

国能江门川岛二海上风电项目 环境影响报告书

建设单位：国能（江门）风能开发有限公司

评价单位：广东海兰图环境技术有限公司

2026年4月



编制单位和编制人员情况表

项目编号	7x59vh		
建设项目名称	国能江门川岛二海上风电项目		
建设项目类别	54—151海洋能源开发利用类工程		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	国能（江门）风能开发有限公司		
统一社会信用代码	91440781MADAD0YG83		
法定代表人（签章）	王忠宝		
主要负责人（签字）	张海涛		
直接负责的主管人员（签字）	庾兴亮		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	广东海兰图环境技术研究有限公司		
统一社会信用代码	91440101MA59KQLF0D		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
孙芳	2016035440352013449914000651	BH 012628	孙芳
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
黄素绿	概述、环境影响预测与评价、环境影响经济损益分析	BH 040635	黄素绿
孙芳	环境风险评价、环境保护措施及其可行性论证、政策与规划相符性分析	BH 012628	孙芳
郑茜元	总则、工程分析、区域自然环境现状、环境质量现状调查与评价、环境管理与监测计划、环境影响评价结论	BH 040639	郑茜元

目录

1 概述	1
1.1 项目由来	1
1.2 环境影响评价的工作过程	3
1.3 分析判定相关情况	4
1.4 关注的主要环境问题及环境影响	5
1.5 环境影响的主要结论	5
2 总则	6
2.1 编制依据	6
2.1.1 国家法律、法规	6
2.1.2 地方性法规及规范性文件	8
2.1.3 生态环境管理技术规范	11
2.1.4 其他相关技术资料	12
2.2 相关规划及环境功能区划	13
2.2.1 近岸海域环境功能区划	13
2.2.2 海洋空间区划	13
2.2.3 环境空气功能区划	14
2.2.4 声环境功能区划	14
2.2.5 生态环境功能区划	14
2.3 评价内容和评价重点	16
2.3.1 评价内容	16
2.3.2 评价重点	17
2.4 环境影响因素识别与评价因子筛选	17
2.4.1 环境影响因素识别	17
2.4.2 评价因子筛选	18
2.5 评价标准	19
2.5.1 环境质量标准	19
2.5.2 污染物排放标准	22
2.6 评价工作等级和评价范围	27
2.6.1 评价等级	27
2.6.2 评价范围	31
2.6.3 小结	32
2.7 主要环境敏感目标及社会活动关注区	33
2.7.1 主要环境敏感目标	33
2.7.2 社会活动关注区	36
2.7.3 环境风险评价范围内的主要环境敏感目标	37
3 工程分析	39
3.1 工程概况	39
3.1.1 项目基本情况	39
3.1.2 项目附近已经批准和正在申请海上风电场项目	42
3.2 建设必要性	42
3.3 总平面布置	43
3.3.1 风电机组	45
3.3.2 66kV 集电线路海缆	47

3.4 工程结构方案	47
3.4.1 风电机组	47
3.4.2 海底海缆结构	49
3.4.3 其他设计	49
3.5 工程施工方案	50
3.5.1 施工工艺及方法	50
3.5.2 交通运输方案	59
3.5.3 施工设备	59
3.5.4 施工总进度	61
3.5.5 土石方平衡	63
3.6 工程运行	63
3.7 工程占用海域和岸线情况	63
3.8 生产工艺与过程分析	69
3.8.1 施工期产污环节分析	69
3.8.2 营运期产污环节分析	70
3.9 工程各阶段污染源强分析	70
3.9.1 施工期污染源强分析	70
3.9.2 营运期污染源强分析	76
3.10 工程各阶段非污染环节与环境影响分析	80
3.10.1 工程建设对水动力环境的影响	80
3.10.2 工程建设造成海底地形地貌及冲淤变化	81
3.10.3 工程建设对鸟类的影响	81
3.10.4 工程建设对通航的影响	81
3.10.5 工程建设对海洋生态和渔业生产的影响	81
3.11 总量控制	82
3.11.1 总量控制原则	82
3.11.2 控制对象及指标	83
3.12 清洁生产分析	83
3.12.1 清洁能源利用	83
3.12.2 设备先进性分析	84
3.12.3 施工工艺先进性分析	84
3.12.4 生产过程控制	85
3.12.5 污染物排放控制水平	85
3.12.6 节能减排贡献	85
4 区域自然环境现状	87
4.1 区域自然环境概况	87
4.1.1 气象特征	87
4.1.2 海洋水文	88
4.1.3 区域地质	91
4.1.4 自然灾害	96
4.2 海域资源概况	98
4.2.1 岸线资源	98
4.2.2 海岛(礁)资源	98
4.2.3 港口资源	98

4.2.4 航路资源	99
4.2.5 渔业生产资源	99
4.2.6 风能资源	99
4.2.7 旅游资源	101
4.2.8 珍稀海洋生物	101
4.2.9 “三场一通道”分布情况	106
4.3 海域开发利用现状	112
4.4 周边污染源调查	113
5 环境质量现状调查与评价	115
5.1 水文动力环境	115
5.1.1 调查概况	115
5.1.2 观测期间海况	116
5.1.3 潮位	117
5.1.4 实测海流	120
5.1.5 潮流	126
5.1.6 余流	130
5.1.7 水温和盐度	132
5.1.8 悬浮泥沙	134
5.2 地形地貌与工程地质	138
5.2.1 地形地貌特征	138
5.2.2 工程地质	140
5.2.3 水文地质条件	152
5.2.4 不良地质	152
5.2.5 岩土工程条件分析与评价	153
5.2.6 冲淤现状和冲淤变化特征	154
5.3 海水水质环境质量现状调查与评价	156
5.3.1 区域海水水质状况	156
5.3.2 海水水质现状调查与评价	161
5.4 海洋沉积物质量现状调查与评价	174
5.4.1 调查概况	174
5.4.2 调查项目	174
5.4.3 采样与分析方法	174
5.4.4 评价方法与评价标准	175
5.4.5 海洋沉积物质量调查结果与评价	176
5.5 海洋生物质量现状调查与评价	181
5.5.1 调查概况	181
5.5.2 调查项目	181
5.5.3 采样与分析方法	181
5.5.4 评价方法与评价标准	182
5.5.5 海洋生物质量调查结果与评价	182
5.6 海洋生态环境现状调查与评价	185
5.6.1 调查概况	185
5.6.2 调查方法	185
5.6.3 计算方法	187

5.6.4 海洋生态调查结果	189
5.6.5 渔业资源调查结果	197
5.6.6 海洋生物多样性现状及总体变化趋势变化	204
5.7 鸟类环境现状调查与评价	207
5.7.1 调查方法	207
5.7.2 区域鸟类概况分析	210
5.7.3 各季节调查详述	212
5.7.4 海域鸟类现状	215
5.7.5 沿岸鸟类现状	216
5.7.6 鸟类迁飞路线与飞行高度分析	216
5.8 电磁环境现状调查与评价	221
5.8.1 调查概况	221
5.8.2 调查内容	222
5.8.3 分析内容	222
5.8.4 检测结果	223
5.9 噪声环境现状调查与评价	223
5.9.1 调查概况	224
5.9.2 调查内容	224
5.9.3 调查结果	224
5.10 中华白海豚环境现状调查与评价	236
5.10.1 调查概况	236
5.10.2 整体目击分布特征	237
5.11 大气环境质量现状调查与评价	238
6 环境影响预测与评价	240
6.1 水文动力环境影响预测与评价	240
6.1.1 三维水动力模式	240
6.1.2 计算结果	252
6.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价	265
6.2.1 风电场大范围海床冲淤分析	265
6.2.2 风机桩基础附近局部冲刷影响分析	267
6.2.3 极端天气条件下的冲淤影响分析	268
6.3 海水水质环境影响预测与评价	270
6.3.1 施工期海水水质环境影响预测与评价	270
6.3.2 营运期水环境影响预测与评价	279
6.4 海洋沉积物环境影响预测与评价	279
6.4.1 施工期海洋沉积物环境影响预测与评价	279
6.4.2 营运期海洋沉积物环境影响预测与评价	280
6.5 噪声环境影响预测与评价	280
6.5.1 施工期水上噪声影响预测与评价	280
6.5.2 施工期水下噪声影响预测与评价	281
6.5.3 营运期水上噪声影响预测与评价	284
6.5.4 营运期水下噪声影响预测与评价	286
6.5.5 施工期水下噪声对海洋生物影响	287
6.5.6 营运期水下噪声对海洋生物影响	291

6.5.7 声环境影响评价自查表	292
6.6 电磁辐射环境影响预测与评价	293
6.6.1 66kV 电磁场强度预测分析	293
6.6.2 电磁场对海洋生物影响评价	293
6.7 海洋生态环境影响分析	295
6.7.1 对生物资源的影响分析	295
6.7.2 水文动力和冲淤环境变化对生态环境的影响分析	301
6.7.3 对海洋生态敏感目标的影响分析	302
6.7.4 对海洋功能区的影响分析	306
6.7.5 小结	307
6.7.6 建设项目海洋生态环境影响评价自查表	309
6.8 鸟类生态环境影响预测与评价	311
6.8.1 施工期对鸟类影响预测	311
6.8.2 营运期对鸟类影响预测	312
6.8.3 风电项目环境事故风险对鸟类的影响	317
6.8.4 受影响类群及代表性物种分析	318
6.9 大气环境影响分析	322
6.9.1 施工期大气环境影响分析	322
6.9.2 营运期大气环境影响分析	322
6.10 固体废物环境影响分析	323
6.10.1 施工期固体废物环境影响分析	323
6.10.2 营运期固体废物环境影响分析	323
6.11 退役期环境影响	324
6.12 对通航环境的影响分析	324
6.12.1 对船舶通航的影响分析	324
6.12.2 对渔船航行活动的影响分析	325
6.12.3 对相邻涉水设施的影响分析	326
6.12.4 对通航安全设施的影响	326
6.12.5 小结	326
6.13 风电场群建设对环境的影响分析	327
6.13.1 风电场群建设对水动力的影响分析	327
6.13.2 风电场群建设对水质和沉积物环境影响分析	327
6.13.3 风电场群建设后对冲淤环境的影响分析	328
6.13.4 风电场群建设后噪声影响分析	328
6.13.5 风电场群建设后对电磁辐射影响分析	328
6.13.6 风电场群建设对海洋生态及渔业资源环境影响分析	329
6.13.7 风电场群建设对鸟类的累积影响分析	330
6.13.8 风电场群建设对重要珍稀海洋生物影响分析	334
7 环境风险评价	335
7.1 环境风险评价等级	335
7.2 环境敏感目标	335
7.3 环境风险识别	335
7.4 环境风险源项分析	336
7.4.1 通航风险分析	336

7.4.2 船舶溢油风险分析	338
7.4.3 自然灾害风险分析	353
7.5 环境风险防范与应急措施	356
7.5.1 通航风险防范对策措施	356
7.5.2 溢油事故风险防范措施	359
7.5.3 雷击风险防范措施	364
7.5.4 台风风险防范措施	365
7.5.5 其他风险防范对策措施	366
7.6 环境风险事故应急预案	369
7.6.1 应急预案纲要	369
7.6.2 江门市风险应急预案	370
7.7 环境风险评价小结	371
8 环境保护措施及其可行性论证	372
8.1 施工期环境保护与污染防治对策措施	372
8.1.1 施工期水污染防治措施	372
8.1.2 施工期海洋沉积物保护措施	373
8.1.3 施工期废气污染防治措施	374
8.1.4 施工期噪声污染防治措施	375
8.1.5 施工期固体废物污染防治措施	376
8.2 营运期环境保护与污染防治对策措施	376
8.2.1 营运期水污染防治措施	376
8.2.2 营运期海洋沉积物保护措施及其可行性	377
8.2.3 营运期废气污染防治措施	377
8.2.4 营运期噪声污染防治措施	377
8.2.5 营运期固体废物污染防治措施	378
8.2.6 营运期电磁污染防治措施	378
8.3 海洋生态环境保护对策措施	379
8.3.1 施工期海洋生态环境保护对策措施	379
8.3.2 营运期海洋生态环境保护对策措施	381
8.4 鸟类及其生态保护措施	383
8.5 对海龟的保护措施	383
8.6 环保措施技术、经济可行性分析	384
8.7 环境保护措施汇总	384
9 环境影响经济损益分析	389
9.1 环境保护设施和措施投资估算	389
9.2 经济效益分析	389
9.2.1 直接经济效益	389
9.2.2 环境效益	390
9.2.3 社会效益	391
9.3 环境损失分析	392
9.4 环境经济损益分析	392
10 政策及规划相符性分析	393
10.1 产业政策相符性分析	393
10.2 国土空间规划相符性分析	393

10.2.1 与《广东省国土空间规划（2021-2035年）》的相符性分析.....	393
10.2.2 与《广东省国土空间生态修复规划（2021-2023年）》的相符性分析.....	396
10.2.3 与《江门市国土空间总体规划（2021-2035年）》的相符性分析.....	398
10.2.4 与《台山市国土空间总体规划（2021-2035年）》的相符性分析.....	400
10.2.5 与《阳江市国土空间总体规划（2021-2035年）》的相符性分析.....	401
10.3 与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》的符合性分析.....	403
10.4 与“三区三线”的相符性分析.....	406
10.5 与“三线一单”的相符性分析.....	408
10.5.1 与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的相符性分析.....	408
10.5.2 与《江门市“三线一单”生态环境分区管控方案》的相符性分析.....	410
10.6 与海洋环境保护规划的符合性分析.....	412
10.6.1 与《“十四五”海洋生态环境保护规划》的相符性分析.....	412
10.6.2 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的相符性分析.....	412
10.6.3 与《江门市生态环境保护“十四五”规划》的相符性分析.....	414
10.6.4 与《阳江市生态环境保护“十四五”规划》的相符性分析.....	414
10.7 与其他相关规划的相符性分析.....	414
10.7.1 与《“十四五”现代能源体系规划》的相符性分析.....	414
10.7.2 与《海上风电开发建设管理办法》的相符性分析.....	415
10.7.3 与《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》的相符性分析.....	416
10.7.4 与《2030年前碳达峰行动方案》的相符性分析.....	417
10.7.5 与《广东省能源发展“十四五”规划》的相符性分析.....	419
10.7.6 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》的相符性分析.....	420
10.7.7 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的相符性分析.....	421
10.7.8 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的相符性分析.....	422
10.7.9 与《江门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》的相符性分析.....	423
10.7.10 与《阳江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.....	424
11 环境管理与监测计划.....	426
11.1 环境管理.....	426
11.1.1 施工单位环境管理机构设置.....	426
11.1.2 建设单位环境管理机构.....	427
11.1.3 环境监理.....	428
11.1.4 环境保护管理建议.....	429
11.2 环境监测计划.....	429
11.2.1 施工期监测计划.....	429
11.2.2 营运期监测计划.....	432
11.3 环保验收清单.....	434
12 环境影响评价结论.....	439
12.1 工程概况.....	439
12.2 工程分析结论.....	439

12.3 环境现状评价结论	440
12.3.1 水文动力环境现状调查结论	440
12.3.2 地形地貌与工程地质结论	442
12.3.3 海水水质现状调查与评价结论	442
12.3.4 海洋沉积物质量现状调查与评价结论	442
12.3.5 海洋生物质量现状调查与评价结论	443
12.3.6 海洋生态环境现状调查与评价结论	443
12.3.7 渔业资源现状调查与评价结论	444
12.3.8 鸟类环境现状调查与评价结论	444
12.3.9 电磁环境现状调查与评价结论	445
12.3.10 噪声环境现状调查与评价结论	445
12.3.11 大气环境质量现状结论	445
12.4 环境影响预测分析与评价结论	446
12.4.1 水文动力环境影响预测与评价结论	446
12.4.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价结论	446
12.4.3 海水水质环境影响预测与评价结论	446
12.4.4 海洋沉积物环境影响预测与评价结论	447
12.4.5 噪声环境影响预测与评价	447
12.4.6 电磁辐射环境影响预测与评价结论	447
12.4.7 海洋生态及渔业资源环境影响预测与评价	447
12.4.8 鸟类生态环境影响	448
12.4.9 大气环境影响分析	448
12.4.10 固体废物环境影响分析	448
12.4.11 对环境敏感目标的影响分析	449
12.5 环境风险预测与评价结论	449
12.6 环境经济损益分析	449
12.7 政策及规划相符性分析	450
12.8 公众参与结论	450
12.9 综合结论	450

1 概述

1.1 项目由来

随着国家提出碳达峰、碳中和的中远期目标，大力发展光伏、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省大陆海岸线总长达 4000km 以上，海域面积广阔，沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

2009 年 4 月，根据国家能源局下发的《关于印发海上风电场工程规划工作大纲的通知》（国新能〔2009〕130 号）的要求，广东省启动海上风电场址规划及海上风电输电规划工作。2011 年 6 月，《广东省海上风电场工程规划》报告正式报送国家能源局；2011 年 7 月，《广东省海上风电场工程规划》通过水利水电规划总院审查；2012 年 8 月国家能源局对《广东省海上风电场工程规划》进行了批复，2016 年 9 月广东省能源局委托广东院进行《广东省海上风电发展规划》修编，对《广东省海上风电场工程规划》中原有场址进一步进行梳理，并作适当调整。近两年，我国加快了海上风电平价上网的步伐。2018 年 5 月，国家发改委能源局颁布《关于 2018 年度风电建设管理有关要求的通知》（国能发新能〔2018〕47 号），要求 2019 年以后新增核准的海上风电采用竞价上网的方式。2019 年 1 月，国家发改委能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》（发改能源〔2019〕19 号），2019 年 5 月配套出台《关于公布 2019 年第一批风电、光伏发电平价上网项目的通知》（发改办能源〔2019〕594 号），2 个通知要求积极推进海上风电平价上网。2023 年 5 月，广东省发展改革委印发《广东省 2023 年海上风电竞争配置工作方案》，其中省管海域项目共 15 个，装机容量 700 万千瓦。2023 年 10 月，广东省 2023 年省管海域海上风电项目竞争配置结果公布，国能江门川岛二海上风电项目由国家能源集团广东电力有限公司开发建设。由国家能源集团广东电力有限公司下属的国能粤电台山发电有限公司牵头江门海洋集团有限公司、中广核风电有限公司和明阳智慧能源集团股份公司共同出资成立国能（江门）风能开发有限公司，负责江门川岛二海上风电项目建设运营。

本项目为国能江门川岛二海上风电项目，位于江门市台山市西南侧海域，场址

面积约 52km²，风场场址水深在 43m~46m 之间，规划总装机容量为 400MW，拟布置 23 台 18MW 固定式风电机组，实际装机容量 414MW。风电机组发出电能通过 6 回 66kV 集电海底电缆接入东南侧与中广核江门川岛一海上风电项目合建的海上升压站，共同送出。本项目与中广核江门川岛一海上风电项目共建共用海上升压站、海上无功补偿站、送出海底电缆、海缆登陆点等，海上升压站、海上无功补偿站、与送出海底电缆作为单独项目进行核准立项建设，不在本次评价范围内。海上升压站布置在江门川岛一、二海上风电场址中间预留的通道，海上无功补偿站布置在 500kV 送出海缆中部区域。500kV 送出海缆由海上升压站出发，送至海上无功补偿站进行中间无功补偿后再送至台山市赤溪镇登陆点，目前送出工程处于环评编制阶段，未开工。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目规划装机总容量为 400MW，属于“五十四 海洋工程”中的“151 海洋能源开发利用类工程”，总装机容量 5 万千瓦及以上的海上风电工程及其输送设施及网络工程，环评类别为报告书；本项目 66kV 海底集电海缆总长度约 40.20km，属于《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》“五十四 海洋工程”中的“152 海底隧道、管道、电（光）缆工程”，挖沟埋设单条管道长度 20 公里及以上的海上和海底电（光）缆工程、海上和海底输水管道工程、天然气及无毒无害物质输送管道工程，环评类别为报告书。按照单项最高等级确定本项目环境影响评价类别为环境影响报告书。本项目设计运行期 25 年，工程退役后的初步拆除和清理方案应按照《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》第二十八条规定执行，项目退役期环境影响评价需届时根据废弃工程具体方案进行详细分析、另行评价，不属于本次环评责任范围。

2024 年 4 月，国能（江门）风能开发有限公司委托广东海兰图环境技术研究有限公司承担了本项目的环评工作。评价单位接受委托后，立即组织项目组评价技术人员委托开展工程海域海洋环境质量现状调查、收集了环境功能区划及与本工程相关的规划文件，并收集了广东省科学院动物研究所开展的区域鸟类现状调查及评价资料、广东宇南检测技术有限公司对海上电磁环境进行的现场监测资料等。

在上述工作的基础上，评价单位依据项目工程可行性研究报告及相关专题报告，针对工程特点和区域海洋水质、生态环境现状，对项目建设的主要海洋环境影响进

行了预测、分析和评价，给出有针对性的污染防治措施和生态影响减缓措施，提出了环境管理与监测计划要求，明确了建设项目可行的结论，编制完成了《国能江门川岛二海上风电项目环境影响报告书》。

1.2 环境影响评价的工作过程

本次评价工作严格按照相关技术导则与标准规定的程序开展，在接受委托后，首先，项目组研究有关环境保护的法律法规、政策、标准、相关规划及其他技术文件等；第二，进行初步的工程分析，识别环境影响和评价因子，明确评价重点和敏感目标，确定评价工作等级、范围和标准，并制定工作方案；第三，进行详细工程分析和正式的环境现状调查、监测等；第四，进行各要素、各专题分析、预测与评价；第五，提出环保措施，并进行论证，给出污染物排放清单，得出评价结论；最后，编制完成《国能江门川岛二海上风电项目环境影响报告书》。在上述工作期间，建设单位还按照相关要求开展公众参与工作。

本评价工作技术路线见 1.2-1。

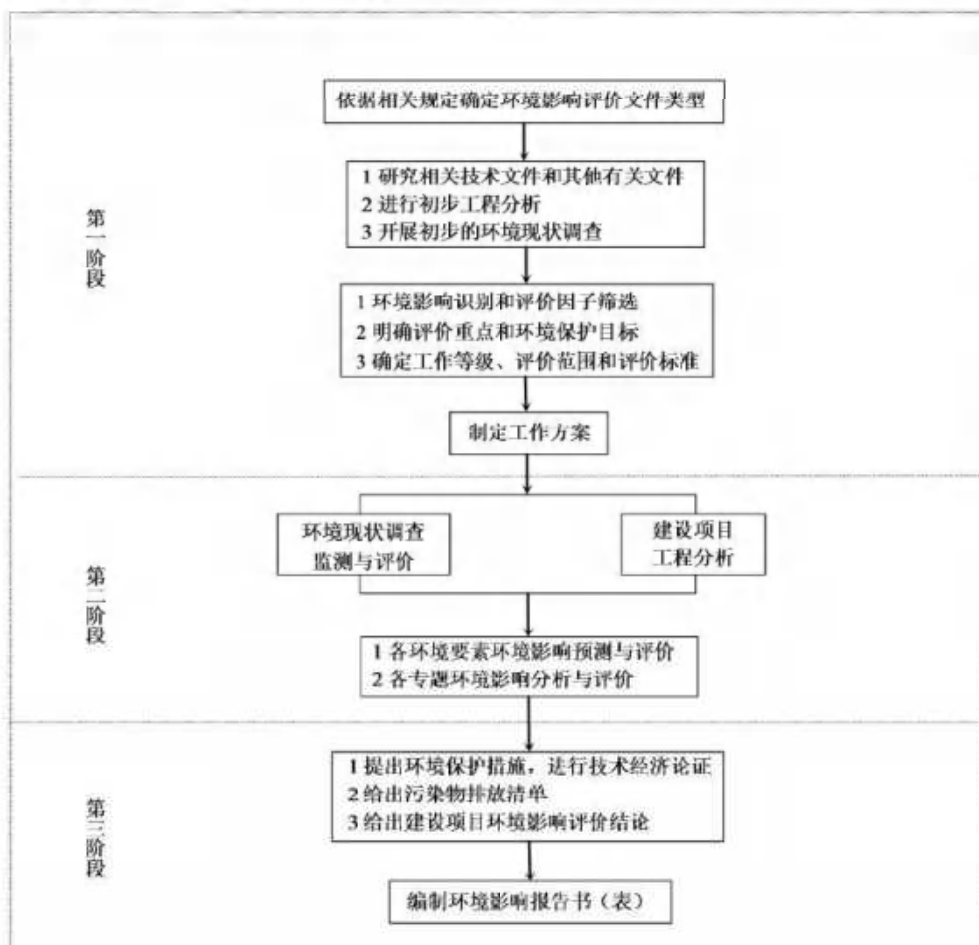


图 1.2-1 环境影响评价工作程序图

1.3 分析判定相关情况

(1) 与产业政策的相符性分析判断

本项目为海上风电场项目，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会令第 7 号）中鼓励类项目，同时属于《市场准入负面清单（2025 年版）》（发改体改规〔2025〕466 号）中“许可准入事项”，需经过发展改革部门核准。2024 年 2 月，江门市发展和改革局已经对本项目进行核准。综合分析，本项目的建设符合产业政策要求。

(2) “三线一单”符合性分析

根据《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号）、《江门市人民政府印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（江府〔2021〕9 号）、《江门市人民政府关于印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）的通知》（江府〔2024〕15 号），本项目场址位于一般管控单元。本项目建设对区域生态系统有一定影响，但项目没有大规模、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。经分析，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较小，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。

(3) 与其他规划的符合性分析

项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《江门市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《阳江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《“十四五”海洋生态环境保护规划》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》《“十四五”现代能源体系规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》《广东省能源发展“十四五”规划》《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》《江门市生态环境保护“十四五”规划》《江门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》《阳江市生态环境保护“十四五”规划》《阳江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》等相关文件要求。

1.4 关注的主要环境问题及环境影响

关注的主要环境问题及环境影响包括：施工期风机桩基础建设、海缆施工对海域水质、沉积物的影响，项目建设对海洋生态、渔业资源的影响，施工船舶可能产生的溢油事故环境风险；运行期风机桩基础对周边海域水文动力、地形冲淤环境的影响，风机运转对水下声环境和鸟类的影响；项目建设对周边各类红线区、“三场一通道”、珍稀保护物种等环境敏感目标的影响。

1.5 环境影响的主要结论

本项目为风力发电项目，属于可再生能源和清洁能源利用项目，对于降低煤炭消耗、减轻环境污染，缓解环境保护压力、改善区域能源结构等具有非常积极的意义，是发展低碳经济、建设节约型社会的具体体现。本项目建设符合国家产业政策、符合国家、广东省、江门市相关规划。虽然项目施工期和营运期会对周边的海水水质、海洋沉积物、海洋生态、鸟类和电磁环境影响等产生一定的影响，在切实执行国家有关法律法规、严格落实报告书中提出的各项污染防治、生态保护对策措施及风险防范措施的前提下，项目对海水水质、海洋沉积物、海洋生态、鸟类和电磁环境影响可接受，环境风险可防控，从环境保护角度考虑，国能江门川岛二海上风电项目的建设是可行的。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 国家法律、法规

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

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

(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修正,2018 年 12 月 29 日施行);

(4) 《中华人民共和国海域使用管理法》(2002 年 1 月 1 日施行);

(5) 《中华人民共和国水污染防治法》(2018 年 1 月 1 日第二次修正实施);

(6) 《中华人民共和国大气污染防治法》(根据 2018 年 10 月 26 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第二次修正,2018 年 10 月 26 日施行);

(7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》(2021 年 12 月 24 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过,自 2022 年 6 月 5 日起施行);

(8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(根据 2020 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议第二次修订,2020 年 9 月 1 日施行);

(9) 《中华人民共和国自然保护区条例》(根据 2017 年 10 月 7 日国务院令 687 号修正,2017 年 10 月 7 日施行);

(10) 《中华人民共和国渔业法》(根据 2013 年 12 月 28 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第二次修正,2013 年 12 月 28 日施行);

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

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

(13) 《中华人民共和国清洁生产促进法》(根据 2012 年 2 月 29 日第十一届全

国人民代表大会常务委员会第二十五次会议修正，2012年7月1日施行)；

(14) 《中华人民共和国循环经济促进法》(根据2018年10月26日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议修正，2018年10月26日施行)；

(15) 《中华人民共和国节约能源法》(根据2018年10月26日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第二次修正，2018年10月26日施行)；

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

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

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

(19) 《中华人民共和国水上水下作业和活动通航安全管理规定》(交通运输部令2021年第24号，2021年9月1日施行)；

(20) 《中华人民共和国航道法》(2016年7月2日修正)；

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

(22) 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》；

(23) 《中国水生生物资源养护行动纲要》(国发〔2006〕9号)；

(24) 《“十四五”海洋经济发展规划》(国务院2021年12月15日批复)；

(25) 《“十四五”海洋生态环境保护规划》(环海洋〔2022〕4号)；

(26) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》(国务院令第475号，2018年3月19日修订)；

(27) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》(2018年3月19日修正)；

(28) 《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)；

(29) 《国家发展改革委、国家能源局关于印发<“十四五”现代能源体系规划>的通知》(发改能源〔2022〕210号)；

- (30) 《海底电缆管道保护规定》(中华人民共和国国土资源部令 第 24 号);
- (31) 《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》(环评〔2016〕150 号);
- (32) 《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);
- (33) 《自然资源部办公厅关于北京等省(区、市)启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》(自然资办函〔2022〕2207 号);
- (34) 《中共中央办公厅国务院办公厅<关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见>通知》(厅字〔2019〕48 号);
- (35) 《船舶大气污染物排放控制区实施方案》(交海发〔2018〕168 号);
- (36) 《中国海洋渔业水域图(第一批)》(农业部公告第 189 号, 2002 年 2 月 8 日);
- (37) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部令第 16 号, 自 2021 年 1 月 1 日起施行);
- (38) 《环境影响评价公众参与办法》(生态环境部部令第 4 号, 2019 年 1 月 1 日施行);
- (39) 《市场准入负面清单(2025 年版)》(发改体改规〔2025〕466 号);
- (40) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(国家发展和改革委员会, 中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号, 2024 年 2 月 1 日施行);
- (41) 《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》(农渔发〔2022〕1 号)。

2.1.2 地方性法规及规范性文件

- (1) 《广东省环境保护条例》(2022 年 11 月 30 日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第四十七次会议修正);
- (2) 《广东省海域使用管理条例(2021 修正)》(粤人常〔2021〕92 号);
- (3) 《广东省海岸带及海洋空间规划(2021-2035 年)》(粤自然资发〔2025〕1 号);
- (4) 《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》(2018 年 11 月 29 日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第七次会议修改);

- (5) 《广东省生态环境厅关于印发广东省海洋生态环境保护“十四五”规划的通知》(粤环〔2022〕7号);
- (6) 《广东省生态环境厅关于印发<广东省生态环境保护“十四五”规划>的通知》(粤环〔2021〕10号);
- (7) 《广东省人民政府办公厅关于印发广东省自然资源保护与开发“十四五”规划的通知》(粤府办〔2021〕31号);
- (8) 《广东省人民政府办公厅关于印发广东省海洋经济发展“十四五”规划的通知》(粤府办〔2021〕33号);
- (9) 《广东省人民政府办公厅关于印发<广东省能源发展“十四五”规划>的通知》(粤府办〔2022〕8号);
- (10) 《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》(粤府〔2020〕71号, 2020年12月; 粤府函〔2025〕248号延长有效期至2028年6月30日);
- (11) 《广东省水污染防治条例》(广东省第十三届人民代表大会常务委员会第三十五次会议修正, 2021年9月29日修正);
- (12) 《广东省大气污染防治条例》(广东省第十三届人民代表大会常务委员会第四十七次会议修正, 2022年11月30日修正);
- (13) 《广东省固体废物污染环境防治条例》(广东省第十三届人民代表大会常务委员会第四十七次会议第三次修正, 2022年11月30日修正);
- (14) 《广东省渔业管理条例》(广东省第十三届人民代表大会常务委员会第十四次会议第三次, 2019年9月25日修正);
- (15) 《广东省野生动物保护管理条例》(广东省第十三届人民代表大会常务委员会第十九次会议修订, 2020年3月31日);
- (16) 《广东省沿海经济带综合发展规划(2017-2030年)》(粤府〔2017〕119号);
- (17) 《广东省人民政府办公厅关于印发促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展实施方案的通知》(粤府办〔2021〕18号);
- (18) 《关于进一步加强水生生物资源保护严格环境影响评价管理的通知》(环发〔2013〕86号);

- (19) 《广东省自然资源厅关于印发我省海岸线修测成果的通知》（粤自然资函〔2022〕51号）；
- (20) 《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）；
- (21) 《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标》；
- (22) 《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）；
- (23) 《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）；
- (24) 《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）；
- (25) 《江门市国土空间总体规划（2021-2035年）》；
- (26) 《江门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》（江门市人民政府，2021年5月）；
- (27) 《江门市海洋功能区划（2013-2020年）》；
- (28) 《江门市人民政府印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（江府〔2021〕9号）；
- (29) 《江门市人民政府关于印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）的通知》（江府〔2024〕15号）；
- (30) 《关于同意调整台山核电项目近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2008〕187号）；
- (31) 《台山市国土空间总体规划（2021-2035年）》；
- (32) 《阳江市国土空间总体规划（2021-2035年）》；
- (33) 《阳江市生态环境保护“十四五”规划》；
- (34) 《关于对阳江市调整近岸海域环境功能区划的批复》（粤环函〔2005〕220号）；
- (35) 《广东省生态环境厅关于同意调整阳江市海陵湾近岸海域环境功能区划的函》（粤环函〔2025〕235号）；
- (36) 《阳江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》（阳江市人民政府，阳府〔2021〕15号，2021年3月30日）。

2.1.3 生态环境管理技术规范

- （1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
- （2）《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）；
- （3）《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；
- （4）《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；
- （5）《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）；
- （6）《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014.4.17）；
- （7）《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）；
- （8）《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）；
- （9）《海洋监测规范》（GB17378-2007）；
- （10）《海洋调查规范》（GB12763-2007）；
- （11）《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- （12）《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；
- （13）《海洋生物质量》（GB18421-2001）；
- （14）《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（国家海洋局，2002年）；
- （15）《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）；
- （16）《用水定额 第3部分：生活》（DB44/T 1461.3-2021）；
- （17）《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）；
- （18）《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）；
- （19）《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）；
- （20）《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- （21）《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；
- （22）《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；
- （23）《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- （24）《海上风力发电场设计标准（GBT51308-2019）》；
- （25）《水生生物增殖放流技术规程》（SC-T 9401-2010）；
- （26）《海洋生态修复技术指南》（GB/T 41339.1-2022）；
- （27）《海水鱼类增殖放流技术规范》（DB44/T 2280-2021）；

(28) 《广东省海洋生物增殖放流技术指南》;

(29) 《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)。

2.1.4 其他相关技术资料

(1) 环评委托书;

(2) 《国能江门川岛二海上风电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有限公司, 2025 年 11 月);

(3) 《国能江门川岛二海上风电项目海域使用论证报告书(报批稿)》(广东海兰图环境技术研究有限公司, 2024 年 1 月);

(4) 《国能江门川岛二海上风电项目海域使用补充论证报告书(报批稿)》(广东海兰图环境技术研究有限公司, 2025 年 12 月);

(5) 《国能江门川岛二海上风电项目可行性研究阶段岩土工程勘测报告》(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 2024 年 5 月);

(6) 《中广核江门川岛一海上风电项目附近海域大潮期海洋水文测验技术报告》(广州海兰图检测技术有限公司, 2024 年 7 月);

(7) 《国能江门川岛二海上风电项目海洋环境现状调查监测报告(2023 年秋季)》(广州海兰图检测技术有限公司, 2023 年 12 月);

(8) 《江门川岛二海上风电场项目鸟类调查专题报告》(广东省科学院动物研究所, 2024 年 8 月);

(9) 《国能江门川岛二海上风电项目电磁噪声对海洋生物影响专题研究报告》(广东宇南检测技术有限公司, 2024 年 5 月);

(10) 《国能江门川岛二海上风电项目风电场场址航道通航条件影响评价报告》(广州水交运技术服务有限公司, 2024 年 9 月);

(11) 《江门川岛(二)海上风电项目(2023 年秋季)》(广东宇南检测技术有限公司, 2023 年 10 月);

(12) 《江门川岛(二)海上风电项目(2023 年冬季)》(广东宇南检测技术有限公司, 2023 年 12 月);

(13) 《江门川岛风电海域中华白海豚现状调查报告》(中国水产科学研究院南海水产研究所, 2024 年 10 月);

(14) 《江门川岛二海上风电场项目泥沙与海床稳定专题报告》(中国能源建

设集团广东省电力设计研究院有限公司，2025 年 3 月）。

2.2 相关规划及环境功能区划

2.2.1 近岸海域环境功能区划

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68 号）、《关于同意调整台山核电项目近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2008〕187 号）、《关于对阳江市调整近岸海域环境功能区划的批复》（粤环函〔2005〕220 号）和《广东省生态环境厅关于同意调整阳江市海陵湾近岸海域环境功能区划的函》（粤环函〔2025〕235 号），项目选址不在江门市、阳江市近岸海域环境功能区划范围内。

2.2.2 海洋空间区划

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，本项目位于海洋发展区中的“阳江-江门近海工矿通信用海区”，详见表 2.2.2-1 和图 2.2.2-1。



图 2.2.2-1 广东省海岸带分区发展及管控规划图

表 2.2.2-1 项目及周边海域功能区分布表

序号	功能区名称	与本项目的 位置关系	保护要求
1	阳江-江门近海工矿	项目所在	海上能源开发利用过程中应加强对海底地形和潮

序号	功能区名称	与本项目的 位置关系	保护要求
	通信用海区		流水动力等海洋生态环境特征的监测。
2	江门-珠海南部渔业用海区	0.5km	1、积极防治海水污染，禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动；鼓励推广发展生态养殖模式，合理规划养殖规模、密度和结构，保障渔业资源可持续发展； 2、保障潮间带自然特征不改变、面积不减少、生态功能不降低； 3、“南海I号”水下文物保护区监控水域依法实施建设项目准入限制，保护文物的安全、环境和历史风貌。
3	阳江-茂名近海渔业用海区	西侧， 1.3km	积极防治海水污染，禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动；鼓励推广发展生态养殖模式，合理规划养殖规模、密度和结构，保障渔业资源可持续发展。
4	东平镇南珍稀濒危物种分布II生态保护区	西北侧， 7.6km	重点保护珍稀濒危物种及其生境。
5	茂名-阳江生态控制区	西南侧， 20.1km	强化生态保育和生态建设，提升海洋生态系统质量和稳定性。

2.2.3 环境空气功能区划

根据《江门市人民政府办公室关于印发江门市环境空气质量功能区划调整方案（2024年修订）的通知》（江府办函〔2024〕25号），项目风电场所在海域未划分大气环境功能区划。本项目主要建设海上风电，选址海域周边另有其他待建设风电场址，因此选址参照工业区划分为空气质量二类区。

2.2.4 声环境功能区划

根据《江门市声环境功能区划》（江环〔2019〕378号），项目风电场所在海域未划分声环境功能区划。本项目主要建设海上风电，选址海域周边另有其他待建设风电场址，且周围不涉及噪声敏感建筑物，根据《声环境质量标准》（GB3096-2008）及《声环境功能区划分技术规范》（GB/T 15190-2014），声环境参照3类功能区执行。

2.2.5 生态环境功能区划

2.2.5.1 广东省生态环境功能区划

根据《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71号），本项目风电场位于海域管控单元中的一般管控单元，详见图2.2.5-1。

2.2.5.2 江门市生态环境功能区划

根据《江门市人民政府印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（江府〔2021〕9号）、《江门市人民政府关于印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）的通知》（江府〔2024〕15号），本项目风电场位于海域管控单元中的HY44070030009 湛江-珠海近海农渔业区一般管控单元，详见图2.2.5-2。

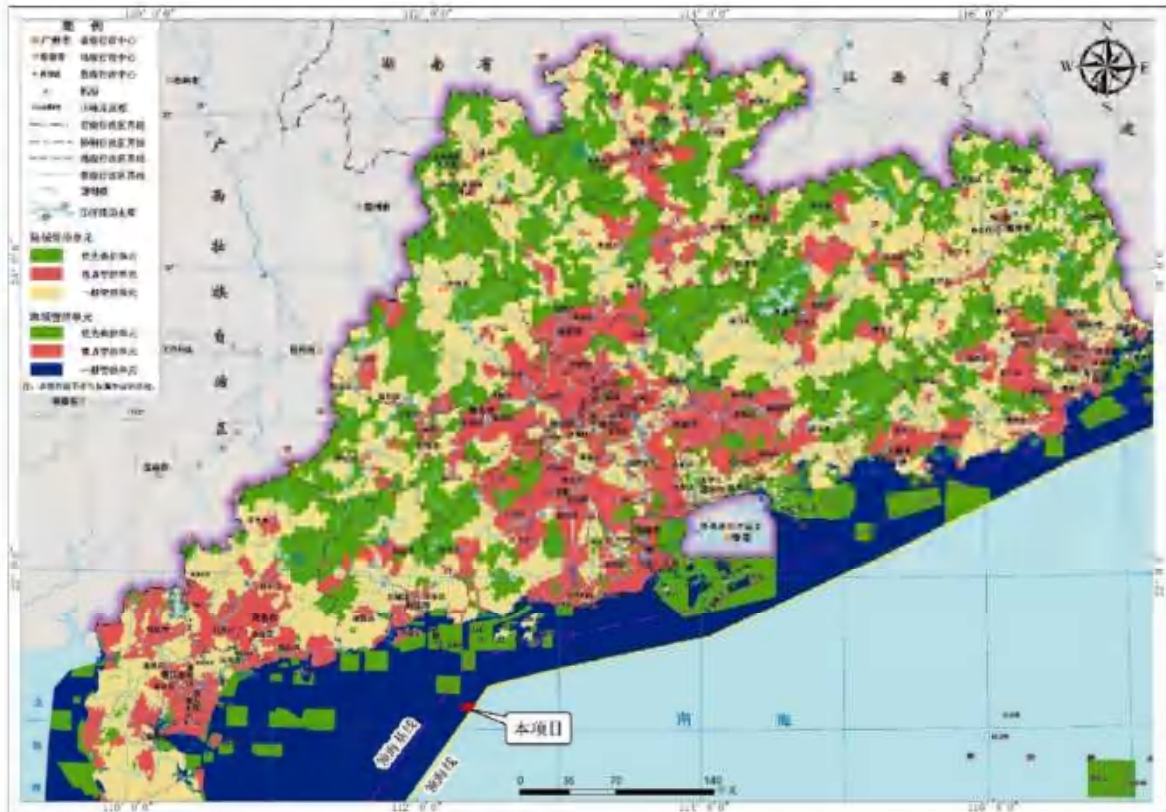


图 2.2.5-1 广东省环境管控单元图

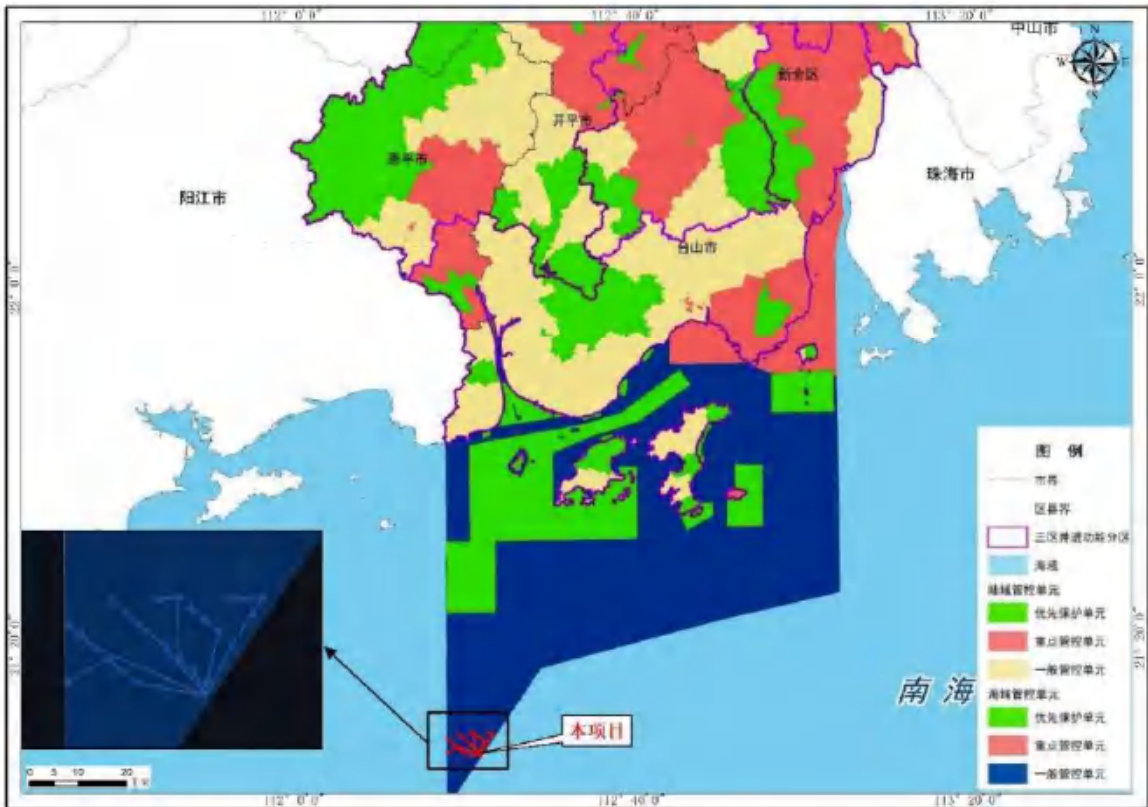


图 2.2.5-2 江门市环境管控单元图

2.3 评价内容和评价重点

2.3.1 评价内容

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，必选环境影响评价内容包括海洋水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、鸟类生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、声环境和环境风险，并可视情况将景观、电磁环境纳入评价内容。

表 2.3.1-1 海上风电项目各环境要素环境影响评价内容

海上风电 项目 工程类型	海洋环境影响评价内容									
	海洋 水质 环境	海洋 沉积 物环境	海洋生态			海洋 水文 动力 环境	海洋地 形地貌 与冲淤 环境	声环境 (水下 和水上)	电 磁 环 境	环境 风险
			海洋生 物生态	鸟类 生态	景观					
海上风电 机组工程	★	★	★	★	☆	★	★	★	☆	★
海底电缆 工程	★	★	★			☆	☆		☆	★
注：★为必选环境影响评价内容，☆为依据建设项目具体情况可选环境影响评价内容。										
a 当升压变电站工程位于海域时，应将海水水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境列为必选评价内容。										

综合考虑项目海域部分建设内容，本次选择海洋水质环境、海洋沉积物环境、

海洋生物生态、鸟类生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、声环境、电磁环境、环境风险作为评价内容。

2.3.2 评价重点

根据本工程特点和周围海洋环境状况，本工程环境影响评价重点为：

- (1) 工程建设对水文动力和地形冲淤环境的影响预测与评价；
- (2) 施工期悬浮泥沙对海域水质环境的影响预测与评价；
- (3) 工程建设水上、水下噪声和电磁辐射环境的影响预测与评价；
- (4) 工程建设对海洋生态和鸟类资源的影响分析与评价；
- (5) 工程建设对环境敏感目标的影响分析与评价；
- (6) 工程建设的环境事故风险预测与评价。

2.4 环境影响因素识别与评价因子筛选

2.4.1 环境影响因素识别

本项目施工和营运阶段的主要污染及非污染影响因素分析见表 2.4.1-1。

表 2.4.1-1 项目环境影响因素识别

评价时段	环境影响要素	评价因子	产生影响内容及其表征	影响程度与分析评价深度
施工期	水环境	悬浮泥沙	管沟开挖、打桩产生悬浮物	+++
		石油类	船舶作业	+
		COD、BOD ₅ 、SS、氨氮、总磷	施工人员	+
	海洋沉积物	底质	悬浮物扩散	++
	海洋生态	底栖生物	管沟开挖、构筑物建设	+++
		浮游生物	悬浮泥沙扩散	++
		游泳动物（含鱼卵仔稚鱼）		++
	环境空气	SO ₂ 、CO、NO _x 、颗粒物、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 及碳氢化合物	船舶作业	+
	声环境	噪声	打桩、船舶和机械作业	+
	固体废物	生活垃圾、船舶垃圾	船舶作业、施工人员	+
	环境风险	石油类	船舶碰撞溢油	+++
营运期	海洋水文动力	潮流	海上构筑物影响	+++
	海洋地形、地貌与冲淤	冲淤环境	海上构筑物影响	+++
	水环境	石油类	工作船含油污水	+
		COD、BOD ₅ 、SS、氨氮、总磷	检修人员生活污水	+

评价时段	环境影响要素	评价因子	产生影响内容及其表征	影响程度与分析评价深度
	环境空气	SO ₂ 、CO、NO _x 、颗粒物、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 及碳氢化合物	运维船舶	+
	声环境	噪声	风机运转	++
	固体废物	生活垃圾、维修废物	检修人员、风机检修	+
	电磁环境	工频电磁场	输电线路、风电场	+
		无线电干扰		
	鸟类生态环境	鸟类栖息、迁徙	栖息地占用、鸟类撞机	++

注：+表示环境影响要素和评价因子所受到的影响程度为较小或轻微，需要进行简要分析与影响预测；
 ++表示环境影响要素和评价因子所受到的影响程度为中等，需要进行常规影响分析与影响预测；
 +++表示环境影响要素和评价因子所受到的影响程度为较大或敏感，需要进行重点影响分析与影响预测。

2.4.2 评价因子筛选

根据本工程的环境影响要素识别、工程施工和工程后的特点，对评价因子进行筛选。筛选的结果见表 2.4.2-1。

表 2.4.2-1 污染影响评价因子筛选结果

环境要素	现状评价因子	影响评价或分析因子
海洋水文动力	流速、流向、悬沙含量、悬沙中值粒径、盐度、水温	潮流流速、流向变化、地形地貌与冲淤环境变化
海水水质	pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、挥发酚、硫化物、石油类、总铬、铅、镉、锌、铜、汞、砷、生化需氧量、活性硅酸盐、硒、镍	悬浮泥沙扩散对水环境、沉积物环境、海洋生物的影响
海洋沉积物质量	pH、含水率、有机碳、硫化物、石油类、汞、铜、铅、锌、镉、铬、砷、粒度	
海洋生物质量	总汞、砷、铜、铅、镉、锌、铬、石油烃	
环境空气	SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、CO、O ₃	/
声环境	L _{Aeq}	L _{Aeq}
固体废物	/	生活垃圾、船舶垃圾、检修废物
电磁环境	工频电场强度和工频磁场感应强度	工频电场 (kV/m)、工频磁场 (μT)
环境风险	/	溢油

表 2.4.2-2 海洋生态影响评价因子筛选结果

受影响对象	本项目涉及对象	评价因子	工程内容及影响方式 ¹	影响性质 ² 及影响时段 ³
初级生产力	初级生产力	叶绿素 a	桩基施工、海缆敷设、风机运行；直接影响	短期、可逆；施工期、运营期
浮游植物、浮游动物、潮间带生物	浮游植物、浮游动物、潮间带生物	种类组成、生物量、密度（丰度）、种群	桩基施工、海缆敷设、风机运	短期、可逆，施工期；营

受影响对象	本项目涉及对象	评价因子	工程内容及影响方式 ¹	影响性质 ² 及影响时段 ³
物、底栖生物、游泳动物（含鱼卵仔稚鱼）	物、底栖生物、游泳动物（含鱼卵仔稚鱼）	结构、群落特征、分布范围、物种多样性指数等	行；直接影响	运期
珍稀濒危海洋生物及其生境	中华白海豚、江豚、海龟	种类、数量、种群规模、结构、分布，生境的面积、质量、连通性等	桩基施工、海缆敷设、风机运行；直接影响	短期、可逆；施工期、营运期
重要水生生物“三场一通道”、水产种质资源保护区	长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场	分布范围、生产力	海缆敷设、桩基施工、风机运行、桩基占用	长期、不可逆；施工期、营运期
鸟类	鸟类	栖息地、迁徙通道等	风机运行；直接影响	长期、可逆；施工期、运行期
注 1：影响方式可分为直接、间接、累积生态影响。 注 2：影响性质包括长期和短期、可逆和不可逆。 注 3：影响时段包括施工期、生产运行期和服务期满后。				

2.5 评价标准

2.5.1 环境质量标准

2.5.1.1 海水水质标准

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）、《关于同意调整台山核电项目近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2008〕187号）、《关于对阳江市调整近岸海域环境功能区划的批复》（粤环函〔2005〕220号）和《广东省生态环境厅关于同意调整阳江市海陵湾近岸海域环境功能区划的函》（粤环函〔2025〕235号），项目选址不在江门市、阳江市近岸海域环境功能区划范围内。

根据本项目厂址位于长尾大眼鲷产卵场和金线鱼产卵场的情况，由下文 5.3、5.4 节可知现状海水水质和表层沉积物质量等均为一类，结合本项目营运期正常情况下不对海洋产生污染，项目所处海域宜按照一类海洋环境功能区要求进行评价，因此海水水质执行第一类标准。

具体标准值详见表 2.5.1-1。

表 2.5.1-1 海水水质标准（GB3097-1997）（单位：pH 无量纲，其余单位为 mg/L）

水质指标	第一类	第二类	第三类	第四类
悬浮物质	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
水温	人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1℃，其它季节不超过 2℃		人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃	
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	

水质指标	第一类	第二类	第三类	第四类
化学需氧量 $\leq$	2	3	4	5
生化需氧量 $\leq$	1	3	4	5
溶解氧 $>$	6	5	4	3
活性磷酸盐 $\leq$ （以 P 计）	0.015	0.030	0.030	0.045
无机氮 $\leq$ （以 N 计）	0.200	0.300	0.400	0.500
石油类 $\leq$	0.05	0.05	0.30	0.50
铜 $\leq$	0.005	0.010	0.050	0.050
铅 $\leq$	0.001	0.005	0.010	0.050
锌 $\leq$	0.020	0.050	0.100	0.500
镉 $\leq$	0.001	0.005	0.010	0.010
汞 $\leq$	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
砷 $\leq$	0.020	0.030	0.050	0.050
铬 $\leq$	0.050	0.100	0.200	0.500
硒 $\leq$	0.010	0.020	0.020	0.050
镍 $\leq$	0.005	0.010	0.020	0.050
硫化物 $\leq$ （以硫计）	0.020	0.050	0.100	0.250
挥发性酚 $\leq$	0.005	0.005	0.010	0.050

2.5.1.2 海洋沉积物质量

根据本项目厂址位于长尾大眼鲷产卵场和金线鱼产卵场的情况，由下文 5.3、5.4 节可知现状海水水质和表层沉积物质量等均为一类，结合本项目营运期正常情况下不对海洋产生污染，项目所处海域宜按照一类海洋环境功能区要求进行评价，因此海洋沉积物执行第一类标准。

具体标准值详见表 2.5.1-2。

表 2.5.1-2 海洋沉积物质量（GB18668-2002）

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

2.5.1.3 海洋生物质量

双壳类贝类的海洋生物质量执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）第一类标准。鱼类、甲壳类和软体类（含非双壳类贝类）的生物质量执行《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 规定的其他海洋生物质量参考值。

铬没有相应的评价标准，因此只做本底监测，不做评价。

表 2.5.1-3 海洋生物（双壳类贝类）质量标准（GB18421-2001）（鲜重，mg/kg）

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

注：以贝类去壳部分的鲜重计

表 2.5.1-4 其他海洋生物体质量参考值（湿重：mg/kg）

生物类别	总汞	镉	锌	铅	铜	砷	石油烃	引用标准
软体类（非双壳类贝类）	0.3	5.5	250	10	100	1	20	《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》 （HJ1409-2025）附录 C
甲壳类	0.2	2.0	150	2	100	1	20	
鱼类	0.3	0.6	40	2	20	1	20	

2.5.1.4 环境空气质量标准

项目选址执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的二级标准，2031 年 1 月 1 日前环境空气污染物基本项目实施过渡阶段浓度限值：2031 年 1 月 1 日起，实施基本项目浓度限值。具体见表 2.5.1-5。

表 2.5.1-5 环境空气评价标准

污染物名称	取值时间	过渡阶段浓度限值 (2031 年 1 月 1 日前)	浓度限值 (2031 年 1 月 1 日起)	选用标准
SO ₂	年平均	60μg/m ³	20μg/m ³	《环境空 气质量标 准》 （GB3095- 2026）的二 级标准
	日平均	150μg/m ³	50μg/m ³	
	1 小时平均	500μg/m ³	150μg/m ³	
NO ₂	年平均	40μg/m ³	30μg/m ³	
	日平均	80μg/m ³	50μg/m ³	
	1 小时平均	200μg/m ³	200μg/m ³	
PM ₁₀	年平均	60μg/m ³	50μg/m ³	
	日平均	120μg/m ³	100μg/m ³	
PM _{2.5}	年平均	30μg/m ³	25μg/m ³	
	日平均	60μg/m ³	50μg/m ³	
CO	日平均	4mg/m ³	4 mg/m ³	
	1 小时平均	10mg/m ³	10 mg/m ³	
O ₃	日最大 8 小时平均	160μg/m ³	160μg/m ³	
	1 小时平均	200μg/m ³	200μg/m ³	

2.5.1.5 声环境质量标准

项目所在区域按 3 类声环境功能区管理，执行《声环境质量标准》（GB3096-

2008) 中的 3 类标准。环境质量标准摘录见表 2.5.1-6。

表 2.5.1-6 声环境质量标准 单位: dB (A)

声环境功能区类别		时段	
		昼间	夜间
0 类		50	40
1 类		55	45
2 类		60	50
3 类		65	55
4 类	4a 类	70	55
	4b 类	70	60

2.5.2 污染物排放标准

2.5.2.1 水污染物排放标准

(1) 施工期

本工程作业船舶产生的舱底含油污水和生活污水应严格执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018) 的要求, 风电场址中心距离陆地 62km (约 33.48 海里), 场址距离陆地最近约 60km (约 32.40 海里)。《船舶水污染物排放控制标准》中最近陆地的定义为“与所在位置最近的领海基线”, 项目位置位于领海线以内、领海基线以外, 距离领海基线最近距离 14.4km (7.78 海里), 属于 3 海里<与最近陆地间距离<12 海里的海域, 场址内施工船舶生活污水应满足下列条件: (1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放; (2) 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。船舶含油污水收集上岸交由有能力处理的单位接收处理, 禁止外排。

(2) 营运期

营运期检修人员船舶生活污水在满足“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放; (2) 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。”条件下排放。

运维船舶含油污水: 主要污染物为石油类, 根据《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018) 要求, 定期运往陆地交由有能力处理的单位接收处理, 禁止外排。

检修含油污水: 电气设备发生突发事故或检修时可能会有少量的漏油和油污水, 收集后随检修船回收至岸上送有能力处理的单位处理。

表 2.5.2-1 船舶水污染物排放控制标准 (GB3552-2018)

污水类别	水域类别	船舶类别	排放控制要求
机器处所 含油污水	沿海	400 总吨及 以上船舶	自 2018 年 7 月 1 日起, 达标排放 (油污水处理装置出水口处石油类≤15mg/L, 排放在船舶航行中进

污水类别	水域类别	船舶类别	排放控制要求
			行)或收集并排入接收设施。
		400 总吨以下非渔业船舶	自 2018 年 7 月 1 日起,达标排放(油污水处理装置出水口处石油类 $\leq 15\text{mg/L}$, 排放在船舶航行中进行)或收集并排入接收设施。
含货油残余物的油污水	沿海	150 总吨及以上油船	自 2018 年 7 月 1 日起,收集并接入接收设施,或在达船舶航行中排放,并同时满足下列条件: (1) 油船距最近陆地 50 海里以上; (2) 排入海中油污水含油量瞬间排放率不超过 30 升/海里; (3) 排入海中油污水含油量不得超过货油含量的 1/30000; (4) 排油监控系统运转正常。
		150 总吨以下油船	自 2018 年 7 月 1 日起,收集并接入接收设施
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内(含)的海域	/	油污水处理装置出水口处 BOD ₅ $\leq 25\text{mg/L}$ 、SS $\leq 35\text{mg/L}$ 、耐热大肠菌群数 ≤ 1000 个/L、CODCr $\leq 125\text{mg/L}$ 、pH6~8.5、总余氯 $< 0.5\text{mg/L}$, 排放在船舶航行中进行)
	3 海里 $<$ 与最近陆地间距离 < 12 海里的海域	/	同时满足下列条件:(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放;(2) 船速不低于 4 节,且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。
	与最近陆地间距离 > 12 海里的海域	/	船速不低于 4 节,且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。
船舶垃圾	在任何海域,应将塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物、焚烧炉灰渣、废弃渔具和电子垃圾收集并排入接收设施		
	对于食品废弃物,在距最近陆地 3 海里以内(含)的海域,应收集并排入接收设施;在距最近陆地 3 海里至 12 海里(含)的海域,粉碎或磨碎至直径不大于 25mm 后方可排放;在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。		
	对于货物残留物,在距最近陆地 12 海里以内(含)的海域,应收集并排入接收设施;在距最近陆地 12 海里以外的海域,不含危害海洋环境物质的货物残留物方可排放。		
	对于动物尸体,在距最近陆地 12 海里以内(含)的海域,应收集并排入接收设施;在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。		
	在任何海域,对于货舱、甲板和外表面清洗水,其含有的清洁剂或添加剂不属于危害海洋环境物质的方可排放;其他操作废弃物应收集并排入接收设施。		

2.5.2.2 大气污染物排放标准

(1) 船舶废气

根据《船舶大气污染物排放控制区实施方案》(交海发〔2018〕168 号),项目风电场址涉及的海域位于《船舶大气污染物排放控制区》划定的“排放控制区”内,详见图 2.5.2-1。项目施工期、营运期船舶尾气二氧化硫、颗粒物、氮氧化物应满足《船舶大气污染物排放控制区实施方案》(交海发〔2018〕168 号)硫氧化物和颗粒物排放控制要求与氮氧化物排放控制要求。

①硫氧化物和颗粒物排放控制要求

1) 2019 年 1 月 1 日起, 海船进入排放控制区, 应使用硫含量不大于 0.5% m/m 的船用燃油, 大型内河船和江海直达船舶应使用符合新修订的船用燃料油国家标准要求的燃油; 其他内河船应使用符合国家标准的柴油。2020 年 1 月 1 日起, 海船进入内河控制区, 应使用硫含量不大于 0.1% m/m 的船用燃油。

2) 2020 年 3 月 1 日起, 未使用硫氧化物和颗粒物污染控制装置等替代措施的船舶进入排放控制区只能装载和使用按照本方案规定应当使用的船用燃油。

3) 2022 年 1 月 1 日起, 海船进入沿海控制区海南水域, 应使用硫含量不大于 0.1% m/m 的船用燃油。

4) 适时评估船舶使用硫含量不大于 0.1% m/m 的船用燃油的可行性, 确定是否要求自 2025 年 1 月 1 日起, 海船进入沿海控制区使用硫含量不大于 0.1% m/m 的船用燃油。

②氮氧化物排放控制要求

1) 2000 年 1 月 1 日及以后建造 (以铺设龙骨日期为准, 下同) 或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶, 所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦的, 应满足《国际防止船舶造成污染公约》第一阶段氮氧化物排放限值要求。

2) 2011 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶, 所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦的, 应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求。

3) 2015 年 3 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶, 所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦的, 应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求。

4) 2022 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的、进入沿海控制区海南水域和内河控制区的中国籍国内航行船舶, 所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油发动机应满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。

5) 适时评估船舶执行《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求的可行性, 确定是否要求 2025 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶, 所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油

发动机满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。

(2) 机械废气

施工机械的燃油废气主要污染因子为 SO_2 、 NO_x 、颗粒物等，均为无组织排放。 SO_2 、 NO_x 、颗粒物排放执行《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 第二时段无组织排放监控浓度限值。

表 2.5.2-2 《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 第二时段标准

污染物	无组织排放监控浓度限值	
	监控点	浓度 (mg/m^3)
SO_2	周界外浓度最高点	0.40
NO_x		0.12
颗粒物		1.0



图 2.5.2-1 沿海控制区范围示意图

2.5.2.3 噪声排放标准

项目施工期噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025），见表 2.5.2-3。

表 2.5.2-3 噪声污染控制标准值表

标准号	控制标准	噪声限值	
		昼间 dB(A)	夜间 dB(A)
GB 12523-2025	《建筑施工噪声排放标准》	70	55

施工期及营运期水下噪声排放标准参照《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T0341-2022）中附录 A3 的影响阈值。

表 2.5.2-4 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值

听力分组	非脉冲噪声		脉冲噪声	
	TTS	PTS	TTS	PTS
低频鲸目	179 dB SEL _w ^a	199 dB SEL _w	168 dB SEL _w 或 213 dB SPL _{pk} ^b	183 dB SEL _w 或 219 dB SPL _{pk}
高频鲸目	178 dB SEL _w	198 dB SEL _w	170 dB SEL _w 或 224 dB SPL _{pk}	185 dB SEL _w 或 230 dB SPL _{pk}
超高频鲸目	153 dB SEL _w	173 dB SEL _w	140 dB SEL _w 或 196 dB SPL _{pk}	155 dB SEL _w 或 202dB SPL _{pk}
海牛目	186 dB SEL _w	206 dB SEL _w	175 dB SEL _w 或 220 dB SPL _{pk}	190 dB SEL _w 或 226 dB SPL _{pk}
海豹类食肉目	181 dB SEL _w	201 dB SEL _w	170 dB SEL _w 或 212 dB SPL _{pk}	185 dB SEL _w 或 218 dB SPL _{pk}
其他海洋食肉动物	199 dB SEL _w	219 dB SEL _w	188 dB SEL _w 或 226 dB SPL _{pk}	203 dB SEL _w 或 232 dB SPL _{pk}
^a SEL _w 宜按 B.5 计算。 ^b SPL _{pk} 宜按 B.3 计算。				

表 2.5.2-5 人为水下噪声对鱼类影响阈值

听力分组	致死或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS	声掩蔽	
无鱼鳔	219 dB SEL _{cum} ^a 或 213 dB SPL _{pk}	216 dB SEL _{cum} 或 213 dB SPL _{pk}	186 dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔，鱼鳔与听力无关	210 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	203 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	186 dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔，鱼鳔与听力相关	207 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	203 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	186 dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 高
				(远) 低	(远) 中等
卵和幼体	210 dB SEL _{cum} 或 207 dB SPL _{pk}	(近) 中等	(远) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

^a SEL_{cum} 宜按 B.4.2 计算。

2.5.2.4 固体废物污染控制标准

本项目的船舶生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的

船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由接收单位接收处理，不得倾倒入海。一般固废暂存、处置过程执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。

2.5.2.5 电磁辐射控制限值

根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中表 1 公众暴露控制限值，以 4000V/m 作为工频电场强度的控制限值，以 100 μ T 作为磁感应强度的控制限值。

2.6 评价工作等级和评价范围

2.6.1 评价等级

2.6.1.1 海洋生态环境影响评价等级

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）的规定，环境影响评价工作等级依据建设项目海洋生态环境影响类型和影响程度而确定。

本项目拟申请用海总面积为 222.1346 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 153.3893 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 68.7453 公顷，66kV 集电海缆总长度为 40.20km。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）判定等级，项目总用海面积大于 200 公顷，海洋生态评价等级为 1 级。66kV 海缆总长度为 40.20km，挖沟埋设管缆总长度小于 60km，海洋生态环境影响评价等级为 3 级。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中 5.1 “涉及多种影响类型的建设项目，应分别判定评价等级，取其中最高等级作为建设项目评价等级，并按照评价等级的要求开展海洋生态环境现状调查及影响预测工作”。因此，本项目海洋生态环境评价评价等级为 1 级，等级判断依据见表 2.6.1-1。

表 2.6.1-1 建设项目海洋生态环境影响评价等级判定表

影响类型 \ 评价等级		1	2	3
挖沟埋设管缆总长度 L (km) ^c		L $\geq$ 100	60 $\leq$ L<100	L<60
用海面积 S (hm ²)	其他用海 ^e	S $\geq$ 200	100 $\leq$ S<200	S<100
^c : 挖沟埋设管缆总长度以挖沟累积长度计。 ^e : 其他用海主要指海上风电、海上太阳能发电、海水养殖等开放式用海建设项目；不投加饵料的海水养殖项目，评价等级为 3 级。				

2.6.1.2 电磁环境环境影响评价工作等级

本工程风电机组发出电能通过 6 回 66kV 集电海底电缆接入东南侧与中广核江门川岛一海上风电项目合建的海上升压站，共同送出。海上升压站与送出海底电缆等作为单独项目进行核准立项建设，不在本次评价范围内。根据《电磁环境控制限值》

(GB8702-2014), 100kV 以下电压等级的交流输变电设施产生的电场、磁场、电磁场的设施属免于管理范围, 故本项目电磁环境不划定具体评价等级, 对电磁环境影响仅进行定性分析。

2.6.1.3 大气环境评价工作等级

项目营运期废气污染主要来自运维船舶燃油废气, 主要污染物为 NO_x 、 SO_2 、颗粒物等, 运维船舶出海频率小, 船舶燃油废气排放量小, 且为无组织排放。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018), 本项目环境空气的评价等级为三级。

2.6.1.4 鸟类生态、声环境评价工作等级

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》要求, 海上风电项目鸟类生态和声环境影响评价工作不划定具体评价等级。

2.6.1.5 环境风险评价等级

(1) 危险物质及工艺系统危险性 (P) 分级

① 危险物质数量与临界量比值 (Q)

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018), 环境风险评价工作等级划分为一级、二级、三级。根据建设项目涉及的物质及工艺系统危险性和所在地的环境敏感性确定环境风险潜势, 确定评价工作等级。风险潜势为IV及以上, 进行一级评价; 风险潜势为III, 进行二级评价; 风险潜势为II进行三级评价; 风险潜势为I, 可开展简单分析。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025) 附录表 G.1 危险物质临界量油类物质 (矿物油类, 如石油、汽油、柴油等; 生物柴油等) 临界量为 100t (船舶在线量按单个船舶所载货油或船用燃料油全部舱容的数量确定)。

本项目施工期施工船舶最大吨位为 12464t 甲板货船 (载货量 19000t), 参照《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T1143-2017) 附录 C 中表 C.6, 载货量 19000t 甲板货船通过内插法计算 (燃油总舱容 $= (19000-10000) \times (2340-520) / (30000-10000) + 520$) = 1339 m^3 , 燃油总舱容 1339 m^3 , 载油率为 80%燃油总量 1071.2 m^3 。参考《船用燃料油》(GB17411-2015), 燃油密度按 900 kg/m^3 , 计算则本项目施工期 $Q=1071.2 \times 0.9/100=9.64$, $1 < Q < 10$ 。

项目营运期每台风机润滑油约为 0.05t/台, 每台风机变压器带油量为 5~6t, 项

目共 23 台风机，则风电场总的储油量不超过 139.15t。250 吨级小型运维船最大载油量约为 15t，则 $Q_{\text{营运期}} = (139.15 + 15) / 100 = 1.54$ 。

②行业及生产工艺（M）

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

表 2.6.1-2 行业及生产工艺（M）

行业	评估依据	分值
石化、化工、医药、轻工、化纤、有色冶炼等	涉及光气及光气化工艺、电解工艺（氯碱）、氯化工艺、硝化工艺、合成氨工艺、裂解（裂化）工艺、氟化工艺、加氢工艺、重氮化工艺、氧化工艺、过氧化工艺、胺基化工艺、磺化工艺、聚合工艺、烷基化工艺、新型煤化工工艺、电石生产工艺、偶氮化工艺	10/套
	无机酸制酸工艺、焦化工艺	5/套
	其他高温或高压，且涉及危险物质的工艺过程 a、危险物质贮存罐区	5/套（罐区）
管道、港口/码头等	涉及危险物质管道运输项目、港口/码头等	10
石油天然气	石油、天然气、页岩气开采（含净化），气库（不含加气站的气库），油库（不含加气站的油库）、油气管线 b（不含城镇燃气管线）	10
其他	涉及危险物质使用、贮存的项目	5
a 高温指工艺温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，高压指压力容器的设计压力 $(P) \geq 10.0\text{ MPa}$ ； b 长输管道运输项目应按站场、管线分段进行评价。		

本项目为海上风电工程，属于上表中的其他行业，涉及危险物质使用、贮存， $M=5$ ，则行业及生产工艺分级为 M4。

③危险物质及工艺系统危险性（P）分级

根据危险物质数量与临界量比值（Q）和行业及生产工艺（M），按照下表确定危险物质及工艺系统危险性等级（P）。本项目 $Q_{\text{施工期}}=9.64$ ， $Q_{\text{营运期}}=1.54$ ，行业及生产工艺为 M4，根据下表可知，本项目危险物质及工艺系统危险性为 P4。

表 2.6.1-3 危险物质及工艺系统危险性等级判断（P）

危险物质数量与临界量比值（Q）	行业及生产工艺（M）			
	M1	M2	M3	M4
$Q \geq 100$	P1	P1	P2	P3
$10 \leq Q < 100$	P1	P2	P3	P4
$1 \leq Q < 10$	P2	P3	P4	P4

（2）环境敏感程度（E）的分级判定

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录表 G.3 环境敏感程度（E）的分级，依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，分为三种类型，E1 为环境高度敏感区，E2 为环境中度敏感区，E3 为环境低度敏感

区。分级原则见表 2.6.1-4。

表 2.6.1-4 环境敏感程度分级

敏感性	环境敏感特征
E1	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第一类区域或重要敏感区
E2	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第二类区域或一般敏感区
E3	上述地区之外的其他地区

根据上文 2.5.1 节可知，项目海水水质涉及功能区类别按一类区进行评价，根据表 2.6.1-4 判定，项目环境敏感程度分级为 E1。

(3) 环境风险潜势划分

根据以上分析，本项目海洋环境敏感程度为 E1，建设项目涉及的物质和工艺系统的危险性为 P4，按照表 2.6.1-5 确定地表水环境风险潜势为 III。

表 2.6.1-5 建设项目环境风险潜势划分

环境敏感程度 (E)	危险物质及工艺系统危险性 (P)			
	极高危害 (P1)	高度危害 (P2)	中度危害 (P3)	轻度危害 (P4)
环境敏感程度 (E1)	IV+	IV	III	III
环境敏感程度 (E2)	IV	III	III	II
环境敏感程度 (E3)	III	III	II	I

注：IV+为极高环境风险

(4) 评价工作等级

据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018) 中“评价工作等级划分”表确定评价工作等级，项目环境风险潜势为 III，环境风险评级工作等级为二级。

表 2.6.1-6 评价工作等级划分

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	—	二	三	简单分析*

备注：*是相对于详细评价工作内容而言，在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明。

因此，根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)、《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025)，本项目环境风险潜势为 III，环境风险评价等级为二级。

2.6.1.6 生态环境评价等级

本项目为海上风电项目，属于海洋工程，项目不涉及陆域建设内容，根据《环境影响评价技术导则生态影响》(HJ19-2022)，涉海工程评价等级判定参照《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025) 表 1 要求，生态评价等级定为 1 级。综上，本项目将生态环境影响评价等级定为 1 级。

2.6.2 评价范围

2.6.2.1海洋生态环境影响评价范围

项目海洋生态环境评价评价等级为 1 级，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），确定本项目评价范围为以场址外扩 15km 包络范围，评价海域面积约 1471.82km²，评价范围控制点坐标详见表 2.6.2-1，评价范围详见图 2.6.2-1。

表 2.6.2-1 海洋环境评价范围控制点坐标表

序号	经度	纬度
1	20°59'20.938"	112°08'42.901"
2	20°59'23.031"	112°32'28.953"
3	21°18'42.046"	112°32'31.564"
4	21°18'43.195"	112°08'39.407"

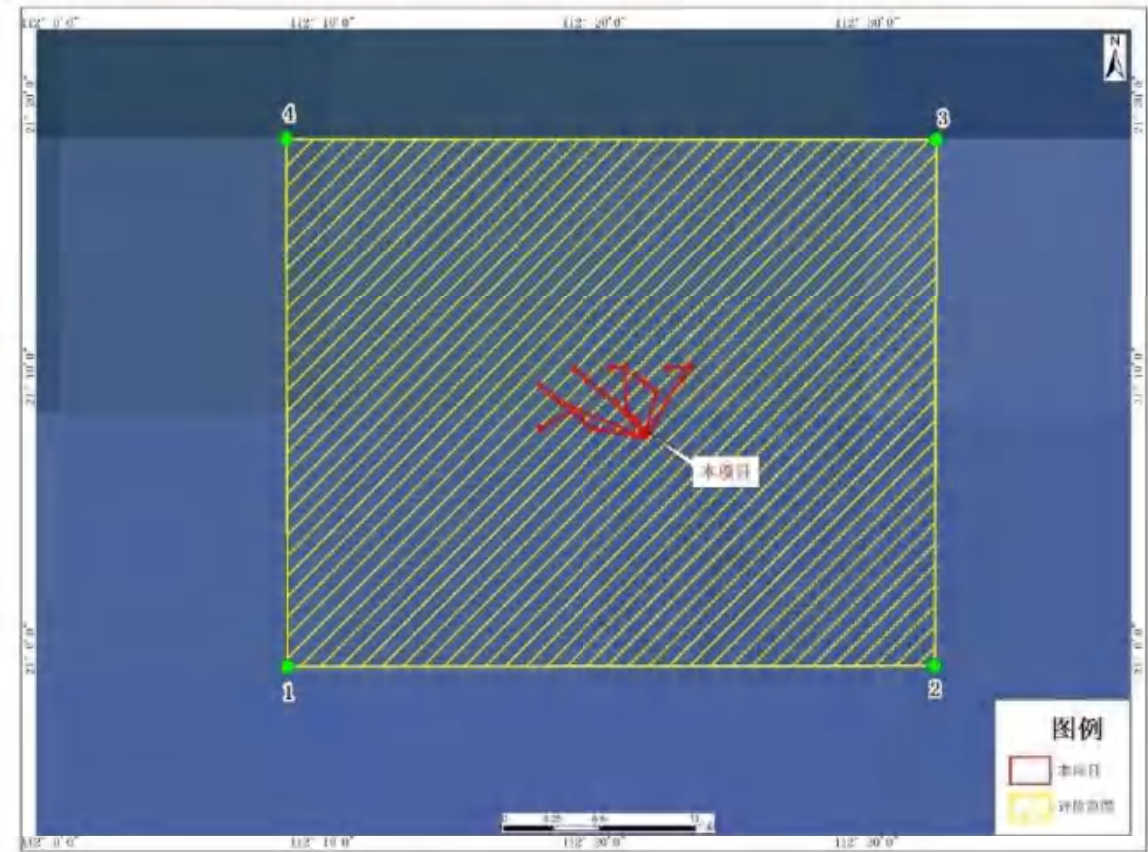


图 2.6.2-1 项目评价范围图

2.6.2.2电磁环境影响评价范围

本项目电磁环境不划定具体评价等级，故不需设置电磁环境影响评价范围。

2.6.2.3大气环境影响评价范围

项目大气环境评价等级为三级，根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）关于评价范围的规定，三级评价项目不需设置大气环境影响评价范

围。

2.6.2.4 鸟类生态环境评价范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》要求，“鸟类现状调查评价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”，结合项目可能扰动的鸟类及其生境范围，确定本项目鸟类生态环境评价范围与海洋评价范围一致。

2.6.2.5 声环境影响评价范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》要求，水下声环境影响评价范围与海洋生态评价范围一致；水上声环境影响评价范围与水下声环境影响评价范围一致，即声环境影响评价范围与海洋生态评价范围一致。

2.6.2.6 环境风险评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），海洋生态环境风险评价范围根据评价等级合理确定，一般不小于相应评价等级的生态环境影响评价范围。一、二级评价项目的评价范围分别根据危险物质 72h、48h 扩散范围确定，可根据海域特征、生态敏感区分布情况等做适当调整。

项目海洋环境风险评价等级为二级，评价范围为燃料油溢油 48h 扩散范围。

2.6.2.7 生态环境评价范围

根据《环境影响评价技术导则生态影响》（HJ 19-2022）和《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）要求，确定本项目生态环境影响评价等级为 1 级。评价范围与海洋环境影响评价范围一致。

2.6.3 小结

本项目各要素评价等级和评价范围见下表。

表 2.6.3-1 项目评价范围汇总

序号	环境要素	评价等级	评价范围
1	海洋生态环境	1 级	以场址外扩 15km 包络范围，评价海域面积约 1471.82km ² 。
2	电磁环境	/	不需设置电磁环境影响评价范围
3	大气环境	三级	不需设置大气环境影响评价范围
4	声环境	/	与海洋环境影响评价范围一致
5	鸟类生态环境	/	与海洋环境影响评价范围一致
6	环境风险	二级	燃料油溢油 48h 扩散范围
7	生态环境	1 级	与海洋环境影响评价范围一致

2.7 主要环境敏感目标及社会活动关注区

2.7.1 主要环境敏感目标

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》和《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中对环境敏感区的定义，通过资料收集和查阅《中国海洋渔业水域图》（第一批）南海区渔业水域图（第一批）、《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》中“三区三线”划定成果等，确定本项目的环境敏感区与环境保护目标主要有：“三区三线”（优先保护单元）、“三场一通道”南海底层、近底层鱼类产卵场中长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场等，各环境敏感目标与项目的最短距离、保护目标及环境保护要求见表 2.7.1-1，各环境敏感区与本项目的地理位置关系见图 2.7.1-1。项目所在海域“三场一通”情况见图 4.2.9-1~图 4.2.9-4。

表 2.7.1-1 评价范围内环境保护目标

敏感目标		位置关系	保护目标	环境保护要求
类型	名称			
《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》中“三区三线”划定成果、《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号）	“三区三线”划定成果中的生态保护红线（优先保护单元）	东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区 西北侧，约 7.6km	珍稀濒危物种（中华白海豚、海龟等）	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），生态保护红线内自然保护区核心区保护区内，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线内自然保护区、风景名胜区分区、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。
《中国海洋渔业水域图（第一批）》	三场一通道	南海底层、近底层鱼类产卵场-长尾大眼鲷产卵场	长尾大眼鲷产卵场	产卵期为 5~7 月
		南海底层、近底层鱼类产卵场-金线鱼产卵场	金线鱼产卵场	产卵期为 3~8 月
		南海北部幼鱼繁育场保护区	幼鱼繁育场	保护期为 1~12 月
珍稀物种		中华白海豚	中华白海豚及其生境	/
		江豚	江豚及其生境	/
		海龟	海龟及其生境	/
鸟类资源		鸟类	鸟类	/

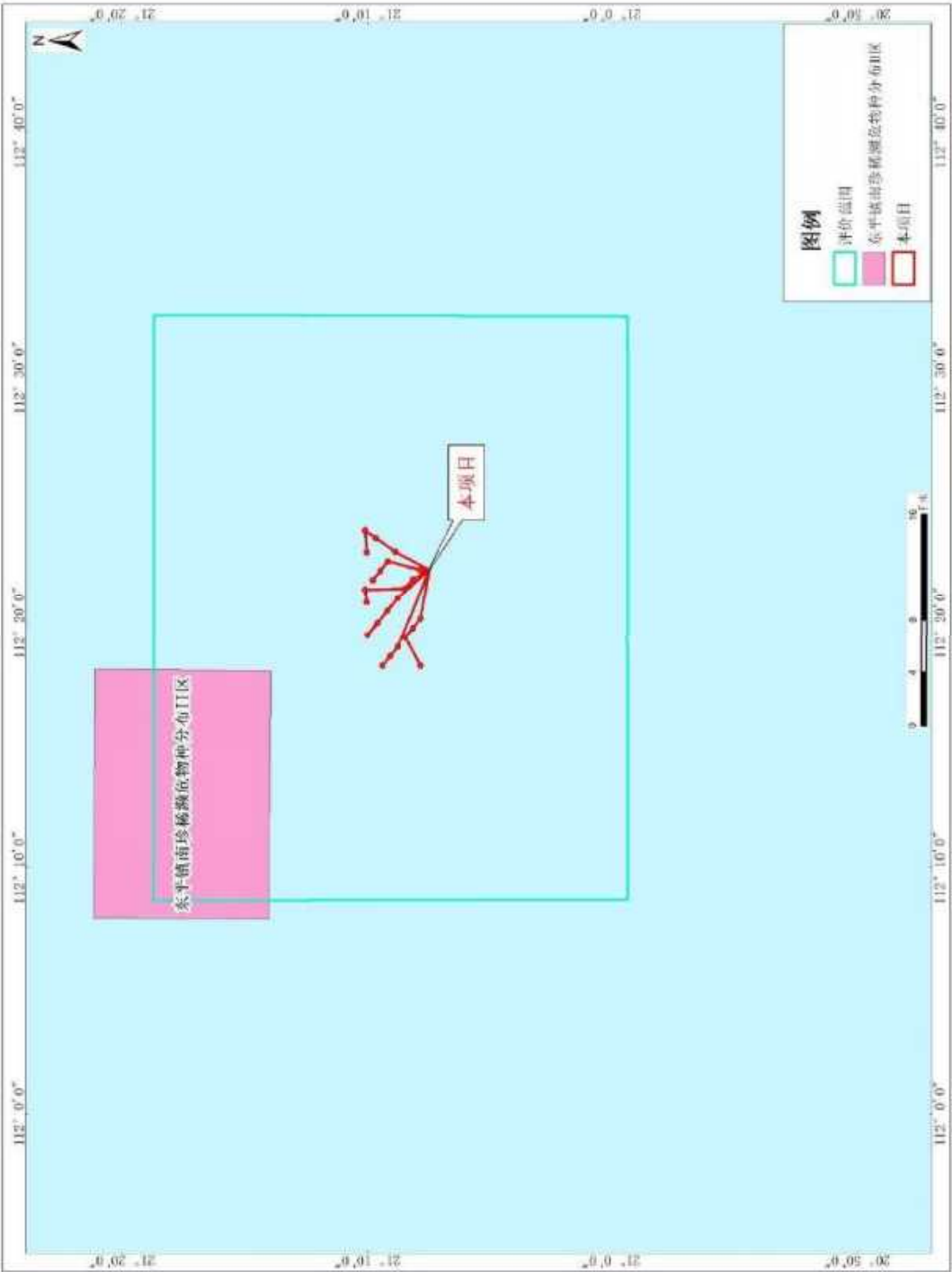


图 2.7.1-1 评价范围内环境保护目标分布图

2.7.2 社会活动关注区

本项目周边的社会活动关注区（除已纳入环境敏感区的）见表 2.7.2-1 所示，主要包括近岸海域监测国控站位、风电场、习惯航路，社会活动关注区分布见图 2.7.2-1 所示。

表 2.7.2-1 评价范围内社会活动关注区

社会活动关注区		位置关系	关注目标
类型	名称		
近岸海域监测国控站位	GDN17011	西北侧，约 12.0km	近岸海域海水水质
风电场	中广核阳江帆石一海上风电场项目	西侧，约 0.7km	风机和海底电缆
	中广核阳江帆石二海上风电场项目	西侧，约 0.3km	
	中广核江门川岛一海上风电项目	南侧，紧邻	
	华能阳江三山岛一海上风电场项目	西南侧，约 25.7km	
	国电投阳江三山岛三海上风电场项目	西南侧，约 20.6km	
	中广核阳江三山岛五海上风电项目	西侧，约 15.9km	
航路	粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道	北侧，约 1.8km	通航环境、水深
	广东沿海外航路	南侧，约 17.7km	
	广东沿海内航路	北侧，约 15.8km	

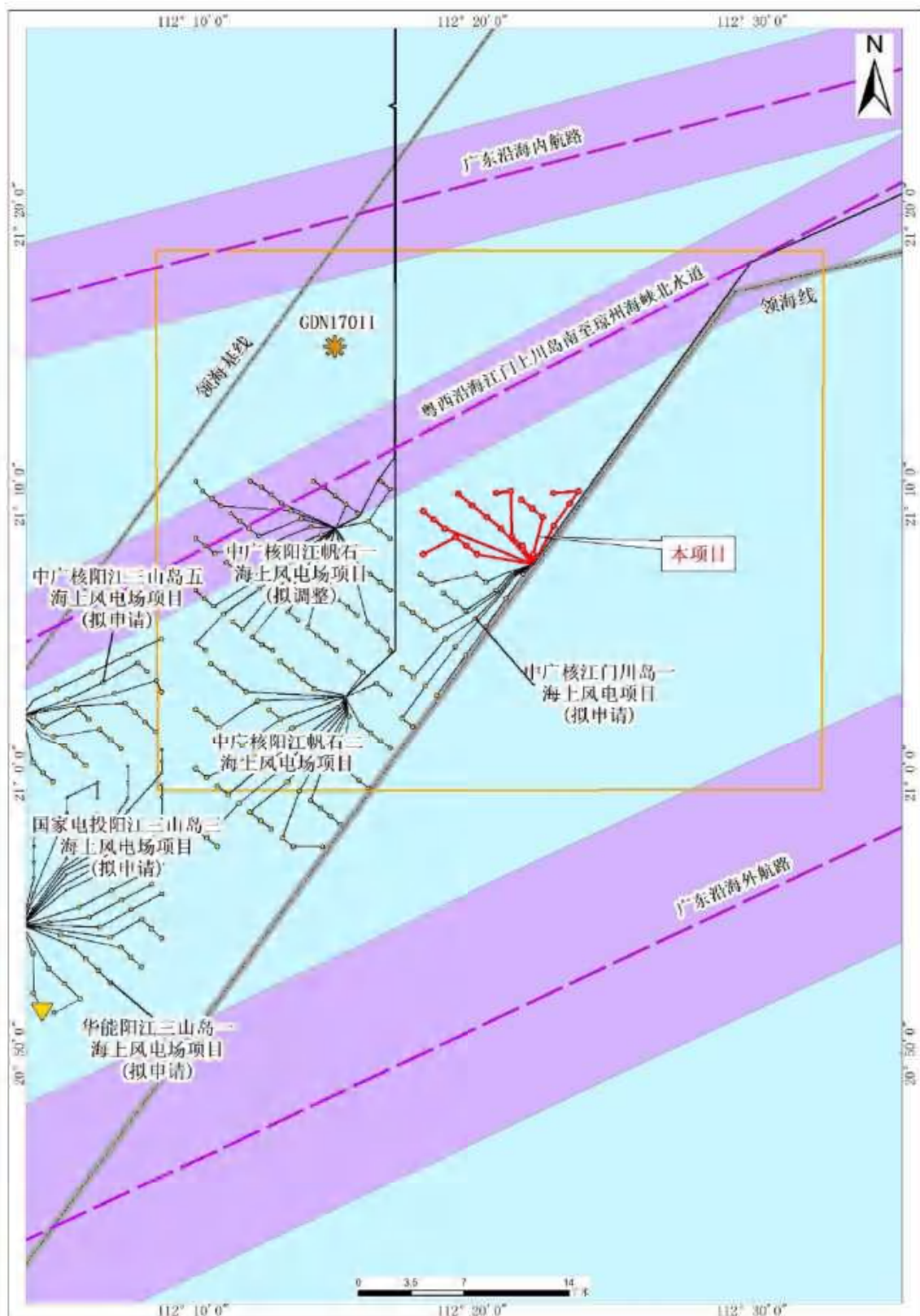


图 2.7.2-1 项目评价范围内社会活动关注区图

2.7.3 环境风险评价范围内的主要环境敏感目标

环境风险评价范围内的主要环境敏感目标详见表 2.7.3-1。

表 2.7.3-1 环境风险评价范围内的主要环境敏感目标

序号	敏感目标	类型	与项目距离	保护目标
1	东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区	“三区三线”（优先保护单元）	西北侧，约 7.6km	海洋生态系统健康和 安全
2	大帆石特别保护海岛	“三区三线”（优先保护单元）	北侧， 24.1km	海岛自然地形、地貌
3	阳江南鹏列岛海洋生态地方级自然保护区	“三区三线”（优先保护单元）	41.3km	海洋生态、渔业资源、海洋生物多样性
4	广海湾重要渔业资源产卵场	“三区三线”（优先保护单元）	北侧， 38.7km	渔业资源
5	南海底层、近底层鱼类产卵场-长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场	三场一通道	项目位于	产卵场
6	南海北部幼鱼繁育场保护区	三场一通道	北侧，约 8.1km	幼鱼繁育场

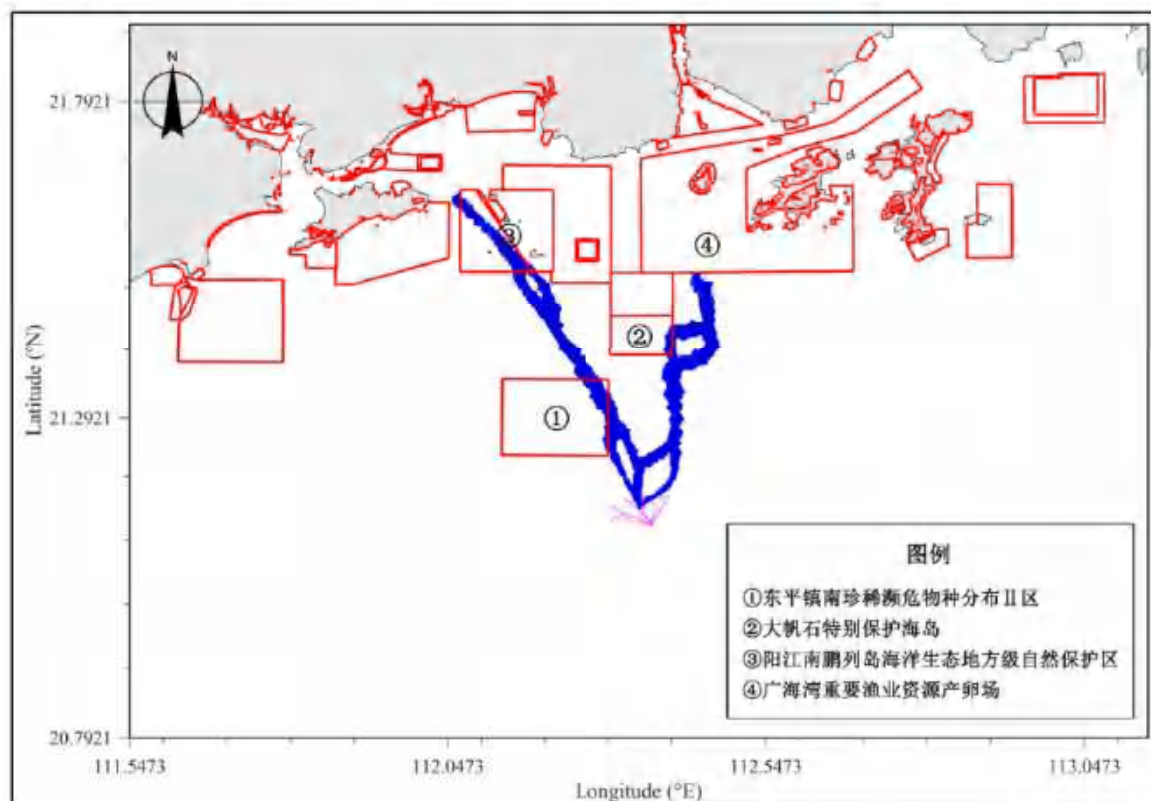


图 2.7.3-1 环境风险评价范围内的主要环境敏感目标分布图

3 工程分析

3.1 工程概况

3.1.1 项目基本情况

项目名称：国能江门川岛二海上风电项目

建设单位：国能（江门）风能开发有限公司

建设位置：项目位于江门市西南侧海域、西侧紧邻阳江帆石场址，东南侧为领海线。场址东北侧距离下川岛约 50km，距离上川岛约 60km，距离北侧珍稀物种保护区超过 7km，距离大帆石海洋保护区超过 24km，距离南侧川岛一场址约 1km，详见图 3.1-1，场址面积约 52km²，风电场场址水深在 43m~46m 之间，风电场中心点地理坐标：112°20'59.544"E，21°8'58.184"N。项目地理位置图见图 3.1.1-1，风电场场址坐标见表 3.1-1。

建设性质：新建项目

项目投资：工程总投资 282484 万元，其中环保投资 1300 万元。

建设规模：本项目规划装机容量为 400MW，拟建设 23 台 18MW 的风电机组，6 回 66kV 集电海底电缆，海底电缆总长度为 40.20km。

年上网电量：项目年净发电量 1691.238Wh，年上网电量为 1285.341GWh，年等效满负荷小时数为 3105h。

用海情况：项目申请用海总面积 222.1346 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 153.3893 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 68.7453 公顷；项目用海不占用岸线。

建设周期：12 个月。

表 3.1-1 项目场址坐标

所属地市	场址面积 (平方公里)	角点	北纬 (N)	东经 (E)
江门市	52	1	21°10'30.00"	112°17'22.20"
		2	21°10'30.00"	112°24'18.32"
		3	21°07'45.39"	112°22'20.65"
		4	21°07'45.39"	112°17'22.20"

表 3.1-2 项目工程组成表

工程类别		工程内容
主体工程	风电机组	23 台 18MW 的风电机组
	海底电缆	6 回 66kV 集电海底电缆，海底电缆总长度为 40.2km
辅助	辅助桩	辅助桩直径为 2.2m，壁厚约 35mm，平均入泥深度取 30m。每根

工程			辅助桩打桩施工时间约 2 小时。
环保工程	施工期	施工悬浮物、罐浆溢流	采用较新、较先进、较环保的施工船舶和设备等。
		船舶生活污水、含油污水	施工船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放；(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。船舶含油污水收集上岸交由有处理能力的单位处理。
		施工噪声	施工船舶采用低噪声船舶，应有效控制主辅机噪声，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛鸣放。
		施工废气	选用符合标准的、含硫量低的燃料，施工单位使用的施工船舶应符合《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）中第二阶段船机排气污染物排放限值。
		施工固废	船舶生活垃圾由有处理能力的单位接收处理；废弃沉船、渔具等上岸处理；废弃焊头、包装和废金属等上岸回收处理；钢管桩清淤淤泥可运至集控中心，参与集控中心的土方平衡，若集控中心无法消纳钻孔泥沙，交由有处理能力的企业进行处理。
	运营期	生活污水、船舶含油污水	船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放；(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。船舶含油污水收集上岸交由有处理能力的单位处理。
		运营废气	选用符合标准的、含硫量低的燃料，使用的施工船舶应符合《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）中第二阶段船机排气污染物排放限值。
		噪声	风机机组应避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。
		固体废物	风机运行和维护等产生的废油、油渣油垢等进行收集，委托有相应资质的单位回收处置；废旧蓄电池收集交由厂家回收处理；运维人员生活垃圾统一收集在运维船舶上，返回时收集交船舶污染物接受单位处理。
依托工程	海上升压站、海上无功补偿站、海缆登陆点和送出海缆等依托海上送出工程范围（单独立项建设，不在本次评价范围内，目前送出工程处于环评编制阶段，未开工。）		
临时工程	无		



图 3.1.1-1 项目地理位置图

3.1.2 项目附近已经批准和正在申请海上风电场项目

本项目附近已经批准和拟申请海上风电场项目有中广核阳江帆石一海上风电场项目、中广核阳江帆石二海上风电场项目、中广核江门川岛一海上风电项目。

表 3.1.2-1 项目附近已经批准和拟申请海上风电场项目的建设进度一览表

场址名称	与本项目相对位置和最近距离	施工计划	目前环评进展	备注
中广核阳江帆石一海上风电场项目	西侧，约 2.1km	2024 年 12 月开工，施工期 18 个月	已取得环评批复	正在建设
中广核阳江帆石二海上风电场项目	西侧，约 1.6km	2025 年 9 月开工，施工期 18 个月	已取得环评批复	正在建设
中广核江门川岛一海上风电项目	南侧，紧邻	计划 2026 年 6 月开工，施工期 12 个月	处于环评送审阶段	未建

3.2 建设必要性

(1) 适应国家新能源政策和发展趋势

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

本风电场位于江门市台山市南侧海域，离岸最近距离约 60km，是江门以及广东重要的海上风电项目，其建设能够适应国家新能源发展的政策需求，有效促进节能减排。

(2) 推动可再生资源开发利用，有利于经济与环境的协调发展

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

本项目的建设有助于开发广东海上风能资源，提高地区能源供应能力，缓解电力工业的环保压力，助力地区经济的低碳持续发展，社会效益显著。

(3) 有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展

目前，广东省海上风电尚处于起步阶段，本风电场位于江门市台山市南侧海域，

具备良好的开发条件。项目的开发建设，有利于加快海上风电技术水平的发展，有利于促进海上风电设备国产化，有利于促进海上风机基础选型与施工技术的创新。本项目的开发将以点带面带动全省海上风电开发，为后续近海深水区海上风电建设和广东省海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

（4）开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展

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

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

3.3 总平面布置

本项目拟布置 23 台 18MW 的风电机组，采用阵列式布置。66kV 集电海缆采用链型拓扑结构，共 6 个回路，各个回路考虑功率分布平衡，连接 3~4 台风机，且不交叉不重叠。项目总平面布置详见图 3.3-1。

根据《广东省能源局关于征求广东省海上风电配套输电工程布局方案（2024-2028 年）》（征求意见稿）“坚持集约建设，节约资源。统筹海陆输电方案，通过共建共用海上风电海上变电站、海上输电通道、海缆登陆点、陆上集控站、运营维护基地以及陆上配套送出线路等方式，最大限度减少用地、用海及岸线资源，有效降低海上风电输电工程建设成本。”本项目与中广核江门川岛一海上风电项目共建共用海上升压站、海上无功补偿站、送出海底电缆、海缆登陆点，海上升压站布置在江门川岛一、二海上风电场址中间预留的通道，海上无功补偿站布置在送出海缆中部区域。海缆由川岛场址东北侧边界出发，向东北方向延伸，到达江门台山乌猪岛地方级海洋自然公园东南角，而后从该红线区东侧向北延伸，期间避开锚地和江门中华白海豚地方级自然保护区，到达登陆点位置。预选登陆点位于台山市赤溪镇铜鼓湾北侧。海上升压站、海上无功补偿站、送出海底电缆等初步计划位置、路径详见图 3.3-2，海上升压站、海上无功补偿站、送出海底电缆和陆上集控中心作为单独项目进行核准立项建设，不在本次评价范围内。目前送出工程处于环评编制阶段，



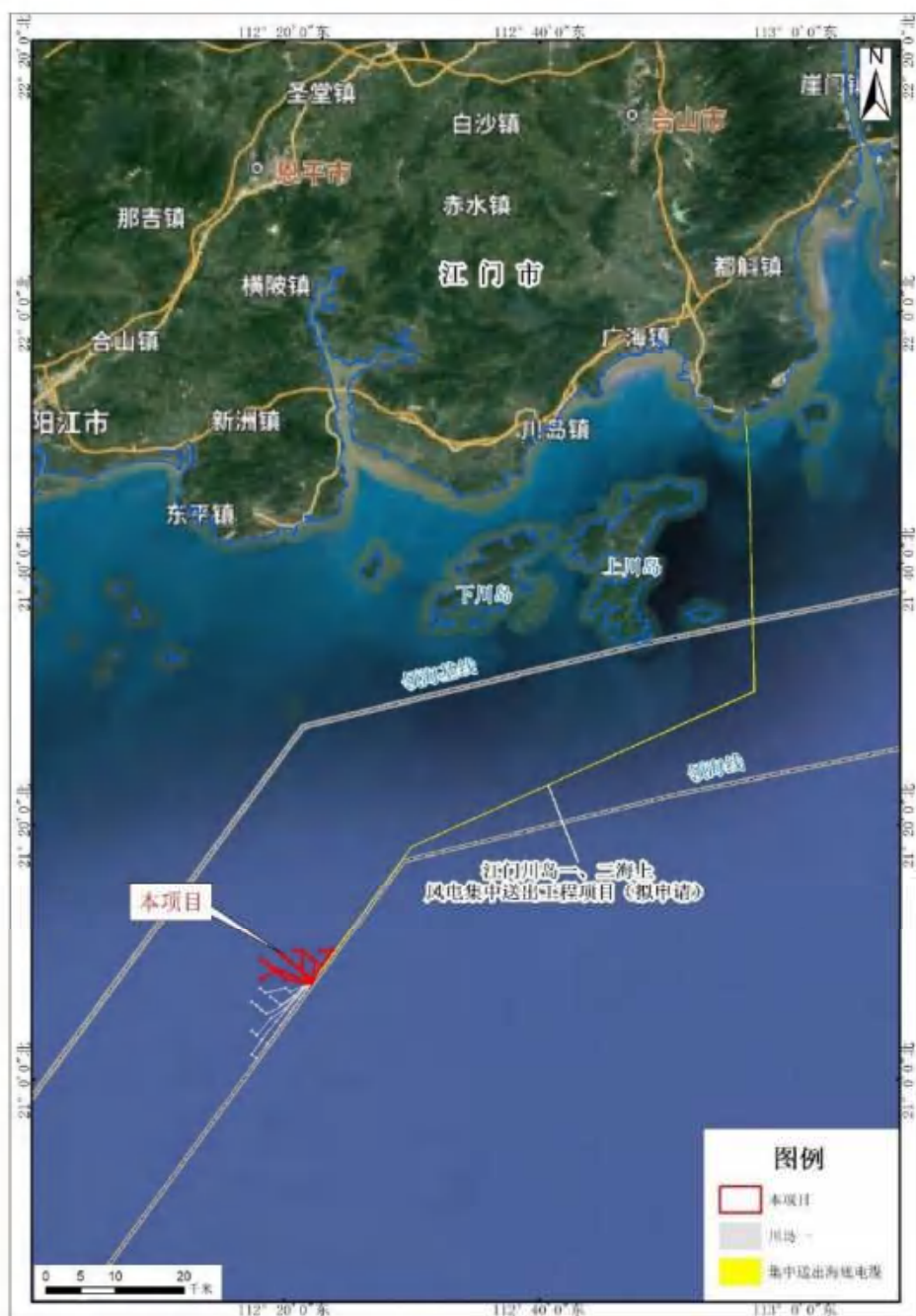


图 3.3-2 送出海底电缆初步计划位置、路径图

3.3.1 风电机组

现阶段风机布置主要从发电效益角度出发，充分利用风能资源，且不和用海及环保冲突。本风电场风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 7~14 倍叶轮直径，垂直主导风向 3~6 倍叶轮直径的范围进行试算（后排风机间距可按海域情况加大），并适当进行角度的偏转，调整个别风机点位，寻找风电场总体发电效益最优的方案。

本项目风机排布示意图详见图 3.3.1-1。风向分布比较集中，主导风向为 E，主

导风能方向为ENE。23台18MW风电机组各排风机基本垂直于主导风向，采用6列变间距布置的方案，列间距为5.6~7.8D，行间距为3.0~4.0D。

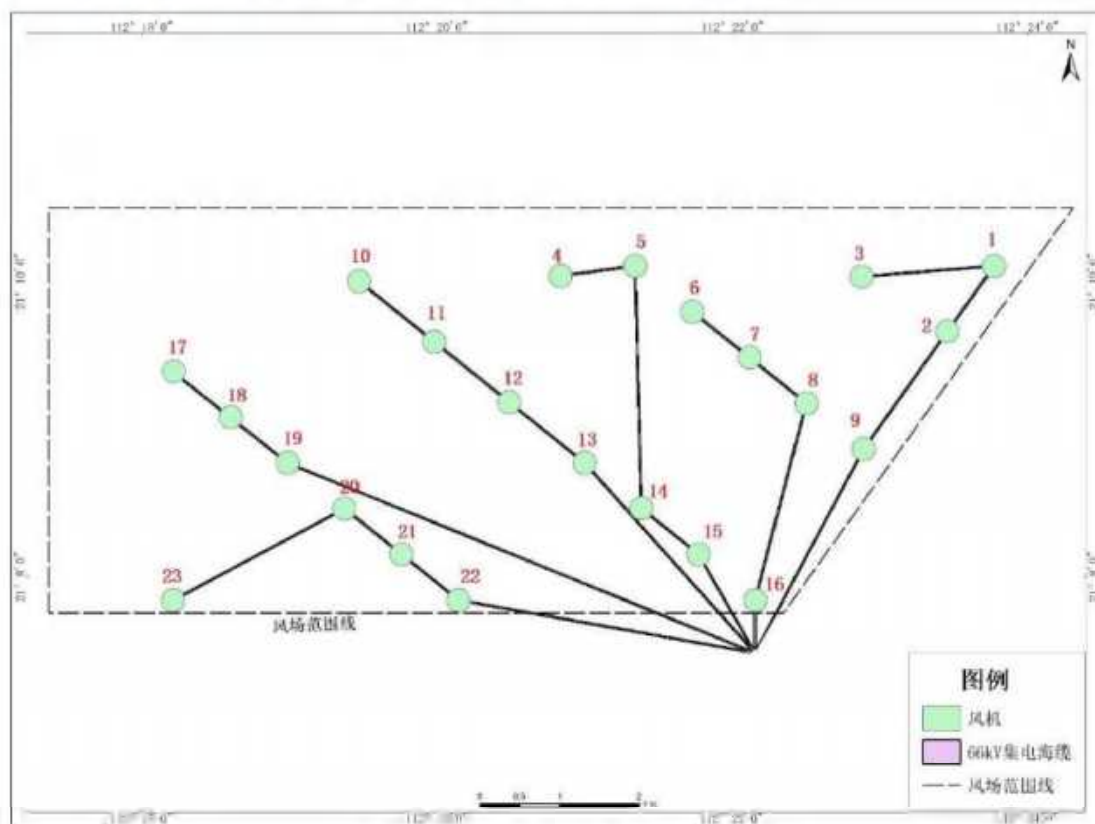


图 3.3.1-1 项目平面布置示意图

表 3.3.1-1 项目各风机组的中心坐标一览表

风机序号	纬度	经度
1	21°10'06.17841"N	112°23'46.26015"E
2	21°09'39.71068"N	112°23'27.33285"E
3	21°10'01.90736"N	112°22'52.36402"E
4	21°10'02.11395"N	112°20'50.02782"E
5	21°10'06.22767"N	112°21'20.35537"E
6	21°09'47.64163"N	112°21'43.57873"E
7	21°09'29.08757"N	112°22'06.76612"E
8	21°09'10.49991"N	112°22'29.98623"E
9	21°08'51.91173"N	112°22'53.17008"E
10	21°09'59.89967"N	112°19'28.18296"E
11	21°09'35.40854"N	112°19'58.73896"E
12	21°09'10.88377"N	112°20'29.25720"E
13	21°08'46.38984"N	112°20'59.80757"E
14	21°08'27.80496"N	112°21'22.99376"E
15	21°08'09.18705"N	112°21'46.14338"E
16	21°07'50.60056"N	112°22'09.32632"E
17	21°09'23.39188"N	112°18'12.96929"E
18	21°09'04.84603"N	112°18'36.09415"E
19	21°08'46.29938"N	112°18'59.21740"E
20	21°08'27.71914"N	112°19'22.37339"E
21	21°08'09.17087"N	112°19'45.49340"E
22	21°07'50.62180"N	112°20'08.61181"E

风机序号	纬度	经度
23	21°07'50.61459"N	112°18'12.71199"E

3.3.2 66kV 集电线路海缆

本项目集电海缆采用 66kV 三芯电缆，集电系统接线拓扑布局采用链形拓扑结构。风机按 6 个回路布置，各个回路考虑功率分布平衡，连接 3~4 台风机，长约 40.20km，风机连接电缆不交叉重叠。66kV 集电海缆平面布置详见图 3.3.1-1。

3.4 工程结构方案

3.4.1 风电机组

(1) 风机机型

风电场机型选择应考虑适合风电场场址的风资源条件，有利于提高风电场的发电效益。本项目根据场址风资源条件和风况特征及海上的特殊水文气象条件，结合国内外海上风机的认证状况、制造水平、技术成熟程度、运行业绩、设备制造的可行性和设备采购的积极性等，进行风电场机组型式选择，现阶段推荐单机容量为 18MW 的机型，风机参数特征详见表 3.4.1-1。

表 3.4.1-1 推荐机型风机参数特征表

项 目	单位	WTG1
机组认证	/	设计认证
额定功率	kW	18000
轮毂高度	m	172.9
设计等级	/	IEC S
生存环境温度	°C	-30~+50
运行环境温度	°C	-25~+40
叶片数	个	3
叶片长度	m	143
风轮直径	m	291.12
切入风速	m/s	3
切出风速	m/s	25
额定风速	m/s	12.3

(2) 风机基础

18MW 机型四桩导管架基础需布置 4 根钢管桩，根开为 32m，桩直径为 3.5m，壁厚为 40~55mm 之间，桩顶高程-36.0~-40.00m，平均钢管桩桩长约为 101m，平均入土深度约为 95m。整个场址采用同一种规格的导管架。导管架腿直径为 1.5-2.8m，主腿壁厚 40-80mm，过渡段壁厚最大 90mm，相邻导管腿之间通过 X 撑杆进行连接，共设置三层 X 撑，斜撑最大厚度约为 80mm，灌浆连接段长度约为 6m。导管架重量 2590t，钢管桩单根重 494t。四桩导管架基础结构图详见图 3.4.1-1 所示。

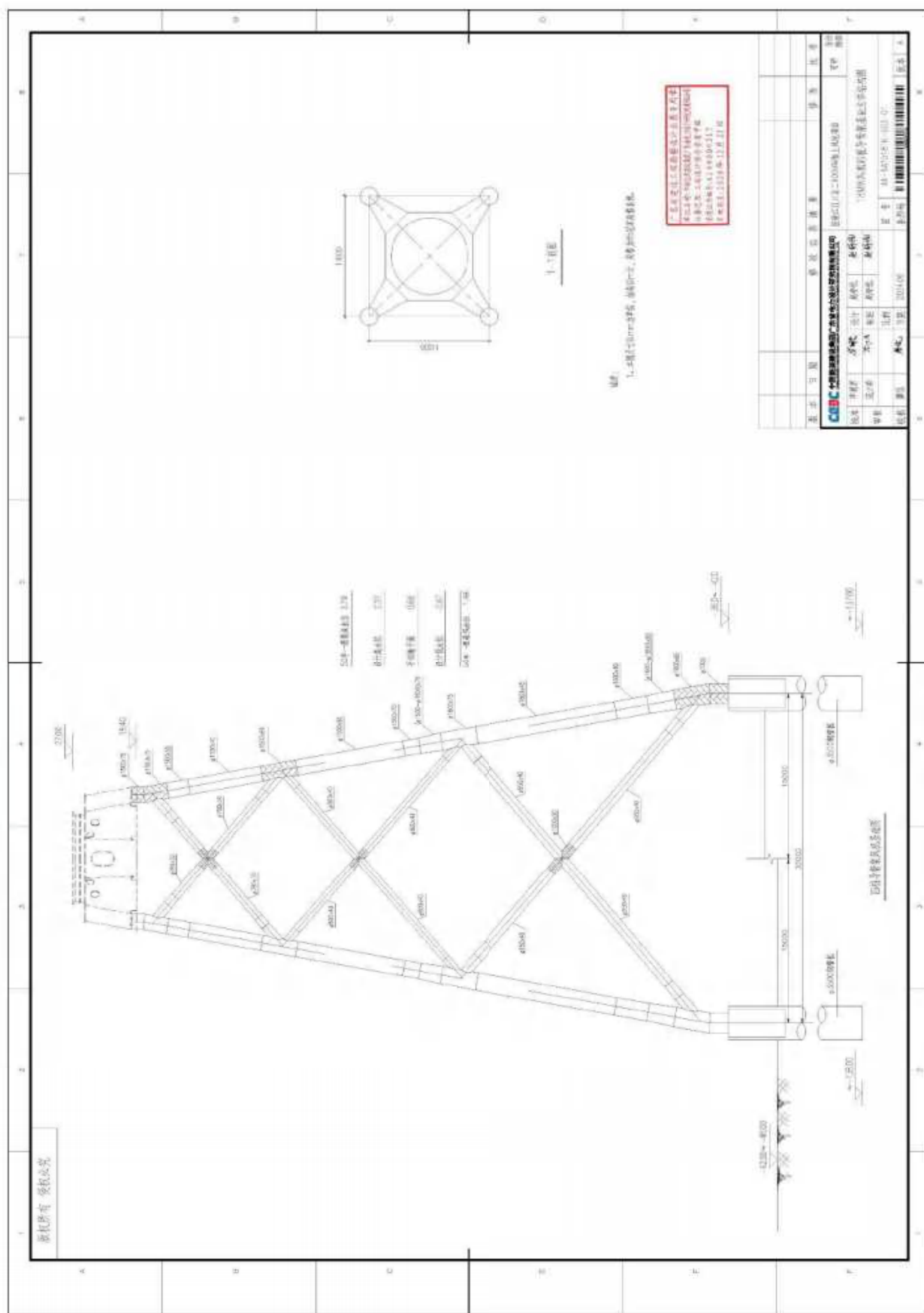


图 3.4.1-1 四桩导管架基础结构图

3.4.2 海底海缆结构

本项目 23 台 18MW 风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆长约 40.20km，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，电缆最大外径为 193mm。海缆结构型式见图 3.4.2-1。

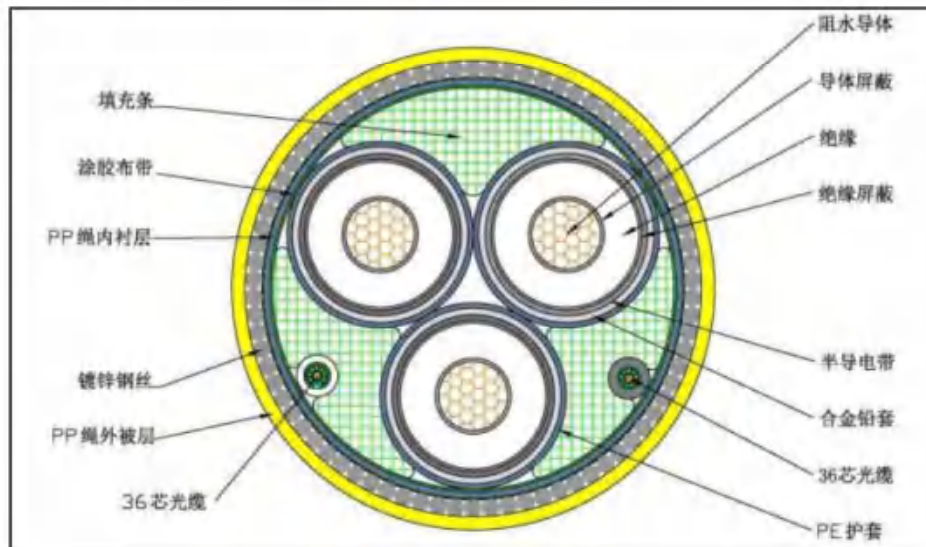


图 3.4.2-1 海缆结构型式图

3.4.3 其他设计

3.4.3.1 防腐设计

根据国内外海洋工程、港口工程防腐蚀设计经验，结合本工程风电场场址区域水环境特点，本工程风机基础采用物理防护与电化学保护的联合保护方式，同时考虑预留腐蚀裕量。

物理防护通过金属表面的绝缘处理，使金属与腐蚀介质隔离开。通常采用有着良好附着性、耐蚀性、抗渗性的材料，海工重防腐涂料所采用的一般如聚氨酯、环氧耐磨漆、环氧玻璃鳞片漆、环氧树脂漆、氟碳漆等，另外也有采用专门的海工包裹材料。

电化学防护是根据腐蚀微电池原理人为提高待保护材料电位来达到保护目的，通过在金属表面通以足够的阴极电流，使金属表面阴极极化，成为电化学电池中电位均一的阴极，从而防止其表面腐蚀的防腐技术，阴极保护措施一般适用于水下部位，对水位变动区也有一定的保护作用。考虑风机基础结构防腐蚀可靠性、风电场场址水环境条件和运行管理因素，本工程电化学防腐采用外加电流作为电化学保护方案。

用涂层或阴极保护时，钢结构不同部位的预留腐蚀裕量有所减少。根据《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》进行计算，并根据相关防腐蚀设计经验，大气区的钢结构单面腐蚀裕量为1.20mm，飞溅区（包含水位变动区）的钢结构单面腐蚀裕量为4.80mm，水下区的钢结构单面腐蚀裕量为1.44mm，泥下区的钢结构单面腐蚀裕量为0.85mm。

本工程现阶段推荐的防腐方案为考虑腐蚀裕量的基础上，大气区和飞溅区防腐方案为重防腐涂层，水下区防腐方案为阴极保护+涂层，泥下区防腐方案为阴极保护。

对海上风电场钢结构的腐蚀状况及防腐蚀效果应定期进行巡视检查和定期检测，并对海上风电场的部分风机基础进行电位监测。巡视检查周期宜为三个月，内容主要包括大气区、飞溅区涂层老化破坏状况及结构腐蚀状况，水下区阴极保护电位；定期检测周期一般为5年，可根据巡视检查结果的腐蚀状况适当缩短检测周期。检测应查明结构腐蚀程度，评价防腐蚀系统效果，预估防腐蚀系统使用年限，提出处理措施和意见。

3.4.3.2 防冲刷设计

海上风机基础常用的结构防冲刷处理方案有预留冲刷深度和采取防冲刷保护措施两种方法。其中，预留冲刷深度的办法可从结构设计方面解决冲刷造成的稳定、强度和变形的安全性影响，可靠性较高，本项目采用预留冲刷深度的设计方法，采用的预留冲刷深度暂定为1.5D（5.25m）。

3.5 工程施工方案

3.5.1 施工工艺及方法

3.5.1.1 风电机组基础施工

（1）基础钢结构的运输

① 导管架运输

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

导管架连接段场外运输均需利用10000t级以上自航驳船进行，每次装载2台，将装有导管架或连接段的驳船运送至风电场安装。

② 钢管桩运输

钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，采用滚装工艺，利用场内轨道、台车进行运输装船，采用 10000t 级以上运输货船运输，每次运输 6 或 8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础施工使用。钢管桩加工厂加工钢管桩不在本项目评价范围。

（2）测量工程

风机基础施工项目为外海施工作业项目，施工区域远离海岸线，常规测量无法直接进行作业，拟采用星站差分技术进行测量控制。

（3）常规桩沉桩施工

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

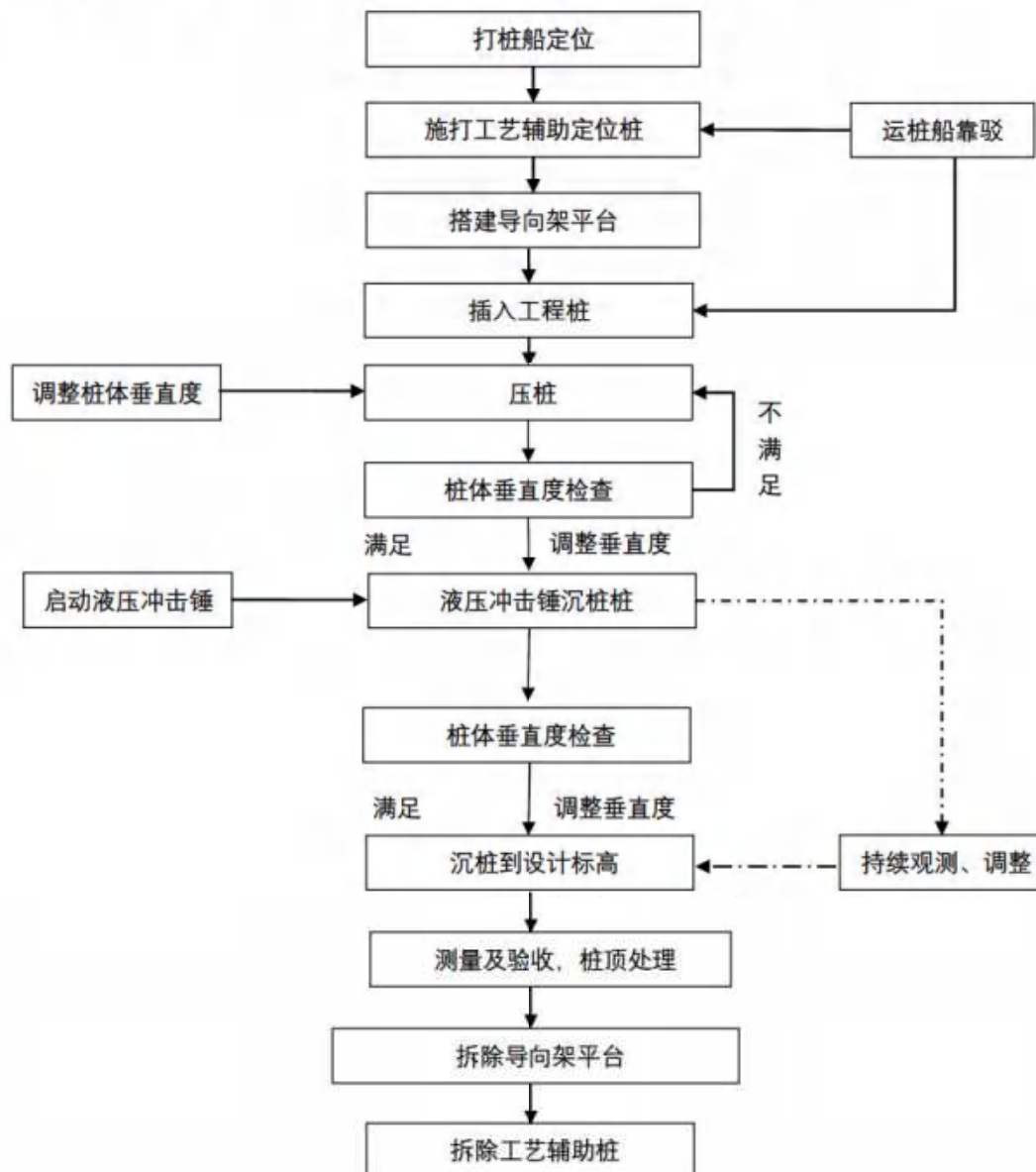


图 3.5.1-2 常规钢管桩沉桩施工工艺图

主要施工步骤:

①作业船抛锚、定位和安装导向架

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

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

定位架4个套筒根开30m，套筒长度10m，内径3520mm，钢桩直径3500mm，内间隙20mm，工艺定位架示意图详见图3.5.1-3，平面布置示意图详见图3.5.1-4。



图 3.5.1-3 工艺定位架示意图

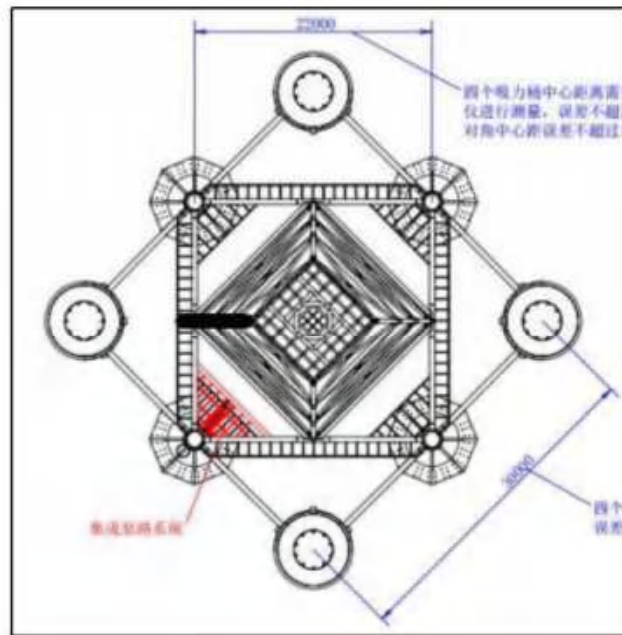


图 3.5.1-4 定位架平面布置示意图

②沉桩

钢管桩沉桩分为四个阶段：

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

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

第三阶段采用起重船吊离液压锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩。

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

③测量、验收

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

（4）上部基础结构安装

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

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

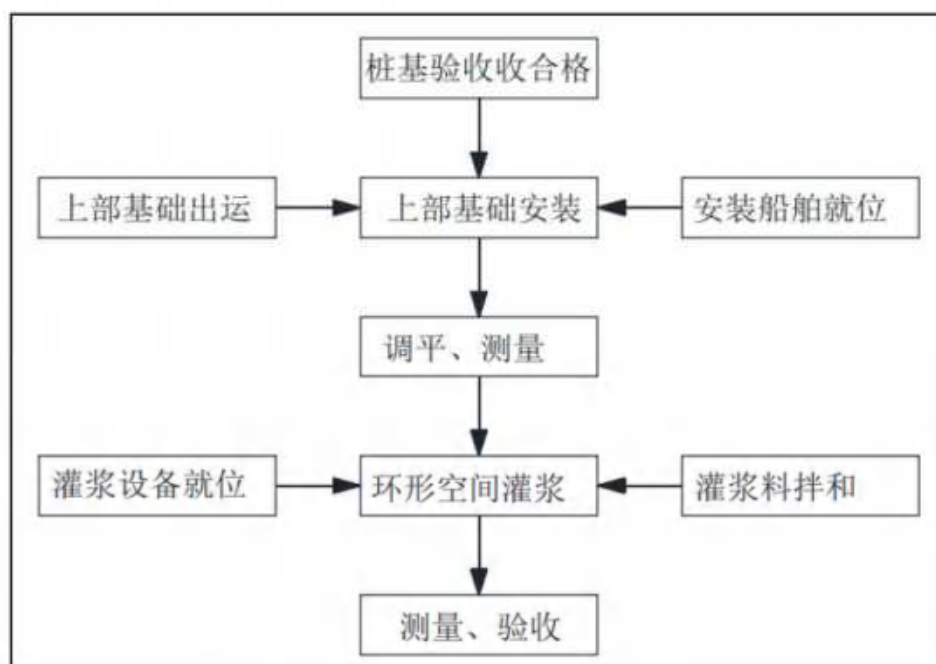


图 3.5.1-5 上部基础结构施工工艺流程图

主要施工步骤：

1) 上部基础海上吊装及调平施工

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

2) 灌浆施工

上部基础吊装完成后，灌浆工作立即开始→利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体→连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材→通过监控，当灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆→灌浆材料强度达标后，方可进入下一工序。高强灌浆料通过外购，单机位灌浆料约 55 方，由灌浆船运输至海上。

3.5.1.2 风电机组安装

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

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

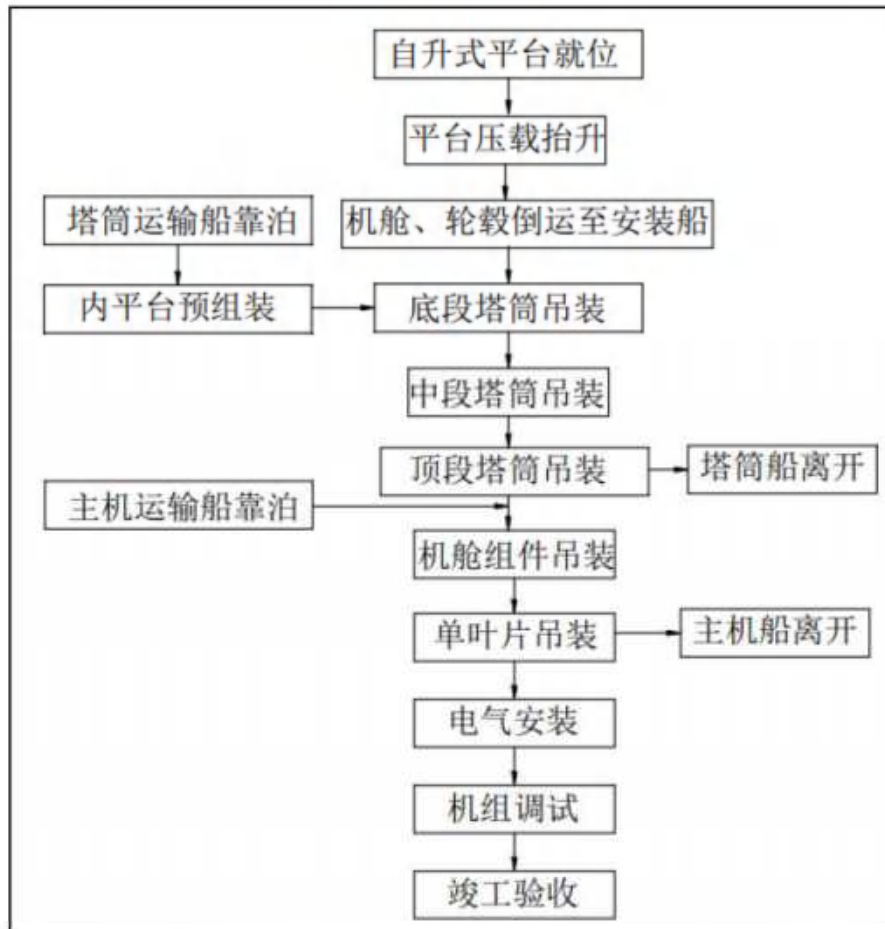


图 3.5.1-6 风机分体吊装安装施工工艺流程图

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

风机部件组装及海上运输：由生产厂家在陆上完成塔筒、机舱、轮毂、风叶等主要部件的预组装，然后通过轨道移动台车运输至码头，采用履带吊等设备吊放到运输驳船上。风机各部件安放在运输驳船的指定位置，并采取可靠固定措施，防止在海上运输过程中发生滑动导致风机部件的损坏。风机部件安放完成后使用拖轮将运输驳拖航至风场指定位置。

塔筒内风机电器设备甲板面组装：在下段塔筒吊装之前，预先将塔筒内风机电器设备在船甲板面组装。将基础平台吊装于甲板面，测量距离调整进行固定。基础平台吊装后，随即将相关电气设备吊放至支架平台上，根据厂家和图纸要求用螺栓进行固定定位，所有电控柜、变频柜等在套入下段塔筒之前应用防雨布遮盖防止雨水或其它污物侵蚀电器元件。

吊装下段塔筒：使用 250t 辅吊与 1000t 主吊共同抬吊立起塔筒组件。在上下两端法兰盘分别安装好塔筒吊装工装件（顶端均布安装四点，底端安装两点）。下段采用辅吊抬吊塔筒下法兰，主吊抬吊塔筒上法兰。将塔筒起吊至垂直位置时，拆除辅吊及吊具，使用引导绳引导，由主吊单独完成塔筒吊装就位工作。将塔筒垂直放置，然后将电器设备在上进行组装。塔筒位置确定后用螺栓进行安装，符合要求后按照上述方法重复进行中塔筒、上塔筒的安装。

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

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

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

电气系统安装：依次安装箱变、高低压柜及电缆等电气设备。

3.5.1.3 海缆敷设施工

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆。根据水深要求，本场地采用深埋方式。工程场址海域海床表层基本为淤泥质土，铺缆正常海况条件为六级以下风力，海上正常条件下的敷设速度为 4~6m/min。海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，埋深 2~3m。

常规海缆敷设主要施工工艺如下：



图 3.5.1-7 海缆敷设施工工艺

海缆深埋敷设施工可以分为施工准备、海缆敷设、后续保护和电缆试验 4 个主要阶段。

(1) 平台登陆段敷埋

本阶段对于风机基础，采用外挂“J”管式登陆工艺。风机平台海缆登陆需穿过与桩基固定的“J”管，登平台前应将钢丝绳置换“J”管内预先设置的牵引绳索，用船上绞车将电缆由海底通过“J”管口牵引至平台塔筒内预定位置。

(2) 中间海域段敷埋

本阶段推荐采用敷埋同步方式，海缆埋深 2~3m。采用含 DP 的高精度海缆敷设船进行敷设施工。工艺如下：

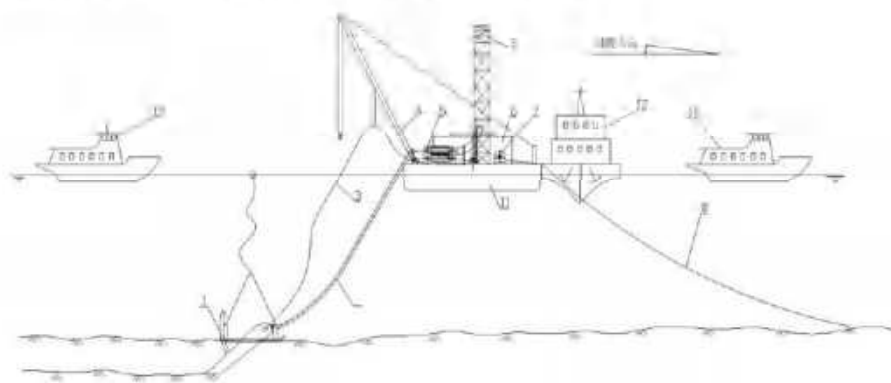
海缆放入水槽后，船头海缆装入埋设犁腹部，关上门板，采用 40t 巴杆吊机将埋设犁缓缓吊入水中，搁置在海床面上。严格按照埋设犁的投放操作规程，按照以下程序进行作业：

①埋设犁起吊，脱离停放架；

②海缆装入埋设犁腹部，关上门板并在埋设犁海缆出口处设置吊点，保证投放埋设犁时海缆的弯曲半径；

- ③埋设犁缓缓搁置海床面；
- ④潜水员水下检查海缆与埋设犁相对位置，并解除吊点；
- ⑤启动二台高压海水泵；
- ⑥启动埋深监测系统；
- ⑦启动牵引卷扬机；
- ⑧施工船起锚，开始牵引埋设作业。

施工船上设置牵引卷扬机，在船尾收绞预先敷设在路由轴线上的牵引钢缆，牵引施工船前进，施工船同时牵引水下埋设犁，海缆通过导缆笼进入埋设犁后，被埋设于海床上，埋设施工过程中由拖轮顶推调整船位。海缆埋设船属非自航船舶，靠船上卷扬机收绞预先敷设在海缆路由轴线上的牵引钢缆，牵引施工船前进；施工船同时牵引水下埋设犁埋深海缆。埋设过程中，由拖轮协助顶推，以调整船位。在海缆敷设完成后对所有海缆进行扫测并提供扫测报告。



1. 水力喷射埋设机；2. 导缆器；3. 高压海水泵；4. 牵引钢缆；5. 埋设犁；6. 埋设犁；7. 牵引钢缆；8. 牵引钢缆；9. 牵引钢缆；10. 牵引钢缆；11. 牵引钢缆；12. 牵引钢缆。

图 3.5.1-8 海底电缆敷设施工

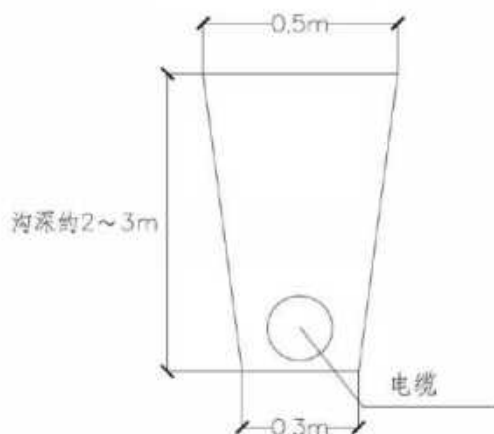


图 3.5.1-9 电缆沟剖面图

(3) 终端登陆

在海缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。准确测量登陆长度后，在施工船上截下余缆，并对截断海缆两端进行铅包封堵工作，防止海缆截断后外界环境对电缆造成电气性能及绝缘影响，确保海缆埋设及后续工作质量。海缆截断封堵结束后，进行海缆的终端登陆。

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

(4) 海缆保护

本工程推荐的海缆敷设方式为直埋方式，建议采取以下防护措施进行海缆保护。

1) 建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆的安全。

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

3.5.1.4 拆除定位架平台、辅助桩

沉桩结束后，需将定位架平台拆除，转至下一个沉桩机位。定位架拆除时先用震动锤震动辅助桩，辅助桩周围土体震动液化后拔出辅助桩，全部辅助桩拔出后，拆除导向架。

3.5.2 交通运输方案

1、风机部件利用甲板面积足够的运输驳船运输，运输驳船也可采用无动力驳船，但需要配备拖轮拖带。

2、施工期水及油料等消耗材料利用补给船运输至施工现场。

3、风机基础钢管桩主体采用驳船进行运输，无动力驳船需要配备拖轮拖带。

4、海底电缆采用海缆敷设船运输，不再单独配备运输船舶。

5、施工管理人员及施工作业人员主要采用交通船运输。

6、常规施工设备、零星材料等采用多功能驳船进行运输。

3.5.3 施工设备

3.5.3.1 风电机组基础

若基础施工各工序均按2个工作面来考虑，则基础所需的船机设备见下表：

表 3.5.3-1 基础施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
1	主起重船	艘	2	钢管桩打桩	起升高度 100 米以上, 起重能力 3000t 以上配导向架
2	液压打桩锤	个	2	钢管桩插打	2000KJ 级以上
3	主起重船	艘	2	上部基础吊装、稳桩平台安装	起重能力 3500t 级以上
4	甲板驳船	艘	2	钢管桩运输	12464t 甲板货船 (载货量 19000t), 每次运输 8 根, 自航
5	甲板驳船	艘	2	上部基础运输	10000t 级以上, 每次运输 2 个, 自航
6	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	5000HP 及以上
7	抛锚艇	艘	4	驳船、起重船等起抛锚	
8	交通艇	艘	2	接送人员	
9	补给船	艘	1	淡水与生活物资补给	
10	灌浆船	艘	2	导管架灌浆	3000t 级以上
11	工艺定位架	个	2	风机桩基施工	

3.5.3.2 风电机组安装

按照风机分体式吊装方案, 若考虑 2 个工作面进行风机分体安装, 则施工需投入的主要设备如下:

表 3.5.3-2 风机吊装主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
1	自升平台船	艘	2	风机吊装	1000t 主吊、250t 辅助吊, 吊高 103m (距甲板)、插腿长 150m 以上
2	平板驳	艘	4	风机运输	10000t
3	拖轮	艘	2	起锚艇 (拖轮)	5000HP
4	供给船	艘	2	淡水、油料	
5	交通艇	艘	2	场内交通	
6	多功能驳	艘	1	材料运输	5000HP

3.5.3.3 海缆敷设

项目海缆敷设施工主要铺缆设备和机具、电缆埋深设备、锚泊设备如下:

表 3.5.3-3 海缆敷设主要施工设备配置表

序号	名称	说明
主要铺缆设备和机具		
1	海缆转盘	储存电缆, 载重 5000t 级, 轨道转动, 机械手盘放
2	电缆退扭系统	释放电缆扭应力
3	布缆机	将电缆从储缆圈经电缆桥拉至甲板
4	机械计米器	计量敷设海缆长度
5	入水槽	保证电缆入水角度和弯曲半径
主要电缆埋深设备		

序号	名称	说明			
6	电缆埋设机	海底电缆埋深,埋设犁挖深最大可达 5m			
7	高压水泵	供水,扬程 300 米以上			
8	高压水管	将高压水输送至埋设机			
9	导缆笼	保证埋设机至船舷间电缆的张力和弯曲半径			
10	海缆埋深监测系统	监测电缆的张力、埋深、偏差、缆长及水深、流速等			
11	拖曳式潜水器综合监控导航系统	埋设机综合监控与水下导航定位系统			
锚泊设备					
12	牵引绞车	牵引施工船前进			
13	锚机	固定船位			
14	海军锚	大抓力锚			
15	钢丝绳	牵引、锚泊等			
主要船机					
序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
16	带埋设机的铺缆船	艘	3	66kV 海缆敷设	载缆 3000t 及以上
17	卷扬机	台	2	电缆牵引	
18	拖轮	台	2	铺缆船拖航及稳定性控制	
19	抛锚艇	艘	2	铺缆船抛锚	
20	交通艇	艘	2	接送人员	

3.5.4 施工总进度

本工程总工期计划为 12 个月。第 T+4 月初首批风机基础沉桩施工,第 T+5 月初首批导管架基础安装施工,第 T+6 月初首批风机安装施工,第 T+9 月底首批 4 台风机机组投产发电,第 T+12 个月底全部 23 台风机投产发电,项目竣工验收。

表 3.5.4-1 施工进度计划表

序号	项目	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7	T+8	T+9	T+10	T+11	T+12
1	施工准备												
2	66kV 海缆敷设												
3	非嵌岩四桩导管架沉桩施工												
4	导管架安装施工												
5	首批风机机组安装												
6	首批风机调试并网发电												
7	剩余风机机组安装												
8	剩余批风机调试并网发电												

3.5.5 土石方平衡

本项目 23 台风电机组采用先桩法四桩导管架基础。桩基施工不涉及嵌岩桩，采用常规沉桩施工不产生钻渣。项目灌浆料为高强灌浆料，灌浆所需材料由施工方通过商业采购形式获得，灌浆时采用水下摄像头进行监控，只有极少量外溢。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。

3.6 工程运行

本工程管理设计按照“无人值班，少人值守”的原则设计，本工程管理机构设置根据海上风电场运行特点、管理形式和生产经营的需要，本着精干、统一、高效的原则，实行现代化企业管理。

考虑到风电场自动化程度很高，项目公司负责海上风电场的运营管理；为充分利用社会资源，风电场的维护可委托相关专业单位进行。风电场周围设置 24h 全天候监控设施，在陆上开关站设置专人进行全天监看，若发生事故等意外情况，将马上派专业人员乘运维船前往风电场进行处理。营运期需对风机进行维护和检修，按每次巡检人数 5 人，每月巡检一次，每年工作天数为 12 天，巡护时使用船舶为一艘普通交通船。

3.7 工程占用海域和岸线情况

按《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），本项目海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类），按《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目海域使用类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式包括透水构筑物用海（风力发电机组）、海底电缆管道用海（66kV 集电海缆），项目申请用海总面积 222.1346 公顷，其中透水构筑物用海面积共 153.3893 公顷，海底电缆管道用海总面积 68.7453 公顷。项目风机和海底电缆管道拟进行立体分层设权，风机确权空间范围为水面，海底电缆管道确权空间范围为底土，风机空间确权范围为海平面至风机叶片顶端高程（319.0m，1985 国家高程基准），海底电缆管道空间确权范围为海底电缆管道空间确权范围为-50.1m~-43.4m（1985 国家高程基准）。

本项目不占用大陆岸线 and 海岛岸线，申请海域使用期限为 27 年。

项目宗海位置图见图 3.7-1，宗海平面布置图见图 3.7-2，宗海界址图见图 3.7-3。

国能江门川岛二海上风电项目宗海位置图

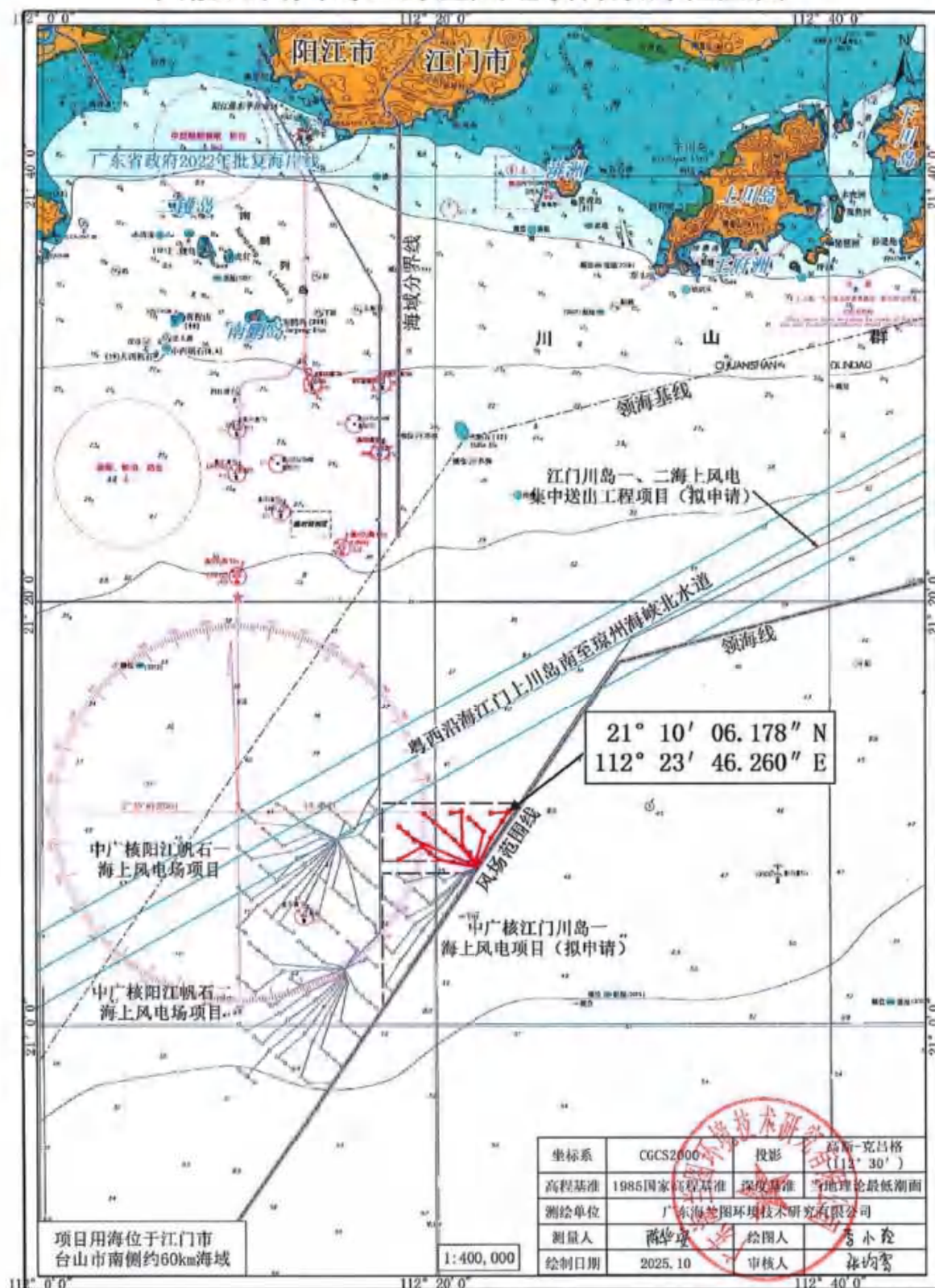


图 3.7-1 项目宗海位置图

国能江门川岛二海上风电项目宗海平面布置图

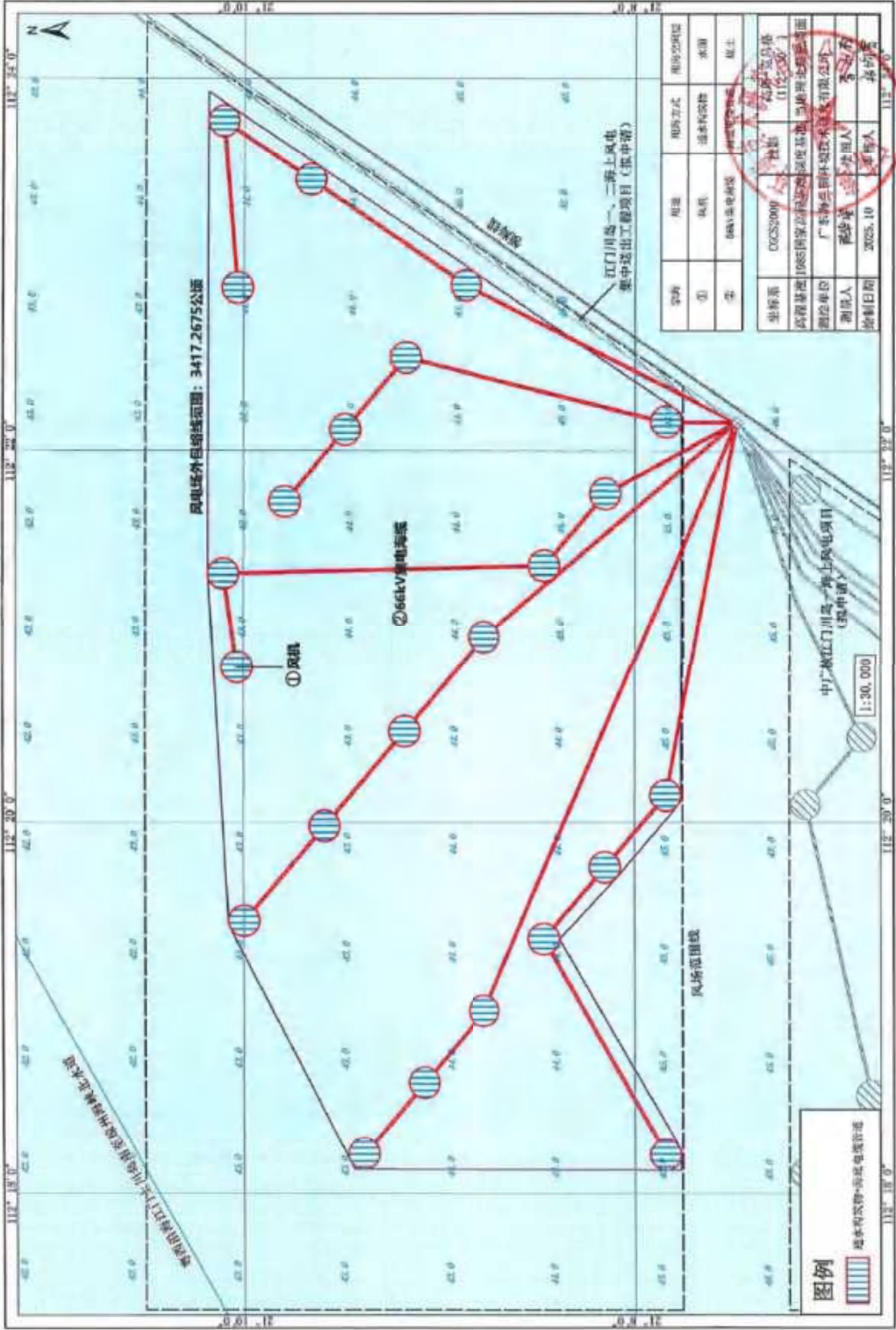


图 3.7-2 项目宗海平面布置图

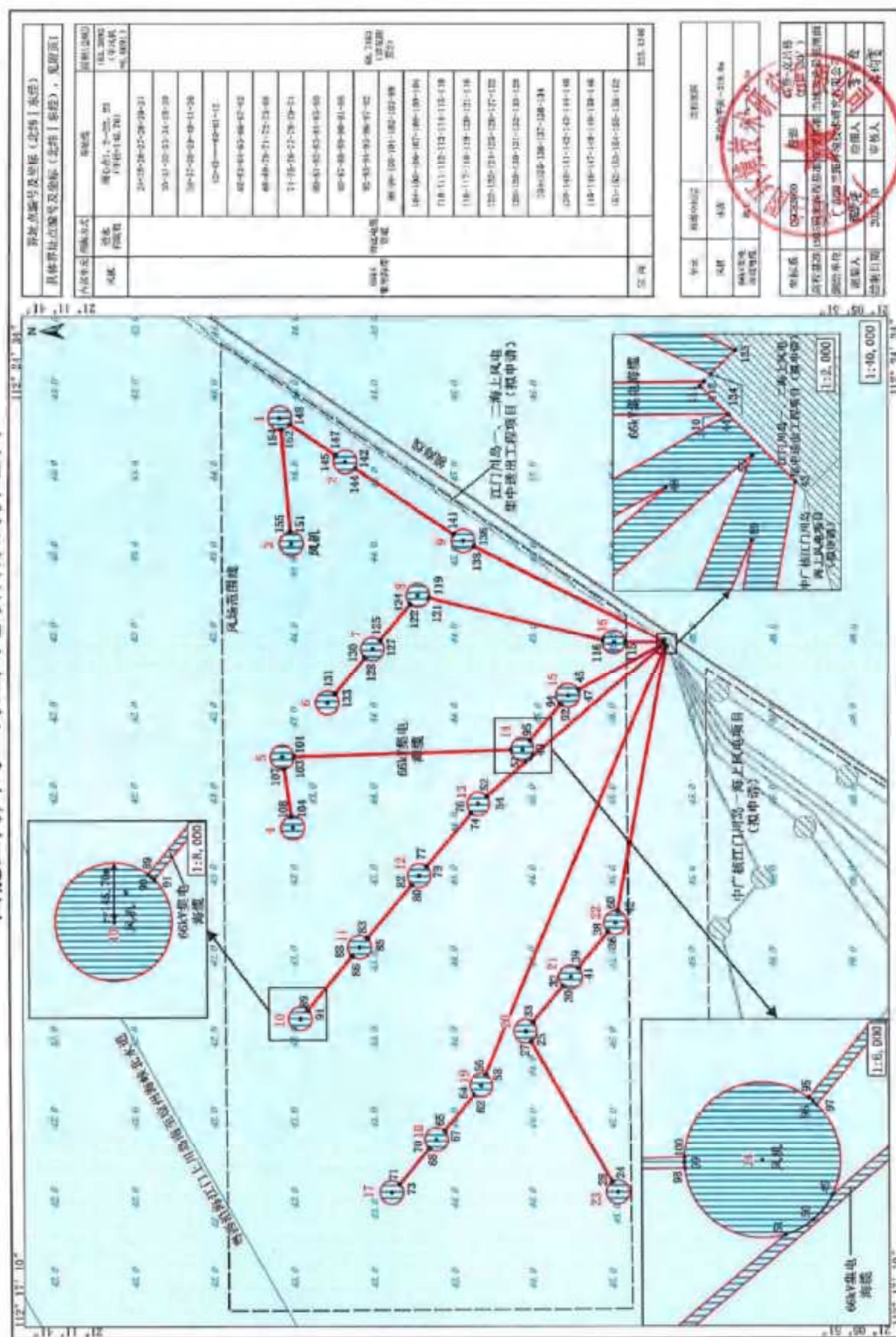


图 3.7-3 项目宗海界址图

国能江门川岛二海上风电项目（风机）宗海立体空间范围示意图

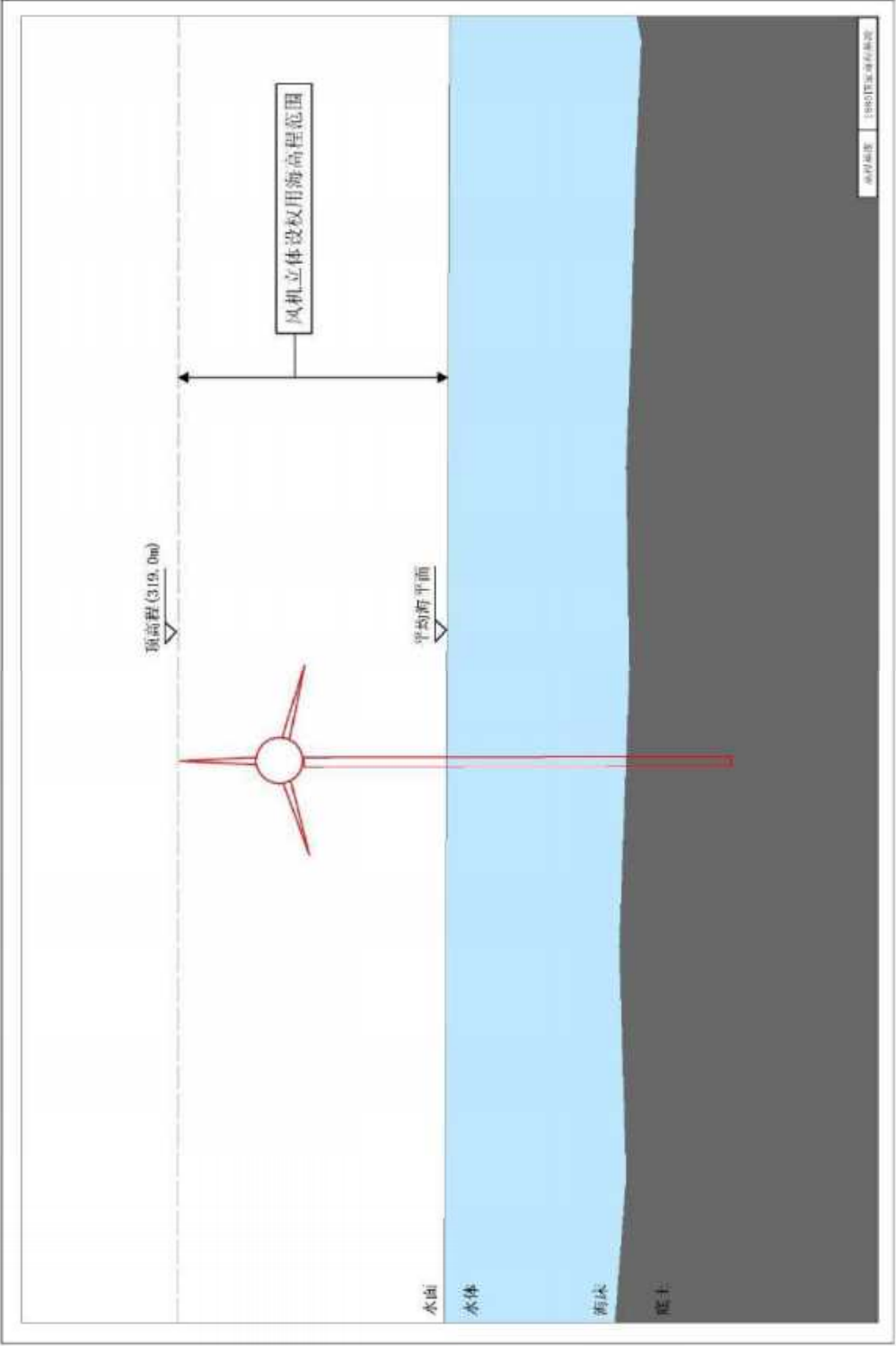


图 3.7-4 项目宗海立体空间范围示意图（风机）

国能江门川岛二海上风电项目（66kV集电海缆）宗海立体空间范围示意图

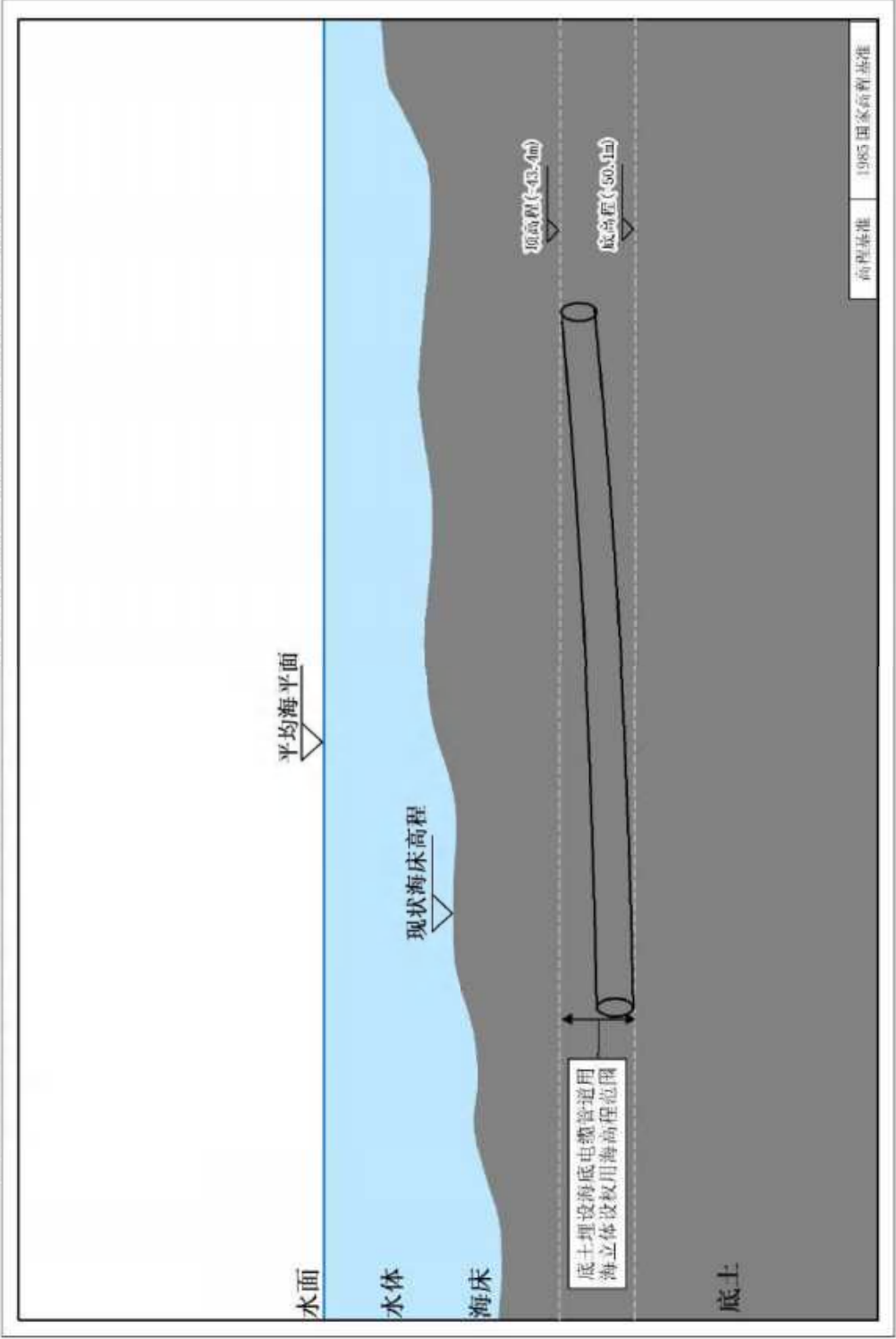


图 3.7-5 项目宗海立体空间范围示意图（66kV 集电海底电缆）

3.8 生产工艺与过程分析

本工程生产工艺较简单，施工期主要为风机基础施工、风机安装，电缆敷设等。运行期风机利用风能转化为机械能，然后通过风机机舱内的发电机转化为电能，通过风机内变压器和升压站升压后送出接入电缆。

3.8.1 施工期产污环节分析

3.8.1.1 风机机组施工

风机机组施工主要污染环节为：风机基础打桩施工时产生的噪声和悬浮物；施工船舶和机械产生的废水、废气以及固体废弃物等。其中废水主要为生活污水和船舶含油污水；废气主要为施工机械燃油废气；固体废弃物主要为施工人员生活垃圾以及施工废料等。

风机机组施工工序和产污环节见图 3.8.1-1。

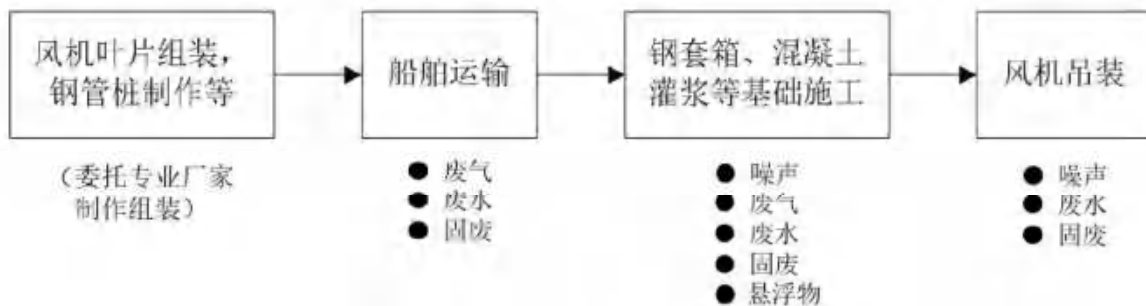


图 3.8.1-1 风机机组主要施工工序及产污环节

3.8.1.2 海缆施工

海底电缆施工主要污染环节为：埋设犁过程中以及埋设电缆过程中产生的悬浮物；施工船舶、运输船舶及其他施工机器设备的燃油废气、噪声、含油废水等；同时还有施工人员的生活污水和生活垃圾排放。

海底电缆施工工序与产污环节如图 3.8.1-2。

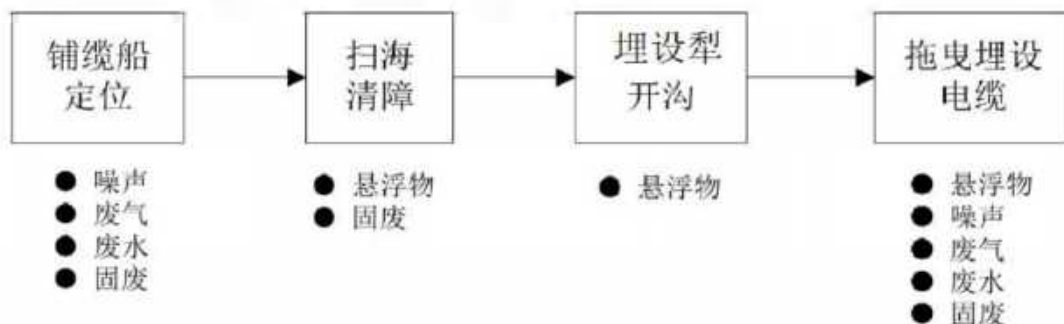


图 3.8.1-2 海底电缆主要施工工序与产物环节

3.8.2 营运期产污环节分析

营运期主要工艺为：海上风机发电，将 66kV 集电线路输送至海上升压站。

营运期风电场污染因素包括：风机发电过程产生的噪声和电磁辐射；海底电缆输送产生的电磁辐射。

风电场运行工序和产污环节如图 3.8.2-1。

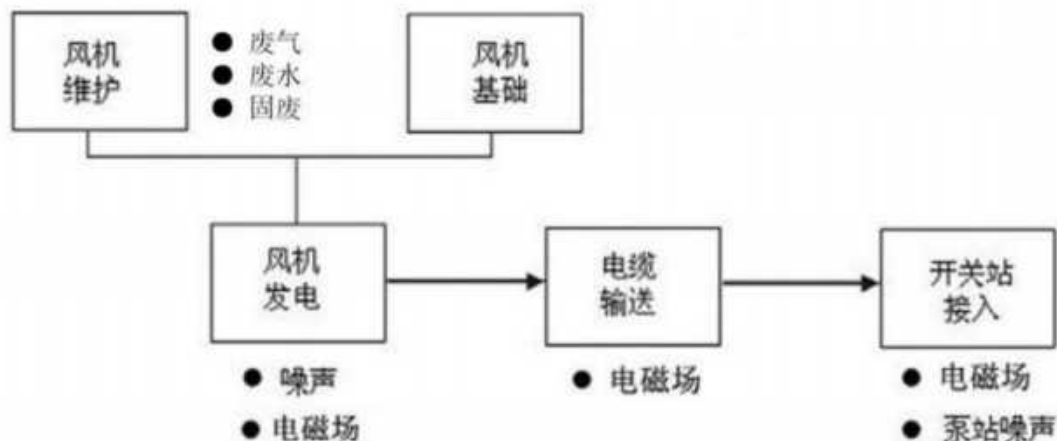


图 3.8.2-1 风电场运行主要工序和产污环节

3.9 工程各阶段污染源强分析

3.9.1 施工期污染源强分析

3.9.1.1 悬浮泥沙

(1) 扫海清障作业

扫海作业主要对海缆铺设路由两侧 50m 进行，采用声呐仪器扫海，发现障碍物才进行打捞回收，因此悬浮泥沙污染仅在打捞点发生。打捞的障碍物主要是缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，悬浮泥沙源强小于 1kg/s（抓斗船小型作业强度悬浮泥沙源强），影响时间为打捞的瞬间。总体来看，扫海清障作业悬浮物影响很小，相比海缆铺设作业产生的悬浮泥沙源强，扫海源强基本可以忽略。

(2) 钢管桩施工

根据文献《码头工程钻孔灌注桩施工产生的悬浮泥沙影响研究》（陈华伟，港口技术 2023 年），参考灌注桩的公式，并结合钢管桩沉桩工艺，对钢管桩施工悬浮泥沙量进行计算，拔除公式同理。

工程钢管桩打入时产生的悬浮物泥沙量采取如下公式进行计算：

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

其中，M：桩基施工时产生的泥沙量；

D：钢管桩直径，m；

d：钢管桩厚度，m；

h：桩基入泥深度，m；

ρ ：覆盖层泥沙浓度，根据报告计算，为 903.60kg/m^3 ；

n：泄漏量，按照垢工量的 5% 估算。

本工程 23 台风机采用 4 根钢管桩定位于海底，每根桩基础直径为 3.5m，壁厚为 40~55mm（取值 50mm），平均入土深度约为 95m。每根风机基础钢管桩打桩施工时间约 4 小时。根据上述计算公式，单根风机基础钢管桩打桩施工产生的悬浮物源强 $= [0.25 \times \pi \times 3.5^2 - 0.25 \times \pi \times (3.5 - 0.05)^2] \times 95 \times 903.60 \times 5\% \div 4 \div 3600 = 0.081\text{kg/s}$ 。

本工程辅助桩直径为 2.2m，壁厚约 35mm，平均入泥深度取 30m。每根辅助桩打桩施工时间约 2 小时，根据上述计算公式，单根辅助桩打桩施工产生的悬浮物源强 $= [0.25 \times \pi \times 2.2^2 - 0.25 \times \pi \times (2.2 - 0.035)^2] \times 30 \times 903.60 \times 5\% \div 2 \div 3600 = 0.023\text{kg/s}$ 。

（3）海底电缆敷设

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。同时，在海缆敷设前，会将旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物进行扫海清除，一般仅在泥面上层操作，引起的海底扰动较小，远小于与“埋设犁”敷设产生的扰动。

电缆敷设泥沙源强计算方法：

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

Q (kg/s) 为海底悬浮泥沙强度，L 为开挖进度， γ_s 为泥沙干容重，H 为开挖深度，W 为开挖横截面宽度，P 为悬浮泥沙所占挖沙量比例。其中悬浮泥沙所占挖沙量比例 P 一般是结合同类工程经验或现场监测数据进行推算。

根据《潮汐通道口拦门沙航道的淤积计算》（罗肇森），泥沙干容重按照经验公式计算， $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ ， D_{50} 为泥沙中值粒径。根据实测资料风电场址范围的 CD15、CD20 站位中值粒径均值约为 0.027mm，计算得到泥沙干容重为 903.60kg/m^3 。

海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下约 3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度约 5m/min。根据海洋科学 2021 年第 45 卷第 6 期《海洋工程施工悬浮泥沙源强及扩散规律研究进展》（张琴），管线埋设产生的悬浮泥沙源强由

埋设横截面积、埋设速度、沉积物干容重和起悬比相乘计算得到，起悬比一般均采用 10%~30%。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。由此计算得到单条电缆施工的悬浮物源强为 $Q=L \times H \times W \times \gamma_s \times P=5\text{m/min} \times 3\text{m} \times (0.3+0.5) / 2\text{m} \times 903.60\text{kg/m}^3 \times 20\% \div 60\text{s}=18.07\text{kg/s}$ 。

(4) 风机基础施工辅助桩拆除施工

辅助桩在振动拔除的过程中产生的悬浮泥沙量可参照下式进行计算：

$$Q = \frac{[\pi \cdot D \cdot h + \pi \cdot (D - d) \cdot h] \cdot \varphi \cdot \rho}{t}$$

式中，Q：悬浮泥沙发生量，kg/s；

D：辅助桩（钢管桩）直径，本工程辅助桩直径 2.2m；

d：辅助桩（钢管桩）厚度，工程辅助桩壁厚约 35mm；

h：辅助桩（钢管桩）入泥深度，辅助桩入泥深度与施工地质有关，本工程为 30m；

φ ：辅助桩（钢管桩）壁（包括外壁、内壁）附着泥层厚度，取 0.015m；

ρ ：附着泥层容重，根据前述计算为 903.60kg/m^3 ；

t：拔桩时间，本工程辅助桩拔出时间约 1 小时。

定位架平台拆除时，4 根辅助桩依次拔起，经计算，单根辅助拔桩悬浮物产生源强 $Q=[\pi \times 2.2 \times 30 + \pi \times (2.2 - 0.035) \times 30] \times 0.015 \times 903.60 \div 1 \div 3600 = 1.55\text{kg/s}$ 。

3.9.1.2 施工废水

(1) 施工船舶生活污水

施工期船舶作业人员生活污水产生量按高峰期海上作业人员 200 人，参照《水运工程环境保护设计规范》(JTS149-2018)，船舶工作人员生活用水量按 100L/人·d，污水发生量按 85%计，则人均生活污水排放量 85L/人·d 计，计算可得船舶作业人员生活污水排放量为 $17\text{m}^3/\text{d}$ 。

船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放；(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。

(2) 船舶含油污水

施工期间的含油污水主要来自施工船舶产生的机舱油污水，根据统计本项目施工期投入各种船舶数量较大，根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS149-2018)

船舶舱底油污水水量表, 计算船舶舱底油污水产生量见表 3.9.1-3。舱底油污水浓度在 2000~20000mg/L 之间, 取 10000mg/L 计算, 按保守考虑, 施工时所有船舶同时作业, 则施工期船舶含油污水产生量为 53.58t/d, 石油类污染物产生量为 535.8kg/d。

表 3.9.1-1 船舶吨位统计

施工项目	施工船名称	船舶数量 (艘)	单艘船舶总吨数 GT (t)
风电基础施工	主起重船	2	8000
	主起重船	2	11194
	甲板驳船	2	8364
	甲板货船	2	12464
	拖轮	4	2567
	抛锚艇	4	496
	交通艇	2	298
	补给船	1	298
	灌浆船	2	6000
风电机组安装	自升平台船	2	4163
	平板驳	4	10000
	拖轮	2	6813
	供给船	2	298
	交通艇	2	298
	多功能驳	1	7298
海缆敷设	铺缆船	2	2000
	抛锚艇	1	329
	拖轮	1	499
	交通艇	1	149

表 3.9.1-2 船舶含油污水产生量统计

船舶吨级 DWT (t)	船舶数量 (艘)	舱底油污水产生量 (t/d · 艘)	油污水产生总量 (t/d)
500	14	0.14	1.96
1000-3000	6	0.54	3.24
3000-7000	6	1.39	8.34
7000-15000	13	3.08	40.04
合计			53.58

船舶含油污水拟经船舶上的含油污水收集设施收集后交由有处理能力的单位接收处理, 不得直接排放入海。

(3) 灌浆溢流

本工程风机基础施工时, 钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑, 灌浆作业利用钢套箱进行水泥砂浆浇注作业。灌浆料采购国外品牌灌浆料, 施工过程中不会产生外溢, 施工时会采用水下机器人对溢浆口进行实时监测, 确保灌浆过程中灌浆料不外溢。

3.9.1.3 废气

大气污染主要来源于施工机械、船舶排放的尾气, 其产生的主要决定因素为燃

料油种类、机械性能、作业方式和风力等，其中机械性能、作业方式的影响最大，排出的各类废气主要污染物为 SO_2 、 CO 、 NO_x 、颗粒物、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及碳氢化合物等。项目风电场涉及的海域位于《船舶大气污染物排放控制区》划定的“排放控制区”内。海船进入排放控制区，应使用符合《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交通运输部，交海发〔2018〕168号）船用燃油，燃油燃烧废气产生量不大，影响范围、时间有限，且拟申请风电场区处于相对开阔的海域，距离岸线较远，有利于污染物的扩散，且评价范围内没有大气敏感点，对周边环境的影响有限。

3.9.1.4 噪声

工程施工期主要对海上声环境产生影响。海上施工噪声源主要为风机基础打桩、施工船舶行驶、电缆线铺设等。

（1）施工机械

施工现场的各类机械设备包括装载机、打桩机、电缆埋设噪声等，这类机械噪声是主要的海上施工噪声源。工程海上施工作业对海洋环境有短时明显影响的是施工过程中的冲击打桩。

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

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

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

其中，D 为风电场打桩施工的桩径尺寸，m。

本项目桩基桩径为 3.5m，根据式 1， $SL=10.22 \times 3.5+214.4=250.17\text{dB}$ ；根据式 2， $SL=228.8 \times 3.5^{0.06802}=249.15\text{dB}$ 。综上所述，本项目打桩噪声源强取值为 250dB。

（2）运输船只

施工设备、材料等运输将动用大量运输船只，这些运输船的频繁行驶经过和施工将对施工海域产生较大干扰噪声。船舶噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。船舶机械噪声是船上各种机械振动通过基座传递引起船壳振动并辐射至水下产生的噪声，其来源包括机械运动不平衡产生的噪声、机械碰撞噪声以及轴承噪声等。机械噪声与船速的关联度较低，在低速情况下，螺旋桨噪声和水动力噪声的强度相对较小，船舶噪声主要为机械噪声。

在高速情况下，螺旋桨噪声成为船舶噪声的主要成分。螺旋桨噪声的来源包括螺旋桨叶片振动以及螺旋桨空化。本项目船舶航行源强以 12464t 级甲板货船产生 169dB 来计算。

3.9.1.5 固体废物

(1) 船舶生活垃圾

施工期固体废弃物主要为工作人员生活垃圾，参考《水运工程环境保护设计规范》(JTS 149-2018) 中港作船生活垃圾产生量为 1.0kg/人·d，本工程海上施工人员按高峰期 200 人计，则船舶生活垃圾产生量为 200kg/d。施工过程中所产生的生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018) 的船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由接收单位接收处理，禁止排海。

(2) 生产垃圾

本工程海缆铺设作业垃圾主要为扫海清障作业时产生的各类生产垃圾，包括废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，按每 10kg/km 计算，66kV 海缆路由长度合计约 40.20km，经估算路由清障作业共产生废弃物约 402.0kg，随船携带，待船舶靠岸后外运处理。此外，风机在安装过程中也会有废弃的包装、焊接头、废金属等生产垃圾产生，均可由施工单位回收利用。

3.9.1.6 施工期污染物排放汇总

结合以上分析，施工期污染物排放情况见下表。

表 3.9.1-3 施工期主要污染物排放情况

种类	污染源	主要污染物	发生情况	排放方式
水污染物	扫海障碍物打捞	SS	1kg/s	自然排放
	风机钢管桩打桩	SS	0.081kg/s	自然排放
	辅助桩打桩	SS	0.023kg/s	自然排放
	电缆敷设	SS	18.07kg/s	自然排放
	辅助桩拆除	SS	1.55kg/s	自然排放
	船舶生活污水	污水量	17m ³ /d	船舶生活污水在同时满足下列“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。
	船舶含油污水	污水量	53.58t/d	收集上岸交由有处理能力的单位处理
		石油类	535.8kg/d	
	罐浆溢流	水泥砂浆	/	/
废气	施工机械、船舶废气	SO ₂ 、CO、NO _x 、颗粒物、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 及碳氢化合	/	自然排放

种类	污染源	主要污染物	发生情况	排放方式
		物等		
噪声	风机打桩	/	250dB	自然排放
	运输船只	/	169dB	自然排放
固体废物	船舶生活垃圾	生活垃圾	200kg/d	由有处理能力的单位接收处理
	扫海清障	废弃沉船、渔具等	402.0kg	上岸处理
	风机安装	废弃焊头、包装和废金属等	/	上岸回收处理

3.9.2 营运期污染源强分析

3.9.2.1 废水

为保证风电场安全、有效的运行，需对风机及相关设备进行计划维修、计划外维修和大修等维护工作，所产生污水有生活污水、船舶含油污水。

(1) 生活污水

营运期需对风机进行维护和检修时有人员进出。按每次巡检人数 5 人，每月巡检一次，每年工作天数为 12 天，参照《水运工程环境保护设计规范》(JTS149-2018)，船舶工作人员生活用水量按 100L/人·d，污水发生量按 85%计，则人均生活污水排放量 85L/人·d 计，计算可得船舶作业人员生活污水排放量为 0.425m³/d。

船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放；(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。

(2) 含油污水

项目设备营运期间需定期进行维修和维护，根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS149-2018) 要求，工作船舱底油污水产生量为 0.14t/d·艘，工作船每月巡查一次，每年工作天数为 12 天，含油污水产生量为 1.68t/a，石油类浓度约为 5000mg/L，石油类污染物产生量为 8.4kg/a。含油污水统一收集至运维船上，待船舶靠岸后交由海事部门指定的有能力的单位进行接收处理。

3.9.2.2 废气

海上风场营运期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。

项目营运期废气主要来自维护船舶。营运期仅配置 1 艘普通交通船。维护频率为每月 1 次，每次出海 1 天。船舶废气主要污染物质包括 SO₂、CO、NO_x、颗粒物、PM₁₀、PM_{2.5} 及碳氢化合物等，以无组织形式排放。项目风电场涉及的海域位于《船舶大气污染物排放控制区》划定的“排放控制区”内。海船进入排放控制区，

应使用符合《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交通运输部，交海发〔2018〕168号）船用燃油，燃油燃烧废气产生量不大，影响范围、时间有限，且拟申请风电场区处于相对开阔的海域，距离岸线较远，有利于污染物的扩散，且评价范围内没有敏感点，对周边环境的影响有限。

3.9.2.3 噪声

（1）风机噪声

风电机组类噪声可分两类：一类是气动噪声，由涡轮机转子叶片产生，通过空气传入水中，并随着风机转速的增加而增加；一类是机械振动噪声，由风机周围空气运动、机箱内齿轮箱和发电机机械振动产生，随风速增大而增强。综合国内外风机厂家资料和国内实测推算数据，本项目所用风机为3个叶片、18MW，在风机轮毂处的最大声功率级约为115dB(A)。

根据厦门大学实测东海大桥海上风电场风机水下噪声，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/1μPa到65dB/1μPa之间；在120到1.5kHz有一较宽的裙带状谱，强度增加为10~20dB/1μPa。

（2）运维船舶噪声

营运期配置1艘普通交通船对风机及相关设备进行检修，运维船舶噪声源强约为110dB(A)。

3.9.2.4 固体废物

（1）生活垃圾

固体废物主要来自检修工作人员。检修工作人员生活垃圾产生量按照1kg/人·d计，每次检修工作人员生活垃圾产生量为5kg，检修频率大概一个月一次，检修工作人员生活垃圾产生量为60kg/a。生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由接收单位接收处理，禁止排海。

（2）检修废物

企业定期检修风机叶轴、内置变压器等设备，会产生含矿物油与含矿物油废物，包括废润滑油、废变压器油、废油桶包装和含油抹布等检修废物。船舶及其它施工机械作业期间检修在第三方单位，产生的检修废物由检修单位处理，不在本项目评

价范围。

①废润滑油

风机日常维护会产生废润滑油，废物类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废物代码为 900-214-08。根据风机厂家提供数据，风机日常维护产生的废弃润滑油约为 209L/台·年，本项目风电场共建设 23 台风机，风电场合计每年产生的废弃润滑油 4807L（密度取 $0.91 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，约 4.37t/a），每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

②废变压器油

变压器维护、更换和拆解等过程将产生废变压器油，废物类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废物代码为 900-220-08。单台变压器单次维护产生的废变压器油约 0.01t，项目共设置 23 台风机（每台风机塔筒内设有 1 台 66kV 变压器），变压器维修频率约半年 1 次，每年 2 次，则废变压器油产生量为 0.46t/a。废变压器油每次维修后直接由维护船员带回岸上交由专业危废资质单位处理。

③废油桶

润滑油和变压器油使用后将产生一定废油桶，废物类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废物代码为 900-249-08。废油桶产生量约 0.03t/a，每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

④废蓄电池

项目定期检修将产生少量废铅蓄电池，废物类别为 HW31 含铅废物，废物代码为 900-052-31，产生量约 2t/a，每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

⑤废变压器

风机内变压器预计每十年维修更换一次，项目共设置 23 台风机（每台风机塔筒内设有 1 台 66kV 变压器），营运期内废变压器年产生量约为 0.115t/a。更换的废变压器废物类别为 HW10 多氯（溴）联苯类废物，废物代码为 900-008-10，每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

⑥废含油抹布及手套

维修环节将产生各类含润滑油、变压器油等物质的抹布及手套，预计产生量 0.01t/a，废物类别为 HW49 其他废物，废物代码为 900-041-49，每次维修后直接由

维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

⑦五金杂件

维修产生的废旧螺母、螺丝等五金杂件约 3t/a，为一般工业固废，废物代码为 900-001-S17，每次维修后直接由维护船舶带回岸上外卖资源回收公司处理。

⑧废产品包装

零部件更换将产生一定废塑料、废纸箱等产品包装，约 0.05t/a，为一般工业固废，废物代码为 900-099-S17，收集后直接由船舶带回岸上外卖资源回收公司。

综上，项目营运期固体废物分类收集由维护船舶直接带回岸上处理，其中生活垃圾统一交由接收单位接收处理，危险废物分类收集后到岸交由专业危废处理资质单位，可回收的五金杂件等外卖资源回收。分类处理后，项目营运期固废不会对周围环境产生明显影响。

表 3.9.2-1 项目营运期固体废物产生情况和处理方式 单位：t/a

名称	类别		产生量 (t/a)	处理方式
生活垃圾	生活垃圾		0.06	收集上岸后交由接收单位接收处理
五金杂件	一般工业固废	900-001-S17	3	外卖资源回收公司
废产品包装		900-099-S17	0.05	
废润滑油	危险废物	HW08-900-214-08	4.37	每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理
废变压器油		HW08-900-220-08	0.46	
废油桶		HW08-900-249-08	0.03	
废蓄电池		HW31-900-052-31	2	
废变压器		HW10-900-008-10	0.115	
废含油抹布及手套		HW49-900-041-49	0.01	

表 3.9.2-2 项目危险废物汇总表

序号	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量 (t/a)	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
1	废润滑油	HW08 废矿物油与含矿物油废物	900-214-08	4.37	风机叶轴等维修	液体	润滑油	润滑油	每月	T, I	分类收集后，由维护船舶带回岸上交由专业危废处理资质单位
2	废变压器油		900-220-08	0.46	变压器维护	液体	变压器油	变压器油	每半年	T, I	
3	废油桶		900-249-08	0.03	废油桶	固体	石油类、金属	石油类	每半年	T, I	
4	废蓄电池	HW31 含铅废物	900-052-31	2	废蓄电池更换	固体	铅、金属	铅	每半年	T	
5	废变	HW10	900-	0.115	设备更	固	多溴联	多溴	每	T	

序号	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量(t/a)	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
	压器	多氯(溴)联苯类废物	008-10		换	体	苯、石油类	联苯、石油类	十年		位回收处理
6	废含油抹布与手套	HW49其他废物	900-041-49	0.01	维修检护	固体	化纤、石油类	石油类	每次维护	T/In	

3.9.2.5 营运期污染物排放情况

结合以上分析，营运期污染物排放情况见下表。

表 3.9.2-3 营运期主要污染物排放情况

种类	污染源	主要污染物	发生情况	排放方式
水污染物	检修人员生活污水	污水量	0.425m ³ /d	船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放；(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。
	含油污水	污水量	1.68t/a	收集上岸交由有处理能力的单位处理
		石油类	8.4kg/a	
废气	运维船舶废气	SO ₂ 、CO、NO _x 、颗粒物、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 及碳氢化合物等	/	自然排放
噪声	风机噪声	LAeq	115dB(A)	连续排放
	运维船舶噪声	LAeq	110dB(A)	船舶行驶期间排放
固体废物	生活垃圾	生活垃圾	0.06t/a	交由有处理能力的单位接收处理
	检修废物	五金杂件	3t/a	每次维修后直接由维护船舶带回岸上外卖资源回收公司
		废产品包装	0.05t/a	
		废润滑油	4.37t/a	每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理
		废变压器油	0.46t/a	
		废油桶	0.03t/a	
		废蓄电池	2t/a	
		废变压器	0.115t/a	
		废含油抹布及手套	0.01t/a	

3.10 工程各阶段非污染环节与环境影响分析

3.10.1 工程建设对水动力环境的影响

本项目建成后，风机桩基基础建设在一定程度上改变局部海底地形，对周边海

域潮流场产生一定影响，尤其是风机基础周围的流速和流向均会发生变化。

3.10.2 工程建设造成海底地形地貌及冲淤变化

本项目在区域内呈斑点状分布，风机之间间距较大。由于底流在风机基础周围产生涡流和局部冲刷，风机桩基基础在一定程度上改变局部海床自然性状，其地形地貌也将有所改变，产生局部的冲刷或淤积。

3.10.3 工程建设对鸟类的影响

对鸟类栖息和觅食的影响：风电机在运转过程中会产生叶片扫风噪声和机械运转噪声。风机运行将直接对发电场鸟类栖息和觅食产生影响。鸟类在风电场范围内的飞行，存在鸟类碰撞叶片而伤亡的风险，所以风电场范围不再适宜作为鸟类的栖息觅食场所。

对鸟类迁徙的影响：风力发电场都占有鸟类迁徙通道很大的面积，横亘在鸟类迁徙路线上，对鸟类迁徙成为障碍。

对鸟类存活的影响：风机叶片旋转的范围在离地面 23.5~226.5m 之间，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。

3.10.4 工程建设对通航的影响

施工期船舶增加对周边航道通行造成影响；营运期由于风场存在可能影响周边航道/航路的正常通行。

从海上作业区施工船舶对通航环境的影响来看，施工对工程海域通航环境影响主要是对粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道过往船舶的影响。航道通航航线偏移可能性较小，影响不大。外海习惯航路过往船舶通航水域具有一定的不确定性，且工程风电场址区施工作业活动规模相对较大，船舶密度大，持续时间长，存在一定的船舶碰撞风险。此外，项目场址区内也可能由于船舶调度问题或突发灾害天气发生作业船舶相互碰撞的潜在风险。

3.10.5 工程建设对海洋生态和渔业生产的影响

本工程建设对海洋生态和渔业的影响主要来自于以下几方面。

(1) 底栖生境破坏

工程海缆施工时采用专用海缆敷设船拖带埋设犁冲切海床，埋设冲切海床作业将对底栖生物群落的栖息环境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。另外，冲

切海床泥沙堆积在电缆路由两侧，电缆铺设完成后自然回淤，海底泥沙堆积范围内的底栖生物在短时间内也将因掩埋受到损害。风机基础、辅助桩及定位架占用海域，会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。

（2）悬浮泥沙扩散影响

海缆施工前扫海清障、海缆敷设施工、钢管柱打桩等工程施工会造成一定范围海域的含沙量暂时上升，会降低海洋中浮游植物生产力，对鱼卵、仔稚鱼和游泳生物的生境产生影响，进而对鱼卵仔鱼和游泳生物资源量造成损失。

（3）水下噪声及电磁场影响

钢管柱打桩及各类施工船舶航行产生的水下噪声对海洋生物产生一定影响，水下噪声对海洋哺乳动物等海洋生物会造成一定影响。

运行期风电场对海洋生态及渔业资源的影响还可能来自风机运转产生的水下噪声和水下输电线路产生电磁场。水下声环境敏感目标主要为水中的鱼类和海洋哺乳动物。风机运行水下噪声可能干扰鱼类及海洋哺乳动物捕食、躲避掠食动物或躲开障碍物，进而影响其生存。此外水下输电线路产生的电磁场也可能对海洋生物生存产生一定潜在影响。

（4）海域临时占用影响

施工期间，为保证施工作业及渔业生产船舶的安全将禁止渔船进入施工海域捕捞生产，由此导致作业渔场范围减少，同时受施工扰动影响，施工附近海域渔获率将有所降低，从而影响工程及周围海域捕捞产量。

（5）对渔业资源和渔业生产的影响

风电场建成运行后，为保护海底电缆和风机的安全运行，该海域禁止底拖网、抛锚，同时由于风机桩的分隔造成渔业捕捞面积缩小，在一定程度上降低了渔业捕捞量，从而引起经济收入下降，对渔民的生活产生一定影响。同时，由于风机桩基的存在，特别是在迷雾天气，渔船与风机桩相撞的概率大大增加，对渔船和风机都存在一定的安全隐患。另一方面，风电场运行后，风电场区域禁止捕捞一定程度上对风电场区域的渔业资源起到了保护作用。

3.11 总量控制

3.11.1 总量控制原则

国家提出的“总量控制”是区域性的，当局部不可避免地增加污染物排放时，

应对同行业或区域内进行污染物排放量消减，使区域内污染源的污染物排放负荷控制在一定的数量内，使污染物的受纳水体、空气等环境质量可达到规定的环境目标。

实施污染物排放总量控制是考核各级政府和企业环境保护目标责任制的重要指标，也是改善环境质量的具体措施之一。目前，国家实施污染物排放总量控制的基本原则是：由各级政府层层分解、下达区域控制指标，各级政府再根据辖区内企业发展和污染防治规划情况，给企业分解、下达具体控制指标。对扩建和技改项目，必须首先落实现有工程的“三废”达标排放，并以新带老，尽量做到增产不增污。对确实需要增加排污总量的新建或扩建项目，可经企业申请，由当地政府根据环境容量条件，从区域控制指标调剂解决。

3.11.2 控制对象及指标

根据《国务院关于印发“十四五”节能减排综合工作方案的通知》（国发〔2021〕33号）文件和《广东省生态环境保护“十四五”规划》，大气污染物总量控制的项目为氮氧化物、VOCs，水污染物总量控制的项目为化学耗氧量和氨氮两个指标。

结合本项目特点和工程分析，营运期风力发电，产生的少量废气为无组织排放，无需申请总量控制指标，船舶生活污水在满足“船速不低于4节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。含油污水在船舶统一收集上岸后交由有处理能力单位处理。本项目为海上风电场建设项目，不属于主要污染物重点工程，因此无需申请废水污染物总量指标。

3.12 清洁生产分析

3.12.1 清洁能源利用

清洁能源，也称非碳能源，它在生产时不生成CO₂等对全球环境有潜在危害的物质。清洁能源的具体特征主要包括：资源量丰富、环境友好、技术经济可行等。

狭义上的清洁能源主要指可再生能源，包括水能、太阳能、风能、地热能、潮汐能等。将自然能源转换成清洁的能源载体，作为燃料和动力，是实现清洁能源的重要途径。

风能是清洁的可再生能源，近年来风能在我国得到了前所未有的利用。风力发电对国家调整能源结构、缓解环境污染等方面均有积极的推动作用。表3.12.1-1对

目前常见的几种发电能源的环境影响进行了比较。

表 3.12.1-1 电力工业环境影响

能源类型 评价内容		风能	水能	地热	生物质	石油	核能	煤炭
土地 占用	原始能源	0	5	2	4	3	5	5
	加工运输	0	0	0	3	4	4	4
	发电厂	3	3	3	3	3	3	4
	废物处理	0	0	1	3	1	4	5
水质	设备使用	0	0	1	3	3	3	3
	泄漏及事故	0	0	3	0	4	1	5
	现场外影响	0	0	0	1	3	4	4
气体 排放	二氧化碳	0	0	1	4	4	4	0
	酸性烟气	0	0	1	3	4	4	0
	颗粒金属	0	0	1	3	2	4	0
	放射物	0	0	1	0	1	2	5
	非甲烷烃类	0	0	0	2	4	4	0
生物影响		2	5	1	3	2	4	4
废物发生		0	0	1	3	2	5	4

注：对环境影响等级：0-极小或无影响；1-很小潜在影响；2-较少潜在影响；3-中等潜在影响；4-较多潜在影响；5-很大潜在影响。

从表 3.12.1-1 可见，比较传统的化石燃料如石油、煤炭等为原料的火电技术及水电和核电技术，风电具有污染物排放量少，生态环境影响小，环境风险低等优点。同时风电技术无需其他能源开采、钻探、加工和运输的经济成本和运行成本，有利于保护环境和推动可持续发展。

3.12.2 设备先进性分析

工程风机选用单机容量为 18.0MW 的风电机组，转轮直径最大为 291.12m，叶片数 3 片，轮毂高度最高为 172.9m，属目前国际领先的大型风机，较目前常用的 2~3MW 单机容量风机，可大大减少风机台数，节约海域资源。从目前国内外建设运行的风电场风机设备情况来看，本项目总装机处于国际上大规模，充分代表了海上风电场大型化、集约化的发展方向。

3.12.3 施工工艺先进性分析

工程施工中采取环境友好的施工方案，采用较为先进的施工机械设备。目前大型的海上打桩机械主要有筒式柴油打桩锤、液压打桩锤、液压振动锤三种。风机打桩时，选择使用液压打桩锤和液压振动锤，液压打桩锤和液压振动锤在噪声、烟气、油泄漏等各方面均优于柴油打桩锤，采用该类型打桩锤可提高项目清洁生产水平，防范油污染产生。

海缆施工采用水力喷射埋设机敷设方式，施工相对容易，恶劣气候对电缆影响较小，日常维护工作量小，所需施工作业面积和悬浮泥沙产生量均较小，因此对海水水质及海洋生态环境影响较小。

因此，工程的施工工艺符合清洁生产要求。

3.12.4 生产过程控制

风能是一种洁净、可再生的一次能源，本工程利用风能发电，发电过程中不消耗矿物质能源、同时不产生废水、废气、废渣，生产过程清洁。

3.12.5 污染物排放控制水平

工程船舶含油废水定期运往陆地交由有能力处理的单位接收处理，船舶生活污水在满足“船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放；对施工设备，要求选用低噪声设备，并加强设备的维护和保养，以降低噪声的影响；船舶生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由接收单位接收处理。工程建设过程中充分考虑了事故风险的防范和应急预案，对周边环境的影响较小。

3.12.6 节能减排贡献

（1）节能效益

本风电场工程规划总装机容量为 400MW，设计年上网发电量 1691.238GWh，与燃煤电厂相比，按照替代标准煤耗 267.33g/kWh 计算，每年可节省标准煤可节约火电燃煤资源消耗 45.21×10^4 t/a，目前发电用煤常按 800 元/t 计，本项目节能可产生效益 36168 万元/a。随着煤炭资源的日益减少，尤其是优质煤的快速消耗，风电场项目的节能效益将愈加显著。

（2）污染物减排

风力发电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含 SO₂、NO_x 和烟尘在内的大气污染物。根据国家发展改革委气候司公布的《2015 年中国区域电网基准线排放因子》华东电网排放因子以及国家发改委能源研究所等单位研究成果，结合本报告“9.2.2 环境效益”章节，本工程相比火力发电，每年可以减少 CO₂ 排放量约为 149.2518×10^4 t、烟尘 230.008t/a、SO₂ 1961.836t/a、NO_x 1447.700t/a。

综上，本项目利用风能这一清洁能源发电，比较传统的火电，具有节约能源、

降低污染物排放等明显优点，符合《中华人民共和国清洁生产促进法》中“使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、从源头削减污染、减少或避免污染物的产生和排放、减轻或消除对人类健康和环境的危害”的清洁生产要求。

4 区域自然环境现状

4.1 区域自然环境概况

4.1.1 气象特征

根据台山气象站（112.7858°E，22.2472°N）2004 年~2023 年气温、降水、湿度、风况等观测资料，对本区各个气象要素的各月变化特征进行分析。

4.1.1.1 气温

根据台山气象站（112.7858°E，22.2472°N）2004 年~2023 年的长期气候统计资料，台山气象站多年平均温度为 23.1℃，月平均气温与极端气温 7 月气温最高（29℃），1 月气温最低（14.7℃）。近 20 年的年平均温度呈上升趋势，2020 年年平均气温最高（23.9℃），2010 年年平均气温最低（22℃）。

4.1.1.2 降水

根据台山气象站（112.7858°E，22.2472°N）2004 年~2023 年的长期气候统计资料，台山气象站多年平均降雨量为 1912.7mm，6 月降水量最大（351mm），12 月降水量最小（30.8mm）。近 20 年年降水总量呈现上升趋势，2007 年年总降水量最大（2609.7mm），2006 年年总降水量最小（1194 mm）。

4.1.1.3 相对湿度

根据台山气象站（112.7858°E，22.2472°N）2004 年~2023 年的长期气候统计资料，台山气象站多年平均相对湿度为 77.4%。6 月平均相对湿度最大（83.2%），12 月平均相对湿度最小（65.3%）。近 20 年年平均相对湿度无明显变化趋势，2018 年年平均相对度最大（82%），2007 年年平均相对湿度最小（74%）。

4.1.1.4 日照

根据台山气象站（112.7858°E，22.2472°N）2004 年~2023 年的长期气候统计资料，台山气象站多年年平均日照时数为 1840.8h，7 月日照最长（224.7h），3 月日照最短（82.2h）。近 20 年年日照时数呈现下降趋势，2006 年年日照时数最长（2154.2h），2017 年年日照时数最短（1492.9h）。

4.1.1.5 风况

根据台山气象站（112.7858°E，22.2472°N）2004 年~2023 年的长期气候统计资料，台山气象站多年平均风速为 2.1m/s，12 月份平均风速最大为 2.7m/s，8 月份平

均风速最小为 1.7m/s。

根据近 20 年资料分析，台山气象站风速无明显变化趋势，2010 年年平均风速最大（2.4m/s），2022 年年平均风速最小（1.90m/s）。主要风向为 NNE、N、S，占 40.9%，其中以 N 为主导风向，占全年 17.06%。

表 4.1.1-2 台山市近 20 年月平均风速变化统计表（单位：m/s）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
风速	2.4	2.2	2.1	2	2	2	1.9	1.7	1.9	2.2	2.4	2.7	2.1

表 4.1.1-3 台山气象站年风向频率统计表（单位：%）

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
频率	17.06	12.42	5.28	3.1	2.69	2.87	4.03	6.82	11.42
风向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C	/
频率	6.18	3.51	1.72	2.18	2.22	3.99	6.40	8.15	/

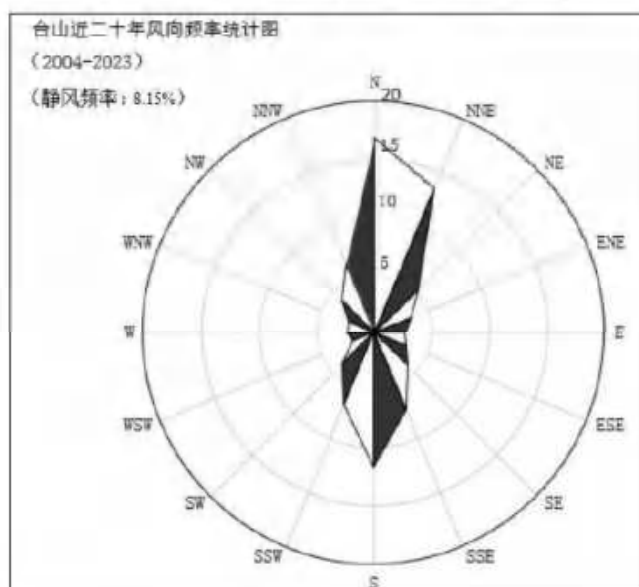


图 4.1.1-1 台山市近 20 年风向玫瑰图

4.1.2 海洋水文

4.1.2.1 基面关系

本海区的平均潮差在 1.34m~1.60m 之间，整个海区潮差是从东往西逐渐增大。各站最大潮差在 2.53~3.76m 之间；涨潮历时普遍小于落潮历时。基面关系见图 4.1.2-1。各主要潮位站的潮位特征值见表 4.1.2-2。

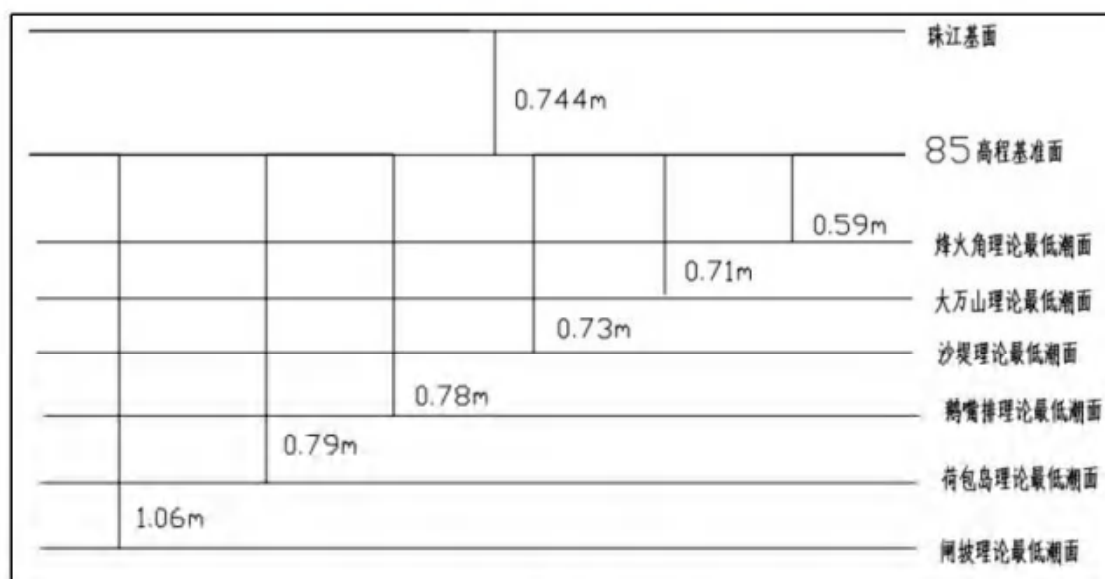


图 4.1.2-1 基面关系图

表 4.1.2-2 各主要潮位站的潮位特征值

站名	荷包岛	鹅嘴排	烽火角	沙堤	闸坡
最高潮位	2.13	2.22	4.01	2.49	2.92
最低潮位	-0.71	-0.72	-1.58	-1.05	-1.46
平均高潮位	1.31	1.41	1.36	1.64	1.40
平均低潮位	-0.04	-0.02	-0.05	-0.01	-0.16
平均潮位	0.63	0.67	0.66	0.82	0.62
最大潮差	2.59	2.53	3.52	3.06	3.76
年平均潮差	1.34	1.45	1.38	1.60	1.54
平均涨潮历时	6: 34	6:56	5:02	5: 48	5:50
平均落潮历时	6: 44	7:17	7:33	6: 26	6:35
统计年限	2004.7-2005.6	1988.8-1989.8	1965-2004	2005.8.20~9.20	1984-2004
使用基面	1985 国家高程基准				

4.1.2.2 波浪

本节引自《中广核阳江帆石一、帆石二海上风电场项目水文观测及海洋环境现状调查-周年潮汐、海流、波浪观测分析报告》（国家海洋局南海调查技术中心，2020年7月）。波浪观测站位的布设位置为：112°13.578'E，21°5.356'N，观测时间：2019年3月1日~2020年2月29日。相关结论如下：

（1）观测期间最大波高 H_{max} 、十分之一大波波高 $H_{1/10}$ 、三分之一大波波高 $H_{1/3}$ 、平均波高 H_{AVE} 分别为 1045cm、757cm、607cm、376cm，发生于夏季热带气旋“韦帕”（2019年7月）影响期间。平均 $H_{5\%}$ 、 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 H_{AVE} 分别为 156cm、160cm、128cm、81cm。本海区除 8 月份强浪向为 SSE 向外，其余月份的强浪向以 E~ESE 为主。

(2) 观测期间 $T_{1/3}$ 、 $T_{1/10}$ 、 T_p 小于 7s 的波浪分别占全年的 79.7%、74.5%、47.7%，大于 7s 的波浪分别占全年的 20.3%、25.5%、52.3%。

(3) 工程海区波浪类型以风浪与涌浪的混合浪为主，7~9 月风浪出现的频率小于涌浪出现的频率，10 月~次年 5 月则相反。全年风浪与涌浪出现的频率相当，接近 12%，混合浪占 74.4%。

(4) 夏季（6~8 月）波向主要集中在 SSE~SSW 方向，分布频率占约当月的 80%。全年波向主要集中在 E（常浪向）、S（次常浪向）方向，分布频率分别为 48.87%、17.53%，占观测期间波浪的 66.4%。 $H_{1/3}$ 波高分布中 50~100cm、100~150cm、150~200cm 的波高占全年的频率分别为 31.73%、32.7%、20.41%，占观测期间波浪的 84.8%。

(5) 全年有效波高 $H_{1/3}$ 与 $T_{1/3}$ 主要集中在 50cm~200cm、4.0s~7.9s 范围内，约占观测期的 81.58%；全年有效波高 H_s 与 T_p 主要集中在 50cm~200cm、5.0s~8.9s 范围内，约占观测期的 69.89%。

(6) 按每天至少出现 1 次统计， $H_{1/3} \geq 350$ cm 的浪观测期间出现 3 天，分别出现在 2019 年 7 月~9 月。按每天至少出现 4 次、6 次统计， $H_{1/3} \geq 350$ cm 的浪观测期间分别出现 2 天、2 天，均分别出现在 2018 年 7 月和 8 月。

(7) 观测期间 $H_{1/3}$ 大于 50cm、100cm、200cm、300cm 波浪最长持续时间分别为 3348h、600h、107h 和 27h，大于 350cm 波浪出现在 2019 年 7 月~9 月，最长持续时间为 16h。

(8) 观测海区波浪全年以单峰谱为主，谱峰周期范围为 6~10s，谱峰方向夏季偏南，冬季偏东。热带气旋影响下的 7~8 月谱峰宽度较窄，谱峰值较大（台风“韦帕”影响期间）。春季、夏季、秋季和冬季波浪的谱峰值范围分别为 4.14~8.73 (m^2/Hz)、3.89~35.01 (m^2/Hz)、9.45~19.78 (m^2/Hz)、7.70~23.50 (m^2/Hz)。春季、夏季、秋季和冬季波浪的谱峰周期范围分别为 7.7~9.1s、6.3~10.0s、9.1s、8.3~10.0s。

(9) 本海区 10 月~次年 3 月以东北向的风浪为主；4 月~9 月以东北和西南向的混合浪为主。热带气旋“韦帕”、“杨柳”和“剑鱼”影响期间波浪谱峰以单峰谱为主，伴随有小的次峰，谱峰周期 6.0s~10.6s，波向随热带气旋的移动按 S（热带气旋来临前）→E（工程海域波高达到最大）→S（热带气旋远离）规律变化。典型夏季风、冬季风影响期间波浪仍以单峰谱为主，最大谱密度峰值相近。

(10) 波周期大于 7 秒的波浪年最大波高 $H_{\max}$ 、十分之一大波波高 $H_{1/10}$ 、三分之一大波波高 $H_{1/3}$ 、平均波高 H_{AVE} 分别为 875cm、657cm、542cm、350cm，发生于 2019 年 7 月热带气旋“韦帕”影响期间；年平均 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 H_{AVE} 分别为 96cm、77cm、49cm；年平均 T_z 为 8.4s。

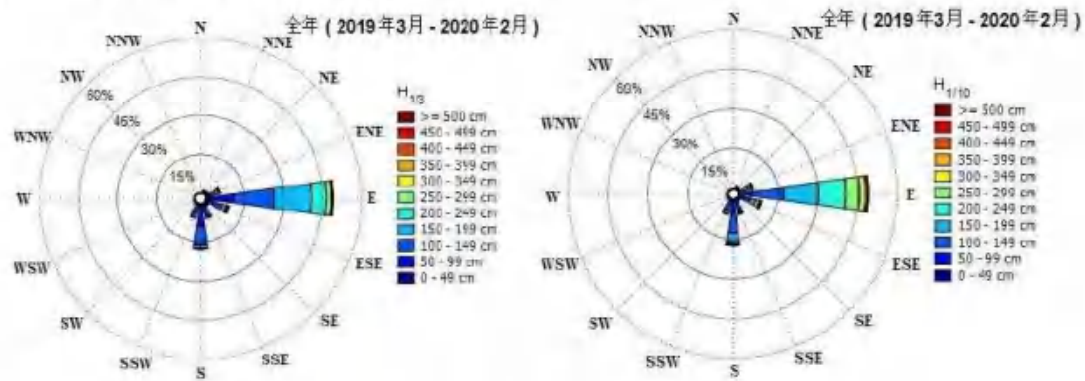
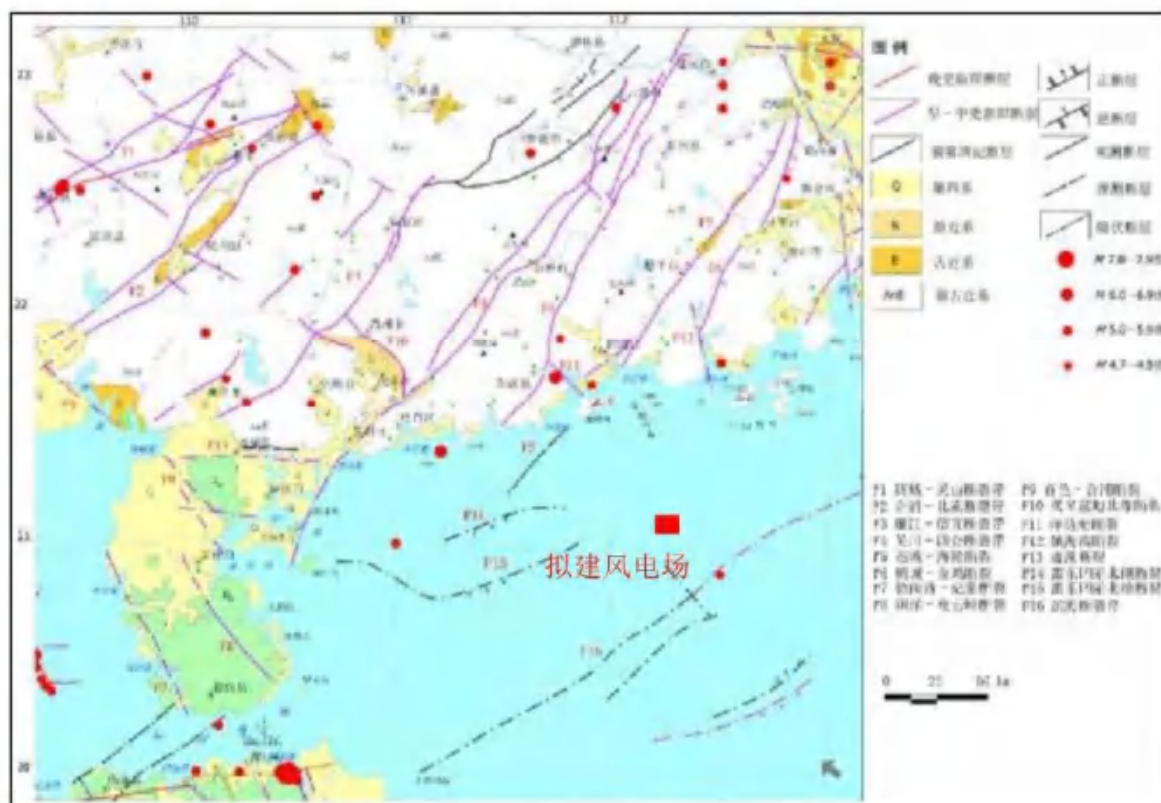


图 4.1.2-2 波高与波向联合分布玫瑰图

4.1.3 区域地质

根据《国能江门川岛二海上风电项目可行性研究阶段岩土工程勘测报告》(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 2024 年 5 月), 风电场场址在大地构造上位于华南褶皱系东南沿海, 区域内断裂构造发育, 经多次构造运动先后形成一系列规模不等、方向不一、性质不同的断裂, 其中规模较大的断裂对沉积相和沉积厚度、岩浆活动及构造变形等均有明显的控制作用, 在地球物理场中也有不同程度的反映。它们按走向主要分北东向和北西向断裂, 北东向深大断裂带主要有: 吴川—四会深断裂带 (F4)、苍城—海陵断裂 (F5)、鹤城—金鸡断裂 (F6)、雷东凹陷北侧断裂 (F14)、雷东凹陷北缘断裂 (F15)、滨海大断裂 (F16)。北西向断主要有: 洋边海断裂 (F11)、镇海湾断裂 (F12)。断裂位置及展布如图 4.1.3-1 所示。


 图 4.1.3-1 区域地质构造图 ($M \geq 4.7$, 1507~2020 年)

按断裂走向对各断裂描述如下:

(1) 北东向断裂:

① 吴川-四会断裂 (F4)

该断裂斜贯广东的中、西、北部,在广东境内全长超过 800km,总体呈 $20^\circ \sim 40^\circ$ 方向延伸,影响宽度 15~20km。断裂带自吴川向东北经阳春、云浮、四会、广宁,插入于英德犀牛一带,与仁化—英德断裂会合。断裂在韶关附近分为两支:一支沿着南雄盆地与江西大余—兴国—南城深断裂相接,为任纪舜所称吴川—肖山深断裂的一部分,另一支往北插入江西遂川,沿赣江断裂北行与郟城—庐江深断裂带相连。断裂的西南段也明显分为两支,其中一支进入吴川后,潜伏于雷琼断陷之下,在海康乌石港附近插入北部湾;另一支沿阳江织箕断裂下海而进入大竹洲岛。该断裂带在粤西区是二级构造单元的分界线;在粤北区乳源和翁源是四级构造单元的分界线。

深断裂带西南段的茂名、吴川、电白、阳江、阳春一带分为东、西两个断裂束,由 11 条主要断裂组成。在空间上酷似一个向西南开口的喇叭,实际上是一个具有多旋回活动的构造、岩浆、变质岩带。西断裂束由运塘—三屋排—龙降村、黄岭顶—

合水口、官塘、陂面—石菜、大陈圩—沙瑚等断裂所组成；东断裂束由蓝塘、七星顶、罗保冲、织箕—城垌—湾边圩等断裂所组成。该断裂带单条断裂长几十到上百千米，断裂带发生强烈的挤压破碎，形成破碎角砾岩带、糜棱岩化带、片理带和硅化带。总体而言，西断裂束发育强度较大，在平面上呈舒缓波状延伸，局部呈“S”形产出。西断裂束以北西倾斜为主，倾角 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ；东断裂束以向南东倾斜为主，倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，均属高角度冲断层，属对冲结构，断裂两侧老地层常常逆掩于新地层之上。

据对断裂带东、西两束较大断裂的年代测定，表明东侧断裂最新活动发生在中更新世中期，西侧断裂个别地段最新一次活动也是发生在中更新世中期。沿断裂发生过多次 $M\geq 4\frac{3}{4}$ 地震。

该断裂位于场址西北面，断裂西南端淹没于南海，与场址的最近直线距离约 89km。

②苍城-海陵断裂 (F5)

苍城-海陵断裂东北起自西江右岸，往西南经苍城、恩平、温泉至北津港，长 150km。它总体走向北东 30° ，倾向北西或南东，倾角 60° 以上。断裂控制了白垩纪、古近纪断陷盆地沉积。沿断裂发育宽 10~40m 的硅化构造岩、角砾岩和挤压带。在沙湖附近断裂使二叠纪含煤地层逆冲于古近纪红层之上，古近系挤压破碎并形成片理化带。恩平西南断裂地貌显示为断崖和条形山脊。

断层物质 TL 测年结果为 28 万年和 35 万年（国家地震局地质研究所等，1990），故属中更新世中晚期活动断裂。海陵岛的沙岗村东断层破碎带清晰可见，但胶结坚硬，上覆风化土及坡积物无被断错迹象，为前第四纪断层。最近的海域物探表明断裂向西南延伸，上覆沉积层未被断层错断（国家海洋局第一海洋研究所，2007）。

该断裂位于场址西北面，断裂西南端淹没于南海，其隐没于海域的西南端与场址的最近直线距离约 64km。

③鹤城-金鸡断裂 (F6)

鹤城-金鸡断裂东北起自西江右岸，往西南经鹤城、开平、金鸡延至镇海湾被那扶-镇海湾断裂所截，长 110km。断裂大致以赤坎为界可分东北和西南两段。断裂东北段从赤坎往北至高明三洲，长约 70km，走向北东 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，该段以断裂两盘地形反差较小为特征。其中赤坎至开平段，断裂完全隐伏于潭江冲积物之下。在鹤城以

南禾谷一带的跨断层两盘河流阶地测量结果表明，T1、T2 高度并无显著的差异，甚至穿越断裂的一系列小河流的纵剖面也无异常表现，表明中更新世晚期以来，已无明显的差异升降运动（张珂等，1999）。鹤城鹿子坑公路旁的断裂磨砾岩测年为距今 33 万年。为中更新世断裂。断裂西南段南起镇海湾，向北经金鸡镇至赤坎，长约 50km。本段以逆断层地貌为特征，南东盘地势普遍高于北西盘。沿断裂带随处可见透镜体、片理化等强烈挤压现象。在赤坎一带进行的跨断层河流阶地测量（潭江阶地）结果表明，断裂两盘 T1、T2、T3 这三级阶地的高度几乎完全相等，但 T4 阶地，南东盘的侵蚀阶地面高于北西盘基座阶地面将近 3m，可能是中更新世初期逆断层活动的反映（张珂等，1999）。在高嘴村的断层泥的 TL 年龄为距今 17 万年，为中更新世中晚期断裂。

该断裂位于场址东北面，与场址的最近直线距离约 86km。

④雷东凹陷北侧断裂（F14）

断裂位于雷东凹陷的北边，走向北东 65°，倾向南东，长约 60km。该断裂主要发育在基岩中，对新生代各时期地层的沉积没有控制作用。国家海洋局第一海洋研究所 2007 年进行海域地球物理勘探，3 条测线于 120m 深度范围内，均未发现该断裂，认为这是一条前第四纪断裂（北京中震创业工程科技研究院、江苏省工程物理勘察院、广东省地震局，2010 年）。

该断裂位于场址西面，与场址的最近直线距离约 54km。

⑤雷东凹陷北缘断裂（F15）

又称礮洲断裂或雷东三凹和二凹北缘断裂。断裂走向南东-近东西-北东，倾向南，长 140km。它是雷东凹陷的北界，是凹陷的主控断裂。该凹陷基底埋深浅，堆积的新生代地层厚 2000~3000m，其中新近系和第四系厚约 800~1000m。断裂对新近系和第四系厚度分布没有明显的控制作用，推测为前第四纪断裂。（北京中震创业工程科技研究院、中国地震灾害防御中心、广东省地震局，2012 年）。

该断裂位于场址西南面，与场址的最近直线距离约 46km。

⑥滨海大断裂（F16）

该断裂展布于东南沿海地区的滨海地带，大致位于海水等深线 30-50m 处，其卫星遥感线性信息清晰可辨。在航磁图上，表现为一条十分醒目的剧变负异常带。

在海磁图上，东部香港至南澳一带，显示为变化的负磁场带，并以升高和降低

的异常带频繁交替变化为特点，西部担杆列岛至围洲岛一带，则表现为剧烈变化的负异常和锯齿状异常为主。在重力图上，该断裂带正好处于布格重力带中正负异常转换的过渡范围内。

岛屿考察证实，在珠江口外的担杆列岛，有走向北东 70° 左右，倾向南东，倾角约 85° 的挤压带分布，带宽 5-30m。在粤东南彭列岛的顶澎岛，见走向北东 55° ，倾向南西，倾角 75° 的强烈挤压并遭受错切的断裂构造带。样品经分析鉴定为石英角砾重熔硅化构造岩，带宽约 20m。在福建的兄弟屿，也见岛上出露走向北东 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的强烈动力变质混合岩构造带。断裂在地貌上形成陡峭的断层崖。可以认为，出露在上述岛屿的断层，应为展布于这些岛屿南部海域的滨海断裂带的次级断裂的反映（国家地震局地壳应力研究所，1993）。南澎列岛海域人工地震测探反射剖面印证了该断裂带的存在。该断裂带是东南沿海地区一条重要的地震构造线，也是新第三纪以来陆地隆起与海域沉降的交替地带。

第四纪以来，断裂仍强烈活动。根据 1980 年南澎列岛海底地质调查发现，沿断裂线两侧海底地貌和沉降物迥然不同，北侧属大陆继承性地形，起伏较大，其上岛屿、礁石星罗棋布、水下谷地、洼地交错其间，并分布泥质细粒沉积物；南侧岛屿消失，地势平坦，分布含砾粗砂沉积物。根据水深线 30m 处沉积砂层颗粒的磨圆度和含有仅适合于淡水河口或潮间带生活的大量生物遗体来看，南海岛至兄弟屿一线，应是古海岸线的分界，由于断裂两侧地壳发生差异性垂直活动，以及水动力条件等原因，使原来分布于古海岸潮间带一侧的砂层被淹没于 30m 深处，这些粗砂沉积物形成于更新世某一时期。据中国科学院南海研究所与石油工业南海地质研究所在南澎列岛海域的人工地震综合剖面，以及大鹏湾南部地震勘探剖面，均证实该断裂已切割了新第三纪至第四纪地层。

该断裂位于场址的西南~东南面，距场址最近直线距离约 25km。

（2）北西向断裂

①洋边海断裂（F11）

该断裂位于海陵岛西北，走向 $NW310^{\circ}\sim 320^{\circ}$ ，倾向 NE 或 SW，倾角 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。断裂长度 25km，可分为南、北两段。北段主要沿洋边海（丰头河）延伸，大部分被海水淹没，仅在公石岛露出水面，在公石岛上硅化角砾岩带宽约 30m，由硅化构造角砾岩和石英脉组成。断层角砾岩热释光年龄为 56.14 ± 5.05 万年。南段见于海陵

岛沙角、北汀和广陵等乡村中，断层滑动面清晰，其擦痕显示左旋走滑性质。断层物质电镜扫描分析认为，该断裂曾有过三次活动，断层角砾岩热释光测年结果为距今 56.14 ± 5.05 万年。洋边海断裂为早第四纪断裂。

1969 年阳江 M6.4 级地震，就发生在它与北东东向平岗断裂的交汇处。M6.4 级主震东南方向约 7km 的丰头岛先后于 1986 年和 1987 年发生 M4.8 级和 M4.6 级两次强余震，主震震中和余震震中连线为北西向，与洋边海断裂基本吻合。从 1970 年至今，洋边海及其附近地区共发生近千次 ML2.0~4.9 级余震，余震大部分集中在洋边海断裂与平岗断裂的交汇处，并形成向北西延伸的小震活动带，故此洋边海断裂对地震发生起到重要作用，应是主要发震断裂。

该断裂位于场址西北侧，与场址的最近直线距离约 71km。

②镇海湾断裂 (F12)

北起恩平长龙仔一带，向东南经长乐、那扶而进入镇海湾，可能继续延伸到下川岛西侧海域，总体走向 NW30°，长 60km。它可分三段，横陂林杨以北的北段，断裂倾向北东，长 8km。中段位于横陂林杨与洪滘角之间，倾向 SW，长 11km，断层物质测年表明，断裂 42 万年左右和 24 万年左右有过活动（国家地震局地质研究所等，1994）。洪滘角以南的南段，断裂倾向 NE，长近 40km。据断层物质年龄测定结果，在距今 40 多万年前有过活动（国家地震局地质研究所等，1994）。又据镇海湾两侧上更新统—全新统顶面分布基本一致，反映隐伏海湾的断裂两侧晚更新世以来相对稳定。1664 年于镇海湾发生过 5 级地震。其最新活动时代为中更新世（中国地震局地质研究所，2012）。

该断裂位于场址北侧，与场址的最近直线距离约 61km。

4.1.4 自然灾害

4.1.4.1 热带气旋

有研究表明，台风最大风速半径（台风最大风速处距其中心距离）约为 15—90km，台风发展过程中最大风速半径会不断变化，不同特性、强度的台风，其最大风速半径也会有所不同。

1949-2020 年 72 年间经过评估区域的台风共 110 个，年平均为 1.5 个；最多的 1974 年有 6 个台风中心经过该区域；无台风中心经过该区域的年份有 15 年。在这 110 个台风样本中，涵盖了从热带低压到超强台风的所有等级热带气旋。

各个台风生命史历程中，极端最低气压为 890hPa（5413 号超强台风），台风过程极端最大风速为 85m/s（5413 和 5427 号超强台风）。

在评估区域内的台风极端最低气压为 935hPa（9615 号强台风），台风极端最大 2min 平均风速为 50m/s（5413 号、6311 号超强台风和 9615、0814 号强台风），根据 2min 和 10min 平均风速经验换算系数 0.92[阎俊岳等，《中国近海气候》，科学出版社，1993 年]，将 2min 平均风速换算为 10min 平均风速，最大值为 46.0m/s。

广东沿海的台风季为每年的 4~11 月份，进入评估海域内的台风样本主要集中在 5~10 月份，台风出现频率占总数的 96%。按广东前后汛期时间划分，前汛期（4~6 月）的台风频率占 21%，后汛期（7~9 月）的台风频率为 66%。

对进入评估海域内的台风样本中心最大 10min 平均风速按 IEC 标准进行分级统计，结果显示风速小于 30.0m/s 的台风样本占 67.3%，风速在 30.0~37.5m/s 之间的占 25.5%，风速在 37.5~42.5m/s 之间的占 3.6%，风速大于等于 42.5 的占 3.6%（未出现 10min 平均风速达 50m/s 以上的台风样本）。从各月台风样本分级情况可见，6~11 月份出现强台风样本的频率明显高于其他月份。

4.1.4.2 风暴潮

风暴潮灾害是由台风强烈扰动造成的潮水位急剧升降，是一种严重的海洋灾害，主要危害沿海地区。在广东地区，台风风暴潮灾害的特点是：发生次数多、强度大、连续性明显，影响范围广，突发性强，灾害损失大，且主要危害经济发达的沿海地区。台风引起的增水见表 4.1.4-1。

表 4.1.4-1 台风引起的增水

名称	登陆地点	日期	台风引起的增水
温比亚	湛江市麻章区湖光镇沿海	2013 年 7 月 2 日	珠江口以西沿岸 (38~182cm)
尤特	阳西县附近沿海	2013 年 8 月 14 日	台山站 (120cm)
电母	湛江雷州市东里镇沿海地区	2016 年 8 月 18 日	珠江口到粤西沿岸 (30~60cm)
天鸽	珠海市金湾区沿海	2017 年 8 月 23 日	台山站 (102cm)
帕卡	江门市台山东南部沿海	2017 年 8 月 27 日	台山站 (52cm)
卡努	湛江市徐闻县东部沿海	2017 年 10 月 16 日	台山站 (105cm)
山竹	广东省台山海宴镇	2018 年 9 月 16 日	台山站 (175cm)
韦帕	广东省湛江市	2019 年 8 月 1 日	台山站 (78cm)
海高斯	广东省珠海市金湾区沿海	2020 年 8 月 19 日	台山站 (50cm)
查帕卡	广东省阳江市江城区沿海	2021 年 7 月 20 日	台山站 (51cm)
圆规	海南省琼海市沿海	2021 年 10 月 13 日	台山站 (152cm)
暹芭	茂名市电白区沿海	2022 年 7 月 2 日	台山站 (104cm)
马鞍	茂名市电白区沿海	2022 年 8 月 25 日	台山站 (114cm)

名称	登陆地点	日期	台风引起的增水
泰利	广东省湛江市南三岛沿海	2023年7月17日	台山站（116cm）
苏拉	广东省珠海市金湾区沿海	2023年9月2日	台山站（58cm）

4.2 海域资源概况

4.2.1 岸线资源

本项目风机和 66kV 集电海缆距离陆地最近约 60km，送出海缆不在本次评价范围内，不占用岸线，评价范围内不涉及岸线资源。

4.2.2 海岛（礁）资源

本项目建设不占用岛礁资源，距离最近的岛礁大帆石约 37.8km，评价范围内不涉及岛礁资源。

4.2.3 港口资源

根据《江门港总体规划》（江门市交通运输局，2015 年 2 月），江门港划分为广海湾、恩平、新会、主城、开平、鹤山、台山等七大港区，各港区规划包括数量不等的作业区。

广海湾港区规划布置广海湾作业区，为江门市经济发展和临港工业发展服务，以大宗散货、散杂货等运输为主。

恩平港区主要为恩平市及周边地区外向型经济发展、临港产业开发服务，以煤炭、杂货、件杂货、集装箱为主。

新会港区规划包括西河口作业区、天马作业区、双水作业区、三江第一、第二作业区、崖门作业区、古井第一、第二作业区，服务于外向型经济发展、沿江临港产业开发、城市建设与发展，其主要功能是承担外贸集装箱、工业原材料及制成品、矿建材料、以及旅游客运的运输服务。

主城港区规划包括外海作业区和江海作业区，主要为城区及周围地区的外向型经济发展、沿江临港产业开发，其主要功能是承担内、外贸集装箱、件杂货等运输为主。

开平港区，以集装箱、通用货物运输为主，满足开平市区货运码头的搬迁需要，同时能够满足工业东移的发展需要。

鹤山港区为鹤山市经济发展及国际物流港运输服务，为沿江工业服务，主要承担集装箱、件杂货、旅客水上运输任务。

台山港区台山市北部地区及邻近县（市）的货物运输任务，以外贸集装箱装卸为主，兼顾杂货。

4.2.4 航路资源

本项目场址附近的航路有广东沿海外航路、广东沿海内航路和粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道。

广东沿海外航路为干线航路，是中国沿海外航路广东沿海段，东接福建沿海外航路，西接琼州海峡中水道，航路长度 438.2 海里，宽度 6~8 海里。广东沿海内航路，东接福建沿海中航路，西接湛江港进港航道。航路里程 396.3 海里，航宽约 3~4 海里。粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道为广东沿海内航路粤西支线，总长度为 121.7 海里，宽度为 3 海里。

4.2.5 渔业生产资源

根据《台山市养殖水域滩涂规划（2021-2030 年）》，2020 年全市水产养殖面积 27116 公顷，其中海水养殖面积 17976 公顷，海水养殖水面主要三个海湾的沿海；海上养殖主要在上下川岛沿海海域。海水养殖产量 205666 吨，其中滩涂底播养殖产量 75327 吨，面积 6781 公顷，分别占海水养殖总量的 36.6%和 37.8%；筏式吊养产量 62113 吨，面积 3963 公顷，分别占海水养殖总量的 30.2%和 22.0%，筏式吊养和滩涂底播是台山海水养殖主要模式。

台山 2020 年海水养殖的鱼类产量 27551 吨，占海水养殖产量 13.4%；虾类产量 28675 吨，占海水养殖产量 13.9%；蟹类、海胆、海蜇等产量 3312 吨，占海水养殖产量 1.6%；产量贝类产量 146128 吨，占海水养殖产量 71.1%。台山养殖品种结构组成是以贝类为主，其中蛤产量 74771 吨，占台山海水养殖产量的 36.4%，居全省前列；牡蛎产量 62113 吨，占台山海水养殖产量的 30.2%；另外南美白对虾的产量 27483 吨，占总产量 13.4%。

4.2.6 风能资源

本节引自《国能江门川岛二海上风电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有限公司，2024 年 6 月）。

本项目场址内暂未完成周年测风。为合理评估场区风能资源情况，依据项目周边参考测风塔。参考测风塔为海上漂浮式激光雷达测风塔，地理坐标为：

112°22'8.9"E, 21°10'25.1"N, 于2022年5月27日投放并开始观测。参考测风塔与本工程场址相对位置关系如图4.2.6-1所示。

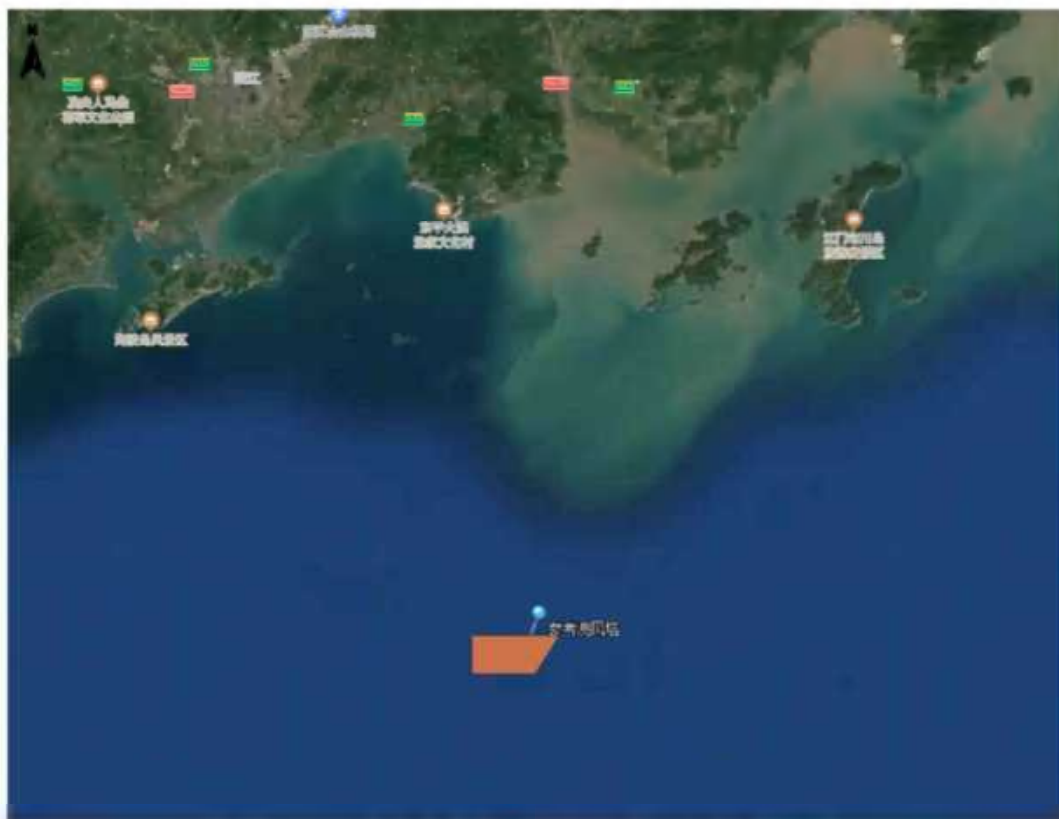


图 4.2.6-1 参考测风塔与本工程场址相对位置关系

测风塔 2022 年 06 月 01 日~2023 年 05 月 31 日的原始测风数据统计分析如下：

(1) 风能资源丰富

本工程参考测风塔 100m 处代表年风速为 7.97m/s, 平均风功率密度约为 487W/m²。170m 高度代表年年平均风速分别为 8.28m/s, 平均风功率密度分别为 541W/m²。风能资源较为丰富, 风功率密度等级为 3 级, 场区风能资源较为丰富。

(2) 风向较为稳定

轮毂高度最多风向分布在 NE~ENE~E 扇区, 频率约占 45%, 在 S~SSW 扇区的频率约占 13%, 风向比较集中; 其中, 全年主导风向为 E, 主导风能方向为 ENE。风向、风能分布相对集中。

(3) 风速和风能分布较为集中

轮毂高度风速主要集中在 3~12m/s 的区间中, 频率约占 88%, 而风能主要集中在 7~17m/s 的风速区间中, 频率约占 83%。风速和风能分布均比较集中。在机组选择时在充分考虑机组安全性的同时应选择风能利用效率较高的风力发电机组, 实现

风能资源的充分利用。

(4) 风功率密度年内变化相对较大，而日变化幅度较小。

年内 10 月至翌年 2 月风速相对较大，其中 10 月平均风速最大；3~9 月风速相对较小，其中 8 月风速最小。风速日内变化不大，一日中 12~21 时风速与风功率密度相对较小，22~次日 11 时风速和风功率相对较高。

(5) 湍流强度和风切变指数均较小

根据《风力发电机组设计要求》(GB/T18451.1)的相关要求，风力发电机组在设计中较为关注 10min 平均风速为 15m/s 时对应的湍流强度。特征风速为 15m/s (14.5~15.5m/s) 时的湍流强度均位于 IEC 的 C 类湍流强度以下。本工程场址的湍流强度处于偏弱级别。

从切变指数来看，测风塔各层按幂函数拟合风速比值与高度比值的关系，可知整体切变指数约为 0.069。

(6) 重现期风速

本项目轮毂高度处 50 年一遇 10min 平均风速取值参考了周边海上风电场工程的设计成果。根据周边海上风电场工程的设计成果，并考虑区域台风活动频率以及一定的工程安全性，本项目 170m 高度处标准空气密度下 50 年一遇 10min 平均风速确定为 56.6m/s，相应 3s 瞬时极大风速为 76.4m/s。

4.2.7 旅游资源

江门台山市是旅游大市，首批国家全域旅游示范区，省内著名的生态休闲旅游度假胜地，全国县域旅游发展潜力百佳县，连续十届被评为“广东省县（市）域旅游综合竞争力十强县”。台山旅游资源丰富，拥有“山湖泉海林、湾侨石岛楼”十大旅游资源，以及“滨海风光、温泉养生、田园牧歌、华侨文化、海丝史迹、红色经典、台山排球、影视基地”八大文旅品牌。目前，主要的旅游景区（景点）45 个，包括国家 4A 级旅游景区 3 个、3A 级旅游景区 8 个，川山群岛旅游景区、那琴半岛、五丰村、康桥温泉、梅家大院等景区（景点）远近闻名。

4.2.8 珍稀海洋生物

(1) 海龟

海龟是高度洄游物种，能进行长距离跨洋际洄游。通过对美国和中国台湾对蠍龟的洄游路线卫星追踪情况，以及 2001-2010 年中国大陆对 11 头绿海龟和 3 头蠍龟

的洄游路线卫星追踪情况进行分析，可知汕头-台湾海域是海龟活动分布的热点海域，更是海龟的洄游的重要通道。

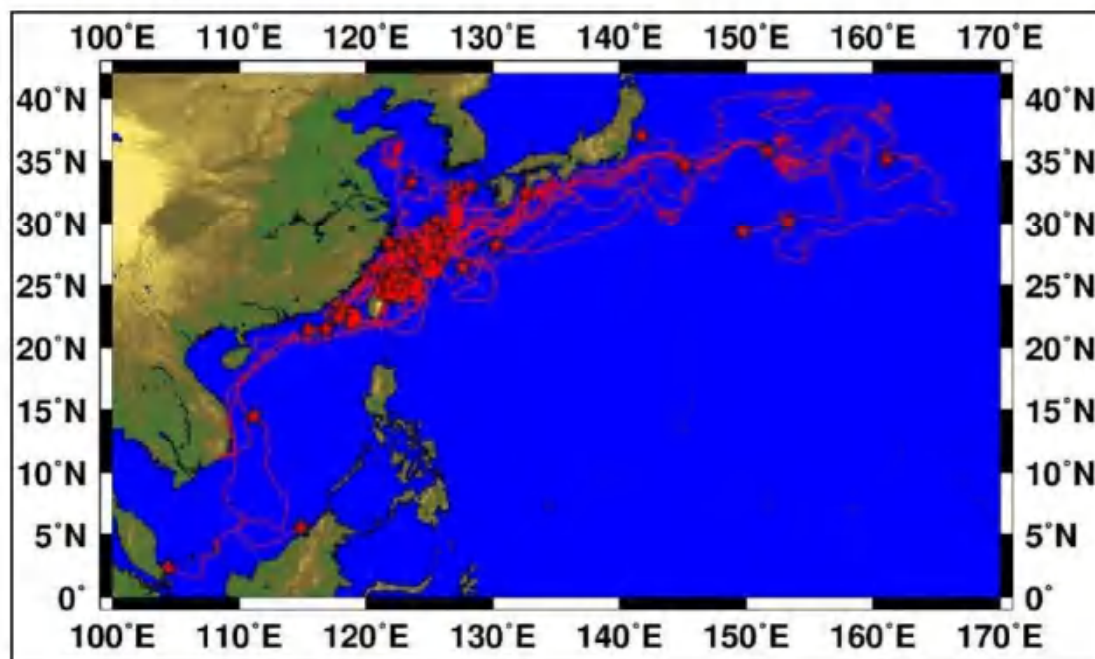


图 4.2.8-1 中国台湾误捕端龟洄游路线卫星追踪图

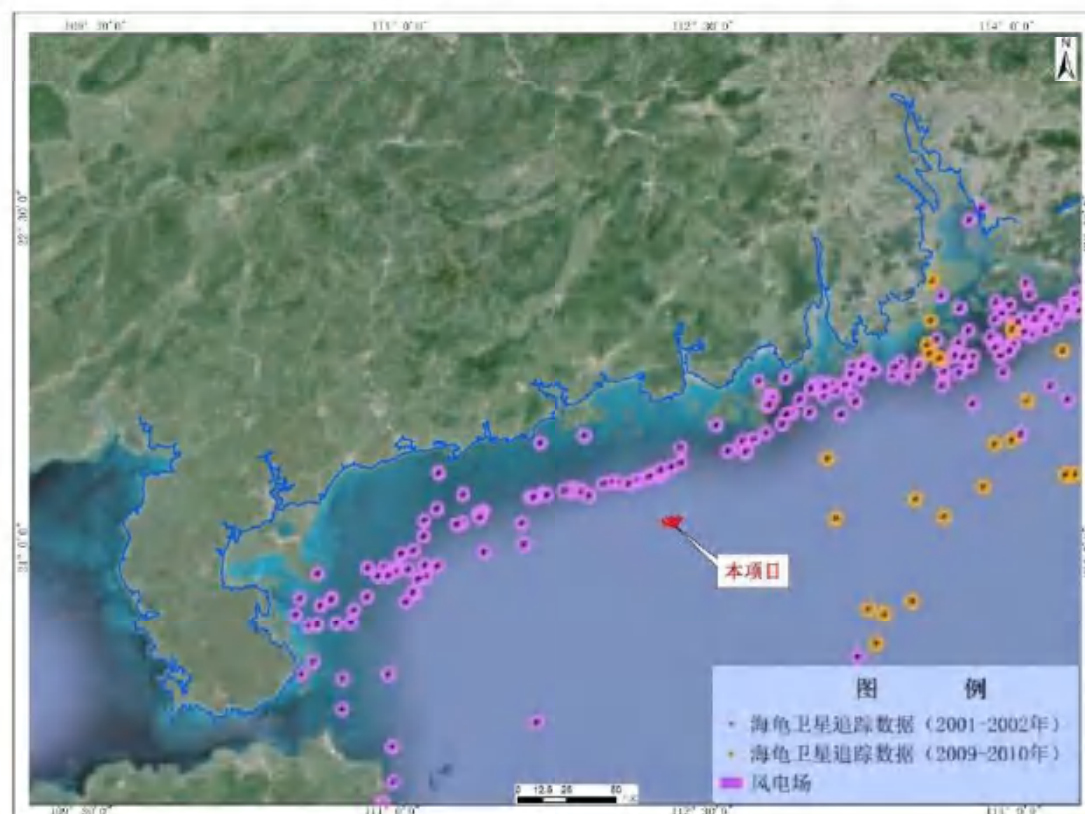


图 4.2.8-2 中国大陆海龟洄游路线卫星追踪图（2001-2010 年）

根据《惠东幼年绿海龟的洄游规律及觅食地选择》（动物学杂志 2021 年 第 56 卷第 4 期 叶明彬等），2011 至 2015 年间，将 6 只来自广东惠东海龟国家级自然保

护区人工培育 2~14a 的幼年海龟，分为夏季组及冬季组，在其背甲上安装追踪器，6 只幼年绿海龟的洄游路线详见图 4.2.8-3。

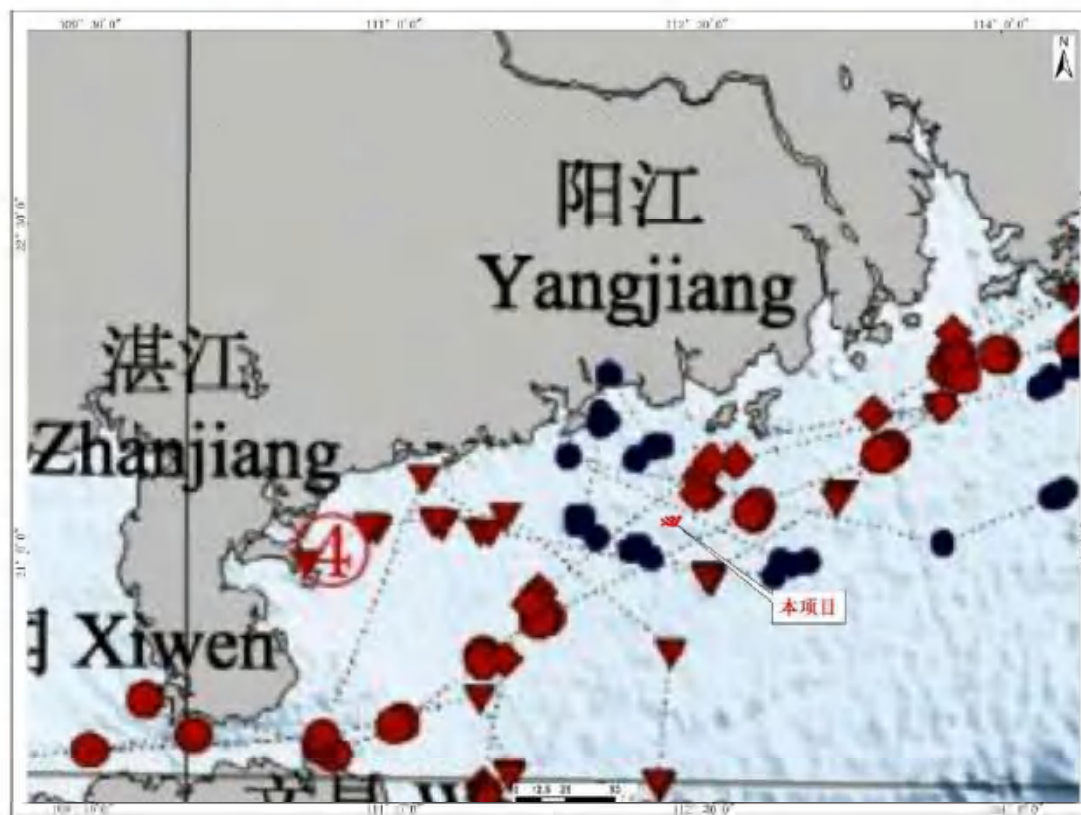


图 4.2.8-3 6 只幼年绿海龟的洄游路线

蓝色和红色路线分别代表追踪终点时间在夏季和冬季的幼年绿海龟洄游路线；①~⑥分别代表编号分别为 73040、70464、65415、40470、53744、52694 幼年绿海龟的终点位置；★为起点，广东惠东海龟国家级自然保护区海龟产卵场沙滩。GEBCO Bathymetry. 海洋大体水深图等深线标尺，不同颜色代表不同的海水深度。

根据图 4.2.8-1~图 4.2.8-3 可知，本项目所在海域存在海龟活动的历史追踪数据，说明工程海域曾有海龟出没，但工程海域不是海龟的主要活动区域。

(2) 海豚

中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 是一种沿岸河口定居性的小型齿鲸类，属海洋哺乳动物，是世界上 85 种鲸类之一，国际上习惯称之为印度太平洋驼背豚 (Indo-Pacific humpback dolphin)。中华白海豚于 1988 年被国务院列为国家一级重点保护动物，隶属齿鲸亚目，海豚科，白海豚属，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。在中国海域，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。在广东沿海，主要分布于粤东沿海的韩江河口、中部沿海的珠江河口和粤西的雷州湾等。

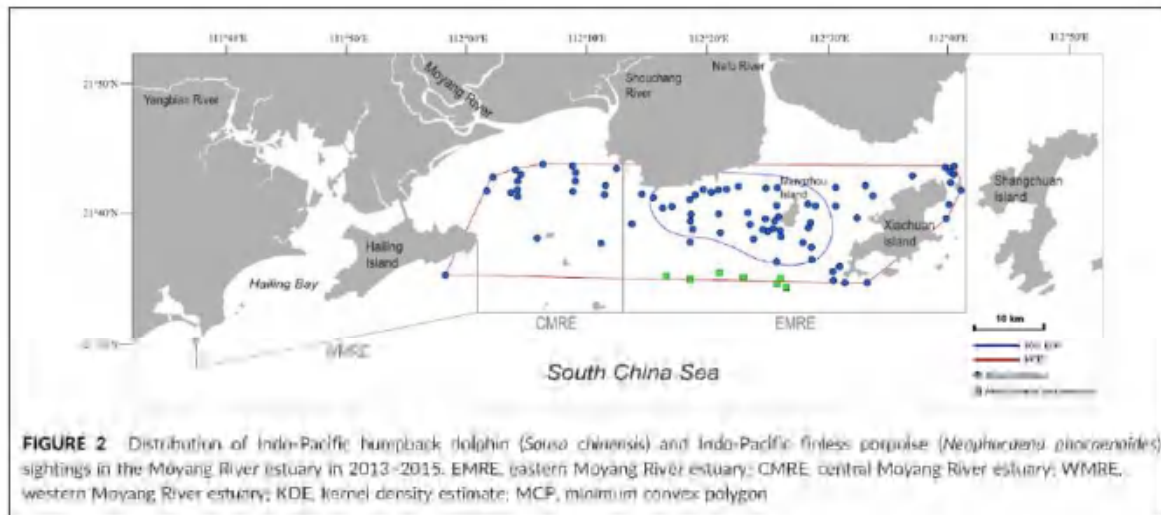


图 4.2.8-4 上川岛至海陵岛中华白海豚和江豚目击位置 (Min Li et al., 2019)

印太江豚 (*Neophocaena phocaenoides*) 也是沿岸定居性的小型齿鲸类, 与中华白海豚一样, 常年栖息于沿岸水域, 是广东沿岸水域仅有的 2 种定居性鲸类之一。印太江豚属国家二级重点保护水生动物, 隶属鼠豚科, 江豚属, 广泛分布于印度洋、太平洋温带和热带的沿岸水域。根据搁浅记录, 广东沿海江豚主要分布于汕头外海和珠江口外海, 其中以珠江口外 (包括香港南部水域) 的记录较多。在珠江口海域, 江豚分布的区域较中华白海豚离岸一些, 从深圳的大鹏澳至江门的下川岛海域均有分布, 在夏季和秋季江豚趋向于近岸分布, 目击次数较多、群体也较大。在汕头海域, 于南澎列岛外海各季节均有江豚出现, 出现的高峰期在 7 月和 8 月。

与喜欢栖息在受河流冲淡水影响水域的中华白海豚相比, 印太江豚大多分布主要受外海水影响的离岸水域, 在珠江口海域它们的分布区域呈现季节性变化, 就是江豚和中华白海豚的分布区很少有重叠, 夏秋季丰水期时江豚的分布区趋向近岸, 秋冬季枯水期中华白海豚的分布则趋向离岸, 两者似乎在互相回避, 即使有时有少量的分布区重叠, 但未见过这两个种类同一时间在同一水域出现, 或者有任何的相互影响。印太江豚不似中华白海豚那样容易接近, 因为它易受惊吓, 很少靠近船只, 且无明显背鳍、体色与海水颜色接近, 不容易被发现。

中华白海豚一般单独或数头一起游动, 有时有 10 余头以上的聚群, 哺乳期幼豚经常与母豚一起并游。雌性中华白海豚大约在 9-10 岁左右达到性成熟, 而雄性白海豚的性成熟年龄可能还要比雌性晚 2-3 年。喜欢在 5 至 8 月份 (即春、夏季) 交配, 母豚的怀孕期约为 11 个月左右。每胎大多只怀一头小海豚, 出生后母豚需哺乳幼豚至少一年。母豚一般间隔至少 3 年才生一胎, 所以它们的繁殖力相当低。中华白海

豚的食物主要是鱼类，至少包括了 14 科 24 种鱼类，主要是叫姑鱼属（*Johnius* spp.）、棘头梅童鱼（*Collichthys lucida*）、梭鲷属（*Thrissa* spp.）、鲷属（*Mugil* spp.）、鰺属（*Ilisha* spp.）、鲚属（*Coilia* spp.）等鱼类，而头足类和甲壳类很少见到。

印太江豚的体形较小，成年体长在 2m 左右，雄成体的体长可达 2.27m，雌成体可达 2.12m。根据性腺的组织学观察和牙齿的年龄鉴定，南海的江豚雄性的最小性成熟年龄为 3 龄，雌性为 4 龄，最老的个体为 21 龄。雌性性成熟体长约 1.5m，怀孕期约为 11-12 个月左右，一般每胎产 1 头，偶尔有双胞胎，初生仔豚体长 75-85cm，哺乳期超过半年，南海沿岸的江豚在 6 月至翌年 3 月间产仔，产仔高峰期在 8-12 月。印太江豚的主要食物为小鱼、乌贼类和虾类，福建省南部沿海江豚的胃含物中有蛇鲻、白姑鱼、斑鲷、鰺鱼、大头狗母鱼、小沙丁鱼、蓝圆鲹、梭鲷、短尾大眼鲷、中华海鲶、棘头梅童鱼等。

项目在 2023 年秋季、2024 年春季开展海洋环境现状调查期间未发现中华白海豚和印江太豚。而在 2023 年冬季开展水文观测期间，在场址东侧约 14.0km 发现印江太豚（详见图 4.2.8-5），2024 年夏季水文观测期间未发现印江太豚。

为了解项目周边中华白海豚及江豚情况，项目委托中国水产科学研究院南海水产研究所开展中华白海豚及江豚调查，详见报告 5.11 章节。



图 4.2.8-5 发现江豚照片及坐标

4.2.9 “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评价范围内“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 4.2.9-1 和图 4.2.9-2。

本项目不位于南海中上层鱼类产卵场内，项目位于南海底层、近底层鱼类产卵场-长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场内。

南海北部金线鱼产卵场分布范围较广，由南海岛东岸一直延伸到汕尾附近（ $111^{\circ}45'-115^{\circ}45'$ ），水深 25-107m，主要是 40-80m，产卵期 3-8 月。深水金线鱼产卵场在南海北部的分布范围很广，从海南岛东岸东经 $110^{\circ}30'$ 以东一直延伸到东经 $117^{\circ}00'$ 的水深 90-200 米范围内均有分布，主要产卵期 3-9 月。根据陈宝国等人（2002 年）研究，深水金线鱼在南海北部海域分布广泛，喜栖息与低温、高盐环境，平时栖息于渔场底层，没有明显的集群洄游的生态习性。深水金线鱼产卵场的底质以沙泥为主，最适底温为 $19\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。金线鱼个体生殖能力随体长的增长而增长，其资源具有生命周期短、生长快、繁殖力强、补充迅速等资源特点，其资源易受破坏也易恢复。

南海北部长尾大眼鲷产卵场：共有二处，一处位于海陵岛南部，约为东经 $110^{\circ}50'-112^{\circ}45'$ ，北纬 $20^{\circ}25'-21^{\circ}30'$ ；一处位于万山列岛的东南部，约为东经 $113^{\circ}20'-115^{\circ}45'$ ，北纬 $20^{\circ}35'-22^{\circ}20'$ 。两产卵场水深为 26-80 米。长尾大眼鲷为底层鱼类。夜行性鱼类，平常躲在礁石下的洞穴中或是其他比较阴暗的地方，到了晚上再游到水层中找寻食物，主要以小鱼、虾、蟹或一些小型的头足类，属肉食性鱼类。喜欢过群居的生活，经常会成群结队一起出现。通常栖息于底质为沙泥海域中。长尾大眼鲷产卵期 5-7 月。本项目位于南海北部长尾大眼鲷产卵场范围以及金线鱼产卵场范围内。

（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 4.2.9-3），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。

南海北部幼鱼繁育场保护区位于本项目北侧约 8.1km。

（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 4.2.9-4),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。

本项目不位于幼鱼幼虾保护区内。

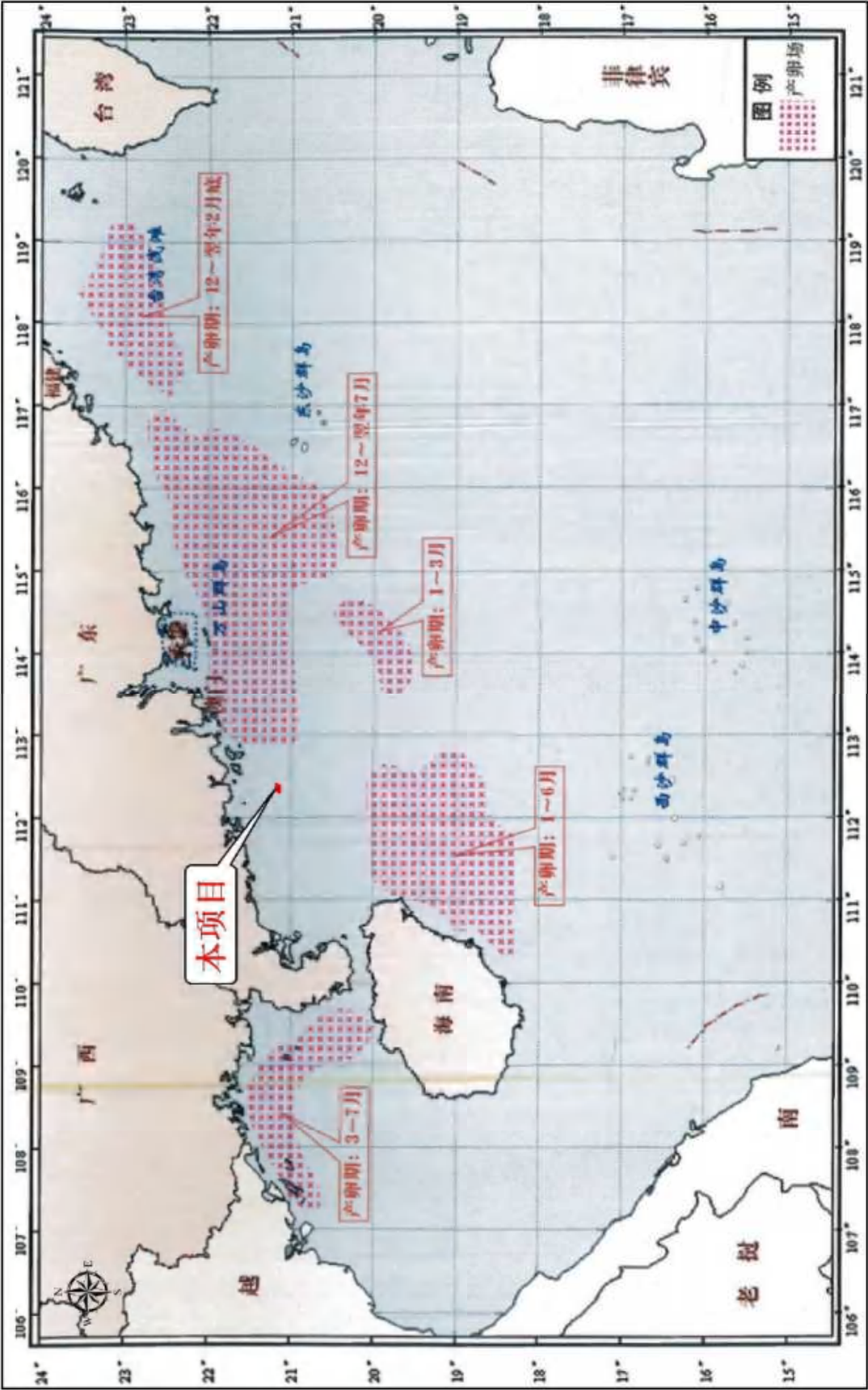


图 4.2.9-1 南海中上层鱼类产卵场示意图

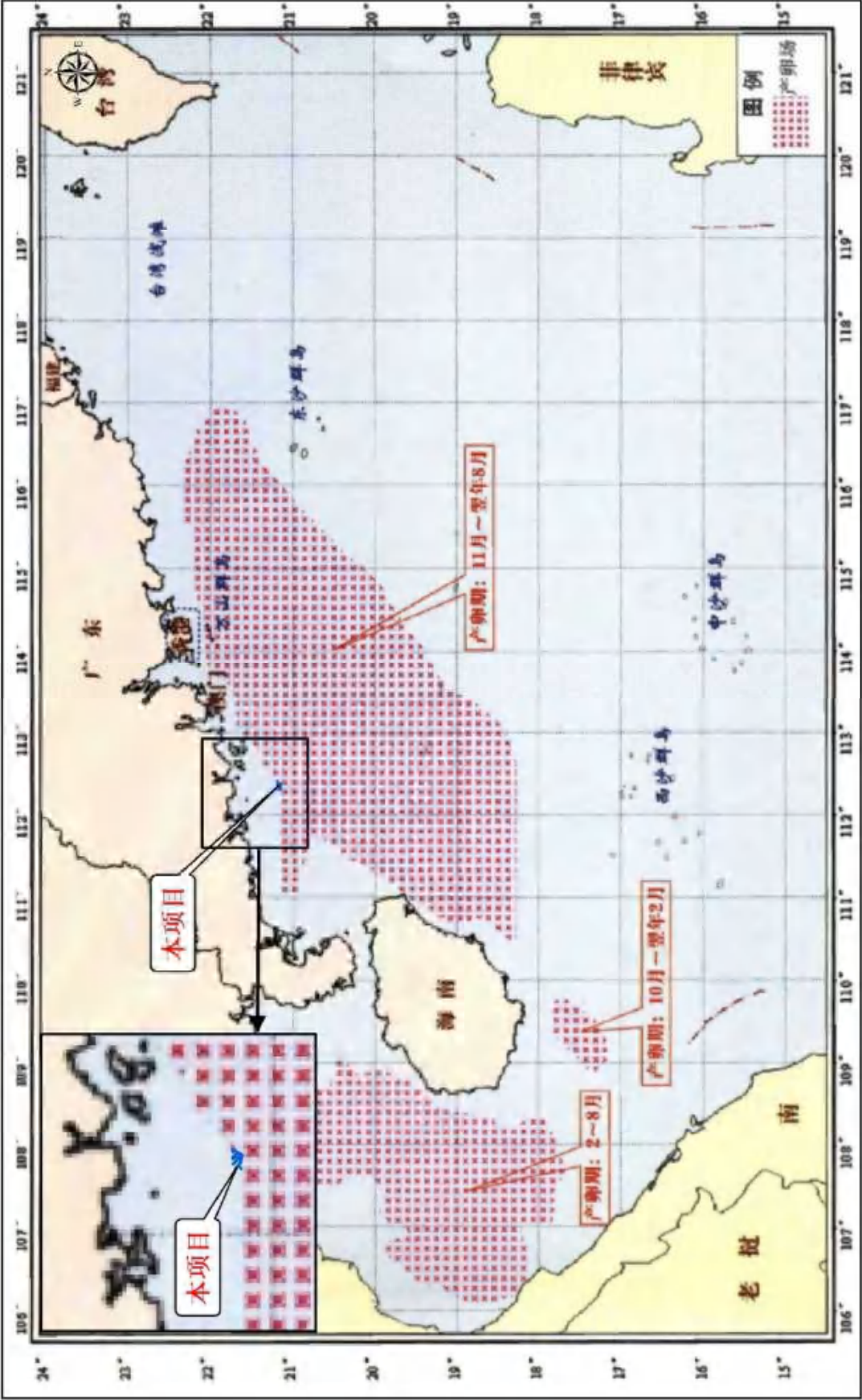
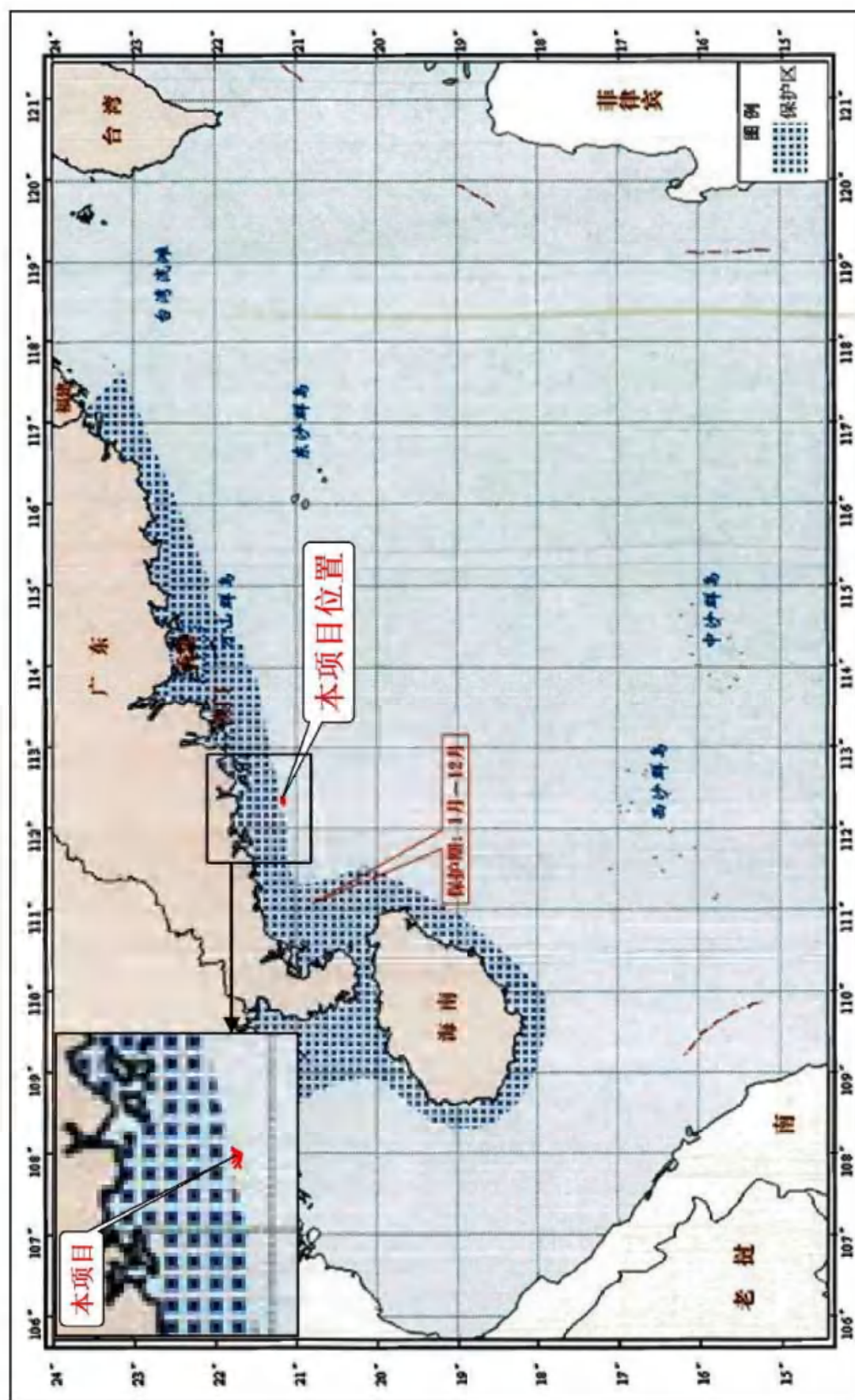


图 4.2.9-2 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图



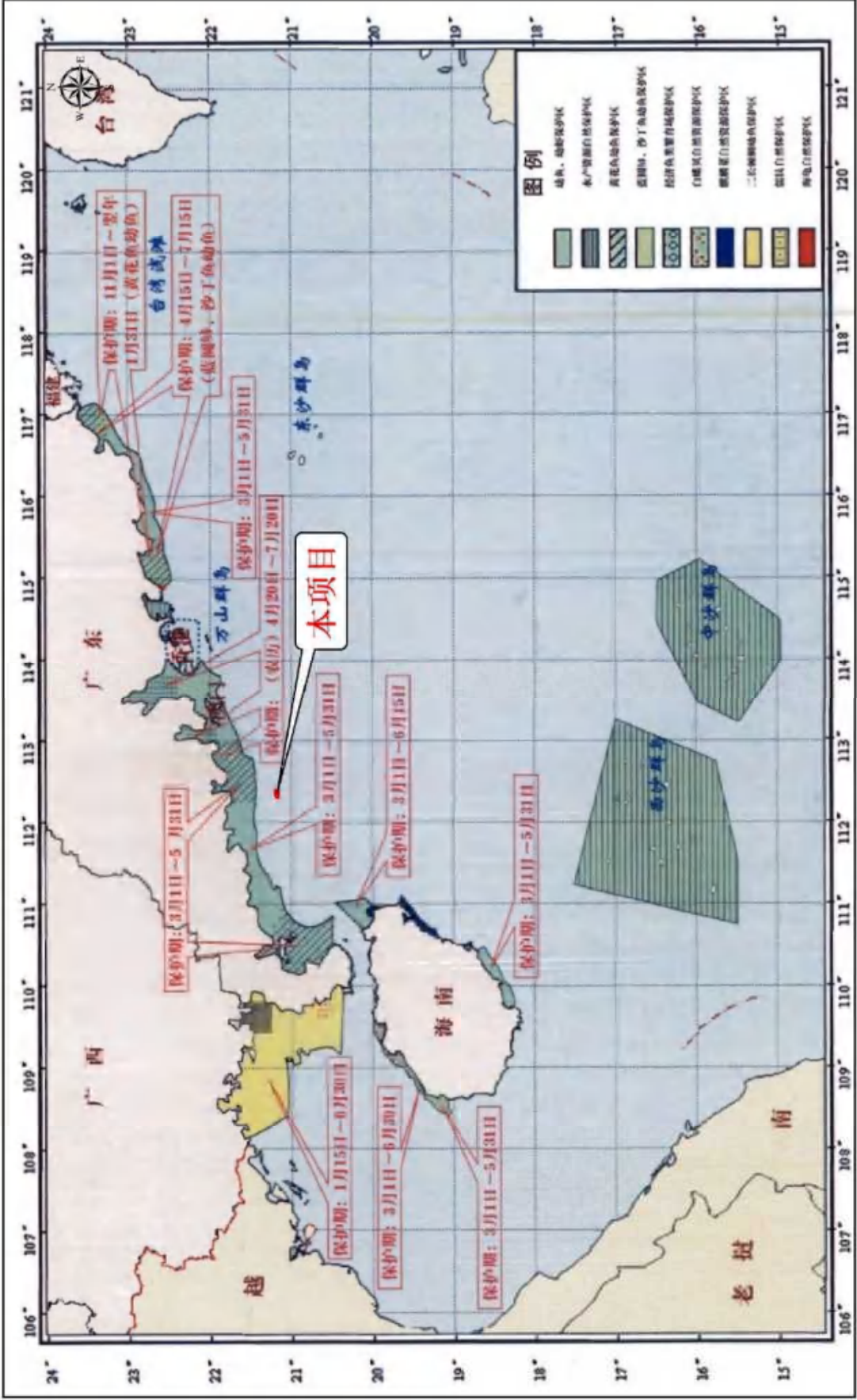


图 4.2.9-4 幼鱼幼虾保护区范围示意图

4.3 海域开发利用现状

经过管理部门调访、海域使用动态监管系统查询，本项目风电场所在及周边海域开发利用活动主要为海上风电项目、习惯航路。海上风电项目有中广核阳江帆石一海上风电场项目、中广核阳江帆石二海上风电场项目、中广核江门川岛一海上风电项目、江门川岛一、川岛二海上风电集中送出工程项目、华能阳江三山岛一海上风电场项目、国电投阳江三山岛三海上风电场项目和中广核阳江三山岛五海上风电项目，航路为粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道、广东沿海外航路。项目所在海域开发利用现状详见表 4.3-1 和图 4.3-1。本项目不占用岸线。

表 4.3-1 项目所在海域开发利用现状表

序号	名称	与本项目相对位置 和最近距离	用海类型
1	中广核阳江帆石一海上风电场项目	西侧，约 0.7km	海上风电项目
2	中广核阳江帆石二海上风电场项目	西侧，约 0.3km	
3	中广核江门川岛一海上风电项目	南侧，紧邻	
4	江门川岛一、川岛二海上风电集中送出工程项目	本项目集电海缆接入其海上升压站	
5	国电投阳江三山岛三海上风电场项目	西南侧，约 20.6km	
6	华能阳江三山岛一海上风电场项目	西南侧，约 25.7km	
7	中广核阳江三山岛五海上风电项目	西侧，约 15.9km	
8	粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道	北侧，约 1.8km	习惯航路
9	广东沿海外航路	南侧，约 17.7km	
10	广东沿海内航路	北侧，约 15.8km	

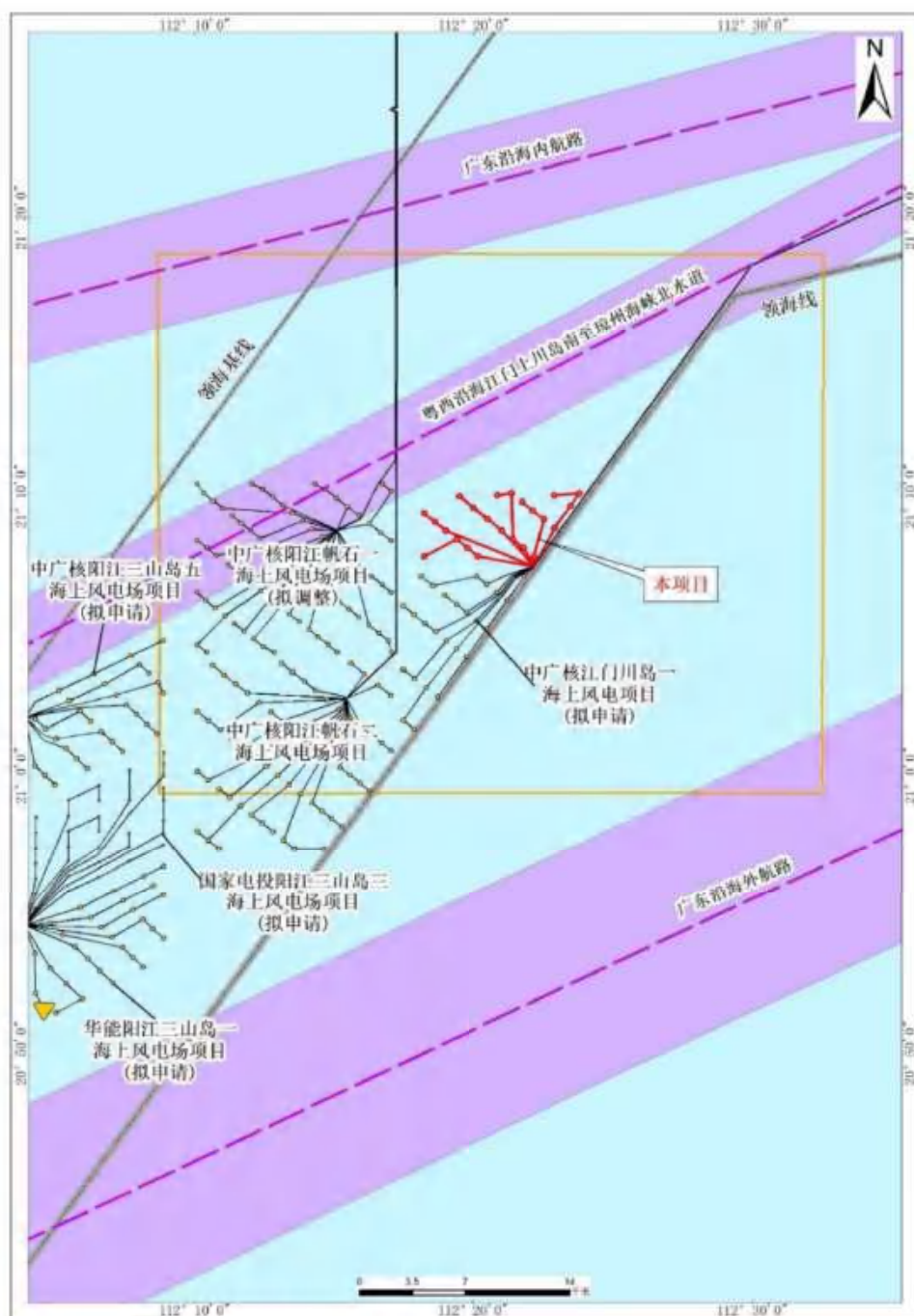


图 4.3-1 项目周边开发利用现状图

4.4 周边污染源调查

本项目评价范围内的开发利用活动主要为海上风电项目、习惯航路。其中中广核江门川岛一海上风电项目、江门川岛一、川岛二海上风电集中送出工程项目、华能阳江三山岛一海上风电场项目、国电投阳江三山岛三海上风电场项目和中广核阳江三山岛五海上风电项目目前均未建设。中广核阳江帆石一海上风电场项目、中广核阳江帆石二海上风电场项目正在建设中，主要的污染源为悬浮物、船舶含油污水、

船舶生活污水、船舶废气、船舶噪声、打桩噪声、生活垃圾等。粤西沿海江门上川岛南至琼州海峡北水道位于本项目场址北侧 1.8km，广东沿海外航路位于本项目场址南侧约 17.7km，广东沿海内航路位于本项目场址北侧约 15.8km，主要的污染源为过往船舶的船舶含油污水、船舶生活污水、船舶废气及船舶垃圾。

5 环境质量现状调查与评价

5.1 水文动力环境

本节引用《中广核江门川岛一海上风电项目附近海域大潮期海洋水文测验技术报告》（广州海兰图检测技术有限公司，2024 年 7 月），由广州海兰图检测技术有限公司 2024 年 6 月在项目附近海域进行的水文观测数据。

5.1.1 调查概况

本次调查布设周日同步连续水文观测站 6 个，站位号为 CDL5~CDL10，同时布设临时潮位观测站 3 个（30 天）。站位坐标以及观测内容见表 5.1.1-1，位置如图 5.1.1-1 所示。

表 5.1.1-1 夏季水文观测站坐标和观测内容

站号	经度 (E)	纬度 (N)	观测要素	观测时间
CDL05	112°22'26.89"	21°14'50.70"	海流、悬沙、粒径、温盐	2024 年 06 月 20 日 01 时至 2024 年 06 月 21 日 03 时
CDL06	112°30'13.75"	21°07'07.30"	海流、悬沙、粒径、温盐	
CDL07	112°21'00.21"	21°06'39.90"	海流、悬沙、粒径、温盐、风速风向	
CDL08	112°09'05.75"	21°08'09.69"	海流、悬沙、粒径、温盐	
CDL09	112°12'39.95"	20°57'36.36"	海流、悬沙、粒径、温盐、风速风向	
CDL10	112°20'31.30"	20°53'37.56"	海流、悬沙、粒径、温盐	
CDC01	112°55'47.17"	21°51'56.36"	潮位	2024 年 06 月 07 日 00 时至 2024 年 07 月 06 日 23 时
CDC02	112°41'18.80"	21°51'06.27"	潮位	
CDC03	112°24'59.98"	21°46'27.70"	潮位	

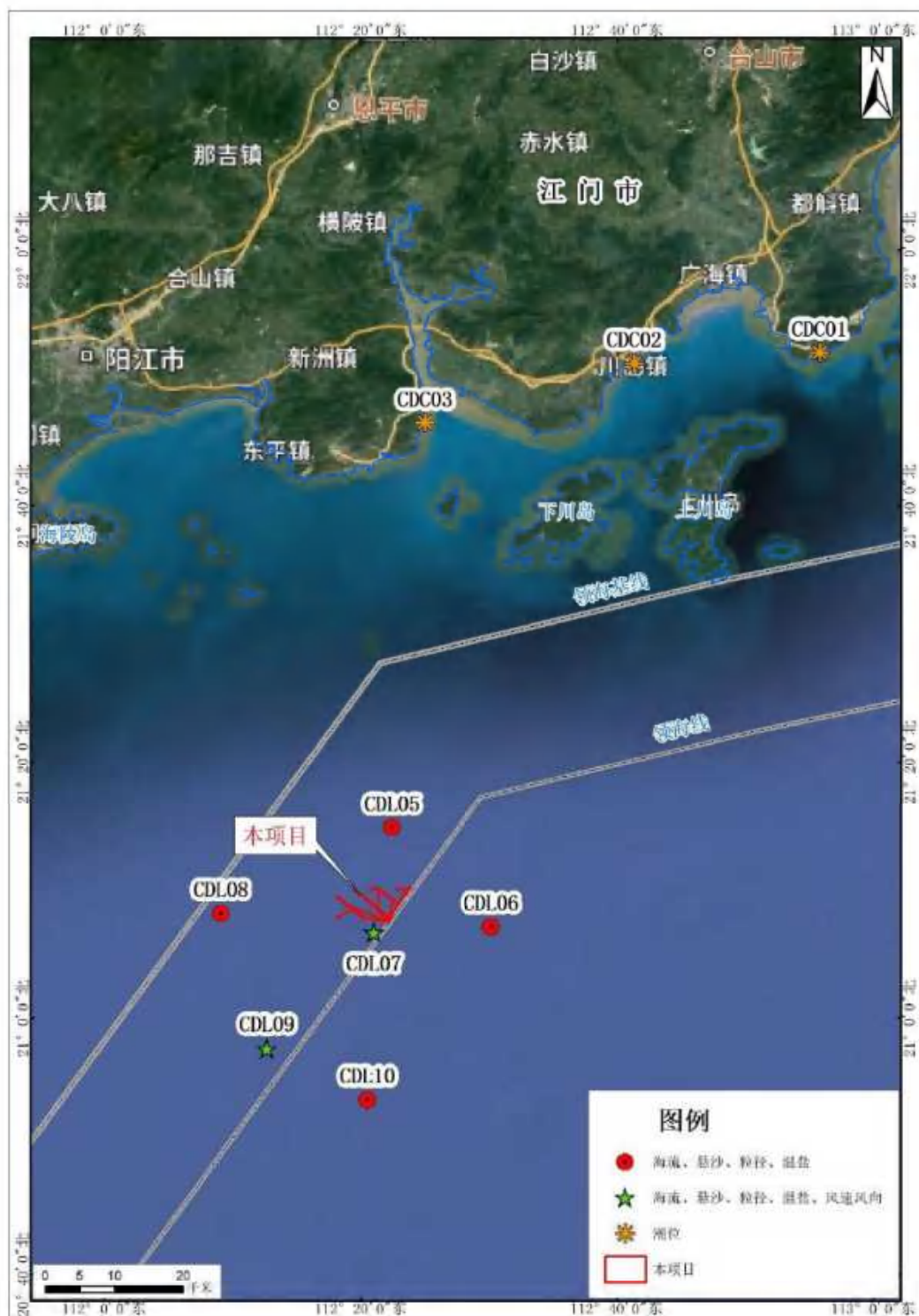


图 5.1.1-1 夏季水文调查站位图

5.1.2 观测期间海况

本次水文观测期间，风向以南风为主，风速在 8.5m/s~10.2m/s，观测海域的平均风速大小为 9.2m/s。各站点风速以及风向变化不大，观测海区整体水深较深，海面上并无明显的遮挡物，故各个站位的风速接近一致。各个站位海况均为 2 级。

5.1.3 潮位

5.1.3.1 实测潮位统计分析

根据 CDC1、CDC2 和 CDC3 潮位观测站的潮位资料绘制潮位过程曲线，其中观测得到的潮位资料时间为 2024 年 06 月 07 日 00 时至 2024 年 07 月 06 日 23 时（30 天），如图 5.1.3-1 所示（黑色线段表示 30 天的观测潮位数据，红色线段表示海流观测时间段的潮位数据）。为了验证潮位资料的真实有效性，同时展示观测海域附近的两个潮位观测点：上川岛和高栏岛，其中黑色的线表示上川岛和高栏岛，红色表示 CDC1 站的潮位，蓝色表示 CDC2 站的潮位，绿色表示 CDC3 站的潮位，绘制时间为 2024 年 06 月 07 日 0 时至 2024 年 07 月 06 日 23 时（一个月），其数据来自于国家海洋信息中心，如图 5.1.3-2 所示。

由图表可知，各个站位的潮汐基本一样，在一个太阴日内有两次高潮和两次低潮，但相邻的高潮或低潮的高度不等，涨潮时和落潮时也不等。

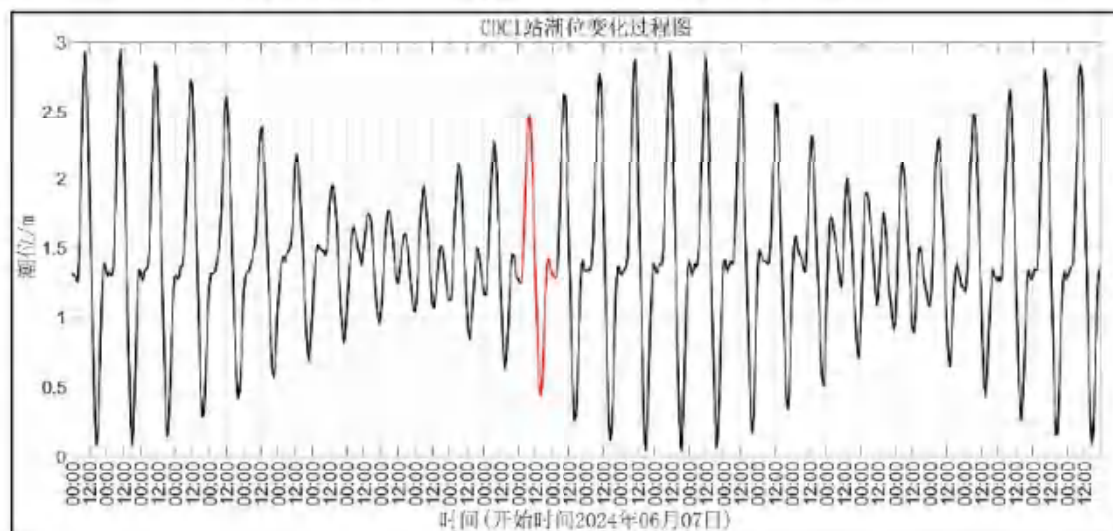


图 5.1.3-1a 夏季 CDC1 站潮位过程曲线

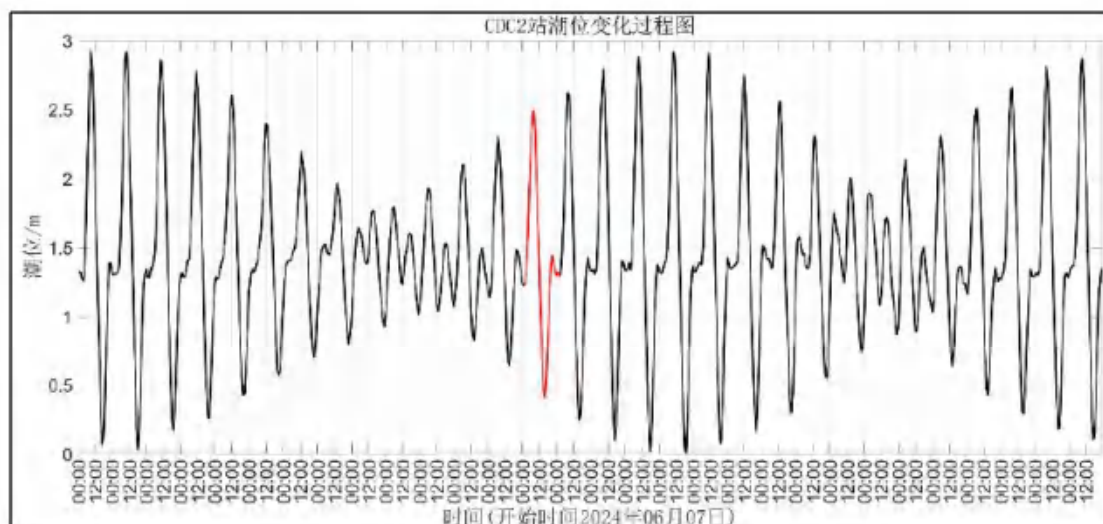


图 5.1.3-1b 夏季 CDC2 站潮位过程曲线

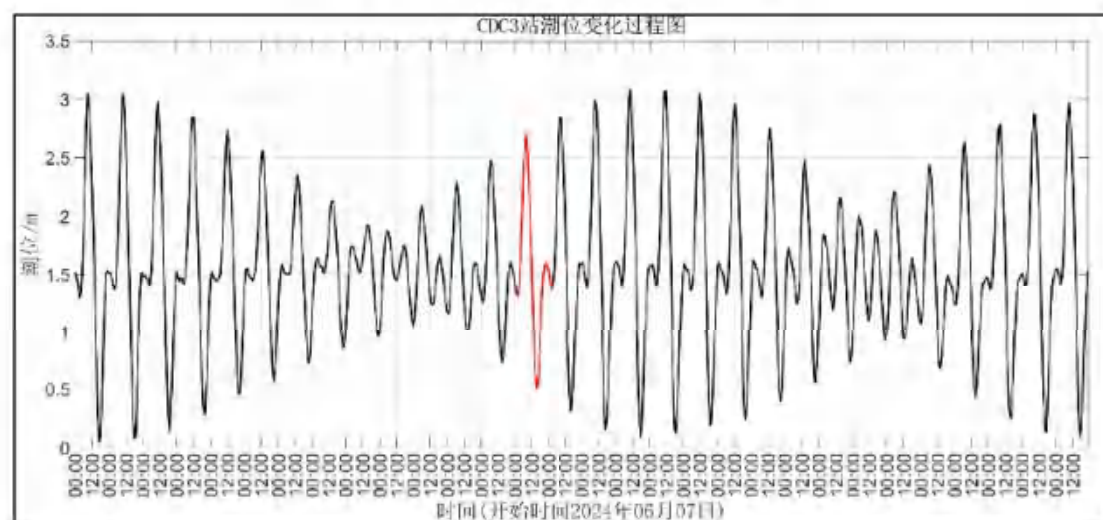


图 5.1.3-1c 夏季 CDC3 站潮位过程曲线

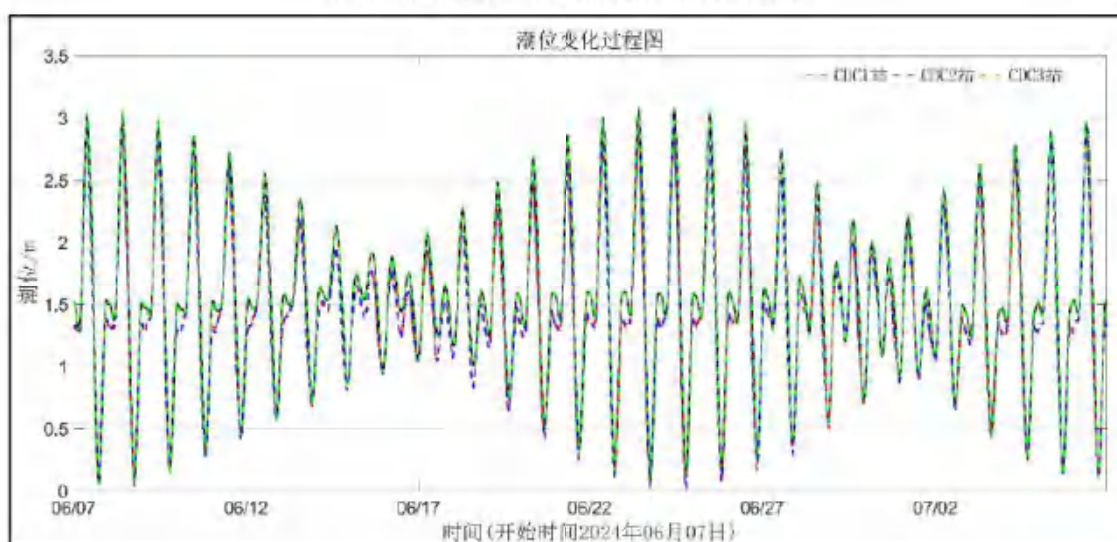


图 5.1.3-2a 夏季上川岛站潮位过程曲线

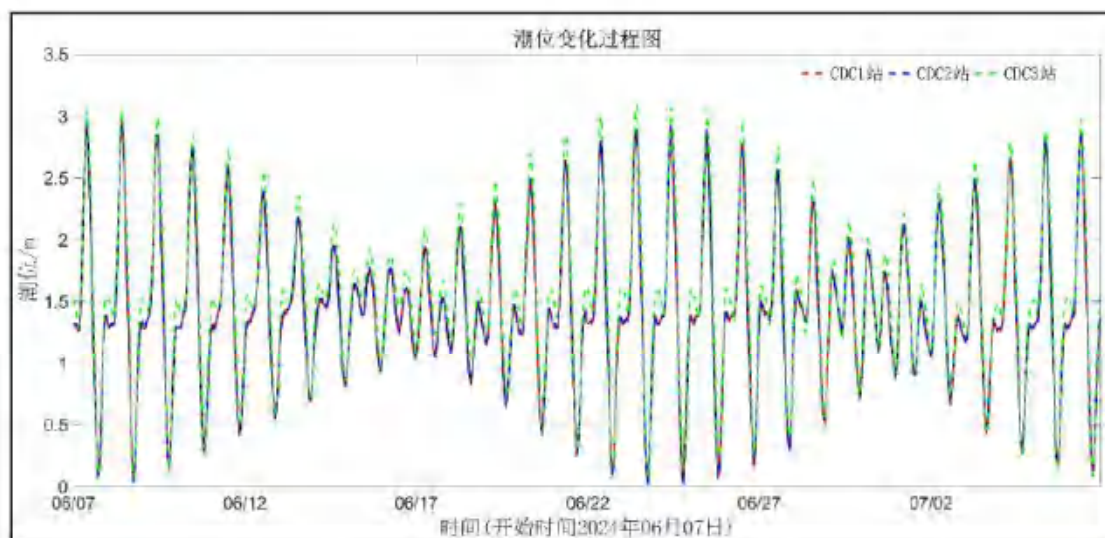


图 5.1.3-2b 夏季高栏岛站潮位过程曲线

5.1.3.2 潮汐调和分析

根据收集的 CDC1、CDC2 和 CDC3 连续 30 天潮位资料，为了获得较准确的潮汐调和常数，采用引入差比数（采用了上川岛的差比关系）的最小二乘法对潮位进行调和分析，分析之前潮位进行了气压订正。采用最小二乘法原理计算得到各站各分潮的调和常数，表 5.1.3-1 列出了各站六个主要分潮的振幅和迟角。

表 5.1.3-1 夏季调查海区调和常数统计分析（基于 30 天）

分潮	CDC1		CDC2		CDC3	
	振幅(cm)	迟角(°)	振幅(cm)	迟角(°)	振幅(cm)	迟角(°)
O ₁	30.55	256	30.51	256	32.15	259
K ₁	49.06	305	49.08	305	48.71	308
M ₂	50.19	277	50.38	278	56.44	286
S ₂	12.11	320	12.07	320	14.10	335
M ₄	7.91	105	7.92	105	7.09	103
MS ₄	3.49	170	3.52	170	3.32	163

由表可知，临时潮位站的分潮中 M₂ 分潮振幅皆最大，其中 CDC1 的 M₂ 分潮振幅为约为 50.19cm，迟角为 277°；CDC2 的 M₂ 分潮振幅约为 50.38cm，迟角为 278°；CDC3 的 M₂ 分潮振幅约为 56.44cm，迟角为 286°。

5.1.3.3 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 ≤ F 正规全日潮

对 CDC1、CDC2 和 CDC3 潮位站实测潮位资料进行统计和潮汐调和分析，结果如表 5.1.3-2 所示，临时潮位观测站的潮汐性质系数 F 值分别为 1.59、1.58 和 1.43，说明观测期间调查海区的潮汐类型为不正规半日潮。同时，通过上川岛站和高栏岛站的一个月的潮位数据，计算两个潮位观测站的潮汐性质系数，其结果分别为 1.34 和 1.50；而测量海区更靠近上川岛站。因此 CDC1、CDC2 和 CDC3 站为不正规半日潮的结果可信。观测期间调查海区最高潮位为 3.09m，最低潮位为 0.01m，最大涨潮潮差为 1.98m，最大落潮潮差为 3.00m。

表 5.1.3-2 夏季测验所设潮位站潮汐特征值统计

特征值	CDC1	CDC2	CDC3
最高潮位 (m)	2.95	2.93	3.09
最低潮位 (m)	0.04	0.01	0.05
平均潮位 (m)	1.43	1.43	1.54
最大涨潮潮差 (m)	1.98	1.67	1.75
最大落潮潮差 (m)	2.89	2.91	3.00
平均涨潮历时 (h)	13	13	12
平均落潮历时 (h)	12	12	12
潮汐性质系数 F	1.59	1.58	1.43
潮汐类型	不正规半日潮	不正规半日潮	不正规半日潮

5.1.4 实测海流

从海流的运动状态来看，观测期内各站点海流表现出了明显的往复流的特征，从各站海流过程矢量图可以看出，各观测站各层潮流方向主要受局地的潮汐（半日潮区）的影响，该海区表现出了极强的规律性；在垂向结构上看，流速整体分布均匀，各层次的流速差异不大。

夏季观测期间，最大涨潮流速为 43.9cm/s，最大落潮流速为 44.9cm/s，分别出现在 CDL10 站表层和 CDL10 站 20 米层。最大涨潮和落潮平均流速分别为 26.8cm/s 和 27.8cm/s，分别出现在 CDL8 站表层和 CDL5 站表层。由于观测时间处于夏季，并且风速较大，各个站位都表现出表层流速最大，随着深度加深依次减小。各个站位的主流轴方向为西北-东南方向，受夏季季风的影响，CDL6 和 CDL7 站整体的流向更偏向东北方向。除此之外，其余站位表现出了半日潮区的潮汐特征，具有明显的周期性。并且在开阔海域，各个站点的流速相差不大。

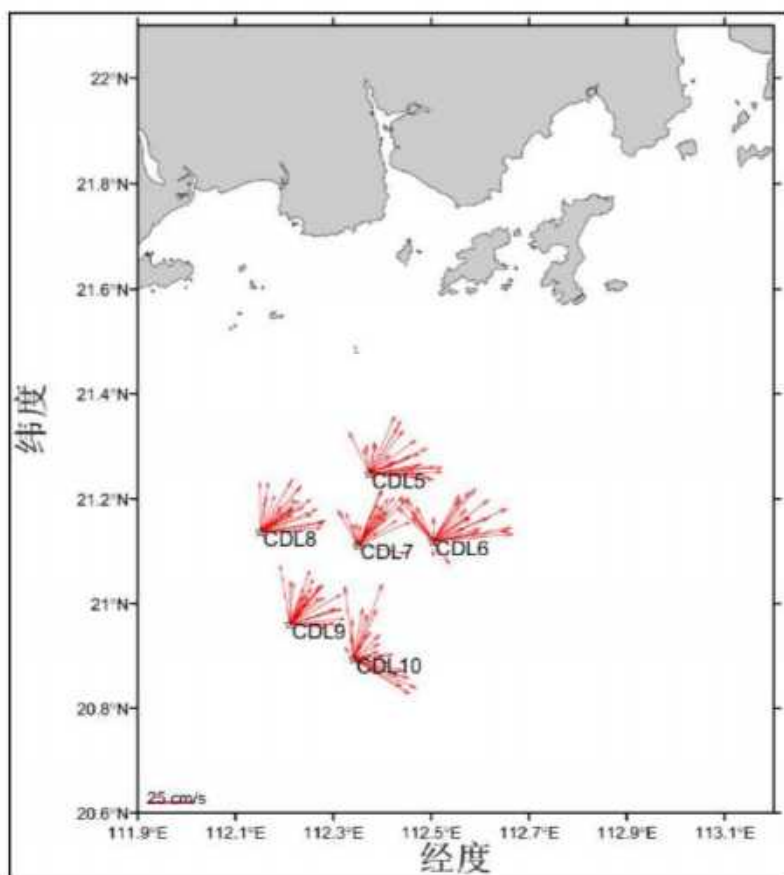


图 5.1.4-1a 夏季表层海流平面分布矢量图（大潮期）

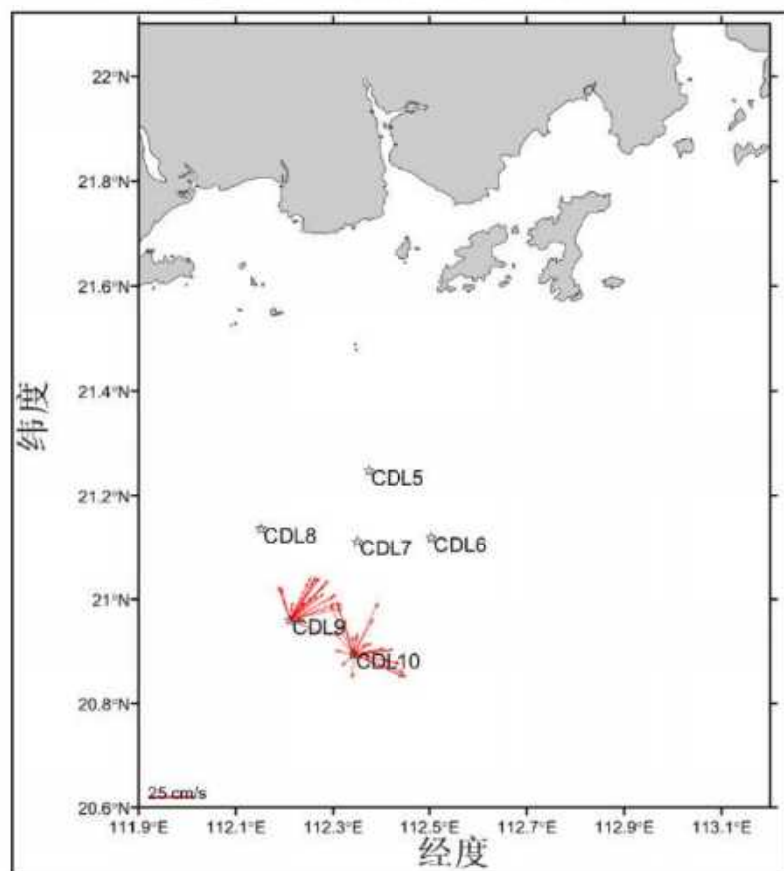


图 5.1.4-1b 夏季 5 米层海流平面分布矢量图（大潮期）

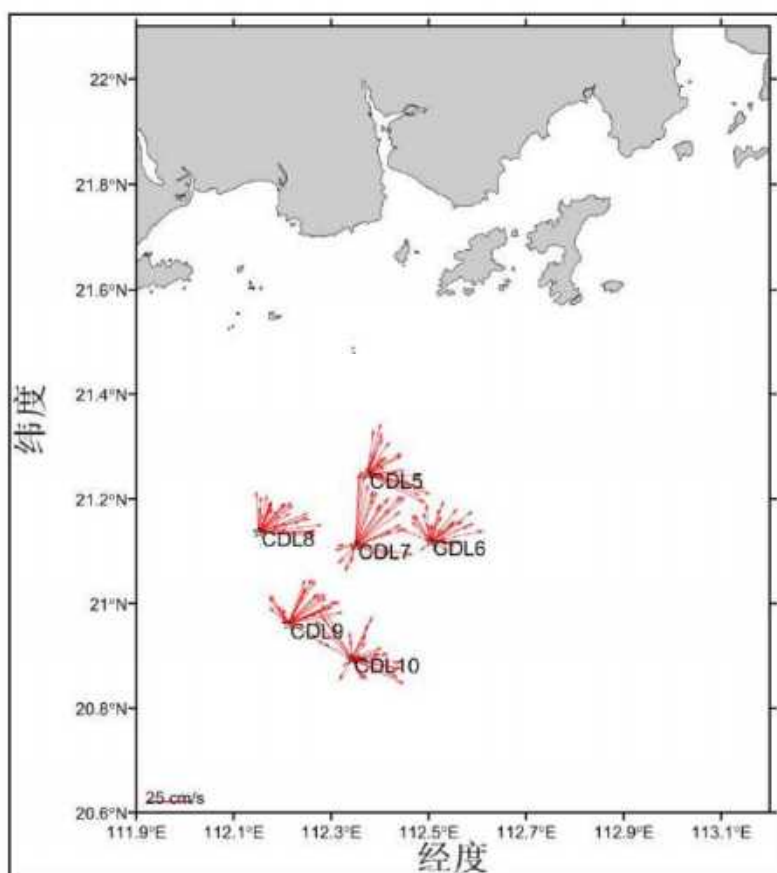


图 5.1.4-1c 夏季 0.2H (10 米) 层海流平面分布矢量图 (大潮期)

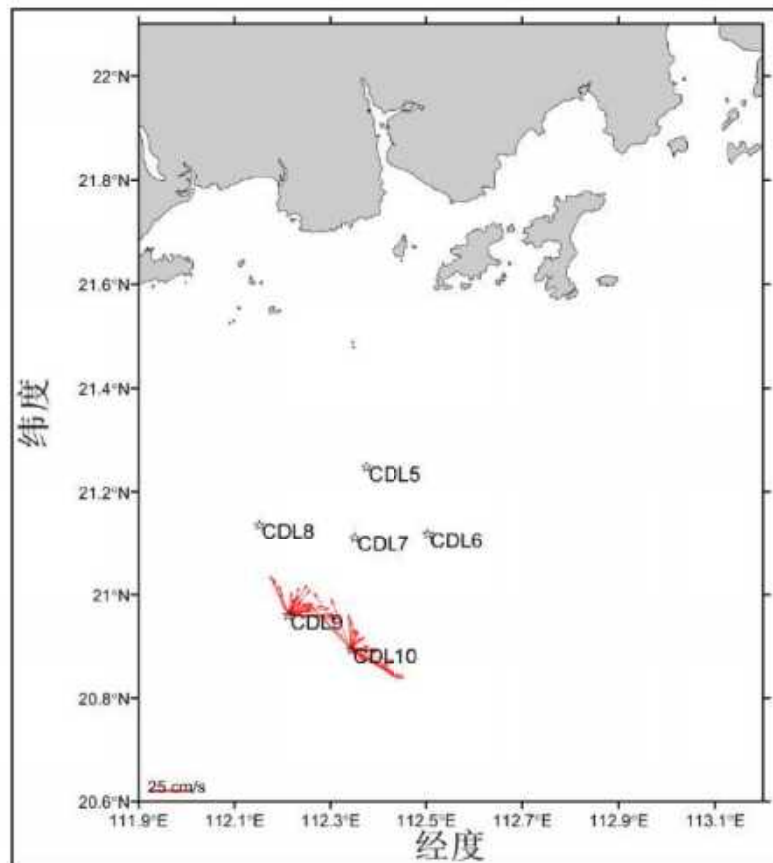


图 5.1.4-1d 夏季 15 米层海流平面分布矢量图 (大潮期)

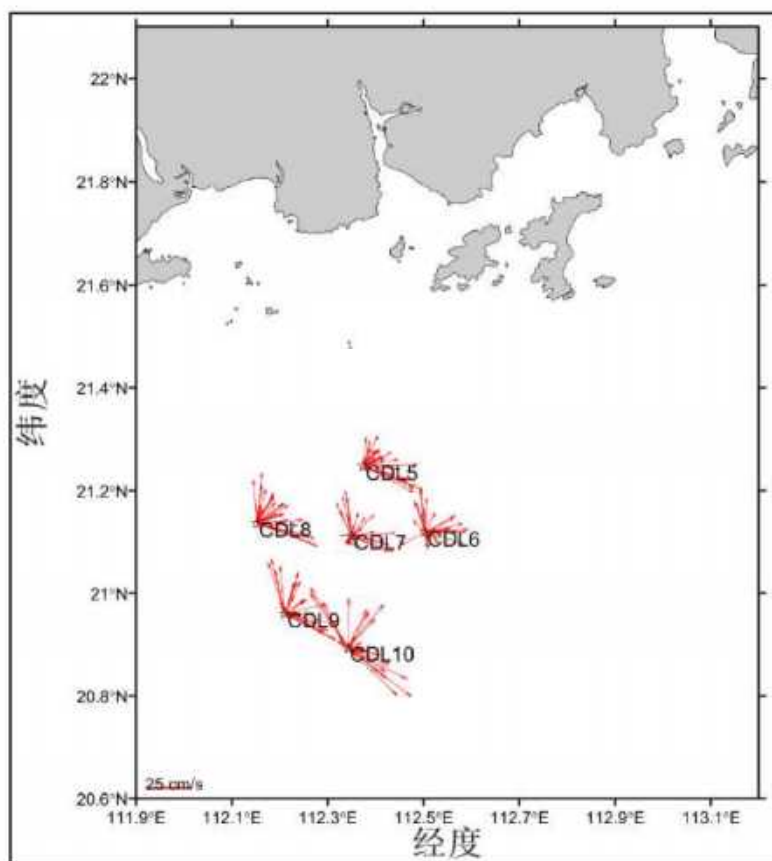


图 5.1.4-1e 夏季 0.4H (20 米) 层海流平面分布矢量图 (大潮期)

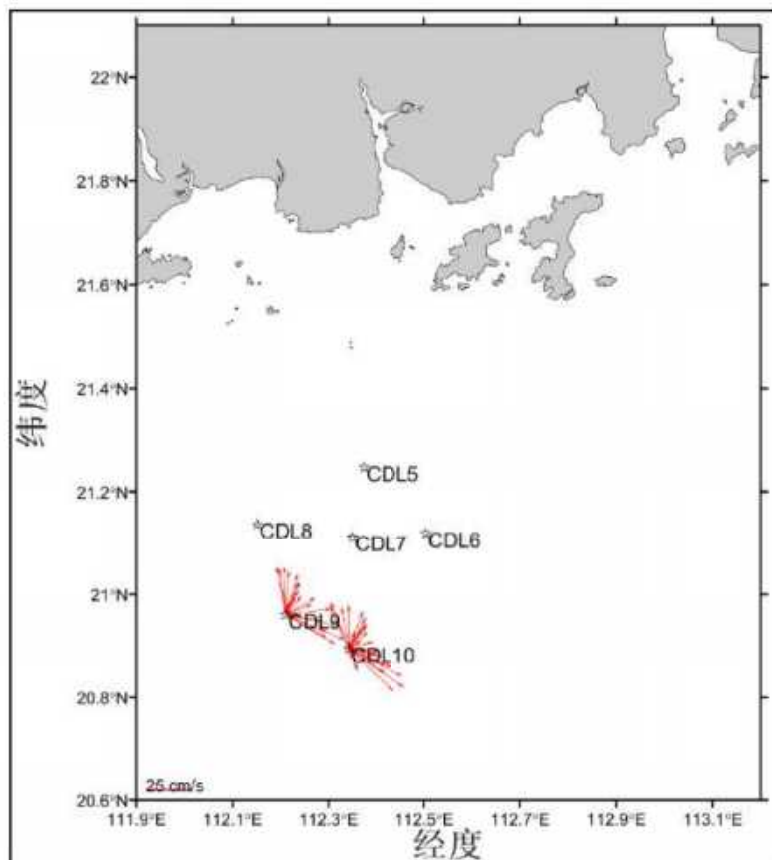


图 5.1.4-1f 夏季 25 米层海流平面分布矢量图 (大潮期)

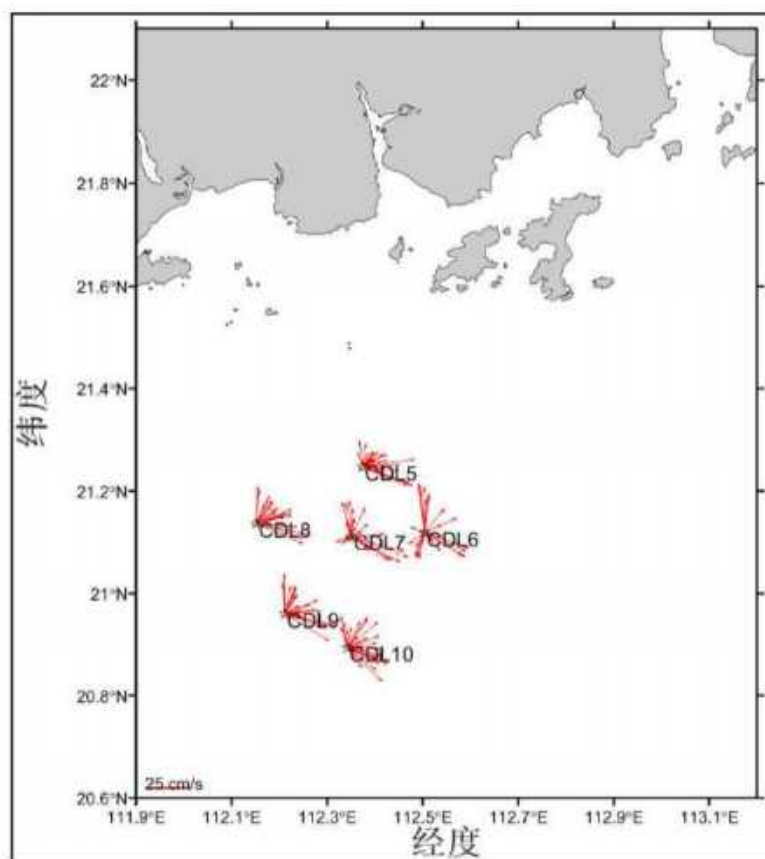


图 5.1.4-1g 夏季 0.6H (30 米) 层海流平面分布矢量图 (大潮期)

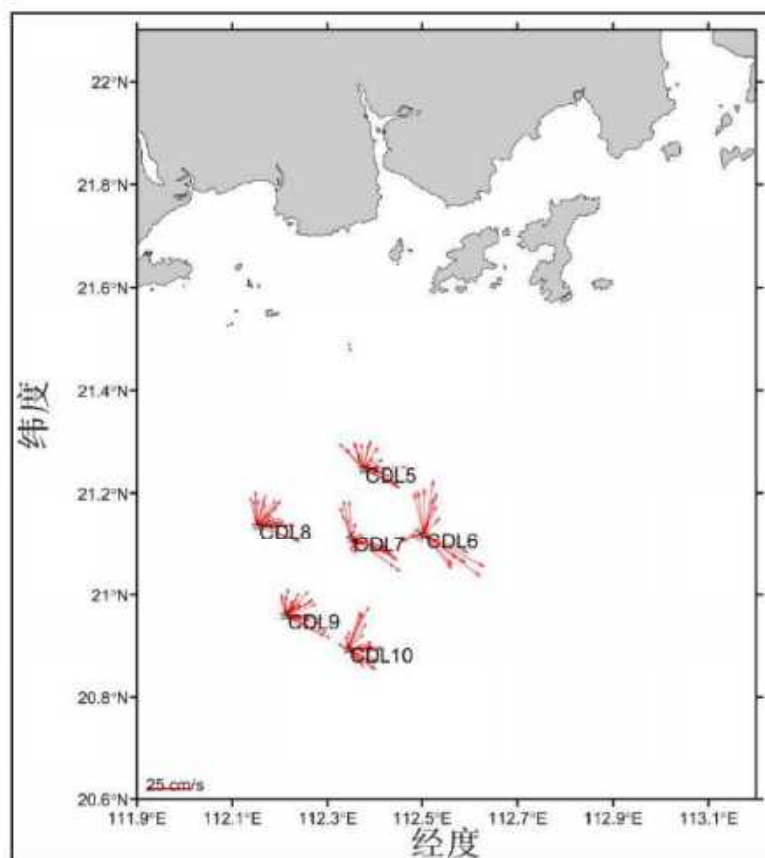


图 5.1.4-1h 夏季 0.8H (50 米) 海流平面分布矢量图 (大潮期)

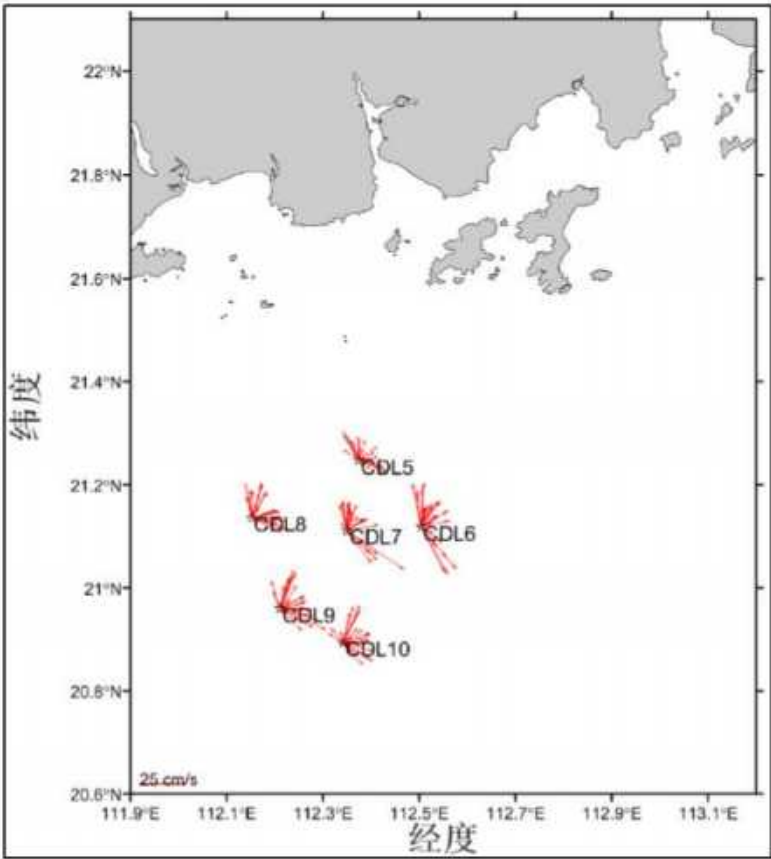


图 5.1.4-11 夏季底层海流平面分布矢量图（大潮期）

表 5.1.4-1 夏季大潮期涨、落潮流对比统计表

站位	层次	流速（cm/s）、流向（°）							
		涨潮最大流速	对应时刻流向	涨潮平均流速	平均流向	落潮最大流速	对应时刻流向	落潮平均流速	平均流向
CDL5	表层	34.3	24	24.2	27	39.8	85	27.8	81
	0.2H 层	28.6	15	15.8	31	36.0	108	22.9	95
	0.4H 层	18.6	26	12.7	34	35.9	112	21.7	98
	0.6H 层	15.1	63	10.2	32	30.0	111	18.3	97
	0.8H 层	19.1	316	11.6	346	25.2	88	13.7	96
	底层	18.2	332	10.8	346	16.9	111	10.9	89
	垂线平均	17.7	347	12.5	20	29.9	109	18.5	94
CDL6	表层	38.1	53	26.4	11	44.0	66	27.4	69
	0.2H 层	20.6	58	13.8	1	29.1	79	18.6	58
	0.4H 层	24.7	355	14.4	17	24.1	86	16.1	81
	0.6H 层	27.4	354	15.6	4	26.5	120	18.5	119
	0.8H 层	31.1	10	14.7	356	39.6	127	19.5	122
	底层	24.6	4	16.0	12	30.5	140	16.6	106
	垂线平均	21.6	343	12.8	6	26.7	100	12.8	89
CDL7	表层	36.3	43	22.6	17	38.3	47	23.1	45
	0.2H 层	40.9	4	21.8	12	37.6	45	27.0	51
	0.4H 层	25.7	352	13.3	348	24.6	110	13.5	90
	0.6H 层	20.0	345	12.2	357	33.9	110	14.6	108
	0.8H 层	21.5	348	11.1	12	33.6	124	16.1	117
	底层	16.9	353	12.6	1	38.0	124	16.6	104

站位	层次	流速 (cm/s)、流向 (°)							
		涨潮最大 流速	对应时刻 流向	涨潮平均 流速	平均流向	落潮最大 流速	对应时刻 流向	落潮平均 流速	平均流向
	垂线平均	16.7	349	12.0	5	23.2	96	13.2	81
CDL8	表层	33.9	31	26.8	30	35.8	80	27.0	69
	0.2H 层	23.4	52	18.5	25	34.4	83	23.4	73
	0.4H 层	28.7	6	17.8	24	36.2	110	21.9	89
	0.6H 层	21.4	68	15.9	28	30.4	102	19.8	87
	0.8H 层	19.1	358	14.4	19	25.7	111	17.1	87
	底层	20.1	16	15.2	12	25.6	107	16.2	84
	垂线平均	22.0	358	17.2	24	29.6	100	20.2	82
CDL9	表层	32.7	351	24.7	27	29.9	84	22.5	60
	5 米	30.3	44	20.6	19	29.8	73	21.7	59
	10 米	28.1	32	18.2	10	30.7	67	20.7	62
	15 米	24.3	335	16.6	3	29.0	93	17.2	77
	20 米	31.5	346	17.2	3	37.4	118	18.3	94
	25 米	26.9	349	16.4	12	35.0	113	18.3	96
	30 米	22.3	359	14.9	22	30.2	103	17.1	94
	50 米	18.4	44	11.6	29	28.2	117	16.3	98
	底层	22.5	20	14.7	17	27.7	115	16.6	91
	垂线平均	21.0	51	16.4	17	27.5	98	17.0	81
CDL10	表层	43.9	21	22.1	28	37.8	115	21.2	93
	5 米	31.8	25	19.7	6	31.8	112	17.3	93
	10 米	33.8	331	20.1	344	31.7	115	18.4	90
	15 米	37.7	327	17.4	345	34.2	118	17.0	102
	20 米	39.4	328	19.1	358	44.9	128	21.1	111
	25 米	27.6	339	16.9	12	37.4	125	20.9	109
	30 米	22.4	50	14.9	25	27.1	134	18.0	103
	50 米	26.4	27	13.0	30	19.9	126	15.4	100
	底层	22.4	24	12.4	23	19.5	122	13.6	97
	垂线平均	23.9	340	14.7	11	28.3	116	15.6	101

5.1.5 潮流

5.1.5.1 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。

根据潮流调和分析结果, 各观测点各层次主要表现出不正规半日潮流特征。由此可见, 调查海区潮流类型主要表现为不正规半日潮流。

表 5.1.5-1 夏季潮流性质系数表

站位	层位	特征值 F	潮型
CDL5	表层	1.51	不正规半日潮流
	0.2H 层	1.99	不正规半日潮流
	0.4H 层	1.23	不正规半日潮流
	0.6H 层	1.25	不正规半日潮流
	0.8H 层	0.69	不正规半日潮流
	底层	0.68	不正规半日潮流
CDL6	表层	3.08	不正规全日潮流
	0.2H 层	1.99	不正规半日潮流
	0.4H 层	4.37	正规全日潮流
	0.6H 层	3.17	不正规全日潮流
	0.8H 层	1.92	不正规半日潮流
	底层	1.04	不正规半日潮流
CDL7	表层	4.43	正规全日潮流
	0.2H 层	4.27	正规全日潮流
	0.4H 层	2.26	不正规全日潮流
	0.6H 层	2.31	不正规全日潮流
	0.8H 层	2.61	不正规全日潮流
	底层	0.79	不正规半日潮流
CDL8	表层	2.37	不正规全日潮流
	0.2H 层	1.62	不正规半日潮流
	0.4H 层	2.08	不正规全日潮流
	0.6H 层	1.54	不正规半日潮流
	0.8H 层	1.00	不正规半日潮流
	底层	0.69	不正规半日潮流
CDL9	表层	3.41	不正规全日潮流
	5 米	3.46	不正规全日潮流
	10 米	2.94	不正规全日潮流
	15 米	1.93	不正规半日潮流
	20 米	2.45	不正规全日潮流
	25 米	2.21	不正规全日潮流
	30 米	1.56	不正规半日潮流
	50 米	1.40	不正规半日潮流
	底层	0.88	不正规半日潮流
CDL10	表层	3.00	不正规全日潮流
	5 米	3.62	不正规全日潮流
	10 米	3.85	不正规全日潮流
	15 米	2.78	不正规全日潮流
	20 米	2.07	不正规全日潮流
	25 米	1.53	不正规半日潮流
	30 米	1.17	不正规半日潮流
	50 米	1.66	不正规半日潮流

站位—	层位	特征值 F	潮型
	底层	1.48	不正规半日潮流

5.1.5.2 潮流的运动形式及潮流椭圆要素

本次观测所有站位各层次潮流中，其中 O_1 分潮占优， K_1 分潮和 M_2 分潮次之；绝大部分的椭圆旋转率 k 绝对值小于 0.5，主要表现为往复流的特征。最大 O_1 分潮流出现在 CDL7 站 0.2H 层，流速为 117.2cm/s。

5.1.5.3 理论最大可能潮流和水质点可能最大运移距离

根据《港口与航道水文规范》(JTS 145-2015) 规定，可利用分潮流椭圆要素计算全潮观测期间各站层的潮流可能最大流速。

潮流和风海流为主的近岸海区，海流可能最大流速可取潮流可能最大流速与风海流可能最大流速的矢量和。潮流的可能最大流速可按下列规定计算。

①对规则半日潮流海区可按下式计算：

$$\vec{V}_{\max} = 1.295\vec{W}_{M_2} + 1.245\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{O_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{MS_4} \quad (1)$$

②对规则全日潮流海区可按下式计算

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1} \quad (2)$$

式中 $\vec{V}_{\max}$ ——潮流的可能最大流速（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{M_2}$ ——主太阴半日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{S_2}$ ——主太阳半日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{K_1}$ ——太阴太阳赤纬日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{O_1}$ ——主太阴日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{M_4}$ ——太阴四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{MS_4}$ ——太阴—太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

③对于不规则半日潮流海区和规则全日潮流海区，采用式（1）和式（2）中的较大值。

潮流水质点的可能最大运移距离可按下述方法计算：

①规则半日潮流海区按下式计算：

$$\vec{L}_{\max} = 184.3\vec{W}_{M_2} + 171.2\vec{W}_{S_2} + 274.3\vec{W}_{K_1} + 295.9\vec{W}_{Q_1} + 71.2\vec{W}_{M_4} + 69.9\vec{W}_{MS_4} \quad (3)$$

②规则全日潮流海区按下式计算：

$$\vec{L}_{\max} = 142.3\vec{W}_{M_2} + 137.5\vec{W}_{S_2} + 438.9\vec{W}_{K_1} + 429.1\vec{W}_{Q_1} \quad (4)$$

式中 $\vec{L}_{\max}$ ——潮流水质点的可能最大运移距离（距离：m，方向：°）

$\vec{W}_{M_2}$ ——主太阴半日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{S_2}$ ——主太阳半日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{K_1}$ ——太阴太阳赤纬日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{Q_1}$ ——主太阴日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{M_4}$ ——太阴四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

$\vec{W}_{MS_4}$ ——太阴—太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

③对于不规则半日潮流海区和规则全日潮流海区，采用式（3）和式（4）中的较大值。

夏季观测期间项目海域潮流可能最大流速为 74.2cm/s，出现在 CDL10 站 10 米层，各站层可能最大流速介于 15.8cm/s-74.2cm/s 之间，各站潮流的可能最大流速方向以西北为主；水质点可能最大运移距离为 23923.73m，出现在 CDL10 站 10 米层，各站层水质点可能最大运移距离介于 5038.42m~ 23923.73m 之间。

表 5.1.5-2 夏季各站层潮流可能最大流速

站位	测层	可能最大流速		可能最大运移距离	
		流速 (cm/s)	方向 (度)	距离 (m)	方向 (度)
CDL5	表层	33.6	294	10522.10	116
	0.2H 层	71.8	342	22802.72	162
	0.4H 层	57.9	345	18531.71	165
	0.6H 层	54.5	2	17383.28	2
	0.8H 层	55.9	1	17593.02	1
	底层	30.3	308	10021.94	129
CDL6	表层	41.1	305	12683.76	124
	0.2H 层	54.3	342	17008.05	163
	0.4H 层	54.3	26	17648.87	26
	0.6H 层	33.1	277	10703.50	96
	0.8H 层	31.9	325	10773.45	146

站位	测层	可能最大流速		可能最大运移距离	
		流速 (cm/s)	方向 (度)	距离 (m)	方向 (度)
CDL7	底层	55.7	327	18333.10	146
	表层	55.9	78	17826.31	79
	0.2H 层	40.5	316	12846.60	138
	0.4H 层	23.4	323	7476.36	142
	0.6H 层	15.8	292	5038.42	110
	0.8H 层	42.3	297	13269.75	117
	底层	20.2	40	6316.21	43
CDL8	表层	25.5	284	7983.69	106
	0.2H 层	32.3	19	10321.29	20
	0.4H 层	38.7	325	12175.74	144
	0.6H 层	31.1	23	9775.71	23
	0.8H 层	39.0	5	12359.07	5
	底层	34.0	309	11249.80	130
CDL9	表层	23.0	275	7163.01	97
	5 米	38.2	277	12123.42	98
	10 米	53.0	280	16997.41	100
	15 米	17.4	55	5483.83	55
	20 米	42.5	326	13461.58	144
	25 米	21.4	12	6398.69	10
	30 米	24.9	72	7698.12	73
	50 米	18.2	314	5810.61	136
	底层	26.9	303	8908.38	124
CDL10	表层	36.9	314	12338.31	136
	5 米	47.7	275	15648.54	96
	10 米	74.2	74	23923.73	74
	15 米	50.1	54	15865.74	56
	20 米	33.2	338	9950.75	157
	25 米	26.8	327	8188.12	145
	30 米	26.5	37	8360.56	37
	50 米	29.6	273	9288.16	93
	底层	18.8	77	6101.34	76

5.1.6 余流

夏季调查海区观测期间余流流速主要介于 5.6cm/s~24.3cm/s。最大余流为潮流 CDL8 站（表层，24.3cm/s，52°），最小余流为潮流 CDL5 站（底层，5.6cm/s，38°）。各站表层的余流流速最大，各个站位余流的方向为东北方向。

表 5.1.6-1 夏季观测期各站各层余流对比表

站位及层次	观测期间余流	
	流速 (cm/s)	流向 (°)
CDL5-表层	21.8	59
CDL5-0.2H	15.3	73
CDL5-0.4H	14.3	80
CDL5-0.6H	11.5	81
CDL5-0.8H	6.6	52
CDL5-底层	5.6	38

站位及层次	观测期间余流	
	流速 (cm/s)	流向 (°)
CDL6-表层	18.8	46
CDL6-0.2H	10.5	36
CDL6-0.4H	8.2	54
CDL6-0.6H	6.3	68
CDL6-0.8H	6.1	72
CDL6-底层	8.6	57
CDL7-表层	20.9	33
CDL7-0.2H	17.3	34
CDL7-0.4H	7.0	38
CDL7-0.6H	7.0	79
CDL7-0.8H	8.2	94
CDL7-底层	7.5	64
CDL8-表层	24.3	52
CDL8-0.2H	18.1	55
CDL8-0.4H	16.3	64
CDL8-0.6H	14.9	65
CDL8-0.8H	12.3	59
CDL8-底层	11.9	52
CDL9-表层	20.1	46
CDL9-5 米	17.8	42
CDL9-10 米	15.4	41
CDL9-15 米	12.8	47
CDL9-20 米	11.7	56
CDL9-25 米	12.4	60
CDL9-30 米	12.6	65
CDL9-50 米	11.3	72
CDL9-底层	11.4	58
CDL10-表层	13.5	69
CDL10-5 米	8.3	59
CDL10-10 米	6.1	47
CDL10-15 米	7.3	61
CDL10-20 米	10.3	72
CDL10-25 米	12.0	73
CDL10-30 米	11.8	71
CDL10-50 米	9.9	71
CDL10-底层	8.9	62

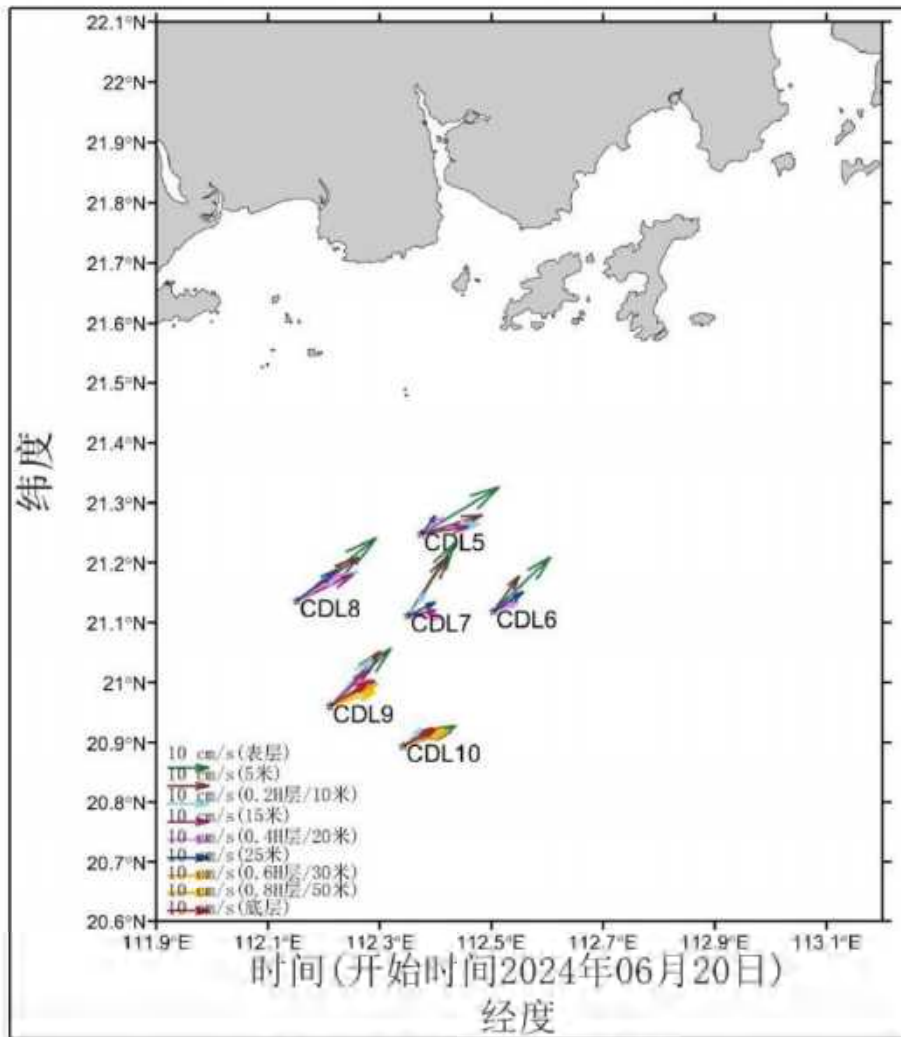


图 5.1.6-2 夏季观测期各站余流图

5.1.7 水温和盐度

温度结果：夏季调查期间调查海区测得的水温最大值为 30.84℃，出现在 CDL7 站表层；测得水温的最小值为 21.74℃，出现在 CDL10 站底层；由于观测时间在夏季，夏季的海区一般的特点为越靠近外海温度越低，越靠近陆地温度越高，从各个站位的温度变化可以看到这一特点。同时，由于夏季气温升高，海表面的温度升高，使得海表面和海底的温差增大，使得垂向混合减弱，可以看到各个站位都有一个明显的温度梯度（海表和海底的温度差异较大）。此次观测的温度主要受昼夜和季节的影响。

盐度结果：夏季调查期间调查海区测得的盐度最大值为 34.48，出现在 CDL10 的底层；测得盐度的最小值为 27.47，出现在 CDL5 站表层。统计结果表明，由于夏季降雨多，海表面的盐度降低，使得海表面和海底的盐度差增大，使得垂向混合减弱，形成稳定的盐度差，可以看到各个站位都有一个明显的盐度梯度（海表和海底

的盐度差异较大)。各站的盐度混合均匀,且受潮汐作用的影响。

表 5.1.7-1 夏季各站温度、盐度统计

站位	层位	温度 (°C)			盐度 (PSU)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
CDL5	表层	30.47	29.9	30.15	27.69	27.47	27.57
	0.2H 层	28.19	27.32	27.67	33.76	33.22	33.59
	0.4H 层	27.33	27.14	27.25	33.93	33.81	33.88
	0.6H 层	27.2	26.39	26.9	34.16	33.91	33.98
	0.8H 层	24.16	22.89	23.11	34.34	34.16	34.32
	底层	23.13	22.68	23.06	34.36	34.33	34.33
CDL6	表层	30.78	30	30.26	30.64	28.88	30.05
	0.2H 层	30.01	28.33	29.26	33.52	29.26	32.36
	0.4H 层	29.82	27.24	28.23	33.98	31.74	33.35
	0.6H 层	28.53	25.68	26.9	34.15	33.37	33.95
	0.8H 层	27.5	22.88	25.19	34.32	34.02	34.17
	底层	25.67	22.3	22.64	34.42	34.16	34.35
CDL7	表层	30.84	30.01	30.3	29.95	28.62	29.29
	0.2H 层	30.09	29.18	29.53	33.13	29.03	32.22
	0.4H 层	28.43	26.88	27.76	34.08	33.68	33.92
	0.6H 层	27.37	26.23	26.64	34.14	34.05	34.1
	0.8H 层	26.12	22.82	25.02	34.39	34.13	34.21
	底层	22.87	22.35	22.44	34.4	34.22	34.39
CDL8	表层	30.45	29.34	30.02	28.01	27.62	27.85
	0.2H 层	29.64	28.21	28.91	33.73	28.18	32.5
	0.4H 层	27.82	27.05	27.45	34.08	33.81	34
	0.6H 层	27.09	26.3	26.79	34.14	33.95	34.1
	0.8H 层	26.31	25.43	25.85	34.22	34.02	34.17
	底层	24.42	22.69	23.03	34.4	34.23	34.35
CDL9	表层	30.32	29.78	30.06	30.83	30.32	30.54
	5 米	30.02	29.25	29.53	32.47	30.75	31.74
	10 米	29.8	28.16	28.87	33.69	30.83	32.74
	15 米	28.99	27.18	28.05	33.98	32.54	33.43
	20 米	28.5	26.69	27.35	34.01	33.55	33.84
	25 米	27.47	26.04	26.83	34.11	33.92	34.02
	30 米	26.13	24.45	25.5	34.19	33.98	34.11
	50 米	24.51	22.1	22.98	34.31	34.16	34.25
	底层	22.16	22.06	22.1	34.31	34.2	34.3
CDL10	表层	30.47	29.89	30.07	31.12	30.54	30.84
	5 米	30.04	28.26	29.19	33.73	31.42	32.91
	10 米	29.73	28.26	29.16	33.73	31.42	32.91
	15 米	29.19	24.76	26.44	34.27	33.11	34
	20 米	29.19	24.76	26.42	34.35	33.11	34.02
	25 米	24.35	22.66	23.23	34.4	34.13	34.34
	30 米	24.2	22.66	23.2	34.4	34.29	34.35
	50 米	22.39	21.99	22.04	34.45	34.37	34.4
	底层	22.02	21.74	21.99	34.48	34.4	34.4

5.1.8 悬浮泥沙

5.1.8.1 悬浮泥沙浓度

观测期间调查海区悬沙浓度范围为 $0.001\text{kg/m}^3 \sim 0.013\text{kg/m}^3$ ，CDL5 站 0.8H 层和 CDL10 站 5 米层和 50 米层的悬沙浓度最大 (0.013kg/m^3)，其余各站均出现了悬沙浓度最小 (0.001kg/m^3)。在垂向上，各站表层和底层悬沙浓度较为接近。空间上，近岸站点的平均悬沙浓度高于外海站点的平均悬沙浓度。

表 5.1.8-1 夏季各站悬沙浓度情况表

项目		悬沙浓度 (kg/m^3)			
站位	层次	最大	最小	平均	全站平均
CDL5	表层	0.011	0.001	0.005	0.007
	0.2H 层	0.011	0.001	0.005	
	0.6H 层	0.010	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.010	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.013	0.002	0.007	
	底层	0.012	0.002	0.006	
CDL6	表层	0.010	0.002	0.006	0.006
	0.2H 层	0.010	0.001	0.005	
	0.6H 层	0.012	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.011	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.011	0.001	0.007	
	底层	0.011	0.001	0.006	
CDL7	表层	0.010	0.001	0.005	0.006
	0.2H 层	0.009	0.001	0.005	
	0.6H 层	0.011	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.009	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.011	0.001	0.006	
	底层	0.011	0.001	0.005	
CDL8	表层	0.010	0.001	0.005	0.005
	0.2H 层	0.009	0.001	0.004	
	0.6H 层	0.011	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.011	0.001	0.005	
	0.8H 层	0.012	0.001	0.006	
	底层	0.011	0.001	0.005	
CDL9	表层	0.009	0.001	0.004	0.005
	5 米	0.012	0.001	0.006	
	10 米	0.011	0.001	0.005	
	15 米	0.008	0.001	0.004	
	20 米	0.008	0.001	0.005	
	25 米	0.009	0.001	0.004	
	30 米	0.010	0.002	0.005	
	50 米	0.010	0.001	0.004	
	底层	0.009	0.001	0.004	
CDL10	表层	0.009	0.001	0.005	0.005
	5 米	0.013	0.001	0.005	

项目		悬沙浓度 (kg/m ³)			
站位	层次	最大	最小	平均	全站平均
	10 米	0.012	0.001	0.006	
	15 米	0.011	0.001	0.005	
	20 米	0.011	0.001	0.005	
	25 米	0.010	0.001	0.005	
	30 米	0.010	0.001	0.005	
	50 米	0.013	0.002	0.007	
	底层	0.012	0.002	0.006	

5.1.8.2 输沙量

大潮期间的涨潮最大单宽输沙量为 1.56t/m，方向 3°，出现在 CDL6 站；落潮期最大单宽输沙量为 2.95t/m，方向 95°，出现在 CDL5 站；最大单宽净输沙量为 3.52t/m，方向 73°，出现在 CDL5 站。观测期间，各个站点的净输沙量方向主要为东北方向。

表 5.1.8-2 夏季各站大潮单宽输沙量统计表

站位	涨潮		落潮		净输沙	
	输沙量	方向	输沙量	方向	输沙量	方向
	(t/m)	(°)	(t/m)	(°)	(t/m)	(°)
CDL5	1.33	19	2.95	95	3.52	73
CDL6	1.56	3	1.69	87	2.42	48
CDL7	1.47	5	1.69	83	2.45	47
CDL8	1.39	23	2.15	84	3.08	61
CDL9	1.54	17	2.29	83	3.24	57
CDL10	1.35	18	2.13	102	2.63	71

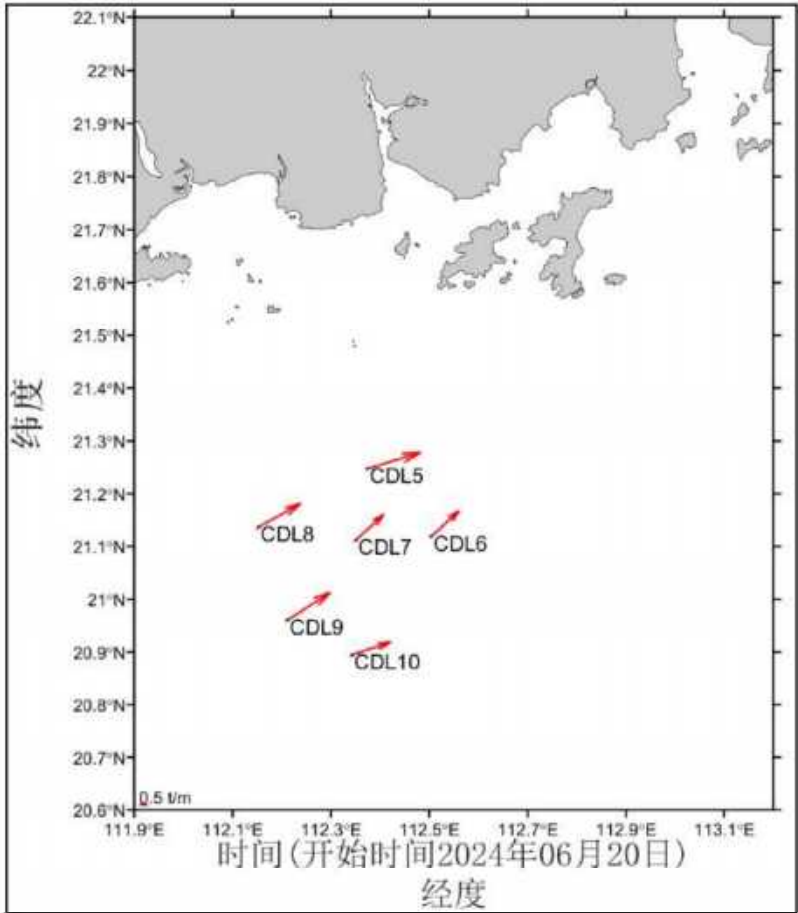


图 5.1.8-1 夏季净输沙示意图

5.1.8.3 悬沙粒度分析

① 悬沙类型、粒级组成及含量

按《海洋调查规范（GB/T12763.8-2007）》粒级间隔为 1ϕ ，粒级组成为 $1\phi\sim 11\phi$ 。由表可知调查水域各站悬沙从组成成分类别来看，粉砂是悬沙主体，其次是粘土，最后是砂。

各站大潮期间砂含量为 0.00~6.33%，平均值为 0.65%，粉砂含量在 24.97%~85.19%之间，平均值为 71.72%，粘土含量在 11.48%~75.03%之间，平均值为 27.63%；悬沙样品类型为粘土质粉砂（117/162），粉砂（37/162），粉砂质粘土（7/162），粘土（1/162），共 4 种样品。

表 5.1.8-3 夏季悬沙粒度参数以及砂、粉砂、粘土含量（N=162）

潮次	变化范围	砂含量 (%)	粉砂含量 (%)	粘土含量 (%)	平均粒径 $M_z(\phi)$	分选系数 $\sigma_1(\phi)$	偏态 S_{ki}	峰态 K_g	中值粒径 $M_d(\mu m)$
大潮 (N=162)	最大值	6.33	85.19	75.03	8.47	0.019	0.69	1.39	8.75
	最小值	0.00	24.97	11.48	5.46	0.002	0.19	0.64	5.66
	平均值	0.65	71.72	27.63	6.19	0.014	0.57	0.78	6.88

表 5.1.8-4 夏季悬沙粒级组成和各粒级含量 (N=162)

潮次	粒级	砂					粉砂				粘土		
	(粒径, mm)	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.125	0.125~0.063	0.063~0.032	0.032~0.016	0.016~0.008	0.008~0.004	0.004~0.002	0.002~0.001	<0.001
	(粒径, φ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
大潮 (N=162)	最大值(%)	0.00	0.00	0.00	0.50	5.94	23.89	31.58	39.69	32.51	32.18	28.20	15.81
	最小值(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.73	10.49	7.19	0.11	0.56
	平均值(%)	0.00	0.00	0.00	0.20	0.45	16.26	20.77	18.09	16.60	14.42	10.94	2.26
	累计(%)	0.00	0.00	0.00	0.20	0.65	16.91	37.68	55.77	72.37	86.80	97.74	100.00

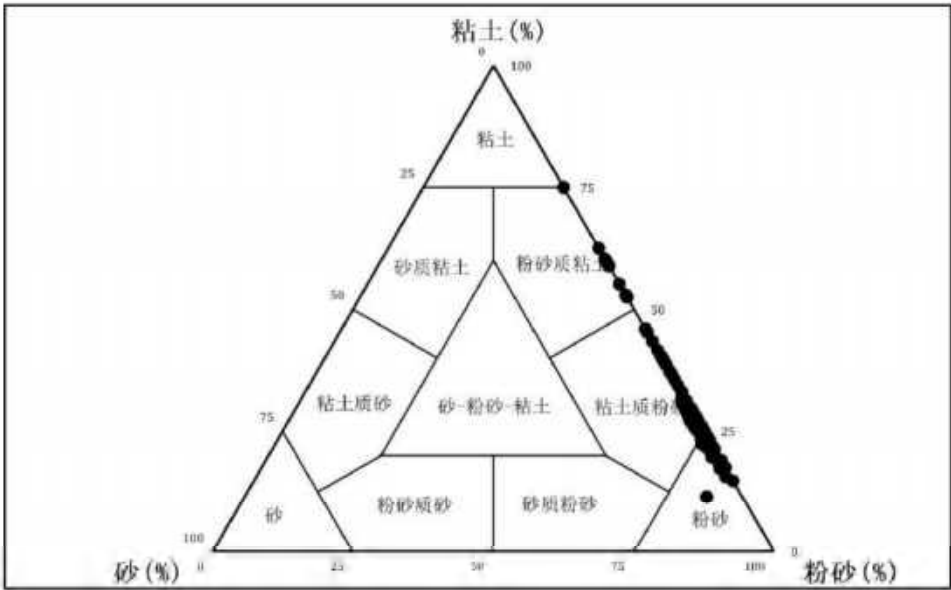


图 5.1.8-2 夏季悬沙所有样品谢帕德三角图分布 (N=162) (大潮期)

②中值粒径 (M_d, μm)

航次测区悬沙中值粒径变化范围在 6.31μm~8.75μm 之间, 平均值为 6.94μm。CDL5 测站 21 日 13:00 悬沙粒径最粗 (8.75μm), CDL10 测站 21 日 21:00 悬沙粒径最细 (6.31μm)。

表 5.1.8-5 夏季悬沙中值粒径 (M_d, μm) 统计

潮期	时间	CDL5	CDL6	CDL7	CDL8	CDL9	CDL10
大潮期 (2024.06.20- 2024.06.21)	21:00	6.58	7.06	6.79	6.70	6.99	7.02
	22:00	6.85	6.70	6.96	6.75	6.85	6.66
	23:00	6.65	6.98	6.87	6.63	6.81	6.91
	00:00	6.72	6.83	6.70	6.56	6.75	6.94
	01:00	6.78	7.06	6.61	6.45	6.72	6.98
	02:00	6.92	6.69	6.81	6.87	7.01	6.91
	03:00	8.52	7.18	7.01	8.12	8.24	7.57
	04:00	6.98	6.80	7.01	7.02	6.74	6.73
	05:00	7.00	7.06	6.70	7.60	7.55	7.52
	06:00	6.54	6.71	6.90	6.43	7.02	6.78
	07:00	6.96	6.91	6.71	6.75	6.99	6.99
	08:00	7.12	6.73	6.57	6.79	6.84	6.93
	09:00	6.82	7.06	6.78	6.80	6.61	6.65
	10:00	6.91	6.82	7.00	6.88	6.83	6.93

潮期	时间	CDL5	CDL6	CDL7	CDL8	CDL9	CDL10
	11:00	8.42	7.68	6.85	8.29	8.05	7.78
	12:00	6.67	7.02	6.89	6.77	6.98	6.72
	13:00	8.75	7.54	7.40	8.06	7.51	7.38
	14:00	6.83	6.49	6.63	6.96	6.85	6.75
	15:00	6.94	6.91	6.34	6.83	7.08	6.74
	16:00	6.88	6.76	6.59	6.54	6.69	7.10
	17:00	6.83	7.05	6.91	6.91	6.99	6.57
	18:00	6.60	6.70	6.70	6.84	6.65	6.77
	19:00	6.93	6.75	6.67	6.62	6.72	7.00
	20:00	6.95	6.98	7.08	6.85	6.96	6.81
	21:00	6.83	6.86	6.97	6.75	6.99	6.31
	22:00	6.91	6.88	7.20	6.88	6.96	7.02
	23:00	6.81	6.48	6.82	6.78	6.74	7.12
	平均	7.03	6.91	6.83	6.94	7.00	6.95

由于测区地形、来沙、水流、波浪等因素的复合作用，泥沙颗粒起、落情况复杂，本次调查中的悬沙粒径变化与潮流急、憩的相关性不明显。大潮期各个站位中值粒径的平均值分别为 $7.03\mu\text{m}$ 、 $6.91\mu\text{m}$ 、 $6.83\mu\text{m}$ 、 $6.94\mu\text{m}$ 、 $7.00\mu\text{m}$ 和 $6.95\mu\text{m}$ 。

③平均粒径 (M_z, ϕ)

采用福克—沃德公式计算出悬沙平均粒径。

大潮测量期间测区平均粒径在 $5.46\phi \sim 8.47\phi$ 之间，平均值为 6.19ϕ 。平均粒径的空间分布为：CDL5 站的 17:00 最大，为 8.47ϕ ；CDL7 站的 19:00 最小，为 5.46ϕ 。

④分选系数 (σ_i, ϕ)

测区大潮期间悬沙分选系数变化范围为 $0.002\phi \sim 0.019\phi$ ，平均值为 0.014ϕ 。

⑤偏态 (Sk_i)

测区大潮期间悬沙偏态系数变化范围为 $0.19 \sim 0.69$ ，平均值为 0.57 。

⑥峰态 (Kg)

测区大潮悬沙峰态系数的变化范围为 $0.64 \sim 1.39$ ，平均值为 0.78 。

5.2 地形地貌与工程地质

本节引自《国能江门川岛二海上风电项目可行性研究阶段岩土工程勘测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024 年 5 月）。

5.2.1 地形地貌特征

风电场位于广东省江门市台山市南侧，离岸最近距离约 60km ，海域宽阔，场区内未见岛屿分布，水深约为 $43\text{m} \sim 46\text{m}$ ，海底地形总体平缓，整体呈西北高东南低趋势，属冲海积地貌单元。场区内未发现明显陡坎、海沟等。项目水深地形图可见图 5.2.1-1。

1: 50000海上风电新增场址前期工作项目江门川岛场址水深图

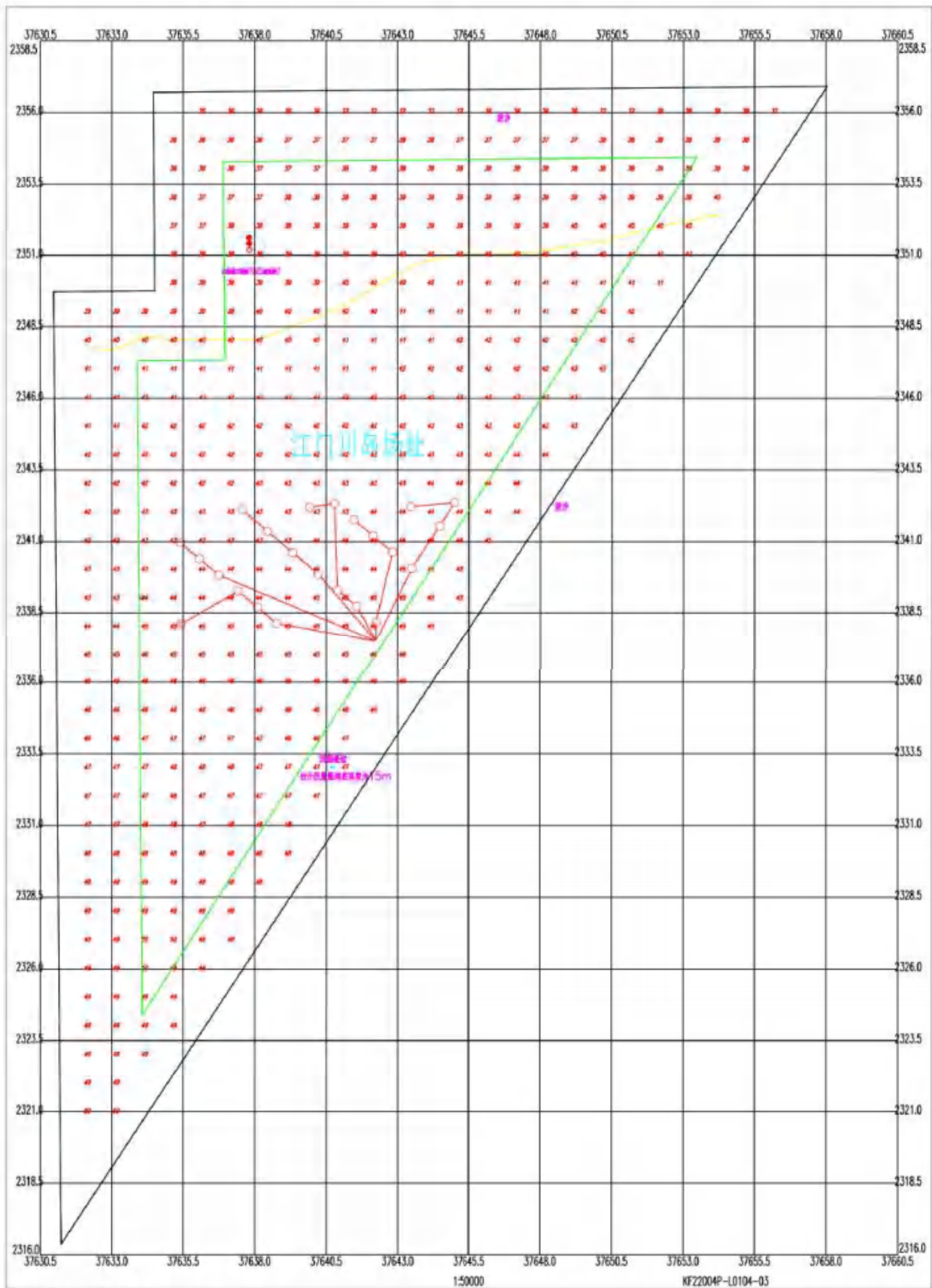


图 5.2.1-1 项目水深地形图

5.2.2 工程地质

根据区域地质资料及钻探揭示,场区内自上而下地层为第四系全新统海相沉积的淤泥质土和粉砂混淤泥(①层)、第四系全新统海陆过渡相的黏性土、砂土及粉土(②层)、第四系晚更新统海陆交互相的黏土及砂土(③层),各层根据工程性质的差异分为若干个亚层。风电场岩土体分层情况见表 5.2.2-1。

表 5.2.2-1 工程岩土体分层表

序号	岩土名称		地层编号	状态/风化程度	地层时代	成因
1	软土	淤泥质土	① ₂	流塑	全新世 Q ₄ ^m	海相沉积
2	砂土	粉砂混淤泥	① ₃	松散		
3	黏性土	黏土	②	软塑	全新世 Q ₄ ^{m+al}	海陆过渡相沉积
4		粉质黏土	② ₀₋₁	软塑		
5		黏土	② ₁	可塑		
6		粉质黏土	② ₁₋₁	可塑		
7	砂土	粉砂	② ₃	中密		
8		粉砂混黏性土	② ₃₋₁	中密, 部分密实		
9		中砂	② ₅	密实		
10		粗砂	② ₆	密实		
11	粉土	粉土	② ₈	中密~密实		
12	黏性土	黏土	③ ₁	可塑	晚更新世 Q ₃ ^{m+al}	海陆交互相沉积
13		粉质黏土	③ ₁₋₁	可塑		
14		黏土	③ ₂	硬塑		
15		粉质黏土	③ ₂₋₁	硬塑		
16	砂土	粉砂	③ ₃	密实		
17		粉砂混黏性土	③ ₃₋₁	密实		
18		中砂	③ ₅	密实		
19		中砂混黏性土	③ ₅₋₁	密实		
20		粗砂	③ ₆	密实		
21		砾砂	③ ₇	密实		

各岩土层特征按由上至下的揭露顺序描述如下:

(1) 第一层: 全新统海相沉积层 (Q₄^m)

淤泥质土 (①₂): 灰黑、深灰色, 饱和, 流塑, 略具砂感, 局部夹粉土或粉砂薄层, 混少量贝壳碎屑, 含有机质, 略具腥臭味, 海相沉积。该层在场地大部分地段分布, 厚度为 1.80m~6.00m, 层底面高程为-58.40m~-46.80m, 层顶面高程为-52.90m~-43.40m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 1~4 击。

粉砂混淤泥 (①₃): 灰色、灰褐色, 饱和, 松散, 主要矿物为石英、长石, 级配一般, 含较多淤泥, 局部呈夹层产出, 海相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 3.20m~6.00m, 层底面高程为-49.50m~-47.05m, 层顶面高程为-43.85m~-

43.50m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为6~9击。

(2) 第二层：全新统海陆过渡相沉积层 (Q_4^{m+al})

黏土 ($②$): 灰色, 很湿, 软塑, 含粉砂颗粒, 土质黏性较好, 韧性中等, 切面较光滑, 局部表现为粉质黏土, 海陆过渡相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 3.30m~4.70m, 层底面高程为-55.85m~-51.75m, 层顶面高程为-52.55m~-47.05m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为3~5击。

粉质黏土 ($②_{0.1}$): 灰色, 湿, 软塑, 局部可塑, 含粉砂颗粒, 局部夹粉砂薄层, 土质黏性一般, 韧性中等, 局部表现为黏土, 海陆过渡相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 2.80m~5.50m, 层底面高程为-62.25m~-49.60m, 层顶面高程为-58.40m~-46.80m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为4~6击。

黏土 ($②_1$): 灰色, 湿, 可塑, 含粉砂颗粒, 土质黏性较好, 韧性中等, 切面较光滑, 局部表现为粉质黏土, 海陆过渡相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 2.90m~5.40m, 层底面高程为-87.40m~-61.90m, 层顶面高程为-84.50m~-58.90m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为6~17击。

粉质黏土 ($②_{1.1}$): 灰色, 湿, 可塑, 含粉砂颗粒, 局部夹粉砂薄层, 土质黏性一般, 韧性中等, 局部表现为黏土, 海陆过渡相沉积。该层在场地广泛分布, 厚度为 2.50m~8.20m, 层底面高程为-92.50m~-57.35m, 层顶面高程为-88.50m~-51.75m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为6~18击。

粉砂 ($②_3$): 灰色, 饱和, 中密, 主要矿物为石英、长石, 级配差, 局部混细粒质土, 海陆过渡相沉积。该层在场地局部地段分布, 厚度为 2.00m~4.00m, 层底面高程为-55.50m~-53.50m, 层顶面高程为-53.50m~-49.50m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为16~19击。

粉砂混黏性土 ($②_{3.1}$): 灰色, 饱和, 中密, 局部密实, 主要矿物为石英、长石, 级配差, 混多量细粒质土, 多夹薄层黏性土, 海陆过渡相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 0.50m~5.80m, 层底面高程为-82.35m~-58.90m, 层顶面高程为-78.50m~-55.50m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为16~35击。

中砂 ($②_5$): 灰、灰黄色, 饱和, 密实, 主要矿物为石英和长石, 级配一般, 混细粒质土, 海陆过渡相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 1.10m~5.40m, 层底面高程为-75.25m~-74.70m, 层顶面高程为-74.15m~-69.30m。剔除异常数据

后实测标准贯入击数为 31~42 击。

粗砂 (②₆): 灰色, 局部灰黄色, 饱和, 密实, 主要矿物为石英、长石, 级配较好, 混细粒质土, 混少量圆砾, 海陆过渡相沉积。该层在场地部分地段分布, 厚度为 1.20m~7.10m, 层底面高程为-93.25m~-71.65m, 层顶面高程为-86.15m~-70.45m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 46~75 击。

粉土 (②₈): 灰色, 饱和, 中密~密实, 局部夹粉质黏土薄层, 显细微水平层理, 摇振中等, 无光泽, 土质韧性差, 干强度低, 海陆过渡相沉积。该层在场地局部地段分布, 钻孔揭露该层厚度为 3.00m, 层底面高程为-83.50m, 层顶面高程为-80.50m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 15 击。

(3) 第三大层: 全新统海陆交互相沉积层 (Q₃^{mal})

黏土 (③₁): 灰色, 湿, 可塑, 含粉砂颗粒, 土质黏性较好, 韧性中等, 切面较光滑, 局部表现为粉质黏土, 海陆交互相沉积。该层在场地大部分地段分布, 厚度为 2.00m~8.80m, 层底面高程为-159.10m~-101.30m, 层顶面高程为-154.70m~-92.50m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 16~40 击。

粉质黏土 (③₁₋₁): 灰色, 湿, 可塑, 灰色, 湿, 可塑, 含粉砂颗粒, 局部夹粉砂或中砂薄层, 土质黏性一般, 韧性中等, 局部表现为黏土, 海陆交互相沉积。该层在场地广泛分布, 厚度为 0.90m~7.10m, 层底面高程为-154.70m~-94.95m, 层顶面高程为-150.80m~-91.10m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 16~40 击。

黏土 (③₂): 灰色, 稍湿, 硬塑, 含粉砂颗粒, 土质黏性较好, 韧性中等, 切面较光滑, 海陆交互相沉积。该层在场地局部地段分布, 厚度为 1.50m, 层底面高程为-140.50m, 层顶面高程为-139.00m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 40 击。

粉质黏土 (③₂₋₁): 灰色, 稍湿, 硬塑, 含粉砂颗粒, 土质黏性一般, 韧性中等, 海陆交互相沉积。该层在场地局部地段分布, 厚度为 2.40m, 层底面高程为-163.00m, 层顶面高程为-160.60m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 41 击。

粉砂 (③₃): 灰色, 饱和, 密实, 主要矿物为石英、长石, 级配差, 混细粒质土, 海陆交互相沉积。该层在场地局部地段分布, 厚度为 1.90m, 层底面高程为-130.15m, 层顶面高程为-128.25m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 60 击。

粉砂混黏性土 (③₃₋₁): 灰色, 饱和, 密实, 主要矿物为石英、长石, 级配较差, 混多量细粒质土, 多夹薄层黏性土, 海陆交互相沉积。该层在场地大部分地段

分布，厚度为 1.10m~4.40m，层底面高程为-167.15m~-91.10m，层顶面高程为-163.00m~-87.40m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 53~100 击。

中砂 (③₅)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配一般，混少量粗砂颗粒，局部混细粒质土，海陆交互相沉积。该层在场地大部分地段分布，厚度为 0.50m~8.45m，层底面高程为-150.80m~-95.45m，层顶面高程为-148.30m~-94.95m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 58~115 击。

中砂混黏性土 (③₅₋₁)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配一般，混多量细粒质土，局部夹薄层黏性土，海陆交互相沉积。该层在场地部分地段分布，厚度为 1.40m~5.60m，层底面高程为-136.75m~-104.40m，层顶面高程为-133.95m~-100.60m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 71~88 击。

粗砂 (③₆)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，局部混圆砾，海陆交互相沉积。该层在场地大部分地段分布，厚度为 0.70m~5.10m，层底面高程为-143.74m~-97.45m，层顶面高程为-140.50m~-95.35m。剔除异常数据后实测标准贯入击数为 75~125 击。

砾砂 (③₇)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配好，混圆砾，呈亚圆状，粒径 2~4mm，海陆交互相沉积。该层在场地部分地段分布，厚度为 1.30m~3.70m，层底面高程为-131.05m~-122.00m，层顶面高程为-129.15m~-120.60m。剔除异常数据后该层标准贯入试验实测击数为 79~125 击。

钻孔平面布置图详见图 5.2.2-1，工程地质剖面图详见图 5.2.2-2，钻孔柱状图详见图 5.2.2-3。

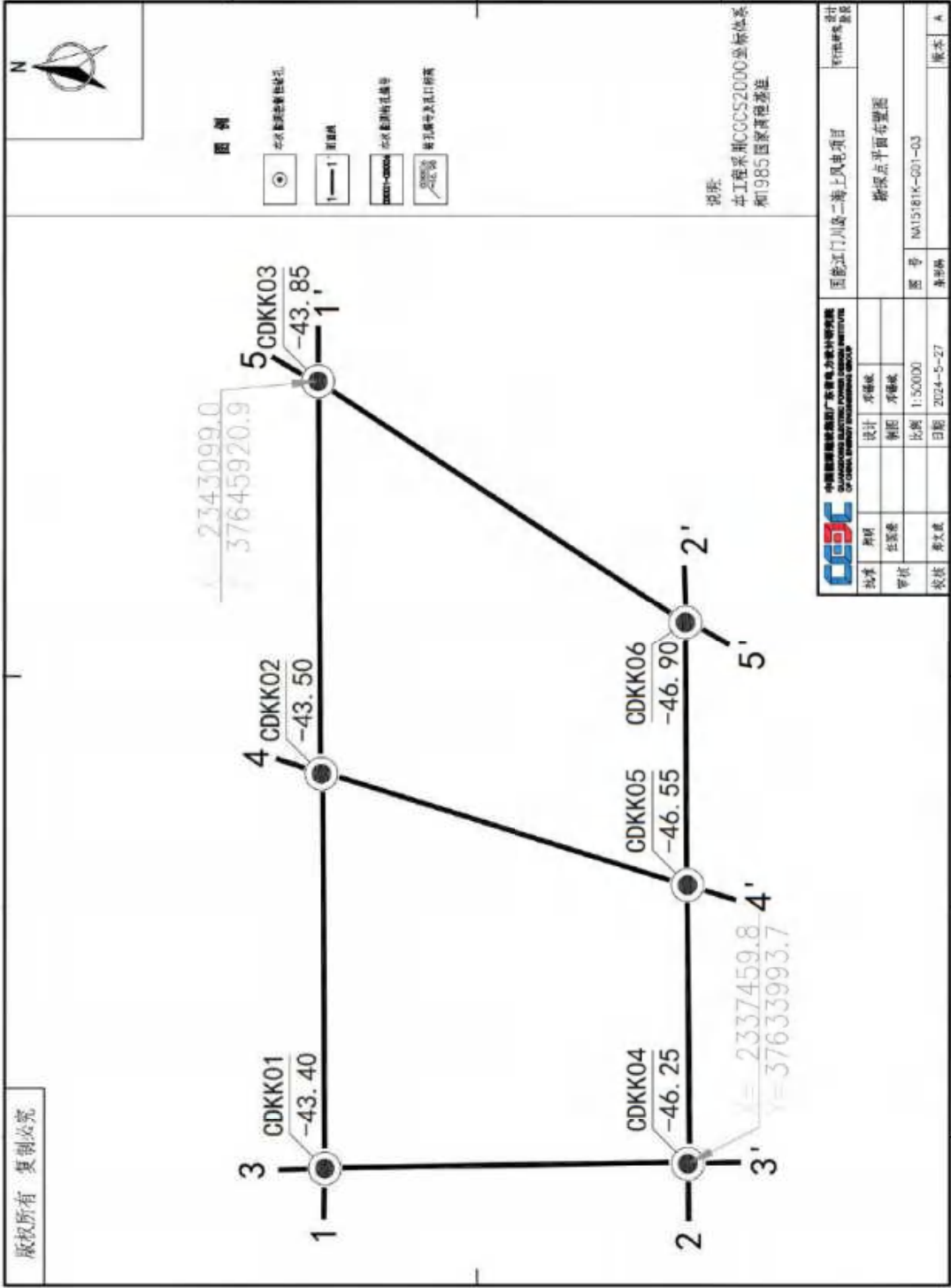


图 5.2.2-1 钻孔平面布置图

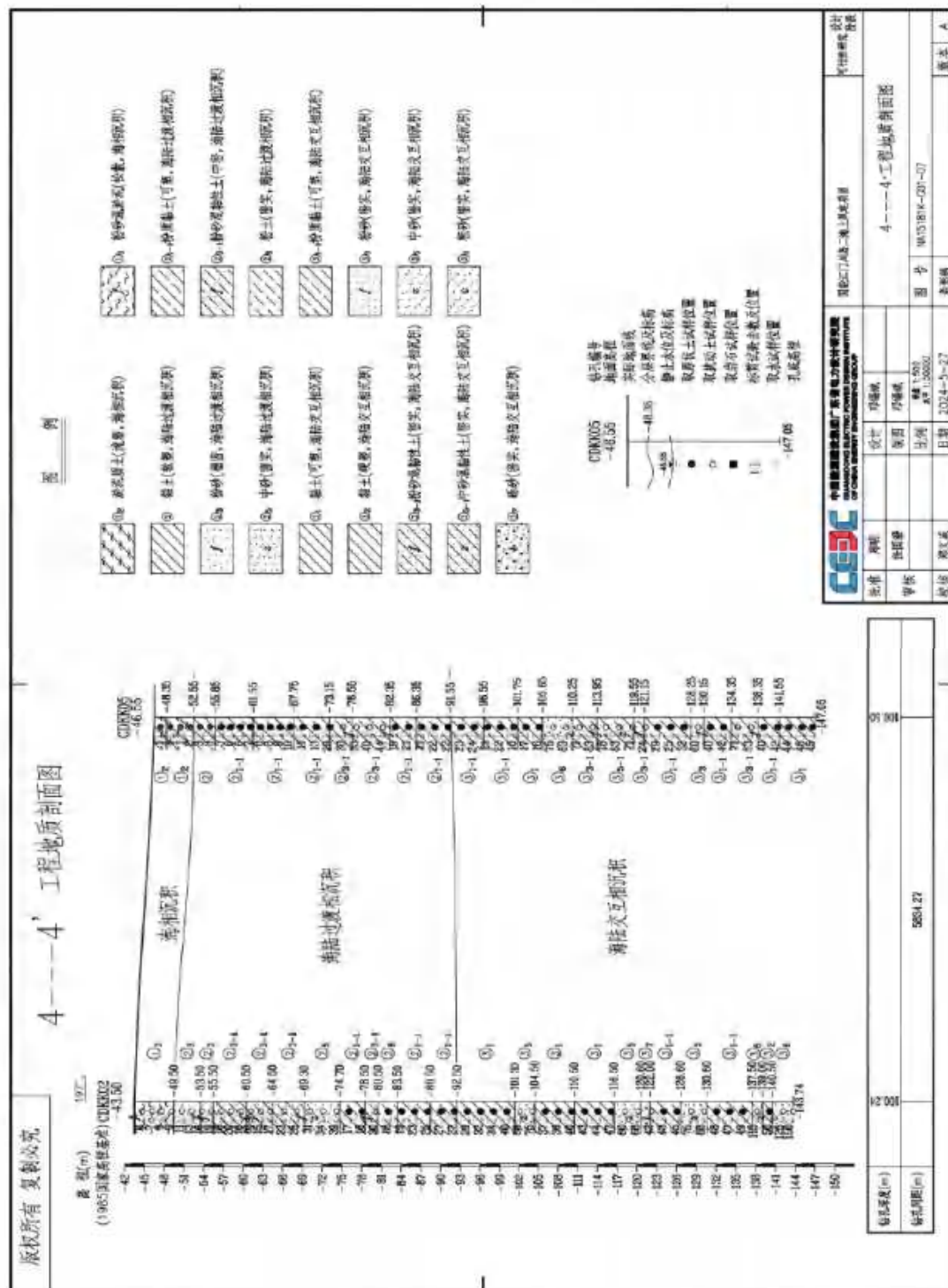


图 5.2.2-2 工程地质剖面图 (4—4')

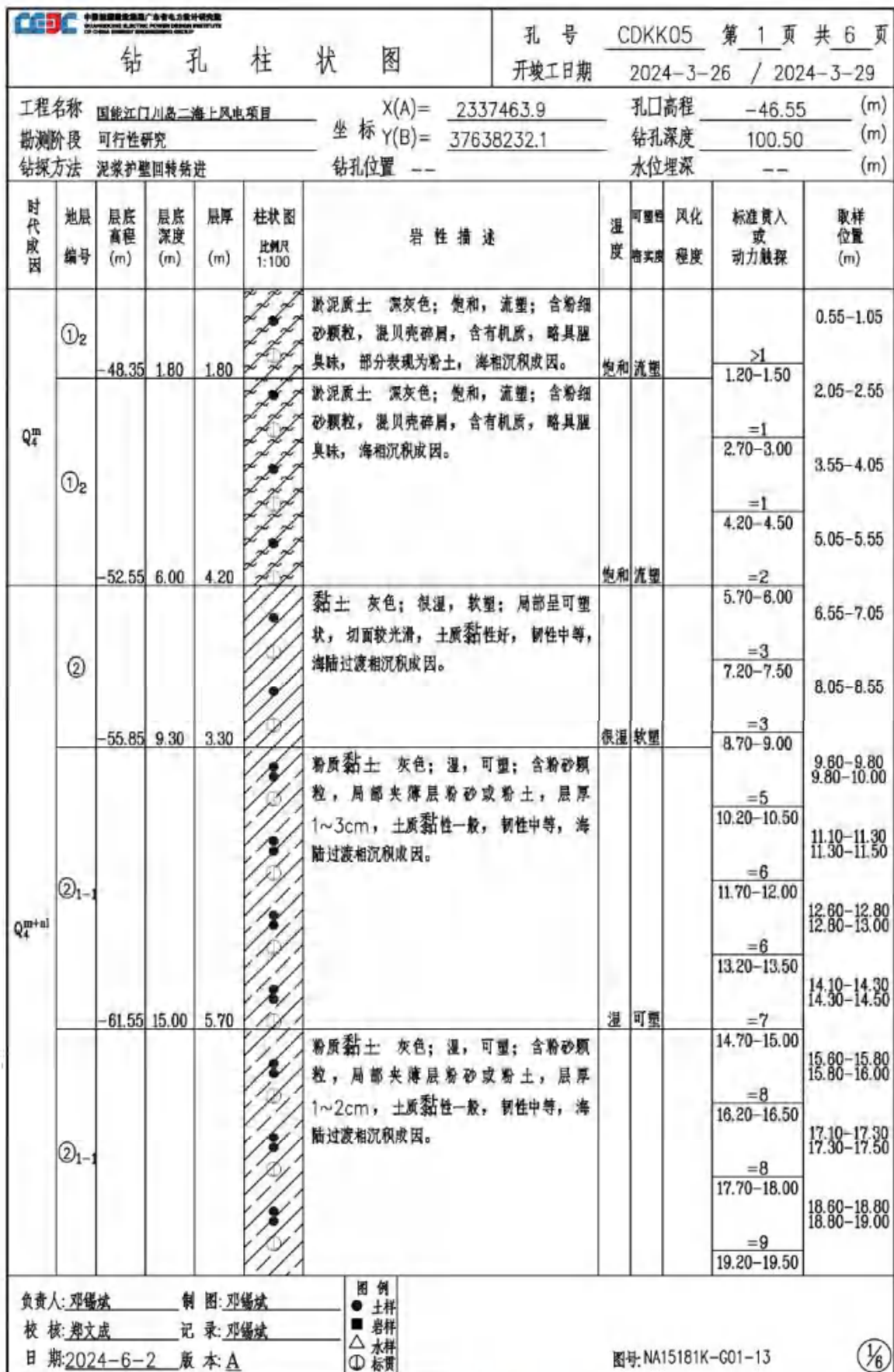


图 5.2.2-3a 钻孔柱状图 (CDKK05)

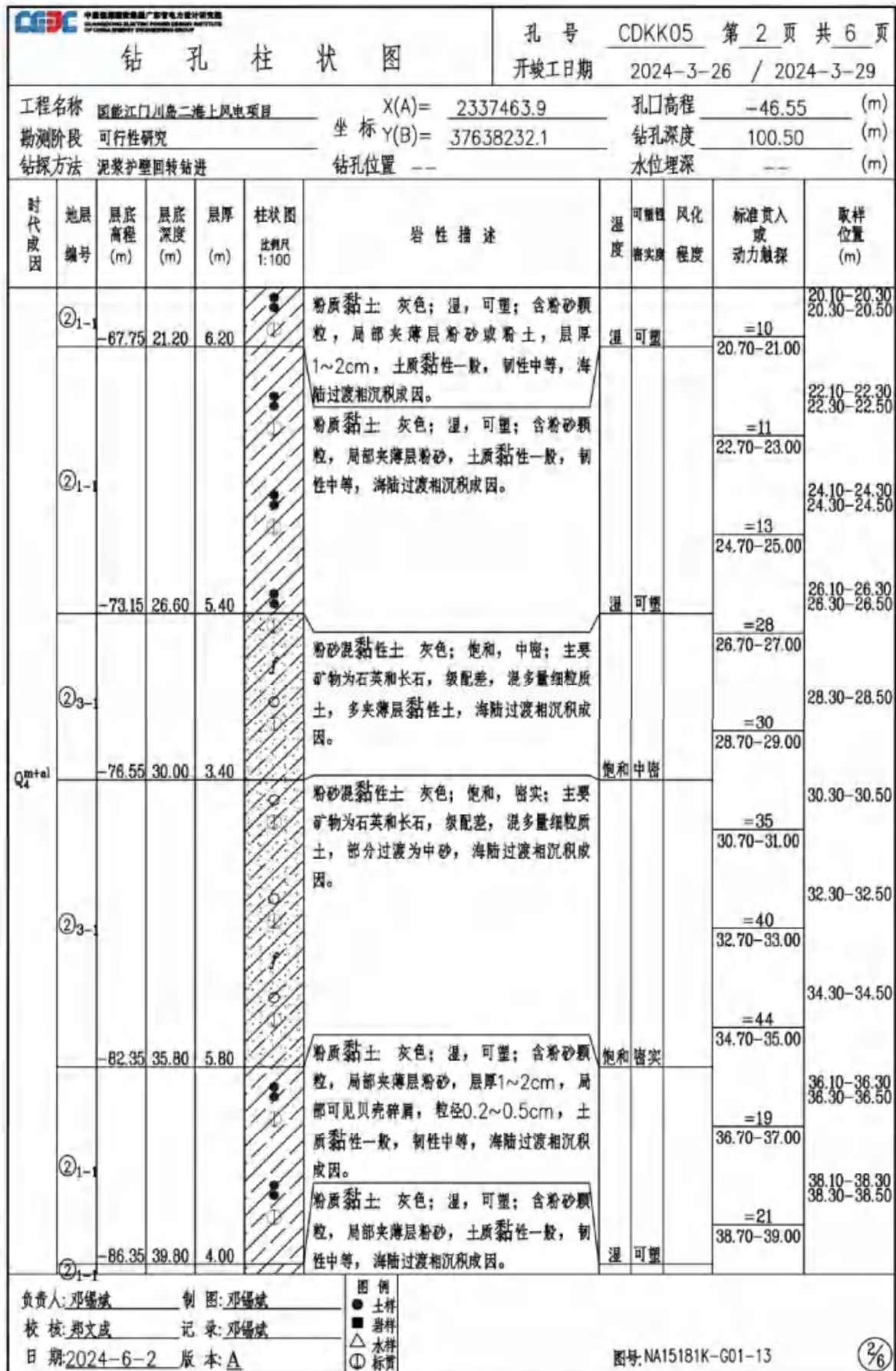


图 5.2.2-3b 钻孔柱状图 (CDKK05)

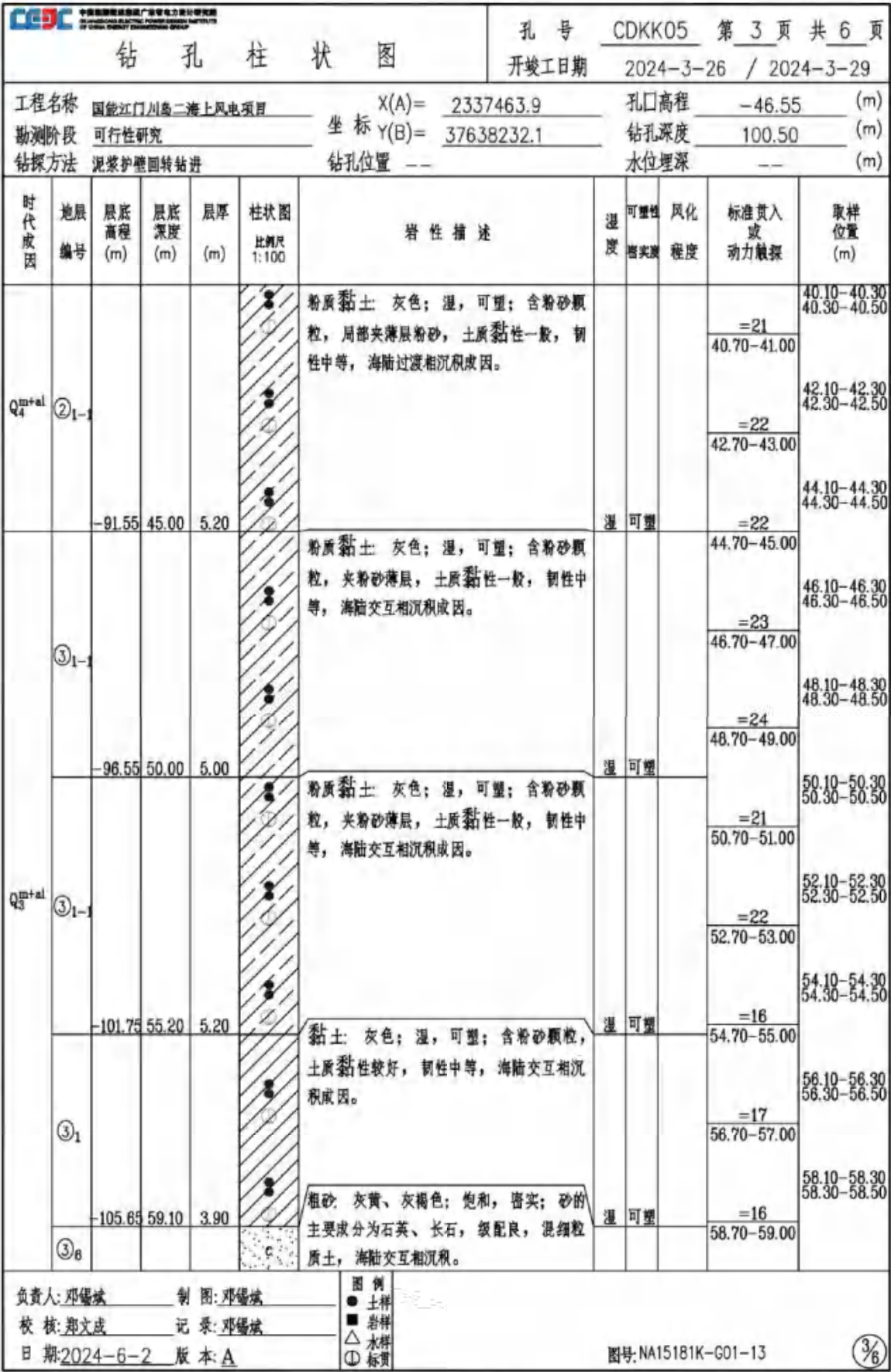


图 5.2.2-3c 钻孔柱状图 (CDKK05)

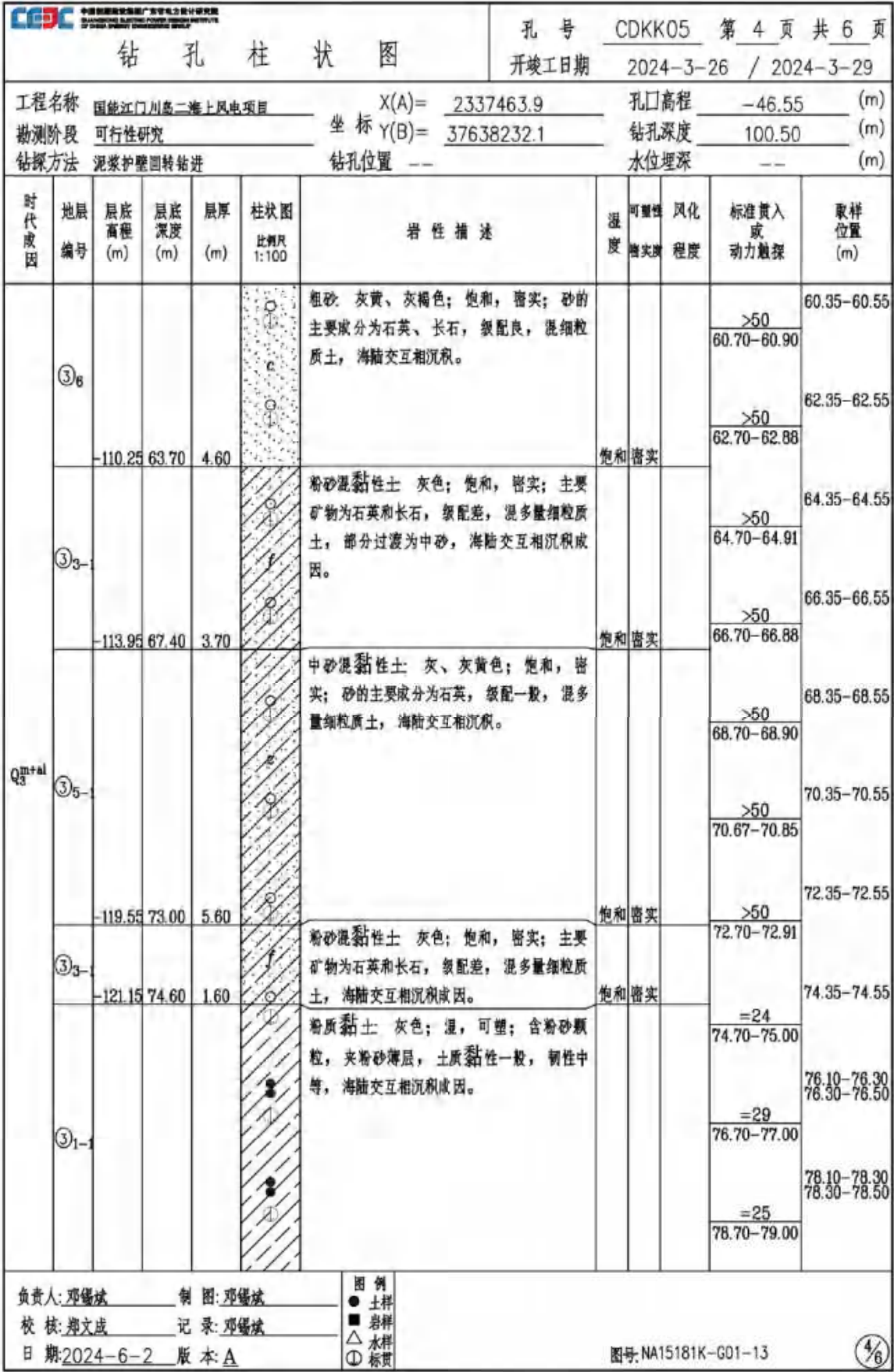


图 5.2.2-3d 钻孔柱状图 (CDKK05)

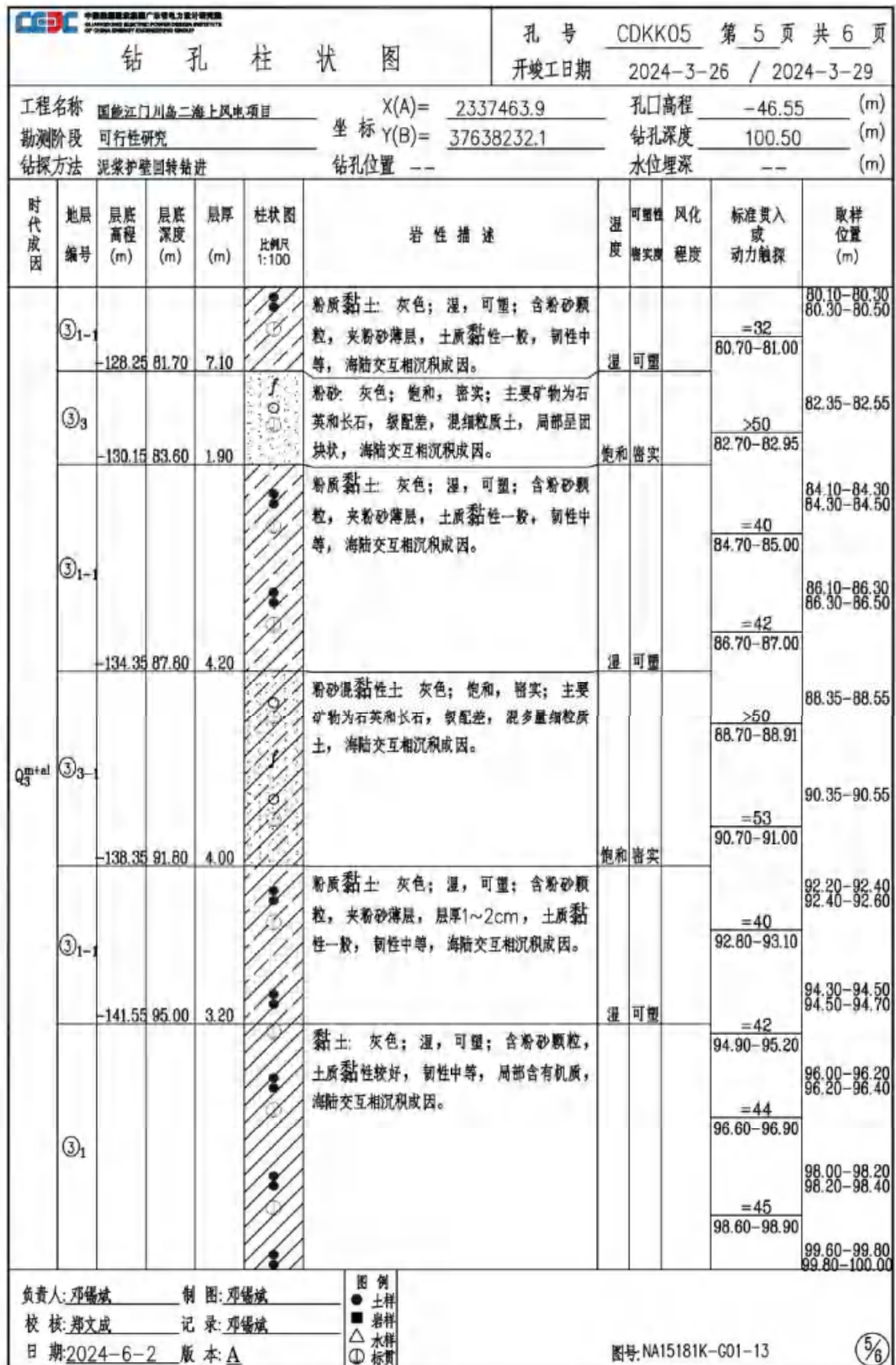


图 5.2.2-3e 钻孔柱状图 (CDKK05)

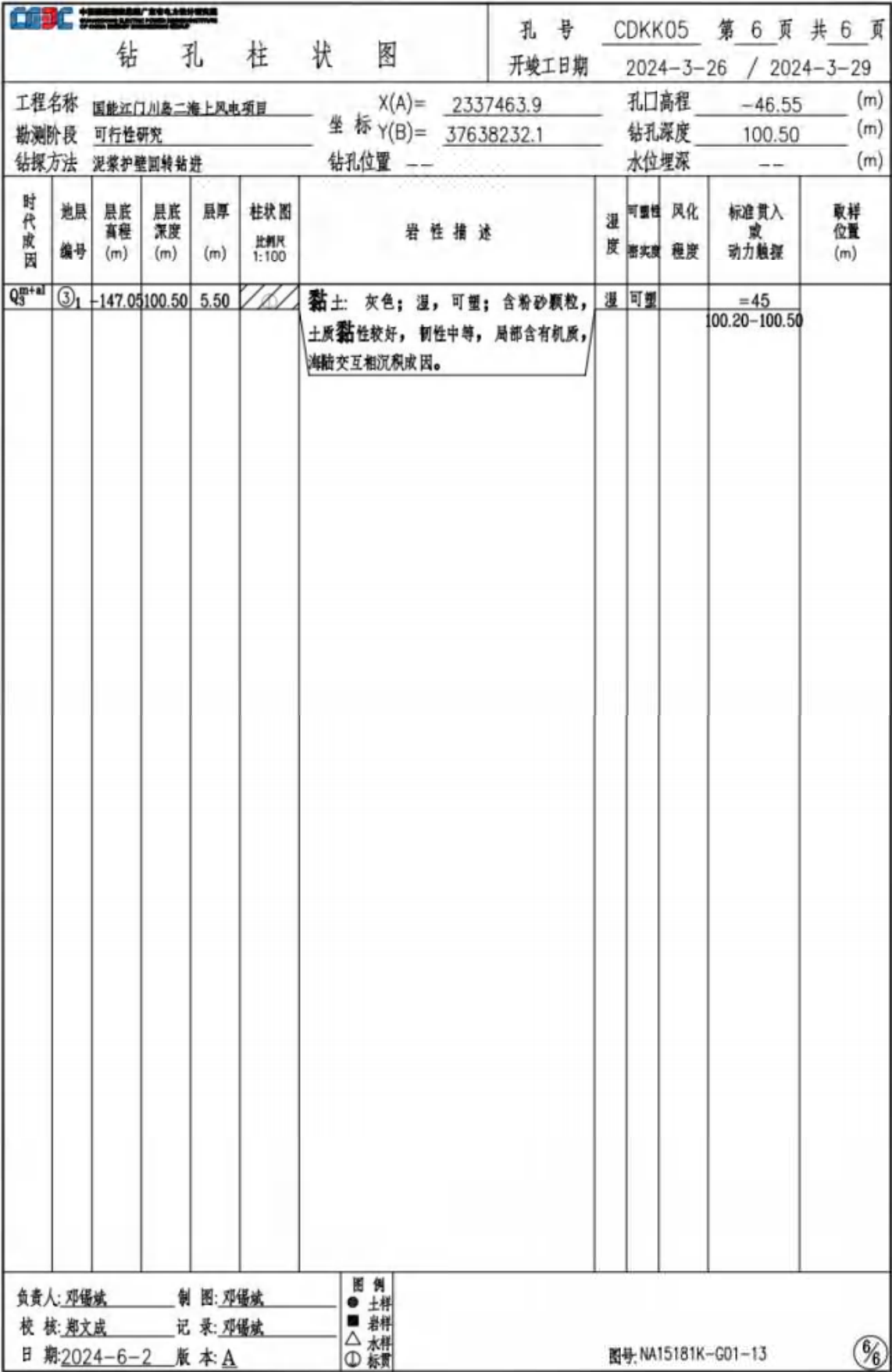


图 5.2.2-3f 钻孔柱状图 (CDKK05)

5.2.3 水文地质条件

(1) 水文地质概况

根据收集的区域地质资料以及钻孔揭露含水层的成因、埋藏条件及其水力联系等特征，风电场区地下水主要为松散岩类孔隙水。

松散岩类孔隙水主要赋存于全新统海相、海陆过渡相和晚更新统海陆交互相沉积（ Q_4^m 、 Q_4^{mt+al} 、 Q_3^{mt+al} ）的砂土和粉土等含水岩组中，含水量较丰富。全新统海相（ Q_4^m ）的淤泥质土层、全新统海陆过渡相和海陆交互相沉积（ Q_4^{mt+al} 、 Q_3^{mt+al} ）的黏土层属弱~微透水层，渗透性差，为相对隔水层，钻探时未现涌水现象。

松散岩类孔隙水与海水水力联系密切，主要接受海水和地下水侧向径流补给，以潜流或垂向越流（地下水通过隔水顶板或底板）的方式向地势低洼处径流排泄，局部地段地下水以散流的形式排泄于海水中。

(2) 环境水腐蚀性分析

根据《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019）附录J，海水腐蚀性评价：海水对混凝土结构（普通水泥）具强腐蚀性，腐蚀介质为 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} ，对混凝土结构（抗硫酸盐水泥）具强腐蚀性，腐蚀介质为 Mg^{2+} ；海水对混凝土结构中钢筋在干湿交替环境下具强腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- ，在长期浸水环境下腐蚀性需作专门研究。海水对钢结构具中等腐蚀性，腐蚀评价指标为pH值和（ $Cl^-+SO_4^{2-}$ ）含量。考虑到地下水与海水存在较密切的水力联系，地下水对建筑材料的腐蚀性可按海水考虑。

(3) 环境土层腐蚀性评价

根据本场地电阻率测试成果，结合《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019）有关规定，场地上部的海相沉积层（①层）和中部的海陆过渡相沉积层（②层）视电阻率平均值小于 $20\Omega\cdot m$ ，对钢结构腐蚀等级评价为强腐蚀；场地下部海陆交互相沉积层（③层）视电阻率平均值介于 $20\Omega\cdot m\sim 50\Omega\cdot m$ 之间，对钢结构腐蚀等级评价为中等腐蚀。综合评价场地环境土层对钢结构腐蚀等级评价为强腐蚀。

5.2.4 不良地质

勘测场区未见海底滑坡、海底崩塌等不良地质作用发育迹象及海底地震地质灾害。在发生地震烈度为7度的地震时，场区地基土会发生液化，液化等级为轻微~中等，粉砂混淤泥层（①₃）和粉砂混黏性土（②₃₋₁）为可液化土层；淤泥质土可不考虑软土震陷，但应考虑软土固结和下沉对桩身产生负摩擦力作用的不利影响。

5.2.5 岩土工程条件分析与评价

(1) 场地稳定性与适宜性评价

场址近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，风电场地震基本烈度为VII度，根据《海上风力发电厂勘测标准》(GB 51395-2019)的有关标准，风电场区域构造稳定性较好。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)(2016年版)4.1.7条，抗震设防烈度小于8度时，可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响。拟建场地属对建筑抗震不利地段，根据行业标准《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ57-2012)8.2.1条，对建筑抗震的不利地段划分为稳定性差场地。根据行业标准《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ57-2012)8.3.2条及附录C，稳定性差场地适宜性定性分级为适宜性差。风机基础位于近海海域，易受海浪冲刷，但采用桩基础及防潮水冲刷措施后可进行工程建设。

(2) 地基土适宜性评价

①软弱土

1) 海相沉积的流塑状淤泥质土(①₂)、松散状粉砂混淤泥(①₃)：土层强度低，力学性质差，属高压缩性土，不能满足地基变形和承载力的要求，不能作为风机的基础持力层。2) 海陆过渡相沉积的软塑状黏土、粉质黏土(②、②₀₋₁)：其土层强度较低，压缩性中等~高，不能作为风机的基础持力层或桩端持力层；

②中软土

海陆过渡相沉积的可塑状黏土、粉质黏土(②₁、②₁₋₁)，中密的粉砂混黏性土(②₃₋₁)和中密~密实的粉土(②₈)：上层承载力中等，压缩性中等，局部地段厚度薄，这些上层不能作为风机的基础持力层或桩端持力层。

③中硬土

1) 海陆过渡相沉积的密实状中砂(②₅)和粗砂(②₆)：这些土层承载力较高，压缩性中等，力学性质较好，但埋深相对较浅，水平分布不连续，不宜作为风机的桩端持力层。

2) 海陆交互相沉积的可塑~硬塑状黏土、粉质黏土(③₁、③₁₋₁、③₂、③₂₋₁)，密实的粉砂、粉砂混黏性土、中砂、中砂混黏性土、粗砂和砾砂(③₃、③₃₋₁、③₅、③₅₋₁、③₆、③₇)：这些土层承载力较高，压缩性中等~低，除部分地段层厚较薄外，大部分地段地层厚度大、水平向连续性好，可作为风机的桩端持力层。

5.2.6 冲淤现状和冲淤变化特征

本节引自《江门川岛二海上风电场项目泥沙与海床稳定专题报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2025年3月）。

（1）工程附近海域岸滩演变

本项目收集了工程场址区域及其附近海域 2000 年和 2021 年 Landsat 系列遥感影像，通过海岸线对比，分析工程附近海域近 20 年来海岸线的变化趋势。

工程附近海域 2000 年与 2021 年海岸线对比见图 5.2.6-1。对比结果表明，近 20 年左右，岛屿附近岸线基本保持稳定，大陆岸线时空变化较为显著，岸线变化较大的地方主要集中在海湾和河口等平坦区域，总体呈现向海推进的趋势。

受持续多年围海造地的人类活动影响，珠海、中山、澳门、江门等城市岸线呈现规整平直的特点，相比于泥沙的自然淤积，围垦养殖和港口码头建设通过填海造地、建设人工岸线等方式，显著增加了陆域面积，推动岸线的外移。其中，基岩海岸总体保持稳定，岬角岸线无较大变化；镇海湾河口岸线、广海湾北侧岸线、黄茅海西侧岸线、三灶镇西侧岸线、鸡啼门入海口东侧岸线受围填养殖影响，岸线向外拓展显著；高栏岛北侧和南侧岸线、广海湾东侧岸线、三灶镇东北侧岸线、珠江口东侧珠海和澳门岸线受新建港口、码头、桥梁等构筑活动影响，岸线形态曲折向外拓展。综上所述，近 20 年来，工程海域附近岛屿岸线基本保持稳定，大陆岸线发生了较大的变化，总体呈现向海推进的趋势。大陆岸线变化主要集中在海湾和河口等平坦地区，围垦养殖和港口码头建设是岸线向外拓展的最大成因。



图 5.2.6-1 工程海域附近岸线对比图（2000 年与 2021 年）

(2) 场址附近海域海床冲淤演变

根据珠江口至海陵水道海图 15500 的水深数据以及本项目场区 2024 年 3 月的地形测量成果，绘制出工程场址内海图 15500 和 2024 年水深对比点示意图（图 3.2.3-2），其中 A1、A2 对比点的海图 15500 水深数据是 1963-1970 年测量数据。A2 点在场址南侧 700m，因此取场址内距离 A2 最近点的水深进行对比。

理论深度基准面下，20 世纪 60 年代 A1 点为-44m，2024 年 4 月多波束测得为-43.6m，淤积了 0.4m。20 世纪 60 年代 A2 点水深为-45m，2024 年 4 月多波束测得为-45.6 m，冲刷了 0.6m。

综上所述，在 20 世纪 60 年代~2024 年的时间跨度期间，工程场址内反映出轻微的冲刷和淤积。

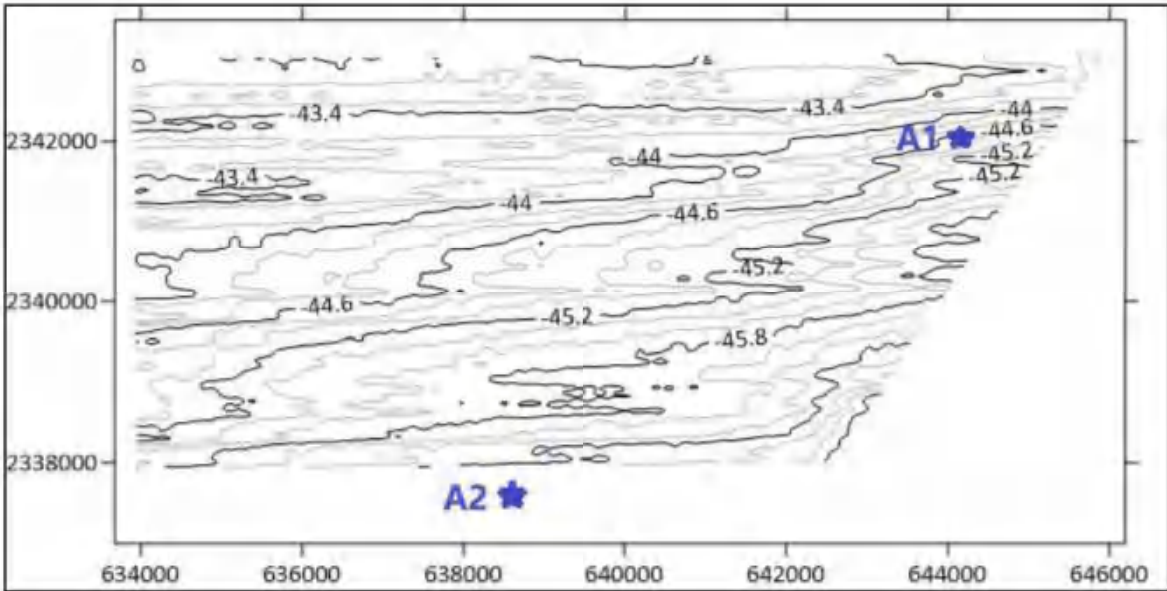


图 5.2.6-2 工程场址内海图 15100 水深成果和 2024 年水深成果的对比点示意图

表 5.2.6-1 工程场址内 20 世纪 60 年代海图和 2024 年水深对比点统计表

编号	海图 15500	2024 年	冲淤深度 (m)
A1	-44	-43.6	0.4
A2	-45	-45.6	-0.6

注：理论深度基准面，正值代表淤积，负值代表冲刷。

5.3 海水水质环境质量现状调查与评价

5.3.1 区域海水水质状况

5.3.1.1 生态环境质量公报数据

根据《2024 年江门市生态环境质量状况公报》(https://www.jiangmen.gov.cn/bmpd/jmsssthjj/hjzl/ndhjzkgb/content/post_3273685.html), 2024 年, 江门市 15 个地表水国考、省考断面水质优良比例 100%。

根据《2023 年江门市生态环境质量状况公报》(https://www.jiangmen.gov.cn/bmpd/jmsssthjj/hjzl/ndhjzkgb/content/post_3067587.html), 2023 年, 江门市 15 个地表水国考、省考断面水质优良比例 100%。

根据《2022 年江门市生态环境质量状况公报》(https://www.jiangmen.gov.cn/bmpd/jmsssthjj/hjzl/ndhjzkgb/content/post_2827024.html), 2022 年, 江门市 15 个地表水国考、省考断面水质优良比例 93.3%。

根据《2021 年江门市环境质量状况公报》(https://www.jiangmen.gov.cn/bmpd/jmsssthjj/hjzl/ndhjzkgb/content/post_2541608.html), 2021 年, 江门市 6 个国考断面年度水质优良率 100%, 5 个省考断面年度水质优良率 100%。

根据《2020 年江门市环境质量状况公报》(https://www.jiangmen.gov.cn/bmpd/jmsssthjj/hjzl/ndhjzkgb/content/post_2300079.html), 2020 年, 江门市 9 个地表水考核监测断面水质均达标, 年度水质优良率为 100%, 且无劣 V 类断面。

5.3.1.2 近岸海域国控站位调查

(1) 调查概况

本节数据引用广东省环境厅发布的《广东省 2020 年近岸海域海水水质监测信息》(<http://gdee.gd.gov.cn/attachment/0/410/410949/3264371.xls>)、《广东省 2021 年近岸海域海水水质监测信息》(http://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_3894200.html)、《广东省 2022 年近岸海域海水水质监测信息》(http://gdee.gd.gov.cn/xwfb4199/content/post_4120611.html)、《广东省 2023 年近岸海域水质监测信息》(https://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_4368568.html) 和《广东省 2024 年近岸海域水质监测信息》(https://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_4666144.html)。经核对, 2020 年~2024 年各有 1 个近岸海域国控站位在项目评价范围内, 站位基本信息如表 5.3.1-1 和图 5.3.1-1。

表 5.3.1-1 评价范围内的近岸海域国控站位基本信息一览表

序号	年份	监测站位	所在城市	经度°	纬度°
1	2020 年~2024 年	GDN17011	阳江	112.2511	21.2547

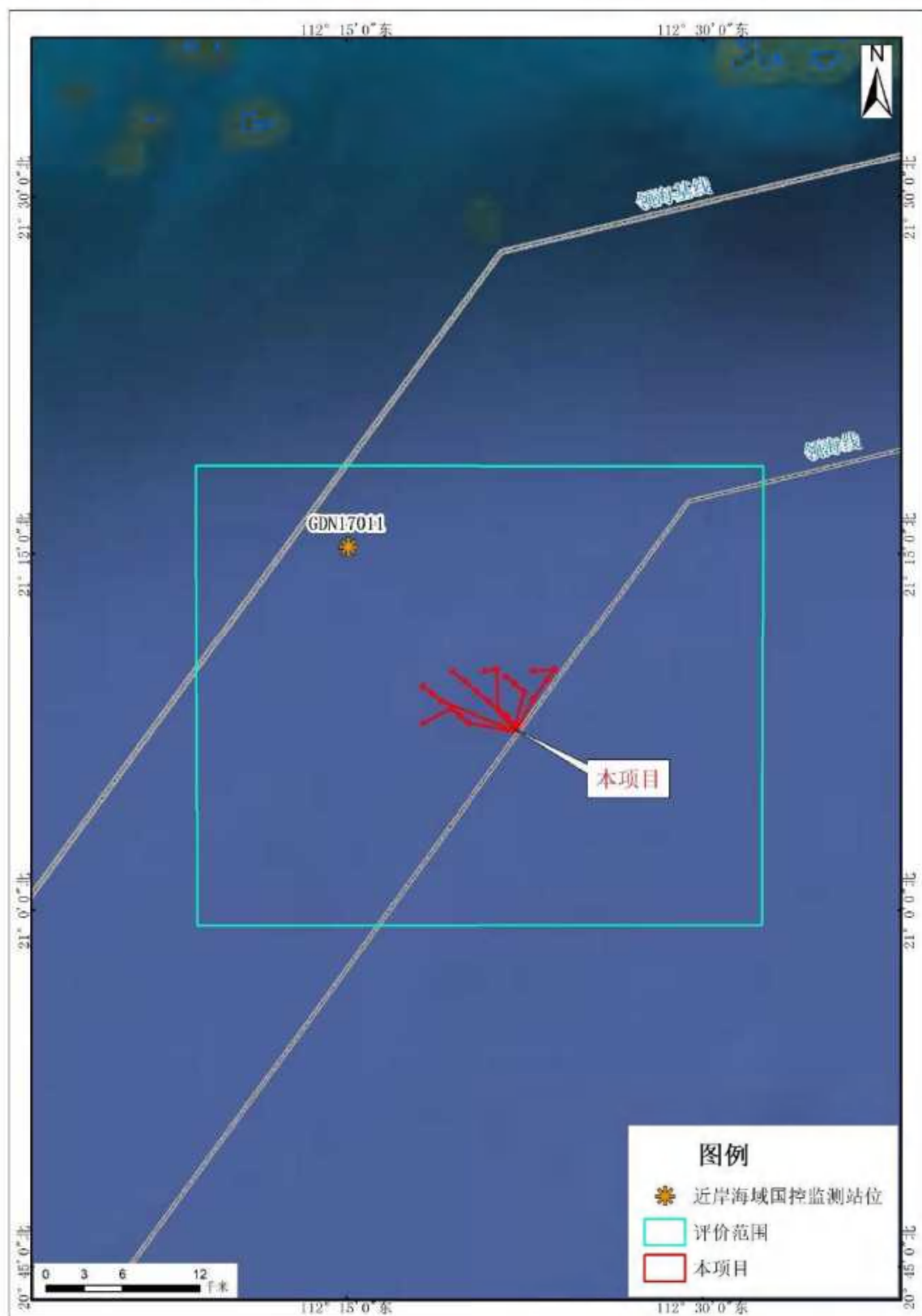


图 5.3.1-1 评价范围内的近岸海域国控站位示意图

(2) 评价标准

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）、《关于同意调整台山核电项目近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2008〕187号）、《关于对阳江市调整近岸海域环境功能区划的批复》（粤环函〔2005〕220号）和《广东省生态环境厅关于同意调整阳江市海陵湾近岸海域环境功能区划的函》（粤环函〔2025〕235号），GDN17011 站位不在江门市近岸海域环境功能区划范围内。近岸海域环境功能区划外的海域由于无海水水质管理目标，因此按海水水质第一类标准开展评价。

(3) 调查结果与评价

根据广东省生态环境厅发布的 2020 年~2024 年近岸海域海水水质监测信息，选取评价范围内的国控站位，进行工程周边生态环境变化趋势性分析。项目评价范围内近岸海域国控站位 2020~2024 年的监测和统计结果见表 5.3.1-2。各监测站位水质评价因子的标准指数见表 5.3.1-3。

由监测结果及标准指数表结果可知：GDN17011 站位 2020 年~2024 年 pH、无机氮、活性磷酸盐、石油类、铜、汞、镉含量均符合海水水质第一类标准；化学需氧量在 2022 年和 2024 年符合海水水质第二类标准，其余年份均符合海水水质第一类标准；铅在 2020 年和 2022 年符合海水水质第二类标准，其余年份均符合海水水质第一类标准。

通过对项目评价范围内国控站位 2022 年~2024 年的监测数据分析得出，按水质类别符合性评价的站位，各监测因子大部分符合海水水质第一类标准限值要求。

表 5.3.1-2 评价范围内的近岸海域国控站位 2020 年~2024 年监测结果

年份	站位编码	监测时间	pH	无机氮	活性磷酸盐	石油类	溶解氧	化学需氧量	(mg/L)					总氮	总磷
									铜	汞	镉	铅			
2024 年	GDN17011	2024-05-08	8.04	0.160	0.001	0.005	6.20	2.65	—	—	—	—	—	—	—
		2024-08-01	8.11	0.010	0.003	0.001	6.38	0.34	0.00023	0.000029	0.00004	0.00009	—	—	—
		2024-10-22	8.05	0.034	0.005	0.002	6.22	0.27	—	—	—	—	—	—	—
2023 年	GDN17011	2023-04-25	8.22	0.035	0.00036	0.002	6.58	0.32	—	—	—	—	—	—	—
		2023-07-28	8.21	0.013	0.0003	0.006	6.25	0.50	0.00034	0.000004	0.000015	0.00080	0.064	0.013	—
		2023-10-14	8.15	0.018	0.003	0.002	5.75	0.57	—	—	—	—	—	—	—
2022 年	GDN17011	2022-04-23	8.19	0.007	0.001	0.001	6.94	2.21	—	—	—	—	—	—	—
		2022-08-12	8.13	0.053	0.009	0.007	5.67	0.31	0.00182	0.000043	0.000015	0.00149	0.108	0.014	—
		2022-10-22	8.14	0.095	0.011	0.016	6.64	0.28	—	—	—	—	—	—	—
2021 年	GDN17011	2021-04-29	8.14	0.039	0.008	0.005	7.79	0.35	—	—	—	—	—	—	—
		2021-07-15	8.23	0.043	0.004	0.008	6.22	0.20	0.00020	0.000036	0.000005	0.00002	0.1363	0.0236	—
		2021-10-27	8.19	0.033	0.002	0.002	6.53	0.24	—	—	—	—	—	—	—
2020 年	GDN17011	2020-05-06	8.18	0.0477	0.0028	0.0110	6.93	1.23	—	—	—	—	—	—	—
		2020-08-05	8.13	0.013	0.003	0.008	5.95	0.63	0.00032	0.0000065	0.00002	0.00288	0.150	0.008	—
		2020-10-12	8.25	0.031	0.007	0.023	6.64	0.28	—	—	—	—	—	—	—

注：(1) “—”代表无数据。(2) 数据来自广东省生态环境厅发布的《广东省 2020 年近岸海域海水水质监测信息》(<http://gdee.gd.gov.cn/attachment/0/410/410949/3264371.xls>)、《广东省 2021 年近岸海域海水水质监测信息》(http://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_3894200.html)、《广东省 2022 年近岸海域水质监测信息》(https://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_4120610.html)、《广东省 2023 年近岸海域水质监测信息》(https://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_4666144.html)、《广东省 2024 年近岸海域水质监测信息》(https://gdee.gd.gov.cn/sz5628/content/post_4666144.html)。

表 5.3.1-3 评价范围内近岸海域国控站位监测数据的标准指数统计结果（执行第一类海水水质标准）

年份	站位编码	监测时间	pH	无机氮	活性磷酸盐	石油类	化学需氧量		铜	汞	镉	铅	
2024 年	GDN17011	2024-05-08	一类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	一类	一类	一类	二类
			0.69	0.80	0.07	0.10	1.33	0.88	—	—	—	—	—
			0.74	0.05	0.20	0.02	0.17	0.11	0.05	0.58	0.04	0.09	0.02
2023	GDN17011	2024-10-22	0.70	0.17	0.33	0.04	0.14	0.09	—	—	—	—	—
		2023-04-25	0.81	0.18	0.02	0.04	0.16	0.11	—	—	—	—	—

年份	站位编码	监测时间	pH	无机氮	活性磷 酸盐	石油类	化学需氧量		铜	汞	镉	铅	
年		2023-07-28	0.81	0.07	0.02	0.12	0.25	0.17	0.07	0.08	0.02	0.80	0.16
		2023-10-14	0.77	0.09	0.20	0.04	0.29	0.19	—	—	—	—	—
		2022-04-23	0.79	0.04	0.07	0.02	1.11	0.74	—	—	—	—	—
2022 年	GDN17011	2022-08-12	0.75	0.27	0.60	0.14	0.16	0.10	0.36	0.86	0.02	1.49	0.30
		2022-10-22	0.76	0.48	0.73	0.32	0.14	0.09	—	—	—	—	—
		2021-04-29	0.76	0.20	0.53	0.10	0.18	0.12	—	—	—	—	—
2021 年	GDN17011	2021-07-15	0.82	0.22	0.27	0.16	0.10	0.07	0.04	0.72	0.01	0.02	0.00
		2021-10-27	0.79	0.17	0.13	0.04	0.12	0.08	—	—	—	—	—
		2020-05-06	0.79	0.24	0.19	0.22	0.62	0.41	—	—	—	—	—
2020 年	GDN17011	2020-08-05	0.75	0.07	0.20	0.16	0.32	0.21	0.06	0.13	0.02	2.88	0.58
		2020-10-12	0.83	0.16	0.47	0.46	0.14	0.09	—	—	—	—	—
		超标率%		0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0

注：“—”表示未检测该指标。

5.3.2 海水水质现状调查与评价

本节引用《国能江门川岛二海上风电项目海洋环境现状调查监测报告（2023 年秋季）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 12 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 2023 年 11 月在项目附近进行的海洋环境质量现状调查数据。

5.3.2.1 调查概况

本次调查时间为 2023 年 11 月 20 日~11 月 22 日，共设水质调查站位 25 个，沉积物调查站位 15 个，海洋生物生态 18 个、生物体质量和渔业资源调查站位 18 个，具体调查站位详见表 5.3.2-1 和图 5.3.2-1。

项目调查站位布设全面覆盖、基本均匀，且在东平镇南珍稀濒危物种分布 II 区有站位布设，满足《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中站位布设的一般原则。

表 5.3.2-1 海洋环境现状调查站位

站位	经度 E	纬度 N	调查项目
CD02	112°08'42.76"	21°00'47.65"	水质
CD03	112°08'42.54"	21°05'02.92"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD04	112°08'42.55"	21°09'53.41"	水质、生物生态、渔业资源
CD05	112°09'02.93"	21°14'31.34"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD06	112°13'32.94"	21°14'46.53"	水质
CD07	112°13'24.42"	21°09'43.50"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD08	112°13'18.83"	21°04'41.40"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD09	112°13'22.38"	21°00'32.75"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD12	112°18'37.47"	20°59'37.60"	水质
CD13	112°18'40.49"	21°03'36.42"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD14	112°18'49.34"	21°06'42.95"	水质、生物生态、渔业资源
CD15	112°18'43.15"	21°09'51.29"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD16	112°18'57.08"	21°15'20.72"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD17	112°21'07.88"	21°09'51.64"	水质、生物生态、渔业资源
CD18	112°21'08.14"	21°06'39.01"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD19	112°24'12.15"	21°15'04.03"	水质
CD20	112°23'36.85"	21°09'50.90"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD21	112°23'55.28"	21°04'36.38"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD22	112°23'50.81"	20°59'45.09"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD25	112°30'13.10"	21°04'46.14"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CD26	112°29'17.16"	21°09'47.16"	水质
CD27	112°29'12.22"	21°14'47.50"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CDE03	112°18'51.50"	21°18'37.73"	水质
CDE04	112°24'18.42"	21°18'37.74"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
CDE05	112°29'25.39"	21°18'20.92"	水质

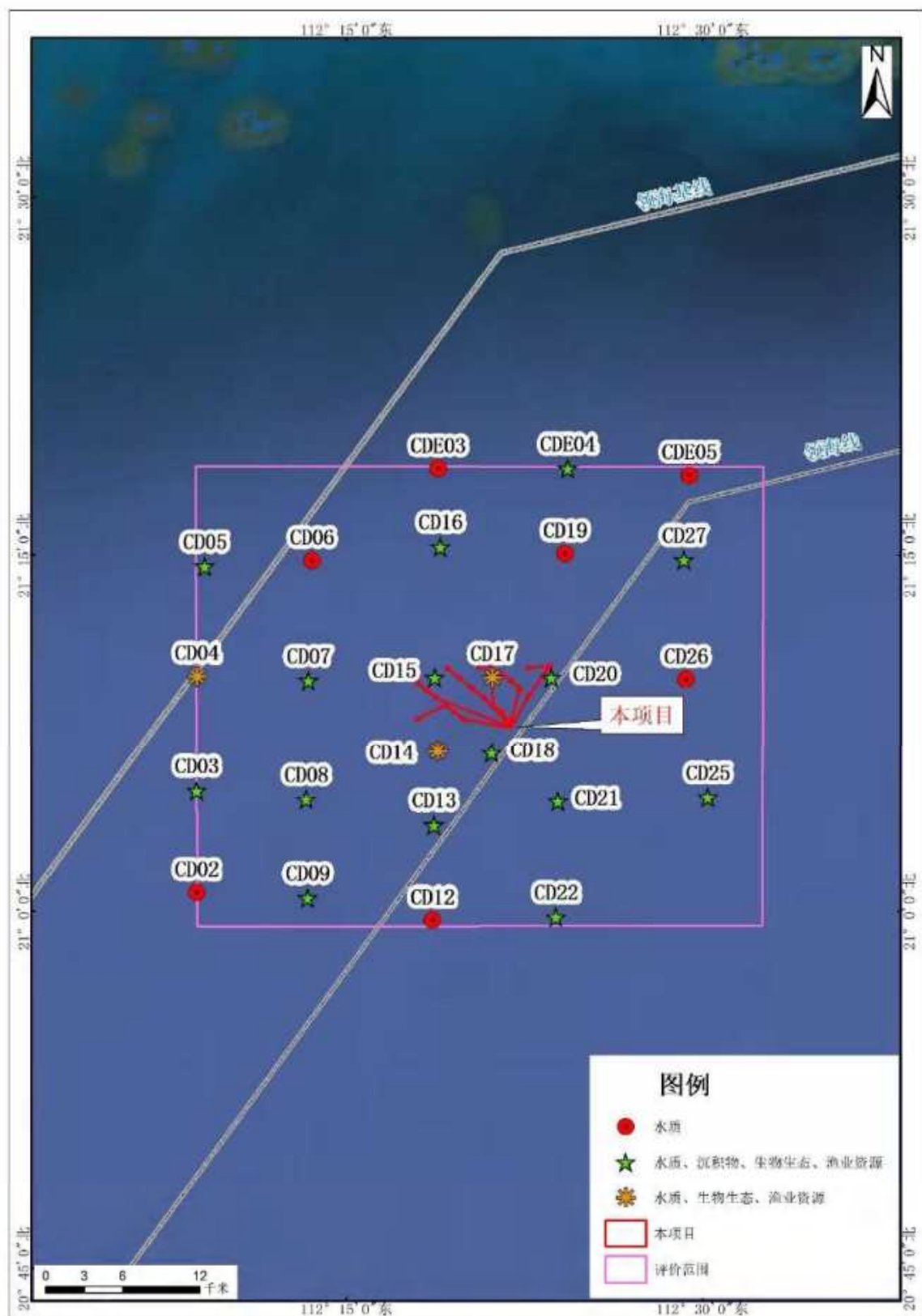


图 5.3.2-1 海洋环境现状调查站位分布图

5.3.2.2 调查项目

调查项目包括pH、水温、盐度、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、无机氮、活性磷酸盐、活性硅酸盐、石油类、汞、砷、铜、锌、铅、镉、铬、硒、镍、硫化物、挥发酚。

5.3.2.3 采样与分析方法

(1) 采样方法

① 水样采集通用方法

按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)和《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)中的要求执行;

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;

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 and 操作要求进行样品的分装、预处理、编号记录、贮存和运输;

对无法现场分析的样品,按《海洋监测规范》(GB17378-2007)加固定剂后带回实验室分析;

水文气象观测执行《海洋调查规范第 3 部分:海洋气象观测》(GB/T12763.3-2020)、《海洋调查规范第 2 部分:海洋水文观测》(GB/T12763.2-2007)和《海洋观测规范第 2 部分:海滨观测》(GB/T14914.2-2019)。

② 特殊指标水样采集方法

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。

pH 样品的采集:样品瓶洗净后,用海水浸泡 1d。采样时需用采样点的海水洗

涤两次，再装入水样瓶固定，盖好瓶盖混合均匀，待测，允许保存 48h。

重金属样品的采集：水样采集后，要有防止现场大气降尘带来的污染措施，并尽快从采样器中放出样品；防止采样器内样品中所含污染物随悬浮物的下沉而降低含量，灌装样品时必须边摇动采水器边灌装，立即用 0.45 μ m 滤膜过滤处理，过滤水样用 HNO₃ 酸化至 pH 值小于 2，塞上塞子，存放在洁净环境中。

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 5.3.2-2。

表 5.3.2-2 海水调查项目及分析方法

检测指标	检测依据	分析方法	检出限
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	/
pH	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/26	pH 计法	/
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‰
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
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	/
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
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
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
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
无机氮	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/35	/	/
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
挥发酚	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/19	4-氨基安替比林分光光度法	1.1 μ g/L
硫化物	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/18.1	亚甲基蓝分光光度法	0.2 μ g/L
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
汞	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》GB 17378.4-2007/5.1	原子荧光法	0.007 μ g/L

检测指标	检测依据	分析方法	检出限
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
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
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
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
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
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
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	/
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
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
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

5.3.2.4 评价方法与评价标准

(1) 评价方法

采用单因子标准指数（ P_i ）法，评价模式如下：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{io}}$$

式中： P_i ——第 i 项因子的标准指数，即单因子标准指数；

C_i ——第 i 项因子的实测浓度；

C_{io} ——第 i 项因子的评价标准值。

当标准指数值 P_i 大于 1，表示第 i 项评价因子超出了其相应的评价标准，即表明该因子已不能满足评价海域海洋功能区的要求。

另外，根据溶解氧（DO）、pH 的特点，其评价模式分别为：

溶解氧的标准指数为：

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

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

式中： $S_{DO,j}$ ——溶解氧的标准指数，大于 1 表明该水质因子超标；

DO_j ——溶解氧在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

DO_s ——溶解氧的水质评价标准限制，mg/L；

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

S—实用盐度符号, 量纲一;

T—水温, °C。

pH 评价指数按下式如下:

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

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

式中: $S_{pH,j}$ —pH 值的指数, 大于 1 表明该水质因子超标;

pH_j —pH 值实测统计代表值;

pH_{sd} —评价标准中 pH 值的下限值;

pH_{su} —评价标准中 pH 值的上限值。

(2) 评价标准

根据《广东省近岸海域环境功能区划》(粤府办〔1999〕68 号)、《关于同意调整台山核电项目近岸海域环境功能区划的复函》(粤办函〔2008〕187 号)、《关于对阳江市调整近岸海域环境功能区划的批复》(粤环函〔2005〕220 号)和《广东省生态环境厅关于同意调整阳江市海陵湾近岸海域环境功能区划的函》(粤环函〔2025〕235 号), 全部监测站位均不位于近岸海域环境功能区划内, 因此本次海水水质所有站位均按海水水质第一类标准开展评价。

5.3.2.5 海洋水质现状调查结果与评价

(1) 调查结果

海水的盐度值变化范围为 33.618‰~33.877‰, 平均为 33.781‰, 其中 CD25 站位底层海水的盐度值最高, CDE03 站位表层海水的盐度值最低。

海水的 pH 变化范围为 8.04~8.18, 平均为 8.14, 其中 CD27 站位表层海水的 pH 值最高, CD25 站位底层海水的 pH 值最低。

海水的悬浮物含量变化范围为 6.8mg/L~14.9mg/L, 平均为 9.1mg/L, 其中 CD25 站位底层海水的悬浮物含量值最高, CD18 站位底层海水的悬浮物含量值最低。

海水的溶解氧含量变化范围为 6.08mg/L~7.58mg/L, 平均为 6.87mg/L, 其中 CDE05 站位表层海水的溶解氧含量值最高, CD06 站位底层海水的溶解氧含量值最低。

海水的化学需氧量含量变化范围为 0.32mg/L~1.88mg/L，平均为 1.12mg/L，其中 CD13 站位底层海水的化学需氧量含量值最高，CD25 站位 10m 层海水的化学需氧量含量值最低。

海水的生化需氧量含量变化范围为 0.15mg/L~0.74mg/L，平均为 0.34mg/L，其中 CD13 站位底层海水的生化需氧量含量值最高，CD26 站位底层海水的生化需氧量含量值最低。

海水的无机氮含量变化范围为 0.0341mg/L~0.176mg/L，平均为 0.0647mg/L，其中 CDE04 站位表层海水的无机氮含量值最高，CD12 站位底层海水的无机氮含量值最低。

海水的活性磷酸盐含量变化范围为 0.0006Lmg/L~0.0114mg/L，平均为 0.0027mg/L，其中 CDE04 站位表层海水的活性磷酸盐含量值最高。

海水的活性硅酸盐含量变化范围为 0.132mg/L~0.418mg/L，平均为 0.213mg/L，其中 CDE03 站位表层海水的活性硅酸盐含量值最高，CD13 站位 10m 层海水的活性硅酸盐含量值最低。

海水的石油类含量变化范围为 0.0035Lmg/L~0.0176mg/L，平均为 0.0086mg/L，其中 CD27 站位表层海水的油类含量值最高。

海水的锌含量变化范围为 0.0047mg/L~0.0189mg/L，平均为 0.0134mg/L，其中 CD09 站位表层和 CD09 站位底层等海水的锌含量值最高，CD14 站位表层和 CD14 站位底层海水的锌含量值最低。

海水的挥发酚含量变化范围为 1.1Lμg/L~1.8μg/L，平均为 0.6μg/L，其中 CD20 站位表层、CD26 站位 10m 层和 CDE05 站位底层海水的挥发酚含量值最高。

海水的硫化物含量变化范围为 0.2Lμg/L~0.4μg/L，平均为 0.2μg/L，其中 CD20 站位表层和 CDE05 站位表层海水的硫化物含量值最高。

海水的铜含量变化范围为 0.4μg/L~3.3μg/L，平均为 1.4μg/L，其中 CD20 站位 10m 层海水的铜含量值最高，CD15 站位底层海水的铜含量值最低。

海水的铅含量变化范围为 0.31μg/L~0.99μg/L，平均为 0.60μg/L，其中 CD12 站位表层海水的铅含量值最高，CD13 站位 10m 层和 CD26 站位表层海水的铅含量值最低。

海水的镉含量变化范围为 0.12μg/L~0.79μg/L，平均为 0.36μg/L，其中 CDE03 站

位 10m 层海水的镉含量值最高，CD25 站位 10m 层和 CD26 站位表层海水的镉含量值最低。

海水的总铬含量变化范围为 0.4 $\mu\text{g/L}$ ~2.2 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.9 $\mu\text{g/L}$ ，其中 CD27 站位表层海水的总铬含量值最高，CD26 站位底层海水的总铬含量值最低。

海水的汞含量变化范围为 0.007 $\mu\text{g/L}$ ~0.016 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.009 $\mu\text{g/L}$ ，其中 CD09 站位 10m 层海水的汞含量值最高。

海水的砷含量变化范围为 0.9 $\mu\text{g/L}$ ~3.2 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 1.1 $\mu\text{g/L}$ ，其中 CD14 站位表层海水的砷含量值最高，CD25 站位表层和 CD25 站位底层等海水的砷含量值最低。

海水的镍含量变化范围为 0.5 $\mu\text{g/L}$ ~1.7 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.7 $\mu\text{g/L}$ ，其中 CD07 站位 10m 层海水的镍含量值最高。

海水的硒含量变化范围为 0.2 $\mu\text{g/L}$ ~0.6 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.3 $\mu\text{g/L}$ ，其中 CD09 站位表层、CD15 站位底层和 CD25 站位底层海水的硒含量值最高。

调查结果详见表 5.3.2-3。

(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 5.3.2-4。

1) 海洋环境功能区水质达标情况

由监测结果及标准指数表结果可知：所有调查站位的水质监测因子均符合海水水质第一类标准。

2) 生态敏感区水质达标情况

根据图 5.3.2-2，CD05、CD06 站位位于东平镇南珍稀濒危物种分布 II 区，由表 5.3.2-4 可知，CD05、CD06 站位按水质类别符合性分析。

由监测结果及标准指数表结果可知：CD05、CD06 站位的水质监测因子均符合海水水质第一类标准。

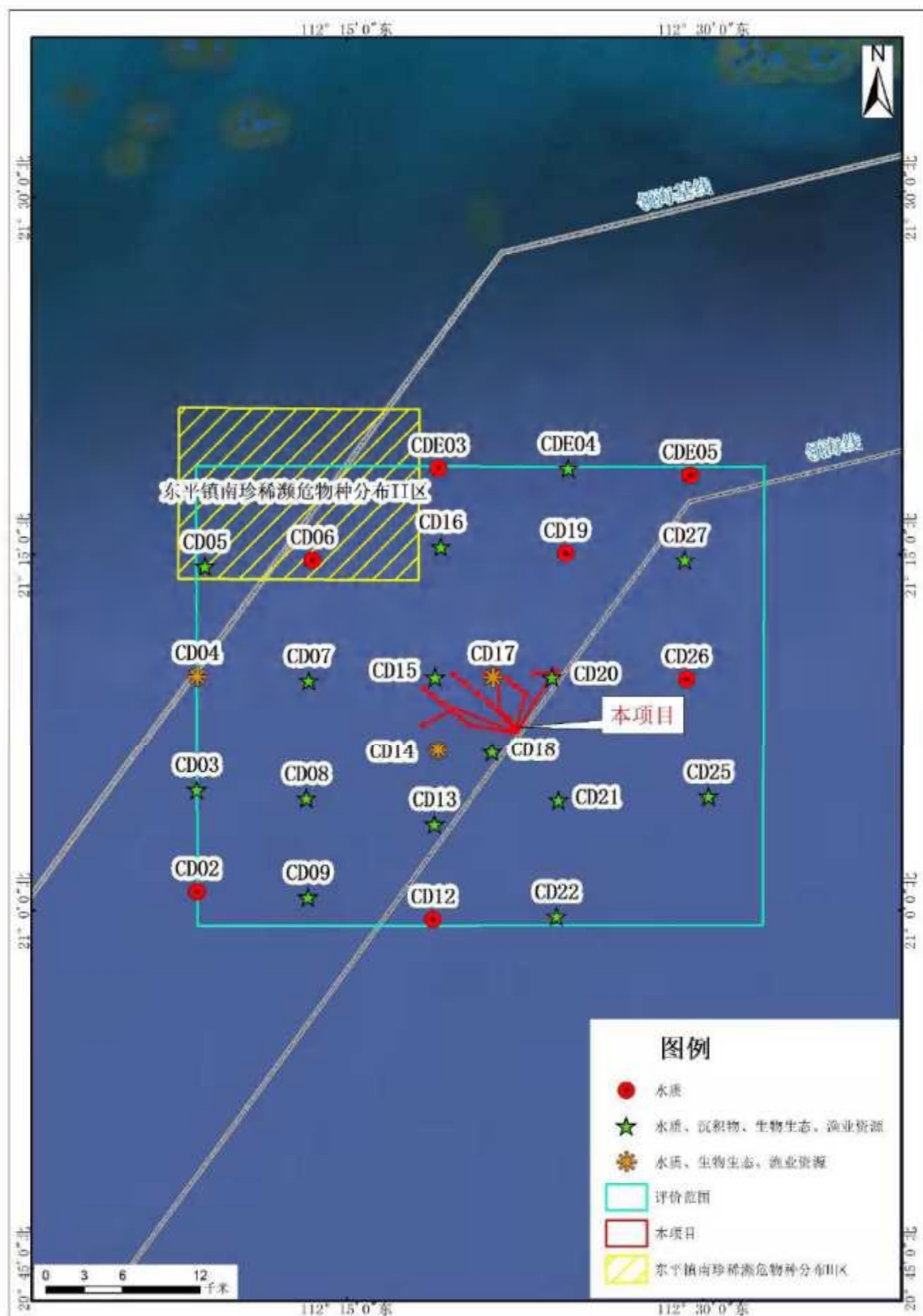


图 5.3.2-2 海洋环境现状调查站位与生态敏感区的叠图（秋季）

站 位	层 次	水 深 m	水 温 ℃	盐 度 ‰	pH	悬 浮 物	溶 氧 量	化 学 需 氧 量	生 化 需 氧 量	氨 氮	硝 酸 盐 氮		硝 酸 盐 氮	亚 硝 酸 盐 氮	总 磷	活性 磷	硅 酸 盐	油 类	挥发 性 酸	氨 氮	铝	铬	砷	汞	
											mg/L	mg/L													
CD02	表层	49.2	25.3	33.827	8.15	10.8	7.52	0.44	0.20	0.0202	0.0028	0.0460	0.0017	0.185	0.0067	0.0121	1.1E-03	1.1	0.31	0.25	0.7	0.014	1.0	0.6	0.2L
	10m	/	25.1	33.838	8.15	8.2	7.02	0.96	0.40	0.0193	0.0017	0.0442	0.0014	0.156	/	0.0110	1.1E-03	1.4	0.60	0.36	1.2	0.015	1.0	0.8	0.2L
	底层	/	24.7	33.835	8.16	10.4	6.51	1.24	0.36	0.0180	0.0018	0.0345	0.0009	0.212	/	0.0121	1.1E-03	1.4	0.85	0.26	1.0	0.009	1.0	0.6	0.2L
CD03	表层	44.6	25.2	33.812	8.14	9.9	7.51	0.72	0.28	0.0162	0.0026	0.0394	0.0017	0.195	0.0069	0.0161	1.1E-03	2.6	0.35	0.34	1.1	0.007L	1.1	0.8	0.3
	10m	/	25.0	33.821	8.14	9.4	7.10	0.68	0.33	0.0137	0.0020	0.0358	0.0012	0.174	/	0.0149	1.1E-03	1.4	0.42	0.30	1.0	0.011	1.0	0.6	0.2L
	底层	/	24.6	33.831	8.15	10.3	6.93	1.02	0.30	0.0093	0.0016	0.0319	0.0007	0.229	/	0.0161	1.1E-03	1.1	0.59	0.26	1.1	0.011	1.1	0.5	0.2L
CD04	表层	40.5	24.2	33.768	8.15	10.5	7.32	1.58	0.43	0.0132	0.0033	0.0442	0.0027	0.193	0.0073	0.0132	1.1E-03	1.3	0.36	0.23	0.8	0.007L	1.1	0.8	0.3
	10m	/	24.0	33.782	8.15	8.7	6.79	1.51	0.32	0.0092	0.0032	0.0426	0.0021	0.158	/	0.0121	1.1E-03	1.3	0.38	0.32	0.7	0.014	1.2	0.8	0.2
	底层	/	23.9	33.789	8.16	9.9	6.57	0.99	0.28	0.0073	0.0027	0.0368	0.0014	0.228	/	0.0115	1.1E-03	1.3	0.55	0.30	0.8	0.013	1.1	0.7	0.3
CD05	表层	35.1	24.3	33.732	8.14	8.8	7.37	1.35	0.32	0.0168	0.0091	0.0560	0.0052	0.204	0.0079	0.0149	1.2E-03	1.8	0.49	0.41	1.0	0.008	1.4	1.2	0.3
	10m	/	24.0	33.738	8.14	9.6	6.75	1.70	0.56	0.0146	0.0077	0.0446	0.0045	0.187	/	0.0144	1.1E-03	1.3	0.93	0.34	0.8	0.011	1.2	0.6	0.3
	底层	/	23.7	33.746	8.15	8.8	6.32	1.33	0.32	0.0174	0.0098	0.0398	0.0054	0.220	/	0.0144	1.5E-03	1.7	0.58	0.36	1.5	0.009	1.1	0.8	0.3
CD06	表层	35.4	24.5	33.746	8.14	8.8	7.34	1.82	0.46	0.0105	0.0082	0.0450	0.0037	0.047	0.0062	0.0149	1.1E-03	1.3	0.41	0.32	0.8	0.007L	1.2	0.5L	0.4
	10m	/	24.1	33.758	8.13	9.4	6.75	1.78	0.52	0.0095	0.0078	0.0508	0.0037	0.163	/	0.0172	1.1E-03	1.4	0.53	0.30	0.9	0.007L	1.1	0.5	0.3
	底层	/	23.7	33.761	8.13	9.2	6.08	1.47	0.36	0.0137	0.0094	0.0516	0.0039	0.199	/	0.0161	1.2E-03	1.3	0.75	0.35	0.8	0.015	1.2	0.5	0.3
CD07	表层	40.8	24.2	33.731	8.15	8.2	7.02	1.27	0.30	0.0226	0.0040	0.0545	0.0011	0.202	0.0039	0.0093	1.1E-03	1.5	0.75	0.34	0.8	0.007L	1.0	0.8	0.2
	10m	/	24.1	33.762	8.14	8.4	6.81	1.11	0.42	0.0163	0.0027	0.0420	0.0015	0.194	/	0.0093	1.1E-03	1.2	0.66	0.28	0.7	0.011	1.1	1.7	0.3
	底层	/	24.0	33.753	8.16	7.7	6.41	1.31	0.40	0.0127	0.0025	0.0214	0.0066	0.226	/	0.0104	1.1E-03	1.2	0.70	0.33	0.8	0.012	1.1	0.6	0.4
CD08	表层	45.6	24.9	33.778	8.13	12.0	7.42	1.24	0.39	0.0198	0.0032	0.0429	0.0039	0.209	0.0136	0.0127	1.1E-03	0.2	0.38	0.34	1.2	0.014	1.0	0.5	0.2
	10m	/	24.7	33.802	8.14	10.6	6.99	1.44	0.38	0.0155	0.0026	0.0367	0.0058	0.194	/	0.0121	1.1E-03	0.2	0.9	0.39	0.21	0.014	1.0	0.5	0.2
	底层	/	24.6	33.811	8.14	11.4	6.64	0.96	0.29	0.0136	0.0024	0.0386	0.0046	0.0237	/	0.0115	1.1E-03	1.3	0.55	0.32	1.0	0.014	1.0	0.5L	0.2
CD09	表层	48.9	25.1	33.827	8.14	8.6	7.36	1.02	0.25	0.0204	0.0018	0.0394	0.0016	0.253	0.0142	0.0189	1.1E-03	1.5	0.84	0.34	1.0	0.015	1.0	0.6	0.6
	10m	/	25.0	33.837	8.14	8.8	6.96	0.36	0.23	0.0140	0.0016	0.0388	0.0010	0.199	/	0.0183	1.1E-03	1.6	0.54	0.34	1.4	0.016	1.0	0.8	0.5
	底层	/	24.8	33.829	8.16	9.1	6.77	1.24	0.26	0.0086	0.0015	0.0324	0.0025	0.222	/	0.0189	1.1E-03	1.2	0.99	0.32	1.0	0.013	1.1	0.5L	0.4
CD12	表层	49.2	24.7	33.837	8.12	7.9	7.46	1.00	0.53	0.0135	0.0020	0.0329	0.0013	0.216	0.0109	0.0093	1.1E-03	1.2	0.79	0.30	1.1	0.014	1.0	0.6	0.4
	10m	/	24.8	33.844	8.12	8.1	7.17	0.58	0.40	0.0113	0.0015	0.0281	0.0006L	0.194	/	0.0098	1.1E-03	1.6	0.37	0.36	1.2	0.007L	1.0	0.5L	0.5
	底层	/	25.0	33.865	8.13	8.5	7.03	0.76	0.18	0.0120	0.0017	0.0204	0.0041	0.1966L	0.207	/	0.0131	1.1E-03	2.0	0.47	0.37	1.2	0.011	1.0	0.5
CD13	表层	46.7	24.8	33.832	8.15	9.9	6.95	0.80	0.20	0.0135	0.0033	0.0351	0.0039	0.0056	0.0013L	0.0166	1.1E-03	1.9	0.63	0.42	1.4	0.009	1.0	0.7	0.3
	10m	/	24.7	33.829	8.15	9.7	6.55	1.52	0.43	0.0107	0.0022	0.0352	0.0048	0.132	/	0.0172	1.1E-03	1.4	0.31	0.31	1.0	0.009	1.2	0.5L	0.2L
	底层	/	24.5	33.837	8.16	10.7	6.46	1.88	0.74	0.0082	0.0021	0.0267	0.0018	0.168	/	0.0161	1.1E-03	1.3	0.83	0.44	1.3	0.007L	1.0	1.4	0.2L
CD14	表层	44.2	23.6	33.765	8.14	7.6	6.93	1.07	0.23	0.0160	0.0027	0.0458	0.0014	0.226	0.0091	0.0047	1.1E-03	1.5	0.64	0.30	0.8	0.009	3.2	1.5	0.3
	10m	/	23.7	33.781	8.14	8.3	6.91	1.27	0.42	0.0131	0.0021	0.0386	0.0011	0.253	/	0.0064	1.5E-03	1.2	0.75	0.76	0.6	0.012	1.1	0.5L	0.3
	底层	/	23.9	33.797	8.15	8.0	6.23	1.19	0.40	0.0123	0.0023	0.0413	0.0060	0.184	/	0.0047	1.2E-03	1.0	0.63	0.38	0.7	0.015	1.1	0.5L	0.5
CD15	表层	42.8	24.1	33.749	8.15	9.0	7.56	1.58	0.38	0.0139	0.0020	0.0356	0.0015	0.0039	0.0017	0.0110	1.2E-03	1.2	0.55	0.27	1.6	0.012	1.1	0.5L	0.3
	10m	/	24.0	33.768	8.15	8.4	6.84	0.75	0.30	0.0115	0.0021	0.0362	0.0027	0.227	/	0.0104	1.5E-03	1.5	0.53	0.34	1.0	0.010	1.0	0.5	0.4
	底层	/	24.1	33.771	8.16	8.5	6.26	0.71	0.29	0.0119	0.0016	0.0251	0.0020	0.307	/	0.0110	1.1E-03	1.4	0.69	0.17	1.0	0.012	1.1	0.8	0.6
CD16	表层	36.7	24.4	33.752	8.13	10.0	7.06	1.69	0.39	0.0131	0.0037	0.0449	0.0032	0.164	0.0058	0.0155	1.1E-03	1.3	0.73	0.27	0.6	0.007L	1.1	0.5L	0.2L
	10m	/	24.0	33.757	8.13	8.6	6.38	1.28	0.66	0.0114	0.0036	0.0405	0.0034	0.154	/	0.0093	1.1E-03	1.5	0.67	0.35	1.0	0.007L	1.1	0.5	0.3
	底层	/	23.8	33.763	8.14	9.7	6.21	1.19	0.25	0.0102	0.0018	0.0342	0.0026	0.171	/	0.0161	1.1E-03	1.2	0.8	0.48	0.21	0.015	1.0	0.5L	0.3
CD17	表层	42.5	23.9	33.759	8.13	7.7	7.51	1.31	0.33	0.0149	0.0024	0.0207	0.0015	0.193	0.0073	0.0132	1.1E-03	1.0	0.33	0.30	0.6	0.011	1.1	0.5	0.3
	10m	/	24.0	33.771	8.14	7.4	6.89	1.43	0.39	0.0117	0.0026	0.0318	0.0013	0.184	/	0.0121	1.1E-03	1.3	0.36	0.33	0.6	0.007L	1.0	1.0	0.3
	底层	/	24.2	33.783	8.14	7.6	6.65	1.27	0.30	0.0077	0.0024	0.0300	0.0008	0.211	/	0.0144	1.1E-03	1.2	0.4	0.78	0.30	0.9	0.007L	1.0	0.8
CD18	表层	44.5	23.7	33.782	8.13	8.3	7.22	1.03	0.34	0.0155	0.0027	0.0428	0.0010	0.0913	0.0063	0.0098	1.1E-03	1.3	0.4	0.37	0.40	0.012	1.0	0.6	0.3
	10m	/	23.8	33.779	8.14	8.9	7.02	1.07	0.20	0.0133	0.0025	0.0392	0.0009	0.163	/	0.0093	1.1E-03	1.4	0.60	0.37	0.6	0.007L	1.0	0.5L	0.2L

[illegible]

注：①包含“L”的检测结果表明其检测结果低于方法检出限。其中数值为方法检出限；若检出率等于1/2，取1/4参与计算；若检出率大于1/2，取1/2参与计算。②无检出限值参与计算。

表 5.3.2.3b 海水水质监测结果平均值

站位	水深 m	水温 ℃	盐度	pH	悬浮物	溶解氧	化学需氧量		生化需氧量	氨氮	硝氮 mg/L	磷酸盐	无机氮	活性磷酸盐	活性硅酸盐	Ca ²⁺ mg/L	Fe	挥发酚	氨氮	铜	铅	镉	铬	锰	汞	砷
							mg/L	mg/L																		
CD02	49.2	25.0	33.823	8.15	9.8	7.02	0.88	0.3	0.0192	0.0021	0.0416	0.0628	0.0013	0.191	0.0067	0.0117	0.28	0.2	1.3	0.65	0.29	1.0	0.013	1.0	0.7	0.1
CD03	44.6	24.9	33.821	8.14	9.9	7.18	0.81	0.3	0.0131	0.0021	0.0357	0.0509	0.0013	0.193	0.0069	0.0157	0.28	0.1	1.7	0.45	0.30	1.1	0.009	1.1	0.6	0.2
CD04	40.5	24.0	33.780	8.15	9.7	6.89	1.36	0.3	0.0099	0.0051	0.0412	0.0542	0.0021	0.193	0.0073	0.0123	0.28	0.2	1.3	0.56	0.32	0.8	0.010	1.1	0.8	0.3
CD05	35.1	24.0	33.739	8.14	9.1	6.81	1.46	0.4	0.0163	0.0089	0.0562	0.0814	0.0050	0.204	0.0079	0.0146	0.99	0.2	1.6	0.67	0.37	1.1	0.009	1.2	0.9	0.3
CD06	35.4	24.1	33.755	8.13	9.1	6.72	1.69	0.1	0.0712	0.0085	0.0491	0.0688	0.0044	0.181	0.0062	0.0161	0.58	0.2	1.7	0.56	0.3	0.8	0.007	1.2	0.4	0.3

站名	水深 m	水温 ℃	盐度 ‰	pH	悬浮物 mg/L	溶解氧 mg/L	化学需 氧量 mg/L	生化需 氧量 mg/L	氨氮 mg/L	亚硝酸盐 氮mg/L	硝酸盐 氮mg/L	磷酸盐 氮mg/L	无机氮 mg/L	活性磷 mg/L	活性硅 mg/L	石油类 mg/L	砷 mg/L	铬 mg/L	镍 mg/L	铜 mg/L	汞 mg/L	总铬 mg/L	总镍 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L	总砷 mg/L	总铜 mg/L	总汞 mg/L
----	---------	---------	---------	----	-------------	-------------	-------------------	-------------------	------------	---------------	--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

表 5.3.2-4 海水水质监测站位各要素的标准指数（执行第一类海水水质标准）

站位	pH	溶解 氧	化学 需氧 量	生化 需氧 量	无机 氮	活性 磷酸 盐	石油 类	锌	挥发 酚	硫化 物	铜	铅	镉	总铬	汞	砷	镍	硒
CD02	0.77	0.19	0.44	0.30	0.31	0.09	0.13	0.59	0.06	0.01	0.26	0.65	0.29	0.02	0.26	0.05	0.14	0.01
CD03	0.76	0.35	0.41	0.30	0.25	0.08	0.14	0.79	0.06	0.01	0.34	0.45	0.30	0.02	0.18	0.06	0.12	0.02
CD04	0.77	0.87	0.68	0.30	0.27	0.14	0.15	0.62	0.06	0.01	0.26	0.56	0.32	0.02	0.20	0.06	0.16	0.03
CD05	0.76	0.88	0.73	0.40	0.41	0.33	0.16	0.73	0.20	0.01	0.32	0.67	0.37	0.02	0.18	0.06	0.18	0.03
CD06	0.75	0.89	0.85	0.40	0.34	0.27	0.12	0.81	0.12	0.01	0.26	0.56	0.32	0.02	0.14	0.06	0.08	0.03
CD07	0.77	0.89	0.62	0.40	0.30	0.11	0.08	0.49	0.06	0.01	0.26	0.70	0.32	0.02	0.18	0.06	0.20	0.03
CD08	0.76	0.14	0.61	0.40	0.29	0.21	0.28	0.61	0.06	0.01	0.24	0.51	0.29	0.02	0.28	0.05	0.08	0.02
CD09	0.77	0.20	0.44	0.20	0.26	0.08	0.28	0.94	0.06	0.01	0.30	0.72	0.33	0.02	0.30	0.05	0.12	0.05
CD12	0.75	0.38	0.39	0.40	0.21	0.04	0.22	0.52	0.06	0.01	0.32	0.61	0.34	0.02	0.20	0.05	0.10	0.04
CD13	0.77	0.90	0.70	0.50	0.23	0.18	0.04	0.83	0.06	0.01	0.34	0.59	0.39	0.02	0.14	0.06	0.16	0.02
CD14	0.76	0.90	0.59	0.40	0.29	0.06	0.18	0.27	0.20	0.01	0.24	0.67	0.48	0.01	0.24	0.09	0.14	0.04
CD15	0.77	0.87	0.51	0.30	0.23	0.19	0.23	0.54	0.20	0.01	0.20	0.59	0.26	0.02	0.22	0.06	0.10	0.04
CD16	0.75	0.92	0.70	0.40	0.28	0.21	0.12	0.68	0.06	0.01	0.22	0.63	0.28	0.01	0.14	0.06	0.06	0.02
CD17	0.76	0.04	0.67	0.30	0.22	0.08	0.15	0.66	0.06	0.01	0.24	0.49	0.31	0.01	0.12	0.05	0.16	0.03
CD18	0.76	0.87	0.60	0.30	0.29	0.07	0.13	0.52	0.12	0.01	0.22	0.54	0.36	0.01	0.18	0.06	0.12	0.02
CD19	0.75	0.88	0.69	0.40	0.30	0.19	0.13	0.86	0.06	0.01	0.28	0.63	0.36	0.02	0.18	0.05	0.14	0.02
CD20	0.76	0.88	0.57	0.30	0.21	0.06	0.13	0.68	0.16	0.02	0.40	0.53	0.33	0.02	0.14	0.06	0.20	0.03
CD21	0.77	0.18	0.53	0.40	0.24	0.12	0.25	0.58	0.12	0.01	0.34	0.58	0.31	0.02	0.12	0.06	0.12	0.03
CD22	0.75	0.92	0.37	0.30	0.21	0.07	0.29	0.75	0.22	0.01	0.38	0.73	0.36	0.02	0.14	0.05	0.12	0.03
CD25	0.73	0.87	0.42	0.40	0.34	0.07	0.28	0.74	0.18	0.02	0.26	0.53	0.19	0.02	0.20	0.05	0.12	0.05
CD26	0.73	0.09	0.29	0.20	0.34	0.06	0.13	0.50	0.22	0.01	0.20	0.52	0.38	0.01	0.08	0.06	0.16	0.03
CD27	0.77	0.04	0.43	0.20	0.30	0.20	0.35	0.65	0.06	0.01	0.38	0.51	0.62	0.03	0.16	0.05	0.16	0.04
CDE03	0.76	0.89	0.70	0.40	0.73	0.58	0.08	0.85	0.14	0.01	0.28	0.58	0.65	0.02	0.10	0.06	0.16	0.05
CDE04	0.76	0.90	0.82	0.50	0.82	0.65	0.12	0.65	0.14	0.01	0.22	0.68	0.46	0.01	0.12	0.07	0.12	0.02
CDE05	0.75	0.26	0.35	0.20	0.41	0.41	0.16	0.93	0.30	0.02	0.24	0.78	0.50	0.02	0.18	0.05	0.14	0.03
超标率%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5.4 海洋沉积物质量现状调查与评价

5.4.1 调查概况

本节引用《国能江门川岛二海上风电项目海洋环境现状调查监测报告（2023 年秋季）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 12 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 2023 年 11 月在项目附近进行的海洋沉积物质量现状调查数据。具体站位详见 5.3.2.1 节。

5.4.2 调查项目

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

5.4.3 采样与分析方法

（1）采样方法

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

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

②样品从海底至船甲板，应立即进行现场样品状态描述（颜色、气味、厚度）；

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

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

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

⑥分装要求：样品瓶（袋）要贴标签，并将样品瓶号及样品箱号记入现场描述

记录表内，在柱状样品的取样位置上放入标签，其编号与瓶（袋）号一致。认真作好采样详细记录。

⑦采样完毕，打开采泥器，弃去残留沉积物，用海水冲洗。

(2) 分析方法

样品的分析按照《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》（GB 17378.5-2007）进行，各项的分析方法如表 5.4.3-1。

表 5.4.3-1 沉积物项目及分析方法

检测指标	检测依据	分析方法	检出限
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	/
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%
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
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
铜	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/6.2	火焰原子吸收分光光度法	2.0mg/kg
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
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
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
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
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
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
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	/
粒径	《海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球物理调查》GB/T 12763.8-2007/6.3	激光粒度分布仪法	/

5.4.4 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沉积物的质量指数，即应用公式 $P_i = C_i / C_{si}$ 。

式中： P_i —第 i 种评价因子的质量指数；

C_i —第 i 种评价因子的实测值；

C_{si} —第 i 种评价因子的标准值。

沉积物质量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

本次海洋沉积物所有站位均按海洋沉积物一类标准开展评价。

5.4.5 海洋沉积物质量调查结果与评价

(1) 调查结果

① 粒度分析结果

沉积物粒度分析结果详见表 5.4.5-1。调查海区表层沉积物主要为粉砂质砂（9 个），其次为砂质粉砂（5 个），仅有 1 个站位（CD22）表层沉积物为砂。

② 沉积物质量调查结果

沉积物的 pH 值变化范围为 8.05~8.42，平均为 8.29，其中 CD22 站位的 pH 值最高，CD05 站位的 pH 值最低。

沉积物的风干样含水率变化范围为 $(0.60\sim2.24)\times10^{-2}$ ，平均为 1.23×10^{-2} ，其中 CD21 站位的含水率最高，CD09 站位的含水率最低。

沉积物的湿样含水率变化范围为 $(25.28\sim45.45)\times10^{-2}$ ，平均为 36.52×10^{-2} ，其中 CDE04 站位的含水率最高，CD22 站位的含水率最低。

沉积物的有机碳含量变化范围为 $(0.18\sim0.78)\times10^{-2}$ ，平均为 0.46×10^{-2} ，其中 CD05 站位的有机碳含量最高，CD22 站位的有机碳含量最低。

沉积物的硫化物含量变化范围为 $(0.5\sim16.5)\times10^{-6}$ ，平均为 4.7×10^{-6} ，其中 CD27 站位的硫化物含量最高，CD22 站位的硫化物含量最低。

沉积物的石油类含量变化范围为 $(3.2\sim15.6)\times10^{-6}$ ，平均为 8.9×10^{-6} ，其中 CDE04 站位的石油类含量最高，CD22 站位的石油类含量最低。

沉积物的铜含量变化范围为 $(12.4\sim32.5)\times10^{-6}$ ，平均为 24.9×10^{-6} ，其中 CD07 站位的铜含量最高，CD05 站位的铜含量最低。

沉积物的铅含量变化范围为 $(11.9\sim40.4)\times10^{-6}$ ，平均为 22.1×10^{-6} ，其中 CDE04 站位的铅含量最高，CD09 站位的铅含量最低。

沉积物的镉含量变化范围为 $(0.04\sim0.13)\times10^{-6}$ ，平均为 0.06×10^{-6} ，其中 CD21 站位的镉含量最高。

沉积物的锌含量变化范围为 $(59.8\sim99.9)\times10^{-6}$ ，平均为 75.9×10^{-6} ，其中 CDE04

站位的锌含量最高，CD22 站位的锌含量最低。

沉积物的铬含量变化范围为 $(58.4\sim76.7)\times10^{-6}$ ，平均为 66.1×10^{-6} ，其中 CD25 站位的铬含量最高，CD22 站位的铬含量最低。

沉积物的总汞含量变化范围为 $(0.023\sim0.093)\times10^{-6}$ ，平均为 0.046×10^{-6} ，其中 CDE04 站位的总汞含量最高，CD09 站位的总汞含量最低。

沉积物的砷含量变化范围为 $(4.45\sim14.6)\times10^{-6}$ ，平均为 7.9×10^{-6} ，其中 CDE04 站位的砷含量最高，CD22 站位的砷含量最低。

沉积物质量调查结果见表 5.4.5-2。

(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 5.4.5-3。

由监测结果及标准指数表结果可知：所有调查站位的沉积物监测因子均符合海洋沉积物质量第一类标准要求。

表 5.4.5-1 沉积物粒度分析结果

站 位	简分法	砂					粉砂				粘土		粒度参数	沉 积 物 名 称				
		极粗砂	粗砂	中砂	细砂	极细砂	粗砂	中砂	细砂	极细粉砂	粗粘土	细粘土						
		2000~1000	1000~500	500~250	250~125	125~63	63~32	32~16	16~8	8~4	4~2	2~1						
CD03	Φ	-1~0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11					
	体积比 (%)	1.49	5.55	10.27	27.44	13.69	6.29	6.73	8.20	8.99	6.85	3.11	1.39	D10 (μm)	3.580			
	简分 (%)	7.04	10.27	41.13	13.02	17.19	9.96	11.35					1.39	D50 (μm)	104.3			
CD05	粒组类 (%)	58.44												30.21		D90 (μm)	349.2	
	体积比 (%)	0.00	0.00	1.74	18.69	15.06	12.18	10.84	11.70	13.31	9.88	4.39	2.21	D10 (μm)	2.674			
	简分 (%)	0.00	0.00	1.74	33.75		23.02	25.01			14.27	2.21	2.21	D50 (μm)	27.66			
CD07	粒组类 (%)	35.49												48.03	16.48		D90 (μm)	177.1
	体积比 (%)	2.04	5.85	10.04	25.79	12.27	6.90	7.06	8.69	9.61	7.15	3.20	1.40	D10 (μm)	3.482			
	简分 (%)	7.89	10.04	38.06	13.96	18.30	10.35	11.75					1.40	D50 (μm)	94.86			
CD08	粒组类 (%)	55.99												32.26			D90 (μm)	365.1
	体积比 (%)	0.00	0.00	3.95	21.82	15.18	10.28	9.24	11.19	12.70	9.47	4.18	1.99	D10 (μm)	2.792			
	简分 (%)	0.00	0.00	3.95	37.00		19.52	23.89			13.65	1.99	1.99	D50 (μm)	35.15			
CD09	粒组类 (%)	40.95												43.41	15.64		D90 (μm)	201.7
	体积比 (%)	0.00	0.00	9.80	43.02	16.15	5.73	5.22	5.83	6.25	4.80	2.17	1.03	D10 (μm)	5.009			
	简分 (%)	0.00	0.00	9.80	59.17		10.95	12.08			6.97	1.03	1.03	D50 (μm)	132.8			
CD13	粒组类 (%)	68.97												23.03	8.00		D90 (μm)	249.2
	体积比 (%)	0.00	0.00	7.52	26.15	15.08	8.38	7.96	9.75	11.19	8.41	3.74	1.82	D10 (μm)	3.030			
	简分 (%)	0.00	0.00	7.52	41.23		16.34	20.94			12.15	1.82	1.82	D50 (μm)	58.01			
CD15	粒组类 (%)	48.75												37.28	13.97		D90 (μm)	230.5
	体积比 (%)	0.00	0.00	8.53	22.28	8.46	7.42	9.52	11.45	13.89	10.95	4.94	2.56	D10 (μm)	2.443			
	简分 (%)	0.00	0.00	8.53	30.74		16.94	25.34			15.89	2.56	2.56	D50 (μm)	24.66			
CD16	粒组类 (%)	39.27												42.28	18.45		D90 (μm)	239.8
	体积比 (%)	0.38	2.14	10.99	29.76	12.89	5.89	6.88	8.74	9.79	7.54	3.47	1.53	D10 (μm)	3.290			

站 位	简分法	砂					粉砂				粘土			粒度参数	沉 积 物 名 称	
		极粗砂	粗砂	中砂	细砂	极细砂	粗粉砂	中粉砂	细粉砂	极细粉砂	粗粘土	细粘土				
CD18	细分法	2000~1000	1000~500	500~250	250~125	125~63	63~32	32~16	16~8	8~4	4~2	2~1	<1		质砂	
	Φ	-1~0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11			
	筒分 (%)	2.52		10.99	42.65		12.77	18.53		11.01		1.53		D50 (μm)		97.26
	粒组类 (%)			56.16				31.30		12.54				D90 (μm)		278.9
	体积比 (%)	0.00	0.00	6.84	40.85	13.74	5.89	6.29	7.59	8.23	6.38	2.87	1.32			D10 (μm)
CD20	筒分 (%)	0.00		6.84	54.59		12.18		15.82		9.25		1.32		D50 (μm)	117.4
	粒组类 (%)			61.43				28.00		10.57					D90 (μm)	235.6
	体积比 (%)	0.48	1.91	3.70	18.74	13.80	10.59	9.75	11.62	13.18	9.81	4.33	2.09		D10 (μm)	2.715
	筒分 (%)	2.39		3.70	32.54		20.34		24.80		14.14		2.09		D50 (μm)	30.19
	粒组类 (%)			38.63				45.14		16.23					D90 (μm)	210.0
CD21	体积比 (%)	0.00	0.00	4.59	20.96	14.34	9.81	9.31	11.66	13.19	9.77	4.31	2.06		D10 (μm)	2.727
	筒分 (%)	0.00		4.59	35.30		19.12		24.85		14.08		2.06		D50 (μm)	31.21
	粒组类 (%)			39.89				43.97		16.14					D90 (μm)	204.6
	体积比 (%)	0.00	0.00	11.40	54.25	18.21	4.03	2.77	2.78	2.90	2.28	1.08	0.30		D10 (μm)	18.75
	筒分 (%)	0.00		11.40	72.46		6.80		5.68		3.36		0.30		D50 (μm)	158.0
CD22	粒组类 (%)			83.86				12.48		3.66					D90 (μm)	254.3
	体积比 (%)	0.00	0.00	15.33	30.15	11.28	5.64	6.96	8.48	9.54	7.49	3.52	1.61		D10 (μm)	3.261
	筒分 (%)	0.00		15.33	41.43		12.60		18.02		11.01		1.61		D50 (μm)	103.2
	粒组类 (%)			56.76				30.62		12.62					D90 (μm)	279.8
	体积比 (%)	0.00	0.00	17.63	30.42	9.51	5.05	6.91	8.65	9.67	7.37	3.33	1.46		D10 (μm)	3.385
CD27	筒分 (%)	0.00		17.63	39.93		11.96		18.32		10.70		1.46		D50 (μm)	114.8
	粒组类 (%)			57.56				30.28		12.16					D90 (μm)	289.2
	体积比 (%)	2.38	4.08	12.07	31.41	12.49	4.79	6.09	7.57	8.38	6.43	2.99	1.32		D10 (μm)	3.748
	筒分 (%)	6.46		12.07	43.90		10.88		15.95		9.42		1.32		D50 (μm)	124.7
	粒组类 (%)			62.43				26.83		10.74					D90 (μm)	335.8

表 5.4.5-2 海洋沉积物质量监测结果

站 位	pH	风干样 含水率	湿样含 水率 $\times 10^{-2}$	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
CD03	8.24	1.13	38.70	0.45	0.7	9.6	24.5	19.6	0.04L	74.5	66.0	0.039	6.67
CD05	8.05	1.97	44.21	0.78	8.0	13.0	12.4	33.7	0.08	81.2	70.9	0.052	10.0
CD07	8.25	1.07	38.49	0.48	3.5	7.5	32.5	27.2	0.04L	77.7	70.2	0.044	6.90
CD08	8.29	1.20	40.24	0.49	1.4	7.2	25.6	17.8	0.09	74.4	65.6	0.037	7.07
CD09	8.32	0.60	26.95	0.23	0.7	4.1	20.7	11.9	0.06	66.0	61.8	0.023	4.57
CD13	8.27	0.77	39.20	0.38	1.6	6.7	23.1	14.8	0.04	67.7	59.7	0.033	5.13
CD15	8.39	1.00	28.20	0.33	4.7	7.8	30.3	27.6	0.05	76.3	69.4	0.042	5.93
CD16	8.33	1.50	36.09	0.58	5.7	9.4	31.1	30.6	0.04L	75.5	65.0	0.053	8.28
CD18	8.28	1.24	40.72	0.48	2.1	7.8	27.1	20.3	0.05	71.8	60.7	0.038	5.75
CD20	8.30	0.82	32.69	0.39	0.8	7.1	26.8	19.4	0.04L	69.1	63.5	0.043	6.58
CD21	8.30	2.24	40.68	0.37	1.4	9.7	24.6	15.3	0.13	70.0	64.1	0.033	5.97
CD22	8.42	0.64	25.28	0.18	0.5	3.2	18.4	13.5	0.12	59.8	58.4	0.025	4.45
CD25	8.25	1.03	36.64	0.58	14.1	12.4	29.0	19.3	0.04L	94.1	76.7	0.069	12.9
CD27	8.33	1.12	34.21	0.47	16.5	12.3	26.0	20.0	0.09	81.1	65.5	0.066	13.7
CDE04	8.26	2.15	45.45	0.71	9.5	15.6	21.7	40.4	0.04	99.9	73.8	0.093	14.6
最小值	8.05	0.60	25.28	0.18	0.5	3.2	12.4	11.9	0.04L	59.8	58.4	0.023	4.45
最大值	8.42	2.24	45.45	0.78	16.5	15.6	32.5	40.4	0.13	99.9	76.7	0.093	14.6
平均值	8.29	1.23	36.52	0.46	4.7	8.9	24.9	22.1	0.06	75.9	66.1	0.046	7.9

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

表 5.4.5-3 海洋沉积物质量监测站位各要素标准指数（执行第一类海洋沉积物质量）

站位	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
CD03	0.23	0.00	0.02	0.70	0.33	0.04	0.50	0.83	0.20	0.33
CD05	0.39	0.03	0.03	0.35	0.56	0.16	0.54	0.89	0.26	0.50
CD07	0.24	0.01	0.02	0.93	0.45	0.04	0.52	0.88	0.22	0.35
CD08	0.25	0.00	0.01	0.73	0.30	0.18	0.50	0.82	0.19	0.35
CD09	0.12	0.00	0.01	0.59	0.20	0.12	0.44	0.77	0.12	0.23
CD13	0.19	0.01	0.01	0.66	0.25	0.08	0.45	0.75	0.17	0.26
CD15	0.17	0.02	0.02	0.87	0.46	0.10	0.51	0.87	0.21	0.30
CD16	0.29	0.02	0.02	0.89	0.51	0.04	0.50	0.81	0.27	0.41
CD18	0.24	0.01	0.02	0.77	0.34	0.10	0.48	0.76	0.19	0.29
CD20	0.20	0.00	0.01	0.77	0.32	0.04	0.46	0.79	0.22	0.33
CD21	0.19	0.00	0.02	0.70	0.26	0.26	0.47	0.80	0.17	0.30
CD22	0.09	0.00	0.01	0.53	0.23	0.24	0.40	0.73	0.13	0.22
CD25	0.29	0.05	0.02	0.83	0.32	0.04	0.63	0.96	0.35	0.65
CD27	0.24	0.06	0.02	0.74	0.33	0.18	0.54	0.82	0.33	0.69
CDE04	0.36	0.03	0.03	0.62	0.67	0.08	0.67	0.92	0.47	0.73
超标率%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

注：低于方法检出限参与计算标准指数时，若检出率少于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算，若检出率大于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算。

5.5 海洋生物质量现状调查与评价

5.5.1 调查概况

本节引用《国能江门川岛二海上风电项目海洋环境现状调查监测报告（2023 年秋季）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 12 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 2023 年 11 月在项目附近进行的海洋生物质量现状调查数据。具体站位详见 5.3.2.1 节。

5.5.2 调查项目

调查项目包括铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油烃。

5.5.3 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。

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存样品。

(2) 分析方法

生物体样品的预处理和分析方法遵照《海洋监测规范 第6部分：生物体分析》(GB 17378.6-2007) 进行，各项的分析方法如表 5.5.3-1。

表 5.5.3-1 海洋生物质量调查项目及分析方法

检测指标	检测依据	分析方法	检出限
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
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
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
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
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
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
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
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

5.5.4 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规定的生物质量标准。

(2) 评价标准

鱼类、甲壳类、软体类（非双壳贝类）采用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025) 附录 C 其他海洋生物质量参考值中的标准进行评价。鱼类、甲壳类、软体类（非双壳贝类）铬没有相应的标准，因此只做本底监测，不做评价。

5.5.5 海洋生物质量调查结果与评价

(1) 调查结果

海洋生物质量监测结果见表 5.5.5-1。

生物质量的石油烃含量变化范围为 (8.4~13.4) mg/kg，平均值为 9.9mg/kg，其

中 CD25 采集到的长蛸生物体中石油烃含量最高，CD15 采集到的黑口鳎生物体中石油烃含量最低。

生物质量的铜含量变化范围为（0.4L~10.7）mg/kg，平均值为 1.6mg/kg，其中 CD18 采集到的红星梭子蟹生物体中铜含量最高。

生物质量的铅含量变化范围为（0.04L~0.13）mg/kg，平均值为 0.04mg/kg，其中 CDE04 采集到的近缘新对虾生物体中铅含量最高。

生物质量的镉含量变化范围为（0.005L~0.076）mg/kg，平均值为 0.012mg/kg，其中 CD18 采集到的红星梭子蟹生物体中镉含量最高。

生物质量的锌含量变化范围为（3.2~29.3）mg/kg，平均值为 8.7mg/kg，其中 CD18 采集到的红星梭子蟹生物体中锌含量最高，CD16 采集到的斑鳍银姑鱼生物体中锌含量最低。

生物质量的铬含量变化范围为（0.23~0.52）mg/kg，平均值为 0.30mg/kg，其中 CD04 采集到的针乌贼生物体中铬含量最高，CD16 采集到的斑鳍银姑鱼生物体中铬含量最低。

生物质量的总汞含量变化范围为（0.008~0.097）mg/kg，平均值为 0.032mg/kg，其中 CD21 采集到的大吻叫姑鱼生物体中汞含量最高，CD03 采集到的羽鳃鲐生物体中汞含量最低。

生物质量的砷含量变化范围为（0.2L~14.0）mg/kg，平均值为 2.1mg/kg，其中 CD04 采集到的针乌贼生物体中砷含量最高。

（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，各监测站位生物质量评价因子的标准指数见表 5.5.5-2。

由监测结果及标准指数表结果可知：CD22、CD27 站位采集到的鱼类、CD18、CDE04 站位采集到的甲壳类和 CD04、CD25 站位采集到的软体类生物体内的砷含量超标，超标率为 33.3%；其余站位采集到的鱼类、甲壳类和软体类生物体的监测因子均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）中规定的生物质量标准。

表 5.5.5-1 海洋生物质量调查结果（湿重，单位：mg/kg）

站位	类群	种名	石油 烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
CD03	鱼类	羽鳃鲐	13.3	0.4L	0.04L	0.019	4.1	0.27	0.008	0.2L

站位	类群	种名	石油 烃	铜	铅	镉	锌	铬	总汞	砷
CD04	软体类	针乌贼	9.3	2.5	0.05	0.026	19.1	0.52	0.050	14.0
CD05	软体类	杜氏枪乌贼	10.6	2.9	0.12	0.014	14.0	0.30	0.032	0.9
CD07	鱼类	倒牙鲈	11.4	0.4L	0.04L	0.005L	4.0	0.31	0.024	0.4
CD08	鱼类	棕斑兔头鲈	8.8	0.4L	0.05	0.005L	7.1	0.27	0.053	0.9
CD09	鱼类	乳香鱼	10.1	0.5	0.04L	0.005L	4.1	0.26	0.012	0.2
CD13	鱼类	须鲷	9.4	0.4L	0.04L	0.008	3.8	0.28	0.030	0.3
CD14	鱼类	印度无齿鲷	10.1	0.4L	0.04L	0.005L	4.7	0.29	0.010	0.3
CD15	鱼类	黑口鲷	8.4	0.6	0.04L	0.010	6.8	0.26	0.015	0.8
CD16	鱼类	斑鳍银姑鱼	8.8	0.4L	0.04L	0.006	3.2	0.23	0.025	0.3
CD17	鱼类	短带鱼	9.7	0.4L	0.05	0.018	3.8	0.35	0.047	0.2L
CD18	甲壳类	红星梭子蟹	9.5	10.7	0.06	0.076	29.3	0.28	0.031	2.7
CD20	鱼类	日本金线鱼	9.1	0.4L	0.04L	0.005L	3.3	0.28	0.031	0.7
CD21	鱼类	大吻叫姑鱼	10.2	0.4L	0.04L	0.005L	3.7	0.28	0.097	0.2
CD22	鱼类	蓝圆鲹	8.5	5.8	0.04	0.005L	4.5	0.27	0.032	5.4
CD25	软体类	长蛸	13.4	1.0	0.06	0.007	20.9	0.37	0.020	3.2
CD27	鱼类	尖尾鳎	8.7	0.4L	0.04L	0.005L	5.9	0.24	0.040	4.5
CDE04	甲壳类	近缘新对虾	9.4	3.9	0.13	0.008	13.7	0.30	0.016	2.1
最小值			8.4	0.4L	0.04L	0.005L	3.2	0.23	0.008	0.2L
最大值			13.4	10.7	0.13	0.076	29.3	0.52	0.097	14.0
平均值			9.9	1.6	0.04	0.012	8.7	0.30	0.032	2.1

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

表 5.5.5-2 海洋生物质量监测站位各要素标准指数

站位	类群	种名	石油 烃	铜	铅	镉	锌	总汞	砷
CD03	鱼类	羽鳃鲐	0.67	0.01	0.01	0.03	0.10	0.03	0.10
CD04	软体类	针乌贼	0.47	0.03	0.01	0.00	0.08	0.17	14.00
CD05	软体类	杜氏枪乌贼	0.53	0.03	0.01	0.00	0.06	0.11	0.90
CD07	鱼类	倒牙鲈	0.57	0.01	0.01	0.00	0.10	0.08	0.40
CD08	鱼类	棕斑兔头鲈	0.44	0.01	0.01	0.00	0.18	0.18	0.90
CD09	鱼类	乳香鱼	0.51	0.03	0.01	0.00	0.10	0.04	0.20
CD13	鱼类	须鲷	0.47	0.01	0.01	0.01	0.10	0.10	0.30
CD14	鱼类	印度无齿鲷	0.51	0.01	0.01	0.00	0.12	0.03	0.30
CD15	鱼类	黑口鲷	0.42	0.03	0.01	0.02	0.17	0.05	0.80
CD16	鱼类	斑鳍银姑鱼	0.44	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.30
CD17	鱼类	短带鱼	0.49	0.01	0.01	0.03	0.10	0.16	0.10
CD18	甲壳类	红星梭子蟹	0.48	0.11	0.03	0.04	0.20	0.16	2.70
CD20	鱼类	日本金线鱼	0.46	0.01	0.01	0.00	0.08	0.10	0.70
CD21	鱼类	大吻叫姑鱼	0.51	0.01	0.01	0.00	0.09	0.32	0.20
CD22	鱼类	蓝圆鲹	0.43	0.29	0.01	0.00	0.11	0.11	5.40
CD25	软体类	长蛸	0.67	0.01	0.01	0.00	0.08	0.07	3.20
CD27	鱼类	尖尾鳎	0.44	0.01	0.01	0.00	0.15	0.13	4.50
CDE04	甲壳类	近缘新对虾	0.47	0.04	0.07	0.00	0.09	0.08	2.10
超标率%			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3

注：低于方法检出限参与计算标准指数时，若检出率少于 1/2，取 1/4 检出限值参与计算，若检出率大于等于 1/2，取 1/2 检出限值参与计算。

5.6 海洋生态环境现状调查与评价

5.6.1 调查概况

本节引用《国能江门川岛二海上风电项目海洋环境现状调查监测报告（2023 年秋季）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 12 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 2023 年 11 月在项目附近进行的海洋生态环境现状调查数据。具体站位详见 5.3.2.1 节。

5.6.2 调查方法

（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。

（3）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。

（4）大型底栖生物

定量样品采用 0.05m² 采泥器，在每站位连续采集平行样品 4 次，经孔径为 0.50mm 的筛网筛洗干净后，放入 500mL 样品瓶中，加入体积分数为 5%~7% 的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。样品在实验室内进行计数、称重及种类鉴定，分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

(5) 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，拖速为 1kn~2kn。海上采得的浮游生物样品按体积 5%的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

(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 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)。

5.6.3 计算方法

(1) 初级生产力

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

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

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

C_a —叶绿素 a 含量 (mg/m^3);

Q —同化系数 ($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{mgChl-}a\cdot\text{h})$), 根据南海水产研究所以往调查结果取值, 见表 5.6.3-1;

L —真光层的深度 (m);

t —白昼时间 (h), 根据南海水产研究所以往调查结果取值, 见表 5.6.3-1。

表 5.6.3-1 南海北部海域初级生产力估算系数

月份	季度	光照时间 (h) t	转化系数 (同化系数) Q
3-5	春	11	3.32
6-8	夏	13	3.12
9-11	秋	10.5	3.42
12-2	冬	9.5	3.52

(2) 优势度 (Y):

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

(3) Shannon-Weaver 多样性指数 (H'):

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

(4) Pielou 均匀度指数 (J):

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

(5) Margalef 丰富度指数 (D):

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

上述 (2) ~ (5) 式中:

n_i —第 i 种的个体数量 (ind);

N —某站总生物数量 (ind);

f_i —某种生物的出现频率 (%);

P_i —第 i 种的个体数与总个体数的比值;

S —出现生物总种数。

(6) 鱼卵仔稚鱼密度:

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/m³) ;

n —每网鱼卵仔稚鱼数量, 单位为 (ind) ;

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

t —拖网时间 (h) ;

V —拖速 (m/h) ;

垂直拖网密度计算:

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

式中: N —鱼卵仔稚鱼密度 (ind/m³) ;

n —每网鱼卵仔稚鱼数量, 单位为 (ind) ;

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

L —采样绳长 (m) , 垂直拖网 L =水深-2m。

(7) 渔业资源:

资源数量的评估根据底拖网扫海面积法 (密度指数法) , 来估算评价区的资源重量密度和生物个体密度。

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

式中: S —重量密度 (kg/km²) 或个体密度 (ind/km²) ;

a —底拖网每小时的扫海面积 (扫海宽度取浮网长度的 2/3) ;

y —平均重量渔获率 (kg/h) 或平均个体渔获率 (ind/h) ;

E —逃逸率 (取 0.5) 。

(8) 游泳生物优势种

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

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

式中: N —某一种类的 ind 数占渔获总 ind 数的百分比;

W —某一种类的重量占渔获总重量的百分比;

F—某一种类的出现的断面数占调查总断面数的百分比。

5.6.4 海洋生态调查结果

5.6.4.1 叶绿素 *a* 与初级生产力

本次调查结果显示, 各站表层叶绿素 *a* 变化范围在 (0.31~4.31) mg/m^3 , 平均为 $0.86\text{mg}/\text{m}^3$; 10m 水层叶绿素 *a* 变化范围在 (0.29~3.96) mg/m^3 , 平均为 $0.73\text{mg}/\text{m}^3$; 底层叶绿素 *a* 含量变化范围在 (0.25~2.83) mg/m^3 , 平均为 $0.60\text{mg}/\text{m}^3$ 。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 (0.28~3.70) mg/m^3 , 平均为 $0.73\text{mg}/\text{m}^3$, CD27 站位叶绿素 *a* 平均值最高, CD09 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 (253.974~2620.266) $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 平均值为 $566.575\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 其中 CD27 站位初级生产力值最高, CD09 站位初级生产力值最低。

表 5.6.4-1 叶绿素 *a* 和初级生产力测定结果

站位	透明度 (m)	叶绿素 <i>a</i> (mg/m^3)			站位叶绿素 <i>a</i> 均值 (mg/m^3)	初级生产力 $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$
		表	10m	底		
CD03	14.4	0.61	0.50	0.46	0.52	459.780
CD04	13.5	0.65	0.53	0.50	0.56	461.538
CD05	10.4	1.09	0.97	0.92	0.99	630.476
CD07	13.7	0.51	0.44	0.37	0.44	368.009
CD08	14.5	0.78	0.61	0.60	0.66	586.904
CD09	14.7	0.31	0.29	0.25	0.28	253.974
CD13	14.6	0.61	0.41	0.35	0.46	407.338
CD14	14.3	0.52	0.44	0.39	0.45	392.857
CD15	14.1	0.60	0.56	0.47	0.54	467.417
CD16	10.3	0.78	0.68	0.62	0.69	435.769
CD17	14.0	0.60	0.44	0.33	0.46	390.598
CD18	14.3	0.62	0.57	0.36	0.52	451.349
CD20	14.0	0.80	0.56	0.48	0.61	523.931
CD21	14.4	0.55	0.44	0.37	0.45	398.241
CD22	15.1	0.37	0.34	0.30	0.34	310.665
CD25	14.1	0.58	0.42	0.36	0.50	389.945
CD27	11.6	4.31	3.96	2.83	3.70	2620.266
CDE04	10.1	1.19	1.06	0.91	1.05	649.285
均值	13.5	0.86	0.73	0.60	0.73	566.575

注: “/”表示该层未采样。

5.6.4.2 浮游植物

(1) 种类组成

本次调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 12 目 24 科 134 种。硅藻门种类最多, 共 13 科 94 种, 占总种类数的 70.15%; 甲藻门种类次之, 出现 9 科 37 种, 占总种类数的

27.61%；蓝藻门出现 1 科 2 种，占总种类数的 1.49%；金藻门出现 1 科 1 种，占总种类数的 0.75%。

(2) 个体数量及占比

调查区域内各站位浮游植物个体数量变化范围在 (73.386~5855.987) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $1394.571 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，最高个体数量出现在 CD04 站位，最低个体数量出现在 CD25 站位。

从门类来看，18 个调查站位中均采集到硅藻门，硅藻门个体数量范围在 (72.776~5822.498) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $1363.095 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；硅藻门各站位个体数量的占比在 85.41%~99.43%之间，各站位占比平均值为 96.13%。蓝藻门个体数量范围在 (0.116~77.700) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $20.783 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0.11%~9.47%之间，占比平均值为 2.56%；其他类群（包括金藻门和甲藻门）个体数量范围在 (0.494~23.541) $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ 之间，平均值为 $10.692 \times 10^3 \text{ind/m}^3$ ；各站位个体数量百分比在 0.16%~6.10%之间，占比平均值为 1.32%。

表 5.6.4-2 浮游植物各类群个体数量（个体数量单位为 $\times 10^3 \text{ind/m}^3$ ，百分比单位为%）

站位	总个体数量	硅藻门		蓝藻门		其他类群	
		个体数量	百分比	个体数量	百分比	个体数量	百分比
CD03	499.062	489.157	98.02	9.121	1.83	0.784	0.16
CD04	5855.987	5822.498	99.43	12.880	0.22	20.609	0.35
CD05	3523.559	3488.942	99.02	19.460	0.55	15.157	0.43
CD07	1837.134	1823.537	99.26	1.942	0.11	11.655	0.63
CD08	329.441	319.940	97.12	8.304	2.52	1.197	0.36
CD09	368.512	355.384	96.44	9.563	2.60	3.565	0.97
CD13	3859.696	3801.297	98.49	46.400	1.20	11.999	0.31
CD14	1059.630	1032.009	97.39	20.319	1.92	7.302	0.69
CD15	820.878	719.637	87.67	77.700	9.47	23.541	2.87
CD16	924.301	891.626	96.46	23.255	2.52	9.420	1.02
CD17	327.493	279.702	85.41	27.815	8.49	19.976	6.10
CD18	1134.633	1110.212	97.85	15.288	1.35	9.133	0.80
CD20	589.718	532.860	90.36	35.064	5.95	21.794	3.70
CD21	1796.617	1760.752	98.00	30.191	1.68	5.674	0.32
CD22	876.310	860.244	98.17	10.478	1.20	5.588	0.64
CD25	73.386	72.776	99.17	0.116	0.16	0.494	0.67
CD27	404.516	390.184	96.46	8.864	2.19	5.468	1.35
CDE04	821.396	784.960	95.56	17.336	2.11	19.100	2.33
平均值	1394.571	1363.095	96.13	20.783	2.56	10.692	1.32

(3) 优势种

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准，本次调查浮游植物优势种共出现 6 种，分别为劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp.)、透明辐杆藻

(*Bacteriastrum hyalinum*)、拟旋链角毛藻 (*Chaetoceros pseudocurvisetus*) 等, 其中劳氏角毛藻为第一优势种, 优势度为 0.310, 平均个体数量为 $414.744 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$, 占各站位平均个体数量的 29.74%。

表 5.6.4-3 浮游植物优势度及其个体数量

种名	拉丁文	类群	优势度	平均个体数量 (10^3 ind/m^3)	个体数量占比 (%)
劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	硅藻	0.310	414.744	29.74
海链藻属	<i>Thalassiosira</i> sp.	硅藻	0.116	191.156	13.71
透明辐杆藻	<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	硅藻	0.073	100.316	7.19
拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	硅藻	0.051	76.580	5.49
角毛藻属	<i>Chaetoceros</i> sp.	硅藻	0.036	66.896	4.80
北方角毛藻	<i>Chaetoceros borealis</i>	硅藻	0.033	44.654	3.20

(4) 浮游植物多样性、均匀度指数及丰富度指数

各调查区站位浮游植物种数范围为 47~65 种。多样性指数范围在 2.385~3.940 之间, 平均值为 3.361, 多样性指数以 CD18 站位最高, CDE04 站位最低; 均匀度指数范围在 0.398~0.657 之间, 平均值为 0.570, 均匀度指数以 CD18 站位最高, CDE04 站位最低; 丰富度指数范围在 2.192~3.103 之间, 平均值为 2.720, 丰富度指数以 CD17 站位最高, CD03 站位最低。

表 5.6.4-4 浮游植物多样性、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
CD03	47	3.516	0.633	2.192
CD04	62	3.592	0.603	2.501
CD05	64	2.954	0.492	2.689
CD07	60	3.162	0.535	2.596
CD08	47	3.411	0.614	2.253
CD09	58	3.375	0.576	2.755
CD13	63	2.840	0.475	2.583
CD14	62	3.764	0.632	2.765
CD15	62	3.527	0.592	2.819
CD16	58	3.338	0.570	2.642
CD17	64	3.427	0.571	3.103
CD18	64	3.940	0.657	2.842
CD20	65	3.656	0.607	3.027
CD21	65	3.734	0.620	2.794
CD22	62	3.291	0.553	2.778
CD25	50	3.542	0.628	2.665
CD27	63	3.036	0.508	3.004
CDE04	64	2.385	0.398	2.952
平均值	/	3.361	0.570	2.720

(5) 小结

秋季调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 12 目 24 科 134 种, 个体数量变化范围在 $(73.386 \sim 5855.987) \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 之间, 平均值为 $1394.571 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$; 优势种共出现

6 种，分别为劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp.)、透明辐杆藻 (*Bacteriastrum hyalinum*)、拟旋链角毛藻 (*Chartoceros pseudocurvisetus*)、角毛藻属 (*Chaetoceros* sp.) 和北方角毛藻 (*Chaetoceros borealis*)；多样性指数范围在 2.385~3.940 之间，平均值为 3.361；均匀度指数范围在 0.398~0.657 之间，平均值为 0.570；丰富度指数范围在 2.192~3.103 之间，平均值为 2.720。

5.6.4.3 浮游动物

(1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 6 门 9 纲 16 目 32 科 74 种（包括浮游幼体 8 种）。分属 10 个不同类群，即栉水母、水母类、被囊类、有尾类、腹足类、毛颚类、介形类、桡足类、樱虾类和浮游幼体。其中，以桡足类最多，为 43 种，占总种类数的 58.11%；水母类次之，出现 9 种，占总种类数的 12.16%；浮游幼体出现 8 种，占总种类数的 10.81%；其他类群出现种类较少。

(2) 个体数量与生物量

18 个调查站位浮游动物生物量变化范围在 (63.18~468.75) mg/m^3 之间，平均值为 298.08 mg/m^3 ，其中 CDE04 站位生物量最高，CD09 站位生物量最低；浮游动物个体数量变化范围在 (839.053~6007.793) ind/m^3 之间，平均值为 3464.117 ind/m^3 ，其中 CD05 站位个体数量最高，CD09 站位个体数量最低。从类群个体数量分布来看，本次调查桡足类平均个体数量最高，为 1817.844 ind/m^3 ，占比为 52.48%；其次是浮游幼体，平均个体数量为 1236.738 ind/m^3 ，占比为 35.70%。

表 5.6.4-5 浮游动物生物量统计

站位	全网数量 (ind)	个体数量 (ind/m^3)	生物量 (mg/m^3)
CD03	19583	5884.312	345.85
CD04	8119	2706.335	456.00
CD05	15428	6007.793	385.51
CD07	8279	2737.765	296.30
CD08	12562	3686.034	281.10
CD09	3081	839.053	63.18
CD13	15593	4460.246	278.32
CD14	8310	2521.238	291.57
CD15	13400	4208.544	416.46
CD16	11220	4161.722	413.95
CD17	11526	3647.467	331.65
CD18	8780	2644.581	267.47
CD20	12576	4000.003	286.90
CD21	9465	2701.193	209.47
CD22	4426	1189.785	115.59

站位	全网数量 (ind)	个体数量 (ind/m ³)	生物量 (mg/m ³)
CD25	6143	1644.274	205.57
CD27	16991	5270.162	251.86
CDE04	10481	4043.595	468.75
平均值	10887	3464.117	298.08

(3) 优势种

以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断标准, 本次调查浮游动物优势种共 6 种。分别为桡足幼体 (Copepoda larvae)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、针刺拟哲水蚤 (*Paracalanus aculeatus*)、丽隆水蚤 (*Oncaea venusta*) 等, 其中桡足幼体为第一优势种, 优势度为 0.333, 平均个体数量为 1150.773 ind/m³, 占各站位平均个体数量的 33.22%, 出现频率 100%。

表 5.6.4-6 浮游动物优势种组成

优势种	拉丁名	优势度 (Y)	平均个体数量 (ind/m ³)	个体数量占比 (%)
桡足幼体	Copepoda larvae	0.333	1150.773	33.22
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	0.149	507.736	14.66
丽隆水蚤	<i>Oncaea venusta</i>	0.080	269.974	7.79
针刺拟哲水蚤	<i>Paracalanus aculeatus</i>	0.073	259.109	7.48
瘦长毛猛水蚤	<i>Macrosetella gracilis</i>	0.029	121.328	3.50
羽长腹剑水蚤	<i>Oithona plumifera</i>	0.026	94.994	2.74

(4) 浮游动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查, 各调查区站位浮游动物种数范围为 13~35 种。浮游动物多样性指数变化范围在 2.520~3.873 之间, 平均值为 3.312, 其中 CD17 站位最高, CD09 站位最低; 均匀度指数变化范围在 0.549~0.768 之间, 平均值为 0.694, 其中 CD17 站位最高, CD22 站位最低; 丰富度指数范围在 1.035~2.497 之间, 平均值为 2.008, 丰富度指数以 CD20 站位最高, CD09 站位最低。

表 5.6.4-7 浮游动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
CD03	28	3.382	0.704	1.894
CD04	25	2.938	0.633	1.848
CD05	30	3.644	0.743	2.084
CD07	28	3.543	0.737	2.074
CD08	27	3.029	0.637	1.909
CD09	13	2.520	0.681	1.035
CD13	31	3.262	0.658	2.154
CD14	28	3.603	0.749	2.074
CD15	34	3.777	0.742	2.407
CD16	29	3.159	0.650	2.081
CD17	33	3.873	0.768	2.372
CD18	30	3.487	0.711	2.214
CD20	35	3.796	0.740	2.497

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
CD21	32	3.691	0.738	2.347
CD22	26	2.582	0.549	2.064
CD25	18	2.927	0.702	1.351
CD27	25	2.905	0.626	1.708
CDE04	28	3.493	0.727	2.022
平均值	/	3.312	0.694	2.008

(5) 小结

秋季调查共记录浮游动物 6 门 9 纲 16 目 32 科 74 种 (包括浮游幼体 8 种), 生物量变化范围在 (63.18~468.75) mg/m^3 之间, 平均值为 298.08 mg/m^3 ; 个体数量变化范围在 (839.053~6007.793) ind/m^3 之间, 平均值为 3464.117 ind/m^3 ; 优势种共出现 6 种, 分别为桡足幼体 (*Copepoda larvae*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、丽隆水蚤 (*Oncaea venusta*)、针刺拟哲水蚤 (*Paracalanus aculeatus*)、瘦长毛猛水蚤 (*Macrosetella gracilis*) 和羽长腹剑水蚤 (*Oithona plumifera*); 多样性指数范围在 2.520~3.873 之间, 平均值为 3.312; 均匀度指数变化范围在 0.549~0.768 之间, 平均值为 0.694; 丰富度指数范围在 1.035~2.497 之间, 平均值为 2.008。

5.6.4.4 大型底栖生物

(1) 种类组成

本次大型底栖生物调查共记录大型底栖生物 4 门 5 纲 13 目 27 科 42 种, 分属 4 个不同类群, 即环节动物、棘皮动物、节肢动物和纽形动物。其中环节动物种类数最多, 为 23 种, 占种类总数的 54.76%。

(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 (0~190.525) g/m^2 之间, 平均生物量为 11.047 g/m^2 , 其中 CD07 站位的生物量最高, CD22 站位生物量最低; 栖息密度范围在 (0~45.000) ind/m^2 之间, 平均栖息密度为 16.667 ind/m^2 , 其中 CD05 站位的栖息密度最高, CD22 站位栖息密度最低。

② 类群生物量和栖息密度分布

从类群分布来看, 本次大型底栖生物调查中棘皮动物平均生物量最高, 平均生物量为 10.669 g/m^2 , 占比为 96.58%; 其次为环节动物, 平均生物量为 0.208 g/m^2 , 占比为 1.88%, 最低为纽形动物, 平均生物量为 0.044 g/m^2 , 占比为 0.39%。

环节动物平均栖息密度最高, 为 9.167 ind/m^2 , 占比为 55.00%; 其次为节肢动物, 平均栖息密度为 5.000 ind/m^2 , 占比为 30.00%, 最低为纽形动物, 平均栖息密度为

0.556ind/m²，占比为 3.33%。

表 5.6.4-8 大型底栖生物生物量分布（单位：g/m²）

站位	环节	节肢	棘皮	组形	合计
CD03	0.185	0	0	0	0.185
CD04	0.170	0.065	0	0	0.235
CD05	0.175	0.510	0.590	0	1.275
CD07	0.065	0.185	190.275	0	190.525
CD08	0.035	0.285	0	0	0.320
CD09	0.095	0.085	0	0	0.180
CD13	0	0.120	0	0	0.120
CD14	0.555	0	0.355	0	0.910
CD15	0.020	0.575	0	0	0.595
CD16	0.045	0	0	0.245	0.290
CD17	0.315	0.005	0.190	0	0.510
CD18	0.280	0	0	0	0.280
CD20	0.095	0.185	0.160	0	0.440
CD21	0.790	0.095	0.030	0	0.915
CD22	0	0	0	0	0
CD25	0.700	0	0.440	0	1.140
CD27	0.145	0.175	0	0	0.320
CDE04	0.070	0	0	0.540	0.610
合计	3.740	2.285	192.040	0.785	198.850
平均值	0.208	0.127	10.669	0.044	11.047
最大值	0.790	0.575	190.275	0.540	190.525
最小值	0	0	0	0	0
平均值占比	1.88%	1.15%	96.58%	0.39%	/

表 5.6.4-9 大型底栖生物栖息密度分布（单位：ind/m³）

站位	环节	节肢	棘皮	组形	合计
CD03	5.000	0	0	0	5.000
CD04	5.000	10.000	0	0	15.000
CD05	25.000	15.000	5.000	0	45.000
CD07	5.000	15.000	5.000	0	25.000
CD08	5.000	10.000	0	0	15.000
CD09	5.000	5.000	0	0	10.000
CD13	0	5.000	0	0	5.000
CD14	20.000	0	5.000	0	25.000
CD15	5.000	5.000	0	0	10.000
CD16	5.000	0	0	5.000	10.000
CD17	25.000	5.000	5.000	0	35.000
CD18	5.000	0	0	0	5.000
CD20	10.000	10.000	5.000	0	25.000
CD21	5.000	5.000	5.000	0	15.000
CD22	0	0	0	0	0
CD25	10.000	0	5.000	0	15.000
CD27	15.000	5.000	0	0	20.000
CDE04	15.000	0	0	5.000	20.000
合计	165.000	90.000	35.000	10.000	300.000
平均值	9.167	5.000	1.944	0.556	16.667
最大值	25.000	15.000	5.000	5.000	45.000
最小值	0	0	0	0	0
平均值占比	55.00%	30.00%	11.67%	3.33%	/

(3) 优势种

以优势度指数 $Y \geq 0.02$ 为判断标准, 本次调查无明显优势种, 其中优势度角较高的种类有蛛美人虾 (*Callinassa jocolatrix*)、阳遂足属 (*Amphiura* sp.) 和铜色巢沙蚕 (*Diopatra cuprea*)。

(4) 大型底栖生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查海域的大型底栖生物种类数范围在 0~8 种, 多样性指数变化范围在 0~2.948 之间, 平均值为 1.487, 其中 CD05 站位最高; 均匀度指数变化范围在 0.946~1.000 之间, 平均值为 0.993; 丰富度指数范围在 1.000~2.208 之间, 平均值为 1.407。

表 5.6.4-10 大型底栖生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
CD03	1	--	--	--
CD04	3	1.585	1.000	1.262
CD05	8	2.948	0.983	2.208
CD07	5	2.322	1.000	1.723
CD08	3	1.585	1.000	1.262
CD09	2	1.000	1.000	1.000
CD13	1	0	--	--
CD14	5	2.322	1.000	1.723
CD15	2	1.000	1.000	1.000
CD16	2	1.000	1.000	1.000
CD17	6	2.522	0.976	1.781
CD18	1	--	--	--
CD20	5	2.322	1.000	1.723
CD21	3	1.585	1.000	1.262
CD22	0	--	--	--
CD25	3	1.585	1.000	1.262
CD27	3	1.500	0.946	1.000
CDE04	4	2.000	1.000	1.500
平均值	/	1.487	0.993	1.407

(5) 小结

秋季调查共记录大型底栖生物 4 门 5 纲 13 目 27 科 42 种, 生物量范围在 (0~190.525) g/m^2 之间, 平均生物量为 $11.047\text{g}/\text{m}^2$; 栖息密度范围在 (0~45.000) ind/m^2 之间, 平均栖息密度为 $16.667\text{ind}/\text{m}^2$; 本次调查无明显优势种; 多样性指数变化范围在 0~2.948 之间, 平均值为 1.487; 均匀度指数变化范围在 0.946~1.000 之间, 平均值为 0.993; 丰富度指数范围在 1.000~2.208 之间, 平均值为 1.407。

5.6.5 渔业资源调查结果

5.6.5.1 鱼卵仔稚鱼

(1) 种类组成

本次鱼卵仔稚鱼调查中,共出现了鱼卵 12 种,其中包括鲈形目 8 种,鲱形目 3 种和鲾形目 1 种;仔稚鱼 22 种,其中包括鲈形目 15 种,鲱形目和鲾形目各 2 种,银汉鱼目、鲯形目和鲉形目各 1 种。

表 5.6.5-1 鱼卵仔稚鱼种类组成

序号	纲目类群	物种	拉丁名	鱼卵	仔稚鱼	鱼卵	仔稚鱼	鱼卵	仔稚鱼
						水平拖网	垂直拖网	水平拖网	垂直拖网
1	鲾形目	舌鳎属	<i>Cynoglossus</i> sp.		+	0	0	0	1
2	鲾形目	须鳎属	<i>Paraplagusia</i> sp.		+	0	0	0	1
3	鲾形目	鳎科	Soleidae	+		3	0	2	0
4	鲱形目	鲱科	Clupeidae	+		2	0	3	0
5	鲱形目	鳓属	<i>Ilisha</i> sp.	+		5	0	0	0
6	鲱形目	鳀科	Engraulidae	+	+	382	45	143	2
7	鲱形目	半棱鳀属	<i>Encrasicholina</i> sp.		+	0	7	0	6
8	鲈形目	鳮属	<i>Lepidotrigla</i> sp.	+		167	0	4	0
9	鲈形目	带鱼科	Trichiuridae	+	+	37	2	5	1
10	鲈形目	笛鲷科	Lutjanidae	+		142	0	14	0
11	鲈形目	鲷科	Sparidae	+	+	284	84	4	4
12	鲈形目	金线鱼科	Nemipteridae		+	0	1	0	0
13	鲈形目	鲷属	<i>Terapon</i> sp.		+	0	1	0	0
14	鲈形目	石斑鱼属	<i>Epinephelus</i> sp.		+	0	0	0	1
15	鲈形目	鲹科	Carangidae		+	0	5	0	4
16	鲈形目	石首鱼科	Sciaenidae	+	+	27	5	1	5
17	鲈形目	白姑鱼属	<i>Pemahia</i> sp.		+	0	0	0	1
18	鲈形目	天竺鲷科	Apogonidae	+	+	2	39	0	7
19	鲈形目	肩鳃鲷属	<i>Omobranchus</i> sp.		+	0	1	0	0
20	鲈形目	鲳科	Sillaginidae	+	+	1	2	0	8
21	鲈形目	虾虎鱼科	Gobiidae		+	0	1	0	1
22	鲈形目	鲷科	Callionymidae		+	0	0	0	1
23	鲈形目	银鲈科	Gerreidae		+	0	151	0	8
24	鲈形目	鲷科	Sphyrænidae	+	+	3	0	1	1
25	银汉鱼目	银汉鱼科	Atherinidae		+	0	1	0	0
26	鲉形目	鲉科	Scorpaenidae		+	0	0	0	1
27	鲯形目	龟鲟属	<i>Chelon</i> sp.		+	0	0	0	8
合计						1055	345	177	61

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

(2) 数量分布

调查 18 个站位的鱼卵仔稚鱼垂直拖网共采到鱼卵 177ind,仔稚鱼 61ind;鱼卵平均密度为 0.451ind/m³,仔稚鱼平均密度为 0.170ind/m³。CD09 站位鱼卵密度最高,

密度为 2.877ind/m³，其次是 CD22 站位，密度为 1.849ind/m³，共 15 个站位采获到鱼卵；CD21 站位仔稚鱼密度最高，密度为 0.731ind/m³，其次是 CD05 站位，密度为 0.374ind/m³，共 13 个站位采获到仔稚鱼。

表 5.6.5-2 鱼卵仔稚鱼密度及其分布（垂直拖网）

站位	鱼卵仔稚鱼发育期	
	鱼卵 (ind/m ³)	仔稚鱼 (ind/m ³)
CD03	0	0.144
CD04	0.427	0
CD05	0.062	0.374
CD07	0.371	0
CD08	0.047	0.094
CD09	2.877	0
CD13	0.641	0.276
CD14	0.291	0.292
CD15	0.201	0.151
CD16	0.415	0.237
CD17	0	0.051
CD18	0.096	0.288
CD20	0.255	0.306
CD21	0.228	0.731
CD22	1.849	0
CD25	0.257	0
CD27	0.100	0.050
CDE04	0	0.062
均值	0.451	0.170
范围	0~2.877	0~0.731

（3）主要种类的数量分布（水平拖网）

①鲷科（Sparidae）

本次水平拖网调查出现的鲷科鱼卵共有 284 粒，出现在 13 个站位，鲷科鱼卵在调查海域中 CD07 站位数量最多；鲷科仔稚鱼共有 84 尾，出现在 5 个站位，鲷科仔稚鱼在调查海域中 CD21 站位数量最多。

②鲹科（Engraulidae）

本次水平拖网调查出现的鲹科鱼卵共有 382 粒，出现在 12 个站位，鲹科鱼卵在调查海域中 CD09 站位数量最多。鲹科仔稚鱼共有 45 尾，出现在 9 个站位，鲹科仔稚鱼在调查海域中 CD14 站位数量最多。

（4）小结

秋季调查中共记录鱼卵 12 种，其中包括鲈形目 8 种，鲱形目 3 种和鲷形目 1 种；仔稚鱼 22 种，其中包括鲈形目 15 种，鲱形目和鲷形目各 2 种，银汉鱼目、鲳形目和鲆形目各 1 种。调查区域垂直拖网的鱼卵平均密度为 0.451ind/m³；仔稚鱼平均密

度为 0.170ind/m³。常见鱼卵仔稚鱼为鲷科、鳀科等。

5.6.5.2 游泳生物

(1) 种类组成

此次项目船号为粤江城渔 91108，使用的网具为网上纲 24m、网衣长 20m、网口目 60mm、网囊目 20mm 的底拖网，平均拖网船速为 3.0kn。

本次游泳动物调查共捕获 3 门 3 纲 14 目 62 科 159 种，其中：鱼类 104 种，占总种类数的 65.41%，虾类 23 种（其中虾蛄类 5 种），占总种类数的 14.47%，蟹类 24 种，占总种类数的 15.09%，头足类 8 种，占总种类数的 5.03%。

(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 619ind/h。其中，鱼类平均尾数渔获率为 289ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 46.74%；虾类平均尾数渔获率为 202ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 32.59%；蟹类平均尾数渔获率为 123ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 19.87%；头足类的平均尾数渔获率为 5ind/h，占游泳动物平均尾数渔获率的 0.79%。

表 5.6.5-3 各站位尾数渔获率及类群所占比例

站位	尾数渔获率 (ind/h)	尾数渔获率 (ind/h)				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
CD03	596	248	320	26	2	41.61	53.69	4.36	0.34
CD04	397	140	195	57	5	35.26	49.12	14.36	1.26
CD05	253	26	181	24	22	10.28	71.54	9.49	8.70
CD07	1024	337	661	19	7	32.91	64.55	1.86	0.68
CD08	493	107	276	110	0	21.70	55.98	22.31	0
CD09	232	158	56	14	4	68.10	24.14	6.03	1.72
CD13	652	534	58	52	8	81.90	8.90	7.98	1.23
CD14	818	237	137	441	3	28.97	16.75	53.91	0.37
CD15	1049	369	312	368	0	35.18	29.74	35.08	0
CD16	915	466	223	226	0	50.93	24.37	24.70	0
CD17	752	327	306	119	0	43.48	40.69	15.82	0
CD18	1164	357	283	524	0	30.67	24.31	45.02	0
CD20	478	430	28	19	1	89.96	5.86	3.97	0.21
CD21	506	363	130	9	4	71.74	25.69	1.78	0.79
CD22	696	554	17	112	13	79.60	2.44	16.09	1.87
CD25	295	174	51	54	16	58.98	17.29	18.31	5.42
CD27	421	336	54	28	3	79.81	12.83	6.65	0.71
CDE04	405	47	345	13	0	11.60	85.19	3.21	0
平均值	619	289	202	123	5	46.74	32.59	19.87	0.79

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 7.971kg/h。其中，鱼类平均重

量渔获率为 4.585kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 57.52%；虾类平均重量渔获率为 1.406kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 17.63%；蟹类平均重量渔获率为 1.655kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 20.76%；头足类的平均重量渔获率为 0.326kg/h，占游泳动物平均重量渔获率的 4.09%。

表 5.6.5-4 各站位重量渔获率及类群所占比例

站位	重量渔获率 (kg/h)	重量渔获率 (kg/h)				渔获率占比 (%)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类
CD03	4.546	3.318	0.568	0.330	0.330	72.99	12.49	7.26	7.26
CD04	3.078	0.713	0.607	0.681	1.077	23.16	19.72	22.12	34.99
CD05	3.438	0.171	1.389	0.389	1.489	4.97	40.40	11.31	43.31
CD07	12.374	7.742	4.185	0.062	0.385	62.57	33.82	0.50	3.11
CD08	6.465	2.064	2.324	2.077	0	31.93	35.95	32.13	0
CD09	6.728	4.144	0.720	1.532	0.332	61.59	10.70	22.77	4.93
CD13	7.256	4.753	0.910	1.307	0.286	65.50	12.54	18.01	3.94
CD14	4.609	2.455	0.255	1.733	0.166	53.27	5.53	37.60	3.60
CD15	9.705	4.108	1.207	4.390	0	42.33	12.44	45.23	0
CD16	8.057	5.608	1.560	0.889	0	69.60	19.36	11.03	0
CD17	10.831	5.237	0.965	4.629	0	48.35	8.91	42.74	0
CD18	7.804	1.738	1.006	5.060	0	22.27	12.89	64.84	0
CD20	12.582	12.407	0.045	0.082	0.048	98.61	0.36	0.65	0.38
CD21	6.290	4.149	1.302	0.685	0.154	65.96	20.70	10.89	2.45
CD22	9.047	6.420	0.426	1.773	0.428	70.96	4.71	19.60	4.73
CD25	5.650	2.897	0.151	1.613	0.989	51.27	2.67	28.55	17.50
CD27	8.903	8.021	0.133	0.567	0.182	90.09	1.49	6.37	2.04
CDE04	16.107	6.576	7.546	1.985	0	40.83	46.85	12.32	0
平均值	7.971	4.585	1.406	1.655	0.326	57.52	17.63	20.76	4.09

(3) 渔业资源密度

①尾数资源密度

本次调查 18 个站位尾数资源密度范围在 $(5.051 \sim 27.092) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间，平均值为 $13.984 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，尾数资源密度最高的站位为 CD18 站位，最低为 CD09 站位。

其中，鱼类尾数资源密度分布范围在 $(0.585 \sim 12.062) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间，平均值为 $6.491 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，其中 CD22 站位最高，CD05 站位最低；虾类尾数资源密度分布范围在 $(0.370 \sim 14.392) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间，平均值为 $4.533 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，其中 CD07 站位最高，CD22 站位最低；蟹类尾数资源密度分布范围在 $(0.196 \sim 12.196) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间，平均值为 $2.851 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，其中 CD18 站位最高，CD21 站位最低；头足类尾数资源密度分布范围在 $(0 \sim 0.495) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 之间，平均值为 $0.109 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，其中 CD05 站位最高。

表 5.6.5-5 各站位尾数资源密度

站位	尾数资源密度 ($\times 10^3 \text{ ind/km}^2$)	尾数资源密度 ($\times 10^3 \text{ ind/km}^2$)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类
CD03	13.409	5.580	7.199	0.585	0.045
CD04	8.931	3.150	4.387	1.282	0.112
CD05	5.692	0.585	4.072	0.540	0.495
CD07	22.295	7.337	14.392	0.414	0.152
CD08	10.734	2.330	6.009	2.395	0
CD09	5.051	3.440	1.219	0.305	0.087
CD13	14.195	11.626	1.263	1.132	0.174
CD14	19.717	5.713	3.302	10.630	0.072
CD15	24.414	8.588	7.261	8.565	0
CD16	22.056	11.233	5.375	5.448	0
CD17	16.918	7.357	6.884	2.677	0
CD18	27.092	8.309	6.587	12.196	0
CD20	10.408	9.362	0.610	0.414	0.022
CD21	11.016	7.903	2.830	0.196	0.087
CD22	15.154	12.062	0.370	2.439	0.283
CD25	6.637	3.915	1.147	1.215	0.360
CD27	9.167	7.316	1.176	0.610	0.065
CDE04	8.817	1.023	7.511	0.283	0
平均值	13.984	6.491	4.533	2.851	0.109

②重量资源密度

本次调查 18 个站位渔业资源重量资源密度范围在 (69.249~350.689) kg/km^2 之间, 平均值为 177.751 kg/km^2 , CDE04 站位最高, CD04 站位最低。

其中, 鱼类重量资源密度变化范围在 (3.847~270.131) kg/km^2 之间, 平均值为 101.846 kg/km^2 , 其中 CD20 站位最高, CD05 站位最低; 虾类重量资源密度变化范围在 (0.980~164.295) kg/km^2 之间, 平均值为 31.169 kg/km^2 , 其中 CDE04 站位最高, CD20 站位最低; 蟹类重量资源密度变化范围在 (1.350~117.766) kg/km^2 之间, 平均值为 37.462 kg/km^2 , 其中 CD18 站位最高, CD07 站位最低; 头足类重量资源密度变化范围在 (0~33.500) kg/km^2 之间, 平均值为 7.274 kg/km^2 , 其中 CD05 站位最高。

表 5.6.5-6 各站位重量资源密度

站位	重量资源密度 (kg/km^2)	重量资源密度 (kg/km^2)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类
CD03	102.277	74.649	12.779	7.424	7.424
CD04	69.249	16.041	13.656	15.321	24.231
CD05	77.349	3.847	31.250	8.752	33.500
CD07	269.412	168.562	91.118	1.350	8.382
CD08	140.759	44.938	50.599	45.221	0
CD09	146.485	90.225	15.676	33.355	7.228
CD13	157.981	103.484	19.813	28.457	6.227
CD14	111.101	59.178	6.147	41.774	4.001
CD15	225.874	95.610	28.092	102.173	0
CD16	194.216	135.182	37.604	21.430	0
CD17	243.678	117.823	21.711	104.144	0

站位	重量资源密度 (kg/km ²)	重量资源密度 (kg/km ²)			
		鱼类	虾类	蟹类	头足类
CD18	181.630	40.450	23.414	117.766	0
CD20	273.941	270.131	0.980	1.785	1.045
CD21	136.949	90.334	28.348	14.914	3.353
CD22	196.975	139.779	9.275	38.603	9.319
CD25	127.115	65.177	3.397	36.290	22.251
CD27	193.840	174.637	2.896	12.345	3.963
CDE04	350.689	143.176	164.295	43.218	0
平均值	177.751	101.846	31.169	37.462	7.274

(4) 优势种

相对重要性指数显示,本次调查游泳动物优势种(IRI≥1000)共 1 种,为日本金线鱼(*Nemipterus japonicus*),其总渔获重量为 19.675kg,占游泳动物总渔获重量的 13.71%;日本金线鱼的总尾数渔获量为 752 个,占游泳动物总渔获尾数数的 6.75%。

表 5.6.5-7 游泳动物 IRI 指数

种类	出现频率 (%)	尾数渔获数		渔获重量		IRI
		(ind)	(%)	(kg)	(%)	
日本金线鱼	55.56	752	6.75	19.675	13.71	1136.79
红星梭子蟹	55.56	147	1.32	14.563	10.15	637.25
杜氏棱鲉	44.44	827	7.42	5.32	3.71	494.53
直额蜆	61.11	621	5.57	3.493	2.43	489.26
细巧仿对虾	50.00	834	7.48	0.389	0.27	387.70
疾进蜆	55.56	570	5.11	1.801	1.26	353.86
繸鳞小沙丁鱼	55.56	292	2.62	3.905	2.72	296.79
伍氏平虾蛄	38.89	315	2.83	5.955	4.15	271.32
黑口魮	38.89	335	3.01	5.452	3.80	264.67
短带鱼	55.56	93	0.83	5.132	3.58	245.10
银光梭子蟹	55.56	407	3.65	1.042	0.73	243.22
印度洋银口天竺鲷	55.56	357	3.20	1.376	0.96	231.22
麦氏犀鲂	50.00	365	3.27	1.318	0.92	209.67
乳香鱼	50.00	180	1.61	3.453	2.41	201.09
棕斑兔头鲈	66.67	95	0.85	2.952	2.06	194.00
中颌棱鲉	27.78	419	3.76	2.98	2.08	162.13
中华管鞭虾	33.33	404	3.62	1.729	1.21	160.98
近缘新对虾	27.78	326	2.92	4.115	2.87	160.92
周氏新对虾	22.22	565	5.07	2.892	2.02	157.42
口虾蛄	66.67	105	0.94	1.715	1.20	142.49
尖尾鳎	72.22	93	0.83	1.535	1.07	137.53
锈斑蜆	44.44	79	0.71	3.217	2.24	131.13
刀额新对虾	50.00	124	1.11	1.638	1.14	112.70
断脊似口虾蛄	55.56	141	1.27	0.797	0.56	101.16

(5) 游泳动物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

本次调查区域游泳动物生物种类数范围在 25~56 种,多样性指数变化范围在

2.641~4.186之间, 平均值为3.531, 其中CD04站位最高, CD13站位最低; 均匀度指数变化范围在0.511~0.806之间, 平均值为0.681, 其中CD25站位最高, CD13站位最低; 丰富度指数范围在2.771~6.371之间, 平均值为3.979, 丰富度指数以CD04站位最高, CDE04站位最低。

表 5.6.5-8 游泳动物生物多样性指数、均匀度指数及丰富度指数

站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
CD03	37	3.513	0.674	3.905
CD04	56	4.186	0.721	6.371
CD05	33	3.498	0.693	4.009
CD07	33	2.749	0.545	3.200
CD08	34	3.789	0.745	3.689
CD09	32	3.606	0.721	3.945
CD13	36	2.641	0.511	3.744
CD14	34	3.425	0.673	3.411
CD15	37	3.795	0.728	3.588
CD16	42	4.115	0.763	4.168
CD17	29	3.515	0.724	2.931
CD18	36	4.061	0.786	3.436
CD20	53	3.778	0.660	5.842
CD21	35	3.274	0.638	3.785
CD22	44	3.193	0.585	4.554
CD25	35	4.133	0.806	4.144
CD27	37	3.379	0.649	4.130
CDE04	25	2.912	0.627	2.771
平均值	/	3.531	0.681	3.979

(6) 幼体比例

本次调查中, 鱼类总渔获尾数为 5210ind, 幼体渔获尾数为 2291ind, 幼体比例为 43.97%;, 虾类总渔获尾数为 3633ind, 幼体渔获尾数为 1086ind, 幼体比例为 29.89%;, 蟹类总渔获尾数为 2215ind, 幼体渔获尾数为 496ind, 幼体比例为 22.39%; 头足类均为成体。

表 5.6.5-9 游泳动物各类群幼体比例

类群	总渔获尾数	幼体渔获尾数	幼体占比 (%)
鱼类	5210	2291	43.97
虾类	3633	1086	29.89
蟹类	2215	496	22.39
头足类	88	0	0.00

(7) 主要经济种类规格和分布

①主要经济鱼类

日本金线鱼

地理分布: 分布于印度西太平洋区, 包括东非、红海、波斯湾、塞舌尔群岛、马尔代夫、斯里兰卡、印度、日本、韩国、中国台湾地区、中国东海、南海、菲律

宾、印尼、越南、马来西亚、新加坡、泰国、缅甸、安达曼群岛等海域。

生活习性：主要栖息于沿岸及近海砂泥底质的水域，栖息深度可达 80 公尺深。
主要觅食甲壳类、头足类或其他小鱼等为食

本次调查的日本金线鱼体长范围为 49~157mm，体重范围为 2.09~80.15g，平均体重为 26.16g。

②主要经济蟹类

红星梭子蟹

地理分布：红星梭子蟹分布于日本、夏威夷、菲律宾、澳大利亚、新西兰、马来群岛、印度洋直至南非沿海的整个印度太平洋暖水区、台湾岛以及中国大陆的广西、广东、福建等地。

生活习性：红星梭子蟹生活环境为海水，栖息于 10-30m 深的泥沙质海底，常见于拖网渔获中。

本次调查的红星梭子蟹体长范围为 26~68mm，体重范围为 9.05~214.31g，平均体重为 99.07g。

(8) 小结

秋季调查游泳动物共记录 3 门 3 纲 14 目 62 科 159 种，其中：鱼类 104 种，占总种类数的 65.41%，虾类 23 种（其中虾蛄类 5 种）。游泳动物平均总尾数渔获率为 619ind/h，平均总重量渔获率为 7.971kg/h。平均尾数资源密度为 $13.984 \times 10^3 \text{ind/km}^2$ ；平均重量资源密度为 177.751kg/km^2 。优势种共 1 种，为日本金线鱼。游泳动物的多样性指数平均值为 3.531，均匀度指数平均值为 0.681，丰富度指数平均值为 3.979。主要经济种类为日本金线鱼、红星梭子蟹等。

5.6.6 海洋生物多样性现状及总体变化趋势变化

5.6.6.1 海洋生物多样性现状评价

根据《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》(HY/T 215-2017)（以下简称指南），对海洋生物多样性现状进行评价。

(1) 评价指标的等级划分

海洋生物多样性评价指标划分为 5 个等级，根据指南中表 3 并结合《国能江门川岛二海上风电项目海洋环境现状调查监测报告（2023 年秋季）》（广州海兰图检测技术有限公司，2023 年 12 月），由广州海兰图检测技术有限公司于 2023 年 11 月在

项目附近进行的海洋生态环境现状调查数据，本项目海洋生物多样性评价指标的等级划分如下表 5.6.6-1。

表 5.6.6-1 本项目秋季海洋生物多样性评价指标的等级划分

海洋生物	多样性指数	总物种数	平均单站物种数	丰度/密度	生物量	丰富度
浮游植物	II	III	II	—	—	—
浮游动物	II	III	III	I	II	III
大型底栖生物	III	V	IV	IV	III	IV

注：“—”表示无需划分等级。

(2) 对海洋生物多样性进行赋值

赋值公式如下：

$$Y_{ij} = \frac{Y_{ijmax} - Y_{ijmin}}{I_{ijmax} - I_{ijmin}} (I_{ij} - I_{ijmin}) + Y_{ijmin}$$

式中：

Y_{ij} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的赋值得分；

Y_{ijmax} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的分值上限，见指南表 4；

Y_{ijmin} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的分值下限，见指南表 4；

I_{ijmax} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的指标值上限，见指南表 3；

I_{ijmin} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的指标值下限，见指南表 3；

I_{ij} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的实测值。

根据赋值标准和赋值公式，本项目海洋生物多样性赋值结果详见表 5.6.6-2。

表 5.6.6-2 本项目秋季海洋生物多样性赋值结果

海洋生物	多样性指数	总物种	平均单站物种数	丰度/密度	生物量	丰富度
浮游植物	91.56	68.53	90.38	—	—	—
浮游动物	89.25	50.00	69.44	100.00	76.02	50.13
大型底栖生物	69.35	15.91	27.78	27.08	53.15	25.13

(3) 海洋生物多样性综合指数计算

海洋生物多样性综合指数 (MBI) 按以下公式计算，数值范围 0~100。

$$MBI = \sum_{i=1}^5 W_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} W_{ij}$$

式中：

MBI ——海洋生物多样性综合指数；

W_i ——第 i 个一级指标的权重；

Y_{ij} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的赋值得分；

W_{ij} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的权重。评价指标采用等权重，并且各层级指标权重之和均等于 1。

根据海洋生物多样性综合指数（ MBI ）得分，海洋生物多样性的现状划分为四个等级：高、中、一般、低，见表 5.6.6-3。

表 5.6.6-3 海洋生物多样性现状分级

海洋生物多样性等级	海洋生物多样性综合指数	海洋生物多样性现状
高	$\geq 75 \sim 100$	海洋生物物种高度丰富，物种分布均匀，各生物群落的物种多样性高度丰富，生态系统类型丰富多样
中	$\geq 50 \sim < 75$	海洋生物物种较丰富，物种分布较均匀，局部区域或部分生物群落的物种多样性高度丰富，局部地区生态系统高度丰富
一般	$\geq 25 \sim < 50$	海洋生物物种较少，物种分布较不均匀，局部区域或个别生物群落的物种多样性较高，但生物多样性总体水平一般
低	$0 \sim < 25$	海洋生物物种贫乏，物种分布不均匀，生态系统类型单一，生物多样性总体低

根据指数计算公式，计算得出本项目 2023 年 11 月的海洋生物多样性综合指数（ MBI ）为 64.12，海洋生物多样性等级均为中，海洋生物多样性现状为海洋生物物种较丰富，物种分布较均匀，局部区域或部分生物群落的物种多样性高度丰富，局部地区生态系统高度丰富。

5.6.6.2 海洋生物多样性总体变化趋势评价

通过收集《中广核阳江帆石一海上风电场项目环境影响报告书》中广州海兰图检测技术有限公司于 2021 年 10 月在项目附近海域进行的海洋生态调查数据。

通过计算得出，历史海洋生物多样性综合指数和海洋生物多样性赋值结果详见表 5.6.6-4。

表 5.6.6-4 历史海洋生物多样性综合指数

调查时间	2021 年 10 月	2023 年 11 月
MBI	59.73	64.12

海洋生物多样性综合指数变化幅度（ ΔMBI ）按以下公式计算，数值范围-

100~100。

$$\Delta MBI = MBI_a - MBI_b$$

式中：

ΔMBI ——海洋生物多样性综合指数的变化幅度；

MBI_a ——第 a 时期的海洋生物多样性综合指；

MBI_b ——第 b 时期的海洋生物多样性综合指；

按海洋生物多样性指数的数值变化幅度（ ΔMBI ），海洋生物多样性变化趋势划分为三个等级：无明显变化、略有变化（提高或下降）、显著变化（提高或下降）。见表 5.6.6-5。

表 5.6.6-5 海洋生物多样性总体变化趋势分级

变化幅度	级别	描述
$ \Delta MBI \leq 10$	无明显变化	生物多样性无明显变化
$10 < \Delta MBI < 25$	略有变化（提高或下降）	若 $10 < \Delta MBI < 25$ ，生物多样性略有提高；若 $-25 < \Delta MBI < -10$ ，生物多样性略有下降
$ \Delta MBI \geq 25$	显著变化（提高或下降）	若 $\Delta MBI > 25$ ，生物多样性显著提高；若 $\Delta MBI < -25$ ，生物多样性显著下降

根据计算，2021 年 10 月与 2023 年 11 月的海洋生物多样性综合指数的变化幅度 ΔMBI 为 $(64.12-59.73) = 4.39$ 。

综上所述，根据海洋生物多样性总体变化趋势分级判定，2021 年 10 月至 2023 年 11 月海洋生物多样性指数的数值变化幅度小于 10，海洋生物多样性总体无明显变化。

5.7 鸟类环境现状调查与评价

本节引自《江门川岛二海上风电场项目鸟类调查专题报告》（广东省科学院动物研究所，2024 年 8 月）。

5.7.1 调查方法

（1）调查范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线向外扩展 8km 区域，并视受保护鸟类受影响程度适当增加。结合本项目实际情况，调查范围以工程区域及周边 8 km 海域为主，辅以距离风电场最近的阳江市东平镇、江门台山市北陡镇、汶村镇的部分陆地海岸线近 3 年鸟类现状调查资料（图 5.7.1-1）。共需要开展 4 个季度调查。每季

度调查一次上述区域内的鸟类物种及其栖息地生态环境现状，以工程边界内为重点调查区域。



图 5.7.1-1 鸟类现状调查范围示意图

（2）调查内容

主要包括调查区域环境概况、鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国家级重点保护鸟类受保护鸟类的种类与数量。

（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，由现有资料未发现区域内有数量集中的鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布，因此制定调查频次为每季度 1 次，根据调查单位现有调查资料，以 2023 年 8 月、2023 年 11 月、2024 年 1 月和 2024 年 4 月的调查作为沿海调查现状数据，作为本次项目的四季鸟类调查数据。

（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样线（带）法

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

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

②样点法

采用样点法作为样线法的补充，在区域内选取固定的观察点进行观察计数，项目场址内主要选择测风塔作为观测样点，周边区域根据生境异质性选择沙滩、泥滩、红树林、浅海、农田等类型设置观测点，通过乘船或步行用望远镜开展调查。

③繁殖鸟类调查法

对于在沿岸区域内发现具有繁殖和育雏行为的种类，采用密度法估算繁殖种群数量。

④休息场统计

在沿岸滩涂发现越冬鸟类休息场，在涨潮时滩涂出露时有多种水鸟在滩上觅食，涨潮时到未淹没沙滩上集群停歇，采用直接计数方法对该区域进行鸟类种类及数量统计。

直接计数法得到的某种鸟类数量总和即为该区域该种鸟类的数量。

样带（方）数量计算公式为 $N = \bar{D} * M$ （ N —某区域某种动物数量； $\bar{D}$ —该区域该物种平均密度； M —该调查区域总面积）。 $\bar{D} = \sum_{i=1}^j Ni / \sum_{i=1}^j Mi$ （ $\sum_{i=1}^j Ni$ — j 个样带（方）调查的该物种数量和； $\sum_{i=1}^j Mi$ — j 个样带（方）总面积）。

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

5.7.2 区域鸟类概况分析

5.7.2.1 鸟类种类特征

本次四季度调查，在项目区域及周边共记录鸟类 91 种，隶属 12 目 28 科。优势类群包括鸻形目（CHARADRIIFORMES）（39 种）和雀形目（PASSERIFORMES）（26 种）。由于本次调查，主要调查地为海上和沿岸湿地区域，湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地，即某一生活史阶段依赖于湿地，且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据 Howes 等（1988）对水鸟的定义，广义的水鸟包括鹬科（Podicipedidae）、鹭科（Ardeidae）、鸭科（Anatidae）、秧鸡科（Rallidae）、反嘴鹬科（Recurvirostridae）、鸻科（Charadriidae）、鹬科（Scolopacidae）、燕鹬科（Glareolidae）、鸥科（Laridae）、燕鸥科（Sternidae）、翠鸟科（Alcedinidae）等鸟类，其他统称为陆生鸟类。按上述定义，本次调查的鸟类中，水鸟有 58 种，其他 33 种为陆生鸟类种，主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分，留鸟共有 36 种，迁徙鸟共 55 种，其中冬候鸟 34 种，迁徙过境鸟 11 种，夏候鸟 10 种，说明本区域是多种迁徙候鸟的越冬地和中途停歇地。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 65 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 25 种，主要为鸻形目（CICONIIFORMES）和鸻形目鸟类；属于国家重点保护陆生动物的有 11 种，其中包括一级保护的黄嘴白鹭（*Egretta eulophotes*）1 种，以及二级保护的褐翅鸦鹃（*Centropus sinensis*）、白腰杓鹬（*Numenius arquata*）、翻石鹬（*Arenaria interpres*）、大滨鹬（*Calidris tenuirostris*）、阔嘴鹬（*Limicola falcinellus*）、岩鹭、鸮（*Pandion haliaetus*）、黑鸢（*Milvus migrans*）、白胸翡翠（*Halcyon smyrnensis*）和红隼（*Falco tinnunculus*）等 10 种；列入国家保护动物红色名录近危及以上级别的有 4 种，包括属于易危（VU）级别的大滨鹬和黄嘴白鹭等 2 种，以及属于近危（NT）物种的白腰杓鹬和鸮等 2 种；列入 IUCN 红皮书近危以上级别的物种有 7 种，其中属于濒危（EN）级别的有大滨鹬 1 种，属于易危（VU）级别的有黄嘴白鹭 1 种，其余 5 种包括黑尾塍鹬（*Limosa limosa*）、白腰杓鹬、灰尾漂鹬（*Heteroscelus brevipes*）、红颈滨鹬（*Calidris ruficollis*）和弯嘴滨鹬（*Calidris ferruginea*），均为近危（NT）级别。列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录 II 的物种有鸮、黑鸢和红隼三种。《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 48 种，中澳候鸟保护协定种类有 35 种。

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

5.7.2.2 鸟类数量概况

数量方面，共记录鸟类 8552 只次，其中数量超过 10% 的优势种有 3 种，分别为铁嘴沙鸻（*Charadrius leschenaultii*）、环颈鸻和白鹭。以铁嘴沙鸻数量最多，全年共观察到 1657 只次，占总调查数量的 19.4%，其次为环颈鸻，共调查到 1533 只次，占 17.9%，白鹭记录到 1036 只次，占总调查数量的 12.1%。常见种有 13 种，包括黑腹滨鹬（*Calidris alpina* 占调查总数量的 7.7%，下同）、大白鹭（*Ardea alba*）（5.6%）、蒙古沙鸻（*Charadrius mongolus*）（4.4%）、红颈滨鹬（*Calidris ruficollis*）（2.9%）、池鹭（*Ardeola bacchus*）（2.5%）、三趾滨鹬（*Calidris alba*）（2.4%）、苍鹭（*Ardea cinerea*）（2.1%）、泽鹬（*Tringa stagnatilis*）（2.1%）、翘嘴鹬（*Xenus cinereus*）（1.7%）、鸥嘴噪鸥（*Gelochelidon nilotica*）（1.5%）、青脚鹬（*Tringa nebularia*）（1.3%）、家燕（*Hirundo rustica*）（1.3%）、阔嘴鹬（*Calidris alba*）（1.2%）。13 种常见种数量总占总调查数量的 36.7%，和优势种合并则两者共 16 个物种占调查总数量的 86.1%，说明调查区域鸟类主要物种的优势度明显，从现场调查发现优势种栖息聚集程度较高，主要集中在沿岸沙滩和围垦养殖塘内。

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

项目用地和周边区域的单次鸟类调查没有记录到数量超过全球种群数量 1%以上的物种。

5.7.3 各季节调查详述

5.7.3.1 夏季调查（2023 年 8 月）情况

2023 年 8 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 37 种，隶属 7 目 19 科。优势类群为鸻形目和雀形目，分别各有 13 种。其中水鸟 22 种，其余 15 种为陆鸟。数量上，共记录 1181 只次，优势种为白鹭、铁嘴沙鸻和环颈鸻，数量分别占该月调查总数量的 19.7%、18.9%和 17.8%。常见种有家燕、池鹭、蒙古沙鸻、白额燕鸥、牛背鹭、青脚鹬、白头鹎、大白鹭、暗绿绣眼鸟、红脚鹬等 10 种，以上 13 种共占当季调查数量的 89.6%。

居留型方面，留鸟种类较多，有 20 种，冬候鸟有 6 种，夏候鸟有 6 种，迁徙过境鸟有 5 种，以上部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留数量最多，占 41.8%，其次为过境迁徙鸟占 23.8%，冬候鸟占 22.5%，夏候鸟占 11.9%。本季度的留鸟占比例最高，且总体鸟类数量明显较其他季节少。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 22 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 9 种，包括白额燕鸥、褐翅燕鸥、粉红燕鸥、黄斑苇鹀、绿鹭、池鹭、牛背鹭、大白鹭、白鹭等；列入国家重点保护野生动物名录的有 4 种，均为二级保护，包括褐翅鸦鹃、翻石鹬、大滨鹬、岩鹭等；列入国家保护动物红色名录近危级别以上的有大滨鹬一种，为易危（VU）级别；列入 IUCN 红皮书近危级别以上的有 2 种，其中大滨鹬为濒危（EN）级别、灰尾漂鹬为近危（NT）级别；没有列入 CITES 附录的物种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 18 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 17 种。

5.7.3.2 秋季调查（2023 年 11 月）情况

2023 年 11 月为秋季调查，本次调查共记录鸟类 45 种，隶属 8 目 20 科。优势类群为鸻形目，有 17 种，其次为雀形目，有 15 种。水鸟有 28 种，陆鸟为 17 种。数量上，共记录 2128 只次，优势种为白鹭和大白鹭，数量分别占该月调查总数量的 25.7%和 15.0%。常见种为黑腹滨鹬、环颈鸻、铁嘴沙鸻、苍鹭、池鹭、泽鹬、反嘴鹬、白额鹭、牛背鹭、青脚鹬、家燕等 11 种，以上 13 种共占当季调查数量的 88.6%。

说明本季度优势种数量占比例较大。

居留型方面，本月种类中留鸟共有 21 种在本地区有留鸟种群，16 种在本地区有冬候鸟种群，迁徙过境鸟和夏候鸟分别有 6 种和 2 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上也是留鸟占优，占总数量的 52.7%，冬候鸟和迁徙过境鸟也较多，分别占总数量的 31.1%和 13.2%，夏候鸟仅占 3.1%。可以看出在该季节已经有较多越冬种类到达本地，尚有少量夏候鸟未迁离。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共 28 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种，包括凤头鹳鹬、黑翅长脚鹬、反嘴鹬、普通燕鸥、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭、白鹭、蓝翡翠；列入国家重点保护野生动物名录中的二级保护动物的有翻石鹬、大滨鹬和岩鹭等 3 种；列入国家保护动物红色名录近危级别以上的物种有大滨鹬一种，为易危（VU）级别；属于 IUCN 红皮书近危级别以上的有 3 种，分别为黑尾塍鹬（NT）、大滨鹬（EN）和红颈滨鹬（NT）；没有列入 CITES 附录的物种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 22 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种有 18 种。

5.7.3.3 冬季调查（2024 年 1 月）情况

2024 年 1 月为冬季调查，本次调查共记录鸟类 56 种，隶属 10 目 24 科。优势类群为雀形目，有 22 种，其次为鸻形目，有 21 种。水鸟有 29 种，陆鸟为 27 种。数量上，共记录 2830 只次，优势种为环颈鸻、铁嘴沙鸻和黑腹滨鹬，数量分别占该月调查总数量的 25.2%、19.8%和 12.7%。常见种为白鹭、蒙古沙鸻、红颈滨鹬、三趾滨鹬、阔嘴鹬、泽鹬、翘嘴鹬、苍鹭、大白鹭、灰鸻、鸥嘴噪鸥和青脚鹬等 12 种，以上 15 种共占当季调查数量的 92.6%。本季度优势种数量占比例较大。

居留型方面，本月共有 27 种在本地区有留鸟种群，22 种在本地区有冬候鸟种群，迁徙过境鸟有 7 种，没有记录到夏候鸟，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上则是冬候鸟占优，占总数量的 57.8%，迁徙过境鸟也较多，占总数量的 30.9%，留鸟占 11.3%。总体上本季节以冬候鸟为主要组成部分。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共 36 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 11 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、红嘴鸥、黑尾鸥、鸥嘴噪鸥、灰翅浮鸥、池鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭和白鹭；列入国家重点保护野生动物名录中的

二级保护动物的有褐翅鸦鹃、白腰杓鹬、阔嘴鹬、鸮、黑鸢、白胸翡翠、红隼等 7 种；列入国家保护动物红色名录近危级别以上的物种有白腰杓鹬和鸮 2 种，为近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危级别以上的有 3 种，分别为白腰杓鹬和红颈滨鹬，均为近危（NT）级别；列入 CITES 附录 II 的物种有鸮、黑鸢、红隼 3 种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 25 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种有 15 种。

5.7.3.4 春季调查（2024 年 4 月）情况

2024 年 4 月为春季调查，本次调查共记录鸟类 51 种，隶属 10 目 18 科。优势类群为鸻形目，有 25 种。水鸟有 38 种，陆鸟为 13 种。数量上，共记录 2413 只次，优势种为铁嘴沙鸻和环颈鸻，数量分别占该月调查总数量的 29.9% 和 18.9%。常见种为蒙古沙鸻、白鹭、红颈滨鹬、黑腹滨鹬、鸥嘴噪鸥、三趾滨鹬、翘嘴鹬、灰尾漂鹬、大白鹭、翻石鹬、鹤鹬、青脚鹬、大滨鹬、灰翅浮鸥、池鹭等 15 种，以上 17 种共占当季调查数量的 92.0%。本季度常见种较多，数量分布较平均。

居留型方面，本月种类中留鸟共有 22 种在本地区有留鸟种群，17 种在本地区有冬候鸟种群，迁徙过境鸟和夏候鸟分别有 8 种和 4 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以迁徙过境鸟最多，有占总数量的 45.5%，其次为冬候鸟，占总数量的 39.1%，留鸟和夏候鸟分别占总数量的 14.1% 和 1.2%。可以看出在该季节有较多迁徙过境的物种。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共 36 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 15 种，包括黑水鸡、黑翅长脚鹬、中杓鹬、鸥嘴噪鸥、白额燕鸥、黑枕燕鸥、灰翅浮鸥、白翅浮鸥、夜鹭、池鹭、牛背鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭、白鹭；列入国家重点保护野生动物名录的有 6 种，其中黄嘴白鹭为一级保护，褐翅鸦鹃、翻石鹬、大滨鹬、岩鹭、鸮等 5 种为二级保护；列入国家保护动物红色名录近危级别以上的物种有 3 种，大滨鹬和黄嘴白鹭为易危（VU）级别，鸮为近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书近危级别以上的有 5 种，分别为大滨鹬（EN）、黄嘴白鹭（VU）、灰尾漂鹬、红颈滨鹬和弯嘴滨鹬（NT）；列入 CITES 附录 II 的物种有鸮一种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 25 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》

名录的物种有 23 种。

5.7.3.5 季节动态综合分析

从鸟类种类上看，冬季鸟类种类最多，夏季种类最少，数量上也是冬季最多，夏季数量最少。从物种组成来说，存在季节性更替。

5.7.4 海域鸟类现状

风电场所在区域以及周边 8km 缓冲区域内均为浅海海域，调查主要通过乘船沿样线观察，期间仅发现极少量燕鸥类和白额鸕飞行。将调查范围扩展至沿岸浅海海域，则在海域中共发现鸟类 4 目 5 科 14 种，共 208 只次，其中多数个体在离岸 2-5km 范围内发现。鸥类和燕鸥类鸟类是在海面活动较多的种类，燕鸥类多在春夏季出现，喜集群在海面低空飞行觅食，也会跟随渔船尾部啄食被海浪翻滚至水面的鱼类，鸥类则主要在冬季记录到。普通鸕喜欢在近岸海边岩石上停留。岩鸕主要位于近岸小型岛屿的岩礁海岸，多在岛屿和岩岸周边低空开展飞行活动，并不飞出外海。

表 5.7.4-1 调查海域鸟类季节动态

物种	拉丁名	冬季 (越冬)	春季 (迁徙)	夏季 (繁殖)	秋季 (迁徙)
红颈瓣蹼鹬	<i>Phalaropus lobatus</i>		+		
红嘴鸥	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	+			
黑尾鸥	<i>Larus crassirostris</i>	+			
鸥嘴噪鸥	<i>Gelochelidon nilotica</i>	+	+		
白额燕鸥	<i>Sternula albifrons</i>		+	+	
褐翅燕鸥	<i>Onychoprion anaethetus</i>			+	
粉红燕鸥	<i>Sterna dougallii</i>			+	
黑枕燕鸥	<i>Sterna sumatrana</i>		+		
普通燕鸥	<i>Sterna hirundo</i>				+
灰翅浮鸥	<i>Chlidonias hybrida</i>	+	+		
白翅浮鸥	<i>Chlidonias leucopterus</i>		+		
白额鸕	<i>Calonectris leucomelas</i>				+
白鸕	<i>Egretta garzetta</i>	+	+	+	+
岩鸕	<i>Egretta sacra</i>			+	+

本次海域部分的调查记录到数量较多的有白额鸕、鸥嘴噪鸥和灰翅浮鸥，其中白额鸕是典型的海洋性鸟类，喜欢在海面梭巡捕食鱼类，单独或集小群活动，在距离海岸 10-20km 左右分布较多，到项目场址内则分布较少，仅有 1 次记录。鸥嘴噪鸥喜欢在近岸沙泥质滩涂停歇，灰翅浮鸥喜欢在近海养殖场附近觅食。在项目场址范围内没有记录。其余种类中活动范围离岸较远的还有褐翅燕鸥、黑枕燕鸥和粉红

燕鸥，其中褐翅燕鸥在项目场址内有 1 次记录。岩鹭是本次海域记录到唯一一种国家二级保护动物，在近岸岛屿岩礁上有繁殖种群，但数量较少，据密度估算共约 10-15 只。鸥类和燕鸥类的鸟类属于广东省的省级重点保护动物，在离岸小型无人岛礁上有繁殖群体，繁殖期在海面活动较为频繁。总体上，海域调查到的种类中，褐翅燕鸥、黑枕燕鸥、白额鸻等飞行活动范围离岸较远，会经过风电场所在区域。

5.7.5 沿岸鸟类现状

和海上调查相比，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域。本调查共记录种类 12 目 29 科 91 种，数量 8344 只次，占本项目调查总数量的 97.4%。种类以白鹭、大白鹭等鹭科鸟类和铁嘴沙鸻、环颈鸻、黑腹滨鸻等小型鸻鹬类为主，也有一些过境种类，如翻石鸻、翘嘴鸻、灰尾漂鸻、大滨鸻等，主要分布在沿岸滩涂。因此沿岸滩涂是本区域鸟类主要觅食地和栖息地。

除迁徙越冬候鸟，本次调查还发现在沙滩生境有繁殖水鸟，主要为环颈鸻华南亚种（*C.a.dealbatus*，最新文献将其提升为独立的种，白脸鸻 *C.dealbatus*）和白额燕鸥，其中环颈鸻春季在沙滩上繁殖，冬季则和北方种群混群觅食和栖息，根据密度估算，繁殖对数约 50-80 对，每对繁殖幼体约 2-4 只。白额燕鸥的繁殖对数约 30-50 对，每对繁殖幼体约 2-4 只。总体上在项目区域沿岸繁殖的水鸟种群主要集中在三丫港等沙滩，其余地点数量较少，且该类物种栖息和觅食均在沙滩周边，基本不受海上风电设施影响。

本项目位于川山群岛沿岸海区，调查单位此前曾在同属该海区的阳西溪头镇、阳江海陵岛、台山上川岛进行全年度的鸟类调查，其地理区系和生态环境相近，具有类比性和可比性，是本次调查的有益补充。结合以上区域近五年记录，周边分布的鸟类种类共有 157 种，说明该地区沿海鸟类种类丰富，生态环境良好。其中大部分鸟类分布于红树林区和滩涂区域，主要是由于近岸湿地底栖动物丰富，是多种涉禽（包括鹭科鸟类、鸻鹬类等）的主要食物来源。而项目场址所在地距离鸟类分布主要区域海陵湾约 56km。远大于大部分鸟类活动的半径范围（5-20km），且没有底栖动物分布，对红树林区和滩涂区域的鸟类基本没有影响。

5.7.6 鸟类迁飞路线与飞行高度分析

风力资源的地理分布大多与鸟类迁徙通道相重叠，尤其在我国，在沿海、岛屿、内陆湖泊、河流、水库地区的附近是风力资源最丰富的地区，也是水鸟迁徙的主要

停歇地带（卞兴忠和蒋志学, 2010）。鸟类在全球的迁徙路线可分为 8 个主要迁飞区（Bamford et al, 2008），我国东南沿海位于其中最大的“东亚-澳大利西亚迁徙通道”上（如下图 5.7.6-1），是多种候鸟迁徙的中途停歇驿站和越冬地，其中沿海滩涂是迁徙水鸟主要集中栖息的区域。距离项目场址最近的阳江沿岸位于我国广东省西部沿海，其东侧的海陵岛和溪头港，有多种迁徙候鸟停歇记录，环志观测结果显示途径溪头港的候鸟会迁飞至澳大利亚西部。

鸟类的迁徙路线，虽然在大尺度上可能体现出空间上的近似关系。但是具体的迁飞路径，停歇地点有很大的种间变异，甚至种内的不同种群之间均有变异。研究鸟类迁徙，需要对鸟类进行环志标记或者卫星追踪调查。目前研究表明，大部分迁徙性水鸟的连续飞行距离较长，经常进行上千公里甚至数千公里的连续飞行（马志军, 2013）。大部分对迁徙路线的研究采用直线将营巢地——中途停歇地——越冬地之间联结起来，形成理论上的迁徙路线，然而受地面构造、景观类型、植被、食物及天气等各种条件影响，实际路线有所偏差。如雁鸭类大都集中于内陆水域，沿湖泊、河流迁徙，鸕鹚类则多沿海岸绕行（张孚允和杨若莉, 1997）。根据项目场址所在的沿岸地形地貌、景观类型、鸟类栖息生境等分布情况，结合实际观察，迁徙鸟类在阳江和江门沿海及周边近岸海域的经停点主要是沿岸滩涂湿地和离岸岛屿，迁徙路线主要沿海岸迁徙，部分会跨越南海（见下图 5.7.6-2）。其中沿海滩涂湿地是迁飞候鸟主要栖息生境。



图 5.7.6-1 东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图

近年来，随着我国科技进步和自主研发力量增强，鸟类卫星跟踪设备往轻量级、长续航、高精度、信号间隔短等方向发展，为明确鸟类迁徙路径提供了极大的便利。通过对比多个研究结果，选取其中不同类群的鸟类作为案例，列举候鸟经过南海或广东沿岸的迁徙路线。从图 5.7.6-2 可以看出，总体上不同类群的候鸟迁徙路线大致上和图 5.7.6-1 示意的方向接近，其中鸕类和鹈类多从粤东或粤中便离开沿岸飞越南海往澳大利亚、新西兰等地越冬，而迁徙的鹭类则有部分横越广东沿海，从琼州海峡穿过往越南、泰国等地越冬，总体上飞越粤东以南海域的种类较多。

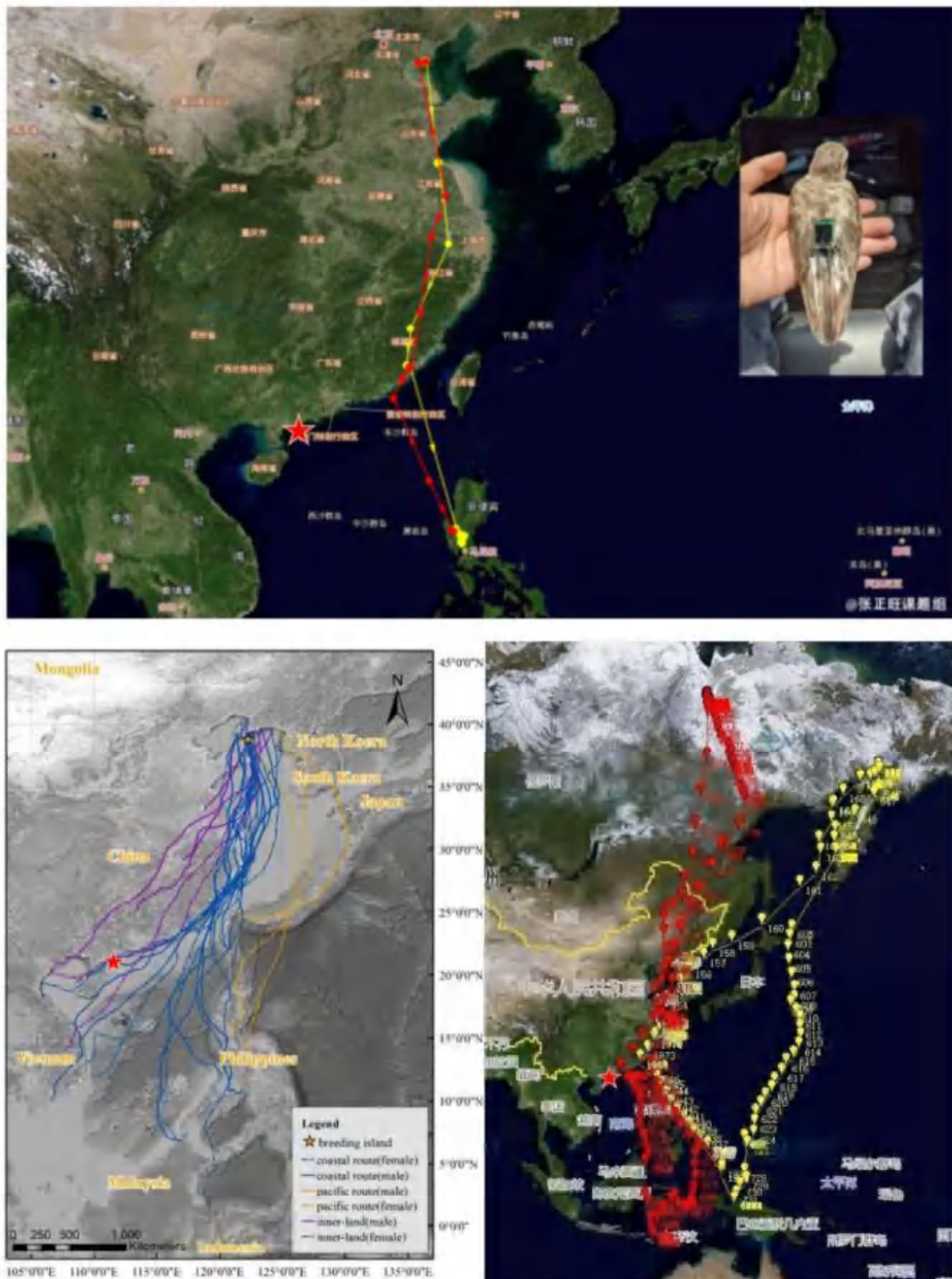


图 5.7.6-2 不同类群鸟类迁徙路线（上：环颈雉；下左：黄嘴白鹭；下右：中杓鹬，星型符号为项目场址）

据研究资料显示（图 5.7.6-3），候鸟迁徙季节的迁飞高度一般超过 300m：普通鸟类迁徙过程中飞翔高度在 400m 以下，鹤类在 300-500m，鹳、雁等最高可达 900m

(卞兴忠和蒋志学,2010)。本区主要沿海岸迁徙飞行种类为鹤鹑类、鹭类、小型雁鸭类、鸥类,基本没有大型的鹤鹑类,迁徙飞行高度一般为 300m-400m 之间。但是也有研究发现沿海面飞行的鸟类通常飞行高度较陆地低 (Ross-Smith et al., 2016)。

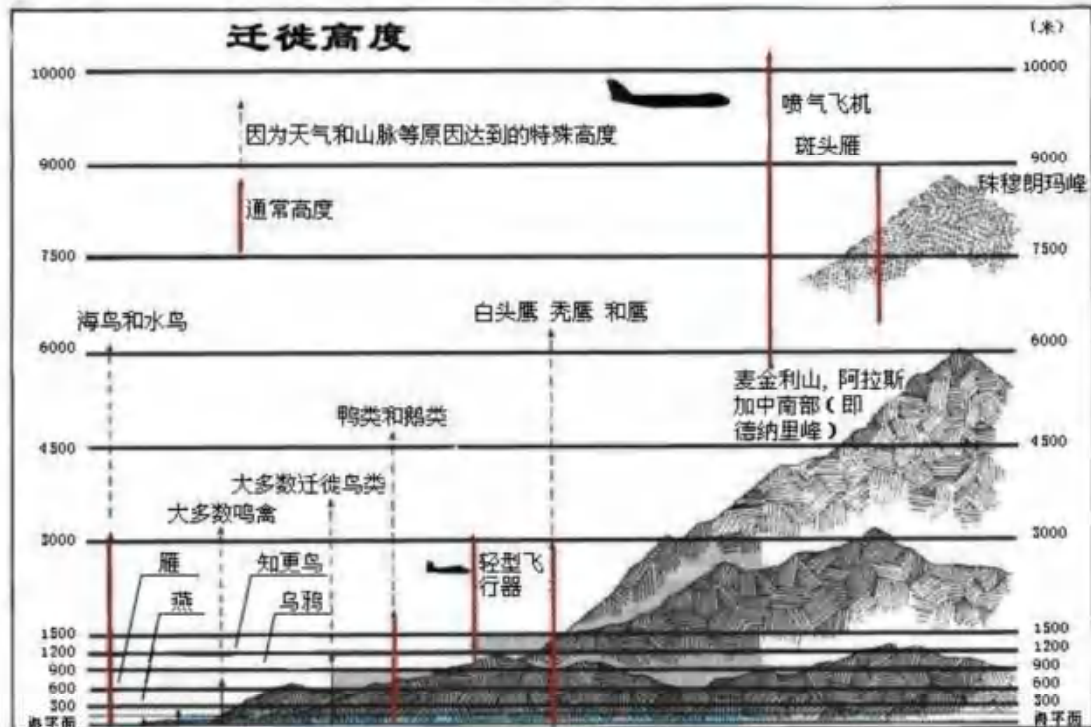


图 5.7.6-3 不同鸟类类群的飞行高度示意图

而对于鸟类的日常飞行（如往返于休息地与觅食地、饮水地等）来说，飞行高度会较长途迁徙低，尤其是在觅食等情况下，一般低于 100m。小型雀形目鸟类很少在海面飞行，项目范围可能涉及到的种类中，猛禽、鸥和燕鸥、军舰鸟等海洋鸟类等是较常见在海面活动的类型。在西班牙南部的 Tarifa 研究发现 (Barrios and Rodriguez, 2004)，猛禽在风场区域翱翔时，会选择避开叶片旋转能达到的高度范围，如繁殖期和冬季选择在较低的高度飞行（平均在 57-59m 之间），其余时期是飞行高度则在 110m 左右，在其他区域其高度差异不明显（繁殖期 68.20m，越冬期 60.07m，非繁殖季节 79m）。且观察到大部分鸟类在穿过风机列时会显著提升飞行高度，以避免碰撞。本次调查中也发现，在远离风机的海面褐翅燕鸥的飞行高度为距离海面 20-50m，但当靠近风电场时则提升高度至风机轮毂上方，超过 100m。另外，在不良的气象条件下，如大雾、降雨或强逆风时，大气能见度降低，鸟类也会降低飞行高度 (Drewitt and Langston, 2006)。



图 5.7.6-4 褐翅燕鸥在已建风电场外围和飞越风电场时的高度变化

5.8 电磁环境现状调查与评价

本节引自《江门川岛（二）海上风电项目（2023 年秋季）》（广东宇南检测技术有限公司，2023 年 10 月）和《江门川岛（二）海上风电项目（2023 年冬季）》（广东宇南检测技术有限公司，2023 年 12 月）。

5.8.1 调查概况

广东宇南检测技术有限公司于 2023 年 9 月 6-7 日和 2023 年 12 月 6-7 日对项目附近海域进行了电磁辐射环境现状调查，调查站位布设参见表 5.8.1-1 和图 5.8.1-1。

表 5.8.1-1 电磁环境调查站位

监测站位	经度	纬度	监测内容
S1	112°17'20.58"	21°10'30.72"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S2	112°20'59.35"	21°10'27.01"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S3	112°24'17.72"	21°10'29.48"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S4	112°19'19.85"	21°09'57.35"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S5	112°22'21.54"	21°09'48.08"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S6	112°19'57.55"	21°08'59.26"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S7	112°21'46.93"	21°08'57.40"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S8	112°22'18.45"	21°07'45.10"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射
S9	112°21'00.58"	21°12'10.83"	水下噪声、水上噪声、电磁辐射

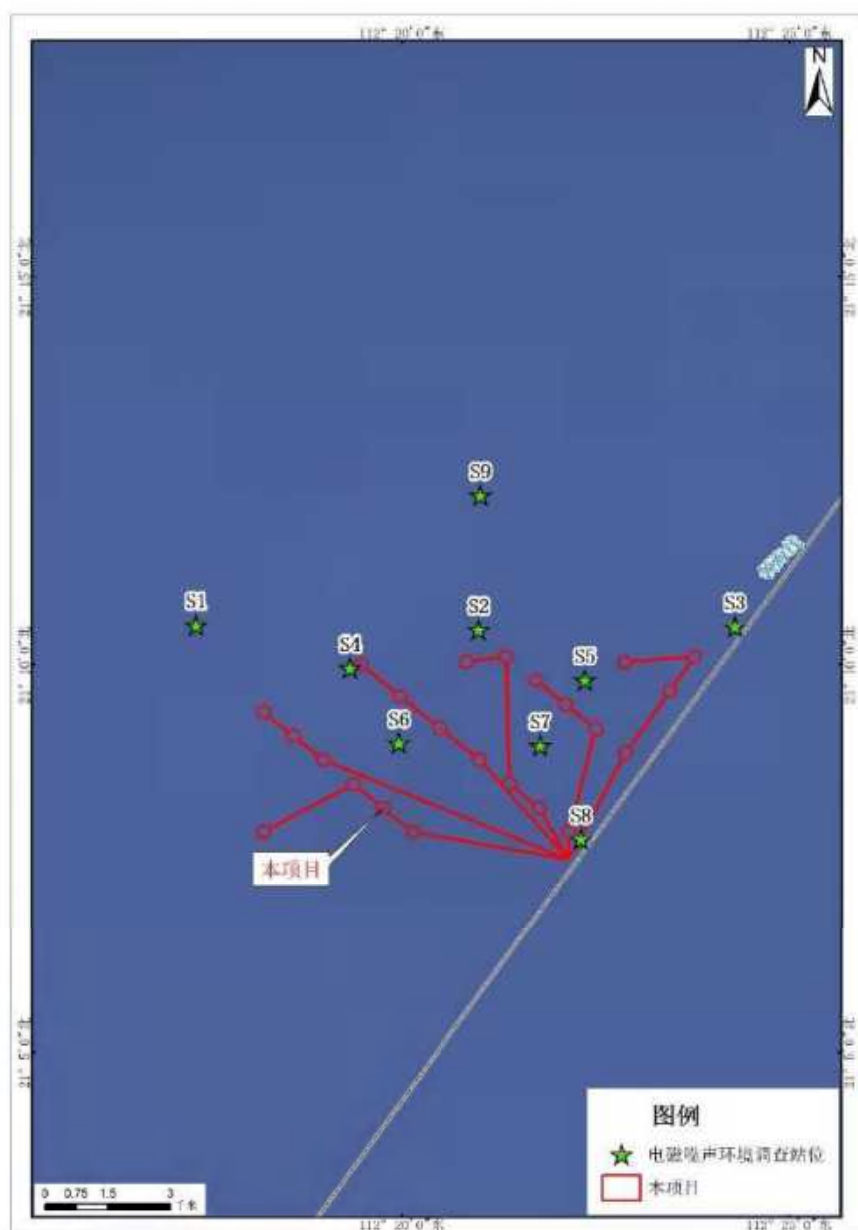


图 5.8.1-1 电磁环境调查站位图

5.8.2 调查内容

调查内容包括工频电场强度和工频磁场感应强度。

5.8.3 分析内容

分析方法及使用仪器一览表见表 5.8.3-1。

表 5.8.3-1 分析方法及使用仪器一览表

检测项目	分析方法	分析仪器名称
工频电场强度	《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》 HJ 681-2013	电磁辐射分析仪 SEM-600
工频磁场强度	《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》 HJ 681-2013	电磁辐射分析仪 SEM-600

5.8.4 检测结果

(1) 秋季

统计结果显示, 拟建风电场区工频电场强度介于 (0.07~0.11) V/m 之间, 磁感应强度介于 (0.0067~0.0102) μT 之间, 均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 的要求 (交流输变电工程对应的频率为 50Hz, 其推荐限值分别为 4000V/m 和 100 μT)。

(2) 冬季

统计结果显示, 拟建风电场区工频电场强度介于 (0.08~0.24) V/m 之间, 磁感应强度介于 (0.0073~0.0107) μT 之间, 均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 的要求 (交流输变电工程对应的频率为 50Hz, 其推荐限值分别为 4000V/m 和 100 μT)。

表 5.8.4-1 秋季电磁环境调查结果

监测点名称	检测结果	
	工频电场强度 (V/m)	工频磁场强度 (μT)
S1	0.08	0.0097
S2	0.09	0.0071
S3	0.09	0.0102
S4	0.07	0.0067
S5	0.11	0.0072
S6	0.10	0.0078
S7	0.08	0.0086
S8	0.11	0.0075
S9	0.08	0.0081

表 5.8.4-2 冬季电磁环境调查结果

监测点名称	检测结果	
	工频电场强度 (V/m)	工频磁场强度 (μT)
S1	0.08	0.0077
S2	0.13	0.0078
S3	0.11	0.0073
S4	0.21	0.0082
S5	0.12	0.0107
S6	0.24	0.0096
S7	0.10	0.0086
S8	0.08	0.0074
S9	0.13	0.0089

5.9 噪声环境现状调查与评价

本节引自《江门川岛 (二) 海上风电项目 (2023 年秋季)》(广东宇南检测技术有限公司, 2023 年 10 月) 和《江门川岛 (二) 海上风电项目 (2023 年冬季)》(广东宇南检测技术有限公司, 2023 年 12 月)。

5.9.1 调查概况

广东宇南检测技术有限公司于 2023 年 9 月 6-7 日和 2023 年 12 月 6-7 日对项目附近海域进行了声环境质量调查，调查站位布设与电磁调查站位一致，详见表 5.8.1-1 和图 5.8.1-1。

5.9.2 调查内容

水上噪声包括等效连续声级、累积百分声级 $L_{10}(\text{dB})$ 、累积百分声级 $L_{50}(\text{dB})$ 和累积百分声级 $L_{90}(\text{dB})$ 。水下噪声调查内容为频程频带声压级(L_{ps})、噪声功率谱密度级以及各测点的峰值声压级。

5.9.3 调查结果

5.9.3.1 环境条件

(1) 秋季

秋季海区环境条件见表 5.9.3-1。

表 5.9.3-1 秋季海区环境条件

站位	监测时间	天气	湿度 (%)	风速 (m/s)	风向
S1	2023.09.06	晴	60	3.0	东
S2	2023.09.06	晴	60	2.9	东南
S3	2023.09.06	晴	60	3.0	东南
S4	2023.09.06	晴	60	2.9	东南
S5	2023.09.06	晴	60	2.9	东
S6	2023.09.06	晴	60	2.8	东南
S7	2023.09.06	晴	60	2.6	东南
S8	2023.09.06	晴	60	2.5	东南
S9	2023.09.06	晴	60	3.1	东

(2) 冬季

冬季海区环境条件见表 5.9.3-2。

表 5.9.3-2 冬季海区环境条件

站位	监测时间	天气	湿度 (%)	风速 (m/s)	风向
S1	2023.12.06	晴	63	2.6	东北
S2	2023.12.06	晴	63	1.8	东
S3	2023.12.07	晴	63	2.4	东
S4	2023.12.06	晴	63	1.1	东北
S5	2023.12.06	晴	63	1.5	东北
S6	2023.12.06	晴	63	1.6	东
S7	2023.12.06	晴	63	1.7	东北
S8	2023.12.06	晴	63	1.9	东北
S9	2023.12.06	晴	63	1.9	东北

5.9.3.2 水上声环境现场调查结果

(1) 秋季

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 53~62dB 之间。

表 5.9.3-3 秋季工程海域水上声环境监测结果

站位	噪声源	等效连续声级 (dB)	累积百分声级 L10(dB)	累积百分声级 L50(dB)	累积百分声级 L90(dB)
S1	海上环境	58	60	57	53
S2	海上环境	53	55	48	42
S3	海上环境	62	63	57	55
S4	海上环境	55	57	53	49
S5	海上环境	58	58	53	49
S6	海上环境	53	55	51	48
S7	海上环境	53	55	49	45
S8	海上环境	54	56	52	47
S9	海上环境	53	54	50	47

(2) 冬季

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 47~56dB 之间。

表 5.9.3-4 冬季工程海域水上声环境监测结果

站位	噪声源	等效连续声级 Leq(dB)	累积百分声级 L10(dB)	累积百分声级 L50(dB)	累积百分声级 L90(dB)
S1	海上环境	50	52	44	41
S2	海上环境	49	50	44	41
S3	海上环境	56	57	46	42
S4	海上环境	49	51	45	42
S5	海上环境	50	51	45	41
S6	海上环境	50	51	56	43
S7	海上环境	49	50	44	41
S8	海上环境	47	47	41	38
S9	海上环境	56	51	43	40

5.9.3.3 水下噪声峰值声压

(1) 秋季

秋季工程海域水下噪声峰值声压见表 5.9.3-5。

表 5.9.3-5 秋季工程海域水下噪声峰值声压

站位	检测深度 (m)	总声级 (20Hz-20kHz) (dB)	峰值声压 L_{peak} (dB)
S1	5	124	179
	25	126	179
	37	123	177
S2	5	126	178
	25	129	179
	37	127	179

站位	检测深度 (m)	总声级 (20Hz-20kHz) (dB)	峰值声压 L_{peak} (dB)
S3	5	128	179
	25	129	179
	37	126	178
S4	5	126	179
	25	126	179
	37	125	179
S5	5	127	179
	25	126	179
	37	128	178
S6	5	123	179
	25	124	179
	37	121	175
S7	5	128	178
	25	123	178
	37	128	178
S8	5	127	178
	26	124	178
	39	127	178
S9	5	125	179
	24	127	179
	36	125	179

(2) 冬季

冬季工程海域水下噪声峰值声压见表 5.9.3-6。

表 5.9.3-6 冬季工程海域水下噪声峰值声压

站位	检测深度 (m)	总声级 (20Hz-20kHz) (dB)	峰值声压 L_{peak} (dB)
S1	5	124	161
	25	124	161
	36	125	162
S2	5	129	161
	25	125	163
	36	123	162
S3	5	125	163
	25	123	162
	36	123	163
S4	5	126	164
	25	128	162
	37	126	162
S5	5	124	162
	25	124	162
	37	125	166
S6	5	125	168
	25	124	171
	37	122	161
S7	5	125	162
	25	127	175
	37	125	164
S8	5	122	164
	26	122	161
	38	123	171
S9	5	125	167
	24	126	162
	36	126	163

5.9.3.4 水下噪声环境调查结果

(1) 秋季

工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，噪声谱级的总动态变化范围是 59dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 10dB。总体上，在 100 Hz 以上的频率的噪声谱级在 103dB 以下；500 Hz 以上频率的噪声谱级均在 96dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 89dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 83dB 以下。

(2) 冬季

工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，噪声谱级的总动态变化范围是 66dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 14dB。总体上，在 100 Hz 以上的频率的噪声谱级在 105dB 以下；500 Hz 以上频率的噪声谱级均在 76dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 69dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 58dB 以下。

表 5.9.3-7a 秋季工程海域水下声环境监测结果-频程频带声压级 (L_{ps})

站位	水深 (m)	测量深度 (m)	1/3oct. 频程频带声压级 (dB)														
			20Hz	25Hz	31.5Hz	40Hz	50Hz	63Hz	80Hz	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz
S1	41.5	5	119	116	116	117	114	111	109	108	111	105	101	102	99	99	99
		25	119	117	117	117	115	114	113	111	112	109	109	109	109	110	110
		37	118	116	115	114	114	112	109	108	110	105	106	102	101	102	101
S2	41.8	5	121	117	115	118	118	116	113	112	109	105	103	100	99	99	99
		25	120	118	115	117	115	113	112	113	115	114	115	115	116	117	117
		37	119	116	115	117	117	115	114	114	114	113	113	113	113	113	112
S3	41.9	5	120	118	116	117	119	117	114	115	112	112	113	114	114	114	112
		25	120	118	116	117	117	115	113	114	114	113	113	114	114	115	115
		37	118	116	114	115	115	112	111	112	113	111	111	112	112	113	113
S4	42.1	5	119	117	116	116	117	114	113	113	114	113	113	113	113	112	110
		25	118	116	116	117	115	114	113	113	113	113	113	113	113	113	111
		37	118	115	115	116	114	113	111	111	111	110	110	109	109	108	107
S5	41.7	5	120	117	117	119	120	116	114	114	113	112	112	113	112	111	109
		25	120	116	116	118	119	116	113	112	111	106	102	101	99	99	99
		37	120	117	117	123	123	117	114	113	111	108	107	107	107	106	104
S6	42.0	5	116	113	112	114	114	111	109	108	109	108	109	108	108	108	106
		25	117	113	113	112	111	109	107	108	109	109	111	109	110	110	110
		37	114	112	111	111	111	109	106	108	107	107	113	101	102	103	101
S7	42.3	5	118	115	115	114	114	113	113	114	115	115	117	116	116	116	116
		25	119	114	113	115	113	111	109	109	109	105	115	107	102	104	101
		37	120	117	114	119	119	120	117	118	109	109	113	111	104	106	105
S8	43.9	5	120	117	115	119	114	111	109	115	110	111	119	118	110	111	109
		26	120	116	113	115	114	111	108	112	109	109	110	108	104	104	104
		39	120	117	114	115	114	113	111	112	112	112	113	113	114	114	114
S9	40.7	5	120	117	116	118	115	113	110	109	109	107	108	107	105	105	104
		24	119	116	115	115	114	113	113	113	114	114	115	115	115	115	114
		36	120	117	115	118	115	112	110	109	107	105	106	104	102	102	103

表 5.9.3-7b 秋季工程海域水下声环境监测结果-频程频带声压级 (L_{ps})

站点	水深 (m)	测量深度 (m)	1/3oct. 频程频带声压级 (dB)															
			630 Hz	800 Hz	1k Hz	1.25k Hz	1.6k Hz	2k Hz	2.5k Hz	3.15k Hz	4k Hz	5k Hz	6.3k Hz	8k Hz	10k Hz	12.5k Hz	16k Hz	20k Hz
S1	41.5	5	98	98	98	97	96	99	99	100	95	95	104	101	105	105	108	108
		25	109	109	108	107	107	107	106	104	104	111	108	107	108	111	110	109
		37	101	100	99	96	96	97	95	95	95	95	95	95	97	96	96	95
S2	41.8	5	99	100	101	100	99	101	100	101	101	101	101	103	106	106	108	110
		25	117	115	113	112	113	112	113	111	112	106	110	108	109	111	112	113
		37	111	111	110	108	103	107	107	104	106	108	105	109	109	108	111	110
S3	41.9	5	111	109	108	105	103	104	108	109	103	105	108	106	109	107	109	110
		25	115	113	110	108	109	111	112	110	108	112	111	110	113	113	112	114
		37	113	112	109	104	101	107	105	102	103	104	104	104	102	105	109	109
S4	42.1	5	106	101	107	106	99	102	100	99	100	102	103	103	103	104	106	103
		25	106	101	107	105	103	105	103	102	101	102	103	103	108	106	105	108
		37	103	101	105	104	102	104	102	100	99	103	104	105	103	106	107	109
S5	41.7	5	105	102	106	105	102	103	103	102	101	102	102	103	102	102	103	103
		25	100	100	101	101	104	101	101	102	105	105	104	104	107	109	110	110
		37	101	101	103	102	100	100	99	99	102	101	102	102	102	104	107	106
S6	42.0	5	103	102	104	103	103	104	100	99	102	104	102	107	104	107	107	109
		25	110	110	108	106	104	104	103	102	104	105	104	104	104	106	108	108
		37	100	99	97	98	94	96	93	92	92	92	93	93	93	93	95	95
S7	42.3	5	115	113	111	108	105	109	108	105	106	104	103	103	103	103	101	104
		25	102	99	97	98	95	96	96	96	98	95	97	97	99	102	102	102
		37	105	104	103	101	100	97	97	98	96	92	92	92	92	92	94	94
S8	43.9	5	109	112	106	105	104	105	103	102	102	102	105	107	108	108	106	108
		26	104	101	99	100	96	95	93	93	93	94	94	95	95	95	95	94
		39	114	113	111	106	103	108	106	103	105	106	104	104	106	105	106	105
S9	40.7	5	104	107	100	98	99	101	102	104	102	102	103	100	103	104	104	107
		24	111	109	110	110	101	106	104	103	104	105	108	109	106	106	108	109
		36	102	105	101	101	100	99	103	105	105	103	105	105	107	108	107	109

表 5.9.3-8a 秋季工程海域水下声环境监测结果-噪声功率谱密度级

站位	水深 (m)	测量深度 (m)	噪声功率谱密度级 (dB)														
			20Hz	25Hz	31.5Hz	40Hz	50Hz	63Hz	80Hz	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz
S1	41.5	5	112	108	106	107	102	99	96	93	99	87	82	83	80	79	78
		25	112	108	108	106	104	101	100	98	98	93	91	92	91	90	89
		37	111	108	106	105	104	100	96	95	98	88	85	84	83	82	81
S2	41.8	5	114	110	106	108	108	105	101	99	93	89	84	81	81	80	78
		25	114	110	105	108	104	101	99	99	102	98	98	98	97	97	96
		37	113	109	107	108	106	104	101	101	100	97	96	96	95	94	92
S3	41.9	5	113	110	106	106	108	105	101	101	98	97	97	97	95	93	93
		25	114	109	107	108	107	103	100	99	101	97	96	96	95	95	94
		37	112	108	105	105	104	101	98	98	100	95	94	93	93	93	92
S4	42.1	5	113	109	109	106	106	102	101	99	100	97	96	95	94	92	89
		25	111	108	107	108	104	102	100	99	100	97	97	96	95	93	90
		37	110	108	106	109	104	100	98	97	96	94	93	92	91	89	86
S5	41.7	5	113	111	108	110	109	105	101	101	99	96	95	95	94	92	89
		25	112	110	107	109	109	103	100	99	100	89	83	83	80	79	79
		37	114	109	107	113	112	106	101	100	98	92	90	89	88	86	84
S6	42.0	5	109	106	103	104	103	99	96	95	94	92	92	91	90	88	86
		25	110	105	105	103	99	97	94	94	94	93	93	91	91	90	90
		37	107	105	103	102	98	97	91	93	91	89	91	82	80	80	80
S7	42.3	5	110	107	107	105	103	101	100	100	100	99	99	98	98	97	95
		25	112	107	104	105	102	99	96	94	96	87	90	83	81	85	80
		37	114	110	104	111	108	107	104	103	94	93	93	85	84	86	83
S8	43.9	5	113	110	106	112	104	100	94	95	97	92	101	92	89	92	87
		26	113	109	104	107	103	100	95	96	95	88	91	87	85	86	81
		39	113	109	106	106	103	101	98	99	99	96	96	95	95	94	93
S9	40.7	5	114	110	107	110	104	101	95	99	95	90	88	91	87	84	85
		24	113	109	107	105	103	101	101	101	100	98	98	98	97	95	93
		36	113	110	106	109	104	100	100	98	95	92	88	85	84	83	83

表 5.9.3-8h 秋季工程海域水下声环境监测结果-噪声功率谱密度级

站点	水深 (m)	测量深度 (m)	噪声功率谱密度级 (dB)															
			630 Hz	800 Hz	1k Hz	1.25k Hz	1.6k Hz	2k Hz	2.5k Hz	3.15k Hz	4k Hz	5k Hz	6.3k Hz	8k Hz	10k Hz	12.5k Hz	16k Hz	20k Hz
S1	41.5	5	77	75	74	72	69	72	71	71	72	76	67	75	68	74	73	
		25	87	86	84	82	81	81	78	75	73	81	75	73	75	77	74	73
		37	80	78	75	71	71	71	68	66	66	65	63	63	64	61	60	58
S2	41.8	5	77	77	78	76	72	75	72	73	72	69	71	70	65	62	65	
		25	95	93	89	87	87	85	85	80	82	75	79	75	75	76	78	79
		37	89	88	87	83	75	80	80	75	77	78	75	75	68	72	78	71
S3	41.9	5	89	86	84	81	78	76	81	82	74	76	79	71	78	73	76	72
		25	93	90	86	84	83	84	85	81	78	83	80	78	80	79	76	72
		37	91	89	86	79	74	81	78	73	72	75	73	72	65	71	74	71
S4	42.1	5	84	78	83	82	71	76	74	71	73	71	73	72	67	63	73	65
		25	84	76	83	81	77	78	77	74	74	72	72	70	76	72	71	74
		37	80	78	81	79	76	78	74	71	69	73	73	73	70	74	71	73
S5	41.7	5	83	78	83	80	76	77	77	73	73	71	72	71	70	67	68	64
		25	78	78	77	77	78	73	74	73	76	75	72	70	75	68	74	68
		37	79	78	80	77	74	74	73	70	74	70	71	70	71	75	67	72
S6	42.0	5	81	79	80	78	78	78	73	69	72	70	70	76	68	73	73	71
		25	89	87	85	81	79	78	75	73	75	76	73	72	72	74	71	75
		37	75	76	73	72	69	71	65	63	61	62	59	60	60	59	59	58
S7	42.3	5	93	91	88	82	78	83	80	76	77	75	73	73	67	71	65	71
		25	79	74	73	73	69	70	68	70	65	67	66	66	70	70	68	55
		37	84	81	79	77	74	71	70	68	62	61	60	59	59	59	58	58
S8	43.9	5	88	84	82	80	77	79	76	73	72	71	75	75	74	71	70	70
		26	83	80	76	75	68	69	66	63	63	63	63	62	62	61	59	57
		39	92	90	88	82	74	81	78	73	74	77	73	72	74	74	71	69
S9	40.7	5	84	79	77	73	74	74	74	76	72	72	72	67	69	69	66	69
		24	90	86	87	85	68	81	76	71	74	77	75	78	72	69	70	74
		36	80	80	78	77	74	72	75	76	75	69	74	74	74	75	71	72

表 5.9.3-9a 冬季工程海域水下声环境监测结果-频程频带声压级 (L_{ps})

站位	水深 (m)	测量深度 (m)	1/3oct.频程频带声压级 (dB)															
			20Hz	25Hz	31.5Hz	40Hz	50Hz	63Hz	80Hz	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	
S1	41.0	5	120	117	113	113	109	107	119	114	107	101	97	93	93	96	91	
		25	121	118	112	108	106	119	114	106	100	98	92	92	93	96	91	
		36	119	116	113	109	108	120	116	110	102	98	95	95	100	92		
S2	41.2	5	119	121	124	122	115	110	118	111	105	103	99	94	96	98	92	
		25	118	116	118	118	113	108	119	111	105	102	99	95	95	94	92	
		36	118	115	112	113	109	108	119	111	105	103	99	96	95	93	92	
S3	41.1	5	118	116	118	118	113	108	119	111	105	102	99	95	95	94	92	
		25	118	115	112	113	109	108	119	111	105	103	99	96	95	93	92	
		36	119	114	113	113	109	107	118	110	104	102	98	94	94	94	92	
S4	41.6	5	122	119	113	113	108	107	120	118	108	101	98	93	95	99	91	
		25	122	120	118	117	115	114	123	120	117	114	107	104	97	100	97	
		37	120	116	113	110	107	109	123	119	108	99	98	94	95	98	91	
S5	42.0	5	117	117	117	115	110	107	118	110	106	105	100	98	97	99	92	
		25	117	117	118	115	110	107	117	108	104	104	99	97	96	96	92	
		37	116	118	120	117	110	108	118	110	104	105	100	99	97	98	92	
S6	41.8	5	121	118	114	113	110	109	120	116	110	102	98	94	95	100	91	
		25	122	116	116	114	110	108	117	114	109	99	98	95	95	96	92	
		37	120	116	113	112	107	105	114	110	105	97	97	93	94	93	91	
S7	42.1	5	116	115	116	115	108	107	119	119	110	98	96	91	94	98	90	
		25	122	120	118	117	111	109	121	119	110	100	98	93	95	100	91	
		37	117	116	117	114	109	108	121	116	110	100	97	94	95	97	91	
S8	43.2	5	116	114	116	115	109	106	114	111	105	99	97	92	92	95	91	
		26	116	114	114	114	112	106	114	111	105	103	97	93	93	93	92	
		38	120	117	114	111	109	108	111	110	110	107	97	92	92	92	92	
S9	40.7	5	117	116	115	112	110	108	121	116	110	101	98	93	94	97	91	
		24	118	116	115	113	109	108	122	118	110	102	98	94	94	98	92	
		36	118	117	118	115	109	109	122	115	109	102	98	94	95	98	92	

表 5.9.3-9b 冬季工程海域水下声环境监测结果-频程频带声压级 (L_{ps})

站 位	水深 (m)	测量深度 (m)	1/3oct. 频程频带声压级 (dB)															
			630 Hz	800 Hz	1k Hz	1.25k Hz	1.6k Hz	2k Hz	2.5k Hz	3.15k Hz	4k Hz	5k Hz	6.3k Hz	8k Hz	10k Hz	12.5k Hz	16k Hz	20k Hz
S1	41.0	5	90	89	89	89	90	89	88	88	87	87	87	88	88	90	90	89
		25	90	89	89	89	90	89	88	88	87	87	87	87	88	89	89	87
		36	92	91	90	90	91	90	89	88	89	88	88	89	89	91	91	90
S2	41.2	5	90	90	89	89	90	89	88	88	88	88	89	89	90	92	92	90
		25	90	90	89	89	90	89	88	88	88	88	89	89	90	92	92	90
		36	90	90	89	89	90	89	88	88	88	87	88	89	89	92	92	90
S3	41.1	5	90	90	89	89	90	89	88	88	88	88	89	89	90	92	92	90
		25	90	90	89	89	90	89	88	88	88	87	88	89	89	92	92	90
		36	91	90	89	89	90	89	88	88	89	88	89	90	91	93	93	91
S4	41.6	5	90	90	89	89	89	88	88	87	87	87	87	88	88	89	89	88
		25	91	90	90	89	90	92	88	87	87	87	86	86	87	88	88	87
		37	91	90	89	89	90	89	88	88	88	87	87	88	88	90	91	89
S5	42.0	5	90	89	89	89	91	90	87	87	87	87	87	88	88	89	89	88
		25	90	89	89	89	90	89	87	87	87	86	86	87	88	89	90	88
		37	91	90	90	90	93	91	88	88	88	87	87	88	88	90	90	88
S6	41.8	5	90	90	89	89	90	89	88	88	88	87	87	88	88	90	90	88
		25	92	92	92	91	91	90	89	89	89	88	88	90	90	91	91	89
		37	92	91	90	90	91	90	89	88	89	88	88	88	88	89	89	88
S7	42.1	5	90	90	89	90	91	90	88	88	89	87	87	87	87	88	88	86
		25	91	91	90	90	91	89	88	87	88	87	86	87	87	88	88	87
		37	92	92	91	91	91	90	89	89	89	88	88	88	89	90	90	89
S8	43.2	5	91	91	90	91	91	90	89	89	89	88	89	89	89	90	90	89
		26	92	93	91	91	92	90	89	89	89	88	88	88	88	89	90	88
		38	94	94	90	90	91	89	89	88	88	87	87	88	88	89	89	87
S9	40.7	5	90	90	89	89	90	89	88	88	88	88	89	90	91	92	91	90
		24	90	90	89	89	90	89	88	88	88	87	88	88	89	90	90	89
		36	91	90	90	90	90	89	88	88	88	88	88	90	90	92	91	90

表 5.9.3-10a 冬季工程海域水下声环境监测结果-噪声功率谱密度级

站位	水深 (m)	测量深度 (m)	噪声功率谱密度级 (dB)														
			20Hz	25Hz	31.5Hz	40Hz	50Hz	63Hz	80Hz	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz
S1	41.0	5	113	109	105	104	99	95	105	98	93	88	80	75	75	73	70
		25	115	110	103	101	96	94	106	96	92	88	78	75	74	74	69
		36	113	109	106	103	98	95	108	100	97	88	81	77	76	79	71
S2	41.2	5	113	113	116	112	104	97	105	95	90	87	82	77	76	73	72
		25	112	109	110	108	101	97	109	97	91	88	83	77	78	73	71
		36	111	108	104	104	99	95	109	96	91	89	83	80	78	73	72
S3	41.1	5	112	109	110	108	101	97	109	97	91	88	83	77	78	73	71
		25	111	108	104	104	99	95	109	96	91	89	83	80	78	73	72
		36	111	106	103	104	97	95	109	94	90	89	82	77	74	73	71
S4	41.6	5	116	112	104	103	98	94	106	101	95	84	81	76	75	79	70
		25	115	113	108	108	104	102	108	105	103	98	93	87	74	78	76
		37	114	109	104	100	97	96	108	104	89	83	79	76	75	76	70
S5	42.0	5	110	109	109	104	100	95	106	92	90	88	83	81	75	74	72
		25	111	109	109	105	100	95	106	91	90	89	83	79	74	74	71
		37	109	110	113	103	100	95	108	93	89	92	84	79	76	78	72
S6	41.8	5	115	110	105	103	97	96	107	101	95	84	80	76	77	78	71
		25	115	108	106	104	99	97	102	98	94	83	81	76	77	77	71
		37	113	107	105	103	96	92	101	91	92	80	79	75	73	73	70
S7	42.1	5	109	108	107	106	97	96	107	103	93	81	79	73	75	73	69
		25	114	113	109	106	100	97	108	103	94	84	80	76	76	77	71
		37	110	109	110	103	99	95	108	101	97	84	81	76	76	74	71
S8	43.2	5	110	106	107	107	98	94	101	93	91	84	79	75	73	78	70
		26	110	106	106	106	98	94	98	95	90	91	80	75	75	73	71
		38	113	109	106	99	99	95	95	91	96	90	80	75	73	72	72
S9	40.7	5	110	109	106	102	100	96	107	100	96	84	79	76	74	72	71
		24	110	108	107	104	98	96	108	99	97	86	80	75	76	74	71
		36	112	109	109	104	98	96	110	100	94	85	80	77	75	78	71

表 5.9.3-10b 冬季工程海域水下声环境监测结果-噪声功率谱密度级

站点	水深 (m)	测量深度 (m)	噪声功率谱密度级 (dB)															
			630 Hz	800 Hz	1k Hz	1.25k Hz	1.6k Hz	2k Hz	2.5k Hz	3.15k Hz	4k Hz	5k Hz	6.3k Hz	8k Hz	10k Hz	12.5k Hz	16k Hz	20k Hz
S1	41.0	5	69	67	65	65	64	62	61	59	59	56	55	56	54	55	55	52
		25	68	67	65	65	65	63	60	59	58	56	55	55	53	54	54	51
		36	71	67	66	65	66	63	61	61	59	57	56	55	55	56	56	53
S2	41.2	5	70	68	65	65	65	62	61	60	59	56	57	56	56	56	57	54
		25	69	67	65	65	64	62	60	59	58	57	56	56	56	58	57	54
		36	69	67	66	65	64	62	60	59	59	57	56	56	55	55	55	53
S3	41.1	5	69	67	65	65	64	62	60	59	58	57	56	56	56	58	57	54
		25	69	67	66	65	64	62	60	59	59	57	56	56	55	55	55	53
		36	71	67	65	64	65	62	61	60	59	57	58	58	57	57	57	53
S4	41.6	5	68	67	65	65	64	61	60	58	58	56	55	55	56	53	53	53
		25	68	67	66	66	64	67	60	58	58	56	54	54	53	52	52	50
		37	69	68	65	64	63	62	60	60	59	56	55	54	55	55	54	53
S5	42.0	5	68	67	65	64	65	63	60	58	57	55	56	54	55	55	53	51
		25	69	66	65	65	65	62	60	58	57	56	54	54	53	54	54	51
		37	70	68	67	66	68	65	61	60	58	57	56	55	54	55	55	52
S6	41.8	5	68	67	65	64	64	62	60	59	58	55	56	56	54	55	55	52
		25	71	70	69	67	65	63	62	61	60	57	57	57	55	56	55	51
		37	70	68	66	65	66	63	61	60	60	56	57	55	54	54	54	51
S7	42.1	5	68	67	66	66	64	64	61	59	60	56	54	54	54	53	53	50
		25	70	68	66	65	65	62	60	59	58	56	55	53	53	53	54	51
		37	70	69	67	65	66	64	62	60	59	57	57	56	55	55	55	52
S8	43.2	5	69	68	67	66	65	63	62	60	60	58	58	57	56	55	54	52
		26	70	71	67	65	66	63	62	60	60	57	57	55	55	55	54	52
		38	72	72	66	65	66	63	62	59	59	56	56	55	56	55	54	50
S9	40.7	5	69	67	65	65	65	62	62	59	59	57	57	57	56	57	56	53
		24	69	67	65	65	64	62	61	59	58	57	56	56	56	55	56	52
		36	69	68	65	64	65	62	61	60	59	56	56	57	56	57	55	50

5.10 中华白海豚环境现状调查与评价

5.10.1 调查概况

为了解项目周边中华白海豚及其他鲸类情况，编制单位委托中国水产科学研究院南海水产研究所开展中华白海豚及其他鲸类调查。

江门川岛海上风电项目中华白海豚监测分为近岸区（中华白海豚定居区）和离岸区（中华白海豚常规分布范围之外）两部分（图 5.10.1-1），目前已于 2024 年 2 月~9 月完成了近岸区 4 个航次和离岸区 2 个航次的截线调查。

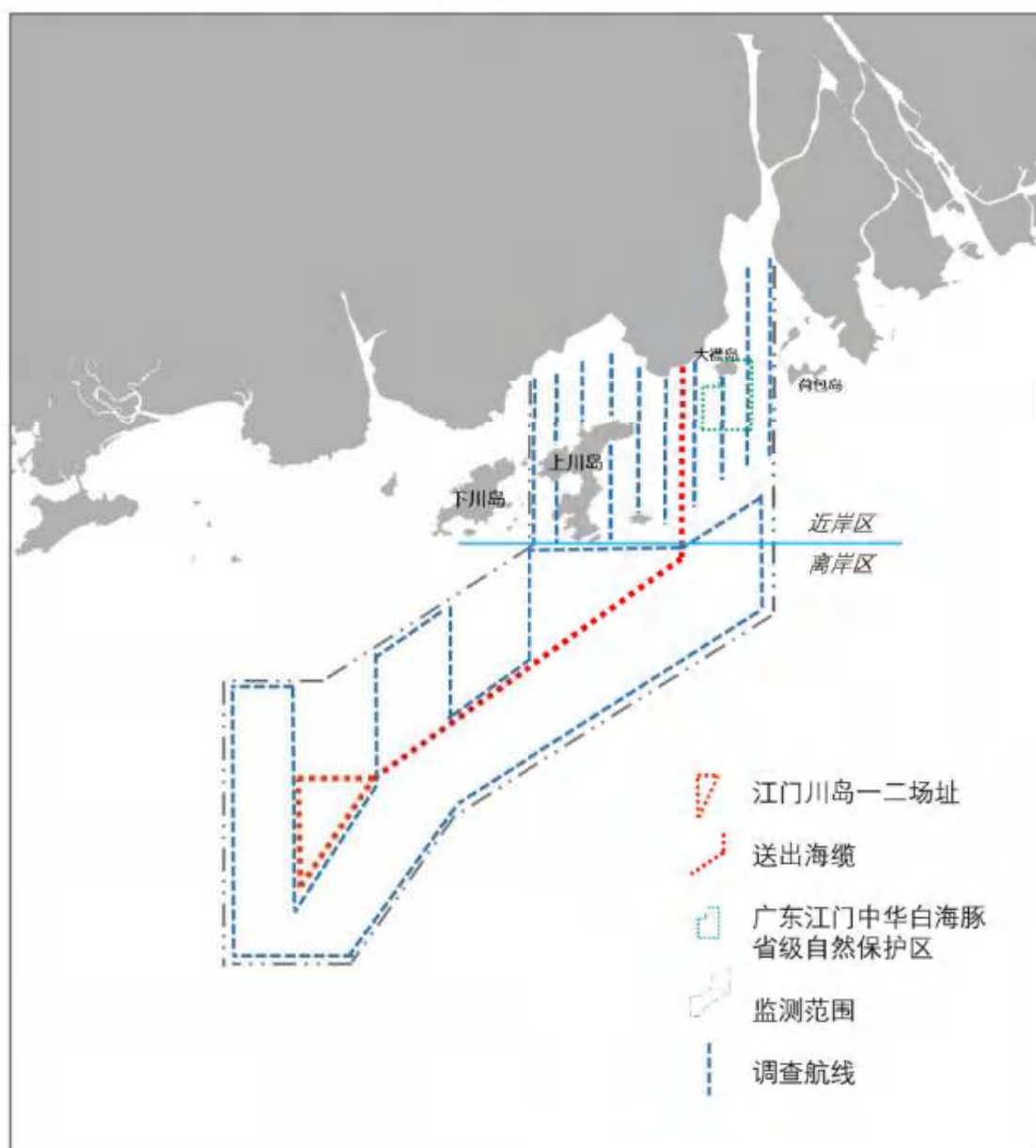


图 5.10.1-1 中华白海豚（及其他鲸类）种群监测范围示意图

近岸区：分别于 2024 年 2 月、5 月、7 月和 9 月各开展了 1 个航次的截线考查

(表 5.10.1-1), 累计航程为 1025.2 km, 其中正式截线观测距离为 707.4 km, 在优良海况 (蒲福海况 ≤ 3 级) 下载线测距离为 590.1 km, 占比达 83.4%。共目击中华白海豚 27 群次 (合计 299 头次), 其中 20 群次 (合计 200 头次) 为正式截线观测中目击, 7 群次 (合计 99 头次) 为非截线观测中目击。

表 5.10.1-1 江门川岛海上风电近岸区中华白海豚截线考察各航次数据统计

航次	正式观测截线长度/km		目击海豚/群次		目击海豚/头次		海豚目击率 (0-3 级)	
	所有	0-3 级	所有	0-3 级	所有	0-3 级	群/100km	头/100km
2024.02	191.88	150.92	7	6	35	33	4.0	21.9
2024.05	183.81	148.60	5	2	106	49	1.3	33.0
2024.07	159.87	123.23	6	4	106	67	3.2	54.4
2024.09	171.80	167.30	9	8	52	51	4.8	30.5
合计	707.36	590.05	27	20	299	200	3.4	33.9

离岸区: 分别于 2024 年 6 月和 9 月各开展了 1 个航次的截线考查 (表 5.10.1-2), 累计航程为 1084.1km, 其中正式截线观测距离为 967.3km, 在优良海况 (蒲福海况 ≤ 3 级) 下载线测距离为 910.2km, 占比达 94.1%。共目击印太江豚 5 群次 (合计 10 头), 瓶鼻海豚 1 群次 (合计 7 头), 未知鲸类 1 群次 (1 头), 未目击到中华白海豚。

表 5.10.1-2 江门川岛海上风电离岸区鲸类截线考察各航次数据统计

航次	正式观测截线长度/km	目击中华白海豚/群次 (头次)	目击印太江豚/群次 (头次)	目击瓶鼻海豚/群次 (头次)	目击其他鲸类/群次 (头次)
2024.06	462.7	0	2 (6)	0	0
2024.09	504.6	0	3 (4)	1 (7)	1 (1)
合计	967.3	0	5 (10)	1 (7)	1 (1)

5.10.2 整体目击分布特征

江门川岛海上风电项目海域近岸区 4 个航次和离岸区 2 个航次的截线抽样调查中目击到的鲸类分布如图 5.10.2-1 所示。在调查的近岸区 (送出海缆近岸海域) 发现有中华白海豚、印太江豚和瓶鼻海豚的分布, 中华白海豚分布于台山赤溪镇南部近岸、崖门口、大襟岛周围和上川岛西北海域; 印太江豚分布于大襟岛东南、上川岛东面和下川岛南面较深的海域, 栖息地与中华白海豚有一定的生态位分离; 目击到的一群瓶鼻海豚在离上川岛南较远的海域。

在调查的离岸区 (江门川岛一、二海上风电场址、以及送出海缆离岸海域) 未发现中华白海豚和印太江豚等, 但在川岛一场址西南海域目击到一头鲸类, 由于发现时天色已晚且距离较远, 未确认种类。

综上, 本项目风电场址及评价范围内未观测到中华白海豚和印太江豚的出现。

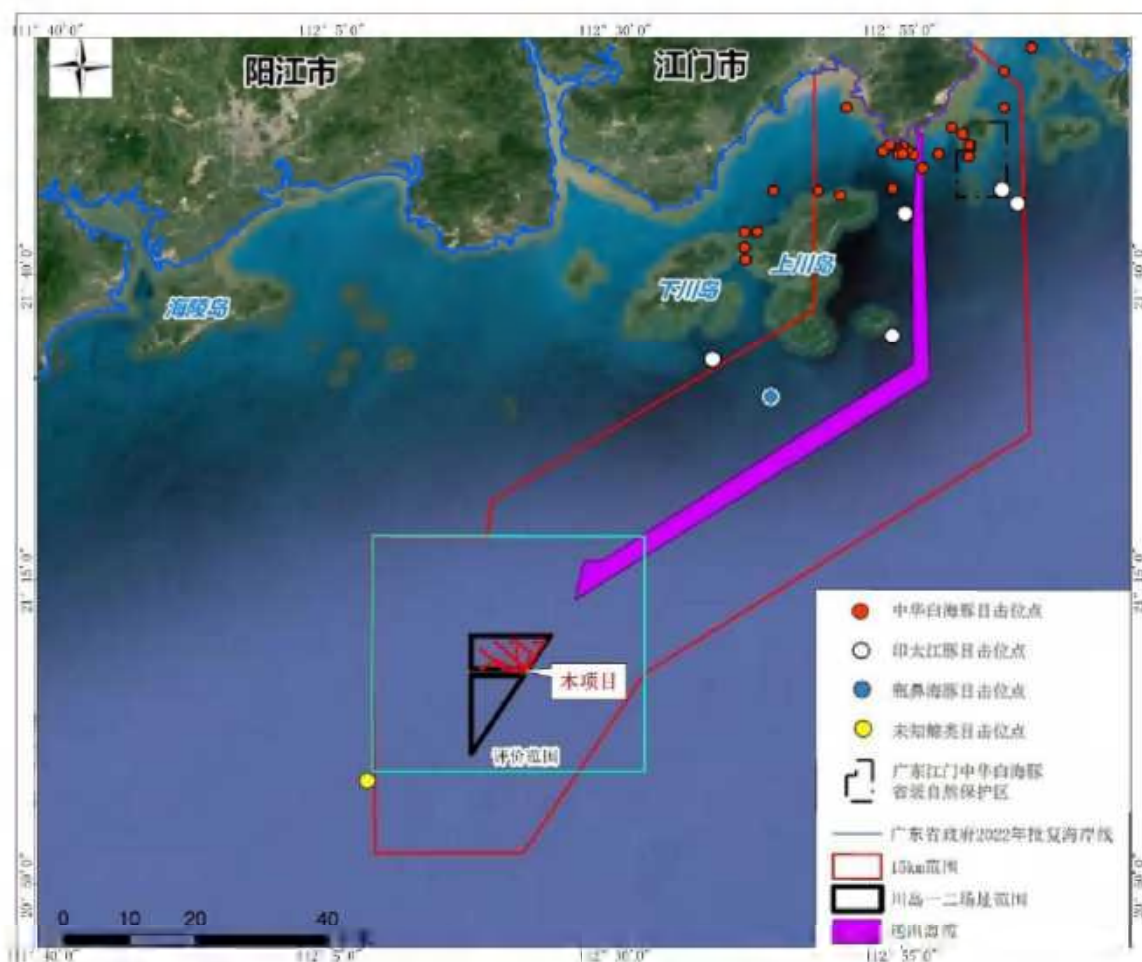


图 5.10.2-1 江门川岛海上风电海域中华白海豚及其他鲸类目击位置

5.11 大气环境质量现状调查与评价

根据《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2018)中 6.2.1.1 项目所在区域达标判定,基本污染物环境质量现状数据优先采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的评价基准年环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论。本评价基本污染物因子引用江门市生态环境局公布的《2024 年江门市生态环境质量状况公报》(https://www.jiangmen.gov.cn/bmpd/jmsssthjj/hjzl/ndhjzkgb/content/post_3273685.html)中相关数据,具体如下:

2024 年度,江门市环境空气质量较去年同比改善,综合指数改善 0.6%;空气质量优良天数比例为 88.0%,同比上升 2.2 个百分点,其中优天数比率为 51.6% (189 天),良天数比率为 36.3% (133 天),轻度污染天数比例为 10.7% (39 天)、中度污染天数比例为 1.4% (5 天),无重度及以上污染天气。首要污染物为臭氧,其作为每日首要污染物的天数比例为 74.3%, NO_2 、 PM_{10} 及 $\text{PM}_{2.5}$ 作为首要污染物的天数比率

分别为 11.7%、5.0%、9.0%。PM_{2.5} 平均浓度为 23 微克/立方米，同比上升 4.5%；PM₁₀ 平均浓度为 39 微克/立方米，同比下降 4.9%；SO₂ 平均浓度为 6 微克/立方米，同比持平；NO₂ 平均浓度为 25 微克/立方米，同比持平；CO 日均值第 95 百分位浓度平均为 0.9 毫克/立方米，同比持平；O₃ 日最大 8 小时平均第 90 百分位浓度平均为 170 微克/立方米，同比下降 1.2%。江门市空气质量综合指数在全国 168 个重点城市中保持在前 30 位。

表 5.11-1 区域空气质量现状评价表

污染物	评价指标	现状浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	过渡阶段浓度 限值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)	达标情况
PM _{2.5}	年平均质量浓度	23	30	76.7	达标
PM ₁₀	年平均质量浓度	39	60	65.0	达标
SO ₂	年平均质量浓度	6	60	10.0	达标
NO ₂	年平均质量浓度	25	40	62.5	达标
CO	日均值第 95 百分位浓度	900	4000	22.5	达标
O ₃	日最大 8 小时平均第 90 百分位浓度	170	160	106.25	不达标

由上表可知，PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 五项污染物监测数据达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）的过渡阶段浓度限值二级标准的要求，O₃未达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）的过渡阶段浓度限值二级标准要求，属于不达标区。

6 环境影响预测与评价

6.1 水文动力环境影响预测与评价

6.1.1 三维水动力模式

6.1.1.1 基本方程

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

(1) 控制方程

①连续方程

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

②动量方程

$$\frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial uwD}{\partial \sigma} - f_v D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_M}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right]$$

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

$$\frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial uvD}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial vwD}{\partial \sigma} + f_u D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{A_M}{D} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right]$$

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

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

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

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

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

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

其中：

x、y、z—坐标系三个分量；

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

u — x 方向（东方向）流速（m/s）；

v — y 方向（北方向）流速（m/s）；

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

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

f —科氏参数；

g —重力加速度；

A_H —水平湍流粘滞系数，采用 Smagorinsky 公式计算；

A_M —垂直湍流粘滞系数，由求解双方程湍动能封闭模型求得；

ρ_0 为参考密度，取 1025 kg/m^3 ；

ρ 为海水密度，由海水状态方程计算。

（2）温盐输运扩散方程为：

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

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

（3）初始条件

初始速度场、水位场（开边界除外）均为 0。

（4）边界条件

①在自由表面上（ $\sigma = 0$ ）：

$$w(0) = 0$$

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

②在海底（ $\sigma = -1$ ）：

$$w(-1) = 0$$

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

③侧边界条件：

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

外海开边界潮位主要考虑十个分潮，包括四个半日分潮（ M_2 、 S_2 、 N_2 和 K_2 ）、

四个全日分潮（ K_1 、 O_1 、 P_1 和 Q_1 ）和两个浅水分潮（ M_4 、 MS_4 ），由TPXO全球潮汐模型计算获得开边界中每个网格点的调和常数，并用实测资料对其进行了修正后得到开边界中每个网格点的潮位序列。

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

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

④干湿边界

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

（5）计算方法

对笛卡儿坐标系下的控制方程的归一化：

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

其中：

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

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

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

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

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：

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

6.1.1.2 模型搭建及地形处理

(1) 模型搭建

水动力模块包含两个模态，即内模态和外模态，在进行计算时，外模态忽略垂向结构，考虑水平对流和扩散，计算二维变量。内模态三维水动力模型考虑垂向分层使用 Sigma 坐标，模型层数分为 5 层，计算三维变量，按稳定性要求 $\frac{\Delta t}{2} < \frac{\alpha \Delta s}{\sqrt{gH_{max}}}$ ， $\alpha=1\sim3$ ，水流数学模型的计算步长为动态时间步长，取 0.1s~30s。

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

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

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

本项目的风电机组全部为四桩导管架基础，桩径 3.5m，其对潮流的影响表现为群桩对水流的影响。风机对水流的影响通过拖曳力模拟，拖曳力 F 可表示为：

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

其中 ρ_w 是水的密度， C_D 是拖曳系数， A_e 为受潮流影响的桩基基础面积， V 是潮流流速。其中，每台风机分别考虑四个桩基基础的阻水作用，根据每个桩基桩径3.5m以及项目区域平均水深45.2m，得出每个桩基的阻水断面面积约158.2m²。

本项目拟布设23台风电机组，均采用四桩导管架基础（桩径3.5m），其对潮流的影响主要体现为群桩绕流效应。桩群绕流数值模拟常用概化模拟与直接模拟两类方法。直接模拟需将桩群刻画为固边界计算，但因项目海域计算范围达100000m以上，而桩径仅3.5m，尺度差异悬殊，易导致网格数量庞大、计算耗时过长，建模难度较高。因此，工程中多采用概化模拟方法表征群桩影响，具体包括群桩区域糙率调整、阻水面折算为水底地形、方程中引入群桩阻力项等方式。结合相关研究成果：解鸣晓等在《桩群数值模拟中的概化方法研究》中通过对比验证，认为等效阻力项引入法模拟效果更优；邓绍云等在《圆柱桩群阻力特性及其对底床冲淤影响的研究》中利用二维数学模型完成了群桩阻力项的专项研究。综上，本项目采用拖曳力模拟方法分析风机桩基对水动力的影响具备合理性。

模型求解采用非结构网格中心网格有限体积法求解，其优点为计算速度较快，非结构网格可以拟合复杂地形。从外海至近岸海域区网格尺寸逐渐减小，其中近岸海域网格尺寸为50~100m，外海网格尺度约1km。工程海域附近网格进行局部加密，最小网格尺寸约30m。模型网格图见图6.1.1-1。模型计算时间为2024年6月15日0:00~2024年7月2日0:00。

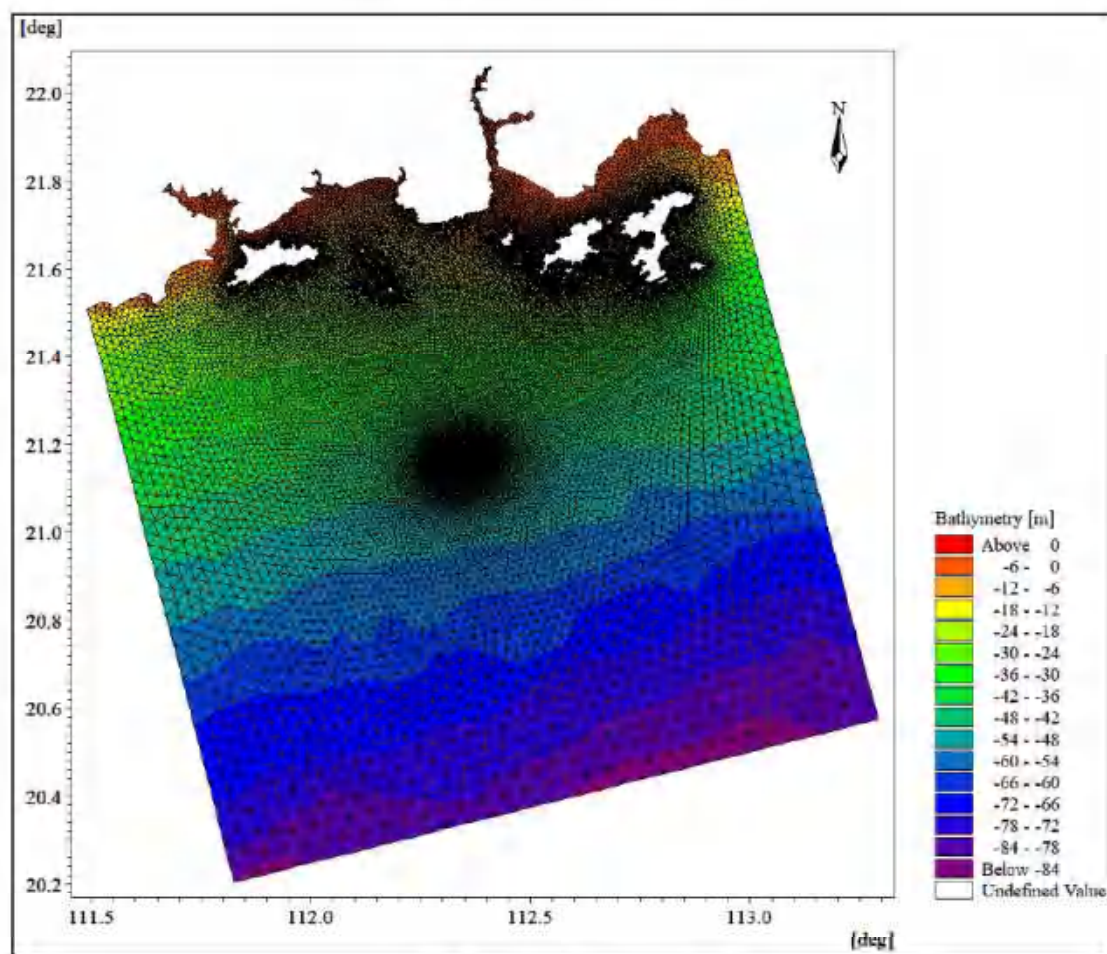


图 6.1.1-1 模型计算范围

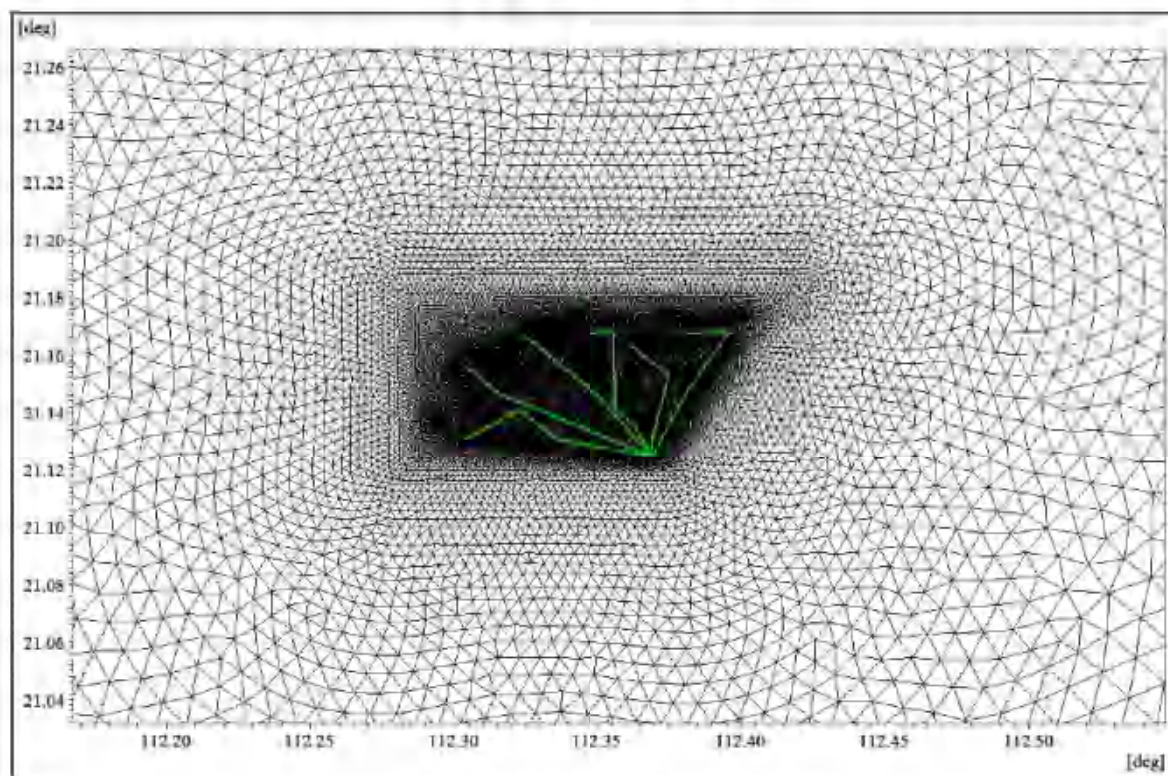


图 6.1.1-2 项目附近海域网格加密

(2) 水深地形与风场资料

数学模型计算时，依据中华人民共和国海事局出版海图（85001 上川岛至海陵岛，1: 150000，2012 年）融合 ETOP1 全球地形数据库水深资料以及项目区实测水下地形确定水深，并将水深统一换算至 1985 国家高程基准。采用三角插值的方法将高程散点插值到各网格节点。

模型风场数据采用 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 的 ERA5 再分析逐时资料（ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present (copernicus.eu)）插值到对应网格。根据模型计算时段对应风场数据统计，项目所在海域风速在 5m/s~11m/s，平均风速为 6.6m/s，风向主要在 SW~SE 之间变化。

(3) 边界处理

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

6.1.1.3 模型验证

(1) 验证资料

利用《中广核江门川岛一海上风电项目附近海域大潮期海洋水文测验技术报告》（广州海兰图检测技术有限公司，2024 年 7 月）中潮位、流速、流向等实测资料进行模型验证，包括 6 个水文站位（CDL5、CDL6、CDL7、CDL8、CDL9、CDL10）和 3 个潮位观测站位（CDC1、CDC2 和 CDC3 站位），站位位置见图 6.1.1-3。

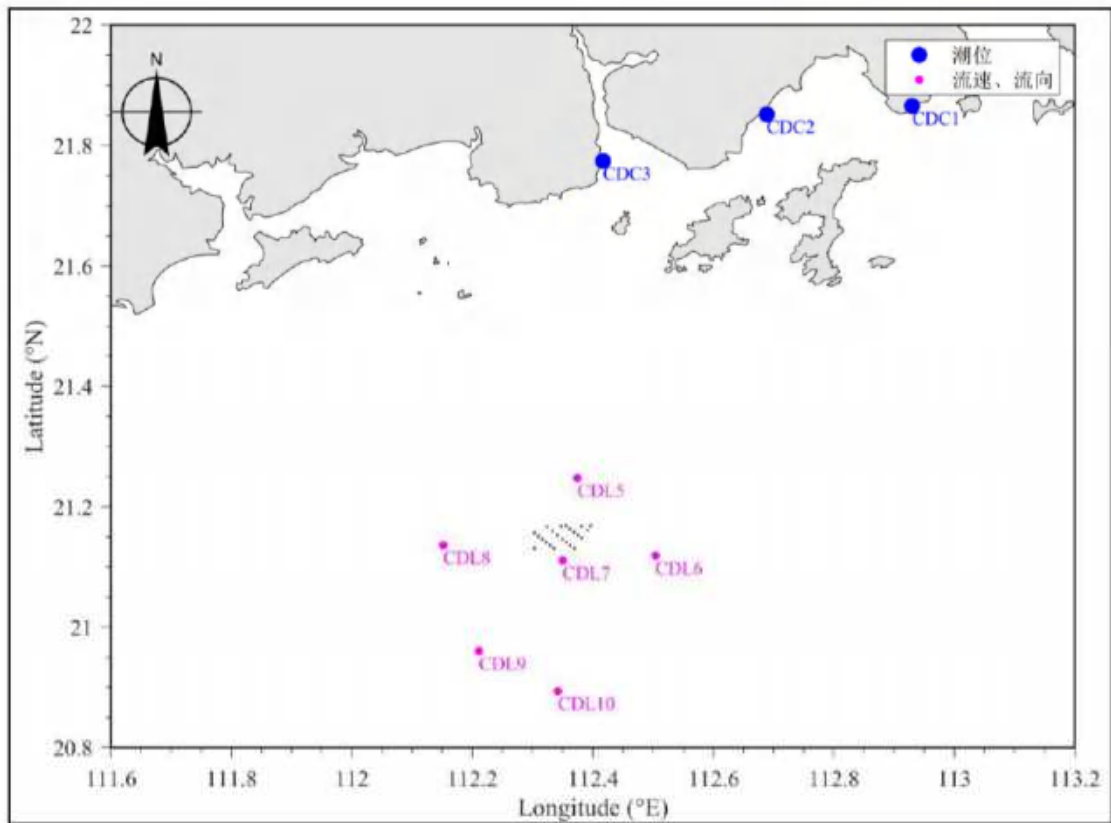


图 6.1.1-3 项目附近海域水文调查站位图

(2) 验证结果

各潮位站潮位以及流速过程验证结果见下图。验证结果表明：潮位站和流速点的计算潮位、流速、流向和实测值基本吻合，个别站点计算流速与实测流速的误差稍大（可能由于地形资料和边界条件的偏差引起），所建立的工程范围海域潮流数学模型合理可信，基本反映了项目所在海域整体的潮流运动规律；工程海域潮流点的计算流速、流向和实测值吻合较好，相位差基本控制在 0.5h 以内，流速值的相对误差基本在 10%以内，表明所建模型能够反映项目所在海域潮流的变化特征，可用于模拟研究工程实施造成的水动力变化情况。

①潮位验证

潮位验证结果见图 6.1.1-4～图 6.1.1-6。

表 6.1.1-1 各个站点潮位验证总体偏差表（单位：m）

站位	CDC1	CDC2	CDC3
绝对平均误差	0.0778	0.0860	0.0964

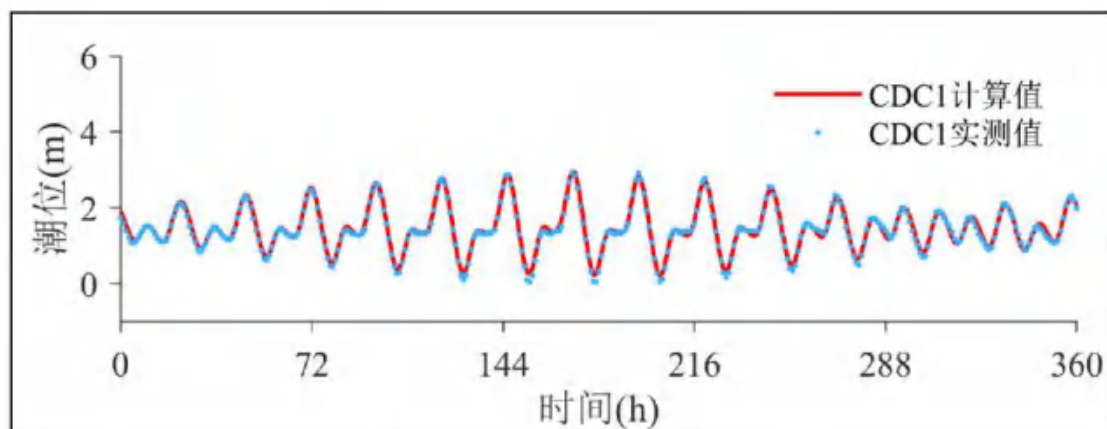


图 6.1.1-4 CDC1 站潮位验证曲线

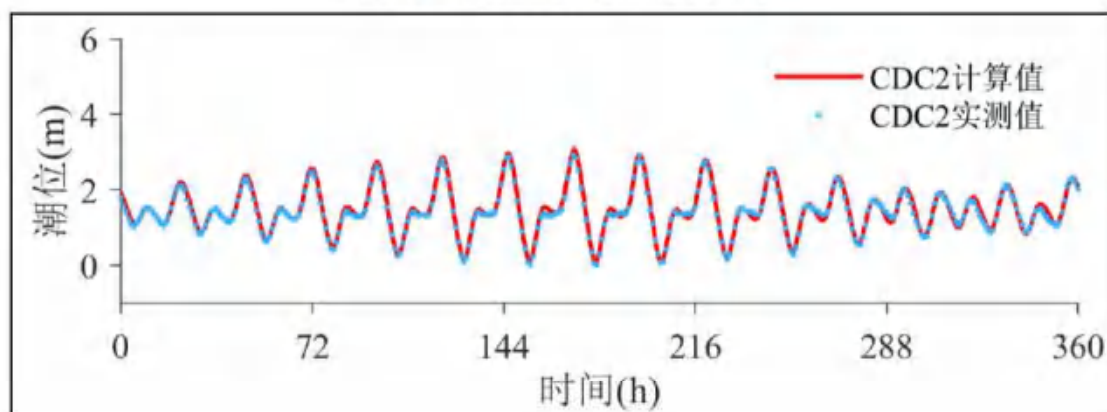


图 6.1.1-5 CDC2 站潮位验证曲线

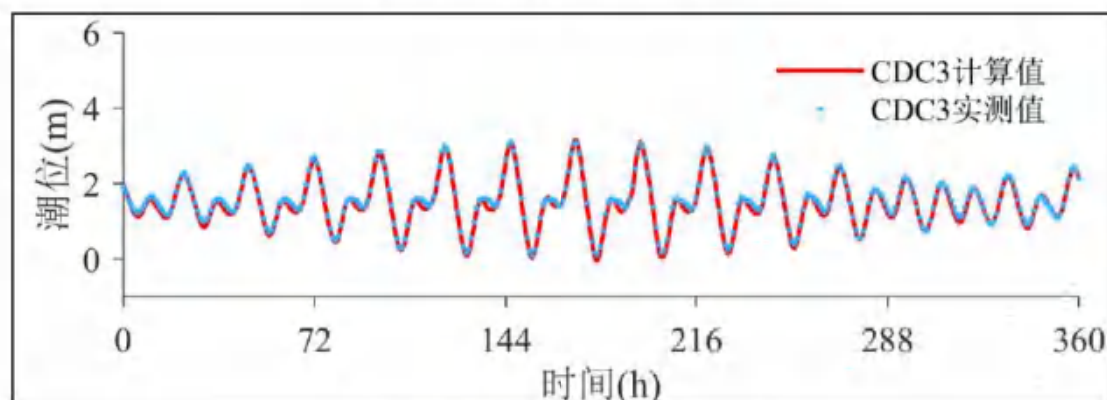


图 6.1.1-6 CDC3 站潮位验证曲线

②流速流向结果验证

流速流向验证结果见图 6.1.1-7~图 6.1.1-13。模型计算站位流向与实测流向基本吻合，仅个别站点在转流时刻附近出现一定偏差，站点的模型计算流速与实测流速量值基本吻合。

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

等方面预测计算的基础。

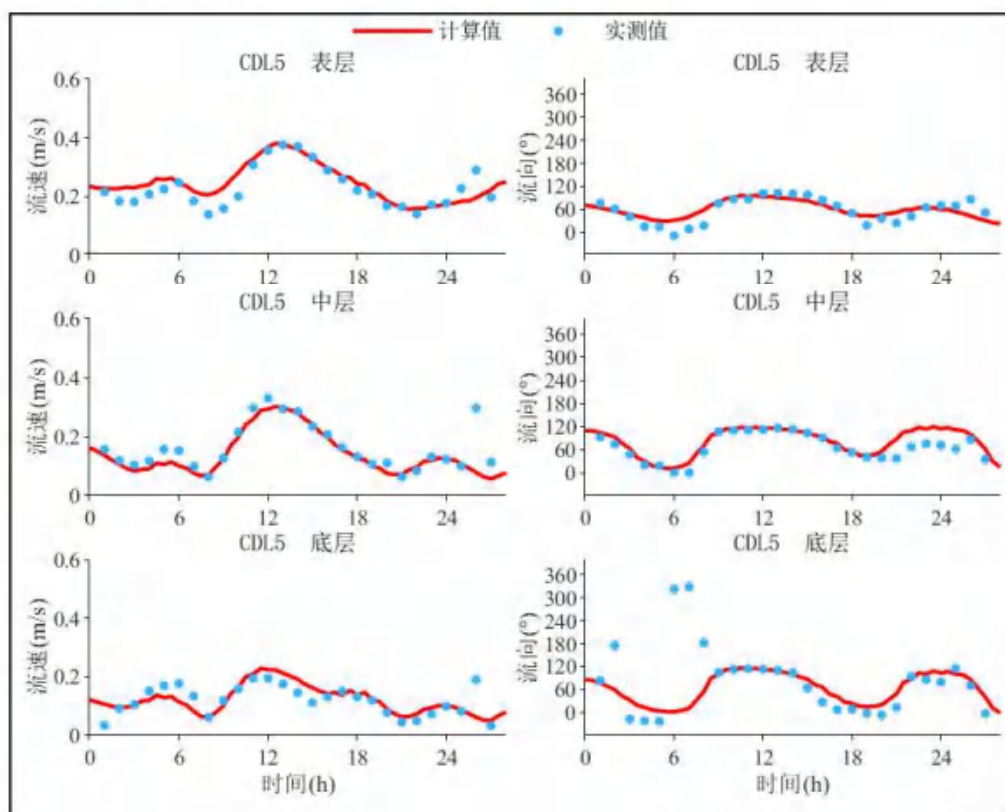


图 6.1.1-7 CDL5 站流速、流向验证（表、中、底层）（2024 年 6 月 19 日 17:00~20 日 19:00）

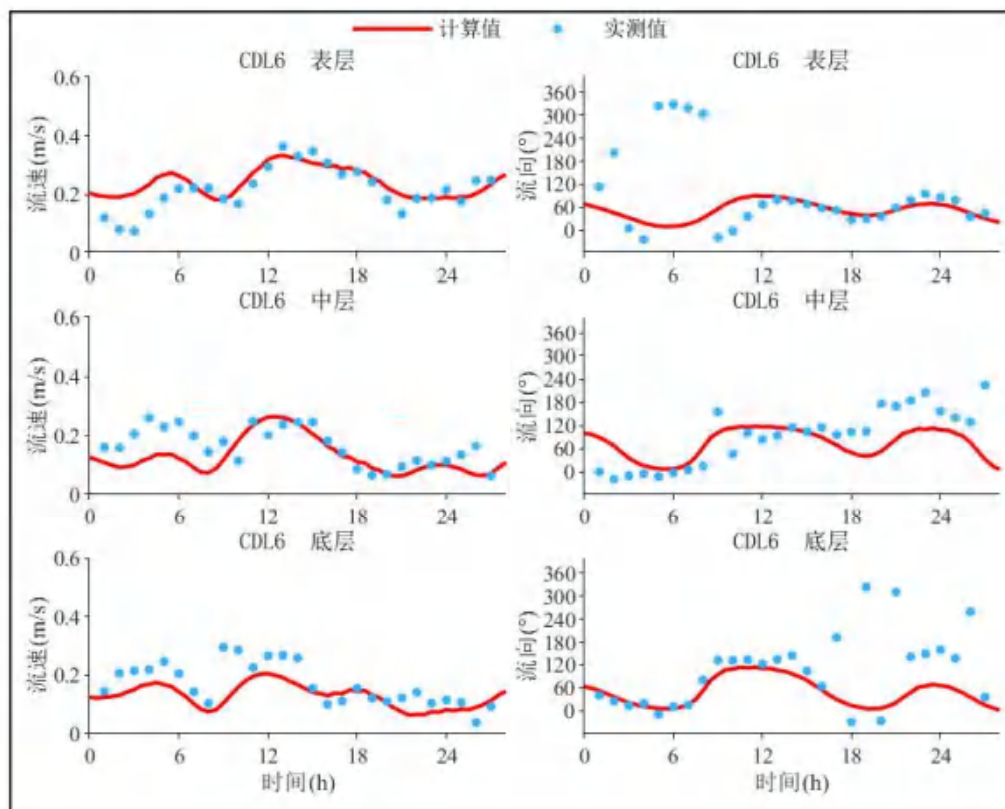


图 6.1.1-8 CDL6 站流速、流向验证（表、中、底层）（2024 年 6 月 19 日 17:00~20 日 19:00）

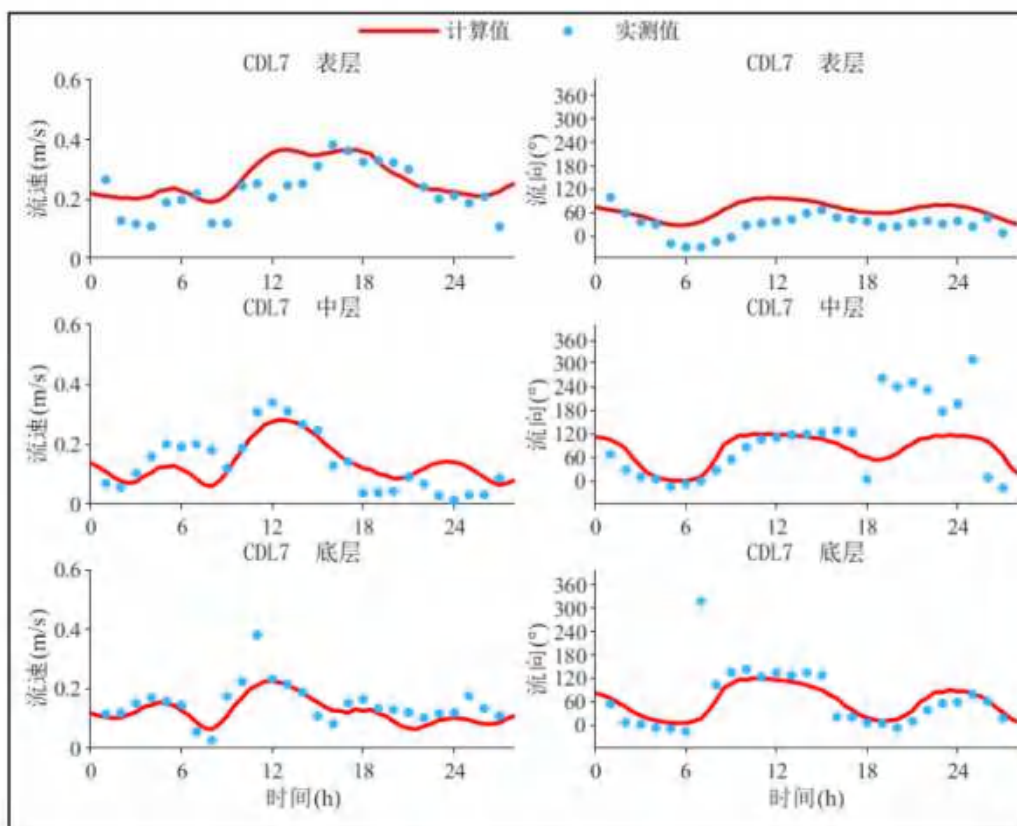


图 6.1.1-9 CDL7 站流速、流向验证（表、中、底层）（2024 年 6 月 19 日 17:00~20 日 19:00）

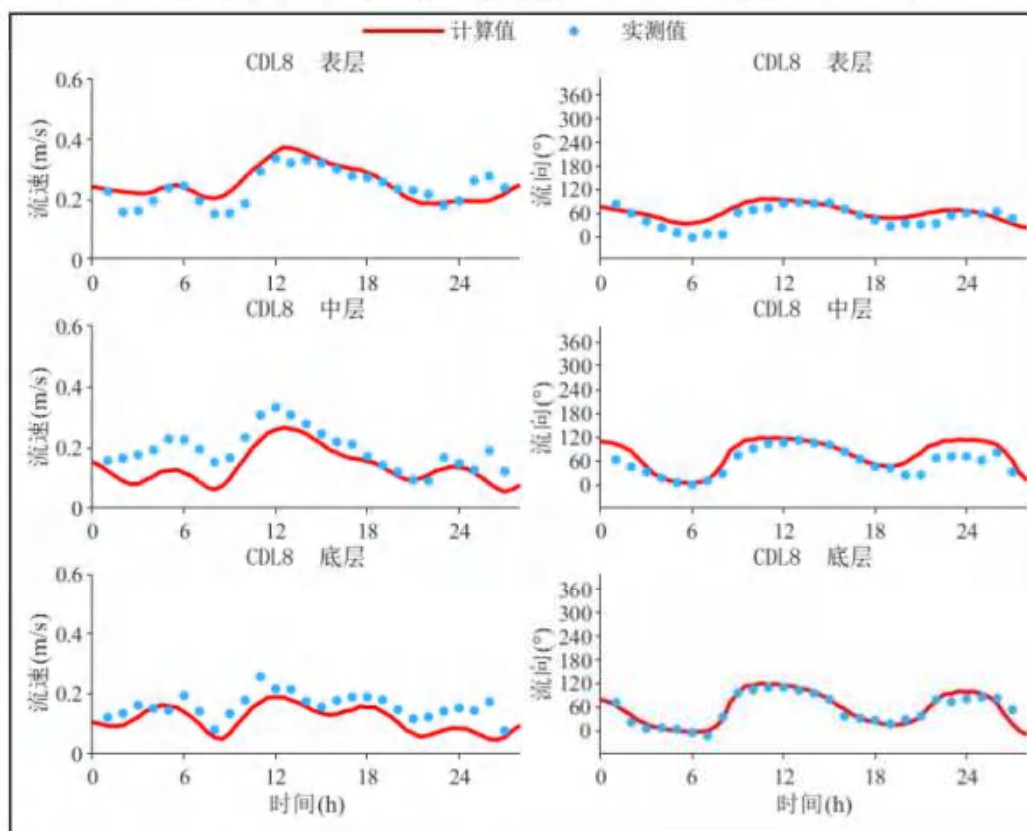


图 6.1.1-10 CDL8 站流速、流向验证（表、底层）（2024 年 6 月 19 日 17:00~20 日 19:00）

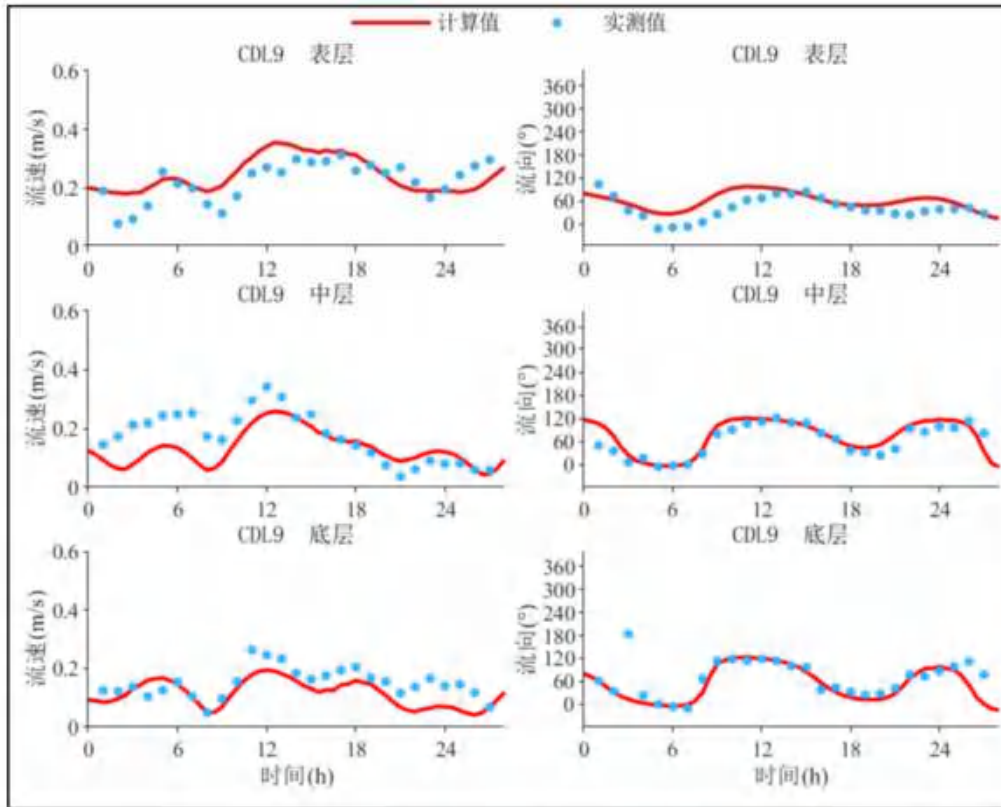


图 6.1.1-11 CDL9 站流速、流向验证（表、中、底层）（2024 年 6 月 19 日 17:00~20 日 19:00）

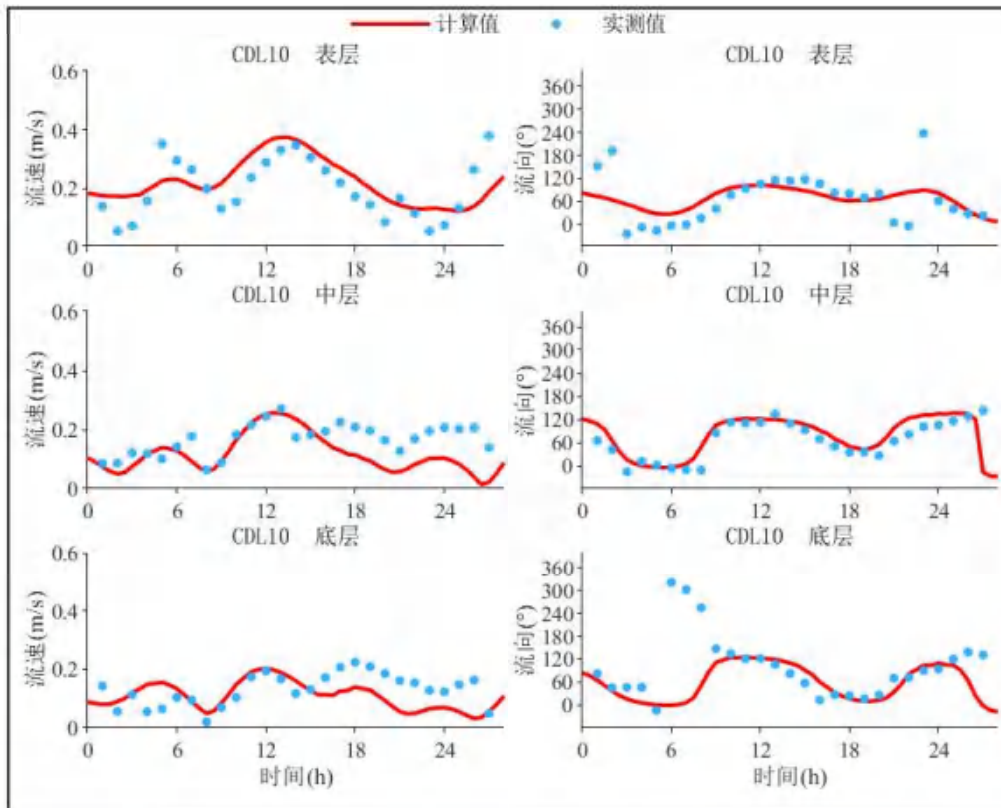


图 6.1.1-12 CDL10 站流速、流向验证（表、中、底层）（2024 年 6 月 19 日 17:00~20 日 19:00）

6.1.2 计算结果

6.1.2.1 工程前水动力环境

采用经过验证的潮流数学模型，对工程前 2024 年 6 月大潮期间的潮流场进行分析。图 6.1.2-1~图 6.1.2-6 为工程前涨急流场图和落急流场图。

模拟结果显示，本项目附近海域潮流呈往复流，由于夏季受西南季风的影响，工程所在水域涨潮流整体上从 SSW 向 NNE，落潮流表底层流向基本一致，涨急流速为 0.2~0.3m/s；落潮流表底层流向有一定偏转，表层为从 W 向 E，底层为从 NW 向 SE，落急流速为 0.3~0.4m/s。总体上，表层流速略大于底层流速。

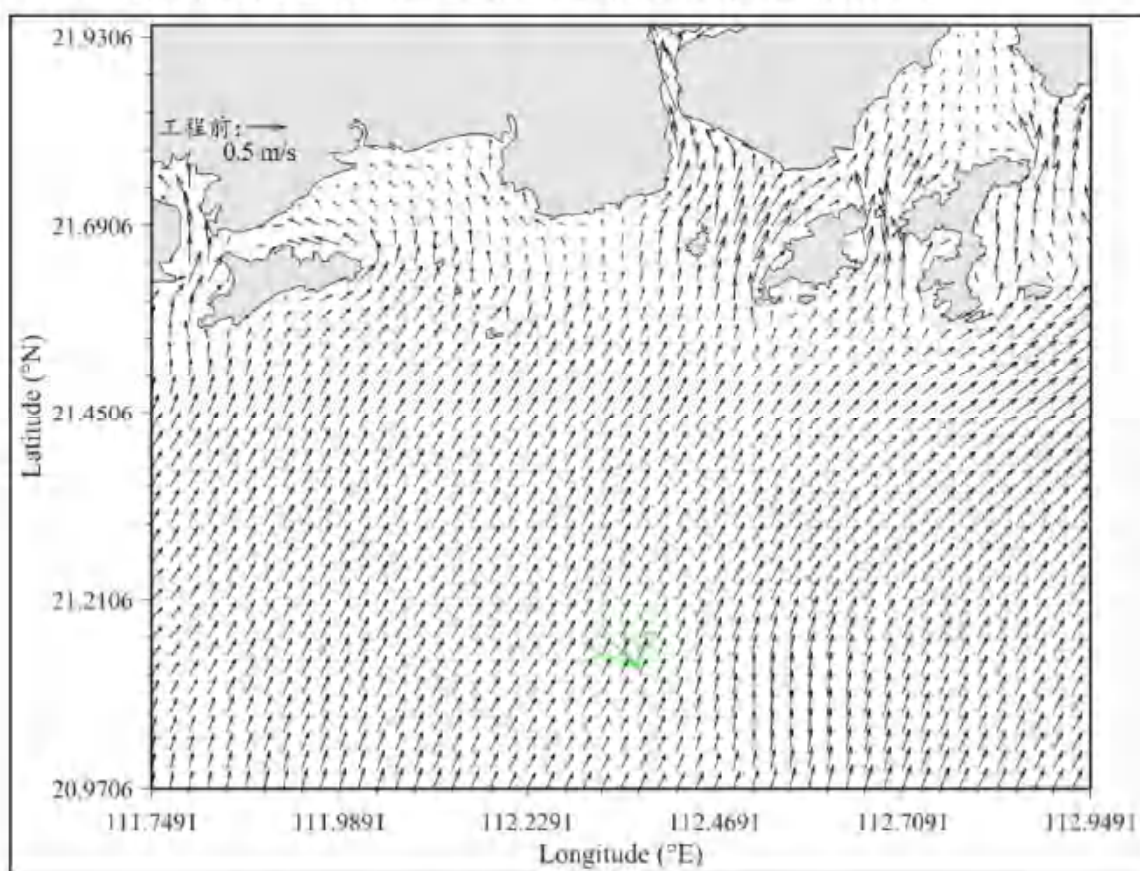


图 6.1.2-1a 工程前大范围海域大潮涨急流场（表层）

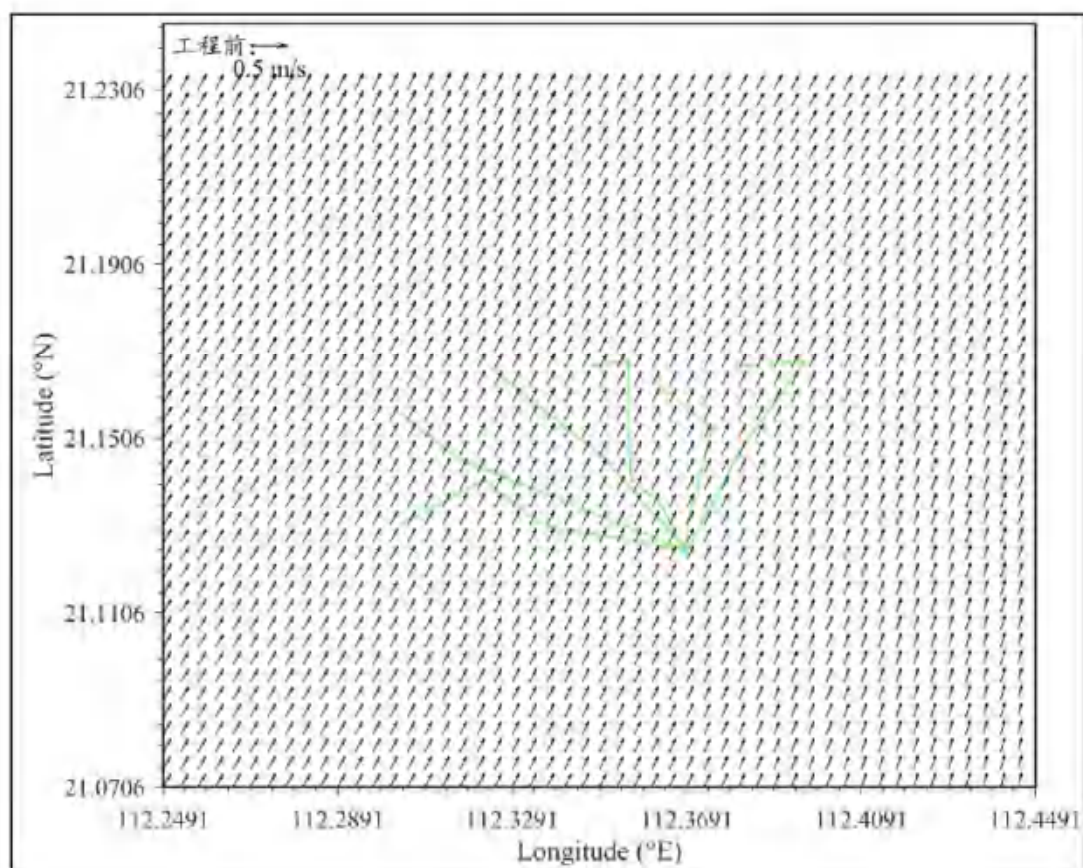


图 6.1.2-1b 工程前工程海域大潮涨急流场（表层）

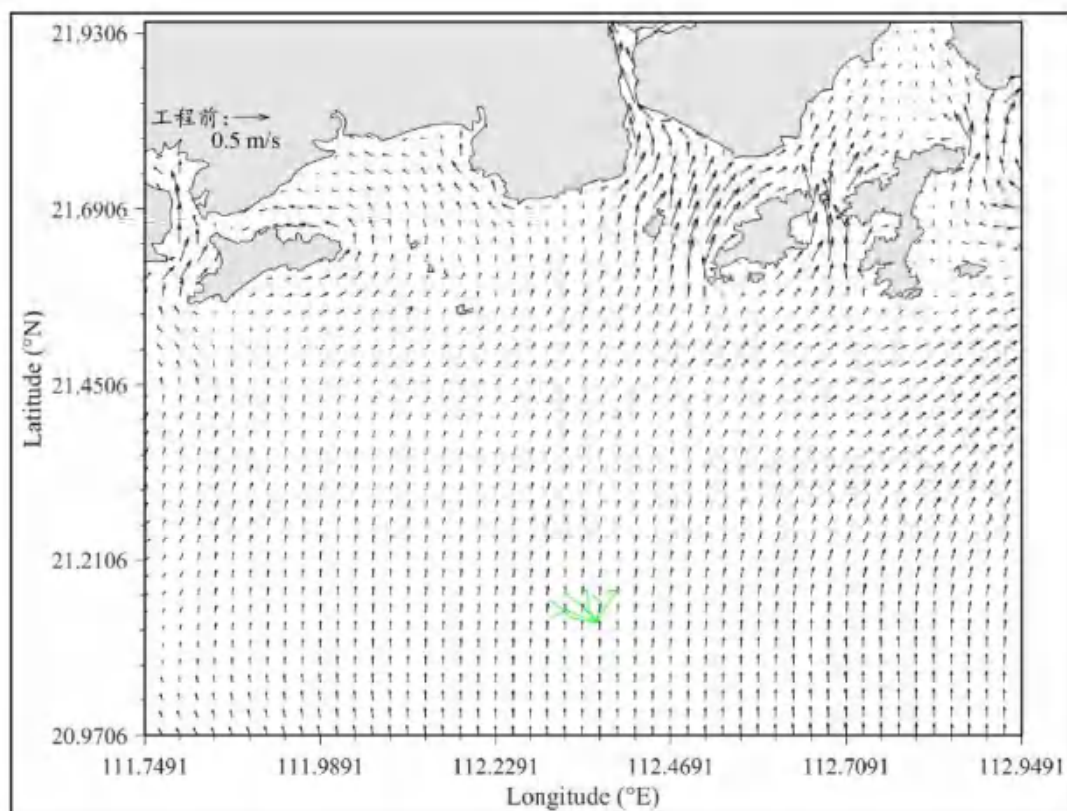


图 6.1.2-2a 工程前大范围海域大潮涨急流场（中层）

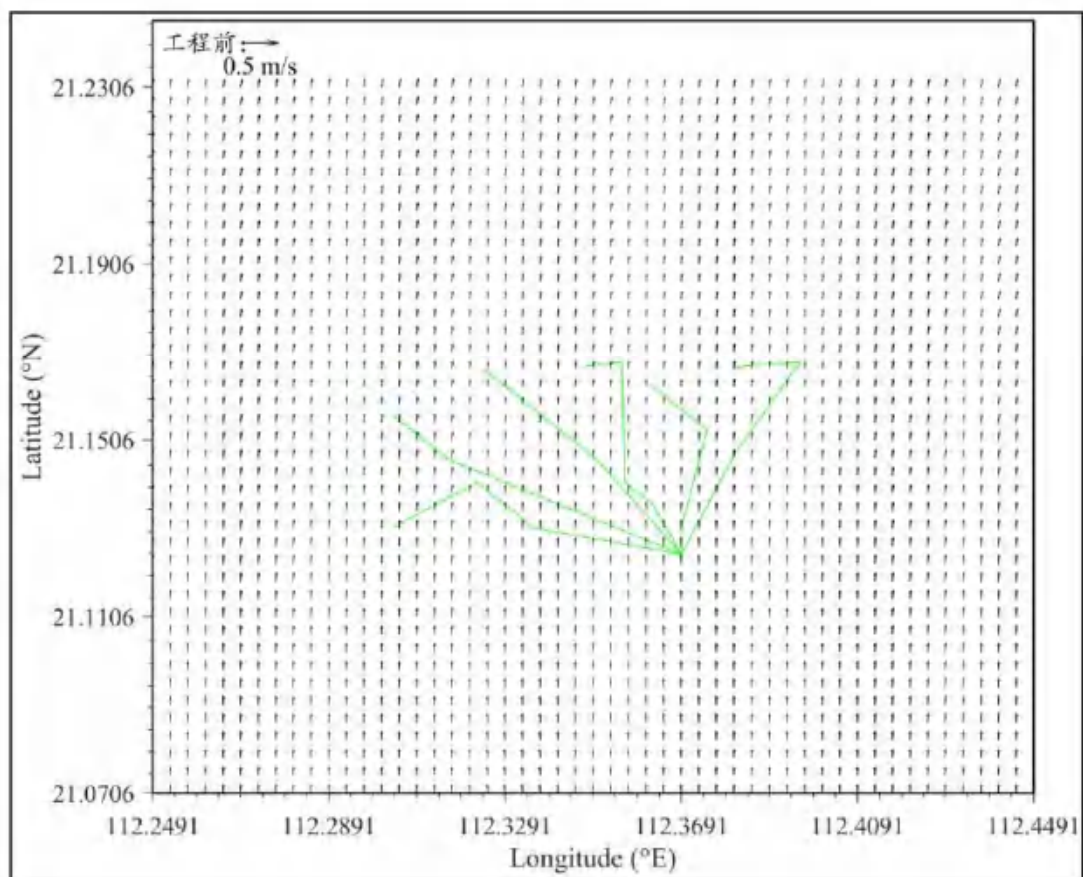


图 6.1.2-2b 工程前工程海域大潮涨急流场（中层）

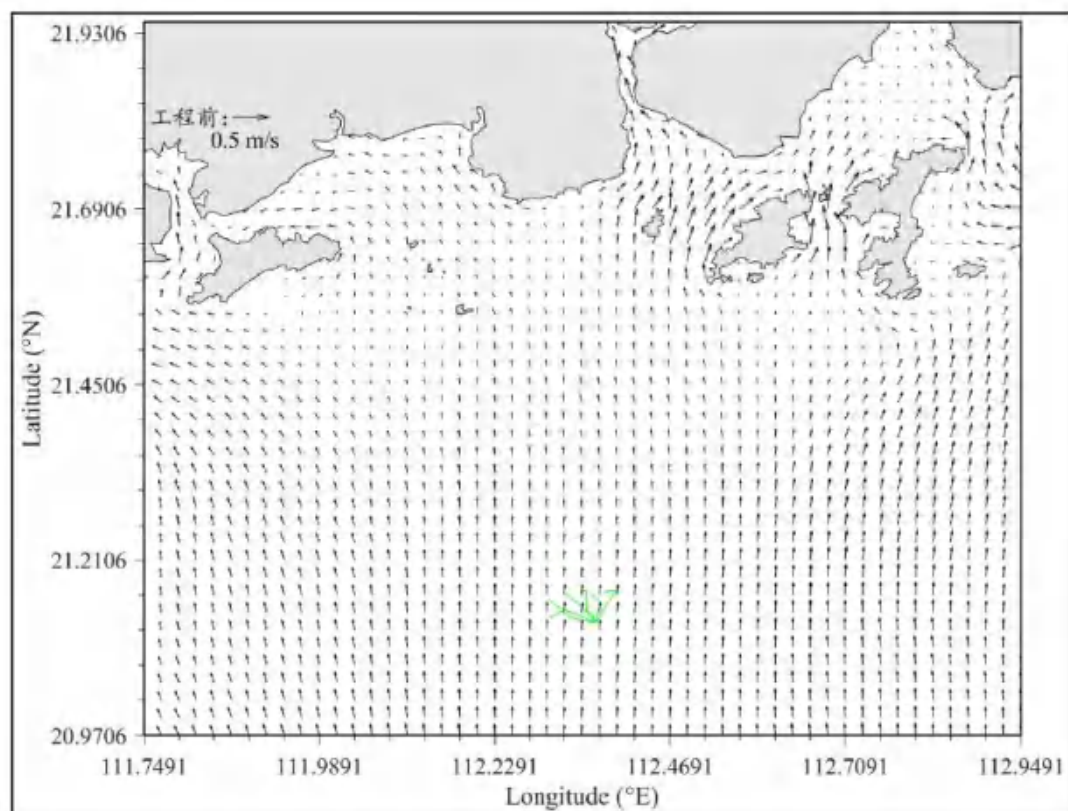


图 6.1.2-3a 工程前大范围海域大潮涨急流场（底层）

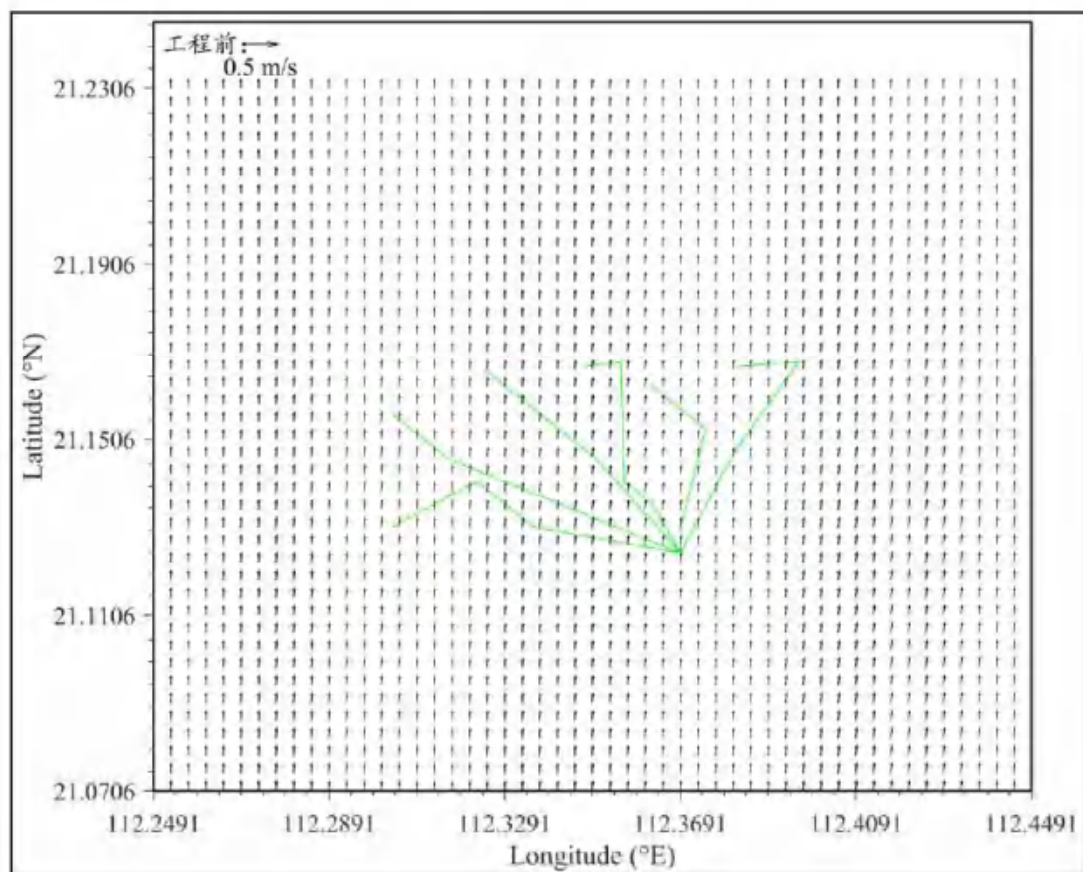


图 6.1.2-3b 工程前工程海域大潮涨急流场（底层）

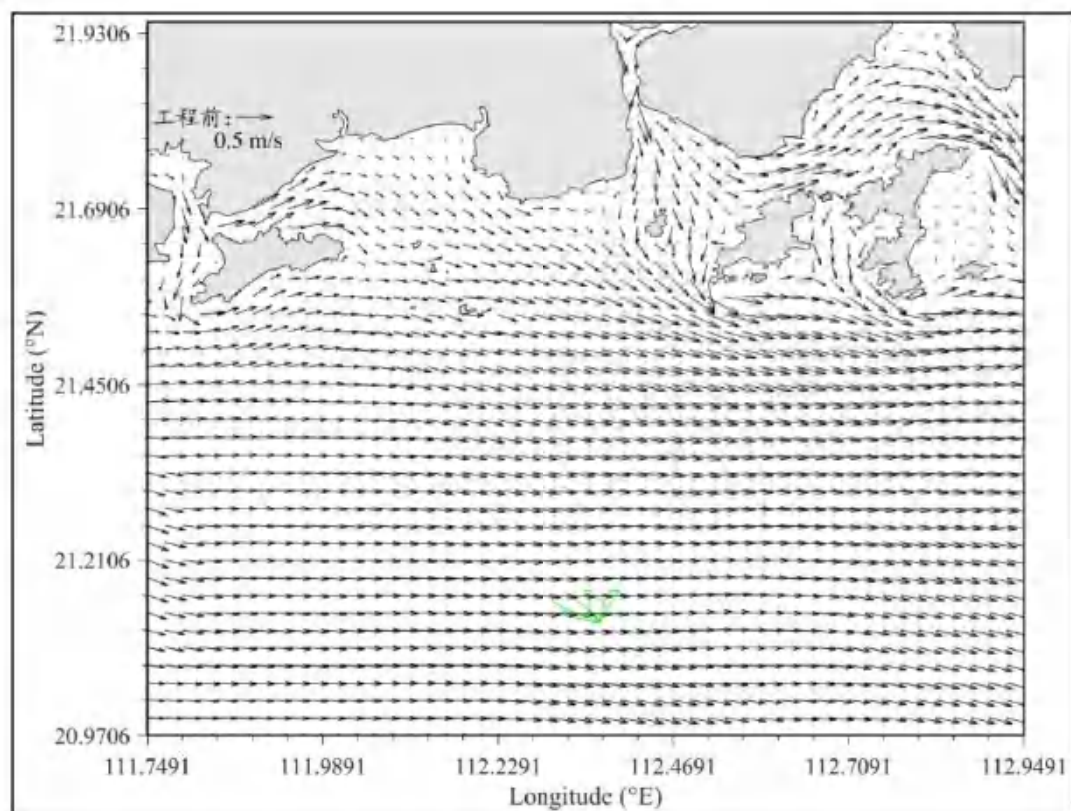


图 6.1.2-4a 工程前大范围海域大潮落急流场（表层）

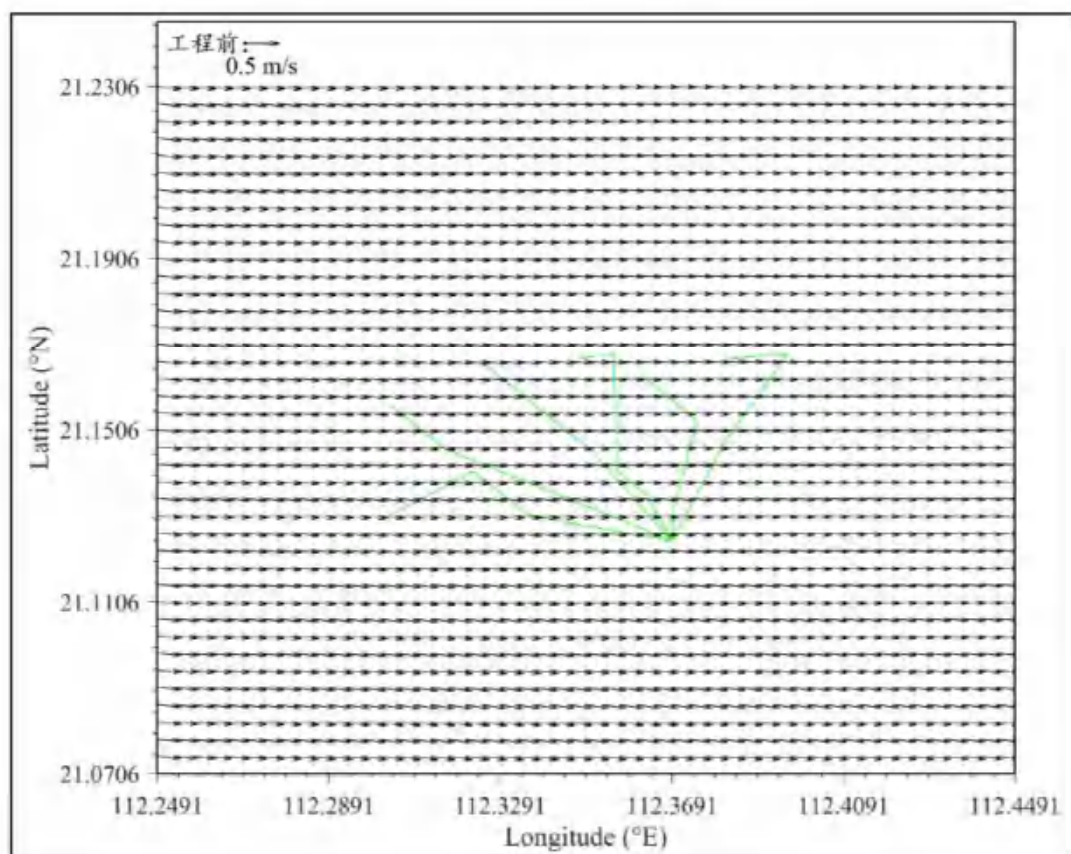


图 6.1.2-4b 工程前工程海域大潮落急流场（表层）

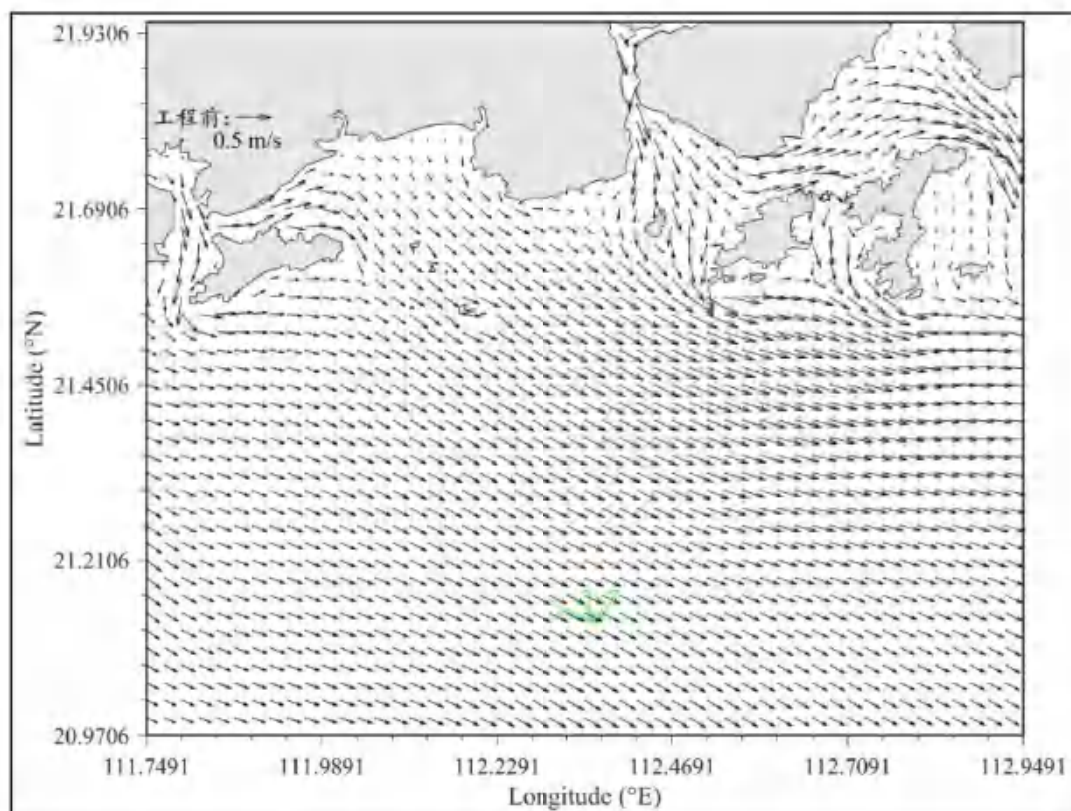


图 6.1.2-5a 工程前大范围海域大潮落急流场（中层）

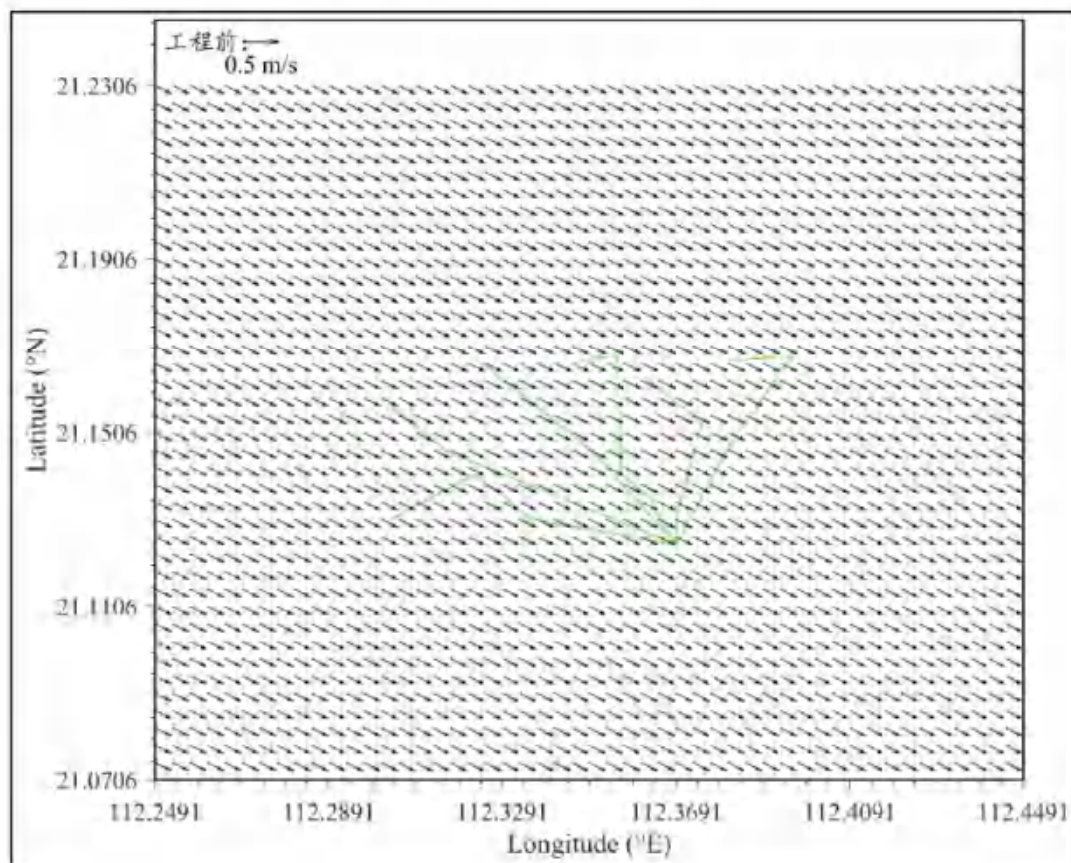


图 6.1.2-5b 工程前工程海域大潮落急流场（中层）

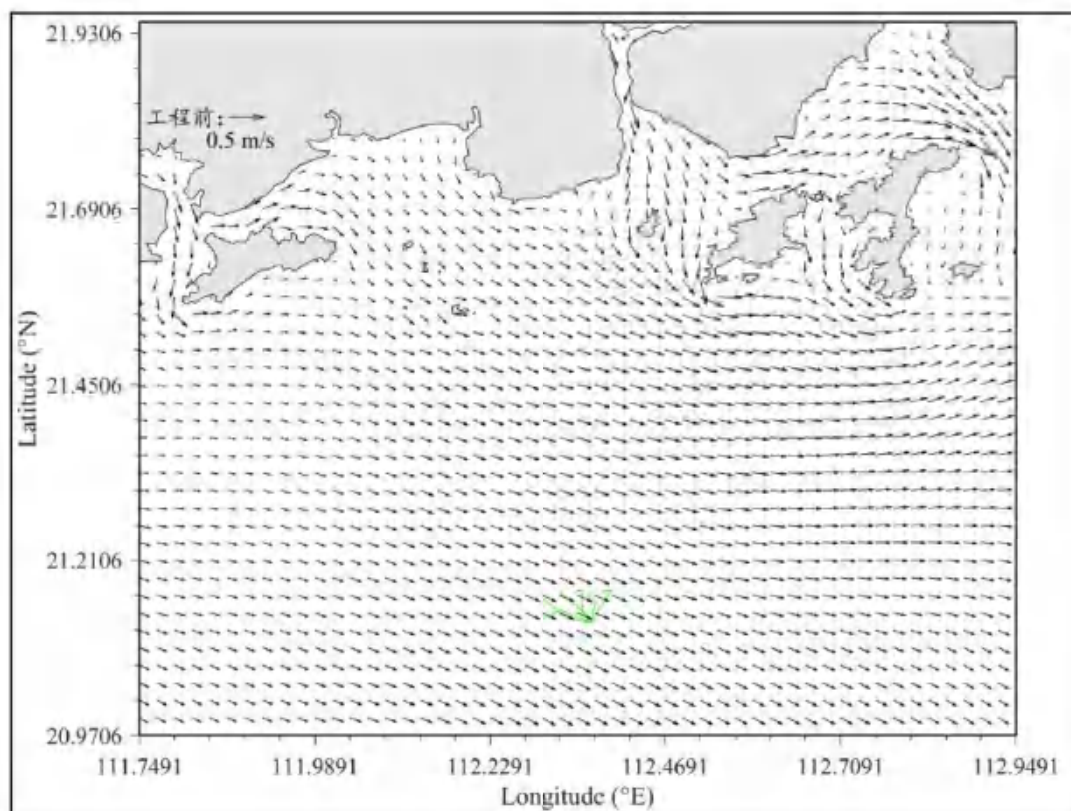


图 6.1.2-6a 工程前大范围海域大潮落急流场（底层）

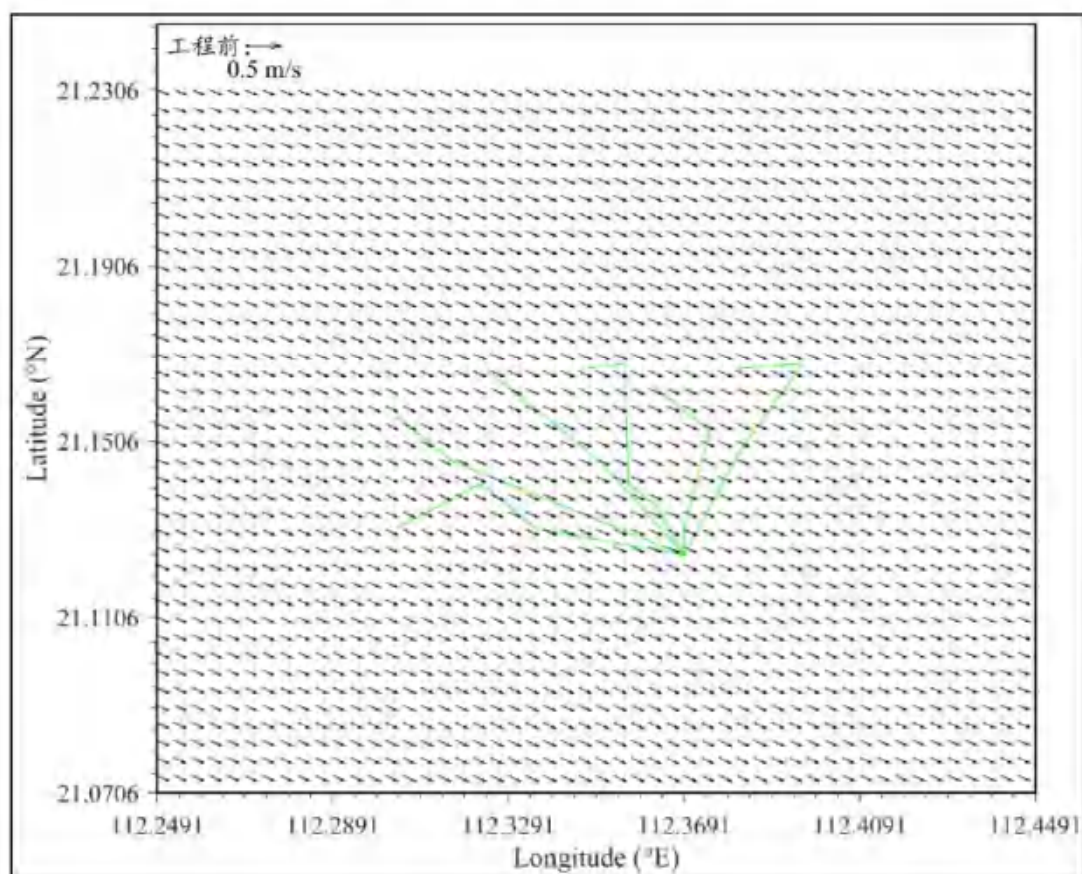


图 6.1.2-6b 工程前工程海域大潮落急流场（底层）

6.1.2.2 工程后潮流场分析

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力基本不影响，工程实施对海域潮汐动力影响主要出现风机桩基附近，在风电工程周边水域选取 30 个代表点分别对比工程前和工程后两种工况涨急和落急潮流流速、流向变化情况，T1~T20 代表点位于风电场址内，T21~T30 代表点位于风电场址周边区域。各代表点具体位置分布见图 6.1.2-7。

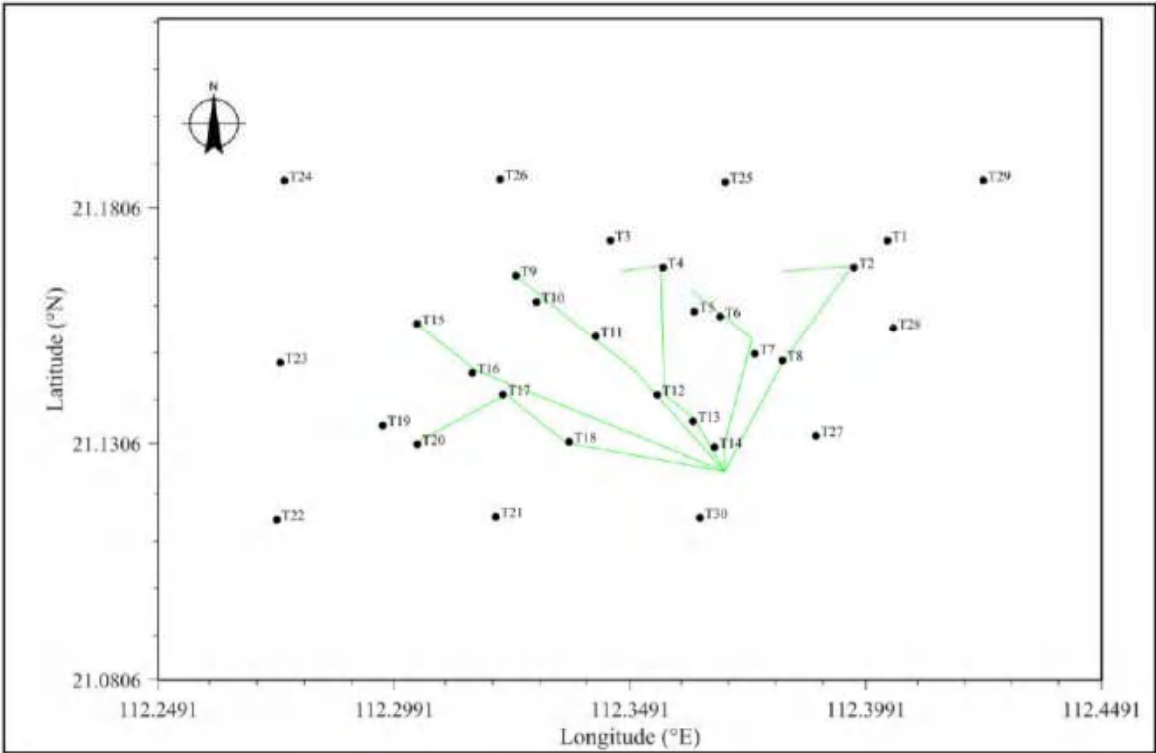


图 6.1.2-7 项目附近代表点分布示意图

各代表点工程前后大潮的涨急、落急时刻中层流速流向变化结果见表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2。

涨急时刻，风电场址内（T1~T20）流速变化量为-0.014~0.001m/s，流向变化量为-2.7~1.1°；风电场址周边（T21~T30）流速变化量为-0.001~0.001m/s，流向变化量为-2.2~0.3°。落急时刻，风电场址内（T1~T20）流速变化量为-0.032~0.000m/s，流向变化量为-1.2~1.1°；风电场址周边（T21~T30）流速变化量为-0.006~0.001m/s，流向变化量为-0.1~0.8°。

工程实施前后涨落急流场对比图见图 6.1.2-8~图 6.1.2-13。受风机桩基的阻水作用影响，涨急时刻表现为桩基后偏北方向（下游）流速减少，落急时刻表现为桩基后东南方向（下游）流速减少。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，风电工程实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。

表 6.1.2-1 工程前后中层大潮涨急流速流向变化

代表点	流速（m/s）			流向（°）		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
T1	0.125	0.124	-0.000	5.7	2.9	-2.7
T2	0.122	0.117	-0.005	5.3	3.2	-2.2
T3	0.124	0.125	0.001	4.5	3.5	-1.0
T4	0.122	0.117	-0.005	4.3	4.1	-0.2
T5	0.123	0.123	-0.000	3.9	2.1	-1.9

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
T6	0.124	0.111	-0.012	3.8	1.5	-2.3
T7	0.127	0.126	-0.001	3.1	1.2	-1.9
T8	0.125	0.126	0.001	2.8	1.4	-1.3
T9	0.124	0.115	-0.009	5.0	4.9	-0.1
T10	0.124	0.125	0.001	4.0	2.7	-1.3
T11	0.127	0.114	-0.013	3.5	2.5	-0.9
T12	0.125	0.125	-0.001	1.9	0.4	-1.5
T13	0.125	0.111	-0.014	1.8	0.2	-1.6
T14	0.126	0.125	-0.001	1.1	0.8	-0.3
T15	0.127	0.116	-0.011	4.4	4.2	-0.2
T16	0.125	0.125	-0.001	4.1	3.2	-0.9
T17	0.128	0.127	-0.001	3.2	2.1	-1.1
T18	0.126	0.113	-0.013	1.7	1.5	-0.2
T19	0.129	0.129	-0.000	3.1	2.8	-0.3
T20	0.129	0.122	-0.007	2.8	3.9	1.1
T21	0.129	0.128	-0.001	1.0	0.9	-0.1
T22	0.129	0.129	-0.000	2.3	2.1	-0.2
T23	0.127	0.127	-0.000	5.5	5.2	-0.3
T24	0.121	0.121	0.000	7.0	6.9	-0.2
T25	0.122	0.123	0.001	5.6	5.4	-0.2
T26	0.124	0.125	0.001	5.6	5.5	-0.1
T27	0.126	0.125	-0.000	2.1	2.1	-0.1
T28	0.126	0.126	-0.001	4.2	2.0	-2.2
T29	0.125	0.124	-0.001	8.1	7.1	-1.0
T30	0.127	0.126	-0.001	-0.1	0.2	0.3

表 6.1.2-2 工程前后中层大潮落急流速流向变化

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
T1	0.292	0.290	-0.002	115.7	116.0	0.3
T2	0.291	0.267	-0.024	116.0	117.1	1.1
T3	0.289	0.288	-0.001	115.4	115.2	-0.2
T4	0.288	0.268	-0.020	115.4	115.4	0.0
T5	0.287	0.283	-0.003	115.7	116.2	0.5
T6	0.285	0.254	-0.032	116.0	116.4	0.4
T7	0.283	0.282	-0.000	116.1	116.7	0.7
T8	0.285	0.281	-0.004	116.0	115.8	-0.2
T9	0.288	0.261	-0.027	115.7	115.9	0.3
T10	0.286	0.286	-0.001	116.0	116.0	0.1
T11	0.284	0.265	-0.019	116.2	115.7	-0.4
T12	0.285	0.284	-0.001	116.2	116.9	0.7
T13	0.283	0.265	-0.018	116.9	116.8	-0.1
T14	0.281	0.281	0.000	117.5	118.1	0.5
T15	0.286	0.265	-0.022	116.8	116.2	-0.6
T16	0.284	0.282	-0.002	116.2	116.7	0.5
T17	0.282	0.280	-0.002	116.3	116.8	0.5
T18	0.281	0.271	-0.010	116.3	115.1	-1.2
T19	0.283	0.282	-0.001	116.6	116.7	0.1
T20	0.284	0.260	-0.024	116.4	115.8	-0.7
T21	0.282	0.282	0.000	116.7	116.8	0.1
T22	0.283	0.283	-0.000	117.0	117.1	0.1
T23	0.291	0.290	-0.001	116.6	116.7	0.1
T24	0.291	0.291	-0.001	116.6	116.5	0.0

代表点	流速 (m/s)			流向 (°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
T25	0.290	0.290	0.000	115.4	115.2	-0.1
T26	0.290	0.290	-0.001	115.9	115.7	-0.1
T27	0.284	0.284	0.000	117.7	118.1	0.5
T28	0.288	0.282	-0.006	116.7	117.5	0.8
T29	0.295	0.294	-0.001	115.8	116.0	0.2
T30	0.280	0.281	0.001	117.7	117.8	0.1

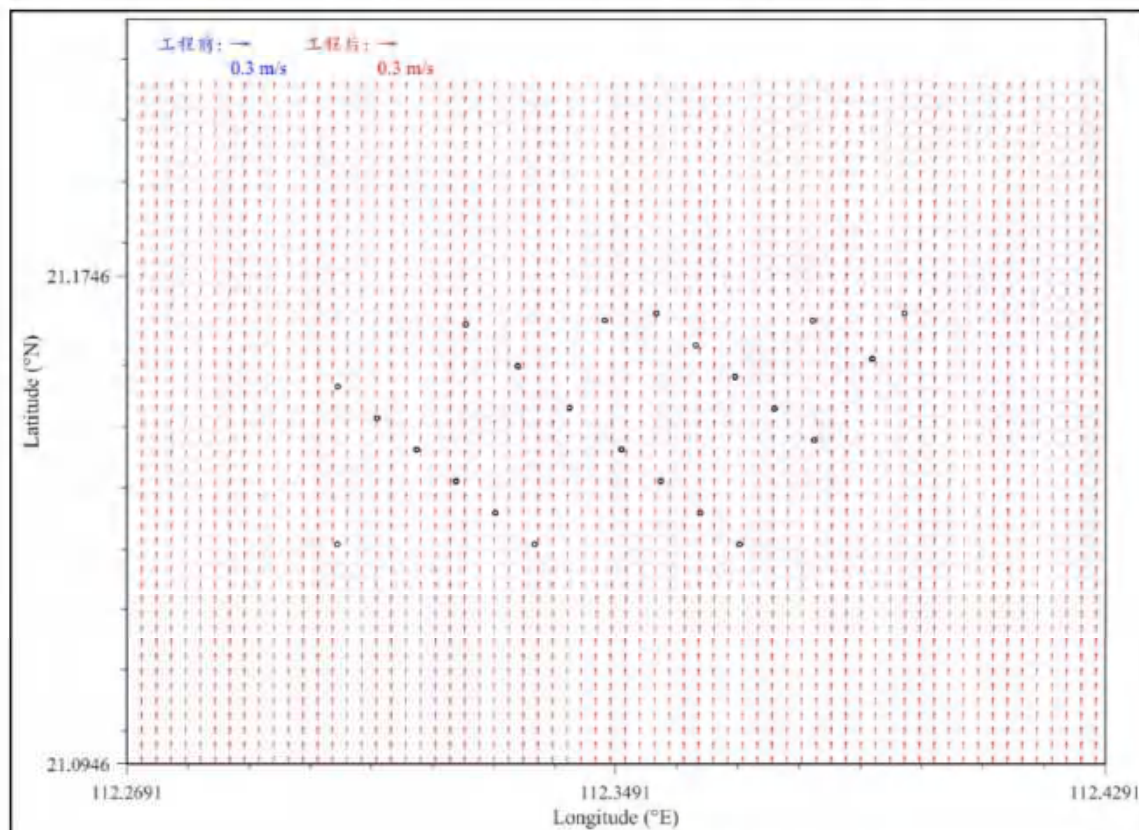


图 6.1.2-8 工程前后大潮涨急流场对比图（中层）

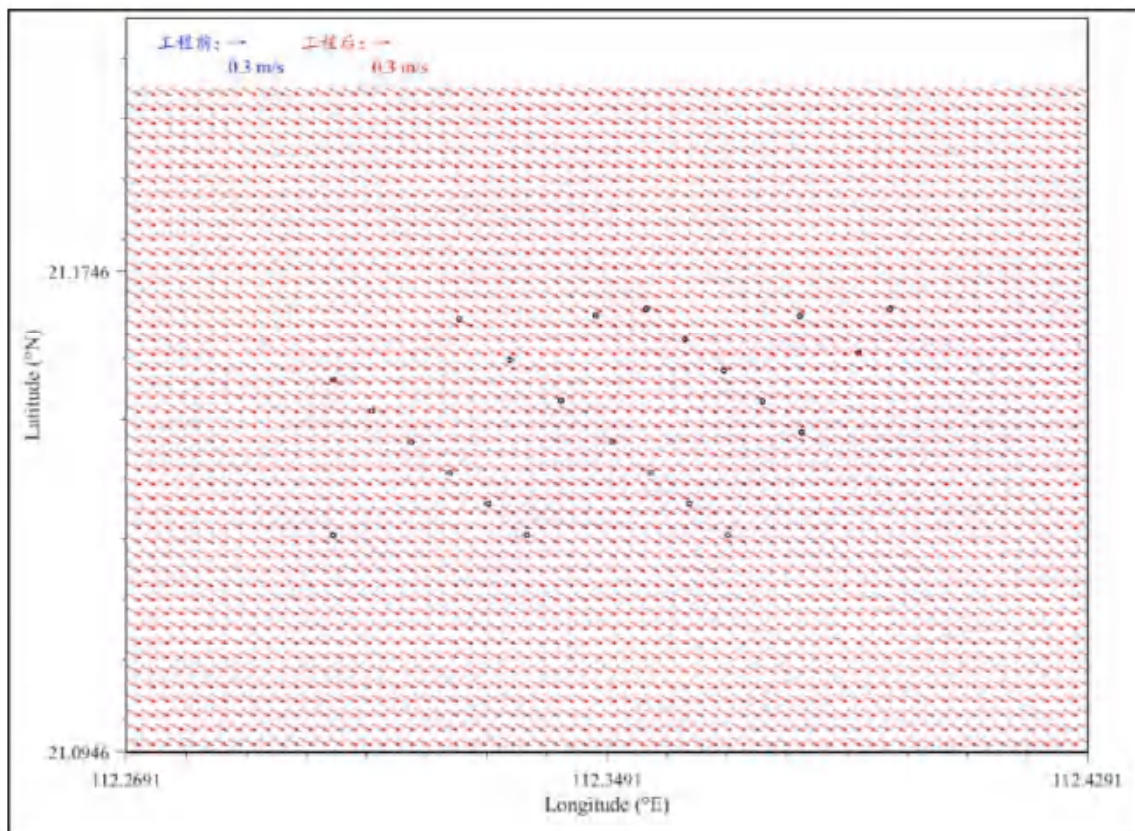


图 6.1.2-9 工程前后大潮落急流场对比图（中层）

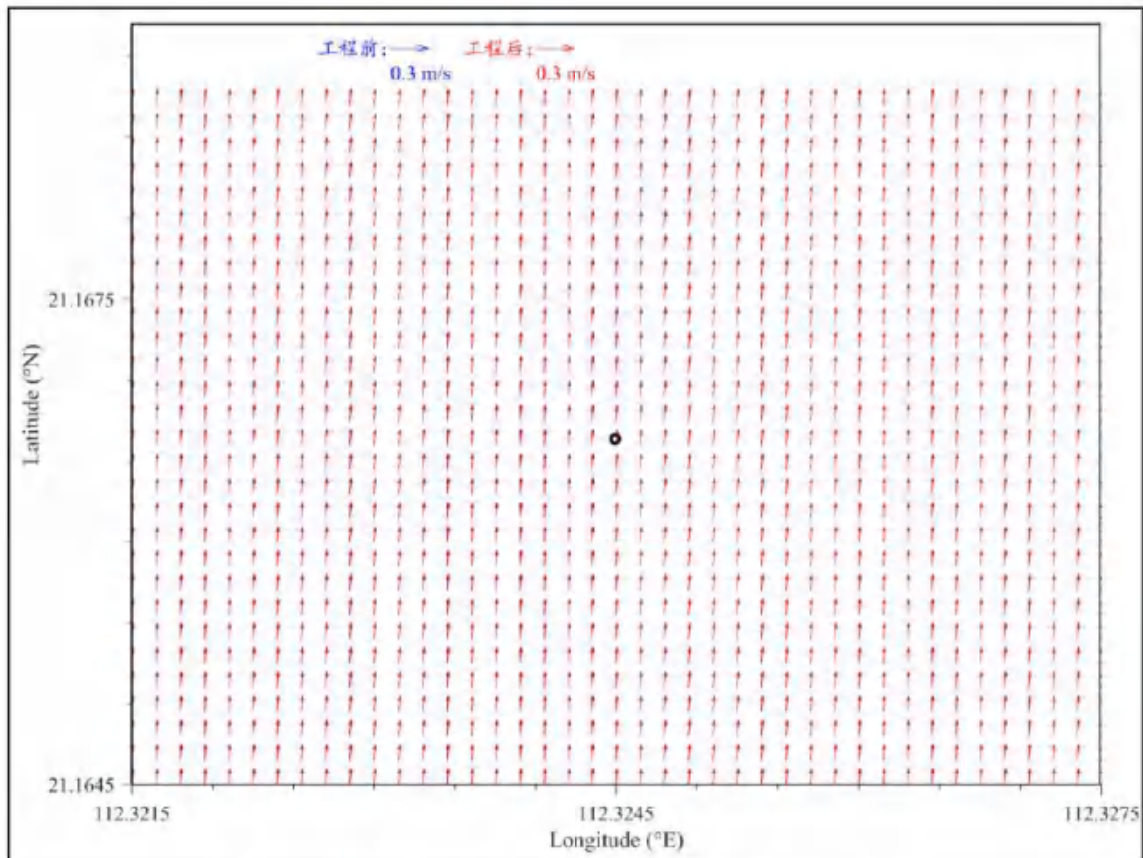


图 6.1.2-10 工程前后大潮涨急流场对比图（中层-局部放大）

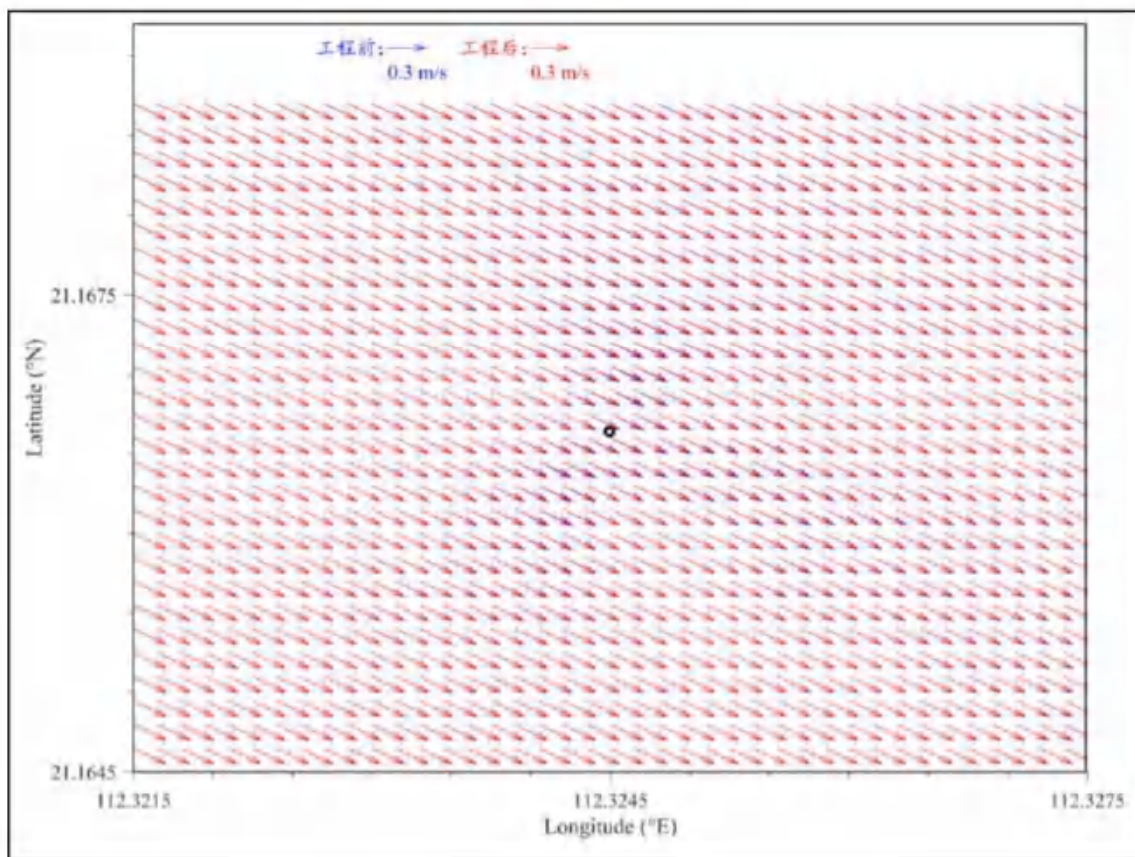


图 6.1.2-11 工程前后大潮落急流场对比图（中层-局部放大）

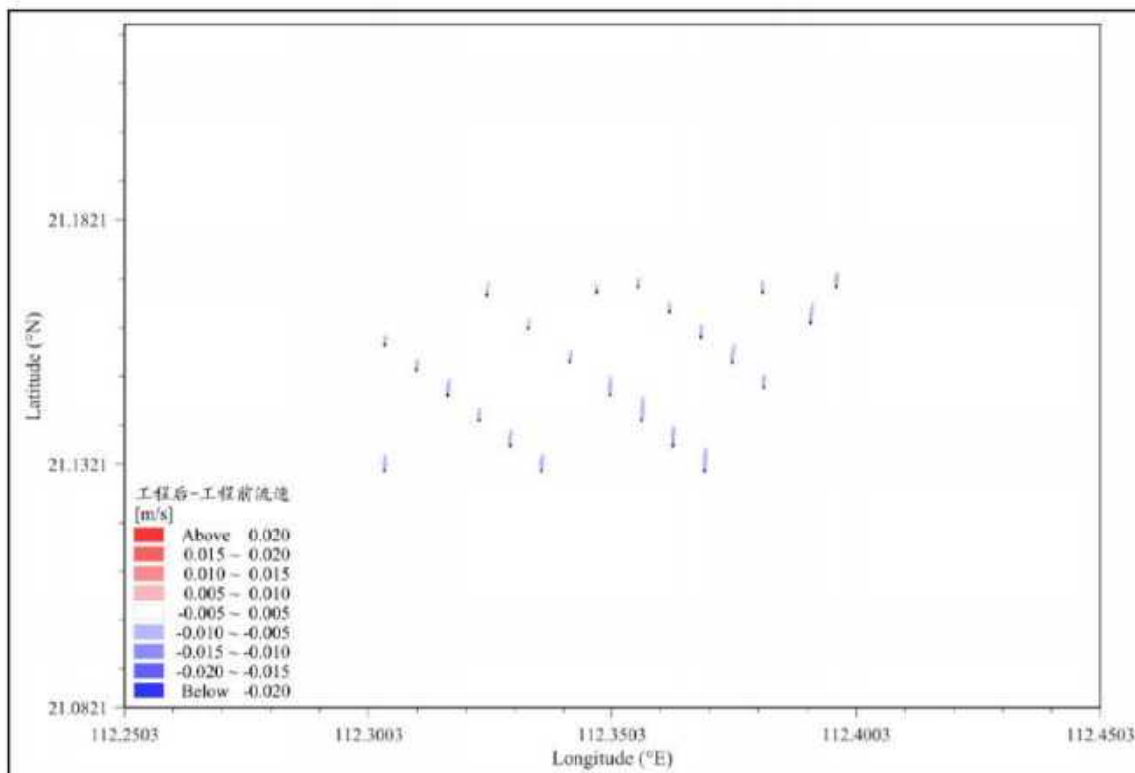


图 6.1.2-12a 工程后-工程前涨急流速变化等值线图（中层）

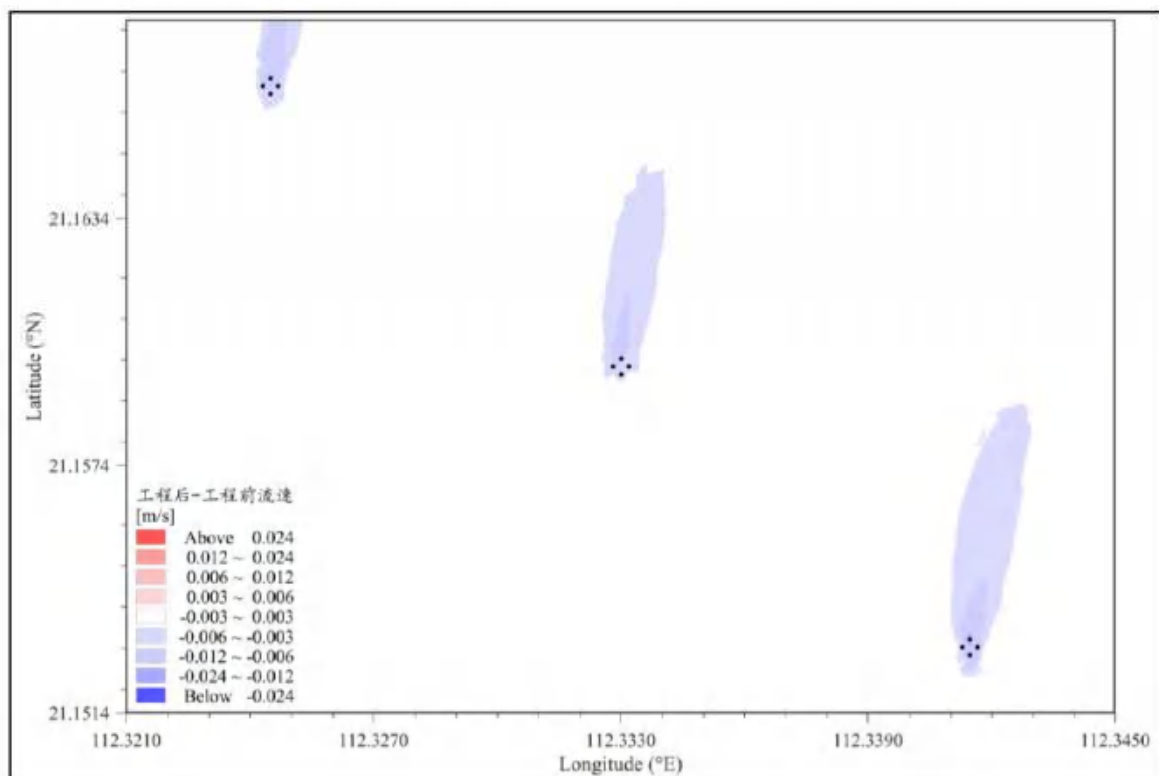


图 6.1.2-12b 工程后-工程前涨急流速变化等值线图（中层-局部放大）

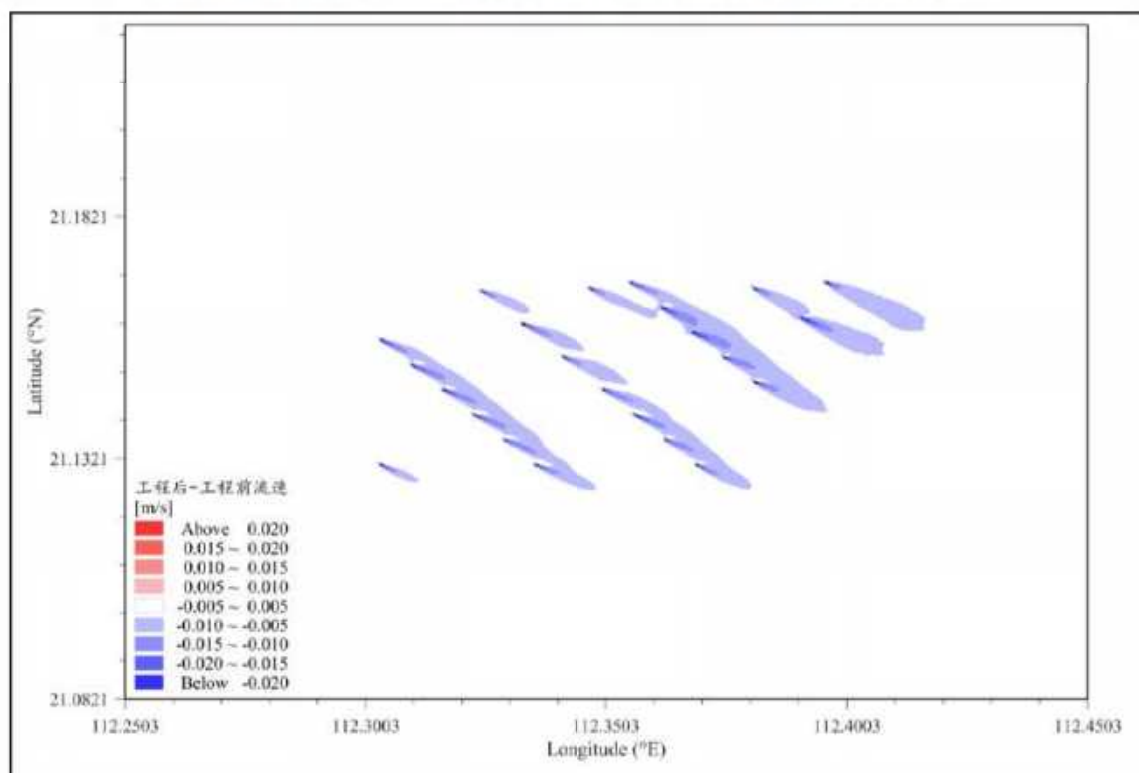


图 6.1.2-13 工程后-工程前落急流速变化等值线图（中层）

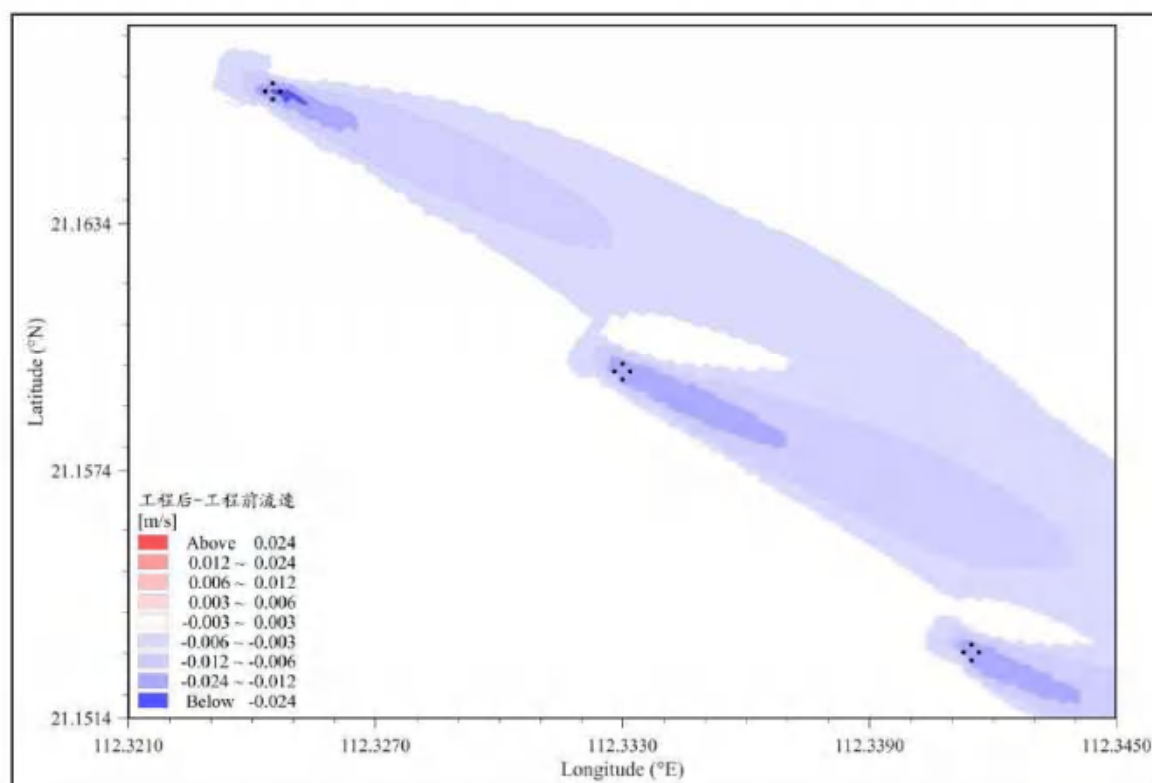


图 6.1.2-13b 工程后-工程前落急流速变化等值线图（中层-局部放大）

6.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价

6.2.1 风电场大范围海床冲淤分析

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

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

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

本报告采用选取泥沙研究工作经常采用的公式对工程方案实施后附近水域底床的淤积情况进行计算：

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

式中： P ——年平均淤积强度（m）；

α ——沉降几率，取 0.67；

ω ——泥沙沉降速度（cm/s），沉速取 0.0005m/s（0.05cm/s）；

S_* ——为水体平均悬沙含量，根据工程附近悬沙调查结果，平均含沙量为 0.006kg/m³；

T ——泥沙沉降时间，按一年的总秒数计；

γ_d ——淤积物的干容重，2023 年 11 月调查的沉积物 CD15、CD20 中值粒径值平均值为 0.027mm。根据经验公式 $\gamma_c = 1750 D_{50}^{0.183}$ ，取 γ_c 为 903.60kg/m³；

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

m ——根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

基于水动力结果计算了工程实施前后附近水域年冲淤变化，工程实施后附近海域年冲淤变化图见图 6.2.1-1。（+表示淤积，-表示冲刷）

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响，工程实施对海域冲淤影响主要出现风电桩基附近。工程建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化，变化主要出现在工程周边海域。预测结果表明，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速受桩基影响出现一定程度减缓，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现 0.004~0.015m/a 左右的淤积，而工程周边海域受到的冲刷作用不明显，冲刷幅度不超过 0.004m/a。

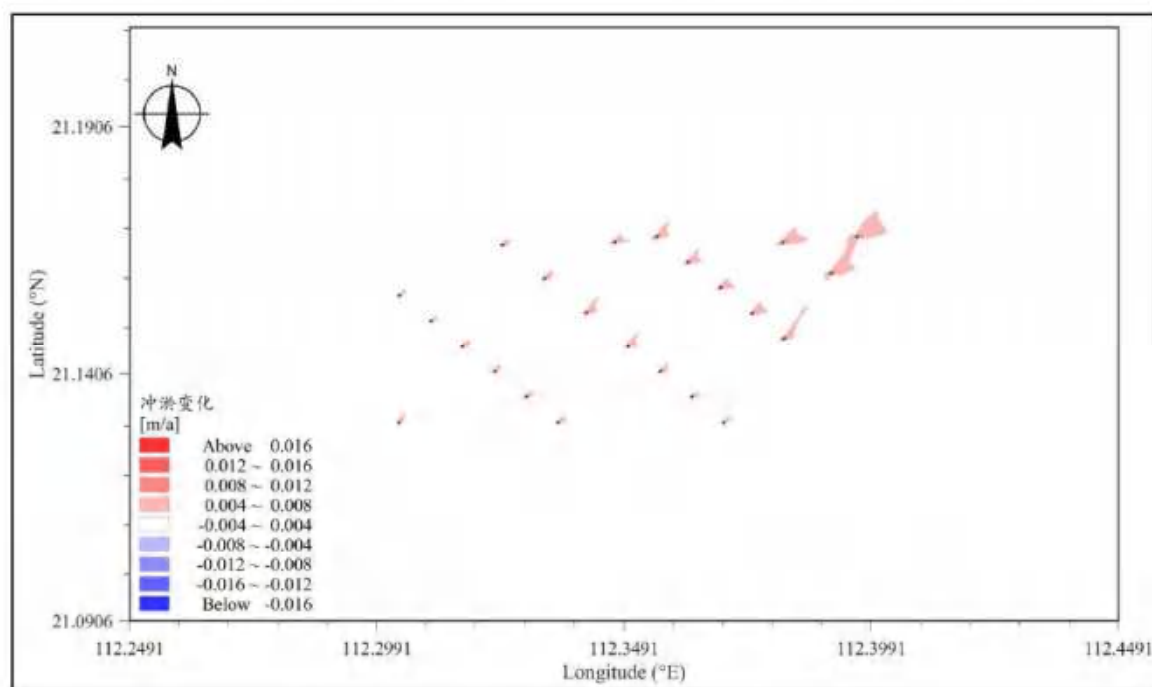


图 6.2.1-1 工程实施后附近海域年冲淤变化图

6.2.2 风机桩基础附近局部冲刷影响分析

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

影响桩基最大可能局部冲刷的因素主要有以下几方面：波浪在传递过程中引起的水质点的运动，是造成桩基冲刷的主要动力；潮流流速大小直接影响水流对泥沙的搬运能力；桩径的大小和桩基与海面垂直方向上的夹角大小，对最大冲刷深度也有一定的影响；此外，最大可能冲刷深度与水深增加不完全呈单调增大趋势，与泥沙粒径减小也不完全呈增大趋势。总而言之，风电机组桩基改变了海底局部水沙环境，造成比自然状态更为复杂的冲刷趋势。判别局部冲刷深度的方法有数值分析法、物理模型实验法和经验公式法等。在众多方法中，经验公式法主要依据广泛的实测资料根据数理分析方法建立的计算公式，具有一定的可靠性，同时因其公式比较简单直观，在工程设计前期应用较广。自 20 世纪 60 年代以来从桩基的冲刷机理可看出，桩基局部最大冲刷深度涉及水动力、底质、桩径等多种因素，各国学者通过现场观察和室内试验先后对冲刷深度进行研究，提出许多根据试验数据提炼出的经验公式，如 Shen,H.W.等提出的经验模式、贝斯金模式、全苏水科院模式、天津大学模式、韩海骞公式、王汝凯公式等。本报告采用韩海骞公式计算本项目桩径（3.5m）的最大可能冲刷深度值，韩海骞通过物理模型试验，得到实测数据，并通过量纲分

析得到在潮流作用下桩墩局部冲刷深度计算公式：

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

式中： h_b 为潮流作用下桩墩最大局部冲刷深度（m）； h 为全潮最大水深（m）； B 为最大水深条件下平均阻水宽度（m）； d_{50} 为海床泥沙的中值粒径（m）； F_r 为Froud 参数， u 为全潮最大流速(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 6.2.2-1，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 6.2.2-1 工程桩基最大可能局部冲刷深度（五年一遇）

水深（m）	45
有效波高（m）	6.8
平均波周期（s）	12.1
波长（m）	182.6
五年一遇最大流速(m/s)	0.86
泥沙中值粒径（mm）	0.027
桩径（m）	3.5
最大可能局部冲刷深度（m）	4.17
最大可能局部冲刷直径（m）	16.85

6.2.3 极端天气条件下的冲淤影响分析

工程实施后极端天气情况使潮流水体紊动加强，波浪掀起海床泥沙，使含沙量异常增大。骤冲骤淤计算仍采用上述冲淤计算公式，但计算参数需作必要的调整。由于本工程区大风天实测含沙量资料不足，故本文仅能用经验公式作一估算。当海域大风（台风）出现时，含沙量会呈数倍增大，本文采用刘家驹公式作近似推算。

$$S = 0.0273\gamma_s \frac{V^2}{gH}$$

其中， γ_s 为淤积泥沙干容重（kg/m³）， V 为合成流速，考虑风浪与潮流的共同作用后，流速将增大，故相应作如下修正：

$$V = |V_w| + |V_{bt}|$$

$$\vec{V}_{bt} = \vec{V}_b + \vec{V}_t$$

$$\vec{V}_b = 0.02\vec{w}$$

$$V_w = 0.2 \frac{h}{H} c$$

式中： V_w 为波动水流流速（m/s）；

V_{bt} 为潮流和风吹流的合成流速（m/s）；

V_b 为风吹流的平均流速（m/s）；

V_t 为潮流流速（m/s），根据水动力计算结果取 0.4m/s；

w 为风速（m/s）；

h 、 c 分别为波高（m）与波速（m/s）；

H 为水深（m）。

参考《中广核阳江帆石一、帆石二海上风电场项目水文观测及海洋环境现状调查-波浪数学模型研究专题报告》中的波浪要素计算结果，50 年一遇波浪+50 年一遇高潮位情况下的最大平均波高为 7.9m，平均周期为 13.7s。

当出现大风天气时，水体紊动强烈，挟带泥沙粒径较大，在计算中对泥沙沉速和含沙量等参数都作了相应的调整。另外，由于大风天气持续时间长短不一，本报告统一按 24 小时淤积强度和淤积量进行计算。

根据本文所采用的刘家驹挟沙力公式，计算了工程实施后极端天气下 24 小时冲淤变化，计算结果见图 6.2.3-1。

计算结果显示，极端天气下冲淤变化量较正常天气要明显增大。24 小时的骤冲骤淤变化量不超过 0.001m/d，一般情况下，极端天气发生后只会持续 1~2 天，因此，极端天气情况下产生的骤冲骤淤变化量不会很大。用经验公式计算的冲淤及骤冲骤淤，其精度受诸多方面的影响，如原型观测资料、挟沙力公式的选取、冲淤系数的确定等，但总的变化趋势应是合理的。

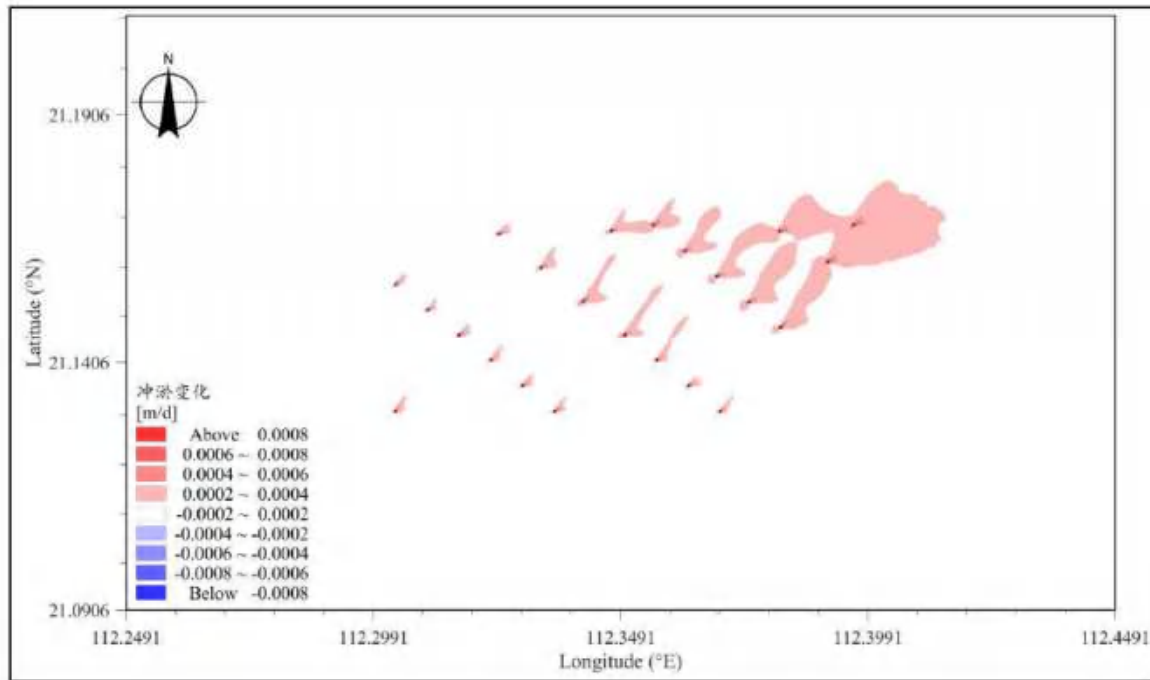


图 6.2.3-1 极端工况下骤冲骤淤分布图

6.3 海水水质环境影响预测与评价

6.3.1 施工期海水水质环境影响预测与评价

6.3.1.1 基本方程

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

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

其中： C 为水体悬沙含量， S_c 为输入源强， w_f 为泥沙有效沉速， $w_f = w - w_s$ ， w_s 为泥沙静水中沉速。 K_M 为水平扩散系数，采用欧拉公式

$$K_{MX} = 5.93 \sqrt{gH|\mu|} / C_z \quad K_{MY} = 5.93 \sqrt{gH|\nu|} / C_z$$

C_z 为 chezy 系数， K_v 为垂直扩散系数。

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

侧开边界的边界条件：

入流时 $C|_{\Gamma} = P_0$ ；

Γ 为水边界， P_0 为边界上浓度，因本底悬沙浓度不大，不考虑本底值，取 $P_0 =$

0。

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

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

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

式中: M 为冲刷系数, 取曹祖德实验参数, $M=6.4 \times 10^{-3}$; w_{fb} 为近底层泥沙有效沉速, $w_{fb}=w_s-w$, w_s 为泥水静水沉速, $w_{fb} \times C_b$ 为悬沙垂直沉降通量, $K_v \frac{\partial C}{\partial z}$ 为近底层泥沙在湍流运动作用下的上扬通量; V 为底层流速, V_d 为泥沙从悬浮状态落淤的临界流速, V_e 为床面泥沙悬扬临界流速。

6.3.1.2 计算参数

(1) 糙率

同水动力模型预测中糙率取值。

(2) 模型计算时间步长

模型采用的时间步长 $\Delta t=30s$ 。

(3) 泥沙沉降速度

泥沙沉速 w_s 采用张瑞瑾通用泥沙沉速公式计算,

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

其中, v 为水运动粘滞系数, 取值 $0.01146 \text{cm}^2/\text{s}$; D 为泥沙粒径; α 为重率系数, 取 1.7, 沉速取 0.0005m/s (0.05cm/s)。

(4) 泥沙沉降机率

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

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

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

6.3.1.3 源强设置

本工程悬沙源强主要为海缆铺设施工悬沙源强和桩基施工悬沙源强，考虑桩基施工和海缆施工不同时进行，且桩基施工位置基本位于海缆铺设范围内，从安全角度考虑，选取悬沙源强更大、范围更广的海缆敷设和拔桩施工进行悬沙影响预测。

(1) 海底电缆敷设悬浮泥沙

根据工程分析，单条电缆施工的悬浮物源强为 18.07kg/s。

采用近似于实际铺缆开沟的方式模拟施工过程悬沙扩散，即沿电缆线逐时逐段释放悬沙源强。本项目所在海域平均水深约为 45m，由于模型考虑垂向分层使用 Sigma 坐标，模型层数分为 5 层，因此每层厚度约为 9m。项目海底电缆施工时高压水流冲射开沟上扬悬沙按最不利方式考虑，上扬高度估算为 10m，则源强会出现在底层和次底层。因此从保守角度考虑，源强设置为底层取 3/4、次底层取 1/4。工程风电场 66kV 海底电缆施工源强点沿海缆走向设置，设置间隔为 150m，共设置 269 个源强点，每个源强点释放持续时间 0.5 小时，源强分布见图 6.3.1-1。

根据设计单位提供的参数，本项目海底电缆正常铺设速度约为 5m/min。模型中设定源强点释放持续时间为 0.5 小时（30 分钟），经计算，源强点设置间隔按 $5\text{m/min} \times 30\text{min} = 150\text{m}$ 取值，具备合理性。

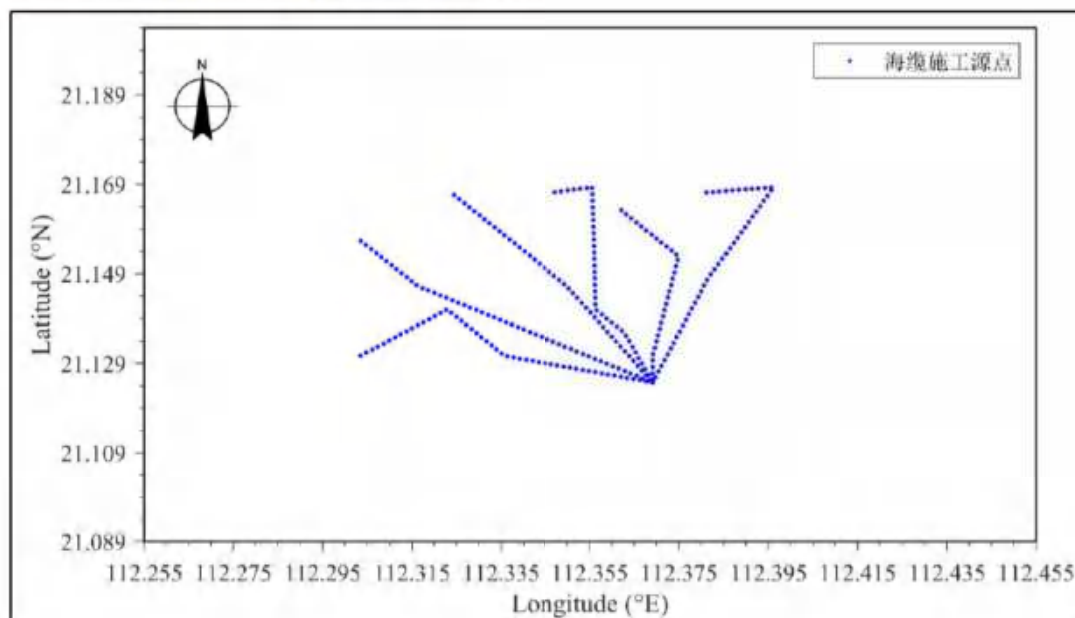


图 6.3.1-1 项目施工期源强点分布图

(2) 风机辅助桩拆除悬浮泥沙

定位架平台拆除时，4 根辅助桩依次拔起，单根辅助桩拔出时间约 1 小时。经计算，单根辅助拔桩悬浮物产生源强为 1.55kg/s。在每台风机所在位置设置 1 个辅

助桩拆除源强点，每个源强点释放持续时间 4 小时，共设置 23 个源强点，源强在底层取 3/4、次底层取 1/4。源强分布见图 6.3.1-2。

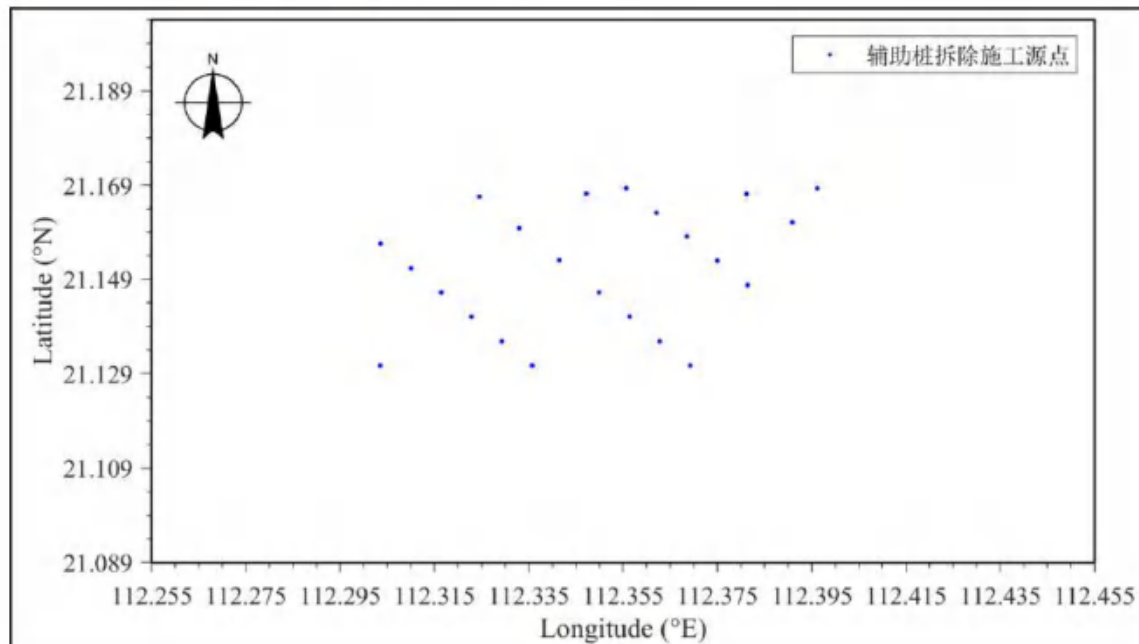


图 6.3.1-2 项目辅助桩拆除施工源强点分布图

6.3.1.4 模拟结果

模拟完整的全潮周期（15 天）施工所产生的悬沙输运和扩散，输出每半小时的浓度场，分别统计施工悬沙增量大于 10mg/L、20mg/L、50mg/L、100mg/L 的包络线面积（即在 15 天模拟期间内各网格点构成的最高浓度值），项目施工悬沙最大浓度影响统计可见表 6.3.1-1。

海缆施工从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km²、1.586 km²、8.502 km²、18.915 km² 和 25.197 km²，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 10.840 km²。施工期从表层到底层超第三类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.094km² 和 1.735km²，垂向平均超第三类海水水质包络面积为 0.366km²。

辅助桩拆除施工从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km²、0.000km²、0.000km²、0.007km² 和 0.249km²，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 0.051 km²。从表层到底层均不超第三类海水水质标准。

整体而言，悬沙扩散的影响范围基本局限于底层，对中层和表层的影响较小。悬沙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。

表 6.3.1-1 海缆施工产生悬沙增量面积 (km²)

层次	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1.586	0.059	0.000	0.000
3	8.502	1.241	0.021	0.000
4	18.915	8.379	1.205	0.094
5	25.197	14.709	5.592	1.735
垂向平均	10.840	4.878	1.364	0.366

表 6.3.1-2 辅助桩拆除施工产生悬沙增量面积 (km²)

层次	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.007	0.000	0.000	0.000
5	0.249	0.037	0.004	0.000
垂向平均	0.051	0.008	0.001	0.000

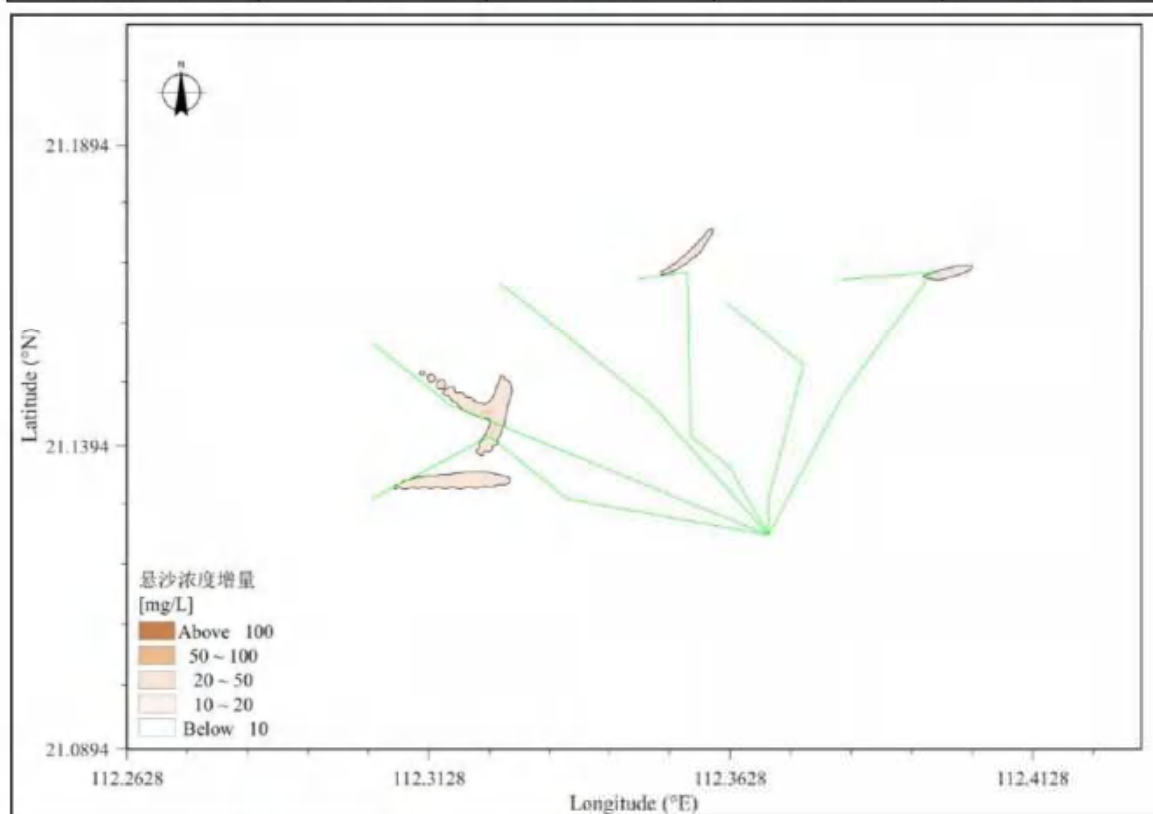


图 6.3.1-3 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图 (次表层)

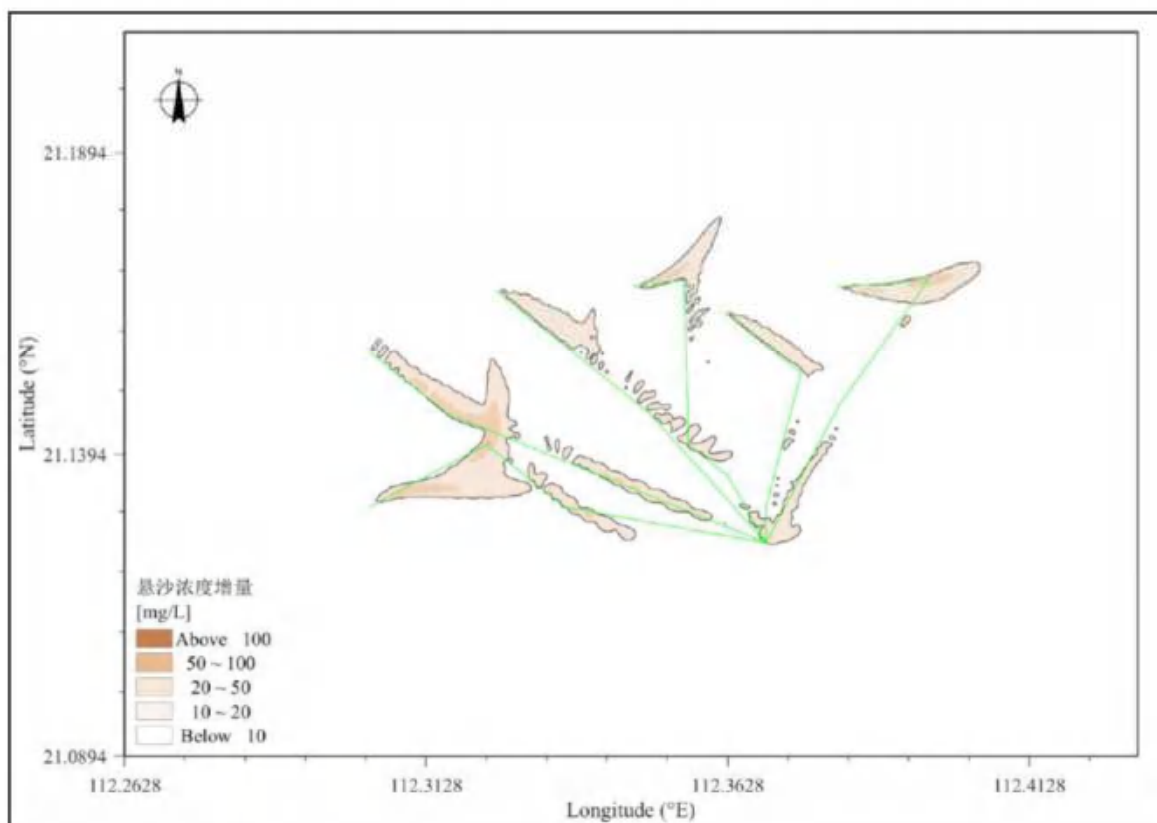


图 6.3.1-4 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（中层）

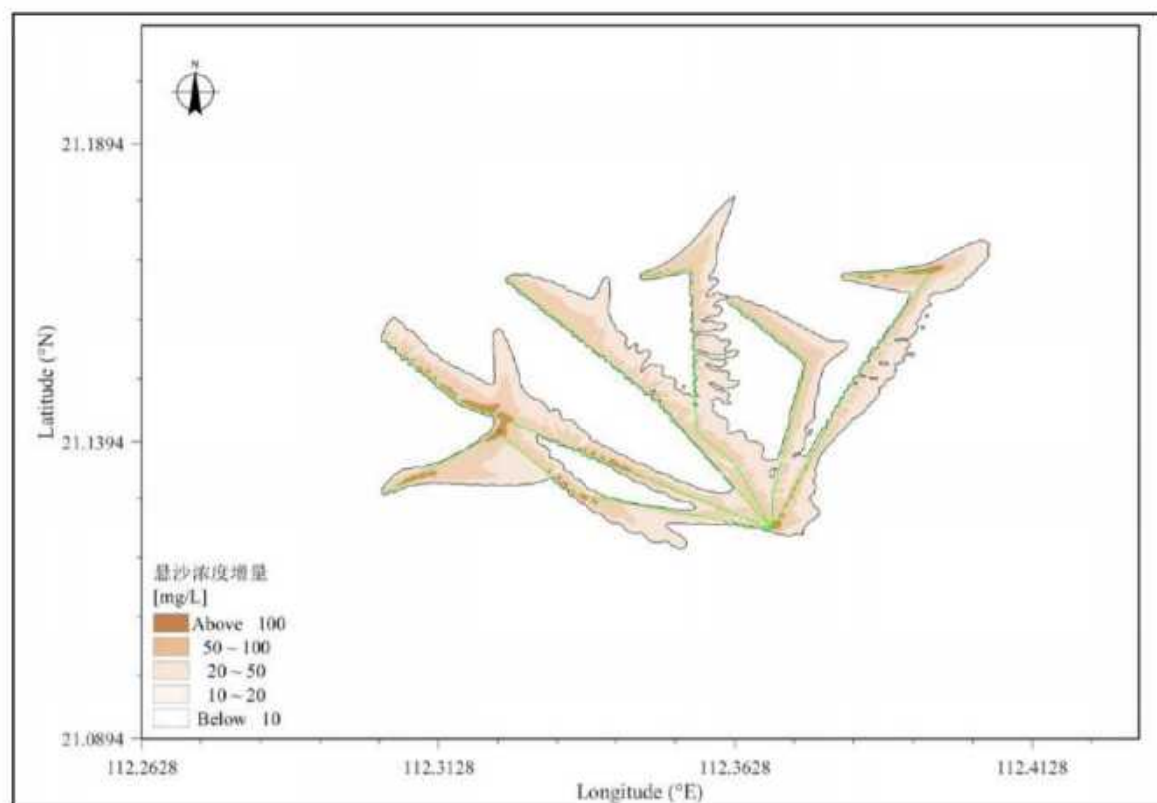


图 6.3.1-5 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（次底层）

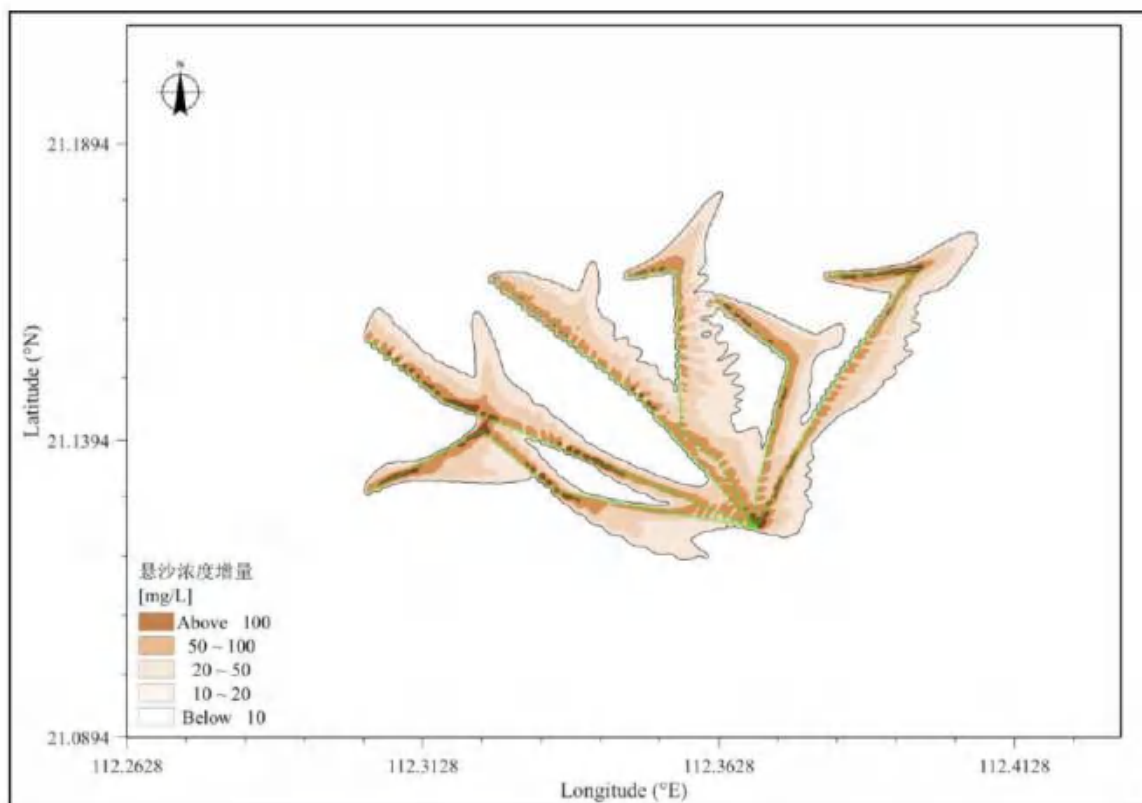


图 6.3.1-6 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（底层）

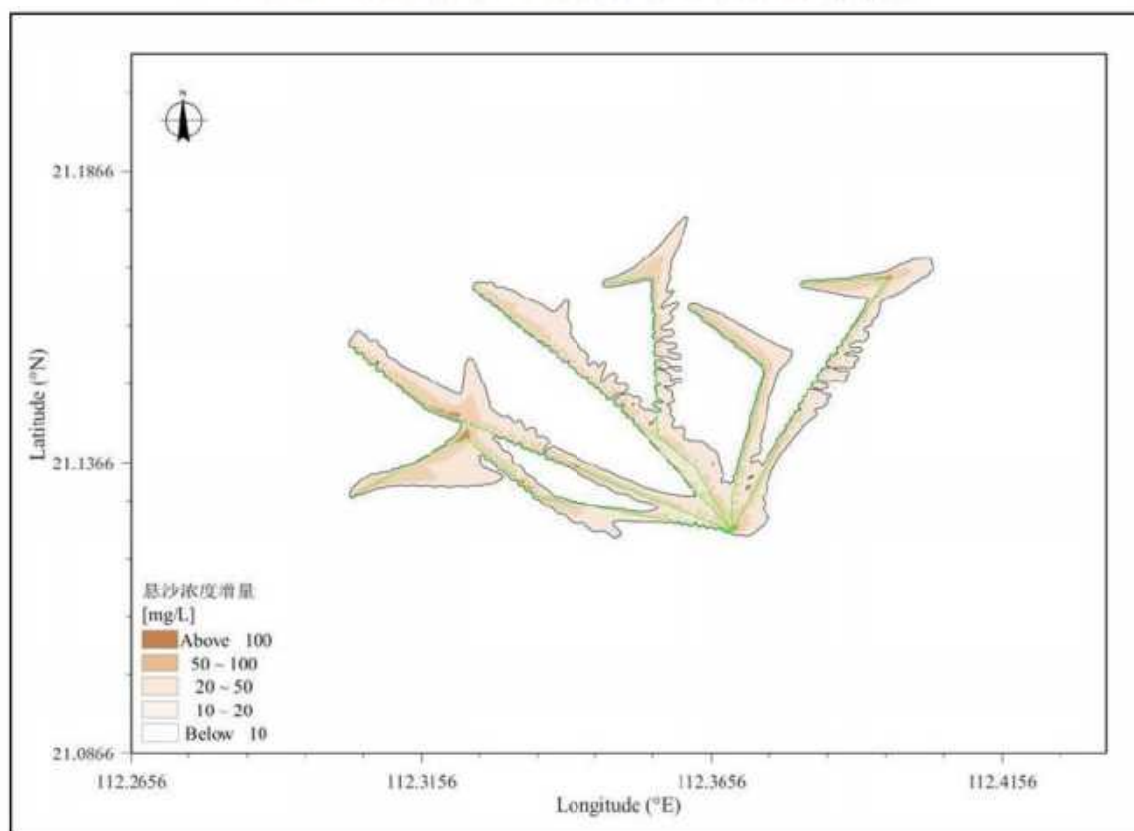


图 6.3.1-7 项目海缆施工产生悬沙增量包络线图（垂向平均）

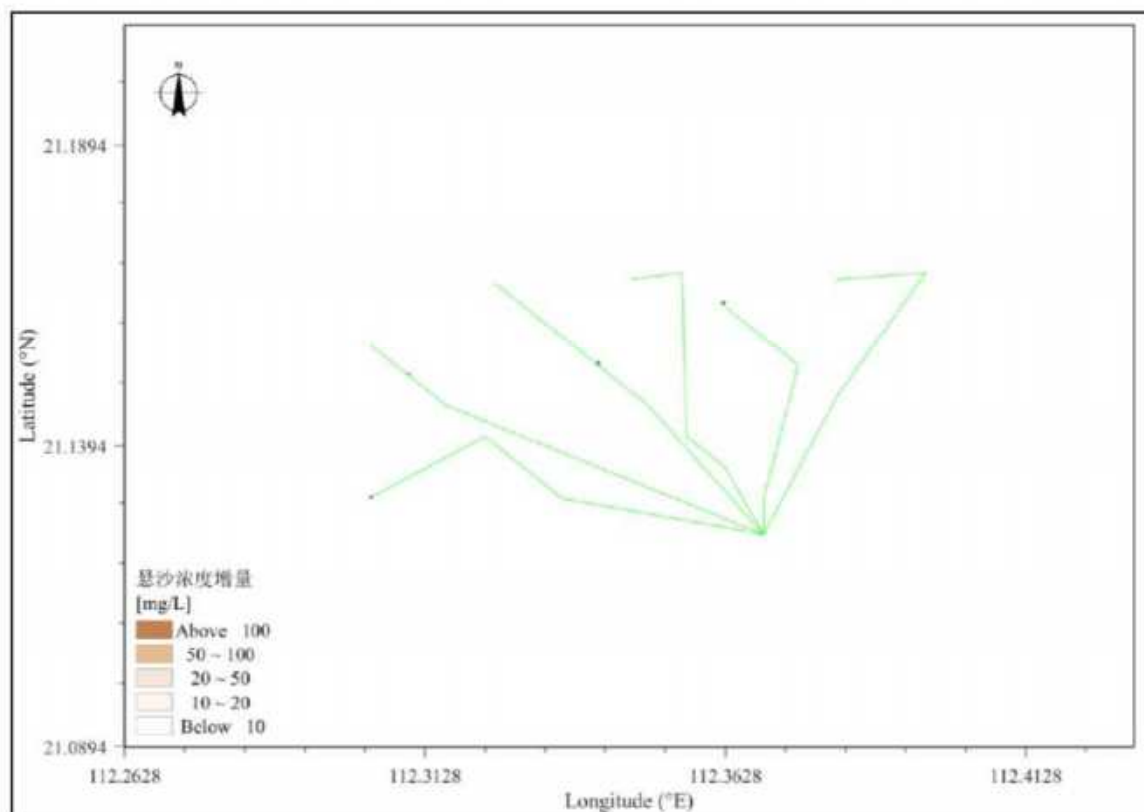


图 6.3.1-8 辅助桩拆除施工产生悬沙增量包络线图（次底层）

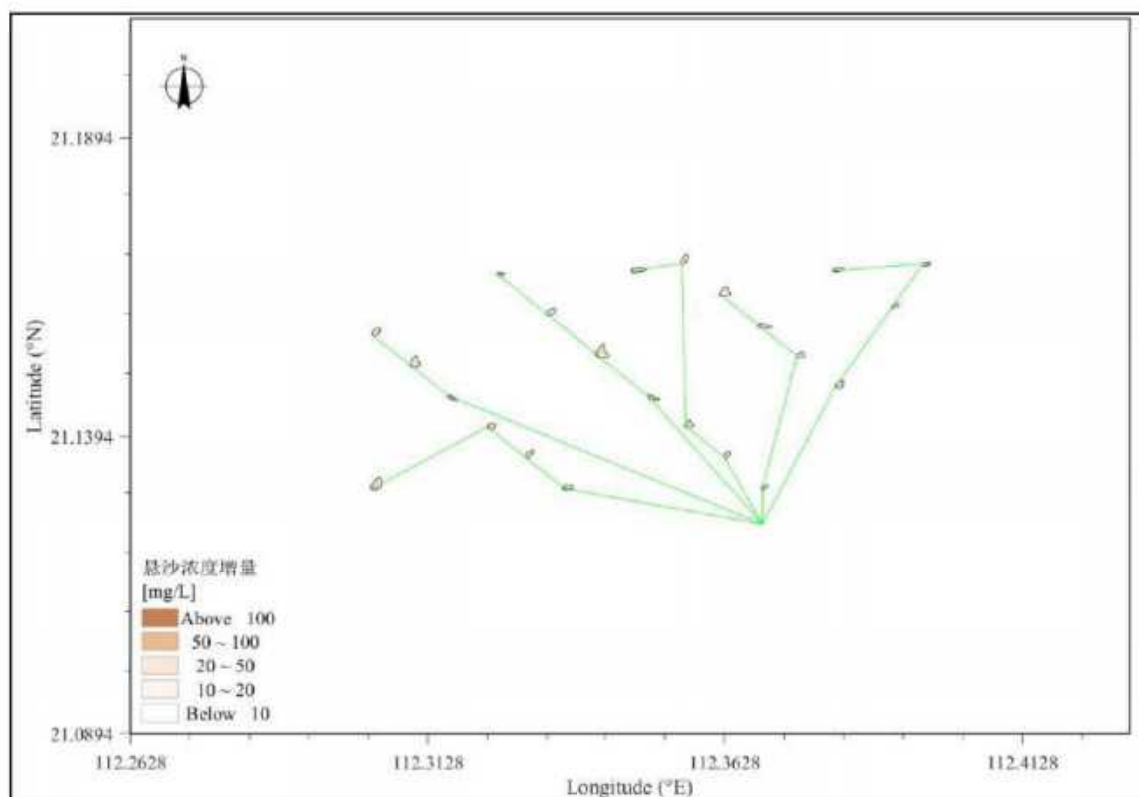


图 6.3.1-9 辅助桩拆除施工产生悬沙增量包络线图（底层）

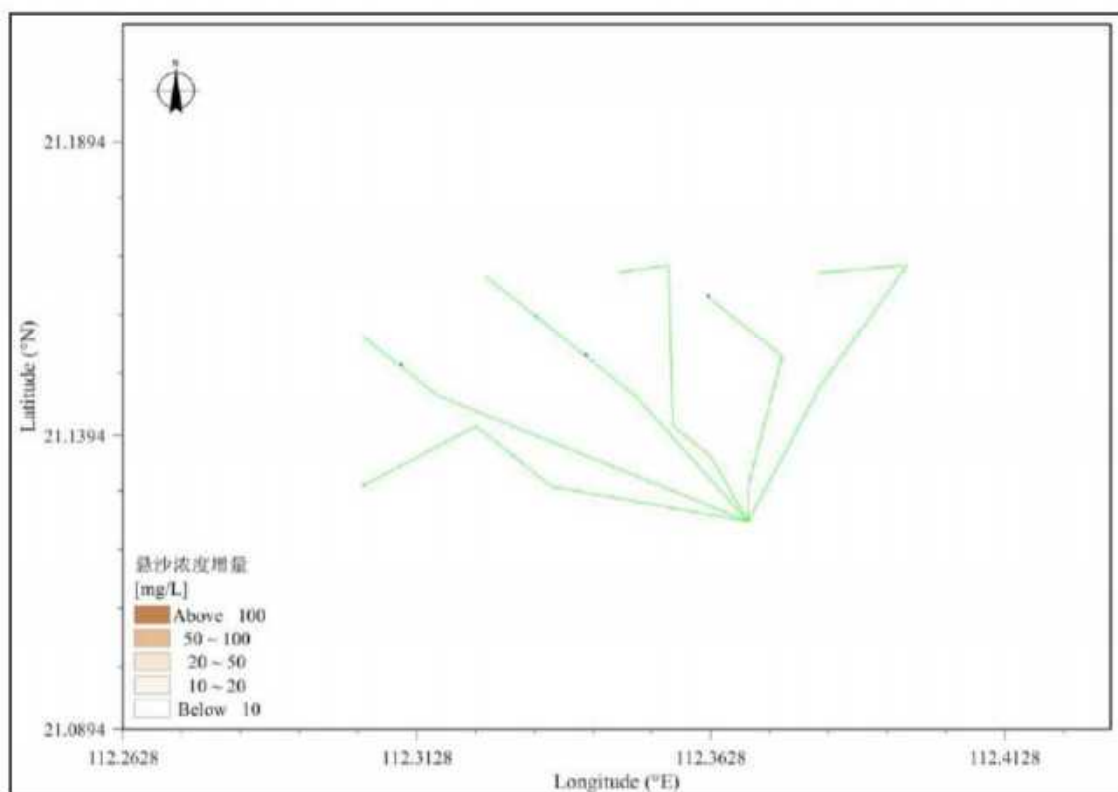


图 6.3.1-10 辅助桩拆除施工产生悬沙增量包络线图（垂向平均）

6.3.1.5 施工期其他水环境影响预测与评价

（1）扫海清障作业悬浮物扩散影响分析

扫海清障作业打捞的障碍物主要是缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，悬浮泥沙源强小于 1kg/s （抓斗船小型作业强度悬沙源强），影响时间为打捞的瞬间。总体来看，扫海清障作业悬浮物影响很小，对周边海洋生态环境影响很小。

（2）钢管桩打桩作业悬浮物扩散影响分析

根据工程分析，本工程钢管桩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，钢管桩沉桩施工产生的悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加（ $>10\text{mg/L}$ ）范围一般在半径在 100m 内，包含在海缆施工悬浮物（ $>10\text{mg/L}$ ）的包络范围内。

（3）施工废水对水质影响分析

本工程作业船舶产生的舱底含油污水和生活污水应严格执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的要求。《船舶水污染物排放控制标准》中最近陆地的定义为“与所在位置最近的领海基线”，项目位置位于领海线以内、领海基线以外，距离领海基线最近距离 14.4km （7.78 海里），属于 $3\text{海里} <$ 与最近陆地间距离

<12 海里的海域，场址内施工船舶生活污水应满足下列条件：（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。船舶含油污水收集上岸交由有能力处理的单位接收处理，禁止外排。在发现砂浆泄漏后及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境较小。施工期无废水排海，对工程海域水质基本无污染影响。

6.3.2 营运期水环境影响预测与评价

营运期检修人员船舶生活污水在满足“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。”条件下排放。运维船舶含油污水收集上岸交由有处理能力的单位统一处理，检修含油污水收集后随检修船回收至岸上送有能力处理的单位处理，基本不会对海域水质环境造成不利影响。

6.4 海洋沉积物环境影响预测与评价

6.4.1 施工期海洋沉积物环境影响预测与评价

（1）风机基础施工

根据本次沉积物环境现状调查的结果，风机基础附近沉积物环境质量状况良好，符合评价海域目标沉积物质量要求，不会对附近海域沉积物环境质量造成不利影响。

（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，在冲埋结束后，在海水运动作用下将回填于缆沟。海底电缆的施工对底质的直接影响就是冲起和覆盖，不会对沉积物性质产生明显影响。

海底电缆铺设时产生的悬浮沙将沉降覆盖在海底电缆两侧，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，基本不会影响海底沉积物质量。

（3）辅助桩拆除

辅助桩拆除时会导致海底泥沙再悬浮，辅助桩施工及拆除过程并没有混入其它污染物，基本不会影响海底沉积物质量。

（4）灌浆溢流

在发现砂浆泄漏后及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海

水水质和沉积物环境较小。

(5) 施工船舶含油污水、生活污水和垃圾

施工期众多大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生一定数量的含油废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶污水未处理达标排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，将直接污染区域海水水质，进而可能影响工程区域海域沉积物环境质量，造成沉积物中废弃物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。本工程作业船舶产生的舱底生活污水严格执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的要求。船舶含油污水和生活垃圾统一收集上岸后交给有能力的单位进行处理，基本不会对所在海域的沉积物环境造成不良影响。

6.4.2 营运期海洋沉积物环境影响预测与评价

本项目风机基础采用防腐涂层+外加电流的联合保护方式，基本不会将金属离子释放到环境中，且营运期产生的废水、固体废物均收集上岸处理，不排放入海。因此，本项目营运期对海洋沉积物环境基本不会产生明显影响。

6.5 噪声环境影响预测与评价

6.5.1 施工期水上噪声影响预测与评价

类比中广核阳江南鹏岛海上风电场施工前和施工中水上噪声调查监测结果，水上施工作业对水上噪声的影响范围相对较小，500m 范围内基本可以达到大多数现状值，本工程 500m 范围内无居民区等噪声敏感点，声环境的影响可以接受。具体监测结果详见下文：

(1) 现状噪声监测结果：

根据《中广核阳江南鹏岛海上风电场环境监测报告》（2018 年 10 月），中国船舶重工集团公司第七〇二研究所在该风电场所在海域开展施工前水上噪声现状调查，等效连续声级监测结果分别为 80.3 dB、71.6 dB、72.2 dB、67.0 dB。

(2) 施工噪声监测结果：

根据《中广核阳江南鹏岛海上风电场环境监测报告》（中国船舶重工集团公司第七〇二研究所，2019 年 9 月），分别在距离噪声源（打桩）178m、512m、710m、1750m 处监测海面上环境噪声等效连续 A 声级，监测结果分别为 82.1dB、72.8 dB、72.6 dB、69.0 dB。

6.5.2 施工期水下噪声影响预测与评价

6.5.2.1 预测方法

冲击式水下打桩为海上风电场施工期间可能最大的水下噪声源强。桩基施打所产生的水下噪声源强主要取决于桩柱管径、重锤敲击能量、海域水深、海底地质等参量。

根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)推荐的声能传播损失计算公式:

(1) 声能传播损失 TL

$$\begin{cases} TL = 20 \lg(r) + \alpha r + 60 - k_L & r < R \\ TL = 15 \lg(r) + \alpha r + a_T \left(\frac{r}{H} - 1 \right) + 5 \lg(H) + 60 - k_L & R \leq r \leq 8R \\ TL = 10 \lg(r) + \alpha r + a_T \left(\frac{r}{H} - 1 \right) + 10 \lg(H) + 64.5 - k_L & 8R < r \end{cases}$$

式中:

TL——传播损失, 单位为分贝 (dB);

r ——距声源的距离, 单位为千米 (km);

α ——海水吸收系数, 单位为分贝每千米 (dB/km), 由公式 (B.9) 给出;

k_L ——近场传播异常修正值, 单位为分贝 (dB), 见表 6.5.2-1;

R ——距离参数, 单位为千米 (km), 由公式 (B.10) 给出;

a_T ——浅海界面衰减系数, 单位为分贝每千米 (dB/km), 见表 6.5.2-2;

H ——水深, 单位为米(m)。

$$\alpha = \frac{0.102f^2}{1+f^2} + \frac{40.7f^2}{4100+f^2} + 3.06 \times 10^{-4}f^2 \quad (\text{B.9})$$

$$R = \left[\frac{1}{3}(H + L) \right]^{1/2} \quad (\text{B.10})$$

式中:

f ——传播损失, 单位为分贝 (dB);

L ——浅海混合层深度, 单位为米 (m)。

表 6.5.2-1 近场传播异常修正值

海况/ 频率 kHz	0		1		2		3		4		5	
	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底
0.1	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2
0.2	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.0	6.2	6.0
0.4	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1	5.8	4.7	4.5

海况/ 频率 kHz	0		1		2		3		4		5	
	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底
0.8	6.0	5.7	6.0	5.6	5.9	5.6	5.3	5.0	4.3	3.9	3.9	3.6
1.0	6.0	5.6	5.9	5.5	5.7	5.3	4.6	4.2	4.1	3.7	3.8	3.4
2.0	5.8	5.4	5.3	4.9	4.2	3.8	3.8	3.4	3.5	3.1	3.1	2.8
4.0	5.7	5.1	3.9	3.5	3.6	3.1	3.2	2.8	2.9	2.4	2.6	2.2
8.0	4.3	3.8	3.3	2.8	2.3	2.5	2.6	2.2	2.3	1.9	2.1	1.7
10.0	3.9	3.4	3.1	2.6	2.7	2.2	2.4	2.0	2.2	1.7	2.0	1.6

表 6.5.2-2 浅海界面衰减系数值

海况/ 频率 kHz	0		1		2		3		4		5	
	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底
0.1	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3
0.2	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.4	1.7
0.4	1.6	2.2	1.6	2.2	1.6	2.2	1.6	2.2	1.7	2.4	2.2	3.0
0.8	1.8	2.5	1.8	2.5	1.9	2.6	2.2	3.0	2.4	3.8	2.9	4.0
1.0	1.8	2.7	1.9	2.7	2.1	2.9	2.6	3.7	2.9	4.1	3.1	4.3
2.0	2.0	3.0	2.4	3.5	3.1	4.4	3.3	4.7	3.5	5.0	3.7	5.2
4.0	2.3	3.6	3.5	5.2	3.7	5.5	3.9	5.8	4.1	6.2	4.3	6.4
8.0	3.6	5.3	4.3	6.3	4.5	6.7	4.7	6.9	5.0	7.3	5.1	7.5
10.0	4.0	5.9	4.5	6.8	4.8	7.2	5.0	7.5	5.2	7.8	5.3	8.0

(2) 海水吸收系数 a

根据海洋科学 2021 年第 45 卷第 8 期《海上风电打桩水下噪声测量及其对大黄鱼的影响》(牛富强等), 水下冲击打桩噪声是典型的低频、高强度的脉冲信号, 单个脉冲持续时间约 90~100ms, 主要能量分布在 50Hz~1kHz 频段。

根据蒋明坤在《江苏北部沿海海域水下环境噪声研究》(上海海洋大学, 2020 年 5 月) 研究表明船舶噪声主要频段在 100Hz~1kHz 之间。

根据式 B.9, 计算得出不同频率的海水吸收系数。

表 6.5.2-3 不同频率海水吸收系数

海况/频率 kHz	海水吸收系数 dB/km
0.1	0.0011
0.2	0.0043
0.4	0.0157
0.8	0.0464
1.0	0.0612

(3) 适用公式

本项目场址平均水深为 45.2m, 浅海混合层深度取值 30m, 根据式 B.10, 计算得出不同距离的距离参数, 从而得出项目不同距离的适用公式。

表 6.5.2-4 不同距离的适用公式情况

r	0 (km)			1 (km)			2 (km)			3 (km)			4 (km)			5 (km)		
	R	H	L	R	H	L	R	H	L	R	H	L	R	H	L	R	H	L
参数	km	m	m	km	m	m	km	m	m	km	m	m	km	m	m	km	m	m
计算结	5.0	45.	3	4.9	44.	3	4.9	43.	3	4.9	42.	3	4.9	42.	3	4.8	41.	3

r	0 (km)			1 (km)			2 (km)			3 (km)			4 (km)			5 (km)		
果	1	2	0	8	4	0	6	7	0	3	9	0	0	2	0	8	4	0
适用公式	r<R			r<R			r<R			r<R			r<R			R≤r≤8R		

6.5.2.2 预测结果

(1) 声能传播损失

由表 6.5.2-4 可知，项目不同距离的适用公式：

$$0\sim 4\text{km}: TL = 20 \lg(r) + \alpha r + 60 - k_L;$$

$$5\text{km}: TL = 15 \lg(r) + \alpha r + \alpha_T \left(\frac{r}{H} - 1 \right) + 5 \lg(H) + 60 - k_L。$$

根据公式计算出项目 5km 不同频率的声能传播损失情况，详见下表。

表 6.5.2-5 不同频率的声能传播损失情况一览表 单位 (dB)

衰减距离 (km)	频率/KHz				
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0
0.01	13.00	13.80	13.90	14.00	14.00
0.02	19.02	19.82	19.92	20.02	20.02
0.05	26.98	27.78	27.88	27.98	27.98
0.1	33.00	33.80	33.90	34.00	34.01
0.2	39.02	39.82	39.92	40.03	40.03
0.5	46.98	47.78	47.89	48.00	48.01
0.8	51.06	51.87	51.97	52.10	52.11
1.0	53.00	53.80	53.92	54.05	54.06
1.5	56.52	57.33	57.45	57.59	57.61
2.0	59.02	59.83	59.95	60.11	60.14
3.0	62.55	63.36	63.49	63.68	63.73
4.0	65.05	65.86	66.00	66.23	66.29
5.0	70.88	71.34	70.78	70.41	70.31

(2) 水下打桩噪声预测

由工程分析可知，项目桩基 3.5m，水下打桩噪声源强为 250dB，结合表 6.5.2-5 计算得出不同频率的声能经距离衰减之后的噪声，详见表 6.5.2-6，水下打桩噪声经过 5km 距离衰减为 179~180dB。本项目拟使用 2 个作业面，为船舶航行安全，桩基施工作业面一般大于 5km，因此不考虑桩基施工的噪声叠加影响。

表 6.5.2-6 不同频率的水下打桩噪声衰减后结果 单位 (dB)

衰减距离 (km)	频率/KHz				
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0
0.01	237	236	236	236	236
0.02	231	230	230	230	230
0.05	223	222	222	222	222
0.1	217	216	216	216	216
0.2	211	210	210	210	210
0.5	203	202	202	202	202
0.8	199	198	198	198	198
1.0	197	196	196	196	196
1.5	193	193	193	192	192

衰减距离 (km)	频率/KHz				
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0
2.0	191	190	190	190	190
3.0	187	187	187	186	186
4.0	185	184	184	184	184
5.0	179	179	179	180	180

(3) 施工期船舶航行及水下冲射挖沟作业噪声预测

本项目船舶航行及水下冲射挖沟作业噪声源强以 12464t 级甲板货船产生 169dB 来计算, 估算其航行时的影响范围。2023 年 9 月工程海域水下噪声总声级 (20Hz-20kHz) 为 121~129dBre1V/ μ Pa, 峰值声压为 178~179dBre1V/ μ Pa; 2023 年 12 月工程海域水下噪声总声级 (20Hz-20kHz) 为 122~129dBre1V/ μ Pa, 峰值声压为 161~171dBre1V/ μ Pa。

由表 6.5.2-7 可知, 船舶噪声经过 560m 距离衰减为 122dB。本项目拟使用 12464t 级甲板货船铺缆船 2 艘, 其他船舶产生的源强较小, 且船舶航行安全距离大于船舶噪声影响距离, 因此不考虑船舶航行的噪声叠加影响。

表 6.5.2-7 不同频率的施工期船舶航行噪声衰减后结果 单位 (dB)

衰减距离 (km)	频率/KHz				
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0
0.01	156	155	155	155	155
0.02	150	149	149	149	149
0.05	142	141	141	141	141
0.1	136	135	135	135	135
0.2	130	129	129	129	129
0.5	122	121	121	121	121
0.56	121	120	120	120	120
0.8	118	117	117	117	117
1.0	116	115	115	115	115
1.5	112	112	112	111	111
2.0	110	109	109	109	109
3.0	106	106	106	105	105
4.0	104	103	103	103	103
5.0	98	98	98	99	99

6.5.3 营运期水上噪声影响预测与评价

6.5.3.1 预测方法

根据实测结果与点声源衰减模式预测结果的拟合, 在距风力发电机组较近情况下, 声源为一面源, 同时受机械噪声等高频噪声的影响, 其噪声不符合点声源的衰减规律; 在风力发电机组较远情况下, 计算点大于风力发电机组几何体 1 倍距离后, 其噪声衰减规律与点声源模式的衰减规律基本一致。甚至在距离风力发电机组水平 50m 以外, 噪声计算值与实测值衰减趋势就基本一致。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》附录 C 推荐的预测模式，风力发电机组影响预测公式如下：

即假定声音从一个点无衰减传播开来，则距离单台风机声源 r 处预测点 A 声级 $L_{P(r)}$ 计算为：

$$L_P(r) = L_W(r_0) - 10 \lg(2\pi r^2)$$

式中： $L_{P(r)}$ —单台风机声源 r 处预测点 A 声级，dB(A)；

$L_W(r_0)$ —单台风机声源 r_0 处 A 声级，dB(A)；

N 台风轮机距离声音源 r 处的噪音水平总效应 $L_{P,total(r)}$ 计算为：

$$L_{p,total} = 10 \lg \sum_{i=1}^N (10^{L_{p,i}/10})$$

6.5.3.2 预测结果

经预测单台风力发电机组衰减趋势见图 6.5.3-1，采用最大声功率 115dB(A) 计算，可知在距风力发电机组直线距离在 400m（1m 处），噪声已衰减至低于 55dB(A)。

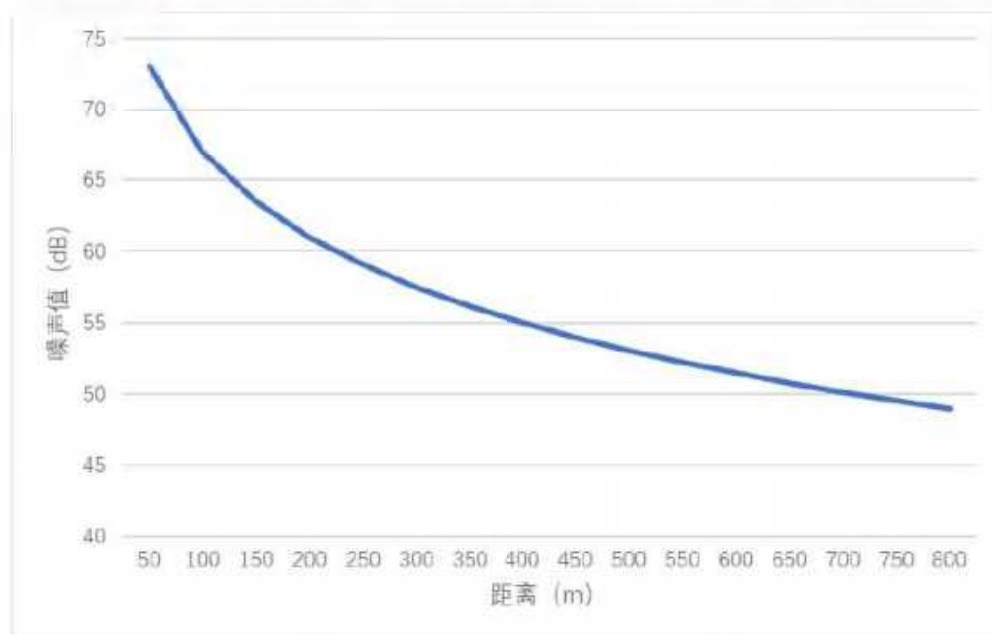


图 6.5.3-1 风力发电机组噪声衰减模拟计算结果

表 6.5.3-1 风电噪声衰减距离表

与轮毂直线距离(m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
噪声级 dB(A)	73	67.0	63.5	61.0	59.1	57.5	56.1	55.0	54.0	53.0	51.5	50.1	49.0

川岛二海上风电场风电机组行间距为 873.36~1164.48m，列间距为 1630.272~2270.736m。在单排风机外 200m 处，风机噪声可衰减至 61.0dB(A)。根据广东宇南检测技术有限公司 2023 年 9 月对川岛二风电场区域的海上噪声背景值监测，

场区的背景值在 53~62dB(A)，由于背景值海上风声和海浪声较大，风电场运行噪声对海上声环境影响仅限于风机附近。

根据风力发电机组的特性，风力发电机组噪声具有指向性，即在顺风向的风机两侧噪声较大，垂直风向的风机叶片两侧噪声较小；而风机布置时为尽可能减小风机之间的尾流影响，控制湍流发生，一般在垂直于主风向上布置风机较多且间距较窄，而在主风向上布置的排数少且排距大，因此风力发电机组间噪声叠加影响非常小，多台风机间仅是影响范围的扩大，基本不增加影响程度。

6.5.4 营运期水下噪声影响预测与评价

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。

根据厦门大学在上海东海大桥海上风电场类比监测结果表明：风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，总体强度随频率增加而明显较小，在 1~20kHz 中功率谱级分布在 140dB/1 μ Pa 到 65dB/1 μ Pa 之间，在 120 到 1.5kHz 有一较宽的裙带状谱，强度增加为 10~20dB/1 μ Pa。在离风机 3 号风机 200m 靠近桥梁及航道上，100Hz 点上的功率谱级达到最大为 128dB/1 μ Pa，比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/1 μ Pa。由于水下噪声的时间-空间-频率等随时变化的特性，测量船只在远离风电场近 4km 处也测量到裙带状的低频背景噪声分布，因此总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。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。

类比调查风机运行水下噪声升压及声功率见图 6.5.4-1。

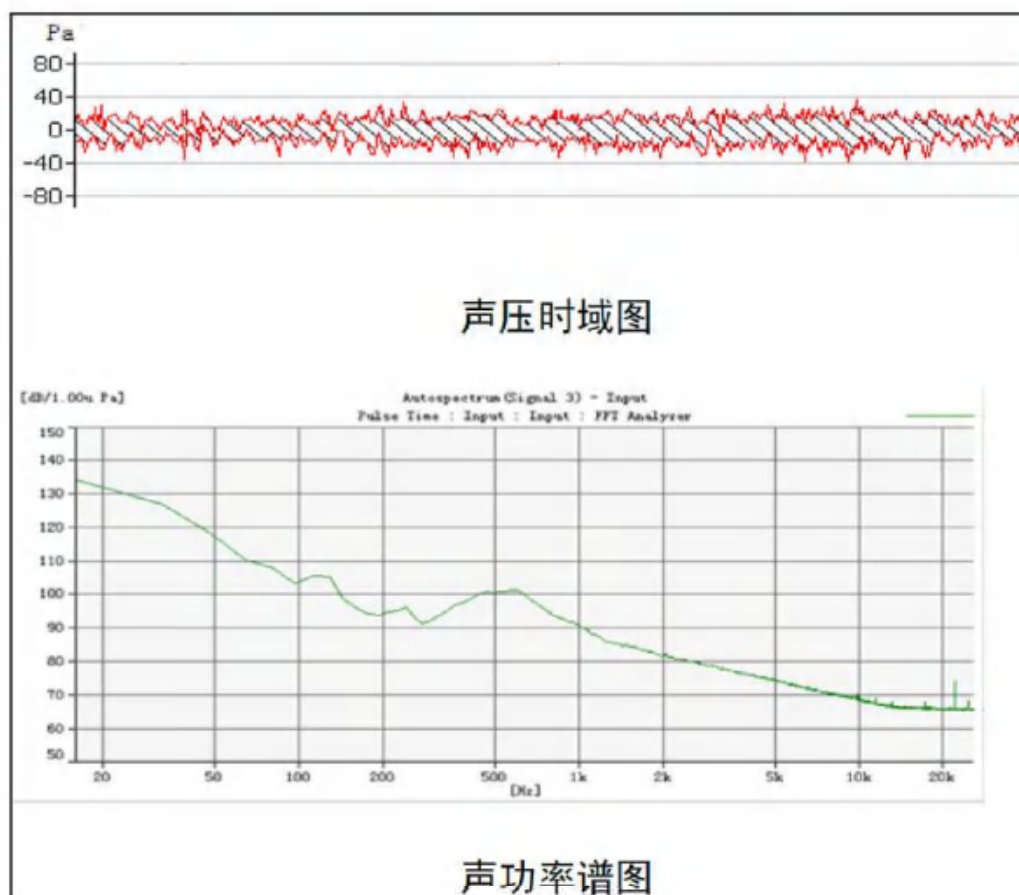


图 6.5.4-1 类比海上风电场水下噪声实测结果

6.5.5 施工期水下噪声对海洋生物影响

6.5.5.1 施工期噪声对海洋生物影响概述

本项目施工期预期噪声主要为水下打桩、水上施工船舶作业、水下冲射挖沟作业噪声等，以及营运期风机运转噪声。这些噪声对海洋生物造成的潜在影响主要包括：掩蔽发声、生理改变、身体损伤、行为生态影响、累计效应等。

(1) 掩蔽发声

因为噪声增加而使声音难以被听到时就会出现声音屏蔽。在这种情况下，动物的行为可能会受到影响，因为它无法检测、解释和应对相关的生物学声音。一般来说只有接收到的声音比能引起明显反应的声音大时才会出现屏蔽。自然界中的声音，如雨水，海浪和其它海洋动物的发声可能会屏蔽一些重要信号。屏蔽可能的影响有：①不能听到远处发声的潜在配偶；②不能有效沟通，母子间的沟通和区分会受到影响；③动物无法侦察到猎物或动物合作狩猎时不能有效沟通，觅食就会受到影响；④如果不能侦测到天敌或其它威胁，就会影响到生存。

(2) 生理作用

海洋动物暴露在声能下可能会引起一系列的生理反应。听觉系统被认为对声音是最为敏感的，但是暴露在声源之下也可能导致诸如压力增大和组织损伤等非听觉生理影响。即使是相对较低的水平，随处可听到的噪声也会增加海洋哺乳动物的压力感，激烈的声音会增加白鲸血液的压力水平，然而温和的声音却不会引起同样的现象。船舶噪声对鲈鱼和大黄鱼血浆皮质醇水平的影响，结果表明：鲈鱼、大黄鱼体内皮质醇水平与噪声强度呈明显的指数型正比关系，随着噪声强度的增加血液中皮质醇水平升高。

（3）物理损失

当海洋动物暴露在以下情况中：短暂地非常激烈的声音、长时间的中等程度的声音、或间歇性重复的但足以造成听力暂时性缺失的声音，可以导致动物听力永久性缺失，或听力的灵敏度的永久减弱，永久缺失导致感觉细胞和神经纤维的损失。有报道座头鲸因暴露在爆炸引起的压力波下而使听觉受到损伤。科学家还假设了其他的一些身体损伤，如耳组织受损、耳鸣、幻听或者听力放大等。鱼类受到极强烈的噪声影响后会造成鱼耳内感觉细胞的毁灭。听力丧失导致的间接影响关系到动物的健康程度，导致鱼对捕食者方位的判断力下降、无法交流、或者无法对周围物理环境进行感知。

（4）行为生态影响

强噪声会使某些动物离开一个区域很短时间，如渔船及机械产生的低频噪声可能引起鱼群规避船舶，许多鱼种使用声波吸引配偶或其它行为，任何噪声对这些声波的掩蔽都可改变鱼的活动行为。相关的生态物种由于受到人为声音的影响，从而改变其与海洋动物的关系或改变生态结构，这就发生了间接生态影响。

（5）累计效应

在某个个体身上不是非常明显的影响过一段时间或者与其它声源的影响结合起来时可能会变成非常重要的影响。比如须鲸使用低频率的声音沟通，因此可能会受地震气枪和航运噪音的影响。同样，声音影响可能会相互作用或其它影响因素相互作用。长时间暴露于水下噪声对海洋动物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。

6.5.5.2 海洋生物受水下噪声影响的声压阈值

根据前文分析，结合《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（以下简称

“评价指南”)表 A.1、表 A.2,可能受本项目噪声影响的海洋生物中华白海豚(高频鲸目)、江豚(超高频鲸目),鱼类(有鱼鳔,鱼鳔与听力相关、卵和幼体)。

根据“评价指南”表 A.3、表 A.4,脉冲噪声对海洋哺乳动物影响阈值详见表表 6.5.5-1,脉冲噪声对鱼类影响阈值详见表 6.5.5-2。

表 6.5.5-1 水下脉冲噪声对海豚听觉影响

听力分组	脉冲噪声	
	TTS (暂时阈值漂移)	PTS (永久阈值漂移)
高频鲸目	244 dB SPL _{pk}	230 dB SPL _{pk}
超高频鲸目	196 dB SPL _{pk}	202 dB SPL _{pk}

备注:峰值声压级 SPL_{pk}。

表 6.5.5-2 水下脉冲噪声对鱼类听觉影响

听力分组	致死或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS (暂时阈值漂移)	声掩蔽	
无鱼鳔	213 dB SPL _{pk}	213 dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近)中等; (中、远)低	(近)高; (中)中等; (远)低
有鱼鳔,鱼鳔与听力无关	207 dB SPL _{pk}	207 dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近)中等; (中、远)低	(近)高; (中)中等; (远)低
有鱼鳔,鱼鳔与听力相关	207 dB SPL _{pk}	207 dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近、中)高; (远)中等	(近)高; (中)高; (远)中等
卵和幼体	207 dB SPL _{pk}	(近)中等、 (中、远)低	(远)中等、 (中、远)低	(近)中等; (中、远)低	(近)中等、 (中、远)低

备注:峰值声压级 SPL_{pk};人为水下噪声累积声暴露级。

6.5.5.3海洋生物受水下噪声影响预测结果

冲击式水下打桩为海上风电场施工期间可能最大的水下噪声源强,可能受本项目噪声影响的海洋生物中华白海豚(高频鲸目)、江豚(超高频鲸目),鱼类(有鱼鳔,鱼鳔与听力相关、卵和幼体)。由工程分析可知,项目桩基 3.5m,水下打桩噪声源强为 250dB。根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)推荐的声能传播损失计算公式计算冲击式打桩施工对海洋生物的影响范围。

(1)对海洋哺乳动物影响分析

对于冲击式的非连续性水下脉冲噪声,根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南(HY/T 0341-2022)》中附录 A 表 A.3 中对高频鲸目(中华白海豚)的声压阈值超过 230dB SPL_{pk}为危险区域,超过 224 dB SPL_{pk}为影响区域;超高频鲸目(江

豚)的声压阈值超过 202dB SPL_{pk} 为危险区域, 超过 196dB SPL_{pk} 为影响区域。

①中华白海豚

本工程施工时, 桩径 3.5m 风机施工时在离桩基 23m 处, 打桩所产生的水下噪声将达到 230dB, 对中华白海豚造成永久性伤害, 因此应确立 23m 范围内为危险区域。在离桩基 45m 处, 打桩所产生的水下噪声将达到 224dB, 对中华白海豚造成影响, 因此应确立 45m 范围内为影响范围。详见表 6.5.5-3。

②江豚

本工程施工时, 桩径 3.5m 风机施工时在离桩基 56m 处, 打桩所产生的水下噪声将达到 202dB, 对江豚造成永久性伤害, 因此应确立 56m 范围内为危险区域。在离桩基 1120m 处, 打桩所产生的水下噪声将达到 196dB, 对江豚造成影响, 因此应确立 1120m 范围内为影响范围。详见表 6.5.5-3。

(2) 对鱼类影响分析

对于冲击式的非连续性水下脉冲噪声, 根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南 (HY/T 0341-2022)》中附录表 A.3 中对有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关、卵和幼体的声压阈值超过 207dB SPL_{pk} 为危险区域, 对有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关的声压阈值超过 186dB SPL_{pk} 为影响范围。

本工程施工时, 桩径 3.5m 风机施工时在离桩基 318m 处, 打桩所产生的水下噪声将达到 207dB, 对有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关、卵和幼体造成永久性伤害, 因此应确立 318m 范围内为危险区域。在离桩基 3550m 处, 打桩所产生的水下噪声将达到 186dB, 对鱼类造成影响, 因此应确立 3550m 范围内为影响范围。详见表 6.5.5-4。

表 6.5.5-3 水下脉冲噪声对海豚听觉影响范围

听力分组	脉冲噪声		脉冲噪声影响距离	
	TTS (暂时阈值漂移)	PTS (永久阈值漂移)	TTS (暂时阈值漂移)	PTS (永久阈值漂移)
高频鲸目	224 dB SPL _{pk}	230 dB SPL _{pk}	45m	23m
超高频鲸目	196 dB SPL _{pk}	202 dB SPL _{pk}	1120m	56m

表 6.5.5-4 水下脉冲噪声对鱼类听觉影响范围

听力分组	致死或潜在致死	损害		影响距离		
		物理损伤	TTS (暂时阈值漂移)	致死或潜在致死	物理损伤	TTS (暂时阈值漂移)
有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关	207 dB SPL _{pk}	207 dB SPL _{pk}	186dB SELcum	318m	318m	3550m
卵和幼体	207 dB SPL _{pk}	/	/	318m	/	/

6.5.6 营运期水下噪声对海洋生物影响

(1) 营运期水下噪声对一般成鱼和海洋哺乳动物的影响

结合海上风电场营运期水下噪声测量结果，同时根据对该海域几种实际鱼种所做的水下噪声实验，结合本项目位于浅海区域，属海积地貌单元，为典型的浅海水声传播信道，噪声在水下传播衰减较快等特点，可以得出：本风电场营运期所带来的轻微的水下噪声增加对一般鱼类和中华白海豚、江豚等海洋生物影响在接受范围内，即这些海洋生物对海上风电场营运噪声做出行为响应的可能性不大。

(2) 营运期水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响

水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响目前数据较少。目前噪声对鱼类产生影响的认识，仅限于成年鱼类，而噪声对于鱼卵和幼体的影响认识甚少。由于成年鱼类会主动远离噪声源，幼体是浮游生活且随海流而动，没有能力远离噪声源。因此，仔稚鱼与成熟阶段相比，可能会受到更多的水下噪声的影响。

挪威学者研究了使用空气枪和水枪作为地震声源，进行海洋三维地质调查中产生的水下强噪声对鳕鱼鱼卵和仔鱼的影响。他们把鱼的鱼卵和仔鱼（鱼卵为在受精后 2, 5, 10 天；鱼幼体为在孵化后的 1, 5, 37, 38, 40, 41, 56, 69, 110 天）暴露于水下空气枪所产生的噪声场中，得出了在使用小强度的空气枪（声源级 222dB）声源级所产生的水下噪声对鳕鱼鱼卵的影响不明显的结论（John Dalen, 1986）。

欧洲鲷分布在北海、地中海，向南到塞内加尔直至佛得角，栖息水深范围是 0~150m，在海底的底泥或沙子中埋栖生活。荷兰学者研究了海上风电场噪声对鲷鱼幼体（sole larvae）的影响。他们利用实际录到的打桩现场噪声（直径 4m 钢桩，水深 20m，峰值声压级最大值为 211dB）刺激无鱼幼体，根据鲷鱼幼体的身体发育程度，把鲷鱼幼体分为 4 个阶段的鲷鱼幼体，观测每个阶段鲷鱼的死亡率。结论是：在两个实验阶段中，不管何种噪声刺激何种发育阶段的鲷鱼幼体，与对照组相比（即未进行噪声刺激），鲷鱼幼体的存活率没有明显的差别，这表明这些鲷鱼幼体能够忍受峰值声压级高达 211dB 打桩噪声的刺激（Loes J.bolle et.al,2012）。同时，他们分析指出鱼鳔是一种对声压敏感的器官，有鱼鳔的鱼比没有鱼鳔的鱼更容易受到噪声的影响。鲷鱼幼体发育期间只有部分阶段有一个鱼鳔。这可能是在第 1 阶段和第 2 阶段中，噪声对幼体无明显影响的原因。然而，对大菱鲆仔鱼的卵黄囊观察研究中发现，噪声对其的显著影响，且这时幼体并没有鱼鳔（Loes J.bolle et.al, 2012）。

水下噪声对产卵场、索饵场和洄游通道的不同鱼类目前研究不多，因此在营运期水下噪声对产卵场、索饵场和洄游通道的鱼类影响还有待进一步深入的研究。

(3) 营运期不同风速水下噪声对海洋生物影响

风机在不同风速下产生的水下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）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re 1μPa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。除了在离桩基 50m 范围内对石首鱼科的通讯距离会产生掩蔽效应影响外，对一般的鱼类和海洋哺乳动物的影响在可以接受范围内。

6.5.7 声环境影响评价自查表

表 6.5.7-1 声环境影响评价自查表

工作内容		自查项目					
评价等级与范围	评价等级	一级 ☐ 二级 ☒ 三级 ☒					
	评价范围	200m ☐ 大于 200m ☒ 小于 200m ☐					
评价因子	评价因子	等效连续 A 声级 ☒ 最大 A 声级 ☐ 计权等效连续感觉噪声级 ☐					
评价标准	评价标准	国家标准 ☒ 地方标准 ☐ 国外标准 ☐					
现状评价	环境功能区	0 类区 ☐	1 类区 ☐	2 类区 ☐	3 类区 ☒	4a 类区 ☐	4b 类区 ☐
	评价年度	初期 ☐		近期 ☒		中期 ☐	
	现状调查方法	现场实测法 ☒ 现场实测加模型计算法 ☐ 收集资料 ☐					
	现状评价	达标百分比		100%			
噪声源调查	噪声源调查方法	现场实测 ☐ 已有资料 ☒ 研究成果 ☐					
声环境影响预测与评价	预测模型	导则推荐模型 ☐ 其他 ☒					
	预测范围	200m ☐ 大于 200m ☒ 小于 200m ☐					
	预测因子	等效连续 A 声级 ☒ 最大 A 声级 ☐ 计权等效连续感觉噪声级 ☐					
	场界噪声贡献值	达标 ☐ 不达标 ☐					
	声环境保护目标处噪声值	达标 ☐ 不达标 ☐					
环境监测计划	排放监测	场界监测 ☒ 固定位置监测 ☐ 自动监测 ☐ 手动监测 ☐ 无监测 ☐					
	声环境保护目标处噪声监测	监测因子：（ ）			监测点位数（ ）		无监测 ☒
评价结论	环境影响	可行 ☒ 不可行 ☐					

注：“☐”为勾选项，可√；“0”内容填写项。

6.6 电磁辐射环境影响预测与评价

6.6.1 66kV 电磁场强度预测分析

本风电场运行后，风电场区内 66kV 海底电缆电磁场影响预测采用类比分析方法，类比对象为粤电阳江青洲一海上风电场项目 66kV 海底电缆模拟计算结果。

从电压等级、电缆结构、外围环境进行分析，说明项目与粤电阳江青洲一海上风电场项目 66kV 海底电缆电磁辐射影响具有类比性。

表 6.6.1-1 66kV 海底电缆可比性分析

海底电缆	粤电阳江青洲一海上风电场项目 66kV 海底电缆（类比电缆）	本工程海底电缆
电压等级	66kV	66kV
电缆结构	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	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
外围环境	海底，地形较为平坦	海底，地形较为平坦

评价结论表明，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。因此 6 根电缆并行排列时，电磁环境影响效应不明显。对于 66kV 的海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 1 μ T 以下，对输电线路沿线电磁环境基本无影响。

本工程风电场内集电海缆电压等级、电缆结构及外围环境与类比对象电缆相同，根据本项目场内集电线路排布，升压站同侧接入的 66kV 海缆为 2 根，其产生的工频电磁场影响较类比对象电缆可能略高。结合类比评估预测结果，可以预测本工程场址 66kV 海缆工频电场强度和工频磁感应强度均能满足《电磁环境控制限制》（GB8702-2014）中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

6.6.2 电磁场对海洋生物影响评价

（1）电磁场对鱼类影响

1.0mT 强度磁场暴露对黑鲷的存活率 and 行为有一定影响，撤销磁场后，影响消失。1.0mT 电磁场作用下，黑鲷幼鱼集中分布在水体中上层，有集体浮出水面的意向，动作频率幅度大；少数鱼冲撞鱼缸底玻璃，区别于正常的觅食行为；撤销磁场 10min 后，受试生物行为恢复正常。

随着电磁场强度增强（0~4.05mT），黑鲷、半滑舌鳎的存活率受磁场影响加剧（呈现降低的趋势）；0.2mT（距离海底电缆 1.2m 外）是黑鲷、半滑舌鳎能耐受的

磁场。该范围主要是营底栖游泳生物的生活区域，从实验结果可初步判断黑鲷、半滑舌鳎存活率的磁场耐受范围。并推测栖息在该范围（即距离海底电缆 1.2m 外）的海洋鱼类受风电磁场影响不明显。

（2）电磁场对海洋底栖贝类影响

纵肋织纹螺回避行为受磁场影响明显。24h 之内，4.05 和 0.9mT 暴露条件下的纵肋织纹螺分别有 8.3%和 3.3%逃离了试验缸，剩余部分均分布于试验缸边缘。其余梯度试验缸的生物分布较为均匀，未发生逃离现象。

文蛤对磁场的耐受性较好。试验结果显示其磁场耐受范围为 0.9mT（电缆自身磁场），文蛤存活率仅在梯度V（4.05mT）受一定影响，呈现降低的趋势，说明事故状态模拟磁场会造成文蛤存活率下降，而风电场在正常运行中海底电缆产生的磁场对文蛤的存活率不存在影响。长期暴露于静电磁场的海洋底栖动物可以在 3.7mT 的静电磁场中生存 28d 以上，而且其生殖腺和繁殖期指数和对照并无显著差异。

（3）电磁场对海洋底栖虾蟹类影响

磁场暴露下黑褐新糠虾的存活率有所降低，梯度V（4.05mT）表现尤为明显。与对照相比，其存活率显著降低（降低了 10.53%）。脊尾白虾、口虾蛄、三疣梭子蟹、寄居蟹等其他 4 种虾蟹类存活率未受磁场影响。

由上述研究结果可知，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，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》（GB8702-2014）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。

本工程海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有一定的屏蔽作用，且鱼类活动空间较大，在海底区域活动的鱼类种类及数量相对较少。且根据类比陆上电缆线路可知，由类比分析可知，本工程海缆上方 1m（中心处）工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）公众暴露控制限值 0.1mT。因此工程产生的电磁场对底栖贝类和鱼类、虾蟹类影响较小。另外根据国内外现有电磁场对海洋鱼类的影响研究资料分析，风电场运行期间，海底电缆经保护层及沉积物屏蔽后，产生的工频电磁场不会改变鱼类的洄游路线及洄游形式。

6.7 海洋生态环境影响分析

6.7.1 对生物资源的影响分析

6.7.1.1 施工期对生物资源影响分析

(1) 对底栖生物的影响

①影响范围的确定

项目评价范围内不涉及大陆、海岛，不会对潮间带生物产生影响。风机基础开挖沉桩及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。

本项目拟建设 23 台 18MW 风机，风机基础均采用四桩导管架基础，桩直径为 3.5m，则风机桩基占用海域面积为 $\pi \times (3.5/2)^2 \times 4 \times 23 = 885.14\text{m}^2$ 。风机基础施工需要定位架来维持稳定，定位架防沉板会占用海域，防沉板尺寸为 28m×28m（中心存在空心方孔，中心方孔为 10m×10m），则 1 台风机施工定位架占用海域面积为 684m²，23 台风机施工定位架占用海域面积为 15732m²。

本项目 66kV 集电海底电缆总长约 40.20km，考虑海缆管沟开挖及其悬浮物再沉降的边际效应，海底电缆铺设造成底栖生物生境破坏范围按照电缆两侧各 5m 宽计算，则本项目海缆施工造成底栖生物损失的面积为 402000m²。

表 6.7.1-1 施工期底栖生境破坏面积一览表

工程名称	生境破坏面积/m ²
风机基础桩基	885.14
定位架防沉板	15732
海缆	402000
合计	418617.14

由上表可知，本项目施工造成底栖生物底质生境面积为 418617.14m²。

②底栖生物的影响

风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。

风电机组桩基将对其用海范围内的海域产生永久性的占用，在该范围的底栖生物将全部被掩埋、覆盖而灭亡，同时还将长期占用该海域底栖生物的生存空间，导致一定区域范围内底栖生物资源的永久损失，这种对底栖生境的破坏是不可逆的。

本项目海底电缆敷设等海上作业施工，改变了底栖生物原有的栖息环境，局部施工海域将彻底改变其底质环境，使得少量活动能力强的底栖生物逃往他处，而大

部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少量能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都难以存活。

施工悬浮物等增加将降低海水透明度，透明度降低会使底栖生物正常的生物过程受到影响，一些敏感种会受损、甚至消失，由于悬浮物影响程度及范围均较小，且施工停止后，可以恢复到接近正常水平。

通过分析可以看出，本工程风机桩基建设对底栖生物栖息环境的彻底破坏，且是永久的、不可恢复的；海底电缆敷设作业将使作业区所在海域底栖生物的栖息环境的破坏，施工结束后，随着新的底栖生物等植入而产生新的栖息环境。

(2) 对浮游生物及游泳生物的影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升。

风机桩基施打产生悬浮泥沙对海洋生物将产生一定的影响，根据分析，桩基础施打会引起周围 100m 半径范围内悬浮泥沙增加 ($>10\text{mg/L}$)。

施工悬浮物使工程附近局部海域混浊度增加，降低了水体的透光率，限制了浮游植物和底栖植物的光合作用率，导致该水域内初级生产力下降。初级生产力的降低将通过食物链影响到整个生态系统的各个环节。透光率的降低还会改变某些靠光线强弱而进行垂直迁移的浮游动物的生活规律。

对部分游泳生物来讲，悬浮物的影响也较为显著。悬浮固体，细微的固体颗粒会粘附在动物的表面，干扰动物的感觉功能；有些粘附甚至引起动物表皮组织溃烂；通过动物的呼吸，悬浮物会阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难；滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内消化系统混乱。水体的浑浊还会降低水中溶解氧含量，进而对用于生物和浮游动物产生不利影响。

由于水质浑浊，阳光透射率下降，使得该片水域内的游泳生物迁移到别处。在施工期间，洄游到这里或经过这里产卵的群体，由于产卵场的环境受到干扰而改变正常的洄游路线。在这里栖息、生长的一些地方性种类以及幼体、在浅水区索饵成长的幼鱼幼虾，其正常的分布规律被扰乱，导致部分鱼群改变原有的集群和正常的洄游路线。

施工悬沙浓度增加导致海水水质变差，鱼卵和仔稚鱼将受到悬浮泥沙的影响而死亡。悬浮泥沙对鱼卵的影响很大，水体中若含有过量的悬浮固体，细微颗粒会粘

附在鱼卵的表面，妨碍鱼卵呼吸，不利于鱼卵的孵化，从而影响鱼类繁殖。据研究，当悬浮固体物质含量大到 1000mg/L 以上，鱼类的鱼卵能够存活的时间将很短。

从水环境影响预测结果来看，施工悬沙增量大于 10mg/L（超二类海水水质标准）的垂向平均影响范围为施工区域附近 10.840km² 内，施工期这一范围内，初级生产力下降，渔业资源受到一定的影响。根据以往疏浚工程产生的悬浮物的影响程度来看，悬浮物对水质的影响在工程结束后延续 4~5 个小时可基本消除。因此，施工悬沙对水质的影响属于短期环境效应，随着施工作业结束，水质将逐渐恢复，随之而来的便是生物的重新植入。

6.7.1.2 营运期对生物资源影响分析

营运期影响主要是风机基础和海缆占压影响。在占用海域范围内，原有泥质型的底栖生物类群不可恢复。

6.7.1.3 对海洋生物资源损耗分析

参照农业部颁布的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）（以下简称《规程》）对本工程生态损失进行评估计算。

（1）底栖生物资源损失量估算

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。风机定位架施工、海底电缆的铺设造成底栖生物一次性破坏。参照《规程》，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 —第 i 种生物资源受损量，此处为底栖生物资源受损量；

D_i —评估区域内第 i 种生物资源密度，此处为底栖生物平均生物量；

S_i —第 i 种生物占用的水域面积，此处为破坏面积。

由于底栖生物活动能力较弱，因此项目底栖生物损失计算的生物量选择场址内及周边站位的平均密度进行计算。

表 6.7.1-2 秋季站位底栖生物计算一览表（单位：g/m²）

秋季站位	CD14	CD15	CD17	CD18	CD20	平均值
生物量	0.910	0.595	0.510	0.280	0.440	0.547

表 6.7.1-3 底栖生物直接损失量估算表

工程	破坏性质	破坏面积 (m ²)	底栖生物生物 量 (g/m ²)	底栖生物损失量 (t)
风机桩基压占	长久占用底栖生境	885.14	0.547	0.0005
定位架压占	一次性破坏底栖生	15732		0.0086

工程	破坏性质	破坏面积 (m ²)	底栖生物生物 量 (g/m ²)	底栖生物损失量 (t)
海底电缆敷设	境	402000		0.2199
合计				0.229

(2) 浮游生物及渔业资源损失量估算

①计算公式

本工程的施工污染物主要为海缆敷设及风机基础施工产生的悬浮泥沙。钢管桩打桩悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 范围一般在半径在 100m 内, 风电机组行间距为 3.0~3.5D, 列间距为 7.1~9.2D (D 为风机叶轮直径, D=291.12m), 则每台风机之间桩基施工悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 范围不会重叠; 每台风机辅助桩 (4 根) 打桩、风机基础钢管桩 (4 根) 打桩、辅助桩 (4 根) 拔桩用时分别为 1 天、2 天、1 天, 则每台风机基础施工悬浮物浓度增量区域存在时间少于 15 天, 根据《规程》界定对海洋生物资源的损害属于一次性损害。

工程海底电缆施工属于移动源, 悬沙最大包络线浓度增量区域存在时间均少于 15 天, 根据《规程》界定对海洋生物资源的损害属于一次性损害。

根据《规程》, 生物资源损害量按以下公式计算:

$$M_i = W_i \times T$$

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

式中: M_i ——第 i 种类生物资源累计损害量, 单位为尾、个或千克 (kg);

W_i ——第 i 种类生物资源一次性平均损失量, 单位为尾或个或千克 (kg);

T ——污染物浓度增量影响的持续周期数 (以实际影响天数除以 15), 单位为个。

D_{ij} ——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度, 单位为尾平方千米、个平方千米或千克平方千米 (kg/km²);

S_j ——某一污染物第 j 类浓度增量区面积, 单位为平方千米 (km²);

K_{ij} ——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率, 单位为百分之 (%);

n ——某一污染物浓度增量分区总数。

海缆施工悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 的范围包含风机基础施工悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 的范围, 选用海缆施工悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 的范围计算海

洋生物资源损失量。

②取值依据

1) 污染物浓度增量区面积 (S_i) 和分区总数 (n)

根据 6.3 节水质环境影响预测与评价, 结合《规程》对污染物超标倍数的分类, 不同超标倍数的 SS 增量整体包络线面积汇总见下表。

表 6.7.1-4 不同超标倍数的 SS 增量整体包络线面积汇总

污染物 i 的超标倍数 B_i	对应的 SS 浓度范围 (mg/L)	SS 增量各浓度平均最大包络面积 (km^2)
$B_i \leq 1$ 倍	$10 < B_i \leq 20$	$10.840 - 4.878 = 5.962$
$1 < B_i \leq 4$ 倍	$20 < B_i \leq 50$	$4.878 - 1.364 = 3.514$
$4 < B_i \leq 9$ 倍	$50 < B_i \leq 100$	$1.364 - 0.366 = 0.998$
$B_i > 9$ 倍	$B_i > 100$	0.366

2) 生物资源损失率 (K_{ij})

基于《规程》中关于污染物对各类生物损失率的描述, 本报告中不同扩散浓度范围内生物损失率取值见下表。

表 6.7.1-5 《规程》中对污染物对各类生物损失率的规定

污染物 i 的超标倍数 (B_i)	各类生物损失率 (%)			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$B_i \leq 1$ 倍	5	< 1	5	5
$1 < B_i \leq 4$ 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
$4 < B_i \leq 9$ 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
$B_i > 9$ 倍	≥ 50	≥ 20	≥ 50	≥ 50

注: 1. 污染物 i 的超标倍数 (B_i), 指超出《渔业水质标准》或超 II 类《海水水质标准》的倍数, 对标准中未列的污染物, 参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定; 当多种污染物同时存在, 以超标倍数最大的污染物为评价依据;
2. 损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡, 以及生物质量下降等影响因素的综合系数;
3. 本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类, 毒性试验数据作相应调整。
4. 本表对 pH、溶解氧参数不适用。

表 6.7.1-6 海洋生物损失率取值

污染物 i 的超标倍数 (B_i)	各类生物损失率 (%)				
	鱼卵	仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$B_i \leq 1$ 倍	5	5	0.5	5	5
$1 < B_i \leq 4$ 倍	15	15	5	20	20
$4 < B_i \leq 9$ 倍	40	40	15	40	40
$B_i > 9$ 倍	50	50	20	50	50

3) 持续周期数 (T) 和计算区超标范围的水层平均厚度

影响周期为海缆铺设施工期, 即每个点的海缆铺设是一次性施工, 悬沙污染影响周期取 1。悬沙影响范围内平均水深约 45.2m。

4) 生物资源密度 (D_{ij})

浮游植物、浮游动物、鱼卵、仔稚鱼、游泳生物选取秋季所有调查站位的平均值进行计算。

表 6.7.1-7 秋季调查海洋生物资源统计表

海洋生物类别	单位	秋季
浮游植物	ind/m ³	1394571
浮游动物	mg/m ³	298.08
鱼卵	粒/m ³	0.451
仔鱼	尾/m ³	0.170
游泳生物	kg/km ²	177.751

③海洋生物资源损失量计算结果

1) 对浮游生物的影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由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。桩基施工和电缆沟开挖会引起海底泥沙再悬浮，海底泥沙中有害物质也会再溶出，从而可能对周围水域的浮游生物产生一定不利的影响。

通过计算结果显示，本工程施工期浮游植物损失总量为 9.979×10^{13} 个，浮游动物损失总量为 2.133×10^4 个。

2) 对渔业资源的影响

风机辅助桩基拔桩施工、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对开挖区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。根据渔业水质标准，第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应 $\leq 10\text{mg/L}$ ，悬浮物浓度增量大于 10mg/L ，可能对鱼类生长造成影响。该水域范围内，鱼卵、仔鱼因高浓度的含沙量而发生死亡，在该范围内成鱼可以回避，但幼体由于缺乏足够的游泳能力将出现部分死亡。

通过计算结果显示，本工程施工期鱼卵的直接损失量 2.869×10^7 粒，仔稚鱼的直接损失量为 1.081×10^7 尾，游泳生物的直接损失量为 0.076t 。

同时，上述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。

表 6.7.1-8 项目施工悬浮泥沙扩散对生物直接损失量汇总表

工程	海洋生物种类	直接损失量
悬浮物扩散	浮游植物 (个)	9.979×10^{13}
	浮游动物 (个)	2.133×10^4

工程	海洋生物种类	直接损失量
	鱼卵（粒）	2.869×10^7
	仔鱼（尾）	1.081×10^7
	游泳生物（t）	0.076

（3）海洋生物资源损耗汇总

本工程实施造成底栖生物直接损失量为 0.229t，浮游植物直接损失量为 9.979×10^{13} 个，浮游动物损失总量为 2.133×10^4 个，鱼卵直接损失量为 2.869×10^7 粒，仔稚鱼的直接损失量为 1.081×10^7 尾，游泳生物的直接损失量为 0.076t。

项目实施后建设单位落实生态修复和补偿方案，则工程建设对海洋生态环境影响可接受。

表 6.7.1-9 工程实施对海洋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
风机基础桩基压占、风机导向架压占、海底电缆敷设	底栖生物（t）	0.229
悬浮物扩散	浮游植物（个）	9.979×10^{13}
	浮游动物（个）	2.133×10^4
	鱼卵（粒）	2.869×10^7
	仔鱼（尾）	1.081×10^7
	游泳生物（t）	0.076

6.7.2 水文动力和冲淤环境变化对生态环境的影响分析

（1）水文动力环境的变化对生态环境的影响分析

根据 6.1 章节水动力影响预测结果表明，工程实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于 $-0.014 \sim 0.001 \text{m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-2.7 \sim 1.1^\circ$ 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 $-0.032 \sim 0.001 \text{m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-1.2 \sim 1.1^\circ$ 之间。

工程实施后对工程附近水动力环境影响有限，总体上看，由于风机桩基直径不大，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响，对生态环境的影响较小。

（2）冲淤环境变化对生态环境的影响分析

根据 6.2 章节地形地貌与冲淤影响预测结果表明，本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响，工程实施对海域冲淤影响主要出现风电桩基附近。工程建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化，变化主要出现在工程周边海域。预测结果表明，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速受桩基影响出现一定程度减缓，导致风电

桩基背水面和迎水面海域出现 0.004~0.015m/a 左右的淤积，而工程周边海域受到的冲刷作用不明显，冲刷幅度不超过 0.004m/a。

6.7.3 对海洋生态敏感目标的影响分析

项目周边的环境敏感目标主要为鱼类产卵场、生态保护红线区、海龟及中华白海豚、江豚等珍稀水生生物物种。

6.7.3.1 对生态保护红线区的影响

本项目风电场址不占用生态保护红线区，评价范围内的生态保护红线区为西北侧 7.6km 的东平镇南珍稀濒危物种分布 II 区，根据数模预测结果，项目悬浮泥沙扩散最远距离为 1.6km，故海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙增量 $>10\text{mg/L}$ 的范围不会扩散至东平镇南珍稀濒危物种分布 II 区，对该生态保护红线区影响甚微。

工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速受桩基影响出现一定程度减缓，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现 0.004~0.015m/a 左右的淤积，而工程周边海域受到的冲刷作用不明显，冲刷幅度不超过 0.004m/a，冲淤变化主要发生在风机桩基周边海域，基本不会对东平镇南珍稀濒危物种分布 II 区冲淤环境造成影响。

6.7.3.2 对鱼类产卵场的影响

根据《中国海洋渔业水域图》（第一批）南海区渔业水域图（第一批），本项目风电场区位于南海底层、近底层鱼类产卵场。南海底层、近底层鱼类产卵场主要包括金线鱼、深水金线鱼、二长棘鲷、红笛鲷、绯鲤类、短尾鳍大眼鲷、长尾大眼鲷、脂眼鲱和黄鲷产卵场。本项目风电场区涉及的产卵场为长尾大眼鲷及金线鱼产卵场。长尾大眼鲷产卵场位于海陵岛南部，水深 26m~80m，产卵期为 5~7 月。金线鱼产卵场分布范围较广，由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近，水深 25m~107m，主要是 40m~80m，产卵期为 3~8 月。因此主要环境保护对象为长尾大眼鲷和金线鱼，保护目标为海水水质及生态环境。

项目对产卵场的影响主要为施工期悬浮泥沙影响，施工产生的悬沙浓度增加导致海水水质变差，将影响到鱼卵和仔稚鱼的孵化率和成活率，甚至造成其直接死亡。施工悬沙浓度的增加也会造成成鱼的回避减少鱼类进入该海域产卵。本项目施工悬沙污染主要发生在海底电缆铺设以及风机打桩环节，以悬沙浓度超过 100mg/L 统一作为游泳生物幼体受影响区，根据 6.3.1 节施工悬沙扩散影响预测结果可知，底层悬沙浓度超过 100mg/L 扩散范围海域底层约 1.735 km^2 ，施工结束则很快恢复，该范围

内鱼类幼体因高浓度的含沙量而发生部分死亡，此外，工程海域分布有游泳能力相对较差的底栖性鱼类，这些鱼类也会因来不及游离施工悬沙影响区从而出现一定比例的死亡。高浓度的悬浮泥沙排放时间较短，随着施工作业结束，悬浮泥沙将在数小时内恢复海域本底水平，影响也随之消失，建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避开 5~7 月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下 5~7 月期间降低施工强度。

虽然工程施工期间对部分敏感目标产生了不利影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减。由于项目风机施工打桩时间有限，施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续性，持续时间也有限，无多声源叠加等特点，但打桩施工噪声也会对临近的海洋生物资源造成一定程度的影响。另外一方面，本风电场项目建成后，风机基础可起到人工鱼礁的作用，对鱼类产卵和仔稚鱼、幼鱼、幼虾的生长繁育起到保护作用。

此外，本项目营运期对产卵场的影响主要为风机基础结构占用海域造成其栖息地的减少，本项目风电电场场址桩基占用海床约 885.14m²，相对所占比例很小，且冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

针对项目建设引起的渔业资源损失，建设单位拟采取增殖放流、人工鱼礁的生态修复措施，以缓解施工对渔业资源造成的损害，恢复区域渔业资源，采取生态补偿措施后，可以将施工对渔业资源造成的不利影响控制在可接受范围内。

因此，工程建设不会对鱼类的产卵活动造成明显影响。

6.7.3.3 对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响分析

(1) 施工期

海洋工程建设对中华白海豚、江豚等鲸豚行为的影响是一个累积过程，其影响因素包括往来船只、施工噪音、水下工程作业、施工对海洋生态环境的影响等多种因素。海洋工程建设对于鲸豚类的影响主要体现在不同的反应阶段，主要表现为：呼吸模式的改变、行为模式的改变、声学干扰以及摄食行为的响应。

① 悬浮泥沙入海对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响

从生理结构上来说，鲸豚类是用肺呼吸的水生哺乳动物，这有别于用鳃呼吸的鱼类，它呼吸时头部露出水面直接呼吸空气，不易受水中悬浮物增加的影响。同时，

鲸豚类主要靠位于头部的回声定位系统来探测周围环境和识别物体，进行摄食活动和个体间的沟通联系，因此推测水中泥沙悬浮物的增加对不会直接影响中华白海豚、江豚觅食、社交等活动。因此，施工悬浮物对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响较小。

②水下施工噪声对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响

风电工程施工过程中对水下声环境产生影响的机械噪声源主要有水下打桩、水上施工船舶作业、水下冲射挖沟作业噪声等。根据工程分析，施工期桩基施工源强为 250dB，并对水下冲击式打桩的过程进行了分析，对打桩噪声的传播进行了模拟，提出选择 1120m 作为对中华白海豚和江豚行为产生干扰的区域范围。本工程距离中华白海豚、江豚的主要分布范围（沿岸海域）较远，因此对中华白海豚、江豚影响小。在施工前需要进行可能的海洋动物驱赶、警示、加强施工瞭望等工作，在施工时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。在警告区域范围内对鲸豚的行为有所影响，施工前需要进行可能的海洋动物驱赶、警示、加强施工瞭望等工作，在施工时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。

③施工船舶航行对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响

项目施工过程中需要大量施工船只，施工船舶在航行过程中，存在船体及其螺旋桨对偶遇的鲸豚造成直接撞击伤害的事故风险。

船舶在各种不同的通航速度时对鲸豚的影响会有所不同，船舶由远及近靠近海豚时，对海豚的影响则由弱逐渐加强，如果船舶速度较快，海豚则有可能没有足够的时间反应，被船体或是螺旋桨撞伤或是致死。一般情况下，大中型船舶的通航速度相对较低，而且大多直线行驶，转弯缓慢，对海豚的直接撞击的可能性较小；小型快艇由于速度较快，可能对海豚产生一定程度上的潜在的威胁。因此，本项目需要对施工船舶的船只进行约束。按照国际上对于船速的要求，一般设定为 10n mile/h，以便在受到惊吓或是感受到危险时，海豚有足够的反应时间，可以采取适当的逃避行为以避开船舶，也可将船舶通行对中华白海豚、江豚的碰撞风险影响降至最低。

④施工生产及生活废水对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响

风电场在施工期间均会产生一定的船舶含油废水和生活污水，这些废污水若不加以处理直接排海将对周围水质环境产生一定的不利影响，从而对海豚的生境及摄食环境产生影响。根据有关规定，本项目施工船舶含油污水采用船上配备储污水箱

进行收集和贮存，再由有能力处理的污水接收船统一接收至岸上处理。船舶生活污水在满足“船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。因此，本项目施工期间生产及生活废水对中华白海豚、江豚等鲸豚基本没有影响。

（2）营运期

风电场营运期间可能对鲸豚造成影响的因素主要为风电场产生的水下噪声及电磁场。

①水下噪声对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响

结合海上风电场营运期水下噪声测量结果，同时根据本课题对该海域几种实际鱼种所做的水下噪声实验，结合本项目位于浅海区域，属海积地貌单元，为典型的浅海水声传播信道，噪声在水下传播衰减较快等特点，可以得出：本风电场营运期所带来的轻微的水下噪声增加对一般鱼类和中华白海豚、江豚等海洋生物影响在可以接受范围内，即这些海洋生物对海上风电场营运噪声做出行为响应的可能性不大。

②电磁环境对中华白海豚、江豚等鲸豚的影响

在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部，对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 1 μ T 以下。工程运行后工频电、磁场强度均远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场 4kV/m 和磁感应强度 0.1mT 的评价标准。因此，总体上工程建设造成的电磁场对其影响较小。

6.7.3.4对海龟的影响分析

从海龟洄游路线卫星追踪调查结果看，其洄游路线一般在 40m 等深线以外，风电场水深在 43~46m 之间，项目工程没有与海龟的主要活动海域之间没有直接重叠，对海龟的产卵地也没有直接的影响，因此对于海龟的影响较小。海缆施工造成工程区海域悬浮物增量及影响范围较小，且施工期间海龟会改变自身的游泳模式和方向，因此不会对海龟的洄游及觅食造成影响。施工期间若发现海龟应停止施工，驱逐，并上报有关部门，加强对施工人员的教育，禁止捕杀海龟等珍稀生物。

项目建设对工程海域周边海龟保护区内海龟的索饵、洄游不会产生明显的不利影响，但由于海龟在海域内活动区域大，少数海龟个体可能游至场址区附近，而风电机组运行时存在灯光、噪声等敏感因素，尤其是风机中低频噪声辐射远，衰减慢，

可能干扰少数个别海龟的正常觅食活动。

6.7.3.5 对近岸海域监测国控站位的影响分析

本项目风电场址范围内无近岸海域监测国控站位，评价范围内的近岸海域监测国控站位为 GDN17011，位于场址西北侧约 12.0km。根据数模预测结果，项目悬浮泥沙扩散最远距离为 1.6km，故海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙增量 $>10\text{mg/L}$ 的范围不会扩散至近岸海域监测国控站位，对该 GDN17011 影响甚微。

6.7.4 对海洋功能区的影响分析

根据《广东省自然资源厅关于印发〈广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）〉的通知》项目位于海洋发展区中“阳江-江门近海工矿通信用海区”。

表 6.7.4-1 项目所在海域及周边海域海洋功能区分布表

序号	功能区名称	功能区	与本项目的位置关系
1	阳江-江门近海工矿通信用海区	工矿通信用海区	项目所在
2	江门-珠海南部渔业用海区	渔业用海区	0.5km
3	阳江-茂名近海渔业用海区	渔业用海区	西侧，1.3km
4	东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ生态保护区	生态保护区	西北侧，7.6km
5	茂名-阳江生态控制区	生态控制区	西南侧，20.1km

根据数值模拟结果，本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力基本不影响，工程实施对海域潮汐动力影响主要出现风机桩基附近。工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速受桩基影响出现一定程度减缓，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现 0.004~0.015m/a 左右的淤积，而工程周边海域受到的冲刷作用不明显，冲刷幅度不超过 0.004m/a。海底电缆施工产生的悬沙增量大于 10mg/L 的底层包络线面积为 25.197km^2 。本项目施工产生的悬浮物扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，基本不会影响水质质量。本工程运营期运维会产生少量生活污水、生活垃圾等，由运维船舶收集后送交有资质单位进行妥善处置，不会对周边海岸带的生态环境造成较大影响。

阳江-江门近海工矿通信用海区保护要求：海上能源开发利用过程中应加强对海底地形和潮流水动力等海洋生态环境特征的监测。根据下文 11.2 节可知，项目已制定运营期水文跟踪监测计划。由下文 10.3 节可知项目建设与阳江-江门近海工矿通信用海区空间准入、利用方式、保护要求、其他要求是相符的。

此外，本项目施工期间将增加附近水域的船舶数量，对阳江-江门近海工矿通信用海区通航环境有一定影响。施工单位应将施工实际情况报至管理部门，根据管理部门的审批有序组织施工，并在施工水域附近海域配备必要的导助航等安全保障设施施工过程中通过严格、科学的施工组织及合理的生产调度，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，海事部门加强现场管理，认真落实通航安全报告书中所提的安全保障措施，有关各方加强工程及其附近海域的安全管理，其不利影响将得到缓解或消除。

因此，在采取一系列报告中提出的相关有效的控制、调整、污染防治等措施后，同时对造成的海洋生态损失进行补偿等措施后，可将本项目对所在海洋功能区的影响降至最低，不会对其产生长远的不良影响。项目范围外周边海洋功能区影响较小。

6.7.5 小结

综上分析，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录F中表F.1海洋生态影响程度划分表，本项目海洋生态影响程度见表6.5.5-1，本项目对涉及海洋生态敏感区、生物资源为“中”，对重要物种影响程度均为弱，对特殊生境无影响。

因此，本项目将永久占用（申请用海年限为27年）长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场，海洋生态敏感区影响程度为“中”，建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避开5~7月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下5~7月期间降低施工强度，最大限度减少施工对鱼类繁殖的扰动；妥善处置施工期和营运期的污废水、固废等有效生态保护以及增殖放流等补偿措施，对周边海洋生态的影响程度降低至可接受范围内。

表 6.7.5-1 本项目海洋生态影响程度划分对比表

影响程度 影响要素	强	中	弱	无	本项目
生态敏感区	受到永久占用、损害或阻隔，且造成主要保护对象数量和种群规模显著减少，或主要生态功能和物种栖息地连通性受到严重破坏	受到临时占用、损害或阻隔，且造成主要保护对象数量和种群规模一定程度减少，或主要生态功能和物种栖息地连通性受到一定程度干扰	受到间接扰动，主要保护对象数量和种群规模略有减少，主要生态功能和物种栖息地连通性略受干扰	不受占用、损害、阻隔或干扰，主要保护对象数量和种群规模基本无变化，主要生态功能和物种栖息地连通性未受影响	本项目为海上风电场建设工程，将永久占用（申请用海年限为 27 年）长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场，属于“中”
生物资源	生物资源受损失量大，重要水生生物“三场一通”受到严重破坏，生产能力受到严重的、不可恢复的损害	生物资源受到一定损失，重要水生生物“三场一通”受到一定程度的破坏，生产能力受到一定的损害	生物资源略受损害，重要水生生物“三场一通”受到一定程度的干扰，生产能力略受损害	生物资源未受损，重要水生生物“三场一通”未受破坏或干扰，生产能力未受损害	本项目将永久占用（申请用海年限为 27 年）长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场，本项目为海上风电场建设工程，项目施工生物资源略受损害；项目施工期 12 个月，对长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场造成暂时一定程度的干扰，属于“中”
重要物种	生物数量显著减少、种群规模显著变小，活动空间显著受破坏，饵料生物间显著受限，饵料生物显著减少，生物栖息繁衍（或生长繁殖）受到显著影响	生物数量一定程度减少、种群规模一定程度变小，活动空间一定程度受破坏，饵料生物间一定程度受限，饵料生物一定程度减少，生物栖息繁衍（或生长繁殖）受到一定程度影响	生物数量略有减少、种群规模略有变小，活动空间略有受限，饵料生物间略有减少，生物栖息繁衍（或生长繁殖）略受影响	生物数量基本不变、种群规模无变化，生境和活动空间未受破坏或干扰，饵料生物未减少，生物栖息繁衍（或生长繁殖）未受影响	本项目为海上风电场建设工程，项目不会造成重要物种生物量减少，渔业资源略有减少，饵料生物略有减少，对中华白海豚、江豚、海龟影响属于“弱”
特殊生境	特殊生境受到严重破坏，物种盖度、生物多样性显著下降，生境稳定性难以维持	特殊生境受到一定程度破坏，物种盖度、生物多样性下降，生境稳定性受到一定程度干扰	特殊生境受到间接干扰，物种盖度、生物多样性略有下降，生境稳定性略受干扰	特殊生境未受破坏或干扰，物种盖度、生物多样性无变化，生境稳定性未受影响	本项目施工范围不涉及珊瑚礁、海草床和海藻场等特殊生境。施工产生的悬浮物扩散对水质的影响是短暂的，一旦施工完毕，这种影响将不再持续。特殊生境未受破坏或干扰，属于“无”

6.7.6 建设项目海洋生态环境影响评价自查表

表 6.7.6-1 建设项目海洋生态环境影响评价自查表

工作内容		自查项目	
影响识别	影响类型	直接向海洋排放废水□；短期内产生大量悬浮物☑；改变入海河口（湾口）宽度束窄比例□；直接占用海域面积☑；线性水工构筑物□；投放固体物□	
	生态敏感区	生态敏感区（东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区），相对位置（西北侧7.6km）	
	影响因子	海水水质☑；海洋沉积物□；海洋生态☑；环境风险☑	
评价等级		一级□；二级☑；三级□	
评价范围		主流向（15）km，垂直主流向（15）km；管缆类（）km	
评价时期		春季□；夏季□；秋季☑；冬季□	
现状调查及评价			
海水水质	区域污染源	调查项目	数据来源
		已建□；在建□； 拟建□；其他□	环评□；环保验收□；既有实测□；现场监测□；入海 排污口数□；其他□
	调查时期		调查因子
	春季□；夏季□；秋季☑；冬季□		（pH、水温、盐度、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、无机氮、活性磷酸 盐、活性硅酸盐、石油类、 汞、砷、铜、锌、铅、镉、 铬、硒、镍、硫化物、挥发 酚）
	评价因子		（pH、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、 石油类、锌、挥发酚、硫化物、铜、铅、镉、总铬、汞、砷、镍、 硒）
	评价标准		第一类☑；第二类□；第三类□；第四类□
	评价结论		海洋环境功能区水质达标状况：达标☑；不达标□，超标因子（） 功能区外海域环境质量现状：符合第（/）类
海洋沉积物	调查站位		（15）个
	调查因子		（pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总 汞、铬、砷和粒径）
	评价标准		第一类☑；第二类□；第三类□
	评价结论		符合第（一）类，超标因子（无）
海洋生态	调查断面或点位		（18）个
	调查因子		（铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油烃）
	评价标准		第一类□；第二类□；第三类□；附录C☑
	评价结论		符合第（/）类，超标因子（砷）
影响预测及评价			
预测时期		春季□；夏季☑；秋季□；冬季□	
预测情景		建设期☑；生产运行期☑；服务期满后□	
海水水	预测方法	数值模拟☑；类比分析□；近似估算□；物理模型□；其他□	

工作内容		自查项目			
质影响 预测与 评价	影响评价	污染控制措施及入海排污口排放浓度限值应满足国家和地方排放标准 □; 达标区的建设项目,选择废水处理措施或方案应满足行业污染防治可行技术指南的要求,环境影响可接受☑; 不达标区的建设项目,选择废水处理措施或方案时,应满足海域环境质量达标规划和污染物削减替代要求、海域环境改善目标要求及行业污染防治可行技术指南中污染防治先进技术要求,确保废水污染物达到最低排放强度和浓度,且环境影响可接受□; 新设或调整入海排污口的建设项目,入海排污口位置、排放方式、排放规模具有环境合理性□; 对海水水质产生重大不利影响□。			
		定量预测□; 半定量分析□; 定性分析☑; 其他□			
海洋沉积物影响评价	评价方法	海洋沉积物质量的影响范围、影响程度可接受☑; 海洋沉积物对海洋生态环境敏感区和海洋生态环境保护目标的影响可接受☑。			
	影响评价	类比分析法□; 图形叠置法□; 生态机理分析法□; 海洋生物资源影响评价法☑; 其他☑			
海洋生态影响预测与评价	预测方法	造成的生物资源损失量可接受☑; 对评价海域生物多样性的影响可接受☑; 对重要水生生物“三场一通道”、水产种质资源保护区的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☑; 对珍稀濒危海洋生物种群和数量的影响,以及对其生境的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☑; 对重要湿地、特殊生境(红树林、珊瑚礁、海草床、海藻场)等的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受□; 对自然保护区、生态保护红线的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受☑; 造成的冲淤变化对岸滩长度、宽度、生态功能和景观等影响可接受☑; 产生重大的海洋生态和生物资源损害,造成或加剧区域的重大生态环境问题,存在不可承受的损害或潜在损害□。			
	影响评价				
环境风险					
危险物质	名称	燃料油			
	存在总量	12345.312			
物质及工艺系统危险性 ¹	Q 值	Q<1□; 1≤Q<10☑; 10≤Q<100□; Q≥100□			
	M 值	M1□; M2□; M3□; M4☑			
	P 值	P1□; P2□; P3□; P4☑			
环境敏感程度		E1☑; E2□; E3□			
环境风险潜势		IV ⁺ □; IV□; III☑; II□; I□			
评价等级		一级□; 二级☑; 三级□; 简单分析□			
风险识别	物质危险性	有毒有害☑; 易燃易爆☑			
	环境风险类型	泄漏☑; 火灾爆炸引起的伴生/次生污染物排放□			
事故情形分析	源强设定方法	计算法☑; 类比估算法□; 其他□			
	预测模型	溢油粒子模型☑; 污染物扩散的数值模拟□			
风险预测与评价		最近敏感目标(0) km, 抵达时间(0) h			
重点风险防范措施		1、加强灾害气象预报跟踪,密切关注台风、风暴潮等自然灾害; 2、			

工作内容		自查项目		
		加强对灾害性天气条件下项目周边交通安全监管，非适航条件不宜通航；3、协调施工船只通航，控制施工船舶密度，合理安排施工进度，控制施工范围；4、完善海上安全保障系统，保障通航水深条件。		
评价结论		在切实落实各项风险防范措施，制定完善的应急措施和区域联动长效机制的前提下，本项目环境风险水平是可防控的		
主要污染物排放总量核算		污染物名称	排放量	排放浓度
污染物削减替代		污染物名称	削减量	来源
污染防治和生态修复措施		污水处理设施□；生态修复措施☑；区域削减□； 依托其他工程措施□；其他□		
监测计划	内容	环境质量		污染源
	监测方式	手动☑；自动□；无监测□		手动□；自动□；无监测☑
	监测点位	7		/
	监测因子	水质：pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发酚。 沉积物：pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、砷。 海洋生态监测因子为：叶绿素 a 及初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物。 渔业资源监测因子：鱼卵仔稚鱼、游泳动物。		/
	监测频次	水质、海洋生态、渔业资源：施工期开始后的一年内监测 2 次，春季和秋季各 1 次；营运期前 2 年每年 2 次，春、秋季各 1 次，之后根据前期监测分析结果，可 2~3 年监测 1 次。 沉积物：施工期开始后的一年内监测 1 次；营运期前 2 年每年 1 次，之后根据前期监测分析结果，可 2~3 年监测 1 次。		/
	总体评价结论	可接受☑；不可接受□		
注1：M、P 的确定参照 HJ169。				

6.8 鸟类生态环境影响预测与评价

本节引自《江门川岛二海上风电场项目鸟类调查专题报告》（广东省科学院动物研究所，2024 年 8 月）。

6.8.1 施工期对鸟类影响预测

海上风电项目建设期间，大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，使鸟

类远离施工区域，减少鸟类活动范围，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工时产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。

6.8.2 营运期对鸟类影响预测

项目在营运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（个体干扰）

②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。本项目营运期噪声主要为风机运转噪声。文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47dB (Hirvonen, 2001)，因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟，如黑鸢、白腹海雕等猛禽，以及红嘴鸥、多种燕鸥等鸥科鸟类。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机组的垂直距离超过 200m（按飞行高度 400 m 算），受到噪声影响较小。

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

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

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

②光影影响

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 西部山区风电项目在 2003 年 5 月底某天大雾的夜晚发生 27 只夜间迁徙鸟死亡，变电站的钠蒸气灯是吸引鸟与风电机相撞的主要原因（Kerlinger, 2003），该风电场的鸟死亡情况的研究结果表明，夜间迁徙的鸟经常死于风电场内的灯下。目前有研究波长较长的光线，如红光和黄光不易吸引候鸟。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

本项目风机类型为 WTG8，轮毂高度为 170m，风轮直径为 292m，叶片运行影响高度为 24~316m。虽然对于多数迁徙时飞行高度超过 400m 的种类无影响，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项目范围内飞行和停留。同时，风机叶片旋转的范围在离地面 24~316m 之间，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。Tome et al（2017）在葡萄牙 BSJ 风

电项目调查中发现有近 3/4 的鸟类被记录到在风叶扫过的高度飞行，说明风机与飞行的鸟类碰撞风险很高（图 6.8.2-1）。但也有有关研究成果表明，候鸟迁徙路线中的风电项目年撞鸟概率约为 0.0015%~0.009%。该概率同迁徙候鸟迁徙的规模、气象条件、风电项目选址关系很大（Drewitt and Langston, 2006）。大规模的候鸟迁徙也意味着候鸟与风机相撞的概率增加；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；风电项目选址是最显著影响鸟类死亡的因素，风电场场址占据的空间范围越大，迁徙鸟类撞击的概率也越大。而风电项目场址内部风机的排布也可能对鸟类飞行产生影响。同时有研究发现鸟类在飞近风电项目场址区域时，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 3000 m 外，夜间鸟类在 1000 m 外绕开风力发电场址飞行，改变飞行方向（Desholm and Kahlert, 2005）。

根据本项目的鸟类现状调查，本项目可能发生碰撞效应的受影响对象主要是夜行性、飞行高度在 20-300 m 之间的种类，晨昏活动期间概率较高，迁徙期（3-5 月、9-10 月）在不良天气期间最易发生碰撞事故。

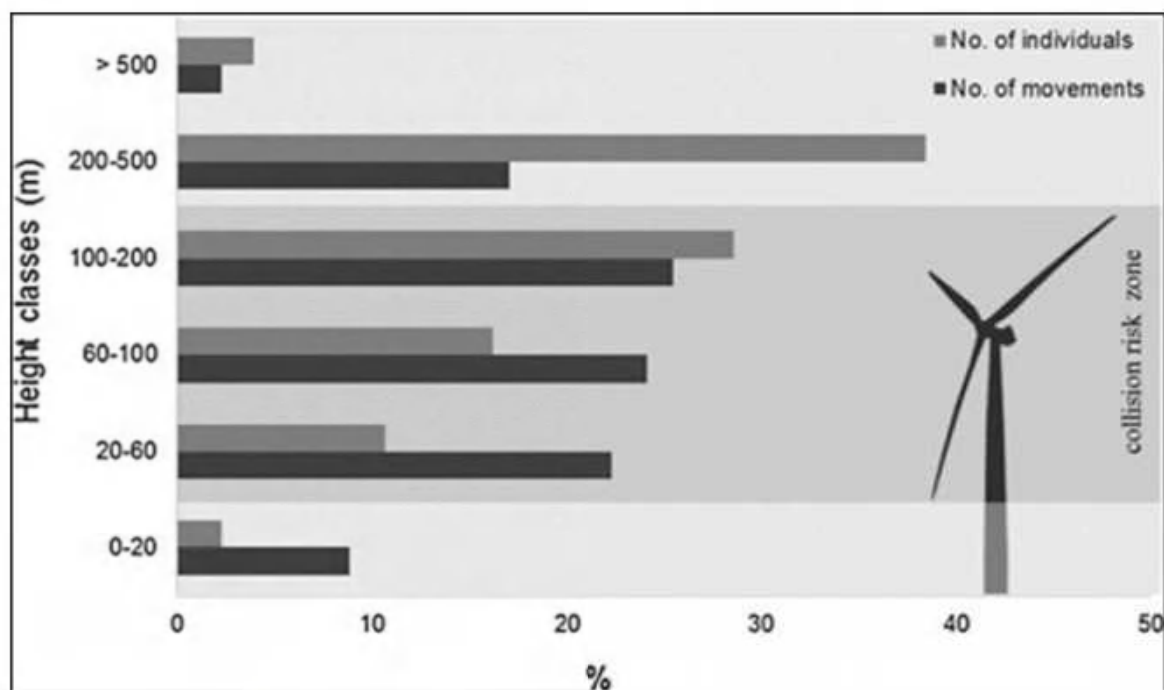


图 6.8.2-1 葡萄牙 BSJ 风电场鸟类飞行活动高度比例统计（2010-2014）

④电磁辐射

研究结果表明，海上风机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，电磁场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 1 μ T 以下。据本项目实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物等海洋生物的影响不明显，也不会对以海洋生物为食的鸟类产生影响。

（2）对鸟类的间接影响（栖息环境影响）

风电项目因建设会占用一定场地，对鸟类栖息地及其生态环境造成多方面的影响，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

风电机组占用面积较小，大约 2%~5%，但风机可能会让候鸟不敢在附近海域降落生活，影响生活在当地和附近的海鸟繁殖、筑巢和觅食，导致这些海鸟不得不离开栖息地。丹麦的 Horns Rev 风力发电场建于沿海，对迁徙鸟类的行为观察发现，鸟类对风电场有避让行为（Noer *et al.*, 2000），因此，如果场址选择在鸟类适宜栖息地内，将可能使鸟类失去整个风电场大的栖息地，这一点在近海湿地、内地草原修建的风电场十分突出。丹麦 Nysted 风力发电场建在沿海湿地，通过雷达监测鸟类的行为，风电场修建后，白天活动的雁鸭类进入风电场内原来适宜栖息地的次数显著减少（Drewitt and Langston, 2006）。原来的栖息地不能再利用，这些鸟类完全丧失了这块栖息地，这一过程也是鸟类栖息地破碎化的过程。由于沿海湿地和岛屿位于候鸟迁徙通道上，风电建设会对候鸟迁徙形成一定阻隔，从而缩窄候鸟飞行通道，如 Plonczkier & Simms（2012）通过四年雷达监测发现雁群逐渐避开离岸风力发电机组所在海域（图 6.8.2-2）。Krijgsveld 等（2011）在对鸟类穿过风电场飞行路线研究中也发现，在风电场建成后该区域鸟类的通量较之于风电场建设之前明显下降。

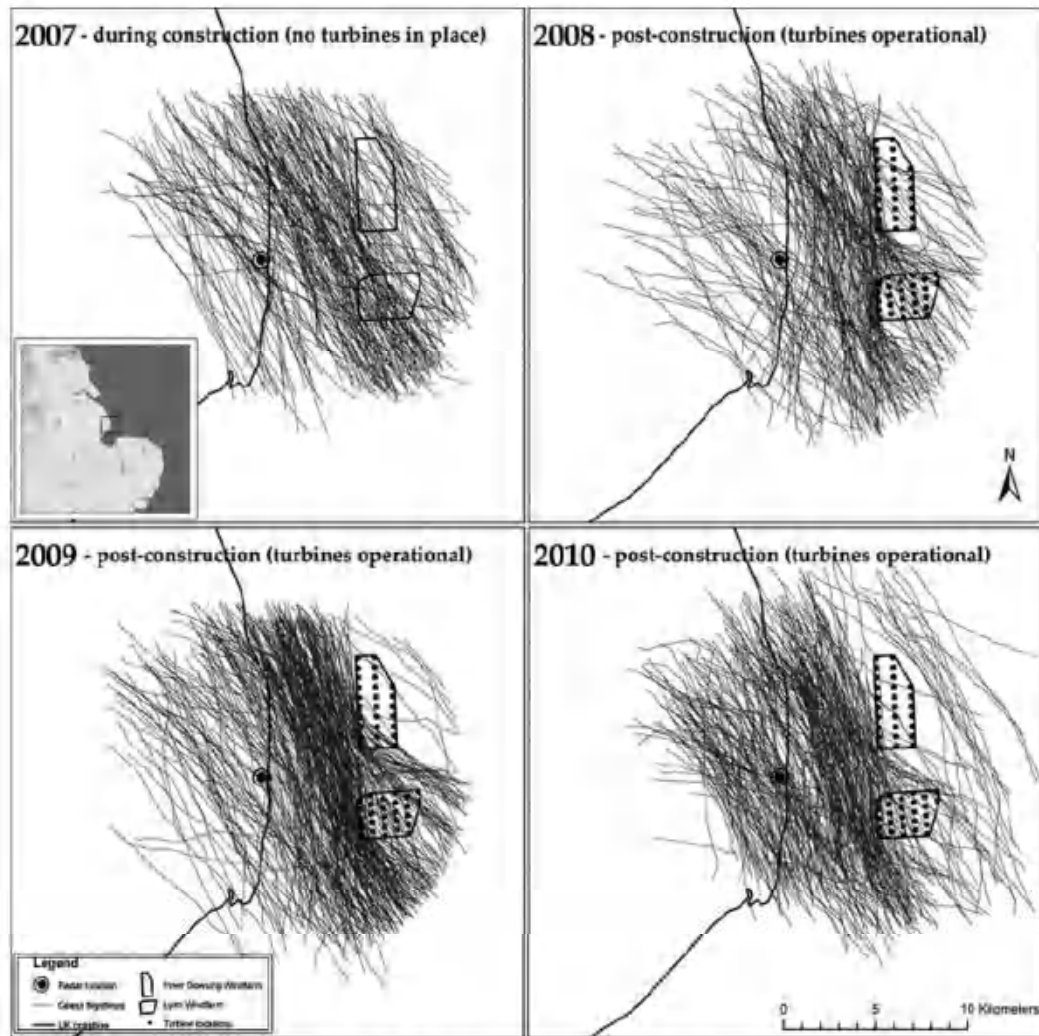


图 6.8.2-2 雷达监测雁群对风机组的回避情况（引自 Plonczkier & Simms 2012）

②生境质量下降

风电项目建立在适宜栖息地处导致栖息地破碎化，同时导致栖息地质量下降，风机的桩基础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项目习惯化，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的效应（Drewitt and Langston, 2006）。

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

③受影响栖息地面积计算分析

通过上述分析的建设区域对鸟类栖息地造成的几方面影响，结合建设区域面积

预测栖息地损失对鸟类造成的影响。

本项目位于江门台山市北陡镇南部海域，该区域均属于受影响栖息地，尤其是对于喜欢在海面活动的鸥科鸟类、部分猛禽、以及海洋性鸟类等。因此，本项目的建设会在一定程度上减少这些类群的活动范围。

④对生态系统服务功能的影响

该片海域在海洋生态系统服务功能方面与鸟类有关的内容主要考虑物种多样性维持、生态系统多样性维持等方面，属于海洋支持服务。在项目施工和运行初期，多数鸟类会因受到干扰离开该区域从而导致场址内的物种多样性下降，并因此增加了在场址外海域的活动频次及其物种多样性水平。随着风机运营稳定和人工鱼礁效应的形成，部分种类会重回该区域，甚至吸引部分种类接近从而提高物种丰富度。总体上项目场址和周边海域的物种多样性分布会因风机的建设而产生局域性的时空格局改变，但总体多样性水平所受影响较小。

6.8.3 风电项目环境事故风险对鸟类的影响

在风电项目在施工过程中，需要大量用到船舶运输装备和材料、用船舶进行打桩和吊装施工等，营运期也需要定期通过船只进行检修与维护，存在施工船舶溢油风险。如发生溢油事故，将对海洋生物和海洋生态系统将产生深远的不良影响。尽管不同油品的影响程度和持续时间不同，但是总体上，漂浮在水面上的油类会直接导致海洋生物的死亡，也会波及海岸带，进入沉积物，尤其是滩涂沉积物中，缓慢释放，形成持久的毒性。鸟类进入含油水面或者油污染的滩涂，身体上会沾上油污，影响其活动，进而影响生存。油类物质会通过食物链或者直接被摄入鸟类体内，毒害鸟类。溢油事故也会产生长期影响，影响溢油区域活动或者觅食的鸟类。

溢油事故一旦发生，海域水体首先受到影响，部分滩涂周边也会受到影响，除了直接影响这些区域觅食、活动的鸟类，导致鸟类中毒死亡，也会通过影响这些区域的浮游动植物、底栖生物、潮间带生物进而影响区域作为鸟类栖息地的质量，这种影响也将持续较长的时间。

根据现场鸟类观测结果分析，可能受溢油影响的鸟类是直接在水面觅食的鸥类、燕鸥类、其他海洋性鸟类以及在滩涂区域停歇的鸕鹚类、鸥类、燕鸥类和鹭类等。

对于鸟类栖息地而言，溢油以后油膜扩散，海域活动鸟类由于存在大量其他替换的海域水体栖息和觅食区域，存在有效避免受到溢油影响的可能性。同时，溢油

事故发生的概率相对比较低，而一旦发生则有可能影响到油膜扫过的区域，一般油膜扫海的范围和面积相对有限，并不会波及到整个海域，也即规划海域各个区域同时受到事故溢油影响的可能性比较小。溢油事故发生后，影响范围之外都存在未受影响的栖息地（海域）作为替补和缓冲，能在一定程度上减缓溢油事故对整个海域鸟类栖息地功能和鸟类群落的影响，不大可能对整个海域鸟类栖息地功能和鸟类群落造成颠覆性影响。

6.8.4 受影响类群及代表性物种分析

在广东沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸻鹬类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目位于海域，距离沿海滩涂超过 40km，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。鸥类、燕鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时会跟随渔船在海面集群觅食，然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变，渔船也不会驶入场址，鸥类与风机发生碰撞的几率也随之降低。海洋性鸟类，如白额鸬、军舰鸟、鲣鸟等，会在海面梭巡，但一般不会集大群，且数量较少。此外，鸮等猛禽也发现常于海面上空盘旋。但大多数时间猛禽的飞行高度远高于风机运行高度，仅觅食时会靠近海面，当风电场建成后鱼类分布发生改变，其靠近场址的几率也会下降。

根据调查结果，选取记录中的国家级保护物种 7 种、其他保护物种中与海洋关系较为密切的、具有区域特色的鸻科和燕鸥科鸟类 6 种、以及数量优势物种（铁嘴沙鸻、环颈鸻），一共 15 种鸟类作为本区域具有代表性的指标物种，详细分析本项目建设对其的影响。

（1）黄嘴白鹭（*Egretta eulophotes*）保护状况：国家一级保护

项目影响：黄嘴白鹭在项目评价范围内为夏候鸟，但也有迁徙和越冬记录，一般在迁徙季记录更多，在项目周边的陆域海岸有记录。朱鹀栖息于沿海岛屿、海岸、海湾、河口及其沿海附近的江河、湖泊、水塘、溪流、水稻田和沼泽地带。单独、成对或集成小群活动的情况都能见到。最新研究显示黄嘴白鹭在内陆和沿海以及近海均有迁徙路线，因此项目影响主要集中在迁徙期。

(2) 岩鹭 (*Egretta sacra*) 保护状况：国家二级保护，中澳协定收录

项目影响：岩鹭在项目评价范围内为留鸟，种群数量约为 10-15 只。主要分布在帆石、竹洲等离岸岛屿和沿岸岩礁生境，距离风电场距离最近超过 6 km。白天多停留在礁石岸边伺机捕食，飞行时速度缓慢，常在海上及岩礁上低空飞翔，偶尔在不同的海岛、礁石之间作短距离迁移飞行。由于其主要在白天活动，飞行速度低且飞行高度低，少有集大群出现，海上风机对其影响较轻微，影响时段集中在非繁殖期。

(3) 黑鸢 (*Milvus migrans*) 保护状况：国家二级保护

项目影响：黑鸢在项目调查区域为常见留鸟，主要于近岸滨海湿地上空飞翔。本次调查除冬季外均有记录，观测地点在近岸陆地和周边离岸岛屿上均有记录，在评价区域内的种群规模约为 3-5 只，而在项目场区内没有发现，估计飞入场区几率较低。而且由于其飞行高度一般较高，风电项目对其影响不大。

(4) 红隼 (*Falco tinnunculus*) 保护状况：国家二级保护

黑翅鸢为鹰科 (Accipitridae) 小型猛禽，在项目调查区域为夏候鸟，一般单独出现不集大群，属于偶见种类。主要活动于大陆沿岸，白天多停在乔木顶部或电线杆上，在沿海湿地和周边农田上空飞行。估计整个区域约有 2-5 只的种群。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

(5) 褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*) 保护状况：国家二级保护

项目影响：褐翅鸦鹃为鸦鹃科中型鸟类，在项目调查区域为常见留鸟，主要活动于沿岸湿地灌丛。常下至地面，但也在小灌丛及树间跳动，通常较隐蔽，只凭鸣声识别。该物种分布广泛，估计整个区域约有 4-6 只的种群，较常见。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

(6) 大滨鹬 (*Calidris tenuirostris*) 保护状况：国家二级保护，IUCN 濒危

项目影响：大滨鹬是鹬科滨鹬属的小型涉禽，在项目调查区域有过境和越冬记录，最早在 7 月底已有迁徙个体经过项目调查所在近岸。主要栖息于海岸、河口沙洲及其附近沼泽地带，常成群活动在河口沙滩和海岸潮间带觅食。由于其对滩涂依赖程度较高，受围垦影响全球种群数量剧烈下降，在 IUCN 红色名录中被评为濒危等级，在 2021 年被正式升级为国家二级重点保护动物。日常觅食和栖息均集中在滩涂区域，不会经过风电场所在区域，但迁徙时有可能飞越海面，并有机会穿越海上

风电场，但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，需要在项目建成后持续观测。

(7) 白腰杓鹬 (*Numenius arquata*) 保护状况：国家二级保护，IUCN 近危

项目影响：白腰杓鹬是鹬科杓鹬属的大中型涉禽，在项目调查区域主要为越冬记录，主要在冬季有记录。冬季多出现于海滨、河口沙洲和沿海沼泽湿地。体型较大，常集小群活动，性机警。日常觅食和栖息均集中在滩涂区域，不会经过风电场所在区域，但迁徙时有可能飞越海面，并有机会穿越海上风电场，但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，需要在项目建成后持续观测。

(8) 环颈鸻 (*Charadrius alexandrinus*) 保护状况：无

项目影响：环颈鸻是鸻科小型涉禽，本次调查发现在项目区域全年均有记录。既有越冬种群，也有少量繁殖种群，其中越冬种群占绝对优势，包括有 *C. a. alexandrinus* 和 *C. a. japonensis*，繁殖种群为其另一亚种 *C. a. dealbatus*（最新文献将其提升为独立的种，称为白脸鸻 *C. dealbatus*）。在溪头散头咀、山外西等沙滩均有分布，全部种群活动范围均为沿海沙质滩涂，其中繁殖种群利用高潮时不被淹没的沙滩繁殖，基本不会离开海岸作远距离飞行，越冬种群在迁徙期间会穿越海面，但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，须在项目建成后持续观测。

(9) 铁嘴沙鸻 (*Charadrius leschenaultii*) 保护状况：中日协定和中澳协定收录

项目影响：铁嘴沙鸻鸻科中小型涉禽，在项目调查区域为迁徙过境鸟，9月-翌年4月可见，主要活动于沙质滩涂，和环颈鸻分布生境类似，极少出现在岩质海岸。在高潮时常结大群与其他鸻鹬类混合停留在沙滩高潮线上，迁徙季节数量较多。由于其主要在近岸滩涂觅食，飞出近海活动几率较小，此时风机对其影响较小。但迁徙期间有可能飞越海面至澳大利亚越冬，有机会穿越风电场所在地。但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，须在项目建成后持续观测。

(10) 粉红燕鸥 (*Sterna dougallii*) 保护状况：省级保护，中日协定收录

项目影响：粉红燕鸥为燕鸥科中小型涉禽，在项目调查区域有繁殖记录，于4-10月可见，栖息于海岸、港湾的岩礁、沙滩、海上岛屿及开阔海洋，常结群或与其他燕鸥混群活动。在几个离岸小岛礁上有繁殖种群，与其他燕鸥混群，但种群规模较小，约10-30只，没有在项目场址内活动记录，海上风电场对其繁殖期的觅食活动可能有一定影响，影响时段集中在繁殖期。需要在项目建成后开展持续观测。

(11) 普通燕鸥 (*Sterna hirundo*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：普通燕鸥为燕鸥科中型水禽，在项目调查区域为冬候鸟，于 10 月-翌年 4 月可见，多发现于海面飞行，单只或小群活动，频繁的飞翔于水域和沼泽上空。区域内的种群数量约 30-80 只，本次调查在海面有飞行记录，其飞行轻快而敏捷，两翅煽动缓慢而轻微，并不时的在空中翱翔和滑翔，据其飞行姿态判断，风电项目建成后，普通燕鸥会选择回避该区域，从而减少碰撞的几率，总体上风机对其影响不大，需要在项目建成后作持续观测。

(12) 白额燕鸥 (*Sterna albifrons*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：白额燕鸥为燕鸥科中小型水禽，在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，主要活动于近岸滩涂，停歇处滩涂偏沙质，在近岸散头咀、山外西等沙滩的繁殖种群可有 50-120 只，在项目场址内部没有观测记录。由于其繁殖地多为沙质滩涂，甚少到岩礁海岸筑巢，风电项目对其影响十分轻微。

(13) 褐翅燕鸥 (*Onychoprion anaethetus*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：褐翅燕鸥为燕鸥科中小型涉禽，主要栖息于大海，是典型的海洋鸟类，仅在恶劣气候及繁殖季节才靠近海岸或岛屿。在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，在离岸岛屿上可能有繁殖种群，种群数量约 50-100 只，在离岸较远海面观察到，部分个体在本次风电场规划场址内发现，但是在已建设的南鹏岛海上风电场内没有记录，推测褐翅燕鸥会绕过风电场飞行，风电项目可能会对其觅食飞行有影响。

(14) 白翅浮鸥 (*Chlidonias leucopterus*) 保护状况：省级保护

项目影响：白翅浮鸥为燕鸥科中型水禽，主要栖息于海洋及海滨、岛屿、河口、大江大湖甚至沼泽、池塘等水体，常成群活动。多在水面低空飞行。春季常集大群聚集活动。在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，在项目场址内部没有观测记录，风电项目对其影响较小。

(15) 灰翅浮鸥 (*Chlidonias hybrid*) 保护状况：省级保护

项目影响：灰翅浮鸥是一种体型略小的浅色燕鸥，栖息于开阔平原湖泊、水库、

河口、海岸和附近沼泽地带。常成群活动。主要在港口和养殖塘有记录，与白翅浮鸥有混群活动。一般不飞出远海，风电项目对其影响较小。

6.9 大气环境影响分析

6.9.1 施工期大气环境影响分析

本工程施工期大气污染源主要为施工区各类施工船舶、机械设备，各类船舶、机械设备均以柴油或汽油为燃料。施工机械和车辆运行会产生一定量废气，主要污染物包括SO₂、CO、NO_x、颗粒物、PM₁₀、PM_{2.5}及碳氢化合物等。此外在海域施工区，施工船舶和机械在运行中也会排放一定量的废气，由于项目所处区域开阔、空气流通性好，项目施工废气不会对环境产生明显影响。

6.9.2 营运期大气环境影响分析

运行期风电场维护和检修时船舶会产生少量船舶废气，属于无组织排放，由于项目所处区域开阔、空气流通性好，不会对环境产生明显影响。

表 6.9-1 建设项目大气环境影响评价自查表

工作内容		自查项目					
评价等级与范围	评价等级	一级 ☐		二级 ☐		三级 ☒	
	评价范围	边长=50km ☐		边长 5~50km ☐		边长=5 km ☐	
评价因子	SO ₂ +NO _x 排放量	≥ 2000t/a ☐		500 ~ 2000t/a ☐		< 500 t/a ☒	
	评价因子	基本污染物：(CO、O ₃ 、SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5}) 其他污染物：(/)			包括二次 PM2.5 ☐ 不包括二次 PM2.5 ☒		
评价标准	评价标准	国家标准 ☒		地方标准 ☐		附录 D ☐	其他标准 ☐
现状评价	环境功能区	一类区 ☐		二类区 ☒		一类区和二类区 ☐	
	评价基准年	(2024) 年					
	环境空气质量 现状调查数据来源	长期例行监测数据 ☐		主管部门发布的数据 ☒		现状补充监测 ☐	
	现状评价	达标区 ☒			不达标区 ☐		
污染源调查	调查内容	本项目正常排放源 ☐ 本项目非正常排放源 ☐ 现有污染源 ☐		拟替代的污染源 ☐		其他在建、拟建项目 污染源 ☐	区域污染源 ☐
大气环境影响评价	预测模型	AERMOD ☐	ADMS ☐	AUSTAL2000 ☐	EDMS/AEDT ☐	CALPUF 网格模型 ☐	其他 ☐
	预测范围	边长≥ 50km ☐		边长 5~50km ☐		边长= 5 km ☐	
	预测因子	预测因子(/)				包括二次 PM2.5 ☐ 不包括二次 PM2.5 ☐	
	正常排放短期浓度贡献值	C 本项目最大占标率≤100% ☐				C 本项目最大占标率> 100% ☐	
	正常排放年均浓度	一类区	C 本项目最大占标率≤10% ☐			C 本项目最大标率>10% ☐	

工作内容		自查项目			
	贡献值	二类区	C 本项目最大占标率 $\leq 30\%$ ☐	C 项目最大占标率 $> 30\%$ ☐	
	非正常排放 1h 浓度贡献值	非正常持续时长 (/) h	C 非正常占标率 $\leq 100\%$ ☐	C 非正常占标率 $> 100\%$ ☐	
	保证率日平均浓度和年平均浓度叠加值	C 叠加达标 ☐		C 叠加不达标 ☐	
	区域环境质量的整体变化情况	k $\leq -20\%$ ☐		k $> -20\%$ ☐	
环境监测计划	污染源监测	监测因子: ()		有组织废气监测 ☐ 无组织废气监测 ☐	无监测 ☒
	环境质量监测	监测因子: ()		监测点位数 (/)	无监测 ☒
评价结论	环境影响	可以接受 ☒ 不可以接受 ☐			
	大气环境防护距离	距 (/) 厂界最远 (/) m			
	污染源年排放量	SO ₂ : (/) t/a	NO _x : (/) t/a	颗粒物: (/) t/a	VOCs: (/) t/a
注: “ ☐ ” 为勾选项, 填“ ☒ ”; “()” 为内容填写项					

6.10 固体废物环境影响分析

6.10.1 施工期固体废物环境影响分析

施工前期扫海清障有废弃沉船、渔具以及其他有碍施工的废弃物产生, 收集上岸后交专业公司回收处理; 风机安装过程中也会有生产垃圾发生, 主要是废弃的包装、焊接头、废金属等, 收集上岸后交专业公司回收处理; 施工过程中所产生的生活垃圾分类收集后交船舶污染物接收单位统一处理。施工过程产生的固体废物禁止排海, 对周围环境影响较小。

6.10.2 营运期固体废物环境影响分析

项目营运期固体废物分类收集由维护船舶直接带回岸上处理, 其中生活垃圾分类收集后交船舶污染物接收单位统一处理, 危险废物(废润滑油、废变压器油、废油桶、废蓄电池、废变压器、废含油抹布及手套)分类收集后到岸交由专业危废处理资质单位, 可回收的五金杂件等外卖资源回收。

根据《建设项目危险废物环境影响评价指南》(环发〔2017〕43 号)和《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)等规定, 维修船舶船舱内设置危险废物存放点, 存放点做到防风、防雨、防晒、防渗漏; 各种危险废物必须使用符合标准的容器盛装; 装载危险废物的容器内须留足够空间, 容器顶部与液体表面之间保留 100mm 以上的空间; 盛装危险废物的容器上必须粘贴的标签, 标签内容应包括废物

类别、行业来源、废物代码、危险废物和危险特性。各类危险废物必须交由相应类别危险废物处理资质单位的处理。

综上，由于固体废物均由维修船舶及时带回陆域，船舱暂存时均在防雨、防渗、防漏的临时暂存点，而且按照废物的物化特性，尤其是危险废物，尽可能利用原有包装容器对废物进行包装，进一步使废物与外环境隔离。在正常情况下，本项目产生的固体废物在严格按照操作规程进行管理，基本不会对环境产生明显不良影响。

6.11 退役期环境影响

本工程设计运行期 25 年，风电场运行达到设计周期后，将对风电场进行拆除工作，风电机组基础钢结构在泥面以下进行切割，上部吊装上岸拆解，整个过程将会使沉积物有局部扰动，短时期内造成局部海水悬浮物浓度升高，总体来说扰动范围小、扰动程度低，对周边海洋生态环境影响很小。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，海上风电项目退役期拆除工程应另行开展海洋环境影响环评工作。

6.12 对通航环境的影响分析

本节内容主要引用《国能江门川岛二海上风电项目风电场场址航道通航条件影响评价报告》（广州水交运技术服务有限公司，2024 年 9 月）中的相关分析结果。

6.12.1 对船舶通航的影响分析

拟建风电场避开了广东沿海内航路、广东沿海外航路等，风场与该航路的安全距离大于 2 海里，对船舶航路的影响较小，但风场范围线西北角伸入江门川岛南至琼州海峡北水道航路，通过风机平面布置优化后，风机与航路最近约 1 海里。

项目及周边海域的海上风电场已连片规划布置拟集群开发建设，目前已无法调整风电场址。随着海上风电逐步向深远海发展，无论规划建设还是发展环境都在发生着深刻的变化。海上风电平价化带来的收益下降和深远海投资成本增大，对风电场的生存形成了双向挤压，零星的、见缝插针式布置海上风电场无法实现海上风电的规模经济效益，也更容易对港口和航运业的发展带来影响。通过连片规划布置集群开发建设的海上风电场，并通过采取合适的通航安全保障措施（如航路调整），有利于实现海上风电与海上交通安全的协调融合发展。同时为解决风电场与附近航路矛盾问题，保障风电场工程自身建设和附近海域船舶航行安全，有效降低附近船舶通航风险，实现船舶正常通航与风电场顺利建设运行，实现海上风电场与船舶通

航的和谐共生，阳江市人民政府牵头组织专业第三方单位编制了《阳江及周边海域风电场航路调整安全保障方案》和《广东省海洋经济与航路保护协调发展研究报告》，同时根据《阳江及周边海域风电场航路调整安全保障方案》，待阳江及周边海域海上风电项目建设基本完成后，取消已公布的粤西沿海江门上川岛至琼州海峡北水道航路。另外，根据有关航路指南资料，通过阳江及周边海域的其他习惯性航路也相应引导到外航路或内航路航行。航路调整后，船舶通行效率及过往船舶航行操纵均不会发生大的改变。

风电场周边海域宽阔、水深足够，有足够的空间供过往船舶操纵避让，本风电场的设立对过往船舶航行造成的阻碍可大大缓解。本风电场风机群整体矗立在海中时目标大且明显，在白天容易以视觉发现，船舶的雷达也容易扫测识别，这有利于过往船舶及早发现风电场的存在并采取避让措施。风电场建成后，在更新海图上标注之后，过往船舶在拟定航线时就可提前避开风电场，保持安全距离，这也是船舶设计航线时的常规操作。

综上所述，本项目虽对周边航路航行船舶有一定影响，但其选址处在深水区总体避开了船舶交通流的密集区，与邻近风电场构成的连片风电场海域南北侧均有足够空间供过往船舶航行。通过采取相应的安全保障措施、在风电场周边设置警示标志、申请在海图上标示风电场信息并发布通告后，其对船舶航路等海上交通环境的影响总体上是可控的。

6.12.2 对渔船航行活动的影响分析

本项目风电场投入运营后不会增加海域船舶交通流量，但风电场范围涉海面积52km²，划定的范围较大，且该片海域内存在有部分船舶活动（主要为渔船），渔业活动频繁，渔船航行较为随意不固定，拟建风电场海域范围相对较大，风电场的建设对工程海域周围渔船的活动会造成一定的影响，从某种程度上说，海上风电场的建设用海会相应挤占渔船的活动海域。但考虑到渔船在捕捞作业中，航向不固定，活动较为随意，在海上绝大多数地方都可进行捕捞活动，江门沿海仍有充裕的海域供渔船捕捞作业，总的看来，项目风电场建设对渔船的影响相对不大。

为确保工程自身安全以及过往渔船安全，在风电场施工营运期应在边界适当位置设置相应助航标志和警示标志，警示过往渔船主动避开风电场。

6.12.3 对相邻涉水设施的影响分析

本项目风电场场址距离江门沿岸超过 60km，远离江门港沿岸作业区，邻近无码头、锚地、水上过驳作业区等与通航有关涉水设施，风电场距阳江最近的大型船舶候装卸锚地最小距离约 30km、与江门最近的涪洲锚地约 52km，相互距离足够远，无相互影响。

6.12.4 对通航安全设施的影响

风电场建设对通航安全设施影响主要有：

(1) 从理论上分析，风机结构在一定范围内会对附近 VHF 通信（包括船舶通信及船岸通信）造成一定影响。

(2) 风机平台会对邻近的无线电测向仪产生一定影响，若小船离风机太近（20m 以内），会造成一定干扰。因此，在实际的海上搜救过程中，使用无线电测向仪需要考虑这种影响。

6.12.5 小结

(1) 拟建风电场项目虽对周边航路航行船舶有一定影响；但其选址处在深水区总体避开了船舶交通流的密集区，与邻近风电场构成的连片风电场海域南北侧均有足够空间供过往船舶航行；通过采取相应的安全保障措施、在风电场周边设置警示标志、申请在海图上标示风电场信息并发布通告后，其对船舶航路等海上交通环境的影响总体上是可控的。

(2) 由于风电场范围涉海面积较大，且该片海域渔业活动频繁，渔船航行较为随意不固定，风电场的建设对工程海域周围渔船的活动会造成一定的影响，通过在风电场边界适当位置设置相应的助航标志和警示标志，警示过往渔船主动避开风电场，其影响可控。

(3) 风电场工程建设可能会对船舶通信导航设备、通信信号等造成一定影响，需要建设单位在风电场营运期对工程及其附近水域磁场、通信设施及信号等变化情况进行动态监测，并及时向主管部门汇报，确定海上风电场对海上通信设施与信号的影响程度，并根据实际情况采取相应措施，减小海上风电场对船舶通信设施与信号的影响，以确保过往船舶的航行安全。

综上，本项目对通航安全有一定的影响，通过采取相应的措施，其影响可控。

6.13 风电场群建设对环境的影响分析

本项目附近已经批准和拟申请海上风电场项目有中广核阳江帆石一海上风电场项目（项目西侧约0.7km）、中广核阳江帆石二海上风电场项目（项目西侧约0.3km）、中广核江门川岛一海上风电项目（项目南侧紧邻）。

6.13.1 风电场群建设对水动力的影响分析

本工程周边分布有多个在建和拟建的海上风电场项目，各风电场项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力变化基本不影响，对海域潮流影响主要出现风电桩基附近。风电桩基群建成后，由于桩直径相对海域阻水面积较小，对各场址周边流场影响很小。超过0.01m/s的流速变化均集中在桩基基础周边，没有形成明显的群桩阻水效应。总体上，流速变化区域主要集中在各个场址内部桩基础周边范围，对其他桩基础及场址周边海域没有明显影响。桩基建成后，在桩基区域局部出现绕流现象，与工程海域的流向对比，桩基局部范围流向发生变化。由于风机基础的阻水效应，流速明显减小区域基本位于桩基前后的迎水面和背水面，其中背水面流速受影响的程度较迎水面大，导致背水面流速相对较小，流速减小范围则相对偏大。因风机基础挑流作用，垂直于潮流方向的风机两侧区域流速略有增大，但增大幅值较小。

综合以上分析，工程海域涨落潮期间，各个场址内风机桩基对海域水流的影响范围较小，均集中在各个场址内桩基础附近区域，并且在变化量级上也较小。风机机群工程建设对水流流速的影响主要集中在各风机周边的局部区域，对各个场址内部整体及周边的流速影响均较小。

6.13.2 风电场群建设对水质和沉积物环境影响分析

本工程周边分布有多个在建和拟建的海上风电场项目，根据多个项目的施工进度安排，可能会有部分施工内容会出现重叠，海上施工不可避免的会对周边海域水质带来一定影响，主要为桩基础施工、海缆敷设造成的悬浮物浓度升高，多个项目施工时，可能会导致海域悬浮物浓度升高面积短期内较大，对海域水质会造成短期的不利影响，但由于悬浮物较易沉降，施工结束后数小时内即可恢复至背景值，因此这一影响是暂时的、可逆的。

根据本工程沉积物影响分析内容，在严格做好施工期环境管理、环境监理等工

作的条件下，污废水和垃圾不会进入海域，对海域的水环境及沉积物环境不会造成明显不利影响，由此可见，多个风电场施工期建设不会对海域沉积物造成明显的不利影响。

6.13.3 风电场群建设后对冲淤环境的影响分析

本工程周边分布有多个在建和拟建的海上风电场项目，各风电场项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域冲淤变化基本不影响，对海域冲淤影响主要出现风电桩基附近，不会超出各个风电场址范围，各个场址及邻近海域平均冲淤幅值较小，冲淤影响范围小。

6.13.4 风电场群建设后噪声影响分析

本工程及附近海域风电场群的各风电场风机在运行中，由空气噪声的预测可知：就某台特定风机在距桩基水平距离 250m 处，风机噪声衰减为 59.1dB(A)；距桩基水平距离 700m 处，风机噪声衰减为 50dB(A)。由于各风机分布相距较远在距桩基 50m 外可视为一点声源（单风机用海范围），由声传播衰减规律预测各台风机之间噪声的叠加仅是影响范围的扩大，强度值增加很小，其它噪声源对某一点的噪声叠加影响值较小，增加值基本上可以忽略。类比厦门大学课题组对珠海桂山一期海上风电场等 6 个海上风电场在营运期的水下噪声类比监测结果表明：营运期水下噪声是一种连续噪声，总体噪声级较低，在频谱上具有几个单频尖峰。风速越大，运营期噪声强度越大，单频分量强度增加，而低风速下单频不明显，甚至消失。运营期所产生的水下噪声的声源级不超过 140dB/re1uPa，噪声源衰减到背景噪声级最大范围约为 200m（海上风电场环境参数不同会导致传播衰减系数有较大差异，因此衰减距离也有所差别）。由于各风机分布相距较远，均远大于 200m，风机声对某一点的噪声叠加影响增加值基本上可以忽略。

因此，多个项目海上风电场运行中所产生的水上噪声叠加值基本可以忽略，累积影响很小。

6.13.5 风电场群建设后对电磁辐射影响分析

掩埋电缆能高效地减小磁场峰值，电磁波在海水中的传播的能量衰减速率较空气中更大。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离海底电缆中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 1uT 以下。因此，风电场群所产

生的电磁环境影响效应不明显，能满足《电磁环境控制限制》（GB8702-2014）中 0.1mT 的限值要求。

总体上，风电场群的建设对电磁辐射的累积效应不明显，不会产生明显的叠加影响。

6.13.6 风电场群建设对海洋生态及渔业资源环境影响分析

本工程及周边风电场项目建设后，对海域海洋生物会造成一定的累积影响。综合考虑多个风电场的布置情况，风电场群的建设，会增加区域风电场占海面积，同时会增加施工期对海洋生物的影响，主要包括悬浮物浓度范围的增加、水下噪声影响面积的增大、施工扰动面积增加等，对海域海洋生物会造成一定的累积影响。

运行期，风电场建设除了风机桩基础占用的一定海域范围之外，对海洋生物总体上负面影响不大，同时桩基础在一定程度上会起到人工鱼礁的作用，可为生物增殖提供栖息地，增加该区域的生物资源量和多样性。

在德国湾 5000 个海上风电机组规模下，沉积物中生物量与最初相比预计可增加 4000 倍。De Mesel 等调查了在比利时北海建造的 C-power 海上风电场，并分析了风机基础上的附着生物群落演替，演替第一年，有大量新物种殖民迁入，附着贝类迅速繁殖，随后能够吸引 20 多种迁移性生物来此提升该区域的生物多样性。Stenberg 等对丹麦 Horns Rev1 海上风电场进行了 10 年（2001-2010）的长期跟踪调查，发现底栖生物及游泳动物数量保持了基本稳定，但生物多样性明显提升；Leonhard 等发现该海上风电场鱼类和其他生物的食物供应增加了 50 倍，能够吸引诱集恋礁型生物到此处繁殖，进而在风机基础周围发挥人工礁效应。Lindeboom 等通过对荷兰 Egmond aan Zee 海上风电场进行了 5 年（2004-2009）跟踪调查，发现风机基础及四周覆石区聚集了更多生物，舌鳎、鳎鱼等鱼类数量显著提升。类似的现象在德国 Bight、瑞典 Lillgrund 海上风电场也有报道。

除长期的跟踪调查外，Ecopath with Ecosim(EwE)等生态模型也被用来预测海上风电场建设后的物种多样性变化。例如，Wang 等分析发现了江苏如东风电场建设后风电场内浮游动植物、部分底栖生物及鱼类等物种的丰度和生物量均呈增加的趋势。Raoux 等对英吉利海峡内的 Courseulles-sur-mer 海上风电场进行模拟预测，结果表明 30 年后海上风电场系统内总生物量将增加 55%，主要原因是海上风电场建成后，系统内物质循环率提升，高营养级生物向风电场区域迁移。以上结果表明，风

机基础可以作为一种潜在人工礁以达到吸引鱼群的目的。此外，德国等国家在海上风电区域开展生态渔业，对海洋资源的修复和养护起到的作用更加明显。海上风电作为我国大力发展的产业之一，具有海洋生物资源养护作用，能够较好地固碳增汇，未来可以与海洋牧场融合发展扩大其资源环境效应的发挥。

总体上，风电场群建设对海域海洋生物的累积不利影响主要体现在施工期，运行期对海洋生物的累积影响不大。

6.13.7 风电场群建设对鸟类的累积影响分析

根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》和《广东省发展改革委关于印发广东省 2023 年海上风电项目竞争配置工作方案的通知》内容，本项目紧邻帆石海上风电场址，南侧还有川岛一海上风电项目，周边海域还有多个深水场址，整体形成连片风电场，可能存在累积性和叠加影响。由于鸟类等动物对于人工建筑在长期上有一定的适应过程，因此分析项目在长期运行后对于鸟类所产生的效应和分析多个风电项目的叠加影响效应。

在项目施工和初营运期间，对在海面飞行的种类有屏障作用，尤其是喜欢在海面活动的鸮形目鸟类、部分猛禽、以及海洋性鸟类等。因此，本项目的建设会在一定程度上减少这些类群的活动范围。但随着项目建成时间增长，风机基础桩在水下会形成人工鱼礁，增加鱼类在该区域觅食的几率，从而增加部分食鱼类海鸟在该区域活动的频次。

（1）栖息地的丧失

一些鸟类物种倾向于避开风电项目场址区域，因为它们不再承认风电项目场址区域是它们栖息地的一部分，并从这些区域转移。随着海上风电项目的建成，海上鸟类的分布和飞行轨迹会产生变化，但负面影响随着风电项目的存在而逐渐变小，且由于风机之间距离较大，互相之间没有叠加效应，随着本海上风电项目以及其他海上风电项目的建成，海上鸟类的分布和活动会随着项目不同场址的建设而出现区域性替换（displacement）。

（2）额外的能源消耗

与觅食和迁徙路线交叉的海上风电项目可能会迫使一些物种绕着它们飞行，但这种影响被认为与长途迁徙的能量消耗规模相比很小。

在项目建设期和运营初期，风机数量较少，鸟类需要绕行的距离较小，随着风

机数量的增加，鸟类需要绕行更长距离，所消耗的能量会有所增加。但该影响只针对飞行高度在风机叶片范围内的种类，对于大部分飞行高度超过 300m 的种类而言，该类影响基本不存在。但目前风机普遍向高功率方向发展，叶片扫荡面积呈几何级别增加，影响高度也接近 300m，对鸟类的影响将愈加明显。

在项目营运中后期，特别是在整个规划场址的风电机组均已建成的情况下，海面将形成较大规模的风机阵列。如风机阵列排布方向与鸟类飞行活动的路线方向相同，则对鸟类影响较小，鸟类可照常从风机基础之间通过，并形成飞行廊道，节省飞行能量（Harwood et al, 2017，见下图 6.13.7-1），如风机阵列排布方向与鸟类飞行方向垂直，则可能会改变鸟类飞行活动路线，导致鸟类无法利用风电项目场址内侧海域觅食。

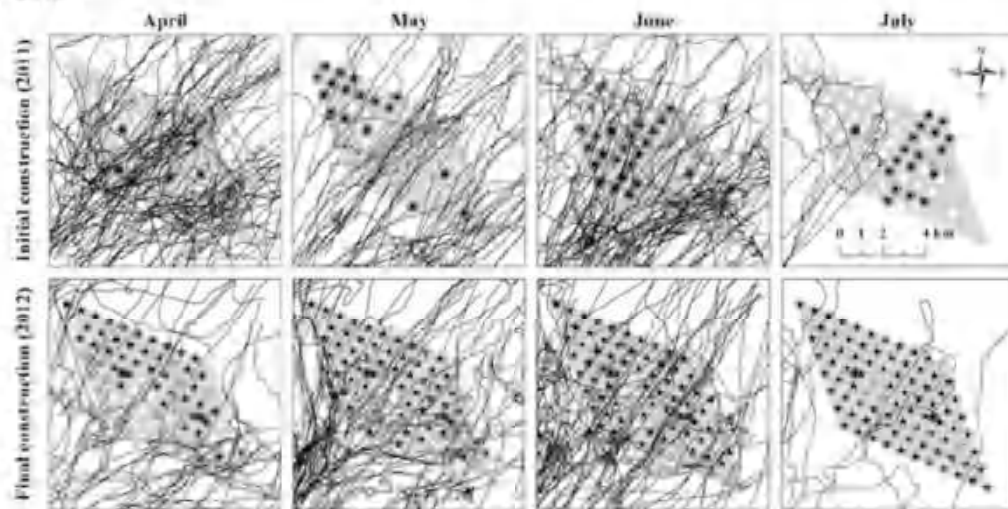


图 6.13.7-1 风机安装期间燕鸥飞行轨迹变化示意图

（3）碰撞造成的额外死亡率

飞越风电场址范围区域的物种面临更高的碰撞和死亡风险。在项目建设期和运营初期，由于建设噪声和人为干扰较大，且风机数目较少，经过风电项目场址区域的鸟类其碰撞和死亡率均为最低，随着项目建成投入运营，鸟类与风机碰撞的机会会增加。根据本项目鸟类调查结果，与风机碰撞机会最大的是褐翅燕鸥、粉红燕鸥、普通燕鸥等燕鸥类，其次为海洋性鸟类。但根据现有文献数据分析，因风机碰撞而增加的额外死亡率不足以改变其种群数量和种群变化趋势。

（4）风电机噪声影响

风电群运行期噪声主要为风机运转噪声，由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围。文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47 dB（Hirvonen, 2001），因此每个风机因噪声

而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47 dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟，如黑鸢、白腹海雕等猛禽，以及红嘴鸥、多种燕鸥等鸥形目鸟类。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离超过 200m（按飞行高度 400m 算），受到噪声影响较小。此外，从风机噪声频率角度评价，噪声对主要依靠鸣声进行通讯的鸣禽影响较为严重（Slabbekoorn and Ripmeester, 2008），如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰鸟类寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力，使鸟类的捕食效率和生存力大大下降。在噪声环境中，鸟类可选用特定音节或鸣唱句型传递信息（Kennedy et al, 2009）。当环境噪声水平提高时，声信号发出者改变频率和振幅，增大信噪比，降低噪声对声信号的干扰。研究还发现，鸟类还会调节鸣唱时间避开噪声干扰（Hardouin et al, 2008）。有研究表明风机噪声频率以低频噪声为主，一般风电场所采用的风机噪声峰值频率出现在 1300~1600Hz。而鸟类鸣声频率主要分布在 2~9kHz。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。

（5）总体累积性影响分析

由于本项目所在场址及邻近的阳江近海规划有多个风电项目，其施工顺序有差异，各风电项目相对海岸和海上鸟类活动区域的位置有差别，风电项目的建设对鸟类的累积影响不完全为线性增加。根据 Goodale 等（2018）的研究发现，风电项目的建设规模增加对鸟类影响的差异主要在于选址。如将不同项目场址建设的依据分为：①避开鸟类栖息地、②距离海岸远近、③场址水位深浅、④风力强弱等四大类，则以避开鸟类栖息地的选址方法对鸟类影响最小（见下图 6.13.7-2）。如具体到不同类群，而近岸活动鸟类和海洋性鸟类受到后三项依据的影响差异显著。

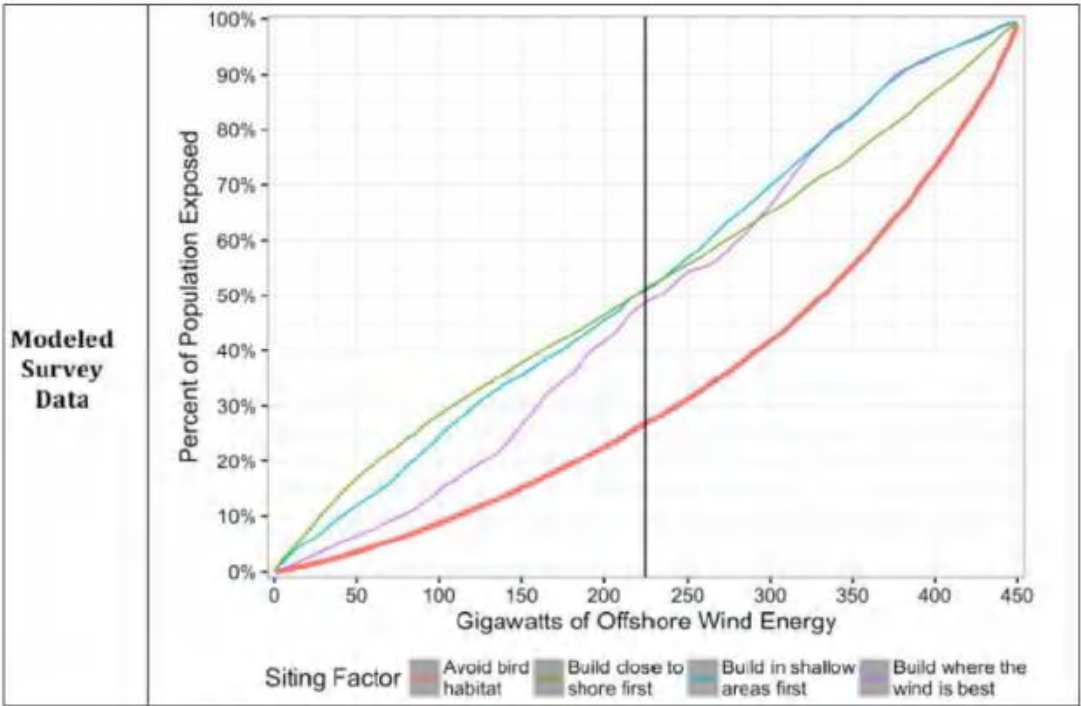


图 6.13.7-2 风电项目选址因素对鸟类影响的累积曲线

根据本项目区域鸟类调查具体情况，列表分析不同类群鸟类对项目的累积性和叠加影响：

表 6.13.7-1 海上风电项目建设不同时期对鸟类的累积和叠加影响分析

物种	邻近项目已施工	本项目建设中	本项目运营初期	区域建设后短期	区域建设后长期
海洋性鸟类	++	--	-	+	+
鸕鹚类	/	/	/	/	/
鸬鹚类	/	/	/	/	/
雁鸭类	/	/	/	/	/
鹭类	/（+）	/（-）	/（+）	/	/
秧鸡类	/	/	/	/	/
越冬鸕鹚类	/	/	/	/	/
迁徙鸕鹚类	+	--	-	-	/
繁殖鸕鹚类	/	/	/	/	/
燕鸥类	++	-	-	+	+
鸥类	+	-	-	-	/
猛禽类	/	/（-）	/（-）	/（-）	/（-）
陆生留鸟	/	/	/	/	/
陆生繁殖鸟类	/	/	/	/	/
陆生迁徙鸟类	/	/	/	/	/
陆生越冬鸟类	/	/	/	/	/

注：“+”代表数量有增长，“-”代表数量减少，“/”代表数量不受影响，“（ ）”代表影响较轻微。

根据上表，预测受影响类群主要为海洋性鸟类、迁徙鸕鹚类、燕鸥类和鸥类，鹭科鸟类和猛禽类可能受到轻微影响。但主要影响集中在项目建设期间和营运初期，

随着项目投入运营时间增长，受人工鱼礁等效应影响，加上鸟类适应和调整飞行路线，本项目对鸟类的负面影响将减少，甚至带来正面影响。

(6) 与周边风电项目的累积影响分析

根据广东省海上风电规划，项目周边还有多个待建风电场。根据现状调查结果可知，多数水鸟沿海岸迁徙，活动范围集中在沿岸 5km，远低于上述各个场址离岸的最短距离，已为鸟类预留了足够的迁徙或觅食通道，可见本项目场址的海上风电项目对水鸟的影响较小。此外，对于南北迁徙种类，深水区两场址分别位于浅水区两场址的正南方，对于跨越南海沿南北方向迁徙的种类可同时对两类区域进行避让，叠加影响较小。

6.13.8 风电场群建设对重要珍稀海洋生物影响分析

风电场群场址涉海面积大，较多规划场址附近海域是中华白海豚、江豚、海龟等海洋珍稀海洋生物的活动场所。海洋风电项目建设规模大、施工工期长、施工系统性强，涉及诸多方面的施工要素。打桩施工作业产生的水下噪声会对中华白海豚、江豚等珍稀动物的行为产生影响，风电场群营运期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声基本上相当，对中华白海豚、江豚等珍稀动物影响程度有限。中华白海豚、江豚栖息地主要集中在近岸区，与风电场群距离较远，影响较小。施工期和营运期产生的强光会对保护性海龟的产卵繁殖产生影响。

7 环境风险评价

7.1 环境风险评价等级

根据 2.6.1.5 节的环境风险评价等级判断结果，本项目环境风险潜势为Ⅲ，环境风险评级工作等级为二级。

7.2 环境敏感目标

本项目环境风险评价范围内的环境敏感区与环境保护目标主要有：“三区三线”（优先保护单元）、产卵场等，各环境敏感目标与项目的最短距离、保护目标及环境保护要求见表 7.2-1，各环境敏感区与本项目的位关系见图 2.7.3-1。

表 7.2-1 环境风险评价范围内的主要环境敏感目标

序号	敏感目标	类型	与项目距离	保护目标
1	东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区	“三区三线”（优先保护单元）	西北侧，约 7.6km	海洋生态系统健康和 安全
2	大帆石特别保护海岛	“三区三线”（优先保护单元）	北侧，24.1km	海岛自然地形、地貌
3	阳江南鹏列岛海洋生态地方级自然保护区	“三区三线”（优先保护单元）	41.3km	海洋生态、渔业资源、海洋生物多样性
4	广海湾重要渔业资源产卵场	“三区三线”（优先保护单元）	北侧，38.7km	渔业资源
5	长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场	三场一通道	项目位于	产卵场
6	南海北部幼鱼繁育场保护区	三场一通道	北侧，约 8.1km	幼鱼繁育场

7.3 环境风险识别

本工程施工期主要通过船舶进行海上作业，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、车辆和机械，其均需携带一定数量的燃料油。施工期无配备燃油运输船。根据《建设项目环境风险评价技术导则》中给出的“物质危险性标准”和《重大危险源辨别》（GB18218-2000），汽油等燃料油属易燃物质，各类船舶由于恶劣的自然条件、人为操作失当等发生通航安全事故及进而可能引发的溢油事故。同时本工程海域周边航道较多，有一定数量的船只通航及停泊，尤其施工期间，各类施工船只存在与通航船舶发生碰撞并造成油品泄漏的可能。

综上，本工程涉及的溢油风险类型主要为风电场施工期间发生的施工船只与通航船舶的碰撞事故和风电场营运期间航行船舶碰撞风机事故。工程海域受潮汐和风浪影响较大，如遇特大风暴潮、雷击等灾害，会对工程的运行带来严重损害。此外，水道摆动和风机基础冲刷、海底电缆损坏、风机基础腐蚀风险、风机运行风险、火

灾风险、通航安全等环境风险事故也有发生可能。

7.4 环境风险源项分析

7.4.1 通航风险分析

本工程所在海域港口、码头等通航设施众多，通航风险分析内容引用自《江门川岛二海上风电场项目通航安全影响咨询报告》（广州港海工程咨询有限公司，2024年1月），以下简称“通航报告”，本节内容节选“通航报告”的部分结论。

（1）通航风险识别

“通航报告”采用定性结合定量、主要以定性为主的方法进行评价。各通航风险因子的影响危险度划分为五个等级：“低”、“较低”、“中等”、“较高”、“高度危险”。

在确定船舶通航环境系统安全影响因素时，为使评价指标能较充分的反应船舶交通安全，且具有较好的可操作性和实用性，本研究结合国内外的研究成果、船舶交通事故调查分析结果和咨询行业专家，确定通航环境危险度的主要评价因素有：能见度、风、流、附近航线、锚地、交通量、导助航设施，并提出了通航环境因素危险度评价指标及标准。

（2）风险评价

①大风对施工的影响

本工程海域地处亚热带区域，是热带气旋频繁出现的高发带。区域内热带气旋主要发生在夏季前后（6~10月）。根据统计，闸坡海洋站自1961年-2016年资料，闸坡海洋站历年极端最大风速为受7418号强台风影响，发生于1974年7月的E向，40.5m/s；其次为受7619号强台风影响所致，发生于1976年9月20日2时的35.7m/s，NE向；2016年受黑格比台风影响所致的35.4m/s。

大风天气会影响船舶泊稳和施工安全，还会影响过往船舶正常航行，容易发生碰撞事故，施工前收悉天气预报，做好相关的防风等应急专项预案，尤其是工程区域避风锚地较少，需提前了解周边的避风锚地，制定人员撤离、船舶撤离的方案，针对作业船舶制定“一船一预案”。大风对施工的安全评价为“中等”。

②能见度的影响分析

工程区域一般10月~4月份雾天较多，其中3月份年平均每月2.5天。多年平均雾日数9天。浓雾天气会影响到过往船舶的正常视觉瞭望，较难发现海上施工船

舶，对过往船舶的正常航行有一定的安全影响，对海上施工自身安全也存在一定的安全威胁。施工期间应做好防雾的应急预案，配备应急雾灯。雾的风险评价为“较低”。

③雷雨大风的影响分析

在施工现场作业时，雷雨大风对风机吊装作业有一定影响，同时受雷暴天气的影响，容易引起雷击，在施工期间应高度重视雷暴天气的影响，雷暴期间停止带电作业。雷雨大风的风险评价为“中等”。

④波浪的影响分析

本工程海域受风浪和涌浪共同影响。风浪是在风的直接作用下产生的。涌浪则是风浪传出风区或风停后余留在海上的海浪。南海的风浪和涌浪受风的季节变换影响较大，具有明显的季节性。整个南海的风浪大于涌浪。一年中以3、4级浪最多，约占全部浪级的44%~47%；5级浪占18%~31%；大于5级占6%；最大浪一般不超过7级。波浪和潮流对安全施工由一定的影响，特别是大浪条件下，施工作业船舶产生摇荡，泊稳困难，船舶抛锚作业受到较大的影响，施工期间应制定限制条件，波浪的影响风险评价为“中等”。

⑤附近船舶航路和交通流的风险评价

本工程施工期间需要采取风机打桩船、风机安装船、运输船等，其中打桩船主要为浮吊船，施工期间抛锚的范围较大，大部分抛锚长度在800m范围；施工期间占用的水域主要以风机为中心半径1km范围；风机安装船主要采用插腿抬升式平台船和座底船两种较多，根据工程水域水深范围43~46m，采用插腿抬升式平台船较为合适，占用水域主要为平台船占用的水域，常见的平台船长在120m，宽约44m范围；风机运输船靠近平台船约30m范围，抛锚定位采用抛八字锚，占用水域范围在500m范围。根据以上分析，船舶施工作业期间占用的水域范围最大为1km，本工程与周边航路的距离最近南侧3.3海里广东沿海外航路与附近航路有一定安全影响，施工期间通过加强安全警戒等措施，风险评价为“中等”。

根据风场周边的船舶交通流量情况，有影响的交通流主要为江门川岛南至琼州海峡北水道航路和广东沿海外航路的交通流。根据航经风场的船舶流量每天约21艘次，施工期间风场仍有船舶通过风场，大部分为渔船，与船舶交通流的风险评价为“中等”。

⑥施工期间与渔船的影响分析

本工程施工期间受到渔船的干扰较大，渔船的随意性较强，航线无规则，施工船舶较大，渔船正常不会靠近施工船舶，但施工船舶需要抛锚，渔船在捕鱼作业期间撒网等对锚位有一定影响，施工期间需要采取相应的安全维护措施，因此施工期间对渔船的风险评价为“中等”。

⑦施工与周边设施的影响

根据风场周边的设施调查，风场附近没有发现水上水下等其余建筑物，施工前进一步对风机周边水下区域进行扫测。因此施工期间对海缆的风险评价为“较低”。

⑧其他安全风险分析

出海作业人员应按规定进行培训，作业人员计划按规定报海事部门，并定期向海事部门汇报人员变动情况，施工期间做好人身的安全防护工作，确保施工船舶的安全救生设备满足船上人员使用，人员上下船等注意安全等，作业期间人员的安全评价为“中等”。

综上，通过工程建设方案的合理性、可行性分析，风电场的建设对所在海域的通航环境和通航安全有一定的影响，在采取本报告提出的相关建议和落实各项安全保障和维护措施后，其不利影响和风险将会得到相当程度的缓解。从船舶通航环境和通航安全角度考虑，江门川岛二海上风电场项目对附近海域通航环境和通航安全的影响是可控的。

7.4.2 船舶溢油风险分析

7.4.2.1 最大可信事故

按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）中的定义，“最大可信事故”系指“基于经验统计分析，在一定可能性区间内发生的事故中，造成环境危害最严重的事故”。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）中的定义，“最大可信水上溢油事故”系指“在所有预测的概率不为零的事故中，溢油量最大的水上溢油事故”。根据风险识别，施工船舶碰撞溢油为本项目主要的风险，本次评价采用施工船舶碰撞后单舱燃料油全部泄漏为本项目的最大可信事故。

7.4.2.2 事故发生概率

根据南开大学熊善高《海域船舶溢油风险评估及应急管理体系的研究》，船舶发生碰撞事故时，其溢油的频率为 2.0×10^{-4} 次/船·年，散货船碰撞事故下溢油频率为

3.7×10^{-4} 次/船·年，杂货船碰撞事故下溢油频率为 4.8×10^{-4} 次/船·年，其他类型船舶碰撞事故下溢油频率为 1.2×10^{-4} 次/船·年。根据施工安排，项目施工过程中同时最多施工船舶数量为 36 艘，涉及船舶包括起重船、自升平台船、驳船、敷缆船、拖轮、锚艇、交通艇、补给船、灌浆船等，以最不利分析，本项目碰撞事故溢油频率为 1.73×10^{-2} 次/船·年。

7.4.2.3 溢油源强及位置

本风电场施工期采用的施工船舶最大总吨位为 12464t 甲板货船（载货量 19000t）。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）附录 C 中表 C.6，载货量 19000t 甲板货船的燃油总舱容 1339m^3 ，燃油总量 1071.2m^3 ，单舱燃油量 169m^3 。燃料油密度按 $0.9\text{t}/\text{m}^3$ 计算，则甲板货船单仓最大载油量约为 152.1t，则施工期施工船舶碰撞发生燃料油舱泄露造成的最大漏油量约为 152.1t。工程营运期间，现场维护人员往返风电场区采用一艘普通交通运输船（小于 500t）。由于施工期船型较大，载油量较多，故本报告中对施工期船舶发生碰撞时的溢油情况进行模拟分析。

考虑施工船只可能发生碰撞事故，溢油点选在场址中心位置。

7.4.2.4 溢油预测模型

海上溢油的扩散行为受气象条件和潮流特征等环节条件以及溢油本身化学性质的影响，会经历拓展、漂移及风化等复杂过程。溢油刚发生时，油膜主要在海中进行扩展过程，持续时间较短，随后在海中进行漂移和风化过程，持续时间较长。目前对溢油数值模拟研究的方法基本有两种，一种是基于对流扩散方程，将油膜视作一般污染物；另一种是“油粒子”模型，采用拉格朗日随机走动法和粒子云团来描述溢油过程。“油粒子”模型将油膜分散成大量油粒子，油膜视为这些“油粒子”组成的粒子云团，该方法可以较好地反应海上溢油在各种环境因素影响下的行为情况，目前在溢油研究中被广泛使用。

本次溢油数值模拟的基本原理是基于拉格朗日体系，模拟溢油在海水中的扩展、漂移、风化等过程，并且能全面反应油膜的漂移轨迹、扫海面积以及溢油物理化学属性的改变情况，是国际上应用较广的溢油预测模型模拟系统之一。

在模型中油被分为两部分：轻质挥发部分（分子量小于 $160\text{g}/\text{mol}$ ，沸点小于 300°C ）和重质部分（分子量大于 $160\text{g}/\text{mol}$ ，沸点 300°C 以上），石蜡和沥青作为

油中的特殊成分，不参与降解、蒸发和溶解过程。模型中油被离散为大量的油粒子，每个油粒子代表一定的油量，每个粒子都在模型被单独计算。溢油发生后，油残留物的化学组分变化是物理和生物过程的结果、这通常称为油的风化过程，在模型中油的风化过程主要包括蒸发、扩散、乳化、溶解、沉降、感光氧化和生物降解等，过程示意图见图 7.4.2-1。

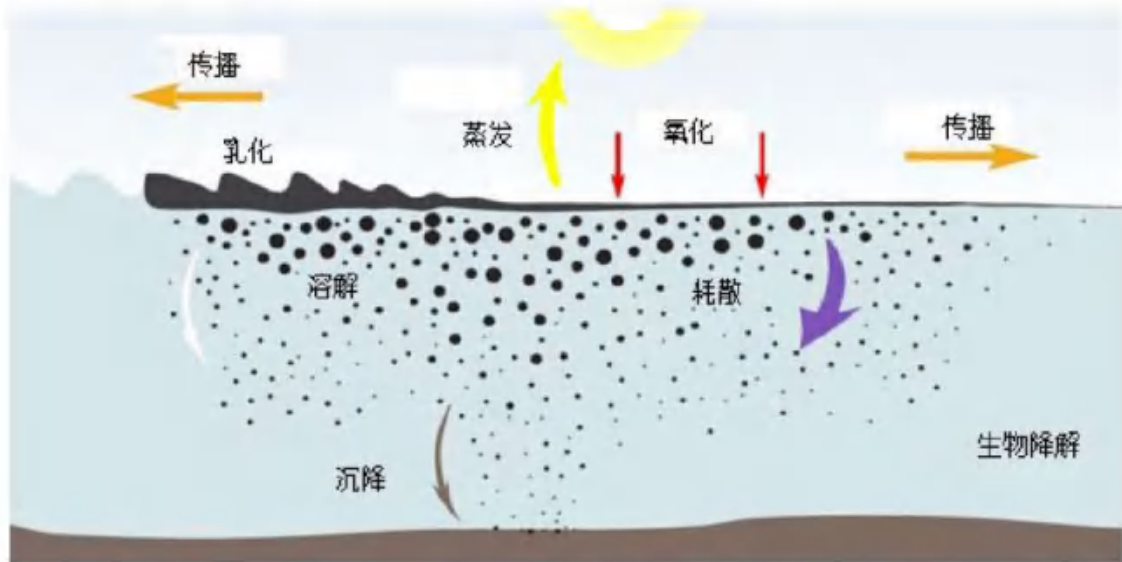


图 7.4.2-1 溢油风化过程示意图

（1）扩展过程

溢油的扩展过程主要受重力、粘力和表面张力的影响。模型采用的是修正的 Fay 重力-粘性力公式计算油膜的扩展过程：

$$\frac{dA_0}{dt} = K_a A_0^{1/3} \left(\frac{V_0}{A_0} \right)^{4/3}$$

$$V_0 = R_0^2 \pi h_0$$

式中， A_0 为油膜扩展面积， V_0 为溢油体积， K_a 为系数， h_0 为油膜初始厚度，取 10cm， t 为时间。

（2）漂移过程

“油粒子”模型将漂移过程分为对流和紊动扩散两个主要过程，在每个计算步长内，油粒子的变化都是这两个过程综合作用下的结果。

① 对流过程

油粒子在潮流和风力的作用下产生对流位移，可以表示为：

$$U_p = U_s + C_w \cdot U_w \cdot \sin(\theta - \pi + \theta_w)$$

$$V_p = V_s + C_w \cdot U_w \cdot \cos(\theta - \pi + \theta_w)$$

式中， U_p 、 V_p 分别为油粒子在 x 、 y 方向的对流移动分速度； U_s 、 V_s 分别是表面流速在 x 、 y 方向的分速度； U_w 为海面上 10m 处的风速； θ 为风向角； C_w 为风漂移系数，一般取值为 0.03~0.04 之间，本模型取值为 0.03； θ_w 为风偏转角，可表示为：

$$\theta_w = \beta \exp\left(\frac{\alpha |U_w|^3}{g \gamma_w}\right)$$

其中， $\alpha = -0.3 \times 10^{-8}$ ； $\beta = 28.38'$ ； g 为重力加速度； γ_w 为运动粘度。本模型取模型默认值， $\theta_w = 28^\circ$ 。

②紊流扩散过程

每个油粒子的空间是由水流的随机脉动所导致的，对于二维的情况，可以将随机走动的距离形式表示为：

$$\Delta S_\alpha = R \cdot \sqrt{6D_\alpha \cdot \Delta t}$$

其中 ΔS_α 为在 α 方向上的一个时间步长内可能扩散走动的距离， D_α 为 α 方向上的扩散系数， R 为-1 到 1 的随机数。

（3）溢油风化过程

溢油的风化包括蒸发、乳化以及溶解等过程。其过程十分复杂，与溢油自身属性、温度、风、阳光等许多因素有关。

①蒸发过程

油类蒸发指液态的石油烃变成气态造成油膜与空气间进行物质交换的过程，油类的蒸发受油品本身及环境因素影响，油品本身性质决定着油类在水中的蒸发率，油膜厚度、风场及温度、水温、风速计太阳辐射等因素也影响着油类的蒸发。油膜蒸发是风化过程的主要部分，大多数原油的蒸发量可达 40%，蒸发数量一般占总溢油量的 20%~40%。蒸发率由下式表达：

$$N_i^e = K_a \cdot P_i \cdot \frac{M_i}{\rho_i} / (RT)$$

式中： N_i^e 为蒸发率， P 为蒸汽压， i 为不同的油组分， R 为气体常数， K_{ei} 为物质传输系数， M 为分子量， T 为温度， ρ 为油组分密度， K_{ei} 由下式估算：

$$K_{ei} = K \cdot A_0^{0.045} \cdot Sc_i^{-2/3} \cdot U_w^{0.78}$$

其中， K 为蒸发系数， Sc 为蒸汽 Schmidt 数，模型取 2.7。

②乳化过程

乳化是油与水经过扰动作用后混合在一起，油膜被打碎成油滴不断向水体运动，同时卷吸海水形成黑褐色的乳化物。这种乳化物可以长期漂浮于海上，体积、粘度和比重都比原来大得多，这是由于其吸收了大量海水的原因。溢油的乳化会极大影响到扩散、蒸发等其它过程，严重地妨碍了溢油的清理工作。溢油的乳化受油膜厚度、水流紊动作用以及环境条件等的影响。

油膜的乳化包括形成水包油型及油包水型两个物化过程。在溢油发生最初的时刻，扩散是最主要的运动方式，由于其是一种物理过程，油膜在自身伸展压缩运动及水流和风浪的扰动下破碎，将油膜分散成各种粒径的油滴，油滴进入水中，形成水包油型乳化。从油膜中扩散到水中的油量损失可由下式计算：

a. 形成水包油乳化物的过程

溢油在海上的扩散过程中，水流的紊动作用将油膜打碎成油滴，油滴分散到水体后进而形成了水包油的乳化物。这些乳化物表面化学性质稳定，可以防止油滴返回油膜。在静风条件下油膜的伸展压缩运动是主要的分散作用力，而在大风的情况下波浪破碎是主要因素。溢油的损失量计算为：

$$D = D_a + D_b$$

$$D_a = \frac{0.11(1+U_w)^2}{3600}$$

$$D_b = \frac{1}{1+50\mu_0 h_s \gamma}$$

式中， D_a 为油类进入到水中的分量， D_b 为进入水体后没有返回的分量， μ_0 为油的粘度， γ 为油和水的表面张力。

油粒子返回油膜速率为：

$$\frac{dV_0}{dt} = D_a(1-D_b)$$

b. 形成油包水乳化物的过程

当水进入油类中，形成油包水型乳化，会增加油类的含水率。油类含水率变化由下式得出：

$$\frac{dY_w}{dt} = R_a - R_b$$

$$R_a = K_a (Y_w^{\max} - Y_w) \frac{(1 + U_w)}{\mu_0}$$

$$R_b = K_b Y_w \frac{1}{A_s \cdot \mu_0 \cdot W_a}$$

其中， R_a 、 R_b 分别为水的吸收速率和释放速率， A_s 为溢油的沥青含量， W_a 为溢油的石蜡含量， Y_w 为乳化物含水率， $Y_w^{\max}$ 为最大含水率， K_a 、 K_b 分别为吸收系数和释放系数。 $Y_w^{\max}$ 取值为 0.75。

③溶解

溢油有微弱的溶于水的特性，主要是低碳的轻油组分溶解于水。在整个溢油扩散的过程中其溶解量通常不会超过溢油总量的 1%，可以忽略不计。但考虑到溶解于水中的溢油具有一定的毒性，溢油扩散数值模拟中需要进行溶解量的计算。

溶解率可表示为：

$$\frac{dV_{di}}{dt} = K_{di} \cdot X_i \cdot C_i^s A_0 \frac{M_i}{\rho_i}$$

$$K_{di} = 2.36 \cdot 10^{-6} e_i$$

$$e_i = \begin{cases} 1.4 & \text{烷烃} \\ 2.2 & \text{芳香烃} \end{cases}$$

其中， V_{di} 为溢油溶解量， K_{di} 为溶解传质系数， X_i 为摩尔分数， C_i^s 为溶解度， M 为摩尔质量。

(4) 溢油物理化学性质的变化

进入水体的溢油的物理化学性质会随着乳化和蒸发等过程的进行而不断地发生变化。在“油粒子”模型中，溢油的浓度和厚度都以粒子的体积以及网格面积表示。本模型考虑了溢油的密度、粘度和热容量的变化。

具体参数设置见 7.4.2-1。

表 7.4.2-1 溢油模型参数设置表

参数名称	取值		说明
溢油类型	柴油		
源强	152.1t		
轻组分油密度	755kg/m ³		
重组分油密度	940kg/m ³		
水的运动粘性系数	1.14e-006m ² /s		
20℃下油的动力粘度	1.4cP		
风漂移系数 C_w	0.03		对流过程
风偏向角 θ_w	28°		对流过程
乳化率	2.1e-006 s/m ²		乳化过程
油的乳化物最大含水率 $Y_w^{\max}$	0.75		乳化过程
吸收系数 K_a	5e-007		乳化过程
释出系数 K_b	1.2e-005		乳化过程
传质系数 K_{di}	2.36e-006		溶解过程
蒸发系数 K	0.06		蒸发过程
蒸汽 Schmidt 数 Sc	2.7		蒸发过程
油品组分	轻组分油（重量低于 160 克/摩尔，沸点远低于 300 摄氏度）	50%	
	重组分油（重量超过 160 g/mol，沸点高于 300℃）	40%	
	油中的蜡质（保守）	8%	
	油中沥青质含量（保守）	2%	

7.4.2.5 风险预测组合

（1）流场参数

考虑到大潮期间潮流流速较大，油膜在大潮期扩散范围最大，因此在流场验证良好的基础上，选择大潮期的水动力场作为计算流场。

（2）气象参数

气象参数参考工可项目附近测风塔的风速风向风频换算为海面 10m 风速。为了研究最不利风向情况下溢油的扩散，本次评价选取 ESE 风向的作为不利风向，模拟时长为 48 小时。各种工况组合见表 7.4.2-2。

（3）计算工况

溢油形式主要分为瞬时和连续溢油，一般而言，溢油量的 10%为瞬时溢油，90%为连续溢油。结合本工程实际情况，预测以燃料油作为油品的主要代表，考虑连续 1h 溢油的情况，以大潮作为主要的潮流形式。溢油发生时刻分涨初和落初两种时刻。

溢油计算条件组合见表 7.4.2-2。

表 7.4.2-2 各种风险条件组合表

工况	潮期	风向	风速类型	风速 (m/s)	溢油点	溢油量
工况 1	大潮涨初	ESE	平均风速	6.67	风场中间处 (112°20'59.544"E, 21°8'58.184"N)	152.1t
工况 2	大潮落初	ESE	平均风速	6.67		
工况 3	大潮涨初	ESE	不利风速	13.8		
工况 4	大潮落初	ESE	不利风速	13.8		

7.4.2.6 溢油预测结果

表 7.4.2-3 列出了不同工况组合下溢油影响范围统计结果。表 7.4.2-4 列出了溢油泄漏到达主要敏感目标的时间统计结果。图 7.4.2-2~图 7.4.2-9 给出了不同工况组合下油膜的扫海范围图。

溢油预测结果表明，施工船舶发生溢油事故后，油膜主要随涨落潮流向事故点附近海域扩散。

在不利风（ESE 向风，6.67m/s）条件下，受涨潮潮汐动力作用，泄漏的油品随潮流在事故点附近海域往 N 向迁移，事故发生 48 小时后油品未靠岸，溢油发生 4h、12h、24h、48h 油膜扫海面积分别为 1.80km²、12.48km²、31.28km²、65.64km²；受落潮潮汐动力作用，泄漏的油品随潮流在事故点附近海域往 N 向迁移，事故发生 48 小时后油品未靠岸，溢油发生 4h、12h、24h、48h 油膜扫海面积分别为 1.52km²、9.96km²、29.88km²、65.52km²。

在不利风（ESE 向风，13.8m/s）条件下，受涨潮潮汐动力作用，泄漏的油品随潮流在事故点附近海域往 NW 向迁移，事故发生 48 小时后油品未靠岸，溢油发生 4h、12h、24h、48h 油膜扫海面积分别为 2.60km²、15.16km²、42.20km²、78.08km²；受落潮潮汐动力作用，泄漏的油品随潮流在事故点附近海域往 NW 向迁移，事故发生 48 小时后油品未靠岸，溢油发生 4h、12h、24h、48h 油膜扫海面积分别为 1.60km²、13.80km²、43.96km²、74.68km²。

表 7.4.2-3 溢油事故分析表

工况	溢油时刻	风速 (m/s)	风向	时间 (h)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)
工况 1	大潮涨初	6.67	ESE	4	1.80	5.23
				12	12.48	12.26
				24	31.28	24.54
				48	溢油事故发生后约 48 小时未抵岸，扫海面积约 65.64km ² ，溢油残留量约为 100.2t	44.10
工	大潮	6.67	ESE	4	1.52	3.18
				12	9.96	11.98

工况	溢油时刻	风速 (m/s)	风向	时间 (h)	扫海面积 (km ²)	漂移距离 (km)
工况 2	落初			24	29.88	26.05
				48	溢油事故发生后约 48 小时未抵岸, 扫海面积约 65.52km ² , 溢油残留量约为 100.2t	45.31
工况 3	大潮涨初	13.8	ESE	4	2.60	7.69
				12	15.16	16.64
				24	42.20	33.25
				48	溢油事故发生后约 48 小时未抵岸, 扫海面积约 78.08km ² , 溢油残留量约为 99.1t	66.53
工况 4	大潮落初	13.8	ESE	4	1.60	4.13
				12	13.80	14.72
				24	43.96	34.59
				48	溢油事故发生后约 48 小时未抵岸, 扫海面积约 74.68km ² , 溢油残留量约为 99.1t	66.76

表 7.4.2-4 溢油泄漏到达主要敏感目标的时间统计表

敏感目标			工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
			涨初	落初	涨初	落初
			ESE	ESE	ESE	ESE
到达敏感目标时间 (h)	①	东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区 (西北侧, 约 13.9km)	—	—	11	14.5
	②	大帆石特别保护海岛 (北侧, 约 29.5km)	27.5	—	—	—
	③	阳江南鹏列岛海洋生态地方级自然保护区 (西北侧, 约 41.4km)	—	—	35	36.5
	④	广海湾重要渔业资源产卵场 (北侧, 约 44.2km)	—	48	—	—
	⑤	岸线	—	—	—	—

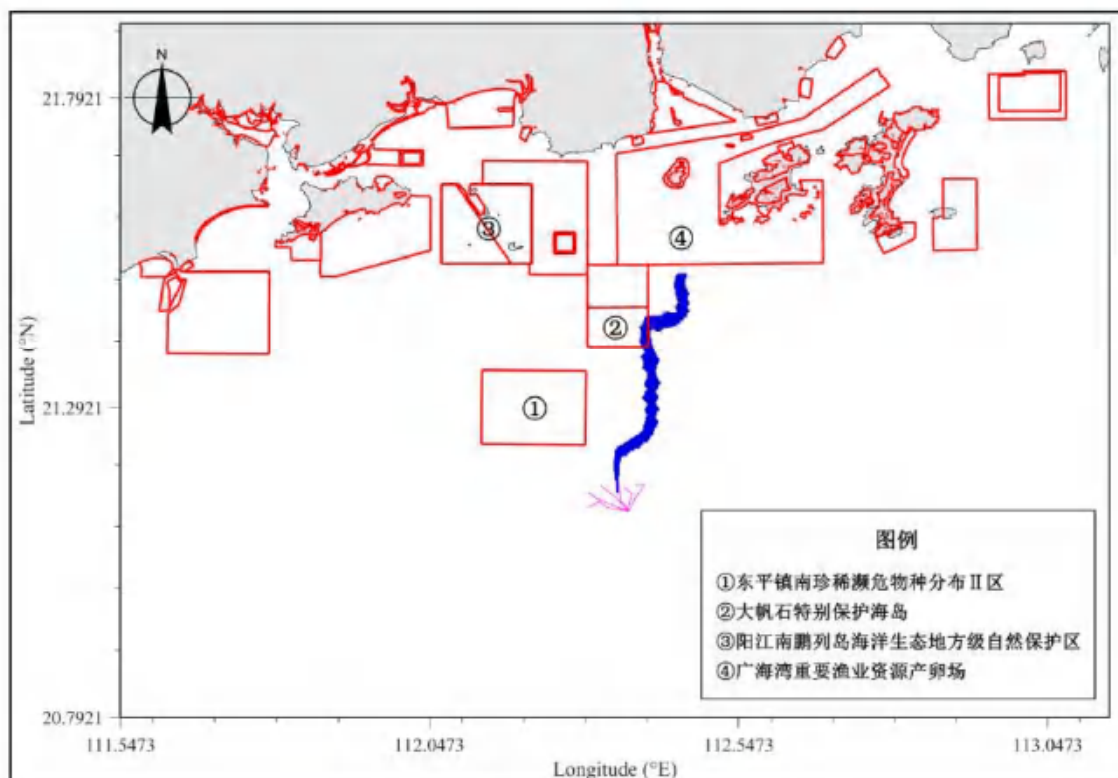


图 7.4.2-2 工况 1 溢油扫海范围（48 时）

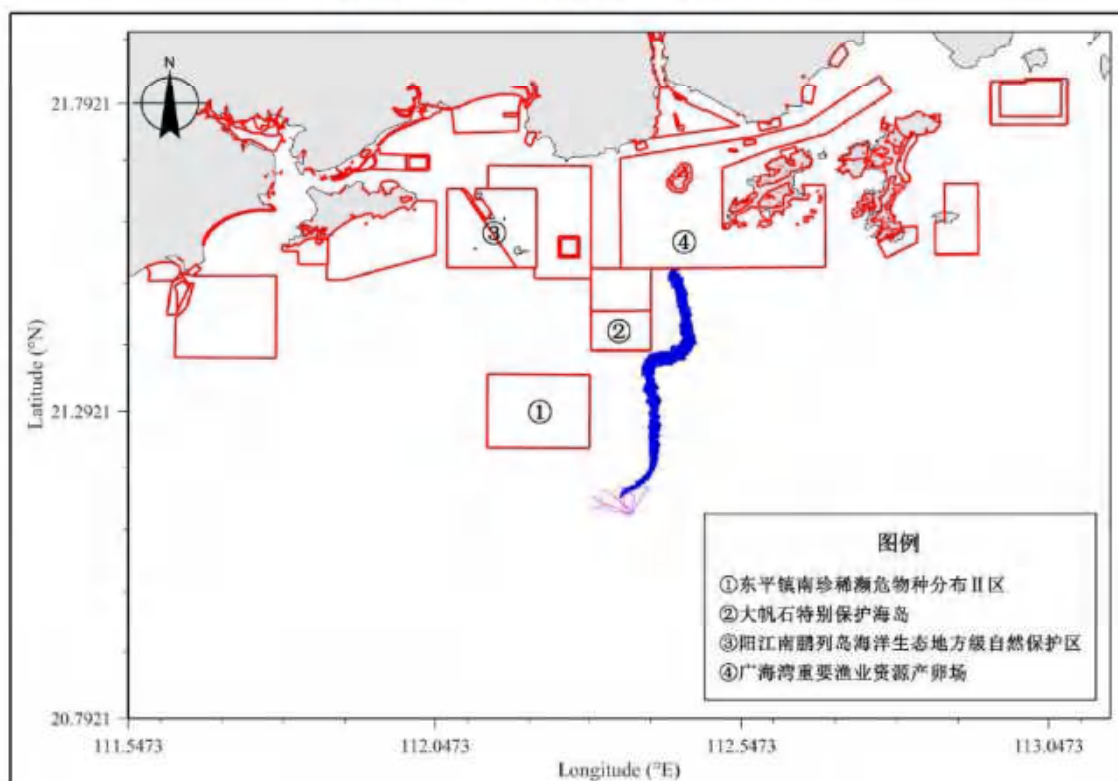


图 7.4.2-3 工况 2 溢油扫海范围（48 时）

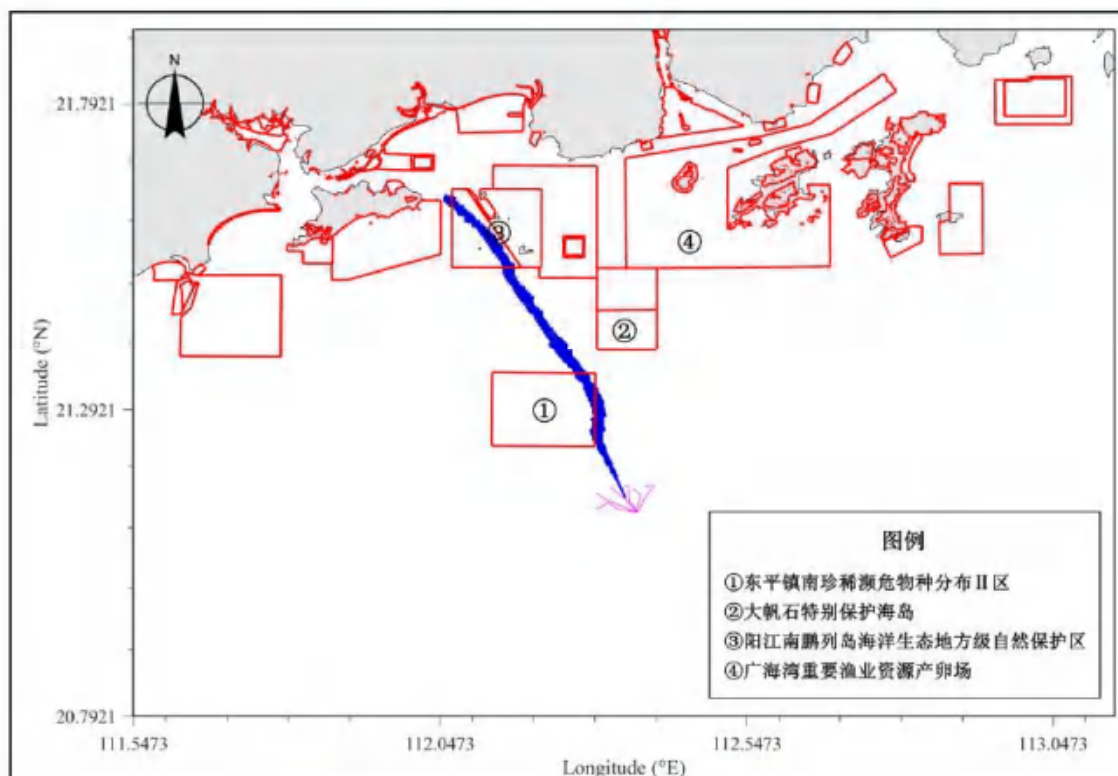


图 7.4.2-4 工况 3 溢油扫海范围（48 时）

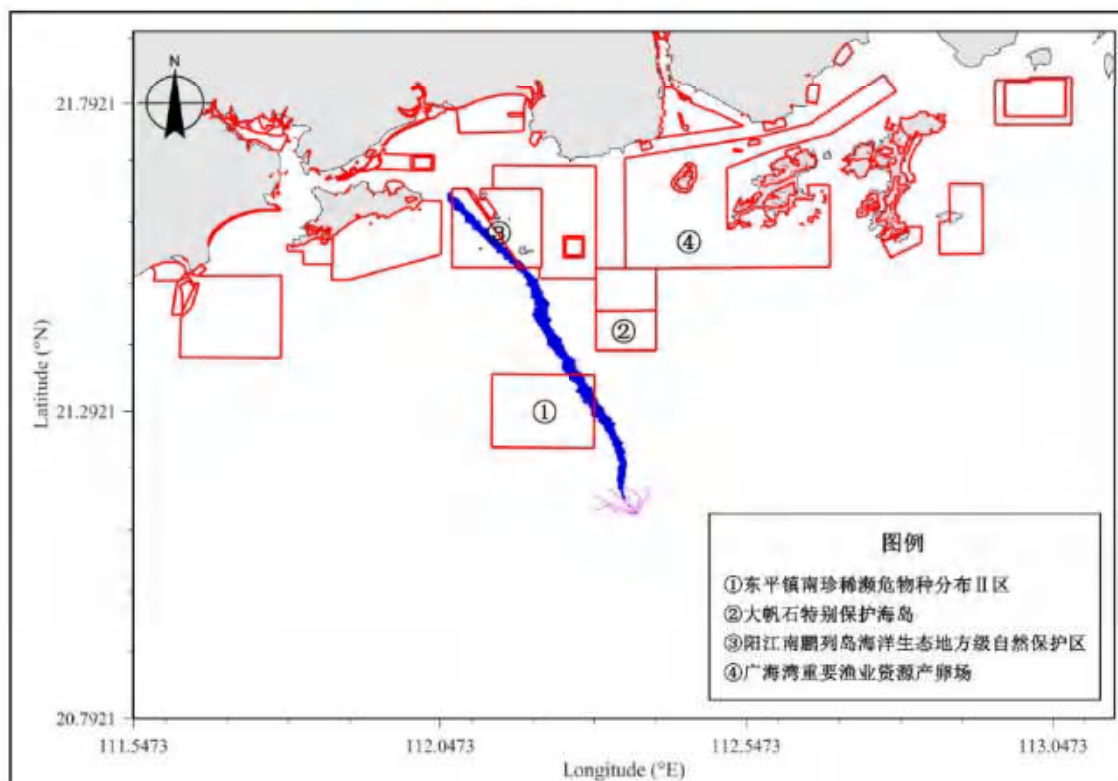


图 7.4.2-5 工况 4 溢油扫海范围（48 时）

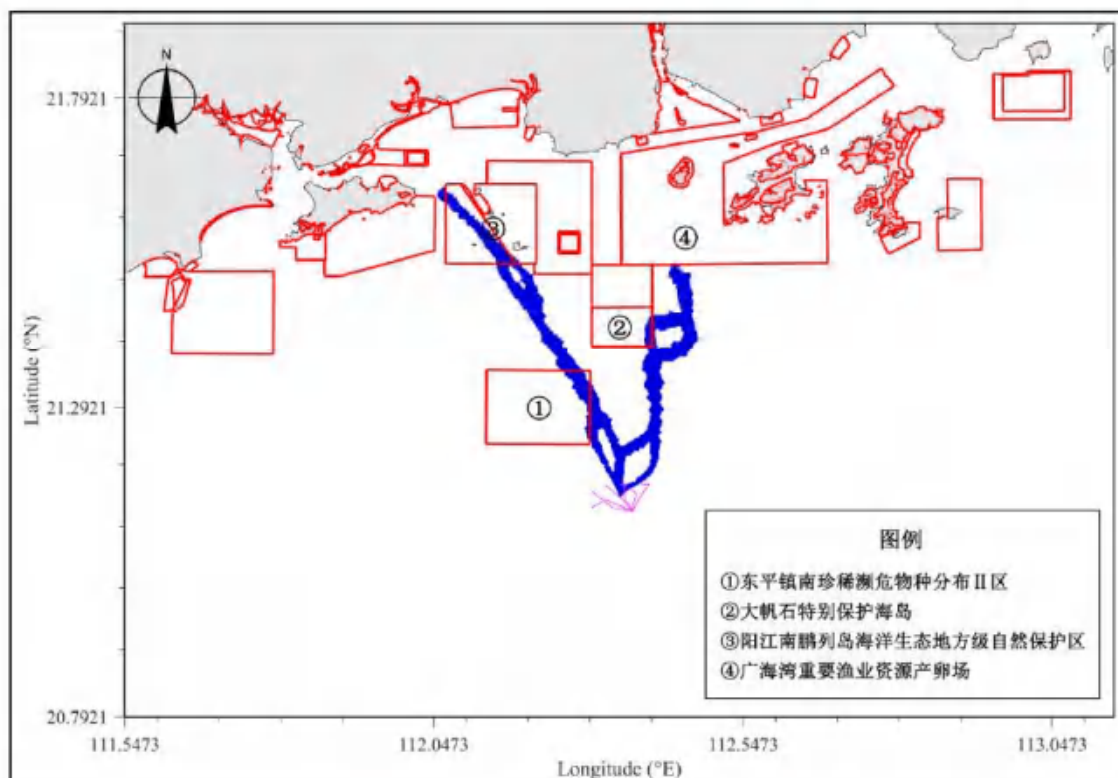


图 7.4.2-6 全部工况叠加溢油扫海范围（48 时）

7.4.2.7 溢油环境影响分析

（1）溢油事故对海洋生态和渔业影响分析

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大影响。

①对浮游生物的影响

溢油事件发生后，油膜会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍他们的光合作用。破坏程度取决于油类物质的类型，浓度及浮游植物的种类。根据国内外毒性实验结果，作为鱼、虾类饵料基础的浮游植物，对各种油类的耐受能力都很低。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 $0.1 \sim 10 \text{ mg/L}$ ，一般为 1 mg/L 。对于更敏感的种类，油浓度低于 0.1 mg/L 时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

②对浮游动物的影响

浮游动物石油急性中毒致死浓度范围一般为 $0.1 \text{ mg/L} \sim 15 \text{ mg/L}$ ，Mironov 等曾将黑海某些桡足类、和枝角类暴露于 0.1 ppm 的石油海水中，当天浮游动物全部死亡。当石油质量浓度降至 0.05 ppm ，小型拟哲水蚤 *Paracalanus* sp. 的半致死时间为 4 天，而胸刺镖蚤 *CentroPages*、鸟喙尖头蚤和长腹剑水蚤 *Oithona* 的半致死天数依次为 3 天、2 天和 1 天。另外，Mironov 对不同浓度对桡足类幼体的影响实验表明，永久性（终生性）浮游动物幼体的敏感性大于阶段性（临时性）的底栖生物幼体，而它们

各自的幼体的敏感性又大于成体。

③对底栖生物的影响

底栖生物随种类的不同而产生对石油浓度适应的差异，多数底栖生物石油急性中毒致死浓度范围在 2.0mg/L~15mg/L，其幼体的致死浓度范围更小些。软体动物双壳类能吸收水中质量浓度很低的石油，如：0.01ppm 的石油则可能使牡蛎呈明显的油味，严重的油味可持续达半年之久。受石油污染的牡蛎会引起因纤毛鳃上皮细胞麻痹而破坏其摄食机制并进而死亡。象海胆、寄居蟹、海盘车等底栖生物的耐油污性很差，即使海水中石油质量浓度只有 0.01ppm，也可使其死亡。而千分之一浓度的乳化油即可使海胆在 1 小时内死亡。某些底栖甲壳类动物幼体（无节幼虫）当海水中石油浓度在 0.1ppm~0.01ppm 时，对藤壶幼体和蟹幼体有明显的毒效。据吴彰宽报导，胜利原油对对虾 *Penaeus orientalis* 各发育阶段影响的最低浓度分别是受精卵 56mg/L，无节幼体 3.2mg/L、蚤状幼体 0.1mg/L，糠虾幼体 1.8mg/L，仔虾 5.6mg/L，其中蚤状幼体为最敏感的阶段。胜利原油对对虾的幼体的 96h-LC₅₀ 为 11.1mg/L。

④石油污染对鱼类的影响

国内外许多的研究均表明高浓度的石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡，低浓度的长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖，具毒性随石油组分的不同而有差异。根据东海水产研究所近年来对几种不同油类对鲷鱼仔鱼 *Mugilcaphalus* 的毒性试验结果表明，阿拉伯也门麦端波原油、镇海炼油厂的混合废油、胜利原油和东海平湖原油对鲷鱼的 96h—LC₅₀ 值分别为 15.8mg/L，1.64mg/L、6.5mg/L 和 2.88mg/L。陈民山等报导，胜利原油对真鲷仔鱼 *Pagrassonius major* 和牙鲆仔鱼 *Paralichthys olivaceus* 的 96h—LC₅₀ 值分别为 1.0mg/L 和 1.6mg/L。20 号燃料油对黑鲷 *Sparus macrocephalus* 的 96h-LC₅₀ 值为 2.34mg/L，而对黑鲷的 20 天生长试验结果，其最低影响浓度（LOEC）和无影响浓度分别为 0.096mg/L 和 0.032mg/L。

⑤石油对水产动、植物的油臭影响

海洋中一旦发生油污染，扩散的油分子会迅速随风及水的流动而扩散，水产动植物一旦与其接触，即会在短时间内发生油臭，从而影响食用价值。以 20 号燃料油为例，当油浓度为 0.004mg/L 时，5 天就能对对虾产生油味，14 天和 21 天分别使文蛤和葛氏长臂虾产生异味。

综上所述，溢油事故一旦发生将对海洋生态系统造成极大的影响。回顾溢油事故实际案例，1999 年珠江口水域发生的“3.24 特大溢油事故”，事故溢油量超过 500t，事故发生当年事故海域的海洋生态系统变化显著，直到事故第二年生态系统才开始逐步恢复，次年的鱼类资源和捕捞量损失约 40%，此后的 3、4 年渔业资源和捕捞量仍明显劣于事故前，直到事故后 7 年渔业资源方恢复到原有水平。可见溢油事故对海洋生态系统、渔业资源的影响是显著的、长期的。

（2）溢油对岸线的影响分析

溢油发生后，一旦水面上的浮油在风浪和潮汐等因素作用下，浮上岸边，便会堆积在高潮线附近，粘附在岸边岩土表面，渗入上层的砂子里，这将对岸线生态环境造成严重影响。

（3）对海洋生态环境敏感目标的影响分析

①对南海底层、近底层鱼类产卵场、东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区的影响分析

由于项目位于南海底层、近底层鱼类产卵场内，因此只要项目发生溢油即会对前述重要渔业水域产生影响。此外，项目北侧有东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区、大帆石特别保护海岛，由数值模拟结果可知，在风险工况 1 及工况 2（风速为 6.67m/s、ESE、涨潮及落潮）若船舶在项目区内发生溢油，则溢油油膜会扩散至项目附近的大帆石特别保护海岛、广海湾重要渔业资源产卵场；风险工况 3 及工况 4（风速为 13.8m/s、ESE、涨潮及落潮）的预测工况条件下，若船舶在项目区内发生溢油，则溢油油膜会扩散至项目附近的东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区、阳江南鹏列岛海洋生态地方级自然保护区。

漂浮在海面的油膜易黏附在鱼卵和仔稚鱼表面，会使鱼卵不能正常孵化，仔稚鱼丧失或减弱活动能力，影响正常行为和生理功能，使受污个体沉降并最终死亡。海水中溶解油对鱼卵、仔稚鱼的危害主要是对生存系统的影响。海洋生物的幼体对石油类的毒性十分敏感，是因其神经中枢和呼吸器官都很接近其表皮，其表皮都很薄，有毒有害物质容易侵入体内。早期生命阶段的鱼卵和仔稚鱼对油污染的毒性最为敏感，油污染导致鱼卵成活率低，孵化仔鱼畸形率和死亡率增高，由此影响种群资源延续，造成资源补充量明显减少。

不同的油类对鱼类的毒性效应也不同，如胜利原油对鲷鱼幼体、真鲷仔鱼、哈

牙鲆仔鱼的 96 小时半致死浓度分别为 6.5、1.0 和 1.6mg/L；20#燃料油对黑鲷的 96 小时半致死浓度为 2.34mg/L。事故性溢油一旦发生，在其扩散区内，海水中的石油经浓度将大大超过鱼卵、仔鱼的安全浓度（一般安全浓度为 96 小时的半致死浓度的十分之一），对浮性卵和漂浮的仔鱼造成严重伤害。如果溢油发生在鱼类的繁殖季节，那么对鱼卵、仔鱼的伤害程度则更为严重。

石油溢漏入海后形成的乳化油颗粒小，可吸附于鱼类的腮上，形成“黑腮”，导致鱼虾呼吸障碍而死亡。石油类对鱼类的化学毒害方面主要表现在通过鱼鳃呼吸、代谢、体表渗透和生物链传递逐渐富集于生物体内，导致对鱼类的毒性和中毒反映。

相对于鱼卵和仔稚鱼而言，溢油事故对成体鱼类的影响相对较小，主要是由于大量油在海水表面以漂浮形态存在，而大多数鱼类是在中层和底层水中生活。另外，许多上层和中层鱼能逃避黑色油块，底层鱼凭视觉和嗅觉尽量不和下沉的油块接触。一般来说，如果溢油事故发生在开阔水域，鱼类伤害程度轻；若发生在半封闭或水体交换不良的水域，鱼类受损害程度重。

②对海洋生态红线的影响分析

由统计分析结果可知，项目北侧有东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区，由数值模拟结果可知，在风险工况 3 及工况 4（风速为 13.8m/s、ESE、涨潮及落潮）若船舶在项目区内发生溢油，则溢油油膜会扩散至项目附近的东平镇南珍稀濒危物种分布Ⅱ区。

石油类对海洋生物的影响是多方面的，其中最明显的是直接致死效应。不同种类的海洋生物及不同生命阶段对石油类的敏感性和耐受能力亦不尽相同。一般来讲，石油类对大部分成体海洋鱼、虾、贝类的致死浓度为 1~100mg/L，对较敏感的仔、幼体阶段的致死浓度为 0.1~1mg/L，大多数浮游藻类在 0.1~1mg/L 浓度中细胞死亡。某些藻类在 0.0001mg/L 浓度中都会死亡。溢油产生的油膜将有部分进入海洋生态红线区并污染区内的水质。油膜扫过海洋生物成体、幼体和浮游藻类及表面游泳生物都将受影响，特别是在鱼类繁育期，幼鱼幼虾生产期发生的溢油事故，海域的生物资源损失将是较严重的。

③对中华白海豚、海龟的影响分析

由于本项目附近分布有中华白海豚、海龟分布区，因此本项目发生溢油，也可能对其中的中华白海豚、海龟产生一定的影响，油污染可能由于其呼吸、代谢、体

表渗透和生物链传输，逐渐富集于中华白海豚、海龟生物体内，导致对中华白海豚、海龟产生毒性作用。此外，油块能堵塞中华白海豚、海龟的呼吸器官，而导致其死亡。

综上所述，溢油事故一旦发生将对海洋生态系统造成极大的影响。回顾溢油事故实际案例，1999年珠江口水域发生的“3.24 特大溢油事故”，事故溢油量超过 500t，事故发生当年事故海域的海洋生态系统变化显著，直到事故第二年生态系统才开始逐步恢复，次年的鱼类资源和捕捞量损失约 40%，此后的 3、4 年渔业资源和捕捞量仍明显劣于事故前，直到事故后 7 年渔业资源方恢复到原有水平。可见溢油事故对海洋生态系统、渔业资源的影响是显著的、长期的。鉴于海上溢油事故无论是溢油量、风条件以及溢油时间均有较大的随机性，因此，一旦发生溢油事故需尽快启动相应应急预案进行处理。溢油事故对生态环境影响巨大，需对溢油事故严加防范、杜绝发生，避免造成经济损失和环境污染。

7.4.3 自然灾害风险分析

风电场易受的自然灾害风险来自雷击、台风袭击和风暴潮。

7.4.3.1 雷击风险

空气中的尘埃、冰晶等物质在大气运动中剧烈摩擦生电以及云块切割磁力线，在云层上下层分别形成了带正负电荷的带电中心，运动过程中当异性带电中心之间的空气被其强大的电场击穿时，就形成放电。对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。

雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

风机设备遭受雷击受损通常有下列 4 种情况：

- (1) 风机直接遭受雷击而损坏，主要指叶片件遭感应雷和球形雷破坏叶尖甚至整个叶片；
- (2) 雷电脉冲沿与设备相连的信号线、电源线或其他金属管线侵入使设备受损；
- (3) 设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏；

(4) 设备安装的方法或安装位置不当, 受雷电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。

7.4.3.2 台风(热带气旋) 风险

台风是强烈的热带气旋, 是发生在热带海洋上的中心附近最大风力达到 12 级以上的暖性低压强烈天气系统。台风蕴涵的巨大自然能量将给风电机组造成破坏, 其破坏机理主要是对设备结构施加静载荷和动载荷叠加效应。

台风对风电场的可能造成的损害包括:

(1) 施工期台风对海上施工的影响不仅在其风圈范围直接掠过风场海域时产生, 通常情况下, 台风远距离产生的长波涌浪衰减小、传播速度快、传播距离长, 对大型船舶影响高于小型船舶, 甚至当台风中心远离风场 1000km 外, 也会因长波涌浪的间接影响而导致停工。

(2) 台风的强烈湍流扰动对风力机产生一种随机的强迫振动, 导致风力发电机组断裂损坏。

(3) 台风夹带的细小沙砾造成破坏叶片表面, 轻则影响叶片气动性能, 产生噪音, 严重的将破坏叶片表面强韧性由此降低叶片整体强度。

(4) 台风带来的狂风暴雨对输电线路的破坏。

(5) 台风破坏测风装置, 使风力发电机组不能正确偏航避风, 设备不能降低受风面积, 超过设计载荷极限, 使设备遭到破坏。

(6) 台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷, 最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限, 导致引起部件机械磨损, 缩短风力发电机组的寿命, 严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

7.4.3.3 风暴潮风险

风暴潮(storm surge)是由于强烈的大气扰动所引起的海面异常升高或降低的现象。这些强烈的大气扰动可以是热带气旋、温带气旋、冷空气等。风暴潮灾害频繁严重时能够导致项目瘫痪毁灭。受长期泥沙冲刷的影响, 在风电场海底电缆和海床之间有形成淘空的可能。

本工程风机基础按照 50 年一遇工况设计, 一般风暴潮不会危及其稳定性, 但是当百年一遇大风暴雨发生时, 狂风夹着巨浪引起风暴潮增水, 有可能造成基础的冲刷与破坏, 严重时甚至可能冲垮基础, 造成风机倒塌, 进而对海域环境造成不利影

响。工程所采用的风电机组中，各零部件均不含放射性或其它危险性元素，无毒性，无腐蚀性，因此，万一风电机组倒塌到海里，不会造成海域水质的污染。由于风电机组及塔架的主要组成为钢，因此，风机倒塌对海域环境的影响主要为引起海底泥沙的再悬浮和扩散，进而可能当地的海洋生物产生一定的影响。

7.4.3.4 风机倒塌风险分析

(1) 风机基础缺陷

单个风机的位置的地质情况存在差别，有的甚至可能和岩土勘察报告的结论相去甚远，若未对单个风机选址进行详勘，未针对选址点采取有针对性的措施，可能造成风机基础腐蚀、塌陷，风机倾覆等事故。

(2) 风机塔架缺陷

风力发电机组选型未按照风场发电机组最大风速及湍强等选型，塔架地基基础地质勘测不清楚，塔架的荷载条件设计不合理，塔架制造和装配存在材料和质量缺陷，均可能导致风机塔架坍塌事故。

(3) 外力影响

受船舶撞击或者强台风袭击导致风机倒塌。由于风机倒塌引起的海上升压站、风机机舱、风机塔筒落入海中，本身形成障碍物，将对船舶通航产生障碍。其本身电机机械表面带有的少量润滑油落入海中对海水水质造成影响。

7.4.3.5 电气设备风险分析

风力发电机组：风机故障、风机叶片损坏、风机火灾、齿轮箱损坏、偏航机构损坏、风机飞车、液压系统缺陷等。风机维护、维修时产生的润滑油的跑冒滴漏落入海中对海水水质造成影响。

海缆如果布线不合理，机械强度不够，埋深不够，施工质量差，海缆敷设线路未设置标志，未向海洋管理部门申报，有可能造成海缆损坏。

7.4.3.6 营运期运维阶段风险分析

项目营运期间环境影响主要为对海水水质的影响，运行、维护检修作业工序时产生的风机维修废油。项目营运期间对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、废油等，检修工作人员需按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，维护结束后送交有资质单位进行妥善处理。

因此，项目营运期间基本不会对所在海域水质环境造成影响。

为避免运维阶段废油泄漏对环境产生影响，要求做到以下防护措施：及时检修及处理渗漏时，应选择耐高温、耐油性能良好的密封件；规范密封件更换工艺；提高安装工艺水平，杜绝因维护检修方法不当造成的渗漏。此外，针对可能泄漏的废油，本工程设置应设置临时收集设备，可满足临时贮存要求。此外，针对可能泄漏的废油，收集后定期交有资质单位进行妥善处置。

7.5 环境风险防范与应急措施

本项目为海上风电场，由海上风电机组、海上升压站（不在本次评价范围内）、海底电缆等部分组成。回顾国外海上风电项目建造、运行经验，并参考国内外相关资料，上述项目组成部分在建设期和运行期均存在发生突发环境事故的可能，主要包括项目海域内通航环境风险、雷电、台风等自然灾害风险、船舶碰撞导致的溢油事故风险、长时期冲刷造成电缆和海床之间形成掏空的风险。

7.5.1 通航风险防范对策措施

7.5.1.1 施工期航行风险事故防范措施

本项目施工具有一定的通航环境风险，从而存在一定油料泄漏的风险，为保证工程施工安全，防止油污事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

（1）工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施和发生空发性事故的应急预案。

（2）要加强对施工作业船舶的安全管理。参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查，有关人员必须经过水上作业的相关安全培训和教育，并认真落实施工作业的安全措施和发生突发情况的应急措施。

（3）要加强工程施工期间施工区附近水域的通航环境的安全管理。需根据工程施工方案，分析工程施工对船舶通航环境的影响，提出加强施工期间水上通航秩序安全管理的对策和措施，确保工程施工和船舶通航的安全。

（4）施工作业开工前按规定向海事局有关部门申请办妥水上水下施工作业手续，申请发布有关施工作业航行通告和航行警告。

（5）施工船进行打桩作业时，应于明易显见处显示港口规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。

（6）施工作业期间作业船舶应配置有效的通讯工具，指派专人守听，密切注

视周围船舶动态。

(7) 施工作业船应派专人值班了望，当发现来船动向不明或危及施工船舶安全时，应立即通过扩音喇叭向来船发出警告。必要时停止施工，立即松缆避免事故的发生。

(8) 为避免工程施工船所抛所开锚对过往船舶造成危害影响，应白天在艏悬挂经旗，夜间用探照灯向开锚锚位处水面照射。但灯光不能外射，以免影响过往船舶驾驶人员的正常了望。

(9) 当风力达到施工船舶的抗风等级前，施工船应停止施工作业，当气象预报风力超过施工船抗风等级前，应提前撤离施工现场，择地避风。

(10) 施工作业附近，应安排一艘拖轮停泊待命，以便随时出动进行应急抢救等救助工作。

(11) 由于工程施工时所占用的可通航水域面积很大，因此在施工作业期，施工建设单位需向海事主管机关申请划定施工作业区，设置航行警戒标，配置现场警戒船。

(12) 为确保海上风电场工程顺利进行和航经附近水域船舶的通航安全，施工建设单位应拟定施工期间水上交通安全维护方案，通过印制、发放宣传资料和利用报刊、广播、电视等媒体开展广泛的宣传教育，使有关航运单位、航行船舶及从事捕捞作业的渔民，都了解工程内容、施工范围和工期等，取得社会各方面的理解、支持和配合。

(13) 认真落实施工船舶防污染措施，做好船舶垃圾、残油、含油污水等污染物、废弃物的接收和处置工作。施工船舶一旦发生污染水域事故，应尽力采取控制和消除污染的措施，同时向海事主管机关报告，接受调查处理。

(14) 在海底电缆铺设过程中，海底电缆南北方向各 300m 以内水域范围内，禁止船舶航行。在电缆铺设的过程中，应设置阶段性施工警戒区，随时根据电缆铺设进度及时设置施工警戒区，防止周围船舶误闯施工区域。施工船要正确显示号灯号型，加强与周围船舶的联系与沟通，避免周围船舶靠近电缆铺设区域。海底电缆铺设完成后，应按《海底电缆管道保护规定》规定划定海底电缆管道保护区，禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业；而且，业主方应当在海底电

缆管道铺设竣工后 90 日内，将海底电缆管道的路线图、位置表等注册登记资料报送县级以上人民政府海洋行政主管部门备案，并同时抄报海事管理机构。

7.5.1.2 运行期航行风险事故防范措施

为防范运行期船舶碰撞及溢油事故风险，必须采取相应的安全措施。

(1) 海上风电场配套助航设施、防撞设施和海上交通安全监控设施等应与工程建设“三同时”进行，综合考虑海上风电场运营对海上交通安全的影响，并将相关费用纳入项目概算。

(2) 根据规定申请设置海底电缆保护区，向社会发布海底电缆公告，禁止在海底电缆保护区内从事挖砂、钻探、打桩、底托捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底管道安全的海上作业。

(3) 工程建成后应将海底电缆、具体位置、走向、埋深以及风电场位置海域范围等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

(4) 工程营运方应制定相应的日常检查养护制度和防风、防台等的应急预案。特别是在恶劣天气以后应及时检查风电场风机基础、设备的安全状况及助航设施等工作状况，减少影响通航安全的因素发生。出海检查时，应选择良好的气象、水文和海浪条件，保证执行检查工作船舶的航行和作业安全。

(5) 业主经检查发现存在影响附近海域通航安全的情况和安全隐患时应及时处理，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告。

(6) 海上风机应涂有醒目的警示色、夜间需采用灯光照射的办法。应设立专门机构负责警戒，安装海上风机监视系统随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。并配置有效的通讯设备，与海事主管机关随时保持通讯联系，以在发生突发事件时能及时获得海事主管机的应急救援。

(7) 风电场外围风机下部平台及水面以上的管桩支撑涂染醒目的油漆等警示标志，使得风电场风机目标更易以肉眼察觉，便于过往船舶从远处发现本风电场的存在，及早采取避让措施；风电场建成后，外围风机下部平台上安装灯标以及 AIS 航标，便于过往船舶在白天和夜间都能够及时发现本风电场，及早采取避让措施。

综上所述，本拟建风电场对过往船舶的航行安全存在一定的风险，但若业主单位管理、协调得当，并制定相关安全保障措施，则拟建风电场所在海域发生水上事故的风险将会得到缓解或消除。

7.5.2 溢油事故风险防范措施

7.5.2.1 溢油事故防范措施

本工程各项施工活动基本都需要依赖船舶，如运输船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故，将可能对海域生态环境带来严重的影响。因此，对海上溢油事故应进行防范及应急处理，实行“预防为主、平灾结合、常备不懈”的方针，最大程度减轻事故的危害与损失。本项目建设单位为事故责任主体，由建设单位与施工单位共同进行事故的处理。建议采取如下措施。

(1) 系统地采取预防措施

采用“人、机、环境、控制（管理）”四大要素，对每个要素采取切实有效的安全措施。为了预防事故，就必须从根本上控制公司岸上、船上工作人员的职业素质和操作；控制船体、机电设备的技术状态，严格维护保养，保障其运转正常；正确估量航行环境中蕴含的自然力量和船舶的抵御能力，及时正常地预报天气和海况，及时规避灾害天气，避免不可抗力的袭击；加强公司岸上和船上的安全管理，完善机构、规章及其运作。

(2) 船舶驾驶员的业务技术应符合要求

按《防治船舶污染海洋环境管理条例》，落实本条例规定的防治污染有关措施。人的不安全行为是事故因果链中引发事故的直接原因，规范船员操作行为能直接阻止事故的发生。

(3) 健全维护保养制度，确保机电设备正常运转

主机、供电系统、舵机是船舶在大风浪中的自下而上保障，任何故障和失灵，都会使船舶面临事故危险。健全维护保养制度并予切实执行和有效监督，意味着远离危险和减少事故。在横倾初期，可迅速调整压载水和移驳燃油、淡水来控制，压载泵、消防泵、驳油泵、淡水泵就必须随时可用。在进水初期，污水泵等排水系统必须有效工作。对施工船舶应严格按操作规程进行操作，加强对设备的维护和检修，严防由于管理疏忽、操作违反规程或失误等原因引起的船舶油料跑、冒、滴、漏等事故；同时严禁向水域排放含油污水和倾倒废弃物。

(4) 加强航道内船舶交通秩序的管理

本项目应积极配合航道交通管理部门对船舶交通秩序的管理，为确保船舶航行安全，施工船舶作业期间，作业船只应悬挂灯号和信号，灯号和信号应符合国家规

定，以避免船舶之间发生相撞引发的溢油事故；及时掌握进出航道船舶的动态，在本项目船舶通过时，尽量对其它船舶采取避让措施等。

（5）掌握天气动态，规避灾害天气

船舶遵守货物系固规定，能以不变应万变地抵御通常的航海风险。船长必须正确、周密地分析和估计航程中的天气动态及其对本船的影响，及早采取针对性的防范措施。对于灾害性天气，应及时规避，尽可能避免遭遇和对峙，但应作好应急对抗准备。

对施工船舶应严格遵守海事部门的有关通航安全管理规定，遵守作业、生产的风力限定条件，当风力过大时，应停止作业，及时进入避风场地。若出现大雾天气，锚泊中的船舶应服从海事部门的管理，加强值班；航行船舶应按海事部门的雾航安全规定，就近选择合适锚地或安全水域抛锚，停止航行。

（6）健全应急演习制度

应急反应计划使人员职责和关系明确，程序清楚。应急演习能使船员综合运用有关知识和技能，熟悉群体配合。应急计划，应包含货物移动和船舶横倾、机电失灵、船舶破损和船舶进水、灭火时积水处理、溢油处理等单项。为了保证演习效果，可在演习前数天作有针对性的讲授和演示。演习时应如同实战。演习后应作讲评和总结，必要时应作补充培训。

（7）健全公司安全管理

船舶公司有责任使船机维护、人员职责和操作管理规章完备，严格执行监督和纠正环节。公司应对船长规避灾害天气赋予决策权并给予必要的指导，向船长提供足够的维护、操作和系固资源，按规定检查和督促防倾覆反应计划及溢油等其他应急计划的演习。

（8）配套建设事故油罐

海上升压站存在油品泄露的可能，相应的在海上升压站上布置事故油罐，以防范油品泄露入海。

（9）安全施工

工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施，严防污染事故的发生；施工期间应选择符合环保要求和施工安全要求的施工船舶，同时制定严格的施工制度加强对施工船舶和施工行为的管理，从制度上严防溢油等污染事故的发生。

7.5.2.2 溢油事故应急措施

(1) 溢油应急反应过程

参照《防治船舶污染海洋环境管理条例》，船舶污染事故按照船舶溢油量或船舶污染事故造成的直接经济损失大小划分为四个等级。

①港区发生船舶污染事故后，应当立即启动相应的应急预案，采取措施控制和消除污染，并就近向有关海事管理机构报告。

②发生特别重大船舶污染事故时，由国务院或者国务院授权国务院交通运输主管部门成立事故应急指挥机构。

③发生重大船舶污染事故时，应当由广东省人民政府会同海事管理机构成立事故应急指挥机构。

④发生较大船舶污染事故和一般船舶污染事故时，应当由江门市人民政府会同海事管理机构成立事故应急指挥机构。

对于重大或不可接受的风险，制定应急响应方案，建立应急反应体系，事件一旦发生时可迅速加以控制，使危害和损失降低到尽可能低的程度。

(2) 溢油应急指挥组织。该组织应由企业生产管理部门、公安、消防、海事部门、环保部门、救捞部门、海洋部门、水产部门、安监等职能部门组成，并确定事故应急领导小组，组长应由项目主管经理担任并全面负责。

(3) 溢油联络机构。应建立相应的快速灵敏的报警系统和通讯联络系统，以便发生事故时及时进行抢险作业。

(4) 溢油作业队伍的建设。建设单位应与周边地区具有船舶泄漏和救援队伍的单位、地方海洋局和海监等相关部门建立联动机制，成立专业救援队伍，由应急中心统一指挥。确立各种事故的抢险人员体系，并登记保存于计算机系统，同时应对抢险人员作定期培训和演练的计划，以确保关键时发挥其主力军作用。

(5) 溢油应急设施的配备。配置相当数量的溢油应急设备和器材，建议充分利用区域内溢油应急防治设备。

(6) 溢油应急行动计划应报当地海事部门备案。

(7) 一旦发生溢油事故，应立即采取全面有效措施向可能受到危害者通告并向当地海事部门上报。同时船方应立即启动溢油应急计划，综合采取倒舱、水等措施先减少破损油舱存油量，减少油船吃水并打空漏油舱，或船方设法封堵泄漏口。

(8) 采取溢油控制与清除措施, 溢油控制主要包括对船舶的溢油源进行堵漏、转驳, 对水域溢油进行围控, 以便控制溢油源和已泄漏油品的扩散。

7.5.2.3 溢油应急保障资源

(1) 周边可协调应急物资

根据调查江门市内距离项目较近的有 3 个应急储备点, 可以保证在 4 个小时内抵达本项目事故现场进行救援, 应急储备点物资见表 7.5.2-1。

应急响应过程中, 应急单位主要设备、救援人员从公司、应急基地或设备库出发后到达事故地点所需的时间。

在计算到达时间时, 考虑到不同的海域航道情况, 船舶行驶平均速度取 30km/h, 动员时间为 0.5h 计算, 三个溢油应急基地距离本项目的平均距离约为 100km。到达时间按以下公式计算:

$$\text{到达时间} = \text{动员时间} + \text{水上}(\text{距离}/\text{速度}) = 0.5 + 100/30 = 3.8\text{h}。$$

可以保证在 4 个小时内抵达本项目事故现场进行救援。

表 7.5.2-1 项目周边应急物资一览表

应急储备点	序号	物资名称	型号	数量
台山铜鼓点(台山国华电厂内)	1	浮子式 PVC 塑料围油栏	WGV900	400m
	2	吸油拖栏	(20m) PP-T-220	1000m
	3	污油水储存专职	QG10 立方	2 个
	4	连接属具		若干
川岛点(上川岛海事基地内)	1	固体浮子式橡胶围油栏	WGJ900	1000m
	2	镀锌连接夹板	900	1 付 2 件(49)
	3	镀锌铰链式快速接头	900	1 套 5 件(2)
	4	镀锌拖杆	900	1 付 2 件(3)
	5	浮子式 PVC 围油栏	WGV900	1150m
恩平横板点	1	浮子式 PVC 塑料围油栏	WGV900	240m
	2	吸油拖栏	(20m) PP-T-220	500m
	3	污油水储存装置	QG10 立方	1 个

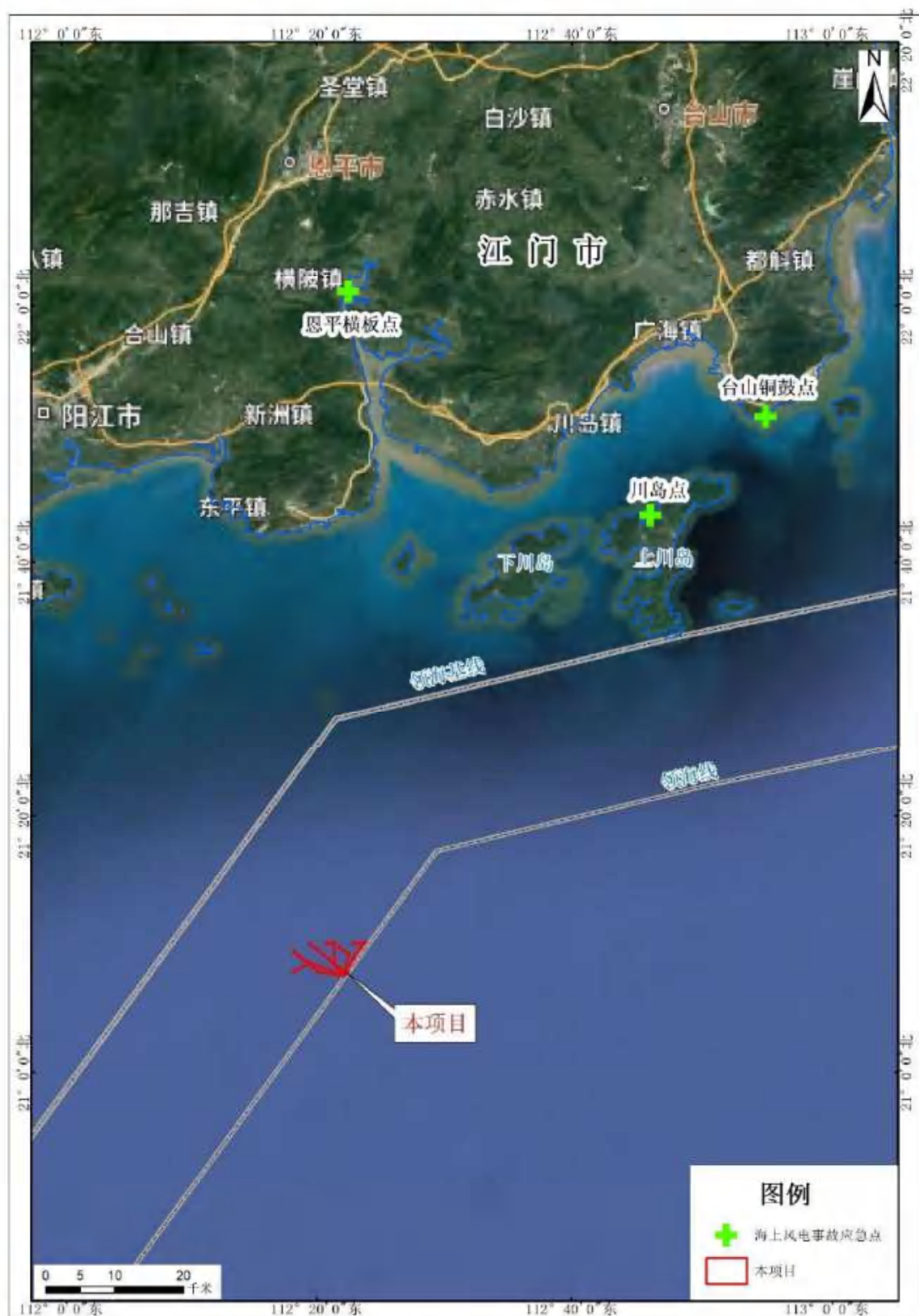


图 7.5.2-2 项目周边可用应急物资储备点分布示意图

(2) 本项目配备应急设备

目前周边海域已配备了相当的溢油应急设备，但由于本项目的实施将在一定程

度上增加海域船舶溢油事故发生的可能，因此需进一步提高海域溢油防范的能力。建议建设单位可联合海事部门等共同构建溢油风险方法网络体系，在依托现有设施的基础上，进一步在本工程施工船舶配备围油栏、吸油毡、消油剂等防污器材，提高溢油风险防范能力。

建议本项目配备应急设备见表 7.5.2-2。

表 7.5.2-2 本项目船舶溢油防范应急设备配备一览表（参考方案）

序号	应急设备名称	类型	规格	数量	单位
1	围油栏	海湾型	QW1500	6000	m
2	收油机	转盘式	100m ³ /h	5	台
		动态斜面式	60m ³ /h	5	台
3	吸油材料	纤维类	-	10	t
4	消油剂	烃类	-	8	t
5	油拖网	可密封起吊型	容量>30m ³	5	套
6	储油罐	小型	30m ³	10	个
7	浮动油囊	-	30m ³	10	个

7.5.3 雷击风险防范措施

对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。

雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

风机设备遭受雷击受损通常有下列 4 种情况：

（1）风机直接遭受雷击而损坏，主要指叶片件遭感应雷和球形雷破坏叶尖甚至整个叶片；

（2）雷电脉冲沿与设备相连的信号线、电源线或其他金属管线侵入使设备受损；

（3）设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏；

（4）设备安装的方法或安装位置不当，受雷电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。

针对雷电对设备的破坏特性，建议在叶片上翼面复合材料中加入具有良好导电性能和比重轻的碳纤维，并在叶尖部位装一个接闪器，通过电缆与叶片法兰连接，再由轮毂通过塔架内的接地线接入地网形成雷电通道。当雷电击中叶片时，强大的

雷电流通过雷电通道泻入大地，达到避雷效果，而不致使对叶片及其他设备造成损坏。

对于雷电脉冲的危害，每台升压变压器高压侧均装设一组氧化锌避雷器，避雷器能把因雷电感应而窜入电力电缆线、信号传输线的高电压限制在一定范围内，保证设备不被击穿而达到防雷效果。

本项目风电场风力发电机组和升压变压器部分接地电阻小于 4Ω ，风力发电机塔架基础以及变电站的基础均可作为自然接地体，再敷设必要的人工接地体。对地电阻小，雷电流能够迅速散流到大地，设备不会因地电位“反击”而损坏。

通过风电场的合理布置并采取上述防雷击措施，风机及电气接线和升压设备能有效抵御雷击造成的损害。

7.5.4 台风风险防范措施

(1) 施工期

①根据工程特点，编制相关抵御热带气旋和台风暴潮入侵的详细计划，以及《防台措施》，并加强宣传、贯彻执行；及时了解台风的监测和预报信息，警惕台风等自然灾害的突然袭击，并做好各种防范措施。

②在台风季节应做好各项抗台预案和安全措施，以减轻灾害带来的损失。成立防抗热带气旋领导小组并提前与当地的防台组织取得联系，落实避台海域，统一部署、指挥防抗台风工作。

③台风来临前，应组织施工人员或工作人员及时组织转移到安全地带，施工单位应停止施工，在此情况下不会对施工人员、设施产生较大的风险，亦不会发生船舶碰撞溢油事故。

④项目施工前应完成环境风险应急预案的备案工作，采取相应的防范应急措施，以抵御和降低台风及台风暴潮可能带来的危害。

⑤本工程风机选型应按照最高级的防台标准执行，严格按照该项工程施工标准、施工工艺建设，桩基础等水工结构则足可抵挡海域的风暴潮，海浪灾害。

(2) 营运期

①装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

②推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

③加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

④台风过后，应加强对风机基础附近海底冲淤状况监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的环境风险影响降低到最小程度。

7.5.5 其他风险防范对策措施

7.5.5.1 风暴潮风险防范对策措施

为避免海缆掏空风险，在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定，应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当的位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。在适当的区域如电缆登陆处、过航线段两侧预留一定长度电缆作为冗余，以备电缆发生损坏能及时牵拉使用。电缆敷设完毕后，向主管机关报送管线路由等相关资料，并申请发布航行通（警）告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

7.5.5.2 风机倒塌应急措施

（1）风电场设置有完整的现场监控系统，一旦发生倒塌事故可通过现场监控系统进行及时预警；

（2）风电场运行维护期制定了严格的运行维护措施，一般在风暴潮、地震等自然灾害发生后，风电场运行维护人员将及时进入现场，并配合专业检测人员检查风机及基础结构损伤情况；

（3）如果发生风机倒塌事故，将及时上报江门海事局，对外发布航行预警通告，确保不对周边海上作业构成安全影响；风电场业主将及时组织吊装、施工单位，对倒塌风机及基础结构进行打捞，转运至陆上处理，现场视损伤情况确定是否进行重建工作。

(4) 如果发生少量风机机组润滑油落入海中, 立即上报江门海事局, 调配周边储备点的溢油处置设备对落入海洋的油污进行处理。

7.5.5.3 电气设备应急对策措施

海缆铺设线路未设置标志, 并向海洋管理部门申报, 有可能造成海缆损坏。若工程海域有其他海洋工程建设, 应与有关部门协调做好海底电缆的保护工作。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。

7.5.5.4 鸟类飞行碰撞风机风险分析防

为减少鸟撞风机给风电场带来的损失, 提出下列防范措施:

(1) 风机机舱顶部设计安装航空灯作为警示光, 或在无风机分布的安全区域采用蓝光引导鸟类飞行, 促使鸟类产生趋光行为, 降低撞击风险。

(2) 加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测, 合理调整运行及防范措施。

7.5.5.5 海底电缆及风机基础泥沙冲刷淘空风险防范

本工程电缆铺设位于泥面约 3.0m 深处, 海缆有加强铠装保护, 电缆铺设后发生泥沙冲刷导致电缆外漏受损的风险较小。为防止风机桩基因冲刷淘空而发生倒塌事故, 工程应对桩基周围进行防护或加大桩基埋深等措施。

7.5.5.6 钢管桩灌浆泄露风险防范

本工程风机基础施工时, 钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑, 灌浆作业利用钢套筒进行水泥砂浆浇注作业。为保证浇筑质量, 钢套筒为半封闭结构, 一般情况下不会发生水泥砂浆泄漏。但由于钢套筒需反复利用, 可能发生因结构安装造成钢套筒的局部破损从而发生泄漏的情况。

本工程灌注的水泥砂浆, 主要由胶凝材料(水泥)、拌和水和细骨料(细砂石)组成。水泥砂浆泄漏入海后与经海水稀释扩散会逐渐水化形成凝胶体, 并不断把周围散粒的或块状的材料胶结成一个整体最终由原先的液态或半固定状态硬化为砼。一般水泥吸水饱和 45min 后, 水泥浆逐渐失去塑性, 出现凝结现象, 而凝结后的砼颗粒较大, 且水泥浆密度较高一般在 $1800\text{kg/m}^3 \sim 2000\text{kg/m}^3$, 因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下, 砂浆及其固化形成的砼会快速沉入海底, 其对海洋水质的影响将集中在泄漏口位置, 而其对海洋水质的污染则主要表现为局部水体透明度下降, 悬浮物浓度升高, 但随着砂浆硬化沉降, 对水质的影响会迅速减小。砂浆沉入海底后可

能进一步与沉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。

因此，项目施工时需多备用几套钢套箱，施工单位在安装钢套箱前需仔细检查钢套箱的完整性，不得使用损伤的钢套箱；在灌浆作业时密切注意砂浆情况，只要发现砂浆泄漏，需立即停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境较小。

7.5.5.7 风机变压器油和润滑油的溢油事故防范

为避免变压器油和润滑油泄漏对环境产生影响，要求做到以下防护措施：变压器、风机检修及处理渗漏时，应选择耐高温、耐油性能良好的密封件；选择质量高的蝶阀；对于变压器因铸造留下来的气孔、砂眼，焊缝、焊点出现的虚焊、脱焊、裂纹者，可用电焊进行堵漏；规范密封件更换工艺；提高安装工艺水平，杜绝因安装方法不当造成的渗漏。风机变压器油和润滑油使用设备底部设置托盘。

7.5.5.8 雾航防范措施

海雾作为影响船舶航行的不安全因素，给海上航行安全带来的最大影响是能见度下降，造成船舶了望、陆标定位困难等，从而易发施工和运营船舶碰撞、航行船舶雾航撞击风机等海上交通事故。

在能见度不良情况下船舶施工要严格执行安全操作，将风险控制措施落实到位：

①船舶在雾天施工前应严格执行安全管理体系文件中的相关规定，完成各项准备工作；船长应督促驾驶员对各种航行仪器、雾号和航行灯进行检查，以确保施工中正常使用，督促有关人员检查排水和水密设备，使之处于良好状态。

②当视线恶劣、渔船密集、避让困难、航道复杂及船长对航行安全无把握时，为确保船舶雾航安全，在条件许可的情况下，船长有权择地锚泊或滞航，切勿盲目航行；

③能见度小于 5 海里时，即认为能见度不良，应处于雾航的戒备状态，做好一切雾航准备工作，开启雷达并调整到最佳状态，注意守听 VHF 和加强了望等。

④当航经近岸、船舶密集、水道狭窄、风电场区周边等复杂水域遇雾时，应视情在驾驶台或船首增加了望人员，船首了望人员应及时将所发现或听到的情况及疑点报告驾驶台。

⑤充分利用 AIS、雷达、VHF 等助航仪器，获取他船的信息跟踪其动态，视情

发布本船雾航警报，以提醒过往船舶注意。对碍航船应及早协调避让，避免造成行动上的误会。

⑥对于海上固定的渔区在设计航线时就应考虑远离，沿岸航行应注意到渔网渔船随时出现的可能性，谨慎驾驶提前警惕防止事故发生。

7.6 环境风险事故应急预案

7.6.1 应急预案纲要

项目发生突发环境事件将对海域环境发生严重的污染损害，事故发生后，能否迅速而有效的做出事故应急反应，对于控制污染、减少污染对生态环境造成的损失以及消除污染等都起着关键性的作用。因此，本项目应根据可能发生的风险事故类型制订应急预案，并报主管部门备案后投入运营。预案的编制过程中应充分考虑与广东省相关应急预案的衔接，将本项目的应急响应体系纳入广东省的应急体系，建立区域应急联动机制。

本工程应参照相关规定建立相关应急反应部门的应急通讯联络机制，制订本单位对突发污染事故的应急反应对策。本项目突发事故应急预案纲要见表 7.6.1-1，供制订预案参考。

表 7.6.1-1 突发环境事件应急预案纲要

序号	项目	内容及要求
1	总则	——
2	应急计划区	作业区
3	应急组织	建立本项目的应急反应组织机构，包括建立单位内的应急反应领导小组，落实各级上级主管部门
4	预案分级响应条件	将污染事故分成一般、较大、重大、特大污染事故一般污染事故自行处理，较大、重大、特大污染事故启动上级预案，接受上级应急反应部门的领导
5	报警、通讯联络方式	规定应急状态下的报警通讯方式、通知方式
6	应急救援保障	附近港区
7	紧急处置措施	制订应对各种突发情况的一般处置措施与程序
8	事故应急救援关闭程序与恢复措施	规定应急状态终止程序规定事故现场善后处理，恢复措施规定邻近区域解除事故警戒及善后恢复措施
9	应急培训计划	制订培训与演练计划
10	公众教育和信息	对邻近地区开展公众教育、培训和发布有关信息
11	附件	应急联络方式，包括本单位应急反应人员、专业应急救援队伍、敏感目标管理单位、上级应急主管部门等的有效联系方式预案编制与更新等

为了确保有关人员能在发生事故时能及时得到警报并针对发生的紧急情况作出相应的反应，采取应对措施而设定应急响应通知程序，一旦通知在应急小组指挥责

任范围内，应急措施程序就立即生效。事故的通知取决于事故的种类和事故大小级别，并针对不同的种类、级别作出适当的响应。

7.6.2 江门市风险应急预案

目前本项目所在海域已编制了《江门市突发环境事件应急预案》（江府办〔2019〕25号）、《台山市突发环境事件应急预案》（台府办〔2020〕15号）。

江门市应急处理流程见图 7.6.2-1。

未来本项目施工期和运营期一旦项目海域船舶发生溢油事故，通过及时上报应急管理部门，统一组织对海上溢油事故进行应急处理，本项目建设单位和施工单位可协助进行事故的处理。

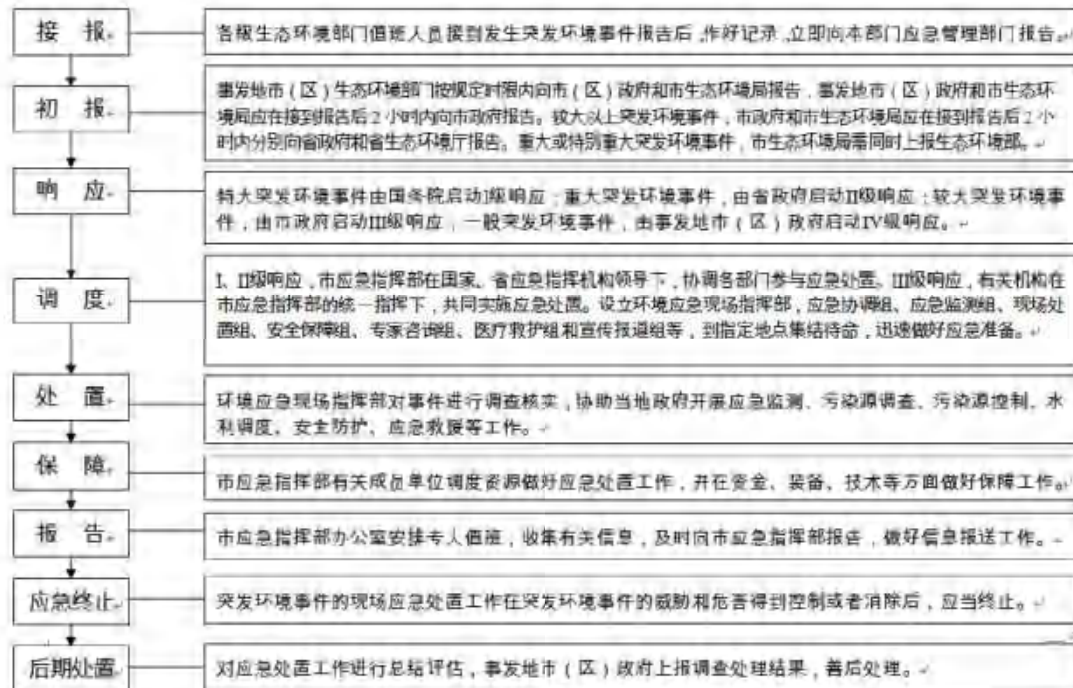


图 7.6.2-1 应急处置流程图

根据《江门市突发环境污染事件应急预案（2019年修订版）》，江门市内突发环境事件的应急响应分为特别重大（Ⅰ级响应）、重大（Ⅱ级响应）、较大（Ⅲ级响应）、一般（Ⅳ级响应）四级。超出本级应急处置能力时，应及时请求上一级应急救援指挥机构启动上一级应急预案。Ⅰ级响应报请国务院组织实施，Ⅱ级响应由广东省人民政府组织实施，Ⅲ级响应由市政府组织实施，Ⅳ级响应由县（市、区）政府组织实施。

本项目实施后，应建立跨界环境污染事故应急联络机制，确保信息畅通。对边界敏感企业、敏感地区、敏感时间段进行有效监控。保持相邻行政区域之间的通讯

畅通。突发环境事件已经或可能涉及相邻行政区域的，事发地政府及其生态环境部门应及时通报相邻区域同级政府及其生态环境部门。接到通报的政府及其生态环境部门应及时调查了解情况，统一行动、共同处置，把污染和危害控制在最小范围，把环境风险降到最低程度。

7.7 环境风险评价小结

本项目主要环境风险包括项目海域内通航环境风险、船舶风机碰撞溢油风险、热带气旋和风暴潮风险、雷击风险、风机倒塌风险、海缆泥沙冲刷掏空风险等。针对可能发生的环境事故，本报告提出了相应的事故防范措施，采取上述措施后，上述环境事故的发生概率可明显降低，事故发生对环境的影响可得到有效控制。

8 环境保护措施及其可行性论证

8.1 施工期环境保护与污染防治对策措施

8.1.1 施工期水污染防治措施

8.1.1.1 风机基础施工及海缆铺设悬浮泥沙

(1) 采用较新、较先进、较环保的施工船舶和设备。

(2) 合理安排施工进度计划，将悬沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱的潮期内；金线鱼产卵场保护期为 3~8 月、长尾大眼鲷产卵场保护期为 5~7 月，建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避开 5~7 月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下 5~7 月期间降低施工强度（例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等）。

(3) 严格控制铺缆船航速和高压水冲泥管压力。

(4) 选用高效桩基施打设备，控制工艺桩拔除强度。

(5) 海缆铺设作业时，精确定位，尽量减小管沟开挖面和施工时间。

(6) 优化施工方案，加强科学管理，严格限制施工区域，尽量缩小作业时间和用海范围；

(7) 桩基与桩基、桩基与集电海缆同时施工作业面间距建议大于 5km；

(8) 加强施工过程的环境跟踪监测，在施工过程中定期对海水水质悬浮物、石油类等进行监测评估，发现问题及时检讨改进，并利用结果反过来约束施工作业，尽量减少项目对临近水体的环境所产生的影响；

(9) 施工前应结合项目周边及项目自身施工进度，合理安排施工整体进度计划，制定好施工主要节点流程图。项目在各个阶段施工作业时，严格按照施工方案执行，保证施工进度和控制施工强度，以免增加悬浮沙增量。

8.1.1.2 灌浆材料外溢

(1) 导管架基础桩靴与钢管桩之间的灌浆施工时，对灌浆情况进行水下监控，防止溢出。

(2) 采用先进的无毒无害快硬的高强灌浆材料。

8.1.1.3 海域施工人员的生活污水和船舶机舱含油废水

(1) 海域施工期间，施工船舶上的现场施工人员每天产生一定量的生活污水。

船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放；(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。含油污水收集上岸交由有能力处理的单位接收处理，禁止外排。

(2) 施工船舶装灌油污水的舱柜或容器等，集中收集和贮存，建议参照《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018) 和《防治船舶污染海洋环境管理条例》的要求，不在海域排放，交由有处理能力的单位接收到岸上集中达标处理。

(3) 船舶及其它设备漏油或者维修产生的油污设专用容器，回收施工残油、废油；含油废水经收集后运至岸上，交由有处理能力的单位处理。

(4) 甲板上偶尔出现的少量油（通常是润滑油）用棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱、废油等应收集后运回陆地交有资质单位统一处理。注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向就近的海事局报告。

(5) 加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

(6) 施工活动应尽量在风浪较小的时段施工，既能保障施工安全，利于施工进行，也能减小悬浮物的影响范围和影响程度。招标时应优先选择先进的施工工艺，进一步控制和减缓施工对水质的影响。

本项目施工期采取的水环境保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.1.2 施工期海洋沉积物保护措施

施工期对附近海洋沉积物环境的影响主要为悬浮泥沙、污废水、固体废物。

(1) 悬浮泥沙

悬浮泥沙相关减少和环境保护措施详见上文 8.1.1.1 节。

(2) 施工污废水

施工期产生的船舶含油污水、生活污水处置措施详见上文 8.1.1.3 节。

(3) 固废

本项目施工期的固体废弃物主要是施工船舶生活垃圾、扫海清障垃圾、施工建筑垃圾，施工固废处置措施详见下文 8.1.5 节。

本项目施工期采取的海洋沉积物保护措施均是常规、有效的环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.1.3 施工期废气污染防治措施

风电场址施工对大气环境的污染主要是施工作业船的船舶废气，因此，大气环境的保护措施主要是控制污染源的减排措施。加强施工船舶管理，避免施工区域船舶拥堵。

施工船舶选型、燃油品质控制、船舶新能源替代及尾气处理等大气污染防治措施应按《船舶大气污染物排放控制区实施方案》的要求，加强管理，加强对燃油机械设备的维护和保养，保持设备在正常良好的状态下工作。同时燃油机械应安装主动再生式柴油颗粒捕集器，使尾气能够达标排放。

本项目船舶尾气二氧化硫、颗粒物、氮氧化物应满足《船舶大气污染物排放控制区实施方案》硫氧化物和颗粒物排放控制要求与氮氧化物排放控制要求。

(1) 硫氧化物和颗粒物排放控制要求

①2019年1月1日起，海船进入排放控制区，应使用硫含量不大于0.5% m/m 的船用燃油，大型内河船和江海直达船舶应使用符合新修订的船用燃料油国家标准要求的燃油；其他内河船应使用符合国家标准标准的柴油。2020年1月1日起海船进入内河控制区，应使用硫含量不大于0.19% m/m 的船用燃油。

②2020年3月1日起，未使用硫氧化物和颗粒物污染控制装置等替代措施的船舶进入排放控制区只能装载和使用按照本方案规定应当使用的船用燃油

③2022年1月1日起，海船进入沿海控制区海南水域，应使用含硫量不大于0.1% m/m 的船用燃油。

④适时评估船舶使用硫含量不大于0.1% m/m 的船用燃油的可行性，确定是否要求自2025年1月1日起，海船进入沿海控制区使用硫含量不大于0.1% m/m 的船用燃油。

(2) 氮氧化物排放控制要求。

①2000年1月1日及以后建造（以铺设龙骨日期为推，下同）或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶，所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过130千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第一阶段氮氧化物排放限值要求。

②2011年1月1日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶，

所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求

③2015 年 3 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶，所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过 130 千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求

④2022 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的，进入沿海控制区海南水域和内河控制区的中国籍国内航行船舶，所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油发动机应满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。

⑤适时评估船舶执行《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求的可行性，确定是否要求 2025 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶，所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油发动机满足《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值要求。

另外，船舶可使用清洁能源、新能源、船载蓄电装置或尾气后处理等替代措施满足船舶排放控制要求。采取尾气后处理方式的，应当安装排放监测装置，产生的废水废液应当按照有关规定进行处理。

本项目施工期采取的环境空气保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.1.4 施工期噪声污染防治措施

(1) 施工船舶采用低噪声船舶，应有效控制主辅机噪声，船舶可在发动机排气管安装弹簧吊架加以固定，机舱上布置主辅机消声器，合理设置消声器和机舱室结构，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛鸣放。

(2) 合理安排施工布置和施工时间，尽量避免高噪声施工机械和设备同时运作，严格控制施工时间，尤其是夜间严禁高噪声机械进行施工，同时对不同施工阶段，严格执行《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523-2025)，同时，应加强各类施工设备的维护和保养，保持其良好运转，以便从根本上降低噪声源强。

(3) 尽可能选用低噪声设备，采用静压打桩锤，减少打桩产生的噪声和振动；加强施工设备的维护保养，发生故障应及时维修，保持润滑，紧固各部件，减少运行震动噪声；加强施工管理、文明施工。

(4) 鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出预测，在时间上控制一次一桩，首桩打设采用较低功率的“软启动”方法。

(5) 缩短沉桩时长，完善沉桩作业施工组织，提高作业效率，沉桩过程尽量不停锤，连续、快速作业。

(6) 辅助基地施工船舶停靠是间歇性的，噪声排放也是间歇性的，对周边环境影响较小，夜间船舶停靠禁止鸣笛。

本项目施工期采取的噪声环境保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.1.5 施工期固体废物污染防治措施

(1) 船舶生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由接收单位接收处理。

(2) 施工中禁止任意向海洋抛弃各类固体废物，同时应尽量避免各类物料散落海中。施工中产生的固体废物应由施工单位负责及时清理处置。施工结束时，需做好施工现场的清理和固体废弃物的处理处置工作。对有利用价值的施工废弃材料也应由施工单位负责及时清理处置。

(3) 对于海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物，应在施工船舶上设置专门的收集装置，打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理，禁止在海上随意弃置从而造成海洋环境的二次污染。

(4) 风机焊接过程产生的废弃焊头和拆卸下来的废弃材料设备包装物不可直接丢弃，应在每个焊接作业电配备收集铁桶，废弃焊头直接放入容器中。在每个施工现场设置废料回收桶，施工结束后统一回收，送往陆上统一处置。

本项目施工期采取的固体废弃物处置措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.2 营运期环境保护与污染防治对策措施

8.2.1 营运期水污染防治措施

(1) 运维船舶生活污水利用船载生活污水处理装置处理，在满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求的污染物排放限值的前提下排放，不得直

接排入海域。

(2) 船舶含油污水拟经船舶上的含油污水收集设施收集后交由有处理能力的单位接收处理，不得直接排放入海。

本项目营运期采取的水环境保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.2.2 营运期海洋沉积物保护措施及其可行性

营运期对附近海洋沉积物环境的影响主要为污废水、固体废物。

(1) 污废水

营运期废水主要为海上检修人员生活污水、船舶含油污水、检修含油污水等，处置措施详见上文 8.2.1 节。

(2) 固废

营运期的固体废弃物主要是运维船生活垃圾、检修废物，固废处置措施详见下文 8.2.5 节。

本项目营运期采取的海洋沉积物保护措施均是常规、有效的环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.2.3 营运期废气污染防治措施

(1) 运维船应使用符合《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交通运输部，交海发〔2018〕168 号）船用燃油。

(2) 加强对运维船的检修和维护，保证其处于良好的运转工况，可减少废气污染物的排放。

本项目营运期采取的环境空气保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.2.4 营运期噪声污染防治措施

(1) 风机机组应避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。

(2) 为减小风机机组机械部件的振动，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。

(3) 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。

(4) 营运期开展水下噪声跟踪监测，应重点关注水下噪声对海洋鱼类生物生活、生长和发育的影响和对海洋鱼类及哺乳动物的通讯影响。

本项目营运期采取的声环境保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.2.5 营运期固体废物污染防治措施

(1) 运维人员产生的生活垃圾统一收集在运维船舶上，上岸后交由接收单位接收处理，不得倾倒入海。

(2) 风机维护产生的废润滑油、废变压器油、废油桶、废含油抹布及手套，每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

(3) 项目定期检修产生的废旧蓄电池，维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

(4) 主变压器或风机机组检修时所产生的诸如废变压器油，每次维修后直接由维护船舶带回岸上交由专业危废资质单位处理。

(5) 维修产生的废旧螺母、螺丝等五金杂件每次维修后直接由维护船舶带回岸上外卖资源回收公司处理。

(6) 维修产生的废塑料、废纸箱等产品包装收集后直接由船舶带回岸上外卖资源回收公司。

本项目营运期采取的固体废物处置措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.2.6 营运期电磁污染防治措施

(1) 针对海缆，应减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电。

(2) 主变压器外设置电磁辐射防护罩。

本项目营运期采取的电磁环境保护措施均是常规环保措施，在经济、技术等方面可行。

8.3 海洋生态环境保护对策措施

8.3.1 施工期海洋生态环境保护对策措施

8.3.1.1 渔业资源和渔业生产保护对策措施

(1) 合理安排施工进度计划，考虑金线鱼产卵场保护期为 3~8 月、长尾大眼鲷产卵场保护期为 5~7 月，建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避免 5~7 月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下 5~7 月期间降低施工强度（例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等）。

(2) 对于桩基打桩和海缆敷设，优化施工工艺，针对施工对海洋环境影响较大的作业环节制定作业规程，尽量避免由于操作技术不当导致的入海悬浮沙增大，同时作业时要求施工精准定位，提高作业精准度，配备 GPS 全球定位系统，准确确定施工位置，从而降低悬浮泥沙对周边海域水质环境、生态环境的影响。

(3) 根据现状调查资料，工程所在海域有石首鱼科，对噪声污染较敏感。水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，建议采用环保型液压式打桩机，采用液压式打桩也应采用软启动的作业方式，即在进行首次水下打桩时轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，以驱赶海洋鱼类迁移游离作业区，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，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩持续时间做出控制，在时间上控制一次一桩。

(4) 施工中应确立在离桩基 1120m 处为影响范围，加强瞭望，对中华白海豚、江豚活动进行可能的驱赶等工作，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。

(5) 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。

(6) 施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

(7) 做好施工溢油的管理，一旦发生事故，立即启动风险防范措施和应急处置，将风险范围防控在一定范围内。

8.3.1.2 对重要经济鱼类资源“三场一通道”影响的减缓措施

合理安排施工进度计划，将悬沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相

对弱的潮期内；工程位于长尾大眼鲷产卵场（产卵期为5~7月）、金线鱼产卵场（产卵期为3~8月），建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避免5~7月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下5~7月期间降低施工强度（例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等），以减小施工悬浮物对产卵场的影响，并做好相关渔业资源修复补偿工作。

8.3.1.3 珍稀海洋生物保护对策措施

（1）施工期间若发现中华白海豚、海龟等珍稀海洋生物应停止施工并且进行驱逐，待珍稀生物游离后方可作业，避免被机器或船只螺旋桨撞伤，并上报有关部门。

（2）严格限制工程方的施工区域和用海范围。

（3）大力宣传保护珍稀海洋生物的相关规定和奖惩机制，进行中华白海豚、海龟保护及救助方面的宣传和培训，提高工作人员对鲸豚的关注度、责任感和法律意识。

（4）施工时应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。

（5）施工中应确立在离桩基中心56m的距离范围内为危险级，在离桩基1120m处为影响范围，对中华白海豚、江豚活动进行可能的驱赶等工作。

8.3.1.4 对海域底栖生物影响的减缓措施

（1）严格限制工程施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

（2）优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

（3）对施工方案进行合理优化，选择科学合理的施工方法和顺序，减少施工对海洋环境的影响。

（4）施工机械、设备和人员产生的所有污染物禁止在海域随意排放和丢弃，应收集至陆域处理，减少对周边水体环境影响。

（5）施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

8.3.2 营运期海洋生态环境保护对策措施

8.3.2.1 输电电缆保护措施

根据《海底电缆管道保护规定》（中华人民共和国国土资源部令 第 24 号）

第七条规定：国家实行海底电缆管道保护区制度。省级以上人民政府海洋行政主管部门应当根据备案的注册登记资料，商同级有关部门划定海底电缆管道保护区，并向社会公告。海底电缆管道保护区的范围，按照下列规定确定：沿海宽阔海域为海底电缆管道两侧各 500 米。海底电缆管道保护区划定后，应当报送国务院海洋行政主管部门备案。

第八条规定：禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业。

海底电缆管道两侧各 500m 海域范围内，严禁从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业。

8.3.2.2 生态补偿措施

根据《农业农村部办公厅关于进一步明确涉渔工程水生生物资源保护和补偿有关事项的通知》（农办渔〔2018〕50 号），建设单位是水生生物资源保护和补偿的主体，应根据环境影响评价报告中所列的水生生物资源保护和补偿内容，制定具体的实施方案。渔业部门要对实施方案编制进行组织协调和指导把关，确保方案合理可行。建设单位应根据实施方案，在验收前组织落实水生生物资源保护和补偿措施。无能力落实保护和补偿措施的，可以委托具备相应能力的社会第三方机构实施。

本项目生态修复和补偿方案建议结合江门市沿岸海域实际情况和生态保护要求，推荐渔业资源增殖放流，具体补偿方案与相关部门协商确定。

根据《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见（农渔发〔2022〕1 号）》《广东省海洋生物增殖放流技术指南》《广东省水生生物资源增殖放流规划（2016-2020）》（粤海渔〔2017〕8 号），建议本项目增殖放流方案如下：

（1）海域选择

根据《广东省海洋生物增殖放流技术指南》，江门重要放流海域为广海湾海域。增殖放流时，可在广海湾海域选择 1~5 个靠近港口码头利于开展增殖放流工作的增殖放流地点，实施增殖放流。建议地点为广海渔港附近海域。

（2）增殖放流品种

选择《农业部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》和《广东省海洋生物增殖放流技术指南》所列的广海湾海域适宜增殖放流的备选品种进行放流。

①根据《农业部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》中南海增殖放流分水域适宜性评价表及项目所在区域海洋生物及其栖息环境的实际情况。江门海域适宜增殖放流的备选品种包括：花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、布氏鲷、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、平鲷、黑鲷、黄鳍鲷、断斑石鲈、花尾胡椒鲷、斑节对虾、长毛对虾、墨吉对虾、刀额新对虾、二长棘鲷等。

②根据《广东省海洋生物增殖放流技术指南》中广海湾海域适宜增殖放流物种为四指马鲛、花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、卵形鲳鲹、军曹鱼、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、平鲷、黑鲷、黄鳍鲷、断斑石鲈、胡椒鲷、花尾胡椒鲷、斑节对虾、日本对虾、长毛对虾、墨吉对虾、刀额新对虾、近缘新对虾周氏新对虾，杂色鲍、华贵栉孔扇贝、文蛤、波纹巴非蛤等。

（3）增殖放流时间

根据《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》中“要在增殖放流水域采取划定禁渔区和禁渔期等保护措施，强化增殖前后放流区域内有害渔具清理和水上执法检查，确保放流水生物种得到有效保护。”的要求，建议放流时间确定在休渔期进行。

（4）效果评价

增殖放流后根据《海水鱼类增殖放流效果评估技术规范》（SC/T9446-2023）开展效果评估。

在相关部门指导和监督指导下，增殖放流效果调查与评价工作由具有增殖放流技术优势及实践经验的单位具体承担实施，采取标志放流、跟踪监测和社会调查等措施对增殖放流效果进行评价。增殖放流实施单位应委托第三方单位对增殖放流进行跟踪调查和效果评估。

每一个增殖放流周期结束时，进行增殖放流效果评估，编写评估报告，评价内容应包括经济效益、社会效益和生态效益。

从已有的渔业资源的人工增殖放流的成功经验来看，在本工程海域附近有选择的实施人工增殖的生态恢复措施在技术上还是资金投入上均是可行的。

8.3.2.3加强渔业资源和生态保护宣传

在进行海洋生物增殖放流建设时，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，一方面加强社会环境保护教育，另一方面树立项目建设单位的环保形象。

8.3.2.4其他保护对策措施

(1) 加强对工作人员的教育，加强环保意识，禁止捕杀海龟、白海豚等珍稀生物。

(2) 加强环境管理和环境监理工作，做好环境跟踪监测工作。

8.4 鸟类及其生态保护措施

为了减轻海上风电场对鸟类生存的影响，对本建设项目在施工和运营期间对生态环境可能带来的不利影响提出以下的生态保护措施：

(1) 合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过场址应适当停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。

(2) 可以采取有效的驱鸟措施来降低鸟类的伤亡率。例如，使用风电防鸟装置，这些装置集成了激光、猛禽声和全向声波等多种技术，共同构成一个多层次的防护体系，全方位驱赶风电场周围的鸟类，避免鸟撞事故的发生。

(3) 加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测，合理调整运行及防范措施。

(4) 针对风电场建设导致海域栖息地丧失，通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。

(5) 一旦发现存在因施工活动引发的动物伤亡风险应立即停止施工，确定险情解除后方可继续施工。

8.5 对海龟的保护措施

(1) 灯光环境防治措施

① 风电站照明灯光同样会吸引年轻的海龟进入电场场区。因此，电场风机维修和检修作业的时间尽量安排在白天，航行过程中加强瞭望；

② 严格加强灯光使用管理，改进光照强度。

(2) 电磁环境防治措施

① 选用带有金属罩壳的电气设备：各电压等级的配电装置 GIS 设备采用封闭式母线，对裸露电气设备采取设置安全遮拦或金属栅网等屏蔽措施；

②主变设备、主变压器外壳以及主变室内墙体敷设的铝合金吸音板采取良好的接地措施；

③风机设备金属附件上的保护电镀层要求光滑，所有的边角应挫圆，螺栓头也应打圆或屏蔽起来，避免尖角和凹凸。应使用合理的几何形状和材料的绝缘子及其保护装置，控制绝缘子的表面放电；

④在安装高压设备时，应减少设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电。对电力线路的绝缘子和金属，要求绝缘子表面保持清洁和不积污，金属间保持良好的连接，防止间隙性放电。

8.6 环保措施技术、经济可行性分析

施工期，严格按照施工管理要求，减少悬浮泥沙和施工噪声影响；施工期间产生的含油废水统一收集处理。船舶生活污水利用船载生活污水处理装置处理，在满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求的污染物排放限值的前提下在航行中排放。这在技术上都是可行的，在经济方面没有较大投入。

营运期，应及时进行风机的维护和检修，保证其正常运转。这在技术上亦是可行的，在经济方面也没有较大投入。

本项目从清洁生产与污染治理、技术措施与管理手段等多个角度设计和建立本项目环境保护措施、对策，在实施环境保护措施情况下施工和运营，其产生的海洋环境影响达到最小，海区渔业资源和环境敏感目标所受损害较小，营运期产生的主要污染物质采取了相应的污染防治措施，可以得到妥善处理。经过分析，认为工程项目具有较好的经济效益，相比之下，环境污染经济损失是可以承受的，环境经济效益比较明显。因此，本项目的环境保护措施在技术上和经济上是可行的。

8.7 环境保护措施汇总

本项目拟采取的污染防治对策措施、生态保护对策措施统计见表 8.7-1 所示。

表 8.7-1 项目污染防治对策措施、生态保护对策措施一览表

阶段	污染物	污染源	环保对策措施	责任主体	预期效果
施工期	悬浮泥沙	风机基础施工及海缆铺设	①采用较新、较先进、较环保的施工船舶和设备。 ②合理安排施工进度计划，将悬沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱的潮期内；金线鱼产卵场保护期为 3~8 月、长尾大眼鲷产卵场保护期为 5~7 月，建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避开 5~7 月产卵高峰期，若无法	施工单位	对海水水质、沉积物环境不造成明显的

阶段	污染物	污染源	环保对策措施	责任主体	预期效果
			避开在施工进度允许的情况下 5~7 月期间降低施工强度（例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等）。 ③严格控制铺缆船航速和高压水冲泥管压力。 ④选用高效桩基施打设备，控制工艺桩拔除强度。 ⑤海缆铺设作业时，精确定位，尽量减小管沟开挖面和施工时间。 ⑥优化施工方案，加强科学管理，严格限制施工区域，尽量缩小作业时间和用海范围。 ⑦桩基与桩基、桩基与送出电缆同时施工作业面间距建议大于 5km。 ⑧加强施工过程的环境跟踪监测，在施工过程中定期对海水水质悬浮物、石油类等进行监测评估，发现问题及时检讨改进，并利用结果反过来约束施工作业，尽量减少项目对临近水体的环境所产生的影响。		良影响
	灌浆材料	灌浆材料外溢	①导管架基础桩靴与钢管桩之间的灌浆施工时，对灌浆情况进行水下监控，防止溢出。 ②采用先进的无毒无害快硬的高强灌浆材料。	施工单位	
	含油废水	船舶机舱含油污水	含油废水经收集后运至岸上，交由有处理能力的单位接收处理	施工单位	
	油污	漏油或者维修产生的油污	设专用容器，回收施工残油、废油	施工单位	
	油污	甲板上少量油	用棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱、废油等应收集后运回陆地交有资质单位统一处理，并建立委托处置台账，记录接收时间、数量等相关数据，备查	施工单位	
	生活污水	船舶生活污水	船舶生活污水满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求的前提下排放。	施工单位	
	废气	施工船舶废气	①加强施工船舶管理，避免施工区域船舶拥堵。 ②加强施工机械维修保养，禁止不符合国家废气排放标准的机械进入施工区。 ③选用符合标准的、含硫量低的燃料，施工单位使用的施工船舶应符合《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）中第二阶段船机排气污染物排放限值。	施工单位	不对周围大气环境造成明显不良影响
	噪声	施工噪声	①施工船舶采用低噪声船舶，应有效控制主辅机噪声，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛鸣放。 ②合理安排施工布置和施工时间，尽量避免高噪声施工机械和设备同时运作。 ③尽可能选用低噪声设备，采用静压打桩锤；加强施工设备的维护保养，发生故障应及时维修，保持润滑，紧固各部件，减少运行震动噪声；加强施工管理、文明施工。 ④海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数	施工单位	不对周围声环境造成明显不良影响

阶段	污染物	污染源	环保对策措施	责任主体	预期效果
	固废		量)、打桩的持续时间做出预测,在时间上控制一次一桩,首桩打设采用较低功率的“软启动”方法。 ⑤缩短沉桩时长,完善沉桩作业施工组织,提高作业效率。 ⑥夜间船舶停靠禁止鸣笛。		
		生活垃圾	统一收集在各施工船舶上,返回时收集上岸,交由接收单位接收处理,禁止排海	施工单位	固废均可得到有效收集处置,不会排至海域,造成影响
		扫海清障固废	在施工船舶上设置专门的收集装置,打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理	施工单位	
		风机安装产生的废弃焊头和包装等	在每个焊接作业点配备收集铁桶。在每个施工现场设置废料回收桶,施工结束后统一回收至陆上处置。	施工单位	
	生态	“三场一通道”、渔业资源和渔业生产	①建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间,尽量避开5~7月产卵高峰期,若无法避开在施工进度允许的情况下5~7月期间降低施工强度(例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等)。 ②优化施工工艺,尽量避免由于操作技术不当导致的入海悬浮沙增大。 ③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。 ④确立在离桩基中心318m的距离范围内为危险级,对鱼类活动进行可能的驱赶等工作。 ⑤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。 ⑥施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测,及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。 ⑦做好施工溢油的管理。	施工单位	减缓对周边生态环境的影响
			①发现有中华白海豚、江豚、海龟立即停止施工,驱逐出作业海域,待离去后再施工。 ②严格限制工程方的施工区域和用海范围。 ③进行中华白海豚、江豚、海龟保护及救助方面的宣传和培训,提高工作人员对鲸豚的关注度、责任感和法律意识。 ④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。 ⑤确立在离桩基中心56m的距离范围内为危险级,对中华白海豚、江豚活动进行可能的驱赶等工作。	施工单位	
			①优化施工方案,加强科学管理,在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。 ②严格限制工程方的施工区域和用海范围,以减小施工作业对底栖生物的影响范围。 ③施工应避免恶劣天气,保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。	施工单位	
			①合理安排施工时间,在候鸟迁徙季节如遇到候鸟	施工	

阶段	污染物	污染源	环保对策措施	责任主体	预期效果
			大量迁徙经过场址应适当停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。 ②一旦发现存在因施工活动引发的动物伤亡风险应立即停止施工，确定险情解除后方可继续施工。	单位	
营运期	含油污水	风机检修产生的少量漏油和油污水	集中收集，随运维船舶送至岸上，委托具有相应能力的单位定期清运处置	建设单位	对海水水质、沉积物环境基本不造成不良影响
	生活污水	船舶生活污水	满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求的前提下排放	建设单位	
	废气	运维船废气	①运维船应使用符合《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交通运输部，交海发〔2018〕168号）船用燃油。 ②加强对运维船的检修和维护，保证其处于良好的运转工况，可减少废气污染物的排放。	建设单位	不对周围大气环境造成明显不良影响
	固废	风机运行和维护等产生的废油、油渣油垢等	进行收集，委托有相应资质的单位回收处置	建设单位	固废均可得到有效收集处置，不会排至海域，造成影响
		废旧蓄电池	收集交由厂家回收处理	建设单位	
		运维人员生活垃圾	统一收集在运维船舶上，返回时收集交船舶污染物接受单位处理	建设单位	
	噪声	风机运行噪声	①风机机组应避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。 ②为减小风机机组机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能量，以降低振动噪声。 ③为降低风机噪声源强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。	建设单位	不对周围声环境造成明显不良影响
	电磁	电磁	①针对海缆，应减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电。 ②主变压器外设置电磁辐射防护罩	建设单位	不对周围环境造成明显不良影响
	生态	生态保护	①生态补偿采取增殖放流的措施。 ②加强渔业资源和生态保护宣传。 ③加强环境管理和环境监理工作，做好环境跟踪监测工作。	建设单位	减缓对周边生态环境的影响

阶段	污染物	污染源	环保对策措施	责任主体	预期效果
			④加强对工作人员的教育，加强环保意识，禁止捕杀海龟等珍稀生物。		
		鸟类	①加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测，合理调整运行及防范措施。 ②采取有效的驱鸟措施来降低鸟类的伤亡率，如激光、猛禽声和全向声波等多种技术。 ③针对风电场建设导致海域栖息地丧失，通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。	建设单位	

9 环境影响经济损益分析

9.1 环境保护设施和措施投资估算

环保专项投资主要包括：环境保护措施、环境监测措施、环境保护设备、环境保护临时措施等投资，共计约 1300 万元，占工程总投资（282484 万元）的 0.46%。

表 9.1-1 项目环保投资估算一览表

序号	项目	费用	责任方
1	环境保护措施	299.73	建设单位
1.1	风机机舱顶部设计安装航空灯费用及补偿费用	299.73	
2	环境监测措施	680	建设单位
2.1	施工期	200	
2.1.1	施工期噪声监测	10	
2.1.2	渔业资源调查	80	
2.1.3	海洋水质、沉积物、生态影响监测	60	
2.1.4	鸟情及其栖息地观测研究	50（与川岛一风电项目分摊）	
2.2	运行期	480	建设单位
2.2.1	鸟情及其栖息地观测研究	100（与川岛一风电项目分摊）	
2.2.2	水下噪声监测及生态影响跟踪评价	100	
2.2.3	冲淤观测费	50	
2.2.4	水文动力监测	50	
2.2.5	海洋水质、沉积物监测及生态影响跟踪评价	130	
2.2.6	渔业资源调查监测	50	
3	溢油风险防范设施配备	100	施工单位
4	环境保护临时措施	90	
4.1	施工生产、生活污水收集和处理	40	
4.2	噪声影响减免措施	10	
4.3	固体废弃物处理	20	
4.4	其他临时工程	20	
5	基本预备费	130.27	建设单位
合计		1300	/

备注：以上费用是预估费用，具体以当年市场决定。

9.2 经济效益分析

9.2.1 直接经济效益

风力发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。本工程经济效益主要为风力发电收入。本工程装机容量 400MW，设计年上网发电量 1691.238 GWh。项目的风力发电收入计算方法如下：

$$\text{发电收入} = \text{上网电量} \times \text{上网电价}$$

上网电量是指在设计电量中扣除各项损耗之后的电量。

根据新出台的《中华人民共和国可再生能源法》，风能发电上网电价由国务院价格主管部门根据不同类型可再生能源发电的特点和不同地区的情况，按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则确定，并根据可再生能源开发利用技术的发展适时调整。据现行海上风电价格相关规定，取本工程平均含税上网电价为价 0.453 元/kWh，预计项目生产期内年均产生经济效益约 76613.1 万元/a。

9.2.2 环境效益

目前世界上的太阳能、风能、海洋能等作为可再生能源正处于飞速发展时期，但我国电力能源结构以火电为主，水电、核电、风电、太阳能发电所占比重较少。为此，本报告对比燃煤发电技术评价本项目实施所具有的环境效益。

9.2.2.1 节能效益

本风电场工程规划总装机容量为 400MW，设计年上网发电量 1691.238GWh，与燃煤电厂相比，按照替代标准煤耗 267.33g/kWh 计算，每年可节省标准煤可节约火电燃煤资源消耗 45.21×10^4 t/a，目前发电用煤常按 800 元/t 计，本项目节能可产生效益 36168 万元/a。

9.2.2.2 污染物减排效益

风电场的生产过程是将当地的风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在整个流程中，不需要消耗其他常规能源，不产生大气、液体、固体废弃物等方面的污染物，也不会产生大的噪声污染。风电的节能效益主要体现在风电场运行时不需要消耗其他常规能源，环境效益主要体现在不排放任何有害气体和不消耗水资源。根据《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》（环发[2015]164号），“全国新建燃煤发电项目原则上平均供电煤耗低于 300 克标准煤/千瓦时”“到 2020 年，全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放（即在基准氧含量 6%条件下，烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、50 毫克/立方米）”。

本项目建成后，年上网电量约为 1691.238GWh。与相同发电量的火力发电厂相比，按清洁生产指标计算，烟气排放量按照 0.136g/kWh，SO₂ 排放量按 1.16g/kW·h 计，NO₂ 排放量按 0.856g/kW·h 计，则本风电工程可相应地减少的污染物排放量：烟尘 230.008t/a，SO₂ 1961.836t/a，NO_x 1447.700t/a。根据国家发改委能源所能源环

境中心公布的中国电力部门 CDM 项目基准线排放因子，近 3 年平均 OM 基准线为 $0.8825\text{tCO}_2/\text{MWh}$ ，因此相应地每年可以减少排放温室效应气体二氧化碳 149.2518 万 t/a 。

对于减排上述污染物所带来的经济价值，本报告按照上述污染物排污费用折算。

《排污费征收使用管理条例》由第 369 号国务院令发布，据条例规定，向大气排放污染物的，需按照排放污染物的种类、数量缴纳排污费。排污费按照排放污染物当量计算。根据《中华人民共和国环境保护税法》（2018 年 1 月 1 日实施），大气污染物每污染当量取值为 1.2 元，排放污染物当量计算公式如下：

$$\text{污染物的污染当量数} = \frac{\text{该污染物的排放量（千克）}}{\text{该污染物的污染当量值（千克）}}$$

依据《排污费征收标准及计算方法》，烟尘污染当量值为 2.18kg ， SO_2 的污染当量值为 0.95kg ， NO_x 的污染当量值为 0.95kg 。

本报告在计算 SO_2 、 NO_x 的减排量时，已考虑了电厂的脱硫脱硝，但脱硫脱硝需要增加发电的成本，燃煤电厂实施脱硫脱硝后，单位发电成本平均约增加 0.015 元/ kWh 。因此，本项目的运行相比燃煤电厂可节省脱硫脱硝设施运行费用 2536.86 万元。

针对减排 CO_2 所能带来的经济价值，采用碳税法计算固定 CO_2 的经济价值更为合理，根据国际通用的瑞典碳税率，每减少排放 1tCO_2 所带来的经济效益折合人民币为 273 元。

据此，本项目减排大气污染可带来经济效益见表 9.2.2-1。

表 9.2.2-1 大气污染物减排效益

污染物	减排量 (t/a)	环境效益 (万元/年)
SO_2	1961.836	247.81
NO_x	1447.700	182.87
烟尘	230.008	12.66
CO_2	149.2518×10^4	40745.74
污染物削减费用	—	2536.86
合计	—	43725.94

此外本项目实施不会消耗冷却水和排放含油废水、锅炉酸洗水、化学处理水等废水；也没有锅炉煤渣和粉煤灰需要处理。可见风电场具有明显的环境效益。

9.2.3 社会效益

本项目的建设可作为主网的补充电源，直接向当地电网供电，减轻主网的潮流

输送并相应减少线损，从而有助于满足区域负荷发展的需要。实现电力一次能源多样化，对促进区域经济和社会可持续发展将产生积极的作用。

建设风电场，会带动地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而带动和促进地区国民经济的全面发展和社会进步。随着风电场的相继开发，风电将为地方开辟新的经济增长点，对拉动地方经济的发展，加快实现小康社会起到积极作用。

综上所述，本项目对于促进当地相关产业，带动地方经济快速发展将起到积极作用。另外，对于发展和推动我国风电机组的国产化水平具有现实意义，项目社会效益显著。

9.3 环境损失分析

海底电缆铺设造成的底栖生物资源损失量（一次性损害）估算结果为：风机基础长期压占造成的底栖生物资源损失量估算结果为 0.0005t，定位架压占造成的底栖生物资源损失量估算结果为 0.0086t，海底电缆敷设造成的底栖生物资源损失量估算结果为 0.2199t。由悬沙扩散引起的生物资源受损量的估算结果显示，本项目建设期间鱼卵的损失量 2.869×10^7 粒、仔稚鱼的损失量为 1.081×10^7 尾；游泳生物的损失量为 0.076t。

9.4 环境经济损益分析

综上所述，本项目具有明显的环境效益，节约能源原材料消耗等，减少温室气体等污染物的排放；社会效益显著，缓解电力供需矛盾和改善电源结构，并促进国内制造业等的发展。本项目在建设和运行过程中在一定程度上会造成渔业资源和海洋生态等方面的环境损失，但其主要发生在施工期，且可通过补偿措施进行恢复。

从环境经济损益综合分析，本项目环境效益远大于损失，环境、社会、经济效益明显。

10 政策及规划相符性分析

10.1 产业政策相符性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本），本项目属于“五 新能源 1.风力发电技术与应用 海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，为鼓励类，符合国家产业结构政策要求。

根据《市场准入负面清单（2025 年版）》（发改体改规〔2025〕466 号），本项目为海上风电项目，不属于该清单中所列的项目，对市场准入负面清单以外的行业、领域、业务等，各类市场主体皆可依法平等进入。

10.2 国土空间规划相符性分析

10.2.1 与《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》的相符性分析

根据《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》（以下简称《规划》），《规划》以当好“两个重要窗口”为主题，以“在全面建设社会主义现代化国家新征程中走在全国前列、创造新的辉煌”为总要求，坚持“高水平保护、高质量发展、高品质生活、高效能治理”的规划理念，提出面向未来广东国土空间开发保护的基本思路。

发展愿景和总体定位。以“世界窗口、活力广东、诗画岭南、宜居家园”为发展愿景，着力把广东建设成为“中国特色社会主义先行区、高质量发展的引领区、美丽中国建设的示范区、开放包容智慧的宜居家园”。

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。

《规划》以“三区三线”为基础构建国土空间开发保护总体格局。立足资源环境承载能力，发挥各地区比较优势，统筹划定落实“三区三线”，深入实施主体功能区

战略，优化资源要素配置与生产力空间布局，加快形成开发与保护相协调的国土空间开发保护新格局，有力支撑“一核一带一区”区域发展格局。

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

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

建设世界先进制造业高地。以“一核一带一区”为引领，优化全省产业空间布局。①珠三角核心区突出创新驱动、示范带动，积极培育发展十大战略性支柱产业和十大战略性新兴产业集群，重点建设广深港、广珠澳科技创新走廊和环珠江口现代服务业集聚区，推进产业发展组团和产业重大平台建设，优化形成“走廊+组团+平台”的网络化产业协同布局模式。②沿海经济带突出陆海统筹、港产联动，以港口和临港经济区、临港新城为载体，做大做强临港临海产业集群，加快建设大型产业集聚区，打造世界级沿海产业带。③北部生态发展区突出生态优先、绿色发展，“据点式”布局现代农业产业园和特色工业园区，着力建设以生态农业、绿色工业、生态旅游为主体的生态产业体系，因地制宜发展绿色低碳、环境友好型产业。

科学有序推进近海风电场开发建设，积极探索深远海风电开发，支持珠三角海上风电研发服务基地、粤东千万千瓦级海上风电基地、粤西千万千瓦级海上风电基

地等基地建设，优化海上风电选址，打造世界级风电产业基地。优近用远完善用海布局。统筹各类用海布局，优先保障国防安全、航运交通、能源矿产等资源开发利用的用海需求和安全，严格执行建设项目用海控制标准。推动海上风电项目、海洋养殖向深水远岸布局，促进海上风电与海洋油气开发、深水养殖综合开发利用，海上风电项目应满足离岸距离 30 公里或水深 30 米的开发条件限制。统筹海底油气管道、通信光缆、电缆等线性设施敷设的海底廊道，重点加强海上风电电缆集中布局规划和管理，统筹设置集中登陆点。划定管廊保护范围，加强海底管廊保护，在确保安全的前提下推进管廊复合利用、管线集中铺设。合理安排国家重大项目、重大战略和海洋矿产能源开发利用等工矿用海布局，主要包括：国家重大建设项目，广东自贸区、广东海洋经济综合试验区及粤港澳大湾区等国家重大战略规划用海，洋东、勒门、海门、靖海、神泉、后湖、甲子、桂山、港口、南鹏岛、沙扒、外罗、新寮、徐闻等近海浅水区海上风电建设及深水区的海上风电建设用海，海上石油、天然气、天然气水合物等油气资源勘探开发用海，波浪能、潮流能、海上光伏等海洋可再生能源开发用海等。

项目位于沿海经济带，该区域根据重要产业集群布局规划为新能源重要产业集群。

根据广东省海洋空间功能布局，本项目风电场的选址位于海洋开发利用空间。经分析，本项目施工产生的悬浮物扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失。施工期及营运期船舶生活污水在同时满足下列“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。施工期及营运期含油污水及固体废弃物均统一收集处理，不排海。

本项目为海上风电场建设项目，离岸最近距离约 60km，水深约为 43m~46m，满足《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》提出的海上风电项目应离岸距离 30 公里或水深 30 米的开发条件限制要求。项目建成后能够充分地开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件，符合新能源重要产业集群的规划分区要求。

因此，本项目的建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035年）》相关要求。

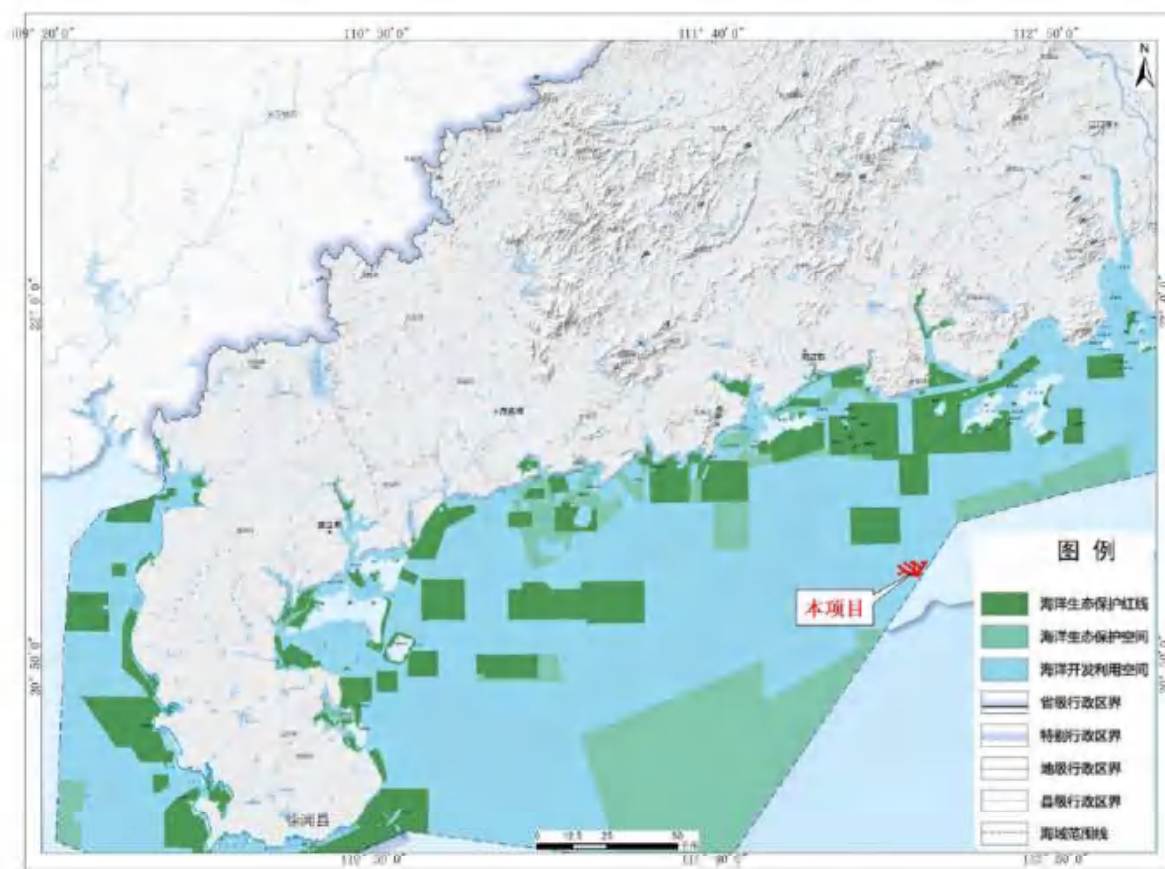


图 10.2.1-1 广东省海洋空间功能布局图

10.2.2 与《广东省国土空间生态修复规划（2021-2023 年）》的相符性分析

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

基于“三屏五江多廊道”生态安全格局，围绕生态、农业、城镇三大空间，聚焦重点单元，总体布局国土空间生态修复任务，形成安全健康、美丽的高品质国土空间。其中，生态空间-系统保护修复“三屏”“五江”等重点生态功能区，重点推进森林保育、水源涵养、水土保持生物多样性保护、沿海地区海岸带保护等。“三

屏”：即加强对以南岭山地为核心的南岭生态屏障、以丘陵山地、森林为主体的粤港澳大湾区外围丘陵浅山生态屏障和以沿海防护林、滨海湿地、海湾、海岛等要素为主体的蓝色海洋生态屏障的系统性保护修复。

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

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

经与规划图件叠加分析，本项目不在生态保护和修复单元内，距离周边的生态保护和修复单元较远。本项目建设主要为施工产生的悬浮物扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失，不会对规划中明确的生态系统保护修复单元产生影响。

因此，本项目的建设符合《广东省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》相关要求。

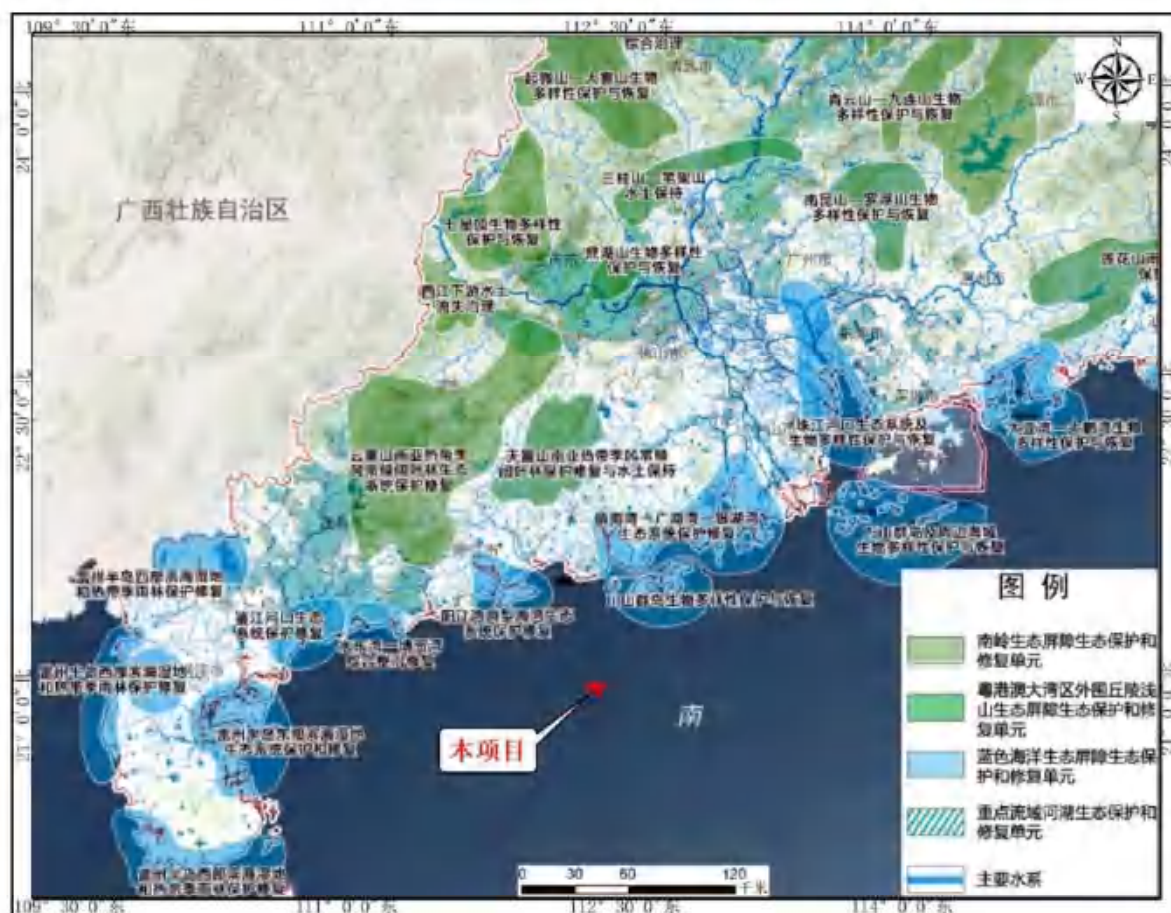


图 10.2.2-1 广东省重要生态系统生态保护和修复布局图

10.2.3 与《江门市国土空间总体规划（2021-2035 年）》的相符性分析

《江门市国土空间总体规划（2021-2035 年）》提出，分区管控近岸海域，划设海洋开发利用空间和海洋生态空间。工矿通信用海在赤溪半岛、广海湾、大襟岛西侧沿岸以及大帆石南部近海海域划出工矿通信用海区，配合海岸带临海工业和近海风电项目的规划与实施需求。本项目位于海洋开发利用空间中的工矿通信用海区。

规划提出，发展临港先进制造。加快推进海洋交通运输装备、船舶制造、船舶拆解及修理等产业转型升级。依托银洲湖中小船舶基地，重点发展特种工程船、高端游艇修造及关键零部件产业。积极引进半潜式钻井平台和钻井船、海上供应船、海上钢结构、风电设备、海洋环保设备制造等海洋工程平台类装备制造业，配套海洋工程装备研发制造，突破核心技术，全面提升船舶和海洋工程装备制造竞争力。推动海洋牧场与海洋工程装备制造联动发展，建立现代化海洋养殖装备生产基地。

规划提出，培育海洋新兴产业。大力发展海洋新材料产业，重点研究开发海洋金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。积极发展海洋基因技术、生物工程技术、药物与保健品等海洋高新技术产业，支持海洋创新药物、海洋生物基

因资源开发，规划建设研发、中试、产业化一体化的海洋生物医药高新技术园区。做强滨海新能源产业，依托深水港口，引入大型天然气企业综合利用产业基地项目，构建LNG综合利用产业链。统筹推进海上风电项目建设，丰富大广海湾区建设能源支撑。

本项目为海上风电建设项目，有利于统筹推进海上风电项目建设，丰富大广海湾区建设能源支撑。因此，本项目的建设符合《江门市国土空间总体规划（2021-2035年）》相关要求。

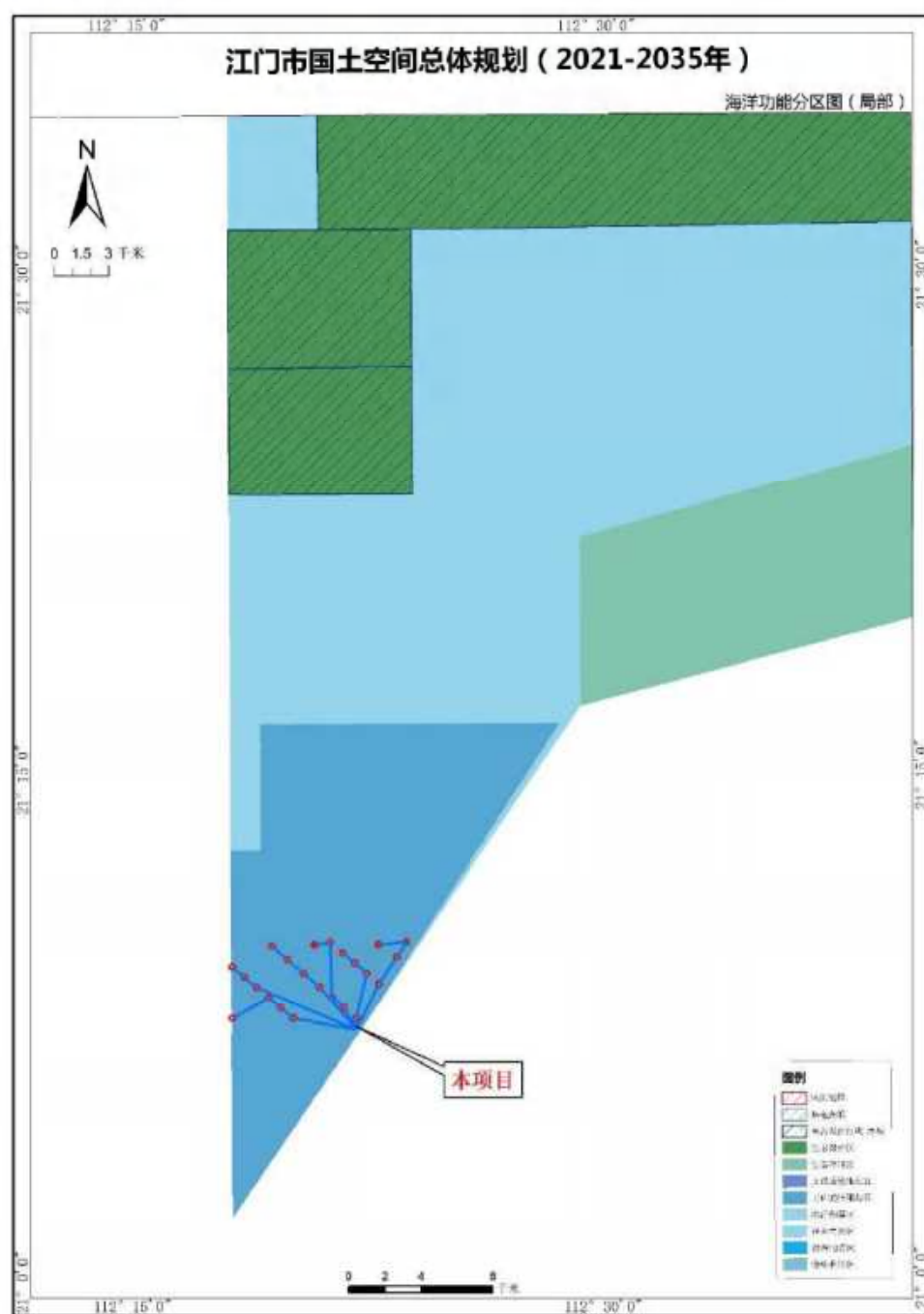


图 10.2.3-1 海洋功能分区图《江门市国土空间规划（2021-2035 年）》

10.2.4 与《台山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》的相符性分析

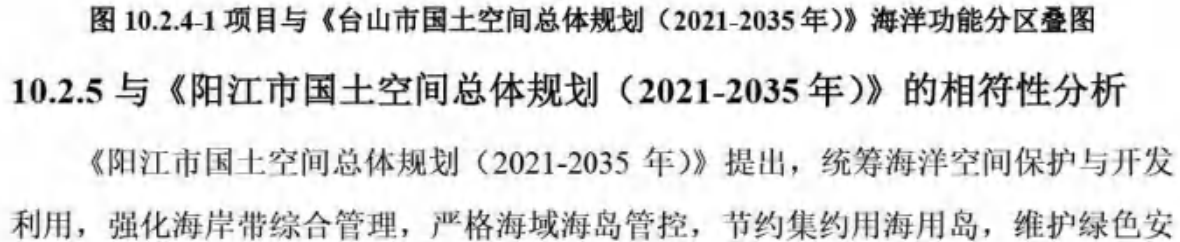
《台山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》提出，优化近岸海域产业布局，积极拓展深远海开发利用。陆海统筹协调近岸海域产业用海，合理保障近岸海水养殖、港口建设、临海工业及旅游发展用海空间。促进深远海空间开发利用，建设川岛海域海上风电，建设深水网箱、养殖工船等智能养殖平台，发展深远海捕捞。

加快构建以新能源为主体的绿色能源体系，实施可再生能源替代行动。提高自然资源低碳利用水平，重点保障风电、光伏、地热能、太阳能等新能源、新型低碳产业等项目用地用林用海需求，为非化石能源的开发利用预留空间。

根据与《台山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》海洋功能分区图叠置分析（图 10.2.4-1），本项目不涉及海洋生态保护红线。《台山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》统筹划定海洋规划分区，其海洋规划分区以批复的省级海岸带专项规划为准，由图 10.3-1，根据与《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》叠图分析，本项目风电场位于阳江-江门近海工矿通信用海区。

工矿通信用海区。允许盐业、固体矿产开采、油气开采、船舶工业、电力工业、海水综合利用等工业用海，电缆管道、海底隧道、海底场馆等海底工程用海。在未开发利用之前可兼容开放式养殖，浴场，游乐场用海；在开发利用后，有条件兼容人工鱼礁、开放式养殖用海、游乐场用海、路桥和航道用海。坚持节约集约用海，严格论证用海方式合理性，降低对生态系统服务功能、海岸地形的影响。

本项目为海上风电建设项目，项目建成后能够充分地开发利用广东省近海风能资源，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，有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，助力能源绿色低碳转型，增强区域电力供应，完善保障有力的供电系统。因此，本项目的建设符合《台山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》相关要求。



全海洋生态。充分发挥海洋作为高质量发展战略要地作用，大力拓展蓝色空间，**高质量推进海洋渔业、海上风电、海洋旅游业和海洋交通运输业发展**，打造现代化沿海经济强市，助力广东全面建设海洋强省。

推进阳江海上风电全产业链基地建设，加快建设广东（阳江）国际风电城，打造世界一流的风电科技创新策源地、海上风电高端装备制造基地，形成阳江港片区、长洲岛片区、金朗岛片区“三区交融”的国际风电城总体空间布局。全力推动国家海上风电装备质量监督检验中心、创新中心、大数据中心、运维中心“一港四中心”建设。

按照生态用海、集约用海要求，陆海协同划定海洋生态保护区、海洋生态控制区和海洋发展区。优先划定海洋生态保护区面积 1521.25 平方公里，将海洋生态保护红线全部纳入生态保护区范围，区内按照生态保护红线管理要求进行管控。根据海洋开发利用需求，充分兼容海底管廊、路桥隧道、航运等线性用海，将海洋发展区进一步细分为渔业用海区、交通运输用海区、工矿通信用海区、游憩用海区、特殊用海区、海洋预留区等海洋利用二级划分区，明确各类分区在空间准入、利用方式、生态保护等方面的管控要求。

工矿通信用海区：允许盐业、固体矿产开采、油气开采、船舶工业、**电力工业**、海水综合利用等工业用海，**电缆管道、海底隧道、海底场馆等海底工程用海**。在未开发利用之前可兼容开放式养殖，浴场，游乐场用海；在开发利用后，有条件兼容人工鱼礁、开放式养殖用海、游乐场用海、路桥和航道用海。坚持节约集约用海，严格论证用海方式合理性，降低对生态系统服务功能、海岸地形的影响，构筑物等用海方式要避让海底电缆管道区域。工业用海必须配套建设污水和生活垃圾处理设施，实现达标排放和科学处置。海上矿产、能源开发利用过程中应加强对海底地形和潮流水动力等海洋生态环境特征的监测。

本项目位于海洋发展区中的工矿通信用海区（图 10.2.5-1）。项目建成后能够充分地开发利用广东省近海风能资源，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，有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，助力能源绿色低碳转型，增强区域电力供应，完善保障有力的供电系统。因此，本项目的建设符合《阳江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》相关要求。

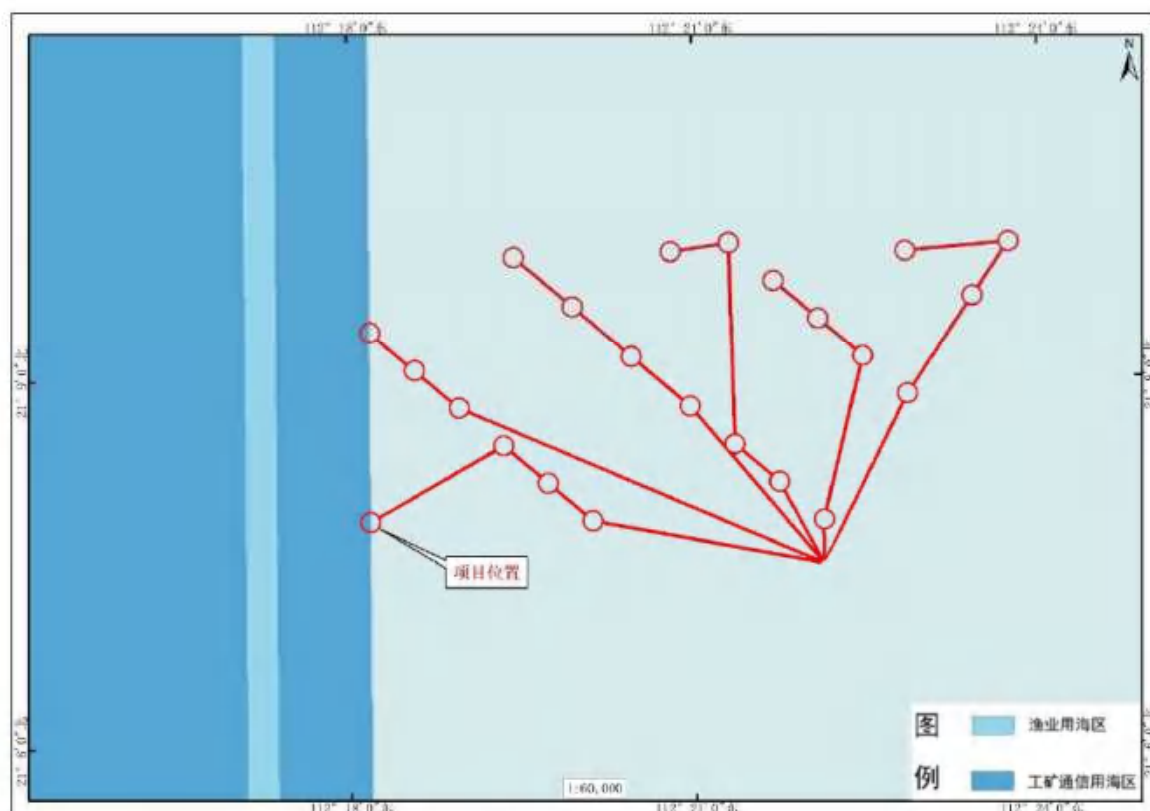


图 10.2.5-1 项目与《阳江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》叠图

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

《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（以下简称《省海岸带规划》）是国土空间规划体系下的专项规划，是对《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》的补充与细化，在国土空间总体规划确定的主体功能定位及规划分区基础上，统筹协调海岸带资源节约集约利用、生态保护修复、产业布局优化、人居环境品质提升等开发保护活动，有效传导至市级国土空间总体规划和海岸带专项规划，指导海岸带地区国土空间精细化管理。

《省海岸带规划》要求，拓展深永远岸用海用岛空间，推动海上风电、海洋养殖向深远海布局。科学规划 10 米以深至领海线的养殖空间，支持在 15 米以深海域发展深水养殖，以现代渔业装备为主要特色，打造生态化、高效化养殖的装备型海洋牧场，支持海洋产业园（海洋牧场）建设；依托可开发利用海岛，重点保障海洋牧场基础设施建设。位于 15 米以深省管海域的海洋牧场项目，给与开放式养殖用海、人工鱼礁用海部分的海域使用金征收优惠。新增海上风电项目在离岸 30 千米以外或水深大于 30 米的海域布局，推动海上风电项目规模化开发。推进海上风电项目开发

与海洋牧场、海水制氢、观光旅游、海洋综合试验场等相结合，探索海洋资源立体化多元融合开发利用模式。

《省海岸带规划》承接《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》空间布局和沿海县主体功能定位，依据海岸带资源禀赋、生态功能、环境现状和经济社会发展需求，细化海洋生态保护区、海洋生态控制区和海洋发展区，明确海洋功能区管理要求，作为用途管控依据。其中的海洋发展区是海洋开发利用活动集中分布区，总面积 44072.07 平方千米，占海域面积的 67.99%，结合资源禀赋特征、国家重大项目实施要求和地方发展实际需求，将海洋发展区进一步细分为渔业用海区、交通运输用海区、工矿通信用海区、游憩用海区、特殊用海区和海洋预留区。

经图件叠加分析，本项目风电场位于“阳江-江门近海工矿通信用海区”，项目不涉及生态保护红线。项目周边海域其他功能区有“江门-珠海南部渔业用海区”“阳江-茂名近海渔业用海区”“东平镇南珍稀濒危物种分布 II 生态保护区”“茂名-阳江生态控制区”等。

本项目位于“阳江-江门近海工矿通信用海区”，项目场址风电场场址水深在 43m~46m 之间，与陆地最近距离约 60km，满足“新增海上风电项目在离岸 30 千米以外或水深大于 30 米的海域布局”的要求。本项目属于可再生能源、海底电缆管道用海；项目用海不会改变海域自然属性；对海上交通安全的影响是可控的；项目建设及运营过程不会对水文动力、冲淤环境产生明显影响。项目对所在海域的影响主要存在于施工期间悬沙扩散对水质产生影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失。在施工结束后及营运期不会对所在规划分区的基本功能造成不可逆转的改变，符合相关管控要求。

综上，本项目建设符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的管控要求。



图 10.3-1 广东省海岸带分区发展及管控规划图

表 10.3-1 项目与所在规划分区管控要求的符合性分析一览表

规划分区名称	管控要求		影响分析	是否符合
阳江- 江门近 海工矿 通信用 海区	空间 准入	1.允许可再生能源、海底电缆管道用海； 2.可兼容人工鱼礁、开放式养殖等增养殖用海； 3.探索推进海域立体分层设权，海上风电、增养殖、海底电缆管道等用海空间可立体利用。	本项目为海上风电项目，属于可再生资源、海底电缆管道用海，项目海底电缆管道采取立体分层设权。	符合
	利用 方式	1.严格限制改变海域自然属性； 2.不得妨碍海上交通及海底电缆管道的安全。	本项目建设透水构筑物及海底电缆管道，不会改变海域自然属性；本项目风电场距离周边航路均有一定距离，对附近航路船舶的正常航行有一定的影响，通过采取优化和通过相应的安全保障等措施，其影响可控。	符合
	保护 要求	海上能源开发利用过程中应加强对海底地形和潮流水动力等海洋生态环境特征的监测。	项目施工及运营期间将制定相关跟踪监测计划并执行。	符合
	其他 要求	重点防范海浪灾害风险，加强海上交通、海上风电等海上作业防范。	本项目施工及运营期间将制定相关风险防范措施并执行。	符合

10.4 与“三区三线”的相符性分析

自然资源部办公厅于 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》明确，广东省完成了“三区三线”划定工作，划定成果符合质检要求，从即日起正式启用，作为建设项目用地用海组卷报批的依据。

根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线内自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。

通过将本项目与“三区三线”中的生态保护红线成果的叠加分析，本项目的风电场址没有位于生态保护红线区（具体位置见图 10.4-1），距离最近的生态保护红线“东平镇珍稀濒危物种公布Ⅱ区”7.6km。

本项目涉海工程主要有风机基础与海底电缆工程，海底电缆埋设于海床。本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响，工程实施对海域冲淤影响主要出现风电桩基附近，工程附近海域潮流运动以向往复流为主。工程建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化，变化主要出现在工程周边海域。预测结果表明，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速受桩基影响出现一定程度减缓，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现 0.004~0.015m/a 左右的淤积，而工程周边海域受到的冲刷作用不明显，冲刷幅度不超过 0.004m/a。

根据水质影响预测结果分析，本项目施工过程悬沙扩散范围主要集中在风电场附近海域，海缆施工导致的悬沙底层浓度超一、二类水质包络面积为 25.197km²，不会扩散至周边生态保护红线。在做好一定的防护措施的前提下，项目建设对东平镇珍稀濒危物种公布Ⅱ区的影响在可控的范围之内。项目施工对周边海洋渔业资源会造成一定影响，但通过采取一定的生态补偿措施可以使海洋生物资源得到有效的恢复和保护。只要严格落实各项环境保护措施，预防环境风险事故，项目实施后不会导致周边海域的环境持续恶化。

因此，本项目的建设基本不会对周边生态保护红线产生不利影响，符合生态保护红线的管理要求。

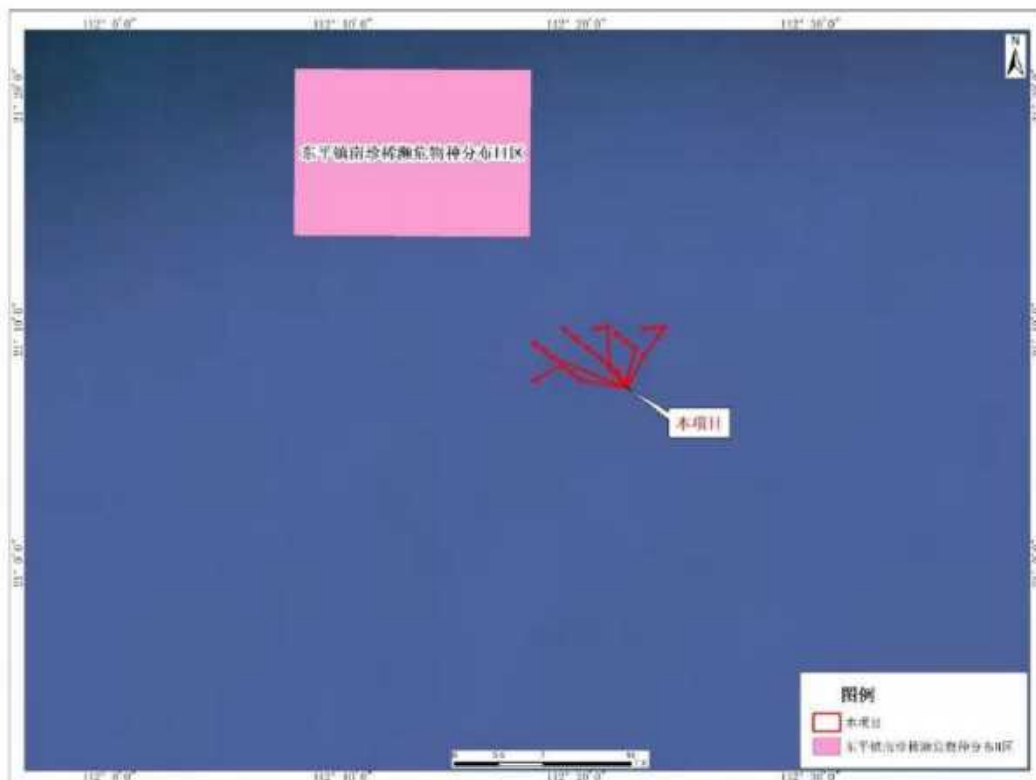


图 10.4-1 项目与海洋生态保护红线叠加示意图

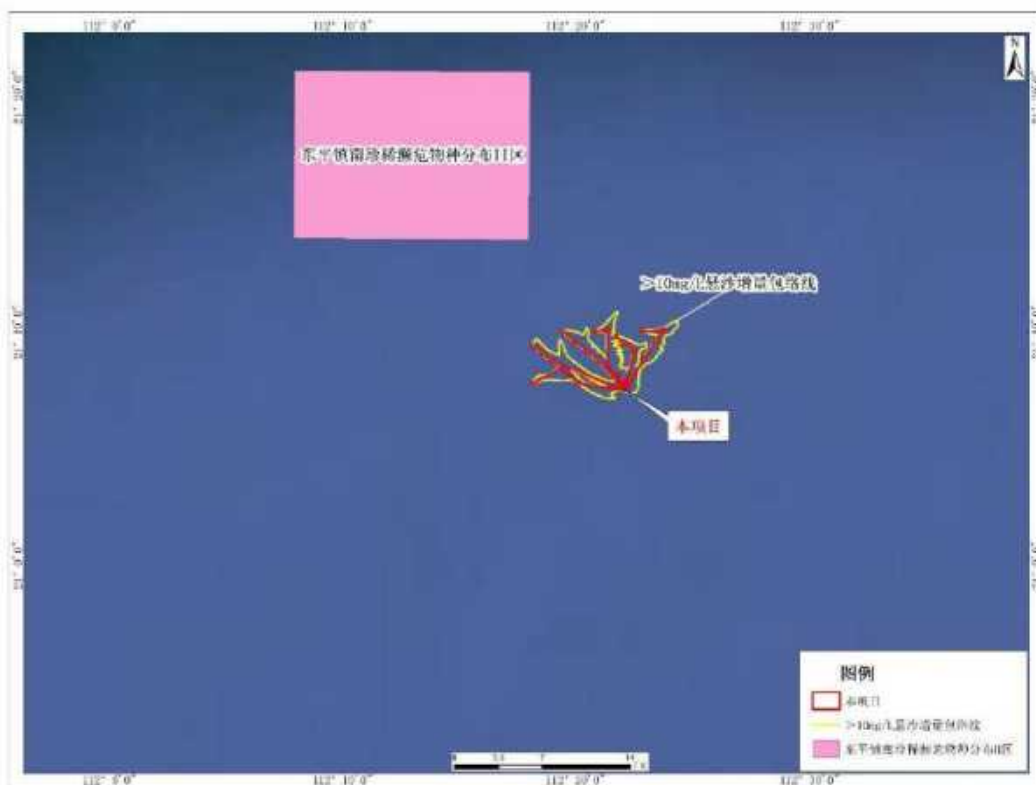


图 10.4-2 项目 >10mg/L 悬沙增量包络线（底层）与海洋生态保护红线叠置图

10.5 与“三线一单”的相符性分析

10.5.1 与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的相符性分析

为全面贯彻《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》，落实生态保护红线，环境质量底线、资源利用上线，广东省人民政府于2020年发布了《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71号），确定了生态环境准入清单（以下简称“省三线一单”）。

（1）与生态保护红线及一般生产空间符合性分析

根据“省三线一单”的要求，环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全省共划定海域环境管控单元471个，其中优先保护单元279个，为海洋生态保护红线；重点管控单元125个，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元67个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本项目位于“海域环境管控单元”中的“一般管控单元”，具体位置见图10.5.1-1。

按照“省三线一单”要求，一般生态空间后续与发布的生态保护红线进行衔接。根据“三区三线”成果，项目选址不在生态保护红线内，不占用自然岸线保有，与大陆自然岸线、海岛自然岸线的距离均较远，海上风电建设不会改变自然岸线的自然属性和生态功能，对自然岸线保有没有影响。根据前述小节分析，项目建设符合“三区三线”的相关要求。

本项目施工期间会短暂影响本区域生态环境和生物资源，这种影响会随施工结束而消失。本项目建设没有大规模、高强度的工业和城镇建设，其用海方式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，不会严重破坏所在海域的水质环境，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。本项目施工和营运期间，将根据相关要求对项目所在海域海洋环境要进行监视监测，并严格执行相关评价标准。此外，本项目施工和营运期间，对项目产生的船舶污水及固体废弃物均得到合理处置，不在项目区域排放。施工期和营运期船舶生活污水在同时满足下列“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于4节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。可见，项目

实施后不会导致该海域的环境恶化。

因此，本项目的建设符合生态保护红线及一般生态空间的要求。

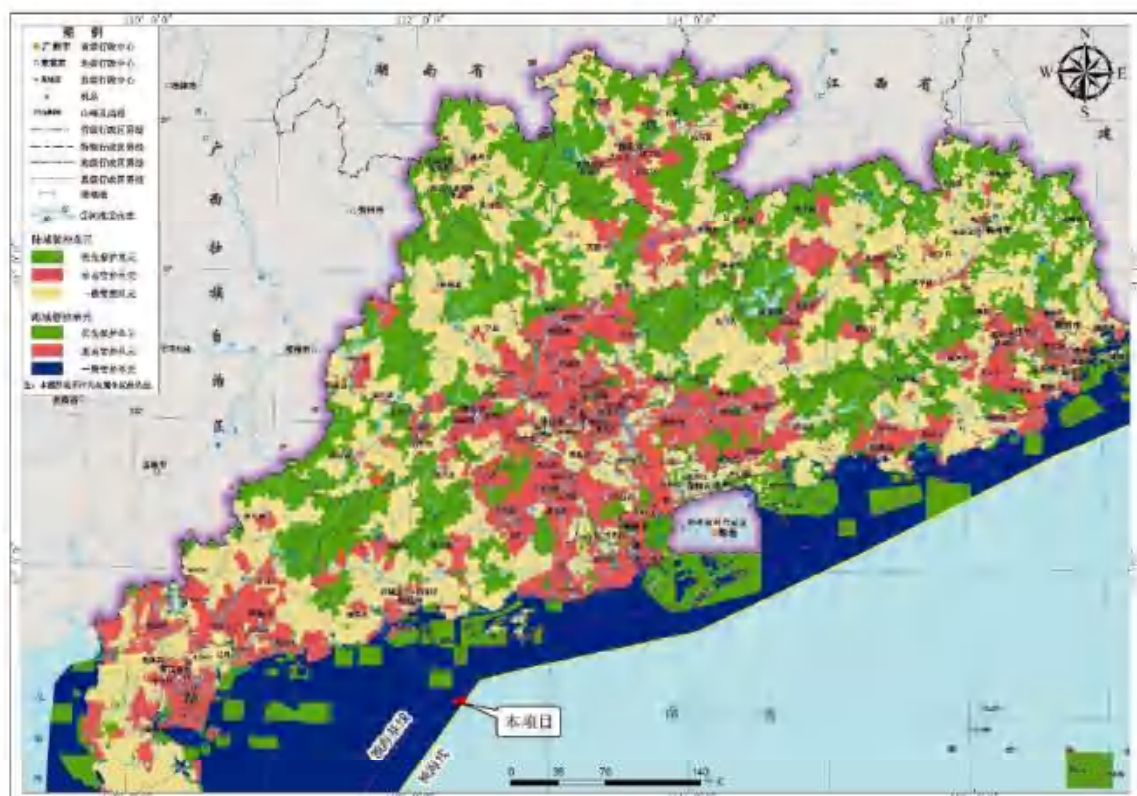


图 10.5.1-1 本项目与广东省海域环境管控单元叠加示意图

(2) 与环境质量底线符合性分析

本项目为海上风电场项目，本项目用海方式为透水构筑物、海底电缆管道，不会对用海区域水文动力环境、地形地貌与冲淤环境产生明显影响。施工期产生的悬浮泥沙是暂时性的，待施工完成后将不会对周围环境造成影响。营运期废水维护船舶产生的船舶含油废水，统一收集上岸交由有能力的单位收运处理。施工期和营运期船舶生活污水在同时满足下列“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。营运期产生的废气主要为运维船只巡护过程中排放的尾气，对周围大气环境产生影响较小；项目位于海上，距离陆地最近约 60km，项目 200m 范围内无声环境敏感点，营运期内不会对周围声环境造成明显影响。

本项目的建设可以满足环境质量目标，符合环境质量底线原则。

(3) 资源利用上线

本项目位于海上，不涉及占用基本农田，不占用岸线，故本项目的建设不会影

响区域土地资源总量。风机营运期间不涉及资源利用上线。综上，本项目符合资源利用上线要求。

(4) 生态环境准入清单

根据国家发展改革委发布的《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），本项目属于“第一类、鼓励类”中“五、新能源-1.风力发电技术与应用：海上风电场建设与设备及海底电缆制造”项目，符合国家产业政策。

根据《市场准入负面清单（2025 年版）》（发改体改规〔2025〕466 号），本项目为海上风电项目，不属于该清单中所列的项目，对市场准入负面清单以外的行业、领域、业务等，各类市场主体皆可依法平等进入。

10.5.2 与《江门市“三线一单”生态环境分区管控方案》的相符性分析

根据《江门市人民政府印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（江府〔2021〕9 号）和《江门市人民政府关于印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）的通知》（江府〔2024〕15 号），全市共划定海域环境管控单元 46 个，其中优先保护单元 26 个，总面积 1134.71km²，占海域总面积的 23.26%，为海洋生态保护红线；重点管控单元 10 个，总面积 501.48km²，占海域总面积的 10.28%，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域；一般管控单元 10 个，总面积 3226.82km²，占海域总面积的 66.46%，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本项目位于湛江-珠海近海农渔业区一般管控单元（具体位置见图 10.5.2-1），项目与该管控单元的符合性分析见表 10.5.2-1。

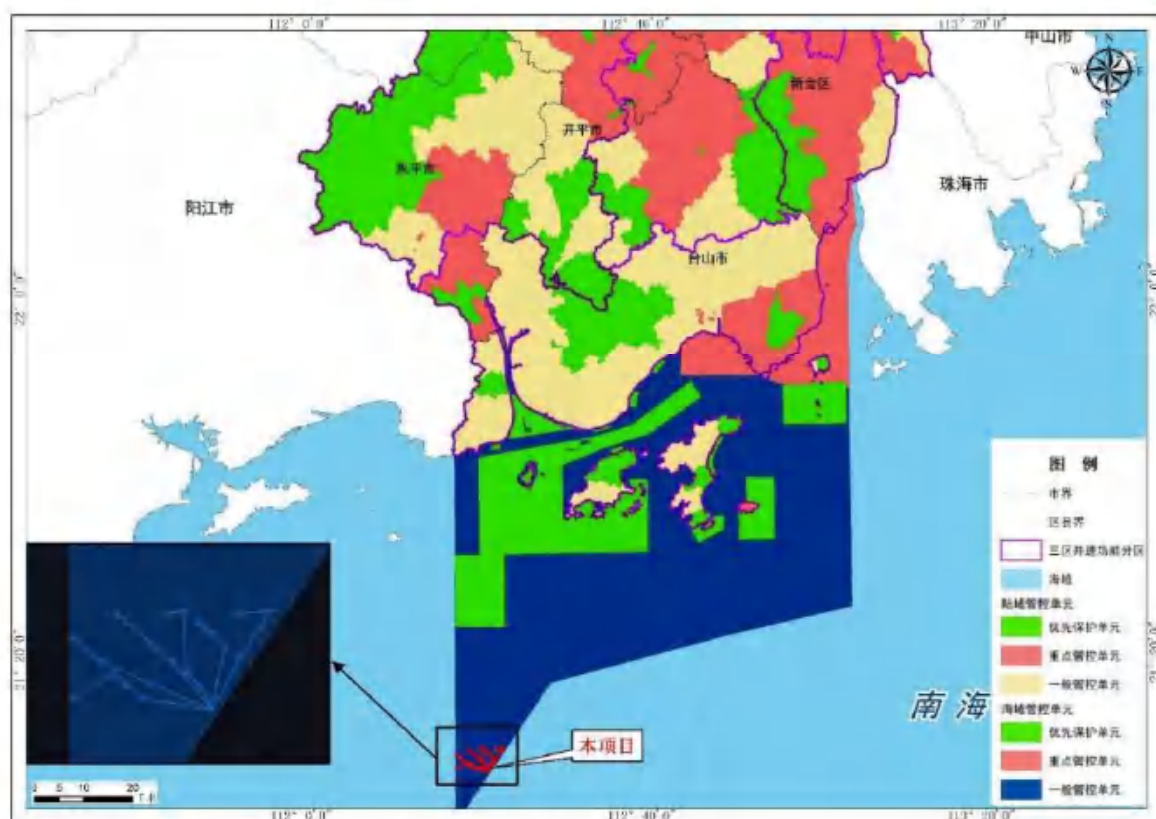


图 10.5.2-1 本项目位置与江门市环境管控单元叠图

表 10.5.2-1 本项目建设与所在管控单元的符合性分析

管控单元	管理要求	项目情况描述	是否符合
湛江-珠海近海农渔业区一般管控单元	区域布局管控: 1-1. 农渔业区要按照提升近海、开发深海、拓展远洋的原则,重点支持深水网箱养殖基地、人工鱼礁和现代海洋牧场建设,切实保障传统渔民生产用海、渔业基础设施建设用海。	本项目为电力工业用海,用海平面布置体现了节约集约用海的原则,可以最大程度减少对海洋生态环境的破坏。	符合
	能源资源利用: 2-1. 严格控制近海捕捞强度。加强水生生物产卵场、索饵场、越冬场及洄游通道保护,保持海洋生态系统结构与功能的稳定。	本项目不涉及捕捞作业。	符合
	污染物排放管控: 3-1. 科学控制海湾养殖规模和密度。防止养殖自身污染和水体富营养化。 3-2. 加强港湾综合整治,生产废水、生活污水须达标排海;严格执行农渔业区海水水质标准。	1. 本项目为海上风电项目,不涉及海湾养殖。 2. 本项目施工期和运营期的含油污水和固体废物均能得到有效收集处理,不直接排放入海。施工期和运营期船舶生活污水在同时满足下列“(1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放;(2) 船速不低于 4 节,且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。	符合

管控单元	管理要求	项目情况描述	是否符合
	环境风险防范： 4-1、防止外来物种入侵。	本项目为海上风电项目，不涉及引进海洋动植物物种。	符合

综上所述，本项目的建设符合《江门市人民政府印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（江府〔2021〕9号）和《江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）的通知》的相关要求。

10.6 与海洋环境保护规划的符合性分析

10.6.1 与《“十四五”海洋生态环境保护规划》的相符性分析

《“十四五”海洋生态环境保护规划》提出：加强海洋环境风险源头防范，全面摸排重大海洋环境风险源，以海上溢油为重点，构建分区分类的海洋环境风险防控体系。加强应急响应能力建设，健全海洋生态环境损害赔偿制度，保障人民生命财产安全和海洋健康活力。

本项目主要环境风险包括船舶碰撞溢油风险、海缆泥沙冲刷掏空风险等。针对可能发生的环境事故，本报告提出了相应的事故防范措施，采取上述措施后，上述环境事故的发生概率可明显降低，事故发生对环境的影响可得到有效控制。项目通过加强应急响应能力建设，健全海洋生态环境损害赔偿制度，保障海洋健康活力。

综上所述，本项目的建设符合《“十四五”海洋生态环境保护规划》。

10.6.2 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的相符性分析

根据《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》，2025年广东省海洋生态环境保护的主要目标是：

——海洋生态环境质量持续改善。近岸海域水质优良（一、二类水质）面积比例达到86%以上；陆源主要污染物入海量持续降低，国控河流入海断面稳定消除劣V类水质。

——海洋生态保护修复取得实效。重要海洋生态系统和生物多样性得到保护，海洋生态系统质量和稳定性显著提升，大陆自然岸线保有率和大陆岸线生态修复长度达到国家要求，营造修复红树林8000公顷。

——美丽海湾建设稳步推进。重点推进15个美丽海湾建设，亲海环境质量明显改善，公众临海亲海获得感和幸福感显著增强。

——海洋生态环境治理能力不断提升。海洋生态环境监测监管能力大幅增强，

海洋环境污染事故应急响应能力显著提升，陆海统筹的海洋生态环境治理体系不断健全。

《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》要求，加强海洋生态空间保护。海洋空间坚持保护为主、适度开发，实施海洋“两空间内部一红线”。按照国家的统一部署，探索建立海岸建筑退缩线制度，清理整治非法占用自然岸线、滩涂湿地等行为。推进建设以国家海洋公园为主体、海洋自然保护区为基础、各类海洋自然公园为补充的自然保护地体系，科学划定海洋自然保护地，整合优化以中华白海豚、中国鲎、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地和海洋生态保护红线的保护成效评估。

本项目风电场没有位于生态保护红线内，项目没有围填海工程和水下爆破，海缆敷设不会截断洄游通道，因电缆敷设产生的影响是暂时的，可逆的，在施工结束后不会影响生态保护红线的功能，营运期也不造成影响。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。本项目设置有船舶含油污水的收集装置，船舶含油污水收集贮存后定期交具有处理能力的单位接收后统一处理。施工船舶生活污水在同时满足下列“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于4节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放。施工完毕后，海域可迅速恢复至原有水质和生物水平，可满足海水质量标准。

综上所述，本项目没有大规模、高强度的工业和城镇建设，建设成后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展。项目用海对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响很小，不会对所在海域产生严重影响，不存在潜在的、重大的安全和环境风险，能确保生态功能不降低。海上风电项目为清洁能源，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。

10.6.3 与《江门市生态环境保护“十四五”规划》的相符性分析

根据《江门市生态环境保护“十四五”规划》，持续优化能源结构。加快构建清洁能源供应体系，安全高效发展核电，加快推动抽水蓄能电站建设，加快天然气发展利用，大力发展可再生能源，打造新能源产业，努力构建清洁低碳、安全高效、智能创新的现代化能源体系。严格落实能耗“双控”坚决遏制“两高”项目盲目发展，大力发展高新技术产业、高附加值产业和第三产业；加快优化存量，紧盯重点地区、园区、行业、企业，挖掘节能潜力，倒逼工业增加值贡献小、工艺水平低、能耗高的企业退出，遏制能耗过快增长。

本项目为海上风电场项目，属于清洁能源，有利于加快构建清洁能源供应体系，建设成后有利于构建清洁低碳、安全高效、智能创新的现代化能源体系。本项目施工期和营运期的船舶含油污水、洗舱水、生活污水和垃圾等污染物均得到有效处置，对海洋环境影响较小。

因此，本项目的建设符合《江门市生态环境保护“十四五”规划》的相关要求。

10.6.4 与《阳江市生态环境保护“十四五”规划》的相符性分析

《阳江市生态环境保护“十四五”规划》提出：大力发展清洁能源，发挥风电、核电、抽水蓄能、氢能等绿色能源优势，推进能源结构调整。强化海域污染治理。推进船舶和港口污染防治，大力推进港口码头岸电设施建设和船舶受电设施设备改造，建设阳江港LNG接收站配套码头，推动港口、船舶修造厂加快船舶含油污水、洗舱水、生活污水和垃圾等污染物接收、转运及处置设施建设。

本项目是海上风电场项目，属于绿色能源，不涉及大规模、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。本项目船舶含油污水、生活污水和垃圾等污染物均得到有效处置，对海洋环境影响较小。

因此，本项目建设符合《阳江市生态环境保护“十四五”规划》的要求。

10.7 与其他相关规划的相符性分析

10.7.1 与《“十四五”现代能源体系规划》的相符性分析

《“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区岸区域布局。积极发展太阳能热发电。

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

广东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。因此，积极发展海上风电，逐步推进海上风电规模化发展，是“十四五”期间全省能源发展建设，提升全省能源生产供应能力，能源消费结构进一步优化的重要措施。本项目的建设是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。

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。

10.7.2 与《海上风电开发建设管理办法》的相符性分析

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。

本项目位于江门市台山市南侧海域，场址面积约 52km²，风电场场址水深在 43m~46m 之间，距离陆地最近距离约 60km。

经分析，项目风电场位置不涉及生态保护红线，从场址所在区域位置以及水深范围方面来看，本项目位置符合《海上风电开发建立管理办法》中“双十标准”。

因此，项目建设符合《海上风电开发建立管理办法》的管理要求。

10.7.3 与《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》的相符性分析

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

根据《广东发展和改革委员会关于调整全省海上风电场场址的通知（粤发改能源函〔2023〕48 号）》将《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》场址调整情况通知如下：“一、新增省管海域（领海线以内）海上风电场址 7 个、装机容量 1830 万千瓦，其中珠三角海域共新增场址 2 个，包括江门川岛场址和珠海高栏场址。江门川岛场址位于江门市大帆石海洋保护区南侧海域，场址最近端距离陆岸约 47 公里，最远端距离陆岸约 77 公里。场址面积约 272 平方公里，水深在 36-49 米之间，规划装机容量 170 万千瓦。”

本项目为国能江门川岛二海上风电项目，位于新增的江门川岛场址内，装机容量为 400MW，项目建设风电机组均位于规划江门川岛二场址范围内，风电机组发出电能通过 6 回 66kV 集电海缆接入南侧与中广核江门川岛一海上风电项目合建的海上升压站共同送出，海上升压站布设于两场址的中间通道，因此 66kV 集电海缆部分超出江门川岛二场址范围，但风电场规划场址仅限制风机布置，不限制海底电缆的铺设范围，本项目建设与《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》相符。

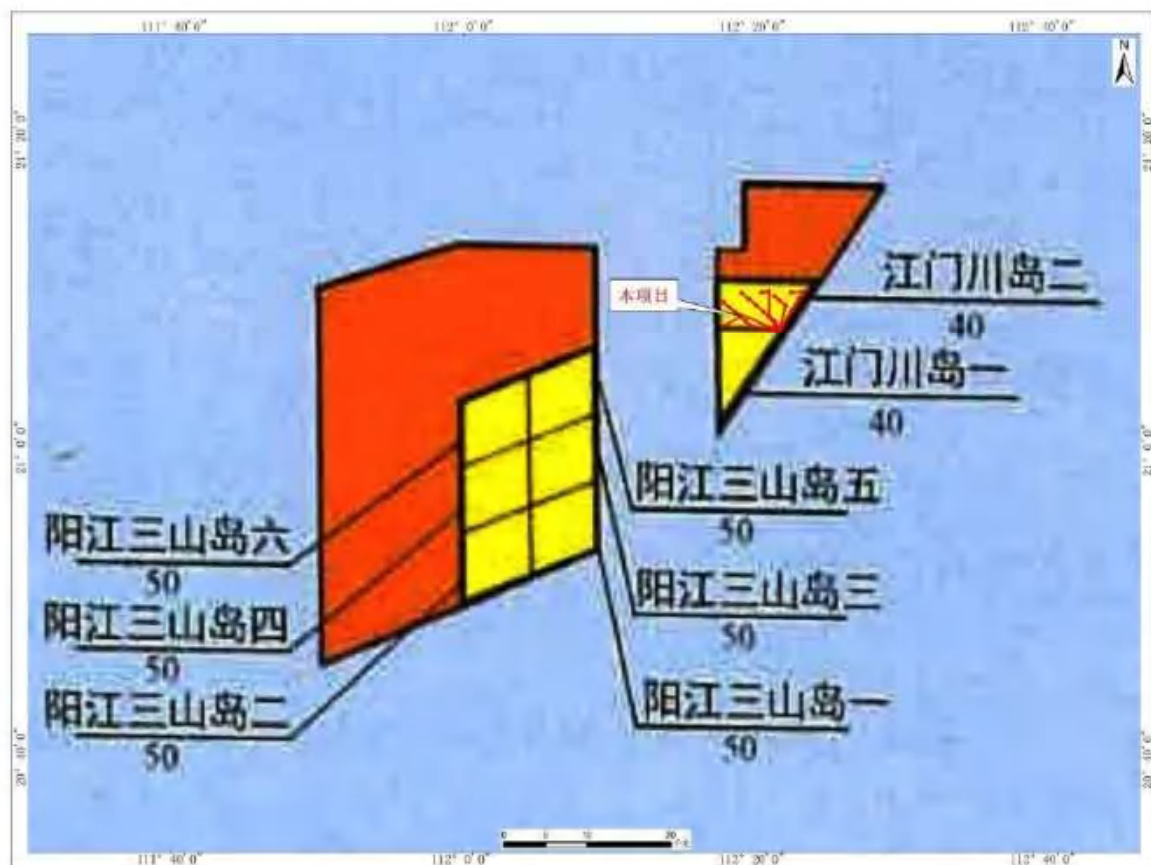


图 10.7.3-1 与广东省海上风电发展规划叠图

10.7.4 与《2030 年前碳达峰行动方案》的相符性分析

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。

10.7.5 与《广东省能源发展“十四五”规划》的相符性分析

《广东能源发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）明确，展望 2035 年，能源高质量发展取得决定性进展，能源消费总量控制在 4 亿吨标准煤以内，非化石能源消费比重争取提升至 40%左右，能源安全保障能力大幅提升，能源利用效率基本达到世界先进水平，能源科技创新取得较大突破，形成新兴能源产业体系，助力加快碳中和进程，高水平建成国内领先的清洁低碳、安全高效、智能创新的现代能源体系。

《规划》提出，坚持生态优先、绿色发展，持续优化能源结构，大力发展非化石能源，扩大天然气利用规模，积极争取省外清洁能源，推进煤炭清洁高效利用，加快构建以新能源为主体的新型电力系统，坚持能源节约与高效利用并举，促进重点用能领域能效提升，开创清洁低碳、高效节约的用能新局面。

《规划》要求，大力发展海上风电，规模化开发海上风电，推动项目集中连片开发利用，打造粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，“十四五”时期新增海上风电装机容量约 1700 万千瓦。

推动海上风电产业集聚发展。充分利用海上风能资源丰富的优势，加快海上风电规模化开发，加快建设江门海上风电全产业链，以及海工、运维及配套组装基地建设，积极推进产城融合，着力打造风电产业生态系统，打造国际风电城，以省内风机骨干企业为引领，利用超大市场优势，做大做强海上风电装备制造业，加快形成集整机制造和前沿新材料、叶片、齿轮箱、轴承、电机、变流器、控制系统等关键零部件制造，以及基础结构、海底电缆等设计建设为一体的高端制造产业链集群，推进海上风电机组向大容量、智能化、抗台风方向发展，加快培育海上风电运维产业，统筹布局海上风电运维基地，配套相关基础设施，组织开展运维技术设备研发制造和专业队伍建设。

本项目的建设符合《规划》要求和国家能源发展政策方针，对于减少化石资源

的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平，促进当地旅游业、带动地方经济快速发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

10.7.6 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》的相符性分析

《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可再生能源，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。本项目的建设，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的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。

10.7.7 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的相符性分析

《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》（以下简称《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，全力支撑全省高质量发展。

《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。本项目所在的广东省江门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。根据前述分析，本项目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，随着施工结束，

悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响周边海洋功能区和生态保护红线的功能。

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

10.7.8 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的相符性分析

《广东省海洋经济发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）提出，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，加快建设阳江、粤东海上风电产业基地力争到2025年全省风电整机制造年产能达到900台（套）。推动技术进步和成本下降，以龙头企业为引领，重点开展低风速、大容量、抗台风、防盐雾风电机组研发制造。加快漂浮式风机基础、柔性直流送出等关键技术转化运用，进一步完善海上风电产业链。重点引进或鼓励收购新型材料、主轴承、齿轮箱、海上升压站、施工船机运维设备等产业链企业，补齐产业链供应链短板，提前谋划海上风电运维产业发展，重点在阳江、揭阳、汕尾等地布局建设海上运维基地，同时鼓励支持风电研发设计、装备制造、风电施工及运维企业加强合作，通过组建专业运维机构或委托开展社会第三方专业运维，推行运维服务专业化。

本项目有利于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。

10.7.9 与《江门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》的相符性分析

2021年5月19日，江门市十五届人大七次会议审议批准《江门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》），重点明确“十四五”时期（2021-2025年）江门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，是未来五年我市经济社会发展的宏伟蓝图和全市人民共同的行动纲领。

《市十四五规划》提出，打造特色平台“强支撑”。积极推动与港澳合作建设大广海湾经济区，拓展在金融、旅游、文化创意、电子商务、海洋经济、职业教育、生命健康等领域合作，打造粤港澳深度合作发展试验区。加快银湖湾滨海新区的开发，探索粤澳合作发展新模式，打造绿色智慧滨海新城、粤港澳大湾区产业服务平台。高标准推动粤港澳大湾区（珠西）高端产业集聚发展区规划建设，打造粤港澳大湾区科技创新走廊重要产业承载区、高水平区域协同发展新样板。深入推进华侨华人文化交流合作重要平台建设，打造侨乡特色国际旅游目的地、粤港澳大湾区多元文化交流示范区。积极扩宽港澳居民就业创业空间，推动中国（江门）“侨梦苑”华侨华人创新产业聚集区建设取得新进展。高水平建设粤港澳大湾区（江门）高质量农业合作发展平台，打造粤港澳大湾区重要绿色农产品供应基地、农业合作创新创业示范高地。

《市十四五规划》提出，优化能源供给结构。大力发展清洁能源，发展太阳能发电，积极开展海上风电、氢能、天然气水合物等新能源研究因地制宜开发利用生物质能。安全高效发展核电，推进台山核电二期工程。合理发展气电，有序建设抽水蓄能电站，大力推动储能产业发展，推动煤电清洁高效利用。拓宽天然气供应渠道，提高天然气利用水平。完善天然气储备体系，以集中建设为主，建立健全政府储备与企业社会责任储备有机结合、互补联动的天然气储备体系，进一步提高天然气供气保障能力和储气调峰能力。

《市十四五规划》提出，大力发展绿色产业。积极推行源头减量、清洁生产、资源循环、末端治理的绿色生产方式。持续深入推进产业结构调整 and 低碳转型，构建清洁低碳的绿色产业体系。重点发展绿色制造和循环经济产业，走绿色低碳新型工业化道路。推进绿色产业补链强链，提高技术装备水平和产业规模。加快低碳技术革新与推广应用，推进电力、化工、建材、纺织等行业开展节能改造。推动重点行业企业开展清洁生产审核；支持企业实施清洁生产，重点建设一批循环经济工业园和共性工厂。积极推进核能、风能、太阳能、海洋能、生物质能等清洁能源建设。

本项目属于海上风电项目，本项目营运有利于当地风能资源转化为经济效益，有利于补充电网清洁能源，有利于地方经济的发展，对提高全省绿色新能源装机容量比例，优化全省能源供应结构，具有积极的推动作用。

因此，本项目符合《江门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》关于大力发展清洁能源、积极推进风能等清洁能源建设的规划要求。

10.7.10 与《阳江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

2021 年 2 月 3 日，广东省阳江市第七届人民代表大会第六次会议审议批准《阳江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《规划》）。重点明确“十四五”时期（2021-2025 年）阳江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，是未来五年阳江市经济社会发展的宏伟蓝图和全市人民共同的行动纲领。

阳江在“十四五”时期的总体定位是：打造沿海经济带的重要战略支点、宜居宜业宜游的现代化滨海城市。围绕这一定位，进一步明确阳江市在国家 and 省区域发展战略中的位置，凸显阳江市比较优势，明晰阳江市在产业、交通、城市等方面的发展方向。

《规划》提出，加快建设海洋强市。坚持陆海统筹、综合开发，拓展蓝色发展空间，优化海洋经济布局，推进海洋科技创新，提升海洋产业竞争力。重点发展海上风电、海洋工程装备等海洋高端产业集群，培育海洋生物、海洋电子信息等海洋新兴产业，推进海洋交通运输等传统产业转型升级。

《规划》要求，打造世界级风电全产业链基地。依托风力、海洋、港口和产业先发优势，推进 1000 万千瓦海上风电场建设，落实新增 1000 万千瓦项目，到 2025 年建成投产 1000 万千瓦以上。探索“海上风电+海洋牧场”融合发展模式，规划建设阳西沙扒风电海域国家级海洋牧场示范区，构建“蓝色能源+海上粮仓”组合，促进海域集约化生态化开发。加快建设广东（阳江）风电装备制造产业基地，推动装备制造各环节重大企业项目落地建设。依托龙头企业开展轴承、主轴、大型铸锻件等短板领域研发，推动基于高压大容量柔性直流输电技术的海上风电集中送出研发和示范推广。推动“一港四中心”建设，依托阳江港建设聚合设备出运、仓储物流、出口贸易、总装安装、运营维护、设备退役等功能的风电运维母港和风电设备储运基地，建设完善国家海上风电装备质量监督检验中心、风电创新中心、大数据中心、运维中心。建设风电行业金融服务体系以及海上风电国际交流基地。加快推动形成集资源开发、装备制造、研发设计、检测认证、运维管理、综合服务于一体，覆盖海上风电和陆上风电全领域全周期、立足阳江、面向全省、辐射全国、走向世界的风电全产业链基地，力争到 2025 年全产业链产值规模超 1000 亿元。

本项目属于海上风电项目，与《规划》的“重点发展海上风电、海洋工程装备等海洋高端产业集群”要求相符合，因此，本项目建设符合《阳江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》。

11 环境管理与监测计划

11.1 环境管理

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国海洋环境保护法》和《企业法》的精神，企、事业单位在生产和经营中防止污染、保护生态环境应是其重要的职责之一。环境管理是控制污染、保护环境的重要措施，应根据《建设项目环境保护管理条例》等法规的要求，确定环保管理机构，制定环境保护管理计划。环境管理的基本任务是：控制污染物的排放量，以及避免排出的污染物对环境质量损害。根据本项目的特点，提出相关的环境监测计划与建议，建设单位及施工单位应高度重视环境保护工作，应成立专门机构进行环境保护管理工作。

根据有关法规并结合本项目建设特点制定相应的环境监测计划，确定环境监测工作的组织、监测职责范围等，其中环境监测计划中应包括污染物排放监测和环境质量监测等内容。

本项目环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。

11.1.1 施工单位环境管理机构设置

海底电缆和风机桩基在施工期产生一定量的悬浮物、生活污水和含油污水及其它施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响。施工单位应设立内部环境保护管理机构，主要由施工单位主要负责人及专业技术人员组成，专人负责环境保护工作，实行定岗定员，岗位责任制，负责各个施工工序的环境管理工作，保证施工期环保设施的正常进行，各项环境保护措施的落实。

施工单位的管理内容主要为：

（1）负责制定、监督、落实有关环境保护管理规章制度，负责实施环境保护控制措施、管理污染治理设施，并进行详细的记录，以备检查。

（2）及时向生态环境主管部门或向单位负责人汇报与本项目施工有关的污染因素、存在问题、采取的污染控制对策、实施情况等，提出改进建议。

（3）按工程设计文件中有关环保内容以及本报告提出的各项环境保护措施，编制详细施工期环境保护措施和各项经费的落实计划，明确各施工工序的施工场地位置、环境影响、环境保护措施、落实责任机构（人）等，并将该环境计划以书面形式发放给相关人员，以便于各项措施的有效落实。

(4) 合理安排施工时间、方式，确保将工程建设对渔业资源和鸟类的影响减到最小；确保施工期间施工废水和生活污水妥善处置；保证施工机械和船舶废气排放符合国家有关规定。

11.1.2 建设单位环境管理机构

11.1.2.1 施工期环境管理

为了有效保护项目拟建场址所在区域环境质量，切实保证本报告提出各项施工期环境保护措施的落实，除了施工单位应设置环境保护管理机构外，针对本项目的建设施工，项目建设单位还应成立专门小组，负责监督施工单位对各项环境保护措施的落实情况，将各施工单位落实主要环境保护措施的能力作为项目施工单位中标考虑因素，聘请有资质的施工监理单位对施工单位环境保护措施落实情况进行跟踪监理，并且配合环境保护主管部门对项目施工实施监督、管理和指导。

加强建设项目的环境管理，根据本报告提出的污染防治措施和对策，制定出切实可行的环境污染防治办法和措施。

项目建设单位环保管理机构的职责如下：

(1) 与生态环境主管部门保持密切联系，及时了解国家、地方与本工程有关的环境保护法律、法规和其它要求，并及时向施工单位有关机构、人员进行汇报，组织施工人员进行环保教育和技术培训，提高施工及环保人员的环境意识和专业水平；

(2) 负责本项目施工期与营运期的环境保护管理工作，负责监督各项环保措施的落实与执行情况；

(3) 工程环境监理纳入工程监理，接受生态环境主管部门的指导和监督，以便更好地履行职责；

(4) 按生态环境主管部门地方规定和要求填报各种环境管理报表；

(5) 协调、处理因本项目的建设和营运所产生的环境问题而引起的各种投诉，并达成相应的谅解措施；

(6) 环境监测工作及监测计划的实施，应由建设单位的环保机构完成，在不具备条件的情况下亦可委托有资质的环境监测站或通过招标由第三方承担，报建设单位的环保机构监督执行，同时报送当地生态环境主管部门备案；

(7) 配合生态环境主管部门进行环保竣工验收。

11.1.2.2运行期环境管理

运行期间，环境管理职能由建设单位承担，安排专职人员对风电场运行期环境保护工作统一管理、并配合地方海洋、环保和海事部门共同做好工程运行期环境管理，包括海洋渔业资源补偿、鸟类活动及撞机情况观测和通航安全管理等的监督和检查工作。

11.1.3 环境监理

工程施工期应实施环境监理制度，以便对各项环保措施的实施进度、质量及实施效果等进行监督控制，及时处理和解决可能出现的环境污染和生态破坏事件。

(1) 机构设置与工作方式

根据工程规模和施工规划，施工期环境保护监理部门拟设专职监理人员 1 人。环境监理人员采用定期巡视方式，对施工区环境保护工作进行动态管理。监理随时检查各项环境监测数据，现场巡视发现问题后，立即要求承包商限期治理，并以公文函件确认。对于限期处理的环境问题，按期进行检查验收，将检查结果形成纪要下发承包商。

(2) 工作范围及职责

施工环境监理的工作范围包括施工区及所有因工程建设可能造成环境污染和生态破坏的区域。施工环境监理的主要职责为：依照国家环境保护法律、法规及标准要求，以经过审批的工程环境影响报告书、环境保护设计及施工合同中环境保护相关条款为依据，监督、检查承包商或环保措施实施单位对施工区环保措施的实施进度、质量及效果。指导、检查、督促各施工承包单位环境保护办公室的设立和正常运行。根据实际情况，就承包商提出的施工组织设计、施工技术方案和施工进度计划提出清洁生产等环保方面的改进意见，以保证方案满足环保要求。审查承包商提出的环境保护措施的工艺流程、施工方法、设备清单及各项环保指标。加强现场的监控，重点监督检查船舶含油废水、其它生产生活废水收集和处理系统的施工质量、运行情况。对在监理过程中发现的环境问题，以书面形式通知责任单位进行限期处理改进。对承包商施工过程及施工结束后的现场，依据环境保护要求进行检查和质量评定。

(3) 监理工作制度

环境监理工程师根据工作情况做出监理记录；每季编制环境监理季报，视施工

情况开展阶段性总结，工程施工结束后编制一份环境保护工作总结报告。

11.1.4 环境保护管理建议

针对本项目的建设和投入营运，提出如下环境保护管理要求和建议：

(1) 所有与本项目直接相关的污染防治设施的建设必须与项目主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

(2) 项目竣工投入试运营后，应按照有关要求申请进行建设项目环保竣工验收。

(3) 建议本项目在落实各项环境保护设施时，采用生态环境主管部门认证合格单位的污染治理技术或设施。

(4) 工程施工应实行环境监理制度，监理工程师必须接受必要的环境知识、工程监理知识的培训，按照保证工程质量和环保要求对项目进行全面质量监理。

11.2 环境监测计划

本项目施工期和营运期应委托具有相关资质的单位对工程区域海洋环境、生态环境等进行监测并提交有效的跟踪监测计量认证分析测试报告。对海洋生态环境的跟踪监测调查要遵循相应的海洋调查规范（GB 12763）和海洋监测规范（GB 17378）。

11.2.1 施工期监测计划

11.2.1.1 海洋环境监测

(1) 监测站位布设

按照《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》的要求，施工期在工程区域附近设置 7 个监测站位进行监测，监测过程中可根据具体情况进行调整。监测项目主要包括水质、沉积物、海洋生态、渔业资源，监测站位布设情况见表 11.2.1-1 和图 11.2.1-1。

表 11.2.1-1 环境监测内容及站位坐标

站位	经度 E	纬度 N	调查项目
1	112°20'31.91465"	21°11'1.73983"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
2	112°17'52.08932"	21°8'26.24037"	水质、生物生态、渔业资源
3	112°21'1.69372"	21°9'10.76628"	水质、沉积物
4	112°23'47.97366"	21°9'4.62868"	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
5	112°19'47.65176"	21°7'33.71199"	水质、沉积物
6	112°22'50.95658"	21°7'31.07490"	水质、生物生态、渔业资源
GDN17011	112.2511	21.2547	水质

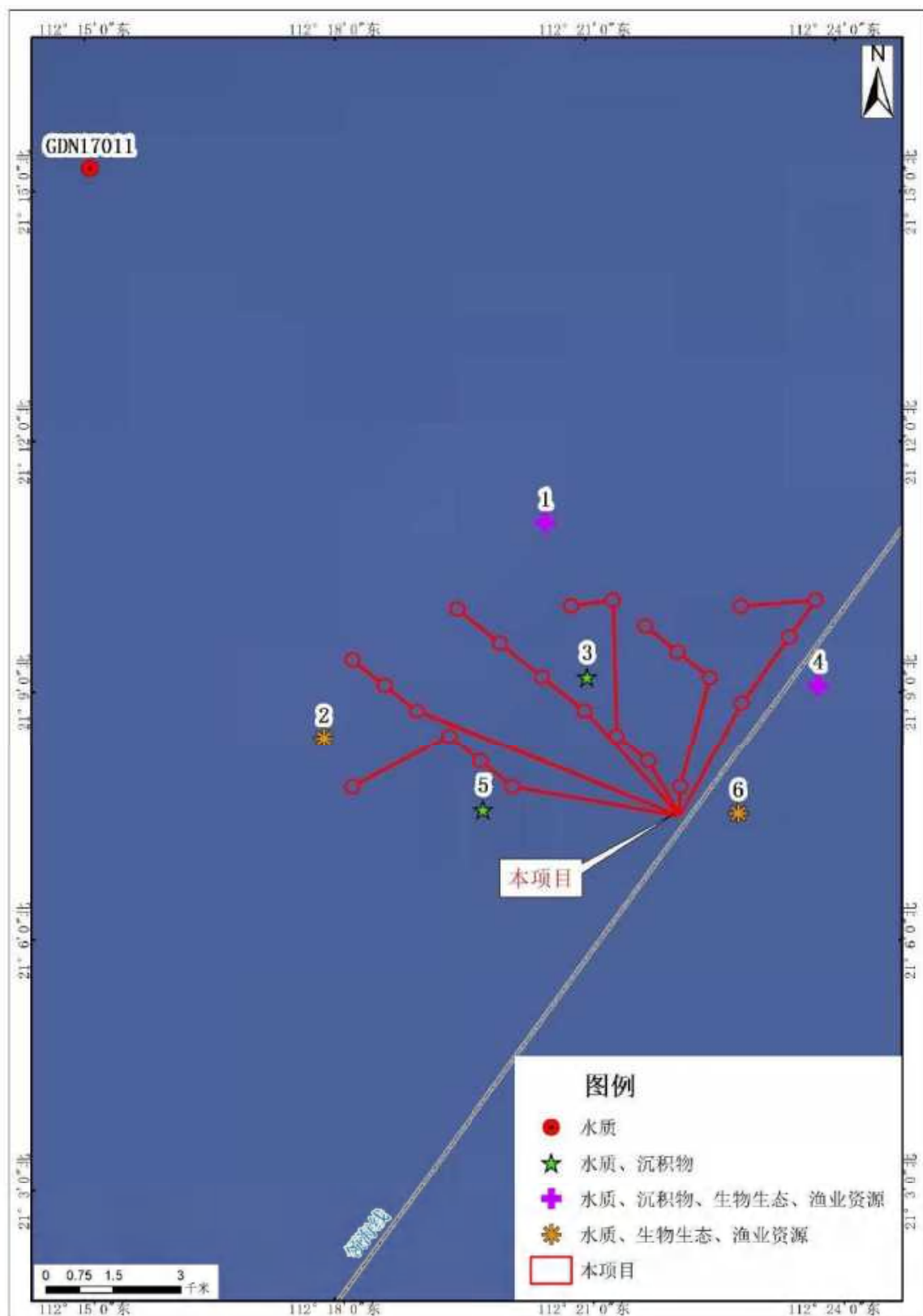


图 11.2.1-1 跟踪监测站位图

(2) 监测项目

水质监测项目：pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、

无机氮、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发酚。

沉积物监测项目：pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、砷。

海洋生态监测项目：叶绿素 a 及初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物等。

渔业资源监测项目：鱼卵仔稚鱼、游泳动物。

（3）监测时间与频次

水质监测：选择春季、秋季的大潮期各开展一次调查。

沉积物监测：选择春季或秋季的大潮期开展一次调查。

海洋生态监测：选择春季、秋季的大潮期各开展一次调查。

渔业资源监测：选择春季、秋季的大潮期各开展一次调查。

（4）监测数据采集与处理

按照《海洋监测规范》（GB17378.3-2007）、《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）的要求进行样品的采集、保存与运输，样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）、《海洋监测规范第5部分：沉积物分析》（GB 17378.5-2007）、《海洋调查规范第6部分：海洋生物调查》（GB/T 12763.6-2007）、《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《海洋监测规范》（GB17378-2007）等进行。

11.2.1.2 水下噪声监测

（1）监测位置

在距离风机基础结构不得少于 3 倍水深且在总水深（H）0.7H~0.85H 处进行峰值声压的测量，同时距离风机基础结构 100m~500m 处、在海上风机工程区水层深度的中间处设置 2 个以上测点。

（2）监测时间

至少进行一次完整的施工期（锤击打桩）噪声跟踪测定。

（3）监测内容

打桩施工所产生的最大声压级 L_{peak} （dB re 1 μ Pa）、噪声频带有效声压级（dB re 1 μ Pa）；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性。

11.2.1.3 鸟情及其栖息地观测

（1）监测位置

监测范围以工程区域及周边 8km 海域为主。

(2) 监测时间及频率

自施工期开始,连续监测 2 年;每年春、秋 2 季观测。

(3) 观测内容

① 鸟类群落特征

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

② 栖息地生境特征

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

(4) 观测方法

鸟类调查采用路线调查和定点观测相结合的方法进行观测。植被和饵料生物调查,主要采用样方法结合随机采样方法进行。滩涂淤涨情况可以采用定标志杆与遥感分析相结合的方法进行。

11.2.1.4 监测数据管理

施工期由受委托监测单位根据工程施工进度按监测计划进行监测,若有异常情况应及时通知当地环境保护行政主管部门,以便采取相应的对策措施;同时要将工程施工的环境监测结果编制年度监测报告。

11.2.2 营运期监测计划

11.2.2.1 海洋环境监测

(1) 监测站位布设

在工程区域附近设置 7 个监测站位进行监测,监测过程中可根据具体情况进行调整。监测项目主要包括水质、沉积物、海洋生态、渔业资源,监测站位与施工期监测站位一致,布设情况见表 11.2.1-1 和图 11.2.1-1。

(2) 监测项目

水质监测项目:pH、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发酚。

沉积物监测项目:pH、含水率、有机碳、石油类、硫化物、砷。

海洋生态监测项目:叶绿素 a 及初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物

等。

渔业资源监测项目：鱼卵仔稚鱼、游泳动物。

(3) 监测时间与频次

水质监测：营运期前 2 年每年 2 次，春、秋季各 1 次。之后可根据前几次的监测结果，适当加大和减小监测频率。

沉积物监测：营运期前 2 年监测 1 次。之后可根据前几次的监测结果，适当加大和减小监测频率。

海洋生态监测：营运期前 2 年每年 2 次，春、秋季各 1 次。之后可根据前几次的监测结果，适当加大和减小监测频率。

渔业资源监测：营运期前 2 年每年 2 次，春、秋季各 1 次。之后可根据前几次的监测结果，适当加大和减小监测频率。

(4) 监测数据采集与处理

按照《海洋监测规范》(GB17378.3-2007)、《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)的要求进行样品的采集、保存与运输，样品的分析按照《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)、《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》(GB 17378.5-2007)、《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)、《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《海洋监测规范》(GB17378-2007) 等进行。

11.2.2.2 水下噪声监测

(1) 监测位置

在不同风速风机的三个输出级别：低、中和额定风速输出时进行水下噪声测量。在距离风电场单个涡轮机约 100m 处监测水下辐射噪声，同时应在距风电场外部界限 3km~4km 处进行水下背景噪声和风电噪声的综合测量。

(2) 监测时间

水下噪声监测进行 2 次，分别在风电场运营开始后一周年内的春、秋季实施。风电场运营后监测风机水下噪声，并进行水下噪声对生态影响跟踪评价。

(3) 监测内容

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

11.2.2.3 鸟情及其栖息地观测

工程运行后4年内每2年监测一次，共2次，每次连续一个季节周期（春、夏、秋、冬四季）进行观测，迁徙季节适当增加2次。调查时不可以相隔太近的两个月份代表两季的调查资料。

监测位置、观测内容、观测方法同施工期一致。

11.2.2.4 地形地貌及冲淤环境监测

（1）监测位置

选择风场区、临近航路及其周边海域5处位置。

（2）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。

（3）监测项目

水深、海底地形等。

11.2.2.5 监测数据管理

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

11.3 环保验收清单

根据《建设项目环境保护管理条例》（2017年7月16日修订）要求，建设项目需配套建设的环保设施，必须与主体工程同时设计，同时施工，同时投产使用。

建设单位应当将环境保护措施落实内容纳入施工合同，保证环境保护措施落实进度和资金，并在项目施工过程中同时组织实施环境影响报告书及审批部门审批决定中提出的环境保护对策措施。

表 11.3-1 环境保护“三同时”竣工验收清单

工期	环境要素		验收主要内容	参考要求或执行标准
施工期	废水	船舶生活污水	船舶生活污水在满足“船速不低于4节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”条件下排放	满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的要求
		船舶含油污水	收集上岸后交由船舶污染物接收单位处理	
	油污	漏油或者维修产生的油污	设专用容器，回收施工残油、废油	
		甲板上少量油	用棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱、废油等	

工期	环境要素		验收主要内容	参考要求或执行标准
			应收集后运回陆地交有资质单位统一处理，并建立委托处置台账，记录接收时间、数量等相关数据，备查	
	废气	施工船舶废气	①加强施工船舶管理，避免施工区域船舶拥堵。 ②加强施工机械维修保养，禁止不符合国家废气排放标准的机械进入施工区。 ③选用符合标准的、含硫量低的燃料，施工单位使用的施工船舶应符合《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）中第二阶段船机排气污染物排放限值。	减少对大气环境的污染影响
	噪声	施工噪声	①施工船舶采用低噪声船舶，应有效控制主辅机噪声，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛鸣放。 ②合理安排施工布置和施工时间，尽量避免高噪音施工机械和设备同时运作。 ③尽可能选用低噪声设备，采用静压打桩锤；加强施工设备的维护保养，发生故障应及时维修，保持润滑，紧固各部件，减少运行震动噪声；加强施工管理、文明施工。 ④海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出预测，在时间上控制一次一桩，首桩打设采用较低功率的“软启动”方法。 ⑤缩短沉桩时长，完善沉桩作业施工组织，提高作业效率。 ⑥夜间船舶停靠禁止鸣笛。	减少水下噪声对海洋生物的影响
	固体废物	船舶生活垃圾	收集上岸后由船舶污染物接收单位处理	回收利用或安全处置，不会影响海域水质和生态环境
		扫海清障	在施工船舶上设置专门的装置统一收集上岸处理	
		风机安装产生的废弃焊头、废金属和包装等	在每个焊接作业点配备收集铁桶。在每个施工现场设置废料回收桶，施工结束后统一回收至陆上处置	
	生态	“三场一通道”、渔业资源和渔业生产	①建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避开 5~7 月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下 5~7 月期间降低施工强度（例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等）。 ②优化施工工艺，尽量避免由于操作技术不当导致的入海悬浮沙增大。 ③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。 ④确立在离桩基中心 318m 的距离范围内为危险级，对鱼类活动进行可能的驱赶等工作。	减缓对周边生态环境的影响

工期	环境要素		验收主要内容	参考要求或执行标准
			⑤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。 ⑥施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。 ⑦做好施工溢油的管理。	
		珍稀海洋生物	①发现有中华白海豚、江豚、海龟立即停止施工，驱逐出作业海域，待离去后再施工； ②严格限制工程方的施工区域和用海范围； ③进行中华白海豚、江豚、海龟保护及救助方面的宣传和培训，提高工作人员对鲸豚的关注度、责任感和法律意识。 ④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。 ⑤确立在离桩基中心 56m 的距离范围内为危险级，对中华白海豚、江豚活动进行可能的驱赶等工作。	
		底栖生物	①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间； ②严格限制工程方的施工区域和用海范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围； ③施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。	
		鸟类	①合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过场址应适当停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。 ②一旦发现存在因施工活动引发的动物伤亡风险应立即停止施工，确定险情解除后方可继续施工。	
	环境管理	环境管理情况	设专职人员对风电场环境保护工作统一管理	避免产生的污染物对环境质量的造成损害
		环境监测计划执行情况	实施报告制定的海洋生态和环境监测计划	《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》
	环境风险事故预防	应急措施	与有能力的溢油应急单位签订应急服务合同	有效防控环境风险
运营期	废水	检修人员生活污水	在满足“船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率”	满足《船舶水污染物排放控制标

工期	环境要素		验收主要内容	参考要求或执行标准
			条件下排放	准》(GB3552-2018)的要求
		船舶含油污水	随运维船收集上岸后交由船舶污染物接收单位处理	
		检修含油污水	随运维船收集上岸后交由船舶污染物接收单位处理	
	废气	船舶废气	①运维船应使用符合《船舶大气污染物排放控制区实施方案》(交通运输部, 交海发(2018) 168号)船用燃油。 ②加强对运维船的检修和维护, 保证其处于良好的运转工况, 可减少废气污染物的排放。	减少对大气环境的污染影响
	噪声	风机运行噪声	①风机机组应避免或减少撞击力、周期力和摩擦力, 使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。 ②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。 ③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。	减少水下噪声对海洋生物的影响
	固体废物	运维人员生活垃圾	收集上岸后由船舶污染物接收单位处理	回收利用或安全处置, 不会影响海域水质和生态环境
		风机运行和维护等产生的废油、油渣油垢等	进行收集, 委托有相应资质的单位回收处置	
		废旧蓄电池	收集交由厂家回收处理	
	电磁	电磁防护	①针对海缆, 应减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电; ②主变压器外设置电磁辐射防护罩。	满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中的相关限值要求
	生态	海洋生态保护	①生态补偿采取增殖放流的措施。 ②加强渔业资源和生态保护宣传。 ③加强环境管理和环境监理工作, 做好环境跟踪监测工作。 ④加强对工作人员的教育, 加强环保意识, 禁止捕杀海龟等珍稀生物。	减缓对周边生态环境的影响
		鸟类保护	①加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测, 合理调整运行及防范措施; ②采取有效的驱鸟措施来降低鸟类的伤亡率, 如激光、猛禽声和全向声波等多种技术。 ③针对风电场建设导致海域栖息地丧失, 通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类	

工期	环境要素		验收主要内容	参考要求或执行标准
			增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。	
	通航安全措施		按通航报告要求落实防船撞预防措施等	避免和减少项目对通航环境的影响
	环境风险事故预防	应急预案	将本工程应急体系纳入江门海事局应急体系中	有效防控环境风险
		事故处理	有利于环境污染的恢复，将环境影响降低到最小	
	环境管理	环境管理情况	设专职人员对风电场环境保护工作统一管理	避免产生的污染物对环境质量的造成损害
		环境监测计划执行情况	实施报告制定的海洋生态和环境监测计划	《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》

12 环境影响评价结论

12.1 工程概况

国能江门川岛二海上风电项目拟建的海上风电场位于江门市西南侧海域、西侧紧邻阳江帆石场址，东南侧为领海线。场址东北侧距离下川岛约 50km，距离上川岛约 60km，距离北侧珍稀物种保护区超过 7km，距离大帆石海洋保护区超过 24km，距离南侧川岛一场址约 1km，场址面积约 52km²，风电场场址水深在 43m~46m 之间，风电场中心点地理坐标：112°20'59.544"E，21°8'58.184"N。本项目装机容量为 400MW，拟建设 23 台 18MW 的风电机组，6 回 66kV 集电海底电缆，海底电缆总长度为 40.20km。项目申请用海总面积 222.1346 公顷，其中透水构筑物（风机）面积为 153.3893 公顷，海底电缆管道（66kV 集电海缆）用海面积为 68.7453 公顷；本项目不占用大陆岸线 and 海岛岸线，申请海域使用期限为 27 年。

12.2 工程分析结论

（1）施工期

本项目施工期主要环境影响为风机基础沉桩、海底电缆敷设等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，并由此可能对工程海域海洋生态环境（底栖生物和浮游动、植物）和渔业资源造成一定损害。施工过程中产生的施工污废水、废气、施工噪声和固体废弃物可能对工程区域环境质量造成一定污染。

（2）营运期

本项目为海上风电项目，风力发电的工艺流程是利用自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料，基本不产生污染物。运行期间对环境的影响主要表现为以下几个方面：①本项目建成后，可能对工程海域附近潮流场尤其是风机墩柱周围的流场产生一定影响，表现为海域局部流速、流向及潮位的变化；②在一定程度上改变局部海域冲淤状况，可能使该海域的地形地貌发生一定改变；③风机运转存在与邻近区域栖息、觅食鸟类和迁徙飞行鸟类发生碰撞的可能性；④管理人员生活污水、生活垃圾和维修废物等处理不当可能影响区域海洋环境质量。

12.3 环境现状评价结论

12.3.1 水文动力环境现状调查结论

1、夏季大潮水文观测期间，风向以南风为主，风速在 8.5m/s ~ 10.2m/s ，观测海域的平均风速大小为 9.2m/s 。各站点风速以及风向变化不大，观测海区整体水深较深，海面上并无明显的遮挡物，故各个站位的风速接近一致。各个站位海况均为 2 级。

2、临时潮位观测站的潮汐性质系数 F 值分别为 1.59、1.58 和 1.43，说明观测期间调查海区的潮汐类型为不正规半日潮。临时潮位站的分潮中 M_2 分潮振幅皆最大，其中 CDC1 的 M_2 分潮振幅为约为 50.19cm ，迟角为 277° ；CDC2 的 M_2 分潮振幅约为 50.38cm ，迟角为 278° ；CDC3 的 M_2 分潮振幅约为 56.44cm ，迟角为 286° 。由表可知，观测期间调查海区最高潮位为 3.09m ，最低潮位为 0.01m ，最大涨潮潮差为 1.98m ，最大落潮潮差为 3.00m 。距离调查海区最近的上川岛的潮汐性质系数 F 值为 1.34，佐证调查海区的潮汐类型为不正规半日潮。

3、夏季观测期间，最大涨潮流速为 43.9cm/s ，最大落潮流速为 44.9cm/s ，分别出现在 CDL10 站表层和 CDL10 站 20 米层。最大涨潮和落潮平均流速分别为 26.8cm/s 和 27.8cm/s ，分别出现在 CDL8 站表层和 CDL5 站表层。由于观测时间处于夏季，并且风速较大，各个站位都表现出表层流速最大，随着深度加深依次减小。各个站位的主流轴方向为西北-东南方向，受夏季季风的影响，CDL6 和 CDL7 站整体的流向更偏向东北方向。除此之外，其余站位表现出了半日潮区的潮汐特征，具有明显的周期性。并且在开阔海域，各个站点的流速相差不大。

4、本次观测所有站位各层次潮流中，其中 O_1 分潮占优， K_1 分潮和 M_2 分潮次之；绝大部分的椭圆旋转率 k 绝对值小于 0.5，主要表现为往复流的特征。最大 O_1 分潮流出现在 CDL7 站 0.2H 层，流速为 117.2cm/s 。根据各站层潮流性质，计算了各层潮流可能最大流速及水质点可能最大运移距离，根据计算，夏季观测期间中广核江门川岛一海上风电项目海域潮流可能最大流速为 74.2cm/s ，出现在 CDL10 站 10 米层，各站层可能最大流速介于 15.8cm/s ~ 74.2cm/s 之间，各站潮流的可能最大流速方向以西北为主；水质点可能最大运移距离为 23923.73m ，出现在 CDL10 站 10 米层，各站层水质点可能最大运移距离介于 5038.42m ~ 23923.73m 之间。

5、夏季调查海区观测期间余流流速主要介于 5.6cm/s ~ 24.3cm/s 。最大余流为

潮流 CDL8 站（表层，24.3cm/s，52°），最小余流为潮流 CDL5 站（底层，5.6cm/s，38°）。各站表层的余流流速最大，各个站位余流的方向为东北方向。

6、温度结果：夏季调查期间调查海区测得的水温最大值为 30.84℃，出现在 CDL7 站表层；测得水温的最小值为 21.74℃，出现在 CDL10 站底层；由于观测时间在夏季，夏季的海区一般的特点为越靠近外海温度越低，越靠近陆地温度越高，从各个站位的温度变化可以看到这一特点。同时，由于夏季气温升高，海表面的温度升高，使得海表面和海底的温差增大，使得垂向混合减弱，可以看到各个站位都有一个明显的温度梯度（海表和海底的温度差异较大）。

7、盐度结果：夏季调查期间调查海区测得的盐度最大值为 34.48，出现在 CDL10 的底层；测得盐度的最小值为 27.47，出现在 CDL5 站表层。统计结果表明，由于夏季降雨多，海表面的盐度降低，使得海表面和海底的盐度差增大，使得垂向混合减弱，形成稳定的盐度差，可以看到各个站位都有一个明显的盐度梯度（海表和海底的盐度差异较大）。

8、悬沙浓度分析结果：观测期间（1）调查海区悬沙浓度范围为 0.001kg/m³~0.013kg/m³，CDL5 站 0.8H 层和 CDL10 站 5 米层和 50 米层的悬沙浓度最大（0.013kg/m³），其余各站均出现了悬沙浓度最小（0.001kg/m³）；（2）在垂向上，各站表层和底层悬沙浓度较为接近。（3）空间上，近岸站点的平均悬沙浓度高于外海站点的平均悬沙浓度。

9、大潮期间的涨潮最大单宽输沙量为 1.56t/m，方向 3°，出现在 CDL6 站；落潮期最大单宽输沙量为 2.95t/m，方向 95°，出现在 CDL5 站；最大单宽净输沙量为 3.52t/m，方向 73°，出现在 CDL5 站。观测期间，各个站点的净输沙量方向主要为东北方向。

10、测区悬沙类型，粉砂是悬沙主体，其次是粘土，最后是砂。各站大潮期间砂含量为 0.00~6.33%，平均值为 0.65%，粉砂含量在 24.97%~85.19%之间，平均值为 71.72%，粘土含量在 11.48%~75.03%之间，平均值为 27.63%；悬沙样品类型为粘土质粉砂（117/162），粉砂（37/162），粉砂质粘土（7/162），粘土（1/162），共 4 种样品。航次测区悬沙中值粒径变化范围在 6.31μm~8.75μm 之间，平均值为 6.94μm。CDL5 测站 21 日 13:00 悬沙粒径最粗（8.75μm），CDL10 测站 21 日 21:00 悬沙粒径最细（6.31μm）。大潮期各个站位中值粒径的平均值分别为 7.03μm、

6.91 μm 、6.83 μm 、6.94 μm 、7.00 μm 和 6.95 μm 。大潮测量期间测区平均粒径在 5.46 ϕ ~8.47 ϕ 之间,平均值为 6.19 ϕ 。平均粒径的空间分布为:CDL5 站的 17:00 最大,为 8.47 ϕ ;CDL7 站的 19:00 最小,为 5.46 ϕ 。测区大潮期间悬沙分选系数变化范围为 0.002 ϕ ~0.019 ϕ ,平均值为 0.014 ϕ 。测区大潮期间悬沙偏态系数变化范围为 0.19~0.69,平均值为 0.57。测区大潮悬沙峰态系数的变化范围为 0.64~1.39,平均值为 0.78。

12.3.2 地形地貌与工程地质结论

风电场位于广东省江门市台山市南侧,离岸最近距离约 60km,海域宽阔,场区内未见岛屿分布,水深约为 43m~46m,海底地形总体平缓,整体呈西北高东南低趋势,属冲海积地貌单元。场区内未发现明显陡坎、海沟等。

根据区域地质资料及钻探揭示,场区内自上而下地层为第四系全新统海相沉积的淤泥质土和粉砂混淤泥(①层)、第四系全新统海陆过渡相的黏性土、砂土及粉土(②层)、第四系晚更新统海陆交互相的黏土及砂土(③层)。场址近区域现代构造活动一般,区域地壳基本稳定,风电场地震基本烈度为VII度,根据《海上风力发电厂勘测标准》(GB 51395-2019)的有关标准,风电场区域构造稳定性较好。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)(2016年版)4.1.7条,抗震设防烈度小于8度时,可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响。拟建场地属对建筑抗震不利地段,根据行业标准《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ57-2012)8.2.1条,对建筑抗震的不利地段划分为稳定性差场地。根据行业标准《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ57-2012)8.3.2条及附录C,稳定性差场地适宜性定性分级为适宜性差。风机基础位于近海海域,易受海浪冲刷,但采用桩基础及防潮水冲刷措施后可进行工程建设。

12.3.3 海水水质现状调查与评价结论

2023年秋季调查结果显示,全部站位各监测因子均符合海水水质第一类标准要求。

12.3.4 海洋沉积物质量现状调查与评价结论

2023年秋季所有调查站位的沉积物监测因子均符合海洋沉积物质量第一类标准要求。

12.3.5 海洋生物质量现状调查与评价结论

2023 年秋季调查结果显示,生物质量中砷出现超标现象,超标率为 33.3%,其余监测因子均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025)附录 C 标准。

12.3.6 海洋生态环境现状调查与评价结论

12.3.6.1 叶绿素 a 与初级生产力

2023 年秋季,调查海域各站叶绿素 a 浓度的变化范围为 (0.28~3.70) mg/m^3 ,平均为 0.73 mg/m^3 ;初级生产力变化范围在 (253.974~2620.266) $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,平均值为 566.575 $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

12.3.6.2 浮游植物

2023 年秋季调查共记录浮游植物 4 门 5 纲 12 目 24 科 134 种,密度变化范围在 (73.386~5855.987) $\times 10^3 \text{ind}/\text{m}^3$ 之间,平均值为 1394.571 $\times 10^3 \text{ind}/\text{m}^3$;优势种共出现 6 种,分别为劳氏角毛藻 (*Chaetoceros lorenzianus*)、海链藻属 (*Thalassiosira* sp.)、透明辐杆藻 (*Bacteriastrum hyalinum*)、拟旋链角毛藻 (*Chartoceros pseudocurvisetus*)、角毛藻属 (*Chaetoceros* sp.) 和北方角毛藻 (*Chaetoceros borealis*);多样性指数范围在 2.385~3.940 之间,平均值为 3.361;均匀度指数范围在 0.398~0.657 之间,平均值为 0.570;丰富度指数范围在 2.192~3.103 之间,平均值为 2.720。

12.3.6.3 浮游动物

2023 年秋季调查共记录浮游动物 6 门 9 纲 16 目 32 科 74 种 (包括浮游幼体 8 种),生物量变化范围在 (63.18~468.75) mg/m^3 之间,平均值为 298.08 mg/m^3 ;密度变化范围在 (839.053~6007.793) ind/m^3 之间,平均值为 3464.117 ind/m^3 ;优势种共出现 6 种,分别为桡足幼体 (Copepoda larvae)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、丽隆水蚤 (*Oncaea venusta*)、针刺拟哲水蚤 (*Paracalanus aculeatus*)、瘦长毛猛水蚤 (*Macrosetella gracilis*) 和羽长腹剑水蚤 (*Oithona plumifera*);多样性指数范围在 2.520~3.873 之间,平均值为 3.312;均匀度指数变化范围在 0.549~0.768 之间,平均值为 0.694;丰富度指数范围在 1.035~2.497 之间,平均值为 2.008。

12.3.6.4 底栖生物

2023 年秋季调查共记录大型底栖生物 4 门 5 纲 13 目 27 科 42 种,生物量范围在

(0~190.525) g/m² 之间, 平均生物量为 11.047g/m²; 栖息密度范围在 (0~45.000) ind/m² 之间, 平均栖息密度为 16.667ind/m²; 本次调查无明显优势种; 多样性指数变化范围在 0~2.948 之间, 平均值为 1.487; 均匀度指数变化范围在 0.946~1.000 之间, 平均值为 0.993; 丰富度指数范围在 1.000~2.208 之间, 平均值为 1.407。

12.3.7 渔业资源现状调查与评价结论

12.3.7.1 鱼卵仔稚鱼

2023 年秋季调查中共记录鱼卵 12 种, 其中包括鲈形目 8 种, 鲱形目 3 种和鲾形目 1 种; 仔稚鱼 22 种, 其中包括鲈形目 15 种, 鲱形目和鲾形目各 2 种, 银汉鱼目、鲷形目和鲉形目各 1 种。调查区域垂直拖网的鱼卵平均密度为 0.451ind/m³; 仔稚鱼平均密度为 0.170ind/m³。常见鱼卵仔稚鱼为鲷科、鲉科等。

12.3.7.2 游泳动物

2023 年秋季调查游泳动物共记录 3 门 3 纲 14 目 62 科 159 种, 其中: 鱼类 104 种, 占总种类数的 65.41%, 虾类 23 种 (其中虾蛄类 5 种)。游泳动物平均总尾数渔获率为 619ind/h, 平均总重量渔获率为 7.971kg/h。平均尾数资源密度为 13.984×10³ind/km²; 平均重量资源密度为 177.751kg/km²。优势种共 1 种, 为日本金线鱼。游泳动物的多样性指数平均值为 3.531, 均匀度指数平均值为 0.681, 丰富度指数平均值为 3.979。主要经济种类为日本金线鱼、红星梭子蟹等。

12.3.8 鸟类环境现状调查与评价结论

本次四季度调查, 在项目区域及周边共记录鸟类 91 种, 隶属 12 目 28 科。优势类群包括鸻形目 (CHARADRIIFORMES) (39 种) 和雀形目 (PASSERIFORMES) (26 种)。本次调查的鸟类中, 水鸟有 58 种, 其他 33 种为陆生鸟类种, 主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分, 留鸟共有 36 种, 迁徙鸟共 55 种, 其中冬候鸟 34 种, 迁徙过境鸟 11 种, 夏候鸟 10 种。

数量方面, 共记录鸟类 8552 只次, 其中数量超过 10% 的优势种有 3 种, 分别为铁嘴沙鸻 (*Charadrius leschenaultii*)、环颈鸻和白鹭。常见种有 13 种, 包括黑腹滨鹬 (*Calidris alpina* 占调查总数量的 7.7%, 下同)、大白鹭 (*Ardea alba*) (5.6%)、蒙古沙鸻 (*Charadrius mongolus*) (4.4%)、红颈滨鹬 (*Calidris ruficollis*) (2.9%)、池鹭 (*Ardeola bacchus*) (2.5%)、三趾滨鹬 (*Calidris alba*) (2.4%)、苍鹭 (*Ardea*

cinerea) (2.1%)、泽鹞 (*Tringa stagnatilis*) (2.1%)、翘嘴鹬 (*Xenus cinereus*) (1.7%)、鸥嘴噪鸥 (*Gelochelidon nilotica*) (1.5%)、青脚鹬 (*Tringa nebularia*) (1.3%)、家燕 (*Hirundo rustica*) (1.3%)、阔嘴鹬 (*Calidris alba*) (1.2%)。项目用地和周边区域的单次鸟类调查没有记录到数量超过全球种群数量 1% 以上的物种。

12.3.9 电磁环境现状调查与评价结论

秋季统计结果显示, 拟建风电场区工频电场强度介于 (0.07~0.11) V/m 之间, 磁感应强度介于 (0.0067~0.0102) μ T 之间, 均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 的要求 (交流输变电工程对应的频率为 50Hz, 其推荐限值分别为 4000V/m 和 100 μ T)。

冬季统计结果显示, 拟建风电场区工频电场强度介于 (0.08~0.24) V/m 之间, 磁感应强度介于 (0.0073~0.0107) μ T 之间, 均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 的要求 (交流输变电工程对应的频率为 50Hz, 其推荐限值分别为 4000V/m 和 100 μ T)。

12.3.10 噪声环境现状调查与评价结论

秋季工程海域海面上环境噪声无计权等效噪声级主要分布在 53~62dB 之间。工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降, 在 20Hz~20kHz 频率范围内, 噪声谱级的总动态变化范围是 59dB, 而在特定频率 (如 100Hz) 的噪声功率谱级的动态变化范围为 10dB。总体上, 在 100 Hz 以上的频率的噪声谱级在 103dB 以下; 500 Hz 以上频率的噪声谱级均在 96dB 以下; 1kHz 以上频率的噪声谱级在 89dB 以下; 而在 5kHz 以上频率, 噪声谱级在 83dB 以下。

冬季工程海域海面上环境噪声无计权等效噪声级主要分布在 47~56dB 之间。工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降, 在 20Hz~20kHz 频率范围内, 噪声谱级的总动态变化范围是 66dB, 而在特定频率 (如 100Hz) 的噪声功率谱级的动态变化范围为 14dB。总体上, 在 100 Hz 以上的频率的噪声谱级在 105dB 以下; 500 Hz 以上频率的噪声谱级均在 76dB 以下; 1kHz 以上频率的噪声谱级在 69dB 以下; 而在 5kHz 以上频率, 噪声谱级在 58dB 以下。

12.3.11 大气环境质量现状结论

根据江门市生态环境局公布的《2024 年江门市生态环境质量状况公报》, 2024

年度，江门市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 CO 五项污染物监测数据达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）的过渡阶段浓度限值二级标准的要求， O_3 未达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）的过渡阶段浓度限值二级标准要求，属于不达标区。

12.4 环境影响预测分析与评价结论

12.4.1 水文动力环境影响预测与评价结论

工程实施后风电场附近海域各代表点大潮涨急流速变化值位于 $-0.014\sim 0.001\text{m/s}$ 之间；大潮涨急流向变化值位于 $-2.7\sim 1.1^\circ$ 之间；各代表点大潮落急流速变化值位于 $-0.032\sim 0.001\text{m/s}$ 之间，大潮落急流向变化值位于 $-1.2\sim 1.1^\circ$ 之间。总体上看，由于风机直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。

12.4.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价结论

本项目海缆所在海域工程前后海床基本不变，海缆敷设对其所在海域潮汐动力和冲淤变化基本不影响，工程实施对海域冲淤影响主要出现风电桩基附近。工程建设后，使得局部水流条件稍有改变，从而引起海床冲淤变化，变化主要出现在工程周边海域。预测结果表明，工程实施后风电桩基迎水面和背水面海域流速受桩基影响出现一定程度减缓，导致风电桩基背水面和迎水面海域出现 $0.004\sim 0.015\text{m/a}$ 左右的淤积，而工程周边海域受到的冲刷作用不明显，冲刷幅度不超过 0.004m/a 。

12.4.3 海水水质环境影响预测与评价结论

海缆施工从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km^2 、 1.586km^2 、 8.502km^2 、 18.915km^2 和 25.197km^2 ，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 10.840km^2 。施工期从表层到底层超第三类海水水质包络面积分别为 0.000km^2 、 0.000km^2 、 0.000km^2 、 0.094km^2 和 1.735km^2 ，垂向平均超第三类海水水质包络面积为 0.366km^2 。辅助桩拆除施工从表层到底层超第一、二类海水水质包络面积分别为 0.000km^2 、 0.000km^2 、 0.000km^2 、 0.007km^2 和 0.249km^2 ，垂向平均超第一、二类海水水质包络面积为 0.051km^2 。从表层到底层均不超第三类海水水质标准。从表层到底层均不超第三类海水水质标准。整体而言，悬沙扩散的影响范围基本局限于底层，对中层和表层的影响较小。

营运期检修人员船舶生活污水在满足“（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；

(2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的允许排放速率。”条件下排放。运维船舶含油污水收集上岸交由有处理能力的单位统一处理，检修含油污水收集后随检修船回收至岸上送有能力处理的单位处理，基本不会对海域水质环境造成不利影响。

12.4.4 海洋沉积物环境影响预测与评价结论

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。

12.4.5 噪声环境影响预测与评价

施工期水上施工作业对水上噪声的影响范围相对较小，500m 范围内基本可以达到大多数现状值，本工程 500m 范围内无居民区等噪声敏感点，声环境的影响可以接受。水下打桩噪声经过 5km 距离衰减为 179~180dB。船舶噪声经过 560m 距离衰减为 122dB。

营运期在单排风机外 200m 处，风机噪声可衰减至 61.0dB(A)。由于背景值海上风声和海浪声较大，风电场运行噪声对海上声环境影响仅限于风机附近。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。

12.4.6 电磁辐射环境影响预测与评价结论

风机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。因此 6 根电缆并行排列时，电磁环境影响效应不明显。对于 66kV 的海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 1 μ T 以下，对输电线路沿线电磁环境基本无影响。

12.4.7 海洋生态及渔业资源环境影响预测与评价

施工期风机基础建设和海底电缆铺设过程中产生的悬浮泥沙将给海洋生物资源带来的一定的负面影响，由悬沙扩散引起的生物资源受损量的估算结果显示，本工程施工期浮游植物直接损失量为 9.979×10^{13} 个，浮游动物损失总量为 2.133×10^4 个，鱼卵直接损失量为 2.869×10^7 粒，仔稚鱼的直接损失量为 1.081×10^7 尾，游泳生物的直接损失量为 0.076t；定位架压占、海底电缆铺设造成的底栖生物资源损失量（一次性损害）估算结果分别为 0.0086t、0.2199t；风机桩基长期压占造成的底栖生物资

源直接损失量估算结果为 0.0005t。

12.4.8 鸟类生态环境影响

本项目施工期间对鸟类的各种影响是暂时的。施工期大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。运行期间对鸟类的影响主要表现在以下两个方面，一是影响鸟类的觅食，二是影响候鸟的迁徙。风机建成后，平常在该海域觅食的海鸟可能由于风机的存在而迁往它处；途经风电场区迁徙的候鸟在迁徙过程中，白天一般会主动规避风力发电机组，夜晚由于光线较弱将存在与风机叶片相撞的可能。本工程项目风电场区远离陆地和海岛，超出大部分鸟类活动的范围，也不在某些鸟类迁徙的必经之路上，因此对鸟类活动的影响较小。

12.4.9 大气环境影响分析

施工期大气污染源主要为施工区各类施工船舶、车辆、机械设备及施工供电柴油发电机等，主要污染物质包括 SO_2 、 CO 、 NO_x 、颗粒物、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及碳氢化合物等，由于项目所处区域开阔、空气流通性好，项目施工废气不会对环境产生明显影响。

运行期风电场维护和检修时船舶会产生少量船舶废气，属于无组织排放，由于项目所处区域开阔、空气流通性好，不会对环境产生明显影响。

12.4.10 固体废物环境影响分析

施工前期扫海清障有废弃沉船、渔具以及其他有碍施工的废弃物产生，收集上岸后交专业公司回收处理；风机安装过程中也会有生产垃圾发生，主要是废弃的包装、废金属、焊接头等，收集上岸后交专业公司回收处理；施工过程中所产生的船舶生活垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的船舶垃圾排放控制要求收集上岸后交由接收单位接收处理。施工过程产生的固体废物禁止排海，对周围环境影响较小。

项目营运期固体废物分类收集由维护船舶直接带回岸上处理，其中生活垃圾统一交由接收单位接收处理，危险废物（废润滑油、废变压器油、废油桶、废蓄电池、

废变压器、废含油抹布及手套）分类收集后到岸交由专业危废处理资质单位，可回收的五金杂件等外卖资源回收。由于固体废物均由维修船舶及时带回陆域，船舱暂存时均在防雨、防渗、防漏的临时暂存点，而且按照废物的物化特性，尤其是危险废物，尽可能利用原有包装容器对废物进行包装，进一步使废物与外环境隔离。在正常情况下，本项目产生的固体废物在严格按照操作规程进行管理，基本不会对环境产生明显不良影响。

12.4.11 对环境敏感目标的影响分析

本工程位于南海底层、近底层鱼类产卵场中的长尾大眼鲷产卵场、金线鱼产卵场区域，海缆施工产生的高浓度悬浮泥沙会对保护区的幼鱼及其饵料生物产生一定的影响，但施工时间较短，高浓度的悬浮泥沙排放时间也较短，随着施工作业结束，悬浮泥沙将在数小时内恢复海域本底水平。长尾大眼鲷产卵场保护期为每年的 5 月~7 月、金线鱼产卵场（产卵场保护期为每年的 3 月~8 月），建议合理安排风机桩基施工和海缆敷设施工时间，尽量避开 5~7 月产卵高峰期，若无法避开在施工进度允许的情况下 5~7 月期间降低施工强度（例如合理安排施工进度、缩短每日施工时间等），以减少施工悬浮物对产卵场的影响。

项目场址所在为深水区，场址距离陆岸约 60km，项目建设对中华白海豚、海龟等珍稀海洋生物影响较小。本工程可能会出现江豚，在施工时应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，在采取措施的情况下，项目的建设对江豚的影响较小。

12.5 环境风险预测与评价结论

本项目主要环境风险包括（1）通航事故风险；（2）船舶风机碰撞溢油风险；（3）项目海域内通航环境风险；（4）风机倒塌风险分析；（5）电气设备风险分析。针对可能发生的环境事故，本报告提出了相应的事故防范措施，采取上述措施后，上述环境事故的发生概率可明显降低，事故发生对环境的影响可明显减小。

12.6 环境经济损益分析

本项目具有明显的环境效益，节约能源原材料消耗等，减少温室气体等污染物的排放；社会效益显著，缓解电力供需矛盾和改善电源结构，并促进国内制造业等的发展。本项目在建设和运行过程中在一定程度上会造成渔业资源和海洋生态等方

面的环境损失，但其主要发生在施工期，且可通过补偿措施进行恢复。

从环境经济损益综合分析，本项目环境效益远大于损失，环境、社会、经济效益明显。

12.7 政策及规划相符性分析

本项目建设符合国家产业政策，选址符合相关规划要求。项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《江门市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《阳江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号）、《江门市人民政府印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（江府〔2021〕9 号）、《江门市人民政府关于印发江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）的通知》（江府〔2024〕15 号）、《“十四五”海洋生态环境保护规划》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》《“十四五”现代能源体系规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》《广东省能源发展“十四五”规划》《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》《江门市生态环境保护“十四五”规划》《江门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》《阳江市生态环境保护“十四五”规划》《阳江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》等相关文件要求。

12.8 公众参与结论

在环境影响报告书编制过程中，国能（江门）风能开发有限公司按要求开展了公众参与工作，征求公众对本项目环境影响和环境保护方面的建议和意见。本次公众参与工作采用了网络平台公示、报纸公示及现场张贴公示等方式对本项目进行了信息公示。公示期间，建设单位、环评单位和地方环保部门均未收到公众对本项目的相关建议和意见，符合公众参与要求。

12.9 综合结论

本项目为风力发电项目，属于可再生能源和清洁能源利用项目，对于降低煤炭消耗、减轻环境污染，缓解环境保护压力、改善区域能源结构等具有非常积极的意

义，是发展低碳经济、建设节约型社会的具体体现。本项目建设符合国家产业政策、符合国家、广东省、江门市相关规划。虽然项目施工期和营运期会对周边的海水水质、海洋沉积物、海洋生态、鸟类和电磁环境影响等产生一定的影响，在切实执行国家有关法律法规、严格落实报告中提出的各项污染防治、生态保护对策措施及风险防范措施的前提下，项目对海水水质、海洋沉积物、海洋生态、鸟类和电磁环境影响可接受，环境风险可防控，从环境保护角度考虑，国能江门川岛二海上风电项目的建设是可行的。



建设项目环境影响报告书审批基础信息表

填表单位(盖章):

国能(江门)风能开发有限公司

填表人(签字):

李延新

项目经办人(签字):

李延新

建 设 项 目	项目名称		国能(江门)风能开发有限公司				建设内容		拟在江门市西南侧海域建设海上风电项目,规划总装机容量为400MW。					
	项目代码		2401-440781-60-01-231686											
	环评信用平台项目编号		750510											
	建设地点		江门市西南侧海域,西侧紧邻阳江航石场址,东南侧为郁海线				建设规模		拟建设23台18MW的风电机组,6回66kV集电海底电缆,海底电缆总长度为40.20km。					
	项目建设周期(月)		12.0				计划开工时间		2026年6月					
	环境影响评价行业类别		151-海洋能源开发利用类工程				预计投产时间		2027年6月					
	建设性质		新建(迁建)				国民经济行业类型及代码		D4415 风力发电					
	现有工程排污许可证或排污登记表编号(改、扩建项目)		现有工程排污许可管理类别(改、扩建项目)				项目申请类别		新申报项目					
	规划环评开展情况		无				规划环评文件名称							
	规划环评审查意见文号						规划环评审查意见文号		无					
建 设 单 位	建设地点中心坐标(非线性工程)		经度	112.349873	纬度	21.149496	占地面积(平方米)	2221346	环评文件类别	环境影响报告书				
	建设地点坐标(线性工程)		起点经度		起点纬度		终点经度		终点纬度		工程长度(千米)	0.46		
	总投资(万元)		282484.00				环保投资(万元)		1300.00		所占比例(%)			
	单位名称		国能(江门)风能开发有限公司		法定代表人	王忠宝	单位名称	广东海兰信环境技术有限公司		统一社会信用代码	91440101MA59KQLF0D			
污 染 物 排 放 量	统一社会信用代码(组织机构代码)		91440781MADAD0YG63		联系电话	18033113157	环评编制单位	姓名		孙芳	统一社会信用代码	91440101MA59KQLF0D		
	通讯地址		台山市赤溪镇铜鼓湾1号				环评编制单位	信用编号		BH012628	联系电话	02089446181		
							环评编制单位	职业资格证书管理号		2016035440352013449914000651				
							环评编制单位	通讯地址		广州市海珠区新港中路381号办公楼3楼(3-1号楼)六层、七层				
	污染物		现有工程(已建+在建)		本工程(拟建或调整变更)		总工程(已建+在建+拟建或调整变更)				区域削减量来源(国家、省留审批项目)			
			①排放量(吨/年)	②许可排放量(吨/年)	③预测排放量(吨/年)	④以新带老削减量(吨/年)	⑤区域平衡替代本工程削减量(吨/年)	⑥预测排放总量(吨/年)	⑦排放增减量(吨/年)					
	废 水	废水量(万吨/年)						0.000	0.000					
		COD						0.000	0.000					
		氨氮						0.000	0.000					
		总磷						0.000	0.000					
总氮						0.000	0.000							
铅						0.000	0.000							
汞						0.000	0.000							
镉						0.000	0.000							
铬						0.000	0.000							
废 气	废气量(万标立方米/年)						0.000	0.000						
	二氧化硫						0.000	0.000						
	氮氧化物						0.000	0.000						
	颗粒物						0.000	0.000						
	挥发性有机物						0.000	0.000						
	铅						0.000	0.000						
	汞						0.000	0.000						
	镉						0.000	0.000						
	铬						0.000	0.000						
	贵金属						0.000	0.000						
其他特征污染物						0.000	0.000							
项 目 涉 及 法 律 法 规 规 定 的 保 护 区 情 况	影响及主要措施		名称		级别	主要保护对象(目标)	工程影响情况	是否占用	占用面积(公顷)	生态防护措施				
	生态保护目标									避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	生态保护红线									避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	自然保护区									避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	饮用水水源保护区(地表)		(可通行)		/					避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	饮用水水源保护区(地下)		(可通行)		/					避让 减缓 补偿 重建(多选)				
主 要 原 料 及 燃 料 信 息	影响及主要措施		名称		级别	主要保护对象(目标)	工程影响情况	是否占用	占用面积(公顷)	生态防护措施				
	生态保护目标									避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	生态保护红线									避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	自然保护区									避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	饮用水水源保护区(地表)		(可通行)		/					避让 减缓 补偿 重建(多选)				
	饮用水水源保护区(地下)		(可通行)		/					避让 减缓 补偿 重建(多选)				
大 气 污 染 治 理 与 排 放 信 息	主要原料		名称		年最大使用量	计量单位	有毒有害物质及含量(%)	序号	名称	灰分(%)	水分(%)	年最大使用量	计量单位	
	有 组 织 排 放 (主 要 排 放 口)	序号(编号)	排放口名称	排气筒高度(米)	序号(编号)	名称	污染防治设施处理效率	序号(编号)	名称	污染物种类	排放浓度(毫克/立方米)	排放速率(千克/小时)	排放量(吨/年)	排放标准名称
无 组 织 排 放	序号	无组织排放源名称					污染物种类	排放浓度(毫克/立方米)	排放标准名称					
水 污 染 治 理 与 排 放 信 息 (主 要 排 放 口)	车间或生产设施排放口		序号(编号)	排放口名称	废水类别	污染防治设施工艺		排放去向	污染物排放					
						序号(编号)	名称	污染防治设施处理水量(吨/小时)	污染物种类	排放浓度(毫克/升)	排放量(吨/年)	排放标准名称		
	总排放口(间接排放)		序号(编号)	排放口名称	污染防治设施工艺	污染防治设施处理水量(吨/小时)	受纳污水处理厂		受纳污水处理厂排放标准名称	污染物种类	排放浓度(毫克/升)	排放量(吨/年)	排放标准名称	
							名称	编号						
总 排 放 口 (直 接 排 放)	序号(编号)	排放口名称	污染防治设施工艺		污染防治设施处理水量(吨/小时)		受纳水体		污染物排放					
							名称	功能类别	污染物种类	排放浓度(毫克/升)	排放量(吨/年)	排放标准名称		
固 体 废 物 信 息	废物类型	序号	名称	产生环节及装置		危险废物特性		危险废物代码	产生量(吨/年)	贮存设施名称	贮存能力(吨/年)	自行利用工艺	自行处置工艺	是否外委处置
	一般工业固体废物					/		/	/	/	/	/	/	/
	一般工业固体废物					/		/	/	/	/	/	/	/
	危险废物					/		/	/	/	/	/	/	/