1.6	水质影响分析 .....	225
4.2	资源影响分析 .....	231
4.2.1	对海洋空间资源和岸线资源影响 .....	231
4.2.2	对海洋生物资源的影响 .....	235
4.3	生态影响分析 .....	238
4.3.1	对水动力环境的影响分析 .....	238
4.3.2	对地形地貌与冲淤环境的影响 .....	239
4.3.3	对水质环境的影响 .....	239
4.3.4	对沉积物环境的影响 .....	240
4.3.5	对海洋生物的影响 .....	241
4.3.6	对中华白海豚保护区及其保护目标的影响分析 .....	244
4.3.7	对鸟类的影响 .....	245
4.3.8	水下噪声影响分析 .....	249
4.3.9	电磁辐射环境影响 .....	252
4.3.10	项目用海生态影响回顾性分析 .....	254
4.3.11	生态跟踪监测指标合理影响范围 .....	275
5	海域开发利用协调分析 .....	278
5.1	海域开发利用现状 .....	278
5.1.1	社会经济概况 .....	278

5.1.2	海域使用现状 .....	278
5.1.3	海域使用权属现状 .....	279
5.2	项目用海对海域开发活动的影响 .....	280
5.2.1	对航道、航线、锚地的影响 .....	280
5.2.2	对海上风电项目的影响 .....	281
5.2.3	对海岛及其开发活动的影响 .....	281
5.2.4	对码头项目的影响 .....	281
5.2.5	对港珠澳大桥项目的影响 .....	282
5.2.6	对保护区的影响 .....	282
5.2.7	对其他项目的影响 .....	283
5.2.8	对渔业生产活动的影响分析 .....	283
5.3	利益相关者界定 .....	283
5.4	需协调部门界定 .....	284
5.5	相关利益协调分析 .....	284
5.6	项目用海与国防安全和国家海洋权益的协调性分析 .....	284
5.6.1	与国防安全和军事活动的协调性分析 .....	285
5.6.2	与国家海洋权益的协调性分析 .....	285
6	国土空间规划符合性分析 .....	286
6.1	与国土空间规划符合性分析 .....	286
6.1.1	所在海域国土空间规划分区基本情况 .....	286
6.1.2	对所在海域国土空间规划分区的影响分析 .....	291
6.1.3	项目用海与国土空间规划的符合性分析 .....	292
6.2	项目用海与海洋功能区划的符合性分析 .....	294
6.3	项目用海与三区三线中的生态保护红线的符合性分析 .....	299
6.4	项目用海与产业结构的符合性分析 .....	302
6.4.1	与《产业结构调整指导目录》的符合性分析 .....	302
6.4.2	与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析 .....	302
6.4.3	与《“十四五”可再生能源发展规划》的符合性分析 .....	303
6.4.4	与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析 .....	305

6.4.5	与《广东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析 .....	305
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 .....	306
6.4.7	与《2030年前碳达峰行动方案》的符合性分析 .....	307
6.5	项目用海与其他相关规划的符合性分析 .....	309
6.5.1	与《广东省海洋主体功能区规划》的符合性分析 .....	309
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 ..	310
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	312
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	313
6.5.5	与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析 .....	315
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 .....	316
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 .....	317
6.6	项目用海与单岛规划的符合性分析 .....	318
6.6.1	与《珠海市三角岛保护和利用规划》的符合性分析 .....	318
6.6.2	与《珠海万山海洋开发试验区牛头岛保护和利用规划》的符合性分析 .....	319
7	项目用海合理性分析 .....	322
7.1	用海选址合理性分析 .....	322
7.1.1	宏观选址 .....	322
7.1.2	微观选址 .....	322
7.1.3	小结 .....	323
7.2	用海平面布置合理性分析 .....	323
7.2.1	项目用海平面布置是否体现节约集约用海的原则 .....	324
7.2.2	项目用海平面布置是否有利于生态保护，并已避让生态敏感目标	325
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 .....	325
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 .....	326
7.2.5 平面布置合理性分析 .....	326
7.2.6 小结 .....	328
7.3 用海方式合理性分析 .....	328
7.4 占用岸线合理性分析 .....	328
7.4.1 项目占用岸线情况 .....	328
7.4.2 对周边岸线资源的影响分析 .....	332
7.4.3 占用岸线的必要性与合理性 .....	333
7.4.4 岸线占补分析 .....	333
7.5 用海面积合理性分析 .....	334
7.5.1 申请用海面积 .....	334
7.5.2 项目用海面积合理性 .....	336
7.5.3 宗海图绘制 .....	339
7.5.4 项目用海面积量算 .....	345
7.6 立体设权合理性分析 .....	349
7.6.1 立体设权范围 .....	349
7.6.2 立体设权可行性分析 .....	353
7.6.3 立体设权必要性分析 .....	354
7.7 用海期限合理性分析 .....	354
8 生态用海对策措施 .....	356
8.1 生态用海对策 .....	356
8.1.1 生态保护对策 .....	356
8.1.2 生态跟踪监测 .....	359
8.2 生态保护修复措施 .....	364
8.2.1 占补平衡分析 .....	364
8.2.2 海洋生物资源恢复 .....	365
9 结论 .....	366
9.1 项目用海基本情况 .....	366
9.1.1 项目用海基本情况 .....	366

9.1.2 项目用海必要性结论 .....	366
9.1.3 项目用海资源环境影响分析结论 .....	367
9.1.4 海域开发利用协调分析结论 .....	368
9.1.5 国土空间规划符合性分析结论 .....	369
9.1.6 项目用海合理性分析结论 .....	369
9.2 项目用海可行性结论 .....	370

# 1 概述

## 1.1 论证工作来由

目前，广东省省内电源装机以火电为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现广东省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，可开发潜力巨大。

开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东省能源安全稳定供应和环境保护，而且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现社会经济的可持续发展，为广东省打造风电产业基地创造良好条件。

2012年8月，《广东省海上风电场工程规划》获得国家能源局批复，共规划了广东沿海26处候选海上风电场址，其中珠海桂山海上风电场规划容量20万千瓦。本项目为珠海桂山海上风电场示范项目，项目于2014年8月12日编制完成《珠海桂山海上风电场示范项目海域使用论证报告书（报批稿）》。根据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珠海桂山海上风电示范项目分为两期工程，其中本项目按12万千瓦规模建设，2016年6月珠海桂山海上风电场示范项目（12万千瓦）核准。2015年11月19日，项目编制完成《珠海桂山海上风电场示范项目海域使用补充论证报告书（报批稿）》。2016年5月23日项目取得用海预审意见，2016年6月27日取得项目核准批复，2016年12月19日取得海域使用权证。

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。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，并编制完成《珠海桂山海上风电场示范项目路由调整海域使用补充论证报告书（报批稿）》（以下简称“路由调整补充论证报告书”），2019年1月取得不动产权证，批复用海总面积为305.1849公顷，其中透水构筑物用海面积44.6812公顷，海底电缆管道用海面积260.5037公顷（见附件）。

2020年6月，为优化利用场址风能资源，综合考虑节约集约用海、提高风机风电功率等因素，对项目风机组进行重新设计，编制完成《珠海桂山海上风电场示范项目风机调整海域使用补充论证报告书（报批稿）》。

2023年4月，珠海市自然资源局收到广东省自然资源厅关于退回珠海桂山海上风电场示范项目用海变更调整申请的函，来文提出项目在用海变更尚未批复前已按照调整后的方案进行建设，涉嫌违法用海，需按要求补正完成相关材料后，再依程序重新上报用海申请。珠海市海洋综合执法支队于2023年12月对南方海上风电联合开发有限公司作出行政处罚听证告知书（珠海综海听告〔2023〕905号）。

根据《海域使用权管理规定》相关规定，本项目应该重新提出海域使用申请。受南方海上风电联合开发有限公司委托，广东海兰图环境技术研究有限公司在路由调整补充论证报告书的基础上，对比分析项目调整前后的用海情况，并对项目建设对海洋生态环境、周边用海活动、国土空间及相关规划、用海合理性和生态用海对策等情况进行了分析，重新绘制宗海图，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

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

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

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

(6) 《中华人民共和国海上交通安全法》（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）；

(7) 《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）；

(8) 《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）；

(9) 《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）；

(10) 《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）；

(11) 《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）；

(12) 《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）；

(13) 《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）；

(14) 《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）；

(15) 《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）；

(16) 《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）；

(17) 《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）；

(18) 《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）；

(19) 《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，自然资办函〔2022〕977号，2022年6月2日）；

(20) 《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）；

(21) 《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）；

(22) 《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》（自然资源规〔2023〕8号，自然资源部，2023年11月13日）；

(23) 《自然资源部办公厅关于印发〈海域立体分层设权宗海范围界定指南（试行）〉的通知》（自然资办函〔2023〕2234号）；

(24) 《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）；

(25) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号）；

(26) 《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）；

(27) 《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）；

(28) 《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）；

(29) 《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）；

(30) 《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）；

(31) 《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）；

(32) 《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）；

(33) 《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）；

(34) 《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）；

(35) 《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）；

(36) 《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）；

(37) 《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）；

(38) 《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）；

(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）。

## 1.2.2 相关规划和区划

(1) 《全国海洋主体功能区规划》（国务院，国发〔2015〕42 号，2015 年 8 月 20 日）；

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

(3) 《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》（国家海洋局，2012 年 4 月 1 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) 《广东省海洋主体功能区规划》（广东省人民政府，粤府〔2017〕359号，2017年12月18日）；
- (11) 《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）；
- (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) 《广东省国土空间规划（2021-2035年）》（广东省人民政府，国函〔2023〕76号，2023年8月8日）；
- (17) 《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）；
- (18) 《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12日）；

(19) 《珠海市国土空间总体规划（2021-2035年）》。

### 1.2.3 标准规范

- (1) 《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）；
- (2) 《地籍调查规程》（GB/T 42547-2023）；
- (3) 《海域使用分类》（HY/T 123-2009）；
- (4) 《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）；
- (5) 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；
- (6) 《海洋监测规范》（GB 17378-2007）；
- (7) 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；
- (8) 《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）；
- (9) 《海洋生物质量》（GB 18421-2001）；
- (10) 《渔业水质标准》（GB 11607-89）；
- (11) 《海域使用面积测量规范》（HY 070-2022）；
- (12) 《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T 18314-2009）；
- (13) 《中国海图图式》（GB 12319-2022）；
- (14) 《海洋工程地形测量规范》（GB/T 17501-2017）；
- (15) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（2002.04）；
- (16) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007，中华人民共和国农业部）；
- (17) 《风电场微观选址技术规范》（NB/T 10103-2018）；
- (18) 《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308-2019）；
- (19) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014.04）；
- (20) 《宗海图编绘技术规范》（HY/T 251-2018）；
- (21) 《海域立体分层设权宗海范围界定指南（试行）》（自然资源部，2023年11月）；
- (22) 《产业用海面积控制指标》（HY/T 0306-2021）。

### 1.2.4 项目技术资料

- (1) 《珠海桂山海上风电场示范项目 竣工图设计》（中国能源建设集团

广东省电力设计研究院，2018年8月）；

(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》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、中交第三航务工程局有限公司，2020年4月）；

(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》（北京海瑞兴能源科技有限责任公司、珠海桂山海上风电场示范项目 EPC 总承包联合体项目部，2020年11月）；

(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》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2020年4月）；

(5) 《珠海桂山海上风电场示范项目海域使用论证报告书》（报批稿）（国家海洋局南海工程勘察中心，2014年8月）；

(6) 《珠海桂山海上风电场示范项目路由调整海域使用补充论证报告书》（报批稿）（国家海洋局南海调查技术中心，2017年11月）；

(7) 《珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书》（报批稿）（上海勘测设计研究院有限公司，2015年10月）；

(8) 《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》（厦门大学，2018年12月）；

(9) 《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》（国家海洋局南海调查技术中心，2021年11月）；

(10) 《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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021年）；

(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）》（广州嘉汶水上工程技术服务有限公司，2021年4月）；

(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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2021年12月）；

(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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023年6月）；

(14) 《珠海桂山海上风电海域冬季水文监测技术报告》（暨南大学、中

科检测技术服务（广州）股份有限公司，2021年12月）；

（15）《珠海桂山海上风电海域夏季水文监测技术报告》（暨南大学、中科检测技术服务（广州）股份有限公司，2021年8月）；

（16）《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》（广东诚信达勘测咨询有限公司，2023年10月）；

（17）《联岛、送出海缆坐标情况（实际施工敷设坐标）》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院）；

（18）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

根据路由调整补充论证报告书中，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）。

项目已于2019年1月取得不动产权证，批复用海总面积为305.1849公顷，其中透水构筑物用海面积44.6812公顷，海底电缆管道用海面积260.5037公顷。

项目调整后申请用海总面积为285.2758公顷，其中风机申请透水构筑物用海面积为43.6418公顷，送出电缆申请海底电缆管道用海面积为173.1812公顷，35kV集电海缆申请海底电缆管道用海面积为68.4528公顷。根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）的海域使用论证等级判定表（见表1.3.1-1），透水构筑物用海总面积 $\geq 30$ 公顷所有海域论证等级为一级，海底电缆管道所有规模敏感海域（本项目海底电缆管道穿越生态保护红线）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”，本项目论证等级为一级。调整前后论证等级不变。

表 1.3.1-1 海洋使用论证等级判定

用海单元	一级用海方式	二级用海方式	用海规模		所在海域特征	论证等级	
风机、升压站	构筑物	透水构筑物	构筑物总长度大于（含）2000m 或用海总面积大于（含）30 公顷 （本项目透水构筑物申请用海面积 43.6418 公顷）		所有海域	一	
			构筑物总长度（400~2000）m 或用海总面积（10~30）公顷		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 241.6340 公顷）		敏感海域	二
						其他海域	三
本项目						一	
注 1：敏感海域是指海洋生态保护红线区，重要河口、海湾、红树林、珊瑚礁、海草床等重要生态系统所在海域，特别保护海岛所在海域等。 注 2：项目占用自然岸线并且改变海岸自然形态和影响海岸生态功能的，占用长度大于（含）50m 的论证等级为一级，占用岸线小于 50m 的论证等级为二级。							

### 1.3.2 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023），论证范围以项目用海外缘线为起点进行划定，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以用海外缘线为起点进行划定，向外扩展 15km，总面积约 2402km<sup>2</sup>，详见图 1.3.2-1。



图 1.3.2-1 项目论证范围图

## 1.4 论证重点

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023），本项目海域使用论证重点确定如下：

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

## 2 项目用海基本情况

### 2.1 用海项目建设内容

#### 2.1.1 用海基本情况

调整前后项目名称、性质、建设单位及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

(2) 投资主体：南方海上风电联合开发有限公司

(3) 项目性质：已建项目

(4) 工程投资额：26.8 亿元

(5) 项目用海位置：珠海桂山海上风电场示范项目场址位于珠海市香洲区三角岛东南侧海域，处于珠海市青洲、三角岛、大碌岛、细碌岛、大头洲岛与赤滩岛之间，风电场场址离珠海市陆岸约 13km，最远端距离陆岸 22km。项目地理位置见图 2.1.1-1。

(6) 建设内容与建设规模：珠海桂山海上风电场场址面积为 32km<sup>2</sup>，水深 6m-11m 之间，规划装机容量 200MW。本项目为珠海桂山海上风电场示范项目，总装机量为 120MW，建设内容包括一个陆上集控中心、一座海岛升压站、37 台风力发电机组（34 台 3MW，3 台 6.45MW），为实现电力接入，在三角岛上建设一座 110kV 升压站，37 台风力发电机组共分 5 组 35kV 进线进入三角岛 110kV 升压站，并通过 2 回 110kV 海底电缆连接至吉大站；35kV 海岛联网工程的建设内容为自三角岛升压站建设 35kV 单回三芯海缆至牛头岛；自三角岛升压站建设 35kV 单回三芯海缆至东澳岛；自东澳岛建设 35kV 单回三芯海缆至大万山岛。

(7) 发电量：风电场年发电量的修正系数为 73.7%，据此推算风电场的年上网电量为 26644 万 kWh。



图 2.1.1-1 项目地理位置图

## 2.1.2 项目批复过程及建设概况

《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》共规划了广东沿海 26 处候选海上风电场址，其中珠海桂山海上风电场规划容量 20 万千瓦，包括本项目和珠海桂山海上风电场示范项目二期工程（以下简称“二期工程”），以下主要阐述本项目申请、审批情况。

表 2.1.2-1 项目申请、审批情况一览表

序号	主要时间节点	申请、审批情况
1.	2013 年 4 月 1 日~2 日	通过《珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由桌面研究报告》审查
2.	2013 年 8 月 20 日	同意本项目路由调查、勘测计划
3.	2014 年 1 月 3 日	同意本项目建设单位组织开展海域使用论证工作
4.	2014 年 3 月 13 日	海域使用论证报告专家评审
5.	2014 年 8 月 12 日	提交海域使用论证报告报批稿
6.	2015 年 8 月 25 日	召开珠海桂山海上风电项目海洋环境保护咨询会，建议本项目建设规模由 198MW 调为 120MW，分为一期工程（120MW）和二期工程（80MW）

7.	2015年11月19日	海域使用补充论证报告专家评审
8.	2016年5月23日	取得用海预审意见
9.	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
10.	2016年12月19日	取得海域使用权证
11.	2017年3月-11月	根据与澳门特别行政区、九洲控股集团协调情况，本项目110kV送出海缆和35kV集电海缆在三角岛登陆段需调整路由
12.	2017年11月	通过项目海底电缆管道用海调整补充论证专家评审
13.	2018年8月21日	广东省人民政府批复同意项目海底电缆管道变更调整（粤府海审〔2018〕(1)31号）
14.	2019年1月	根据调整后的海缆路由，重新取得不动产权证
15.	2020年5月27日	本项目申请调整剩余3台未建风电机组及其集电海缆，通过海域使用补充论证专家评审
16.	2023年4月	由于项目在用海变更尚未批复前已按照调整后的方案进行建设，广东省自然资源厅退回本项目用海变更调整申请

本项目为广东省首个海上风电示范项目，项目申请、审批、建设持续时间长，相关情况具体如下：

2013年4月1日~2日，广东省海洋与渔业局在广州市主持召开“珠海桂山海上风电场示范项目路由协调暨桌面研究报告审查会”，会议通过《珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由桌面研究报告》。

2013年8月20日，广东省海洋与渔业局以粤海渔（办）〔2013〕396号发文原则同意项目路由调查、勘测计划，由国家海洋局南海工程勘察中心组织路由勘察，并编制路由勘察报告。

2014年1月3日，本项目取得《广东省海洋与渔业局关于同意珠海桂山海上风电场示范项目开展海域使用论证工作的通知》（粤海渔函〔2014〕4号），同意南方海上风电联合开发有限公司组织开展海域使用论证工作。

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》专家评审会，会议通过此报告书。根据该报告书，本项目申请用海情况为：规划装机容量198MW，拟安装66台单机容量为3MW风电机组，拟铺设海上风电场至三角岛变电站、三角岛变电站至珠海

吉大变电站、三角岛变电站至桂山岛变电站、三角岛变电站至东澳岛变电站、东澳岛变电站至大万山岛变电站间多条海底电缆。

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。

2014年6月14日，本项目通过《珠海桂山海上风电场示范项目三角岛使用项目论证》专家评审。

2014年8月12日，论证单位提交《珠海桂山海上风电场示范项目海域使用论证报告书》（报批稿）给业主。

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”），建议项目规模由198MW调为120MW，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”。

2015年12月20日，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行政区域图》，自2015年12月20日起施行，其中将本项目110kV送出海缆路由经过的部分水域划归澳门特别行政区。

2016年5月23日，本项目取得用海预审意见。

2016年6月27日，本项目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，本项目取得海域使用权证。

2017年3月16日，九洲控股集团竞得三角岛旅游开发使用权，在申报三角岛码头工程用海阶段发现本项目35kV集电海缆与三角岛计划开发的游艇码头位置冲突，提出本项目35kV集电海缆接入三角岛登陆段路由需进行调整。

2017年7月-11月，根据与澳门特别行政区协调的意见，本项目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。

2017年11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）文批复同意项目海底电缆管道变更调整，调整方案为：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。

**2019年1月**，经变更调整后，本项目重新取得**不动产权证**，批复用海总面积为305.1849公顷，其中透水构筑物用海面积44.6812公顷，海底电缆管道用海面积260.5037公顷。批复用海方案为：项目总装机容量为120MW，建设37台风电机组（34台3MW风电机组和3台6MW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，并通过2回110kV海底电缆连接至吉大站以及3条单回联岛海缆。

2018年12月，本项目34台风电机组并网投产，剩余3台风电机组及其集电海缆未建设，拟与二期工程一并建设。

2020年5月27日，本项目调整了3台风机装机容量以及连接风机的35kV集电线路海底电缆路由，珠海市自然资源局组织召开《珠海桂山海上风电场示范项目风机调整海域使用补充论证报告书》专家评审会。

2020年11月，本项目剩余3台风电机组及其集电海缆与二期工程一并建设。

2021年12月，本项目并网投产。

2023年4月，珠海市自然资源局收到广东省自然资源厅关于退回珠海桂山海上风电场示范项目用海变更调整申请的函，来文提出项目在用海变更尚未批复前已按照调整后的方案进行建设，涉嫌违法用海，且存在缺少符合生态保护红线内允许有限人为活动的初步认定意见、广州市港务局意见以及与港珠澳大桥存在

权属重叠等问题，需按要求补正完成相关材料后，再依程序重新上报用海申请。

本项目 2019 年 1 月取得的不动产权证书，根据路由调整补充论证报告，本项目用海类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式包括透水构筑物、海底电缆管道，本项目批复总用海面积为 305.1849 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 44.6812 公顷，送出电缆和集电海缆（海底电缆管道）用海总面积为 260.5037 公顷，批复方案的宗海图及宗海界址点详见图 2.1.2-1、图 2.1.2-2。

## 珠海桂山海上风电场示范项目宗海位置图

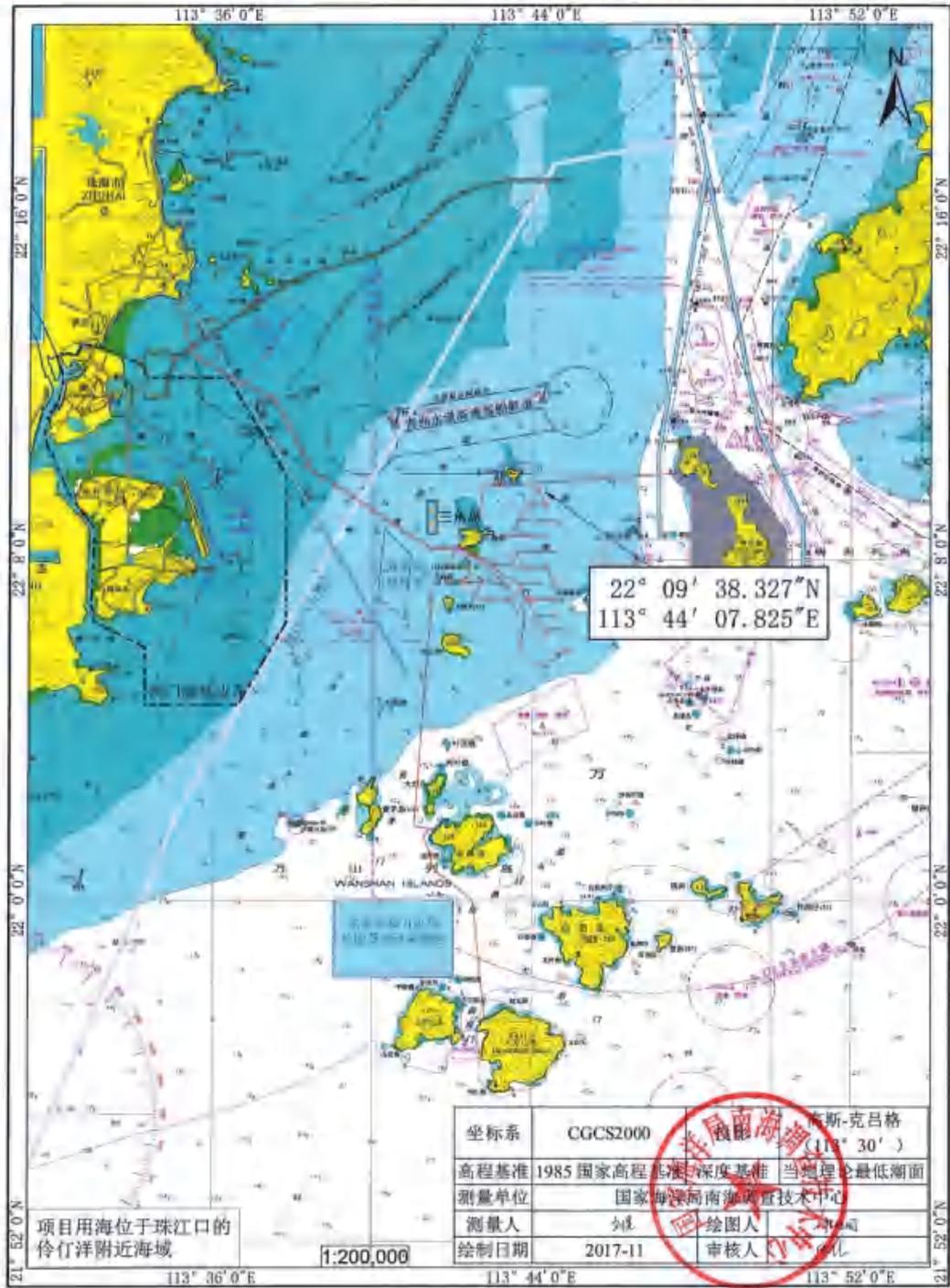


图 2.1.2-1 项目用海批复方案宗海位置图

珠海桂山海上风电场示范项目宗海界址图

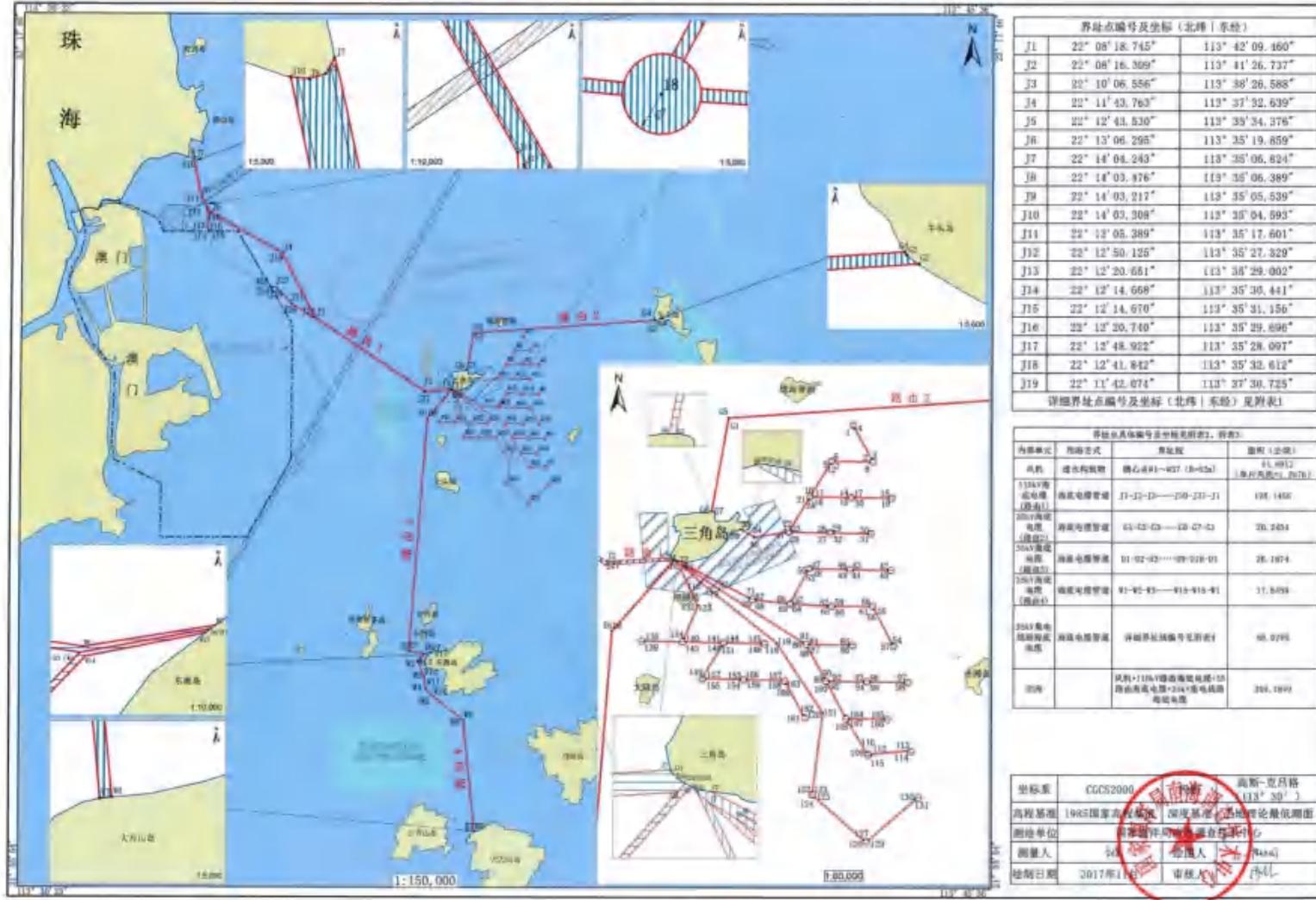


图 2.1.2-2 项目用海批复方案宗海界址图

### 2.1.3 现状情况

本项目已完成建设。场区海上风机已并网发电，并将电能输往三角岛、牛头岛、东澳岛、大万山岛和珠海大陆集控中心，项目现状图可见图 2.1.3-1。



图 2.1.3-1 项目现状现场照片图

## 2.2 平面布置和主要结构尺度

## 2.2.1 项目平面布置图

### 2.2.1.1 总平面布置

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装机容量20万千瓦，包括本项目和二期工程，本项目于2019年1月取得不动产权证书，二期工程于2020年4月取得不动产权证书，两期项目现均在调整用海，调整前后平面布置图见图2.2.1-1。

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，澳门特别行政区政府海事及水务局以“1.埋深未能符合本澳要求，2.航行安全隐患”为由，不予批准。但当时项目实际已完成1回110kV海底电缆的施工，2017年11月9日，根据澳门管理部分的初步回复意见，准予保留目前已施工完成的路由，而后，建设单位调整路由走向，在澳门水域东部铺设1回110kV海底电缆。

项目现已完成2回送出电缆敷设，其中一回海缆西侧段（部分范围）位于澳门，澳门水域范围可见图1.3.2-1，由于《中华人民共和国海域使用管理法》不适用澳门水域内用海活动，因此本次论证不包括澳门水域110kV澳门管辖海域电缆，以下无特殊说明，本论证报告中的2回110kV海底电缆未包含澳门水域段海缆范围。



图 2.2.1-1 本项目和二期工程调整前后平面布置图

根据路由调整补充论证报告书，本项目装机容量为 120MW，项目共建设 37 台风机（分别为 34 台 3MW、3 台 6MW 风电机组）、37 台风力发电机组共分 5 组 35kV 进线进入三角岛 110kV 升压站，2 回 110kV 送出海底电缆、3 条单回 35kV 联岛海缆。

本次用海调整方案为实际建设方案，项目风机台数未调整，调整内容主要为 3 台风机容量、桩径、风机排列布置以及连接风机之间的集电电缆走向、110kV 送出电缆和 35kV 连岛电缆走向。

珠海桂山海上风电场示范项目已完成建设，场区海上风机已并网发电，并将电能输往三角岛、牛头岛、东澳岛、大万山岛和珠海大陆集控中心。项目批复方案平面布置图见图 2.2.1-2，本次用海调整后平面布置图见图 2.2.1-3。

本项目调整前后情况见表 2.2.1-1。

表 2.2.1-1 项目调整前后平面布置内容

序号	项目批复用海	项目调整用海
1	一个陆上集控中心	未发生变化
2	一座海岛升压站	未发生变化

3	37台风电机组：34台3MW、3台6MW； 37台风机为四桩导管架基础，根开15m， 桩径2.5m	37台风电机组：34台3MW、3台6.45MW； 34台风机为四桩导管架基础，桩径2.2m；3台风机 为单桩基础；根据《测量报告》实测结果，风机基 础桩基直径12.22m~26.28m
4	1回110kV澳门管辖海域电缆、在其东部 铺设2回110kV电缆。送出电缆长度为 17.2km	1回110kV经过澳门管辖海域电缆、在其东部铺设1 回110kV电缆。送出电缆根据建设单位提供的施工 坐标确定走向。送出电缆长度为17.51km
5	三角岛-牛头岛35kV海岛联网工程	35kV海岛联网工程根据建设单位提供的施工坐标 确定。
6	三角岛-东澳岛35kV海岛联网工程	
7	东澳岛-大万山岛35kV海岛联网工程	
8	联接风机集电海缆（风机1#~37#） 5回集电海缆长度总长约38.4km	1#~34#风机未发生变化，35#、#36、37#风机位置 调整。5回集电海缆总长度38.45km

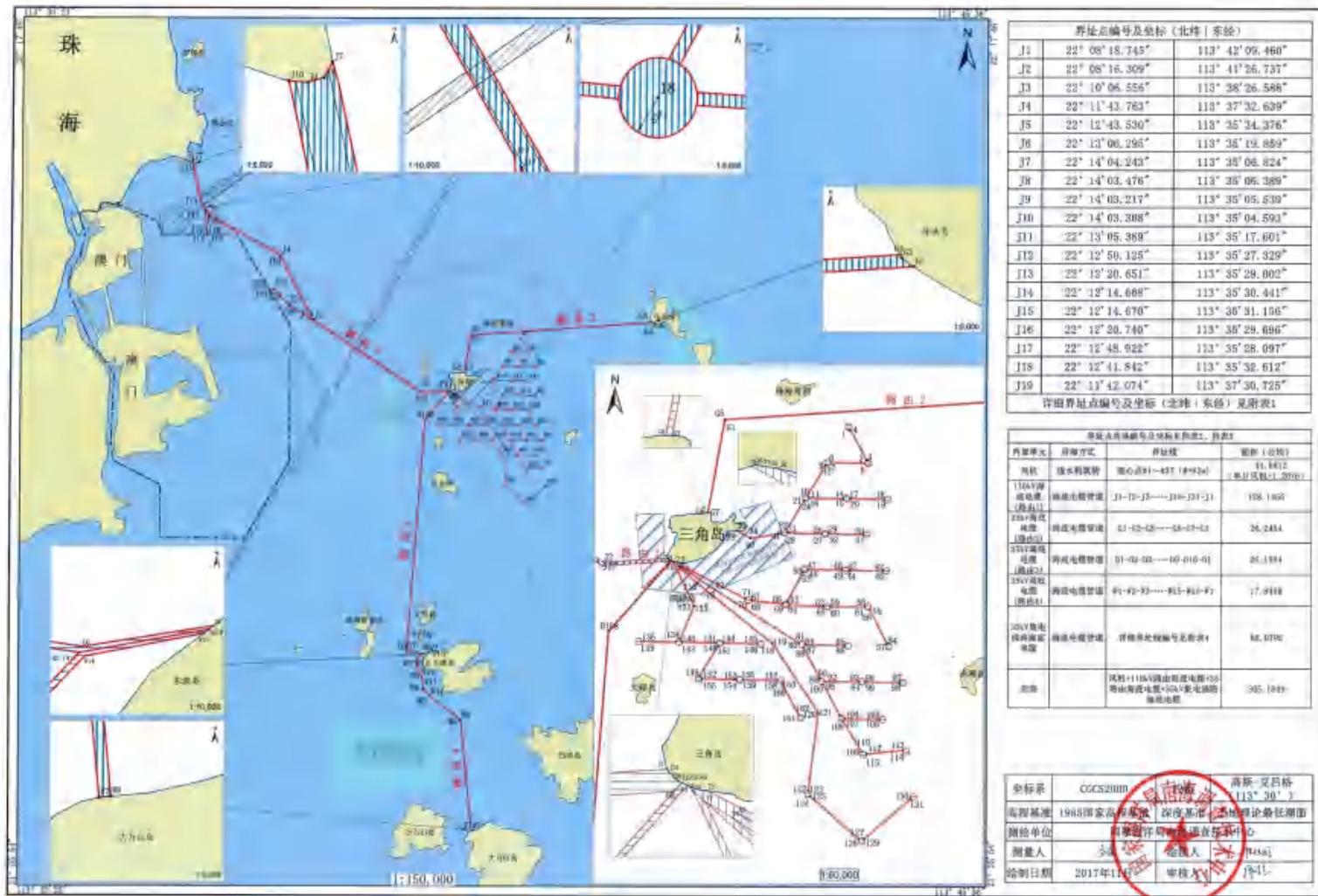


图 2.2.1-2 项目调整前总平面布置图 (用海批复方案)

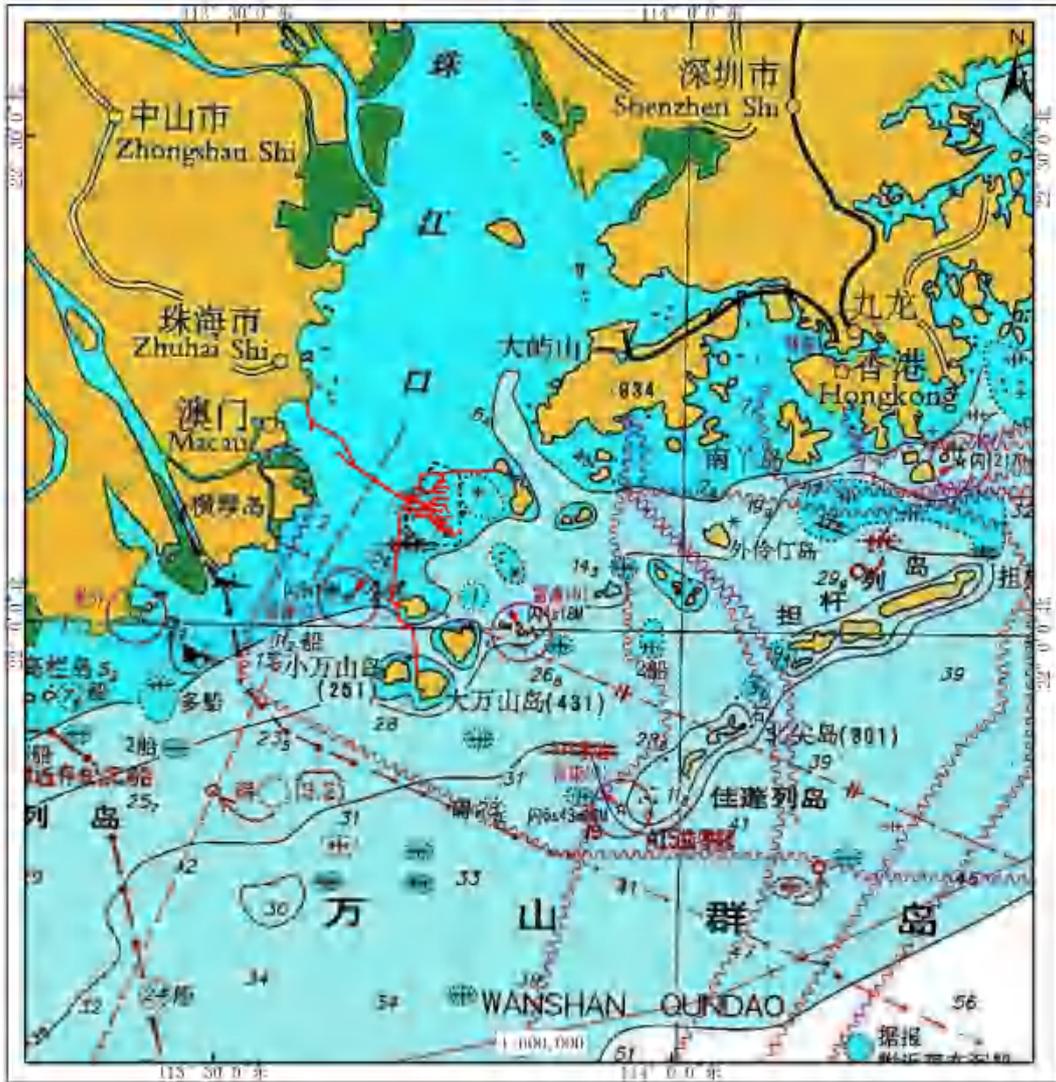


图 2.2.1-3 项目调整后总平面布置示意图（用海调整方案）

## 2.2.1.2 风电机组平面布置

### (1) 风机机型

调整前后，风机台数不变，风机机型和平面布置有所变化。

根据路由调整补充论证报告，37 台风机均采用中国明阳风电集团有限公司生产的机型 WTG3，其中 34 台风力发电机组单机容量为 3.0MW，3 台风力发电机组单机容量为 6.0MW。项目调整后，34 台风机机型不变，3 台风机机型改为明阳 6.45MW 机型，调整后选定机型参数见表 2.2.1-2。

表 2.2.1-3 调整后风机选定机型参数表

项目	单位	参数
----	----	----

型号		WTG3	WTG3
额定功率	kW	3000	6450
设计寿命	年	25	25
转轮直径	m	100	178
切入风速	m/s	3	3
额定风速	m/s	12.9	10.9
切出风速	m/s	25	25
极端风速	m/s	59.5/70 (3秒最大值)	
叶片长度	m	48.5	89
机舱 (不包括轮毂)	kg	77000	-
风轮	kg	51000	-
塔筒	kg	220000	-
轮毂高度		90	110

## (2) 风机平面布置

项目调整前后，装机容量、风机数量不变，项目总装机容量为 120MW，布置 37 台风电机组。

项目用海批复方案中考虑到本项目已建的 34 台风机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三角岛-东澳岛海底电缆的影响，布置时留出施工安全间距；本项目与二期工程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，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。调整前风机排列间距为 14D（1400m）×5.16D（516m）。

本次用海调整后 1#~34#风机布置微调，最大偏移距离为 30m，35#~37#风机位置和排列根据二期工程风机排列布置进行调整，变化幅度较大，调整后风电机组风机间距约 1000m，行内各列风机间距约 700m。

调整前后风电场的年上网电量基本不变，为 26644 万 kWh，调整前后风电机组平面布置对比见图 2.2.1-3。

### 2.2.1.3 海缆布置平面布置

海底电缆主要包括三类海底电缆：110kV 送出海底电缆、35kV 联岛海缆和 35kV 集电线路海底电缆。

#### (1) 110kV 送出海底电缆的变化

根据路由调整补充论证，110kV 送出海底电缆走向大致为：从三角岛南登陆点下海（AC-2），从采砂区（权证已过期）和珠海头洲引航锚地间（距采砂区、锚地最近约 250m）海域（拐点 JSAC-2）经过后，穿越崖 13-1 天然气海底管线后到达拐点 D（距青洲水道高速客船航道 1000m，距九洲港航道约 800m），然后沿九洲港航道方向向西北延伸到达拐点 C，从珠海港澳小型船舶引航锚地和澳门水域界线的东北角点间海域穿过九洲港航道后（路由距澳门水域界线的东北角点约 133m，距珠海港澳小型船舶引航锚地约 410m，距沉船概位（2007）约 450m）到达拐点 B，然后垂直穿越港珠澳大桥 214#、215#桥墩间海域到达拐点 A（该点距离港珠澳大桥约 50m），最后到达大陆登陆点 AC-1（九洲港人工防波堤向海突出的拐点位置）。110kV 送出海底电缆长度约 17.2km。

项目调整用海后申请用海根据建设单位提供的实际施工坐标，项目实际走向与批复方案基本一致，差异不大，项目实际敷设在有限的调整空间内通过增加拐点和调整路由走向的方式对礁石尽量避让。调整后双回 110kV 长度约为 17.51km。

#### (2) 35kV 联岛海缆的变化

根据路由调整补充论证，35kV 联岛海缆总长度为 35km。

①三角岛至牛头岛 35kV 单回三芯海缆（ $3\times 240\text{mm}^2$ ）从三角岛北登陆点（A 点）下海，沿三角岛航运区东边界北上至拐点 B（距青洲水道高速客船航道最近约 1.92km，距中华白海豚保护区最近约 2.42km），折向东北穿越青洲与风电场间的海域（距青洲最近约 200m，距风电场场址边界最近约 100m），而后再穿越榕树头航道和桂山岛港口航运区后到达牛头岛登陆点 G，海缆长度约 12km；

②三角岛至东澳岛 35kV 单回三芯海缆（ $3\times 300\text{mm}^2$ ），从三角岛南登陆点（A 点）下海，折向西南侧的拐点 B（距海头洲引航锚地最近约 1000m）后南下进入万山群岛旅游休闲娱乐区，经大西礁东侧（距大西礁最近约 1600m）至小列岛西南侧（距小列岛最近约 500m）到达 D，最后到达东澳岛登陆点（F 点），

海缆长度约 13km;

③东澳岛至大万山岛 35kV 单回三芯海缆 ( $3\times 70\text{mm}^2$ )，从东澳岛登陆点 (A 点) 下海，折向西南侧的拐点 D (距黄茅岛倾倒区最近约 1500m)，沿万山群岛旅游休闲娱乐区西南边缘直走后到达东南侧的拐点 E (距 No6DA 锚地最近约 1000m)，经珠海市生辉渔业贝类养殖开发有限公司开放式养殖用海区东部 (距 No6DA 锚地最近约 500m) 的拐点 C，再经鸭母排东侧 (距鸭母排最近约 300m)，穿越大万山岛港口航运区到达东澳岛登陆点 F，海缆长度约 10km。

**项目调整用海后**，35kV 联岛海缆海底电缆走向微调，基本一致。本次用海按照建设单位提供的实际施工坐标进行申请，长度为 34.78km，调整后每回送出海缆长度分别为：

- ①三角岛至牛头岛 35kV 单回三芯海缆 ( $3\times 240\text{mm}^2$ )，长度约 10.51km;
- ②三角岛至东澳岛 35kV 单回三芯海缆 ( $3\times 300\text{mm}^2$ )，长度约 14.25km;
- ③东澳岛至大万山岛 35kV 单回三芯海缆 ( $3\times 70\text{mm}^2$ )，长度约 10.02km。

### (3) 35kV 集电海缆的变化

**根据路由调整补充论证报告**，35kV 集电海缆为 5 条，包括 3MW 风机共 4 条回路和 6MW 风机 1 条回路，3MW 风机回路考虑功率分布平衡，连接 3 台~9 台风机，风机连接电缆不交叉重叠。开关配置形式采用常规开关配置，只在各链型支路与汇流母线连接处设置开关，其余风机之间直接通过电缆连接。1 号回路在三角岛北侧相接，由 1 回 35kV 电缆接入升压站；其余回路在三角岛西南侧相接，各由 1 回 35kV 电缆接入升压站。风电场场内采用电压等级为 35kV 的交流交联聚乙烯三芯海缆，海缆铺设深度为 2m，共需铺设 35kV 场内海缆约 38.4km。各集电线路联接风机如下：

1 号回路接风电机#01、#03、#05、#06、#08、#09、1#0、1#1、1#2，共 9 台 3MW 风机；

2 号回路接风电机#02、1#3、1#4、1#7、1#8、1#9、#20、#26，共 8 台 3MW 风机；

3 号回路接风电机#04、#07、1#5、#24、#25、#30、#31、#33、34#，共 9 台 3MW 风机；

4 号回路接风电机 35#、#36、37#，共 3 台 6MW 风机；

5 回路接风电机 1#6、#21、#22、#23、#27、#28、#29、#32，共 8 台 3MW 风机。

项目调整后，各回路连接风机编号及台数不变，由于 35#、#36、37#风机位置调整，导致 4 号回路集电电缆调整前后变化幅度较大，其他回路调整幅度不大，如图 2.2.1-5。调整后 35kV 场内集电海缆约 38.45km

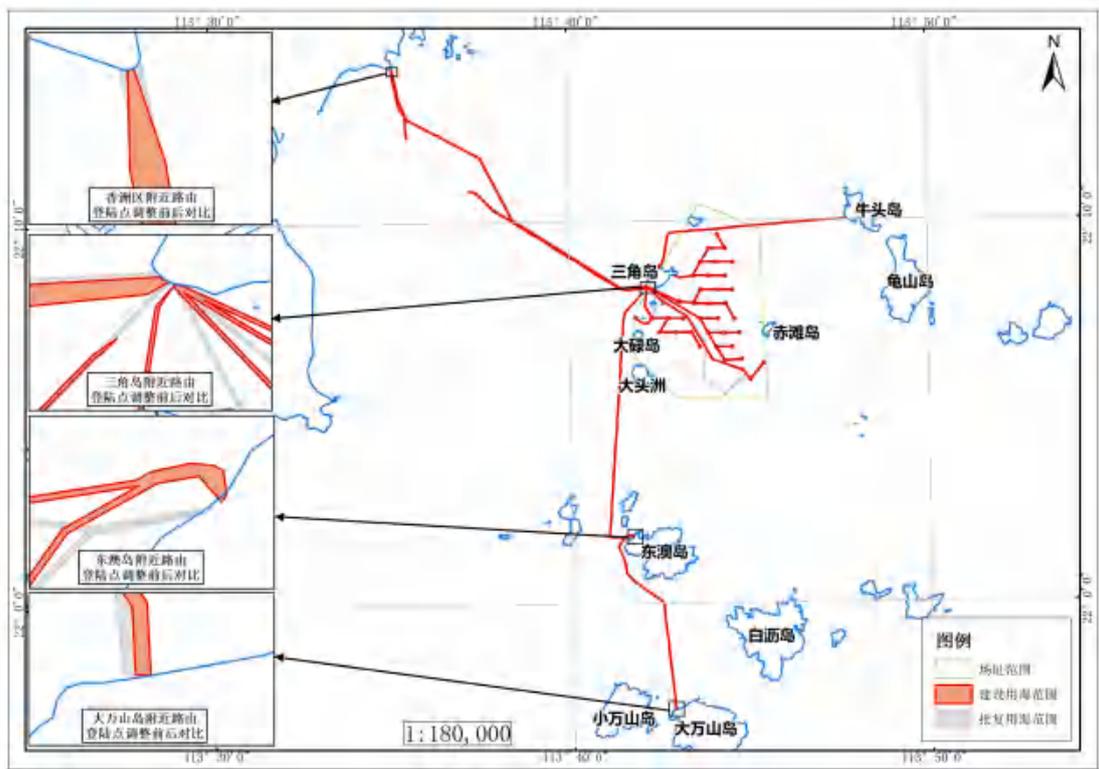


图 2.2.1-4 送出电缆调整前后对比图



图 2.2.1-5 风机调整前后对比图

## 2.2.2 主要结构尺度

### 2.2.2.1 风机基础

根据路由调整补充论证报告，37 台风力发电机组均采用为四桩导管架。四桩导管架四根腿柱管径 1.6m，斜度为 8:1，导管架腿柱底部间距 15m，顶部间距 9m。四根桩按边长 15m 正方形布置，平均桩径 2.5m。

项目调整用海方案为已完成建设阶段。项目调整后，34 台风力发电机组采用为四桩导管架，四桩导管架腿柱底部间距 15m，桩径为 2.2m；3 台为非嵌岩单桩基础，桩径分别为 7.9m、8.1m 和 8.0m。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》（以下简称“《测量报告》”），各风机直径如表 2.2.2-1 所示，1#~34# 根据实测结果直径为 21.65m~26.28m；35#~37# 风机根据实测结果直径为 12.22m~13.63m。

项目批复用海四桩导管架方案图见图 2.2.2-1，项目调整用海四桩导管架基础

和单桩基础见图 2.2.2-2 和图 2.2.2-3。

表 2.2.2-1 风机半径统计表（本项目风机编号为 1#~37#）

风电情况统计表							
风机编号	桩基直径 (m)	风机基础面积 (hm <sup>2</sup> )	涉嫌存在违法面积 (hm <sup>2</sup> )	风机编号	桩基直径 (m)	风机基础面积 (hm <sup>2</sup> )	涉嫌存在违法面积 (hm <sup>2</sup> )
1#	23.22	0.0423	0.0167	25#	22.84	0.0410	未超出用海范围
2#	22.82	0.0409	0.3448	26#	23.20	0.0423	未超出用海范围
3#	26.28	0.0542	0.0458	27#	22.25	0.0389	未超出用海范围
4#	23.20	0.0423	未超出用海范围	28#	22.70	0.0405	未超出用海范围
5#	22.43	0.0395	0.1413	29#	23.10	0.0419	未超出用海范围
6#	24.02	0.0453	0.0173	30#	24.74	0.0480	0.0430
7#	23.20	0.0423	未超出用海范围	31#	24.26	0.0462	0.3693
8#	22.37	0.0393	未超出用海范围	32#	24.06	0.0454	0.0178
9#	23.07	0.0418	未超出用海范围	33#	22.56	0.0400	未超出用海范围
10#	23.38	0.0429	0.1107	34#	22.92	0.0412	未超出用海范围
11#	22.74	0.0406	0.1114	35#	12.22	0.0117	0.9886
12#	24.13	0.0457	0.1398	36#	13.63	0.0146	0.0874
13#	23.72	0.0442	0.0163	37#	12.40	0.0121	0.9918
14#	21.91	0.0277	未超出用海范围	39#	12.82	0.0129	0.9993
15#	23.20	0.0423	未超出用海范围	40#	11.87	0.0111	0.0808
16#	24.67	0.0478	0.0244	41#	12.26	0.0118	0.9893
17#	22.81	0.0408	0.0139	42#	12.31	0.0119	0.9903
18#	21.65	0.0368	0.0298	43#	17.77	0.0248	1.0889
19#	24.56	0.0474	0.0183	44#	12.80	0.0129	0.9989
20#	23.20	0.0423	未超出用海范围	45#	12.33	0.0119	0.9907
21#	23.98	0.0451	0.1295	46#	12.36	0.0120	0.9911
22#	25.65	0.0516	0.1656	47#	12.47	0.0122	0.9931
23#	22.88	0.0411	未超出用海范围	48#	12.19	0.0117	0.9882
24#	22.88	0.0411	0.0295	49#	12.63	0.0125	0.9958

实测风机48台，风机编号为1#-37#、39#-49#。其中涉嫌存在违法风机33台，涉嫌存在违法总面积为13.9594；其余15台未超出用海范围。

注：数据引自《测量报告》

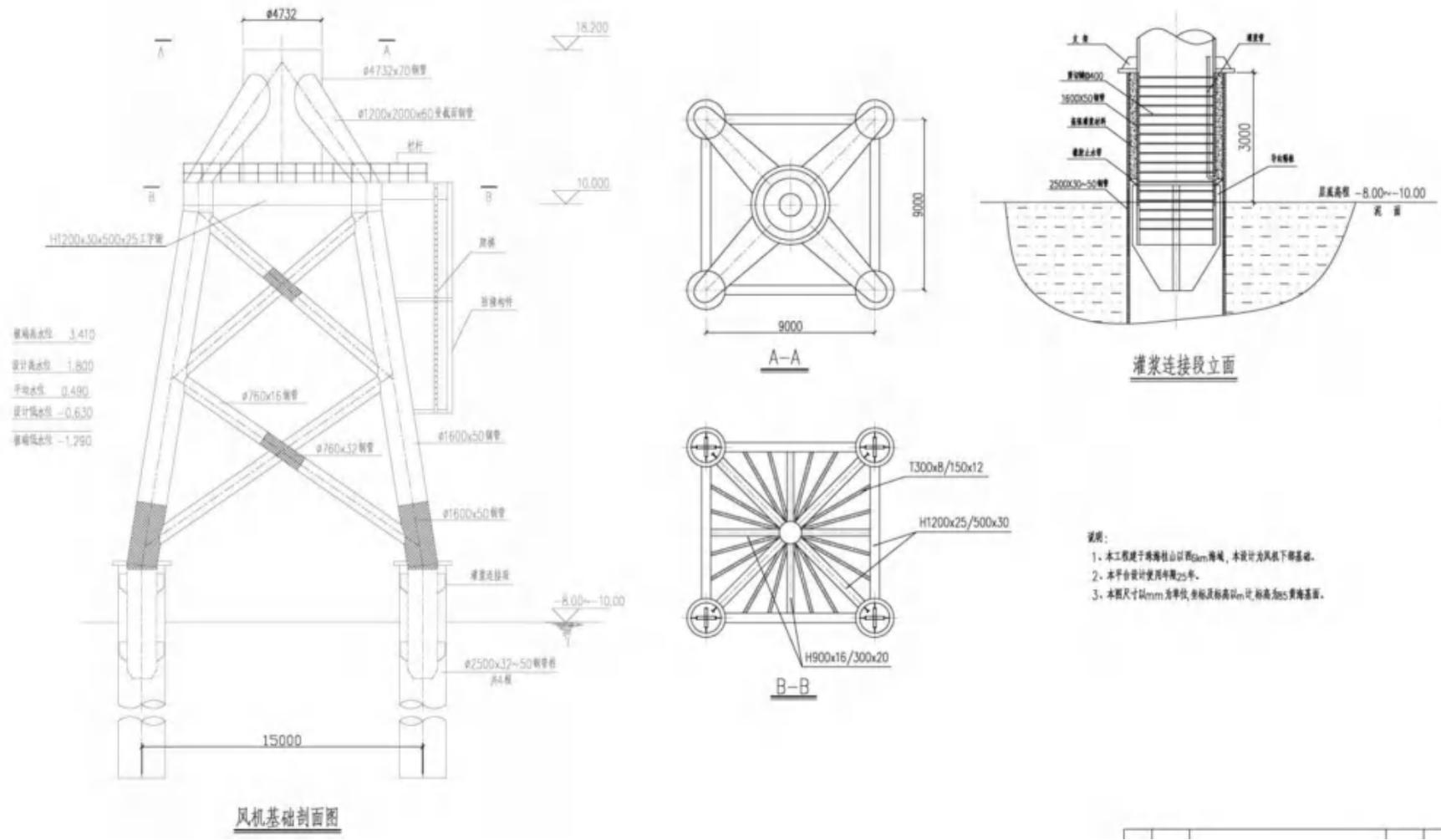


图 2.2.2-1 调整前四桩导管架基础结构图

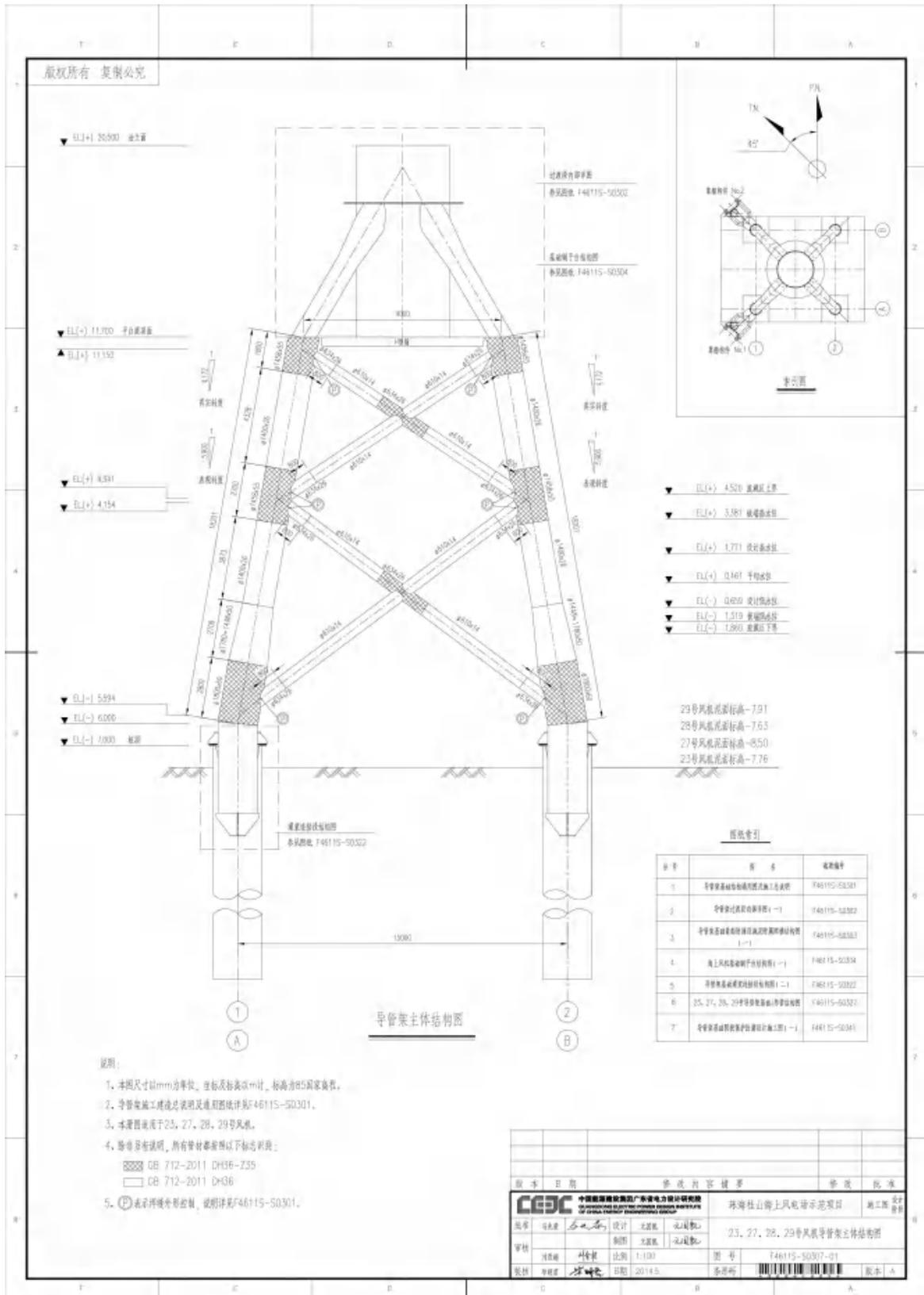


图 2.2.2-2 调整后四桩导管架基础结构图

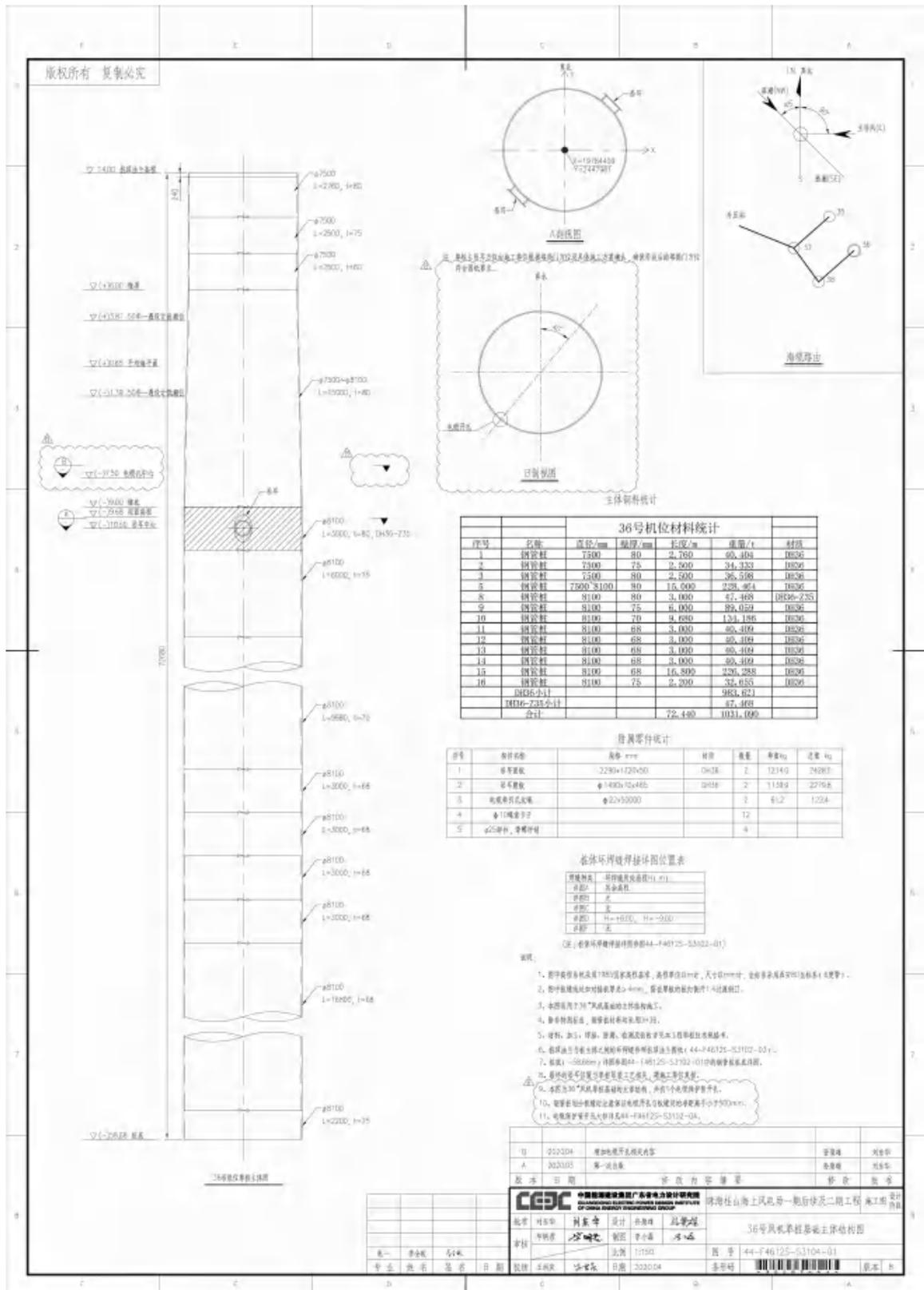


图 2.2.2-3 调整后单桩基础主体结构图

### 2.2.2.2 海底电缆

调整前后海底电缆的材料不变。项目调整后海底电缆结构尺度为：

**调整前**，110kV 海底电缆拟选用交联聚乙烯绝缘，铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面为  $3 \times 500\text{mm}^2$ 。35kV 海底电缆拟选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面从  $3 \times 70 \sim 300\text{mm}^2$  不等。

**调整后**，110kV 海底电缆海缆采用三芯  $3 \times 500\text{mm}^2$  XLPE 绝缘海底电缆，型号为 ZS-YJQF41+OFC-64/110  $3 \times 500$ 。35kV 联岛海缆方案为：①三角岛至牛头岛 35kV 单回三芯海缆（ $3 \times 240\text{mm}^2$ ）；②三角岛至东澳岛 35kV 单回三芯海缆（ $3 \times 300\text{mm}^2$ ）；③东澳岛至大万山岛 35kV 单回三芯海缆（ $3 \times 70\text{mm}^2$ ）。

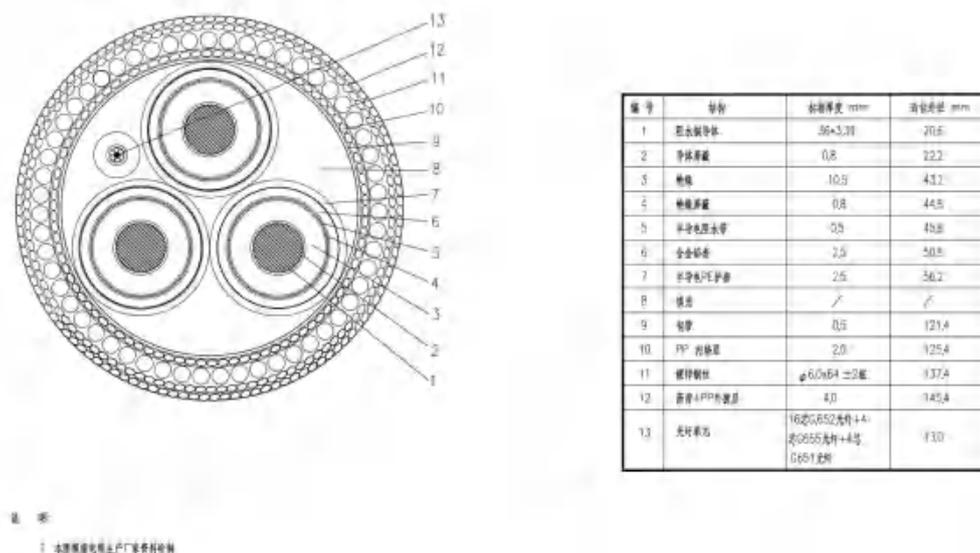


图 2.2.2-4 110kV/35kV 三芯海底电缆结构断面示意图

## 2.3 项目主要施工工艺和方法

项目调整前后施工工艺总流程不变。

根据项目调整前后建设内容和方案，施工内容包括海上风场施工（四桩导管架风机基础施工、风机安装施工、35kV 场内海缆铺设）、110kV 送出海缆施工、35kV 联岛海缆施工、海岛升压站施工、陆上集控中心施工、钢结构加工制作、风机组拆除等施工工艺基本不变，具体施工工艺及流程可参考原论证报告和路由调整补充论证报告，本次主要回顾性分析风电机组施工工艺和海缆施工工艺。

## 2.3.1 风电机组主要施工工艺和方法

本项目调整前 37 台风机采用嵌岩四桩导管架基础。项目调整后 34 台风机采用嵌岩四桩导管架基础，3 台为非嵌岩单桩基础。调整后施工工艺如下：

### 2.3.1.1 四桩导管架基础

本项目实际建设 37 台风机机组，其中 34 台为四桩导管架基础，该部分风电机组于 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，其施工工艺与批复用海方案一致，如下：

#### 1) 钢管桩插打施工

在打桩船上安装整体定位导向钢架→打桩船抛锚定位，运桩船、400t 全回转吊船就位→400t 全回转吊船辅助打桩船抬吊钢管桩，翻桩，插桩进定位导向钢架内→钢管桩顶部与送桩钢管栓接→通过定位导向钢架 2 层调节千斤顶调整钢管桩垂直度，钢管桩导向限位→利用 IHCS-800 液压打桩锤至送桩钢管顶，一次性沉桩至设计标高→重复施工，完成单个基础 4 根钢管桩施工→打桩船从桩顶吊出定位导向钢架，进入下一基础位施工。

#### 2) 钢管桩桩顶处理

工作船驻泊，抽出钢管桩及送桩钢管内海水→人工清除钢管桩内泥土至所需高度→钢管桩内浇筑封底混凝土→实测桩顶标高，得出桩顶高低差，反馈数据至导管架制造工厂→安装浮标，水下拆除送桩钢管。

#### 3) 导管架安装

800t 浮吊抛锚就位，导管架运输船就位→竖直起吊导管架，运输船驶出，工作船驶入，锚泊就位→工作船吊放照明及视频监控仪入水，800t 浮吊下放导管架→通过水下监控及工作船上缆风控制导管架位置，将导管架连接钢锥体插入钢管桩→测评合格后，导管架初步固定，完成导管架安装。

#### 4) 灌浆连接

导管架安装完成后，灌浆工作船立即驶入→利用注浆管道，向腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体→连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材→通过水下视频监控，当钢管桩管口有浓浆溢出，即完成灌浆→灌浆材料强度达标后，方可进入下一工序。

### 2.3.1.2 单桩基础

#### (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。

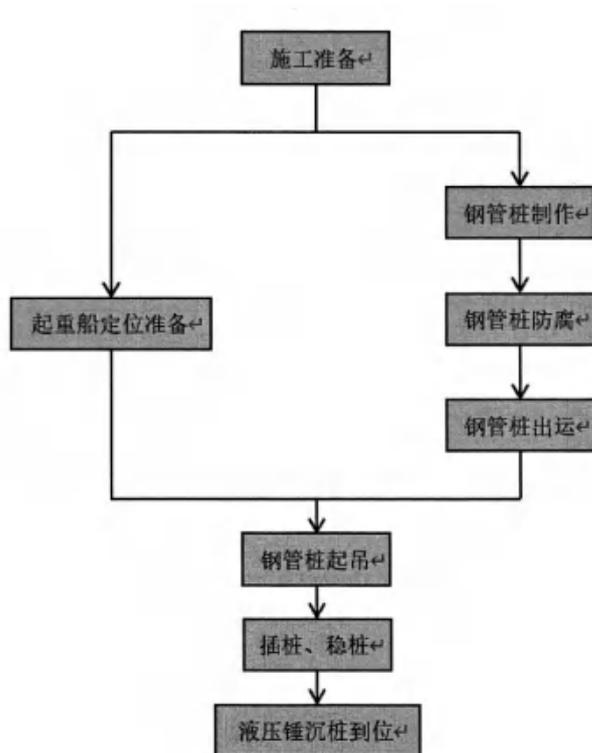


图 2.3.1-1 单桩施工流程图

#### (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。

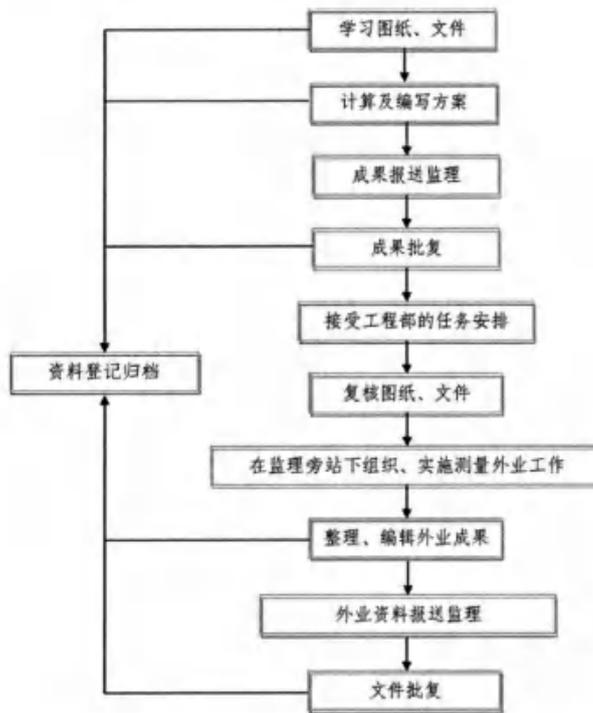


图 2.3.1-2 测量工作流程图

### (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。

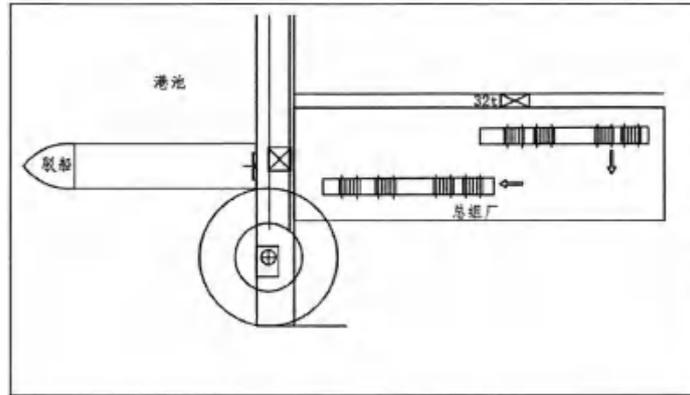


图 2.3.1-3 单桩装船场地布置示意图

### 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。

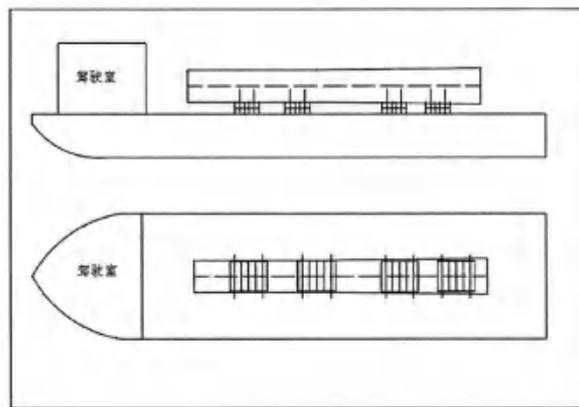


图 2.3.1-4 单桩甲板布置示意图

### 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。

## 2.3.2 风电机组安装

### 2.3.2.1 风机整体安装

本项目实际建设 37 台风机机组，其中 34 台为四桩导管架基础，该部分风电机组于 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，风电机组采用专用安装船整体运输至风电场风机机位，然后整体安装。

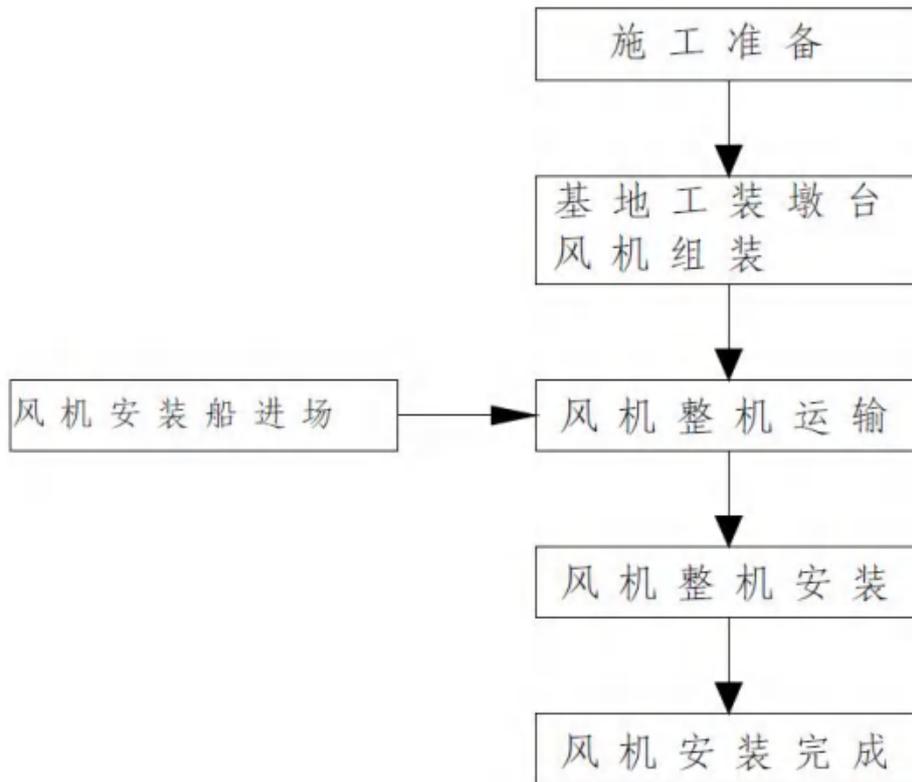


图 2.3.2-5 风机吊装施工流程

### 1) 工装墩台风机组装

风机分体组装主要利用设置于码头前沿的塔吊并辅以履带吊机安装风机。风电机组组装的施工顺序为：D5200-240 塔吊辅以 200t 履带吊机双机起吊，使单节塔筒竖直安放在组装场地胎架上，并以胎具支撑稳定→逐一吊起塔筒节段内电气设备，由上口放进塔筒内，工人在塔筒内对位安装→竖直起吊第一节（最下节）塔筒，与工装基础钢管桩法兰对接，拧紧连接螺栓→再次垂直起吊中节、上节塔筒，逐一进行螺栓连接→起吊风机机舱，机舱前端指向吊机方向，与塔筒上口螺栓连接→组拼叶片及轮毂→起吊风机轮毂+叶片，与机头对位连接。

### 2) 风机整体起吊

在施工基地风机安装完成之后，风机专用安装船就位整体起吊风机，起吊作业流程如下：风电专用安装船进入风机组装基础→系缆和锚泊定位→中部平衡梁夹持塔筒→下部吊架夹持塔筒→松开底部基础法兰螺栓→确认抱箍合拢后抱起风机并提升至安全高度→解缆起锚→退出风机组装基础。

### 3) 风机整体运输

风机专用安装船具备自航功能，风机主要利用风机专用安装船进行运输，也

可采用拖轮进行拖航。

#### 4) 风机整体安装

风机专用安装船自航至安装的风机基础附近后，进行抛锚定位，通过反复锚索调整，使风机吊装实现准确定位。风机安装作业流程：风机专用安装船航行至风机安装基础 200m 附近→精确定位至风机底座→安装缓冲装置→调整对位→下落固定→打开上下抱箍→起锚返航。

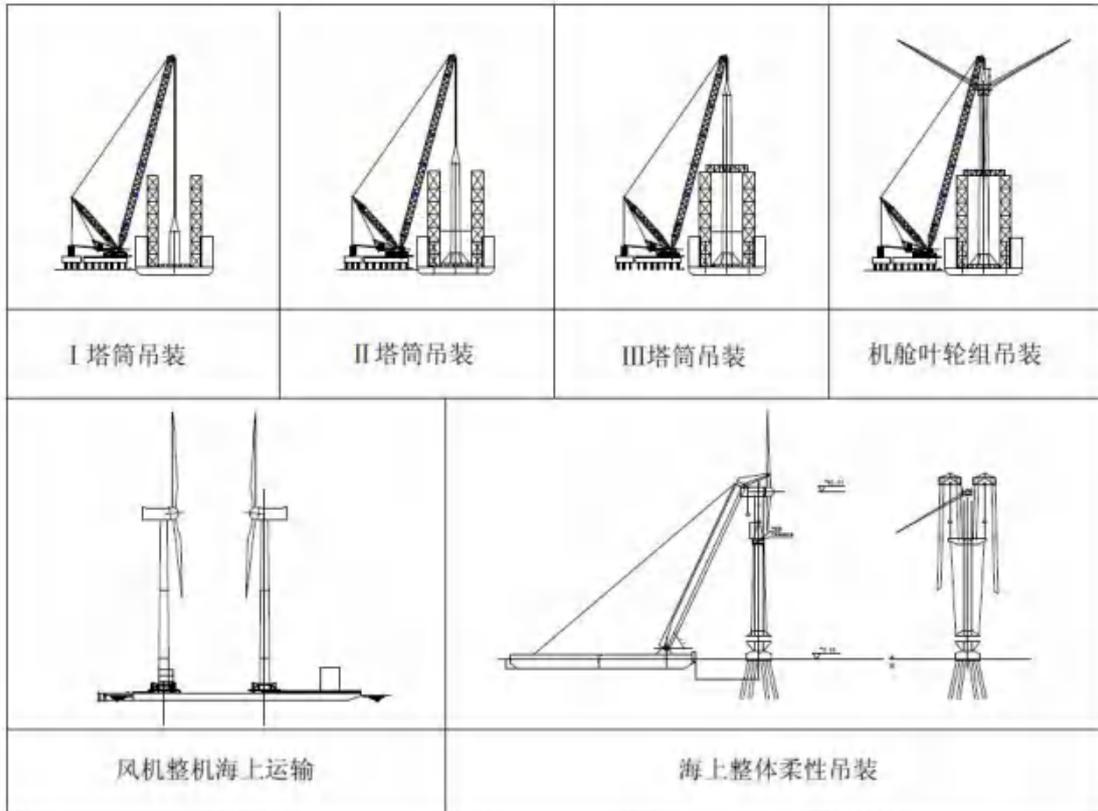


图 2.3.2-6 风电机组安装施工方法示意图

### 2.3.2.2 风机分体吊装

本项目实际建设 37 台风机机组，其中 34 台于 2019 年 12 月并网投产，剩余 3 台风电机组单机容量改为 6.45MW，采用分体吊装施工工艺，采用支腿船作为风机分体安装起重船，机舱、轮毂和叶片等风机设备供货方式为海上机位供货；采用“塔筒和机舱分体吊装、轮毂和叶片组装成叶轮后整体吊装”的安装工艺。

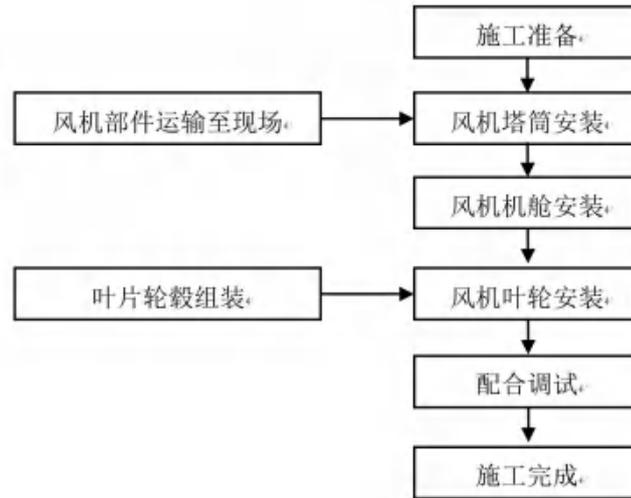


图 2.3.2-7 风机分体吊装施工流程

### 2.3.3 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 陆上升压站位置不变，项目调整前后海底电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、110kV 送出电缆、35kV 联岛海缆等的施工。根据水深要求，本场地采用深埋方式。场内 35kV 集电海缆与 110kV 送出海缆采用两类不同的施工船舶，场内 35kV 集电海缆优先选用带动态 DP 定位的施工船舶。海缆一般区域埋深为 2.5~3 米，航道区（施工作业区）埋深 4.0 米，穿越港澳桥段，埋深 5.0 米。

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→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：

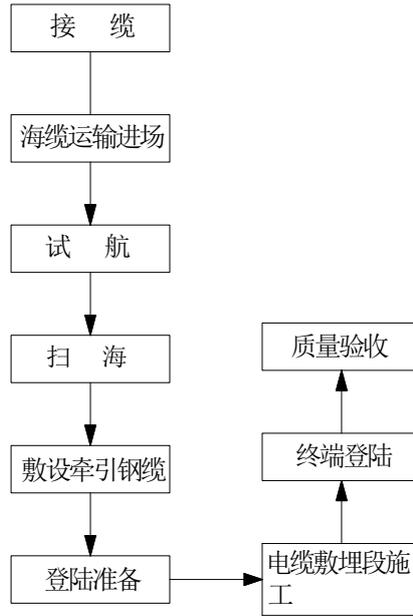


图 2.3.3-1 海缆敷设施工工艺

### 2.3.3.1 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能进行过驳施工。装船完毕后重新对海底电缆性能检查测试，确认各项性能指标满足工程设计要求。

#### 2) 试航

施工船舶到达施工现场之后，可首先进行试航作业，以确保施工顺利及施工质量。

#### 3) 扫海

该工作主要解决施工路由轴线上影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物。采用锚艇尾系扫海工具，沿设计路由往返电缆路由扫海一次，发现障碍物由潜水员水下清理；若遇到不能及时清理的大型障碍物，由潜水员水下探明情况。

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。

#### 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。

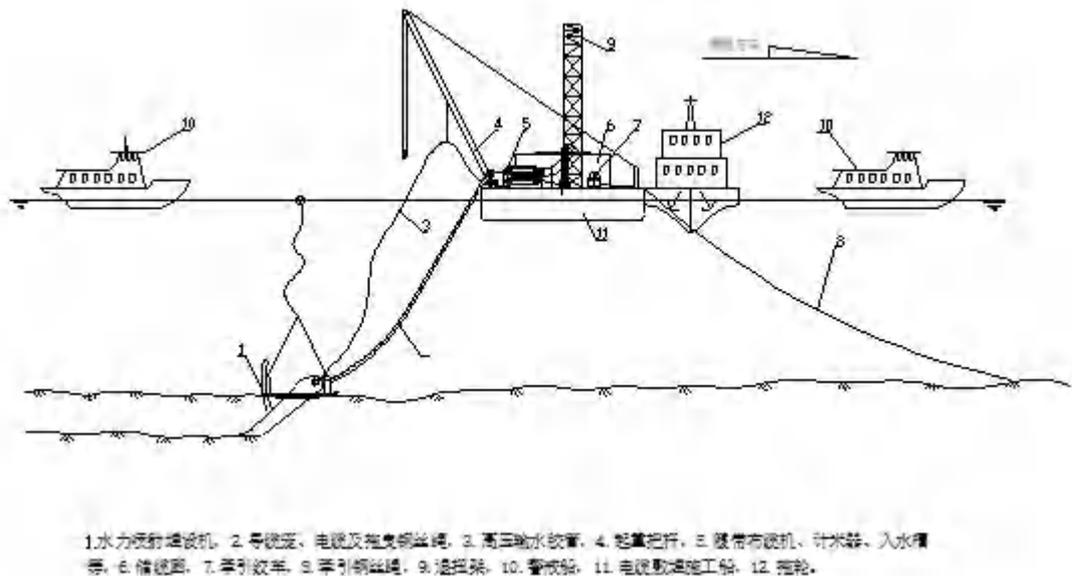


图 2.3.3-2 海底电缆敷设施工

#### 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，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 2.3.3-1 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	/
4	水陆两栖挖掘机		登陆牵拉	抓斗 1.2m <sup>3</sup>
5	GPS 定位设备		船舶定位	精度 0.5m

## 2.3.3.2 登陆段施工

### (1) 110kV 送出电缆吉大登陆点穿堤施工

本工程海缆路由需要穿越珠海市香洲区的现有海岸堤防，穿越长度约 100m，考虑采用焊接钢管机械钻进顶管施工工艺，顶管施工工艺简图及主要施工工序见图 2.3.3-3。顶进坑布置在海堤侧，修建临时土石围堰或钢板桩围堰，设置顶进坑和接受坑，施工完成后拆除围堰，恢复原有地貌。施工顶管头部后尾部均封堵后，不会发生海水倒灌的情况。

按施工布置及规范要求将钻机及附属配套设备固定在预定位置。钻机方向必须跟管道轴线方向一致，左右误差不超过 30mm，钻机入土角调整到合适位置。

定向穿越施工要求泥浆的性能高，选用合适的泥浆配合比，施工期间部分回流的泥浆循环利用，另外一部分经沉淀后才能泥浆车运至指定地点排放。钻孔导向钻进时的入土角为-15度。导向孔根据设计曲线钻进，导向孔完成后，根据钻机轨迹和书记记录，确定此导向孔知否可用轴线左右偏离控制在1%L（钻进长度）内，深度偏差控制在0.5%L（钻进长度）内，出土点偏差控制在1m内。钻孔工艺根据土质情况采用分级旋转扩孔成孔，分别采用D150、D240、D320钻头分级反扩成孔。钻孔导向完成后，钻头在出土点，拆下导向钻头和探棒，然后装上扩孔器，试泥浆，确定扩孔器没有堵塞的水眼后开始扩孔。上钻头和钻杆必须确保连接到位牢固才可回扩，以防止回扩过程中发生脱扣事故。回扩过程中必须根据不同的地层地质情况以现场出浆状况确定回扩速度和泥浆压力，确保成孔质量。在成孔施工完成，确保孔内干净，没有不可逾越的障碍后，进行管道的焊接及安装，并进行管道回拖。

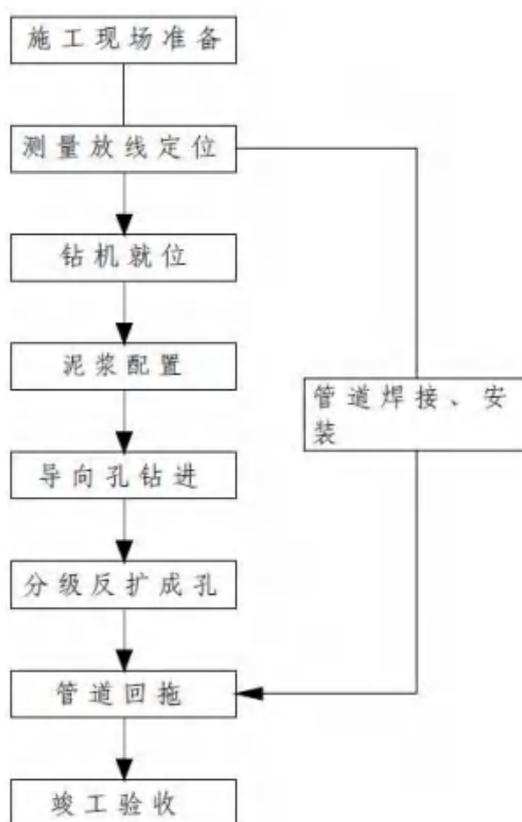


图 2.3.3-3 穿堤施工工艺

## (2) 海岛登陆段施工

本项目 35kV 联岛送出电缆登陆点涉及多个海岛，包括三角岛、牛头岛、东

澳岛和大万山岛。以三角岛登陆段为例，根据本项目的特点，海缆登陆三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。海缆登陆方案示意图见图 2.3.3-4。本项目登陆点现状照片见图 2.3.3-5。

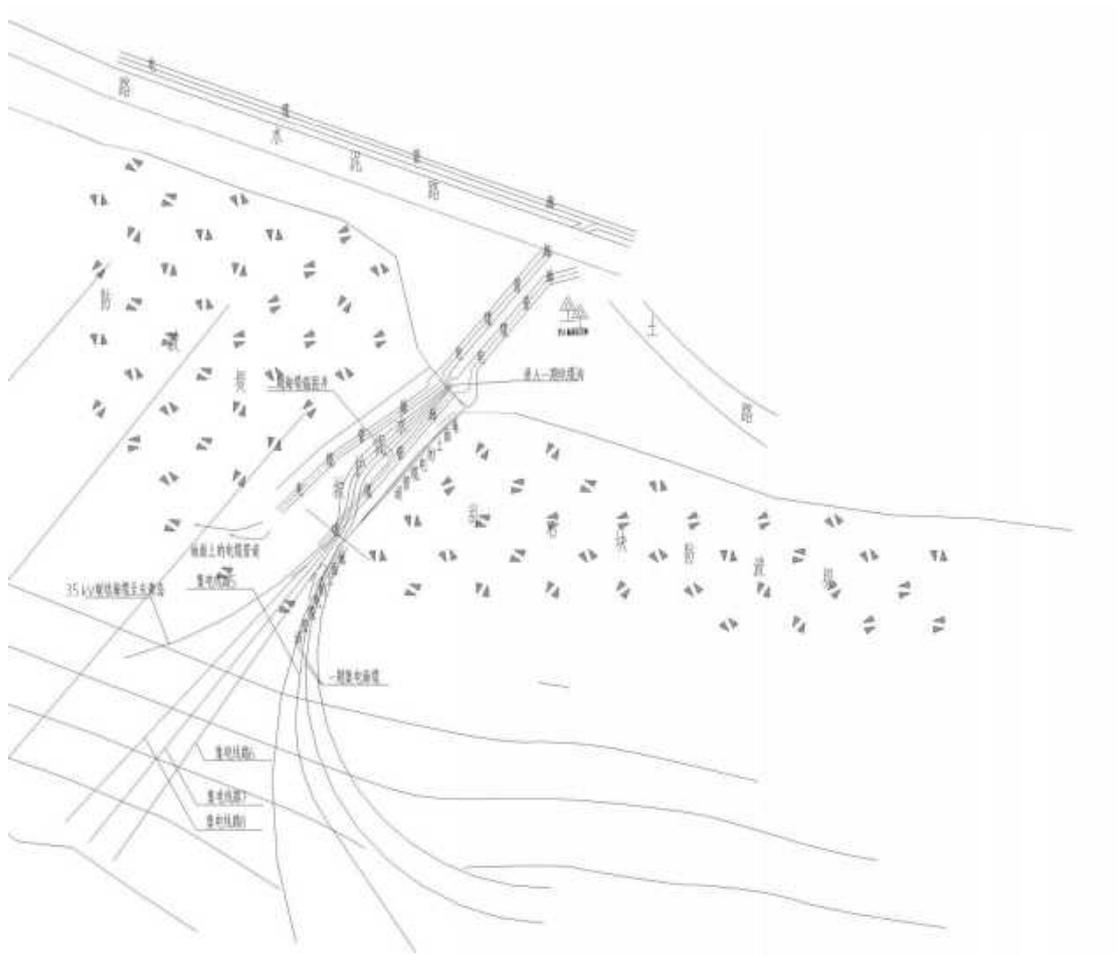


图 2.3.3-4 海缆登陆方案示意图



图 2.3.3-5 海缆登陆点现状照片

### 2.3.4 施工进度

项目 34 台 3MW 风机于 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，剩余 3 台风机于 2020 年 11 月动工，2021 年 12 月并网投产。

### 2.3.5 土石方平衡

本项目风电机组均采用桩基础，34 台为四桩导管架基础，3 台为单桩基础，项目已经完成建设。根据《珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书》（报批稿）（上海勘测设计研究院有限公司，2015 年 10 月），工程总挖方量 5.320 万方（含钢管桩吸泥量 0.653 万方），填方量 2.478 万方，弃方 2.841 万方，其中表土 1.906 万方，用于后期回填绿化。敷设海底电缆采用埋设犁冲沟敷设、自动回淤保护的方式，没有多余土石方产生。

项目弃土弃渣运往珠海广利土石方工程有限公司弃土（渣）场，土方外运处置协议详见附件）。

## 2.4 项目用海需求

### 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) 风电机组用海需求

本项目已完成建设，共安装布置 34 台 3MW 和 3 台 6.45MW 风电机组，在本项目规划风电场址范围内可获得相对较大的发电效益。本项目采用 34 台风力发电机组采用为四桩导管架，四桩导管架腿柱底部间距 15m，桩径为 2.2m；3 台为非嵌岩单桩基础，桩径分别为 7.9m、8.1m 和 8.0m。根据《测量报告》，各风机直径如表 2.2.2-1 所示，1#~34#根据实测结果直径为 21.65m~26.28m；35#~37#风机根据实测结果直径为 12.22m~13.63m。风电机组用海主要为下部基础占用了海域，风电机组用海需求为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为半径的圆为界，即由风电机组塔架中心点，根据《海籍调查规范》

进行界定，单个风机塔架以塔架中心点为圆心，风机基础桩基直径12.22m~26.28m，中心点至塔架基础最外缘点外扩50m为半径的圆为界，因此37台风电机组用海面积需求合计43.6418公顷。

### **(2) 集电海缆用海需求**

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

本项目风电场内采用电压等级为35kV海底电缆互联，37台风电机组通过5回35kV集电海缆接入升压站，本项目风电场址内集电海缆全长约38.45km，据《海籍调查规范》中海底工程用海对海底电缆管道范围的界定方法：“以电缆管道外缘线向两侧外扩10m距离为界”。根据测量得出的实际海缆路由走向并进行规整，并考虑到本项目35kV海缆与风机基础用海重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机基础用海优先，海底电缆次之，扣除风机基础用海与35kV集电海缆重叠面积，计算得出35kV集电海缆项目用海需求为68.4528公顷。

### **(3) 送出海缆用海需求**

多台风力机组所发的电能通过集电线路海缆汇总到升压站，将电压升高，然后通过高压送出海缆传输到岸上集控中心，本项目包括2回110kV三角岛至珠海吉大送出电缆、3条单回35kV联岛海缆（三角岛至牛山岛、三角岛至东澳岛和东澳岛至大万山岛）。

根据建设单位提供的施工坐标得出的实际海缆路由走向并进行规整出海底电缆申请用海范围也应同时满足海缆营运期埋设于海底和海缆敷设施工需求，送出海缆总长度为65.9km。根据《海籍调查规范》“电缆管道用海，以电缆管道外缘线向两侧外扩10m距离为界。”110kV送出海缆靠近三角岛附近海域路由之间间距较窄，考虑海域的排他性本次将次双回路之间海域一并申请用海，最终确定2回110kV三角岛至珠海吉大送出电缆、三角岛至牛山岛35kV联岛海缆、

三角岛至东澳岛 35kV 联岛海缆和东澳岛至大万山岛 35kV 联岛海缆用海需求为 173.1812 公顷。

## 2.4.2 申请用海调整情况

根据路由调整补充论证报告书，项目用海类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式包括透水构筑物、海底电缆管道。项目申请总用海面积为 305.1849 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 44.6812 公顷，海底电缆用海总面积为 260.5037 公顷。

本次用海调整后，本项目用海类型不变，用海方式包括透水构筑物、海底电缆管道。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。本项目海底电缆管道申请立体确权，项目申请总用海面积为 285.2758 公顷，其中风机申请透水构筑物用海面积为 43.6418 公顷，送出电缆申请海底电缆管道用海面积为 173.1812 公顷，35kV 集电海缆申请海底电缆管道用海面积为 68.4528 公顷。项目申请的用海期限为 27 年（2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日）。

调整前后，项目申请用海面积差异较大，项目调整后项目申请用海总面积减少了 19.9091 公顷，主要原因为：

**(1) 风机：**项目批复用海方案中，37 台风机四桩导管架，根开 15m，桩径 2.5m。根据实际测量，现风机调整为 34 台风力发电机组采用为四桩导管架，四桩导管架腿柱底部间距 15m，桩径为 2.2m；3 台为非嵌岩单桩基础，桩径分别为 7.9m、8.1m 和 8.0m。根据《测量报告》，1#~34#根据实测结果直径为 21.65m~26.28m；35#~37#风机根据实测结果直径为 12.22m~13.63m。总体上调整后风机申请用海减少了 1.0394 公顷。

**(2) 35kV 集电海缆：**35kV 集电海缆排列布置发生变化，批复用海方案中，35kV 集电海缆总长为 38.4km，宽度为(19.75~20.25)m；调整后总长度为 38.45km，长度基本不变，根据《海籍调查规范》5.4.5.1 电缆管道用海，以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界，海缆外径为 0.2m，外扩后宽度为 20.2m。经计算集

电海缆调整后比批复用海增加 0.3733 公顷；

**(3) 110kV 送出电缆：**项目批复用海方案澳门海域东侧按 2 回电缆计算，长度为 17.2km，宽度在每回海缆外扩 10m 为界，考虑海域排他性，将 2 回电缆间距 50m 海域一并申请用海。本次调整后澳门海域东侧按实际施工 1 回海缆计算，长度为 17.51km，宽度以海缆外扩 10m 后作为用海申请范围，调整前后面积差异较大，调整后比项目批复用海减少 23.0615 公顷。

**(4) 35kV 联岛电缆：**35kV 联岛电缆调整前后总长度基本不变。项目批复用海方案，35kV 联岛电缆总长为 35km，宽度为（18.4~19.7）m，本次调整后，35kV 联岛电缆总长为 34.78km，根据《海籍调查规范》5.4.5.1 电缆管道用海，以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界，海缆外径为 0.2m，外扩后宽度为 20.2m。因此调整前后 35kV 联岛电缆申请用海面积发生变化，调整后比项目批复用海增加了 3.8185 公顷。

项目调整前后申请用海面积及变化原因见表 2.4.2-1。项目调整后宗海界址图见图 2.4.2-1~图 2.4.2~4，界址点见附图。

表 2.4.2-1 项目调整前后用海情况变化表

项目	项目批复用海 (公顷)	项目调整用海	变化(公顷)	备注
投影	高斯-克吕格	高斯-克吕格	-	-
中央经线	用海面积以114°E计算	用海面积以113°30'E计算	-	-
风机 (透水构筑物)	44.6812	43.6418	-1.0394	风机桩径变化
35kV集电海缆	68.0795	68.4528	0.3733	宽度取值不同
110kV送出电缆 (三角岛-吉大)	128.1455	105.0840	-23.0615	申请用海范围不同
35kV联岛电缆 (三角岛-牛头 岛)	20.2454	21.1005	0.8551	总长度由 12.0km 调整 为 10.51km, 宽度取值 不同

35kV联岛电缆 (三角岛-东澳岛)	44.0333	46.9967	2.9634	三角岛-东澳岛段总长度由 13.0km 调整为 14.25km; 东澳岛-大万山岛段总长度由 10.02km 调整为 10km, 宽度取值不同
35kV联岛电缆 (东澳岛-大万山岛)				
项目用海总面积	305.1849	285.2758	-19.9091	-

珠海桂山海上风电场示范项目宗海位置图



图 2.4.2-1 项目宗海位置图

珠海桂山海上风电场示范项目宗海平面布置图

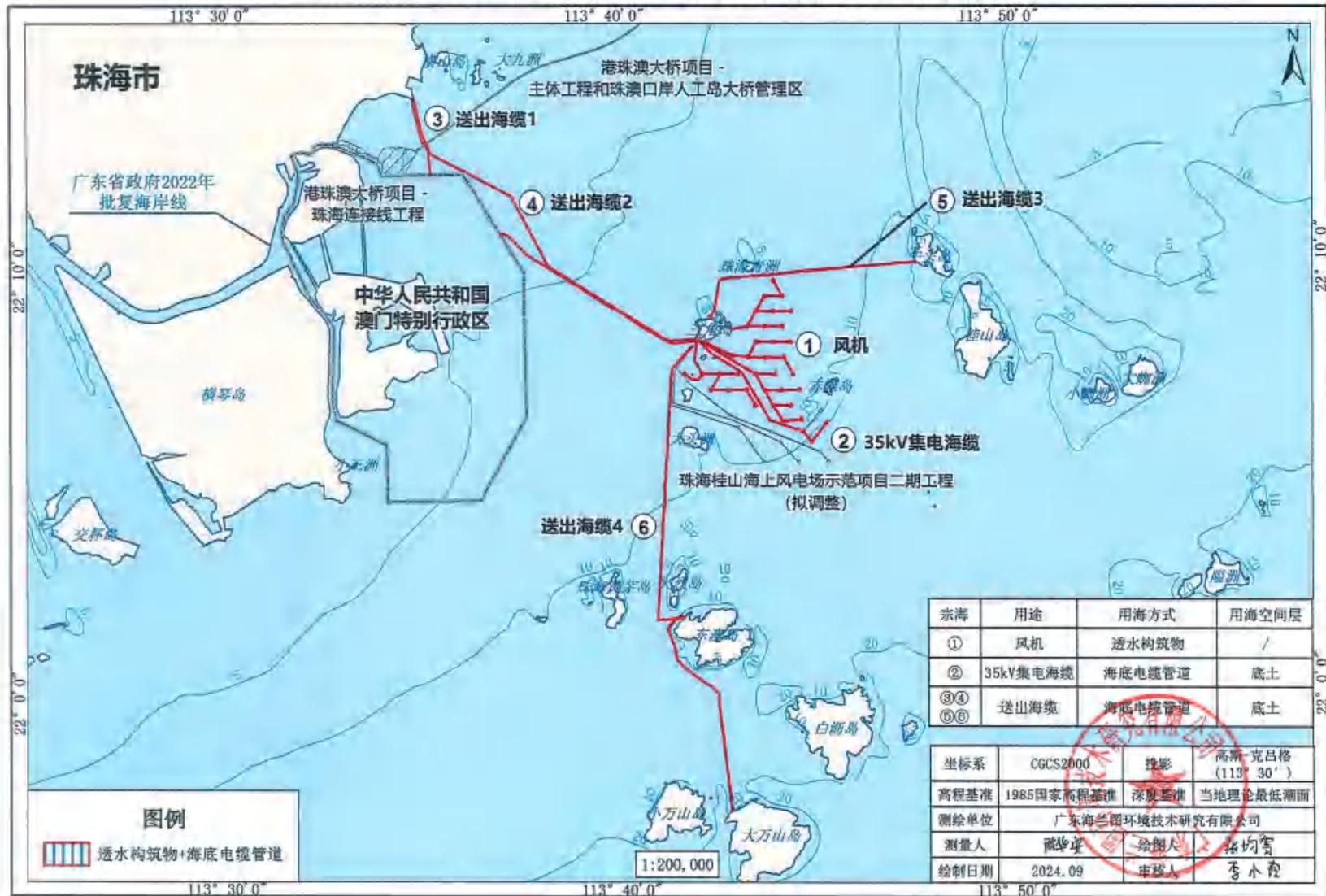
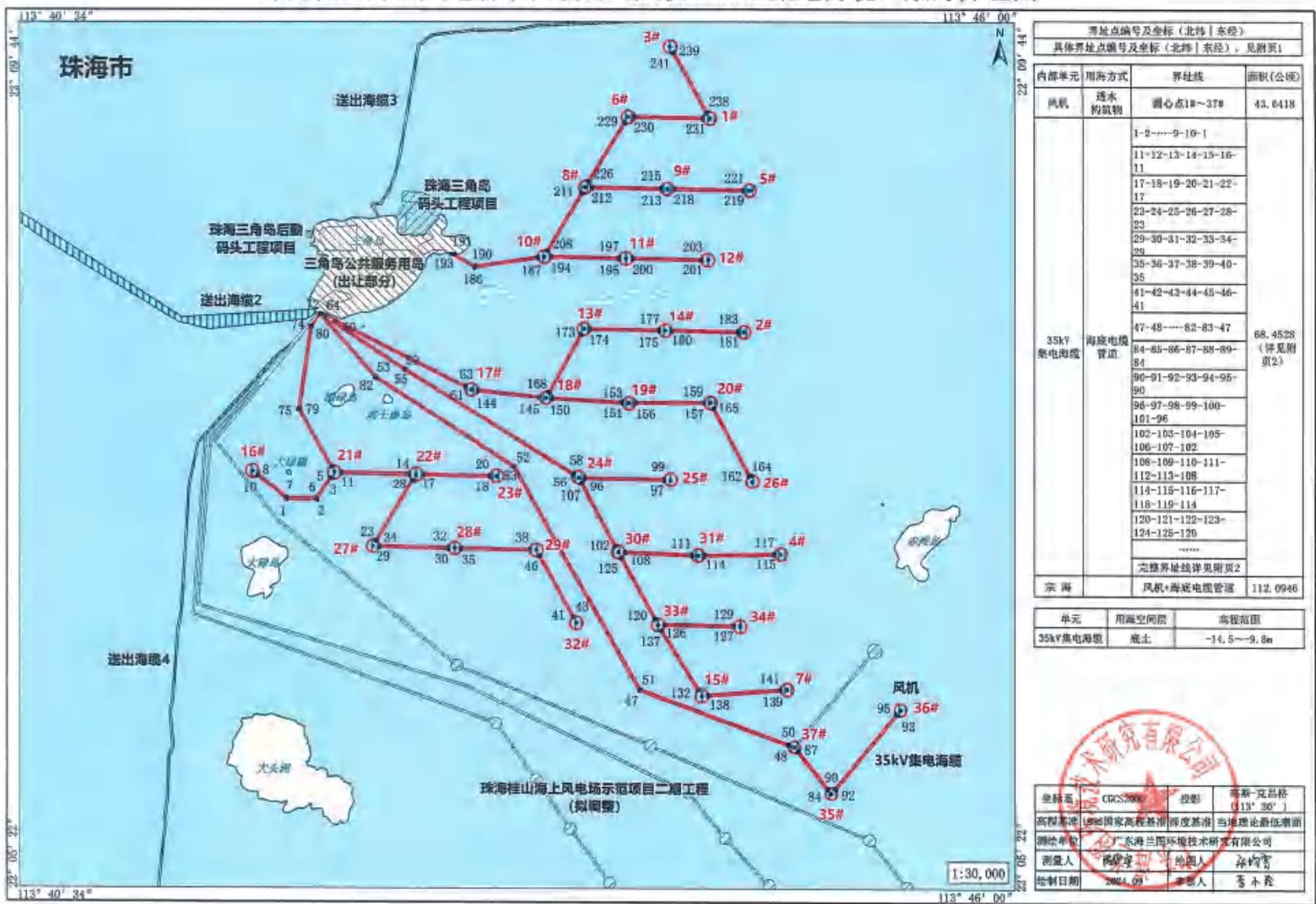


图 2.4.2-2 项目宗海平面布置图

珠海桂山海上风电场示范项目（风机、35kV集电海缆）宗海界址图



测站点编号及坐标(北纬 东经)			
具体界址点编号及坐标(北纬 东经), 见附表1			
内部单元	用海方式	界址线	面积(公顷)
风机	透水构筑物	测心点1#~37#	43.6418
35kV集电海缆	海底电缆管道	1-2---9-10-1	68.4528 (详见附表2)
		11-12-13-14-15-16-11	
		17-18-19-20-21-22-17	
		23-24-25-26-27-28-23	
		29-30-31-32-33-34-29	
		35-36-37-38-39-40-35	
		41-42-43-44-45-46-41	
		47-48---82-83-47	
		84-85-86-87-88-89-84	
		90-91-92-93-94-95-90	
		96-97-98-99-100-101-96	
		102-103-104-105-106-107-102	
		108-109-110-111-112-113-108	
		114-115-116-117-118-119-114	
		120-121-122-123-124-125-120	
		完整界址线详见附表2	
宗海		风机+海底电缆管道	112.0946

单元	用海空间层	高程范围
35kV集电海缆	底土	-14.5~-9.8m

**广东海洋环境技术有限公司**

坐标系	CGCS2000	投影	高斯-克吕格(113°30')
高程基准	1985国家高程基准	深度基准	当地理论最低潮面
测绘单位	广东海洋环境技术有限公司		
测量人	陈俊	绘图人	陈均
绘制日期	2024.09	审核人	李本良

图 2.4.2-3 项目宗海界址图（风机、35kV 集电海缆）

珠海桂山海上风电场示范项目（送出海缆）宗海界址图

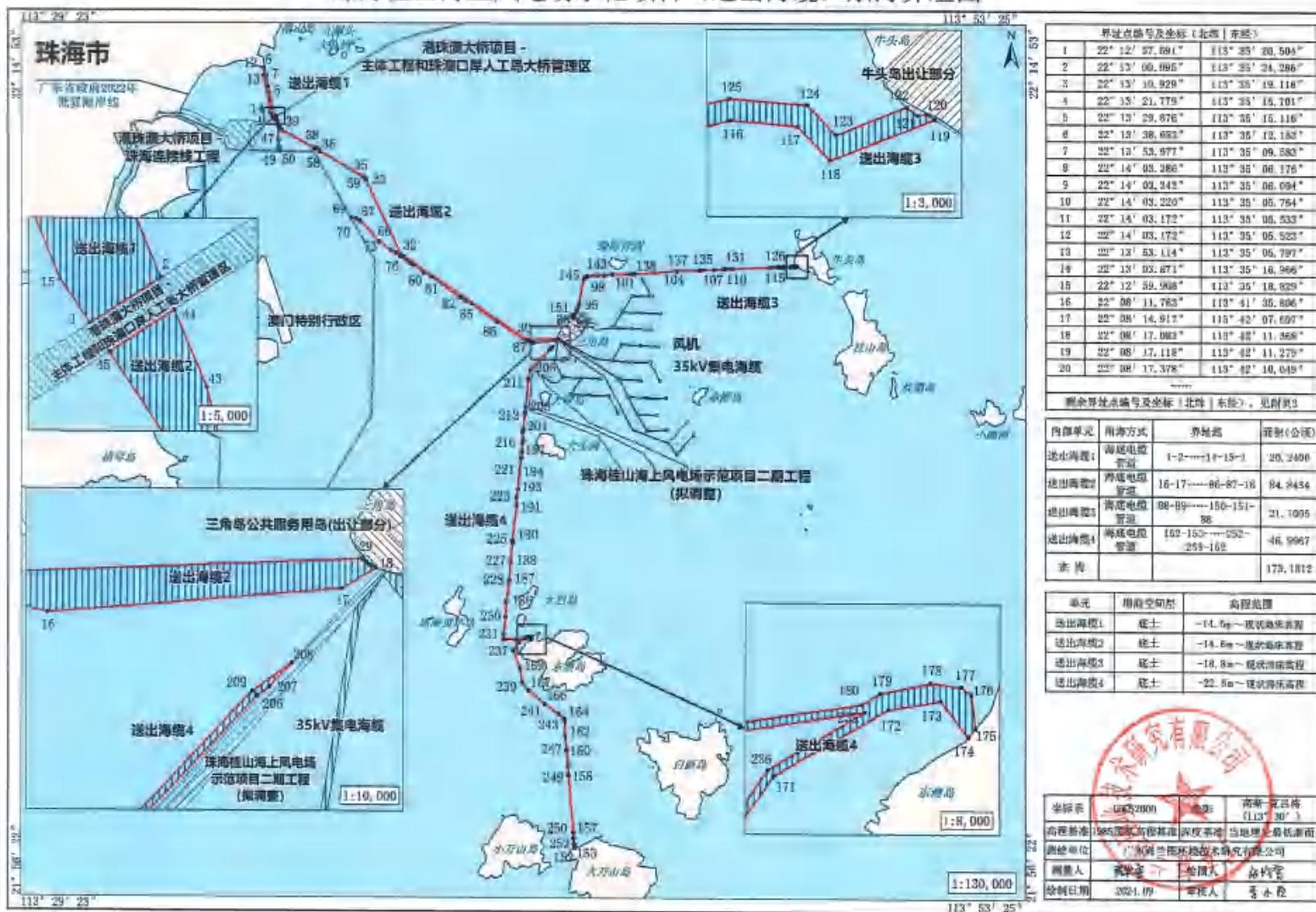


图 2.4.2-4 项目宗海界址图（送出海缆）

## 2.5 项目调整用海必要性

项目建设必要性与原论证报告书和路由调整补充论证报告书结论相同，本补充论证报告不再重复分析。项目风电场的场址位于海上，项目建设必然占用海域，故项目用海是必须的。

### 2.5.1 风电机组调整的必要性分析

根据路由调整补充论证报告书，项目装机容量为 120MW，共建设 37 台风机，34 台 3MW，3 台单机容量为 6MW 的明阳智能风机。调整后 3 台单机容量为 6MW 改为 3 台单机容量为 6.45MW，四桩导管架基础改为单桩基础。所选机型单机容量和叶轮直径与路由调整补充论证报告书的所选机型存在差异，调整后可以提高风机发电效率，获得更好的发电效益，调整前后集电电缆排布方案存在一定差异。调整后风机台数不变，为了获得更好的发电效益，降低风机间的尾流影响，调整后方案与路由补充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，风机台数不变，由 6MW 提高到 6.45MW，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。根据前期 34 台风机施工条件，风电场内剩余 3 台风机所在海域适宜采取单桩基础结构，项目所在项目水深较浅，单桩基础制造简单，钢材用量较少，且无需做任何海床准备，因此项目风机容量、桩基础调整、桩径调整是必要的。3 台风机排列布置需考虑二期工程风机排列布置以及尾流影响进行重新布置。

因此，项目风电机组单机容量、排布的调整是必要的。

### 2.5.2 海底海缆调整的必要性分析

110kV 海缆和 35kV 联岛电缆根据建设单位提供的施工坐标确定走向，路由区部分区域有较多礁石等障碍物，为尽可能避让障碍物，路由发生微调整，以期减少海缆安全风险。因此送出海缆调整是必要的。

项目风机位置有所调整，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。

因此，本项目用海调整是必要的。

## 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 49.6287km，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 40.5669km，砂质岸线长度为 1.6864km，基岩岸线长度为 0.3462km，生物岸线长度为 0.6947km，其他岸线长度为 6.3345km。

#### 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

珠海市海岛主要分布为五大岛群：以桂山岛为中心的岛群、万山列岛群、外伶仃西南海域岛群、担杆列岛群、高栏岛群。

根据《中国海域海岛地名志·广东卷》，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。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。

项目穿越九洲航道、九洲港-曼谷航线、九洲港-马尼拉航线、九洲港-上海航线、榕树头航道。论证范围航道还包括九洲港-湛江航线、快速船分隔航道。

### 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。

论证范围锚地包括珠海港澳小型船舶引航锚地、洪湾后液化气临时停泊锚地、珠海头洲引航锚地、珠海头洲候潮、过驳锚地、桂山引航锚地。

### 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，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, 测风塔现已拆除。

本工程海上测风塔自 2012 年 7 月上旬开始正式测风, 目前收集到 2012 年 7 月 8 日~2016 年 6 月 30 日的测风数据, 由于本工程已经利用 2012 年 7 月 8 日~2013 年 7 月 7 日的周年数据完成风资源评估报告, 本工程重点分析剩余 2013 年 7 月 1 日~2016 年 6 月 30 日三周年的测风结果。



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/m<sup>2</sup>, 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 (3m/s<小时平均风速<25m/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

桂山海上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 2.0m/s~11.0m/s 段，所占比例约为 86.85%；风能主要集中在 6.0m/s~15.0m/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<sup>2</sup>；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<sup>2</sup>。

平均风速日内变化不大，变化范围为 7.06~7.38m/s 之间；一日中 02~07 时、16~19 时风速相对较大，08~16 时、21~23 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 345.20~421.94W/m<sup>2</sup>。03~08 时风功率密度相对较高，12~23 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=15.0m/s 时湍流强度在 0.063~0.085 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

高度 100m 处 50 年一遇 10min 平均风速为 51.0m/s，100m 处 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

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 mm
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》（暨南大学，中科检测技术服务（广州）股份有限公司，2021 年 8 月）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》（暨南大学，中科检测技术服务（广州）股份有限公司，2021 年 12 月）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、夏季水文

本次水文监测于 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、冬季水文

本次水文监测计划于 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，除特别说明外，本项目设计资料采用 1985 年高程基准。

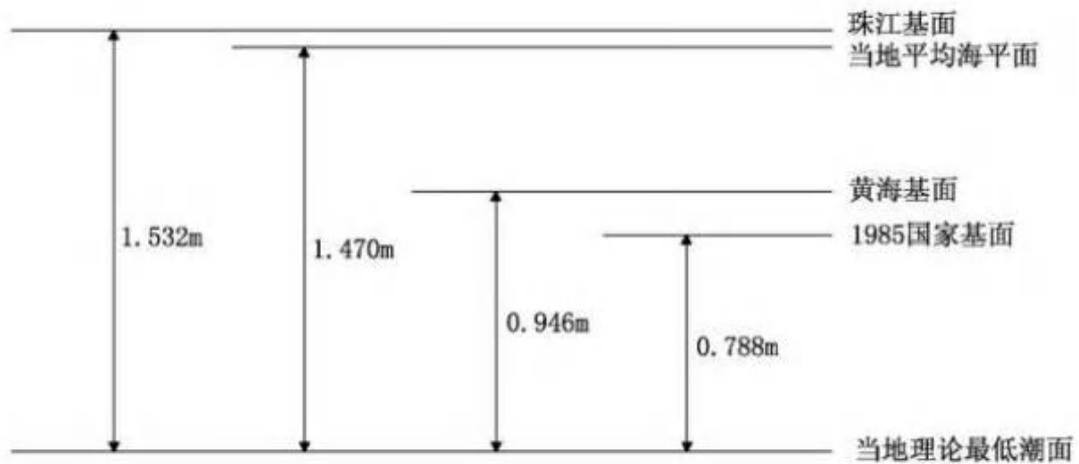


图 3.2.2-3 基面关系示意图

## (2) 夏季水文

### 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。

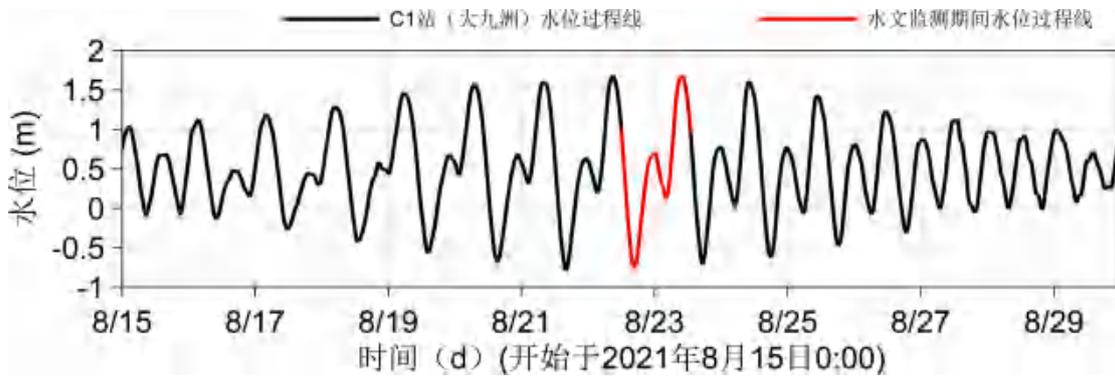


图 3.2.2-4 C1 站 (大九洲) 水位过程曲线

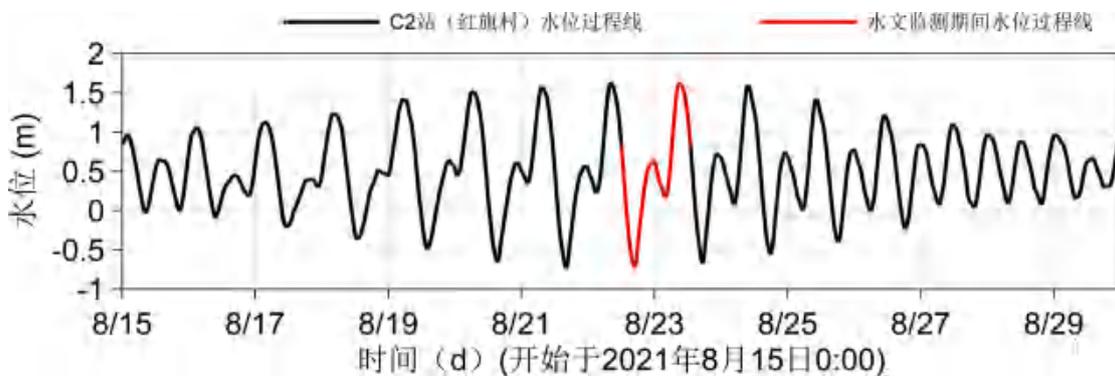


图 3.2.2-5 C2 站 (红旗村) 水位过程曲线

### 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 (此内容不公开)

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  $54.88^\circ$ , C2 站振幅为 0.44m, 迟角为  $45.34^\circ$ 。

### 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 3.2.2-3 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（此内容不公开）

### (3) 冬季水文

#### 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。

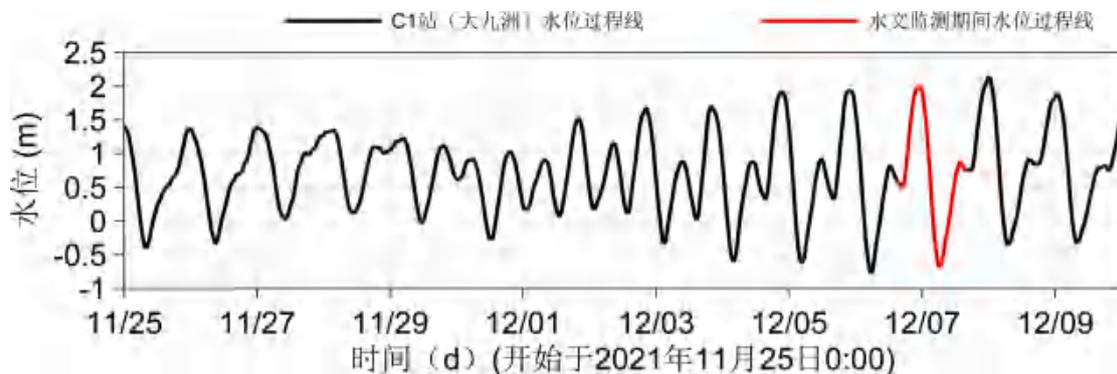


图 3.2.2-6 C1 站（大九洲）水位过程曲线

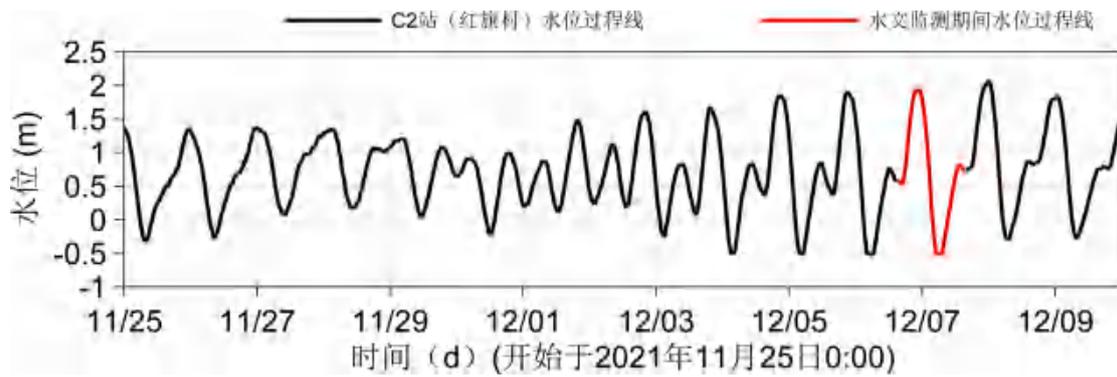


图 3.2.2-7 C2 站（红旗村）水位过程曲线

## 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（此内容不公开）

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  $58.08^\circ$ ，C2 站振幅为 0.43m，迟角为  $49.40^\circ$ 。

## 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（此内容不公开）

### 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。

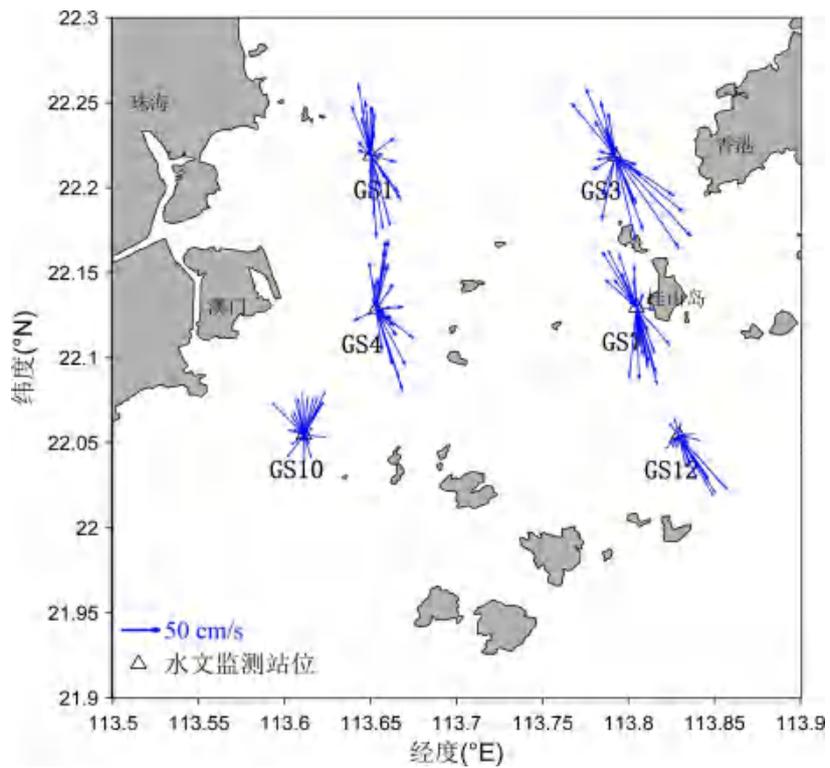


图 3.2.2-8 大潮期表层海流平面分布矢量图

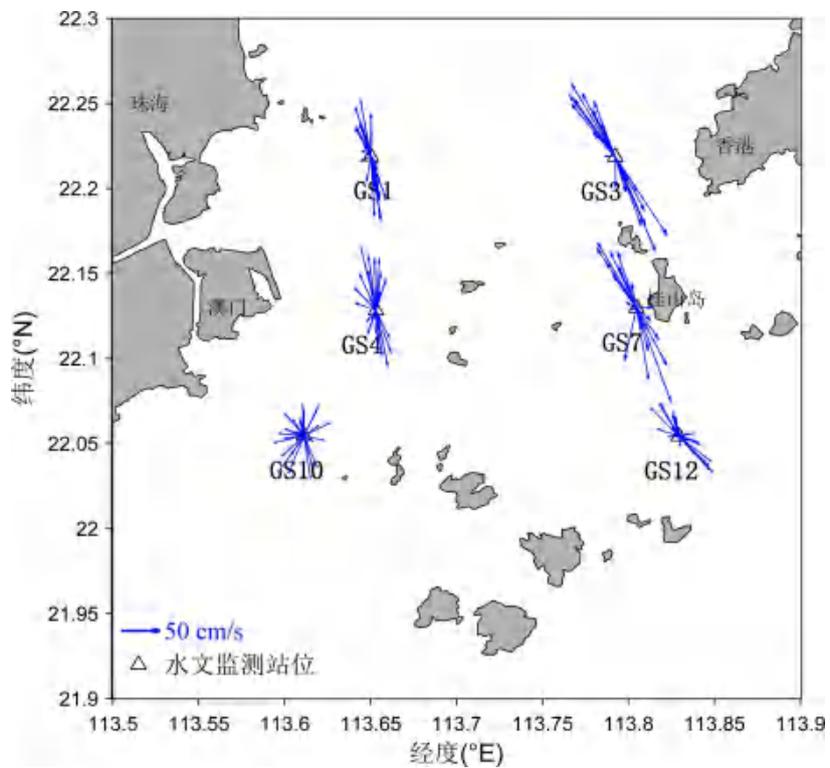


图 3.2.2-9 大潮期中层海流平面分布矢量图

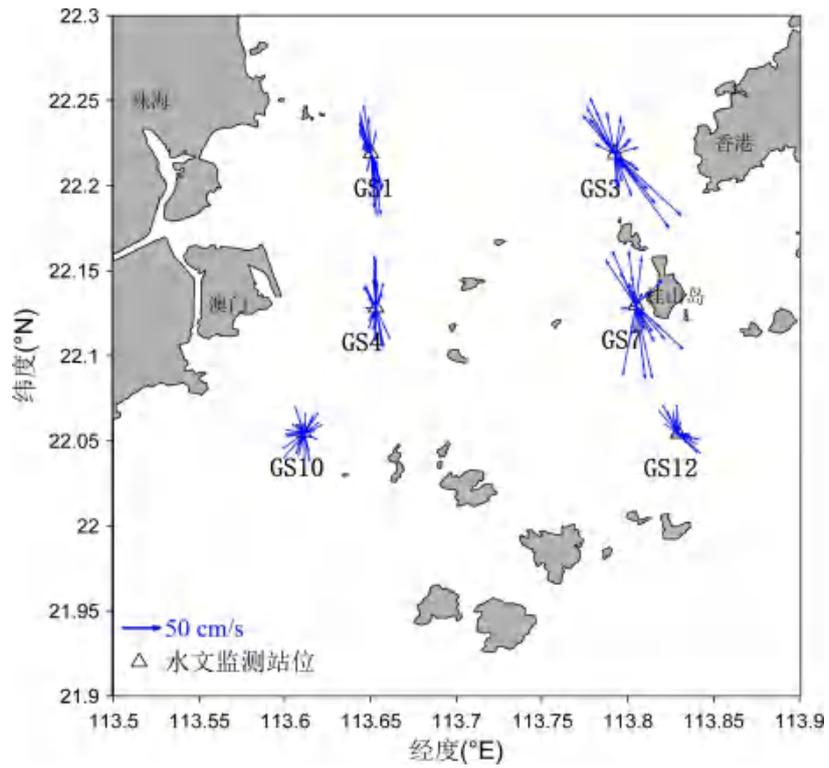


图 3.2.2-10 大潮期底层海流平面分布矢量图

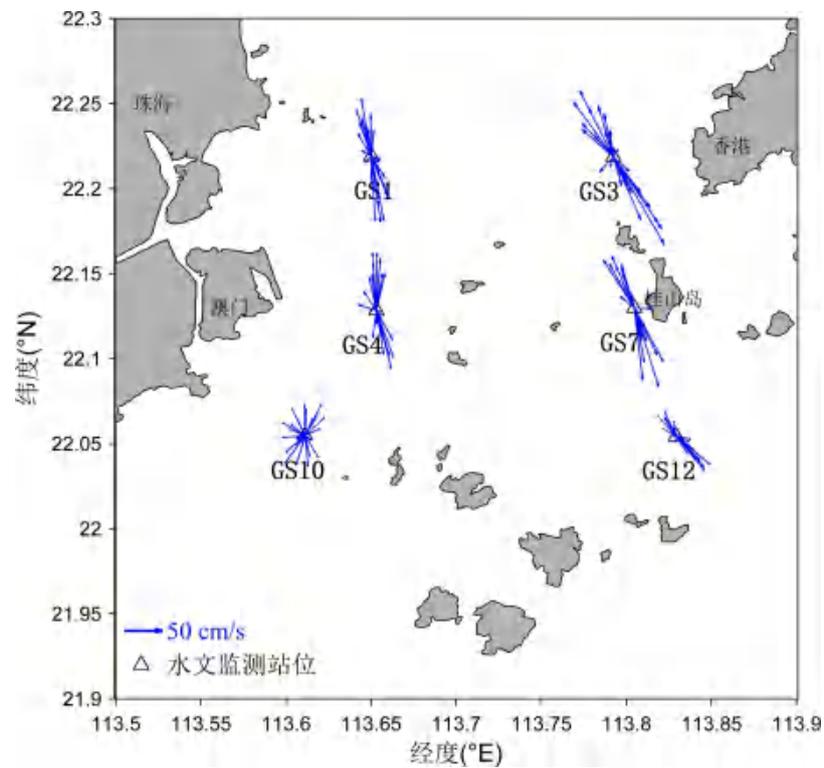


图 3.2.2-11 大潮期垂向平均海流平面分布矢量图

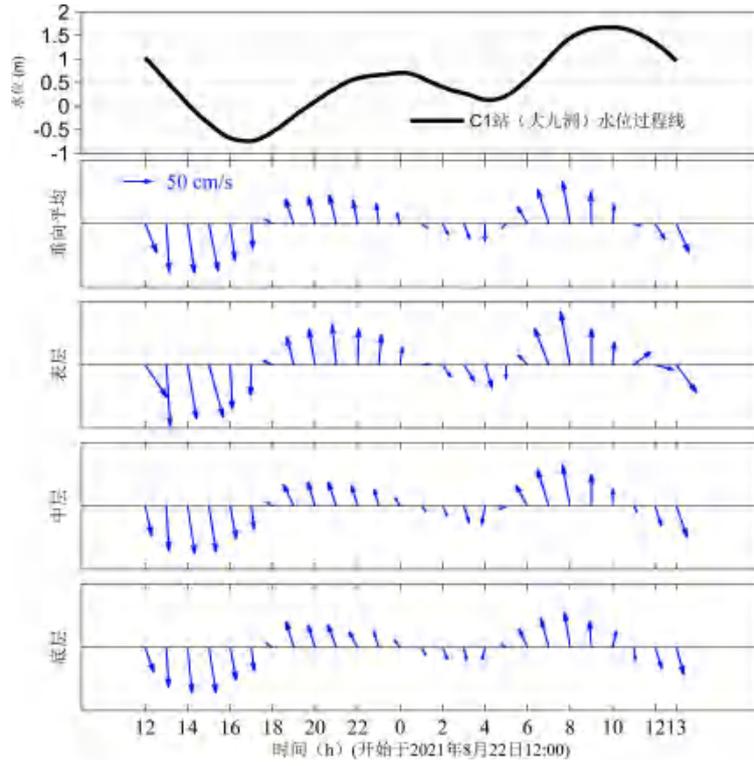


图 3.2.2-12 GS1 站大潮海流矢量过程图

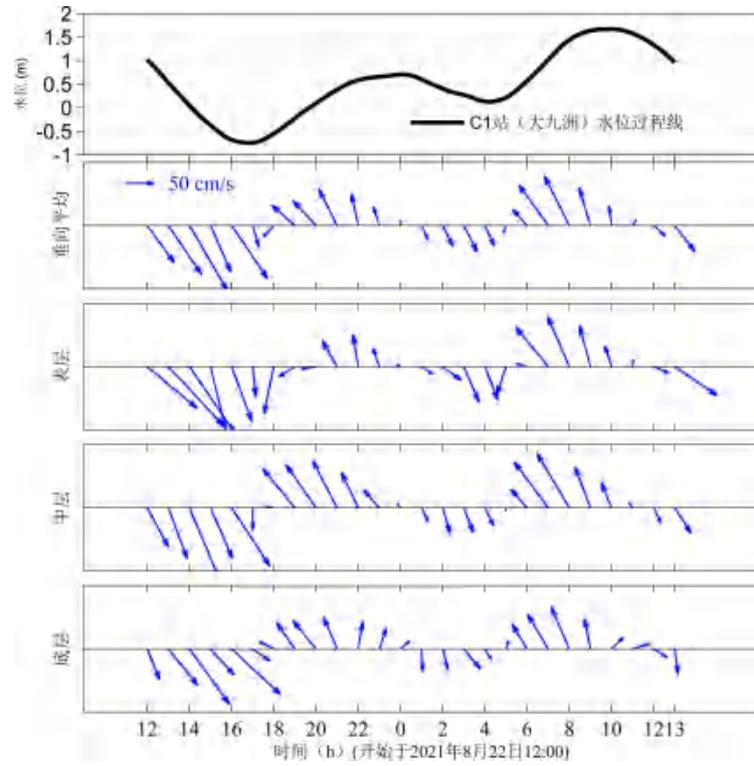


图 3.2.2-13 GS3 站大潮海流矢量过程图

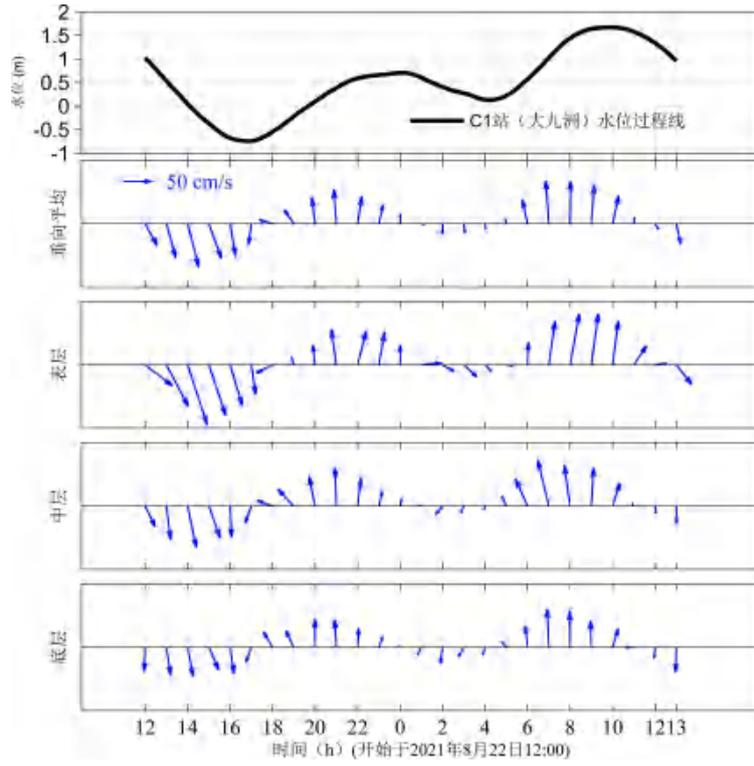


图 3.2.2-14 GS4 站大潮海流矢量过程图

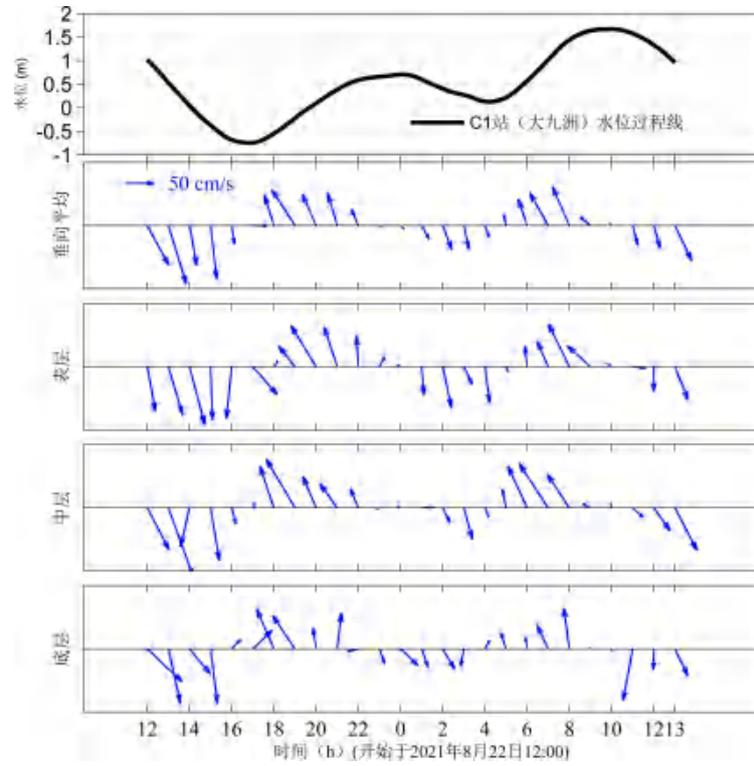


图 3.2.2-15 GS5 站大潮海流矢量过程图

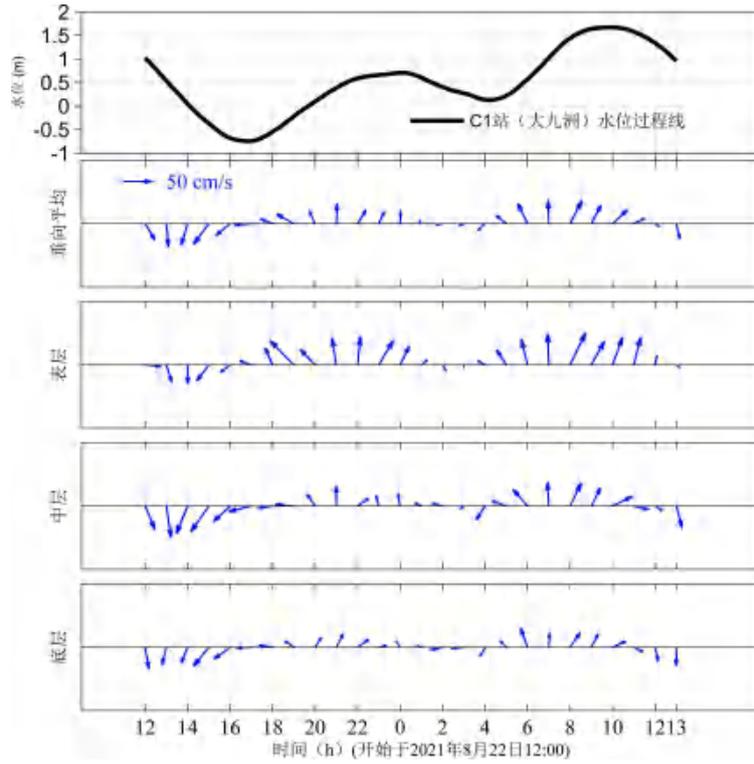


图 3.2.2-16 GS10 站大潮海流矢量过程图

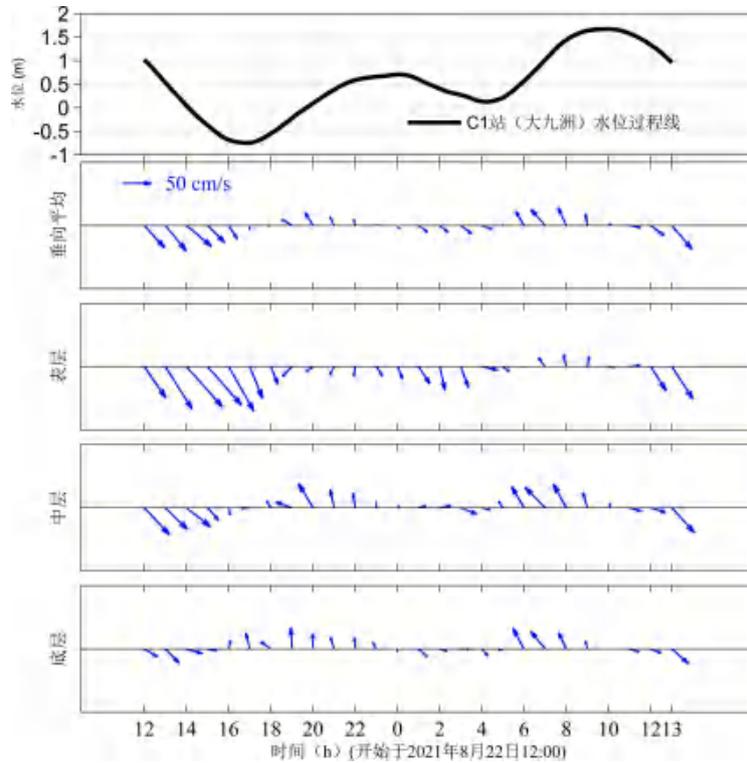


图 3.2.2-17 GS12 站大潮海流矢量过程图

表 3.2.2-7 大潮期涨、落潮流对比统计表（此内容不公开）

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（此内容不公开）

### 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  $O_1$ 、 $S_2$ 、 $M_{S_4}$  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。

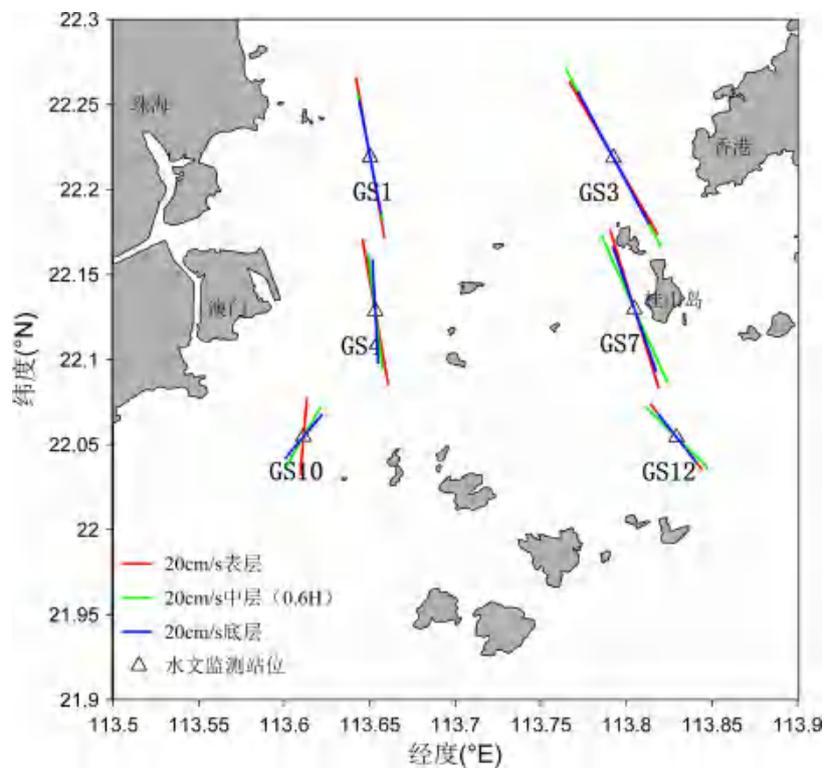


图 3.2.2-18 各站各层 M<sub>2</sub> 分潮长轴分布图

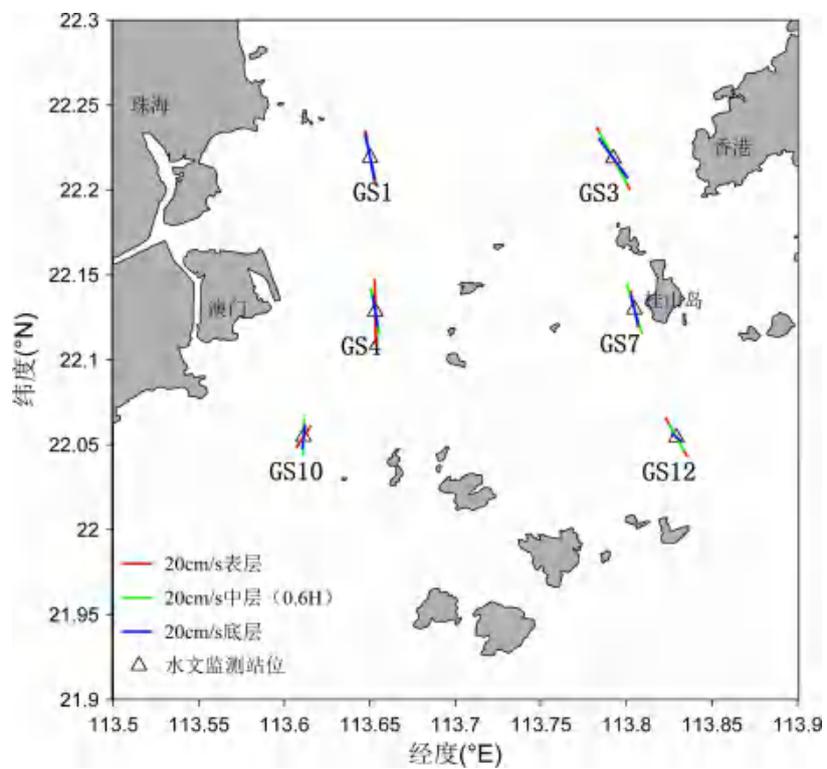


图 3.2.2-19 各站各层 K<sub>1</sub> 分潮长轴分布图

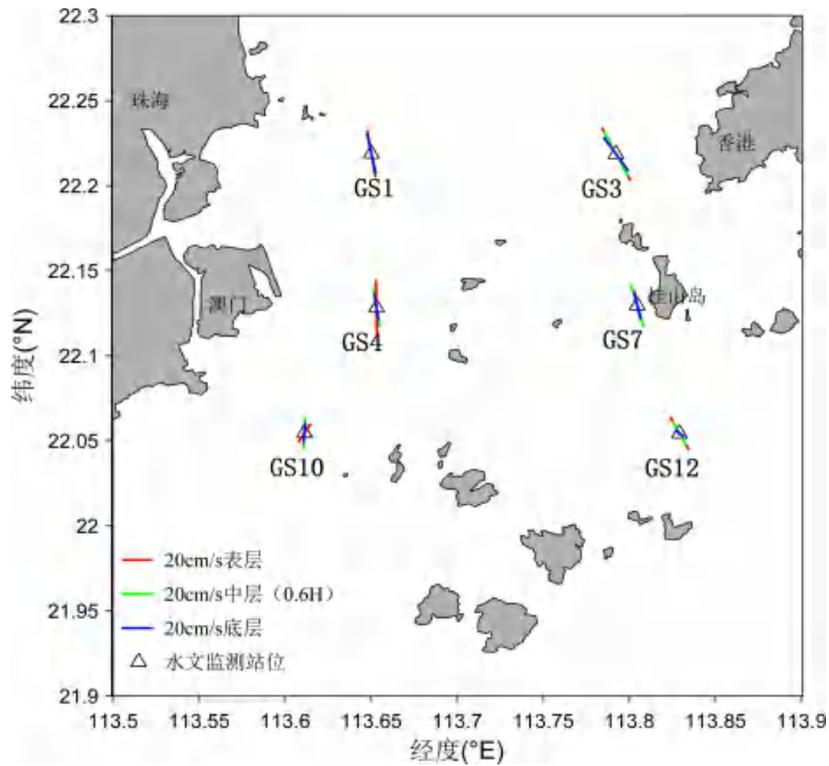


图 3.2.2-20 各站各层 O<sub>1</sub> 分潮长轴分布图

表 3.2.2-9 各潮站各层潮流椭圆要素 (此内容不公开)

### 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<sub>2</sub>、S<sub>2</sub>、K<sub>1</sub>、O<sub>1</sub>、M<sub>4</sub> 和 MS<sub>4</sub> 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 (此内容不公开)

### 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。

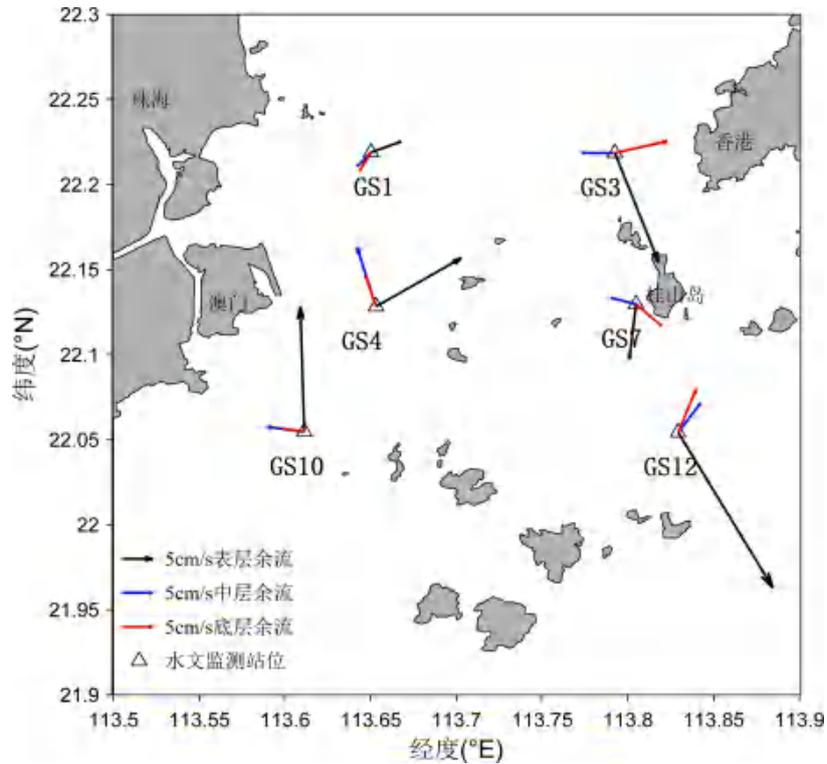


图 3.2.2-21 大潮期各站余流图

表 3.2.2-11 大潮期各站各层余流对比表（此内容不公开）

## (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 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。

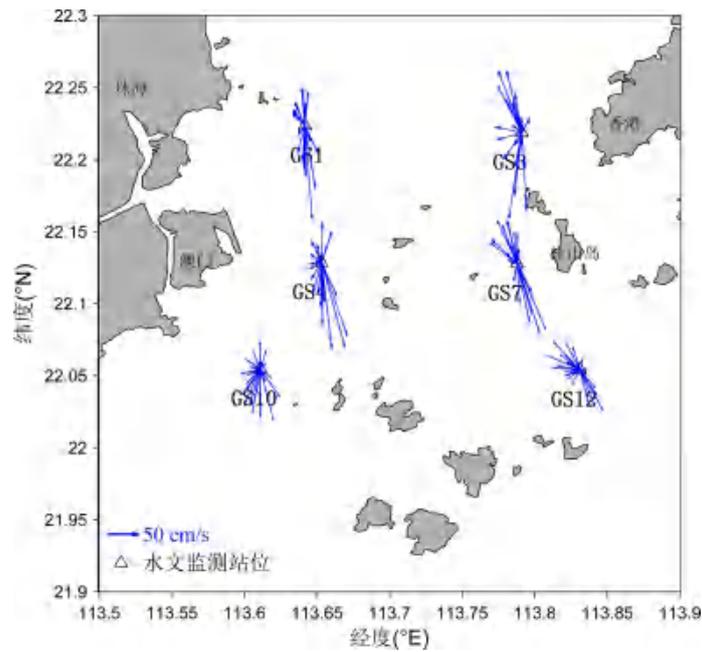


图 3.2.2-22 大潮期表层海流平面分布矢量

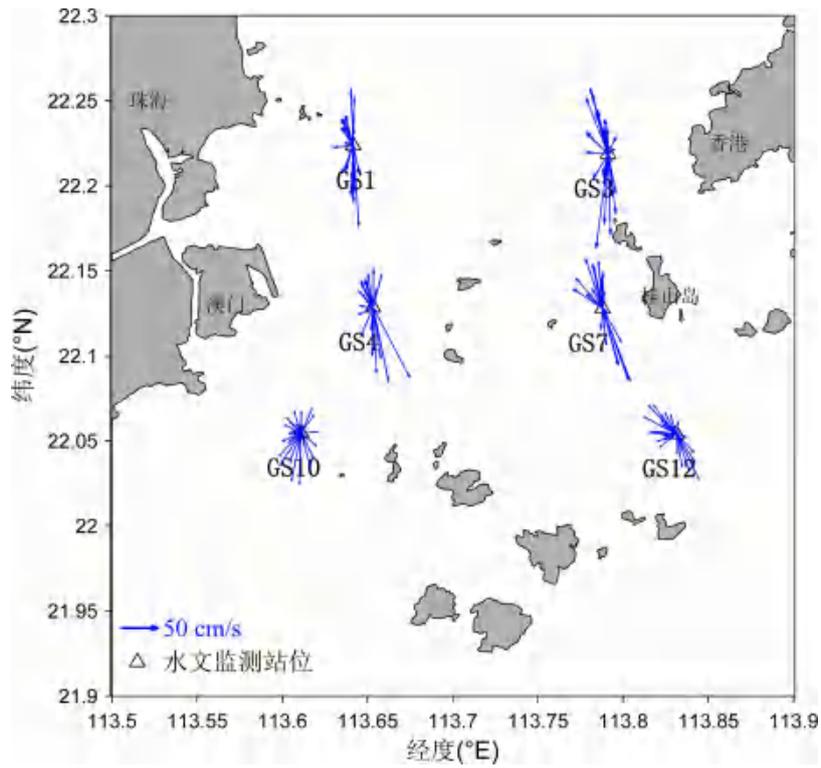


图 3.2.2-23 大潮期中层海流平面分布矢量

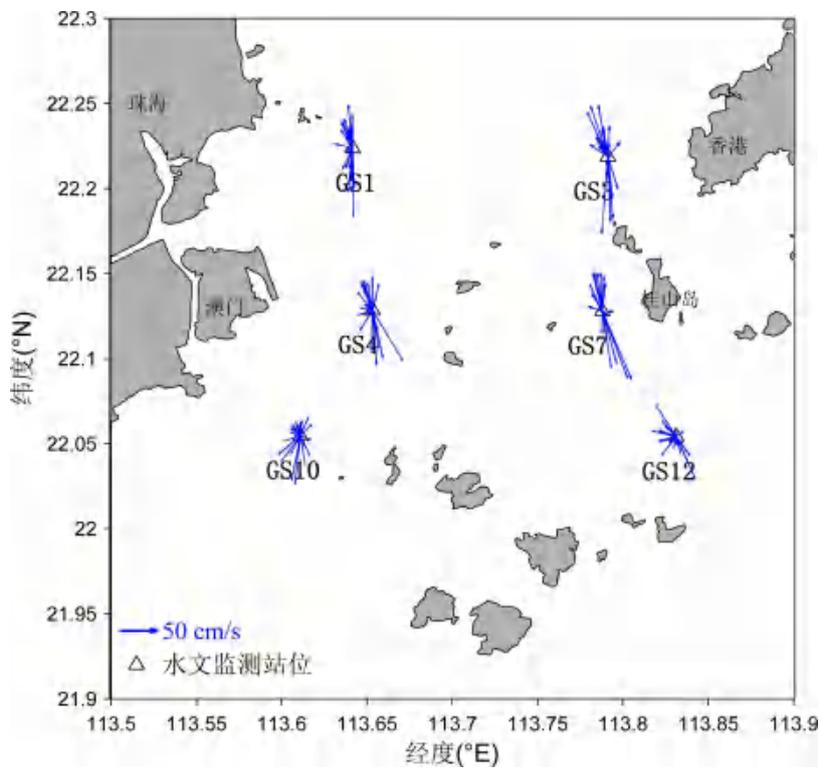


图 3.2.2-24 大潮期底层海流平面分布矢量

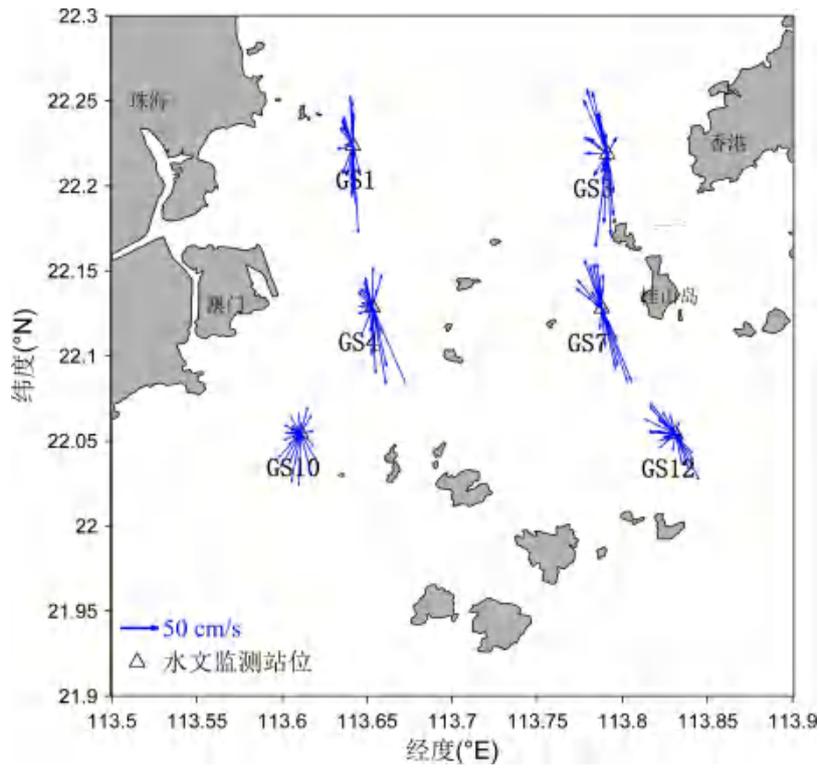


图 3.2.2-25 大潮期垂向平均海流平面分布矢量

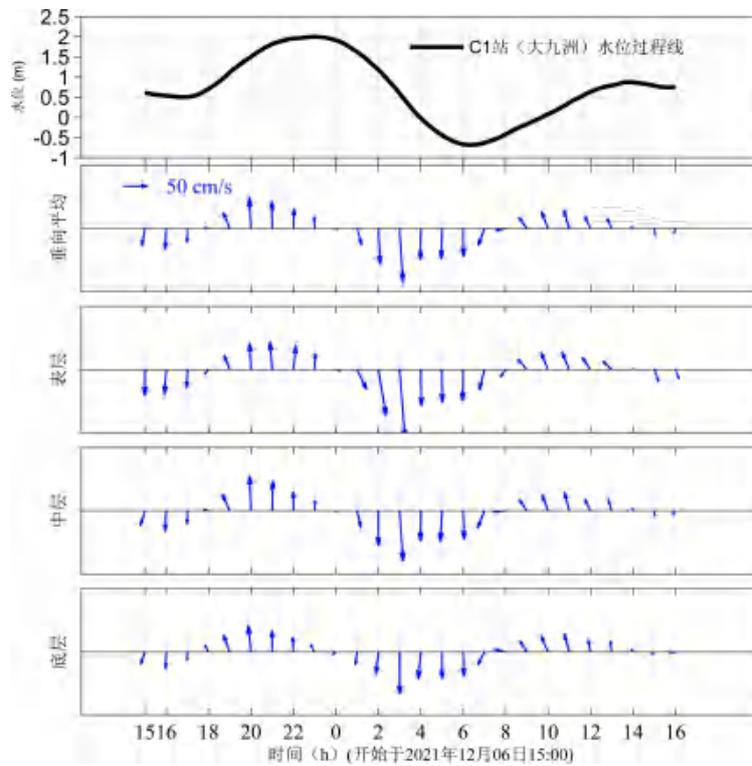


图 3.2.2-26 GS1 站大潮海流矢量过程图

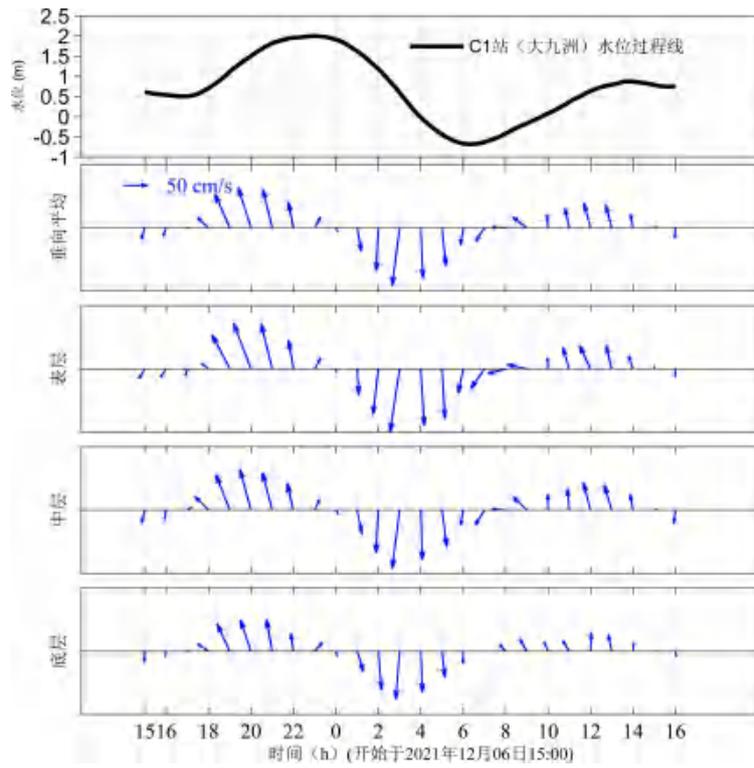


图 3.2.2-27 GS3 站大潮海流矢量过程图

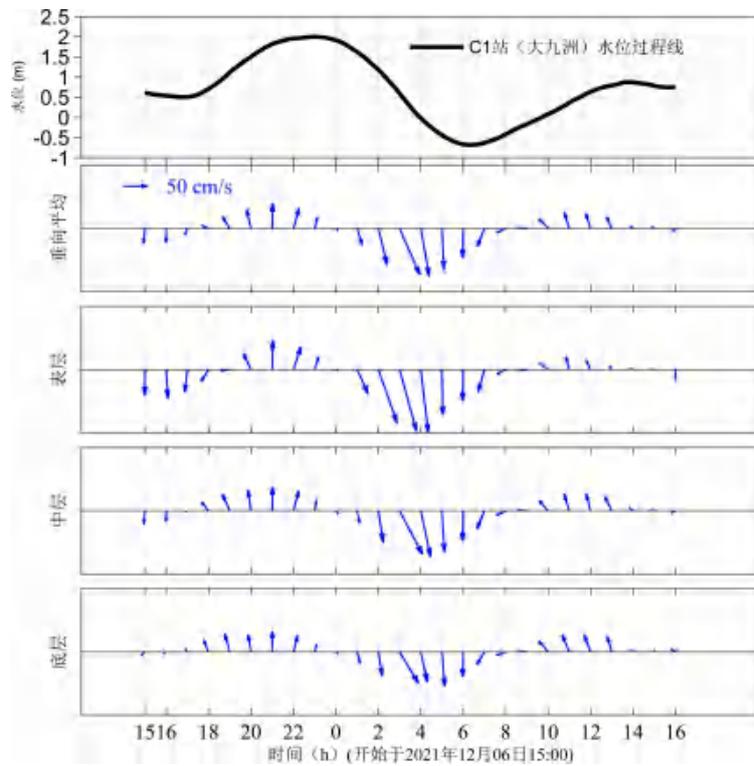


图 3.2.2-28 GS4 站大潮海流矢量过程图

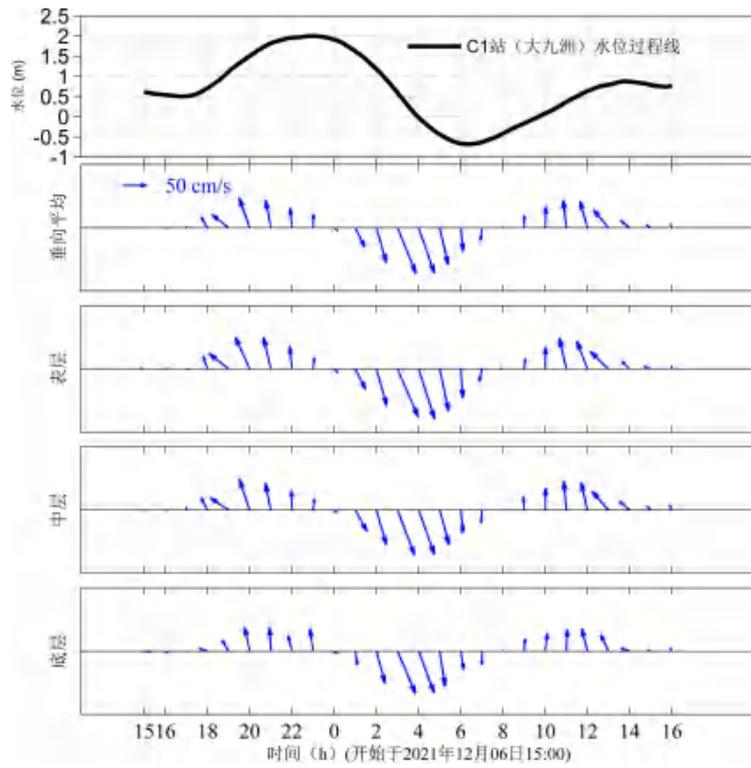


图 3.2.2-29 GS7 站大潮海流矢量过程图

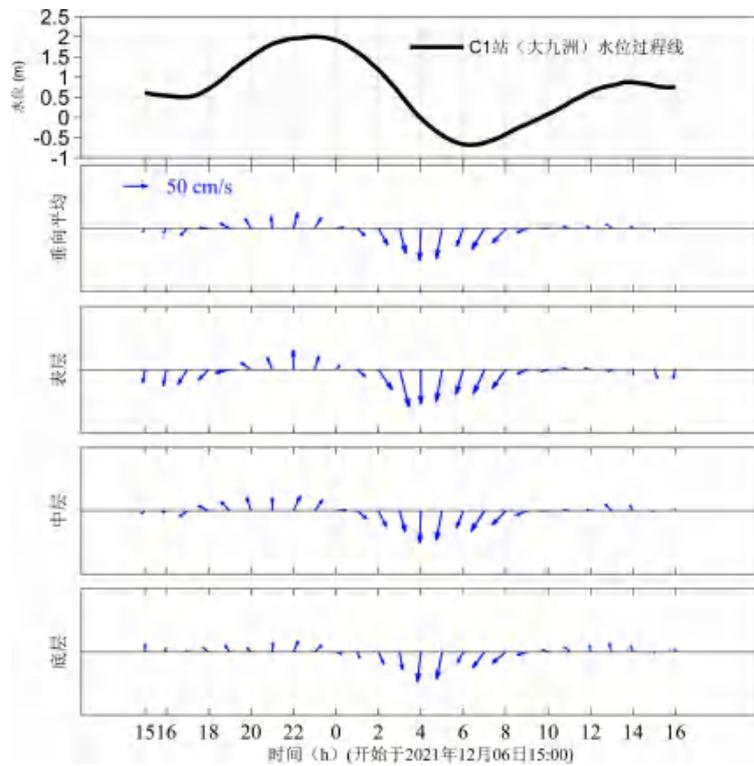


图 3.2.2-30 GS10 站大潮海流矢量过程图

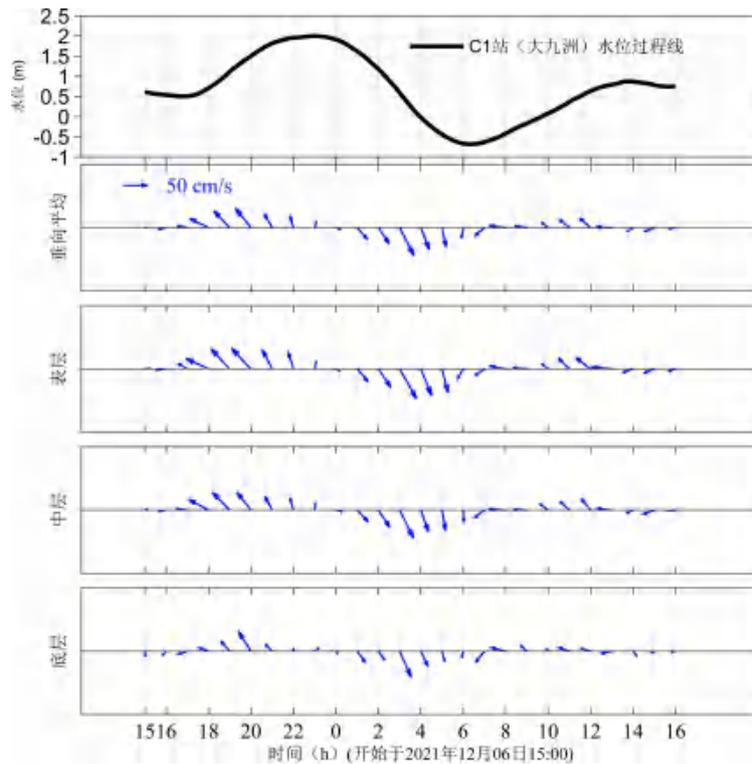


图 3.2.2-31 GS12 站大潮海流矢量过程图

表 3.2.2-12 大潮期涨、落潮流对比统计表（此内容不公开）

## 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（此内容不公开）

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

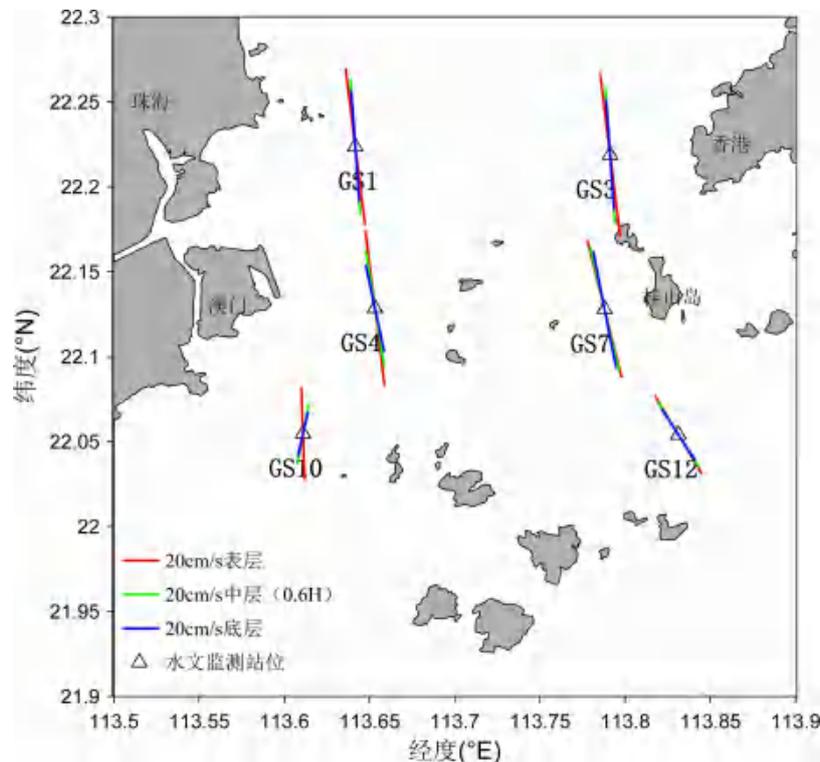


图 3.2.2-32 各站各层  $M_2$  分潮长轴分布图

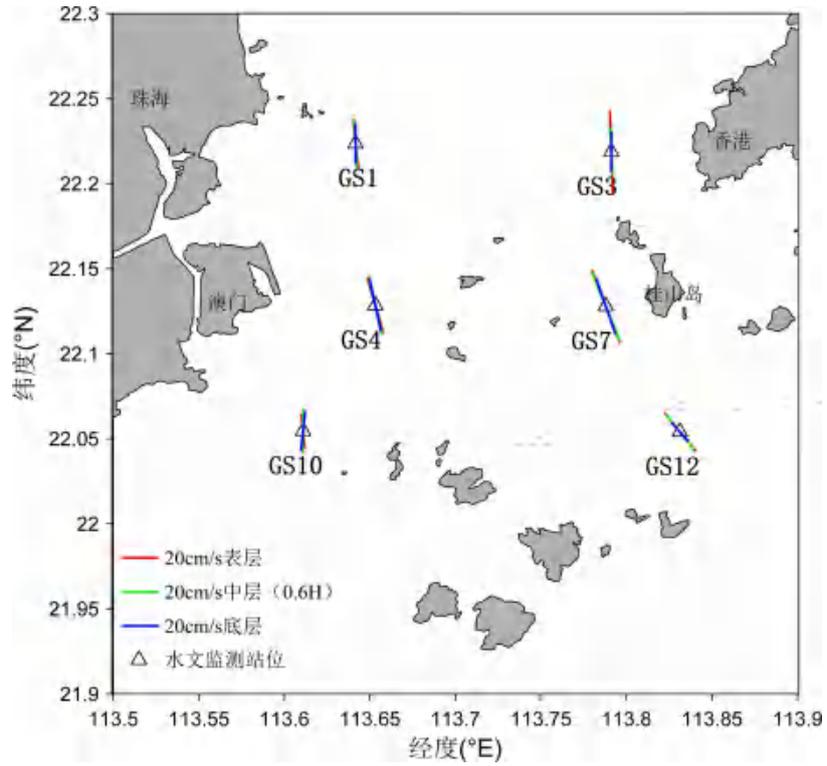


图 3.2.2-33 各站各层  $K_1$  分潮长轴分布图

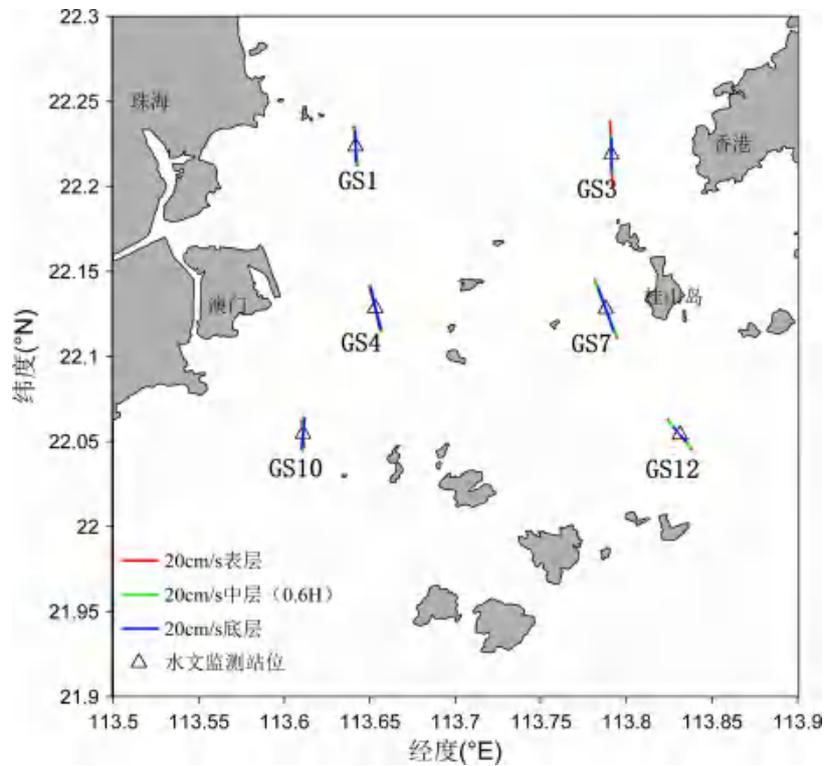


图 3.2.2-34 各站各层  $O_1$  分潮长轴分布图

表 3.2.2-14 各潮站各层潮流椭圆要素 (此内容不公开)

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（此内容不公开）

### 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。

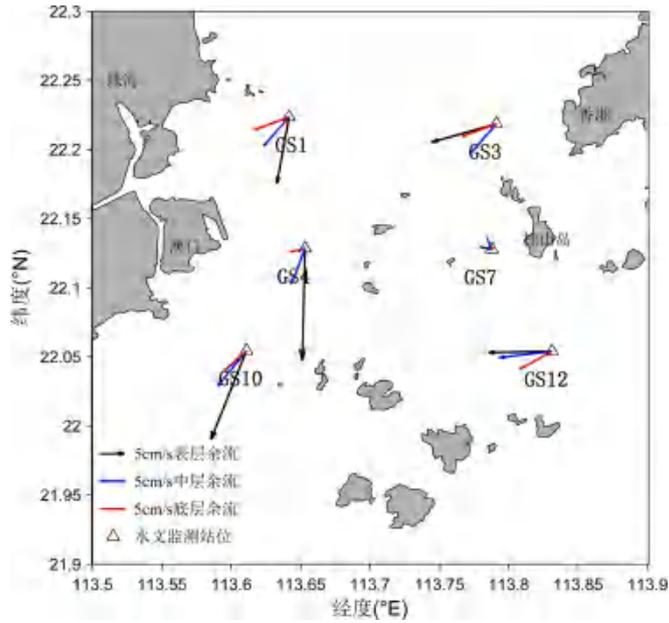


图 3.2.2-35 大潮期各站余流图

表 3.2.2-16 大潮期各站各层余流对比表（此内容不公开）

### 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°C、27.8°C、28.3°C、27.5°C、27.8°C 和 25.6°C，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（此内容不公开）

## （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（此内容不公开）

### 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（此内容不公开）

**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。

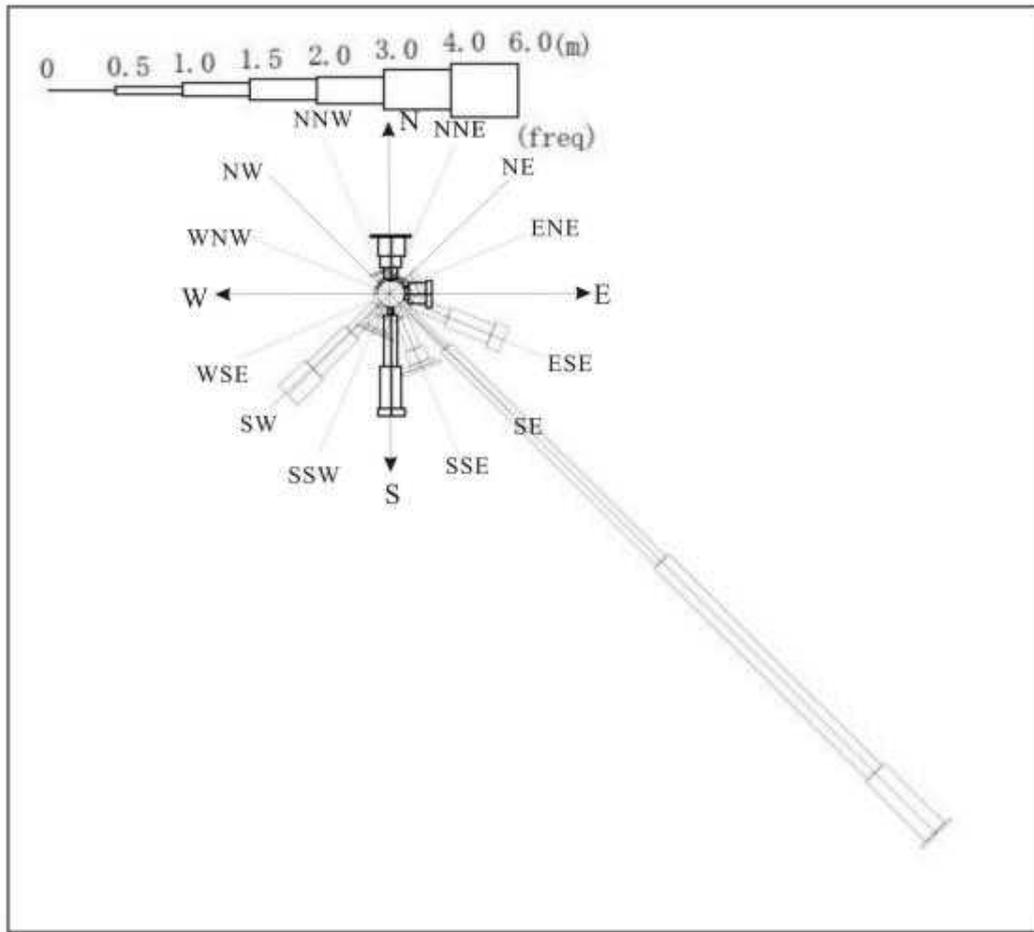


图 3.2.2-36 大万山海洋站全年波浪玫瑰图

### 3.2.3 海域地形地貌与冲淤状况

#### 3.2.3.1 区域大地构造

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 <sub>3</sub>	23
f2	白坭-沙湾断裂南段	30	NNW/SW	正断	Q <sub>3</sub>	17
f3	淇澳-桂山岛东断裂	40	NNW/	正断	Q <sub>2</sub>	8
f4	狮子洋断裂	150	320/SW/50-85	正断	Q <sub>3</sub>	24
f5	吉大-南屏断裂	20	NEE/	正断	Q <sub>2</sub>	19
f6	尖沙咀-横琴断裂	55	50/NW/45-65	逆断	Q <sub>2</sub>	10
f7	沙头角-深井断裂	15	40/NW/60-70	逆断	Q <sub>2</sub>	17
f8	唐家-山塘断裂	20	50/NW/65-70	正断	Q <sub>2</sub>	29

### 3.2.3.2 风场区地形地貌

珠海桂山海上风电场属于近海风电场，位于珠江河口的伶仃洋水域，伶仃洋是珠江喇叭口形的河口湾，湾顶在虎门一带，宽 3km，中部宽 27km，在澳门—香港之间宽约 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。

桂山海上风电场近场区分布有大大小小的 8 个岛屿，以低丘为主。场区距离最大的桂山岛约 6km~13km。场区海底地貌形态简单，较平坦，淤泥较深，场址区域内海图水深范围为 6m~11m。地形总体上呈 SN~NNE 方向伸展，在岛屿附近地形坡降变化明显，最大坡脚约 13.2 度，海底泥面标高一般为-6m~-12m。

总之，场址水深条件较好，能够满足工程施工船舶通航要求。广东省电力设计研究院在风场区进行了水深测量，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（此内容不公开）

### 3.2.3.3 海底电缆路由区地形地貌

#### 1、海底地形

参考中华人民共和国海事局 80823 号-担杆岛至三灶岛海图的截图，三角岛至珠海吉大站段路由自海岸线向海有平缓的水下缓坡，地形起伏从水深 0.8m 左右比较缓慢地过渡到水深 8m 左右；三角岛至牛头岛段路由自三角岛近岸水深 4m 左右逐渐过渡到水深 12m（榕村头航道），而后靠近桂山岛水深又变浅；三角岛至东澳岛段路由大部分水深介于 7m~10m，仅在黄茅门处水深接近 12m；东澳岛至大万山岛段路由水深相对较深，地形起伏从水深 10m 逐渐过渡到水深 20m，后在大万山岛登陆地形起伏变小，仍达 14m 深；风电场场址范围内的水深变化不大，水深大部分介于 6m~12m，海底地形较平坦。三角岛、牛头岛、东澳岛和大万山岛登陆点附近的水深相对较浅，三角岛北登陆点处水深约 4m 左右，其余海岛登陆点附近水深介于 10~14m。

参考《珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由勘察报告（报批稿）》（国家海洋局南海工程勘察中心，2013 年 12 月），海底电缆路由区地形如下：  
**珠海吉大至三角岛段路由：**路由区域内水深为 10m 以浅，5m 以浅区域范围较大。由 KP0-KP7 段近岸浅水范围内，路由穿越九洲港港区，港珠澳大桥现场施工区和一处航道，海底地形人为影响因素较多，海底面凹凸不平。路由两侧登陆段坡度较大，最大坡度为 9.79%；航道区两侧坡度较大，平均坡度为 7.5%~10.87%；其余路由段，坡度变化较小。  
**三角岛至东澳岛段路由：**路由区水深范围在 0m~17.3m 之间，路由两侧登陆段水深变化明显，水下岸坡较陡，坡度大，平均

坡度为 6.59%~7.79%；路由其余区段自北向南逐渐加深，平均坡度为 1‰左右，靠近东澳岛登陆段为潮流冲刷槽，水深相对加深，坡度略微增加，平均坡度为 2.3‰。东澳岛至大万山岛段路由：路由区内海底地形起伏明显，东澳岛和大万山到登陆段水深变化剧烈，水深由 0m 迅速增加至 17.3m~21m 左右，岸坡较陡，最大坡度为 19%；大万山岛登陆段经过一处水下凹槽，水深变化相对增加，应予以注意。路由区其他区段海底地形变化缓慢，水深集中在 17m~21m，平均坡度为 1‰~5‰。三角岛至桂山牛头岛段路由：路由两侧登陆段地形变化明显，牛头岛登陆段水深较深，坡度变化大，由水下岸坡坡度 19%过渡至 1.56%；三角岛登陆段水深较浅，基本维持在 0m~6m 范围内，平均坡度为 7.40%。登陆段坡度变化较大，应给予注意。路由其它区段，水深基本在 6m~15.5m 范围内，海底坡度变化较小。

总的来说，海底电缆路由所处海域水深条件较好，海底地形较平坦。

## 2、海底地貌

珠江河口湾在海浪、潮流、沿岸流以及径流的作用下，近代泥沙堆积于古珠江溺谷湾中，发育成珠江口水下地貌。

珠江河口湾内较大的地貌单元为水下浅滩、水下深滩、水下岸坡、水下深槽和水下三角洲。其特征如下：

### (1) 水下浅滩

位于长年受水淹没的潮下带，即自大潮低潮线起至水深 2 米（指黄海基面）。在伶仃洋东西两侧一般呈条带状分布，宽度 200~2000 米不等。其沉积物多为粉砂粘土，小部分为砂质。在横门~淇澳间和黄茅海西侧，浅水滩可宽达 5 公里。

### (2) 水下深滩

水深 2~5 米，是一个比较宽广的水下倾斜滩地。分布在伶仃洋东侧白沙角顺岸延伸至大铲湾，包括交椅沙、横沙和公沙；伶仃洋中部则以内伶仃岛为中心向南北伸展，包括伶仃拦江沙，矾石浅滩和内伶仃南浅滩；伶仃洋西部，自大角头起向南作半弧形延伸至淇澳岛南面，其沉积物为砂质或泥质。

### (3) 水下岸坡

水深 5~10 米，成块状或条带状环绕于水下浅滩外围，宽窄不一（约几百米至十几公里），最宽处在伶仃洋西南侧，宽达 19 公里；岸坡倾斜度在 0.3‰~8.0‰

之间，沉积物多为粉砂和粘土。

#### (4) 水下深槽

水深 5 米至 10 余米，由潮流或径流作用所造成，发育于水下浅滩和岸坡地带，相对比高 3~5 米，如伶仃洋的东西两槽（矾石水道和伶仃水道），其自然水深均大于 5 米，宽度 1~2 公里，是重要的通海航道。

#### (5) 水下三角洲

与水下深槽一样，均发育于水下浅滩和水下岸坡地带，是陆上珠江三角洲的水下部分，其前缘可能到达水深 20~25 米以浅范围，即到达大万山岛和外伶仃岛。三角洲表面平均坡度为 1‰。

海底电缆路由区的地貌类型主要有水下浅滩、水下岸坡和水下三角洲。

### 3.2.3.4 风电场冲淤现状

本节引用《珠海桂山海上风电新技术示范项目泥沙输运与冲刷专题分析报告》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  $0.08\text{kg/m}^3\sim 0.10\text{kg/m}^3$  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。

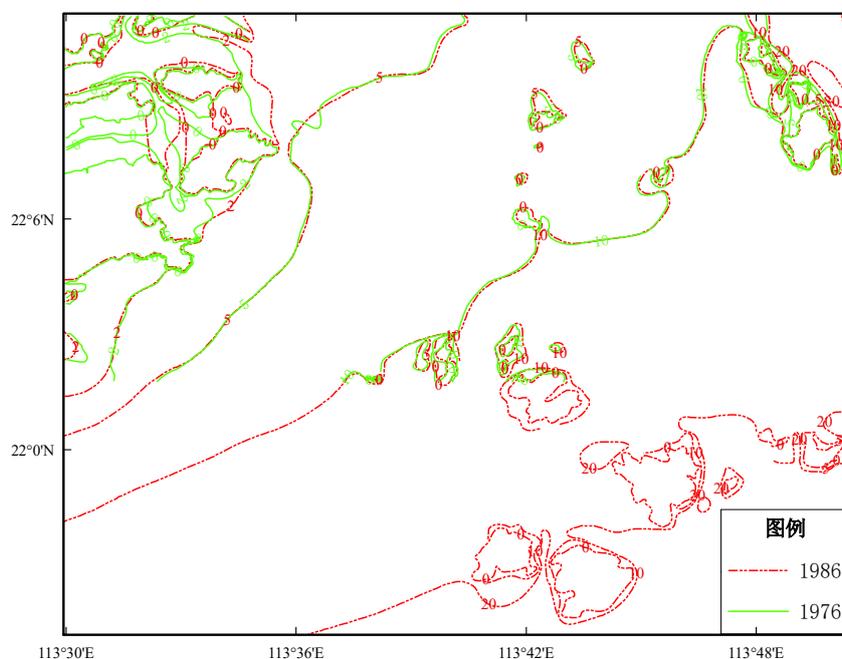


图 3.2.3-3 1976 年至 1986 年岸线及等深线变化分布图

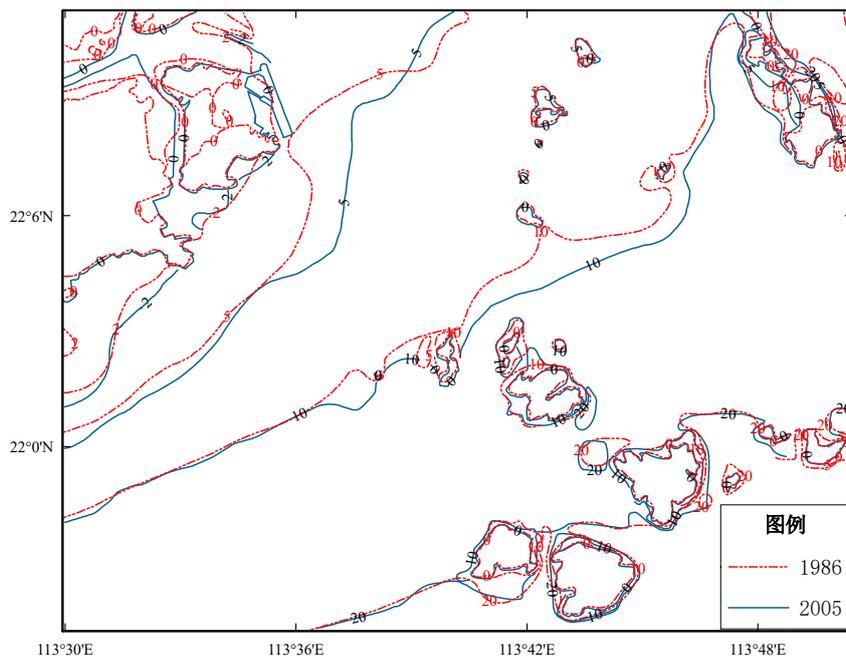


图 3.2.3-4 1986 年至 2005 年岸线及等深线变化分布图

## 3.2.4 工程地质

### 3.2.4.1 风电场场址区工程地质条件

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》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2020 年 4 月），中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司分别于 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 <sub>1</sub>	全新世 Q <sub>4</sub> <sup>m</sup>	海相沉积
2		淤泥、淤泥质土	流塑	① <sub>2</sub>		
3		淤泥质土	流塑	① <sub>3</sub>		
4		粉砂混淤泥	松散	① <sub>4</sub>		
5	黏性土	粉质黏土	软塑，局部可塑	① <sub>5</sub>	晚更新世晚期 Q <sub>3</sub> <sup>al+pl</sup>	陆相沉积
6	黏性土	粉质黏土	可塑	② <sub>1</sub>		
7	砂土	粉砂	稍密~中密	② <sub>2</sub>		
8		中砂	稍密~中密	② <sub>4</sub>		

9	黏性土	粉质黏土	软塑	③	晚更新世中期 $Q_3^{m+al}$	海陆过渡相沉积
10		粉质黏土	可塑, 局部硬塑	③ <sub>1</sub>		
11	砂土	粉砂	中密~密实	③ <sub>2</sub>		
12		粉砂混黏性土	中密	③ <sub>2-1</sub>		
13		细砂	中密	③ <sub>3</sub>		
14		中砂	中密~密实	③ <sub>4</sub>		
15		中砂混黏性土	中密	③ <sub>4-1</sub>		
16		粗砂	密实	③ <sub>5</sub>		
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 <sub>2</sub>		
19		中砂混黏性土	密实, 局部中密	④ <sub>2-1</sub>		
20		粗砂	密实	④ <sub>3</sub>		
21		粗砂混黏性土	密实	④ <sub>3-1</sub>		
22		砾砂	密实	④ <sub>4</sub>		
23	黏性土	粉质黏土	硬塑, 局部可塑	④ <sub>5</sub>		
24		粉质黏土	可塑	④ <sub>6</sub>		
25	黏性土	砂质黏性土	硬塑	⑤	-	残积
26	花岗岩		全风化	⑥ <sub>1</sub>	燕山第三期 $r_5^{2(3)}$	--
27			强风化	⑥ <sub>2</sub>		--
28			中等风化	⑥ <sub>3</sub>		--
29			微风化	⑥ <sub>4</sub>		--

## (2) 岩土层特征

对各岩土层工程特征分述如下:

淤泥(层号①<sub>1</sub>): 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①<sub>2</sub>): 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①<sub>3</sub>): 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①<sub>4</sub>): 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①<sub>5</sub>）：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②<sub>1</sub>）：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②<sub>2</sub>）：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②<sub>4</sub>）：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③<sub>1</sub>）：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③<sub>2</sub>）：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③<sub>2-1</sub>）：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③<sub>3</sub>）：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③<sub>4</sub>）：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③<sub>4-1</sub>）：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③<sub>5</sub>）：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④<sub>2</sub>）：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<sub>2-1</sub>）：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④<sub>3</sub>）：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<sub>3-1</sub>）：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④<sub>4</sub>）：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④<sub>5</sub>）：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④<sub>6</sub>）：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⑥<sub>1</sub>）：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⑥<sub>2</sub>）：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⑥<sub>3</sub>）：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⑥<sub>4</sub>）：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。

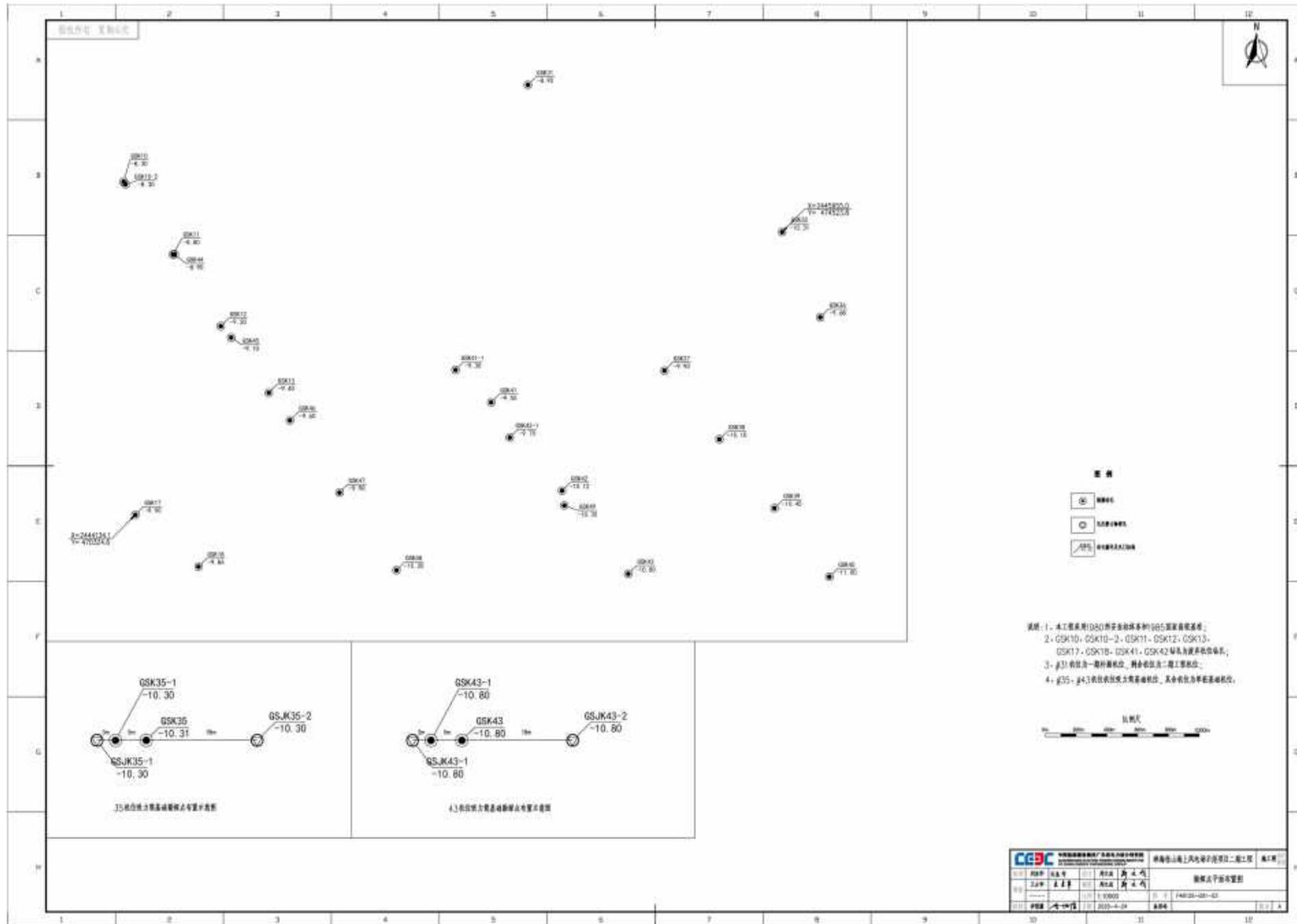


图 3.2.4-1 钻孔平面布置图示意

版权所有 侵权必究



### 钻孔柱状图

孔号 GSK10-2 第 1 页 共 4 页

开竣工日期 2019-6-8 / 2019-6-10

工程名称 珠海桂山海上风电场示范项目二期工程 X(A)= 2446261.3 孔口高程 -8.30 (m)  
 勘测阶段 施工图设计 坐标 Y(B)= 470260.8 钻孔深度 80.00 (m)  
 钻探方法 泥浆护壁, 回转钻进 钻孔位置 --- 水位埋深 --- (m)

时代成因	地层编号	层底高程 (m)	层底深度 (m)	层厚 (m)	柱状图 比例尺 1:100	岩性描述	湿度	可塑性	风化程度	标准贯入或动力触探	取样位置 (m)	
Q <sub>4</sub> <sup>pl</sup>	① <sub>1</sub>	-9.80	1.50	1.50		淤泥, 灰黄色; 饱和, 流塑; 质纯, 光滑细腻, 含有机质, 略具腥臭味, 海相沉积。	饱和	流塑			1.50-2.00	
	① <sub>2</sub>	-14.30	8.00	4.50		淤泥、淤泥质土: 灰色; 饱和, 流塑; 质较纯, 局部夹薄层粉砂或粉砂团块, 含有机质, 偶见贝壳碎屑, 略具腥臭味, 海相沉积。	饱和	流塑		=1	2.15-2.45	3.50-4.00
										=1	4.15-4.45	5.50-8.00
	① <sub>2</sub>	-19.30	11.00	5.00		淤泥、淤泥质土: 灰黄色; 饱和, 流塑; 质纯, 光滑细腻, 含有机质, 略具腥臭味, 海相沉积。	饱和	流塑		=1	6.15-6.45	7.50-8.00
=1										8.15-8.45	9.50-10.00	
	① <sub>3</sub>	-22.30	14.00	3.00		淤泥质土: 灰色; 饱和, 流塑; 质较纯, 局部夹薄层粉砂或粉砂团块, 含有机质, 偶见贝壳碎屑, 略具腥臭味, 海相沉积。	饱和	流塑		=1	10.15-10.45	11.50-12.00
	Q <sub>3</sub> <sup>pl</sup> ② <sub>1</sub>	-24.30	16.00	2.00		粉质黏土: 灰白色; 湿, 可塑; 质较纯, 塑性中等, 局部夹细砂团块, 陆相沉积。	湿	可塑		=5	14.15-14.45	16.00-17.00
										Q <sub>3</sub> <sup>ml+sl</sup> ③ <sub>1</sub>		

负责人: 郑文成 制图: 郑文成  
 校核: 李博 审核: 肖林义  
 日期: 2020-4-22 版本: A

图例  
 ● 土样  
 ○ 岩样  
 △ 水样  
 ⊙ 标贯

图号: F4612S-G01-04



版权所有 侵权必究



### 钻孔柱状图

孔号 GSK10-2 第 2 页 共 4 页

开竣工日期 2019-6-8 / 2019-6-10

工程名称 珠海桂山海上风电场示范项目二期工程 X(A)= 2446261.3 孔口高程 -8.30 (m)  
 勘测阶段 施工图设计 坐标 Y(B)= 470260.8 钻孔深度 80.00 (m)  
 钻进方法 泥浆护壁, 回转钻进 钻孔位置 -- 水位埋深 -- (m)

时代成因	地层编号	层底高程 (m)	层顶深度 (m)	层厚 (m)	柱状图 比例尺 1:100	岩性描述	湿度 渗透性	风化 程度	标准贯入 或 动力触探	取样 位置 (m)
Q <sub>4</sub> <sup>pl</sup>	③ <sub>1</sub>	-29.30	21.00	5.00		粉质粘土 灰色; 湿, 可塑; 含少量粉砂颗粒, 局部夹多个粉砂薄层, 呈水平层理, 海陆过渡相沉积。	湿 可塑		=5 20.15-20.45	22.00-23.00
	③ <sub>1</sub>					粉质粘土 灰色; 湿, 可塑; 含少量粉砂颗粒, 局部夹多个粉砂薄层, 呈水平层理, 海陆过渡相沉积。			=4 23.15-23.45	
		-34.30	26.00	5.00			湿 可塑			25.50-26.00
	③ <sub>4</sub>	-37.20	26.80	2.90		中砂 灰色; 饱和, 中磨; 砂的主要成分为石英、长石, 级配一般, 含较多粗砂颗粒, 局部泥较多, 夹多个粘土泥砂薄层, 其中 26.4~26.6m 夹腐殖质, 海陆过渡相沉积。	饱和 中磨		=15 26.15-26.45	28.10-28.30
	③ <sub>1</sub>					粉质粘土 灰色, 31~32m 为灰黄色; 湿, 可塑; 含少量粉砂颗粒, 局部夹多个粉砂薄层, 局部含腐殖质, 呈水平层理, 海陆过渡相沉积。			=14 28.55-28.85	30.00-31.00
	③ <sub>1</sub>	-40.30	32.00	3.10		粉质粘土 灰色; 湿, 可塑; 含少量粉砂颗粒, 局部夹多个粉砂薄层, 局部含腐殖质, 呈水平层理, 海陆过渡相沉积。	湿 可塑		=10 31.15-31.45	33.00-34.00
	③ <sub>1</sub>					粉质粘土 灰白色; 湿, 可塑; 含少量粉砂颗粒, 局部夹多个粉砂薄层, 呈水平层理, 海陆过渡相沉积。			=11 34.15-34.45	36.00-37.00
		-46.30	38.00	6.00		中砂 灰色; 饱和, 中磨; 局部稍实, 砂的主要成分为石英、长石, 级配一般, 含较多粗砂颗粒, 局部泥较多, 有有机质, 海陆过渡相沉积。	湿 可塑		=9 37.15-37.45	
	③ <sub>1</sub>	-47.30	39.00	1.00		粉质粘土 深灰色; 湿, 可塑; 含多量粉砂颗粒, 局部夹多个粉砂薄层, 含腐殖质, 呈水平层理, 海陆过渡相沉积。	湿 可塑			38.10-39.30
	③ <sub>4</sub>	-48.20	39.80	0.90			饱和 中磨		=31	
③ <sub>1</sub>						湿 可塑		=31 39.55-39.85		

负责人: 郑文成 制图: 郑文成  
 校核: 李博 审核: 肖林义  
 日期: 2020-4-22 版本: A

图例  
 ● 土样  
 ○ 岩样  
 △ 水样  
 ⊙ 标贯

图号: F4612S-G01-04

2/4

版权所有 侵权必究



### 钻孔柱状图

孔号 GSK10-2 第 3 页 共 4 页

开竣工日期 2019-6-8 / 2019-6-10

工程名称 珠海桂山海上风电场示范项目二期工程 X(A)= 2446261.3 孔口高程 -8.30 (m)  
 勘测阶段 施工图设计 坐标 Y(B)= 470260.8 钻孔深度 80.00 (m)  
 钻探方法 泥浆护壁, 回转钻进 钻孔位置 -- 水位埋深 -- (m)

时代成因	地层编号	层底高程 (m)	层底深度 (m)	层厚 (m)	柱状图 比例尺 1:100	岩性描述	渗透性	风化程度	标准贯入或动力触探	取样位置 (m)
Q <sub>3</sub> <sup>pl</sup>	③ <sub>1</sub>	-49.10	40.80	0.90		粉质粘土 灰灰色; 湿, 可塑; 含少量粉细砂颗粒, 局部长多个粉砂薄层, 含腐殖质, 呈水平层理, 海相过渡相沉积。	透	可塑		41.10-41.30
	④ <sub>2</sub>	-53.80	45.50	4.70		中砂: 灰色; 饱和, 密实; 矿物成分主要为石英、长石, 含较多黏粒, 含少量粗、砾砂颗粒, 局部长少量卵石, 粒径2~4cm, 颗粒大小较不均匀, 棱角较好, 河流冲积相沉积。			=38 41.55-41.85 =62 43.55-43.85	43.10-43.30 44.70-44.90
Q <sub>1</sub> <sup>pl</sup>	⑤	-55.30	47.00	1.50		砂质黏性土: 灰白、红褐色; 稍湿, 硬塑; 含少量石英砂颗粒, 可见原岩结构, 土体黏性较差, 手捏易散, 遇水易软化崩解, 残积。	稍湿	硬塑	=35 45.15-45.45	46.70-46.90
	⑥ <sub>2</sub>	-59.20	50.90	3.90		强风化花岗岩强石: 灰白、黄褐色, 矿物成分主要为石英、长石、黑云母, 中粗粒结构, 块状构造, 岩芯呈柱状, 柱长6~70cm, 岩质较硬, 锤击声清脆。		强风化		
		-61.50	53.20	2.30		强风化花岗岩: 灰黄间灰白色, 风化强烈, 岩质较软, 组织结构大部分破坏, 矿物成分除石英外大部分已风化或次生矿物, 岩芯呈坚硬土柱状, 手捏易碎, 遇水易崩解。		强风化		
	⑥ <sub>2</sub>	-62.50	54.20	1.00		强风化花岗岩强石: 灰白、黄褐色, 矿物成分主要为石英、长石、黑云母, 中粗粒结构, 块状构造, 岩芯呈柱状, 柱长6~40cm, 岩质较硬, 锤击声清脆。		强风化		
						强风化花岗岩: 灰黄间灰白色, 风化强烈, 岩质较软, 组织结构大部分破坏, 矿物成分除石英外大部分已风化或次生矿物, 岩芯呈坚硬土柱状, 手捏易碎, 遇水易崩解。		强风化	=100 65.15-55.45 =110 67.15-67.45	

负责人: 廖文成 制图: 廖文成  
 校核: 李博 审核: 肖林义  
 日期: 2020-4-22 版本: A

图例  
 ● 土样  
 ○ 岩样  
 △ 水样  
 ⊙ 标准

图号: F4612S-G01-04

3/4



### 3.2.4.2 海底电缆路由区工程地质条件

#### 1、工程地质概况

以下内容引自《珠海桂山海上风电场示范项目可行性研究报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院，2013年1月）。

##### （1）底质类型分布特征

海底电缆路由海域内的沉积物类型包括砂质泥、泥、粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂、砂等，以粉砂和砂质粉砂为主。

三角岛至珠海吉大站段路由区的沉积物类型有粉砂和泥，该段路由大部分位于粉砂沉积区内，仅近岸段经过泥质沉积区；三角岛至桂山岛段路由区的沉积物类型有粉砂、泥和砂质粉砂，该段路由绝大部分位于粉砂沉积区内；三角岛至东澳岛段路由区的沉积物类型有粉砂和砂质粉砂，该段路由处于这两种沉积类型上的长度各半；东澳岛至大万山岛段路由区的沉积物类型有砂质粉砂和粉砂，以砂质粉砂为主；桂山风电场场址范围内的沉积物类型有砂质粉砂、粉砂、砂质泥和泥，以砂质粉砂和粉砂为主。

##### （2）海底浅部地层分布特征

海底电缆路由区浅层土大体可分为三个岩性层，即淤泥层、淤泥层、粘土层。各岩土层主要由粘粒与粉砂组成，粘粒与粉砂组份的相对含量决定了土的类别。不同的定名标准所定名称不同，但性质是一致的。对各土层分别简述如下：

##### 1) 淤泥层

青灰色~棕黄色，饱水，软塑~流塑，天然含水率大于液限，孔隙比大于1.5。厚度50cm~25cm，粘性弱~强，粉砂含量大时粘性弱，粉砂含量小时粘性强，分选优。在该层大部分有生物痕迹，夹有贝壳碎屑，在赤湾柱状样品中夹有较多贝壳碎屑及见完整的贝壳。在部分取样点该层夹粘土层，厚度2cm~4cm，并有夹黑色细砂，有轻微异味，说明沉积环境的变化。在部分取样点该层含粗中细砂，说明水动力条件较强。在近岸和珠江口、龙穴岛、大铲岛附近、伶仃水道北半部分，该层颜色较深，含有机质较多，微臭。该层在整个场区分布较为普遍，是本区最主要的土层，除在珠海和澳门近岸海域表层揭露为粘土外，其余站位部揭露有此土层。

##### 2) 淤泥层

黑灰色或深灰色，饱水，软塑～流塑，微臭，含少量贝壳碎屑，粘粒含量高，天然含水率大于液限，孔隙比大于 1.5，有机质含量高，疏松，亲水性强。

### 3) 粘土层

棕黄色～棕灰色，粘性强，少量取样点有生物痕迹，含极少量贝壳碎屑。在部分取样点，整条柱状样均见有生物活动痕迹及其穴孔。中间夹薄层黑色粉砂，约 2mm～3mm，有生物痕迹，含极少量贝壳碎屑，软，有轻微异味。另外在部分取样点揭露有砂层，浅黄色～青灰色，由粘土、细砂、中砂和粗砂组成，以中粗砂为主，含有贝壳碎屑，粘性弱，分选差。该层不具有普遍性。

## (3) 海底浅部地层物理力学特征

### 1) 含水率

含水率是土的干湿程度的体现。各柱状样含水率介于 57.96%～91.71%之间，大部分介于 65%～83%，平均为 74.96%，多处于饱和状态。含水率较高，说明土质结构疏松，孔隙率较高，物理力学性质很差，处于流塑～软塑状态。岩性不同、深度不同，含水率也不同，淤泥含水率最高，可达到 91.71%。随着深度的增加，含水率变小，说明底层土随着沉积年代的增加，逐渐密实。

### 2) 天然密度和干密度

各柱状样天然密度值介于  $1.50\text{g/cm}^3\sim 1.65\text{g/cm}^3$  之间，大部分介于  $1.55\text{g/cm}^3\sim 1.63\text{g/cm}^3$ ，平均  $1.57\text{g/cm}^3$ 。密度与土的比重、孔隙体积及孔隙中水的多少有关，其值可以综合反映土的物质组成与结构特征。淤泥的天然密度低，密度较小。密度与含水率成反方向变化，密度值大时，含水率值小；密度值小时，含水率值大。密度值整体偏小，说明土质结构疏松，含水率高，与所测含水率结果相吻合。随着深度的增加，密度值变大，说明随着沉积年代的增加，逐渐密实。干密度值介于  $0.80\text{g/cm}^3\sim 1.01\text{g/cm}^3$  之间，平均  $0.90\text{g/cm}^3$ 。干密度表征土粒排列的密实程度：土愈密实，土粒越多，孔隙体积就越小，干密度就越大；反之，干密度就小。干密度反映了土的孔隙性，用来计算土的孔隙率。

### 3) 比重

各柱状样比重值介于  $2.67\text{g/cm}^3\sim 2.80\text{g/cm}^3$  之间，平均  $2.73\text{g/cm}^3$ 。有机质含量的多少决定比重大小。有机质含量高，比重值较小；有机质含量低，比重值

较大。

#### 4) 饱和度

饱和度是表征土中孔隙被水充满的程度的一个物理量,对于砂土可以用来确定其承载力。由于所有样品均取自海底,即位于水面以下,因而各类土的饱和度都很高,全部高于 93.38%,多数样品为 100%。说明土样皆处于饱和状态,多数样品完全饱和。

#### 5) 孔隙比

各柱状样孔隙比介于 1.68~2.43 之间,平均值 2.05。孔隙比数值较高,说明土质结构疏松,孔隙率高,物理力学性质很差。海底土的孔隙比与其结构、颗粒大小、排列及密实程度有关。表层土孔隙比高于浅层土,向下具有变低趋势,说明底层土随着沉积年代的增加,逐渐密实。

#### 6) 土的可塑性指标

各柱状样液限介于 51.68~70.09 之间,10mm 液限介于 42.32~57.43。塑限介于 22.90~31.31 之间。塑性指数介于 24.79~45.58 之间,10mm 塑性指数介于 17.15~29.44。各柱状样液性指数介于 0.90~1.97 之间,10mm 液性指数介于 1.35~2.88。各柱状样液性指数大部分大于 1,说明土皆处于可流动状态,具有很低的强度和很高的压缩性。

#### 7) 压缩性指标

固结试验给出压缩系数和压缩模量两个指标。各柱状样压缩系数介于  $1.17\text{MPa}^{-1}$ ~ $2.92\text{MPa}^{-1}$  之间,平均  $1.80\text{MPa}^{-1}$ ,压缩模量介于  $1.1\text{MPa}$ ~ $2.4\text{MPa}$  之间,平均  $1.667\text{MPa}$ 。压缩模量数值较低,说明土质结构疏松,物理力学性质很差。试验结果表明本区淤泥和粘土属高压缩性土。

#### 8) 抗剪强度

各柱状样内摩擦角介于 0.9~9.4 度,平均 5.16 度;内聚力介于  $1.02\text{kPa}$ ~ $15.96\text{kPa}$  之间,平均  $4.36\text{kPa}$ 。各柱状样微型十字板剪切强度介于  $9.50\text{kPa}$ ~ $44.30\text{kPa}$  之间,平均  $28.92\text{kPa}$ ,十字板剪切强度随着深度的增加而变大,说明随着深度的增加,土的工程力学性质逐渐增强。试验结果表明,调查区内摩擦角和内聚力较小,说明土的抗剪强度低。

#### 9) 贯入承载力

各柱状样微型贯入承载力介于 39.50kPa~102.60kPa 之间，平均 55.60kPa，承载力随着深度的增加而变大。

#### (4) 潜在海洋地质灾害

海底电缆路由所处海域的海洋地质灾害主要有古河道、浅层气、浅埋基岩和断裂，其中三角岛至珠海吉大站段路由仅存在断裂，三角岛至牛头岛段路由存在浅层气、断裂和浅埋基岩，三角岛至东澳岛段路由存在浅层气、古河道和浅埋基岩，东澳岛至大万山岛段路由存在古河道和浅埋基岩，桂山风电场场址区域存在浅层气和部分古河道。浅层气和古河道是海底电缆路由海域最主要的海洋地质灾害类型，浅埋基岩仅存在于岛屿近岸段。

### 2、工程地质钻孔情况

工程地质钻孔资料引自《珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由勘察报告（报批稿）》（国家海洋局南海工程勘察中心，2013 年 12 月）。国家海洋局南海工程勘察中心于 2013 年 9 月 19 日~2013 年 10 月 12 日在工程所在海

域的电缆预设位置进行工程地质现场勘察，共布设 10 个钻孔，钻孔布置布置图见图 3.2.4-3，钻孔柱状图见图 3.2.4-4（以 ZK1、ZK3、ZK4 和 ZK8 为代表）。

#### (1) 浅部柱状沉积物

由于珠江口海域表层流泥分布广泛，勘察设计是用重力采样器采集浅部 2m 以浅的样品，但实际采样未考虑表层流泥（浮泥）的厚度，采集的是流泥以下沉积物的柱状样品。本次柱状样揭露的地层与浅地层剖面的地层相吻合，勘察区内埋藏的地层为第四系海相沉积层（ $Q_4^m$ ）和第四系海陆交互相沉积层（ $Q_4^{mc}$ ）岩土特性自上而下主要分布有淤泥、淤泥质粉质粘土、圆砾、粉土、中砂、粗砂。该区地层岩土特征详细情况如下：

##### ①淤泥

灰黑色，饱和，流塑状，滑腻，土质均匀，稍臭，偶见贝壳。本层分布连续，厚度大。

取土样 162 个，主要物理力学指标的平均值为：含水率  $W=72.55\%$ ，液性指数  $IL=2.36$ ，塑性指数  $IP=19.93$ ；三轴（UU）凝聚力  $C_u=3.7\text{KPa}$ ，三轴（UU）内摩擦角  $\varphi_u=0.62^\circ$ ，孔隙比  $e=1.94$ ，压缩系数  $a_{1-2}=1.46\text{Mpa}^{-1}$ ，压缩模量  $E_{1-2}=2.06\text{Mpa}$ 。

### ②淤泥质粉质粘土

灰黑色，饱和，软塑，滑腻，混少量砂。本层分布广泛，厚度大。

取土样 32 个，主要物理力学指标的平均值为：含水率  $W=50.74\%$ ，液性指数  $IL=2.04$ ，塑性指数  $IP=14.60$ ；三轴（UU）凝聚力  $C_u=4.65\text{KPa}$ ，三轴（UU）内摩擦角  $\varphi_u=1.15^\circ$ ，孔隙比  $e=1.38$ ，压缩系数  $a_{1-2}=1.03\text{Mpa}^{-1}$ ，压缩模量  $E_{1-2}=2.36\text{Mpa}$ 。

### ③圆砾

灰黑色，饱和，松散，级配不良，混较多角砾和砂。仅在 GS7 孔柱状样品中有揭露。

### ④粉土

灰黑色，饱和，软塑，滑腻，混少量砂。仅在 DA14、WS3、WS8 孔有揭露。取土样 5 个，主要物理力学指标的平均值为：含水率  $W=34.30\%$ ，液性指数  $IL=2.2$ ，塑性指数  $IP=8.3$ ；三轴（UU）凝聚力  $C_u=4.53\text{KPa}$ ，三轴（UU）内摩擦角  $\varphi_u=1.0^\circ$ ，孔隙比  $e=0.92$ ，压缩系数  $a_{1-2}=0.43\text{Mpa}^{-1}$ ，压缩模量  $E_{1-2}=4.7\text{Mpa}$ 。

### ⑤中砂

灰黑色，饱和，松散，级配不良，混较多淤泥。仅在 DA14 孔有揭露。

### ⑥粗砂

灰黑色，饱和，松散，级配不良，混较多淤泥。仅在 WS3 孔有揭露。

## （2）钻探

本次钻探揭露的地层与浅地层剖面的地层相吻合，勘察区内埋藏的地层为第四系海相沉积层（ $Q_4^m$ ）和第四系海陆交互相沉积层（ $Q_4^{mc}$ ）岩土特性自上而下主要分布有中砂、淤泥、淤泥质砂土、淤泥质粉质粘土、粉质粘土。该区地层岩土特征详细情况如下：

### ①中砂

灰黑色，饱和，中密，级配不良，混淤泥，砂粒与粘粒胶结紧密。仅 ZK8 孔有揭露，层厚约 3.70m。

### ②淤泥

灰黑色，饱和，流塑~软塑状，粘稠，上层均有约 0.5m~2m 厚的流泥，部分孔含腐殖质，稍臭，部分孔含贝壳碎屑。本层分布连续，厚度大，层厚 3.00m~11.10m，因钻孔设计深度较浅，未钻至层底。

取土样 32 个，主要物理力学指标的平均值为：含水率  $W=65.40\%$ ，液性指数  $IL=1.90$ ，塑性指数  $IP=20.88$ ；三轴（UU）凝聚力  $C_u=4.9\text{KPa}$ ，三轴（UU）内摩擦角  $\varphi_u=1.84^\circ$ ，孔隙比  $e=1.80$ ，压缩系数  $a_{1-2}=1.57\text{Mpa}^{-1}$ ，压缩模量  $E_{1-2}=1.84\text{Mpa}$ 。

### ③淤泥质砂土

灰黑色，饱和，松散，混淤泥和贝壳碎屑。仅在 ZK1、ZK9 孔有揭露，层厚约 0.5m~1.00m。

### ④淤泥质粉质粘土

灰黑色，饱和，软塑，稍粘稠，含有细碎贝壳砂。仅在 ZK3、ZK6、ZK10 孔有揭露，揭露层厚约 2.4m~7.50m，因钻孔设计深度较浅，未钻至层底。

取土样 6 个，主要物理力学指标的平均值为：含水率  $W=47.03\%$ ，液性指数  $IL=1.89$ ，塑性指数  $IP=14.13$ ；三轴（UU）凝聚力  $C_u=5.56\text{KPa}$ ，三轴（UU）内摩擦角  $\varphi_u=2.2^\circ$ ，孔隙比  $e=1.323$ ，压缩系数  $a_{1-2}=1.02\text{Mpa}^{-1}$ ，压缩模量  $E_{1-2}=2.39\text{Mpa}$ 。

### ⑤粉质粘土

褐灰~灰黄色，湿，硬塑，粘性一般。仅在 ZK7、ZK9 孔有揭露，揭露层厚不足 1m，因钻孔设计深度较浅，未钻至层底。

取土样 2 个，主要物理力学指标的平均值为：含水率  $W=28.30\%$ ，液性指数  $IL=0.58$ ，塑性指数  $IP=13.90$ ；三轴（UU）凝聚力  $C_u=45.0\text{KPa}$ ，三轴（UU）内摩擦角  $\varphi_u=10.85^\circ$ ，孔隙比  $e=0.76$ ，压缩系数  $a_{1-2}=0.28\text{Mpa}^{-1}$ ，压缩模量  $E_{1-2}=6.92\text{Mpa}$ 。

## （3）钻孔岩土物理力学性质

本次勘察对 10 个钻孔的流泥厚度进行了统计。流泥厚度介于 0.5m~2.0m，平均约为 1.5m。

本次勘察对采集的柱状沉积物样品进行了热阻率、微型十字板剪切试验和微型贯入试验。从试验结果可知，柱状样各岩土层热阻率的变化范围介于  $0.95\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\sim 2.51\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，变化范围较大，但平均值（ $1.23\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\sim 1.32\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ）较接近。剪切强度均值介于  $18.72\text{KPa}\sim 28.28\text{KPa}$ ，贯入阻力均值介于  $3.79\text{KPa}\sim$

6.64KPa, 均呈现出由上至下逐渐增大的趋势。总体来说, 土体抗剪强度和贯入阻力较小, 有利于海缆的铺设施工。

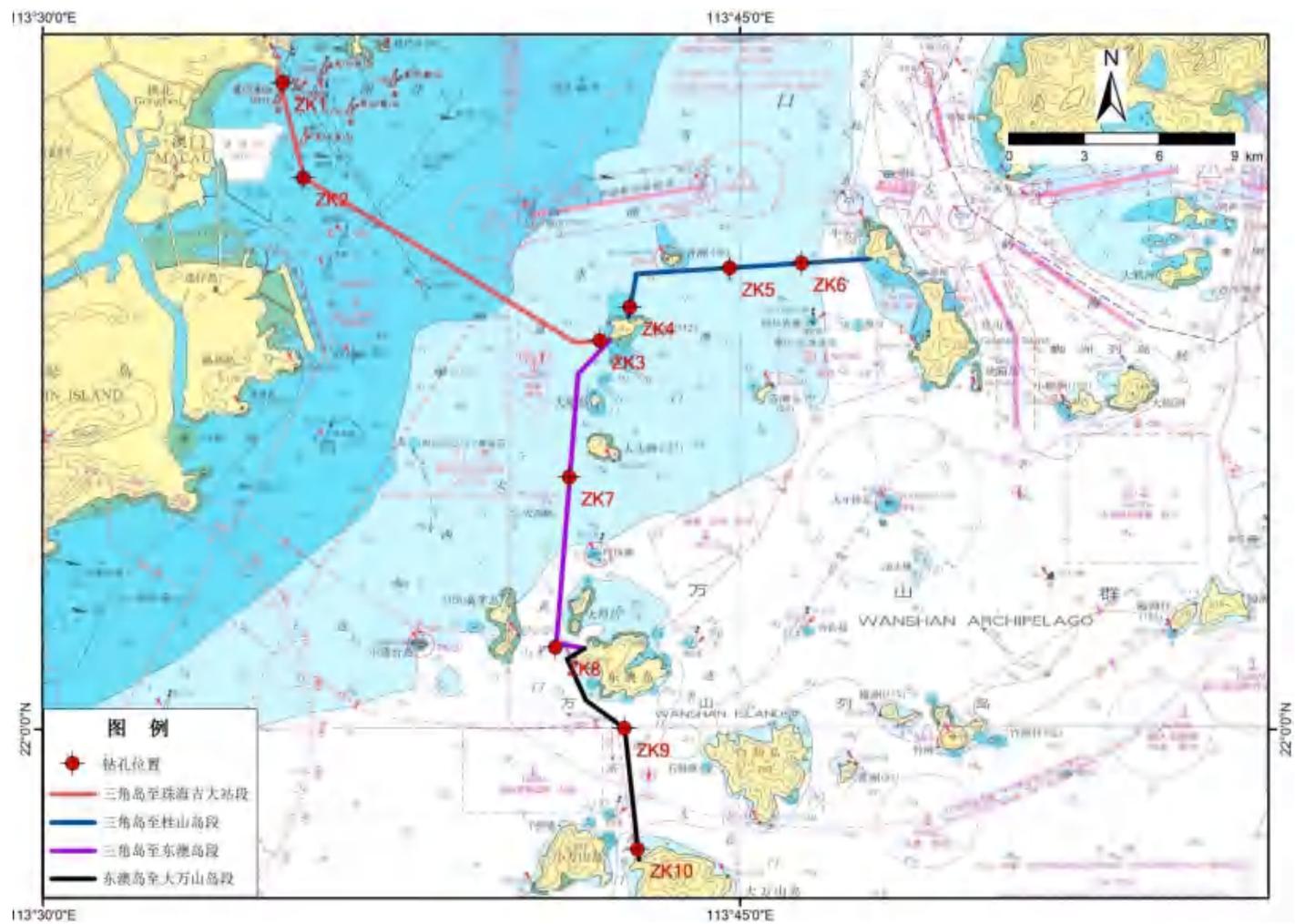


图 3.2.4-3 海底电缆路由区工程地质钻孔布置图

# 钻孔柱状图

第 1 页 共 1 页

工程名称		珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由勘察项目										
工程编号		SMES-KCZX13030		钻孔编号		ZK1		钻孔日期		2013/10/4		
钻孔深度 (m)		11.10		坐标 (m)		X= 457332.14		开孔时间		开孔水深 (m)		
孔口高程 (m)						Y= 2458307.96		终孔时间		终孔水深 (m)		
地层编号	时代成因	层底高程 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩土名称及其特征					取 样	
2	Q <sub>4</sub>				1.10	淤泥: 灰黑色, 饱和, 流塑-软塑, 粘稠, 上层约2m为流泥, 未见贝壳。						ZK1-1 3.50-4.00
		-3.00	5.00	5.00								
3		-5.50	5.50	0.50	-	淤泥质砂土: 灰黑色, 饱和, 含中粗沙, 混贝壳碎屑。						ZK1-2 6.40-6.90
2						淤泥: 灰黑色, 饱和, 软塑状, 粘稠, 未见贝壳。						ZK1-3 8.50-9.00
		-11.10	11.10	5.60								
												ZK1-4 10.60-11.10
勘察单位		SMES国家海洋局南海工程勘察中心				制图	杨文丰	校对	刘强	图号	1	

图 3.2.4-4a 钻孔柱状图 (ZK1)

# 钻孔柱状图

第 1 页 共 1 页

工程名称		珠海桂山海上风电场示范项目海底电线路由勘察项目									
工程编号		SMES-KCZX13030		钻孔编号		ZK3		钻孔日期		2013/10/5	
钻孔深度(m)		10.90		坐标(m) X= 469051.45 Y= 2448140.51		开孔时间		开孔水深(m)			
孔口高程(m)						终孔时间		终孔水深(m)			
地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩土名称及其特征					取 样
2	Q <sub>4</sub>					淤泥:灰黑色,饱和,流塑~软塑,粘稠,上层约0.5m为流泥,中、底部含有贝壳碎屑。					ZK3-1
											1.50-2.00
											3.50-4.00
											6.40-6.90
											8.10-8.60
4		-8.500	8.50	8.50		淤泥质粉质粘土:灰黑色,饱和,软塑,粘粘稠,含有细碎贝壳沙。					ZK3-5
		-10.500	10.30	2.40							10.40-10.90
勘察单位		SMES国家海洋局南海工程勘察中心				制图	杨文丰	校对	刘强	图号	3

图 3.2.4-4b 钻孔柱状图 (ZK3)

# 钻孔柱状图

第 1 页 共 1 页

工程名称		珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由勘察项目															
工程编号		SMES-KCZX13030		钻孔编号		ZK4		钻孔日期		2013/10/5							
钻孔深度 (m)		11.10		坐标 (m)		X= 470150.62		开孔时间		开孔水深 (m)							
孔口高程 (m)						Y= 2449449.74		终孔时间		终孔水深 (m)							
地层编号	时代成因	层底高程 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩土名称及其特征					取 样						
2	Q <sub>4</sub>					淤泥:灰黑色, 饱和, 流塑-软塑, 粘滞, 上层约1.3m为流泥, 未见贝壳。					ZK4-1 3.50-4.00						
											ZK4-2 5.10-6.50						
											ZK4-3 8.00-8.50						
		-11.100	11.10	11.10							ZK4-4 10.60-11.10						
勘察单位		SMES国家海洋局南海工程勘察中心				制图		杨文丰		校对		刘强		图号		4	

图 3.2.4-4c 钻孔柱状图 (ZK4)

# 钻孔柱状图

第 1 页 共 1 页

工程名称		珠海桂山海上风电场示范项目海底电缆路由勘察项目										
工程编号		SMES-KCZX13030		钻孔编号		ZK8		钻孔日期		2013/10/8		
钻孔深度 (m)		9.90		坐标 (m)		X= 467377.70		开孔时间		开孔水深 (m)		
孔口高程 (m)						Y= 2436074.64		终孔时间		终孔水深 (m)		
地层编号	时代成因	层底高程 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩土名称及其特征					取 样	
2	Q <sub>4</sub>	-1.300	1.30	1.30		淤泥：灰黑色，过饱和，流塑，未见贝壳。						
1	Q <sub>4</sub>	-5.000	5.00	5.70		中砂：灰黑色，中密，亚淤泥。					ZK-1 3.50-4.00	
2	Q <sub>4</sub>	-9.000	9.90	4.90		淤泥：灰黑色，饱和，软塑状，粘质，夹杂腐木，未见贝壳。					ZK-2 5.60-6.10  ZK-3 7.10-8.10  ZK-4 9.40-9.90	
勘察单位		SMES国家海洋局南海工程勘察中心				制图	杨文丰	校对	刘强	图号	8	

图 3.2.4-4d 钻孔柱状图 (ZK8)

### 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 2008 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 环境质量现状调查与评价

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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 6 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2021 年 12 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 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 调查时间及站位

#### 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
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

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
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
----	----	----------	----------	------

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 $\mu\text{m}$  滤膜过滤处理，过滤水样用  $\text{HNO}_3$  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 17378.4-2007/13.2	紫外分光光度法	0.0035mg/L
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	0.007 $\mu\text{g/L}$

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
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：

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

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

式中： $S_{DO, j}$ ——溶解氧的标准指数；

$DO_j$ ——溶解氧在  $j$  站位的实测统计代表值，mg/L；

DO<sub>s</sub>——溶解氧的水质评价标准限值，mg/L。

DO<sub>f</sub>——饱和溶解氧浓度，mg/L；对于河流，DO<sub>f</sub>=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<sub>f</sub> =（491-2.65S）  
/（33.5+T）；

S——实用盐度符号，量纲为 1；

T——水温，°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<sub>pH, j</sub>——pH 值的标准指数；

pH<sub>j</sub>——pH 值在 j 站位的实测统计代表值；

pH<sub>sd</sub>——水质评价标准规定的 pH 下限值；

pH<sub>su</sub>——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 维持现状
	万山群岛保留区	ZH10、ZH11、ZH12、ZH13、 ZH14、ZH15、ZH16、ZH17、 ZH20、ZH21、ZH22、ZH23、 ZH24、ZH25、ZH26、ZH27	

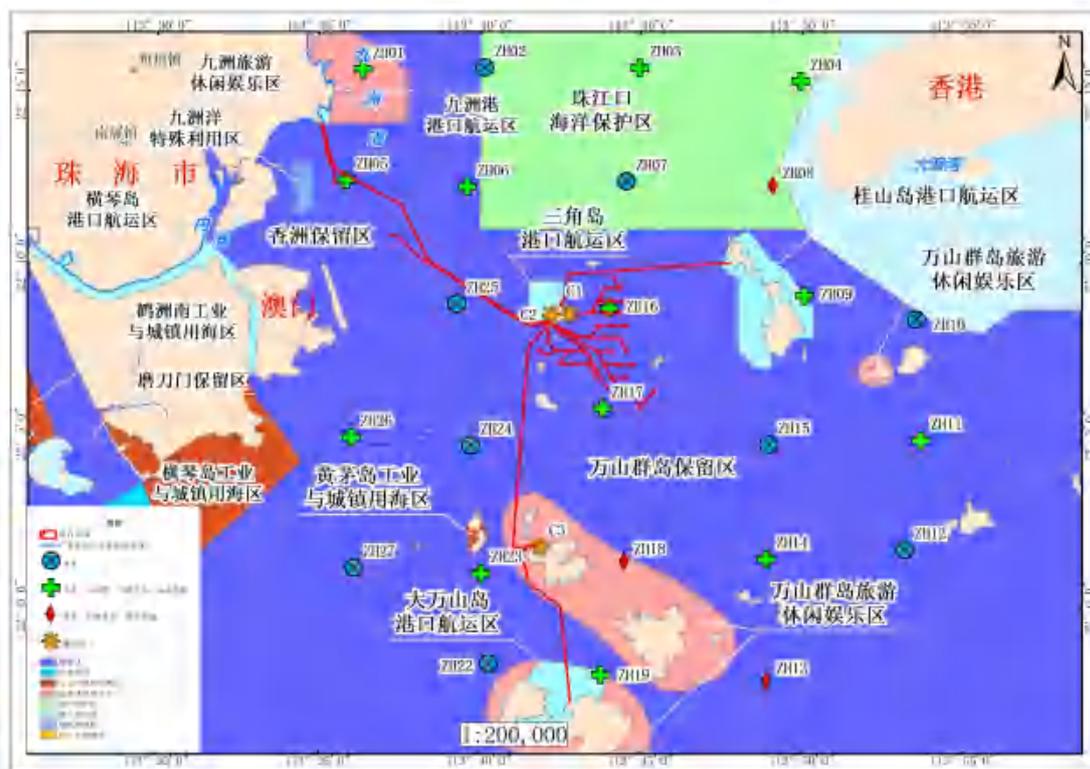


图 3.2.5-3 春季海洋环境现状调查站位叠加海洋功能区划图

## (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	执行海水水质维持现状
	万山群岛保留区	ZH03、ZH04、ZH06、ZH10、ZH11、ZH15、ZH16、ZH17、ZH18、ZH19、ZH20	

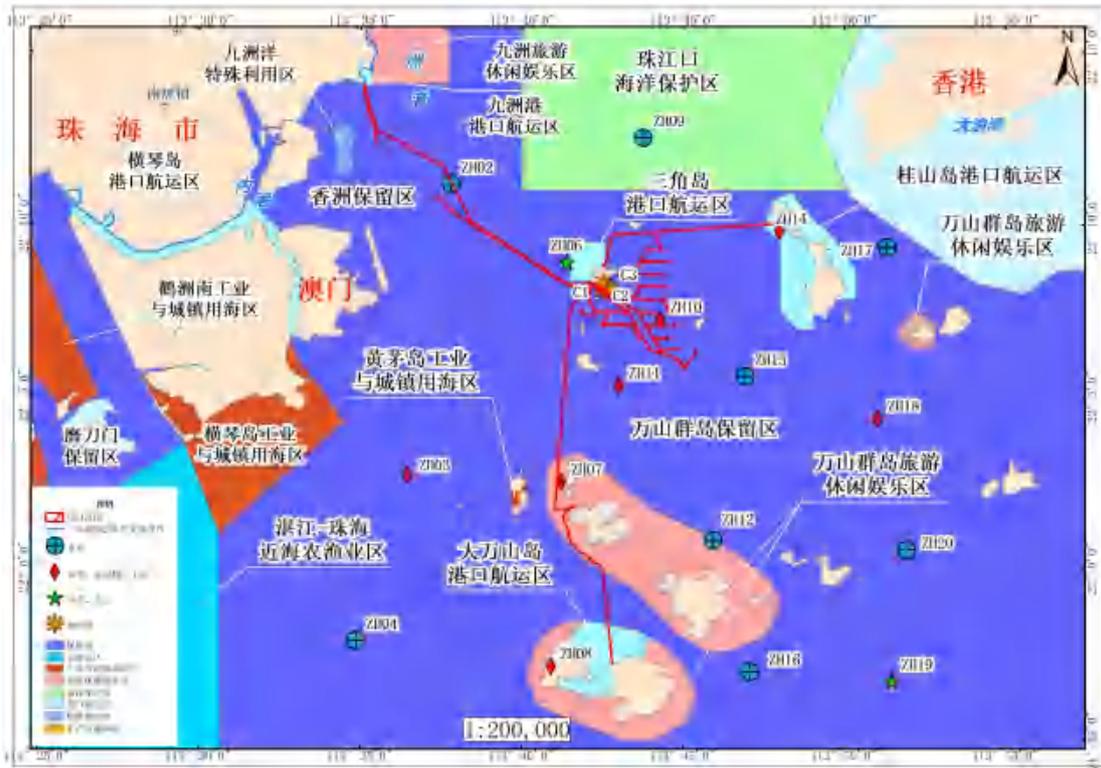


图 3.2.5-4 秋季海洋环境现状调查站位叠加海洋功能区划图

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 <sub>5</sub> )	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

水质指标	第一类	第二类	第三类	第四类
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%。

### 3.2.7 海洋沉积物现状调查

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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 6 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 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

粒度、pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷

#### 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 0.05m<sup>2</sup> 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，各项目的分析方法如表 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》	火焰原子吸收	2.0mg/kg

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限
		GB 17378.5-2007/6.2	分光光度法	
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。

### 3.2.8 海洋生物质量现状调查

海洋生物质量现状调查春季调查资料引用《珠海桂山附近海域海洋环境现状调查监测报告(2023年春季)》(广州海兰图检测技术有限公司,2023年6月),由广州海兰图检测技术有限公司于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;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)》(广州海兰图检测技术有限公司,2021年12月),由广州海兰图检测技术有限公司于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。调查站位见3.2.6.1节。

#### 3.2.8.1 调查项目

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放样品。

## 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）（此内容不公开）

## （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（此内容不公开）

## 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（此内容不公开）

### （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（此内容不公开）

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（此内容不公开）

## 3.2.9 海洋生态现状调查

### 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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 6 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 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)》(广州海兰图检测技术有限公司, 2021年12月), 由广州海兰图检测技术有限公司于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0.05m<sup>2</sup>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°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。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<30m）或大型浮游生物网（30m<水深<200m）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×25cm×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（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）；

$Q$ —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（ $\text{m}$ ）；

$t$ —白昼时间（ $\text{h}$ ），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:

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

式中:  $N$ —鱼卵仔稚鱼密度 (ind/m<sup>3</sup>) ;

$n$ —每网鱼卵仔稚鱼数量, 单位为 (ind) ;

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

$t$ —拖网时间 (h) ;

$V$ —拖速 (m/h) ;

垂直拖网密度计算:

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

式中:  $N$ —鱼卵仔稚鱼密度 (ind/m<sup>3</sup>) ;

$n$ —每网鱼卵仔稚鱼数量, 单位为 (ind) ;

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

$L$ —采样绳长 (m) , 垂直拖网  $L = \text{水深} - 2\text{m}$ 。

(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（ $\text{kg}/\text{km}^2$ ）或个体密度（ $\text{ind}/\text{km}^2$ ）；

$a$ —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（ $\text{kg}/\text{h}$ ）或平均个体渔获率（ $\text{ind}/\text{h}$ ）；

$E$ —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  $\text{ind}$  数占渔获总  $\text{ind}$  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（ $1.88\sim 22.5$ ） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $6.23\text{mg}/\text{m}^3$ ；10m 水层叶绿素  $a$  变化范围在（ $1.01\sim 3.64$ ） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $2.33\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素  $a$  含量变化范围在（ $0.55\sim 2.87$ ） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，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（ $1.29\sim 22.50$ ） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，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（ $0.892\sim 8.12$ ） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，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  $(0.71\sim 3.12)\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $1.90\text{mg}/\text{m}^3$ 。以各站各层水样的平均值作为该站叶绿素  $a$  的浓度，各站叶绿素  $a$  浓度的变化范围为  $(0.815\sim 8.12)\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $3.665\text{mg}/\text{m}^3$ 。

调查海域各站位水柱初级生产力的变化范围为  $(72.802\sim 994.871)\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均值为  $339.039\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，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  $8482.885\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ，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  $(639.857\sim 87232.552)\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$  之间，平均值为  $12242.484\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ，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  $(589.771\sim 87098.483)\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$  之间，平均值为  $12151.256\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ；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  $(14.700\sim 224.002)\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$  之间，平均值为  $65.579\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ；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  $(1.330\sim 104.518)\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$  之间，平均值为

25.650×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>；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) ×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>，平均密度为 15754.00×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>。不同站位的密度差异较大，最高密度出现在 ZH01 号站，密度为 73494.16×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>；ZH19 号站密度最低，为 1020.32×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>。

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 15475.69×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>；蓝藻次之，其密度占各站总密度的 1.38%，平均密度为 218.01×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>；甲藻的密度占各站总密度的 0.38%，平均密度为 60.30×10<sup>3</sup>ind/m<sup>3</sup>。

### 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/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup> 之间, 平均值为 495.47mg/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup> 之间, 平均值为 5727.312ind/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup>, 占总密度的 47.08%; 其次是桡足类, 密度为 35697.320ind/m<sup>3</sup>, 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<sup>3</sup>，平均生物量为 844.751mg/m<sup>3</sup>。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<sup>3</sup>，平均密度 5796.56ind/m<sup>3</sup>。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<sup>3</sup>，平均密度为 4421.67ind/m<sup>3</sup>，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<sup>3</sup>，平均密度为 381.73ind/m<sup>3</sup>，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<sup>3</sup>，平均密度为 229.01ind/m<sup>3</sup>，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 $\geq 0.02$ 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<sup>2</sup> 之间, 平均生物量为 3.704g/m<sup>2</sup>, 其中 ZH05 站位的生物量最高; 栖息密度范围在 (0~260.000) ind/m<sup>2</sup> 之间, 平均栖息密度为 26.944ind/m<sup>2</sup>, 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 38.805g/m<sup>2</sup>, 占总生物量的 58.20%; 其次为环节动物, 生物量为 18.925g/m<sup>2</sup>, 占总生物量的 28.39%, 最低为星虫动物, 生物量为 0.005g/m<sup>2</sup>, 占总生物量的 0.01%。

环节动物栖息密度最高, 为 360.000ind/m<sup>2</sup>, 占总栖息密度的 74.23%; 其次为棘皮动物, 栖息密度为 35.000ind/m<sup>2</sup>, 占总栖息密度 7.22%, 最低为星虫动物, 栖息密度为 5.000ind/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>,以棘皮动物的平均栖息密度最高,为 15.42ind/m<sup>2</sup>,占总密度的 33.94%;环节动物次之,平均栖息密度为 15.00ind/m<sup>2</sup>,占总平均密度的 33.03%;节肢动物的平均栖息密度为 9.58ind/m<sup>2</sup>,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/m<sup>2</sup>,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/m<sup>2</sup>,占总平均栖息密度的 1.83%。

底栖生物的平均生物量为10.857g/m<sup>2</sup>,以节肢动物居首位,该种类的平均生物量为6.428g/m<sup>2</sup>,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/m<sup>2</sup>,占总平均生物量的17.87%;软体动物的平均生物量为1.149g/m<sup>2</sup>,占平均生物量的13.07%;环节动物的平均生物量为0.777g/m<sup>2</sup>,占平均生物量的7.16%;其它动物的平均生物量为0.294g/m<sup>2</sup>,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/m<sup>2</sup>,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/m<sup>2</sup>,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15.00ind/m<sup>2</sup>,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（0~40.00）ind/m<sup>2</sup>；平均生物量为0.777g/m<sup>2</sup>，生物量分布范围为（0~3.270）g/m<sup>2</sup>。

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

节肢动物在调查海区的平均密度为9.58ind/m<sup>2</sup>，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（0~35.00）ind/m<sup>2</sup>；平均生物量为6.428g/m<sup>2</sup>，生物量分布范围为（0~20.290）g/m<sup>2</sup>。

软体动物在调查海区的平均密度为4.58ind/m<sup>2</sup>，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（0~25.00）ind/m<sup>2</sup>；平均生物量为1.419g/m<sup>2</sup>，生物量分布范围为（0~9.038）g/m<sup>2</sup>。

其它动物在调查海区的平均密度为0.83ind/m<sup>2</sup>，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（0~5.00）ind/m<sup>2</sup>；平均生物量为0.294g/m<sup>2</sup>，生物量分布范围为（0~2.820）g/m<sup>2</sup>。

### 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1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2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  $163.471\text{g/m}^2$ , 平均栖息密度为  $118.000\text{ind/m}^2$ 。C2 断面的生物量最大, 为  $239.768\text{g/m}^2$ ; C2 断面的栖息密度最大, 为  $171.333\text{ind/m}^2$ 。

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  $490.412\text{g/m}^2$ , 总栖息密度为  $353.999\text{ind/m}^2$ 。C2 断面的低潮带生物量最高, 为  $200.172\text{g/m}^2$ ; 其次是 C3 断面的低潮带, 生物量为  $144.492\text{g/m}^2$ ; C3 断面的中潮带生物量为最低, 为  $3.032\text{g/m}^2$ 。C2 断面低潮带的栖息密度最高, 为  $148.000\text{ind/m}^2$ ; 其次是 C3 断面的低潮带, 栖息密度为  $108.000\text{ind/m}^2$ ; C3 断面的中潮带的栖息密度最低, 为  $1.333\text{ind/m}^2$ 。

### 5) 潮间带断面水平分布和垂直分布

本次潮间带生物调查从水平分布上看, 生物量由高到低排序为  $C2 > C3 > C1$ , 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，鲱形目和鮠形目各 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，鮠形目、银汉鱼目、鮠形目和鲱形目各 1 种（表 3.2.9-2）。

表 3.2.9-2 鱼卵仔稚鱼水平拖网种类组成（此内容不公开）

##### 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 585 ind，仔稚鱼 118 ind；鱼卵平均密度为 14.564 ind/m<sup>3</sup>，仔稚鱼平均密度为 3.347 ind/m<sup>3</sup>。ZH16 站位鱼卵密度最高，密度为 42.608 ind/m<sup>3</sup>，其次是 ZH18 站位，密度为 35.548 ind/m<sup>3</sup>，共 18 个站位捕获到鱼卵；ZH16 站位仔稚鱼密度最高，密度为 14.783 ind/m<sup>3</sup>，其次是 ZH06 站位，密度为 9.891 ind/m<sup>3</sup>，共 16 个站位捕获到仔稚鱼（表 3.2.9-3）。

表 3.2.9-3 鱼卵仔稚鱼密度及其分布（垂直拖网）（此内容不公开）

##### 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、鮠形目、鮠形目、银汉鱼目（表 3.2.9-4）。

表 3.2.9-4 调查海区鱼卵仔稚鱼种类组成（此内容不公开）

##### 2) 数量分布

##### 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 ind/m<sup>3</sup>，捕获鱼卵数量密度最高为 ZH07 号站位，为 2.360 ind/m<sup>3</sup>，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~

2.360 ind/m<sup>3</sup> (表 3.2.9-5)。

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 ind/m<sup>3</sup> (表 3.2.9-5)。

表 3.2.9-5 鱼类浮游生物密度及其分布 (水平拖网) (此内容不公开)

#### 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 ind/m<sup>3</sup>, 捕获鱼卵数量密度最高为 ZH06 号站位, 为 1.41 ind/m<sup>3</sup>, 调查期间鱼卵在 4 个调查站中有出现, 出现率为 33.33% (表 3.2.8-6)。

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 0.11 ind/m<sup>3</sup> (表 3.2.9-6)。

表 3.2.9-6 鱼类浮游生物密度及其分布 (垂直拖网) (此内容不公开)

### 3) 主要种类及数量分布

#### 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/m<sup>3</sup> 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 0.240 ind/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup> 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 0.98 ind/m<sup>3</sup>。

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 1.11 ind/m<sup>3</sup>。

### (6) 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 3.0 m、网衣长 30 m、网口目 40 mm、网囊目 20 mm 的底拖网, 平均拖网船速控制为 2.7 kn。

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，分别为黑口𩚰（*Ilisha melastoma*）和颈斑项蝠（*Nuclequula nuchalis*）。黑口𩚰为第一优势种，其总渔获重量为 88.192 kg，占游泳动物总渔获重量的 34.70%；黑口𩚰的总尾数渔获量为 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 779 ind/h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 638 ind/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 96 ind/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 28 ind/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 17 ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 2.22%（表 3.2.9-7）。

表 3.2.9-7 各站位尾数渔获率及类群所占比例（此内容不公开）

### 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 14.119 kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 12.396 kg/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 0.904 kg/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 0.444 kg/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 3.2.9-8）。

表 3.2.9-8 各站位重量渔获率及类群所占比例（此内容不公开）

## 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  $(34.889 \sim 248.647) \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup> 之间，平均值为  $103.287 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>，尾数渔获密度最高的站位为 ZH20 站位，最低为 ZH26 站位（表 3.2.9-9）。

其中，鱼类尾数渔获密度分布范围在  $(22.755 \sim 184.252) \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup> 之间，平均值为  $84.666 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>，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  $0.138 \sim 54.262 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup> 之间，平均值为  $12.580 \times 10^3$

ind/km<sup>2</sup>，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 (0.400~8.133) ×10<sup>3</sup> ind/km<sup>2</sup> 之间，平均值为 3.745×10<sup>3</sup> ind/km<sup>2</sup>，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 0.133~6.933×10<sup>3</sup> ind/km<sup>2</sup> 之间，平均值为 2.297×10<sup>3</sup> ind/km<sup>2</sup>，其中 ZH20 站位最高，ZH16 站位最低。

表 3.2.9-9 各站位尾数渔获密度（此内容不公开）

## 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<sup>2</sup> 之间，平均值为 1873.630 kg/km<sup>2</sup>，ZH20 站位最高，ZH05 站位最低（表 3.2.9-10）。

其中，鱼类重量渔获密度变化范围在 (415.833~3611.844) kg/km<sup>2</sup> 之间，平均值为 1645.548 kg/km<sup>2</sup>，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<sup>2</sup> 之间，平均值为 119.255 kg/km<sup>2</sup>，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<sup>2</sup> 之间，平均值为 58.939 kg/km<sup>2</sup>，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<sup>2</sup> 之间，平均值为 49.888 kg/km<sup>2</sup>，其中 ZH20 站位最高，ZH16 站位最低。

表 3.2.9-10 各站位重量渔获密度（此内容不公开）

## 4) 游泳动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查区域游泳动物生物种类数范围在 24~64 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 2.0 m、网衣 5.0 m、网囊目 15 mm 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 312 ind/h。其中，鱼类平均个体渔获率为 84 ind/h，占平均总个体渔获率的 26.84 %；虾类平均个体渔获率为 167 ind/h，占平均总个体渔获率的 53.35 %；蟹类平均个体渔获率为 61 ind/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 1 ind/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 5.825 kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 2.250 kg/h，占平均总重量渔获率的 38.63 %；虾类平均重量渔获率为 2.458 kg/h，占平均总重量渔获率的 42.21 %；蟹类平均重量渔获率为 1.074 kg/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 0.042 kg/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 207 ind/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 391.416 kg/km<sup>2</sup>，ZH11 号站最高，ZH01 号站最低，变化范围为 (45.265~602.920) kg/km<sup>2</sup>；平均个体密度为 20.996×10<sup>3</sup> ind/km<sup>2</sup>，范围为 (2.285~35.416) ×10<sup>3</sup> ind/km<sup>2</sup>，个体密度最高的站位为 ZH11 号站，最低为 ZH01 号站位。

表 3.2.9-11 各站位渔业资源资源密度（此内容不公开）

#### 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，鱼类的资源密度见表 3.2.9-12。由表可知，捕获的鱼类平均重量密度和平均个体密度分别为  $151.205 \text{ kg/km}^2$  和  $5.651 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。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  $261.095 \text{ kg/km}^2$ ，个体密度资源最大值出现在 ZH14 号站位，个体数量密度为  $9.140 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。

表 3.2.9-12 鱼类资源密度（此内容不公开）

#### 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  $165.210 \text{ kg/km}^2$  和  $11.206 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。其中，重量密度变化范围为  $0 \sim 339.612 \text{ kg/km}^2$ ，虾类个体数量密度分布范围为  $(0 \sim 21.640) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，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  $72.191 \text{ kg/km}^2$  和  $4.083 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。其中，重量密度变化范围为  $13.875 \sim 139.058 \text{ kg/km}^2$ ，蟹类个体数量密度分布范围为  $(0.538 \sim 7.460) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，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  $2.811 \text{ kg/km}^2$  和  $0.056 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。其中，重量密度范围为  $0 \sim 23.706 \text{ kg/km}^2$ ；个体密度分布范围为  $(0 \sim 0.470) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，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》（国家海洋局南海调查技术中心，2021 年 11 月）。

2021 年 3 月 30 日，项目组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。

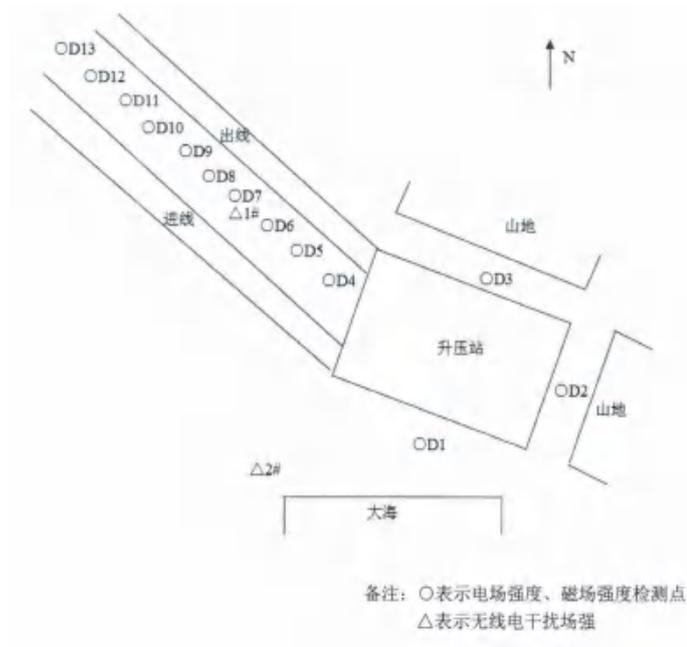


图 3.2.10-1 2021 年 3 月 30 日现场测点示意图

2021 年 10 月 16 日，项目组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。在升压站厂界四周 5m~50m 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。

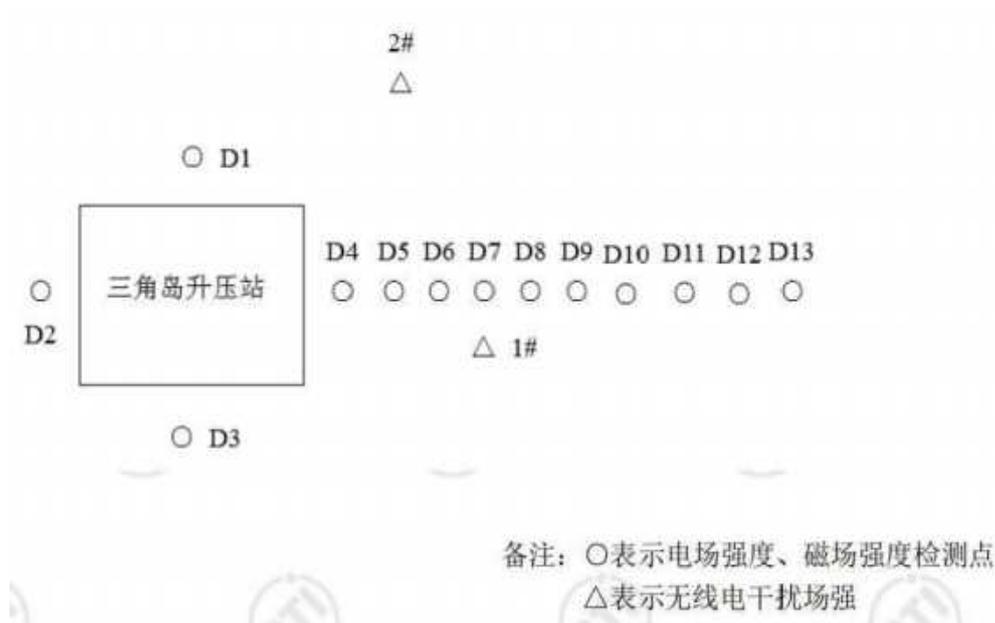


图 3.2.10-2 2021 年 10 月 16 日现场测点示意图

### 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 $\mu$ 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 $\mu$ T~0.11 $\mu$ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰为 41.5dB ( $\mu$ V/m)~42.8dB ( $\mu$ 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(此内容不公开)

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(此内容不公开)

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 $\mu$ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰为 41.7~43.4dB ( $\mu$ 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(此内容不公开)

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(此内容不公开)

### 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 $\mu$ T,瞬时最小值为 0.016 $\mu$ T,均值最大值为 0.109 $\mu$ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰瞬时最大值为 42.8dB ( $\mu$ V/m),瞬时最小值为 $\mu$ V/m),均值最大值为 42.7dB ( $\mu$ 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 $\mu$ T,均值最大值为 0.079 $\mu$ T,测量频率为 0.5MHz 的无线电干扰瞬时最大值为 43.4dB ( $\mu$ V/m),均值最大值为 43.2dB ( $\mu$ 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 $\mu$ 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》（厦门大学，2018年12月）。

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	N	E
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

水下噪声引用《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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2020 年 12 月）；《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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 4 月）。

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	经度 (E)	纬度 (N)
36 桩	113°45'24.045"	22°06'16.220"
(1)	113°45'40.173"	22°06'16.220"
(2)	113°45'24.045"	22°06'00.093"
(3)	113°45'07.916"	22°06'16.220"
(4)	113°45'24.045"	22°06'32.349"
(5)	113°45'56.303"	22°06'16.220"
(6)	113°45'24.045"	22°05'43.962"
(7)	113°44'51.787"	22°06'16.220"
(8)	113°45'24.045"	22°06'48.478"

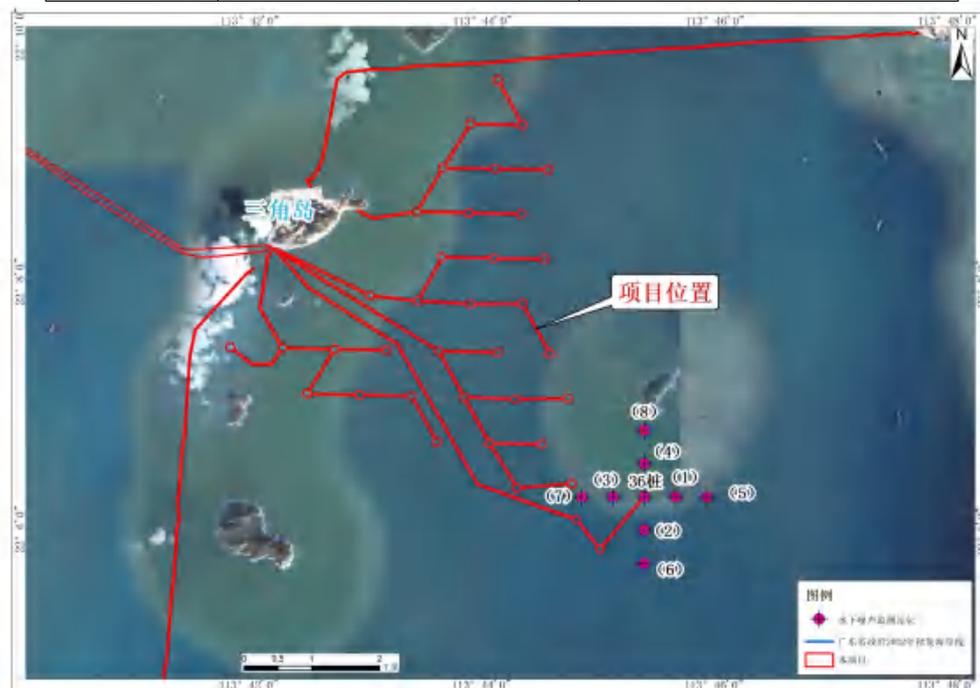


图 3.2.11-2 水下噪声调查站位图

### 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 $\mu$ Pa)、全频带累积声压级  $L_p$  (dBre1 $\mu$ Pa)、噪声频带有效声压级 (dBre1 $\mu$ Pa)、噪声声压谱 (密度) 级 (dBre1 $\mu$ 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 鸟类资源调查

### 3.2.12.1 调查概况及时间

#### 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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2020 年 12 月）。

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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 3 月）。

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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 4 月）。

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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 8 月）。

## 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。

#### 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》，鸟类分类系统见郑光美（2017）《中国鸟类分类与分布名录（第三版）》

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

#### 5、鸟类监测数据分析

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

### 3.2.12.3 监测结果

#### 1、秋季

(1) 区域概况分析

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，广义的水鸟包括鹼鹼科（Podicipedidae）、鹭科（Ardeidae）、鸭科（Anatidae）、秧鸡科（Rallidae）、反嘴鹼科（Recurvirostridae）、鹤科（Charadriidae）、鹼科（Scolopacidae）、燕鹼科（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，包括褐翅鹼鹼（*Centropus sinensis*）、岩鹭（*Egretta sacra*）、蛇鹼（*Spilornis cheela*）、黑鹼（*Milvus migrans*）、白腹海鹼（*Haliaeetus leucogaster*）、普通鹼（*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，其中蛇鹼和游隼属于近危（NT）级别，白腹海鹼属于易危（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、白腹海鹼，其次黑鹼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，优势种为白头鹼（*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*）、黑鹼等。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*）、北红尾鸲（*Phoenicurus aureus*）、白鹡鸰（*Motacilla alba*）等等。另外有岩鹭、蓝矶鸬（*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

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值
鸬形目	鹭科	苍鹭	<i>Ardea cinerea</i>	10000	50
		大白鹭	<i>Ardea alba</i>	1000	3
		白鹭	<i>Egretta garzetta</i>	10000	101
		岩鹭	<i>Egretta sacra</i>	10000	4
		牛背鹭	<i>Bubulcus ibis</i>	10000	3
		池鹭	<i>Ardeola bacchus</i>	10000	4
		夜鹭	<i>Nycticorax nycticorax</i>	10000	1
鸬形目	鸬科	矶鸬	<i>Actitis hypoleucos</i>	500	3

### （3）海域鸟类现状

风电场所所在区域以及周边 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。

#### （5）海上风电对鸟类影响分析

在珠江口地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸬鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域区域主要为岩质海岸，没有滩涂生境，因此鸬鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类，是最有可能受到影响的种类。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，且数量较少。此外，黑鸢、白腹海雕等猛禽也发现常于海面上空盘旋，两者均属于留鸟，且有繁殖种群。大多数时间猛禽在觅食时会靠近海面，当风电场建成后鱼类分布发生改变，其靠近场址的几率也会下降。

## 2、冬季

### (1) 区域概况分析

#### 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，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、白腹海雕和普通鵟。《中日候鸟保护协定》和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，其次黑鸢和普通鵟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 (*Spilopeliachinensis*) 等，数量比例均超过调查总数量的 1%。此外有岩鹭、蓝矶鹬 (*Monticola solitarius*)、紫啸鹀 (*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

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值
鹮形目	鹭科	苍鹭	<i>Ardea cinerea</i>	10000	41
		大白鹭	<i>Ardea alba</i>	1000	2
		白鹭	<i>Egretta garzetta</i>	10000	69
		岩鹭	<i>Egretta sacra</i>	10000	4
		池鹭	<i>Ardeola bacchus</i>	10000	4
鸻形目	鸻科	矶鸻	<i>Actitis hypoleucos</i>	500	3
	鸥科	红嘴鸥	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	20000	430

### （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鹮、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。

### （5）海上风电对鸟类影响分析

在珠江口地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多

的鸬鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域区域主要为岩质海岸，没有滩涂生境，因此鸬鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类，是最有可能受到影响的种类。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，且数量较少。此外，黑鸢、白腹海雕等猛禽也发现常于海面上空盘旋，两者均属于留鸟，且有繁殖种群。大多数时间猛禽在觅食时会靠近海面，当风电场建成后鱼类分布发生改变，其靠近场址的几率也会下降。

### 3、春季

#### (1) 区域概况分析

##### 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。中日候鸟保护协定和《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，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。中日候鸟保护协定和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

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值		
鸛形目	鸛科	夜鸛	<i>Nycticorax nycticorax</i>	10000	1		
		池鸛	<i>Ardeola bacchus</i>	10000	1		
		牛背鸛	<i>Bubulcus ibis</i>	10000	2		
		苍鸛	<i>Ardea cinerea</i>	10000	3		
		大白鸛	<i>Ardea alba</i>	1000	2		
		中白鸛	<i>Ardea intermedia</i>	250	2		
		白鸛	<i>Egretta garzetta</i>	10000	1		
		岩鸛	<i>Egretta sacra</i>	10000	1		
		鷸形目	鷸科	中杓鷸	<i>Numenius phaeopus</i>	550	2
				青脚鷸	<i>Tringa nebularia</i>	1000	6
灰尾漂鷸	<i>Tringa brevipes</i>			440	2		
矶鷸	<i>Actitis hypoleucos</i>			500	4		
翻石鷸	<i>Arenaria interpres</i>			1000	2		
燕鷸科	普通燕鷸			<i>Glareola maldivarum</i>	28800	41	
鸥科	普通燕鸥			<i>Sterna hirundo</i>	-----	8	

## (2) 海域鸟类现状

风电场所所在区域以及周边 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鸛和岩鸛飞行，高度在 5-10m，有黑鸛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，还记录到白鸛、大白鸛、池鸛、苍鸛、牛背鸛等水鸟在近岸海面 and 海上鱼排飞行和停歇，以及黑鸛、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，黑鸛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，黑鸛则多在 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。

### **(3) 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、噪鹛、大鹰鹛、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。

### **(4) 受影响类群及代表性物种分析**

在珠江口地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸻鹬类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域区域主要为岩质海岸，没有滩涂生境，因此鸻鹬类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，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，且数量较少。此外，黑鸢、白腹海雕等猛禽也发现常于海面上空盘旋，两者均属于留鸟，且有繁殖种群。大多数时间猛禽在觅食时会靠近海面，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。

#### 4、夏季

##### (1) 区域概况分析

##### 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，白头鹮 (*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%。其中白头鹮、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

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值
鸻形目	鸻科	矶鸻	<i>Actitis hypoleucos</i>	500	14
	鸥科	褐翅燕鸥	<i>Onychoprion anaethetus</i>	10000	5
		黑枕燕鸥	<i>Sterna sumatrana</i>	10000	43
鹮形目	鹭科	夜鹭	<i>Nycticorax nycticorax</i>	10000	7
		大白鹭	<i>Ardea alba</i>	1000	6
		白鹭	<i>Egretta garzetta</i>	10000	68
		岩鹭	<i>Egretta sacra</i>	10000	9

## (2) 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 and 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。

## (3) 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。

#### **(4) 受影响类群及代表性物种分析**

在珠江口地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸬鹚类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域区域主要为岩质海岸，没有滩涂生境，因此鸬鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997）。本次夏季调查仅记录到矶鹬一种鸬鹚类，与矶鹬喜岩质海岸的特性有关。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，本次调查也没有记录；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，且数量较少，本次调查没有记录。此外，黑鸢等猛禽也发现常于海面上空盘旋，两者均属于留鸟，且有繁殖种群。大多数时间猛禽在觅食时会靠近海面，但也能随气流飞至几百米高空，与风机存在一定碰撞风险。

### 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2207hm<sup>2</sup>。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634.10hm<sup>2</sup>，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635.50hm<sup>2</sup>，调整后保护区总面积为2208.4hm<sup>2</sup>，增加1.4hm<sup>2</sup>。

调整后，保护区总面积由2207.0hm<sup>2</sup>变为2208.4hm<sup>2</sup>。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770.45hm<sup>2</sup>、712.74hm<sup>2</sup>和725.21hm<sup>2</sup>，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0.3km。项目与珠海市万山群岛市级自然保护区位置图详见图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460hm<sup>2</sup>。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460hm<sup>2</sup>，核心区面积140hm<sup>2</sup>，缓冲区面积128hm<sup>2</sup>，实验区面积192hm<sup>2</sup>。核心区：面积140hm<sup>2</sup>，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128hm<sup>2</sup>，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192hm<sup>2</sup>，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。项目北侧约1.80km为珠江口中华白海豚国家级自然保护区。项目与珠江口中华白海豚国家级自然保护区位置图详见图3.2.13-1。

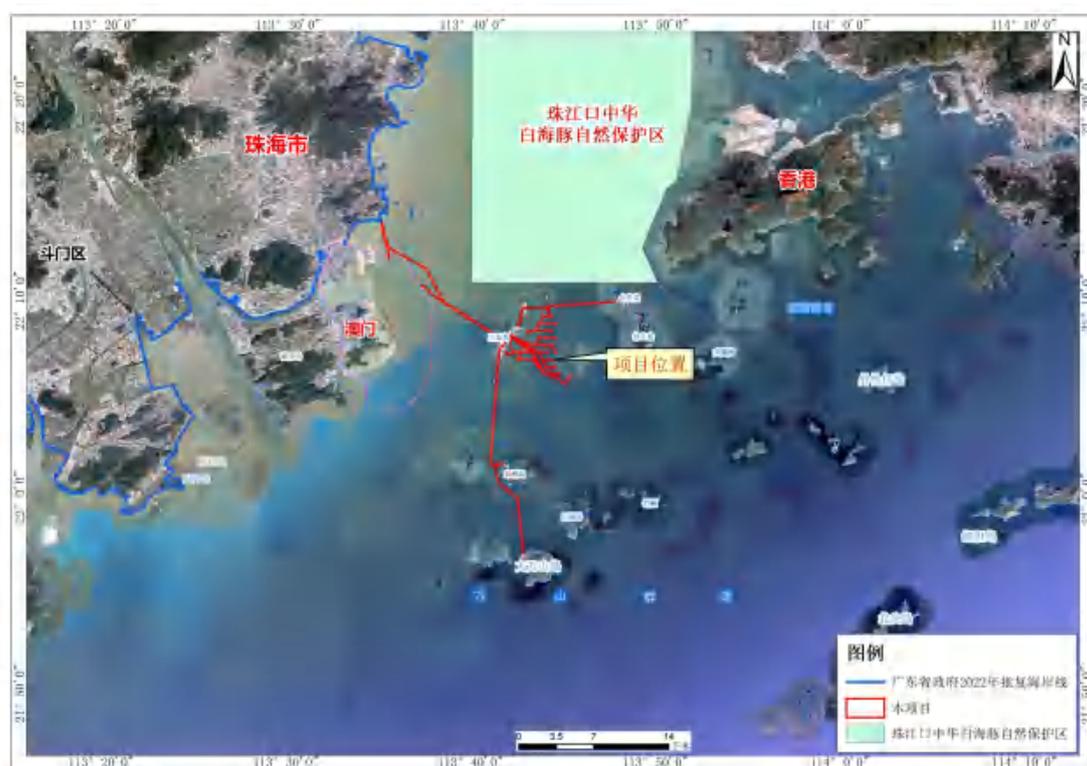


图 3.2.13-1 项目与珠江口中华白海豚国家级自然保护区位置关系图

### 3.2.14 珍稀濒危海洋生物

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 调查概况及时间**

#### **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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2020 年 12 月）。

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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 3 月）。

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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 4 月）。

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》（广州邦鑫海洋技术有限公司，2021 年 8 月）。

#### **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 评价标准与评价方法

广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区位于珠江口伶仃洋，具体范围在内伶仃岛以南、牛头山以北，淇澳岛以东、香港大屿山以西的 460km<sup>2</sup> 水域，其中，保护区核心区为 140km<sup>2</sup>，缓冲区为 192km<sup>2</sup>，实验区为 128km<sup>2</sup>。项目距离珠江口中华白海豚国家级自然保护区为 1.80km。广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区与本项目位置关系如图 3.2.13-2 所示。

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，转折点坐标见表 3.2.14-1。

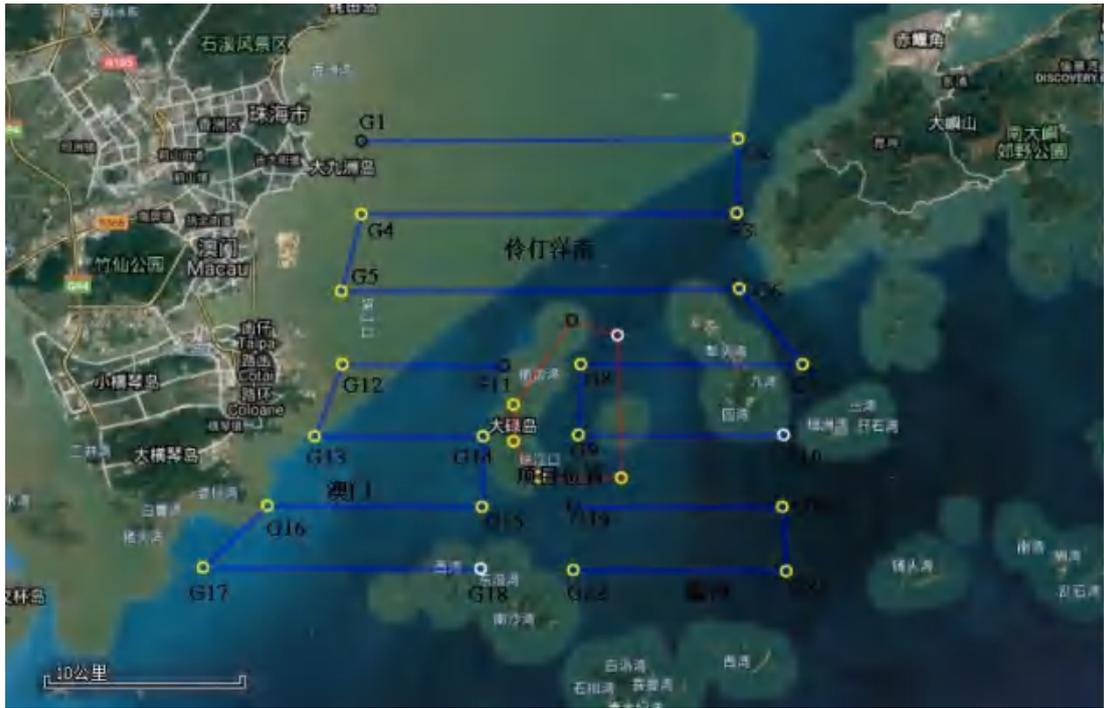


图 3.2.14-1 中华白海豚监测航线示意图

表 3.2.14-1 中华白海豚监测转折点坐标

站位/断面	经度 (E)	纬度 (N)	监测内容	备注
G1	113°37'01.05"	22°15'37.23"	白海豚跟踪监测	转折点
G2	113°36'58.58"	22°15'37.23"	白海豚跟踪监测	转折点
G3	113°49'30.81"	22°15'30.95"	白海豚跟踪监测	转折点
G4	113°49'28.34"	22°13'15.95"	白海豚跟踪监测	转折点
G5	113°36'59.82"	22°13'23.33"	白海豚跟踪监测	转折点
G6	113°36'37.10"	22°10'54.06"	白海豚跟踪监测	转折点
G7	113°49'15.25"	22°11'09.05"	白海豚跟踪监测	转折点
G8	113°51'19.18"	22°08'51.86"	白海豚跟踪监测	转折点
G9	113°44'05.79"	22°08'51.37"	白海豚跟踪监测	转折点
G10	113°44'02.09"	22°06'41.94"	白海豚跟踪监测	转折点
G11	113°41'37.58"	22°08'49.25"	白海豚跟踪监测	转折点
G12	113°36'39.57"	22°08'40.14"	白海豚跟踪监测	转折点
G13	113°35'28.39"	22°06'40.29"	白海豚跟踪监测	转折点
G14	113°41'13.96"	22°06'29.61"	白海豚跟踪监测	转折点
G15	113°41'12.72"	22°04'21.35"	白海豚跟踪监测	转折点
G16	113°33'55.57"	22°04'34.19"	白海豚跟踪监测	转折点
G17	113°31'50.42"	22°02'41.61"	白海豚跟踪监测	转折点

站位/断面	经度 (E)	纬度 (N)	监测内容	备注
G18	113°40'51.94"	22°02'39.28"	白海豚跟踪监测	转折点
G19	113°43'52.21"	22°04'31.33"	白海豚跟踪监测	转折点
G20	113°50'40.78"	22°04'32.90"	白海豚跟踪监测	转折点
G21	113°50'46.99"	22°02'34.87"	白海豚跟踪监测	转折点
G22	113°43'50.98"	22°02'37.88"	白海豚跟踪监测	转折点

### 3.2.14.3 中华白海豚监测结果及评价

#### 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 3.2.14-1 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 3.2.14-2，图 3.2.14-2）。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 3.2.14-2 冬季中华白海豚监测执行情况

调查日期	海况	目击时间	目击位置	动物行为
2021-02-01	浦式 2-3 级	11:06	N22°14'41.97 E113°43'45.44	捕食

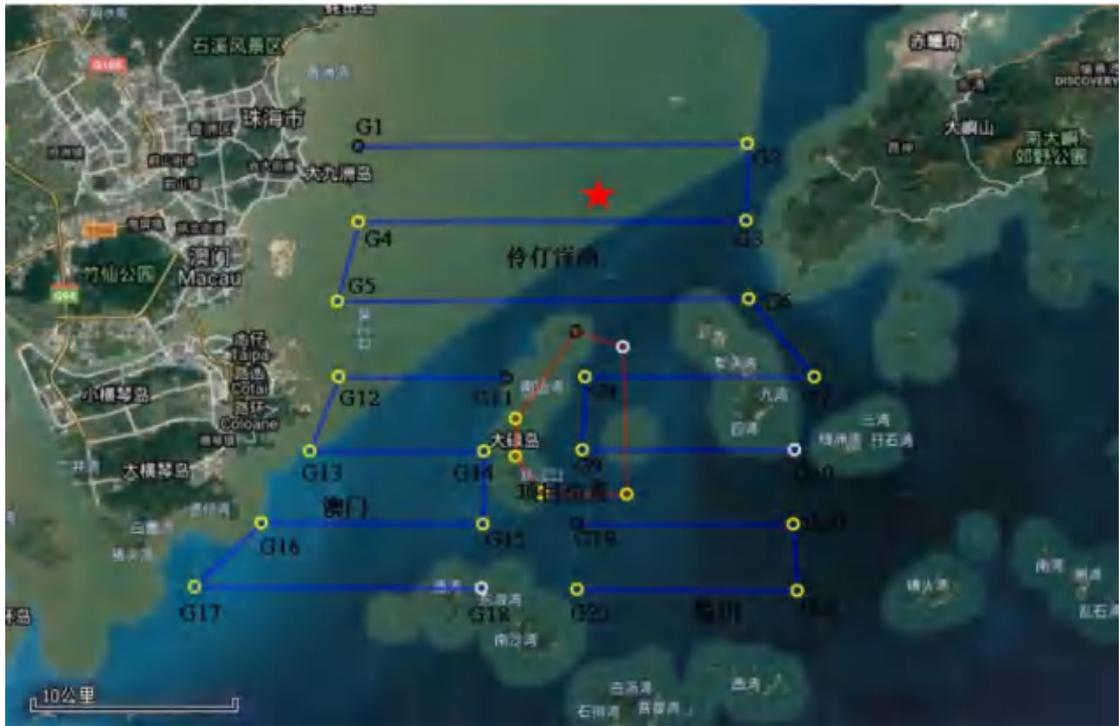


图 3.2.14-2 调查样线设置以及中华白海豚的目击位置



图 3.2.14-3 目击到的中华白海豚

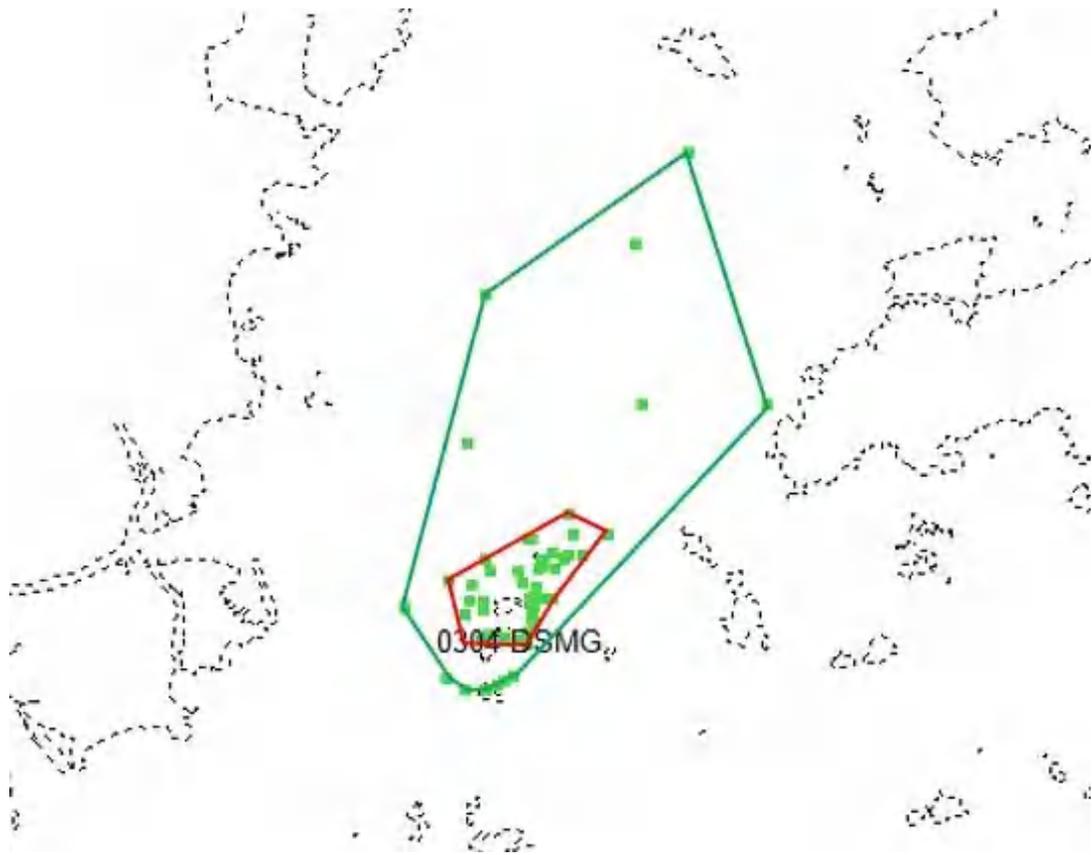


图 3.2.14-4 该个体的家域范围和核心栖息地范围

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 3.2.14-3。

表 3.2.14-3 春季中华白海豚监测执行情况

序号	调查日期	海况	目击时间	目击位置	动物行为
1	2021-3-16	浦式 1~2 级	13:57	22°9'34.32"N,113°44'3.62"E; 22°9'11.14"N,113°44'4.89"E	捕食
2	2021-3-17	浦式 2 级	14: 26	22°8'20.02"N,113°36'27.29"E; 22°8'23.43"N,113°36'13.34"E	捕食、社交

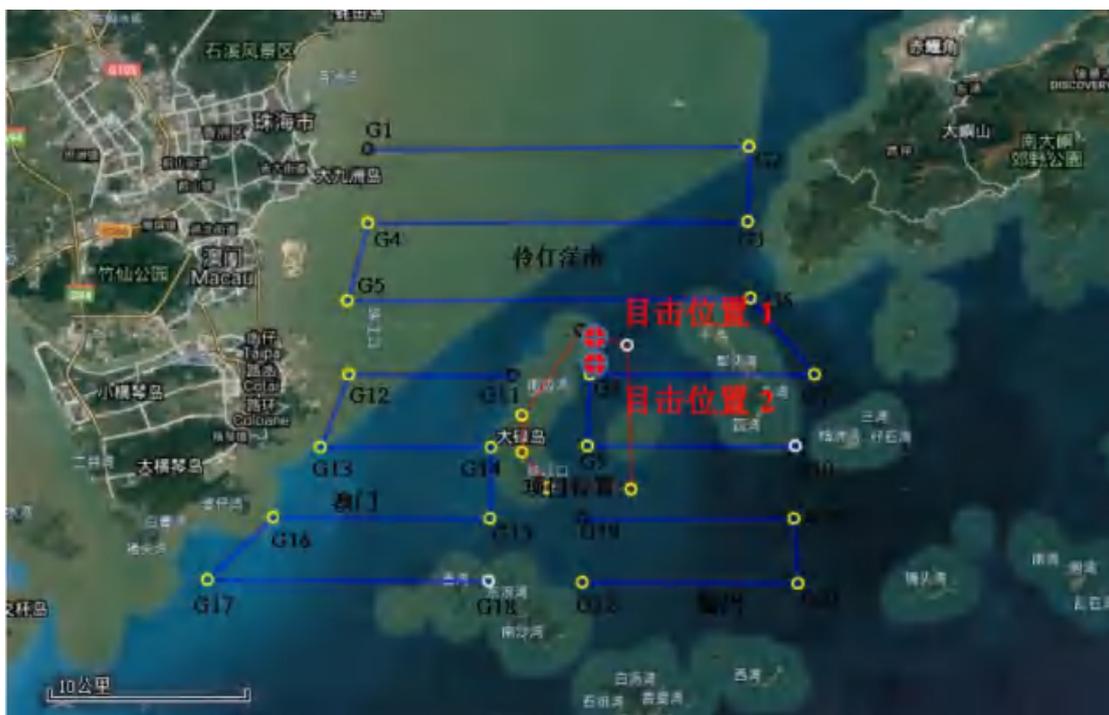


图 3.2.14-4 本次中华白海豚目击位置示意图

#### 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内，部分位于南海底层、近底层鱼类产卵场内。

#### (2) 南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线水域(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。

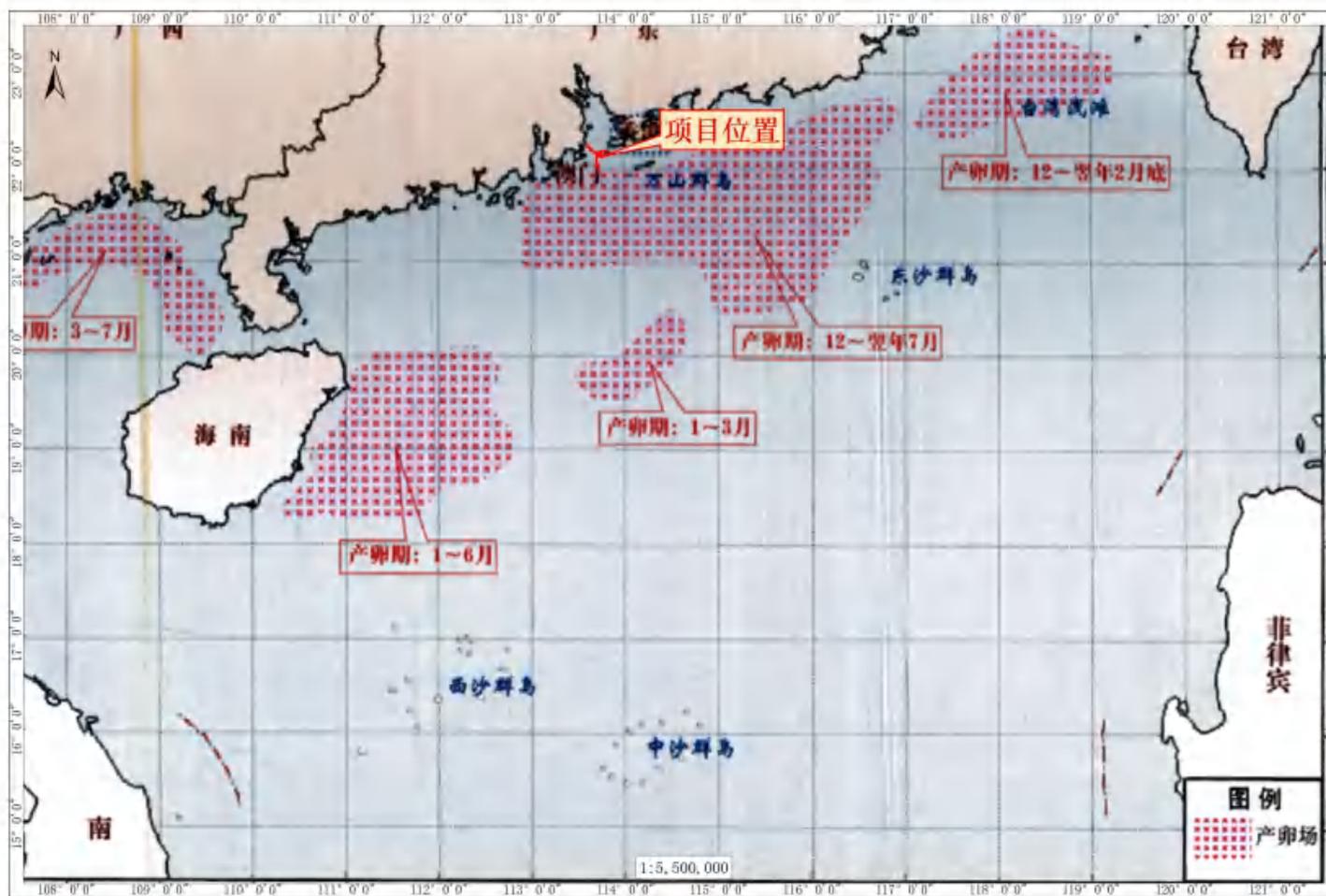


图 3.2.15-1 南海中上层鱼类产卵场示意图

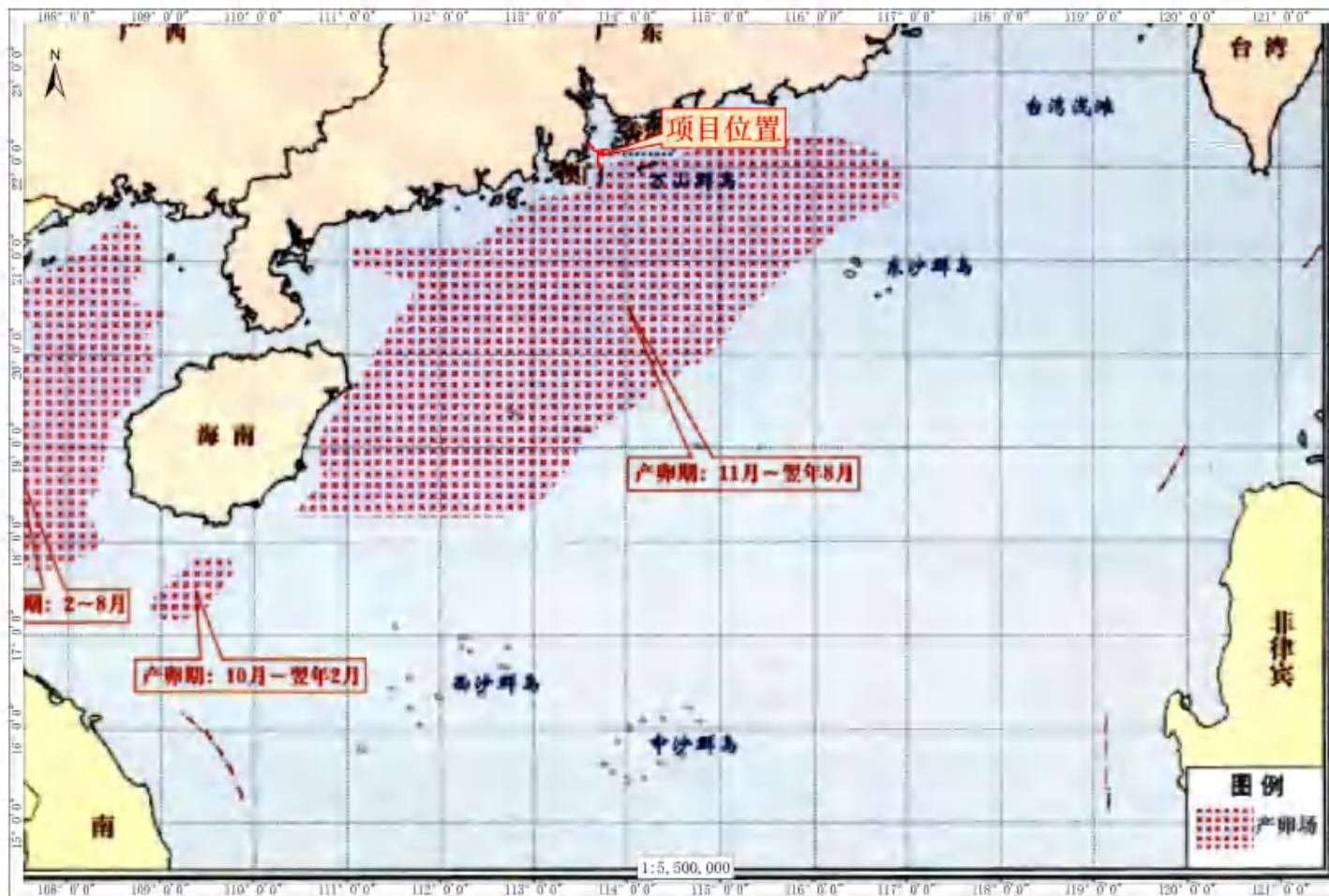


图 3.2.15-2 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

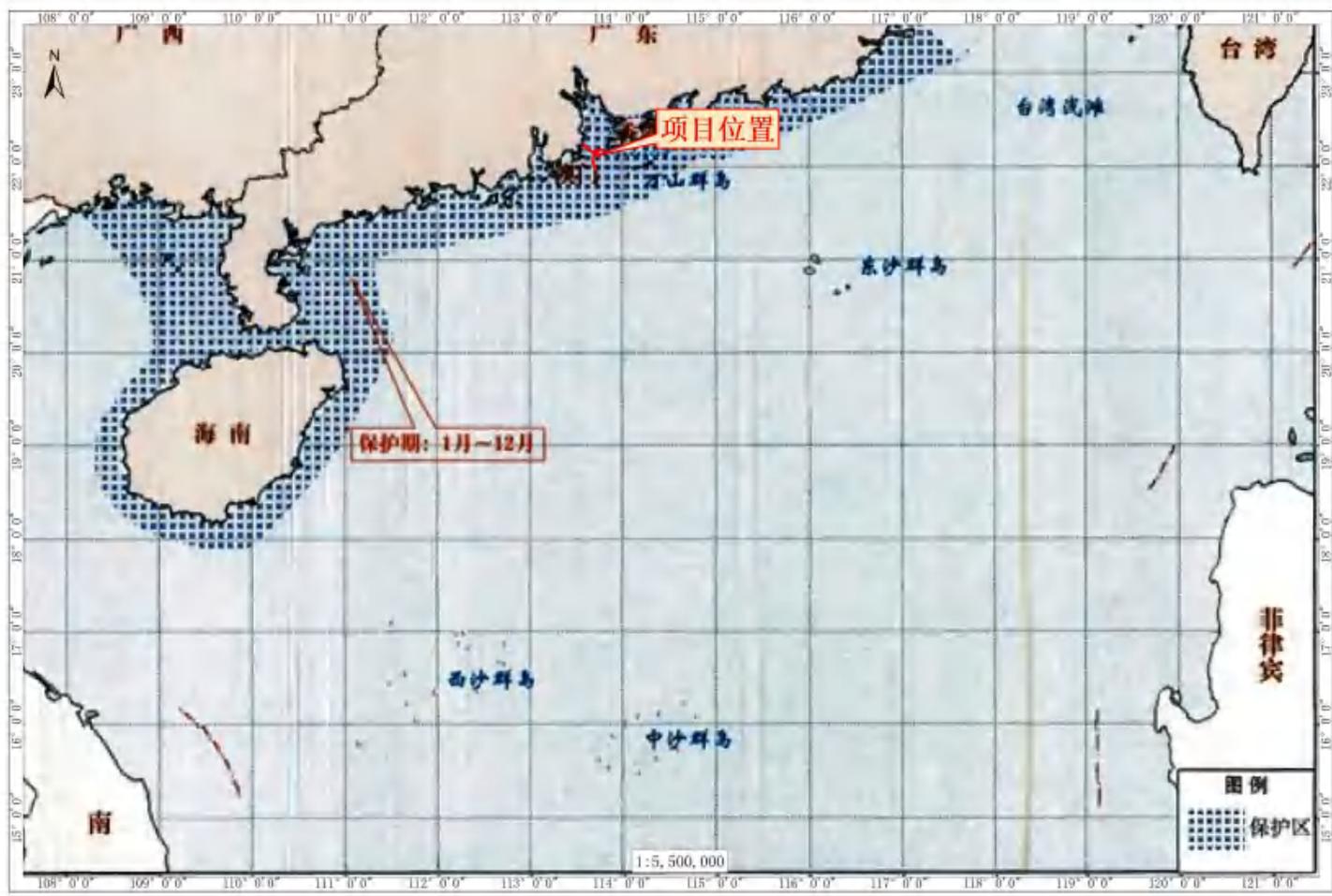


图 3.2.15-3 南海北部幼鱼繁育场保护区范围示意图

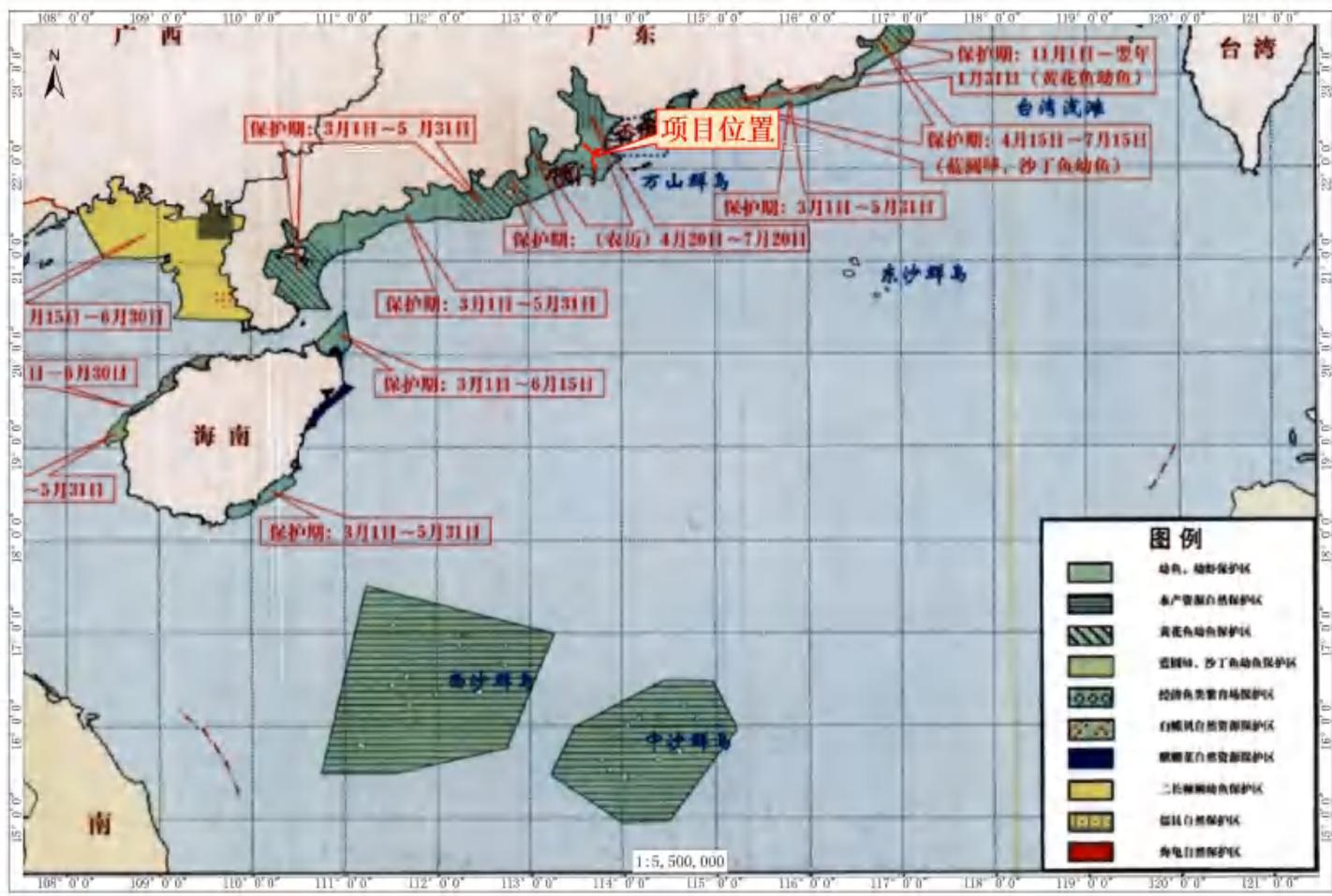


图 3.2.15-4 南海国家级及省级保护区示意图

## 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、重要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，重要渔业水域见图 3.2.15-3 和图 3.2.15-4。

表 4.1.1-1 项目周边生态敏感目标分布

类型	名称	与项目相对位置	敏感要素
生态保护红线	万山群岛重要渔业资源产卵场	项目穿越该红线	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	东侧，约 0.3km	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 1.80km	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	西南侧，约 15.5km	水土保持
	磨刀门重要河口	西南侧，约 16.0km	河口生态系统
自然保护区	珠海万山群岛地方级自然保护区	送出海缆邻近 0.3km	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 1.8km	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。

本项目海底电缆穿越生态保护红线中的“万山群岛重要渔业资源产卵场”。

#### 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、法规规定的机关作出，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 1.8km。

#### **4.1.1.3 重要渔业水域**

##### **(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**

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。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，项目总装机量为 120MW，建设内容包括一个陆上集控中心、一座海岛升压站、37 台风力发电机组（34 台 3MW，3 台 6.45MW）、2 回 110kV 海底电缆及配套设施和多条单回的 35kV 的海底电缆及配套设施。为实现电力接入，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，并通过 2 回 110kV 海底电缆连接至吉大站。35kV 海岛联网工程的建设内容为自三角岛升压站建设 35kV 单回三芯海缆（3×240mm<sup>2</sup>）至牛头岛；建设 35kV 单回三芯海缆（3×300mm<sup>2</sup>）至东澳岛；建设 2 回单芯 110kV 海缆（1×500mm<sup>2</sup>）至珠海市吉大；自东澳岛建设 35kV 单回三芯海缆（3×70 mm<sup>2</sup>）至大万山岛。

### 4.1.4 水动力影响分析

#### 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：

$$\rho \tau = \rho \nu_t \frac{\partial u}{\partial z} = \overline{u'v'}$$

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:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} &= f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ &\frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{l}{\rho} \left( \frac{\partial s_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_s S \\ \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} &= -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ &\frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{l}{\rho} \left( \frac{\partial s_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned}$$

方程中  $t$  为时间;  $x$ 、 $y$ 、 $z$  为右手 Cartesian 坐标系;  $\eta$  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;  $\rho$  为水密度,  $\rho_0$  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,  $\varphi$  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:

$$\eta_r = \eta_r(t) \quad \text{或} \quad \bar{u}_r = \bar{u}_r(t) \quad \text{或} \quad \bar{v}_r = \bar{v}_r(t)$$

$\eta_r$ 、 $\bar{u}_r$ 、 $\bar{v}_r$  为开边界  $r$  上已知水位、流速过程。

#### ②闭边界:

$$\bar{u} = 0 \quad \text{或} \quad \bar{v} = 0$$

(2) 初始条件

$$\eta(x, y, t)|_{t=t_0} = \eta_0(x, y)$$

$$\bar{u}(x, y, t)|_{t=t_0} = 0$$

$$\bar{v}(x, y, t)|_{t=t_0} = 0$$

$\eta_0$ 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 $\varepsilon_{dry}$ （如0.1m）时，令该处流速为零，滩地干出，当该处水深大于 $\varepsilon_{flood}$ （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：风场采用万山海洋站夏季平均风速 3.6m/s，风向取西南季风。

##### (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、防波堤等建筑物边界，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。

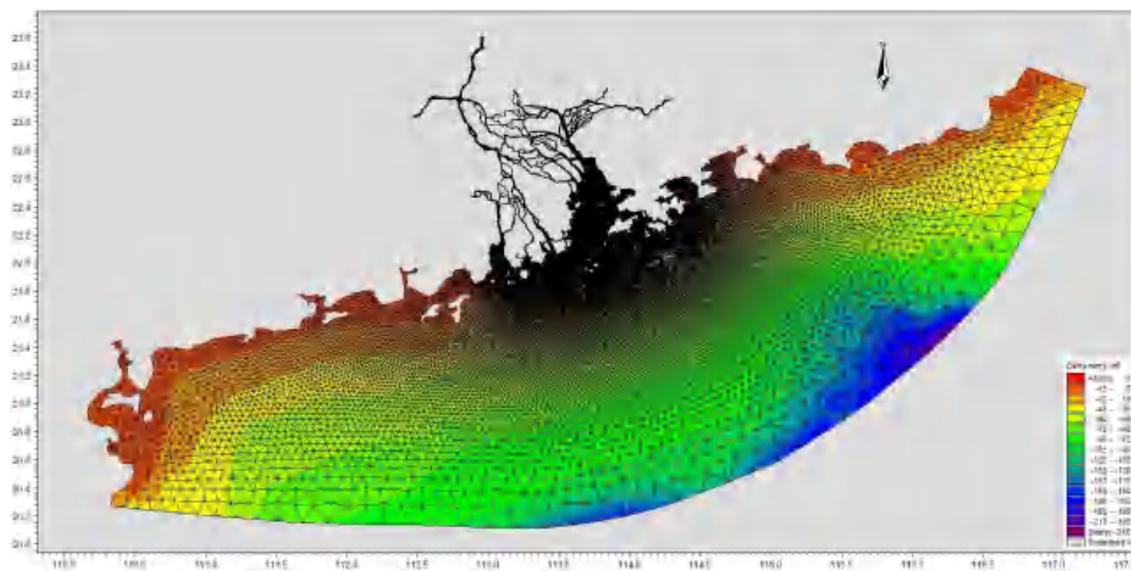


图 4.1.4-1 大范围模型计算范围

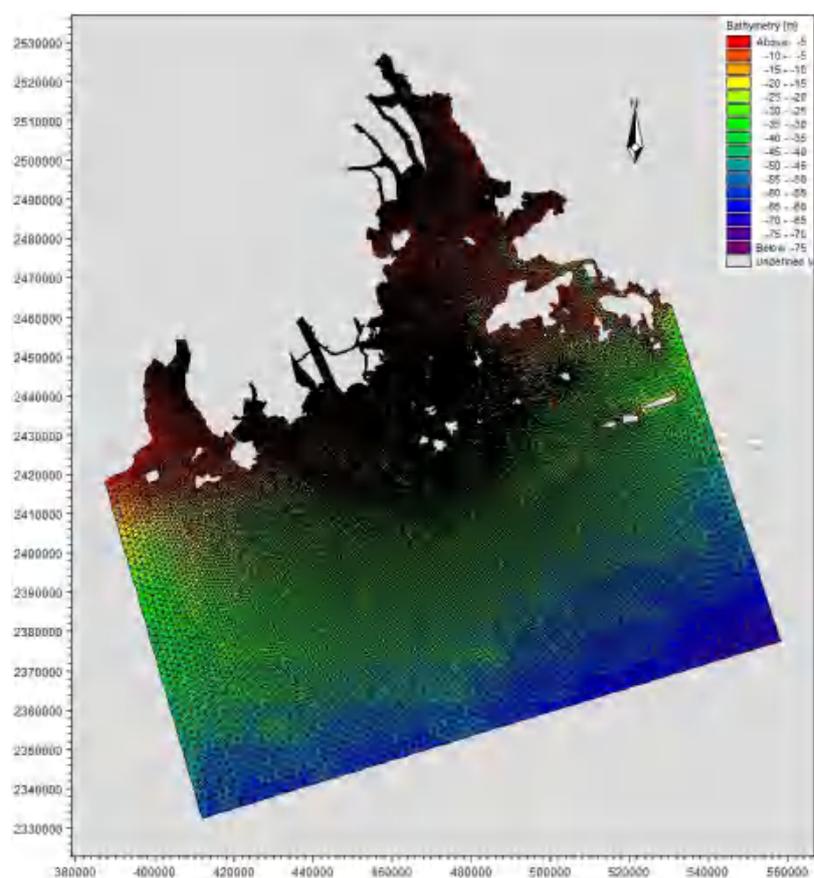


图 4.1.4-2 小范围模型计算范围

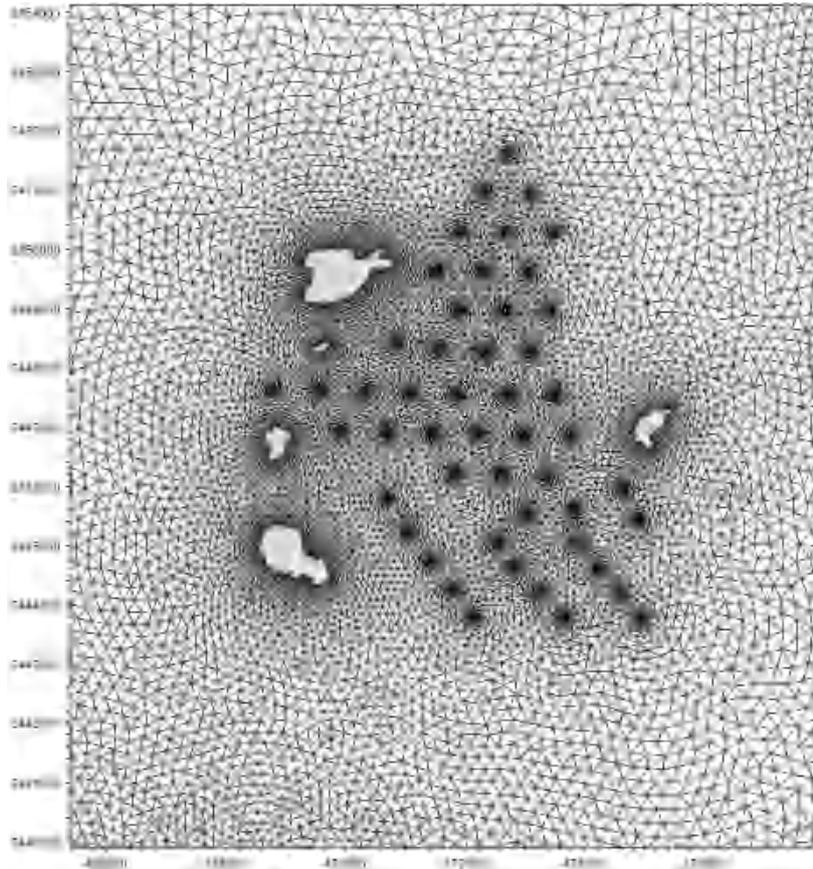


图 4.1.4-3 现状工况下桩基局部网格剖分图

## 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

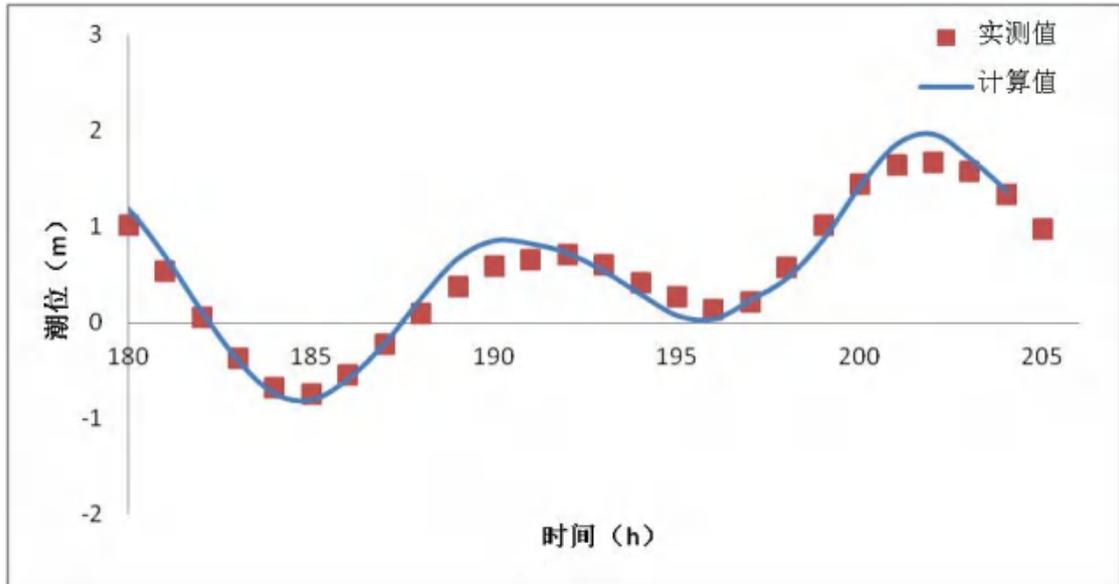


图 4.1.4-5 C1 站潮位验证

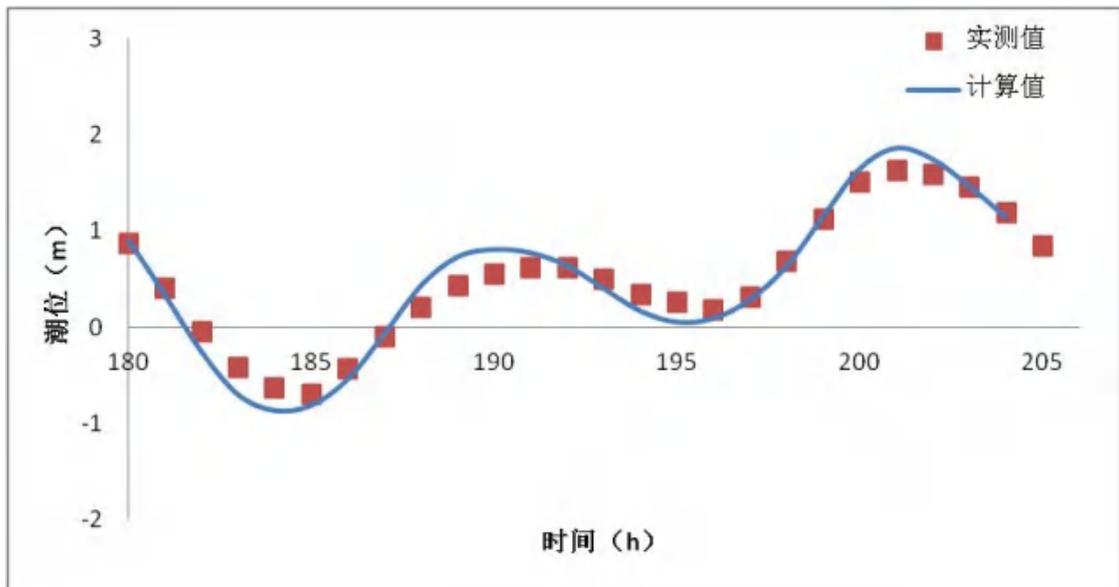


图 4.1.4-6 C2 站潮位验证

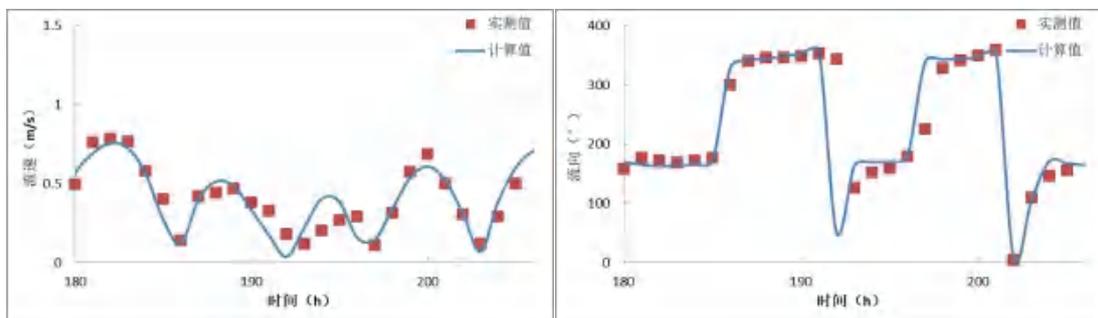


图 4.1.4-7 GS1 站流速、流向验证

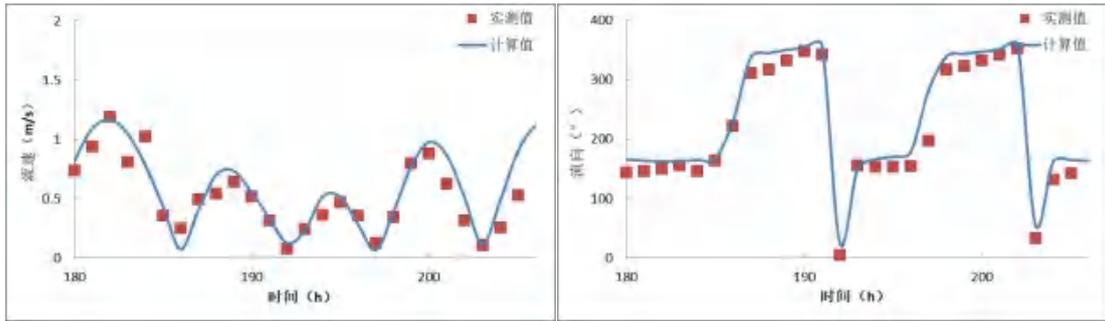


图 4.1.4-8 GD3 站流速、流向验证

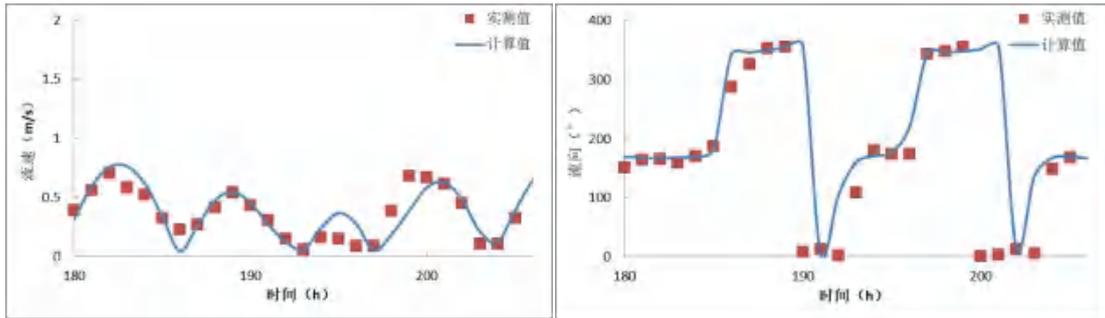


图 4.1.4-9 GS4 站流速、流向验证

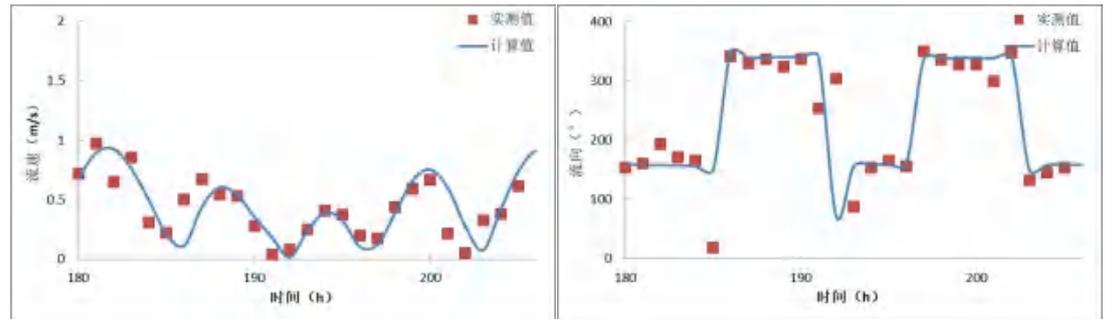


图 4.1.4-10 GS7 站流速、流向验证

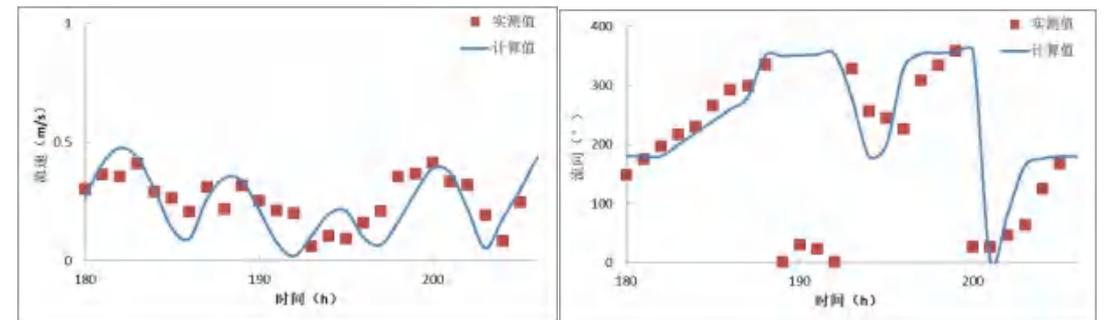


图 4.1.4-11 GS10 站流速、流向验证

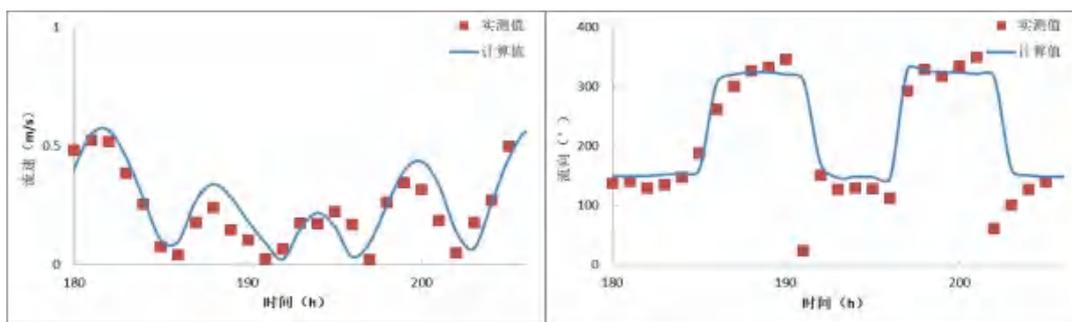


图 4.1.4-12 GS12 站流速、流向验证

#### 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  $0.3\text{m/s}$  左右，落潮平均流速在  $0.4\text{m/s}$  左右。

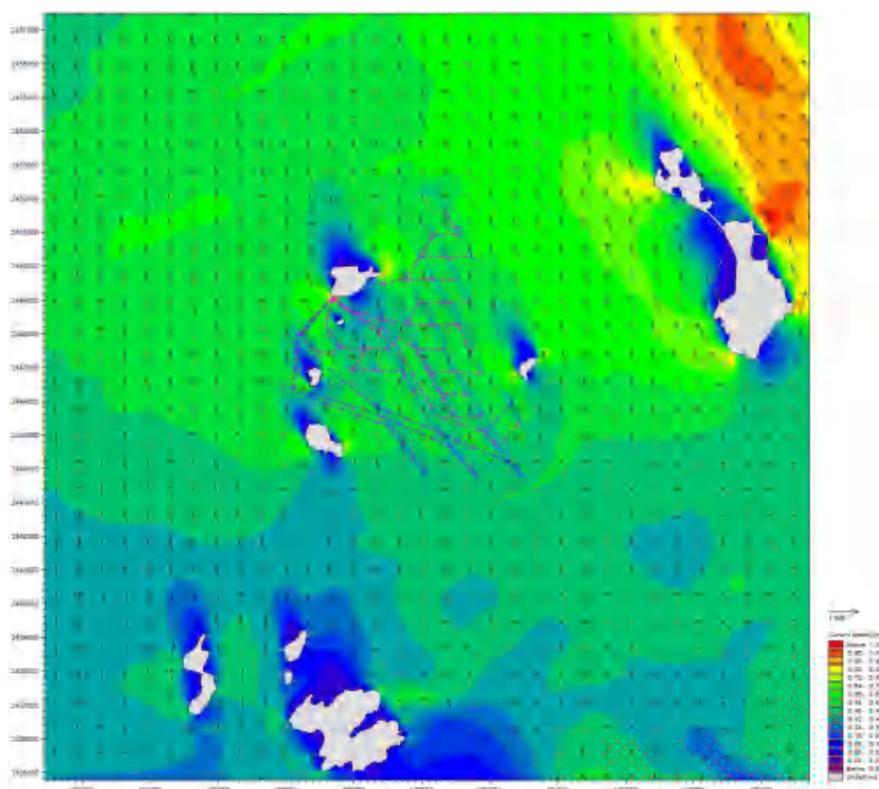


图 4.1.4-13 现状工程海域涨急流场

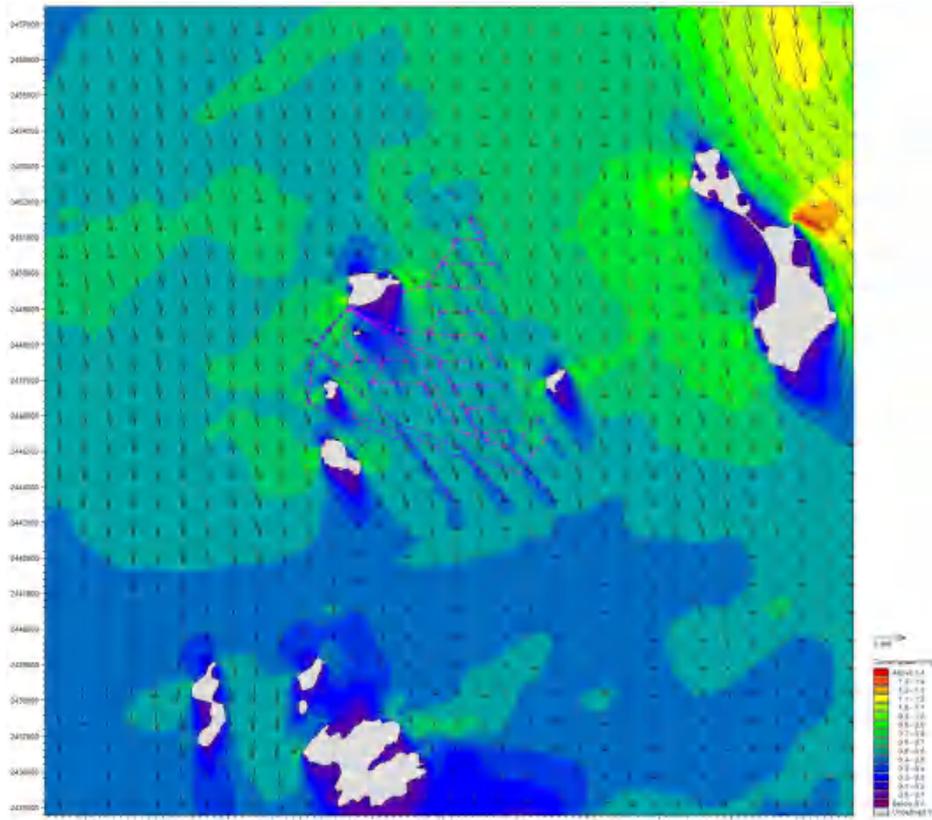


图 4.1.4-14 现状工程海域落急流场

#### 4.1.4.3 工程后水动力环境变化分析

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 为本项目工程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项目实施前工程区域各代表点大潮涨急流速为 0.42m/s~0.58m/s，涨急流向为 323°~355°，大潮落急流速为 0.34 m/s ~0.69m/s，落急流向为 145°~178°；

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-0.07m/s~0.01m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-3°~2°之间；各代表点大潮落急流速变化值位于-0.05m/s~0.02m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-2°~2°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。

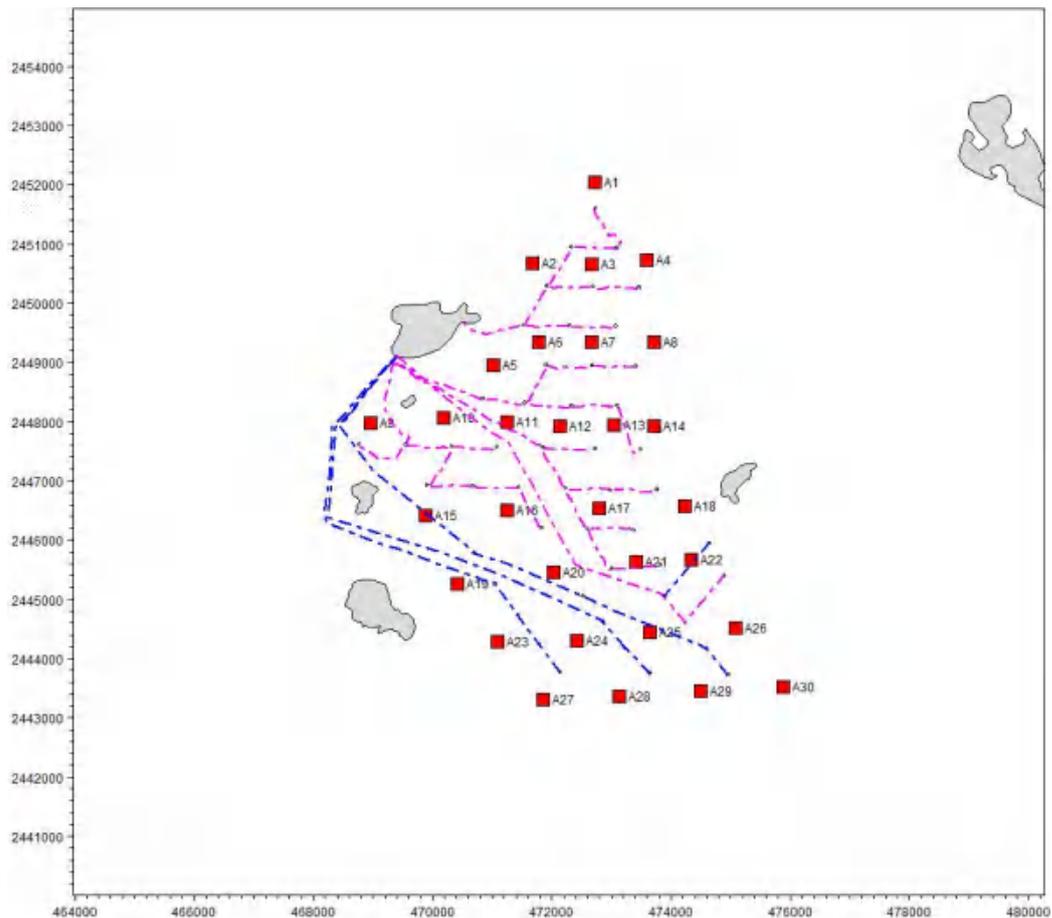


图 4.1.4-15 代表点位置图

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 (°)		
	工程前	现状	变化值	工程前	现状	变化值
A1	0.53	0.50	-0.03	337	334	-3
A2	0.58	0.53	-0.05	337	337	0
A3	0.55	0.50	-0.05	339	336	-3
A4	0.56	0.56	0.00	336	336	0
A5	0.45	0.45	0.00	355	354	-1
A6	0.53	0.46	-0.07	345	345	0

A7	0.52	0.47	-0.05	340	338	-2
A8	0.50	0.51	0.01	338	338	0
A9	0.55	0.55	0.00	323	325	2
A10	0.42	0.39	-0.03	334	334	0
A11	0.47	0.47	0.00	342	341	-1
A12	0.51	0.51	0.00	340	340	0
A13	0.53	0.51	-0.02	341	341	0
A14	0.53	0.53	0.00	344	344	0
A15	0.48	0.48	0.00	332	331	-1
A16	0.49	0.50	0.01	336	336	0
A17	0.52	0.51	-0.01	335	336	1
A18	0.54	0.53	-0.01	331	332	1
A19	0.53	0.53	0.00	334	333	-1
A20	0.48	0.48	0.00	336	335	-1
A21	0.50	0.48	-0.02	333	335	2
A22	0.51	0.51	0.00	328	330	2
A23	0.47	0.47	0.00	334	333	-1
A24	0.48	0.48	0.00	331	331	0
A25	0.48	0.48	0.00	332	330	-2
A26	0.48	0.48	0.00	329	330	1
A27	0.45	0.45	0.00	327	327	0
A28	0.45	0.45	0.00	327	326	-1
A29	0.47	0.47	0.00	326	326	0
A30	0.47	0.46	-0.01	329	329	0

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	0.57	0.56	-0.01	154	153	-1
A2	0.64	0.62	-0.02	151	151	0
A3	0.62	0.59	-0.03	155	154	-1
A4	0.64	0.65	0.01	155	154	-1
A5	0.55	0.57	0.02	178	179	1
A6	0.69	0.64	-0.05	160	161	1
A7	0.62	0.61	-0.01	157	157	0
A8	0.62	0.61	-0.01	156	154	-2
A9	0.67	0.66	-0.01	145	146	1
A10	0.34	0.35	0.01	146	148	2
A11	0.53	0.55	0.02	167	167	0
A12	0.61	0.60	-0.01	162	160	-2
A13	0.61	0.57	-0.04	159	157	-2
A14	0.61	0.58	-0.03	160	159	-1

A15	0.60	0.61	0.01	154	153	-1
A16	0.54	0.55	0.01	157	158	1
A17	0.59	0.59	0.00	157	157	0
A18	0.62	0.62	0.00	161	162	1
A19	0.59	0.60	0.01	154	153	-1
A20	0.55	0.53	-0.02	156	156	0
A21	0.58	0.55	-0.03	156	156	0
A22	0.63	0.61	-0.02	153	154	1
A23	0.55	0.55	0.00	157	156	-1
A24	0.56	0.55	-0.01	155	154	-1
A25	0.57	0.55	-0.02	154	154	0
A26	0.56	0.55	-0.01	149	150	1
A27	0.52	0.53	0.01	153	152	-1
A28	0.53	0.53	0.00	152	152	0
A29	0.56	0.53	-0.03	152	151	-1
A30	0.54	0.53	-0.01	153	153	0

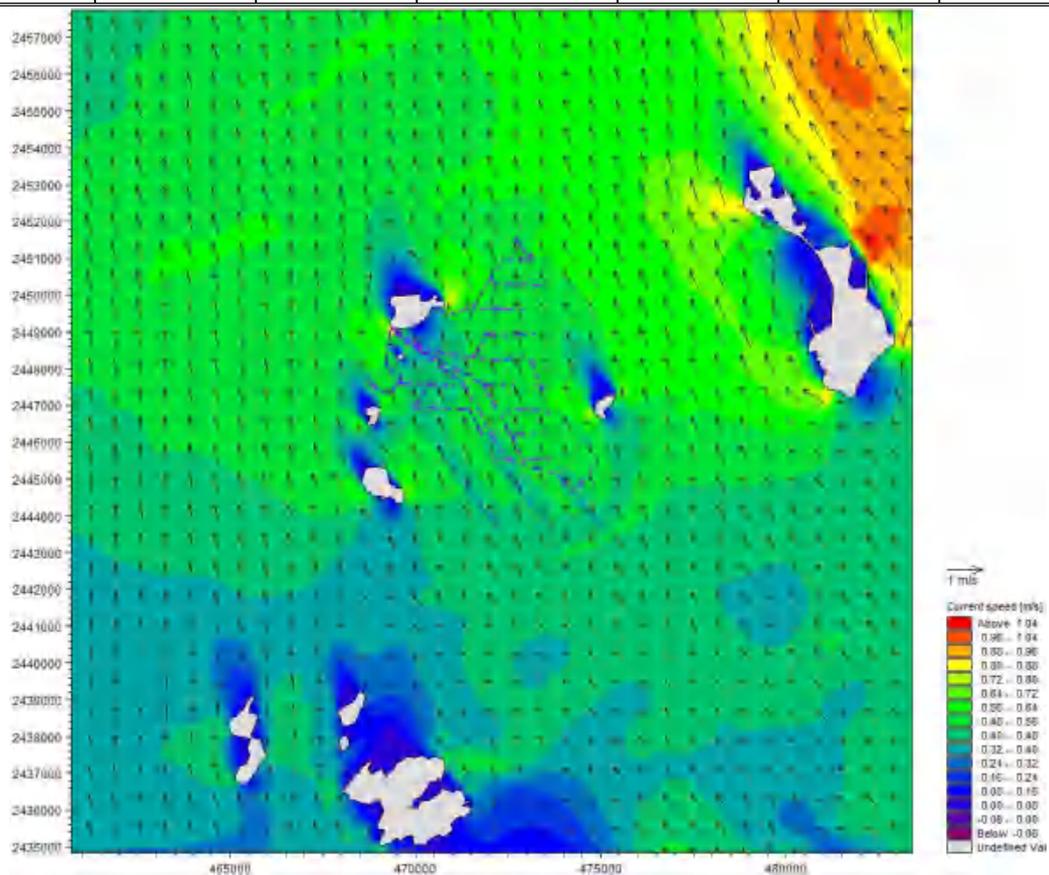


图 4.1.4-16 本项目实施前涨急流场图

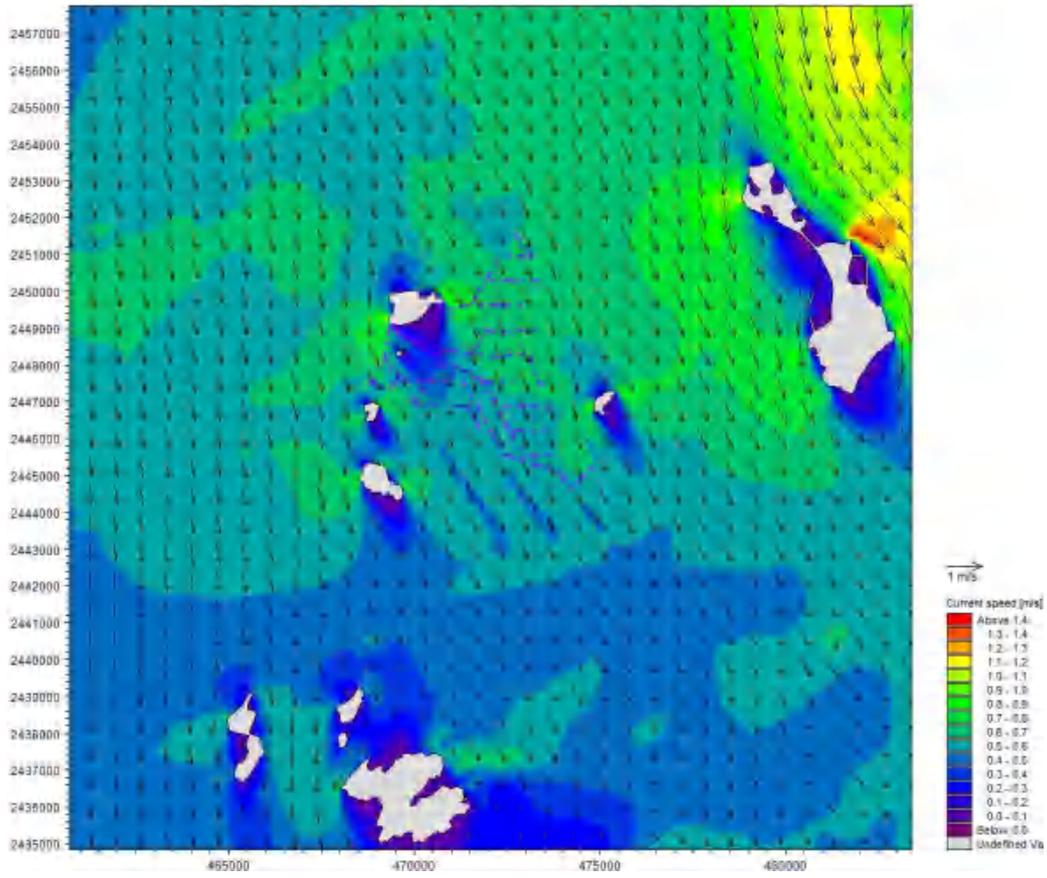


图 4.1.4-17 本项目实施前落急流场图

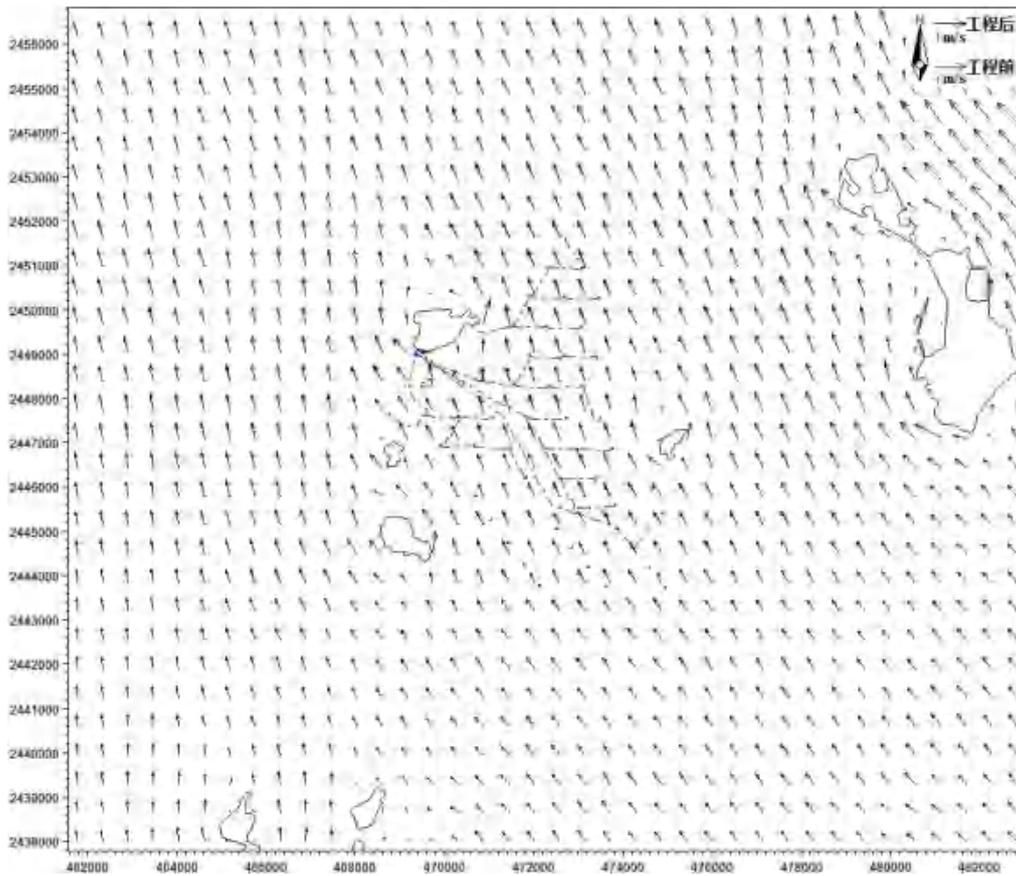


图 4.1.4-18 本目前后涨急流场叠加图

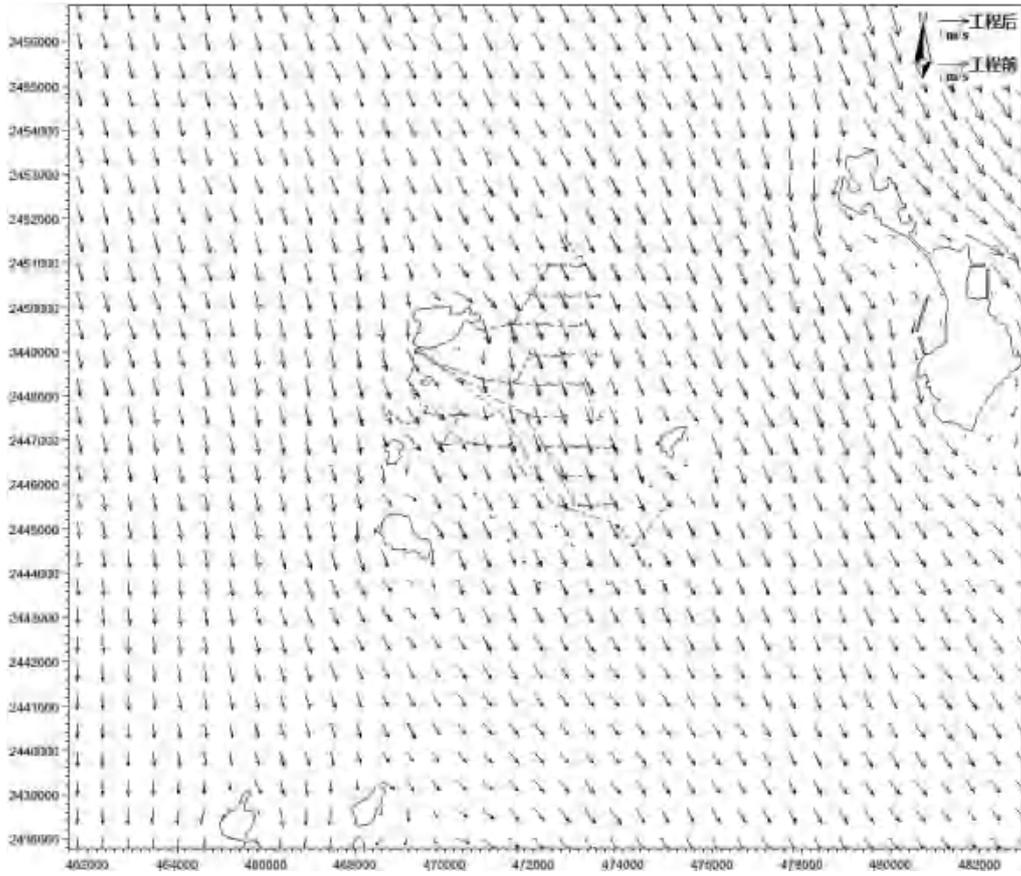


图 4.1.4-19 本项目前后落急流场叠加图

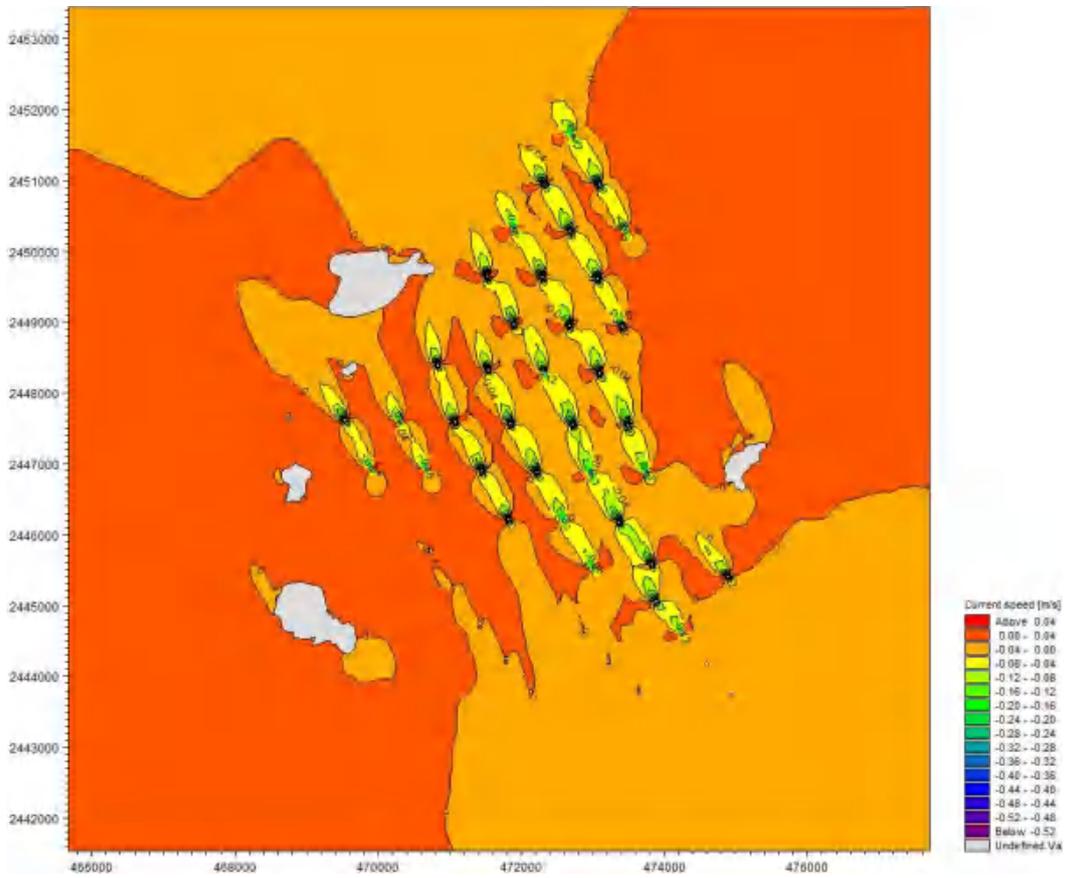


图 4.1.4-20 本项目实施前后涨急流速变化等值线图

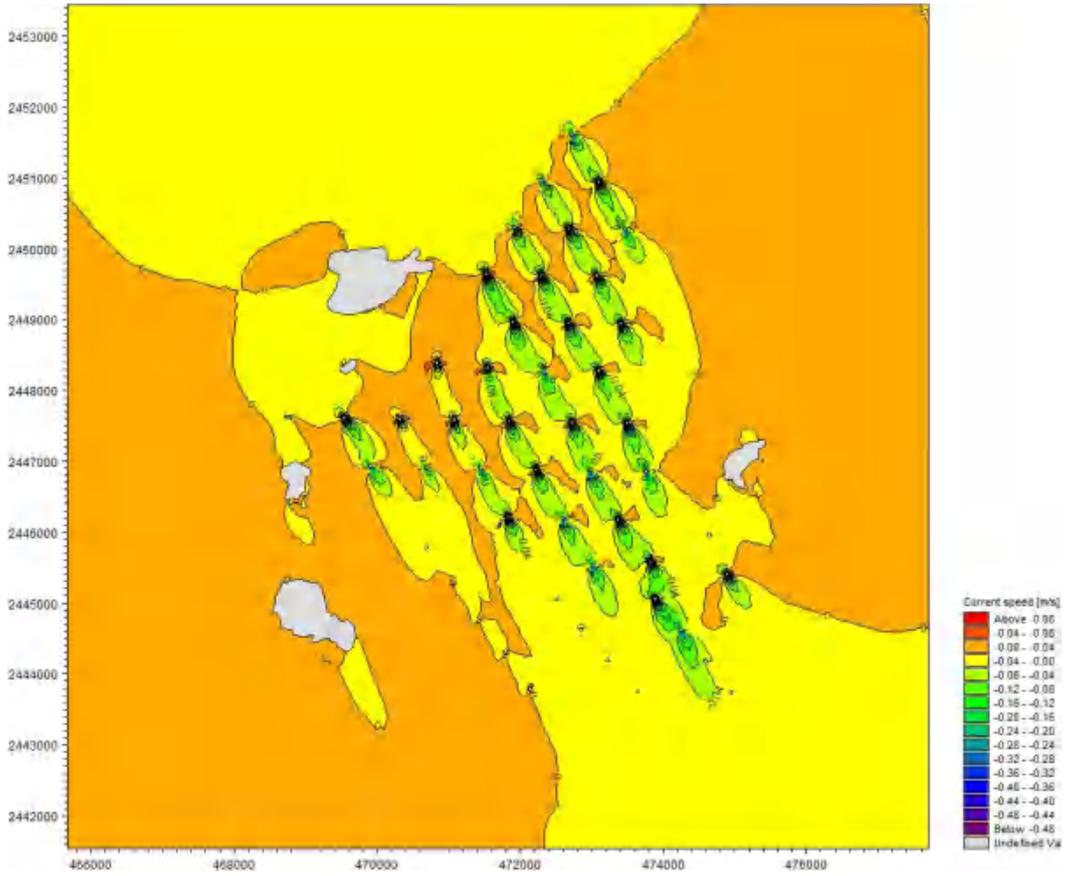


图 4.1.4-21 本项目实施前后落急流速变化等值线图

## 4.1.5 地形地貌与冲淤影响分析

### 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，曾在多处工程应用，效果较好。

模型公式如下：

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

式中， $\omega$  为泥沙沉速， $S$  为水体平均含沙量， $t$  为淤积历时， $\gamma_d$  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,  $\beta = \frac{\alpha\omega S}{\gamma_c}$ ,  $K = \frac{V_2}{V_1}$

$\gamma_d$  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,  $\rho_s$  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 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。

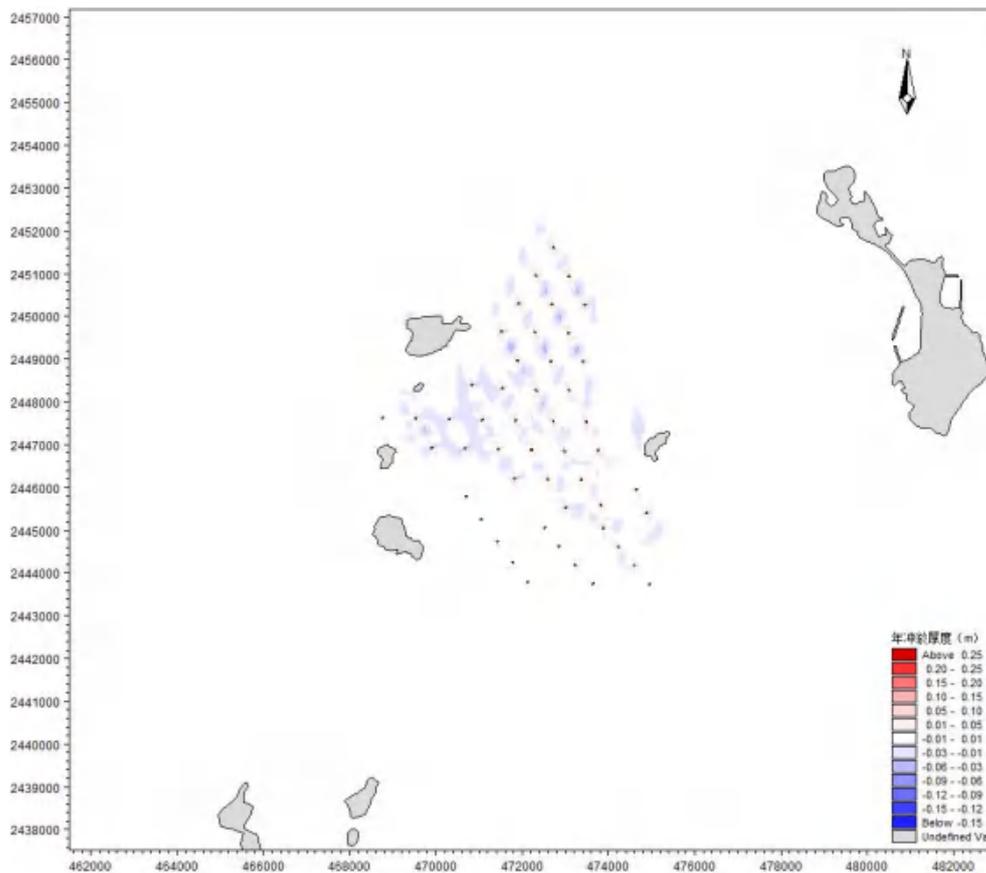


图 4.1.5-1 工程区附近海床年冲淤变化平面分布图

### 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（8.1m）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：

$$\frac{h_b}{h} = 17.4k_1k_2\left(\frac{B}{h}\right)^{0.325}\left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.157}F_r^{0.528}$$

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，建议在工程建设期间及工程建成后，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)	8.1
最大可能局部冲刷深度 (m)	3.6
最大可能局部冲刷直径 (m)	25

## 4.1.6 水质影响分析

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,其后悬沙随海流输运、扩散和沿程落淤,浓度逐渐减小,范围逐渐增大。施工带来的悬浮泥沙输运扩散对水质环境的影响可采用悬沙扩散方程进行预测。

### 4.1.6.1 模型介绍

#### 1、基本方程

悬浮物扩散方程:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(uhC)}{\partial x} + \frac{\partial(vhC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + hF_s - kC$$

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,  $F_s = \sigma / (A \cdot h)$ ,  $\sigma$ 为悬浮物源强 (g/s),  $A$  为源强所在计算节点的控制面积;

$k = \alpha \omega$ ,  $\alpha$ —泥沙沉降机率。

$\omega$ —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，取流入计算域浓度值为零。

(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，计算中取为零。

### 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  $\alpha$  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； $\omega$  为泥沙沉速， $\sigma$  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， $\omega$  计算公式采用下式：

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

式中： $\rho_s$ 为泥沙颗粒密度，取 2650kg/m<sup>3</sup>； $\rho$ 为海水密度，取 1000kg/m<sup>3</sup>； $g$ 为重力加速度，取 9.8m/s<sup>2</sup>； $d$ 为泥沙粒径（m），取悬沙中值粒径； $\nu$ 为海水粘滞系数，取 0.0001m<sup>2</sup>/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 35kV 集电海缆敷设在泥面下约 2.5m 深处，110kV 送出电缆敷设在泥面下约 4.0m 深处，35kV 联岛海缆敷设在泥面下约 2.0m~4.2m，综合考虑海底电缆敷设在泥面平均 3m 深处（考虑穿越航道加大埋深），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= $(0.3m+0.5m) \times 3m \times 0.5 \times 5m/min = 6m^3/min = 0.1m^3/s$ 。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= $0.1m^3/s \times 20\% = 0.02m^3/s$ 。

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：

$$\rho_s = 1750D_{50}^{0.4}$$

式中， $D_{50}$ 为泥沙中值粒径。

由上式计算，干容重分别为 909.64kg/m<sup>3</sup>，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。根据同类型的项目经验，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

悬沙影响模拟预测送出电缆取 199 个代表点，集电海缆取 116 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。

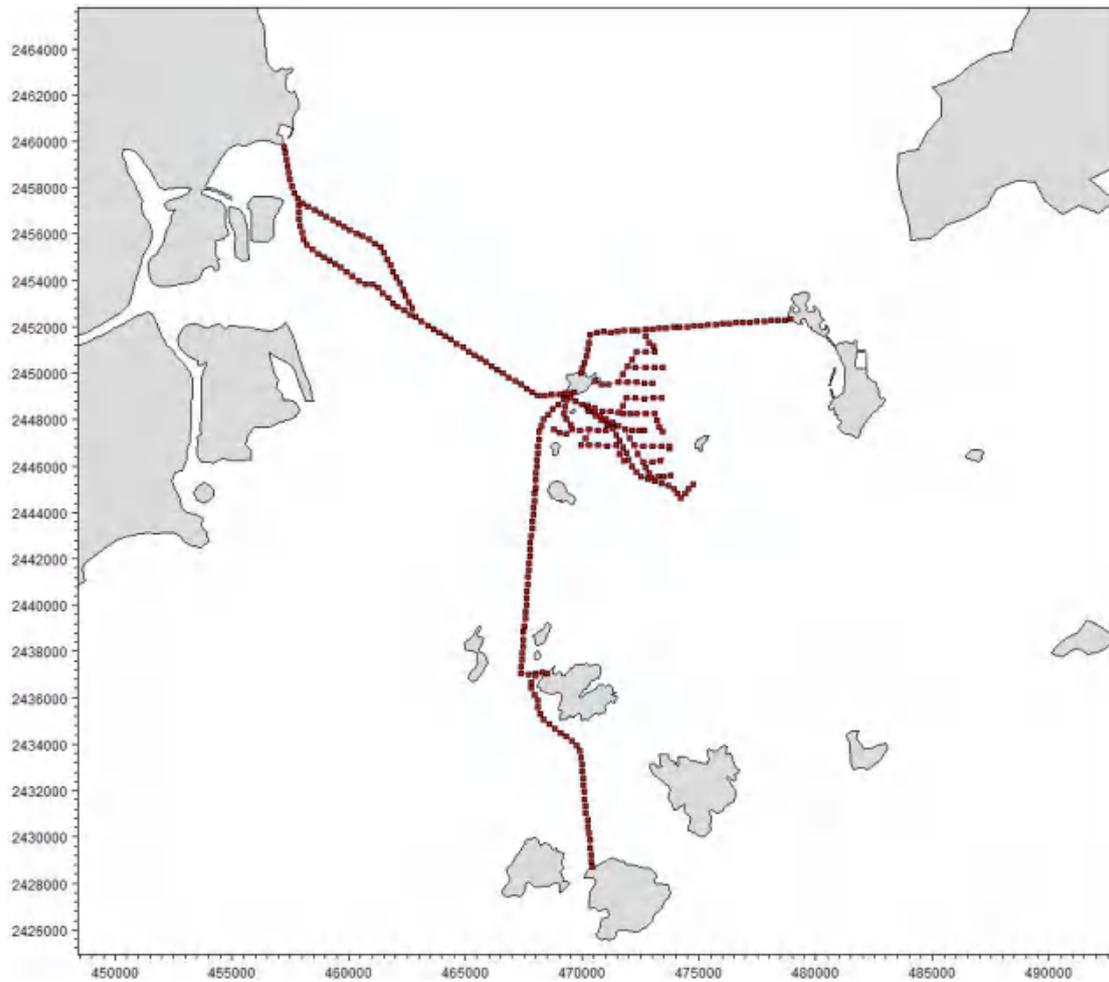


图 4.1.6-1 风电场缆线源强点分布图

### 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 为模拟期内电缆敷设施工作业悬沙增量包络线浓度场。

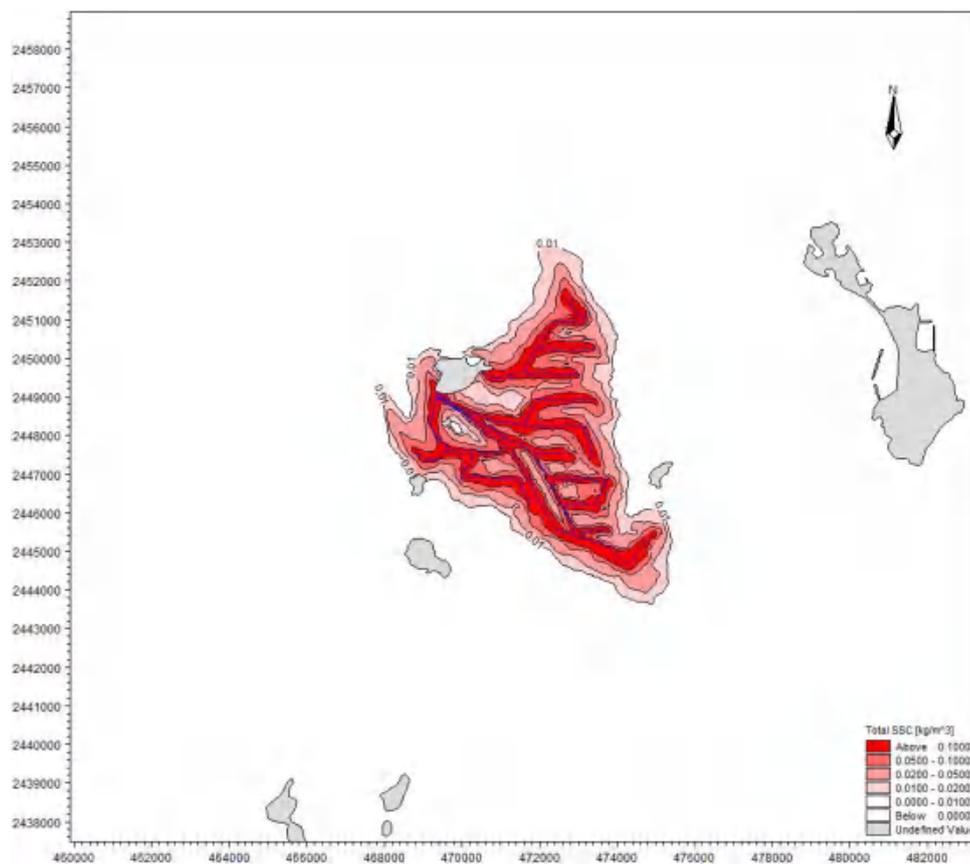


图 4.1.6-2 集电海缆施工产生悬沙增量包络线图

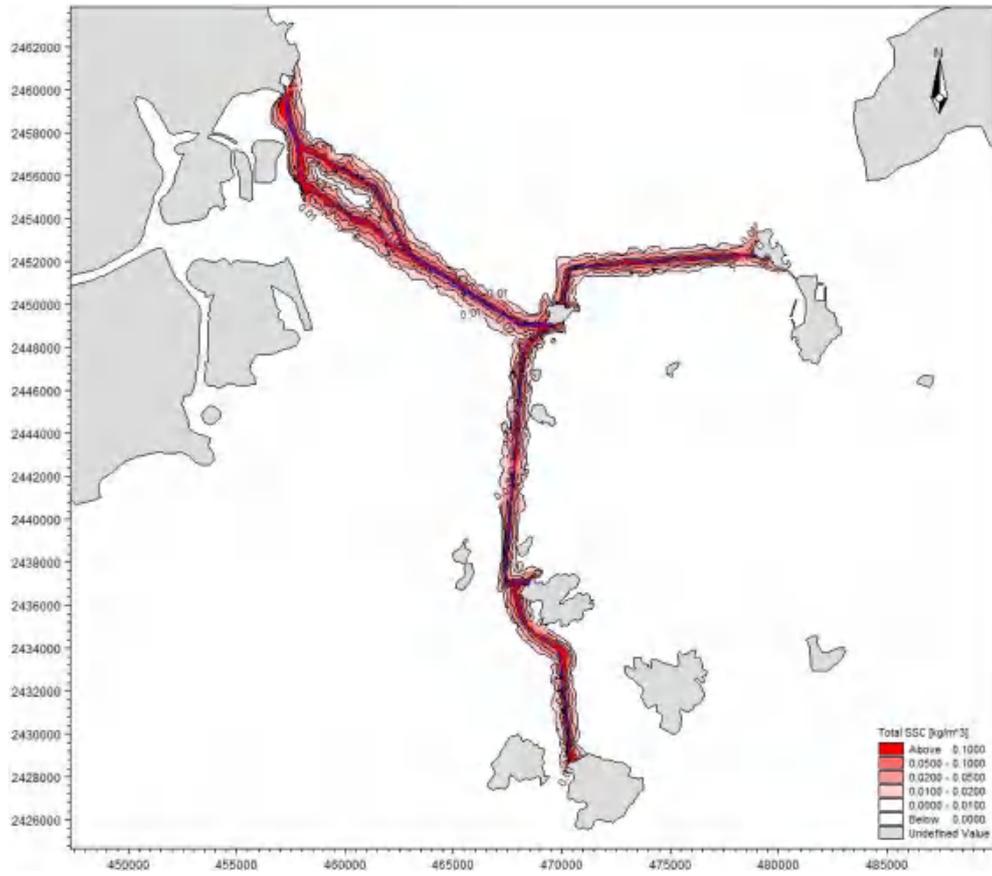


图 4.1.6-3 送出路由海缆施工产生悬沙增量包络线图

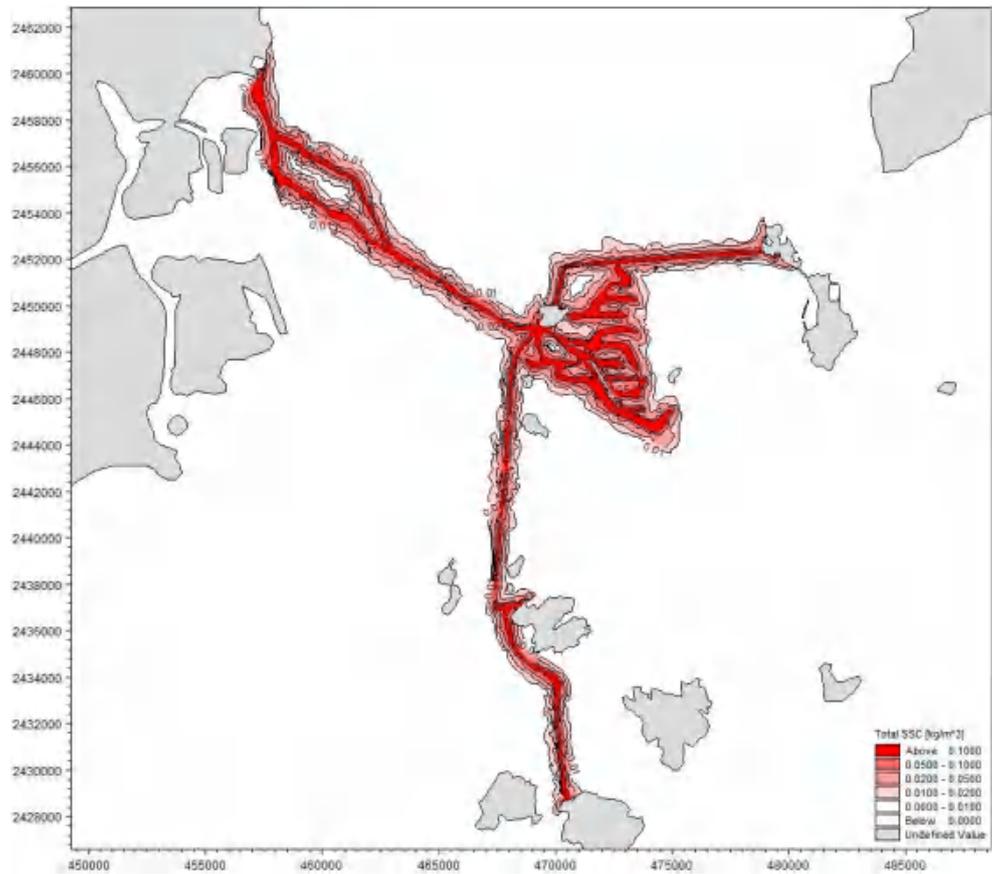


图 4.1.6-4 施工产生悬沙增量包络线图

表 4.1.6-1 施工产生悬沙增量面积(km<sup>2</sup>)

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	36.663	25.676	16.694	10.409	1.2	1.3	1.1	1.3
送出海缆	70.991	41.090	24.360	14.557				
集电、送出海缆 叠加	99.682	62.425	39.618	23.890				

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及送出路由附近。整体上看，集电海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 36.663km<sup>2</sup>，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 25.676km<sup>2</sup>，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 16.694km<sup>2</sup>，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 10.409km<sup>2</sup>；送出海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 70.991km<sup>2</sup>，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 41.090km<sup>2</sup>，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 24.360km<sup>2</sup>，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 14.557km<sup>2</sup>。

## 4.2 资源影响分析

### 4.2.1 对海洋空间资源和岸线资源影响

本项目用海方式包括透水构筑物 and 海底电缆管道，申请用海总面积为 285.2758 公顷，其中风机申请透水构筑物用海面积为 43.6418 公顷，35kV 集电海缆申请海底电缆管道用海面积为 68.4528 公顷，送出电缆申请海底电缆管道用海面积为 173.1812 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。

本项目建设共布置 7 个登陆点，项目申请用海范围共占用岸线约 242.8m，其中占用大陆人工岸线约 19.9m，占用海岛自然岸线约 28.2m，占用海岛人工岸线约 194.7m。项目各登陆点占用岸线情况见表 4.2.1-1 和图 4.2.1-1。

本项目已在各登陆点附近设置禁锚标志。根据《海底电缆管道保护规定》的要求划定保护范围，并按照规定设立显著标志，海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其它可能破坏海底电缆管道安全的海上作业，是对岸线资源的有序利用和保护，能充分发挥此处岸线的有利作用，也能禁止其他破坏行为破坏此处岸线。

表 4.2.1-1 海底电缆登陆点占用岸线情况

序号	名称	位置	连接电缆	占用岸线 (m)	岸线类型
1	三角岛北 登陆点	三角岛北	三角岛-牛头岛 35kV 联岛电缆	20.9	海岛人工岸线
2	三角岛南 登陆点	三角岛西南	风机间 2~8 号回路集电电缆、 三角岛-东澳岛 35kV 联岛电缆、 三角岛-珠海吉大 110kV 送出电缆	83.5	海岛人工岸线
3	三角岛东 登陆点	三角岛东南	风机间 1 号回路集电电缆	39.7	海岛人工岸线
4	牛头岛 登陆点	牛头岛西南	三角岛-牛头岛 35kV 联岛电缆	30.4	海岛人工岸线
5	东澳岛 登陆点	东澳岛西北	三角岛-东澳岛 35kV 联岛电缆、 东澳岛-大万山岛 35kV 联岛电缆	28.2	海岛自然岸线
6	大万山岛 登陆点	大万山岛北侧	东澳岛-大万山岛 35kV 联岛电缆	20.2	海岛人工岸线
7	珠海吉大 登陆点	珠海吉大	三角岛-珠海吉大 110kV 送出电缆	19.9	大陆人工岸线
合计				242.8	



图 4.2.1-1a 项目占用岸线示意图（三角岛）



图 4.2.1-1b 项目占用岸线示意图（牛头岛）



图 4.2.1-1c 项目占用岸线示意图（东澳岛）



图 4.2.1-1d 项目占用岸线示意图（大万山岛）



图 4.2.1-1e 项目占用岸线示意图（珠海吉大）

## 4.2.2 对海洋生物资源的影响

### 4.2.2.1 潮间带和底栖生物损失量

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。海底电缆的铺设造成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。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。

本项目采用 34 台四桩导管架基础，四桩导管架桩径 2.2m，根开 15m；3 台单桩基础，35#~37#风机单桩基础桩径分别为 7.9m、8.1m 和 8.0m。因此桩基基

础占用面积=34×π×(2.2/2)<sup>2</sup>×4+π×(7.9/2)<sup>2</sup>+π×(8.0/2)<sup>2</sup>+π×(8.1/2)<sup>2</sup>=667.79m<sup>2</sup>。

本工程建设海底电缆总长约 104.36km（送出海缆长度为 65.91km，集电海缆长度为 38.45km），其中潮间带电缆长度约 0.25km，则潮下带电缆长度为 104.11km。

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 2082200m<sup>2</sup>，造成潮间带生境破坏面积约为 5000m<sup>2</sup>。

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 55.94g/m<sup>2</sup> 和潮间带生物平均生物量 744.13g/m<sup>2</sup>。计算结果见表 4.2.2-1。本项目建设造成底栖生物损失 120.2t，潮间带生物损失 3.72t。

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 <sup>2</sup> )	平均生物量 (g/m <sup>2</sup> )	直接损失量 (t)
桩基基础压占	长久占用底栖生物生境	667.79	55.94	0.04
海底电缆铺设	一次性破坏底栖生物生境	2082200	55.94	116.5
海底电缆铺设	一次性破坏潮间带生境	5000	744.13	3.72

#### 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 (km<sup>2</sup>)

浓度 (mg/L)	>10	>20	>50	>100
面积 (km <sup>2</sup> )	99.682	62.425	39.618	23.890

(2) 生物资源损失率 (K<sub>ij</sub>)

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 (Bi)	悬浮泥沙扩散面积 (km <sup>2</sup> )	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	Bi<1 倍	37.257	5	0.5	5	5
II 区	20~50	1<Bi<4 倍	22.807	10	1	10	10
III 区	50~100	4<Bi<9 倍	15.728	30	10	30	30
W 区	>100	Bi>9 倍	23.890	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 0.92 粒/m<sup>3</sup>, 仔鱼密度为 0.44 尾/m<sup>3</sup>, 游泳生物密度为 655.952kg/km<sup>2</sup>。

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 1.91×10<sup>8</sup> 粒, 仔鱼损失 9.16×10<sup>7</sup> 粒, 游泳生物损失 4.44t。

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 <sup>2</sup>	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	37.257	10	鱼卵 (粒/m <sup>3</sup> )	0.92	5	1.71×10 <sup>7</sup> 粒
		10	仔鱼 (尾/m <sup>3</sup> )	0.44	5	8.20×10 <sup>6</sup> 尾
		10	游泳生物 (kg/km <sup>2</sup> )	655.952	0.5	0.12t
20~50	22.807	10	鱼卵 (粒/m <sup>3</sup> )	0.92	10	2.10×10 <sup>7</sup> 粒
		10	仔鱼 (尾/m <sup>3</sup> )	0.44	10	1.00×10 <sup>7</sup> 尾
		10	游泳生物 (kg/km <sup>2</sup> )	655.952	1	0.15t

50~100	15.728	10	鱼卵 (粒/m <sup>3</sup> )	0.92	30	4.34×10 <sup>7</sup> 粒
		10	仔鱼 (尾/m <sup>3</sup> )	0.44	30	2.08×10 <sup>7</sup> 尾
		10	游泳生物 (kg/km <sup>2</sup> )	655.952	10	1.03t
>100	23.890	10	鱼卵 (粒/m <sup>3</sup> )	0.92	50	1.10×10 <sup>8</sup> 粒
		10	仔鱼 (尾/m <sup>3</sup> )	0.44	50	5.26×10 <sup>7</sup> 尾
		10	游泳生物 (kg/km <sup>2</sup> )	655.952	20	3.13t

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)	1.91×10 <sup>8</sup> 粒
	仔鱼 (尾)	9.16×10 <sup>7</sup> 尾
	游泳生物 (t)	4.44t

### 4.2.2.3 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，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环境影响报告书》（报批稿）（上海勘测设计研究院有限公司，2015年10月）中对用海批复方案进行水文动力环境影响分析结果如下：风电场建设对工程海域的潮流影响以流速减小为主，工程前后流速变化幅度基本在 5cm/s 以下。风电场周边海域流速变化幅度基本在 1cm/s 以下。风电场建设对海域的潮流影响主要集中在工程区附近，离风电场工程区越远，潮流影响越小。涨潮时风电场内流速变率最大为 13.54%；落潮时风电场内流速变率最大为 11.53%。涨落潮平均流速变率为 3.63%，流向变化幅度基本在 5°以下。

通过与项目用海批复方案预测结果对比可知，项目建设完成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：大潮涨急流速变化值位于

-0.07m/s~0.01m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-3°~2°之间；大潮落急流速变化值位于-0.05m/s~0.02m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-2°~2°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。

### 4.3.2 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。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 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。

《珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书》（报批稿）（上海勘测设计研究院有限公司，2015年10月）中对用海批复方案进行地形地貌与冲淤环境影响分析结果如下：风电场工程区淤积最大的为风电场风机塔基附近，最大淤积厚度为0.653m，风电场区域平均淤积幅度为0.222m。工程区桩基前沿特征点出现轻微冲刷，最大冲刷在0.332m左右，风电场区域平均冲刷幅度为0.178m。

通过与项目用海批复方案对比可知，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

#### 4.3.3.1 施工期悬浮泥沙影响

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增加，项目调整后对环境的影响比用海批复方案相对较大，但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。

根据原论证和路由调整补充论证报告书对批复方案进行悬沙预测分析结果，施工期悬浮物增量值大于100mg/L的最大可能影响面积为80.82km<sup>2</sup>，大于50mg/L的最大可能影响面积为105.45km<sup>2</sup>，大于20mg/L的最大可能影响面积为

142.33km<sup>2</sup>，大于 10mg/L 的最大可能影响面积为 191.39km<sup>2</sup>。

项目调整后，本项目海缆实际建设施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 99.682km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 62.425km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 39.618km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 23.890km<sup>2</sup>。

对比本项目批复方案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，说明项目实际建设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	批复方案影响面积/km <sup>2</sup>	建设方案影响面积/km <sup>2</sup>	变化情况/km <sup>2</sup>
>10mg/L	191.39	99.682	-91.708
>20mg/L	142.33	62.425	-79.905
>50mg/L	105.45	39.618	-65.832
>100mg/L	80.82	23.890	-56.93

#### 4.3.3.2 运营期对水质影响分析

运营期污废水主要来自工作人员的生活污水和变压器事故油水。生活污水将经污水处理设施进行达标处理，对周围环境影响不大。

运营期若发生意外事故导致油污倾倒入海，将对海洋环境产生一定影响。因此应及时采取措施处理事故泄露，尽量在 2 小时内处理完泄露源和海中污染物，以有效降低事故对海洋环境的影响。

#### 4.3.4 对沉积物环境的影响

##### 4.3.4.1 施工期对沉积物环境的影响

###### (1) 风机基础沉桩

本工程风机桩基采用整体安装的施工工艺，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(>10mg/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。

### (3) 钢管桩灌浆连接

本项目风机钢管桩基础与风机导管架间需进行灌浆连接，所灌注混凝土砂浆可能发生泄漏、溢出，进而可能对桩基附近水质和沉积物环境造成污染。砂浆沉入海底后可能进一步与沉积物扩展凝结形成高强度的砣，由于水泥砂浆中不含重金属、营养盐等物质，因此砂浆沉降也不会对沉积物环境造成不利影响。项目施工过程中未发生混凝土砂浆泄漏、溢出等事故。

#### 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

本项目已施工完成，营运期对中华白海豚的影响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

工程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 $\mu$ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

据厦门大学的监测并结合英国 4 个海上风电场在营运期的监测结果表明：风机在营运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 $\mu$ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 $\mu$ 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，海上风电场营运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，但在本项目的跟踪监测过程中，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 $\mu$ 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）受风电磁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，海上风电磁场对 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) mT、(0.2 $\pm$ 0.01) mT、(0.9 $\pm$ 0.01) mT、(4.05 $\pm$ 0.01) mT），风电磁场对鱼、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最短距离约 1.8km，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 $\mu$ 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

建设项目在运行期会对鸟类造成多方面的影响，有直接的如碰撞、噪声等，也有间接的如破坏栖息地、减少食物资源等。按性质分，主要有以下几个方面：

### （1）对鸟类的直接影响

### ①风电机噪声影响

由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围。本项目运行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。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，噪声对鸟类等主要依靠声音进行通讯的类群的影响较为严重（Slabbekoorn & Ripmeester,2008;Francis et al. ,2009），因为鸟类尤其是鸣禽主要通过鸣声进行通讯，如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰动物寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力，使动物的捕食效率和生存力下降。

鸟类生活环境中的噪声可分为人为噪声和自然噪声。前者如各种交通噪声，可瞬时爆发、频率低、能量高、持续时间短、作用面积小；后者如晨鸣合唱，进行缓慢、频率多样、延续时间长、作用范围广。城市噪声属于低频高能（Katti & Warren,2004;Slabbekoorn & Ripmeester,2008），频率一般低于 2kHz，最高不超过 5kHz（Skiba,2000;Patricelli & Blickley,2006）。许多动物的发声频率在这一范围内，受噪声影响很严重，如鲸鱼（Foote et al. ,2004）、猿猴（Brumm et al. ,2004）、地松鼠（Rabin et al. ,2003）、鸟类（Slabbekoorn & Peet,2003;Brumm,2004b）、蜥蜴（Ord & Stamps,2008）、蛙类（Sun & Narins,2005;Parris et al. , 2009）和鱼类（Slabbekoorn et al. ,2010）。在长期的适应和演化过程中，动物的声音具有一定可塑性，在声通讯过程中，能根据外界声音环境的声级变化，在一定程度上调整发声频率，避开噪声干扰（Sober & Brainard,2009）。与其他动物相比，鸟类鸣声可塑性更高（Botero et al. ,2009）。鸟类鸣声频率主要分布在 2~9 kHz（Rheindt,2003），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（Slabbekoorn & Peet,2003;Catchpole & Slater,2008;Nemeth & Brumm,2009）。

鸟类提高最低频率的方式主要有 2 种：一是压缩频域以应对低频噪声，这种

方式是最高频率保持不变，只提高最低频率；二是将频域整体提高（高低频同时不同步提高）以避免低频噪声的影响，频域调节是鸟类应对噪声影响的一种有效措施（Aubin&Jouventin,2002;Sun&Narins,2005）。Slabbekoorn 等（2003,2008）的研究显示，城市噪声低频部分的音量比郊区大，城市鸟类鸣声的最低频率比郊区同种鸟类高（Slabbekoorn&Peet,2003;Slabbekoorn&Ripmeester,2008）。Hu 和 Cardoso（2010）对澳大利亚墨尔本城区和郊区 12 种鸟类鸣声的分析发现，在不同的噪声环境中，5 种鸟类鸣声差异显著，2 种差异比较明显，2 种的主频显著提高，3 种没有显著变化。可见提高最低频率是城市鸟类避开噪声干扰的主要方法。鸟类最低频率的变化幅度与引起鸟类最低频率变化的噪声水平之间有很强的线性关系，Wood 和 Yezerinac（2006）的研究也发现，在噪声影响下，歌带鹀（*Melospizamelodia*）鸣唱最低频率随噪声音量的增加而提高。

本风电场所采用的风机噪声峰值频率出现在 1300~1600Hz，而鸟类鸣声频率主要分布在 2~9 kHz。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。

### 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，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。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。

### ③碰撞效应

项目调整后风机机型不变，叶片运行影响高度基本不变。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 100 m。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。大规模的候鸟迁徙也意味着候鸟与风机和风机叶片相撞的概率增加；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。还有研究统计发现，和风电机碰撞的鸟类多为大中体型的鸬形目、隼形目和鸱形目鸟类。

在珠江口地区，普通鵟主要为冬候鸟，部分旅鸟，在项目评价范围内的可能活动时间从 10 月到翌年 4 月，主要行为为飞行及觅食。由于项目范围内的陆生脊椎动物种类数量并不丰富，尤其是森林鼠类不多，不是普通鵟的主要觅食场所，且其在海上飞行的频率较低，本项目对其基本没有影响。

## （2）对鸟类的间接影响

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

### ① 栖息地损失和破碎化

风电机直接占风海域面积很小，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。

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

### 4.3.8 水下噪声影响分析

#### 1、营运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、营运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 $\mu$ Pa 到 65dB/1 $\mu$ 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 $\mu$ Pa。在离风机 3 号风机 200m 靠近桥梁及航道上，100Hz 点上的功率谱级达到最大为 128dB/1 $\mu$ Pa，比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/1 $\mu$ 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。

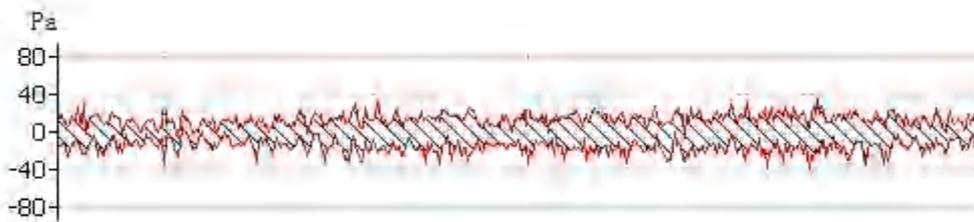
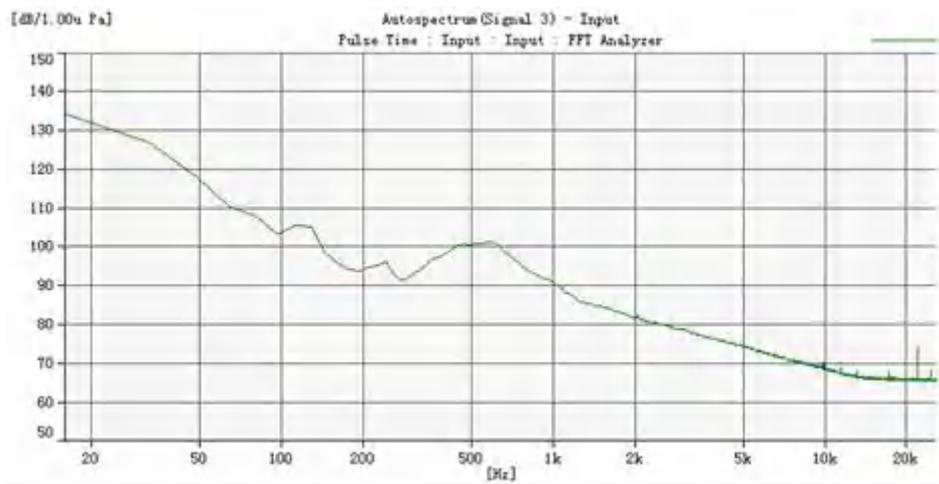


图 4.3.8-1 声压时域图



声功率谱图

图 4.3.8-2 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 4.3.8-3。

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 4.3.8-3 测量背景噪声和声场分布的实验布置图

发射噪声信号从低频到高频进行测试，以目前所研究的大多数的石首科鱼类的最高灵敏度 500Hz 为主要频率，观测对不同频率信号的响应。同时改变发射强度，观测鱼类对声信号的响应。

实验水下噪声分两类：

- (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 $\mu$ Pa、120dB re 1 $\mu$ Pa、130 dB re 1 $\mu$ 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 $\mu$ Pa、120dB re 1 $\mu$ Pa、130 dB re 1 $\mu$ 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、卵形鲳鲅、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有利还有害。若要进行利或害的判断，必须进行长期（几个月甚至是几个世代）、多因素（成活率，生长速度，抗逆性，繁殖力等）的综合考虑。

分析海上风电场水下噪声对海洋生物的影响，除了必须对海上风电场风机产生的水下噪声进行实测外，还必须调查区域海洋鱼类的听觉性能，测量不同海洋鱼类的听阈值，了解海洋鱼类的声学特性。根据前期进行过大黄鱼声学特性的初步实验。

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, 海上风电场在运营期的总体的噪声比较低, 即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段 (120Hz~1.5kHz) 上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 $\mu$ Pa, 总体噪声谱级都在 120dB/1 $\mu$ Pa 以下。风电场运营期水下噪声谱级分布强度较小, 基本上与海洋环境背景噪声谱级相当, 风电场运营中频率在 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, 运营期水下噪声强度就本实验中所提及的海洋生物实验条件下没有显著影响, 对海域中典型鱼类 (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 $\mu$ 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 $\mu$ T, 之

后随与此点距离的增加，其值逐步降低。

本工程风机机群分布可知，最密集的布放方式为 6 根 35kV 海底电缆并行排列，所获得的叠加效应最明显。选择 6 根平行排列的海底电缆进行分析。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 12663nT~192473nT 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

Westerberg 和 Begout-Anras（2000）对欧洲银鳗在穿越南波罗的海海底电缆时的洄游形式进行了遥测研究。研究表明，鳗鲡随着持续的磁性罗盘航向迁移，并没有受到电缆产生的电磁异常影响。此外，Westerberg（1994）从研究的角度测试了南波罗的海近岸风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式，在风力发电机 500m 范围内，鳗鲡的洄游形式没有发生任何改变。

在 Westerberg 和 Lagenfelt 的一项未发表的研究中，将 60 尾正在洄游的银鳗放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的 132kV 交流电缆（AC）北部。其洄游速度在有电缆的间隔中明显降低。虽然能够证实磁场对洄游具有影响，但电缆不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

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 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，剩余 3 台风机于 2020 年 11 月动工，2021 年 12 月并网投产。本报告收集了项目施工前（2012 年秋季、2013 年春季）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海域使用论证报告书（报批稿）》（国家海洋局南海工程勘察中心，2014 年 8 月）中由国家海洋局南海工程勘察中心于 2012 年 11 月 13 日~17 日和 2013 年 3 月 25 日~31 日对项目附近海域开展的秋、春季海水水质、海洋沉积物、生物体质量调查结果，以及中国水产科学研究院南海水产研究所于 2012 年 11 月 13 日~17 日和 2013 年 3 月 25 日~4 月 1 日对附近海域进行的春、秋季海洋生态环境现状调查结果。本次调查共布设水质调查站位 28 个，沉积物调查站位 14 个，海洋生物质量、生态与渔业资源调查站位 17 个，潮间带生物调查断面 6 个，具体调查站位见图 4.3.10-1。



图 4.3.10-1a 施工前水质、生态、沉积物调查站位图

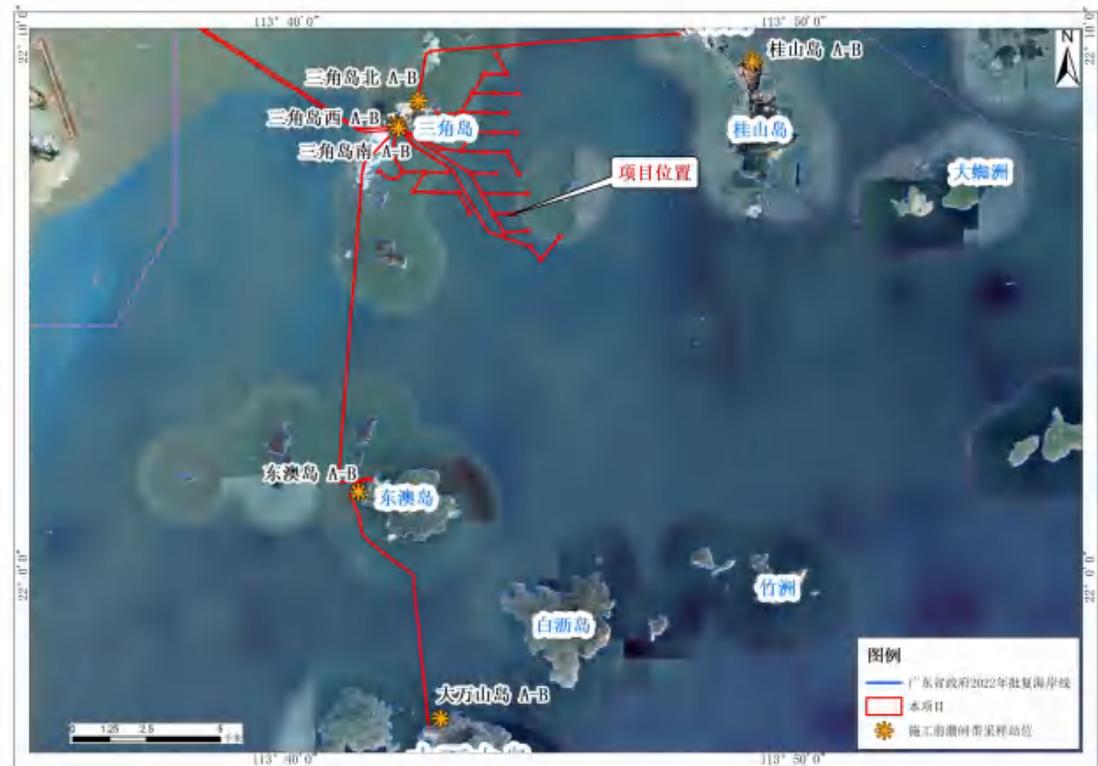


图 4.3.10-1b 施工前潮间带生物调查站位图

(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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2021年12月）中由广州海兰图检测技术有限公司于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）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023年6月）中由广州海兰图检测技术有限公司于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。本次调查共布设水质调查站位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秋季（2012 年 11 月）

秋季调查中，所有站位的溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、锌、镉、砷、总铬和硫化物的含量都符合第一类海水水质标准。部分站位的石油类含量超第二类海水水质标准，但均符合第三类海水水质标准；部分站位铜、铅和总汞的含量超第一类海水水质标准，但均符合第二类海水水质标准；部分站位的活性磷酸盐含量超第一类海水水质标准，但均符合第二、三类海水水质标准；部分站位的无机氮含量超第一类海水水质标准。

##### ②春季（2013 年 3 月）

春季调查中，所有站位的溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、锌、镉、砷、总铬和硫化物的含量都符合第一类海水水质标准。部分站位石油类含量超第二类海水水质标准，均符合第三类海水水质标准；部分站位铜、铅和总汞的含量超第一类海水水质标准，但均符合第二类海水水质标准；所有站位活性磷酸盐的含量

超第一类海水水质标准；所有站位无机氮含量均超第二类海水水质标准，部分站位无机氮含量超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、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。

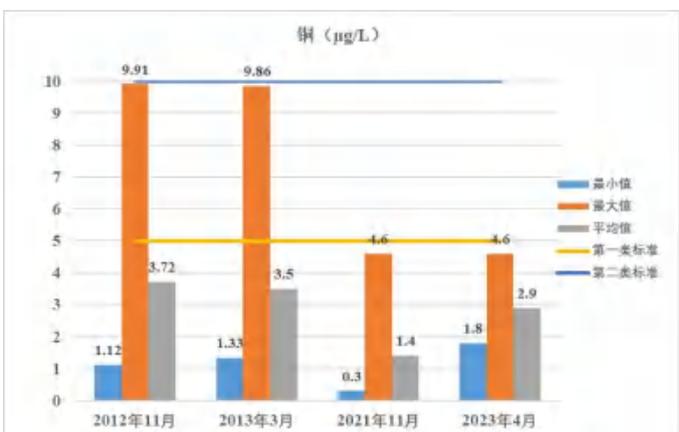
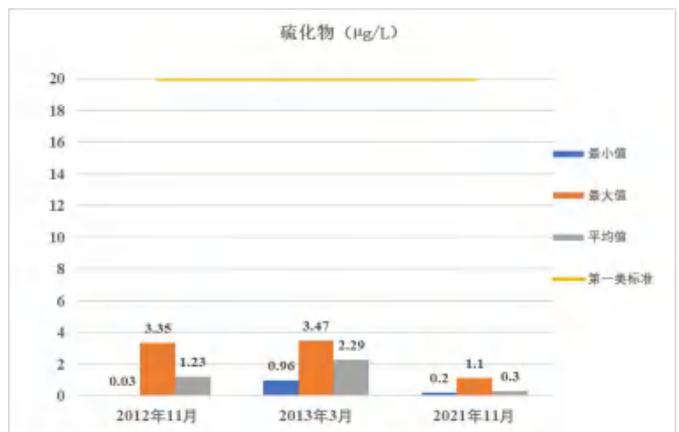
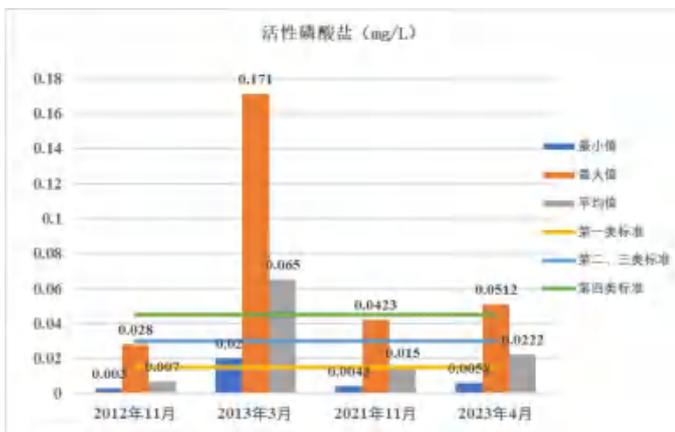
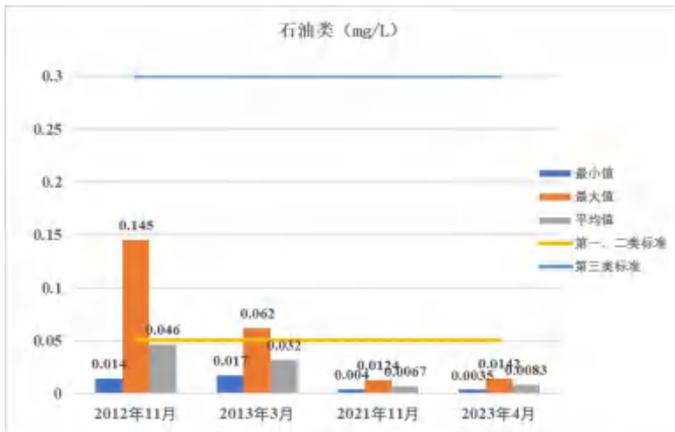
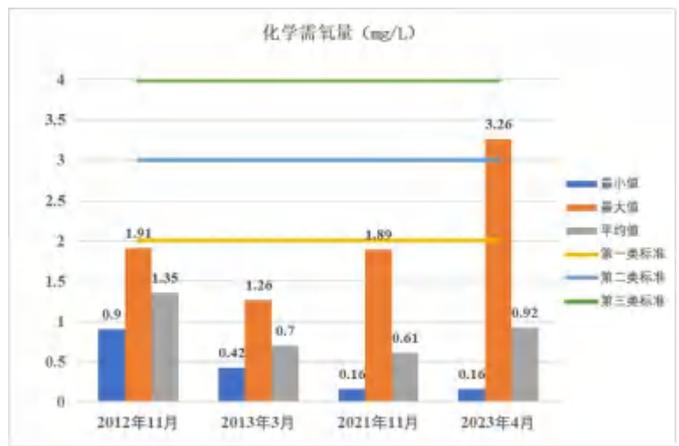
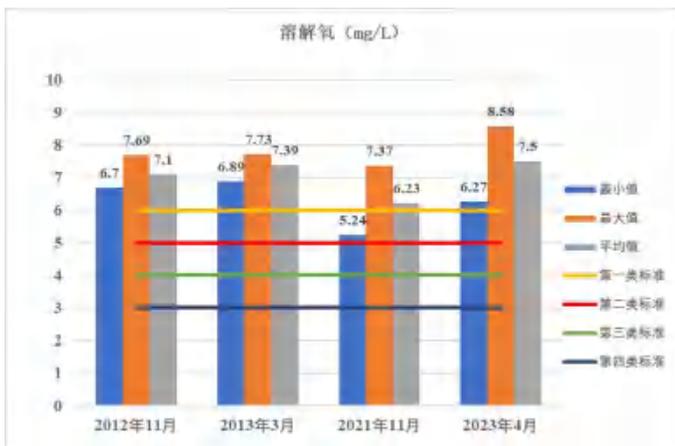
### ②春季（2023 年 5 月）

春季调查中，所有站位的 pH、溶解氧、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 2012 年 11 月、2013 年 3 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，超水质第二类标准；石油类在施工前后逐渐降低，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，且海水中含量较高，均检测到超第四类标准的现象；硫化物、挥发性酚、锌、镉、总铬、砷在施工前后变化不大，且海水中含量较低，施工前后均符合水质第一类标准；铜、铅、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。



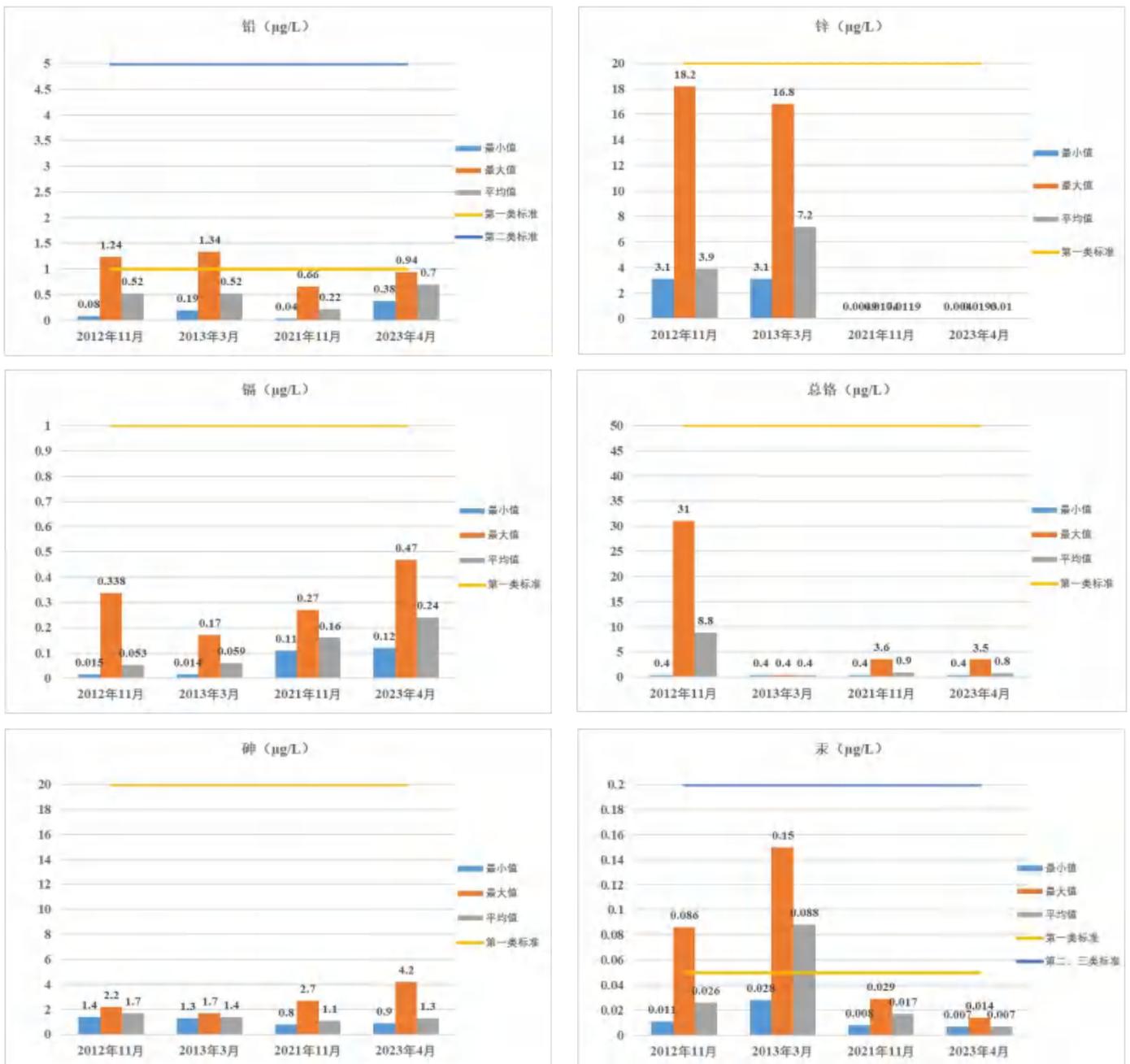


图 4.3.10-4 施工前后海水水质变化趋势图

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	2012 年 11 月	7.956	6.7	0.9	0.014	0.026	0.003	1.12	0.08	3.1	0.015	0.4	1.4	0.011	0.03	/
最大值		8.138	7.69	1.91	0.145	1.065	0.028	9.91	1.24	18.2	0.338	31	2.2	0.086	3.35	/
平均值		8.132	7.1	1.35	0.046	0.185	0.007	3.72	0.52	3.9	0.053	8.8	1.7	0.026	1.23	/
最小值	2013 年 3 月	7.87	6.89	0.42	0.017	0.338	0.02	1.33	0.19	3.1	0.014	0.4	1.3	0.028	0.96	/
最大值		8.21	7.73	1.26	0.062	1.992	0.171	9.86	1.34	16.8	0.17	0.4	1.7	0.15	3.47	/
平均值		8.13	7.39	0.7	0.032	0.831	0.065	3.5	0.52	7.2	0.059	0.4	1.4	0.088	2.29	/
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

##### ①秋季（2012年11月）

本次调查，沉积物中有机碳、硫化物和石油类的含量都符合第一类海洋沉积物质量标准，有部分站位沉积物中铜、铅、锌、镉、总汞、砷和铬的含量超过第一类海洋沉积物质量标准，但都符合第二类海洋沉积物质量标准。

##### (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为，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、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、锌、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	2012 年 11 月	0.61	9.62	26.18	71.86	0.04	50.2	10.9	0.09	12.5	0.7
最大值		1.12	43.03	60.95	210.47	0.69	91.13	31.7	0.29	72.1	39.6
平均值		0.84	25.48	37.76	121.79	0.22	67.5	20	0.17	32	13.5
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（2012年11月、2013年4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

2012年11月，调查海域叶绿素 a 含量表层略高于底层，表层变化范围为（0.424~1.687） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $0.780\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层变化范围为（0.508~0.940） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $0.628\text{mg}/\text{m}^3$ 。调查海域初级生产力变化范围为（78.301~257.423） $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均为  $118.278\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

2013年4月，调查海域叶绿素 a 含量表层略高于底层，表层变化范围为（0.515~2.019） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $1.164\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层变化范围为（0.360~1.949） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $0.936\text{mg}/\text{m}^3$ 。调查海域初级生产力的变化范围为（27.855~213.291） $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均为  $84.048\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

###### 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） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $3.969\text{mg}/\text{m}^3$ ，底层变化范围为（0.71~3.12） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $1.90\text{mg}/\text{m}^3$ 。调查海域初级生产力的变化范围为（72.802~994.871） $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均值为  $339.039\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

2023年4月，调查海域叶绿素 a 浓度的变化范围为（1.29~22.50） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $5.84\text{mg}/\text{m}^3$ ；表层叶绿素 a 变化范围在（1.88~22.5） $\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均为  $6.23\text{mg}/\text{m}^3$ 。调查海域初级生产力变化范围在（286.380~1874.1242） $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均值为  $853.801\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。



图 4.3.10-6 施工前后叶绿素 a 变化趋势

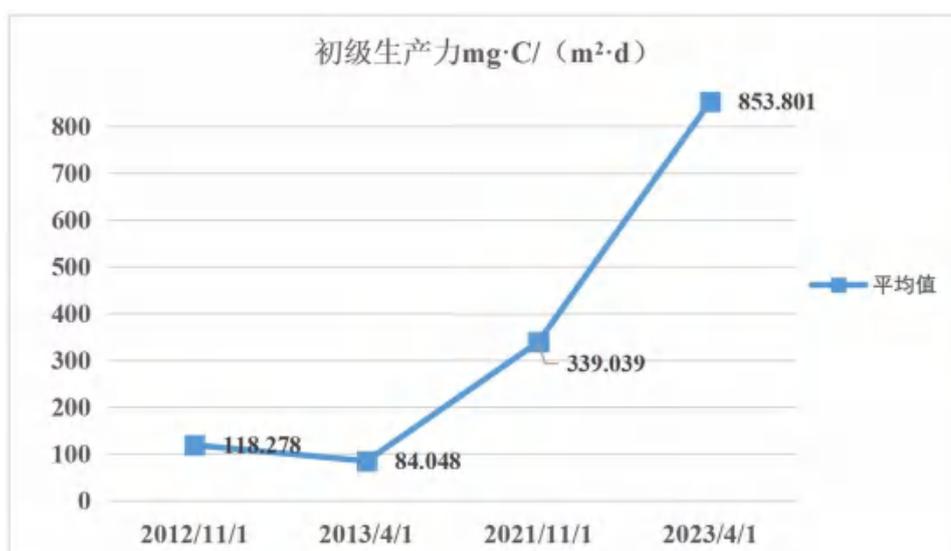


图 4.3.10-7 施工前后初级生产力变化趋势

## (2) 浮游植物

### 1) 施工前

2012 年 11 月，调查海域浮游植物共出现了硅藻、绿藻、蓝藻、甲藻、金藻、黄藻和裸藻共 7 大门类 26 科 77 种，其中以硅藻门的种类最多，其次是绿藻门。浮游植物密度分布范围在  $(106.00 \times 10^4 \sim 272.40 \times 10^4)$  ind/m<sup>3</sup> 之间，平均为  $164.94 \times 10^4$  ind/m<sup>3</sup>。多样性指数分布范围在 2.57~3.35 之间，平均为 2.96；均匀度的分布范围在 0.57~0.77 之间，平均为 0.65。

2013 年 4 月，调查海域浮游植物共出现了硅藻、甲藻、蓝藻、金藻和黄藻共 5 大门类 20 科 71 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  $(49.20 \times 10^4 \sim 110.00) \times 10^4 \text{ind/m}^3$  之间，平均为  $68.87 \times 10^4 \text{ind/m}^3$ 。多样性指数分布范围在 2.92~3.58 之间，平均为 3.25，均匀度的分布范围在 0.66~0.80 之间，平均为 0.73。

## 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。

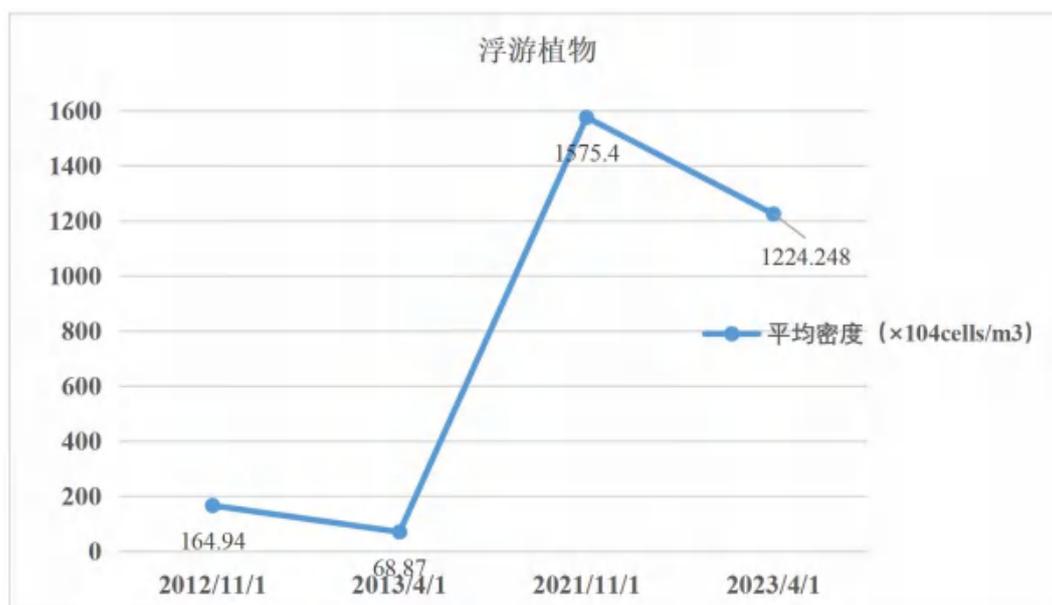


图 4.3.10-8 施工前后浮游植物变化趋势

## (3) 浮游动物

### 1) 施工前

2012 年 11 月，调查海域浮游动物经初步鉴定有 9 个生物类群，共 56 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  $(20.00 \sim 375.00) \text{mg/m}^3$ ，平均生物量为  $125.29 \text{mg/m}^3$ ；生物密度变

化幅度为 (115.00~1069.00) ind/m<sup>3</sup>, 平均密度为 327.94ind/m<sup>3</sup>。多样性指数  $H'$  范围为 3.22~3.96 之间, 平均为 3.61; 均匀度  $J$  范围为 0.73~0.90, 平均为 0.81。

2013 年 4 月, 调查海域浮游动物经初步鉴定有 9 个生物类群, 共 49 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 (50.0~470.0) mg/m<sup>3</sup>, 平均生物量为 63.89mg/m<sup>3</sup>; 生物密度变化幅度为 (113.0~592.0) ind/m<sup>3</sup>, 平均密度为 242.0ind/m<sup>3</sup>。多样性指数  $H'$  范围为 3.09~4.39 之间, 平均为 3.60; 均匀度  $J$  范围为 0.81~0.93, 平均为 0.89。

## 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 (160.000~2831.765) mg/m<sup>3</sup>, 平均生物量为 844.751mg/m<sup>3</sup>; 浮游动物密度变化幅度为 (2637.61~12459.68) ind/m<sup>3</sup>, 平均密度 5796.56ind/m<sup>3</sup>。多样性指数范围为 2.606~4.248 之间, 平均为 3.702; 种类均匀度指数变化范围在 0.773~0.869 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 76.67~3601.85mg/m<sup>3</sup> 之间, 平均值为 495.47mg/m<sup>3</sup>; 浮游动物密度变化范围在 2066.667~10802.422ind/m<sup>3</sup> 之间, 平均值为 5727.312ind/m<sup>3</sup>。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; 均匀度指数变化范围在 0.581~0.721 之间, 平均值为 0.638。

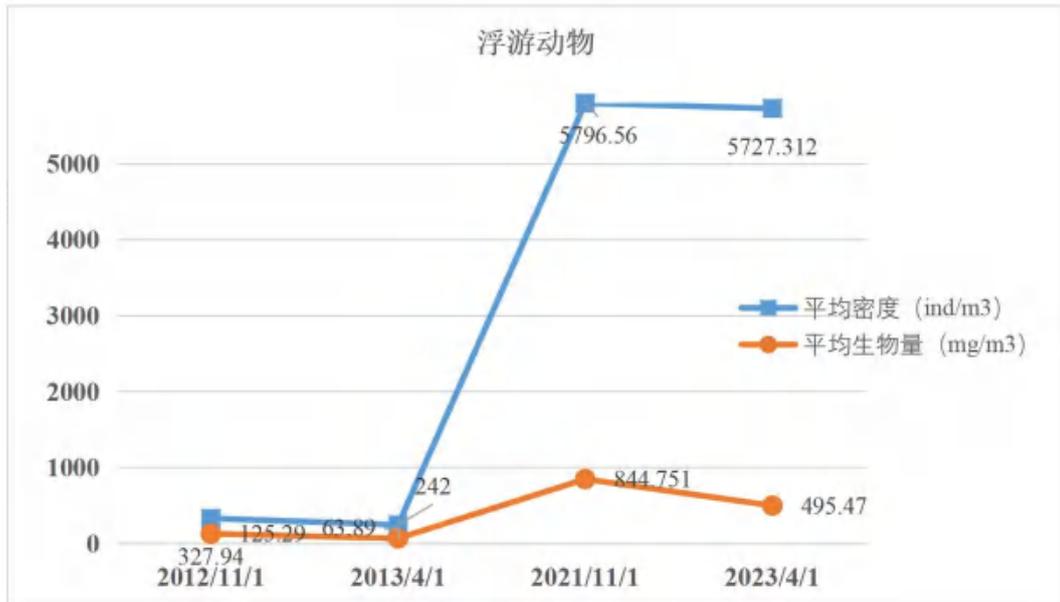


图 4.3.10-9 施工前后浮游生物变化趋势

#### (4) 底栖生物

##### 1) 施工前

2012年11月，调查海域共鉴定出底栖生物9门21目31科38种。其中多毛类最多，有8科10种，其次是节肢动物3科5种。优势度在0.02以上的共有5种，分别为膜质伪才女虫、棒锥螺、短吻铲荚蛭、梳鳃虫和裸盲蟹。底栖生物的总平均生物量为80.08g/m<sup>2</sup>，最高生物量为253.90g/m<sup>2</sup>，最低生物量仅为0.70g/m<sup>2</sup>；平均栖息密度为102.35ind/m<sup>2</sup>，最高栖息密度为270.00ind/m<sup>2</sup>，最低栖息密度均仅为20.00ind/m<sup>2</sup>。底栖生物多样性指数变化范围较大，在1.0~3.16之间，平均为2.05；均匀度分布范围在0.63~1.0之间，整个海区均匀度指数的平均值为0.90。

2013年4月，调查海域共鉴定出底栖生物8门22目35科46种。其中环节动物最多，有12科18种，其次是节肢动物4科6种。优势度在0.02以上的共有2种，分别为洼鄂倍棘蛇尾和杂色伪沙蚕。底栖生物的总平均生物量为31.79g/m<sup>2</sup>，最高生物量为125.50g/m<sup>2</sup>；最低生物量仅为2.10g/m<sup>2</sup>；平均栖息密度为112.35ind/m<sup>2</sup>，最高栖息密度为450.0ind/m<sup>2</sup>，最低栖息密度为20.0ind/m<sup>2</sup>。底栖生物多样性指数变化范围较大，在1.0~3.37之间，平均为2.48；均匀度分布范围在0.83~1.0之间，整个海区均匀度指数的平均值为0.94。

##### 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  $10.857\text{g/m}^2$ ，变化范围为  $(0.625\sim 27.903)\text{g/m}^2$ ；底栖生物平均栖息密度为  $45.42\text{ind/m}^2$ ，变化范围为  $(5.00\sim 75.00)\text{ind/m}^2$ 。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  $(0\sim 52.570)\text{g/m}^2$  之间，平均生物量为  $3.704\text{g/m}^2$ ；栖息密度范围在  $(0\sim 260.000)\text{ind/m}^2$  之间，平均栖息密度为  $26.944\text{ind/m}^2$ 。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

2012 年 11 月，调查海域共鉴定出潮间带生物 6 门 13 目 21 科 32 种。节肢动物最多，为 4 科 6 种，其次为软体动物类 13 科 22 种。优势度在 0.020 以上的有 4 种，分别为粒结节滨螺、隔贻贝、塔结节滨螺和鳞笠藤壶。潮间带生物平均生物量为  $1035.01\text{g/m}^2$ ，平均栖息密度为  $2053.33\text{ind/m}^2$ 。潮间带生物多样性指数

在 0.02~2.82 之间，平均值为 1.54；均匀度的变化范围为 0.02~0.96，平均值为 0.66。

2013 年 4 月，调查海域共鉴定出潮间带生物 5 门 13 目 19 科 36 种。节肢动物最对，为 3 科 6 种，其次为软体动物类 12 科 25 种。优势度在 0.020 以上的有 2 种，分别为粒结节滨螺和鳞笠藤壶。潮间带生物平均生物量为 453.24g/m<sup>2</sup>，平均栖息密度为 521.33ind/m<sup>2</sup>。潮间带生物多样性指数在 0.59~2.92 之间，平均值为 1.75；均匀度的变化范围为 0.40~1.0，平均值为 0.80。

## 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 156.220g/m<sup>2</sup>，各潮间带平均栖息密度为 26.44ind/m<sup>2</sup>。潮间带生物多样性指数 ( $H'$ ) 变化范围在 1.615~2.122 之间，平均值为 1.949；种类均匀度变化范围在 0.808~0.914 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 163.471g/m<sup>2</sup>，平均栖息密度为 118.000ind/m<sup>2</sup>。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。



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

2012年11月,调查海域采获鱼卵177枚,采获仔稚鱼31尾,经鉴定隶属于1门1纲6目13科20种。调查海区鱼卵采获数量范围为3枚/网~29枚/网,平均为10.41枚/网;17站密度变化范围为 $(24.30\sim 234.87)\times 10^{-3}$ 枚/ $m^3$ ,平均为 $84.33\times 10^{-3}$ 枚/ $m^3$ 。仔稚鱼采获数量范围为 $(0\sim 4)$ 尾/网,平均为1.82尾/网;17站密度变化范围为 $(0.00\sim 32.40)\times 10^{-3}$ 尾/ $m^3$ ,平均为 $14.77\times 10^{-3}$ 尾/ $m^3$ 。本次调查多样性指数变化范围为0.92~2.65,平均值为2.03;均匀度的变动幅度为0.77~0.96,平均值为0.93。

2013年4月,调查海域采获鱼卵1950枚,采获仔稚鱼71尾,经鉴定隶属于1门1纲14科22种。调查海区鱼卵采获数量范围为 $(21\sim 230)$ 枚/网,平均为114.71枚/网;17站密度变化范围为 $(170.08\sim 1862.80)\times 10^{-3}$ 枚/ $m^3$ ,平均为 $929.02\times 10^{-3}$ 枚/ $m^3$ 。仔稚鱼采获数量范围为 $0\sim 29$ 尾/网,平均为4.18尾/网;17站密度变化范围为 $(0.00\sim 234.87)\times 10^{-3}$ 尾/ $m^3$ ,平均为 $33.83\times 10^{-3}$ 尾/ $m^3$ 。本次调查多样性指数变化范围为2.50~3.19,平均值为2.82;均匀度的变动幅度为0.86~0.98,平均值为0.93。

### 2) 施工后

2021年11月,调查海域出现采获鱼卵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、鲈形目、鲈形目、银汉鱼目。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 $0.28\text{ind}/m^3$ ,仔稚鱼的平均密度为 $0.11\text{ind}/m^3$ 。

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,鲱形目和鲈形目各2种;仔稚鱼28种,其中包括鲈形目17种,鲱形目3种,鲱形目2种,灯笼鱼目2种,鲈形目、银汉鱼目、鲈形目和鲱形目各1种。本次垂直拖网共采到鱼卵 $585\text{ind}$ ,仔稚鱼 $118\text{ind}$ ;鱼卵平均密度为 $14.564\text{ind}/m^3$ ,仔稚鱼平均密度为 $3.347\text{ind}/m^3$ 。

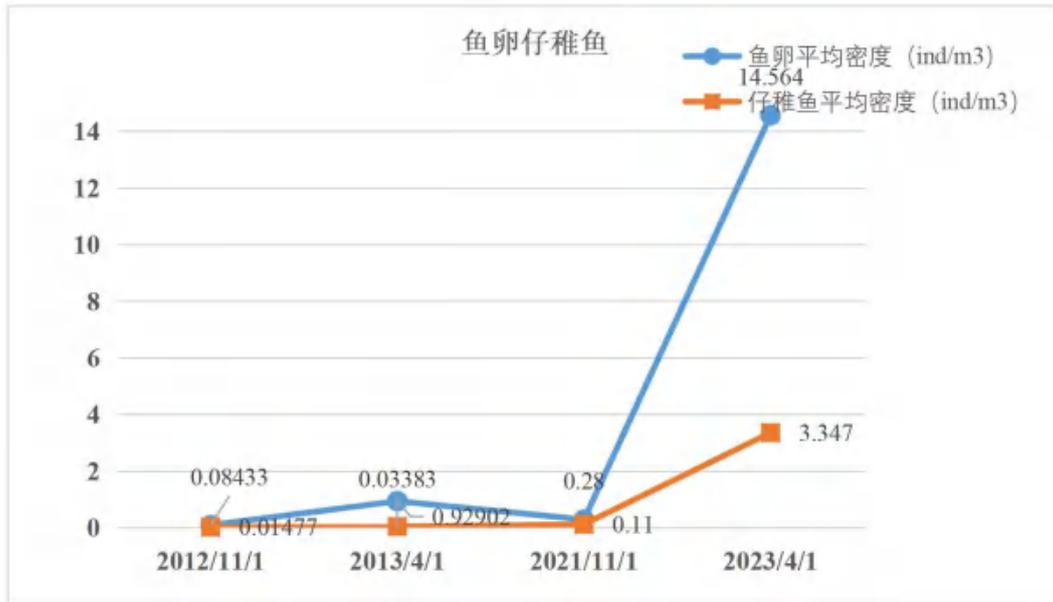


图 4.3.10-12 施工前后鱼卵仔稚鱼变化趋势

### (7) 游泳生物

#### 1) 施工前

2012年11月,调查海域共捕获渔业资源游泳生物种类15目48科78属123种,其中鱼类的种类最多,达76种、占总种数的61.788%,优势种为凤鲚、六指马鲛、四指马鲛、棘头梅童鱼、大黄鱼、鳓、拟大眼鲷和杜氏叫姑鱼等。游泳生物各站平均渔获率为28.135kg/h,渔获率变化范围为(9.066~66.960)kg/h;渔业资源调查总平均资源密度为655.952kg/km<sup>2</sup>,资源密度变化范围为(217.568~1606.913)kg/km<sup>2</sup>。游泳生物的多样性指数分布范围在2.74~4.27之间,平均为3.50;均匀度分布范围在0.51~0.83之间,平均为0.69。

2013年4月,调查海域共捕获渔业资源游泳生物种类13目37科57属81种,其中鱼类的种类最多,达55种、占总种数的67.901%,优势种为竹筴鱼、二长棘鲷、赤鼻棱鲷、短吻鲷、杜氏棱鲷、七丝鲚、及达叶鲐和刺鲳等。游泳生物各站平均渔获率为26.880kg/h,站次渔获率变化范围为6.032kg/h~98.380kg/h;渔业资源调查各站总平均资源密度为627.113kg/km<sup>2</sup>,资源密度变化范围为(134.774~2276.611)kg/km<sup>2</sup>。游泳生物的多样性指数分布范围在1.03~3.53之间,平均为2.11;均匀度分布范围在0.24~0.74之间,平均为0.49。

#### 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（0.673~8.972）kg/h；游泳生物平均重量密度为 391.416kg/km<sup>2</sup>，变化范围为（45.265~602.920）kg/km<sup>2</sup>。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（626.350~4212.195）kg/km<sup>2</sup>之间，平均值为 1873.630kg/km<sup>2</sup>。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。

总体来说施工前后所在海域的生物生态质量现状较好，项目实施前后春季、秋季的叶绿素 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。



图 4.3.10-13 施工前后游泳生物变化趋势

### 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、BO <sub>D</sub> <sub>5</sub> 、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，本节针对运营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 <sup>3</sup> )	表层	1.88~2.25
		底层	0.71~3.12
		初级生产力含量 mgC/(m <sup>2</sup> ·d)	72.802~1874.1242
	浮游植物细胞密度	×10 <sup>4</sup> ind/m <sup>3</sup>	63.9857~8723.2522
	浮游植物生物量	mg/m <sup>3</sup>	/
	浮游植物种数		62~77
	浮游动物个体密度	ind/m <sup>3</sup>	2066.667~12459.68
	浮游动物生物量	mg/m <sup>3</sup>	76.67~3601.85
	浮游动物种数		49~56
	底栖生物生物量	g/m <sup>2</sup>	0.625~52.57
底栖生物栖息密度	ind/m <sup>2</sup>	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 频率范围内)	136~162
海水水质	水温	℃	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 <sub>5</sub>	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 <sup>-6</sup>	3.4~35.1
	硫化物	×10 <sup>-6</sup>	3.7~120
	铜	×10 <sup>-6</sup>	14.6~70.4
	铅	×10 <sup>-6</sup>	23.9~55.8
	锌	×10 <sup>-6</sup>	74.2~143
	镉	×10 <sup>-6</sup>	0.07~0.89
	铬	×10 <sup>-6</sup>	37.2~77.2
	汞	×10 <sup>-6</sup>	0.032~0.193
	砷	×10 <sup>-6</sup>	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，全市领海线以内海域面积 9348 平方公里，大陆海岸线 227.26 公里，拥有大小岛屿 262 个，其中有居民海岛 10 个，无居民海岛 252 个，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

珠海桂山海上风电场示范项目场址位于珠海市香洲区三角岛东南侧海域，处于珠海市青洲、三角岛、大碌岛、细碌岛、大头洲岛与赤滩岛之间。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、港珠澳大桥、码头工

程等。项目申请用海范围共占用岸线约 242.8m, 其中占用大陆人工岸线约 19.9m, 占用海岛岸线约 222.9m, 其中占用海岛自然岸线 28.2m, 海岛人工岸线为 194.7m。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 (此内容不公开)

图 5.1.2-1a 项目周边开发利用现状图 (此内容不公开)

图 5.1.2-1b 项目周边开发利用现状图 (航道、航线、锚地) (此内容不公开)

### 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, 开放式养殖、海砂开采和崖城 13-1 天然气田海底管线等项目用海权限均已过期, 暂未查询到续期或重新申请用海手续, 在 2016 年 9 月项目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二期工程、珠海三角岛码头工程项目、珠海三角岛后勤码头工程项目、港珠澳大桥项目、亚欧光缆澳门至支路单元 6 段等项目, 本项目与珠海桂山海上风电场示范项目二期工程紧邻, 该项目正在申请调整用海, 本项目与二期工程在登陆段申请用海范围存在交越, 重叠部分采取避让方式; 本项目送出电缆穿越港珠澳大桥项目一主体工程 and 珠澳口岸人工岛大桥管理区, 重叠部分采取避让方式, 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, 权属图见图 5.1.3-1。

图 5.1.3-1 项目所在海域权属现状图 (此内容不公开)

表 5.1.2-1 周边海域确权项目权属信息表 (此内容不公开)

## 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、港珠澳大桥、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），项目建设期间均未产生利益冲突，本节主要分析项目营运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表（此内容不公开）

### 5.2.1 对航道、航线、锚地的影响

本项目送出海缆穿越榕树头航道、九洲航道、九洲港-曼谷航线、九洲港-马尼拉航线、九洲港-上海航线，距离珠海头洲引航锚地相对较近，约 0.5km。

项目已建成，施工期间对通航环境的影响已消除。营运期间项目送出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，项目送出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）（广州嘉汶水上工程技术服务有限公司，2021 年 4 月）。

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影响，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。珠海头洲候潮锚地，该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，可能会更多的船舶穿越珠海头洲候潮锚地，锚泊船舶主要在珠海头洲候潮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送出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晌

本项目和二期工程均已建设完成，现不存在施工期之间的影响。本项目对二期工程主要为营运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 35kV 联岛海缆和二期工程集电电缆在三角岛南登陆段附近海域申请用海范围存在重叠，登陆段两期工程海底电缆高程基本一致，不建议进行立体确权，因此重叠部分由二期工程进行申请，本项目不再重复申请，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晌

本项目送出电缆海岛登陆点位于三角岛、牛头岛、大万山岛和东澳岛，根据项目登陆段施工方案以及现场照片图（图 5.1.2-2~图 5.1.2-6）可知，项目建设基本不会影响海岛及其周边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，基本不会改变海岛原有形态项目。项目实际占用的海岛岸线长度有限，电缆沟开挖后施工完毕后恢复原貌，与“占多少恢复多少”的原则是相符合的。登陆点范围的保护区域并未实际改变岸线，项目建成后能够实现维持周边岸线自然属性导向，不属于可能改变海岛自然岸线（滩）生态功能的开发建设活动，不涉及占用岸线进行围填海，不属于非法侵占岸线和采挖海砂等活动，因此项目建设对海岛及其开发活动基本无影响。

### 5.2.4 对码头项目的影晌

项目周边有 9 个码头工程，其中九洲港 2 号突堤码头改扩建工程项目、珠海

三角岛码头工程项目、珠海三角岛后勤码头工程项目位于本项目 1km 内。

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 对港珠澳大桥项目的影响

港珠澳大桥项目包括有港珠澳大桥项目一主体工程 and 珠澳口岸人工岛大桥管理区、港珠澳大桥项目一珠海连接线性工程、港珠澳大桥项目一珠澳口岸人工岛珠海口岸管理区，上述项目均已建设完成。

本项目与港珠澳大桥项目均已完成建设，施工期间的影响已消除。营运期间项目送出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，项目送出海底电缆的建设基本不会港珠澳大桥项目造成影响。

项目 110kV 送出电缆穿越港珠澳大桥项目一主体工程和珠澳口岸人工岛大桥管理区，该重叠段珠澳大桥项目一主体工程和珠澳口岸人工岛大桥管理区用海方式为跨海桥梁、海底隧道。珠澳大桥项目一主体工程和珠澳口岸人工岛大桥管理，项目使用权人为港珠澳大桥管理局，已于 2015 年 6 月已取得海域权证，批准机关为国家海洋局。由于项目均已完成建设，且在利益协调上存在一定的难度，本次申请范围避让珠澳大桥项目权证范围，不采取立体确权。

### 5.2.6 对保护区的影响

本工程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和珠海市万山群岛市级自然保护区，本工程距离珠江口中华白海豚国家级自然保护区最近约 1.80km。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珠江口中华白海豚国家级自然保护区和珠海市万山群岛市级自然保护区。本工程施工时，悬浮泥沙主要沿着缆线走向所在及附近海域，对其生态环境产生一定影响，但随着海缆施工结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减至背景浓度值，施工结束后不会对珠江口中华白海豚国家

级自然保护区产生影响。本项目现已建成运营，施工期间悬沙影响已结束，工程运行期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，项目运行期对中华白海豚和对中华白海豚保护区的影响较小。

### 5.2.7 对其他项目的影晌

本项目海底电缆周边 2km 以内的其他开发活动有珠海航海文化中心项目、珠海东澳岛海洋牧场示范区人工鱼礁区海上浮岛平台、珠海横山岛开发利用工程、珠海市东澳岛东澳湾重点海湾整治项目等，其余均位于本项目 2km 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，营运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。

### 5.2.8 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。项目营运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。本项目（包含二期工程）建设单位已缴纳 1380 万元海洋与渔业资源环境损失赔偿款，补偿生态的损失。

## 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。本项目已完成建设，不存在施工期对周边活动的而影响。本项目海岛登陆点位于三角岛、牛头岛、大万山岛和东澳岛，其中三角岛作为广东省第一个通过挂牌转让使

用权的无居民海岛，海岛使用权已转让珠海九控蓝色海洋旅游发展有限公司；牛头岛已部分出让给中交第四航务工程局有限公司，项目现已建成，因此本次调整用海后利益相关者为（此内容不公开）。

根据路由调整补充论证报告书，项目利益相关者为中海石油（中国）有限公司崖城作业公司、珠海市生辉渔业贝类养殖开发有限公司、珠海恒祥贝类养殖开发有限公司、桂山村委和桂海村委、港珠澳大桥管理局、东莞市富昌建材贸易有限公司、珠海格力港珠澳大桥珠海口岸建设管理有限公司和中交第三航务工程局有限公司和珠海九控蓝色海洋旅游发展有限公司。项目施工期间未发生利益冲突。

本次用海调整后利益相关者与批复方案对比有较大差异，具体可见表 5.3-1。

表 5.3-1 利益相关者一览表（此内容不公开）

## 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，根据路由调整补充论证报告书，协调责任部门为珠海市港口管理局、广东省珠海航道局、广州港务局和珠海海事局、中国人民解放军广州军区司令部信息化部、中国人民解放军广东省军区司令部信息化处及澳门海事与水务局。

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。

本项目风机完成后客观上存在一定的碍航性影响，风电场建成后，头洲岛南部船舶习惯航路南移，可能会更多的船舶穿越珠海头洲候潮锚地。本工程海缆路由穿越珠海市香洲区的现有海岸堤防，穿越长度约为 100m，项目现已施工完成，施工完成后恢复原状。因此项目调整用海后协调部门为（此内容不公开）。

## 5.5 相关利益协调分析

此内容不公开

## 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 与国土空间规划符合性分析

#### 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，项目场址位于海洋开发利用空间，**海底电缆穿越海洋生态保护红线和海洋生态保护空间（图 6.1.1-1）。**

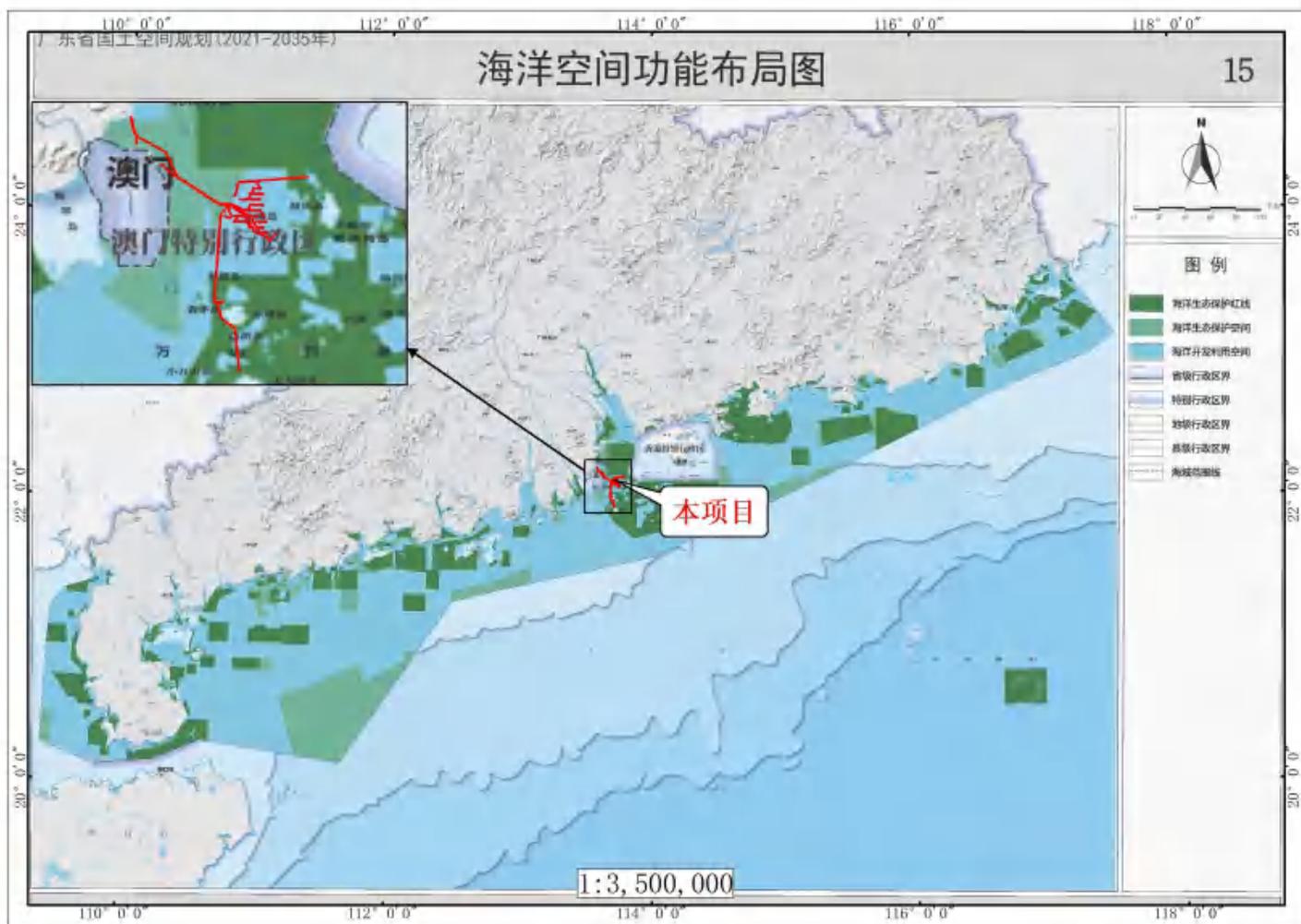


图 6.1.1-1 广东省海洋空间功能布局图（《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》）

### 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，开展大蜘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。

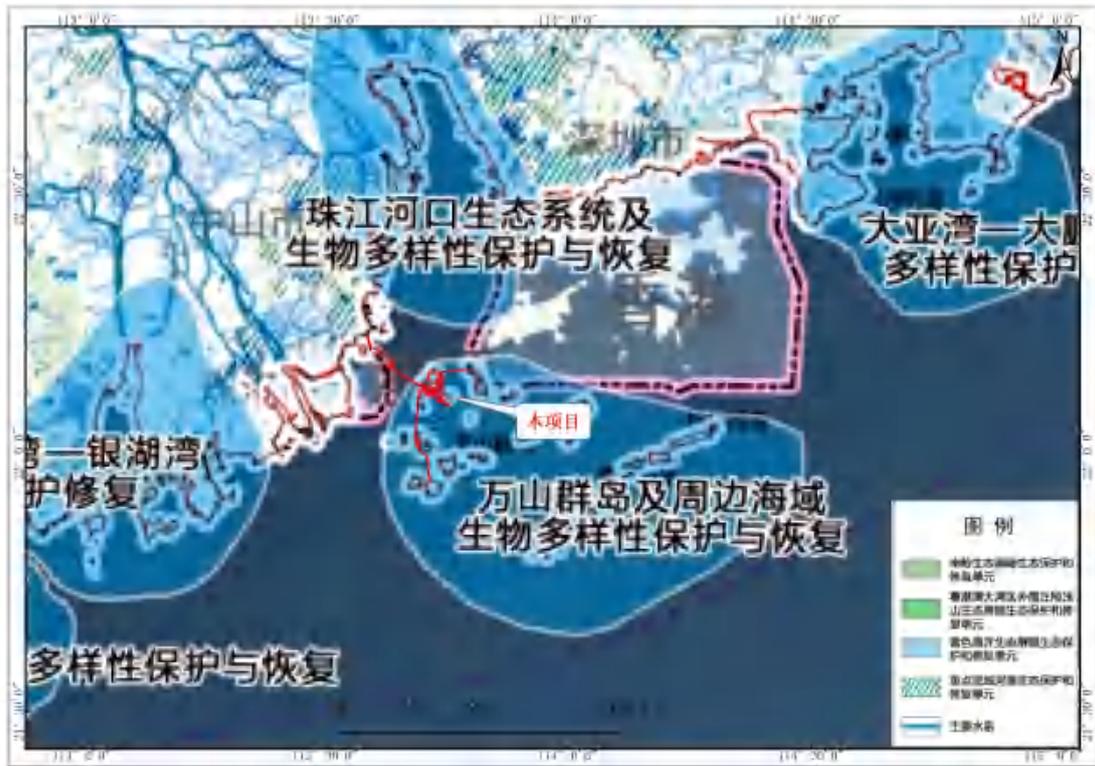


图 6.1.1-2 广东省重要生态系统生态保护和修复布局图

### 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，项目场址位于海洋开发利用空间，**海底电缆穿越海洋生态保护红线和海洋生态保护空间。**

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。本项目现均已完成建设，项目部分登陆点位于吉大，在吉大段，本工程海缆路由需要穿越珠海市香洲区的现有海岸堤防，施工完成后拆除围堰，恢复原有地貌。海底电缆分别在三角岛、牛头岛、东澳岛和大万山岛等海岛登陆。4个海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。项目建设基本不会影响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，对海岛基本无影响。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、牛头岛、东澳岛和大万山岛等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，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。

本项目属于必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施，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，本项目的建设符合《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、牛头岛、东澳岛和大万山岛等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，本项目为广东省海上风电发展起到了良好的示范作用，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不变，项目的场址位于万山群岛保留区，送出电缆穿越万山群岛保留区、万山群岛旅游休闲娱乐区、大万山群岛港口航运区、三角岛港口航运区和桂山岛港口航运区（图 6.2-1）。

**万山群岛保留区**管理要求为：加强管理，严禁随意开发；严禁显著改变海域自然属性；通过严格论证，合理安排相关开发活动；维护海上交通安全，优先保障军事用海需求；维护防洪纳潮功能，维持航道畅通。

**万山群岛旅游休闲娱乐区**管理要求为：相适宜的海域使用类型为旅游娱乐用海；保障东澳渔港、外伶仃渔港、万山渔港及深水网箱养殖的用海需求；适当保障矿产与能源开发、港口航运用海需求；禁止炸岛等破坏性活动；依据生态环境的承载力，合理控制旅游开发强度；优先保障军事用海需求，加强军事设施保护。

**大万山群岛港口航运区**管理要求为：相适宜的海域使用类型为交通运输用海；保障万山渔港用海需求；适当保障旅游娱乐、渔业用海需求；围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源；加强用海动态监测和监管。

**三角岛港口航运区**管理要求为：相适宜的海域使用类型为交通运输用海；维持航道畅通、维护海上交通安全；适当保障海洋可再生能源用海需求；围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源；加强用海动态监测和监管。

**桂山岛港口航运区**管理要求为：相适宜的海域使用类型为交通运输用海；保障桂山渔港、旅游娱乐用海需求；围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源。

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所在海洋功能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。

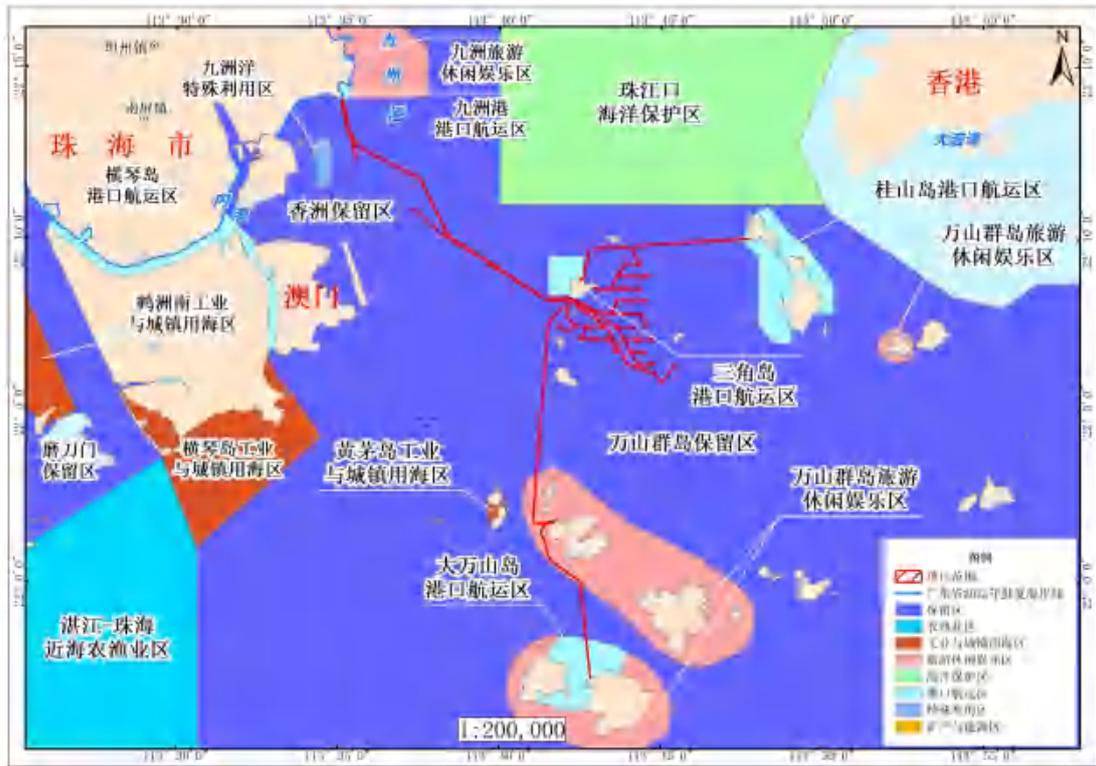


图 6.2-1 项目所在广东省海洋功能区划图

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；	本工程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宜。	符合
		2.严禁显著改变海域自然属性；	本工程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；	本工程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；	本工程通航安全论证报告已通过专家评审，报告认为采取一定的合理有效措施，可以避免本工程建设对海上交通安全的影响；本工程用海范围内无军事设施，并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.风场运营不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。工程施工时间应避开鱼类繁殖期，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会影响附近海域水质，但这种影响是短暂的，而且主要集中在工程所在海域附	符合

			近, 工程结束后, 悬浮泥沙重新沉淀堆积, 水质恢复至原态。目前项目已施工完成。另外, 施工期及运营期船舶废水、污水、垃圾等妥善处置, 不排海, 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。	
万山群岛休闲娱乐区	海域使用管理要求	1.相适宜的海域使用类型为旅游娱乐用海;	本工程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)》, 项目建成后可丰富当地海洋旅游产业资源。	不冲突
		2.保障东澳渔港、外伶仃渔港、万山渔港及深水网箱养殖的用海需求;	本工程不会改变海域自然属性, 不会影响东澳渔港、外伶仃渔港、万山渔港及深水网箱养殖的用海需求。	符合
		3.当保障矿产与能源开发、港口航运用海需求;	本项目为海上风能开发。	符合
		4.禁止炸岛等破坏性活动, 加强受损海岛的整治修复;	本项目电缆沟基本沿着原有的土路建设, 采用挖沟埋设的方式, 没有炸岛等破坏性活动。	符合
		5.据生态环境的承载力, 合理控制旅游开发强度	本项目不涉及旅游开发活动。	符合
		6.优先保障军事用海需求, 加强军事设施保护。	本项目用海范围内无军事设施, 并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.保护本区内各海岛及周边海域生态环境; 2.保护大万群岛浮石湾侵蚀海岸地貌; 3.生产废水、生活污水须达标排海; 4.执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。	风场运营不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。工程施工时间应避开鱼类繁殖期, 可避免或减轻施工对重要渔业品种繁殖的影响。施工期间悬浮泥沙扩散会影响附近海域水质, 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。目前项目已施工完成。另外, 施工期及运营期船舶废水、污水、垃圾等妥善处置, 不排海, 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
大万山	海域使用管理要求	1.相适宜的海域使用类型为交通运输用海;	本项目集电电缆埋设于海底, 建成后不会影响所在功能区的交通运输用海功能。	不冲突
		2.保障万山渔港用海需求;	本工程不会改变海域自然属性, 不会影响万山渔港的用海需求。	符合
		3.适当保障旅游娱乐、渔业	本工程属于海上风电场建设工程,	符合

群岛港口航运区	求	用海需求；	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）》，不会影响旅游娱乐、渔业用海需求。	
		4.围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源；	本项目不涉及围填海工程。	符合
		5 加强用海动态监测和监管。	已制定相应的监测措施。	符合
	海洋环境保护要求	1.保护大、小万山岛周边海域生态环境； 2. 执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。	风场运营不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。工程施工时间应避开鱼类繁殖期，可避免或减轻施工对重要渔业品种繁殖的影响。 施工期间悬浮泥沙扩散区水质可能短暂超标。会影响附近海域水质，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。目前项目已施工完成。另外，施工期及运营期船舶废水、污水、垃圾等妥善处理，不排海，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
三角岛港口航运区	海域使用管理要求	1.相适宜的海域使用类型为交通运输用海；	本项目海缆埋设于海底，建成后不会影响所在功能区的交通运输用海功能。	不冲突
		2.维持航道畅通、维护海上交通安全；	项目施工会对其周围的通航环境会造成一定的影响，但通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度；把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作；施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对通航环境和船舶通航的影响。	符合
		3.适当保障海洋可再生能源用海需求；	本工程为海洋可再生能源项目。	符合
		4.围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源；	本项目不涉及围填海工程。	符合
		5 加强用海动态监测和监管。	已制定相应的监测措施。	符合
	海洋环境保	1.加强港区环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 2.执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准	风场运营不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。工程施工时间应避开鱼类繁殖期，可避免或减轻施工对重要渔业品种繁殖的影响。	符合

	护要求	和海洋生物质量二类标准。	施工期间悬浮泥沙扩散会影响附近海域水质，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。目前项目已施工完成。另外，施工期及运营期船舶废水、污水、垃圾等妥善处置，不排海，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。	
桂山岛港口航运区	海域使用管理要求	1.相适宜的海域使用类型为交通运输用海；	本项目集电电缆埋设于海底，建成后不会影响所在功能区的交通运输用海功能。	不冲突
		2.保障桂山渔港、旅游娱乐用海需求；	本项目不会改变海域自然属性，不会影响桂山渔港的用海需求，项目建成后可丰富当地海洋旅游产业资源。	符合
		3.围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源。	本项目不涉及围填海工程。	符合
	海洋环境保护要求	1.保护牛头洲、中心洲、桂山岛海岛周边海域生态环境； 2.加强港区环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 3.加强海岛环境修复； 4.执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。	风场运营不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。工程施工时间应避开鱼类繁殖期，可避免或减轻施工对周边海岛周边海洋环境的影响。 施工期间悬浮泥沙扩散会影响附近海域水质，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。目前项目已施工完成。另外，施工期及运营期船舶废水、污水、垃圾等妥善处置，不排海，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 项目用海与三区三线中的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。”

通过将项目与“三区三线”成果叠加分析，本项目风电场没有位于生态保护

红线区，海底电缆穿越生态保护红线中的万山群岛重要渔业资源产卵场，具体位置见图 6.3-1。

根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动，主要包括以下几个方面：

1. 管护巡护、保护执法、科学研究、调查监测、测绘导航、防灾减灾救灾、军事国防、疫情防控等活动及相关的必要设施修筑
2. 原住居民和其他合法权益主体，允许在不扩大现有建设用地、用海用岛、耕地、水产养殖规模和放牧强度（符合草畜平衡管理规定）的前提下，开展种植、放牧、捕捞、养殖（不包括投礁型海洋牧场、围海养殖）等活动，修筑生产生活设施。
3. 经依法批准的考古调查发掘、古生物化石调查发掘、标本采集和文物保护活动。
4. 按规定对人工商品林进行抚育采伐，或以提升森林质量、优化栖息地、建设生物防火隔离带等为目的的树种更新，依法开展的竹林采伐经营。
5. 不破坏生态功能的适度参观旅游、科普宣教及符合相关规划的配套性服务设施和相关的必要公共设施建设及维护。
6. **必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施、通讯和防洪、供水设施建设和船舶航行、航道疏浚清淤等活动；已有的合法水利、交通运输等设施运行维护改造。**
7. 地质调查与矿产资源勘查开采。包括：基础地质调查和战略性矿产资源远景调查等公益性工作；铀矿勘查开采活动，可办理矿业权登记；已依法设立的油气探矿权继续勘查活动，可办理探矿权延续、变更（不含扩大勘查区块范围）、保留、注销，当发现可供开采油气资源并探明储量时，可将开采拟占用的地表或海域范围依照国家相关规定调出生态保护红线；已依法设立的油气采矿权不扩大用地用海范围，继续开采，可办理采矿权延续、变更（不含扩大矿区范围）、注销；已依法设立的矿泉水和地热采矿权，在不超出已经核定的生产规模、不新增生产设施的前提下继续开采，可办理采矿权延续、变更（不含扩大矿区范围）、注销；已依法设立和新立铬、铜、镍、锂、钴、钨、钾盐、（中）重稀土矿等战略性矿产探矿权开展勘查活动，可办理探矿权登记，因国家战略需要开展开采活动的，可办理采矿权登记。上述勘查开采活动，应落实减缓生态环

境影响措施，严格执行绿色勘查、开采及矿山环境生态修复相关要求。8.依据县级以上国土空间规划和生态保护修复专项规划开展的生态修复。9.根据我国相关法律法规和与邻国签署的国界管理制度协定（条约）开展的边界边境通视道清理以及界务工程的修建、维护和拆除工作。10.法律法规规定允许的其他人为活动。

根据模型计算结果，本项目集电海缆部分穿越生态保护红线区，对所穿越的红线区存在一定的影响，但本项目无围填海工程和水下爆破，海缆敷设不会截断洄游通道，项目对所穿越的红线区产生的影响主要存在与海缆施工期间，悬沙扩散对红线区的水质产生影响。海底输电电缆敷设时，开沟犁开槽会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。根据悬浮泥沙扩散预测，施工引起的悬沙在垂线和水平方向上扩散范围不大，在施工过程中，施工期悬浮泥沙扩散主要集中在底层，悬沙扩散面积相对较小。由于工程施工过程产生的悬浮物主要来自本海区，因此经扩散和沉降后，沉积物的环境质量不会产生明显变化，沉积物质量状况仍将保持现有水平。因电缆敷设产生的影响是暂时的，可逆的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响生态红线区功能。

项目营运期对周边海域沉积物环境的不利影响主要来自海底电缆被腐蚀后的重金属污染物释放。因此，应根据所在海区海水与沉积物的腐蚀特征，选取关键的影响因子进行腐蚀性环境分析，采取一定措施防止海底电缆的电化学等腐蚀，设备材料的选定及防护措施的设计应予充分考虑，尽量避免海底电缆遭腐蚀，减少腐蚀后重金属污染物的释放量，保护周边海域沉积物环境。

综上所述，本项目属于“必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施”，即“自然资发〔2022〕142号”文中提出的“对生态功能不造成破坏的有限人为活动”中的第6项，即：“6.必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施、通讯和防洪、供水设施建设和船舶航行、航道疏浚清淤等活动；已有的合法水利、交通运输等设施运行维护改造”，且对生态红线的影响在可控、可接受范围。

因此，项目建设符合生态保护红线管理要求。



图 6.3-1 项目与周边生态保护红线位置图

## 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 32km<sup>2</sup>，水深 6m-11m 之间，规划装机容量 200MW。本项目为珠海桂山海上风电场示范项目，位于规划中的珠海桂山海上风电场场址内，装机容量 120MW，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。

推动海上风电产业集聚发展。充分利用海上风能资源丰富的优势，加快海上风电规模化开发。坚持新能源项目开发和龙头企业带动、技术创新引领，推进能源产业集聚发展，大力发展先进核能、海上风电、太阳能等优势产业，加快培育氢能、储能、智慧能源等新兴产业，建设差异化布局的新能源产业集聚区，到 2015 年，全省新能源产业营业收入达 7300 亿元，形成国内领先的新能源产业集群。

开发珠海桂山海上风电场示范项目符合《广东能源发展“十四五”规划》要求和、国家能源发展政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平，促进当地旅游业、带动地方经济快速发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

#### **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 月项目（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，位于广东省珠海市香洲区，项目场址位于西南面海域，项目调整后仍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。

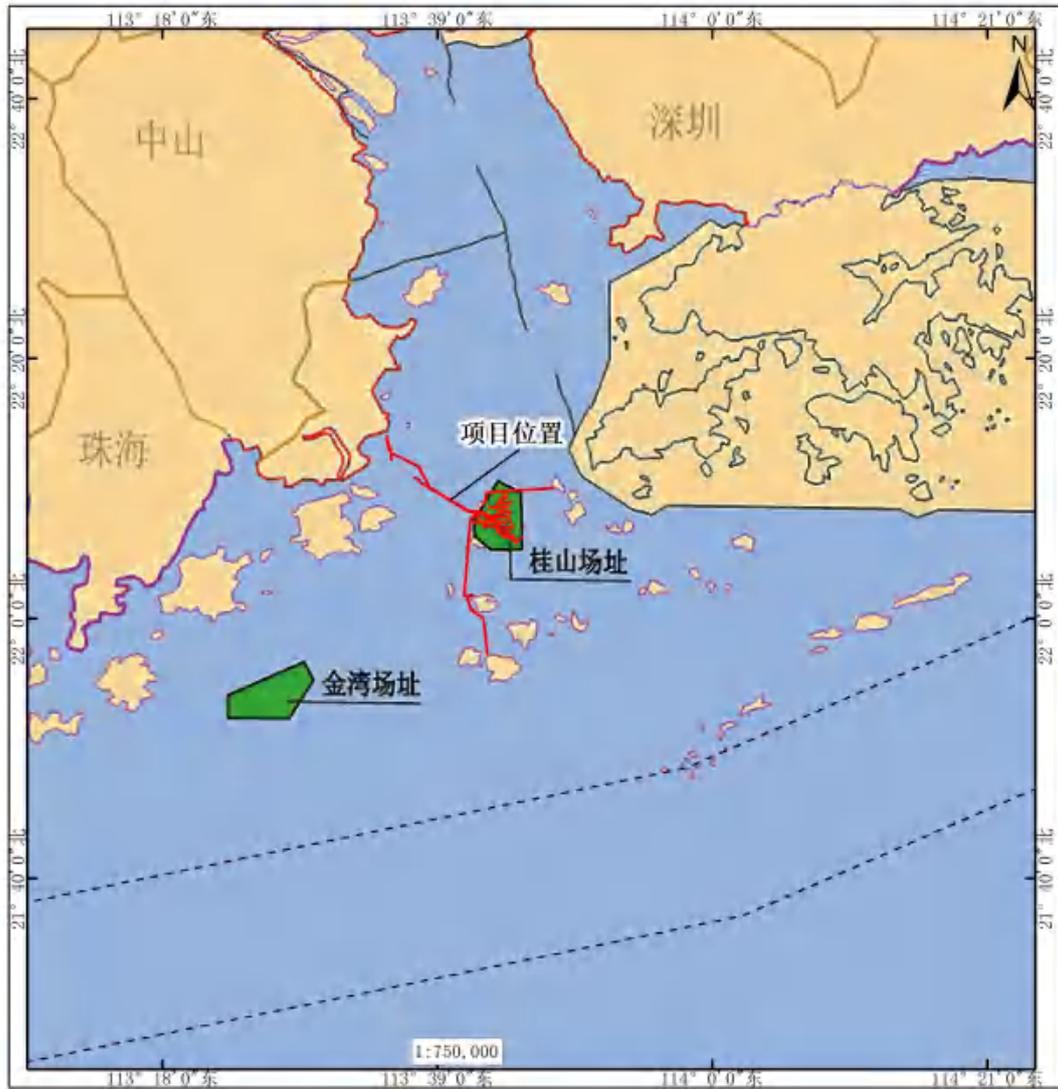


图 6.4.6-1 广东省海上风电规划场址分布图（2017-2030年）

### 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（一期），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。

本项目风电场位于生产空间，海底电缆位于生态空间，送出海缆登陆点位于三角岛、牛头岛、大万山岛和东澳岛，其中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。项目电缆沟基本沿着原有的土路建设，采用挖沟埋设的方式，基本不会改变海岛原有形态，不会对海岛岸线产生不利影响。项目建设单位在海底电缆登陆点附近设立显著标志，登陆区域禁止打桩、抛锚、挖砂等，是对岸线资源的有序利用和保护，能充分发挥此处岸线的有利作用，也能禁止其他破坏行为破坏此处岸线。

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的生产空间，项目海底电缆位于生态空间，项目没有位于生态保护红线区。生产空间的功能定位是打造我国海洋经济最具竞争力的核心区，构建具有国际竞争力的现代海洋产业体系；生态空间是以调节、维持和保障生态安全，提供生态产品和生态服务为主导功能的区域，主要包括典型生态系统、珍稀濒危生物集中分布的空间和用途限定空间。

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。

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。

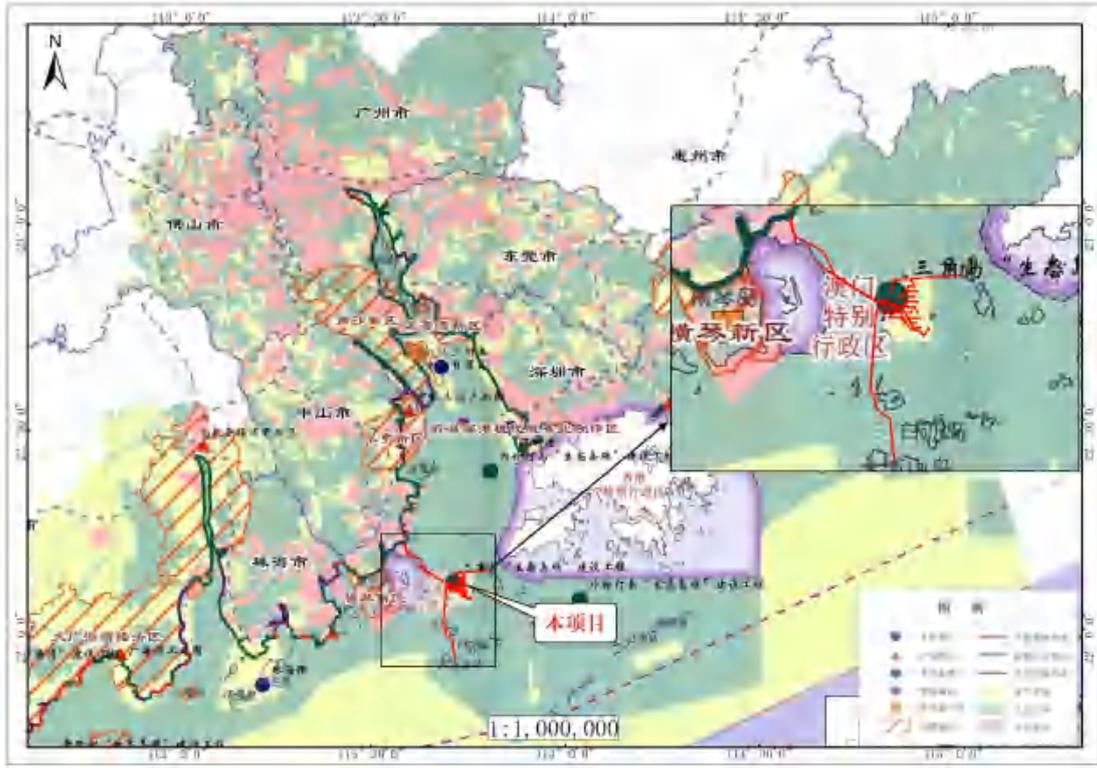


图 6.5.2-1 广东省海岸带综合保护与利用总体规划图

### 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人工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区，整合优化以中华白海豚、中国鲎、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区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，本项目的风电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。

综上分析，本项目没有大规模、高强度的工业和城镇建设，建设成后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展。项目用海对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响很小，不会对所在海域产生严重影响，

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，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。

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。

电力是目前海岛终端能源利用的主要形式。万山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%。受地理因素制约,各海岛电网没有与大陆电网联网,供电可靠性较低。万山海岛用电的现状与其珠江三角洲核心区的区域位置极不相称,不仅影响着海岛居民及驻军正常生产生活,更严重制约着海岛产业及旅游的发展,影响海岛的经济腾飞。近年来围绕海洋综合开发这一主题,以改善岛上群众的生产、生活条件为目的,正积极加快水、电、交通等基础设施建设,努力改善投资环境。

当地政府和居民要求解决海岛供电难的愿望十分强烈。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。本项目营运有利于当地风能资源转化为经济效益，有利于补充万山海岛电网清洁能源，有利于促进海岛经济的发展，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。

## 6.6 项目用海与单岛规划的符合性分析

### 6.6.1 与《珠海市三角岛保护和利用规划》的符合性分析

为了促进三角岛及其周边海域资源的合理开发利用，有效维护海岛生态系统平衡、保护周边海域环境，珠海万山海洋开发试验区海洋和科技局委托国家海洋局第三海洋研究所，编制《珠海市三角岛保护和利用规划》（以下简称“规划”）。

本项目集电电缆和送出电缆三角岛登陆点分别位于三角岛南侧和东侧，项目登陆点与三角岛功能分区图叠加可知，项目位于三角岛的岸线适度开发区。根据《规划》，“岸线适度开发区的保护目标：在保护岸线前提下，可适度利用，基岩岸段除建造码头外，不得建设其他建筑物，建造建筑物距离基岩海岸 20m 以上为宜；沙滩岸段保障沙滩面积和质量。在沙滩上不得有任何建筑物和构筑物，建筑物和设施应与沙滩保持 50m 以上距离。不得围填滩涂破坏湿地生境和原始岸线，不得在基岩岸线炸山采石以及造成山体滑坡等地质灾害隐患。”

项目登陆点位置为海岛人工岸线，项目建设基本不会影响三角岛和及其海岛周边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，基本不会改变海岛原有形态项目。项目实际占用的海岛岸线长度有限，电缆沟开挖后施工完毕后恢复原貌，与“占多少恢复多少”的原则是相符合的。项目建设符合《珠海市三角岛保护和利用规划》岸线适度开发区的保护目标要求。

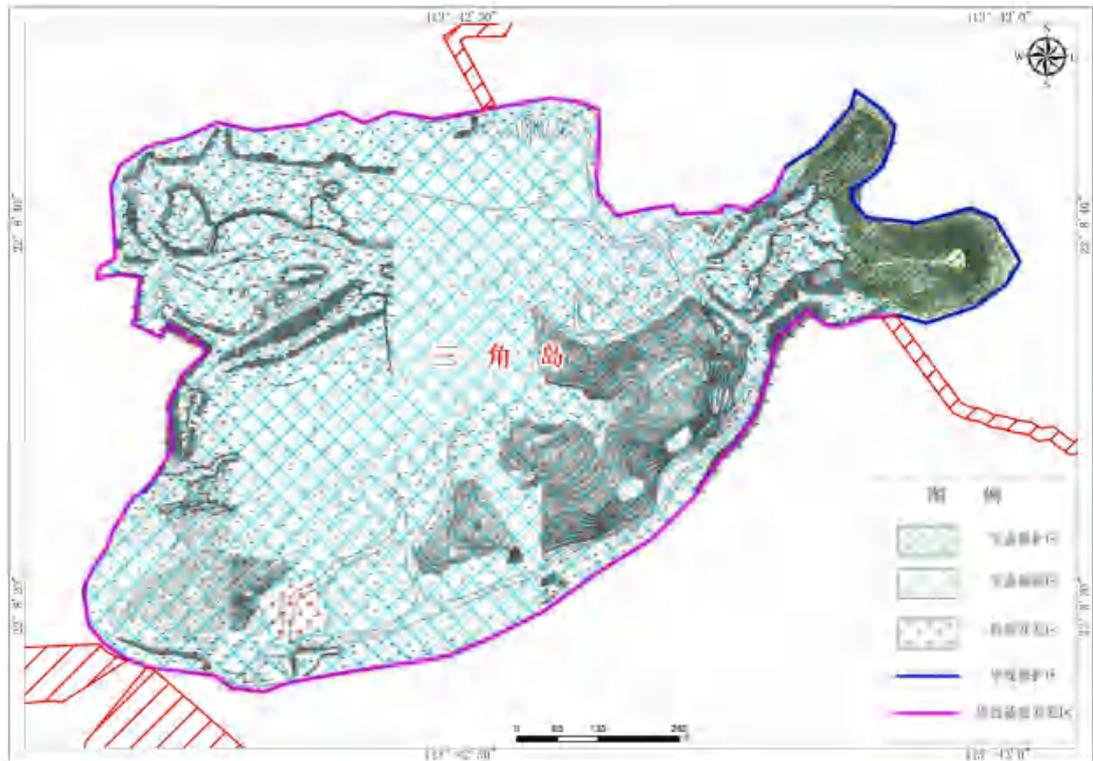


图 6.6.1-1 三角岛功能分区图

## 6.6.2 与《珠海万山海洋开发试验区牛头岛保护和利用规划》的符合性分析

牛头岛位于珠海市万山群岛，属于无居民海岛。该岛曾受采石破坏，目前主要用于海洋工程沉管预制生产，开发利用程度较高。为了更好地保护牛头岛及其周边海域资源环境，更加合理有效地发挥牛头岛在万山区发展乃至粤港澳大湾区建设中的作用，依照《海岛保护法》的相关规定，编制《珠海万山海洋开发试验区牛头岛保护和利用规划》（以下简称“规划”）。

本项目三角岛-牛头岛 35kV 联岛电缆于三角岛和牛头岛登陆，项目登陆点与牛头岛岸线规划布局图叠加可知，项目位于牛头岛的优化利用岸线，根据现场实际勘察，登陆点段岸线现状为人工岸线。根据《规划》“南部优化利用岸线，为海洋工程设施建设区和公共服务设施建设区所在岸线。”

项目登陆点位置为海岛人工岸线，项目建设基本不会影响牛头岛和及其海岛周边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，基本不会改变海岛原有形态项目。项目实际占用的海岛岸线长度有限，电缆沟开挖后施工完毕

后恢复原貌，与“占多少恢复多少”的原则是相符合的。项目建设符合《珠海万山海洋开发试验区牛头岛保护和利用规划》对岸线的开发保护要求。

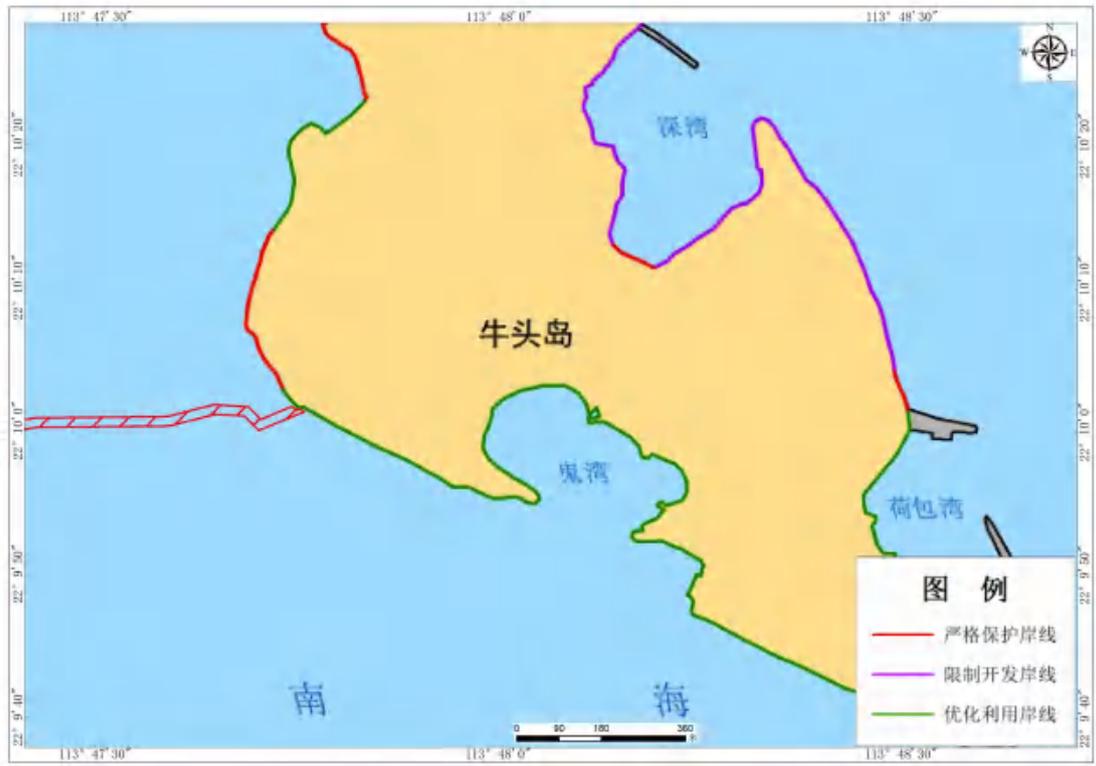


图 6.6.2-1 牛头岛岸线规划布局图

## 结论

本项目符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》《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32km<sup>2</sup>，水深6m-11m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，位于规划中的珠海桂山海上风电场场址内，装机容量12万千瓦。

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。根据项目用海批复方案，装机容量为120MW，项目共建设37台风机（34台3MW、3台6MW风电机组）、2回110kV送出海底电缆；3条单回35kV联岛海缆；为实现电力接入，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。

相较于项目用海批复方案，3台风机单机容量由6MW调整为6.45MW，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。海底电缆根据实际施工走向进行调整，送出海缆和 35kV 联岛海缆与批复方案走向基本一致，因此海底电缆总体上略有改变也是合理的。



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 120MW，风机外缘边线包络海域面积约 15.8km<sup>2</sup>，本项目每 10 万千瓦包络海域面积为 13.2km<sup>2</sup>，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。

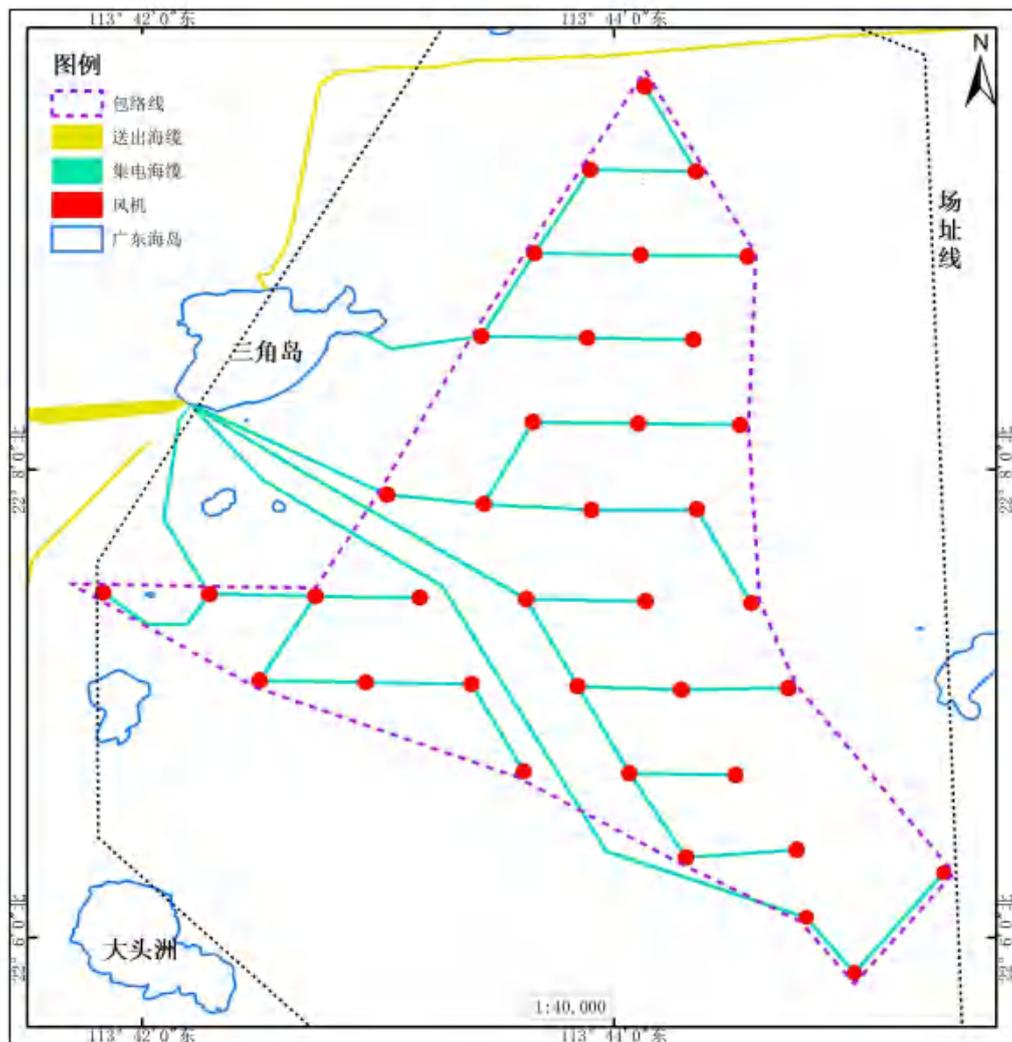


图 7.2.1-1 项目风机外缘边线包络线示意图

## 7.2.2 项目用海平面布置是否有利于生态保护，并已避让生态敏感目标

本项目建设风电机组和海底电缆，风机采用阵列式布置，调整后风电机组风机间距约 1000m，行内各列风机间距约 700m。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

本项目送出电缆和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，项目建设完成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：大潮涨急流速变化值位于-0.07m/s~0.01m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-3° ~2° 之间；大潮落急流速变化值位于-0.05m/s~0.02m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-2° ~2° 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、港珠澳大桥、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

根据路由调整补充论证报告书中，装机容量为 120MW，项目共建设 37 台风机，分别为 34 台 3MW，3 台 6MW 风电机组；2 回 110kV 送出海底电缆；3 条单回 35kV 联岛海缆；为实现电力接入，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。项目调整后，3 台风机单机容量由 6MW 调整为 6.45MW，风机排布发生变化，因此连接风机间的 35kV 集电海缆也随之调整；项目送出海底电缆走向发生微调，110kV 送出海底电缆和 35kV 联岛海缆根据实际施工走向进行申请，与项目用海批复方案基本一致。

本项目的建设受到风电场规划范围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，由于风机机型的调整以及考虑二期工程风机排列布置，本项目风机排布也发生相应调整。调整前风机排列间距为  $14D(1400m) \times 5.16D(516m)$ 。本次调整后风电机组风机间距约 1000m，行内各列风机间距约 700m。由于调整前后所选机型单机容量和叶轮直径存在差异，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 3~9 台风机，风机连接电缆不交叉重叠，共布置 5 回集电电缆。

由于风机机组平面布置发生变化，35kV 集电海缆布置随风机排布调整也相应调整，海底电缆总长度略微增加。本次调整前后，项目建设对周边海域产生的资源环境影响程度变化不大。

综上，从地质条件和实测水深地形、风机外缘面积、尾流影响等角度出发，对原布置方案进行了优化，更充分利用场址风力资源，调整前后项目对周边海域资源环境环境影响变化不大，集电线路仍采用链式布局方案，调整后的风电机组及集电线路用海平面布置是合理的。



图 7.2.5-1 调整方案集电线路布置示意图

### 7.2.5.3 送出海缆平面布置合理性

本次路由总体走向与项目用海批复方案基本一致，110kV 送出电缆长度从 17.2km 增加至 17.51km，35kV 联岛电缆长度从 35km 减少至 34.78km。本次送出电缆走向是根据实际敷设坐标进行确定，施工中为尽可能避让障碍物，路由发生微调整，以期减少海缆安全风险。因此，本报告书认为本次调整后的送出海缆平面布置方案合理。

### 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，敷设施工对资源环境的影响基本一致，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

### 7.4.1 项目占用岸线情况

本项目建设共布置 7 个登陆点，其中 1 处位于珠海市香洲区吉大街道，其余位于三角岛（3 处）、牛头岛（1 处）、东澳岛（1 处）和大万山岛（1 处）。

项目申请用海范围共占用岸线约 242.8m，其中占用大陆人工岸线约 19.9m，占用海岛岸线约 222.9m，其中占用海岛自然岸线 28.2m，海岛人工岸线为 194.7m。项目各登陆点占用岸线情况见表 7.4.1-1 和图 7.4.1-1。登陆点现场照片图可见第 5.1.2 节。

表 7.4.1-1 海底电缆登陆点占用岸线情况

序号	名称	位置	连接电缆	占用岸线	岸线属性
----	----	----	------	------	------

1	三角岛北 登陆点	三角岛北	三角岛-牛头岛 35kV 联岛电缆	20.9m	海岛人工岸线
2	三角岛南 登陆点	三角岛西南	风机间 2~8 号回路集电电缆、 三角岛-东澳岛 35kV 联岛电缆、 三角岛-珠海吉大 110kV 送出电缆	83.5m	海岛人工岸线
3	三角岛东 登陆点	三角岛东南	风机间 1 号回路集电电缆	39.7m	海岛人工岸线
4	牛头岛登陆 点	牛头岛西南	三角岛-牛头岛 35kV 联岛电缆	30.4m	海岛人工岸线
5	东澳岛 登陆点	东澳岛西北	三角岛-东澳岛 35kV 联岛电缆、 东澳岛-大万山岛 35kV 联岛电缆	28.2m	海岛基岩岸线
6	大万山岛 登陆点	大万山岛北侧	东澳岛-大万山岛 35kV 联岛电缆	20.2m	海岛人工岸线
7	珠海吉大 登陆点	珠海吉大	三角岛-珠海吉大 110kV 送出电缆	19.9m	大陆人工岸线

表 7.4.1-2 海底电缆登陆点占用岸线统计表

占用岸线	大陆人工岸线	海岛自然岸线	海岛人工岸线	合计
长度 (m)	19.9	28.2	194.7	242.8



图 7.4.1-1a 项目占用岸线示意图（三角岛）



图 7.4.1-1b 项目占用岸线示意图（牛头岛）



图 7.4.1-1c 项目占用岸线示意图（东澳岛）



图 7.4.11-1d 项目占用岸线示意图（大万山岛）



图 7.4.1-1e 项目占用岸线示意图（珠海吉大）

## 7.4.2 对周边岸线资源的影响分析

三角岛-珠海吉大 110kV 送出电缆登陆点位于珠海吉大登陆点和三角岛南登陆点。

### (1) 吉大登陆点

项目申请用海范围占用大陆人工岸线长度为 19.9m。

吉大站大陆登陆点处于香洲区情侣南路中景湾豪苑附近的人工海岸，该处岸线为带有胸墙的直立式海堤，沿岸建有观海长廊（约 7m 宽）、沿海道路情侣南路中以及道路与长廊间的绿化隔离带（约 25m 宽）。本工程海缆路由穿越珠海市香洲区的现有海岸堤防，穿越长度约为 100m，采用焊接钢管机械钻进顶管施工工艺，具体施工工艺见第 2.3.2 节。项目现已施工完成，施工完成后恢复原状，不影响现状海堤的结构和功能，对现状海堤基本无影响。

### (2) 海岛登陆点

项目海底电缆海岛登陆点位于三角岛、牛头岛、东澳岛和大万山岛。项目占用海岛岸线约 222.9m，其中占用海岛自然岸线 28.2m，海岛人工岸线为 194.7m。

三角岛已整岛出让，根据《珠海市三角岛保护和利用规划（报批版）》（珠海市万山海洋开发试验区海洋和科技局，2013 年 7 月），海底电缆登陆点所占用的海岸线为“岸线适度开发区”。三角岛北登陆点为推填开山土石形成的人工海岸，堆积的石块直径较小，且该处被海浪冲蚀过，坡度缓，坡度约  $30^\circ$ ，适宜作为登陆点。登陆点东、西两侧均为推填开山土石形成的人工海岸，堆积的石块直径较大，且坡度较陡，坡度约  $60^\circ$ 。

通过现场踏勘，牛头岛现已成为沉管和沉箱的预制厂，牛头岛登陆点为推填开山土石形成的人工海岸，堆积的石块直径较小，且该处坡度缓，坡度约  $45^\circ$ ，适宜作为登陆点，登陆点位于预制厂西北角海岸。东澳岛为有居民海岛，根据实地勘察，项目登陆点周边分布有大量礁石，岸线属性为基岩岸线；大万山岛为有居民海岛，根据实地勘察，项大万山岛登陆点处岸线原为陡峭的基岩岸线，其上山坡生长有茂密的灌木丛，但现已修筑环岛公路，且修路产生的开山土石（多为直径超过 1m 的块石）均已推填至公路向海侧作为护坡，坡度约  $40^\circ \sim 60^\circ$ 。

东澳岛项目登陆点周边分布有大量礁石，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。项目建设基本不会改变海岛原有形态，实际占用的海岛岸线长度有限，且根据实施方案，电缆沟开挖后施工完毕后恢复原貌，故与“占多少恢复多少”的原则是相符合的。登陆点范围的保护区域并未实际改变岸线，且对登陆点的保护与自然岸线的保护是统一的。项目建成后能够实现维持岸线自然属性导向，不属于可能改变海岛自然岸线（滩）生态功能的开发建设活动，不涉及占用岸线进行围填海，不属于非法侵占岸线和采挖海砂等活动，因此，项目建设不会改变海岸自然形态和影响海岸生态功能。除东澳岛外，其余海岛登陆点周边岸线均为人工岸线，项目施工完成后没有改变岸线属性，仍为人工岸线，不会对岸线的稳定性产生影响。

### 7.4.3 占用岸线的必要性与合理性

本项目作为海上风电项目，调整后项目装机容量为 120MW，项目共建设 37 台风机，分别为 34 台 3MW，3 台 6.45MW 风电机组；2 回 110kV 送出海底电缆；3 条单回 35kV 联岛海缆；为实现电力接入，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。

项目的建设可实现牛头岛、东澳岛和大万山岛三个海岛的联网供电，构建海岛智能微电网、发挥万山海洋开发试验区区位、环境和资源优势，开发万山海域海上风电资源，实现海岛能源资源综合利用，统筹解决海岛稳定供电问题，促进万山社会经济可持续发展，因此项目升压站集中送出的电能必须通过送出海缆输送到陆上集控中心及各海岛，因此，送出海底电缆必须占用登陆点所在海岸线，项目占用岸线是必要的。

项目批复方案占用岸线长度为 264m，调整后占用岸线长度为 242.8m，项目建设基本不会改变海岸自然形态和影响海岸生态功能，目前已无减少占用岸线长度的可能性，因此项目占用岸线是合理的。

### 7.4.4 岸线占补分析

根据《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法（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。具体占补要求为：大陆自然岸线保有率低于或等于国家下达我省管控目标的地级以上市，建设占用海岸线的，按照占用大陆自然岸线 1:1.5、占用大陆人工岸线 1:0.8 的比例整治修复大陆海岸线；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”。

项目申请用海范围共占用岸线约 242.8m，其中占用大陆人工岸线约 19.9m，占用海岛岸线约 222.9m，其中占用海岛自然岸线 28.2m，海岛人工岸线为 194.7m。根据批复方案，项目占用岸线长度为 375.3m，本次调整后，登陆点位置与原批复登陆点不完全一致，经计算，与原批复相比，本次新增 82.4m，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》“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。”因此需修复 82.4m 的海岛岸线，并优先修复海岛岸线。

## 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）和其他用海方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。

项目调整前后，项目申请用海面积差异较大，项目调整后项目申请用海总面积减少了 19.9091 公顷，其中

风机：项目批复用海方案中，34 台风力发电机组采用为四桩导管架，四桩导管架腿柱底部间距 15m，桩径为 2.2m；3 台为非嵌岩单桩基础，桩径分别为 7.9m、8.1m 和 8.0m。根据《测量报告》，1#~34#根据实测结果直径为 21.65m~26.28m；35#~37#风机根据实测结果直径为 12.22m~13.63m。因此，调整后风机申请用海减少了 1.0394 公顷。

(2) 35kV 集电海缆: 35kV 集电海缆排列布置发生变化, 调整后总长度基本不变, 由于宽度取值不同导致集电海缆调整后面积增加了 0.3733 公顷;

(3) 110kV 送出电缆: 项目批复用海方案澳门海域东侧按 2 回电缆外扩 10m 为界, 考虑海域排他性, 将 2 回电缆间距 50m 海域一并申请用海。本次调整后澳门海域东侧按实际施工 1 回海缆外扩 10m 后作为用海申请范围, 调整前后面积差异较大, 调整后比项目批复用海减少 23.0615 公顷。

(4) 35kV 联岛电缆: 35kV 联岛电缆调整前后总长度发生。项目批复用海, 35kV 联岛电缆总长为 35km, 宽度为 18.4~19.7m, 本次调整后, 35kV 联岛电缆总长为 34.78km, 根据《海籍调查规范》5.4.5.1 电缆管道用海, 以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界, 海缆外径为 0.2m, 外扩后宽度为 20.2m。因此调整前后 35kV 联岛电缆申请用海面积发生变化, 调整后比项目批复用海增加了 2.9634 公顷。

综上, 项目申请用海面积由 305.1849 公顷调整为 285.2758 公顷。

表 7.5.1-1 项目调整前后用海情况变化表

项目	项目批复用海 (公顷)	项目调整用海	变化(公顷)	备注
投影	高斯-克吕格	高斯-克吕格	-	-
中央经线	用海面积以114°E计算	用海面积以113°30'E计算	-	-
风机 (透水构筑物)	44.6812	43.6418	-1.0394	风机桩径变化
35kV集电海缆	68.0795	68.4528	0.3733	35kV集电线路总长度由38.4km调整为38.45km, 宽度取值不同
110kV送出电缆 (三角岛-吉大)	128.1455	105.0840	-23.0615	申请用海范围不同
35kV联岛电缆 (三角岛-牛头岛)	20.2454	21.1005	0.8551	总长度由12.0km调整为10.51km, 宽度取值不同
35kV联岛电缆 (三角岛-东澳岛) 35kV联岛电缆 (东澳岛-大万山岛)	44.0333	46.9967	2.9634	三角岛-东澳岛段总长度由13.0km调整为14.25km; 东澳岛-大万山岛段总长度由10.02km调整为10km, 宽度取值不同

项目用海总面积	305.1849	285.2758	-19.9091	-
---------	----------	----------	----------	---

## 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

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) 风电机组用海需求

本项目已完成建设，共安装布置 34 台 3MW 和 3 台 6.45MW 风电机组，在本项目规划风电场址范围内可获得相对较大的发电效益。34 台风力发电机组采用为四桩导管架，四桩导管架腿柱底部间距 15m，桩径为 2.2m；3 台为非嵌岩单桩基础，桩径分别为 7.9m、8.1m 和 8.0m。根据《测量报告》，1#~34#根据实测结果直径为 21.65m~26.28m；35#~37#风机根据实测结果直径为 12.22m~13.63m。

风电机组用海主要为下部基础占用了海域，风电机组用海需求为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为半径的圆为界，即由风电

机组塔架中心点，根据《海籍调查规范》进行界定，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，因此，本项目建设的 37 台风电机组用海面积需求合计 43.6418 公顷。

### **(2) 集电海缆用海需求**

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

本项目风电场内采用电压等级为 35kV 海底电缆互联，37 台风电机组通过 5 回 35V 集电海缆接入升压站，本项目风电场址内集电海缆全长约 38.45km，据《海籍调查规范》中海底工程用海对海底电缆管道范围的界定方法：“以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界”。根据施工坐标得出的实际海缆路由走向并进行规整，并考虑到本项目 35kV 海缆与风机基础用海重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机基础用海优先，海底电缆次之，扣除风机基础用海与 35kV 集电海缆重叠面积，计算得出 35kV 集电海缆项目用海需求为 68.4528 公顷。

### **(3) 送出海缆用海需求**

多台风力机组所发的电能通过集电线路海缆汇总到升压站，将电压升高，然后通过高压送出海缆传输到岸上集控中心，本项目包括 2 回 110kV 三角岛至珠海吉大送出电缆、三角岛至牛山岛 35kV 联岛海缆、三角岛至东澳岛 35kV 联岛海缆和东澳岛至大万山岛 35kV 联岛海缆。

根据测量得出的实际海缆路由走向并进行规整出海底电缆申请用海范围也应同时满足海缆营运期埋设于海底和海缆敷设施工需求，送出海缆总长度为 65.9km。根据《海籍调查规范》“电缆管道用海，以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界。”110kV 送出海缆靠近三角岛附近海域路由之间间距较窄，考虑海域的排他性本次将次双回路之间海域一并申请用海，110kV 及 35kV 送出海缆申请用海面积为 173.1812 公顷。

### 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6m-11m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120MW，风机外缘边线包络海域面积约15.8km<sup>2</sup>，每10万千瓦包络海域面积为13.2km<sup>2</sup>，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/T124-2009）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和安全性等需求的基础上，已经按照集约节约用海的原则，并以尽可能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 19.9091 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/T251-2018）上要求的其他海籍要素，形成宗海位置图，项目界址点见附图。

珠海桂山海上风电场示范项目宗海位置图



图 7.5.3-1 项目宗海位置图

珠海桂山海上风电场示范项目宗海平面布置图

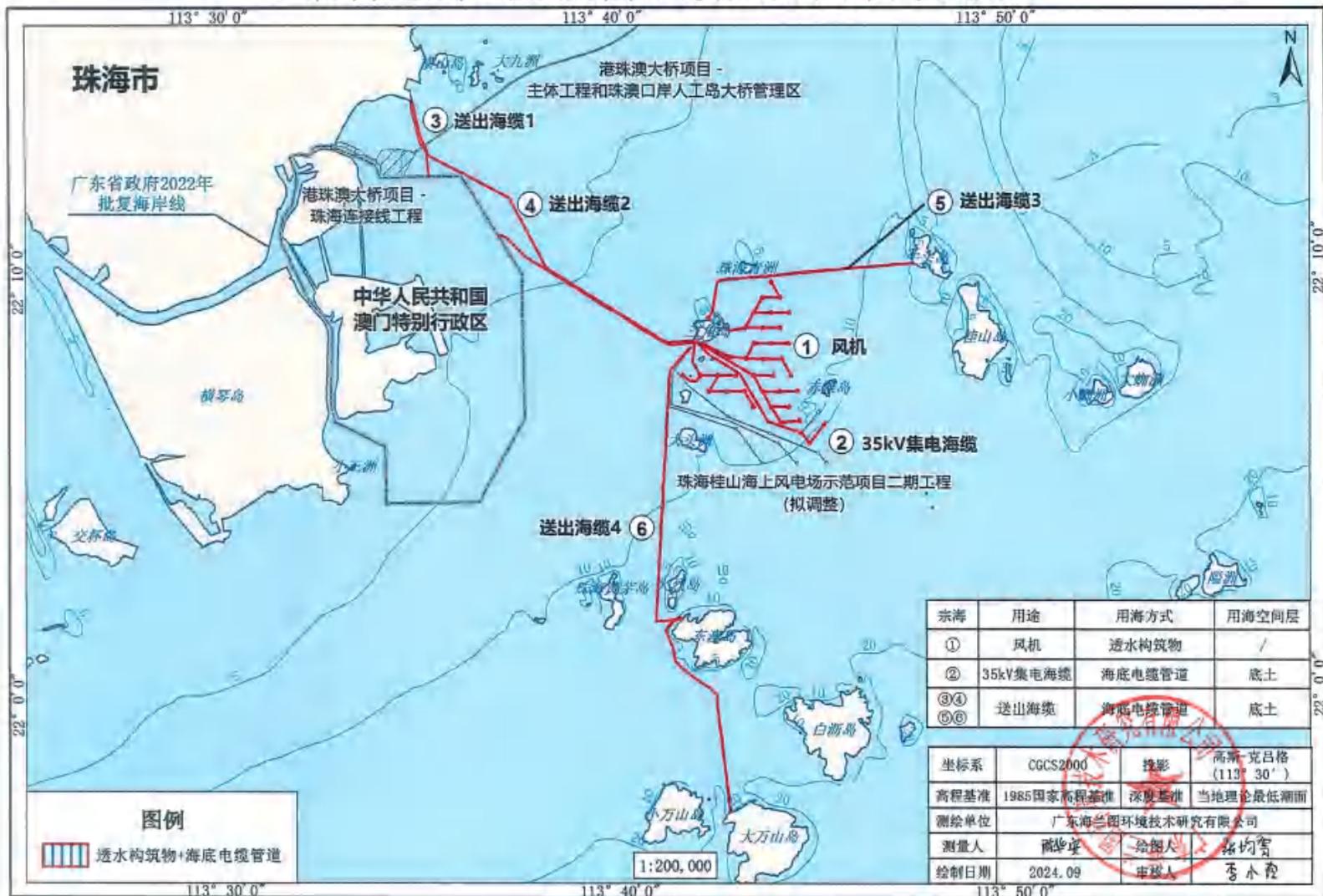


图 7.5.3-2 项目宗海平面布置图

珠海桂山海上风电场示范项目（风机、35kV集电海缆）宗海界址图

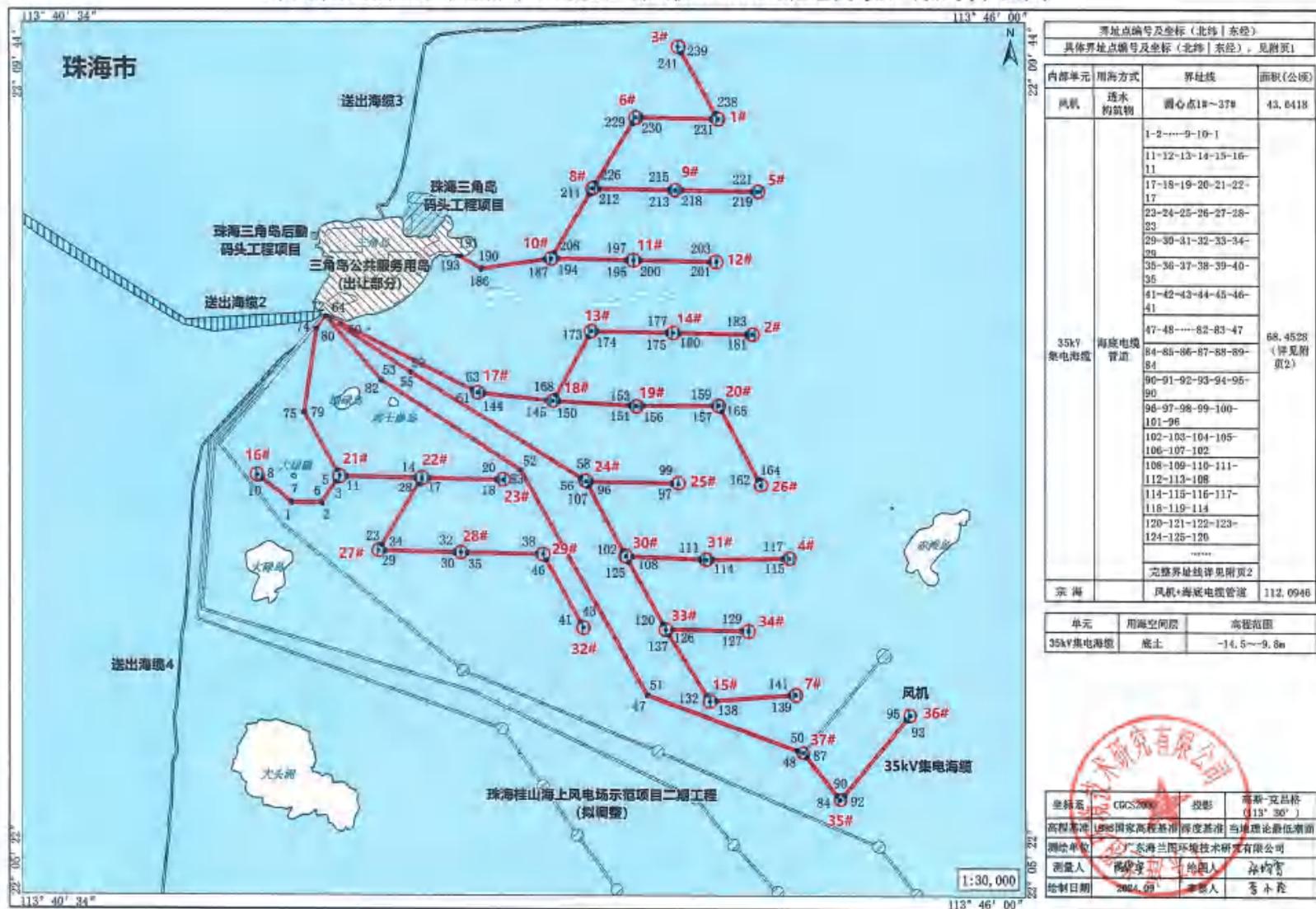


图 7.5.3-3 项目宗海界址图（风机、35kV 集电海缆）

珠海桂山海上风电场示范项目（送出海缆）宗海界址图

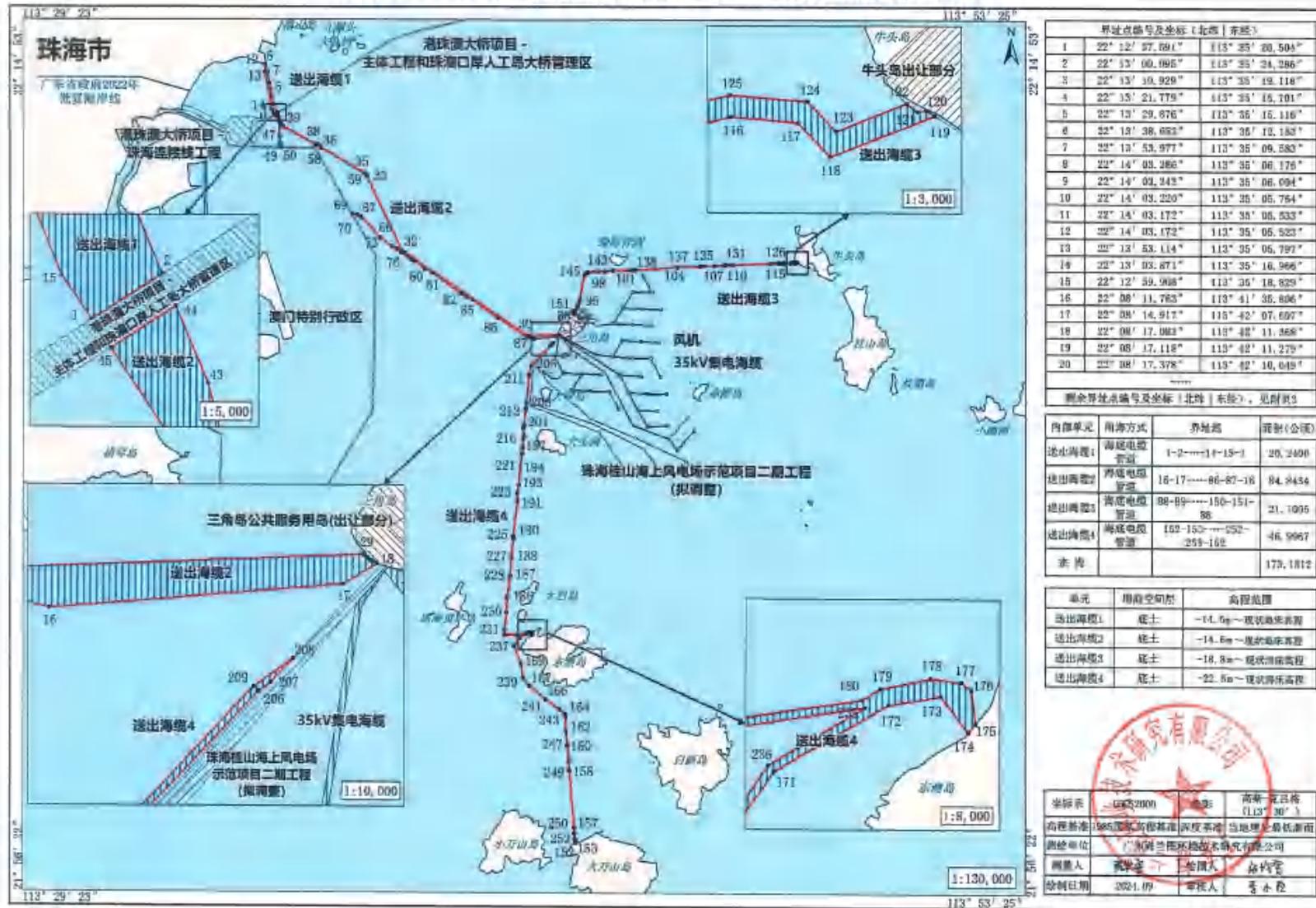


图 7.5.3-4 项目宗海界址图（送出海缆）

## 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，本项目装机容量为 120MW，项目共建设 37 台风机，分别为 34 台 3MW，3 台 6.45MW 风电机组；2 回 110kV 送出海底电缆；3 条单回 35kV 联岛海缆；为实现电力接入，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。

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《测量报告》确定本项目每种类型的风机基础直径，风机基础桩基直径 12.22m~26.28m。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，风机申请用海半径为 56.11m~63.34m 进行申请，经计算，风机基础用海面积 43.6418 公顷。

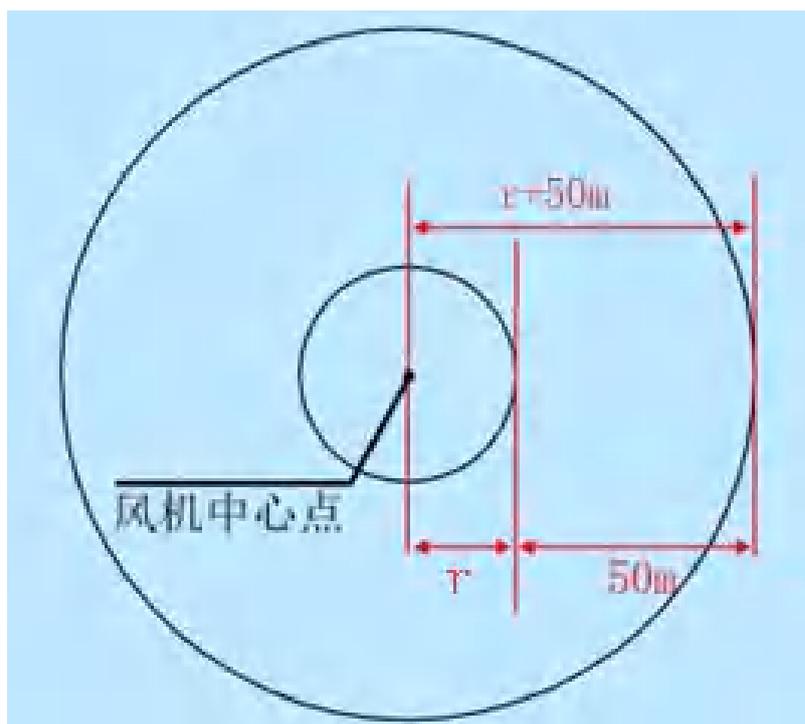


图 7.5.4-1 风机用海范围界定示意图

### (2) 35kV 集电海缆

35kV 集电线路设计型式未变。35kV 集电海缆根据《测量报告》进行绘制，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 35kV 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，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。项目 35kV 集电海底电缆长度为 38.45km，扣除和风机重叠部分，根据计算，35kV 集电海底电缆用海面积为 68.4528 公顷，

### (3) 送出海缆

建设方案送出海缆走向基本未变，包括 110kV 送出电缆和 35kV 联岛电缆。110kV 送出电缆和 35kV 联岛电缆实际走向根据建设单位提供的施工坐标确定，并根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）“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”确定申请用海范围。本项目登陆段以广东省政府 2022 年批复海岸线为界。

本项目 110kV 送出电缆自身宽度约 20cm，因此 110kV 送出电缆用海范围为实测海缆中线向两侧外扩 10.1m，110kV 送出电缆长度为 17.51km。本项目 335kV

联岛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，35kV 联岛电缆总长度为 34.78km。

本项目 110kV 送出电缆穿越港珠澳大桥项目一主体工程和珠澳口岸人工岛大桥管理区，该穿越段珠澳大桥项目一主体工程和珠澳口岸人工岛大桥管理区用海方式为跨海桥梁、海底隧道。经研究，在利益协调上存在一定的难度，本次申请范围避让珠澳大桥项目权证范围，不采取立体确权。35kV 联岛电缆（三角岛至东澳岛段）登陆段与二期工程集电电缆申请用海范围重叠，考虑登陆段两期工程海底电缆高程基本一致，不建议进行立体确权，因此重叠部分由二期工程进行申请，本项目不再重复申请。

经计算，110kV 送出电缆申请用海面积为 105.0840 公顷，35kV 联岛电缆申请用海面积为 69.2755 公顷。

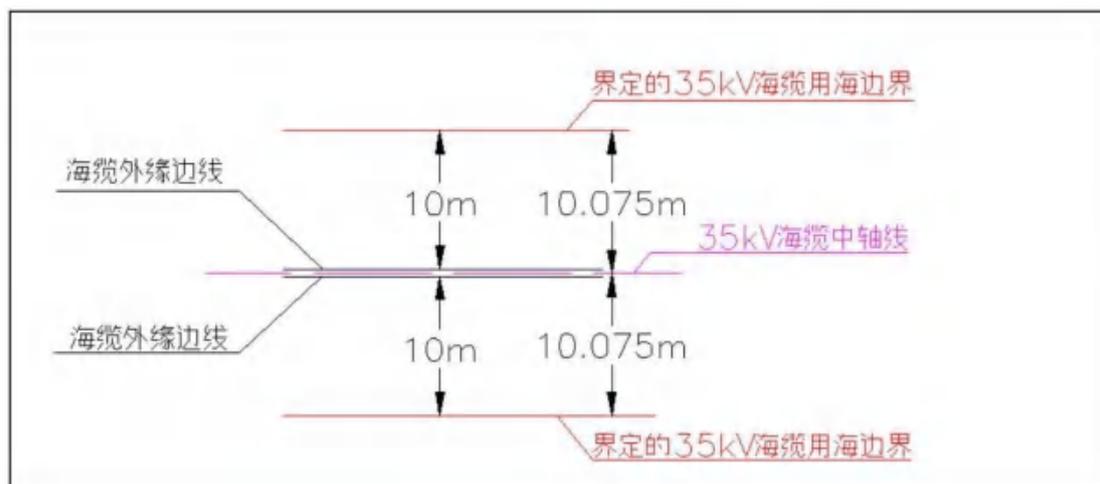


图 7.5.4-2 35kV 集成电路海缆用海范围界定示意图

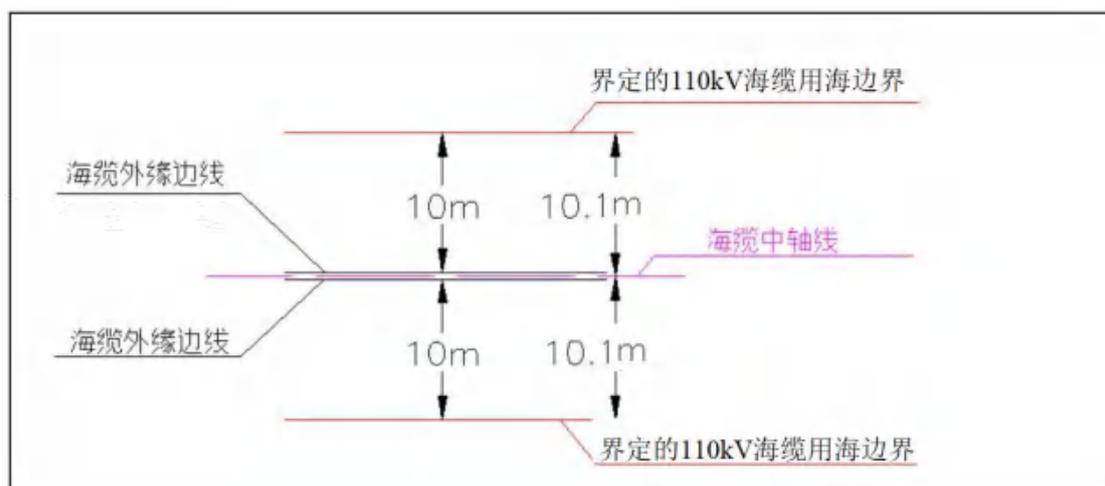


图 7.5.4-3 110kV 送出海缆用海范围界定示意图

本次用海调整后，本项目用海类型不变，用海方式包括透水构筑物、海底电缆管道。项目申请总用海面积为 285.2758 公顷，其中风机申请用海面积为 43.6418 公顷，送出电缆申请用海面积为 173.1812 公顷，35kV 集电海缆申请用海面积为 68.4528 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/T124-2009），用坐标解析法计算的。

根据《海籍调查规范》（HY/T124-2009）及本项目的实际用海类型，项目申请总用海面积为 285.2758 公顷，其中风机申请用海面积为 43.6418 公顷，送出电缆申请用海面积为 173.1812 公顷，35kV 集电海缆申请用海面积为 68.4528 公顷。

## 7.6 立体设权合理性分析

### 7.6.1 立体设权范围

本项目送出海底电缆和集电电缆进行立体分层设权，确权空间范围为底土，根据海缆埋深、实际使用设计高程。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

相关参数	集电海缆	35kV联岛海缆	110kV送出海缆
海缆埋设深度	0m-2.5m	2.0m~4.2m	4m
电缆管道设施下缘底高程（1985高程）	-14.5m	-22.6m	-14.6m
电缆管道设施上缘顶高程（1985高程）	-9.8m	现状海床高程	现状海床高程

本项目海底电缆进行立体分层设权，登陆段由底土敷设至近岸礁石上，上岸后与二期工程海缆并行接入陆上预制混凝土槽内，由二期工程进行确权，本项目不再申请，35kV 集电海缆确权空间范围为底土。送出海缆分为送出海缆 1、2、3、4，登陆段由底土敷设至近岸礁石上，上岸后接入陆上预制混凝土槽内，确权空间范围为底土，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	-14.5m~-9.8m
送出海缆 1、2	底土	14.6m~现状海床高程
送出海缆 3	底土	18.8m~现状海床高程
送出海缆 4	底土	-22.6m~现状海床高程

珠海桂山海上风电场示范项目 (35kV集电海缆) 宗海立体空间范围示意图

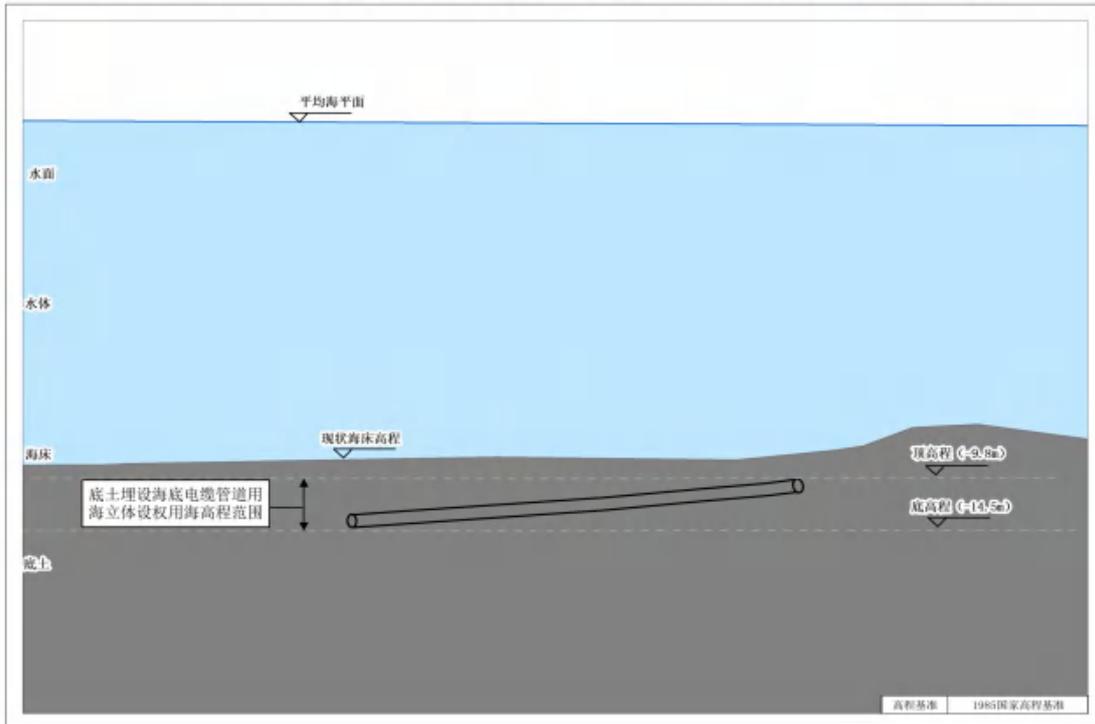


图 7.6.1-1a 集电海缆海域底土空间分层利用示意图 (1985 国家高程基准)

珠海桂山海上风电场示范项目 (送出海缆1) 宗海立体空间范围示意图

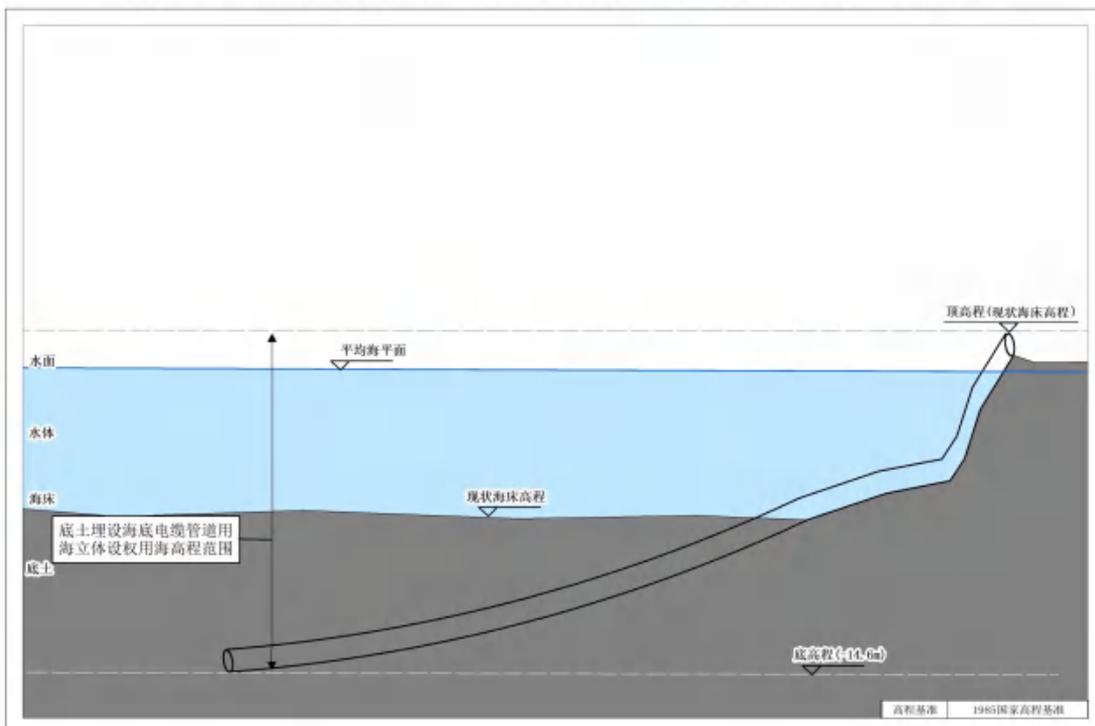


图 7.6.1-1b 送出海缆海域海床空间分层利用示意图 (1985 国家高程基准)

珠海桂山海上风电场示范项目（送出海缆2）宗海立体空间范围示意图

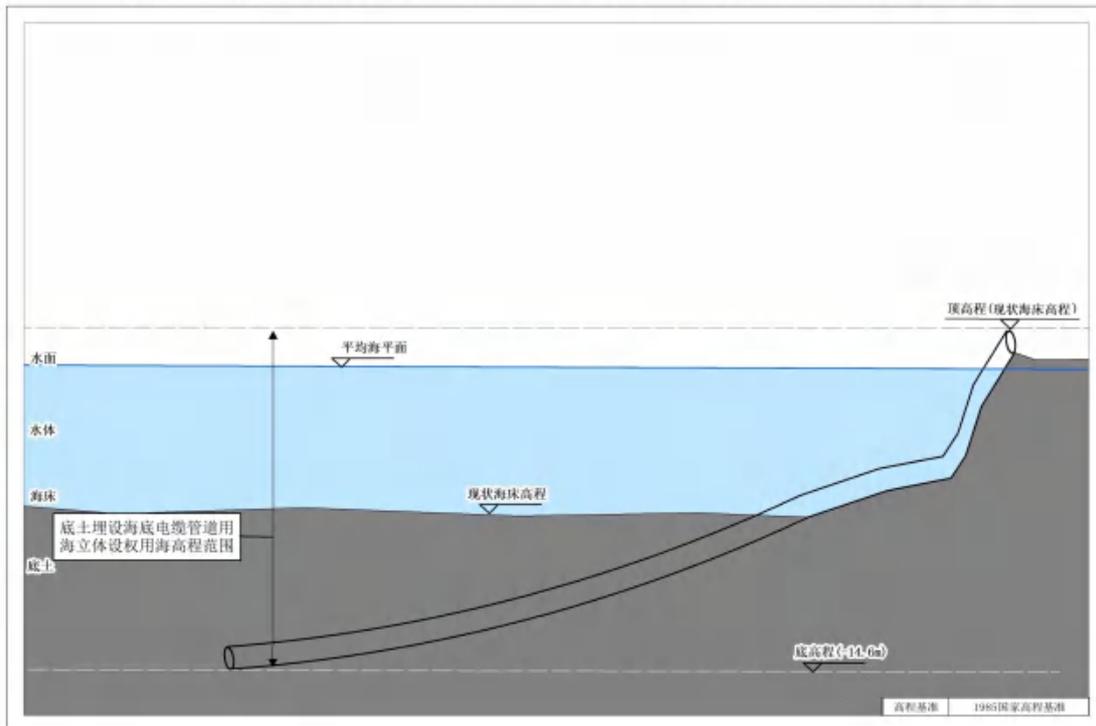


图 7.6.1-1c 送出海缆海域海床空间分层利用示意图（1985 国家高程基准）

珠海桂山海上风电场示范项目（送出海缆3）宗海立体空间范围示意图

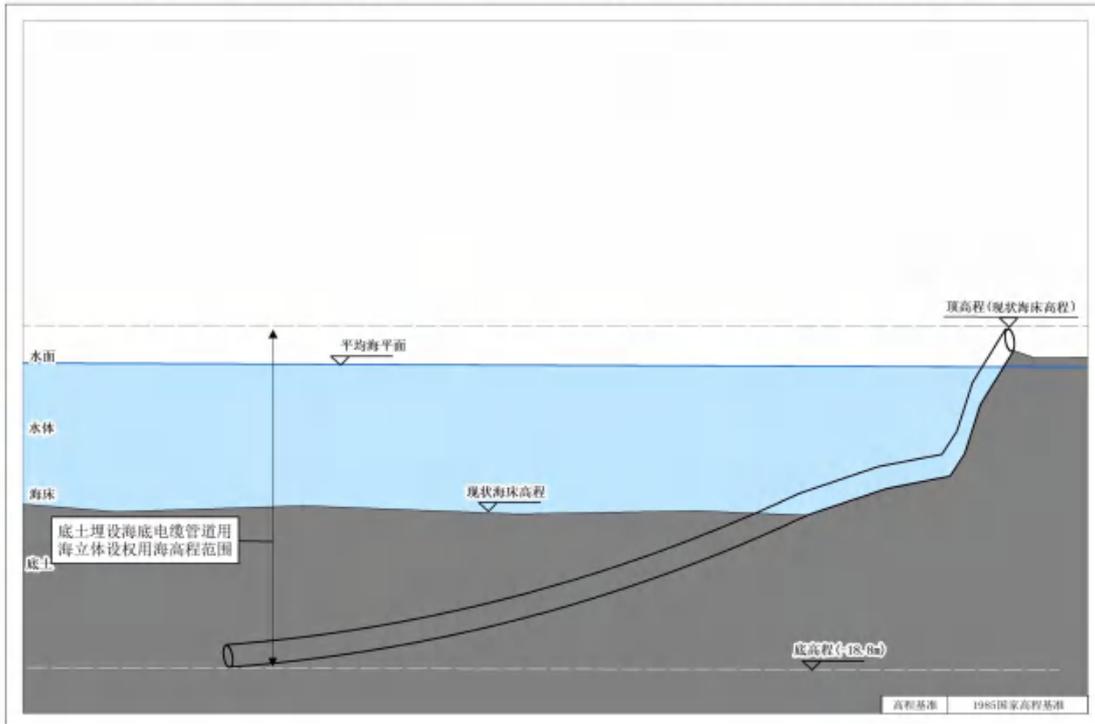


图 7.6.1-1d 送出海缆海域海床空间分层利用示意图（1985 国家高程基准）

珠海桂山海上风电场示范项目（送出海缆4）宗海立体空间范围示意图

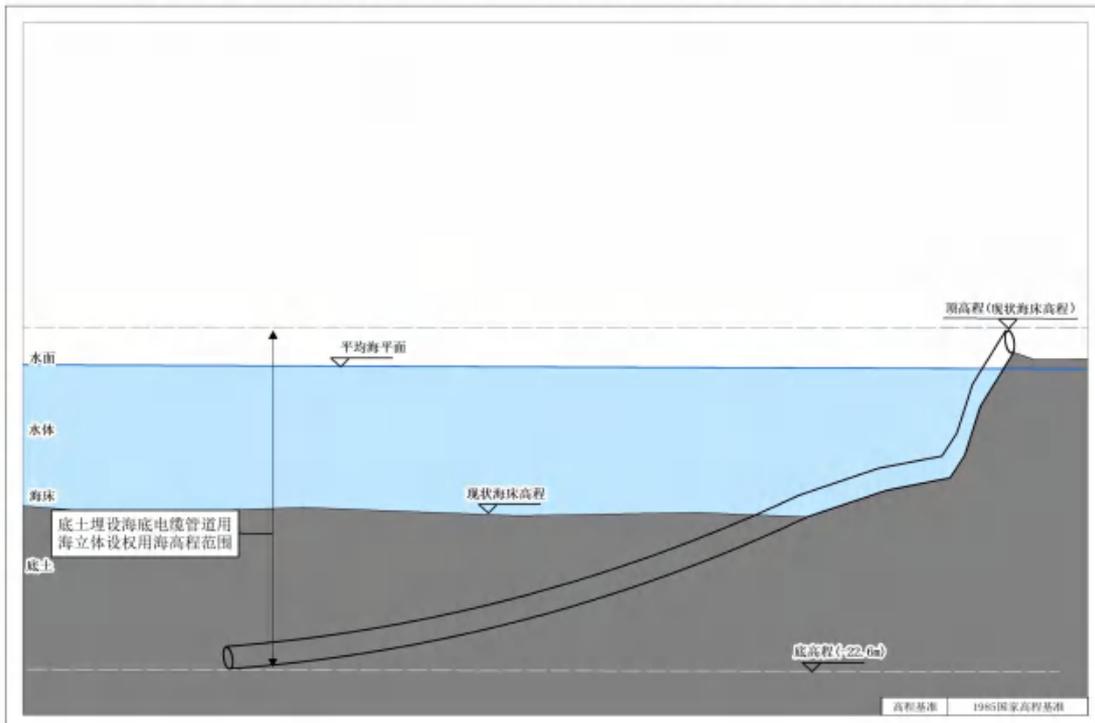


图 7.6.1-1e 送出海缆海域海床空间分层利用示意图（1985 国家高程基准）

## 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/T124-2009）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，登陆段与二期工程海缆并行接入陆上升压站，不存在利益协调问题，因此，本项目海底电缆管道拟采取立体确权，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二期工程已确权海缆范围存在重叠，二期工程目前正同步进行用海调整，调整后不存在重叠，且

本项目与二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。

考虑因项目 2019 年 1 月已确权,用海期限至 2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日,现项目已建成,项目用海期限与原权证保持一致,申请 2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日,因此项目申请用海期限为 27 年,符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定。期满后,如有需要可按照有关规定再行申请续期。

因此,项目用海期限是合理的。

## 8 生态用海对策措施

项目调整前后用海使用类型和用海方式不变。

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）。

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占用岸线和海洋生物资源损失。项目申请用海范围共占用岸线约242.8m，其中占用大陆人工岸线约19.9m，占用海岛岸线约222.9m，其中占用海岛自然岸线28.2m，海岛人工岸线为194.7m。项目建设造成的生物资源损失量分别为：底栖生物120.2t，潮间带3.72t，鱼卵 $1.91 \times 10^8$ 粒，仔鱼 $9.16 \times 10^7$ 粒，游泳生物4.44t。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

**（1）为减轻工程施工建设对海域底栖生物的影响，施工期已采取以下措施：**

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下已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，未任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③施工已避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

**(2) 为减轻工程施工建设对渔业资源和渔业生产的影响，施工期已采取以下措施：**

①春、夏季是鱼类产卵高峰期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设已避开海洋鱼类产卵高峰期。同时打桩前预先轻轻打几下桩，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施工期时在附近水域开展了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施工期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成捕捞生产净收入减少。因此，为减缓本工程实施对渔民的影响，建设单位与当地渔业主管部门协商，落实生态补偿措施。

### **(3) 施工期对中华白海豚的保护措施**

本工程风电场距离珠江口中华白海豚国家级自然保护区的距离较近，施工期已采取如下生态保护措施：

①4~8月中华白海豚繁殖高峰期间减少施工，本项目施工期间，施工尽可能选择在海流平静的潮期，避免对敏感目标造成影响；同时尽量减少在底栖生物、鱼类的产卵期、浮游动物的快速生长期及鱼卵、仔鱼、幼鱼的高密度季节进行作业；

②开工前对桩基 1km 保护范围内的中华白海豚尽可能地驱赶。由于施工噪声声源的复杂性，在施工船周围设立半径不少于 500m 的监视缓冲区，以缓解对中华白海豚的影响。施工船上配备海豚观察员，观察员可由船员或工人来兼任，观测员必须接受专业人员进行中华白海豚观察相关知识的培训，在施工过程中，安排一名海豚观察员在船上视野开阔无遮挡处观察，使用望远镜及肉眼搜索船周围 360 度范围的海面，以确定视野范围内是否有可能出现的海豚。在施工前，由海豚观察员监视施工船周围 360 度范围海面 5 分钟，以确认 500m 范围内是否有中华白海豚出没，如果 500m 范围内有海豚出没，等待海豚游离监视范围方可开工。由于中华白海豚群体的潜水时间最长达 5 分钟，所以必需连续监视 5 分钟没有海豚出现方可确认海豚已离开。在施工过程中，如发现海豚出没，施工船减

速，并尽量减少施工机器的开动量，以减轻施工噪音对海豚的干扰；

③合理安排施工进度、位置和控制施工船速为了减少施工噪音的累加效应，尽量减少邻近区域同时作业的施工船数量，并尽量避免因机械操作而产生噪音，所有施工机械均保持良好的性能状态；根据在香港沙洲和龙鼓洲海岸公园实施航船限速的经验，航船的速度限制在 10 节以下，可以有效防止航船撞击海豚和降低噪音滋扰，因此，如果附近有海豚出现，施工船减速或暂停以避让海豚，直到海豚游离后方可施工，以避免海豚被机器或船只螺旋桨撞伤。

④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，采用液压式打桩也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。

### 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，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并辐射产生噪声。为降低风机噪声源强建议可以在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

#### （2）含油废弃物收集措施

对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此，在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴；废油储应存在专设的废油箱中，含油的连通软管和其他含油废物（揩布、废滤网）应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后，应将含油废物等一并送交具有工业固体废物（含废液）、危险化学

品及危险废物处理资质的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，具体监测计划内容如下：

### 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二期工程统筹考虑，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

序号	站位	经度 E	纬度 N	调查项目
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 营运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、BOD<sub>5</sub>、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和二期工程风电场址、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：在项目营运初期（5年），加强对区域鸟情、鸟类与风机撞击情况的观测研究。

监测频率：调查监测频次根据季节划分，在鸟类数量较集中的迁徙期，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，转折点坐标见表8.1.2-3。

监测时间：在项目营运初期（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，将各类监测数据与路由调整补充论证报告采用的现状调查数据进行比较，对是否突破相应指标合理变化范围进行评价。在监测完成后，开展趋势评价，结合生态本底调查数据和长期监测数据，就各类指标的变化趋势、特别是逐步恶化趋势作出评价。在完成现状评价和趋势评价后，应进行综合评价，综合生态本底调查数据、各监测要素的现状评价和趋势评价结论，对项目周边海域的海洋生态和环境存在的问题、潜在风险进行评估。

本项目应严格执行生态跟踪监测，根据实际情况可适度调整部分站位，全面监督和检查各施工单位环境保护措施的落实和效果，根据评价结果，及时监督、处理和解决施工过程中出现的环境问题，保证项目环境保护措施得以全面落实并达到预期效果，并通过生态跟踪监测和评价，检验海洋生态修复措施的可行性和有效性。

## 8.2 生态保护修复措施

### 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。具体占补要求为：大陆自然岸线保有率低于或等于国家下达我省管控目标的地级以上市，建设占用海岸线的，按照占用大陆自然岸线 1:1.5、占用大陆人工岸线 1:0.8 的比例整治修复大陆海岸线；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”。

项目申请用海范围共占用岸线约 242.8m，其中占用大陆人工岸线约 19.9m，占用海岛岸线约 222.9m，其中占用海岛自然岸线 28.2m，海岛人工岸线为 194.7m。根据批复方案，项目占用岸线长度为 375.3m，本次调整后，登陆点位置与原批复登陆点不完全一致，经计算，与原批复相比，本次新增 82.4m，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》“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。”因此需修复82.4m的海岛岸线，并优先修复海岛岸线。本项目与二期工程紧邻，同属于一个业主单位，建议本项目岸线占补与二期工程统筹考虑，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 海洋生物资源恢复

项目已完成建设并网运行，根据第4章，对项目施工期所造成的海洋生物资源损失进行估算，项目建设造成的生物资源损失量分别为：底栖生物120.2t，潮间带3.72t，鱼卵 $1.91 \times 10^8$ 粒，仔鱼 $9.16 \times 10^7$ 粒，游泳生物4.44t。

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，项目建设单位于按照评估结果，与广东省海洋与渔业厅签订《工程建设项目海洋生物资源损失补偿协议书》，补偿金额为1380万元，并于2017年~2018年缴交所有补偿金（见附件）。根据《珠海桂山海上风电场示范项目批建情况评估报告》分析结论，项目建设方案较批复方案造成的海洋生物资源损失少，因此，不再开展海洋生物资源补偿。

## 9 结论

### 9.1 项目用海基本情况

#### 9.1.1 项目用海基本情况

**根据项目用海批复方案：**本项目装机容量为 120MW，项目共建设 37 台风机，分别为 34 台 3MW，3 台 6MW 风电机组；2 回 110kV 送出海底电缆；3 条单回 35kV 联岛海缆；为实现电力接入，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。

项目用海类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式包括透水构筑物、海底电缆管道。项目申请总用海面积为 305.1849 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 44.6812 公顷，海底电缆用海总面积为 260.5037 公顷，项目申请用海期限为 27 年。项目占用岸线长度为 264m。

**项目调整用海后：**装机容量、风机数量均不发生改变。与项目批复方案对比，项目 3 台 6MW 风电机组调整为 3 台 6.45MW 风电机组，3 台风机位置进行重新排列，因此风电机组间的集电海缆也随之调整。项目 110kV 送出电缆和 35kV 联岛电缆实际走向根据建设单位提供的施工坐标确定，调整前后走向基本一致。

项目用海类型和用海不变。项目用海总面积为 285.2758 公顷，其中风机申请用海面积为 43.6418 公顷，35kV 集电海缆申请用海面积为 68.4528 公顷，送出电缆申请用海面积为 173.1812 公顷。项目申请用海范围占用岸线长度为 242.8m，项目申请的用海期限为 27 年（2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 日）。

#### 9.1.2 项目用海必要性结论

本次风机中心点坐标建设单位提供的施工坐标确定，110kV 送出电缆和 35kV 联岛电缆实际走向根据建设单位提供的施工坐标确定。

调整后 3 台单机容量为 6MW 改为 3 台单机容量为 6.45MW，四桩导管架基础改为单桩基础。所选机型单机容量和叶轮直径与路由调整补充论证报告的所选机型存在差异，调整后可以提高风机发电效率，获得更好的发电效益，调整前后集电电缆排布方案存在一定差异。调整后风机台数不变，为了获得更好的发电效

益，降低风机间的尾流影响，调整后方案与路由补充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，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、排布的调整是必要的。110kV 海缆和 35kV 联岛电缆根据路由实际勘察情况，为尽可能避让障碍物，走向发生微调整，以期减少海缆安全风险。因此送出海缆调整是必要的。项目风机位置有所调整，35kV 集电线路走向亦有调整，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。

因此项目调整是必要的。

### **9.1.3 项目用海资源环境影响分析结论**

#### **9.1.3.1 项目用海对水文动力环境的影响**

与项目用海批复方案预测结果对比可知，项目建设完成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：大潮涨急流速变化值位于-0.07m/s~0.01m/s 之间；大潮涨急流向变化值位于-3°~2°之间；大潮落急流速变化值位于-0.05m/s~0.02m/s 之间，大潮落急流向变化值位于-2°~2°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。

#### **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。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 $\pm 0.12\text{m/a}$ 。

通过与项目用海批复方案对比可知，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。

#### **9.1.3.3 项目用海对水质环境的影响**

项目调整用海后集电海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为

36.663km<sup>2</sup>，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 25.676km<sup>2</sup>，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 16.694km<sup>2</sup>，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 10.409km<sup>2</sup>；送出海缆施工产生大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 70.991km<sup>2</sup>，大于 20 mg/L 浓度区的包络线面积为 41.090km<sup>2</sup>，大于 50 mg/L 浓度区的包络线面积为 24.360km<sup>2</sup>，大于 100 mg/L 浓度区的包络线面积为 14.557km<sup>2</sup>

施工悬沙对周围的环境和敏感目标影响较小，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，施工船舶将产生生产废水、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，项目项目建设造成的生物资源损失量分别为：底栖生物 120.2t，潮间带 3.72t，鱼卵  $1.91 \times 10^8$  粒，仔鱼  $9.16 \times 10^7$  粒，游泳生物 4.44t。项目的施工和运营将对当地的渔业生产产生一定的影响，但桩基础将形成人工鱼礁，一定程度上有利于渔业资源的恢复。

项目用海对鸟类资源将会产生一定的影响，主要包括风机噪声影、光、碰撞、栖息地破碎化、生境质量下降等。应采取一定措施尽量减少对鸟类的影响。

### 9.1.4 海域开发利用协调分析结论

本项目现已建成，本项目建设单位施工期已与利益相关者签订协议或协商一致，并征求了相关协调管理部门的意见，本项目于 2016 年 9 月开工，2019 年 12 月并网投产，剩余 3 台风机与珠海桂山海上风电场示范项目二期工程于 2020 年 11 月动工，2021 年 12 月并网投产，本项目未出现利益纠纷。

本次补充论证为已完成建设阶段，此阶段界定利益相关者为（此内容不公开）。项目协调责任部门为（此内容不公开）。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。

### 9.1.5 国土空间规划符合性分析结论

根据《广东省国土空间规划（2021-2035年）》，项目场址位于海洋开发利用空间，海底电缆穿越海洋生态保护红线和海洋生态保护空间；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。本工程属于海上风电建设项目，属于可开发利用的海域。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，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）》等国土空间规划文件要求。

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，本项目场址位于万山群岛保留区，送出电缆穿越万山群岛保留区、万山群岛旅游休闲娱乐区、大万山群岛港口航运区、三角岛港口航运区和桂山岛港口航运区。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，利于环境保护，并带动周边地区的经济发展。

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 项目用海合理性分析结论

调整后项目的用海范围仍然在原规划范围之内。珠海桂山海上风电场示范项

目场址位于珠海市香洲区三角岛东南侧海域，处于珠海市青洲、三角岛、大碌岛、细碌岛、大头洲岛与赤滩岛之间，场址已在《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，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，对周边海域的资源生态影响较小；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、110kV 海缆和 35kV 联岛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，用海面积和铺设施工对资源生态的影响相差不大，风机占用海域面积变小，提高了项目的用海合理性。项目用海平面布置方案合理。本项目主要水工建筑物是风机基础、海底电缆，用海方式分别为透水构筑物 and 海底电缆管道，风机基础采用桩基础的结构方案，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。

项目调整后申请用海总面积为 285.2758 公顷，其中风机申请用海面积为 43.6418 公顷，35kV 集电海缆申请用海面积为 68.4528 公顷，送出电缆申请用海面积为 173.1812 公顷。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，量算准确，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。

本项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，项目申请使用海域 27 年（2016 年 12 月 19 日至 2043 年 12 月 18 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 项目用海可行性结论

综上所述，项目用海调整是必要的，与利益相关者是可协调的，项目建设符合省、市国土空间规划文件要求，与所在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，落实好与利益相关者的协调，从海域使用角度出发，本项目调整用海是可行的。